



รายงานการวิจัย

การทดสอบและพัฒนาโครงสร้างอิฐก่อ (Testing and Development of Brick Masonry Structure)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

สิทธิชัย แสงอาทิตย์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2541

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2542

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนิน โครงการวิจัย เรื่อง “การทดสอบและพัฒนาโครงสร้างอิฐก่อ” ได้รับการสนับสนุนงบประมาณโดยทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2541 ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณต่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเป็นอย่างสูง นอกจากนั้นแล้ว ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณต่อนักศึกษาด้านวิศวกรรมโยธา คือ คุณเผด็จพล พงษ์สวัสดิ์ คุณอริศรา ทองมาลา คุณวุฒิเดช มงคลศรี คุณภาสกร เจริญองอาจ คุณอมรรัตน์ สุริยวิจิตรเสรณี และคุณอิทธิพล เกษมศรีวิวัฒน์ ที่ได้ร่วมมือกันทำการทดสอบอิฐดินเผาอย่างขยันขันแข็งและอดทน สุดท้าย ขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สิทธิชัย แสงอาทิตย์
หัวหน้าโครงการวิจัย
พฤษภาคม 2542

บทคัดย่อ

โครงสร้างอิฐก่อเป็น โครงสร้างที่มีความแข็งแรงและคงทน มีความทึบเสียงสูง มีความต้านทานต่อไฟไหม้สูง เก็บรักษาอุณหภูมิภายในตัวโครงสร้างได้ดี มีความสวยงาม มีราคาค่อนข้างถูก ค่าบำรุงรักษาต่ำ และไม่ทำลายสภาพแวดล้อมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นองค์อาคารรับน้ำหนักของโครงสร้างของอาคารที่พักอาศัยและสำนักงาน ในการที่จะออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างอิฐก่อให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมนั้น เราจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาคูณสมบัติเชิงกลเบื้องต้นและพฤติกรรมของอิฐดินเผา ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างอิฐก่อ โดยที่ในงานวิจัยนี้ ก้อนอิฐดินเผาที่ใช้ในการทดสอบได้มาจากการออกสำรวจแหล่งผลิตอิฐและเก็บรวบรวมตัวอย่างจากโรงงานผลิตอิฐดินเผาในเขตพื้นที่รอบๆ จังหวัดนครราชสีมาเป็นจำนวน 13 โรงงานๆ ละ 150 ก้อนอิฐดินเผา ได้ถูกแยกออกเป็น 2 ประเภทตามขบวนการผลิตคือ อิฐที่ผลิตด้วยมือหรืออิฐมอญและอิฐที่อัดด้วยเครื่องหรืออิฐมอญมาตรฐาน จากนั้น คุณสมบัติเชิงกลเบื้องต้นและพฤติกรรมของก้อนอิฐดินเผาและ Prism ของก้อนอิฐดินเผา ซึ่งถูกก่อขึ้นมาแบบมีการตรวจสอบและแบบไม่มีการตรวจสอบ ได้ถูกทดสอบตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบและวัสดุของอเมริกัน ASTM C67 และ ASTM E447 ตามลำดับ ซึ่งประกอบด้วยกำลังรับแรงกดอัด โมดูลัสการแตกร้าว อัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้น และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ จากการทดสอบ พบว่า อิฐดินเผาส่วนหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยอิฐมอญจากโรงงานในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาและจังหวัดขอนแก่น และอิฐมอญมาตรฐานจากโรงงานในจังหวัดปทุมธานี และอ่างทอง มีคุณสมบัติเชิงกลเบื้องต้นที่ดีกว่าอิฐดินเผาจากแหล่งอื่นๆ และเหมาะสมมากที่จะนำไปใช้ในโครงสร้างอิฐก่อต่อไป นอกจากนั้นแล้ว ได้พบว่า อิฐดินเผาตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาโดยส่วนใหญ่มีคุณสมบัติเชิงกลเบื้องต้นที่แตกต่างกันค่อนข้างสูง เนื่องจากขบวนการผลิตอิฐดินเผาในประเทศไทยมีตัวแปรเข้ามาเกี่ยวข้องกับค่อนข้างสูง รวมถึงสภาพดินฟ้าอากาศ ดังนั้น ขบวนการผลิตที่ใช้อยู่ควรมีการปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยเฉพาะการกดอัดดิน การอบก้อนดิน และการเผาอิฐ ชุดท้าย จากผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบ พบว่า สมการพื้นฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดสูงสุดของ Prism และกำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐดินเผาอยู่ในรูป $f'_m = 0.196 f'_{br}$ ในกรณีของอิฐมอญและ $f'_m = 0.280 f'_{br}$ ค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในสมการทั้งสองนี้แสดงถึงประสิทธิภาพในการนำอิฐดินเผาไปใช้ในโครงสร้างอิฐก่อ ดังนั้น จะเห็นได้ว่า อิฐมอญมาตรฐานมีประสิทธิภาพสูงกว่าอิฐมอญประมาณ 40%

Abstract

Masonry structure has many superior characteristics over the other types of structures including high strength and durability, high fire resistance, low acoustic and heat transfer, aesthetic, low construction cost, low maintenance cost, and environmentally sound. It can be used as load-bearing structural members in residential and commercial buildings. To engineer this kind of structure, it is necessary to study the mechanical properties and behavior of the masonry brick, which is the major part of the masonry structure. In this research work, 150 specimens were collected from each of 13 brick factories in the area surrounding Nakhonratchasima province. They were classified according to the manufacturing processes into 2 groups: typical masonry bricks and standard masonry brick. Then, the mechanical properties and behavior of the masonry bricks and Prisms, both inspected and uninspected, were tested and studied according to the American Society for Testing and Materials ASTM C67 and ASTM E447, respectively. The mechanical properties studied here are the compressive strength test, the modulus of rupture test or flexural test, the initial rate of absorption test, the measurement of size, and the water absorption test. The test results indicated that there are two typical masonry bricks and two standard masonry bricks having appropriate mechanical properties and behavior to be used in the masonry structure according to the ASTM standard. The typical masonry bricks are produced in Ayudhya and Khon Kaen, and the standard masonry bricks are produced in Pathumtani and Angthong. In addition, the mechanical properties and behavior of the masonry bricks of each brick factory varied significantly. This is because the manufacturing processes are substandard, depending partially on the weather and labor. They can be improved by using forming machine, dryer chamber, and tunnel kiln. Finally, by analyzing the compressive strength of the masonry Prisms f'_m and the compressive strength of the masonry bricks f'_{br} , the equations relating the compressive strength of the masonry Prisms and masonry bricks were obtained. For the typical masonry bricks, $f'_m = 0.196 f'_{br}$ and for the standard masonry bricks, $f'_m = 0.280 f'_{br}$. The coefficients of these two equations indicate the efficiency of the masonry brick when used as the masonry structures. Thus, the standard masonry bricks provide a higher efficiency than the typical masonry bricks for about 40%.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 แบบแผนการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 หลักการ ทฤษฎี และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กรรมวิธีการผลิตอิฐดินเผาในประเทศไทย	4
2.2 รายละเอียดอื่น ๆ ที่ควรทราบในการเผาอิฐดินเผาในประเทศไทย	6
2.3 การผลิตอิฐดินเผาในต่างประเทศ	6
2.4 รอยต่อของผนังอิฐก่อ	7
2.5 การวางอิฐดินเผาและรูปแบบการเรียงอิฐดินเผา	8
2.6 การบ่มอิฐดินเผา	9
2.7 ฝีมือของแรงงาน (Workmanship) และลักษณะการก่อโครงสร้างอิฐก่อ	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	
3.1 การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C67	10
3.2 การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E447	15
3.3 ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ	16
บทที่ 4 สรุปผลการทดสอบ วิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ	
4.1 สรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล	18
4.2 ข้อเสนอแนะ	30

บรรณานุกรม.....	32
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของอิฐดินเผา	33
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของ prism ของอิฐดินเผา	41
ภาคผนวก ค. ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผา.....	68
ภาคผนวก ง. ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของก้อนอิฐดินเผา.....	74
ภาคผนวก จ. ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผา	79
ภาคผนวก ฉ. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินเผา.....	87
ประวัติผู้วิจัย.....	91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลกระทบของลักษณะการก่อ Prism ต่อกำลังรับแรงกดอัดประลัยของ Prism	9
3.1	รายละเอียดของอิฐดินเผาและสัญลักษณ์ที่ใช้แทนอิฐดินเผาจากแหล่งต่างๆ	17
4.1	ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงกดอัดของก้อนอิฐดินเผาและของ Prism ที่อายุ 28 วัน	19
4.2	ความสัมพันธ์ของค่า f_{hr}' เฉลี่ยของก้อนอิฐดินเผากับค่า f_m' เฉลี่ยของ Prism	21
4.3	ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงกดอัดประลัยของ Prism ที่อายุ 7 วันและ 28 วัน	22
4.4	ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผา	27
4.5	ค่าเฉลี่ยของอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้น	28
4.6	ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสของการแตกร้าว	29
ตารางผนวกที่		
ค.1	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน A	69
ค.2	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน B	69
ค.3	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน C	69
ค.4	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน D	70
ค.5	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน E	70
ค.6	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน F	70
ค.7	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน G	71
ค.8	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน H	71
ค.9	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน I	71
ค.10	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน J	72
ค.11	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน K	72
ค.12	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน L	72
ค.13	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน M	73
ง.1	ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน A	75
ง.2	ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน B	75
ง.3	ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน C	75
ง.4	ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน D	75
ง.5	ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน E	76
ง.6	ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของก้อนอิฐดินเผาจาก โรงงาน F	76

ฉ.12	ผลการทดสอบกำลังรับแรงค้ดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน L	90
ฉ.13	ผลการทดสอบกำลังรับแรงค้ดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน M	90

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	รอยต่อของผนังอิฐก่อ	8
2.2	การวางอิฐดินเผา	8
2.3	รูปแบบการเรียงอิฐดินเผา	8
3.1	Universal Testing Machine ที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงกดอัด	11
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ f'_{br} และ f'_m ของ Prism ของอิฐมอญ	20
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ f'_{br} และ f'_m ของ Prism ของอิฐมอญมาตรฐาน	21
4.3	ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกดอัดและความเครียดของก้อนอิฐดินเผา	23
4.4	ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกดอัดและความเครียดของ Prism	24
4.5	ตัวอย่างการวิบัติของก้อนอิฐดินเผาเนื่องจากแรงดึง	25
4.6	ตัวอย่างการวิบัติของก้อนอิฐดินเผาเนื่องจากแรงดึงและแรงเฉือน	25
4.7	การถ่ายแรงดึงที่เกิดขึ้นในปูนก่อไปยังก้อนอิฐดินเผาเนื่องจากอิทธิพลของ Poisson's ratio	26
4.8	ตัวอย่างการวิบัติเนื่องจากแรงดึงของ Prism	26
รูปผนวกที่		
ก.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน A	34
ก.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน B	34
ก.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน C	35
ก.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน D	35
ก.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน E	36
ก.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน F	36

ก.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน G	37
ก.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน H	37
ก.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน I	38
ก.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน J	38
ก.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน K	39
ก.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน L	39
ก.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของตัวอย่างอิฐมอญ จากโรงงาน M	40
ข.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจากโรงงาน A อายุ 7 วัน	42
ข.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจากโรงงาน A อายุ 28 วัน	42
ข.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน A อายุ 7 วัน	43
ข.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน A อายุ 28 วัน	43
ข.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจากโรงงาน B อายุ 7 วัน	44
ข.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจากโรงงาน B อายุ 28 วัน	44
ข.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน B อายุ 7 วัน	45
ข.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน B อายุ 28 วัน	45
ข.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ	

	Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน J อายุ 28 วัน	61
ข.41	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจากโรงงาน K อายุ 7 วัน	62
ข.42	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจากโรงงาน K อายุ 28 วัน	62
ข.43	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน K อายุ 7 วัน	63
ข.44	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน K อายุ 28 วัน	63
ข.45	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจากโรงงาน L อายุ 7 วัน	64
ข.46	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจากโรงงาน L อายุ 28 วัน	64
ข.47	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน L อายุ 7 วัน	65
ข.48	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน L อายุ 28 วัน	65
ข.49	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจากโรงงาน M อายุ 7 วัน	66
ข.50	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจากโรงงาน M อายุ 28 วัน	66
ข.51	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน M อายุ 7 วัน	67
ข.52	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน M อายุ 28 วัน	67

คำอธิบายสัญลักษณ์

A = พื้นที่เฉลี่ยของผิวด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างทดสอบที่รองรับแรงกดอัด

b = ความกว้างสุทธิของตัวอย่างทดสอบ

B = ความกว้างของตัวอย่างทดสอบ

C_i = ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์กำลังรับแรงกดอัดประลัยของก้อนอิฐดินเผาและของ Prism

d = ความลึกของตัวอย่างทดสอบที่ระนาบที่เกิดการวิบัติ

f'_{br} = กำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างทดสอบ

f'_m = กำลังรับแรงอัดสูงสุดของ Prism

F = แรงกระทำสูงสุด

l = ระยะระหว่างจุดรองรับของตัวอย่างทดสอบ

L = ความยาวของตัวอย่างทดสอบ

S = โมดูลัสความแตกร้าของตัวอย่างทดสอบที่ระนาบที่เกิดการวิบัติ

W = น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจริงหรือน้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซึมจริงของตัวอย่างทดสอบ ในการทดสอบการดูดซึมน้ำ

W = แรงกระทำสูงสุด ในการทดสอบการตัด

W_h = น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบที่อิมดัวหลังจากทำการดัม

W_d = น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบที่แห้ง

W_s = น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบหลังจากแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

x = ระยะเฉลี่ยจากจุดกึ่งกลางของระยะระหว่างจุดรองรับของตัวอย่างทดสอบกับระนาบที่เกิดการวิบัติ ตามเส้นแนวศูนย์กลางของด้านของตัวอย่างทดสอบที่ถูกกระทำโดยแรงดึง

X = น้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซึมบนพื้นที่ 193.55 cm^2 ของตัวอย่างทดสอบ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

โครงสร้างอิฐก่อ (Masonry structures) เป็นโครงสร้างที่ได้จากการนำอิฐดินเผา (Masonry brick) มาทำองค์อาคารของโครงสร้างโดยการจัดเรียงในรูปแบบต่างๆ และใช้ปูนก่อ (Mortar) เป็นตัวประสานก้อนอิฐดินเผาเข้าด้วยกัน โครงสร้างอิฐก่อนี้ได้รับความนิยมมากในการปลูกสร้างอาคารสำนักงาน และบ้านพักอาศัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป เนื่องจากว่าโครงสร้างชนิดนี้ถ้าได้รับการออกแบบและก่อสร้างที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมแล้วจะเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงและคงทน มีความทึบเสียงสูง มีความต้านทานต่อไฟไหม้สูง เก็บรักษาอุณหภูมิภายในตัวโครงสร้างได้ดี มีความสวยงามเนื่องจากสามารถที่จะนำมาก่อสร้างให้มีรูปแบบใดๆ ใด มีราคาค่อนข้างถูก ค่าบำรุงรักษาค่า และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมมากเท่าวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น คอนกรีตและเหล็ก เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยนั้น ข้อดีต่างๆ ของโครงสร้างอิฐก่อ ที่กล่าวถึงไปแล้วนั้น ยังไม่มีการยอมรับอย่างเต็มที่ ซึ่งจะเห็นได้จากการที่ยังไม่มีการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการออกแบบและวิธีการก่อสร้างโครงสร้างชนิดนี้ที่ถูกต้องตามหลักวิชาวิศวกรรม หรือมาตรฐานการออกแบบ (Design codes) ดังเช่นในกรณีของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็ก ดังนั้นโครงสร้างอิฐก่อจึงถูกยอมรับแต่เพียงเป็นส่วนตกแต่งหรือส่วนประกอบของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน เป็นต้น ซึ่งการนำเอาอิฐดินเผาบางชนิดมาใช้ในลักษณะนี้เป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุอย่างไม่เต็มที่และเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรด้วย ในกรณีเช่นนี้ ถ้าหากเราสามารถที่จะออกแบบผนังก่ออิฐให้รับแรงกระทำแทนโครงสร้างหลักดังกล่าว ยกตัวอย่างเช่น ในรูปแบบของผนังรับน้ำหนัก (Load bearing wall) เป็นต้น แล้วเราจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโครงสร้างนั้นได้อย่างมาก เนื่องจากจะช่วยลดขั้นตอนการก่อสร้างลงและจะเป็นการลดการนำเข้ามาของเหล็กรูปพรรณและแร่เหล็กด้วย นอกจากนี้แล้ว ยังช่วยลดปริมาณการใช้ไม้ ที่ใช้ทำแบบหล่อคอนกรีตหรือทำโครงสร้างของอาคารลงอีกทางด้วย ซึ่งช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่าโดยทางอ้อม

ในการออกแบบอิฐดินเผาเพื่อให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักหรือแรงกระทำดังกล่าว นั้น เราจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ของวัสดุอิฐดินเผาและคุณสมบัติเชิงกลของผนังอิฐก่อ (Prism) ก่อน แต่เนื่องจากว่าอิฐที่ผลิตอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบันนี้มีความหลากหลายในเรื่องของคุณภาพ ขนาด และกรรมวิธีการผลิตเป็นอย่างมาก เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานการผลิตและการควบคุมมาตรฐานที่ดีพอ ดังนั้น เราจึงมีความจำเป็นต้องที่จะต้องทำการสำรวจและเก็บข้อมูลของแหล่งผลิต ที่มีขบวนการผลิตที่ให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เหมาะสม และนำข้อมูลเหล่านั้นมาเปรียบเทียบเพื่อที่จะพัฒนาโครงสร้างอิฐก่อต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการสำรวจ เก็บรวบรวมตัวอย่างและวิธีการผลิตอิฐดินเผา และศึกษาคุณสมบัติเชิงกลเบื้องต้นของอิฐดินเผา เพื่อนำมาเปรียบเทียบประกอบเป็นแนวทางที่จะปรับปรุงวิธีการผลิตอิฐดินเผาที่ผลิตต่อไป
2. เพื่อเสนอสมการความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงกดอัดของ Prism และกำลังรับแรงกดอัดของก้อนอิฐดินเผา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างอิฐก่อต่อไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. สำรวจ และเก็บรวบรวมตัวอย่างและวิธีการผลิตอิฐดินเผาจำนวน 13 แหล่งๆ ละ 150 ก้อน
2. ทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลของอิฐดินเผาตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมา ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบกำลังรับแรงกดอัด (Compressive strength test) การทดสอบโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of rupture test หรือ Flexural test) การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้น (Initial rate of absorption test) การหาขนาด (Measurement of size) และการทดสอบหาการดูดซึมน้ำ (Water absorption test) ตามมาตรฐานของสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุของอเมริกัน (American Society for Testing and Materials) ASTM C67 (Method of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile)
3. ทดสอบหาลำกำลังรับแรงกดอัด (Compressive strength test) ของตัวอย่างที่ได้จากการนำอิฐดินเผาตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาก่อเป็นกำแพงขนาดเล็ก (Prism) ตามมาตรฐานของสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุของอเมริกัน ASTM E447 (Standard Test Methods for Compressive Strength of Masonry Prisms)
4. ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลที่ทดสอบได้และนำเสนอสมการความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงกดอัดของ Prism และกำลังรับแรงกดอัดของ ก้อนอิฐดินเผา

1.4 แบบแผนการวิจัย

แบบแผนการวิจัยของงานวิจัยนี้เป็นการออกไปสำรวจแหล่งผลิตอิฐดินเผา เพื่อเก็บรวบรวมตัวอย่างและกรรมวิธีการผลิตอิฐดินเผาเป็นจำนวน 13 แหล่ง จากนั้น ทำการทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมา ตามมาตรฐานของสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุของอเมริกัน สุดท้าย นำข้อมูลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบและนำเสนอสมการที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างอิฐก่อต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่ได้รับจากการวิจัยนี้จะนำไปสู่การพัฒนาขบวนการผลิตอิฐดินเผาที่เหมาะสมมากขึ้น และสมการพื้นฐานที่จะใช้ในการออกแบบ โครงสร้างอิฐก่อที่มีความสอดคล้องในหลักวิศวกรรมและมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับหนึ่ง ซึ่งจะเป็นแนวทางในการพัฒนาโครงสร้างอิฐก่อเพื่อใช้ในโครงสร้าง

ของบ้านพักอาศัย ตึกแถว และอาคารอื่นๆ ในเขตชุมชนและเขตชนบท อย่างเต็มรูปแบบต่อไป ซึ่งจะช่วยให้เกิดอุตสาหกรรมผลิตอิฐและการกระจายรายได้ในระดับท้องถิ่นมากขึ้น ช่วยลดปัญหาการว่างงาน ช่วยลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า เมื่อประชาชนหันมาใช้อิฐดินเผาเป็นวัสดุในการสร้างบ้านมากขึ้น และช่วยลดการนำเข้าของเหล็กรูปพรรณและแร่เหล็ก ซึ่งจะช่วยลดการขาดดุลการค้าลงได้

บทที่ 2

หลักการ ทฤษฎี และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

การผลิตอิฐดินเผา (Masonry brick) ในประเทศไทยได้เริ่มต้นมีมาตั้งแต่สมัยสุโขทัย ซึ่งจะสังเกตเห็นได้จากโบราณสถานต่างๆ ที่ยังคงเหลืออยู่ จากการออกสำรวจแหล่งผลิตอิฐต่างๆ ในเขตพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี ขอนแก่น ชัยภูมิ ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา และอ่างทองเป็นจำนวน 13 แห่ง นั้น สรุปได้ว่า การผลิตอิฐดินเผาในปัจจุบันสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบหลักคือ อิฐที่ทำด้วยมือหรืออิฐมอญ และอิฐที่อัดด้วยเครื่องหรืออิฐมอญมาตรฐาน ในที่นี้จะขอกล่าวถึงกรรมวิธีการผลิตอิฐดินเผาทั้งสองแบบนี้ จากนั้น จะได้กล่าวถึงกรรมวิธีการผลิตอิฐดินเผาที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในสหรัฐอเมริกา เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบและนำไปปรับปรุงขบวนการผลิตอิฐดินเผาต่อไป

2.1 กรรมวิธีการผลิตอิฐดินเผา

2.1.1 อิฐที่ทำด้วยมือหรืออิฐมอญ

อิฐมอญเป็นอิฐที่มีกรรมวิธีการผลิตที่เก่าแก่ที่สุดในประเทศไทย ซึ่งวิธีการผลิตนี้จะให้ขนาดของอิฐที่ไม่คงที่ เนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น ขนาดของแบบทำอิฐที่ไม่เท่ากัน การอัดดินลงในแบบทำอิฐที่ไม่แน่นพอ และส่วนผสมของดินที่ใช้ทำอิฐมีลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทำให้เกิดการหดตัวของอิฐในขณะเผาที่ไม่เท่ากัน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม อิฐชนิดนี้ยังคงได้รับความนิยมค่อนข้างสูงอยู่ ในปัจจุบัน โดยเฉพาะในกำแพงอิฐก่อที่มีการฉาบปูนภายหลัง เนื่องจากเป็นอิฐที่หาง่ายและมีราคาถูก อย่างไรก็ตาม เราควรทราบไว้ด้วยว่า องค์อาคารที่ทำด้วยอิฐมอญนี้มีความสามารถในการรับแรงที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น กำแพงอิฐก่อในลักษณะดังกล่าวจึงมักถูกใช้เป็นกำแพงที่ไม่มีส่วนในการรับแรงเท่านั้น จากการที่ออกเป็นสำรวจ โรงงานผลิตอิฐ กรรมวิธีในการผลิตอิฐมอญมีขั้นตอนดังนี้

1. การเลือกดิน

ดินที่ใช้ทำอิฐชนิดนี้จะเป็นดินที่ไม่มีทรายเจือปนมากเกินไปและไม่เป็นดินเหนียวมากเกินไป ถ้าดินมีทรายมากจะทำให้อิฐนั้นร้อนและร่วน และถ้าดินเป็นดินเหนียวมากเกินไป เมื่อนำไปตากแดด จะเกิดการแตกร้าวค่อนข้างสูง

2. การขุดดินและย่ำดิน

ทำการขุดดินและทำการแยกเอาเศษไม้หรือสารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่ออกให้หมด จากนั้น ทำการผสมแกลบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรของดินและย่ำดินให้ละเอียดและให้เข้ากันดี ในขั้นตอนนี้ ถ้าดินมีลักษณะที่แห้งจนเกินไปก็ให้เติมน้ำได้ตามสมควร พอที่จะทำการย่ำดินและเทลงในแบบได้สะดวก การผสมแกลบดังกล่าวจะช่วยทำให้เนื้ออิฐมีความโปร่งมากขึ้น หลังจากที่แกลบถูกความร้อนเผาไหม้ไปจากเนื้ออิฐแล้ว ซึ่งจะทำให้อิฐมีน้ำหนักเบาขึ้นและจะเป็นฉนวนความร้อนที่ดีขึ้น นอกจากนั้นแล้ว การผสมแกลบยังป้องกันไม่ให้อิฐแตกในเวลาตากแดด และป้องกันไม่ให้ดินเหนียวบีบอัดกันแน่นเกินไป แต่การผสมแกลบจะทำให้อิฐมีกำลังรับแรงที่ต่ำลงอย่างมาก

3. การพิมพ์แบบ

แบบที่ใช้ในการหล่อดินให้เป็นแผ่นอิฐจะเป็นแบบที่ทำด้วยไม้ 4 ด้าน โดยจะมีเฉพาะด้านข้าง (ไม่มีส่วนบนและส่วนล่าง) ไม้ที่ทำแบบเป็นไม้ที่ทนทานต่อน้ำและความชื้น ผิวด้านในใส่เรียบ ขนาดของแบบจะใหญ่กว่าขนาดของอิฐที่ต้องการประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากดินที่ตากแห้งแล้วจะมีขนาดที่เล็กลง ในขั้นตอนนี้ เริ่มต้นทำการจุ่มแบบลงในน้ำ แล้ววางแบบลงบนพื้นราบ จากนั้น นำดินเหนียวที่ผสมได้ที่แล้วเทลงในแบบและทำการอัดดินโดยใช้ไม้ตบดินให้แน่นโดยทั่ว สุดท้าย ปาดดินส่วนเกินออกให้เรียบเสมอไม้แบบและยกแบบออกจากก้อนดิน

4. การตากแดด

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

5. การตากแต่งก้อนดิน

เมื่อก้อนดินแห้งสนิทแล้ว จะเห็นได้ว่า ส่วนข้าง ๆ ของก้อนจะไม่เรียบ จึงต้องใช้มีดตากแต่งก้อนดินก่อนที่จะนำเข้าเตาเผาอิฐ เพื่อให้ได้รูปร่างที่เรียบและสม่ำเสมอทุกก้อน

6. การเผาอิฐ

เมื่อตากแต่งก้อนดินแล้ว นำก้อนดินมาวางกองเป็นแถว แถวหนึ่งกว้างเท่ากับก้อนดินที่จะทำการเผา โดยเว้นระยะระหว่างแถวให้เท่าๆ กัน เพื่อที่จะใส่แกลบลงไปในช่วงว่างระหว่างแถวได้โดยง่าย โดยทั่วไปแล้ว กองของดินจะมีความกว้างประมาณ 4 เมตร ยาวประมาณ 6 ถึง 7 เมตร และสูงประมาณ 1.6 เมตร เมื่อกองเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำก้อนอิฐที่เผาสุกแล้วมาล้อมรอบกองดินทั้ง 4 ด้าน เพื่อกันความร้อนไม่ให้กระจายออกไปจากกองดินในขณะที่เผา จากนั้น เทแกลบลงไปให้เต็มทุกช่องว่างระหว่างแถว โดยโรยแกลบให้มีความหนาประมาณ 7-10 เซนติเมตร บนส่วนบนของกองดิน จากนั้น จุดไฟให้แกลบไหม้ เมื่อแกลบไหม้และยุบลงให้คอยเติมแกลบให้ได้ระดับอยู่เสมอ ทำการเผาอิฐเป็นเวลานานประมาณ 15 วัน จากนั้น รอจนอิฐเย็นตัวลงสู่อุณหภูมิปกติ แล้วทำการลำเลียงอิฐไปเข้าโกดังเก็บไว้เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

2.1.2 อิฐที่อัดด้วยเครื่องหรืออิฐมอญมาตรฐาน

อิฐมอญมาตรฐานเป็นอิฐที่มีขนาดและความหนาแน่นที่ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากมีกรรมวิธีการผลิตที่ดีกว่าอิฐมอญ ดินที่ใช้ทำอิฐชนิดนี้จะเป็นดินเหนียวชนิดเดียวกันกับดินที่ใช้ในการทำอิฐมอญ โรงงานผลิตอิฐชนิดนี้จะพบมากในเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยาและอ่างทอง อิฐชนิดนี้มักจะมีเครื่องหมายการค้าเช่น บปก. ปปก. อปก. และ อปว. เป็นต้น ประทับอยู่บนตัวอิฐ โดยทั่วไปแล้ว กรรมวิธีการในการผลิตอิฐมอญมาตรฐานมีดังนี้

1. การเตรียมดิน

ทำการขุดดินและทำการแยกเอาเศษไม้หรือสารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่ออกให้หมด นำเอาดินมาผสมกับน้ำทิ้งไว้ให้สลายตัวรวมกันประมาณ 2 วัน นำดินขึ้นมาผึ่งประมาณ 2-3 วัน จากนั้น เอาซีเมนต์มาผสมกับดินที่ผึ่งไว้แล้วทำให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน

2. การบดและรีดดิน

นำดินที่ผสมและย่ำแล้วเข้าเครื่องบดและรีดตามแบบที่ต้องการ โดยให้มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของอิฐที่ต้องการประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ จากนั้น ดินที่ออกจากเครื่องรีด ซึ่งมีลักษณะยาวเป็นเส้น จะถูกตัดด้วยเครื่องตัดให้มีลักษณะเป็นก้อน ซึ่งติดอยู่กับเครื่องรีดดิน

3. การผึ่งก้อนดิน

นำดินที่รีดและตัดแล้วไปผึ่งในที่ร่ม ซึ่งมีหลังคา กันแดดและกันฝน โดยวางผึ่งเป็นชั้นๆ อย่านำให้ทับกันโดยตรง ชั้นตอนนี้จะใช้ระยะเวลาประมาณ 3 วัน

4. การพิมพ์แบบ

นำดินที่ผึ่งแล้วไปเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิกเพื่อให้ก้อนดินมีความแน่นมากขึ้น ซึ่งจะใช้แรงงานคนหนึ่งคนในการอัดดิน แบบที่ใช้อัดเป็นแบบเหล็ก ซึ่งแบบเหล็กดังกล่าวจะมีตราบริษัทที่ผลิตหรือมีลวดลายที่ต้องการผลิตติดอยู่ จากนั้น นำเอาอิฐที่อัดแล้วไปผึ่งในที่ร่มอีกครั้งหนึ่งเป็นเวลาประมาณ 7-10 วัน

5. การเผาอิฐ

นำเอาก้อนดินที่อัดและผึ่งแล้วไปเรียงเข้าเตาเผาอิฐ โดยเรียงให้โปร่งพอที่ความร้อนจะกระจายไปได้รอบๆ ก้อนดิน โดยทั่วไปแล้ว การเผาอิฐจะใช้เวลาประมาณ 6 วัน โดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง เมื่อฟืนดับหมดแล้ว ปล่อยให้อิฐเย็นตัวลงตามธรรมชาติ ซึ่งจะใช้เวลาอีกประมาณ 4-5 วัน สุดท้าย ล้างอิฐออกจากเตา นำไปเข้าโกดังเก็บไว้เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

2.2 รายละเอียดอื่น ๆ ที่ควรทราบในการเผาอิฐดินเผาในประเทศไทย

1. อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาอิฐดินเผาอยู่ในช่วงประมาณ 900 – 1000 องศาเซลเซียส
2. ค่าใช้จ่ายในการทำอิฐเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการเตรียมดินและฟืนมีอัตราส่วน 3 ต่อ 7
3. การเผา 1 ครั้งจะได้อิฐดินเผาประมาณ 30,000 ก้อนโดยจะมีอิฐเสียประมาณ 1 %
4. ฟืนประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตรจะเผาอิฐดินเผาได้ประมาณ 20 นาที

2.3 การผลิตอิฐดินเผาในต่างประเทศ

โดยทั่วไปแล้ว ขั้นตอนการผลิตของอิฐดินเผาในต่างประเทศมีขบวนการผลิตดังนี้

1. การเลือกดิน

วัตถุดิบที่ใช้เป็นดินเหนียวซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ Surface Clay เป็นดินเหนียวที่พบบนพื้นผิวดิน หินแฉล (Shale) หรือดินเหนียวที่ถูกกระทำโดยความดันจนมีลักษณะคล้ายหิน และ Fire clay เป็นดินเหนียวที่อยู่ลึกใต้ผิวดิน มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดในดินเหนียวทั้งสามชนิดนี้

2. การขุดดิน

การขุดดินจะกระทำโดยใช้เครื่องจักรขุดจากบ่อดินเหนียว แล้วขนส่งไปเก็บไว้ในไซโล เพื่อทำการผสมดินอีกครั้งเพื่อให้ได้คุณสมบัติของดินที่คงที่

3. การเตรียมดินและการขึ้นรูป

นำก้อนดินที่ได้จากการขุดมาบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดขนาดใหญ่ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 4 - 8 ตัน จากนั้น ส่งไปร่อนผ่านตะแกรงเพื่อควบคุมขนาดของเม็ดดินให้มรขนาดที่เหมาะสม แล้วทำการนวดดินให้เป็นเนื้อเดียวกันและทำการขึ้นรูปดินให้เป็นก้อน ซึ่งมีกรรมวิธีการนวด 3 แบบคือ

Stiff-mud process เป็นขบวนการขึ้นรูปโดยผสมน้ำให้ดินมีค่าพลาสติก (Plasticity) ประมาณ 12 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ จากนั้น นำดินที่ได้ไปเข้าเครื่องลดปริมาณอากาศเพื่อทำให้ดินมีความเป็นพลาสติกมากขึ้น

Soft-mud process เป็นขบวนการขึ้นรูปที่เหมาะสมสำหรับดินเหนียวที่มีความชื้นสูง โดยผสมน้ำให้ดินมีค่าพลาสติกประมาณ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ในการขึ้นรูปจะอาศัยทรายหรือน้ำช่วยเป็นสารหล่อลื่น

Dry-press process เป็นขบวนการขึ้นรูปที่เหมาะสมสำหรับดินเหนียวที่มีค่าพลาสติกที่ต่ำมาก ๆ ดินเหนียวดังกล่าวจะถูกผสมด้วยน้ำเป็นปริมาณไม่เกิน 10%

4. การพิมพ์แบบ

นำดินที่ผึ่งแล้วไปเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิกเพื่อให้ก้อนดินมีความแน่นมากขึ้น ซึ่งจะใช้เครื่องจักรในการอัดดิน แบบที่ใช้อัดเป็นแบบเหล็ก ภายใต้ความดัน 500-1500 *psi* (3.4-10.3 *MPa*)

5. การอบแห้ง

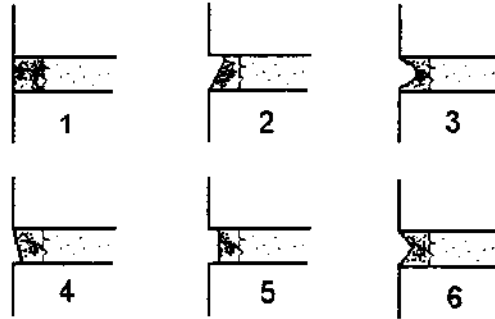
ก่อนที่จะนำดินที่เตรียมไว้ไปเผา นั้น ดินเหนียวจะถูกนำไปเก็บไว้ในห้องอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 100° F - 400° F (38° C - 204° C) ใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน

6. การเผาอิฐ

ขั้นตอนการเผาอิฐจะใช้เวลาประมาณ 2-7 วัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเตาเผา โดยใช้ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน หรือถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง หลังจากเผาเสร็จแล้ว อิฐดินเผาจะถูกปล่อยให้เย็นในเตาโดยใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน

2.4 รอยต่อของผนังอิฐก่อ

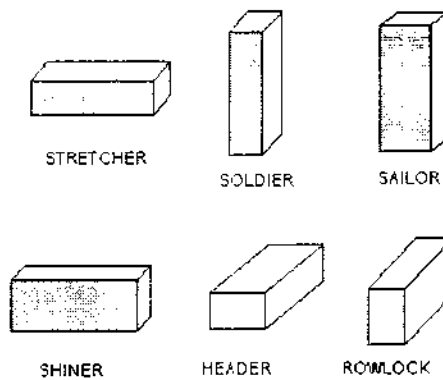
โดยทั่วไปแล้ว รอยต่อที่ใช้ในผนังอิฐก่อสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 แบบคือ รอยต่อแบบ Flush joint รอยต่อแบบ Weather joint รอยต่อแบบ Concave tooled joint รอยต่อแบบ Struck joint รอยต่อแบบ Raked joint และรอยต่อแบบ "V" tooled joint ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งในงานวิจัยนี้ รอยต่อแบบ Flush joint (หมายเลข 1) ได้ถูกนำมาใช้ในการก่อ Prism ของการทดสอบหากำลังรับแรงกดอัดตามมาตรฐานของสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุของอเมริกัน ASTM E447



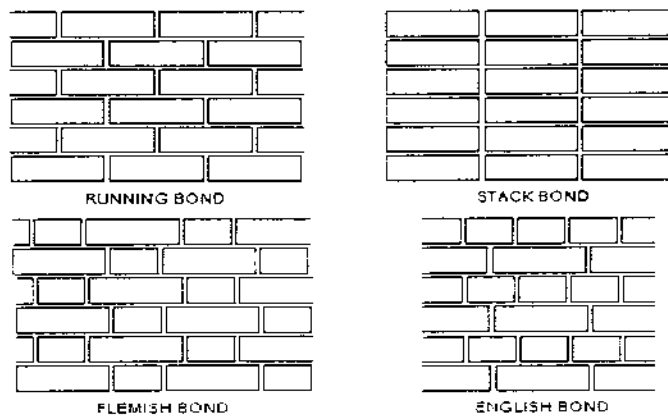
รูปที่ 2.1 รอยต่อของผนังอิฐก่อ

2.5 การวางอิฐดินเผาและรูปแบบการเรียงอิฐดินเผา

การวางอิฐดินเผาแบ่งออกเป็น 6 แบบคือ แบบ Stretcher แบบ Header แบบ Rowlock แบบ Shiner แบบ Soldier และแบบ Sailor ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งในการทดสอบหากำลังรับแรงกดอัดของ Prism ตามมาตรฐาน ASTM E447 นี้จะใช้การวางอิฐดินเผาแบบ Stretcher และรูปแบบการเรียงอิฐดินเผาแบบ Running bond ดังที่แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 การวางอิฐดินเผา



รูปที่ 2.3 รูปแบบการเรียงอิฐดินเผา

2.6 การบ่ม (Curing) อิฐดินเผา

เนื่องจากการก่ออิฐดินเผาเป็นกำแพงขนาดเล็กหรือ Prism ตามมาตรฐาน ASTM E447 นี้ ใช้ปูนก่อ (Mortar) เป็นตัวประสานอิฐดินเผาเข้าด้วยกัน ดังนั้น การบ่มไม่ให้ความชื้นรั่วไหลออกไปจากอิฐและปูนก่อจะมีส่วนสำคัญมากในการที่จะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ของปูนก่อมีความสมบูรณ์ และจะทำให้ปูนก่อมีความแข็งแรงและคงทนมากขึ้น ในที่นี้ เราจะทำการศึกษาดังต่อไปนี้ ได้จากการก่อ Prism 2 วิธีคือ วิธีที่การก่อ Prism ที่มีการตรวจสอบและมีการบ่ม (Inspected method) และวิธีที่การก่อ Prism ไม่มีการตรวจสอบและไม่มีการบ่ม (Uninspected method)

ปูนก่อที่ใช้ในการศึกษานี้จะเป็นปูนก่อชนิด N ตามมาตรฐานของ ASTM C270 ซึ่งใช้กันโดยทั่วไปในประเทศไทย โดยมีส่วนผสมของปูนก่อสำเร็จตราเสือและทรายอยู่ที่ 1:3 โดยปริมาตร และปูนก่อมีเปอร์เซ็นต์การไหล (Percent flow) อยู่ในช่วง 100 ถึง 115% เราควรทราบไว้ด้วยว่า มาตรฐานของ ASTM C476 กำหนดให้ค่ากำลังรับแรงกดอัดประลัย (Ultimate Compressive Strength) ต่ำสุดของปูนก่อชนิด N อยู่ที่ 5.2 MPa จากการทดสอบ พบว่า ค่ากำลังรับแรงกดอัดเฉลี่ยของปูนก่อชนิด N อยู่ที่ 10.1 และ 13.3 MPa ซึ่งมากกว่าที่กำหนดประมาณ 2 ถึง 2.5 เท่า

2.7 ฝีมือของแรงงาน (Workmanship) และลักษณะการก่อโครงสร้างอิฐก่อ

ในการก่อสร้างโครงสร้างอิฐก่อขึ้น ฝีมือของแรงงาน (Workmanship) และลักษณะการก่อโครงสร้างมีผลเป็นอย่างมากต่อกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดและความแข็งแรงคงทนของโครงสร้าง จากการวิจัยของ SCPI (Structural Clay Products Institute) พบว่า ใน Prism ที่ก่อโดยใช้ก้อนอิฐดินเผาที่มีกำลังรับแรงกดอัดประลัย 76 MPa ใช้ปูนก่อชนิด S และ Prism มีอัตราส่วนความชลูด (Slenderness ratio) หรืออัตราส่วนของความสูงต่อความหนา $h/t = 5$ นั้น ค่ากำลังรับแรงกดอัดประลัยของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบต้องมีการปรับลดเมื่อเปรียบเทียบกับ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าการปรับลดดังกล่าวมีค่าสูงถึง 38%

ตารางที่ 2.1 ผลกระทบของลักษณะการก่อ Prism ต่อกำลังรับแรงกดอัดประลัยของ Prism

ลักษณะการก่ออิฐ ดินเผา	Brick Headers (10.7 %)		Brick Headers (4.2 %)	
	กำลังรับแรงกดอัด ประลัย, MPa	กำลังสัมพัทธ์	กำลังรับแรงกดอัด ประลัย, MPa	กำลังสัมพัทธ์
แบบมีการตรวจ สอบ	23.44	1.00	23.17	1.00
แบบไม่มีการตรวจ สอบ	16.00	0.68	14.41	0.62

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

วิธีดำเนินการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของอิฐดินเผาได้ถูกกระทำตามมาตรฐานของสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุของอเมริกัน (American Society for Testing and Materials) โดยการทดสอบได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของอิฐดินเผาตามมาตรฐาน ASTM C67 และการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของตัวอย่างที่ได้จากการนำอิฐมาก่อรวมกันเป็นกำแพงขนาดเล็ก (Prism) ASTM E447 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C67

การทดสอบตามมาตรฐานนี้ประกอบไปด้วยการทดสอบทั้งสิ้น 17 การทดสอบ แต่ได้เลือกมาใช้เพียง 5 การทดสอบ ซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เท่านั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การทดสอบกำลังรับแรงกดอัด (Compressive strength test)

3.1.1.1 ตัวอย่างทดสอบ

ในการทดสอบนี้ตัวอย่างทดสอบจะเป็นอิฐเต็มก้อนที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์คือไม่มีแตกหักหรือบิ่น โดยจะใช้ตัวอย่างทดสอบ 5 ตัวอย่าง

3.1.1.2 การปรับผิว (Capping) ตัวอย่างทดสอบ

การปรับผิวที่รับแรงกดอัดของตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นการปรับผิวด้วยปูนพลาสเตอร์ (Gypsum capping) ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำการปรับผิว คือปูนพลาสเตอร์และน้ำ โดยใช้อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก การปรับผิวนี้จะมีความหนาประมาณ 3 mm หลังจากทำการปรับผิวแล้วผิวดังกล่าวจะต้องมีความลาดเอียงไม่เกิน 0.076 mm ต่อ 406.4 mm จากนั้น ทำการบ่มปูนพลาสเตอร์อย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนทดสอบตัวอย่าง

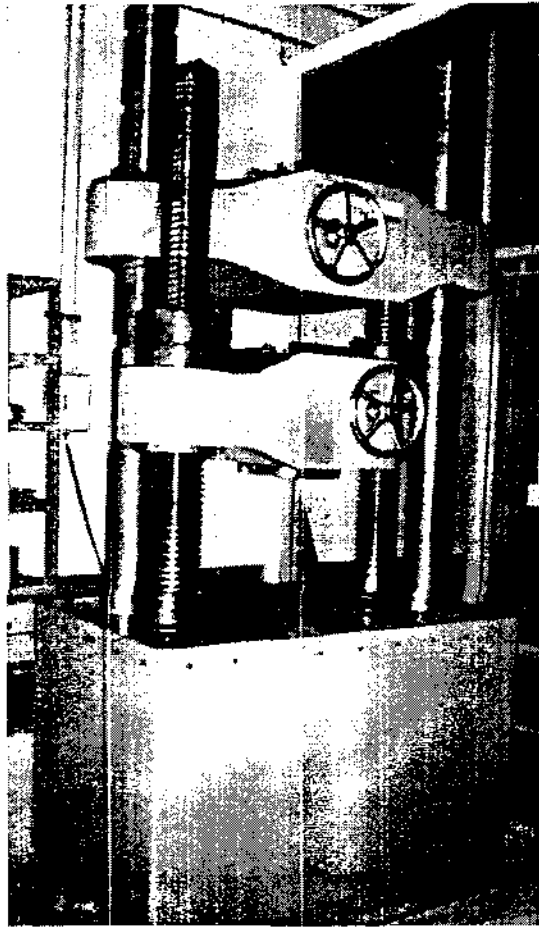
3.1.1.3 วิธีทดสอบ

วางตัวอย่างทดสอบโดยให้จุดกึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบของด้านแบน (flatwise) ที่ได้รับการปรับผิวแล้วอยู่ตรงจุดกึ่งกลางของหัวกดแบบ Spherical upper bearing ของเครื่องทดสอบ

3.1.1.3.1 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานของสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุของอเมริกัน ASTM E4 ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1

3.1.1.3.2 ความเร็วในการทดสอบ

ในการทดสอบนี้ เมื่อแรงกระทำมีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของแรงกดอัดประลัยของอิฐดินเผา มาตรฐาน ASTM กำหนดให้ความเร็วในการทดสอบมีค่าเท่าใดก็ได้ ตามความเหมาะสมของเครื่องทดสอบ และเมื่อค่าแรงกระทำมีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของแรงกดอัดประลัย มาตรฐาน ASTM กำหนดให้ความเร็วในการทดสอบจะต้องอยู่ในช่วงที่ทำให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติภายใน 1 ถึง 2 นาที



รูปที่ 3.1 Universal Testing Machine ที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงกดอัด

3.1.1.4 การคำนวณ

กำลังรับแรงกดอัดประลัย (Ultimate compressive strength) ของก้อนอิฐดินเผาจะหาได้จากสมการ

$$f'_{br} = \frac{F}{A}$$

โดยที่

f'_{br} = กำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างทดสอบ มีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ Pa

F = แรงกระทำสูงสุด มีหน่วยเป็น N

A = พื้นที่เฉลี่ยของผิวด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างทดสอบที่รองรับแรงกดอัด มีหน่วยเป็น m^2

3.1.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Absorption test)

3.1.2.1 การทดสอบการแช่น้ำ (Submersion test)

3.1.2.1.1 ตัวอย่างทดสอบ

ในการทดสอบนี้ ตัวอย่างทดสอบเป็นอิฐเต็มก้อนที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์คือไม่มีแตกหักหรือบิ่น โดยจะใช้ตัวอย่างทดสอบที่แห้งและมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องจำนวน 5 ตัวอย่าง ทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบแต่ละก้อน

3.1.2.1.2 การวัดการดูดซึมน้ำ ทำได้โดยการจุ่มตัวอย่างทดสอบในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 15.5 ถึง 30 °C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จากนั้น นำตัวอย่างทดสอบขึ้นจากน้ำและเช็ดตัวอย่างทดสอบด้วยผ้าที่ขึ้น เพื่อเอาน้ำส่วนเกินที่ผิวของตัวอย่างทดสอบออก แล้วชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ ขั้นตอนที่น่าตัวอย่างทดสอบขึ้นจากน้ำและชั่งน้ำหนักจะต้องทำให้เสร็จภายใน 5 นาที

3.1.2.1.3 การคำนวณ

ค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบจะหาได้จากสมการ

$$\text{Absorption, (\%)} = \frac{100(W_s - W_d)}{W_d}$$

โดยที่

W_d = น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบที่แห้ง

W_s = น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบหลังจากแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.1.2.2 การทดสอบการต้มเดือด (Boiling test) แบบ 2 ชั่วโมง

3.1.2.2.1 ตัวอย่างทดสอบ

ในการทดสอบนี้ ตัวอย่างทดสอบจะเป็นตัวอย่างที่ใช้ในทดสอบการแช่น้ำ ซึ่งดูดซึมน้ำจนมีความอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว

3.1.2.2.2 ทำการต้มน้ำที่มีตัวอย่างทดสอบแช่อยู่ให้เดือดภายใน 1 ชั่วโมง แล้วทำการต้มต่อไปเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง จากนั้น ทำการดับไฟ รอจนกระทั่ง อุณหภูมิของน้ำลดลงอยู่ในช่วง 15.5 ถึง 30 °C แล้วนำตัวอย่างทดสอบขึ้นจากน้ำและเช็ดตัวอย่างทดสอบด้วยผ้าที่ขึ้น เพื่อเอาน้ำส่วนเกินที่ผิวของตัวอย่างทดสอบออก แล้วชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ ขั้นตอนที่น่าตัวอย่างทดสอบขึ้นจากน้ำและชั่งน้ำหนักนี้จะต้องทำให้เสร็จภายใน 5 นาที

3.1.2.2.3 การคำนวณ

ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบจะหาได้จาก

$$\text{Absorption, (\%)} = \frac{100(W_b - W_d)}{W_d}$$

โดยที่

W_d = น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบที่แห้ง

W_b = น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบที่ต้มแล้วหลังจากทำการต้ม

3.1.3 การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้น (Initial rate of absorption test)

3.1.3.1 เครื่องมือ

3.1.3.1.1 ถาดหรือภาชนะ

ถาดหรือภาชนะที่มีความลึกด้านในไม่ต่ำกว่า 12.7 มม. และพื้นที่ไม่ต่ำกว่า 193.55 cm^2 ก้นของภาชนะจะต้องมีลักษณะแบนราบและมีความยาวไม่ต่ำกว่า 203.2 mm และมีความกว้างไม่ต่ำกว่า 152.4 mm

3.1.3.1.2 เครื่องมือที่ใช้รองรับตัวอย่างทดสอบอัฐ

เครื่องมือที่ใช้รองรับตัวอย่างทดสอบอัฐเป็นแท่งเหล็กที่มีความยาวระหว่าง 127 mm ถึง 152.5 mm มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมและมีความหนาประมาณ 6.35 mm และมีความกว้างไม่เกิน 1.94 mm

3.1.3.2 ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบเป็นอัฐเต็มก้อนที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์คือไม่มีแตกหักหรือบิ่น โดยจะใช้ตัวอย่างทดสอบที่แห้งและมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องจำนวน 5 ตัวอย่าง

3.1.3.3 วิธีทดสอบ

3.1.3.3.1 ทำการวัดความยาวและความกว้างของตัวอย่างทดสอบด้านแบนให้ละเอียดถึง 1 mm และทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบให้ละเอียดถึง 0.5 กรัม

3.1.3.3.2 ปรับตำแหน่งของถาดให้ได้ระดับ และวางตัวอย่างทดสอบอ้างอิงที่อิมตัวด้วยน้ำบนที่รองรับ จากนั้น เติมน้ำให้ได้ระดับ $3.18 \pm 0.25 \text{ mm}$ เหนือระดับของที่รองรับตัวอย่างทดสอบ

3.1.3.3.3 นำตัวอย่างทดสอบอ้างอิงออก จากนั้น วางตัวอย่างทดสอบโดยเอาด้านแบนวางลง เริ่มจับเวลาเมื่ออัฐตัวอย่างทดสอบสัมผัสกับผิวน้ำ เป็นเวลา 1 นาที ± 1 วินาที ในช่วงเวลานี้พยายามรักษาระดับน้ำให้คงที่ไว้ที่ระดับ $3.18 \pm 0.25 \text{ mm}$ โดยการเติมน้ำเพิ่มลงในถาด เมื่อครบ 1 นาที ± 1 วินาทีแล้ว ให้อัฐขึ้นจากผิวน้ำ แล้วรีดเอาน้ำส่วนเกินที่ติดที่ผิวออกโดยใช้ผ้าที่ชื้นเช็ด จากนั้น ทำการชั่งน้ำหนักอัฐให้ละเอียดถึง 0.5 กรัม การชั่งน้ำดังกล่าวจะต้องทำให้เสร็จภายในเวลา 10 วินาที และขั้นตอนที่ย้ายอัฐออกจากน้ำและการชั่งน้ำหนักต้องทำให้เสร็จภายใน 2 นาที

3.1.3.4 การคำนวณ

ทำการหาค่าความแตกต่างของน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักสุดท้ายในหน่วยกรัม ค่าที่ได้คือน้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซึมโดยอัฐตัวอย่างทดสอบในช่วงเวลา 1 นาที ที่สัมผัสน้ำ ถ้าพื้นที่ผิวด้านแบนมีความแตกต่างจากค่า $193.55 \text{ cm}^2 \pm 4.84 \text{ cm}^2$ ($\pm 2.5 \%$) แล้ว ค่าน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบที่เพิ่มขึ้นหรือน้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซึมบนพื้นที่ 193.55 cm^2 ของตัวอย่างทดสอบได้จากสมการ

$$X = \frac{193.55W}{LB}$$

โดยที่

X = น้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซึมบนพื้นที่ 193.55 cm^2 ของตัวอย่างทดสอบ

W = น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจริงหรือน้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซึมจริงของตัวอย่างทดสอบ มีหน่วยเป็น

กรัม

L = ความยาวของตัวอย่างทดสอบ มีหน่วยเป็น cm

B = ความกว้างของตัวอย่างทดสอบ มีหน่วยเป็น cm

3.1.4. การวัดหาขนาด (Measurement of size)

3.1.4.1 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้วัดขนาดเป็นไม้บรรทัดเหล็กที่มีความยาว 30 cm และมีความละเอียดถึง 1

mm

3.1.4.2 ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบเป็นอิฐเต็มก้อนที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์คือไม่มีแตกหักหรือบิ่น จำนวน 10 ตัวอย่าง

3.1.4.3 วิธีทดสอบ

วัดความกว้าง ความยาว และความสูงของแต่ละตัวอย่างทดสอบ 4 จุด ให้ละเอียดถึง 1 mm และหาค่าเฉลี่ยให้ละเอียดถึง 0.5 mm

3.1.5 การกำลังรับแรงดัด (Flexural test)

3.1.5.1 ตัวอย่างทดสอบ

ในการทดสอบนี้ตัวอย่างทดสอบจะเป็นอิฐเต็มก้อนที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์คือไม่มีแตกหักหรือบิ่น โดยจะใช้ตัวอย่างทดสอบ 5 ตัวอย่าง

3.1.5.2 วิธีทดสอบ

3.1.5.2.1 วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ และสังเกตจุดบกพร่องที่มีอยู่บนตัวอย่างทดสอบ

3.1.5.2.2 ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบในทิศทางที่กำหนดไว้ ในลักษณะการทดสอบแบบ Three-point loading

3.1.5.2.3 ปรับค่าที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบไปที่ศูนย์

3.1.5.2.4 ทำการเพิ่มแรงกระทำให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบจะเกิดการวิบัติ โดยอัตราการให้แรงกระทำต้องไม่เกิน 10 kN/นาท และอัตราการเคลื่อนที่ของหัวกดต้องน้อยกว่า 1.27 mm/นาท ทำการบันทึกค่าแรงกดอัดสูงสุด สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ และลักษณะการวิบัติ

3.1.5.3 การคำนวณ

ทำการหาโมดูลัสความแตกร้าว (Modulus of Rupture) ของตัวอย่างทดสอบจากสมการ

$$S = \frac{3W(l - 2 - x)}{bd^2}$$

โดยที่

S = โมดูลัสความแตกร้าวของตัวอย่างทดสอบที่ระนาบที่เกิดการวิบัติ มีหน่วยเป็น MPa

W = แรงกระทำสูงสุด มีหน่วยเป็น N

l = ระยะระหว่างจุดรองรับของตัวอย่างทดสอบ มีหน่วยเป็น mm

b = ความกว้างสุทธิของตัวอย่างทดสอบ มีหน่วยเป็น mm

d = ความลึกของตัวอย่างทดสอบที่ระนาบที่เกิดการวิบัติ มีหน่วยเป็น mm

x = ระยะเฉลี่ยจากจุดกึ่งกลางของระยะระหว่างจุดรองรับของตัวอย่างทดสอบกับระนาบที่เกิดการวิบัติ ตามเส้นแนวศูนย์กลาง (centerline) ของด้านของตัวอย่างทดสอบที่ถูกกระทำโดยแรงดึง มีหน่วยเป็น mm

3.2 การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E447

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบตัวอย่างที่ได้จากการนำอิฐมาก่อรวมกันเป็นกำแพงขนาดเล็ก (Prism) หรือ Prism Test

3.2.1 วิธีการทดสอบ

3.2.1.1 ทำการปรับผิว (capping) อิฐก้อนล่างสุดของ Prism 1 ด้าน ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำการปรับผิวคือ ปูนพลาสเตอร์และน้ำ โดยใช้อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก การปรับผิวนี้จะมีความหนาประมาณ 3 mm และจะต้องมีความลาดเอียงไม่เกิน 0.076 mm ต่อ 406.4 mm จากนั้น ทำการบ่มปูนพลาสเตอร์เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการก่อ Prism

3.2.1.2 นำก้อนอิฐตัวอย่างที่จะถูกก่อเป็น Prism แช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อลดการดูดซึมน้ำของอิฐจากปูนก่อ (Mortar)

3.2.1.3 ทำการผสมปูนก่อ ในการทดสอบนี้ กำหนดให้ปูนก่อมีเปอร์เซ็นต์การไหล (Percent flow) เท่ากับ 100 ถึง 115% ส่วนผสมของปูนก่อผสมเสร็จต่อทรายเท่ากับ 1:3 โดยปริมาตร โดยใช้น้ำ 70% ของน้ำหนักปูนก่อผสมเสร็จ ปูนก่อผสมเสร็จที่ใช้ในการทดสอบคือปูนตราเสือ ซึ่งถูกผสมโดยใช้เครื่องผสมคอนกรีต ปูนก่อที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องใช้ภายในเวลา 3 ชั่วโมง

3.2.1.4 ทำการก่อ Prism โดยวางอิฐแบบ Stretcher ให้ได้ Prism ที่มีอัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง (h/l) อยู่ระหว่าง 2 ถึง 5 และมีรอยต่อแบบ Flush joint (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) โดยที่ความหนาของรอยต่อของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ (Uninspected prism) จะขึ้นอยู่กับช่างผู้ก่อ และความหนาของรอยต่อของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ (Inspected prism) จะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ ในกรณีของอิฐมอญมาตรฐาน กำหนดให้รอยต่อมีความหนา 2 cm และในกรณีของ

อิฐมอญ กำหนดให้รอยต่อมีความหนา 1 cm ทำการก่อของ Prism ที่มีการตรวจสอบและแบบไม่มีการตรวจสอบอย่างละ 5 Prism

3.2.1.5 การบ่มหลังการก่อ สำหรับ Prism ที่ไม่มีการตรวจสอบ การบ่มหลังการก่อจะเป็นแบบตั้งทิ้งไว้ในอาคาร สำหรับ Prism ที่มีการตรวจสอบ การบ่มหลังการก่อจะเป็นการใช้ถุงพลาสติกคลุมให้มิดชิด บ่มทิ้งไว้จนถึงวันทดสอบกำลังรับแรงกดอัด

3.2.1.6 ทำการปรับผิวอิฐก้อนบนสุดของ Prism ก่อนทำการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชม.

3.2.1.7 ทำการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดที่ 7 วันและ 28 วัน โดยใช้เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 บันทึกค่าของแรงกดอัดและค่าการหดรัดตัวของ Prism ตลอดการทดสอบ

3.2.1.8 นำผลการทดสอบที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกดอัด (Compressive stress) และความเครียด (Strain) ของแต่ละ Prism และคำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัดประลัย (Ultimate compressive stress) ของ Prism จากสมการ

$$f'_m = \frac{F}{A}$$

โดยที่

f'_m = กำลังรับแรงอัดสูงสุดของ Prism มีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ Pa

F = แรงกระทำสูงสุด มีหน่วยเป็น N

A = พื้นที่เฉลี่ยของผิวด้านบนและล่างของตัวอย่างทดสอบที่รองรับแรงกดอัด มีหน่วยเป็น m^2

3.3 ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

จากการออกไปสำรวจและเก็บข้อมูลและกรรมวิธีการผลิตอิฐดินเผาในจังหวัดสิงห์บุรี ขอนแก่น ชัยภูมิ ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา และอ่างทองเป็นจำนวน 13 แห่งนั้น ทางโครงการวิจัยได้ทำการจัดซื้อตัวอย่างอิฐเพื่อนำมาทำการทดสอบเป็นจำนวนโรงงานละ 150 ก้อน ตัวอย่างทดสอบดังกล่าวถูกแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามกรรมวิธีการผลิตคือ อิฐที่ทำด้วยมือหรืออิฐมอญและอิฐที่อัดด้วยเครื่องหรืออิฐมอญมาตรฐาน โดยมีรายละเอียดการกำหนดสัญลักษณ์เพื่อการศึกษาดังที่แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของอิฐดินเผาและสัญลักษณ์ที่ใช้แทนอิฐดินเผาจากแหล่งต่างๆ

สัญลักษณ์	ชนิดของอิฐ	แหล่งที่มา
โรงงาน A	อิฐมอญ	สิงห์บุรี
โรงงาน B	อิฐมอญ	พระนครศรีอยุธยา
โรงงาน C	อิฐมอญ	พระนครศรีอยุธยา
โรงงาน D	อิฐมอญ	พระนครศรีอยุธยา
โรงงาน E	อิฐมอญมาตรฐาน/มอท.	พระนครศรีอยุธยา
โรงงาน F	อิฐมอญมาตรฐาน/บบก. 1	ปทุมธานี
โรงงาน G	อิฐมอญมาตรฐาน/บบก. 2	อ่างทอง
โรงงาน H	อิฐมอญมาตรฐาน/BKK	อ่างทอง
โรงงาน I	อิฐมอญ	ปทุมธานี
โรงงาน J	อิฐมอญมาตรฐาน/ออก.	สิงห์บุรี
โรงงาน K	อิฐมอญ	ชัยภูมิ
โรงงาน L	อิฐมอญ	ขอนแก่น
โรงงาน M	อิฐมอญ	ขอนแก่น

บทที่ 4

สรุปผลการทดสอบ วิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสรุปผลการทดสอบ วิเคราะห์ผล รวมถึงข้อเสนอแนะในการปรับปรุงคุณภาพการผลิตอิฐดินเผาและการนำผลที่ได้ไปออกแบบโครงสร้างอิฐก่อ โดยที่ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบได้ถูกรวบรวมไว้ในภาคผนวกของรายงานนี้แล้ว

4.1 สรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1.1 การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของก้อนอิฐดินเผาและของ Prism

ในการทดสอบนี้ ค่าแรงกดอัดและค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบได้ถูกบันทึกไว้ตลอดการทดสอบจนถึงจุดที่อิฐดินเผาเกิดการวิบัติ เพื่อนำมาคำนวณและเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกดอัด (Compressive stress) และค่าความเครียด (strain) ของตัวอย่างทดสอบ โดยที่ค่ากำลังรับแรงกดอัดประลัย (Compressive strength) ของอิฐดินเผา f'_{br} และค่ากำลังรับแรงกดอัดประลัยของ Prism f'_m จะมีค่าเท่ากับค่าหน่วยแรงกดอัดของก้อนอิฐดินเผาและของ Prism เมื่อก้อนอิฐดินเผาและ Prism เริ่มมีการแตกร้าวเกิดขึ้น ซึ่งจะสังเกตได้จากเสียงการแตกร้าวที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงกดอัดของก้อนอิฐดินเผาและของ Prism ที่อายุ 28 วัน จากตาราง จะสังเกตเห็นได้ว่า ค่า f'_{br} เฉลี่ยของก้อนอิฐมอญมีการกระจายที่ค่อนข้างสูงมาก เมื่อทำการพิจารณาลักษณะของก้อนอิฐมอญร่วมกับค่า f'_{br} เฉลี่ยแล้ว จะพบว่า ก้อนอิฐมอญที่มีค่า f'_{br} เฉลี่ยที่สูง ซึ่งอยู่ในช่วง 19.39 ถึง 36.73 MPa จะเป็นอิฐมอญที่ตันและมีเนื้ออิฐที่แน่น และอิฐมอญที่มีค่า f'_{br} เฉลี่ยที่ต่ำ ซึ่งอยู่ในช่วง 7.59 ถึง 11.18 MPa จะเป็นอิฐมอญที่มีรูโพรง ซึ่งการทำอิฐมอญให้มีรูนั้นจะช่วยในการลดน้ำหนักของก้อนอิฐ และลดระยะเวลาในการเผาอิฐให้น้อยลง แต่ข้อเสียคือ อิฐดังกล่าวจะมีกำลังรับแรงกดอัดประลัยที่ต่ำ

นอกจากนั้นแล้ว เราสามารถที่จะแบ่งค่า f'_{br} เฉลี่ยของอิฐมอญมาตรฐานออกเป็น 2 ช่วงที่ชัดเจนคือ ช่วง 12.28 ถึง 16.93 MPa และช่วง 25.31 ถึง 30.55 MPa ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้น่าจะเกิดจากขบวนการผลิตและวัตถุดิบที่แตกต่างกัน เนื่องจากอิฐมอญมาตรฐานจากทุกแหล่งการผลิตมีลักษณะเป็นอิฐตันและมีเนื้ออิฐที่แน่นเหมือนกัน อย่างไรก็ตาม ขอให้สังเกตด้วยว่าช่วงของการกระจายของค่า f'_{br} เฉลี่ยของอิฐมอญมาตรฐานมีลักษณะที่ค่อนข้างแคบกว่าอิฐมอญ แสดงว่าขบวนการผลิตอิฐมอญมาตรฐานให้ผลผลิตอิฐที่มีกำลังรับแรงกดอัดประลัยที่ใกล้เคียงกันมากกว่าอิฐมอญ

สุดท้าย จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า อิฐมอญที่ตันมีค่า f'_{br} เฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงมากคือ เทียบเท่าหรือสูงกว่าค่า f'_{br} เฉลี่ยของอิฐมอญมาตรฐาน ทั้งนี้จะมีสาเหตุมาจากผลกระทบจากการที่อิฐมอญดังกล่าวมีความหนาที่ค่อนข้างน้อย ซึ่งจะก่อให้เกิดการยืดรั้งขึ้นที่หัวกดของเครื่องทดสอบกับผิวสัมผัสของอิฐมอญและจะทำให้การแตกร้าวที่เกิดขึ้นช้าลง

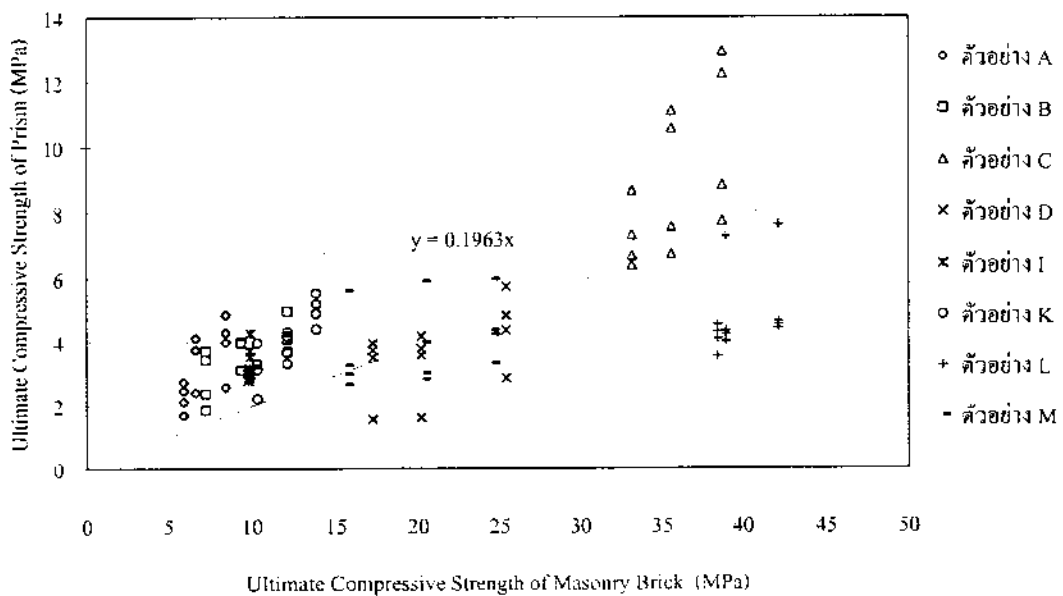
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงกดอัดของก้อนอิฐดินเผาและของ Prism ที่อายุ 28 วัน

โรงงาน	ชนิดของอิฐ	ค่าเฉลี่ย f'_{br} (MPa)	ค่าเฉลี่ย f'_m ของ Prism ก่อนแบบมีการตรวจสอบ (MPa)	ค่าเฉลี่ย f'_m ของ Prism ก่อนแบบไม่มีการตรวจ สอบ (MPa)
A	อิฐมอญ	7.59	3.55	2.38
B	อิฐมอญ	8.95	3.76	3.44
C	อิฐมอญ	36.73	10.47	7.32
D	อิฐมอญ	20.42	3.96	3.31
E	อิฐมอญมาตรฐาน	12.28	7.59	6.25
F	อิฐมอญมาตรฐาน	14.73	10.13	8.94
G	อิฐมอญมาตรฐาน	16.93	6.08	6.02
H	อิฐมอญมาตรฐาน	30.55	5.71	5.12
I	อิฐมอญ	9.50	3.44	2.90
J	อิฐมอญมาตรฐาน	25.31	5.24	4.65
K	อิฐมอญ	11.18	4.00	4.00
L	อิฐมอญ	35.41	5.25	4.79
M	อิฐมอญ	19.39	4.83	4.02

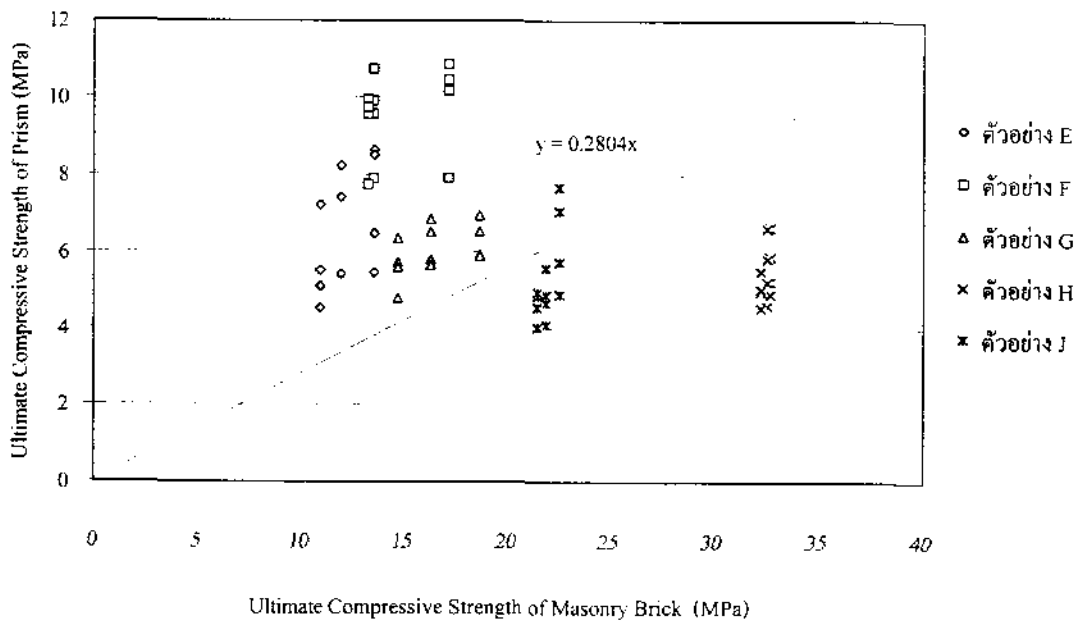
คุณสมบัติเชิงกลอีกอย่างหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาประกอบด้วยค่า f'_{br} เฉลี่ยก็คือ ค่ากำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของ Prism หรือค่า f'_m เฉลี่ย ซึ่งจะเป็นคุณสมบัติเชิงกลที่ถูกกำหนดโดยค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐและคุณสมบัติเชิงกลของปูนก่อ แต่เนื่องจากว่า ในการศึกษานี้ เราได้กำหนดให้ปูนก่อเป็นปูนชนิดเดียวกันคือ ชนิด A ตามมาตรฐาน ASTM C270 ดังนั้น ค่า f'_m เฉลี่ยที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่า f'_{br} เฉลี่ยเท่านั้น จากตารางที่ 4.1 เราจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ย f'_m ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ (Inspected) จะมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย f'_m ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ (Uninspected) ทั้งนี้เนื่องจากการก่อแบบแบบมีการตรวจสอบมีการควบคุมการก่อที่ดีกว่า มีขนาดของรอยต่อของปูนก่อที่เท่ากัน และมีการบ่ม Prism ที่ถูกต้อง ซึ่งจะทำให้ปูนก่อมีกำลังสูงกว่าในกรณีที่ไม่มีการตรวจสอบ ซึ่งไม่มีการบ่ม Prism โดยค่ากำลังรับแรงกดอัดที่สูงขึ้นเนื่องจากสาเหตุดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 43% และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17% ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานของ SCPI ที่ว่า ค่า f'_m เฉลี่ยของ Prism ที่ก่อแบบแบบมีการตรวจสอบมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย f'_m ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบอยู่ถึง 38% ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1 อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ย f'_m ของ Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจะเป็นค่าที่เราให้ความสนใจมากกว่าค่าเฉลี่ย f'_m ของ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ เพราะ

การก่อแบบไม่มีการตรวจสอบจะทำให้ขั้นตอนการก่อสร้างโครงสร้างอิฐก่อมีความง่ายและรวดเร็วขึ้นมาก นอกจากนี้ ยังเป็นค่าที่มีส่วนความปลอดภัย (Factor of safety) ที่สูงกว่า แต่ข้อเสียคือ เป็นการใช้วัสดุอย่างไม่เต็มความสามารถของวัสดุ

จากผลการทดสอบ ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงกดอัดประลัย f'_{br} ของก้อนอิฐดินเผาและกำลังรับแรงกดอัดประลัย f'_{m} ของ Prism จะหามาได้ได้โดยการทำ Linear regression บนข้อมูลของ f'_{br} ของก้อนอิฐดินเผาและ f'_{m} ของ Prism ที่ทดสอบได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 สำหรับอิฐมอญ และรูปที่ 4.2 สำหรับอิฐมอญมาตรฐาน ซึ่งสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวจะอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง $f'_{m} = C_i f'_{br}$ ดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 ขอให้สังเกตด้วยว่า สมการเส้นตรงถูกเลือกมาใช้ในการศึกษานี้เนื่องจากความสัมพันธ์โดยรวมของผลการทดสอบมีแนวโน้มที่ค่อนข้างจะเป็นเส้นตรง และเพื่อความง่ายในการนำสมการดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ C_i ของความสัมพันธ์ที่ได้นี้จะเป็ปัจจัยที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของก้อนอิฐดินเผา เมื่อนำก้อนอิฐดินเผามารองรับแรงกระทำร่วมกันในรูปแบบของ Prism และยังใช้ในการประมาณค่ากำลังรับแรงกดอัดประลัยของ Prism f'_{m} เมื่อเราทราบค่ากำลังรับแรงกดอัดประลัยของก้อนอิฐดินเผา f'_{br} ซึ่งสามารถหาได้จากการทดสอบที่ง่ายกว่า อย่างไรก็ตาม ความน่าเชื่อถือของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีมากขึ้น ถ้าจำนวนของตัวอย่างทดสอบมีมากขึ้น



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ f'_{br} และ f'_{m} ของ Prism ของอิฐมอญ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ f'_{hr} และ f'_m ของ Prism ของอิฐมอญมาตรฐาน

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของค่า f'_{hr} เฉลี่ยของก้อนอิฐดินเผากับค่า f'_m เฉลี่ยของ Prism

ประเภทของอิฐ	ความสัมพันธ์ของค่า f'_m เฉลี่ยกับค่า f'_{hr} เฉลี่ย
SCPI	$f'_m = 0.300 f'_{hr}$
อิฐมอญ	$f'_m = 0.196 f'_{hr}$
อิฐมอญมาตรฐาน	$f'_m = 0.280 f'_{hr}$

จากตารางที่ 4.2 เมื่อทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่า f'_{hr} เฉลี่ยของก้อนอิฐดินเผากับค่า f'_m เฉลี่ยของ Prism ของอิฐมอญและอิฐมอญมาตรฐานกับความสัมพันธ์ดังกล่าวจากการวิจัยของ SCPI แล้ว เราจะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ C_1 ของความสัมพันธ์ของอิฐมอญและอิฐมอญมาตรฐานที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ C_1 ของความสัมพันธ์ของ SCPI ซึ่งในที่นี้ เราจะแปลความหมายได้เป็นสองประเด็นคือ

1. ถ้าสมมุติให้ช่างก่ออิฐที่ทำการก่อโดยเฉลี่ยมีฝีมือเท่าเทียมกันแล้ว แสดงว่าเมื่อก้อนอิฐตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาถูกก่อเป็น Prism แล้ว Prism ดังกล่าวจะมีคุณสมบัติในการรับแรงกดอัดที่ค่อนข้างต่ำกว่าก้อนอิฐตัวอย่างที่ SCPI ใช้ในการก่อ Prism
2. ถ้าสมมุติให้ก้อนอิฐตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมามีคุณสมบัติในการรับแรงกดอัดที่เท่าเทียมกันกับก้อนอิฐตัวอย่างที่ SCPI ใช้ในการก่อ Prism แล้ว แสดงว่าช่างก่ออิฐที่ทำการก่ออิฐในการศึกษานี้ ควรที่จะได้รับการอบรมให้มีฝีมือดีขึ้น

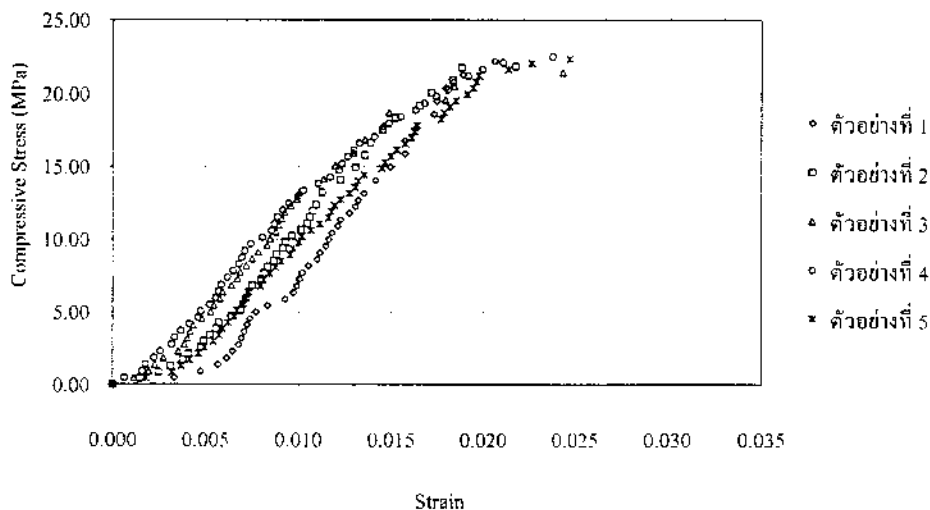
จุดหนึ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งก็คือว่า อิฐมอญมาตรฐานมีค่าสัมประสิทธิ์ที่สูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ของอิฐมอญ ซึ่งยืนยันความถูกต้องของข้อสมมุติฐานข้อแรกพอสมควร

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงกดอัดประลัยของ Prism ที่อายุ 7 วันและ 28 วัน จากตารางจะพบว่า Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบมีค่าเฉลี่ยของ f'_m ที่อายุ 7 วันและ 28 วันที่สูงกว่า Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ ซึ่งสอดคล้องกับการบ่มที่มีจำนวนวันที่แตกต่างกัน ทำให้ปูนก่อที่บ่มนานกว่ามีกำลังที่มากกว่าปูนก่อที่บ่มน้อยวันกว่า ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น อย่างไรก็ตาม จุดที่น่าสนใจของตารางนี้อยู่ที่ว่า Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบมีกำลังรับแรงกดอัดที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 7 วัน ถึง 28 วันมากกว่า Prism ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของการบ่ม Prism ต่อกำลังรับแรงกดอัดประลัยของ Prism อย่างไรก็ตาม ค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มสูงขึ้นของกำลังรับแรงกดอัดประลัยของ Prism มีค่าที่ไม่แน่นอน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 27.5 เปอร์เซ็นต์และ 13.8 เปอร์เซ็นต์สำหรับ Prism ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบและไม่มีการตรวจสอบ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงกดอัดประลัยของ Prism ที่อายุ 7 วันและ 28 วัน

โรงงาน	ชนิดของอิฐ	ค่าเฉลี่ย f'_m ของ Prism ก่อแบบมีการตรวจสอบ (MPa)		ค่าเฉลี่ย f'_m ของ Prism ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ (MPa)	
		ที่อายุ 7 วัน	ที่อายุ 28 วัน	ที่อายุ 7 วัน	ที่อายุ 28 วัน
A	อิฐมอญ	2.45	3.55	2.38	2.38
B	อิฐมอญ	3.28	3.76	3.28	3.44
C	อิฐมอญ	8.82	10.47	6.47	7.32
D	อิฐมอญ	3.10	3.96	2.61	3.31
E	อิฐมอญมาตรฐาน	5.01	7.59	5.26	6.25
F	อิฐมอญมาตรฐาน	7.52	10.13	8.10	8.94
G	อิฐมอญมาตรฐาน	5.48	6.08	5.73	6.02
H	อิฐมอญมาตรฐาน	5.50	5.71	4.68	5.12
I	อิฐมอญ	2.57	3.44	2.58	2.90
J	อิฐมอญมาตรฐาน	4.08	5.24	4.39	4.65
K	อิฐมอญ	3.65	4.00	3.31	4.00
L	อิฐมอญ	4.01	5.25	4.09	4.79
M	อิฐมอญ	3.26	4.83	3.01	4.02

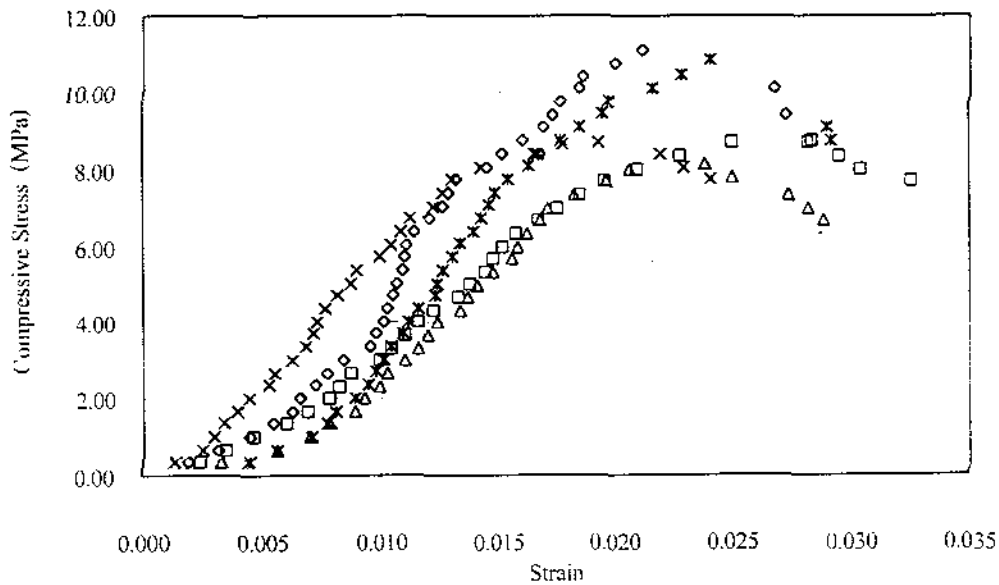
รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกดอัด (Compressive stress) และความเครียด (Strain) ของก้อนอิฐดินเผา ซึ่งเราจะเห็นได้ว่า ก้อนอิฐดินเผาจะแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดแบบค่อนข้างที่จะเป็นเส้นตรงจากเริ่มต้นจนถึงค่าของหน่วยแรงประมาณ 50 ถึง 70% ของกำลังรับแรงกดอัดประลัย (Ultimate compressive strength) ซึ่งขึ้นอยู่กับความเปราะของก้อนอิฐดินเผา โดยทั่วไปแล้ว ก้อนอิฐดินเผาที่มีความเปราะมากจะมีความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดเป็นเส้นตรงถึงประมาณ 70% ของกำลังรับแรงกดอัดประลัย ขณะที่ก้อนอิฐดินเผาที่มีความเปราะน้อยจะมีความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดเป็นเส้นตรงถึงประมาณ 50% ของกำลังรับแรงกดอัดประลัย จากนั้น เส้นกราฟดังกล่าวจะค่อยๆ มีความชัน (Slope) ที่ลดลง เนื่องจากก้อนอิฐดินเผาเกิดการแตกร้าวภายในมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้หน้าตัดของก้อนอิฐดินเผาที่จะรับแรงกดอัดมีค่าน้อยลงตามไปด้วย สุดท้าย การแตกร้าวจะมีมากขึ้นจนก้อนอิฐดินเผาเกิดการวิบัติจากการทดสอบพบว่า ก้อนอิฐดินเผาที่มีค่ากำลังรับแรงกดอัดประลัยต่ำ จะมีรูปแบบการวิบัติที่ไม่รุนแรงคือค่อยๆ เกิดการวิบัติ และจะมีเส้นกราฟในช่วงที่เป็นเส้นโค้งยาวกว่าก้อนอิฐดินเผาที่มีค่ากำลังรับแรงกดอัดประลัยที่สูง ซึ่งจะมีการวิบัติแบบเปราะ หรือการวิบัติเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกดอัดและความเครียดของก้อนอิฐดินเผา

รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างของกราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกดอัดและความเครียดของ Prism ซึ่งเราจะเห็นได้ว่า ในช่วงแรก กราฟจะมีลักษณะที่เป็นเส้นโค้งหงายขึ้นและมีความชันเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนเท่ากับความชันของกราฟในส่วนที่เป็นเส้นตรง ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการที่ปูนก่อกม็ช่องว่างของอากาศและน้ำที่ค่อนข้างสูง ซึ่งภายใต้แรงกดอัด ช่องว่างเหล่านี้ก็จะถูกกดอัดให้เล็กลง

เรื่อยๆ และจะมีความสามารถในการรับแรงมากขึ้นเรื่อยๆ จากรูป เส้นกราฟจะแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดเป็นเส้นตรงถึงประมาณ 50 ถึง 70% ของกำลังรับแรงกดอัดประลัย จากนั้น เส้นกราฟก็จะเริ่มเป็นเส้นโค้งและมีความชันลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการแตกร้าวของปูนก่อ ซึ่งมีกำลังรับแรงกดอัดประลัยน้อยกว่าก้อนอิฐดินเผา จากนั้น การแตกร้าวก็จะแผ่ขยายไปสู่ก้อนอิฐดินเผา และนำไปสู่การวิบัติของ Prism โดยรวม โดยทั่วไปแล้ว กราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดของ Prism จะมีส่วนที่เป็นเส้นโค้งยาวกว่าของก้อนอิฐดินเผา เนื่องจากก้อนอิฐดินเผาจะมีความเปราะมากกว่าก้อนอิฐดินเผาที่รับแรงร่วมกับปูนก่อ



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกดอัดและความเครียดของ Prism

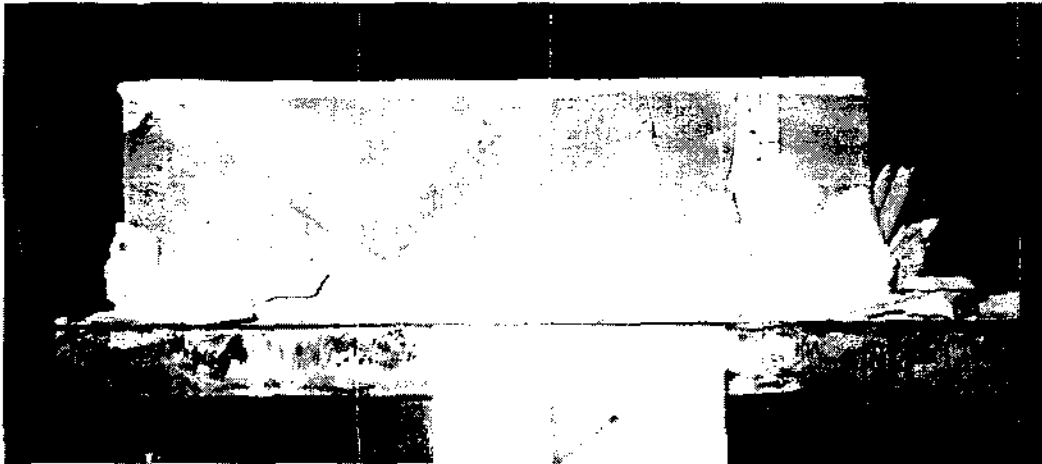
จากการสังเกตการวิบัติของตัวอย่างของก้อนอิฐดินเผา พบว่า เราสามารถแบ่งลักษณะของการวิบัติของก้อนอิฐดินเผาออกได้เป็น 2 แบบหลักคือ

1. การวิบัติเนื่องจากแรงดึง (Tensile Splitting Failure)

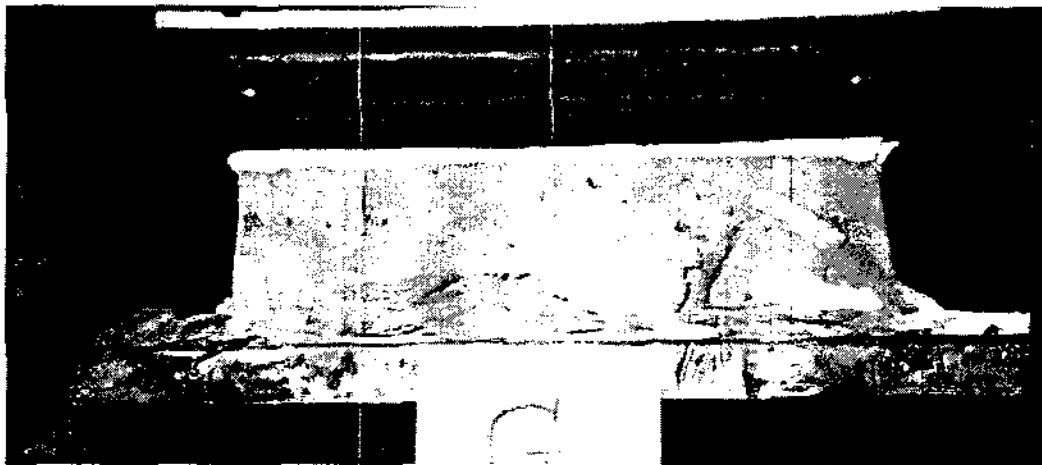
เมื่อก้อนอิฐดินเผาได้รับแรงกดอัดอยู่ในแนวตั้งแล้ว แรงดึงจะเกิดขึ้นในก้อนอิฐเนื่องจากอิทธิพลของ Poisson's ratio ของเนื้ออิฐ ในแนวตั้งฉากกับแนวกระทำของแรงกดอัด เมื่อก้อนอิฐมีความเปราะสูงหรือมีกำลังรับแรงดึงที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับกำลังรับแรงกดอัดประลัยแล้ว ก้อนอิฐจะเกิดการวิบัติหรือแตกร้าวในแนวกระทำของแรงกดอัด ดังที่แสดงในรูปที่ 4.5 จากการทดสอบ พบว่าการวิบัติในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นในก้อนอิฐดินเผาที่มาจากโรงงาน A โรงงาน B โรงงาน C โรงงาน D โรงงาน E โรงงาน F โรงงาน I โรงงาน J โรงงาน K โรงงาน L และ โรงงาน M

2. การวิบัติเนื่องจากแรงดึงและแรงเฉือน (Combined Tensile Splitting and Shear Failure)

การวิบัติเนื่องจากแรงดึงและแรงเฉือนจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับการวิบัติเนื่องจากแรงดึง แต่รอยแตกร้าวแทนที่จะอยู่ในแนวตั้งเท่านั้น ก็จะมีรอยแตกร้าวในแนวทแยงร่วมด้วย ดังที่แสดงใน รูปที่ 4.6 จากการทดสอบ พบว่าการวิบัติเนื่องจากแรงดึงและแรงเฉือนนี้จะเกิดขึ้นในก้อนอิฐดินเผาที่ มาจากโรงงาน G และ โรงงาน H ก้อนอิฐดินเผาที่วิบัติในลักษณะนี้จะมีกำลังรับแรงดึงที่มากกว่าก้อน อิฐดินเผาที่วิบัติเนื่องจากแรงดึงเท่านั้น



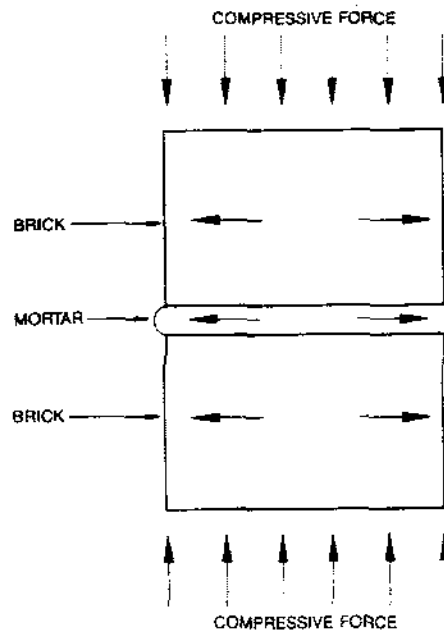
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการวิบัติของก้อนอิฐดินเผาเนื่องจากแรงดึง



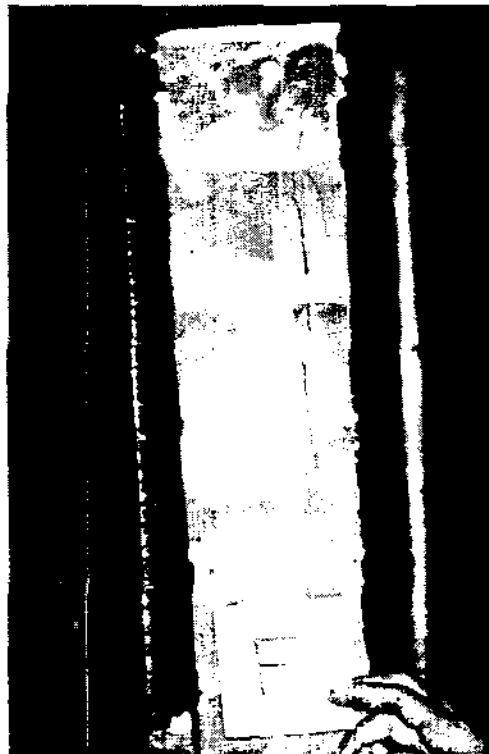
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการวิบัติของก้อนอิฐดินเผาเนื่องจากแรงดึงและแรงเฉือน

จากการสังเกตการวิบัติของตัวอย่าง Prism จะพบว่า ลักษณะของการวิบัติของ Prism มีเพียง ลักษณะเดียวคือ การวิบัติเนื่องจากแรงดึง (Tensile splitting failure) โดยที่เมื่อ Prism ถูกกระทำโดย แรงกดอัดแล้ว แรงดึงจะเกิดขึ้นใน Prism เนื่องจากอิทธิพลของ Poisson's ratio ของเนื้ออิฐและปูนก่อ ซึ่งจะมีทิศทางในแนวตั้งฉากกับแนวกระทำของแรงกดอัด โดยที่ปูนก่อจะมีแนวโน้มที่จะถูกบีบออก จาก Prism และพันธะ (bond) ระหว่างปูนก่อและก้อนอิฐดินเผาจะถ่ายแรงดึงที่เกิดขึ้นไปยังก้อนอิฐดิน

เผา ดังที่แสดงในรูปที่ 4.7 โดยที่การแตกร้าวจะเริ่มที่ปูนก่อและแผ่ขยายไปสู่ก้อนอิฐดินเผา เนื่องจากปูนก่อมีกำลังรับแรงดึงที่ต่ำกว่าก้อนอิฐดินเผามาก ดังที่แสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงลักษณะการวิบัติของ Prism



รูปที่ 4.7 การถ่ายแรงดึงที่เกิดขึ้นในปูนก่อไปยังก้อนอิฐดินเผาเนื่องจากอิทธิพลของ Poisson's ratio



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการวิบัติเนื่องจากแรงดึงของ Prism

4.1.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Absorption test)

การทดสอบการดูดซึมน้ำเป็นปัจจัยบ่งชี้ถึงความทนทาน (Durability) ปัจจัยหนึ่งของอิฐดินเผา เนื่องจากเป็นปัจจัยที่แสดงถึงความพรุนหรือช่องว่างของอิฐ ถ้าอิฐดินเผาที่มีการดูดซึมน้ำมากแล้ว อิฐนั้นก็มีความพรุนสูง และจะสุกก่อนจากการกระทำของสภาวะแวดล้อมและการเสียดสีได้ง่าย อิฐดินเผาที่มีการดูดซึมน้ำสูงจะเป็นอิฐที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิที่ต่ำ เป็นเวลาที่ไม่นานพอที่อิฐจะสุก การทดสอบนี้มีพื้นฐานมาจากแนวความคิดที่ว่า ก้อนอิฐจะดูดซึมน้ำส่วนหนึ่งจากการที่จุ่มก้อนอิฐในน้ำเย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และก้อนอิฐจะอึมตัวด้วยน้ำเมื่อถูกต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผา

โรงงาน	ชนิดของอิฐ	การจุ่มน้ำเย็น 24 ชั่วโมง	การต้ม 2 ชั่วโมง
		(%)	(%)
A	อิฐมอญ	16.21	2.76
B	อิฐมอญ	16.69	1.79
C	อิฐมอญ	12.54	1.63
D	อิฐมอญ	14.22	2.37
E	อิฐมอญมาตรฐาน	15.17	1.29
F	อิฐมอญมาตรฐาน	12.49	1.02
G	อิฐมอญมาตรฐาน	16.02	0.17
H	อิฐมอญมาตรฐาน	13.42	1.44
I	อิฐมอญ	24.24	3.27
J	อิฐมอญมาตรฐาน	14.66	1.06
K	อิฐมอญ	14.99	1.09
L	อิฐมอญ	15.17	1.03
M	อิฐมอญ	12.79	2.40

จากผลการทดสอบ ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า อิฐมอญจากโรงงาน A โรงงาน B โรงงาน D โรงงาน I โรงงาน K และ โรงงาน L และอิฐมอญมาตรฐานจากโรงงาน E โรงงาน G และ โรงงาน J มีค่าการดูดซึมน้ำที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอิฐดินเผาซึ่งถูกผลิตโดยโรงงาน I ในจังหวัดปทุมธานีที่มีค่าการดูดซึมน้ำถึง 24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่าอิฐดังกล่าวถูกผลิตขึ้นมาด้วยการเผาที่ยังสุกไม่เต็มที่

4.1.3 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้น (Initial rate of absorption test)

การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นเป็นตัวชี้ถึงการดูดซึมน้ำจากปูนก่อก่อหรือปูนฉาบของก้อนอิฐดินเผา ถ้ามีค่ามากแสดงว่าอิฐชนิดนั้นจะดูดซึมน้ำจากปูนก่อก่อและปูนฉาบมาก ซึ่งจะมีผลทำให้การยึดติดกัน (Bond) ของอิฐแต่ละก้อน ไม่ดีและก่อให้เกิดการแตกร้าวของปูนฉาบ จากการทดสอบของสถาบันอิฐแห่งสหรัฐอเมริกา (Brick Institute of America) พบว่า อิฐดินเผาจะมีการยึดติดกันโดยปูนก่อก่อที่ดีเมื่ออัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของอิฐมีค่าน้อยกว่า $30 \text{ g}/193.55 \text{ cm}^2$ ถ้าอิฐมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นมากกว่าค่าดังกล่าว เราควรที่จะทำให้อิฐมีความชื้นก่อนที่จะทำการก่ออิฐ

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้น

โรงงาน	ชนิดของอิฐ	ค่าเฉลี่ยของอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้น ($\text{g}/193.55 \text{ cm}^2$)
A	อิฐมอญ	14.95
B	อิฐมอญ	15.98
C	อิฐมอญ	14.25
D	อิฐมอญ	17.98
E	อิฐมอญมาตรฐาน	14.59
F	อิฐมอญมาตรฐาน	13.69
G	อิฐมอญมาตรฐาน	14.77
H	อิฐมอญมาตรฐาน	14.79
I	อิฐมอญ	38.65
J	อิฐมอญมาตรฐาน	7.18
K	อิฐมอญ	10.07
L	อิฐมอญ	13.41
M	อิฐมอญ	20.37

จากผลการทดสอบ ดังที่แสดงในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า อิฐมอญและอิฐมอญมาตรฐานโดยส่วนใหญ่มีอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของอิฐที่น้อยกว่า $30 \text{ g}/193.55 \text{ cm}^2$ คือมีค่าประมาณ $16 \text{ g}/193.55 \text{ cm}^2$ ยกเว้นอิฐจากโรงงาน I ในจังหวัดปทุมธานีเท่านั้น ที่มีค่าอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของอิฐสูงถึง $38.65 \text{ g}/193.55 \text{ cm}^2$ ซึ่งสอดคล้องกับการที่อิฐดังกล่าวนี้มีการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าอิฐจากแหล่งอื่นๆ

4.1.4 การวัดหาขนาด (Measurement of size)

จากการทดสอบหาขนาดของอิฐดินเผา พบว่า อิฐมอญมาตรฐาน จากโรงงานเดียวกัน แต่ละก้อนมีขนาดที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ขนาดของอิฐมอญ จากโรงงานเดียวกัน แต่ละก้อนมีขนาดที่แตกต่างกันค่อนข้างสูง สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างนี้เกิดจากขั้นตอนการอัดดินเข้าสู่แม่แบบที่แตกต่างกัน ซึ่งอิฐมอญได้มาจากการอัดดินลงแม่แบบด้วยมือ แต่อิฐมอญมาตรฐานได้จากการอัดดินลงแม่แบบด้วยเครื่องอัดกล นอกจากนั้นแล้ว อาจเกิดจากการเผาที่ไม่เท่ากันด้วย ทำให้อิฐหดตัวไม่เท่ากัน

4.1.5 การทดสอบกำลังรับแรงคด (Flexural test)

การทดสอบกำลังรับแรงคด ทำให้ได้ค่าของกำลังรับแรงคดเนื่องจากการคดหรือโมดูลัสของการแตกร้าว (Modulus of rupture) ของอิฐดินเผา ซึ่งแสดงถึงมีความสามารถของอิฐในการป้องกัน การแตกร้าวเนื่องจากการคด และการแตกร้าวเนื่องจากการวิบัติเนื่องจากแรงคดในการทดสอบกำลังรับแรงกดอัด

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสของการแตกร้าว

โรงงาน	ชนิดของอิฐ	โมดูลัสของการแตกร้าว (kPa)
A	อิฐมอญ	23.00
B	อิฐมอญ	25.49
C	อิฐมอญ	47.22
D	อิฐมอญ	41.10
E	อิฐมอญมาตรฐาน	127.5
F	อิฐมอญมาตรฐาน	161.56
G	อิฐมอญมาตรฐาน	72.76
H	อิฐมอญมาตรฐาน	153.22
I	อิฐมวลฉาบ	12.83
J	อิฐมอญมาตรฐาน	77.81
K	อิฐมอญ	22.30
L	อิฐมอญ	53.24
M	อิฐมอญ	26.50

จากผลการทดสอบ ดังที่แสดงในตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า อิฐมอญมาตรฐานมีค่ากำลังรับแรงคดเนื่องจากการคดหรือโมดูลัสของการแตกร้าวที่สูงกว่าอิฐมอญ โดยที่อิฐมอญมาตรฐานมีโมดูลัสของการแตกร้าวอยู่ในช่วง 72 ถึง 161 kPa และอิฐมอญมีโมดูลัสของการแตกร้าวอยู่ในช่วง 13 ถึง 53

kPa นอกจากนั้น ขอให้สังเกตด้วยว่า อิฐมอญจากโรงงาน I ในจังหวัดปทุมธานีมีค่าของโมดูลัสของการแตกร้าวที่ต่ำที่สุด

จากสรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลที่ผ่านมา เมื่อทำการพิจารณาผลโดยรวมของการทดสอบแล้ว จะเห็นได้ว่า มีก้อนอิฐดินเผาจำนวนหนึ่งเท่านั้นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในทุกๆ ด้านที่ควรที่จะนำไปใช้ในโครงสร้างอิฐก่อ ซึ่งประกอบด้วยอิฐมอญจากโรงงาน C และโรงงาน M และอิฐมอญมาตรฐานจากโรงงาน F และโรงงาน H และอิฐดินเผาที่ไม่ควรนำมาใช้เป็นอย่างยิ่งคือ อิฐมอญจากโรงงาน I ในจังหวัดปทุมธานี โดยค่ากำลังรับแรงกดอัดประลัยของ Prism f'_m ที่ควรนำไปใช้ในการคำนวณค่ากำลังรับแรงกระทำแบบต่างๆ ที่ยอมให้ (Allowable strengths) ตามข้อกำหนดในการออกแบบโครงสร้างอิฐก่อ (Building Code Requirements for Masonry Structures) ของประเทศสหรัฐอเมริกาควรมีค่าดังที่แสดงในตารางที่ 4.2 โดยที่ในกรณีของอิฐมอญ $f'_m = 0.196 f'_{rr}$ และในกรณีของอิฐมอญมาตรฐาน $f'_m = 0.280 f'_{rr}$ อย่างไรก็ตาม สมการที่ได้มานี้จำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบรองรับอีกค่อนข้างมากกว่าความน่าเชื่อถือของสมการจะใช้ได้กับอิฐดินเผาโดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม สมการที่ได้มานี้ควรที่จะใช้ได้กับก้อนอิฐจากโรงงาน C และโรงงาน M และจากโรงงาน F และโรงงาน H ตามลำดับ

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการออกไปสำรวจแหล่งผลิตอิฐดินเผา พบว่า การผลิตอิฐที่กระทำอยู่ในเขตพื้นที่ที่ทำการศึกษายังขาดการควบคุมคุณภาพที่ดีพอ โดยเฉพาะอิฐมอญจากโรงงาน I จังหวัดปทุมธานี ดังนั้นคุณภาพของอิฐที่ได้จึงมีความแตกต่างกันค่อนข้างสูงและมีคุณสมบัติที่เหมาะสมไม่ครบทุกด้านที่จะนำไปใช้ในโครงสร้างอิฐก่อ อย่างไรก็ตาม หลักการใหญ่ๆ ที่จะช่วยปรับปรุงคุณภาพผลิตให้ดีขึ้นนั้นมีดังนี้

- 1.1 ในขบวนการกดอัดดินลงสู่แม่แบบ ควรทำด้วยเครื่องมือกลที่ให้กำลังกดอัดที่พอเหมาะและคงที่เท่ากันทุกก้อน ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพที่เท่าเทียมกัน

- 1.2 ในการฟุ้งหรือตากก้อนดินนั้น ควรทำโดยใช้เตาอบที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่แน่นอนเป็นเวลาทีนานเท่าๆ กัน แทนที่จะเป็นการแตกแดดหรือผึ่งไว้ในร่ม

- 1.3 ขบวนการเผาอิฐ ควรทำที่อุณหภูมิที่สูงพอในช่วง $1000^{\circ}C$ ถึง $1200^{\circ}C$ อย่างคงที่สม่ำเสมอ เป็นเวลานานพอเพียง เพื่อให้อิฐสุกอย่างเต็มที่และเท่ากันทุกก้อน

- 1.4 ขบวนการเก็บรักษา ควรที่จะเก็บอิฐไว้ในที่ร่ม ไม่โดนแดดหรือฝน

2. อิฐมอญจากโรงงาน C และโรงงาน M และอิฐมอญมาตรฐานจากโรงงาน F และโรงงาน H มีคุณสมบัติที่ดีพอที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างอิฐก่อที่รองรับแรง เช่น ผนังอิฐก่อที่รองรับแรงจากพื้นหรือหลังคา โดยที่ไม่มีเสาและคาน เป็นต้น ในการออกแบบโครงสร้างดังกล่าว เราจะหาค่ากำลังรับแรงกระทำแบบต่างๆ ที่ยอมให้ (Allowable strengths) ตามข้อกำหนดในการออกแบบ

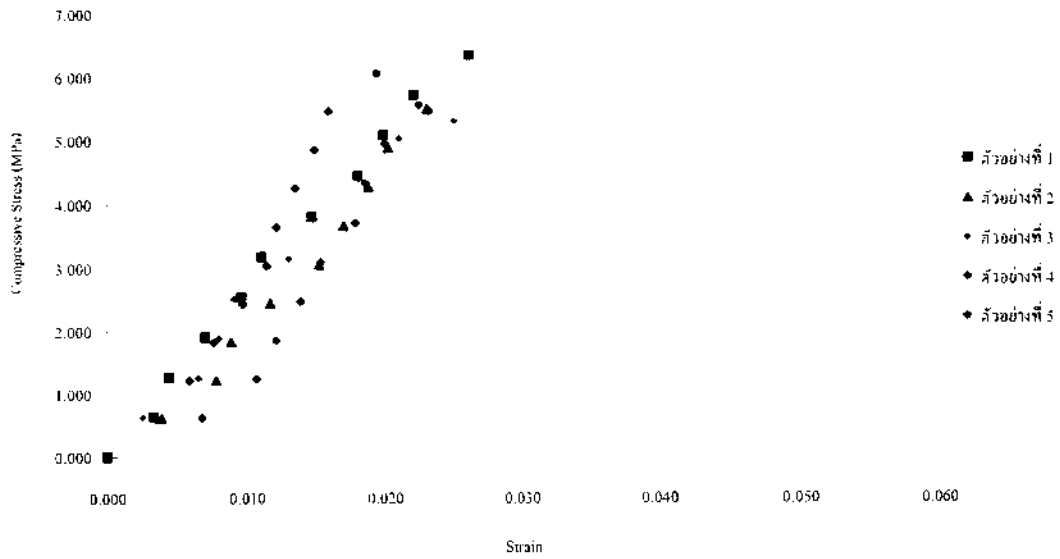
โครงสร้างอิฐก่อของประเทศสหรัฐอเมริกา จากค่าของกำลังรับแรงกดอัดของ Prism f'_m ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับค่าของกำลังรับแรงกดอัดของก้อนอิฐดินเผา f'_{br} โดยที่ในกรณีของอิฐมอญ $f'_m = 0.196 f'_{br}$ และในกรณีของอิฐมอญมาตรฐาน $f'_m = 0.280 f'_{br}$ จากนั้น แทนค่า f'_m ที่ได้ลงในสมการต่างๆ ตามที่กำหนด โดยอาจจะมีตัวคูณลดเพื่อคำนึงถึงฝีมือแรงงาน การควบคุมการก่อสร้าง และปัจจัยอื่นๆ เข้าไปด้วย นอกจากนั้นแล้ว ปูนก่อที่ใช้ควรเป็นปูนก่อชนิด N ตามมาตรฐานของ ASTM หรือจะใช้ส่วนผสมตามที่ใช้ในการทดสอบคือ ปูนก่อผสมเสร็จต่อทรายเท่ากับ 1:3 โดยปริมาตร โดยใช้น้ำ 70% ของน้ำหนักปูน

3. แนวทางอีกอย่างหนึ่งที่จะช่วยให้อิฐก่อสามารถที่จะรองรับแรงกระทำได้มากขึ้น โดยเฉพาะกำลังรับแรงดึง คือ การเสริมเหล็กให้กับโครงสร้างอิฐก่อ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เกี่ยวกับเรื่องนี้ในประเทศไทยยังมีอยู่น้อยมาก

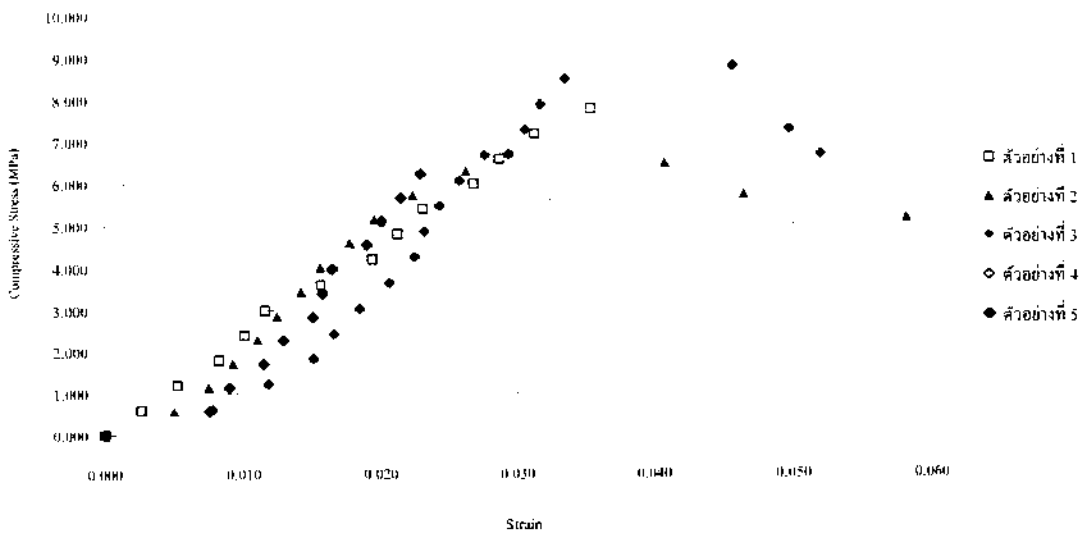
บรรณานุกรม

- ASTM C67-97 Standard Test Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay. (1997) American Society for Testing and Materials. PA. USA.
- ASTM E447-92 Standard Test Methods for Compressive Strength of Masonry Prisms. (1992) American Society for Testing and Materials. PA. USA.
- Building Code Requirements for Masonry Structures. (1992) The Masonry Society. CO. USA.
- James G. Gross, Robert D. Dikkers and John C. Grogan. (1986) Recommended Practice for Engineered Brick Masonry. Brick Institute of America. VA. USA.
- Principles of Brick Masonry. (1989) Brick Institute of America. VA. USA.

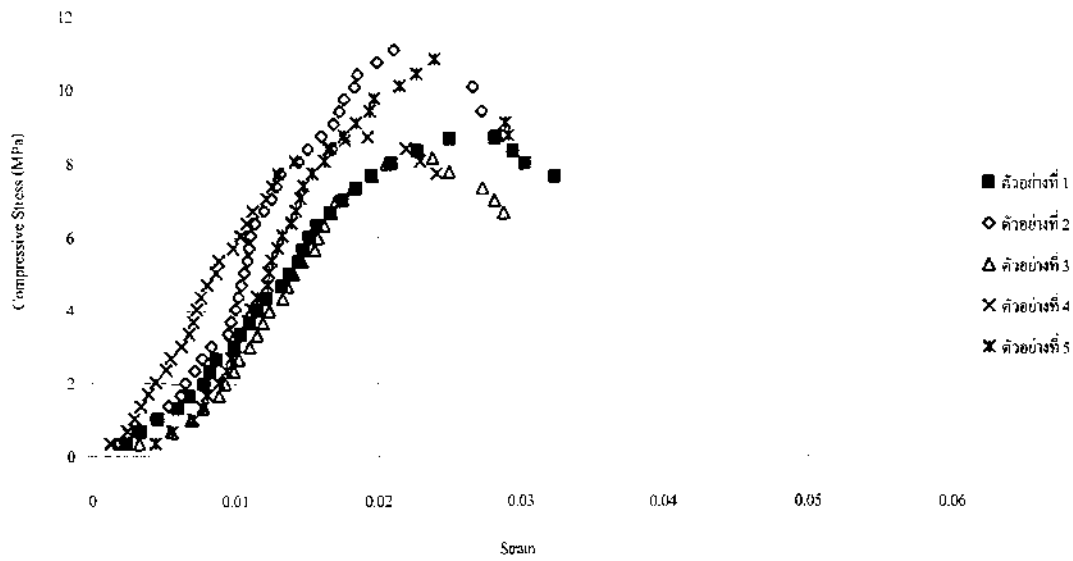
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐดินเผา



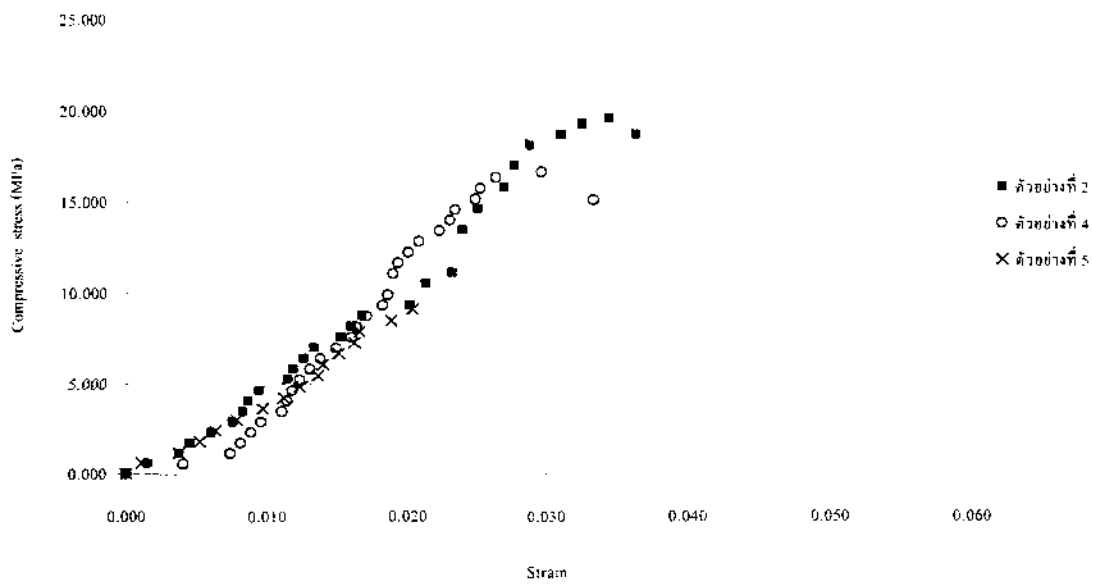
รูปผนวกที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน A



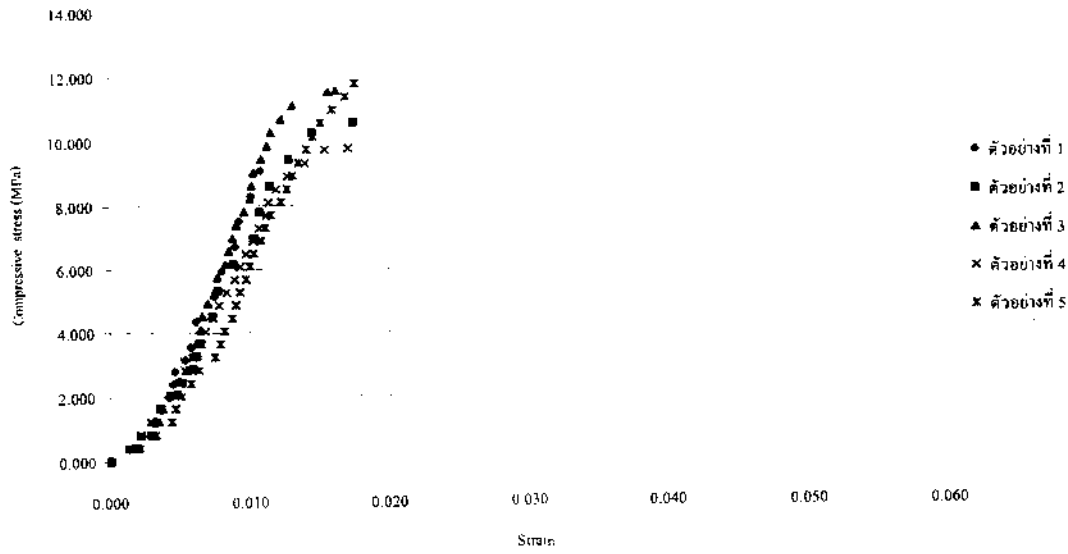
รูปผนวกที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน B



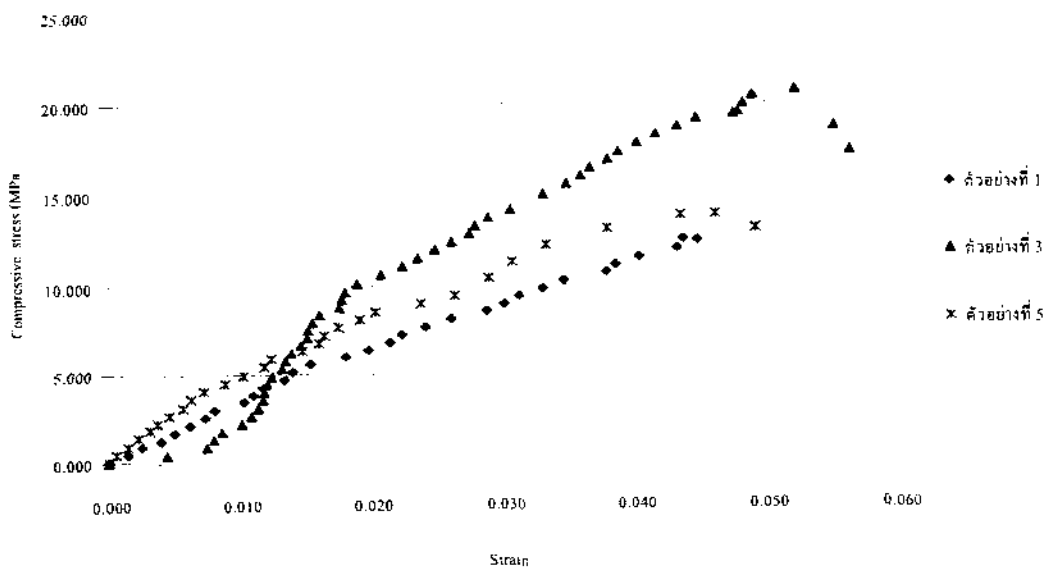
รูปผนวกที่ ก.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน C



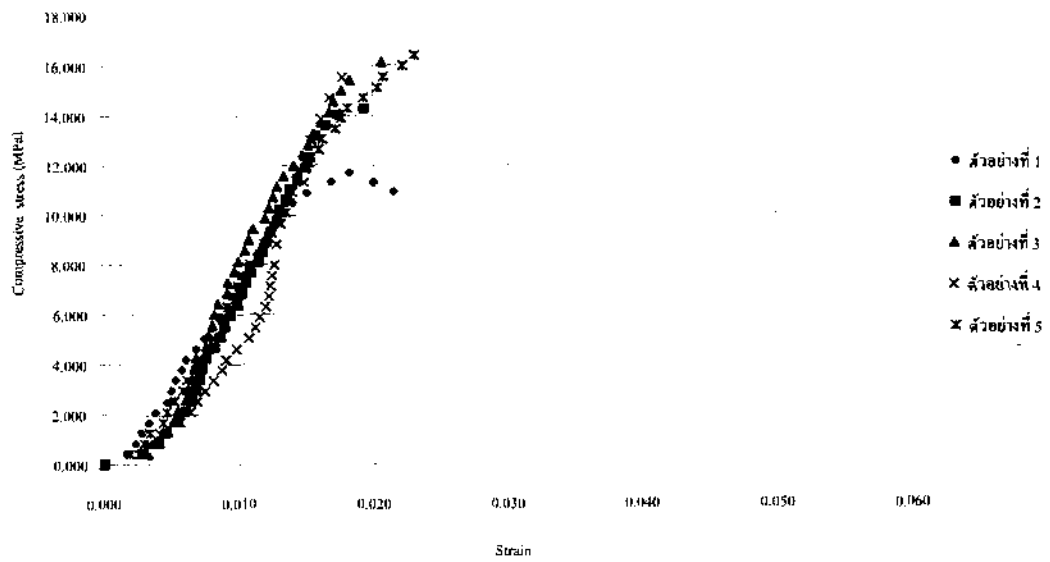
รูปผนวกที่ ก.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน D



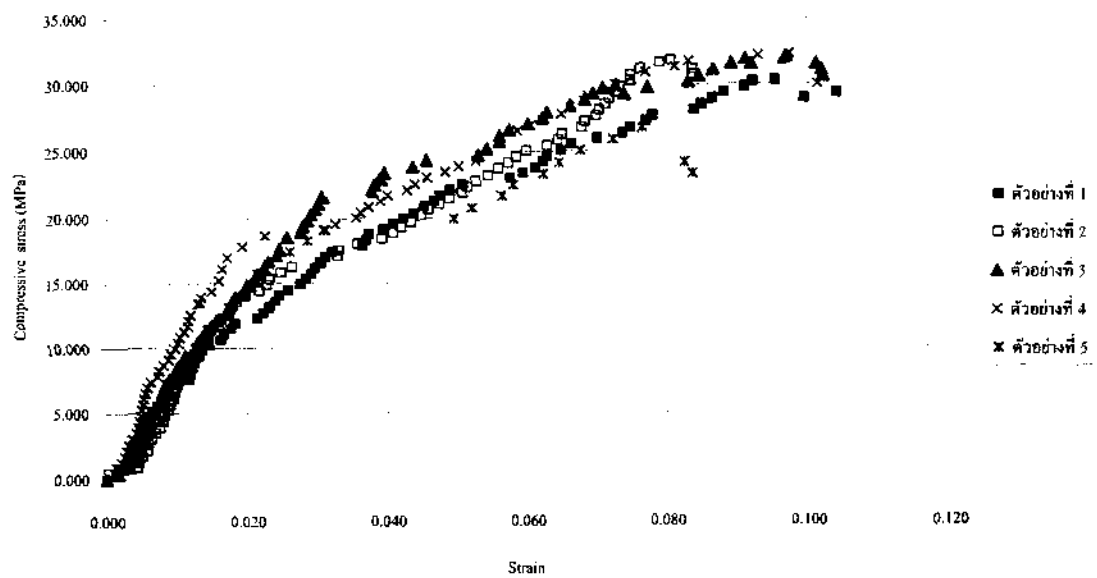
รูปผนวกที่ ก.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน E



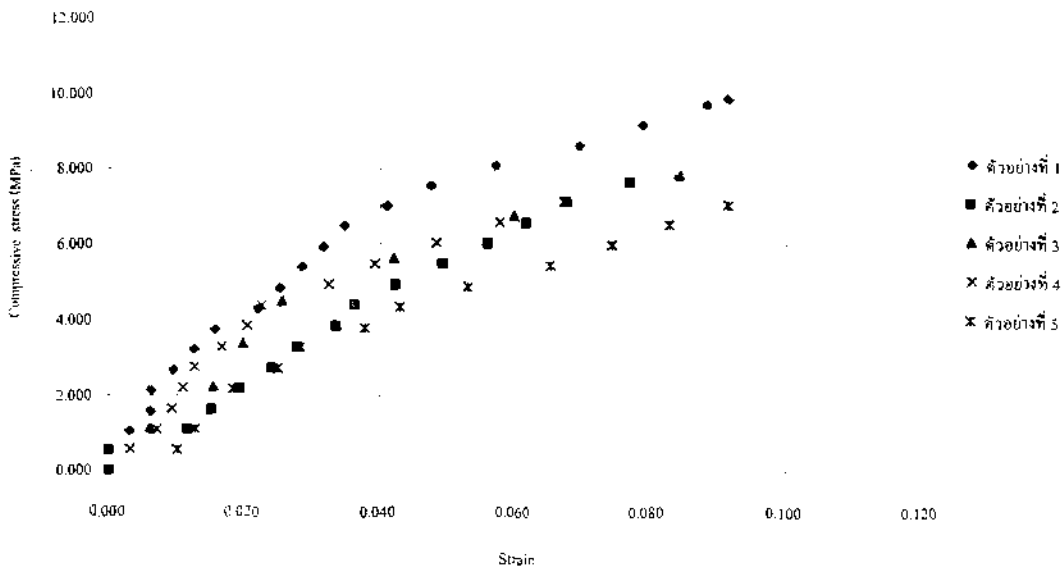
รูปผนวกที่ ก.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน F



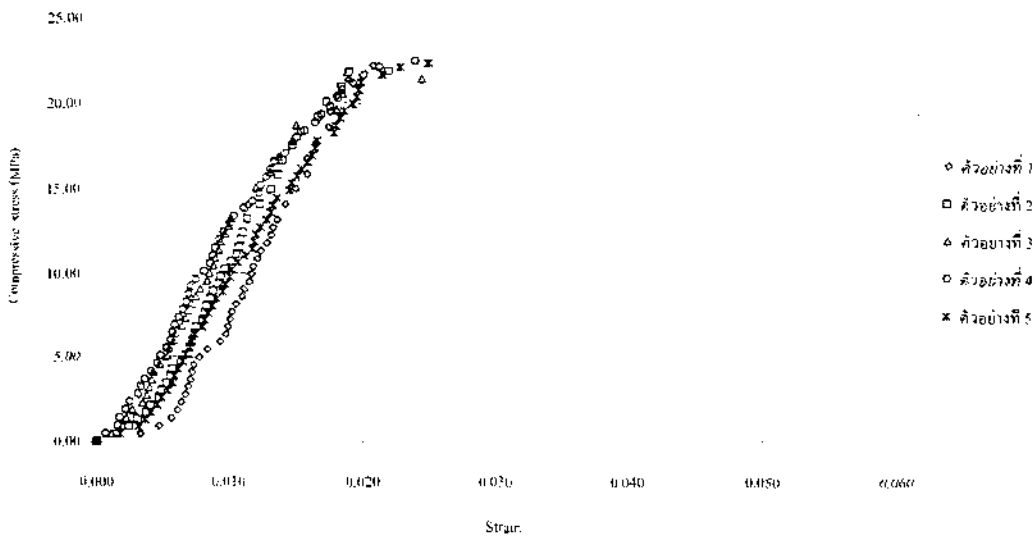
รูปผนวกที่ ก.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน G



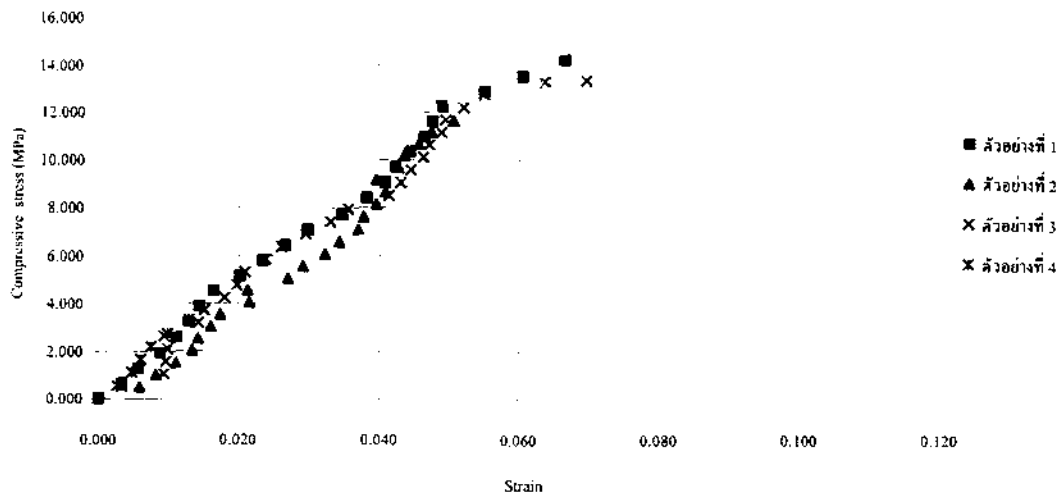
รูปผนวกที่ ก.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน H



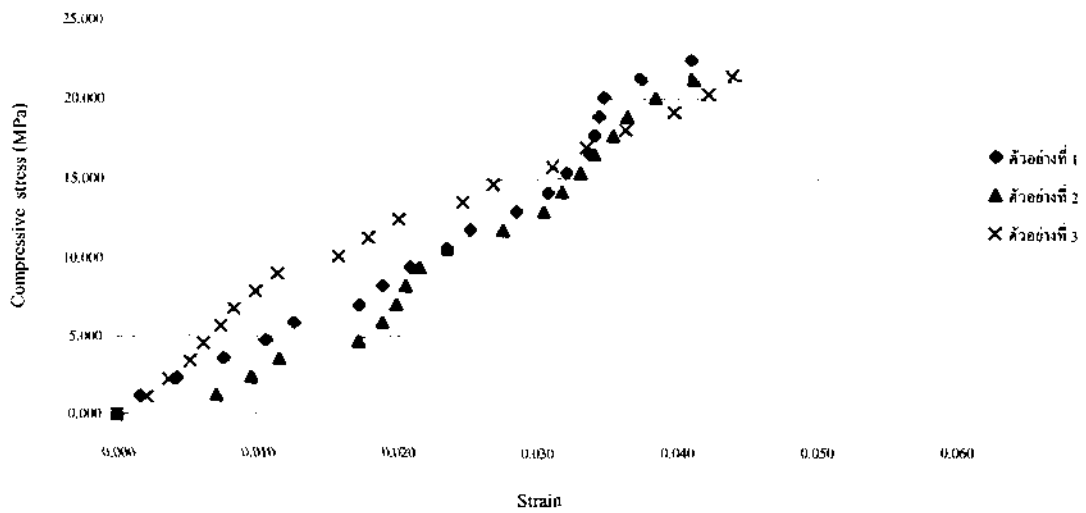
รูปผนวกที่ ก.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน 1



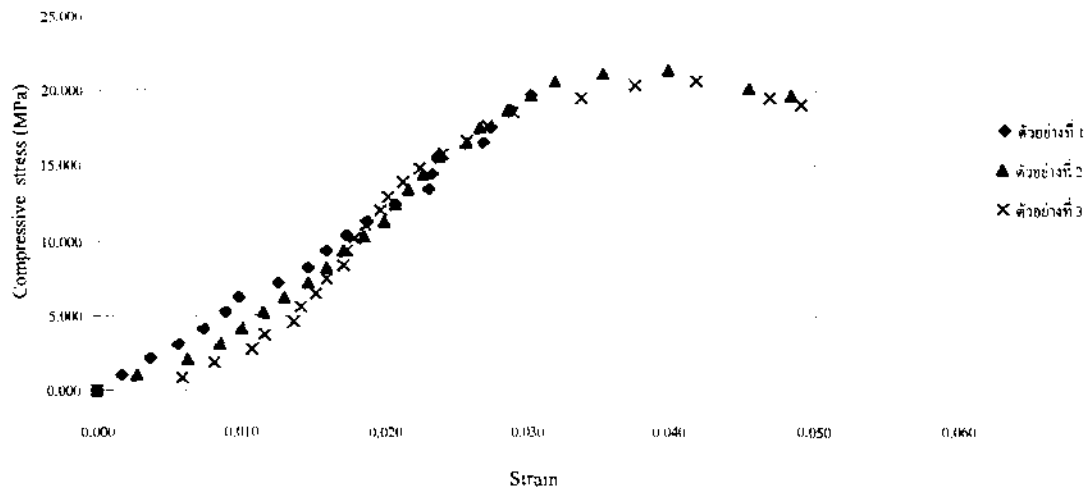
รูปผนวกที่ ก.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน 2



รูปผนวกที่ ก.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน K

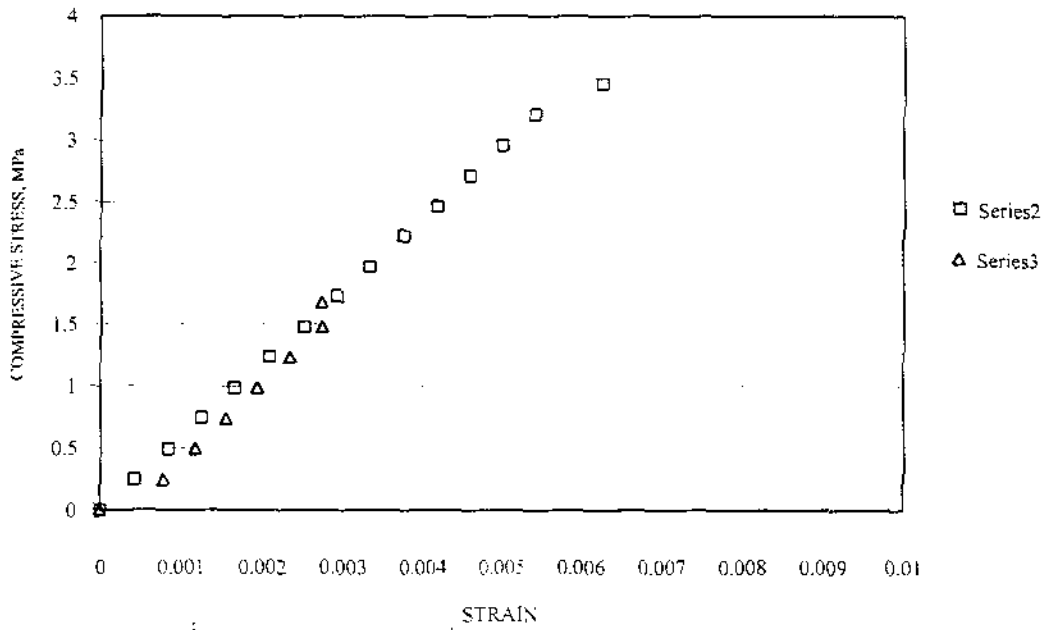


รูปผนวกที่ ก.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอญจากโรงงาน L

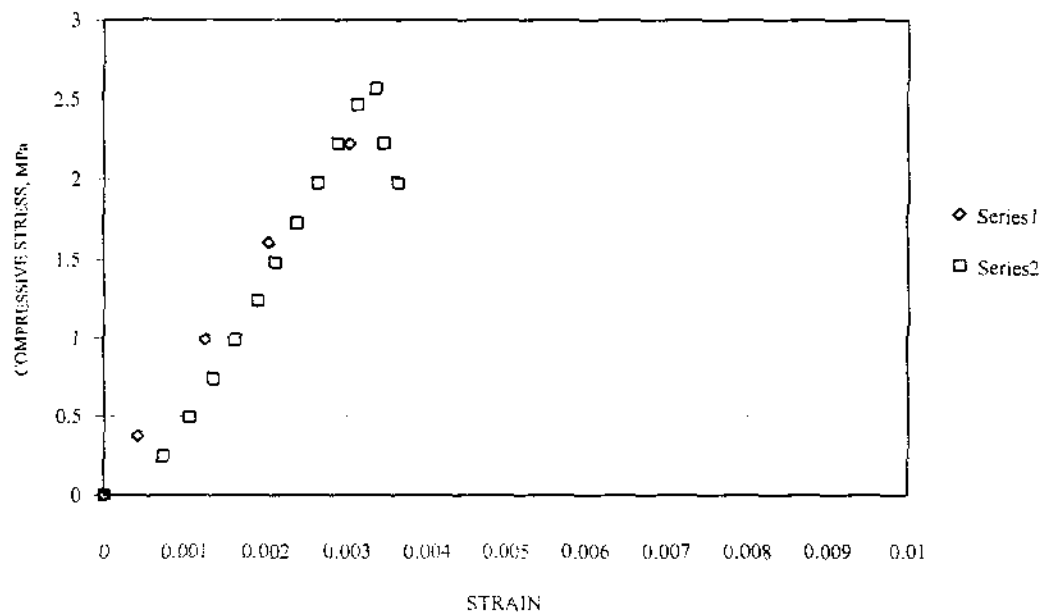


รูปผนวกที่ ก.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive stress และ strain ของ ตัวอย่างอิฐมอดูจากโรงงาน M

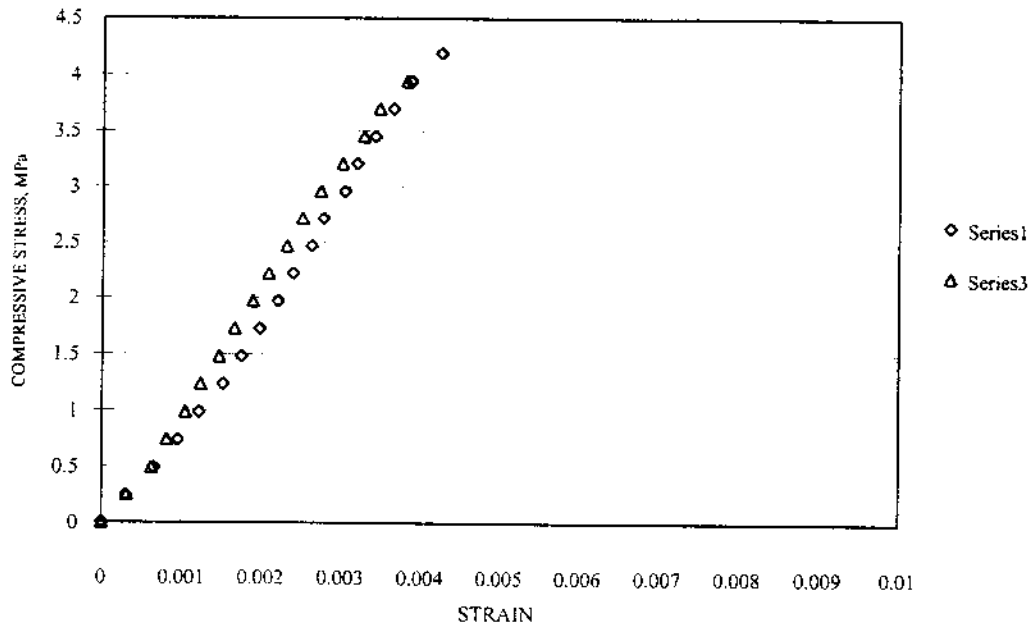
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของ prism ของอิฐดินเผา



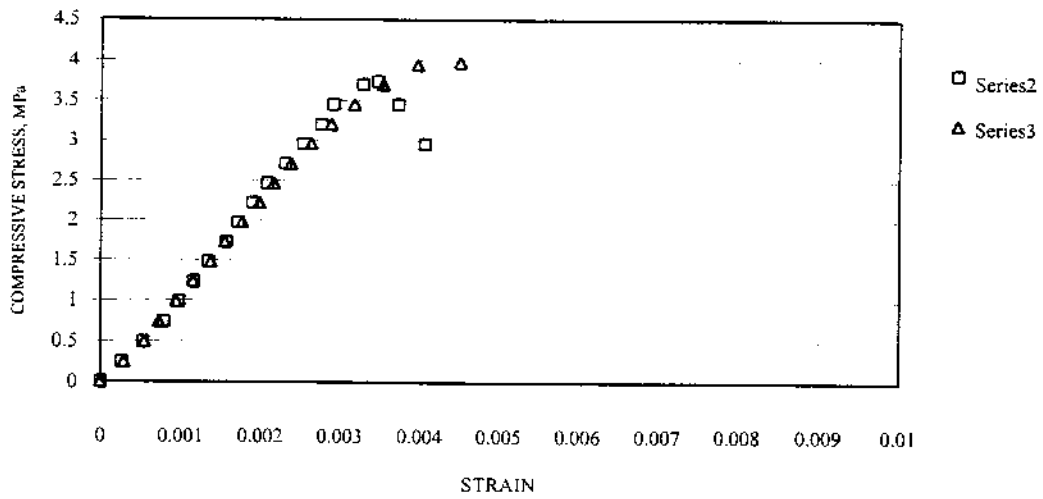
รูปผนวกที่ ข.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน A ที่อายุ 7 วัน



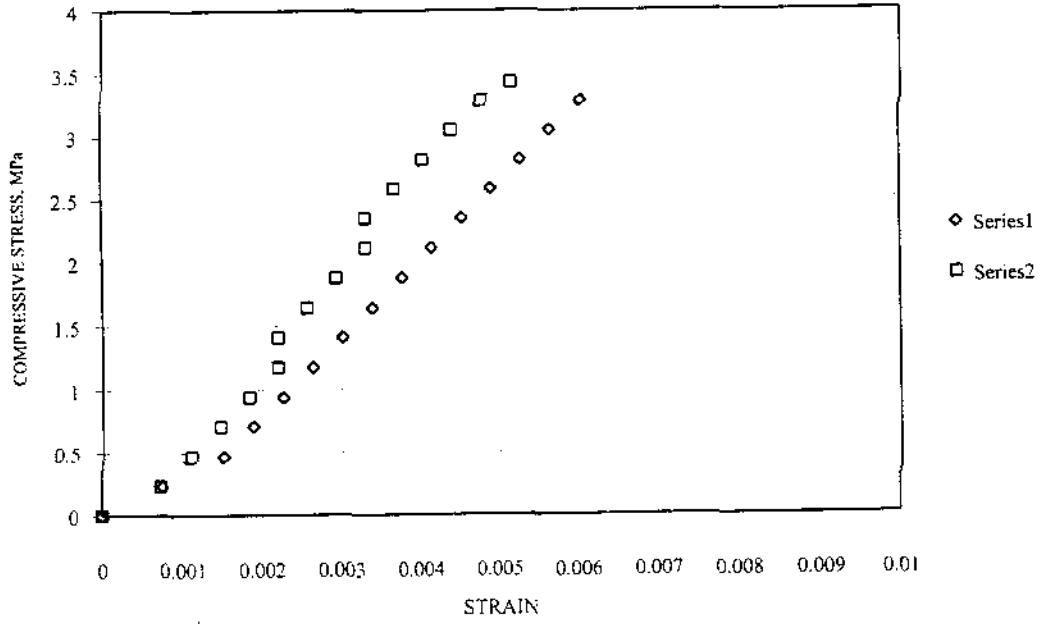
รูปผนวกที่ ข.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน A ที่อายุ 28 วัน



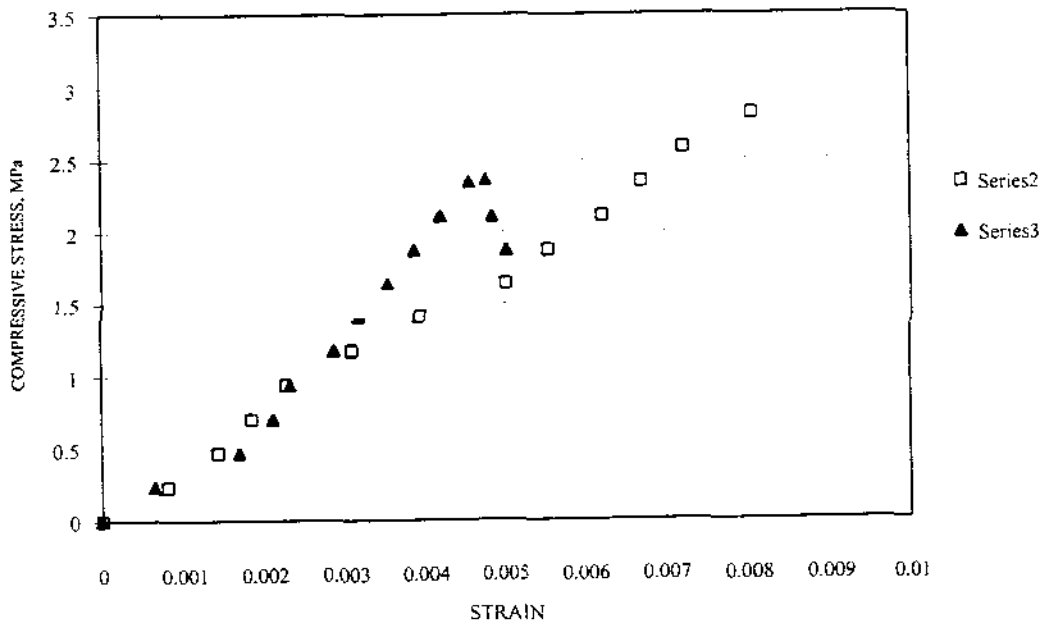
รูปผนวกที่ ข.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน A ที่อายุ 7 วัน



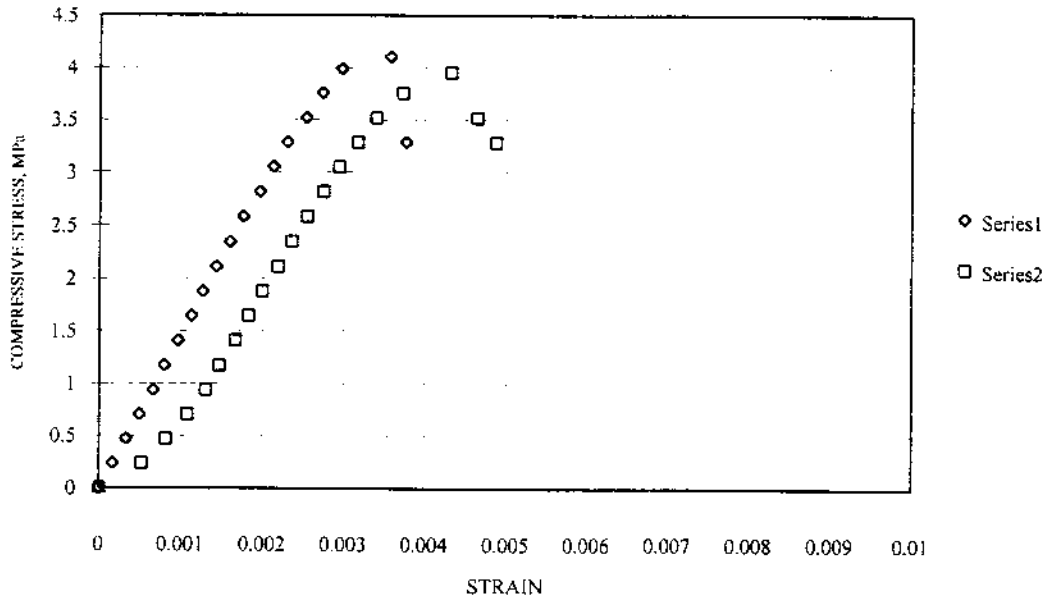
รูปผนวกที่ ข.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน A ที่อายุ 28 วัน



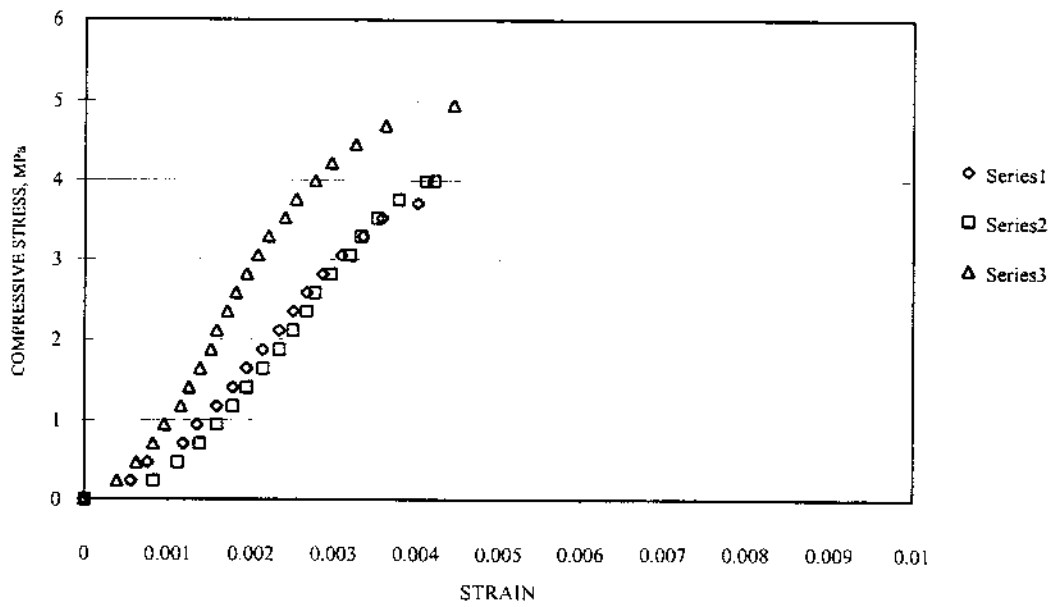
รูปผนวกที่ ข.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบใหม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน B ที่อายุ 7 วัน



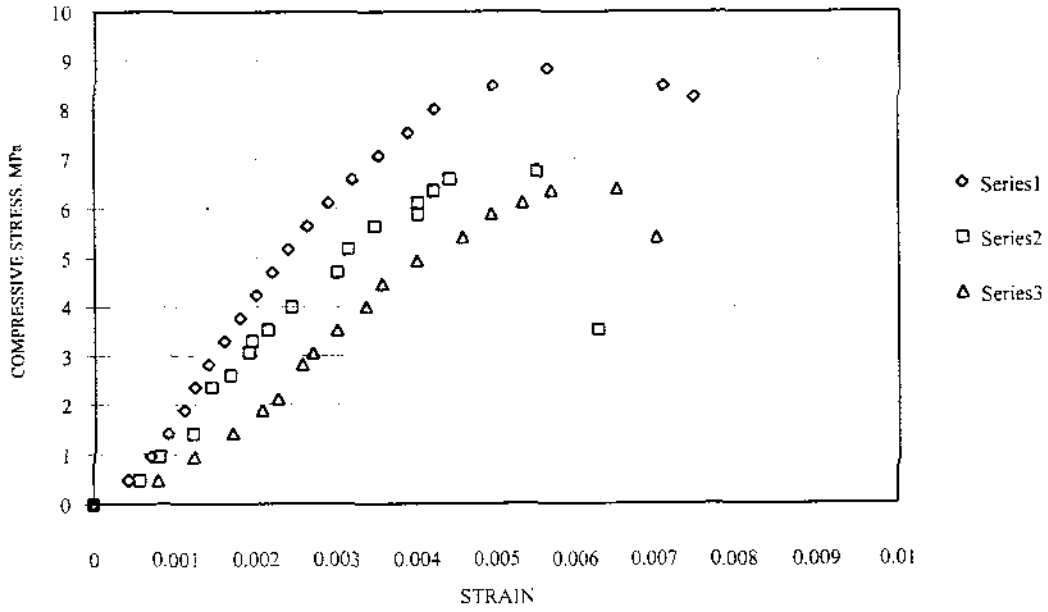
รูปผนวกที่ ข.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบใหม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน B ที่อายุ 28 วัน



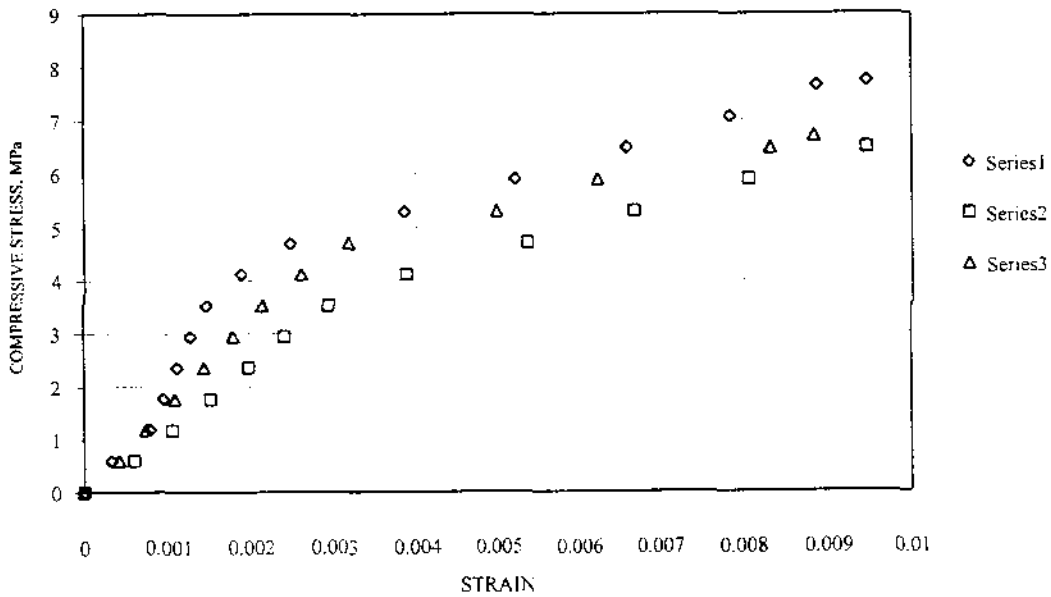
รูปผนวกที่ ข.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน B ที่อายุ 7 วัน



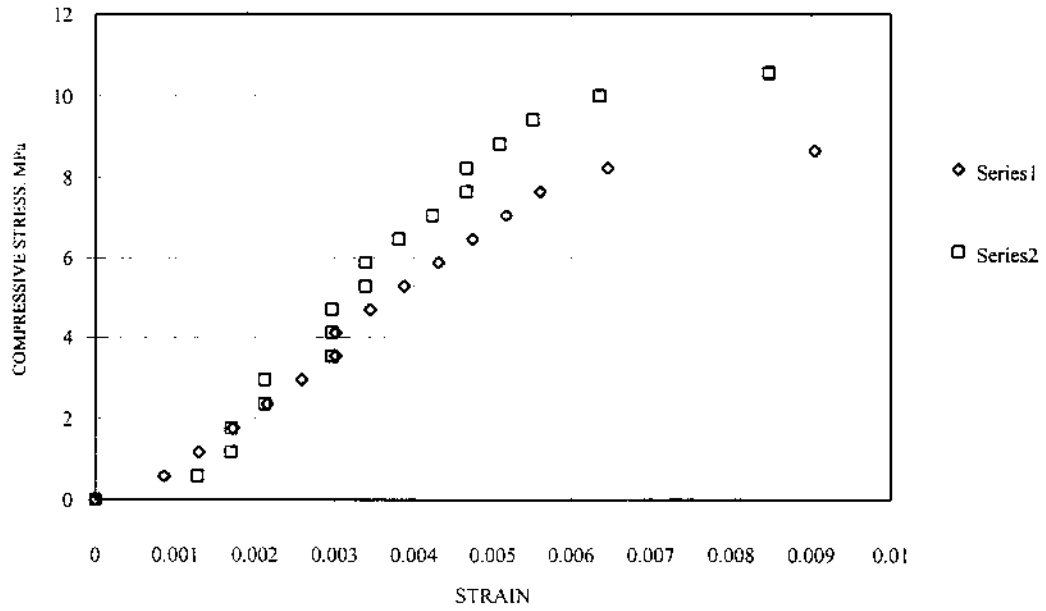
รูปผนวกที่ ข.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน B ที่อายุ 28 วัน



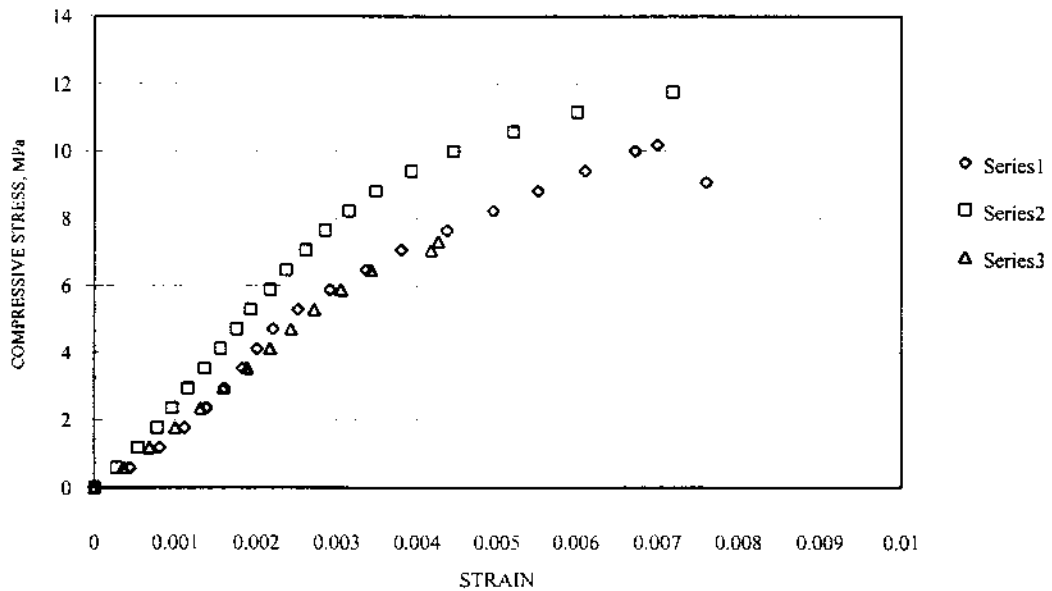
รูปผนวกที่ ข.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน C ที่อายุ 7 วัน



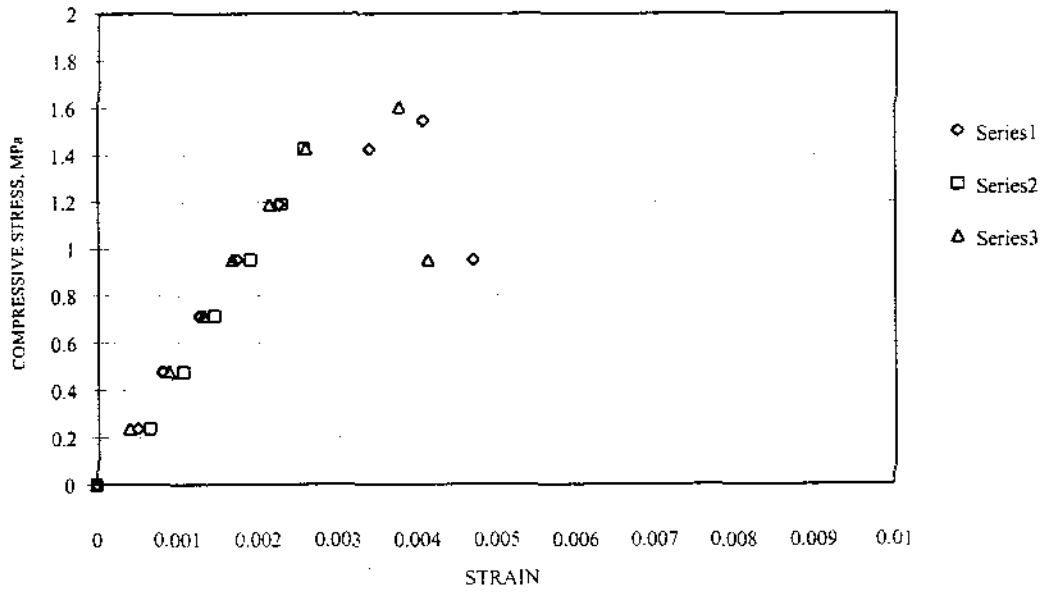
รูปผนวกที่ ข.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน C ที่อายุ 28 วัน



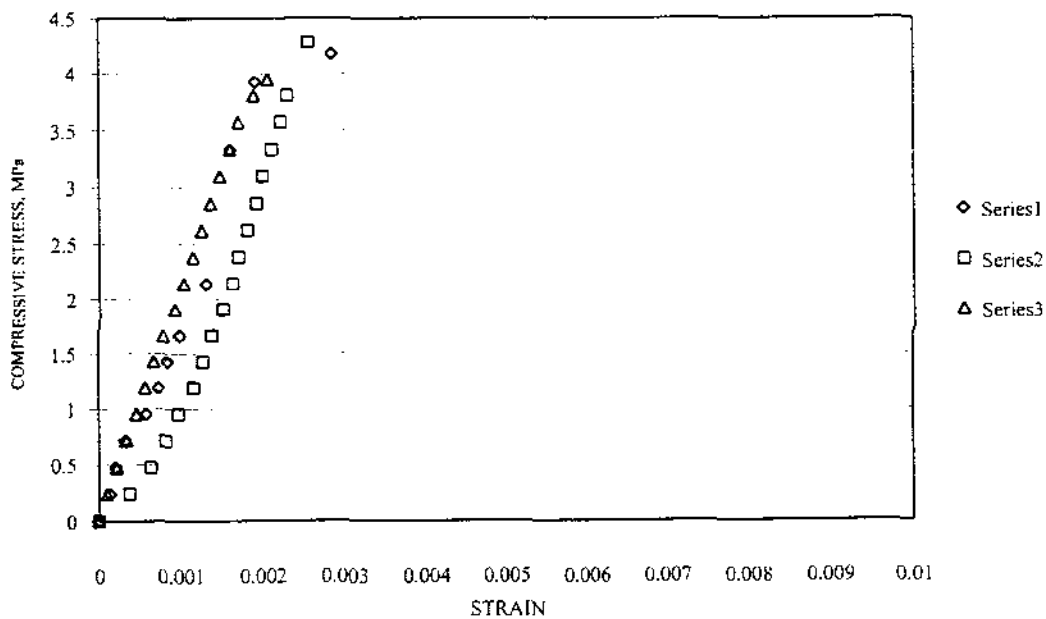
รูปผนวกที่ ข.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน C ที่อายุ 7 วัน



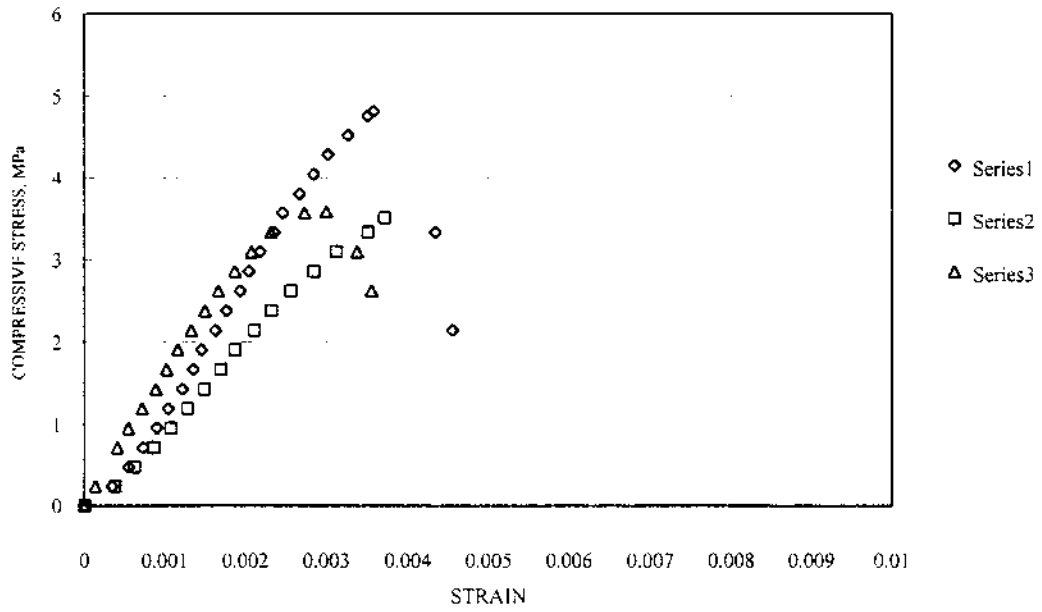
รูปผนวกที่ ข.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบจากโรงงาน C ที่อายุ 28 วัน



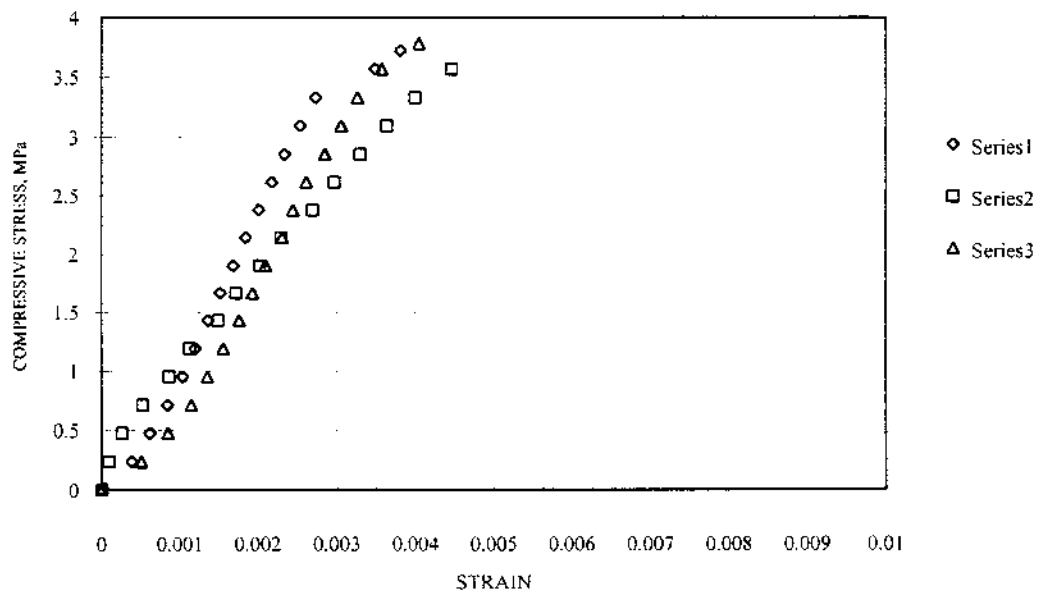
รูปผนวกที่ ข.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน D ที่อายุ 7 วัน



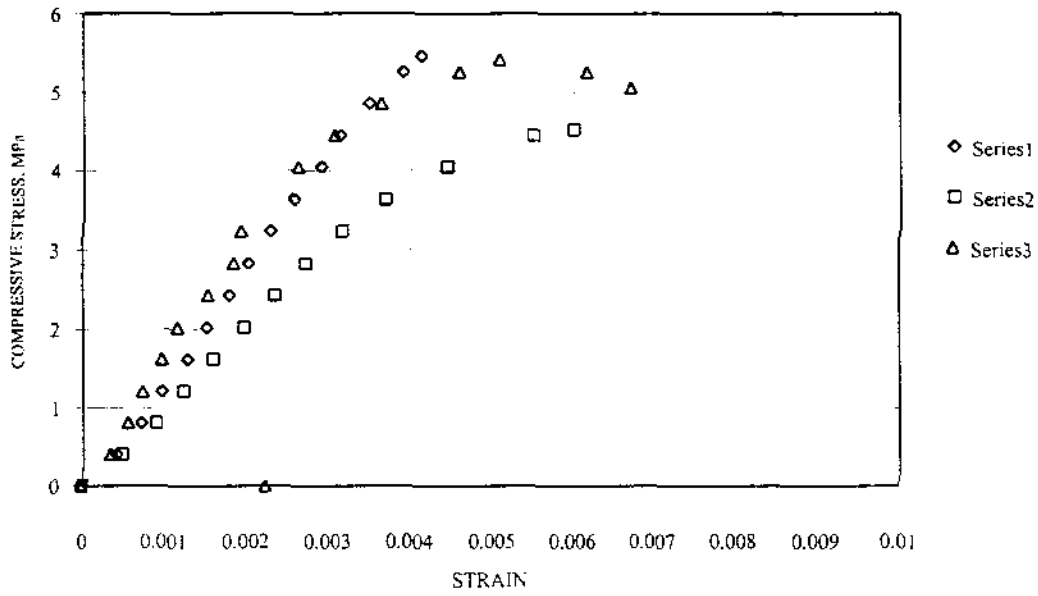
รูปผนวกที่ ข.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน D ที่อายุ 28 วัน



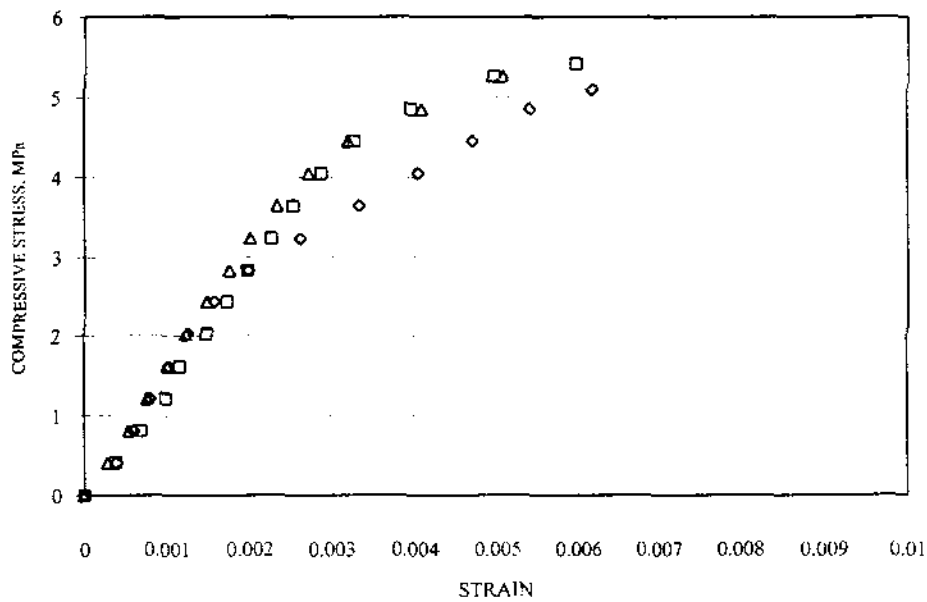
รูปผนวกที่ ข.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน D ที่อายุ 7 วัน



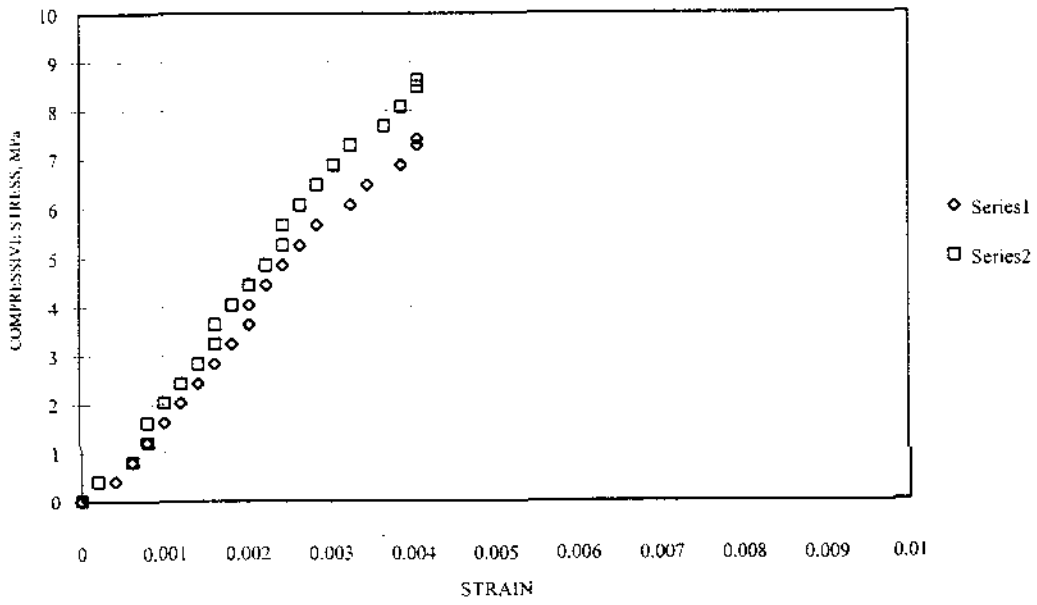
รูปผนวกที่ ข.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน D ที่อายุ 28 วัน



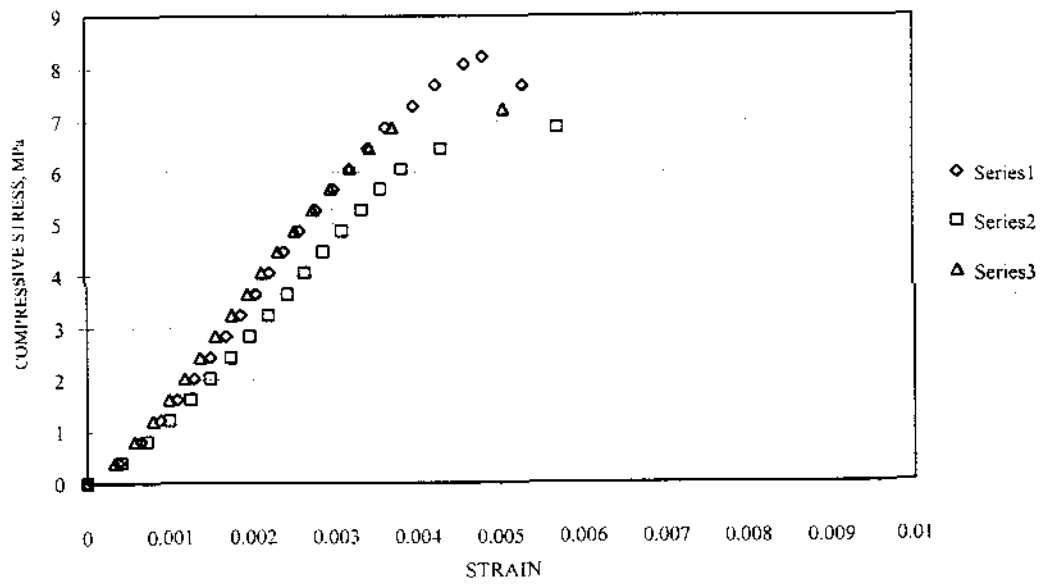
รูปผนวกที่ ข.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน E ที่อายุ 7 วัน



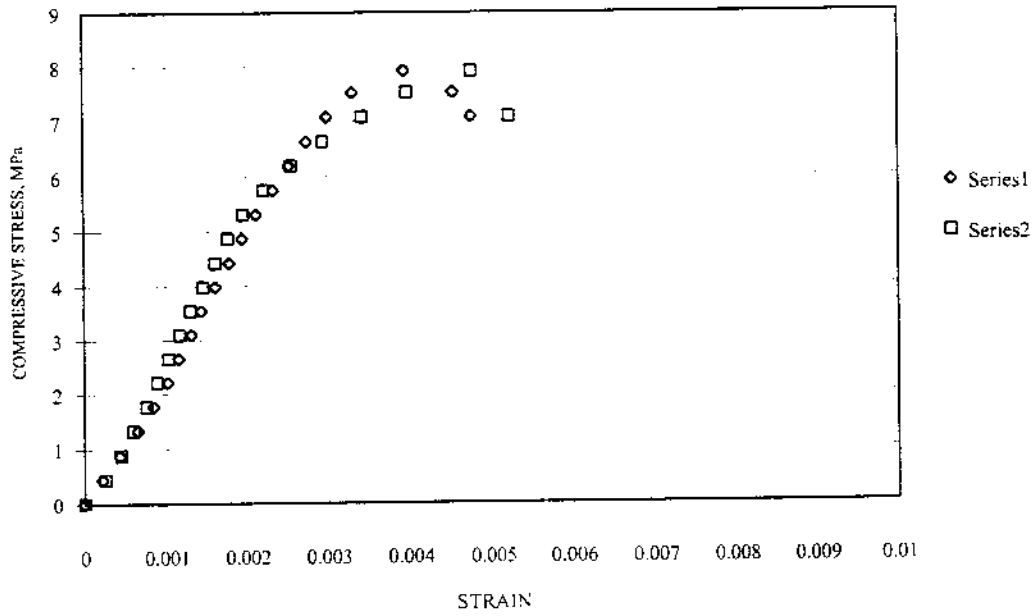
รูปผนวกที่ ข.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน E ที่อายุ 28 วัน



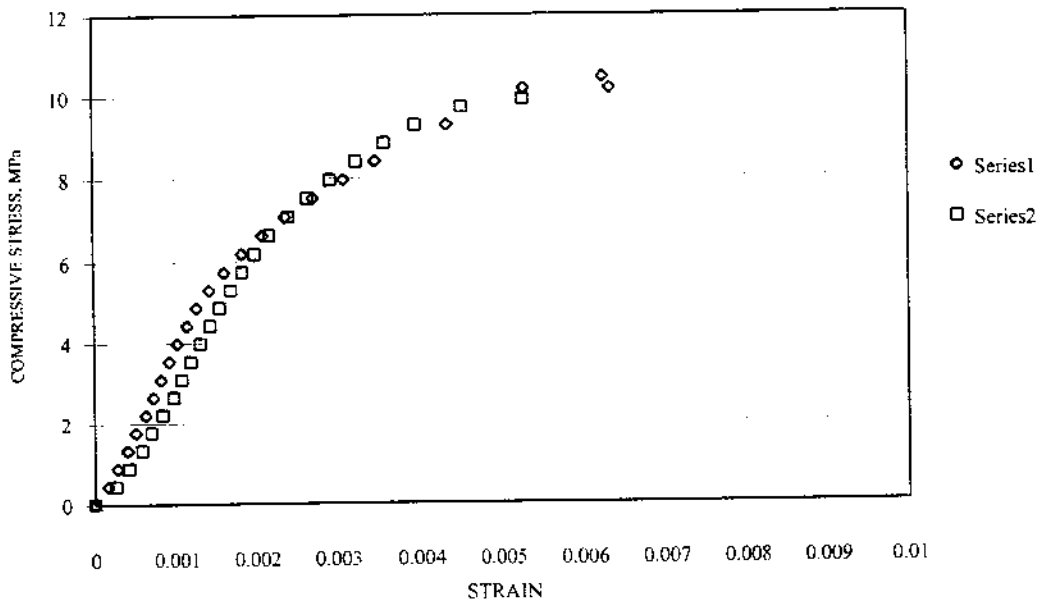
รูปผนวกที่ ข.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน E ที่อายุ 7 วัน



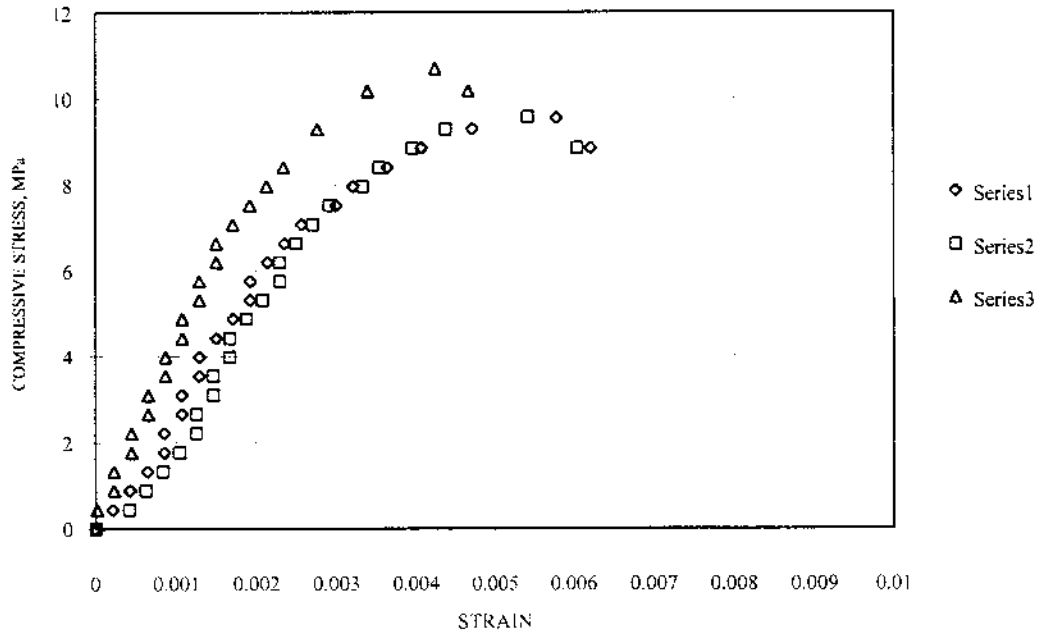
รูปผนวกที่ ข.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน E ที่อายุ 28 วัน



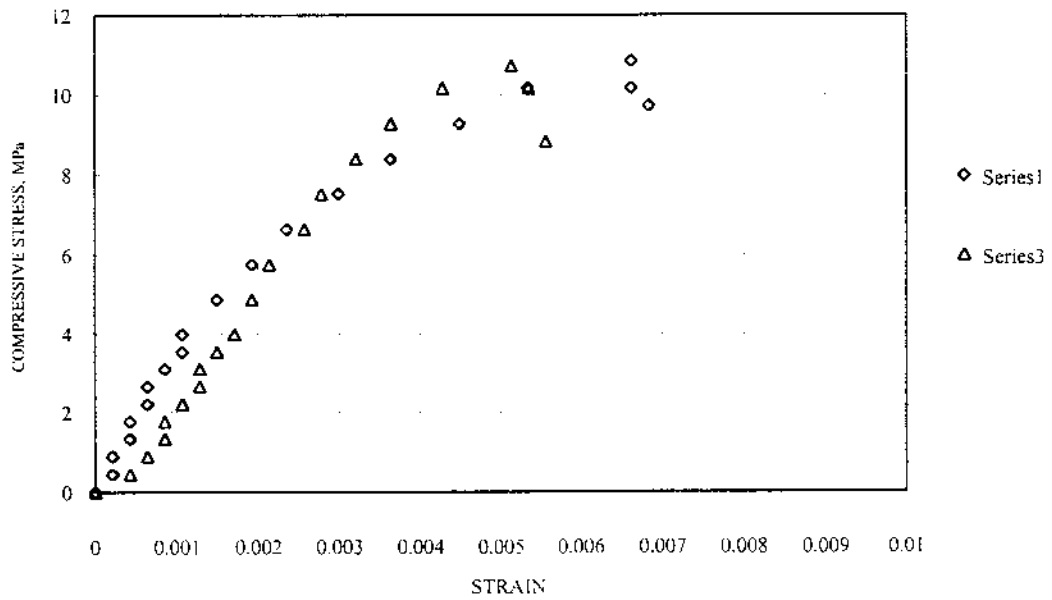
รูปผนวกที่ ข.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน F ที่อายุ 7 วัน



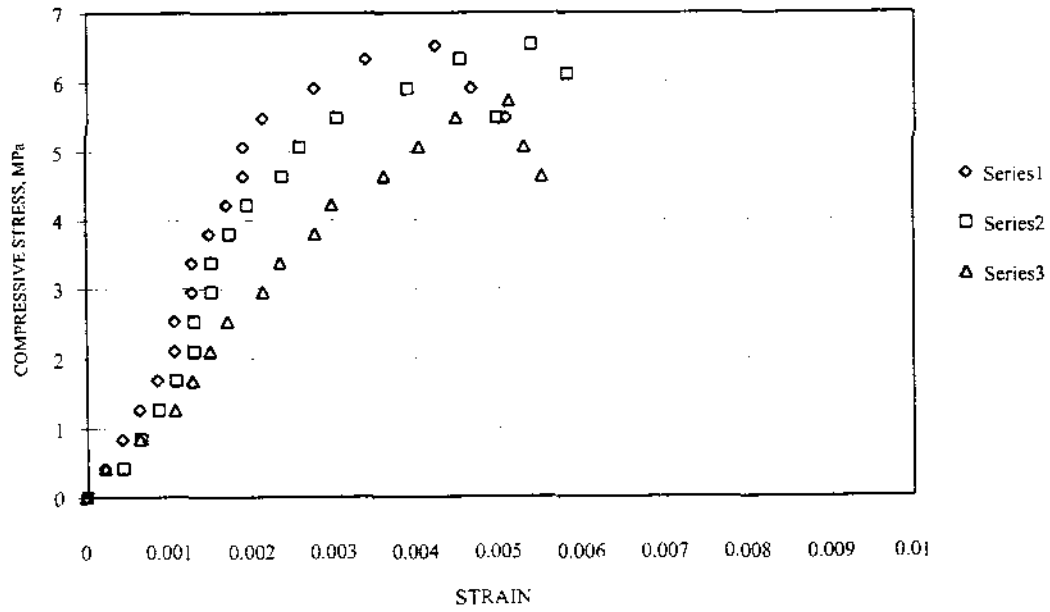
รูปผนวกที่ ข.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน F ที่อายุ 28 วัน



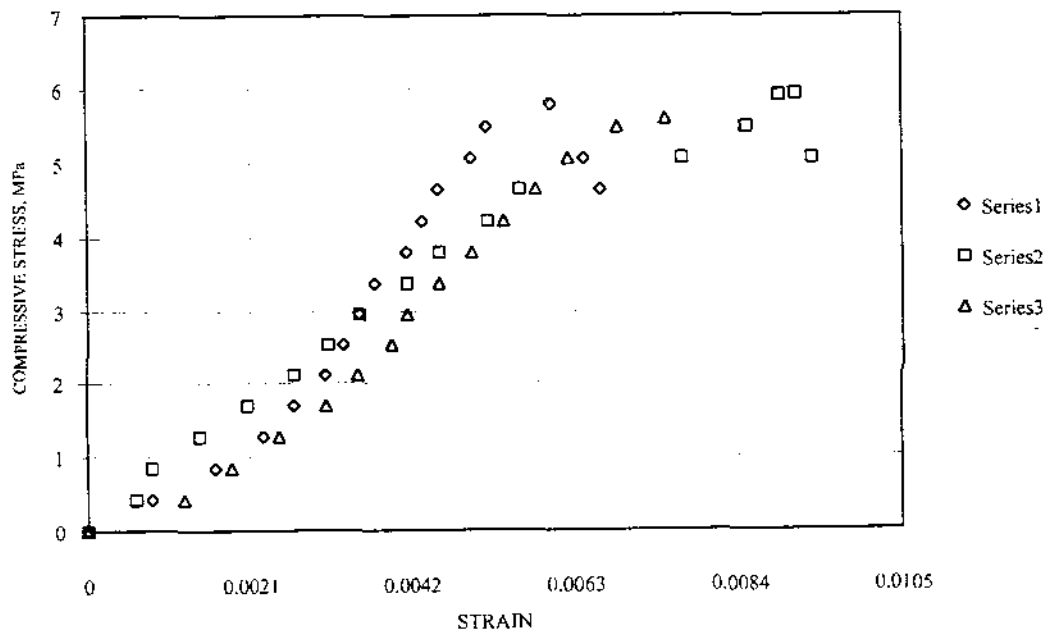
รูปผนวกที่ ข.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน F ที่อายุ 7 วัน



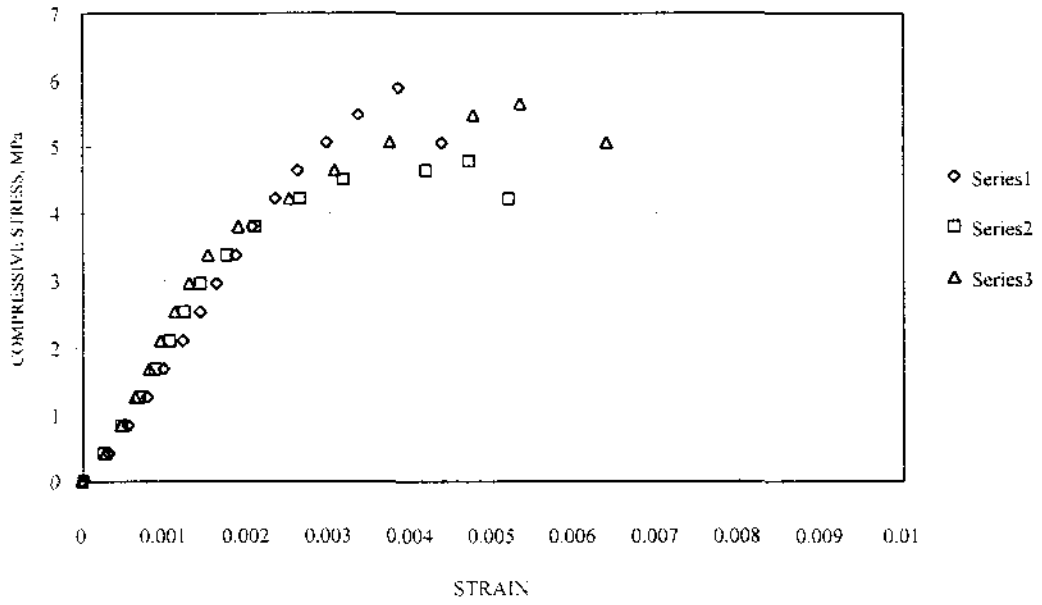
รูปผนวกที่ ข.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน F ที่อายุ 28 วัน



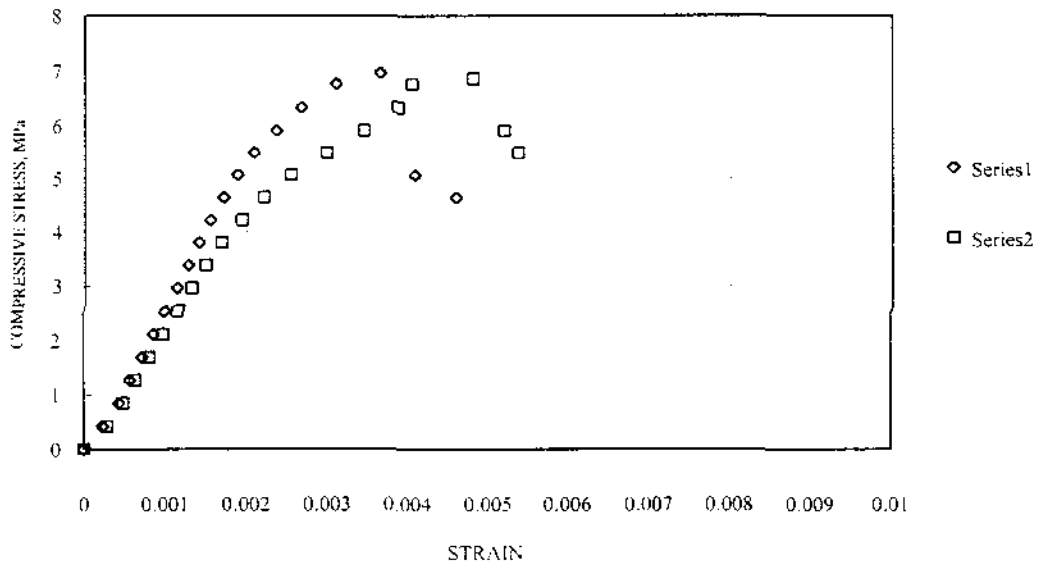
รูปผนวกที่ ข.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน G ที่อายุ 7 วัน



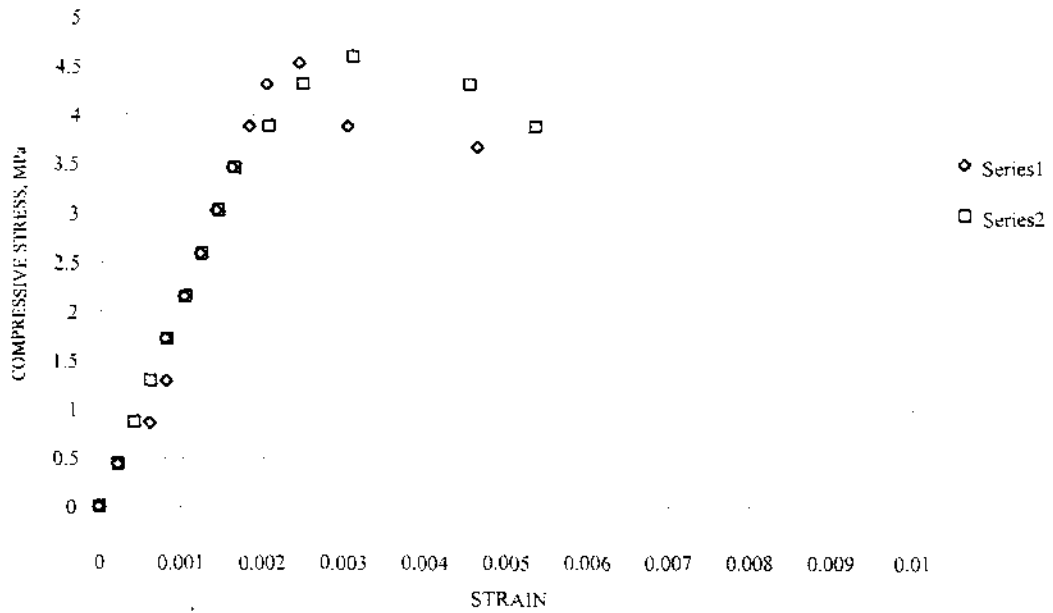
รูปผนวกที่ ข.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน G ที่อายุ 28 วัน



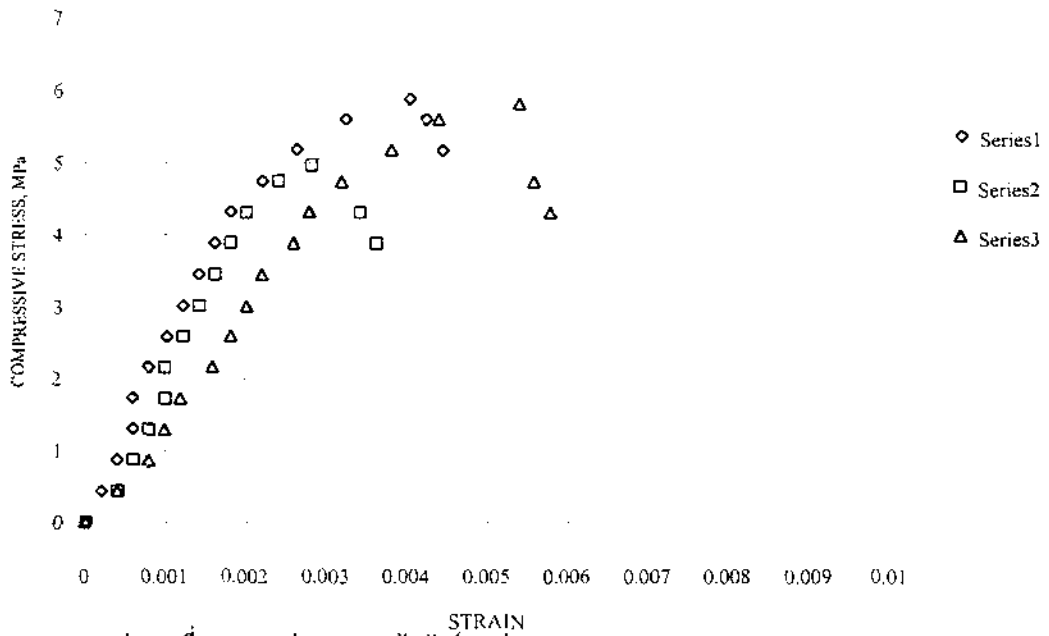
รูปผนวกที่ ข.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน G ที่อายุ 7 วัน



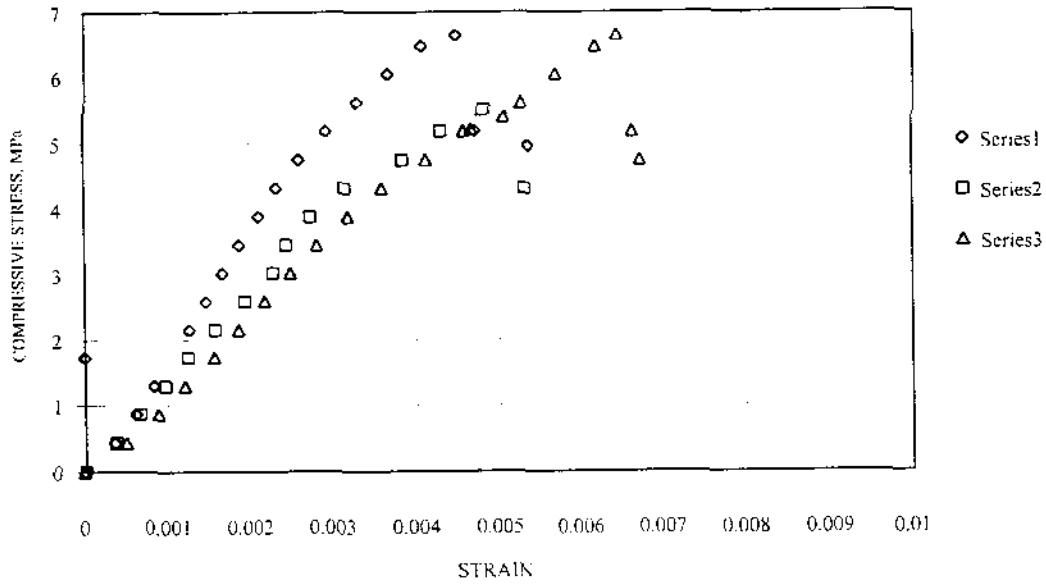
รูปผนวกที่ ข.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน G ที่อายุ 28 วัน



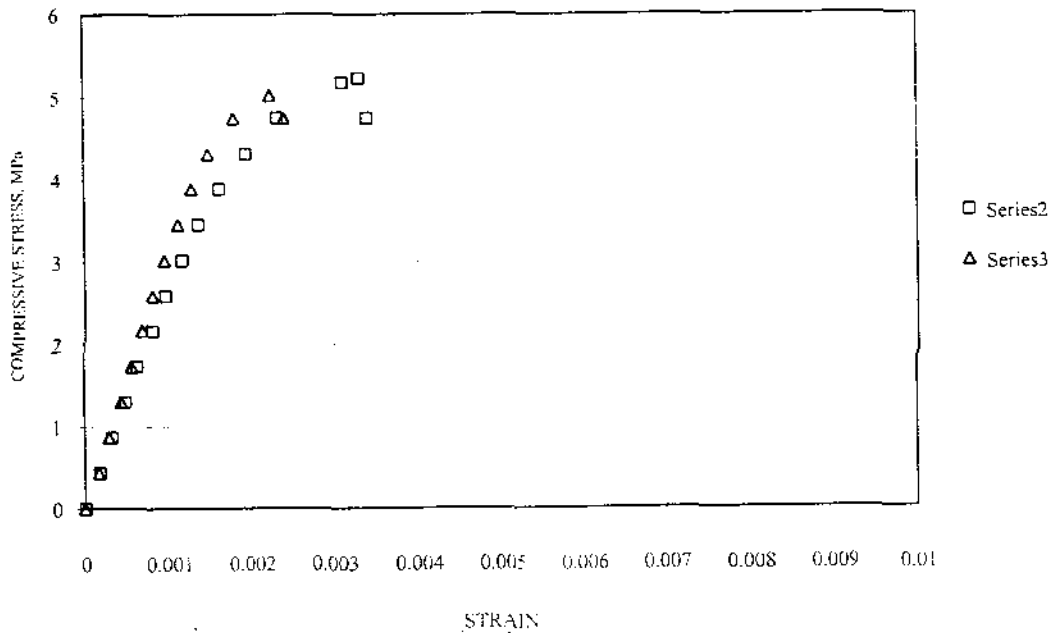
รูปผนวกที่ ข.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน H ที่อายุ 7 วัน



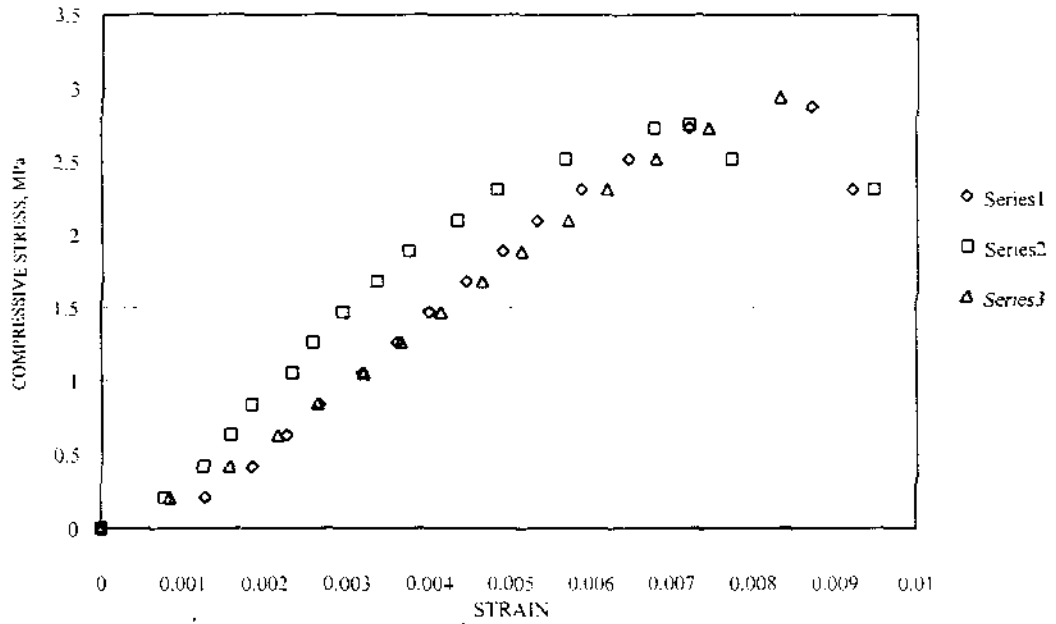
รูปผนวกที่ ข.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน H ที่อายุ 28 วัน



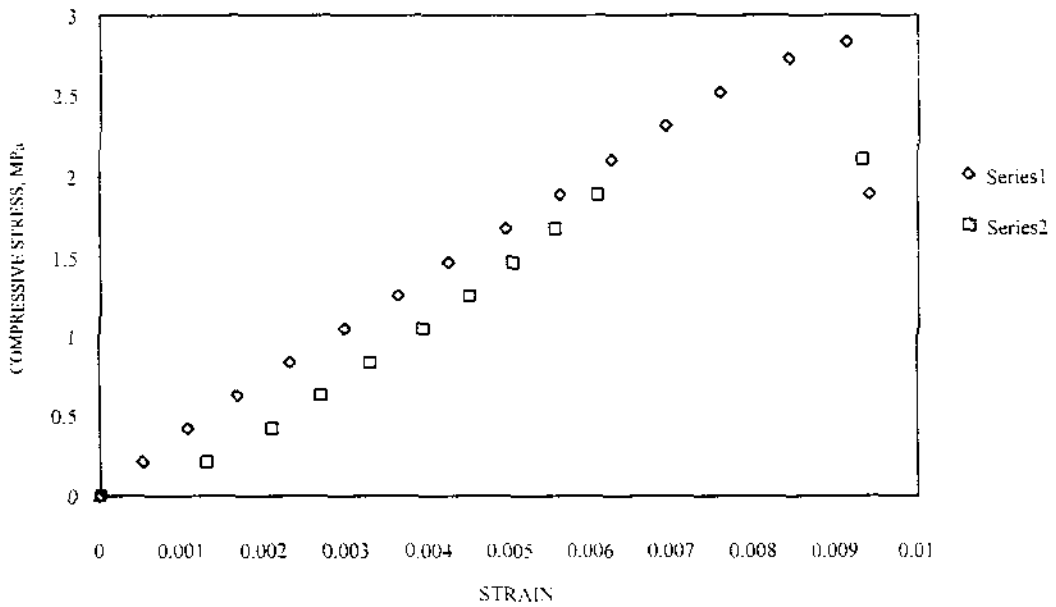
รูปผนวกที่ ข.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน H ที่อายุ 7 วัน



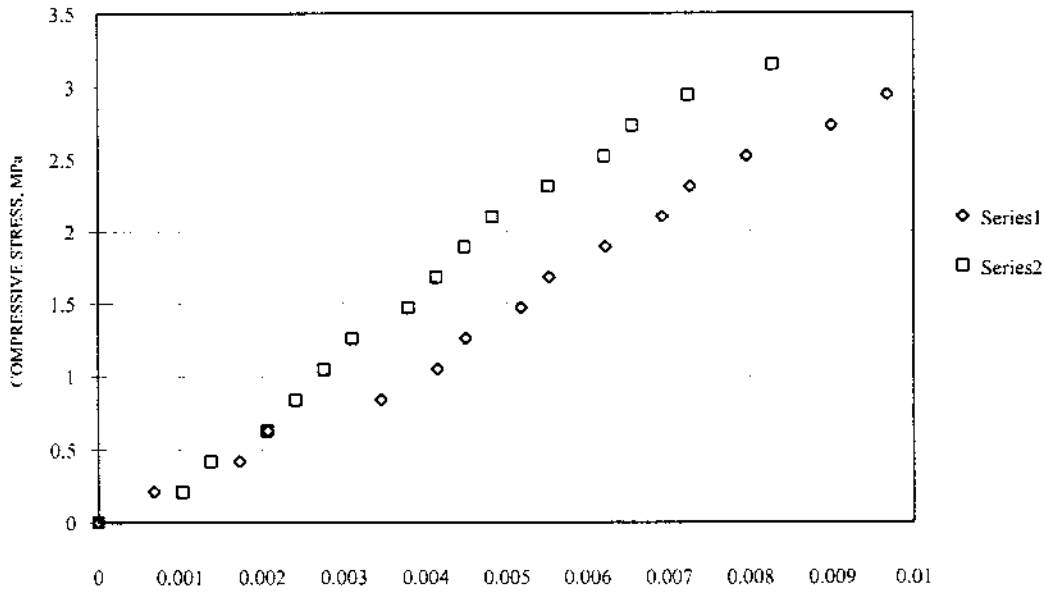
รูปผนวกที่ ข.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน H ที่อายุ 28 วัน



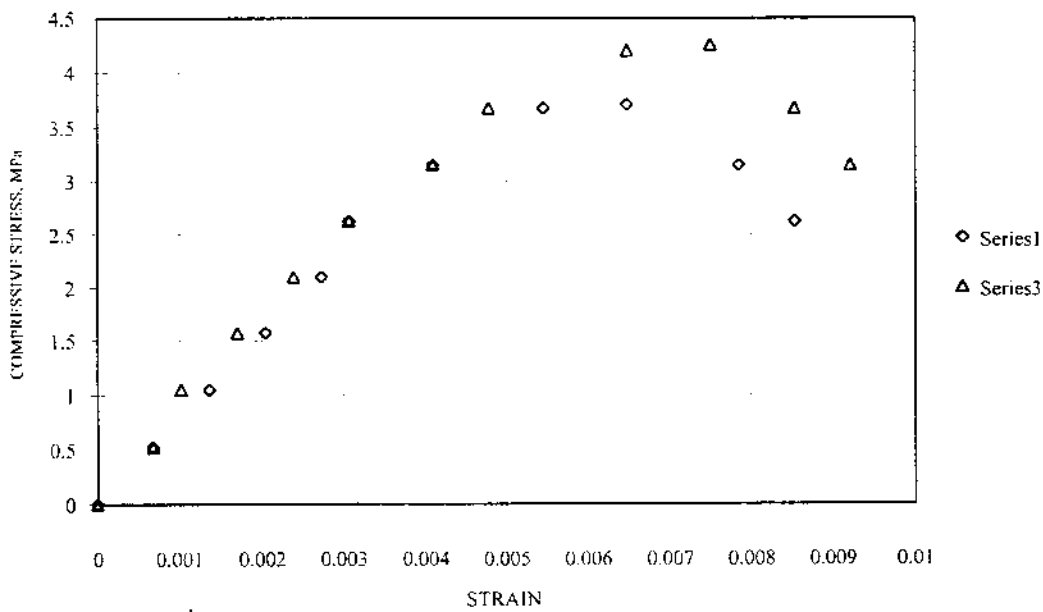
รูปผนวกที่ ข.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อนบ่มไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน 1 ที่อายุ 7 วัน



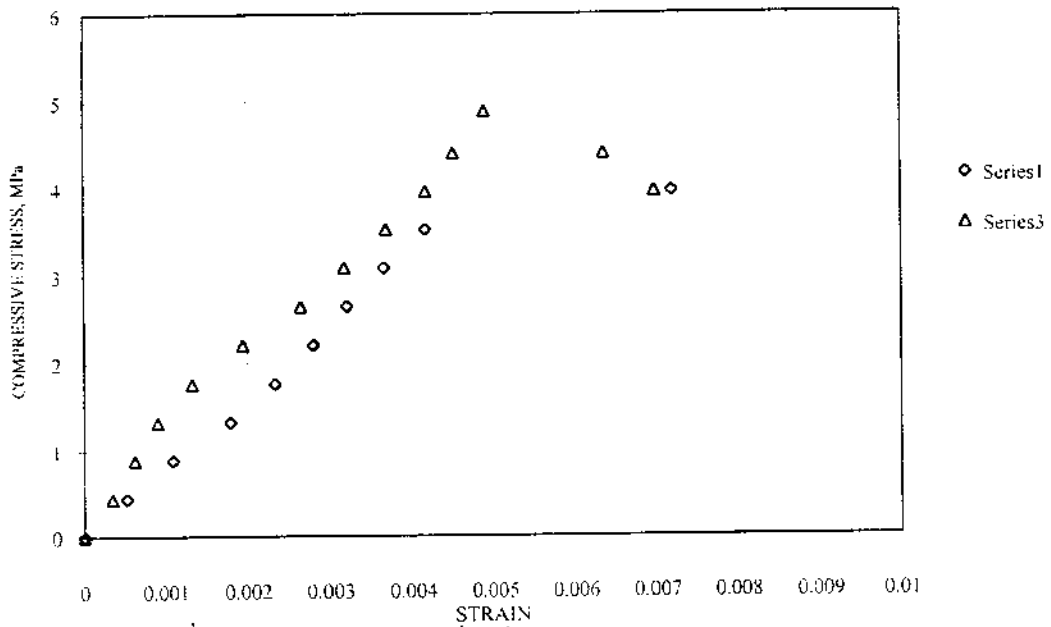
รูปผนวกที่ ข.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อนบ่มไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน 1 ที่อายุ 28 วัน



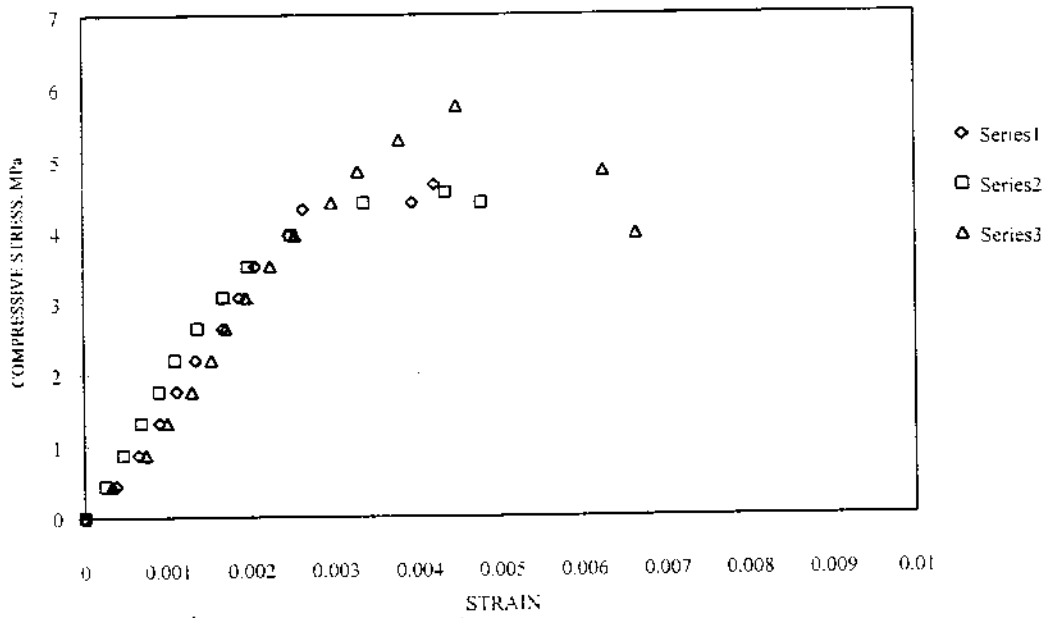
รูปผนวกที่ ข.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน I ที่อายุ 7 วัน



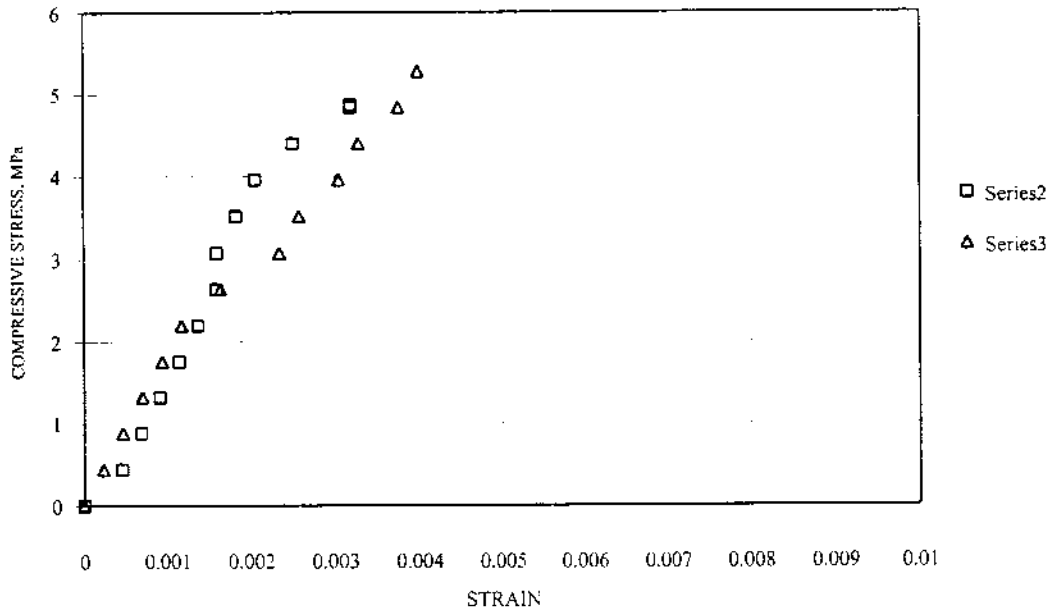
รูปผนวกที่ ข.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน I ที่อายุ 28 วัน



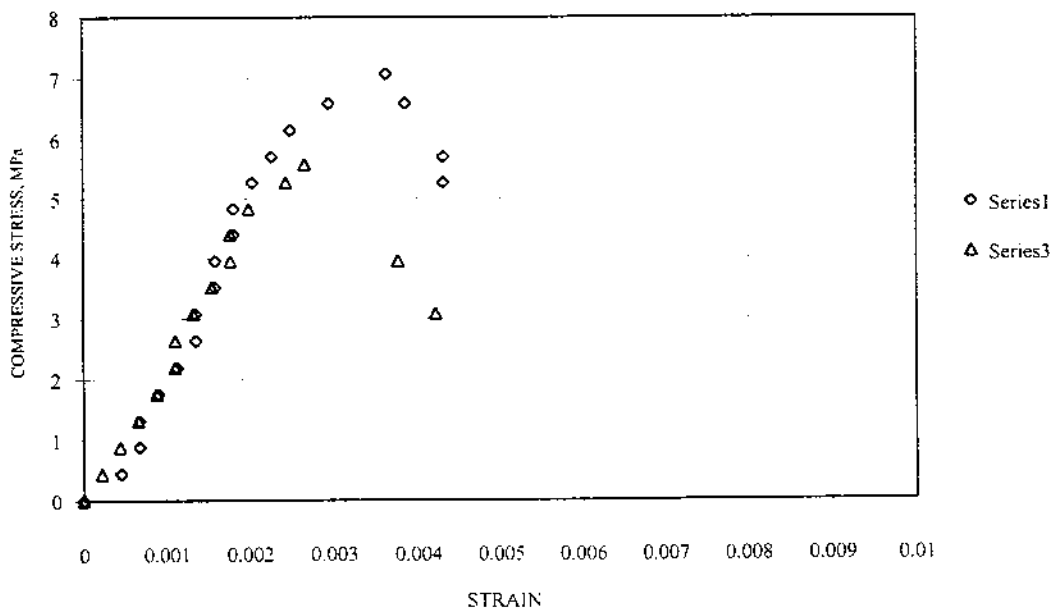
รูปผนวกที่ ข.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน J ที่อายุ 7 วัน



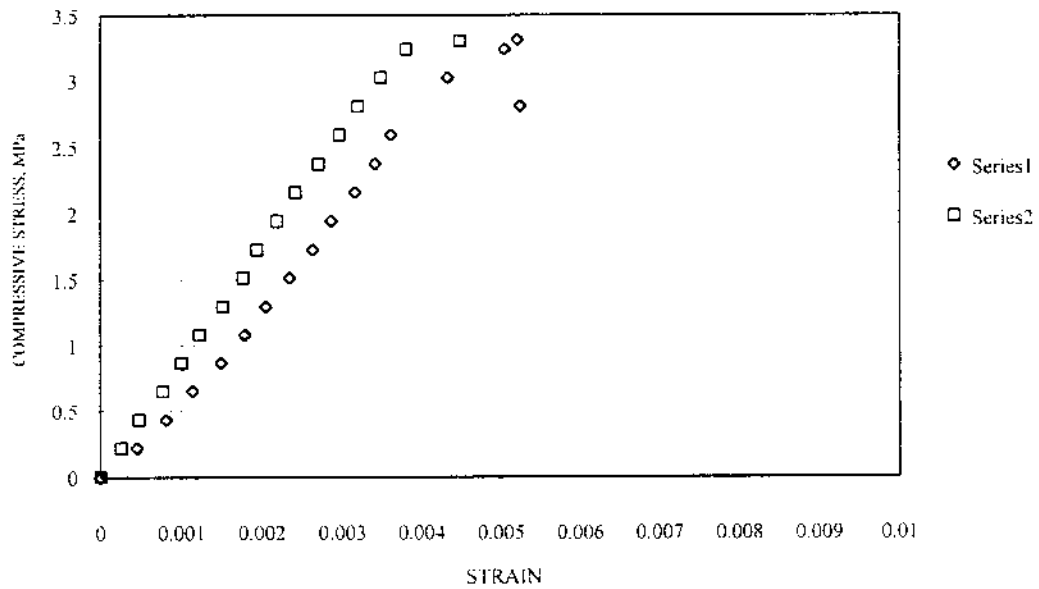
รูปผนวกที่ ข.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน J ที่อายุ 28 วัน



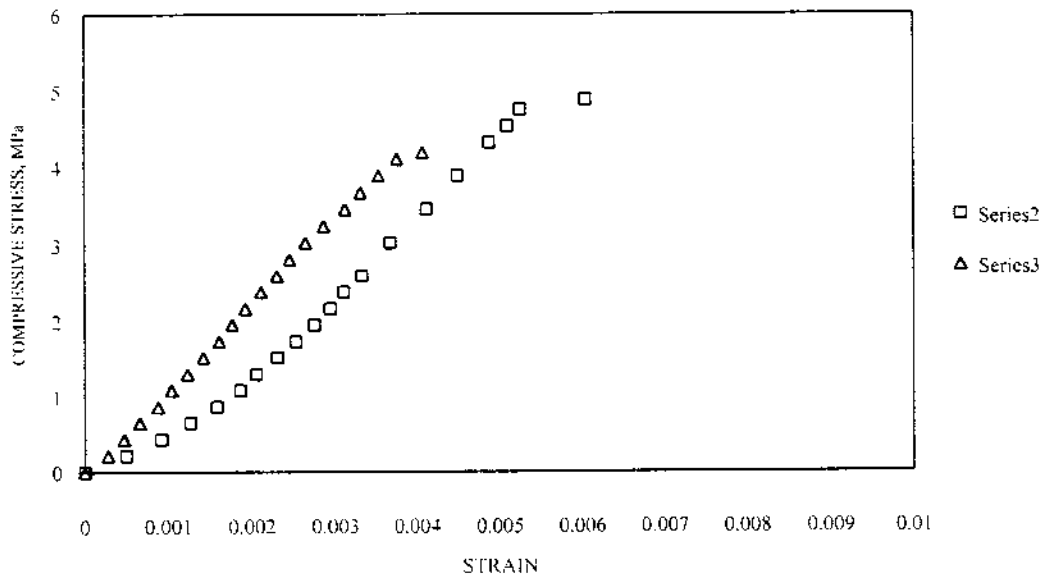
รูปผนวกที่ ข.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน J ที่อายุ 7 วัน



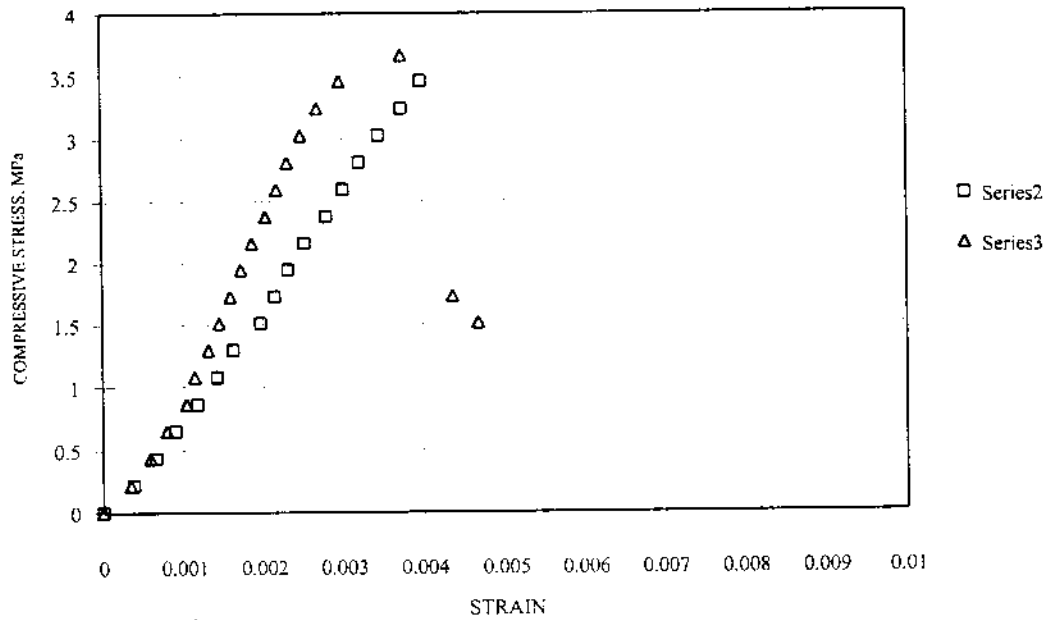
รูปผนวกที่ ข.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน J ที่อายุ 28 วัน



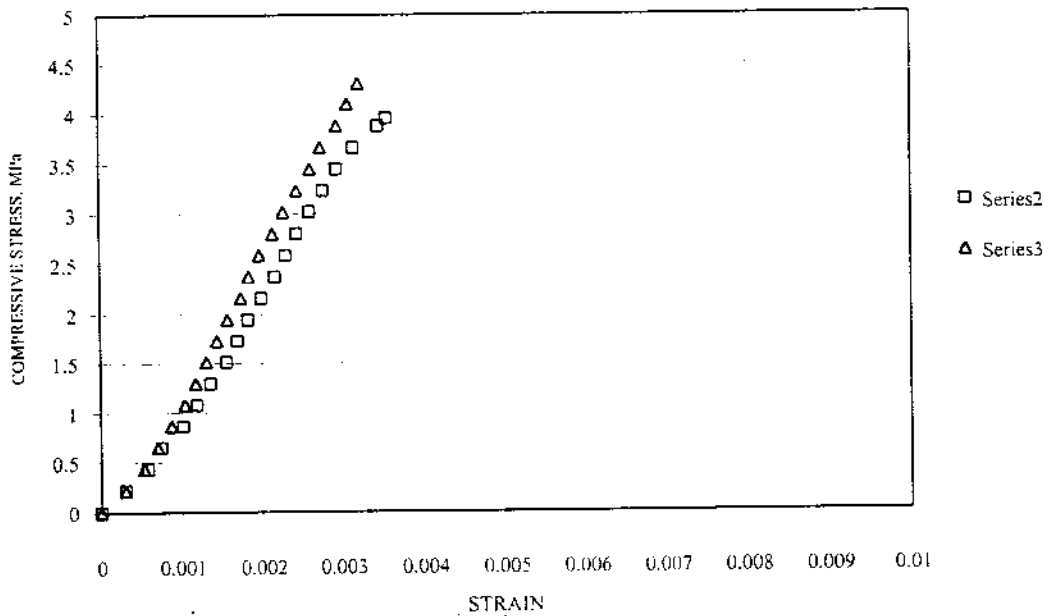
รูปผนวกที่ ข.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน K ที่อายุ 7 วัน



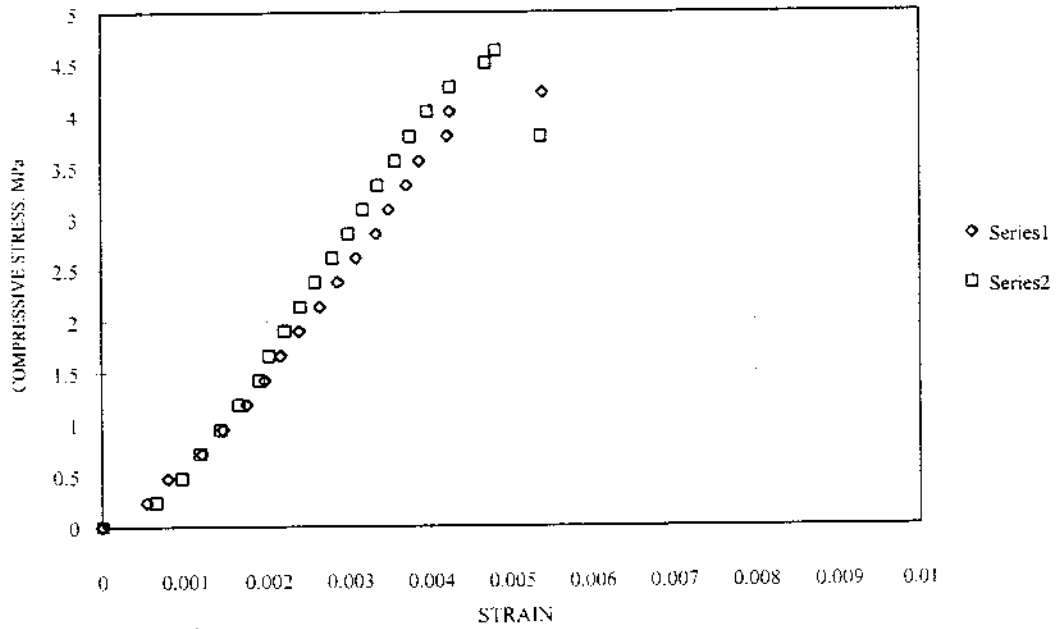
รูปผนวกที่ ข.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน K ที่อายุ 28 วัน



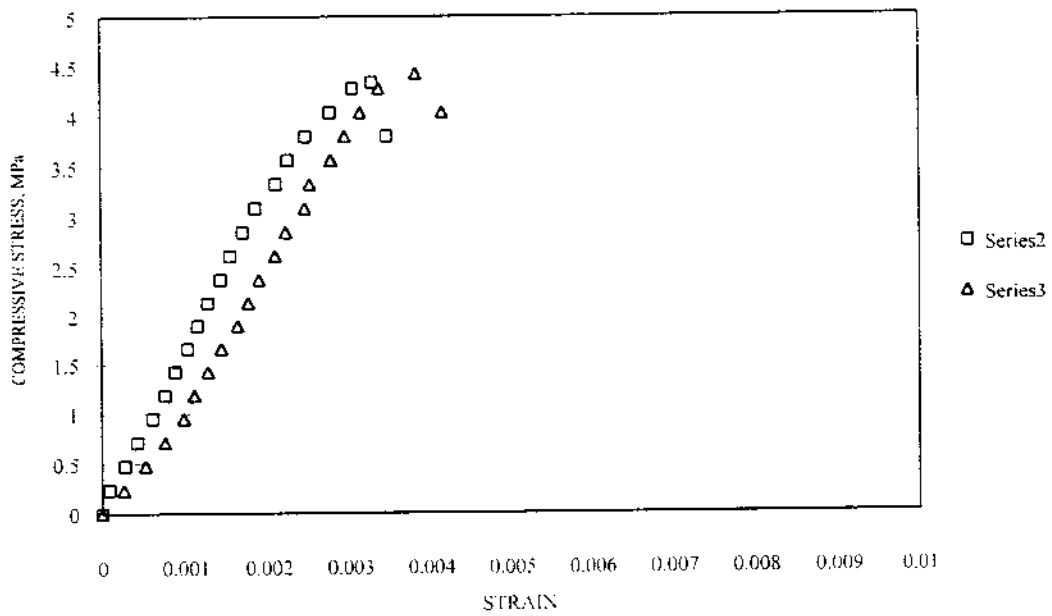
รูปผนวกที่ ข.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน K ที่อายุ 7 วัน



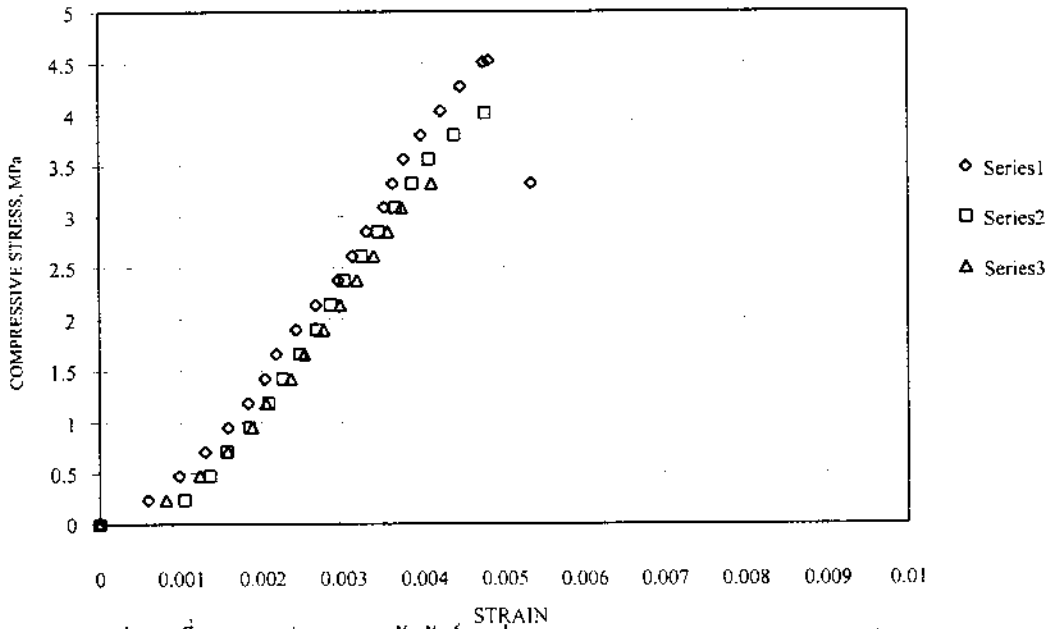
รูปผนวกที่ ข.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน K ที่อายุ 28 วัน



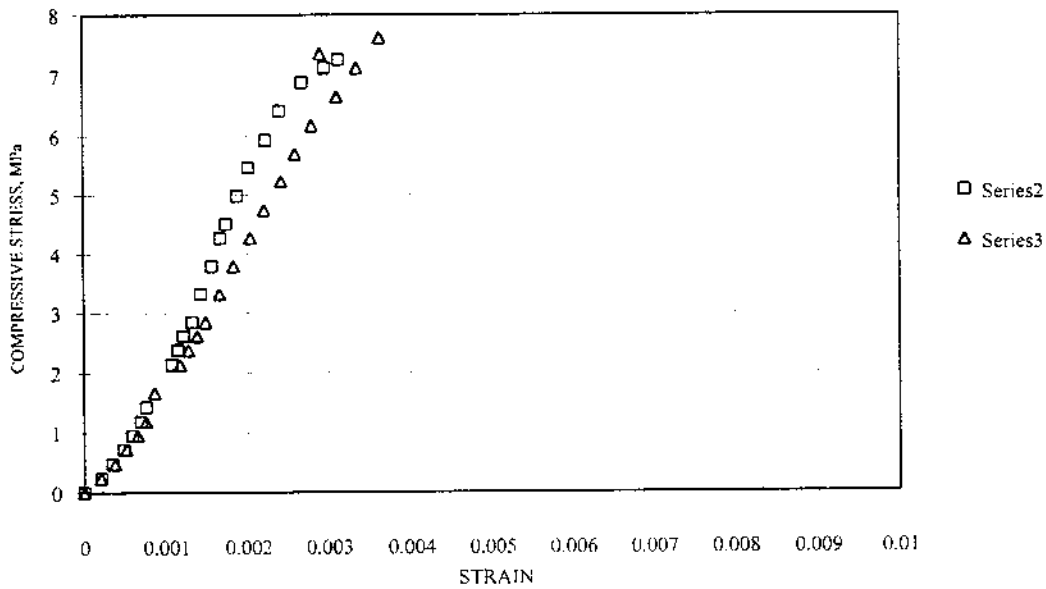
รูปผนวกที่ ข.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน L ที่อายุ 7 วัน



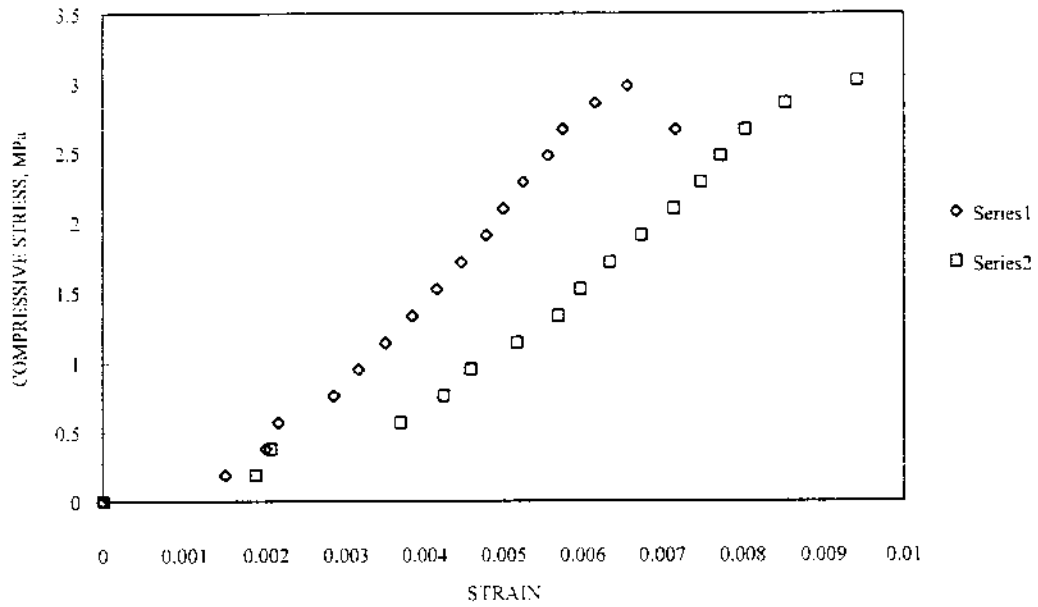
รูปผนวกที่ ข.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน L ที่อายุ 28 วัน



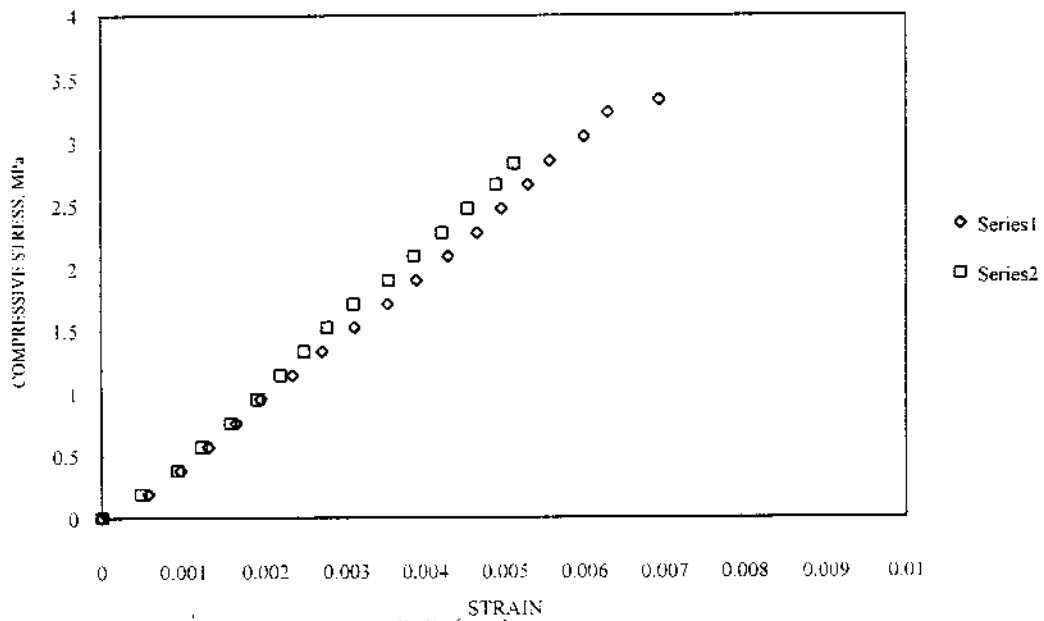
รูปผนวกที่ ข.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน L ที่อายุ 7 วัน



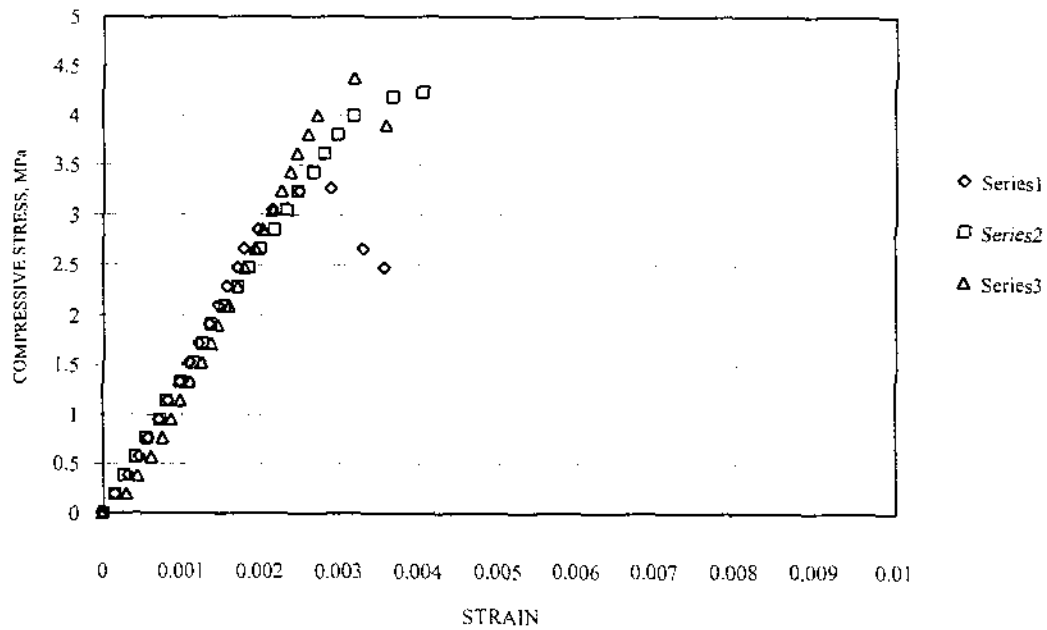
รูปผนวกที่ ข.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน L ที่อายุ 28 วัน



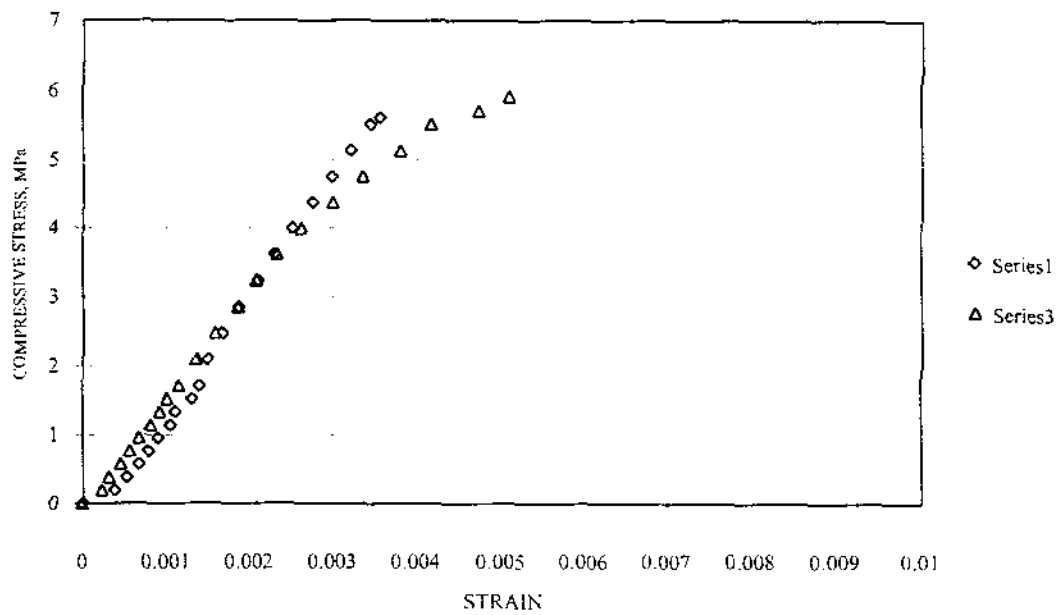
รูปผนวกที่ ข.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อนแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน M ที่อายุ 7 วัน



รูปผนวกที่ ข.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อนแบบไม่มีการตรวจสอบ จากโรงงาน M ที่อายุ 28 วัน



รูปผนวกที่ ข.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน M ที่อายุ 7 วัน



รูปผนวกที่ ข.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COMPRESSIVE STRESS และ STRAIN ของ PRISM ที่ก่อแบบมีการตรวจสอบ จากโรงงาน M ที่อายุ 28 วัน

ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผา

ตารางผนวกที่ ค.1 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน A

โรงงาน	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
/1	277.50	323.00	16.40	323.00	333.00	3.10
/2	298.50	347.00	16.25	347.00	355.50	2.45
/3	282.00	328.50	16.49	328.50	338.50	3.04
/4	304.50	351.50	15.44	351.50	359.00	2.13
/5	279.00	325.00	16.49	325.00	335.00	3.08

ตารางผนวกที่ ค.2 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน B

โรงงาน	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
/1	316.50	365.50	15.48	365.50	369.00	0.96
/2	294.50	350.00	18.85	350.00	359.00	2.57
/3	327.50	383.50	17.10	383.50	392.00	2.22
/4	325.00	381.00	17.23	381.00	388.50	1.97
/5	317.50	364.50	14.80	364.50	369.00	1.23

ตารางผนวกที่ ค.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน C

โรงงาน	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
/1	344.50	388.00	12.63	388.00	404.50	4.25
/2	345.00	381.00	10.43	381.00	397.50	4.33
/3	352.80	399.00	13.10	399.00	412.00	3.26
/4	351.50	392.00	11.52	392.00	407.50	3.95
/5	329.50	379.00	15.02	379.00	382.50	0.92

ตารางผนวกที่ ค.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน D

โรงงาน D	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
/1	288.50	336.50	16.64	336.50	344.00	2.23
/2	286.00	332.00	16.08	332.00	338.50	1.96
/3	319.00	366.00	14.73	366.00	371.00	1.37
/4	308.00	345.00	12.01	345.00	355.00	2.90
/5	301.00	336.00	11.63	336.00	347.50	3.42

ตารางผนวกที่ ค.5 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน E

โรงงาน E	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
/1	2928.00	3354.00	14.55	3354.00	3407.50	1.60
/2	2803.50	3237.00	15.46	3237.00	3273.50	1.13
/3	2744.00	3170.00	15.52	3170.00	3216.00	1.45
/4	2960.00	3406.00	15.07	3406.00	3436.50	0.90
/5	2845.50	3280.00	15.27	3280.00	3325.50	1.39

ตารางผนวกที่ ค.6 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน F

โรงงาน F	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
/1	2523.00	2857.50	13.26	2857.50	2875.50	0.63
/2	2645.50	2986.50	12.39	2986.50	3008.00	0.72
/3	2628.00	2944.50	12.04	2944.50	2973.00	0.97
/4	2727.50	3033.00	11.20	3033.00	3083.50	1.67
/5	2625.00	2967.50	13.05	2967.50	3000.00	1.10

ตารางผนวกที่ ค.7 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน G

โรงงาน G	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
/1	2547.00	2964.00	16.37	2964.00	2988.00	0.81
/2	2509.00	2897.00	15.46	2897.00	2905.50	0.29
/3	2497.00	2920.00	16.94	2920.00	2945.00	0.86
/4	2485.00	2884.00	16.06	2884.00	2915.00	1.07
/5	2541.00	2928.50	15.25	2928.50	2944.00	0.53

ตารางผนวกที่ ค.8 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน H

โรงงาน H	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
/1	2736.00	3106.00	13.52	3106.00	3153.50	1.53
/2	2625.50	2992.50	13.98	2992.50	3050.00	1.92
/3	2725.50	3093.00	13.48	3093.00	3127.00	1.10
/4	2849.50	3211.50	12.70	3211.50	3252.50	1.28
/5	2735.00	3102.00	13.42	3102.00	3144.00	1.35

ตารางผนวกที่ ค.9 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน I

โรงงาน I	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
/1	407.00	500.00	22.85	500.00	516.50	3.30
/2	408.50	502.50	23.01	502.50	518.00	3.08
/3	403.00	500.00	24.07	500.00	515.00	3.00
/4	399.50	503.50	26.03	503.50	518.50	2.98
/5	400.00	501.00	25.25	501.00	521.00	3.99

ตารางผนวกที่ ค.10 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน J

โรงงาน	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
1	2188.50	2463.00	12.54	2463.00	2481.50	0.75
2	2165.50	2482.00	14.62	2482.00	2505.50	0.95
3	2221.00	2647.00	19.18	2647.00	2696.00	1.85
4	2260.00	2675.00	18.36	2675.00	2703.00	1.05
5	2166.50	2353.00	8.61	2353.00	2369.50	0.70

ตารางผนวกที่ ค.11 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน K

โรงงาน	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
1	506.50	589.00	16.29	589.00	595.50	1.10
2	515.50	587.50	13.97	587.50	595.00	1.28
3	504.00	585.50	16.17	585.50	592.00	1.11
4	504.50	578.00	14.57	578.00	583.00	0.87
5	531.00	605.00	13.94	605.00	611.50	1.07

ตารางผนวกที่ ค.12 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน L

โรงงาน	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
1	398.00	454.00	14.07	454.00	458.50	0.99
2	408.50	484.00	18.48	484.00	490.00	1.24
3	393.50	448.50	13.98	448.50	453.00	1.00
4	382.50	439.00	14.77	439.00	442.50	0.80
5	382.00	437.50	14.53	437.50	442.50	1.14

ตารางผนวกที่ ค.13 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน M

โรงงาน M	submersion test			Boiling test		
	Wd	Ws	% ab	Wd	Ws	% ab
/1	549.50	623.50	13.47	623.50	637.00	2.17
/2	551.50	623.50	13.06	623.50	634.00	1.68
/3	558.50	628.50	12.53	628.50	642.00	2.15
/4	560.50	627.50	11.95	627.50	641.00	2.15
/5	541.50	611.50	12.93	611.50	635.00	3.84

ภาคผนวก ง. ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของก้อนอิฐดินเผา

ภาคผนวก จ. ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผา

ตารางผนวกที่ จ.1 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน A

ชนิดของอิฐ

มอญ

จังหวัด

สิงห์บุรี

โรงงาน:เลขที่	กว้าง				ยาว				หนา			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
A/1	55.36	54.72	56.90	55.66	144.92	144.20	145.28	144.80	27.54	27.20	27.76	27.50
A/2	55.70	55.20	54.32	55.07	143.78	143.26	142.20	143.08	26.78	27.10	27.76	27.21
A/3	56.58	57.10	56.82	56.83	143.18	146.08	143.78	144.35	28.40	27.96	28.24	28.20
A/4	54.98	55.66	55.30	55.31	144.00	144.42	145.64	144.69	28.00	28.20	28.20	28.13
A/5	56.04	56.94	56.68	56.55	146.70	146.68	146.52	146.63	28.74	28.64	28.34	28.57
A/6	56.72	56.18	56.78	56.56	145.40	145.98	146.38	145.92	29.02	28.90	28.76	28.89
A/7	56.28	56.38	56.48	56.38	147.66	146.20	146.78	146.88	28.54	28.04	28.94	28.51
A/8	55.26	55.20	54.56	55.01	144.50	146.28	145.00	145.26	27.42	27.02	27.64	27.36
A/9	54.86	56.74	53.98	55.19	143.50	144.38	144.92	144.27	27.52	27.56	27.76	27.61
A/10	55.00	55.62	55.66	55.43	146.68	146.48	145.40	146.19	28.00	27.56	28.60	28.05
เฉลี่ย	55.80				145.21				28.00			

ตารางผนวกที่ จ.2 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน B

ชนิดของอิฐ

มอญ

จังหวัด

อุทัย

โรงงาน:เลขที่	กว้าง				ยาว				หนา			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
B/1	56.8	59.46	59.12	58.46	143.7	143.4	144.46	143.85	26.94	26.9	27.32	27.05
B/2	56.88	57.28	56.84	57.00	146.32	146	146.98	146.43	26.86	26.98	26.88	26.91
B/3	59.36	60.34	59.84	59.85	148.82	148.64	145.82	147.76	27.52	27.6	27.16	27.43
B/4	56.88	58.36	58.16	57.80	146.08	145.14	145.38	145.53	26.6	26.26	26.06	26.31
B/5	57.36	59	56.68	57.68	147.16	147.26	147.12	147.18	27.66	27.24	27.84	27.58
B/6	59.1	59.06	58.42	58.86	144.7	144.84	144.82	144.79	27.08	28.22	28.44	27.91
B/7	58.34	57.4	58.1	57.95	142	146	144.52	144.17	26.58	26.82	27.16	26.85
B/8	59.22	59.52	59.54	59.43	147.5	147.3	147.06	147.29	29.02	27.18	28.36	28.19
B/9	57.48	58.18	57.36	57.67	143.34	142.56	143.44	143.11	27.26	27.46	26.72	27.15
B/10	60.5	60.1	60.4	60.33	147.26	146.08	146.48	146.61	28	27.98	27.8	27.93
เฉลี่ย	58.50				145.67				27.33			

ตารางผนวกที่ จ.3 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน C

โรงงานเลขที่	ชนิดของอิฐ				มอญ ตัน				จังหวัด อุดรฯ			
	กว้าง				ยาว				หนา			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
C/1	61.14	60.66	59.94	60.58	139.72	139.82	137.52	139.02	26.28	26.98	26.22	26.49
C/2	58.32	58.22	57.48	58.01	140.32	141.44	141.5	141.09	26.72	26.68	27	26.80
C/3	59.44	59.92	59.02	59.46	138.44	138.5	139.66	138.97	26.68	26.88	26.68	26.75
C/4	60.2	60.36	59.76	60.11	144.94	146.96	146.72	146.21	26.72	27.36	26.94	27.01
C/5	59.72	59.34	59.22	59.43	139.7	140.32	139.52	139.85	26.88	26.28	26.28	26.48
C/6	59.86	59.92	60	59.93	141.48	142.34	141.18	141.67	26.52	26.58	26.58	26.56
C/7	60.18	60.3	60.22	60.23	144.42	144.44	144.88	144.58	26.12	25.98	26.62	26.24
C/8	60	60.22	59.44	59.89	146.88	147.52	147.1	147.10	26.88	26.44	26.36	26.56
C/9	59.38	60.42	59.34	59.71	144.6	146	144.88	145.16	26.38	26.22	25.72	26.11
C/10	60.5	59.92	59.6	60.01	140.62	140.42	138.72	139.92	26.98	27.8	27.18	27.32
เฉลี่ย	59.73				142.36				26.63			

ตารางผนวกที่ จ.4 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน D

โรงงานเลขที่	ชนิดของอิฐ				มอญ				จังหวัด ช่างทอง			
	กว้าง				ยาว				หนา			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
D-1	57.92	57.46	58.44	57.94	141.48	142.82	141.7	142.00	26.14	26.48	26.7	26.44
D-2	57.66	56.6	58.02	57.43	144.68	146.18	146.08	145.65	26.14	25.24	25.7	25.69
D-3	58.78	59.52	58.88	59.06	144.42	145.4	144.68	144.83	26.92	26.68	25.7	26.43
D-4	58.3	59.12	58.64	58.69	143.78	143.14	142	142.97	27.74	28.38	27.48	27.87
D-5	56.4	57.58	57.1	57.03	146.78	148	146.9	147.23	26.22	26.2	26.38	26.27
D/6	58.92	59.18	59.28	59.13	141.3	142.26	142.32	141.96	25.72	25.9	26.34	25.99
D/7	59.46	60	58.74	59.40	145.6	142.82	145.4	144.61	27.1	26.88	27.12	27.03
D/8	60.06	60.62	60.06	60.25	146	141.58	141	142.86	26.4	26.68	26.78	26.62
D/9	57.42	57.76	58.08	57.75	143.7	143.22	141.48	142.80	26.68	27.16	26.19	26.68
D/10	58	57.98	58.46	58.15	141.18	142.42	142.86	142.15	22.38	26.28	25.7	24.79
เฉลี่ย	58.48				143.71				26.38			

ตารางผนวกที่ ๖.5 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน E

ชนิดของอิฐ

ม.ค.พ

จังหวัด

อยุธยา

โรงงาน.เลขที่	กว้าง				ยาว				หนา			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
E.1	107.63	107	106.6	107.08	230.1	230.2	231	230.43	69.6	69.4	70.3	69.77
E.2	107.85	107.8	108	107.88	235	234.6	234	234.53	68.5	69	68.25	68.68
E.3	108.2	107.1	108	107.77	233	234.28	232.55	233.28	70.3	70.9	71	70.73
E.4	107	107	107	107.00	231	231.06	231	231.02	69	70	70	69.67
E.5	106	105.5	106	105.83	230	230.6	230	230.20	71.84	70.4	71.18	71.14
E.6	105.2	106.5	105.5	105.73	230	230.5	230.1	230.20	70.3	70.7	72.5	71.17
E.7	106.74	106.78	106.58	106.70	231.44	231.72	231.18	231.45	71.38	71.48	71.96	71.61
E.8	108	107.46	105.8	107.09	231.8	230.9	230.7	231.13	70.9	70.4	70.6	70.63
E.9	106.44	106.72	106.24	106.47	231.88	231.38	231.64	231.63	69.58	70.3	69.32	69.73
E.10	106.18	106.64	106.64	106.49	231.52	231.98	231.24	231.58	69.62	69.92	68.98	69.51
เฉลี่ย	106.50				231.55				70.26			

ตารางผนวกที่ ๖.6 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน F

ชนิดของอิฐ

ม.ค.พ

จังหวัด

ปทุมธานี

โรงงาน.เลขที่	กว้าง				ยาว				หนา			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
F.1	100.98	101.08	100.88	100.98	224.84	224.36	223.78	224.33	69.42	68.84	68.74	69.00
F.2	103.24	103.86	102.36	102.82	228.64	227.6	227.88	228.04	68.26	67.56	66.38	67.40
F.3	99.26	99.52	99.72	99.50	222.52	223.34	223.64	223.17	68.44	68.26	69.22	68.64
F.4	99.62	100.3	100.4	100.11	225	224.52	224.46	224.66	68.84	69.42	70.1	69.45
F.5	101.98	101.88	101.84	101.90	225.5	225.72	226.28	225.83	68.64	69.42	69.34	69.13
F.6	99.32	100.22	99.72	99.75	225.98	225.82	225.98	225.93	68.34	67.16	67.64	67.71
F.7	98.84	99.22	99.58	99.21	223.34	223.84	223.52	223.57	69.62	69.82	69.92	69.79
F.8	99.6	100.92	101.48	100.67	222.76	222.92	223.14	222.94	69.82	69.72	69.94	69.83
F.9	101.8	100.54	99.62	100.65	223.04	222.54	222.36	222.65	69.62	70.24	69.2	69.69
F.10	101.68	102.06	101.62	101.79	223.38	224.92	224.12	224.81	65.7	65.68	64.48	65.29
เฉลี่ย	100.74				224.59				68.59			

ตารางผนวกที่ จ.7 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน G

โรงงานเลขที่	ชนิดของอิฐ				ขนาด				จังหวัด				อ่างทอง			
	กว้าง				ยาว				หนา							
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย				
G/1	104.12	104.32	104.28	104.24	226.08	226.98	226.08	226.38	68.74	68.04	68.94	68.57				
G/2	104.98	104.92	104.88	104.93	227.56	227.48	227.12	227.39	67.06	67.72	69.42	68.07				
G/3	103.46	104.42	104.48	104.12	227.08	226.32	224.72	226.04	68.84	67.26	68.24	68.11				
G/4	104.32	105.4	104.52	104.75	226.24	226.04	225.3	225.86	65.98	66.24	67.46	66.56				
G/5	104.12	103.7	103.14	103.65	225.6	224.72	224.92	225.08	68.84	67.62	68.34	68.27				
G/6	105.3	105.74	105.64	105.56	227.16	226.88	226.38	226.81	67.12	66.96	65.98	66.69				
G/7	104.82	105.32	105.5	105.21	226.98	227.08	226.1	226.72	68.76	65.88	66.5	67.05				
G/8	105.1	105.2	105.92	105.41	226.08	226.14	226.08	226.10	66.44	65.6	65.44	65.83				
G/9	104.9	104.82	104.44	104.72	225.5	225.44	225.9	225.61	68.34	66.58	67.36	67.43				
G/10	105.32	104.92	104.3	104.85	226.02	227.04	227.62	226.89	68.54	69.66	69.62	69.27				
เฉลี่ย	104.74				226.29				67.58							

ตารางผนวกที่ จ.8 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน H

โรงงานเลขที่	ชนิดของอิฐ				ขนาด				จังหวัด				อ่างทอง			
	กว้าง				ยาว				หนา							
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย				
H/1	107.9	106.62	105.5	106.67	215.44	214.82	214.32	214.86	67.86	67.44	68.14	67.81				
H/2	109.32	109.98	109.82	109.71	219.94	219.02	219.92	219.63	72.08	70.98	70.82	71.29				
H/3	110.92	109.42	110.6	110.31	220.32	220.08	219.74	220.05	68.84	69.12	69.02	68.99				
H/4	103.34	105.22	104.06	104.21	213.34	212.14	213.12	212.87	66.72	66.88	65.2	66.27				
H/5	107.78	108.64	108.74	108.39	215.92	217.22	216.88	216.67	68.04	70.32	70.1	69.49				
H/6	107.92	105.44	106.98	106.78	214.98	212.26	212.7	213.31	70.1	70.6	69.22	69.97				
H/7	104.96	104.72	104.9	104.86	215.42	215.06	214.12	214.87	65.22	65.8	66.18	65.73				
H/8	106.28	107.3	107.26	106.95	216.08	214.72	214.94	215.25	67.76	67.98	68.1	67.95				
H/9	107.42	106.84	105.58	106.61	214.92	214.72	214.82	214.82	70.5	69.1	69.92	69.84				
H/10	107.46	108.08	108.7	108.08	219.32	217.36	217.16	217.95	69.72	69.42	69.92	69.69				
เฉลี่ย	107.26				216.03				68.70							

ตารางผนวกที่ จ.9 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน I

ชนิดของอิฐ

มอญ หสมกลบ

จังหวัด ปทุมธานี

โรงงาน/เลขที่	กว้าง				ยาว				หนา			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1/1	63.34	63.94	64.22	63.83	143.24	144.62	145.08	144.31	31.38	31.92	31.58	31.63
1/2	63.22	63.42	63.62	63.42	143.54	143.98	144.6	144.04	31.6	31.98	33.74	32.44
1/3	63.84	63.8	63.74	63.79	143.62	145.08	145.1	144.60	32.12	31.98	33.42	32.51
1/4	65.08	64.74	64.04	64.62	142.26	141.74	141.98	141.99	31.12	30.98	29.54	30.55
1/5	63.34	62.54	62.36	62.75	142.58	143.04	143.02	142.88	33.34	32.06	32.26	32.55
1/6	63.34	63.64	63.28	63.42	141.58	142.14	143.24	142.32	34.2	32.54	32.86	33.20
1/7	61.98	63.14	62.66	62.59	142.52	142.36	141.98	142.29	32.5	31.78	32.36	32.21
1/8	63.92	64.22	64.94	64.36	142.46	141.18	141.38	141.67	31.38	31.68	32.08	31.71
1/9	64.12	64.52	64.52	64.39	141.38	141.92	142.38	141.89	31.08	32.04	31.06	31.39
1/10	62.78	62.52	62.16	62.49	142.68	144.22	144.06	143.65	31.6	31.78	31.08	31.49
เฉลี่ย	63.57				142.97				31.97			

ตารางผนวกที่ จ.10 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน J

ชนิดของอิฐ

ยยก

จังหวัด สิงห์บุรี

โรงงาน/เลขที่	กว้าง				ยาว				หนาข้าง			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
J/1	104.1	104.9	104.5	104.50	225.1	225.8	225.5	225.47	61.7	61.8	62	61.83
J/2	105.4	104.9	104.8	105.03	219.9	220	219.7	219.87	59.9	59.8	60	59.90
J/3	103.9	103.9	103.8	103.87	225.2	225.4	225.8	225.47	60.9	61	61.5	61.13
J/4	99.4	100	100.5	99.97	220.5	220.7	220.7	220.63	63.3	63.5	63.8	63.53
J/5	100.3	100	100.5	100.27	218.4	218.8	218.5	218.57	62.2	62.5	62.8	62.50
J/6	102.3	100.12	102.68	101.70	223.5	225.76	225.3	224.85	62.24	61.72	62.48	62.15
J/7	99.12	97.68	98.26	98.35	219.84	220.3	219.92	220.02	59.7	68.82	60.51	63.01
J/8	98.24	97.2	99.18	98.21	221.38	221.16	220.12	220.89	61.2	61.34	60.84	61.13
J/9	103.64	101.92	103.42	102.99	227.88	228.8	229.34	228.67	62.45	62.78	63.02	62.75
J/10	98.94	97.34	100.42	98.90	219.8	220.3	219.72	219.94	60.87	61.21	61.04	61.04
เฉลี่ย	101.38				222.44				61.90			

ตารางผนวกที่ จ.11 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน K

ชนิดของอิฐ

มอญ

จังหวัด

ชัยภูมิ

โรงงานเลขที่	กว้าง				ยาว				หนาข้าง			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
K/1	65.3	64.3	64.9	64.83	151.7	152	151.9	151.87	38.2	38.5	38.9	38.53
K/2	61.4	61.9	61.6	61.63	148.1	149	148.9	148.67	35.6	35.6	35.6	35.60
K/3	62.7	63.7	63.8	63.40	148.6	148.2	148.4	148.40	34.9	34.1	35.8	34.93
K/4	62.8	63.2	62.1	62.70	147.4	147.8	147.9	147.70	34.6	34.9	35.5	35.00
K/5	62.8	62.4	60.9	62.03	149.5	149.4	147.8	148.90	34.6	35	34.3	34.63
K/6	63.8	63	63.3	63.37	150.5	150.4	150	150.30	38	38.4	38	38.13
K/7	64	64.1	64.2	64.10	152.1	151.2	150	151.10	38.6	38.4	38.3	38.43
K/8	62	62.4	62.5	62.30	150.4	150	150.2	150.20	35.5	35.5	35.6	35.53
K/9	63	63.1	63.7	63.27	154	153.7	152	153.23	38	38	38	38.00
K/10	61	61.5	62.4	61.63	147.2	146.7	145.3	146.40	39.2	39.2	39.1	39.17
เฉลี่ย	61.93				149.68				36.80			

ตารางผนวกที่ จ.12 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน L

ชนิดของอิฐ

มอญ

จังหวัด

ขอนแก่น

โรงงานเลขที่	กว้าง				ยาว				หนาข้าง			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
L/1	59.1	60	60.3	59.80	138.4	136	136.58	136.99	29.7	29.3	29.3	29.43
L/2	61.7	61.6	60.6	61.30	138.3	138.8	139	138.70	30	31	31.5	30.83
L/3	60.6	61.6	61.5	61.23	139.1	137.8	136.1	137.67	30.2	30.1	30.2	30.17
L/4	66.7	65	65	65.57	139.6	140.3	139	139.63	33	33	32.2	32.73
L/5	61	60.8	61	60.93	136.7	138.9	141	138.87	30	30	30.6	30.20
L/6	28.7	39.3	61.1	49.70	141	138	137	138.67	31.4	31	31	31.13
L/7	64	64	63.7	63.90	143	142.6	141.7	142.43	34	34	34.6	34.20
L/8	61.3	61.5	62.3	61.70	140.3	141.4	140	140.57	31	30.8	30.6	30.80
L/9	62.3	62.5	62	62.27	142	141.6	143	142.20	33	32.5	32	32.50
L/10	59.4	58.5	58.5	58.80	137.5	137	137	137.17	29.3	29.7	29.6	29.53
เฉลี่ย	60.52				139.29				31.15			

ตารางผนวกที่ จ.13 ผลการทดสอบการวัดหาขนาดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน M

ชนิดของอิฐ

มอญ

จังหวัด ชอนแก่น

โรงงานเลขที่	กว้าง				ยาว				หนาข้าง			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
M/1	67.9	68.3	67.8	68.00	141.8	142.7	142.5	142.33	35.2	35	35.4	35.20
M/2	70.3	70.1	70	70.13	150.8	150.8	150.6	150.73	35.8	35.9	38.8	36.83
M/3	70.1	69.5	69.6	69.73	149.8	150.8	150.3	150.30	35	35.1	35.1	35.07
M/4	71.2	70.8	70.9	70.97	150.7	151.3	150.8	150.93	37.4	37.3	37	37.23
M/5	70.2	71	71.2	70.80	152.1	152.6	152.11	152.27	37.1	37.3	37	37.13
M/6	69.4	70.5	70.8	70.23	149.4	150.7	149	149.70	35	35.1	35.3	35.13
M/7	71.4	70.8	71.5	71.23	153.3	154	153.5	153.60	32	31.7	32	31.90
M/8	70.7	71.5	70.4	70.87	151.5	151.4	151.7	151.53	36.4	36.6	36.8	36.60
M/9	70.5	70.1	70.1	70.23	150.6	151.4	150	150.67	35.8	36	36.1	35.97
M/10	69.1	69	69.2	69.10	146.8	146.9	146.8	146.83	35.1	35.3	35.3	35.23
เฉลี่ย	70.13				149.89				35.63			

ภาคผนวก ฉ. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก๊อนอิฐดินเผา

ตารางหมวดที่ ๓.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน A

โรงงานผลิต	ก้อน			หนวด			รูวง				ระยะห่างระหว่างแกนเหล็ก				Load	S (kPa)
	ก1	ก2	ก3	ก4	ก5	ก6	ร1	ร2	ร3	ร4	1	2	3	4		
A1	35.22	36.02	35.52	26.26	26.50	26.34	8.70	8.74	8.92	10.18	1.20	1.50	0.30	0.50	0.66	23.197
A2	36.38	36.58	36.12	27.22	27.76	27.56	9.92	10.64	10.22	10.04	0.50	0.70	0.30	0.50	0.66	21.927
A3	34.42	34.80	34.72	26.12	26.96	26.72	8.22	10.14	8.72	8.68	0.30	0.50	0.30	0.40	0.71	26.096
A4	33.68	34.88	33.66	27.28	27.22	27.06	8.02	8.80	8.64	10.22	1.20	1.50	1.20	0.20	0.64	29.308
A5	34.94	35.84	35.40	25.42	25.88	26.14	8.92	10.46	10.20	10.36	0.70	0.30	0.90	0.30	0.40	24.555
เฉลี่ย															23.193463	

ตารางหมวดที่ ๓.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน B

โรงงานผลิต	ก้อน			หนวด			รูวง				ระยะห่างระหว่างแกนเหล็ก				Load	S (kPa)
	ก1	ก2	ก3	ก4	ก5	ก6	ร1	ร2	ร3	ร4	1	2	3	4		
B1	38.62	38.34	38.88	26.92	26.70	27.02	9.84	10.82	9.88	10.78	1.00	0.10	1.20	2.10	0.66	15.0899
B2	37.36	38.74	38.46	26.52	26.88	27.32	10.52	10.02	10.12	9.54	1.40	1.70	1.90	1.90	0.82	26.384
B3	37.52	37.92	37.76	28.34	27.94	27.82	11.86	11.16	10.34	10.56	2.80	4.70	5.80	1.60	0.76	29.552
B4	37.42	38.62	38.54	27.90	27.98	28.00	10.92	9.64	9.80	11.20	0.50	0.20	0.90	0.30	0.82	28.2724
B5	38.34	38.72	37.92	28.88	28.92	27.12	8.12	9.32	9.50	10.52	0.30	0.40	0.40	0.90	1.10	26.2546
เฉลี่ย															25.143316	

ตารางหมวดที่ ๓.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน C

โรงงานผลิต	ก้อน			หนวด			รูวง				ระยะห่างระหว่างแกนเหล็ก				Load	S (kPa)
	ก1	ก2	ก3	ก4	ก5	ก6	ร1	ร2	ร3	ร4	1	2	3	4		
C1	39.32	39.72	39.22	26.38	26.78	26.78	-	-	-	-	0.90	3.00	1.50	0.30	1.50	48.3024
C2	39.68	39.94	39.66	27.88	26.72	27.50	-	-	-	-	0.20	1.20	0.90	0.10	0.80	27.2856
C3	60.72	60.42	59.62	27.3	26.84	27.06	-	-	-	-	0.1	0.3	0.6	0.7	1.04	33.0298
C4	39.64	39.52	39.34	28.92	27.14	27.1	-	-	-	-	0.7	0.5	0.1	0.7	2.16	68.936
C5	37.74	38.44	37.64	27.06	26.72	26.68	-	-	-	-	3.2	1.5	1.9	2.9	1.98	60.4609
เฉลี่ย															47.271144	

ตารางหมวดที่ ๓.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน D

โรงงานผลิต	ก้อน			หนวด			รูวง				ระยะห่างระหว่างแกนเหล็ก				Load	S (kPa)
	ก1	ก2	ก3	ก4	ก5	ก6	ร1	ร2	ร3	ร4	1	2	3	4		
D1	39.34	39.52	39.22	28.14	27.26	27.92	11.76	13.00	13.36	11.38	2.90	1.40	1.70	2.90	1.30	45.8301
D2	39.30	39.32	39.88	29.34	28.94	28.48	11.78	11.86	12.84	10.34	0.40	0.40	0.50	0.60	2.60	79.0224
D3	37.96	39.32	38.46	29.76	28.64	29.34	11.04	11.18	10.28	12.90	1.50	1.70	2.10	2.80	1.38	40.6928
D4	39.06	39.70	39.52	29.70	29.08	30.26	13.07	11.42	11.28	11.84	2.70	1.30	2.80	1.30	0.66	172.2804
D5	40.46	41.38	41.22	29.34	29.06	29.92	11.90	12.32	11.88	12.44	1.80	0.70	2.60	3.80	0.74	28.9264
เฉลี่ย															41.389316	

ตารางหมวดที่ ๓.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินเผาจากโรงงาน E

โรงงานผลิต	ก้อน			หนวด			รูวง				ระยะห่างระหว่างแกนเหล็ก				Load	S (kPa)
	ก1	ก2	ก3	ก4	ก5	ก6	ร1	ร2	ร3	ร4	1	2	3	4		
E1	106.28	106.72	106.56	68.82	68.28	69.06	-	-	-	-	2.40	1.70	0.80	2.00	12.06	147.476
E2	106.78	107.20	106.98	67.34	66.92	67.16	-	-	-	-	0.30	0.90	0.40	0.20	11.85	150.033
E3	106.24	106.78	106.42	69.98	68.74	68.52	-	-	-	-	0.50	0.10	0.50	1.00	10.90	135.545
E4	102.56	101.04	101.12	69.84	69.58	68.52	-	-	-	-	0.40	1.00	2.10	2.40	10.80	128.589
E5	105.50	105.48	106.80	69.82	69.58	69.94	-	-	-	-	0.30	0.40	0.80	2.10	6.21	76.3847
เฉลี่ย															122.564016	

ตารางผนวกที่ ฉ.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก๊อนอิฐดินเผาจากโรงงาน F

โรงงานทดสอบ	กริ่ง			ทวนข้าง			รูปร่าง				ระยะห่างถึงระนาบแตกหัก				Load KN	S (kPa)
	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้ายบน	ขวาบน	ซ้ายล่าง	ขวาล่าง	1	2	3	4		
F1	98.38	98.76	98.42	69.58	69.42	68.98					1.60	1.90	0.70	1.20	15.86	209.301
F2	98.54	98.18	99.62	68.14	69.06	69.32					0.10	1.80	0.50	0.10	12.72	169.826
F3	101.48	101.68	100.78	68.58	67.14	66.24					3.30	0.70	2.20	4.30	11.84	154.479
F4	98.543	99.42	98.24	70.22	66.5	66.84					2.10	2.70	1.30	1.20	11.00	144.454
F5	101.38	100.38	98.42	67.62	66.98	67.88					1.00	0.40	0.60	2.50	9.70	129.753
เฉลี่ย															161.56277	

ตารางผนวกที่ ฉ.7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก๊อนอิฐดินเผาจากโรงงาน G

โรงงานทดสอบ	กริ่ง			ทวนข้าง			รูปร่าง				ระยะห่างถึงระนาบแตกหัก				Load KN	S (kPa)
	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้ายบน	ขวาบน	ซ้ายล่าง	ขวาล่าง	1	2	3	4		
G1	102.06	102.94	103.28	64.98	65.02	64.14					0.00	2.20		2.40	6.62	89.9083
G2	103.66	104.14	104.42	68.28	68.04	67.16					1.20	2.00	3.40	1.50	7.74	98.1652
G3	103.84	104.12	103.34	65.56	65.08	64.54					2.10	1.30	0.00	1.30	7.04	94.157
G4	105.48	105.86	105.56	67.50	67.88	67.82					2.30	2.00	1.90	2.50	2.40	29.9853
G5	103.58	103.44	103.38	66.38	67.08	66.52					6.50	3.40	10.30	5.60	4.16	51.5967
เฉลี่ย															72.76251	

ตารางผนวกที่ ฉ.8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก๊อนอิฐดินเผาจากโรงงาน H

โรงงานทดสอบ	กริ่ง			ทวนข้าง			รูปร่าง				ระยะห่างถึงระนาบแตกหัก				Load KN	S (kPa)
	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้ายบน	ขวาบน	ซ้ายล่าง	ขวาล่าง	1	2	3	4		
H1	106.00	105.44	106.22	64.62	63.84	65.78					2.00	1.30	0.50	0.00	14.24	175.814
H2	109.38	107.62	107.18	67.12	67.22	68.38					3.60		0.40	1.10	12.70	146.711
H3	102.26	103.74	104.10	64.70	64.32	64.74					0.40	0.20	0.00	0.20	12.40	158.471
H4	109.14	108.24	105.64	69.34	68.44	68.84					4.10	0.00	0.20	2.50	11.18	126.592
H5	105.48	107.72	106.34	67.12	65.52	66.78					1.90	0.80	3.80	5.00	13.54	158.558
เฉลี่ย															153.22895	

ตารางผนวกที่ ฉ.9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก๊อนอิฐดินเผาจากโรงงาน I

โรงงานทดสอบ	กริ่ง			ทวนข้าง			รูปร่าง				ระยะห่างถึงระนาบแตกหัก				Load KN	S (kPa)
	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้ายบน	ขวาบน	ซ้ายล่าง	ขวาล่าง	1	2	3	4		
I1	64.22	63.00	64.72	31.60	31.48	32.10					0.70	0.80	1.40	0.60	0.52	13.2282
I2	64.14	63.84	64.32	32.16	31.68	31.44					0.80	1.30	1.20	0.40	0.36	9.12327
I3	64.98	63.82	64.90	30.24	31.48	31.58					0.80	0.90	0.30		0.44	11.3888
I4	64.52	63.96	64.72	31.38	30.50	30.34					0.70	0.60	0.20	0.90	0.54	14.1529
I5	64.80	64.96	63.34	30.24	29.44	30.24					0.20	0.20	0.10	0.10	0.60	16.262
เฉลี่ย															12.831033	

ตารางผนวกที่ ฉ.10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก๊อนอิฐดินเผาจากโรงงาน J

โรงงานทดสอบ	กริ่ง			ทวนข้าง			รูปร่าง				ระยะห่างถึงระนาบแตกหัก				Load KN	S (kPa)
	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้ายบน	ขวาบน	ซ้ายล่าง	ขวาล่าง	1	2	3	4		
J1	101.18	101.78	101.50	62.48	62.58	62.86					1.00	0.80	0.40	0.70	3.72	53.0735
J2	102.38	102.96	102.64	62.04	62.56	63.44					0.40	1.00	2.70	3.30	7.36	102.581
J3	101.18	100.92	101.36	58.34	57.90	59.42					0.10	0.20	0.10	0.60	5.46	84.0037
J4	96.90	96.28	95.94	61.78	61.08	60.20					0.20	0.20	0.70	0.30	6.58	101.86
J5	100.44	100.32	100.36	61.96	61.88	62.40					1.10	1.70	0.20	1.40	3.28	47.5591
เฉลี่ย															77.815541	

ตารางผนวกที่ ฉ.11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้านอิฐดินเผาจากโรงงาน K

โรงงานทดสอบที่	กริ่ง			หน้าข้าง			รู้ง				ระยะห่างถึงระบบเหล็ก				Load kN	StkPa
	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้ายบน	ขวาม	ซ้ายค	ขวาค	1	2	3	4		
K1	63.82	63.96	63.76	37.36	37.46	37.26	11.28	12.92	11.48	10.56	1.40	1.70	2.70	2.70	1.30	29.6141
K2	62.66	63.24	63.26	36.14	35.98	36.88	10.50	9.32	9.48	10.52	0.80	0.60	1.20	1.10	1.33	32.1725
K3	64.84	64.22	63.5	38.04	38.66	38.24	11.12	9.72	10.02	10.84	2.60	1.00	1.10	3.30	1.32	29.2265
K4	63.34	63.46	63.74	37.56	37.36	37.46	10.62	10.1	11.96	11.06	0.40	0.50		0.10	0.82	0.56645
K5	65.26	64.52	65.12	37.96	37.94	38.06	10.34	10.16	11.24	13.36	0.20	1.20	0.20	0.10	0.88	19.9214
เฉลี่ย															22.30194	

ตารางผนวกที่ ฉ.12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้านอิฐดินเผาจากโรงงาน L

โรงงานทดสอบที่	กริ่ง			หน้าข้าง			รู้ง				ระยะห่างถึงระบบเหล็ก				Load kN	StkPa
	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้ายบน	ขวาม	ซ้ายค	ขวาค	1	2	3	4		
L1	60.90	61.70	62.00	30.86	30.80	30.50	7.98	7.06	9.12	7.16	1.00	2.10	1.50	0.30	1.22	33.1235
L2	62.92	63.14	62.96	30.90	30.60	30.58	7.98	7.62	7.54	7.48		0.60	0.30	0.10	1.00	26.9923
L3	62.96	62.28	62.16	31.78	31.58	31.16	8.42	7.06	8.24	7.58	1.30	1.70	2.40	1.90	0.74	19.0939
L4	60.30	59.94	59.86	29.62	29.68	29.52	7.82	7.88	8.54	8.24	0.60	0.90	0.40	0.20	5.52	161.348
L5	61.38	61.94	61.08	30.32	31.06	31.88	8.42	6.96	7.98	6.60	0.10	0.10	0.10	0.20	0.94	25.6797
เฉลี่ย															53.247468	

ตารางผนวกที่ ฉ.13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้านอิฐดินเผาจากโรงงาน M

โรงงานทดสอบที่	กริ่ง			หน้าข้าง			รู้ง				ระยะห่างถึงระบบเหล็ก				Load kN	StkPa
	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้าย	ขวา	กลาง	ซ้ายบน	ขวาม	ซ้ายค	ขวาค	1	2	3	4		
M1	70.56	70.62	70.96	36.98	36.68	26.92	9.62	9.12	8.94	7.36	0.90	1.00	1.70	2.10	1.10	25.5039
M2	70.08	70.12	70.12	36.98	36.90	37.96	9.42	9.22	9.68	10.06	0.80	0.90	1.60	1.40	1.30	27.4529
M3	70.34	70.82	70.08	36.20	35.80	35.42	8.26	8.78	9.70	9.38	0.60	0.50	1.30	1.20	1.38	30.3447
M4	70.96	70.82	70.74	36.60	36.64	36.28	9.90	9.82	9.84	9.64	0.30	0.20	0.20	0.10	1.16	25.15
M5	69.62	69.96	70.84	35.90	36.08	35.94	9.92	9.52	9.30	9.92	1.10	0.70	1.50	1.40	1.12	24.4992
เฉลี่ย															26.590148	

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ-สกุล นายสิทธิชัย แสงอาทิตย์
Mr. Sittichai Seangatith
2. ตำแหน่ง อาจารย์
3. วันเดือนปีและสถานที่เกิด 19 สิงหาคม พ.ศ. 2511 จังหวัดเพชรบุรี
4. สถานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

5. ประวัติการศึกษา

Ph.D. in Civil Engineering (1997), University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, USA

M.Eng. in Civil Engineering (1993), University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, USA

B.Eng. in Civil Engineering (1990), Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญ

Structural Engineering - Experimental and Applied Mechanics on Civil Engineering Fiber Reinforced Plastic Composite Materials and Structures, Reinforced Concrete, Masonry, and Steel. Finite Element Analysis.

7. ผลงานทางวิชาการ

1. Seangatith, S., and Yuan, R.L., "Optimization of Pultruded GFRP Composite Bridge Railing System," Proceeding of the Forth National Workshop on Bridge Research in Progress, Buffalo, New York, 1996.
2. Yuan, R.L., and Seangatith, S., "GFRP Composite Columns with Various End Conditions," Technical Report. The University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, 1996.
3. Seangatith, S., and Yuan, R.L., "Impact Analysis of Simply Supported FRP Thin-Walled Closed-Section Beams," *The Fourth International Conference on Composite Engineering*, Kohala Coast, Hawaii, 1997.
4. Seangatith, S., and Yuan, R.L., "Impact Analysis of FRP Composite Beams." ASCE Structural Engineers World Congress, San Francisco, California, 1998.
5. Seangatith, S., and Sriboonlue, W., "Axially-Loaded Glass-Fiber Reinforced Plastic Composite Columns," *The Seventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction*, Kochi, Japan, 1999.