การศึกษาผลของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายต่อสมบัติทางกลของมอร์ต้าและคอนกรีต

Influence of Fine Aggregate Surface Area on Mechanical Properties of Mortar and Concrete

นายจงรักษ์ นาหลวง
นายประทิม อินทรีย์
นายเกษม นวลประทีป

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2543

13980777
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 12 ต.ค. 2544
เลขทะเบียน วศ 4400398
เลขเรียกหนังสือ TA 439 ว270 ส543
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมโยธา

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมโยธา : การศึกษาผลของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายต่อสมบัติทางกลของมอร์ต้าและคอนกรีต

ผู้ดำเนินงาน : นายจงรักษ์ นาหลวง รหัส 40361735
นายประทิม อินทรีย์ รหัส 40361917
นายเกษม นวลประทีป รหัส 40362188

ที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมโยธา : อาจารย์ สรัณกร เหมะวิบูลย์

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา : 2543

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบโครงงาน

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ สรัณกร เหมะวิบูลย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ วรางค์ลักษณ์ ซ่อนกลิ่น)

..... หัวหน้าภาควิชา
(ผศ. สมบัติ ชื่นชูกลิ่น)

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมโยธา : การศึกษาผลของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายต่อสมบัติทางกลของมอร์ต้าและคอนกรีต
ผู้ดำเนินงาน : นายจงรักษ์ นาหลวง รหัส 40361735
นายประทิม อินทรีย์ รหัส 40361917
นายเกษม นวลประทีป รหัส 40362188
ที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมโยธา : อาจารย์ สรัณกร เหมะวิบูลย์
สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา : 2543

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายต่อสมบัติทางกลของมอร์ต้าและคอนกรีต โดยได้ทำการหล่อแท่งตัวอย่างมอร์ต้าและคอนกรีต สำหรับสัดส่วนผสมมอร์ต้าที่ใช้ในการหล่อแท่งตัวอย่าง ได้กำหนดให้มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W / C) เท่ากับ 0.42 ปริมาตรของทรายเท่ากับ 40% โดยปริมาตรของมอร์ต้า และได้กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W / C) เท่ากับ 0.50 ปริมาตรของทรายเท่ากับ 40% โดยปริมาตร ปริมาณของสารลดน้ำจำนวนมาก (Type F) เท่ากับ 3.5% โดยน้ำหนักซีเมนต์ สำหรับสัดส่วนผสมคอนกรีต โดยโครงงานวิจัยนี้ใช้ทรายที่มีพื้นที่ผิวสัมผัส ระหว่าง 0.75 ถึง 12.90 ตารางเมตรต่อกิโลกรัม เป็นตัวแปรในการทดลอง โดยทรายที่นำมาทดลองเป็นทรายแม่น้ำจาก อ. พรานกระต่าย จ. กำแพงเพชร

เมื่อนำแท่งตัวอย่างทดสอบมอร์ต้าและคอนกรีตไปทดสอบกำลังอัด จากผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความสามารถในการรับแรงอัด ค่าความเค้นสูงสุด ค่าความเครียดสูงสุด ค่าโมดูลัสการคืนตัว และค่าโมดูลัสความเหนียว มีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าลดลง

Project Title : Influence of Fine Aggregate Surface Area on Mechanical Properties of Mortar and Concrete

Name : Mr. Jongrak Naluang Code 40361735

Mr. Pratim Insee Code 40361917

Mr. Kasem Nuanprateep Code 40362188

Project Advisor : Mr. Saranagon Hemavibool

Major : Civil Engineering

Department : Civil Engineering

Academic Year : 2000

Abstract

The objective of this project is to study the effects of fine aggregate surface area on the mechanical properties of mortar and concrete. The mortar mixture design were specified to the water cement ratio of 0.42 and sand volume of 40 % by total volume. The concrete mixture design were specified to water cement ratio of 0.50, sand volume of 40 % by total volume and admixture (Type F) of 3.5 % by cement weight. The parameter is fine aggregate surface area between 0.75 to 12.90 $m.^2/Kg$. These are river sand from Phrankratai district , Kampheangphet provice.

The result from the compressive test of mortar and concrete shows that the increasing of fine aggregate surface area increases the compressive strength, peak stress, peak strain, modulus of resilience and modulus of toughness but decrease modulus of elasticity.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจากอาจารย์สรัณกร เหมะวิบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดการดำเนินโครงงานวิศวกรรมโยธาครั้งนี้และช่วยชี้แนะ แก้ไขในการทำรูปเล่มโครงงานฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนรู้สึกสำนึกในความกรุณาและขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณอาจารย์ วรางค์ลักษณ์ ซ่อนกลิ่น ที่ให้คำปรึกษา ประสานงาน และเป็นกำลังใจในการทำโครงงานครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณครูช่างโยธาทุกท่าน ที่กรุณาอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อในการให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยีและในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา ทั้งในและนอกเวลาราชการในการปฏิบัติงานโครงงาน

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตวิศวกรรมโยธา รุ่น 4 ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำโครงงานครั้งนี้

ขอขอบคุณ บิดา มารดา และพี่น้อง ที่สนับสนุนส่งเสริมในเรื่องการศึกษา

ผู้ดำเนินงานวิศวกรรมโยธา
นายจงรักษ์ นาหลวง
นายประทิม อินทรีย์
นายเกษม นวลประทีป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
คำนิยามศัพท์	น
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน	2
1.5 ขั้นตอนการทำโครงงาน	3
1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	4
1.7 รายละเอียดงบประมาณของโครงการ	5
บทที่ 2 วิธีการทดลอง	6
2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	6
2.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	8
2.3 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ	8
2.4 วิธีการทดลอง	9
2.4.1 การทดสอบหาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย	9
2.4.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำและความชื้นของทราย	10
2.4.3 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำและความชื้นของหิน	12
2.4.4 การทดสอบหาค่ากำลังอัดของมอร์ต้า	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.5 การทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต 15

บทที่ 3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 18

3.1 ผลการทดสอบหาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย 18

3.2 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำและความชื้นของทราย 19

3.3 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำและความชื้นของหิน 20

3.4 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า 21

3.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด 21

3.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย 39

3.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย 41

3.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย 43

3.4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย 45

3.4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและพื้นที่ผิว สัมผัสของทราย 47

3.5 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต 52

3.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด 52

3.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย 66

3.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย 68

3.5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย 70

3.5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย 72

3.5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและพื้นที่ผิว สัมผัสของทราย 74

บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง 76

บรรณานุกรม 77

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	79
ภาคผนวก ก	79
ภาคผนวก ข	88
ภาคผนวก ค	94
ภาคผนวก ง	101
ภาคผนวก จ	108
ประวัติผู้เขียน	113

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงขนาดตะแกรงที่ใช้ในการหาขนาดคละของทราย	7
2.2 แสดงลักษณะของทรายที่ผ่านการแยกขนาดด้วยตะแกรงมาตราฐาน	8
2.3 แสดงอัตราส่วนผสมมอร์ต้า สำหรับแท่งตัวอย่างลูกบาศก์ ขนาด 5x5x5 ซม. จำนวน 12 แท่งทดสอบ	13
2.4 แสดงอัตราส่วนผสมคอนกรีต สำหรับแท่งทรงกระบอก จำนวน 12 แท่งทดสอบ	15
3.1 แสดงการวิเคราะห์หาส่วนขนาดของทรายด้วยตะแกรง	18
3.2 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของทราย ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD)	20
3.3 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของหิน	20

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงแบบจำลองของ Transition Zone	1
3.1 แสดงแผนภูมิขนาดคละของทราย	19
3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	21
3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	22
3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	22
3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	23
3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	23
3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	24
3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการบ่ม 7 วัน	25
3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการปม 7 วัน	25
3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการปม 7 วัน	26
3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการบ่ม 7 วัน	26
3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 7 วัน	27
3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 7 วัน	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการบ่ม 14 วัน	28
3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการบ่ม 14 วัน	29
3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการบ่ม 14 วัน	29
3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการบ่ม 14 วัน	30
3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 14 วัน	30
3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 14 วัน	31
3.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน	32
3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน	32
3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน	33
3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน	33
3.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 28 วัน	34
3.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 28 วัน	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการบ่ม 60 วัน	35
3.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการบ่ม 60 วัน	36
3.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการบ่ม 60 วัน	36
3.29 กราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการบ่ม 60 วัน	37
3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 60 วัน	37
3.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 60 วัน	38
3.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1	39
3.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2	40
3.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3	40
3.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1	41
3.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2	42
3.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3	42
3.38 แสดงการหาค่าโมดูลัสการคืนตัวและค่าโมดูลัสความเหนียว	43

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1	44
3.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2	44
3.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3	45
3.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1	46
3.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2	46
3.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3	47
3.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน	48
3.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน	48
3.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 28 วัน	49
3.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 1 ที่อายุการบ่ม 60 วัน	50
3.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 2 ที่อายุการบ่ม 60 วัน	50
3.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่ 3 ที่อายุการบ่ม 60 วัน	51
3.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 1 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	52

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 1 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	53
3.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบ คอนกรีตที่ 2 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	53
3.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 2 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	54
3.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบ คอนกรีตที่ 3 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	54
3.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 3 ที่อายุการบ่ม 3 วัน	55
3.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบ คอนกรีตที่ 1 ที่อายุการบ่ม 7 วัน	56
3.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 1 ที่อายุการบ่ม 7 วัน	56
3.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบ คอนกรีตที่ 2 ที่อายุการบ่ม 7 วัน	57
3.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งตัวทดสอบคอนกรีตที่ 2 ที่อายุการบ่ม 7 วัน	57
3.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบ คอนดรีตที่ 3 ที่อายุการบ่ม 7 วัน	58
3.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 3 ที่อายุการบ่ม 7 วัน	58
3.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีต ที่ 1 ที่อายุการบ่ม 14 วัน	59
3.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 1 ที่อายุการบ่ม 14 วัน	60

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 2 ที่อายุการบ่ม 14 วัน 60

3.66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 2 ที่อายุการบ่ม 14 วัน 61

3.67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 3 ที่อายุการบ่ม 14 วัน 61

3.68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 3 ที่อายุการบ่ม 14 วัน 62

3.69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน 63

3.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน 63

3.71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน 64

3.72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน 64

3.73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 3 ที่อายุการบ่ม 28 วัน 65

3.74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 3 ที่อายุการบ่ม 28 วัน 65

3.75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 1 66

3.76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 2 67

3.77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 3 67

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 1 68

3.79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 2 69

3.80 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 3 69

3.81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 1 70

3.82 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 2 71

3.83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 3 71

3.84 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 1 72

3.85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 2 72

3.86 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 3 73

3.87 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน 74

3.88 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน 75

3.89 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบคอนกรีตที่ 3 ที่อายุการบ่ม 28 วัน 75

จ.1 เครื่องร่อนทราย 108

จ.2 เครื่องทดสอบแรงกด 108

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.3 เครื่องผสมมอร์ต้า	108
จ.4 เครื่องผสมคอนกรีต	108
จ.5 การล้างทราย	109
จ.6 การผึ่งทรายให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	109
จ.7 การคัดแยกขนาดทราย	109
จ.8 ถังเก็บทรายที่แยกตามขนาดทราย	109
จ.9 การผสมมอร์ต้า	110
จ.10 การเทมอร์ต้าใส่แบบหล่อ	110
จ.11 การบ่มมอร์ต้าในน้ำ	110
จ.12 การทดสอบกำลังอัดมอร์ต้า	110
จ.13 การผสมคอนกรีต	111
จ.14 การเทคอนกรีตใส่แบบหล่อ	111
จ.15 การบ่มคอนกรีตในน้ำ	111
จ.16 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต	111
จ.17 แสดงลักษณะรอยแตกหักของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่อายุการบ่ม 60 วัน	112
จ.18 แสดงลักษณะรอยแตกร้าวของแท่งทดสอบคอนกรีตที่อายุการบ่ม 28 วัน	112

คำนิยามศัพท์

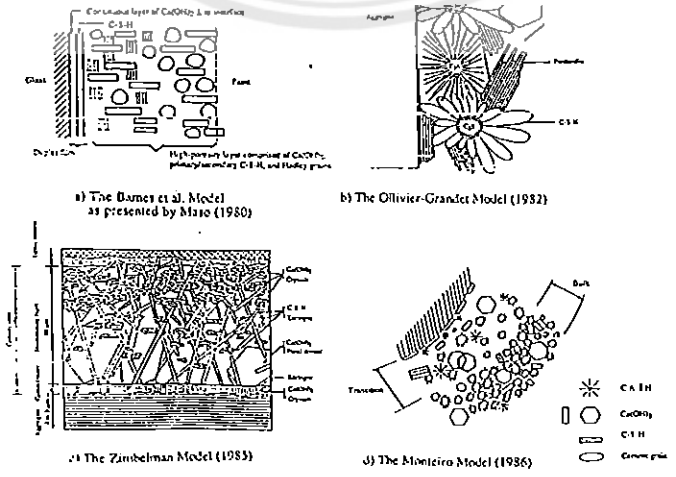
w / c	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
SSD	สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
F.M.	โมดูลัสความละเอียด
ksc	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
Ss	พื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (ตร.ซม. / กก.)
	$= \psi s \times So,s$
ψs	สัมประสิทธิ์รูปร่างของทรายแม่น้ำเป็นทรงกลม มีค่าเท่ากับ 1.1
So,s	พื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่สมมติให้เป็นอนุภาคทรงกลม
	$= 6000 / (Dav \times \rho s)$ (ตร.ซม. / กก.)
Dav	ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทราย (ซม.)
	$= \sum Di\ Mi / \sum Mi$
Di	ค่าเฉลี่ยของช่องเปิดตะแกรงร่อนระหว่างช่องเปิดด้านบนที่ใหญ่กว่ากับช่องเปิดชั้นที่พิจารณานั้น ๆ (ซม.)
Mi	ค่าร้อยละของมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงชั้นที่พิจารณานั้น ๆ
ρs	ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย (กรัม / ลบ.ซม.)
SA1	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย เท่ากับ 0.75 ตร.ม. / กก. ของมอร์ต้า
SA2	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย เท่ากับ 1.52 ตร.ม. / กก. ของมอร์ต้า
SA3	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย เท่ากับ 3.16 ตร.ม. / กก. ของมอร์ต้า
SA4	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย เท่ากับ 6.27 ตร.ม. / กก. ของมอร์ต้า
SA5	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย เท่ากับ 12.90 ตร.ม. / กก. ของมอร์ต้า
SA6	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย เท่ากับ 2.82 ตร.ม. / กก. ของมอร์ต้า
CSA1	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย เท่ากับ 1.52 ตร.ม. / กก. ของคอนกรีต
CSA2	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย เท่ากับ 3.16 ตร.ม. / กก. ของคอนกรีต
CSA3	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย เท่ากับ 6.27 ตร.ม. / กก. ของคอนกรีต
CSA4	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย เท่ากับ 2.82 ตร.ม. / กก. ของคอนกรีต

บทที่ 1
บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจวบจนปัจจุบัน คอนกรีตประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต โดยเมื่อนำส่วนต่าง ๆ เหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะที่แตกต่าง กล่าวคือ เมื่อนำปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่า ซีเมนต์เพสท์ (Cement Paste) ซีเมนต์เพสท์ผสมกับทราย เรียกว่า มอร์ต้า (Mortar) และมอร์ต้าผสมกับหิน เรียกว่า คอนกรีต (Concrete) การที่คอนกรีตจะมีคุณภาพที่ดีและมีกำลังอัดที่สูงนั้นจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุผสมคอนกรีตด้วย

1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญ

ได้มีการศึกษาค้นคว้าและดำเนินการวิจัยอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างของชั้นซีเมนต์เพสต์ที่ห่อหุ้มอนุภาคของมวลรวมในคอนกรีตที่เรียกว่า Transition Zone เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของชั้นซีเมนต์เพสต์ในโซนดังกล่าวมีความแตกต่างไปจากซีเมนต์เพสต์โดยทั่วไป โดยมีผู้นำเสนอรูปแบบจำลองของ Transition Zone หลายท่าน โดยเริ่มตั้งแต่ Barnes และคณะ [7] Monteriro [8] และ Grandet Zimbelman [9] และ Ollivier [10] ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวได้แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแบบจำลองของ Transition Zone

Bentz และ คณะ [11] ได้พัฒนารูปแบบจำลองในแบบ 3 มิติ และได้มีการทดสอบรูปแบบจำลองดังกล่าวกับผลที่ได้จากการทดลอง นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอีกหลายท่านได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการผสมสารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (mineral admixtures) ในคอนกรีตต่อลักษณะโครงสร้างของ Transition Zone [12 - 14] ต่อมา Cohen และคณะ [15] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ Transition Zone กับสมบัติทางกลของมอร์ต้า ทั้งนี้ปริมาณของ Transition Zone จะขึ้นอยู่กับปริมาณของพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวม ซึ่งโดยปกติพื้นที่สัมผัสของทรายจะมีค่าปริมาณ 25 ถึง 40 เท่า ของพื้นที่ผิวสัมผัสของหิน

ในโครงการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาอิทธิพลของ พื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวมที่มีต่อสมบัติทางกลของมอร์ต้าและคอนกรีต ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับส่วนผสมของคอนกรีตเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีสมบัติทางกลที่ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวมละเอียดต่อสมบัติทางกลของมอร์ต้า และคอนกรีต

1.2.2 เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

1.2.3 เพื่อเพิ่มพูนทักษะการใช้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการในสาขาวิศวกรรมโยธา

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 อิทธิพลของพื้นที่ผิวสัมผัสทรายต่อสมบัติทางกลของมอร์ต้าและคอนกรีต

1.3.2 เพิ่มพูนทักษะในการใช้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี

1.3.3 สามารถนำผลที่ได้เป็นแนวทางในการปรับปรุงส่วนผสมคอนกรีต เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

ศึกษาผลของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่มีต่อค่าความเค้นสูงสุด ความเครียด ณ ตำแหน่งที่มีความเค้นสูงสุด โมดูลัสการคืนตัว โมดูลัสความเหนียวและโมดูลัสความยืดหยุ่นของมอร์ต้าและคอนกรีต

1.5 ขั้นตอนการทำโครงงาน

1.5.1 เก็บตัวอย่างของทรายแม่น้ำจากแหล่งที่กำหนดไว้ 1 แหล่ง

1.5.2 ทำการคัดแยกขนาดของทรายที่ได้จากแหล่ง โดยอาศัยตะแกรงร่อนในการแยก

1.5.3 คำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสที่แท้จริงของทรายจากแหล่งและทรายที่ผ่านการคัดแยกขนาด

1.5.4 ทำการศึกษาของพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวมละเอียดต่อสมบัติทางกลของมอร์ต้า

1.5.4.1 เตรียมแท่งมอร์ต้ารูปทรงลูกบาศก์สำหรับการทดสอบแรงกด

1.5.4.1.1 กำหนดสัดส่วน น้ำต่อซีเมนต์ ที่ต้องการใช้ในการทดสอบ 1 ค่า

1.5.4.1.2 กำหนดขนาดของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ได้จากข้อ 1.5.3 ในการทดสอบ 6 ค่า (0.75 ถึง 12.90 ตร.ม./กก.)

1.5.4.1.3 คำนวณหาปริมาณสัดส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ในการผลิตมอร์ต้า

1.5.4.1.4 ผสมแท่งมอร์ต้าที่ได้จากข้อ 1.5.4.1.3 และใช้น้ำในการบ่ม

1.5.4.2 ทดสอบแรงกดที่อายุการบ่ม 3 7 14 28 และ 60 วัน

1.5.4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง

1.5.4.3.1 กราฟความเค้นกับความเครียด (Stress – Strain Curve)

1.5.4.3.2 กราฟความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (Peak Stress - Surface Area)

1.5.4.3.3 กราฟความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (Peak Strain - Surface Area)

1.5.4.3.4 ค่ายังโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (Modulus of Resilience - Surface Area)

1.5.4.3.4 ค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (Modulus of Toughness - Surface Area)

1.5.4.3.5 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย(Modulus of Elasticity - Surface Area)

1.5.5 ทำการศึกษาของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายต่อสมบัติทางกลของคอนกรีต

1.5.5.1 เตรียมแท่งมอร์ต้ารูปทรงลูกบาศก์สำหรับการทดสอบแรงกด

1.5.5.1.1 กำหนดสัดส่วน น้ำต่อซีเมนต์ และสารผสมเพิ่ม Type F ที่ต้องการใช้ในการทดสอบ 1 ค่า

1.5.5.1.2 กำหนดขนาดของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ได้จากข้อ 1.5.3 ในการทดสอบ 4 ค่า (1.52 ถึง 6.27 ตร.ม./กก.)

1.5.5.1.3 คำนวณหาปริมาณสัดส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต

1.5.5.1.4 ผสมแท่งคอนกรีตที่ได้จากข้อ 1.5.5.1.3 และใช้น้ำในการบ่ม

1.5.5.2 ทดสอบแรงกดที่อายุการบ่ม 3 7 14 และ 28 วัน

1.5.5.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง

1.5.5.3.1 กราฟความเค้นกับความเครียด (Stress -Strain Curve)

1.5.5.3.2 กราฟความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (Peak Stress - Surface Area)

1.5.5.3.3 กราฟความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (Peak Strain - Surface Area)

1.5.5.3.4 ค่ายังโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (Modulus of Resilience - Surface Area)

1.5.5.3.4 ค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (Modulus of Toughness - Surface Area)

1.5.5.3.5 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (Modulus of Elasticity- Surface Area)

1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

กิจกรรม	พ.ศ.2543						พ.ศ.2544		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ค้นคว้า รวบรวมข้อมูลและติดต่อซื้อวัสดุ	■								
2.ตรวจสอบความพร้อมของห้องปฏิบัติการ		■							
3.ดำเนินงานวิจัยนำร่อง			■	■					
4.ปรับแนวทางการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนำร่อง				■	■				
5.ศึกษาผลของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายต่อสมบัติทางกลของมอร์ต้า					■	■	■		
6. ศึกษาผลของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต						■			
7.วิเคราะห์ผลกกกการทดลองและสรุปผลการทดลอง						■	■	■	
8.จัดทำรายงานวิจัย									■

1.7 รายละเอียดงบประมาณของโครงการ

1.7.1 ค่าวัสดุก่อสร้าง	เป็นเงิน	2,470	บาท
1.7.2 ค่าวัสดุสำนักงาน	เป็นเงิน	425	บาท
1.7.3 ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์	เป็นเงิน	150	บาท
1.7.4 ค่าฟิล์มถ่ายรูป , ล้างฟิล์มและอัดรูป	เป็นเงิน	662	บาท
1.7.5 ค่าพิมพ์รายงานเอกสาร	เป็นเงิน	214	บาท
1.7.6 ค่าถ่ายเอกสารและเข้ารูปเล่ม	เป็นเงิน	1,600	บาท
	รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	5,521	บาท

บทที่ 2
วิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง และขั้นตอนการทดสอบแท่งตัวอย่างมอร์ต้าและคอนกรีต ซึ่งเป็นบทที่สำคัญที่สุดของโครงงานวิจัยนี้ ก่อนทำการทดลองจะต้องมีการเตรียมการเกี่ยวกับอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง เพื่อจะได้ทำการทดลองได้ทันทีและช่วยให้การดำเนินงานในการทำโครงงารวิจัยเป็นไปตามแผนการดำเนินงานที่วางไว้ อีกทั้งการเตรียมวัสดุที่ดีและการทำการทดลองเป็นขั้นตอน จะทำให้ผลการทดลองที่ได้มีประสิทธิภาพ เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Teledo รุ่น PB 302 ผลิตจากประเทศสวิตเซอร์แลนด์

2.1.2 เครื่องชั่งหินทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Teledo ผลิตจากประเทศสวิตเซอร์-แลนด์

2.1.3 กระบอกตวงขนาดความจุ 500 มิลลิลิตร และ 250 มิลลิลิตร

2.1.4 กรวยทดสอบทรายในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในด้านบน 40 มิลลิเมตรเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ฐาน 90 มิลลิเมตร สูง 75 มิลลิเมตร และหนา 0.8 มิลลิเมตร

2.1.5 เหล็กกระทุ้ง(Tamper) มีน้ำหนักหนัก 340 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร

2.1.6 ตู้อบ ยี่ห้อ SHELLAB รุ่น 1390 FX ผลิตจากประเทศ สหรัฐอเมริกา

2.1.7 เทอร์โมมิเตอร์

2.1.8 ถาดอะลูมิเนียม

2.1.9 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อนทราย (Mechanical Seive Shaker) ยี่ห้อ ENDECOTTS รุ่น EFL 2000 / 2 SIN 14540-97 ผลิตจากประเทศ อิตาลี

2.1.10 ตะแกรงร่อนตามมาตรฐาน ASTM C33 ยี่ห้อ รุ่น และประเทศที่ผลิต เหมือนเครื่องเขย่าตะแกรงร่อนทราย

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดตะแกรงที่ใช้ในการหาขนาดคละของทราย

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	ขนาดช่องว่าง (ม.ม.)
เบอร์ 4	4.75
เบอร์ 8	2.36
เบอร์ 16	1.18
เบอร์ 30	0.60
เบอร์ 50	0.30
เบอร์ 100	0.15

2.1.11 กรวยเหล็กสำหรับวัดการยุบตัว (Slump Mold) ขนาดตอนบนมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 10 เซนติเมตรและด้านล่าง 20 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ใช้สำหรับทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต

2.1.12 เหล็กตำ (Tamping Rod) ทำจากเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ยาว 60 เซนติเมตรปลายกลมมน

2.1.13 แบบหล่อก้อนตัวอย่างมอร์ต้า ทำจากเหล็กทรงลูกบาศก์ กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร

2.1.14 แบบหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีต ทำจากเหล็กหล่อเป็นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

2.1.15 ชุดทดสอบกำลังอัด(Compressive Machine) ยี่ห้อ TECHNOTEST ผลิตจากประเทศอิตาลี

2.1.16 Dial Gauge ยี่ห้อ TECHNOTEST รุ่น T 630 / 1 ผลิตจากประเทศ เยอรมันนี

2.1.17 ตะกร้าสำหรับชั่งหินในน้ำ

2.1.18 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ สปริง ถังเหล็ก ยี่ห้อ CAPACITY ไม่มีรุ่น ผลิตจากประเทศไทย

2.1.19 เครื่องผสมมอร์ต้า ยี่ห้อ HVA MIN MARCHINE HONDUR PRODUCT รุ่น HS 100 ผลิตจากประเทศไทย

2.1.20 โม่แบบ Tilt ยี่ห้อ BATON MIXER ไม่มีรุ่น ผลิตจากประเทศไทย

2.2 วัสดุที่ใช้

2.2.1ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (Type 1) ตราช้าง ผลิตจากบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย ซึ่งแต่ละถุงมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม บรรจุในถุงกระดาษอย่างดี ไม่มีรอยรั่ว และถูกเก็บในที่แห้ง ปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้จะต้องมีเม็ดปูนละเอียดไม่จับตัวกันเป็นก้อน

2.2.2 ทราย

2.2.3 หิน

2.2.4 น้ำ

ใช้น้ำประปาที่สะอาด ไม่สี ไม่มีกลิ่น จากห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.2.5 สารผสมเพิ่ม

ในการทดลองนี้ ใช้สารผสมเพิ่มประเภทลดน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer) Type F ซึ่งผลิตจากบริษัท Thai Master Builders CO.,LTD.

2.3 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ

2.3.1 ทราย

ใช้ทรายแม่น้ำ จาก ต.หนองแขม อ.ลานกระบือ จ.กำแพงเพชร ซึ่งเป็นทรายหยาบ ก่อนที่จะนำทรายมาใช้จะต้องทำการแยกขนาดเม็ดทรายด้วยตะแกรงมาตรฐาน แยกขนาดของทรายออกเป็น 6 ขนาด ดังแสดงตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะของทรายที่ผ่านการแยกขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน

ทราย	ขนาดตะแกรงที่ใช้	ขนาดของทราย (ม.ม.)	พื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (ตร.ม./ กก.)
SA1	เบอร์ 4 ถึง เบอร์ 8	2.36 ถึง 4.75	0.75
SA2	เบอร์ 8 ถึง เบอร์ 16	1.18 ถึง 2.36	1.52
SA3	เบอร์ 16 ถึง เบอร์ 30	0.60 ถึง 1.18	3.16
SA4	เบอร์ 30 ถึง เบอร์ 50	0.30 ถึง 0.60	6.27
SA5	เบอร์ 50 ถึง เบอร์ 100	0.15 ถึง 0.30	12.90
SA6	เบอร์ 4 ถึง เบอร์ 100	0.15 ถึง 4.75	2.82

หลังจากนั้นไปล้างสะอาด ผึ่งแดดให้ทรายอยู่ในสภาวะ อิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) แล้วจึงนำทรายไปเก็บไว้ในถังพลาสติก แยกเป็น 6 ถัง ตามขนาดของเม็ดทราย ปิดฝาให้สนิทเพื่อให้ความชื้นของทรายคงที่

2.3.2 หิน

ใช้หินขนาด 3/8 นิ้ว จากโรงโม่ศิลากำแพงเพชร ของ หจก. ศิลากำแพงเพชร ต. พรานกระต่าย อ.พรานกระต่าย จ.กำแพงเพชร ก่อนใช้จะต้องล้างหินด้วยน้ำสะอาด และตากให้แห้งแล้วจึงเก็บหินที่แห้งไว้ในถังพลาสติก ปิดฝาให้สนิท

2.4 วิธีการทดลอง

2.4.1 การทดสอบหาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย

2.4.1.1 ทำความสะอาดทรายที่ได้จากแหล่งให้สะอาด หลังจากนั้นให้นำทรายไปอบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.4.1.2 นำทรายที่ผ่านการอบให้แห้งสนิท มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 500 กรัม เพื่อใช้หาขนาดคละของมวลรวมละเอียด

2.4.1.3 นำตระแกรงเบอร์ 4 เบอร์ 8 เบอร์ 16 เบอร์ 30 เบอร์ 50 เบอร์ 100 และถาด มาวางซ้อนกันเป็นชุดบนเครื่องเขย่า โดยให้ตะแกรงขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ชั้นบน วางเรียงกันมาตามลำดับ

2.4.1.4 เททรายลงบนตะแกรงเบอร์ 4 ซึ่งอยู่ชั้นบนสุด ปิดฝาให้แน่นแล้วนำเข้าเครื่องเขย่าทราย เขย่าจนทรายที่ค้างบนตะแกรงไม่ผ่านยังตะแกรงชั้นถัดไป ใช้เวลาประมาณ 5 นาที

2.4.1.5 ชั่งน้ำหนักทรายที่ค้างบนแต่ละตะแกรงด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักที่อ่านค่าได้ละเอียด 0.1 กรัม

2.4.1.6 คำนวณร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด

2.4.1.7 คำนวณหาค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) โดยการรวมร้อยละน้ำหนักสะสมที่ค้างบนตะแกรง ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง เบอร์ 100 แล้วหารด้วย100

2.4.1.8 นำเอาค่าร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดมาตรฐานมาเขียนกราฟแผนภูมิขนาดคละ ของทราย

2.4.1.7 คำนวณหาค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) โดยการรวมร้อยละน้ำหนักสะสมที่ค้างบนตะแกรง ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง เบอร์ 100 แล้วหารด้วย100

2.4.1.8 นำเอาค่าร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดมาตรฐานมาเขียนกราฟแผนภูมิขนาดคละ ของทราย

2.4.1.9 ทำการหาพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ได้จากแหล่ง โดยการใช้ทรายที่ผ่านการอบแห้งจำนวน 2429 กรัม มาทำการแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อนมาตรฐาน ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.4.1.3 ถึง ข้อ 2.4.1.6 โดยไม่ใช้ตะแกรงเบอร์4

2.4.1.10 คำนวณหาร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงตั้งแต่เบอร์ 8 ถึง เบอร์ 100

2.4.1.11 คำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ได้จากแหล่งจากสูตร

$$Ss = \psi s \times So,s$$

เมื่อ $So,s = 6000 / (Dav \times \rho s)$ หน่วย กก./ตร.ซม.

$$Dav = \sum DiMi / \sum Mi$$

โดย ψs คือ สัมประสิทธิ์รูปร่างของทรายแม่น้ำที่เป็นทรงกลม มีค่าเท่ากับ 1.1

So,s คือ พื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่สมมุติให้เป็นอนุภาคทรงกลม

Dav คือ ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย (ซม.)

Di คือ ค่าเฉลี่ยของช่องเปิดตะแกรงร่อนระหว่างช่องเปิดด้านบนที่ใหญ่กว่า กับช่องเปิดชั้นที่พิจารณานั้นๆ (ซม.)

Mi คือ ค่าร้อยละของมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงชั้นที่พิจารณานั้นๆ

ρs คือ ค่าความถ่วงจำเพาะที่แท้จริงของทราย

2.4.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะการดูดซึมน้ำและความชื้นของทราย

2.4.2.1 ใช้ทรายตัวอย่างจากถังที่เก็บทรายทั้ง 6 ถัง ตัวอย่างละประมาณ 1000 กรัม ที่ผ่านการทดสอบว่าทรายมีการไหลตัวอิสระ ไม่มีความชื้นที่ผิว โดยการเททรายนั้นลงในกรวยโลหะจนเต็ม แล้วใช้เหล็กกระทุ้ง กระทุ้งเป็นจำนวน 25 ครั้ง จากนั้นยกกรวยขึ้นตรงๆในแนวดิ่ง ถ้าพบว่าทรายยุบตัวลงเล็ก

น้อย แสดงว่าทรายอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) แล้ว แต่ถ้าทราย ยังคงเป็นรูปกรวยอยู่ ให้ทำทรายให้แห้งโดยการผึ่งให้แห้ง แล้วทดสอบให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) อีกครั้ง

2.4.2.2 จากนั้นให้เททราย จำนวน 500 กรัม ลงในกระบอกตวงแล้วเติมน้ำจนถึงขีดระดับประมาณ 450 มล.

2.4.2.3 นำกระบอกตวงตามข้อ 3) ไปเขย่า เพื่อไล่ฟองอากาศออก แล้วเติมน้ำจนถึงระดับ 500 มล.

2.4.2.4 ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวง ทรายและน้ำทั้งหมด บันทึกค่า

2.4.2.5 เททรายออกจากกระบอกตวงใส่ถาดโลหะ แล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1 ถึง 1.5 ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักของทรายที่แห้ง

2.4.2.6 ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวงที่มีน้ำหนักที่ระดับ 500 มล. ที่อุณหภูมิประมาณ 8 องศาเซลเซียส

2.4.2.7 คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะที่แท้จริง ความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง และร้อยละการดูดซึม

2.4.2.8 นำทรายตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละถัง มาถังละ 2 จุด ใส่กระป๋องอลูมิเนียม ชั่งน้ำหนักทรายรวมน้ำหนักกระป๋อง บันทึกค่าน้ำหนักทั้ง 2 กระป๋อง (เขียนสัญลักษณ์ไว้ที่ข้างกระป๋อง)

2.4.2.9 นำทรายที่ผ่านการชั่งน้ำหนักในข้อ 2.4.2.8 ทั้งหมด นำไปอบที่ตู้อบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่งโมง

2.4.2.10 นำทรายในแต่ละกระป๋องที่ผ่านการอบให้แห้ง ทิ้งไว้ 1 ถึง 1.5 ชั่วโมง มาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักทรายแห้งรวมน้ำหนักกระป๋อง ทุกกระป๋อง

2.4.2.11 เททรายที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ถาดไว้ แล้วจึงชั่งน้ำหนักกระป๋องเปล่า แต่ละกระป๋อง บันทึกค่าน้ำหนักกระป๋องเปล่า แล้วคำนวณหาความชื้นเฉลี่ยของทรายในแต่ละถัง

2.4.3 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะการดูดซึมน้ำและความชื้นของหิน

2.4.3.1 นำตัวอย่างหินที่เก็บไว้ในถัง อบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้ประมาณ 1 ถึง 3 ชั่งโมง

2.4.3.2 จากนั้นนำหินไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.4.3.3 ทำหินให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง โดยนำหินแต่ละก้อนมาเช็ดถูด้วยผ้าที่สะอาด ให้น้ำที่เกาะตามผิวของหินถูกดูดซับไป โดยที่ผิวของหินยังชื้นอยู่ หลีกเลี่ยงอย่าให้มีการละเหยของความชื้นในขณะเช็ดถู แล้วจึงชั่งหินในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง บนเครื่องชั่งในอากาศ

2.4.3.4 เทหินในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ลงในตะกร้าลวดเหล็ก แล้วชั่งน้ำหนักในน้ำ โดยใช้เครื่องชั่งแบบสปริง

2.4.3.5 จากนั้นนำเอาหินไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น 1ถึง 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก

2.4.3.6 คำนวณหาความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของหิน

2.4.3.7 นำตัวอย่างหินที่เก็บไว้ในถัง มาชั่งน้ำหนักหินรวมถาด บันทึกค่า จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

2.4.3.8 นำหินที่อบแห้งแล้ว ทิ้งไว้ 1 ถึง 3 ชั่งโมง มาชั่งน้ำหนักหินแห้ง แล้วคำนวณหาค่าความชื้นของหินที่เก็บไว้ในถัง

2.4.4 การทดลองหาค่ากำลังอัดของมอร์ต้า (Test for Compressive Strength of Cement Mortar)

2.4.4.1 ทาน้ำมันชนิดเหลวภายในแบบหล่อตัวอย่างบางๆ เพื่อจะได้แกะแบบออกได้โดยง่าย

2.4.4.2 ให้เตรียมตัวอย่างทรายให้เพียงพอ ตามตารางที่ 2.2 โดยใช้น้ำในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.42 ใช้ซีเมนต์ 2000 กรัม และใช้ทรายเท่ากับ 0.4 ของปริมาตรทั้งหมดของมอร์ต้า

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนผสมมอร์ต้า สำหรับแท่งตัวอย่างลูกบาศก์ ขนาด 5x 5x5 ซม. จำนวน 12 ตัวอย่าง

ส่วนผสมที่	ขนาดตะแกรง	ทราย	พื้นที่ผิว	อัตราส่วนผสม (กรัม)		
			(ตร.ม./กก.)	ซีเมนต์	ทราย	น้ำ
1	เบอร์ 4 ถึง เบอร์ 8	SA1	0.75	2000	2406.3	838.9
2	เบอร์ 8 ถึง เบอร์ 16	SA2	1.52	2000	2399.5	838.1
3	เบอร์ 16 ถึง เบอร์ 30	SA3	3.16	2000	2304.3	839.7
4	เบอร์ 30 ถึง เบอร์ 50	SA4	6.27	2000	2292.2	842.3
5	เบอร์ 50 ถึง เบอร์ 100	SA5	12.90	2000	2231.9	837.2
6	เบอร์ 4 ถึง เบอร์ 100	SA6	2.82	2000	2229.1	839.4

2.4.4.3 การผสมมอร์ต้านั้น ให้ผสมด้วยเครื่องผสมมอร์ต้า ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1 การผสมมอร์ต้าปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกด้วยเครื่องผสม

2.4.4.4 หลังจากที่ผสมตามข้อ 3 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทิ้งไว้ในอ่างอีก 90 วินาที แล้วผสมอีกครั้งหนึ่งด้วย ความเร็วปานกลางเป็นระยะเวลา 15 วินาที

2.4.4.5 ให้เริ่มเทมอร์ต้าใส่แบบหล่อตัวอย่าง โดยใส่ชั้นแรกหนาประมาณ 25 มม. ให้ครบทุกแบบหล่อ กระทุ้งแต่ละแบบหล่อจำนวน 32 ครั้ง ให้เสร็จภายในเวลา 10 วินาที กระทุ้งเป็น 4 รอบ โดยแต่ละรอบให้ตั้งฉากกับรอบอื่น และกระทุ้งให้มีน้ำหนักเพียงพอที่จะให้มอร์ต้าบรรจุได้เต็มแบบหล่อเท่านั้น กระทุ้งให้เสร็จ 4 รอบ ในแต่ละช่องก่อนที่จะไปกระทุ้งช่องอื่นต่อไปเมื่อกระทุ้งชั้นแรกเสร็จหมดเรียบร้อยแล้ว ให้ใส่มอร์ต้าส่วนที่เหลือให้เต็มครบทุกแบบหล่อ แล้ว กระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก โดยให้มอร์ต้าเมื่อกระทุ้งเสร็จแล้วสูงกว่าแบบเล็กน้อย จากนั้นให้ใช้เกรียงแต่งให้เรียบร้อย

2.4.4.6 หลังจากที่หล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บตัวอย่างซึ่งอยู่ในแบบหล่อไว้ในห้องเก็บความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบออกแล้วแช่ในน้ำที่สะอาด และหมั่นเปลี่ยนน้ำอยู่เสมอ

2.4.4.7 ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ต้าลูกบาศก์ ตามอายุ 3 7 14 28 และ 60 วัน โดยอนุญาตให้มีความเคลื่อนของอายุได้ดังต่อไปนี้

อายุทดสอบ	ความคลาดเคลื่อน
24 ชม.	1/2 ชม.
3 วัน	1 ชม.
7 วัน	3 ชม.
28 วัน	12 ชม.

วิธีทดสอบกำลังอัดมอร์ต้า

1. เช็ดผิวแท่งตัวอย่างมอร์ต้าให้แห้ง และทำความสะอาดผิวตัวอย่างด้วยผ้าที่สะอาด
2. วัดขนาด ความกว้าง ความยาว ความสูงของแท่งตัวอย่างลูกบาศก์ และคำนวณหาพื้นที่หน้ากด
3. ทำความสะอาดผิวแท่นกด (Bearing Faces) ทั้งด้านบนและด้านล่างของเครื่องทดสอบแรงกด
4. วางแท่งตัวอย่างทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกดแล้วเลื่อนผิวแท่นกดสัมผัสกับแท่งตัวอย่างทดสอบให้สนิท
5. ป้อนข้อมูลพื้นที่หน้าตัด และ อัตราการกด ลงในเครื่องทดสอบแรงกด
6. ติดตั้ง Dial Gauge เพื่อวัดค่าการยุบตัวของแท่งมอร์ต้าที่ผิวแท่นกดด้านล่าง
7. เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดลงอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่ 15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ตลอดการกดแท่งตัวอย่างทดสอบ และขณะเครื่องกดทำงานให้สังเกตน้ำหนักที่กดลงบนแท่งตัวอย่าง บนหน้าจอเครื่องกดจนกระทั่ง น้ำหนักขึ้น 200 กิโลกรัม แล้วเริ่มบันทึกค่าแรงกดและค่าการยุบตัวทุกๆ 0.05 มม.(5 ช่อง Dial Gauge) จนกระทั่งแท่งทดสอบถึงจุดประลัย และกำลังอัดตกลงเรื่อยๆ จนแท่งตัวอย่างแตก

8. บันทึกค่า กำลังอัดสุดท้าย และค่าความเค้นสูงสุดที่แสดงบนหน้าจอเครื่องกด และหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่จุดประลัย อย่างน้อย 3 ก้อนตัวอย่าง อนึ่งหากค่ากำลังอัดของแต่ละแท่งตัวอย่างแตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบทั้งหมดเกินกว่า 10 % แล้ว ถือว่าค่านั้นใช้ไม่ได้ อย่างไรก็ ตามหลังจากที่ตัดค่าที่ใช้ไม่ได้ออกแล้ว จะต้องมีผลการทดสอบเหลือไว้อย่างน้อย 3 ค่า สำหรับหาค่าเฉลี่ย หากเหลือน้อยกว่า 3 ค่า จะต้องทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด
9. นำค่าน้ำหนักกด และค่าการยุบตัวทุกๆ 0.05 มม.มาพลอตกราฟความเค้นและความเครียด

2.4.5 การทดลองหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต (Test for Compressive Strength of Concrete)

2.4.5.1 ทาน้ำมันแบบหล่อรูปทรงกระบอกเพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตเกาะติดแบบหล่อ แล้ววางแบบหล่อลงบนพื้นที่ราบและมั่นคง

2.4.5.2 เตรียมตัวอย่าง หิน ทราย ปูนซีเมนต์ น้ำ และ สารลดน้ำ ให้เพียงพอ ตามตารางที่2.2 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.50 และใช้สารลดน้ำจำนวนมาก 0.35 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และใช้ปูนซีเมนต์ 400 กก.ต่อ ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่2.3 อัตราส่วนผสมคอนกรีต สำหรับแท่งรูปทรงกระบอก จำนวน 12 แท่งทดสอบ

ส่วนผสมที่	ขนาดตะแกรง	สัญลักษณ์	พื้นที่ผิว (ตร.ม./กก.)	หิน (กก.)	ทราย (กก.)	ซีเมนต์ (กก.)	น้ำ (กก.)	สารลดน้ำ (กรัม)
1	เบอร์ 8 ถึง เบอร์ 16	CSA1	1.52	95.87	60.18	38.16	19.14	133.56
2	เบอร์ 16 ถึง เบอร์ 30	CSA2	3.16	95.87	57.42	38.16	19.55	133.56
3	เบอร์ 30 ถึง เบอร์ 50	CSA3	6.27	95.87	57.32	38.16	19.41	133.56
4	เบอร์ 8 ถึง เบอร์ 100	CSA4	2.82	95.87	55.51	38.16	19.57	133.56

2.4.5.3 เทส่วนผสม หิน ทราย ลงในเครื่องโม่ ผสมให้หินและทรายเข้ากัน หลังจากนั้นเทปูนซีเมนต์ลงไปผสมในเครื่องโม่ ผสมให้หิน ทราย ซีเมนต์ เข้ากันได้ดี แล้วจึงเทน้ำที่ผสมสารลดน้ำจำนวนมาก ลงในเครื่องโม่ ผสมให้คอนกรีต

เข้ากันได้ดี ใช้เวลาประมาณ 5 ถึง 10 นาที จึงหยุดโม่ แล้วเทคอนกรีตลงในกระบะ

2.4.5.4 นำตัวอย่างคอนกรีตสดส่วนหนึ่งมาทดสอบหาค่าการยุบตัว (Slump Test) ตามมาตรฐาน ASTM C 143 บันทึกค่าการยุบตัว

2.4.5.5 เทคอนกรีตลงในแบบหล่อเป็นชั้นๆ โดยพยายามไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว

2.4.5.6 เขย่าคอนกรีต โดยใช้แท่งเหล็กกระทุ้งด้วยมือ คอนกรีตที่ใส่ในแบบหล่อให้ใส่เป็นชั้นๆ ชั้นละประมาณ 10 ถึง 15 ซม. แต่ละชั้นกระทุ้งให้ทั่วด้วยแท่งเหล็ก โดยกระทุ้ง 1 ครั้งต่อพื้นที่ประมาณ 1000 ตารางมิลลิเมตร ของพื้นที่หน้าตัด แบบหล่อการกระทุ้งแต่ละครั้งต้องกระทุ้งให้จมลงไปเท่ากับความหนาของชั้นที่ใส่ลงไปใหม่

2.4.5.7 หลังจากเขย่าคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ตกแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบร้อยด้วยเกรียง แล้วทิ้งไว้ 24 ชม. ในห้องที่ชื้น

2.4.5.8 ให้ถอดแบบออกหลังจากหล่อแท่งทดสอบ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้ปมแท่งคอนกรีตในน้ำที่สะอาด จนกว่าถึงเวลาทดสอบตามอายุ 3 7 14 และ 28 วัน

2.4.5.9 เมื่อถึงเวลาที่จะทำการทดสอบกำลังอัด ให้นำแท่งทดสอบขึ้นจากน้ำปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 10 ถึง 15 นาที

วิธีการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

1. วัดและบันทึกค่า ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งคอนกรีต ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักของแท่งคอนกรีต
2. เคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบ ในกรณีที่ผิวหน้าของแท่งคอนกรีตไม่เรียบ (1 ด้าน) ให้เคลือบผิว หน้าแท่งคอนกรีตด้วยส่วนผสมของกำมะถันกับผงทรายละเอียด ในการเคลือบนั้น อุปกรณ์จะต้องตั้งอยู่ในแนวแกนของแท่งทดสอบและผิวหน้าที่จะต้องใช้ต้องมีมุมที่ถูกต้อง และขณะที่วัตถุที่ใช้เคลือบแข็งตัว ต้องป้องกันการระเหยของน้ำ เช่น ใช้ผ้าเปียกคลุมไว้
3. ทำความสะอาดผิวแท่นกด(Bearing Faces)ทั้งด้านบนและด้านล่างของเครื่องทดสอบแรงกด

4. วางแท่งตัวอย่างทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกด แล้วเลื่อนผิวแท่นกดให้สัมผัสกับแท่งตัวอย่างทดสอบให้สนิท
5. ป้อนข้อมูลพื้นที่หน้าตัด และ อัตราการกด ลงในเครื่องทดสอบแรงกด
6. ติดตั้ง Dial Gauge เพื่อวัดค่าการยุบตัวของแท่งมอร์ต้าที่ผิวแท่นกดด้านล่าง
7. เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดลงอย่างสม่ำเสมอ ด้วยอัตราคงที่ 15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ตลอดการกดแท่งตัวอย่างทดสอบ และขณะเครื่องกดทำงานให้สังเกตน้ำหนักที่กดลงบนแท่งตัวอย่าง บนหน้าจอเครื่องกดจนกระทั่ง น้ำหนักขึ้น 200 กิโลกรัม แล้วเริ่มบันทึกค่าแรงกดและค่าการยุบตัวทุกๆ 0.05 มม. (5 ช่อง Dial Gauge) จนกระทั่งแท่งทดสอบถึงจุดประลัย และกำลังอัดตกลงเรื่อยๆ จนแท่งตัวอย่างแตก
8. บันทึกค่า กำลังอัดสุดท้าย และค่าความเค้นสูงสุดที่แสดงบนหน้าจอเครื่องกด และหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่จุดประลัย อย่างน้อย 3 ก้อนตัวอย่าง อนึ่งหากค่ากำลังอัดของแต่ละแท่งตัวอย่างแตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบทั้งหมดเกินกว่า 10 % แล้ว ถือว่าค่านั้นใช้ไม่ได้ อย่างไรก็ตามหลังจากที่ตัดค่าที่ใช้ไม่ได้ออกแล้ว จะต้องมีผลการทดสอบเหลือไว้อย่างน้อย 3 ค่า สำหรับหาค่าเฉลี่ย หากเหลือน้อยกว่า 3 ค่า จะต้องทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด

9.นำค่าน้ำหนักกดและค่าการยุบตัวทุกๆ0.05 มม.มาพลอตกราฟความเค้นและความเครียด

บทที่ 3
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้เป็นการแสดงผลที่ได้จากการทดลองตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ซึ่งจากผลที่ได้ดังกล่าวจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวมหรือปริมาณของ Transition zone ที่มีต่อสมบัติทางกลของมอร์ต้าและคอนกรีต

3.1 การทดสอบหาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายจากแหล่ง

3.1.1 ขนาดคละของทราย

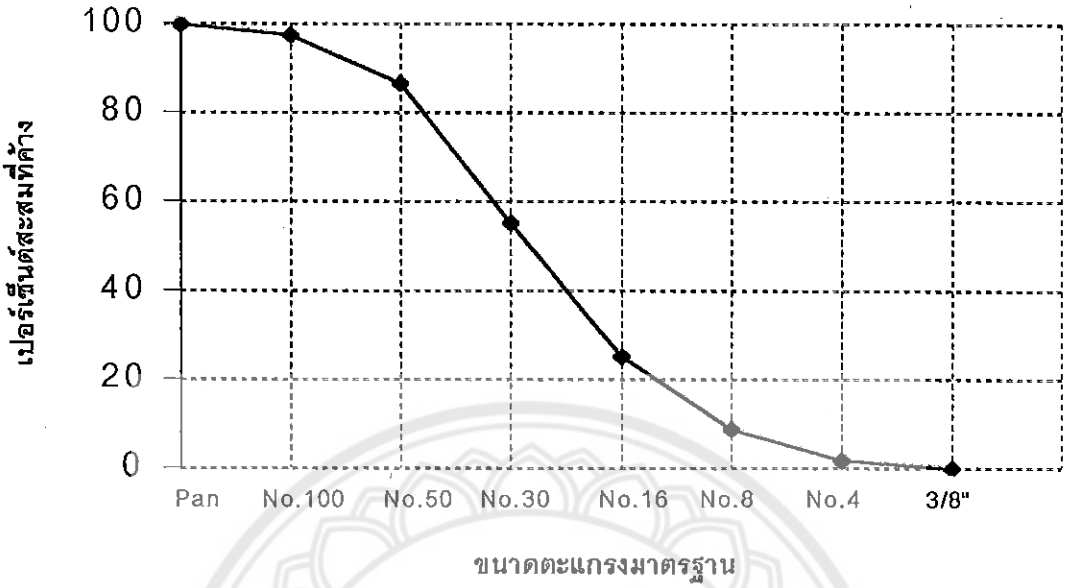
ขนาดคละของทรายนับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการกำหนดปริมาณของเนื้อซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการของมอร์ต้าและคอนกรีตสด คอนกรีตจะมีราคาประหยัดเมื่อใช้เนื้อซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลจากการมีขนาดคละของทรายดีนั่นเอง ซึ่งผลการทดลองหาขนาดคละและแผนภูมิขนาดคละของทรายแสดงในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการวิเคราะห์หาส่วนขนาดของมวลรวมละเอียดด้วยตะแกรง

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักที่ค้างอยู่บนตะแกรง , กรัม	ร้อยละที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ผ่านบนตะแกรง
เบอร์ 4	9.1	1.82	1.82	98.18
เบอร์ 8	35.1	7.02	8.84	91.16
เบอร์ 16	82.1	16.42	25.26	74.74
เบอร์ 30	150.2	30.04	55.30	44.70
เบอร์ 50	157.2	31.44	86.74	13.26
เบอร์ 100	54.2	10.84	97.58	2.42
ถาด	12.1	2.42	100.00	-
รวม	500.0	100.00	-	-

จากตารางที่ 3.1 แสดงคำนวณหาค่าโมดูลัสความละเอียด (FM)ของทรายจากแหล่ง ได้ค่า

FM =(1.82+8.84+25.26+55.3+86.74+97.58)/100 = 2.76



รูปที่ 3.1 แผนภูมิขนาดคละของทราย

จากผลที่ได้จากการทดลองพบว่าทรายมีลักษณะการกระจายของขนาดคละที่ดีซึ่งลักษณะการกระจายดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะการกระจายที่เสนอแนะโดยมาตรฐาน ASTM พบว่ามีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการทำคอนกรีต

3.1.2 ค่าโมดูลัสความละเอียด

โมดูลัสความละเอียด (F.M.) คือ ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในมวลรวมมี ค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายที่เหมาะสมสำหรับการผลิตมอร์ต้าหรือคอนกรีตมีค่าประมาณ 2.3 ถึง 3.2 การทดลองโมดูลัสความละเอียดของทรายที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.76 ซึ่งบ่งบอกว่าลักษณะของทรายมีขนาดปานกลางไม่หยาบมากหรือละเอียดมาก

3.2 ค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และความชื้นของทราย

ค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของทรายที่นำมาทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 ซึ่งรายละเอียดของการคำนวณได้ให้ไว้ในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของทราย

ทราย	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6
ความถ่วงจำเพาะ	2.435	2.424	2.327	2.316	2.246	2.253
เปอร์เซ็นต์การดูดซึม	0.442	0.642	0.705	0.766	0.949	0.603
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	0.513	0.682	0.717	0.664	1.074	0.631

3.2.1 ความถ่วงจำเพาะ

จากผลที่ได้จากการทดลองพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) มีค่าเท่ากับ 2.435 2.424 2.327 2.316 2.246 สำหรับทราย SA1 ถึง SA6 ตามลำดับ สังเกตุว่าทรายจะมีความถ่วงจำเพาะสูงขึ้นถ้าทรายดังกล่าวมีขนาดเม็ดทรายใหญ่ขึ้น ในทางกลับกันถ้าทรายมีขนาดเม็ดทรายเล็กลง จะมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยลง

3.2.2 การดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด

จากตารางที่ 3.3 เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของทรายในแต่ละขนาด จะพบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของทราย SA 5 มีค่าเท่ากับ 0.949 ซึ่งมีค่ามากที่สุด และทรายจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมลดน้อยลงตามลำดับจนถึงทราย SA 1 มีค่าน้อยที่สุด

3.3 ค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และความชื้นของหิน

ค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของหินที่ใช้ในการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 ซึ่งรายละเอียดการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของหิน

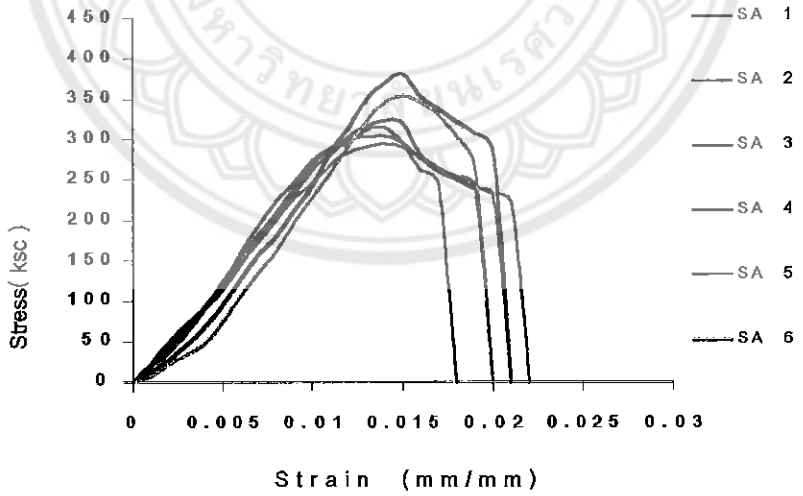
คุณสมบัติของหิน	หิน
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.608
เปอร์เซ็นต์การดูดซึม	0.544
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	0.085

3.4 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า

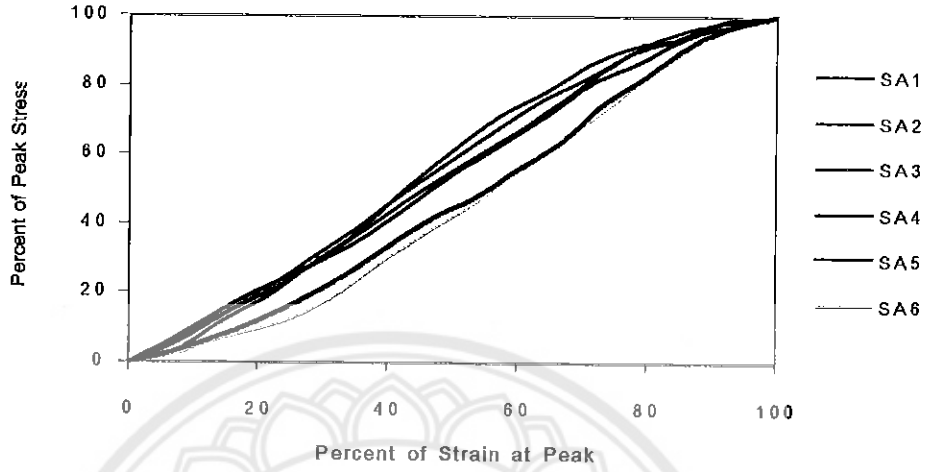
ผลที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดของแท่งมอร์ต้า สามารถนำมาใช้แสดงความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่มีต่อค่าความเค้นสูงสุด ค่าความเครียด ณ ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นสูงสุด ค่าโมดูลัสการคืนตัว (Modulus of Resilience) ค่าโมดูลัสความเหนียว (Modulus of Toughness) และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ซึ่งจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

3.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดที่ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายต่าง ๆ

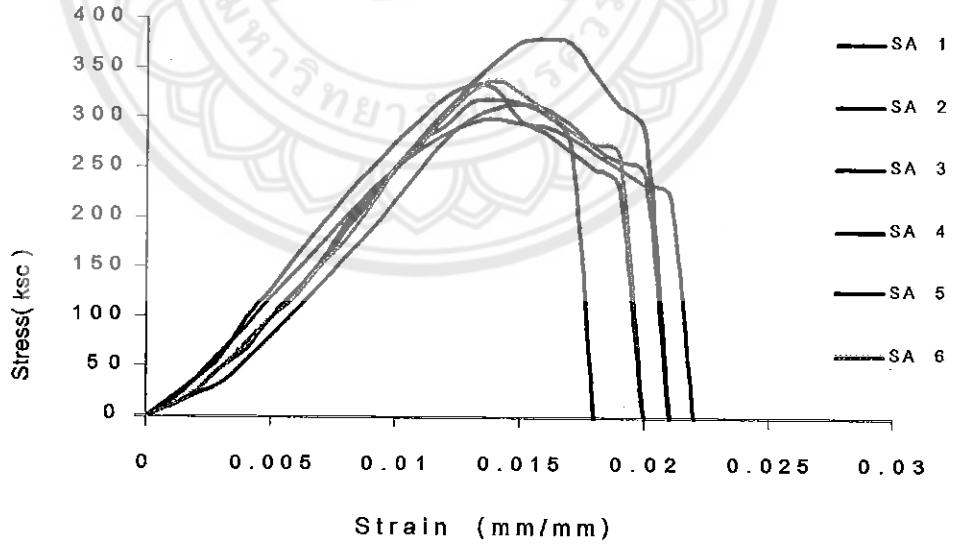
รูปที่ 3.2 ถึง 3.31 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain Curve) และกราฟแสดงความสัมพันธ์เปอร์เซนต์ความเค้นสูงสุดกับเปอร์เซนต์ความเครียด ซึ่งได้จากการกำหนดให้ค่าความเค้นและความเครียด ณ.ตำแหน่งที่ความเค้นมีค่าสูงสุดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของแท่งทดสอบมอร์ต้ารูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 5x5x5 ซม. ที่อายุการบ่มแตกต่างกัน อายุการบ่มละ 3 ตัวอย่าง ทั้งหมด 90 ตัวอย่าง โดยกำหนดสัญลักษณ์ SA1 SA2 SA3 SA4 SA5 และ SA6 ที่แสดงในกราฟเป็นค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย มีค่าเท่ากับ 0.75 1.52 3.16 6.27 12.90 และ 2.82 ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ



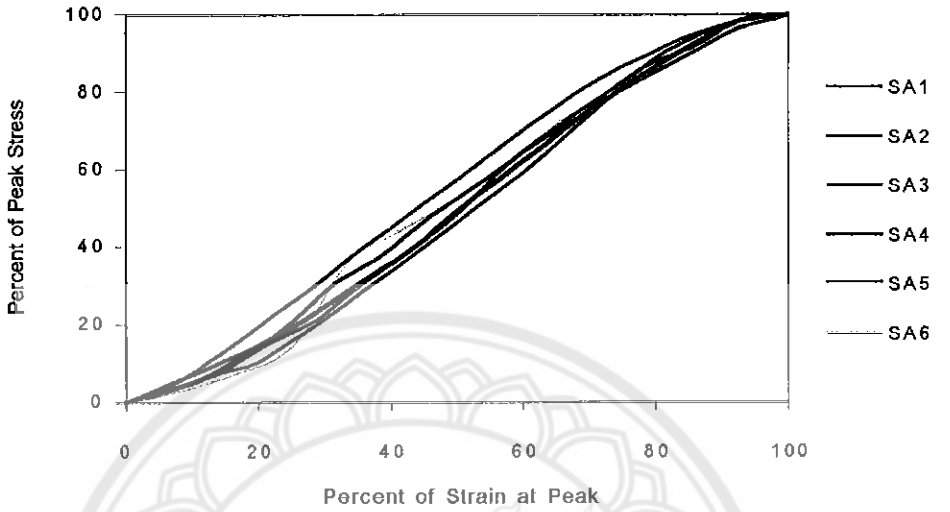
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 3 วัน



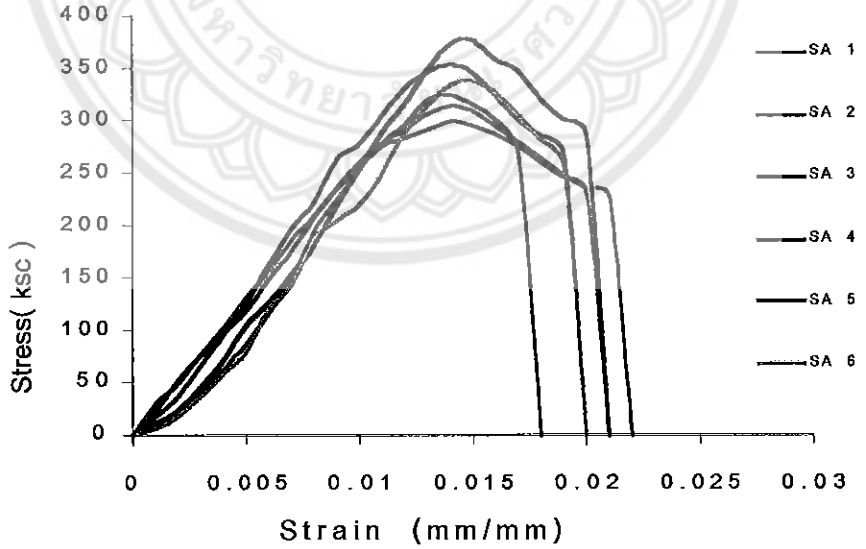
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 3 วัน



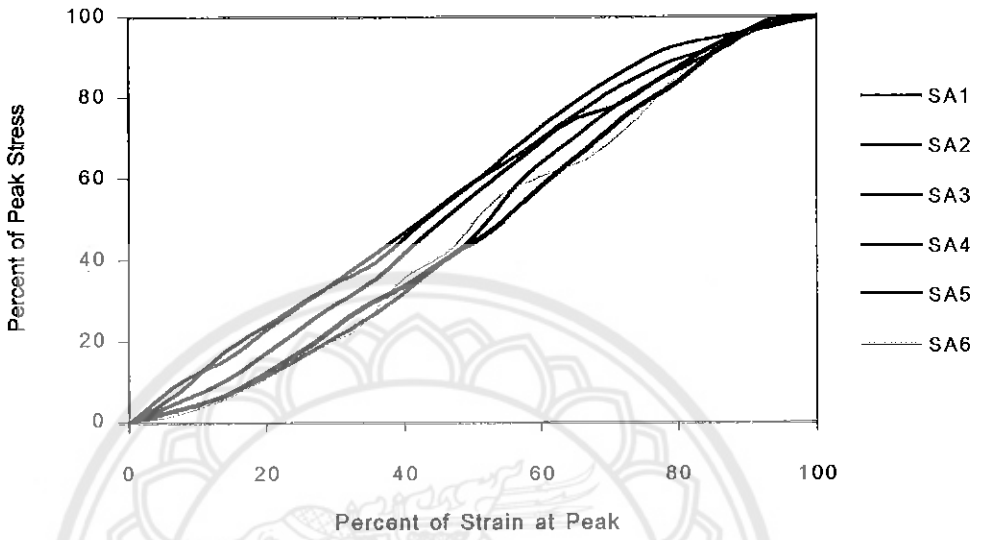
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 3 วัน



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 3 วัน



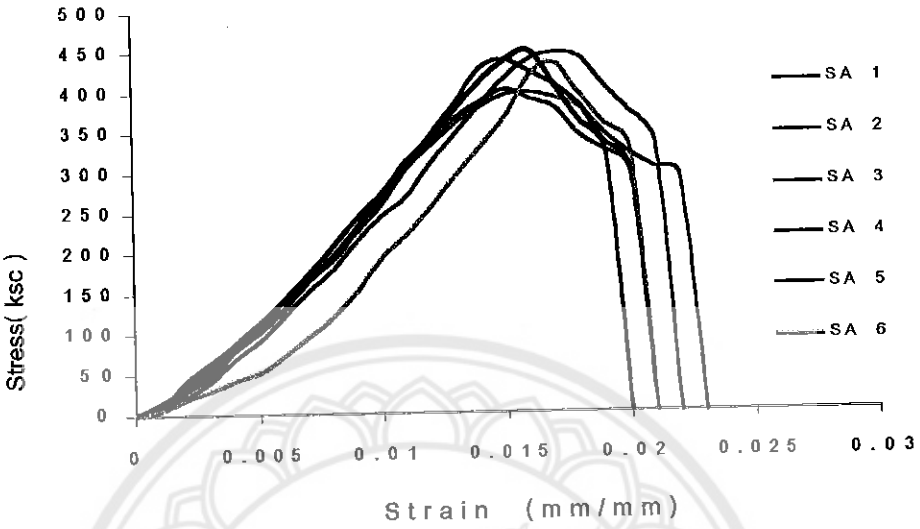
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 3 วัน



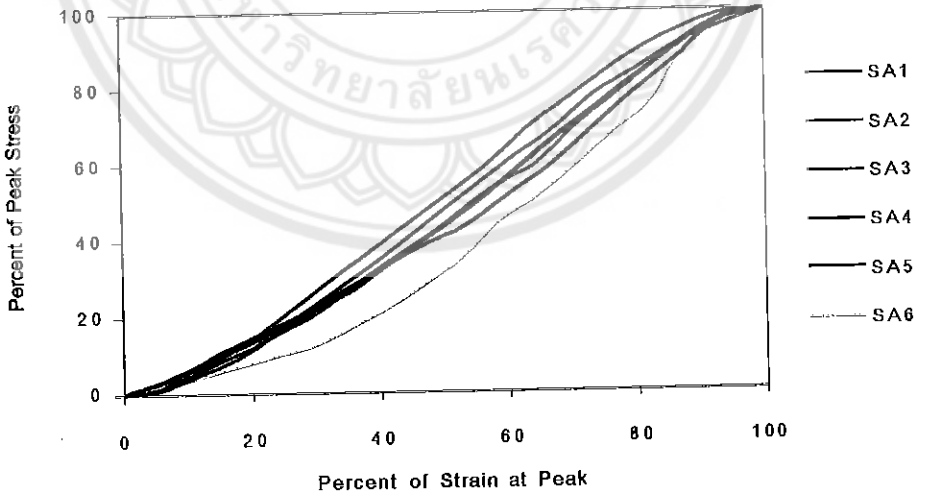
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 3 วัน

จากรูปที่ 3.2 3.4 และ 3.6 จะพบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ค่ากำลังต้านทานแรงอัด และค่าความเครียด จะมีค่าเปลี่ยนไป และจากรูปที่ 3.3 3.5 และ 3.7 พบว่า เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีการเปลี่ยนแปลง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะเปลี่ยนไป โดยพบว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ลักษณะความโค้งของกราฟจะมีลักษณะโค้งน้อยลง

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

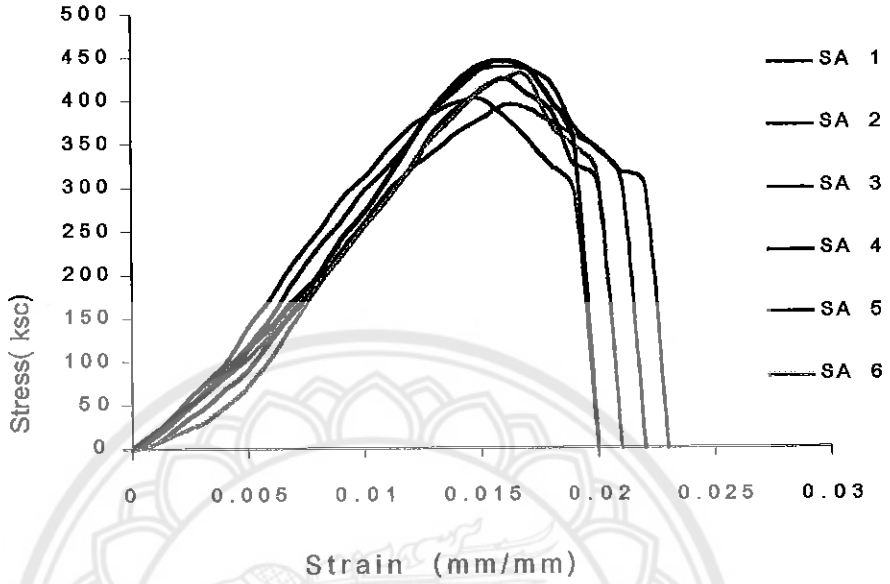


รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 7 วัน

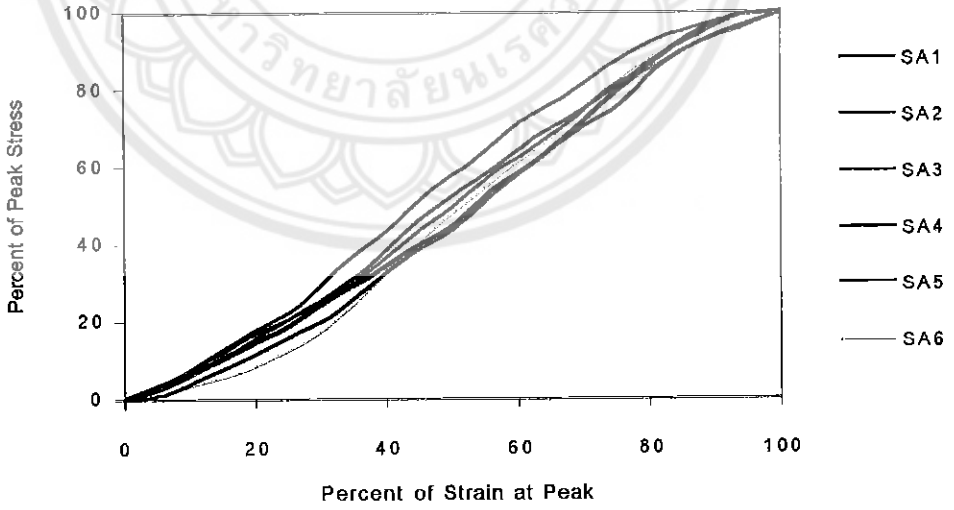


4400398
TA
439
@1270
2543.

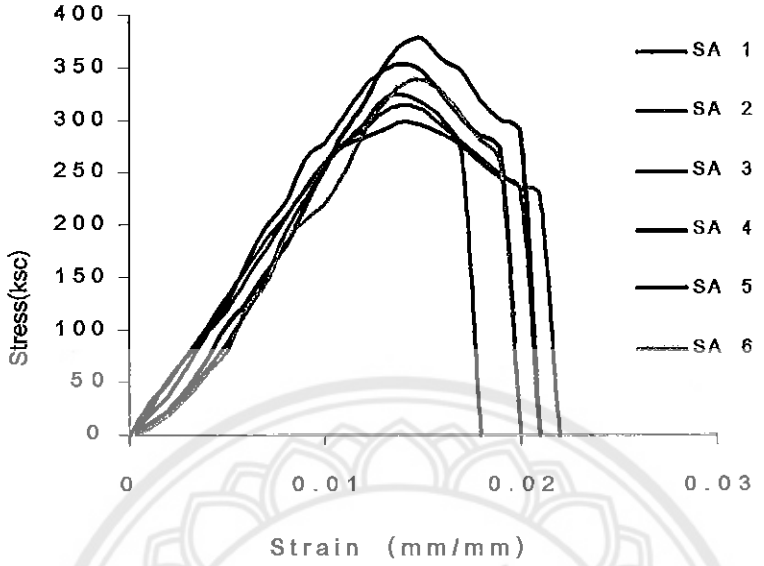
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 7 วัน



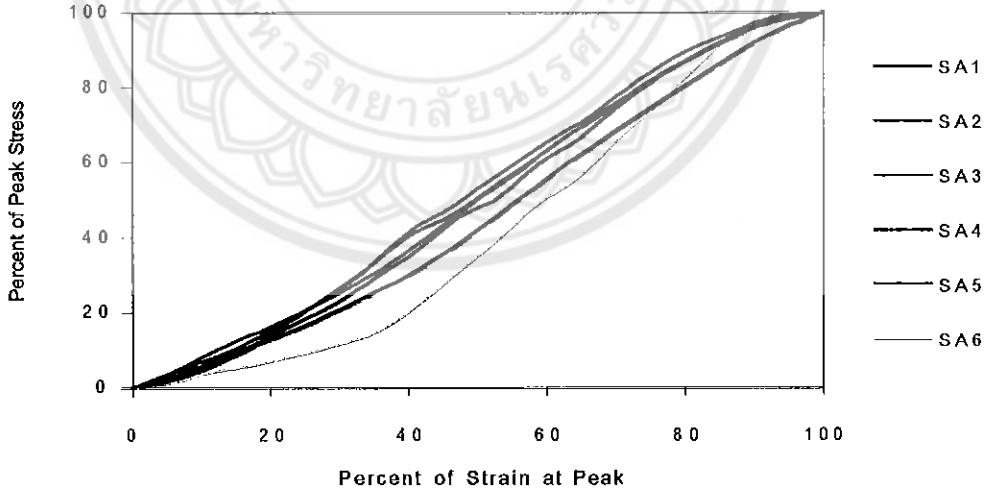
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 7 วัน



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 7 วัน

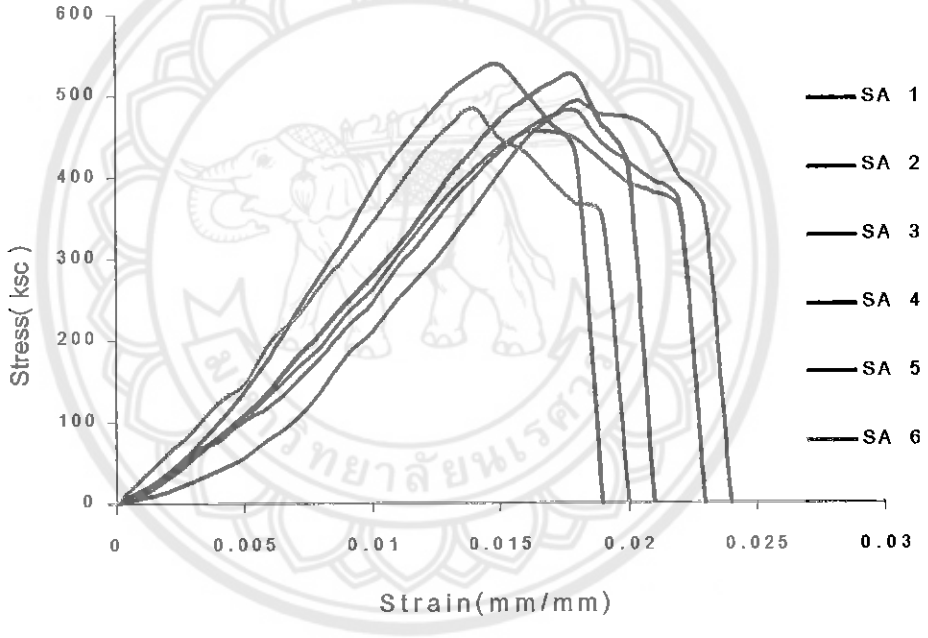


รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 7 วัน

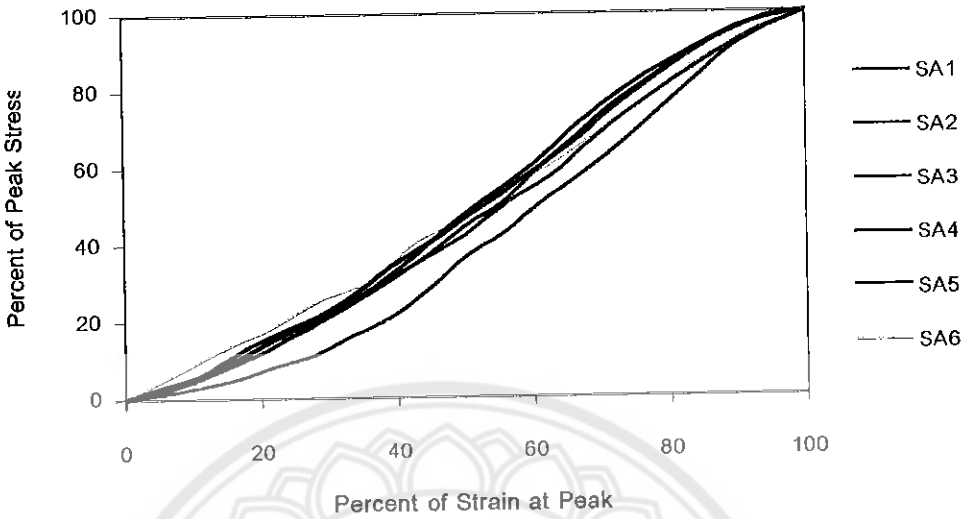


รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 7 วัน

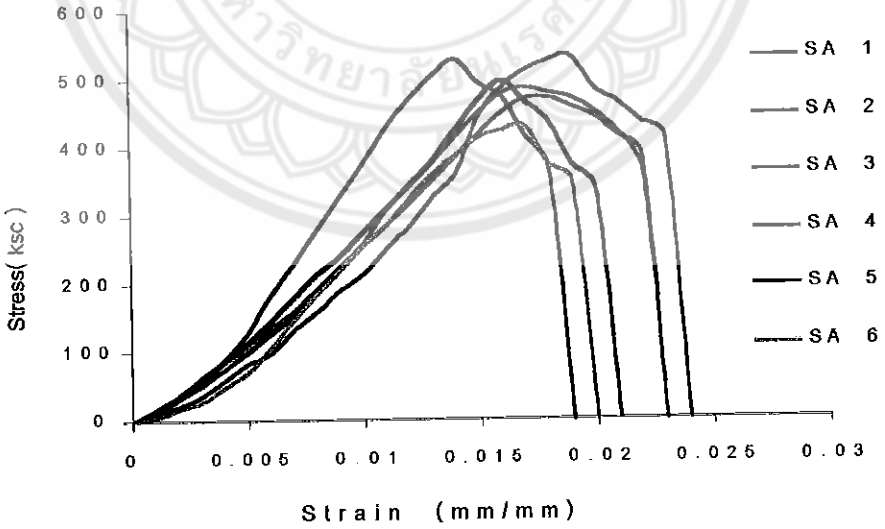
จากรูปที่ 3.8 3.10 และ 3.12 จะพบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ค่ากำลังต้านทานแรงอัด และค่าความเครียด จะมีค่าเปลี่ยนไป และจากรูปที่ 3.9 3.11 และ 3.13 พบว่า เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีการเปลี่ยนแปลง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะเปลี่ยนไป โดยพบว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ลักษณะความโค้งของกราฟจะมีลักษณะน้อยลง



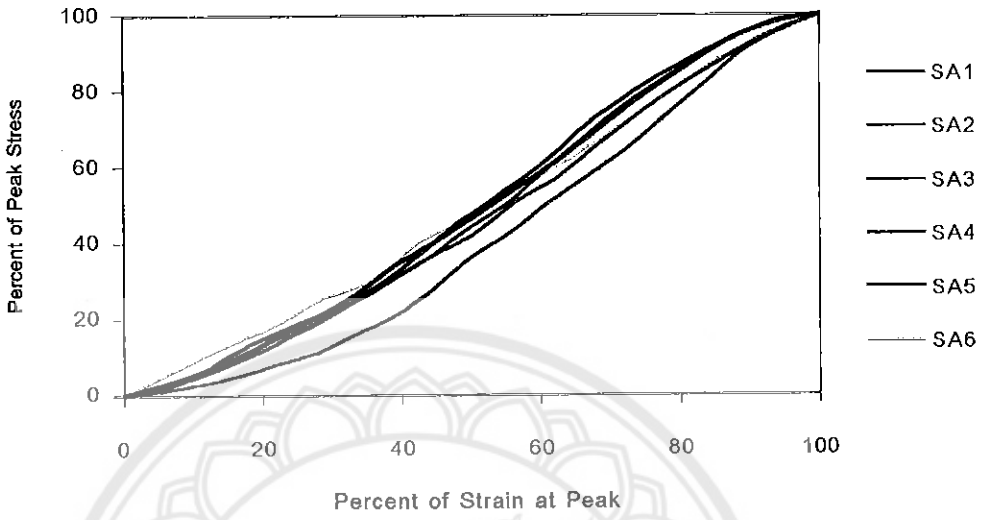
รูปที่ 3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 14 วัน



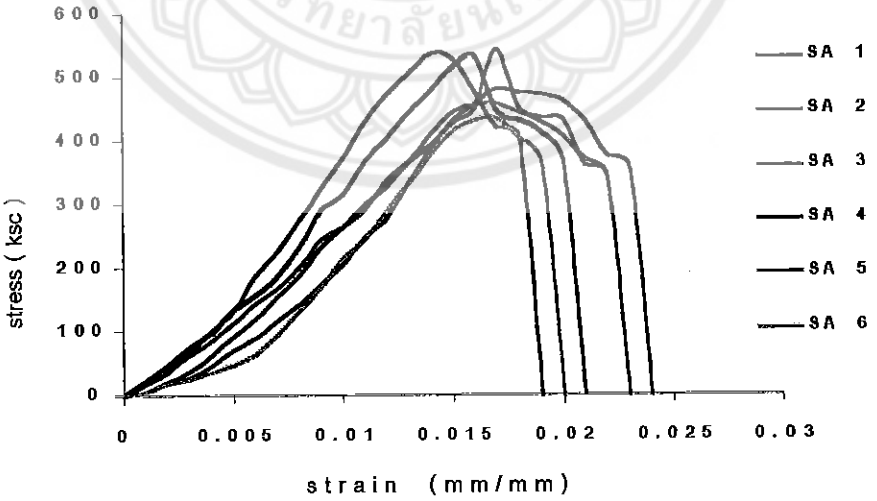
รูปที่ 3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่มอายุ 14 วัน



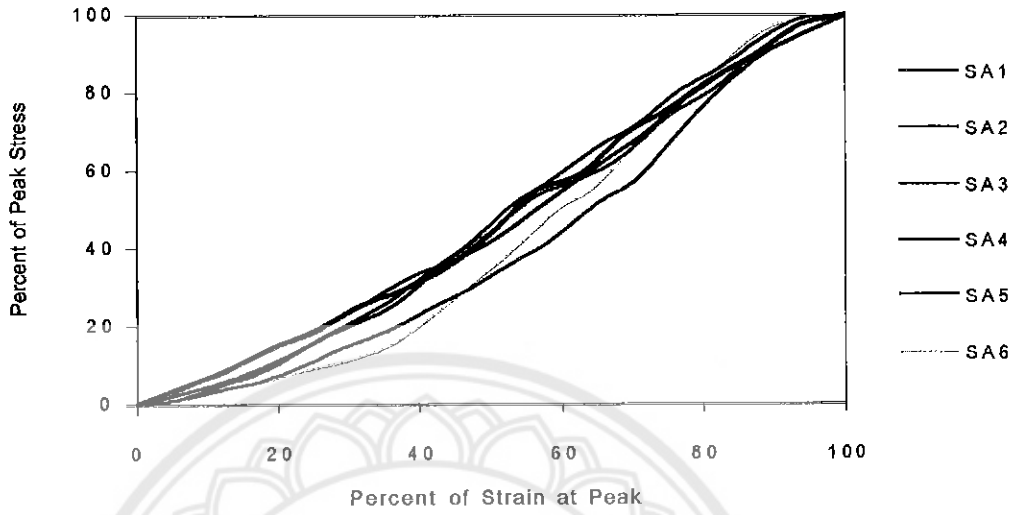
รูปที่ 3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 14 วัน



รูปที่ 3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่มอายุ 14 วัน

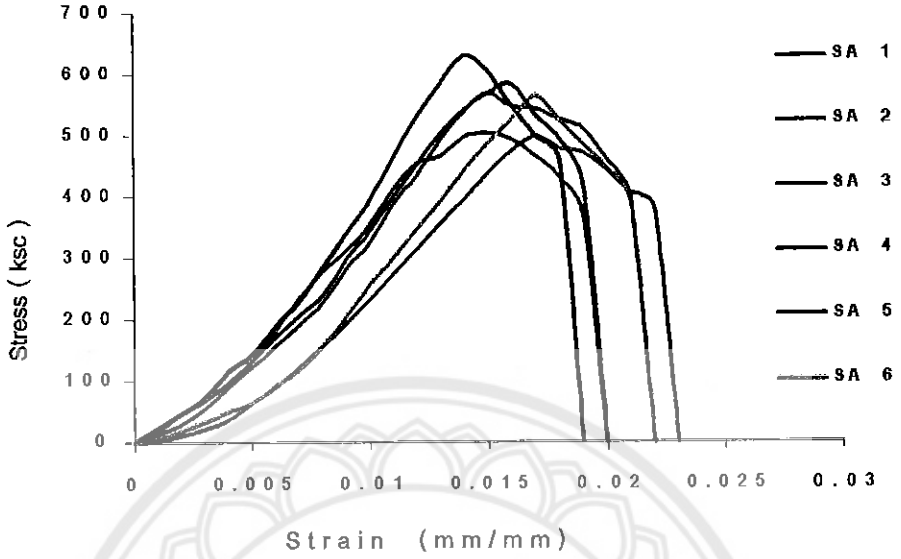


รูปที่ 3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 14 วัน

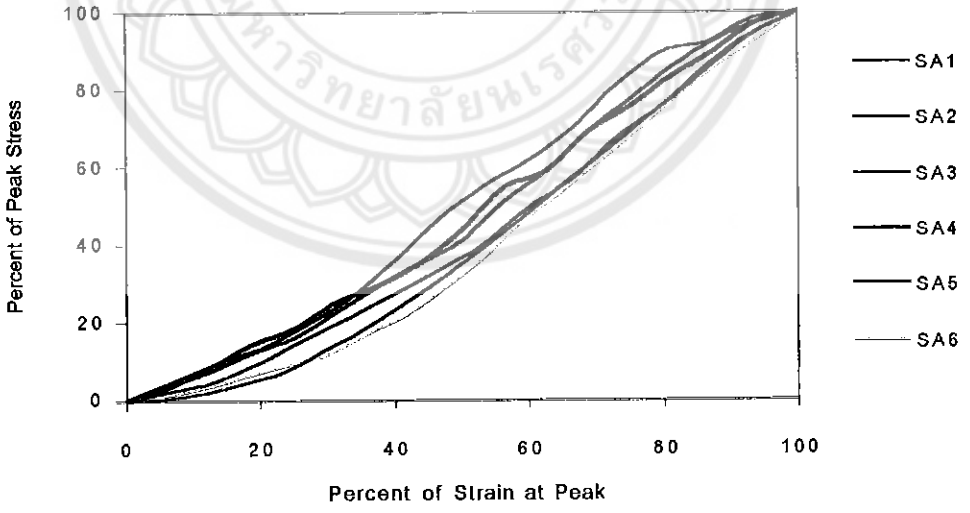


รูปที่ 3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่มอายุ 14 วัน

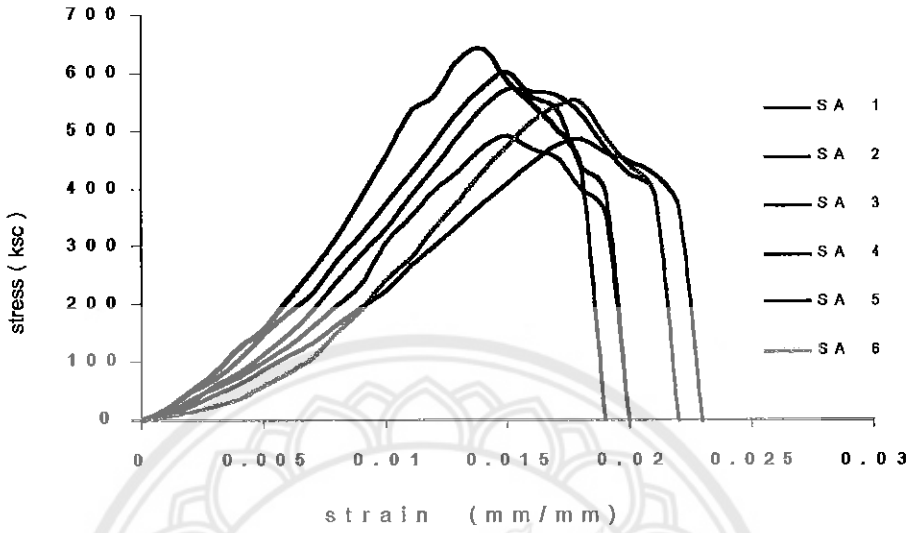
จากรูปที่ 3.14 3.16 และ 3.18 จะพบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ค่ากำลังต้านทานแรงอัด และค่าความเครียด จะมีค่าเปลี่ยนไป และจากการสังเกตจะเห็นได้ว่าลักษณะกราฟของแท่งทดสอบที่ 3 ไม่สอดคล้องกันกับแท่งทดสอบที่ 1 และ 2 นั้นอาจเกิดมาจากขั้นตอนการเตรียมแท่งมอร์ต้าหรือการทดสอบแรงกด และจากรูปที่ 3.15 3.17 และ 3.19 พบว่า เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีการเปลี่ยนแปลง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะเปลี่ยนไป โดยพบว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ลักษณะความโค้งของกราฟจะมีลักษณะแนวโน้มโค้งมากขึ้น



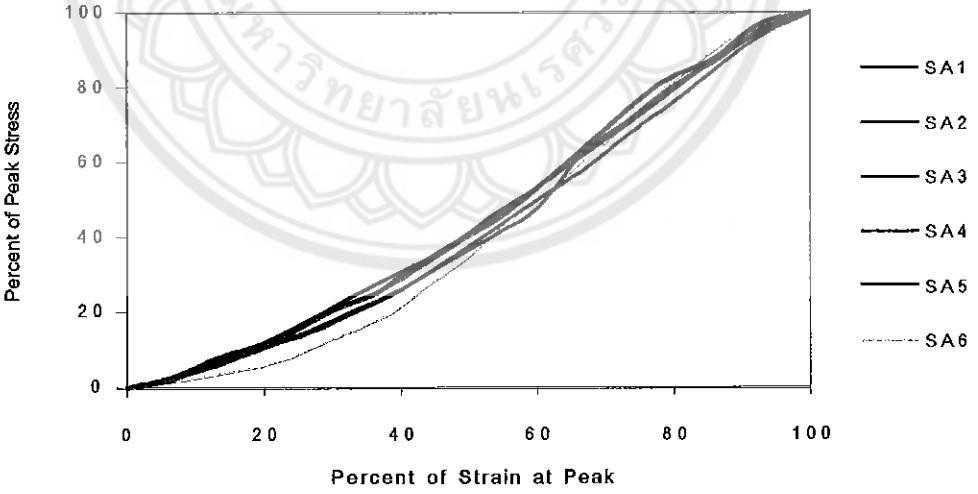
รูปที่ 3.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน



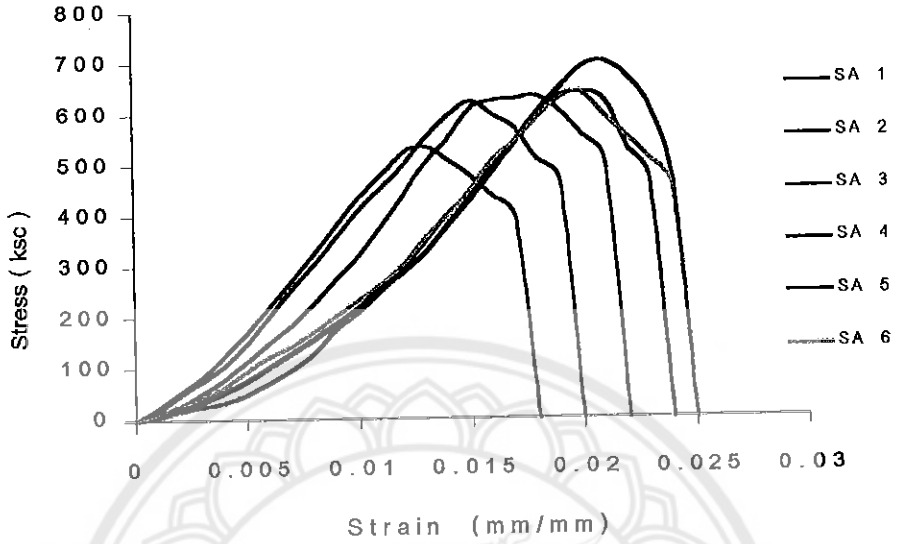
รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่มอายุ 28 วัน



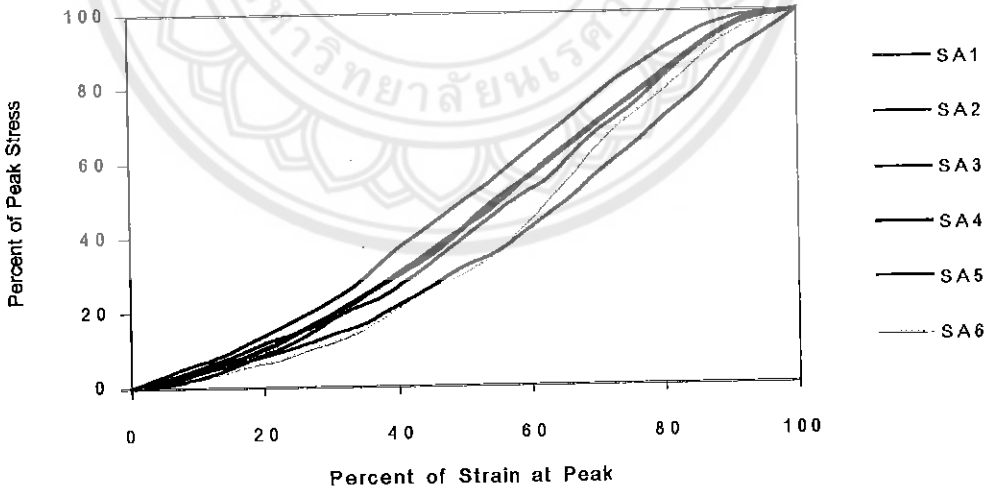
รูปที่ 3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่มอายุ 28 วัน

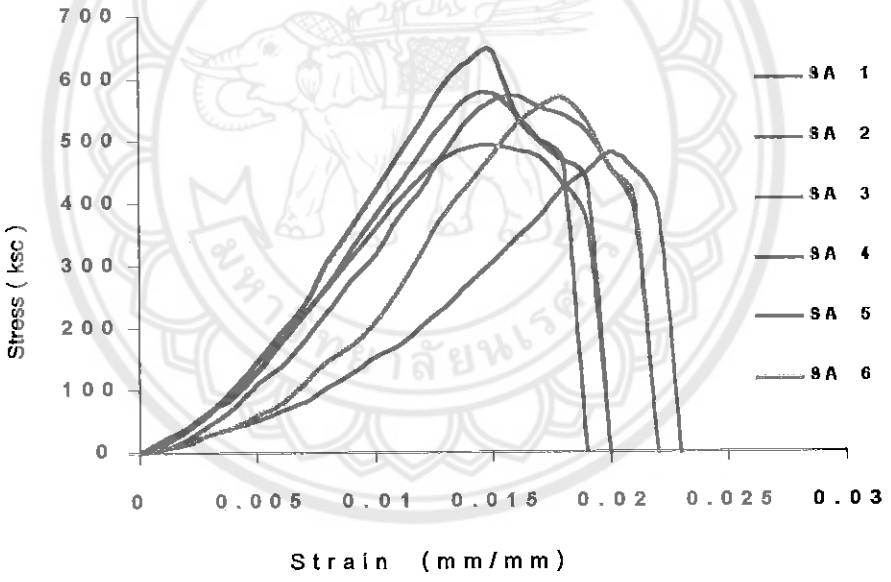


รูปที่ 3.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

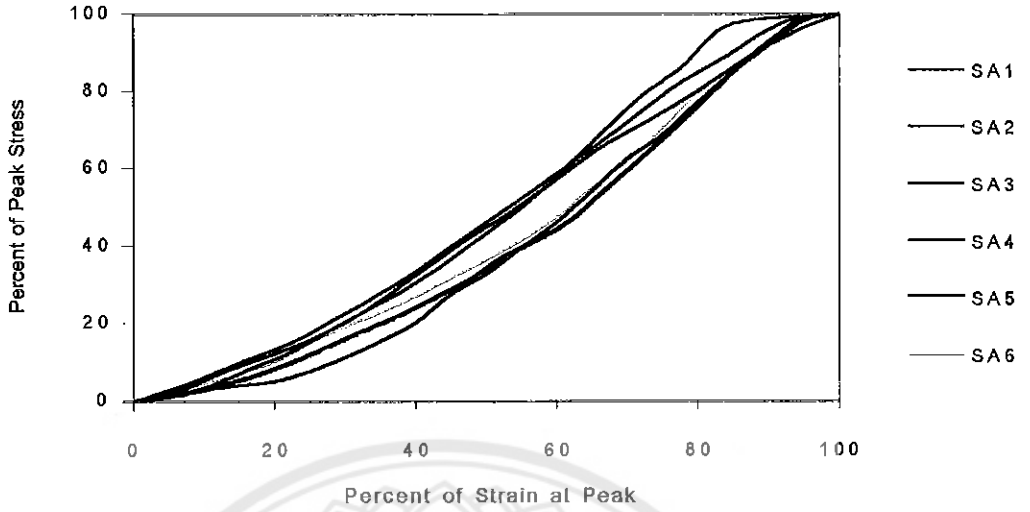


รูปที่ 3.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่มอายุ 28 วัน

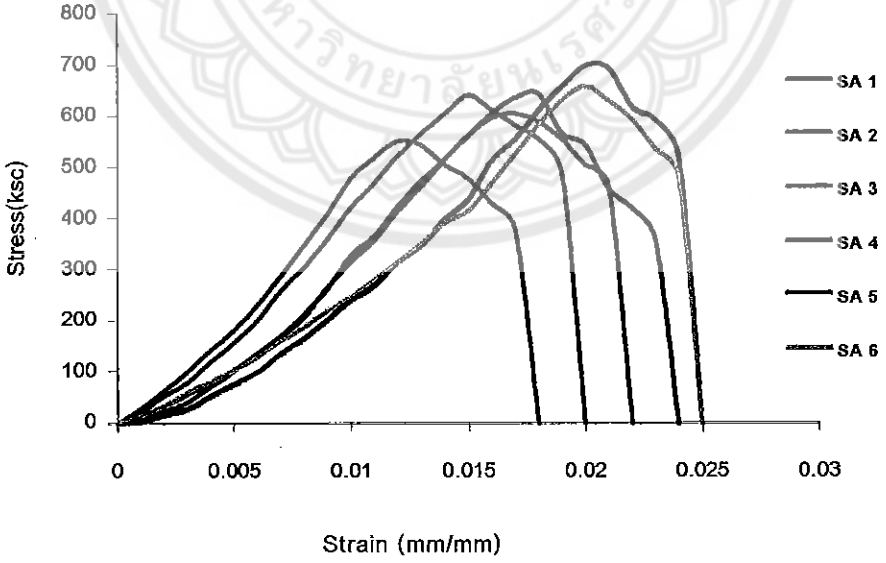
จากรูปที่ 3.20 ถึง 3.25 จะพบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ค่ากำลังต้านทานแรงอัด และค่าความเครียด จะมีค่าเปลี่ยนไป และจากการสังเกตจะพบว่าลักษณะของกราฟของแท่งทดสอบที่ 1 และ 2 จะไม่สอดคล้องกันกับกราฟของแท่งทดสอบที่ 3 ซึ่งสาเหตุนั้นอาจเกิดมาจากขั้นตอนการเตรียมแท่งมอร์ต้า การติดตั้ง Dial Gauge หรือ ความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่าการยุบตัวของแท่งทดสอบมอร์ต้าในขณะทำการทดสอบแรงกด และจากรูปที่ 3.21 3.23 และ 3.25 พบว่า เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีการเปลี่ยนแปลง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะเปลี่ยนไป โดยพบว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ลักษณะความโค้งของกราฟจะมีลักษณะโค้งมากขึ้น



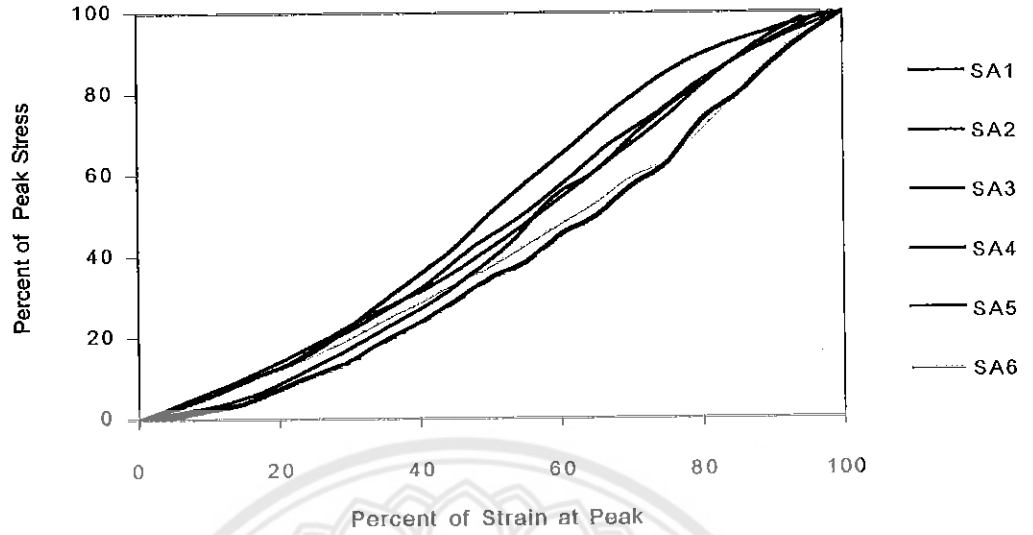
รูปที่ 3.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 60 วัน



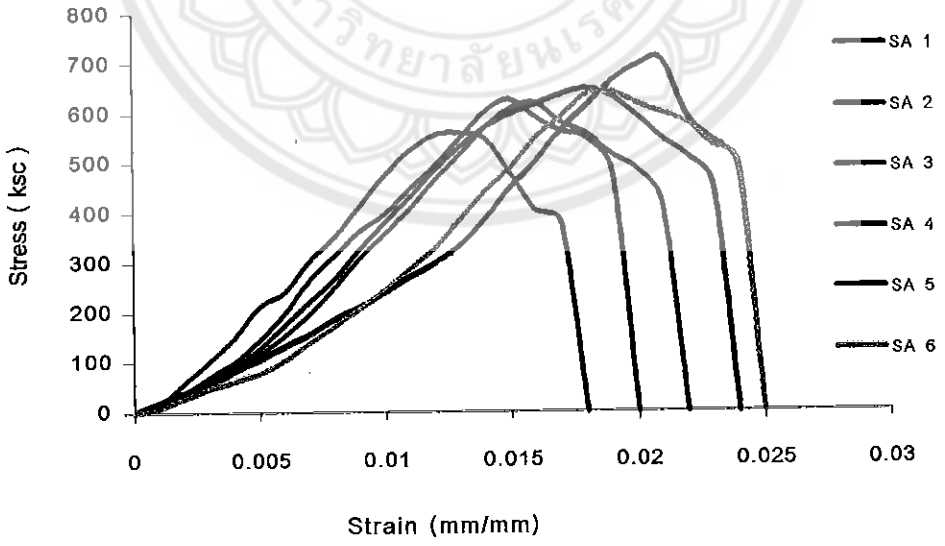
รูปที่ 3.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ความเค้นกับเปอร์เซนต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 60 วัน



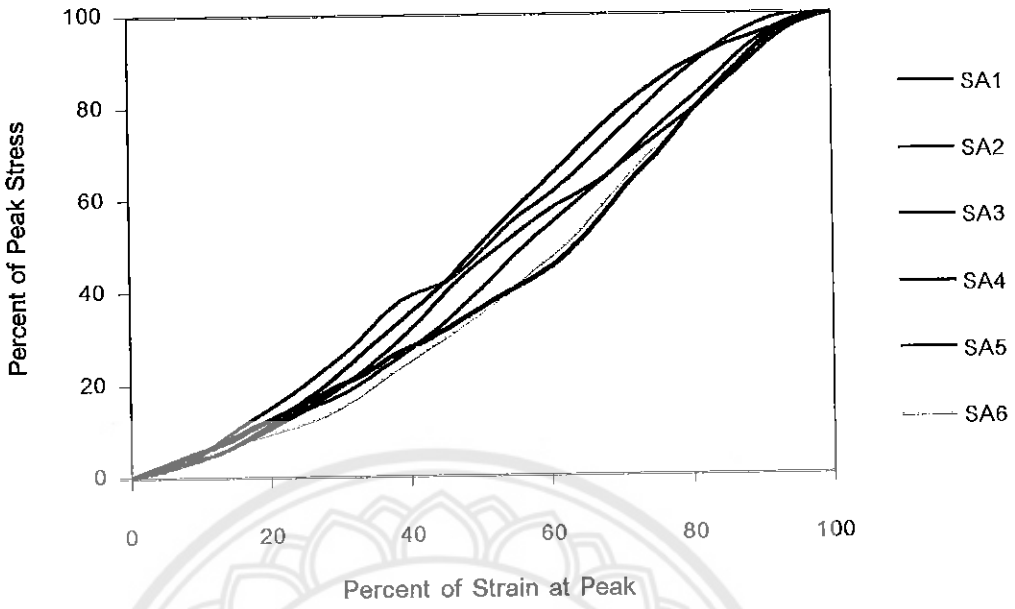
รูปที่ 3.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 60 วัน



รูปที่ 3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ความเค้นกับเปอร์เซนต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 60 วัน



รูปที่ 3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 60 วัน

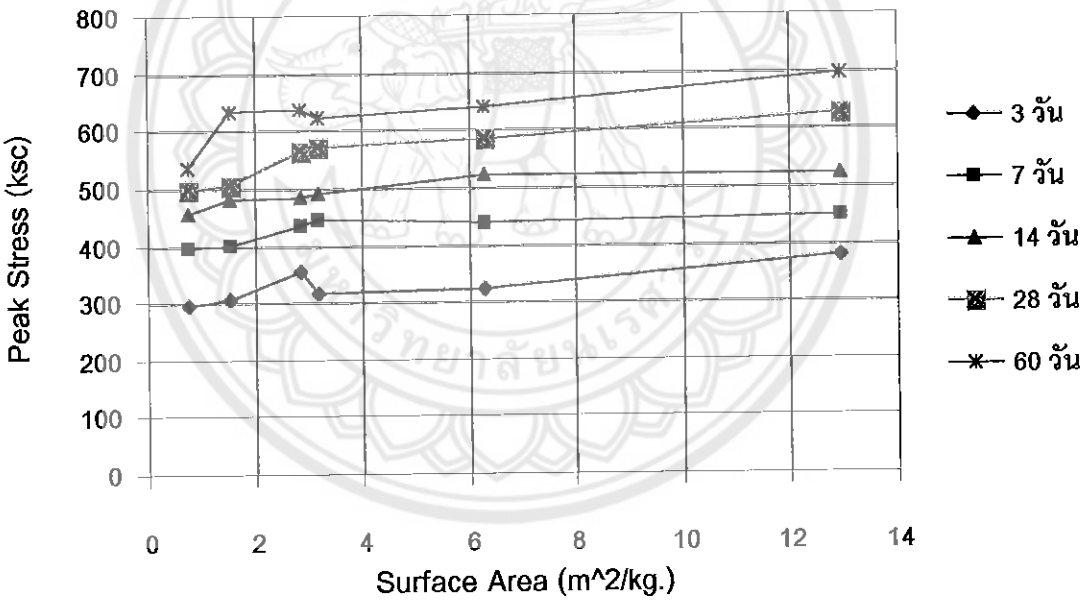


รูปที่ 3.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ความเค้นกับเปอร์เซนต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 60 วัน

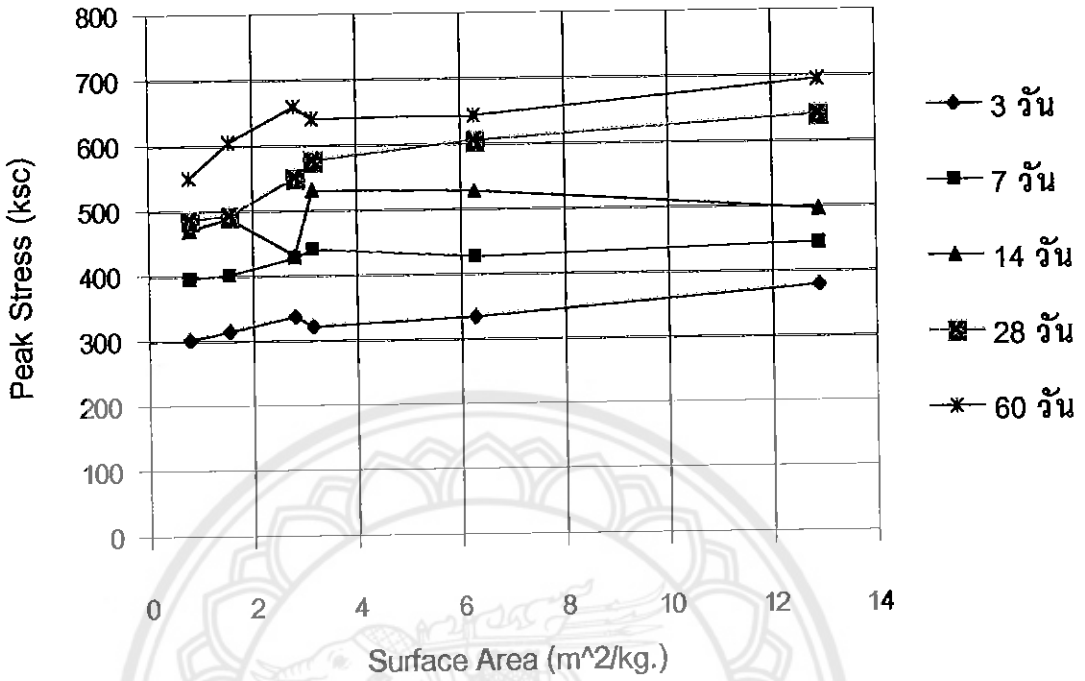
จากรูปที่ 3.26 ถึง 3.31 จะพบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวสัมผัส ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ค่าความต้านทานแรงอัด และค่าความเครียด จะมีค่าเปลี่ยนไป และจากการสังเกตจะพบว่า ลักษณะของกราฟแท่งทดสอบที่ 1 ไม่สอดคล้องกันกับกราฟของแท่งทดสอบที่ 2 และ 3 ซึ่งสาเหตุนั้นอาจเกิดมาจากขั้นตอนการเตรียมแท่งมอร์ต้า การติดตั้ง Dial Gauge หรือความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่าการยุบตัวของแท่งทดสอบมอร์ต้าในขณะทำการทดสอบแรงกด และจากรูปที่ 3.27 3.29 และ 3.31 พบว่า เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีการเปลี่ยนแปลง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด จะเปลี่ยนไป โดยจะพบว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ลักษณะความโค้งของกราฟจะมีแนวโน้มโค้งน้อยลง

3.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย

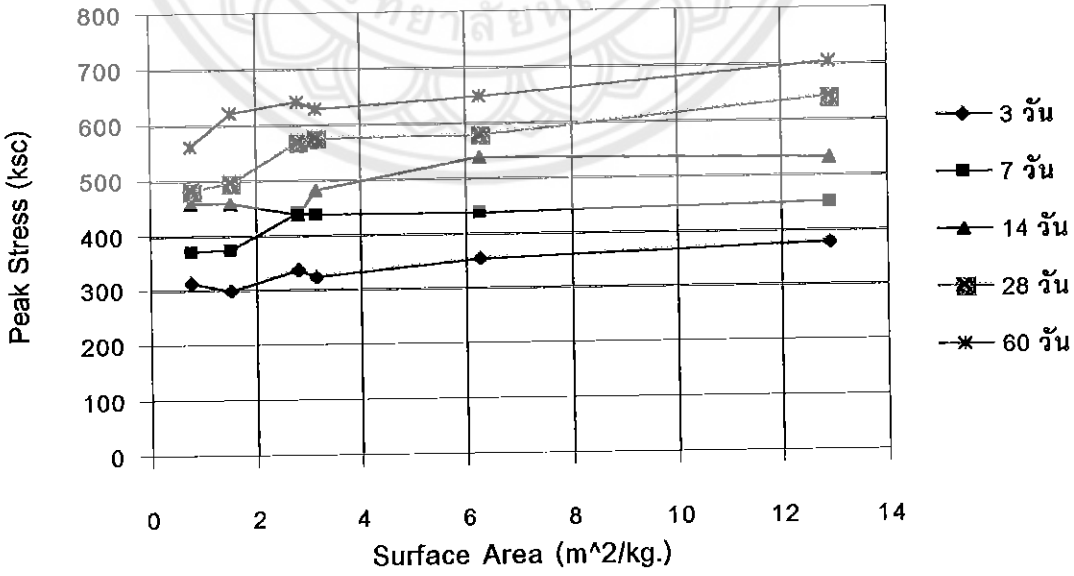
ในหัวข้อนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่างๆ โดยที่ค่าความเค้นสูงสุด หาได้จากค่าสูงสุดบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain Curve) ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.4.1 ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.32 ถึง 3.34



รูปที่ 3.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 1



รูปที่ 3.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 2

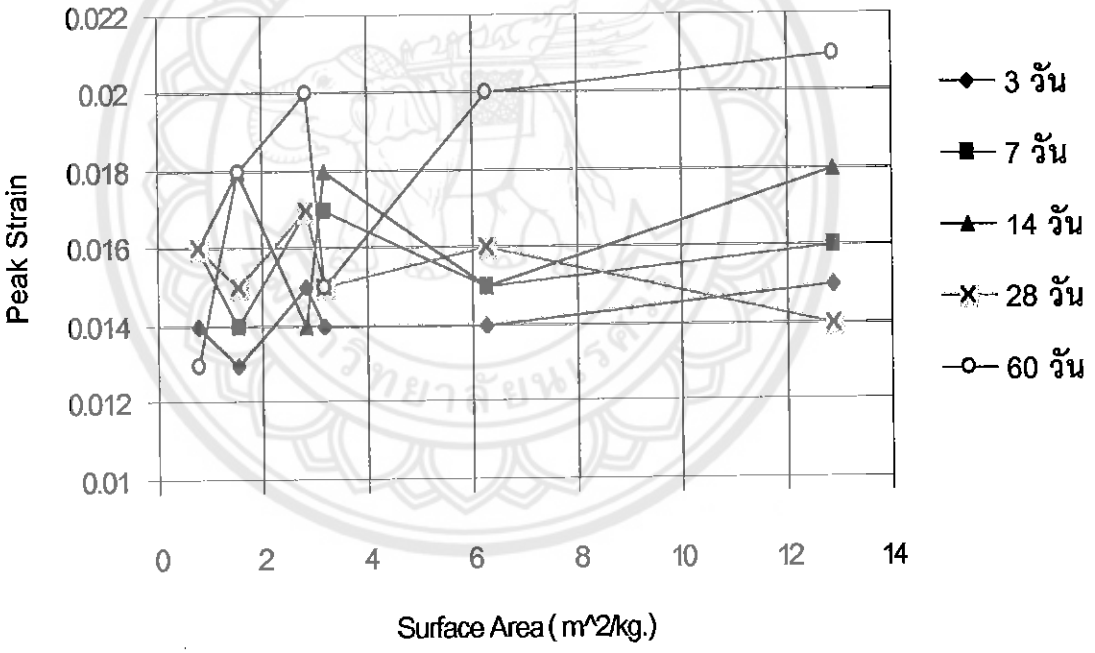


รูปที่ 3.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 3

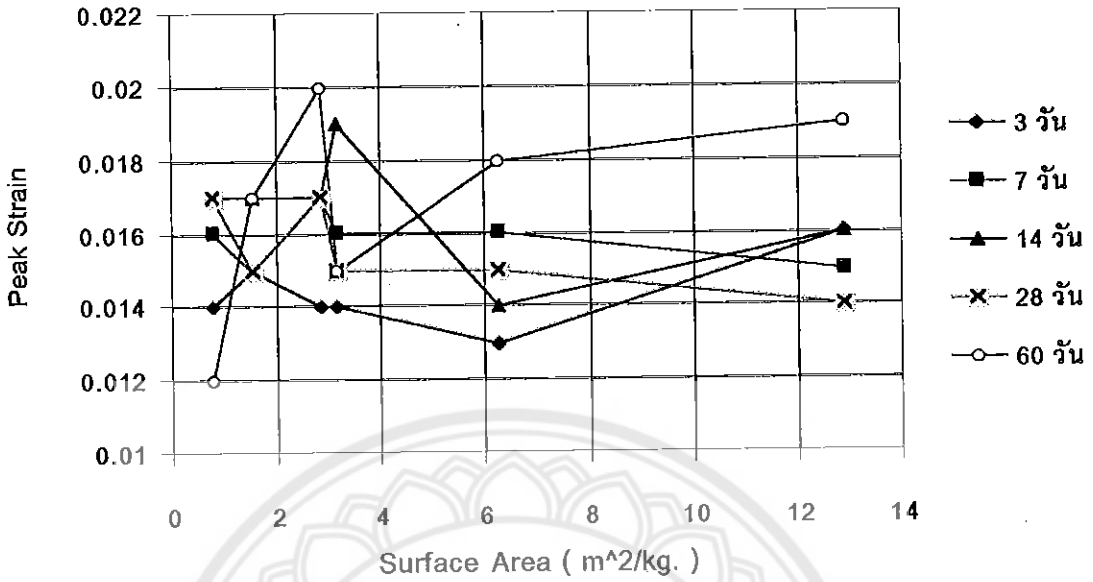
จากรูปที่ 3.32 ถึง 3.34 จะพบว่าที่ทุกอายุของการบ่มเมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความเค้นสูงสุดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม

3.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย

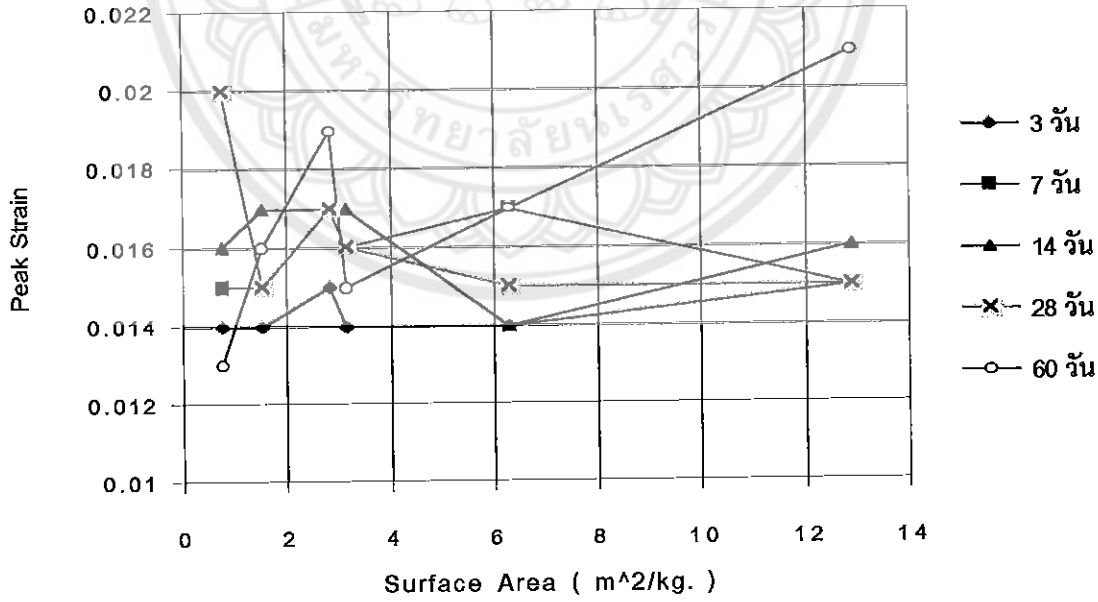
ในหัวข้อนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย โดยที่ค่าความเครียดสูงสุดหาได้จากตำแหน่งที่มีค่าความเค้นสูงสุดบนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress – Strain curve) ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.4.1 ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่3.35 ถึง 3.37



รูปที่ 3.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 1



รูปที่ 3.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 2

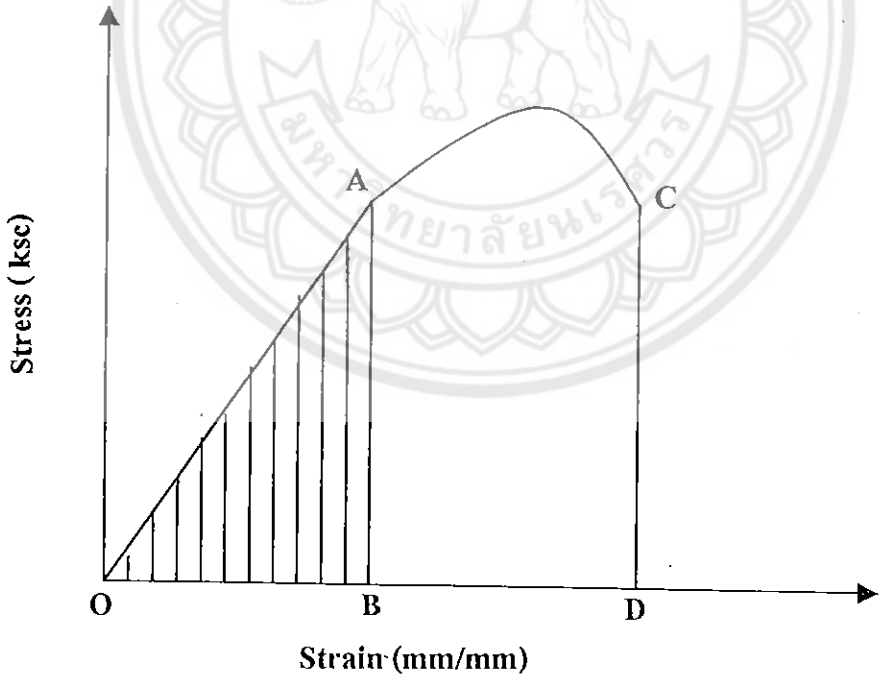


รูปที่ 3.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 3

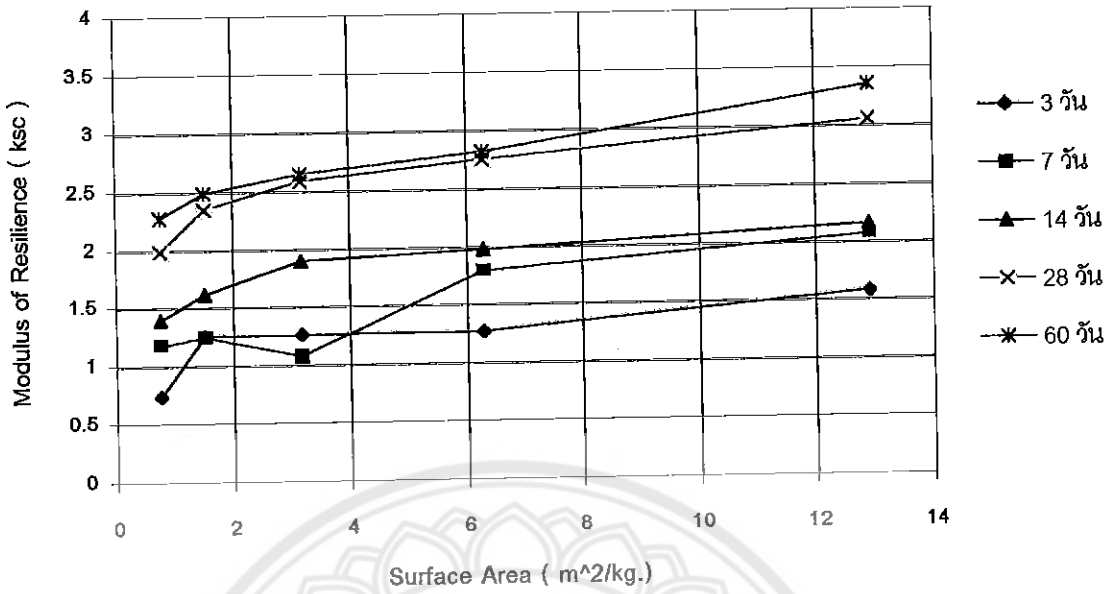
จากรูปที่ 3.35 ถึง 3.37 จะพบว่าเมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายเพิ่มขึ้น ค่าความเครียดสูงสุดมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนที่อายุการบ่ม 60 วัน แต่ที่อายุการบ่มน้อยๆ มีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการติดตั้ง Dial Gauge กับเครื่องทดสอบกำลังอัดที่ไม่ตั้งฉากกับแท่นทดสอบและผิวหน้ากดของแท่งตัวอย่างทดสอบไม่เรียบ

3.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัว (Modulus of Resilience) และ พื้นที่ผิวสัมผัสของทราย

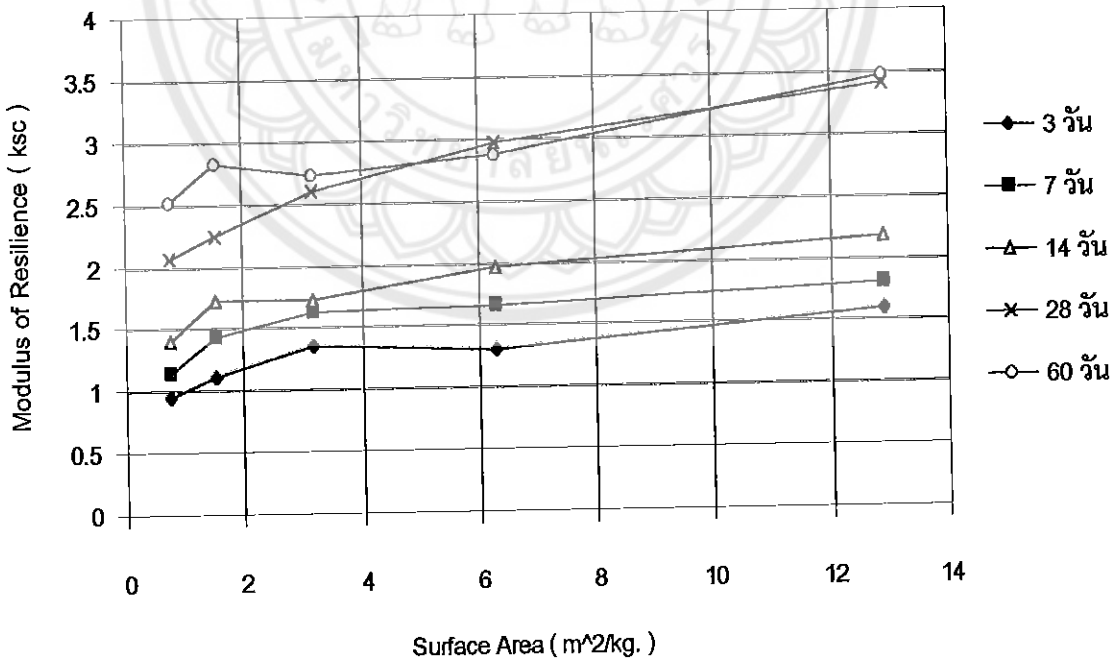
ในหัวข้อนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย โดยที่ค่าโมดูลัสการคืนตัวสามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress – Strain Curve) ของมอร์ต้า ภายในช่วงยืดหยุ่นแทนโดยพื้นที่ใต้เงา OAB ดังแสดงในรูปที่ 3.38 และผลที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.39 ถึง 3.41



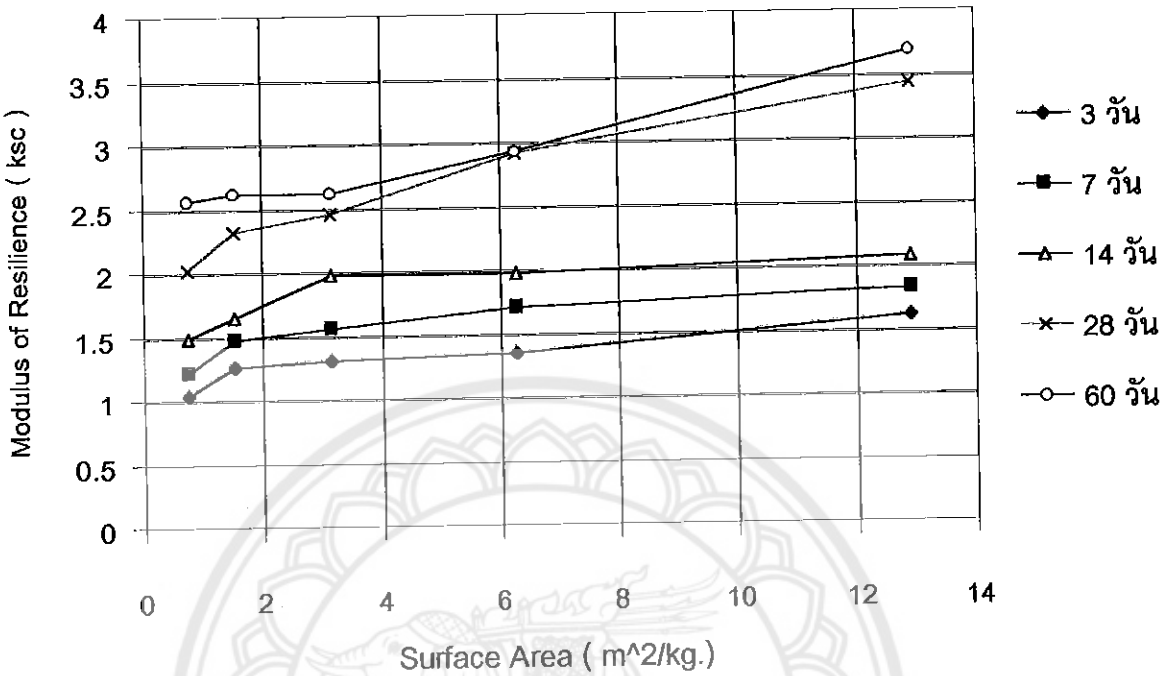
รูปที่ 3.38 แสดงการหาค่าโมดูลัสการคืนตัวและค่าโมดูลัสความเหนียว



รูปที่ 3.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 1



รูปที่ 3.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 2

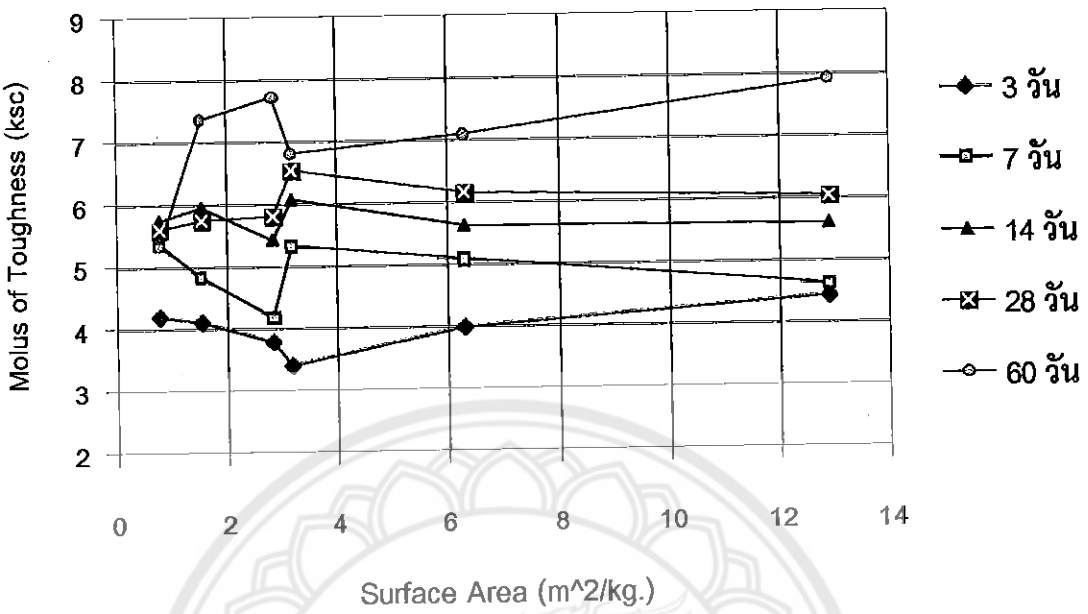


รูปที่ 3.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 3

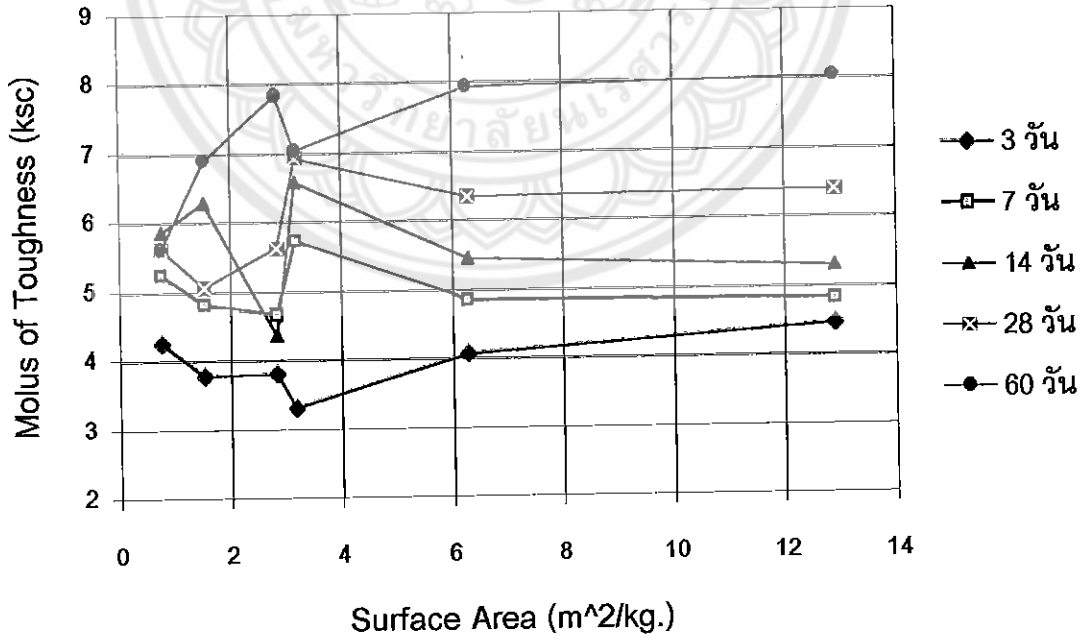
จากรูปที่ 3.39 ถึง 3.41 จะพบว่าที่ทุกอายุการบ่มเมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีค่าเพิ่มขึ้นค่าโมดูลัสการคืนตัวจะเพิ่ม

3.4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียว (Modulus of Toughness) และพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย

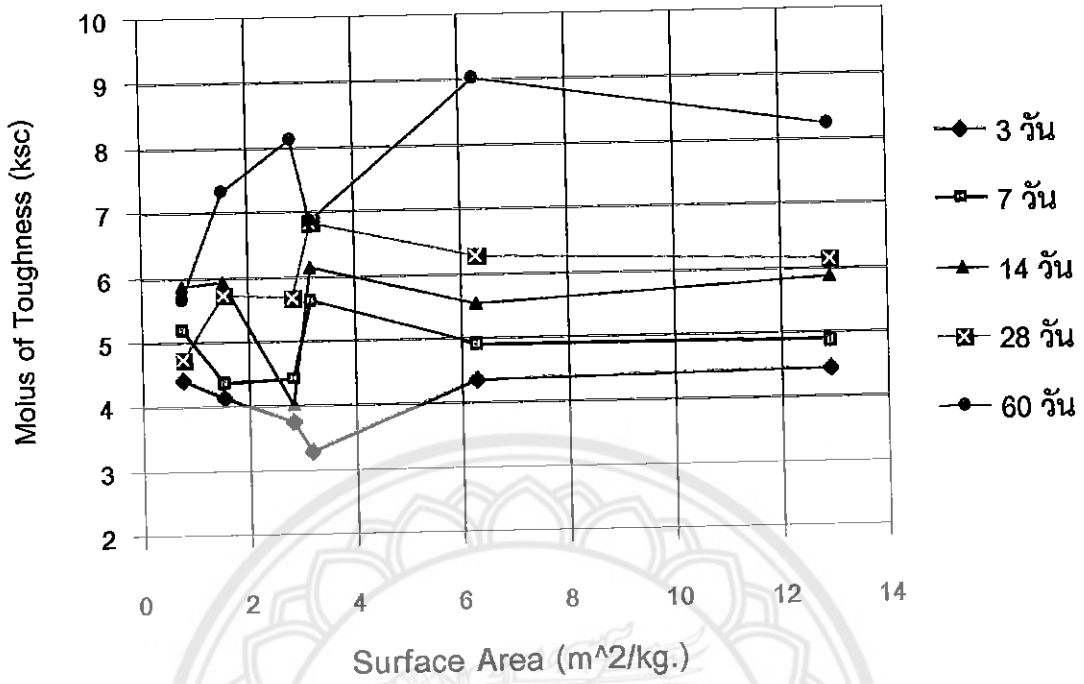
ในหัวข้อนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย โดยที่ค่าโมดูลัสความเหนียวเป็นความสามารถของวัสดุในการดูดซึมพลังงาน ระหว่างที่รับน้ำหนักจนกระทั่งแตกหัก ค่าโมดูลัสความเหนียวสามารถหาได้จากพื้นที่แรเงา OACD ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 3.38 ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.42 ถึง 3.44



รูปที่ 3.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 1



รูปที่ 3.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 2

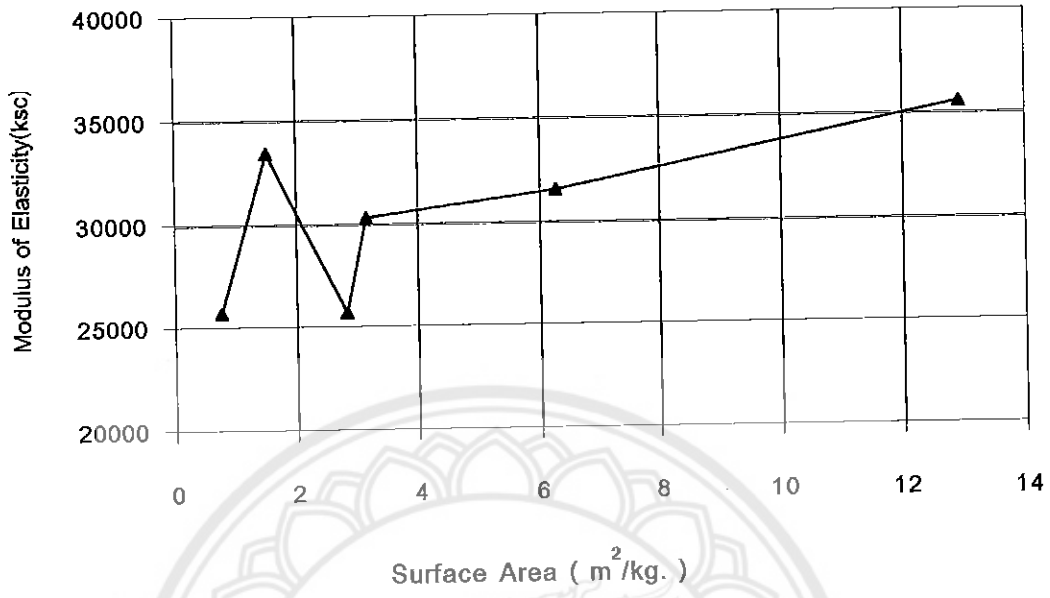


รูปที่ 3.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่างๆ ของแท่งทดสอบที่ 3

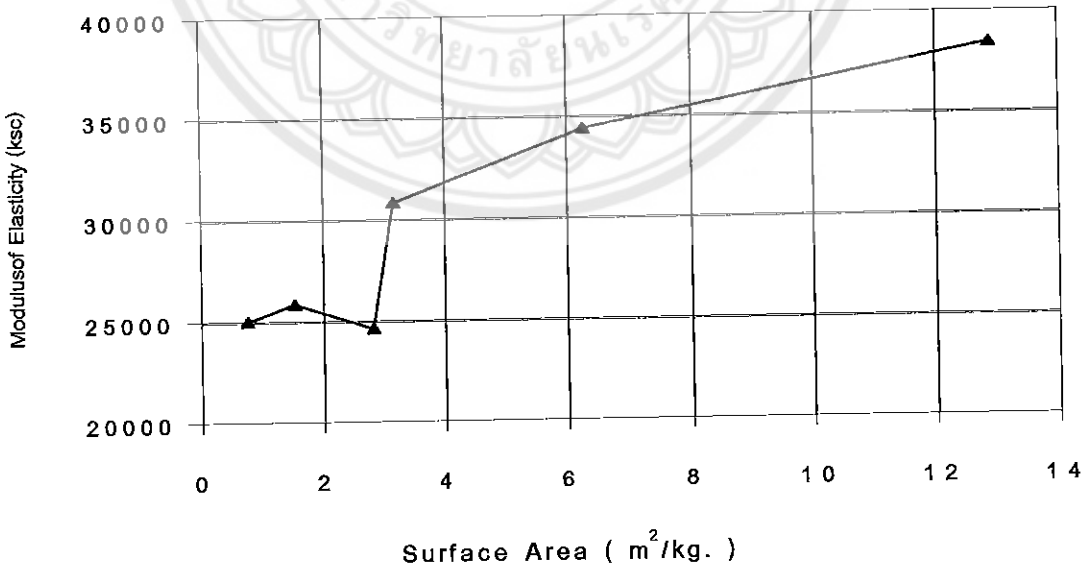
จากรูปที่ 3.42 ถึง 3.44 จะพบว่า ที่อายุการบ่ม 3 วัน และ 60 วัน พบว่าเมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายเพิ่มขึ้น แนวโน้มค่าโมดูลัสความเหนียวจะเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายทำให้มอร์ต้ามีความสามารถในการดูดซึมพลังงานไว้มาก และมีความเหนียวเพิ่มขึ้น แต่ที่อายุการบ่ม 7,14 และ 28 วัน มีแนวโน้มไม่แน่นอนเนื่องอาจเกิดจากการแตกหักของแท่งทดสอบจากการกดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้การบันทึกค่าการยุบตัวและน้ำหนักที่กระทำมีความคลาดเคลื่อน

3.4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย

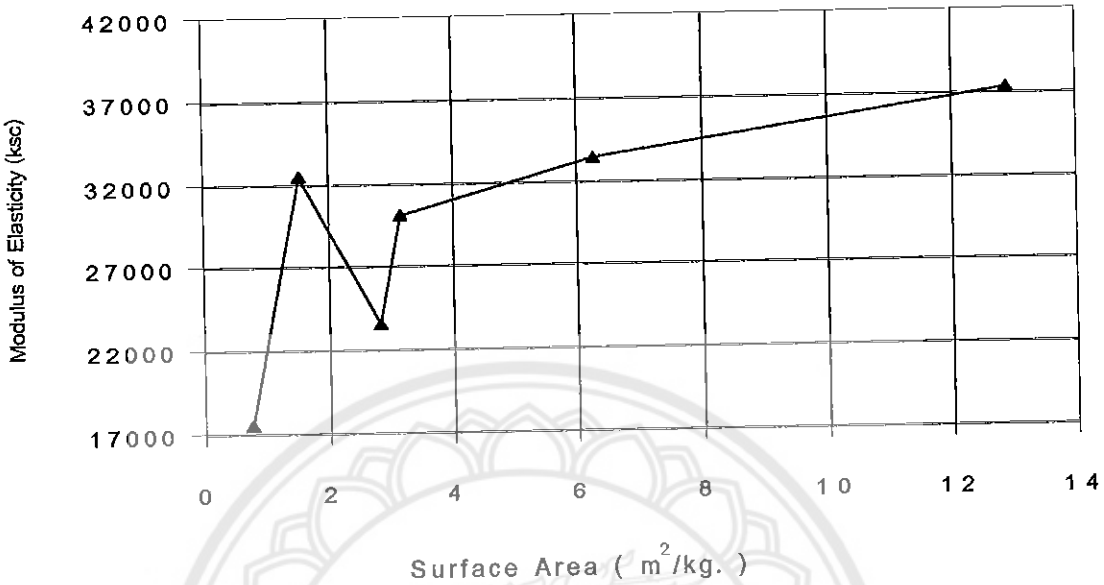
ในหัวข้อนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย โดยที่ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสำหรับโครงงานนี้เป็นค่าซีแคนต์โมดูลัสที่ 45 เปอร์เซ็นต์ของค่าความเค้นสูงสุดซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.45 ถึง 3.50



รูปที่ 3.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

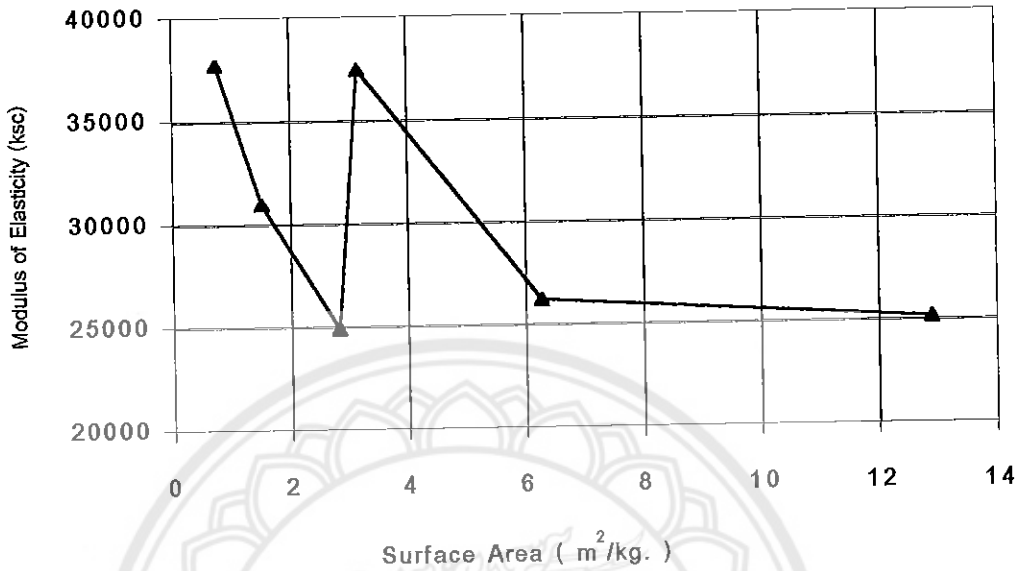


รูปที่ 3.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

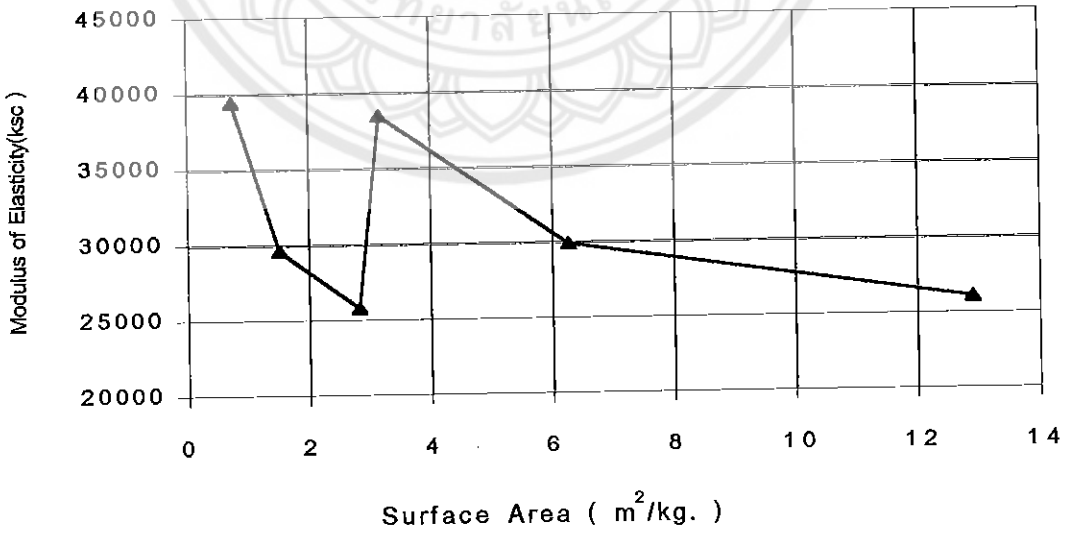


รูปที่ 3.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

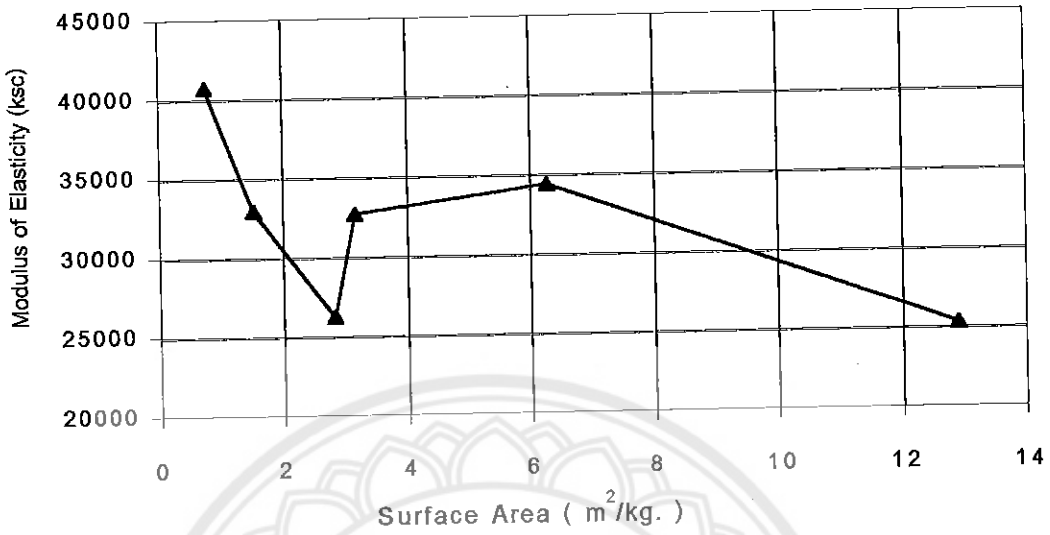
จากรูปที่ 3.45 ถึง 3.47 จะพบว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของมอร์ต้า ที่อายุ 28 วันจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีผลทำให้ ค่าความเครียด ณ ตำแหน่งที่ความเค้นมีค่าสูงที่สุดมีค่าลดลง จึงทำให้ความชันของกราฟระหว่างความเค้นกับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 60 วัน



รูปที่ 3.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 60 วัน



รูปที่ 3.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 60 วัน

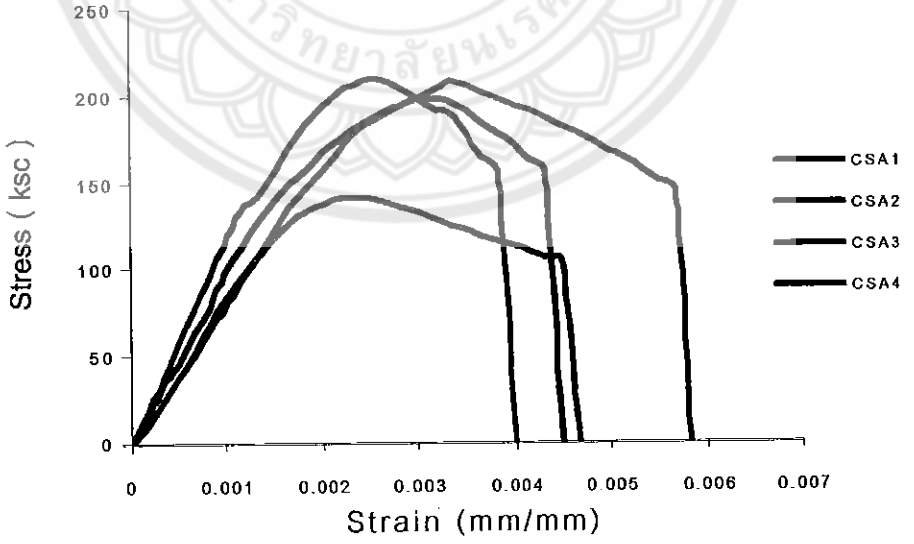
จากรูปที่ 3.48 ถึง 3.50 จะพบว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของมอร์ต้า ที่อายุ 60 วันจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย มีผลทำให้ ค่าความเครียด ณ ตำแหน่งที่ความเค้นมีค่าสูงที่สุดมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความชันของกราฟระหว่างความเค้นกับความเครียดมีค่าลดลง

3.5 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

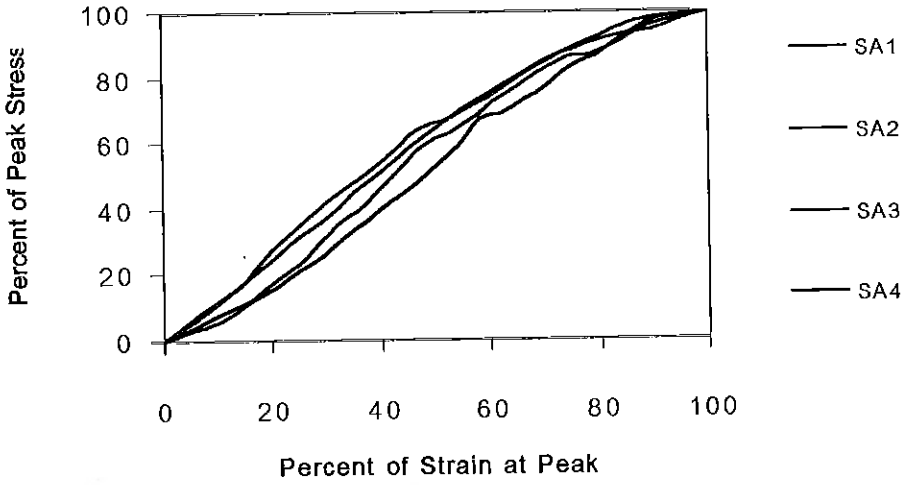
ผลที่ได้จากการทดสอบกำลังของแท่งคอนกรีตสามารถนำมาใช้แสดงความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายกับค่าความเค้นสูงสุด ค่าความเครียดสูงสุด ค่าโมดูลัสการคืนตัว (Modulus of Resilience) ค่าโมดูลัสความเหนียว (Modulus of Toughness) และโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ซึ่งจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

3.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดที่ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายต่าง ๆ

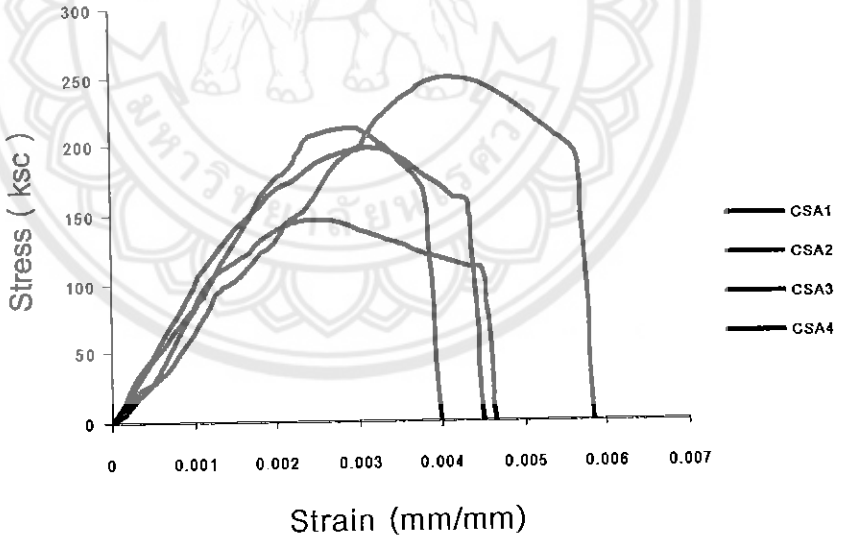
รูปที่ 3.51 ถึง 3.74 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียดซึ่งได้จากการกำหนดให้ค่าความเค้นและความเครียด ณ ตำแหน่งที่ความเค้นกับความเครียดมีค่าสูงสุดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ของแท่งตัวอย่างคอนกรีต ที่ได้จากผลการทดสอบแรงอัดแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง15เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุการบ่มแตกต่างกัน อายุการบ่มละ 3 แท่งตัวอย่าง จำนวนทั้งหมด 48 ตัวอย่าง โดยกำหนดสัญลักษณ์ CSA1 CSA2 CSA3 และ CSA4 ที่แสดงในกราฟ เป็นค่าพื้นที่ผิวของทรายเท่ากับ 1.52 3.16 6.27 และ 2.82 ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ



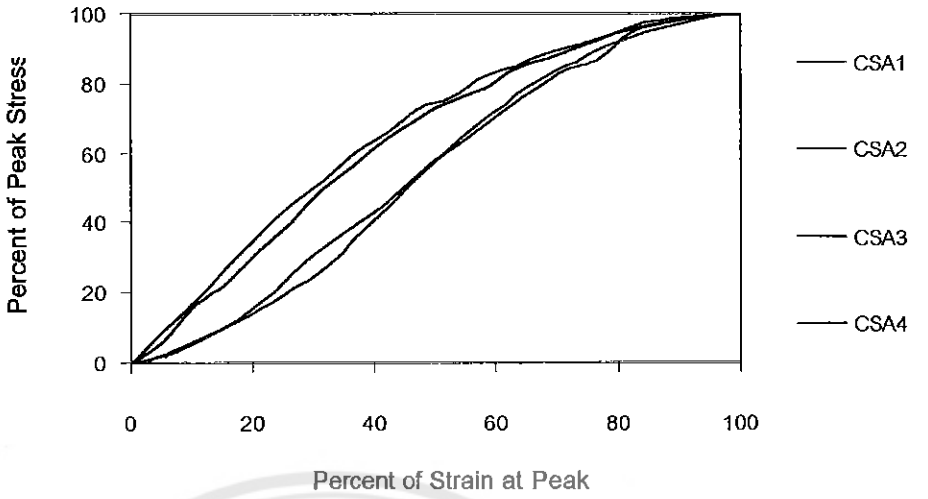
รูปที่ 3.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 3 วัน



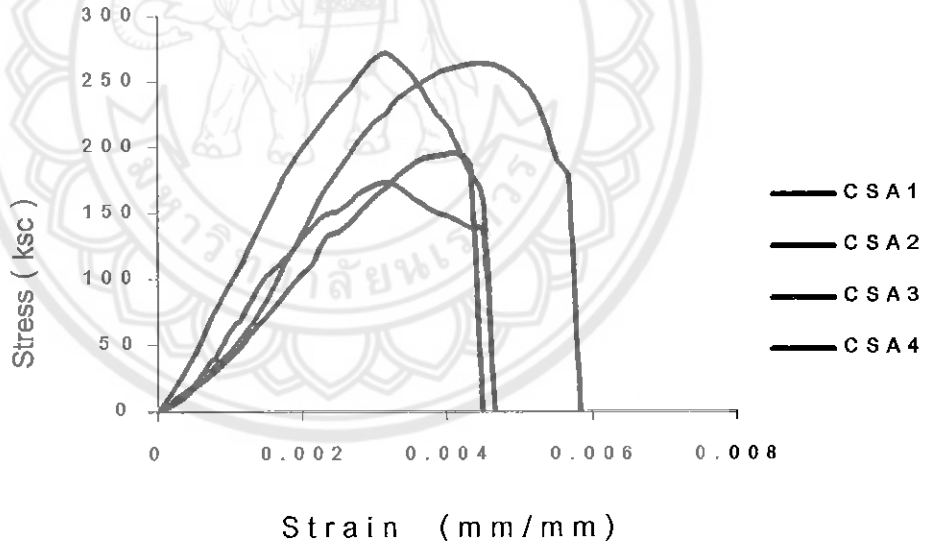
รูปที่ 3.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์**ความเครียด ของแท่งทดสอบที่** 1 ที่อายุการบ่ม 3 วัน



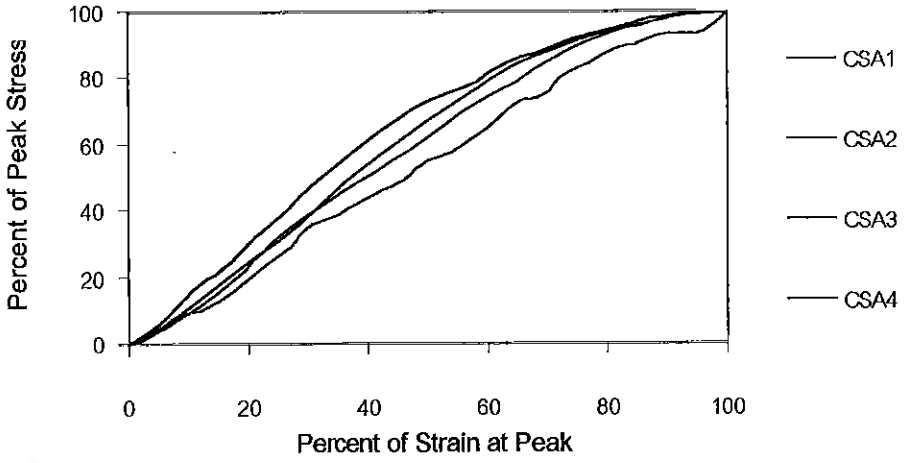
รูปที่ 3.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 3 วัน



รูปที่ 3.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์**ความเครียด ของแท่งทดสอบที่** 2 ที่อายุการบ่ม 3 วัน

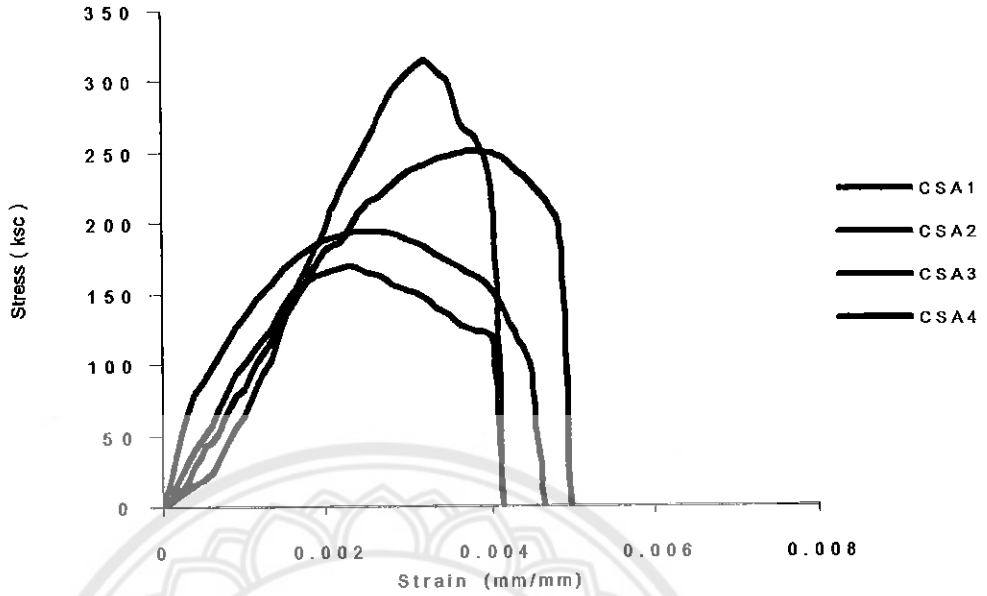


รูปที่ 3.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 3 วัน

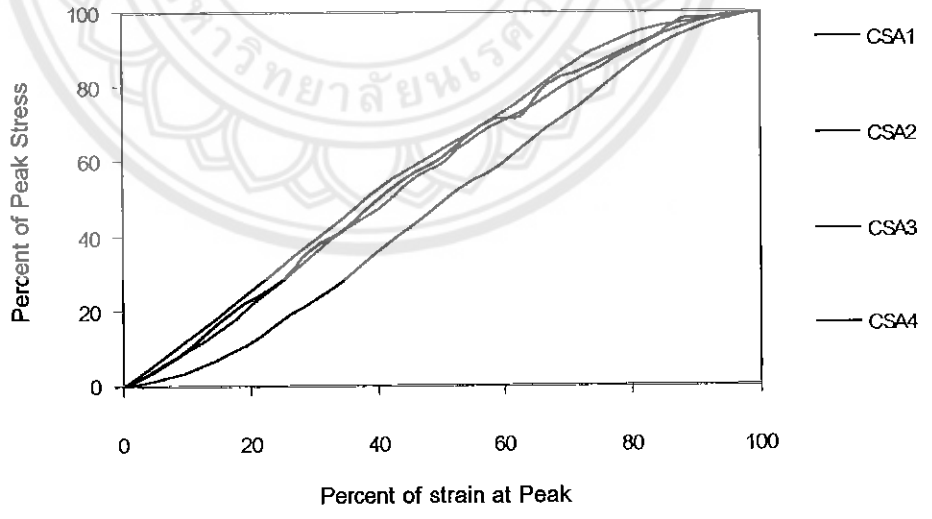


รูปที่ 3.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 3 วัน

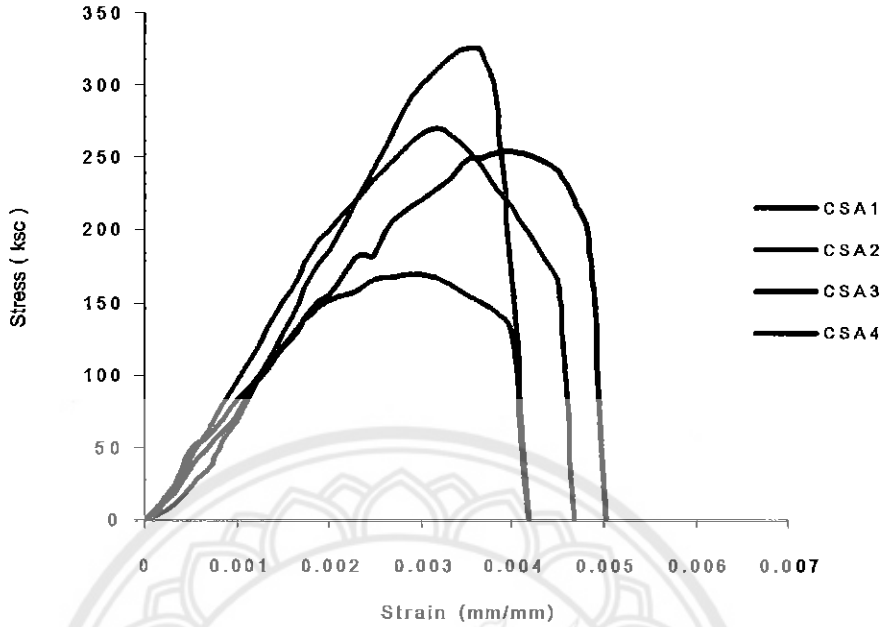
จากรูปที่ 3.51 3.53 และ 3.55 จะพบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น กำลังต้านทานแรงอัด และค่าความเครียด จะมีค่าเปลี่ยนไป และจากรูปที่ 3.52 3.54 และ 3.56 จะพบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด จะเปลี่ยนไป เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีการเปลี่ยนแปลง โดยจะพบว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ลักษณะความโค้งของกราฟจะมีลักษณะแนวโน้มมากขึ้น



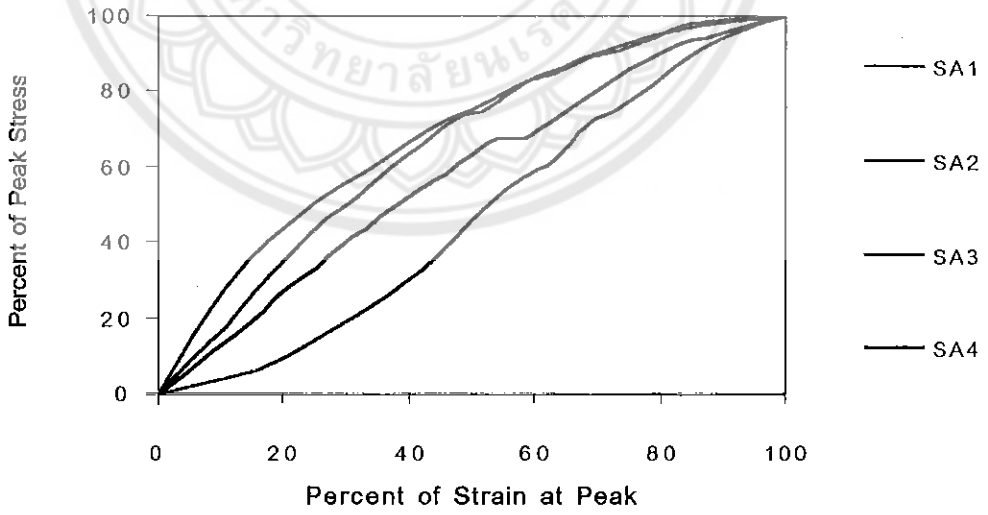
รูปที่ 3.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 7 วัน



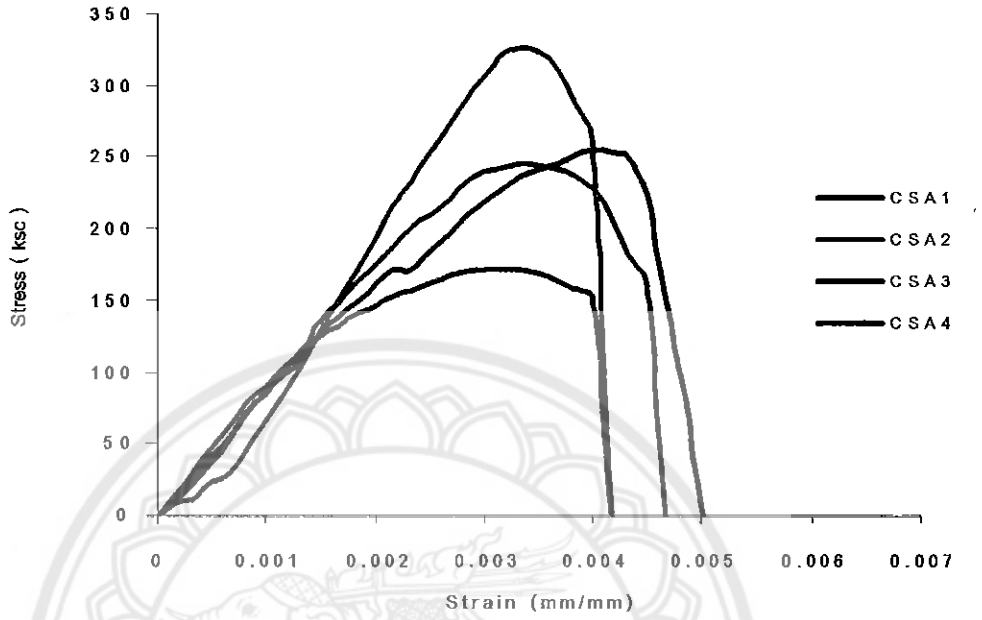
รูปที่ 3.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 7 วัน



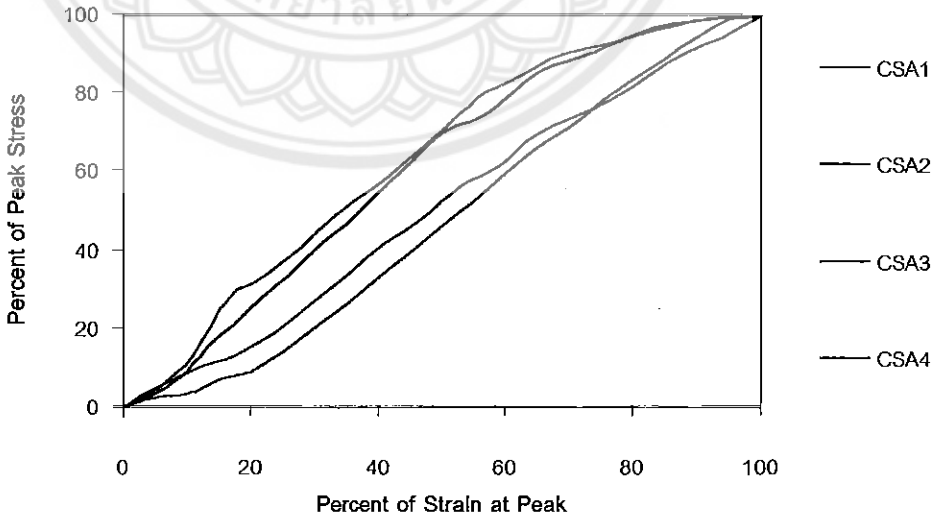
รูปที่ 3.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 7 วัน



รูปที่ 3.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 7 วัน

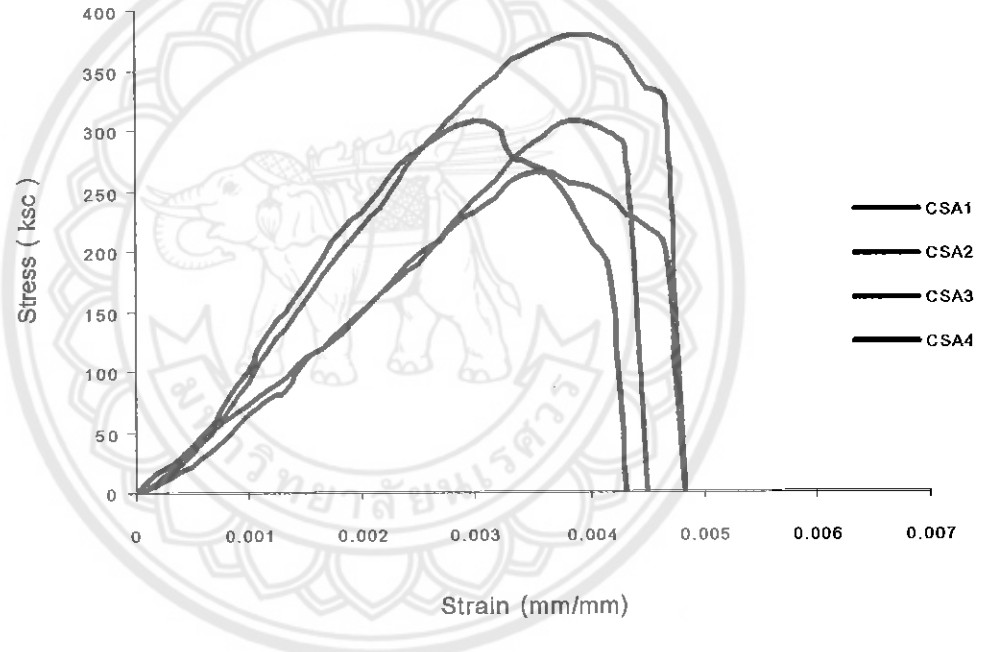


รูปที่ 3.61 กราฟแสดงวามสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 7 วัน

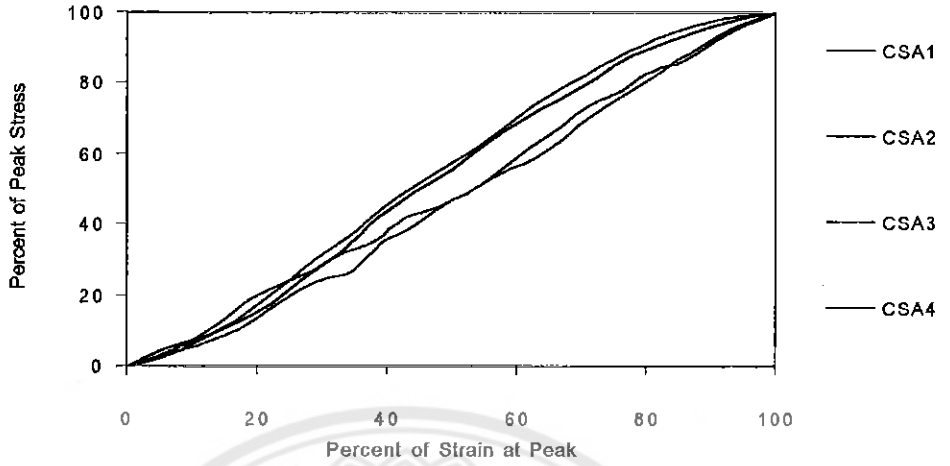


รูปที่ 3.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 7 วัน

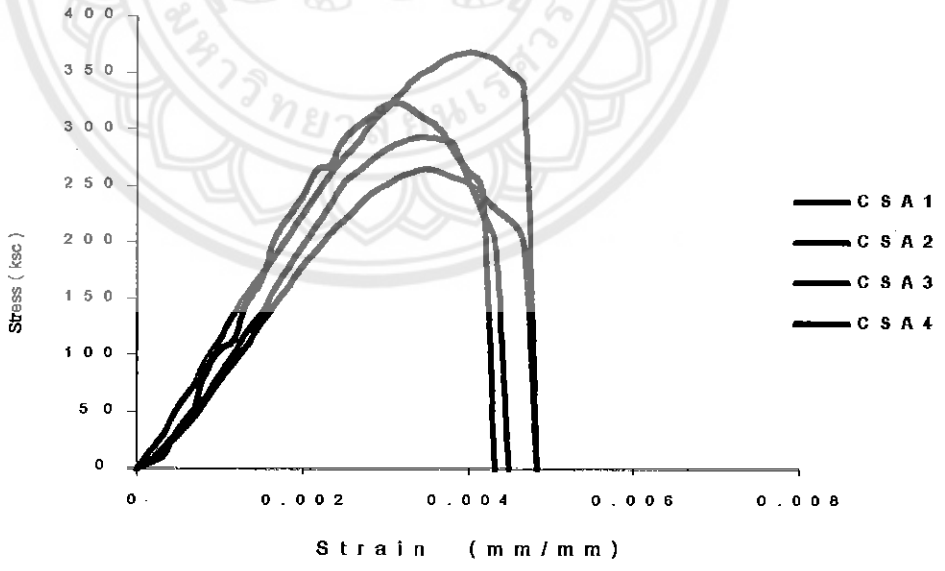
จากรูปที่ 3.57 3.59 และ 3.61 จะพบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น กำลังต้านทานแรงอัด และค่าความเครียดจะมีค่าเปลี่ยนไป และจากรูปที่ 3.58 3.60 และ 3.62 จะพบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด จะเปลี่ยนไป เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีการเปลี่ยนแปลง โดยจะพบว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ลักษณะความโค้งของกราฟจะมีลักษณะแนวโน้มโค้งมากขึ้น



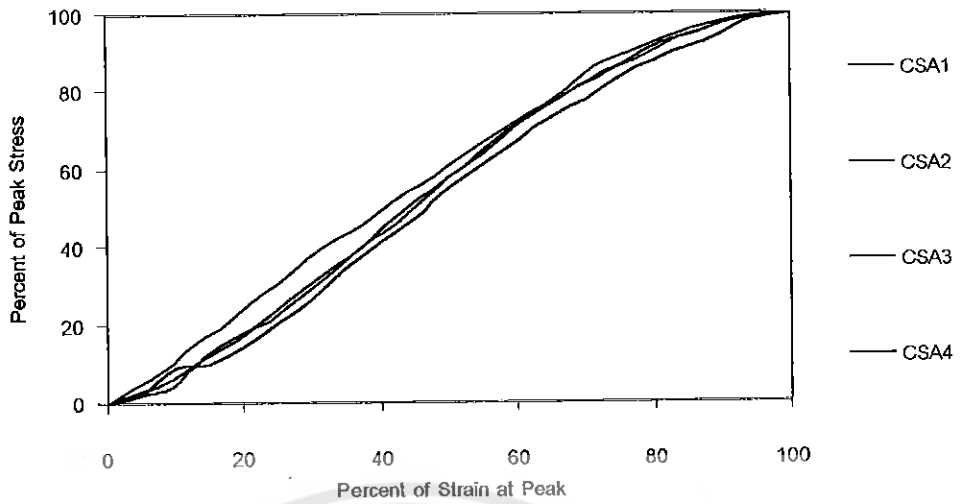
รูปที่ 3.63 กราฟแสดงวามสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 14 วัน



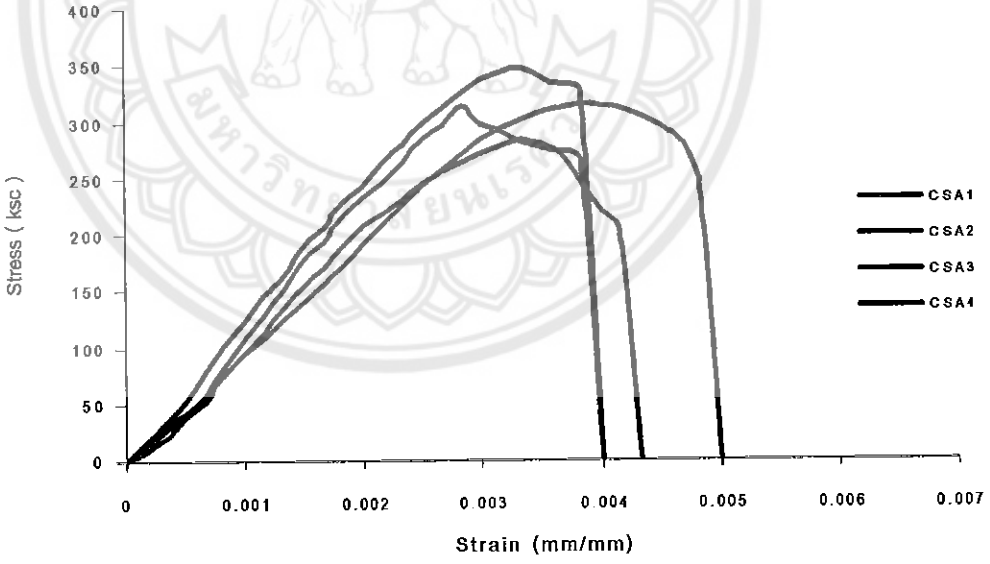
รูปที่ 3.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 14 วัน



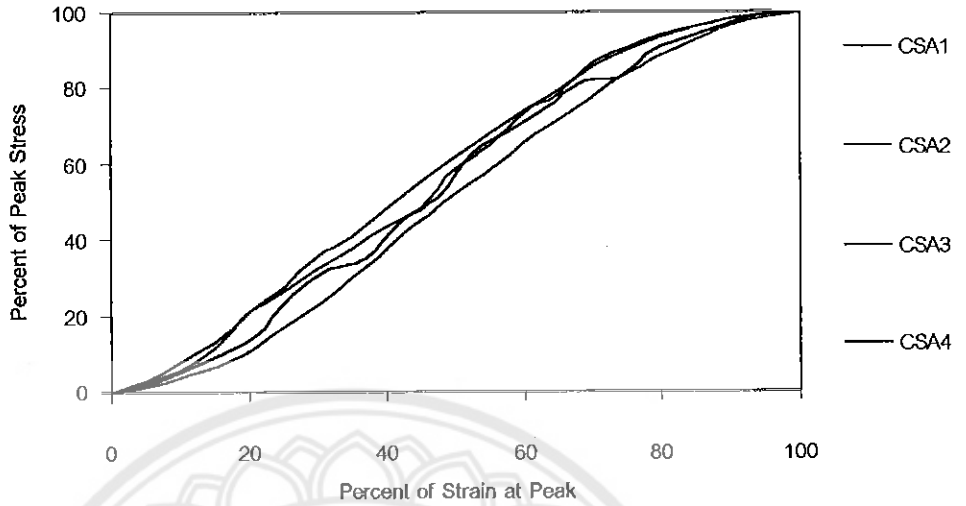
รูปที่ 3.65 กราฟแสดงวามสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 14 วัน



รูปที่ 3.66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 14 วัน

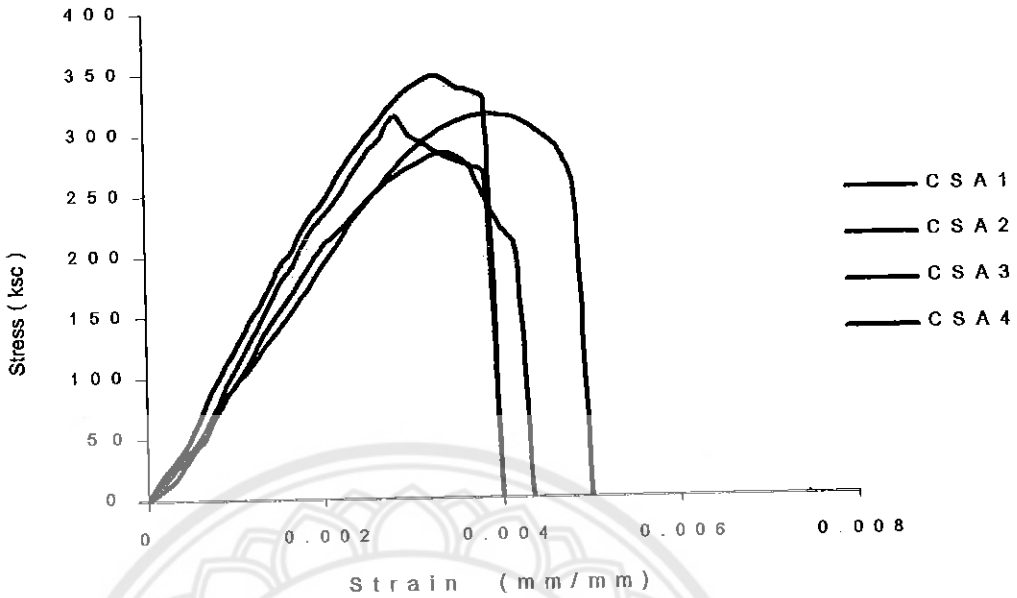


รูปที่ 3.67 กราฟแสดงวามสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 14 วัน

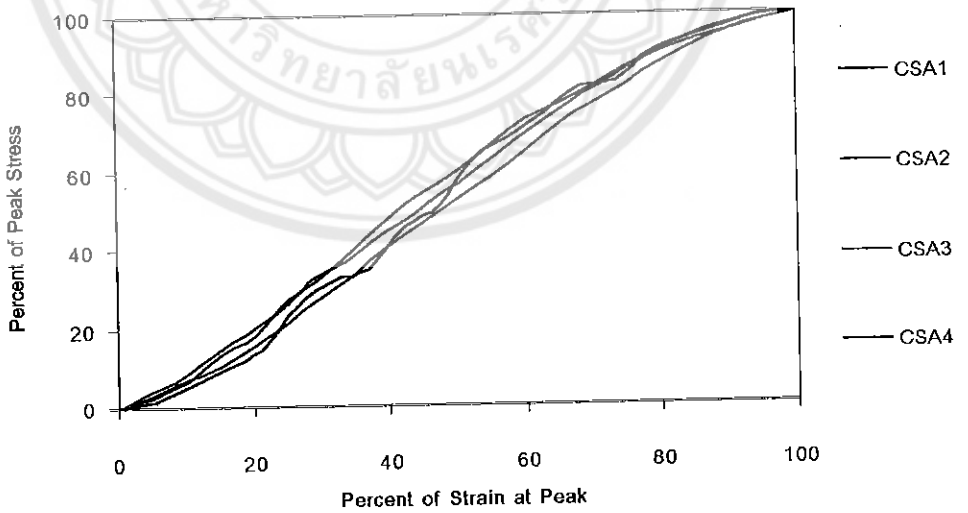


รูปที่ 3.68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์**ความเครียด ของแท่งทดส**อบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 14 วัน

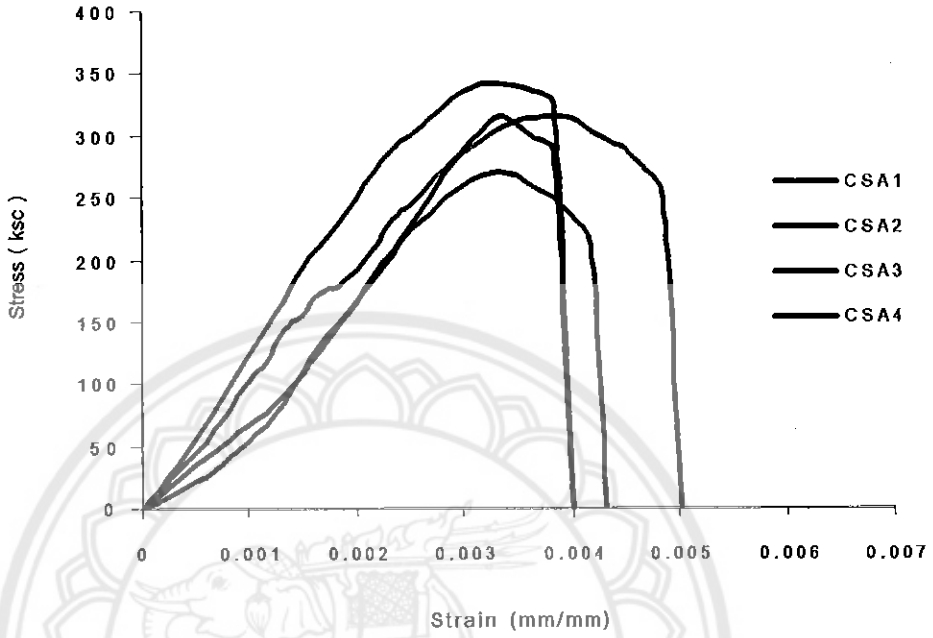
จากรูปที่ 3.63 3.65 และ 3.67 จะพบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่**ผิวสัมผัสของทราย ค่าโมดูลัส**ความยืดหยุ่น ค่ากำลังต้านทานแรงอัด และค่าความเครียดจะมี**ค่าเปลี่ยนไป และจากการ**สังเกตพบว่า ลักษณะกราฟของแท่งทดสอบที่ 1 และ 2 ไม่สอดคล้อง**กับกราฟของแท่งทดสอบที่** 3 ซึ่งสาเหตุนั้นอาจเกิดมาจากขั้นตอนการเตรียมแท่งคอนกรีตหรือขั้น**ตอนการทดสอบกำลังอัด** และจากรูปที่ 3.58 3.60 และ 3.62 จะพบว่ากราฟแสดง**ความสัมพันธ์**ระหว่าง**ความเค้น**กับความเครียด จะเปลี่ยนไป เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีการเปลี่ยน**แปลง** โดยจะพบว่า**เมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย** ลักษณะความโค้งของกราฟจะมีลักษณะแนวโน้มโค้งมากขึ้น



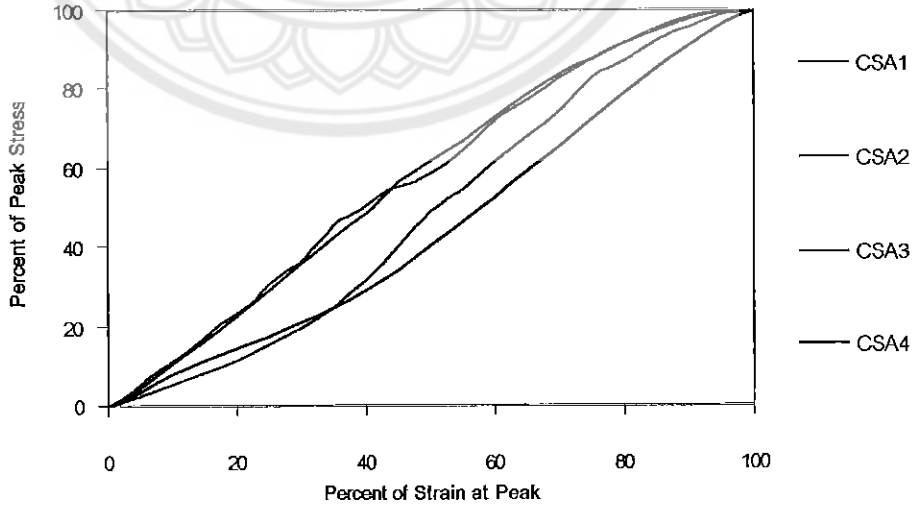
รูปที่ 3.69 กราฟแสดงวามสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน



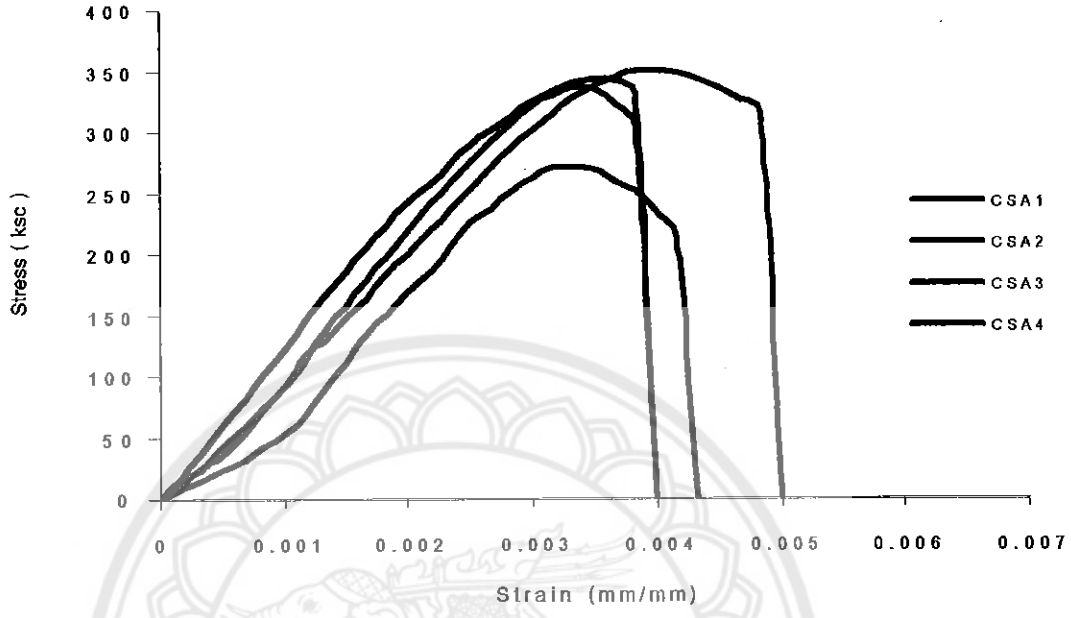
รูปที่ 3.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน



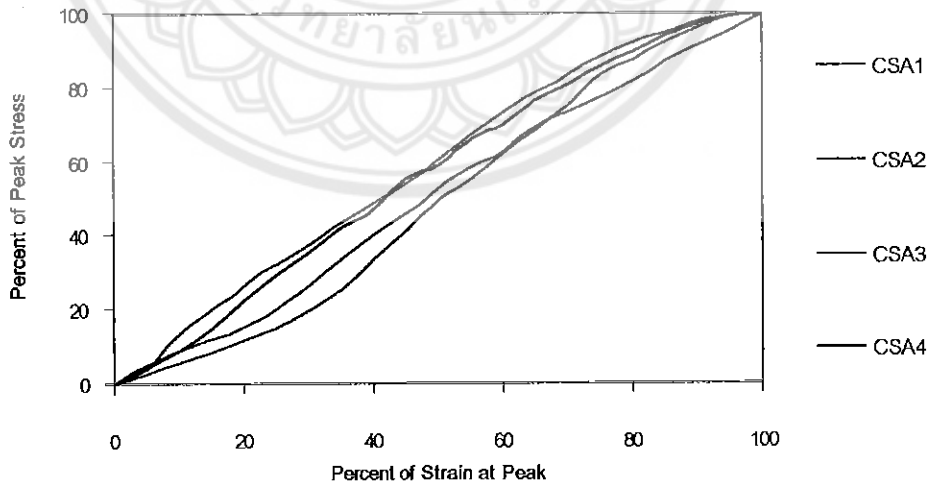
รูปที่ 3.71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 3.72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 3.73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

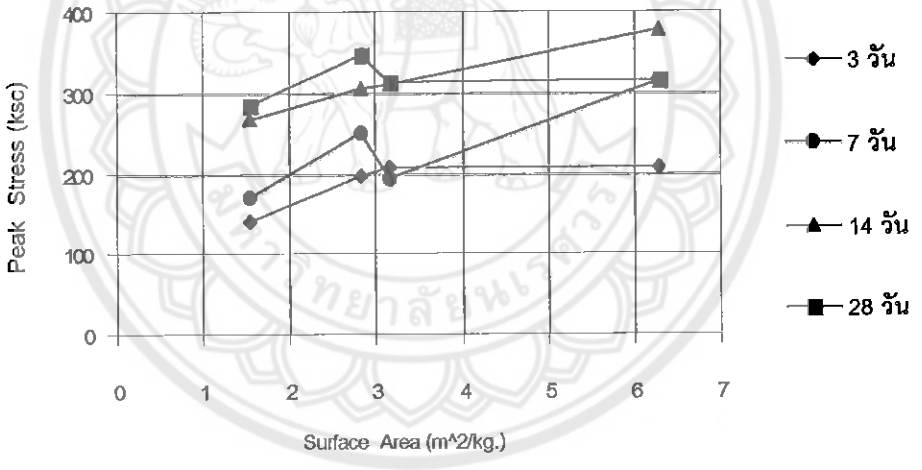


รูปที่ 3.74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเค้นกับเปอร์เซ็นต์ความเครียด ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

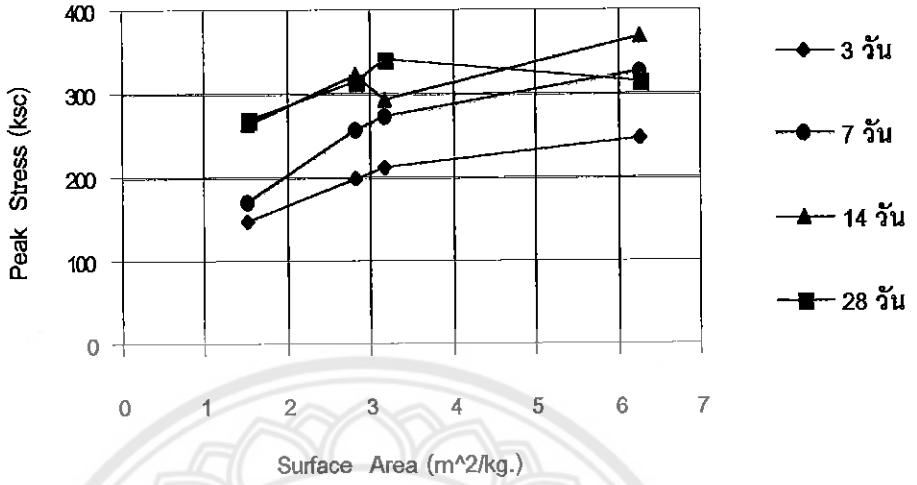
จากรูปที่ 3.69 3.71 3.73 จะพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น กำลังต้านทานแรงอัด และค่าความเครียด จะมีค่าเปลี่ยนไป และจากรูปที่ 3.70 3.72 3.74 จะพบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดจะเปลี่ยนไปเมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายมีการเปลี่ยนแปลง โดยจะพบว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ลักษณะความโค้งของกราฟจะมีลักษณะโค้งมากขึ้น ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับแท่งทดสอบที่อายุการบ่ม 14 วัน

3.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย

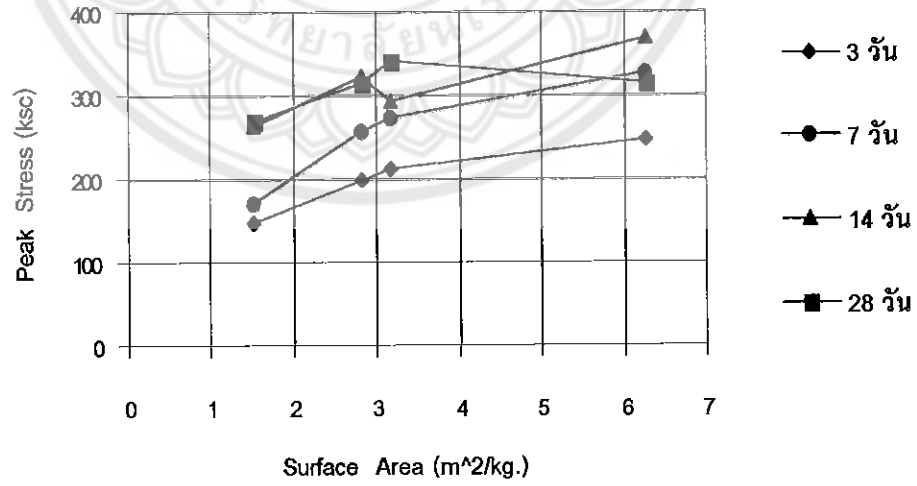
ในหัวข้อนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่าง ๆ โดยที่ค่าความเค้นสูงสุด หาได้จากค่าสูงสุดบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress – Strain Curve) ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.5.1 ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.75 ถึง 3.77



รูปที่ 3.75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งทดสอบที่ 1



รูปที่ 3.76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งทดสอบที่ 2

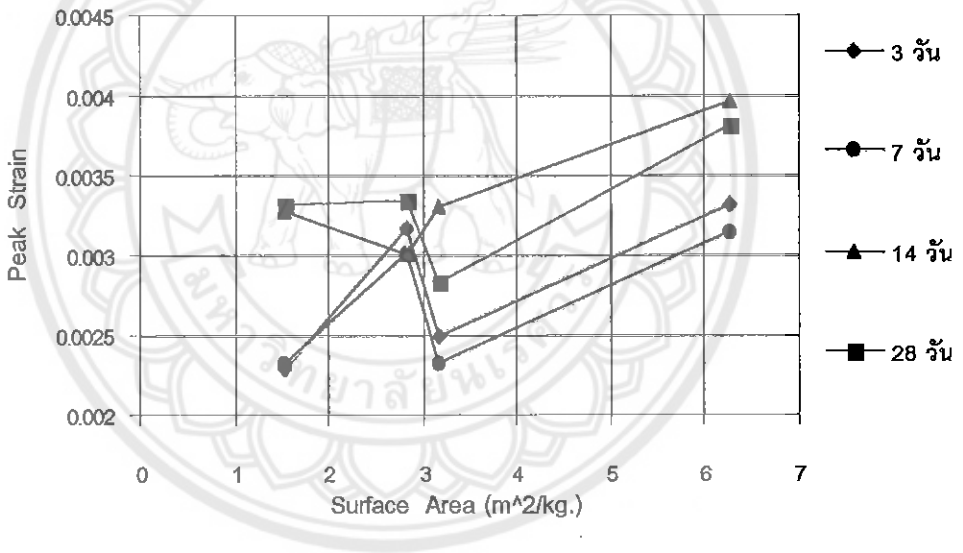


รูปที่ 3.77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความเค้นสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งทดสอบที่ 3

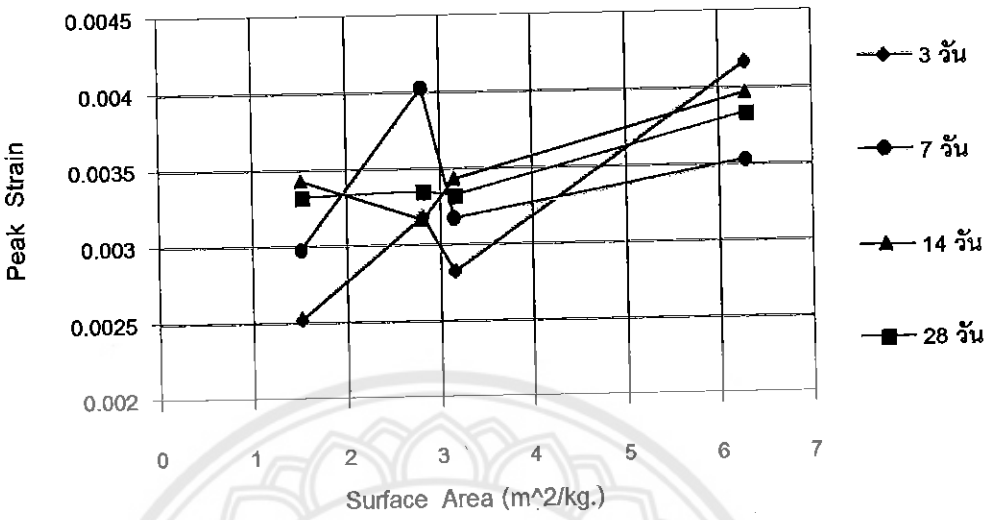
จากรูปที่ 3.75 ถึง 3.77 จะพบว่าที่ทุกอายุของการบ่ม เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายเพิ่มขึ้น ค่าความเค้นสูงสุดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

3.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย

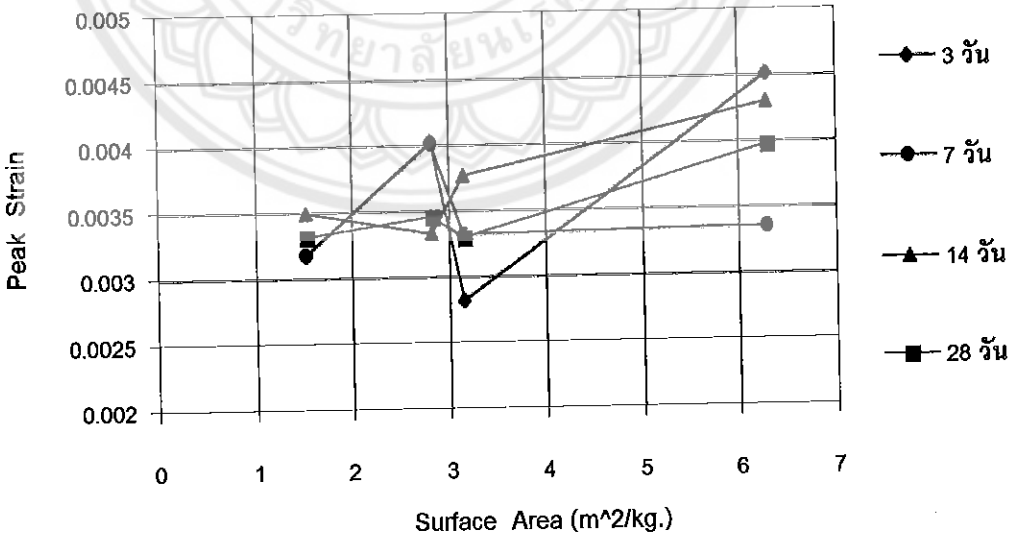
ในหัวข้อนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดและพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่อายุการบ่มต่าง ๆ โดยที่ค่าความเครียดสูงสุด หาได้จากตำแหน่งค่าความเค้นสูงสุดบนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress – Strain Curve) ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.5.1 ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.78 ถึง 3.80



รูปที่ 3.78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งทดสอบที่ 1



รูปที่ 3.79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งทดสอบที่ 2

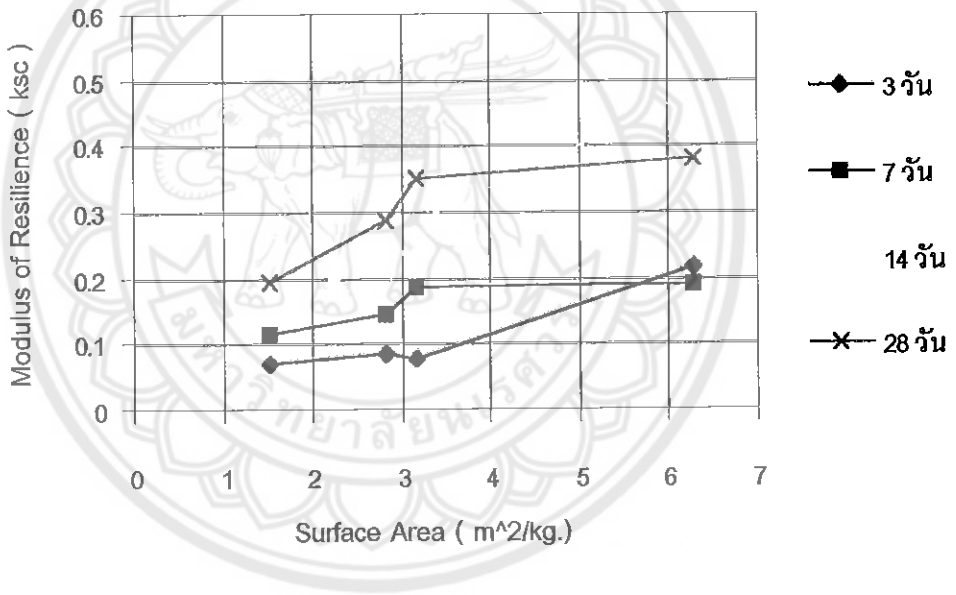


รูปที่ 3.80 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสูงสุดกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งทดสอบที่ 3

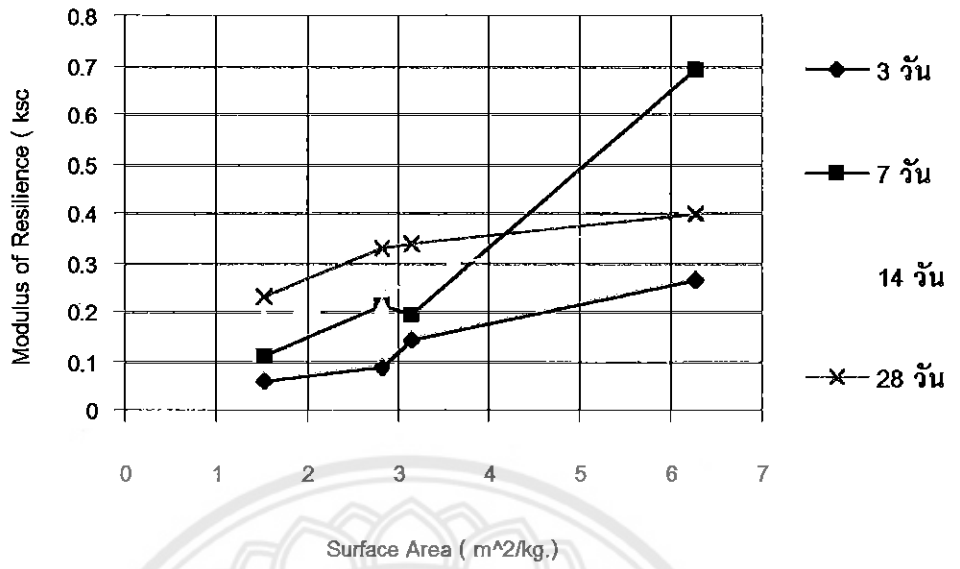
จากรูปที่ 3.78 ถึง 3.81 จะพบว่าเมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายเพื่อเพิ่มขึ้น ค่าความเครียดสูงสุดมีแนวโน้มสูงขึ้นตาม

3.7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัว (Modulus of Resilience) และพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย

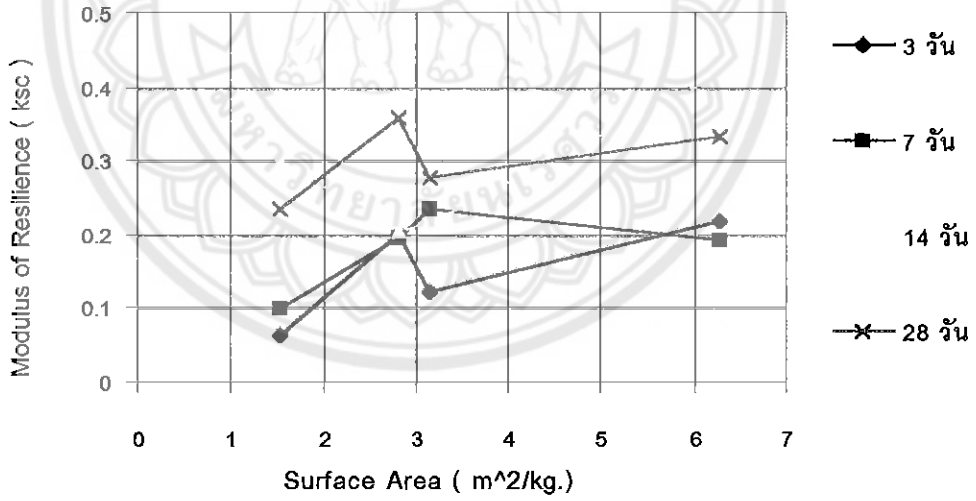
ในหัวข้อนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย โดยที่ค่าโมดูลัสการคืนตัวสามารถคำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress – Strain Curve) ของคอนกรีต ภายในช่วงยืดหยุ่น แทนโดยพื้นที่ใต้แรงา OAB ดังรูปที่ 3.38 และผลที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.81 ถึง 3.83



รูปที่ 3.81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งทดสอบที่ 1



รูปที่ 3.82 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งทดสอบที่ 2

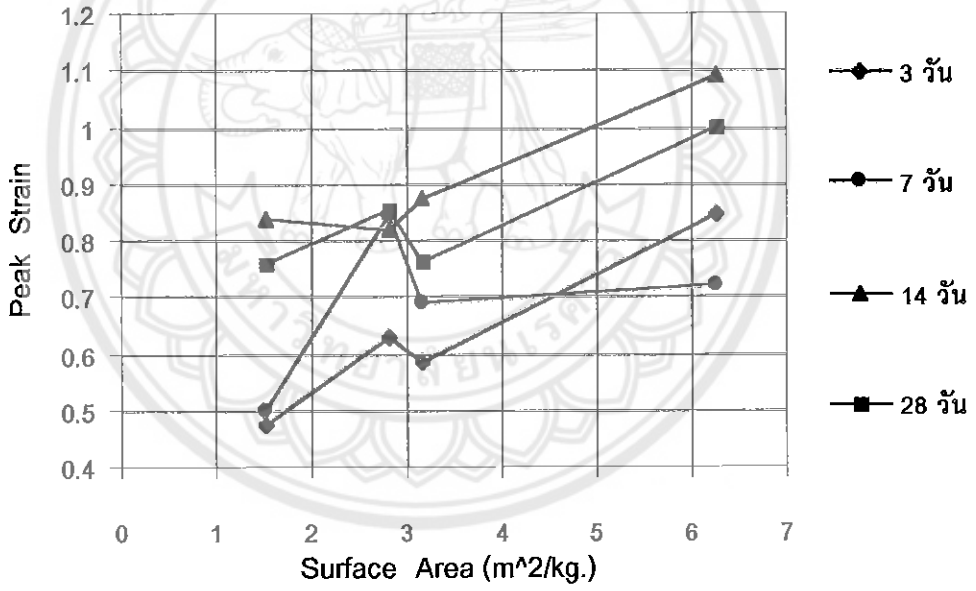


รูปที่ 3.83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการคืนตัวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งทดสอบที่ 3

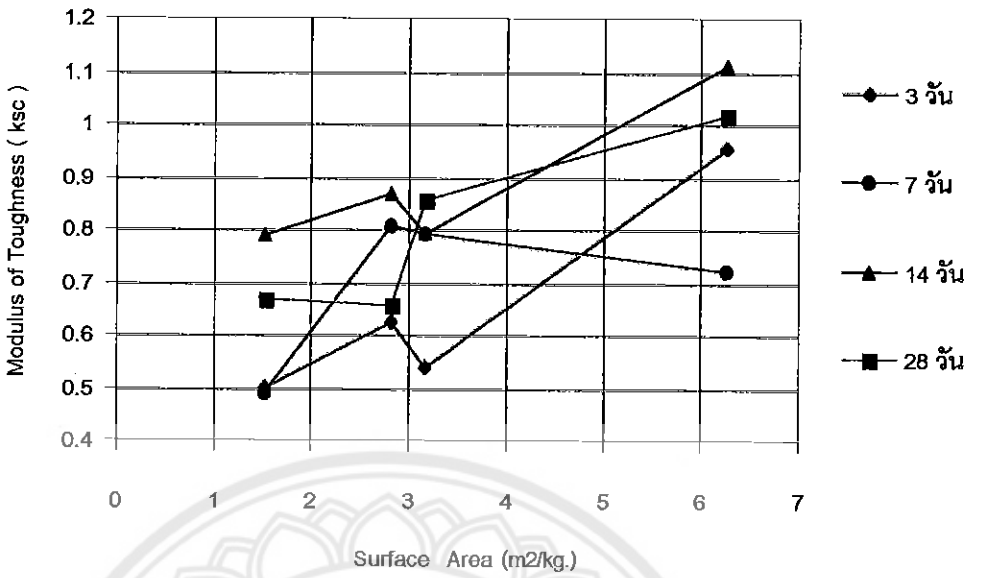
จากรูปที่ 3.81 ถึง 3.83 จะพบว่าที่ทุกอายุของการบ่ม เมื่อพื้นที่ผิวของทรายเพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสการคืนตัวจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อายุการบ่มคอนกรีตที่สูงขึ้น จะทำให้ค่าโมดูลัสการคืนตัวสูงขึ้นด้วย

3.7.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียว (Modulus of Toughness) และพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย

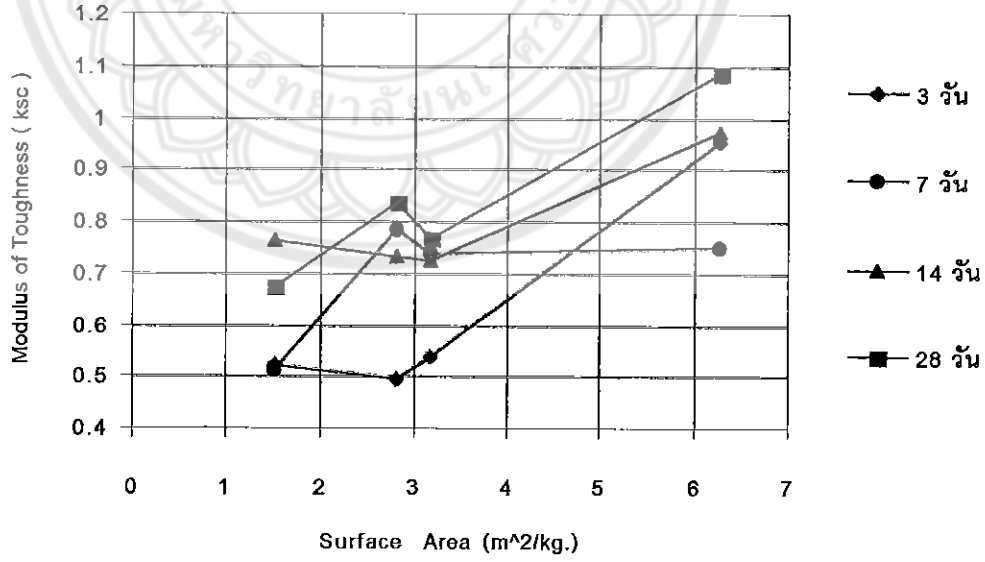
ในหัวข้อนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย โดยที่ค่าโมดูลัสความเหนียวเป็นความสามารถของวัสดุในการดูดซึมพลังงาน ระหว่างที่รับน้ำหนักจนกระทั้งแตกหัก ค่าโมดูลัสความเหนียวสามารถหาได้จากพื้นที่ใต้แรงเงา OACD ดังรูปที่ 3.38 และผลที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.84 ถึง 3.86



รูปที่ 3.84 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งทดสอบที่ 1



รูปที่ 3.85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งทดสอบที่ 2

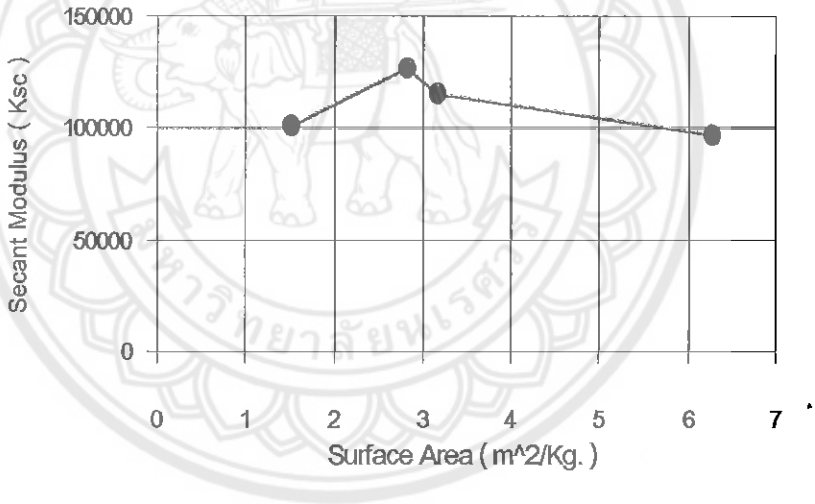


รูปที่ 3.86 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความเหนียวกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของแท่งตัวทดสอบที่ 3

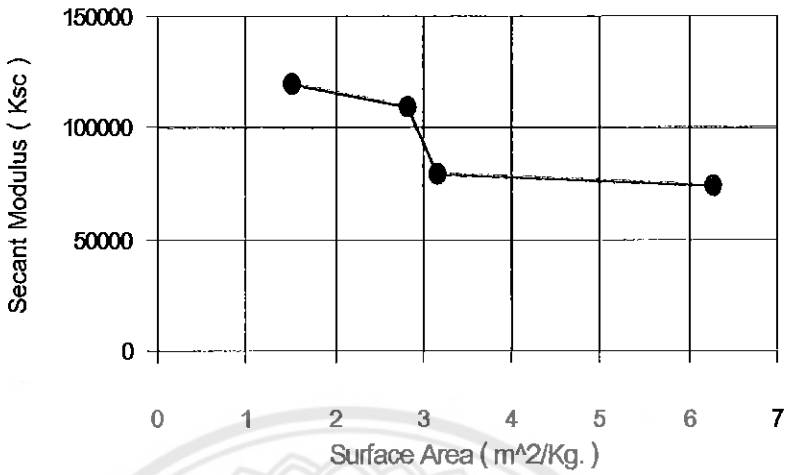
จากรูปที่ 3.84 ถึง 3.86 จะพบว่า เมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายเพิ่มขึ้น แนวโน้มค่าโมดูลัสความเหนียวจะเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายทำให้คอนกรีตสามารถดูดซึมพลังงานไว้มาก และมีความเหนียวเพิ่มขึ้น แต่ที่พื้นที่ผิว 3.16 ตร.ม./กก. มีแนวโน้มไม่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสาเหตุเกิดมาจากการเตรียมแท่งทดสอบ

3.7.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) และพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย

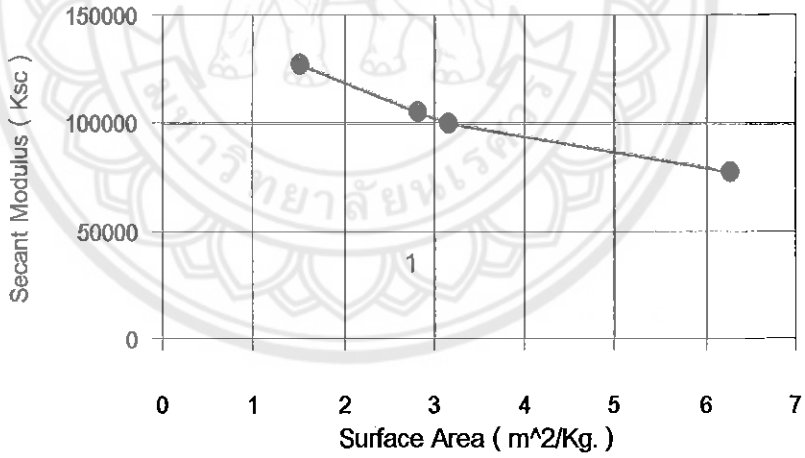
ในหัวข้อนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสความยืดหยุ่นและพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย โดยที่ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสำหรับโครงงานนี้เป็นค่าซีแคนต์โมดูลัสที่ 45 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความเค้นสูงสุด



รูปที่ 3.87 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบที่ 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 3.88 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบที่ 2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 3.89 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย ของแท่งทดสอบที่ 3 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 3.87 ถึง 3.89 จะพบว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย มีผลทำให้ค่าความเครียด ณ ตำแหน่งที่ความเค้นมีค่าสูงที่สุดเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ความชันของกราฟระหว่างความเค้นและความเครียดมีค่าลดลง

บทที่ 4
สรุปผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าและคอนกรีต ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปถึงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายต่อสมบัติทางกลของมอร์ต้าและคอนกรีต ได้ดังนี้

1. การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย มีผลทำให้ค่าความเค้นสูงสุดของมอร์ต้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่สำหรับค่าความเครียดสูงสุดมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน ซึ่งอาจเนื่องมาจากความผิดพลาดจากขั้นตอนการเตรียมแท่งมอร์ต้าหรือขั้นตอนการทดสอบกำลังอัด
2. การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย มีผลทำให้ค่าความเค้นสูงสุดและค่าความเครียดสูงสุดของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น
3. การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย มีผลทำให้ค่าโมดูลัสการคืนตัวและค่าโมดูลัสความเหนียวของมอร์ต้าและคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น สำหรับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของแท่งทดสอบมอร์ต้าที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ที่อายุการบ่ม 60 วัน มีค่าลดลง ซึ่งผลที่ไม่สอดคล้องกันนั้นอาจเนื่องจากความผิดพลาดจากขั้นตอนการเตรียมแท่งทดสอบหรือขั้นตอนการทดสอบกำลังอัด

บรรณานุกรม

1. ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ, 2542.

2. มหาวิทยาลัยนเรศวร, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. คู่มือปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2542.

3. เมธี บุญเลี้ยงอุปถัมภ์ และ ฉัตรชัย ชูพานิช. คู่มือการทดสอบ หิน ทราย และการทดสอบ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ, 2542.

4. วรศักดิ เทพวรชัย, บูรฉัตร ฉัตรวีระ และ วินัย อวยพรประเสริฐ. "ผลกระทบของชนิดและมวลรวมละเอียดต่อสมบัติเชิงกลของมอร์ต้าเถ้าแกลบเสริมเส้นใยปานศรนารายณ์." การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 5. รวบรวมและจัดพิมพ์โดย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. กรุงเทพฯ ,2542.

5. สมนึก ตั้งเติมสิริกุล. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

6. Breton, D.; Carles-Gibergues, A.; Ballivy, G.; and Grandet, J., "Contribution to formation mechanism of the transition zone between rock – cement paste" Cement and Concrete Research, V. 23, No. 2, Feb 1993, pp. 335 – 346 .

7.Barnes, B. D.; Diamond, S.; and Dolch, W. L., "Contact Portland Cement Paste and Glass Aggregate Surfaces," Cement and Concrete Research, V. 8, No. 2, Feb. 1978, pp. 233 – 243.

8. Monteiro, P. J. M.; Maso, J. C.; and Ollivier, J. P., "Aggregate – Mortar Interface," Cement and Concrete Research, V. 15, No. 6, June 1985, pp.953 – 958.

9. Zimbelmann, R., "Contribution to Problem of Cement – Aggregate Bond," Cement and Concrete Research, V. 15, No. 5, May 1985, pp. 801 – 808.

10.Ollivier, J. P.; Maso, J. C.; and Bourdette, B., "Interfacial Transition Zone in Concrete," Advanced Cement – Base Materials, 1995, pp. 30 – 38.

11. Bentz, D. P.; Stutzman, P. E.; and Garboczi, E. J., "Experimental and Research Simulation Studies of Interfacial Zone in Concrete," Cement and Concrete Research, V. 22, No. 5, May 1992, pp. 891 – 902.

12. Bentur , A., and Cohen, M.D., " Effect of Condensed Silica Fume on Microstructure of Interfacial Zone in Portland Cement Mortars," Journal of the American Ceramic Society, V 70, No. 10, 1987, pp. 738-743.

13. Goldman, A., and Bentur, A., " Influence of Microfillers on Enhancement of Concrete Strength, " Cement and Concrete Research, V.23, No.4, Apr. 1993, pp. 969-972.

14. Goldman, A., and Bentur,A., "Bond Effects in High – Strength Silica Fume Concretes, " ACI Material Journal, V. 86, No. 5, Sept. – Oct. 1989, pp. 440 – 447.

15. Globle, C.F.; and Cohen , M.D., "Influence of Aggregate Surface Area on Mechanical Properties of Mortar." ACI Materials Journal. No. 96 – M 48.

ภาคผนวก ก

การหาค่าความถ่วงจำเพาะ เปอร์เซ็นต์การดูดซึม และความชื้นของทรายและหิน

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ค่าการดูดซึม รวมทั้งค่าความชื้นของทราย และหิน ใช้ในการหาค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย คำนวณออกแบบส่วนผสมมอร์ต้า และคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C127 และ C 128

1. การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของทราย

1.1 คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry Basis) ได้จากสมการ ก.1

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวผิวแห้ง)} = \frac{500}{B + 500 - C} \quad \text{..... (ก.1)}$$

1.2 คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะที่แท้จริง (Apparent Specific Gravity) ได้จากสมการ ก.2

$$\text{ความถ่วงจำเพาะที่แท้จริง} = \frac{A}{B + A - C} \quad \text{..... (ก.2)}$$

โดยที่ A = น้ำหนักของทรายที่แห้งด้วยเตาอบ , กรัม

B = น้ำหนักของกระบอกตวงและน้ำที่ระดับ 500 มล.,กรัม

C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีทรายและน้ำที่ระดับ 500 มล..กรัม

1.3 คำนวณหาร้อยละของการดูดซึม (Percentage of Absorption) ได้จากสมการ ก.3

$$\text{การดูดซึม \%} = \frac{(500 - A) \times 100}{A} \quad \text{..... (ก.3)}$$

2. การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของหิน

2.1 คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry Basis) ได้จากสมการ ก.4

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวผิวแห้ง)} = \frac{B}{B - C} \quad \text{.....(ก.4)}$$

โดยที่ B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ, กรัม

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในน้ำ, กรัม

3.คำนวณหาร้อยละของการดูดซึม (Percentage of Absorption) ได้จากสมการ ก.5

$$\text{การดูดซึม \%} = \frac{(B - A) \times 100}{A} \quad \text{.....(ก.5)}$$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ, กรัม

การคำนวณหาความถ่วงจำเพาะ , การดูดซึมน้ำที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง(SSD) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของทราย

ข้อมูลการทดลองสำหรับทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ค้างเบอร์ 8

A = น้ำหนักทรายอบแห้ง = 497.8 กรัม

B = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำที่ 500 ml. ที่ อุณหภูมิ 8 องศา = 831.3 กรัม

C = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำหนักทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง + น้ำที่ 500 ml.

= 1126.0 กรัม

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวผิวแห้ง)

$$= \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$= \frac{500}{831.3 + 500 - 1126}$$

$$= 2.435$$

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่แท้จริง

$$= \frac{A}{B + A - C}$$

$$= \frac{497.8}{831.3 + 497.8 - 1126}$$

$$= 2.451$$

เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

$$= \frac{(500 - A) \times 100}{A}$$

$$= \frac{(500 - 497.8) \times 100}{497.8}$$

$$= 0.442\ \%$$

ข้อมูลการทดลองสำหรับทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ค้างเบอร์ 16

A = น้ำหนักทรายอบแห้ง = 496.9 กรัม

B = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำที่ 500 ml. ที่ อุณหภูมิ 8 องศา = 831.3 กรัม

C = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำหนักทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง + น้ำที่ 500 ml.

= 1125.0 กรัม

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวผิวแห้ง)

$$= \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$= \frac{500}{831.3 + 500 - 1125}$$

$$= 2.424$$

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่แท้จริง

$$= \frac{A}{B + A - C}$$

$$= \frac{496.9}{831.3 + 496.9 - 1125}$$

$$= 2.445$$

เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

$$= \frac{(500 - A) \times 100}{}$$

$$= \frac{(500 - 496.9) \times 100}{496.9}$$

$$= 0.624\ \%$$

ข้อมูลการทดลองสำหรับทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ค้างเบอร์ 30

A = น้ำหนักทรายอบแห้ง = 496.5 กรัม

B = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำที่ 500 ml. ที่ อุณหภูมิ 8 องศา = 831.3 กรัม

C = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำหนักทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง + น้ำที่ 500 ml.

= 1116.4.0 กรัม

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวผิวแห้ง)

$$= \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$= \frac{500}{831.3 + 500 - 1116.4}$$

$$= 2.327$$

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่แท้จริง

$$= \frac{A}{B + A - C}$$

$$= \frac{496.5}{831.3 + 496.5 - 1116.4}$$

$$= 2.348$$

เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

$$= \frac{(500 - A) \times 100}{A}$$

$$= \frac{(500 - 496.5) \times 100}{496.5}$$

$$= 0.705\ \%$$

ข้อมูลการทดลองสำหรับทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างเบอร์ 50

A = น้ำหนักทรายอบแห้ง = 496.2 กรัม

B = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำที่ 500 ml. ที่ อุณหภูมิ 8 องศา = 831.3 กรัม

C = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำหนักทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง + น้ำที่ 500 ml.
= 1115.4 กรัม

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวผิวแห้ง)

$$= \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$= \frac{500}{831.3 + 500 - 1115.4}$$

$$= 2.316$$

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่แท้จริง

$$= \frac{A}{B + A - C}$$

$$= \frac{496.2}{831.3 + 496.2 - 1115.4}$$

$$= 2.339$$

เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

$$= \frac{(500 - A) \times 100}{A}$$

$$= \frac{(500 - 496.2) \times 100}{496.2}$$

$$= 0.766\ \%$$

ข้อมูลการทดลองสำหรับทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ค้างเบอร์ 100

A = น้ำหนักทรายอบแห้ง = 495.3กรัม

B = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำที่ 500 ml. ที่ อุณหภูมิ 8 องศา = 831.3 กรัม

C = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำหนักทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง + น้ำที่ 500 ml.

= 1108.7 กรัม

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวผิวแห้ง)

$$= \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$= \frac{500}{831.3 + 500 - 1108.7}$$

$$= 2.246$$

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่แท้จริง

$$= \frac{A}{B + A - C}$$

$$= \frac{495.3}{831.3 + 495.3 - 1108.7}$$

$$= 2.273$$

เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

$$= \frac{(500 - A) \times 100}{A}$$

$$= \frac{(500 - 495.3) \times 100}{495.3}$$

$$= 0.949\ \%$$

ข้อมูลการทดลองสำหรับทรายที่ได้จากแหล่ง

A = น้ำหนักทรายอบแห้ง = 497.0 กรัม

B = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำที่ 500 ml. ที่ อุณหภูมิ 8 องศา = 833.1 กรัม

C = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำหนักที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง + น้ำที่ 500 ml.

= 1111.2 กรัม

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวผิวแห้ง)

$$= \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$= \frac{500}{833.1 + 500 - 1111.2}$$

$$= 2.253$$

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่แท้จริง

$$= \frac{A}{B + A - C}$$

$$= \frac{497.0}{833.1 + 497.0 - 1111.2}$$

$$= 2.270$$

เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

$$= \frac{(500 - A) \times 100}{A}$$

$$= \frac{(500 - 497.0) \times 100}{497.0}$$

$$= 0.603\ \%$$

การคำนวณหาความถ่วงจำเพาะ , การดูดซึมน้ำที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง(SSD) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของหิน

ข้อมูลการทดลอง

น้ำหนักของตะกร้าเปล่าชั่งน้ำ = 2600 กรัม

น้ำหนักตะกร้าและน้ำหนักหินที่ชั่งในน้ำ = 4500 กรัม

ดังนั้น น้ำหนักหิน(SSD)ชั่งในน้ำ (C) = 4500 – 2600 = 1900.0 กรัม

น้ำหนักหินชั่งในอากาศ (B) = 3081.4 กรัม

น้ำหนักหินอบแห้ง (A) = 3067.7 กรัม

ขนาดหินโตสุด = 3/8 นิ้ว

ค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry Basis)

$$= \frac{\text{น้ำหนักหิน (SSD)ชั่งในอากาศ (B)}}{\text{น้ำหนักหิน (SSD)ชั่งในอากาศ (B)} - \text{น้ำหนักหิน (SSD) ในน้ำ (C)}}$$

$$= \frac{3081.4}{3081.4 - 1900}$$

$$= 2.608$$

เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

$$= \frac{(\text{น้ำหนักหิน(SSD)ชั่งในอากาศ (B)} - \text{น้ำหนักหินอบแห้ง (A)}) \times 100}{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง (A)}}$$

$$= \frac{(3081.4 - 3067.7) \times 100}{3067.7}$$

$$= 0.544$$

เปอร์เซ็นต์ความชื้น

ข้อมูลประกอบการทดลอง

น้ำหนักของถาด (A) = 178.4 กรัม

น้ำหนักของถาดและหินตากแห้ง (B) = 886.2 กรัม

น้ำหนักของถาดและหินอบแห้ง (C) = 885.6 กรัม

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ความชื้น $= \frac{(B - C) \times 100}{(C - A)}$

$$= \frac{(886.2 - 885.6) \times 100}{(885.6 - 178.4)}$$

$$= 0.085$$

ภาคผนวก ข

วิธีคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย

ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุแต่ละชนิดในส่วนผสมอันได้แก่ ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย หิน และทราย เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการยุบตัวกล่าวคืออนุภาคของแข็งที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสสามารถเก็บอนุภาคน้ำอิสระในคอนกรีตสดไว้ได้มากและมีแรงเสียดทานระหว่างผิวของอนุภาคมากด้วย

วิธีการหาค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุจะแตกต่างกันตามแต่ชนิดของวัสดุซึ่งแยกได้เป็น 2 วิธีดังต่อไปนี้

1) พื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่มีอนุภาคขนาดเล็กมากจำพวกปูนซีเมนต์และเถ้าลอยสามารถหาได้โดยการทดสอบด้วยวิธีการลอดผ่านได้ของอากาศ (Air Permeability) ซึ่งจะให้ค่าที่เรียกว่า Blaine's Fineness
2) พื้นที่ผิวสัมผัสของหินและทรายสามารถคำนวณได้จากขนาดคละและรูปร่างของมวลรวมแต่ละประเภท โดยในขั้นแรกสมมติให้มวลรวมมีรูปร่างเป็นทรงกลมก่อน แล้วหาค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่สมมติให้เป็นอนุภาคทรงกลมจากสมการ ข.1 และค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของหินที่สมมติให้เป็นอนุภาคทรงกลมจากสมการ ข.2

$$S_{o,s} = \frac{6000}{D_{av} \times \rho_S} \qquad (ข.1)$$

$$S_{o,g} = \frac{6000}{D_{av} \times \rho_g} \qquad (ข.2)$$

เมื่อ

$$Dav = \frac{\sum D_i M_i}{\sum M_i} \qquad (ข.3)$$

โดย $S_{o,s}$ คือพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่สมมติให้เป็นอนุภาคทรงกลม

$S_{o,g}$ คือพื้นที่ผิวสัมผัสของหินที่สมมติให้เป็นอนุภาคทรงกลม

D_{av} คือค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมวลรวม (ซม.)

D_i คือค่าเฉลี่ยของช่วงเปิดตะแกรงร่อนระหว่างช่องเปิดด้านบนที่ใหญ่กว่ากับช่องเปิดชั้นที่พิจารณานั้น ๆ (ซม.)

M_i คือค่าร้อยละของมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงชั้นที่พิจารณานั้น ๆ

ρ_s , ρ_g คือค่าความถ่วงจำเพาะของทรายและหินตามลำดับ

ตารางที่ ข .1 แสดงขนาดของช่องเปิดตะแกรงร่อนที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ขนาดคละของทราย

ทราย	
ตะแกรงเบอร์	ขนาดช่องเปิด (มม.)
3/8 "	9.50
No.4	4.75
No.8	2.36
No.16	1.18
No.30	0.60
No.50	0.30
No.100	0.15

หลังจากที่ได้ทราบถึงค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวมที่ถูกสมมติให้เป็นทรงกลมของหินและทรายแล้วจะมีการพิจารณาถึงรูปร่างที่แท้จริงของมวลรวมโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์รูปร่าง (Shape Factor , ψ) เป็นตัวคูณเพื่อปรับค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวมที่ถูกสมมติให้เป็นทรงกลมให้เป็นพื้นที่ผิวของมวลรวมที่ไม่เป็นทรงกลม ค่า ψ คือค่าที่บอกถึงจำนวนเท่าของพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวมในรูปร่างอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ทรงกลมเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวสัมผัสของทรงกลม โดยที่ค่า ψ ของทรายแม่น้ำจะมีค่าประมาณ 1.1 ค่าψ ของทรายในทะเลทรายจะมีค่าประมาณ 1.25 ค่าψ ของทรายที่ได้จากการบดย่อยหินจะมีค่าประมาณ 1.40 ฉะนั้นค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวมที่ผิดไปจากทรงกลมนี้จะสามารถหาได้จากสมการ ที่ ข.4 และ ข.5

$$S_s = \psi_s \times S_{o,s} \qquad (ข.4)$$

$$S_g = \psi_g \times S_{o,g} \qquad (ข.5)$$

โดยที่ S_s คือพื้นที่ผิวสัมผัสของทราย (ตร.ซม./กก.)

S_g คือพื้นที่ผิวสัมผัสของหิน (ตร.ซม./กก.)

ψ_s คือค่าประสัมประสิทธิ์รูปร่าง (Shape Factor) ของทราย

ψ_g คือค่าประสัมประสิทธิ์รูปร่าง (Shape Factor) ของหิน

$S_{o,s}$ คือพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ถูกสมมติให้เป็นรูปร่างทรงกลม (ตร. ซม./กก.)

$S_{o,g}$ คือพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ถูกสมมติให้เป็นรูปร่างทรงกลม (ตร. ซม./กก.)

1.การคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ได้จากแหล่ง

ตารางที่ ข.2 แสดงขนาดคละของทรายที่ได้จากแหล่งสำหรับหาพื้นที่ผิวสัมผัส

ตะแกรงเบอร์	ขนาดช่องเปิด (มม.)	Di (ซม.)	น้ำหนักตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักตะแกรง + ทราย (กรัม)	น้ำหนักทราย (กรัม)	ร้อยละค้างบนตะแกรงร่อน
No.8	2.36	0.3555	494.2	659.6	165.4	6.81
No.16	1.18	0.117	444.4	878.3	433.9	17.86
No.30	0.6	0.089	419.1	1274.1	855.0	35.20
No.50	0.3	0.045	395.4	1150.7	755.3	31.1
No.100	0.15	0.0225	383.6	554.8	171.2	7.05
ถาดรอง		0.01125	315.3	363.5	48.2	1.98
				รวม	2429.0	100.0

การคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ได้จากแหล่งโดยสมมุติให้อนุภาคเป็นทรงกลมจากขนาดคละของทราย

จากตารางที่ ข.2 สามารถคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ได้จากแหล่ง ได้ดังนี้

$$D_{av} = \frac{\Sigma DiMi}{\Sigma Mi}$$

$$= [(0.3555 \times 6.81) + (0.117 \times 17.86) + (0.089 \times 35.20) + (0.045 \times 31.10) + (0.0225 \times 7.05) + (0.01125 \times 1.98)] / 100$$

$$= 0.1029 \text{ ซม.}$$

$S_{o,s}$ = 6000/(D_{av} x ρ_s)

= 6000/ (0.1029 x 2.270) , ρ_s ของทรายจากแหล่งเท่ากับ 2.270

= 25,686.80 ตร.ซม./กก.

= 2.5686 ตร.ม./กก.

ดังนั้น พื้นที่ผิวสัมผัสของทรายจากแหล่ง มีค่า

S_s = ψ_s x $S_{o,s}$,ψ_s ของทรายแม่น้ำเท่ากับ 1.1

= 1.1 x 2.5686 = 2.82 ตร.ม./กก.

2. การคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4แต่ค้างเบอร์ 8

$$D_{av} = \frac{\Sigma DiMi}{\Sigma Mi} = Di = 3.555 \text{ มม.} = 0.3555 \text{ ซม.}$$

$S_{o,s}$ = 6000/(D_{av} x ρ_s)

= 6000/ (0.3555 x 2.451) , ρ_s ของทรายเท่ากับ 2.451

= 6,886.02 ตร.ซม./กก.

= 0.6886 ตร.ม./กก.

ดังนั้น พื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แต่ค้างเบอร์ 8 มีค่า

S_s = ψ_s x $S_{o,s}$,ψ_s ของทรายแม่น้ำเท่ากับ 1.1

= 1.1 x 0.6886 = 0.75 ตร.ม./กก.

3. การคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 แต่ค้างเบอร์ 16

$$D_{av} = \frac{\Sigma DiMi}{\Sigma Mi} = Di = 1.17 \text{ มม.} = 0.177 \text{ ซม.}$$

$S_{o,s}$ = 6000/(D_{av} x ρ_s)

= 6000/ (0.177 x 2.445) , ρ_s ของทรายเท่ากับ 2.445

= 13,864.33 ตร.ซม./กก.

= 1.3864 ตร.ม./กก.

ดังนั้น พื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 แต่ค้างเบอร์ 16 มีค่า

S_s = ψ_s x $S_{o,s}$,ψ_s ของทรายแม่น้ำเท่ากับ 1.1

= 1.1 x 1.3864 = 1.52 ตร.ม./กก.

4. การคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 แต่ค้างเบอร์ 30

$$D_{av} = \frac{\Sigma DiMi}{\Sigma Mi} = Di = 0.89 \text{ มม.} = 0.089 \text{ ซม.}$$

$S_{o,s} = 6000/(D_{av} \times \rho_s)$

$= 6000/ (0.089 \times 2.348)$, ρ_s ของทรายเท่ากับ 2.348

$= 28{,}711.98$ ตร.ซม./กก.

$= 2.8711$ ตร.ม./กก.

ดังนั้น พื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 แต่ค้างเบอร์ 30 มีค่า

$S_s = \psi_s \times S_{o,s}$, ψ_s ของทรายแม่น้ำเท่ากับ 1.1

$= 1.1 \times 2.8711 = 3.16$ ตร.ม./กก.

5. การคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 แต่ค้างเบอร์ 50

$$D_{av} = \frac{\Sigma DiMi}{\Sigma Mi} = Di = 0.45 \text{ มม.} = 0.045 \text{ ซม.}$$

$S_{o,s} = 6000/(D_{av} \times \rho_s)$

$= 6000/ (0.045 \times 2.339)$, ρ_s ของทรายเท่ากับ 2.339

$= 57{,}004.41$ ตร.ซม./กก.

$= 5.7004$ ตร.ม./กก.

ดังนั้น พื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 แต่ค้างเบอร์ 50 มีค่า

$S_s = \psi_s \times S_{o,s}$, ψ_s ของทรายแม่น้ำเท่ากับ 1.1

$= 1.1 \times 5.7004 = 6.27$ ตร.ม./กก.

6. การคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 แต่ค้างเบอร์ 100

$$D_{av} = \frac{\Sigma DiMi}{\Sigma Mi} = Di = 0.225 \text{ มม.} = 0.0225 \text{ ซม.}$$

$S_{o,s} = 6000/(D_{av} \times \rho_s)$

$= 6000/ (0.0225 \times 2.273)$, ρ_s ของทรายเท่ากับ 2.273

$= 111{,}319.25$ ตร.ซม./กก.

$= 11.7319$ ตร.ม./กก.

ดังนั้น พื้นที่ผิวสัมผัสของทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 แต่ค้างเบอร์ 100 มีค่า

$S_s = \psi_s \times S_{o,s}$,ψ_s ของทรายแม่น้ำเท่ากับ 1.1

$= 1.1 \times 11.7319 = 12.90$ ตร.ม./กก.

ภาคผนวก ค

การคำนวณ ออกแบบส่วนผสมมอร์ต้า

การดำเนินการทดลองเพื่อผลิตแท่งตัวอย่างมอร์ต้าทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัด ได้กำหนดปริมาตรของทรายที่พื้นที่ผิวต่างๆ 6 ค่า เท่ากับ 40 % ของปริมาตรทั้งหมด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.42 จำนวนของแท่งตัวอย่างมอร์ต้าเท่ากับ 12 แท่งตัวอย่างต่อการผสมหนึ่งครั้ง ซึ่งการผลิตแท่งตัวอย่างที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการผสม 12 Mix. ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมเท่ากับ 2000 กรัมต่อการผสมหนึ่งครั้ง ส่วนค่าที่ใช้ออกแบบส่วนผสมมอร์ต้าที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ได้กำหนดไว้ในตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ค่าต่างๆที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมมอร์ต้า

Mix No.	สัญลักษณ์	พื้นที่ผิว (ตร.ม./กก.)	ถ.พ.ปูนซีเมนต์	ถ.พ.ทราย (SSD)	%ความชื้น	% การดูดซึม
1 และ 2	SA1	0.75	3.15	2.435	0.513	0.442
3 และ 4	SA2	1.52	3.15	2.424	0.682	0.624
5 และ 6	SA3	3.16	3.15	2.327	0.707	0.705
7 และ 8	SA4	6.27	3.15	2.316	0.664	0.766
9 และ 10	SA5	12.90	3.15	2.246	1.074	0.946
11 และ 12	SA6	2.82	3.15	2.253	0.631	0.603

การคำนวณหาส่วนผสมของมอร์ต้าของทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 4 ค้างเบอร์ 8 (SA1)

ปริมาตรของมอร์ต้า (V t) = ปริมาตรของทราย(V s)+ ปริมาตรซีเมนต์(V c)+ปริมาตรของน้ำ (V w)

$= 0.4V_t + V_c + V_w$

โดยที่ปริมาตรของทราย(V s) = 40 % ของปริมาตรของมอร์ต้า (V t)

ดังนั้น $(V_t - 0.4V_t) = V_w + V_c$

เพราะฉะนั้น $V_t = (V_w + V_c) / 0.6$

ดังนั้น ในการผสม 1 Mix. (12 แท่งตัวอย่าง) ใช้

ปริมาณน้ำ = 2000 x 0.42 = 840 กรัม

ปริมาตรซีเมนต์ = 2000/(3.15 x 1000) = 0.635 ลิตร

ปริมาตรน้ำ = 840/(1.0 x 1000) = 0.840 ลิตร

ปริมาตรของมอร์ต้า = (0.635 + 0.840) / 0.6 = 2.458 ลิตร

ปริมาตรทราย = 0.4 x 2.458 = 0.9832 ลิตร

จาก หน่วยน้ำหนักของของแข็งใดๆ = $\frac{\text{มวลของของแข็ง}}{\text{ปริมตรของของแข็ง}}$

ดังนั้น หน่วยน้ำหนักของทราย = $\frac{\text{มวลของของทราย}}{\text{ปริมตรของทราย}}$

เพราะฉะนั้น น้ำหนักของทรายที่ใช้ = ปริมาตรของทราย x ถ.พ.ของทราย x ความหนาแน่นของน้ำ

= 0.9832 x 2.435 x 1000

= 2394.0920 กรัม

การปรับแก้ส่วนผสมมอร์ต้าเนื่องจากความชื้นของทรายที่เปลี่ยนไป (ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = น้ำหนักของทรายเดิม x ความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป

= 2394.092 x 1.00513

= 2406.3 กรัม

เปอร์เซนต์ของน้ำที่อยู่ขนผิวทราย = 0.513 – 0.442 = 0.071 % ดังนั้นจึงต้องลดน้ำ

ฉะนั้น ใช้ปริมาณน้ำ = 840 – 2394.0920 x (0.071 / 100) = 838.3 กรัม

ใช้ปริมาณทราย = 2406.3 กรัม

ใช้ปริมาณ ซีเมนต์ = 2000 กรัม

การคำนวณหาส่วนผสมของมอร์ต้าของทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 8 ค้างเบอร์ 16 (SA2_)

ปริมาตรของมอร์ต้า (V t) = ปริมาตรของทราย(V s)+ ปริมาตรซีเมนต์(V c)+ปริมาตรของน้ำ (V w)

$= 0.4V\,t + V\,c + V\,w$

โดยที่ปริมาตรของทราย(V s) = 40 % ของปริมาตรของมอร์ต้า (V t)

ดังนั้น $(V\,t - 0.4V\,t) = V\,w + V\,c$

เพราะฉะนั้น $V\,t = (V\,w + V\,c) / 0.6$

ดังนั้น ในการผสม 1 Mix. (12 แท่งตัวอย่าง) ใช้

ปริมาณน้ำ = 2000 x 0.42 = 840 กรัม

ปริมาตรซีเมนต์ = 2000/(3.15 x 1000) = 0.635 ลิตร

ปริมาตรน้ำ = 840/(1.0 x 1000) = 0.840 ลิตร

ปริมาตรของมอร์ต้า = (0.635 + 0.840) / 0.6 = 2.458 ลิตร

ปริมาตรทราย = 0.4 x 2.458 = 0.9832 ลิตร

จาก หน่วยน้ำหนักของของแข็งใดๆ = $\frac{\text{มวลของของแข็ง}}{\text{ปริมตรของของแข็ง}}$

ดังนั้น หน่วยน้ำหนักของทราย = $\frac{\text{มวลของของทราย}}{\text{ปริมตรของทราย}}$

เพราะฉะนั้น น้ำหนักของทรายที่ใช้ = ปริมาตรของทราย x ถ.พ.ของทราย x ความหนาแน่นของน้ำ

= 0.9832 x 2.424 x 1000

= 2383.2768 กรัม

การปรับแก้ส่วนผสมมอร์ต้าเนื่องจากความชื้นของทรายที่เปลี่ยนไป (ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = น้ำหนักของทรายเดิม x ความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป

= 2383.2768 x 1.00682

= 2399.5 กรัม

เปอร์เซนต์ของน้ำที่อยู่ขนผิวทราย = 0.682 – 0.624 = 0.058% ดังนั้นจึงต้องลดน้ำ

ฉะนั้น ใช้ปริมาณน้ำ = 840 – 2383.2768 x (0.058 / 100) = 838.6 กรัม

ใช้ปริมาณทราย = 2399.5 กรัม

ใช้ปริมาณ ซีเมนต์ = 2000 กรัม

การคำนวณหาส่วนผสมของมอร์ต้าของทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 16ค้างเบอร์ 30 (SA3)

ปริมาตรของมอร์ต้า (V t) = ปริมาตรของทราย(V s)+ ปริมาตรซีเมนต์(V c)+ปริมาตรของน้ำ (V w)

$= 0.4V_t + V_c + V_w$

โดยที่ปริมาตรของทราย(V s) = 40 % ของปริมาตรของมอร์ต้า (V t)

ดังนั้น $(V_t - 0.4V_t) = V_w + V_c$

เพราะฉะนั้น $V_t = (V_w + V_c) / 0.6$

ดังนั้น ในการผสม 1 Mix. (12 แท่งตัวอย่าง) ใช้

ปริมาณน้ำ = 2000 x 0.42 = 840 กรัม

ปริมาตรซีเมนต์ = 2000/(3.15 x 1000) = 0.635 ลิตร

ปริมาตรน้ำ = 840/(1.0 x 1000) = 0.840 ลิตร

ปริมาตรของมอร์ต้า = (0.635 + 0.840) / 0.6 = 2.458 ลิตร

ปริมาตรทราย = 0.4 x 2.458 = 0.9832 ลิตร

จาก หน่วยน้ำหนักของของแข็งใดๆ = $\frac{\text{มวลของของแข็ง}}{\text{ปริมตรของของแข็ง}}$

ดังนั้น หน่วยน้ำหนักของทราย = $\frac{\text{มวลของของทราย}}{\text{ปริมตรของทราย}}$

เพราะฉะนั้น น้ำหนักของทรายที่ใช้ = ปริมาตรของทราย x ถ.พ.ของทราย x ความหนาแน่นของน้ำ

= 0.9832 x 2.327 x 1000

= 2287.9064 กรัม

การปรับแก้ส่วนผสมมอร์ต้าเนื่องจากความชื้นของทรายที่เปลี่ยนไป (ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = น้ำหนักของทรายเดิม x ความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป

= 2287.9064 x 1.00717

= 2304.3 กรัม

เปอร์เซนต์ของน้ำที่อยู่ขนผิวทราย = 0. 717 – 0.705 = 0.012 % ดังนั้นจึงต้องลดน้ำ

ฉะนั้น ใช้ปริมาณน้ำ = 840 – 2287.9064 x (0.012 / 100) = 839.7 กรัม

ใช้ปริมาณทราย = 2304.3 กรัม

ใช้ปริมาณ ซีเมนต์ = 2000 กรัม

การคำนวณหาส่วนผสมของมอร์ต้าของทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 30ค้างเบอร์ 50 (SA 4)

ปริมาตรของมอร์ต้า (V t) = ปริมาตรของทราย(V s)+ ปริมาตรซีเมนต์(V c)+ปริมาตรของน้ำ (V w)

$= 0.4V_t + V_c + V_w$

โดยที่ปริมาตรของทราย(V s) = 40 % ของปริมาตรของมอร์ต้า (V t)

ดังนั้น $(V_t - 0.4V_t) = V_w + V_c$

เพราะฉะนั้น $V_t = (V_w + V_c) / 0.6$

ดังนั้น ในการผสม 1 Mix. (12 แท่งตัวอย่าง) ใช้

ปริมาณน้ำ = 2000 x 0.42 = 840 กรัม

ปริมาตรซีเมนต์ = 2000/(3.15 x 1000) = 0.635 ลิตร

ปริมาตรน้ำ = 840/(1.0 x 1000) = 0.840 ลิตร

ปริมาตรของมอร์ต้า = (0.635 + 0.840) / 0.6 = 2.458 ลิตร

ปริมาตรทราย = 0.4 x 2.458 = 0.9832 ลิตร

จาก หน่วยน้ำหนักของของแข็งใดๆ = $\frac{\text{มวลของของแข็ง}}{\text{ปริมตรของของแข็ง}}$

ดังนั้น หน่วยน้ำหนักของทราย = $\frac{\text{มวลของของทราย}}{\text{ปริมตรของทราย}}$

เพราะฉะนั้น น้ำหนักของทรายที่ใช้ = ปริมาตรของทราย x ถ.พ.ของทราย x ความหนาแน่นของน้ำ

= 0.9832 x 2.316 x 1000

= 2277.0912 กรัม

การปรับแก้ส่วนผสมมอร์ต้าเนื่องจากความชื้นของทรายที่เปลี่ยนไป (ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = น้ำหนักของทรายเดิม x ความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป

= 2277.0912 x 1.00664

= 2292.2 กรัม

เปอร์เซนต์ของน้ำที่อยู่ขนผิวทราย = 0.664 – 0.766 = -0.102 % ดังนั้นจึงต้องเพิ่มน้ำ

ฉะนั้น ใช้ปริมาณน้ำ = 840 – 2277.0912 x (- 0.102 / 100) = 842.3 กรัม

ใช้ปริมาณทราย = 2292.2 กรัม

ใช้ปริมาณ ซีเมนต์ = 2000 กรัม

การคำนวณหาส่วนผสมของมอร์ต้าของทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์50ค้างเบอร์100 (SA 5)

ปริมาตรของมอร์ต้า (V t) = ปริมาตรของทราย(V s)+ ปริมาตรซีเมนต์(V c)+ปริมาตรของน้ำ (V w)

$= 0.4V_t + V_c + V_w$

โดยที่ปริมาตรของทราย(V s) = 40 % ของปริมาตรของมอร์ต้า (V t)

ดังนั้น $(V_t - 0.4V_t) = V_w + V_c$

เพราะฉะนั้น $V_t = (V_w + V_c) / 0.6$

ดังนั้น ในการผสม 1 Mix. (12 แท่งตัวอย่าง) ใช้

ปริมาณน้ำ = 2000 x 0.42 = 840 กรัม

ปริมาตรซีเมนต์ = 2000/(3.15 x 1000) = 0.635 ลิตร

ปริมาตรน้ำ = 840/(1.0 x 1000) = 0.840 ลิตร

ปริมาตรของมอร์ต้า = (0.635 + 0.840) / 0.6 = 2.458 ลิตร

ปริมาตรทราย = 0.4 x 2.458 = 0.9832 ลิตร

จาก หน่วยน้ำหนักของของแข็งใดๆ = $\frac{\text{มวลของของแข็ง}}{\text{ปริมตรของของแข็ง}}$

ดังนั้น หน่วยน้ำหนักของทราย = $\frac{\text{มวลของของทราย}}{\text{ปริมตรของทราย}}$

เพราะฉะนั้น น้ำหนักของทรายที่ใช้ = ปริมาตรของทราย x ถ.พ.ของทราย x ความหนาแน่นของน้ำ

= 0.9832 x 2.246 x 1000

= 2208.2672 กรัม

การปรับแก้ส่วนผสมมอร์ต้าเนื่องจากความชื้นของทรายที่เปลี่ยนไป (ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = น้ำหนักของทรายเดิม x ความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป

= 2208.2672 x 1.01074

= 2231.9 กรัม

เปอร์เซนต์ของน้ำที่อยู่ขนผิวทราย = 1.074 – 0.949 = 0.125 % ดังนั้นจึงต้องลดน้ำ

ฉะนั้น ใช้ปริมาณน้ำ = 840 – 2208.2672 x (0.125 / 100) = 837.2 กรัม

ใช้ปริมาณทราย = 2231.9 กรัม

ใช้ปริมาณ ซีเมนต์ = 2000 กรัม

การคำนวณหาส่วนผสมของมอร์ต้าของทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 4ค้างเบอร์ 100(SA 6)

ปริมาตรของมอร์ต้า (V t) = ปริมาตรของทราย(V s)+ ปริมาตรซีเมนต์(V c)+ปริมาตรของน้ำ (V w)

$= 0.4V_t + V_c + V_w$

โดยที่ปริมาตรของทราย(V s) = 40 % ของปริมาตรของมอร์ต้า (V t)

ดังนั้น $(V_t - 0.4V_t) = V_w + V_c$

เพราะฉะนั้น $V_t = (V_w + V_c) / 0.6$

ดังนั้น ในการผสม 1 Mix. (12 แท่งตัวอย่าง) ใช้

ปริมาณน้ำ = 2000 x 0.42 = 840 กรัม

ปริมาตรซีเมนต์ = 2000/(3.15 x 1000) = 0.635 ลิตร

ปริมาตรน้ำ = 840/(1.0 x 1000) = 0.840 ลิตร

ปริมาตรของมอร์ต้า = (0.635 + 0.840) / 0.6 = 2.458 ลิตร

ปริมาตรทราย = 0.4 x 2.458 = 0.9832 ลิตร

จาก หน่วยน้ำหนักของของแข็งใดๆ = $\frac{\text{มวลของของแข็ง}}{\text{ปริมตรของของแข็ง}}$

ดังนั้น หน่วยน้ำหนักของทราย = $\frac{\text{มวลของของทราย}}{\text{ปริมตรของทราย}}$

เพราะฉะนั้น น้ำหนักของทรายที่ใช้ = ปริมาตรของทราย x ถ.พ.ของทราย x ความหนาแน่นของน้ำ

= 0.9832 x 2.253 x 1000

= 2215.1496 กรัม

การปรับแก้ส่วนผสมมอร์ต้าเนื่องจากความชื้นของทรายที่เปลี่ยนไป (ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = น้ำหนักของทรายเดิม x ความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป

= 2215.1496 x 1.00631

= 2229.1 กรัม

เปอร์เซนต์ของน้ำที่อยู่ขนผิวทราย = 0.631 – 0.603 = 0.028 % ดังนั้นจึงต้องลดน้ำ

ฉะนั้น ใช้ปริมาณน้ำ = 840 – 2215.1496 x (0.028 / 100) = 839.4 กรัม

ใช้ปริมาณทราย = 2229.1 กรัม

ใช้ปริมาณ ซีเมนต์ = 2000 กรัม

ภาคผนวก ง

การคำนวณ ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

การดำเนินการทดลองเพื่อผลิตแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดเพื่อหาคุณสมบัติทางกลได้กำหนดปริมาตรทรายเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ของมวลรวมทั้งหมด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) = 0.50 จำนวนแท่งตัวอย่างทรงกระบอกเท่ากับ 12 แท่งตัวอย่างต่อการผสมหนึ่งครั้ง ซึ่งการผลิตแท่งตัวอย่างที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการผสม 4 ชุดตัวอย่าง หินใช้ขนาด 3/8 นิ้ว ทั้งหินและทรายอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมเท่ากับ 400 กิโลกรัมต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศเมตรใช้สารลดน้ำ Type F 0.35 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีตของทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 8 ค้างเบอร์ 16 (CSA1)

ข้อมูลประกอบการคำนวณ

พื้นที่ผิวสัมผัสของทราย = 1.52 ตร.ม/กก.
ถ.พ.ของทราย = 2.424
ถ.พ.ของหิน (ขนาด 3/8 นิ้ว) = 2.608
กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม
กำหนดปริมาณทรายต่อมวลรวมทั้งหมด = 0.40
กำหนดปริมาณช่องว่างอากาศ = 3 เปอร์เซ็นต์
กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ = 0.50

$Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv$

โดยที่ Vt = ปริมาตรคอนกรีต

Vc = ปริมาตรปูนซีเมนต์

Vs = ปริมาตรทราย

Vg = ปริมาตรหิน

Vw = ปริมาตรน้ำ

Vv = ปริมาตรช่องว่าง

Va = ปริมาตรทรายรวมกับหิน

$Vs + Vg = Va$

$0.4Va + Vg = Va$

Vg = 0.6Va

Va = 1/(0.4Vs) , Vg = 1.5 Vs

Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv

1 = 400/(3.15 X 1000) + Vs + 1.5Vs + 0.5 X 400/(1X100) +0.03

= 0.357 + 2.5Vs

Vs = (1-0.357)/2.5 = 0.257 ลบ.ม

Vg = 1.5(0.257) = 0.385 ลบ.ม

เมื่อออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 1 ลบ.ม ใช้ส่วนผสมต่างๆดังนี้

ปูนซีเมนต์ = 400 กก.

ทราย = 2.424 X 0.257 X1000 = 622.97 กก.

หิน(3/8") =2.608 X 0.385 X 1000 =1004.08 กก.

น้ำ = 0.5 X 400 = 200 กก.

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป (ไม่อยู่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.624 และความชื้นเท่ากับ 1.269 และหินที่มีเปอร์เซ็นต์

การดูดซึมเท่ากับ 0.544 และความชื้นเท่ากับ 0.085

น้ำหนักทรายเปียก = 622.67 X 1.01269 = 630.87 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 1004.08 X 1.00085 = 1004.93 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 1.269 – 0.624 = 0.645 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.085 – 0.544 = -0.459 เปอร์เซ็นต์

<u>สรุป</u> ใช้น้ำ = 200 – 622.97(0.645/100) + 1004.08(0.459/100) = 200.59 กก./ลบ.ม

ใช้ทราย = 630.87 กก./ลบ.ม

ใช้หิน = 1004.93 กก./ลบ.ม

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม

เมื่อใช้แท่งตัวอย่าง 12 แท่งตัวอย่างปริมาตรเท่ากับ 0.0954 ลบ.ม

ใช้น้ำ = 200.59 X 0.0954 = 19.14 กก.

ใช้ทราย = 630.87 X 0.0954 = 60.18 กก.

ใช้หิน = 1004.93 X 0.0954 = 95.87 กก.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 X 0.0954 = 38.16 กก.

ใช้สารผสมเพิ่ม = 0.35 X 38.16 X1000 = 133.56 ก.

การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีตของทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 16 ค้างเบอร์ 30 (CSA2)

ข้อมูลประกอบการคำนวณ

พื้นที่ผิวสัมผัสของทราย = 3.16 ตร.ม/กก.

ถ.พ.ของทราย = 2.327

ถ.พ.ของหิน (ขนาด 3/8 นิ้ว) = 2.608

กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม

กำหนดปริมาณทรายต่อมวลรวมทั้งหมด = 0.40

กำหนดปริมาณช่องว่างอากาศ = 3 เปอร์เซ็นต์

กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ = 0.50

$Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv$

โดยที่ Vt = ปริมาตรคอนกรีต

Vc = ปริมาตรปูนซีเมนต์

Vs = ปริมาตรทราย

Vg = ปริมาตรหิน

Vw = ปริมาตรน้ำ

Vv = ปริมาตรช่องว่าง

Va = ปริมาตรทรายรวมกับหิน

$Vs + Vg = Va$

$0.4Va + Vg = Va$

$Vg = 0.6Va$

$Va = 1/(0.4Vs)$, $Vg = 1.5\ Vs$

$Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv$

$1 = 400/(3.15 \times 1000) + Vs + 1.5Vs + 0.5 \times 400/(1X100) + 0.03$

$= 0.357 + 2.5Vs$

$Vs = (1-0.357)/2.5 = 0.257$ ลบ.ม

$Vg = 1.5(0.257) = 0.385$ ลบ.ม

เมื่อออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 1 ลบ.ม ใช้ส่วนผสมต่างๆดังนี้

ปูนซีเมนต์ = 400 กก.

ทราย $= 2.327 \times 0.257 \times 1000 = 598.04$ กก.

หิน(3/8") =2.608 X 0.385 X 1000 =1004.08 กก.

น้ำ = 0.5 X 400 = 200 กก.

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป (ไม่อยู่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.705 และความชื้นเท่ากับ 0.647 และหินที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.544 และความชื้นเท่ากับ 0.085

น้ำหนักทรายเปียก = 598.04 X 1.00647 = 601.91 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 1004.08 X 1.00085 = 1004.93 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.647 – 0.705 = -0.058 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.085 – 0.544 = -0.459 เปอร์เซ็นต์

<u>สรุป</u> ใช้น้ำ = 200 – 598.04(0.058/100) + 1004.08(0.459/100) = 204.96 กก./ลบ.ม

ใช้ทราย = 601.91 กก./ลบ.ม

ใช้หิน = 1004.93 กก./ลบ.ม

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม

เมื่อใช้แท่งตัวอย่าง 12 แท่งตัวอย่างปริมาตรเท่ากับ 0.0954 ลบ.ม

ใช้น้ำ = 204.96 X 0.0954 = 19.55 กก.

ใช้ทราย = 601.91 X 0.0954 = 57.42 กก.

ใช้หิน = 1004.93 X 0.0954 = 95.87 กก.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 X 0.0954 = 38.16 กก.

ใช้สารผสมเพิ่ม = 0.35 X 38.16 X1000 = 133.56 ก.

การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีตของทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 30 ค้างเบอร์ 50 (CSA3)

ข้อมูลประกอบการคำนวณ

พื้นที่ผิวสัมผัสของทราย = 6.27 ตร.ม/กก.

ถ.พ.ของทราย = 2.316

ถ.พ.ของหิน (ขนาด 3/8 นิ้ว) = 2.608

กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม

กำหนดปริมาณทรายต่อมวลรวมทั้งหมด = 0.40

กำหนดปริมาณช่องว่างอากาศ = 3 เปอร์เซ็นต์

กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ = 0.50

$Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv$

โดยที่ Vt = ปริมาตรคอนกรีต

Vc = ปริมาตรปูนซีเมนต์

Vs = ปริมาตรทราย

Vg = ปริมาตรหิน

Vw = ปริมาตรน้ำ

Vv = ปริมาตรช่องว่าง

Va = ปริมาตรทรายรวมกับหิน

Vs + Vg = Va

0.4Va + Vg = Va

Vg = 0.6Va

Va = 1/(0.4Vs) , Vg = 1.5 Vs

Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv

1 = 400/(3.15 X 1000) + Vs + 1.5Vs + 0.5 X 400/(1X100) +0.03

= 0.357 + 2.5Vs

Vs = (1-0.357)/2.5 = 0.257 ลบ.ม

Vg = 1.5(0.257) = 0.385 ลบ.ม

เมื่อออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 1 ลบ.ม ใช้ส่วนผสมต่างๆดังนี้

ปูนซีเมนต์ = 400 กก.

ทราย = 2.316 X 0.257 X1000 = 595.21 กก.

หิน(3/8") =2.608 X 0.385 X 1000 =1004.08 กก.

น้ำ = 0.5 X 400 = 200 กก.

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป (ไม่อยู่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.766 และความชื้นเท่ากับ 0.951 และหินที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.544 และความชื้นเท่ากับ 0.085

น้ำหนักทรายเปียก = 595.21 X 1.00951 = 600.87 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 1004.08 X 1.00085 = 1004.93 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.951 – 0.766 = 0.185 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.85– 0.544 = -0.459 เปอร์เซ็นต์

<u>สรุป</u> ใช้น้ำ = 200 – 595.21(0.185/100) + 1004.08(0.459/100) = 203.51กก./ลบ.ม

ใช้ทราย = 600.87 กก./ลบ.ม

ใช้หิน = 1004.93 กก./ลบ.ม

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม

เมื่อใช้แท่งตัวอย่าง 12 แท่งตัวอย่างปริมาตรเท่ากับ 0.0954 ลบ.ม

ใช้น้ำ = 203.51X 0.0954 = 19.41 กก.

ใช้ทราย = 600.87X 0.0954 = 57.32 กก.

ใช้หิน = 1004.93 X 0.0954 = 95.87 กก.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 X 0.0954 = 38.16 กก.

ใช้สารผสมเพิ่ม = 0.35 X 38.16 X1000 = 133.56 ก.

การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีตของทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 8 ค้างเบอร์ 100 (CSA4)

ข้อมูลประกอบการคำนวณ

พื้นที่ผิวสัมผัสของทราย = 2.82 ตร.ม/กก.

ถ.พ.ของทราย = 2.253

ถ.พ.ของหิน (ขนาด 3/8 นิ้ว) = 2.608

กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม

กำหนดปริมาณทรายต่อมวลรวมทั้งหมด = 0.40

กำหนดปริมาณช่องว่างอากาศ = 3 เปอร์เซ็นต์

กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ = 0.50

$Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv$

โดยที่ Vt = ปริมาตรคอนกรีต

Vc = ปริมาตรปูนซีเมนต์

Vs = ปริมาตรทราย

Vg = ปริมาตรหิน

Vw = ปริมาตรน้ำ

Vv = ปริมาตรช่องว่าง

Va = ปริมาตรทรายรวมกับหิน

$Vs + Vg = Va$

$0.4Va + Vg = Va$

$Vg = 0.6Va$

$Va = 1/(0.4Vs)$, $Vg = 1.5\ Vs$

Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv

1 = 400/(3.15 X 1000) + Vs + 1.5Vs + 0.5 X 400/(1X100) +0.03

= 0.357 + 2.5Vs

Vs = (1-0.357)/2.5 = 0.257 ลบ.ม

Vg = 1.5(0.257) = 0.385 ลบ.ม

เมื่อออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 1 ลบ.ม ใช้ส่วนผสมต่างๆดังนี้

ปูนซีเมนต์ = 400 กก.

ทราย = 2.253 X 0.257 X1000 = 579.02กก.

หิน(3/8") =2.608 X 0.385 X 1000 =1004.08 กก.

น้ำ = 0.5 X 400 = 200 กก.

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป (ไม่อยู่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.603 และความชื้นเท่ากับ 0.507 **และหินที่มีเปอร์เซ็นต์**การดูดซึมเท่ากับ 0.544 และความชื้นเท่ากับ 0.085

น้ำหนักทรายเปียก = 579.02X 1.01269 = 581.95 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 1004.08 X 1.00085 = 1004.93 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.507 – 0.603 = -0.096 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.085 – 0.544 = -0.459 เปอร์เซ็นต์

<u>สรุป</u> ใช้น้ำ = 200 – 579.02(0.096/100) + 1004.08(0.459/100) = 205.16กก./ลบ.ม

ใช้ทราย = 581.95กก./ลบ.ม

ใช้หิน = 1004.93 กก./ลบ.ม

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม

เมื่อใช้แท่งตัวอย่าง 12 แท่งตัวอย่างปริมาตรเท่ากับ 0.0954 ลบ.ม

ใช้น้ำ = 205.16. X 0.0954 = 19.57 กก.

ใช้ทราย = 600.87X 0.0954 = 55.51กก.

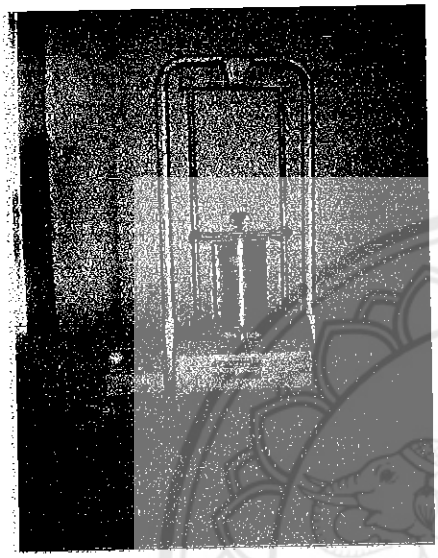
ใช้หิน = 1004.93 X 0.0954 = 95.87 กก.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 X 0.0954 = 38.16 กก.

ใช้สารผสมเพิ่ม = 0.35 X 38.16 X1000 = 133.56 ก.

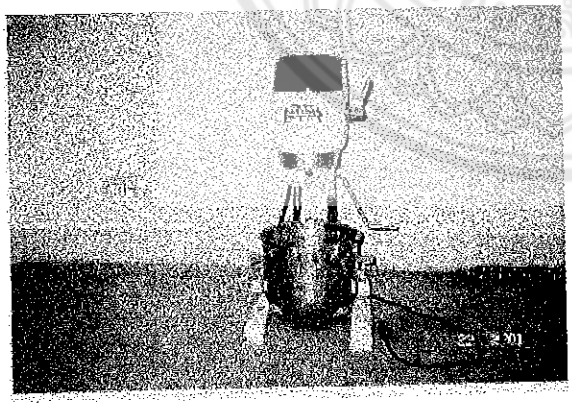
ภาคผนวก จ

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา



รูปที่ จ.1 เครื่องร่อนทราย

รูปที่ จ.2 เครื่องทดสอบแรงกด

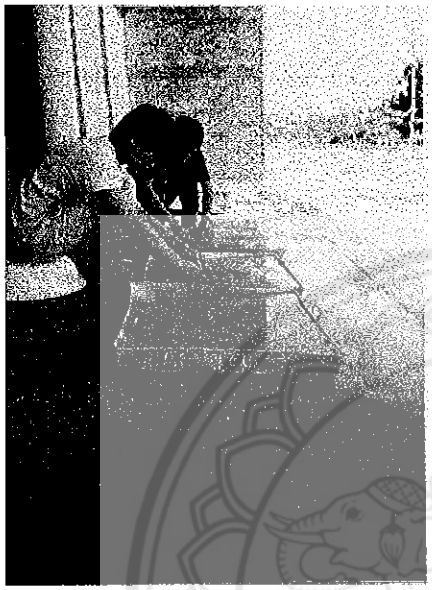


รูปที่ จ.3 เครื่องผสมมอร์ต้า

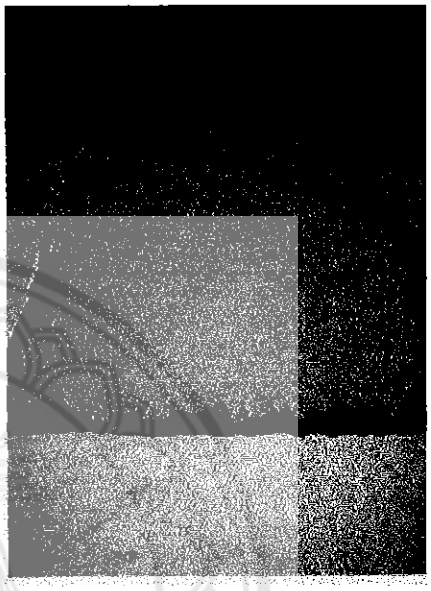
รูปที่ จ.4 เครื่องผสมคอนกรีต

ภาพประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

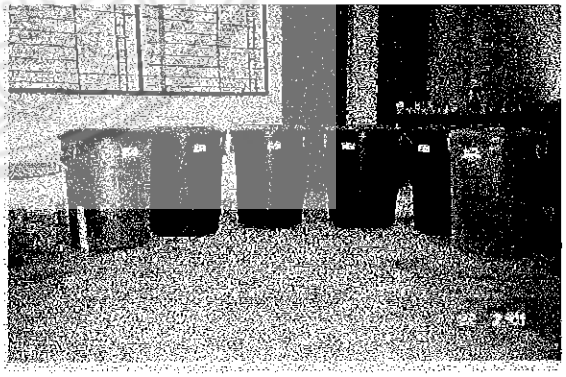


รูปที่ จ.5 การล้างทราย



รูปที่ จ.6 การผึ่งทรายให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

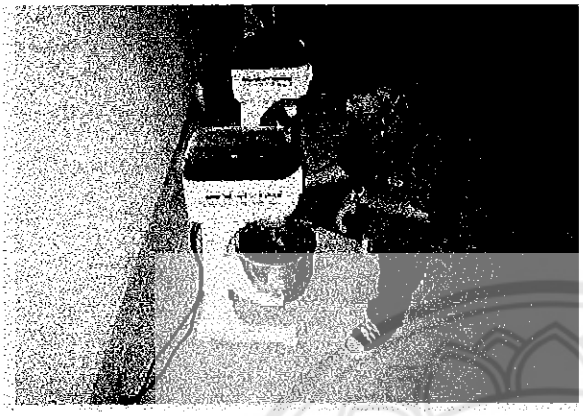
รูปที่ จ.7 การคัดแยกขนาดทราย



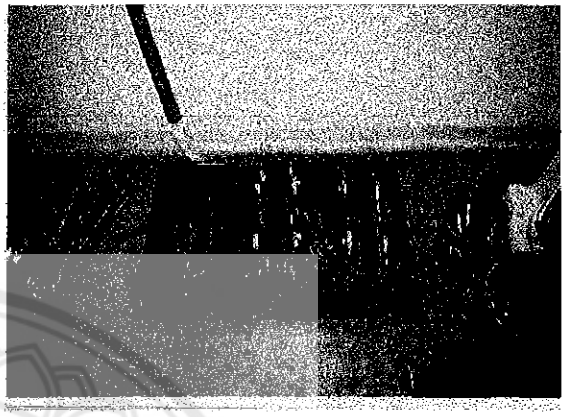
รูปที่ จ.8 ถังเก็บทรายที่แยกตามขนาดทราย

ภาพประกอบการเตรียมทรายที่ใช้ในการทดลอง

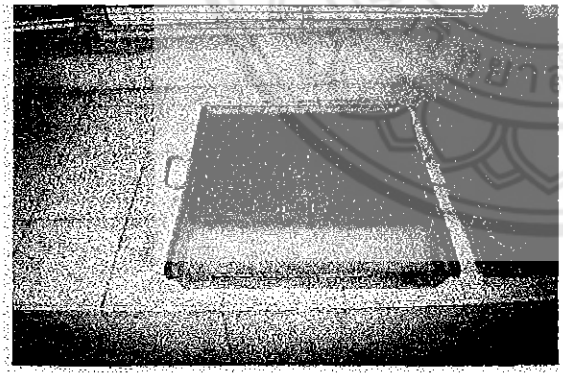
ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)



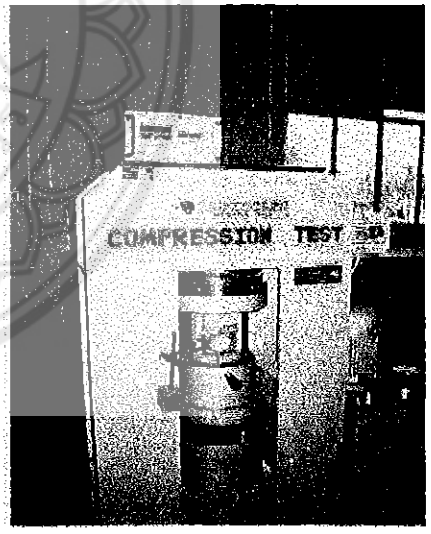
รูปที่ จ.9 การผสมมอร์ต้า



รูปที่ จ.10 การเทมอร์ต้าใส่แบบหล่อ



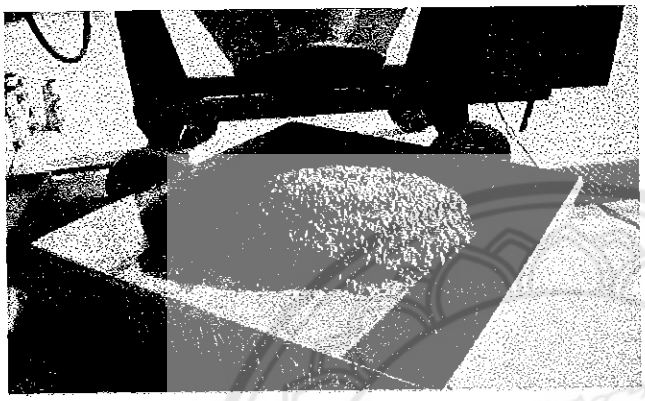
รูปที่ จ.11 การบ่มมอร์ต้าในน้ำ



รูปที่ จ.12 การทดสอบกำลังอัดมอร์ต้า

ภาพประกอบการผลิตและทดสอบแท่งมอร์ต้า

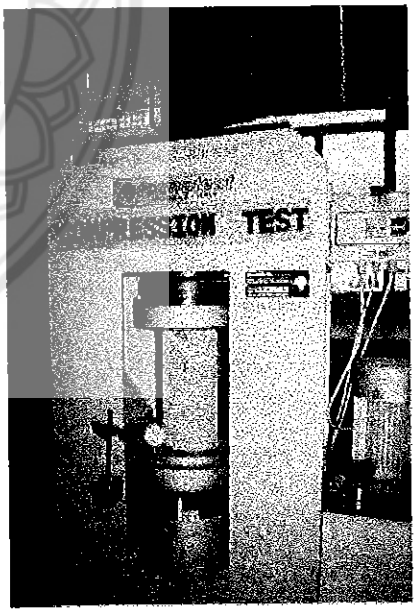
ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)



รูปที่ จ.13 การผสมคอนกรีต

รูปที่ จ.14 การเทคอนกรีตใส่แบบหล่อ

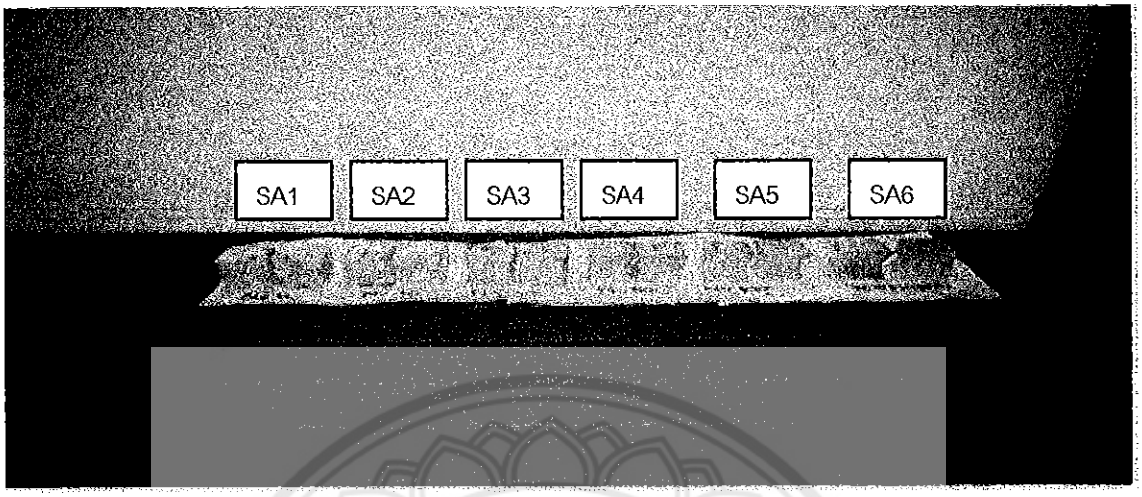
รูปที่ จ.15 การบ่มคอนกรีตในน้ำ



รูปที่ จ.16 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ภาพประกอบการผลิตและทดสอบแท่งคอนกรีต

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)



รูปที่ จ.17 แสดงลักษณะรอยแตกหักของแท่งทดสอบมอร์ต้า ที่อายุการบ่ม 60 วัน

รูปที่ จ.18 แสดงลักษณะรอยแตกร้าวของแท่งทดสอบคอนกรีตที่อายุการบ่ม 28 วัน

ภาพประกอบลักษณะรอยแตกร้าวของแท่งทดสอบมอร์ต้าและคอนกรีต

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ : นายจงรักษ์ นาหลวง
วัน/เดือน/ปี เกิด : 19 ธันวาคม 2521
สถานที่เกิด : จังหวัดสุโขทัย
การศึกษา : มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์ จังหวัดสุโขทัย
: มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์ จังหวัดสุโขทัย
: ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

ชื่อ : นายประทิม อินทรีย์
วัน/เดือน/ปี เกิด : 5 กุมภาพันธ์ 2521
สถานที่เกิด : จังหวัดอุตรดิตถ์
การศึกษา : มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์
: มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์
: ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

ชื่อ : นายเกษม นวลประทีป
วัน/เดือน/ปี เกิด : 24 เมษายน 2521
สถานที่เกิด : จังหวัดปทุมธานี
การศึกษา : มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนปทุมวิไล จังหวัดปทุมธานี
: มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนคณะราษฎร์บำรุงปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี
: ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก