พฤติกรรมการหดตัวของปูนฉาบที่ผสมสารกระจายกักฟองอากาศ

นายสายัณห์ ผลิตกรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-266-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016336

Shrinkage Behavior of Plastering Mortars with Air-Entraining Admixture

Mr. Sayan Palitagram

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduated School
Chulalongkorn University
1990

ISBN 974-577-266-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ พฤติกรรมการหดตัวของปูนฉาบที่ผสมสารกระจายกักฟองอากาศ

โดย นายสายัณห์ ผลิตกรรม

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ วัฒนา ธรรมมงคล)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

พลตำรวจตรี สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายสายัณห์ ผลิตกรรม : พฤติกรรมการหดตัวของปูนฉาบที่ผสมสารกระจายกักฟองอากาศ (SHRINKAGE BEHAVIOR OF PLASTERING MORTARS WITH AIR-ENTRAINING ADMIXTURE) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ , 110 หน้า
ISBN 974-577-266-6

เนื่องจากความไม่สะดวกในการหมักปูนขาวก่อนนำมาใช้ ปัจจุบันหน่วยงานก่อสร้างส่วนใหญ่นิยมนำสารผสมเพิ่มแทนปูนขาวมาใช้ในการผสมปูนฉาบ เพื่อเพิ่มความเหนียวลื่นแทนปูนขาว แต่ปัญหาที่ยังคงพบเห็นอยู่เสมอคือ การแตกร้าวของผิวปูนฉาบ ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาพฤติกรรมการหดตัวเนื่องจากการเสียน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการแตกร้าวของผิวปูนฉาบ ตลอดจนคุณสมบัติทางกลศาสตร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น กำลังอัด กำลังดึง โมดูลัสยืดหยุ่น การดูดซึมน้ำ และการขยายตัวตามอุณหภูมิของปูนฉาบที่ผสมโดยวิธีดั้งเดิมคือใช้ปูนขาว เปรียบเทียบกับปูนฉาบที่ผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว

การทดสอบในงานวิจัยกระทำตามสภาพธรรมชาติ มิได้ควบคุมสภาพแวดล้อม โดยมีอุณหภูมิระหว่าง 30-35° ซ. และความชื้นสัมพันธ์ระหว่าง 75-80% ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิก้า และสามผสมเพิ่มประเภทกระจายกักฟองอากาศ ตามมาตรฐาน BS 4887-1973 การวิจัยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ เมื่อปูนฉาบนั้นมีการไหลตามมาตรฐาน BS 4721-1981 และศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัด กำลังดึง ที่อายุ 28 วัน และโมดูลัสยืดหยุ่นจะลดลงตามอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับปูนฉาบที่มีอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เดียวกัน และควบคุมการไหลตามกำหนด พบว่า ปูนฉาบที่ผสมสารเพิ่มแทนปูนขาวจะมีกำลังอัด กำลังดึง และโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าปูนฉาบที่ผสมปูนขาว เท่ากับ 10, 15 และ 90% การใช้สารเพิ่มแทนปูนขาวจะสามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมปูนฉาบได้ถึง 20% สำหรับการหดตัว การดูดซึมน้ำ และการขยายตัวตามอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ สำหรับปูนฉาบที่มีการไหลตามที่กำหนด และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 4:1, 5:1 และ 6:1 พบว่าปูนฉาบที่ผสมปูนขาวจะมีการหดตัวมากกว่าปูนฉาบที่ผสมสารเพิ่ม 30,40 และ 60% ตามลำดับ อัตราส่วนกำลังอัดต่อโมดูลัสยืดหยุ่น และการหดตัวสูงสุดของปูนฉาบ มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้น

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SAYAN PALITAGRAM : SHRINKAGE BEHAVIOR OF PLASTERING MORTARS WITH AIR-ENTRAINING ADMIXTURE. THESIS ADVISOR : PROF.EKASIT LIMSUWAN, PH.D. , 110 PP.

Due to the inconveniece of hydration process during lime preparation, admixtures have become widely used in place of lime to increase workability and water retention of plastering mortar. However, cracks of such plaster mortar have become prevalent. The objective of this research topic is to study the shrinkage of plastering mortar as a result of dehydration, which is the main cause of its cracks. In addition, related mechanical properties, ie., compressive and tensile strength, modulus of elasticity, water absorption and thermal expansion of the original lime-based plastering mortar are compared to those of the admixture-based mortar.

The experiment was carried out without environmental control. Temperature and relative humidity were between 30-35°c and 75-80%, respectively. Additives in this study are silicated cement and air-entraining admixture comforming to the BS 4887:1973 standard. Two factors were studied : a) Sand to cement ratio as flow of the plastering mortar is in accordance with the BS 4721:1981 standard, and b) water cement ratio.

The experimental results reveal that compressive and tensile strength at 28 days and modulus of elasticity all decrease as sand to cement and water cement ratio increase. At the same sand to cement ratio with specified flow, it was found that the admixture-based mortar possesses 10,15 and 90%, respectively, higher compressive and tensile strength and modulus of elasticity than those of the lime-based mortar. This is due to the fact that the use of admixture can reduce water content in the mortar up to 20%. The effect of increasing water cement ratio is higher degree of shrinkage, water absorption and thermal expansion. Plastering mortar with flow as specified and with sand to cement ratio of 4:1, 5:1 and 6:1. The study suggests that lime-based mortar possesses 30, 40 and 60% respectively higher shrinkage than admixture-based mortar. Ratio of compressive strength to modulus of elasticity and ultimate shringkage of plastering mortar have a linear relationship.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ที่ท่านได้กรุณาดูแลเอาใจใส่ให้คำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ ตลอดจนได้กรุณาแก้ไขและตรวจวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย ขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านอันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ วัฒนา ธรรมมงคล ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี และรองศาสตราจารย์ การุญ จันทรางศุ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ อรุณ ชัยเสรี ที่ให้การสนันสนุนและช่วยเหลือในทุกด้าน ท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษามาโดยตลอด

สายัณห์ ผลิตกรรม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 บทนำทั่วไป 1

1.2 ความเป็นมาของปัญหา 2

1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา 3

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 8

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 9

บทที่ 2 วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ

2.1 รายการทดสอบ 10

2.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ 11

2.3 ขั้นตอนการทดสอบและการเตรียมตัวอย่างการทดสอบ 11

2.3.1 การทดสอบมอร์ต้าในระยะเริ่มแรก 12

2.3.2 การทดสอบมอร์ต้าในระยะยาวเมื่อแข็งตัวแล้ว 12

2.4 ผลการทดสอบ 14

2.4.1 ผลการทดสอบมอร์ต้าในระยะเริ่มแรก 14

2.4.2 ผลการทดสอบมอร์ต้าในระยะยาวเมื่อแข็งตัวแล้ว 15

หน้า

บทที่ 3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ 19
3.1 กำลังอัดประลัย 19
3.1.1 ผลกระทบของอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 19
3.1.2 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 20
3.2 กำลังดึง 21
3.2.1 ผลกระทบของอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 21
3.2.2 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 22
3.3 โมดูลัสยืดหยุ่น 22
3.3.1 ผลกระทบของอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 22
3.3.2 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 23
3.4 การดูดซึมน้ำ 24
3.4.1 ผลกระทบของอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 24
3.4.2 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 25
3.5 การหดตัว 25
3.5.1 ผลกระทบของอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 25
3.5.2 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 26
3.6 สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิ 27
3.6.1 ผลกระทบของอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 27
3.6.2 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 28
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางด้านการรับกำลังกับการหดตัวสูงสุด . 28
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 30

เอกสารอ้างอิง 32

ประวัติผู้เขียน 110

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	ปริมาณความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบในซีเมนต์	35
ตารางที่ 2.1	ทรายขนาดคละมาตราฐาน ASTM C109	36
ตารางที่ 2.2	ชุดทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย	37
ตารางที่ 2.3	ผลการทดสอบ	38

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรมวลรวมกับกำลังอัดเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.50 39

รูปที่ 1.2 ผลกระทบของปริมาตรมวลรวมในส่วนผสมต่อกำลังอัด 40

รูปที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเจลต่อปริมาตรกับกำลังอัดของมอร์ต้า 41

รูปที่ 1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับอัตราส่วนความเค้นต่อกำลังของคอนกรีตต่อกำลังของคอนกรีตที่มีกำลังอัดต่าง ๆ 42

รูปที่ 1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของซีเมนต์เพสท์ มวลรวมและคอนกรีต 43

รูปที่ 1.6 แสดงผลกระทบของช่วงเวลาในการบ่มต่อการหดตัว การดูดซึมน้ำ และเวลาที่เกิดรอยแตกร้าวในมอร์ต้าที่ผสมทรายทะเล 44

รูปที่ 1.7 แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา 45

รูปที่ 1.8 พฤติกรรมของคอนกรีตเมื่อสูญเสียน้ำและได้รับน้ำ 46

รูปที่ 1.9 แสดงกลไกของการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของซีเมนต์เพสท์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจาก (a) capillary stress , (b) disjoining pressure , (c) surface tension 47

รูปที่ 1.10 ผลของความพรุนต่อการหดตัวที่ไม่สามารถย้อนกลับของซีเมนต์เพสท์ 48

รูปที่ 1.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักน้ำที่ระเหยออกกับการหดตัว 49

รูปที่ 1.12 แสดงผลกระทบของปริมาตรมวลรวมต่ออัตราการหดตัวของคอนกรีต เทียบกับซีเมนต์เพสท์ 50

รูปที่ 1.13 แสดงผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และปริมาณมวลรวมต่อการหดตัว. 51

รูปที่ 1.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเชคเคนท์โมดูลัส และการหดตัวของคอนกรีต ... 52

รูปที่ 1.15 แสดงการหดตัวตามเวลาของคอนกรีต 53

รูปที่ 2.1 เครื่องผสมมอร์ต้า 54

รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบ Amsler 30 ตัน 54

หน้า

รูปที่ 2.3 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า 55
รูปที่ 2.4 การทดสอบกำลังดึงของมอร์ต้า 56
รูปที่ 2.5 การทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของมอร์ต้า 56
รูปที่ 2.6 การทดสอบการหดตัวของมอร์ต้า 57
รูปที่ 2.7 การไหลของปูนฉาบผสมปูนขาวอัตราส่วนซีเมนต์:ปูนขาว:ทราย 1:1:4 ... 58
รูปที่ 2.8 การไหลของปูนฉาบผสมปูนขาวอัตราส่วนซีเมนต์:ปูนขาว:ทราย 1:1:5 ... 58
รูปที่ 2.9 การไหลของปูนฉาบผสมปูนขาวอัตราส่วนซีเมนต์:ปูนขาว:ทราย 1:1:6 ... 59
รูปที่ 2.10 การไหลของปูนฉาบผสมปูนขาวอัตราส่วนซีเมนต์:ปูนขาว:ทราย 1:2:6 ... 59
รูปที่ 2.11 การไหลของปูนฉาบผสมสารเพิ่มชนิด A อัตราส่วนซีเมนต์:ทราย 1:4 60
รูปที่ 2.12 การไหลของปูนฉาบผสมสารเพิ่มชนิด A อัตราส่วนซีเมนต์:ทราย 1:5 60
รูปที่ 2.13 การไหลของปูนฉาบผสมสารเพิ่มชนิด A อัตราส่วนซีเมนต์:ทราย 1:6 61
รูปที่ 2.14 การไหลของปูนฉาบผสมสารเพิ่มชนิด B อัตราส่วนซีเมนต์:ทราย 1:4 61
รูปที่ 2.15 การไหลของปูนฉาบผสมสารเพิ่มชนิด B อัตราส่วนซีเมนต์:ทราย 1:5 62
รูปที่ 2.16 การไหลของปูนฉาบผสมสารเพิ่มชนิด B อัตราส่วนซีเมนต์:ทราย 1:6 62
รูปที่ 2.17 กำลังอัดของปูนฉาบผสมปูนขาว 63
รูปที่ 2.18 กำลังอัดของปูนฉาบผสมปูนขาวเมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ 64
รูปที่ 2.19 กำลังอัดของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาวชนิด A 65
รูปที่ 2.20 กำลังอัดของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาวชนิด B 66
รูปที่ 2.21 กำลังอัดของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว เมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ 67
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปูนฉาบผสมปูนขาว 68
รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปูนฉาบผสมปูนขาว 69
รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปูนฉาบผสมปูนขาว 70
รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปูนฉาบผสมปูนขาว 71
รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปูนฉาบผสมปูนขาว 72
รูปที่ 2.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปูนฉาบผสมปูนขาว 73
รูปที่ 2.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปูนฉาบผสมปูนขาว 74
รูปที่ 2.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปูนฉาบผสมปูนขาว ... 75
รูปที่ 2.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทน
ปูนขาว 76

หน้า

รูปที่ 2.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว 77
รูปที่ 2.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว 78
รูปที่ 2.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว 79
รูปที่ 2.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว 80
รูปที่ 2.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว 81
รูปที่ 2.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว 82
รูปที่ 2.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว 83
รูปที่ 2.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว 84
รูปที่ 2.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว 85
รูปที่ 2.40 การหดตัวเนื่องจากการเสียน้ำของปูนฉาบผสมปูนขาว 86
รูปที่ 2.41 การหดตัวเนื่องจากการเสียน้ำของปูนฉาบผสมปูนขาว เมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ 87
รูปที่ 2.42 การหดตัวเนื่องจากการเสียน้ำของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว ชนิด A . 88
รูปที่ 2.43 การหดตัวเนื่องจากการเสียน้ำของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว ชนิด B . 89
รูปที่ 2.44 การหดตัวเนื่องจากการเสียน้ำของปูนฉาบผสมสารเพิ่มแทนปูนขาว เมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ 90
รูปที่ 2.45 การขยายตัวตามอุณหภูมิของปูนฉาบผสมปูนขาว 91
รูปที่ 2.46 การขยายตัวตามอุณหภูมิของปูนฉาบผสมปูนขาวเมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ 92
รูปที่ 2.47 การขยายตัวตามอุณหภูมิของปูนฉาบที่ผสมสารเพิ่มแทนปูนขาวชนิด A 93

หน้า

รูปที่ 2.48 การขยายตัวตามอุณหภูมิของปูนฉาบที่ผสมสารเพิ่มแทนปูนขาวชนิด B 94
รูปที่ 2.49 การขยายตัวตามอุณหภูมิของปูนฉาบที่ผสมสารเพิ่มแทนปูนขาวชนิด A เมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ 95
รูปที่ 3.1 ผลกระทบของอัตราส่วนทราย:ซีเมนต์ ต่อกำลังอัดประลัยที่ 28 วัน 96
รูปที่ 3.2 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ ต่อกำลังอัดประลัยที่ 28 วัน 97
รูปที่ 3.3 ผลกระทบของอัตราส่วนทราย:ซีเมนต์ ต่อกำลังดึงที่ 28 วัน 98
รูปที่ 3.4 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ ต่อกำลังดึงที่ 28 วัน 99
รูปที่ 3.5 ผลกระทบของอัตราส่วนทราย:ซีเมนต์ ต่อโมดูลัสยืดหยุ่น 100
รูปที่ 3.6 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ ต่อโมดูลัสยืดหยุ่น 101
รูปที่ 3.7 ผลกระทบของอัตราส่วนทราย:ซีเมนต์ ต่อการดูดซึมน้ำ 102
รูปที่ 3.8 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ ต่อการดูดซึมน้ำ 103
รูปที่ 3.9 ผลกระทบของอัตราส่วนทราย:ซีเมนต์ ต่อการหดตัว 104
รูปที่ 3.10 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ ต่อการหดตัว 105
รูปที่ 3.11 ผลกระทบของอัตราส่วนทราย:ซีเมนต์ ต่อสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิ 106
รูปที่ 3.12 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำ:ซีเมนต์ ต่อสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิ.. 107
รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง (fc'/E) , ε_h และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์.... 108
รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง (fc'/E) , ε_h และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์..... 109