สภาพสนามของเวลาการผสม และการผสมซ้ำสำหรับคอนกรีตผสมเสร็จ

นายราดา เตียประเสริฐ

001044

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2520

I15830731

FIELD CONDITIONS OF MIXING TIME AND RETEMPERING FOR READY-MIXED CONCRETE

Mr. Tada Tearprasert

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1977

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สภาพสนามของเวลาการผสม และการผสมซ้ำสำหรับคอนกรีต–ผสมเสร็จ
โดย	นายธาดา เตียประเสริฐ
แผนกวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ปราโมทย์ เตียวตรานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.นิวัตต์ ดารานันทน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ปราโมทย์ เตียวตรานนท์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ อรุณ ชัยเสรี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สภาพสนามของเวลาการผสม และการผสมซ้ำสำหรับคอนกรีตผสมเสร็จ
ชื่อนิสิต นายธาดา เตียประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ปราโมทย์ เตียวตรานนท์
แผนกวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2520

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองศึกษาถึงอิทธิพลของเวลาการผสม และการผสมซ้ำในสภาพการผลิตและสภาพสนามของประเทศไทย ที่มีผลต่อพฤติกรรมของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยพิจารณาจาก กำลังอัด และการยุบของตัวอย่างคอนกรีตที่เวลาการผสมต่างๆกันของคอนกรีตซึ่งส่วนผสมมีปริมาณปูนซีเมนต์แตกต่างกันเป็น 2 ส่วนผสม นอกจากนี้ยังได้รวบรวมข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากงานก่อสร้างที่ใช้คอนกรีตทั้ง 2 ส่วนผสมนี้ในช่วงปี พ.ศ. 2517 ถึง พ.ศ. 2519 เป็นจำนวน 3474 ตัวอย่าง มาประเมินผลเพื่อพิจารณาระดับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีต และระดับการควบคุมการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตตามปกติในสนาม โดยใช้วิธีการทางสถิติเบื้องต้นจากมาตรฐาน ACI 214-65 วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ก็เพื่อที่จะกำหนดขอบเขต และเงื่อนไขในการยอมรับคอนกรีตผสมเสร็จขึ้นให้สอดคล้องกับสภาพการผลิต และสภาพสนามในประเทศโดยเฉพาะ

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อกวนคอนกรีตผสมเสร็จรออยู่ในโม่โดยไม่มีการเติมน้ำเพิ่มจากการผสมครั้งแรก กำลังอัดของคอนกรีตจะมีค่าค่อนข้างคงที่ และมีแนวโน้มไปในทางที่จะเพิ่มค่าขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาการผสมเพิ่มขึ้น ส่วนการยุบของคอนกรีตจะลดลงอย่างช้าๆในช่วง 100 นาทีหลังการผสมครั้งแรก แต่หลังจากผ่านช่วงเวลานี้ไปแล้ว การยุบของคอนกรีตจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนในที่สุดไม่สามารถนำคอนกรีตออกจากโม่ได้ เมื่อเวลาการผสมประมาณ 160 นาที สำหรับกรณีที่มีการผสมซ้ำ ด้วยการเติมน้ำเพิ่มจากการผสมครั้งแรก เพื่อควบคุมให้คอนกรีตมีการยุบคงที่ตลอดเวลาการผสม กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลง โดยอัตราการลดลง

มีความสัมพันธ์เกือบเป็นเส้นตรงกับเวลาการผสมที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าคอนกรีตเมื่อได้รับการกวนอยู่ในโม่เป็นเวลานาน ไม่ว่าจะมีการผสมซ้ำหรือไม่ก็ตาม สภาพของคอนกรีตจะค่อยๆ เปลี่ยนจากคอนกรีตที่ค่อนข้างอ่อนทราย ไปเป็นคอนกรีตที่ค่อนข้างแก่ทราย

ส่วนการประเมินผลจากข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตนั้นพบว่าการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ "พอใช้" โดยมีสัมประสิทธิ์การผันแปรอยู่ในช่วง 14 ถึง 17 เปอร์เซนต์ แต่ระดับการควบคุมการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ

เมื่อสรุปผลการทดลอง ประกอบกันไปกับระดับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตแล้ว สำหรับกรณีที่ไม่มีการผสมซ้ำ กำหนดให้ยังคงยอมรับคอนกรีตผสมเสร็จนั้นได้ (โดยกำลังอัดของคอนกรีตไม่ลดลง) เมื่อเวลาการผสมไม่เกิน 100 นาที แต่ถ้ามีการผสมซ้ำ โดยการเติมน้ำเพิ่มเพื่อควบคุมให้คอนกรีตมีการยุบตัวที่แล้ว กำหนดให้ยอมรับคอนกรีตนั้นได้ (โดยที่คอนกรีตมีกำลังอัดลดลง) เมื่อเวลาการผสมไม่เกิน 120 นาที

Thesis Title	Field Conditions of Mixing Time and Retempering for Ready-Mixed Concrete
Name	Mr. Tada Tearprasert
Thesis Advisor	Dr. Pramote Tiewtranon
Department	Civil Engineering
Academic Year	1977

ABSTRACT

In this research , tests were conducted to study the influences of mixing time and retempering , under manufacturing processes and field conditions in Thailand , on behaviour of ready-mixed concrete . The compressive strength and the slump of concrete sampling at various mixing time were determined for the ready-mixed concrete of two different cement contents . Furthermore , actual strength test data of 3474 tests from construction sites in Thailand using these two classes of concrete during 1974 to 1976 were compiled . The level of control in both manufacturing and testing of concrete were evaluated by applying the fundamental statistical tools from the ACI 214-65 specifications . The objective of this research is to specify the extent in which the ready-mixed concrete can still be permitted in use for an ordinary concrete work , especially under manufacturing processes and field conditions in Thailand .

The results of the study can be concluded that extended agitating without additional of water does not adversely affect the compressive strength of concrete . On the contrary , agitating appeared to have a tendency in increasing in strength somewhat with the increasing of mixing time . For the slump of concrete , extended agitating during 100 minutes after initial mixing does affect in a very slow decreasing rate of the slump value . After this period the slump value will decrease rapidly

and the concrete can hardly be taken out of the truck mixer when the mixing time is about 160 minutes . The retempering of the concrete mix to maintain the slump value does have an adverse affect on the strength of concrete . Concrete strength decreases almost linearly with an increase in mixing time . Besides , the prolonged agitating in the mixer , either with or without retempering , will also change the rather under-sanded concrete into the rather over-sanded concrete .

In evaluation of test results of field concrete , the control of concrete quality is in the level of "fair" control for general construction with the coefficient of variation between 14 to 17 per cent of the average strength . However , the control of concrete testing is still in the rather "bad" level for field condition .

By considering both the experimentation and the level of concrete control in the field , it is therefore recommended to limit the time of haul of ready-mixed concrete to about 100 minutes of mixing time . When the concrete is retempered to restore the slump value , it is permitted to be in use until up to about 120 minutes after initial mixing . But it must be realized that the resultant compressive strength will be reduced respectively .

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้โดยมี อาจารย์ ดร.ปราโมทย์ เตียวตรา-นนท์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ได้กรุณาให้แนวความคิดและคำแนะนำอันมีค่ายิ่งแก่ผู้-เขียนมาโดยตลอด ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.นิวัตต์ ดารานันทน์ ศาสตราจารย์ อรุณ ชัยเสรี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล ที่ได้กรุณาตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะอันมีสาระต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการ-วิจัยแห่งชาติ และได้รับการเอื้อเฟื้อเครื่องมือตลอดจนวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง จาก บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด บริษัท นครหลวงวัสดุภัณฑ์ จำกัด กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม บริษัท อิตาเลียนไทย-ดีเวล้อปเมนต์ จำกัด บริษัท ไทยเอนยิเนียริ่งคอนซัลแตนท์ จำกัด และห้องปฏิบัติ-การคอนกรีตของแผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหา-วิทยาลัย ผู้เขียนจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

อนึ่ง ผู้เขียนขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ คุณสุรพงษ์ หฤทัยถาวร คุณปรีชา เฉลิมพงศ์ และคุณสุวรรณ แตงแก้วฟ้า แห่งบริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด ที่ได้กรุณาให้ความสนับสนุน ช่วยเหลือ รวมทั้งให้ความรู้อันมีประโยชน์อย่างสูงต่อการวิจัยนี้

สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ
กิตติกรรมประกาศ ..... ช
รายการตารางประกอบ ..... ฐ
รายการรูปประกอบ ..... ณ

บทที่

1. บทนำ 1
1.1 สภาพการผลิตและการใช้คอนกรีตผสมเสร็จในประเทศไทย 1
1.1.1 โรงผสมคอนกรีต 1
1.1.2 รถผสมคอนกรีต 3
1.2 ความเป็นมาของปัญหา 5
1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย 7
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 8

2. วิธีดำเนินการวิจัย 9
2.1 การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตผสมเสร็จ 9
2.1.1 การศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม 11
2.1.2 การศึกษาอิทธิพลของการผสมน้ำ 14
2.2 การประเมินผลจากข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตในอดีต 15
2.3 การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขการใช้คอนกรีตผสมเสร็จ . 16

3. ผลการวิจัย 17
3.1 สมบัติของวัสดุผสม 17
3.1.1 ส่วนขนาดคละของมวลรวมผสม 17

หน้า

บทที่

3.1.2 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด 21
3.1.3 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ 22
3.1.4 ความชื้นผิวของมวลรวมละเอียด 22
3.2 อิทธิพลของเวลาการผสม 24
3.2.1 อิทธิพลของเวลาการผสมที่มีต่อการยุบของคอนกรีตสด 24
3.2.2 อิทธิพลของเวลาการผสมที่มีต่อกำลังอัดของคอนกรีต 35
3.3 อิทธิพลของการผสมซ้ำ 42
3.3.1 อิทธิพลของการผสมซ้ำที่มีต่อกำลังอัดของคอนกรีต 42
3.3.2 อิทธิพลของการผสมซ้ำที่มีต่อลักษณะของคอนกรีตสด 51
4. การวิเคราะห์ผลการวิจัยพฤติกรรมของคอนกรีตผสมเสร็จ 55
4.1 ธรรมชาติของคอนกรีต 55
4.1.1 โครงสร้างรวมของคอนกรีต 55
4.1.2 โครงสร้างของซีเมนต์เพสท์ 56
4.1.3 กำลังของซีเมนต์เพสท์ 59
4.2 วิเคราะห์อิทธิพลของเวลาการผสม 60
4.2.1 อิทธิพลของเวลาการผสมที่มีต่อการยุบของคอนกรีต 60
4.2.2 อิทธิพลของเวลาการผสมที่มีต่อกำลังอัดของคอนกรีต 61
4.3 วิเคราะห์อิทธิพลของการผสมซ้ำ 63
4.3.1 อิทธิพลของการผสมซ้ำที่มีต่อกำลังอัดของคอนกรีต 63
4.3.2 อิทธิพลของการผสมซ้ำที่มีต่อลักษณะของคอนกรีตสด 65

หน้า

บทที่

5. การประเมินผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตในอดีต .. 66
5.1 การประเมินผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ตามมาตรฐาน ACI 214-65 66
5.1.1 ความผันแปรของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต .. 66
5.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ 67
5.1.3 หลักการที่ใช้เป็นมาตรฐานในการผลิตคอนกรีต .. 73
5.1.4 ข้อกำหนดในการผลิตคอนกรีต 75
5.2 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากสภาพสนาม 76
5.2.1 ลักษณะของข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง 76
5.2.2 ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพของคอนกรีต 77
5.2.3 ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพการทดสอบคอนกรีต 81
5.3 การปรับปรุงปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพที่เป็นจริง 89
5.3.1 การออกแบบส่วนผสมใหม่ 89
5.3.2 การกำหนดค่ารับรองกำลังอัดของคอนกรีตใหม่ .. 90

6. การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขการใช้คอนกรีตผสมเสร็จ 93
6.1 ขอบเขตของเวลาการผสม 93
6.2 ขอบเขตของการผสมซ้ำ 94

7. ข้อสรุปและเสนอแนะ 97
7.1 ข้อสรุป 97
7.2 ข้อเสนอแนะในการทำงานเกี่ยวกับคอนกรีตผสมเสร็จ 98
7.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อ 100

บทที่ หน้า

เอกสารอ้างอิง 101
ภาคผนวก 103
ประวัติผู้เขียน 135

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่

2.1 ปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ทดลอง เมื่อมวลรวมอยู่ในสภาพอิ่มน้ำ ผิวแห้ง 10

2.2 ปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ทดลอง จากการชั่ง ณ โรงผสมคอนกรีต 10

3.1 ผลการทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียด..... 17

3.2 ผลการทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมหยาบ 18

3.3 การคำนวณหาส่วนขนาดคละของมวลรวมผสมที่ใช้ในการทดลอง 19

3.4 แสดงส่วนขนาดคละของมวลรวมผสมที่ใช้ในการทดลอง เทียบกับขอบเขตส่วนขนาดคละของมวลรวมที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีต 19

3.5 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด 21

3.6 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ 22

3.7 ผลการทดสอบหาความชื้นผิวของมวลรวมละเอียด 23

3.8 กระบวนการเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม สำหรับส่วนผสมที่ 1 25

3.9 กระบวนการเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม สำหรับส่วนผสมที่ 2 26

3.10 ผลการทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม สำหรับส่วนผสมที่ 1 36

3.11 ผลการทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม สำหรับส่วนผสมที่ 1 37

ตารางที่ หน้า

3.12 ผลการทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม สำหรับส่วนผสมที่ 2 39
3.13 ผลการทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม สำหรับส่วนผสมที่ 2 40
3.14 กระบวนการเก็บตัวอย่างคอนกรีต เพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมซ้ำ สำหรับส่วนผสมที่ 1 43
3.15 กระบวนการเก็บตัวอย่างคอนกรีต เพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมซ้ำ สำหรับส่วนผสมที่ 2 44
3.16 ผลการทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมซ้ำ สำหรับส่วนผสมที่ 1 45
3.17 ผลการทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมซ้ำ สำหรับส่วนผสมที่ 1 46
3.18 ผลการทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมซ้ำ สำหรับส่วนผสมที่ 2 48
3.19 ผลการทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมซ้ำ สำหรับส่วนผสมที่ 2 49
5.1 สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการผันแปรในค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต 67
5.2 มาตรฐานของการควบคุมคุณภาพคอนกรีต 70
5.3 ตัวประกอบสำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ 72
5.4 ค่าของ"t" 74
5.5 ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 1 แยกตามงานก่อสร้างระหว่างปี พ.ศ. 2517 – 2519 78
5.6 ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 แยกตามงานก่อสร้างระหว่างปี พ.ศ. 2517 – 2519 79

ตารางที่ หน้า

5.7 ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพการทดสอบคอนกรีตส่วนผสมที่ 1 แยกตามงานก่อสร้างระหว่างปี พ.ศ. 2517 – 2519 87

5.8 ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพการทดสอบคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 แยกตามงานก่อสร้างระหว่างปี พ.ศ. 2517 – 2519 87

5.9 ผลการคำนวณหาค่ารับรองกำลังอัดของคอนกรีตส่วนผสมที่ 1 . 91

5.10 ผลการคำนวณหาค่ารับรองกำลังอัดของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 . 91

6.1 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตในช่วงที่ไม่มีอิทธิพลจากเวลาการผสมและการผสมซ้ำ กับ ค่าเกณฑ์กำลังอัดต่ำสุดของคอนกรีตทั้ง 2 ส่วนผสม 95

รายการรูปประกอบ

หน้า

รูปที่

1.1 แสดงลักษณะการจัดโรงผสมคอนกรีตโดยทั่วไปในประเทศไทย .. 2

2.1 การคลุมตัวอย่างคอนกรีตด้วยกระสอบชื้น หลังจากหล่อคอนกรีตลงแบบ 12

2.2 การบ่มตัวอย่างคอนกรีตในบ่อน้ำ 12

2.3 การหล่อฝาตัวอย่างคอนกรีตด้วยกำมะถัน 13

2.4 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยเครื่อง SOILTEST Hydraulic Testing Machine ซึ่งมีกำลังอัดสูงสุด 180ตัน 13

3.1 แสดงส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และมวลรวมผสมที่ใช้ในการทดลอง และขอบเขตส่วนขนาดคละของมวลรวมผสมที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีต 20

3.2 กราฟจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสม กับ ค่าการยุบของคอนกรีตจากส่วนผสมที่ 1 27

3.3 กราฟจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสม กับ ค่าการยุบของคอนกรีตจากส่วนผสมที่ 2 28

3.4 (ก) แสดงการยุบและสภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 1 หลังการผสมครั้งแรก จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม ... 29

3.4 (ข) แสดงการยุบและสภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 1 ที่เวลาการ-ผสม 100 นาที จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม 30

3.4 (ค) แสดงการยุบและสภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 1 ที่เวลาการ-ผสม 160 นาทีจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม 31

3.5 (ก) แสดงการยุบและสภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 หลังการผสมครั้งแรก จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม ... 32

รูปที่ หน้า

3.5 (ข) แสดงการยุบและสภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 ที่เวลาการ-ผสม 100 นาทีจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม 33
3.5 (ค) แสดงการยุบและสภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 ที่เวลาการ-ผสม 160 นาทีจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม 34
3.6 กราฟจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสม กับ กำลังอัดของคอนกรีตจากส่วนผสมที่ 1 ทั้งที่อายุ 7 วันและ 28 วัน 38
3.7 กราฟจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการผสม แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสม กับ กำลังอัดของคอนกรีตจากส่วนผสมที่ 2 ทั้งที่อายุ 7 วันและ 28 วัน 41
3.8 กราฟจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมซ้ำ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาการผสม กับ กำลังอัดของคอนกรีตจากส่วนผสมที่ 1 ทั้งที่อายุ 7 วันและ 28 วัน 47
3.9 กราฟจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมซ้ำ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสม กับ กำลังอัดของคอนกรีตจากส่วนผสมที่ 2 ทั้งที่อายุ 7 วันและ 28 วัน 50
3.10 (ก) แสดงการยุบและสภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 ที่เวลาการผสม 30 นาทีจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมซ้ำ 52
3.10 (ข) แสดงการยุบและสภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 ที่เวลาการผสม 90 นาทีจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมซ้ำ 53
3.10 (ค) แสดงการยุบและสภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 ที่เวลาการผสม 200 นาทีจากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมซ้ำ 54
4.1 แสดงกระบวนการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และการเกิดซีเมนต์เจล 56
5.1 แสดงตัวอย่างเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แตกต่างกัน 69

รูปที่ หน้า

5.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบฮิสโตแกรม ของข้อมูลการทดสอบ กับ เส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ จากฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับคอนกรีตส่วนผสม ที่ 1 82

5.2 (ต่อ) แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบ ฮิสโตแกรมของข้อมูลการทดสอบ กับ เส้นโค้งของการแจกแจง– ความถี่แบบปกติจากฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับ คอนกรีตส่วนผสมที่ 1 83

5.2 (ต่อ) แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบ ฮิสโตแกรมของข้อมูลการทดสอบ กับ เส้นโค้งของการแจกแจง– ความถี่แบบปกติจากฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับ คอนกรีตส่วนผสมที่ 1 84

5.3 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบฮิสโตแกรม ของข้อมูลการทดสอบ กับ เส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ จากฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับคอนกรีตส่วนผสม ที่ 2 84

5.3 (ต่อ) แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบ ฮิสโตแกรมของข้อมูลการทดสอบ กับ เส้นโค้งของการแจกแจง– ความถี่แบบปกติจากฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับ คอนกรีตส่วนผสมที่ 2 85

5.3 (ต่อ) แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบ ฮิสโตแกรมของข้อมูลการทดสอบ กับ เส้นโค้งของการแจกแจง– ความถี่แบบปกติจากฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับ คอนกรีตส่วนผสมที่ 2 86