คอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

REMIXED CONCRETE BY USING CEMENT PASTE

โดย

นายวีระชัย วิศิษฏ์วโรดม

นางสาวลิริเลขา ผู้เสื่องสือ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033281

REMIXED CONCRETE BY USING CEMENT PASTE

Mr.WEERACHAI WISITWARODOM

MISS.SIRILEKHA PHULUANGLUE

A SPECIAL PROJECT SUMITTED IN FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEER

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1993

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ คอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

REMIXED-CONCRETE BY USING CEMENT PASTE

นักศึกษา นายวีระชัย วิศิษฎ์วโรดม รหัสประจำตัว 33100363

นางสาวสิริเลขา ผู้เลื่องลือ รหัสประจำตัว 33100420

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศิริวัฒน์ ไชยชนะ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
อาจารย์ศิริวัฒน์	ไชยชนะ	.....
อาจารย์อำนวย	พานิชกุลพงศ์	.....
อาจารย์สกุล	ห่อวโนทยาน	.....

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....

(นายสุรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 24 เดือน เมษายน พ.ศ. 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

Remixed Concrete by using Cement-paste

โดย นายวีระชัย วิศิษฏ์วโรดม

นางสาวสิริเลขา ผู้เลื่องลือ

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศิริวัฒน์ ไชยชนะ

บทคัดย่อ

ในโครงงานวิจัยนี้ แบ่งการศึกษาเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกศึกษาเวลาการผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต และช่วงที่สอง ศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ คุณสมบัติของคอนกรีตที่ทำการศึกษาคือ ค่ากำลังอัดประลัยและความสามารถเทได้ของคอนกรีต โดยวัตถุประสงค์หลักของโครงงานวิจัยนี้ จะศึกษาถึงผลกระทบของปริมาณและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเพิ่มต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำ เนื่องจากซีเมนต์เพสต์เป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก และมีผลทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำดีขึ้น ดังนั้นผลการศึกษาในโครงงานวิจัยนี้สามารถนำมาพิจารณาประกอบการตัดสินใจเลือกใช้คอนกรีตผสมซ้ำ เพื่อใช้แก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ในสภาพงานจริง

ABSTRACT

This special project is saparated into 2 parts. First part is about the studying of the ultimate strength and workability of concret due to the different mixing time, and in the second part is the studying about the effect of quantities and water cement ratio of cement-paste to the remixed concrete. Because of the cement-paste is cheap, avialable material and usable to make the better properties of concrete. Then, the conclusion of this special project can be used to make the decision of solving problems in concrete-work.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวความคิดต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ และสถานที่จาก คุณมานพ เวศนุวัฒน์ และบริษัท กาญจนาคอนกรีต จำกัด นอกจากนี้ยังมี คุณบุญเลิศ สมบัติวงศ์ และเพื่อนที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งแรงกายแรงใจจนงานวิจัยนี้สำเร็จลงได้อย่างสมบูรณ์ ผู้เขียนจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นายวีระชัย วิศิษฏ์วโรดม

น.ส.สิริเลขา ผู้เลื่องลือ

ผู้จัดทำโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

รายงานการศึกษาโครงงานพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในรายวิชา SPECIAL PROJECT ตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ปีการศึกษา 2536 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่างๆของซีเมนต์เพสท์ที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำ ทั้งนี้อาศัยการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆที่ได้จากผลการทดสอบและจากบทความทางวิชาการ

ผู้จัดทำหวังว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์และสามารถใช้ประกอบการพิจารณาเลือกใช้คอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์แก่ผู้ที่สนใจได้บ้าง

ผู้จัดทำ

นายวีระชัย วิศิษฏ์วโรดม

นางสาวสิริเลขา ผู้เลื่องลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย	I
บทคัดย่ออังกฤษ	I
กิตติกรรมประกาศ	II
คำนำ	III
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	XI
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความนำ	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา	3
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย	4
1.5 ขอบเขตการศึกษา	4
1.6 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2. ทฤษฎี	
2.1 พฤติกรรมของคอนกรีต	6
2.2 คุณสมบัติของคอนกรีตสด	12
2.3 คุณสมบัติของวัสดุผสมในคอนกรีต	17
2.4 คุณสมบัติของน้ำยาผสมคอนกรีต	21
2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.การทดสอบคุณสมบัติวัสดุผสม

3.1 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม 30

3.2 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสด 31

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว 32

3.4 การประเมินผลการทดสอบกำลังต้านทานของคอนกรีต 33

4.วิธีทดสอบโครงการวิจัย

4.1 ศึกษาเวลาการผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต 35

4.2 ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ 36

5.ผลการทดสอบ

5.1 การศึกษาเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต 40

5.1.1 ผลการทดสอบผลกระทบของเวลาผสมที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดธรรมดา 40

5.1.2 การทดสอบผลกระทบของเวลาผสมที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง 40

5.2 ผลการทดสอบเวลาการก่อตัวของคอนกรีต 40

5.3 การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ 47

5.3.1 ผลการทดสอบผลกระทบของปริมาณซีเมนต์เพสท์ผสมเพิ่มต่อค่ายุบตัวของคอนกรีตก่อนการผสมซ้ำ 47

5.3.2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) 47

5.3.3 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) 47

5.3.4 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

5.3.5 ผลการทดสอบเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมซ้ำด้วย
ซีเมนต์เพสต์ 61

6.การวิเคราะห์และประเมินผลการทดสอบ

6.1 การศึกษาเวลาการผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต 63

6.2 การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ 63

6.3 ประเมินผลการทดสอบ 67

7.สรุปผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ 69

เอกสารอ้างอิง 74

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.ผลการทดสอบเวลาที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต 76

ภาคผนวก ข.ผลการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ 89

ภาคผนวก ค.รายละเอียดคุณสมบัติของสารหน่วงการก่อตัวที่ใช้ในโครงงานพิเศษ 117

ภาคผนวก ง.รูปประกอบโครงงานวิจัย 128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงร้อยละสะสมที่ผ่านตะแกรงของมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM C33 19

ตารางที่ 2.2 แสดงมาตรฐานการทดสอบมวลรวม 20

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุผสมในโครงงานวิจัย 31

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานการควบคุมคุณภาพคอนกรีต 34

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบของเวลาที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดธรรมดา 41

ตารางที่ 5.2 ผลกระทบของเวลาที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดผสมสารหน่วง 42

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต 40

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตซ้ำ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) ที่อายุ 7 วัน 49

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตซ้ำ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) ที่อายุ 14 วัน 50

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตซ้ำ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) ที่อายุ 28 วัน 51

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตซ้ำ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) ที่อายุ 7 วัน 52

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตซ้ำ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) ที่อายุ 14 วัน 53

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตซ้ำ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) ที่อายุ 28 วัน 54

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตซ้ำ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) ที่อายุ 7 วัน 55

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตซ้ำ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) ที่อายุ 14 วัน 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตซ้ำ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) ที่อายุ 28 วัน 57

ตารางที่ 7.1 แสดงขอบเขตค่าความยุบตัวและปริมาณของซีเมนต์เพสต์ของคอนกรีตผสมซ้ำ 71

ตารางที่ 7.2 แสดงราคาคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์ 72

ตารางที่ ก-1 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดธรรมดา ที่อายุ 7 วัน 77

ตารางที่ ก-2 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดธรรมดา ที่อายุ 7 วัน (ต่อ) 78

ตารางที่ ก-3 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดธรรมดา ที่อายุ 14 วัน 79

ตารางที่ ก-4 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดธรรมดา ที่อายุ 14 วัน (ต่อ) 80

ตารางที่ ก-5 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดธรรมดา ที่อายุ 28 วัน 81

ตารางที่ ก-6 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดธรรมดา ที่อายุ 28 วัน (ต่อ) 82

ตารางที่ ก-7 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง ที่อายุ 7 วัน 83

ตารางที่ ก-8 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง ที่อายุ 7 วัน (ต่อ) 84

ตารางที่ ก-9 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง ที่อายุ 14 วัน 85

ตารางที่ ก-10 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง ที่อายุ 14 วัน (ต่อ) 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ ก-11 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง ที่อายุ 28 วัน 87

ตารางที่ ก-12 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง ที่อายุ 28 วัน (ต่อ) 88

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) อายุ 7 วัน 90

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) อายุ 7 วัน (ต่อ) 91

ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) อายุ 7 วัน (ต่อ) 92

ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) อายุ 14 วัน 93

ตารางที่ ข-5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) อายุ 14 วัน (ต่อ) 94

ตารางที่ ข-6 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) อายุ 14 วัน (ต่อ) 95

ตารางที่ ข-7 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) อายุ 28 วัน 96

ตารางที่ ข-8 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) อายุ 28 วัน (ต่อ) 97

ตารางที่ ข-9 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) อายุ 28 วัน (ต่อ) 98

ตารางที่ ข-10 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) อายุ 7 วัน 99

ตารางที่ ข-11 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) อายุ 7 วัน (ต่อ) 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ ข-12 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) อายุ 7 วัน (ต่อ) 101

ตารางที่ ข-13 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) อายุ 14 วัน 102

ตารางที่ ข-14 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) อายุ 14 วัน (ต่อ) 103

ตารางที่ ข-15 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) อายุ 14 วัน (ต่อ) 104

ตารางที่ ข-16 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) อายุ 28 วัน 105

ตารางที่ ข-17 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) อายุ 28 วัน (ต่อ) 106

ตารางที่ ข-18 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) อายุ 28 วัน (ต่อ) 107

ตารางที่ ข-19 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) อายุ 7 วัน 108

ตารางที่ ข-20 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) อายุ 7 วัน (ต่อ) 109

ตารางที่ ข-21 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) อายุ 7 วัน (ต่อ) 110

ตารางที่ ข-22 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) อายุ 14 วัน 111

ตารางที่ ข-23 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) อายุ 14 วัน (ต่อ) 112

ตารางที่ ข-24 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) อายุ 14 วัน (ต่อ) 113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ ข-25 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) อายุ 28 วัน 114

ตารางที่ ข-26 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) อายุ 28 วัน (ต่อ) 115

ตารางที่ ข-27 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) อายุ 28 วัน (ต่อ) 116

ตารางที่ ค-1 ผลการใช้ดาราทาร์ด 17 ต่อเวลาเซ็ทตัวของคอนกรีต 121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 รูปจำลองลำดับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์กับน้ำโดยสังเขป 7

รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตกับอัตราส่วนเจ็ล ต่อช่องว่าง 11

รูปที่ 2.3 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการระเหยของน้ำในส่วนผสม 14

รูปที่ 2.4 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่อเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของคอนกรีต 15

รูปที่ 2.5 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่อเวลาการก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีต 16

รูปที่ 2.6 แสดงน้ำส่วนเกินในคอนกรีต 23

รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของน้ำยาพิเศษ 24

รูปที่ 4.1 แสดงวิธีดำเนินการทดลอง 4.1 38

รูปที่ 4.2 แสดงวิธีดำเนินการทดลอง 4.2 39

รูปที่ 5.1 แสดงผลกระทบของเวลาการผสมที่มีต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตชนิดธรรมดา 43

รูปที่ 5.2 แสดงผลกระทบของเวลาการผสมที่มีต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมสานหน่วง 44

รูปที่ 5.3 แสดงผลกระทบของเวลาการผสมที่มีต่อค่ายุบตัวของคอนกรีต 45

รูปที่ 5.4 เวลาการก่อตัวของคอนกรีต 46

รูปที่ 5.5 แสดงผลกระทบของปริมาณซีเมนต์เพสท์ผสมเพิ่มต่อค่ายุบตัวของคอนกรีตก่อนผสมซ้ำ 48

รูปที่ 5.6 แสดงผลกระทบของปริมาณซีเมนต์เพสท์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) ต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำ 58

รูปที่ 5.7 แสดงผลกระทบของปริมาณซีเมนต์เพสท์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) ต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำ 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 5.8 แสดงผลกระทบของปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) ต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำ 60

รูปที่ 5.9 แสดงการก่อตัวของคอนกรีตผสมซ้ำ 62

รูปที่ ง-1 สถานที่ทำการทดสอบโครงการวิจัย โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ บริษัท กาญจนาคอนกรีต จำกัด 129

รูปที่ ง-2 ไม้แบบที่ใช้ในโครงงานวิจัย 129

รูปที่ ง-3 สารหน่วงการก่อตัว ดาราทาร์ด 17 130

รูปที่ ง-4 การทดสอบหาเวลาการก่อตัวของคอนกรีตสด 131

รูปที่ ง-5 การทดสอบหาเวลาค่าความยุบตัวของคอนกรีตสด 131

รูปที่ ง-6 ตัวอย่างทดสอบแบบลูกบาศก์ขนาด 15*15*15 ซม. 132

รูปที่ ง-7 การบ่มตัวอย่างทดสอบ 133

รูปที่ ง-8 การทดสอบหากำลังอัดประลัยของคอนกรีต 134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความนำ

คอนกรีต (concrete) เป็นสารผสมของวัสดุเฉื่อยที่มีขนาดต่างๆ ซึ่งประสานกันด้วยซีเมนต์กับวัสดุมวลละเอียด (fine aggregate) วัสดุมวลหยาบ (coarse aggregate) และน้ำซึ่งทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ทำให้ซีเมนต์มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานแทรกตามวัสดุผสม รวมตัวเป็นก้อนคอนกรีต โดยมวลทั้งหมดจะนำไปเทในขณะที่ยังอยู่ในภาวะไม่คืนตัว (plastic) และจะแข็งตัวเมื่ออายุประมาณ 24 ชั่วโมง ภายใต้ภาวะการบ่ม (curing) ที่ถูกต้อง คอนกรีตจะสามารถทนแรงอัดได้ดีขึ้นเรื่อยๆตามอายุ

ในบางกรณีคอนกรีตจะใส่สารผสมเพิ่มร่วมด้วย เพื่อประโยชน์โดยเฉพาะบางประการ เช่น สารหน่วงการก่อตัว เป็นต้น โดยสารเคมีที่ใช้จะให้ผลแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ ขนาดรูปร่างและส่วนขนาดคละของวัสดุผสม สัดส่วนการผสม ระยะเวลาการผสม และอุณหภูมิ ดังนั้นในการเลือกใช้ จึงต้องศึกษาถึงส่วนผสมและข้อแนะนำของผู้ผลิตโดยละเอียด

สัดส่วนการผสมของคอนกรีต จะช่วยให้ได้คอนกรีตที่มีความข้นเหลวง่ายในการทำงาน ทำให้คอนกรีตที่แข็งตัวมีกำลังและความคงทนตามที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้สัดส่วนการผสมให้ดีเพียงใด ถ้าการผสมการลำเลียง การเท การทำให้แน่น ตลอดจนการบ่มคอนกรีตทำได้ไม่ดีพอแล้วก็จะไม่ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพตามต้องการ

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานก่อสร้างอาคารในปัจจุบันนิยมใช้คอนกรีตผสมเสร็จกันเป็นอย่างมาก เนื่องจากผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จจะเป็นผู้รับผิดชอบคุณภาพของคอนกรีต โดยผู้ซื้อเพียงแต่ระบุความต้องการเกี่ยวกับค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต ค่าความยุบตัว หรือ คุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิเศษอื่นๆ ที่ผู้ซื้อต้องการ สารหน่วงการก่อตัวจัดเป็นสารผสมเพิ่มอย่างหนึ่งที่จำเป็นสำหรับงานคอนกรีต เนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยให้คอนกรีตก่อตัวช้ากว่าธรรมดา (เกินกว่า 1.5 ชั่วโมง) ทั้งนี้เพื่อประโยชน์บางประการ เช่น กรณีที่ต้องส่งคอนกรีตผสมเสร็จไปยังงานก่อสร้างที่อยู่ในระยะทางไกลๆ การขนคอนกรีตผสมเสร็จอาจติดการจราจรอยู่บนถนนนานๆ หรือกรณีเทคอนกรีตจำนวนมากๆซึ่งต้องการให้ต่อเนื่องเพื่อลดปริมาณรอยต่อในการเท เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว เมื่อผสมสารชนิดนี้จะทำให้กำลังของคอนกรีตในระยะ 3 วันแรกต่ำลงไป แต่ทว่าสารชนิดนี้มีคุณสมบัติช่วยลดปริมาณน้ำด้วย (ประมาณ 5 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นผลให้คอนกรีตมีกำลังสูงในระยะหลัง และมีกำลังเท่ากับ หรือสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาเมื่ออายุ 28 วัน

เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพอากาศในเขตร้อน อุณหภูมิอากาศอาจสูงถึง 33-39 องศาเซลเซียส ประกอบกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในหน้างาน ทำให้เกิดความล่าช้าในการเทคอนกรีต น้ำในคอนกรีตสดจึงระเหยออกมามากเกินไป เกิดการสูญเสียค่ายุบตัวของคอนกรีตอย่างรวดเร็ว ทำให้เทและทำงานยาก ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM : C94 ได้กำหนดค่ายุบตัวที่สูญเสียต้องไม่เกิน 2.5 ซม. สำหรับคอนกรีตผสมเสร็จที่มีค่ายุบตัวเริ่มต้นไม่เกิน 7.5 ซม. และค่ายุบตัวที่สูญเสียไม่เกิน 5 ซม. สำหรับคอนกรีตผสมเสร็จที่มีค่ายุบตัวเกิน 7.5 ซม. และตามส่วนมาตรฐาน ASTM:C 94 ไม่ยอมรับวิธีเพิ่มค่ายุบตัวด้วยการเติมน้ำเพิ่ม ทั้งนี้เพราะการระเหยของน้ำในคอนกรีตสดไม่น่าเป็นสาเหตุเดียวที่ทำให้เกิดการสูญเสียค่าการยุบตัว ดังนั้นในการควบคุมการก่อสร้างมักห้ามนำคอนกรีตสดที่ถูกผสมทิ้งและเริ่มก่อตัวแล้วนำไปใช้อีก เพราะเกรงว่าจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพด้อยทั้งความสามารถเทได้และกำลังรับแรงอัด คอนกรีตเหล่านี้จึงต้องนำไปเททิ้งโดยเปล่าประโยชน์ ทำให้สิ้นเปลืองวัสดุโดยไม่จำเป็น

จากเหตุผลที่กล่าวมานี้ การผสมซ้ำคอนกรีตผสมสารหน่วงจึงควรได้รับการศึกษาเพื่อเพิ่มความสามารถเทได้ของคอนกรีตโดยไม่ทำให้กำลังรับแรงของคอนกรีตลดลง โดยโครงงานวิจัยนี้ศึกษาการผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์ ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายเหมาะแก่การแก้ปัญหาหน้างานที่อาจเกิดขึ้นได้ เพื่อให้ใช้คอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

คอนกรีตหลังจากการผสมเสร็จแล้ว จะมีความสามารถเทได้ลดลงเนื่องจากผลของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่ทำให้คอนกรีตสดเกิดการกระด้าง เกิดการก่อตัวและแข็งตัว คอนกรีตสดที่มีค่าความยุบตัวมากจะเทลงแบบได้ง่ายแต่ไม่สามารถทำให้แน่นได้ดีเท่าที่ควร แต่คอนกรีตสดที่มีค่าความยุบตัวต่ำจะเทลงแบบและทำให้แน่นได้ยากเช่นเดียวกัน จากการศึกษา (1) พบว่าคอนกรีตสดเมื่อถูกผสมไว้ค่าความยุบตัวจะลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งอุณหภูมิทำงานขณะนั้นประมาณ 30 องศาเซลเซียส ค่ายุบตัวของคอนกรีตผสมเสร็จที่ลำเลียงโดยรถขนคอนกรีตมีค่าลดลงโดยไม่เป็นที่สังเกตมากนักในช่วง 100 นาทีแรก แต่หลังจากนั้นค่ายุบตัวจะลดลงอย่างรวดเร็วมากจนถึงเวลา 160 นาที ค่ายุบตัวมีค่าน้อยมากจนทำให้เทลงแบบและทำให้แน่นได้ยาก (1, 2) การผสมซ้ำคอนกรีตถ้าไม่มีการเติมน้ำเพิ่มจะทำให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ถ้ายืดเวลาก่อนการผสมซ้ำให้ยาวขึ้นพบว่าที่เวลาก่อนการผสมซ้ำประมาณ 60 - 120 นาที จะทำให้ความสามารถเทได้ของคอนกรีตผสมซ้ำมีค่าต่ำเกินไปหรือไม่สามารถทำงานได้

วิธีเพิ่มความสามารถเทได้ของคอนกรีตผสมซ้ำ (2) โดยเติมน้ำเพิ่มในการผสมซ้ำ ซึ่งใช้คอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภท 1 250 kg/m^3 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.64 ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 21-27 องศาเซลเซียส เติมน้ำเพิ่มให้มีค่ายุบตัวใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ คือมีค่ายุบตัวประมาณ 8 - 10 ซม. ซึ่งจะต้องเติมเพิ่มน้ำในการผสมซ้ำ 9.4, 18.8 และ 40.6 % ที่เวลาผสมซ้ำ 1, 2 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับ มีผลให้กำลังอัดประลัยลดลง 17, 21 และ 40 % ตามลำดับ จากการศึกษา (3) การเพิ่มความสามารถเทได้โดยการนำคอนกรีตเก่าที่ผสมทิ้งไว้มาผสมกับคอนกรีตใหม่ที่มีส่วนผสมเหมือนคอนกรีตเก่า อัตราส่วนคอนกรีตเก่าต่อคอนกรีตใหม่ 3 : 1, 1 : 1 และ 1 : 3 จะทำให้ยืดเวลาการผสมซ้ำได้เป็น 90, 120 และ 150 นาทีตามลำดับ โดยยังมีความสามารถเทได้ดีอยู่ และกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำที่อัตราส่วนและเวลาดังกล่าวจะเพิ่มขึ้น 25.3, 5.2 และ 2.9 % ตามลำดับ

นอกจากนี้ การเพิ่มความสามารถเทได้อีกวิธีหนึ่ง(4) คือ การใช้สารลดน้ำพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้สารลดน้ำพิเศษตามมาตรฐาน ASTM:C 494 ชนิด F เติมในส่วนผสมคอนกรีตก่อนการผสมซ้ำในอัตราระหว่าง 0 - 6 % ของ นน.ซีเมนต์ในส่วนผสม ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารลดน้ำพิเศษที่เหมาะสมสำหรับช่วงเวลาก่อนการผสมซ้ำ 1, 2 และ 3 ชม. พบว่าควรจะเป็น 0.2, 2 และ 4 % ของน้ำหนักซีเมนต์ตามลำดับ

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย

1.ศึกษาเวลาการผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตผสมสารหน่วง

2.ศึกษาผลกระทบของซีเมนต์เพสท์ที่มีต่อค่าความยุบตัวของคอนกรีตผสมสารหน่วง

3.ศึกษาผลกระทบของซีเมนต์เพสท์ ที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมสารหน่วง

4.สามารถนำผลการศึกษาของโครงงานวิจัย เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้คอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์ได้อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

1.5 ขอบเขตการศึกษา

ตอนที่ 1 ศึกษาเวลาการผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

1.ในโครงงานวิจัยนี้ใช้คอนกรีตผสมเสร็จชนิดธรรมดา และคอนกรีตผสมสารหน่วง กำหนดให้ค่าความยุบตัว 10 $\pm$ 2.5 ซม. ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตแบบลูกบาศก์ 15*15*15 ซม.เท่ากับ 240 กก./ตร.ซม.

2.เวลาการผสมที่ศึกษาคือที่ 0, 30, 60, 120, 150 ,180 นาทีสำหรับคอนกรีตชนิดธรรมดา และที่เวลา 0, 60, 120, 150, 180, 210 นาที สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตผสมสารหน่วง

3.คุณสมบัติของคอนกรีตที่พิจารณาคือ ค่าความยุบตัวและค่ากำลังอัดประลัยที่คอนกรีตอายุ 7, 14 และ 28 วัน

ตอนที่ 2 ศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

1.ในโครงงานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และสารหน่วงการก่อตัวกลุ่ม D ตามมาตรฐาน ASTM : C 494

2.ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ในการออกแบบ 240 กก./ตร.ซม. โดยทดสอบกำลังอัดประลัยที่คอนกรีตอายุ 7, 14, 28 วัน

3.ตัวแปรในการทดสอบและช่วงของตัวแปร มีดังนี้

ช่วงเวลาก่อนการผสมซ้ำนับจากเวลาผสมเริ่มต้น	ระหว่าง	150 - 210	นาที
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของซีเมนต์เพสท์	ระหว่าง	0.56 - 0.76	
ค่าความยุบตัวที่ใช้	ระหว่าง	7.5 - 12.5	ซม.
ปริมาณของซีเมนต์ผสมเพิ่มต่อคอนกรีตผสมซ้ำ 1 ลบ.ม.	ระหว่าง	30 - 250	กก.

1.6 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ทราบผลกระทบของเวลาผสมที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดธรรมดา และคอนกรีตผสมสารหน่วง

2.ทราบผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของซีเมนต์เพสท์ ที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง

3.สามารถนำผลการศึกษาเป็นแนวทางในการพิจารณาตัดสินใจใช้คอนกรีตผสมซ้ำให้ประหยัดและเกิดประโยชน์ได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 พฤติกรรมของคอนกรีต

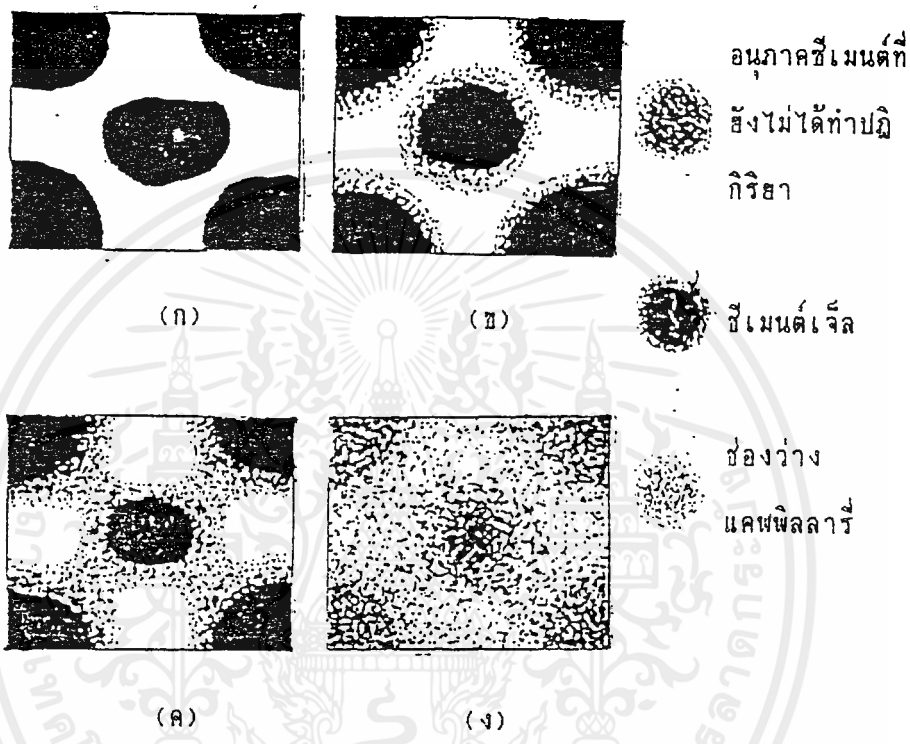
โครงสร้างรวมของคอนกรีต เมื่อจะพิจารณาถึงธรรมชาติของคอนกรีต จะต้องนึกถึงคอนกรีตในสภาพที่โครงสร้างเกิดจากองค์ประกอบ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ มวลรวม กับซีเมนต์เพสท์ และโดยที่ปริมาตรของคอนกรีตสดที่กระทุ้งจนแน่นมีค่าสูงกว่าปริมาตรที่กระทุ้งจนแน่นของมวลรวมที่ประกอบกันเป็นคอนกรีตนั้นอยู่มาก จึงแสดงว่า อนุภาคแต่ละชิ้นของมวลรวมจะฝังตัวและถูกหุ้มแยกจากกันด้วยซีเมนต์เพสท์ (และโพรงอากาศ) ซึ่งยืนยันได้จากการที่คอนกรีตสดมีสภาพพลาสติก นอกจากนั้นเมื่อสังเกตดูหน้าตัดส่วนที่แตกออกจากกันของคอนกรีตที่แข็งตัว จะพบว่าอนุภาคแต่ละชิ้นของมวลรวมไม่เพียงแต่จะถูกแยกออกจากกันในสภาพที่เป็นคอนกรีตสดเท่านั้น แต่ยังถูกแยกออกจากกันแม้ในสภาพที่แข็งตัวแล้วด้วย จากโครงสร้างคอนกรีตดังกล่าว จึงสรุปได้ว่า ความแข็งแรงของคอนกรีตนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกลุ่มมวลรวมที่จัดตัวแน่น แต่จะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของซีเมนต์เพสท์ และความแข็งแรงของอนุภาครวมแต่ละชิ้น และสำหรับคอนกรีตโดยทั่วไปแล้ว ซีเมนต์เพสท์จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าอนุภาคมวลรวมแต่ละชิ้น ดังนั้น โครงสร้างและความแข็งแรงของซีเมนต์เพสท์ จึงเป็นตัวแปรสำคัญในการพิจารณาถึงความแข็งแรงของคอนกรีต

โครงสร้างของซีเมนต์เพสท์ ซีเมนต์เพสท์สดก็คือ การกระจายของอนุภาคซีเมนต์ในน้ำ ซึ่งจะมีการจัดตัวเป็นโครงสร้าง เนื่องมาจากอิทธิพลของแรงดึงและแรงผลักระหว่างอนุภาคซีเมนต์ด้วยกัน การจัดตัวดังกล่าวเกิดมาจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างองค์ประกอบต่างๆของซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งผลจากปฏิกิริยาทางเคมีดังกล่าวเรียกว่า "ไฮเดรทซีเมนต์" และปฏิกิริยาทางเคมีนั้นเรียกกันว่า "ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น" ถึงแม้ไฮเดรทซีเมนต์จะเป็นผลอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี แต่สมบัติในการรับแรงของซีเมนต์เพสท์ หรือคอนกรีตที่แข็งตัว กลับไม่ค่อยมีผลเนื่องมาจากส่วนประกอบทางเคมีของไฮเดรทซีเมนต์นัก อิทธิพลส่วนใหญ่มักจะมาจากโครงสร้างทางฟิสิกส์และไฮเดรทซีเมนต์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังจะกล่าวตามลำดับดังนี้

รูปที่ 2.1 รูปจำลองลำดับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์กับน้ำโดยสังเขป



รูปที่ 2.1 (ก) ถึง (ง) เป็นรูปแบบจำลองลำดับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์กับน้ำโดยสังเขป เมื่อผสมซีเมนต์กับน้ำเข้าด้วยกัน จะเกิดซีเมนต์เพสท์ที่มีลักษณะพลาสติกขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะอนุภาคของซีเมนต์ (และฟองอากาศ) จะกระจายแผ่ไปทั่วในน้ำ แต่เหตุผลสำคัญกว่านี้ก็คือเกิดแรงระหว่างอนุภาคที่พยายามดึงให้อนุภาคมารวมกัน และในขณะเดียวกันก็ป้องกันไม่ให้อนุภาคถึงกับเข้ามาแตะกัน สภาพดังกล่าวเกิดจากแรงดึงดูด และแรงผลักระหว่างอนุภาคของซีเมนต์ที่เกิดขึ้นพร้อมกัน แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคซีเมนต์ในที่นี้คือ van der Waals force ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคซีเมนต์นั้นเกิดจาก electrostatic repulsion และ disjoining pressure ดังนั้นอนุภาคซีเมนต์ที่แขวนลอยในน้ำจะจัดระยะห่างจากกัน โดยมีพลังงานศักย์ที่เกิดจากแรงระหว่างอนุภาคทั้งสองมีค่าน้อยที่สุด (6) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ก)

เอกสารนี้ก็เช่นกันที่ใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อซีเมนต์สัมผัสน้ำก็จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นขึ้นทันที โดยเกิดที่บริเวณผิวของเม็ดซีเมนต์ก่อน ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างองค์ประกอบของซีเมนต์กับน้ำนี้จะทำให้เกิดของแข็งในสภาพใหม่ขึ้น อันประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ "อนุภาคเจ็ล" ซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วงคอลลอยด์ (นักเคมีเรียกอนุภาคในสารละลายที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 mμ แต่เล็กกว่า 200 mμ ว่า "คอลลอยด์") มีลักษณะคล้ายวุ้นที่เกือบจะเป็นผลึกและอีกส่วนก็คือ ผลึกของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งไม่ค่อยมีบทบาทสำคัญในการพิจารณาโครงสร้างทางฟิสิกส์ของไฮเดรทซีเมนต์นัก ของแข็งในสภาพใหม่นี้รวมเรียกว่า "ซีเมนต์เจ็ล" ซึ่งจะจัดตัวเป็นโครงสร้างต่อเนื่องกันไปในไฮเดรทซีเมนต์ต่อไป และจากการที่ได้พบว่า พื้นที่ผิวจำเพาะของซีเมนต์เจ็ล และความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่อหน่วยของปริมาณน้ำที่ใช้ผสม มีค่าค่อนข้างคงที่แทบทุกขณะของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จึงพอสรุปได้ว่า สำหรับซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบหนึ่งๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ จะก่อให้เกิดซีเมนต์เจ็ลชนิด และรูปร่างเดียวกันตลอดเวลา

ซีเมนต์เจ็ลดังกล่าวนี้ มีลักษณะทั่วไปเป็นเส้นใยที่ขัดกันเป็นตาข่ายแผ่ขยายออก แต่ยังมีส่วนที่ติดยึดอยู่กับเม็ดซีเมนต์ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา และเนื่องจากผลผลิตส่วนใหญ่ คืออนุภาคเจ็ลมีขนาดอยู่ในช่วงคอลลอยด์ ซีเมนต์เจ็ลจึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 650 ตร.ม./ลบ.ซ.ม. หรือ 250 ตร.ม./กรัม และสามารถดูดน้ำเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นหรือโพรงของโครงสร้างซีเมนต์เจ็ลได้เป็นจำนวนมาก ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ (6) ซีเมนต์เจ็ลนี้มีความพรุนสูงถึงร้อยละ 40 ถึง 55 ของปริมาตรทั้งหมด แม้แต่ซีเมนต์เจ็ลที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด ก็ยังมีความพรุนถึงร้อยละ 28 รูพรุนเหล่านี้มีขนาดเล็กมาก คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 5 ถึง 20 A กระจายไปทั่วซีเมนต์เจ็ล เรียกรูพรุนเหล่านี้ว่า "รูพรุนของเจ็ล"

ซีเมนต์เจ็ลซึ่งมีสภาพเป็นของแข็งนี้จะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นจากปริมาตรของของแข็งเดิม คือ ซีเมนต์ที่เข้าทำปฏิกิริยาโดยไม่ทำให้ปริมาตรซีเมนต์เพสท์ทั้งหมดคือซีเมนต์กับน้ำเพิ่มขึ้น กล่าวคือ [8] ซีเมนต์ที่มีปริมาตร 1 ลบ.ซม. เมื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะทำให้เกิดซีเมนต์เจ็ลเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็งขึ้นมีปริมาตร 1.6 ลบ.ซม. นั่นก็คือ ต้องมีที่ว่าง 0.6 ลบ.ซม. สำหรับการเพิ่มปริมาตรของซีเมนต์เจ็ล หรือเท่ากับ ต้องมีที่ว่าง 0.19 ลบ.ซม. ต่อน้ำหนักซีเมนต์ที่เข้าทำปฏิกิริยา 1 กรัม แต่ดังได้กล่าวแล้วว่า ซีเมนต์เจ็ลมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความพรุนสูง นอกจากปริมาณน้ำที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยาเกิดซีเมนต์เจ็ลส่วนที่เป็นของแข็งแล้ว ยังต้องการปริมาณน้ำที่จะเข้าไปเติมในรูพรุนของเจ็ลอีก ดังนั้นปริมาตรของซีเมนต์เพสท์ แทนที่จะเป็น 1.6 ลบ.ซม./ลบ.ซม.ของซีเมนต์ จะต้องเพิ่มขึ้นเป็น 1.6 /0.72 = 2.2 ลบ.ซม.ของซีเมนต์

เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจนซีเมนต์เจ็ลหุ้มเม็ดซีเมนต์หมดดังรูปที่ 2.1(ข) ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะหยุดไปชณะหนึ่ง เมื่อพ้นระยะนี้ไป ซีเมนต์เจ็ลบางส่วนจะแตกตัวออก ทำให้น้ำเข้าไปสัมผัสกับผิวซีเมนต์ เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้อีก นั่นคือ ซีเมนต์เจ็ลจะ "ตกตะกอน" ลงในช่องว่างซึ่งมีน้ำเต็มที่เรียกว่า "ช่องว่างแคพพิลลารี่" และเนื่องจากซีเมนต์ 1 ลบ.ซม. ทำให้เกิดซีเมนต์เจ็ลปริมาตร 2.2 ลบ.ซม. ดังนั้น ซีเมนต์เจ็ลที่เกิดขึ้นใหม่นี้ ครึ่งหนึ่งจะเกิดขึ้นในบริเวณที่แต่เดิมเป็นซีเมนต์ และอีกครึ่งหนึ่งจะตกตะกอนลงในช่องว่างแคพพิลลารี่ จนในที่สุดก็จะมีการเชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาคของซีเมนต์ ด้วยซีเมนต์เจ็ลที่เกิดขึ้นใหม่นี้ ทำให้ซีเมนต์เพสท์เหนียวขึ้น เกิดเป็นโครงสร้าง ดังแสดงในรูป 2.1 (ค)

สำหรับคอนกรีต หรือซีเมนต์เพสท์ที่เกิดขึ้นในสภาพการใช้งานจริงๆ จะไม่มีการบ่มจนปฏิกิริยาไฮเดรชั่นดำเนินไปถึงที่สุด เมื่อน้ำในช่องว่างแคพพิลลารี่ไม่อิ่มตัว ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นก็จะช้าลง หรือหยุดลง เพราะน้ำที่จะถูกดูดเข้าไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์จะต้องได้มาจากช่องว่างแคพพิลลารี่นี้ ดังนั้นโดยทั่วไปปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะดำเนินต่อไปจากรูป 2.1 (ค) โดยมีกระบวนการแผ่กระจายออกของซีเมนต์เจ็ลในรูปแบบที่ยุ่งยากขึ้น และตกตะกอนลงในโครงสร้างที่ก่อตัวขึ้นในรูป 2.1 (ค) จนในที่สุดซีเมนต์เจ็ลจากอนุภาคซีเมนต์ทั้งหมดก็จะมาจัดตัวเชื่อมกันเป็นตาข่าย ทำให้ช่องว่างแคพพิลลารี่ถูกปิดกั้นจนไม่ต่อเนื่องกันในซีเมนต์เพสท์ได้ และซีเมนต์เพสท์ที่แข็งตัวจะประกอบด้วย ซีเมนต์เจ็ล (ซึ่งรวมอนุภาคเจ็ลกับผลึกแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าด้วยกัน) รูพรุนของเจ็ลช่องว่างแคพพิลลารี่ และซีเมนต์ส่วนที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาพร้อมกันดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ง)

กำลังของซีเมนต์เพสท์ (9) ถึงแม้จะยังไม่มีทฤษฎีใดที่จะอธิบายถึงกำลังของซีเมนต์เจ็ลได้อย่างชัดเจนนัก แต่สำหรับกำลังของโครงสร้างซีเมนต์เพสท์ที่สร้างขึ้นจากซีเมนต์เจ็ลพบว่าขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนโดยปริมาตรของไฮเดรทซีเมนต์กับ ผลรวมของปริมาตรไฮ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
033281

เดรทซีเมนต์กับช่องว่างแคพพิลลารี่ ซึ่งเรียกว่า "อัตราส่วนเจ็ลต่อช่องว่าง"

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ซีเมนต์เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ จะเกิดซีเมนต์เจ็ลที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าของปริมาตรเดิม สำหรับในการพิจารณาต่อไปนี้ จะสมมุติให้ปริมาตรของซีเมนต์เจ็ลที่เกิดขึ้นจากซีเมนต์ปริมาตร 1 ลบ.ซม.มีค่าเท่ากับ 2.06 ลบ.ซม.

ให้ c = น้ำหนักของซีเมนต์

v_c = ปริมาตรจำเพาะของซีเมนต์

w_o = ปริมาตรของน้ำที่ใช้ผสม และ

α = เศษส่วนของซีเมนต์ที่ได้ทำปฏิกิริยาไปแล้ว

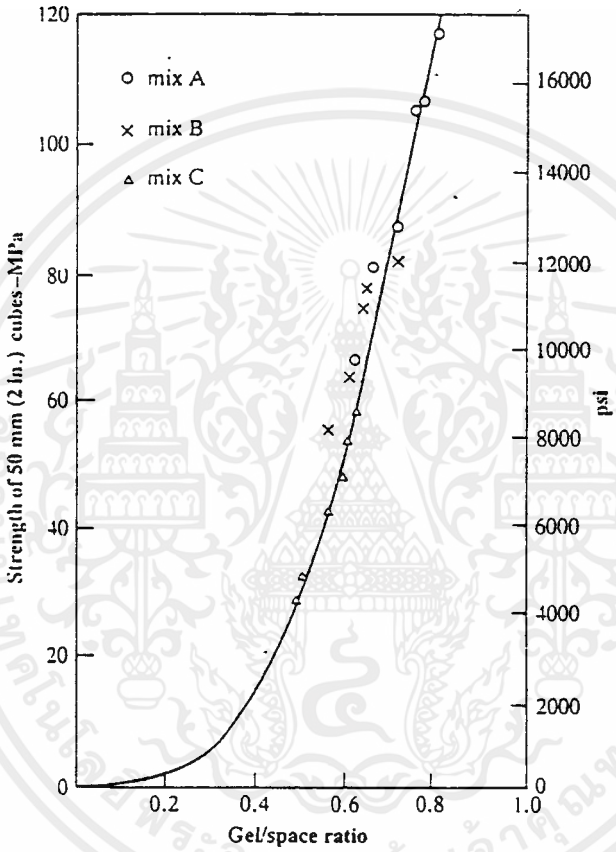
ดังนั้น ปริมาตรของซีเมนต์เจ็ล = $2.06\, cv_c\alpha$ และปริมาตรของช่องว่างทั้งหมด $cv_c\alpha + w_o$ นั่นคือ อัตราส่วนเจ็ลต่อช่องว่าง เป็น

$$x = \frac{2.06cv_c\alpha}{v_c\alpha + \frac{w_o}{c}}$$

กำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดลองโดย Powers(8) มีค่าเป็น $234\ X^3$ MN/m^2 โดยไม่ขึ้นอยู่กับ อายุและส่วนผสมของคอนกรีต นั่นคือ กำลังอัดของคอนกรีตจะแปรตาม กำลังสามของอัตราส่วนเจ็ลต่อช่องว่าง ส่วนตัวเลข 234 MN/m^2 นั้นจะเป็นค่าที่บอกกำลังที่แท้จริงของเจ็ลที่เกิดจากซีเมนต์แต่ละองค์ประกอบ เพราะเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีตเมื่ออัตราส่วนเจ็ลต่อช่องว่างมีค่าเป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตกับอัตราส่วนเจ็ลต่อช่องว่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ปฏิกิริยาระหว่างองค์ประกอบของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับน้ำ จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นด้วยส่วนหนึ่งของความร้อนนี้หนีผ่านเนื้อคอนกรีตออกมา แต่บางส่วนก็คงอยู่ภายในและทำให้คอนกรีตเสียความแข็งแรงไปได้และจะทำให้เกิดหน่วยแรงต่างๆซึ่งทำให้เกิดการแตกร้าวได้ สำหรับโครงสร้างคอนกรีตส่วนมากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั้นน้อยมาก และไม่ค่อยสำคัญนัก แต่อย่างไรก็ดีอุณหภูมิภายในของพื้นบางๆ อาจขึ้นสูงได้หลายองศา ภายในไม่กี่ชั่วโมงหลังจากเทคอนกรีตสำหรับคอนกรีตหลาซึ่งความร้อนหนีได้ช้ามาก อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอยู่กับชนิดของซีเมนต์ และเป็นปฏิภาคกับปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีตด้วย

2.2 คุณสมบัติของคอนกรีตสด

ความสามารถเทได้ workability

ความสามารถเทได้ หมายถึง การที่คอนกรีตสดสามารถไหลเข้าแบบหล่อได้ดี ทำให้แน่นตัวได้ง่าย และคอนกรีตที่หล่อได้ปราศจากรูโพรงต่างๆ กล่าวคือ ช่องว่างทั้งสิ้นระหว่างวัสดุผสมจะต้องมีซีเมนต์เพสต์บรรจุเต็ม

ความสามารถเทได้ของคอนกรีต ขึ้นอยู่กับ

ก) ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ซึ่งอยู่ในเทอมของอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ กล่าวคือ ถ้าใช้น้ำมากเกินไปคอนกรีตจะเหลวเละ และจะเทลงในแบบหล่อได้ง่าย แต่กำลังความแข็งแรงของคอนกรีตจะลดลง

ข) รูปร่างและส่วนขนาดคละของวัสดุผสม ถ้าใช้วัสดุผสมที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมจะทำให้ได้ "ความสามารถเทได้" ดีกว่าวัสดุผสมที่มีรูปเป็นเหลี่ยมเป็นมุม วัสดุผสมที่มีความลดหลั่นของขนาดอยู่ในพิกัด ทำให้ได้คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอต้องการปริมาณน้ำผสมน้อยมี คุณภาพดีและทำงานได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) ปริมาณของซีเมนต์และชนิดของซีเมนต์ ถ้าใช้ซีเมนต์ที่ละเอียดจะมีผลทำให้ได้คอนกรีตที่เทเข้าแบบได้ง่ายกว่า

ง) ปริมาณสารกระจายกักฟองอากาศ ถ้าใช้ในปริมาณพอเหมาะ คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ง่าย ถ้าใช้ปริมาณมากเกินไปจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงอีกทั้งความคงทนก็มิได้เพิ่มขึ้น

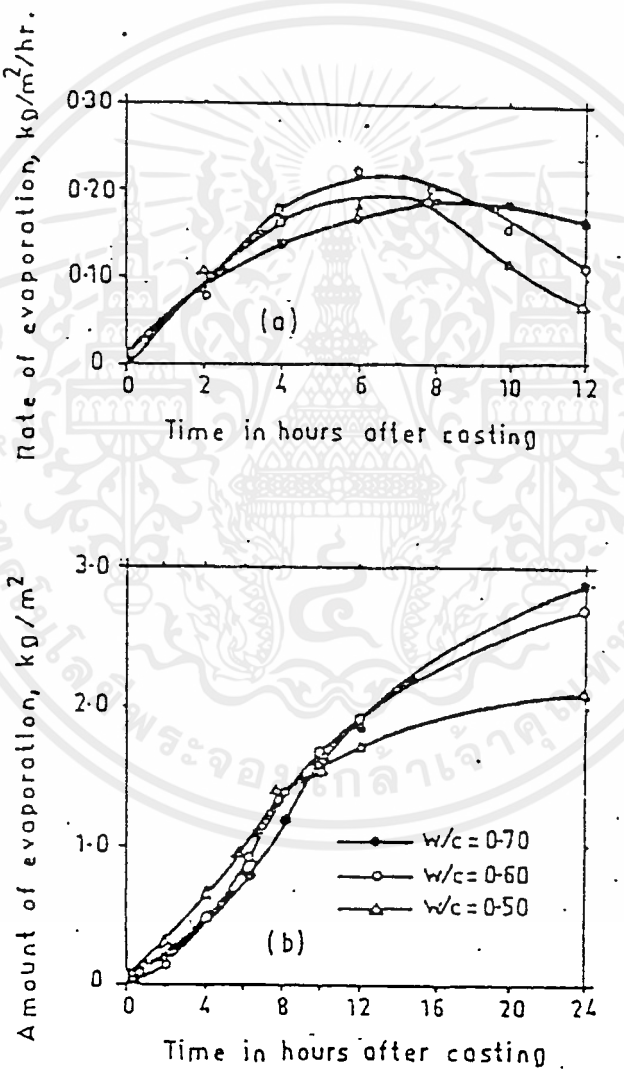
จ) สารเคมีผสมเพิ่ม สารเคมีผสมเพิ่มบางชนิด เช่นพวก Hydrated Lime, Bentonite และ Fly Ash จะช่วยให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ดีขึ้น และนอกจากนั้นจะช่วยแก้การเยิ้มที่ผิวหน้าของคอนกรีต

ฉ) เวลาและอุณภูมิ คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ต่ำลง หรืออาจแข็งตัวไปเลยหากใช้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์น้อยเกินไป

การเทคอนกรีตในวันที่อากาศร้อนหรือมีอุณหภูมิสูง ควรเพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ และรักษา "ความสามารถเทได้"ของคอนกรีตให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการระเหยของน้ำในส่วนผสม



Evaporation-time relationship for different mortar mixes cast under and exposed to 30/95/15. (a) Rate of evaporation and (b) amount of evaporation

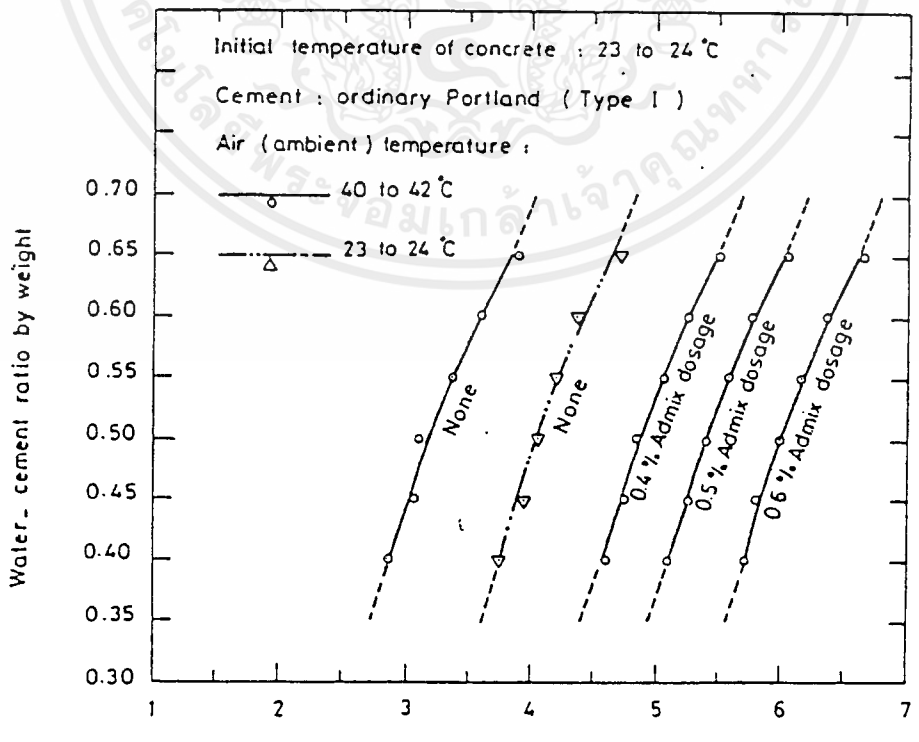
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อตัวและการแข็งตัว

คอนกรีตสดที่เทลงแบบและปล่อยทิ้งไว้โดยไม่มีสิ่งรบกวน จะค่อยๆ กระด้างและก่อตัวหลังจากนั้นก็จะแข็งตัว ไม่มีข้อกำหนดที่แน่นอนถึงระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีต แต่ในทางปฏิบัติ คอนกรีตสดควรมีสภาพพลาสติกอย่างน้อยที่สุดครึ่งชั่วโมงถึงหนึ่งชั่วโมง เพื่อให้มีระยะเวลาเพียงพอในการลำเลียงและเทลงแบบหล่อ และควรแข็งตัวภายในระยะเวลาที่เหมาะสม

อุณหภูมิของอากาศ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตมาก ที่อุณภูมิต่ำคอนกรีตจะก่อตัวช้า แต่เมื่ออุณหภูมิสูงการก่อตัวจะเร็วขึ้น ในขณะเดียวกันคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ จะก่อตัวได้เร็วกว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูง ดังแสดงในรูป 2.4 และ 2.5

รูป 2.4 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ต่อเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของคอนกรีต



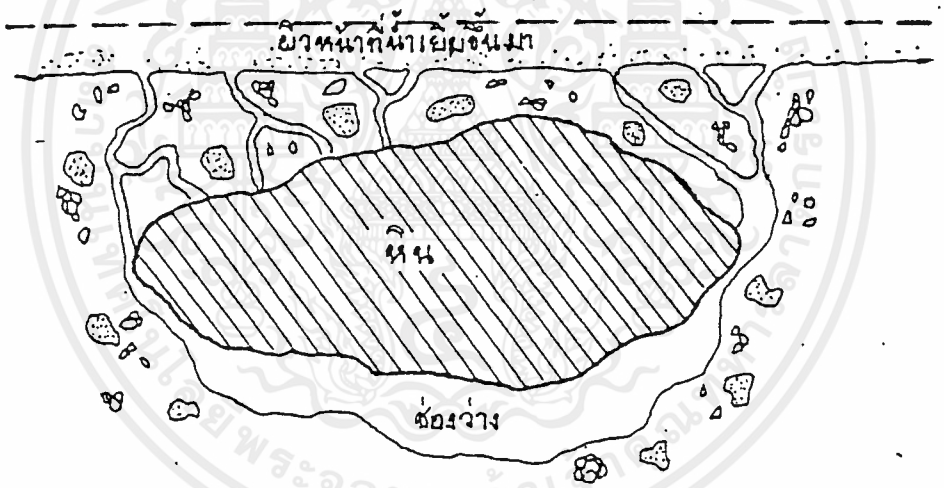
Effect of water-cement ratio, air temperature and dosage of admixture on initial setting of concrete mortars.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำส่วนเกิน ถ้ามีมากเกินไปจะมีผลเสียต่อคอนกรีตคือ

1. เกิดการเยิ้มของน้ำขึ้นมาที่ผิวหน้ามาก (Bleeding)
2. เกิดการแยกตัว
3. กำลังอัดต่ำลง
4. เกิดการหดตัว
5. ทำให้เกิดรูพรุน มีผลทำให้คอนกรีตขาดความทนทาน

รูปที่ 2.6 แสดงน้ำส่วนเกินในคอนกรีต



ในรูปที่ 2.6 แสดงลักษณะคอนกรีตที่ใช้น้ำมากเกินไป น้ำส่วนหนึ่งจะอยู่ในลักษณะเป็นแอ่งใต้หิน และบางส่วนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต ซึ่งคือการเยิ้ม Bleeding เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว แอ่งน้ำดังกล่าวจะกลายเป็นโพรงอากาศ ทำให้ความทนทานและกำลังคอนกรีตต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.5 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ต่อเวลาการก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีต

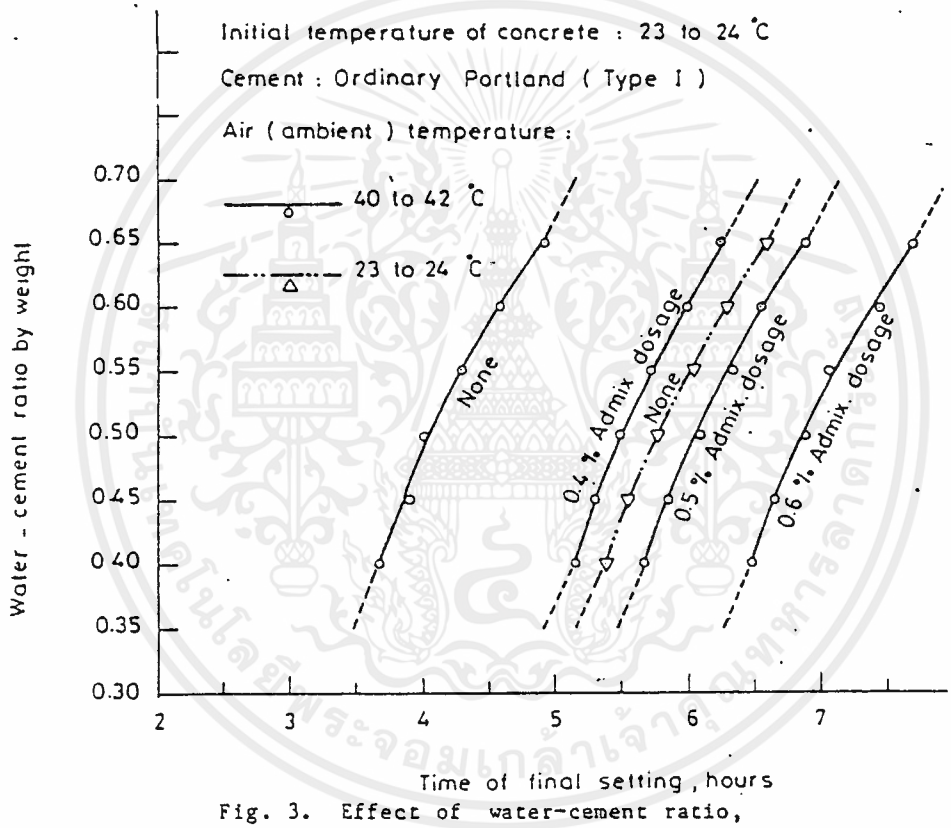


Fig. 3. Effect of water-cement ratio, air temperature and dosage of admixture on final setting of concrete mortars.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คุณสมบัติของวัสดุผสมในคอนกรีต

2.3.1 ซีเมนต์ (Cement)

ประเภทของปูนซีเมนต์ ในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

(1)ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือปูนซีเมนต์ที่ผลิตตามมาตรฐาน มอก.15 เล่ม 1-2514 แก้ไขครั้งที่ 1 พ.ศ.2517 ซึ่งแบ่งแยกออกเป็น 5 ประเภทคือ

ประเภทที่ 1 ใช้กับงานคอนกรีตทั่วๆไป

ประเภทที่ 2 ใช้กับงานคอนกรีตที่ทนซัลเฟตปานกลาง และเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำน้อยกว่าประเภทที่ 1

ประเภทที่ 3 ใช้กับงานคอนกรีตที่ต้องการรับแรงอัดได้เร็ว

ประเภทที่ 4 ใช้กับงานคอนกรีตที่ต้องการให้เกิดความร้อนจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำต่ำ

ประเภทที่ 5 ใช้กับงานคอนกรีตที่ทนซัลเฟตสูง

(2) ปูนซีเมนต์ผสม เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดเม็ดปูนที่ได้จากการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 กับวัสดุเฉื่อย เช่น หิน ปูน ทรายเข้าด้วยกัน โดยปกติจะผสมกับวัสดุละเอียดประมาณ 25-30 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 มวลรวม (Aggregate)

มวลรวม คือ วัสดุเฉื่อยในส่วนประกอบของเนื้อคอนกรีต มีปริมาณ 70-75 % ของปริมาตรคอนกรีต ดังนั้น การคัดเลือกชนิดและอัตราส่วนผสมของมวลรวมจึงเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมคุณภาพคอนกรีต

โดยแบ่งมวลรวมออกเป็น 2 ชนิด คือ

(1) มวลรวมละเอียด เป็นวัสดุผสมที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ซึ่งปกติจะหมายถึงทราย แหล่งที่มาของวัสดุละเอียดนี้จะได้จากแม่น้ำเป็นส่วนใหญ่

(2) มวลรวมหยาบ เป็นวัสดุที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 เช่น กรวด,หินย่อย โดยปกติวัสดุผสมหยาบที่เราใช้เป็นพวกหินย่อย

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของมวลรวมที่ควรพิจารณาคือ ส่วนคละของวัสดุผสม (Gradation) โดยส่วนคละที่ดีจะทำให้สามารถประหยัดซีเมนต์ในส่วนผสมลงได้ และทำให้คอนกรีตมีความข้นเหลว (Workability) พอเหมาะแก่การเทลงแบบ มาตรฐานในการทดสอบส่วนคละของมวลรวมคือ ASTM C 33 โดยกำหนดเป็นร้อยละสะสมที่ผ่านตะแกรงแต่ละเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงร้อยละสะสมที่ผ่านตะแกรงของมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM C 33

ตะแกรงเบอร์	มวลรวม ละเอียด (%)	มวลรวม		
		1.5"-3/4"	1"-3/4"	3/4"-#4
1.5"	-	95-100	100	-
1"	-	-	90-100	100
3/4"	-	35-70	-	90-100
1/2"	-	-	-	40-75
3/8"	100	10-30	-	20-55
#4	95-100	0-5	0-10	0-10
#8	80-100	-	0-5	0-5
#16	50-85	-	-	-
#30	25-60	-	-	-
#50	10-30	-	-	-
#100	2-10	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับข้อกำหนด และมาตรฐานเกี่ยวกับวัสดุผสมเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงมาตรฐานการทดสอบมวลรวม

การทดสอบ	เปอร์เซ็นต์ที่ยอมได้ (%)	
	มวลรวมละเอียด	มวลรวมหยาบ
1.สิ่งเจือปน (Deleterians Substances)		
1.1 วัสดุเปราะ	1.0	5.0
1.2 ดิน	-	0.25
1.3 วัสดุละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 200	5.0	1.0
2.ความคงสภาพ (Soundness)	10.0	12.0
3.ความคงทน (Wearing)	-	40.0
4.ความสกปรก (Impurities)	Organic plate No.3	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 น้ำ (Water)

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตคอนกรีต โดยทำหน้าที่

1) ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration) และทำให้มีความสามารถในการเทได้

2) ใช้บ่มคอนกรีต

3) ใช้ล้างวัสดุมวลรวม หิน,ทราย

ซึ่งจากหน้าที่ข้างต้น น้ำที่ผสมคอนกรีตจึงมีความสำคัญมาก จะต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมมีสิ่งเจือปนไม่มากเกินไป เพื่อจะได้ไม่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydartion) กำลังอัด รวมถึงการก่อตัวของคอนกรีตด้วย

2.4 คุณสมบัติของน้ำยาผสมคอนกรีต

น้ำยาผสมคอนกรีตหมายถึง สารที่เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ คุณลักษณะบางประการของคอนกรีต ส่วนใหญ่เป็นสารเคมี น้ำยาผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 494-82 ได้จำแนกไว้ 7 ประเภทคือ

1) ประเภท A - น้ำยาลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีต
2) ประเภท B - น้ำยายืดเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต
3) ประเภท C - น้ำยาเร่งเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต
4) ประเภท D - น้ำยาลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต
5) ประเภท E - น้ำยาลดน้ำและเร่งเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต
6) ประเภท F - น้ำยาลดน้ำในส่วนผสมจำนวนมาก (Superplasticizer)
7) ประเภท G - น้ำยาลดน้ำในส่วนผสมจำนวนมาก และยืดเวลาการแข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงงานวิจัยนี้ใช้น้ำยาประเภท D จึงจะแสดงรายละเอียดเฉพาะน้ำยาประเภทนี้เท่านั้น

น้ำยาประเภท D เป็นน้ำยาที่มีคุณสมบัติ 2 ประการอยู่ในน้ำยาตัวเดียวกันคือ

1) คุณสมบัติด้านการลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีต

2) คุณสมบัติด้านการยืดเวลาการแข็งตัว

1) **คุณสมบัติด้านการลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีต**

คุณสมบัติด้านการลดน้ำในส่วนผสมเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นมาก สำหรับงานคอนกรีต จะพบว่าในจำนวนน้ำยา 7 ประเภทมีน้ำยาที่มีคุณสมบัติลดน้ำในส่วนผสมถึง 5 ประเภท ซึ่งจะเห็นได้ว่า น้ำเป็นส่วนผสมที่สำคัญมากส่วนหนึ่ง ในการผสมคอนกรีตซึ่งจะทำหน้าที่ 3 อย่าง ต่างกันคือ

1. เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์คือปฏิกิริยา Hydration

2. ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียก เพื่อซีเมนต์จะเข้าเกาะโดยรอบและแข็งยึดติดกัน

3. ทำหน้าที่หล่อลื่นให้หิน-ทราย ซีเมนต์อยู่ในสภาพเหลว สามารถเข้าแบบได้ง่าย

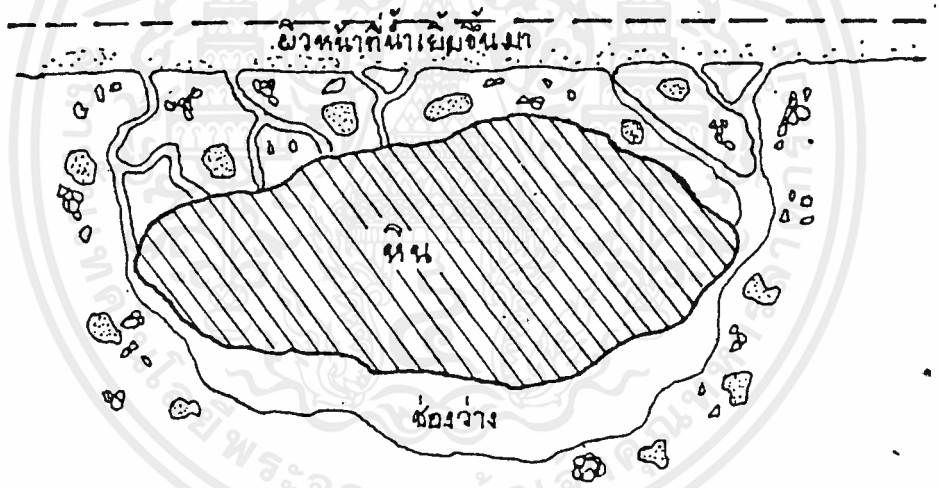
น้ำจำนวนพอดีที่จะทำปฏิกิริยา Hydration คือประมาณ 28$\pm$ 1% ของน้ำหนักซีเมนต์หรืออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ W/C = 0.28 $\pm$ 0.01 แต่คอนกรีตทั่วไปใช้ ค่า W/C สูงกว่า 0.35 น้ำส่วนเกินนี้จะเข้าไปทำหน้าที่ในข้อ 2 และ 3 ทำให้คอนกรีตเหลวทำงานได้สะดวกขึ้น น้ำส่วนนี้เรียกว่า "น้ำส่วนเกิน" (excess water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำส่วนเกิน ถ้ามีมากเกินไปจะมีผลเสียต่อคอนกรีตคือ

1. เกิดการเยิ้มของน้ำขึ้นมาที่ผิวหน้ามาก (Bleeding)
2. เกิดการแยกตัว
3. กำลังอัดต่ำลง
4. เกิดการหดตัว
5. ทำให้เกิดรูพรุน มีผลทำให้คอนกรีตขาดความทนทาน

รูปที่ 2.6 แสดงน้ำส่วนเกินในคอนกรีต



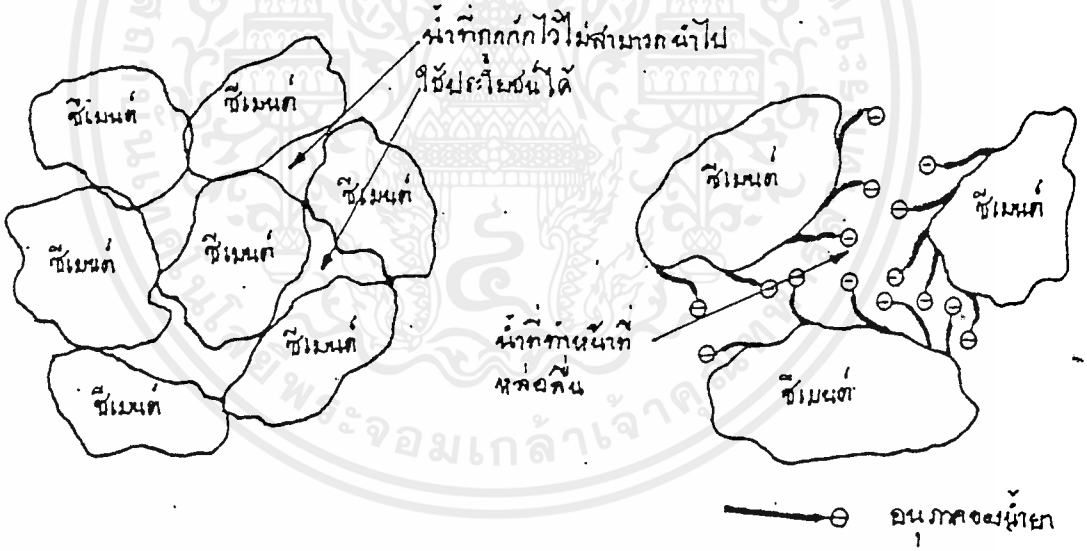
ในรูปที่ 2.6 แสดงลักษณะคอนกรีตที่ใช้น้ำมากเกินไป น้ำส่วนหนึ่งจะอยู่ในลักษณะเป็นแอ่งใต้หิน และบางส่วนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต ซึ่งคือการเยิ้ม Bleeding เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว แอ่งน้ำดังกล่าวจะกลายเป็นโพรงอากาศ ทำให้ความทนทานและกำลังคอนกรีตต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดที่กล่าวมา จะพบว่าน้ำส่วนเกินที่มากเกินไป จะทำให้เกิดผลเสียต่อคอนกรีต แนวทางแก้ไขที่ทำได้คือใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่มีคุณสมบัติด้านการลดน้ำในส่วนผสม

การทำงานของน้ำยาประเภทนี้ สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.7 เนื่องจากน้ำยาประเภทนี้จะมีประจุไฟฟ้าอยู่ ซึ่งจะทำให้เม็ดซีเมนต์ที่จับตัวกันอยู่กระจายตัวออก น้ำในส่วนที่ถูกกักไว้ สามารถนำมาใช้ได้เต็มที่ ทำให้สามารถลดน้ำในส่วนผสมลง โดยที่ความข้นเหลวไม่ลดลง

รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของน้ำยาพิเศษ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คุณสมบัติด้านการยืดเวลาการแข็งตัว

ปูนซีเมนต์เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้ว จะค่อย ๆ ก่อตัวและแข็งในที่สุด ซึ่งการก่อตัวของคอนกรีตจะเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลาย ๆ ประการเช่น

1. อัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์
2. ค่ายุบตัวเริ่มต้น
3. อุณหภูมิของอากาศ
4. ความชื้นในอากาศ
5. อื่น ๆ

ถ้าต้องการยืดเวลาการแข็งตัวของคอนกรีตออกไป จะต้องใส่สารเคมีที่มีคุณสมบัติยืดเวลาการแข็งตัวลงไปในคอนกรีต โดยน้ำยาที่ใส่ลงไปนี้จะไปเคลือบผงซีเมนต์ไว้ ซึ่งป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยา Hydration ชั่วขณะ

ประโยชน์ของน้ำยาประเภทลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัว

1). ยืดเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต ทำให้สามารถทำงานได้นานกว่าคอนกรีตไม่ใส่น้ำยาประมาณ 1 เท่าตัว

2). ลดการสูญเสียค่ายุบตัว (slump loss)

3). ลดปริมาณน้ำในส่วนผสม โดยที่ความสามารถในการเทได้ยังคงเดิม ซึ่งเป็นผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงขึ้น

4). ทำให้คอนกรีตลื่นเทเข้าแบบได้ง่าย

5). ลดการซึมผ่านของน้ำ

6). ทำให้คอนกรีตมีความทนทานสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต

คุณสมบัติของคอนกรีตมีหลายตัว และตัวที่ยอมรับกันว่ามีผลต่อคุณสมบัติอื่น ๆ คือ กำลังของคอนกรีต ดังนั้นในบทความนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตแต่เพียงอย่างเดียว ดังนี้

2.5.1. คุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

1 **ปูนซีเมนต์** จัดว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมากตัวหนึ่ง ทั้งนี้เพราะว่า ปูนซีเมนต์แต่ละประเภทจะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์แต่ละประเภท นอกจากนี้แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่ถ้ามีความละเอียด (Fineness) แตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตที่ได้ก็จะแตกต่างไปด้วย คือ ถ้าปูนซีเมนต์ยิ่งละเอียดก็จะยิ่งให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

2 **มวลรวม** มวลรวมมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสท์ อย่างไรก็ดีมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือมีผิวหยาบ จะให้กำลังอัดของคอนกรีตดีกว่าพวกกรวดที่มีผิวเกลี้ยง ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่ จะต้องการปริมาณส่วนผสมของน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก สำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่ จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดคละของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่าคอนกรีตที่ใช้ มวลรวมที่มีส่วนขนาดคละไม่เหมาะสม คือมีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้นจะต้องการปริมาณส่วนผสมของน้ำ มากกว่ามวลรวมที่มีส่วนคละที่ดีสำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้เท่ากัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวนมากกว่า มีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 น้ำ มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใสและปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่มีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง และน้ำชุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้น

2.5.2 การชั่งตวงส่วนผสม (Batching)

1 การชั่งตวงส่วนผสม หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากอัตราส่วนผสมคอนกรีตผิดไปก็จะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้

2 อัตราส่วนผสม จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำ/ปูนซีเมนต์

2.5.3 การผสมคอนกรีต (Mixing)

การผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้น้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสท์กระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้น การผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้

2.5.4 การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อ (Placing)

จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตมาก เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัว (Segregation) ในขณะลำเลียง หรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัว (Compaction) หากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้ หรือหากใช้วิธีทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้คอนกรีตแน่นตัวที่ไม่เหมาะสมก็สามารถทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ ทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ

2.5.5 การบ่ม (Curing)

1 ความชื้น (Moisture) จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกัน ระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำที่เรียกกันว่า (Hydration process) นั้นจะค่อยเป็นค่อยไป นับตั้งแต่ปูนซีเมนต์เริ่มผสมกับน้ำเป็นซีเมนต์เพสท์ และซีเมนต์เพสท์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถ้าซีเมนต์เพสท์นั้นมีความชื้นอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อให้ขบวนการเพิ่มกำลังเป็นไปอย่างเต็มที่ จึงจำเป็นที่จะต้องให้ซีเมนต์เพสท์มีความชื้นอยู่ตลอดเวลา เพราะถ้าซีเมนต์เพสท์ในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่ คอนกรีตก็จะไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ในทางปฏิบัติเรามักจะบ่มคอนกรีตจนถึงอายุ 28 วันซึ่งในทางก่อสร้างถือเป็นเกณฑ์ตัดสินว่ากำลังอัดจะมีเพียงพอกับข้อกำหนดหรือไม่ ดังนั้นเมื่อ คอนกรีตเริ่มแข็งตัวจึงต้องรีบทำการบ่มด้วยความชื้นทันที

2 อุณหภูมิ อุณหภูมิในขณะบ่มคอนกรีต ถ้าหากอุณหภูมิสูงก็จะทำให้ขบวนการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเร่งให้เร็วขึ้น ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

3 เวลาที่ใช้ในการบ่ม ถ้าหากสามารถบ่มคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลาได้ยิ่งนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

2.5.4 การทดสอบ (Testing)

ในการสร้างอาคารคอนกรีต การควบคุมคุณภาพของคอนกรีต จะทำให้รูปของการชักตัวอย่างคอนกรีตสดมาหล่อทำแท่งทดสอบ โดยถือว่ากำลังของแท่งทดสอบเป็นตัวแทนของคอนกรีตที่หล่อเป็นอาคารแล้ว ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 **ขนาดและลักษณะของแท่งทดสอบ** การใช้แท่งทดสอบที่ต่างขนาดและลักษณะกันจะมีผลทำให้ค่ากำลังของคอนกรีตเกิดความแตกต่าง เช่น แท่งทดสอบ ϕ 15x30 ซม. จะมีกำลังประมาณ 85% ของแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม.

2 **วิธีการทำตัวอย่าง** การทำให้คอนกรีตแน่นโดยการตำด้วยเหล็กกระทุ้งโดยใช้มือจะให้ค่ากำลังของคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตที่ได้รับการทำให้แน่น โดยเขย่าด้วยเครื่องเขย่า

3 **ความชื้นในแท่งทดสอบ** ในขณะที่จะทำการทดสอบ ถ้าหากแท่งทดสอบมีความชื้นก็จะให้ค่ากำลังที่ต่ำกว่าแท่งทดสอบที่แห้งกว่า

4 **อัตราการกด** ในการทดสอบกำลังอัด ถ้าใช้อัตราการกดสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตสูงตามไปด้วย จึงควรใช้อัตราการกดตามที่มาตรฐานกำหนดไว้

5 **ผู้ดำเนินการทดสอบ** ต้องมีความชำนาญและมีความตั้งใจในการทำงานจะให้ผลการทดสอบที่น่าไว้วางใจกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุผสม

3.1 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม

การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมที่ใช้ในการศึกษาโครงงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

1.การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด ตามมาตรฐาน ASTM C -128

2.การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ ตามมาตรฐาน ASTM C -127

3.การทดสอบขนาดคละของวัสดุผสมโดยใช้ตะแกรง (Sieve Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM C - 136

4.การทดสอบปริมาณความชื้นของวัสดุผสม ตามมาตรฐาน ASTM C - 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุผสมที่ใช้ในโครงงานวิจัย

วัสดุผสม	คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ
ปูนซีเมนต์	ความถ่วงจำเพาะ	3.17
มวลรวมละเอียด	ความถ่วงจำเพาะ ค่าการดูดซึม โมดูลัสความละเอียด	2.71 5% 2.51
มวลรวมหยาบ	ความถ่วงจำเพาะ ค่าการดูดซึม ขนาดโตสุด (มม.) หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	2.73 3% 3/4" 1570

3.2 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสด

3.2.1 การทดสอบการยุบตัว ตามมาตรฐาน ASTM C-143

อุปกรณ์ที่ใช้ได้แก่ กรวยตัดเส้นผ่าศูนย์กลางตอนบน 10 ซม. และด้านล่าง 20 ซม. สูง 30 ซม. มีหูจับและแผ่นเหล็กยื่นออกมาให้เท้าเหยียบทั้ง 2 ข้าง ส่วนเหล็กกระทุ้งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม.ยาว 60 ซม. ปลายกลมมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ ทำโดยตักคอนกรีตใส่ลงในแบบแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆกันแต่ละชั้นใช้เหล็กกระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง พยายามไม่ให้แบบเคลื่อนที่โดยใช้เท้าเหยียบบนแผ่นเหล็กที่ยื่นออกมา ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ ดึงกรวยขึ้นตรงๆไม่หมุน จากนั้นวัดค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ยุบตัวลงด้วยน้ำหนักของตัวเอง เปรียบเทียบกับส่วนสูงของกรวย

3.2.2 การทดสอบการก่อตัวของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C 403

นำคอนกรีตร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4เพื่อแยกมวลหยาบออก นำส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เทลงแบบลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. จากนั้นใช้เหล็กกระทุ้งขนาดหน้าตัด 1 ตร.นิ้ว กระทุ้งให้ทั่วพื้นที่ ปาดผิวหน้าให้เรียบ

การทดสอบหาความต้านทานการจมต่อเนื้อที่หน้าตัดของแท่งเหล็กที่มีเนื้อที่หน้าตัด 1ถึง 1/40 ตารางนิ้ว เขียนกราฟระหว่างเวลากับแรงต้านทานการจม ระยะเวลาที่คอนกรีตเริ่มก่อตัวคือจุดที่มีแรงต้านทาน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระยะเวลาที่คอนกรีตก่อตัวเสร็จ คือจุดที่มีแรงต้านทาน 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

ในโครงการวิจัยนี้ได้ทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการทดสอบใช้ก้อนลูกบาศก์คอนกรีตขนาด 15x15x15 ซม. กับวัสดุผสมที่มีขนาดไม่โตกว่า 20 มม.(3/4") โดยใส่คอนกรีตลงในแบบเป็นจำนวน 3 ชั้นๆละเท่ากัน แต่ละชั้นกระทุ้งด้วยเหล็กขนาด 4 ปอนด์ เนื้อที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว ปลายมนเป็นจำนวนชั้นๆละ 35 ครั้ง ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ หลังจากทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แกะแบบและนำไปบ่มน้ำเป็นเวลา 7,14,28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดสอบแรงอัดประลัย

ทดสอบโดยการกดหรืออัดแรงเข้าไปในแท่งทดสอบซึ่งอยู่ในสภาพชื้น ด้วยอัตราการกดที่สม่ำเสมอจนกระทั่งแท่งทดสอบถูกอัดแตก ข้อควรระวังคือผิวของปลายทั้งสองต้องมีผิวเรียบ และขนานกัน เพื่อให้มีหน่วยแรงแผ่สม่ำเสมอบนหน้าตัดนั้น น้ำหนักหรือแรงอัดประลัยคือน้ำหนักกดสูงสุด หน่วยแรงอัดประลัยได้จากการหารน้ำหนักกดสูงสุดด้วยเนื้อที่หน้าตัดของแท่งทดสอบ

3.4 การประเมินผลการทดสอบกำลังต้านทานของคอนกรีต

ในการทดสอบคอนกรีต คุณภาพและกำลังต้านทานของคอนกรีตขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่างดังที่กล่าวแล้ว ซึ่งสาเหตุสำคัญคือ การเปลี่ยนแปลงของวัสดุและวิธีการทำคอนกรีตตลอดจนความคลาดเคลื่อนในวิธีการทดสอบ ดังนั้นคอนกรีตที่ผลิตขึ้นจึงมีคุณภาพตลอดจนค่ากำลังต้านทานแตกต่างกันไปอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI 214) ได้เสนอแนะถึงการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตด้วยวิธีการทางสถิติโดยสมมุติให้ความเปลี่ยนแปลงในคุณภาพและกำลังต้านทานของคอนกรีต กระจายเป็นรูปเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ ซึ่งในงานที่มีการควบคุมคุณภาพคอนกรีตดี ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) จะมีค่าน้อย นั่นคือ ค่ากำลังต้านทานที่ได้ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย ซึ่งเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติจะโค้งขึ้นและแคบลง ดังรูปที่ 3.1 แต่ถ้างานใดมีการควบคุมคุณภาพคอนกรีตไม่ดีนัก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่ามาก ทำให้เส้นโค้งดังกล่าวเตี้ยลงและแบนออก การกำหนดระดับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตอาศัยสัมประสิทธิ์ของการแปรปรวน (coefficient of variation) ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกากำหนดขึ้นจากข้อมูล เมื่อทดสอบตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานการควบคุมคุณภาพคอนกรีต

	สัมประสิทธิ์ของการแปรปรวนสำหรับมาตรฐานการควบคุมต่างๆ			
	ดีเยี่ยม	ดี	พอใช้	เลว
งานก่อสร้างทั่วไป	ต่ำกว่า10	10-15	15-20	สูงกว่า20
งานทดลองในห้องปฏิบัติการ	ต่ำกว่า 5	5-7	7-10	สูงกว่า10

หมายเหตุ ถ้า $X_1, X_2, X_3 \ldots\ldots\ldots X_n$ เป็นค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 28 วัน จำนวน n ตัวอย่าง

ค่าเฉลี่ย, $\bar{X} = \dfrac{X_1+X_2+X_3+\ldots\ldots\ldots+X_n}{n}$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, $\sigma = \sqrt{\dfrac{(X_1-\bar{X})^2 + (X_2-\bar{X})^2 + (X_3-\bar{X})^2 +\ldots\ldots+(X_n-\bar{X})^2}{n}}$

สัมประสิทธิ์ของการแปรปรวน $V = \left(\dfrac{\sigma}{\bar{X}}\right)(100)\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการทดสอบโครงการวิจัย

4.1 ศึกษาเวลาการผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

ขั้นตอนในการทดสอบ คอนกรีตธรรมดา แสดงดังรูปที่ 4.1

1. เตรียมสถานที่ทำการทดสอบและคอนกรีตผสมเสร็จ ให้รถผสมหมุนโม่ผสมคอนกรีตจนคลุกเคล้ากันดี

2. ทดสอบหาเวลาการก่อตัวของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C403

3. ทำการทดสอบหาค่ายุบตัว ตามมาตรฐาน ASTM C143 จดบันทึกค่าการยุบตัวเทคอนกรีตลงในแบบลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซ.ม. โดยเก็บตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบเมื่อคอนกรีตมีอายุ 7, 14 ,28 วัน ชุดละ 5 ตัวอย่าง

4. ปล่อยคอนกรีตทิ้งไว้ในช่วงเวลา 30, 60, 90, 150 นาที

5. เมื่อครบกำหนดเวลาดังกล่าว ให้ทำการทดสอบซ้ำในข้อ 3 จนครบทุกเวลา

6. นำข้อมูลที่ได้มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับช่วงเวลา และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยุบตัว (Slump) กับช่วงเวลา

7. วิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการทดสอบ คอนกรีตผสมสารหน่วง แสดงดังรูปที่ 4.1

1. เตรียมสถานที่ทำการทดสอบและคอนกรีตผสมเสร็จ ใช้สารหน่วงการก่อตัวตามมาตรฐาน ASTM C494 แบบดี ผสมกับน้ำที่ผสมคอนกรีต ผสมคอนกรีตในโม่จนคลุกเคล้ากันดี

2. ทดสอบหาเวลาการก่อตัวของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C403

3. ทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับคอนกรีตธรรมดา โดยปล่อยคอนกรีตทิ้งไว้ในช่วงเวลา 0, 60, 120, 150, 180, 210 นาที

4. วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

4.2 ศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

ขั้นตอนในการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.2

1. เตรียมและชั่งวัสดุผสมตามปฏิภาคส่วนผสมที่ออกแบบไว้ ใช้สารหน่วงการก่อตัวตามมาตรฐาน ASTM C 494 แบบดี ผสมกันน้ำที่ผสมคอนกรีต จากนั้นทำการผสมคอนกรีตในโม่จนคลุกเคล้ากันดี

2. ในโครงการวิจัยนี้ถือว่าคอนกรีตใช้เวลาหน่วงการก่อตัว 2 ชั่วโมง ปล่อยคอนกรีตทิ้งไว้ ทำการโม่ส่วนผสมทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งครบกำหนดเวลา นับเวลาที่จุดนี้เป็น 0 นาที

3. ทำการทดสอบหาค่าความยุบตัว ตามมาตราฐาน ASTM C-143 เทคอนกรีตลงในแบบลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. โดยเก็บตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบหาค่ากำลังอัดประลัย เมื่อคอนกรีตมีอายุ 7, 14, 28 วัน ชุดละ 5 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ปล่อยคอนกรีตทิ้งไว้ต่อจนเวลา 30 นาที (ที่เวลา 150 นาที หลังการผสมเริ่มแรก) ทดสอบหาค่าการยุบตัว (Slump) ทั้งก่อนและหลังจากเติมซีเมนต์เพสท์ บันทึกค่าการยุบตัวและปริมาณซีเมนต์เพสท์ที่เติม เก็บตัวอย่างรวม 15 ตัวอย่าง

วิธีการเติมซีเมนต์เพสท์

เติมน้ำและซีเมนต์ที่ชั่งน้ำหนักไว้ลงในคอนกรีต ทำการผสมคลุกเคล้าจนทั่วโดยค่อย ๆเติม หาค่าปริมาณซีเมนต์เพสท์ 2 ค่า (ปริมาณ A และ B) ที่สามารถทำให้ค่าความยุบตัวอยู่ในช่วง 7.5 - 12.5 ซม. ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เติมมีค่าเท่าเดิม ก่อนการผสมซ้ำต้องวัดปริมาตรของคอนกรีตก่อนทุกครั้ง

5.ปล่อยคอนกรีตทิ้งไว้ต่ออีก 60, 90 นาที (ที่เวลา 180, 210 นาที หลังการผสมเริ่มแรก) เมื่อครบเวลาดังกล่าว ทำการทดสอบซ้ำข้อ 4

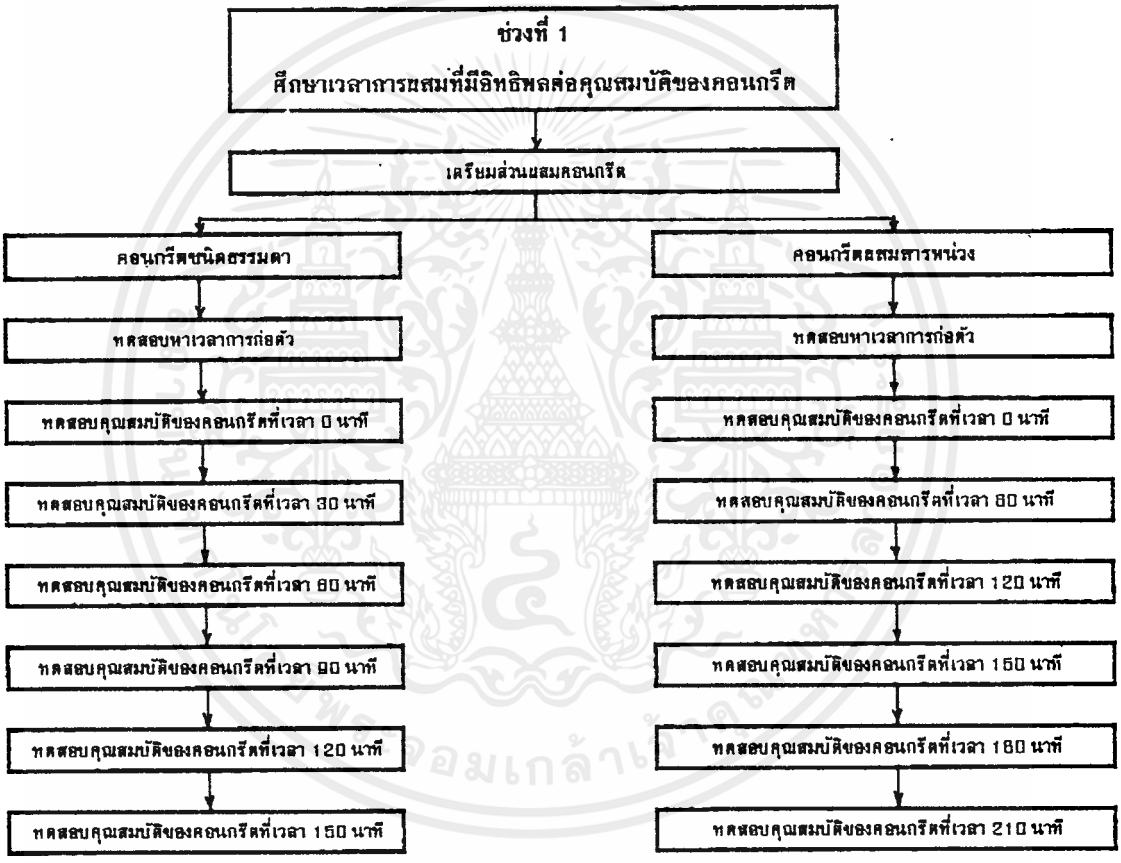
6.เปลี่ยนค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของซีเมนต์เพสท์ลดลง 0.1 จากค่าเดิม ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 - 5

7.เปลี่ยนค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของซีเมนต์เพสท์เพิ่มขึ้น 0.1 จากค่าเดิม ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 - 5

8.บันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง หาปริมาณซีเมนต์เพทส์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

9.สุ่มเลือกตัวอย่าง เลือกปริมาณและค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของซีเมนต์เพสท์ที่เหมาะสมในการใช้งาน ทำการทดสอบหาค่าเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์ค่านั้น บันทึกค่าและสรุปผลการทดลอง

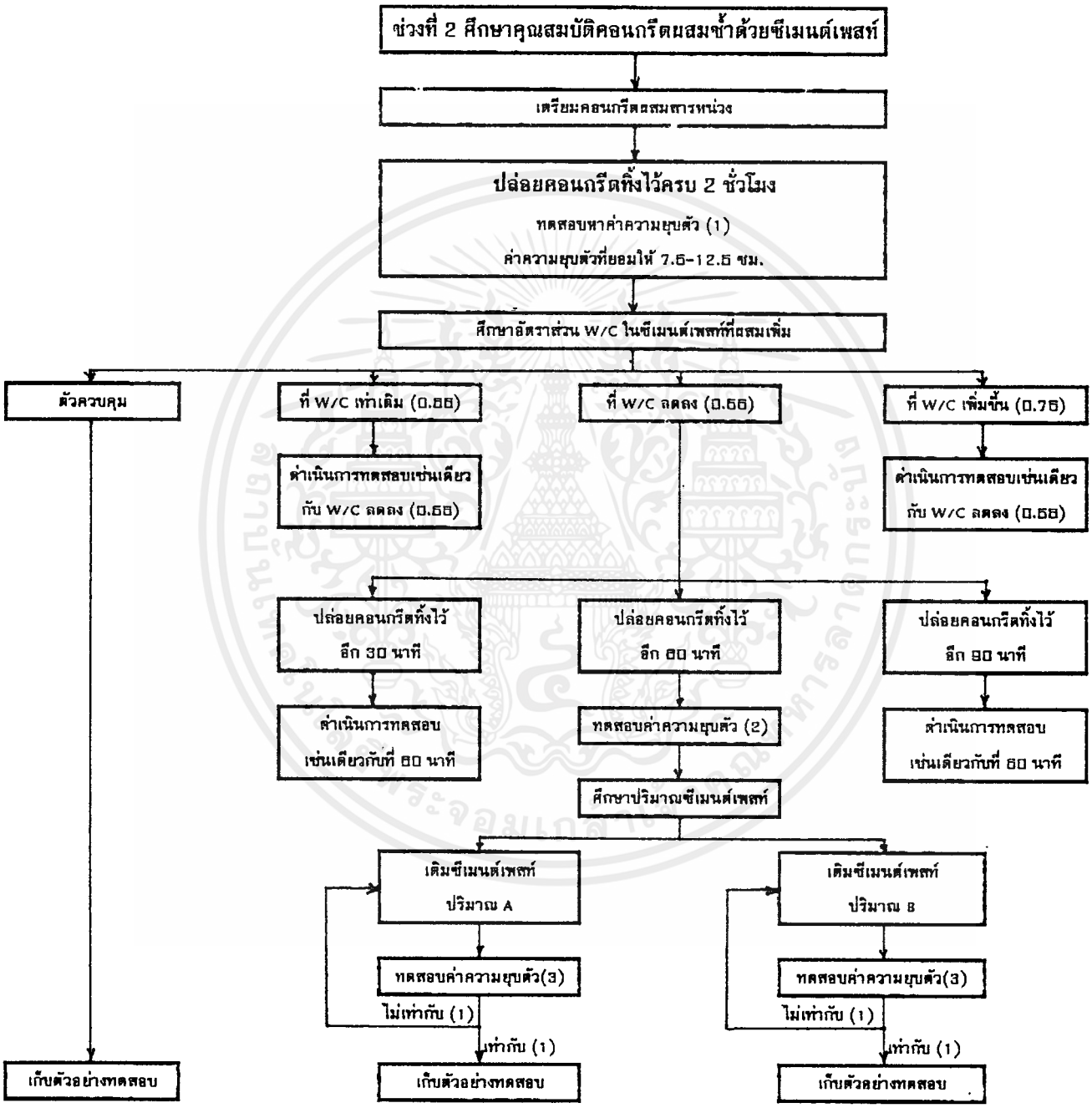
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ คุณสมบัติที่ศึกษาคือ ความสามารถเทได้ และ กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

รูปที่ 4.1 แสดงวิธีดำเนินการทดลอง 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงวิธีดำเนินการทดลอง 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดสอบ

5.1 การศึกษาเวลาการผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

5.1.1 ผลการทดสอบผลกระทบของเวลาผสมที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดธรรมดา แสดงผลการทดสอบในตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1, 5.3

5.1.2 ผลการทดสอบผลกระทบของเวลาผสมที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง แสดงผลการทดสอบในตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2, 5.3

5.2 ผลการทดสอบเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตสดจากสภาพเหลวมาเป็นสภาพแข็งสามารถพิจารณาได้จากหน่วยแรงต้านทานการจมของเข็มมาตรฐานที่เวลาต่างๆ หลังจากการผสมตามมาตราฐาน ASTM C 403 (standard test method of time of setting of concrete Mixture by Pennetration Resistance)ผลการทดสอบแสดงไว้ที่ตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.4

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

	ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มแรก (ชั่วโมง:นาที)	ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย (ชั่วโมง:นาที)
คอนกรีตธรรมดา	2:30	5:00
คอนกรีตผสมสารหน่วง	5:45	7:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

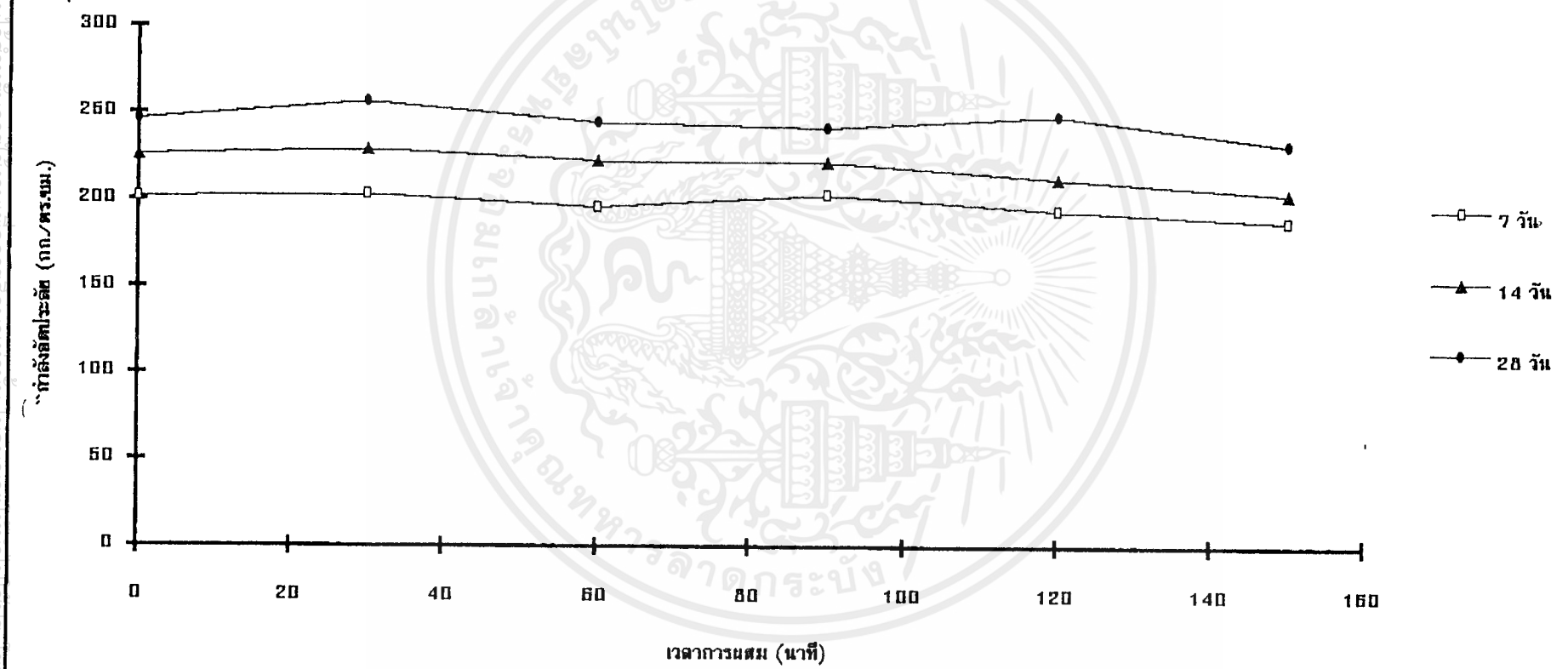
ตารางที่ 5.1 ผลกระทบของเวลาที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดธรรมดา

เวลาผสม (นาที)	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย(กิโลนิวตัน)			กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)		
		7 วัน	14 วัน	28 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	11.5	443	499	542	201	226	246
30	9	447	505	568	203	229	257
60	6.75	433	492	541	196	223	245
90	4.75	447	489	534	203	222	242
120	2.5	427	468	550	194	212	249
150	1	414	450	514	188	204	232

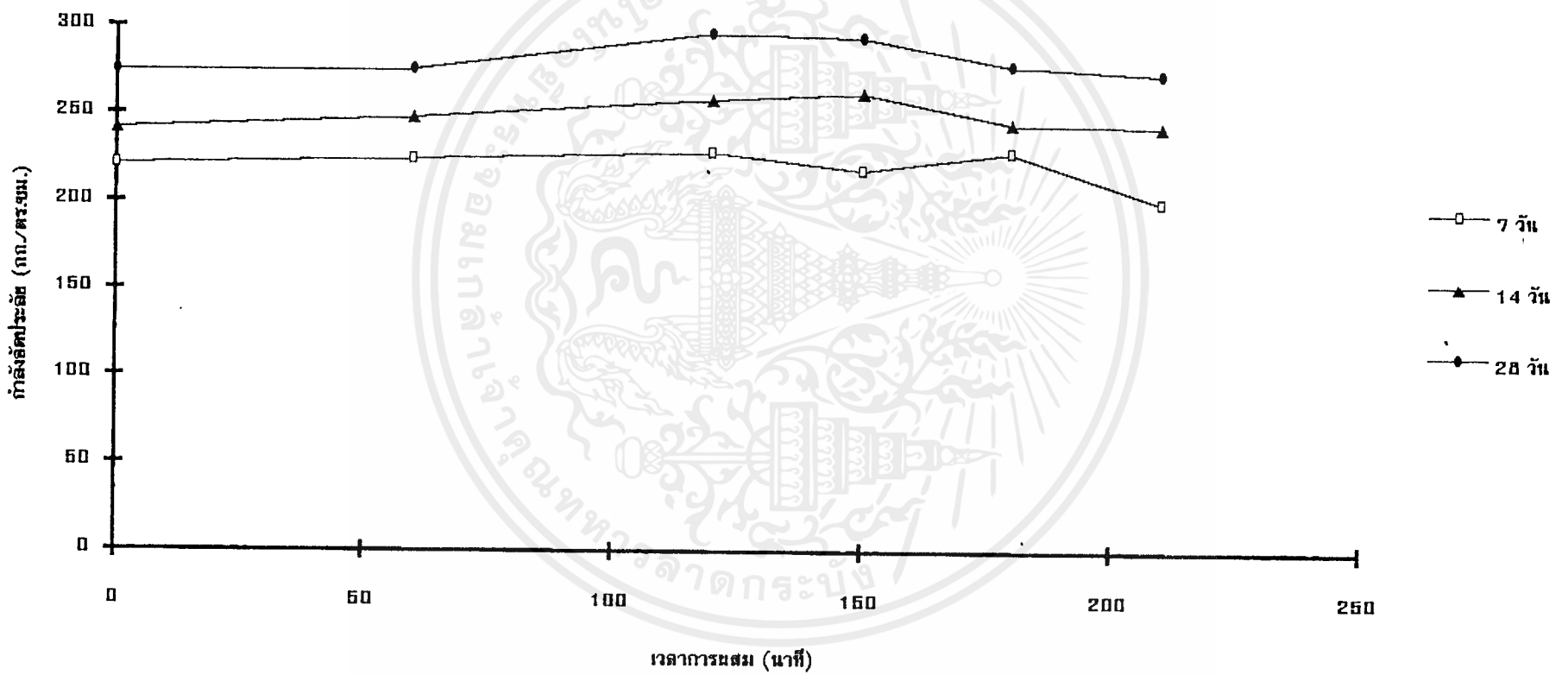
ตารางที่ 5.2 ผลกระทบของเวลาที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง

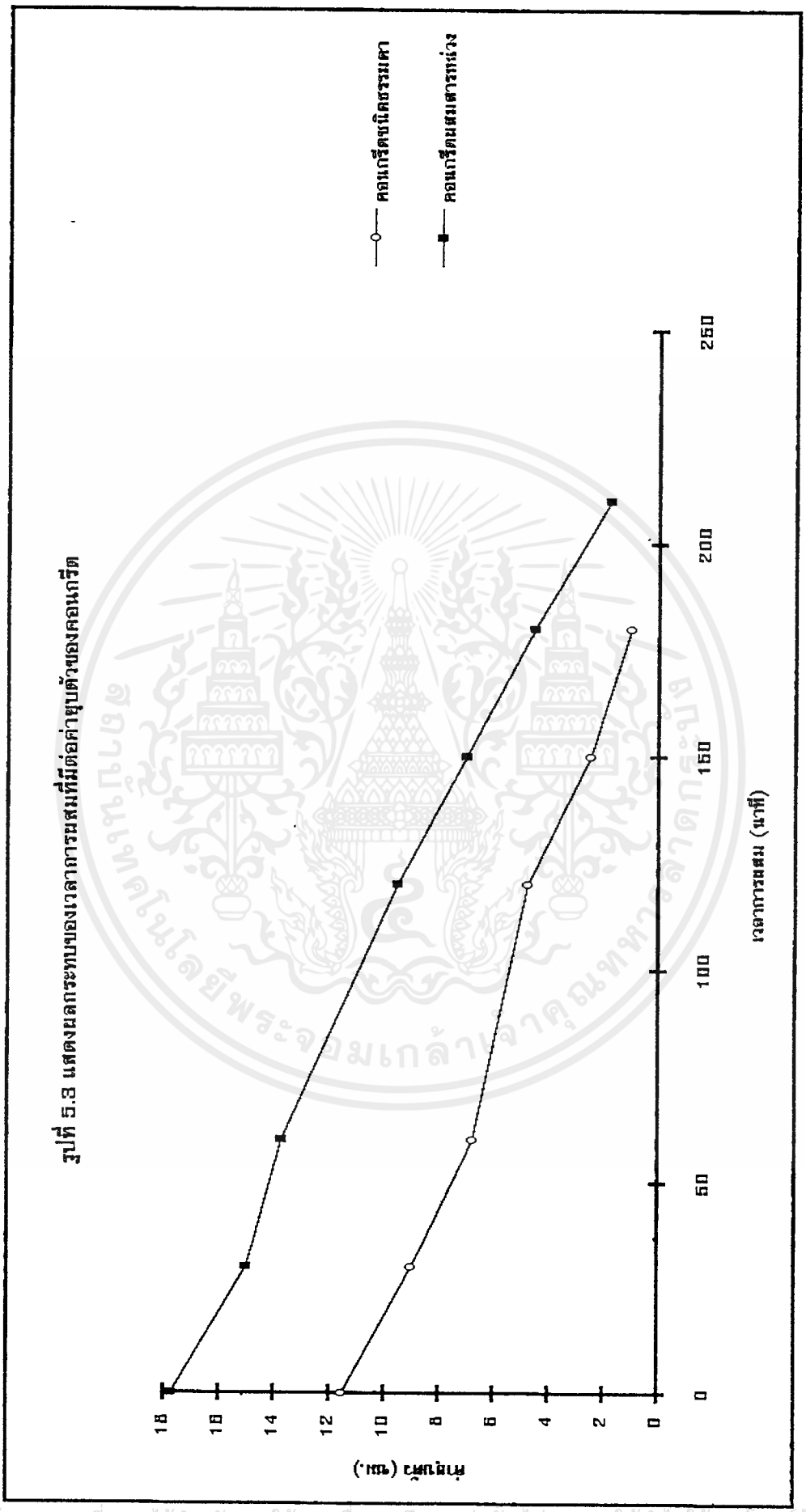
เวลาผสม (นาที)	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย(กิโลนิวตัน)			กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)		
		7 วัน	14 วัน	28 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	17.75	487	533	807	221	242	275
60	13.75	494	547	808	224	248	278
120	9.5	502	570	854	228	258	298
150	7	482	577	849	218	262	294
180	4.5	502	541	814	228	245	278
210	1.75	442	538	803	200	243	273

รูปที่ 5.1 แสดงผลกระทบของเวลาการผสมที่มีต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตชนิดธรรมดา



รูปที่ 5.2 แสดงผลกระทบของเวลาการผสมที่มีต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมสารหน่วง

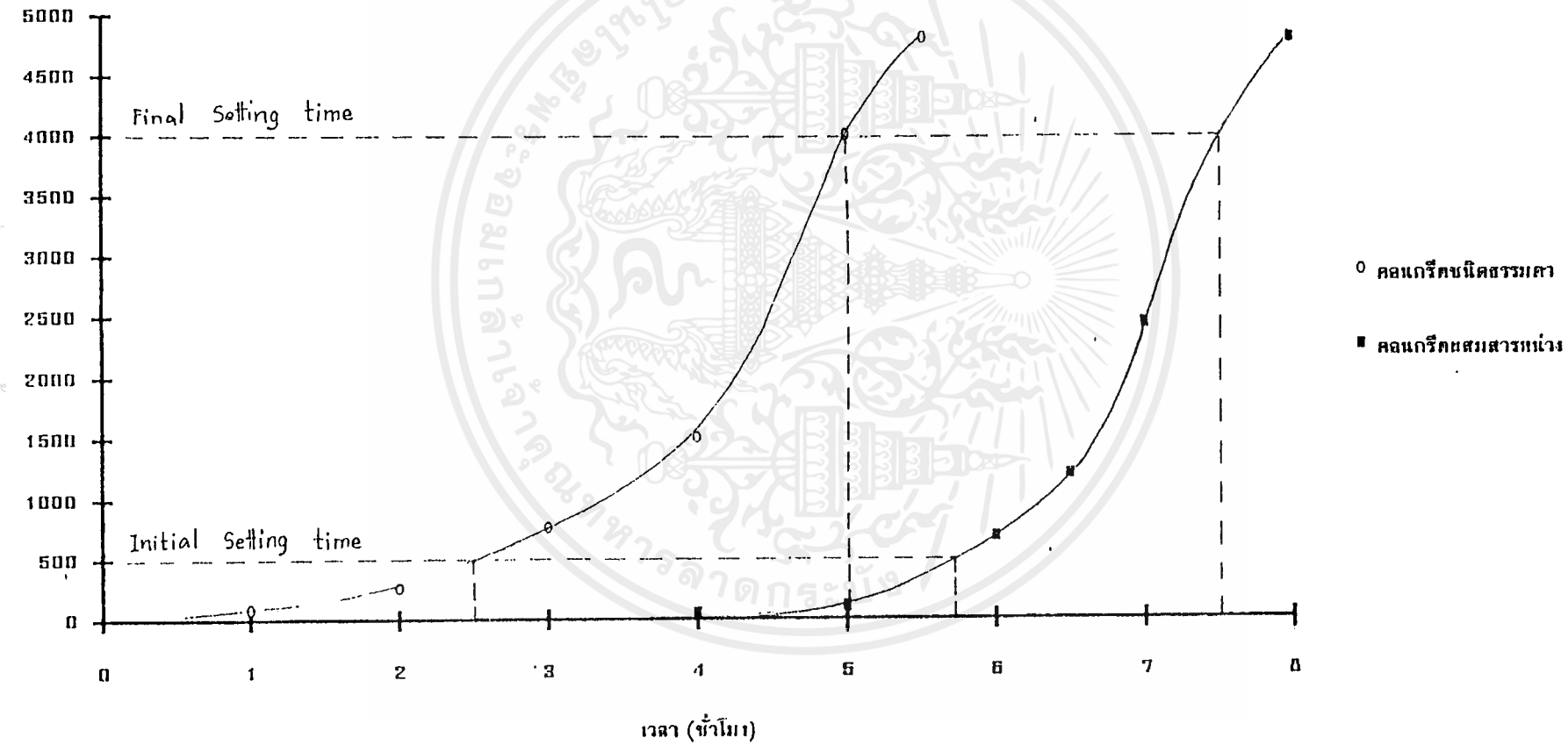




รูปที่ 5.3 แสดงผลกระทบของเวลาการผสมที่มีต่อค่ายุบตัวของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.4 เวลาการก่อตัวของคอนกรีต



5.3 การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์

5.3.1 ผลการทดสอบผลกระทบของปริมาณซีเมนต์เพสท์ต่อค่ายุบตัวของคอนกรีตผสมซ้ำ แสดงผลการทดสอบในรูปที่ 5.5

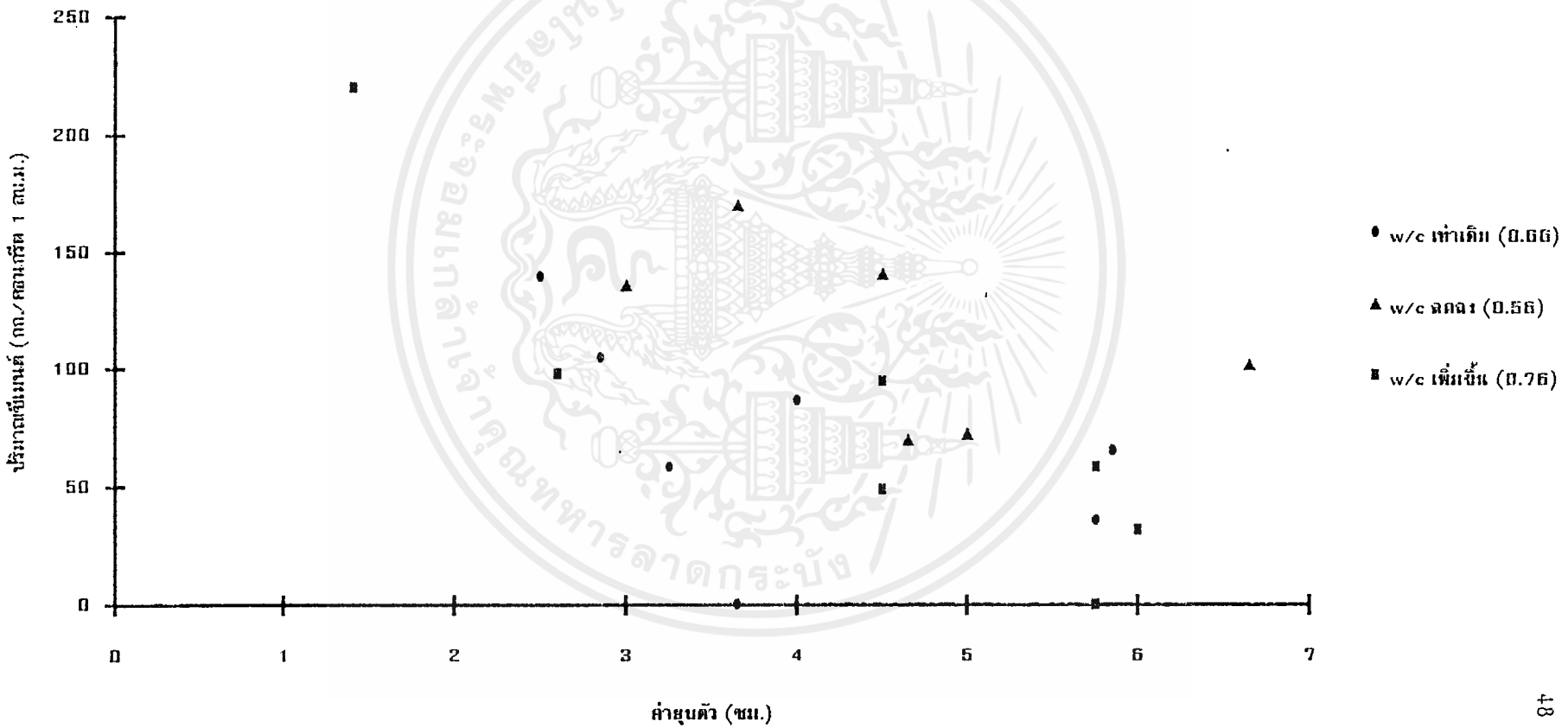
5.3.2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) แสดงผลการทดสอบในตารางที่ 5.4-5.6 และรูปที่ 5.6

5.3.3 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) แสดงผลการทดสอบในตารางที่ 5.7-5.9 และรูปที่ 5.7

5.3.4 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น(0.76) แสดงผลการทดสอบในตารางที่ 5.10-5.12 และรูปที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.5 แสดงผลกระทบของปริมาณซีเมนต์ที่ผสมเพิ่มกับค่ายุบตัวของคอนกรีตก่อนผสมซ้ำ



ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำ

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.68) ที่อายุ 7 วัน

เวลาก่อนการผสมซ้ำ (นาที)	คอนกรีตก่อนการผสมซ้ำ			คอนกรีตหลังการผสมซ้ำ			ปริมาณซีเมนต์เพสท์		การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	น้ำ (กก.)	ซีเมนต์ (กก.)	
30	5.85	597	271	10.75	667	302	42.6	64.9	+11.44
30	5.75	609	278	7.9	671	304	23.58	35.7	+10.14
60	4	582	264	11.75	639	275	57.02	86.4	+4.11
60	3.25	578	262	7.5	643	291	38.35	58.1	+11.07
90	2.5	637	289	12.5	660	299	92.1	139.5	+3.46
90	2.85	624	283	10.75	653	296	68.9	104.4	+4.59

หมายเหตุ 30 , 60 , 90 หมายถึง เวลาก่อนผสมซ้ำหลังจากครบ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำ
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.68) ที่อายุ 14 วัน

เวลาก่อนการผสมซ้ำ (นาที)	คอนกรีตก่อนการผสมซ้ำ			คอนกรีตหลังการผสมซ้ำ			ปริมาณซีเมนต์เพสท์		การเปลี่ยนแปลง
	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	น้ำ (กก.)	ซีเมนต์ (กก.)	กำลังอัดประลัย (%)
30	5.85	684	310	10.75	755	342	42.8	64.9	+10.32
30	5.75	697	316	7.9	748	339	22.56	35.7	+7.28
60	4	686	311	7.75	713	323	57.02	88.4	+3.86
60	3.25	666	302	7.5	706	320	38.35	58.1	+5.96
90	3.2	702	318	12.5	735	313	82.1	129.5	+4.72
90	2.85	686	312	10.75	733	332	68.9	104.4	+6.41

หมายเหตุ 30 , 60 , 90 หมายถึง เวลาก่อนผสมซ้ำหลังจากครบ 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำ
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) ที่อายุ 28 วัน

เวลาก่อนการผสมซ้ำ (นาที)	คอนกรีตก่อนการผสมซ้ำ			คอนกรีตหลังการผสมซ้ำ			ปริมาณซีเมนต์เพสท์		การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	น้ำ (กก.)	ซีเมนต์ (กก.)	
30	5.85	822	373	10.75	890	403	42.6	64.9	+8.04
30	5.75	781	354	7.9	875	397	23.56	35.7	+12.15
60	4	793	359	11.75	802	363	57.02	86.4	+1.1
60	3.25	783	346	7.5	809	367	38.35	58.1	+6.07
90	2.5	816	370	12.5	892	404	92.1	139.5	+9.19
90	2.85	836	379	10.75	918	415	68.9	104.4	+9.5

หมายเหตุ 30 , 60 , 90 หมายถึง เวลาก่อนผสมซ้ำหลังจากครบ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 5. 7 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำ

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.58) ที่อายุ 7 วัน

เวลาก่อนการผสมซ้ำ (นาที)	คอนกรีตก่อนการผสมซ้ำ			คอนกรีตหลังการผสมซ้ำ			ปริมาณซีเมนต์เพสท์		การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	น้ำ (กก.)	ซีเมนต์ (กก.)	
30	6.65	660	299	12.5	716	325	57.1	101.9	+8.63
30	5	630	286	7.75	746	338	40.8	72.5	+18.18
60	4.5	604	274	12	705	320	78.6	140.3	+16.79
60	4.65	583	264	8	656	298	39.3	70.1	+12.88
90	3.65	616	279	11.25	761	345	95.1	169.8	+23.66
90	3	585	256	8.25	633	287	78.1	135.9	+12.11

หมายเหตุ 30 , 60 , 90 หมายถึง เวลาก่อนผสมซ้ำหลังจากครบ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำ

'อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.58) ที่อายุ 14 วัน

เวลาก่อนการผสมซ้ำ (นาที)	คอนกรีตก่อนการผสมซ้ำ			คอนกรีตหลังการผสมซ้ำ			ปริมาณซีเมนต์		การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	น้ำ (กก.)	ซีเมนต์ (กก.)	
30	6.65	730	331	12.5	812	368	57.1	101.9	+11.18
30	5	704	319	7.75	787	357	40.6	72.5	+11.91
60	4.5	719	326	12	772	350	78.6	140.3	+7.36
60	4.65	680	308	8	728	330	39.3	70.1	+7.14
90	3.65	644	292	11.25	728	329	95.1	169.8	+12.67
90	3	702	318	8.25	763	346	76.1	135.9	+8.81

หมายเหตุ 30 , 60 , 90 หมายถึง เวลาก่อนผสมซ้ำหลังจากครบ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำ

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.56) ที่อายุ 28 วัน

เวลาก่อนการผสมซ้ำ (นาที)	คอนกรีตก่อนการผสมซ้ำ			คอนกรีตหลังการผสมซ้ำ			ปริมาณซีเมนต์		การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	น้ำ (กก.)	ซีเมนต์ (กก.)	
30	6.65	820	372	12.5	921	417	57.1	101.9	+12.1
30	5	752	341	7.75	890	403	40.6	72.5	+18.18
60	4.5	812	368	12	862	391	78.6	140.3	+6.25
60	4.65	768	348	8	840	381	39.3	70.1	+9.48
90	3.65	737	334	11.25	872	395	95.1	169.8	+18.26
90	3	800	361	8.25	899	407	78.1	135.9	+12.12

หมายเหตุ 30 , 60 , 90 หมายถึง เวลาก่อนผสมซ้ำหลังจากครบ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 5. 10 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมน้ำ
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.70) ที่อายุ 7 วัน

เวลาก่อนการผสมน้ำ (นาที)	คอนกรีตก่อนการผสมน้ำ			คอนกรีตหลังการผสมน้ำ			ปริมาณซีเมนต์เพสท์		การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	น้ำ (กก.)	ซีเมนต์ (กก.)	
30	5.75	026	204	8.05	014	270	44.3	58.3	-2.1
30	8	800	272	8.75	575	201	23.8	31.3	-4.04
00	4.5	824	203	12.15	585	250	72	94.7	-0.5
00	4.5	014	270	8.5	590	208	37.2	48.9	-3.8
90	1.4	539	244	7.0	530	200	167.2	220	+21.3
90	2.8	506	200	12	485	224	74.3	07.7	-15.8

หมายเหตุ 30 , 00 , 90 หมายถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากครบ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 5. 11 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำ
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.78) ที่อายุ 14 วัน

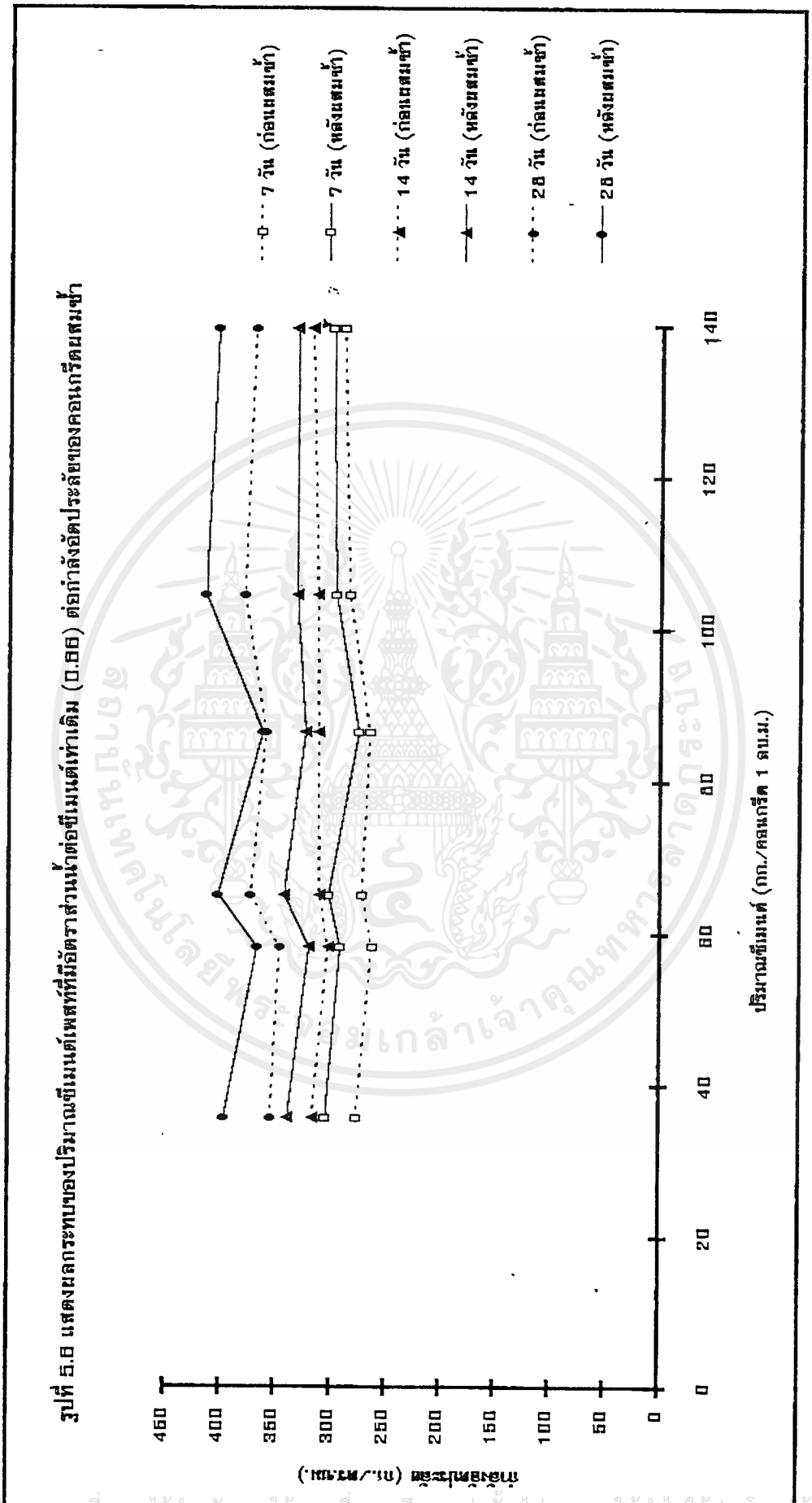
เวลาก่อนการผสมซ้ำ (นาที)	คอนกรีตก่อนการผสมซ้ำ			คอนกรีตหลังการผสมซ้ำ			ปริมาณซีเมนต์เพสท์		การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	น้ำ (กก.)	ซีเมนต์ (กก.)	
30	5.75	730	331	8.65	715	324	44.3	58.3	-2.11
30	6	713	323	6.75	673	305	23.8	31.3	-5.57
60	4.5	780	321	12.15	640	290	72	94.7	-9.65
60	4.5	706	320	9.5	671	304	37.2	48.9	-5
90	1.4	658	298	7.6	777	352	167.2	220	+18.12
90	2.6	675	306	12	604	274	74.3	97.7	-10.45

หมายเหตุ 30 , 60 , 90 หมายถึง เวลาก่อนผสมซ้ำหลังจากครบ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 5. 12 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำ
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) ที่อายุ 28 วัน

เวลาก่อนการผสมซ้ำ (นาที)	คอนกรีตก่อนการผสมซ้ำ			คอนกรีตหลังการผสมซ้ำ			ปริมาณซีเมนต์เพสท์		การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่ายุบตัว (ซม.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	น้ำ (กก.)	ซีเมนต์ (กก.)	
30	5.75	862	391	8.65	854	387	44.3	58.3	-1.02
30	6	801	363	8.75	786	356	23.6	31.3	-1.93
60	4.5	803	364	12.15	760	344	72	94.7	-5.49
60	4.5	821	372	9.5	790	358	37.2	48.9	-3.76
90	1.4	798	362	7.6	966	438	167.2	220	+20.79
90	2.6	833	378	12	743	337	74.3	97.7	-10.85

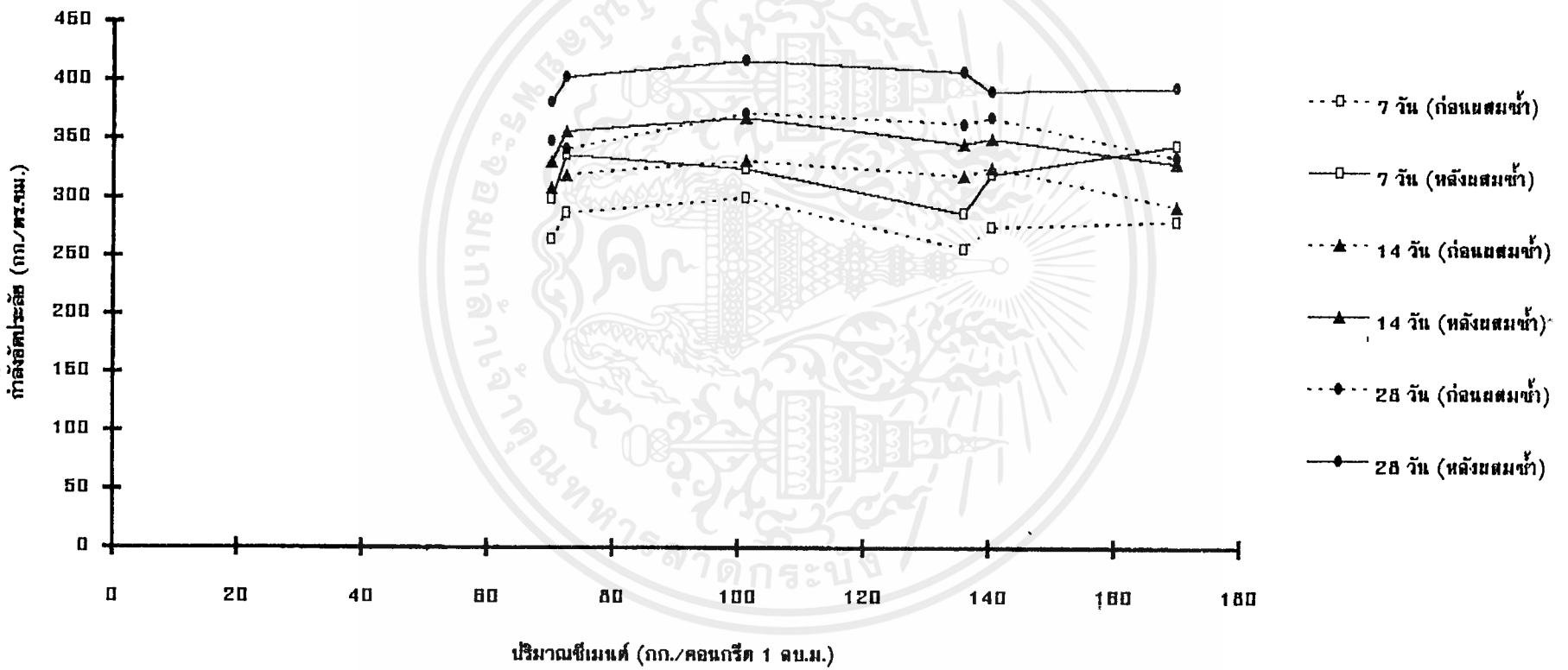
หมายเหตุ 30 , 60 , 90 หมายถึง เวลาก่อนผสมซ้ำหลังจากครบ 2 ชั่วโมง



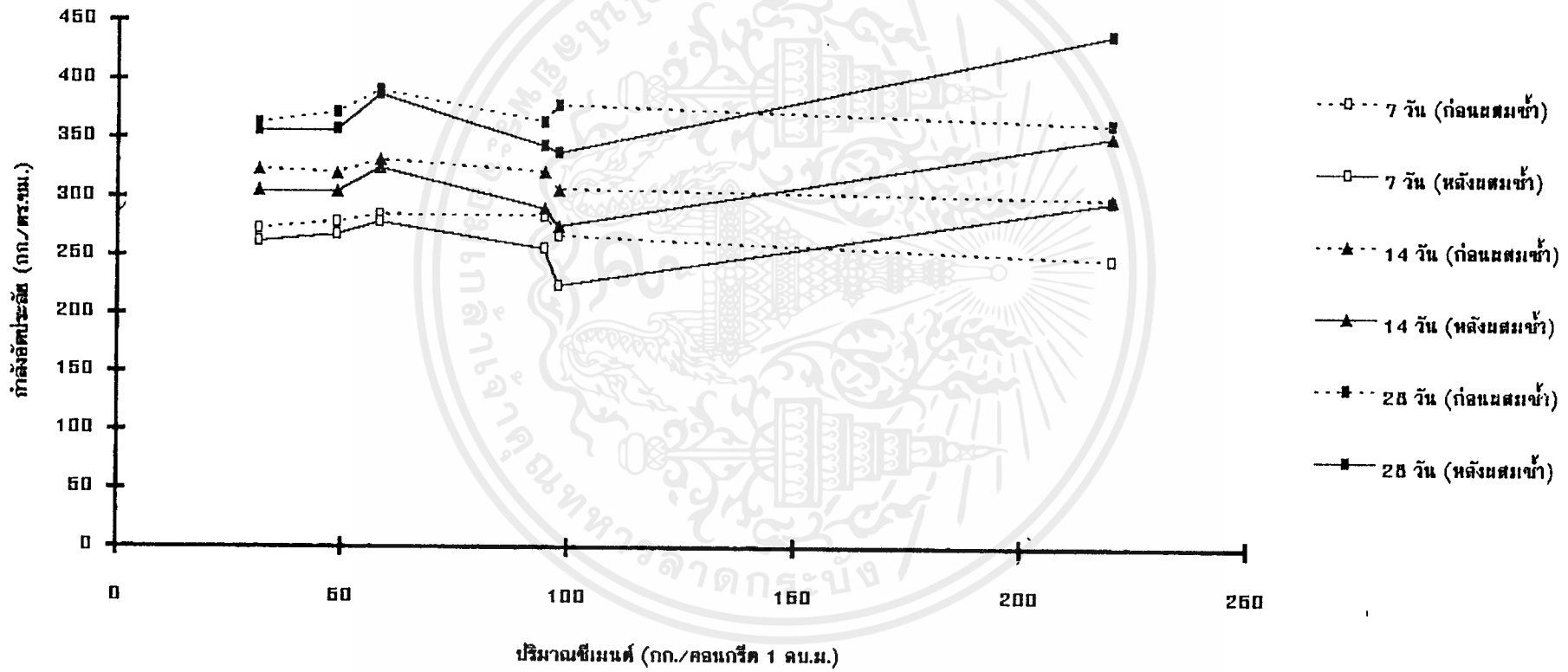
รูปที่ 5.8 แสดงผลกระทบของปริมาณซีเมนต์เพสท์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.88) ต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7 แสดงผลกระทบของปริมาณซีเมนต์เพสท์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง (0.58) ต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมน้ำ



รูปที่ 5.8 แสดงผลกระทบของปริมาณซีเมนต์เพสท์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) ต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำ



5.3.5 ผลการทดสอบเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์

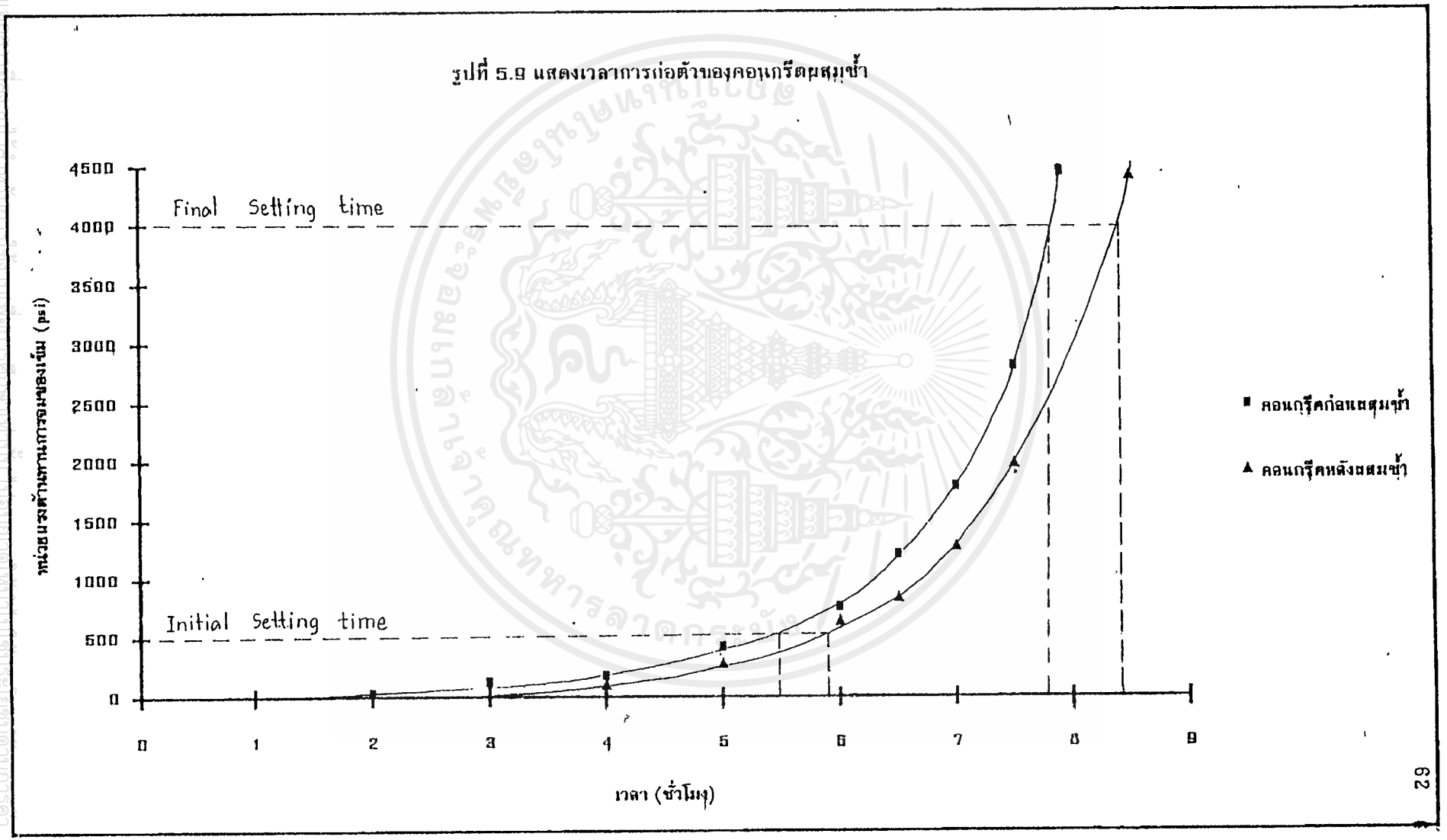
จากการทดสอบโดยเลือกตัวอย่างคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพทส์ที่ใช้ในส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์เท่ากันกับคอนกรีตก่อนผสมซ้ำ ปริมาณน้ำและปูนซีเมนต์ที่เพิ่มเมื่อเวลาก่อนการผสม 180 นาที คือ 37.2 และ 56.4 กิโลกรัม ตามลำดับ ทำให้ค่าความยุบตัวเพิ่มขึ้นจาก 4.5 ซม. เป็น 8 ซม. พบว่าเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมซ้ำเป็น ไปตามตารางที่ 5.13 และรูปที่ 5.9

ตารางที่ 5.13 แสดง ผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมซ้ำ

	ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มแรก (ชั่วโมง:นาที)	ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย (ชั่วโมง:นาที)
คอนกรีตก่อนผสมซ้ำ	5:30	7:45
คอนกรีตหลังผสมซ้ำ	5:55	8:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.9 แสดงเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมซ้ำ



บทที่ 6

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

6.1 การศึกษาเวลาการผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

-ผลกระทบต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีต

จากการทดสอบตัวอย่างพบว่า การสูญเสียค่าความยุบตัวมีความสัมพันธ์กับเวลาก่อนการผสมซ้ำดังแสดงในรูปที่ 5.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมสารหน่วงจะสูญเสียความสามารถเทได้เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาก่อนการผสมซ้ำมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก

1.ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น โดยปกติน้ำในส่วนผสมบางส่วนจะเข้าทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับซีเมนต์เกิดเป็นของแข็งใหม่รวมเรียกว่า ซีเมนต์เจล ซึ่งเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นความต้องการน้ำในการทำปฏิกิริยาจึงเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในช่องว่างจึงน้อยลง ส่งผลให้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตลดลง

2. ความร้อนสะสมที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเวลาก่อนการผสมซ้ำ ทำให้อุณหภูมิภายในของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นด้วย จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าอัตราการระเหยของน้ำในส่วนผสมเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาก่อนการผสมซ้ำ

3. เมื่อผสมคอนกรีตเป็นเวลานานทำให้วัสดุผสมมีความละเอียดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการขัดสีกันเอง ความต้องการซีเมนต์ที่จะมาเคลือบผิวของวัสดุผสมจึงเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ได้ค่าความข้นเหลวเท่าเดิม แต่ปริมาณซีเมนต์เพทส์มีค่าคงที่ดังนั้นความข้นเหลวของซีเมนต์เพทส์จึงลดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3 คอนกรีตผสมสารหน่วงที่ใช้อัตราส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกันกับคอนกรีตธรรมดาจะให้ค่าความยุบตัวเริ่มต้นมากขึ้น เป็นผลมาจากคุณสมบัติของสารหน่วงการก่อตัวที่ผสมเพิ่ม เพราะคอนกรีตผสมสารหน่วงต้องการค่าความยุบตัวที่มากกว่าปกติเพื่อช่วยชดเชยค่าความยุบตัวที่ต้องสูญเสียไปเมื่อต้องใช้เวลาการผสมนานมากขึ้น

-ผลกระทบต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตชนิดธรรมดาที่อายุ 28 วัน เพิ่มสูงขึ้นตามเวลาการผสม โดยเพิ่มสูงขึ้นค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 90 นาทีแรกของการผสมและมีแนวโน้มที่ต่ำลงเล็กน้อยเมื่อเวลาการผสมที่ 120-150 นาที ในขณะเดียวกัน คอนกรีตผสมสารหน่วงมีค่ากำลังอัดประลัยค่อนข้างคงที่ และมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยที่เวลาการผสม 150 นาทีแรก และมีแนวโน้มต่ำลงเมื่อเวลาการผสมที่ 180 และ 210 นาที แต่โดยเฉลี่ยแล้วค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตทั้งสองชนิดยังมีค่าสูงกว่าค่ากำลังอัดประลัยที่ออกแบบไว้ (240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ผลการทดสอบดังกล่าววิเคราะห์ได้ดังนี้

ตามธรรมชาติของคอนกรีต ความแข็งแรงของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเมื่อมวลรวมในคอนกรีตจัดเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ การเพิ่มเวลาการผสมมากขึ้นทำให้คอนกรีตคลุกเคล้ากันอย่างสม่ำเสมอ เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตน้อยลงทำให้มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น แต่จากผลการทดลองพบว่าในช่วงแรกค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่เพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่า ในช่วงระหว่างการคลุกเคล้าส่วนผสมคอนกรีต ความร้อนอันเกิดจากการเสียดสีกันเองของมวลรวม และจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในเนื้อคอนกรีตสูง ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นดำเนินไปช้ากว่าที่ควร มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าลดลง ดังนั้นกำลังประลัยของคอนกรีตที่ได้จึงมีค่าค่อนข้างคงที่และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตผสมซ้ำด้วนซีเมนต์เพสต์

คอนกรีตที่ใช้ในการผสมซ้ำเป็นคอนกรีตผสมสารหน่วงประเภท D (น้ำยาลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต) ตามมาตราฐาน ASTM C 494 โดยใส่ปริมาณ 200 มิลลิลิตรต่อซีเมนต์ 100 กิโลกรัม

-ผลกระทบต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตผสมซ้ำ

ในการศึกษาผลกระทบของซีเมนต์เพสต์ต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถเทได้ของคอนกรีตผสมซ้ำ จากการเติมซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ $\pm$0.0, +0.1, -0.1 ของค่าเดิมลงในคอนกรีตผสมซ้ำที่ 150, 180 และ 210 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.5 พบว่า การยุบตัวของคอนกรีตผสมซ้ำเปลี่ยนแปลงมากขึ้นตามปริมาณของซีเมนต์เพสต์ และการเพิ่มความสามารถเทได้ด้วยซีเมนต์เพทส์นี้จะขึ้นอยู่กับเวลาก่อนการผสมด้วย กล่าวคือเมื่อเวลาก่อนการผสมซ้ำนานขึ้นจะต้องใช้ซีเมนต์เพทส์ปริมาณที่มากขึ้นด้วยเพื่อให้คอนกรีตผสมซ้ำมีความสามารถเทได้เท่าเดิม ทั้งนี้เกิดจากซีเมนต์เพสต์ไปเคลือบอนุภาคมวลรวมทำให้เกิดความลื่นในเนื้อคอนกรีตสด เมื่อเวลาก่อนการผสมซ้ำนานขึ้นทำให้ได้ซีเมนต์เจ็ลซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงต้องใช้ซีเมนต์เพสต์ในปริมาณมากกว่าเดิมเพื่อเคลือบอนุภาคซีเมนต์เจ็ลที่เกิดขึ้น

-ผลกระทบต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำ

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำพิจารณาเมื่อคอนกรีตอายุ 28 วัน พบว่าจากการเติมซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66) และลดลง(0.56) ของค่าเดิม ลงในคอนกรีตผสมซ้ำที่เวลาการผสม 150,180 และ 210 นาทีตามลำดับในปริมาณต่างๆกัน มีผลทำให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำมีค่าสูงกว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ผสมเมื่อเวลา 120 นาที เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำที่ซีเมนต์เพสต์ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.66)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และลดลง (0.56) มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 7.5 %,15 % ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.6 และ 5.7 ทั้งนี้เนื่องจากการเติมซีเมนต์เพทส์ลงไปในส่วนผสม ทำให้เพิ่มปริมาณเม็ดซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับน้ำมากขึ้นด้วย ซีเมนต์เจ็ลที่เกิดขึ้นใหม่นี้ช่วยลดช่องว่างในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้มากขึ้น เมื่อลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ให้น้อยลง แสดงว่าปริมาณเม็ดซีเมนต์ในคอนกรีตมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง(0.56) มีค่าสูงมากกว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม(0.66)

จากรูปที่ 5.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น (0.76) พบว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำที่เวลาการผสม 150,180 และ 210 นาที มีค่าลดน้อยลงกว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่เวลาการผสม 120 นาที โดยมีเปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเฉลี่ยลดลงประมาณ 7 %

การที่กำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำลดน้อยลงเนื่องมาจาก ปริมาณน้ำที่ผสมเพิ่มขึ้นไปแทรกอยู่ระหว่างอนุภาคของซีเมนต์เจ็ลทำให้เกิดช่องว่างในซีเมนต์เพสต์เพิ่มมากขึ้น ถึงแม้ว่าปริมาณเม็ดซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับน้ำจะมากขึ้นก็ตาม แต่อัตราส่วนเจลต่อช่องว่างของซีเมนต์เพทส์ยังมีสัดส่วนที่น้อยลง ดังนั้นกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำจึงมีค่าน้อยลงด้วย

แต่จากผลการทดลองที่เวลาการผสมซ้ำ 210 นาที ใช้ซีเมนต์ในการผสมเพิ่มถึง 220 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัยเพิ่มขึ้นประมาณ 20 % จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าน้ำหนักซีเมนต์ที่ผสมเพิ่มมีปริมาณมากเป็น 0.68 เท่าของน้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมเริ่มแรก ซึ่งอาจพอกล่าวได้ว่าปริมาณซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้ได้ซีเมนต์เจลมีค่ามากพอ ทำให้อัตราส่วนเจลต่อช่องว่างของซีเมนต์เพสต์มีค่าเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำจึงมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตมีค่าน้อยมากทำให้คอนกรีตผสมซ้ำที่เวลานี้ต้องการน้ำเพื่อชดเชยกับน้ำที่สูญเสียไปเป็นปริมาณเพิ่มขึ้น เพื่อให้ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาไฮเดร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่นกับน้ำได้อย่างเต็มที่และสม่ำเสมอ ด้วยเหตุนี้คอนกรีตผสมซ้ำจึงมีค่ากำลังอัดประลัยเพิ่มมากขึ้น

-ผลกระทบต่อเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมซ้ำ

จากตารางที่ 5.13 จะเห็นได้ว่าเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและเวลาการก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีตผสมซ้ำใช้เวลายาวนานขึ้นประมาณ 25 และ 35 นาทีตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะการพัฒนาความต้านทานการจมของเข็มขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในช่วงเวลาก่อนการผสมซ้ำนั้นซีเมนต์กับน้ำยังคงทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นไปเรื่อยๆ เมื่อนำคอนกรีตมาผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์ ปูนซีเมนต์และน้ำที่ผสมเพิ่มขึ้นนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากันขึ้นใหม่ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการก่อตัวของคอนกรีตผสมซ้ำจึงยาวนานขึ้น แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเพิ่มยังคงมีค่าน้อย ด้วยเหตุนี้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจึงมีค่าไม่มากนัก

6.3 การประเมินผลการทดสอบ

จากการทดสอบ จะเห็นได้ว่าคุณภาพของคอนกรีตบางกลุ่มตัวอย่างมีค่าความแปรปรวนสูง ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุ สรุปได้ดังนี้

1. คุณสมบัติของวัสดุผสม เนื่องจากได้ทำการทดสอบที่โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จวัสดุผสมที่ใช้ทำการศึกษาได้เปลี่ยนอยู่เสมอ ทำให้คุณสมบัติของวัสดุแปรปรวน มีผลทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดได้

2. ไม้แบบ โครงงานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างทดสอบจำนวนมาก เพื่อให้การทดสอบเป็นไปอย่างสะดวกและประหยัดที่สุด จึงใช้ไม้แบบเป็นแบบหล่อลูกบาศก์ 15*15*15 ซม. เนื่องจากต้องใช้ไม้แบบเก่าหลายครั้ง ดังนั้นขนาดของคอนกรีตที่ได้จึงไม่ได้มาตรฐานเหมือนกับแบบหล่อที่ทำจากเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ข้อจำกัดด้านเวลา เนื่องจากตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีเป็นจำนวนมาก ทำให้ใช้เวลาในการเทแบบหล่อมากขึ้นตามไปด้วย โครงงานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของเวลาที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต ดังนั้นเวลาที่ใช้ดำเนินการทดสอบจึงคลาดเคลื่อนไปบ้าง

4. อุณหภูมิขณะทำการทดสอบไม่แน่นอน บางครั้งมีค่าสูงถึง 36 องศาเซลเซียส ทำให้คอนกรีตสูญเสียค่ายุบตัวเร็วกว่าปกติ ผลการทดสอบจึงมีความแปรปรวน

5. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดสอบมีข้อบกพร่องในบางจุด สิ่งเหล่านี้มีอิทธิพลด้วยเช่นกัน

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น แม้ผลการทดลองด้านกำลังอัดประลัยจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้อยมาก แต่เมื่อประเมินผลโดยรวมแล้ว ถือว่าการทดสอบนี้อยู่ในเกณฑ์พอใช้ได้เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

7.1 การศึกษาเวลาการผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

จากผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. ความสามารถเทได้ของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมสารหน่วง ขึ้นอยู่กับเวลาการผสม กล่าวคือ ที่เวลาการผสมมากขึ้น คอนกรีตจะสูญเสียค่าความยุบตัวมากขึ้น โดยค่าสูญเสียการยุบตัวจะแปรผันตามเวลาการผสม

2. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตธรรมดาค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาการผสม 90 นาทีแรก และมีค่าลดต่ำลงที่เวลาการผสม 120 และ 150 นาที

3. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมสารหน่วงที่เวลาการผสม 150 นาทีแรกมีค่าค่อนข้างคงที่และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ที่เวลาผสม 180 และ 210 นาที หลังจากนั้นกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าลดต่ำลง

4. ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มแรกและก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีตธรรมดามีค่า 2 ชั่วโมง 30 นาที และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ ส่วนคอนกรีตผสมสารหน่วงมีระยะเวลาก่อตัวเริ่มแรกและก่อตัวสุดท้ายที่ 5 ชั่วโมง 45 นาที และ 7 ชั่วโมง 30 นาที ตามลำดับ

5. การนำคอนกรีตสดไปใช้งาน หากคอนกรีตสดยังคงมีความสามารถเทได้อยู่ คอนกรีตสดนั้นยังคงนำไปใช้งานได้ เพราะค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตค่อนข้างคงที่และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาการผสมนานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

จากผลการทดสอบภายใต้ขอบเขตของโครงงานวิจัยที่กำหนดไว้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. เมื่อเติมซีเมนต์เพสต์ลงในส่วนผสมคอนกรีต จะสามารถยืดเวลาการก่อตัวของคอนกรีตได้ จากตัวอย่างที่เลือกทำการทดสอบผสมซ้ำคอนกรีตที่เวลา 180 นาทีหลังการผสมเริ่มแรก สามารถยืดเวลาการก่อตัวเริ่มแรกและการก่อตัวสุดท้าย 25 และ 35 นาที ตามลำดับ

2. ความสามารถเทได้ของคอนกรีตผสมซ้ำขึ้นอยู่กับเวลาก่อนการผสมซ้ำเป็นหลัก โดยคอนกรีตผสมซ้ำจะสูญเสียการยุบตัวมากขึ้นเมื่อเวลาก่อนการผสมซ้ำมากขึ้น

3. ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเพิ่ม ขึ้นอยู่กับอัตราการสูญเสียค่าความยุบตัวของคอนกรีต คอนกรีตที่สูญเสียค่าความยุบตัวมากจะต้องการปริมาณซีเมนต์เพสท์เพิ่มมากขึ้นด้วย

4. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ของซีเมนต์เพทสต์ที่เพิ่ม โดยมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นประมาณ 7.5 % และ 15 % เมื่อเติมซีเมนต์เพสต์ที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิมและลดลง 0.1จากค่าเดิม ตามลำดับ ในขณะเดียวกันเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัยของคอนกรีตลดต่ำลงประมาณ 7 % เมื่อเติมซีเมนต์เพสต์ที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น 0.1 จากค่าเดิม

5. การเพิ่มความสามารถเทได้ของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์จะมีผลให้ราคาคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ผสมเพิ่ม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.2 เมื่อพิจารณาเฉพาะปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ที่ผสมเพิ่มจัดว่ามีค่าน้อยเมื่อเทียบกับราคาคอนกรีตผสมเสร็จของผู้ผลิต ดังนั้นหากประสบปัญหาในหน้างาน การเลือกใช้ซีเมนต์เพสต์จัดว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ ควรเลือกใช้ซีเมนต์เพสท์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับคอนกรีตก่อนการผสม ในปริมาณที่เหมาะสมซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 7.1 และ 7.2 ประกอบ

อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจใช้คอนกรีตผสมซ้ำหรือไม่นั้น นอกจากพิจารณาด้านคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำและราคาปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นแล้ว ยังต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆอีก อันได้แก่ แหล่งวัตถุดิบ ความสะดวกและความพร้อมในการทำงาน การจัดซื้อ เวลาที่ต้องสูญเสียเพิ่มขึ้น เป็นต้น สำหรับโครงงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ โดยพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติด้านความสามารถเทได้และกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซ้ำเท่านั้น

ตารางที่ 7.1 แสดงขอบเขตค่าความยุบตัวและปริมาณของซีเมนต์เพสท์ของคอนกรีตผสมซ้ำ

เวลา (นาที)	ค่าการยุบตัวเริ่มต้น (ซม.)	ปริมาณซีเมนต์เพสต์ (กก.)	
		น้ำ	ซีเมนต์
0	7.5-12.5	–	–
30	5.5-6.8	19-48	29-106
60	3.25-4.65	32–63	49-95
90	1.4-3.65	58-83	87-126

หมายเหตุ 0,30,60,90 หมายถึง เวลานับจากผสมคอนกรีตไปแล้ว 2 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 แสดงราคาคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

ราคาคอนกรีตผสมเสร็จราคาลูกบาศก์เมตรละ 1200 บาท

ราคาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ถุง 50 กิโลกรัม ราคา 85 บาท

ปูนซีเมนต์ที่ผสมเพิ่มต่อคอนกรีต 1ลบ.ม.		ราคารวมของคอนกรีตผสมเสร็จและปูนซีเมนต์ผสมเพิ่มในปริมาณต่างๆ (บาท)					เปอร์เซนต์เพิ่มของราคาคอนกรีตผสมซ้ำ (%)
ปริมาณ (กก.)	ราคา (บาท)	1 ลบ.ม.	2 ลบ.ม.	3 ลบ.ม.	4 ลบ.ม.	5 ลบ.ม.	
40	68	1268	2536	3804	5072	6340	5.36
50	85	1285	2570	3855	5140	6425	6.61
60	102	1303	2604	3906	5206	6510	7.83
70	119	1319	2638	3957	5276	6595	9.02
80	136	1336	2672	4008	5344	6680	10.18
90	153	1353	2706	4059	5412	6765	11.31
100	170	1370	2740	4110	5480	6850	12.41
120	204	1404	2808	4212	5616	7026	14.53
140	238	1438	2876	4314	5752	7190	16.55
160	272	1472	2944	4416	5888	7360	18.48
180	306	1506	3012	4518	6024	7530	20.32
200	340	1540	3080	4620	6160	7700	22.08
220	374	1574	3148	4722	6296	7870	23.76
240	408	1608	3216	4824	6432	8040	25.37
260	442	1642	3284	4926	6568	8210	26.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

ในขณะที่เติมซีเมนต์เพสท์ลงไปในคอนกรีต ควรหมุนโม่ผสมด้วยความเร็วและเวลาที่มากพอที่จะให้ซีเมนต์เพสท์กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเพื่อสามารถนำคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดมากยิ่งขึ้น จึงควรศึกษาคุณสมบัติอื่นๆของคอนกรีตผสมซ้ำด้วย เช่น แรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต กำลังรับแรงดึง เวลาการก่อตัวหลังผสมซ้ำ การสึกกร่อนของคอนกรีต เป็นต้น

โครงงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอยู่ภายใต้ขอบเขตดังที่กล่าวแล้วข้างต้น ดังนั้นผลการศึกษาจึงมีข้อจำกัดอยู่มาก เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่น่าเชื่อถือยิ่งขึ้น จึงควรทำการศึกษาคอนกรีตผสมซ้ำที่ค่ากำลังอัดประลัยต่างๆ กัน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า คอนกรีตผสมเสร็จเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป การศึกษาเพื่อนำไปใช้งานจริง จึงควรศึกษาสภาพสนามของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์สำหรับคอนกรีตผสมเสร็จด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ธาดา เตียประเสริฐ "สภาพสนามของเวลาการผสมและการผสมซ้ำสำหรับคอนกรีตผสมเสร็จ," วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2520

2. Beauwfiat F.W. & Hoadley P.G., "Mix Time and Retempering Studies on Ready-Mixed Concrete," ACT Journal, V.70, 60-73,1973.

3. วินิต ช่อวิเชียร "ผลของการผสมซ้ำที่มีต่อกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต," รายงานผลการวิจัยฉบับที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523, หน้า 108-115

4. อภิชาติ จันทรทรัพย์ "คอนกรีตผสมซ้ำด้วยสารลดน้ำพิเศษ," วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532

5. Berhane Z., "Evaporation of water from Fresh Motar and Concrete at Different Environmental Conditions," ACT Journal , V.81, 560-565, 1984.

6. Power, T.C. "The Nature of Concrete," In Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, pp. 61-72 Publication STP 169-A. Philadelphia : 1966

7. Power, T.C. "The Physical Structure and Engineering Properties of Concrete," Portland Cement Association Reserch and Development Laboratories Bulletin No.90 (July 1958) : 1-28

8. Power, T.C. "Stucture and Physical Properties of Hardened Portland Cement paste." Juornal of the America Ceramic Society 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Neville, A.M Property of Concrete. 2d. metriced. London: Pitman Puvlishing 1973

10. Power, T.C., and Brownyard, T.L."Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste (Nine Parts)." Journal of the American Cement Institute 43 (October 1946 to April 1947)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ผลการทดสอบเวลาการผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ชนิดธรรมดา ที่อายุ 7 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
0		8.053	460		
0		8.232	450		
0		8.147	455		
0		8.203	430		
0		8.269	420		
เฉลี่ย	11.5	8.181	443	201	3.47
30		8.372	450		
30		8.266	445		
30		8.393	460		
30		8.373	450		
30		8.354	430		
เฉลี่ย	9	8.344	447	203	2.19
60		8.251	420		
60		8.237	440		
60		8.322	450		
60		8.338	445		
60		8.346	410		
เฉลี่ย	6.75	8.299	433	196	3.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ชนิดธรรมดา ที่อายุ 7 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
90		8.237	470		
90		8.269	400		
90		8.272	465		
90		8.31	440		
90		8.322	460		
เฉลี่ย	4.75	8.262	447	203	5.73
120		8.356	450		
120		8.299	390		
120		8.271	415		
120		8.321	420		
120		8.275	460		
เฉลี่ย	2.5	8.424	427	194	5.91
150		8.32	390		
150		8.331	430		
150		8.293	420		
150		8.279	420		
150		8.267	410		
เฉลี่ย	1	8.296	414	188	3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ชนิดธรรมดา ที่อายุ 14 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
0		8.412	520		
0		8.443	500		
0		8.432	480		
0		8.412	470		
0		8.439	525		
เฉลี่ย	11.5	8.428	499	226	4.32
30		8.431	530		
30		8.495	470		
30		8.423	510		
30		8.37	520		
30		8.477	495		
เฉลี่ย	9	8.439	505	229	4.15
60		8.411	470		
60		8.4	490		
60		8.551	520		
60		8.477	510		
60		8.444	470		
เฉลี่ย	6.75	8.461	492	223	4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-4 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ชนิดธรรมดา ที่อายุ 14 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
90		8.431	505		
90		8.42	480		
90		8.381	500		
90		8.367	490		
90		8.432	470		
เฉลี่ย	4.75	8.414	496	222	2.62
120		8.434	500		
120		8.332	420		
120		8.319	480		
120		8.345	460		
120		8.467	460		
เฉลี่ย	2.5	8.379	466	212	5.8
150		8.454	490		
150		8.464	450		
150		8.401	470		
150		8.327	420		
150		8.378	420		
เฉลี่ย	1	8.405	450	204	6.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ชนิดธรรมดา ที่อายุ 28 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
0		8.453	500		
0		8.432	540		
0		8.347	570		
0		8.403	560		
0		8.389	540		
เฉลี่ย	11.5	8.401	542	246	4.43
30		8.372	555		
30		8.366	580		
30		8.453	595		
30		8.373	560		
30		8.454	550		
เฉลี่ย	9	8.404	568	257	2.98
60		8.451	565		
60		8.337	515		
60		8.422	520		
60		8.438	535		
60		8.237	570		
เฉลี่ย	6.75	8.377	541	245	4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-6 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ชนิดธรรมดา ที่อายุ 28 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
90		8.32	525		
90		8.47	540		
90		8.372	535		
90		8.052	550		
90		8.012	520		
เฉลี่ย	4.75	8.245	534	242	2
120		8.027	565		
120		8.355	515		
120		8.357	520		
120		8.21	560		
120		8.111	590		
เฉลี่ย	2.5	8.212	550	249	5.17
150		8.424	505		
150		8.361	520		
150		8.43	515		
150		8.486	535		
150		8.475	495		
เฉลี่ย	1	8.435	510	232	2.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วงที่อายุ 7 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
0		8.012	500		
0		8.197	470		
0		8.251	480		
0		8.295	480		
0		8.245	505		
เฉลี่ย	17.75	8.2	487	221	2.72
60		8.333	510		
60		8.263	490		
60		8.284	480		
60		8.269	480		
60		8.36	510		
เฉลี่ย	13.75	8.302	494	224	2.75
120		8.313	530		
120		8.224	510		
120		8.28	485		
120		7.846	485		
120		7.981	500		
เฉลี่ย	9.5	8.085	502	228	3.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง ที่อายุ 7 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
150		8.326	470		
150		8.271	490		
150		8.28	470		
150		8.24	500		
150		8.219	480		
เฉลี่ย	7	8.257	482	216	2.42
180		8.379	510		
180		8.251	470		
180		8.269	490		
180		8.311	530		
180		8.25	510		
เฉลี่ย	4.5	8.291	502	228	4.06
210		7.995	430		
210		8	440		
210		7.885	470		
210		8.101	430		
210		8.902	440		
เฉลี่ย	1.75	7.977	442	200	3.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-9 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง ที่อายุ 14 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
0		8.362	520		
0		8.387	535		
0		8.376	52		
0		8.223	560		
0		8.355	530		
เฉลี่ย	17.75	8.341	533	242	2.76
60		8.221	580		
60		8.344	510		
60		8.321	540		
60		8.248	545		
60		8.33	560		
เฉลี่ย	13.75	8.293	547	248	4.23
120		8.302	570		
120		8.33	595		
120		8.255	570		
120		8.224	560		
120		8.364	555		
เฉลี่ย	9.5	8.295	570	258	2.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-10 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง ที่อายุ 14 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
150		8.341	550		
150		8.385	590		
150		8.35	605		
150		8.29	580		
150		8.382	580		
เฉลี่ย	7	8.35	577	282	3.45
180		8.392	580		
180		8.371	500		
180		8.211	560		
180		8.307	510		
180		8.298	555		
เฉลี่ย	4.5	8.316	541	245	5.68
210		8.368	550		
210		8.319	570		
210		8.301	510		
210		8.296	510		
210		8.285	540		
เฉลี่ย	1.75	8.317	536	243	4.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-11 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง ที่อายุ 28 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
0		8.395	635		
0		8.335	595		
0		8.344	600		
0		8.371	585		
0		8.318	620		
เฉลี่ย	17.75	8.353	607	275	2.97
60		8.344	590		
60		8.398	580		
60		8.398	615		
60		8.255	630		
60		8.442	625		
เฉลี่ย	13.75	8.367	608	276	3.23
120		8.379	660		
120		8.306	650		
120		8.33	650		
120		8.358	625		
120		8.364	685		
เฉลี่ย	9.5	8.347	654	296	2.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-12 ผลการทดสอบสภาพเวลาผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารหน่วง ที่อายุ 28 วัน

เวลาการผสม	ค่ายุบตัว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร
150		8.165	655		
150		8.146	620		
150		8.411	665		
150		8.464	645		
150		8.375	660		
เฉลี่ย	7	8.372	649	294	2.46
180		8.337	570		
180		8.332	600		
180		8.414	660		
180		8.347	625		
180		8.331	615		
เฉลี่ย	4.5	8.358	614	278	4.81
210		8.255	580		
210		8.442	590		
210		8.21	640		
210		8.395	600		
210		8.386	605		
เฉลี่ย	1.75	8.358	603	273	3.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.60) อายุ 7 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรุนแปร			
A3001	8.47	000			A3006	8.32	005					
A3002	8.225	000			A3007	8.201	050					
A3003	8.159	590			A3008	8.193	000					
A3004	8.321	015			A3009	8.25	075					
A3005	8.201	500			A3010	8.33	005					
เฉลี่ย	8.275	597	271	1.85	เฉลี่ย	8.271	007	302	1.54	84.0	42.0	เพิ่ม 11.44 %
B3001	8.186	595			B3006	8.271	055					
B3002	8.25	020			B3007	8.305	090					
B3003	8.339	020			B3008	8.139	075					
B3004	8.212	015			B3009	8.27	050					
B3005	8.285	590			B3010	8.209	005					
เฉลี่ย	8.253	009	270	212	เฉลี่ย	8.255	071	304	2.30	35.7	23.50	เพิ่ม 10.14%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

30 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม(0.55) อายุ 7 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร			
A0001	0.382	510			A0006	0.420	600					
A0002	0.438	570			A0007	0.328	630					
A0003	0.410	570			A0008	0.548	620					
A0004	0.35	500			A0009	0.402	560					
A0005	0.427	575			A0010	0.40	605					
เฉลี่ย	0.403	502	264	2.64	เฉลี่ย	0.45	630	275	2.63	50.4	57.02	เพิ่มขึ้น 4.17%
B0001	0.105	505			B0006	0.032	645					
B0002	0.440	595			B0007	0.514	595					
B0003	0.411	590			B0008	0.377	630					
B0004	0.32	570			B0009	0.431	700					
B0005	0.401	590			B0010	0.472	645					
เฉลี่ย	0.349	570	282	1.70	เฉลี่ย	0.400	643	291	5.20	50.1	30.35	เพิ่มขึ้น 11.04%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

00 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม(0.60) อายุ 7 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรวนแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรวนแปร			
A0001	8.521	000			A0006	8.398	005					
A0002	8.504	015			A0007	8.555	050					
A0003	8.521	005			A0008	8.224	040					
A0004	8.403	580			A0009	8.404	030					
A0005	8.443	095			A0010	8.532	095					
เฉลี่ย	8.78	037	209	8.93	เฉลี่ย	8.435	000	200	3.00	138.5	92.1	เพิ่ม 3.40%
B0001	8.154	010			B0006	8.482	015					
B0002	8.435	050			B0007	8.255	005					
B0003	8.485	005			B0008	8.442	085					
B0004	8.532	595			B0009	8.479	005					
B0005	8.470	000			B0010	8.307	095					
เฉลี่ย	8.419	024	203	4.10	เฉลี่ย	8.411	053	200	5.0	104.4	00.9	เพิ่ม 4.50 %

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B
90 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม (0.50) อายุ 14 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรวนแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรวนแปร			
A3001	8.471	680			A3006	8.441	720					
A3002	8.402	670			A3007	8.512	790					
A3003	8.421	690			A3008	8.481	785					
A3004	8.398	720			A3009	8.429	700					
A3005	8.375	660			A3010	8.437	735					
เฉลี่ย	8.413	684	310	3.01	เฉลี่ย	8.458	755	342	3.23	84.8	42.8	เพิ่มขึ้น 10.32%
B3001	8.388	715			B3006	8.419	740					
B3002	8.354	705			B3007	8.425	785					
B3003	8.372	635			B3008	8.423	740					
B3004	8.481	735			B3009	8.51	765					
B3005	8.452	695			B3010	8.522	710					
เฉลี่ย	8.41	697	316	4.04	เฉลี่ย	8.46	748	339	3.4	35.7	23.58	เพิ่มขึ้น 7.20%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

30 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-5 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ(0.60) อายุ 14 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานเปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานเปร			
A0001	0.331	805			A0006	0.503	730					
A0002	0.425	705			A0007	0.441	740					
A0003	0.359	800			A0008	0.523	705					
A0004	0.371	835			A0009	0.581	700					
A0005	0.440	715			A0010	0.495	805					
เฉลี่ย	0.386	800	311	4.00	เฉลี่ย	0.523	713	323	2.03	80.4	57.02	เพิ่มขึ้น 3.80%
B0001	0.454	800			B0006	0.488	735					
B0002	0.461	805			B0007	0.507	715					
B0003	0.32	850			B0008	0.527	695					
B0004	0.4	830			B0009	0.51	700					
B0005	0.387	705			B0010	0.499	805					
เฉลี่ย	0.431	800	302	3.90	เฉลี่ย	0.507	700	320	2.47	58.1	38.35	เพิ่มขึ้น 5.90%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

B0 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากนึ่งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-ย ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม(0.60) อายุ 14 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรวนแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรวนแปร			
A0001	8.348	700			A0006	8.513	775					
A0002	8.359	650			A0007	8.460	715					
A0003	8.371	730			A0008	8.479	720					
A0004	8.402	800			A0009	8.531	750					
A0005	8.424	750			A0010	8.585	751					
เฉลี่ย	8.381	702	310	5.05	เฉลี่ย	8.511	735	333	3.25	139.5	82.1	เพิ่ม 4.72%
B0001	8.299	665			B0006	8.577	780					
B0002	8.371	800			B0007	8.451	720					
B0003	8.427	705			B0008	8.471	745					
B0004	8.450	715			B0009	8.422	705					
B0005	8.339	675			B0010	8.409	730					
เฉลี่ย	8.378	800	312	2.74	เฉลี่ย	8.486	733	332	2.81	104.4	88.9	เพิ่ม 8.41 %

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

80 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากหิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-7 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยปีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อปีเมนต์เท่าเดิม (0.60) อายุ 28 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณปีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานผปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานผปร			
A3001	0.303	805			A3006	0.187	830					
A3002	0.311	800			A3007	0.171	830					
A3003	0.193	855			A3008	0.23	930					
A3004	0.208	790			A3009	0.31	820					
A3005	0.31	880			A3010	0.19	840					
เฉลี่ย	0.265	822	373	3.50	เฉลี่ย	0.19	890	403	5.90	84.9	42.6	เพิ่มขึ้น 8.04
B3001	0.345	735			B3006	0.339	920					
B3002	0.442	705			B3007	0.409	915					
B3003	0.265	825			B3008	0.543	810					
B3004	0.31	835			B3009	0.445	930					
B3005	0.405	725			B3010	0.39	800					
เฉลี่ย	0.357	781	354	5.70	เฉลี่ย	0.441	875	397	8.57	35.7	23.58	เพิ่มขึ้น 12.15%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

30 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-8 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ(0.50) อายุ 28 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต 1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1 ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานมปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานมปร			
A0001	0.387	810			A0006	0.378	735					
A0002	0.325	780			A0007	0.473	770					
A0003	0.000	775			A0008	0.139	885					
A0004	0.447	805			A0009	0.388	725					
A0005	0.40	795			A0010	0.30	885					
เฉลี่ย	0.452	793	359	1.73	เฉลี่ย	0.49	802	303	0.16	80.4	57.02	เพิ่มขึ้น 1.1%
B0001	0.504	785			B0006	0.255	830					
B0002	0.575	780			B0007	0.442	800					
B0003	0.537	740			B0008	0.41	850					
B0004	0.502	755			B0009	0.395	775					
B0005	0.508	775			B0010	0.480	730					
เฉลี่ย	0.587	783	348	1.00	เฉลี่ย	0.38	808	307	0.09	58.1	30.35	เพิ่มขึ้น 0.07%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

80 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-8 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม(0.60) อายุ 28 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1 ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร			
A0001	0.040	000			A0006	0.341	870					
A0002	0.03	035			A0007	0.305	095					
A0003	0.702	755			A0008	0.35	005					
A0004	0.000	000			A0009	0.410	950					
A0005	0.057	030			A0010	0.230	000					
เฉลี่ย	0.007	010	370	4.41	เฉลี่ย	0.340	092	404	3.52	139.5	92.1	เพิ่ม 9.19%
B0001	0.344	070			B0006	0.470	920					
B0002	0.571	040			B0007	0.500	075					
B0003	0.390	010			B0008	0.43	035					
B0004	0.514	025			B0009	0.450	950					
B0005	0.492	035			B0010	0.501	900					
เฉลี่ย	0.403	030	370	2.37	เฉลี่ย	0.475	910	415	2.00	104.4	00.0	เพิ่ม 0.5 %

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณส่วนผสมน้ำ A , B

90 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-10 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยปูนซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ผสม(0.50) อายุ 7 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณปูนซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานเปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานเปร			
A3001	8.33	840			A3006	8.373	750					
A3002	8.409	700			A3007	8.382	705					
A3003	8.277	830			A3008	8.389	800					
A3004	8.371	820			A3009	8.339	735					
A3005	8.320	710			A3010	8.432	720					
เฉลี่ย	8.343	800	200	5.07	เฉลี่ย	8.381	710	325	3.37	50.3	44.3	เพิ่มขึ้น 8.00%
B3001	8.387	825			B3006	8.28	820					
B3002	8.378	835			B3007	8.4	800					
B3003	8.451	830			B3008	8.413	700					
B3004	8.485	815			B3009	8.424	700					
B3005	8.445	845			B3010	7.840	783					
เฉลี่ย	8.437	830	200	1.50	เฉลี่ย	8.229	740	330	8.87	31.3	23.8	เพิ่มขึ้น 10.10%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

30 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-11 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยปิเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อปิเมนต์ผสม(0.50) อายุ 7 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณปิเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปราณเปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปราณเปร			
A0001	0.40	575			A0006	0.351	690					
A0002	0.31	635			A0007	0.309	705					
A0003	0.41	605			A0008	0.45	700					
A0004	0.42	615			A0009	0.384	735					
A0005	0.332	590			A0010	0.374	695					
เฉลี่ย	0.38	604	274	3.41	เฉลี่ย	0.366	705	320	2.24	140.3	70.0	เพิ่มขึ้น 15.79%
B0001	0.424	615			B0006	0.024	630					
B0002	0.381	550			B0007	0.375	690					
B0003	0.43	545			B0008	0.303	655					
B0004	0.400	640			B0009	0.36	655					
B0005	0.432	580			B0010	0.471	690					
เฉลี่ย	0.427	583	204	0.50	เฉลี่ย	0.431	657	290	2.91	70.1	30.3	เพิ่มขึ้น 12.00%

สมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

00 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากนึ่งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-12 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ผสม(0.50) อายุ 7 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานเปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานเปร			
AB001	0.430	620			AB006	0.352	810					
AB002	0.478	580			AB007	0.352	785					
AB003	0.470	650			AB008	0.306	700					
AB004	0.55	625			AB009	0.393	750					
AB005	0.410	605			AB010	0.350	700					
เฉลี่ย	0.472	610	270	3.75	เฉลี่ย	0.300	701	345	4.05	100.0	95.1	เพิ่ม 23.00%
B9001	0.591	530			B9006	0.555	805					
B9002	0.543	590			B9007	0.539	815					
B9003	0.588	575			B9008	0.434	660					
B9004	0.434	530			B9009	0.588	830					
B9005	0.542	600			B9010	0.521	835					
เฉลี่ย	0.538	505	250	5.25	เฉลี่ย	0.524	833	207	4.00	135.0	70.1	เพิ่ม 12.11%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

90 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-13 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมเข้าด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ผสม(0.50) อายุ 14 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปราเมปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปราเมปร			
A3001	8.321	700			A3006	8.521	785					
A3002	8.400	740			A3007	8.445	850					
A3003	8.40	710			A3008	8.460	810					
A3004	8.45	715			A3009	8.537	700					
A3005	7.388	725			A3010	8.400	825					
เฉลี่ย	8.03	730	331	2.40	เฉลี่ย	8.452	812	306	2.80	50.3	44.3	เพิ่มขึ้น 11.10%
B3001	8.433	730			B3006	8.581	780					
B3002	8.375	735			B3007	8.408	825					
B3003	8.301	800			B3008	8.457	810					
B3004	8.472	805			B3009	8.408	750					
B3005	8.459	710			B3010	8.524	775					
เฉลี่ย	8.408	704	318	4	เฉลี่ย	8.505	787	357	3.37	31.3	23.8	เพิ่มขึ้น 11.81%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

30 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-14 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ฉดฉง(0.50) อายุ 14 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร			
AB001	8.541	745			AB000	8.550	815					
AB002	8.321	785			AB007	8.501	775					
AB003	8.471	880			AB006	8.455	780					
AB004	8.400	750			AB009	8.527	780					
AB005	8.38	855			AB010	8.493	720					
เฉลี่ย	8.420	719	320	8.02	เฉลี่ย	8.506	772	350	4.11	140.3	70.0	เพิ่มขึ้น 7.38%
BB001	8.441	700			BB000	8.383	735					
BB002	8.412	885			BB007	8.451	890					
BB003	8.401	725			BB006	8.401	725					
BB004	8.323	880			BB009	8.519	700					
BB005	8.331	830			BB010	8.525	730					
เฉลี่ย	8.380	880	300	4.01	เฉลี่ย	8.47	720	330	3.08	70.1	38.3	เพิ่มขึ้น 7.14%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

BB แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-15 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ผสม(0.50) อายุ 14 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร			
A0001	0.452	650			A0006	0.440	730					
A0002	0.481	625			A0007	0.502	700					
A0003	0.30	670			A0008	0.478	700					
A0004	0400	635			A0009	0.450	710					
A0005	0.42	640			A0010	0.501	730					
เฉลี่ย	0.44	644	292	2.38	เฉลี่ย	0.501	728	329	2.04	109.8	95.1	เพิ่ม 23.00%
B0001	0.473	720			B0006	0.624	780					
B0002	0.370	880			B0007	0.597	745					
B0003	0.490	850			B0008	0.611	785					
B0004	0.432	675			B0009	0.40	770					
B0005	0.413	775			B0010	0.552	755					
เฉลี่ย	0.427	702	318	0.12	เฉลี่ย	0.571	703	348	1.50	135.8	76.1	เพิ่ม 12.11%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

B0 แสดงถึง เวลาก่อนผสมซ้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-10 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ผสม(0.50) อายุ 28 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรวนแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรวนแปร			
A3001	0.323	895			A3006	0.404	935					
A3002	0.309	720			A3007	0.493	910					
A3003	0.433	870			A3008	0.445	925					
A3004	0.31	715			A3009	0.49	925					
A3005	0.427	900			A3010	0.31	910					
เฉลี่ย	0.30	820	372	10.20	เฉลี่ย	0.44	921	417	1.05	50.3	44.3	เพิ่มขึ้น 12.1%
B3001	0.432	750			B3006	0.003	935					
B3002	0.545	755			B3007	0.503	940					
B3003	0.471	750			B3008	0.404	900					
B3004	0.20	740			B3009	0.403	945					
B3005	0.490	705			B3010	0.072	930					
เฉลี่ย	0.441	752	341	1.00	เฉลี่ย	0.509	890	403	5.33	31.3	23.0	เพิ่มขึ้น 10.10%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

30 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากหิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-17 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่(0.50) อายุ 28 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1 ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานผปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานผปร			
A0001	0.480	770			A0006	0.487	820					
A0002	0.41	850			A0007	0.470	835					
A0003	0.475	810			A0008	0.423	835					
A0004	0.427	785			A0009	0.452	870					
A0005	0.423	835			A0010	0.521	850					
เฉลี่ย	0.448	812	388	9.5	เฉลี่ย	0.472	882	391	9.00	140.3	78.6	เพิ่มขึ้น 0.25%
B0001	0.400	750			B0006	0.302	810					
B0002	0.475	830			B0007	0.447	870					
B0003	0.301	715			B0008	0.449	800					
B0004	0.405	705			B0009	0.36	770					
B0005	0.331	840			B0010	0.352	850					
เฉลี่ย	0.408	788	348	7.4	เฉลี่ย	0.398	840	381	5.83	70.1	39.3	เพิ่มขึ้น 0.40%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

00 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-18 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ผลคูณ(0.55) อายุ 28 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร			
A0001	0.430	670			A0006	0.352	630					
A0002	0.478	705			A0007	0.306	675					
A0003	0.479	640			A0008	0.393	800					
A0004	0.436	750			A0009	0.350	685					
A0005	0.461	720			A0010	0.371	670					
เฉลี่ย	0.459	737	334	7.81	เฉลี่ย	0.372	672	305	2.60	100.8	95.1	เพิ่ม 23.00%
B0001	0.47	775			B0006	0.647	900					
B0002	0.421	790			B0007	0.619	880					
B0003	0.334	630			B0008	0.545	930					
B0004	0.401	785			B0009	0.502	895					
B0005	0.302	640			B0010	0.661	800					
เฉลี่ย	0.410	800	363	3.73	เฉลี่ย	0.595	899	407	1.07	135.9	76.1	เพิ่ม 12.11%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

00 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-18 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น(0.70) อายุ 7 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานผปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานผปร			
A3001	0.512	070			A3006	0.431	010					
A3002	0.543	500			A3007	0.595	030					
A3003	0.570	025			A3008	0.023	005					
A3004	0.490	010			A3009	0.57	000					
A3005	0.531	045			A3010	0.470	025					
เฉลี่ย	0.553	020	204	4.00	เฉลี่ย	0.539	014	270	1.00	50.3	44.3	ลดลง 2.11%
B3001	0.400	025			B3006	0.437	010					
B3002	0.495	575			B3007	0.447	515					
B3003	0.52	000			B3008	0.55	010					
B3004	0.467	590			B3009	0.371	050					
B3005	0.535	010			B3010	0.361	575					
เฉลี่ย	0.405	000	272	2.04	เฉลี่ย	0.433	575	201	0.1	31.3	23.0	ลดลง 4.4%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

30 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากหิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-20 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น(0.70) อายุ 7 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานแปร			
A0001	8.382	830			A0006	8.381	805					
A0002	8.357	830			A0007	8.402	510					
A0003	8.327	845			A0008	8.269	580					
A0004	8.201	800			A0009	8.281	555					
A0005	8.277	810			A0010	8.325	575					
เฉลี่ย	8.323	824	283	2.45	เฉลี่ย	8.344	585	258	5.62	84.7	72	ลดลง 8.54%
B0001	8.312	820			B0006	8.531	595					
B0002	8.299	805			B0007	8.318	800					
B0003	8.341	815			B0008	8.545	570					
B0004	8.307	835			B0009	8.407	580					
B0005	8.327	595			B0010	8.527	805					
เฉลี่ย	8.335	814	278	2.21	เฉลี่ย	8.478	590	208	2.38	48.8	37.2	ลดลง 3.8%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B
00 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-21 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น(0.70) อายุ 7 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานเปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานเปร			
A0001	0.32	555			A0006	0.052	085					
A0002	0.47	520			A0007	0.012	000					
A0003	0.378	440			A0008	7.911	040					
A0004	0.023	595			A0009	7.950	010					
A0005	0.441	575			A0010	0.12	055					
เฉลี่ย	0.447	539	244	10.02	เฉลี่ย	0.026	530	290	4.2	220	107.2	เพิ่มขึ้น 21.31%
B0001	0.46	500			B0006	0.319	495					
B0002	0.450	505			B0007	0.300	520					
B0003	0.402	500			B0008	0.305	470					
B0004	0.501	700			B0009	0.420	400					
B0005	0.495	505			B0010	0.594	530					
เฉลี่ย	0.463	500	200	11.03	เฉลี่ย	0.435	495	224	5.5	97.7	74.3	ลดลง 15.78%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

B0 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-22 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น(0.70) อายุ 14 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต 1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรวนแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรวนแปร			
A3001	8.541	770			A3006	8.384	750					
A3002	8.592	730			A3007	8.348	700					
A3003	8.401	720			A3008	8.432	725					
A3004	8.458	715			A3009	8.41	710					
A3005	8.441	715			A3010	8.445	690					
เฉลี่ย	8.486	730	331	2.84	เฉลี่ย	8.403	715	324	3.93	56.3	44.3	ลดลง 2.31%
B3001	8.598	685			B3006	8.48	670					
B3002	8.421	705			B3007	8.488	680					
B3003	8.534	745			B3008	8.35	725					
B3004	8.575	710			B3009	8.488	680					
B3005	8.436	720			B3010	8.356	630					
เฉลี่ย	8.513	713	323	2.76	เฉลี่ย	8.425	673	305	4.59	31.3	23.8	ลดลง 5.57%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

30 แสดงถึง เวลาก่อนผสมซ้ำหลังจากที่งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-23 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น(0.70) อายุ 14 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานผปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานผปร			
A0001	0.541	770			A0006	0.384	750					
A0002	0.592	730			A0007	0.340	700					
A0003	0.401	720			A0008	0.432	725					
A0004	0.458	715			A0009	0.41	710					
A0005	0.441	715			A0010	0.445	000					
เฉลี่ย	0.488	730	331	2.64	เฉลี่ย	0.403	715	324	2.93	84.7	72	ลดลง 2.01%
B0001	0.588	005			B0006	0.46	870					
B0002	0.421	705			B0007	0.488	860					
B0003	0.534	745			B0008	0.35	725					
B0004	0.375	710			B0009	0.488	000					
B0005	0.438	720			B0010	0.350	830					
เฉลี่ย	0.513	713	323	2.70	เฉลี่ย	0.425	873	305	4.59	48.8	37.2	ลดลง 5.57%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

00 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-24 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนเกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น(0.70) อายุ 14 วัน

คอนเกรีตก่อนผสม					คอนเกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนเกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนเกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานเปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปรานเปร			
A0001	8.498	850			A0006	8.445	700					
A0002	8.501	880			A0007	8.401	780					
A0003	8.407	855			A0008	8.592	750					
A0004	8.431	835			A0009	8.427	745					
A0005	8.475	870			A0010	8.498	820					
เฉลี่ย	8.478	858	280	2.30	เฉลี่ย	8.473	777	352	3.54	220	107.2	10.12%
B0001	8.48	895			B0006	8.451	710					
B0002	8.405	860			B0007	8.431	730					
B0003	8.432	830			B0008	8.397	845					
B0004	8.51	800			B0009	8.501	580					
B0005	8.408	710			B0010	8.402	555					
เฉลี่ย	8.461	875	308	4.14	เฉลี่ย	8.446	804	274	5.43	97.7	74.3	-10.45%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมซ้ำ A , B

00 แสดงถึง เวลาก่อนผสมซ้ำหลังจากทิ้งคอนเกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-25 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น(0.70) อายุ 28 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปราณแปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปราณแปร			
A3001	0.323	840			A3006	0.411	800					
A3002	0.309	865			A3007	0.5	870					
A3003	0.433	860			A3008	0.716	890					
A3004	0.31	875			A3009	0.679	845					
A3005	0.427	850			A3010	0.802	805					
เฉลี่ย	0.36	862	391	1.80	เฉลี่ย	0.596	854	387	3.50	56.3	44.3	ลดลง 1.02%
B3001	0.432	752			B3006	0.552	785					
B3002	0.545	853			B3007	0.304	790					
B3003	0.471	790			B3008	0.541	786					
B3004	0.28	810			B3009	0.332	775					
B3005	0.480	800			B3010	0.421	795					
เฉลี่ย	0.441	801	363	4.07	เฉลี่ย	0.442	788	350	0.84	31.3	23.8	ลดลง 1.83%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B
30 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-20 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยปีเมนต์เพสท์
อัตราส่วนน้ำต่อปีเมนต์เพิ่มขึ้น(0.70) อายุ 20 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณปีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปราเนปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปราเนปร			
A0001	8.827	780			A0006	8.795	880					
A0002	8.589	825			A0007	8.844	755					
A0003	8.572	795			A0008	8.841	815					
A0004	8.835	815			A0009	8.888	780					
A0005	8.887	800			A0010	8.741	780					
เฉลี่ย	8.810	803	384	1.95	เฉลี่ย	8.888	780	344	5.80	84.7	72	ลดลง 5.48%
B0001	8.401	793			B0006	8.401	830					
B0002	8.527	765			B0007	8.527	740					
B0003	8.378	805			B0008	8.378	800					
B0004	8.834	850			B0009	8.318	820					
B0005	8.531	790			B0010	8.545	780					
เฉลี่ย	8.488	821	372	8.18	เฉลี่ย	8.434	790	358	4.30	46.8	37.2	ลดลง 3.78%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณยางผสมน้ำ A , B
00 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-27 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังของคอนกรีตผสมน้ำด้วยซีเมนต์เพสท์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น(0.70) อายุ 28 วัน

คอนกรีตก่อนผสม					คอนกรีตหลังผสม					ปริมาณซีเมนต์ผสมเพิ่ม (กก./คอนกรีต1 ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผสมเพิ่ม(กก./คอนกรีต 1ลบ.ม.)	การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดประลัย (%)
หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปราเนเปร	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กิโลนิวตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.ความปราเนเปร			
A0001	0.023	755			A0006	0.027	1010					
A0002	0.593	840			A0007	0.055	825					
A0003	0.441	800			A0008	0.077	1005					
A0004	0.507	850			A0009	0.01	910					
A0005	0.012	745			A0010	0	980					
เฉลี่ย	0.571	798	382	5.35	เฉลี่ย	0.034	980	430	4.20	220	107.2	ลดลง 20.09%
B0001	0.482	785			B0006	0.531	770					
B0002	0.471	835			B0007	0.031	875					
B0003	0.386	870			B0008	0.550	840					
B0004	0.423	785			B0009	0.388	700					
B0005	0.531	880			B0010	0.398	730					
เฉลี่ย	0.551	833	370	4.0	เฉลี่ย	0.5	743	337	7.0	97.7	74.3	ลดลง 10.05%

หมายเหตุ A , B แสดงถึง ปริมาณสารผสมน้ำ A , B

90 แสดงถึง เวลาก่อนผสมน้ำหลังจากทิ้งคอนกรีตไว้ 2 ชั่วโมง

ภาคผนวก ค

คุณสมบัติของสารหน่วงการก่อตัวที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

ดาราทาร์ด 17

ตัวลดปฏิกิริยาคอนกรีต เมื่อลดน้ำโดยเป็นตัวผสมเพิ่มให้เนื้อคอนกรีตนุ่ม และหนืดขึ้น

แบบข้อมูลจำเพาะ

สอดคล้องกับความต้องการของ:-

-มาตรฐานอังกฤษ บีเอส 5075, ตอนที่ 1 ปี 2525

-มาตรฐานทดสอบวัสดุของอเมริกา เอเอสทีเอ็ม ซี-494 แบบ บี และดี

-มาตรฐาน เอเอส 1478 และ 1479 อาร์อีและดับบลิวอาร์อาร์อี

-มาตรฐานญี่ปุ่น แบบ เจไอเอส เอ 6204 แบบลดปฏิกิริยา

รายละเอียด

ดาราทาร์ด 17 เป็นของเหลวผสมเพิ่มเติมที่ทำงานได้ดีเยี่ยม ทำจากลิกโนซัลฟอเนตที่มีความบริสุทธิ์สูง และโปลิเมอร์ที่ดัดแปลงมาใช้งาน ทำการผลิตภายใต้สภาพการควบคุมสภาพต่างๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเนื้อ ทรงตัว เพื่อให้ทำงานที่คาดการณ์ได้อย่างไม่ผิดพลาด ดาราทาร์ด 17 ไม่มีการผสมคลอไรด์เป็นส่วนประกอบหลัก และเป็นน้ำยาที่ไม่ทำการกัดกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติ

ลักษณะที่มองเห็นด้วยตา	เป็นของเหลวน้ำตาลดำ
ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 20 องศาเซลเซียส)	1.245
ส่วนประกอบที่เป็นของแข็งทั้งหมด	49-51 %
การพาอากาศผสมมาด้วย	เพิ่มสูงสุดประมาณ 1 %
ส่วนผสมของไอออนคลอไรด์ต่อมวลของน้ำยาผสมเพิ่มเติม	<1%
ไอออนของคลอไรด์ต่อมวลของซีเมนต์	<0.002%)

การทำงาน

ดาราทาร์ด 17 ถูกผสมเข้าไปบนผิวของ C_3A (ซี-ไลฟ์) และ C_3S (เอ-ไลฟ์) ในซีเมนต์ (โดยที่ C_3A รับผิดชอบกับการเซทตัวตอนแรกๆ ในขณะที่ C_3S รับผิดชอบกับการเพิ่มกำลังในตอนเริ่มแรก), ซึ่งมันจะทำตัวเป็นปลอกหุ้มสารประกอบเหล่านี้ทางเคมีแล้วกระจายออกในวงกว้าง ลดการฟอร์มตัวลักษณะผลึกเป็นรูปเข็มลงสำหรับการเซ็ทตัวในตอนเริ่มแรก/หรือลดการแข็งตัวในระบบการเป็นซีเมนต์ โดยการคายน้ำ ผลจากการชะลอตัวเหล่านี้จะช่วยยืดเวลาการทำงานให้นานขึ้นได้ ทำให้คอนกรีตมีสภาพนิ่มและหนืดนาน ลดเวลาการเซ็ทตัว และ ปรับปรุงปฏิกิริยาคายน้ำ เพื่อทำให้เกิดขนาดการตกผลึกได้ค่าออพติมัม ทำให้ได้คอนกรีตที่มีโครงสร้างเม็ดเล็กหนาแน่นกว่า มีรูพรุนน้อยกว่าทำให้ได้กำลังสูงกว่า ลดการซึมซาบของสารดูดซึม และมีอายุงานใช้งานทนทานนานขึ้น

ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

ประโยชน์ที่ได้รับ

-เพิ่มเวลาการทำงานและเวลาเอาเข้าที่ ถึงแม้ว่าทำงานที่อุณหภูมิสูงก็ตาม

-ตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนดีกว่า ทำให้การอัดตัวดีกว่าธรรมดา

-สามารถควบคุมการช้าลงของเวลาเซ็ทตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ปรับปรุงการจัดยึดตัวเวลาผสม-ลดการกระจายตัวออกและมีผลต่อการบีบน้ำออก

-หนาแน่นมากกว่า การซึมซาบน้อยลง มีค่าการใช้งานนานขึ้น

-ลดอัตราการเกิดความร้อน กระจายความร้อนในการคายน้ำออกในช่วงที่นานกว่า ทำให้ลดการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน

-ปรับปรุงการอัดตัว มีความไหวตัวสูงขึ้น และเพิ่มแรงดึงให้คอนกรีตทุกอายุ

-สามารถหลีกเลี่ยงการเชื่อมติดแบบ "ต่อเย็น" ได้

-มีผลในการผสมซีเมนต์ ในช่วงกว้างกว่ารวมทั้งการออกแบบการผสม (รวมทั้งการผสมแบบ พีเอฟเอ และผสมกับสแลคจากเตาสูง)

แบบตัวอย่างการใช้งาน

ดาราทาร์ด 17 สามารถใช้กับการใช้งานผสมซีเมนต์เปียกทุกแบบ เพื่อผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ เช่น :

-คอนกรีตที่ปั๊มขึ้นรูปงาน - เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเนื่องจากการชักช้าในช่วงต่างๆ

-คอนกรีตผสมเสร็จ สำหรับขนส่งทางไกล/หรือการผสมคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงๆ

-คอนกรีตรูปร่างบอบบาง เพื่อการควบคุมและคาดคะเนเวลาเซ็ทตัว

-คอนกรีตผสมมากหรือผสมหนา เพื่อลดผลจากการร้าวตัว เนื่องจากความร้อน หลีกเลี่ยงการเชื่อมติดแบบ "เชื่อมเย็น"

-ให้กำลังในการรับแรงสูง มีส่วนผสมซีเมนต์มากขึ้น ลดจำนวนน้ำในการผสมซีเมนต์-เพื่อให้แน่ใจว่ายังทำงานได้ผล จัดเข้าที่ได้ อัดตัวได้ และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าอายุงานนาน

-ทำคอนกรีตอัดแรง และขึ้นงานหลอมขึ้นรูป

การออกแบบผสม

ขึ้นกับวิธีในการใช้ดาราทาร์ด 17 ซึ่งอาจจะจำเป็นที่จะปรับการออกแบบวิธีการผสมคอนกรีต เพื่อให้ได้คุณสมบัติคอนกรีตผสมที่เหมาะสมที่สุด และรักษาคุณสมบัติที่ต้องการของคอนกรีตผสมเอาไว้:-

ก.ถ้าต้องการเพิ่มความสามารถในการใช้งานกับคอนกรีตผสมโดยไม่เสื่อมเสียคุณสมบัติ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับขอบเขตของการทำงานกับคอนกรีต ซึ่งอาจจำเป็นที่ต้องเพิ่มเติมทรายมากขึ้นนิดหน่อย เพื่อให้มีเวลาใช้งานได้ดีขึ้น

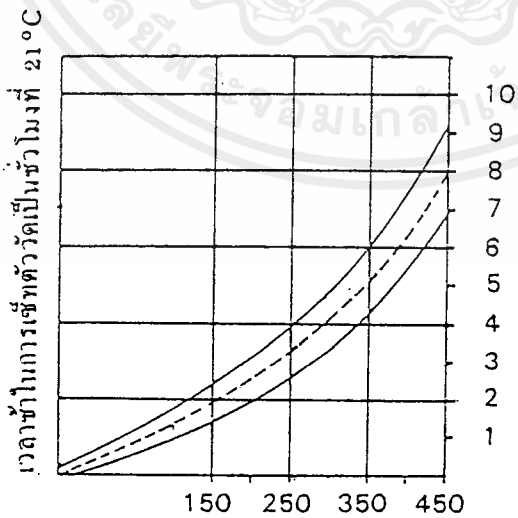
ข. ถ้าต้องการลดน้ำ หรือซีเมนต์ (หรือทั้งสองอย่าง) (ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของงานที่จะต้องทำเช่นนั้น) ดังนั้นจึงต้องปรับปริมาตรคอนกรีตผสมให้ได้ผลลัพธ์จากการผสมบ้าง ทั้งนี้โดยการปรับน้ำหนักกรวด-ทรายที่สัมพันธ์กับความถ่วงจำเพาะที่จะได้

การเข้ากันได้

ดาราทาร์ด 17 สามารถเข้ากับระบบใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทุกแบบ และยังสามารถทำงานอย่างมีผลในการผสมที่มี พีเอฟเอ, และสแลคจากเตาสูง ดาราทาร์ด 17 ยังสามารถเข้าได้กับคอนกรีตผสมด้วยตัวผสมอื่นๆ ที่มีขายอยู่ทุกชนิด แต่ว่าต้องแยกผสมต่างหาก ไม่ใช้แบบผสมก่อน ก่อนการเติม

ตารางที่ ค-1 ผลการใช้ดาราทาร์ด 17 ต่อเวลาเซทตัวของคอนกรีต

ผลของการใช้ดาราทาร์ด 17 ต่อเวลาเซ็ทตัวของคอนกรีต



อัตราการเติมดาราทาร์ด 17
มิลลิลิตร/100 กิโลกรัมซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีใช้

ดาราทาร์ด 17 เป็นน้ำยาใช้ผสมเพื่อความง่ายในการใช้งาน ทางโรงงานจะส่งมาพร้อมที่จะใช้งานได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องมาเจือจางที่บริเวณทำงานอีก เวลาผสมก็ทำพร้อมกับการผสมน้ำ เวลาเชื่องช้าเล็กน้อย ตั้งแต่น้ำยาสัมผัสกับซีเมนต์และน้ำจะทำให้มีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณสมบัติของตัวผสมเพิ่ม (เวลาช้าไป 15-20 วินาที ก็เพียงพอแล้ว)

อัตราการเติม

อัตราการเติมดาราทาร์ด 17 โดยธรรมดาแล้วจะอยู่ในช่วง 100 มิลลิลิตร (ซีซี) ถึง 300 มิลลิลิตรต่อซีเมนต์ 100 กิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของซีเมนต์ผสมที่เราต้องการ อัตราการเติมที่มีประโยชน์สูงสุด จะต้องทำการหาโดยการทดลองผสมสำหรับการออกแบบผสมที่กำหนดโดยใช้วัสดุที่เสนอมาในสัญญา โดยเราต้องการใช้ยืดเวลาในการเซ็ทตัวของคอนกรีต อัตราการเติมเพิ่มเติมถึง 400 มิลลิลิตร ต่อปูน 100 กิโลกรัม ก็สามารถใช้ได้ โดยไม่มีผลต่อความแข็งแรง และคงทนสูงสุดของเนื้องาน (โปรดดูผลของการเติมน้ำยาเกินปกติ) สำหรับการใช้แบบธรรมดาใช้น้ำยาเพียง 180-200 มิลลิลิตร ต่อซีเมนต์ 100 กิโลกรัม ก็เพียงพอ

โน๊ต : เมื่อการชะลอเวลาได้สิ้นสุดลงแล้ว การเพิ่มกำลังของซีเมนต์ก็จะเพิ่มอย่างรวดเร็ว

การทิ้ง

น้ำยาผสมคอนกรีตของเกรซ จะต้องทำการทิ้งลงในระบบทิ้งน้ำยาที่คำนวณมาเรียบร้อยแล้ว เหมาะกับโรงผสมคอนกรีตและเหมาะกับวัฏจักรการผสมที่เกี่ยวข้อง เกรซสามารถให้คำแนะนำสำหรับอุปกรณ์การติดตั้งคู่มือที่เกี่ยวข้อง และระบบคอมพิวเตอร์กึ่งอัตโนมัติและอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเติมน้ำยาเกินปกติ

การเติมน้ำยาดาราทาร์ด 17 เกินปกติจะเพิ่มเวลาการทำงาน และเวลาการเซ็ทตัวของคอนกรีต (ดูตารางที่ ค-1) ผลของการเซ็ทตัวเนื่องจากเวลาเชื่องช้าจะเปลี่ยนไปขึ้นกับอุณหภูมิบรรยากาศซีเมนต์ที่ใช้และปริมาณของน้ำยาที่เติมเกินลงไป ถ้าจัดการวิธีบ่มคอนกรีตตามกระบวนการที่ถูกต้อง ค่าแรงประลัยของคอนกรีตจะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการผสมตามสูตร หรือการผสมตามมาตรฐาน

ข้อมูลจำเพาะด้านสถาปัตยกรรม

คอนกรีตจะต้องออกแบบตามวิธีการที่ระบุไว้เป็นแบบอย่างหรือมาตรฐานในการผสม เช่น ทำตามหน่วยงาน วิจัยด้านอาคารเรื่อง "การออกแบบผสมคอนกรีตธรรมดา" หรือตาม "มาตรฐานวิธีการเลือกสัดส่วนของคอนกรีตตามแนวปฏิบัติ" เอซีไอ 211.1-85 ส่วนตัวผสมเพิ่มเติมเพื่อชะลอการเซ็ทตัว เมื่อคอนกรีตผสมน้ำจะต้องสอดคล้องกับมาตรฐานอังกฤษ บีเอส 5075 ตอนที่ 1 หรือตามมาตรฐานอเมริกันในการทดสอบวัสดุ ASTM ตามเบอร์ ซี-494 แบบ ดี ของสารผสมเพิ่มในคอนกรีต และควรจะเป็นดาราทาร์ด 17 ตามที่ผลิตโดยบริษัท ดับบลิว อาร์ เกรช หรืออื่นๆ การใช้จะต้องเข้มงวดตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต อัตราการเพิ่มจะต้องมีการปรับแต่ง เพื่อให้ได้เวลาการชะลอตัวของคอนกรีตผสมที่อุณหภูมิต่างๆกัน

การบรรจุหีบห่อ

ดาราทาร์ด 17 ในภาชนะขนาด 25 ลิตร และ 205 ลิตร ถ้าต้องการปริมาณมากๆ ก็ติดต่อได้ สามารถจัดการพิเศษให้

การเก็บ

ป้องกันไม่ให้เกิดการแข็งตัว ถ้าเมื่อใดแข็งตัวจะต้องทำให้ละลายอย่างช้าๆ และทำการ

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมอย่างทั่วถึงก่อนการใช้ อายุการเก็บ-น้อยที่สุด 12 เดือน ในกล่องผนึกจากโรงงาน

ข้อมูลความปลอดภัย ดาราทาร์ 17

สุขภาพและความปลอดภัย

รายการทั่วไป: เป็นแบบชะลอปฏิกริยาเมื่อลดน้ำ/ทำให้คอนกรีตไหลตัวดีขึ้นอยู่กับโปลีเมอร์อินทรีย์

การเป็นอันตรายต่อสุขภาพ: สัมผัสได้นาน แต่ว่าอาจจะเป็นอันตรายต่อคนที่ผิวไวต่อการสัมผัส

การใช้: อย่าให้สัมผัสผิวและตา ให้สวมเสื้อผ้าป้องกันเหมาะสม สวมถุงมือและแว่นตา

การปฐมพยาบาลเบื้องต้น: ถ้าสัมผัสผิว : ให้ล้างด้วยน้ำ
ถ้าเข้าตา : ล้างด้วยน้ำมากๆทันที ถ้ามีการเคืองตา ปรึกษาแพทย์
ถ้ากลืนเข้าไป : ให้ดื่มน้ำเข้าไปเยอะๆ ถ้าไม่ดีขึ้น ปรึกษาแพทย์

การเสี่ยงต่อการติดไฟ/ระเบิด : ไม่ติดไฟ

การเก็บ : เก็บในภาชนะที่ผนึกมาจากโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการใช้

ก. อัตราแนะนำในการเติมน้ำยาสำหรับค่าอุณหภูมิบรรยากาศต่างๆ เพื่อให้ได้เวลาช้าตัวเพิ่มขึ้นในการเซ็ทตัวของคอนกรีตประมาณ 2 ถึง 4 ชั่วโมง

อุณหภูมิคอนกรีต (C)	อัตราการเพิ่มเติม มิลลิลิตร/100 กก.ซีเมนต์
21-24	180
24-27	200
27-30	230
30-33	260
33+	300 และมากกว่า

โน๊ต : อัตราการเติมที่เพิ่มขึ้นของดาราทาร์ด 17 จะชดเชยพอดีกับความต้องการของน้ำผสมปูนที่เพิ่มขึ้นด้วย และการเพิ่มอุณหภูมิ ส่วนการทำงานการใช้ปูนจะยังคงเดิม ถ้าเป็นไปได้เมื่อปริมาณน้ำผสมถูกลดลง

ข. ความสอดคล้องของดาราทาร์ด 17 ต่อมาตรฐานอังกฤษที่ 5075 ตอนที่ 1 : 2525 อ้างอิงของซีเมนต์ (Bx16) - 300 กก./$ม^3$

หินบดขนาด 20 มม. - 45%

หินบดขนาด 10 มม. - 20%

ทรายละเอียด - 35%

ดาราทาร์ด 17 - 200 มิลลิลิตร/100 กก.ซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

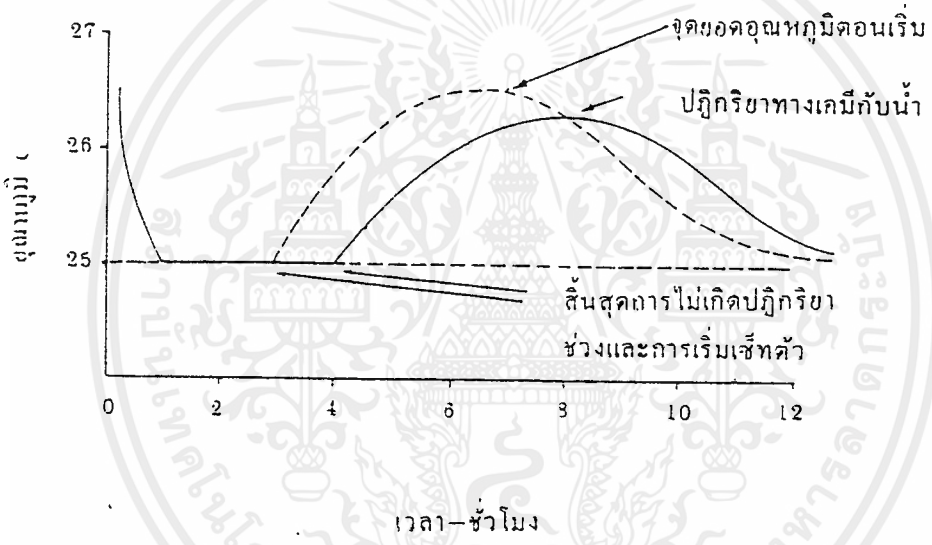
	ส่วนผสมควบคุม	ทดสอบผสม เอ	ทดสอบผสม บี
แฟคเตอร์ในการอัด	0.89	0.925 (น้อยสุด 0.03) ส่วนควบคุม)	0.88 (แตกต่างน้อยกว่า <0.02 ต่ำกว่าส่วนควบคุม)
ส่วนผสมอากาศ	1.0	1.6	1.6
เปอร์เซ็นต์การลดน้ำ	-	-	8
เวลาเซ็ทตัวต่ำสุดที่ 0.5 นิวตัน/มม.^{2}	156	514	493 (>60 นาทีสูงกว่าชั้นควบคุม)
3.5 นิวตัน/มม.^{2}	249	600	588

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ผลของการใช้ดาราทาร์ด 17 ต่ออัตราการเกิดความร้อนเนื่องจากการรวมตัวของซีเมนต์เข้ากับน้ำ

------- ส่วนผสมซีเมนต์/น้ำ

——— ส่วนผสมซีเมนต์/น้ำ/ดาราทาร์ด 17



ปริมาณความร้อนจำนวนเดียวกันมาเกี่ยวข้อง แต่ว่าในช่วงเวลาที่นานกว่า จะช่วยลดอุณหภูมิสูงสุดในเริ่มแรกภายในเนื้อคอนกรีต ดังนั้นจะช่วยลดความร้อนและการแตกร้าวเนื่องจากการเกิดความร้อน ซึ่งจะต้องระวังอย่างมาก สำหรับการเทปูนผสมจำนวนมวลมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. ประสิทธิผลของการใช้คอนกรีตอบไอน้ำ

การใช้อุณหภูมิสูงๆ ตอนเริ่มแรกในการอบคอนกรีตจะให้ได้ค่าความแข็งแรงสูงเท่ากับปล่อยไว้ธรรมดา 28 วัน ผลที่ได้นี้ บางทีเราก็ทำการชะงักเวลาเอาไว้ โดยทำการอบไอน้ำตอนหลัง ถ้าเราชะงักเวลาไว้ 2 ชั่วโมง แล้วอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ก็ได้ผลเหมือนหล่อคอนกรีตไว้ 28 วัน และถ้าชะงักไว้ 4 ชั่วโมง ก็ใช้ไอน้ำที่ 78 องศาเซลเซียส อบก็ได้ผลแบบเดียวกัน แต่ว่าความแข็งแรงตอนเริ่มแรก (ในช่วง 12-16 ชั่วโมง) ของการอบแบบใช้ไอน้ำอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส จะต่ำกว่าที่ได้จากการอบโดยใช้ไอน้ำ 78 องศาเซลเซียส มาก

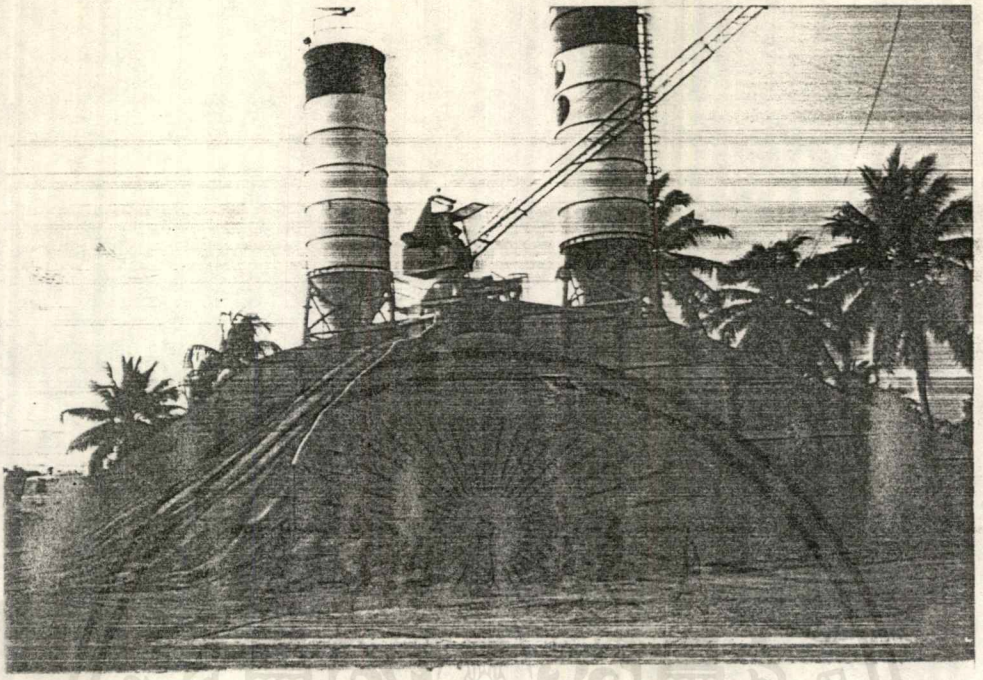
ดาราทาร์ด 17 สามารถช่วยชะลอปฏิกิริยาคอนกรีตทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้มีช่วงเวลาใช้งานตอนแรก/เพิ่มกำลังคอนกรีตตอนหลัง ทำให้สามารถเอาไอน้ำมาอบได้ทันท่วงที

จำเป็นจะต้องทดลองปริมาณการใช้ที่มีประโยชน์สูงสุด อุณหภูมิในการอบ และเวลาการให้ไอน้ำเพื่อให้เหมาะสมเท่ากับวัสดุและการออกแบบผสมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง รูปประกอบโครงงานวิจัย

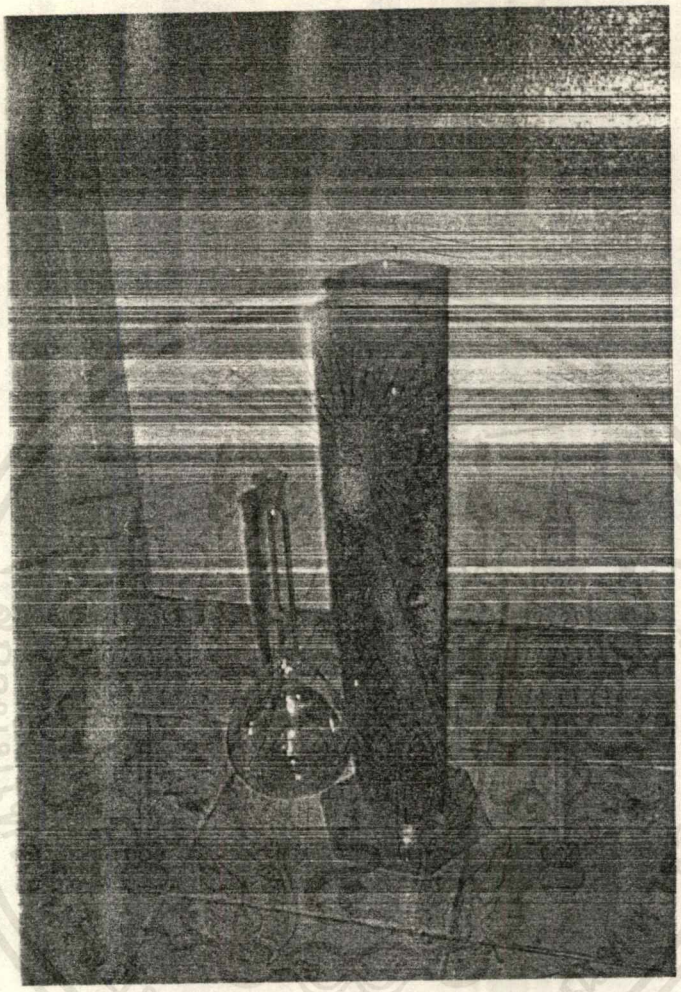
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-1 สถานที่ทำการทดสอบโครงงานวิจัย โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ
บริษัท กาญจนาคอนกรีต จำกัด

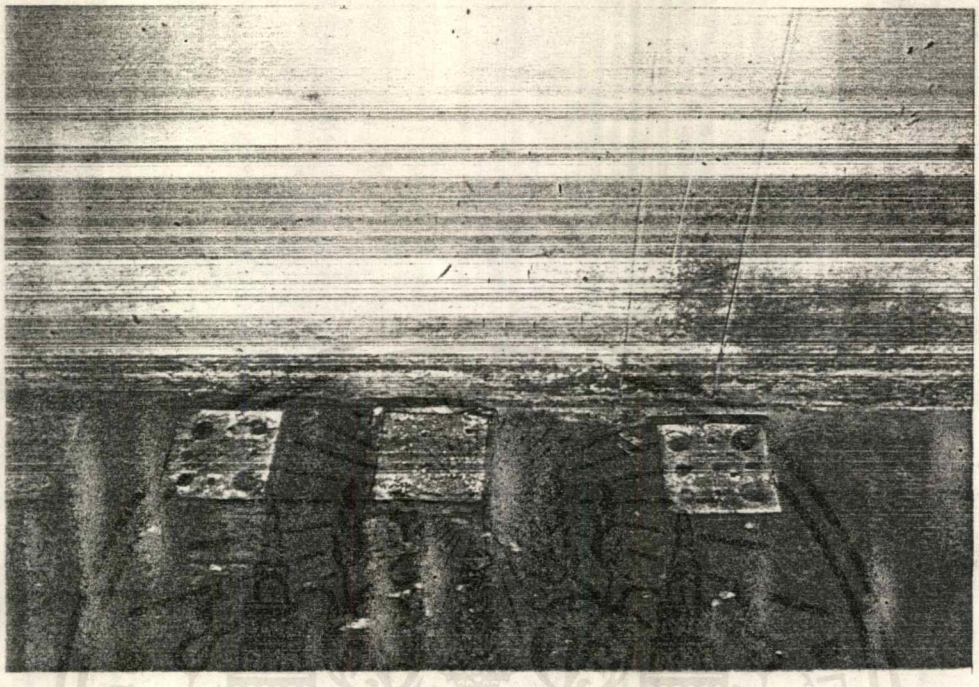
รูปที่ ง-2 ไม้แบบที่ใช้ในโครงงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

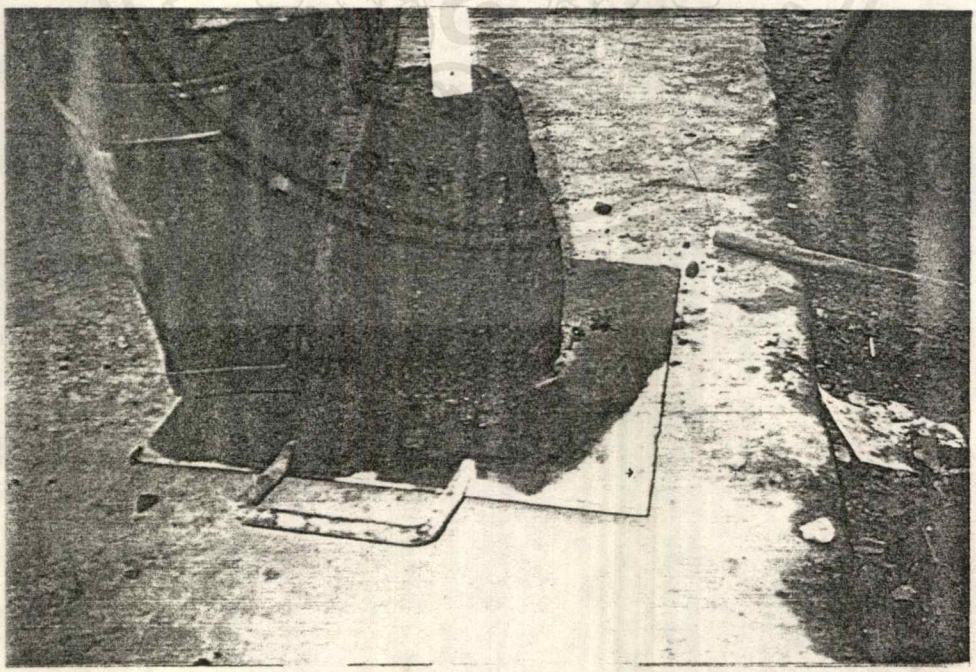


รูปที่ ง-3 สารหน่วงการก่อตัว ดาราทาร์ด 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

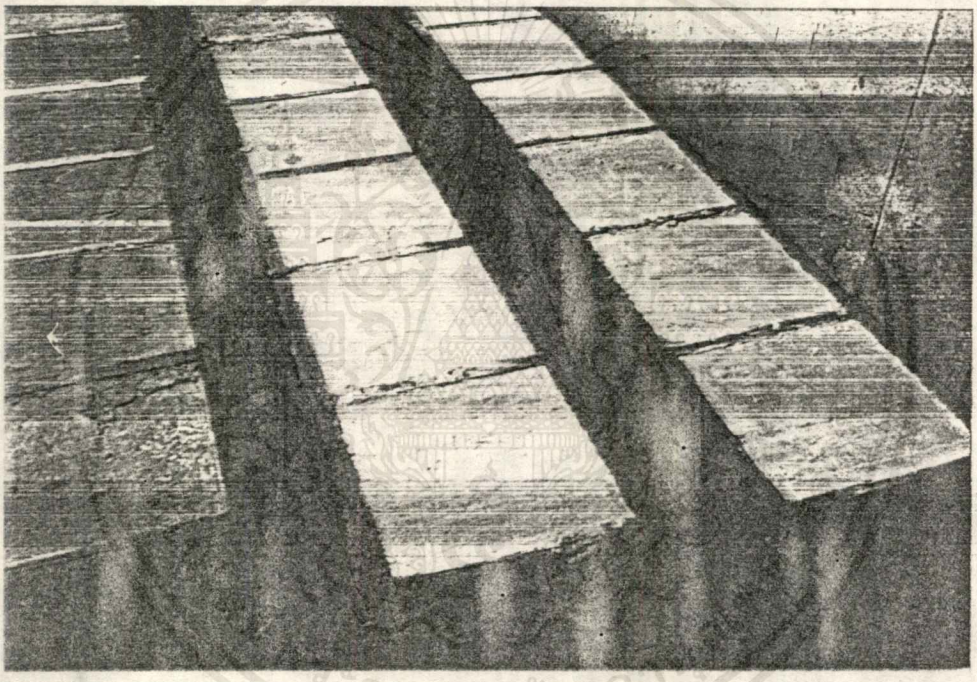


รูปที่ ง-4 การทดสอบหาเวลาการก่อตัวของคอนกรีตสด



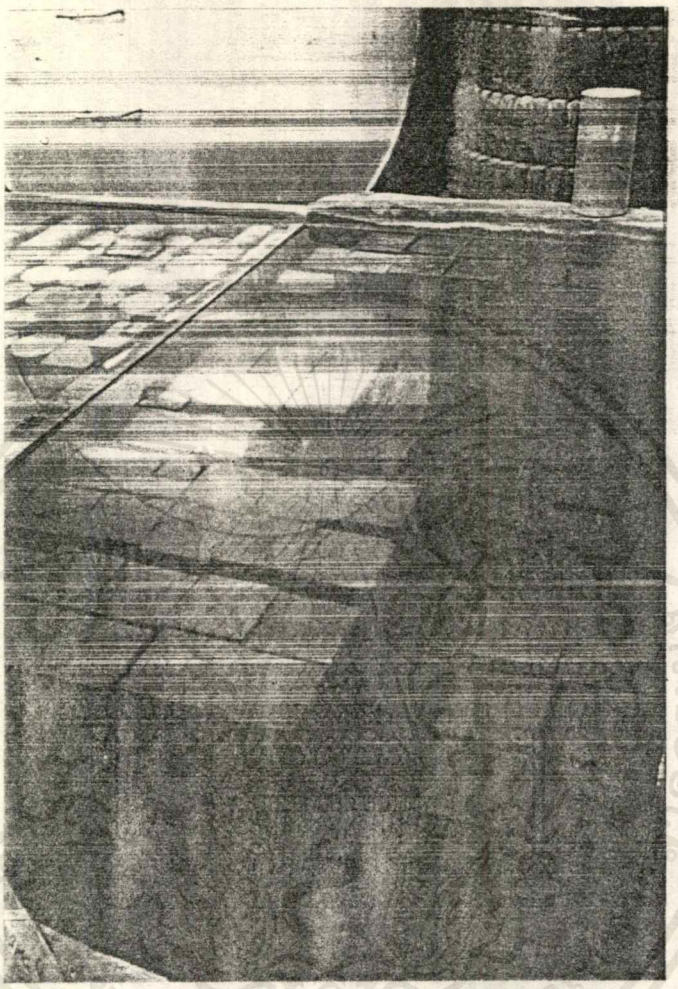
รูปที่ ง-5 การทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



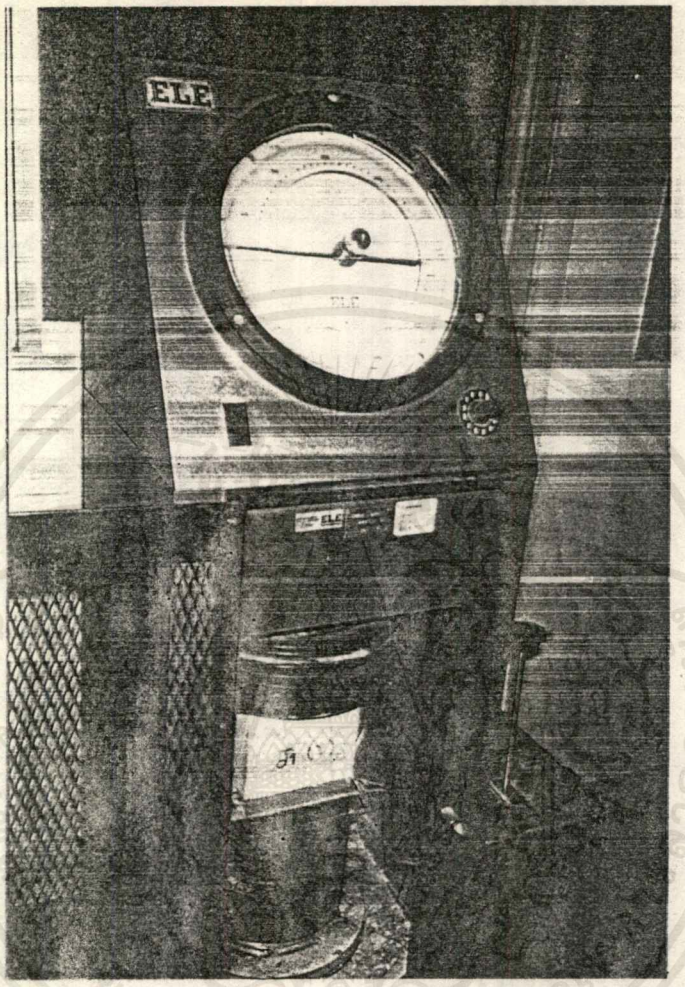
รูปที่ ง-6 ตัวอย่างทดสอบแบบลูกบาศก์ 15*15*15 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-7 การบ่มตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-8 การทดสอบหากำลังอัดประลัยของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้