การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเทกับคุณสมบัติของคอนกรีต

A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN POURING TIME AND CONCRETE PROPERTIES

จุลภัทร ธัญลักษณ์เดโช
ชานุวัฒน์ รักษายศ
ณัฐพล ตระกูลวงศา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเทกับคุณสมบัติของคอนกรีต

A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN POURING TIME AND CONCRETE PROPERTIES

จุลภัทร ธัญลักษณ์เดโช

ชานุวัฒน์ รักษายศ

ณัฐพล ตระกูลวงศา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN POURING TIME AND CONCRETE PROPERTIES

JULLAPAT TUNYALAKDACHO

CHANUWAT RAKSAYOT

NUTTAPON TAKOONVONGSA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเทกับคุณสมบัติของคอนกรีต

A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN POURING TIME AND CONCRETE PROPERTIES

นักศึกษา

นายจุลภัทร	ธัญลักษณ์เดโช	รหัสนักศึกษา 57010214
นายชานุวัฒน์	รักษายศ	รหัสนักศึกษา 57010318
นายณัฐพล	ตระกูลวงศา	รหัสนักศึกษา 57010443

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ทรงกลด แซ่อึ้ง

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
อาจารย์ทรงกลด	แซ่อึ้ง	
ผศ.ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
ผศ.สมเกียรติ	ขวัญพฤกษ์	
รศ.สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์	
ผศ.ดร.อำพน	จรัสจรุงเกียรติ	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 4/6/61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเทกับคุณสมบัติของคอนกรีต

นายจุลภัทร ธัญลักษณ์เดโช รหัสประจำตัว 57010214
นายชานุวัฒน์ รักษายศ รหัสประจำตัว 57010318
นายณัฐพล ตระกูลวงศา รหัสประจำตัว 57010443

อาจารย์ที่ปรึกษา: ทรงกลด แซ่อึ้ง

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเทกับคุณสมบัติของคอนกรีต ทางด้านความสามารถของกำลังอัดและการขัดสีผิวหน้าของคอนกรีตที่มีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากระยะเวลาการเทคอนกรีตที่เกินระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) ในช่วงต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประกอบการวิเคราะห์เป็นแนวทางในการตัดสินใจและปรับใช้ในการทำงานเกี่ยวกับคอนกรีตในลักษณะนี้ โดยมีขั้นตอนการผสมสองแบบคือ การผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing Method) และ การผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing Method) ซึ่งทำการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต(Mixed Design) ที่มีกำลังอัด 180 และ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยทำการเก็บตัวอย่างตามระยะเวลาการเทที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาการก่อตัว(Setting Time) ดังต่อไปนี้ คือ ระยะเวลาก่อตัวปกติ, เวลาก่อตัวขั้นต้นและเวลาก่อตัวสุดท้าย ในการเทคอนกรีตทุกครั้งต้องทำการผสมน้ำเพิ่มเพื่อให้มีความสามารถในการเทหรือการยุบตัวของคอนกรีตได้เท่าเดิม คือ 10±2 เซนติเมตร ต่อมานำตัวอย่างคอนกรีตมาทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดและการขัดสีที่อายุการบ่ม 7 วันและ 28 วัน สุดท้ายนำผลลัพธ์ที่ได้จากการผสมทั้งสองแบบมาเปรียบกับค่ามาตรฐาน จากการวิจัยพบว่าระยะเวลาการเทคอนกรีตมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของกำลังอัดและการขัดสี เมื่อทำการเทคอนกรีตในช่วงก่อนระยะเวลาก่อตัวปกติถึงระยะการก่อตัวขั้นต้นคอนกรีตจะมีประสิทธิภาพตามที่ออกแบบไว้ แต่เมื่อทำการเทคอนกรีตในช่วงเวลาหลังจากระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นคอนกรีตจะมีประสิทธิภาพทางด้านกำลังอัดและการขัดสีผิวหน้าที่ลดลงเรื่อยๆ จนถึงระยะเวลาการก่อตัวขั้นสุดท้าย ซึ่งการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนสามารถพัฒนาคุณสมบัติดังกล่าวของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น สามารถลดการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ และทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดแบบสมบูรณ์ในช่วงแรกส่งผลให้ระยะเวลาการก่อตัวเกิดเร็วขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN POURING TIME AND CONCRETE PROPERTIES

Mr.Jullaput Tunyalakdacho Student ID. 57010214

Mr.Chanuwat Raksayot Student ID. 57010318

Mr.Nattapon Takoonvongsa Student ID. 57010443

Advisor: Songklod Sae-Ueng

Academic Year 2016

Abstract

The research is about a study of the relationship between pouring time and concrete properties that have decreased performance of compressive strength and abrasion resistance due to setting time of concrete. This research is performed in order to use in analysis and to apply for concrete work in this area. A process of mixing concrete has two methods are single mixing method and double mixing method that are mixed design of 180 and 240 kilograms per square centimeter at slump of 10±2.0 centimeter. By collecting sample of normal setting time, initial setting time and final setting time. In the process of pouring concrete they have to add water in the mixing in order to increase performance of pouring and slump. The next step is to test the ability of compressive strength and abrasion resistance on curing at 7 and 28 days, then get the result of two mixing methods and compare to constant standard.

The Research indicates that the period of pouring concrete caused the effect of the ability of compressive strength and abrasion resistance. Before normal setting time for initial setting the pouring concrete performance has met the mixed design, on the other hand pouring concrete performance after initial setting time will decrease gradually by final setting time. But double mixing method can solve the problem.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ทรงกลด แซ่อึ้ง ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องอีกทั้งยังจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับโครงการนี้ พวกเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆที่ให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการทำโครงงาน รวมถึงการให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ ศึกษาในภาควิชาโยธานี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

นายจุลภัทร ธัญลักษณ์เดโช

นายชานุวัฒน์ รักษายศ

นายณัฐพล ตระกูลวงศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ที่มาและความสำคัญ	1
1.3 วัตถุประสงค์การทำโครงงานพิเศษ	2
1.4 วิธีการวิจัย	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 ประโยชน์/คุณค่า ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 ขอบเขตการวิจัย	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	5
2.1 บททฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1.1 คอนกรีต (Concrete)	5
2.1.2 คอนกรีตสด (Fresh Concrete)	11
2.1.3 การก่อตัว (Setting Time)	12
2.1.4 การเยิ้มน้ำ (Bleeding)	13
2.1.5 ความสามารถเทได้ (Workability)	15
2.1.6 การผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing Method)	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.1.7 ความต้านทานกำลังอัด (Compressive Strength)	19
2.1.8 การสึกกร่อน ความต้านทานการขัดสี (Abrasion Resistance)	20
2.1.9 การผลิต และ การขนส่ง	22
2.2 ผลของการศึกษางานวิจัย	23
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย	26
3.1 รูปแบบการวิจัย	26
3.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	27
3.2.1 การออกแบบระยะเวลาเทคอนกรีต	27
3.3 เครื่องมือและวัสดุที่ใช้รวบรวมข้อมูล	29
3.3.1 วัสดุ	29
3.4 การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์	29
3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	31
3.5.1 การทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด(Test for Slump of Fresh Concrete)	31
3.5.2 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของตอนกรีตสด (Test for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance)	32
3.5.3 การทดสอบอัตราการคายน้ำของคอนกรีตสด(Test for Bleeding of Fresh Concrete)	33
3.5.4 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen)	35
3.5.5 การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า(Surface Abrasion)	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.6 แผนการดำเนินงาน 39

บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ 40

4.1 ผลการทดสอบซีเมนต์เพสต์ 40

4.1.1 ระยะเวลาการก่อตัวของตอนกรีตสด (Setting Time) 40

4.1.2 ค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding) 43

4.2 ผลการทดสอบคอนกรีต 45

4.2.1 ค่าความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive Strength) 45

4.2.2 ค่าการต้านทานการสึกกร่อน (Abrasion) 49

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 51

5.1 บทสรุป 51

5.1.1 สาเหตุของงานวิจัย 51

5.1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย 51

5.1.3 วิธีการวิจัย 51

5.1.4 ผลการวิจัย 51

5.1.4.1 ระยะการก่อตัว (Setting Time) 51

5.1.4.2 การเยิ้มน้ำ (Bleeding) 52

5.1.4.3 ความสามารถในการรับกำลังอัด(Compressive Strength) 52

5.1.4.4 ค่าการต้านทานการสึกกร่อน(Abrasion) 53

5.2 ข้อเสนอแนะ 53

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้าง 53

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม 54

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	สารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์	6
ตารางที่ 2.2	มาตรฐานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	9
ตารางที่ 3.2.1	แสดงการเก็บตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความต้านทานด้านกำลังอัด	28
ตารางที่ 3.2.2	แสดงการเก็บตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความด้านทานการขัดสี	28
ตารางที่ 3.5.1	แสดงค่าคูณแฟคเตอร์แก้ค่ากำลังอัด	37
ตารางที่ 4.1.1	แสดงค่าแรงกดกับระยะเวลาของการผสมแบบ SM ที่การออกแบบคอนกรีต 180 ksc	40
ตารางที่ 4.1.2	แสดงค่าแรงกดกับระยะเวลาของการผสมแบบ SM ที่การออกแบบคอนกรีต 240 ksc	41
ตารางที่ 4.1.3	แสดงค่าแรงกดกับระยะเวลาของการผสมแบบ DM ที่การออกแบบคอนกรีต 180 ksc	41
ตารางที่ 4.1.4	แสดงค่าแรงกดกับระยะเวลาของการผสมแบบ DM ที่การออกแบบคอนกรีต 240 ksc	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกำลังอัดกับความหนาแน่น	16
รูปที่ 2.2	วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์	18
รูปที่ 2.3	กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องที่เวลาต่างกัน	24
รูปที่ 2.4	Laitance	25
รูปที่ 3.4.1	แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์	29
รูปที่ 3.4.2	แสดงเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์ทั้งแบบ SM และ DM	30
รูปที่ 3.4.3	แสดงตัวอย่างการผสมซีเมนต์เพสต์แบบ SM และ DM	30
รูปที่ 3.5.1	แสดงตัวอย่างการวัดค่าการยุบตัว (Slump)	32
รูปที่ 3.5.2	แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	37
รูปที่ 3.5.3	แสดงการทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า(Surface Abrasion) ASTM : C944	38
รูปที่ 3.6.1	รูปภาพแสดงแผนการดำเนินงาน	39
รูปที่ 4.1.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเยิ้มน้ำในซีเมนเพสต์ กับระยะเวลาของการผสมสองแบบที่ 180 ksc	43
รูปที่ 4.1.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเยิ้มน้ำในซีเมนเพสต์ กับระยะเวลาของการผสมสองแบบที่ 240 ksc	44
รูปที่ 4.2.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด กับระยะการก่อตัวแต่ละช่วงของคอนกรีต(180 ksc)ที่อายุ 7 วัน	45
รูปที่ 4.2.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด กับระยะการก่อตัวแต่ละช่วงของคอนกรีต(180 ksc) ที่อายุ 28 วัน	46
รูปที่ 4.2.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด กับระยะการก่อตัวแต่ละช่วงของคอนกรีต(240 ksc) ที่อายุ 7 วัน	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด กับระยะการก่อตัวแต่ละช่วงของคอนกรีต(240 ksc) ที่อายุ 28 วัน	48
รูปที่ 4.2.5	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการสึกกร่อนตามช่วงระยะก่อก่อตัวเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่หายไป ระหว่างการผสมแบบ SM และ DM ที่ 7 วัน	49
รูปที่ 4.2.6	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการสึกกร่อนตามช่วงระยะก่อก่อตัวเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่หายไป ระหว่างการผสมแบบ SM และ DM ที่ 28 วัน	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีความเหมาะสมกว่าวัสดุก่อสร้างอื่นๆทั้งด้านการลดต้นทุนและด้านคุณสมบัติต่างๆแต่เนื่องด้วยระยะเวลาของการเทคอนกรีตมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตในเรื่องของกำลังอัดที่ลดลงและการขัดสีที่เกิดจากการสึกกร่อนของผิวหน้าคอนกรีต ซึ่งเป็นผลทำให้คอนกรีตที่นำมาใช้งานนั้นอาจมีคุณภาพที่เปลี่ยนไปจากเดิมที่ควรจะเป็นได้

1.2 ที่มาและความสำคัญ

ในส่วนของงานก่อสร้างนั้นปัญหาเรื่องการขนส่งคอนกรีตมาล่าช้าทำให้ส่งผลต่อระยะเวลาการเทคอนกรีตและอาจเกิดความสูญเสียในเรื่องของคุณภาพของคอนกรีตทำให้ไม่สามารถนำคอนกรีตเหล่านั้นไปใช้งานได้หรือไม่ถ้านำไปใช้ก็จะทำให้คุณภาพในส่วนของเรื่องกำลังนั้นลดลงทำให้กำลังของคอนกรีตนั้นไม่ได้คุณภาพตามต้องการอาจทำให้เกิดผลเสียกับโครงสร้างได้และการขัดสีเนื่องด้วยผิวหน้าของคอนกรีตนั้นสึกกร่อนง่าย โดยจะเกิดภายหลังจากการใช้งานหรือถูกขัดสีไปแล้วระยะเวลาหนึ่งซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากในงานโครงสร้างปัจจุบัน ดังนั้นในโครงงานนี้จะทำการศึกษาในเรื่องคุณสมบัติและผลกระทบ เนื่องจากคอนกรีตสดที่เกินระยะเวลาการก่อตัวเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประกอบการวิเคราะห์เป็นแนวทางในการตัดสินใจและปรับใช้ในการทำงานเกี่ยวกับคอนกรีตในลักษณะนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์การทำโครงงานพิเศษ

1.เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติในเรื่องของกำลังอัดของคอนกรีตและระยะเวลาของคอนกรีตสดก่อนทำการเทโดยใช้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ที่แตกต่างกัน

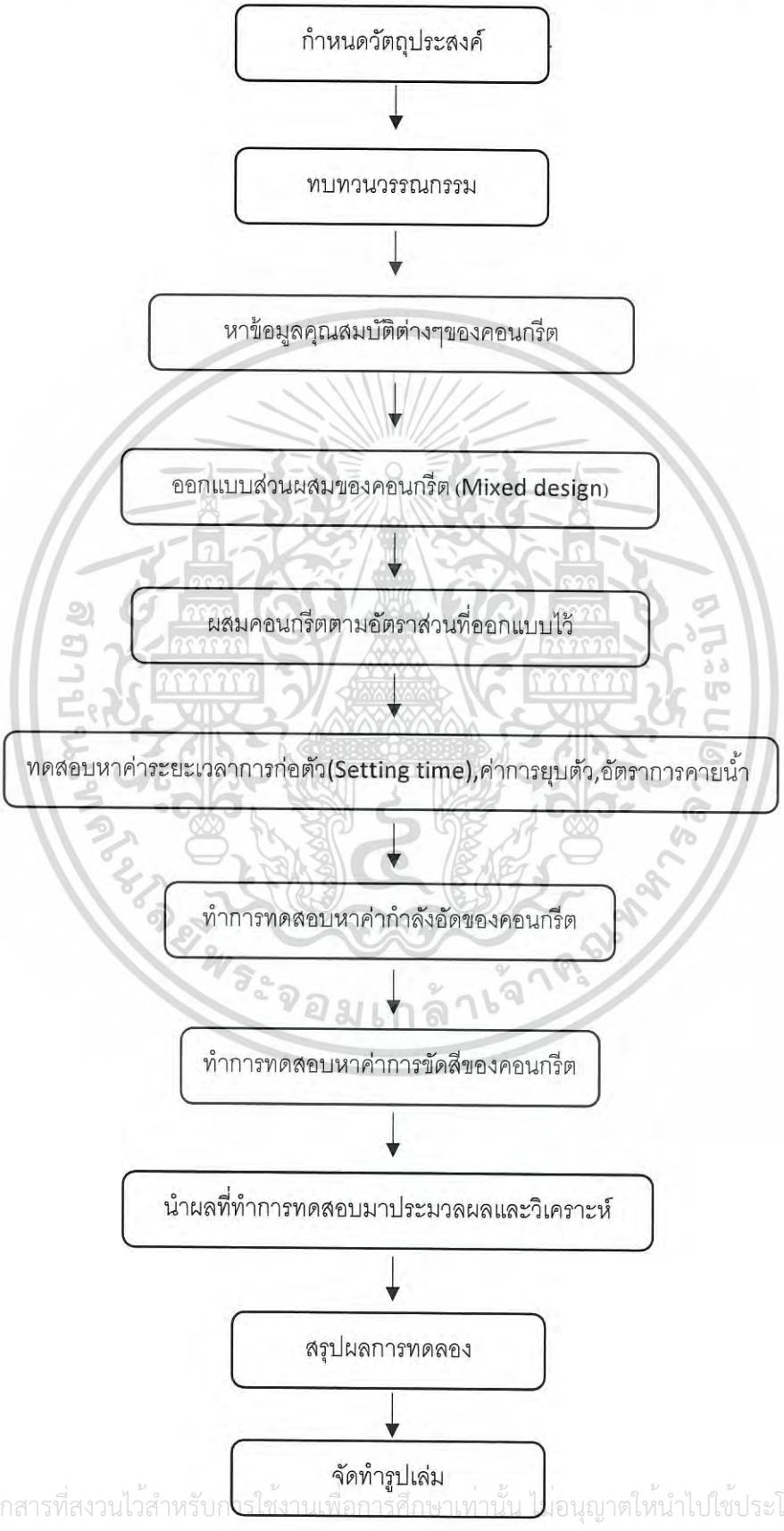
2.เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติในเรื่องของการทนต่อการขัดสีของคอนกรีตและระยะเวลาของคอนกรีตสดก่อนทำการเทโดยใช้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ที่แตกต่างกัน

3.เพื่อศึกษาแนวทางในการตัดสินใจในการปรับใช้กับการทำงานกับคอนกรีตลักษณะดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการวิจัย

ขั้นตอนในการศึกษาสามารถแสดงเป็นแผนภาพ แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน (Flow-chart)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถทราบความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของคอนกรีตและระยะเวลาของคอนกรีตสดที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตและการขัดสี ผลกระทบที่อาจส่งผลต่อการก่อสร้างจริงและสามารถนำมาวิเคราะห์แก้ปัญหาหน้างานได้

1.6 ประโยชน์/คุณค่า ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยนี้สามารถแนวทางการตัดสินใจให้กับอุตสาหกรรมการก่อสร้างทุกประเภทที่มีการใช้คอนกรีตเนื่องจากการเทคอนกรีตหน้างานถ้าหากเลยเวลาการก่อตัว (Setting Time) ของคอนกรีตแล้วนั้นจะส่งผลต่อคุณภาพของคอนกรีตและอาจมีผลกระทบกับไซต์งานก่อสร้างได้เนื่องจากกำลังอัดและการขัดสีของคอนกรีตลดลง การวิจัยนี้จะสามารถไปประกอบการตัดสินใจในการทำงานและทราบถึงสาเหตุของการเกิดและผลกระทบของคอนกรีตดังกล่าว

1.7 ขอบเขตการวิจัย

1.ขอบเขตของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

- ปูนซีเมนต์ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ประเภทที่ 1
- หิน เป็นหินปูนขนาดเบอร์ 20 มม. ที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไปคัดพิเศษ
- ทราย เป็นทรายแม่น้ำที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไปคัดพิเศษ
- น้ำ เป็นน้ำประปา โดยจะทำการทดสอบที่ 180-240 กก./ลบ.เมตรของคอนกรีต

2.ขอบเขตของวิธีทดสอบที่ใช้ในการวิจัย

- ทดสอบระยะเวลา Setting Time ของคอนกรีต
- ทดสอบกำลังอัดและการขัดสีของคอนกรีต

(การทดสอบทั้งหมด ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM)

3.ขอบเขตของระยะเวลาการบ่มตัวอย่างทดสอบ

- 7 และ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

บทนำ

เนื้อหาในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีซึ่งสอดคล้องโดยทางตรงและทางอ้อมของการศึกษาโครงงาน โดยหลักๆจะอธิบายเกี่ยวกับคอนกรีต คุณสมบัติมวลรวม ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด การผลิต การขนส่ง การบ่มคอนกรีต การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต รวมทั้งการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ตั้งสมมุติฐานและการอ้างอิงเกี่ยวกับโครงงานนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 คอนกรีต (Concrete)

คอนกรีตเป็นวัสดุผสมที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม (เช่น หิน ทราย หรือ กรวด) และ น้ำโดยอาจจะมีสารเคมีเติมเพิ่มเข้าไปสำหรับคุณสมบัติด้านอื่น เมื่อผสมเสร็จคอนกรีตจะแข็งตัวอย่างช้าๆ ซึ่งน้ำและซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกันในลักษณะที่เรียกว่าการไฮเดรชั่น โดยซีเมนต์จะเริ่มจับตัวกับวัสดุอื่นและแข็งตัว ซึ่งในสถานะนี้จะนิยมเรียกกันว่าคอนกรีต ความแข็งแรงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆหลังจากที่ผสม และยังแข็งแรงขึ้นภายหลังจากการแข็งตัว โดยประมาณหลังจากแข็งตัวแล้ว 28 วัน ความแข็งแรงจะเริ่มคงที่

วัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตจะต้องผ่านการคัดเลือกการทดสอบต่างๆอย่างละเอียดและสามารถควบคุมคุณสมบัติวัสดุส่วนผสมในขบวนการผลิตได้เป็นอย่างดี ซึ่งวัสดุหลักในการผลิตคอนกรีตได้แก่ ปูนซีเมนต์ น้ำ หิน ทราย สารเคมีผสมเพิ่ม และวัสดุผสมเพิ่ม จะต้องพิจารณาอย่างละเอียดอย่างพิถีพิถันดังต่อไปนี้

ปูนซีเมนต์(cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 ถึง 1,500 องศาเซลเซียส วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่หนึ่ง แคลเซียม ได้แก่ หินปูน ดินสอพอง ดินปูนขาว ประเภทที่สอง ให้ธาตุซิลิก้า อลูมิน่า ได้แก่ หินเชล ดินเหนียว หินชนวน สารประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเผาส่วนผสมของปูนซีเมนต์แล้วสารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิก้า อลูมิน่า และเหล็กจะทำปฏิกิริยาเคมีรวมตัวกันได้สารประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต ไดแคลเซียมซิลิเกต ไตรแคลเซียมอลูมิเนต และ เทตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3CaO.SiO_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2CaO.SiO_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
เทตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

อิทธิพลของสารประกอบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นอกจากจะขึ้นอยู่กับจำนวนของสารประกอบยังจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบก็เป็นตัวสำคัญที่กำหนดคุณลักษณะต่างๆ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดังนี้

- **ไตรแคลเซียมซิลิเกต** (Tricalcium Silicate, C_3S) จะทำให้ปูนซีเมนต์รับกำลังได้เร็ว ให้กำลังสูง และเกิดความร้อนมาก การเพิ่มยิปซั่มจะทำให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีสภาพพลาสติกมากขึ้น และช่วยหน่วงเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้ช้าลง
- **ไดแคลเซียมซิลิเกต** (DICALCIUM Silicate, C_2S) จะทำให้ปูนซีเมนต์รับแรงได้ช้า ให้กำลังสูง และเกิดความร้อนน้อยในการเพิ่มยิปซั่มจะให้ผลหน่วงการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บ้างเล็กน้อย
- **ไตรแคลเซียมอลูมิเนต** (Tricalcium Aliminate, C_3A) จะก่อตัวทันทีที่ผสมกับน้ำ ให้ความร้อนสูง จะให้กำลังรับแรงได้เล็กน้อยในวันแรก และจะไม่ให้กำลังเพิ่มขึ้นตามเวลา แต่มีประโยชน์ คือ ช่วยเร่งปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมซิลิเกต
- **เทตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์** (Tetracalcium Aluminoferrite, C_4AF) จะก่อตัวอย่างรวดเร็ว แต่ช้ากว่าและให้ความร้อนน้อยกว่าไตรแคลเซียม อลูมิเนตเล็กน้อย ส่วนการให้กำลังรับแรงยังมาอาจทราบได้แน่ชัด แต่ในปูนซีเมนต์จะมีสารประกอบของไตรแคลเซียมซิลิเกต และ ไดแคลเซียมซิลิเกต รวมกันประมาณร้อยละ 70 ถึง 80 และเป็นตัวควบคุมความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีส่วนประกอบสำคัญคือ แคลเซียมในรูป CaO ประมาณร้อยละ 60 และซิลิก้าในรูป SiO_2 ประมาณร้อยละ 20 ซึ่งทั้ง 2 ธาตุนี้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของไตรแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งจะให้กำลังรับแรงได้สูงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จากปฏิกิริยาไฮรเดรชั่น (Hydration Reaction) และปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เป็นปฏิกิริยาหลักของการเปลี่ยนสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้เป็นสารเชื่อมประสานเพื่อพัฒนากำลังรับแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สารประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) เมื่อทำปฏิกิริยาไฮรเดรชั่น(Hydration reaction)กับน้ำแล้วจะเกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท (Calcium Silicate Hydrate, CSH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, $Ca(OH)_2$) อีกประมาณร้อยละ 20 ถึง 25 ขั้นตอนของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น(Hydration reaction) คือ เมื่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำแล้วจะเกิดเป็นไฮเดรทคอมพาวด์ (Hydrate Compound) โดยไตรแคลซียมซิลิเกต และ ไดแคลเซียมซิลิเกต จะแตกตัวออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งเขียนเป็นสมการเคมี ดังนี้

$$2(3CaO\ SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO\ SiO_2\ H_2O + 3Ca(OH)_2 \qquad (2.1)$$

$$2(2CaO\ SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO\ SiO_2\ 3H_2O + 3Ca(OH)_2 \qquad (2.2)$$

ปฏิกิริยานี้จะดำเนินเรื่อยไปโดยแคลเซียม (CaO) จะแยกตัวออกมาจากแคลเซียมซิลิเกต ($CaO\ SiO_2$)ไปเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จนสารละลายนั้นอิ่มตัวด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตทำปฏิกิริยาไปจนหมดจากสารละลายสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นทั้ง 2 ส่วน คือ

- แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท (CSH) มีสูตรเคมีเป็น $3CaO\ SiO_2\ 3H_2O$ ซึ่งเป็นสารเชื่อมประสาน
- แคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีสูตรเคมีเป็น $Ca(OH)_2$ ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์แตกตัวเป็นอิสระที่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีก ถ้ามีธาตุที่เหมาะสมมาร่วมทำปฏิกิริยา เช่น ซิลิก้า และอลูมิน่าเป็นปฏิกิริยาปออซโซลาน

ส่วนปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องด้วยสารปอซโซลาน เช่น เถ้าถ่านหินหรือไมโครซิลิก้า เป็นต้น เป็นวัสดุที่ตัวมันเองไม่มีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมประสาน แต่สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระแล้วก่อตัวเป็นสารเชื่อมประสาน ดังนั้นเมื่อใส่วัสดุปอซโซลานในส่วนผสมซิลิก้า (SiO_2) และอลูมิน่า (Al_2O_3) จากวัสดุปอซโซลานจะทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระ ซึ่งเป็นสารประกอบที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในช่วงแรกโดยอาจจะเขียนเป็นสมการเคมีได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3Ca(OH)_2 + 2SiO_2 \longrightarrow 3CaO\ 2SiO_2\ 3H_2O \qquad (2.3)$$

$$3Ca(OH)_2 + 2Al_2O_3 \longrightarrow 3CaO\ 2Al_2O_3\ 3H_2O \qquad (2.4)$$

สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท ($3CaO\ 2SiO_2\ 3H_2O$) และสารประกอบแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรท ($3CaO\ 2Al_2O_3\ 3H_2O$) เป็นสารประกอบที่ให้กำลังเพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาปอซโซลาน ซึ่งจากการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ และการผสมเถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์บางส่วนเมื่อปฏิกิริยาเกิดช้าจะเป็นการลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นลงด้วย

เพื่อให้การผลิตคอนกรีตที่เหมาะสมกับการใช้งานได้มากที่สุดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ได้กำหนดมาตราฐานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีผลิตใช้มากที่สุด เหมาะสำหรับผลิตคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา ได้แก่ ปูนปอร์ตแลนด์ ตราช้าง ตราเพชร ตราพญานาคเขียว เป็นต้น

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เหมาะสำหรับใช้ในงานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง ซึ่งในปัจจุบันไม่มีการผลิตใช้ในประเทศไทย

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดเร็ว (High Early Strength Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังอัดสูงในระยะแรกเพราะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะสำหรับการทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานได้เร็วหรือถอดไม้แบบในเวลาอันสั้น ได้แก่ ปูนปอร์ตแลนด์ ตราเอราวัณ ตราสามเพชร ตราพญานาคสีแดง ข้อควรระวัง คือ ไม่ควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในงานโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ เพราะความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดสูงมากในช่วงต้นอันอาจก่อให้เกิดการแตกร้าวในโครงสร้างนั้นได้

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) พัฒนาขึ้นใช้ครั้งแรกในประเทศอเมริกาเป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำ เหมาะสำหรับงานคอนกรีตหลา (Mass Concrete) เช่น การสร้างเขื่อน เนื่องจากทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตขณะก่อตัวต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นซึ่งเป็นการลดปัญหาความเสี่ยงจากการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน ในประเทศไทยไม่มีการผลิตปูนประเภทนี้ ปัจจุบันปูนประเภทนี้ถูกทดแทนโดยการใช้ปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับขี้เถ้าจากการเผาไหม้ (Pulverlized Fuel Ash, PFA) หรือผงสลักจ์จากเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอมเหล็ก (Ground Granular Blast Furnace Slag,GGBS) ซึ่งจะอธิบายละเอียดในเรื่องวัสดุใหม่ในงานก่อสร้างต่อไป

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต้านซัลเฟต (Sulphate Resistance Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มี C_3A ต่ำ เพื่อจะป้องกันไม่ให้ซัลเฟตจากภายนอกมาทำลายเนื้อคอนกรีต เหมาะสำหรับโครงสร้างที่มีผิวสัมผัสกับสารซัลเฟต ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังอัดช้าและให้ความร้อนต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้างฟ้า และตราปลาฉลาม เป็นต้น

อนึ่งมาตรฐานการผลิตตาม มอก. 15-2532 นี้ จะสอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM C150 ซึ่งมีเกณฑ์กำหนดคุณสมบัติเปรียบเทียบกันแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	กำลังอัดเป็นเปอร์เซ็นเมื่อเทียบกับประเภท 1			
	1 วัน	7 วัน	28 วัน	90วัน
ประเภท 1	100	100	100	100
ประเภท 2	75	85	90	100
ประเภท 3	190	120	110	100
ประเภท 4	55	55	75	100
ประเภท 5	65	75	85	100

(ซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน เครือซีเมนต์ไทย 2548)

มวลรวม(Aggregate)

มวลรวม (Aggregate) เป็นวัสดุผสมจัดเป็นวัสดุเฉื่อย ได้แก่ หิน กรวด ทราย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของคอนกรีตเนื่องจากมีปริมาตรถึงร้อยละ 70 – 80 ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้นในส่วนผสมของคอนกรีตจึงควรใช้ปริมาณมวลรวมให้พอเหมาะเพื่อที่จะให้ปูนซีเมนต์ลดน้อยลง

มวลรวมยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดลงบนคอนกรีต กำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวม มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ดังนั้นการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสมจะช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย มวลรวมผสมคอนกรีตสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 1 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้แก่ หิน หรือกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม. ขึ้นไปหรือค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

กลุ่มที่2 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้แก่ทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หรือสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 มม. หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200

มวลรวมที่ดีเมื่อผสมเป็นคอนกรีตแล้วจะต้องทำให้คอนกรีตนั้นมีความสามารถการเทได้ง่าย มีความแข็งแรง และมีความทนทานสูง นอกจากนี้มวลรวมควรจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ

1. ความสะอาด (Cleanness) มวลรวมจะต้องมีความสะอาด ปราศจากสิ่งเจือปนที่เป็นอันตรายต่อคุณสมบัติของคอนกรีต
2. ความแข็งแรง (Strength) มวลรวมปกติที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความสามารถรับแรงกดได้สูงกว่าคอนกรีตมาก คือ จะรับแรงกดได้ 700 – 3500 กก./ตร.ซม. ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของมวลรวมที่ใช้
3. ความต้านทานการเสียดสี (Abrasion Resistance) ความสามารถในการขัดสีของมวลรวมมักจะถูกใช้เป็นตัวชี้บอกถึงคุณภาพของมวลรวม คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากสำหรับมวลรวมที่ใช้ผสมทำคอนกรีตที่ใช้ผสมทำคอนกรีตที่จะต้องถูกกระทำจากการกระแทกหรือขัดสี ดังนั้นมวลรวมที่ใช้ได้ดี ควรมีความแข็งแรง เนื้อแน่น ปราศจากอนุภาคที่อ่อนนุ่มหรือแตกละเอียดได้ง่าย
4. เสถียรภาพทางเคมี (Chemical Stability) มวลรวมจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ในบางพื้นที่มวลรวมบางประเภทจะทำปฏิกิริยาด่าง (Alkalies) ในปูนซีเมนต์ เกิดเป็นวุ้นและขยายตัวก่อให้เกิดรอยร้าวโดยทั่วไปในคอนกรีต
5. รูปร่างและลักษณะผิว (Particle Shape and Surface Texture) รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดมากกว่าคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่มีผิวหยาบหรือมีรูปร่างเรียวแบนและยาว จะต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรูปทรงกลมหรือเหลี่ยมมนที่ระดับความสามารถเทได้
6. ขนาดคละ (Gradation) ส่วนคละจะมีผลต่อความสามารถในการเทได้ และปริมาณส่วนผสมของปูนซีเมนต์ในคอนกรีต คอนกรีตที่ดีนั้น มวลรวมแต่ละก้อนจะต้องห่อหุ้มด้วยซีเมนต์เพสต์ ไม่ว่าจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กก็ตาม เมื่อนำมวลรวมมารวมกัน มวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าจะต้องบรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างก้อนของมวลรวมที่มีขนาดใหญ่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่สุด ดังนั้นการใช้มวลรวมที่ขนาดคละเหมาะสมจะทำให้ลดปริมาณซีเมนต์เพสต์ลง และสามารถประหยัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์ลงได้

7. ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (Maximum Size of Aggregate) ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมมีผลโดยตรงต่อปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการและขนาดคละของวัสดุผสม กล่าวคือ มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวโดยรวมน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็กเมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน ดังนั้นมวลรวมขนาดใหญ่จึงต้องการปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์น้อยกว่า เพื่อให้มีความสามารถในการเทได้เท่ากัน สำหรับโครงงานนี้จะใช้มวลรวมหยาบใช้ขนาดโตสุดที่ 20 มม. ซึ่งใหญ่สุดผ่านตะแกรงช่วงเบอร์ 1 ½ นิ้ว เล็กสุดค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 สำหรับมวลรวมละเอียดใหญ่สุดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เล็กสุดค้างบนตะแกรงเบอร์ 100

(ซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน เครือซีเมนต์ไทย 2548)

น้ำ (Water)

หน้าที่หลักของน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต

- ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับปูนซีเมนต์
- ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้
- เคลือบหิน ทราย ให้เปียก เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถเข้าเกาะได้

วิธีสังเกตอย่างง่ายๆว่าน้ำนั้นผสมคอนกรีตได้หรือไม่ดังนี้

ความสะอาด ดูความใส สภาพบ่อน้ำต้องไม่มีสารเน่าเปื่อย ปฏิกูล ตะไคร่น้ำ โคลน หรือสารอินทรีย์เจือปนอยู่มาก สี น้ำต้องใส ไม่มีสี ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงสารที่ผสมอยู่ในน้ำกลิ่นน้ำต้องไม่มีกลิ่นเหม็นหรือฉุน

(ซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน เครือซีเมนต์ไทย 2548)

2.1.2 คอนกรีตสด (Fresh Concrete)

คอนกรีตสด คือ คอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลว ซึ่งในโครงงานนี้ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดจะมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากทฤษฎี เพราะฉะนั้นเราจึงต้องทราบข้อมูลเหล่านี้เพื่อนำไปศึกษาพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลไปโดยหลักๆในโครงงานนี้จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับระยะการก่อตัวของคอนกรีต (Setting Time of Concrete)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด

- ปริมาณน้ำในส่วนผสม น้ำมีอิทธิพลต่อความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสดโดยตรง การเพิ่มปริมาณน้ำทำคอนกรีตมีสภาพเหลว

- คุณสมบัติของมวลรวม อนุภาคของมวลรวมที่กลมจะทำให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้ดีกว่ามวลรวมที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม

- ชนิดของปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่มีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาจะทำปฏิกิริยาได้รวดเร็ว และความเทได้ของคอนกรีตจะลดลง

- เวลาและอุณหภูมิ ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะความร้อนทำให้น้ำระเหยได้ไว นอกจากนี้ปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กันน้ำยังเกิดได้ไวขึ้นที่อุณหภูมิสูง

(ซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน เครือซีเมนต์ไทย 2548)

2.1.3 การก่อตัว (Setting Time)

การก่อตัวมีความสำคัญอันยิ่งยวดต่อการทำงานคอนกรีต โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับช่วงเวลาการเทคอนกรีต การก่อตัวปกติจะมี 2ขั้นตอน คือ **การก่อตัวเริ่มแรก (Initial Setting Time)** คือ คอนกรีตจะเริ่มเปลี่ยนสภาพเหลวสู่สภาพเหนียว กล่าวคือ ถ้าเผื่อมีรอยแยกตัวหรือแตกร้าว คอนกรีตจะไม่คืนตัวหรือจับกันเหมือนตอนที่ยังเป็นของเหลว ส่วน**การก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time)** หมายถึง คอนกรีตจะแข็งตัวยากต่อการจิ้มหรือเสียบลงบนผิวหากมีรอยแยกหรือแตกร้าวจะไม่คืนตัวอย่างถาวร

ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการก่อตัว

เวลาการก่อตัวของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆประการที่สำคัญ ซึ่งส่งผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น(Hydration reaction)ของซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีต คือ

1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

1.1 ปูนซีเมนต์ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ C_3A C_3S และยิปซั่ม โดยปูนซีเมนต์ที่มีค่า C_3A และC_3S ต่ำกว่า และมียิปซั่มสูงกว่าจะทำให้คอนกรีตมีการก่อตัวนาน

1.2 สารผสมเพิ่ม สารผสมเพิ่มประเภทหน่วงการก่อตัว จะส่งผลให้คอนกรีตมีการก่อตัวนานขึ้น

2. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C Ratio) ค่า W/C สูง คอนกรีตมีการก่อตัวนานกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สภาพแวดล้อม

3.1 อุณหภูมิของอากาศ อุณหภูมิอากาศที่ต่ำกว่า คอนกรีตจะมีการก่อตัวนานกว่า

3.2 ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่า คอนกรีตจะมีการก่อตัวนานกว่า

4. ความหนา/บางของโครงสร้างคอนกรีต โดยโครงสร้างคอนกรีตที่หนากว่าจะทำให้คอนกรีตมีการก่อตัวที่นานกว่า

ในบางกรณีอาจจะมีปัญหาว่าด้วยการก่อตัวผิดปกติของคอนกรีต แต่ในปัจจุบันนี้ปัญหาอาจลดลงและอาจจะเกิดขึ้นน้อยลงเพราะมีการผลิตที่ดีการก่อตัวผิดปกตินี้มีใน 2 ลักษณะ คือ **การก่อตัวผิดจังหวะ (False Set)** คือหลังจากการผสมในช่วงแรกๆก็จะแข็งตัวชั่วขณะ แต่พอผสมต่อไปก็จะเหลวเหมือนคอนกรีตธรรมดา สาเหตุเกิดจากผนึกของยิปซั่มบางส่วนถูกดึงโมเลกุลของน้ำออกในขบวนการบดกลายสภาพเป็นปูนปลาสเตอร์ ดังนั้นเมื่อโดนน้ำจากการผสมคอนกรีตมันจะดึงน้ำบางส่วนเพื่อคืนตัวเป็นยิบซั่มอย่างเดิม แต่เริ่มตัวการจับเป็นกลุ่มแล้วค่อยๆ กระจายออกจึงทำให้เกิดการแข็งตัวชั่วขณะหนึ่งเท่านั้นแต่จะกลับสู่สภาวะปกติในไม่ช้า ส่วน**การก่อตัวเร็ว (Flash Set)** คือลักษณะการก่อตัวจะเกิดขึ้นเร็วมากและจะไม่คืนกลับสู่สภาพเหลวอีก กรณีเช่นนี้จะเกิดเมื่อมีส่วนผสมของ Mono Sulfur-aluminate หรือ Calcium Aluminate มากเกินไป ดังนั้นการใช้สารผสมคอนกรีตอาจทำให้เกิดการก่อตัวเร็วกว่าปกติได้จึงต้องระวังเรื่องนี้ตามควร

(ซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน เครือซีเมนต์ไทย 2548)

2.1.4 การเยิ้มน้ำ (Bleeding)

การเยิ้มน้ำ (Bleeding) เป็นปรากฏการณ์การคายน้ำของคอนกรีตสด และเป็นรูปแบบหนึ่งของการแยกตัว ลักษณะที่สำคัญคือ น้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เบาที่สุดในส่วนผสมบางส่วนถูกดันให้ลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่ผิวหน้าของคอนกรีตสด อันเนื่องมาจากการจมของมวลรวมซึ่งเป็นองค์ประกอบที่หนักกว่าในส่วนผสม และการเยิ้มน้ำจะหยุดเมื่อซีเมนต์เพสต์แข็งตัวพอที่จะหยุดการจมของมวลรวม

รูปแบบของการเยิ้มน้ำ

1.การเยิ้มน้ำที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั้งผิวหน้าคอนกรีต มักเกิดในปริมาณน้อยและไม่เป็นอันตรายมากนัก

2.การเยิ้มน้ำที่เกิดขึ้นอย่างมากเฉพาะบางบริเวณหรือเฉพาะจุด โดยปกติจะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของการเยิ้มน้ำ

1. ทำให้ผิวคอนกรีตอ่อนแอไม่สวยงาม เกิดเป็นฝุ่น หรือหลุดล่อนเป็นฝุ่นผงได้ง่ายถ้าคอนกรีตเกิดการเยิ้มน้ำอย่างมากที่ผิวหน้าเมื่อคอนกรีตเกิดการแข็งตัว ผิวที่ด้านบนของคอนกรีตจะมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงสุดหรือมีกำลังต่ำสุด จึงมีแนวโน้มว่าจะเกิดฝุ่นผงได้ง่าย (Dusting) ถ้ามีการแต่งผิวหน้าคอนกรีตขณะยังมีน้ำเยิ้มจะทำให้เกิดการผสมของน้ำกับอนุภาคละเอียดของปูนซีเมนต์และทราย เมื่อคอนกรีตเกิดการแข็งตัวแล้วจะเกิดชั้นของส่วนละเอียดบริเวณผิวด้านบนของคอนกรีต ซึ่งมีลักษณะเป็นชั้นบางๆที่อ่อนแอ มีรูพรุนสูง กำลังต่ำ และมีการต้านทานการขัดสีต่ำ จึงมีแนวโน้มที่จะเกิดการหลุดล่อนเป็นแผ่นหรือเกิดเป็นฝุ่น(Dusting) ได้ง่ายเช่นกัน ดังนั้นควรยืดระยะเวลาการแต่งผิวออกไปก่อนเพื่อรอให้น้ำที่ผิวหน้าระเหยออกก่อน

2. ทำให้เกิดโพรงอากาศข้างใต้มวลรวมหยาบและเหล็กเสริม ทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิมนอกจากน้ำที่ลอยตัวขึ้นมาที่ผิวบางส่วนยังคงถูกกักไว้ใต้มวลรวมหยาบและเหล็กเสริม ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหรือเหล็กเสริมลดลงอย่างมาก และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะทำให้เกิดโพรงอากาศ (Capillary Pores)ทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ภายในเนื้อคอนกรีตเพิ่มขึ้น และยังทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมเร็วขึ้นอีกด้วย การเยิ้มนี้มักพบได้บ่อยในงานเทคอนกรีตขนาดใหญ่ เช่นฐานรากขนาดใหญ่และถนน เป็นต้น

3. การแตกร้าวในช่วงที่คอนกรีตกำลังก่อตัว

3.1 การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวในลักษณะกำลังก่อตัวของคอนกรีต (Plastic Shrinkage Crack) สาเหตุมาจากคอนกรีตในสภาวะพลาสติกหรือในช่วงหลังจากการแต่งผิวจนถึงช่วงที่คอนกรีตเริ่มก่อตัว อัตราการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าของคอนกรีตมีมากกว่าอัตราการการเยิ้มน้ำของคอนกรีตทำให้ที่ผิวหน้าของคอนกรีตแห้ง จึงเกิดการหดตัวและเกิดหน่วยแรงดึง ถ้าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นนี้มีค่ามากกว่าหน่วยแรงดึงที่คอนกรีตรับได้ จะส่งผลให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวที่ผิวหน้า มักเกิดกับโครงสร้างคอนกรีตที่มีผิวหน้าสัมผัสกับอากาศมากๆ

3.2 การแตกร้าวเนื่องจากการทรุดตัวในขณะกำลังก่อตัวของคอนกรีต(Plastic Settlement Crack) สาเหตุเกิดจากคอนกรีตในสภาวะพลาสติกเกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกันในเนื้อคอนกรีตเนื่องจากมีเหล็กเสริมมาขวางหรือมีสิ่งที่ฝังอยู่ในคอนกรีตมาขวาง ทำให้เกิดการยึดรั้งขึ้นที่ผิวหน้าบริเวณผิวด้านบนหรือด้านข้างของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีต และเกิดหน่วยแรงดึงขึ้น ถ้าหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นนี้มีค่ามากกว่าหน่วยแรงดึงที่คอนกรีตสามารถรับได้ จะทำให้ผิวหน้าของคอนกรีตเกิดการแตกร้าวเกิดขึ้นได้ มักเกิดกับโครงสร้างที่มีความหนามาก หรือมีความสูงมาก เช่น รอยแตกร้าวตามแนวเหล็กเสริมกันร้าวที่ผิวด้านบนของฐานราก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลและวิธีการลดการเยิ้มน้ำ

1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

1.1 ปูนซีเมนต์ (Cement) การใช้ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากกว่า จะเกิดการเยิ้มน้ำน้อยกว่า

1.2 มวลรวม (Aggregates) การใช้มวลรวมที่มีความละเอียดหรือทรายที่มีความละเอียดมากกว่า จะสามารถช่วยลดปริมาณการเยิ้มน้ำได้

1.3 สารผสมเพิ่ม (Admixture) การเติมสารช่วยก็ส่งผลให้ลดการเยิ้มน้ำได้ เช่น สารกระจายกักฟองอากาศ เป็นต้น

2. ส่วนผสมคอนกรีต

2.1 ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต (Water) ปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญของการเยิ้มของคอนกรีตสด ถ้ามีน้ำในส่วนผสมน้อยกว่ามีแนวโน้มจะเกิดการเยิ้มน้อยกว่า

2.2 ปริมาณส่วนละเอียด (Find aggregates) การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์หรือใช้ทรายในส่วนผสมคอนกรีตปริมาณมากกว่า มีแนวโน้มจะเกิดการเยิ้มน้อยกว่า

3. เวลาการก่อตัวของคอนกรีต(Setting Time)การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น(Hydration reaction)เร็วขึ้นหรือมีเวลาการก่อตัวเร็วขึ้น จะช่วยลดปริมาณการเยิ้มน้ำได้

4. สภาพแวดล้อม (Environment) อุณหภูมิอากาศในช่วงปกติที่สูงกว่า จะทำให้คอนกรีตมีอัตราการเยิ้มน้ำเร็วกว่า แต่ปริมาณการเยิ้มน้ำที่เกิดขึ้นรวมทั้งหมดอาจไม่แตกต่างกันอย่างไรก็ตาม อุณหภูมิอากาศที่ต่ำมากอาจเพิ่มปริมาณการเยิ้มน้ำได้ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าคอนกรีตเกิดการก่อนตัวช้ากว่าปกติ จึงมีช่วงเวลาในการเยิ้มน้ำนานขึ้น

(ซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน เครือซีเมนต์ไทย 2548)

2.1.5 ความสามารถเทได้ (Workability)

ความสามารถเทได้ คือ ผลรวมของพลังงานที่จะเอาชนะแรงเสียดทานในอนุภาคของส่วนผสมในเนื้อคอนกรีตสด ซึ่งจะก่อให้เกิดการอัดแน่นของคอนกรีตอย่างสมบูรณ์

ทฤษฎีพลังงานจะต้องเอาชนะแรงเสียดทานภายในระหว่างอนุภาคของส่วนผสมในเนื้อคอนกรีตสดแต่ในทางปฏิบัติพลังงานที่ใส่เข้าไปจะต้องเอาชนะทั้งแรงเสียดทานภายในอนุภาคและแรงเสียดทานระหว่างส่วนผสมคอนกรีตกับแบบหล่อและเหล็กเสริม นอกจากนี้พลังงานบางส่วนก็จะสูญเสียไปในการเขย่าแบบหล่อ และเขย่าคอนกรีตที่อัดแน่นเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นในขั้นตอนการปฏิบัติ

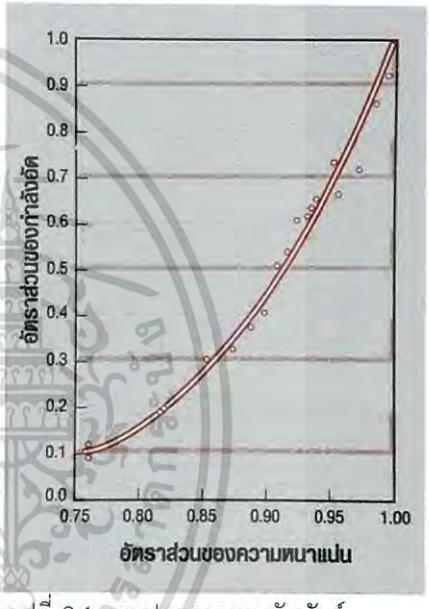
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงเป็นการยากที่จะวัดค่าความสามารถการเทคอนกรีตได้ตามนิยาม สิ่งที่เราวัดความสามารถการเทได้จึงเป็นวิธีการที่ประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมเท่านั้น

ความสามารถการเทได้ของคอนกรีตสดที่เหมาะสมกับการใช้งาน นอกจากต้องคำนึงถึงความง่ายต่อการทำงานและการไม่แยกตัวของเนื้อคอนกรีตแล้ว ยังต้องพิจารณาในส่วนของโครงสร้างทั้งชนิดของโครงสร้าง วิธีการเท และวิธีการจี้เขย่าด้วย เพื่อให้เนื้อคอนกรีตได้รับการอัดแน่นมากที่สุด ตัวอย่างเช่น คอนกรีตที่เหมาะสมกับงานฐานรากขนาดใหญ่มีค่าการยุบตัวที่สูง อาจไม่เหลวเพียงพอที่จะเทในงานที่มีการวางเหล็กเสริมอย่างหนาแน่นหรือโครงสร้างบางๆได้เป็นต้น

เนื่องจากกำลังอัดของคอนกรีตจะผันแปรหรือได้รับผลกระทบโดยตรงจากช่องว่างที่พบในเนื้อคอนกรีตที่อัดแน่น ดังนั้นควรทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ นั่นคือจำเป็นต้องให้คอนกรีตสดมีความสามารถในการเทได้ที่เพียงพอ เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถในการอัดแน่นได้ดี โดยใช้พลังงานที่เหมาะสมภายใต้สภาวะที่กำหนด

ในรูปจะเห็นว่า ช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตจะทำให้ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง และส่งผลให้กำลังอัดลดลงอย่างมากด้วย โดยช่องว่างเพียง 5 % ส่งผลทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงถึงประมาณ 30 %



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกำลังอัดกับความหนาแน่น

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถเทได้

1. ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีตปูนซีเมนต์

-ความสามารถที่เทได้เท่ากัน ปูนซีเมนต์ที่ละเอียดกว่าจะต้องใช้ปริมาณน้ำมากกว่า

-หินทรายที่มีขนาดคละดีจะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ดี

-หินที่กลมเกลี้ยง ทำให้คอนกรีตลื่นไหลได้ดีกว่าหินที่ยาวหรือแบน

-ความพรุนของมวลรวมมีผลต่อการดูดซึมน้ำ

-มวลรวมละเอียดจะต้องใช้น้ำมากว่ามวลรวมที่หยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-สารผสมเพิ่ม ช่วยเพิ่มการไหลลื่นให้กับคอนกรีต เช่น สารลดน้ำ สารกระจายกักฟองอากาศ

2. ส่วนผสมคอนกรีต

-ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเทได้ของคอนกรีตสด ควรใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม

-อัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ (A/C) ส่วนผสมที่มีอัตราของน้ำต่อปูนซีเมนต์คงที่ความสามารถเทได้จะเพิ่มขึ้นถ้าอันตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ (A/C) ลดลง

-อัตราส่วนต่อมวลรวมทั้งหมด (S/A) ถ้าใช้ทรายในส่วนผสมมากขึ้น จะทำให้ทำงานได้ง่ายขึ้น แต่จะสิ้นเปลืองปูนซีเมนต์มากขึ้น เมื่อกำลังอัดเท่าเดิม

3. เวลา หรืออายุของคอนกรีตสด เมื่อเวลาผ่านไปคอนกรีตจะเริ่มมีการแข็งตัว

4. อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิคอนกรีตสด ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อกระระเหยของน้ำในคอนกรีตสด ทำให้คอนกรีตสดเสียความสามารถในการเทได้ที่เร็วขึ้น

5. ระยะเวลาการผสมคอนกรีต ลำดับการผสม และชนิดประสิทธิภาพของเครื่องผสม ถ้าใช้เวลาผสมน้อยเกินไปอาจทำให้คอนกรีตมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ ทำให้มีความสามรถเทได้ที่ไม่ดี

(ซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน เครือซีเมนต์ไทย 2548)

2.1.6 การผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing Method)

กรรมวิธีการผสมคอนกรีตมีส่วนช่วยลดปัญหาการเยิ้มน้ำ(Bleeding) ที่ผิวหน้าคอนกรีตได้ พร้อมทั้งยังเพิ่มความสามารถในการทำงาน(Workability)ได้ดีขึ้นด้วย จากการศึกษา บทความงานวิจัยของ Prof.Ei-ichi TAZAWA และ Prof.Tetsurou KASAI (1989) ได้ทำการวิจัยวิธีการผสมซีเมนต์กับน้ำหรือ “ซีเมนต์ เพสต์” ที่แตกต่างจากการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixed Method) โดยวิธีในการผสมที่ได้จากการวิจัยคือการผสมที่เรียกว่า Double Mixing Method หรือวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์แบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน(DM) ซึ่งสามารถลดการเกิดการเยิ้มน้ำได้เป็นอย่างดี

โดยในงานวิจัยจะใช้การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตจากระยะเวลาการเทคอนกรีตในแต่ละช่วงระยะเวลาการก่อตัวที่ต่างกัน คือ วิธีการผสมแบบมาตรฐาน(Single Mixing Method) และ วิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน(Double Mixing Method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SM : w \frac{L: 0.5\ min}{+cement} \rightarrow \frac{H: x\ min}{Mixing}$$

$$DM : w_1 \frac{L: 0.5\ min}{+cement} \rightarrow \frac{H: y\ min}{PM.} \rightarrow w_2 \frac{H: z\ min}{SM.}$$

รูปที่ 2.2 วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์

การผสมแบบมาตรฐาน Single Mixing Method(SM)

คือ วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์โดยทำการผสมน้ำ W กับซีเมนต์ตามอัตราส่วนตามที่กำหนดไว้เพียงครั้งเดียวในการผสม และจะทำการควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผสม เช่น เวลาในการผสม เครื่องผสม ขั้นตอนการป้อนวัสดุลงเครื่องผสม เป็นต้น

การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน Double Mixing Method(DM)

คือ วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์โดยทำการผสมน้ำกับซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่กำหนดตามการแบ่งสัดส่วนของน้ำในการผสมสองครั้งเป็น W1 และ W2 โดยที่มีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผสม เช่น เวลาในการผสม สัดส่วนน้ำ W1 เครื่องผสม ขั้นตอนการป้อนวัสดุลงเครื่องผสม เป็นต้น

- การผสมส่วนแรก(Primal Mixing)

  คือ การผสมซีเมนต์เพสต์ โดยเป็นการผสมน้ำส่วนแรก W1 กับซีเมนต์จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน DM

- การผสมส่วนที่สอง(Secondary Mixing)

  คือ วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์ โดยเป็นการผสมน้ำส่วนที่สอง W2 กับซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมส่วนแรก(Primal Mixing) จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน DM ซึ่งน้ำที่ใส่ลงไปในส่วนที่สองจะทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับค่าที่ได้กำหนดและเวลาที่ใช้ในการผสมโดยรวมแล้วจะเท่ากับการผสมแบบ SM

- เวลาในการผสม(Mixing Time)

  คือ ระยะเวลาในการผสมทั้งหมดของ 2 วิธีคือวิธีการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing) และวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน(Double Mixing) ในการผสมซีเมนต์เพสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เวลาในการผสมส่วนแรก(Primal Mixing Time)

  คือ ระยะเวลาในการผสมซีเมนต์กับน้ำส่วนแรกของการผสมในส่วนแรก (Primal Mixing) จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน(Double Mixing)

- เวลาในการผสมส่วนที่สอง(Secondary Mixing Time)

  คือ ระยะเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์กับน้ำส่วนสุดท้ายของวิธีการผสมซึ่งอยู่ในส่วนที่สอง (Secondary Mixing) จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน(Double Mixing) โดยระยะเวลาในการผสมส่วนที่สองเมื่อรวมกับส่วนแรกจะเท่ากับเวลาในการผสม(Mixing Time)

2.1.7 ความต้านทานกำลังอัด (Compressive Strength)

ความต้านทานกำลังอัดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต เป็นตัวบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติอื่นๆได้เป็นอย่างดี เพราะความต้านทานหรือรับแรงแบบอื่นเป็นสัดส่วนความต้านทานแรงอัด ซึ่งหากไม่มีการกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น จะถือว่าผลการทดสอบความต้านทานกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วันเป็นเกณฑ์

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับ

1. กำลังมองมอร์ต้า
2. กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม
3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวม

กำลังของมอร์ต้า

กำลังของมอร์ต้าร์มีบทบาทอย่างมากต่อกำลังของคอนกรีต โดยกำลังอัดของมอร์ตาร์นี้ขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ Degree of Hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังและความพรุน จะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ต้าขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

กำลังของมอร์ต้าที่กำหนดให้ความสามารถต้านแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่กำหนดให้ ความต้านทานกำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้หินขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดของมวลรวมจะมีผลต่อความต้านทานกำลังของคอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลางมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูงการเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสม จะเป็นการเพิ่มความต้านทานกำลังอัด รวมทั้งถ้าใช้หินที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้ความต้านทานกำลังของคอนกรีตดีขึ้น

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ต้า

แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือปฏิกิริยาทางเคมี คือปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่างๆในเนื่อมวลรวม

(ซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน เครือซีเมนต์ไทย 2548)

2.1.8 การสึกกร่อน ความต้านทานการขัดสี (Abrasion Resistance)

ความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตหมายถึงความสามารถของผิวหน้าของคอนกรีตที่จะทนทานต่อการขัดสีหรือเสียดสีของวัสดุอื่นในงานโยธา การสึกกร่อนที่พบอยู่บ่อยๆสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. การสึกกร่อนของพื้นคอนกรีตจากรถยนต์บรรทุกที่มีน้ำหนักเบาหรือจากคนเดินเท้าหรือจากการลื่นไถลของผิวคอนกรีต
2. การสึกกร่อนของพื้นผิวคอนกรีตเนื่องจากมีรถบรรทุกขนาดใหญ่หรือพวกรถตีนตะขาบ
3. การสึกกร่อนของพวกโครงสร้างกันน้ำเช่นเขื่อนรางระบายน้ำอุโมงค์ส่งน้ำหรือตอม่อสะพาน ซึ่งการกัดกร่อนเหล่านี้มาจากกระแสน้ำที่ไหลผ่าน
4. การสึกกร่อนของโครงสร้างกันน้ำในประเภทที่ 3 เกิดจากการไหลของน้ำที่มีความเร็วสูงทำให้เกิดฟองอากาศและการกัดกร่อนที่เรียกว่า cavitation นอกจากนี้ยังมีการสึกกร่อนอื่นๆอีก เช่นลมที่หอบเอาทรายมาปะทะกับผิวหน้าของคอนกรีตก็สามารถทำให้เกิดการสึกกร่อนได้

การสึกกร่อนของคอนกรีตนั้นเกิดขึ้นจากการกลิ้งหรือเสียดสีของวัสดุอื่นบนผิวหน้าของคอนกรีต คอนกรีตที่เกิดการสึกกร่อนได้มากเช่นพื้นผิวถนน สะพาน อาคารบังคับน้ำทางชลศาสตร์ การสึกกร่อนเหล่านี้ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเกิดความเสียหายจึงต้องมีการซ่อมบำรุง ถ้าหากปราศจากการดูแลแล้วการสึกกร่อนจะทำให้อายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้นสั้นลง การสึกกร่อนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย การต้านทานการสึกกร่อนก็ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่นคุณสมบัติและปริมาณของมวลรวม กำลังอัดของคอนกรีตปฏิภาคส่วนผสมการใช้วัสดุและการผสมเพิ่ม การบ่มและการตบแต่งผิวคอนกรีตซึ่งผลจากปัจจัยเหล่านี้รวมกันจะทำให้คอนกรีตมีความทนทานต่อการสึกกร่อนของคอนกรีต ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อนขึ้นอยู่กับความต้านทานกำลังอัดหรือความแข็งแรงของคอนกรีต (Rafat Siddique และคณะ2003;1877-1881)

การต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตมีอยู่หลายปัจจัยที่ได้ศึกษาก่อนหน้านี้และได้พบว่าความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของคอนกรีต ดังนั้นคอนกรีตที่มีกำลังสูงกว่าจะมีความต้านทานการสึกกร่อนได้ดีมากกว่าคอนกรีตที่มีกำลังต่ำกว่า

ในปัจจุบันมีมาตรฐาน ASTM ที่ใช้สำหรับการทดสอบการขัดสีของคอนกรีตอยู่ 4 ประเภทหลักๆ คือ

1. The ASTM C418, Standard Test Method for Concrete Abrasion Resistance to Sand Blasting. วิธีทดสอบมาตรฐานความต้านทานการขัดสีของคอนกรีตด้วยการเป่าทราย
2. The ASTM C779, Standard Test Method for Horizontal Concrete Surface Abrasion Resistance. วิธีการทดสอบมาตรฐานความต้านทานการขัดสีของคอนกรีตในลักษณะแนวนอน
3. The ASTM C944, Standard Test Method for Concrete or Mortar Surface Abrasion Resistance using the Rotating-Cutter Method. วิธีการทดสอบมาตรฐานคอนกรีตหรือความต้านทานผิวปูนจากการขัดสีด้วยวิธีการตัดโดยขั้นตอนนี้ใช้ล้อวางและกดบนแผ่นตัวอย่างในการเจาะหรือการตัดผิวทดสอบจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่กำหนดไว้และการทดสอบนี้ส่วนมากแล้วจะนิยมใช้กับเส้นทางถนนหรือการควบคุมคุณภาพผิวสะพานคอนกรีต
4. The ASTM C1138, Standard Test Method for Concrete Abrasion Resistance (Underwater Method). วิธีการทดสอบมาตรฐานคอนกรีตโดยวิธีใต้น้ำและเป็นมาตรฐานล่าสุดในการหาค่าการสึกกร่อนโดยการนำแผ่นตัวอย่างคอนกรีตไปทดสอบในเครื่องทดสอบและมีลูกบอลสแตนเลส 3 ขนาดวางอยู่บนพื้นแผ่นตัวอย่างหมุนไปตามแรงของน้ำที่ใช้แรงของมอร์เตอร์เป็นตัวขัดเคลื่อน

(Rafat Siddique และคณะ. 2003; 1877-1881)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9 การผลิต และ การขนส่ง

การผลิตคอนกรีตและการทำงานควบคู่กับการผลิต ซึ่งประกอบด้วยการลำเลียง การเทเข้าแบบ การแต่งผิว การบ่ม และการทดสอบ และ ตรวจสอบต่างๆซึ่งมีบุคลากรและช่างหลายระดับยังไม่อาจเข้าถึงสมรรถนะของคอนกรีตทั้งในขณะที่ยังเหลวอยู่ และเมื่อแข็งตัวเป็นคอนกรีตในโครงสร้างแล้ว ซึ่งการรวบรวมข้อมูลการทำงานเกี่ยวกับคอนกรีตในอุตสาหกรรมการก่อสร้างตามสภาพจริงสามารถช่วยให้การทำงานเป็นไปได้ง่ายขึ้นในแต่ละขั้นตอน อีกทั้งจะส่งเสริมให้คอนกรีตเทเข้าแบบได้ดีเต็มทุกซอกทุกมุมปราศจากข้อบกพร่อง และข้อตำหนิจากการทำงานที่จะทำให้โครงสร้างคอนกรีตมีพฤติกรรมทางโครงสร้างที่มีความมั่นคง แข็งแรง และมีความคงทนตามที่ต้องการอีกด้วย

ขบวนการผลิต

ในขบวนการผลิตคอนกรีต จะมีการคัดวัสดุพื้นฐาน และการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ซึ่งขบวนการผลิตยังมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมความแม่นยำต่างๆอย่างละเอียดถี่ถ้วน โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับเครื่องชั่ง ตวง วัด น่าจะต้องมีความละเอียดสูง และมีความคลาดเคลื่อนน้อย และเข้าสู่ขบวนการผลิตด้วยการผสมเข้าด้วยกันยังจะต้องพิจารณาถึงเครื่องผสมคอนกรีตที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถให้วัสดุมวลรวม ซีเมนต์ น้ำ และวัสดุผสมอื่นๆคลุกเคล้าเข้ากันดี เกิดความสม่ำเสมอเท่าเทียมกันทั้งโม่และในแต่ละโม่ที่จะต้องควบคุมให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้น้อยสุด อนึ่งในขั้นตอนของการผสมน่าจะพิจารณาถึง

1. ผสมซีเมนต์กับทรายตามสัดส่วน โดยพิจารณาทั้งทรายหยายและทรายละเอียดให้คลุกเข้ากันดีก่อน(ในกรณีที่มีการผสมเครื่องโม่ธรรมดามิได้เป็นโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ)
2. เติมหินตามสัดส่วนที่กำหนด ซึ่งอาจหมายถึงการใช้หินเกินกว่า 1 ขนาดเพื่อให้ได้สัดส่วนขนาดคละที่ดีกว่า เพื่อให้วัสดุมวลหยาบและมวลละเอียด รวมกับปูนซีเมนต์ด้วยประสิทธิภาพสูงสุด
3. เติมน้ำในส่วนผสมโดยให้มีการกระจายของน้ำมากที่สุด อาจจะด้วยการฉีดพ่นหรือด้วยหัวจ่ายที่แผ่กระจายได้หลายจุดในโม่ ถ้าหากเป็นการผสมเครื่องโม่ธรรมดาอาจจะพิจารณาแยกน้ำออกเป็นสองส่วน คือ เทไปก่อนครึ่งหนึ่ง หมุนผสมอยู่ระยะหนึ่ง จึงเติมส่วนที่เหลืออีกระยะหนึ่ง
4. ใช้การสังเกตสภาพของคอนกรีตเหลวตามลักษณะและขั้นตอนของการผสม และตามสภาพการณ์ทางกายภาพที่ปรากฏ พึงตรวจสอบและทบทวนเพื่อขจัดความผิดพลาดในการผสมที่สามารถประกันคุณสมบัติต่างๆให้สอดคล้องและถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องมีการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตเหลวตามที่ระบุและด้วยวิธีการที่กำหนด เช่น การวัดค่าการยุบตัว เป็นต้น
6. เมื่อได้คุณสมบัติตามต้องการแล้ว สามารถปล่อยลงสู่รถขนส่งคอนกรีตหรือสายพานลำเลียงเพื่อการขนส่งไปสู่หน่วยงานก่อสร้างเพื่อการปั๊มหรือเทคอนกรีตเข้าแบบต่อไป

ในขบวนการผลิตตามขั้นตอนที่กล่าวในเบื้องต้นยังจะต้องมีมาตรการในการควบคุมคุณภาพและการตรวจสอบควบคู่กันเสมอเพื่อมาตรการในการประกันคุณภาพ ทั้งในสภาพเหลวระหว่างการทำงาน และในสภาพที่แข็งตัวแล้ว เมื่อเป็นโครงสร้างคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว

การขนส่ง

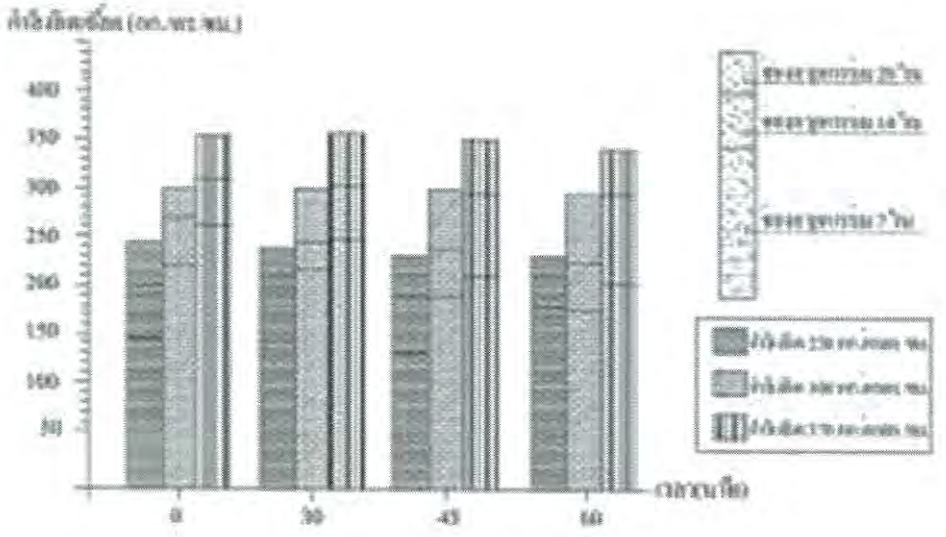
การขนส่งคอนกรีตจากปากโม่หรือโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จไปสู่หน่วยงานก่อสร้างนั้นไม่ได้มีความยุ่งยากแต่อย่างใด แต่ต้องกระทำในลักษณะที่ทำให้คอนกรีตยังคงสภาพสม่ำเสมอ และเสียค่ายุบตัวน้อยที่สุด อาจจำเป็นต้องมีวิธีป้องกันไม่ให้คอนกรีตแยกตัวหรือหกรั่ว เครื่องมือที่ใช้ขนส่งคอนกรีตต้องมีประสิทธิภาพดี โดยไม่ทำให้ส่วนผสมของคอนกรีตแยกตัว และเสียจังหวะในการเทจนกระทั่งคอนกรีตสูญเสียแรงเกาะกันระหว่างคอนกรีตที่เทต่อเนื่องกัน

(คอนกรีตสมรรถนะสูง ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ 2555)

2.2 ผลของการศึกษางานวิจัย

อารง มะเซ็ง ค.อ.ม. (Arong Maseng. MS.Tech.Ed.)[1](2552) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของกำลังอัดคอนกรีตในระยะเวลาก่อตัวช่วงสุดท้าย เพื่อศึกษาถึงผลกระทบในด้านกำลังอัดของคอนกรีตในระยะเวลาก่อตัวช่วงสุดท้าย และเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตต่อการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการก่อตัวกับกำลังอัดคอนกรีตที่ได้ ออกแบบไว้ โดยนำคอนกรีตที่กำลังอัด 230, 300 และ 370 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามที่ออกแบบไว้มาผสมให้มีความสามารเทได้ 10 ± 2.0 เซนติเมตรเก็บตัวอย่างจำนวน 108 ตัวอย่าง ทดสอบหากำลังอัด เพื่อเป็นค่า มาตรฐานในการเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ทิ้งไว้แล้วนำมาผสมใหม่ให้มีความสามารถเทได้ เท่าเดิม คือ 10± 2.0 เซนติเมตร แล้วนำคอนกรีตนั้นมาผสมใหม่ทุกๆ 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที จากเวลาที่ผสมคอนกรีต เริ่มต้นจนแล้วเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องที่เวลาต่างกัน

จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อนำคอนกรีตสดมาเทที่ระยะเวลา 30 นาที 45 นาที 60 นาที ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีต ลดลงเหลือร้อยละ 82.46 หรือกำลังลดลง ที่ร้อยละ 17.54 โดยเทียบกับค่ามาตรฐาน

(Ghafoori et al.)[2] ศึกษาความต้านทานต่อการขัดถูบนผิวทางคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 779 ขั้นตอน C และตรวจสอบผลกระทบของสัดส่วนมวลรวมต่อความลึกของความเสียหายที่เกิดจากการสึกหรอ โดยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W / C) ของสารผสมที่ทดสอบมีค่าแตกต่างกันระหว่าง 0.21 ถึง 0.34 สัดส่วนส่วนผสมระหว่าง 9: 1 ถึง 3: 1 ของอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์ จากการศึกษาทำให้พบว่าความต้านทานต่อการกัดกร่อนของบล็อกคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนรวมต่อปูนซีเมนต์ การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์มีอิทธิพลต่อความสามารถในการขัดถูมากกว่าการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการรับแรงอัดหรือการแตกตัวของเครื่องเทคอนกรีต

(เอกสารประกอบหลักสูตรการฝึกอบรมคอนกรีต เทคโนโลยีแบบบูรณาการสำหรับวิศวกร, 2545 Module E-2)[3] คอนกรีตสดและอายุเริ่มต้น หัวข้อ เรื่อง การเยิ้มน้ำ (Bleeding)การเยิ้มน้ำ (Bleeding) ในปริมาณที่สูงนั้นส่งผลกระทบทำ ให้การรับกำลังอัดของคอนกรีตลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการต้านทานการขัดสีที่ผิวของคอนกรีตเนื่องจากน้ำ ที่เยิ้มขึ้นมาจะนำพาวัตถุที่มีอนุภาคขนาดเล็กของปูนซีเมนต์และมวลรวมซึ่งหมายถึงฝุ่นของ หิน-ทรายรวมอยู่ด้วย สิ่งต่างๆเหล่านี้จะจับตัวรวมกันเป็นแผ่นบางๆเรียกว่า Laitance ที่ผิวของคอนกรีต ซึ่งหลุดร่อนและเป็นฝุ่นได้ง่ายเมื่อมีการขัดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 Laitance ที่ผิวด้านบนของคอนกรีตสาเหตุหลักมา จากการใช้ทรายที่มีความละเอียดมากโดยมีฝุ่นขนาดเล็กกว่า 75 micron (No. 200 sieve) มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์และ คอนกรีตเหลวมากเกินไป

จะเห็นได้ ว่าปัจจัยทางด้านระยะเวลาของการเทจะมีผลทำให้ความสามารถของ ความต้านทานกำลังอัด โดยลดลงตามระยะเวลาการเทที่ห่างออกไป ซึ่ง ความต้านทานกำลังอัดจะส่งผลต่อความต้านทานการขัดสีเช่นกัน ทั้งนี้ ความต้านทานกำลังอัดและความต้านการขัดสี ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์(WCR) , อัตราส่วนมวลรวมที่ใช้ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลเหล่านี้ เป็นส่วนสำคัญในขั้นตอนการผลิต ที่ผู้จัดทำต้องทำการควบคุม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แท้จริงต่อไป

(คมสัน มาลีสี, “อิทธิผลของวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติการเยิ้มน้ำและการรับกำลังอัด”ภาควิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)[4] การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ และคอนกรีตที่ได้จากขบวนการในการผสมซีเมนต์โดยแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double mixing method: DM) เปรียบเทียบกับการผสมแบบมาตรฐานทั่วไป (Single mixing method: SM) โดยทำการทดสอบอัตราการเยิ้มน้ำ ความสามารถในการเท และความสามารถในการรับแรงอัด จากการศึกษาจึงพบว่าการผสมแบบ DM สามารถช่วยลดการเยิ้มน้ำให้น้อยลงและยังเพิ่มความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ สำหรับคอนกรีตนั้นการผสมแบบ DM สามารถช่วยลดการเยิ้มน้ำ(Bleeding) และยังเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงรูปแบบการวิจัย, วิธีการเก็บรวมรวมข้อมูล, ประเภทของเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล, วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM

3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างคอนกรีต เพื่อศึกษาคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปของคอนกรีต โดยทำการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต(Mixed Design) เป็น 2 แบบ คือ การผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing) และ การผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing) ที่มีกำลังอัด 180 และ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยตัวอย่างคอนกรีตจะมีระยะเวลาการเทที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาการก่อตัว(Setting Time) ดังต่อไปนี้ คือ ระยะเวลาก่อตัวปกติ, ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) , ระยะก่อตัวสุดท้าย(Final Setting Time) โดยก่อนจะเก็บตัวอย่างจะทำการเติมน้ำเพิ่มโดยมีการควบคุมที่ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10±2 เซนติเมตร แล้วจึงเก็บตัวอย่างคอนกรีต ทำการทดสอบหาการเยิ้มน้ำ, การยุบตัวของคอนกรีตสด, ความต้านทานด้านกำลังอัด, ความต้านทานการขัดสี และเก็บรวมรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และสรุปผล

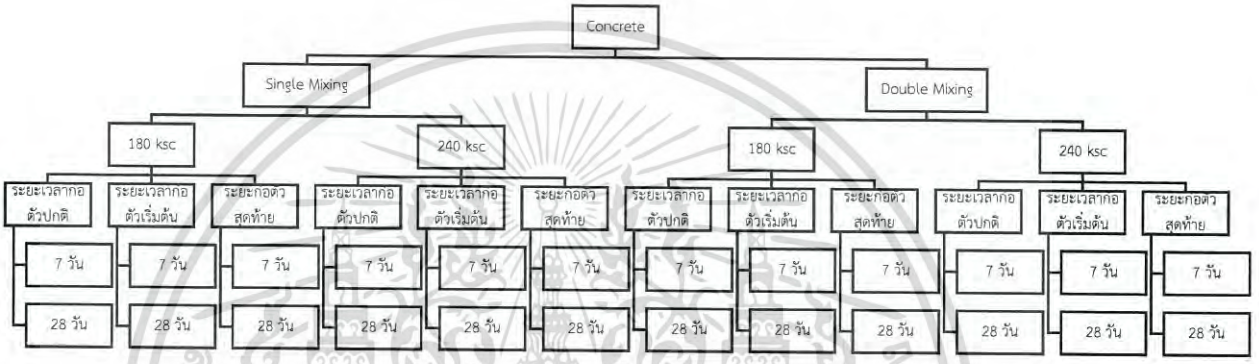
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.1 การออกแบบระยะเวลาเทคอนกรีต

ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องด้วยระยะเวลาเทคอนกรีตที่แตกต่างกัน

โดยกำหนดระยะเวลาเทคอนกรีตตามช่วงเวลาการก่อตัวของคอนกรีต(Setting Time)ในแต่ละชุดตัวอย่างที่กำลังอัดแตกต่างกัน ตามแผนภาพดังนี้



โดยการทดลองจะทำการศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1.การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด(Test of Slump of Fresh Concrete)

2.การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตสด(Test of time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance)

3.การทดสอบอัตราการคายน้ำของคอนกรีตสด(Test for Bleeding of Fresh Concrete)

4.การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต(Test for Compressive Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens)

5.การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า(Test for Surface Abrasion)

ซึ่งในการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต กำหนดกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ 180 และ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นจำนวน 3 ชุดการทดลอง(3ก้อน) และทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตอายุการบ่มคอนกรีตที่ 7 วัน และ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

ตัวอย่างได้แก่ คอนกรีตที่ได้ออกแบบส่วนผสมแบบมาตรฐาน และ การผสมแบบแบ่งน้ำสองส่วน ที่กำลังอัด 180 และ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยจะเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่ระยะเวลาการเทตามช่วงเวลาการก่อตัว(Setting Time) อย่างละ 1 ชุด รวมทั้งหมด 144 ตัวอย่าง ดังตารางที่ต่างๆที่แสดงการเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 3.2.1 แสดงการเก็บตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความต้านทานด้านกำลังอัด

กำลังอัด (ksc)	คอนกรีตระยะเวลาก่อตัวปกติ		คอนกรีตที่ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น		คอนกรีตที่ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย		รวม (ตัวอย่าง)
	อายุการบ่ม(วัน)		อายุการบ่ม(วัน)		อายุการบ่ม(วัน)		
	7	28	7	28	7	28	
180	3	3	3	3	3	3	18
240	3	3	3	3	3	3	18
							36

หมายเหตุ : ตัวอย่างคอนกรีตเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้วและสูง 12นิ้ว

ตารางที่ 3.2.2 แสดงการเก็บตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความด้านทานการขัดสี

อายุการบ่ม(วัน)	คอนกรีตระยะเวลาก่อตัวปกติ		คอนกรีตใกล้ถึงระยะเวลาก่อตัว		คอนกรีตผ่านระยะเวลาก่อตัวไม่นาน		รวม (ตัวอย่าง)
	กำลังอัด(ksc)		กำลังอัด(ksc)		กำลังอัด(ksc)		
	180	240	180	240	180	240	
7	3	3	3	3	3	3	18
28	3	3	3	3	3	3	18
							36

หมายเหตุ : ตัวอย่างคอนกรีตเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร

การเก็บตัวอย่างการทดสอบความต้านทานการขัดสี และ ความต้านทานแรงอัด อย่างละ 36 ตัวอย่าง เมื่อรวมกับการผสมคอนกรีตแบบมาตรฐาน และ แบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน จะได้ตัวอย่างคอนกรีตทดสอบความต้านทานแรงอัด 72 ตัวอย่าง (ทรงกระบอก) และ ตัวอย่างคอนกรีตทดสอบความต้านทานการขัดสี 72 ตัวอย่าง (รูปทรงสี่เหลี่ยม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือและวัสดุที่ใช้รวบรวมข้อมูล

3.3.1 วัสดุ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตใช้มากที่สุดเหมาะสำหรับผลิตคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดายี่ห้อที่ใช้คือปูนซีเมนต์ตราช้าง

2. มวลรวมละเอียด เป็นทรายแม่น้ำล้างน้ำจนสะอาดก่อนนำมาใช้ปรับให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ตามมาตรฐาน ASTM C136

3. มวลรวมหยาบ หินย่อยหรือกรวด มีขนาดคละสี สะอาด แข็งแกร่ง มีลักษณะค่อนข้างกลมแต่มีเหลี่ยมมุมและผิวหยาบ ตามมาตรฐาน ASTM C136

4. น้ำ เป็นน้ำประปาสะอาด

3.4 การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์

เป็นการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งตัวอย่างที่ได้มาจากการผสมแบบมาตรฐาน(SM) และการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) โดยจะใช้ระยะเวลาการเทคอนกรีตในแต่ละช่วงระยะเวลาการก่อตัวที่ต่างกัน

ทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดลอง โดยมีขั้นตอนในการผสมตัวอย่างทั้งสองวิธีดังนี้

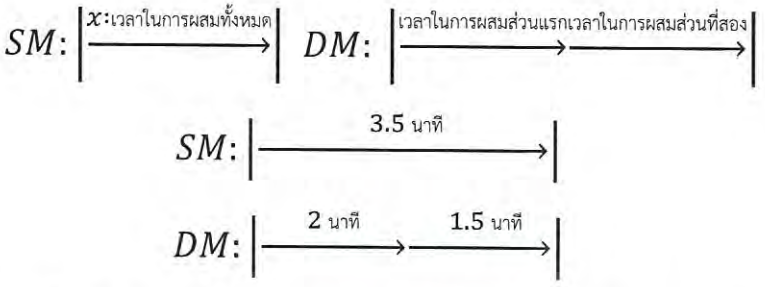
$$SM: w\frac{L: 0.5\ min}{+Cement} \rightarrow \frac{H: x\ min}{Mixing}$$

$$DM: w_1\frac{L: 0.5\ min}{+Cement} \rightarrow \frac{H: y\ min}{PM.} + w_2\frac{H: z\ min}{SM.}$$

รูปที่ 3.4.1 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์

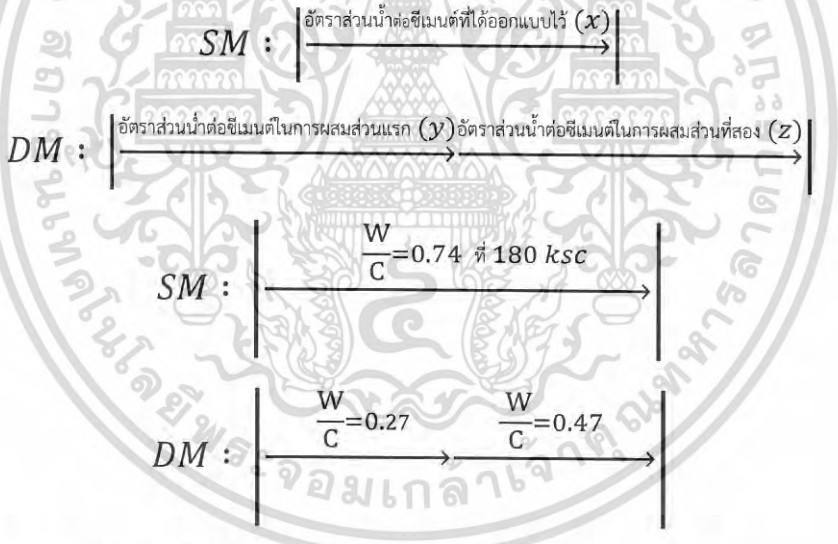
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมซีเมนต์เพสต์ทั้งแบบ Single Mixed และ Double Mixed จะใช้เวลาการผสมที่เท่ากัน



รูปที่ 3.4.2 แสดงเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์ทั้งแบบ SM และ DM

การผสมซีเมนต์เพสต์ทั้งแบบ Single Mixed และ Double Mixed ได้ทำการออกแบบความสามารถในการรับกำลังอัดไว้ที่ 180 *ksc* และ 240 *ksc* โดยที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกันและวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน *DM* ซึ่งน้ำที่ใส่ลงไปในส่วนที่สองจะทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์แบบวิธีการผสมแบบมาตรฐาน SM



รูปที่ 3.4.3 แสดงตัวอย่างการผสมซีเมนต์เพสต์แบบ SM และ DM โดยมี W/C = 0.74

แล้วจึงนำซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้ ไปทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆดังที่กำหนดไว้เบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตครั้งนี้ใช้มาตรฐาน ASTM โดยได้กำหนดและวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

3.5.1 การทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด(Test for Slump of Fresh Concrete)

ASTM : C143-90a

เพื่อทดสอบหาความสามารถในการไหลและในการเทลงแบบของคอนกรีตสด ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตนั้น หากมากหรือน้อยเกินไป จะมีผลต่อการเทอาจเป็นเหตุให้คอนกรีตเสียกำลังเมื่อแข็งตัว

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมพื้นที่สำหรับวางกรวย ควรเป็นพื้นที่แข็ง ราบเรียบและไม่ดูดซึมน้ำ เมื่อวางกรวยเรียบร้อยแล้ว ใช้เท้าทั้งสองข้างเหยียบกดลงบนที่สำหรับเท้าเหยียบให้แน่น
2. นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จโดยแบ่งแต่ละช่วงตามเวลาการก่อตัว(Setting Time) ใส่ลงในกรวย โดยเทแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรเฉลี่ยเท่าๆกัน และแต่ละชั้นให้ใช้กระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง การกระทุ้งชั้นล่างสุด จะกระทุ้งด้วยการตั้งท่อนเหล็กให้ตรงขณะกระทุ้งบริเวณรอบศูนย์กลางกรวย และเอียงเหล็กตามกรวยเมื่อกระทุ้งแถวขอบกรวย การกระทุ้งชั้นบนสุดจะพยายามเติมคอนกรีตให้เต็มแบบตลอดเวลาที่กระทุ้งเสร็จแล้วปาดผิวบนให้เรียบ
3. ค่อยๆยกกรวยขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็วสม่ำเสมอ อย่าให้กรวยเอียงหรือก่อให้เกิดการบิดใดๆในคอนกรีตเป็นอันขาด ยกกรวยให้พ้นภายใน 5-10 วินาที และเวลาตั้งแต่เริ่มเทคอนกรีตลงในกรวยจนถึงขั้นสุดท้ายนี้ไม่ควรเกิน $2\frac{1}{2}$ นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ให้วัดระยะการยุบตัวของคอนกรีตทันที โดยนำกรวยที่ยกออกแล้วมาวางข้างๆ เอาเหล็กกระทุ้งวางพาดบนขอบกรวย ให้ปลายเหล็กยื่นเข้ามาเหนือตัวอย่างคอนกรีตที่ยุบตัว แล้วใช้ไม้บรรทัดเหล็กวัดระยะ

รูปที่ 3.5.1 แสดงตัวอย่างการวัดค่าการยุบตัว (Slump)

3.5.2 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของตอนกรีตสด(Test for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance) ASTM : C403-92

การก่อตัว(Setting) เป็นลักษณะทางกายภาพที่แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ ซึ่งมีช่วงระยะเวลาที่สำคัญอยู่ 2 ช่วง ซึ่งเราสนใจเฉพาะในช่วงระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น เท่านั้น

- ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) ในช่วงระยะนี้คอนกรีตจะยังสามารถผสม เท อัดแน่น และแต่งผิวได้ ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น สามารถต้านทานแรงต่อพื้นที่ได้เท่ากับ 500 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือ 35.1 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ และเทลงในแบบบรรจุคอนกรีตสด ใช้เหล็กกระทุ้งเบาๆ เพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด เมื่อเรียบร้อยแล้วปาดผิวหน้าให้เรียบพอดีขอบแบบ และเก็บแบบดังกล่าวไว้ในที่มิดชิด ไม่ให้ถูกแสงแดดโดยตรง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการระเหยไปของน้ำมากเกินความจำเป็น ให้บันทึกเวลาตั้งแต่เทคอนกรีตออกจากโม่ผสม จนกระทั่งเทเสร็จเรียบร้อยลงในแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีทดสอบระยะจม เริ่มด้วยการนำปลายเข็มของเครื่องมือสัมผัสกับผิวคอนกรีต และค่อยๆกดลงอย่างสม่ำเสมอในแนวดิ่ง จนกระทั่งเข็มจมลงในคอนกรีตเป็นระยะ

$1 \pm \frac{1}{16}$ นิ้วซึ่งบนเข็มจะมีขีดเครื่องหมายชี้บอก และบันทึกแรงที่ใช้ในการกดปลายครั้งนี้ พร้อมกับเวลาที่ผ่านไปทั้งหมดหลังจากเริ่มเทคอนกรีต สำหรับเวลาที่ใช้สำหรับกดเข็มให้จมลงในคอนกรีตนั้นไม่ควรเกิน 10 ± 2 วินาที นับจากเริ่มให้ปลายเข็มแตะผิวคอนกรีต ในการทดสอบดังกล่าวจำเป็นต้องกดเข็มหลายครั้งตามช่วงเวลาที่กำหนด ระยะห่างของปลายเข็มสำหรับการกดแต่ละครั้งต้องไม่น้อยกว่าสองเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็ม หรือไม่น้อยกว่า $\frac{1}{2}$ นิ้ว และไม่น้อยกว่า 1 นิ้ววัดจากขอบแบบที่บรรจุคอนกรีต

3. การทดสอบเพื่อหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของคอนกรีต ให้ทดสอบห่างกันทุก 15 นาที เพื่อนำขนาดของแรงที่วัดมาวาดกราฟเทียบกับเวลาของการกดแต่ละครั้ง

4. การคำนวณ

การคำนวณหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต โดยเครื่องทดสอบระยะจะมีหลักเกณฑ์ดังนี้

- เวลาก่อตัวขั้นต้น จะอยู่ที่เวลาเมื่อปลายเข็มจมลงในคอนกรีต 1 นิ้วด้วยหน่วยแรง 500 psi

3.5.3 การทดสอบอัตราการคายน้ำของคอนกรีตสด(Test for Bleeding of Fresh Concrete) ASTM : C232-92

การเยิ้มน้ำ(Bleeding) คือ ปรากฏการคายน้ำของคอนกรีตสด เกิดขึ้นเมื่อส่วนประกอบที่หนักกว่าจมลง แล้วดันน้ำซึ่งเบาที่สุดขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต การเยิ้มจะหยุดลงเมื่อซีเมนต์เพสต์แข็งตัวพอที่จะหยุดการจมลงของมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของการเยิ้มน้ำ

1. ทำให้ผิวหน้าคอนกรีตไม่แข็งแรง และไม่สวยงาม อาจเกิดฝุ่นหรือหลุดร่อนได้ง่าย
2. ผลกระทบต่อการแตกร้าวที่ผิวหน้าในช่วงที่คอนกรีตก่อตัว มีอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวหน้ามากกว่าอัตราการเยิ้มน้ำขึ้นมาที่ผิว จะทำให้ผิวหน้าแห้ง เกิดการหดตัวและเกิดแรงดึงขึ้นและถ้าหน่วยแรงดึงสูงกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต ผิวหน้าคอนกรีตจะเกิดการแตกร้าวขึ้นได้

ขั้นตอนการทดสอบ : วิธีกระทุ้ง(Temping Method)

1. ผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ แล้วใส่ลงในภาชนะโลหะที่เตรียมไว้โดยแบ่งใส่เป็น 3 ชั้นเท่าๆกันแต่ละชั้นใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง ปาดผิวหน้าให้เรียบด้วยเกรียงเบาๆ บรรทุกเวลาตั้งแต่เริ่มจนถึงตอนนี้
2. นำภาชนะไปวางในที่ที่มั่นคงแข็งแรงแล้วปิดฝาเหล็กรัดขอบบนให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำที่ถูกคายระเหย
3. ภายใน 40 นาทีแรก ให้ดูดน้ำที่คอนกรีตคายออกมาทุกๆ 10 นาที หลังจากนั้นให้ดูดน้ำทุกๆ 30 นาที จนกว่าขบวนการคายน้ำตะเสร็จสิ้น แต่ละครั้งที่ดูดน้ำออกมาให้จดบันทึกปริมาณไว้
4. ปริมาณน้ำที่ถูกคาย คำนวณต่อหน่วยพื้นที่ผิวของคอนกรีตได้ดังนี้

$$V = \frac{v_1}{A}$$

โดย v_1 = ปริมาณน้ำที่คอนกรีตคาย วัดแต่ละครั้งในช่วงเวลากำหนด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

A = พื้นที่ผิวของคอนกรีต มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

จากนั้นจะคำนวณอัตราการคายน้ำเป็นเปอร์เซ็นต์ ได้จาก

$$C = \frac{w}{w} \times s$$

$$\text{อัตราการคายน้ำ}(\%) = \frac{D}{C} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $C =$ ปริมาณน้ำในคอนกรีตสด มีหน่วยเป็นกรัม

$w =$ น้ำหนักของภาชนะ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

$W =$ ปริมาณน้ำผสมคอนกรีตสุทธิ หมายถึงปริมาณน้ำทั้งหมดหักปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมโดยมวลรวมผสม มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

$S =$ ปริมาณคอนกรีต มีหน่วยเป็นกรัม

$D =$ ปริมาณน้ำที่ถูกคายหรือปริมาณน้ำทั้งหมดที่ถูกดูดออกมาในขั้นตอนการทดสอบ มีหน่วยเป็นกรัม

3.5.4 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen) ASTM : C39 - 93a

กำลังอัดของคอนกรีตนั้น หมายถึง ความเครียดสูงสุดของคอนกรีตที่จะสามารถทดได้โดยที่เนื้อคอนกรีตไม่วิบัติ ฉีกขาด เมื่อมีการอัดหรือกดคอนกรีตตามแนวแกน

โดยเมื่อทดสอบกำลังอัดแล้วต้องผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน ACI 318R หรือ วสท. ภาค3 ดังนี้

1.ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดจากการทดสอบ 3 ครั้งติดต่อกัน มากกว่าค่ากำลังอัดที่กำหนด (f_c')

2.ค่ากำลังอัดแต่ละครั้งต่ำกว่ากำลังอัด(f_c') ที่ต้องการได้ไม่เกิน 30 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

ขั้นตอนการทดสอบ

ก) การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว

2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขัดหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุด ขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

1.สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสมเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ๆ

2.เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนที่หนึ่งประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น แล้วจึงปาดหน้าผิวให้เรียบ

3.ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉยๆ ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่มโดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบและควรทดสอบก่อนตัวอย่างจะแห้งสนิท ตัวอย่างคอนกรีตที่นำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

ค) การทดสอบกำลังอัด

1.การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นมาจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนการทดสอบควรตรวจสอบระนาบหัวท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบนราบหรือไม่ ระนาบดังกล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5 หรือประมาณ 3 มิลลิเมตรใน 300 มิลลิเมตร

2.หากไม่อยู่ภายในขอบเขตดังกล่าว ให้ทำการหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM : C617 – 84 สำหรับระยะเส้นผ่านศูนย์กลางที่จะนำมาใช้คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดให้ใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัดสองแนวซึ่งตั้งฉากกันและกัน ที่ตำแหน่งกึ่งกลางแท่งทดสอบ

3.การคำนวณ ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

$$f_c = \frac{P}{A}$$

โดยที่ f_c = กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต มีหน่วยเป็นกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ

= $\frac{\pi D^2}{4}$ ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากปรากฏว่าอัตราส่วนระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบต่ำกว่า 1.8 ค่าที่ได้จากการทดสอบจะต้องถูกคูณด้วยแฟคเตอร์เผื่อแก้ค่าที่ถูกต้องเสียก่อน จากตารางข้างล่าง

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
แฟคเตอร์แก้ค่า	0.98	0.96	0.93	0.87

ตารางที่ 3.5.1 แสดงค่าคูณแฟคเตอร์แก้ค่ากำลังอัด

รูปที่ 3.5.2 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต(Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen) ASTM : C39 - 93a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า(Surface Abrasion) ASTM : C944

ความต้านทานการขัดสี

การสึกกร่อนของคอนกรีตมีสาเหตุมาจากผิวหน้าคอนกรีตมีความอ่อนแอไม่สามารถต้านทานการขัดสีซึ่งเกิดขึ้นโดยปกติ หรืออาจถูกขีดข่วนด้วยวัตถุที่มีความแข็ง อนุภาคของส่วนละเอียดไม่มีแรงยึดเหนี่ยวกับเนื้อคอนกรีตทำให้อนุภาคของส่วนละเอียดนี้หลุดร่อนออกมา

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 10x10x10 เซนติเมตร
2. วัดน้ำหนักตัวอย่างก่อนนำไปทำการทดสอบ
3. จากนั้นนำตัวอย่างมาทดสอบด้วยวิธี Rotating Cutter Method ซึ่งขัดด้วยหัวขัด Dressing Wheel ด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ภายใต้แรงกด 197 ± 2 นิวตันโดยทำการขัดที่ผิวหน้าทั้งหมด 3 หน้า หน้าละ 4 นาที แล้วทำการชั่งน้ำหนัก
4. ทำการทดสอบความต้านทานขัดสีของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วันอย่างละ 3 ตัวอย่างโดยแบ่งแต่ละช่วงตามช่วงเวลาการก่อตัว(Setting Time)

รูปที่ 3.5.3 แสดงการทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า(Surface Abrasion) ASTM : C944

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 แผนการดำเนินงาน

วัน/ปี/เดือน/ รายการ	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1ศึกษาค้นคว้าเรื่องที่สนใจ .																																
2กำหนดหัวข้อโครงงานวิจัย .																																
3วางแผนการดำเนินงาน .																																
4ทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .																																
5 จัดทำโปรแกรมโดยใช้ .Excel																																
6 เตรียมการนำเสนอ ครั้งที่ .1																																
7 นำเสนอโครงงานวิจัย ครั้งที่ .1																																
8สำรวจและเก็บข้อมูล .																																
9วิเคราะห์ข้อมูลที่สำรวจ .																																
10เขียนรายงานเพื่อสรุปผลโครงงาน.																																
11 เตรียมการนำเสนอ ครั้งที่.2																																
12 นำเสนอโครงงานวิจัย ครั้งที่.2																																
13จัดทำรูปเล่นโครงงานวิจัย.																																
14เผยแพร่โครงงานวิจัย.																																

รูปที่ 3.6.1 รูปภาพแสดงแผนการดำเนิน

บทที่4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดสอบซีเมนต์เพสต์

4.1.1 ระยะเวลาการก่อตัวของตอนกรีตสด Setting Time

การเก็บตัวอย่างคอนกรีตจะเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ช่วงคือ ระยะการก่อตัวปกติ, ระยะการ การก่อตัวเริ่มต้น (ที่แรงกดเท่ากับ 500 psi) และ ระยะการก่อตัวสุดท้าย (ที่แรงกดเท่ากับ ประมาณ 2000 psi) เนื่องจากที่ระยะการก่อตัวสุดท้ายคอนกรีตมีสภาพแข็งตัวมากไม่สามารถทำการเก็บตัวอย่างได้ ซึ่งข้อมูลการเก็บค่าตัวอย่างทั้งการผสมทั้งสองแบบมีดังนี้

ระยะเวลา (นาที)	ค่าแรงกด (psi)
15	0
30	0
45	0
60	200
75	300
90	500 (ระยะการก่อตัวเริ่มต้น)
105	700
120	1000
135	1500
150	2400 (เก็บตัวอย่าง)
165	4000 (ระยะการก่อตัวสุดท้าย)

ตารางที่ 4.1.1 แสดงค่าแรงกดกับระยะเวลาของการผสมแบบ SM ที่การออกแบบคอนกรีต 180 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลา (นาที)	240 ksc ค่าแรงกด (psi)
15	0
30	0
45	0
60	0
75	400
90	450 (ระยะการก่อตัวเริ่มต้น)
105	800
120	1100
135	1700
150	2500 (เก็บตัวอย่าง)
165	5000 (ระยะการก่อตัวสุดท้าย)

ตารางที่ 4.1.2 แสดงค่าแรงกดกับระยะเวลาของการผสมแบบ SM ที่การออกแบบคอนกรีต 240 ksc

ระยะเวลา (นาที)	180 ksc ค่าแรงกด (psi)
15	0
30	0
45	0
60	200
75	400
90	500 (ระยะการก่อตัวเริ่มต้น)
105	700
120	1000
135	1200
150	2200 (เก็บตัวอย่าง)
165	4300 (ระยะการก่อตัวสุดท้าย)

ตารางที่ 4.1.3 แสดงค่าแรงกดกับระยะเวลาของการผสมแบบ DM ที่การออกแบบคอนกรีต 180 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

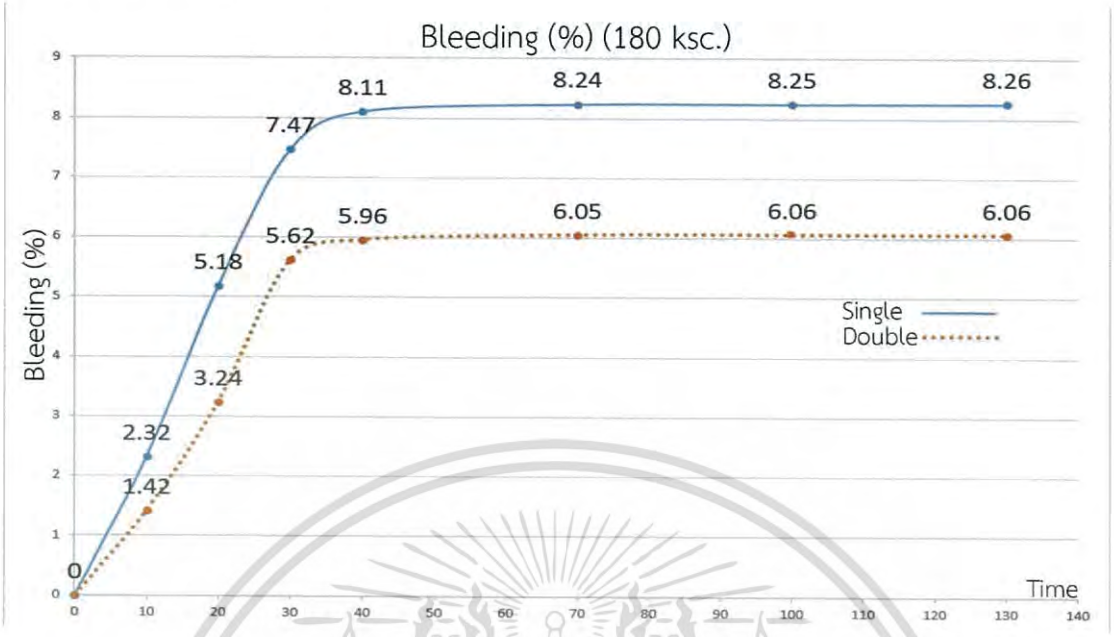
ระยะเวลา (นาที)	240 ksc ค่าแรงกด (psi)
15	0
30	0
45	0
60	0
75	0
90	400 (ระยะการก่อตัวเริ่มต้น)
105	1100
120	1400
135	2000
150	2500 (เก็บตัวอย่าง)
165	5500 (ระยะการก่อตัวสุดท้าย)

ตารางที่ 4.1.4 แสดงค่าแรงกดกับระยะเวลาของการผสมแบบ DM ที่การออกแบบคอนกรีต 240 ksc

จากตารางที่ (4.1.1 – 4.1.4) พบว่า ระยะการก่อตัวเริ่มต้นทั้งการผสมสองแบบจะอยู่ที่ 90 นาที และ การเก็บตัวอย่างใกล้กับระยะการก่อตัวสุดท้ายอยู่ที่ 150 นาที ซึ่งมีค่าแรงกดประมาณ (2000 psi) ที่การออกแบบคอนกรีตที่ 180 ksc จะมีค่าระยะการก่อตัวน้อยกว่า 240 ksc ทั้งนี้เนื่องจากค่าการออกแบบ W/C ของ 180 ksc มีค่ามากกว่า และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) จะมีระยะการก่อตัวที่ช้ากว่าการผสมแบบมาตราฐาน (SM) เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

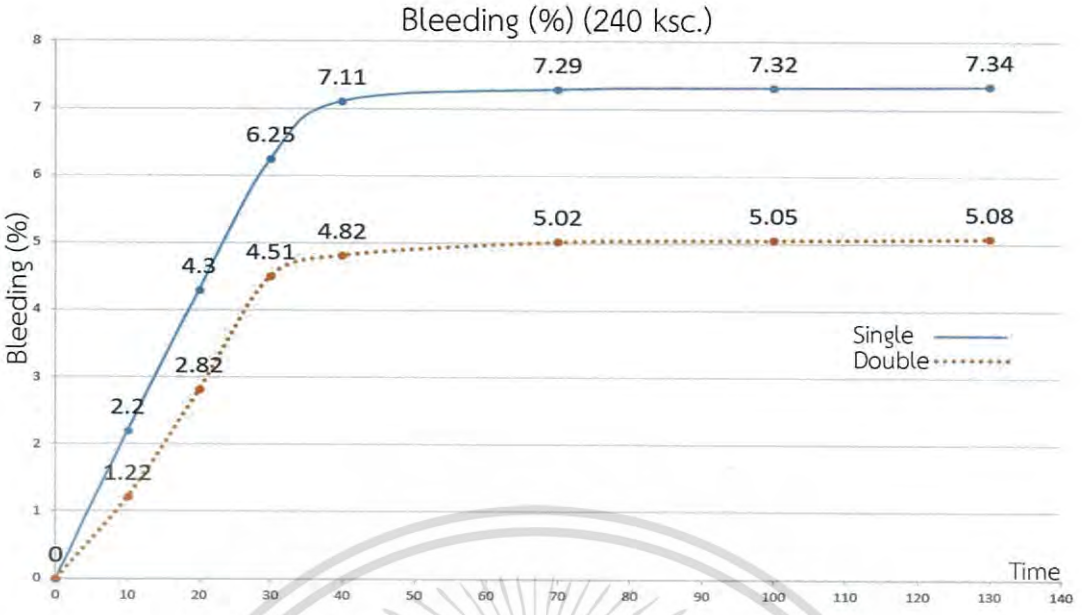
4.1.2 ค่าการเยิ้มน้ำ Bleeding



รูปที่ 4.1.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเยิ้มน้ำในซีเมนเพสต์กับระยะเวลาของการผสมสองแบบที่ 180 ksc

จากรูปที่ 4.1.1 พบว่าการเปรียบเทียบค่าการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ที่การออกแบบ 180 ksc ที่ผสมแบบมาตรฐาน และ แบ่งน้ำเป็นสองส่วน มีค่าการเยิ้มน้ำที่ 8.26 % , 6.06 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของการคายน้ำกับเวลามีอัตราการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันแต่ปริมาณการเยิ้มน้ำมีความต่างกันประมาณ 0.9 - 2.2 % จะเห็นได้ว่าการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนจะช่วยลดการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



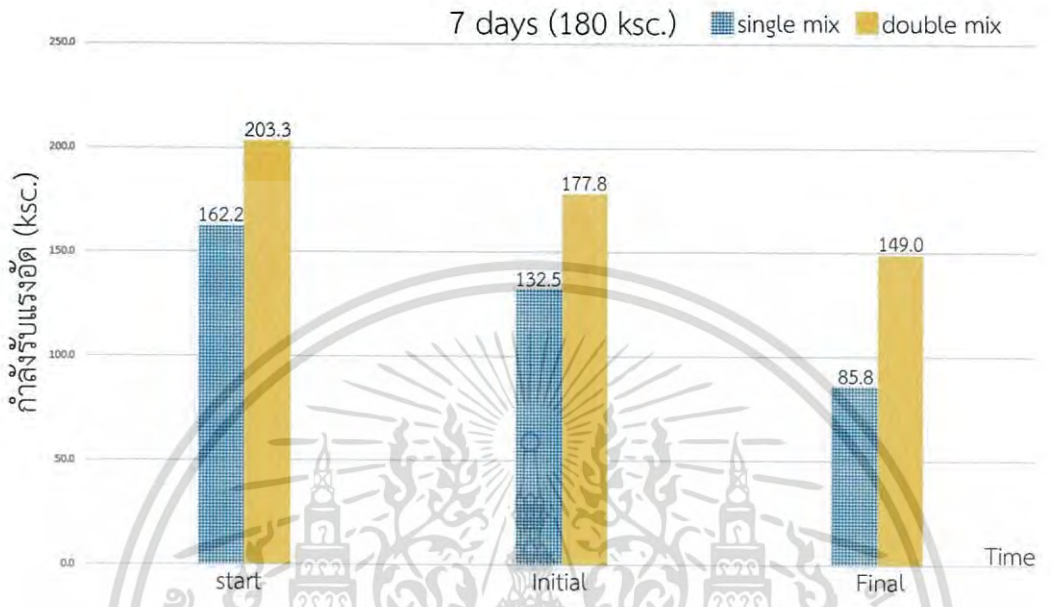
รูปที่ 4.1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเยิ้มน้ำในซีเมนเพสต์กับระยะเวลาของการผสมสองแบบที่ 240 ksc

จากรูปที่ 4.1.2 พบว่าการเปรียบเทียบค่าการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ที่การออกแบบ 240 ksc ที่ผสมแบบมาตรฐาน และ แบ่งน้ำเป็นสองส่วน มีค่าการเยิ้มน้ำที่ 7.34 % , 5.08% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของการคายน้ำกับเวลามีอัตราการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันแต่ปริมาณการเยิ้มน้ำมีความต่างกันประมาณ 0.9 - 2.3 % จะเห็นได้ว่าทั้งการออกแบบกำลังรับแรงอัดที่ 180 ksc และ 240 ksc มีสัดสัดส่วนการเยิ้มน้ำของการผสมทั้งสองแบบไม่ต่างกันมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ W/C ของการออกแบบ ซึ่งในการออกแบบกำลังรับแรงอัดที่ 240 ksc มีค่า W/C ที่น้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบคอนกรีต

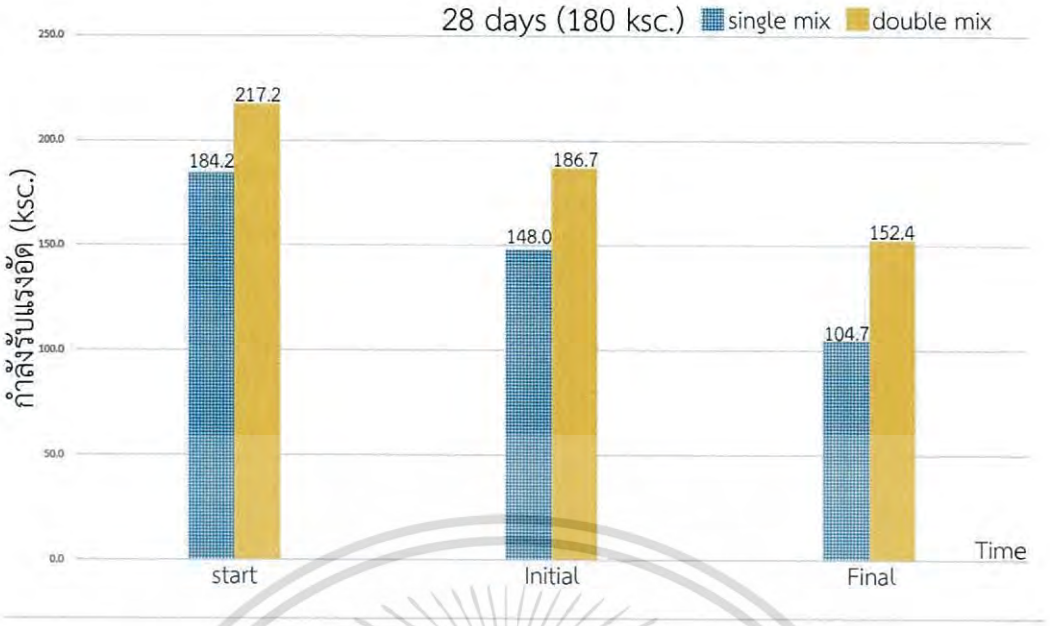
4.2.1 ค่าความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive Strength)



รูปที่ 4.2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับระยะการก่อตัวแต่ละช่วงของคอนกรีต (180 ksc)ที่อายุ 7 วัน

จากรูปที่ 4.2.1 กราฟความสัมพันธ์พบว่า คอนกรีตที่ออกแบบกำลังอัด 180 ksc ในการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing) ที่อายุ 7 วัน ค่ากำลังรับแรงอัดของระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 132.5 และ 85.8 ksc ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับระยะการก่อตัวปกติที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 162.2 ksc จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้ายมีค่าลดลง 18.31% , 47.10% ตามลำดับ ในส่วนของการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing) ค่ากำลังรับแรงอัดของระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 177.8 และ 149 ksc ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับระยะการก่อตัวปกติที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 203.3 ksc จะมีค่าลดลง 12.54% , 26.71%

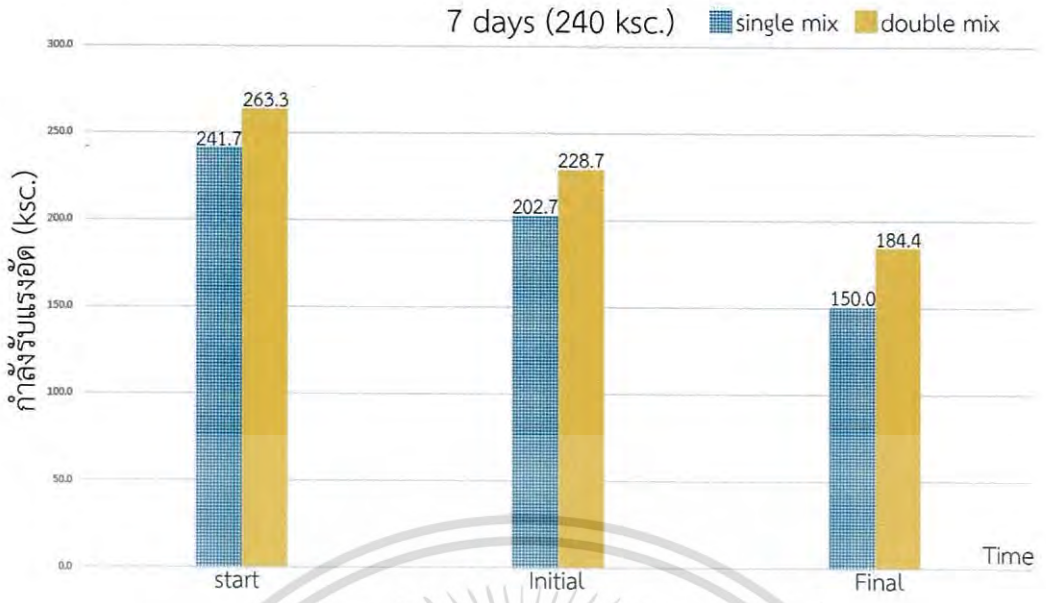
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับระยะการก่อตัวแต่ละช่วงของคอนกรีต (180 ksc) ที่อายุ 28 วัน

จากรูปที่ 4.2.2 กราฟความสัมพันธ์พบว่า คอนกรีตที่ออกแบบกำลังอัด 180 ksc ในการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing) ที่อายุ 24 วัน ค่ากำลังรับแรงอัดของระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 148 และ 104.7 ksc ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับระยะการก่อตัวปกติที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 184.2 ksc จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้ายมีค่าลดลง 19.87% , 43.16% ตามลำดับ ในส่วนของการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing) ค่ากำลังรับแรงอัดของระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 186.7 และ 152.4 ksc ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับระยะการก่อตัวปกติที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 217.2 ksc จะมีค่าลดลง 14.04% , 29.83%

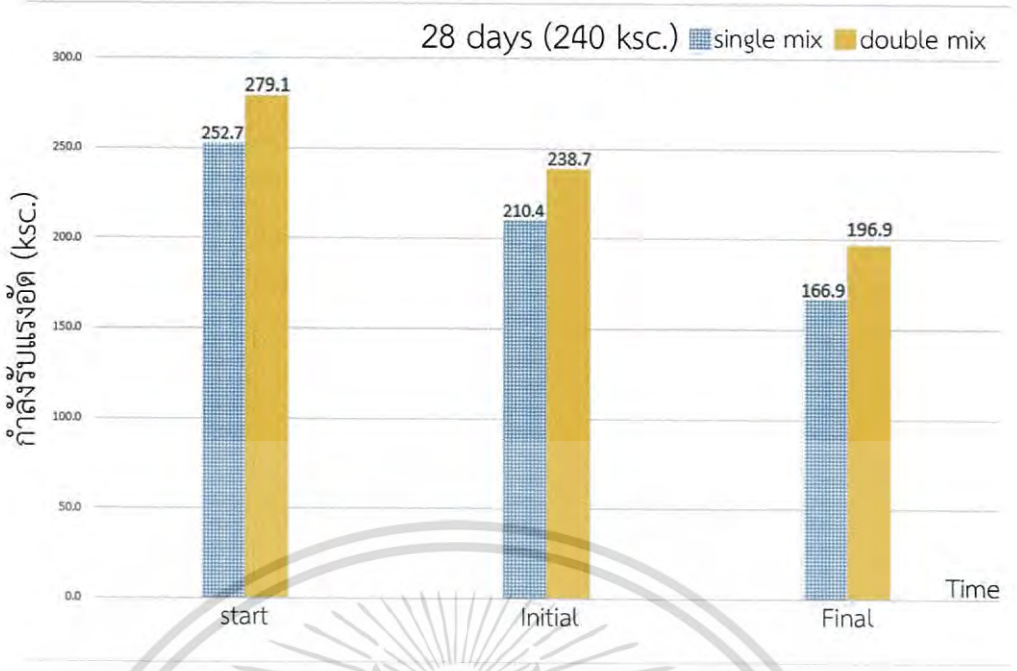
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับระยะการก่อตัวแต่ละช่วงของคอนกรีต (240 ksc) ที่อายุ 7 วัน

จากรูปที่ 4.2.3 กราฟความสัมพันธ์พบว่า คอนกรีตที่ออกแบบกำลังอัด 240 ksc ในการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing) ค่ากำลังรับแรงอัดของระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 202.7 และ 150 ksc ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับระยะการก่อตัวปกติที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 241.7 ksc จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้ายมีค่าลดลง 16.14% , 37.94% ตามลำดับ ในส่วนของการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing) ค่ากำลังรับแรงอัดของระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 228.7 และ 184.4 ksc ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับระยะการก่อตัวปกติที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 263.3 ksc จะมีค่าลดลง 13.14% , 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับระยะการก่อตัวแต่ละช่วงของคอนกรีต (240 ksc) ที่อายุ 28 วัน

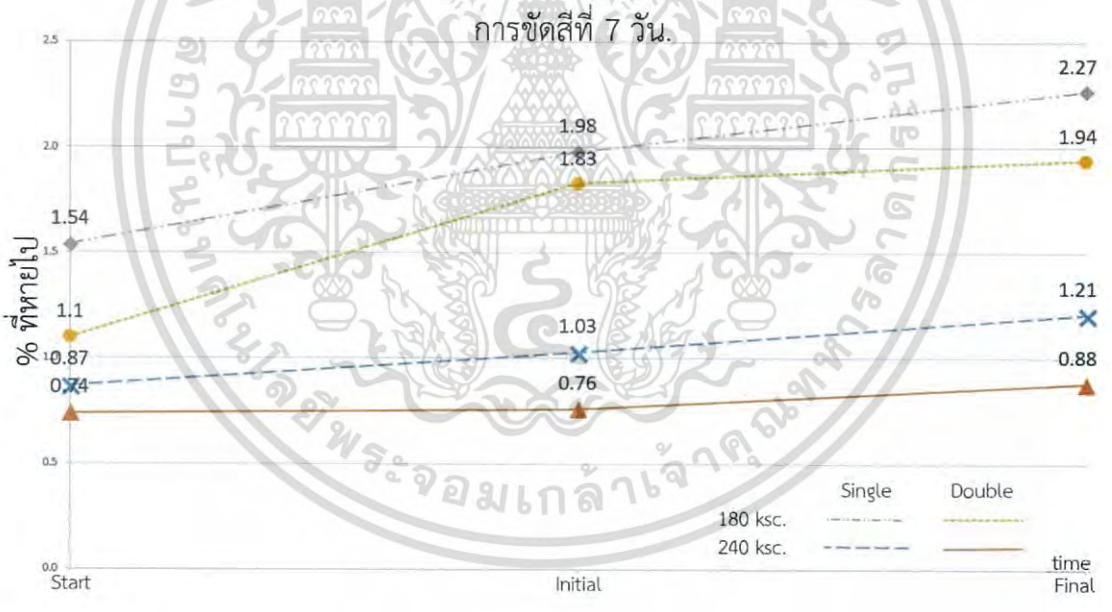
จากรูปที่ 4.2.4 กราฟความสัมพันธ์พบว่า คอนกรีตที่ออกแบบกำลังอัด 240 ksc ในการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing) ค่ากำลังรับแรงอัดของระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 210.4 และ 166.9 ksc ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับระยะการก่อตัวปกติที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 252.7 ksc จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้ายมีค่าลดลง 16.74% , 34% ตามลำดับ ในส่วนของการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing) ค่ากำลังรับแรงอัดของระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาใกล้การก่อตัวระยะสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 238.7 และ 196.9 ksc ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับระยะการก่อตัวปกติที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 279.1 ksc จะมีค่าลดลง 14.48% , 29.45%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า ค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีต จะลดลงตามช่วงระยะการก่อตัวที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระยะการก่อตัวเริ่มต้น จะมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 12 – 23 % ระยะใกล้ถึงการก่อตัวสุดท้าย จะมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำลังรับแรงอัด อยู่ในช่วง 24 – 55 % ซึ่งการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตให้เพิ่มขึ้น ในทุกตัวอย่างคอนกรีต และ ทุกระยะการก่อตัวของคอนกรีต

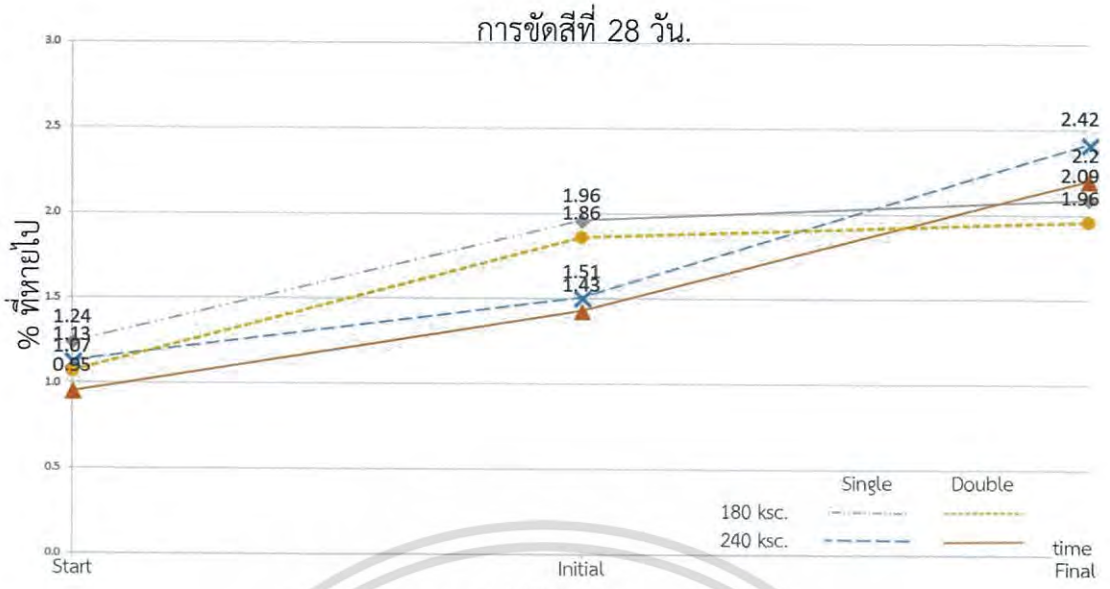
4.2.2 ค่าการต้านทานการสึกกร่อน (Abrasion)

จากการทดสอบการต้านทานการสึกกร่อนของตัวอย่างคอนกรีต ที่ได้จากการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing Method) และวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing Method) ซึ่งมีช่วงระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) แตกต่างกันสามช่วงคือ ระยะเวลาก่อตัวปกติ , เวลาก่อตัวขั้นต้น(Initial Setting Time),ใกล้ถึงระยะเวลาก่อตัวสุดท้าย(Final Setting Time) และทำการทดสอบที่คอนกรีตอายุ 7 วันและ 28 วัน



รูปที่ 4.2.5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการสึกกร่อนตามช่วงระยะก่อก่อตัวเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่หายไป ระหว่างการผสมแบบ SM และ DM ที่ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการสึกกร่อนตามช่วงระยะก่อก่อตัวเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่หายไป ระหว่างการผสมแบบ SM และ DM ที่ 28 วัน

จากรูปที่ 4.2.5-4.2.6 เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีต พบว่าการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนสามารถลดปริมาณการสึกกร่อนลงได้ โดยตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบมาตรฐาน จะมีการสึกกร่อนสูงกว่าการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน และตัวอย่างที่มีระยะช่วงการก่อตัวที่เพิ่มขึ้นตัวอย่างคอนกรีตจะมีการสึกกร่อนเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อเทียบค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่างที่อายุ 7 วันและ 28 วัน พบว่าเมื่อคอนกรีตตัวอย่างมีอายุเพิ่มขึ้น จะมีค่าการสึกกร่อนที่ลดลง โดยที่คอนกรีตที่มีกำลังอัด 240 ksc จะมีการพัฒนาค่าความต้านทานการสึกกร่อนที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน ดีกว่า 180 ksc ทั้งในการผสมแบบมาตรฐาน (SM) และ การผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

5.1.1 สาเหตุของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เกิดจากการสังเกตว่าคอนกรีตที่นำมาใช้ในงานก่อสร้าง เมื่อระยะเวลาผ่านไป ผิวหน้าของคอนกรีตเกิดการหลุดร่อนออกมาจากตัวคอนกรีต ทำให้เกิดงานวิจัยขึ้นว่าสาเหตุของการหลุดร่อนของผิวหน้าคอนกรีตนี้มีผลมาจากอะไรบ้าง

5.1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการหลุดร่อนของผิวหน้าคอนกรีตว่ามีตัวแปรอะไรบ้าง มีผลมากหรือว่ามีผลน้อยซึ่งได้ทำการตั้งสมมุติฐานไว้ว่าการหลุดร่อนของผิวหน้าคอนกรีตนี้เกิดจากระยะเวลาการเทที่เวลาต่างกันในการผสมเดียวกันจะส่งผลต่อคุณภาพคอนกรีตอย่างไร

5.1.3 วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างคอนกรีตจากการแบ่งระยะเวลาการเทออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ระยะเวลาการเทภายในระยะเวลาก่อตัวปกติ, ระยะเวลาการเทเมื่อคอนกรีตก่อตัวเริ่มต้น(initial setting time), ระยะเวลาการเทเมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัวสุดท้าย(Final Setting time) โดยจะมีการผสมทั้ง 2 แบบโดยแบ่งเป็นแบบการผสมครั้งเดียว(Single Mixed) และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็น2 ส่วน(Double Mixed) ซึ่งจะนำตัวอย่างที่เก็บได้ไปทำการทดสอบหาค่าการเยิ้มน้ำ, กำลังรับแรงอัด, ความสามารถการขัดสี แล้วนำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบและสรุปผล

5.1.4 ผลการวิจัย

5.1.4.1 ระยะการก่อตัว (Setting Time)

สำหรับค่าระยะการก่อตัวของคอนกรีตพบว่า คอนกรีตที่มีค่า W/C มากจะมีระยะเวลาการก่อตัวที่นานขึ้น เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่อยู่ในคอนกรีตสดมากกว่า โดยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) จะสามารถยืดระยะเวลาการก่อตัวออกไปได้นานกว่าแบบการผสมครั้งเดียว (SM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4.2 การเยิ้มน้ำ (Bleeding)

สำหรับค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ของคอนกรีตสดจากการผสมแบบครั้งเดียว (SM) และการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) พบว่าการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) สามารถทำให้ค่าการเยิ้มน้ำลดลงเมื่อเทียบกับการผสมแบบครั้งเดียว (SM) และมีแนวโน้มว่าความสามารถในการรับกำลังอัดที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการเยิ้มน้ำของคอนกรีตสดด้วย เนื่องจากในการออกแบบที่ fc' 240 ksc. ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) น้อยกว่า fc' 180 ksc.

5.1.4.3 ความสามารถในการรับกำลังอัด(Compressive Strength)

ความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตสำหรับ fc' 180 ksc. และ fc' 240 ksc. พบว่าที่ระยะเวลาการเทเมื่อคอนกรีตก่อตัวเริ่มต้น(initial setting time) และที่ระยะเวลาการเทเมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัวสุดท้าย(Final setting time) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อระยะเวลาในการเทที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยที่ระยะเวลาการเทเมื่อคอนกรีตก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาการเทเมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัวสุดท้าย การผสมแบบครั้งเดียว (SM) จะให้การรับกำลังอัดที่ลดลงถึง 18.22% , 38.56%ตามลำดับ และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) จะให้การรับกำลังอัดที่ลดลงถึง 14.25% , 29.66% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการรับกำลังอัดที่ระยะเวลาการเทภายในระยะเวลาก่อตัวปกติจะเห็นได้ว่าการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งในด้านการเยิ้มน้ำลดลง และการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่สมบูรณ์กว่า ส่งผลให้เกิดการพัฒนาความสามารถในการรับกำลังอัดที่สูงกว่าการผสมคอนกรีตแบบครั้งเดียว (SM) เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4.4 ค่าการต้านทานการสึกกร่อน(Abrasion)

สำหรับความสามารถในการรับกำลังอัดที่ fc' 180 ksc. และ fc' 240 ksc. พบว่าที่ระยะเวลาการเทเมื่อคอนกรีตก่อตัวเริ่มต้น(initial setting time) และระยะเวลาการเทเมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัวสุดท้าย(Final setting time) ค่าการต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับระยะเวลาการเทภายในระยะเวลาก่อตัวปกติ อีกทั้งค่าการต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตจะแปรผันตรงกับความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตด้วยเช่นกัน แต่ค่าการต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตจะแปรผกผันกับอายุของการบ่มคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตที่มีอายุการบ่มมากจะทำให้ปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตลดลง ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในทุกการออกแบบ ทั้งนี้จะเห็นว่าการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) สามารถเพิ่มค่าการต้านทานการสึกกร่อนได้มากกว่าการผสมแบบครั้งเดียว (SM)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้าง

สำหรับอุตสาหกรรมการก่อสร้างคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างนั้นมักเป็นคอนกรีตผสมเสร็จจากทางโรงงานมาแล้วซึ่งจะเริ่มนับระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตตั้งแต่ที่โรงงาน หากโรงงานไกลจากสถานที่ก่อสร้างมากอาจมีผลทำให้ผ่านช่วงระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นได้ทำให้มีผลต่อคุณภาพคอนกรีต ดังนั้นการเลือกโรงงานผสมคอนกรีตที่อยู่ใกล้สถานที่ก่อสร้างนั้นจึงสำคัญเพื่อให้คอนกรีตยังคงมีคุณภาพตามที่ออกแบบไว้

สำหรับงานก่อสร้างโดยการผสมคอนกรีตเองนั้นอาจจำเป็นต้องคำนึงถึงเวลาการเทคอนกรีตหลังจากผสมเสร็จเลยเพื่อป้องกันการแข็งตัวของคอนกรีตซึ่งมีผลทำให้คุณภาพคอนกรีตลดลง

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป

เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้ในการวิจัยนั้นเป็นคอนกรีตแบบปกติไม่มีส่วนผสมพิเศษเพิ่มเติม งานวิจัยต่อไปอาจนำข้อมูลส่วนนี้ไปต่อยอดเป็นงานวิจัยคอนกรีตที่มีส่วนผสมพิเศษเพิ่มเติมมาเทียบกับระยะเวลาการเทได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] คมสัน มาลีสี, **ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี**, พิมพ์ครั้งที่ 4, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปี 2557

[2] คมสัน มาลีสี, **อิทธิผลของวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติการเยิ้มน้ำและการรับแรงอัด,** ภาควิชาวิศวกรรมโยธาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] The ASTM C944, **Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method**, © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

[4] บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, **หนังสือซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน,** พิมพ์ครั้งที่ 2, บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม สำนักงานใหญ่ 1 เลขที่ 1 ถนนปูนซีเมนต์ไทย บางซื่อ 10800 กรุงเทพมหานคร จำกัด, ปี 2548

[5] อารง มะเซ็ง ค.อ.ม, , วิทยาลัยเทคนิคนราธิวาส, **ผลกระทบของกำลังอัดคอนกรีตในระยะเวลาก่อตัวช่วงสุดท้าย**,มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, ปี 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 ค่าการเยิ้มน้ำของคอนกรีตสด (%Bleeding)

กำลังอัด 180 ksc.								
single mix								
time (Min)	0	10	20	30	40	70	100	130
% bleeding	0	2.32	5.18	7.47	8.11	8.24	8.25	8.26
double mix								
time (Min)	0	10	20	30	40	70	100	130
% bleeding	0	1.42	3.24	5.62	5.96	6.05	6.06	6.06

กำลังอัด 240 ksc.								
single mix								
time (Min)	0	10	20	30	40	70	100	130
% bleeding	0	2.2	4.3	6.25	7.11	7.29	7.32	7.34
double mix								
time (Min)	0	10	20	30	40	70	100	130
% bleeding	0	1.22	2.82	4.51	4.82	5.02	5.05	5.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Single mix design

การทดสอบความต้านทานด้านกำลังอัด		กำลังอัดที่ 180 ksc ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน		ทดสอบวันที่ 25/12/60
ประเภทตัวอย่าง : Cylinder		Slump : 10 เซนติเมตร		
	Diameter(cm.)	Weight(kg.)	Ultimate Load (kN/kg.)	กำลังอัดที่ได้
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ	14.920	12.111	289.110	168.650
	14.940	12.300	284.024	165.240
	14.930	12.265	262.187	152.740
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time	14.930	12.299	213.935	124.630
	14.920	12.262	238.710	139.250
	14.950	12.524	229.930	133.590
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ	14.950	12.299	155.989	90.630
	14.960	12.262	145.736	84.560
	14.900	12.524	140.398	82.120

การทดสอบความต้านทานด้านกำลังอัด		กำลังอัดที่ 180 ksc ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน		ทดสอบวันที่ 15/1/61
ประเภทตัวอย่าง : Cylinder		Slump : 10 เซนติเมตร		
	Diameter(cm.)	Weight(kg.)	Ultimate Load (kN/kg.)	กำลังอัดที่ได้
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ	14.960	12.772	314.118	182.260
	14.980	12.651	340.119	196.820
	14.970	12.807	299.507	173.550
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time	14.950	12.788	261.995	152.220
	14.920	12.762	241.848	141.080
	14.950	12.747	259.121	150.550
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ	14.940	12.788	165.440	96.250
	14.940	12.762	200.195	116.470
	14.940	12.747	174.052	101.260

การทดสอบความต้านทานด้านกำลังอัด		กำลังอัดที่ 240 ksc ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน		ทดสอบวันที่ 26/12/60
ประเภทตัวอย่าง : Cylinder		Slump : 10 เซนติเมตร		
	Diameter(cm.)	Weight(kg.)	Ultimate Load (kN/kg.)	กำลังอัดที่ได้
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ	14.920	12.733	403.965	235.650
	14.930	12.627	411.184	239.540
	14.950	12.594	429.980	249.820
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time	14.930	12.455	337.389	196.550
	14.920	12.366	357.663	208.640
	14.900	12.551	347.011	202.970
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ	14.920	12.285	244.042	142.360
	14.920	12.339	273.904	159.780
	14.930	12.483	254.016	147.980

การทดสอบความต้านทานด้านกำลังอัด		กำลังอัดที่ 240 ksc ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน		ทดสอบวันที่ 16/1/61
ประเภทตัวอย่าง : Cylinder		Slump : 10 เซนติเมตร		
	Diameter(cm.)	Weight(kg.)	Ultimate Load (kN/kg.)	กำลังอัดที่ได้
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ	14.950	12.733	426.090	247.560
	14.980	12.627	422.825	244.680
	14.970	12.594	458.709	265.800
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time	14.950	12.455	389.395	226.240
	14.920	12.366	346.023	201.850
	15.000	12.551	351.719	202.990
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ	14.950	12.285	297.227	172.690
	14.920	12.339	275.173	160.520
	15.000	12.483	290.364	167.580

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Double mix design

การทดสอบความต้านทานด้านกำลังอัด	กำลังอัดที่ 180 ksc ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน		ทดสอบวันที่ 15/2/61
ประเภทตัวอย่าง : Cylinder	Slump : 8.5 เซนติเมตร		

	Diameter(cm.)	Weight(kg.)	Ultimate Load (kN/kg.)	กำลังอัดที่ได้
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ	15.000	12.795	358.095	206.670
	14.860	12.388	341.919	201.070
	14.880	12.334	344.801	202.220
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time	15.000	12.711	302.493	174.580
	14.840	12.408	292.818	172.660
	14.960	12.390	320.943	186.220
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ	15.000	12.477	250.651	144.660
	15.000	12.638	259.124	149.550
	14.980	12.448	263.773	152.640

การทดสอบความต้านทานด้านกำลังอัด	กำลังอัดที่ 180 ksc ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน		ทดสอบวันที่ 15/3/61
ประเภทตัวอย่าง : Cylinder	Slump : 8.5 เซนติเมตร		

	Diameter(cm.)	Weight(kg.)	Ultimate Load (kN/kg.)	กำลังอัดที่ได้
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ	14.920	12.643	361.863	211.090
	14.900	12.681	385.102	225.250
	15.000	12.540	372.979	215.260
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time	15.000	12.685	319.526	184.410
	15.000	12.637	314.639	181.590
	15.000	12.582	336.523	194.220
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ	15.000	12.392	244.795	141.280
	15.000	12.543	282.065	162.790
	15.000	12.618	265.067	152.980

การทดสอบความต้านทานด้านกำลังอัด	กำลังอัดที่ 240 ksc ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน		ทดสอบวันที่ 16/2/61
ประเภทตัวอย่าง : Cylinder	Slump : 10 เซนติเมตร		

	Diameter(cm.)	Weight(kg.)	Ultimate Load (kN/kg.)	กำลังอัดที่ได้
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ	15.000	12.733	453.688	261.840
	15.000	12.627	436.084	251.680
	14.980	12.594	477.709	276.440
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time	14.900	12.455	380.657	222.650
	14.760	12.366	396.924	236.590
	14.980	12.551	392.238	226.980
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ	14.820	12.285	292.960	173.210
	15.000	12.339	343.454	198.220
	15.000	12.483	314.743	181.650

การทดสอบความต้านทานด้านกำลังอัด	กำลังอัดที่ 240 ksc ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน		ทดสอบวันที่ 15/3/61
ประเภทตัวอย่าง : Cylinder	Slump : 10 เซนติเมตร		

	Diameter(cm.)	Weight(kg.)	Ultimate Load (kN/kg.)	กำลังอัดที่ได้
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ	15.000	12.612	475.710	274.550
	15.000	12.663	495.966	286.240
	14.890	12.567	472.105	276.510
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time	15.000	12.412	430.834	248.650
	15.000	12.419	408.863	235.970
	15.000	12.377	401.031	231.450
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ	15.000	12.420	337.043	194.520
	15.000	12.516	323.615	186.770
	15.000	12.420	362.739	209.350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4 ผลการทดสอบความต้านทานการขัดสีที่ผิวหน้าของคอนกรีต(Single Mix Design) fc'180 ksc.

กำลังอัดที่ 180 ksc				
การทดสอบความต้านทานการขัดสี		ระยะเวลาบ่ม 7 วัน		
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.401	2.389	2.377	2.365	0.036
2.384	2.372	2.359	2.347	0.037
2.394	2.381	2.369	2.357	0.037
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.415	2.398	2.380	2.364	0.051
2.322	2.307	2.292	2.277	0.045
2.347	2.332	2.316	2.303	0.044
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.426	2.408	2.390	2.372	0.054
2.317	2.298	2.280	2.263	0.054
2.452	2.433	2.414	2.396	0.056

กำลังอัดที่ 180 ksc				
การทดสอบความต้านทานการขัดสี		ระยะเวลาบ่ม 28 วัน		
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.415	2.405	2.394	2.384	0.031
2.384	2.375	2.366	2.356	0.028
2.324	2.315	2.305	2.295	0.029
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.436	2.421	2.406	2.389	0.047
2.384	2.368	2.352	2.336	0.048
2.321	2.306	2.291	2.276	0.045
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ระยะเวลขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.415	2.398	2.381	2.363	0.052
2.325	2.309	2.294	2.278	0.047
2.384	2.367	2.351	2.334	0.050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.5 ผลการทดสอบความต้านทานการขัดสีที่ผิวหน้าของคอนกรีต(Single Mix Design) fc'240 ksc.

กำลังอัดที่ 240 ksc				
การทดสอบความต้านทานการขัดสี		ระยะเวลาบ่ม 28 วัน		
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.348	2.339	2.331	2.322	0.026
2.421	2.416	2.405	2.397	0.028
2.322	2.313	2.304	2.296	0.026
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.414	2.402	2.390	2.377	0.037
2.394	2.381	2.368	2.356	0.038
2.348	2.337	2.326	2.315	0.033
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.315	2.297	2.278	2.259	0.056
2.412	2.393	2.374	2.355	0.057
2.342	2.323	2.304	2.284	0.058

กำลังอัดที่ 240 ksc				
การทดสอบความต้านทานการขัดสี		ระยะเวลาบ่ม 7 วัน		
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.335	2.328	2.321	2.314	0.021
2.348	2.341	2.335	2.329	0.019
2.421	2.414	2.407	2.400	0.021
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.345	2.337	2.329	2.321	0.024
2.422	2.414	2.407	2.399	0.023
2.401	2.392	2.383	2.374	0.027
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักตั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.379	2.369	2.360	2.350	0.029
2.396	2.387	2.378	2.369	0.027
2.427	2.417	2.406	2.396	0.031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.6 ผลการทดสอบความต้านทานการขัดสีที่ผิวหน้าของคอนกรีต(Double Mix Design)fc'180ksc.

กำลังอัดที่ 180 ksc				
การทดสอบความต้านทานการขัดสี		ระยะเวลาบ่ม 7 วัน		
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.403	2.395	2.385	2.378	0.025
2.363	2.354	2.345	2.336	0.027
2.411	2.402	2.394	2.384	0.027
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.358	2.343	2.328	2.314	0.044
2.336	2.322	2.308	2.294	0.042
2.355	2.340	2.326	2.311	0.044
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.365	2.350	2.335	2.320	0.045
2.401	2.385	2.369	2.353	0.048
2.354	2.339	2.324	2.309	0.045

กำลังอัดที่ 180 ksc				
การทดสอบความต้านทานการขัดสี		ระยะเวลาบ่ม 28 วัน		
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.381	2.373	2.365	2.356	0.025
2.405	2.396	2.387	2.378	0.027
2.387	2.379	2.371	2.363	0.024
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.370	2.357	2.342	2.327	0.043
2.360	2.345	2.330	2.315	0.045
2.370	2.355	2.341	2.326	0.044
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.403	2.388	2.373	2.357	0.046
2.396	2.380	2.364	2.348	0.048
2.389	2.373	2.358	2.342	0.047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.7 ผลการทดสอบความต้านทานการขัดสีที่ผิวหน้าของคอนกรีต(Double Mix Design)fc'240ksc.

กำลังอัดที่ 240 ksc				
การทดสอบความต้านทานการขัดสี		ระยะเวลาบ่ม 7 วัน		
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.379	2.373	2.368	2.362	0.017
2.396	2.390	2.384	2.378	0.018
2.427	2.421	2.414	2.409	0.018
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.312	2.306	2.300	2.294	0.018
2.305	2.299	2.294	2.288	0.017
2.335	2.329	2.323	2.317	0.018
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.304	2.297	2.290	2.283	0.021
2.333	2.326	2.32	2.314	0.019
2.326	2.319	2.312	2.305	0.021

กำลังอัดที่ 240 ksc				
การทดสอบความต้านทานการขัดสี		ระยะเวลาบ่ม 28 วัน		
ระยะเวลาเทคอนกรีตปกติ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.377	2.369	2.361	2.354	0.023
2.394	2.386	2.378	2.371	0.023
2.413	2.406	2.398	2.390	0.023
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ Setting Time		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.388	2.377	2.367	2.356	0.032
2.360	2.348	2.336	2.324	0.036
2.331	2.320	2.309	2.298	0.033
ระยะเวลาเทคอนกรีตที่ผ่านช่วง Setting Time มากๆ		หน่วยน้ำหนัก : kg		
น้ำหนักดั้งเดิม	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 1	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 2	น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังขัดสีด้านที่ 3	รวมน้ำหนักที่หายไป
	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ระยะเวลาขัด 2 นาที	ขัดรวม 6 นาที
2.321	2.303	2.286	2.269	0.052
2.327	2.310	2.292	2.275	0.052
2.337	2.320	2.303	2.287	0.050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้