การประยุกต์ใช้คอนกรีตสมรรถนะสูงในงานท่อระบายน้ำ

นาย นนทพันธ์ สุภโตษะ
นาย นวพล วรชุน
นางสาว วรรณิภา พรมเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์
บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF HIGH-PERFORMANCE CONCRETE IN SEWER

MR. NONTAPUN SUPPATOSA
MR. NAWAPHON WORACHON
MISS. WANNIPHA PROMCHAROEN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การประยุกต์ใช้คอนกรีตสมรรถนะสูงในงานท่อระบายน้ำ
APPLICATION OF HIGH-PERFORMANCE CONCRETE IN SEWER

นักศึกษา

นาย นนทพันธ์ สุภโตษะ	รหัสนักศึกษา 63015092
นาย นวพล วรชุน	รหัสนักศึกษา 63015096
นางสาว วรรณิภา พรมเจริญ	รหัสนักศึกษา 63015154

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา	
ดร.ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์	
ดร.ภาณุมาศ ไทรงาม	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.ชลิดา อู่ตะเภา)
ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาโปรเจคที่กรุณาเมตตาให้ความรู้ความเข้าใจชี้แนะแนวทางและช่วยเหลือในการศึกษาและวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำการเขียนโครงงานวิจัยและตรวจทานแก้ไขจนโปรเจคเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่างๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่างๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงงาน รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาโยธานี้ตลอดมา

ขอขอบคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่ได้กรุณาให้ข้อมูลโดยการตอบแบบสอบถามตามความเป็นจริงและครบถ้วน

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอดทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

นนทพันธ์ สุภโตษะ
นวพล วรชุน
วรรณิภา พรมเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้คอนกรีตสมรรถนะสูงในงานท่อระบายน้ำ

นายนนทพันธ์ สุภโตษะ รหัสนักศึกษา 63015092
นายนวพล วรชุน รหัสนักศึกษา 63015096
นางสาววรรณิภา พรมเจริญ รหัสนักศึกษา 63015154
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา
ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

คอนกรีตสมรรถนะสูงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองเทคโนโลยีการก่อสร้าง เนื่องจากคอนกรีตสมรรถนะสูงเป็นคอนกรีตที่มีความสามารถในการทำงานได้ดี โดยมีค่ายุบตัวมากกว่าคอนกรีตทั่วไปมีความสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูง ไหลเข้าแบบได้โดยไม่ต้องจี้เขย่า และไม่เกิดการแยกตัวมีกำลังอัดสูง และนอกจากนี้ยังมีความคงทนสูง (สมนึก ตั้งเติมสิริกุล และ บุระฉัตร แตรวีระ. 2536) สงผลให้มีความสามารถในการต้านทานกรทำลายจากสภาวะภายนอก ทั้งทางกายภาพและทางเคมี โดยออกแบบคอนกรีตสมรรถนะสูงจำเป็นต้องใช้วัสดุซิลิกาฟูมในส่วนผสมเพื่อปรับคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ทั้งในด้าน การทำงานได้กำลัง และความทนทาน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้ซิลิกาฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถเพิ่มความต้านทานการซึมผ่านของน้ำได้ ต้านทานการกัดกร่อนของกรดซัลเฟตได้ (Zhang and Mohan Malhotra. 1996) แต่ซิลิกาฟูมต้องการปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ความข้นเหลวเท่าเดิม จึงมีการใช้สารลดน้ำเพื่อช่วยในกำลังอัดคอนกรีตสูงขึ้น การต้านทานการซึมผ่านของน้ำและความคงทนสูงขึ้น ซึ่งคุณสมบัติของคอนกรีตสมรรถนะสูง การใช้ซิลิกาฟูม รวมกับสารลดน้ำจะสามารถแก้ปัญหาคอนกรีตในงานท่อระบายน้ำที่มีปัญหาเรื่องความแข็งแรง และการกัดกร่อนเนื่องจากสภาพแวดล้อมเป็นกรดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF HIGH-PERFORMANCE CONCRETE IN SEWER

MR. Nontapun Supatosa Student ID 63015092
Mr.Nawaphon Worachun Student ID 63015096
Miss.Wannipha Promchareon Student 63015154
Advisor: Asst. Prof. Dr. Rattapoohm Parichatprecha
Academic Year 2022

ABSTRACT

High performance concrete was developed to meet construction technology. Because high performance concrete is a concrete that has the ability to perform well. which has a higher slump value than general concrete, has a high ability to change shape Flows into the design without shaking. and does not separate, has high compressive strength and in addition, it has high durability (Somnuek Tangtermsirikul and Burachat Traveera, 1993), resulting in the ability to resist destruction from external conditions. Both physical and chemical By designing high-performance concrete, it is necessary to use silica fume materials in the mixture to adjust various properties in terms of performance, power and durability. The use of silica fume in place of Portland cement can increase its permeability. It resists sulphate corrosion (Zhang and Mohan Malhotra. 1996), but silica fume requires an increase in water content. to get the same liquid consistency Therefore, water reducing agents are used to help increase the concrete compressive strength. Higher resistance to water penetration and durability which properties of high performance concrete Use of silica fume Combined with a water reducing agent, it can solve concrete problems in drainage pipes where strength is a problem. and corrosion due to acidic environmen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาอังกฤษ	ง
สารบันตาราง	ช
สารบันภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 องค์ประกอบและคุณสมบัติของคอนกรีต	3
2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	4
2.3 ประเภทของมวลรวม	8
2.4 เถ้าลอย (Pulverized Fuel Ash)	10
2.5 ไมโครซิลิกา	12
2.6 น้ำ (Water)	15
2.7 สารผสมเพิ่ม	19
2.8 การกัดกร่อนโดยกรด (Acid Attack)	25
2.9 การกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมี	27
2.10 การกัดกร่อนเนื่องจากน้ำทะเลต่อคอนกรีต	29
2.11 การสึกกร่อน	29
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	
3.1 แผนการทดสอบ	31
3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	31
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	32
3.4 ส่วนผสมคอนกรีตและวิธีการทำตัวอย่างคอนกรีตทดสอบ	32
3.5 รายละเอียดวิธีการทดสอบ	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 การทดสอบหาขนาดคละของมวลรวม 41

4.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ 43

4.3 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต 44

4.4 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต 48

4.5 การทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (ค่า E) 49

4.6 การทดสอบ Absorption 50

4.7 การทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน 51

บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล 53

5.2 ข้อเสนอแนะ 53

เอกสารอ้างอิง 54

ภาคผนวก 56

ภาคผนวก ก ภาพประกอบก่อน และหลังการทดสอบการกัดกร่อน 57

ประวัติผู้เขียน 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดต่าง ๆ 5
ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบประเภทออกไซด์โดยประมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 6
ตารางที่ 3 ตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของวัสดุประสาน 13
ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางกายภาพของซิลิกาฟูม เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบบด ตะกรันเตาถลุงเหล็ก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 14
ตารางที่ 5 ปริมาณที่ยอมให้ของสารเจือปนในน้ำ 16
ตารางที่ 6 กำลังอัดของคอนกรีตต่ำสุดสำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่าง ๆ กัน 17
ตารางที่ 7 สารเคมีที่กัดกร่อนคอนกรีตที่พบได้บ่อย 28
ตารางที่ 8 ส่วนผสมของคอนกรีต 1 ลบ.ม. โดยน้ำหนัก (W/C=0.33) 33
ตารางที่ 9 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบในสภาพการบ่มชื้นด้วยน้ำ 33
ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมละเอียด 41
ตารางที่ 11 การวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมหยาบ 42
ตารางที่ 12 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด 43
ตารางที่ 13 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ 44
ตารางที่ 14 ค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 0 44
ตารางที่ 15 ค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 1 45
ตารางที่ 16 ค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 2 46
ตารางที่ 17 ค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 3 47
ตารางที่ 18 ค่าการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต 48
ตารางที่ 19 ค่าการทดสอบการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น สูตร control 49
ตารางที่ 20 ค่าการทดสอบการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น สูตร Mix 1 49
ตารางที่ 21 ค่าการทดสอบการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น สูตร Mix 2 50
ตารางที่ 22 ค่าการทดสอบการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น สูตร Mix 3 50
ตารางที่ 23 ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีต 50
ตารางที่ 24 ค่าการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน สูตร control 51
ตารางที่ 25 ค่าการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน สูตร Mix 1 51
ตารางที่ 26 ค่าการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน สูตร Mix 2 52
ตารางที่ 27 ค่าการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน สูตร Mix 3 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปภาพที่ 1 การเก็บรักษามวลรวม 10
รูปภาพที่ 2 ลักษณะคอนกรีตที่ใช้น้ำมากเกินไป 21
รูปภาพที่ 3 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของจีโอพอลิมอร์เมื่อแช่ใน 5% H_2SO_4 26
รูปภาพที่ 4 อบตัวอย่างที่อุณภูมิ 110 +/- 5 องศาเซลเซียส 34
รูปภาพที่ 5 นำตัวอย่างเข้าเครื่องเขย่า(ประมาณ 10-15 นาที) 34
รูปภาพที่ 6 แช่ตัวอย่างทดสอบให้อิ่มตัว 35
รูปภาพที่ 7 ชั่งน้ำหนักสภาพอิ่มตัวผิวแห้งในน้ำ 36
รูปภาพที่ 8 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต 37
รูปภาพที่ 9 จดบันทึกค่าน้ำหนักที่ขึ้นบนสเกล 37
รูปภาพที่ 10 กระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง 37
รูปภาพที่ 11 วัดค่ายุบตัวของคอนกรีต 37
รูปภาพที่ 12 CAP หัวก้อนตัวอย่างด้วยกำมะถัน 38
รูปภาพที่ 13 การทดสอบหาค่ากำลังอัดคอนกรีต 38
รูปภาพที่ 14 ชุดอุปกรณ์การทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่น 39
รูปภาพที่ 15 ตัวอย่างคอนกรีตหลังได้โมดูลัสสูงสุด 39
รูปภาพที่ 16 ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า 39
รูปภาพที่ 17 การบ่มชื้นด้วยกรด 40
รูปภาพที่ 18 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตหลังแช่กรด 40
รูปภาพที่ 19 กราฟแสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมละเอียด 42
รูปภาพที่ 20 กราฟแสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมหยาบ 43
รูปภาพที่ 21 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 0 45
รูปภาพที่ 22 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 1 46
รูปภาพที่ 23 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 2 47
รูปภาพที่ 24 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 3 48
รูปภาพที่ 25 กราฟแสดงค่าการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต 49
รูปภาพที่ 26 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีต 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1) ที่มาและปัญหา

ในปัจจุบันงานระบายน้ำนิยมใช้ท่อคอนกรีตเป็นส่วนหนึ่งของงานระบายน้ำ ทำหน้าที่เป็นรางน้ำ ท่อระบายน้ำกำจัดน้ำเกินที่เป็นน้ำเสีย และน้ำฝนออกไปจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ย่านชุมชน ย่านการค้า นิคมอุตสาหกรรม หรือถนนที่ใช้ในการสัญจร แต่ท่อระบายน้ำคอนกรีตซีเมนต์พบปัญหาเนื่องจากท่อคอนกรีตซีเมนต์เกิดการกัดกร่อนบริเวณภายในและภายนอกท่อ ภายในเกิดจากน้ำเสียที่ไหลผ่าน หรือสารเคมีที่ปะปนมากับน้ำ และภายนอกท่อหากดินหรือสภาพแวดล้อมโดยรอบของท่อระบายน้ำมีความเป็นกรดอาจเกิดการกัดกร่อนจนเกิดความเสียหาย

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์ในการประยุกต์ใช้คอนกรีตสมรรถนะสูง มาใช้แก้ไขจุดด้อยของคอนกรีต โดยศึกษาผลของซีเมนต์ สารผสมเพิ่มและสัดส่วนผสมของมวลรวมต่อพฤติกรรมทางกล และคุณสมบัติของคอนกรีตสมรรถนะสูง รวมถึงการต้านทานการกัดกร่อนต่างๆ เพิ่มกำลังรับแรงอัดของงานระบายน้ำที่สัดส่วนมวลรวมและสารผสมเพิ่ม เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานและลดค่าบำรุงรักษาในอนาคตต่อไปได้

1.2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษากำลังของคอนกรีตผสมไมโครซิลิกา และคอนกรีตผสมเถ้าลอย ที่ได้กำลังอัดสูงสุดตามมาตรฐาน ASTM C 39
2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต และเปรียบเทียบ คอนกรีตในสภาวะแวดล้อมที่เป็นกรด
3) ศึกษาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของคอนกรีตสมรรถนะสูงที่มีคุณสมบัติเหมาะสำหรับการใช้ในงานท่อระบายน้ำ

1.3) ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อหาส่วนผสมที่ดีที่สุด นำมาใช้ในงานท่อระบายน้ำ ดังนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยนปริมาณสัดส่วนผสม ได้แก่ ปริมาณซีเมนต์ มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และสารผสมเพิ่มต่าง ๆ เพื่อให้ได้ตัวอย่างคอนกรีตสมรรถนะสูงตามวัตถุประสงค์ รายละเอียดขอบเขตการวิจัย สามารถสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) ตัวอย่างปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ใช้ในการผลิตท่อนำมาเป็นตัวอย่างทดสอบเพื่ออ้างอิง ใช้ปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ SCG ปูนงานโครงสร้าง สูตรไฮบริค ตราช้างของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ผลิตตามมารตราฐาน เลขที่ มอก. 2594-2556
2.) มวลรวมละเอียดที่ใช้ได้แก่ ทรายธรรมชาติ และมวลรวมหยาบที่ใช้ได้แก่ หินปูนบด
3.) การทดสอบการรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C39 หรือ BS 1881 โดยตัวอย่างทดสอบจะใช้ตัวอย่างขนาด 10x20 เซนติเมตร ตัวอย่างจะถูกถอดออกจากแบบหล่อเมื่ออายุ 24 ชั่วโมง และทำการทดสอบที่อายุ 1 วัน 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน (ในระหว่างนั้นบ่มในสภาพชื้น)
4.) การทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืนหยุ่นของคอนกรีต โดยการนำแท่งตัวอย่างคอนกรีตไปบ่มชื้นด้วยน้ำจนมาอายุ 28 วัน นำขึ้นมาวางทิ้งไว้ 1 วัน และจึงนำไปทดสอบหาค่า E
5.) การทดสอบความต้านทานการกัดกร่อน โดยการนำตัวอย่างปอร์แลนด์ซีเมนต์คอนกรีตทรงกระบอก ที่ได้ทดสอบอ้างอิงกับมาตรฐาน ASTM C39 หรือ BS 1881 บ่มที่อุณภูมิห้อง 14 วัน และนำไปบ่มชื้นต่อโดยการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCI) เข้มข้นร้อยละ 5 เป็นระยะเวลา 28 วัน เปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังแช่กรดไฮโดรคลอริก
6.) การทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีต (Absorption) โดยการนำตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มในอากาศอายุครบ 14 วัน ไปแช่น้ำ แล้วนำขึ้นมาชั่งน้ำหนัก 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C127 หรือ C128 โดยทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตแบบละ 3 แท่งตัวอย่าง

1.4) ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทำให้ทราบถึงกำลังของคอนกรีตที่ผสมไมโครซิลิก้า และเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM C 39
2) ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของคอนกรีตสมรรถนะสูงที่มีคุณสมบัติเหมาะสำหรับการใช้ในงานระบายน้ำ
3) ทำให้ทราบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 องค์ประกอบและคุณสมบัติของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบไปด้วยส่วนผสม 2 ส่วนใหญ่ๆ คือวัสดุประสาน ซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต กับวัสดุผสม ได้แก่ ทราย, หิน หรือกรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นและคอนกรีตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 สภาวะ คือ สภาวะที่เป็นของเหลวหรือคอนกรีตสด (Fresh State) และสภาวะที่แข็งตัวแล้ว (Hardened State) ซึ่งแต่ละสภาวะมีคุณสมบัติดังนี้

คอนกรีตสด (Fresh State) คุณสมบัติที่สำคัญและมีผลต่อการใช้งานมากที่สุดในสภาวะนี้คือความสามารถในการทำงาน (Workability) ซึ่งหมายถึงการที่คอนกรีตสดสามารถไหลเข้าแบบหล่อได้ดีทำให้แน่นตัวได้ง่าย โดยใช้กำลังงานน้อย และคอนกรีตที่หล่อได้ปราศจากรูโพรงต่าง ๆ ความสามารถในการทางานขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตซึ่งอยู่ในเทอมของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ กล่าวคือถ้าใช้น้ำมากเกินไปคอนกรีตจะเหลวและเทลงในแบบหล่อง่ายก็จริงแต่กำลังความแข็งแรงของคอนกรีตจะลดลงเนื่องจากเนื้อของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะมีรูโพรงหรือพรุนมาก จึงควรใช้ปริมาณน้ำให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้เกิดความสามารถในการทางานในขั้นดี สำหรับรูปร่างและขนาดคละของวัสดุผสมถ้าใช้วัสดุผสมที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมจะทำให้ได้ความสามารถในการทำงานดีกว่าวัสดุผสมที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมเป็นมุม วัสดุผสมที่มีความลดหลั่นของขนาดคละที่ดีและมีปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมทำให้ได้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นสม่ำเสมอมีคุณภาพดีและทำงานง่าย ส่วนปริมาณของซีเมนต์ เป็นผลมาจากอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ และถ้าใช้ซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูงจะมีผลทำให้ได้คอนกรีตที่เทไหลเข้าแบบได้ง่ายกว่าปริมาณ สารกระจายกักฟองอากาศถ้าใช้ในปริมาณที่พอเหมาะคอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ง่ายแต่ถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง อีกทั้งความคงทนก็มิได้เพิ่มขึ้น สารเคมีผสมเพิ่มประเภทลดน้ำและยืดเวลาการก่อตัว เช่น พวกไฮเดรตไลน์ (Hydrated Line) เบนโทไนท์ (Bentonite) จะช่วยให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ดีขึ้น และช่วยขจัดการเยิ้มที่ผิวหน้าของคอนกรีต คอนกรีตทีแข็งตัวแล้ว (Hardened State) ต้องมีกำลังรับแรงตามต้องการ มีเนื้อแน่นและทนทานต่อลมฟ้าอากาศ ทนการกัดกร่อนและตัวทำลายอื่น ๆ ต้องไม่เปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือหดตัวมากเกินไปเมื่อถูกความร้อน หรือความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้จากการเผาส่วนผสมซึ่งประกอบด้วย หินปูน (calcareous) ดินเหนียวประเภท Argillaceous ออกไซด์ของซิลิกา อลูมินา และเหล็ก แล้วนำมาบดเป็นผงละเอียด (ปิติศานต์ กร้ำมาตร,2553)

2.2.1 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีหลายประเภทแต่ละประเภทมีสารประกอบสำคัญได้แก่ C_3S , C_2S, C_3A, C_4AF, CaO และ MgO ซึ่งจะมีอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงทาให้ปูนซีเมนต์แต่ละ ประเภทมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ส่วนประกอบทางเคมีโดยปริมาณของปูนซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ แสดง ให้เห็นดังตารางที่ 2.1 ซึ่งปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่จะผลิตตามมาตรฐานของ อเมริกา (ASTM C150) และของประเทศอังกฤษ (British Standard; B.S.) ซึ่งตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไทย (มอก.15) ได้แบ่งปูนซีเมนตอ์อกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (ordinary Portland cement) ใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาและใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่ว ไป ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังสูงในระยะเวลาไม่รวดเร็วมากนักและให้ความร้อน ปานกลาง

2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 2 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (modified cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนไม่สูงมากนัก ความร้อนที่เกิดมีค่าน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แต่สูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์ประเภทที่ 4 และให้กำลังใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์ใดที่เกิดความร้อนและทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายซัลเฟตปานกลาง

3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (rapid hardening portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังสูงในระยะแรก ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสูงเพราะมี C3S และความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้ทำงานที่ต้องการถอดแบบเร็ว

4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 4 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (low heat portland cement) ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่ำมาก เพราะมีปริมาณ C_3S ต่ำแต่มีปริมาณ C_2S ที่ค่อนข้างสูง ใช้ในงานคอนกรีตหลาเนื่องจากมีคุณสมบัติให้อุณหภูมิต่ำ

5) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (sulfate resisting portland cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีปริมาณ C_3A ต่ำมาก ดังนั้นจึงมีการทำปฏิกิริยากับซัลเฟตได้น้อยลงใช้ในงานคอนกรีตที่สร้างอยู่ในที่มีเกลือหรือสารละลายซัลเฟตและบริเวณที่มีดินเค็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของปูนซีเมนต์ตามมาตรฐาน ASTM	ส่วนประกอบทางเคมี (ร้อยละ)						
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	CaO	MgO
Type I (Nomal)	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4
Type II (Modifified)	45	29	6	12	2.8	0.6	3.0
Type III (High Early Stength)	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6
Type IV (Low Heat)	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7
Type V (Sulfate Resistant)	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6

2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยสารประกอบออกไซด์หลักและสารประกอบออกไซด์รอง ปริมาณสารประกอบประเภทออกไซด์โดยประมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.2 ซึ่งสารประกอบที่อยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีรายละเอียดดังนี้

ก. สารประกอบออกไซด์หลัก (major oxides) สารประกอบออกไซด์หลัก ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ออกไซด์กลุ่มนี้มีปริมาณรวมกันได้กว่า ร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ข. สารประกอบออกไซด์รอง(minor oxides) สารประกอบออกไซด์รอง ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O) และ (K_2O) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (So_3) นอกจากนี้ยังมีสิ่งแปลกปลอมและส่วนประกอบอื่นซึ่งจัดอยู่ในรูปของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition) และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (insoluble residue)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณสารประกอบประเภทออกไซด์โดยประมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สารประกอบประเภทออกไซด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ชื่อย่อ
แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide)	60.0 - 67.0	CaO
ซิลิกอนออกไซด์ (silicon oxide)	17.0 – 25.0	SiO_2
อลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide)	3.0 – 8.0	Al_2O_3
เฟอร์ริกออกไซด์ (ferric oxide)	0.5 – 0.6	Fe_2O_3
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (sulfer trioxide)	1.0 – 3.0	SO_3
แมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide)	0.1 – 0.4	MgO
อัลคาไลท์ (alkalies)	0.2 – 1.3	Na_2O
ไทมาเนียมออกไซด์ (titanium oxdie)	0.2 – 1.3	K_2O

2.2.3 สารประกอบสำคัญของปูนซีเมนต์

สารประกอบออกไซด์ของปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีและรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีรูปร่างต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบการเผาและการเย็นตัวลงของเม็ดปูน ปริมาณสารประกอบสำคัญในปูนซีเมนต์มีปริมาณมากถึงกว่าร้อยละ 90 จึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ สารประกอบที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 4 ชนิด ดังนี้

1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)

ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึก 6 เหลี่ยม มีสีเทาเข้ม คุณสมบัติของ C_3S เหมือนกับคุณสมบัติของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง และจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_3S ถูกกระทบโดยปริมาณยิบซั่ม ปริมาณ C_3S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีประมาณ 35-55 %

2) ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)

ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างกลม โดย C_2S มีอยู่หลายรูปแบบ มีเพียง βC_2S เท่านั้นที่อยู่ตัว ณ อุณหภูมิทั่วไป βC_2S มีคุณสมบัติยึดเกาะ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นโดยปล่อยความร้อน 250 จูลต่อกรัม เมื่อแข็งตัวจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้า ๆ แต่ในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับ C_3S ปริมาณ C_2S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี ประมาณ 15-35%

3) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม สีเท่า อ่อน C_3A จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีก่อให้เกิด Flash Set และเกิดความร้อนจำนวนมาก ประมาณ 850 จูลต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้องกัน Flash Set ทำได้โดยการเติมยิบซั่ม ลงระหว่างการบดซีเมนต์กำลังอัดของ C3A จะพัฒนาขึ้นภายใน 1-2 วันแต่กำลังอัดค่อนข้างต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3A อยู่ใน ปริมาณ 7-15%

4) เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) ทำปฏิกิริยากับน้ำรวดเร็วมาก และก่อตัวภายในไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิดประมาณ 420 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_4AF ค่อนข้างต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_4AF อยู่ในปริมาณ 5-10%

2.2.4 ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่นทำให้เกิดความร้อน การก่อตัวและการแข็งตัวของเพสต์ ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นขึ้นอยู่กับสารประกอบในปูนซีเมนต์ซึ่งจะทำปฏิกิริยาและมีอิทธิพลต่อกันโดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของเพสต์ทั้งในสภาพพลาสติกและแข็งตัวแล้ว

1) ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมซิลิเกต

ไตรแคลเซียมซิลิเกตเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_23H_2O$) หรือ CSH และเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH_2)$ หรือ CH ดังสมการที่ 2.1

$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \; 3CaO_23H_2O + 3Ca(OH)_2$ ..... (2.1)

2) ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไดแคลเซียมซิลิเกต

ไดแคเซียมซิลิเกตจะทำปฏิกิริยากับน้ำช้ากว่าไตรแคลเซียมซิลิเกตแต่จะได้ ผลิตภณัฑ์จากปฏิกิริยาเหมือนกนั คือ CSH และ CH ดังสมการที่ 2.2

$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \; 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$ ..... (2.2)

3) ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอลูมิเนต

ปฏิกิริยาระหว่างน้ากับไตรแคลเซียมอลูมิเนตจะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด และทำให้เพสต์ก่อตัวอย่างรวดเร็ว ดังสมการที่ 2.3

$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \; 3CaO.Al_2O_36H_2O$ ..... (2.3)

เพื่อเป็นการหน่วงให้เกิดปฏิกิริยาข้างต้นให้ช้าลง ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จึงใส่ยิบซั่มเข้าไปในระหว่างการบดเม็ดปูน (clinker) โดยยิบซั่ม ($CaSO_4.2H_2O$) จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมอลูมิเนตก่อให้เกิดชั้นบาง ๆ ของแอทริงไจท์ ($3CaO.Al_2O_3.Ca.SO_4.3lH_2O$) บนผวิของอนุภาคไตรแคลเซียมอลูมิเนต ดังสมการที่ 2.4

$3CaO.Al_2O_3 + Ca.SO_4.2H_2O \; CaO.Al_2O_3.Ca.SO_4.3lH_2O$ ..... (2.4)

4) ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์ ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์ มีลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยาของ C3A แต่เกิดช้ากว่า และมีความร้อนจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำปฏิกิริยาน้อยกว่า โดยการทำปฏิกิริยา จะเกิดขึ้นในช่วงต้นโดยจะทำปฏิกิริยากับยิบซั่ม ดังสมการที่ 2.5

$4CaO.Al_2O_3Fe_2O_3+Ca.SO_4.2H_2O\ CaO.(Al_2O_3)3CaSO_4$ ..... (2.5)

เนื่องจากปูนซีเมนต์ C_3S เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจึงมีลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยาระหว่าง C_3S กับน้ำ ซึ่งบางครั้งสามารถเห็นปฏิกิริยา ของ C_3A ด้วย ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะลดลงเนื่องจากการเกิดชั้นเคลือบของแอทริงไจท์ และจากการที่สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มของอิออน แคลเซียมและไฮดรอกไซด์ ทำให้ปฏิกิริยาลดลง และเพสต์มีสภาพพลาสติกช่วงหนึ่ง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงพอ CH จะตกผลึก และปฏิกิริยาของ C_3S และ C_2S จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้ง ทำให้เกิด CSH เพิ่มมากขึ้น ตามด้วยปฏิกิริยาของ C_3A และ C_4AF ทำให้แอทริงไจท์เปลี่ยนเป็นแคลเซียมโมโนซัลโฟอลูมิเนต และเกิดสารประกอบแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต และซัลโฟเฟอไรท์แคลเซียมซิลิเกตยังคงทำปฏิกิริยาต่อไป ทำให้เกิด CSH มากขึ้นและขยายเข้าไปในโพรงและเมื่อมีปริมาณมากขึ้นจะเชื่อมโยงถึงกันและเกิดการยึดเกาะกันขึ้น

2.3 ประเภทของมวลรวม

มวลรวมหรือวัสดุผสม (Aggregate) คือวัสดุเฉื่อย อันได้แก่ หิน ทราย กรวด มวลรวมเป็นส่วนผสมที่สำคัญของคอนกรีตเนื่องจากมีปริมาตรร้อยละ 70–80 ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่น่าเป็นที่สงสัยเลยว่าทำไมคุณภาพของมวลรวม จึงมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีตและจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ความสนใจในเรื่องนี้อย่างมาก

ในอดีตมวลรวมถูกคิดว่าเป็นเพียงวัสดุเฉื่อยที่ใช้เป็นตัวแทรกประสานโดยกระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์เท่านั้นในปัจจุบันพบว่ามวลรวมยังทำหน้าที่อื่นที่สำคัญอีกประการแรกเนื่องจาก มวลรวมเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นในส่วนผสมของคอนกรีตจึง ควรใช้ปริมาณมวลรวมให้พอเหมาะเพื่อที่จะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง ประการต่อมาคุณสมบัติ ของมวลรวม จะช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน (Durability) และปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก (Volume Stability) รวมทั้งมวลรวมยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดลงบนคอนกรีตด้วยกำลังและคุณสมบัติ ทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวมมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ดังนั้นการเลือกใช้มวลรวมทีเหมาะสมไม่เพียงแต่เป็นการประหยัดแต่ยังคงช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย มวลรวมที่ดีที่จะส่งให้คอนกรีตมีความทนทานสูง ควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่ดีดังนั้น คือ ต้องมีความคงทนไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบในปูนซีเมนต์ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อเสถียรภาพทางปริมาตรของคอนกรีต และมวลรวมต้องไม่มีสิ่งเจือปนสารที่มีผลเสียต่อกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความคงตัวของซีเมนต์เพสต์คุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วขึ้นอยู่กับขบวนการย่อยแปรสภาพของมวลรวม

2.3.1 ประเภทของมวลรวม

มวลรวมสามารถแบ่งตามแหล่งกาเนิดออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. มวลรวมที่เกิดจากธรรมชาติ (Natural Mineral Aggregate) เกิดจากขบวนการกดักร่อนและเสียดสีตามธรรมชาติ

ข. มวลรวมที่มนุษย์ทำาขึ้น (Artificial Aggregate) เช่น มวลรวมเบาบางประเภทที่ ได้จากการเผาดิน เป็นต้น ถ้าแบ่งมวลรวมตามความหนาแน่นหรือหน่วยน้าหนัก จะแบ่งได้ 3 กลุ่มคือ

ก. มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate) มีความหนาแน่นตั้งแต่ 300–1,100 กก./ลบ.ม.

ข. มวลรวมปกติ (Normal Weight Aggregate)มีความหนาแน่นตั้ง แต่ 2,400–3000กก./ลบ.ม

ค. มวลรวมหนัก (Heavyweight Aggregate)มีความหนาแน่นมากกว่า 4,000กก./ลบ.ม. หรือ ถ้าแบ่งมวลรวมตามขนาดเราสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มแรกคือ มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้แก่ หินกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม. ขึ้นไป หรือค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 กลุ่มที่สอง คือ มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้แก่ ทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หรือ สามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 มม. หรือ ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 ส่วนที่มีขนาดเล็กกว่ามวลรวม ละเอียดซึ่งมีอยู่จำนวนน้อยมากในส่วนผสมคอนกรีต สามารถแบ่งได้เป็น Silt (ขนาดประมาณ 0.07มม.) และดินเหนียว (ขนาดอยู่ช่วง 0.00–0.06 มม.)

2.3.2 การเก็บรักษามวลรวม

ระหว่างการขนย้ายและกองเก็บมวลรวมไว้รอการใช้งานหรือขนย้ายต่อไปอาจเกิดผลเสีย คือ การแยกแยะของมวลรวมขนาดต่าง ๆ กันและการแตกหักของมวลรวมการแยกแยะ เกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวของมวลรวมในระนาบเอียง มวลรวมขนาดใหญ่ที่หนักกว่ามักไหลลงไปรวมกันใกล้เชิงระนาบเอียง ส่วนมวลรวมขนาดเล็กกว่าคงติดค้างอยู่ตอนบนของระนาบเอียง นอกจากนี้ควรระมัดระวังการเทมวลรวมเมื่อมีลมแรง เพราะลมสามารถพัดพามวลรวมขนาดเล็ก ไปได้ไกลกว่าขนาดใหญ่กว่าวิธีการป้องกันที่ดีก็โดยการแยกเก็บมวลรวม ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 2.1 การเก็บรักษามวลรวม

2.4 เถ้าลอย (Pulverized Fuel Ash)

เถ้าลอยเป็นของแข็งเม็ดกลมมีความละเอียดซึ่งลอยขึ้นมาพร้อมกับอากาศที่ร้อน ที่เกิดจาก การเผาไหม้ของถานหินที่บดละเอียด (Pulverized Coal) ในโรงงานผลตกระแสไฟฟ้า และจะถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังถังเก็บ ซึ่งถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนี้ประกอบไปด้วย สารประกอบคาร์บอนและแร่ธาตุอื่น ๆ เช่น ดินดาน ดินเหนียว ซัลไฟด์ และคาร์บอเนต เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงในเตาเผา คุณสมบัติของสารประกอบต่าง ๆ ในถ่านหินจะเปลี่ยนไป ทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในเตาเผารวมทั้งวิธีการที่ทำให้เย็นตัวของเถ้าลอยซึ่งเถ้าลอยนี้ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของซิลิกา และอะลูมินา

ประโยชน์ของเถ้าลอย

1. ช่วยปรับปรุงความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต

2. ลดการเยิ้ม (Bleeding) และแนวโนม้การแยกตัวของคอนกรีต

3. อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช้า ดังนั้นความร้อนจากปฏิกิริยาจะลดลง

4. เพิ่มความทนทานของคอนกรีตที่อายบุ่มมากกว่า 28 วัน

5. เพิ่มความทนทานของคอนกรีตด้วยเหตุผล 2 ประการ คือปริมาณน้ำที่ใชจะลดลงเมื่อต้องการความสามารถเทได้ที่เท่ากัน และปฏิกิริยาระหว่างเถ้าลอยกับ $Ca(OH)_2$ ทำให้ช่องว่างในเนื้อคอนกรีตลดลง เถ้าลอย หรือ ฟลายแอช (fly ash) คือ ขี้เถ้า ที่หลงเหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของถ่านหินหรือลิกไนต์มีขนาดเล็กและละเอียดมาก ประกอบด้วยสารซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยจะปลิวปนไปกับก๊าซร้อนออกจากปล่องควันของโรงผลิต กระแสไฟฟ้าที่ใช้ถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หินเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งถ้ามีปริมาณเถ้าปลิวมาก ในชั้นบรรยากาศก็อาจก่อให้เกิดปัญหามลภาวะของอากาศได้จึงได้มีการศึกษาวิจัยโดยการติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกก๊าซร้อนและเถ้าปลิวกลับมาใช้ใหม่ เช่นการนำเอาเถ้าปลิวมาใช้ เป็นส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ในกระบวนการผลิตคอนกรีต เป็นต้น

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ อินทรชัย หอวิจิตร (2528) พบว่า กำลังอัดระยะต้นของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยมีค่าลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานยังไม่เกิด แต่เมื่อนานไปกำลังรับแรงอัด ของปูนซีเมนต์ผสมเถ้า ลอยมีค่าลดลงตามปริมาณเถ้าลอยจะดีขึ้น เพราะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานแล้ว และการใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมที่พอเหมาะ จะต้องผสมไม่เกินร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

เมธี เวชารัตนา (2535) ได้ทำการศึกษาเถ้าลอย 2 ชนิด คือ Hadson และ Mercer ซึ่งทั้งสองชนิดมีขนาดต่างกันแต่ใช้ส่วนผสมเดียวกัน ใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ เป็นจำนวนร้อยละ 35 โดย น้ำหนักเท่ากัน พบว่าในช่วงแรกกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยจะต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา และส่วนผสมที่มีเถ้าลอยขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่สามารถรับน้ำหนักได้ดีกว่าคอนกรีตที่มีเถ้าลอยขนาดใหญ่กว่า เป็นส่วนผสมในทุกอายุของคอนกรีต

กฤต โง้วสุวรรณ, 2550 ได้รายงานการวิจัยการพัฒนาผลิตแผ่นพื้นสำเร็จรูปโดยใช้คอนกรีต ผสมมือและเหล็กเสริมทั่วไป โดยงานวิจัยนี้ใช้เหล็กเสริมทั่วไปแทนการใช้เหล็กลวดอัดแรง สามารถรับน้ำหนัก (Load Test) 300 กิโลกรัม/ตารางเมตร ค้างน้ำหนกั ไว้ 24 ชั่วโมง วัดค่าการแอ่นตัว ที่เกิดขึ้นได้ 1.2 เซนติเมตร น้อยกว่าค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ ซึ่งต้อ งไม่เกิน (L2/20000d) = 1.6 เซนติเมตร (มอก.576-2546)

สำเร็จ สารมาคม, 2556 ได้รายงานการวิจัยการประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตบล็อก ประสาน โดยศึกษาความเป็น ไปได้ของการใช้เถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อก ประสานที่ใช้ในงานโครงสร้างไม่รับแรงแบกทาน รวมทั้งนำเสนออัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่เหมาะสมกำลังอัดของบล็อกประสานในงานโครงสร้างไม่รับแรงแบกทาน ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ต่อดินที่ใช้ในการศึกษานี้เท่ากับ 1:6 และ 1:8 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กันในทางปฏิบัติ

ศราวุธ ปฏิญญาศักด์, 2560 ได้รายงานการวิจัยการพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักโดยมีส่วนผสมเพิ่มของเถ้าลอย และทรายโดยศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อลดต้นทุนวัสดุในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักรวมทั้งนำเสนออัตราส่วน การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่อัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยที่กำ ลังอัดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตบล็อก คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ต้องมีค่ามากกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.58-2533 ซึ่งอัตราส่วนผสมเดิมในการผลิตจำหน่ายก่อนทำการศึกษาวิจัย การศึกษาระหว่าง ปูนซีเมนต์:ทราย:หินฝุ่นคือ เท่ากบั 1 : 2 : 6 ซึ่งใช้ทรายเข้ามาแทนที่หินฝุ่น บางส่วนเพื่อลดต้นทุนและการยึดเกาะและเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตและจำหน่าย

ปรารถนา แสงบุญเรือง และพงษ์พัฒน์ มากาศ, 2554 ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของอิฐมวลเบาโดยใช้เศษอิฐมวลเบามาแทนที่มวลรวมหยาบซึ่งเป็นส่วนผสม ของคอนกรีตซึ่งใชเศษอิฐมวลเบาขนาด3/4,1/2และ3/8นิ้วแทนที่หินร้อยละ0,20,40และ60 และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากบั 0.35 โดยทาการคัดเลือกสัดส่วนผสมที่ดีที่สุด จากการพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ คือ กำลังอัดโดยให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน จะต้องมีค่ามากกว่า 300 ksc. (ใช้ทำแผ่นคอนกรีตปูพื้น อิฐบล็อก เป็นต้น) สรุปได้ว่าที่ร้อยละ 40 ขนาด 3/8” ของคอนกรีตที่มีการบ่ม เป็นสัดส่วนของการผสมคอนกรีตที่เหมาะสม

2.5 ไมโครซิลิกา

ซิลิกาฟูม (silica fume) หรือไมโครซิลิกา (micro silica) หรือซิลิกาฟูมควบแน่น (condended silica fume) เป็นชื่อเรียกวัสดุผสมเพิ่มชนิดหนึ่งซึ่งเป็นผลพลอยได้ของโรงงานผลิตซิลิกอนเมททัลและเปอร์โรซิลิกอนอัลลอยด์เป็นกระบวนการรีดักชันจากควอร์ด (quartz) ที่บริสุทธิ์ไปเป็นซิลิกอนโดยวิธี electric arc ที่อุณหภูมิสูงถึง 2,000 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดไอ (fume) ของ SiO ซึ่งต่อมาจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่ำได้เป็นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ขนาดเล็กมากที่ไม่เป็นผลึกและมีรูปร่างกลมซิลิกาฟูมจะถูกดักจับในตัวดักจับเพื่อบรรจุใส่ถุงไว้ (ปริญญาจินดาประเสริฐและชยัจาตุรพิทักษ์กุล, 2556)

เนื่องจากซิลิกาฟูมมีอนุภาคที่เล็กมาก มีพื้นที่ผิวสูงมาก และอยู่ในรูปที่ไม่เป็นผลึก จึงสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้อย่างรวดเร็ว ปัญหาของการใช้ซิลิกาฟูมในงานคอนกรีตคือ ส่วนผสมคอนกรีตต้องการปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ความข้น เหลวเท่าเดิมเนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กมากของซิลิกาฟูม ทำให้มีพื้นที่ผิวสูงมากจึงต้องการปริมาณน้ำในการหล่อลื่นพื้นที่ผิวของอนุภาคสูงขึ้นด้วย ซิลิกาฟูมจากโรงงานโลหะซิลิกอนและเฟอร์โรซิลิกอนอัลลอยด์เป็นซิลิกาฟูมที่มีคุณภาพดีโดยร้อยละ 61ถึง 98 ประกอบด้วยซิลิกอน ซึ่งร้อยละ 85 ถึง 95 ของซิลิกอนดังกล่าวอยู่ในรูปไม่เป็นผลึกหรืออสัณฐาน ซึ่งมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา ส่วนซิลิกาฟูมที่ได้จากโรงงานเฟอร์โรซิลิกอน มีคุณภาพต่ำกว่าโดยมีซิลิกอนเพียงประมาณร้อยละ 50 และอยู่ในรูปของผลึกค่อนข้างมากซึงส่งผลให้การใช้ซิลิกาฟูมเหล่านี้ในงานคอนกรีตไม่ดีนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบหลักทางเคมีของซิลิกาฟูมคือ SiO ซึ่งควรจะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นผลึกเป็นส่วนใหญ่ ซิลิกาฟูมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมี SiO_2 มากกว่าร้อยละ 90 ขึ้นไป ส่วนที่เหลือจะเป็น 21 องค์ประกอบของ Al_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O และออกไซด์อื่น ๆ อีกร้อยละ 1 หรือ 2 ซึ่งออกไซด์เหล่านี้ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของ SiO_2 หากนำค่าออกไซด์ของซิลิกาฟูมมาเปรียบเทียบกับของปูนซีเมนต์ เถ้าถ่านหิน ตะกรันเตาถลุงเหล็ก และดินขาวเผา จะพบว่ามีองค์ประกอบที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของวัสดุประสาน

ออกไซด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)					
	ปูนซีเมนต์ประเภท 1	เถ้าถ่านหินแม่เมาะ	ตะกรันเตาถลุงเหล็ก	ซิลิกาฟูม	เถ้าแกลบ	ดินขาวเผา
SiO_2	20	48	37	92	90	55
Al_2O_3	5	26	11	0.7	0.5	40
Fe_2O_3	3	10	0.3	1.2	2.0	0.5
CaO	60	5	40	0.2	0.2	-
MgO	1.1	2	7	0.2	0.2	-
SO_3	2.4	0.7	0.3	-	1.5	-
ออกไซด์อื่น ๆ	1.5	1.3	2.3	26	-	-
LOI	2	3	-	-	1.7	-

2.5.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของซิลิกาฟูมที่เห็นชัดเจน คือเป็นฝุ่นผงที่ละเอียดมากสีเทา เทาดำ หรือเทาอมขาว แต่ถ้าเป็นซิลิกาฟูมควบแน่นจะมีขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นเนื่องจากการรวมตัวของซิลิกาฟูมหลาย ๆ อนุภาคเข้าด้วยกัน ความถ่วงจาเพาะของซิลิกาฟูมมีค่าประมาณ 2.2 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.1 ไมโครเมตร มีพื้นที่ผิวประมาณ 200,000 ถึง 250,000 ซม.2/ก. ซึ่งใช้การทดสอบโดยวิธีดูดซับก๊าซไนโตรเจน (nitrogen absorption test) และถือว่ามีค่าสูงมาก (ขณะที่เถ้าถ่านหินมีค่าประมาณ 3,000 ถึง 7,000 ซม.2/ก. ซึ่งทดสอบโดยวิธีเบลน) ขนาดอนุภาค ของซิลิกาฟูมเป็นขนาดที่เล็กมากเพราะมีขนาดเล็กกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ถึงกว่า 150 เท่า เพราะปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 15 ไมโครเมตร เนื่องจากซิลิกาฟูมมีขนาดเล็กมาก จึงมีปัญหาในการขนย้าย เพื่อแก้ปัญหานี้จึงมีการนาซิลิฟูมมาอัดรวมกันเพื่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกว่า ซิลิกาฟูมควบแน่น สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพของซิลิกาฟูม เถ้าถ่านหิน ตะกรันเตาถลุงเหล็ก เถ้าแกลบบด และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ได้แสดงเปรียบเทียบไว้ ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของซิลิกาฟูม เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบบด ตะกรันเตาถลุงเหล็ก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

คุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	เถ้าถ่านหินแม่เมาะ	เถ้าแกลบบด	ตะกรันเตาถลุงเหล็ก	ซิลิกาฟูม
ความละเอียดของเบลน (ซม2/ก)	3400	3500	8000	3500	200000
ความถ่วงจำเพราะ	3.15	2.0	2.2	2.9	2.2
สี	เทา	เทาอ่อนจนถึงเทาเข้มสีน้ำตาล	เทาถึงเทาดำ	เทา	เทาอมขาวจนถึงเทาดำ

หมายเหตุ วิธีเบลนไม่สามารถใช้วัดความละเอียดของซิลิกาฟูมได้แต่ใช้วิธี nitrogen absorption

2.5.3 การใช้ซิลิกาฟูมในงานคอนกรีต

โดยทั่วไปซิลิกาฟูมจะใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 5 ถึง 10 โดยน้ำหนักการผลิตปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูมมีใช้ในประเทศแคนาดาโดยผสมซิลิกาฟูมในส่วนผสมราวร้อยละ 7 ถึง 8 เนื่องจากซิลิกาฟูมมีความละเอียดสูงมากจึงมีปัญหาในเรื่องการขนส่งและการใช้งาน พอสมควรเพราะฟุ้งกระจายได้ง่าย ดังนั้นจึงมีการใช้ซิลิกาฟูมที่ผสมน้ำให้อยู่ในรูปของเหลวข้น อย่างไรก็ตามโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จหลายแห่งยังคงนิยมใช้ซิลิกาฟูมในรูปผงซึ่งอาจเป็นปัญหา เรื่องสุขภาพได้ เพราะมีการฟุ้งกระจายของซิลิกาฟูมได้ง่ายดังนั้น The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) ได้ระบุให้ซิลิกาฟูมเป็นวัสดุอันตราย (hazardous material) และไม่ควรมีฝุ่นของซิลิกาฟูมในอากาศมากกว่า 2 มก./ม3 และควรใช้หน้ากากกันฝุ่น สวมป้องกันในขณะทางานการใช้ซิลิกาฟูมควบแน่นแทนซิลิกาฟูมจะสามารถแก้ปัญหานี้ได้เพราะ ซิลิกาฟูมควบแน่นมีขนาดใหญ่กว่าซิลิกาฟูมมากและไม่ปลิวลมง่ายนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของซิลิกาฟูมต่อคอนกรีตสด

เนื่องจากซิลิกาฟูมมีความละเอียดสูงมากซีเมนต์เพสต์ผสมซิลิกาฟูมที่ความข้นเหลว ปกติจะต้องการปริมาณน้ำสูงขึ้นและจะทำให้เวลาในการก่อตัวนานขึ้น เมื่อใช้ผสมทำมอร์ต้าร์และคอนกรีตทำให้ต้องการปริมาณน้ำที่มากขึ้น แนวทางแก้ไขคือการใช้สารลดน้ำหรือสารลดน้ำพิเศษ เข้าช่วยเพื่อไม่ให้ปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตสูงจนเกินไป เพราะการใช้น้ำในส่วนผสมมากจะทำให้คอนกรีตมีกำลังต่ำลงตามกฎของ Abrams ปริมาณสารลดน้ำพิเศษที่ให้กำลังรับแรงสูง จะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ส่วนการเยิ้มน้ำในคอนกรีตที่มีซิลิกาฟูมพบว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา นอกจากนี้การใช้ซิลิกาฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในคอนกรีตไม่มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของคอนกรีต เนื่องจากซิลิกาฟูมมีความละเอียดสูงและทำปฏิกิริยาได้ว่องไว จึงมีความร้อนจากปฏิกิริยาค่อนข้างมาก

ผลกระทบของซิลิกาฟูมต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

ซิลิกาฟูมนิยมใช้เป็นส่วนผสมหนึ่งในการผลิตคอนกรีตกาลังสูงมาก เช่นกำลังอัดเท่ากับ 120 เมกะปาสคาลที่อายุ 90 วัน โดยการใช้ร่วมกับสารลดน้ำพิเศษคอนกรีตที่ได้นอกจากจะมีกำลังอัดที่สูงมากแล้วยังมีค่าการซึมน้ำผ่านที่ต่ำมากด้วย เพราะซิลิกาฟูมจะไปอุดโพรงของซีเมนต์เพสต์การใช้ซิลิกาฟูมในปริมาณที่เหมาะสมแทนที่ปูนซีเมนต์คอนกรีตจะมีประสิทธิภาพเหมือน ใช้ปูนซีเมนต์ถึง 3 หรือ 4 เท่า เช่นใช้ซิลิกาฟู 1 กิโลกรัม แทนที่ปูนซีเมนต์ 3 หรือ 4 กิโลกรัม ใน คอนกรีตแต่ยังคงให้คอนกรีตที่มีกำลังอัดที่อายุ 7 หรือ 28 วัน เท่ากัน กำลังอัดของคอนกรีตที่มีซิลิกาฟูมเป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 15, และ 20 มีค่าสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่อายุ 28 วันค่อนข้างมาก

2.6 น้ำ (Water)

ความสำคัญของน้ำในการทำคอนกรีต แบ่งตามสภาพการใช้งานได้ดังนี้

2.6.1 น้ำสำหรับผสมคอนกรีต (mixing water)

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ต้องสะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ppm. (ส่วนในล้าน) ปราศจากกรด ด่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็ก เสริม โดยปกตินำ้ประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากอาคาร บ้านเรือนหรือจากโรงงานอุตสาหกรรมถือว่ามีคุณภาพดีพอสำหรับงานคอนกรีต ในกรณีที่สงสัยให้ทำแท่งทดสอบโดยใช้น้ำที่สงสัยและเปรียบเทียบกำลังอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้าร์ที่ทำจากน้ำที่มีคุณภาพดี หากแท่งทดสอบที่ใช้น้ำที่สงสัยผสมให้กำลังอัดอย่างน้อย 90 เปอร์เซ็นต์ ก็ถือว่าน้ำนั้นมีคุณภาพดีพอ (วินิต ช่อวิเชียร, 2525)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต คือ

2.6.1.1 ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียกเพื่อปูนซีเมนต์จะเข้าเกาะโดยรอบ และแข็งตัวยึดให้ติดกันได้

2.6.1.2 ทำหน้าที่หล่อลื่นในวัสดุทั้ง 3 อย่างนี้เกิดความเหลว สามารถเทและกระทุ้ง หรือเขย่าเข้าแบบหล่อให้เป็นรูปต่าง ๆ ได้

2.6.1.3 ทำหน้าที่เข้าผสมกับปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาทางเคมีแล้วเกิดความร้อนที่เรียกว่า Heat of hydration ทำให้ผงซีเมนต์นั้นกลายเป็นวุ้นและเป็นซีเมนต์เหนียวซึ่งเป็นตัวประสานผิวระหว่างเม็ดของวัสดุผสม เกาะยึดกันแน่น เมื่อแข็งตัว

สารที่เจือปนอยู่ในน้ำ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการก่อตัวและกำลังของคอนกรีตได้แก่ ฝุ่น หรือผง (Silt) น้ำมัน กรด ด่าง เกลือด่าง สารอินทรีย์ต่าง ๆ น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน และ โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น สารต่าง ๆ เหล่านี้ยอมให้เจือปนอยู่ในน้ำได้ไม่เกินกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณที่ยอมให้ของสารเจือปนในน้ำ

สารที่เจือปน	ปริมาณที่ยอมให้สูงสุด (ส่วนต่อล้าน)
เกลือ	
โซเดียมคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต	1,000
แคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนต	400
แมกนีเซียมซัลเฟตและคลอไรด์	40,000
โซเดียมคลอไรด์	20,000
โซเดียมซัลเฟต	10,000
กรด	
เกลือของแร่เหล็ก	10,000
ฝุ่นหรือผงหรืออนุภาคลอยตัว	2,000
น้ำทะเล	35,000
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	4,000
น้ำโสโครก	400
น้ำตาล	500
ตะไคร่น้ำ	1,000
โปแตสเซียมและโซเดียมไฮดรอกไซด์	0.5-1.0% (โดยน้ำหนักของซีเมนต์)
น้ำมัน	2.0% (โดยน้ำหนักของซีเมนต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ถ้ามีโซเดียมคาร์บอเนตผสมอยู่เป็นปริมาณมากจะทำให้คอนกรีตแข็งตัวเร็วขึ้น หรือถ้ามีโซเดียมและโปแตสเซียมไบคาร์บอเนต เกินกว่า 0.01% จะทำให้กำลังของคอนกรีตลดต่ำลง และระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับจำนวนไบคาร์บอเนต ยอมให้มีคาร์บอเนตและ ไบคาร์บอเนตผสมอยู่ได้ไม่มากกว่า 1,000 ppm. (0.1%)

เกลือของแร่เหล็ก (Iron Salt) ถ้ามีน้อยกว่า 4% หรือ 40,000 ppm. จะไม่ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงแต่อย่างใด

น้ำตาล ถ้ามีน้ำตาลละลายปนอยู่ประมาณ 0.03 -0.15% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จะทำให้การก่อตัวช้าลง แต่ถ้ามีปนอยู่มากกว่า 0.20% จะทำให้การก่อตัวกลับเร็วขึ้น ยิ่งถ้ามี มากกว่า 0.25% การก่อตัวก็จะยิ่งเร็วขึ้นมาก และกำ ลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วันจะลดลง

น้ำมัน ในบางครั้งอาจมีน้ำมันปนอยู่ในน้ำซึ่งจะทำให้คุณภาพของคอนกรีตเสียไป ถ้าเป็นน้ำมันปิโตรเลียมบริสุทธิ์ โดยไม่มีน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์เจือปนอยู่ด้วย อาจจะไม่ทำให้กำลังของคอนกรีตผิดไป แต่อย่างไรก็ดีถ้ามีน้ำมัน ปิโตรเลียมผสมอยู่ในน้ำมากกว่า 2% โดย น้ำหนักของปูนซีเมนต์คอนกรีตจะมีกำลังลดลงมากกว่า 20%

ตะใคร่น้ำ มีผลเสียอย่างมากต่อกำลังและการยึดเหนียวของคอนกรีต และทำให้เกิด ช่องว่างและรูพรุนในคอนกรีต ยอมให้มีได้ไม่เกินกว่า 1,000 ppm. ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตขึ้นอยู่กับส่วนผสมและคุณสมบัติของหิน ทรายและซีเมนต์คอนกรีตจะแข็งแกร่ง ทนทาน มีรูโพรงหรือแน่นทึบก็ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใส่ลงไป

ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตโดยมากจะบอกเป็นอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักถ้าใส่น้ำ มากเกินไปคุณภาพของคอนกรีตก็จะลดลง เนื่องจากน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเคมีกับซีเมนต์ระเหยออกไปเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ทำให้เกิดเป็นโพรงช่องว่างในเนื้อคอนกรีต จึงมีกำลังความแข็งแรงในด้านต่าง ๆ น้อยลง กำลังอัดของคอนกรีตต่ำสุดสำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 กำลังอัดของคอนกรีตต่ำสุดสำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่าง ๆ กัน

อัตราส่วน W/C โดยน้ำหนัก	กำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก 15x30 ซม. เมื่ออายุ 28 วัน (กก. ต่อตาราง ซม.)	
	คอนกรีตที่ไม่ได้กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
0.35	420	335
0.40	350	280
0.50	280	225

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.60	225	180
0.70	175	140
0.80	140	115

น้ำที่ต้องการใช้จริง ๆ เพื่อผสมกับปูนซีเมนต์ให้แข็งได้น้ำนั้นมีปริมาณน้อยกว่าที่ใช้ในการผสมคอนกรีตสำหรับใช้เทเข้าแบบมาก แต่ถ้าจะใช้น้ำเพียงแต่พอความต้องการของปูนซีเมนต์ดังกล่าว คอนกรีตจะแห้งมากเกินไป จนไม่สะดวกในการที่จะเทลงแบบและกระทุ้งให้เป็นรูปได้ ฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้น้ำมากเกินกว่าที่ปูนซีเมนต์ต้องการจริง ๆ แต่ต้องไม่ลืมว่าถ้าใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นเท่าใด กำลังของคอนกรีตก็จะลดลงไปตามลำดับ ดังตารางที่ 2.8 ปริมาณน้ำที่ใช้ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับซีเมนต์อย่างเพียงพอและสมบูรณ์ต้องไม่น้อยกว่า 30% ของน้ำหนักของซีเมนต์ ในงานคอนกรีตบางอย่าง เช่น งานคอนกรีตเสริมเหล็กถ้ามีเหล็กเสริมมาก จำเป็นต้องผสมคอนกรีตให้เหลวพอที่จะเทให้ลอดเข้าไปในช่องว่างระหว่างเหล็กได้นั่น คือ ต้องใส่น้ำมากขึ้น และถ้าจะให้ได้กำลังคอนกรีตเพียงพอกับความต้องการ ก็ต้องเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ เข้าไปในส่วนผสมอีก

2.6.2 น้ำสำหรับบ่มคอนกรีต (water for curing concrete)

น้ำที่มีสารเจือปน เช่น ฝุ่น (Silt) น้ำมันหรือเกลือ ผสมอยู่พอสมควรอาจใช้ในการบ่มคอนกรีตได้โดยไม่ทำให้เกิดรอยเปื้อนหรือสีบนผิวคอนกรีตน้ำที่มีกรดหรือสารอินทรีย์เจือปน จะต้องได้รับการตรวจสอบก่อนนำไปใช้ และจะต้องระวังสารอินทรีย์พวกกรดแทนนิค (tannic acid) เกลือของแร่เหล็ก เพราะอาจก่อให้เกิดรอยเปื้อนเปรอะบนผิวคอนกรีตได้

2.6.3 น้ำสำหรับล้างวัสดุผสม (washing water)

การใช้น้ำที่มีสารเจือปน เช่นพวกฝุ่น (Silt) เกลือและสารอินทรีย์ต่าง ๆ ล้างวัสดุผสมให้สะอาดก่อนที่จะนำมาใช้ผสมทาคอนกรีตนั้น สารเจือปนเหล่านี้จะไปเคลือบอยู่บนผิวของวัสดุผสม และอาจเป็นสาเหตุให้เนื้อคอนกรีตผุกร่อน คอนกรีตแข็งตัวช้าหรือกำลังลดลง ฉะนั้น จึงควรเปลี่ยนน้ำที่ใช้ล้างวัสดุผสมบ่อย ๆ เพราะเท่าที่พบเห็น การล้างจะใช้บุ้งกี๋ ซึ่งใส่ หิน กรวด ทรายและจุ่มลงไปในถังจนน้ำในถังนั้นดำเป็นโคลนก็ไม่ค่อยเปลี่ยนน้ำกัน ดังนั้นแทนที่จะทำให้วัสดุนั้น สะอาด ก็กลับสกปรกขึ้นไปอีกปริมาณของสารเจือปนที่ยอมให้มีอยู่ในน้ำ สำหรับล้างวัสดุ ผสมนั้นไม่แน่นอน ควรใช้วิธีทดลองและเปรียบเทียบโดยใช้น้ำที่มีสารเหล่านี้เจือปน และน้ำสะอาดล้างวัสดุผสมที่จะใช้ผสมทำคอนกรีตแล้วเปรียบเทียบหาผลเสียหายว่าเป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีต (Concrete Admixture) หมายถึง สารใด ๆ นอกเหนือไปจากน้ำปูนซีเมนต์ หิน และทราย ที่ใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีตไม่ว่าจะก่อนหรือกำลังผสมเพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพคอนกรีตขณะยังเหลวอยู่หรือคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพของวัสดุสิ่งแวดล้อมและ สภาพการทำงาน วัตถุประสงค์ทั่วไปของการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตก็คือ ปรับปรุงความสามารถเทได้ เร่งหรือหน่วงเวลาการก่อตัว ควบคุมหรือดัดแปลงการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต ปรับปรุง คุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน การทนต่อกรดและซัลเฟต เป็นต้น หรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง โดยสารผสมเพิ่มมิได้มีส่วนช่วยแก้ไขคอนกรีตที่มีส่วนผสม ไม่ดีหรือมีวิธีการปฏิบัติงานที่ไม่ถูกต้อง ในปัจจุบันได้มีการขยายการใช้สารผสมเพิ่มไปทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษ กล่าวคือใช้ปูนซีเมนต์ทั่ว ๆ ไปผสมกับสารผสมเพิ่มที่เหมาะสมซึ่งจะปรับปรุงหรือเปลี่ยนคุณสมบัติของคอนกรีตบางประการได้ สารผสมเพิ่มที่ใช้ส่วนใหญ่เป็น ของเหลวแต่บางชนิดเป็นผงซึ่งแตกต่างกันตามวัสดุพื้นฐานวัสดุเหล่านี้จะต้องไม่ทำลายคุณภาพของคอนกรีตทั้งในระยะสั้นและระยะยาวรวมทั้งต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารที่เป็น ส่วนประกอบของซีเมนต์ แร่ธาตุในมวลรวมและต่อเหล็กเสริมดังนั้นก่อนที่จะใช้น้ายาผสมคอนกรีตควรมีการศึกษาข้อจำกัดการใช้งาน มีการตรวจสอบคุณภาพและทดสอบประสิทธิภาพ รวมทั้งควรใช้งานตามข้อแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัดมิฉะนั้น อาจจะก่อให้เกิดผลเสียหายได้ (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2537)

สารผสมเพิ่มทั่ว ๆ ไปอาจแบ่งออกเป็นกล่มุใหญ่ๆ ได้ 4 กลุ่ม คือ

ก. สารกักระจายฟองอากาศ (Air-Entraining Agent)

ใช้เพื่อเพิ่มความทนทานกรณีที่คอนกรีตต้องสัมผัสกับสภาพที่เย็นจัดเช่น ในพื้นห้องเย็น หรือในบริเวณที่มีหิมะปกคลุมบางช่วงเวลา และสารผสมเพิ่มนี้ยังปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลว

ข. สารเคมีผสมคอนกรีต (Chemical Admixture)

เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต เช่นเพื่อลดปริมาณน้ำในส่วนผสมควบคุมการก่อตัว และการแข็งตัวหรือปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตเหลวเป็นต้น

ค. สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixture)

คุณสมบัติในการเกาะตัวดีขึ้น และยังสามารถใช้ทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์ได้ บางส่วนสารผสมเพิ่มอื่น ๆ สารผสมเพิ่มอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ใ น 3 ประเภทแรก ซึ่งผลิตขึ้นมาเพื่อใช้งานเฉพาะอย่างเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 สารเคมีผสมคอนกรีต (Chemical Admixture)

สารเคมีผสมคอนกรีต คือ สารละลายเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ใส่ผสมลงในคอนกรีตเพื่อ เปลี่ยนเวลาการก่อตัวและลดปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C494 โดยแบ่ง สารเคมีผสมเพิ่มเหล่านี้ออกเป็น 7 ประเภทคือ

1. ประเภท A สารลดปริมาณน้ำ (Water Reducing)
2. ประเภท B สารยืดเวลาการก่อตัว (Retarding)
3. ประเภท C สารเร่งเวลาการก่อตัวและแข็งตัว (Accelerating)
4. ประเภท D สารลดปริมาณน้ำและยืดเวลาการก่อตัว (Water Reducing and Retarding)
5. ประเภท E สารลดปริมาณน้ำและเร่งเวลาการก่อตัว (Water Reducing and Accelerating)
6. ประเภท F สารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก (Water Reducing-High Rage)
7. ประเภท G สารลดปริมาณน้ำจำนวนมากและยืดเวลาการก่อตัว (Water Reducing-High Range and Retarding)

2.7.1.1 สารลดปริมาณน้ำ

สารลดปริมาณน้ำหรือที่รู้จักในชื่อ Plasticizer หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ผสมโดยได้ความข้นเหลวตามกำหนด และไม่มีผลกระทบต่อปริมาณฟองอากาศ หรือเวลาการก่อตัวของคอนกรีตการใช้สารลดปริมาณน้ำให้เกิดประโยชน์ทำได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ใช้เพื่อช่วยให้งานเทคอนกรีตที่ทำได้ยาก เช่น โครงสร้างที่บาง หรือมีเหล็กเสริมจำนวนมาก คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ดีง่ายต่อการจี้ไขย่าเข้าแบบโดยไม่ต้อง เพิ่มปริมาณน้ำและซีเมนต์

กรณีที่ 2 คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ตามที่ต้องการโดยใช้ปริมาณน้ำลดลง ในขณะที่ปริมาณซีเมนต์คงที่นั่นคืออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะลดลง ส่งผลให้กำลังอัดคอนกรีตสูงขึ้น การต้านทานการซึมผ่านของน้ำและความคงทนสูงขึ้น หรืออาจจะประยุกต์ใช้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มกำลังอัดโดยไม่สามารถเพิ่มปริมาณซีเมนต์ เพราะจะเกิดปัญหาด้านอุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือเกิดการหดตัว ทำให้เกิดความแตกร้าว โดยเฉพาะโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ เช่น ฐานรากแผ่ เป็นต้น

กรณีที่ 3 คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ตามที่ต้องการโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นั้น คือเราสามารถลดปริมาณซีเมนต์ลงได้ การลดปริมาณน้ำในส่วนผสมเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับงานคอนกรีตจะพบว่าสารเคมีผสมคอนกรีต 5 ใน 7 ชนิด จะมีคุณสมบัติลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำเราควรมาพิจารณาถึงหน้าที่ของน้ำในส่วนผสมคอนกรีตอีกทีเพื่อความเข้าใจมากยิ่งขึ้น น้ำเป็นส่วนผสมที่สำคัญมากส่วนหนึ่งในการผลิตคอนกรีตโดยจะทำหน้าที่ 3 อย่างคือ

1. เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์ หรือปฏิกิริยา Hydration
2. ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียกเพื่อซีเมนต์จะเข้าเกาะและแข็งยึดติดกัน
3. ทำหน้าที่หล่อลื่นให้หินทรายซีเมนต์อยู่ในสภาพเหลวสามารถไหลเข้าแบบได้ง่าย

น้ำจำนวนพอดีที่จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น คือประมาณ 28±1% ของน้ำหนักซีเมนต์ หรืออัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) = 0.28±0.01 แต่คอนกรีตทั่วไปใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มากกว่า 0.35 น้ำเกินนี้จะเข้า ไปทำหน้าที่ในข้อ 2 และ 3 ทำให้คอนกรีตเหลวทำงานได้สะดวกขึ้น น้ำส่วนนี้ถูกเรียกว่า “น้ำส่วนเกิน” (Excess Water) น้ำส่วนเกิน ถ้ามีมากเกินไปจะมีผลเสียต่อคอนกรีต คือ

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

ในรูปที่ 2.2 แสดงลักษณะคอนกรีตที่ใช้น้ำมากเกินไป น้ำส่วนหนึ่งจะอยู่ในลักษณะเป็นแอ่งใต้หินและบางส่วนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต ซึ่งคือการเยิ้ม (Bleeding) เมื่อคอนกรีตแข็งตัว แอ่งน้ำดังกล่าว จะกลายเป็นโพรงอากาศทำให้ความทนทานและกำลังอัดคอนกรีตต่ำลง

อ้างอิง : http://www.cpacacademy.com/index.php?tpid=0063

รูปที่ 2.2 ลักษณะคอนกรีตที่ใช้น้ำมากเกินไป
(ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารผสมเพิ่มชนิดนี้ช่วยลดความต้องการน้ำของคอนกรีตทั้งนี้เพราะมีคุณสมบัติในการช่วยเปลี่ยนคุณสมบัติของผิวต่อระหว่างของแข็งและน้ำในคอนกรีตปกติอนุภาคซีเมนต์ต่าง ๆ ในคอนกรีตจะมีประจุไฟฟ้าเหลือตกค้างบนผิว ซึ่งอาจเป็นขั้วบวก หรือลบก็ได้ อนุภาคซึ่งมีประจุต่างกันจะดูดรวมกันเป็นกลุ่ม (Flocculate) ซึ่งสามารถดูดน้ำได้จำนวนมากทำให้เหลือน้ำหล่อลื่นคอนกรีตเหลวอยู่น้อย โมเลกุลของสารผสมเพิ่มชนิดนี้ช่วยทำให้ประจุเป็นกลาง หรือทำให้ประจุบนผิวอนุภาคต่าง ๆ กลายเป็นประจุชนิดเดียวกันจึงเกิดแรงผลักดันซึ่งกันและกันทำให้แยกตัวกันในเนื้อเพสต์น้ำที่ผสมไปในคอนกรีตส่วนใหญ่จึงสามารถถูกใช้ลดความหนืดของเพสต์

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของสารลดปริมาณน้ำ

1. ชนิดและปริมาณการใช้ของสารลดปริมาณน้ำ

2.ชนิดของซีเมนต์และสารประกอบ

3. ชนิดของมวลรวมและส่วนคละ

4. สัดส่วนผสม

5. อุณหภูมิ

ถ้าใช้สารลดปริมาณน้ำในปริมาณปกติ ปริมาณน้ำที่ลดลงจะอยู่ในช่วง 5- 10% อย่างไรก็ตามควรทดสอบในห้องปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง เพื่อหาชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มที่จะให้บรรลุคุณสมบัติที่เหมาะสม

ผลของสารลดปริมาณน้ำต่อคอนกรีตสด

1. สารลดปริมาณน้ำนี้จะเพิ่มความสามารถเทได้ถ้าไม่มีการปรับส่วนผสม อื่น ๆ โดยปกติจะทำให้คอนกรีตมีค่ายุบตัวเพิ่มขึ้น 25-50 มม.

2. สารลดปริมาณน้ำที่มีสารประกอบของ Hydroxycarboxylic Acid จะสามารถลดปริมาณน้ำจะมากกว่าสารประกอบของ Lignosulphonate

3. ค่าอัตราการสูญเสียการยุบตัว (Slump Loss) ในช่วงแรกของคอนกรีตที่ใส่สารลดปริมาณน้ำจะมากกว่าคอนกรีตทั่วไป

4. สารลดปริมาณน้ำที่มาจากเกลือของ Hydroxycarboxylic Acid มีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดการเยิ้ม (Bleeding) ดังนั้นควรใช้ด้วยความระมัดระวังโดยเฉพาะกับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวมาก

5. สารลดปริมาณน้ำที่มาจาก (Lignosulphonate) จะลดการเยิ้มเนื่องจากสารประกอบพวกนี้จะก่อให้เกิดฟองอากาศขึ้นเล็กน้อย คืออยู่ในช่วง 1.3%

6. โดยทั่วไปสารลดปริมาณน้ำจะมีผลต่อเวลาการก่อตัวคือจะหน่วงเวลาการก่อตัวเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมคอนกรีตสารลดปริมาณน้ำจะไม่มีผลต่อความร้อนจากปฏิกิริยาของคอนกรีต (Heat of Hydration)

ผลของสารลดปริมาณน้ำต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

1. ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากันคอนกรีตที่ใส่สารลดปริมาณน้ำจะให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตทั่วไปเล็กน้อยทั้งนี้เนื่องจากการกระจายตัวที่ดีของเม็ดปูนซีเมนต์ในส่วนผสม

2. เนื่องจากสารลดปริมาณน้ำส่งผลให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลงนั้น คือ กำลังอัดที่อายุ 28 วัน จะสูงขึ้น ผลทางอ้อมก็คือ กำลังอัดช่วงต้นก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

3. การหดตัว (Drying Shrinkage) และ Creep จะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความสามารถเทได้และกำลังอัดที่ 28 วัน เท่ากัน

4. ผลของการลดปริมาณน้ำในส่วนผสมทำให้ความทนทานและการกันซึมสูงขึ้นเพราะคอนกรีตมีเนื้อแน่นขึ้น

2.7.1.2 สารยืดเวลาการก่อตัว

สารยืดเวลาการก่อตัวเป็นสารเคมีที่หน่วงอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งส่งผลหน่วงการก่อตัว ของคอนกรีตด้วยสารผสมเพิ่มชนิดนี้โดยทั่วไปจะใช้ในงานคอนกรีตในเขตร้อนเช่นในประเทศไทยเป็นต้น เพราะที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาไฮเดรชั้นจะเกิดเร็วมากเวลาการก่อตัวของซีเมนต์จะลดลง นอกจากนี้ยังเหมาะกับงานคอนกรีตประเภทอื่น ๆ อีก เช่น

1. งานโครงสร้างขนาดใหญ่โดยยืดเวลาการก่อตัวเพื่อป้องกันการเกิด Cold Joint
2. งานเขื่อนโดยลดความร้อนในคอนกรีตเพื่อป้องกันการแตกร้าว
3. งานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ซึ่งบางครั้งต้องยืดเวลาการแข็งตัวของคอนกรีตออกไป 6 - 8 ชั่วโมง

สารผสมเพิ่มชนิดยืดเวลาการก่อตัวแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ตามส่วนประกอบทางเคมีดังนี้

1. กรด Lignosulphonic และเกลือของ Lignosulphonic
2. กรด Hydroxycarboxylic และเกลือของ Hydroxycarboxylic
3. น้ำตาลและสารประกอบของน้ำตาล
4. เกลืออนินทรีย์

สารเคมีหลาย ๆ ตัวจะเหมือนกับของสารลดปริมาณน้ำแต่จะใช้ในปริมาณที่มากกว่า มีหลายทฤษฎีที่พยายามอธิบายการทางานของสารผสมเพิ่มชนิดนี้แต่ทฤษฎีที่สำคัญ สามารถอธิบายเรื่องนี้ได้ดีคือ สารผสมเพิ่มชนิดยืดเวลาการก่อตัวนี้จะถูกดูดซึมไว้บนผิวของอนุภาคซีเมนต์ ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยาไฮเดรชั้นกับอนุภาคซีเมนต์ลดลงนั้น คือการหน่วงเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.3 สารเร่งเวลาการก่อตัว และแข็งตัว

สารเร่งเวลาการก่อตัวและแข็งตัวเป็นสารที่เร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นส่งผลเร่งการก่อตัวและการพัฒนากำลัง อัดของคอนกรีตในช่วงต้น โดยทั่วไปจะใช้สำหรับงานดังต่อไปนี้

1. งานก่อสร้างเร่งด่วน เช่น งานที่ต้องการถอดไม้แบบเร็วงานซ่อมแซมต่าง ๆ

2. งานหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตในโรงงาน เพื่อจะให้การหมุนเวียนแบบหล่อ ทำได้อย่างรวดเร็ว

3. งานคอนกรีตในฤดูหนาวสำหรับในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นจัด สารผสมเพิ่มชนิดนี้จะแตกต่างจากสารที่ทำให้เกิดการก่อตัวอย่างกะทันหัน (Set Accelerating Admixture) ซึ่งจะก่อตัวภายใน 2 - 3 นาที และเหมาะในงาน Shotcrete สำหรับอุดรูรั่วภายใต้ความดันของน้ำหรือการซ่อมแซมอย่างกะทันหันสารเร่งเวลาการก่อตัว ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารเคมีดังนี้

1. Calcium Chloride
2. Calcium Formate
3. Calcium Nitrate

แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารเคมีที่ถูกนำมาใช้เร่งการก่อตัวของคอนกรีตอย่างกว้างขวาง ด้วยเหตุผลที่สำคัญ 2 ประการ คือราคาไม่แพงและหาได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้พบว่าแคลเซียมคลอไรด์จะก่อให้เกิดการกัด กร่อนเหล็กเสริมคอนกรีต ดังนั้นจึงหันมาสนใจสารเคมีอื่นที่ไม่มีเกลือคลอไรด์ (Chloride-Free) อันได้แก่ Calcium Formate และล่าสุดได้มีการพัฒนาสารเร่งการก่อตัวที่มีสารเคมีหลักคือ Calcuim Nitrate ขึ้นใช้อย่างแพร่หลาย สารเร่งเวลาการก่อตัว ของคอนกรีตทำหน้าที่เสมือนตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyst) ระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ผลก็คือจะเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮ-เดรชั่นก่อให้เกิดความร้อนขึ้นและกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นในเวลาอันรวดเร็ว

2.7.1.4 สารเคมีผสมคอนกรีตอื่น ๆ

1. สารลดปริมาณน้ำและยืดเวลาการก่อตัว

เป็นสารผสมเพิ่มที่ใช้มากที่สุดสำหรับงานคอนกรีตในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานคอนกรีตผสมเสร็จ

2. สารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก

มักเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า “Superplasticizer” สารผสมนี้สามารถลดปริมาณน้ำในส่วนผสมได้ 15 - 30 % ทั้งนี้เนื่องจากประจุไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการผลักดันมีแรงผลักดันมากกว่าสารผสมเพิ่มประเภทลดน้ำทั่ว ๆ ไปในปัจจุบัน สารผสมเพิ่มประเภทนี้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป เพราะการลดน้ำในปริมาณมาก ๆ ทำให้อัตราน้ำต่อซีเมนต์ต่ำส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดในช่วงต้นที่สูงมาก ทำให้สามารถถอดแบบและตัดลวด Pre-Stressedได้ในเวลารวดเร็วรวมทั้งยังสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมได้ ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารลดปริมาณน้ำจำนวนมากและยืดเวลาการก่อตัว

เป็นสารผสมเพิ่มที่พัฒนาล่าสุดเหมาะสำหรับงานคอนกรีตผสมเสร็จที่ต้องการคอนกรีตที่เหลวมาก ๆ เช่น ในงานฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ หรือ เสา คาน และชิ้นส่วน โครงสร้างที่มีเหล็กเสริมจำนวนมาก คอนกรีตที่ใส่สารผสมเพิ่มนี้จะมีค่ายุบตัว มากกว่า 15 ซม. ทำให้สามารถลื่นไหลเข้าไปในทุกซอกทุกมุมของเหล็กเสริมและไม้แบบโดยไม่ต้องทำการจี้เขย่าคอนกรีตมากนัก คอนกรีตประเภทนี้มีชื่อเรียกทั่ว ๆ ไปว่า “Flow Concrete”

2.8 การกัดกร่อนโดยกรด (Acid Attack)

2.8.1. แหล่งที่มาของกรด

กรดที่มาทำลายคอนกรีตอาจมาจากแหล่งต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1.1 จากโรงงานหรือแหล่งผลิตที่มีการใช้กรดในการผลิต หรือได้กรดเป็นผลิตผลจากการผลิต

1.2 จากระบบบำบัดน้ำเสียและท่อระบายน้ำเสียจากบ้านเรือน ซึ่งโดยระบบทางชีวภาพทำให้เกิดกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) ได้ (รายละเอียดของกลไกการเกิดกรดโดยวิธีนี้อยู่ในหัวข้อเรื่องการเสื่อมสภาพของคอนกรีตจากสาเหตุทางชีวภาพ)

- จากฝนกรด ซึ่งอาจจะมีกรด H_2SO_4 หรือ H_2CO_3 เป็นต้น

2.8.2. การต้านทานการกัดกร่อนของกรด

ในการศึกษาเกี่ยวกับการต้านทานการกัดกร่อนของกรดในจี โอพอลิเมอร์ถือว่ามีน้อยโคย การศึกษาที่ผ่านมา (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552) ได้ทำการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของวัสดุจิโอโพลิเมอร์ที่เกิดการกัดกร่อนของสารละลาย 5% H,SO, ของจีโอพอลิเมอร์เถ้าลอยผสมเถ้าแกลบแสดงในภาพที่ 2.8.1 การใช้เถ้าแกลบผสมกับเถ้าลอยที่ปริมาณเถ้าแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของเถ้าลอย ให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ากรณีการใช้เถ้าลอยล้วนที่ทุกอายุการแช่ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่างซิลิกาจากเถ้าแกลบกับแคลเซียมไฮตรอกไซต์ได้สารแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ทำให้เนื้อจีโอโพลิเบอร์แน่นขึ้น นอกจากนี้การลดลงของแคลเซียมไฮครอกไซด์ทำให้ลดการกัดกร่อนของกรดได้ ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบในส่วนผสมจีโอโพลิเมอร์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 พบว่า ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่การเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบที่ร้อยละ 60 เห็นการเปลี่ยนแปลงร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบในส่วนที่มากเกินไป ทำให้มีปริมาณซิลิกาในส่วนผสมมากปริมาณซิลิกาที่มากเกินพอเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายเบสได้โซเดียมซิลิเกต ซึ่งสามารถถูกชะด้วยกรดซัลฟูริกได้เป็นสารประกอบของกรคซาลิซิก (Silicic acid, H_4SiO_4) ออกมาใน

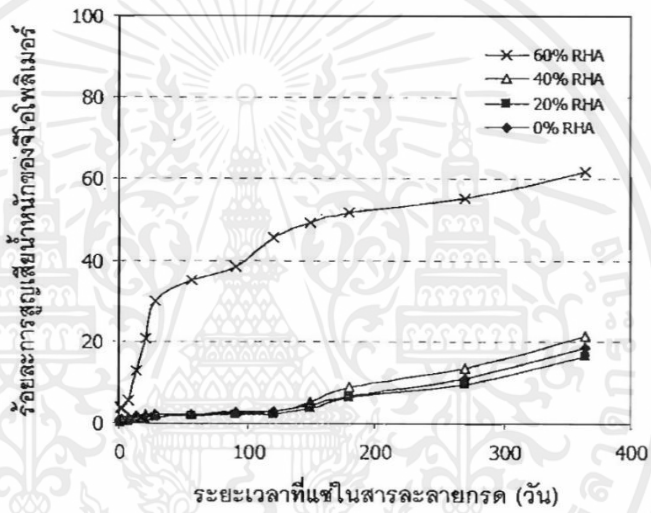
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายทำให้ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นสมการของปฏิกิริยาการชะระหว่างซิลิกากับกรดซัลฟูริกสามารถแสดงได้ดังนี้

$SiO_2+2NaOH \rightarrow Na_2O.SiO_2+H_2O$ (2.2)

$Na_2O.SiO_2+2H_2S0_4 \rightarrow H_4SiO_4+Na_2SO$ (2.3)

ดังนั้น ปริมาณการใช้เถ้าแกลบเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตจีโอโพลิเมอร์ ปริมาณเถ้าแกลบที่ใช้ผสมเถ้าลอยไม่ควรเกินร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของเถ้าลอย หากจีโอพอลิเมอร์นั้นต้องสัมผัสกับกรค เช่น บริเวณท่อน้ำ เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักได้



ภาพที่ 2.3ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของจีโอพอลิมอร์เมื่อแช่ใน 5% H_2SO_4
(อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญา จินคาประเสริฐ, 2552)

2.8.3 การกัดกร่อนเนื่องจากกรด

โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีพอสมควรแต่ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดไม่ดีนัก เพราะกอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีแคลเซียมไซดรอกไซด์สูงและเกิดการกัดกร่อนจากกรดได้ง่าย สารละลายที่มี ph ต่ำกว่า 6.5 สามารถกัดกร่อนคอนกรีตได้ ถ้า ph เท่ากับ 5.5 การกัดกร่อนอยู่ในระดับรุนแรงเมื่อ ph ต่ำกว่า 4.5 ฝนกรดที่เกิดในบริเวณโรงงานอุตสาหกรรม มักอยู่ในรูปกรดซัลฟูริกหรือกรดไบตริดและมีค่า h ระหว่าง ถึง 4 กรดเหล่านี้ทำให้ผิวหน้าขอกอนกรีตสึกกร่อนได้ อุตสาหกรรมเหมือแร่เช่น การทำเหมืองถ่านหินมักมีองค์ประกอบของกำมะถันปนอยู่ในถ่านหินในปริมาณสูง น้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งอาจมีความเป็นกรดสูงและอันตรายต่อกอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินที่มีถ่านพี่ทอาจมีชาตุเหล็กซัลไฟด์ ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะทำให้ได้กรดกำมะถันและกัดกร่อนคอนกรีตโดขตรงหรือบางกรณีเมื่อทำปฏิกิริยาต่อไปได้สารละลายซัลเฟตและสามารถกัดกร่อนคอนกรีตได้เช่นกัน

2.8.4 กระบวนการกัดกร่อนเนื่องจากกรด

การกัดกร่อนของกรดเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในซีเมนต์เพสต์ทำให้เกิดสารประกอบของแคลเซียมที่ละลาขน้ำได้ กรดกำมะถันเมื่อทำปฏิกิริยากับคอนกรีตจะให้สารประกอบของแคลเซียมซัลเฟต ทำให้ผิวสึกกร่อนหรือหลุดออกมาเป็นผงสีขาว กรดหรือเกลือที่เกิดขึ้นจากกรดเหล่านี้เมื่อแทรกซึมถึงเหล็กเสริมจะทำให้เกิดสนิม แล้วขยายตัว ทำให้เกิดแรงดึงภายใน ทำให้เกิดรอยร้าว แนะนำให้ใช้คอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูง แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดสูงต้องใช้วิชีเคลือบผิวเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของคอนกรีต

2.8.5 หลักการเลือกคอนกรีตที่อาจมีปัญหาการกัดกร่อนเนื่องจากกรด

หลักการที่สำคัญ คือการป้องกันกรดที่จะเข้าไปทำลายคอนกรีต การลดสารที่ทำลายโดยกรดได้ง่าย คือ ลดปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำได้โดยการลดปริมาณปูนซีเมนต์หรือวัสดุปอซโซลานเพื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซค์ ทำให้คอนกรีตทนทานต่อการกัดกร่อนเนื่องจากกรดได้ดีขึ้นเถ้าถ่านหินในส่วนผสมคอนรีตสามารถลดการกัดกร่อนเนื่องจากกรดซัลฟูริคได้ดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าถ่านหิน ซึ่งทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์

2.9 การกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมี

ในสภาพทั่วไป สารเคมีที่เป็นผงหรือแห้งทำอันตรายต่อคอนกรีตได้น้อยมาก ส่วนใหญ่แล้วการกัดกร่อนที่เกิดจากสารเคมีเกิดจากสารเคมีมักอยู่ในสภาพของสารละลายที่เป็นของเหลว และสารละลายต้องมีความเข้มข้นของสารพอที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต ความดันช่วยเร่งการกัดกร่อนของสารเคมีต่อคอนกรีตให้เร็วมากยิ่งขึ้น ทำให้สารละลายซึมเข้าสู่เนื้อคอนกรีตได้ง่ายและเร็ว ตารางที่ 2.7 แสดงถึงสารเคมีที่กัดกร่อนคอนกรีตที่พบได้บ่อย ๆ สารเคมีเหล่านี้มีผลต่อการกัดกร่อนมากหรือน้อย ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นด้วย เช่น อุณหภูมิ การบ่มคอนกรีต อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็นต้น องค์ประกอบซึ่งมีผลในการเร่งการกัดกร่อน ได้แก่ อุณหภูมิสูง การเพิ่มความเร็วของของสารเคมีที่กระทบต่อคอนกรีต คอนกรีตที่ไม่ได้ทำให้แน่นอย่างเต็มที่ บ่มคอนกรีตไม่ดี เกิดสภาวะการแข็งตัวและละลายสลับกันของน้ำ เกิดการกัดกร่อนเหล็กเสริมในคอนกรีต เป็นต้น ส่วนองค์ประกอบที่มีผลในการลดการกัดกร่อน ได้แก่ คอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ ใช้ชนิดของปูนซีเมนต์ให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน มีการบ่มอย่างเพียงพอ คอนกรีตมีค่าการดูดซึมน้ำและการซึมผ่านน้ำต่ำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 สารเคมีที่กัดกร่อนคอนกรีตที่พบได้บ่อย

อัตราการกัดกร่อน	กรดอนินทรีย์	กรดอินทรีย์	สสารละลายด่าง	สารละลายเกลือ	สารอื่น ๆ
เร็ว	- กรดไฮโดรคลอริก - กรดไฮโดรฟลูออริก - กรดไนเตรด - กรดกำมะถัน	- กรดอซีติก - กรดฟอร์มิด - กรดแลคติก	-	- อลูมิเนียมคลอไรด์	-
ปลานกลาง	- กรดฟอสฟอริด	- กรดแทนนิค	- โซเดียมไอดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20	- แอมโมเนี่ยมไนเตรต - แอมโมเนียซัลเฟต - โซเดียมซัลเฟต - แมกนีเซียมซัลเฟต - แคลเซียมซัลเฟต	- ก๊าซโบรมีน - ซัลไฟต์เหลว
ช้า	- กรดคาร์บอนิค	-	- โซเดียมไฮดรอกไซต์ความเข้มร้อยละ 10-20 - โซเดียมไฮโปคลอร์ไรต์	- แอมโมเนียมคลอไรด์ - แมกนีเซี่ยมคลอไรด์ - โซเดียมไซยาไนด์	- ก๊าซคลอรีน - น้ำทะเล
น้อยมาก	-	- กรดออกซาลิค - กรดทาร์ทาลิค	- โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้มร้อยละ 10 - โซเดียมไฮโปคลอไรด์ - แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	- แคลเซียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์	- แอมโมเนียมเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การกัดกร่อนเนื่องจากน้ำทะเลต่อคอนกรีต

โดยทั่วไปแล้วน้ำทะเลมีเกลือต่าง ๆ ละลายอยู่ประมาณร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก คอนกรีตที่สัมผัสกับน้ำทะเลมีการกัดกร่อนจากสารเคมีที่มีอยู่ในน้ำทะเล เช่น การกัดกร่อนจากสารละลายซัลเฟตหรือการแทรกซึมของคลอไรด์เข้าไปทำปฏิกิริยากับเหล็กจนเป็นสนิม ปัญหาการละลายและแข็งตัวของน้ำสลับกันไป การขัดสีของทรายที่มากับกระแสน้ำ ปัญหาของคอนกรีตที่อยู่ในภาวะเปียกและแห้งสลับกันซึ่งทำให้เกลือที่ค้างอยู่ในช่องว่างของคอนกรีตมีความเข้มข้นสูงขึ้นและเกิดแรงดันต่อคอนกรีตเป็นต้น ดังนั้นการสร้างคอนกรีตที่อยู่ในบริเวณน้ำทะเลจึงต้องคำนึงถึงผลกระทบเหล่านี้

2.10.1 หลักการเลือกคอนกรีตที่สร้างบริเวณทะเล

มอร์ต้าและคอนกรีตที่สัมผัสกับน้ำทะเลต้องเป็นคอนกรีตที่มีค่าการซึมผ่านน้ำต่ำ ซึ่งหมายถึงการใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ มีการทำให้แน่นและบ่มอย่างเพียงพอ ในกรณีที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กต้องมีความหนาของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่มากพอ การเกิดสนิมเหล็กเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้คอนกรีตเสริมเหล็กเสียหาย ดังนั้นการเลือกคอนกรีตที่มีค่าการซึมผ่านน้ำต่ำจึงสามารถลดความเสียหายของเหล็กจากการเป็นสนิมได้ความเสียหายและความรุนแรงของการกัดกร่อนต่อคอนรีตอาจ ไม่เท่ากับตลอดทั้งโครงสร้างของคอนกรีตบริเวณคอนกรีตที่น้ำทะเลขึ้น-ลง มีการเสียหายสูงเพราะบริเวณดังกล่าวมีการขัดสีของน้ำทะเลต่อคอนกรีตในการมีที่คอนกรีตมีรอยแตกร้าวเล็ก ๆ ซึ่งเกิดจากการหดตัวหรือขยายตัวเนื่องจากความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันจะยิ่งทำให้คอนกรีตมีความเสียหายรวดเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นการเลือกชนิดของปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมและใช้วัสดุปอซโซลาน สามารถช่วยลดผลกระทบจากซัลเฟตและคลอไรด์ในน้ำทะเลได้

2.11 การสึกกร่อน

ความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีต หมายถึง ความสามารถของผิวหน้าของคอนกรีตที่จะทนทานต่อการขัดสีหรือเสียดสีของวัสดุอื่น การสึกกร่อนที่พบอยู่บ่อย ๆ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ประเภทแรก คือ การสึกกร่อนของพื้นคอนกรีต เนื่องจากรถยนต์บรรทุกขนาดเบาหรือจากคนเดินเท้าหรือจากการลื่นไถลของวัตถุบนผิวคอนกรีต ประเภทที่ 2 เป็นการสึกกร่อนของพื้นคอนกรีตเนื่องจากรถยนต์บรรทุกขนาดใหญ่หรือพวกรถตีนตะขาบ ประเภทที่ 3 คือ การสึกกร่อนของพวกโครงสร้างกันน้ำ เช่น เขื่อน รางระบายน้ำ อุโมงค์ส่งน้ำ หรือตอม่อสะพาน ซึ่งการกัดกร่อนเหล่านี้เนื่องมาจากกระแสน้ำไหล และประเภทสุดท้ายที่การสึกกร่อนของพวกโครงสร้างกั้นน้ำในประเภทที่ 3 เกิดจากการไหลของน้ำที่มีความเร็วสูงทำให้เกิดฟองอากาศและการกัดกร่อนที่เรียกว่า caviation นอกจากนี้ยังมีการสึกกร่อนอื่นอีก เช่น ลมที่หอบเอาทรายมาปะทะกับผิวหน้าของตึกก็สามารถทำให้คอนกรีตสึกกร่อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสึกกร่อนของคอนกรีต

การศึกกร่อนของคอนกรีตขึ้นอยู่กับกำลังอัดของคอนกรีต คุณสมบัติและคุณภาพของมวลรวม วิธีการตบแต่งผิวหน้า และการบ่มคอนกรีด ผลทดสอบในสนามแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดของคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการบ่งบอกถึงความสามารทนความต้านทานการสึกกร่อน คอนกรีตที่มีกำลังสูงจะมีความต้านทานการสึกกร่อนสูง เช่น การเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตจาก 0 เมกะปาสกาลเป็น 100 เมกะปาสกาล สามารถเพิ่มความต้านทานการสึกกร่อนได้อีกร้อยละ 50 นอกจากนี้การต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตจะแปรผันกับปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต กล่าวคือ ถ้าฟองอากาศมากคอนรีตจะต้านทานการสึกกร่อนได้น้อยลง ในบางครั้งการออกแบบให้คอนกรีตมีซีเมนต์เพสต์สูง โดยกำหนดปริมาณของมวลรวมไม่ให้มากจนเกินไปซึ่งทำให้กำลังอัดคอนกรีดสูงและเพิ่มความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีต ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของคอนกรีตต่อความต้านทานการสึกกร่อน คือ หินและทรายที่ใช้ในคอนกรีตการตกแต่งผิวหน้าของคอนกรีดในเวลาที่เหมาะสมและถูกวิธีจะทำให้คุณภาพของผิวคอนกรีตดีขึ้น ซึ่งเป็นความต้านทานการสึกกร่อน เช่น คอนกรีตผิวขัดมันจะมีความแข็งสูงกว่าผิวคอนกรีตที่ไม่ได้ขัดมันและการใช้คอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ที่มีกำลังสูงเททับหน้าคอนกรีต ย่อมเพิ่มความต้านทานต่อการสึกกร่อน สิ่งสำคัญที่เพิ่มความต้านทานต่อการสึกกร่อนของคอนกรีตที่ทำได้ง่ายคือ การบ่ม

2.11.2 หลักการเลือกคอนกรีตที่มีความต้านทานการสึกกร่อนสูง

วิธีการต่อไปนี้เป็นสิ่งที่ช่วยให้คอนกรีตสามารถต้านทานต่อการสึกกร่อนได้สูงขึ้นซึ่ง ได้แก่ การเลือกกำลังของคอนกรีตที่เหมาะสม และหากต้องใช้คอนกรีตในสภาวะที่อาจมีการสึกกร่อนสูง ควรใช้กำลังอัดของคอนกรีตไม่น้อยกว่า 28 เมกะปาสกาล ซึ่งคอนกรีตเหล่านี้ควรมีลักษณะดังนี้ คือ มีค่า W/C ต่ำ มีการกระจายตัวของทรายและหินที่เหมาะสมตาม ASTM C33 30 โดยมีขนาดใหญ่สุดของหินไม่เกิน 25 มม. พยายามเลือกใช้หินที่มีความแข็งแกร่งสูง บ่มคอนกรีตให้ถูกวิธีและไม่น้อยกว่า 7 วันเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และบ่มอย่างน้อย 3 วัน กรณีใช้ปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 เลือกความข้นเหลวของคอนกรีตที่น้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ โดยที่ยังสามารถเขย่าให้แน่นได้อย่างเต็มที่ เช่น ให้ค่ายุบตัวประมาณ 5 ซม. หรือน้อยกว่า และเลือกค่ายุบตัวเพียง 2.5 ซม. เมื่อใช้เป็นตอนกรีตทับหน้าพยายามให้มีฟองอากาศในคอนกรีตให้น้อยที่สุด เช่น ในพื้นภายในอาคารซึ่งไม่มีปัญหาเรื่องการแข็งตัวและละลายของน้ำสลับกันไม่ควรให้คอบกรีตมีฟองอากาศเกินร้อยละ 3 ควรตบแต่งผิวหน้าจนกระทั่งน้ำส่วนเกินหรือน้ำจากการเยิ้มระเหยหรือหายไปหมด โดขทั่วไปควรตบแต่งผิวหน้าประมาณ 2 ชั่วโมง ภายหลังการเท ซึ่งเวลานี้มักเป็นเวลาปูนซีเมนต์เริ่มก่อตัว การใช้วิธีคูดน้ำออกโดยใช้สุญญากาศ (vacuum dewatering คือ การดูดน้ำส่วนเกินออกจากคอนกรีตภายหลังจากการเทคอนกรีตเสร็จใหม่ๆ จะทำให้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานลดลง เป็นผลให้กำลังและความต้านทานสึกกร่อนของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น แต่วิธีนี้ใช้ได้กับพื้นมากกว่าโครงสร้างอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

บทนี้กล่าวถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการเตรียมวัสดุ วิธีการทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์และวัสดุผสม การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต การทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนของกรด การทดสอบการซึงผ่านของน้ำ และการทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่น

3.1 แผนการทดสอบ

แผนการทดสอบแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

3.1.1 การทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของมวลรวม

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาส่วนผสมคอนกรีต สำหรับทำตัวอย่างทดสอบ โดยการทดสอบประกอบด้วย การหาค่าโมดูลัสความละเอียด และการหาขนาดคละของมวลรวม

3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตสด

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสด ได้แก่ การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต และการทดสอบหาค่าความยุบตัวของคอนกรีต

3.1.3 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตแข็ง

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต ได้แก่ การทดสอบหากำลังอัด การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ การทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น และการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนของกรด

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 ใช้ปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ SCG ปูนงานโครงสร้าง สูตรไฮบริคตราช้าง ของ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ผลิตตามมารตราฐาน เลขที่ มอก. 2594-2556

3.2.2 วัสดุผสม

3.2.2.1 มวลรวมละเอียด ใช้ทรายแม่น้ำตามมาตราฐาน ASTM C33

3.2.2.2 มวลรวมหยาบจากธรรมชาติ ตามมาตรฐาน ASTM C33 ขนาดโตสุด 3/8 นิ้ว

3.2.3 น้ำผสมคอนกรีต ใช้น้ำประปาซึ่งปราศจากกรดด่าง น้ำมัน และอินทรีย์สาร อื่นๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต

3.2.4 เถ้าลอย บริษัท นครหลวงคอนกรีต จำกัด

3.2.5 ไมโครซิลิก้า ผลิตโดย บริษัท Elkem มาตรฐาน ASTM C 1240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 สารลดน้ำชนิด PCE (ADVA Cast 2727 TH) มาตรฐาน ASTM C 494 ประเภท F

3.2.7 กรดไฮโดคลอริก (HCL) เข้มข้นร้อยละ 5 ใช้ทดสอบการต้านทานกรดของคอนกรีต

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.1 เครื่องชั่ง

3.3.1.1 สำหรับมวลรวมละเอียด ใช้เครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม หรือ 0.1% ของน้ำหนักที่ใช้ทดสอบโดยค่าที่ละเอียดเป็นเกณฑ์

3.3.1.2 สำหรับมวลรวมหยาบ ใช้เครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.5 กรัม หรือ 0.1% ของน้ำหนักที่ใช้ในทดสอบโดยค่าที่ละเอียดเป็นเกณฑ์

3.3.1.3 เครื่องชั่งสำหรับหามวลรวมในน้ำ (Wire basket) พร้อมตะแกรงเบอร์ 4

3.3.2 ตะแกรงร่อนทรายและหินพร้อมเครื่องเขย่าตามมาตรฐาน ASTM C136 ขนาด 1”, 3/4", 3/8”, เบอร์ 4, 8, 16, 30, 50, 100 และถาดรอง

3.3.3 เครื่องอบ ที่สามารถควบคุมอุณภูมิได้ที่ 110 +/- 5 องศาเซลเซียส

3.3.4 กรวยปลายตัด (Sand Absorption Cone) สำหรับการทดสอบสภาพอิ่มตัวของทรายพร้อมเหล็กกระทุ้ง เส้นผ่านศูนย์กลาง 25+/- 3 มิลิเมตร

3.3.5 กรวยหัวตัด (Slump Mold) สำหรับค่าการการยุบตัวของคอนกรีตตามาตรฐาน ASTM C143และแท่งเหล็กกระทุ้ง (Tamping Rod) เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาว 60 ซม. ปลายกลมมน

3.3.6 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาดบรรจุ 500 ลูกบาศเซ็นติเมตร

3.3.7 แบบหล่อชิ้นตัวอย่างคอนกรีต รูปทรงกระบอก ขนาด 10x20 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C39 พร้อมเหล็กกระทุ้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร ปลายกลมมน

3.3.8 เครื่องผสมคอนกรีต (Concrete Mixer) ขนาด 120 ลิตร

3.3.9 เครื่องทดสอบกำลังอัด (Compressive Strength) อัตราการกดตามมาตรฐาน ASTM C39

3.3.10 เครื่องกดแท่งทดสอบ (Penetration Resistance Apparatus) มีขนาดหัวกด ตั้งแต่ 1, 1/2,1/4, 1/10, 1/20, และ 1/40 ตารางนิ้ว

3.3.11 ชุดแผ่นสเตรนเกจพร้อมสาย ยี่ห้อ KYOWA Type KC-60-120-A1-11L1M2R

3.3.12 เครื่องทดสอบค่า MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE

3.4 ส่วนผสมคอนกรีตและวิธีการทำตัวอย่างคอนกรีตทดสอบ

ส่วนผสมของคอนกรีตที่ได้จากการคำนวณ ตามวิธีของ ACI มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.33 แสดงดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของคอนกรีต 1 ลบ.ม. โดยน้ำหนัก (W/C=0.33)

ส่วนผสมของคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)							
MIX	ซีเมนต์	หิน	ทราย	ไมโครซิลิก้า	เถ้าลอย	น้ำ	น้ำยา PCE
control	450	969.8	718.35	0	0	157.5	5.4
1	427.5	965.5	715.18	22.5	0	157.5	5.4
2	405	961.2	712.02	45	0	157.5	5.4
3	360	951.5	704.79	22.5	67.5	157.5	5.4

ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ เป็นรูปทรงกระบอก ขนาด 10x20 เซนติเมตร มาตรฐาน ASTM C 39 ทำโดยผสมคอนกรีตเทลงในแบบหล่อโดยแบ่งเป็นจำนวน 3 ชั้น ชั้นละเท่าๆ กัน แต่ละชั้นกระทุ้งด้วยเหล็กปลายมน แต่ละชั้นตำ 25 ที และชั้นสุดท้ายปาดผิวหน้าให้เรียบ เมื่อหล่อเรียบร้อยแล้ว ให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก แล้วนำไปบ่มชื้นตามวิธีการทดสอบดังตารางที่ 3.2 จนกระทั้งคอนกรีตมีอายุครบกำหนด จึงนำแท่งตัวอย่างไปทดสอบ

ตารางที่ 3.2 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบในสภาพการบ่มชื้นด้วยน้ำ

MIX	ระยะเวลาและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ			
	1 วัน	บ่มชื้น 7 วัน	บ่มชื้น 14 วัน	บ่มชื้น 28 วัน
control	3	3	3	3
1	3	3	3	3
2	3	3	3	3
3	3	3	3	3

3.5 รายละเอียดวิธีการทดสอบ

3.5.1 การทดสอบคุณสมบัติมวลรวม

3.5.1.1 ทดสอบหาขนาดของทราย (Sieve Analysis of Sand) โดยใช้วิธีการหาขนาดของทราย โดยสุ่มตัวอย่างที่ต้องการทดสอบโดยแบ่งสี่ โดยเพื่อให้น้ำหนักทรายหลังอบประมาณ 3 0 0 กรัม นำตัวอย่างไปอบที่อุณภูมิ 110 +/- 5 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักทรายหลังอบประมาณ 300 กรัม นำตะแกรง ขนาด 3/8” เบอร์ 4 เบอร์ 8 เบอร์ 16 เบอร์ 30 เบอร์ 50 เบอร์ 100 และถาดรองมาวางซ้อนกันเป็นชุดบนเครื่องเขย่า โดยให้ตะแกรงขนาดใหญ่สุดอยู่ด้านบนรียงไล่ลงมาชั้นสุดท้ายเป็นถาดรอง เททรายบนตะแกรงชั้นบนสุด ปิดฝาให้แน่นแล้วนำเข้าเครื่องเขย่า(ประมาณ 10-15 นาที) ชั่งน้ำหนักทรายที่ค้างอยู่บนแต่ละตะแกรง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าโมดูลัสความละเอียด ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน ASTM C 136 ผลการทดสอบแสดงไว้ตามตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมละเอียด

รูปที่ 3.1 อบตัวอย่างที่อุณภูมิ 110 +/- 5 องศาเซลเซียส

3.5.1.2 ทดสอบหาขนาดของหิน (Sieve Analysis of Coarse Aggregate) โดยใช้วิธีการหาขนาดของหิน โดยสุ่มตัวอย่างที่ต้องการทดสอบโดยแบ่งสี่ นำตัวอย่างไปอบที่อุณภูมิ 110 +/- 5 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนัก นำหินใส่ลงบนตะแกรงที่อยู่ชั้นบนสุด เขย่าจนหินที่ค้างบนตะแกรงไม่ผ่านลงไปยังตะแกรงชั้นถัดไป ชั่งน้ำหนักหินที่ค้างอยู่บนแต่ละตะแกรง ตามมาตรฐาน ASTM C 136 ผลการทดสอบแสดงไว้ตามตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 กราฟแสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมหยาบ

รูปที่ 3.2 นำตัวอย่างเข้าเครื่องเขย่า(ประมาณ 10-15 นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1.3 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของทราย (Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate) ตามมาตราฐาน ASTM C 128 โดยชั่งน้ำหนักทราย ตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งประมาณ 500 +/- 10 กรัม บันทึกน้ำหนักเททรายลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) และเติมน้ำลงไปประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เอียงขวด 45 องศาเซลเซียส กลิ้งบนผ้าจนกว่าฟองอากาศออกหมด (Air Bubbles) ใช้น้ำฉีดล้างทรายที่คอขวดด้านในแล้วเติมน้ำจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ นำไปชั่งน้ำหนักบันทึกเป็นค่า C เททรายใส่ถาดนำเข้าตู้อบ อบจนน้ำหนักทรายคงที่ ที่อุณภูมิ 110 +/- 5 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ที่อุณภูมิห้องเป็นเวลา 1 +/- 1/2 ชั่วโมง แล้วนำไปน้ำหนักบันทึกเป็นค่า A เติมน้ำใส่ขวดทดลองจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้แล้วชั่งน้ำหนักจะได้ค่า B ผลการทดสอบแสดงไว้ตามตารางที่ 4.3

รูปที่ 3.3 แช่ตัวอย่างทดสอบให้อิ่มตัว

3.5.1.4 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของหิน (Specific Gravity and Absorption of Coase Aggregate) ตามมาตราฐาน ASTM C 127 โดยนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำและเช็ดผิวให้แห้ง (Saturated Surface Dry) นำมาชั่งน้ำหนักจะได้ค่า B ชั่งน้ำหนักของตะกร้าในน้ำและชั่งน้ำหนักของตะกร้าพร้อมตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งในน้ำ โดยควบคุมอุณภูมิของน้ำที่ระดับ 23 +/- 1.7 องศาเซลเซียสผลต่างของน้ำหนักทั้งสองค่า คือ น้ำหนักของตัวอย่างในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในน้ำ แล้วบันทึกเป็นค่า C อบตัวอย่างจนน้ำหนักคงที่ ที่อุณภูมิ 110 +/- 5 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้ตัวอย่างเย็นลงที่อุณภูมิห้อง(จนอุณภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส) แล้วนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก คือน้ำหนักของตัวอย่างในสภาพอบแห้งบันทึก เป็นค่า A ผลการทดสอบแสดงไว้ตามตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 ชั่งน้ำหนักสภาพอิ่มตัวผิวแห้งในน้ำ

3.5.2 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสด

3.5.2.1 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 403 โดยนำคอนกรีตที่ผสมมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ได้มอร์ต้า เทลงในแบบลูกบาศก์ที่เตรียมไว้ โดยให้ความสูงต่ำกว่าขอบแบบประมาณครึ่งซม. ใช้เหล็กกระทุ้ง 35 ครั้ง หลังจากนั้นใช้ค้อนยางเคาะด้านข้างเบาๆเพื่อไล่ฟองอากาศ วางทิ้งไว้เมื่อมีน้ำลอยขึ้นมาแล้วพยายามซับน้ำออก เริ่มกดทดสอบเข็มแรก (ประมาณ 3-4 ชั่วโมงหลังจากผสมคอนกรีต) ใช้เข็มขนาด 1 ตารางนิ้ว กดลงในเนื้อมอร์ต้าร์ด้วยอัตราค่อนข้างคงที่เป็นระยะ 1 นิ้ว ในเวลา 10-12 วินาที จดค่าที่ขึ้นบนสเกล เวลาตั้งแต่เริ่มจนถึงเวลากดและขนาดหัวกด หัวกดมีตั้งแต่ขนาดพื้นที่ 1, 1/2, 1/4, 1/20, และ1/40 ตารางนิ้วโดยในช่วงแรกจะใช้หัวกดขนาดใหญ่แล้วลดลงเรื่อย ๆ ทำการทดสอบเป็นระยะ จนกระทั้งได้หน่อยแรงต้านทานการกดของแท่งทดสอบ มีค่ามากกว่า 4000 psi จึงหยุดการทดสอบได้ผลการทดสอบแสดงไว้ตามตารางที่ 4.5 ถึงตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.3 ถึง รูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

รูปที่ 3.6 จดบันทึกค่าน้ำหนักที่ขึ้นบนสเกล

3.5.2.2 การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีตโดยใช้โมลรูปทรงกรวยตัดเส้นผ่านศูนย์กลางบน 10 เซนติเมตร ด้านล่าง 20 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ใส่คอนกรีตลงในโมลโดยแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นให้ปริมาตรเท่าๆ กัน กระทุ้งด้วยเหล็กปลายมนชั้นละ 25 ครั้ง จากนั้นดึงโมลขึ้นตรงแล้ววางโมลลงข้างๆ วัดค่ายุบตัวที่กึ่งกลางของคอนกรีตที่ยุบตัว

รูปที่ 3.7 กระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง

รูปที่ 3.8 วัดค่ายุบตัวของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตแข็ง

3.5.3.1 การทดสอบหาค่ากำลังอัดคอนกรีต นำแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่อายุครบ 1,7,14 และ 28 วัน ไปทดสอบแรงอัดประลัย ตามมาตรฐาน ASTM C 39 โดยนำแท่งตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่มชื้น ทิ้งไว้ให้แห้งชั่งน้ำหนักทำการ CAP หัวก้อนตัวอย่างด้วยกำมะถันก่อนวัดขนาด จดบันทึกค่า แล้วนำไปทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต โดยนำก้อนตัวอย่าง วางกึ่งกลางของแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด เปิดเครื่องทดสอบโดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตรา กดก้อนตัวอย่างจนแตกบันทึกค่าที่ได้ ตัวอย่างคอนกรีตแบบละ 3 แท่งตัวอย่างทดสอบ บันทึกค่าและคำนวณหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดผลการทดสอบแสดงไว้ตามตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

รูปที่ 3.9 CAP หัวก้อนตัวอย่างด้วยกำมะถัน

รูปที่ 3.10 การทดสอบหาค่ากำลังอัดคอนกรีต

3.5.3.2 การทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ทดสอบโดยนำแท่งตัวอย่างคอนกรีตบ่มชื้นด้วยน้ำจนมีอายุได้ 28 วัน นำขึ้นมาทิ้งให้แห้งที่อุณภูมิห้อง 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักบันทึกค่าของตัวอย่างคอนกรีต นำกระดาษทรายเบอร์ 100 และ เบอร์ 1000 มาขัดบริเวณที่จะแผ่นสเตรนเกจด้านแกน X และ Y ให้เรียบเสมอกัน นำแผ่นสเตรนเกรดติดด้านแกน X และ Y ด้วยกาวร้อน ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง น้ำเข้าเครื่องกดทดสอบหาค่าโมดูลัสยืด ใช้ตัวอย่างคอนกรีตแบบละ 3 แท่งตัวอย่างทดสอบ บันทึกค่าและคำนวณผลการทดสอบแสดงไว้ตามตาราง 4.10 ถึงตารางที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 ชุดอุปกรณ์การทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่น

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างคอนกรีตหลังได้โมดูลัสสูงสุด

3.5.3.3 การทดสอบหาค่าการซึมผ่านของน้ำ ทดสอบโดยนำแท่งตัวอย่างคอนกรีตบ่มไว้ในอุณภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน นำมาชั่งน้ำหนักจดบันทึกค่า และนำไปบ่มชื้นต่อด้วยน้ำจนมีอายุได้ 7 วัน นำขึ้นมาทำความสะอาดเช็ดผิวให้แห้ง ทำการชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า นำไปบ่มชื้นต่อด้วยน้ำจนมีอายุได้ 14 วัน นำขึ้นมาทำความสะอาดเช็ดผิวให้แห้ง ทำการชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า นำไปบ่มชื้นต่อด้วยน้ำจนมีอายุได้ 28 วัน นำขึ้นมาทำความสะอาดเช็ดผิวให้แห้ง ทำการชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า โดยการทดสอบใช้ตัวอย่างคอนกรีตแบบละ 3 แท่งตัวอย่างทดสอบบันทึกค่าและคำนวณผลการทดสอบแสดงไว้ตามตาราง 4.14 และรูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีต

รูปที่ 3.13 ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3.4 การทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนต่อกรด ทดสอบโดยการนำแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มที่อุณภูมิห้องจนมีอายุได้ 14 วัน ทำการชั่งน้ำหนักบันทึกค่าของตัวอย่างคอนกรีต แล้วนำไปบ่มชื้นต่อโดยการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นระยะเวลา 28 วัน เมื่อได้ระยะเวลาตามที่กำหนดแล้ว นำขึ้นมาความสะอาดและเช็ดผิวให้แห้ง ทำการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวอย่างคอนกรีต โดยการทดสอบใช้ตัวอย่างคอนกรีตแบบละ 3 แท่งตัวอย่างทดสอบ บันทึกค่าและคำนวณผลการทดสอบแสดงไว้ตามตารางที่ 4.15 ถึงตารางที่ 4.18

รูปที่ 3.14 การบ่มชื้นด้วยกรด

รูปที่ 3.15 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตหลังแช่กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบคอนกรีต และการศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างคอตกรีตที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนของสารละลายไฮโดรคลอริกได้ดีที่สุด การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตใช้วิธีทดสอบแบบทำลาย โดยออกแบบให้ส่วนผสมคอนกรีตให้มีกำลังอัดประลัยมากกว่า 357 กก/ตร.ซม. หรือ 35 Mpa และมีอันตาส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.33 โดยความสามารถเทได้วัดจากค่าการยุบตัวของคอนกรีต มีค่าประมาณ 15 เซนติเมตร เมื่อทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตแล้ว นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลในด้านของกำลังและการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการกัดกร่อนของกรด

4.1 การทดสอบหาขนาดคละของมวลรวม

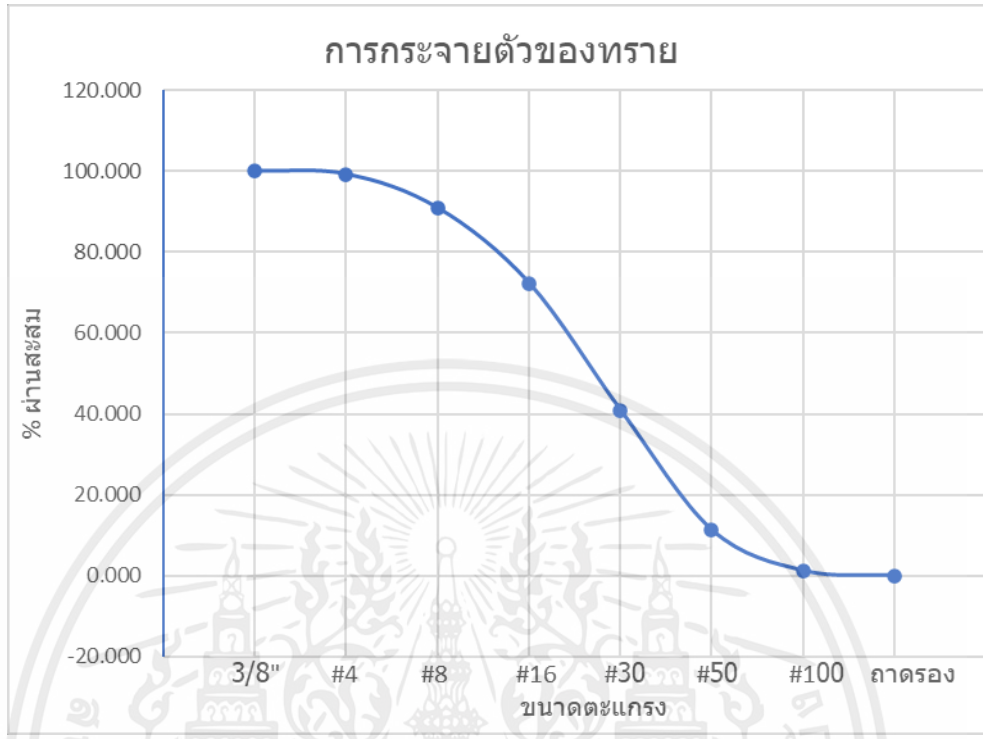
มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบที่ใช้ในการทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM C 136 มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมละเอียด

ขนาดตะแกรง (นิ้ว)	ตะแกรงหนัก (kg)	น้ำหนักค้าง (kg)		% มวลรวมค้าง		% ผ่านสะสม
		ตะแกรง+ทราย	ทราย	% ค้างแต่ละตะแกรง	% ค้างสะสม	
3/8"	0.778	0.778	0.000	0.000	0.000	100.000
#4	0.754	0.758	0.004	0.800	0.800	99.200
#8	0.704	0.746	0.042	8.400	9.200	90.800
#16	0.613	0.706	0.093	18.600	27.800	72.200
#30	0.587	0.744	0.157	31.400	59.200	40.800
#50	0.576	0.724	0.148	29.600	88.800	11.200
#100	0.516	0.566	0.050	10.000	98.800	1.200
ถาดรอง	0.501	0.507	0.006	1.200	100.000	0.000
		รวม	0.500	F.M.	2.846	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมละเอียด

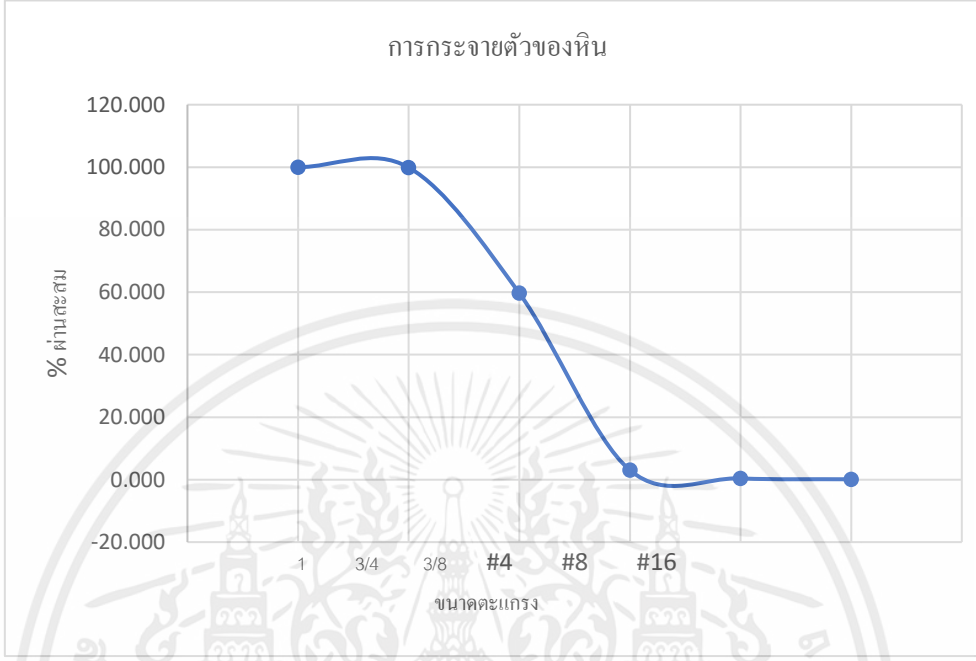


ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมหยาบ

ขนาดตะแกรง (นิ้ว)	ตะแกรงหนัก (kg)	น้ำหนักค้าง (kg)		% มวลรวมค้าง		% ผ่านสะสม
		ตะแกรง+หิน	หิน	% ค้างแต่ละตะแกรง	% ค้างสะสม	
1"	0.821	0.821	0.000	0.000	0.000	100.000
3/4"	0.823	0.828	0.005	0.100	0.100	99.900
3/8"	0.777	2.788	2.011	40.220	40.320	59.680
#4	0.474	3.307	2.833	56.660	96.980	3.020
#8	0.692	0.823	0.131	2.620	99.600	0.400
#16	0.639	0.653	0.014	0.280	99.880	0.120
#30	0.587	0.587	0.000	0.000	99.880	0.120
#50	0.576	0.576	0.000	0.000	99.880	0.120
#100	0.516	0.516	0.000	0.000	99.880	0.120
ถาดรอง	0.478	0.484	0.006	0.120	100.000	0.000
		รวม	5.000	F.M.	7.365	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมหยาบ



4.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของทรายและหิน ตามมาตรฐาน ASTM C 127 และ 128 ค่าการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด

การทดสอบ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ
น้ำหนักขวดวัดปริมาตร+น้ำ (กรัม) B	670
น้ำหนักขวดวัดปริมาตร+น้ำ+ทราย (กรัม) C	968
น้ำหนักทราย (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง; กรัม) S	500
น้ำหนักทราย (สภาพแห้ง; กรัม) A	492
ค่าความถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง	2.436
ค่าความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง	2.475
ค่าความถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง	2.52
ค่าการดูดซึม	1.63%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ

การทดสอบ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ
น้ำหนักหินที่ชั่งในอากาศ (กรัม) S	2000
น้ำหนักหินที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้งชั่งในอากาศ (กรัม) B	2002
น้ำหนักหินที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้งชั่งในน้ำ (กรัม) C	1167
น้ำหนักหินที่สภาพแห้งชั่งในอากาศ (กรัม) A	1981
ค่าความถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง	2.372
ค่าความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง	2.398
ค่าความถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง	2.43
ค่าการดูดซึม	1.06%

4.3 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

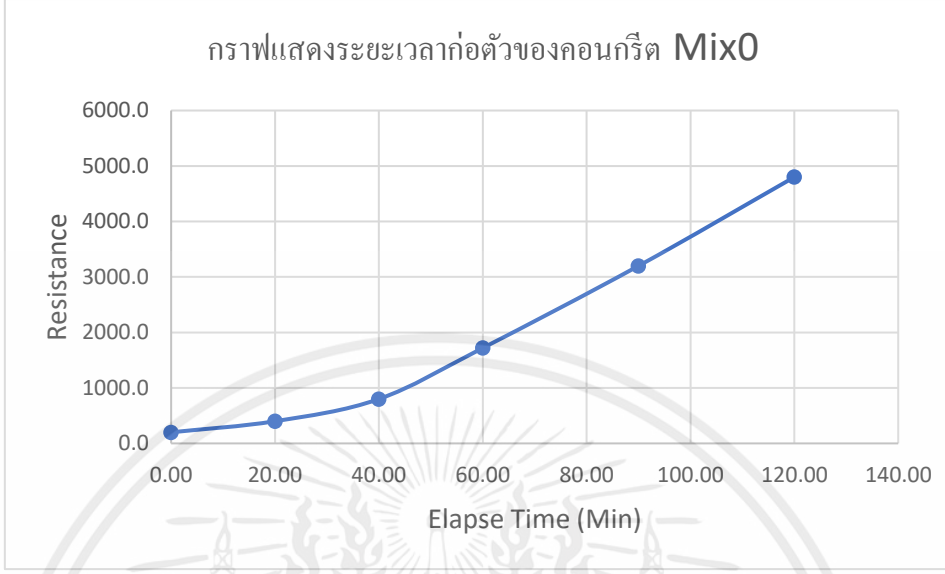
จากการทดสอบหาค่าเวลาการก่อตัวของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C403 ค่าการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ตารางที่ 4.6 ตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 ค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 0

Mix 0				
Time	Elapse Time	Needle Area	Force	Avg.Resistance
start	13.08			
13.08	0.00	1.000	200.0	200.0
13.28	20.00	0.500	200.0	400.0
13.48	40.00	0.250	200.0	800.0
14.08	60.00	0.100	172.0	1720.0
14.38	90.00	0.050	160.0	3200.0
15.28	120.00	0.025	120.0	4800.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 0

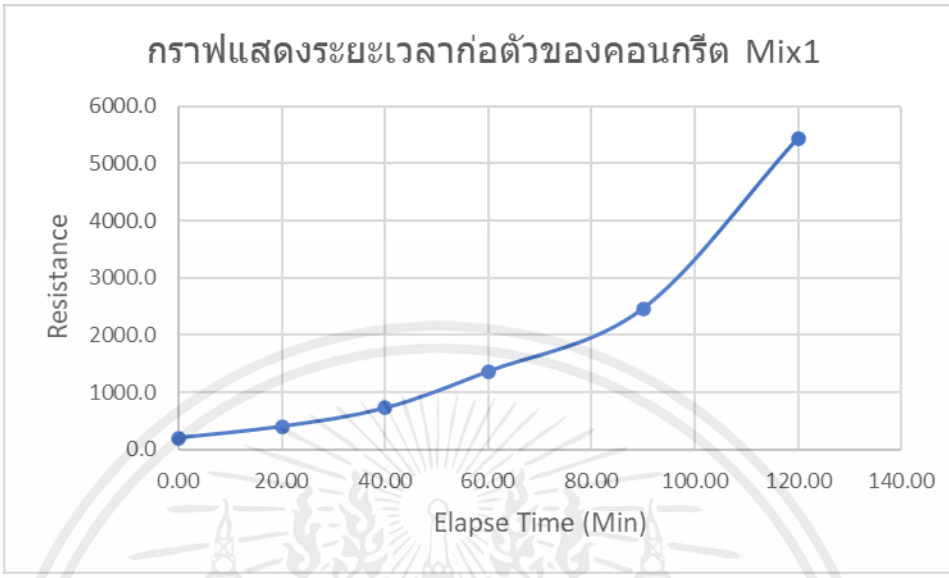


ตารางที่ 4.6 ค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 1

Mix 1				
Time	Elapse Time	Needle Area	Force	Avg.Resistance
start	13.23			
13.23	0.00	1.000	200.0	200.0
13.43	20.00	0.500	200.0	400.0
14.03	40.00	0.250	180.0	720.0
14.23	60.00	0.100	136.0	1360.0
14.53	90.00	0.050	123.0	2460.0
15.43	120.00	0.025	136.0	5440.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 1

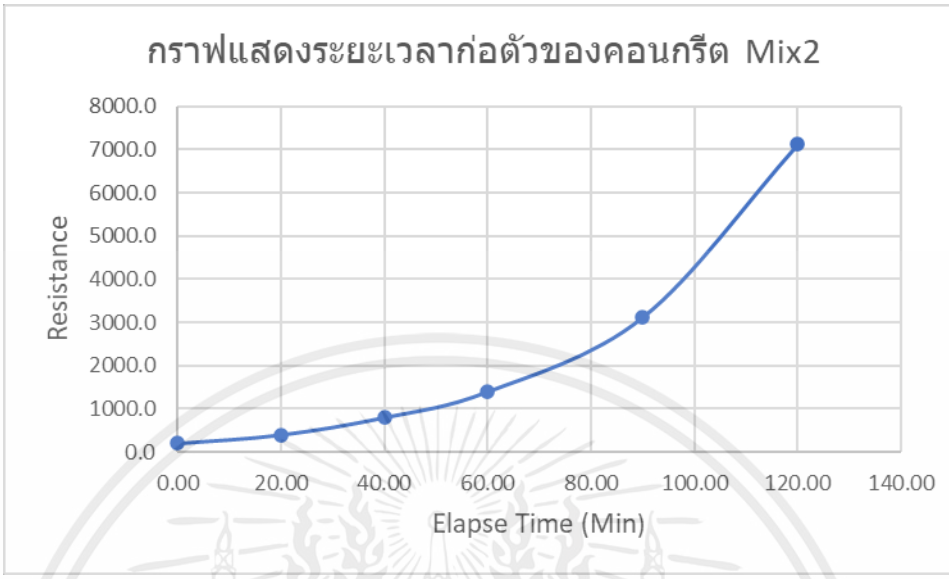


ตารางที่ 4.7 ค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 2

Mix 2				
Time	Elapse Time	Needle Area	Force	Avg.Resistance
start	13.47			
13.47	0.00	1.000	200.0	200.0
14.07	20.00	0.500	200.0	400.0
14.27	40.00	0.250	200.0	800.0
14.47	60.00	0.100	140.0	1400.0
15.17	90.00	0.050	156.0	3120.0
15.47	120.00	0.025	178.0	7120.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 2

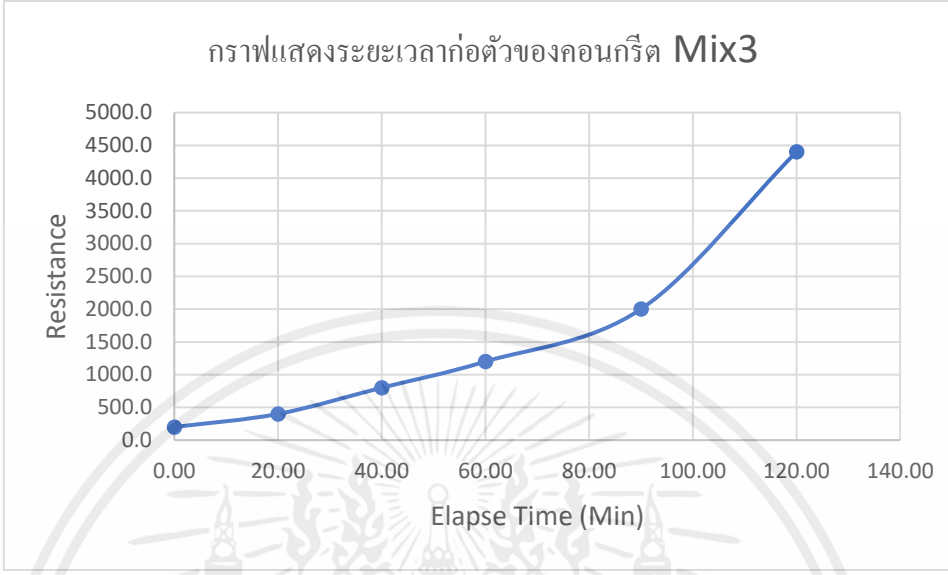


ตารางที่ 4.8 ค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 3

Mix 3				
Time	Elapse Time	Needle Area	Force	Avg.Resistance
start	14.17			
14.17	0.00	1.000	200.0	200.0
14.37	20.00	0.500	200.0	400.0
14.57	40.00	0.250	200.0	800.0
15.17	60.00	0.100	120.0	1200.0
15.47	90.00	0.050	100.0	2000.0
16.17	120.00	0.025	110.0	4400.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต Mix 3



4.4 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

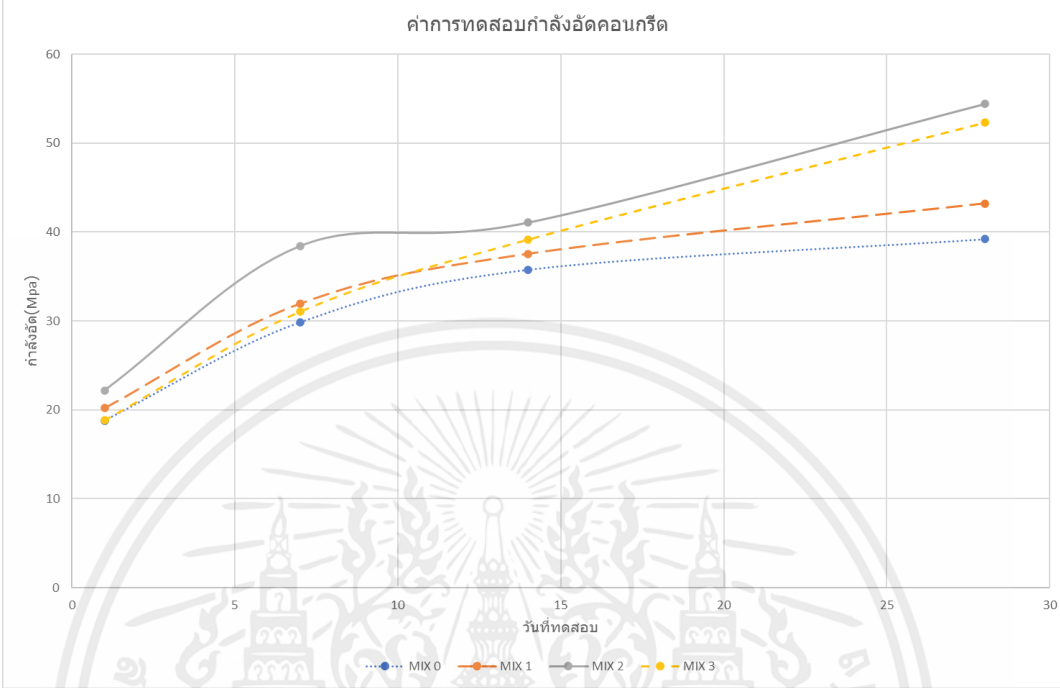
จากการทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM C39 โดยที่ใช้คอนกรีตตามสูตร Mix ที่คิดค้นขึ้นมา ค่าการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

Mix	W/C	ค่ากำลังอัดเฉลี่ย (Mpa)			
		1 วัน	บ่มชื้น 7 วัน	บ่มชื้น 14 วัน	บ่มชื้น 28 วัน
control	0.33	18.77	29.84	35.76	39.20
1	0.33	20.19	31.95	37.56	43.22
2	0.33	22.18	38.43	41.07	54.41
3	0.33	18.82	31.05	39.17	52.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต



4.5 การทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (ค่า E)

จากการทดสอบหาค่า E หรือค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต ยิ่งค่า E มาก แสดงว่าความยืดหยุ่นมาก ทำให้คอนกรีตมีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น ค่าการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ตารางที่ 4.11ตารางที่ 4.12 และตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.10 ค่าการทดสอบการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น สูตร control

ตัวอย่างที่	X	Y
1	2316.860	2340.101
2	2105.973	2134.264

ตารางที่ 4.11 ค่าการทดสอบการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น สูตร Mix 1

ตัวอย่างที่	X	Y
1	2317.352	2344.412
2	2605.222	-2626.577

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ค่าการทดสอบการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น สูตร Mix 2

ตัวอย่างที่	X	Y
1	4881.460	4849.492
2	4794.069	4761.839

ตารางที่ 4.13 ค่าการทดสอบการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น สูตร Mix 3

ตัวอย่างที่	X	Y
1	2929.614	-2978.000
2	2836.271	2771.672

4.6 การทดสอบ Absorption

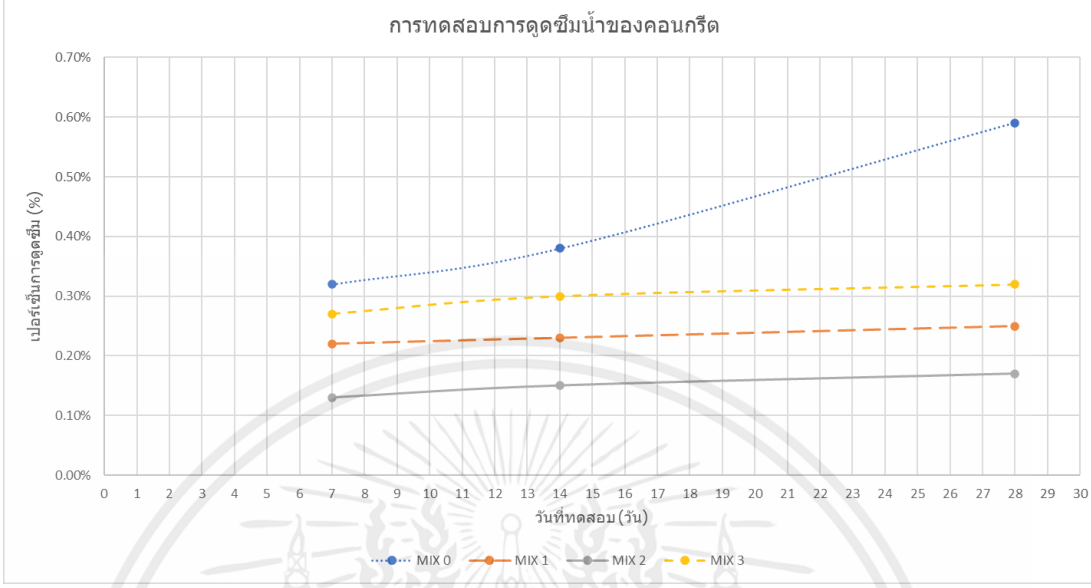
จากการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตทรงกระบอก คือ การที่น้ำถูกดูดซึมเข้าไปจนเต็มช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้ ค่าการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีต

Mix	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นการดูดซึม		
		7 วัน	14 วัน	28 วัน
control	3.708	0.32%	0.38%	0.59%
Mix 1	3.712	0.22%	0.23%	0.25%
Mix 2	3.705	0.13%	0.15%	0.17%
Mix 3	3.700	0.27%	0.30%	0.32%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีต



4.7 การทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน

จากการทดสอบหาค่าการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีต เมื่อแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5% แสดงในตารางที่ 4.15 ตารางที่ 4.16 ตารางที่ 4.17 และตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.15 ค่าการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน สูตร control

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนทดสอบ	น้ำหนักหลังทดสอบ	คิดเป็น %
1	3.687	3.602	8.50
2	3.686	3.597	8.90
3	3.658	3.585	7.30

ตารางที่ 4.16 ค่าการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน สูตร Mix 1

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนทดสอบ	น้ำหนักหลังทดสอบ	คิดเป็น %
1	3.701	3.631	7.00
2	3.702	3.636	6.60
3	3.702	3.628	7.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ค่าการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน สูตร Mix 2

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนทดสอบ	น้ำหนักหลังทดสอบ	คิดเป็น %
1	3.713	3.653	6.00
2	3.707	3.650	5.70
3	3.649	3.592	5.70

ตารางที่ 4.18 ค่าการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน สูตร Mix 3

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนทดสอบ	น้ำหนักหลังทดสอบ	คิดเป็น %
1	3.683	3.619	6.40
2	3.707	3.636	7.10
3	3.700	3.633	6.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงผลสรุปที่ได้จากการศึกษากำลังอัดของคอนกรีต และคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อใช้ในงานท่อระบายน้ำที่มีการทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดไฮโดรคลอริก

5.1 สรุปผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

5.1.1) สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตในการรับแรงอัดในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สูตรที่มีไมโครซิลิกา 45 กก/ม.^{3} โดยสัดส่วนนี้มีกำลังอัด และความสามารถในการเทได้ ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งาน กำลังอัดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 54.41 เมกะปาสคาล ที่อายุ 28 วัน

5.1.2) การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีต ได้ค่าความยืดหยุ่นของคอนกรีตเมื่ออยู่ภายใต้แรงอัดและแรงดัด พบว่าความยืดหยุ่นของคอนกรีตภายใต้แรงอัดนั้น คอนกรีตนี้รับกำลังอัดอยู่ที่ 54.41 เมกะปาสคาล มีค่าความยืดหยุ่นของคอนกรีตในแกน X = 4881.460 Y = 4849.492 ที่คอนกรีตอายุ 28 วัน

5.1.3) การศึกษาผลกระทบของคอนกรีต เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดสูง พบว่าสูตร MIX 2 ดีที่สุด โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยก่อนแช่กรด 3.690 กก. และมีน้ำหนักเฉลี่ยหลังแช่กรด 3.632 กก. น้ำหนักที่หายไปคิดเป็น 5.8% ซึ่งมีการกัดกร่อนน้อยกว่าทุกสูตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

- จากการทดสอบหาคุณสมบัติของคอนกรีต สรุปได้ว่า การใช้คอนกรีตสูตร MIX 2 อาจจะไม่ดีเท่ากับการใช้พอลิเมอร์คอนกรีตเรื่องการรับกำลังอัด การทนต่อการกัดกร่อน แต่สามารถทดแทนได้ในเรื่องของราคาที่มีราคาถูกกว่าใช้พอลิเมอร์คอนกรีตและสามารถหาซื้อวัสดุได้ง่ายกว่า

- จากการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) เป็นกรดแก่ที่พบได้ตามธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีกรดไนตริก (กรดดินประสิว) และกรดซัลฟิวริก (กรดกำมะถัน) ที่สามารถพบได้ในดิน ที่เลือกใช้กรดไฮโดรคลอริก เพราะว่ามีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม และเกิดอันตรายได้น้อยที่สุด ส่วนกรดไนตริก และกรดซัลฟิวริก เป็นกรดที่มีอันตรายสูง หากสัมผัสอาจเกิดแผลไหม้ขั้นรุนแรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

American Society of Civil Engineers, Cement Lime Gypsum (ASCE0401). The American Society of Civil Engineers, USA:2002

American Society of Civil Engineers, Concrete and Aggregates (ASCE0402). The American Society of Civil Engineers, USA: 2002.

จตุพล ตั้งปกาศิต และนฤชาติ ชูเมือง. (2558). **การด้านทานซัลเฟตของคอนกรีตผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต.** วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

เจต นาจารย์. (2558). **การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ชัชวาล เศรษฐบุตร.(2537).**คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology).**คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้างจำกัด.

ปริญญา คูณมี. (2556). **การใช้ตะกรันเหล็กเป็นส่วนผสมในการผลิตกอนกรีต : การวิเคราะห์ทางสถิติ** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมอุตสาหการ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.

ปิติศานต์ กร่ำมาตร. (2553). **คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเล้าลอยและผงหินปูน.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ผศ.ดร.สำเริง รักซ้อน และ ศ.ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2557**). ทฤษฎีและการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี.** แองเกิ้ลออฟไซ. พิมพ์ครั้งที่ 5.

วินิต ช่อวิเชียร. (2525). **คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology).** ป.สัมพันธ์พาณิชย์

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2556. **ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต.** สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สดท.). พิมพ์ครั้งที่ 7.

สมภพ สุวรรณกวิน. (2539). **ผลกระทบของซิลิกาฟมในปฏิกิริยาปอซโซลานิกที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีดสมรรถนะสูง.** วิทยาบิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมหมาย แสวงกิจ. (2538). **การใช้เถ้าถ่านหินในการต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีต.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทกโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สัญญา ธิรางกูรรัตน์. (2544). **การกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกต่อคอนกรีตและมอร์ต้าผสมวัสดุปอซโซลาน.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมโยธา). หาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.

สำเริง รักซ้อน และ ธง ลานธารทอง. (2556. **นวัตกรรมคอนกรีตต้นทุนต่ำไหลเข้าแบบง่ายโดยการใช้เถ้าทิ้ง.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร.

สุภิชาติ เจนจิระปัญญา และ ปิติศานต์ กร่ำมาตร. (2557). **การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุประสานที่**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ใช้วัสดุกากอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

ASTM C127. (2005). **Standard Test Method for Specific Gravity and Apsorption of CoarseAggregates.**

ASTM C128. (2001). **Standard Test Method for Specific Gravity and Apsorption of FineAggregates.**

ASTM C136. (2005) . **Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.**

ASTM C138. (2017) . **Standard Test Method for Density (Unit Weight)**, Yield, and AirContent (Gravimetric) of Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C143. (2005). **Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.**

ASTM C150. (2017). **Standard Specification for Portland Cement**. ASTM International, WestConshohocken, PA.

ASTM C33. (2005). Standard Specification Concrete Aggregates.

ASTM C39. (2005) . **Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.**

ASTM C494. (2004). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.

BS 1881-108. (1983) . **Testing Concrete Part 108. Method for Making Cubes from Fresh Concrete.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ภาพประกอบก่อน และหลังการทดสอบการกัดกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MIX Control ก่อนแช่กรด HCL MIX Control หลังแช่กรด HCL

ภาคผนวกที่ ก1 เปรียบเทียบตัวอย่างคอนกรีตก่อนและหลังการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน

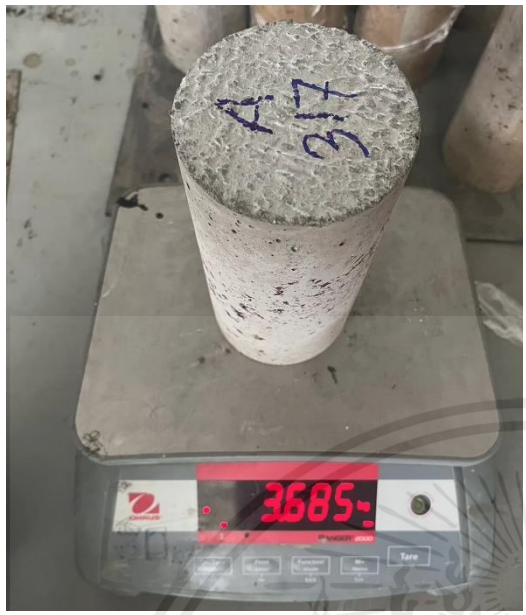
ลักษณะการกัดกร่อน คือ ผิวของคอนกรีตเป็นรูพรุนทั่วทั้งแท่งคอนกรีต มีน้ำหนักที่หายคิดเป็น 8.2%

MIX 1 ก่อนแช่กรด HCL MIX 1 หลังแช่กรด HCL

ภาคผนวกที่ ก2 เปรียบเทียบตัวอย่างคอนกรีตก่อนและหลังการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน

ลักษณะการกัดกร่อน คือ ผิวของคอนกรีตเป็นรูพรุนไม่มาก มีน้ำหนักที่หายคิดเป็น 7.0%

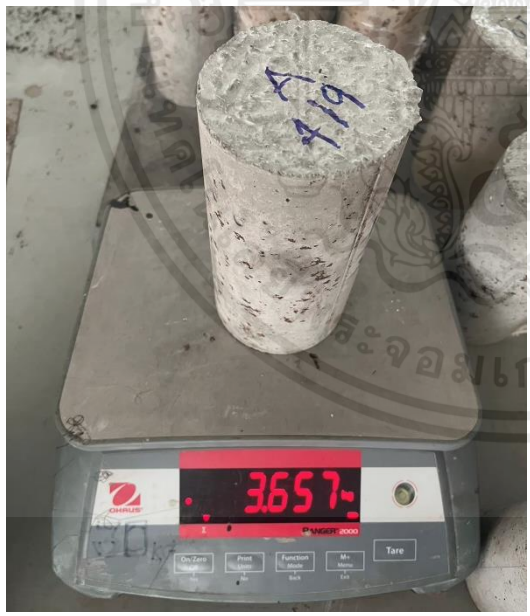
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MIX 2 ก่อนแช่กรด HCL MIX 2 หลังแช่กรด HCL

ภาคผนวกที่ ก3 เปรียบเทียบตัวอย่างคอนกรีตก่อนและหลังการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน

ลักษณะการกัดกร่อน คือ ผิวของคอนกรีตเป็นรูพรุนน้อย มีน้ำหนักที่หายไปคิดเป็น 5.8%



MIX 3 ก่อนแช่กรด HCL MIX 3 หลังแช่กรด HCL

ภาคผนวกที่ ก4 เปรียบเทียบตัวอย่างคอนกรีตก่อนและหลังการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อน

ลักษณะการกัดกร่อน คือ ผิวของคอนกรีตเป็นรูพรุนน้อย มีน้ำหนักที่หายคิดเป็น 6.7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล นนทพันธ์ สุภโตษะ
วัน เดือน ปี เกิด 6 สิงหาคม 2543
สถานที่เกิด ฉะชิงเทรา
ที่อยู่ปัจจุบัน 547 ถ.ศุขประยูร อ.เมือง ต.หน้าเมือง จ.ฉะเชิงเทรา 24000
ประวัติการศึกษา ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-นามสกุล นวพล วรชุน
วัน เดือน ปี เกิด 4 พฤษภาคม 2541
สถานที่เกิด ฉะชิงเทรา
ที่อยู่ปัจจุบัน 229 ม.4 ต.คู้ยายหมี อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา 24160
ประวัติการศึกษา ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-นามสกุล วรรณิภา พรมเจริญ
วัน เดือน ปี เกิด 6 กันยายน 2542
สถานที่เกิด อุดรธานี
ที่อยู่ปัจจุบัน 80/63 ม.8 ต.วังตะเคียน อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา 24160
ประวัติการศึกษา ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้