

การศึกษาคุณสมบัติของมอร์ต้าที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์

STUDY ON PROPERTY OF MORTAR MIXED WITH
CALCIUM NITRITE ADMIXTURE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การศึกษาคุณสมบัติของมอร์ต้าที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์

STUDY ON PROPERTY OF MORTAR MIXED WITH
CALCIUM NITRITE ADMIXTURE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

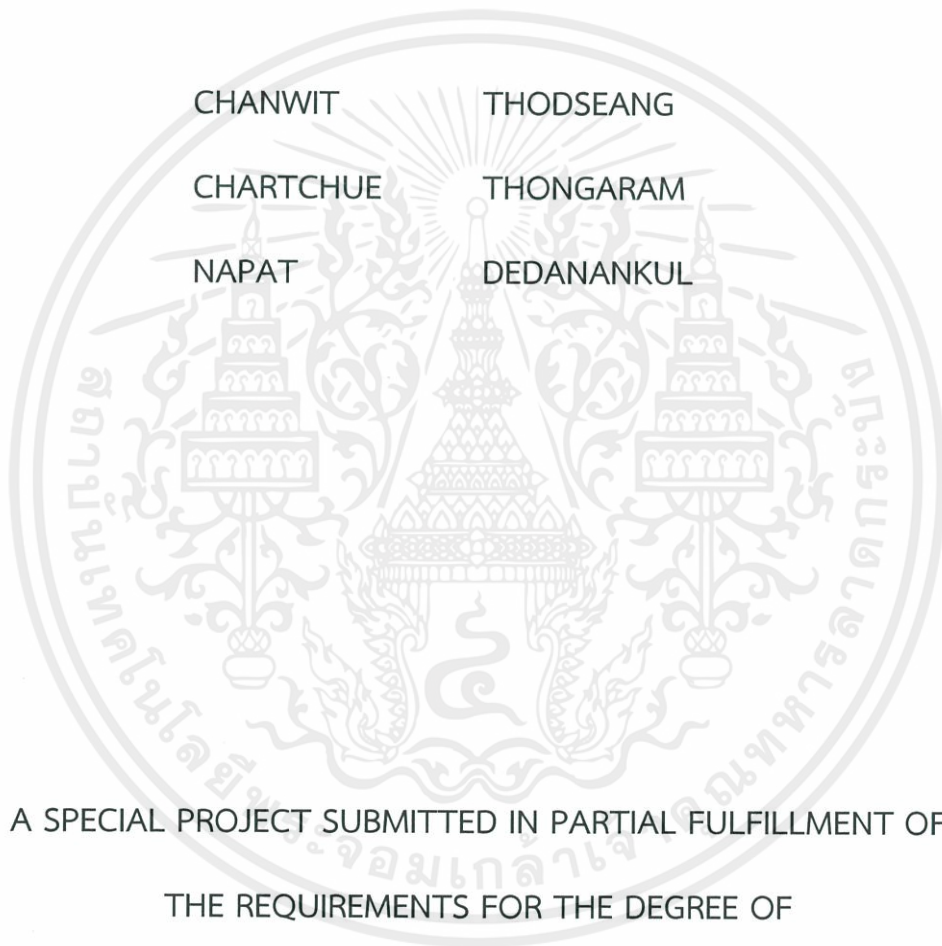
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON PROPERTY OF MORTAR MIXED WITH
CALCIUM NITRITE ADMIXTURE



CHANWIT THODSEANG
CHARTCHUE THONGARAM
NAPAT DEDANANKUL

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาคุณสมบัติของมอร์ต้าที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์

นักศึกษา ชานูวิทย์ ทอดเสียง รหัสประจำตัว 58010281

ชาติเชื้อ ทองอร่าม รหัสประจำตัว 58010284

ณภัทร เต็ดอนันต์กุล รหัสประจำตัว 58010342

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.อุษะ ศิริแก้ว
รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร	
ผศ.ดร.ชลิตา อยู่ตะเภา	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤษ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

การศึกษาคุณสมบัติของมอร์ต้าที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์

นายชาญวิทย์ ทอดเสียง 58010281

นายชาติเชื้อ ทองอร่าม 58010284

นายณภัทร เต็ดคอนันต์กุล 58010342

อาจารย์ที่ปรึกษาผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤษ์

อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วมอ.อุบะ ศิริแก้ว และ รศ.ดร. แผลมทอง เหล่าคงถาวร

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ในประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีอุณหภูมิอากาศต่ำ นิยมใช้สารแคลเซียมไนไตรท์ในการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันให้กับคอนกรีตซึ่งให้ผลลัพธ์ได้ดี แต่ในประเทศไทยซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าญี่ปุ่นยังไม่มีการศึกษาการนำสารผสมเพิ่มนี้มาใช้ผสมคอนกรีต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของซีเมนต์มอร์ต้าร์ ที่มีส่วนผสมของแคลเซียมไนไตรท์(Calcium Nitrite),(Ca(NO₂)₂) โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ร้อยละ 40.0 และ 45.0 และอัตราส่วนของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์(Calcium Nitrite),(Ca(NO₂)₂) โดยน้ำหนักร้อยละ 0 ,2.0 และ 4.0 และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของตะกรันเตาถลุงเหล็กที่นำมาแทนที่ปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 30.0 เพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดในช่วงต้น โดยทำตัวอย่างขนาด 5. x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร อย่างละตัวอย่าง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่มที่เวลา 16 ชั่วโมง,3วัน,7 วัน และ 14วัน

จากผลการศึกษาพบว่า การนำสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์มาผสมกับซีเมนต์ที่มีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็กร้อยละ 30.0 จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์และค่าระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์มีค่าลดลง ตามร้อยละที่เพิ่มขึ้นของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ อัตราส่วนสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ร้อยละ 2.0 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทำงาน โดยพบว่าให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำหนักซีเมนต์โดยค่ากำลังรับแรงอัดที่อยู่ที 418.96 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่ระยะเวลา7วัน และความสามารถในการทำงานได้อยู่ที่ร้อยละ 105.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON PROPERTY OF MORTAR MIXED WITH CALCIUM NITRITE ADMIXTURE

MR. CHANWIT THODSEANG ID.58010281

MR. CHARTCHUE THONGARAM ID.58010284

MR. NAPAT DEDANANKUL ID.58011427

Advisor : Asst. Prof. Somkiat Kwanprug

Co-Advisor : Mrs.Uba sirikaew & Assoc Prof.Dr.Laemthong Laokhougthavorn

Academic Year 2018

Abstract

The cold climate country like Japan commonly use calcium nitrite to enhance the concrete's admixture, which give the high performance of concrete. This technique is applied in a tropical climate, Thailand. The special project aims to study the behavior of cement mortar with a mixture of calcium nitrite($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$) and that mixed with blast-furnance slag . Laboratory test shows water cement ratio as 0.40 and 0.45 and calcium nitrite admixture by weight of cement as 0% 2.0% and 4.0%, respectively. The compressive strength of calcium nitrite mixed mortar had been increased about 2 % compared to that of mortar's strength. For blast-furnance slag mixed mortar, 30 % by weight of cement was applied. The compression test of $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ mortar had been carried out at 16hr, 3days,7days and 14days. Percentage of flow of the 2.0% calcium nitrite by cement weight mixed with blast-furnance slag and cement shows 105.50%. The compressive strength of that mortar is 418.67 ksc at 7 days.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร และอ.อุษะ ศิริแก้ว ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และคำชี้แนะในการปรับปรุงแก้ไขปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับโครงการนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้ให้ข้อแนะนำทางวิชาการ ข้อคิดเห็น และแนวทางที่เป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงการ รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาโยธาจนตลอดมา

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู อบรมส่งเสริมการศึกษาซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอดที่ทำให้มีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

นายชาญวิทย์ ทอดเสียง

นายชาติเชื้อ ทองอร่าม

นายณภัทร เต็ดอนันต์กุล

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	I
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การทำโครงการ.....	2
1.3 วิธีการวิจัย.....	2
1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.5.1 ขอบเขตของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5.2 ขอบเขตของวิธีทดสอบที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5.3 ขอบเขตของระยะเวลาของการทดสอบตัวอย่าง.....	4
1.5.4 ขอบเขตของผลลัพธ์จากการทดสอบ.....	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	5
2.1 ปูนซีเมนต์.....	5
2.1.1 การผลิตปูนซีเมนต์.....	5
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมี.....	7
2.1.3 คุณสมบัติของสารประกอบหลัก.....	8
2.1.4 คุณสมบัติของสารประกอบรอง.....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IV จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
2.1.5 ประเภทของปูนซีเมนต์.....	11
2.1.6 ปูนซีเมนต์ประเภทอื่น	12
2.2 คอนกรีต(concrete).....	15
2.2.1 คุณสมบัติของคอนกรีตสด (Properties of Fresh concrete).....	15
2.2.2 ความสามารถในการทำงาน(Workability).....	15
2.2.3 ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time).....	15
2.2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด.....	16
2.3 มอร์ต้า(mortar).....	17
2.4 มวลรวม(Aggregate).....	17
2.5 ความต้านทานกำลังอัด (compressive strength).....	18
2.6 คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป (Precast Concrete).....	19
2.7 แคลเซียมไนไตรท์ (Calcium Nitrite).....	20
2.8 ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (Blast-Furnace Slag).....	21
2.8.1 กระบวนการผลิตตะกรันเตาถลุงเหล็ก.....	21
2.8.2 องค์ประกอบทางเคมี.....	22
2.8.3 ผลกระทบของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดต่อคอนกรีตสด.....	22
2.8.4 ผลกระทบของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว.....	23
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 รูปแบบการวิจัย.....	27
3.2 วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์.....	27
3.2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา V และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
3.2.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ.....	30
3.3 วิธีเก็บข้อมูลและการคำนวณ.....	32
3.3.1 การทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์.....	32
3.3.2 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์.....	34
3.3.3 การทดสอบหาค่ากำลังต้านทานรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์.....	35
3.4 ตัวอย่างตารางที่เก็บข้อมูล.....	37
บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงการ.....	38
4.1 การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์ (Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar).....	38
4.2 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ (Test Method of Setting Time of Cement Paste).....	39
4.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ (Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar).....	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	43
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	43
5.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล.....	43
5.2.1 การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์.....	43
5.2.2 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์.....	44
5.2.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์.....	44
5.3 ปัญหาที่พบในงานวิจัย.....	44
5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป.....	45

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก ก.ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ เพื่อหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์.....	47
ภาคผนวก ข.ผลการทดสอบอัตราการใช้ของซีเมนต์มอร์ตาร์ เพื่อหาความสามารถในการทำงานของซีเมนต์มอร์ตาร์.....	49
ภาคผนวก ค.ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสม สารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อหาความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์.....	50
ภาคผนวก ง.ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสม สารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็ก เพื่อหาความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์.....	53



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	7
ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	8
ตาราง 3.1 ความคลาดเคลื่อนของเวลาทดสอบคอนกรีตที่อายุต่างๆ.....	35
ตาราง 3.2 ตารางเก็บข้อมูลค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์.....	37
ตาราง 3.3 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลกำลังรับแรงอัดในแต่ละช่วงเวลาของ ตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร.....	37
ตารางที่ ก.1 ค่าระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ผสม สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ (W/C = 0.263).....	47
ตารางที่ ก.2 ค่าระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ที่ผสม สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ 2% โดยน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.263).....	47
ตารางที่ ก.3 ค่าระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ที่ผสม สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ 4% โดยน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.263).....	48
ตารางที่ ข.1 ค่าอัตราการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แต่ละอัตราส่วน ของผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ (W/C = 0.40).....	49
ตารางที่ ข.2 ค่าอัตราการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แต่ละอัตราส่วน ของผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ (W/C = 0.45).....	49
ตารางที่ ค.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แต่ละอัตราส่วน ของผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ (W/C = 0.40).....	50
ตารางที่ ค.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แต่ละอัตราส่วน ของผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ (W/C = 0.45).....	50

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ ค.3 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์	
โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ2 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.40).....	51
ตารางที่ ค.4 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์	
โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ2 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.45).....	51
ตารางที่ ค.5 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์	
โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ4 น้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.40).....	52
ตารางที่ ค.6 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์	
โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ4 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.45).....	52
ตารางที่ ง.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์	
โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ2 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.40).....	53
ตารางที่ ง.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์	
โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ2 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.45).....	53
ตารางที่ ง.3 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์	
โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ4 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.40).....	54
ตารางที่ ง.4 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์	
โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ4 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.45).....	54

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่1.1แสดงขั้นตอนการศึกษา.....	2
รูปที่2.1 การพัฒนากำลังอัดของ C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF	9
รูปที่2.2 ผงคอนกรีตสำเร็จรูป.....	20
รูปที่2.3 บันไดคอนกรีตสำเร็จรูป.....	20
รูปที่2.4 พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป.....	20
รูป3.1 อุปกรณ์โต๊ะทดสอบการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์.....	27
รูป3.2 เครื่องทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์.....	28
รูป3.3 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด.....	28
รูป3.4 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1.....	29
รูป3.5 ทรายละเอียดค่าF.Mเท่ากับ2.75.....	29
รูป3.6 สารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	30
รูป3.7 สารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	30
รูปที่3.8 ตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	31
รูปที่3.9 ตัวอย่างการเตรียมซีเมนต์เพสต์.....	32
รูปที่3.10 แบบหล่อทรงลูกบาศก์ที่ใช้เก็บตัวอย่างขนาด 5x5x5 cm.....	36
รูปที่4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์กับเวลา ที่W/C40.....	38
รูปที่4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์กับเวลา ที่W/C45.....	39
รูปที่ 4.3 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์.....	40
รูปที่4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์และเวลา ที่W/C0.40.....	40
รูปที่4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์และเวลา ที่W/C0.45.....	41
รูปที่4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์และเวลา ที่W/C0.40 และแทนที่ด้วยตะกรันกลุ่เหล็กร้อยละ30.....	41
รูปที่4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์และเวลา ที่W/C0.45 และแทนที่ด้วยตะกรันกลุ่เหล็กร้อยละ30.....	42

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาอุตสาหกรรมก่อสร้างมากมายและคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญกับการก่อสร้างมากกว่าวัสดุอื่นๆ โดยในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปยังชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป เพราะว่าเนื่องจากอุตสาหกรรมก่อสร้างในปัจจุบันมีการพัฒนามากขึ้นในด้านการก่อสร้างโดยสิ่งที่เป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบันคือ ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป เนื่องจากชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถใช้งานในการก่อสร้างได้สะดวกรวดเร็วประหยัดเวลาว่าการก่อสร้างในสถานที่และสามารถควบคุมคุณภาพการผลิตได้ดีเนื่องมาจากการผลิตในรูปแบบสำเร็จรูปจากโรงงานรวมถึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยสามารถลดปริมาณมลพิษทางเสียง ฝุ่นและปัญหาทางสิ่งแวดล้อมต่างๆจากการก่อสร้างในสถานที่

ในส่วนของการก่อสร้างนั้นจากการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจะมีเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีตก่อนที่จะทำการถอดแบบอยู่ราว 8-10 ชั่วโมง ซึ่งกระบวนการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูปมีเวลาของแต่ละขั้นตอนในการผลิตค่อนข้างตายตัว ในแต่ละขั้นตอนยากแก่การลดระยะเวลา ซึ่งเล็งเห็นว่าถ้าหากสามารถลดระยะเวลาของการบ่มคอนกรีตลงโดยเร่งให้คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงอัดในช่วงต้นได้มากขึ้นและเร็วขึ้นก็จะทำให้สามารถถอดแบบคอนกรีตสำเร็จรูปได้ไวขึ้น จึงได้ทำการศึกษาจากงานวิจัยของประเทศญี่ปุ่นที่มีการใช้สารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์และมีการใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กควบคู่กัน โดยที่ตะกรันเตาถลุงเหล็กช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และยังสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการออกแบบได้ ในอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตซึ่งสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของซีเมนต์ทำให้ซีเมนต์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีการก่อตัวที่เร็วขึ้นซึ่งส่งผลให้เป็นการเร่งกำลังรับแรงอัดในช่วงต้นของคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้นในเวลาเท่ากัน

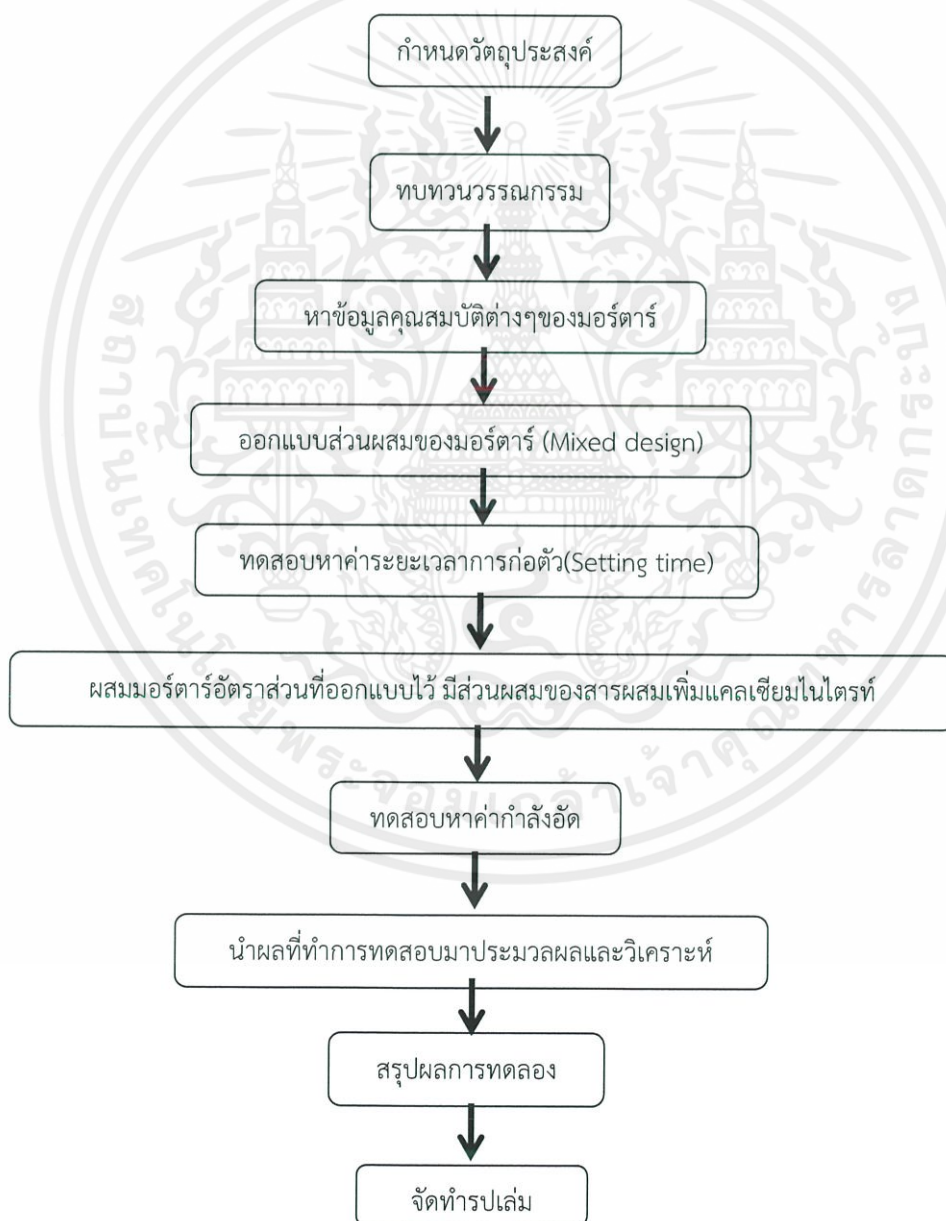
ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาคูสมบัติของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อศึกษาว่าปริมาณสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อการเร่งกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในช่วงต้นอย่างไร ซึ่งสอดคล้องกับหัวข้อที่ต้องการศึกษาคือต้องการเร่งความสามารถรับกำลังอัดในช่วงต้นของคอนกรีตเพื่อที่จะสามารถลดระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตให้สามารถถอดแบบได้ไวขึ้นมีกำลังรับแรงอัดในช่วงต้นมากขึ้น ส่งผลให้สามารถประหยัดเวลาเพิ่มมากขึ้นและอาจส่งผลไปยังต้นทุนในด้านต่างๆสามารถลดลงได้ จึงได้ทำการศึกษาข้อมูลเพื่อประกอบการวิจัยและใช้ในการประกอบการตัดสินใจและปรับใช้ในการทำงานเกี่ยวกับคอนกรีตในลักษณะนี้

1.2 วัตถุประสงค์การทำโครงการ

- 1.2.1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์
- 1.2.2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์ก่อนผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์
- 1.2.3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์ที่มีผลมาจากสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์และตะกรันเตาถลุงเหล็ก

1.3 วิธีการวิจัย

ขั้นตอนในการศึกษาสามารถแสดงเป็นแผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน (Flow-chart) ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถทราบความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์และปริมาณสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรต์

1.4.2 สามารถทราบความสามารถในการทำงานของมอร์ตาร์มีความเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใดหลังจากผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรต์และแทนที่ด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็ก 30% ของปริมาณซีเมนต์

1.4.3 สามารถทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรต์ในแต่ละอัตราส่วน

โดยทั้งหมดที่กล่าวมาจะเป็นแนวทางในการตัดสินใจให้กับอุตสาหกรรมการก่อสร้างในปัจจุบันที่มีความนิยมในการใช้คอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งถ้าหากสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรต์และตะกรันเตาถลุงเหล็กสามารถเร่งกำลังรับแรงอัดในช่วงต้นได้ก็จะช่วยให้สามารถถอดแบบได้ไวขึ้นทำให้สามารถประหยัดเวลาได้มากขึ้นซึ่งอาจส่งผลต่อต้นทุนต่างๆอาจมีแนวโน้มลดลงโดยที่ได้ขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่แข็งแรงกว่าในเวลาที่น้อยกว่า ซึ่งหมายความว่าสามารถประหยัดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป มีการก่อสร้างที่รวดเร็วยิ่งขึ้นโดยรวมแล้วย่อมส่งผลดีแก่อุตสาหกรรมการก่อสร้างมากขึ้นการวิจัยนี้จะสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจในการนำสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรต์ทั้งผสมกับตะกรันเตาถลุงเหล็ก และไม่ผสมกับตะกรันเตาถลุงเหล็ก มาใช้งานในอุตสาหกรรมและบ่งบอกถึงประสิทธิภาพความสำคัญของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรต์ที่ใช้รวมกันกับตะกรันเตาถลุงเหล็ก

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ขอบเขตของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

- 1). แบบหล่อขนาด $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$
- 2). ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1
- 3). ทราย ที่มีค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ที่ 2.75
- 4). น้ำประปา
- 5). แคลเซียมไนไตรต์
- 6). ตะกรันเตาถลุงเหล็ก

1.5.2 ขอบเขตของวิธีทดสอบที่ใช้ในการวิจัย

- การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ (ASTM : C 191 - 01a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์ (ASTM : C 1437 – 01)
- การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ (ASTM : C 109/C 109M – 02)
- การทดสอบหาค่าปริมาณอากาศของซีเมนต์มอร์ตาร์ (ASTM : C 185 – 02)

1.5.3 ขอบเขตของระยะเวลาของการทดสอบตัวอย่าง

- 16 ชั่วโมง, 3 วัน, 7 วัน และ 14 วัน

1.5.4 ขอบเขตของผลลัพธ์จากการทดสอบ

- ความสามารถในการทำงานของมอร์ต้าเปลี่ยนแปลงไปหลังจากผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ ตะกรันเตาถลุงเหล็ก และไม่ผสมกับตะกรันเตาถลุงเหล็ก
- ปริมาณสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ที่เหมาะสมส่งผลให้มอร์ต้าที่ผสมกับตะกรันเตาถลุงเหล็ก และไม่ผสมกับตะกรันเตาถลุงเหล็ก มีกำลังรับแรงอัดในช่วงต้นมากขึ้น
- ในแต่ละอัตราส่วนการผสม ปริมาณของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์และตะกรันเตาถลุงเหล็ก ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของมอร์ต้าแตกต่างกัน

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ เป็นผลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ (หินปูน หรือ ดินปูนขาว กับ ดินเหนียว หรือ หินดาน)จนรวมตัวผสมกันสุกพอดีมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียมและอลูมิเนียมซิลิเกตเกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีเกิด การรวมตัวกันระหว่างอนุภาคเกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาเคมีที่พบคือปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) และแข็งตัวตลอดจนปริมาณความร้อนที่เกิด ขึ้นอยู่กับความละเอียดและส่วนประกอบของผงปูน ความแข็งแรงและความทนทานเมื่อแข็งตัวแล้ว ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสมและการให้ความชื้นในขณะที่เริ่มแข็งตัว หรือซีเมนต์อาจหมายถึงสารที่สามารถยึดหรือประสานของแข็งให้เกิดเป็นชิ้นเดียวกัน ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึงปูน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ในปัจจุบันปูนซีเมนต์สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท โดยถูกพัฒนามาเพื่อใช้งานภายใต้สภาพเงื่อนไขการทำงานที่ต่างกัน ยกตัวอย่างเช่นโดยทั่วไปจะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในงานทั่วไป การเทคอนกรีตในปริมาณมากๆ ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดขึ้นมากทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดรอยร้าวที่ผิวหน้าก่อนเนื่องมาจากการขยายตัว หรือในแง่ก่อสร้างที่ต้องมีการขนส่งคอนกรีตเป็นระยะเวลานานจำเป็นต้องมีการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันเพื่อให้คอนกรีตคงสภาพเสถียรให้นานที่สุด ปัญหาดังกล่าวเหล่านี้สามารถจะแก้ไขได้หลายวิธี เช่น ในการลดความร้อนอาจจะทำระบบระบายความร้อนจากภายในโดยใช้ท่อน้ำ หรือคอนกรีตที่ต้องการหน่วงอาจจะทำได้โดยการใช้น้ำแข็งหรือสารละลายจำพวกน้ำตาลในการลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันลง หรือ หรือโดยการแก้ไขที่ตัวปูนซีเมนต์เอง เช่นการเลือกใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 2 ที่มีส่วนผสมของปอติโซลาน หรือประเภทที่ 4 ที่ให้ความร้อนต่ำ เป็นต้น

2.1.1 การผลิตปูนซีเมนต์

การผลิตปูนซีเมนต์ในปัจจุบันแตกต่างจากเดิมบ้างแต่ยังคงใช้วัตถุดิบหลักที่ใช้ในสมัยแรก และให้ความสำคัญที่คุณภาพของปูนซีเมนต์ที่ผลิต และประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตการผลิตปูนซีเมนต์มีความแพร่หลายและได้รับความนิยมสูงเพราะวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีปริมาณมากและหาได้ง่ายในที่ต่างๆทั่วโลก

1.) วัตถุดิบ

ที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักคือ

1.1) วัสดุธาตุปูน เป็นออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ได้แก่ หินปูน และหินชอล์ก

1.2) วัสดุอะลูมิโนซิลิเกต เป็นออกไซด์ของธาตุซิลิกอน และอลูมิเนียม ได้แก่ ดินเหนียว หินเซลหรือ หินดินดาน และหินชนวน ในบางครั้งดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบ มีทั้งออกไซด์ของแคลเซียมและซิลิกอน ได้แก่ ดิน

มาร์ล นอกจากนี้ การผลิตปูนซีเมนต์ยังต้องการวัตถุดิบอย่างอื่น ได้แก่ ออกไซด์ของเหล็ก ซึ่งได้จากดินลูกรัง ออกไซด์ของอลูมิเนียมและเหล็กช่วยให้ปฏิกิริยาในเตาเผาเกิดได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังต้องการยิปซัม เพื่อหน่วงปฏิกิริยาไม่ให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็วเกินไปโดยยิปซัมรวมกับปูนเม็ดในขั้นตอนสุดท้าย

2.) กรรมวิธีในการผลิต

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ กระบวนการผลิตแบบเปียกและกระบวนการผลิตแบบแห้ง การเลือกกระบวนการผลิตแบบใดขึ้นอยู่กับความชื้นของวัตถุดิบในสภาพธรรมชาติ ความแข็งแรงของวัตถุดิบ และชนิดของวัตถุดิบ ที่ความชื้นช่วงหนึ่งการบดวัตถุดิบให้ละเอียดจะทำให้ยาก จำเป็นต้องขจัดความชื้นที่มีอยู่หรือเพิ่มน้ำให้มีปริมาณมากขึ้น ถ้าวัตถุดิบเป็นดินเหนียวจะมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงใช้กระบวนการผลิตแบบเปียก หากวัตถุดิบเป็นหินและหินเชลจะมีความชื้นค่อนข้างต่ำจึงควรใช้กระบวนการผลิตแบบแห้ง

2.1) กระบวนการผลิตแบบเปียก วัตถุดิบจะผสมกับน้ำตามสัดส่วนที่กำหนด โดยปกติถ้าใช้ดินเหนียวและหินซอล์กจะใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำประมาณ 1 ส่วนต่อ 3 ส่วนจากนั้นจะบดสัดส่วนผสมให้ละเอียดในหม้อบดละเอียดเปียก น้ำโคลนชั้นที่ได้จะนำไปผ่านตะแกรงละเอียดแล้วส่งเข้าเตาเผา วัตถุดิบที่ป้อนเข้าเตาเผาจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 35.0 ถึง 50.0

2.2) กระบวนการผลิตแบบแห้ง วัตถุดิบที่ระเบิดมาจากเหมืองแร่จะนำมาย่อยให้เล็กลงในเครื่องย่อยขั้นต้น และเครื่องย่อยขั้นที่สองตามลำดับ จากนั้นจึงนำวัสดุไปบดละเอียดในหม้อบดวัตถุดิบ แล้วผสมกันตามสัดส่วนที่ต้องการในไซโลผสมวัตถุดิบ จากนั้นเพิ่มความร้อนของวัตถุดิบด้วยลมร้อนก่อนส่งเข้าเตาเผา ในกรณีของกระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้ง จะนำวัตถุดิบไปทำเป็นเม็ดโดยการเติมน้ำเล็กน้อยและผ่านเข้าไปในเครื่องทำเม็ด วัตถุดิบจะจับกันเป็นก้อนกลมขนาดประมาณ 12.0 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อให้การป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เตาเผาสะดวกขึ้น วัตถุดิบจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 12.0 ดังนั้นเตาเผาของกระบวนการผลิตแบบแห้งจึงมีขนาดเล็กกว่าเตาเผาในกรณีกระบวนการผลิตแบบเปียก เตาเผาโรงงานปูนซีเมนต์เป็นเตาแบบหมุน ทำด้วยเหล็กกล้ารูปทรงกระบอกข้างในบุด้วยอิฐทนไฟ เตาเผาแบบหมุนมีความเอียงจาแนวราบเล็กน้อยประมาณร้อยละ 3.0 ถึง 5.0 และหมุนรอบแกนของทรงกระบอกอย่างช้าๆ ประมาณ 1 ถึง 3 รอบต่อนาที เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาเป็นถ่านหิน น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติ วัตถุดิบจะป้อนเข้าทางส่วนบนของเตาสำหรับกระบวนการผลิตแบบเปียกวัตถุดิบอยู่ในเตาเผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ถึง 2 ชั่วโมง 30 นาที และเป็นเวลา 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง สำหรับกรณีผลิตแบบแห้ง กระบวนการที่เกิดขึ้นในเตาเผาสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

- 2.2.1) การขจัดน้ำอิสระโดยการระเหย (Evaporation)
- 2.2.2) การขจัดน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ (Calcination)
- 2.2.3) การทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ด (Clinkering)
- 2.2.4) การลดอุณหภูมิ (Cooling)

ในขั้นแรกวัตถุดิบที่ป้อนเข้าทางส่วนบนของเตาเผาจะได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิ 250 ถึง 450 องศาเซลเซียสและขจัดน้ำอิสระออกไป อุณหภูมิวัตถุดิบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 600 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จุดนี้มีวัสดุดิบเริ่มสลายตัวโมเลกุลน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อยๆถูกขจัดออกไป เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาเบื้องต้น เกิดสารประกอบของแคลเซียมอลูมิเนตและเฟอร์ไรต์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ ที่อุณหภูมิประมาณ 1,350 องศาเซลเซียส เกิดการหลอมละลายของแคลเซียมอลูมิเนตและเฟอร์ไรต์และเริ่มทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ด วัสดุดิบจะหลอมละลายและประมาณร้อยละ 20.0 ถึง 30.0 จะกลายเป็นของเหลว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 1,400 ถึง 1,600 องศาเซลเซียส ส่วนผสมจะทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ดก้อนกลมขนาด 3.0 ถึง 40.0 มิลลิเมตร ในส่วนท้ายสุดของเตาอุณหภูมิจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วและปูนเม็ดจะไหลออกจากเตาเผา

ปูนเม็ดออกจากส่วนล่างของเตาเผาจะยังคงร้อนมาก และจะลดอุณหภูมิปูนเม็ด อัตราการลดลงของอุณหภูมิมิผลต่อความเป็นผลึกของปูนเม็ด ต่อจากนั้นนำปูนเม็ดมาบดร่วมกับยิปซัม ในหม้อบดปูนซีเมนต์ ปริมาณยิปซัมที่ใช้ประมาณร้อยละ 2.5 ถึง 3.0 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ เพื่อหน่วงการก่อตัวอย่างรวดเร็วของปูนซีเมนต์

2.1.2. องค์ประกอบทางเคมี

ตารางที่ 2.1 แสดงถึงองค์ประกอบและสัญลักษณ์ของออกไซด์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งออกไซด์หลัก ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ ซิลิกา อลูมินาและเฟอร์ริกออกไซด์ ออกไซด์ทั้ง 4 นี้รวมกันได้ร้อยละ 90.0 ของปูนซีเมนต์ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์รอง ซึ่งได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ ออกไซด์ของอัลคาไล และซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยาและรวมตัวกันอยู่ในรูปของการประกอบ สารประกอบที่สำคัญมีอยู่ 4 อย่างคือ

- 1.) ไตรแคลเซียมซิลิเกต(Tricalcium Silicate) องค์ประกอบทางเคมีคือ 3CaO , SiO_2 และย่อว่า C_3S
- 2.) ไดแคลเซียมซิลิเกต(Dicalcium Silicate) องค์ประกอบทางเคมีคือ 2CaO , SiO_2 และย่อว่า C_2S
- 3.) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต(Tricalcium Aluminate) องค์ประกอบทางเคมี คือ 3CaO , Al_2O_3 และย่อว่า C_3A
- 4.) เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์(Tetracalcium Aluminoferrite) องค์ประกอบทางเคมี 4CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และย่อว่า C_4A

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	สัญลักษณ์	ร้อยละโดยน้ำหนัก
CaO	C	60-67
SiO ₂	S	17-25
Al ₂ O ₃	A	3-8
Fe ₂ O ₃	F	0.5-6.0
MgO	M	0.1-4.0
Na ₂ O	N	0.1-1.8
K ₂ O	k	0.1-1.8
SO ₃	S'	0.5-3.0

ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียม ซิลิเกต (Tricalcium Silicate)	3CaO SiO_2	C_3S
ไดแคลเซียม ซิลิเกต (Dicalcium Silicate)	2CaO SiO_2	C_2S
ไตรแคลเซียม อลูมิเนต (Tricalcium Aluminate)	$3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตราแคลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite)	$4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

2.1.3 คุณสมบัติของสารประกอบหลัก

สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์คือ C_3S และ C_2S C_3S C_4AF ดังแสดงในตารางที่ 2.2 เนื่องจากมีปริมาณมากถึงกว่าร้อยละ 90.0 จึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติและคุณภาพของปูนซีเมนต์

1.) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)

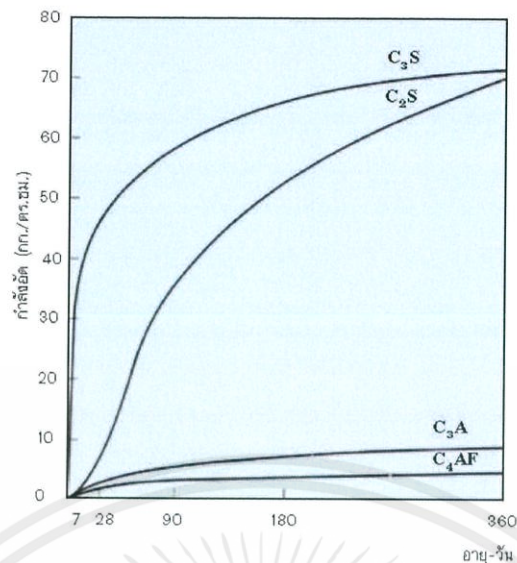
C_3S มีอยู่มากที่สุดในปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 45.0 ถึง 55.0 มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมสี่เท่าแก่ที่อุณหภูมิในเตาเผา 1250 องศาเซลเซียส สามารถสลายตัวได้ ซึ่งการสลายตัวนี้ค่อนข้างช้าและเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียส จะมีเสถียรภาพและจะไม่เปลี่ยนแปลงสภาพเมื่อผสมกับน้ำจะเกิด การก่อตัวและแข็งตัวและให้กำลังค่อนข้างดีโดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรกดังแสดงในรูปที่ 2.1 ปฏิกริยาระหว่าง C_3S กับน้ำทำให้เกิดความร้อนปานกลางประมาณ 500 จูล/กรัม ความร้อนที่คายออกมาเรียกว่าความร้อนของปฏิกริยาไฮเดรชัน

2.) ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)

มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณร้อยละ 15.0 ถึง 35.0 C_2S บริสุทธิ์มีอยู่ 4 รูปแบบคือ C_2S ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส และเมื่อเย็นตัวลงจะแปรสภาพเป็น C_2S ซึ่งเปลี่ยนเป็น เบต้า C_2S ที่อุณหภูมิต่ำลงและแปรสภาพเป็นที่อุณหภูมิปกติ แต่เนื่องจากในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อยู่ในสภาพที่ไม่บริสุทธิ์ สารแปลกปลอมอื่นและอัตราการลดลงของอุณหภูมิทำให้การแปรสภาพไม่เกิดขึ้น ดังนั้น จะมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิปกติ มีลักษณะเป็นเม็ดกลมเมื่อผสมกับน้ำสามารถทำปฏิกริยาเกิดความร้อนขึ้น ความร้อนเนื่องจากปฏิกริยาไฮเดรชันของ ค่อนข้างต่ำ มีค่าประมาณ 250 จูล/กรัม และการพัฒนากำลังของ ค่อนข้างช้าและช้ากว่า มาก คือ เริ่มให้กำลังหลังจาก 4 สัปดาห์ขึ้นไปดัง แสดงในรูปที่ 2.1

3.) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณร้อยละ 7.0 ถึง 15.0 ลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมมีสี่เท่าอ่อน ปฏิกริยากับน้ำมีความรุนแรงมากทำให้เพสต์ก่อตัวทันที ความร้อนเนื่องจากปฏิกริยาไฮเดรชันมีค่าสูงมาก คือ กว่า 880 จูล/กรัม การพัฒนากำลังของ C_3A จะมากคือสามารถพัฒนาได้ภายในวันเดียวแต่กำลังประลัย ที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การพัฒนากำลังอัดของ C₃S , C₂S, C₃A, C₄AF

http://cpacacademy.com/download/cpacacademy_com/e-contech%20u2.pdf

4.) เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C₄AF)

มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณร้อยละ 5.0 ถึง 10.0 และอยู่ในสภาพของสารละลายแข็ง เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาและทำให้เฟสที่ก่อตัวอย่างรวดเร็วความร้อนเนื่องจาก ปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าปานกลางประมาณ 420 จูล/กรัม โดยพัฒนากำลังได้เร็วมากเช่นเดียวกับ แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำและต่ำกว่า เล็กน้อย

2.1.4 คุณสมบัติของสารประกอบรอง

สารประกอบรองหมายถึงสารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ที่นอกเหนือจากสารประกอบหลัก ทั้ง 4 อย่าง สารประกอบรองเหล่านี้มีอยู่ในจำนวนที่น้อยกว่าจริง แต่สารประกอบบางตัวมีผลกระทบต่อซีเมนต์เฟสหรือคอนกรีตทั้งขณะที่ยังไม่ แข็งตัวและที่แข็งตัวแล้ว

1.) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าในขั้นสุดท้ายของการผลิตปูนซีเมนต์ จะบดปูนเม็ดร่วมกับยิปซัมเพื่อป้องกันการก่อตัวเร็วเกินไปของซีเมนต์เฟส ในทางตรงข้ามกันถ้ามีปริมาณของยิปซัมมากเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เฟสที่แข็งตัวเกิดการขยายตัวและแตกร้าวได้ ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่าง ยิปซัมทำให้เกิดเอทริงไคต์ ซึ่งมีปริมาตรมากขึ้นจากเดิม เมื่อไม่ยิปซัมผสมอยู่น้อยปฏิกิริยาระหว่างยิปซัมจะเกิดขึ้นเมื่อซีเมนต์เฟสตัวยังอยู่ในสภาพพลาสติก ทำให้การขยายตัวของปริมาณเกิดขึ้นก่อนการแข็งตัวของซีเมนต์เฟสจึงไม่ก่อให้เกิดอันตราย แต่เมื่อมียิปซัม ผสมอยู่มากเกินไป ปฏิกิริยาดังกล่าวจะยังคงเกิดขึ้นแม้ว่าหลังจากที่ซีเมนต์เฟสแข็งตัวแล้ว ดังนั้นจึงมีการกำหนดปริมาณ ในปูนซีเมนต์ไม่ให้เกินร้อยละ 3.0 โดยที่ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ร้อยละ 0.10 ถึง 0.50 มาจากวัตถุดิบที่ใช้ทำปูนซีเมนต์

2.) ปูนขาวอิสระ

ปูนขาวอิสระอาจเกิดขึ้นเนื่องจากวัตถุดิบมีปริมาณปูนขาว มากเกินไปสำหรับทำปฏิกิริยากัน และในเตาเผา อาจเกิดขึ้นเมื่อปริมาณไม่มากเกินไปแต่การทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ดในระหว่าง การเผาไม่สมบูรณ์ทำให้เหลือปูนขาวอิสระ โดยทั่วไปปูนซีเมนต์จะมีปูนขาวอิสระอยู่ประมาณร้อยละ 0.5 ถึง 1.0 เนื่องจากอุณหภูมิของการสลายตัวของ ประมาณ 900 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิในการเผาปูน

ซีเมนต์สูง 1,400 ถึง 1,600 องศาเซลเซียส จะทำให้ปูนขาวถูกเผาจนเกรียม เป็นผลทำให้ปูนขาวอิสระรวมตัวกับน้ำได้อย่างช้าๆซึ่งการรวมตัวของปูนขาว อิสระกับน้ำนี้จะเกิดขึ้นหลังจากที่ซีเมนต์เพสต์ที่ก่อตัวแล้ว การรวมตัวดังกล่าวทำให้เกิดสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีปริมาณมากขึ้น ถ้าปูนขาวอิสระมีมากพออาจทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ก่อตัวแล้วขยายตัวและแตกร้าว ได้ พฤติกรรมนี้เรียกว่าความไม่คงตัว สามารถทดสอบความไม่คงตัวได้โดยวิธีการทดสอบเลอซาเตอเลียเออร์

3.) แมกนีเซียมออกไซด์

วัตถุดิบสำหรับผลิตปูนซีเมนต์มีแมกนีเซียมคาบอเนตผสมอยู่เล็กน้อยเมื่อเผา วัตถุดิบจะสลายตัวเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์บางส่วนจะอยู่ในรูปผลึกอิสระและรวมตัวกับน้ำได้ช้ามากกิน เวลานับปีเช่นเดียวกับปูนขาวอิสระ การรวมตัวกับน้ำจะเกิดขึ้นหลังจากที่ซีเมนต์เพสต์ที่ก่อตัวแล้ว การมีแมกนีเซียมออกไซด์ผสมอยู่อาจทำให้เกิดความไม่คงตัวและเนื่องจาก ปฏิกิริยาระหว่างแมกนีเซียมออกไซด์กับน้ำช้ามาก ดังนั้นการทดสอบเพื่อหาความ มั่นคงตัวของแมกนีเซียมออกไซด์จะใช้วิธีการทดสอบบอโตเคลฟ เพื่อเร่งปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นซึ่งเป็นการวัดผลรวมของความไม่คงตัวที่เกิด จาก MgO และ CaO

4.) ออกไซด์ของอัลคาไล

ออกไซด์ของอัลคาไลมีอยู่ประมาณร้อยละ 0.5 ถึง 1.3 ในปูนซีเมนต์แต่จะมีบทบาทสำคัญในกรณีที่มีมวลรวมซึ่งได้แก่ทรายและหินสามารถทำปฏิกิริยากับอัลคาไล มวลรวมจำพวกนี้เป็นพวกซิลิกาที่ว่องไวและทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของอัลคาไลได้ จึงเรียบบริษยานี้ว่า "ปฏิกิริยาอัลคาไลซิลิกา" ปฏิกิริยานี้ทำให้เกิด อัลคาไลซิลิกาเจล สิ่งทำให้เกิดการขยายตัวและอาจทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้ในการแก้ปัญหานี้สามารถใช้ปูนซีเมนต์ที่มีอัลคาไลต่ำ (ต่ำกว่าร้อยละ 0.06 โดยคิดเป็นค่าเทียบเท่าปริมาณของ) หรือเลี่ยงการใช้มวลรวมที่มีซิลิกาที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา หรือใช้สารปอซโซลานในส่วนผสมของคอนกรีต เป็นต้น

5.) ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์

ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ มีอยู่ในวัตถุดิบที่ใช้ทำปูนซีเมนต์บางแหล่ง ส่วนมากมาจากหินปูนและมักมีอยู่ไม่เกินร้อยละ 0.1 ถึง 0.2 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ สารนี้ทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าเนื่องจาก ทำให้สลายตัว นอกจากนี้ถ้ามีฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ผสมอยู่มากควรที่จะลดปริมาณของปูนขาวโดยการลดปริมาณหินปูนจากวัตถุดิบลง

6.) กากที่ไม่ละลายในกรด

ปูนซีเมนต์ที่ใช้งานกันทั่วไปพบว่า มีสิ่งเจือปนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเผา ปูนซีเมนต์ที่ไม่สมบูรณ์และบางส่วนปนมากับยิปซัม มีความเป็นผลึกสูงจึงไม่สามารถทำปฏิกิริยาไฮเดรชันได้และไม่มีผลที่จะเพิ่ม กำลังให้แก่ปูนซีเมนต์ เรียกสิ่งเจือปนนี้ว่ากากที่ไม่ละลายในกรดและต่าง ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณกากที่ไม่ละลายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดและด่างสูงจะทำให้กำลังอัดมีค่า ต่ำลงซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีปริมาณปูนซีเมนต์น้อยลงเพราะมีปริมาณกากไม่ ละลายในกรดและด่างแทน มาตรฐานการทดสอบวัสดุตาม ASTM C 150 ได้กำหนดกากที่ไม่ละลายในกรดและด่างของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ไว้ไม่เกินร้อยละ 0.75

2.1.5 ประเภทของปูนซีเมนต์

1.) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Type – I Normal Portland Cement หรือ Standard Portland Cement หรือ Ordinary Portland Cement หรือ OPC) จัดเป็นปูนซีเมนต์มาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างทั่วไปที่ไม่ต้องการสมบัติพิเศษ นอกเหนือไปกว่าธรรมดา ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น งานก่อสร้าง คานคอนกรีต ทางเท้า ถนน อาคาร สะพาน ถังน้ำ บ่อน้ำ ท่อระบายน้ำ และอื่น ๆ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับซัลเฟตจากดินหรือน้ำและไม่ทนทานต่อปฏิกิริยาเคมี

2.) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Type – II Modified Portland Cement หรือ Moderate Heat Portland Cement หรือ MHPC) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ดัดแปลงให้มีความต้านทานต่อซัลเฟตปานกลาง ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะต่ำกว่าและเพิ่มได้ช้ากว่าประเภทแรก ดังนั้นจึงสามารถช่วยลดอุณหภูมิของ คอนกรีตในอากาศร้อนได้ดี ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะสมกับการใช้งานที่เป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ตอม่อขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อนหรือกำแพงกันดินในบริเวณที่สัมผัสน้ำเค็ม เป็นครั้งคราว

3.) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดแรงสูงเร็ว (Type – III High Early Strength Portland Cement หรือ Rapid Hardening Portland Cement หรือ RHC หรือ HESC) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้เนื้อปูนจะบดละเอียดกว่าปูนซีเมนต์แบบธรรมดาเป็นผลทำให้ แข็งตัวและรับแรงได้เร็วกว่าแบบธรรมดาแต่จะต้องบ่มให้ดี โดยปกติจะสามารถรับแรงได้เมื่อ คอนกรีตมีอายุเพียงประมาณ 1 ถึง 3 วัน จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วนที่ต้องทำแข่งกับเวลา หรือในกรณีที่ต้องการถอดหรือรื้อแบบเร็วกว่าปกติ นอกจากนั้นยังนิยมนำไปใช้กับงานที่จำเป็นต้องทำในช่วงอากาศหนาวเย็นเนื่องจากคอนกรีตจะแข็งตัวก่อนที่น้ำซึ่งใช้ผสมจะแข็งตัว เสียก่อน และขณะเกิดปฏิกิริยาจะมีความร้อนสูง เพราะความร้อนนี้เองจึง ไม่เหมาะสมกับการก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่

4.) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Type – IV Low Heat Portland Cement หรือ LHC) จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมาะสมกับงานซึ่งต้องการควบคุม ทั้งปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดการเกิดกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะ เป็นไปอย่างช้า ๆ จึงนิยมนำไปใช้กับงานขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกั้นน้ำ ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตถ้ามากเกินไปจะเป็นอันตรายอย่างมากกับ ตัวเขื่อน

เนื่องจากจะทำให้เกิดการแตกหรือร้าวได้แต่ในระยะยาวความแข็งแรงของคอนกรีตจะมีค่าเท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาและทนทานต่อสารเคมีมากกว่า

5.) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟตได้สูง (Type – V Sulphate Resistance Portland Cement หรือ SRC) จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีสมบัติในการต้านทานซัลเฟตได้สูงจึงเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างในบริเวณที่มีการสัมผัสกับซัลเฟตที่เข้มข้น เช่น ในบริเวณดินหรือน้ำที่มีความเป็นด่างสูงระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้ จะช้ากว่าประเภทอื่น ๆ ในการผสมไม่ควรใช้น้ำที่มีสารแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride, CaCl_2) หรือเกลือเพราะจะทำให้คอนกรีตไม่ทนต่อซัลเฟต

2.1.6 ปูนซีเมนต์ประเภทอื่น

นอกจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 ประเภทที่ประกอบด้วย สารในปริมาณที่ต่างกันยังมีปูนซีเมนต์อื่นที่ทำมาจากการผสมสารบดกับปูนเม็ดโดยการเพิ่มสารประกอบอื่นระหว่างการเผาซึ่ง ได้แก่

1.) ปูนซีเมนต์ผสม

ปูนซีเมนต์ผสมหรือปูนซีเมนต์ซิลิกา ได้จากการบดปูนเม็ดกับวัสดุเฉื่อยจำพวกทรายซึ่งประกอบด้วยซิลิกาหรือบดร่วมกับหินปูนที่เฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยาปริมาณวัสดุเฉื่อยที่ใช้ประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 โดยน้ำหนักทำให้ปูนซีเมนต์มีราคาถูกลงระยะเวลาการก่อตัวนั้นขึ้นการเย็นน้ำต่ำและการหดตัวเมื่อตากแห้งน้อยลงจึงช่วยลดการแตกร้าวที่ผิวเหมาะสำหรับใช้ ในงานปูนก่อหรือปูนฉาบเพราะจะได้มีเวลาในการทำงานนานขึ้นแต่ข้อควรระวัง สำหรับปูนซีเมนต์ประเภทนี้คือมีกำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอายุต้นจึงไม่ควรใช้ในการก่อสร้างองค์อาคารหลัก เช่น พุกเสา คาน พื้น หรือฐานรากของอาคารนอกจากนี้อายุการใช้งานของอาคารจะน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ปกติปูนซีเมนต์ประเภทนี้ผลิตจำหน่ายในประเทศไทยได้แก่ ตราเสือ ตรานกอินทรี ตราภูเขาตราที่พีไอสีเขียว ตราดอกบัว ตราจรวด และ ตราเอกซีเมนต์ที่เขียว เป็นต้น

2.) ปูนซีเมนต์ขาว

สีเทาในปูนซีเมนต์เกิดจากสารออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ดังนั้นการผลิตปูนซีเมนต์ขาวจึงทำได้โดยการลดปริมาณสารดังกล่าวให้ต่ำลง ซึ่งอาจใช้ดินขาวจิบกับดินสอพองหรือหินปูน ที่ไม่มีออกไซด์ของธาตุเหล็กเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้ออกไซด์ของเหล็กในปูนซีเมนต์ขาวต่ำกว่าร้อยละ 0.50 ซึ่งทำให้มีปริมาณของสารได้ในปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 0.50 เท่านั้น ดังนั้นปูนซีเมนต์ขาวจึงมีส่วนประกอบของ สุนและแทบจะไม่มี นอกจากนี้ในการเผาจะใช้น้ำมันเพราะถ่านหินจะมี ออกไซด์ของธาตุเหล็กและแมงกานีสปนอยู่สูง การใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงจึงทำให้ต้นทุนการผลิตปูนซีเมนต์ขาวมีราคาที่สูงกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา กำลังอัดของปูนซีเมนต์ชนิดนี้ส่วนมากจะไม่สูงนัก จึงไม่เหมาะที่จะนำไปทำโครงสร้างที่รับแรง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความสวยงามทางด้านสถาปัตยกรรม เพราะสามารถใช้สีผสมให้เป็นสีที่ต้องการได้ เช่น ใช้ทำหินขัด หินล้าง เป็นต้นปูนซีเมนต์ขาวที่ผลิตในประเทศไทยได้แก่ปูนซีเมนต์ขาวตราช้างเผือก และปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

3.) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน ได้จากการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับวัสดุปอซโซลาน วัสดุปอซโซลาน คือ วัสดุที่มีซิลิกา หรือซิลิกา และอลูมินาที่ละเอียด โดยตัวของมันเองจะไม่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และน้ำที่อุณหภูมิปกติจะได้สารที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน วัสดุปอซโซลาน ได้แก่ ดินเหนียวเผา ถ้ำถ่านหินหรือถ้ำลอย ชิกาฟุม และถ้ำแคลบดละเอียด เป็นต้น ซิลิกาในวัสดุปอซโซลานต้องอยู่ในรูปอสัณฐาน คือไม่เป็นผลึก เพราะถ้าเป็นผลึก ซิลิกาจะเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา การผสมวัสดุปอซโซลานลงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ส่วนมากจะทำให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง กำลังระยะแรกลดลงเพิ่มความสามารถในการต้านทานสารละลายซัลเฟต ลดปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกา ปริมาณวัสดุสุสานที่ใช้อยู่ระหว่างร้อยละ 15.0 ถึง 40.0 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน การใช้วัสดุปอซโซลานนอกจากจะเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังทำให้ปูนซีเมนต์ราคาถูกลงด้วย

4.) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดตะกรันเตาถลุงเหล็กกับปูนเม็ด ตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการถลุงเหล็กประกอบด้วยซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่วนมากแล้วจะใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กในช่วงร้อยละ 25.0 ถึง 70.0 ของวัสดุซีเมนต์ ตะกรันเตาถลุงเหล็กเมื่อทำปฏิกิริยาจะให้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเหมือนกับ ผลผลิต จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ แต่ปฏิกิริยาของตะกรันเตาถลุงเหล็กจะช้ากว่า ดังนั้นการรับกำลัง ในระยะแรกจะต่ำกว่า ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และความร้อนจากปฏิกิริยา ไฮเดรชันก็ต่ำกว่า นอกจากนี้การต้านทานต่อสารละลายซัลเฟตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตะกรันเตาถลุงเหล็กจะดีขึ้น เพราะปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้สามารถใช้งานคอนกรีตหยาบและนิยมใช้สำหรับโครงสร้างคอนกรีต ในทะเล แต่ในประเทศไทยไม่มีการผลิตปูนซีเมนต์ชนิดนี้

5.) ปูนซีเมนต์ซัลเฟตสูง

ปูนซีเมนต์ซัลเฟตสูง ทำจากการบดตะกรันเตาถลุงเหล็กประมาณ ร้อยละ 80.0 ถึง 85.0 กับสารแคลเซียมซัลเฟต (ยิปซั่มที่ผ่านการเผาจัดน้ำ) ประมาณร้อยละ 10.0 ถึง 15.0 และปูนเม็ดประมาณร้อยละ 5.0 ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำกว่าและทนต่อสร้างสาร ซัลเฟตได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก สามารถทนทานต่อการกรัดกร่อนของกรด เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความคงทนต่อการกัดกร่อน เช่น โครงทำคอนกรีตสำหรับน้ำทิ้ง

6.) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็วพิเศษ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็วพิเศษ ทำจากการบดแคลเซียมคลอไรด์ ประมาณร้อยละ 1.0 ถึง 2.0 กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3) แคลเซียมคลอไรด์ เป็นสารเร่งปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ให้ก่อตัวและแข็งตัวเร็วขึ้นเนื่องจากปูน ซีเมนต์ชนิดนี้แข็งตัวเร็วมาก จึงไม่ควรเก็บไว้นานและเหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีตที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อต้องการกำลังระยะแรกสูงเป็นพิเศษ

7.) ปูนซีเมนต์งานก่อ

ปูนซีเมนต์งานก่อ เป็นปูนซีเมนต์ที่ทำจากการบดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับหินปูน และสารกักกระจายฟองอากาศ หรือทำจากการพุดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับปูนขาว วัสดุเฉื่อย และสารกักกระจายฟองอากาศ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีความเป็นพลาสติกมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และมีกำลัง ต่ำ มีความสามารถในการอุ้มน้ำดี เหมาะสำหรับงานก่ออิฐเช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ผสม ข้อควรระวังคือห้ามนำปูนซีเมนต์งานมาใช้สำหรับงานคอนกรีตโครงสร้าง

8.) ปูนซีเมนต์ขยายตัว

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีจุดอ่อนคือจะหดตัวเมื่อตากแห้งทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้น จึงได้มีการพัฒนาปูนซีเมนต์ที่มีการหดตัวน้อย โดยใช้หลักการของการขยายตัวเริ่มแรกก่อนที่จะมีการหดตัวการขยายตัวของปูนซีเมนต์ขยายตัว อาศัยการทำให้เกิดสารเอทริงไกต์ โดยการใส่สารแคลเซียมอลูมิเนตและสารซัลเฟต หรืออาจใช้การบดสารแคลเซียมซัลโฟลูมิเนต ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา และเมื่อทำการปรับส่วนผสมให้พอเหมาะ สามารถทำให้เกิดการขยายตัวเริ่มแรกและการหดตัวภายหลังมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้สารเพิ่มการขยายตัวสามารถผลิตได้จากส่วนผสมของอลูมิเนียมออกไซด์ ยิปซัม และ แคลเซียมออกไซด์ ซึ่งต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมและนำไปใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในสัดส่วนที่เหมาะสมด้วยจึงจะสามารถขจัดเคชการหดตัวของปูนซีเมนต์ได้

9.) ปูนซีเมนต์ก่อตัวและแข็งตัวเร็ว

การเกิดสารเอทริงไกต์ในปริมาณมาก สามารถทำให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวได้ภายในเวลา 2 ถึง 45 นาที และมีกำลังได้ภายใน 1 ถึง 2 ชั่วโมง ปูนซีเมนต์ก่อตัวและแข็งตัวเร็วจะมียิปซัมหรือแคลเซียมซัลโฟลูมิเนตผสมอยู่ มาก ปฏิกริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ชนิดนี้จะทำให้เกิดความร้อนและเกิดเอ ทริงไกต์ขึ้นจำนวนมากก่อนที่แคลเซียมซัลไฟเกตจะทำปฏิกิริยา ซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังได้รวดเร็วและปฏิกิริยาของแคลเซียมซัลไฟเกตจะเกิดขึ้น ภายหลังปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะสำหรับงานซ่อมแซมที่ต้องใช้งานอย่างเร่งด่วน

10.) ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมัน

ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมัน ใช้สำหรับงานบ่อน้ำมัน เพื่อป้องกันน้ำใต้ดินเข้ามาในหลุมเจาะน้ำมัน ปูนซีเมนต์จะต้องตัวช้าภายใต้อุณหภูมิ ความดัน และทนสภาพที่มีการกัดกร่อนสูง อุณหภูมิในบ่อน้ำมันที่ลึกมากอาจสูงเกิน 260°C ปูนซีเมนต์จากผสมกับน้ำจนเป็นน้ำโคลนและสูบส่งลงในบ่อน้ำมัน ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จะมี อยู่น้อยมาก อยู่ประมาณร้อยละ 3.0 ถึง 4.0 ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคกับแท่นเจาะ ซึ่งผลิตสำหรับส่งออกไปยังต่างประเทศ

11.) ปูนซีเมนต์อลูมินาสูง

ปูนซีเมนต์อลูมินาสูง เป็นปูนซีเมนต์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้กันมากในต่างประเทศ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ผลิตจากหินปูนและบอไซด์ ซึ่งประกอบด้วยอลูมินาออกไซด์ของเหล็กและซิลิกา อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ 1,600°C ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีปริมาณของอลูมินาผสมอยู่ประมาณร้อยละ 40 ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันและกำลังระยะแรกสูงกำลังของปูนซีเมนต์อลูมินาสูงที่อายุ 24 ชั่วโมง มีกำลังสูงเท่ากับหรืออาจสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาที่อายุ 28 วัน นอกจากนี้คอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ชนิดนี้ทนทานต่อการกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนของสารละลาย ชัลเฟตและกรดเพราะมีความทึบน้ำ ข้อควรระวังสำหรับการใช้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ คือ กำลังของคอนกรีตลดลงเนื่องจากการแปรสภาพของสารประกอบอลูมิเนตโดยเฉพาะ เมื่ออุณหภูมิสูงและความชื้นสูง การใส่ซิลิกาฟุ่มสามารถทำให้คอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์อลูมินาสูงมีกำลังรับ แรงดีขึ้น ข้อควรระวังเพิ่มเติมของการใช้ปูนซีเมนต์อลูมินาสูงที่สุดคือไม่ใช้ผสมร่วมกับ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์เพราะจะทำให้เกิดการก่อตัวอย่างฉับพลัน

2.2 คอนกรีต(concrete)

คอนกรีต เป็นวัสดุผสมที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม (เช่น หิน ททราย หรือ กรวด) และ น้ำ โดยอาจจะมีสารเคมีเติมเพิ่มเข้าไปสำหรับคุณสมบัติด้านอื่น เมื่อผสมเสร็จคอนกรีตจะแข็งตัวอย่างช้าๆ ซึ่งน้ำและซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกันในลักษณะที่เรียกว่าการไฮเดรชัน โดยซีเมนต์จะเริ่มจับตัวกับวัสดุอื่นและแข็งตัว ซึ่งในสถานะนี้จะนิยมเรียกกันว่าคอนกรีต ความแข็งแรงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆหลังจากที่ผสม และยิ่งแข็งแรงขึ้นภายหลังจากการแข็งตัว โดยประมาณหลังจากแข็งตัวแล้ว 28 วัน ความแข็งแรงจะเริ่มคงที่ คอนกรีตมีใช้กันในงานก่อสร้างหลายชนิด ซึ่งรวมถึง อาคาร ถนน เขื่อน สะพาน อนุสาวรีย์ และงานก่อสร้างต่างๆ ซึ่งมีเห็นได้ทั่วไป

คุณสมบัติหลักของคอนกรีตคือการรับแรงอัดสูง ในขณะที่สามารถรับแรงดึงได้ต่ำ (ประมาณร้อยละ 10.0ของแรงอัด) โดยเมื่อต้องการให้คอนกรีตสามารถรับแรงดึง จะมีการเสริมวัสดุอื่นเพิ่มเข้าไปในคอนกรีต โดยจะเรียกว่า คอนกรีตเสริมแรง หรือคอนกรีตเสริมเหล็กที่เรียกกัน (โดยเสริมแรงด้วยเหล็ก) วัสดุเหล่านี้จะช่วยรับแรงดึงภายในคอนกรีต ซึ่งงานโครงสร้างอาคารส่วนใหญ่นิยมใช้คอนกรีตเสริมแรงแทนที่คอนกรีตเปลือย

2.2.1คุณสมบัติของคอนกรีตสด (Properties of Fresh concrete)

คอนกรีตสดคือคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลว คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ต้องการได้แก่ ความสม่ำเสมอของส่วนผสมความง่ายในการลำเลียงและขนส่ง การทำงานได้สะดวกโดยที่สามารถเทลงแบบและเขย่า สามารถอัดแน่นได้ง่ายโดยไม่เกิดการแยกตัว

2.2.2ความสามารถในการทำงาน(Workability)

โดยทั่วไปอ้างถึงคอนกรีตที่อยู่ในสภาพที่พร้อมจะทำงานได้โดยไม่เกิดการแยกตัว อย่างไรก็ตามคำว่าทำงานได้แบ่งออกได้หลายแบบขึ้นกับประเภทของงานคอนกรีต ทำการทดลองตาม(ASTM:C1437-01)

2.2.3ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time)

วัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบเวลาหลังจากปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ และตรวจสอบการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ผิดปกติ ทำการทดลองตาม (ASTM:C191-01a)

2.2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด

คุณสมบัติของคอนกรีตสดขึ้นอยู่กับส่วนผสมได้แก่ ปริมาณน้ำ คุณสมบัติของมวลรวม ชนิดของปูนซีเมนต์ วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมคอนกรีต และสารผสมเพิ่ม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลา และอิทธิพลสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

1.) ปริมาณน้ำในส่วนผสม (W/C Ratio)

ปริมาณน้ำมีอิทธิพลต่อความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตโดยตรง การเพิ่มปริมาณน้ำทำให้คอนกรีตสดมีความสามารถในการเท แต่ทำให้กำลังลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ สูงขึ้น นอกจากนี้คอนกรีตสดที่เหลวเกินไปยังเกิดการแยกตัวได้ง่าย เพราะทรายและหินจมลงสู่ด้านล่าง

2.) คุณสมบัติของมวลรวม

รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต อนุภาคของมวลรวมที่กลมจะทำให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้ง่ายดีกว่ามวลรวมที่มีรูปร่างเหลี่ยมเป็นมุม เพราะมวลรวมกลมมีการขัดระหว่างวัสดุน้อย นอกจากนี้มวลรวมกลมยังมีพื้นที่ผิวต่ำทำให้ต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มาเคลือบและหล่อลื่นน้อย ขนาดและอนุภาคก็มีผลต่อการทำงานได้ของคอนกรีต มวลรวมที่มีขนาดเล็กก็จะมีพื้นที่ผิวมากทำให้ต้องการน้ำและซีเมนต์เพสต์มากขึ้น

3.) ชนิดของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วและสามารถเทได้ของคอนกรีตจะลดลง ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมาก เช่นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 จะต้องการน้ำมากกว่าชนิดอื่นที่มีอัตราส่วนผสมเหมือนกันเพราะมีพื้นที่ผิวมากและว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา

4.) เวลาและอุณหภูมิ

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะความร้อนทำให้การระเหยของน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว ในกรณีที่อากาศมีความสัมพันธ์ต่ำจะทำให้การสูญเสียของน้ำเกิดได้อย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำเกิดได้รวดเร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูง ทำให้ความสามารถในการเทได้ลดลงตามเวลาหลังจากผสมคอนกรีต

5.) สารผสมเพิ่ม

การเพิ่มความสามารถเทได้ของคอนกรีตสามารถทำได้โดยใช้สารหน่วงการก่อตัว นอกจากนี้สารกักกระจายฟองอากาศและสารลดน้ำก็ช่วยทำให้ความสามารถเทได้ของคอนกรีตดีขึ้น การใช้ถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตจะช่วยให้ความสามารถเทได้ดีขึ้นและลดการแยกตัวของคอนกรีต

2.3 มอร์ต้า(mortar)

มอร์ต้าคือซีเมนต์รวมกับน้ำและทราย ใช้ในการทดลองความต้านทานกำลังอัด (compressive strength) ในการทดลอง ASTM : C109/C109M-02 ใช้มอร์ต้าขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ใช้ทรายที่มีค่า Fineness Modulus 2.75 ผสมกับซีเมนต์ด้วยอัตราส่วน ทราย 2 ส่วนต่อซีเมนต์ 1 ส่วน

2.4มวลรวม(Aggregate)

มวลรวม(Aggregate) เป็นวัสดุผสมจัดเป็นวัสดุเฉื่อย ได้แก่ หิน กรวด ทราย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของคอนกรีตเนื่องจากมีปริมาตรถึงร้อยละ 70.0-80.0 ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้นในส่วนผสมของคอนกรีตจึงควรใช้ปริมาณมวลรวมให้พอเหมาะเพื่อที่จะให้ใช้ปูนซีเมนต์ลดน้อยลง มวลรวมยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดลงบนคอนกรีต กำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวม มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ดังนั้นการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสมจะช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย มวลรวมผสมคอนกรีตสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

- 1.) มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้แก่ หิน หรือกรวดที่มีขนาดมากกว่า 4.75 มม. ขึ้นไป
- 2.) มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) โดยทั่วไปมีขนาด(ผ่าน sieve เบอร์4 ค้าง sieve เบอร์ 200) โดยส่วนมากจะเป็นวัสดุจำพวกทรายโดยแบ่งออกได้เป็นทรายหยาบ ทรายละเอียด ฝุ่นผง และดินเหนียว ตามขนาด

มวลรวมที่ดีเมื่อผสมเป็นคอนกรีตแล้วจะต้องทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงสูง มวลรวมควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ความสะอาด มวลรวมต้องสะอาดเพื่อให้ไม่มีสารเจือปนในคอนกรีต
- ความแข็งแรง มวลรวมจะต้องมีความสามารถรับแรงกดได้ระหว่าง 700-3,500 กก./ตร.ซม.
- ความต้านทานการเสียดสี มวลรวมที่ใช้ได้ดีต้องเนื้อแน่น ปราศจากอนุภาคที่แตกง่าย
- รูปร่างและลักษณะผิว รูปร่างของมวลรวมมีผลต่อปริมาณซีเมนต์เพลสซ์ที่ใช้
- ขนาดคละ ขนาดคละจะมีผลต่อความสามารถเทได้

2.5 ความต้านทานกำลังอัด (compressive strength)

กำลังอัดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุดของคอนกรีต เนื่องจากการออกแบบคอนกรีตส่วนมากมักจะออกแบบให้คอนกรีตรับเฉพาะแรงอัดอย่างเดียว ถึงแม้ว่าคอนกรีตจะรับแรงดึงได้บ้างก็มักจะไม่นำมาคิด ในองค์อาคารส่วนที่ต้องรับแรงดึงมักจะให้เหล็กเสริมรับแรงส่วนนี้ไป กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาส่วนผสม (โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์) อายุ การบ่ม และอื่น ๆ เนื่องจากวิวัฒนาการทางวิชาการของคอนกรีตได้พัฒนาไปมาก จึงทำให้ในปัจจุบันนี้สามารถผลิตคอนกรีตที่กำลังอัดถึง 700 กก./ซม.² หรือสูงกว่าได้

กำลังอัดของคอนกรีต, (f_c') หมายถึงกำลังอัดที่ได้จากการทดสอบแท่งตัวอย่างมาตรฐานรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ที่อายุ 28 วัน ในบางครั้งแท่งตัวอย่างรูปลูกบาศก์ ขนาด 15 x 15 x 15 ลูกบาศก์เซ็นต์ติเมตร ก็มักนิยมใช้ในการก่อสร้างแต่กำลังอัดของรูปลูกบาศก์จะสูงกว่ากำลังอัดของรูปทรงกระบอกมาตรฐานซึ่งสามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่(2.1)

$$f_c' = P_u / A \quad (2.1)$$

โดย

$$f_c = \text{ความต้านทานแรงอัดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ, กก./ซม.}^2$$

$$P_u = \text{น้ำหนักกดสูงสุดที่ชิ้นตัวอย่างทดสอบรับได้, กก.}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ, ซม.}^2$$

และคำนวณหาค่าหน่วยน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างดังแสดงในสมการที่ (2.2)

$$WC = W / V \quad (2.2)$$

โดย

$$WC = \text{ความแน่นของชิ้นตัวอย่างทดสอบ, กก./ม.}^3$$

$$W = \text{น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างทดสอบ, กก.}$$

$$V = \text{ปริมาตรของชิ้นตัวอย่างทดสอบ, ม.}^3$$

ในการออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กการกำหนดใช้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตเป็นสิ่งสำคัญ ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงขีดความสามารถของผู้รับเหมาก่อสร้างด้วยว่า จะมีความสามารถผลิตคอนกรีตคุณภาพนั้น ๆ ได้หรือไม่ โดยปรกติผู้ออกแบบจะกำหนดกำลังอัดของคอนกรีตสำหรับก่อสร้างจริงให้สูงกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คำนวณออกแบบประมาณร้อยละ 20.0-25.0 เนื่องจากกำลังของคอนกรีตในที่ก่อสร้างย่อมต่ำกว่ากำลังของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

ในการทดลองนี้ยึดตาม (ASTM:C109-92)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป (Precast Concrete)

คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป คือ ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ที่ได้จากการหล่อ หรือเทในแบบหล่อที่มีขนาดต่างๆ ในโรงงานหรือในบริเวณก่อสร้างให้เสร็จก่อน แล้วนำไปติดตั้งประกอบกันที่หน่วยงานก่อสร้างโดยใช้อุปกรณ์ยกที่เหมาะสมชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ได้รับความนิยมน้อยกว่าหลายในกลุ่มงานพัฒนาโครงการบ้านจัดสรรและงานก่อสร้างอาคารสูง เนื่องจากช่วยลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานและมีมือแรงงานในการก่อสร้างลงได้มาก ทำให้ผู้ประกอบการสามารถส่งมอบงานที่มีคุณภาพได้รวดเร็วขึ้น ภายใต้งบประมาณที่กำหนด อาทิ ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป บันไดคอนกรีตสำเร็จรูป พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป ดังแสดงในรูปที่ 2.2, รูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4

ระบบการก่อสร้างอาคารในปัจจุบันมีการพัฒนาไปอย่างมาก ระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป หรือระบบชิ้นส่วนอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ ก็เป็นระบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมาให้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในงานก่อสร้าง ระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป มักใช้กับงานอาคารที่เป็นโครงการ เช่น บ้านจัดสรร คอนโดมิเนียม ที่มีรูปแบบอาคารเหมือนกันในจำนวนมาก ทางผู้ประกอบการธุรกิจอสังหาริมทรัพย์จึงลงทุนสร้างโรงงานเพื่อหล่อชิ้นส่วนของอาคารล่วงหน้า เมื่อถึงช่วงการก่อสร้างจึงทำการขนส่งเพื่อติดตั้งที่หน้างาน

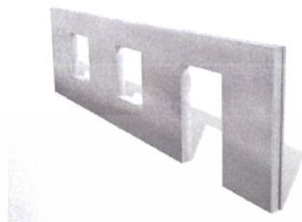
ข้อดี หรือ จุดเด่นของระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป ที่ทำให้ผู้ประกอบการลงทุนสร้างโรงงานและอุปกรณ์สร้างชิ้นส่วน คือ ต้นทุนการก่อสร้างอาคารที่ลดลงหากเทียบจากระบบการก่อสร้างแบบปกติ เนื่องจากระยะเวลาในการก่อสร้างที่เร็วขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงช่างถูกลง คุณภาพงานก่อสร้างเป็นไปตามมาตรฐาน เนื่องจากผลิตในโรงงาน สามารถเปิดโครงการได้รวดเร็วทันความต้องการของตลาด และยังสามารถนำระบบวิธีการไปใช้กับโครงการอื่น ๆ ต่อได้อีกด้วย ผู้บริโภคก็ได้รับประโยชน์เช่นกัน เนื่องจากชิ้นส่วนงานที่มีคุณภาพ เป็นไปตามมาตรฐาน เพราะผลิตในโรงงาน จึงไม่ต้องขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ มีมือความชำนาญของช่าง หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่จะส่งผลต่อคุณภาพงานก่อสร้าง โดยเฉพาะมาตรฐานงานคอนกรีตเสริมเหล็ก และงานที่เกี่ยวข้องกับปูนซีเมนต์ ได้พื้นที่ใช้สอยเพิ่มมากขึ้น เพราะชิ้นส่วนของระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป จะผ่านการออกแบบมาให้เหมาะกับพื้นที่ของอาคารนั้น ๆ คำนึงถึงเหลี่ยมมุมของผนัง จึงไม่เสียพื้นที่ให้กับโครงสร้างเสา คาน ที่จะต้องมีหากก่อสร้างในวิธีปกติ และด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป เป็นคอนกรีตโครงสร้างเสริมเหล็กที่ทำหน้าที่เป็นทั้งโครงสร้างอาคารและผนังอาคาร จึงทำให้มีความแข็งแรงมากกว่าหากเทียบกับผนังระบบก่อสร้างสามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้มากกว่าระบบการก่อสร้างทั่วไป ดังนั้นเมื่อโครงสร้างเป็นระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป จึงจำเป็นต้องกำหนดเรื่องโครงสร้างใต้ดินแต่แรก โดยวิศวกรโครงสร้าง เนื่องด้วยน้ำหนักต่อตารางเมตรของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะมากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระบบผนังก่ออิฐฉาบปูน

ข้อจำกัดของบ้านหรืออาคารที่ใช้ระบบการก่อสร้างแบบคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป หากผู้บริโภคหรือเจ้าของบ้านจะทำการดัดแปลง ต่อเติม หรือปรับปรุงพื้นที่การใช้งาน สิ่งที่ต้องให้ความสำคัญ คือ คอนกรีตในส่วนที่ใช้เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่หล่อมาจากโรงงาน การถ่ายเทน้ำหนักโครงสร้างอาคาร และรูปแบบรอยต่อของการติดตั้งชิ้นส่วน โดยหลักสำคัญเจ้าของบ้านต้องทราบก่อนว่าโครงสร้างบ้านหรืออาคารเป็นระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป แบบผนังรับน้ำหนัก หรือ ระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป แบบเสา - คาน แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาประกอบกับชิ้นส่วนผนังที่ไม่รับน้ำหนัก หรือระบบผนังก่อปกติ เพราะระบบที่ต่างกันจะมีข้อจำกัดในการตัดแปลง ต่อเติม หรือปรับปรุงพื้นที่การใช้งานแตกต่างกันด้วย

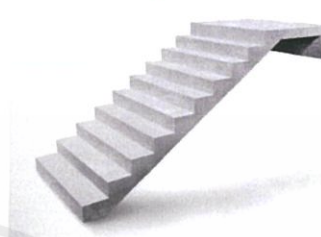
ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป*



รูปที่ 2.2 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

<https://www.scgbuildingmaterials.com/th/CAMPAIGN/Precast-Concrete-System.aspx>

บันไดคอนกรีตสำเร็จรูป



รูปที่ 2.3 บันไดคอนกรีตสำเร็จรูป

<https://www.scgbuildingmaterials.com/th/CAMPAIGN/Precast-Concrete-System.aspx>

พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป*



รูปที่ 2.4 พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

<https://www.scgbuildingmaterials.com/th/CAMPAIGN/Precast-Concrete-System.aspx>

2.7 แคลเซียมไนไตรท์ (Calcium Nitrite)

แคลเซียมไนไตรท์เป็นสารอนินทรีย์ที่มีสูตรทางเคมี $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ ในสารประกอบนี้เช่นเดียวกับไนไตรท์ทั้งหมดไนโตรเจนอยู่ในสถานะออกซิเดชัน +3 มีหลายคุณสมบัติเช่นสารป้องกันสนิม ด้วยยับยั้งการเกิดสนิมของเหล็กและล้ามน้ำมันหนัก ที่อุณหภูมิห้องและความดันคงที่ ส่วนผสมนี้เป็นผงสีขาวหรือสีเหลืองอ่อนสามารถละลายได้อย่างอิสระในน้ำที่มีความหนาแน่น 2.26 g/cm^3 จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 390 องศาเซลเซียส และมีความเสถียรภายใต้สภาวะการใช้และการเก็บรักษาตามปกติ นอกจากนี้ยังโดดเด่นด้วยตัวออกซิเจนที่แข็งแกร่ง การใช้งานแคลเซียมไนไตรท์มีความหลากหลายในการใช้งาน สามารถใช้เป็นสารป้องกันการแข็งตัวเนื่องจากความสามารถในการละลายสูงได้ทั้งในสารละลายหรือผง สามารถส่งเสริมความชุ่มชื้นของแร่ธาตุในปูนซีเมนต์โดยใช้สารป้องกันการแข็งตัวที่อุณหภูมิแช่แข็งย่อยอุณหภูมิในการทำงานสามารถลดลงไปที่ -20.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังเป็นตัวบ่งชี้การสึกกร่อนของโลหะเพื่อป้องกันเหล็กในอาคารคอนกรีตและโครงสร้างจากสนิมเพื่อยืดอายุของอาคารที่ต้องการ

ในการทดลองเลือกใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 45.0 โดยน้ำหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเหตุผลที่เลือกใช้เพราะว่าเป็นสารที่เป็นตัวเร่งการแข็งตัวและช่วยในการเพิ่มกำลังรับแรงอัดในช่วงต้น

2.8 ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (Blast-Furnace Slag)

ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (blast-furnace slag) คือผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่โลหะซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกาและอลูมินาซิลิกาของแคลเซียมและอื่นๆ ซึ่งเกิดขึ้นในขณะหลอมละลายพร้อมกับเหล็กในเตาถลุงเหล็ก นอกจากนี้ยังให้คำจำกัดความของเม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็ก (granulated blast-furnace slag) หมายถึงเม็ดวัสดุที่ไม่เป็นผลึกซึ่งได้จากการทำตะกรันที่หลอมเหลวในเตาถลุงเหล็กให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วโดยการจุ่มลงในน้ำหรือใช้น้ำฉีดเพื่อให้ตะกรันเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว

ตะกรันเตาถลุงเหล็กนอกจากจะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์แล้ว ยังใช้เป็นวัสดุประสานในส่วนผสมร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาวอิมตัว (hydrated lime) ยิปซัม หรือ แอนไฮไดรต์ (anhydrite) ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดสามารถใช้ในรูปของปูนซีเมนต์ผสมหรือใช้เป็นส่วนผสมแยกต่างหากในการผสมคอนกรีต ซึ่งการใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดแยกผสมต่างหากในการผสมคอนกรีตมีข้อดี 2 ประการคือสามารถบดตะกรันเตาถลุงเหล็กให้ละเอียดจนถึงค่าที่ต้องการและสามารถปรับปริมาณของตะกรันเตาถลุงเหล็กให้เหมาะสมกับงานแต่ละงานได้ เนื่องจากในปัจจุบันมีการผลิตตะกรันเตาถลุงเหล็กในประเทศไทย ดังนั้นจึงขอให้รายละเอียดเกี่ยวกับตะกรันเตาถลุงเหล็กเพื่อเป็นวัสดุอีกทางเลือกหนึ่งในส่วนผสมของคอนกรีต

2.8.1 กระบวนการผลิตตะกรันเตาถลุงเหล็ก

ในกระบวนการถลุงเหล็กโรงงานจะใส่สินแร่เหล็กเข้าในเตาถลุงรวมทั้งใส่สารที่เป็นฟลักซ์ (flux) ซึ่งได้แก่ หินปูนและหินโดโลไมต์ เพื่อลดอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวลงเพื่อประหยัดพลังงาน การเผาจะใช้ถ่านโค้ก (ถ่านโค้ก คือถ่านหินที่เผาจนหมดควัน) เป็นเชื้อเพลิงหลังจากเผาจนอุณหภูมิสูงประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ 2 อย่างเกิดขึ้นในเตาเผาพร้อมกัน คือเหล็กที่หลอมจนเหลวซึ่งตกอยู่ก้นเตาและตะกรันเหลวซึ่งลอยอยู่บนเหล็กเหลว การทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ช่วยป้องกันการเกิดผลึกในตะกรันเตาถลุงเหล็กและทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นเม็ดที่มีขนาดเฉลี่ยเล็กกว่า 4.75 มม. จึงเรียกว่าเม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็ก ในทางตรงกันข้ามถ้าปล่อยให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กที่ออกจากเตาเผาเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จะทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กอยู่ในรูปที่เป็นผลึกเป็นส่วนใหญ่ และไม่มีคุณสมบัติทางวัสดุประสาน

กระบวนการทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้เป็นผลึก ทำได้โดยการฉีดน้ำที่มีความเร็วสูงไปกระทบกับตะกรันเตาถลุงเหล็กเหลวที่ยังร้อนอยู่ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อตะกรันเตาถลุงเหล็ก

ประมาณ 10:1 โดยมวล ซึ่งทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นเม็ดและอยู่ในรูปไม่เป็นผลึกสูงมาก ภายหลังจากที่ได้เม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็กจึงทำให้แห้งและบดให้ละเอียด โดยใช้วิธีการเดียวกับการบดเม็ดปูนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ในช่วงก่อนและระหว่าง การบดเม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็กจะนำแม่เหล็กมาดูดแร่เหล็กที่ยังติดมาหรือตกค้างอยู่ออกก่อน เพื่อนำแร่เหล็กกลับไปใช้ใหม่ ตะกรันเตาถลุงเหล็กจะบดให้ละเอียดกว่าปูนซีเมนต์เพราะการทำปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นตามความละเอียดของตะกรันเตาถลุงเหล็กที่เพิ่มขึ้น

2.8.2 องค์ประกอบทางเคมี

ตะกรันเตาถลุงเหล็กประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกาและอลูมินาเป็นหลักซึ่งปนมากับสินแร่เหล็กและยังมีออกไซด์ของแคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งมาจากหินปูนและหินโดโลไมต์องค์ประกอบหลักนี้รวมกันแล้วมีมากกว่าร้อยละ 95.0 นอกจากนี้ยังมีออกไซด์อื่นๆ ที่ติดมา เช่น SO_3 , Fe_2O_3 และ MnO อยู่เล็กน้อย ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดที่ผลิตในอเมริกาและแคนาดาใน ค.ศ. 1988 แม้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดในตารางที่ 1 จะแตกต่างกันมาก แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะแต่ละโรงงานจะพบว่ามีค่าแตกต่างกันไม่มากการที่ตะกรันเตาถลุงเหล็กมีออกไซด์ของแคลเซียมค่อนข้างสูง (มากกว่าร้อยละ 30.0 ขึ้นไป) จึงทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นวัสดุประสานได้ด้วยตัวเองเมื่อผสมกับน้ำ

2.8.3 ผลกระทบของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดต่อคอนกรีตสด

โดยทั่วไปคอนกรีตที่มีตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดจะมีความสามารถในการเท และเขย่าหรือทำให้แน่นได้ง่ายกว่าคอนกรีตธรรมดาการใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดจะยืดระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตออกไป ในกรณีที่ใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ เวลาการก่อตัวที่ยืดออกไปจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของคอนกรีต ปริมาณตะกรันเตา ถลุงเหล็กบดละเอียด อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน และชนิดของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ โดยทั่วไปเวลาการก่อตัวจะยืดออกไปราว 0.50 ถึง 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา การใช้แคลเซียมคลอไรด์เพื่อเร่งการก่อตัวของคอนกรีต จะสามารถชดเชยผลกระทบของการก่อตัวที่ยืดออกไปได้ดี

การเอีมน้ำของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความละเอียดของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดกล่าวคือ ถ้าตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดมีความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์จะทำให้การเอีมน้ำลดลงแต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าความละเอียดของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด มีค่าต่ำกว่าของปูนซีเมนต์การเอีมน้ำของคอนกรีตจะสูงขึ้นอัตราการสูญเสียค่ายุบตัวของคอนกรีตที่มีตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดในส่วนผสม

ของปูนซีเมนต์ร้อยละ 50.0 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันหรือลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด

2.8.4 ผลกระทบของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

การบ่มคอนกรีตผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพเพราะคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตะกรันเตาถลุงเหล็กจะมีปัญหาเรื่องการสูญเสียกำลังหากหยุดบ่มภายหลังจากหล่อ 3 วันไปแล้ว ซึ่งจะคล้ายกับ คอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 2 และอัตราการสูญเสียกำลังของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน คอนกรีตที่ใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดสูงกว่าร้อยละ 30.0 ขึ้นไป มีแนวโน้มที่จะเสี่ยงอันตรายมากกว่าคอนกรีตธรรมดาในกรณีที่ไม่มีการบ่มที่ดี

การพัฒนากำลังคอนกรีตของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดจะขึ้นอยู่กับคุณภาพกล่าวคือการใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดชั้นคุณภาพ 120 จะทำให้กำลังอัดต่ำกว่า คอนกรีตธรรมดาเล็กน้อยในช่วงอายุ 1 ถึง 3 วัน และให้กำลังอัดสูงกว่าเมื่ออายุเกิน 7 วันไปแล้ว แต่การใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดชั้นคุณภาพ 80 และ 100 จะให้กำลังที่ต่ำกว่ากรณีที่ไม่ใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดเป็นส่วนใหญ่

การใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์จะลดอุณหภูมิของคอนกรีตได้ เนื่องจากการลดปริมาณของปูนซีเมนต์ในส่วนผสม และทำให้คอนกรีตที่บ่มน้ำขึ้นและการซึมผ่านน้ำจะลดลงอย่างมากตามอายุที่เพิ่มขึ้น ยิ่งปริมาณตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดมากจะยิ่งลดการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตได้มากขึ้น เพราะโครงสร้างของโพรงในซีเมนต์เพสต์ที่มีส่วนผสมของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดมีแนวโน้มที่บ่มน้ำมากกว่ากรณีของซีเมนต์เพสต์ล้วน

ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดสามารถเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนของคลอไรด์และซัลเฟตได้ดี การใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดร้อยละ 50.0 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งมี C_3A ถึงร้อยละ 12.0 ให้ผลการต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟต เท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 (C_3A ไม่เกินร้อยละ 5.0) ซึ่งความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตที่มีตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดเนื่องมาจากคอนกรีตมีการซึมผ่านน้ำต่ำ การที่ $Ca(OH)_2$ และอัลคาไลทำปฏิกิริยากับตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดได้เป็น C-S-H จึงเหลืออัลคาไลและ $Ca(OH)_2$ น้อยลงในการทำปฏิกิริยากับซัลเฟต การใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนสามารถลดการขยายตัว เนื่องจากปฏิกิริยาของอัลคาไลซิลิกา แต่มักต้องใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดในปริมาณสูงถึงร้อยละ 40.0 ถึง 65.0 ของวัสดุประสานจึงจะสามารถลดปัญหานี้ได้ดี

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยAbdul Ahmad (2018) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมไนไตรท์ ที่มีผลต่อไอน้ำ อุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มก่อนการบีบอัด ความแข็งแรงของมอร์ต้าและคอนกรีตเพื่อศึกษาผลกระทบ ของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมไนไตรท์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 45.0 โดยน้ำหนัก เวลาก่อนการบ่มและอุณหภูมิในการบ่มด้วยความร้อนที่ความแข็งแรงการเพิ่มขึ้นของปูนในช่วงแรกๆ และภายหลัง ดังนั้นการทดลองการตรวจสอบได้ดำเนินการเพื่อกำหนดปริมาณที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กล่าวถึงและเวลาก่อนการบ่มที่เหมาะสม ดำเนินการบนชิ้นงานจากส่วนผสมต่างๆ โดยใช้อัตราส่วน W/C ร้อยละ30.0 และ ร้อยละ40.0 เพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมไนไตรท์4ตัวอย่างคือร้อยละ0 ร้อยละ0.5 ร้อยละ2 และ ร้อยละ4 โดยน้ำหนักซีเมนต์ ที่อุณหภูมิบ่มไอน้ำ 65.0องศาเซลเซียสและเวลาก่อนการบ่มมีสองรูปแบบรูปแบบที่ 1 คือ 0.5 ชั่วโมง และรูปแบบ 2 คือ 2.5 ชั่วโมง เวลาในการบ่มเท่ากันทั้งสองรูปแบบคือ 5 ชั่วโมง การทดสอบกำลังรับแรงอัดในช่วงต้น (8 ชั่วโมง) และอายุคอนกรีตภายหลัง (7 วัน และ 28 วัน) ผลที่ได้เมื่อเทียบกับความแข็งแรงของการควบคุมตัวอย่าง เพื่อให้หน้าไหลซึมได้ดีขึ้นโดยผสมเพิ่มขึ้น ร้อยละ0.50 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จากผลที่ได้ของการทดลองพบว่ามีความแข็งแรงสูงในช่วงต้น และระยะหลังที่ได้รับสำหรับชิ้นงานที่ทำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมไนไตรท์ ร้อยละ4 และสัมพันธ์กับการบ่มก่อนการใช้งานได้นานขึ้น การทดสอบได้ดำเนินการกับชิ้นงานมอร์ต้าไปแล้วตรวจสอบผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมไนไตรท์, อุณหภูมิการอบแห้งด้วยไอน้ำและผลกระทบของการบ่มก่อนเวลาแรงอัดที่อายุต้นและต่อมา ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้ โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมไนไตรท์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในช่วงต้นและอายุต่อมาได้ ชดเชยผลกระทบจากอุณหภูมิไอน้ำที่สูง ความแข็งแรงในช่วงต่อมาตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมไนไตรท์เข้มข้นร้อยละ45โดยน้ำหนักทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยแคลเซียมไนไตรท์ร้อยละ 4.0 คือปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการบ่มก่อนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการแรงอัดที่อายุแตกต่างกันและขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำสำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำต่ำเวลาเตรียมตัวก่อนเวลาในการบ่มจะนานขึ้นความแข็งแรงที่อายุแตกต่างกัน แต่สำหรับอัตราส่วนน้ำสูงเวลาก่อนการบ่มที่สั้นลงทำหน้าที่ในการปรับปรุงอายุภายหลังความแข็งแรงสูงกว่าการบ่มก่อนเวลานานมีความต้องการสูงในการใช้คอนกรีตสำเร็จรูปเนื่องจากข้อดีหลายอย่างเช่นปัญหาทางเศรษฐกิจสิ่งแวดล้อมปัจจัยระยะเวลาโครงการก่อสร้างและคุณภาพควบคุมเพื่อเพิ่มความเร็วในการผลิตในอุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูป ดังนั้นเพื่อเพิ่มอัตราการการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูปการใช้ประโยชน์จากตัวเร่งปฏิกิริยา มีบทบาทสำคัญ จากการศึกษาครั้งนี้เพื่อหาอิทธิพลของแคลเซียมไนไตรท์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยTheodore Hopwood(1988) ได้ทำการศึกษาแคลเซียมไนไตรท์เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนในชั้นฐานคอนกรีตเสริมเหล็ก การถล่มสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากการกัดกร่อนที่เกิดจากคลอไรด์เป็นปัญหาที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง มีหลายขั้นตอนเพื่อแก้ไขปัญหานี้โดยรัฐต่างๆ สำหรับสะพานใหม่มาตรการทั่วไป (โดยทั่วไปถือว่ามีประสิทธิภาพมากที่สุด) คือการใช้เหล็กเสริมที่เคลือบด้วยอีพ็อกซี่ ขั้นตอนการป้องกันอื่น ๆ ได้แก่ การใช้แผ่นกันซึมชนิดต่างๆของคอนกรีตหนาแน่นหรือไม่ผ่านการซึมผ่านในชั้นและชั้นวางของสะพานพื้นผิวคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมแรงขั้วของเหล็กเสริมและวัสดุปิดผนึก

ต่างๆ สำหรับการก่อสร้างใหม่ไม่มีวิธีการใดที่พิสูจน์ได้ว่าทนทานต่อการแข่งขันทางเศรษฐกิจหรือมีความทนทานพอสมควรสำหรับเหล็กเสริมที่เคลือบด้วยอีพ็อกซีปัจจุบันความเด่นของเหล็กเสริมที่เคลือบด้วยอีพ็อกซีในการปกป้องพื้นสะพานไม่ควรกีดกันการพิจารณาแผนการเลือก ต้นทุนของเหล็กเสริมที่เคลือบด้วยอีพ็อกซีอาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากความผันผวนของตลาดและในกรณีดังกล่าวจะเป็นที่พึงปรารถนาที่จะมีวิธีการป้องกันการกัดกร่อนที่เป็นทางเลือก การใช้แคลเซียมไนไตรต์เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนในคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นทางเลือกที่มีแนวโน้ม แคลเซียมไนไตรต์ถูกใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนในประเทศญี่ปุ่น ความขาดแคลนของมวลรวมที่เหมาะสมบังคับให้ชาวญี่ปุ่นใช้ทรายทะเลในคอนกรีต ทรายมีคลอไรด์ที่ช่วยในการกัดกร่อนของเหล็กเสริม การวิจัยของญี่ปุ่นนำไปสู่การใช้แคลเซียมไนไตรต์ซึ่งได้รับการพิจารณาว่าเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนที่มีประสิทธิภาพซึ่งไม่ส่งผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีต แคลเซียมไนไตรต์ต้องเติมลงในคอนกรีตในปริมาณที่เพียงพอเพื่อให้เหล็กของไอออนคลอไรด์เป็นกลางตลอดอายุของโครงสร้าง อัตราการใช้โดยทั่วไปมีตั้งแต่ร้อยละ 2.0-4.0 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ (สำหรับส่วนผสมของแคลเซียมไนไตรต์ W. R. Grace DCI) แคลเซียมไนไตรต์แสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพสำหรับอัตราส่วนของคลอไรด์ต่อไนไตรต์เกินร้อยละ 1.5 ถึง 1.0 โดยน้ำหนักตามปริมาณไนไตรต์ แคลเซียมไนไตรต์สามารถยับยั้งการกัดกร่อนได้ถ้าปริมาณของคลอไรด์ในดาดฟ้าอยู่ที่ร้อยละ 2.0 ถึง 3.0 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ นี่เป็นนัยสำคัญเนื่องจากร้อยละ 0.3 ถึง 1.0 ของคลอไรด์โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ในดาดฟ้าเพียงพอที่จะทำให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในยุโรป การป้องกันโดยแคลเซียมไนไตรต์ได้รับการวิเคราะห์โดยทดลองและมีประสิทธิภาพในการป้องกันการสึกกร่อนที่ระดับคลอไรด์สูงมาก 3.60 ถึง 22.60 ปอนด์ต่อคลองของคอนกรีต (ประมาณร้อยละ 0.80 ถึง 5.0 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์) คุณสมบัติในการยับยั้งการกัดกร่อนของแคลเซียมไนไตรต์ทำให้การก่อสร้างสะพานทดลองมีการใช้งาน ที่ได้รับการดำเนินการก่อนหน้านี้โดยหน่วยงานทางหลวงของรัฐอื่น ๆ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยNEAL S. BERKE (1989) ได้ทำการศึกษาว่าแคลเซียมไนไตรต์เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนที่มีประสิทธิภาพสำหรับเหล็กในคอนกรีตเมื่อทำการทดสอบการกัดกร่อนในห้องปฏิบัติการและสนามตัวอย่าง ผลกระทบของการออกแบบส่วนผสมและคอนกรีตเกี่ยวกับความต้านทานการกัดกร่อนด้วยแคลเซียมไนไตรต์ยังกล่าวถึงนอกจากนี้ในกรณีส่วนใหญ่แคลเซียมไนไตรต์ช่วยเพิ่มแรงกดความแข็งแรงของคอนกรีตผสมและมีอากาศที่เหมาะสม สรุปได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าแคลเซียมไนไตรต์เป็นส่วนผสมที่ยับยั้งการกัดกร่อนเพื่อป้องกันโครงสร้างคอนกรีตในสภาพแวดล้อมคลอไรด์ จากการศึกษาพบว่าคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเมื่อคอนกรีตเสริมเหล็กถูกบรรจุในคลอไรด์เกลืออย่างไรก็ตามการกัดกร่อนของเหล็กอาจเกิดขึ้นได้บทความนี้ศึกษาพัฒนาการของแคลเซียมไนไตรต์เป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนเพื่อป้องกันเหล็กในคอนกรีตจากคลอไรด์อิมมิดี การกร่อนนอกจากนี้ผลประโยชน์ของแคลเซียมไนไตรต์บนคอนกรีตเช่นคุณสมบัติที่ดีขึ้นของกลศาสตร์และความทนทาน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยOlga Girèienè (2005)ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของตัวยับยั้งการกักกร่อนแคลเซียมไนไตรท์ของเหล็ก ในสารละลายต่างและโครงสร้างคอนกรีต พฤติกรรมการกักกร่อนของเหล็กในสารละลายอัลคาไลน์คลอไรด์ 2 ชนิด และคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการสร้างสะพาน ทั้งมีและไม่มีตัวยับยั้งแคลเซียมไนไตรท์ถูกตรวจสอบ และการเร่งการกักกร่อน ทดสอบโดยการฉีดพ่นเกลือเป็นกลางและ CO₂ ในห้อง เช่นเดียวกับการแช่ใน สารละลายร้อยละ5.0ของ NaCl การนำแคลเซียมไนไตรท์ในการศึกษาทั้งสองชนิดพบว่าช่วยลดอัตราการกักกร่อนของเหล็กเสริมจากการทดสอบสรุปได้ว่าการกักกร่อนแบบเร่งด่วน พบว่าแคลเซียมไนไตรท์เป็นตัวยับยั้งการกักกร่อนของเหล็กที่มีประสิทธิภาพทั้ง คลอไรด์ที่มีสารละลายอัลคาไลน์ และคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างสะพาน ความสามารถของไนไตรด์ในการยับยั้งการกักกร่อนของเหล็ก ในตัวกลางต่างที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการป้องกันการกักกร่อนของผลิตภัณฑ์การมีคลอไรด์ในสารกักกร่อน



บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับงานคอนกรีตที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งเน้นการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน โดยงานวิจัยนี้มีรูปแบบเป็นงานวิจัยเชิงปฏิบัติการและในบทนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย กระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลและมาตรฐานต่างๆใช้อ้างอิงในงานวิจัยดังนี้

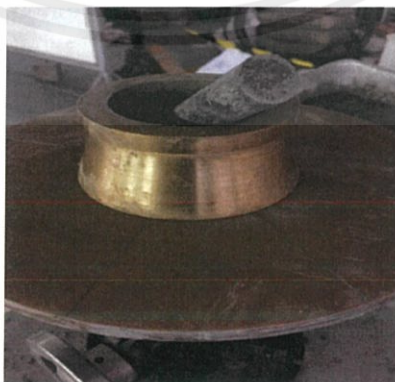
3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างมอร์ตาร์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติที่ต่างกันออกไปในแต่ละอัตราส่วนการผสมของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ โดยทำการออกแบบส่วนผสมมอร์ตาร์(Mix Design) เป็นสองชุดโดยชุดแรกจะไม่มีส่วนผสมของซีเมนต์อีกชุดจะมีซีเมนต์ผสมอยู่โดยในแต่ละชุดจะมีจำนวนตัวอย่าง 72 ก้อนและในแต่ละชุดตัวอย่างจะมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สี่ค่าโดยเริ่มจากที่ร้อยละ 40 และ 45 ตามลำดับโดยในแต่ละชุดตัวอย่างการทดลองจะใส่สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ในแต่ละชุดต่างกันโดยเริ่มจากที่ร้อยละ 0 , 2 และ 4 ตามลำดับจึงทำให้จะมีตัวอย่างมอร์ตาร์ทั้งหมดจำนวน 120 ลูก โดยการทดสอบจะทำการกดตัวอย่างมอร์ตาร์เพื่อหาค่ารับแรงอัด ที่ระยะเวลา 16 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 14 วัน เพื่อหาข้อสรุปว่าการใส่สารผสมเพิ่ม แคลเซียมไนไตรท์ จะสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดในช่วงต้นได้จริงไหมและจะทำการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ด้านอื่นๆโดยจะมี การทดสอบไหลแผ่ของมอร์ตาร์,การทดสอบการหาระยะก่อตัวของคอนกรีตสด,ความต้านทานด้านกำลังอัด แล้วจึงเก็บข้อมูลรวบรวมเพื่อวิเคราะห์และสรุปผล

3.2 วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์

1.)การทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์

(Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar)



รูปที่3.1 อุปกรณ์โต๊ะทดสอบการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์
(Test Method of Setting Time of Cement Paste)



รูปที่3.2 เครื่องทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

3.การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์
(Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar)



รูปที่3.3 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์โดยจะทำการทดสอบตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ได้ออกแบบไว้เพื่อนำผลลัพธ์ต่างๆที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณและวิเคราะห์เพื่อหาผลลัพธ์ต่อไป

3.2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1.) วัสดุ

1.1.) ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่1 (Ordinary Portland Cement) เหมาะสำหรับผลิตคอนกรีตทั่วไปเป็นที่นิยมอย่างมากในการก่อสร้างทั่วไปเพราะว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่1มีความเหมาะสมในการก่อสร้างโครงสร้างทั่วไปจึงเป็นที่นิยมในท้องตลาดปัจจุบันและตัวอย่างที่ใช้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานอเมริกัน ASTM C-150 TYPE ดังแสดงในรูปที่3.4



รูปที่3.4 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

<https://www.builk.com/yello/product/>

1.2) มวลรวมละเอียดเป็นทรายแม่น้ำล้างน้ำจนสะอาดก่อนนำมาใช้ปรับให้อยู่ในสภาพอิมตัวผิวแห้งตามมาตรฐาน ASTM C136 โดยผ่านการนำทรายมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 30 50 100 200 เพื่อหาค่าโมดูลัสความละเอียด แล้วจึงนำมาใช้เทียบกับค่าตามที่มาตรฐานกำหนดของทรายละเอียดที่ 2.2 ถึง 2.6 แต่ทรายที่ใช้มีค่าความละเอียด 2.75 ดังแสดงในรูปที่3.5



รูปที่3.5 ทรายละเอียด

<http://jcmart1998.lnwshop.com/product/1187/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.) น้ำประปาสะอาดที่ไม่มีสารเจือปนมากจนถึงขั้นส่งผลต่อตัวซีเมนต์มอร์ตาร์
- 4.) สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรต์ดังแสดงในรูปที่3.6และรูปที่ 3.7



รูปที่3.6 สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรต์



รูปที่3.7 สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรต์

3.2.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีมอร์ตาร์และซีเมนต์เพสต์ โดยตัวอย่างมอร์ตาร์จะใช้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ส่วนตัวอย่างซีเมนต์เพสต์จะใช้ในการทดสอบหาค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตสดโดยจะมีตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้ทำการทดสอบจำนวนทั้งสิ้น 120 ลูก ดังแสดงในรูปที่3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์

โดยยึดวิธีการตามมาตรฐาน ASTM C191-01a

- 1.)เตรียมพร้อมอุปกรณ์ต่างๆสำหรับการใช้ผสมซีเมนต์เพสต์ให้อยู่ในสภาพแห้งเรียบร้อย
- 2.)เทน้ำปริมาณที่ก่อให้เกิดความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์ทั้งหมดลงในชามผสม และเติมปูนซีเมนต์จำนวน 500 กรัม ลงในน้ำ ปล่อยทิ้งไว้ 30 วินาที เพื่อให้น้ำซึมอย่างทั่วถึง
- 3.)เปิดเครื่องผสมที่ความเร็วรอบต่ำ เป็นเวลา 30 วินาที หลังจากนั้นหยุดเครื่องเป็นเวลา 15 วินาที ในช่วงเวลานี้ให้ปาดซีเมนต์เพสต์ที่ติดอยู่ข้างหม้อผสมและใบพายลงไปรวมกันตรงกลางเปิดเครื่องผสมอีกครั้งด้วยความเร็วรอบปานกลางเป็นเวลา 1 นาที
- 4.)ปั้นตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแล้ว ให้มีลักษณะเป็นก้อนกลมโดยใช้มือที่สวมถุงมือโยนข้ามไปมาระหว่างมือทั้งสองข้างที่ห่างกันประมาณ 15 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 6 ครั้ง

นำซีเมนต์เพสต์ที่ปั้นแล้ววางบนฝ่ามือข้างหนึ่งไปกดลงในแบบกรวยทางด้านที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จนซีเมนต์เพสต์เต็มแบบแล้วปาดซีเมนต์เพสต์ส่วนเกินของกรวยด้านใหญ่ นำแบบกรวยปลายเปิดด้านใหญ่วางลงบนกระจกแผ่นใสขยับให้ขอบแบบกรวยแนบสนิทกับแผ่นกระจก ปาดซีเมนต์เพสต์ส่วนเกินทางด้านบนของแบบกรวย (ด้านเล็ก) หนึ่งครั้งโดยใช้เกรียง แล้วแต่งผิวให้เรียบโดยใช้ปลายเกรียงแต่งเบาๆโดยที่ห้ามออกแรงกดลงไปบนผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการเตรียมซีเมนต์เพสต์

การเตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์

โดยยึดวิธีการตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M-02

- 1.) เทน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการผสมลงไปในถ้วยผสมเติมปูนซีเมนต์และผสมด้วยความเร็วรอบต่ำผสมเป็นเวลา 30 วินาที
- 2.) เติมทรายลงในหม้อผสมที่ละน้อยจนหมดภายในช่วงเวลา 30 วินาที โดยที่เครื่องผสมหมุนอยู่ที่ความเร็วรอบต่ำ
- 3.) ปิดเครื่องผสม และเปลี่ยนความเร็วที่ใช้ให้เป็นความเร็วรอบปานกลาง ผสมเป็นเวลา 30 วินาที
- 4.) ปิดเครื่องผสมให้หยุดนิ่งเป็นเวลา 90 วินาที โดยที่ในช่วง 15 วินาทีแรกให้ชุดซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ติดอยู่ข้างๆหม้อผสมและที่พายให้มารวมกันอยู่ตรงกลาง แล้วนำภาชนะมาปิดหม้อผสมจนครบเวลาตามที่กำหนด
- 5.) เปิดเครื่องผสมที่ความเร็วรอบปานกลาง ผสมเป็นเวลา 60 วินาที เป็นอันสิ้นสุดการผสมทันทีที่ผสมเสร็จ ให้นำมอร์ตาร์ที่ได้ไปลงในแบบหล่อ

3.3 วิธีเก็บข้อมูลและการคำนวณ

การทดสอบตัวอย่างตัวอย่างครั้งนี้ใช้มาตรฐาน ASTM โดยได้กำหนดและวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

3.3.1 การทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์

(Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar)

ASTM: C 1437 – 01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ : เพื่อทดสอบหาค่าอัตราการไหลผ่านของซีเมนต์มอร์ตาร์เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการไหลผ่านของซีเมนต์มอร์ตาร์ เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการเทเข้าแบบและการอัดแน่นโดยการทดสอบจะแสดงถึงความข้นเหลวของซีเมนต์มอร์ตาร์โดยการวัดการกระจายของซีเมนต์มอร์ตาร์ภายใต้การตกกระทบ

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- 1.) เหล็กกระทิง (Tamper) ทำจากวัสดุที่ไม่ดูดน้ำไม่สึกหรอเมื่อถูกเสียดสี และไม่เปราะหักง่าย เช่น ทำด้วยยางแข็ง ขนาดประมาณ 1/2" x 1"
- 2.) โต๊ะการไหล (Flow Table)
- 3.) เกรียงเหล็ก (Trowel)
- 4.) ถุงมือยาง (Rubber Glove)

ขั้นตอนการทดสอบ

- 1.) ทำความสะอาดโต๊ะการไหลและแบบหล่อรูปกรวยให้เรียบร้อยแล้ววางแบบหล่อรูปกรวยไว้ตรงกลางของโต๊ะการไหล
- 2.) ใส่ซีเมนต์มอร์ตาร์ลงในแบบหล่อรูปกรวยชั้นแรกหนา 25 มม. แล้วกระทิงด้วยแท่งกระทิงจำนวน 20 ครั้ง ให้ซีเมนต์มอร์ตาร์แผ่เต็มแบบ แล้วจากนั้นใส่ซีเมนต์มอร์ตาร์อีกชั้นหนึ่งจนล้น กระทิงอีก 20 ครั้ง แล้วปาดหน้าให้เรียบเสมอขอบบนของแบบหล่อรูปกรวยด้วยเกรียงให้เรียบร้อย
- 3.) ทำความสะอาดโต๊ะการไหลให้สะอาดโดยรอบตัวอย่างระหว่งการรอเพื่อทำการทดสอบขั้นถัดไป โดยเมื่อครบเวลา 1 นาที ให้ยกแบบหล่อรูปกรวยขึ้นตรงๆ
- 4.) หมุนให้แท่นของโต๊ะการไหล ยกตัวสูงขึ้น 13 มม. (1/2 นิ้ว) จำนวน 25 ครั้ง ในเวลา 15 วินาที
- 5.) วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ไหลแผ่อยู่บนแท่นจำนวน 4 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ย
- 6.) โดยคำนวณจากสูตรดังแสดงในสมการที่ (3.1)

$$(\% \text{ Flow}) = ((D_{\text{avg}} - D_0) / D_0) \times 100 \quad (3.1)$$

โดยที่ D_{avg} = ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แผ่ออก มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

D_0 = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานของแบบหล่อรูปกรวย มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

f% = เปอร์เซ็นต์การไหลผ่านของซีเมนต์มอร์ตาร์

3.3.2 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

(Test Method of Setting Time of Cement Paste)

ASTM: C 191 - 01a

วัตถุประสงค์ : เพื่อทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวหลังจากที่ซีเมนต์ผสมกับน้ำซึ่งจะนำไปใช้เป็นข้อมูลศึกษาและประกอบการตัดสินใจต่อไป

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- 1.) เครื่องชั่ง (Weight and Weighting Device) ที่สามารถชั่งได้ถึง 1,000 กรัม และอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
- 2.) กระจกตวง (Glass Graduate) ขนาด 200 หรือ 250 มิลลิลิตร
- 3.) ชุดเครื่องมือไวแคท (Vicat Apparatus)
- 4.) เครื่องผสมซีเมนต์ (Mixer)
- 5.) เกรียงเหล็ก (Trowel)
- 6.) นาฬิกาจับเวลา (Stopwatch)
- 7.) ถุงมือยาง (Rubber Glove)

ขั้นตอนการทดสอบ

การคำนวณระยะเวลาการเริ่มก่อตัว (Initial Setting Time)

- 1.) วางแบบกรวยทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาทีหลังจากบรรจุซีเมนต์เพสต์ลงในแบบโดยปราศจากการรบกวน ต่อจากนั้นนำเข็มทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. แตะกับผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์แล้วล็อกเข็มไว้
- 2.) ปรับตัวบอกระยะจมนบนแผ่นสเกลให้ชี้ที่เลขศูนย์แล้วปล่อยเข็มทดสอบทันที
- 3.) บันทึกระยะเวลาหลังจากการผสมตั้งแต่น้ำผสมกับปูนซีเมนต์จนถึงเวลาที่หลังจากปล่อยเข็มไปแล้วเป็นเวลา 30 วินาที หลังจากนั้นทำซ้ำโดยปล่อยเข็มทดสอบทุกๆ 15 นาที จนกระทั่งระยะจมนเท่ากับ 25 มม.หรือน้อยกว่านั้น โดยที่ทุกๆครั้งที่ปล่อยเข็มระยะห่างระหว่างจุดที่ใช้ทดสอบการจมนตัวต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 6.4 มม. และจุดทดสอบต้องห่างจากขอบไม่น้อยกว่า 9.5 มม.
- 4.) บันทึกผลระยะการจมนตัวทุกครั้งแล้วจึงคำนวณเวลาที่ก่อให้เกิดระยะจมน 25 มม. โดยใช้วิธีการเขียนกราฟ

การคำนวณระยะเวลาก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time)

วิธีการทดสอบเหมือนกับวิธีการคำนวณระยะเวลาเริ่มก่อตัวโดยเปลี่ยนเข็มทดสอบเป็นเข็มมาตรฐานที่ใช้สำหรับการทดสอบการก่อตัวโดยที่จุดก่อตัวสุดท้ายคือจุดที่เข็มทดสอบมาตรฐานไม่สามารถจมตัวลงในซีเมนต์เพียงแต่ปรากฏเป็นรอยของขอบกลมเท่านั้นบันทึกเวลารวมที่ใช้ตั้งแต่เริ่มผสมน้ำกับปูนซีเมนต์จนถึงจุดก่อตัวสุดท้าย

การคำนวณและสรุปผล

โดยเขียนกราฟของระยะเวลาหลังการผสมในแกนตั้งและระยะจมตัวของไวแคทในแกนนอนเพื่อคำนวณหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์

3.3.3 การทดสอบหาค่ากำลังต้านทานรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์

(Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars)

ASTM: C 109/C 109M – 02

วัตถุประสงค์ : เพื่อทดสอบหาค่ากำลังต้านทานรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าที่ต่างกันออกไปด้วยผลเนื่องจากปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์จึงทำการศึกษาทดสอบการทดลองเพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนปริมาณซีเมนต์และน้ำที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- 1.) เครื่องชั่ง (Balance) ที่สามารถชั่งได้อย่างน้อย 2 กิโลกรัม และอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
- 2.) เครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Testing Machine)
- 3.) แบบหล่อทรงลูกบาศก์ที่ใช้เก็บตัวอย่างขนาด 5x5x5 cm ดังแสดงในรูปที่ 3.10

ขั้นตอนการทดสอบ

- 1.) การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ให้ทดสอบโดยทันทีที่นำออกจากถังบ่ม อายุของก้อนตัวอย่างยอมให้คลาดเคลื่อนได้ตามตารางที่ 3.1
- 2.) เช็ดผิวของก้อนทดสอบให้อยู่ในสภาพแห้ง (Surface Dry Condition) ปิดเอาเม็ดทรายหรือสะเก็ดที่ติดผิวหน้าออกถ้าผิวไม่เรียบให้ฝนให้เรียบและผิวบน-ล่าง ต้องขนานกัน
- 3.) วัดขนาดความกว้างของก้อนทดสอบและชั่งน้ำหนักก้อนทดสอบ

เช็ดผิวของก้อนทดสอบให้อยู่ในสภาพแห้ง (Surface Dry Condition) ปิดเอาเม็ดทรายหรือสะเก็ดที่ติดผิวหน้าออกถ้าผิวไม่เรียบให้ฝนให้เรียบและผิวบน-ล่าง ต้องขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ความคลาดเคลื่อนของเวลาทดสอบคอนกรีตที่อายุต่างๆ

อายุทดสอบ (Test Age)	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ (Permissible Tolerance)
24 ชม.	+/- ½ ชม.
3 ชม.	+/- 1 ชม.
7 ชม.	+/- 3 ชม.
28 ชม.	+/- 12 ชม.

- 4.) เช็ดผิวของก้อนทดสอบให้อยู่ในสภาพแห้ง (Surface Dry Condition) ปิดเอาเม็ดทรายหรือสะเก็ดที่ติดผิวหน้าออกถ้าผิวไม่เรียบให้ฝนให้เรียบและผิวบน-ล่าง ต้องขนานกัน
- 5.) วัดขนาดความกว้างของก้อนทดสอบและชั่งน้ำหนักก้อนทดสอบ
- 6.) นำก้อนทดสอบเข้าเครื่องทดสอบกำลัง วางก้อนทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางและสัมผัสกับแป้นกดเดินเครื่องทดสอบด้วยอัตราที่สม่ำเสมอ จนกระทั่งก้อนทดสอบแตกใช้เวลาการทดสอบ
- 7.) การคำนวณผล บันทึกค่ากำลังอัดสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบและคำนวณค่ากำลังอัดตั้งแสดงในสสารที่(3.2)

$$f_m = \frac{P}{A} \quad (3.2)$$

โดยที่ f_m = กำลังอัดเฉลี่ยของมอร์ตาร์ มีหน่วยเป็น(กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง มีหน่วยเป็น(กิโลกรัม)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ (ตารางเซนติเมตร)



รูปที่ 3.10 แบบหล่อทรงลูกบาศก์ที่ใช้เก็บตัวอย่างขนาด 5x5x5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ตัวอย่างตารางที่เก็บข้อมูล

ตัวอย่างได้แก่ มอร์ตาร์ที่ออกแบบส่วนผสมแบบโดยใช้อัตราส่วน ซีเมนต์ต่อทราย 2ต่อ1ส่วน โดยจะเก็บตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาต่างกันเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ โดยมีตารางบันทึกผลดังตารางที่3.2และตารางที่3.3

ตารางที่3.2 ตารางเก็บข้อมูลค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์

W/C (%)	Dosage (%)	D ₀ (mm)	D ₁				D _{avg} (mm)	F(%) ที่ 0 min
			1	2	3	4		
0.4								
0.45								
W/C (%)	Dosage (%)	D ₀ (mm)	D ₁				D _{avg} (mm)	F(%) ที่ 30 min
			1	2	3	4		
0.4								
0.45								
W/C (%)	Dosage (%)	D ₀ (mm)	D ₁				D _{avg} (mm)	F(%) ที่ 60 min
			1	2	3	4		
0.4								
0.45								
W/C (%)	Dosage (%)	D ₀ (mm)	D ₁				D _{avg} (mm)	F(%) ที่ 90 min
			1	2	3	4		
0.4								
0.45								

ตารางที่3.3 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลกำลังรับแรงอัดในแต่ละช่วงเวลาของตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 5x5x5 เซนติเมตร

Time (Hr)	sample	W (cm)	L (cm)	H (cm)	Area (cm ²)	Volume (cm ³)	น้ำหนัก (Kg)	Density (Kg/m ³)	Compressiven strength (KN)	Compressiven strength (ksc)
16 Hr	1									
	2									
	3									
3 Days	1									
	2									
	3									
7 Days	1									
	2									
	3									
14 Days	1									
	2									
	3									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

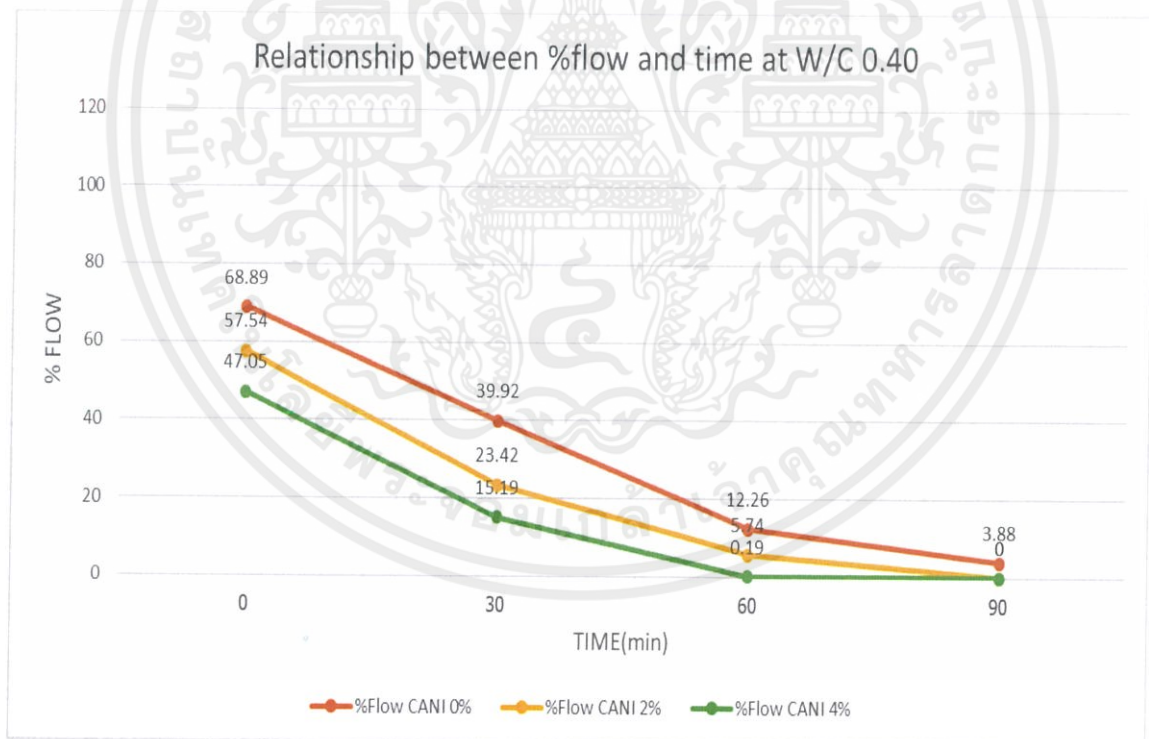
บทที่ 4

ผลการดำเนินโครงการ

การศึกษากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ในช่วงต้นโดยใช้สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์และตะกรันเตาถลุงเหล็ก โดยมีการทดสอบคุณสมบัติของซีเมนต์มอร์ตาร์ปกติและซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใส่สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์และตะกรันเตาถลุงเหล็ก โดยปูนซีเมนต์ที่ใช้คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 แคลเซียมไนไตรท์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 45.0 และตะกรันเตาถลุงเหล็ก

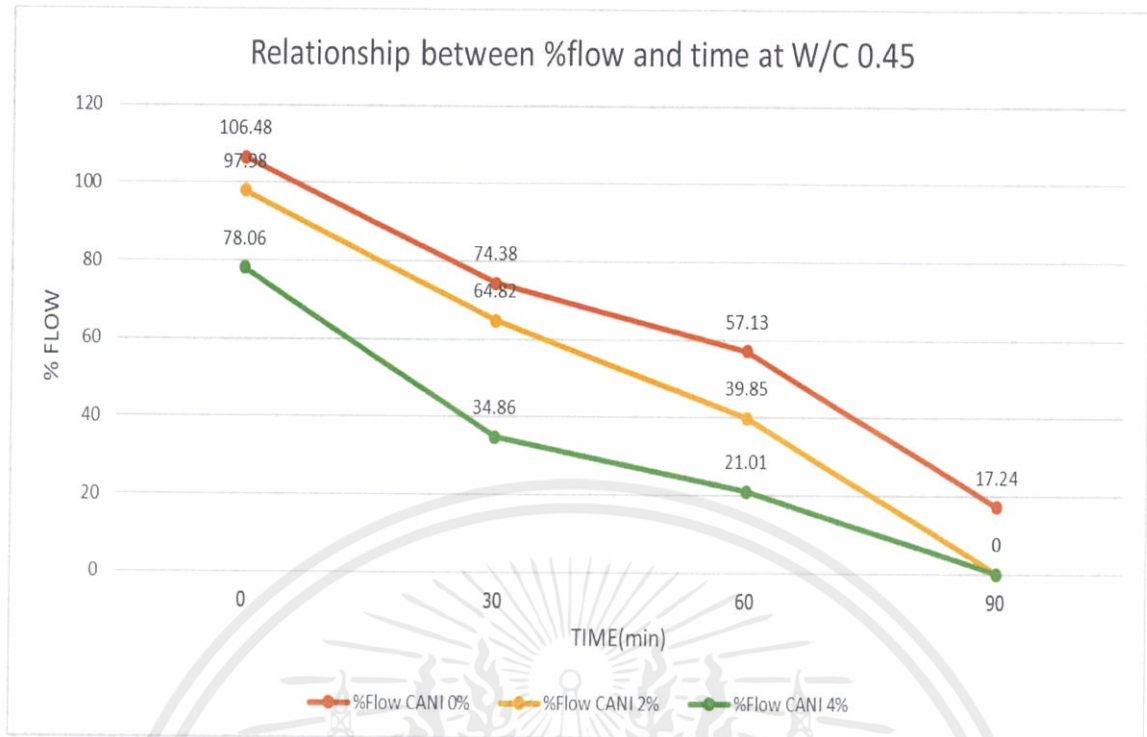
4.1 การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์ (Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar)

การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์ คือความสามารถในการทำงานได้ของซีเมนต์เพสต์ วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาค่าอัตราการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์และความสามารถในการเทเข้าแบบและการอัดแน่น โดยการทดสอบจะแสดงถึงความชันเหลวของซีเมนต์มอร์ตาร์โดยการวัดการกระจายของซีเมนต์มอร์ตาร์ภายใต้การตกกระทบ



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์กับเวลา ที่ W/C 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



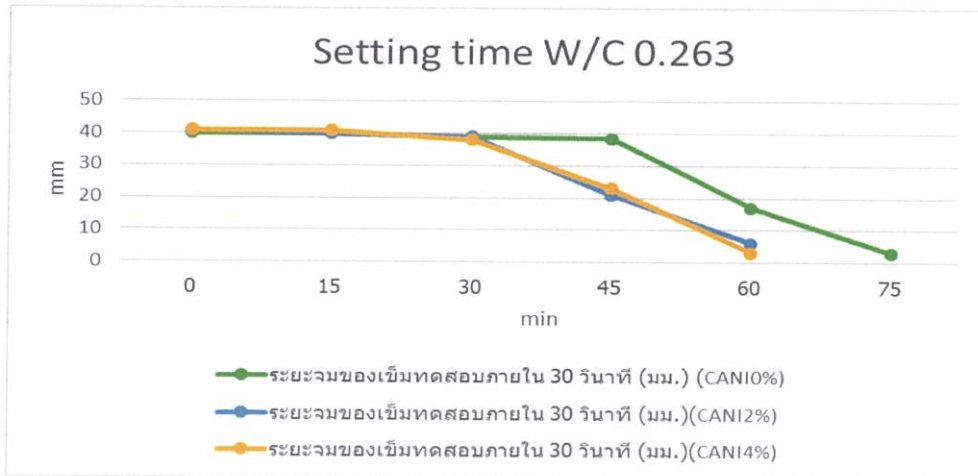
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์กับเวลา ที่ W/C 45

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงร้อยละการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 40.0 และร้อยละ 45.0 โดยใส่สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ร้อยละ 0, 2.0 และ 4.0 โดยปริมาณของปริมาณซีเมนต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อใส่สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ทำให้ร้อยละการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ลดลง

4.2 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ (Test Method of Setting Time of Cement Paste)

ระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ คือระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมซีเมนต์เพสต์จนกระทั่งซีเมนต์เพสต์เริ่มแข็งตัว หาได้จากระยะเวลาที่เข็ม needle จมลงไปในซีเมนต์เพสต์ 25 ± 2 มิลลิเมตร ระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นนี้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 45 นาที แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ที่ผสมแล้วในการใช้งานจริง ไม่แข็งตัวช้าหรือเร็วเกินไป

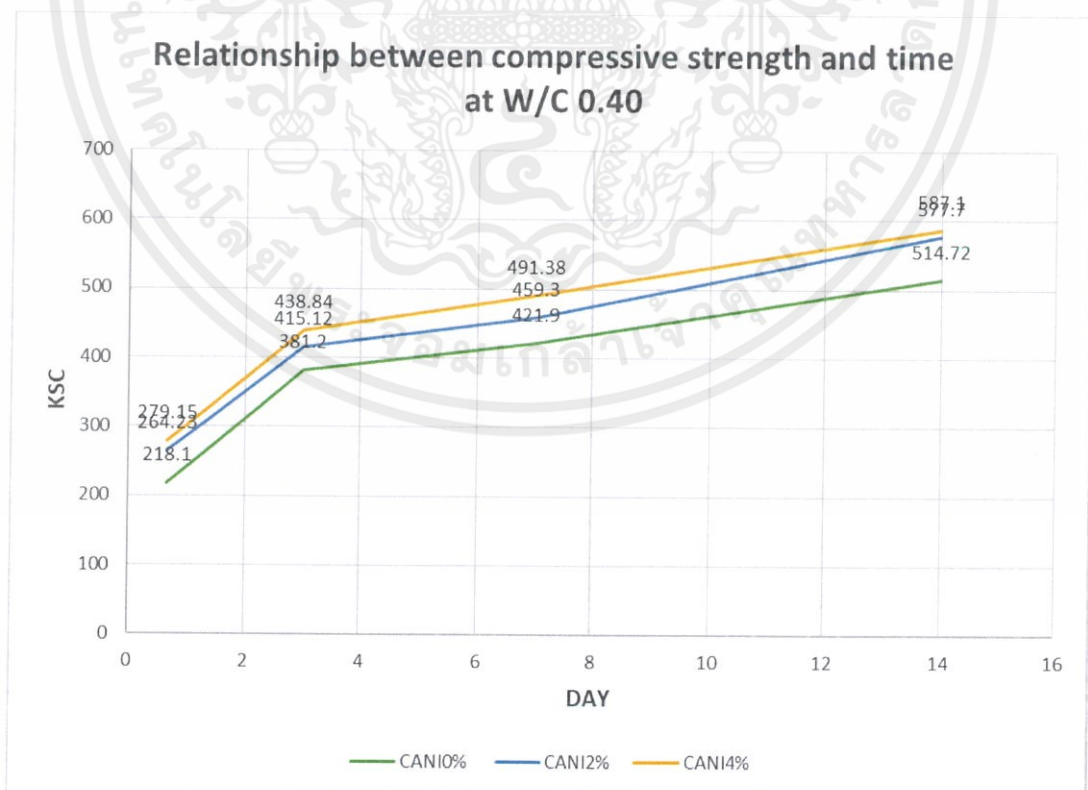
จากการทดลองหาระยะเวลาในการก่อตัวขั้นต้นของปูนซีเมนต์ปกติและปูนซีเมนต์ที่ใส่สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ มีระยะเวลาในการก่อตัวขั้นต้นดังแสดงในรูปที่ 4.3 ปูนซีเมนต์ที่ใส่สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์มีระยะเวลาการก่อตัวในช่วงต้นน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปกติอยู่ในช่วง 15 นาที แสดงว่าสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ส่งผลต่อการก่อตัวในช่วงต้นของปูนซีเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

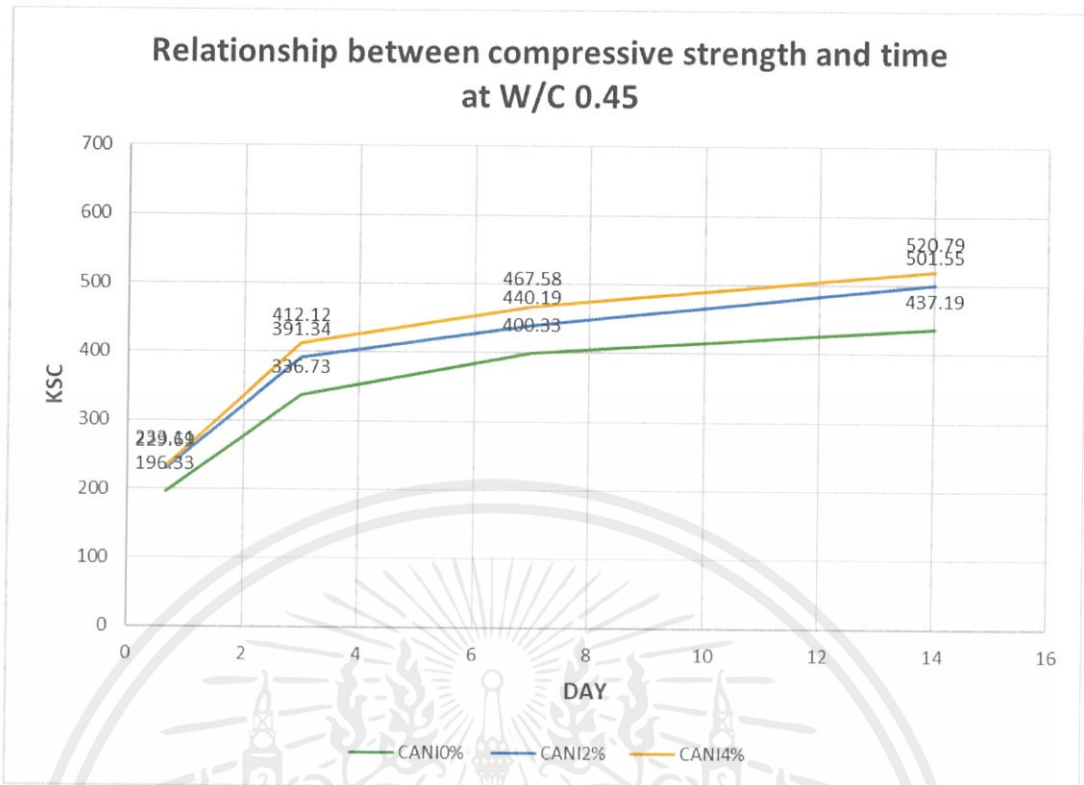
4.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ (Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar)

กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ คือความสามารถในการรับน้ำหนักในรูปแบบของแรงอัดประลัยของซีเมนต์มอร์ตาร์ ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ดีควรมีกำลังรับแรงอัดสูง มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน โครงการนี้ทดสอบเพื่อศึกษาว่าการใส่สารแคลเซียมไนไตรท์และตะกั่วอินทรีย์เตาถลุงเหล็ก มีผลอย่างไรต่อกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ในช่วงต้นหรือไม่ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์และเวลาที่ทำการทดสอบตาม ดังแสดงในรูปที่ 4.4-4.7

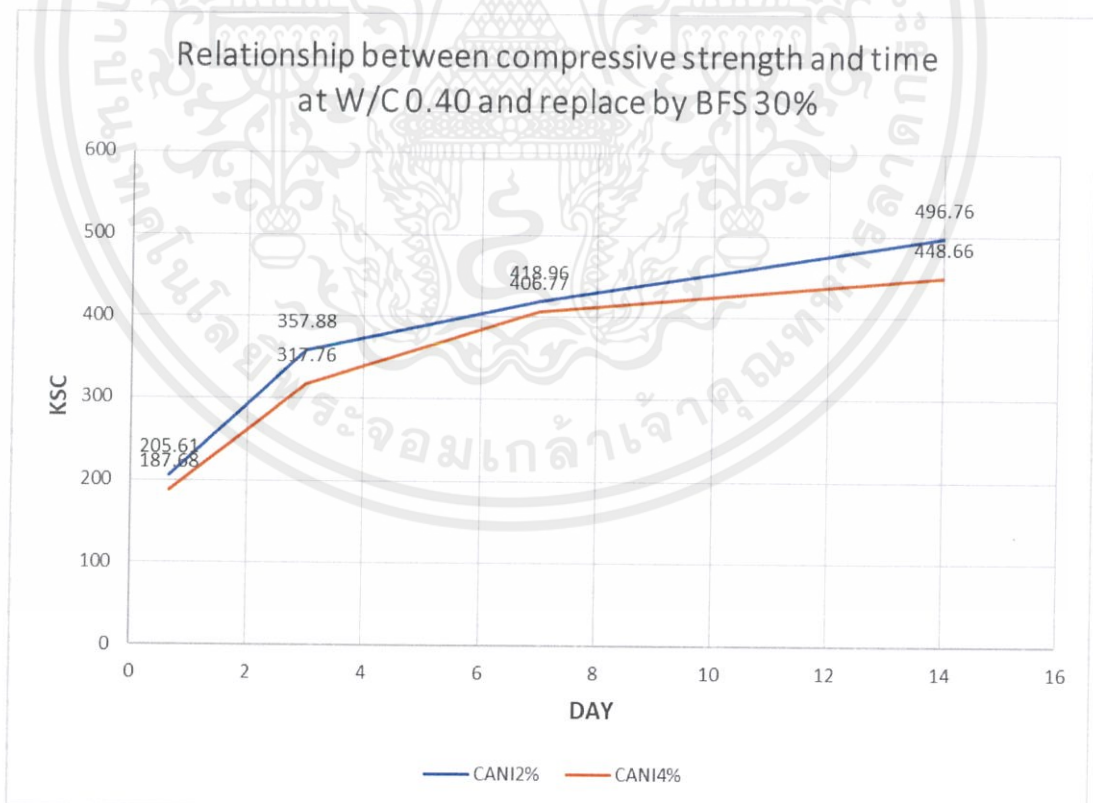


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์และเวลาที่ W/C 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

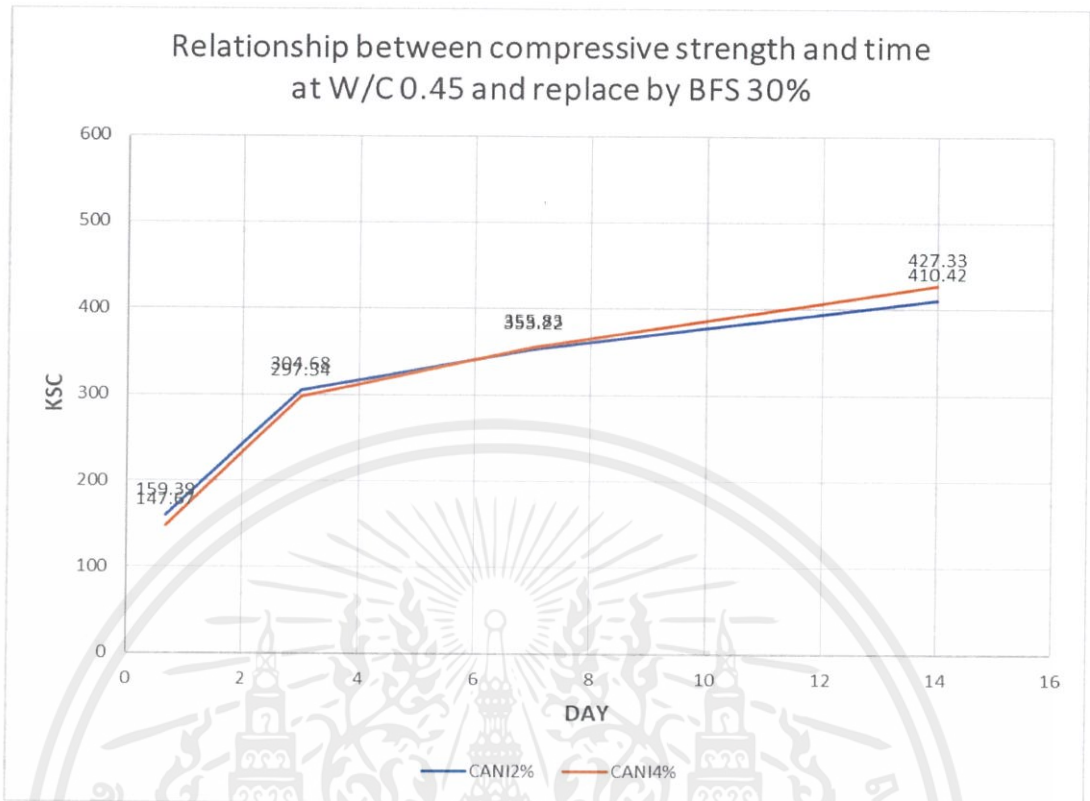


รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์และเวลา ที่ W/C 0.45



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์และเวลา ที่ W/C 0.40 และแทนที่ด้วยตะกรันถลุงเหล็กร้อยละ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์และเวลา ที่ W/C 0.45 และแทนที่ด้วยตะกรันถลุงเหล็กร้อยละ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผลการดำเนินการในการทำการศึกษพบว่า คุณสมบัติของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์สามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดให้กับมอร์ตาร์ได้จริงและยังสามารถลดระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ลงได้เมื่อเทียบกับชุดตัวอย่างการทดลองที่ไม่ได้ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ แต่ผลจากการศึกษาในหัวข้อการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์พบว่า ชุดตัวอย่างที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์มีค่าความสามารถในการทำงานลดลงเมื่อเทียบกับชุดตัวอย่างที่ไม่ได้พบสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์มอร์ตาร์โดยมีอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์มีค่าร้อยละ 40.0 และ 45.0 ที่มีส่วนผสมของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ร้อยละ 2.0 และ 4.0 ของน้ำหนักซีเมนต์ ซึ่งจะนำผลที่ได้จากการทดสอบไปเปรียบเทียบโดยทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์มอร์ตาร์ ที่ไม่ได้มีส่วนผสมของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ ทั้งแบบปกติและมีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็ก ร้อยละ 30.0 มาใช้ในการทดลอง พบว่าการนำสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์มาผสมกับซีเมนต์ทั้งแบบปกติและมีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็ก ร้อยละ 30.0 จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์และค่าระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์มีค่าลดลง ตามอัตราส่วนร้อยละที่เพิ่มขึ้นของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ ส่วนการนำตะกรันเตาถลุงเหล็ก มาแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 30.0 พบว่าให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้นที่อัตราส่วนสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักซีเมนต์ โดยอัตราส่วนของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ไม่ได้แทนที่ซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็ก คือร้อยละ 4.0 ของน้ำหนักซีเมนต์ เนื่องจากมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 279.15, 438.84, 491.38 และ 587.10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลา 16 ชั่วโมง, 3 วัน, 7 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ โดยผลมาจากอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 40.0 ส่วนอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 45.0 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 233.11, 412.12, 467.58 และ 520.79 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลา 16 ชั่วโมง, 3 วัน, 7 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ โดยในส่วนของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็ก อัตราส่วนของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักซีเมนต์เนื่องจากมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 205.61, 357.88, 418.96 และ 496.76 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลา 16 ชั่วโมง, 3 วัน, 7 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ โดยผลมาจากอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

ร้อยละ 40.0 ส่วนอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 45.0 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 159.39, 304.68, 353.22 และ 410.42 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลา 16 ชั่วโมง, 3 วัน, 7 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ

5.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล

5.2.1 การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์

พบว่า การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์แปรผกผันกับอัตราส่วนของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์ การเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์มีค่าลดลง ร้อยละของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำให้ค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์ลดลงมากที่สุดคือร้อยละ 4.0 ของน้ำหนักซีเมนต์มีค่า 47.05, 15.19 และ 0.19 ที่เวลา 0, 30 และ 60 นาที ตามลำดับซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างที่เป็นต้นแบบที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์มีค่าร้อยละ 40 ส่วนตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 45 มีค่าการไหลแผ่มีค่า 78.06, 34.86 และ 21.01 ที่เวลา 0, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างที่เป็นต้นแบบที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์

5.2.2 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

พบว่า ค่าระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลงจากตัวอย่างที่เป็นต้นแบบ โดยระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ของตัวอย่างที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลงเป็นเวลา 15 นาที เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์

5.2.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์

พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จะแปรผันตรงกับอัตราส่วนของสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในชุดตัวอย่างที่ไม่ได้แทนที่ซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็ก โดยการเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นและพบว่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อใช้สารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 4.0 ของน้ำหนักซีเมนต์ซึ่งเพิ่มจากเดิมถึงร้อยละ 27.99, 15.12, 16.49 และ 14.06 ที่เวลา 16 ชั่วโมง, 3 วัน, 7 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ โดยผลมาจากอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 40.0 ส่วนอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 45.0 ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดจากเดิมอยู่ที่ร้อยละ 18.73, 22.38, 16.79 และ 19.12 ที่เวลา 16 ชั่วโมง, 3 วัน, 7 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ ส่วนกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็กพบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงสุดที่ปริมาณสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักซีเมนต์ แต่มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ไม่ได้แทนที่ซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็ก

5.3 ปัญหาที่พบในงานวิจัย

5.3.1 ปัญหาคือสารดังกล่าวมีความเป็นพิษทำให้ขั้นตอนในการใช้สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเพราะอาจเกิดอันตรายหากสัมผัสโดยตรง

5.3.2 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ ในการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตารสูงขึ้นไม่มาก ด้วยเหตุผลที่ว่าประเทศไทยอุณหภูมิสูงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันสามารถเกิดได้ง่าย จึงทำให้สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้เต็มที่

5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

- 1.) ควรห้ห้องควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้สารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ทำปฏิกิริยาได้เต็มที่
- 2.) ควรหาสารผสมเพิ่มที่ช่วยให้ความสามารถในการทำงานของซีเมนต์มอร์ตารมีค่าลดลงไม่มากจนเกินไป เนื่องจากสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงทำให้ความสามารถในการทำงานของซีเมนต์มอร์ตารลดลง
- 3.) ควรมีการศึกษาวิจัยด้านอื่นๆเช่น ช่องว่างในมวลรวมของคอนกรีต ความต้านทานการเกิดสนิมในเหล็กของคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

[1] วินิต ช่อวิเชียร (2539) คอนกรีตเทคโนโลยี (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ: ป. สัมพันธ์พานิชย์. สุพัตรา

[2] จินาวัดน์ และพิบูลย์ จินาวัดน์ (2539) Portland cement and concrete

[3] มวลรวม (Aggregate)

Available : <http://raungrut.tunjai.com/index.php?uid=1&pid=23&qid=43&menutype=rboard>

[4] คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป (Precast Concrete)

Available : <https://www.scgbuildingmaterials.com/th/CAMPAIGN/Precast-Concrete-System.aspx>

[5] ศดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2556) ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (Blast-Furnace Slag)

Available : <http://www.thaitca.or.th/images/journal/journal12/journal%20%2012-3.pdf>

[6] Abdul Ahmad Malikyar (2561) อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีผลต่ออัตรา อุณหภูมิ และระยะเวลาในการบ่มก่อนการบีบอัดความแข็งแรงของมอร์ต้าและคอนกรีต

[7] Theodore Hopwood (2531) แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนในชั้นฐานคอนกรีตเสริมเหล็ก

[8] Neal S. Berke (2532) แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนที่มีประสิทธิภาพสำหรับเหล็กในคอนกรีต

[9] Olga Girèienė (2548) ประสิทธิภาพของตัวยับยั้งการกัดกร่อนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของเหล็ก ในสารละลายต่างและโครงสร้างคอนกรีต

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

เพื่อหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ ก.1 ค่าระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์
(W/C = 0.263)

Time (Min)	Time at Testing (Min)	Distance sinking of the vicat needle (mm)
15.00	15	40
15.15	15	40
15.30	15	39
15.45	15	38.5
16.00	15	17
16.30	15	3

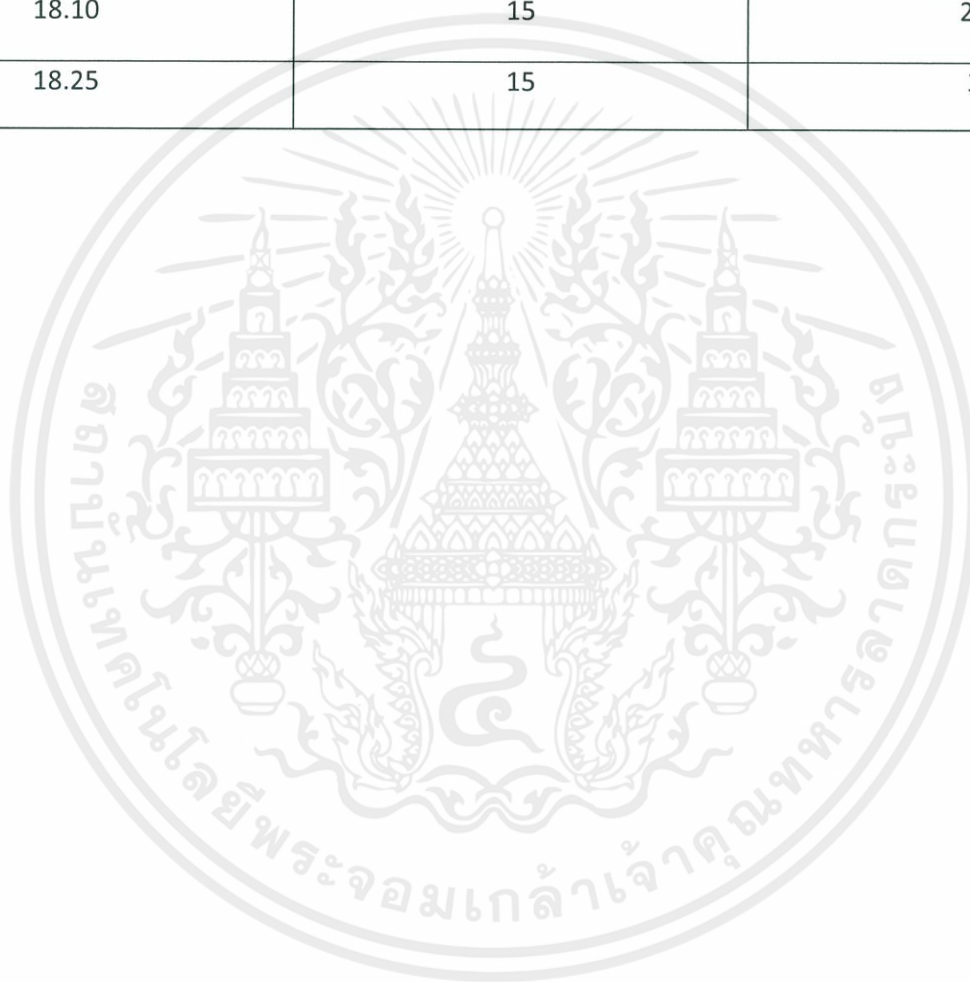
ตารางที่ ก.2 ค่าระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์
ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.263)

Time (Min)	Time at Testing (Min)	Distance sinking of the vicat needle (mm)
17.25	15	41
17.40	15	40
17.55	15	39
18.10	15	21
18.25	15	6

ตารางที่ ก.3 ค่าระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.263)

Time (Min)	Time at Testing (Min)	Distance sinking of the vicat needle (mm)
17.25	15	41
17.40	15	41
17.55	15	38
18.10	15	23
18.25	15	3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบอัตราการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์

เพื่อหาความสามารถในการทำงานของซีเมนต์มอร์ตาร์

ตารางที่ ข.1 ค่าอัตราการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แต่ละอัตราส่วนของผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์
(W/C = 0.40)

Example		Flow Rate (%)			
W/C	CANI(%)	Flow Rate at 0 min	Flow Rate at 30 min	Flow Rate at 60 min	Flow Rate at 90 min
0.4	0	68.89	39.92	12.26	3.88
	2	57.74	23.42	5.74	-
	4	47.05	15.19	0.19	-

ตารางที่ ข.2 ค่าอัตราการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แต่ละอัตราส่วนของผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์
(W/C = 0.45)

Example		Flow Rate (%)			
W/C	CANI(%)	Flow Rate at 0 min	Flow Rate at 30 min	Flow Rate at 60 min	Flow Rate at 90 min
0.45	0	106.48	74.38	57.13	17.24
	2	97.98	64.82	39.85	-
	4	78.06	34.86	21.01	-

ภาคผนวก ค.

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์

เพื่อหาความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์

ตารางที่ ค.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์

(W/C = 0.4)

Time (Hrs)	Sample	W (cm)	L (cm)	H (cm)	Area (cm ²)	Compressiven strength (KN)	Compressiven strength (KSC)
16 Hrs	1	5	5.075	5.1	25.375	55.63	223.4776015
	2	5.1	5.03	5.045	25.653	53.23	211.5189576
	3	5.045	5.04	5.025	25.4268	54.47	218.371838
3 Days	1	5.095	5.065	5.04	25.806175	98.19	387.859662
	2	5	5.1	5.01	25.5	93.17	372.4490816
	3	5.025	5.1	5.035	25.6275	96.43	383.5631858
7 Days	1	5.08	5.01	5.01	25.4508	107.54	430.724511
	2	5.015	5.08	5.026	25.4762	105.22	421.0121608
	3	5.08	5.05	4.98	25.654	103.45	411.0611162
14 Days	1	5.04	5.025	5.03	25.326	124.02	499.1787821
	2	5.02	5.03	5	25.2506	127.44	514.4759209
	3	5	5.05	5.025	25.25	131.4	530.4750659

ตารางที่ ค.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์

(W/C = 0.45)

Time (Hrs)	Sample	W (cm)	L (cm)	H (cm)	Area (cm ²)	Compressiven strength (KN)	Compressiven strength (KSC)
16 Hrs	1	5.015	5.03	5.1	25.22545	49.41	199.6672903
	2	5.15	5.035	5.04	25.93025	49.1	193.021542
	3	5.03	5.045	5.055	25.37635	48.87	196.3107924
3 Days	1	5.005	5.06	5.035	25.3253	77.88	313.4745855
	2	4.99	5	5.045	24.95	84.9	346.8711123
	3	5.03	5.12	5.025	25.7536	88.39	349.8615215
7 Days	1	5.04	5.025	5.04	25.326	97.63	392.9593976
	2	5.025	5.03	5.075	25.27575	98.45	397.0476793
	3	5	5.065	5.05	25.325	102.11	411.0075643
14 Days	1	5.03	5.02	5.04	25.2506	108.54	438.1765258
	2	5.025	5	5.02	25.125	108.89	441.7869875
	3	5	5.06	5.025	25.3	107.13	431.6398931

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ2 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.40)

Time (Hrs)	Sample	W (cm)	L (cm)	H (cm)	Area (cm ²)	Compressiven strength (KN)	Compressiven strength (KSC)
16 Hrs	1	5.115	5.035	5.03	25.754025	64.78	256.4051969
	2	5.05	5.04	5.02	25.452	67.26	269.3803675
	3	5.13	4.99	5.01	25.5987	67.03	266.9207284
3 Days	1	5.06	5.025	5.025	25.4265	105.3	422.1558199
	2	5.035	5.045	5.03	25.401575	108.56	435.6524711
	3	5.25	5.05	5	26.5125	100.83	387.6770377
7 Days	1	5	5.075	5	25.375	111.82	449.2048428
	2	5.06	5	5.02	25.3	114.34	460.6898664
	3	5.05	4.975	5.03	25.12375	115.35	468.019694
14 Days	1	4.949	5.075	5.01	25.116175	147.64	599.2134165
	2	5.08	5.075	5.025	25.781	144.12	569.8433536
	3	5	5.1	5.02	25.5	141.1	564.050288

ตารางที่ ค.4 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์

โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ2 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.45)

Time (Hrs)	Sample	W (cm)	L (cm)	H (cm)	Area (cm ²)	Compressiven strength (KN)	Compressiven strength (KSC)
16 Hrs	1	5.025	5.1	5.02	25.6275	59.53	236.7885145
	2	5.03	5.1	5.025	25.653	56	222.5260498
	3	5.065	5.025	5.01	25.451625	57.37	229.7737048
3 Days	1	5.08	5	4.95	25.4	99.09	397.6739146
	2	5.125	5.025	5.02	25.753125	98.08	388.2232259
	3	5.108	5.025	5.01	25.6677	97.73	388.1252853
7 Days	1	5.065	5.025	5.01	25.451625	110.69	443.3266757
	2	5.05	5.03	5.025	25.4015	113.94	457.2438202
	3	5.095	5.04	5.03	25.6788	105.81	420.0325841
14 Days	1	5.02	5.05	5.01	25.351	125.54	504.7984604
	2	5.08	5	5.02	25.4	128.3	514.9012337
	3	5.112	5	5.025	25.56	121.6	484.9575423

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยอัตราส่วนการผสม คิดเป็นร้อยละ 4 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.40)

Time (Hrs)	Sample	W (cm)	L (cm)	H (cm)	Area (cm ²)	Compressiven strength (KN)	Compressiven strength (KSC)
16 Hrs	1	4.98	4.95	5.01	24.651	65.92	272.5923412
	2	4.97	5.02	5.02	24.9494	69.31	283.1827439
	3	5.01	5	5	25.05	69.22	281.6792511
3 Days	1	5.0125	4.95	5.02	24.811875	103.59	425.5878698
	2	5.1	5.01	5.025	25.551	105.44	420.6573561
	3	5.01	5	5.01	25.05	115.57	470.2928496
7 Days	1	5.05	5.05	5.03	25.5025	121.76	486.6905075
	2	4.95	5.1	5.02	25.245	120.91	488.2225545
	3	5.11	4.98	5.01	25.4478	124.64	499.2731258
14 Days	1	5.15	5	5.02	25.75	140.95	557.9802658
	2	5.015	5.03	5	25.22545	152.18	614.9639392
	3	4.98	5.015	5.01	24.9747	144.15	588.3630075

ตารางที่ ค.6 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยอัตราส่วนการผสม คิดเป็นร้อยละ 4 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.45)

Time (Hrs)	Sample	W (cm)	L (cm)	H (cm)	Area (cm ²)	Compressiven strength (KN)	Compressiven strength (KSC)
16 Hrs	1	5.11	5.1	5	26.061	59.2	231.5589775
	2	5.205	5.2	5.06	27.066	62.64	235.9166889
	3	5.025	5.025	5.05	25.250625	57.44	231.8853393
3 Days	1	5	5.11	5.04	25.55	98.51	393.0252089
	2	5.1	5	5.03	25.5	107.08	428.0546061
	3	5.015	5.15	5.06	25.82725	105.22	415.2896654
7 Days	1	5	4.95	5.04	24.75	113.56	467.7148653
	2	5.1	5	5.02	25.5	119.93	479.4227579
	3	5.15	5.025	5	25.87875	115.67	455.625931
14 Days	1	5.05	5.1	5	25.755	125.61	497.1571091
	2	5.12	5.035	5.025	25.7792	128.8	509.3043902
	3	4.98	5	5.03	24.9	135.8	555.9444711

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์

และแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยตะกอนเตาถลุงเหล็กเพื่อหาความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์

ตารางที่ ง.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ 2 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.40)

Time (Hrs)	Sample	W (cm)	L (cm)	H (cm)	Area (cm ²)	Compressiven strength (KN)	Compressiven strength (KSC)
16 Hrs	1	5.11	5	5.05	25.55	49.8	198.2082264
	2	5.055	5.05	5.05	25.52775	51.55	205.8482239
	3	5.08	4.995	5.1	25.3746	52.97	212.7951673
3 Days	1	5.065	5	5.1	25.325	96.28	387.5409684
	2	5.09	4.985	5	25.37365	89.74	360.5239435
	3	5.1	5.05	5.025	25.755	82.26	325.5803184
7 Days	1	5.075	5	5.03	25.375	99.6	400.1144906
	2	5.07	4.95	5.02	25.0965	107.25	435.6273469
	3	5.125	5.065	5.03	25.958125	107.25	421.1676195
14 Days	1	5.075	5.06	5.04	25.6795	121.46	482.1450429
	2	5.1	5	5.025	25.5	129.36	517.119386
	3	5.07	4.98	5	25.2486	121.63	491.0598166

ตารางที่ ง.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไนไตรท์โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ 2 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.45)

Time (Hrs)	Sample	W (cm)	L (cm)	H (cm)	Area (cm ²)	Compressiven strength (KN)	Compressiven strength (KSC)
16 Hrs	1	5.14	5.135	5.05	26.3939	39.96	154.3309058
	2	5.045	5.05	5.03	25.47725	40.67	162.7243766
	3	5.1	5.025	5.02	25.6275	40.51	161.1339278
3 Days	1	5.055	5.04	5.03	25.4772	72	288.0791273
	2	5.1	5.035	5.04	25.6785	77.85	309.0437454
	3	5.09	4.99	5.01	25.3991	78.97	316.9383573
7 Days	1	5	5.175	4.99	25.875	85.9	338.4104754
	2	5.145	5.035	5.01	25.905075	96.12	378.233421
	3	5.03	5.115	5.02	25.72845	86.58	343.0322493
14 Days	1	5.03	5.068	5.025	25.49204	108.01	431.9071239
	2	5.025	5.13	5.03	25.77825	100.56	397.6516841
	3	5.11	5.03	5	25.7033	101.29	401.706333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ4 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.40)

Time (Hrs)	Sample	W (cm)	L (cm)	H (cm)	Area (cm ²)	Compressiven strength (KN)	Compressiven strength (KSC)
16 Hrs	1	5.11	5	5.02	25.55	43.71	174.3897257
	2	5.055	5.05	5	25.52775	46.87	187.1601601
	3	5.08	4.995	5.03	25.3746	50.16	201.5066187
3 Days	1	5.065	5	5.025	25.325	67.96	273.5488597
	2	5.09	4.985	5.065	25.37365	75.05	301.5079336
	3	5.1	5.05	5.02	25.755	71.91	284.6156175
7 Days	1	5.075	5	5.03	25.375	100.71	404.5735979
	2	5.07	4.95	5.065	25.0965	98.8	401.3051923
	3	5.125	5.065	5	25.958125	105.54	414.4524994
14 Days	1	5.075	5.06	5.01	25.6795	113.13	449.0784514
	2	5.1	5	5.025	25.5	112.05	447.9222882
	3	5.07	4.98	5.03	25.2486	111.21	448.9908921

ตารางที่ ง.4 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยอัตราส่วนการผสมคิดเป็นร้อยละ4 ของน้ำหนักซีเมนต์ (W/C = 0.45)

Time (Hrs)	Sample	W (cm)	L (cm)	H (cm)	Area (cm ²)	Compressiven strength (KN)	Compressiven strength (KSC)
16 Hrs	1	5.115	5.035	5.01	25.754025	36.38	143.995384
	2	5.05	5.04	5.025	25.452	35.57	142.4600011
	3	5.13	4.99	5.065	25.5987	40.05	159.4834428
3 Days	1	5.06	5.025	5.05	25.4265	72.77	291.7405414
	2	5.035	5.045	5	25.401575	74.99	300.9356928
	3	5.25	5.05	4.98	26.5125	77.86	299.3606482
7 Days	1	5	5.075	5.01	25.375	85.9	345.0786621
	2	5.06	5	5.02	25.3	92.12	371.1627645
	3	5.05	4.975	5	25.12375	86.58	351.2886441
14 Days	1	4.949	5.075	5	25.116175	104.79	425.3019095
	2	5.08	5.075	5.01	25.781	106.71	421.9260634
	3	5	5.1	5.025	25.5	108.77	434.8104175