# การศึกษาผลของความร้อนที่เร่งสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ต่อคุณภาพของมอร์ต้าร์

# A STUDY ON EFFECT OF HEAT SIMULATION TO SUPERPLASTICIZER FOR ENHANCEMENT OF MORTAR BEHAVIOR


ชัชวาล หนูนาค

วรท สิทธิไกรวงษ์

อนิรุทธ์ หลอดแก้ว


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

# การศึกษาผลของความร้อนที่เร่งสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ต่อคุณภาพของมอร์ต้าร์

# A STUDY ON EFFECT OF HEAT SIMULATION TO SUPERPLASTICIZER FOR ENHANCEMENT OF MORTAR BEHAVIOR

ชัชวาล หนูนาค

วรท สิทธิไกรวงษ์

อนิรุทธ์ หลอดแก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# A STUDY ON EFFECT OF HEAT SIMULATION TO SUPERPLASTICIZER FOR ENHANCEMENT OF MORTAR BEHAVIOR

CHATCHAWARN NUNAK

WAROT SITTHIKRAIWONG

ANIRUT LORDKAEW

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
# สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
# ใบรับรองโครงงานพิเศษ

---

**หัวข้อโครงงานพิเศษ** การศึกษาผลของความร้อนที่เร่งสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ต่อคุณภาพของมอร์ต้าร์

**นักศึกษา**

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ชัชวาล | หนูนาค | รหัสประจำตัว 58010271 |
| | วรท | สิทธิไกรวงษ์ | รหัสประจำตัว 58011093 |
| | อนิรุทธ์ | หลอดแก้ว | รหัสประจำตัว 58011396 |

**หลักสูตร** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมโยธา

**อาจารย์ที่ปรึกษา** รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** อ.อุบะ ศิริแก้ว

| คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร<br>ผศ.ดร.ชลิดา อู่ตะเภา<br>ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ | |

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาผลของความร้อนที่เร่งสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ต่อคุณภาพของมอร์ต้าร์

นายชัชวาล หนูนาค รหัสประจำตัว 58010271
นายวรท สิทธิไกรวงษ์ รหัสประจำตัว 58011093
นายอนิรุทร์ หลอดแก้ว รหัสประจำตัว 58011396
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร และ อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว
ปีการศึกษา 2561

## บทคัดย่อ

ในประเทศไทยคอนกรีตเป็นวัสดุหลักในสิ่งก่อสร้างเกือบทุกอย่าง เนื่องจากมีราคาถูกและทำงานง่าย แต่มีข้อเสียคือต้องใช้ระยะเวลานานในการพัฒนากำลัง ด้วยสภาพของการแข่งขันทางเศรษฐกิจ การเร่งปฏิกิริยาของคอนกรีตจึงเป็นเรื่องสำคัญ โดยนิยมใช้สารผสมเพิ่ม (Admixture) ชนิดลดน้ำปริมาณสูง จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีผลให้สารลดน้ำปริมาณสูงทำงานได้ดีขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความร้อนที่มีผลต่อสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ ในการช่วยให้มีกำลังรับแรงอัดและการไหลที่ดีขึ้น สารผสมเพิ่มที่ใช้คือ Polycarboxylic acid (PCa) และ Sulfonated Naphthalene Formaldehyde (SNF) โดยใช้วิธีการให้ความร้อนแก่สารด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ที่อุณหภูมิ 50และ60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2,24และ48 ชั่วโมง แล้วพักสารไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0,24และ168 ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาที่เปลี่ยนไปต่อประสิทธิภาพของสาร จากนั้นนำสารจากแต่ละชุดตัวอย่างมาผสมกับมอร์ต้าร์แล้วทดสอบการไหลแผ่ด้วยโต๊ะการไหล (Flow table) และทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัย (Compressive strength) ซึ่งผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า กระบวนการให้ความร้อนสามารถเร่งคุณภาพของสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์โดยเพิ่มกำลังรับแรงอัด และความสามารถในการไหลให้แก่มอร์ต้าร์ที่นำสารเหล่านี้มาผสม และยังคงคุณภาพไว้ได้หลังพักที่อุณหภูมิห้อง โดยเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากมอร์ต้าร์ที่ผสมสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Study on effect of heat stimulation to super plasticizer for enhancement of mortar behavior


| | | | |
|---|---|---|---|
| Mr. Chatchawarn | Nunak | Student ID. | 58010271 |
| Mr. Warot | Sitthikraiwong | Student ID. | 58011093 |
| Mr. Anirut | Lordkaew | Student ID. | 58011396 |

Advisors: Assoc. Prof. Laemthong Laokhongthavorn and Miss Uba Sirikaew



Academic Year 2018


## ABSTRACT


The objective of this special project is to study the effect of thermal stimulation of superplasticizer on compressive strength and work ability of mortar. Currently, in Thailand, concrete is a basic construction material, while superplasticizer is an admixture for an early strength of concrete. The previous study showed that thermal can improve effect of superplasticizer to cement and work ability of concrete. This study was designing to improve efficiency of superplasticizer to increase compressive strength and work ability of concrete. Two types of superplasticizers are used, Polycarboxylic acid (PCa) and Sulfonated Naphthalene Formaldehyde (SNF). Those chosen superplasticizers were heated at 50 and 60°c for various times 2, 24, and 48 hours, then leaving at the room temperature for 0, 24, and 168 hours, respectively. For study the heating effect of those mixed mortars, flow rate and compressive strength are obtained as given in the detail.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พวกข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิด อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบังที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนบริษัท ซิก้า จำกัดที่ให้การสนับสนุนด้านสารผสมเพิ่มในการทำวิทยานิพนธ์ให้แก่พวกข้าพเจ้า

สุดท้ายขอขอบพระคุณ รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร, อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว และ Prof.Date อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาและกำลังใจที่ดี ขอบคุณพี่ปรางค์ สรรพอาษา, คุณสมบัติ เนตรสว่างและทุกท่านผู้มิได้เอ่ยนามที่ให้การช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์นี้

ชัชวาล หนูนาค
วรท สิทธิไกรวงษ์
อนิรุทร์ หลอดแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


**บทคัดย่อภาษาไทย** ..... I

**บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** ..... II

**กิตติกรรมประกาศ** ..... III

**สารบัญ** ..... IV

**สารบัญตาราง** ..... VII

**บทที่ 1** ..... 1

บทนำ ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ ..... 1

1.2 จุดประสงค์ ..... 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา ..... 2

1.4 วิธีการวิจัย ..... 2

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ ..... 2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 2

**บทที่ 2** ..... 3

2.1 ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ..... 3

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Type – I) ..... 3

2.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Type – II) ..... 4

2.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดแรงสูงเร็ว (Type – III) ..... 4

2.1.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Type – IV) ..... 4

2.1.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟตได้สูง (Type – V) ..... 4

2.2 ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ..... 5

2.3 มอร์ต้าร์ (Mortar) ..... 6

2.4 น้ำผสมคอนกรีต (Mixing water) ..... 6


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c Ratio) ..... 7
2.6 มวลรวมละเอียด (Fine aggregate) ..... 7
2.7 สารผสมเพิ่ม (Admixture) ..... 7
2.7.1 สารลดน้ำปริมาณสูง (Superplasticizer) ..... 8
**บทที่ 3 ..... 10**
ระเบียบวิธีการวิจัย ..... 10
3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ ..... 10
3.2 สัดส่วนในการผสมมอร์ต้าร์ ..... 12
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการ ..... 13
3.3.1 การทดสอบหาความข้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้าร์ ..... 13
3.3.2 ผสมมอร์ต้าร์ ..... 14
3.3.3 การหล่อตัวอย่างมอร์ต้าร์ ..... 14
3.3.4 การเก็บรักษาตัวอย่างมอร์ต้าร์ ..... 14
3.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล ..... 15
3.4.1 การทดสอบหาค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ (Compressive strength test) ..... 15
3.4.2 การทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ต้าร์ (Flow of Hydraulic Cement Mortar Test) ..... 15
**บทที่ 4 ..... 17**
ผลการศึกษา ..... 17
4.1 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ต้าร์ (Consistency of cement mortar) ..... 17
4.2 ความสามารถในการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ (Flowing ability of cement mortar) 17
4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ ระยะเวลาให้ความร้อนและระยะเวลาหลังให้ความร้อนของสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลต ..... 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ ระยะเวลาให้ความร้อนและระยะเวลาหลังให้ความร้อนของสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ ..... 20

4.3 กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ (Compressive strength of cement mortar) ..... 22

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ ระยะเวลาให้ความร้อนและระยะเวลาหลังให้ความร้อนของสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลต ..... 22

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ ระยะเวลาให้ความร้อนและระยะเวลาหลังให้ความร้อนของสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ ..... 24

**บทที่ 5 ..... 27**

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ ..... 27

5.1 สรุปผลการศึกษา ..... 27

5.1.1 ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงชนิดโพลีคาบอกซิเลต ..... 27

5.1.2 ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ ..... 28

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ ..... 28

5.3 ข้อเสนอแนะ ..... 28

**ภาคผนวก ..... 29**

ผลการทดสอบ ..... 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

**ตารางที่ 2.1** ปริมาณสารประกอบพื้นฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ละประเภท ..... 5

**ตารางที่ 3.1** เกณฑ์กำหนดหนดคุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาตามมาตรฐาน ASTM C150-02a ..... 10

**ตารางที่ 3.2** ลำดับขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิของสารสารลดน้ำปริมาณสูง ..... 11

**ตารางที่ 3.3** สัดส่วนในการผสมมอร์ต้าร์ ..... 12

**ตารางที่ 4.1** ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารแต่ละชนิด ..... 17

**ตารางที่ 4.2** ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่าน ..... 19

**ตารางที่ 4.3** ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านกระบวนการแต่ละประเภท ..... 21

**ตารางที่ 4.3(ต่อ)** ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านกระบวนการแต่ละประเภท ..... 22

**ตารางที่ 4.4** ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่านกระบวนการแต่ละประเภท ..... 23

**ตารางที่ 4.5** ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านกระบวนการแต่ละประเภท ..... 25

**ตารางที่ ผ.1.1** ความข้นเหลวที่เหมาะสมของสารชนิดโพลีคาบอกซิเลต ..... 30

**ตารางที่ ผ.1.2** ความข้นเหลวที่เหมาะสมของสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ ..... 30

**ตารางที่ ผ.2.1** เปอร์เซ็นต์การไหลของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c ..... 31

**ตารางที่ ผ.2.2** เปอร์เซ็นต์การไหลของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c ..... 32

**ตารางที่ ผ.3.1** ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c ที่ระยะเวลาการบ่ม 7วัน ..... 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผ.3.2** ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c ที่ระยะเวลาการบ่ม 7วัน.....34

**ตารางที่ ผ.3.3** ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c ที่ระยะเวลาการบ่ม 28วัน.....35

**ตารางที่ ผ.3.4** ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c ที่ระยะเวลาการบ่ม 28วัน.....36

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันคอนกรีตเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมก่อสร้างต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น บ้าน อาคารสูง รถไฟฟ้า ถนน เป็นต้น เพราะมีความแข็งแรงสูง อายุการใช้งานยาวนาน และมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม คอนกรีตจึงเป็นวัสดุหลักในพื้นฐานของสิ่งก่อสร้างเกือบทุกอย่าง อุตสาหกรรมคอนกรีตจึงเป็นที่แพร่หลายอย่างมาก เมื่อเร็วๆนี้ ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast concrete) ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้น เนื่องจากทำให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการก่อสร้างจึงเป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบัน

ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast concrete) คือ ชิ้นส่วนคอนกรีตที่ได้จากการหล่อและพร้อมใช้งาน มีคุณภาพได้มาตรฐานมากกว่าการหล่อในที่ เนื่องจากมีการควบคุมกระบวนการผลิตจากโรงงานและในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป นั้นต้องการการพัฒนากำลังรับแรงอัดช่วงต้นของคอนกรีตสูง เนื่องจากความต้องการใช้งานที่รวดเร็ว จึงนิยมใช้สารผสมเพิ่ม (Admixture) ชนิดลดน้ำปริมาณสูง ซึ่งทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการรับกำลังอัดได้เร็วขึ้นและทำให้นำไปใช้งานได้อย่างรวดเร็ว สารผสมเพิ่มนี้มีคุณสมบัติในการลดปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตลงได้และเพิ่มค่าการยุบตัวของคอนกรีตเพื่อการไหลเข้าแบบง่ายโดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณน้ำ

ในการก่อสร้างสิ่งต่างๆในระบบของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป นั้นมีการใช้คอนกรีตในปริมาณมหาศาลทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของสิ่งปลูกสร้างและแน่นอนว่าหากมีการใช้คอนกรีตในปริมาณมากก็ต้องใช้สารผสมเพิ่มดังกล่าวในปริมาณมากด้วยเช่นกัน และจากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิมีการส่งผลให้สารลดน้ำปริมาณสูง มีการทำงานได้ดีขึ้น [1] และยังพบอีกว่า การให้ความร้อนแก่สารลดน้ำปริมาณสูงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในด้านความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารผสมเพิ่มที่อุณหภูมิปกติ [2] แต่ยังไม่พบงานวิจัยใดที่ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่มหลังจากผ่านการให้ความร้อน

ผู้ทำการวิจัยได้เล็งเห็นถึงความเป็นไปได้จึงจัดทำการวิจัยนี้ขึ้นเพื่อที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่มให้ดียิ่งขึ้นซึ่งทำให้สามารถคงประสิทธิภาพของคอนกรีตไว้ได้โดยใช้สารผสมเพิ่มในปริมาณที่น้อยลงและยังสามารถลดต้นทุนการใช้สารผสมเพิ่มในการก่อสร้างลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 จุดประสงค์

1) เพื่อศึกษาผลของความร้อนที่ให้ต่อสารผสมเพิ่มโดยศึกษาค่าการไหลแผ่และกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์
2) เพื่อศึกษาผลงานเก่าในเพิ่มประสิทธิภาพสารผสมเพิ่มโดยการให้ความร้อน

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) ศึกษาสารผสมเพิ่มชนิดลดน้ำปริมาณสูง 2 ชนิด คือ โพลีคาบอกซิเลต (PCa) ,ซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ (SNF)
2) ศึกษาการการเพิ่มประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่มหลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ที่ 50 และ60 องศาเซลเซียส โดยสารผสมเพิ่มเป็นสารผสมเพิ่มประเภทลดน้ำปริมาณสูง
3) คอนกรีตใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 เท่านั้น
4) ระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่สารผสมเพิ่มคือ 2 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง
5) ระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากการให้ความร้อนเสร็จสิ้น คือ 24 ชั่วโมง และ 168 ชั่วโมง

## 1.4 วิธีการวิจัย

1) ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2) ออกแบบวิธีการทดสอบโดยคำนวณ อัตราส่วนผสมของคอนกรีต และค่า w/c ที่เหมาะสม
3) วางแผนเกี่ยวกับวัน และเวลาที่ทำการทดลองเพื่อไม่เกิดการซ้อนทับกัน
4) การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของมอร์ต้ามีดังนี้
   - การทดสอบการแผ่ไหลของซีเมนต์มอร์ต้า
   - การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า
   - การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์
5) วิเคราะห์ผลเพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรมคอนกรีต

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้สารผสมเพิ่มที่ผ่านการให้ความร้อนได้
2) ผลการทดสอดคุณสมบัติมอร์ต้า เป็นไปตามที่คาดการณ์

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพื่อแสดงให้กลุ่มอุตสาหกรรมคอนกรีตเห็นว่า การให้ความร้อนแก่สารผสมเพิ่มก่อนการนำไปใช้งานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพแก่สารผสมเพิ่มได้
2) เพื่อที่จะสามารถลดการใช้สารผสมเพิ่มได้โดยที่ประสิทธิภาพยังคงเทียบเท่ากับปกติ
3) เพื่อลดต้นทุนในการใช้สารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2

# ทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษาผลของความร้อนที่เร่งสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ต่อคุณภาพของมอร์ต้าร์ ได้มีการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมจากวารสารทั้งในและต่างประเทศรวมไปถึงวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลพื้นฐานของคอนกรีต สารผสมเพิ่มของคอนกรีต รวมไปถึงเนื้อหาความสำคัญที่นำมาประกอบการศึกษาครั้งนี้

## 2.1 ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement)

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland cement) เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเหนียวเกาะ มีลักษณะเป็นตัวเชื่อมประสาน (Binder) มีความสามารถที่จะเชื่อมจับ (Bonding) วัสดุและส่วนต่างๆเข้าด้วยกันเป็นชิ้นเดียว โดยทั่วไปมักจะนิยมเรียกซีเมนต์ชนิดนี้ว่า ไฮดรอลิกซีเมนต์ (Hydraulic cement) ทั้งนี้เพราะต้องใช้น้ำผสม โดยที่ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างมากที่สุด

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีสารประกอบรวมกันอยู่หลายชนิด แต่มีสารประกอบพื้นฐาน 4 ชนิดคือ

1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate, $3CaO \cdot SiO_2$) แทนด้วยสัญลักษณ์ $C_3S$
2) ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate, $2CaO \cdot SiO_2$) แทนด้วยสัญลักษณ์ $C_2S$
3) ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (tricalcium aluminate, $3CaO \cdot Al_2O_3$) แทนด้วยสัญลักษณ์$C_3A$
4) เตตระแคลเซียมเฟอร์โรอะลูมิเนต (tetracalcium ferro aluminate, $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) แทนด้วยสัญลักษณ์ $C_4AF$

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนสารประกอบดังกล่าวนี้ถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคมซีเมนต์ (Cement Association) โดยที่มาตรฐานทดสอบวัสดุอเมริกัน รหัส ซี – 150 (ASTM C - 150) ได้แบ่งซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็น 5 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ได้แก่

### 2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Type – l normal Portland cement หรือ standard Portland cement หรือ ordinary Portland cement หรือ OPC)

เป็นปูนซีเมนต์มาตรฐานที่เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วไปที่ไม่ต้องการสมบัติพิเศษนอกเหนือไปกว่าธรรมดา โดยที่ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับซัลเฟตจากดินหรือน้ำและไม่ทนทานต่อปฏิกิริยาเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Type – II modified Portland cement หรือ moderate heat Portland cement หรือ MHPC)**

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ดัดแปลงให้มีความต้านทานต่อซัลเฟตปานกลาง ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำจะต่ำกว่าและเพิ่มได้ช้ากว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา แต่ยังคงมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ต-แลนด์เกิดความร้อนต่ำ ดังนั้นจึงสามารถช่วยลดอุณหภูมิของคอนกรีตในสภาวะอากาศร้อนได้ดี

**2.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดแรงสูงเร็ว (Type – III high – early strength Portland cement หรือ rapid hardening Portland cement หรือ RHC หรือ HESC)**

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้เนื้อปูนจะบดละเอียดกว่าปูนซีเมนต์แบบธรรมดา เป็นผลทำให้แข็งตัวและรับแรงได้เร็วกว่าแบบธรรมดาแต่จะต้องบ่มให้ดี โดยปกติจะสามารถรับแรงได้เมื่อคอนกรีตมีอายุเพียงประมาณ 1 ถึง 3 วัน จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วนที่ต้องทำแข่งกับเวลา หรือในกรณีที่ต้องการถอดหรือรื้อแบบเร็วกว่าปกติ นอกจากนั้นยังนิยมนำไปใช้กับงานที่จำเป็นต้องทำในช่วงอากาศหนาวเย็นเนื่องจากคอนกรีตจะแข็งตัวก่อนที่น้ำซึ่งใช้ผสมจะแข็งตัวเสียก่อน และขณะเกิดปฏิกิริยาจะมีความร้อนสูง (Heat of hydration) เพราะความร้อนนี้เองจึง ไม่เหมาะสมกับการก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่ (Mass concrete)

**2.1.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Type – IV low – heat Portland cement หรือ LHC)**

จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมาะกับงานซึ่งต้องการควบคุมทั้งปริมาณและอัตราความร้อนให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด การเกิดกำลัง (strength) ของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ จึงนิยมนำไปใช้กับงานขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกั้นน้ำซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตถ้ามากเกินไปจะเป็นอันตรายอย่างมากกับโครงสร้างคอนกรีตเนื่องจากจะให้เกิดการแตกหรือร้าวได้ แต่ในระยะยาวความแข็งของคอนกรีตจะมีเท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาและทนทานต่อสารเคมีมากกว่า

**2.1.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟตได้สูง (Type – V Sulphate resistance Portland cement หรือ SRC)**

จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีสมบัติในการต้านทานซัลเฟตได้สูงเนื่องจากมีปริมาณของ ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ($C_3A$) ต่ำมากซึ่งไตรแคลเซียมอะลูมิเนตจะสามารถทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับซัลเฟตได้ง่าย จึงเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างในบริเวณที่มีการสัมผัสกับซัลเฟตที่เข้มข้น เช่น ในบริเวณดินหรือน้ำที่มีความเป็นด่างสูง ระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้ จะช้ากว่าประเภทอื่นๆ ในการผสมไม่ควรใช้น้ำที่มีสารแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride, $CaCl_2$) หรือเกลือเพราะจะทำให้คอนกรีตไม่ทนต่อซัลเฟต

*ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารประกอบพื้นฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ละประเภท* [3]

| ชนิดซีเมนต์ | องค์ประกอบ (%) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $C_3S$ | $C_2S$ | $C_3A$ | $C_4AF$ | $CaSO_4$ | Free CaO | MgO | ส่วนที่สูญเสียจากกระบวนการเผาไหม้ |
| I | 49 | 25 | 12 | 8 | 2.9 | 0.8 | 2.4 | 1.2 |
| II | 46 | 29 | 6 | 12 | 2.8 | 0.6 | 3.0 | 1.0 |
| III | 56 | 15 | 12 | 8 | 3.9 | 1.3 | 2.6 | 1.9 |
| IV | 30 | 46 | 5 | 13 | 2.9 | 0.3 | 2.7 | 1.0 |
| V | 43 | 36 | 4 | 12 | 2.7 | 0.4 | 1.6 | 1.0 |

## 2.2 ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ

ในขณะผสมซีเมนต์กับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างองค์ประกอบของซีเมนต์กับน้ำ ปฏิกิริยาที่สำคัญคือ สารประกอบไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ($C_3A$) จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำอย่างรวดเร็วทำให้เกิด แคลอลูมิเนตไฮเดรต (Calcium aluminate hydrate, CAH) ดังสมการที่ 2.1

$$C_3A + 6H \longrightarrow C_3AH_6 \quad [4] \qquad (2.1)$$

ปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดการก่อตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจทำให้เกิดการก่อตัวทันที (Flash set) ดังนั้นยิปซัม ($CaSO_4$) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของซีเมนต์จึงเข้ามาช่วยหน่วงปฏิกิริยาโดยจะแย่งทำปฏิกิริยากับไตร-แคลเซียมอะลูมิเนตทำให้เกิด แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตไฮเดรต หรือ เอททริงไกต์ (Ettringite) ซึ่งเอททริงไกต์จะเคลือบตัวรอบไตรแคลเซียมอะลูมิเนตทำให้ปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมอะลูมิเนตเกิดได้ยากขึ้นเป็นผลให้ปฏิกิริยาในช่วงหลัง 15 นาทีเกิดขึ้นอย่างช้าๆ

หลังจากที่ปฏิกิริยาดำเนินไปไปแล้วนาน 2 – 3 ชั่วโมง สารประกอบของซิลิเกต ($C_3S$, $C_2S$) จะเริ่มมีปฏิกิริยาบ้างอย่างช้าๆ ดังสมการที่ 2.2 และ สมการที่ 2.3

$$2\,C_3S + 6H \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3\,Ca(OH)_2 \quad [4] \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2\,C_2S + 4H \longrightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2$$ [4] (2.3)

ซึ่งสารประกอบของซิลิเกตเป็นองค์ประกอบหลักของซีเมนต์ (ประมาณ 75% โดยน้ำหนักของซีเมนต์) ดังนั้นสารเหล่านี้จะส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงระยะยาว (Final strength) ของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว โดยที่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต จะส่งผลต่อการพัฒนาของกำลังรับแรงอัดในระยะ 28 วันแรก ส่วนไดแคลเซียมซิลิเกตจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดภายหลัง 28 วันเป็นต้นไป [4]

เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงมากพอเนื่องจากแคลเซียมอิออนจากปฏิกิริยาของสารประกอบของซิลิเกต แคลเซียมไฮดรอกไซด์จะเริ่มตกผลึก และปฏิกิริยาของสารประกอบของซิลิเกตจะเริ่มต้นขึ้นอีกครั้ง ปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเริ่มทำให้ผิวนอกของคอนกรีตแข็งตัวก่อน ส่วนเนื้อคอนกรีตภายในจะแข็งตัวภายหลัง แม้ว่าน้ำที่ผสมคอนกรีตจะหมดไปแล้วก็ตามปฏิกิริยาก็ยังคงดำเนินต่อไปเพราะซีเมนต์จะรับโมเลกุลของน้ำในอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาอีก ระยะนี้จะเป็นระยะสำคัญของคอนกรีตมากจึงจำเป็นต้องทำการบ่มโดยการให้น้ำกับคอนกรีต ซึ่งหากไม่บ่มด้วยน้ำแล้วซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์

## 2.3 มอร์ต้าร์ (Mortar)

มอร์ต้าร์ หรือ ซีเมนต์มอร์ต้าร์เป็นส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ ปูนมอร์ต้าร์ใช้สำหรับงานก่ออิฐ งานฉาบปูน งานเทปรับระดับพื้น รวมถึงงานซ่อมแซมพื้นผิวปูนต่างๆ

## 2.4 น้ำผสมคอนกรีต (Mixing water)

บทบาทของน้ำต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมักจะเป็นในแง่ของคอนกรีตมักจะเป็นในแง่ของเชิงปริมาณมากกว่าในแง่ของคุณภาพ หรือชนิดคอนกรีตที่มีคุณภาพต่ำมักจะเกิดจากการใช้น้ำในปริมาณที่มากเกินความจำเป็นมากกว่าจะเกิดจากการใช้น้ำสกปรก อย่างไรก็ตามก็ไม่ใช่ว่าน้ำทุกชนิดจะใช้ผสมคอนกรีตได้ ทั้งนี้เพราะ น้ำโดยทั่วไปนั้นมักจะประกอบด้วยสารเคมีมากมายหลายล้านตัวทั้งอินทรีย์ และอนินทรีย์ สารบางตัวมีมากก็ไม่ส่งผลเสียต่อคอนกรีต บางตัวมีน้อยแต่อาจจะมีผลเสียต่อคอนกรีตได้ น้ำที่ใช้สำหรับผสมทำคอนกรีตถ้ามีสารแปลกปลอมเจือปนอยู่มากเกินไปอาจก่อปัญหาด้าน ระยะเวลาในการก่อตัว การหดตัวของคอนกรีต การมีรอยคราบเกลือ (Efflorescence) อยู่ที่ผิวของคอนกรีต กำลังที่ต่ำลง ตลอดจนความคงทนของคอนกรีตลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดคุณสมบัติของน้ำ แต่จะเป็นในลักษณะกว้างๆ

มาตรฐานหลายอันกำหนดคุณสมบัติของน้ำไว้กว้างๆ นอกเหนือจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นแล้ว ส่วนหนึ่งเป็นเหตุผลทางเศรษศาสตร์เป็นสำคัญ เนื่องจากไม่สามารถเลือกน้ำจากสถานที่ใดที่หนึ่งเป็นการจำเพาะเจาะจงได้ จำเป็นต้องใช้น้ำที่มีในท้องถิ่นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างประเทศบางอันกำหนดค่าจำกัดที่ยอมให้ของสารเคมีบางตัวที่มีอันตรายต่อคุณสมบัติของคอนกรีต น้ำที่ไม่ควรนำมาใช้ ได้แก่

1) น้ำที่มีตะกอนดินหรือฝุ่นเกิน 2000 ppm
2) น้ำที่มีสารอนินทรีย์ (Inorganic substance) มากกว่า 2000ppm
3) น้ำบาดาลที่มีคลอไรด์คาบอเนตมาก
4) น้ำที่มีตะกอนควรให้มีการตกตะกอนก่อนนำมาใช้
5) น้ำที่มีตะไคร่น้ำ (Algae)
6) น้ำทะเลเพราะก่อให้เกิดความเสี่ยงของสนิมในเหล็กได้

โดยทั่วไปมักจะใช้มีข้อกำหนดสั้นๆว่า "น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตควรเป็นน้ำที่สามารถดื่มได้" แต่ก็สามารถทดสอบหรือตรวจสอบน้ำต้องสงสัยได้โดยใช้มาตรฐานต่างประเทศเช่น ASTM C94 หรือ ACI -Building Code Requirement เป็นต้น

## 2.5 สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c Ratio)

สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ คือสัดส่วนของน้ำต่อสัดส่วนของซีเมนต์โดยน้ำหนัก ซึ่งสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์นั้นจะแปรผันตรงกับความสามารถในการเท (แปรผกผันกับค่ากำลัง) การมีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงหมายถึงการที่คอนกรีตมีน้ำในปริมาณมาก ส่งผลให้เทได้ดีและง่าย แต่การมีน้ำมากนั้นทำให้คอนกรีตมีรูพรุนสูง (น้ำที่มากเกินไป ถูกใช้ไม่หมดในกระบวนการไฮเดรชัน เหลือเป็นช่องว่างในเนื้อคอนกรีต) ซึ่งส่งผลให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตต่ำกว่าที่ประมาณการไว้

## 2.6 มวลรวมละเอียด (Fine aggregate)

โดยมากจะเป็นทรายซึ่งต้องมีความละเอียดพอดี โดยมีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ระหว่าง 2.3 และ 3.1 ค่าโมดูลัสความละเอียดเป็นตัวบ่งบอกว่าทรายนั้นหยาบหรือละเอียด เช่น ทรายที่มีค่าโมดูลัสความละเอียดสูงจะเป็นทรายที่หยาบมากกว่าทรายที่มีค่าโมดูลัสความละเอียดต่ำ

## 2.7 สารผสมเพิ่ม (Admixture)

คำนิยามที่เป็นทางการของ ASTM C125 สำหรับสารผสมเพิ่มคือ "วัสดุที่นอกเหนือจากน้ำ มวลรวม ปูนซีเมนต์ หรือเส้นใยไฟเบอร์ ที่ถูกใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตหรือซีเมนต์มอร์ต้า โดยเติมเข้าไปช่วงก่อนหรือระหว่างกระบวนการผสม" ซึ่งคำจำกัดความดังกล่าวกินความหมายถึงวัสดุผสมเพิ่มจำพวกแร่ธาตุ (Mineral admixture) และสารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixture)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของสารเคมีผสมเพิ่ม (Type of Chemical Admixture)

A สารลดน้ำ (Water reducing agent)

B สารหน่วงการก่อตัว (Retarder)

C สารเร่งการก่อตัว (Accelerater)

D สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Water reducing & retarder)

E สารลดน้ำและเร่งการก่อตัว (Water reducing & accelerater)

F สารลดน้ำปริมาณสูง (High Range Water Reducing Agent)

G สารลดน้ำปริมาณสูงและหน่วงการก่อตัว (High range water reducing & accelerater)

### 2.7.1 สารลดน้ำปริมาณสูง (Superplasticizer)

สารลดน้ำปริมาณสูงหรือซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Superplasticizer) นั้นมีวัตถุประสงค์ในการทำงานเช่นเดียวกับสารลดน้ำ คือเพื่อลดปริมาณการใช้น้ำในคอนกรีตลงให้ได้คอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำแต่มีความสามารถในการเทที่ดี ส่วนที่แตกต่างคือความสามารถในการลดน้ำของสารลดน้ำปริมาณสูงนั้นจะสูงกว่าสารลดน้ำ (อยู่ที่ประมาณ 15%)

ประเภทของสารลดน้ำปริมาณสูง แยกตามองค์ประกอบหลักทางเคมีได้เป็น 4 ประเภทหลัก คือ ซัลโฟเนตเมลามินฟอร์มัลดีไฮด์ (Suffonated Melamine Formaldehyde), ซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ (Suffonated Naphalene Formaldehyde), โมดิไฟด์ลิกโนซัลโฟเนต (Modified Lignosulfonates) และ โพลีคาบอกซิเลต (PCa) แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือสารกลุ่มแนพธาลิน (Naphthalene Based) และโพลีคาบอกซิเลต (PCa) โดยมีลักษณะเป็นโพลีเมอร์ละลายน้ำที่มีโมเลกุลยาวและมีน้ำหนักมากเนื่องจากกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนต้องมีการ Polymerzation ทำให้สารลดน้ำปริมาณสูงมีราคาแพงกว่าสารเคมีผสมเพิ่มชนิดอื่นๆ

หลักการทำงานของสารลดน้ำปริมาณสูง คือการที่สายโมเลกุลของโพลีเมอร์เข้าไปเคลือบตัวรอบๆและให้ประจุลบแก่อนุภาคของเม็ดปูน ก่อให้เกิดการผลักกัน (Deflocculation) และการกระจายตัว(Dispersion) ของอนุภาคซีเมนต์ ซึ่งการกระจายตัวที่ดีส่งผลให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทสูง และกำลังสูง

การใช้สารลดน้ำปริมาณสูงในปริมาณต่ำนั้น มักจะไม่ค่อยปรากฏผลข้างเคียงตามมา แต่เมื่อมีการใช้งานในปริมาณที่สูงมักจะมีผลข้างเคียงตามมา ยกตัวอย่างเช่น การเกิดการก่อตัวผิดปกติ หรือสูญเสียความสามารถในการเทอย่างรวดเร็ว หรือ อาจจะตรงกันข้ามคือเกิดการก่อตัวช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าปกติ หรือการแยกตัว หรือในบางกรณีอาจส่งผลให้กำลังของคอนกรีตตกลงหรือมีการพัฒนาการด้านกำลังที่ผิดปกติ

## 2.9 พรีคาสท์คอนกรีต (Precast concrete)

พรีคาสท์คอนกรีต คือ ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ที่ได้จากการหล่อ หรือเทในแบบหล่อที่มีขนาดต่างๆ ในโรงงานหรือในบริเวณก่อสร้างให้เสร็จก่อน แล้วนำไปติดตั้งประกอบกันที่หน่วยงานก่อสร้าง โดยใช้อุปกรณ์ยกที่เหมาะสมชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ระบบพรีคาสท์คอนกรีต ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในกลุ่มงานพัฒนาโครงการบ้านจัดสรรและงานก่อสร้างอาคารสูง เนื่องจากช่วยลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานและฝีมือแรงงานในการก่อสร้างลงได้มาก ทำให้ผู้ประกอบการสามารถส่งมอบงานได้รวดเร็วขึ้น ภายใต้งบประมาณที่กำหนด

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวารสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ผลของอุณหภูมิต่อ คอนกรีต มอร์ต้าร์ และสารลดน้ำปริมาณสูง พบว่าเมื่ออากาศร้อน อุณหภูมิของคอนกรีตที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ ความเหลว (Fluidity) ของคอนกรีตลดต่ำลง ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าการยุบตัว (Slump) ของคอนกรีตตามที่ออกแบบไว้จึงจำเป็นต้องใช้น้ำในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลง [5] [3]อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเพิ่มสารลดน้ำปริมาณสูง (Superplasticizer) ในส่วนผสมของคอนกรีตแล้ว อุณหภูมิที่สูงขึ้นไม่ได้ส่งผลให้ความเหลวของคอนกรีตมีค่าต่ำลงเสมอไป เนื่องจากสารลดน้ำปริมาณสูงสมัยใหม่เป็นโพลีเมอร์ กลไกการทำงานของสารเหล่านี้สามารถถูกส่งผลกระทบจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปได้เช่นกัน [6]

นักวิจัยบางท่าน [1]กล่าวว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นไม่เพียงส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ แต่ยังช่วยเร่ง การดูดติดผิว (Adsorption) ของโพลีเมอร์ต่ออนุภาคของซีเมนต์ด้วยเช่นกัน ซึ่งส่งผลให้ความเหลวของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้น [6] ดังนั้นจึงมีการนำสารลดน้ำปริมาณสูงไปใช้แก้ปัญหาการลดต่ำลงของความเหลวของคอนกรีตในพื้นที่อุณหภูมิสูง [5] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการให้ความร้อนต่อสารลดน้ำปริมาณสูงโดยตรงก่อนนำไปใช้ [2] พบว่าตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ผสมด้วยสารลดน้ำปริมาณสูงที่ผ่านกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิมีความสามารถทำงานได้ (Workability) และความสามารถแผ่ไหล (Flowability) สูงขึ้นกว่าตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ผสมด้วยสารลดน้ำปริมาณสูงที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิ เมื่อพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิสารลดน้ำปริมาณสูงโดยตรง สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกลไกการทำงานของสารได้เช่นกัน ดังนั้นสารลดน้ำปริมาณสูงที่ผ่านกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิแล้วถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องยังคงมีประสิทธิภาพในการทำงานอยู่หรือไม่ เป็นประเด็นที่กลุ่มผู้ทดลองให้ความสนใจต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาการใช้สารผสมเพิ่มในอุตสาหกรรมคอนกรีตและเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถสรุปผลของการจัดทำงานวิจัยหัวข้อผลของความร้อนที่เร่งสารผสมเพิ่มประเภทลดน้ำปริมาณสูงต่อคุณภาพของมอร์ต้าร์ได้นั้น จึงได้ทำการเลือกวิธีการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ โดยการนำสารผสมเพิ่มคอนกรีตมาทำการให้ความร้อนโดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ในระยะเวลาที่แตกต่างกันและศึกษาถึงระยะเวลาในการคงประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่มหลังจากหยุดควบคุมอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาที่ต่างกัน

### 3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Portland Cement Type I) ตามมาตรฐาน ASTM C150-02a เป็นปูนซีเมนต์ที่เหมาะจะนำไปใช้กับงานก่อสร้างงานคอนกรีตที่ต้องการกำลังอัดสูงและงานคอนกรีตทั่วไป มีคุณสมบัติตามตารางที่ 3.1

*ตารางที่ 3.1 เกณฑ์กำหนดหนดคุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาตามมาตรฐาน ASTM C150-02a*

| เกณฑ์กำหนดหนดคุณสมบัติทางเคมี | ตามมาตรฐาน ASTM C150-02a |
|---|---|
| แม็กนีเซียมออกไซด์ (MgO) | สูงสุดร้อยละ 6.0 |
| ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ($SO_3$)<br>-เมื่อมี 3 CaO. Al2O3 ร้อยละ 8 หรือน้อยกว่า<br>-เมื่อมี 3 CaO. Al2O3 น้อยกว่าร้อยละ 8 | <br>สูงสุดร้อยละ 3.0<br>สูงสุดร้อยละ 3.5 |
| การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition) | สูงสุดร้อยละ 3.0 |
| กากที่ไม่ละลายในกรดด่าง (Insoluble Residue) | สูงสุดร้อยละ 0.75 |

2) มวลรวมละเอียด จากมาตรฐาน ASTM C33 ค่าโมดูลัสความละเอียด (fineness modulus) ของมวลรวมละเอียดต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 2.3-3.1 ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้มวลรวมละเอียดที่มีค่าโมดูลัสความละเอียด (fineness modulus) ของทรายเท่ากับ 2.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สารผสมเพิ่มที่ใช้ในการทำวิจัยคือสารลดน้ำปริมาณสูง เป็นน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Superplasticizer) ตามมาตรฐาน ASTM C 494 คือ สารผสมเพิ่มประเภท F ที่ช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต ช่วยเร่งการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตในระยะต้น 19-24 ชั่วโมง ทั้งหมด 2 ประเภท คือ โพลีคาบอกซิเลต (PCa) และ ซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ (SNF)

ในการทดลองจะแบ่งอุณหภูมิของสารผสมเพิ่ม (admixture) ออกเป็น 3 อุณหภูมิ คือ อุณหภูมิห้อง, 50 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสารผสมเพิ่มที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียสนั้นจะให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง , 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง แล้วนำมาทิ้งไว้ที่อุณภูมิห้องเป็นระยะเวลา ทดลองทันที, 24 ชั่วโมง และ 168 ชั่วโมง แสดงรายละเอียดขั้นตอนดังตารางที่ 3.2

*ตารางที่ 3.2 ลำดับขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิของสารสารลดน้ำปริมาณสูง*

| ชนิดสาร | อุณหภูมิ ($^0$C) | ระยะเวลาให้ความร้อน | ระยะเวลาหลังให้ความร้อน |
|---|---|---|---|
| สารลดน้ำปริมาณสูง ประเภท โพลีคาบอกซิเลต (PCa) และ ประเภท ซัลโฟเนตแนพธาลิน ฟอร์มัลดีไฮด์ (SNF) | ไม่ให้ความร้อน | - | - |
| | 50 | 2 ชั่วโมง | ทดลองทันที |
| | | | 24 ชั่วโมง |
| | | | 168 ชั่วโมง |
| | | 24 ชั่วโมง | ทดลองทันที |
| | | | 24 ชั่วโมง |
| | | | 168 ชั่วโมง |
| | | 48 ชั่วโมง | ทดลองทันที |
| | | | 24 ชั่วโมง |
| | | | 168 ชั่วโมง |
| | 60 | 2 ชั่วโมง | ทดลองทันที |
| | | | 24 ชั่วโมง |
| | | | 168 ชั่วโมง |
| | | 24 ชั่วโมง | ทดลองทันที |
| | | | 24 ชั่วโมง |
| | | | 168 ชั่วโมง |
| | | 48 ชั่วโมง | ทดลองทันที |
| | | | 24 ชั่วโมง |
| | | | 168 ชั่วโมง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 สัดส่วนในการผสมมอร์ต้าร์

สัดส่วนในการผสมมอร์ต้าร์ แสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งอธิบาย ดังนี้

1) อัตราส่วนระหว่างซีเมนต์กับทราย ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้อัตราส่วนระหว่างซีเมนต์กับทรายเท่ากับ 1 ต่อ 2
2) อัตราส่วนระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (w/c) โดยเลือกใช้ค่าที่ผ่านการทดสอบการแผ่ไหลของมอร์ต้าร์ ( ค่าการแผ่ไหลของมอร์ต้าร์เท่ากับ 110 ± 5 )
3) อัตราส่วนระหว่างซีเมนต์กับสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลต โดยใช้ปริมาณ 1.4 % ของซีเมนต์โดยน้ำหนัก
4) อัตราส่วนระหว่างซีเมนต์กับสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ โดยใช้ปริมาณ 1.4 % ของซีเมนต์โดยน้ำหนัก

*ตารางที่ 3.3 สัดส่วนในการผสมมอร์ต้าร์*

| ตัวอย่างที่ | ซีเมนต์ต่อทราย (กก.) | ชนิดสารผสมเพิ่ม | อัตราส่วนสารผสมเพิ่มต่อซีเมนต์ (กก.) |
|---|---|---|---|
| 1 | 1:2 | - | - |
| 2 | 1:2 | สารลดน้ำปริมาณสูง ประเภท โพลีคาบอกซิเลต | 1.4 % |
| 3 | 1:2 | สารลดน้ำปริมาณสูง ประเภท ซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ | 1.4 % |

หมายเหตุ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่นำไปทดสอบหาค่าการไหลแผ่อยู่ในช่วง 110 ± 5

ตัวอย่างการคำนวณ

สมมติฐานการคำนวณ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 มีค่าการแผ่ไหลเท่ากับ 110 ± 5

- ซีเมนต์ 100 กก.
- มวลรวมละเอียด 200 กก.
- เลือกใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 ใช้น้ำ 30 กก.
- เลือกใช้สารลดน้ำปริมาณสูง 1.4 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

### 3.3.1 การทดสอบหาความข้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้าร์

เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับความข้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้าร์ โดยทดสอบทอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.3 , 0.4 และ 0.5 มีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียมซีเมนต์มอร์ต้าร์ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างทรายต่อซีเมนต์ 2 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก
2) เตรียมโต๊ะควบคุมการไหลให้แห้งสนิทและวางแบบทองเหลืองลงตรงกลางศูนย์กลางของแท่นวงกลม
3) ผสมซีเมนต์อร์ต้าร์ส่วนหนึ่งด้วยอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.3 แล้วจึงนำมาใส่ลงในแบบโดยการแบ่งใส่เป็น 2 ชั้น ชั้นละครึ่งแบบ แต่ละชั้นให้กระทุ้งด้วยไม้กระทุ้งมาตรฐานจำนวน 20 ครั้ง แล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบพอดีกับปากแบบและทำความสะอาดแท่นโดยรอบให้สะอาด
4) ยกแบบขึ้นตรงๆ อย่าระมัดระวัง จนถึงขั้นตอนนี้ควรใช้เวลาไม่เกิน 60 วินาที หลังการผสม
5) หมุนลูกเบี้ยวของโต๊ะควบคุมการไหลเพื่อให้แท่นกระแทกลงกับแกนด้วยน้ำหนักของตัวมันเองให้ได้ 25 ครั้ง ภายในระยะเวลา 15 วินาที
6) เมื่อครบจำนวนครั้งแล้ว วัดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของมอร์ต้าร์ โดยวัดจำนวน 4 ค่าแล้วนำมาเฉลี่ยกัน
7) คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ (% Flow) ดังสมการที่ 3.1

$$\text{เปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ (\% Flow)} = \frac{D_1 - D_0}{D_0} \times 100 \qquad (3.1)$$

เมื่อ $D_0$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานของแบบหล่อรูปกรวย

$D_1$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่เฉลี่ยของมอร์ต้าร์ที่กระจายบนโต๊ะการไหล

8) บันทึกผลพร้อมกับอัตราของน้ำที่ใช้
9) ทำการทดลองใหม่อีกครั้งโดยเปลี่ยนอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เป็น 0.4 และ 0.5 นำค่าที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่กับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ แล้วจึงใช้กราฟเพื่อหาค่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่ทำให้ได้ค่าการไหลแผ่เท่ากับ 110±5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 ผสมมอร์ต้าร์

1) เทน้ำทั้งหมดที่ใช้ผสมลงในชามผสม เติมปูนซีเมนต์และผสมที่ความเร็วรอบต่ำ (140 ± 5 รอบต่อนาที) ผสมเป็นเวลา 30 วินาที
2) เติมทรายลงในหม้อผสมทีละน้อยจนหมดภายในช่วงเวลา 30 วินาที โดยที่เครื่องผสมหมุนอยู่ที่ความเร็วรอบต่ำ (140 ± 5 รอบต่อนาที)
3) ปิดเครื่องผสม และเปลี่ยนความเร็วที่ใช้ผสมเป็นความเร็วรอบปานกลาง (285 ± 5 รอบต่อนาที) ผสมเป็นเวลา 30 วินาที
4) ปิดเครื่องผสมให้หยุดนิ่งเป็นเวลา 90 วินาที โดยที่ในช่วง 15 วินาทีแรกให้ขูดซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ติดอยู่ข้างๆ หม้อผสมและที่พายให้มารวมกันอยู่ตรงกลาง แล้วนำภาชนะมาปิดหม้อผสมจนครบเวลาที่กำหนด
5) เปิดเครื่องผสมที่ความเร็วรอบปานกลาง ผสมเป็นเวลา 60 วินาที เป็นอันสิ้นสุดการผสม ทันทีที่ผสมเสร็จรีบนำมอร์ต้าร์ที่ได้ไปหล่อลงในแบบหล่อ ขนาด 5×5×5 ซม.

### 3.3.3 การหล่อตัวอย่างมอร์ต้าร์

1) เทซีเมนต์มอร์ต้าร์ลงในแบบหล่อตัวอย่างมอร์ต้าร์ทรงลูกบาศก์ 2 ชั้น ชั้นแรก หนาประมาณ 25 มม. หรือครึ่งหนึ่งของความลึกของแบบและกระทุ้งจำนวน 32 ครั้ง (รอบละ 8 ครั้ง จำนวน 4 รอบ) ภายใน 10 วินาที ซึ่งแต่ละครั้งในการกระทุ้งจะเวียนขวา น้ำหนักของการกระทุ้งให้แรงพอที่จะให้มอร์ต้าร์แผ่กระจายทั่วแบบ เมื่อกระทุ้งครบ 4 รอบแล้วจึงกระทุ้งช่องถัดไป
2) เทซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่เหลือลงในแบบหล่อ แล้วกระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก โดยเมื่อกระทุ้งเสร็จแล้วให้ซีเมนต์มอร์ต้าร์อยู่สูงกว่าแบบหล่อเล็กน้อย
3) ใช้เกรียงเหล็กปาดซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ล้นติดขอบแบบลงมาในแบบแล้วปาดผิวหน้าให้เรียบหนึ่งครั้งโดยเผยอเกรียงด้านนำเล็กน้อยตั้งฉากกับด้านยาวของแบบหล่อ
4) ถ้าต้องการให้ผิวหน้าของแบบหล่อเรียบมากขึ้นให้เกรียงปาดหน้าเบาๆ ตลอดความยาวของแบบหล่อหนึ่งครั้ง หลังจากนั้นตัดผิวหน้ามอร์ต้าร์ให้เรียบโดยใช้ขอบด้านตรงของเกรียงวางเกือบตั้งฉากกับแบบหล่อ ขยับเกรียงไป-มา ตลอดความยาวแบบหล่อ

### 3.3.4 การเก็บรักษาตัวอย่างมอร์ต้าร์

หลังจากหล่อตัวอย่างมอร์ต้าร์ทรงลูกบาศก์เรียบร้อย ให้เก็บตัวอย่างมอร์ต้าร์ไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ป้องกันไม่ให้น้ำหยดโดนผิวของตัวอย่างมอร์ต้าร์ เมื่อครบ 24 ชั่วโมงจึงแกะแบบออก แล้วนำไปแช่ในถังบ่มน้ำเป็นเวลา 7 และ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้จะเก็บข้อมูลจากการนำมอร์ต้าร์ในแต่ละชุดตัวอย่าง ไปทดสอบแล้วนำค่าการทดสอบมาเปรียบเทียบกันเพื่อเช็คประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่ม โดยใช้การทดสอบ 4 ชนิด คือ

### 3.4.1 การทดสอบหาค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ (Compressive strength test) : ASTM C109/C109M-02

ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างมอร์ต้าร์ทรงลูกบาศก์ ขนาด 5×5×5 ซม. ที่ผ่านการบ่มน้ำเป็นระยะเวลา 7 และ 28 วัน มากดทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดคอนกรีต เพื่อหาค่าความสามารถต้านทานแรงอัดสูงสุดของตัวอย่างมอร์ต้าร์ มีวิธีการทดสอบดังนี้

1) ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ต้าร์ ทันทีที่นำออกจากถังบ่มน้ำ
2) เช็ดผิวของตัวอย่างมอร์ต้าร์ให้อยู่ในสภาพแห้ง ปัดเอาเม็ดทรายหรือสะเก็ดที่ติดผิวหน้าออก ถ้าผิวหน้าไม่เรียบให้ฝนให้เรียบและผิวบน-ล่าง ต้องขนานกัน
3) วัดขนาดความกว้างของก้อนทดสอบและชั่งน้ำหนักก้อนทดสอบ
4) นำก้อนทดสอบเข้าเครื่องทดสอบกำลัง วางก้อนทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางและสัมผัสกับแป้นกด
5) เดินเครื่องด้วยอัตราที่สม่ำเสมอ จนกระทั่งก้อนทดสอบแตก
6) คำนวณ ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของซีเมนต์มอร์ต้า จะหาได้จากสมการที่ 3.2

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

เมื่อ $f_m$ คือ กำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์ (กก./ตร.ซม.)

P คือ แรงอัดสูงสุด (กก.)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตร.ซม.)

(อ้างอิง; http://www.c-s-h.ir/wp-content/uploads/2014/12/C-109.pdf )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ต้าร์ (Flow of Hydraulic Cement Mortar Test) : ASTM C 1437-15

ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างมอร์ต้าร์เหลว โดยทดสอบที่ระยะเวลา 0 , 30 , 60 และ 90 นาที หลังผสมตัวอย่างเสร็จ มีวิธีการทดสอบดังนี้

1) ทำความสะอาดโต๊ะการไหล (Flow Table) และแบบหล่อรูปกรวย (Flow Mold) แล้ววางแบบหล่อรูปกรวยไว้ตรงกลางโต๊ะควบคุมการไหล
2) ใส่ซีเมนต์มอร์ต้าร์ลงในแบบหล่อรูปกรวยชั้นแรกหนา 25 มม. แล้วกระทุ้งด้วยแท่งกระทุ้งจำนวน 20 ครั้ง ให้ซีเมนต์มอร์ต้าร์แผ่เต็มแบบ ต่อจากนั้นใส่ซีเมนต์มอร์ต้าร์อีกชั้นหนึ่งจนล้น กระทุ้งอีก 20 ครั้ง แล้วปาดหน้าให้เรียบเสมอขอบบนของแบบหล่อรูปกรวยด้วยเกรียงเหล็ก
3) ทำความสะอาดโต๊ะการไหลให้สะอาดโดยรอบตัวอย่างระหว่างการรอเพื่อทดสอบขั้นถัดไป โดยเมื่อครบเวลา 1 นาที ให้ยกแบบหล่อรูปกรวยขึ้นตรงๆ
4) หมุนให้แท่นของโต๊ะควบคุมการไหล ยกตัวสูงขึ้น 13 มม. (1/2 นิ้ว) จำนวน 25 ครั้ง ในเวลา 15 วินาที
5) วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ไหลแผ่อยู่บนแท่นจำนวน 4 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ย
6) คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ (% Flow) ดังสมการที่ 3.3

$$\text{เปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ (\% Flow)} = \frac{D_1 - D_0}{D_0} \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ $D_0$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานของแบบหล่อรูปกรวย

$D_1$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่เฉลี่ยของมอร์ต้าร์ที่กระจายบนโต๊ะการไหล

( อ้างอิง; ftp://ftp.ecn.purdue.edu/olek/PTanikela/To%20Prof.%20Olek/ASTM%20standards/Flow%20of%20mortars%20C%201437.pdf )

## 3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลการศึกษาที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดและการทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ต้าร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มจากแต่ละชุดตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของมอร์ต้าร์ที่ผสมสารผสมเพิ่มที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์ของระยะเวลาให้ความร้อนต่อประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่มและความสัมพันธ์ของระยะเวลาพักสารหลังให้ความร้อนต่อประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่ม ซึ่งทำให้ทราบการเทียบเคียงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการศึกษา

## 4.1 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ต้าร์ (Consistency of cement mortar)

ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ต้าร์ คือ ความข้นเหลวที่เหมาะต่อการนำไปใช้งานในด้านต่างๆของซีเมนต์มอร์ต้าร์ โดยจำเป็นจะต้องมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม ซึ่งก็คืออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ทำให้ซีเมนต์มอร์ต้าร์มีค่าการไหลแผ่อยู่ในช่วง 105 ถึง 115 เปอร์เซ็นต์ ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 4.1 ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลตมีปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อให้มีความข้นเหลวที่เหมาะสมต่ำกว่าสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ อย่างไรก็ตามอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมของสารทั้งสองประเภทไม่แตกต่างกันมากนัก ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ แสดงในตารางที่ 4.1

*ตารางที่ 4.1 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารแต่ละชนิด*

| ชนิดสาร | ร้อยละของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก |
|---|---|
| โพลีคาบอกซิเลต | 31.75% |
| ซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ | 33.55% |

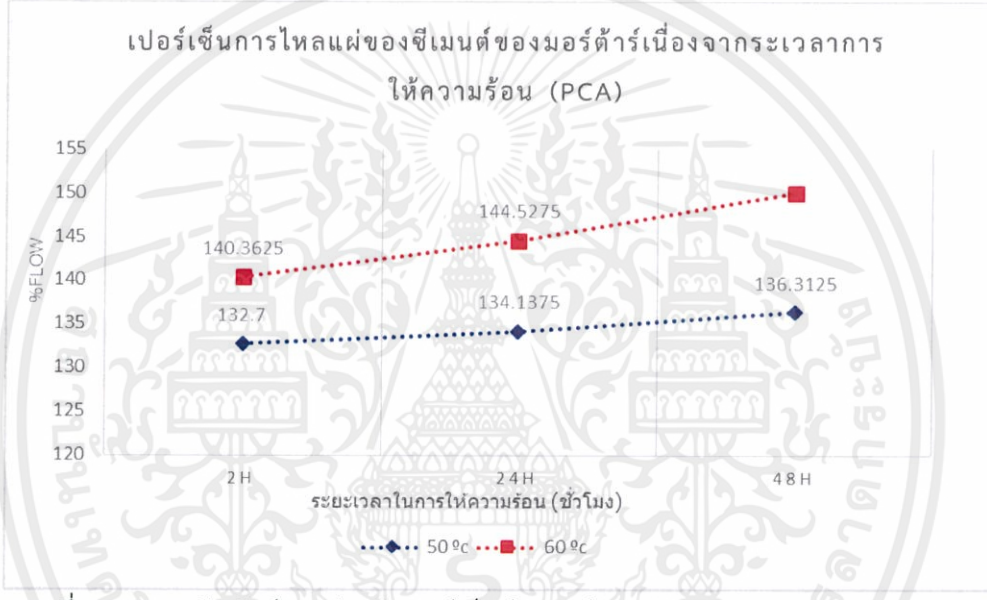
## 4.2 ความสามารถในการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ (Flowing ability of cement mortar)

### 4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ ระยะเวลาให้ความร้อนและระยะเวลาหลังให้ความร้อนของสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลต

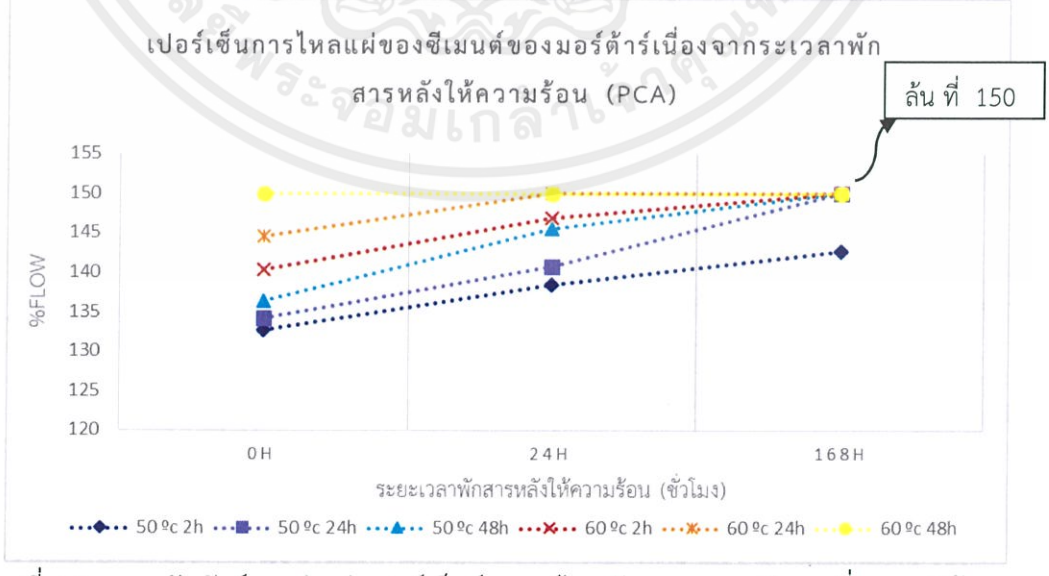
ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนมอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลตมีแนวโน้มสูงขึ้นตามอุณภูมิที่ควบคุม ระยะเวลาควบคุม และ ระยะเวลาพักที่อุณหภูมิห้องดังนี้ เมื่ออุณหภูมิที่ควบคุมสูงขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การแผ่ไหลมีแนวโน้มสูงขึ้นดังที่แสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารที่ควบคุมที่อุณหภูมิที่ 60°c มีค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่สูงกว่าซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารที่ควบคุมที่อุณหภูมิที่ 50°c มากกว่า 7 – 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเวลาในการควบคุมอุณหภูมิที่มากขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การแผ่ไหลมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย และเมื่อระยะเวลาพักที่อุณหภูมิห้องมากขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนมอร์ต้าร์ก็มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างชัดเจนเช่นกัน ในขณะเดียวกันค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารที่ผ่านกระบวนการบางประเภทมีค่ามากจนโต๊ะวัดค่าการไหลขนาดที่ใช้ในการทดสอบไม่สามารถรองรับได้ เป็นเหตุให้ไม่สามารถบันทึกค่าได้ดังที่แสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่สูงที่สุดไม่สามารถสรุปได้ ในขณะที่ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ต่ำที่สุดคือซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารผ่านการควบคุมอุณหภูมิที่ 50°c เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และทำการทดลองทันทีโดยไม่บ่มน้ำยา ซึ่งยังคงสูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนมอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ




รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การแผ่ไหลกับระยะเวลาควบคุมอุณหภูมิ




รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การแผ่ไหลกับระยะเวลาพักสารที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

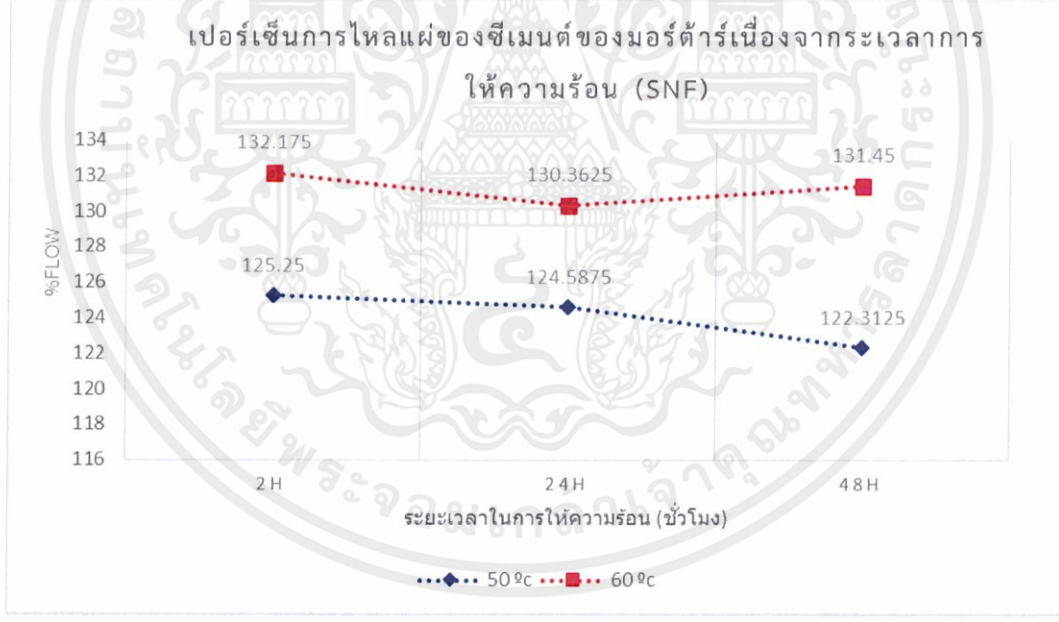
*ตารางที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่าน*

| อุณหภูมิ ($^0$C) | ระยะเวลาให้ความร้อน (ชั่วโมง) | ระยะเวลาหลังให้ความร้อน (ชั่วโมง) | เปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ (%) | เปรียบค่าเทียบกับค่าปกติ (%) |
|---|---|---|---|---|
| ไม่ให้ความร้อน | - | - | 114.9 | - |
| 50 | 2 | 0 | 132.7000 | 15.49 |
| | | 24 | 138.3625 | 20.42 |
| | | 168 | 142.6250 | 24.13 |
| | 24 | 0 | 134.1375 | 16.74 |
| | | 24 | 140.7825 | 22.53 |
| | | 168 | >150 | >30.55 |
| | 48 | 0 | 136.3125 | 18.64 |
| | | 24 | 145.5500 | 26.68 |
| | | 168 | >150 | >30.55 |
| 60 | 2 | 0 | 140.3625 | 22.16 |
| | | 24 | 146.8875 | 27.84 |
| | | 168 | >150 | >30.55 |
| | 24 | 0 | 144.5275 | 25.79 |
| | | 24 | >150 | >30.55 |
| | | 168 | >150 | >30.55 |
| | 48 | 0 | >150 | >30.55 |
| | | 24 | >150 | >30.55 |
| | | 168 | >150 | >30.55 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

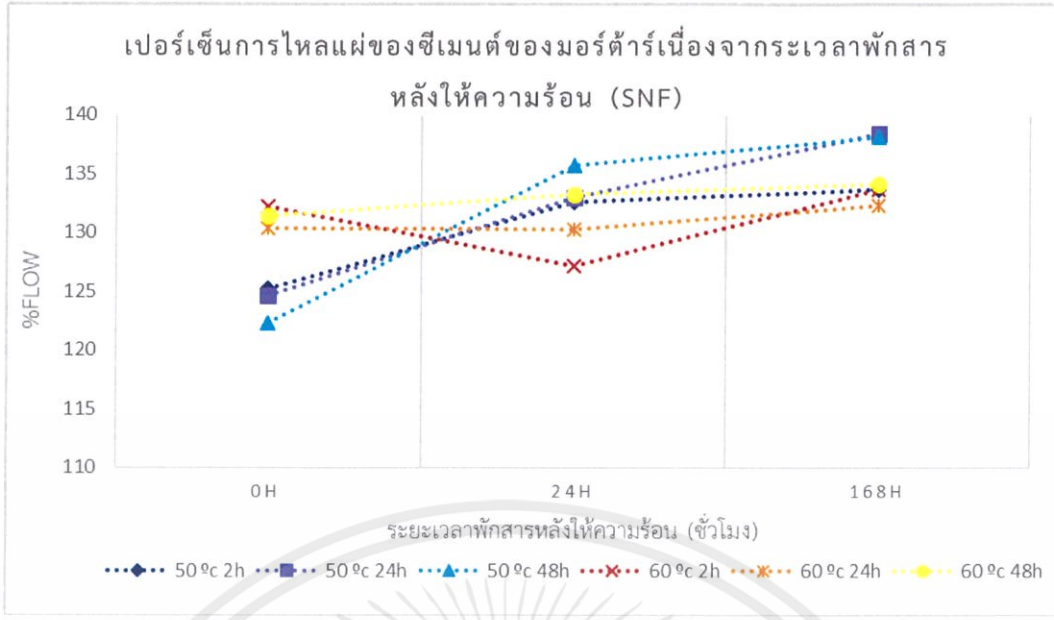
**4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ ระยะเวลาให้ความร้อนและระยะเวลาหลังให้ความร้อนของสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์**

ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ในตารางที่ 4.3 ที่ผ่านกระบวนการแต่ละประเภทมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน และไม่สามารถสรุปได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ซึ่งซีเมนต์มอร์ต้าร์ผสมสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่สูงที่สุด คือซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารผ่านการควบคุมอุณหภูมิที่ 50°c เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และมีระยะเวลาพักที่อุณหภูมิห้อง 168 ชั่วโมง ในขณะที่ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ต่ำที่สุดคือซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารผ่านการควบคุมอุณหภูมิที่ 50°c เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และทำการทดลองทันทีโดยไม่ต้องบ่มน้ำยา ซึ่งยังคงสูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนมอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ




รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การแผ่ไหลกับระยะเวลาควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การแผ่ไหลกับระยะเวลาพักสารที่อุณหภูมิห้อง

*ตารางที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านกระบวนการแต่ละประเภท*

| อุณหภูมิ ($^0$C) | ระยะเวลาให้ความร้อน (ชั่วโมง) | ระยะเวลาหลังให้ความร้อน (ชั่วโมง) | เปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ (%) | เปรียบค่าเทียบกับค่าปกติ (%) |
|---|---|---|---|---|
| ไม่ให้ความร้อน | - | - | 112.9500 | - |
| 50 | 2 | 0 | 125.2500 | 10.89 |
| | | 24 | 132.5875 | 17.39 |
| | | 168 | 139.4750 | 23.48 |
| | 24 | 0 | 124.5875 | 10.30 |
| | | 24 | 133.0125 | 17.76 |
| | | 168 | 138.4625 | 22.59 |
| | 48 | 0 | 122.3125 | 8.29 |
| | | 24 | 135.6875 | 20.13 |
| | | 168 | 138.1625 | 22.32 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ตารางที่ 4.3(ต่อ) ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านกระบวนการแต่ละประเภท*

| อุณหภูมิ ($^0$C) | ระยะเวลาให้ความร้อน (ชั่วโมง) | ระยะเวลาหลังให้ความร้อน (ชั่วโมง) | เปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ (%) | เปรียบค่าเทียบกับค่าปกติ (%) |
|---|---|---|---|---|
| 60 | 2 | 0 | 132.175 | 17.02 |
| | | 24 | 127.1875 | 12.61 |
| | | 168 | 133.6275 | 18.31 |
| | 24 | 0 | 130.3625 | 15.42 |
| | | 24 | 130.2375 | 15.31 |
| | | 168 | 132.2750 | 17.11 |
| | 48 | 0 | 131.4500 | 16.38 |
| | | 24 | 133.2625 | 17.98 |
| | | 168 | 134.1000 | 18.73 |

## 4.3 กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ (Compressive strength of cement mortar)

**4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ ระยะเวลาให้ความร้อนและระยะเวลาหลังให้ความร้อนของสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลต**

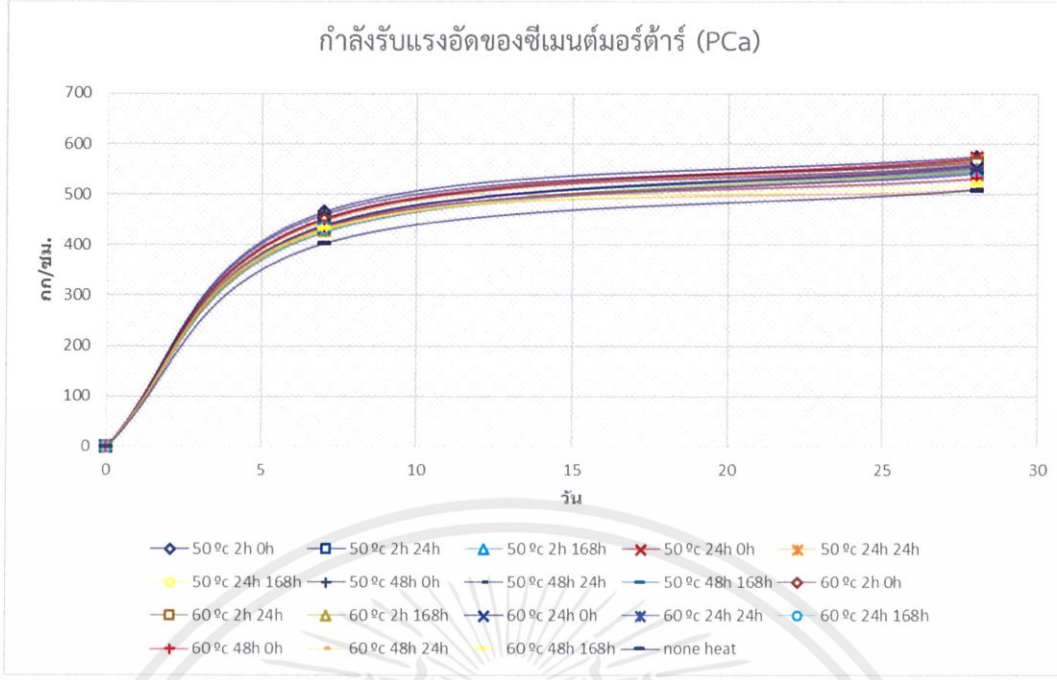
ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลตในตารางที่ 4.4 ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°c มีแนวโน้มสูงกว่าซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°c และระยะเวลาเวลาควบคุมอุณหภูมิที่มากยิ่งส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดต่ำลง เช่นเดียวกับระยะเวลาพักสารที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ตารางที่ 4.4 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่านกระบวนการแต่ละประเภท*

| อุณหภูมิ ($^0$C) | ระยะเวลาให้ความร้อน (ชั่วโมง) | ระยะเวลาหลังให้ความร้อน (ชั่วโมง) | กำลังรับแรงกด 7 วัน (กก./ซม$^2$) | เปรียบค่าเทียบกับค่าปกติ (%) | กำลังรับแรงกด 28 วัน (กก./ซม$^2$) | เปรียบค่าเทียบกับค่าปกติ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ไม่ให้ความร้อน | - | - | 402.40 | - | 509.37 | - |
| 50 | 2 | 0 | 464.57 | 15.45 | 574.71 | 12.83 |
| | | 24 | 451.85 | 12.29 | 559.19 | 9.78 |
| | | 168 | 438.31 | 8.92 | 548.88 | 7.76 |
| | 24 | 0 | 452.39 | 12.42 | 571.84 | 12.26 |
| | | 24 | 446.93 | 11.07 | 568.32 | 11.57 |
| | | 168 | 430.41 | 6.96 | 551.49 | 8.27 |
| | 48 | 0 | 459.83 | 14.27 | 564.51 | 10.83 |
| | | 24 | 435.78 | 8.30 | 556.27 | 9.21 |
| | | 168 | 425.14 | 5.65 | 545.67 | 7.13 |
| 60 | 2 | 0 | 449.45 | 11.69 | 569.26 | 11.76 |
| | | 24 | 436.34 | 8.43 | 560.83 | 10.10 |
| | | 168 | 429.87 | 6.83 | 549.36 | 7.85 |
| | 24 | 0 | 438.76 | 9.04 | 552.66 | 8.50 |
| | | 24 | 432.54 | 7.49 | 541.71 | 6.35 |
| | | 168 | 433.47 | 7.72 | 530.98 | 4.24 |
| | 48 | 0 | 434.43 | 7.96 | 532.43 | 4.53 |
| | | 24 | 432.72 | 7.53 | 511.31 | 0.38 |
| | | 168 | 432.54 | 7.49 | 521.82 | 2.44 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาบ่มของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลต

ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่านกระบวนการแต่ละประเภทมีลักษณะเกาะกลุ่มกัน แม้ว่าระยะเวลาให้ความร้อน และระยะเวลาพักสารที่อุณหภูมิห้องมีแนวโน้มที่จะส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ลดต่ำลงแต่ก็ไม่แตกต่างกันมากดังที่แสดงในรูปที่ 4.6 โดยที่ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดในช่วงเวลาบ่ม 28 วันคือประเภทที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 °c ระยะเวลาควบคุมอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง และทำการทดลองทันทีโดยไม่ต้องบ่มน้ำยา ในขณะที่ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุดในช่วงเวลาบ่ม 28 วันคือประเภทที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °c ระยะเวลาควบคุมอุณหภูมิ 48 ชั่วโมงและระยะพักที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง

**4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ ระยะเวลาให้ความร้อนและระยะเวลาหลังให้ความร้อนของสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์**

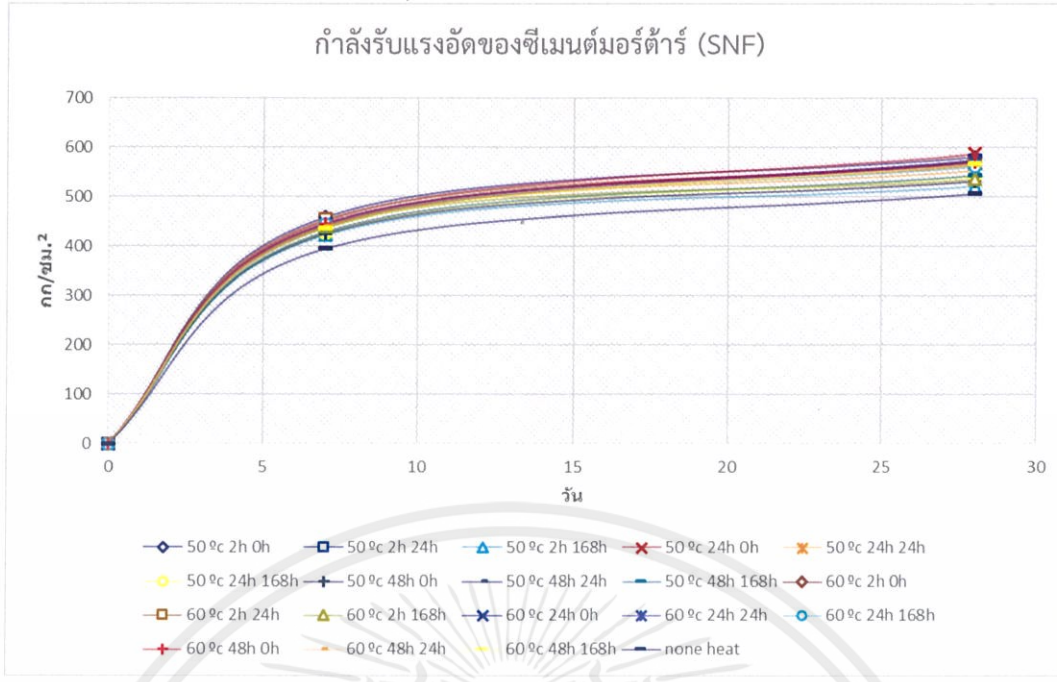
ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ในตารางที่ 4.5 ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°c มีแนวโน้มต่ำกว่าซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°c และระยะเวลาเวลาควบคุมอุณหภูมิที่มากยิ่งส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดต่ำลง เช่นเดียวกับระยะเวลาพักสารที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ตารางที่ 4.5 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านกระบวนการแต่ละประเภท*

| อุณหภูมิ ($^0$C) | ระยะเวลาให้ความร้อน (ชั่วโมง) | ระยะเวลาหลังให้ความร้อน (ชั่วโมง) | กำลังรับแรงกด 7 วัน (กก./ซม$^2$) | เปรียบค่าเทียบกับค่าปกติ (%) | กำลังรับแรงกด 28 วัน (กก./ซม$^2$) | เปรียบค่าเทียบกับค่าปกติ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ไม่ให้ความร้อน | - | - | 395.41 | - | 506.94 | - |
| 50 | 2 | 0 | 458.37 | 15.92 | 580.22 | 14.46 |
| | | 24 | 437.58 | 10.66 | 573.44 | 13.12 |
| | | 168 | 422.35 | 6.81 | 521.42 | 2.86 |
| | 24 | 0 | 452.23 | 14.37 | 587.31 | 15.85 |
| | | 24 | 442.26 | 11.85 | 522.83 | 3.13 |
| | | 168 | 427.55 | 8.13 | 541.20 | 6.76 |
| | 48 | 0 | 425.46 | 7.60 | 531.83 | 4.91 |
| | | 24 | 442.74 | 11.97 | 574.99 | 13.42 |
| | | 168 | 429.76 | 8.69 | 544.00 | 7.31 |
| 60 | 2 | 0 | 440.28 | 11.35 | 564.46 | 11.35 |
| | | 24 | 454.42 | 14.92 | 568.03 | 12.05 |
| | | 168 | 439.88 | 11.25 | 536.44 | 5.82 |
| | 24 | 0 | 446.15 | 12.83 | 571.99 | 12.83 |
| | | 24 | 447.39 | 13.15 | 569.92 | 12.42 |
| | | 168 | 443.65 | 12.20 | 561.58 | 10.78 |
| | 48 | 0 | 444.67 | 12.46 | 570.09 | 12.46 |
| | | 24 | 441.18 | 11.58 | 565.62 | 11.58 |
| | | 168 | 437.21 | 10.57 | 567.81 | 12.01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาบ่มของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพทาลินฟอร์มัลดีไฮด์

ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงประเภทซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ในรูปที่ 4.7 ที่ผ่านกระบวนการในแต่ละประเภทมีแนวโน้มแตกต่างกันไปหรือไม่มีแนวโน้มเลย ซึ่งซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดในช่วงเวลาบ่ม 28 วันคือประเภทที่ผสมสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 °c ระยะเวลาควบคุมอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง และทำการทดลองทันทีโดยไม่ต้องบ่มน้ำยา ในขณะที่ซีเมนต์-มอร์ต้าร์ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุดในช่วงเวลาบ่ม 28 วันคือประเภทที่ผสมสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 °c ระยะเวลาควบคุมอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง และระยะพักที่อุณหภูมิห้อง 168 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาได้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ 2 ประการ ได้แก่ เพื่อศึกษาผลของความร้อนที่ให้ต่อสารผสมเพิ่มโดยศึกษาค่าการไหลแผ่และกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ ซึ่งในการศึกษาผลของความร้อนที่เร่งสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ต่อคุณภาพของมอร์ต้าร์ พบว่าการให้ความร้อนกับสารลดน้ำปริมาณสูงทั้งสองชนิด คือชนิดโพลีคาบอกซิเลต และชนิดซัลโฟเนตแนพทาลินฟอร์มัลดีไฮด์ส่งผลต่อความสามารถในการไหลแผ่ และค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนมอร์ต้าร์ที่นำสารเหล่านี้มาผสมในทิศทางที่ดีขึ้น และเพื่อศึกษาผลงานเก่าในเพิ่มประสิทธิภาพสารผสมเพิ่มโดยการให้ความร้อน ซึ่งได้ศึกษางานวิจัยเรื่อง Effect of Thermal Stimulation of Admixture to Workability of the Mortar 2016 ได้ทราบว่าผลของความร้อนสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่มให้ดีขึ้น เนื่องจากความร้อนช่วยคลายโครงสร้างของโมเลกุลโพลีเมอร์ซึ่งทำให้โพลีเมอร์มีพื้นที่ผิวทำปฏิกิริยามากขึ้น นอกจากนี้ความร้อนยังช่วยเร่งปฏิกิริยาดูดติดผิวของโพลีเมอร์ ส่งผลให้สารผสมเพิ่มสามารถทำงานได้ดียิ่งขึ้นจากงานวิจัย Influence of Temperature on Fluidity of Cement Paste Containing Superplaticizer with Polyethylene Oxide Graft Chains. 2000 และ Influence of temperature on efficiency of superplasticizer admixtures for concrete. Warsaw : 2016 การสรุปผล อธิบายคุณสมบัติของมอร์ต้าร์ดังนี้

### 5.1.1 ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงชนิดโพลีคาบอกซิเลต

สำหรับสารลดน้ำปริมาณสูงชนิดโพลีคาบอกซิเลตเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้วสามารถเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ให้แก่ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่นำมาผสมอย่างน้อย 17.8 เปอร์เซ็นต์ โดยที่มีแนวโน้มดังนี้ คือซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°c มีความสามารถในการไหลแผ่สูงกว่าซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°c ระยะเวลาควบคุมอุณหภูมิของสารที่นานขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์สูงขึ้น และระยะเวลาพักสารที่อุณหภูมิห้องที่นานขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์สูงขึ้นเช่นเดียวกัน

ในทางกลับกันสำหรับค่ากำลังรับแรงอัด ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°c มีความสามารถในการรับแรงอัดสูงกว่า ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°c ระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาควบคุมอุณหภูมิของสารที่นานขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ลดน้อยลง และระยะเวลาพักสารที่อุณหภูมิห้องที่นานขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ต่ำลงเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม การให้ความร้อนแก่สารลดน้ำปริมาณสูงชนิดโพลีคาบอกซิเลตสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัดแก่ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่นำสารมาผสมได้สูงสุดถึง 65.34 กิโลกรัม/เซนติเมตร$^2$

### 5.1.2 ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์

สำหรับสารลดน้ำปริมาณสูงชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้วสามารถเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ให้แก่ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่นำมาผสมอย่างน้อย 9.3เปอร์เซ็นต์ และสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัดแก่ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่นำสารมาผสมได้สูงสุดถึง 80.38 กิโลกรัม/เซนติเมตร$^2$

อย่างไรก็ตามแนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ และค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่นำสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านการให้ความร้อนไม่สามารถสรุปได้หรือไม่มีแนวโน้ม

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

ในการทดสอบหาความสามารถในการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ต้าร์ พบว่าอุปกรณ์โต๊ะวัดค่าการไหลที่ใช้สำหรับการทดสอบนี้มีขนาดไม่เพียงพอในการรองรับความสามารถในการไหลของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารลดน้ำปริมาณสูงชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ผ่านกระบวนการบางประเภท ทำให้ไม่สามารถบันทึกค่าการไหลแผ่ได้อย่างครบถ้วน

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาผลของความร้อนที่เร่งสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ต่อคุณภาพของมอร์ต้าร์ พบว่ากระบวนการให้ความร้อนด้วยการควบคุมอุณหภูมิ และพักที่อุณหภูมิห้อง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้แก่สารลดน้ำปริมาณสูงทั้งสองชนิดที่ทำการศึกษา แต่มีความเหมาะกับสารบางชนิดเท่านั้น เช่น ชนิดโพลีคาบอกซิเลต เนื่องจากมีแนวโน้มที่ชัดเจนสามารถนำไปใช้งานได้ ในขณะที่ประสิทธิภาพของสารชนิดซัลโฟเนตแนพทาลินฟอร์มัลดีไฮด์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนได้เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ดีขึ้นเช่นเดียวกัน เพียงแต่ไม่สามารถคาดเดาผลลัพธ์ได้ ส่งผลให้นำไปใช้งานได้ยาก ซึ่งปัญหาเรื่องสารลดน้ำปริมาณสูงชนิดใดเหมาะสมกับกระบวนการให้ความร้อน จึงเป็นหัวข้อที่ควรศึกษาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

## ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผ.1 ทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของมอร์ต้าร์

*ตารางที่ ผ.1.1 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของสารชนิดโพลีคาบอกซิเลต*

| สาร | w/c | %Flow |
|---|---|---|
| PCa | 0.25 | 4.15 |
| | 0.3 | 88.4625 |
| | 0.3175 | 110 |
| | 0.35 | 143.3625 |

*ตารางที่ ผ.1.2 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์*

| สาร | w/c | %Flow |
|---|---|---|
| SNF | 0.3 | 52.2375 |
| | 0.3355 | 110 |
| | 0.35 | 133.5375 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผ.2 ทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การไหลของซีเมนต์มอร์ต้าร์

*ตารางที่ ผ.2.1 เปอร์เซ็นต์การไหลของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c*

| อุณหภูมิ ($^0$C) | ระยะเวลาให้ความร้อน (ชั่วโมง) | ระยะเวลาหลังให้ความร้อน (ชั่วโมง) | D1 (มม.) | | | | D1 เฉลี่ย (มม.) | เปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| ไม่ให้ความร้อน | - | - | 217.05 | 214.3 | 213.05 | 215.2 | 214.9 | 114.9 |
| 50 | 2 | 0 | 225.15 | 235.35 | 234.75 | 235.55 | 232.7 | 132.7 |
| | | 24 | 232.45 | 240.35 | 240.6 | 240.05 | 238.36 | 138.3625 |
| | | 168 | 247 | 239.4 | 236.4 | 247.7 | 242.63 | 142.625 |
| | 24 | 0 | 229.05 | 233.4 | 238.55 | 235.55 | 234.14 | 134.1375 |
| | | 24 | 245.85 | 239.5 | 241.15 | 236.65 | 240.78 | 140.7825 |
| | | 168 | >250 | >250 | >250 | >250 | >250 | >150 |
| | 48 | 0 | 233.95 | 229.9 | 236.5 | 244.9 | 236.31 | 136.3125 |
| | | 24 | 239.8 | 247.65 | 246.35 | 248.4 | 245.55 | 145.55 |
| | | 168 | >250 | >250 | >250 | >250 | >250 | >150 |
| 60 | 2 | 0 | 244.15 | 237.7 | 234 | 245.6 | 240.36 | 140.3625 |
| | | 24 | 242.65 | 249.1 | 250 | 245.8 | 246.89 | 146.8875 |
| | | 168 | >250 | >250 | >250 | >250 | >250 | >150 |
| | 24 | 0 | 240.7 | 247.25 | 243.1 | 247.05 | 244.53 | 144.5275 |
| | | 24 | >250 | >250 | >250 | >250 | >250 | >150 |
| | | 168 | >250 | >250 | >250 | >250 | >250 | >150 |
| | 48 | 0 | >250 | >250 | >250 | >250 | >250 | >150 |
| | | 24 | >250 | >250 | >250 | >250 | >250 | >150 |
| | | 168 | >250 | >250 | >250 | >250 | >250 | >150 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ตารางที่ ผ.2.2 เปอร์เซ็นต์การไหลของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c*

| อุณหภูมิ ($^0$C) | ระยะเวลาให้ความร้อน (ชั่วโมง) | ระยะเวลาหลังให้ความร้อน (ชั่วโมง) | D1 (มม.) | | | | D1 เฉลี่ย (มม.) | เปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| ไม่ให้ความร้อน | - | - | 215 | 218.2 | 208.9 | 209.7 | 212.95 | 112.9500 |
| 50 | 2 | 0 | 219.4 | 227.6 | 229.75 | 224.25 | 225.25 | 125.2500 |
| | | 24 | 230.55 | 230.1 | 234.15 | 235.55 | 232.59 | 132.5875 |
| | | 168 | 240.45 | 235.2 | 242.65 | 239.6 | 239.48 | 139.4750 |
| | 24 | 0 | 220.35 | 229.5 | 225.15 | 223.35 | 224.59 | 124.5875 |
| | | 24 | 229.85 | 235.75 | 236.4 | 230.05 | 233.01 | 133.0125 |
| | | 168 | 243.4 | 235.35 | 234.5 | 240.6 | 238.46 | 138.4625 |
| | 48 | 0 | 225.4 | 220 | 219.4 | 224.45 | 222.31 | 122.3125 |
| | | 24 | 232.05 | 231.05 | 238.45 | 241.2 | 235.69 | 135.6875 |
| | | 168 | 234.25 | 240.9 | 237.15 | 240.35 | 238.16 | 138.1625 |
| 60 | 2 | 0 | 224.7 | 230.15 | 236.2 | 234.75 | 231.45 | 132.175 |
| | | 24 | 229.65 | 226 | 223.2 | 229.9 | 227.19 | 127.1875 |
| | | 168 | 238.45 | 235 | 229.55 | 231.5 | 233.63 | 133.6275 |
| | 24 | 0 | 232. | 229.75 | 228.7 | 230.6 | 230.36 | 130.3625 |
| | | 24 | 234.05 | 231.95 | 227.25 | 227.7 | 230.24 | 130.2375 |
| | | 168 | 227.6 | 233.15 | 229.85 | 238.5 | 232.28 | 132.2750 |
| | 48 | 0 | 231.7 | 233.3 | 224.6 | 236.2 | 231.45 | 131.4500 |
| | | 24 | 237.9 | 234.05 | 224.3 | 236.8 | 233.26 | 133.2625 |
| | | 168 | 235.85 | 239.15 | 230.3 | 231.1 | 234.1 | 134.1000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผ.3 ทดสอบหาค่าก ลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์

*ตารางที่ ผ.3.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c ที่ระยะเวลาการบ่ม 7วัน*

| สาร | อุณหภูมิ | เวลาควบคุม | after heat | sample | W (mm) | L (mm) | H (mm) | area ($cm^2$) | น้ำหนัก (Kg) | ปริมาตร ($m^3$) | Compressive strength (KN) | Density ($kg/m^3$) | Density ($kg/m^3$) | Compressive strength (ksc) | Compressive strength (ksc) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PCa | none heat | - | - | 1 | 50.4 | 51 | 49.8 | 25.70 | 0.29 | 0.000128 | 97.34 | 2265.52 | 2261.63 | 386.03 | 402.40 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.4 | 50.3 | 25.33 | 0.288 | 0.000127 | 100.18 | 2260.78 | | 403.22 | |
| | | | | 3 | 49.9 | 50.55 | 50.2 | 25.22 | 0.286 | 0.000127 | 103.42 | 2258.61 | | 417.94 | |
| | 50 | 2h | 0h | 1 | 50.25 | 51 | 50.5 | 25.63 | 0.296 | 0.000129 | 116.72 | 2287.15 | 2287.28 | 464.27 | 464.57 |
| | | | | 2 | 50.35 | 50.95 | 50.6 | 25.65 | 0.295 | 0.000130 | 115.81 | 2272.63 | | 460.19 | |
| | | | | 3 | 50.1 | 50.75 | 50.4 | 25.43 | 0.295 | 0.000128 | 117.04 | 2302.07 | | 469.25 | |
| | | | 1d | 1 | 50 | 50.45 | 50.3 | 25.23 | 0.289 | 0.000127 | 113.89 | 2277.71 | 2273.90 | 460.24 | 451.85 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.8 | 50.55 | 25.53 | 0.292 | 0.000129 | 111.63 | 2262.88 | | 445.77 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.65 | 50 | 25.43 | 0.29 | 0.000127 | 112.13 | 2281.10 | | 449.54 | |
| | | | 7d | 1 | 50.15 | 50.3 | 50.4 | 26.23 | 0.291 | 0.000127 | 108.46 | 2288.88 | 2265.37 | 438.29 | 438.31 |
| | | | | 2 | 50.2 | 50.95 | 50.6 | 25.58 | 0.29 | 0.000129 | 108.19 | 2240.78 | | 431.19 | |
| | | | | 3 | 50.1 | 50.45 | 50.1 | 25.28 | 0.287 | 0.000127 | 110.45 | 2266.45 | | 445.45 | |
| | | 24h | 0h | 1 | 50.3 | 51.45 | 50 | 25.88 | 0.294 | 0.000129 | 114.21 | 2272.08 | 2279.57 | 449.86 | 452.39 |
| | | | | 2 | 49.9 | 51 | 50.3 | 25.45 | 0.293 | 0.000128 | 112.59 | 2288.91 | | 450.98 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.5 | 50 | 25.38 | 0.289 | 0.000127 | 113.60 | 2277.72 | | 456.32 | |
| | | | 1d | 1 | 50.1 | 50.85 | 50.25 | 25.48 | 0.292 | 0.000128 | 109.06 | 2280.96 | 2292.63 | 436.38 | 446.93 |
| | | | | 2 | 50.15 | 50.75 | 50.1 | 25.45 | 0.293 | 0.000128 | 111.87 | 2297.86 | | 448.06 | |
| | | | | 3 | 50.1 | 50.5 | 50.2 | 25.30 | 0.292 | 0.000127 | 113.26 | 2299.06 | | 456.35 | |
| | | | 7d | 1 | 50.35 | 51 | 50.5 | 25.68 | 0.293 | 0.000130 | 106.70 | 2259.47 | 2282.55 | 423.57 | 430.41 |
| | | | | 2 | 50.4 | 50.35 | 50.1 | 25.38 | 0.292 | 0.000127 | 108.18 | 2296.76 | | 434.56 | |
| | | | | 3 | 50 | 50.55 | 49.9 | 25.28 | 0.289 | 0.000126 | 107.39 | 2291.43 | | 433.10 | |
| | | 48h | 0h | 1 | 50.8 | 50.85 | 50 | 25.83 | 0.292 | 0.000129 | 114.29 | 2260.78 | 2269.48 | 451.01 | 459.83 |
| | | | | 2 | 50.1 | 51.25 | 50.45 | 25.68 | 0.292 | 0.000130 | 113.61 | 2254.19 | | 451.04 | |
| | | | | 3 | 50 | 50.35 | 50.4 | 25.18 | 0.291 | 0.000127 | 117.91 | 2293.47 | | 477.44 | |
| | | | 1d | 1 | 50.45 | 50.6 | 50.2 | 25.53 | 0.285 | 0.000128 | 105.32 | 2223.97 | 2249.67 | 420.56 | 435.78 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.75 | 50.05 | 25.50 | 0.289 | 0.000128 | 108.14 | 2264.24 | | 432.26 | |
| | | | | 3 | 50.1 | 50.5 | 50.35 | 25.30 | 0.288 | 0.000127 | 112.81 | 2260.81 | | 454.52 | |
| | | | 7d | 1 | 50.15 | 50 | 50.35 | 25.08 | 0.29 | 0.000126 | 104.28 | 2296.98 | 2274.44 | 423.93 | 425.14 |
| | | | | 2 | 50.2 | 50.95 | 50.3 | 25.58 | 0.289 | 0.000129 | 107.93 | 2246.37 | | 430.16 | |
| | | | | 3 | 50.35 | 50.8 | 49.9 | 25.58 | 0.291 | 0.000128 | 105.72 | 2279.97 | | 421.34 | |
| | | 2h | 0h | 1 | 50.3 | 50.85 | 50.45 | 25.58 | 0.294 | 0.000129 | 110.45 | 2278.39 | 2265.19 | 440.19 | 449.45 |
| | | | | 2 | 50.25 | 51 | 50.2 | 25.63 | 0.291 | 0.000129 | 114.52 | 2261.95 | | 455.52 | |
| | | | | 3 | 50.1 | 50.65 | 50.5 | 25.38 | 0.289 | 0.000128 | 112.68 | 2255.22 | | 452.64 | |
| | | | 1d | 1 | 50.15 | 50.7 | 50.3 | 25.43 | 0.287 | 0.000128 | 109.84 | 2244.06 | 2260.55 | 440.36 | 436.34 |
| | | | | 2 | 50.3 | 50.9 | 50.1 | 25.60 | 0.29 | 0.000128 | 107.59 | 2260.86 | | 428.37 | |
| | | | | 3 | 50 | 49.95 | 50.65 | 24.98 | 0.288 | 0.000126 | 107.87 | 2276.71 | | 440.29 | |
| | | | 7d | 1 | 50 | 50.35 | 50.7 | 25.18 | 0.292 | 0.000128 | 104.27 | 2287.73 | 2249.41 | 422.20 | 429.87 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.4 | 50.85 | 25.33 | 0.288 | 0.000129 | 106.39 | 2236.33 | | 428.22 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.95 | 50.4 | 25.60 | 0.287 | 0.000129 | 110.31 | 2224.19 | | 439.19 | |
| | | 24h | 0h | 1 | 50.2 | 50.8 | 50.15 | 25.50 | 0.292 | 0.000128 | 111.90 | 2283.20 | 2281.86 | 447.29 | 438.76 |
| | | | | 2 | 49.9 | 50.1 | 50.6 | 25.00 | 0.292 | 0.000126 | 108.64 | 2308.31 | | 442.98 | |
| | | | | 3 | 50.4 | 50.25 | 50.8 | 25.33 | 0.29 | 0.000129 | 105.84 | 2254.07 | | 426.01 | |
| | | | 1d | 1 | 50.35 | 50.45 | 50 | 25.40 | 0.291 | 0.000127 | 104.26 | 2291.20 | 2259.80 | 418.40 | 432.54 |
| | | | | 2 | 50.05 | 50.6 | 50.6 | 25.33 | 0.286 | 0.000128 | 107.48 | 2231.83 | | 432.62 | |
| | | | | 3 | 50.15 | 50.2 | 50.7 | 25.18 | 0.288 | 0.000128 | 110.30 | 2256.37 | | 446.61 | |
| | | | 7d | 1 | 50.2 | 50.75 | 50.5 | 25.48 | 0.291 | 0.000129 | 105.37 | 2261.84 | 2260.92 | 421.61 | 433.47 |
| | | | | 2 | 50.35 | 51.05 | 50.3 | 25.70 | 0.289 | 0.000129 | 109.21 | 2235.29 | | 433.11 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 49.95 | 50.55 | 25.10 | 0.29 | 0.000127 | 109.74 | 2285.63 | | 445.69 | |
| | | 48h | 0h | 1 | 50.3 | 50.6 | 50.05 | 25.45 | 0.29 | 0.000127 | 110.89 | 2276.54 | 2261.33 | 444.12 | 434.43 |
| | | | | 2 | 50.4 | 50.85 | 50.45 | 25.63 | 0.288 | 0.000129 | 107.16 | 2227.46 | | 426.23 | |
| | | | | 3 | 50 | 50.9 | 50.15 | 25.45 | 0.291 | 0.000128 | 108.09 | 2280.00 | | 432.94 | |
| | | | 1d | 1 | 50.1 | 51.05 | 50.2 | 25.58 | 0.292 | 0.000128 | 111.35 | 2274.29 | 2266.10 | 443.80 | 432.72 |
| | | | | 2 | 49.9 | 50.2 | 50.35 | 25.05 | 0.287 | 0.000126 | 105.29 | 2275.51 | | 428.46 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.75 | 50.4 | 25.50 | 0.289 | 0.000129 | 106.55 | 2248.51 | | 425.90 | |
| | | | 7d | 1 | 50.2 | 50.3 | 50.5 | 25.25 | 0.293 | 0.000128 | 108.73 | 2297.76 | 2304.23 | 438.94 | 432.54 |
| | | | | 2 | 50.35 | 50.25 | 50.4 | 25.30 | 0.292 | 0.000128 | 103.44 | 2289.90 | | 416.76 | |
| | | | | 3 | 50.05 | 50.6 | 50.1 | 25.33 | 0.295 | 0.000127 | 109.79 | 2325.04 | | 441.92 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ตารางที่ ผ.3.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน*

| สาร | อุณหภูมิ | เวลาควบคุม | after heat | sample | W (mm) | L (mm) | H (mm) | area ($cm^2$) | น้ำหนัก (kg) | ปริมาตร ($m^3$) | Compressive strength (KN) | Density ($kg/m^3$) | Density ($kg/m^3$) | Compressive strength (ksc) | Compressive strength (ksc) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SNF | none heat | - | - | 1 | 50.25 | 50.25 | 50 | 25.25 | 0.283 | 0.000126 | 96.79 | 2241.53 | 2243.50 | 390.74 | 395.41 |
| | | | | 2 | 50.4 | 50.15 | 50.1 | 25.28 | 0.285 | 0.000127 | 98.58 | 2250.64 | | 397.57 | |
| | | | | 3 | 50 | 50.6 | 50.15 | 25.30 | 0.284 | 0.000127 | 98.76 | 2238.34 | | 397.92 | |
| | 50 | 2h | 0h | 1 | 50 | 51.2 | 50.5 | 25.60 | 0.291 | 0.000129 | 115.67 | 2250.93 | 2267.32 | 460.59 | 458.37 |
| | | | | 2 | 50.4 | 50.15 | 49.9 | 25.28 | 0.287 | 0.000126 | 114.72 | 2275.52 | | 462.67 | |
| | | | | 3 | 49.85 | 50.55 | 50.4 | 25.20 | 0.289 | 0.000127 | 111.70 | 2275.52 | | 451.86 | |
| | | | 1d | 1 | 50.55 | 50.3 | 49.75 | 25.43 | 0.286 | 0.000126 | 109.12 | 2260.91 | 2239.29 | 437.47 | 437.58 |
| | | | | 2 | 50.45 | 50.75 | 50.3 | 25.60 | 0.286 | 0.000129 | 110.37 | 2220.76 | | 439.43 | |
| | | | | 3 | 50.3 | 50.3 | 50.55 | 25.30 | 0.286 | 0.000128 | 108.18 | 2236.19 | | 435.85 | |
| | | | 7d | 1 | 50.15 | 50.45 | 50 | 25.30 | 0.289 | 0.000127 | 105.29 | 2284.52 | 2235.96 | 424.21 | 422.35 |
| | | | | 2 | 50.65 | 51.35 | 50.25 | 26.01 | 0.287 | 0.000131 | 106.41 | 2195.97 | | 417.06 | |
| | | | | 3 | 50.45 | 50.7 | 50.2 | 25.58 | 0.286 | 0.000128 | 106.84 | 2227.37 | | 425.78 | |
| | | 24h | 0h | 1 | 50.3 | 50.6 | 50 | 25.45 | 0.288 | 0.000127 | 111.13 | 2263.10 | 2247.06 | 445.09 | 452.23 |
| | | | | 2 | 50 | 50.6 | 50.4 | 25.30 | 0.286 | 0.000128 | 113.78 | 2242.93 | | 458.43 | |
| | | | | 3 | 50.4 | 50.7 | 49.9 | 25.55 | 0.285 | 0.000128 | 113.60 | 2235.15 | | 453.17 | |
| | | | 1d | 1 | 50.35 | 50.25 | 50 | 25.30 | 0.289 | 0.000127 | 110.47 | 2284.51 | 2270.60 | 445.08 | 442.26 |
| | | | | 2 | 50 | 50.7 | 50.35 | 25.35 | 0.288 | 0.000128 | 108.52 | 2256.39 | | 436.38 | |
| | | | | 3 | 50.3 | 50.5 | 50.1 | 25.40 | 0.289 | 0.000127 | 110.97 | 2270.91 | | 445.32 | |
| | | | 7d | 1 | 50.5 | 50.25 | 50.65 | 25.38 | 0.294 | 0.000129 | 105.31 | 2287.39 | 2268.27 | 423.03 | 427.55 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.95 | 50.1 | 25.60 | 0.29 | 0.000128 | 107.95 | 2260.89 | | 429.81 | |
| | | | | 3 | 50.4 | 50.85 | 49.8 | 25.63 | 0.288 | 0.000128 | 108.06 | 2256.53 | | 429.81 | |
| | | 48h | 0h | 1 | 50.25 | 50.45 | 50 | 25.35 | 0.287 | 0.000127 | 104.18 | 2264.20 | 2268.74 | 418.91 | 425.46 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.7 | 50 | 25.48 | 0.289 | 0.000127 | 108.64 | 2268.74 | | 434.69 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.7 | 49.9 | 25.48 | 0.289 | 0.000127 | 105.67 | 2273.28 | | 422.79 | |
| | | | 1d | 1 | 50.1 | 50.35 | 50.2 | 25.23 | 0.289 | 0.000127 | 112.83 | 2282.22 | 2252.82 | 455.95 | 442.74 |
| | | | | 2 | 50 | 51.25 | 50.6 | 25.63 | 0.291 | 0.000130 | 109.17 | 2244.29 | | 434.28 | |
| | | | | 3 | 50.3 | 50.95 | 50 | 25.63 | 0.286 | 0.000128 | 110.11 | 2231.95 | | 437.99 | |
| | | | 7d | 1 | 50.4 | 50.3 | 49.9 | 25.35 | 0.284 | 0.000127 | 106.91 | 2245.02 | 2266.85 | 429.88 | 429.76 |
| | | | | 2 | 49.95 | 50.65 | 50.1 | 25.30 | 0.289 | 0.000127 | 108.12 | 2280.05 | | 435.63 | |
| | | | | 3 | 50.15 | 50.3 | 50 | 25.23 | 0.287 | 0.000126 | 104.86 | 2275.48 | | 423.76 | |
| | 60 | 2h | 0h | 1 | 50.1 | 50.45 | 50.75 | 25.28 | 0.29 | 0.000128 | 107.25 | 2260.80 | 2275.62 | 432.54 | 440.28 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.3 | 49.85 | 25.28 | 0.291 | 0.000126 | 110.69 | 2309.53 | | 446.41 | |
| | | | | 3 | 50 | 50.1 | 50.95 | 25.05 | 0.288 | 0.000128 | 108.59 | 2256.53 | | 441.89 | |
| | | | 1d | 1 | 50.2 | 50.5 | 50.15 | 25.35 | 0.285 | 0.000127 | 114.89 | 2241.71 | 2252.96 | 461.97 | 454.42 |
| | | | | 2 | 50.15 | 50.45 | 50.2 | 25.30 | 0.288 | 0.000127 | 112.74 | 2267.55 | | 454.23 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.05 | 50.6 | 25.13 | 0.286 | 0.000127 | 110.19 | 2249.61 | | 447.05 | |
| | | | 7d | 1 | 50 | 51.05 | 50.5 | 25.53 | 0.287 | 0.000129 | 109.61 | 2226.51 | 2234.16 | 437.74 | 439.88 |
| | | | | 2 | 50.45 | 50.7 | 50.1 | 25.58 | 0.286 | 0.000128 | 112.98 | 2231.82 | | 450.26 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.95 | 50.3 | 25.60 | 0.289 | 0.000129 | 108.41 | 2244.14 | | 431.64 | |
| | | 24h | 0h | 1 | 50.15 | 50.85 | 50.25 | 25.50 | 0.292 | 0.000128 | 113.24 | 2278.69 | 2279.15 | 452.66 | 446.15 |
| | | | | 2 | 50.5 | 50.15 | 50.4 | 25.33 | 0.29 | 0.000128 | 110.82 | 2271.98 | | 446.05 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.8 | 49.9 | 25.50 | 0.291 | 0.000127 | 110.01 | 2286.78 | | 439.74 | |
| | | | 1d | 1 | 50.15 | 50.65 | 50.05 | 25.40 | 0.288 | 0.000127 | 112.66 | 2265.36 | 2268.69 | 452.12 | 447.39 |
| | | | | 2 | 50.25 | 51.2 | 49.95 | 25.73 | 0.294 | 0.000129 | 110.97 | 2287.74 | | 439.67 | |
| | | | | 3 | 50.3 | 51 | 50.35 | 25.65 | 0.291 | 0.000129 | 113.34 | 2252.97 | | 450.38 | |
| | | | 7d | 1 | 50.05 | 50.85 | 49.8 | 25.45 | 0.293 | 0.000127 | 112.59 | 2311.76 | 2284.23 | 450.96 | 443.65 |
| | | | | 2 | 50.2 | 50.8 | 50.1 | 25.50 | 0.287 | 0.000128 | 109.17 | 2246.35 | | 436.38 | |
| | | | | 3 | 50.15 | 50.75 | 50 | 25.45 | 0.292 | 0.000127 | 110.76 | 2294.59 | | 443.61 | |
| | | 48h | 0h | 1 | 50 | 50.95 | 50.15 | 25.48 | 0.287 | 0.000128 | 111.35 | 2246.45 | 2257.90 | 445.56 | 444.67 |
| | | | | 2 | 50.1 | 50.8 | 50.25 | 25.45 | 0.29 | 0.000128 | 108.61 | 2267.57 | | 435.01 | |
| | | | | 3 | 50.3 | 50.65 | 50.2 | 25.48 | 0.289 | 0.000128 | 113.33 | 2259.68 | | 453.44 | |
| | | | 1d | 1 | 50.35 | 51.05 | 50.1 | 25.70 | 0.285 | 0.000129 | 109.22 | 2213.16 | 2265.27 | 433.15 | 441.18 |
| | | | | 2 | 49.95 | 50.4 | 50.2 | 25.17 | 0.292 | 0.000126 | 109.38 | 2310.54 | | 442.90 | |
| | | | | 3 | 50.15 | 50.85 | 50.05 | 25.50 | 0.29 | 0.000128 | 111.95 | 2272.12 | | 447.49 | |
| | | | 7d | 1 | 50 | 50.9 | 50.25 | 25.45 | 0.294 | 0.000128 | 110.53 | 2298.92 | 2277.33 | 442.71 | 437.21 |
| | | | | 2 | 50.2 | 50.85 | 50.15 | 25.53 | 0.289 | 0.000128 | 108.34 | 2257.52 | | 432.64 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 51 | 49.95 | 25.60 | 0.291 | 0.000128 | 109.57 | 2275.54 | | 436.28 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ตารางที่ ผ.3.3 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดโพลีคาบอกซิเลตที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c ที่ระยะเวลาการบ่ม 28วัน*

| สาร | อุณหภูมิ | เวลาควบคุม | after heat | sample | W (mm) | L (mm) | H (mm) | area ($cm^2$) | น้ำหนัก (Kg) | ปริมาตร ($m^3$) | Compressive strength (KN) | Density ($kg/m^3$) | Density ($kg/m^3$) | Compressive strength (ksc) | Compressive strength (ksc) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PCa | none heat | - | - | 1 | 50.2 | 50.35 | 50.5 | 25.28 | 0.291 | 0.000128 | 129.46 | 2279.81 | 2263.90 | 522.11 | 509.37 |
| | | | | 2 | 50.15 | 50.1 | 50.05 | 25.13 | 0.287 | 0.000126 | 121.85 | 2282.28 | | 494.37 | |
| | | | | 3 | 50.1 | 50.65 | 50.55 | 25.38 | 0.286 | 0.000128 | 127.36 | 2229.60 | | 511.63 | |
| | 50 | 2h | 0h | 1 | 49.9 | 51 | 50.45 | 25.45 | 0.296 | 0.000128 | 143.69 | 2305.47 | 2308.74 | 575.55 | 574.71 |
| | | | | 2 | 50.45 | 50.25 | 50.1 | 25.35 | 0.291 | 0.000127 | 140.34 | 2291.17 | | 564.31 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.15 | 50.3 | 25.18 | 0.295 | 0.000127 | 144.30 | 2329.59 | | 584.27 | |
| | | | 1d | 1 | 50.4 | 50.15 | 50 | 25.28 | 0.292 | 0.000126 | 136.96 | 2310.53 | 2286.73 | 552.36 | 559.19 |
| | | | | 2 | 50.1 | 50.5 | 50.3 | 25.30 | 0.29 | 0.000127 | 140.57 | 2278.77 | | 566.36 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.25 | 50.45 | 25.23 | 0.289 | 0.000127 | 138.29 | 2270.89 | | 558.85 | |
| | | | 7d | 1 | 50.05 | 50.25 | 50.35 | 25.15 | 0.288 | 0.000127 | 131.87 | 2274.33 | 2267.57 | 534.49 | 548.88 |
| | | | | 2 | 50.5 | 50.95 | 50.15 | 25.73 | 0.291 | 0.000129 | 138.39 | 2255.21 | | 548.28 | |
| | | | | 3 | 50.3 | 50.45 | 50.1 | 25.38 | 0.289 | 0.000127 | 140.37 | 2273.17 | | 563.88 | |
| | | 24h | 0h | 1 | 50.15 | 50.85 | 50.2 | 25.50 | 0.291 | 0.000128 | 141.68 | 2273.15 | 2281.82 | 566.34 | 571.84 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.4 | 50.1 | 25.33 | 0.292 | 0.000127 | 144.06 | 2301.33 | | 579.84 | |
| | | | | 3 | 50.15 | 50.7 | 50.05 | 25.43 | 0.289 | 0.000127 | 142.01 | 2270.99 | | 569.34 | |
| | | | 1d | 1 | 50.2 | 50.4 | 50.6 | 25.30 | 0.29 | 0.000128 | 137.59 | 2265.23 | 2290.10 | 554.35 | 568.32 |
| | | | | 2 | 50.3 | 50.55 | 50.2 | 25.43 | 0.292 | 0.000128 | 146.18 | 2287.65 | | 586.04 | |
| | | | | 3 | 50.15 | 50.25 | 50 | 25.20 | 0.292 | 0.000126 | 139.57 | 2317.43 | | 564.57 | |
| | | | 7d | 1 | 50.7 | 50.1 | 50.5 | 25.40 | 0.291 | 0.000128 | 134.89 | 2268.59 | 2254.51 | 541.33 | 551.49 |
| | | | | 2 | 50.15 | 51 | 50.3 | 25.58 | 0.287 | 0.000129 | 135.64 | 2230.86 | | 540.60 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.75 | 50.4 | 25.50 | 0.291 | 0.000129 | 143.23 | 2264.07 | | 572.53 | |
| | | 48h | 0h | 1 | 50.2 | 50.3 | 50.2 | 25.25 | 0.292 | 0.000127 | 145.73 | 2303.60 | 2297.32 | 588.31 | 564.51 |
| | | | | 2 | 50.15 | 50.2 | 50.1 | 25.18 | 0.288 | 0.000126 | 136.51 | 2283.39 | | 552.74 | |
| | | | | 3 | 50 | 50.55 | 49.95 | 25.28 | 0.291 | 0.000126 | 136.99 | 2304.98 | | 552.48 | |
| | | | 1d | 1 | 50.2 | 50.2 | 50.2 | 25.20 | 0.29 | 0.000127 | 134.99 | 2292.38 | 2268.76 | 546.04 | 556.27 |
| | | | | 2 | 50.05 | 51.05 | 50.45 | 25.55 | 0.291 | 0.000129 | 142.86 | 2257.52 | | 569.96 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.7 | 50.1 | 25.48 | 0.288 | 0.000128 | 138.16 | 2256.37 | | 552.81 | |
| | | | 7d | 1 | 50.2 | 50.55 | 50.35 | 25.38 | 0.295 | 0.000128 | 139.59 | 2308.86 | 2279.50 | 560.74 | 545.67 |
| | | | | 2 | 50.3 | 50.65 | 50.1 | 25.48 | 0.292 | 0.000128 | 137.01 | 2287.69 | | 548.20 | |
| | | | | 3 | 50 | 50.9 | 50.3 | 25.45 | 0.287 | 0.000128 | 131.84 | 2241.95 | | 528.08 | |
| | 60 | 2h | 0h | 1 | 50.3 | 50.45 | 50.65 | 25.38 | 0.294 | 0.000129 | 141.66 | 2287.38 | 2309.20 | 569.05 | 569.26 |
| | | | | 2 | 50.05 | 50.2 | 50.5 | 25.13 | 0.293 | 0.000127 | 139.07 | 2309.24 | | 564.23 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.25 | 49.95 | 25.25 | 0.294 | 0.000126 | 142.31 | 2330.99 | | 574.50 | |
| | | | 1d | 1 | 50.3 | 50.55 | 49.85 | 25.43 | 0.286 | 0.000127 | 140.88 | 2256.38 | 2262.27 | 564.80 | 560.83 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.65 | 50.35 | 25.45 | 0.293 | 0.000128 | 142.70 | 2286.40 | | 571.53 | |
| | | | | 3 | 50.4 | 50.95 | 50.5 | 25.68 | 0.291 | 0.000130 | 137.58 | 2244.02 | | 546.16 | |
| | | | 7d | 1 | 50.15 | 50.85 | 50.2 | 25.50 | 0.288 | 0.000128 | 136.99 | 2249.71 | 2252.60 | 547.59 | 549.36 |
| | | | | 2 | 50.4 | 50.35 | 50.1 | 25.38 | 0.285 | 0.000127 | 142.89 | 2241.70 | | 573.99 | |
| | | | | 3 | 50.55 | 50.2 | 50.25 | 25.38 | 0.289 | 0.000128 | 131.07 | 2266.40 | | 526.50 | |
| | | 24h | 0h | 1 | 50.25 | 50.9 | 50.35 | 25.58 | 0.29 | 0.000129 | 141.20 | 2251.88 | 2274.73 | 562.75 | 552.66 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.05 | 50.4 | 25.15 | 0.291 | 0.000127 | 137.66 | 2295.74 | | 557.95 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.3 | 50.1 | 25.25 | 0.288 | 0.000127 | 133.09 | 2276.58 | | 537.28 | |
| | | | 1d | 1 | 50.15 | 50.65 | 49.9 | 25.40 | 0.292 | 0.000127 | 136.23 | 2303.73 | 2306.41 | 546.71 | 541.71 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.05 | 50 | 25.15 | 0.293 | 0.000126 | 135.02 | 2330.01 | | 547.25 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.8 | 50.1 | 25.50 | 0.292 | 0.000128 | 132.88 | 2285.48 | | 531.17 | |
| | | | 7d | 1 | 50.15 | 50.85 | 50.25 | 25.50 | 0.294 | 0.000128 | 139.37 | 2294.30 | 2297.43 | 557.11 | 530.98 |
| | | | | 2 | 50.5 | 50.15 | 50.4 | 25.33 | 0.293 | 0.000128 | 131.11 | 2295.49 | | 527.72 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.8 | 49.9 | 25.50 | 0.293 | 0.000127 | 127.11 | 2302.50 | | 508.11 | |
| | | 48h | 0h | 1 | 50.1 | 50.45 | 50.75 | 25.28 | 0.289 | 0.000128 | 132.61 | 2253.01 | 2272.95 | 534.82 | 532.43 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.3 | 49.85 | 25.28 | 0.289 | 0.000126 | 129.74 | 2293.66 | | 523.24 | |
| | | | | 3 | 50 | 50.1 | 50.95 | 25.05 | 0.29 | 0.000128 | 132.51 | 2272.20 | | 539.23 | |
| | | | 1d | 1 | 50.2 | 50.5 | 50.15 | 25.35 | 0.287 | 0.000127 | 127.55 | 2257.44 | 2276.56 | 512.88 | 511.31 |
| | | | | 2 | 50.15 | 50.45 | 50.2 | 25.30 | 0.289 | 0.000127 | 124.74 | 2275.42 | | 502.58 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.05 | 50.6 | 25.13 | 0.292 | 0.000127 | 127.79 | 2296.81 | | 518.47 | |
| | | | 7d | 1 | 50.4 | 50.3 | 49.9 | 25.35 | 0.288 | 0.000127 | 132.04 | 2276.64 | 2290.58 | 530.93 | 521.82 |
| | | | | 2 | 49.95 | 50.65 | 50.1 | 25.30 | 0.291 | 0.000127 | 128.69 | 2295.83 | | 518.51 | |
| | | | | 3 | 50.15 | 50.3 | 50 | 25.23 | 0.29 | 0.000126 | 127.69 | 2299.27 | | 516.01 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ตารางที่ ผ.3.4 ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมสารชนิดซัลโฟเนตแนพธาลินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50และ60 °c ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน*

| สาร | อุณหภูมิ | เวลาควบคุม | after heat | sample | W (mm) | L (mm) | H (mm) | area ($cm^2$) | น้ำหนัก (Kg) | ปริมาตร ($m^3$) | Compressive strength (KN) | Density ($kg/m^3$) | Density ($kg/m^3$) | Compressive strength (ksc) | Compressive strength (ksc) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SNF | none heat | - | - | 1 | 50.2 | 50.95 | 50.3 | 25.58 | 0.284 | 0.000129 | 129.54 | 2207.51 | 2224.41 | 516.28 | 506.94 |
| | | | | 2 | 50 | 50.5 | 50.45 | 25.25 | 0.285 | 0.000127 | 124.88 | 2237.29 | | 504.15 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.75 | 50.15 | 25.50 | 0.285 | 0.000128 | 125.18 | 2228.44 | | 500.38 | |
| | 50 | 2h | 0h | 1 | 50.05 | 50.8 | 50.65 | 25.43 | 0.291 | 0.000129 | 148.66 | 2259.67 | 2260.89 | 596.02 | 580.22 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.7 | 50.1 | 25.48 | 0.292 | 0.000128 | 145.23 | 2287.71 | | 581.09 | |
| | | | | 3 | 50.35 | 51.05 | 50.3 | 25.70 | 0.289 | 0.000129 | 142.10 | 2235.29 | | 563.55 | |
| | | | 1d | 1 | 50.1 | 50.3 | 50.4 | 25.20 | 0.286 | 0.000127 | 142.77 | 2251.80 | 2236.62 | 577.51 | 573.44 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.65 | 50.35 | 25.45 | 0.285 | 0.000128 | 139.49 | 2223.97 | | 558.67 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.7 | 50.6 | 25.48 | 0.288 | 0.000129 | 145.99 | 2234.08 | | 584.13 | |
| | | | 7d | 1 | 50.05 | 50.45 | 50.8 | 25.25 | 0.288 | 0.000128 | 133.14 | 2245.24 | 2256.47 | 537.49 | 521.42 |
| | | | | 2 | 50.15 | 49.85 | 50.75 | 25.00 | 0.287 | 0.000127 | 125.55 | 2262.09 | | 511.93 | |
| | | | | 3 | 50.1 | 50.9 | 50.1 | 25.50 | 0.289 | 0.000128 | 128.79 | 2262.06 | | 514.83 | |
| | | 24h | 0h | 1 | 50.2 | 50.85 | 50.65 | 25.53 | 0.289 | 0.000129 | 146.67 | 2235.24 | 2235.94 | 585.70 | 587.31 |
| | | | | 2 | 50 | 50.95 | 50.2 | 25.48 | 0.285 | 0.000128 | 147.81 | 2228.57 | | 591.45 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.55 | 50.35 | 25.40 | 0.287 | 0.000128 | 145.72 | 2244.01 | | 584.77 | |
| | | | 1d | 1 | 50.15 | 50.9 | 50.05 | 25.53 | 0.287 | 0.000128 | 140.22 | 2246.41 | 2262.38 | 559.95 | 552.83 |
| | | | | 2 | 50.4 | 50.5 | 50 | 25.45 | 0.29 | 0.000127 | 135.39 | 2278.80 | | 542.25 | |
| | | | | 3 | 50.3 | 50.65 | 50.15 | 25.48 | 0.289 | 0.000128 | 139.03 | 2261.93 | | 556.29 | |
| | | | 7d | 1 | 50.15 | 50.3 | 50.4 | 25.23 | 0.291 | 0.000127 | 137.78 | 2288.88 | 2275.90 | 556.77 | 541.20 |
| | | | | 2 | 50.2 | 50.95 | 50.6 | 25.58 | 0.29 | 0.000129 | 132.99 | 2240.78 | | 530.03 | |
| | | | | 3 | 50.1 | 50.45 | 50.1 | 25.28 | 0.291 | 0.000127 | 133.10 | 2298.03 | | 536.79 | |
| | | 48h | 0h | 1 | 50.65 | 50.8 | 50.1 | 25.73 | 0.287 | 0.000129 | 136.21 | 2226.39 | 2279.88 | 539.63 | 531.83 |
| | | | | 2 | 50.2 | 50.6 | 50.1 | 25.40 | 0.292 | 0.000127 | 131.56 | 2294.51 | | 527.96 | |
| | | | | 3 | 50.05 | 49.95 | 50.2 | 25.00 | 0.291 | 0.000125 | 129.47 | 2318.73 | | 527.90 | |
| | | | 1d | 1 | 50.5 | 50.6 | 50.2 | 25.55 | 0.286 | 0.000128 | 142.33 | 2229.57 | 2263.91 | 567.79 | 574.99 |
| | | | | 2 | 49.9 | 50.4 | 50.05 | 25.15 | 0.287 | 0.000126 | 146.67 | 2280.06 | | 594.49 | |
| | | | | 3 | 50.1 | 50.55 | 50.35 | 25.33 | 0.291 | 0.000128 | 139.80 | 2282.10 | | 562.70 | |
| | | | 7d | 1 | 50.25 | 50 | 50.35 | 25.13 | 0.292 | 0.000127 | 134.90 | 2308.22 | 2275.12 | 547.31 | 544.00 |
| | | | | 2 | 50.2 | 50.45 | 50.35 | 25.33 | 0.289 | 0.000128 | 139.50 | 2266.38 | | 561.49 | |
| | | | | 3 | 50.3 | 50.65 | 50.05 | 25.48 | 0.287 | 0.000128 | 130.76 | 2250.77 | | 523.20 | |
| | 60 | 2h | 0h | 1 | 50.15 | 50.9 | 50.45 | 25.53 | 0.291 | 0.000129 | 145.24 | 2259.66 | 2261.56 | 580.00 | 564.46 |
| | | | | 2 | 50.05 | 51.1 | 50.25 | 25.58 | 0.292 | 0.000129 | 141.68 | 2272.07 | | 564.70 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.7 | 50.35 | 25.48 | 0.289 | 0.000128 | 137.13 | 2252.96 | | 548.68 | |
| | | | 1d | 1 | 50.1 | 50.45 | 50.7 | 25.28 | 0.287 | 0.000128 | 136.01 | 2239.62 | 2254.14 | 548.53 | 568.03 |
| | | | | 2 | 50.2 | 50.6 | 50.1 | 25.40 | 0.285 | 0.000127 | 144.78 | 2239.51 | | 581.01 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 50.1 | 50.45 | 25.18 | 0.29 | 0.000127 | 141.89 | 2283.30 | | 574.54 | |
| | | | 7d | 1 | 50.15 | 50.95 | 50.7 | 25.55 | 0.291 | 0.000130 | 131.45 | 2246.31 | 2273.19 | 524.42 | 536.44 |
| | | | | 2 | 50.35 | 50.3 | 50 | 25.33 | 0.29 | 0.000127 | 134.84 | 2290.13 | | 542.73 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.65 | 50.3 | 25.43 | 0.292 | 0.000128 | 135.24 | 2283.14 | | 542.18 | |
| | | 24h | 0h | 1 | 50.1 | 50.75 | 49.95 | 25.43 | 0.289 | 0.000127 | 138.39 | 2275.56 | 2281.13 | 554.83 | 571.99 |
| | | | | 2 | 49.95 | 50.05 | 50.45 | 25.00 | 0.288 | 0.000126 | 140.40 | 2283.45 | | 572.48 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.15 | 50.6 | 25.18 | 0.291 | 0.000127 | 145.38 | 2284.38 | | 588.66 | |
| | | | 1d | 1 | 50.3 | 50.5 | 50.2 | 25.40 | 0.289 | 0.000128 | 140.97 | 2866.39 | 2249.28 | 565.72 | 569.92 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.35 | 50.8 | 25.30 | 0.289 | 0.000129 | 148.22 | 2248.53 | | 597.18 | |
| | | | | 3 | 50.3 | 50.45 | 50.65 | 25.38 | 0.287 | 0.000129 | 136.14 | 2232.92 | | 546.87 | |
| | | | 7d | 1 | 50.2 | 50.75 | 50.5 | 25.48 | 0.289 | 0.000129 | 143.98 | 2246.29 | 2240.17 | 576.09 | 561.58 |
| | | | | 2 | 50.35 | 51.05 | 50.3 | 25.70 | 0.285 | 0.000129 | 133.77 | 2204.36 | | 530.51 | |
| | | | | 3 | 50.25 | 49.95 | 50.55 | 25.10 | 0.288 | 0.000127 | 142.35 | 2269.86 | | 578.13 | |
| | | 48h | 0h | 1 | 50 | 50.45 | 50.3 | 25.23 | 0.289 | 0.000127 | 142.06 | 2277.71 | 2271.35 | 574.08 | 570.09 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.8 | 50.55 | 25.53 | 0.29 | 0.000129 | 140.54 | 2247.38 | | 561.22 | |
| | | | | 3 | 50.2 | 50.65 | 50 | 25.43 | 0.291 | 0.000127 | 143.42 | 2288.97 | | 574.97 | |
| | | | 1d | 1 | 50.25 | 51 | 50.5 | 25.63 | 0.287 | 0.000129 | 139.70 | 2217.61 | 2222.78 | 555.68 | 565.62 |
| | | | | 2 | 50.35 | 50.95 | 50.6 | 25.65 | 0.286 | 0.000130 | 140.66 | 2203.29 | | 558.93 | |
| | | | | 3 | 50.1 | 50.75 | 50.4 | 25.43 | 0.288 | 0.000128 | 145.23 | 2247.44 | | 582.25 | |
| | | | 7d | 1 | 50.4 | 51 | 49.8 | 25.70 | 0.288 | 0.000128 | 142.53 | 2249.90 | 2264.32 | 565.24 | 567.81 |
| | | | | 2 | 50.25 | 50.4 | 50.3 | 25.33 | 0.288 | 0.000127 | 138.37 | 2260.78 | | 556.94 | |
| | | | | 3 | 49.9 | 50.55 | 50.2 | 25.22 | 0.289 | 0.000127 | 143.83 | 2282.30 | | 581.25 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ้างอิง

1. **H. Ichiboji, and M. Kinoshita T. Nawa.** *Influence of Temperature on Fluidity of Cement Paste Containing Superplaticizer with Polyethylene Oxide Graft Chains*. 2000.

2. **Z. Tahery, S. Sasaki, and S. Date M. S. Salehi.** *Effect of Thermal Stimulation of Admixture to Workability of the Mortar*. 2016.

3. **U.S. BUREAU OF RECLAMATION.** *CONCRETE MANUAL 8th edition revised.* Denver : 1981.

4. *Hydration of cement*. **Dr.Abbas Oda Dawood**. Concrete tecnology ( Misan University Engineering College Civil Department ).

5. **Jame S. Hampton.** *Extended Workability of Concrete Containing High-Range Water-Reducing Admixture in Hot Weather*. 1981.

6. **Pawel Lokowski.** *Influence of temperature on efficiency of superplasticizer admixtures for concrete*. Warsaw : 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้