# ผลของการผสมสารผสมเพิ่มต่อการหดตัวในขั้นต้นของคอนกรีตหล่อสำเร็จ

# EFFECTS OF ADMIXTURE ON AUTOGENOUS SHRINKAGE OF PREFABRICATED CONCRETE


กวาริน ก้องเกียว

KAWARIN KONKEAW



KMITL-2009-EN-M-093-106

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฉลาดกระบัง

# ผลกระทบของสารผสมเพิ่มต่อการหดตัวในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

# EFFECTS OF ADMIXTURE ON AUTOGENOUS SHRINKAGE OF PREFABRICATED CONCRETE

เกวริน ก้อนแก้ว

KAWARIN KONKEAW

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104506
วัน,เดือน,ปี - 4 พ.ย. 2552

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2552

KMITL-2009-EN-M-093-106

# EFFECTS OF ADMIXTURE ON AUTOGENIOUS SHRINKAGE OF PREFABRICATED CONCRETE

KAWARIN KONKEAW

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MSATER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2009

KMITL-2009-EN-M-093-106

**COPYRIGHT 2009**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** ผลกระทบของสารผสมเพิ่มต่อการหดตัวในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

**Thesis Title** Effects of Admixture on Autogenous Shrinkage of Prefabricated Concrete

**นักศึกษา** นางสาวเกวริน ก้อนแก้ว

**รหัสประจำตัว** 49061511

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมโยธา

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี

**หมายเลขวิทยานิพนธ์** KMITL-2009-EN-M-093-106

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|---|---|---|
| รศ.อำนวย | พานิชกุลพงศ์ | |
| ผศ.ศักดิ์ชัย | สกานุพงษ์ | |
| รศ.ดร.ปิติ | สุคนธสุขกุล | |
| ผศ.ดร.คมสัน | มาลีสี | |

**วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ** วันศุกร์ที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 เวลา 09.00-11.00 น.

**สถานที่สอบ** ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว**

**(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)**

**คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**วันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2552**

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | ผลกระทบของสารผสมเพิ่มต่อการหดตัวในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ |
| **นักศึกษา** | นางสาว เกวริน ก้อนแก้ว |
| **รหัสประจำตัว** | 49061511 |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมโยธา |
| **พ.ศ.** | 2552 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี |

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาผลกระทบของสารผสมเพิ่มต่อการหดตัวในชิ้นส่วนซีเมนต์เพสต์ ในขั้นต้นทำการศึกษาผลกระทบของสารผสมเพิ่มที่ผสมในซีเมนต์เพสต์ กับอัตราการไหล อัตราการเยิ้มน้ำ และการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ โดยสารผสมเพิ่มที่ใช้คือ 4 สาร คือ 1. สารลดน้ำอย่างมาก Super plasticizers Naphthalene based 2. สารลดน้ำอย่างมาก (Super plasticizers Polymer based) 3. สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture) 4. สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture) ในปริมาณต่าง ๆ การวัดการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ทำโดยเตรียมแท่งตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ถอดแบบแล้ว ใช้วิธีการบ่มที่ต่างกัน คือ ชุดแรก เมื่อซีเมนต์เพลต์มีอายุครบแปดชั่วโมง แล้วทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อซีเมนต์เพสต์อายุครบ 24 ชั่วโมงทำการบ่มโดยใช้พลาสติกห่อหุ้ม ชุดที่สอง เมื่อซีเมนต์เพลต์มีอายุครบแปดชั่วโมง แล้วทำการบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อซีเมนต์เพสต์อายุครบ 24 ชั่วโมงทำการบ่มโดยใช้พลาสติกห่อหุ้ม ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ชิ้นส่วนของซีเมนต์เพสต์ , มอร์ตาร์ และ คอนกรีต ที่ผสมสารผสมเพิ่มสารลดน้ำอย่างมาก และสารเร่ง ในปริมาณมากขึ้นที่เพิ่มขึ้นก็ยิ่งทำให้ การเยิ้มน้ำเพิ่มมากขึ้น และ ยังพบว่าการหดตัวของชิ้นตัวอย่างก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

| | |
|---|---|
| **Thesis** | Effects of Admixture on Autogenous Shrinkage of Prefabricated Concrete |
| **Student** | Miss. Kawarin Konkeaw |
| **Student ID.** | 49061511 |
| **Degree** | Master of Engineering |
| **Program** | Civil Engineering |
| **Year** | 2009 |
| **Thesis Advisor** | Asst.Prof.Dr.Komsan Maleesee |


## ABSTRACT

This research aimed to study effects of admixture on autogenous shrinkage of hardened cement paste. In first part study effect on cement paste test workability, bleeding and autogenous shrinkage. The admixture that use in this experiment is 1. Super plasticizers Naphthalene based 2. Super plasticizers Polymer based 3. Accelerating Admixture 4. Retarding Admixture, there in various ratios. The sample for test autogenous shrinkage was one takeoff from mold when age 8 hr curing by temperature 40 degree and wrapped with plastic immediately after curing sample until age 1 day Another one takeoff from mold when age 8 hr curing by temperature 40 degree and wrapped with plastic immediately after curing sample until age 1 day. From the result of this experiment found that cement paste and concrete which increasing amount of 1. Super plasticizers Naphthalene based 2. Super plasticizers Polymer based 3. Accelerating Admixture, in sample bleeding and shrinkage also increased.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี ที่ให้ความช่วยเหลือ คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) และสำนักงานส่งเสริมวิสาหการขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) ภายใต้โครงการสร้างกำลังคน เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญาโท (สกว.-สสว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆในห้องปฏิบัติการ เพื่อนๆและน้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ไปด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

เกวริน ก้อนแก้ว

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... II

กิตติกรรมประกาศ ..... III

สารบัญ ..... IV

สารบัญรูป ..... V

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

1.1 กล่าวนำ ..... 1

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงาน ..... 2

1.4 ขอบเขตการศึกษา ..... 2

1.5. วิธีการศึกษา ..... 3

1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์ ..... 5

2.1 กล่าวนำ ..... 5

2.2 คุณสมบัติของซีเมนต์ที่มีผลต่อคอนกรีต ..... 5

2.3 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่มีผลต่อคอนกรีต ..... 6

2.4 คุณสมบัติของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคอนกรีต ..... 6

2.5 ค่าระยะห่างระหว่างมวลรวมที่มีผลต่อคอนกรีต ..... 9

2.6 การหดตัว ..... 10

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย ..... 12

3.1 การออกแบบการทดลอง ..... 12

3.1.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์ ..... 12

3.1.2 การทดลองคอนกรีต, มอร์ตาร์ ..... 12

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


3.2 การเตรียมตัวอย่างในงานวิจัย ..... 12

3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ..... 12

3.2.2 น้ำผสมคอนกรีตใช้น้ำประปา ..... 13

3.2.3 มวลรวมผสมคอนกรีต ..... 14

3.2.4 สารผสมเพิ่ม ..... 14

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ ..... 14

3.3.1 เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์ ..... 14

3.3.2 แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ ..... 15

3.3.3 เครื่องเพิ่มอุณหภูมิน้ำในการให้ความร้อนแก่คอนกรีต ..... 16

3.4 การดำเนินการทดสอบ ..... 16

3.4.1 การดำเนินการทดสอบซีเมนต์เพสต์ ..... 17

3.4.2 การทำตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบหาค่าอัตราการไหล ..... 20

3.4.3 การทำตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบหาค่าการเยิ้มน้ำ ..... 23

3.4.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล ..... 24

3.4.5 การทดลองคอนกรีต, มอร์ตาร์ ..... 24

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล ..... 26

4.1 ผลการทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์ ..... 26

4.1.1 การทดสอบหาค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ ..... 26

4.1.2 การทดสอบหาค่าอัตราการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ ..... 31

4.1.3 อัตราค่าการหดตัวของมอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ผสมสารเคมีผสมเพิ่ม ..... 37

4.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ที่ผสมสารเคมี ผสมเพิ่ม และบ่มด้วยอุณหภูมิในช่วงต้น ..... 43

4.3 การทดสอบหาค่าการหดตัวของคอนกรีตที่ผสม สารเคมีผสมเพิ่มในจำนวนที่ต่างกัน ..... 59

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ..... 79
บรรณานุกรม ..... 83
ภาคผนวก ..... 84
ภาคผนวก ก ..... 85
ภาคผนวก ข ..... 89
บรรณานุกรม ..... 83
ประวัติผู้เขียน ..... 126

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองซีเมนต์เพสต์ ..... 17
3.2 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองมอร์ต้า ..... 24
3.3 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองคอนกรีต ..... 24

# สารบัญรูป

รูปที่ หน้า


3.1 เครื่องผสม Cement Paste ..... 14

3.2 เครื่องผสมคอนกรีต ..... 14

3.3 แบบหล่อที่ใช้หล่อซีเมนต์เพสต์ ..... 15

3.4 เครื่องเพิ่มอุณหภูมิน้ำในการบ่มคอนกรีต ..... 16

3.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก ..... 16

3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวัด Autogenous Shrinkage ..... 17

3.7 ลักษณะแกนเหล็กที่ยื่นเข้ามาในเนื้อแบบ ..... 19

3.8 วิธีการวัดระยะห่างระหว่างแกนเหล็กทั้งสองข้าง ..... 19

3.9 เทซีเมนต์เพสต์ที่ผสมลงในแบบ ..... 20

3.10 วิธีการวัดก้อนตัวอย่าง ..... 19

3.11 แสดงอุปกรณ์การทดลอง (JSCE-F531-1993) ..... 21

3.12 แสดงอุปกรณ์การทดลอง อัตตราการเยิ้มน้ำ ..... 22

3.13 แสดงตัวอย่างการเก็บค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ..... 22

4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับ
เวลาของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมสาร (S-N) ..... 26

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับ
เวลาของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมสาร (S-P) ..... 27

4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับ
เวลาของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมสารเร่งการก่อตัว ..... 28

4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับ
เวลาของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมสารหน่วงการก่อตัว ..... 29

4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารผสม
เพิ่มในปริมาณที่ต่างกัน ..... 30

4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.40 โดยผสม
(S-P), (S-N) ในปริมาณต่างๆ ..... 31

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.50 โดยผสม (S-P), (S-N) ในปริมาณต่างๆ ..... 31
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.60 โดยผสม (S-P), (S-N) ในปริมาณต่างๆ ..... 33
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.40 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว ในปริมาณต่างๆ ..... 32
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.50 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว ในปริมาณต่างๆ ..... 33
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว ในปริมาณต่างๆ ..... 34
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.40 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัวในปริมาณต่างๆ ..... 35
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.50 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัวในปริมาณต่างๆ ..... 35
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.60 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัวในปริมาณต่างๆ ..... 35
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.40 โดยผสม สารผสมเพิ่มในปริมาณต่าง ๆ ..... 36
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.60 โดยผสม สารผสมเพิ่มในปริมาณต่าง ๆ ..... 36
4.17 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด Super plasticizers Naphthalene based ที่ w/c 0.4 ..... 37
4.18 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด Super plasticizers Naphthalene based ที่ w/c 0.5 ..... 38
4.19 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด Super plasticizers Naphthalene based ที่ w/c 0.6 ..... 38
4.20 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด Super plasticizers Polymer based ที่ w/c 0.4 ..... 39
4.21 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด Super plasticizers Polymer based ที่ w/c 0.5 ..... 39
4.22 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด Super plasticizers Polymer based ที่ w/c 0.6 ..... 40

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.23 มอร์ต้าร์เติมสาร Retarder ที่ w/c 0.4 ..... 41
4.24 มอร์ต้าร์เติมสาร Retarder ที่ w/c 0.5 ..... 42
4.25 มอร์ต้าร์เติมสาร Retarder ที่ w/c 0.6 ..... 42
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (S-P) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 43
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (S-P) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 44
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (S-P) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 44
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (S-N) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 45
4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (S-N) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 46
4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (S-N) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 46
4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (ACC) ในปริมาณ ต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 47
4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (ACC) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 48
4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (ACC) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 48
4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 49
4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 50
4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 50

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (S-P) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 51
4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (S-P) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 52
4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (S-P) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 52
4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (S-N) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 53
4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (S-N) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 54
4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (S-N) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 54
4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (ACC) ในปริมาณ ต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 55
4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (ACC) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 56
4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (ACC) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 56
4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 57
4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 58
4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 58
4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต ที่ W/C 0.40 โดยผสม (S-P) ในปริมาณต่างๆ ..... 59

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต
ที่ W/C 0.50 โดยผสม (S-P) ในปริมาณต่างๆ ..... 60
4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต
ที่ W/C 0.60 โดยผสม (S-P) ในปริมาณต่างๆ ..... 60
4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต
ที่ W/C 0.40 โดยผสม (S-N) ในปริมาณต่างๆ ..... 61
4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต
ที่ W/C 0.50 โดยผสม (S-N) ในปริมาณต่างๆ ..... 62
4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต
ที่ W/C 0.60 โดยผสม (S-N) ในปริมาณต่างๆ ..... 62
4.56 คอนกรีตเติมสาร Retarder ที่ w/c 0.4 ..... 63
4.57 คอนกรีตเติมสาร Retarder ที่ w/c 0.5 ..... 64
4.58 คอนกรีตเติมสาร Retarder ที่ w/c 0.6 ..... 64
4.59 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 60 เท่า
W/C 0.40 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 65
4.60 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่า
W/C 0.40 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 65
4.61 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า
W/C 0.40 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 66
4.62 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 60 เท่า
W/C 0.50 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 66
4.63 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่า
W/C 0.50 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 67
4.64 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า
W/C 0.50 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 67
4.65 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 60 เท่า
W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น ..... 68

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.66 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่า
W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น.....68
4. 67 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า
W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น.....69
4. 68 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 60 เท่า
W/C 0.40 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น.....69
4. 69 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่า
W/C 0.40 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น.....70
4. 70 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า
W/C 0.40 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น.....70
4. 71 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า
W/C 0.50 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น.....71
4. 72 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 200 เท่า
W/C 0.50 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น.....71
4. 73 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า
W/C 0.50 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น.....72
4. 74 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 60 เท่า
W/C 0.60 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น.....72
4. 75 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่า
W/C 0.60 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น.....73
4. 76 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า
W/C 0.60 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น.....73
4.77 แสดงโครงสร้างผลึกคอนกรีต ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.03 %.....74
4. 78 แสดงโครงสร้างผลึกคอนกรีต ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า
W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.03 %.....74

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4. 79 แสดงโครงสร้างผลึกคอนกรีต ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.03 % ..... 75
4. 80 แสดงโครงสร้างผลึกคอนกรีต ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า
W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.03 % ..... 75
4. 81 แสดงแผ่นสำเร็จเมื่อผสมสารลดน้ำ ..... 76
4. 82 แสดงแผ่นสำเร็จเมื่อผสมสารลดน้ำในปริมาณมากทำให้เกิดการหดตัวสูง ..... 77
4. 83 แสดงแผ่นสำเร็จเมื่อผสมสารลดน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ..... 78

# บทที่1
# บทนำ

## 1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นงานหรือธุรกิจใดๆก็ตาม สิ่งที่เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือค่าใช้จ่ายและเวลา คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้มากในงานก่อสร้างทั่วไป แต่สำหรับปัจจัยสำคัญในการก่อสร้างคอนกรีต คือวัสดุวิศวกรรม ที่นิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างโครงสร้างต่าง ๆ เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ เป็นส่วนผสมของคอนกรีต มีอยู่เป็นจำนวนมากตามธรรมชาติ มีความคงทนสูง และมีราคาไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับวัสดุวิศวกรรมก่อสร้างชนิดอื่น ๆ ขณะที่ประโยชน์ที่ได้รับ ยังตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ ได้หลายรูปแบบ แต่กระนั้นคอนกรีตยังมีข้อด้อยในด้านระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง เพราะต้องใช้เวลาในการทำแบบหล่อและรอให้คอนกรีตแข็งตัว และสามารถรับกำลังได้ตามที่ต้องการ ซึ่งจุดนี้เองที่ทำให้ในบางครั้งงานก่อสร้างเลือกที่จะใช้สารเคมีผสมเพิ่มชนิดต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ได้ตามความต้องการ เพราะถ้างานก่อสร้างนั้นเสร็จรวดเร็วแล้ว จะสามารถดำเนินธุรกิจอื่นตามมาได้ก่อน เช่น งานอาคาร เป็นต้น

## 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในโครงงานหรืองานก่อสร้างต่างๆ ปัญหาที่พบมากก็คือความล่าช้าของงานและจะส่งผลกระทบไปถึงค่าใช้จ่ายต่างๆด้วย ปัญหาเหล่านี้ส่วนมากหนีไม่พ้นเรื่องงานของคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่ต้องการความเร่งด่วน ซึ่งคอนกรีตนั้นจะต้องใช้เวลาในการก่อตัว และต้องใช้เวลาอีกหลายวันจนกว่าคอนกรีตจะสามารถรับกำลังตามที่ต้องการเพื่อที่จะรับโครงสร้างอื่น ๆ ได้ ซึ่งอาจทำให้ปัญหาอื่น ๆ เกิดขึ้นมาภายหลัง อาทิ เช่น การทำงานไม่เสร็จตามแผนที่วางเอาไว้ หรือส่งมอบโครงงานไม่ทันตามกำหนดทำให้ต้องโดนค่าปรับอันเนื่องมาจากความล่าช้าของงานซึ่งเป็นผลทำให้ต้องเสียจ่ายใช้จ่ายต่าง ๆ โดยไม่จำเป็น จึงมีการนำสารผสมเพิ่มเข้ามาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตเพื่อให้ตรงกับความต้องการ เช่นสารลดน้ำ สารเร่งการก่อตัว สารหน่วงการก่อตัว

## 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. ศึกษาคุณสมบัติทางด้านอัตราการลื่นไหล และ การเยิ้มน้ำ ของชิ้นส่วนซีเมนต์เพสต์ที่ผสม สารผสมเพิ่ม (Chemical Admixture) ซึ่งสารผสมเพิ่มที่ใช้ คือ สารลดน้ำอย่างมาก (Super plasticizers Naphthalene based), (Super plasticizers Polymer based) , สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture) , สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture)

2. ศึกษาวัดค่าการหดตัว (Autogenous shrinkage) ของชิ้นส่วนซีเมนต์เพสต์, มอร์ตาร์ และคอนกรีตตัวอย่างที่มีการผสมสารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixture) ซึ่งสารผสมเคมีเพิ่มที่ใช้ คือ สารลดน้ำอย่างมาก (Super plasticizers Naphthalene based), (Super plasticizers Polymer based), สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture), สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture)

3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับการหดตัวของชิ้นส่วนซีเมนต์เพสต์ ที่ผสมสารเคมีเพิ่มและที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่ม โดยบ่มที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงต้น

4. เพื่อนำผลที่ได้จากการวิจัยมาปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตโครงสร้าง คอนกรีตหล่อสำเร็จ และงานก่อฉาบ ฯลฯ เพื่อลดการแตกร้าวในส่วนของโครงสร้างเนื่องจากการหดตัว

5. เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมการก่อสร้างในประเทศไทย ให้โครงสร้างมีความแข็งแรงทนทานทั้งยังมีความสวยงานคงทนตราบนานเท่านาน

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. เลือกใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland cement)
2. ใช้วัสดุมวลรวมที่มีอยู่ในประเทศ เช่น ทรายแม่น้ำ โดยให้มีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33
3. ใช้สารเคมีผสมเพิ่ม สารลดน้ำอย่างมาก (Super plasticizers Naphthalene based) , (Super plasticizers Polymer based), สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture), สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture) ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย
4. ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงจากเดิม เมื่อผสมสารเคมีผสมเพิ่ม
5. การทดสอบที่ใช้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM
6. ศึกษาค่าการหดตัวของ ซีเมนต์เพสต์โดยการบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน ในงานวิจัยนี้บ่มโดยใช้อุณหภูมิการบ่ม 40, 60 องศาเซลเซียสให้อายุคอนกรีตครบ 1วัน, ศึกษาค่าการหดตัวของคอนกรีต

## 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

**บทที่ 1** กล่าวนำ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย ขั้นตอนของการศึกษา ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

**บทที่ 2** กล่าวถึง คุณสมบัติของซีเมนต์ที่มีผลต่อคอนกรีต คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่มีผลต่อคอนกรีต คุณสมบัติของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคอนกรีต ค่าระยะห่างระหว่างมวลรวมที่มีผลต่อคอนกรีต การหดตัว การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา

**บทที่ 3** กล่าวถึงขั้นตอนวิธีการศึกษา วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดสอบ

**บทที่ 4** กล่าวถึงผลการทดลอง และ วิเคราะห์ผลการทดลอง

**บทที่ 5** เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

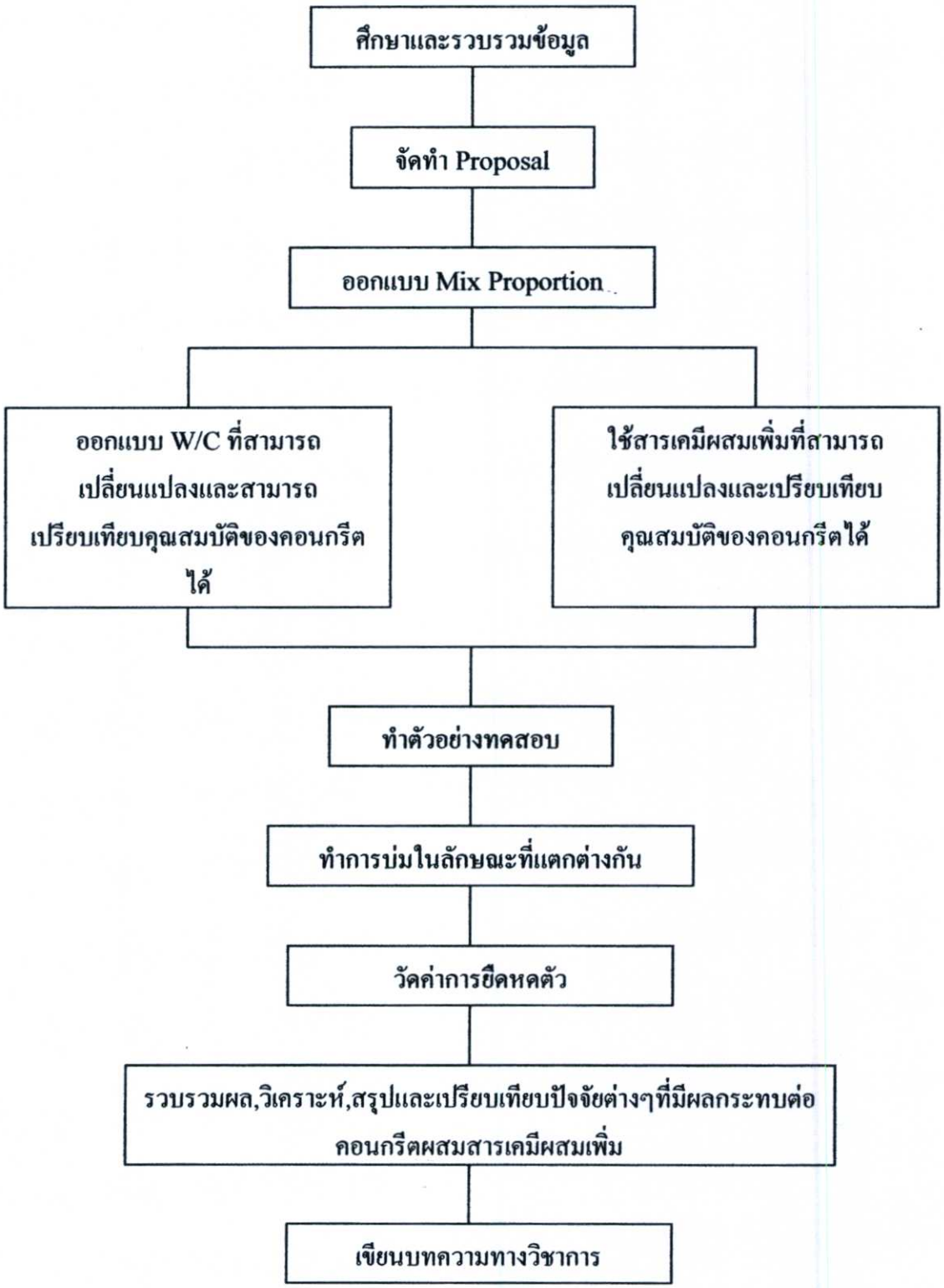
1. เพื่อให้องค์ความรู้ด้านการหดตัว (Autogenous Shrinkage) เป็นพื้นฐานในการนำสารผสมเพิ่ม ไปใช้ในงานก่อสร้างให้เหาะสมกับความต้องการของโครงสร้างต่างๆ ได้

2. ได้พัฒนาส่วนผสมของคอนกรีต ให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการใช้ โดยที่ใช้สารผสมเพิ่มในปริมาณที่ต่างกัน และนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพกับการก่อสร้างในเมืองไทย

3. ได้พัฒนาการก่อสร้างให้มีคุณภาพ มาตรฐานมากขึ้น โดยปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับงาน

4. ช่วยลดความสูญเสียเนื่องจากการซ่อมแซมอาคาร และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ และป้องกันความสูญเสียที่จะเกิดตามมา จากการแตกร้าวของคอนกรีต อาธิ เช่น การแตกร้าวที่ส่งผลกระทบกับชิ้นส่วนโครงสร้าง ทำให้เกิดความเสียหายในขั้นร้ายแรงได้

**แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน**




รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานของการศึกษา

# บทที่ 2
# วรรณกรรมปริทัศน์

## 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงคำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน มีการรวบรวมประเด็น แนวคิด ทฤษฎี หรือเอกสารสิ่งพิมพ์ต่างๆที่ผ่านมา เพื่อให้ผู้ศึกษาได้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาได้ง่ายขึ้น

## 2.2 คุณสมบัติของซีเมนต์ที่มีผลต่อคอนกรีต

**องค์ประกอบของซีเมนต์** สารประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในซีเมนต์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติต่างๆ ของซีเมนต์เมื่อนำไปผสมกับน้ำเพื่อทำเป็นมอร์ตาร์หรือคอนกรีต เช่น อัตราการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น กำลังรับแรงอัดในระยะแรก (Early strength) และระยะหลัง (Ultimate strength) ความทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต (Sulfate-resistance) มีดังนี้

**ไตรแคลเซียมซิลิเกต** (Tricalcium Siligate, $C_3S$) ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดได้เร็วในระยะแรกประมาณ 14 วันหลังการผสม มีอัตราการทำปฏิกิริยากับน้ำปานกลาง ก่อตัวภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง ให้ความร้อนปานกลางประมาณ 120 แคลอรี/กรัม ทนต่อซัลเฟต

**ไดแคลเซียมซิลิเกต** (Dicalcium Siligate, $C_2S$) ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดในระยะหลังประมาณ 14-28 วันและเรื่อยไปหลังได้รับการบ่มชื้น ทำปฏิกิริยากับน้ำช้าให้ความร้อนน้อยประมาณ 60 แคลอรี/กรัม เมื่อเกิดปฏิกิริยามีการทนทานสูงต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตและมีการหดตัวน้อย

**ไตรแคลเซียมอลูมิเนต** (Tricalcium Aluminate, $C_3S$) ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดได้เร็วมากในระยะแรกประมาณ 1 วันหลังการผสมเพราะทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ก่อและแข็งตัวเร็วโดยให้ความร้อนมากประมาณ 210 แคลอรี/กรัม เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่ไม่ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงในระยะหลัง ทำให้เกิดความไม่คงตัว (Unsoundness) และไม่ทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต

**เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์** (Tetracalcium Aluminoferrite, $C_4AF$) ไม่มีส่วนในการพัฒนากำลังรับแรงอัดแต่ให้ความร้อนน้อยในปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ประมาณ 100 แคลอรี/กรัม

## 2.3 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่มีผลต่อคอนกรีต

**ขนาดใหญ่สุดของวัสดุมวลรวม** (Maximum size of aggregate) ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้มีผลโดยตรงกับปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการและขนาดคละของวัสดุผสม กล่าวคือ มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวโดยรวมน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็ก ดังนั้น เมื่อพิจารณาให้น้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน มวลรวมขนาดใหญ่จึงต้องการปริมาณน้ำและซีเมนต์น้อยกว่า เพื่อให้มีความสามารถเทได้เท่ากัน หรือถ้าพิจารณาให้ปริมาณซีเมนต์และค่าการยุบตัวเท่ากัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้มวลรวมขนาดใหญ่ขึ้น เพราะสามารถลดปริมาณน้ำหรือลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

**ขนาดคละ** (Gradation) คือ การกระจายของขนาดต่างๆของอนุภาควัสดุมวลรวม เป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการกำหนดประมาณซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการสำหรับคอนกรีตสด (Fresh concrete) คือ ถ้าใช้หินและทรายหลายขนาดที่ลดหลั่นกัน มาผสมกันโดยมีขนาดคละที่เหมาะสมแล้ว จะทำให้ช่องว่างเหลือน้อยที่สุด ทำให้ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้น้อยสุดตามไปด้วย ซึ่งทำให้ประหยัดปูนซีเมนต์ในส่วนผสมได้

## 2.4 คุณสมบัติของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคอนกรีต

**สารผสมเพิ่ม** (Admixtures) หมายถึงสารใดๆนอกเหนือจากน้ำ ปูนซีเมนต์ หินและทราย ที่ใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีตทั้งก่อนผสมหรือขณะผสม เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตขณะยังเหลวอยู่หรือคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพสิ่งแวดล้อมและสภาพการทำงาน วัตถุประสงค์ทั่วๆไปของการใช้สารผสมเพิ่มคือ ปรับปรุงความสามารถเทได้ เร่งหรือหน่วงเวลาการก่อตัว ควบคุมหรือพัฒนากำลังรับแรงอัด ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน การทนต่อกรดและซัลเฟต หรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง แต่สารผสมเพิ่มต้องไม่ทำลายคุณภาพของคอนกรีตทั้งในระยะสั้นและระยะยาว รวมทั้งไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบของซีเมนต์และเหล็กเสริมซึ่งจะทำให้คุณสมบัติเด่นของสารผสมเพิ่มแต่ละตัวเสียไป ประเภทของสารที่ใช้แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 4 กลุ่มคือ

1. สารกระจายกักฟองอากาศ (Air-entraining agents) ใช้เพื่อปรับปรุงความสามารถ ในการเทโดยเพิ่มปริมาณฟองอากาศเล็กๆ แต่จะมีผลต่อกำลังรับแรงอัด ถ้ามีจำนวนฟองอากาศมากเกินไป

2. สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical admixtures) เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำเติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการ

3. สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral admixtures) เป็นวัสดุผงละเอียด ใช้ปรับปรุงความสามารถในการใช้งาน เพิ่มความคงทนทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการก่อตัวดีขึ้น สามารถใช้ทดแทนปริมาณซีเมนต์ได้บางส่วน

4. สารผสมเพิ่มอื่นที่ไม่จัดอยู่ในสามประเภทแรก เช่น สารป้องกันการซึม สารป้องกันเชื้อรา สำหรับสีตกแต่ง เป็นต้น

ในส่วนของสารเคมีผสมเพิ่มนั้น อาจแบ่งได้อีกเป็น 7 ประเภทตามมาตรฐาน ASTM C494 (1996) คือ

- ประเภท A สารลดปริมาณน้ำ (Water reducing)
- ประเภท B สารหน่วงการก่อตัว (Retarding)
- ประเภท C สารเร่งเวลาการก่อตัวและการแข็งตัว (Accelerating)
- ประเภท D สารลดปริมาณน้ำและหน่วงการก่อตัว (Water reducing and retarding)
- ประเภท E สารลดปริมาณน้ำและเร่งการก่อตัว (Water reducing and accelerating)
- ประเภท F สารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก (High range water reducing)
- ประเภท G สารลดปริมาณน้ำจำนวนมากและหน่วงการก่อตัว (High range water reducing and Retarding)

เนื่องจากในการศึกษานี้ ต้องการคอนกรีตที่มีกำลังสูงเร็วซึ่งในมาตรฐาน ASTM ยังไม่มีสารเคมีผสมเพิ่มประเภทใดทำให้มีคุณสมบัติตามต้องการนี้ ดังนั้นจึงเลือกใช้สารเคมีผสมเพิ่ม 2 ประเภทร่วมกัน คือ สารลดปริมาณน้ำเพื่อลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ทำให้คอนกรีตที่ได้มีกำลังสูงขึ้นและสามารถทำงานได้ง่ายเมื่อยังไม่แข็งตัว และในขณะเดียวกันก็ต้องการให้คอนกรีตรับแรงอัดได้เร็วขึ้นด้วย สารเร่งการก่อตัวจึงถูกนำมาใช้ร่วมด้วยเพื่อช่วยในการเร่งการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ดังนั้น จึงเน้นถึงการศึกษากลไกการทำงานและผลที่จะได้รับจากการผสมสารเคมีผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดนี้ในคอนกรีต ซึ่งคณะผู้ทดลองจะขออธิบายเกี่ยวกับสารเคมีผสมเพิ่มทั้งสองชนิดดังกล่าวอย่างคร่าวๆ ดังนี้

**สารลดปริมาณน้ำ** ทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ตามที่ต้องการโดยใช้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมเท่าเดิมในขณะที่ปริมาณซีเมนต์คงที่ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสูงขึ้น

## ประเภทของสารลดปริมาณน้ำ

สารลดปริมาณน้ำสามารถจำแนกได้อย่างคร่าวๆ ตามสารประกอบพื้นฐาน (Based components) ดังนี้

1. สารลดปริมาณน้ำที่มีกรดลิกโนซัลโฟนิกเป็นสารประกอบหลัก

2. สารลดปริมาณน้ำที่มีกรดไฮดรอกซีคาร์โบไซลิกเป็นสารประกอบหลัก

3. สารลดปริมาณน้ำที่มีเมลามีนหรือเนฟทาลีนเป็นสารประกอบหลัก

## ผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเหลว

ผลกระทบโดยตรงคือทำให้คอนกรีตที่ได้มีความสามารถเทได้ดีขึ้น แต่การใช้ปริมาณสารลดปริมาณน้ำประเภทนี้ในการผสมมากเกินไปจะทำให้เกิดการหน่วงตัวขึ้นได้ นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มฟองอากาศแก่คอนกรีตเหลวเล็กน้อยประมาณ 0.2 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้สารลดปริมาณน้ำที่มีกรดลิกโนซัลโฟนิกเป็นสารประกอบหลักเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตเหลวธรรมดา แต่ถ้าใช้สารลดปริมาณน้ำที่มีกรดไฮดรอกซีคาร์โบไซลิกเป็นสารประกอบหลักจะลดปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตเหลวลงเล็กน้อย

## กลไกการทำงาน

กลไกการทำงานสารเคมีผสมเพิ่มชนิดนี้จะช่วยลดความต้องการน้ำของคอนกรีต ทั้งนี้เพราะมีคุณสมบัติในการช่วยเปลี่ยนคุณสมบัติของผิวต่อระหว่างของแข็งและน้ำในคอนกรีต ปกติอนุภาคซีเมนต์ต่างๆในคอนกรีตจะมีประจุไฟฟ้าเหลือตกค้างบนผิวซึ่งมีทั้งขั้วบวกและลบ ทำให้อาจมีการจับตัวกันเป็นก้อน (Flocculate) ซึ่งสามารถดูดน้ำในคอนกรีตจำนวนมากทำให้เหลือน้ำหล่อลื่นน้อย โมเลกุลของสารผสมเพิ่มชนิดนี้ช่วยทำให้ประจุเป็นกลางหรืออาจทำให้เกิดประจุชนิดเดียวกันก็ได้ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการแยกตัวกันในเนื้อซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นการใช้สารลดปริมาณน้ำหรือสารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก จะช่วยเพิ่มความสามารถเทได้แทนหน้าที่ของน้ำเพื่อกำจัดน้ำส่วนเกินที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

**สารเร่งการก่อตัว** เป็นสารเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่งผลทำให้เร่งการก่อตัวและพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในช่วงต้น

## ประเภทของสารเร่งการก่อตัว

สารเร่งการก่อตัวที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามสารประกอบพื้นฐาน (Based components) ที่มีอยู่ในสารเร่งการก่อตัวแต่ละตัวดังนี้

1. สารเร่งการก่อตัวชนิดที่มีคลอไรด์เป็นสารประกอบพื้นฐาน
2. สารเร่งการก่อตัวชนิดที่ไม่มีคลอไรด์เป็นสารประกอบพื้นฐาน

## กลไกการทำงาน

สารเร่งเวลาการก่อตัวของคอนกรีตทำหน้าที่เหมือนตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี(Catalyst) ระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ผลก็คือจะเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ก่อให้เกิดความร้อนและกำลังอัดจะเพิ่มขึ้น ในเวลาอันรวดเร็ว การเร่งปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารผสมนี้มากขึ้น

**สารหน่วงการก่อตัว** เป็นสารหน่วงการก่อตัวป้องกันผลกระทบความร้อนจากปฏิกริยาไฮเดรชั่น หน่วงการก่อตัวเบื้องต้นของคอนกรีตที่ต้องใช้ระยะเวลานานในการทำงาน เช่น ฐานรากขนาดใหญ่ของบ่อน้ำมัน

## 2.5 ค่าระยะห่างระหว่างมวลรวมที่มีผลต่อคอนกรีต

จากการศึกษาของ Nanayakara et al. พบว่าระยะห่างระหว่างมวลรวมมีผลอย่างมากต่อความสามารถในการไหลของคอนกรีต เมื่อระยะห่างระหว่างมวลรวมมีค่ามากขึ้นจะเป็นการลดแรงเสียดทานเนื่องจากการชนกันของมวลรวม ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการเปลี่ยนรูป (Deformability) ของคอนกรีต ในขณะเดียวกันความสามารถในการเคลื่อนตัวเข้าสู่แบบหล่อ (Filling Ability) ก็สูงขึ้นด้วย ทั้งนี้คอนกรีตต้องไม่เกิดการแยกตัว (Segregation) ขณะเคลื่อนที่

ระยะห่างของมวลรวมที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของเพสต์อิสระ (Free Paste or Excess Paste) ในคอนกรีต ซึ่งปริมาณเพสต์อิสระนี้สามารถนิยามได้ว่า คือปริมาณเพสต์ส่วนที่เหลือจากการเติมเต็มในช่องว่างของมวลรวม (Filling Void) และส่วนที่เคลือบผิวของมวลรวม

## 2.6. การหดตัว

โดยทั่วไป จะแบ่งการหดตัวออกเป็นสองชนิด ได้แก่ การหดตัวในคอนกรีตสด และ การหดตัวในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว การหดตัวในคอนกรีตสดจะเกิดขึ้นในสองสามชั่วโมงแรกหลังจากเทคอนกรีตสดลงในแบบ ความชื้นในผิวที่สัมผัสกับอากาศแห้ง เช่น ในบริเวณผิวหน้าของแผ่นพื้นจะระเหยออกอย่างรวดเร็วจนน้ำจากชั้นล่างของคอนกรีตเยิ้มเข้ามาแทนที่ไม่ทัน ในทางตรงกันข้าม การหดตัวในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะเกิดหลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นส่วนใหญ่ไปแล้ว

การหดตัวหลังจากแข็งตัวแล้ว เป็นการลดปริมาตรของคอนกรีตเนื่องจากการสูญเสียความชื้นโดยการระเหย ในทางตรงข้าม ถ้าปริมาตรเพิ่มขึ้นโดยการดูดซึมน้ำ จะเรียกว่า การบวมตัว (Swelling) สรุปได้ว่าปรากฏการณ์ทั้งสองเป็น การเคลื่อนที่ของน้ำเข้าออกจากซีเมนต์เจลเนื่องจากความแตกต่างของความชื้นระหว่างองค์อาคารกับสภาวะแวดล้อม โดยไม่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุกภายนอก

การหดตัวส่วนใหญ่จะไม่สามารถคืนกลับได้ ถ้านำคอนกรีตที่หดตัวเต็มที่แล้วไปแช่ในน้ำมันจะไม่ขยายตัวกลับสู่สภาพเดิม อัตราการเพิ่มจะลดลงตามเวลา เนื่องจากคอนกรีตที่มีอายุมากขึ้นจะมีกำลังต้านหน่วยแรงมากขึ้น ทำให้เกิดการหดตัวน้อยลง จนเกือบไม่มีการหดตัวเลยเมื่อถึงเวลาช่วงหนึ่ง

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อขนาดของการหดตัวในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีดังต่อไปนี้

1. มวลรวม มวลรวมจะต้านการหดตัวของคอนกรีตสด ดังนั้นคอนกรีตที่มีมวลรวมมากจะเกิดการหดตัวน้อย ปริมาณการต้านจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวม มวลรวมที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงหรือมีผิวที่ผิวขรุขระก็ต้านการหดตัวได้ดี

2. อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ การหดตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์มีค่าเพิ่มมากขึ้น

3. ขนาดขององค์อาคาร อัตราการหดตัวและปริมาณการหดตัวทั้งหมดจะแปรผกผันกับปริมาตร ขององค์อาคาร อย่างไรก็ตามการหดตัวจะต้องใช้เวลามากสำหรับองค์อาคารที่มีขนาดใหญ่ เพราะจะต้องใช้เวลามากก่อนที่ความชื้นในเนื้อคอนกรีตส่วนในจะเกิดการระเหย เป็นไปได้ว่าอาจจะต้องใช้เวลาถึงหนึ่งปี ก่อนที่การระเหยจะเกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตลึก 25 ซม. จากผิวนอก และที่ลึก 60 ซม. อาจจะต้องใช้เวลาถึง 10 ปี

4. สภาวะแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์จะมีผลอย่างมากต่อปริมาณของการหดตัว อัตราการหดตัวจะแปรผกผันกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง โดยที่ การหดตัวจะไม่เกิดที่อุณหภูมิต่ำ

5. ปริมาณเหล็กเสริม คอนกรีตเสริมเหล็กจะหดตัวน้อยกว่าคอนกรีตล้วน ความแตกต่างจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเหล็กเสริม

6. สารผสมเพิ่ม ผลกระทบจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารผสมเพิ่ม สารเร่งเวลาการก่อตัวและแข็งตัว เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ทำให้การหดตัวเพิ่มขึ้น สารปอซโซลานิคจะเพิ่มการหดตัวในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ในระหว่างที่สารกักฟองอากาศจะมีผลน้อยมากต่อการหดตัว

7. ชนิดของซีเมนต์ ซีเมนต์ชนิดก่อตัวเร็วจะเกิดการหดตัวมากกว่าชนิดอื่น ชนิดที่ต้านการหดตัวจะเกิดการหดตัวน้อยมาก และยังกำจัดรอยร้าวเนื่องจากการหดตัวเมื่อมีการเสริมเหล็กที่เหมาะสม

8. Carbonation การหดตัวแบบนี้เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกับคัลเซียมไฮดรอกไซด์ในซีเมนต์เจล ส่งผลให้เกิดการลดของปริมาตรของซีเมนต์เจลและเกิดการหดตัว ปริมาณของการหดตัวทั้งหมดขึ้นอยู่กับขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา Carbonation และขบวนการของการสูญเสียความชื้น ถ้าปรากฏการณ์ทั้งสองเกิดพร้อมกัน จะเกิดการหดตัวน้อย อย่างไรก็ตามปฏิกิริยา Carbonation นี้จะเกิดขึ้นน้อยมากเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 50 %

# บทที่ 3
# การดำเนินการวิจัย

## 3.1 การออกแบบการทดลอง

### 3.1.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์

การทดลองในขั้นต้นทำการศึกษาทดลองถึงคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ผสมสารเคมีผสมเพิ่ม โดยการทดลองจะทำการเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์เพสต์ ก่อนการใช้สารเคมีผสมเพิ่ม และ เมื่อผสมสารเคมีผสมเพิ่ม ในสัดส่วน และปริมาณที่แตกต่างกัน โดยการทดลองจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ แบ่งได้ดังนี้

1. ศึกษาค่าอัตราการเยิ้มน้ำ
2. ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์
3. ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogeneous Shrinkage)

### 3.1.2 การทดลองคอนกรีต และมอร์ตาร์

การเตรียมตัวอย่างการทดลองในส่วนของคอนกรีตและมอร์ตาร์ จะมีหลักการผสมในลักษณะเดียวกันโดยหลังจากได้มีการเตรียมวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยการทดลองจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่างที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อผสมสารผสมเพิ่ม ในปริมาณที่ต่างกัน แบ่งได้ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ของปริมาณสารเคมีผสมเพิ่มต่างกันกับปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เปลี่ยนไป ศึกษาค่าการยุบตัวของคอนกรีต
2. ความสัมพันธ์ของปริมาณสารเคมีผสมเพิ่มต่างกัน กับค่าการหดตัวของ (Autogeneous Shrinkage) ของคอนกรีต และมอร์ตาร์

## 3.2 การเตรียมตัวอย่างในงานวิจัย

### 3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณภาพตาม มอก.15 หรือ ASTM C 150 ที่ผลิตจากบริษัทที่มีความน่าเชื่อถือ สามารถมั่นใจได้ในเรื่องความสม่ำเสมอของคุณภาพปูนซีเมนต์และมีการบรรจุปูนซีเมนต์ในถุงที่มีชั้นพลาสติกปิดมิดชิด เพื่อช่วยป้องกันความชื้น ช่วยให้ปูนซีเมนต์ใหม่สดเก็บไว้ได้นาน อาทิ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราอินทรีย์

### 3.2.2 น้ำผสมคอนกรีตใช้น้ำประปา

น้ำผสมคอนกรีตมีผล ต่อคุณภาพของคอนกรีตตามความใส น้ำขุ่นหรือ น้ำที่มีสารแขวนลอยเจือปนอยู่จะทำให้คุณภาพของคอนกรีตต่ำลง ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของสารแขวนลอยนั้น ดังนั้นจึงควรใช้น้ำผสมคอนกรีตที่สะอาดมีสารแขวนลอยไม่เกิน 2,000 ppm (ส่วนในล้าน) ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน หรือสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่จะทำอันตรายต่อคอนกรีตน้ำประปาหรือน้ำจืดจากแหล่งธรรมชาติที่ไม่มีน้ำเสียจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรมเจือปน ถือว่ามีคุณภาพดีเพียงพอสำหรับนำมาใช้ผสมคอนกรีต อาจใช้น้ำดื่มซึ่งให้ผลที่ดีกว่า

### 3.2.3 มวลรวมผสมคอนกรีต

มวลรวมผสมคอนกรีต อันได้แก่ หินย่อยหรือกรวด และทราย เป็นวัสดุผสมคอนกรีตที่มีปริมาตรมากถึงประมาณ 3 ใน 4 ส่วน ของคอนกรีต คุณภาพของมวลรวมจึงมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของคอนกรีต คอนกรีตทั่วไปมวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปมักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ มวลรวมสำหรับงานคอนกรีตที่ดีควรมีคุณภาพตาม มอก. 566 หรือ ASTM C 33 โดยมีความสะอาด มีขนาดคละดี แข็งแกร่ง ทนทาน มีรูปร่างค่อนข้างกลมแต่มีเหลี่ยมมุมและมีลักษณะผิวหยาบไม่ขยายตัวมาก และไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์

### 3.2.4 สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มมาตรฐาน ASTM C 125 ได้ให้คำนิยามของสารผสมเพิ่มว่า เป็นสารใดๆ นอกเหนือจากน้ำ ปูนซีเมนต์ ทราย และหิน ที่ใช้เติมลงในส่วนผสมของคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ ไม่ว่าจะก่อนหรือขณะกำลังผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ได้คุณสมบัติตามต้องการไม่ว่า จะเป็นขณะที่ยังเหลวอยู่หรือแข็งตัวอยู่แล้ว สารผสมเพิ่มมีหลายชนิดที่ใช้ แต่ที่นิยมใช้กันคือสารเคมีผสมเพิ่ม

ใน งานวิจัยนี้ใช้สารที่มีจำหน่ายในประเทศไทย

1. สารลดน้ำอย่างมาก (Super plasticizers Naphthalene based)
2. สารลดน้ำอย่างมาก (Super plasticizers Polymer based)
3. สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture) ประเภท A &F
4. สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture) ประเภท B &D

# บทที่ 3
# การดำเนินการวิจัย

## 3.1 การออกแบบการทดลอง

### 3.1.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์

การทดลองในขั้นต้นทำการศึกษาทดลองถึงคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ผสมสารเคมีผสมเพิ่ม โดยการทดลองจะทำการเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์เพสต์ ก่อนการใช้สารเคมีผสมเพิ่ม และ เมื่อผสมสารเคมีผสมเพิ่ม ในสัดส่วน และปริมาณที่แตกต่างกัน โดยการทดลองจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ แบ่งได้ดังนี้

1. ศึกษาค่าอัตราการเยิ้มน้ำ
2. ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์
3. ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogeneous Shrinkage)

### 3.1.2 การทดลองคอนกรีต และมอร์ตาร์

การเตรียมตัวอย่างการทดลองในส่วนของคอนกรีตและมอร์ตาร์ จะมีหลักการผสมในลักษณะเดียวกันโดยหลังจากได้มีการเตรียมวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยการทดลองจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่างที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อผสมสารผสมเพิ่ม ในปริมาณที่ต่างกัน แบ่งได้ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ของปริมาณสารเคมีผสมเพิ่มต่างกันกับปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เปลี่ยนไป ศึกษาค่าการยุบตัวของคอนกรีต
2. ความสัมพันธ์ของปริมาณสารเคมีผสมเพิ่มต่างกัน กับค่าการหดตัวของ (Autogeneous Shrinkage) ของคอนกรีต และมอร์ตาร์

## 3.2 การเตรียมตัวอย่างในงานวิจัย

### 3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณภาพตาม มอก.15 หรือ ASTM C 150 ที่ผลิตจากบริษัทที่มีความน่าเชื่อถือ สามารถมั่นใจได้ในเรื่องความสม่ำเสมอของคุณภาพปูนซีเมนต์และมีการบรรจุปูนซีเมนต์ในถุงที่มีชั้นพลาสติกปิดมิดชิด เพื่อช่วยป้องกันความชื้น ช่วยให้ปูนซีเมนต์ใหม่สดเก็บไว้ได้นาน อาทิ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราอินทรีย์

### 3.2.2 น้ำผสมคอนกรีตใช้น้ำประปา

น้ำผสมคอนกรีตมีผล ต่อคุณภาพของคอนกรีตตามความใส น้ำขุ่นหรือ น้ำที่มีสารแขวนลอยเจือปนอยู่จะทำให้คุณภาพของคอนกรีตต่ำลง ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของสารแขวนลอยนั้น ดังนั้นจึงควรใช้น้ำผสมคอนกรีตที่สะอาดมีสารแขวนลอยไม่เกิน 2,000 ppm (ส่วนในล้าน) ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน หรือสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่จะทำอันตรายต่อคอนกรีตน้ำประปาหรือน้ำจืดจากแหล่งธรรมชาติที่ไม่มีน้ำเสียจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรมเจือปน ถือว่ามีคุณภาพดีเพียงพอสำหรับนำมาใช้ผสมคอนกรีต อาจใช้น้ำดื่มซึ่งให้ผลที่ดีกว่า

### 3.2.3 มวลรวมผสมคอนกรีต

มวลรวมผสมคอนกรีต อันได้แก่ หินย่อยหรือกรวด และทราย เป็นวัสดุผสมคอนกรีตที่มีปริมาตรมากถึงประมาณ 3 ใน 4 ส่วน ของคอนกรีต คุณภาพของมวลรวมจึงมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของคอนกรีต คอนกรีตทั่วไปมวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปมักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ มวลรวมสำหรับงานคอนกรีตที่ดีควรมีคุณภาพตาม มอก. 566 หรือ ASTM C 33 โดยมีความสะอาด มีขนาดคละดี แข็งแกร่ง ทนทาน มีรูปร่างค่อนข้างกลมแต่มีเหลี่ยมมุมและมีลักษณะผิวหยาบไม่ขยายตัวมาก และไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์

### 3.2.4 สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มมาตรฐาน ASTM C 125 ได้ให้คำนิยามของสารผสมเพิ่มว่า เป็นสารใดๆ นอกเหนือจากน้ำ ปูนซีเมนต์ ทราย และหิน ที่ใช้เติมลงในส่วนผสมของคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ ไม่ว่าจะก่อนหรือขณะกำลังผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ได้คุณสมบัติตามต้องการไม่ว่า จะเป็นขณะที่ยังเหลวอยู่หรือแข็งตัวอยู่แล้ว สารผสมเพิ่มมีหลายชนิดที่ใช้ แต่ที่นิยมใช้กันคือสารเคมีผสมเพิ่ม

ใน งานวิจัยนี้ใช้สารที่มีจำหน่ายในประเทศไทย

1. สารลดน้ำอย่างมาก (Super plasticizers Naphthalene based)
2. สารลดน้ำอย่างมาก (Super plasticizers Polymer based)
3. สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture) ประเภท A &F
4. สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture) ประเภท B &D

## 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

### 3.3.1 เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์

เป็นเครื่องผสมซีเมนต์เพสต์ (Cement mortars) ซึ่งประกอบด้วย ใบผสม หม้อผสม เครื่องผสมเดินด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส ขนาด 1/6 HP อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 220 โวลท์ 1.67 แอมป์

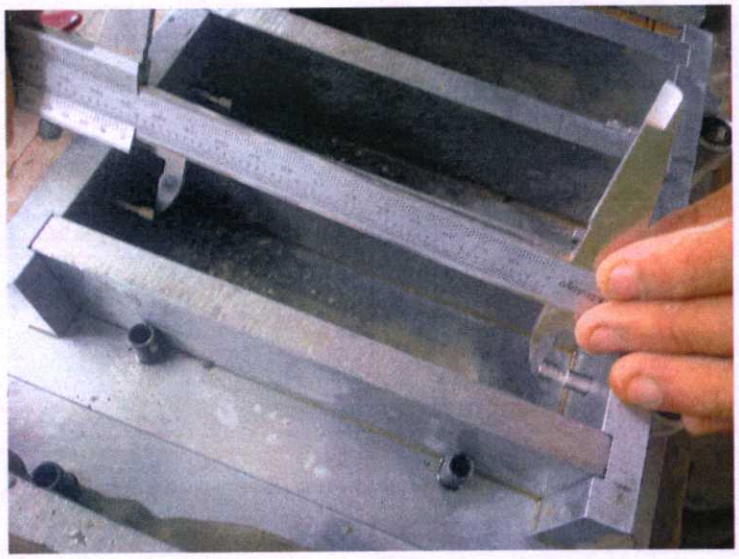
**รูปที่ 3.1 เครื่องผสม Cement Paste**

**รูปที่ 3.2 เครื่องผสมคอนกรีต**

### 3.3.2 แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ

แบบหล่อที่ใช้หล่อคอนกรีตตัวอย่าง เป็นแบบหล่อมาตรฐาน ASTM C450 มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 100 X 100 X 300 มม.

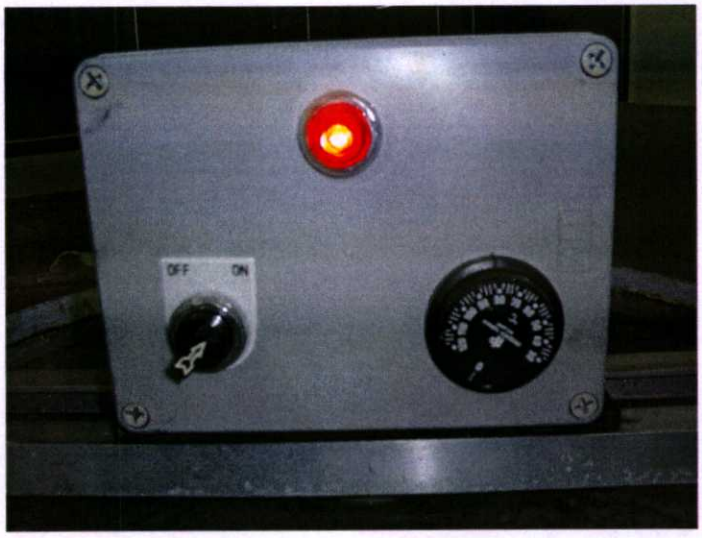
แบบหล่อที่ใช้หล่อซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง เป็นแบบหล่อมาตรฐาน JIS A 1129 มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 40 x 40 x 160 มม.



**รูปที่ 3.3 แบบหล่อที่ใช้หล่อซีเมนต์เพสต์**

### 3.3.3 เครื่องเพิ่มอุณหภูมิน้ำในการให้ความร้อนแก่คอนกรีต

เครื่องเพิ่มอุณหภูมิน้ำในการบ่มคอนกรีตเป็นเครื่องที่ใช้เพิ่มความร้อนให้น้ำในการให้ความร้อนในการบ่มคอนกรีต สามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 30-120 องศาเซลเซียส




**รูปที่ 3.4 เครื่องเพิ่มอุณหภูมิน้ำในการบ่มคอนกรีต**

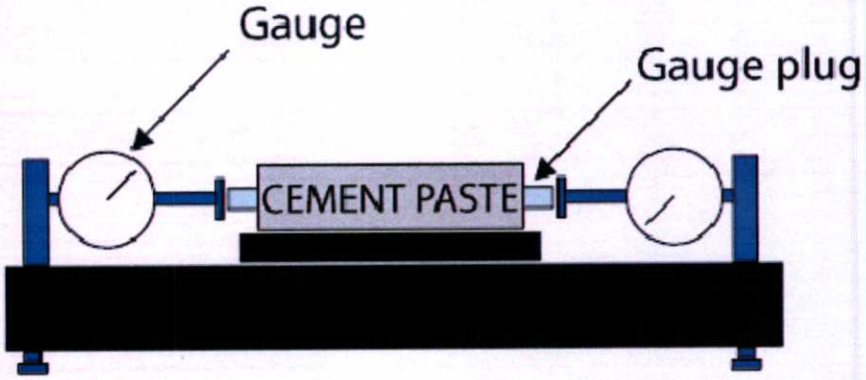
**รูปที่ 3.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก**

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



## 3.4 การดำเนินการทดสอบ

### 3.4.1. การดำเนินการทดสอบซีเมนต์เพสต์




**รูปที่ 3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวัด Autogenous Shrinkage**

ทำการทดสอบเพื่อหาขนาดการขยายตัวและหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ที่อุณหภูมิต่างกัน โดยหล่อในแบบขนาด 40 x 40 x 160 มม. ตามมาตรฐาน JIS A 1129

**ตารางที่ 3.1** แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองซีเมนต์เพสต์

| Cement Paste | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| W/C | 0.4 | | | | 0.5 | | | | 0.6 | | | |
| ปูน (กรัม) | 1,500 | | | | 1,500 | | | | 1,500 | | | |
| น้ำ (กรัม) | 600 | | | | 750 | | | | 900 | | | |
| สารผสมเพิ่ม (กรัม) | 0.0 | 1.5 | 4.5 | 7.5 | 0.0 | 1.5 | 4.5 | 7.5 | 0.0 | 1.5 | 4.5 | 7.5 |

1. ทำการเตรียมแบบที่ใช้หล่อซีเมนต์เพสต์ โดยมีแกนเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์การ 6 มม. ยื่นเข้าไปในเนื้อซีเมนต์เพสต์ 15 ± 5 มม. จากแบบหล่อ
2. ทำการวัดระยะห่างภายในระหว่างแกนเหล็กทั้งสองข้างของแบบหล่อ
3. ทำการหล่อในแบบตัวอย่าง

104506

3.1 ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และสารลดน้ำโดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ W/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Naphthalene based) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

3.2 ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และสารลดน้ำโดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ W/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Polymer based) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

3.3 ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และสารลดน้ำโดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ W/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

3.4 ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และสารลดน้ำโดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ W/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6, สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

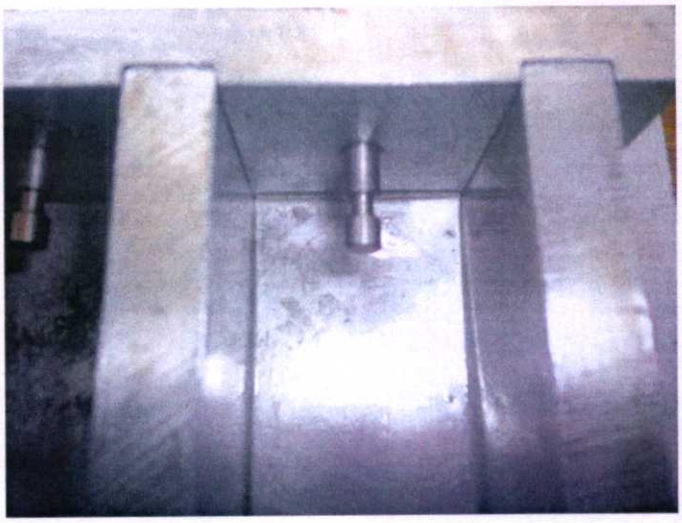
4. ทำการแกะแบบออกหลังจากผสมเสร็จประมาณ 8 ชั่วโมง แล้วทำการวัดซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง

5. ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส, 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งก้อนซีเมนต์เพลต์อายุครบ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการวัดค่าการหดตัว

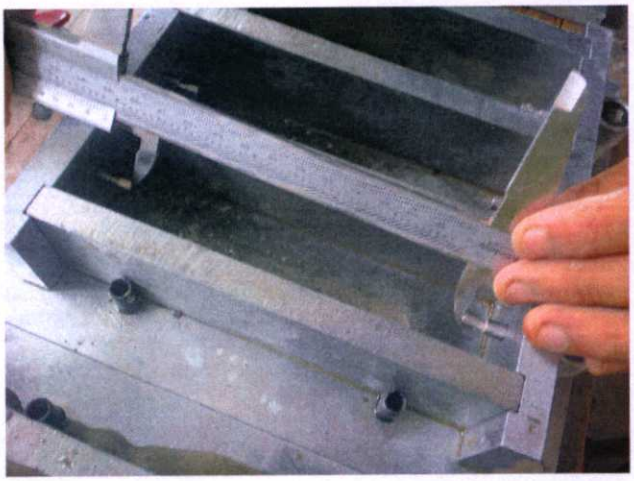
6. บ่มโดยห่อพลาสติก และทำการวัดค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง จนอายุครบ 28 วัน

สูตรที่ใช้ในการหาค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์

$$\text{Shrinkage} = \frac{\Delta X_0 - \Delta X_1}{L_0} \qquad (4.1)$$

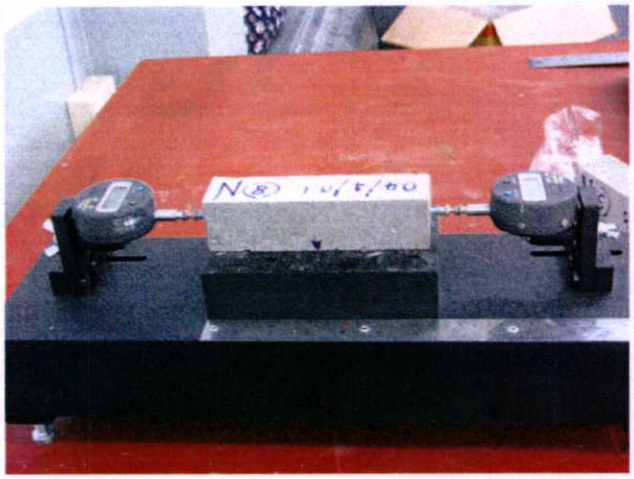


**รูปที่ 3.7 ลักษณะแกนเหล็กที่ยื่นเข้ามาในเนื้อแบบ**



**รูปที่ 3.8 วิธีการวัดระยะห่างระหว่างแกนเหล็กทั้งสองข้าง**

**รูปที่ 3.9 เทซีเมนต์เพสต์ที่ผสมลงในแบบ**



**รูปที่ 3.10 วิธีการวัดก้อนตัวอย่าง**

### 3.4.2 การทำตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบหาค่าอัตราการไหล

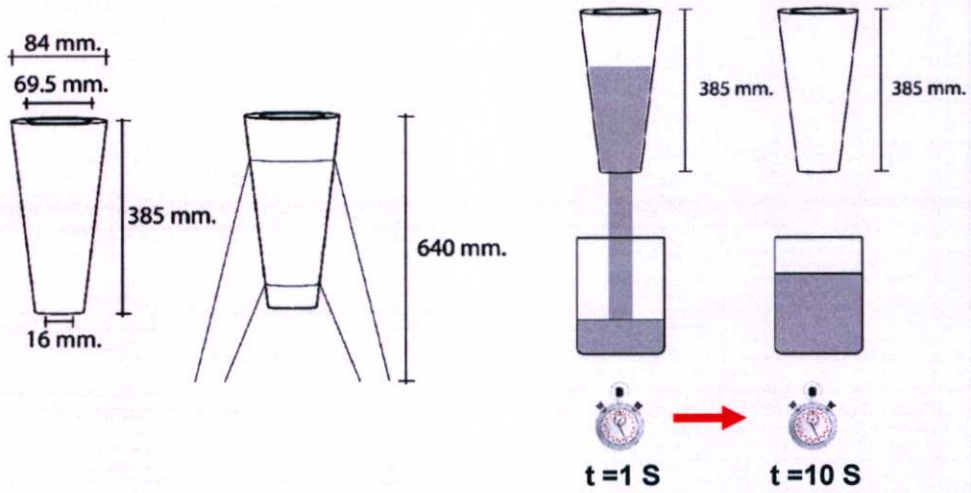
1. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และสารลดน้ำโดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Naphthalene based) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

2. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และสารลดน้ำโดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Polymer based) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

3. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และสารลดน้ำโดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

4. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และสารลดน้ำโดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6, สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

5. ทำการผสมโดยเครื่องผสมซีเมนต์เพสต์เทซีเมนต์เพสต์ลงกรวย โดยปิดปลายกรวยไว้จนถึงระดับที่ต้องการ ทำการปล่อยซีเมนต์เพสต์ให้ไหลและจับเวลาบันทึกอัตราการไหล ตามรูป




**รูปที่ 3.11 แสดงอุปกรณ์การทดลอง (JSCE-F531-1993)**

### 3.4.3 การทำตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบหาค่าการเยิ้มน้ำ

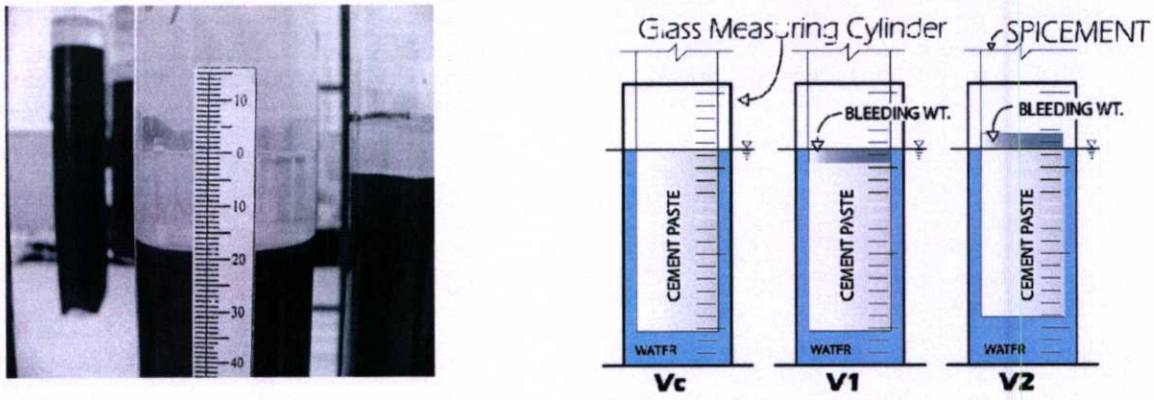
1. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ โดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Naphthalene based) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

2. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ โดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Polymer based) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

3. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ โดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

4. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ โดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6, สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

5. ทำการผสมซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องผสม จากนั้นเทซีเมนต์เพสต์ลงอุปกรณ์การทดสอบ อ่านค่าอัตราการเยิ้มน้ำ




**รูปที่ 3.12 แสดงอุปกรณ์การทดลอง อัตราการเยิ้มน้ำ**

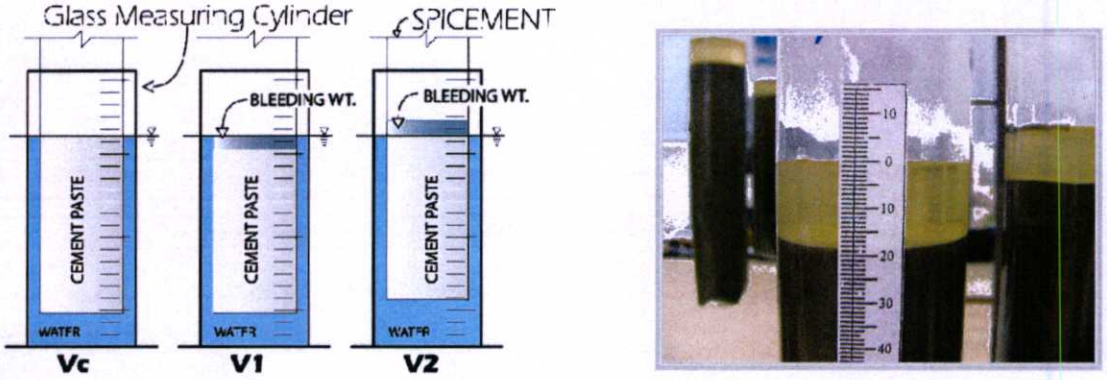
### 3.4.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1.ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลจากเนื้อหาทางทฤษฎี จากหนังสือต่างประเทศ วิทยานิพนธ์ มาตรฐานการก่อสร้าง (ASTM, JSCE) ข้อมูลจากเอกสาร ตำราเรียนที่เกี่ยวข้อง

2. ทำการจัดหาวัตถุดิบ และอุปกรณ์การทดสอบ

3. ทำการศึกษาทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์ และคอนกรีต ตามอัตราส่วนผสมที่ทำการออกแบบไว้ โดยการศึกษาทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆดังนี้

3.1 การทดสอบหาอัตราการเยิ้มน้ำ (Bleeding)




**รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างการเก็บค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding)**

3.2 การทดลองวัดค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ที่ผิวด้านบนโดยการทดลองจะทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ (ตามตารางที่ 3.2) จากนั้นทำการเทซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างลงในชุดทดสอบการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ซึ่งปริมาตรซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ในการทดลองประมาณ 400 มิลลิลิตร จากนั้นนำแผ่น Scale ที่มีความละเอียดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ติดที่ผิวภายนอกของชุดทดสอบ โดยกำหนดค่าศูนย์อยู่ที่ผิวบนของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง จากนั้นทำการแขวนชุดทดสอบไว้แล้วทำการจดบันทึกค่าทุก 30 นาที จนกว่าซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างจะหยุดการเยิ้มน้ำ หรือระยะเวลาผ่านไป อย่างน้อย 4-6 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่า โดยค่าการเยิ้มน้ำที่อ่านได้จะนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ การ Bleeding ดังสมการข้างล่าง

$$\text{Bleeding [\%]} = \frac{V_1 - V_2}{V_c} \times 100$$

$Vc$ = ความสูงของซีเมนต์เพสต์ที่ปริมาตร 400 มล.

$V_1$ = ความสูงที่ระดับผิวน้ำของตัวอย่างทดสอบ

$V_2$ = ความสูงที่ระดับผิวของซีเมนต์เพสต์

3.3 การทดลองหาความสามารถในการไหล ในการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 โดยการทดสอบจะทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ ทำการเทซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ผสมเสร็จลงในอุปกรณ์ทดสอบจนเต็มพอดี โดยทำการปิดช่องเปิดบริเวณด้านล่างของอุปกรณ์ทดสอบให้สนิท ทำการจับเวลาอัตราการไหลผ่านของซีเมนต์เพสต์ทันทีที่เปิดช่องเปิดด้านล่างให้ซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบอย่างอิสระ ทำการจดบันทึกค่าอัตราการไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบมาตรฐานของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง โดยค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของเวลาของการไหลของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง (วินาที)

3.4 การทดลองการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน JIS A 1129 การทดลองจะทำการทดสอบวัดการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage) ซึ่งเป็นการวัดการหดตัวภายนอกของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง เป็นไปตามมาตรฐาน JIS A 1129 "Test method for length change of mortar and concrete"

### 3.4.5 การทดลองคอนกรีต, มอร์ตาร์

การเตรียมตัวอย่างการทดลองในส่วนของคอนกรีต, มอร์ตาร์ จะมีหลักการผสมในลักษณะเดียวกันโดยหลังจากได้มีการเตรียมวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้

**ตารางที่ 3.2** แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองมอร์ต้า

| Cement mortar | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| W/C | 0.4 | | | | 0.5 | | | | 0.6 | | | |
| ปูน (กรัม) | 2,000 | | | | 2,000 | | | | 2,000 | | | |
| น้ำ (กรัม) | 800 | | | | 1,000 | | | | 1,200 | | | |
| ทราย (กรัม) | 3,500 | | | | 3,500 | | | | 3,500 | | | |
| สารผสมเพิ่ม (กรัม) | 0.0 | 2.0 | 6.0 | 10.0 | 0.0 | 2.0 | 6.0 | 10.0 | 0.0 | 2.0 | 6.0 | 10.0 |

**ตารางที่ 3.3** แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองคอนกรีต

| Concrete | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| W/C | 0.4 | | | | 0.5 | | | | 0.6 | | | |
| ปูน (กรัม) | 2,200 | | | | 2,200 | | | | 2,200 | | | |
| น้ำ (กรัม) | 880 | | | | 1,100 | | | | 1,320 | | | |
| ทราย (กรัม) | 4,700 | | | | 4,700 | | | | 4,700 | | | |
| หิน (กรัม) | 6,200 | | | | 6,200 | | | | 6,200 | | | |
| สารผสมเพิ่ม (กรัม) | 0.0 | 2.2 | 6.6 | 11.0 | 0.0 | 2.2 | 6.6 | 11.0 | 0.0 | 2.2 | 6.6 | 11.0 |

1. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ โดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Naphthalene based) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

2. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ โดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Polymer based) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

3. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ โดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ผสมสารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

4. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ โดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6, ผสมสารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture) 0%, 0.10 %, 0.30 %, 0.50 % ตามลำดับ

5. ทำการวัดระยะห่างภายในระหว่างแกนเหล็กทั้งสองข้างของแบบหล่อ

6. ทำการผสมโดยเครื่องผสมคอนกรีตจากนั้นเทคอนกรีตลงแบบหล่อขนาด 100 x 100 x 300 มม.

7. เมื่อคอนกรีตอายุครบ 1 วัน วัดค่าการหดตัวเริ่มต้น และทำการบ่มโดยห่อหุ้มคอนกรีตตัวอย่าง ด้วยพลาสติก

8. วัดค่าการหดตัวของ คอนกรีต, มอร์ตาร์ จนอายุครบ 28 วัน

# บทที่ 4

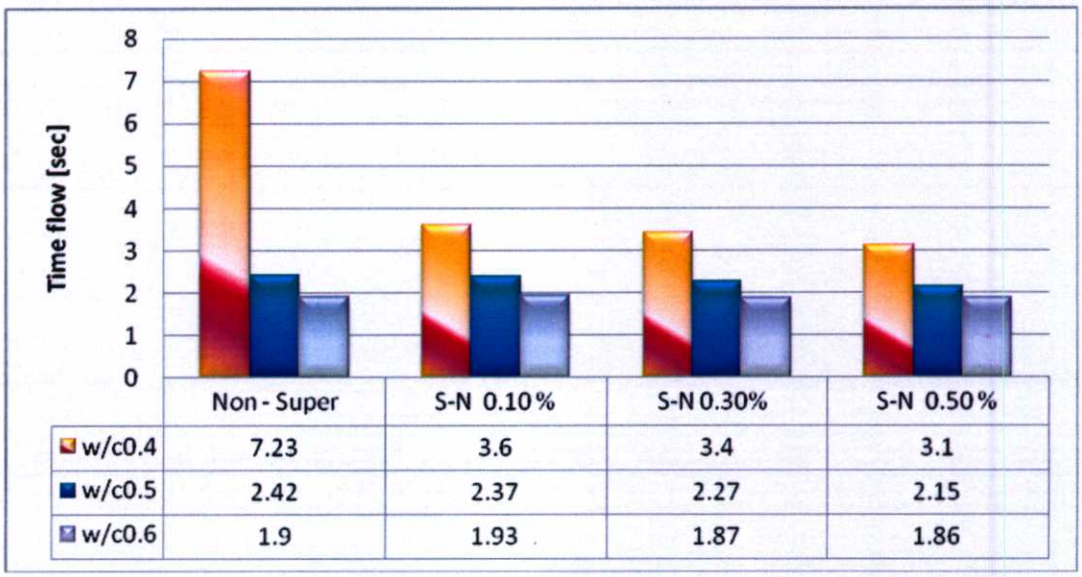
# ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

## 4.1 ศึกษาผลกระทบของซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ผสมสารเคมีผสมเพิ่ม

### 4.1.1 การทดสอบหาค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์

ทำการทดสอบเมื่อซีเมนต์เพสต์ผสมสารลดน้ำอย่างมาก ของทั้งสองชนิด คือ (Super plasticizers Polymer based), (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณสารเคมีผสมเพิ่มและค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่างกัน จากการทดลองพบ คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่เปลี่ยนไปดังนี้

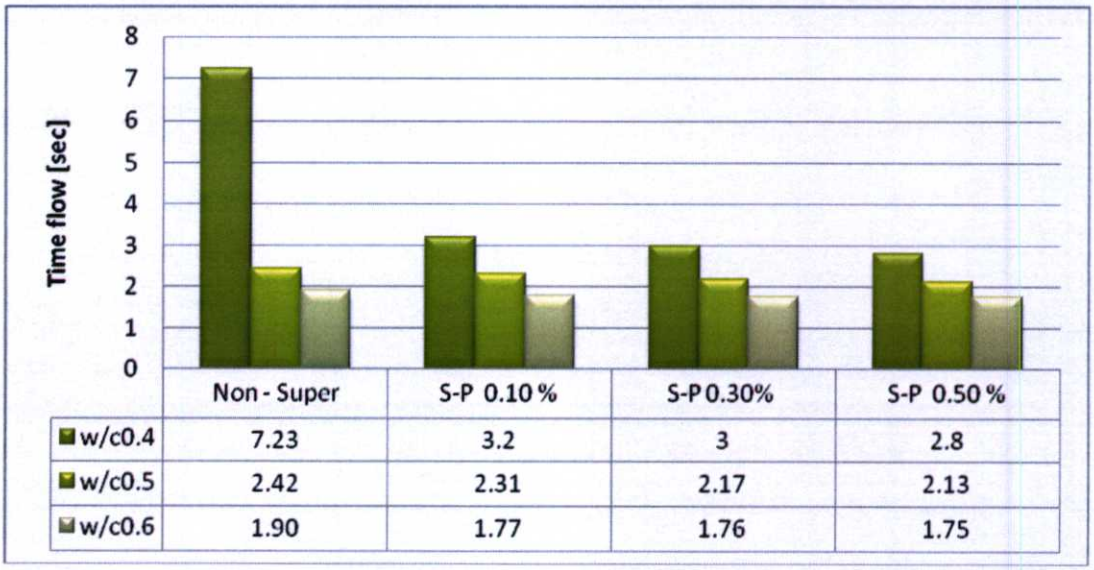
1. **ค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ผสมสารลดน้ำ Super plasticizers Naphthalene**




| | Non - Super | S-N 0.10% | S-N 0.30% | S-N 0.50% |
|---|---|---|---|---|
| w/c0.4 | 7.23 | 3.6 | 3.4 | 3.1 |
| w/c0.5 | 2.42 | 2.37 | 2.27 | 2.15 |
| w/c0.6 | 1.9 | 1.93 | 1.87 | 1.86 |

**รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสาร (Super plasticizers Naphthalene based)**

**2. ค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Polymer based)**



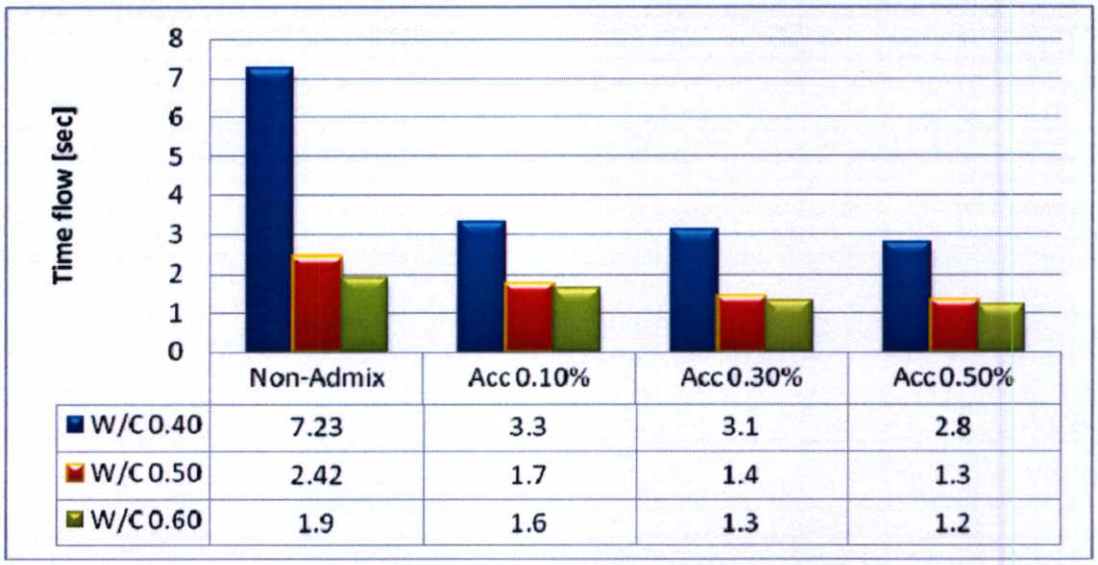

| | Non - Super | S-P 0.10 % | S-P 0.30% | S-P 0.50 % |
|---|---|---|---|---|
| w/c0.4 | 7.23 | 3.2 | 3 | 2.8 |
| w/c0.5 | 2.42 | 2.31 | 2.17 | 2.13 |
| w/c0.6 | 1.90 | 1.77 | 1.76 | 1.75 |

**รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสาร (Super plasticizers Polymer based)**

การทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสต์ จะเห็นได้ว่าจากกราฟแท่งรูปที่ 4.1, รูปที่ 4.2 เมื่อ เปรียบเทียบการไหล ของทั้งสองชนิด (Super plasticizers Polymer based)จะมีค่าการไหลที่ดีกว่า (Super plasticizers Naphthalene based) โดยที่ w/c 0.4 (Super plasticizers Polymer based)0.5%จะมีการไหลลดลงจาก ไม่ใส่สารถึง 35% ในขณะที่ w/c 0.4 (Super plasticizers Naphthalene based) 0.5% จะมีการไหลลดลงจากไม่ใส่สารเพียง 13% โดยจากทุกตัวอย่างจะเห็นว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกัน จึงสรุปได้ว่า สารประเภท (Super plasticizers Polymer based)ช่วยในการไหลของซีเมนต์เพสต์ ได้มากกว่าสารประเภท (Super plasticizers Naphthalene based) ซึ่ง สารประเภท (Super plasticizers Polymer based)จะใช้ลักษณะของโมเลกุลที่เป็นสายใยทำให้ซีเมนต์เพสต์กระจายตัวได้ดีกว่าตัว (Super plasticizers Naphthalene based) ซึ่งใช้ประจุไฟฟ้า จึงทำให้ได้ผลอัตราการไหลที่ดีกว่า

จากกราฟแท่งรูปที่ 4.1, รูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อผสมสาร (Super plasticizers Naphthalene based), (Super plasticizers Polymer based) มีผลทำให้ซีเมนต์เพสต์มีอัตราการไหลดีขึ้น เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ผสม Super plasticizers เนื่องจากเมื่อผสมสารเคมีผสมเพิ่มลงไปทำให้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ให้ทำปฏิกริยาได้ดีขึ้น

### 3. ค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ผสม สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture)

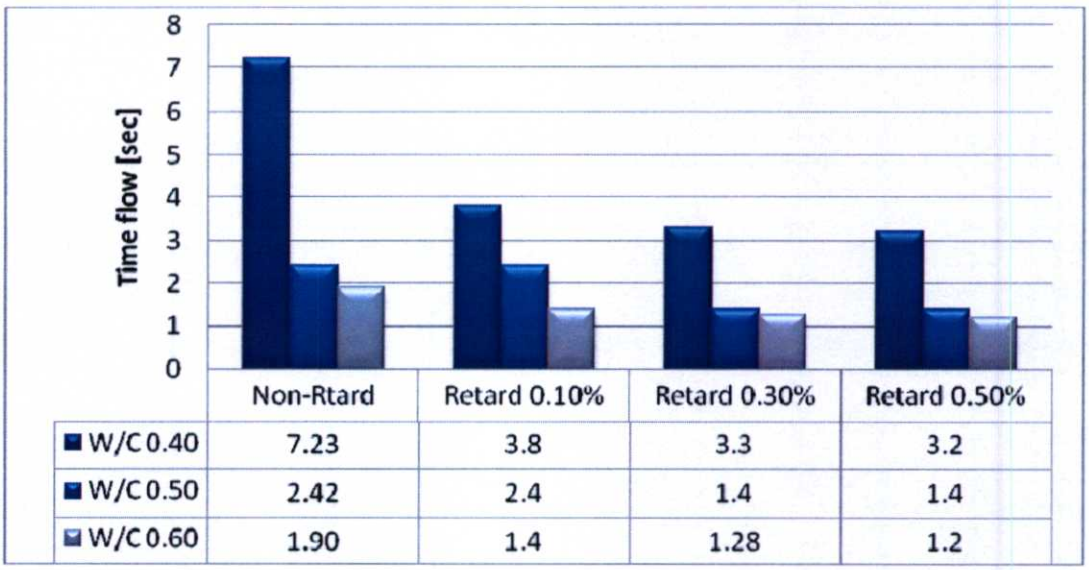



| | Non-Admix | Acc 0.10% | Acc 0.30% | Acc 0.50% |
|---|---|---|---|---|
| W/C 0.40 | 7.23 | 3.3 | 3.1 | 2.8 |
| W/C 0.50 | 2.42 | 1.7 | 1.4 | 1.3 |
| W/C 0.60 | 1.9 | 1.6 | 1.3 | 1.2 |

**รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารเร่งการก่อตัว**

จากการทดสอบอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ จะเห็นได้ว่าจากกราฟกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารเร่งการก่อตัวแห่ง รูปที่ 4.3 เมื่อ ผสมสารเร่ง (Accelerating Admixture) ในปริมาณที่มากขึ้นจะมีค่าการไหลที่ดีขึ้นด้วย

**4. ค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ผสม สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture)**

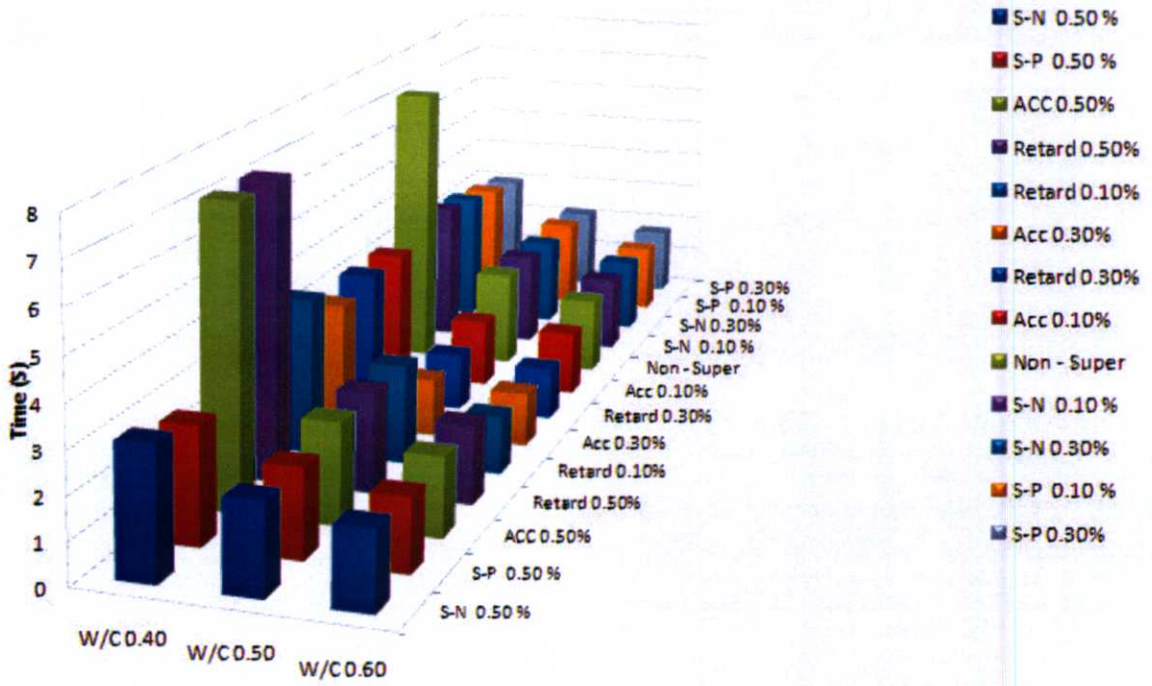



| | Non-Rtard | Retard 0.10% | Retard 0.30% | Retard 0.50% |
|---|---|---|---|---|
| W/C 0.40 | 7.23 | 3.8 | 3.3 | 3.2 |
| W/C 0.50 | 2.42 | 2.4 | 1.4 | 1.4 |
| W/C 0.60 | 1.90 | 1.4 | 1.28 | 1.2 |

**รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารหน่วงการก่อตัว(Retarding Admixture)**

จากการทดสอบอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ จะเห็นได้ว่าจากกราฟกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารหน่วงการก่อตัว กราฟแท่งรูปที่ 4.3 เมื่อ สารหน่วงการก่อตัว (Retarding Admixture) ในปริมาณที่มากขึ้นจะมีค่าการไหลที่ดีขึ้นด้วย

**5. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารผสมเพิ่มในปริมาณที่ต่างกัน**



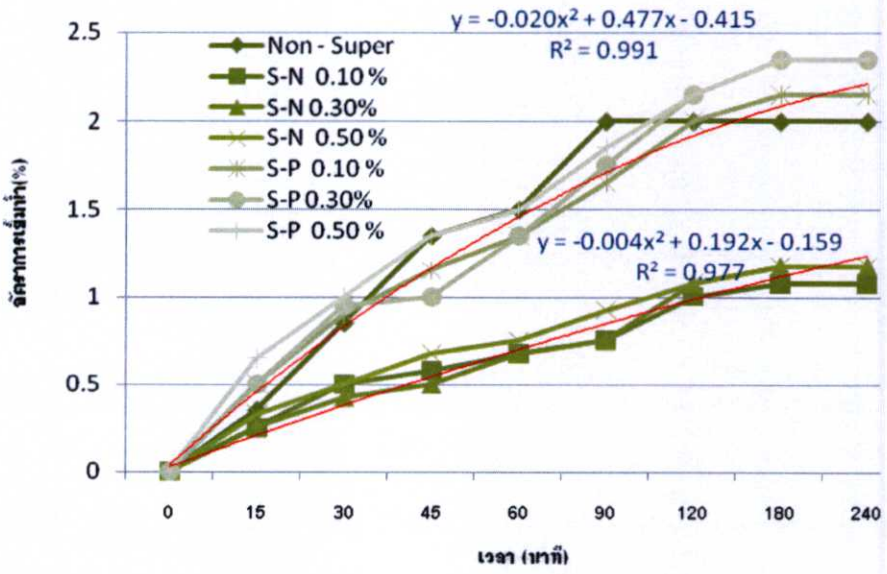

**รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารผสมเพิ่มในปริมาณที่ต่างกัน**

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารผสมเพิ่มในปริมาณที่ต่างกันค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ ผสม สารเร่งการก่อตัว ในสัดส่วนที่สูงขึ้น ค่าอัตราการไหลดีขึ้น แต่อัตราการเยิ้มน้ำก็มากขึ้นเช่นกัน

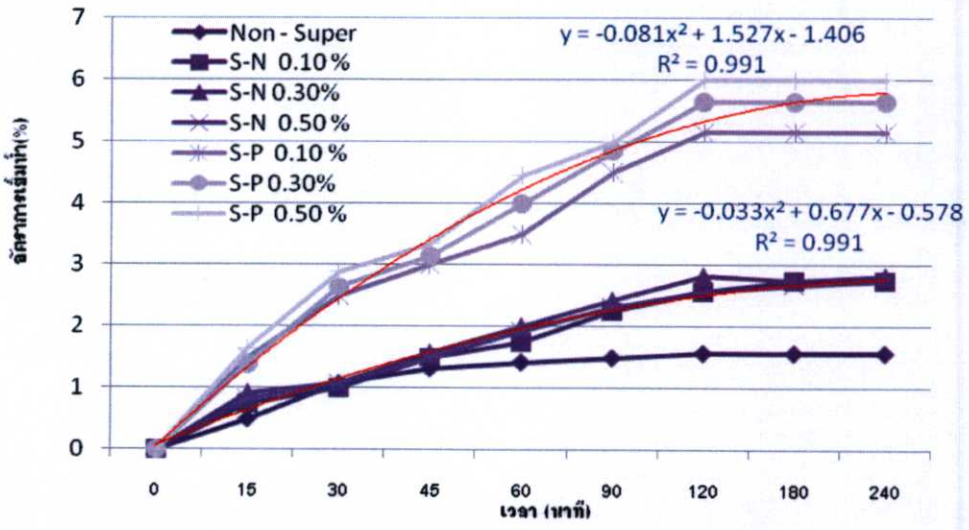
ค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ ผสม สารหน่วงการก่อตัว ในสัดส่วนที่สูงขึ้น ค่าอัตราการไหลดีขึ้น และค่าอัตราการเยิ้มน้ำลดลง

**4.1.2 การทดสอบหาค่าอัตราการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์**

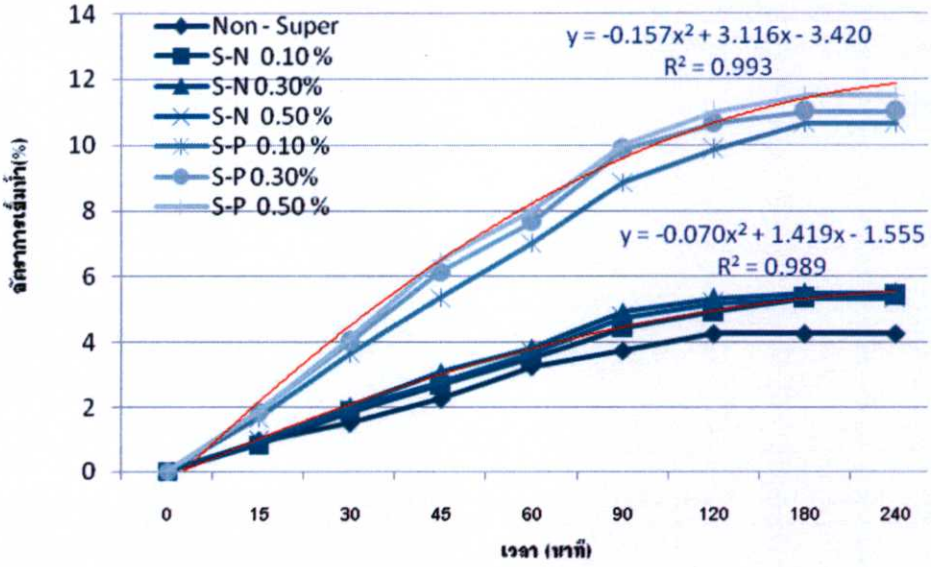
**1. ค่าอัตราการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Naphthalene based), สารลดน้ำ (Super plasticizers Polymer based)**




**รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่ W/C 0.40 โดยผสม (S-P) และ (S-N) ในปริมาณต่างๆ**



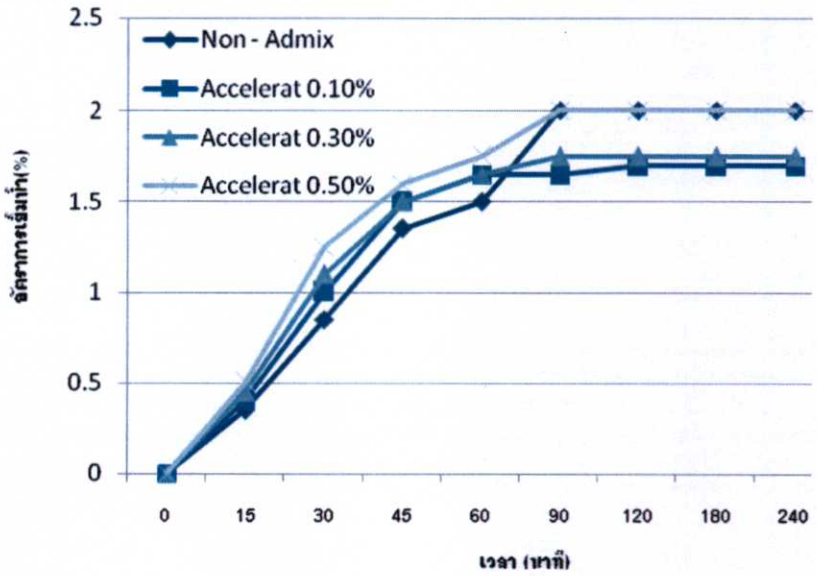

**รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.50 โดยผสม (S-P) และ (S-N) ในปริมาณต่างๆ**



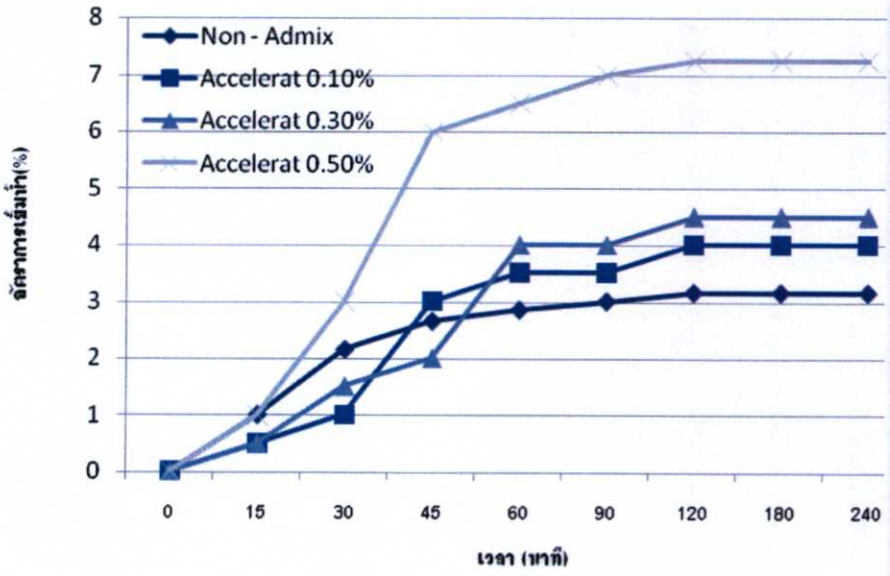

**รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.60 โดยผสม (S-P) และ (S-N) ในปริมาณต่างๆ**

จากรูปที่ 4.6-4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสท์ที่ผสม (Super plasticizers Naphthalene based), (Super plasticizers Polymer based) ในปริมาณที่มาก มีแนวโน้มว่าอัตราการเยิ้มน้ำมากขึ้นด้วย และมีอัตราการเยิ้มน้ำสูงสุดที่ ผสม (Super plasticizers Polymer based) 0.5% เทียบกับซีเมนต์เพสท์ที่ไม่ผสม Super plasticizers ค่าการเยิ้มน้ำต่างกันถึง 14.00%ในช่วง 0 ถึง 90 นาที มีอัตราการเยิ้มน้ำมากและเริ่มมีอัตราการเยิ้มน้ำคงที่ ที่ 90 นาที

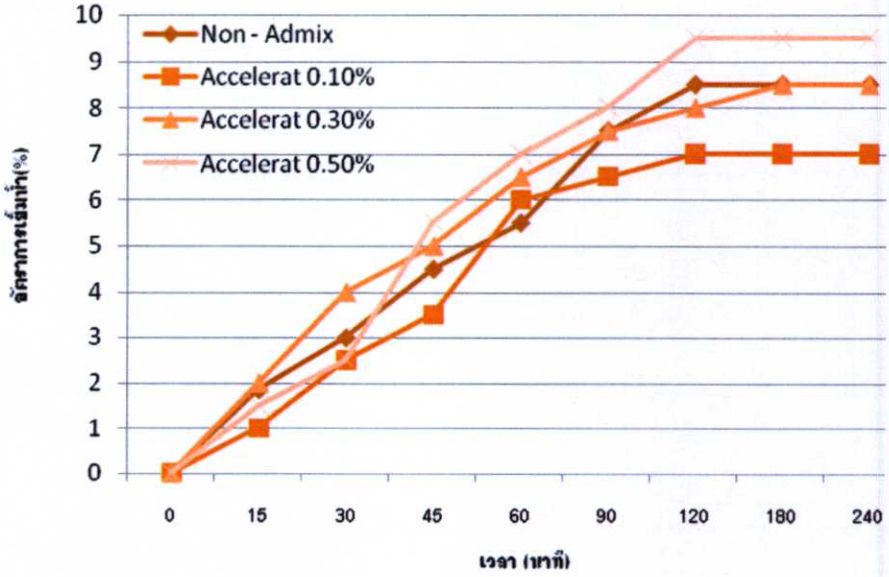
**2. ค่าอัตราการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ผสม สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture)**




**รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.40 โดยผสมสารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture)**



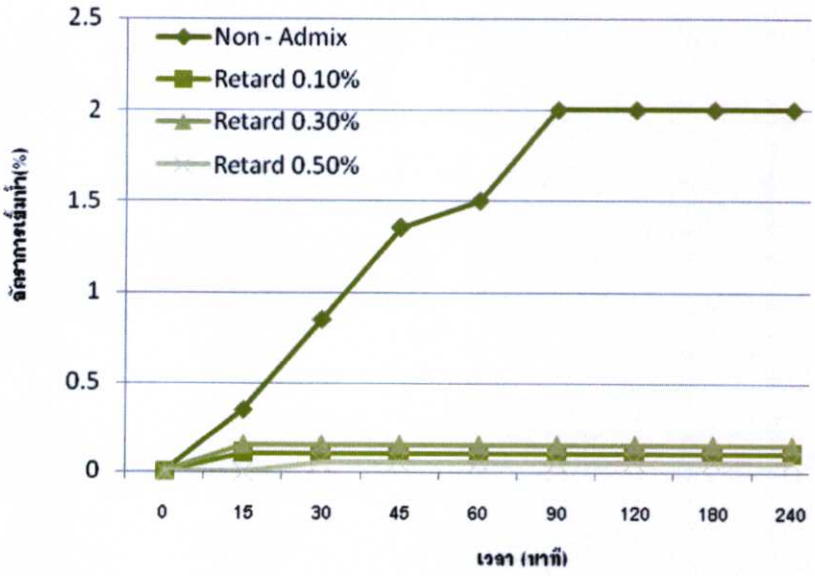

**รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.50 โดยผสมสารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture)**



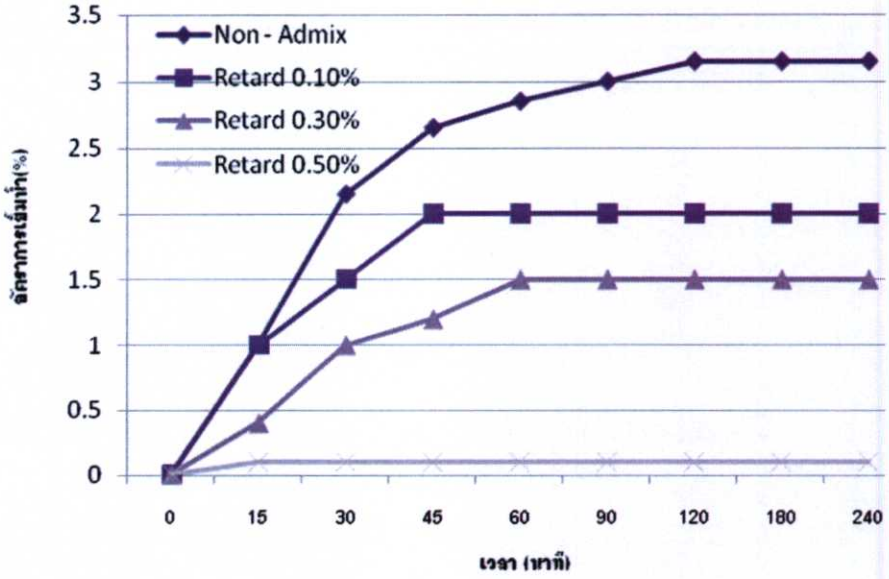

**รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.60 โดยผสมสารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture)**

จากรูปที่ 4.9-4.11 เมื่อผสมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณของสารเร่งเพิ่มขึ้นอัตราการเยิ้มน้ำสูงขึ้นด้วย และสูงที่สุด ที่ W/C 0.60

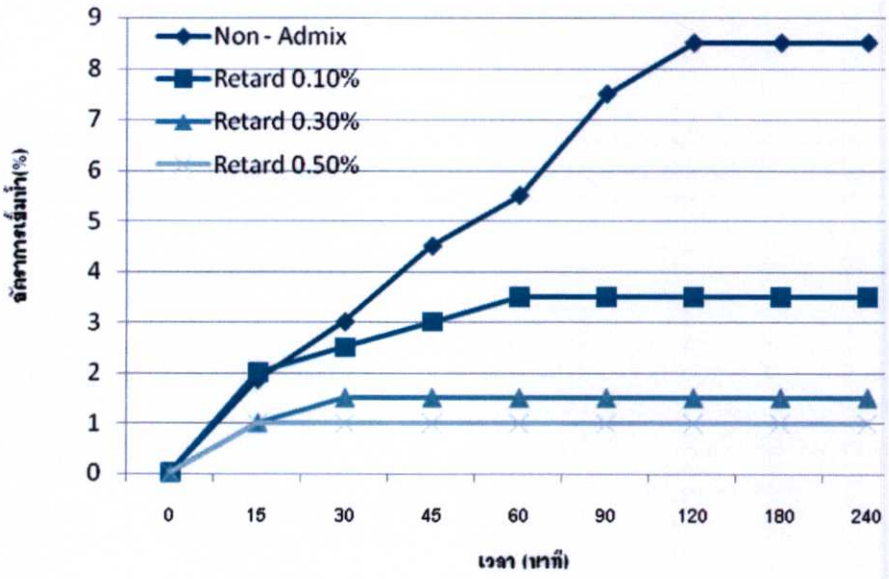
**3. ค่าอัตราการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ผสม สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture)**




**รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.40 โดยผสมสารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture)**



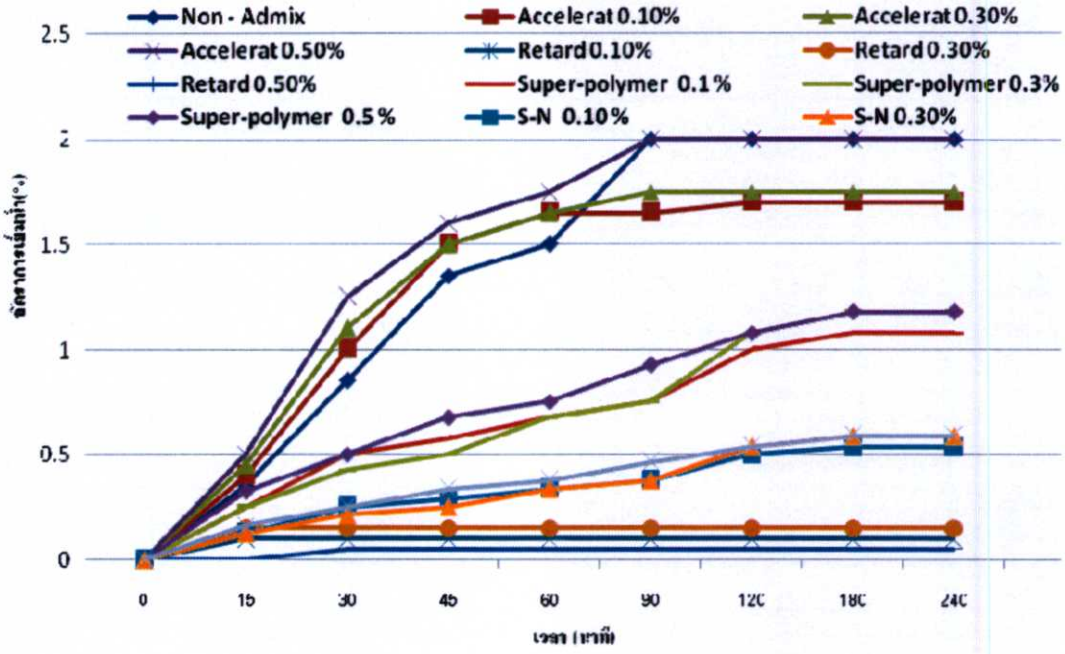

**รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.50 โดยผสมสารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture)**



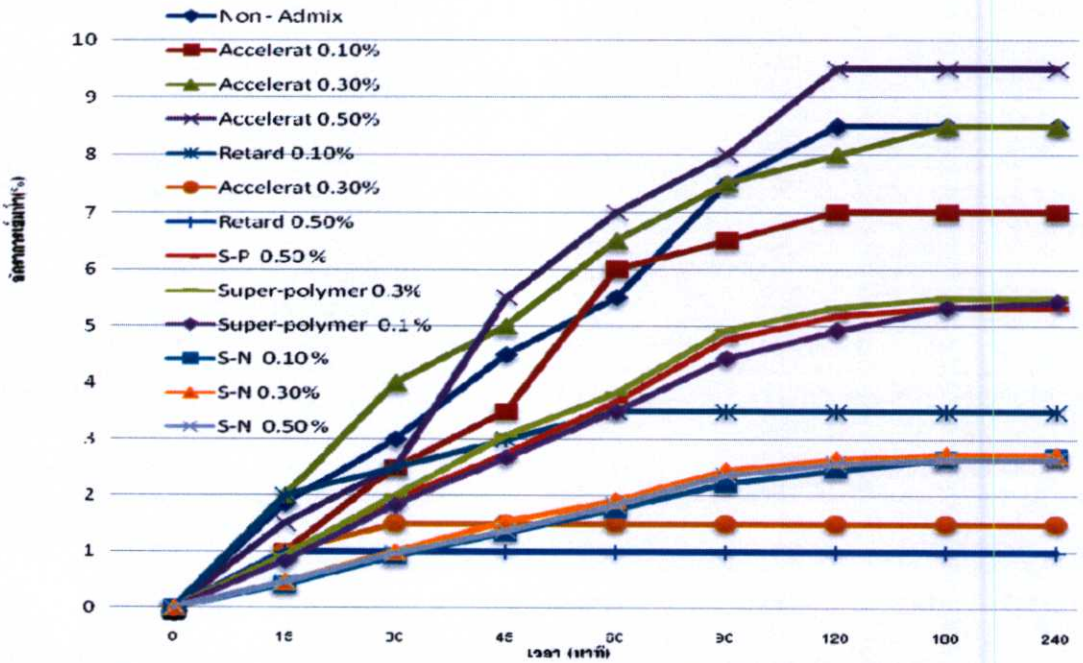

**รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.60 โดยผสมสารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture)**

จากรูปที่ 4.12-4.14 เมื่อผสมสารหน่วงการก่อตัวในปริมาณของสารหน่วงทำให้ลดอัตราการเยิ้มน้ำาบางส่วนได้อัตราการเยิ้มน้ำสูงขึ้น

4. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา โดยผสม สารผสมเพิ่มในปริมาณต่าง ๆ




รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.40 โดยผสมสารผสมเพิ่มในปริมาณต่าง ๆ



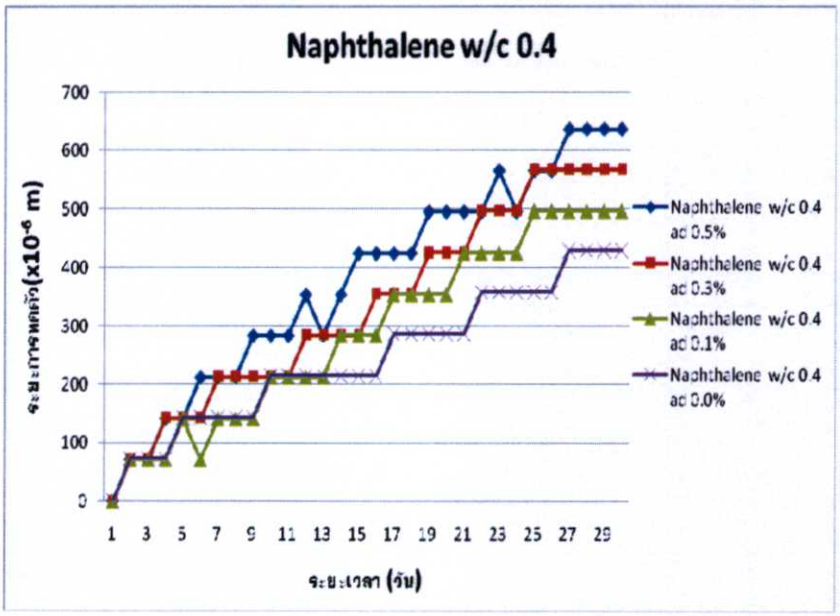

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่W/C 0.60 โดยผสมสารผสมเพิ่มในปริมาณต่าง ๆ

จาก รูปที่ 4.16-4.17 จากแนวโน้มซีเมนต์เพสต์ ที่ผสมสารเร่งการก่อตัว ที่ทุก W/C มีค่าอัตราการเยิ้มน้ำสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่ม สารหน่วงการก่อตัวมีค่าการเยิ้มต่ำ

### 4.1.3 อัตราค่าการหดตัวของมอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ผสมสารเคมีผสมเพิ่ม

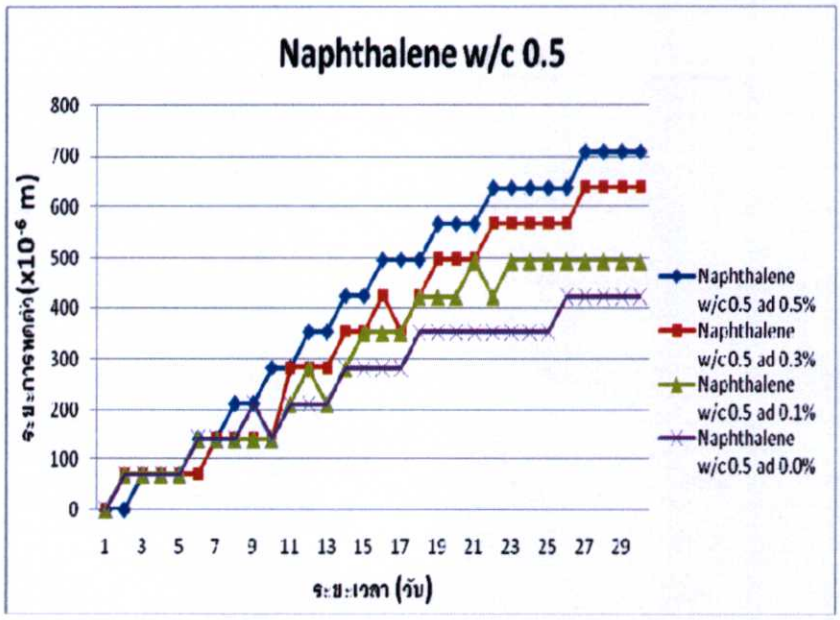
**1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Naphthalene based)**

จากความสัมพันธ์ของการหดตัวกับระยะเวลา การหดตัวของมอร์ต้าร์เมื่อใส่สารลดน้ำประเภท (Super plasticizers Naphthalene based) ยิ่งเพิ่มปริมาณสารผสมมากขึ้นการหดตัว ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังจะเห็นได้จาก รูปที่ 4.17 ที่ w/c 0.4 การหดตัวจะสูงสุดเมื่อเติมสารเคมีผสมเพิ่ม 0.5%

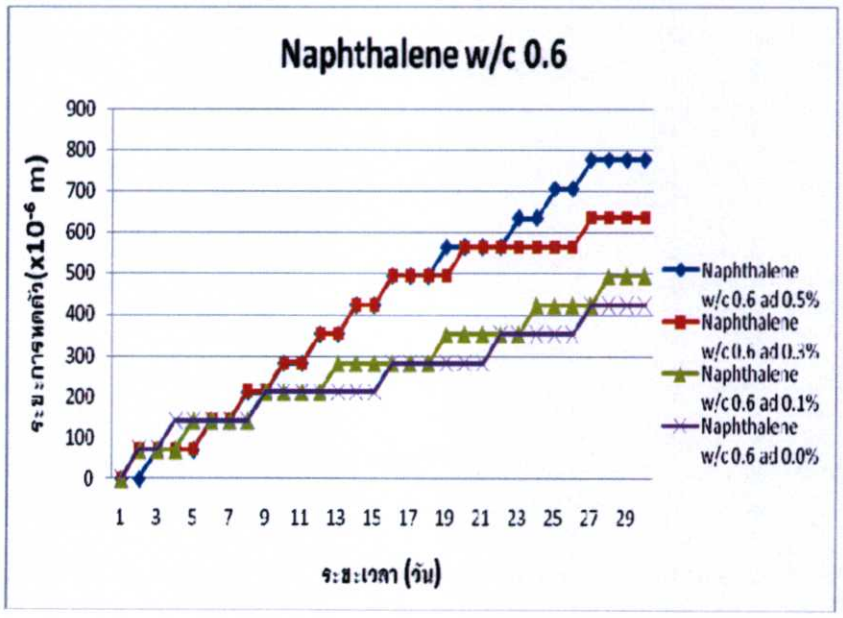



**รูปที่ 4.17 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด (Super plasticizers Naphthalene based) ที่ w/c 0.4**

ความสัมพันธ์ของการหดตัวกับระยะเวลา ของมอร์ต้าที่เติมสารลดน้ำประเภท (Super plasticizers Naphthalene based) ในรูปที่ 4.18 – 4.19 แสดงให้เห็นว่า w/c 0.5 และ w/c 0.6 เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ w/c 0.4 คือเมื่อเพิ่มปริมาณสารมากขึ้นการหดตัวก็เพิ่มขึ้นด้วย



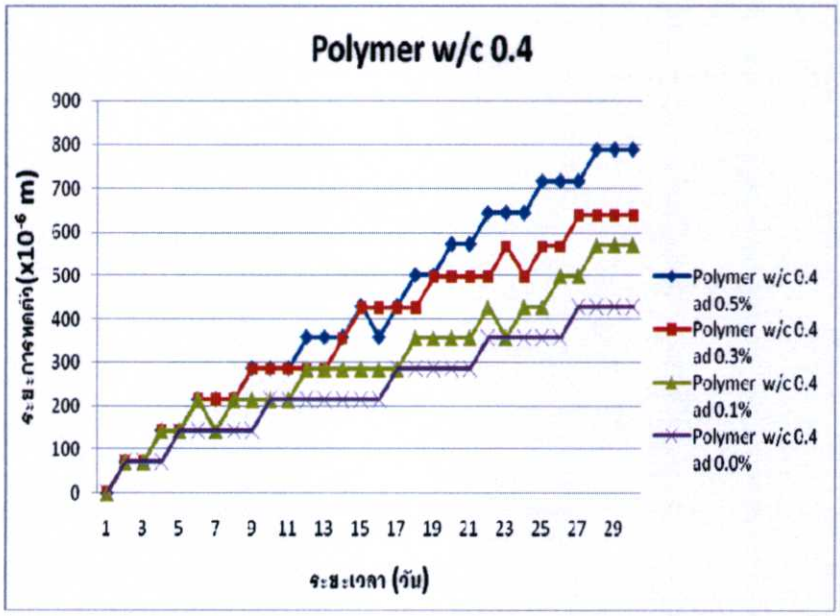

**รูปที่ 4.18 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด (Super plasticizers Naphthalene based) ที่ w/c 0.5**



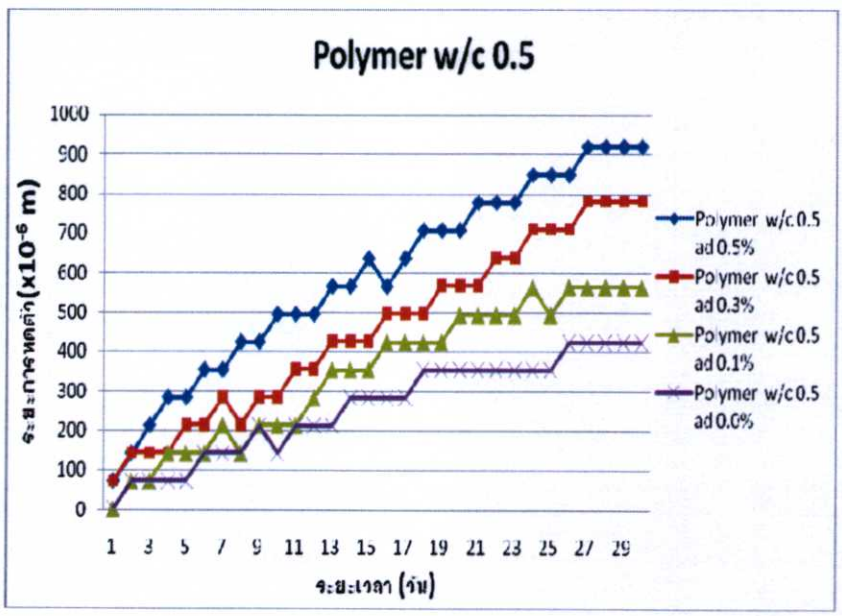

**รูปที่ 4.19 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด (Super plasticizers Naphthalene based) ที่ w/c 0.6**

จากความสัมพันธ์ของการหดตัวกับระยะเวลาในรูปที่ 4.17 -4.22 ลักษณะการหดตัวของมอร์ต้าร์เมื่อใส่สารลดน้ำประเภท (Super plasticizers Polymer based) เมื่อเพิ่มปริมาณสารผสมมากขึ้นการหดตัวก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เปรียบเทียบการหดตัวของสารทั้งสองชนิด ((Super plasticizers Naphthalene based) และ (Super plasticizers Polymer based) ที่ w/c เดียวกัน จะเห็นว่าการหดตัวของสารประเภท (Super plasticizers Polymer based) จะหดตัวมากกว่า สารประเภท (Super plasticizers Naphthalene based)

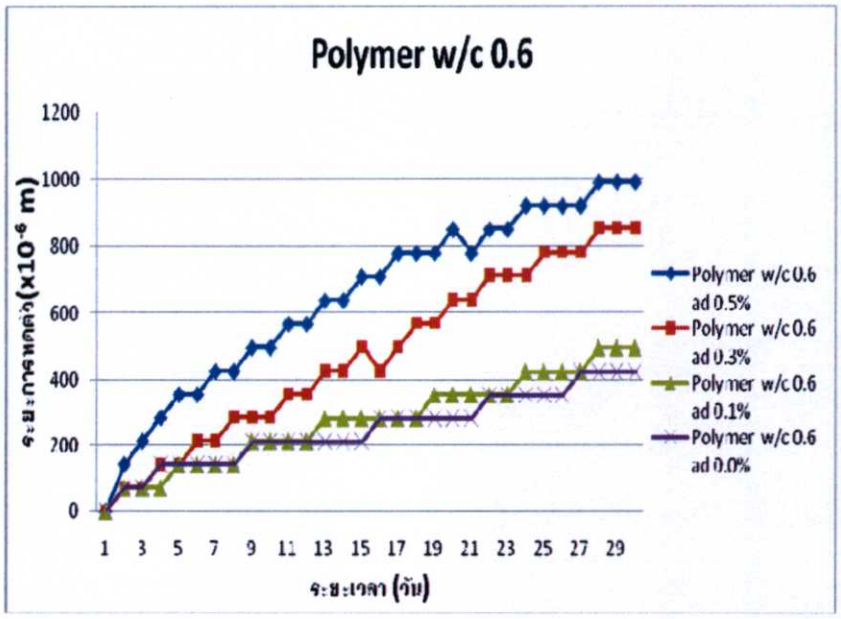
**2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Polymer based)**




**รูปที่ 4.20 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด (Super plasticizers Polymer based) ที่ w/c 0.4**



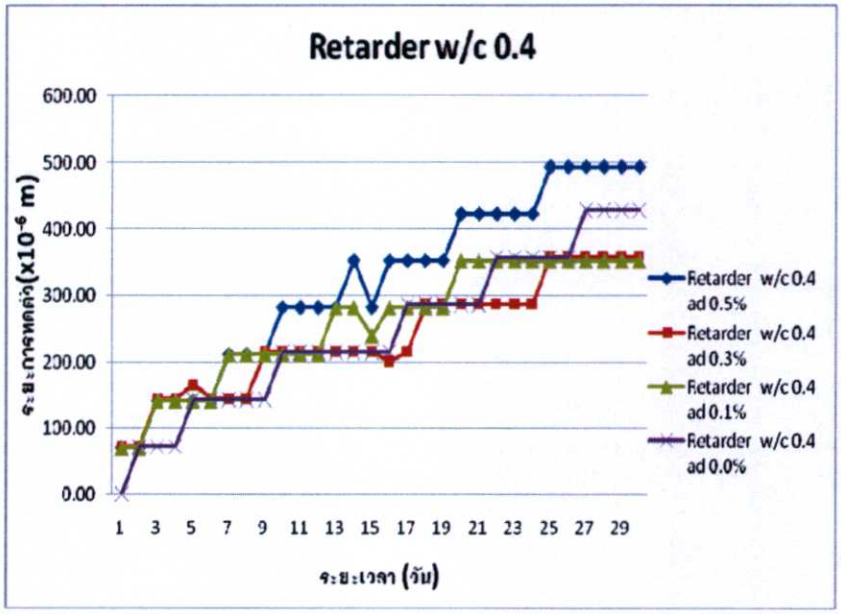

**รูปที่ 4.21 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด (Super plasticizers Polymer based) ที่ w/c 0.5**




**รูปที่ 4.22 มอร์ต้าร์เติมสารลดน้ำชนิด (Super plasticizers Polymer based) ที่ w/c 0.6**

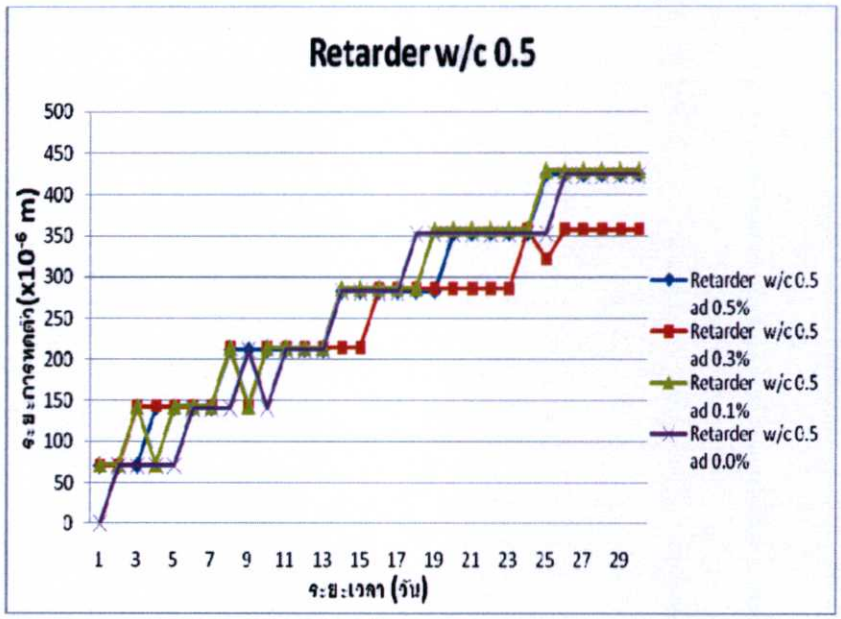
รูปที่ 4.20-4.22 การหดตัวของมอร์ต้าร์ที่เติมสารลดน้ำชนิด (Super plasticizers Polymer based)ที่ w/c 0.5และ w/c 0.6 เป็นไปในทางเดียวกันกับ w/c 0.4 พิจารณาความสัมพันธ์ของการหดตัวกับระยะเวลาได้ใน รูปที่ 4.2.5 และ 4.2.6

**3. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมสาร Retarder**

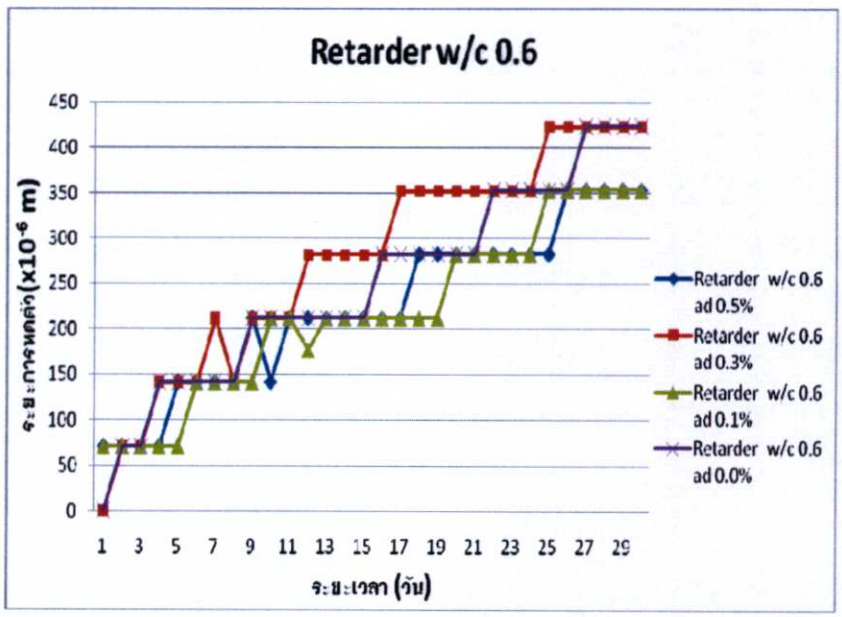



**รูปที่ 4.23 มอร์ต้าร์เติมสาร Retarder ที่ w/c 0.4**

จากความสัมพันธ์ของการหดตัวกับระยะเวลาในรูปที่ 4.23 ลักษณะการหดตัวของมอร์ต้าร์เมื่อใส่สารหน่วงการก่อตัวที่ w/c 0.4 เมื่อเพิ่มปริมาณสารผสมมากขึ้นการหดตัวยังคงใกล้เคียงกับชิ้นงานที่ไม่ได้ใส่สารหน่วงการก่อตัว




**รูปที่ 4.24 มอร์ต้าร์เติมสาร Retarder ที่ w/c 0.5**



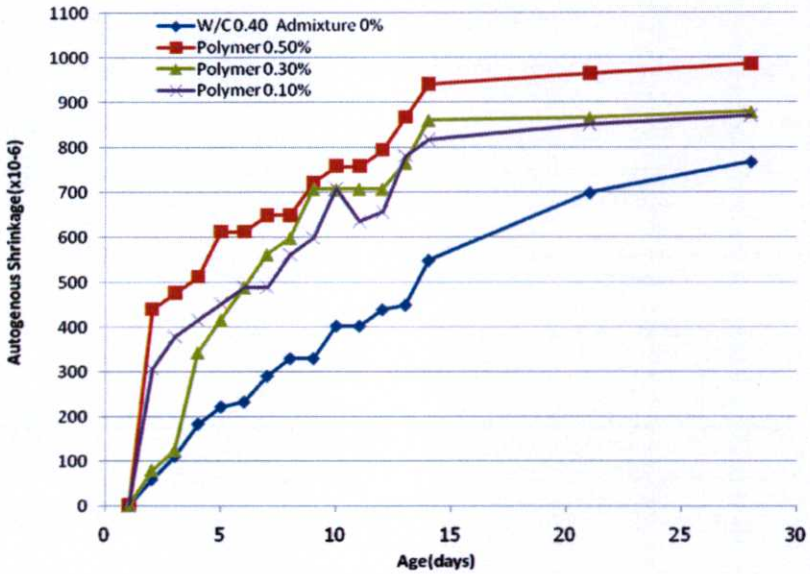

**รูปที่ 4.25 มอร์ต้าร์เติมสาร Retarder ที่ w/c 0.6**

การหดตัวของคอนกรีตที่เติมสาร Retarder ที่ w/c 0.5และ w/c 0.6 เป็นไปในทางเดียวกันกับ w/c 0.4 พิจารณาความสัมพันธ์ของการหดตัวกับระยะเวลาได้ใน รูปที่ 4.24 และ 4.25

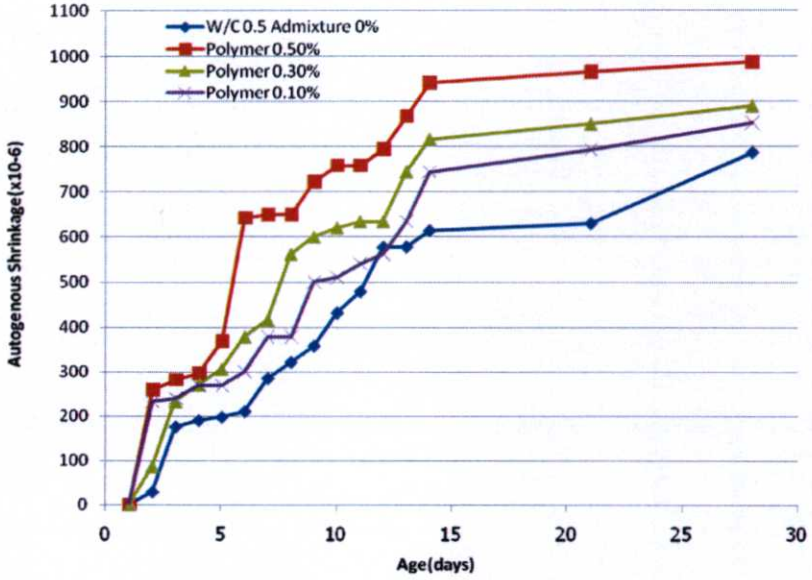
## 4.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ที่ผสมสารเคมีผสมเพิ่ม และบ่มด้วยอุณหภูมิในช่วงต้น

### 4.2.1 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

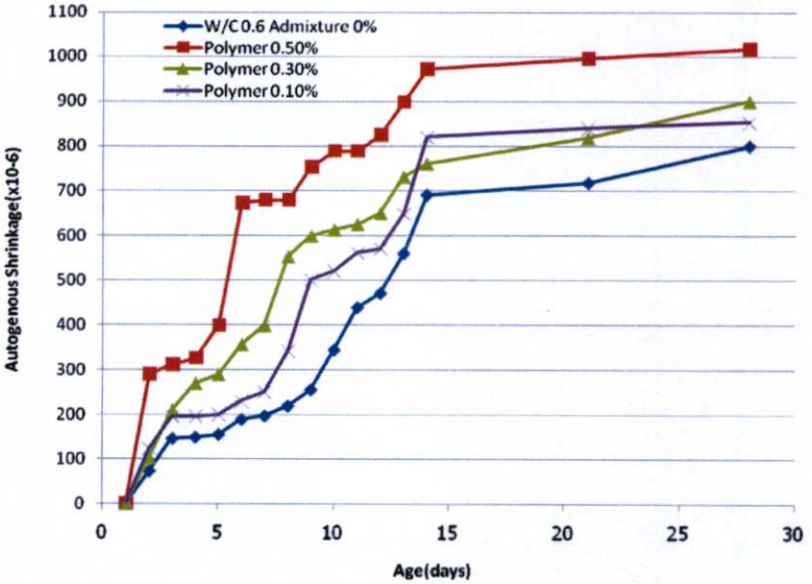
**1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Polymer based)**




**รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (Super plasticizers Polymer based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**



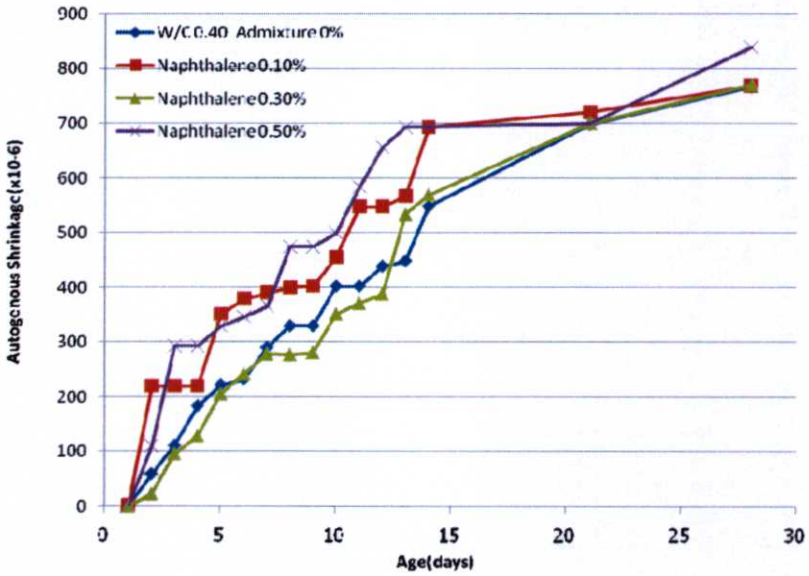

**รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Super plasticizers Polymer) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**



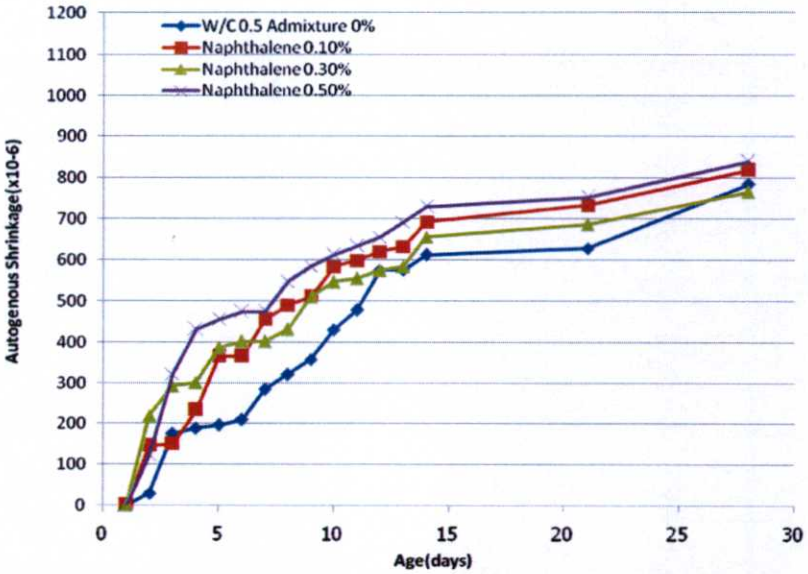

**รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (Super plasticizers Polymer based)ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

จากรูปที่ 4.26-4.28 สรุปอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Super plasticizers Polymer based)ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น จากกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ในช่วง 1 - 15 วัน หลังแกะแบบอัตราการหดตัวค่อนข้างสูง ลักษณะของกราฟอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนของ (Super plasticizers Polymer based)ที่ผสมเพิ่มและอัตราส่วนการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ มีสูง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสม (Super plasticizers Polymer based)เมื่อปริมาณน้ำต่อซีเมนต์สูงขึ้นอัตราการหดตัวสูงขึ้นตามด้วย

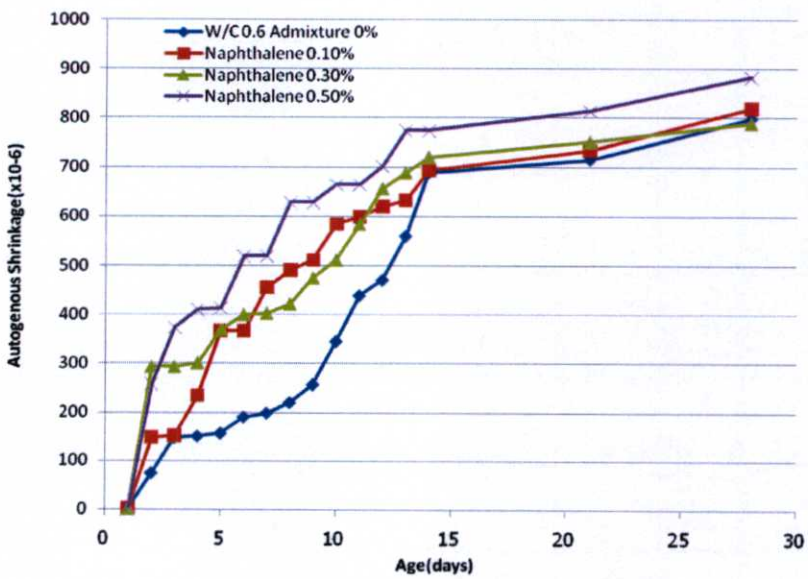
**2. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Naphthalene based)**




**รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (S-P) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**



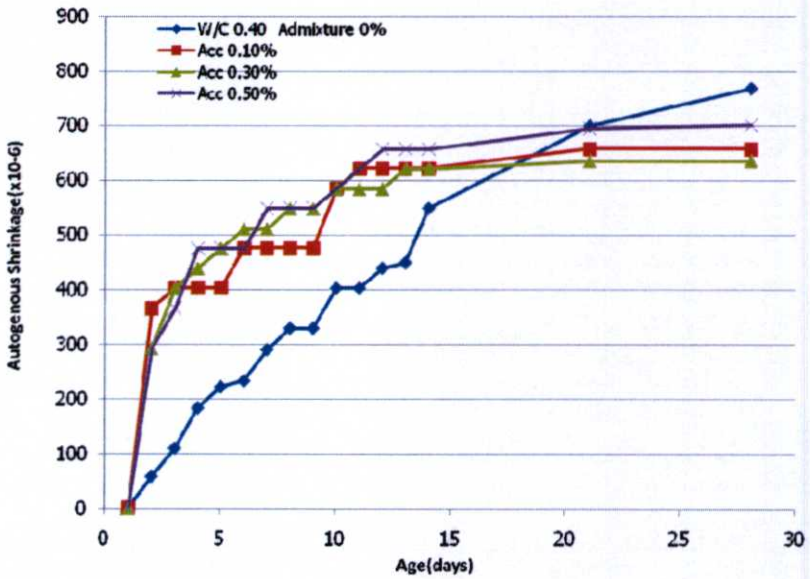

**รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในช่วงต้น**



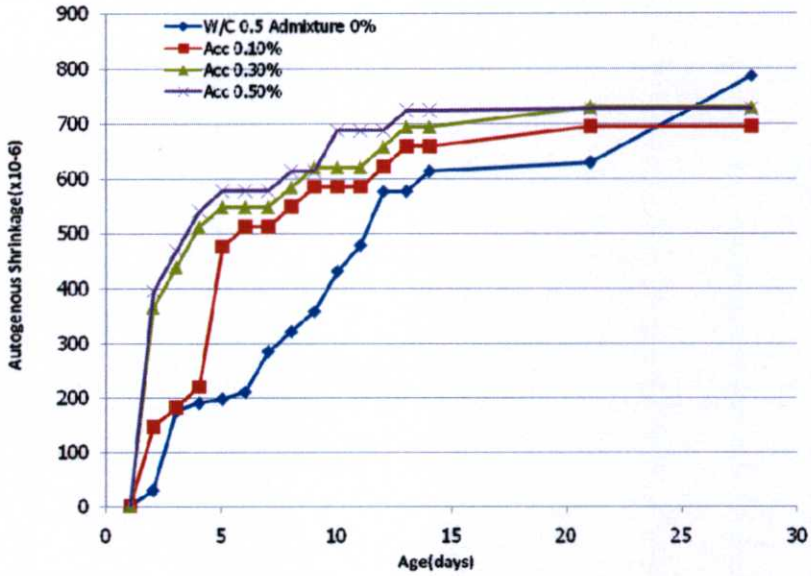

**รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในช่วงต้น**

จากรูปที่ 4.29-4.31 สรุปอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น จากกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ในช่วง 1 - 15 วัน หลังแกะแบบอัตราการหดตัวค่อนข้างสูง ลักษณะของกราฟอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของ (Super plasticizers Naphthalene based) ที่ผสมเพิ่มและอัตราส่วนการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ มีสูง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสม (Super plasticizers Naphthalene based) เมื่อปริมาณน้ำต่อซีเมนต์สูงขึ้นอัตราการหดตัวสูงขึ้นตามด้วย

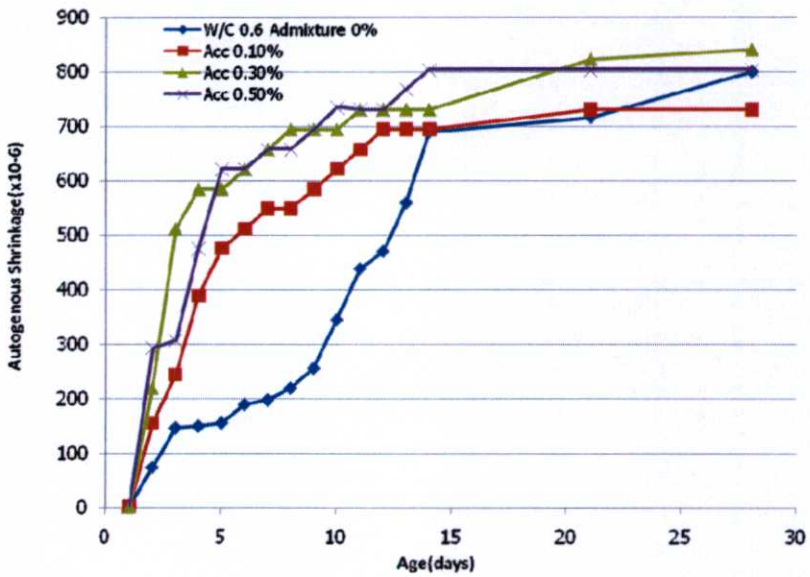
**3. ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสม สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture)**




**รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (Accelerating Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**



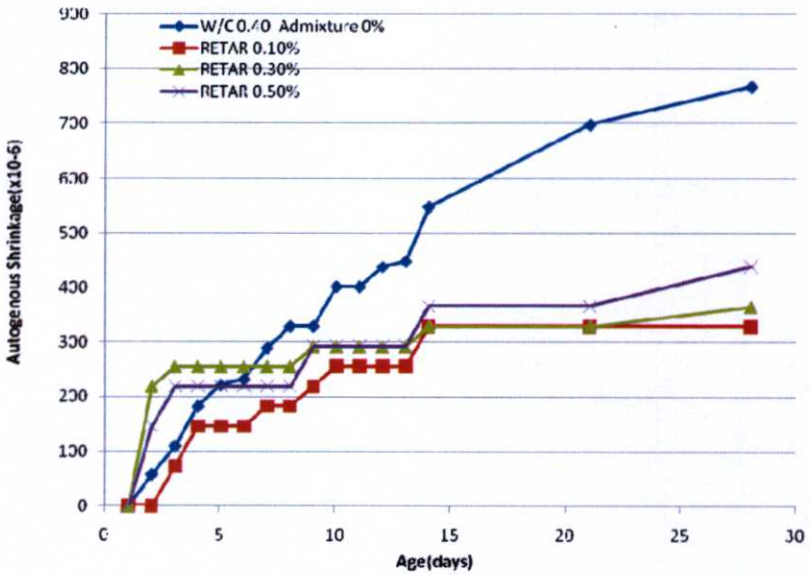

**รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Accelerating Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**



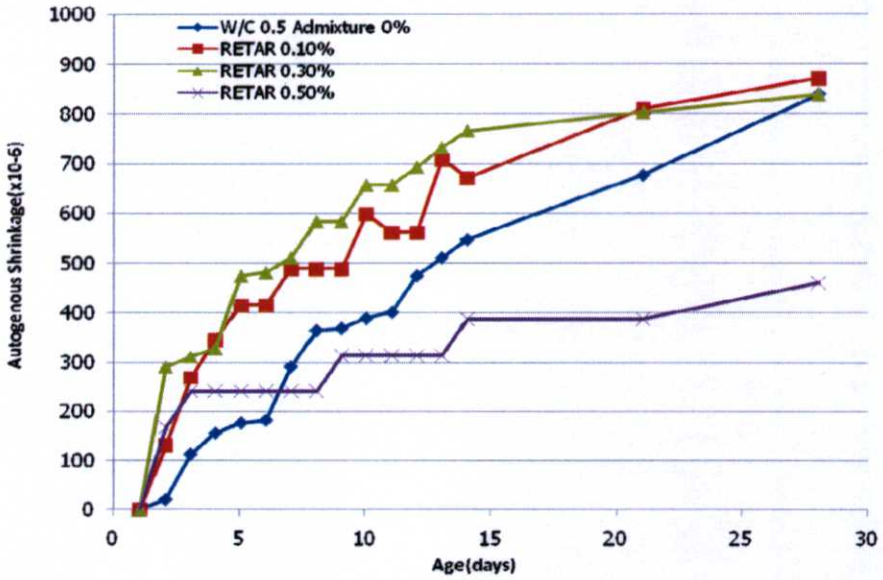

**รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (Accelerating Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

จากรูปที่ 4.32-4.34 สรุปอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Accelerating Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น จากกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ในช่วง 1 - 15 วัน หลังแกะแบบอัตราการหดตัวค่อนข้างสูง ลักษณะของกราฟอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนของ (Accelerating Admixture) ที่ผสมเพิ่มและอัตราส่วนการหดตัวของซีเมนต์เพสต์มีสูง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสม (Accelerating Admixture) เมื่อปริมาณน้ำต่อซีเมนต์สูงขึ้นอัตราการหดตัวสูงขึ้นตามด้วย

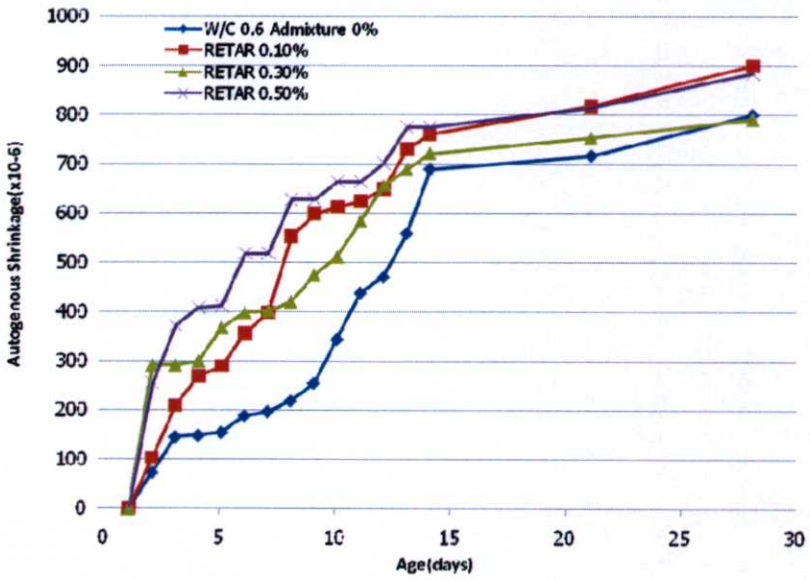
**5. ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสม สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture)**




**รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**




**รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

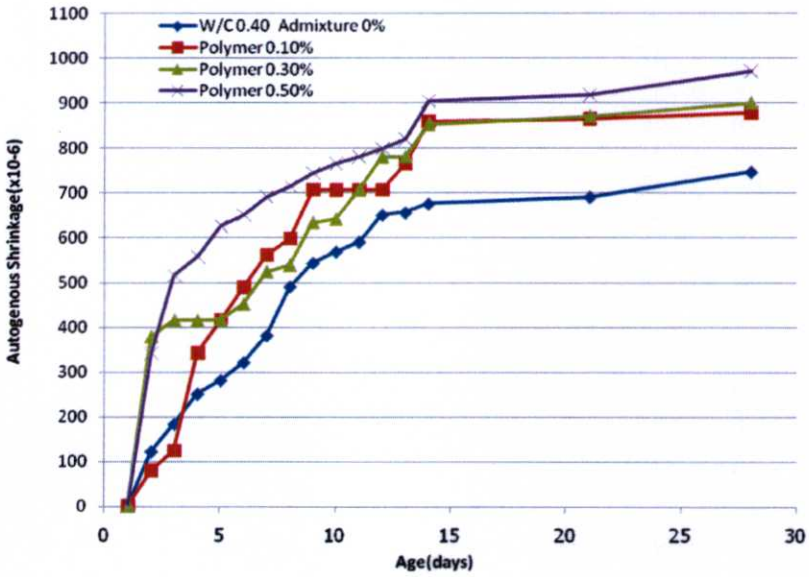



**รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

จากรูปที่ 4.35-4.37 สรุปอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น จากกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ในช่วง 1 - 15 วัน หลังแกะแบบอัตราการหดตัวค่อนข้างสูง ลักษณะของกราฟอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนของ (Retarding Admixture) ที่ผสมเพิ่มและอัตราส่วนการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ มีสูง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสม (Retarding Admixture) เมื่อปริมาณน้ำต่อซีเมนต์สูงขึ้นอัตราการหดตัวสูงขึ้นตามด้วย

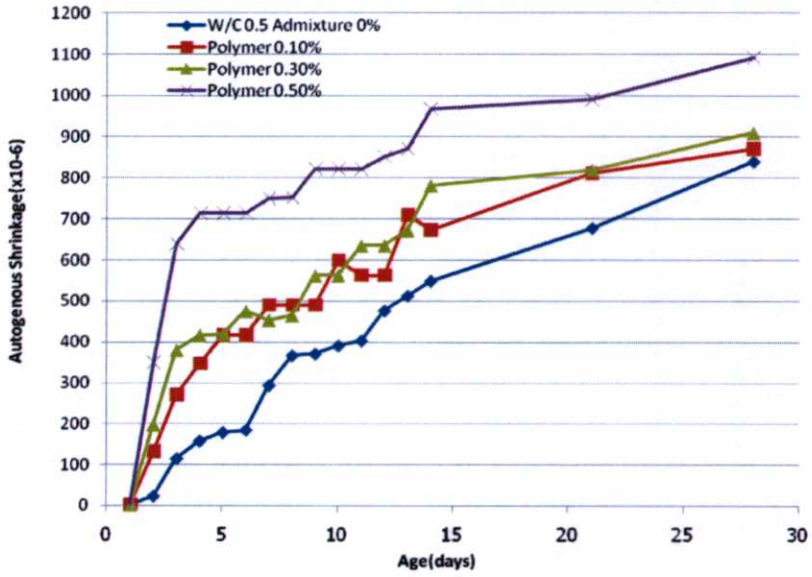
### 4.2.2 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

**1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Polymer based)**

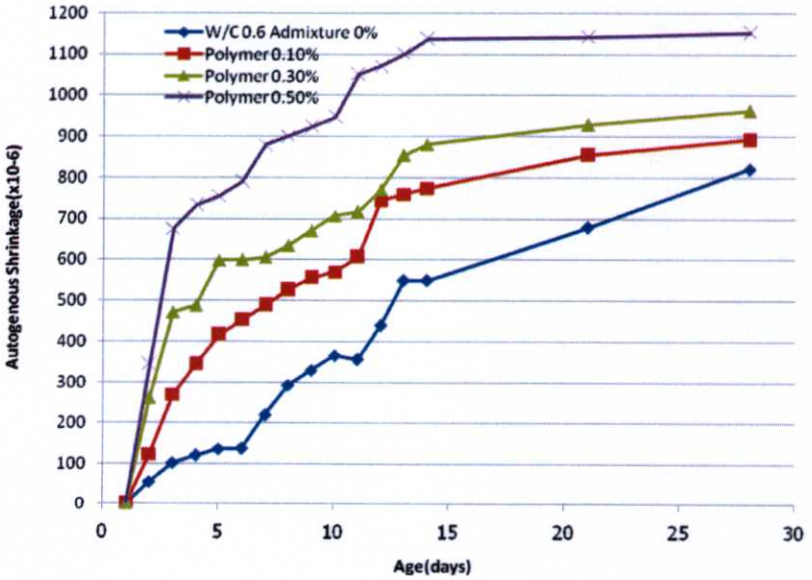



**รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (S-P) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

**4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ โดยผสม (Super plasticizers Polymer based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**




**รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Super plasticizers Polymer based)ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

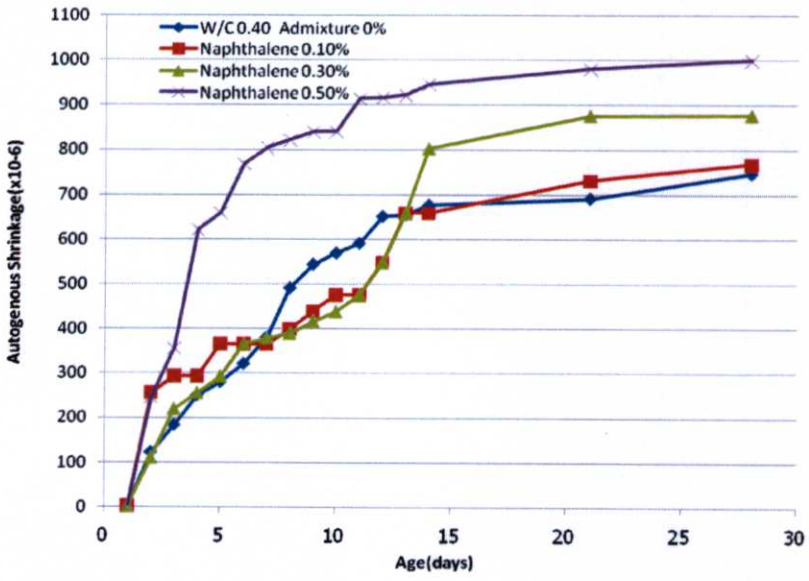



**รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (Super plasticizers Polymer based)ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

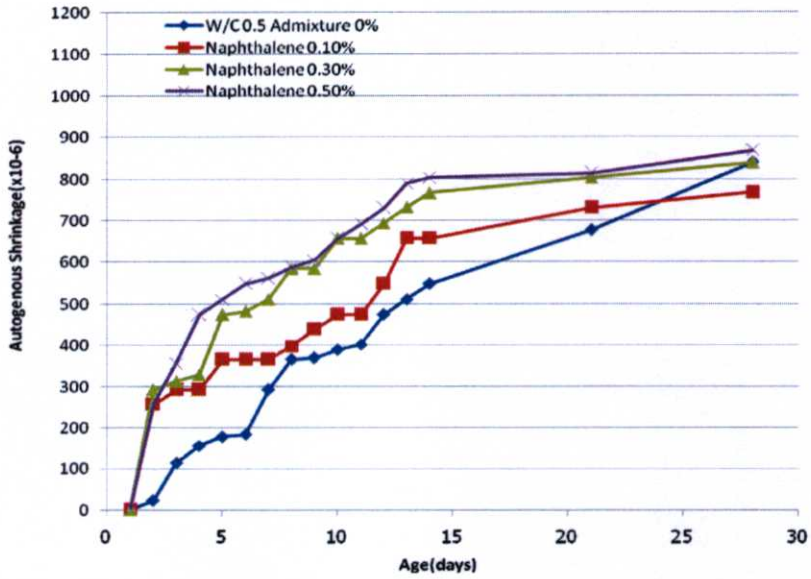
จากรูปที่ 4.38-4.40 สรุปอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Super plasticizers Polymer based)ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น จากกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ในช่วง 1 - 15 วัน หลังแกะแบบอัตราการหดตัวค่อนข้างสูง ลักษณะของกราฟอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนของ (Super plasticizers Polymer based)ที่ผสมเพิ่มและอัตราส่วนการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ มีสูง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสม (Super plasticizers Polymer based)เมื่อปริมาณน้ำต่อซีเมนต์สูงขึ้นอัตราการหดตัวสูงขึ้นตามด้วย

อัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Super plasticizers Polymer based)ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น มีค่าอัตราการหดตัวสูงกว่า อัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Super plasticizers Polymer based)ในปริมาณ ต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

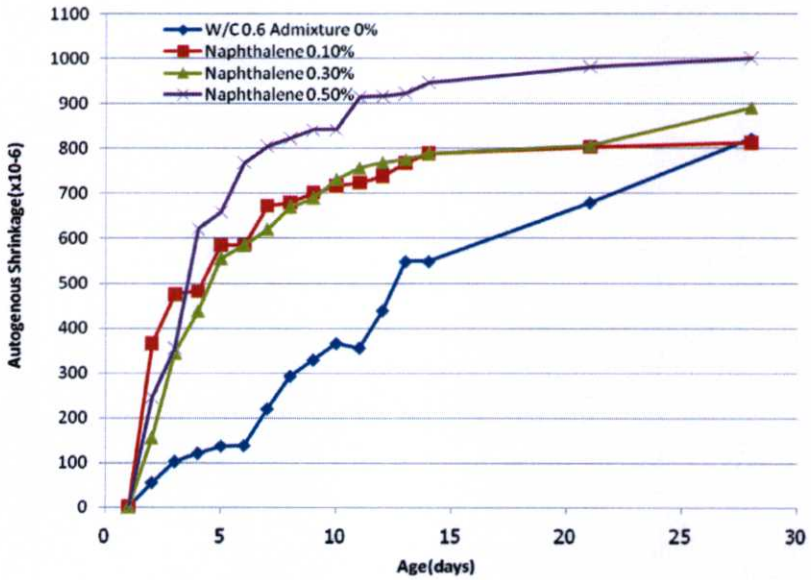
**2. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมสารลดน้ำ (Super plasticizers Naphthalene based)**




**รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**




**รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงต้น**



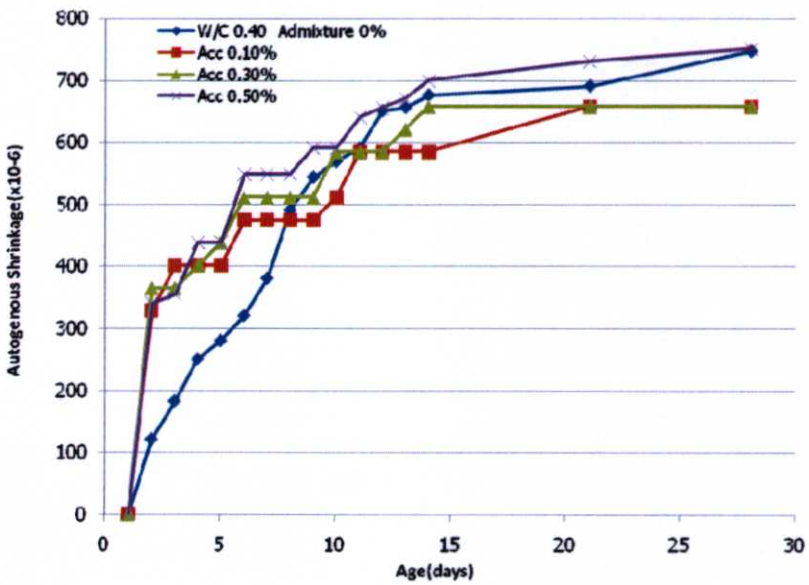

**รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงต้น**

จากรูปที่ 4.41-4.43 สรุปอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น จากกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ในช่วง 1 - 15 วัน หลังแกะแบบ

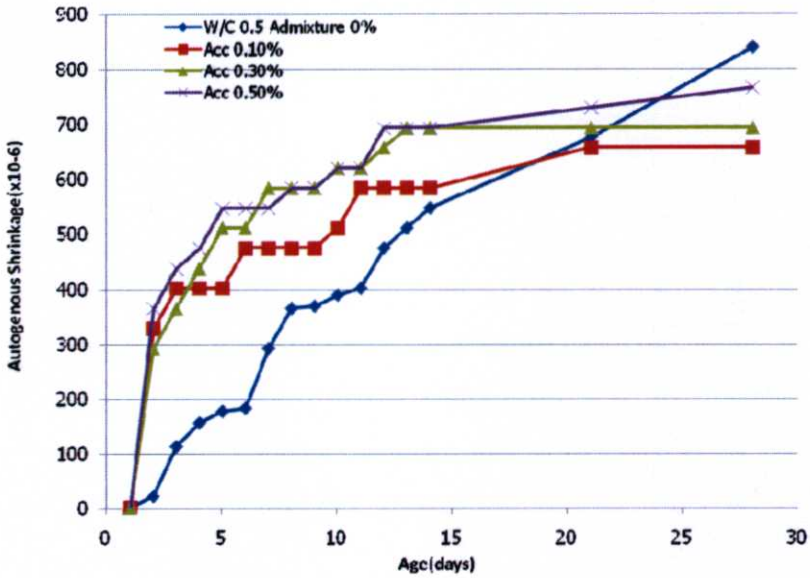
อัตราการหดตัวค่อนข้างสูง ลักษณะของกราฟอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของ (Super plasticizers Naphthalene based) ที่ผสมเพิ่มและอัตราส่วนการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ มีสูง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสม (Super plasticizers Naphthalene based) เมื่อปริมาณน้ำต่อซีเมนต์สูงขึ้นอัตราการหดตัวสูงขึ้นตามด้วย

จากผลการทดสอบอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น มีค่าการหดตัวสูงกว่า ซีเมนต์เพลส์ที่ผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

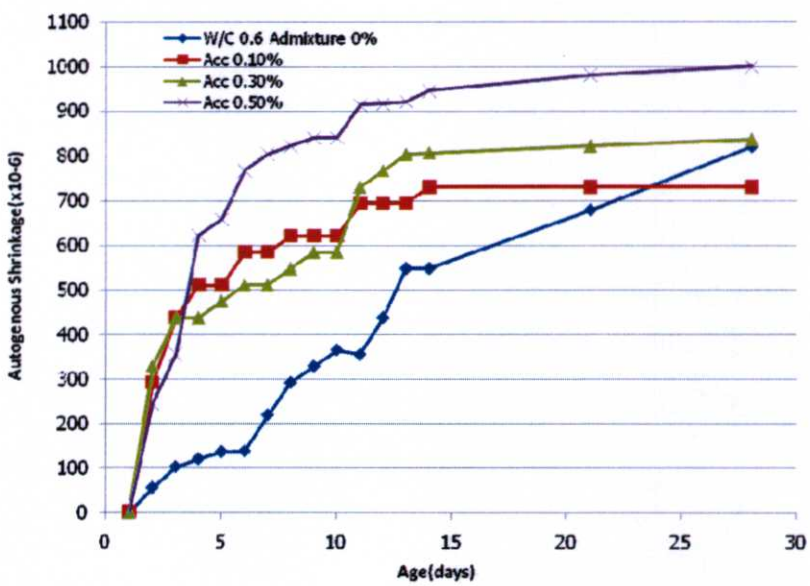
**3.ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสม สารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต (Accelerating Admixture)**




**รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม (Accelerating Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**




**รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Accelerating Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

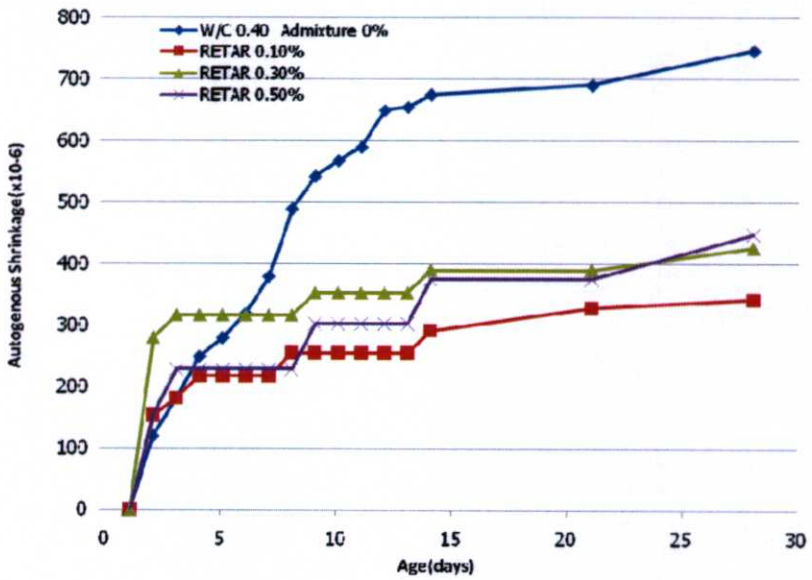



**รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม (Accelerating Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

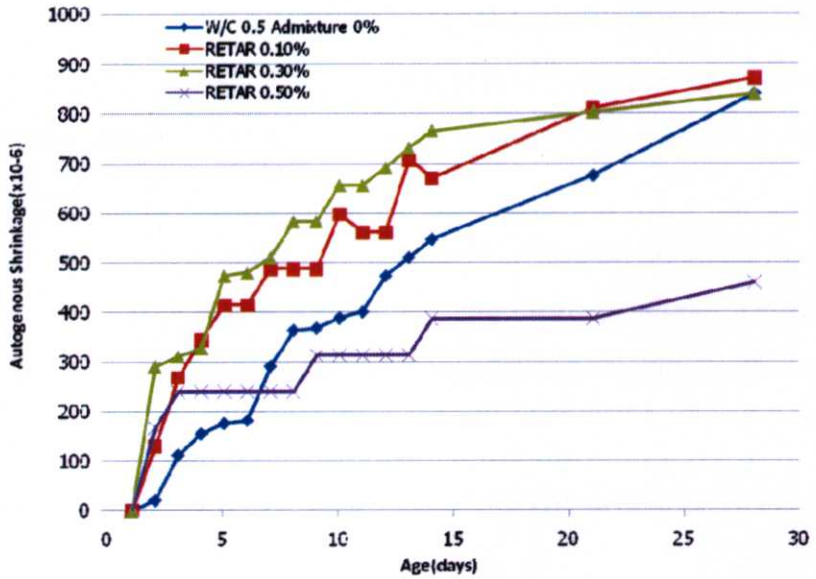
จากรูปที่ 4.44-4.46 สรุปอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Accelerating Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น จากกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ในช่วง 1 - 15 วัน หลังแกะแบบอัตราการหดตัวค่อนข้างสูง ลักษณะของกราฟอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนของ (Accelerating Admixture) ที่ผสมเพิ่มและอัตราส่วนการหดตัวของซีเมนต์เพสต์มีสูง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสม (Accelerating Admixture เมื่อปริมาณน้ำต่อซีเมนต์สูงขึ้นอัตราการหดตัวสูงขึ้นตามด้วย

จากผลการทดสอบอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Accelerating Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น มีค่าการหดตัวสูงกว่า ซีเมนต์เพลส์ที่ผสม (Accelerating Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

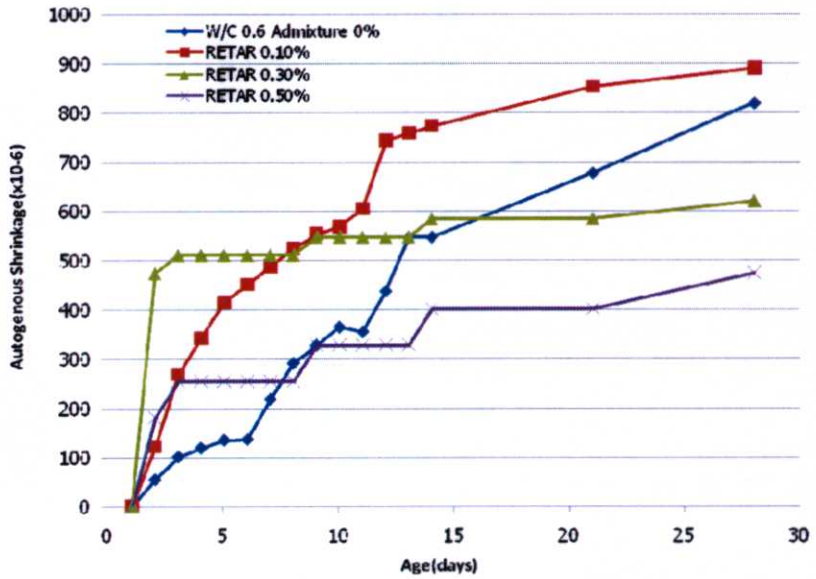
**4. ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสม สารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต (Retarding Admixture)**




**รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

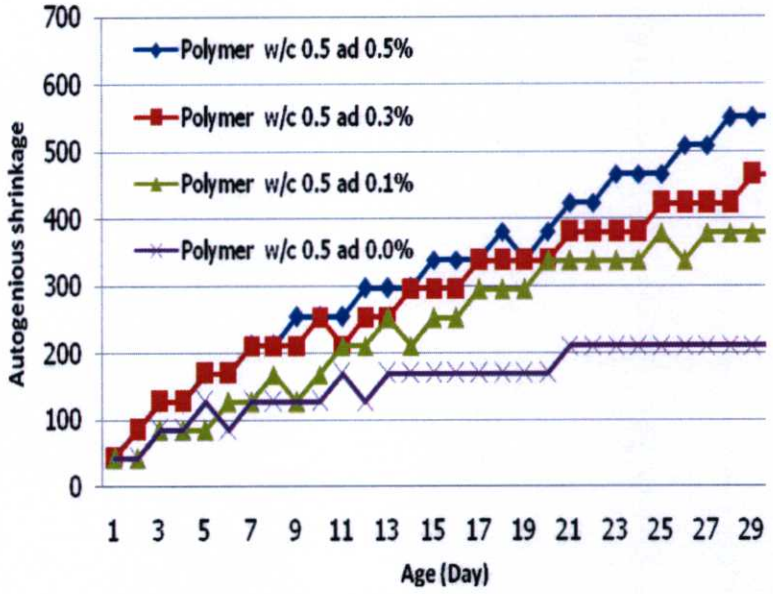



**รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

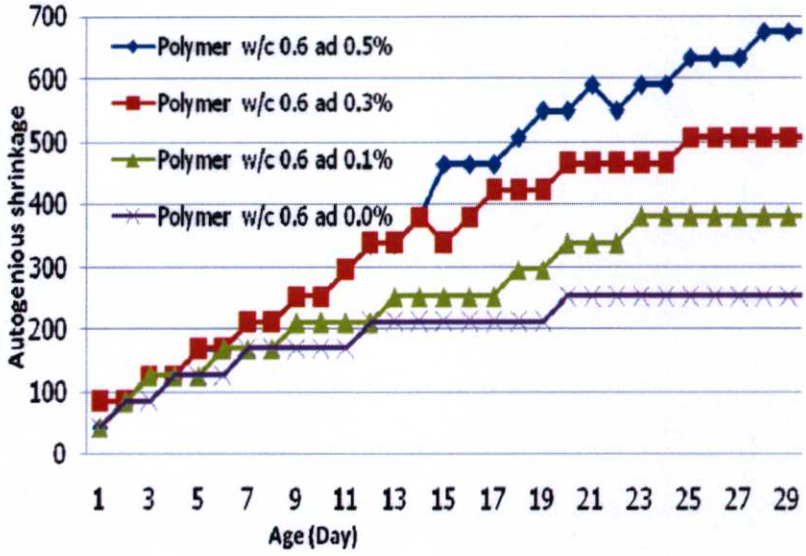



**รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

จากรูปที่ 4.47-4.49 สรุปอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Retarding Admixture) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น จากกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ในช่วง 1 - 15 วัน หลังแกะแบบอัตราการ




**รูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Super plasticizers Polymer based)ในปริมาณต่างๆ**

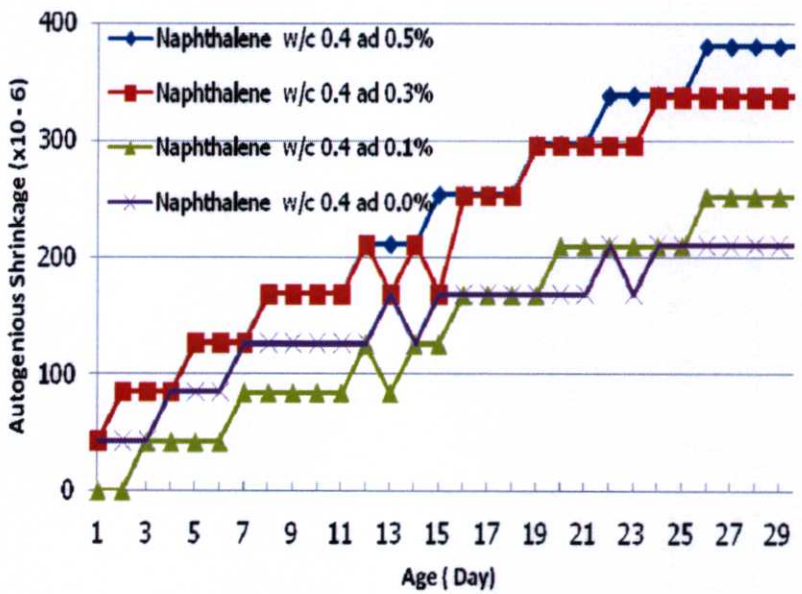



**รูปที่ 4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต ที่ W/C 0.60 โดยผสม (Super plasticizers Polymer based)ในปริมาณต่างๆ**

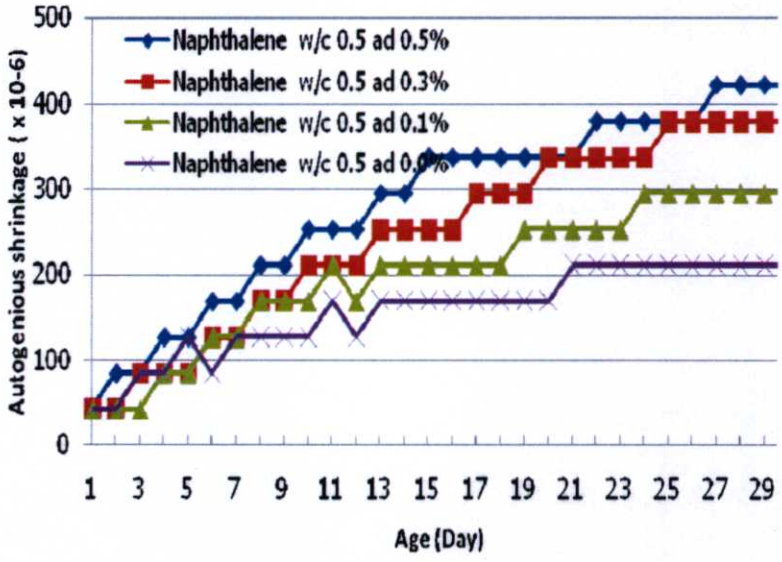
จากรูปที่ 4.50-4.52 สรุปอัตราการหดตัวของคอนกรีตโดยผสม (Super plasticizers Polymer based) ในปริมาณต่างๆ จากกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของคอนกรีต ในช่วง 1 - 15 วัน หลังแกะแบบอัตราการหดตัวค่อนข้างสูง ลักษณะของกราฟอัตราการหดตัวของคอนกรีต จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนของ (Super plasticizers Polymer based) ที่ผสมเพิ่มและอัตราส่วนการหดตัวของคอนกรีตมีสูง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสม (Super plasticizers Polymer based) และเมื่อปริมาณน้ำต่อซีเมนต์สูงขึ้นอัตราการหดตัวสูงขึ้นตามด้วย

จากผลการทดสอบอัตราการหดตัวของคอนกรีตโดยผสม (Super plasticizers Polymer based) ในปริมาณต่างๆ มีค่าการหดตัวสูงกว่า คอนกรีตที่ผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆ

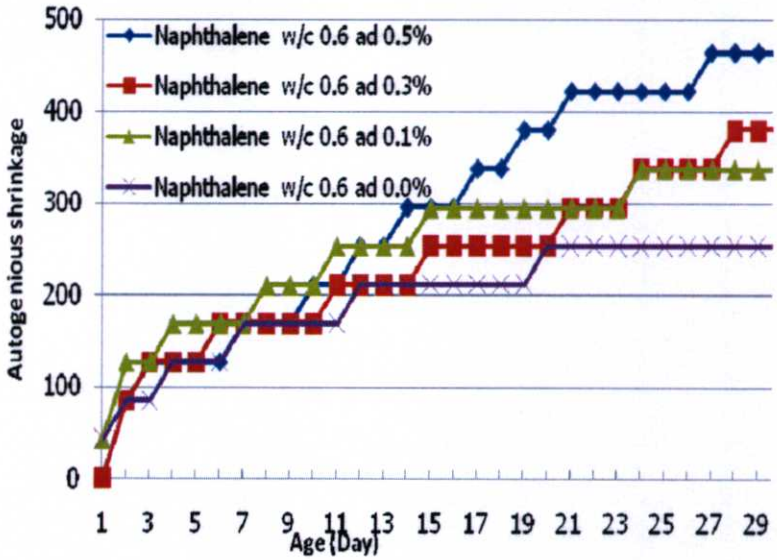
### 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆ




**รูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต ที่ W/C 0.40 โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆ**



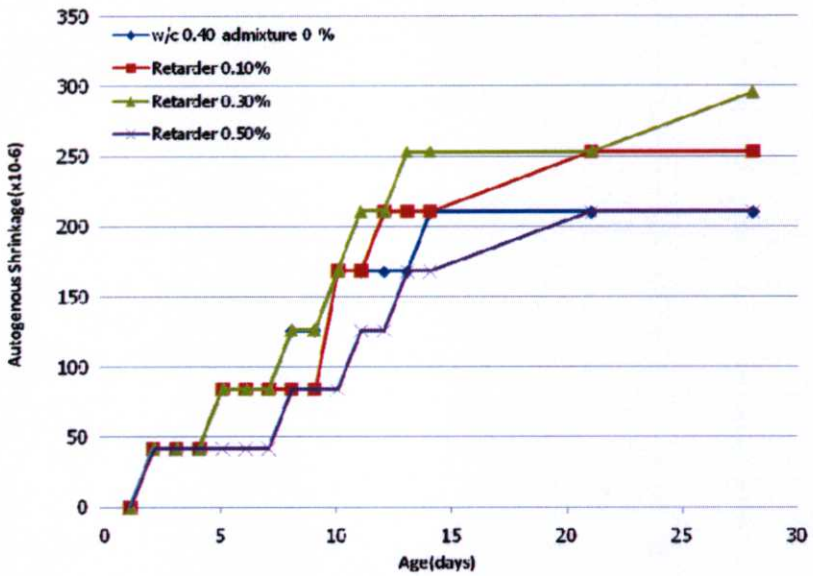

**รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต ที่ W/C 0.50 โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆ**




**รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต ที่ W/C 0.60 โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆ**

จากรูปที่ 4.53-4.55 สรุปอัตราการหดตัวของคอนกรีตโดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆ จากกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของคอนกรีต ในช่วง 1 - 15 วัน หลังแกะแบบอัตราการหดตัวค่อนข้างสูง ลักษณะของกราฟอัตราการหดตัวของคอนกรีต จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนของ (Super plasticizers Naphthalene based) ที่ผสมเพิ่มและอัตราส่วนการหดตัวของคอนกรีตมีสูง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสม (Super plasticizers Naphthalene based) และเมื่อปริมาณน้ำต่อซีเมนต์สูงขึ้นอัตราการหดตัวสูงขึ้นตามด้วย

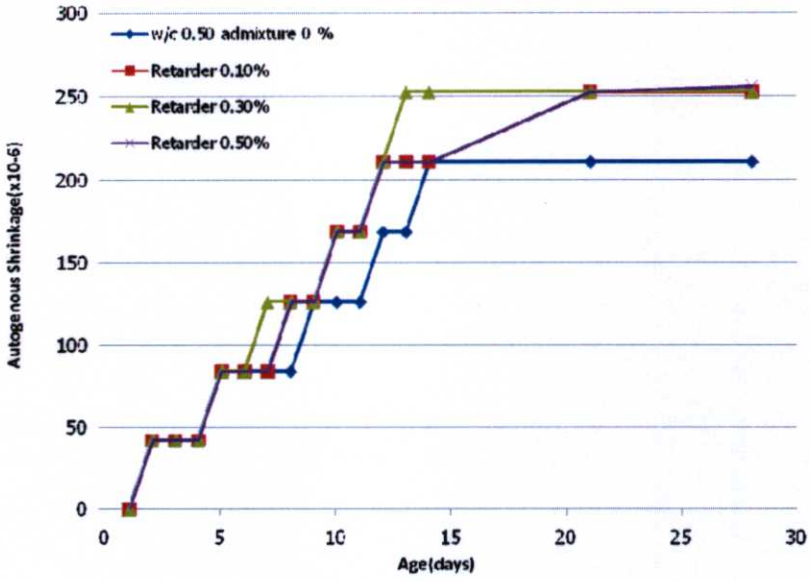
**4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวของคอนกรีต โดยผสม (Retarder) ในปริมาณต่างๆ**



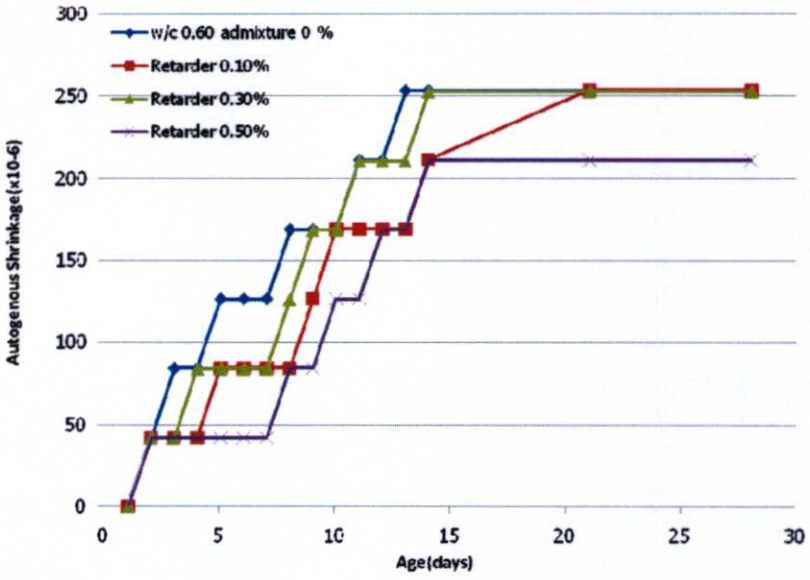

**รูปที่ 4.56 คอนกรีตเติมสาร Retarder ที่ w/c 0.4**

จากความสัมพันธ์ของการหดตัวกับระยะเวลาในรูปที่ 4.56 ลักษณะการหดตัวของคอนกรีตเมื่อใส่สารหน่วงการก่อตัว ที่w/c 0.4 เมื่อเพิ่มปริมาณสารผสมมากขึ้นการหดตัวยังคงใกล้เคียงกับชิ้นงานที่ไม่ได้ใส่สารหน่วงการก่อตัว

การหดตัวของคอนกรีตที่เติมสาร Retarder ที่ w/c 0.5และ w/c 0.6 เป็นไปในทางเดียวกันกับ w/c 0.4 พิจารณาความสัมพันธ์ของการหดตัวกับระยะเวลาได้ใน รูปที่ 4.57 และ 4.58



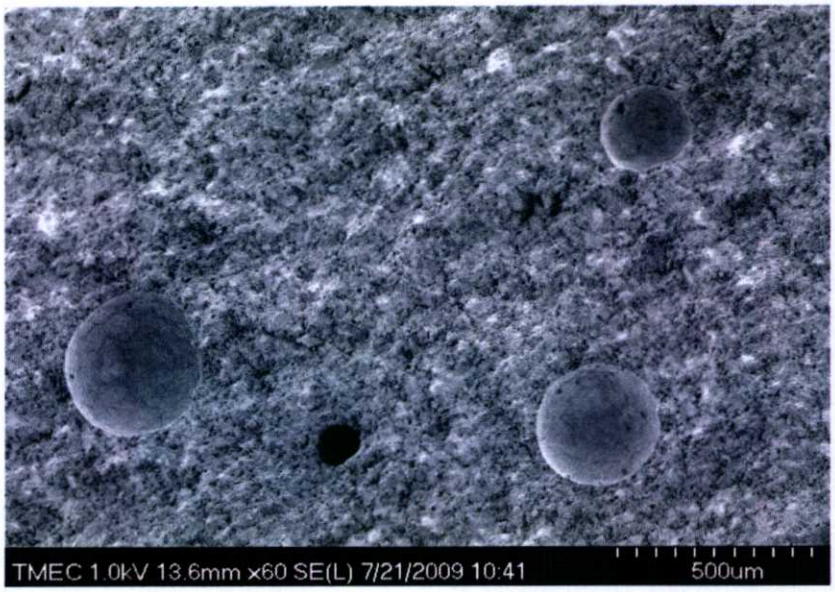

**รูป ที่ 4.57 คอนกรีตเติมสาร Retarder ที่ w/c 0.5**




**รูปที่ 4.58 คอนกรีตเติมสาร Retarder ที่ w/c 0.6**

## 4.4 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของซีเมนต์เพลสต์ ที่บ่มในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และ ผสมสารผสมเพิ่มในปริมาที่ต่างกัน




**รูปที่ 4.59 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลสต์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 60 เท่า W/C 0.40 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

**รูปที่ 4.60 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลสต์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่า W/C 0.40 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

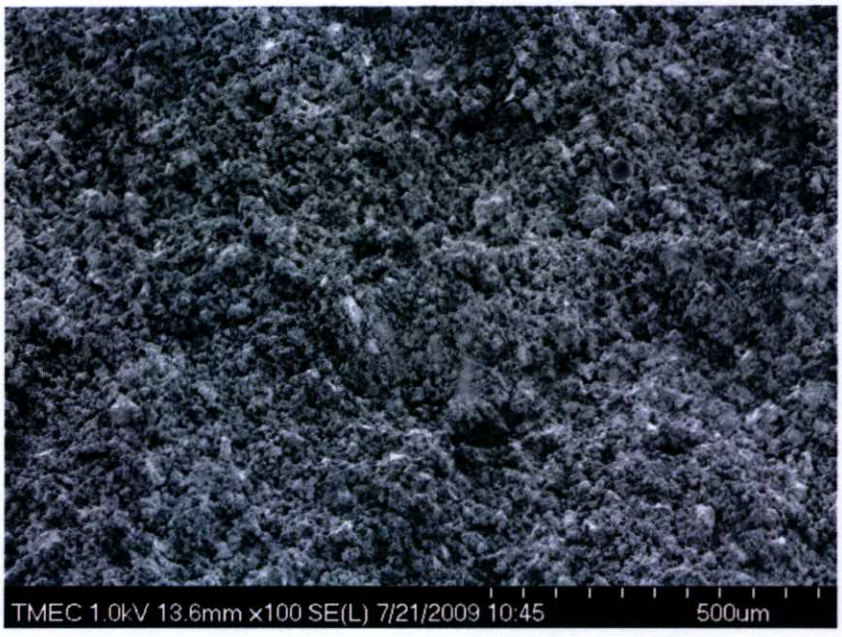
**รูปที่ 4.61** แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า W/C 0.40 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

**รูปที่ 4.62** แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 60 เท่า W/C 0.50 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

**รูปที่ 4.63** แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่า W/C 0.50 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

**รูปที่ 4.64** แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า W/C 0.50 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

**รูปที่ 4.65** แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 60 เท่า W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

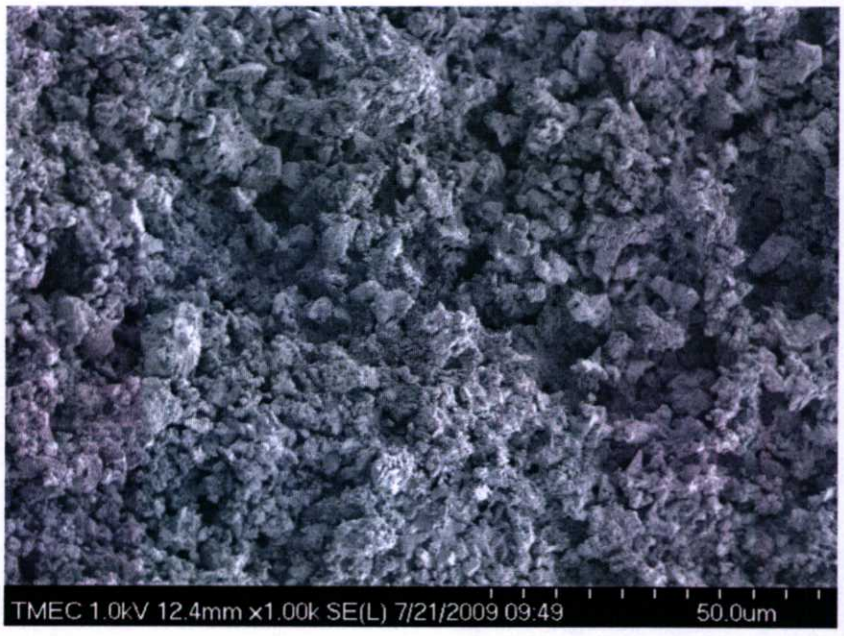



**รูปที่ 4.66** แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่า W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

**รูปที่ 4. 67 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

**รูปที่ 4. 68 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 60 เท่า W/C 0.40 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

**รูปที่ 4. 69 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่า W/C 0.40 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

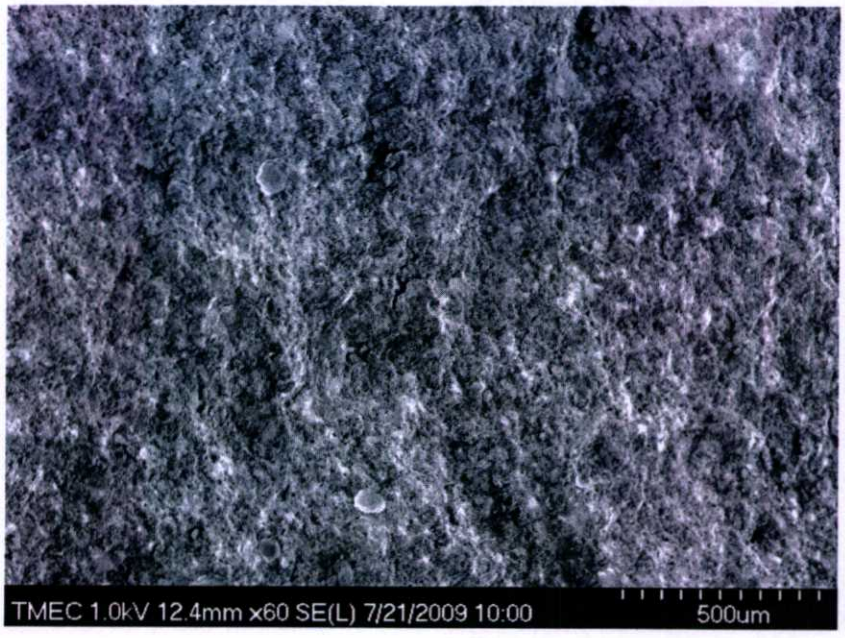



**รูปที่ 4. 70 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า W/C 0.40 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

**รูปที่ 4. 71 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า W/C 0.50 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

**รูปที่ 4. 72 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 200 เท่า W/C 0.50 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

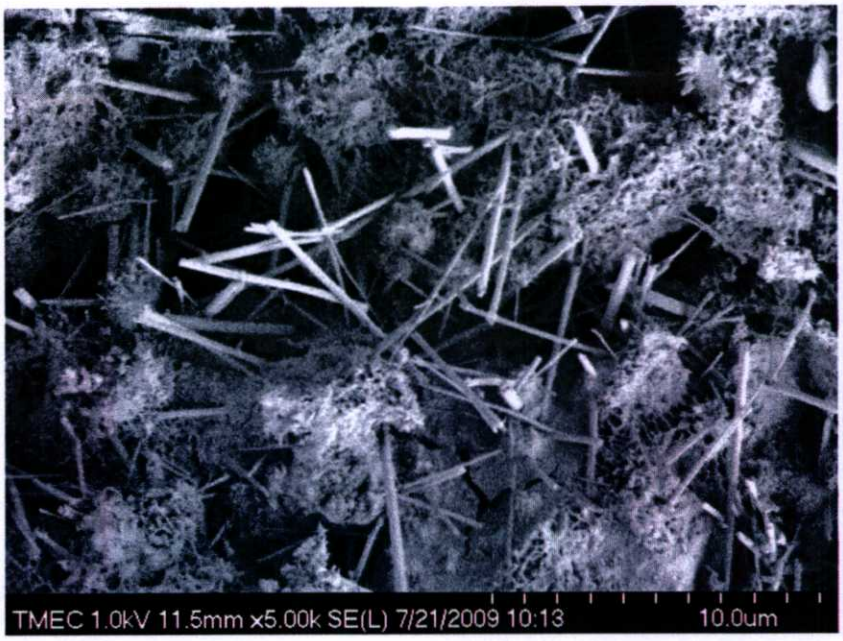
**รูปที่ 4. 73 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า W/C 0.50 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**




**รูปที่ 4. 74 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 60 เท่า W/C 0.60 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

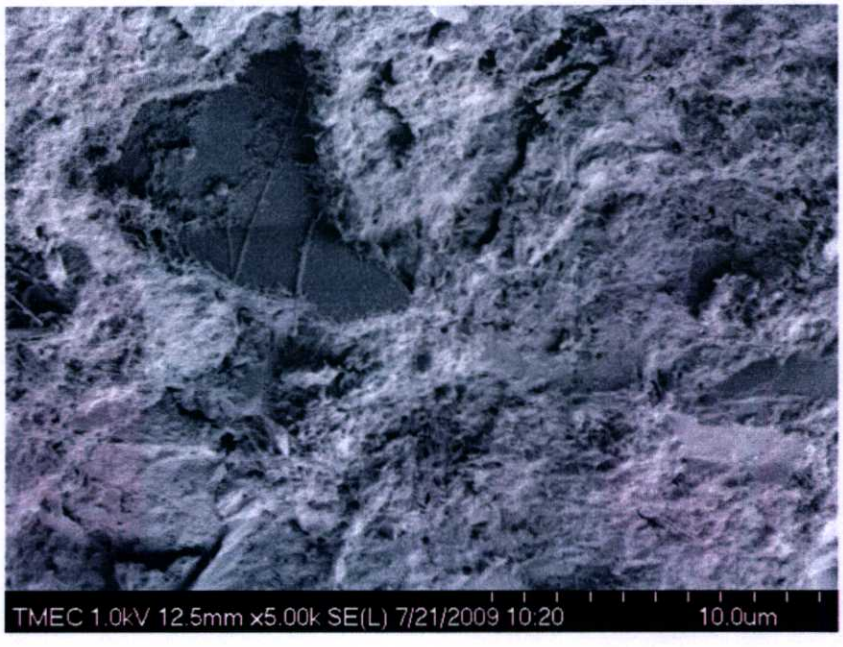
**รูปที่ 4. 75 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่า W/C 0.60 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

**รูปที่ 4. 76 แสดงโครงสร้างผลึกซีเมนต์เพลส์ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า W/C 0.60 โดยผสม สารหน่วงการก่อตัว0.05 % บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น**

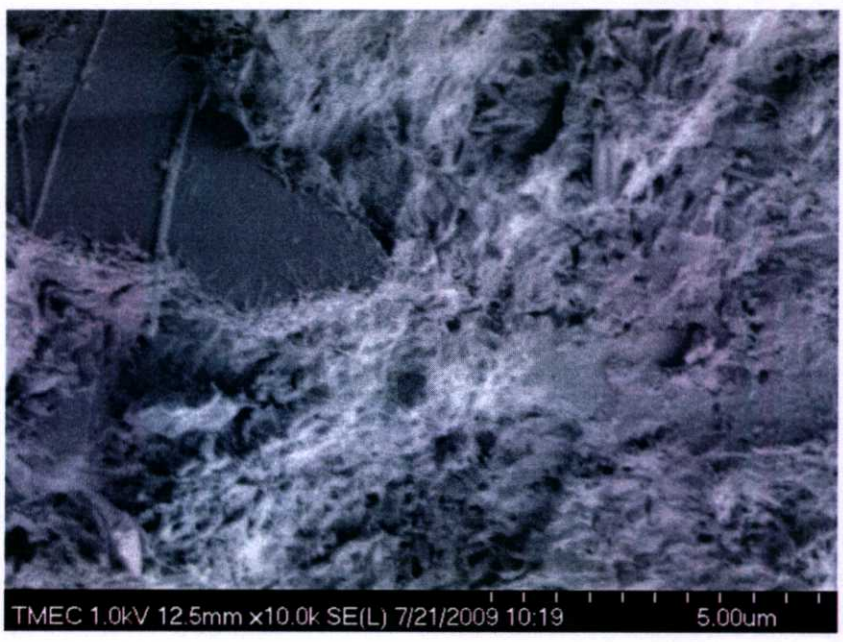



**รูปที่ 4.77 แสดงโครงสร้างผลึกคอนกรีต ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.03 %**

**รูปที่ 4. 78 แสดงโครงสร้างผลึกคอนกรีต ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.03 %**




**รูปที่ 4. 79 แสดงโครงสร้างผลึกคอนกรีต ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.03 %**



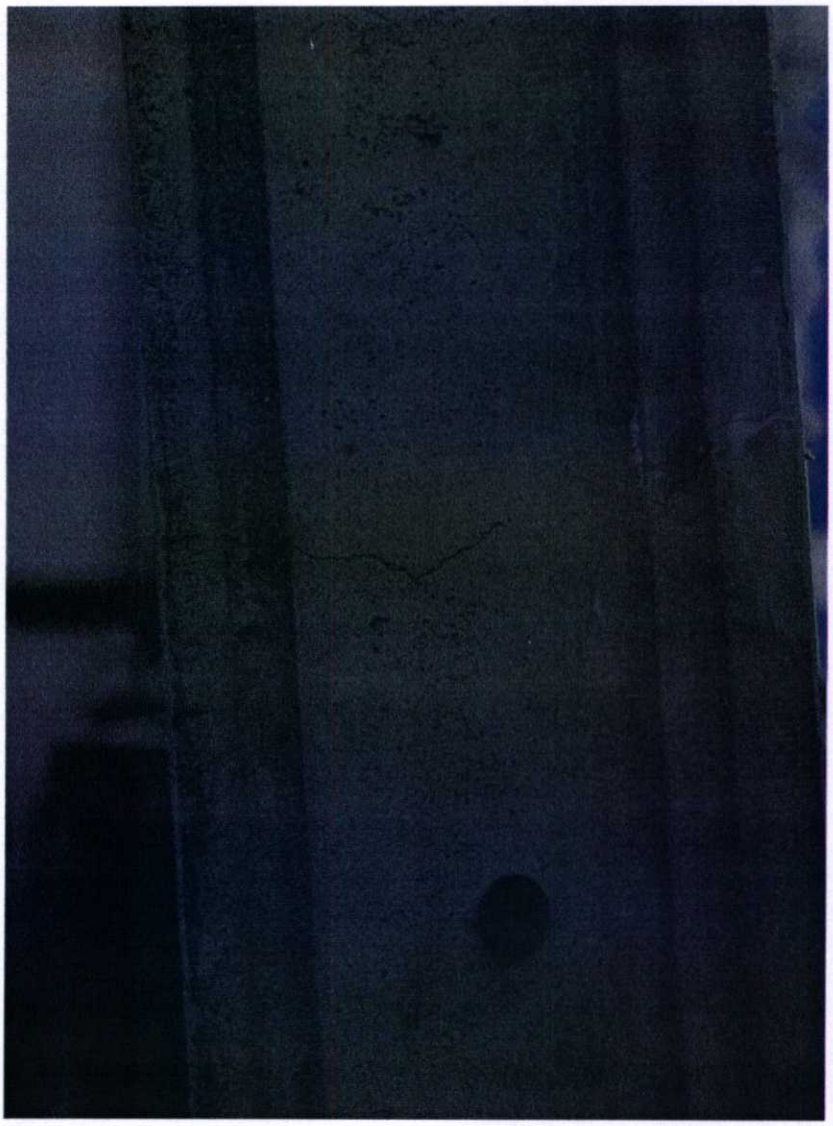

**รูปที่ 4. 80 แสดงโครงสร้างผลึกคอนกรีต ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า W/C 0.60 โดยผสม สารเร่งการก่อตัว0.03 %**

จากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของซีเมนต์เพลสต์ ที่บ่มในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และ ผสมสารผสมเพิ่มในปริมาที่ต่างกันพบว่าเมื่อผสมสารผสมเพิ่มในปริมาณที่สูงขึ้น และ อุณหภูมิที่บ่มสูงขึ้น พบว่า อณุภาคของซีเมนต์เพสต์มีช่องว่างที่ใหญ่ขึ้น ค่าการหดตัวสูงขึ้นด้วย

## 5.5 การนำสารผสมเพิ่มจากงานวิจัยมาประยุกต์ใช้ในงานแผ่นสำเร็จมีข้อควรระวังดังนี้

1. เมื่อผสมสารลดน้ำ ในปริมาณที่มากทำให้อัตราการไหลเข้าแบบดีแต่มีข้อเสียคือทำให้แผ่นมีการหดตัวสูงและเกิดร้อยร้าวได้ดังรูป 4.81-4.82

**รูปที่ 4. 81 แสดงแผ่นสำเร็จเมื่อผสมสารลดน้ำ**



**รูปที่ 4. 82 แสดงแผ่นสำเร็จเมื่อผสมสารลดน้ำในปริมาณมากทำให้เกิดการหดตัวสูง**

**รูปที่ 4. 83 แสดงแผ่นสำเร็จเมื่อผสมสารลดน้ำในปริมาณที่เหมาะสม**

เมื่อผสมสารลดน้ำ ในปริมาณที่พอเหมาะทำให้อัตราการไหลเข้าแบบดี และแผ่นสำเร็จไม่เกิดการหดตัวมากจนเกินไป ดังรูป 4.83

เพื่อให้งานแผ่นสำเร็จมีคุณภาพควรใช้สารผสมเพิ่มในปริมาณที่พอเหมาะ แผ่นสำเร็จจะให้ทั้งความสวยงานและมีคุณภาพตามความต้องการโดยสามารถอ้างอิงได้จากงานวิจัย

# บทที่ 5

# สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1. สรุปผลการทดสอบ

### 5.1.1 ศึกษาผลกระทบของซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ผสมสารเคมีผสมเพิ่ม

1. ค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ ที่ผสม (Super plasticizers Polymer based) ในสัดส่วนที่สูงขึ้น ค่าอัตราการไหลดีขึ้น แต่อัตราการเยิ้มน้ำก็มากขึ้นเช่นกัน

2. ค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ ผสม สารเร่งการก่อตัว (Accelerating Admixture) ในสัดส่วนที่สูงขึ้น ค่าอัตราการไหลดีขึ้น แต่อัตราการเยิ้มน้ำก็มากขึ้นเช่นกัน

3. ค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ ผสม สารหน่วงการก่อตัว (Retarding Admixture) ในสัดส่วนที่สูงขึ้น ค่าอัตราการไหลดีขึ้น และค่าอัตราการเยิ้มน้ำลดลง

4. ซีเมนต์เพสต์ ที่ผสมสารเร่งการ (Accelerating Admixture) ก่อตัวมีค่าอัตราการเยิ้มน้ำสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่ม

5. สารหน่วงการก่อตัวมีค่าการเยิ้มต่ำ และมีผลกระทบต่อค่าการหดตัว

6. ค่าอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสาร (Super plasticizers Polymer based) จากการทดลองมีค่าสูงกว่า สารผสมเพิ่ม (Super plasticizers Naphthalene based), สารเร่งการก่อตัว (Accelerating Admixture) และ สารหน่วงการก่อตัว (Retarding Admixture)

### 5.1.2 จากการศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ ที่ บ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส, 60 องศาเซลเซียส กันจากการทดลองให้ผลดังนี้

1. อัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Super plasticizers Naphthalene based)ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงต้น จากผลการทดสอบ อัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ในช่วง 1 - 15 วัน หลังแกะแบบอัตราการหดตัวค่อนข้างสูง ลักษณะของกราฟอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนของ (Super plasticizers Naphthalene based)ที่ผสมเพิ่มและอัตราส่วนการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ มีสูงเมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสม (Super plasticizers Naphthalene based)เมื่อปริมาณน้ำต่อซีเมนต์สูงขึ้นอัตราการหดตัวสูงขึ้นตามด้วย

2. จากผลการทดสอบอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม Super Plasticizers Naphthalene based ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น มีค่าการหดตัวสูงกว่า ซีเมนต์เพลต์ที่ผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

3. จากผลการทดสอบอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์โดยผสม (Super plasticizers Polymer based) ในปริมาณต่าง ๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในช่วงต้น มีค่าการหดตัวสูงกว่า ซีเมนต์เพลต์ที่ผสม (Super plasticizers Polymer based) ในปริมาณต่างๆบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วงต้น

4. จากผลการทดสอบอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสม super plasticizers (Super plasticizers Polymer based) ในปริมาณต่างๆ มีค่าการหดตัวสูงกว่า ซีเมนต์เพลต์ที่ผสม (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆ

5. จากผลการทดสอบอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ผสม สารเร่งการก่อตัว (Accelerating Admixture) ในปริมาณต่างๆ มีค่าการหดตัวสูงกว่า ซีเมนต์เพลต์ที่ผสม สารหน่วงการก่อตัว

**5.1.3 จากการศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ที่ W/C 0.4, 0.5 และ 0.6 ซึ่งผสม** (Super plasticizers Polymer based) **และ (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณต่างๆ กันจากการทดลองให้ผลดังนี้**

1. จากผลการทดสอบอัตราการหดตัวของคอนกรีตโดยผสม (Super plasticizers Polymer based), (Super plasticizers Naphthalene based) ในปริมาณที่มากขึ้น มีค่าการหดตัวสูงขึ้นด้วย

2. ผลการทดลองหาค่าการทดลองที่ได้มามีผลไปในทางเดียวกัน คือ การใช้สารลดน้ำประเภท (Super plasticizers Naphthalene based) ทั้งในคอนกรีต มอร์ต้า และ ซีเมนต์เพสต์ จะมีค่าการหดตัวน้อยกว่า สารลดน้ำประเภท (Super plasticizers Polymer based) โดยในส่วนของคอนกรีต w/c 0.6 เมื่อไม่ใส่สารผสมเพิ่ม มีค่าการหดตัวอยู่ที่ประมาณ $300x10^{-6}$ m. เมื่อใส่สารลดน้ำประเภท (Super plasticizers Naphthalene based) 0.5 % ค่าการหดตัวจะอยู่ที่ประมาณ $450x10^{-6}$

m. ในขณะที่ สารลดน้ำประเภท (Super plasticizers Polymer based) 0.5% มีค่าการหดตัวอยู่ที่ประมาณ $700x10^{-6}$ m.

**5.1.4 ผลการทดลองหาค่าการทดลองที่ได้มามีผลไปในทางเดียวกัน** คือ การใช้สารลดน้ำประเภท (Super plasticizers Naphthalene based) ทั้งในคอนกรีต มอร์ต้า และ ซีเมนต์เพสต์ จะมีค่าการหดตัวน้อยกว่า สารลดน้ำประเภท (Super plasticizers Polymer based) โดยในส่วนของคอนกรีต w/c 0.6 เมื่อไม่ใส่สารผสมเพิ่ม มีค่าการหดตัวอยู่ที่ประมาณ $300x10^{-6}$ m. เมื่อใส่สารลดน้ำประเภท (Super plasticizers Naphthalene based) 0.5% ค่าการหดตัวจะอยู่ที่ประมาณ $450x10^{-6}$ m. ในขณะที่สารลดน้ำประเภท (Super plasticizers Polymer based) 0.5% มีค่าการหดตัวอยู่ที่ประมาณ $700x10^{-6}$ m.

**5.1.5 การทดลองในส่วนของสารหน่วงการก่อตัว (Retarding Admixture)**การเพิ่มปริมาณสารหน่วงการก่อตัว (Retarding Admixture)แทบจะไม่มีผลต่อการหดตัวซึ่งใกล้เคียงกันมาก โดยที่ w/c 0.6 ไม่ใส่สารมีค่าการหดตัวประมาณ $300x10^{-6}$ m. เมื่อใส่สารหน่วงการก่อตัว (Retarding Admixture)ที่ 0.5% ค่าการหดตัวจะอยู่ประมาณใกล้เคียงกับ$300x10^{-6}$ m โดยผลการทดลองทั้งในส่วนของซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้า และ คอนกรีตเป็นไปทิศทางเดียวกัน สรุปได้ว่า สารหน่วงการก่อตัวไม่ทำให้เกิดผลกระทบด้านการหดตัวของชิ้นส่วนซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้า และ คอนกรีต

**5.1.6 ลักษณะของการหดตัวของสารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำ** จะมีการหดตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ทั้งในสารประเภท (Super plasticizers Polymer based) และ (Super plasticizers Naphthalene based) ส่วนสารผสมเพิ่มประเภท สารหน่วงการก่อตัวนั้น จะค่อยๆหดตัวเพียงเล็กน้อยไปเรื่อยๆ ใกล้เคียงกัน ใช้เวลามากกว่าสารลดน้ำทั้งสองชนิดกว่าจะคงที่

**5.1.7 จากผลการทดลองทำให้เห็นว่า การหดตัวของชิ้นงาน** จะมีการหดตัวมากในส่วนของซีเมนต์เพตส์เมากกว่า ซีเมนต์มอร์ต้าและคอนกรีต ที่มีวัสดุมวลรวมผสมเข้ามา จึงหดตัวน้อยกว่าซีเมนต์เพสต์ สังเกตได้ว่า การหดตัวจะมากขึ้นจากซีเมนต์เพสต์ ซีเมนต์มอร์ต้า และคอนกรีตตามลำดับ

**5.1.8 จากผลการการตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)** เพื่อศึกษาพฤติกรรมของซีเมนต์เพลสต์ ที่บ่มในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และ ผสมสารผสมเพิ่มในปริมาที่ต่างกันพบว่าเมื่อผสมสารผสมเพิ่มในปริมาณที่สูงขึ้นและ อุณหภูมิที่บ่มสูงขึ้น พบว่า อณุภาคของซีเมนต์เพสต์มีช่องว่างที่ใหญ่ขึ้น ค่าการหดตัวสูงขึ้นด้วย

**5.1.9 การนำสารผสมเพิ่มจากงานวิจัยมาประยุกต์ใช้ในงานแผ่นสำเร็จ** เมื่อผสมสารลดน้ำ ในปริมาณที่พอเหมาะทำให้อัตราการไหลเข้าแบบดี และแผ่นสำเร็จไม่เกิดการหดตัวมากจนเกินไป เพื่อให้งานแผ่นสำเร็จมีคุณภาพควรใช้สารผสมเพิ่มในปริมาณที่พอเหมาะ แผ่นสำเร็จจะให้ทั้งความสวยงานและมีคุณภาพตามความต้องการโดยสามารถอ้างอิงได้จากงานวิจัย

# บรรณานุกรม


[1] P.Pichet , C.Nantawat and M.Poomchai , **"Influence of Double Mixing on Properties of Cementitious Materials"**

[2] Ei-ichi TAZAWA and Tetsorou KASAI, **"Double Mixing of Fresh Cementplase"** , JSCE , No.396/V-9 1988-8

[3] H.F.W Taylor,1997.**Chemmistry Cement.2nd Edition**

[4] Ei-ichi TAZAWA,1988.**Autogenous Shrinkage of Concrete.**

[5] JSCE Standard, **"Testing Method of Bleeding Ratio and Expansion Ratio of Grouting Mortar for Prepacked Concrete,"**

[6] ASTM C 191, **"Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle,"** Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01

[7] ASTM C 939, **"Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced Aggregate Concrete (Flow of Grout),"** Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02

[8] JSCE-F531-1993, **"Test Method for Fluidity Test by Using J-14 Funnel,"**

[9] ASTM C 940, **"Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Fresh Mixed Grouts for Preplaced – Aggregate Concrete in the Laboratory,"** Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02

[10] ASTM C 109, **"Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar," Annual Book of ASTM Standard**, Vol.04.01

[11] ASTM C 192, **"Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in Laboratory," Annual Book of ASTM Standard**, Vol.04.02

# ภาคผนวก ก
# ภาคปฏิบัติส่วนผสมของคอนกรีต

**1.1 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม**

การทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำคอนกรีต จะมีการทดสอบในห้องทดลอง เพื่อทราบถึงความเหมาะสมของวัสดุผสมที่จะใช้ในการคำนวณหาสัดส่วนการผสม ตลอดจนเพื่อการควบคุมคุณภาพของคอนกรีต

ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบนั้นควรเป็นตัวแทนของวัสดุทั้งหมดที่จะนำไปใช้ผสมคอนกรีตจริง ๆ ซึ่งการเลือกตัวอย่างวัสดุควรจะใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างและปริมาณของตัวอย่างนั้นขึ้นอยู่กับชนิด และจำนวนครั้งของการทดสอบ

ความแข็งแรงของคอนกรีตส่วนใหญ่เกิดจากความแข็งแรงของวัสดุผสม (ซึ่งปกติหินจะมีความสามารถต้านทานแรงอัดได้ถึง 700 – 3,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ฉะนั้นเมื่อต้องการทราบพฤติกรรมของคอนกรีต จะต้องทราบคุณสมบัติบางประการของวัสดุที่นำมาผสมกันเป็นคอนกรีตเสียก่อน สำหรับการศึกษาในโครงงานนี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมดังต่อไปนี้

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของวัสดุผสมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นส่วนผสมและความพรุนของก้อนวัสดุ ความชื้นอาจทำให้ความถ่วงจำเพาะของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งความถ่วงจำเพาะนี้ใช้ในการคำนวณหาสัดส่วนการผสมของหินและทรายในคอนกรีต โดยใช้ตัวเปลี่ยนน้ำหนักที่กำหนดให้ของวัสดุผสมเป็นปริมาตรเนื้อแท้หรือเปลี่ยนปริมาตรเนื้อแท้ไปเป็นน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณวัสดุสำหรับการผสมนั้น

ตามปกติในการคำนวณหาสัดส่วนการผสมคอนกรีตจะใช้ความถ่วงจำเพาะเนื้อแท้ของวัสดุผสมที่อิ่มตัวผิวแห้ง ซึ่งความถ่วงจำเพาะของวัสดุผสมโดยมากมีค่าระหว่าง 2.4 – 2.9

การหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่าง

หน่วยน้ำหนักของวัสดุผสม หมายถึง น้ำหนักของวัสดุผสม (คิดเป็นกิโลกรัม) ที่เติมลงไปเต็มภาชนะจุ 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นน้ำหนักของวัสดุรวมกับช่องว่างระหว่างเม็ดทรายในการหาสัดส่วนการผสม หน่วยน้ำหนักเป็นตัวใช้สำหรับหาปริมาณช่องว่างในวัสดุผสมและสำหรับการเปลี่ยนปริมาตรเป็นน้ำหนัก หรือเปลี่ยนน้ำหนักเป็นปริมาตร หน่วยน้ำหนักของ

วัสดุชนิดหนึ่ง ๆ จะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการแน่นตัวและปริมาณความชื้น โดยปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,440 – 1,940 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์

การทดสอบหาการดูดซึม

สำหรับวัสดุผสมหยาบอาจทำได้โดยนำตัวอย่างที่ชื้นมากทำให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวและผิวแห้งโดยการเช็ดด้วยผ้าที่ดูดซับน้ำได้ดี หรือทำอย่างคร่าว ๆ โดยผึ่งลมให้แห้งจนกระทั่งเปลี่ยนจากสีเข้าเป็นสีอ่อนแล้วชั่ง เสร็จแล้วทำให้แห้งสนิทโดยใช้ความร้อนจึงชั่งอีกครั้งหนึ่ง น้ำหนักที่หายไปหลังจากได้รับความร้อนจะแสดงถึงปริมาณความจุการดูดซึม

การทดสอบหาความชื้น

สำหรับวัสดุผสมหยาบและละเอียด อาจหาความชื้นที่ผิวได้โดยการชั่งน้ำหนักของวัสดุตัวอย่างที่ชื้น แล้วผึ่งลมให้แห้งจนอยู่ในสภาวะการอิ่มตัวและผิวแห้ง การทดสอบนี้จะต้องทราบความถ่วงจำเพาะของวัสดุ

ส่วนขนาดคละของวัสดุผสม

การร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานใช้เป็นหลักในการควบคุมส่วนขนาดคละ และในการทดสอบความต้องการของส่วนคละตามเกณฑ์ อาจใช้การวิเคราะห์วัสดุผสมหยาบด้วยตะแกรงในการหาอัตราส่วนผสมของวัสดุแต่ละชนิด เพื่อที่จะผสมให้ได้ส่วนขนาดคละใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากที่สุด ส่วนขนาดคละที่เหมาะสมของวัสดุผสมในสัดส่วนการผสมคอนกรีตจะช่วยให้ได้คอนกรีตมีราคาถูก มีเนื้อสม่ำเสมอคุณภาพดีและทำงานง่าย นอกจากนี้มีผลต่อการแยกตัวของคอนกรีต ปริมาณน้ำที่ผสมความสะดวกในการทำงานความยากง่ายในการตบแต่งผิวหน้าคอนกรีต

**1.2 องค์ประกอบในการพิจารณาหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตกำลัง (Strength)**

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต ในการพิจารณาเลือกสัดส่วนการผสมคอนกรีต ซึ่งเป็นที่ต้องการและสำคัญที่สุดก็คือ " กำลังรับแรงอัด " ส่วนกำลังรับแรงอัดอย่างอื่น เช่น กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงดัด กำลังรับแรงเฉือน และกำลังในการยึดเหนี่ยวเป็นสัดส่วนกำลังรับแรงอัด โดยปกติจะกำหนดค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาหนึ่ง เช่น เมื่อคอนกรีตมีอายุ 7 , 14 , 21 และ 28 วันเป็นต้น ซึ่งค่าเฉลี่ยนี้ควรให้มีค่าสูงกว่าที่ใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างประมาณ 15 – 25 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตนั้นก็คือ ปริมาณอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ หรือที่เรียกว่า Water-cement ratio ในการผสมคอนกรีตถ้าสามารถรักษาอัตราส่วนนี้

ไว้คงที่แล้ว ถ้าส่วนประกอบอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลง กำลังของคอนกรีตก็จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นจึงอาจกำหนดกำลังของคอนกรีตได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

ความสามารถ (Workability)

คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ ควรมีความข้นเหลวพอเหมาะที่จะเทเข้าแบบหล่อได้สะดวก ความข้นเหลวที่พอเหมาะนี้ใช้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตเป็นเครื่องกำหนด แนวทางที่ใช้เป็นมาตรการในการหาความข้นเหลว หรือเทียบว่ามีน้ำมากน้ำน้อยแค่ไหนก็ดูได้จากการยุบตัวของคอนกรีตในขณะยังเหลวอยู่ ซึ่งการวัดระยะการยุบตัวควรทำเสมอสำหรับคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้าง เพื่อจะได้เนื้อคอนกรีตที่คุณภาพดีสม่ำเสมอกันตลอด

ความทนทาน (Durability)

โดยปกตินั้น คอนกรีตที่กำลังพอสมควรก็จะมีความทนทานเป็นที่น่าพอใจอยู่แล้ว แต่ถ้าคอนกรีตอยู่ในสภาวะเปิดเผยรุนแรงต่าง ๆ เช่น โครงอาคารในน้ำทะเลความทนทานจะลดน้อยลงตามอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ก็มีผลต่อความทนทานของคอนกรีต ดังนั้นสถาบันคอนกรีตของอเมริกาได้ให้ตารางอัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตในสภาวะต่าง ๆ

# ภาคผนวก ข

# ผลลการทดสอบ

# ผลงานวิจัย

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237 | 0 |
| 1 | 237 | 42.19 |
| 2 | 237 | 42.19 |
| 3 | 237 | 42.19 |
| 4 | 237 | 84.38 |
| 5 | 237 | 84.38 |
| 6 | 237 | 84.38 |
| 7 | 237 | 126.57 |
| 9 | 237 | 126.57 |
| 11 | 237 | 126.57 |
| 15 | 237 | 168.76 |
| 17 | 237 | 168.76 |
| 20 | 237 | 168.76 |
| 22 | 237 | 210.95 |
| 25 | 237 | 210.95 |
| 28 | 237 | 210.95 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.28 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.7 | 0 |
| 1 | 237.7 | 0 |
| 2 | 237.7 | 0 |
| 3 | 237.7 | 42.06 |
| 4 | 237.7 | 42.06 |
| 5 | 237.7 | 42.06 |
| 6 | 237.7 | 42.06 |
| 7 | 237.7 | 84.13 |
| 9 | 237.7 | 84.13 |
| 11 | 237.7 | 84.13 |
| 15 | 237.7 | 126.20 |
| 17 | 237.7 | 168.28 |
| 20 | 237.7 | 210.34 |
| 22 | 237.7 | 210.34 |
| 25 | 237.7 | 210.34 |
| 28 | 237.7 | 252.41 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.29 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4 Naphahalene 0.1%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.2 | 0 |
| 1 | 237.2 | 42.15 |
| 2 | 237.2 | 84.31 |
| 3 | 237.2 | 84.31 |
| 4 | 237.2 | 84.31 |
| 5 | 237.2 | 126.45 |
| 6 | 237.2 | 126.45 |
| 7 | 237.2 | 126.45 |
| 9 | 237.2 | 168.60 |
| 11 | 237.2 | 168.60 |
| 15 | 237.2 | 168.60 |
| 17 | 237.2 | 252.90 |
| 20 | 237.2 | 295.05 |
| 22 | 237.2 | 295.05 |
| 25 | 237.2 | 337.20 |
| 28 | 237.2 | 337.20 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.30 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4 Naphahalene 0.3%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 236.4 | 0 |
| 1 | 236.4 | 42.30 |
| 2 | 236.4 | 84.60 |
| 3 | 236.4 | 84.60 |
| 4 | 236.4 | 84.60 |
| 5 | 236.4 | 126.90 |
| 6 | 236.4 | 126.90 |
| 7 | 236.4 | 126.90 |
| 9 | 236.4 | 169.20 |
| 11 | 236.4 | 169.20 |
| 15 | 236.4 | 253.80 |
| 17 | 236.4 | 253.80 |
| 20 | 236.4 | 296.10 |
| 22 | 236.4 | 338.40 |
| 25 | 236.4 | 338.40 |
| 28 | 236.4 | 380.70 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.31 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4 Naphahalene 0.5%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237 | 0 |
| 1 | 237 | 42.19 |
| 2 | 237 | 42.19 |
| 3 | 237 | 84.38 |
| 4 | 237 | 84.38 |
| 5 | 237 | 126.57 |
| 6 | 237 | 84.38 |
| 7 | 237 | 126.57 |
| 9 | 237 | 126.57 |
| 11 | 237 | 168.76 |
| 15 | 237 | 168.76 |
| 17 | 237 | 168.76 |
| 20 | 237 | 168.76 |
| 22 | 237 | 210.95 |
| 25 | 237 | 210.95 |
| 28 | 237 | 210.95 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.32 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

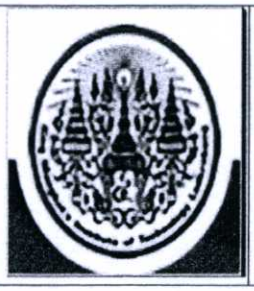
| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 236.5 | 0 |
| 1 | 236.5 | 42.28 |
| 2 | 236.5 | 42.28 |
| 3 | 236.5 | 42.28 |
| 4 | 236.5 | 84.56 |
| 5 | 236.5 | 84.56 |
| 6 | 236.5 | 126.84 |
| 7 | 236.5 | 126.84 |
| 9 | 236.5 | 169.12 |
| 11 | 236.5 | 211.40 |
| 15 | 236.5 | 211.40 |
| 17 | 236.5 | 211.40 |
| 20 | 236.5 | 253.68 |
| 22 | 236.5 | 253.68 |
| 25 | 236.5 | 295.96 |
| 28 | 236.5 | 295.96 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.33 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5 Naphahalene 0.1%



**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

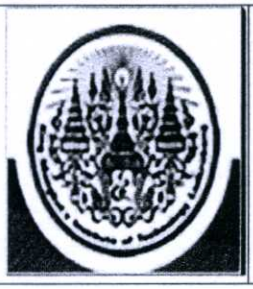
| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.7 | 0 |
| 1 | 237.7 | 42.06 |
| 2 | 237.7 | 42.06 |
| 3 | 237.7 | 84.13 |
| 4 | 237.7 | 84.13 |
| 5 | 237.7 | 84.13 |
| 6 | 237.7 | 126.18 |
| 7 | 237.7 | 126.18 |
| 9 | 237.7 | 168.24 |
| 11 | 237.7 | 210.3 |
| 15 | 237.7 | 252.36 |
| 17 | 237.7 | 294.42 |
| 20 | 237.7 | 336.48 |
| 22 | 237.7 | 336.48 |
| 25 | 237.7 | 378.54 |
| 28 | 237.7 | 378.54 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.34 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5 Naphahalene 0.3%



**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.1 | 0 |
| 1 | 237.1 | 42.176 |
| 2 | 237.1 | 84.35 |
| 3 | 237.1 | 84.35 |
| 4 | 237.1 | 126.52 |
| 5 | 237.1 | 126.52 |
| 6 | 237.1 | 168.70 |
| 7 | 237.1 | 168.70 |
| 9 | 237.1 | 210.88 |
| 11 | 237.1 | 253.06 |
| 15 | 237.1 | 337.40 |
| 17 | 237.1 | 337.40 |
| 20 | 237.1 | 337.40 |
| 22 | 237.1 | 379.58 |
| 25 | 237.1 | 379.58 |
| 28 | 237.1 | 421.76 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.35 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5 Naphahalene 0.5%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 236.8 | 0 |
| 1 | 236.8 | 42.22 |
| 2 | 236.8 | 84.44 |
| 3 | 236.8 | 84.44 |
| 4 | 236.8 | 126.68 |
| 5 | 236.8 | 126.68 |
| 6 | 236.8 | 126.68 |
| 7 | 236.8 | 168.90 |
| 9 | 236.8 | 168.90 |
| 11 | 236.8 | 168.90 |
| 15 | 236.8 | 211.14 |
| 17 | 236.8 | 211.14 |
| 20 | 236.8 | 253.37 |
| 22 | 236.8 | 253.37 |
| 25 | 236.8 | 253.37 |
| 28 | 236.8 | 253.37 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.36 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

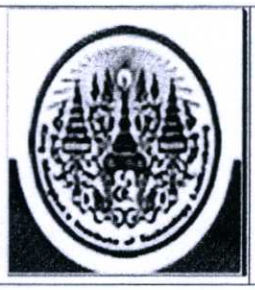
| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.5 | 0 |
| 1 | 237.5 | 42.105 |
| 2 | 237.5 | 126.31 |
| 3 | 237.5 | 126.31 |
| 4 | 237.5 | 168.42 |
| 5 | 237.5 | 168.42 |
| 6 | 237.5 | 168.42 |
| 7 | 237.5 | 168.42 |
| 9 | 237.5 | 210.52 |
| 11 | 237.5 | 252.63 |
| 15 | 237.5 | 294.73 |
| 17 | 237.5 | 294.73 |
| 20 | 237.5 | 294.73 |
| 22 | 237.5 | 294.73 |
| 25 | 237.5 | 336.84 |
| 28 | 237.5 | 336.84 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.37 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6 Naphahalene 0.1%



**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237 | 0 |
| 1 | 237 | 0 |
| 2 | 237 | 84.38 |
| 3 | 237 | 126.58 |
| 4 | 237 | 126.58 |
| 5 | 237 | 126.58 |
| 6 | 237 | 168.77 |
| 7 | 237 | 168.77 |
| 9 | 237 | 168.77 |
| 11 | 237 | 210.97 |
| 15 | 237 | 253.16 |
| 17 | 237 | 253.16 |
| 20 | 237 | 253.16 |
| 22 | 237 | 295.35 |
| 25 | 237 | 337.55 |
| 28 | 237 | 379.74 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.38 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6 Naphahalene 0.3%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.3 | 0 |
| 1 | 237.3 | 0 |
| 2 | 237.3 | 84.28 |
| 3 | 237.3 | 126.42 |
| 4 | 237.3 | 126.42 |
| 5 | 237.3 | 126.42 |
| 6 | 237.3 | 126.42 |
| 7 | 237.3 | 168.56 |
| 9 | 237.3 | 168.56 |
| 11 | 237.3 | 210.70 |
| 15 | 237.3 | 294.98 |
| 17 | 237.3 | 337.12 |
| 20 | 237.3 | 379.26 |
| 22 | 237.3 | 421.40 |
| 25 | 237.3 | 421.40 |
| 28 | 237.3 | 463.54 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.39 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6 Naphahalene 0.5%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237 | 0 |
| 1 | 237 | 42.19 |
| 2 | 237 | 42.19 |
| 3 | 237 | 42.19 |
| 4 | 237 | 84.38 |
| 5 | 237 | 84.38 |
| 6 | 237 | 84.38 |
| 7 | 237 | 126.57 |
| 9 | 237 | 126.57 |
| 11 | 237 | 126.57 |
| 15 | 237 | 168.76 |
| 17 | 237 | 168.76 |
| 20 | 237 | 168.76 |
| 22 | 237 | 210.95 |
| 25 | 237 | 210.95 |
| 28 | 237 | 210.95 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.40 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 236.8 | 0 |
| 1 | 236.8 | 42.22 |
| 2 | 236.8 | 84.44 |
| 3 | 236.8 | 126.68 |
| 4 | 236.8 | 126.68 |
| 5 | 236.8 | 126.68 |
| 6 | 236.8 | 168.90 |
| 7 | 236.8 | 126.68 |
| 9 | 236.8 | 211.14 |
| 11 | 236.8 | 211.14 |
| 15 | 236.8 | 253.37 |
| 17 | 236.8 | 295.60 |
| 20 | 236.8 | 337.80 |
| 22 | 236.8 | 337.80 |
| 25 | 236.8 | 380.67 |
| 28 | 236.8 | 422.29 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.41 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4 Polymer 0.1%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.1 | 0 |
| 1 | 237.1 | 42.176 |
| 2 | 237.1 | 84.35 |
| 3 | 237.1 | 126.52 |
| 4 | 237.1 | 126.52 |
| 5 | 237.1 | 168.70 |
| 6 | 237.1 | 168.70 |
| 7 | 237.1 | 210.88 |
| 9 | 237.1 | 210.88 |
| 11 | 237.1 | 210.88 |
| 15 | 237.1 | 295.23 |
| 17 | 237.1 | 295.23 |
| 20 | 237.1 | 337.40 |
| 22 | 237.1 | 379.58 |
| 25 | 237.1 | 421.76 |
| 28 | 237.1 | 463.90 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.42 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4 Polymer 0.3%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237 | 0 |
| 1 | 237 | 42.19 |
| 2 | 237 | 42.19 |
| 3 | 237 | 84.38 |
| 4 | 237 | 84.38 |
| 5 | 237 | 126.57 |
| 6 | 237 | 168.76 |
| 7 | 237 | 210.95 |
| 9 | 237 | 253.16 |
| 11 | 237 | 295.35 |
| 15 | 237 | 379.74 |
| 17 | 237 | 421.94 |
| 20 | 237 | 464.13 |
| 22 | 237 | 506.32 |
| 25 | 237 | 548.52 |
| 28 | 237 | 548.52 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.43 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4 Polymer 0.5%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237 | 0 |
| 1 | 237 | 42.19 |
| 2 | 237 | 42.19 |
| 3 | 237 | 84.38 |
| 4 | 237 | 84.38 |
| 5 | 237 | 126.57 |
| 6 | 237 | 126.57 |
| 7 | 237 | 126.57 |
| 9 | 237 | 126.57 |
| 11 | 237 | 168.76 |
| 15 | 237 | 168.76 |
| 17 | 237 | 168.76 |
| 20 | 237 | 168.76 |
| 22 | 237 | 210.95 |
| 25 | 237 | 210.95 |
| 28 | 237 | 210.95 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.44 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.7 | 0 |
| 1 | 237.7 | 42.06 |
| 2 | 237.7 | 42.06 |
| 3 | 237.7 | 84.13 |
| 4 | 237.7 | 84.13 |
| 5 | 237.7 | 84.13 |
| 6 | 237.7 | 126.18 |
| 7 | 237.7 | 126.18 |
| 9 | 237.7 | 126.18 |
| 11 | 237.7 | 210.30 |
| 15 | 237.7 | 252.36 |
| 17 | 237.7 | 294.42 |
| 20 | 237.7 | 336.48 |
| 22 | 237.7 | 336.48 |
| 25 | 237.7 | 378.54 |
| 28 | 237.7 | 378.54 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.45 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5 Polymer 0.1%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.1 | 0 |
| 1 | 237.1 | 42.176 |
| 2 | 237.1 | 84.35 |
| 3 | 237.1 | 126.52 |
| 4 | 237.1 | 126.52 |
| 5 | 237.1 | 168.70 |
| 6 | 237.1 | 168.70 |
| 7 | 237.1 | 210.88 |
| 9 | 237.1 | 210.88 |
| 11 | 237.1 | 210.88 |
| 15 | 237.1 | 295.23 |
| 17 | 237.1 | 337.40 |
| 20 | 237.1 | 337.40 |
| 22 | 237.1 | 379.58 |
| 25 | 237.1 | 421.76 |
| 28 | 237.1 | 421.76 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.46 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5 Polymer 0.3%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

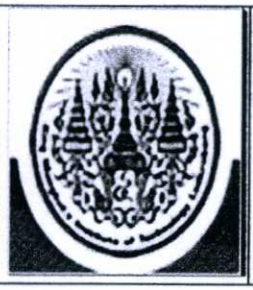
| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 236.5 | 0 |
| 1 | 236.5 | 42.28 |
| 2 | 236.5 | 84.56 |
| 3 | 236.5 | 126.84 |
| 4 | 236.5 | 126.84 |
| 5 | 236.5 | 169.12 |
| 6 | 236.5 | 169.12 |
| 7 | 236.5 | 211.40 |
| 9 | 236.5 | 253.68 |
| 11 | 236.5 | 253.68 |
| 15 | 236.5 | 338.26 |
| 17 | 236.5 | 338.26 |
| 20 | 236.5 | 380.50 |
| 22 | 236.5 | 422.80 |
| 25 | 236.5 | 465.11 |
| 28 | 236.5 | 549.68 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.47 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5 Polymer 0.5%



**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

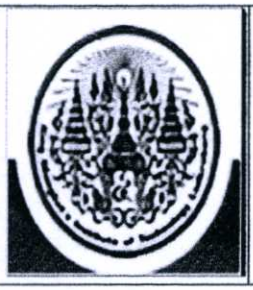
| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 236.8 | 0 |
| 1 | 236.8 | 42.22 |
| 2 | 236.8 | 84.44 |
| 3 | 236.8 | 84.44 |
| 4 | 236.8 | 126.68 |
| 5 | 236.8 | 126.68 |
| 6 | 236.8 | 126.68 |
| 7 | 236.8 | 168.90 |
| 9 | 236.8 | 168.90 |
| 11 | 236.8 | 168.90 |
| 15 | 236.8 | 211.14 |
| 17 | 236.8 | 211.14 |
| 20 | 236.8 | 253.37 |
| 22 | 236.8 | 253.37 |
| 25 | 236.8 | 253.37 |
| 28 | 236.8 | 253.37 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.48 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6



**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 236.8 | 0 |
| 1 | 236.8 | 42.22 |
| 2 | 236.8 | 84.44 |
| 3 | 236.8 | 126.68 |
| 4 | 236.8 | 126.68 |
| 5 | 236.8 | 126.68 |
| 6 | 236.8 | 168.90 |
| 7 | 236.8 | 168.90 |
| 9 | 236.8 | 211.14 |
| 11 | 236.8 | 211.14 |
| 15 | 236.8 | 253.37 |
| 17 | 236.8 | 253.37 |
| 20 | 236.8 | 337.80 |
| 22 | 236.8 | 337.80 |
| 25 | 236.8 | 380.67 |
| 28 | 236.8 | 380.67 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.49 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6 Polymer 0.1%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237 | 0 |
| 1 | 237 | 84.38 |
| 2 | 237 | 84.38 |
| 3 | 237 | 126.58 |
| 4 | 237 | 126.58 |
| 5 | 237 | 168.77 |
| 6 | 237 | 168.77 |
| 7 | 237 | 210.97 |
| 9 | 237 | 253.16 |
| 11 | 237 | 295.35 |
| 15 | 237 | 337.55 |
| 17 | 237 | 421.94 |
| 20 | 237 | 464.13 |
| 22 | 237 | 464.13 |
| 25 | 237 | 506.32 |
| 28 | 237 | 506.32 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.50 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6 Polymer 0.3%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.3 | 0 |
| 1 | 237.3 | 42.14 |
| 2 | 237.3 | 84.28 |
| 3 | 237.3 | 126.42 |
| 4 | 237.3 | 126.42 |
| 5 | 237.3 | 168.56 |
| 6 | 237.3 | 168.56 |
| 7 | 237.3 | 210.70 |
| 9 | 237.3 | 252.84 |
| 11 | 237.3 | 294.98 |
| 15 | 237.3 | 463.54 |
| 17 | 237.3 | 463.54 |
| 20 | 237.3 | 547.80 |
| 22 | 237.3 | 547.80 |
| 25 | 237.3 | 632.11 |
| 28 | 237.3 | 674.25 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.51 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6 Polymer 0.5%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.8 | 0 |
| 1 | 237.8 | 42.05 |
| 2 | 237.8 | 42.05 |
| 3 | 237.8 | 42.05 |
| 4 | 237.8 | 84.10 |
| 5 | 237.8 | 84.10 |
| 6 | 237.8 | 84.10 |
| 7 | 237.8 | 126.16 |
| 9 | 237.8 | 126.16 |
| 11 | 237.8 | 168.21 |
| 15 | 237.8 | 168.21 |
| 17 | 237.8 | 168.21 |
| 20 | 237.8 | 168.21 |
| 22 | 237.8 | 210.26 |
| 25 | 237.8 | 210.26 |
| 28 | 237.8 | 210.26 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.52 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

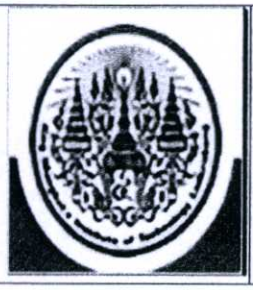
| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.2 | 0 |
| 1 | 237.2 | 42.16 |
| 2 | 237.2 | 42.16 |
| 3 | 237.2 | 42.16 |
| 4 | 237.2 | 84.32 |
| 5 | 237.2 | 84.32 |
| 6 | 237.2 | 84.32 |
| 7 | 237.2 | 84.32 |
| 9 | 237.2 | 84.32 |
| 11 | 237.2 | 168.63 |
| 15 | 237.2 | 168.63 |
| 17 | 237.2 | 210.79 |
| 20 | 237.2 | 210.79 |
| 22 | 237.2 | 210.79 |
| 25 | 237.2 | 252.95 |
| 28 | 237.2 | 252.95 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.53 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4 Retarder 0.1%



**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 236.8 | 0 |
| 1 | 236.8 | 42.23 |
| 2 | 236.8 | 42.23 |
| 3 | 236.8 | 42.23 |
| 4 | 236.8 | 84.46 |
| 5 | 236.8 | 84.46 |
| 6 | 236.8 | 84.46 |
| 7 | 236.8 | 126.69 |
| 9 | 236.8 | 126.69 |
| 11 | 236.8 | 168.92 |
| 15 | 236.8 | 211.15 |
| 17 | 236.8 | 211.15 |
| 20 | 236.8 | 253.38 |
| 22 | 236.8 | 253.38 |
| 25 | 236.8 | 253.38 |
| 28 | 236.8 | 295.61 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.54 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4 Retarder 0.3%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.9 | 0 |
| 1 | 237.9 | 42.03 |
| 2 | 237.9 | 42.03 |
| 3 | 237.9 | 42.03 |
| 4 | 237.9 | 42.03 |
| 5 | 237.9 | 42.03 |
| 6 | 237.9 | 42.03 |
| 7 | 237.9 | 84.07 |
| 9 | 237.9 | 84.07 |
| 11 | 237.9 | 84.07 |
| 15 | 237.9 | 126.10 |
| 17 | 237.9 | 126.10 |
| 20 | 237.9 | 168.14 |
| 22 | 237.9 | 168.14 |
| 25 | 237.9 | 210.17 |
| 28 | 237.9 | 210.17 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.55 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.4 Retarder 0.5%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.3 | 0 |
| 1 | 237.3 | 42.14 |
| 2 | 237.3 | 42.14 |
| 3 | 237.3 | 42.14 |
| 4 | 237.3 | 84.28 |
| 5 | 237.3 | 84.28 |
| 6 | 237.3 | 84.28 |
| 7 | 237.3 | 84.28 |
| 9 | 237.3 | 126.42 |
| 11 | 237.3 | 126.42 |
| 15 | 237.3 | 126.42 |
| 17 | 237.3 | 168.56 |
| 20 | 237.3 | 168.56 |
| 22 | 237.3 | 210.70 |
| 25 | 237.3 | 210.70 |
| 28 | 237.3 | 210.70 |

Note :7.49

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.56 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

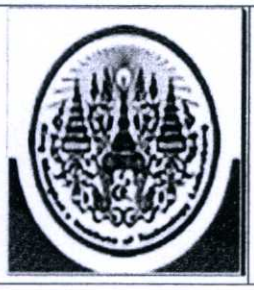
| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.3 | 0 |
| 1 | 237.3 | 42.14 |
| 2 | 237.3 | 42.14 |
| 3 | 237.3 | 42.14 |
| 4 | 237.3 | 84.28 |
| 5 | 237.3 | 84.28 |
| 6 | 237.3 | 84.28 |
| 7 | 237.3 | 126.42 |
| 9 | 237.3 | 126.42 |
| 11 | 237.3 | 168.56 |
| 15 | 237.3 | 168.56 |
| 17 | 237.3 | 210.70 |
| 20 | 237.3 | 210.70 |
| 22 | 237.3 | 210.70 |
| 25 | 237.3 | 252.84 |
| 28 | 237.3 | 252.84 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.57 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5 Retarder 0.1%



**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.1 | 0 |
| 1 | 237.1 | 42.18 |
| 2 | 237.1 | 42.18 |
| 3 | 237.1 | 42.18 |
| 4 | 237.1 | 84.35 |
| 5 | 237.1 | 84.35 |
| 6 | 237.1 | 126.53 |
| 7 | 237.1 | 126.53 |
| 9 | 237.1 | 126.53 |
| 11 | 237.1 | 168.71 |
| 15 | 237.1 | 168.71 |
| 17 | 237.1 | 210.88 |
| 20 | 237.1 | 253.06 |
| 22 | 237.1 | 253.06 |
| 25 | 237.1 | 253.06 |
| 28 | 237.1 | 253.06 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.58 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5 Retarder 0.3%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.4 | 0 |
| 1 | 237.4 | 42.12 |
| 2 | 237.4 | 42.12 |
| 3 | 237.4 | 42.12 |
| 4 | 237.4 | 84.25 |
| 5 | 237.4 | 84.25 |
| 6 | 237.4 | 84.25 |
| 7 | 237.4 | 126.37 |
| 9 | 237.4 | 126.37 |
| 11 | 237.4 | 168.49 |
| 15 | 237.4 | 168.49 |
| 17 | 237.4 | 210.61 |
| 20 | 237.4 | 210.61 |
| 22 | 237.4 | 210.61 |
| 25 | 237.4 | 252.74 |
| 28 | 237.4 | 294.86 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.59 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.5 Retarder 0.5%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 236.8 | 0 |
| 1 | 236.8 | 42.22 |
| 2 | 236.8 | 84.44 |
| 3 | 236.8 | 84.44 |
| 4 | 236.8 | 126.68 |
| 5 | 236.8 | 126.68 |
| 6 | 236.8 | 126.68 |
| 7 | 236.8 | 168.90 |
| 9 | 236.8 | 168.90 |
| 11 | 236.8 | 168.90 |
| 15 | 236.8 | 211.14 |
| 17 | 236.8 | 211.14 |
| 20 | 236.8 | 253.37 |
| 22 | 236.8 | 253.37 |
| 25 | 236.8 | 253.37 |
| 28 | 236.8 | 253.37 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.60 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

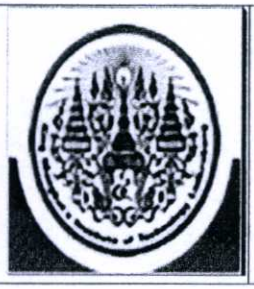
| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 236.7 | 0 |
| 1 | 236.7 | 42.25 |
| 2 | 236.7 | 42.25 |
| 3 | 236.7 | 42.25 |
| 4 | 236.7 | 84.50 |
| 5 | 236.7 | 84.50 |
| 6 | 236.7 | 84.50 |
| 7 | 236.7 | 84.50 |
| 9 | 236.7 | 126.74 |
| 11 | 236.7 | 168.99 |
| 15 | 236.7 | 168.99 |
| 17 | 236.7 | 168.99 |
| 20 | 236.7 | 168.99 |
| 22 | 236.7 | 211.24 |
| 25 | 236.7 | 253.49 |
| 28 | 236.7 | 253.49 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.61 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6 Retarder 0.1%



**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.3 | 0 |
| 1 | 237.3 | 42.14 |
| 2 | 237.3 | 42.14 |
| 3 | 237.3 | 84.28 |
| 4 | 237.3 | 84.28 |
| 5 | 237.3 | 84.28 |
| 6 | 237.3 | 84.28 |
| 7 | 237.3 | 126.42 |
| 9 | 237.3 | 168.56 |
| 11 | 237.3 | 168.56 |
| 15 | 237.3 | 210.70 |
| 17 | 237.3 | 210.70 |
| 20 | 237.3 | 210.70 |
| 22 | 237.3 | 252.84 |
| 25 | 237.3 | 252.84 |
| 28 | 237.3 | 252.84 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.62 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6 Retarder 0.3%

**KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER**

PROJECT : Effects of Admixture on Autogenious Shrinkage of Prefabricated concrete

CLIENT :

DATE OF TEST :

TIME :

TEMPERATURE :

TEST BY :

TEST SPECIMEN :

TEST APPARATUS :

TEST RESULTS :

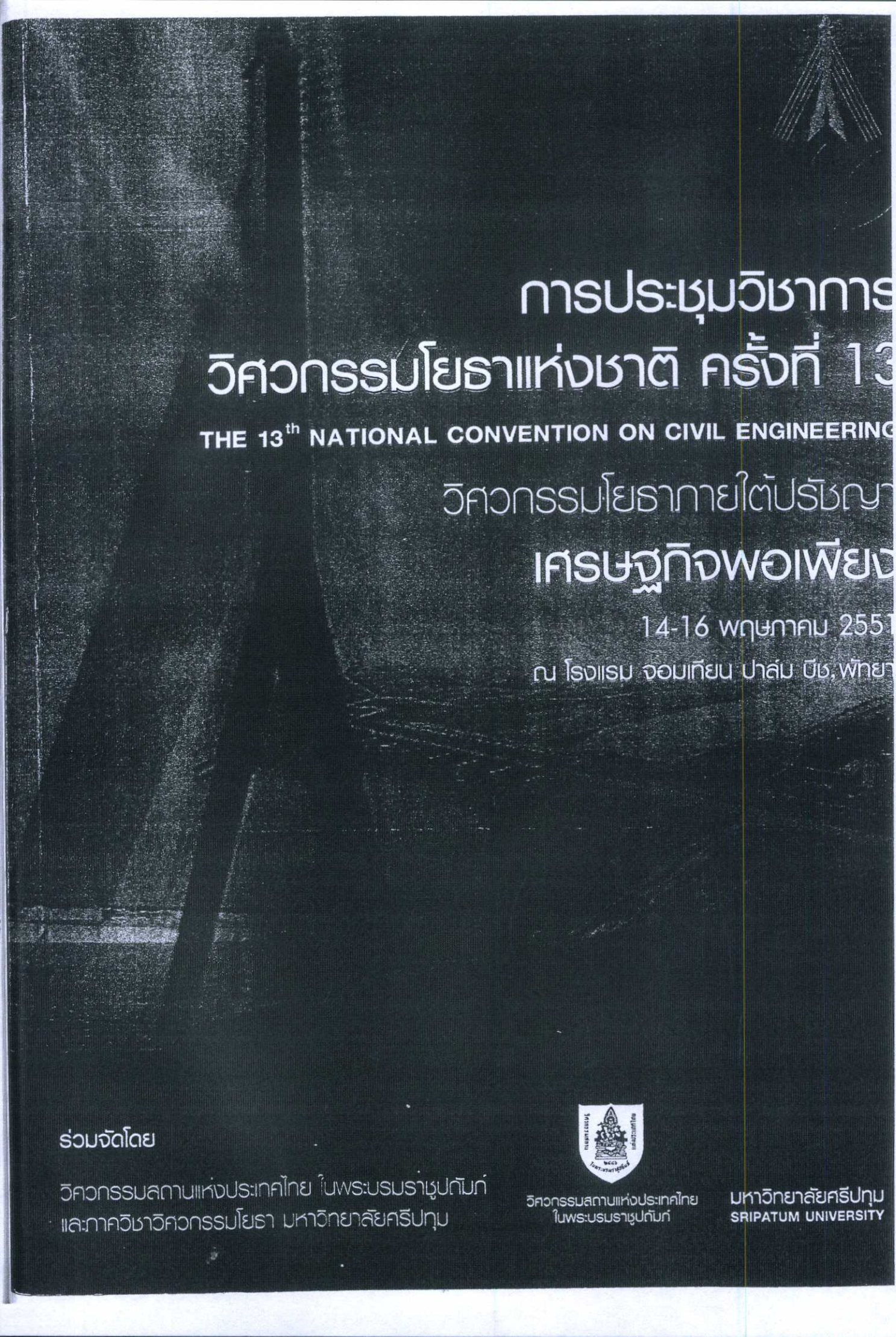
| E.Time | $L_0$ | % Shrinkage |
|---|---|---|
| 0 | 237.1 | 0 |
| 1 | 237.1 | 42.18 |
| 2 | 237.1 | 42.18 |
| 3 | 237.1 | 42.18 |
| 4 | 237.1 | 42.18 |
| 5 | 237.1 | 42.18 |
| 6 | 237.1 | 42.18 |
| 7 | 237.1 | 84.35 |
| 9 | 237.1 | 84.35 |
| 11 | 237.1 | 126.53 |
| 15 | 237.1 | 126.53 |
| 17 | 237.1 | 168.71 |
| 20 | 237.1 | 168.71 |
| 22 | 237.1 | 210.88 |
| 25 | 237.1 | 210.88 |
| 28 | 237.1 | 210.88 |

Note :

Dr. KOMSAN MALEESEE

Material Consultant

ผ.ก.63 แสดงผลการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต ที่ w/c 0.6 Retarder 0.5%



# การประชุมวิชาการ
# วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13

**THE 13th NATIONAL CONVENTION ON CIVIL ENGINEERING**

## วิศวกรรมโยธาภายใต้ปรัชญา
## เศรษฐกิจพอเพียง

14-16 พฤษภาคม 255

ณ โรงแรม จอมเทียน ปาล์ม บีช, พัทยา

ร่วมจัดโดย

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
และภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีปทุม

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
ในพระบรมราชูปถัมภ์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

# ผลกระทบของสารผสมเพิ่มต่อการหดตัวในชิ้นส่วนซีเมนต์เพสต์

# Effects of Admixture on Autogenous Shrinkage of Hardened Cement plaste

**เกวริน ก้อนแก้ว (Kawarin Konkeaw)**[1]

**คมสัน มาลีสี (Komsan Maleesee)**[2]

[1]*นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*

kawarin_may@hotmail.com

[2]*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*

kmkomsan@kmitl.ac.th

**บทคัดย่อ :** งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาผลกระทบของสารผสมเพิ่มต่อการหดตัวในชิ้นส่วนซีเมนต์เพสต์ ในขั้นต้นทำการศึกษาผลกระทบของสารผสมเพิ่มที่ผสมในซีเมนต์เพสต์กับอัตราการไหล อัตราการเยิ้มน้ำ และการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ โดยสารผสมเพิ่มที่ใช้คือสารลดน้ำ (Superplaticizer) ในปริมาณต่างๆ การวัดการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ทำโดยเตรียมแท่งตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ถอดแบบแล้วทำการบ่มด้วยวิธีใช้พลาสติกคลุม ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ชิ้นส่วนของซีเมนต์เพสต์ที่ใส่สารลดน้ำยิ่งมีปริมาณสารลดน้ำที่เพิ่มขึ้นก็ยิ่งทำให้การเยิ้มน้ำเพิ่มมากขึ้นและยังพบว่าการหดตัวของชิ้นตัวอย่างก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

**ABSTRACT :** This research aimed to study effects of admixture on autogenous shrinkage of hardened cement paste. In first part study effect on cement paste test workability, bleeding and autogenous shrinkage. The admixture that use in this experiment is superplasticizer in various ratio. The sample for test autogenous shrinkage was curing by wrapped with plastic immediately after take off from mold. From the result of this experiment found that cement paste which increasing amount of superplasticizer in sample bleeding and shrinkage also increased.

**KEYWORDS :** admixture, Autogenous shrinkage, cracking

**สาขาของบทความ :** วิศวกรรมวัสดุก่อสร้าง (MAT)

## 1. บทนำ

เนื่องด้วยอุตสาหกรรมการก่อสร้างในปัจจุบันกำลังขยายตัวและเติบโตอย่างกว้างขวาง ผลจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมามากมาย เช่นได้มีการนำเอาสารต่างๆ มาใช้ในการผสมคอนกรีต (Admixture) เพื่อที่จะปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตให้ได้ตามคุณสมบัติที่ต้องการ เช่นให้คอนกรีตมีความลื่นไหลที่ดี ให้คอนกรีตมีความสามารถในการรับกำลังได้รวดเร็ว ให้คอนกรีตมีการก่อตัวที่ช้าลง ลดการคายน้ำในคอนกรีต ซึ่งสำหรับในประเทศไทยแล้วผลกระทบของการใส่สารผสมเพิ่มนี้ยังไม่ได้มีการวัดหรือวิเคราะห์ในแง่ต่างๆ ที่ละเอียดเพียงพอ โดยเฉพาะผลกระทบของการใส่สารผสมเพิ่มกับการหดตัวที่เกิดขึ้นในโครงสร้างคอนกรีต เพื่อที่จะสามารถได้เลือกใช้สารผสมเพิ่มให้ถูกกับชนิดของงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการก่อสร้างต่อไป

## 2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

*2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา*

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type 1

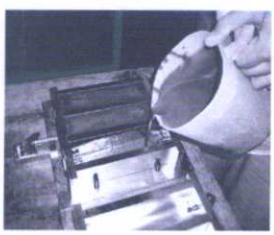
2.1.2 น้ำ ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้น้ำประปา

2.1.3 สารลดน้ำ (Superplaticizer)

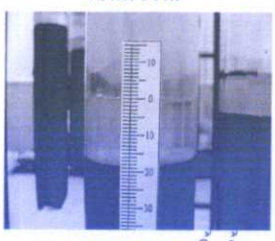
2.1.4 แบบหล่อขนาด 4 4 16 ซม.

2.1.5 เครื่องโม่

ก. เครื่องโม่



ข.แบบหล่อขนาด 4 4 16 ซม.



ค. การทดสอบการเยิ้มน้ำ

ง. การวัดค่าการหดตัว

## 3. วิธีการทดสอบ

*3.1 การทำตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบหาค่าอัตราการไหล*

วิธีการทดสอบASTM C 939, "Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced Aggregate Concrete (Flow of Grout)," Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02

3.1.1 ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และสารผสมเพิ่มโดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ส่วนสารผสมเพิ่มผสมที่ 0%, 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %

3.1.2 ทำการผสมโดยเครื่องผสมซีเมนต์เพสต์เทซีเมนต์เพสต์ลงกรวย โดยปิดปลายกรวยไว้จนถึงระดับที่ต้องการ ทำการปล่อยซีเมนต์เพสต์ให้ไหลและจับเวลาบันทึกอัตราการไหลตามรูป

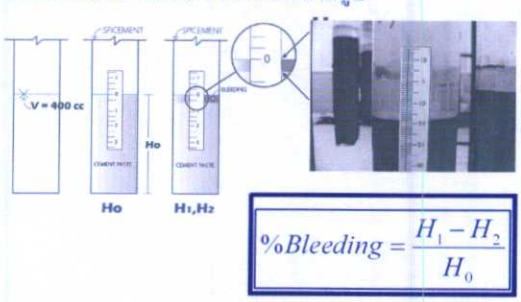
จ. การทดสอบอัตราการไหล

*3.2 การทำตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบหาค่าการเยิ้มน้ำ*

3.2.1 ทำการคำนวนปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และสารผสมเพิ่มโดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ส่วนสารผสมเพิ่มผสมที่ 0%, 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %

3.2.2 ทำการผสมโดยเครื่องผสม จากนั้นเทซีเมนต์เพสต์ลงถุงทรงกระบอกที่ติดมาตราส่วนวัดค่าการเยิ้มน้ำไว้แล้ว เทให้ได้ปริมาณ 400 cc.

3.2.3 วัดค่าการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ ตามรูป




$$\%Bleeding = \frac{H_1 - H_2}{H_0}$$

ฉ. การทดสอบอัตราการเยิ้มน้ำ

*3.3 การทำตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบหาค่าการหดตัว*

วิธีการทดสอบโดยหล่อในแบบขนาด 4.0 x 4.0 x 16 ซม. ตามมาตรฐาน JIS A 1129

3.3.1 ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และสารผสมเพิ่ม โดยปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ w/c เริ่มจาก 0.4, 0.5 และ 0.6 ส่วนสารผสมเพิ่มผสมที่ 0%, 0.5 %, 1.0 % และ 1.5 %

3.3.2 ทำการผสมโดยเครื่องผสมจากนั้นเทซีเมนต์เพสต์ลงแบบหล่อขนาด 4 x 4 x 16 ซม.

3.3.3 ทำการเตรียมแบบที่ใช้หล่อซีเมนต์เพสต์ โดยมีแกนเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์การ 6 มม. ยื่นเข้าไปในเนื้อซีเมนต์เพสต์ 15 5 มม. จากแบบหล่อ

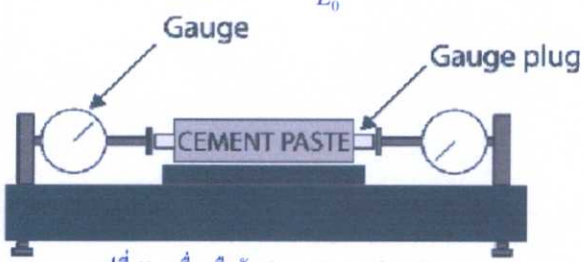
3.3.4 ทำการวัดระยะห่างภายในระหว่างแกนเหล็กทั้งสองข้างของแบบหล่อ

3.3.5 เมื่อคอนกรีตอายุครบ 1 วัน ทำการแกะแบบและทำการบ่มโดยวิธีห่อหุ้มซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างด้วยพลาสติก

3.3.6 วัดค่าความยาวเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์และทำการวัดค่าการหดตัวซีเมนต์เพสต์

สูตรที่ใช้ในการหาค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์

$$Shrinkage = \frac{\Delta X_0 - \Delta X_1}{L_0}$$

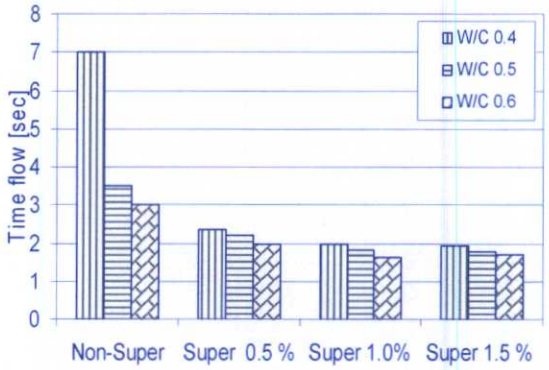



**รูปที่ ช** . เครื่องมือวัด Autogenous Shrinkage

## 4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

*4.1 การทดสอบหาค่าอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์*

จากกราฟแท่งรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อผสมสาร Superplaticizer มีผลทำให้ซีเมนต์เพสต์มีอัตราการไหลดีขึ้น เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ผสม Superplaticizer มากที่สุดถึง 74.29%

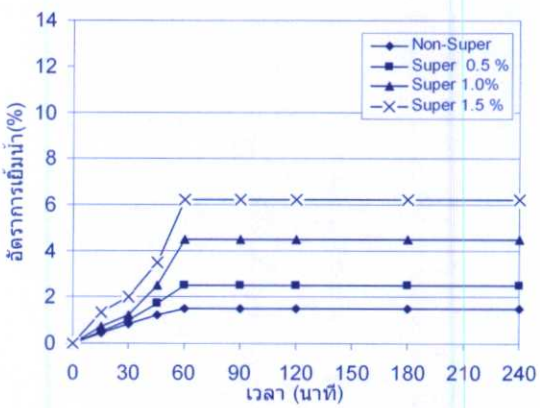



**รูปที่ 1** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสาร superplaticizer

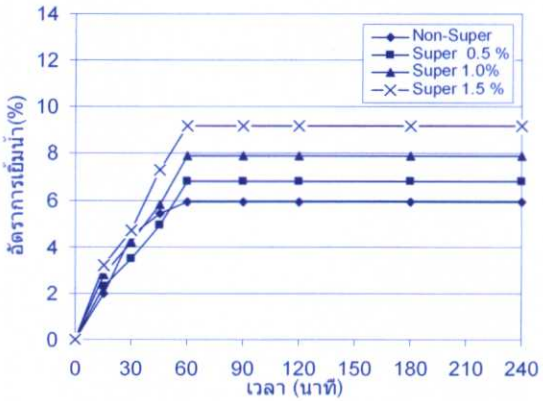
*4.2 การทดสอบหาค่าอัตราการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารผสมเพิ่มในจำนวนที่ต่างกัน*

จากรูปที่ 2 – 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ที่ผสม superplaticizer ในปริมาณที่มาก มีแนวโน้มว่าอัตราการเยิ้มน้ำมากขึ้นด้วย และมีอัตราการเยิ้มน้ำสูงสุดที่ W/C 0.6 ผสม superplaticizer 1.5% เทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ผสม superplaticizer ค่าการเยิ้มน้ำต่างกันถึง 62.5%

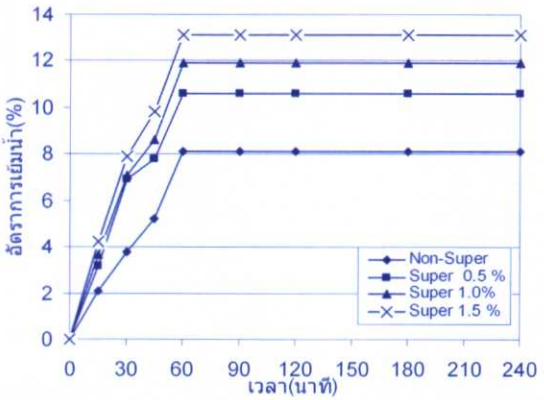
ในช่วง 0 ถึง 60 นาที มีอัตราการเยิ้มน้ำมากและเริ่มมีอัตราการเยิ้มน้ำคงที่ ที่ 60 นาที




**รูปที่ 2** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่ W/C 0.40 โดยผสม superplaticizer ในปริมาณต่างๆ



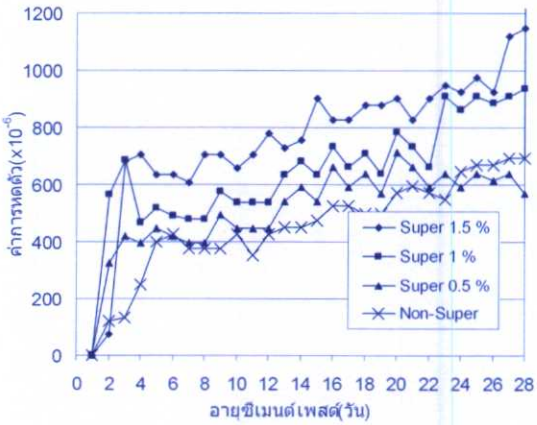

**รูปที่ 3** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่ W/C 0.50 โดยผสม superplaticizer ในปริมาณต่าง ๆ



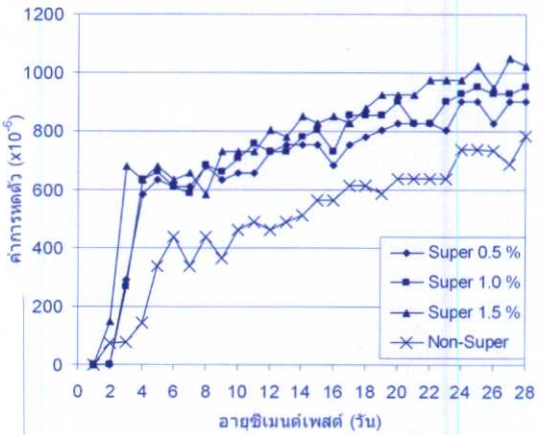

**รูปที่ 4** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยิ้มน้ำกับเวลา ที่ W/C 0.60 โดยผสม superplaticizer ในปริมาณต่าง ๆ

*4.3 การทดสอบหาค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารผสมเพิ่มในจำนวนที่ต่างกัน*

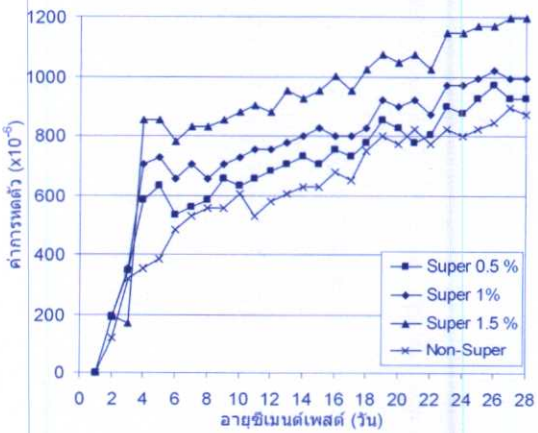
จากรูปที่ 5-7 สรุปอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ผสม superplaticizer จากกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างเวลาและการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ในช่วง 3-7 วัน หลังแกะแบบอัตราการหดตัวค่อนข้างสูงและมีความแตกต่างกันมาก ทำให้สามารถแยกเส้นกราฟได้ชัดเจน ลักษณะของกราฟอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของ superplaticizer ที่ผสมเพิ่มและอัตราส่วนการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ มีสูงที่สุดถึง 37% เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสม superplaticizer




**รูปที่ 5** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.40 โดยผสม superplaticizer ในปริมาณต่าง ๆ




**รูปที่ 6** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.50 โดยผสม superplaticizer ในปริมาณต่าง ๆ




**รูปที่ 7** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอัตราการหดตัว ที่ W/C 0.60 โดยผสม superplaticizer ในปริมาณต่าง ๆ

## 5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ ที่ W/C 0.4, 0.5 และ 0.6 ซึ่งผสม superplaticizer ในปริมาณต่างๆ กันสามารถสรุปผล ได้ดังนี้

1. สารผสมเพิ่มมีผลต่ออัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์โดยเมื่อผสมสาร superplaticizer มาก การไหลของซีเมนต์จะมีค่ามากกว่าที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่ม มากที่สุดถึง 74.29%
2. สารผสมเพิ่มมีผลต่ออัตราการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ โดยเมื่อผสมสาร superplaticizer มาก อัตราการเยิ้มน้ำก็จะมากขึ้นด้วย
3. สารผสมเพิ่มมีผลต่ออัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ โดยเมื่อผสมสาร superplaticizer มาก อัตราการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ ก็มากขึ้นด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้ทำงานวิจัยขอขอบคุณ บริษัท คอมมิก จำกัด บริษัท ดับบลิว อาร์ เกรซ (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำยาเคมีที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม(สสว.) ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญาโท(สกว.-สสว.)ผู้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] วินิต ช่อวิเชียร คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 9 (กรุงเทพมหานคร: หป.สัมพันธ์พาณิชย์, 2544)

[2] ศิริวัฒน์ ไชยชนะ ปฏิบัติคอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 2 (กรุงเทพมหานคร: หจก.วี.เจ.พริ้นติ้ง จำกัด 2542)

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| ชื่อ-นามสกุล | นางสาว เกวริน ก้อนแก้ว |
| วัน เดือน ปีเกิด | 31 มกราคม 2526 |
| ที่อยู่ | 570/1 เขต สวนหลวง แขวง สวนหลวง กทม. 10250 |

ประวัติการศึกษา 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2548-2549 อิทธิพล ของการบ่มต่อคุณสมบัติของคอนกรีตรับกำลังสูงเร็ว
Influences of Curing Types on Properties of High Early Strength Concrete

พ.ศ.2549-ปัจจุบัน วิศวกร บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด (มหาชน)