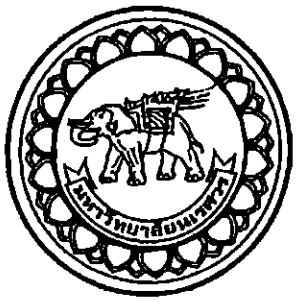


การศึกษาอิทธิพลของนาโนซิลิก้า ประเภทที่ไม่ชอบน้ำ และประเภทที่ชอบน้ำ ต่อผลการหดตัวของซีเมนต์มอร์ต้า

A Study of effect of hydrophobic and hydrophilic nanosilica on shrinkage of mortar cement

นายธงรบ ศรีบัวงาม รหัส 53360279

นายติณหภัช ลิ้มสุข รหัส 53360569

นายศุภชัย สีสันทราย รหัส 53360675

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2556

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 2 ส.ค. 2558
เลขทะเบียน 1675484
เลขเรียกหนังสือ ม.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ธ 1129 2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การศึกษาอิทธิพลของนาโนซิลิก้า ประเภทที่ไม่ชอบน้ำ และประเภทที่ชอบน้ำ ต่อผลการหดตัวของซีเมนต์มอร์ต้า

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายธงรบ	ศรีบัวงาม	รหัส	53360279
นายติณหภัช	ลิ้มสุข	รหัส	53360569
นายศุภชัย	สีสันทราย	รหัส	53360675

ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์
ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2556

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์)

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ บุญพล มีไชโย)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาอิทธิพลของนาโนซิลิก้า ประเภทที่ไม่ชอบน้ำและประเภทที่ชอบน้ำ ต่อผลการหดตัวของซีเมนต์มอร์ต้า		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายธงรบ	ศรีบัวงาม	รหัส 53360279
	นายติณหภัช	ลิ้มสุข	รหัส 53360569
	นายศุภชัย	สีสันทราย	รหัส 53360675
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์		
	ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2556		

บทคัดย่อ

การศึกษาเรื่อง "อิทธิพลของนาโนซิลิก้า ประเภทที่ไม่ชอบน้ำและประเภทที่ชอบน้ำ ต่อผลการหดตัวของซีเมนต์มอร์ต้า" มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการหดตัวของแท่งทดสอบซีเมนต์มอร์ต้า ที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าสองชนิดประเภทที่ชอบน้ำและประเภทที่ไม่ชอบน้ำ ทั้งนี้เพื่อเป็นการสร้างองค์ความรู้ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาส่วนผสมคอนกรีตที่มีความสามารถต้านทานการแตกร้าวเนื่องมาจากการหดตัวได้ดี

จากการศึกษาพบว่า พฤติกรรมการหดตัวโดยรวมของแท่งทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าในช่วง 14 วันแรก มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวและน้ำหนักสูงมาก และเมื่อเวลาผ่านไปหลัง 60 วัน อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวและน้ำหนักของแท่งซีเมนต์มอร์ต้าจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงมาก สำหรับการหดตัวแบบออโตจีนัสผลการทดสอบพบว่าอัตราการหดตัวของแท่งทดสอบในช่วง 1 เดือนแรก มีค่าสูงมาก และเปลี่ยนแปลงน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป 1-2 เดือนหรือแทบไม่เปลี่ยนแปลงเลยทั้งน้ำหนักและความยาวและเมื่อเวลาผ่าน 90 วัน ปัจจัยเพิ่มเติมที่นำมาทดลองคือ ผลของการใช้สารลดน้ำอย่างแรง หากใช้สารลดน้ำอย่างแรงช่วยในการผสมจะช่วยให้ซีเมนต์มอร์ต้ามีค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและน้ำหนักน้อยกว่าการใช้น้ำที่ความข้นเหลวเดียวกัน และอีกปัจจัยคือ ผลจากอุณหภูมิ หากห้องควบคุมมีอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำแท่งทอสอบซีเมนต์มอร์ต้าจะแข็งตัวอย่างรวดเร็วแต่ถ้าอุณหภูมิต่ำและความชื้นมาก แท่งทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าก็จะแข็งตัวได้ช้ากว่า

Project title	A Study of effect of hydrophobic and hydrophilic nanosilica on shrinkage of cement mortar		
Name	Mr. Thongrob	Sribuengam	ID. 53360279
	Mr. Tinhapat	Limsuk	ID. 53360569
	Mr. Supachai	Sisanshai	ID. 53360675
Project advisor	Assist.Prof.Dr. Saranagon Hemavibool		
	Dr. Tanapon Phenrat		
Major	Civil Engineering		
Department	Civil Engineering		
Academic year	2013		

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the shrinkage behaviour of cement mortar with nano silica, a novel mixture which might have advantages over traditional concrete mixture, especially on the issue of cracking caused by shrinkage. We found that for the total shrinkage study, the length and weight of test specimens changed rapidly during the first 14 days but remained relatively stable after 60-90 days. Similarly, for the autogeneous shrinkage study, the length and weight of test specimens changed substantially in the first month and became minimal after 1-2 months and no change was observed after 90 days. We also evaluated the influence of super plasticizer on shrinkage of cement mortar with nano silica and found that using super plasticizer together with nano silica helps decrease shrinkage of cement mortar.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธาฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของท่าน ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดต่างๆมาโดยตลอดรวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำโครงงานและความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้จัดหางบประมาณและให้สถานที่ห้องปฏิบัติการในการทำโครงงานครั้งนี้ ทำให้โครงงานสามารถดำเนินไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณห้องสมุดที่เป็นแหล่งข้อมูลอันมีค่าสำหรับการจัดทำโครงงานที่ทำให้โครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณนันธวัฒน์ เบอะเทพ ที่คอยเป็นที่ปรึกษาสำหรับการทำโครงงานในครั้งนี้และเป็นผู้ที่ให้ข้อคิดปรับปรุงโครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆเป็นอย่างสูงที่ให้กำลังใจสนับสนุนและคอยช่วยเหลือให้คณะผู้จัดทำมีความตั้งใจที่จะทำให้โครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม

นายธงรบ ศรีบัวงาม

นายติณหภัช ลิ้มสุข

นายศุภชัย สีสันทราย

พฤษจิกายน 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....จ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ซ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....1
1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน.....2
1.5 แผนการดำเนินงาน.....3
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....4
2.1 การหดตัวของคอนกรีต.....4
2.1.1 การหดตัวแบบออโตจีนัส.....4
2.1.2 การหดตัวแบบแห้ง.....5
2.2 นาโนซิลิก้า.....5
2.2.1 การใช้นาโนซิลิก้าในคอนกรีตผสม.....6
2.2.2 วิธีการผลิตนาโนซิลิก้า.....7
2.2.3 ผลกระทบของการเพิ่มนาโนซิลิก้าเข้าไปในคอนกรีตและปูนทนไฟ.....8
2.2.4 การประยุกต์ใช้นาโนซิลิก้า.....9
2.2.5 แผนโครงการระดับบัณฑิตศึกษาและการศึกษาวิจัยต่อไป.....10
2.2.6 ข้อสรุป.....11
2.2.7 องค์ประกอบทางเคมีของนาโนซิลิกาฟูม.....11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วัสดุและขั้นตอนการทดสอบ....14
3.1 บทนำ....14
3.2 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในโครงการ....14
3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ....14
3.2.2 วัสดุที่ใช้ในโครงการ....17
3.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างทดสอบ....20
3.4 วิธีการผสมคอนกรีต....23
3.5 ขั้นตอนการแกะแบบ....28
3.5.1 การหดแบบแห้ง....28
3.5.2 การหดตัวแบบออโตจีนัส....30

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์....35
4.1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาวของซีเมนต์มอร์ต้าเนื่องจากการใช้งาน
นาโนซิลิก้า....35
4.1.1 การหดตัวแบบแห้ง....35
4.1.1.1 การศึกษาผลของการใช้งานนาโนซิลิก้าต่อความยาวที่เปลี่ยนแปลง....35
4.1.1.2 การศึกษาผลของพื้นที่ผิว....44
4.1.2 การหดตัวแบบออโตจีนัส....48
4.1.2.1 การศึกษาผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า....48
4.1.2.2 การศึกษาผลของพื้นที่ผิว....50

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ....51
5.1 สรุปผล....51
5.1.1 ผลการเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีต....51
5.2 ข้อเสนอแนะ....52

เอกสารอ้างอิง....53

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน....3

2.1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของปูนซีเมนต์, เถ้าถ่านหิน, และซิลิกาฟูม....12

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของซิลิกาฟูม, เถ้าถ่านหินและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1....13

2.3 อัตราส่วนผสมและกำลังอัดของคอนกรีตที่มีและไม่มีซิลิกาฟูมเป็นส่วนผสม....13

3.1 ส่วนผสมซีเมนต์มอร์ตา....33

3.2 สัญลักษณ์แสดงปริมาณส่วนผสม....33

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพถ่ายขยายด้วย SEM ของนาโนซิลิก้าฟูม	12
3.1 เครื่องผสมคอนกรีต	14
3.2 เครื่องชั่ง	15
3.3 เครื่องทดสอบความค้นเหลว	15
3.4 แบบหล่อคอนกรีต	16
3.5 ชุดทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว	16
3.6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง)	17
3.7 มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดสอบ	18
3.8 ควบคุมอุณหภูมิน้ำ	18
3.9 สารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำอย่างแรง ประเภท F	19
3.10 ซิลิกาฟูม (Silica Fume)	20
3.11 การเตรียมปูนซีเมนต์	20
3.12 การเตรียมนาโนซิลิกาฟูม	21
3.13 แบบที่ทำความสะอาดเรียบร้อย	21
3.14 แบบที่ทาน้ำมันเรียบร้อยแล้ว	22
3.15 วิธีการห่อพลาสติกห่ออาหาร	22
3.16 แบบที่ประกอบเสร็จแล้ว	23
3.17 วัสดุที่ใช้ในการผสมตัวอย่าง	23
3.18 เทน้ำลงเครื่องผสมคอนกรีต	24
3.19 เทปูนลงเครื่องผสมคอนกรีต	24
3.20 เททรายลงเครื่องผสมคอนกรีต	24
3.21 ปรับระดับความเร็วของเครื่องผสมคอนกรีต	25
3.22 ใช้มือกวนให้ทั่ว	25
3.23 เปิดเครื่องที่ความเร็วสูงสุด	26
3.24 เทปูนครึ่งแบบ	26
3.25 จี้เขย่าเสร็จแล้ว	26
3.26 เทปูนเต็มแบบ	27
3.27 แต่งหน้าด้วยเกรียง	27
3.28 แบบห่อพลาสติกหออาหาร	27

สารบัญรูป (ต่อ)

3.29 ภาพก่อนแกะพลาสติก....28
3.30 ภาพหลังแกะพลาสติก....28
3.31 แกะแบบออกแล้ว....28
3.32 ภาพชั่งก้อนตัวอย่าง....29
3.33 ภาพความยาว....29
3.34 ที่เก็บตัวอย่าง....29
3.35 ภาพก่อนแกะพลาสติก....30
3.36 ภาพหลังแกะพลาสติก....30
3.37 แกะแบบออกแล้ว....30
3.38 ภาพการห่อเทปอลูมิเนียม....30
3.39 ภาพการห่อพลาสติกห่ออาหาร....31
3.40 ภาพการห่อเทปใส....31
3.41 ภาพชั่งก้อนตัวอย่าง....31
3.42 ภาพความยาว....32
3.43 เก็บตัวอย่าง เป็นระเบียบ....32
4.1 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hl0.5,LW55Hl2 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม)....36
4.2 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hl0.5,LW55Hl2 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม)....37
4.3 กราฟแสดงความยาวเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hb0.5,LW55Hb2 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม)....38
4.4 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55HLb.5,LW55Hb2 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม)....39
4.5 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hl14.5,LW55Hl29 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบผสมน้ำในการผสม)....40
4.6 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hl14.5,LW55Hl29 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบผสมน้ำในการผสม)....41
4.7 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hb14.5,LW55Hb29 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบผสมน้ำในการผสม)....42
4.8 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hb14.5,LW55Hb29 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบผสมน้ำในการผสม)....43

สารบัญรูป (ต่อ)

4.9 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา จากผลของพื้นผิว
LW55ro, LW55Hb0.5, LW55Hb2, LW55Hl0.5, LW55Hl2
(ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม).....44
4.10 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา จากผลของพื้นผิว
LW55ro,LW55Hb0.5,LW55Hb2,LW55Hl0.5,LW55Hl2
(ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม).....45
4.11 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา จากผลของพื้นผิว
LW55ro,LW55Hb14.5,LW55Hb29,LW55Hl14.5,LW55Hl29
(ใช้นาโนซิลิก้าชนิดผสมน้ำในการผสม).....46
4.12 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา จากผลของพื้นผิว
LW55ro,LW55Hb14.5,LW55Hb29,LW55Hl14.5,LW55Hl29
(ใช้นาโนซิลิก้าชนิดผสมน้ำในการผสม).....47
4.13 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา
LW55ro, ,LW55Hl0.5,LW55Hl2 (ใช้นาโนซิลิก้าชนิดแห้งในการผสม).....48
4.14 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า
LW55ro,LW55Hb0.5,LW55Hb2 (ใช้นาโนซิลิก้าชนิดแห้งในการผสม).....49
4.15 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของพื้นที่ผิว
LW55ro,LW55Hb0.5,LW55Hb2,LW55Hl0.5,LW55Hl2
(ใช้นาโนซิลิก้าชนิดแห้งในการผสม).....50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานก่อสร้าง ทั้งในประเทศไทยและทั่วโลกเนื่องจากมีราคาถูกและมีคุณสมบัติในการต้านทานแรงอัดได้ดี จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้าง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัวก็จะเกิดปัญหาการแตกร้าว เนื่องมากจากหลายสาเหตุด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่นเกิดการแตกร้าวจากแรงกระทำภายนอก เกิดการแตกร้าวเนื่องการทรุดตัวของแบบเทคอนกรีต หรือการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวเป็นต้น การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวนั้นมีสาเหตุสำคัญมาจากการสูญเสียความชื้นในคอนกรีต ทำให้เกิดการหดตัว เมื่อคอนกรีตเกิดการแตกร้าวก็จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างหลายประการไม่ว่าจะเป็นด้านความสวยงาม การใช้งาน หรือความอายุการใช้งานของโครงสร้าง ทำให้เจ้าของอาคารดังกล่าว ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายสูงในการซ่อมแซมบำรุงรักษา ในปัจจุบันมีการคิดค้นและหาวิธีป้องกันการแตกร้าวอยู่หลายวิธี เช่น กรรมวิธีการบ่มคอนกรีตที่ถูกต้องเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำของคอนกรีตในขณะเกิดปฏิกิริยา เทคนิคในการเทคอนกรีตให้ใช้การลำเลียงห้ามเทจากที่สูงเพื่อป้องกันการแยกตัวของคอนกรีต และอีกหลายๆวิธีการแต่วิธีการหนึ่งที่หน้าสนใจคือการใช้วัสดุปอซโซลาน ปัจจุบันเทคโนโลยีคอนกรีตได้ก้าวหน้าไปอีกขั้นโดยมีการใช้วัสดุผสมเพิ่มประเภทวัสดุปอซโซลาน คือ เถ้าลอย (Pulverized Fuel Ash ; PFA), ตะกรันเหล็ก (Ground Granular Blast Furnace Slag ; GGBS) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตเพราะวัสดุปอซโซลาน มีโมเลกุลขนาดเล็กจึงสามารถเข้าไปแทนที่อากาศภายในช่องว่างในคอนกรีตเพื่อช่วยลดการหดตัวเมื่อคอนกรีตเริ่มเกิดการก่อตัว

โครงการนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานนาโนซิลิก้า ซึ่งเป็นวัสดุประเภทปอซโซลาน ว่าส่งผลอย่างไรต่อการหดตัวของคอนกรีตเมื่อนำนาโนซิลิก้าไปใช้เป็นส่วนผสมที่ความเข้มข้น 0.5 - 2 เปอร์เซ็นต์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการหดตัวของซีเมนต์มอร์ต้าอันเนื่องมาจากผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า

1.2.2 เพื่อลดปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากการหดตัว

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงและเข้าใจพฤติกรรมการหดตัวของซีเมนต์มอร์ต้าจากใช้นาโนซิลิก้า

1.3.2 ได้คอนกรีตที่ไม่มีปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว

1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวข้องกับการหดตัวของคอนกรีตอันเนื่องมาจากการใช้นาโนซิลิก้าเป็นส่วนผสม

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้างแดงจากจังหวัดลำปาง
- ทรายแม่น้ำ
- น้ำสะอาด ควบคุมอุณหภูมิที่ 23°C ขณะทำการผสม
- อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b = 0.55)
- นาโนซิลิก้าฟูมประเภทชอบน้ำ และนาโนซิลิก้าฟูมประเภทไม่ชอบน้ำ
- ปริมาณการแทนที่นาโนซิลิก้าชนิดผสมแห้งประเภทที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในซีเมนต์มอร์ต้า 0.5 – 2 %
- วิธีการผสมชนิดผสมน้ำของนาโนซิลิก้าประเภทที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำอัตราส่วน 14.5 g/l. , 29 g/l.
- ควบคุมค่าการยุบตัวของคอนกรีตให้อยู่ในช่วง 10 ± 2 cm

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

เดือน / กิจกรรม	ตุลาคม 1 2 3 4	พฤศจิกายน 1 2 3 4	ธันวาคม 1 2 3 4	มกราคม 1 2 3 4	กุมภาพันธ์ 1 2 3 4
1. การนำเสนอโครงงาน					
2. ตรวจดูสถานที่ทำโครงงาน					
3. ติดต่อข้อมูลจากสำนักงานที่เกี่ยวข้อง					
4. วิเคราะห์ปัญหาที่ เกิดขึ้น					
5. เขียนโครงการ					

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1. ค่าวัสดุสำนักงาน 1,000 บาท
2. ค่าวัสดุในห้องปฏิบัติการ 1,000 บาท
3. ค่าถ่ายเอกสารและเข้ารูปเล่ม 1,000 บาท

รวมเป็นเงิน 3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน)

<u>หมายเหตุ</u> ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาที่พบโดยทั่วไปของคอนกรีตคือการแตกร้าว ในการศึกษานี้ผู้ศึกษาสนใจเกี่ยวกับการแตกร้าวอันเนื่องจากสาเหตุมาจากการหดตัวของคอนกรีต เมื่อคอนกรีตเริ่มทำปฏิกิริยา จะเกิดความร้อนสูงภายในคอนกรีต น้ำภายในคอนกรีตเริ่มมีการระเหยออก ทำให้คอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเกิดการหดตัว ทำให้คอนกรีตมีการแตกร้าว เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว กลุ่มผู้ศึกษาจึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้นาโนซิลิก้า เพื่อช่วยลดปัญหาการหดตัวและการแตกร้าวของคอนกรีต

2.1 การหดตัวของคอนกรีต

การหดตัวของคอนกรีตส่วนใหญ่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์ และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีต ซึ่งอาจจะนำไปสู่การแตกร้าว ได้ถ้ามีการยึดรั้ง การหดตัวของคอนกรีตที่มักพบโดยทั่วไป และจำเป็นต้องคำนึงถึงในการออกแบบคอนกรีตด้วย ได้แก่ การหดตัวแบบออโตจีนัส และการหดตัวแบบแห้ง การหดตัวทั้งสองชนิดนี้จะเกิดขึ้นควบคู่กัน แต่มักจะรุนแรงต่างเวลากัน โดยการหดตัวแบบออโตจีนัสมักจะเกิดมากในช่วงอายุต้น แต่การหดตัวแบบแห้งมักจะเกิดหลังจากการบ่มตัวแล้ว ทำให้ต้องคำนึงถึงการหดตัวทั้งสองชนิดนี้ ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต และในการออกแบบโครงสร้างเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการแตกร้าวที่ไม่พึงประสงค์

2.1.1 การหดตัวแบบออโตจีนัส (Autogeneous Shrinkage)

การหดตัวแบบออโตนีนัสเกิดจากผลรวมของการหดตัวทางเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Chemical Shrinkage) รวมกับการหดตัวที่เกิดจากการสูญเสียความชื้นในช่องว่างคะปิลลารีในเพสต์ทำให้เกิดแรงดึงคะปิลลารี (Capillary Tension) ขึ้นในช่องว่างคะปิลลารี ซึ่งจะมีผลให้คอนกรีตหดตัว การหดตัวแบบออโตจีนัสจะเกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหากคอนกรีตมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วคือต่ำกว่า 0.4 ซึ่งการหดตัวแบบออโตจีนัสแตกต่างจากการหดตัวแบบแห้งตรงที่ไม่มีการสูญเสียความชื้นในคอนกรีตไปสู่สิ่งแวดล้อม แต่สูญเสียความชื้นภายในคอนกรีตเอง การหดตัวแบบออโตจีนัสเกิดขึ้นทันทีหลังจากผสมคอนกรีตเสร็จ เนื่องจากการหดตัวช่วงเทคอนกรีตจะไม่มีผลต่อปริมาตรโครงสร้างที่เทแต่มีผลหลังจากเทไปแล้วดังนั้นจึงเริ่มวัดค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสเริ่มต้นจากระยะก่อตัวเริ่มต้น

2.1.2 การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)

การหดตัวแบบแห้งเกิดจากการที่คอนกรีตอยู่ในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่องว่างและโพรงอากาศในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศสูญเสียความชื้นไปสู่สิ่งแวดล้อม และเกิดการหดตัว โดยการหดตัวที่เกิดขึ้นนั้น บางส่วนไม่อาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้แม้ว่าจะทำให้คอนกรีตเปียกชื้นขึ้นมาใหม่ คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงจะมีช่องว่างคะปิลลารี (Capillary Pores) และปริมาณน้ำอิสระมาก ทำให้น้ำระเหยออกจากคอนกรีตได้สะดวกและมาก ดังนั้นจึงมีการหดตัวแบบแห้งที่สูง กลไกของการหดตัวแห้งของคอนกรีตขึ้นอยู่กับการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ เพราะโดยทั่วไปมวลรวมมีการหดตัวต่ำมาก

2.2 นาโนซิลิก้า

นาโนซิลิก้า (Nanosilica) เป็นวัสดุผสมเพิ่มชนิดหนึ่งซึ่งเป็นผลพลอยได้ของโรงงานผลิต Silicon Metal และ Ferrosilicon Alloy เป็นขบวนการ Reduction จาก Quartz ที่บริสุทธิ์ไปเป็น Silicon โดยวิธี Electric Arc ที่อุณหภูมิสูงถึง 2000 °C ทำให้เกิดไอ (Fume) ของซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งต่อมาจะออกซิไดซ์ (Oxidize) และกลั่นตัว (Condense) ที่อุณหภูมิต่ำๆ ได้เป็นอนุภาคขนาดเล็กมากๆของนาโนซิลิก้าที่ไม่เป็นผลึก นาโนซิลิก้าแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ นาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำ และที่ไม่ชอบน้ำ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 12 นาโนเมตร พื้นผิวสัมผัส 175 ถึง 225 ตารางเมตรต่อกรัม ความหนาแน่นประมาณ 30 กรัมต่อลิตร ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ ≥ 99.8 % โดยน้ำหนัก นาโนซิลิก้าประเภทที่ไม่ชอบน้ำขนาดอนุภาคเฉลี่ย 16 นาโนเมตร พื้นผิวสัมผัส 90 ถึง 130 ตารางเมตรต่อกรัม ความหนาแน่นประมาณ 50 กรัมต่อลิตร ปริมาณคาร์บอน 0.6 ถึง 4.2 % โดยน้ำหนัก ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ ≥ 99.8 % โดยน้ำหนัก กล่าวคือมีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ถึงกว่า 100 เท่าเนื่องจากอนุภาคของซิลิกาฟูมที่เล็กมากๆจึงมีพื้นที่ผิวสูงมาก และอยู่ในรูปที่ไม่เป็นผลึก ทำให้ลิกาฟูมเป็นสารที่เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้เร็วมาก ปัญหาของซิลิกาฟูมที่พบบ่อยเมื่อใช้ในคอนกรีตคือต้องเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมเพื่อให้ได้ความข้นเหลวเท่าเดิม สาเหตุเนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กมากๆของซิลิกาฟูมจึงมีการใช้น้ำที่ค่อนข้างสูงในการเคลือบผิวหน้า

แหล่งที่มา : เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18 เรื่อง อิทธิพลของนาโนซิลิก้าประเภทที่ชอบน้ำและที่ไม่ชอบน้ำ ต่อระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ กำลังรับแรงอัด และการต้านทานกรดของซีเมนต์มอร์ต้า

2.2.2 วิธีการผลิตนาโนซิลิก้า

ปัจจุบันนี้ มีวิธีการผลิตนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกันไป วิธีการผลิตหนึ่งจะขึ้นอยู่กับกระบวนการสังเคราะห์โดยทำให้เกิดโครงตาข่ายของสารอนินทรีย์ (inorganic networks) ผ่านการเกิดเป็น sol (colloidal suspension) ก่อน แล้วจะเกิดการฟอร์มโครงตาข่าย (ทางสารอินทรีย์หรือน้ำ) ที่อุณหภูมิห้อง ในกระบวนการนี้ วัสดุเริ่มต้น (ส่วนใหญ่เป็น Na_2SiO_4 และโลหะอินทรีย์ เช่น TMOS/TEOS) จะถูกเพิ่มเข้ามาในตัวทำละลาย แล้วค่า pH ของสารละลายก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เกิดการตกตะกอนของซิลิกาเจล เจลที่ผลิตได้จะผ่านระยะเวลาและถูกกรองจนกลายเป็น xerogel โดยที่ xerogel นี้จะถูกทำให้แห้งและถูกเผาหรือทำให้กระจายออกไปอีกครั้งด้วยสารที่มีความคงตัว (Na, K, NH_3, ฯลฯ) เพื่อสร้างการกระจายความเข้มข้น (ปริมาณของแข็ง 20 - 40%) ที่เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีต

วิธีการผลิตทางเลือกขึ้นอยู่กับการระเหยของซิลิการะหว่าง 1500 - 2000 °C จากควอตซ์ (SiO_2) ที่เกิดการลดลงในเตาอาร์คไฟฟ้า นอกจากนี้ นาโนซิลิก้าที่ถูกผลิตเป็นผลพลอยได้จากการผลิตโลหะซิลิคอนและโลหะผสมซิลิคอน, ที่เก็บรวบรวมได้จากการรวมตัวกันในภายหลังของอนุภาคที่มีขนาดเล็กในไซโคลนนาโนซิลิก้า ที่ผลิตขึ้นโดยวิธีการนี้เป็นผงที่มีความละเอียดมากซึ่งประกอบด้วยอนุภาคทรงกลมหรือ microspheres ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 nm ซึ่งมีความจำเพาะของพื้นผิวที่สูง (15 -25 m^2/g)

ได้พัฒนาวิธีการทางชีวภาพเพื่อสร้างการแพร่กระจายในแบบแคบและแบบสองปลายยอดของนาโนซิลิก้า จากอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายได้ของ California red warms (ระหว่าง55 – 245 nm โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผา) โดยนัยของวิธีการนี้ อนุภาคนาโนที่มีรูปร่างทรงกลมจะมีประสิทธิภาพของกระบวนการ 88% ที่สามารถรับได้ อนุภาคเหล่านี้จะถูกผลิตขึ้นมาจากการให้อาหารหนอนด้วยแกลบ ของเสียทางชีวภาพที่มี SiO_2 ปริมาณ 22%

ในท้ายที่สุด นาโนซิลิก้าอาจได้รับการผลิตโดยวิธีการตกตะกอน ในวิธีการนี้ นาโนซิลิก้า จะถูกเตรียมขึ้นมาจากสารละลายที่อุณหภูมิระหว่าง 50 -100 °C (ซิลิกาที่ถูกเตรียมขึ้นมา) ซึ่งได้รับการพัฒนาเป็นครั้งแรกโดย Iller ในปี ค.ศ. 1954 วิธีการนี้ใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกัน เช่น โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ขี้เถ้าแกลบที่ได้รับการเผา (RHA) ขี้เถ้าฟางข้าวกึ่งเผาไหม้ (SBRSA) แมกนีเซียมซิลิเกตและอื่นๆ

นอกจากนี้ นาโนซิลิก้าจะได้รับการพัฒนาผ่านเส้นทางการผลิตทางเลือก โดยทั่วไปแร่โอลิวีนและกรดซัลฟูริกจะถูกรวมเข้าด้วยกัน เนื่องจากซิลิกาที่ถูกเตรียมขึ้นมามีความละเอียดมาก แต่จะอยู่ในรูปแบบที่จับกันเป็นก้อนดังที่ได้ทำการสังเคราะห์ (อนุภาคขนาดนาโนระหว่าง 6 -30 nm) และมีราคาถูกกว่า micro-silica ในปัจจุบัน ความเป็นไปได้ของกระบวนการนี้ได้รับการพิสูจน์ในระดับบัณฑิตศึกษาของช่วงก่อนหน้านี้และข้อมูลที่ได้มีการเผยแพร่ ในขณะนี้ บริบทของโครงการศึกษาวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาได้มุ่งเน้นไปที่กระบวนการผลิตนาโนซิลิก้าในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่สำหรับการผลิตคอนกรีต นอกจากนี้ การรวมวัตถุดิบและตัวแปรในกระบวนการผลิตก็จะได้รับการทดสอบ

2.2.1 การใช้นาโนซิลิก้าในคอนกรีตผสม

คอนกรีตเป็นวัสดุที่ใช้ทั่วไปสำหรับการก่อสร้างและการออกแบบที่สิ้นเปลืองเกือบทั้งหมดของการผลิตปูนซีเมนต์ในโลก การผลิตปูนซีเมนต์จำนวนมากทำให้เกิดการปล่อย CO_2 เพิ่มขึ้นและเป็นผลให้เกิดภาวะเรือนกระจก วิธีการที่จะลดปริมาณของปูนซีเมนต์ในคอนกรีตผสมคือการใช้ซิลิกาบริสุทธิ์ หนึ่งในซิลิกาบริสุทธิ์มีศักยภาพสูงในการเข้าแทนที่ปูนซีเมนต์และเป็นสิ่งที่เพิ่มเข้าไปในคอนกรีตคือ นาโนซิลิก้า อย่างไรก็ตาม นาโนซิลิก้าในเชิงพาณิชย์จะได้รับการสังเคราะห์ด้วยวิธีการที่ค่อนข้างซับซ้อน ที่ส่งผลให้มีความบริสุทธิ์สูงและมีกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งทำให้ไม่เหมาะสมต่ออุตสาหกรรมการก่อสร้าง นอกจากนี้ การใช้นาโนซิลิก้าและผลกระทบจากคอนกรีตก็ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด

ในโครงการศึกษาวิจัยที่ผ่านมานาโนซิลิก้าแบบใหม่ที่ถูกผลิตขึ้นมาจากแร่โอลิวีน โดยที่นาโนซิลิก้านี้ เป็นเช่นเดียวกับนาโนซิลิก้าที่เหมาะจะนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะถูกนำมาประยุกต์ใช้และทดสอบ นอกจากนี้ เครื่องมือออกแบบในการผสมจะถูกนำมาใช้สำหรับนวัตกรรมของคอนกรีตที่พัฒนาให้มีคุณสมบัติของความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่าง ความสามารถในการแทรกตัวและความสามารถในการต้านทานการแยกตัวสูง (SCC) จะได้รับการดัดแปลงอนุภาคให้มีขนาดอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 – 50 nm วัตถุประสงค์ของบทความนี้เพื่อนำเสนอการใช้นาโนซิลิก้าในคอนกรีต โดยมุ่งเน้นไปที่คุณสมบัติของ นาโนซิลิก้า เพื่อจัดให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในคอนกรีต รวมทั้งกระบวนการผลิตนาโนซิลิก้า ผลกระทบเพิ่มเติมและการใช้งานในคอนกรีต ยังมีภาพรวมของการกำหนดค่าทางการทดลองและการศึกษาวิจัยต่อไปที่จะได้รับการนำเสนอ

อุตสาหกรรมการก่อสร้างจะใช้คอนกรีตที่มีขนาดใหญ่ ประมาณ 14 ล้านตันที่ถูกนำมาใช้ในปี ค.ศ. 2007 คอนกรีตจะถูกนำมาใช้ในสาธารณูปโภคพื้นฐานและอาคาร อันประกอบไปด้วยวัสดุมวลหยาบที่มีขนาดต่างๆ และช่วงขนาดซึ่งประกอบด้วยของผสมที่เป็นของแข็งที่ครอบคลุมในช่วงกว้าง การแบ่งระดับของผสมโดยรวม มีอนุภาคตั้งแต่ 300 nm – 32 mm ที่กำหนดคุณสมบัติของผสมจากคอนกรีต คุณสมบัติในสถานะที่สดใหม่ (คุณสมบัติของการไหลและความสามารถในการทำงานได้)ยกตัวอย่างเช่น ถูกควบคุมจากการแพร่กระจายขนาดของอนุภาค (PSD) แต่ยังมีคุณสมบัติของคอนกรีตในสถานะที่แข็งตัวแล้ว เช่น ความแข็งแรงและความทนทาน ที่ได้รับผลกระทบจากการแบ่งระดับของผสมและทำให้เกิดอนุภาค วิธีหนึ่งในการรวบรวมเพื่อปรับปรุงต่อไปคือการเพิ่มช่วงขนาดของแข็ง เช่น การรวมอนุภาคที่มีขนาดต่ำกว่า 300 nm วัสดุที่มีความเป็นไปได้ที่มีอยู่ในปัจจุบันคือหินปูนและซิลิกาบริสุทธิ์ เช่น silica flavor (Sf), silica fume (SF) และนาโนซิลิก้าอย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีการที่ค่อนข้างซับซ้อน ทำให้มีความบริสุทธิ์สูงและมีกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งทำให้ไม่เหมาะสมต่ออุตสาหกรรมการก่อสร้าง ในโครงการศึกษาวิจัยระดับบัณฑิตศึกษานี้ได้ผลิตนาโนซิลิก้า ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่จากแร่โอลิวีนที่จะถูกนำมาประยุกต์ใช้และทดสอบ นอกจากนี้ เครื่องมือออกแบบจะถูกนำมาใช้สำหรับการออกแบบของผสมจาก SCC ที่ขยายไปยังอนุภาคในระดับนาโน เนื่องจากผลกระทบเฉพาะที่อาจเกิดขึ้น วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้คือการสร้างวิธีการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติและแบบจำลองเพื่อการใช้ นาโนซิลิก้าที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ในคอนกรีต

2.2.3 ผลกระทบของการเพิ่มนาโนซิลิก้าเข้าไปในคอนกรีตและปูนทนไฟ

ในคอนกรีต micro-silica (Sf และ SF) จะทำงานอยู่ในสองระดับ ระดับแรกคือผลกระทบทางเคมี: ปฏิกิริยาปอซโซลานิกของซิลิกาที่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ในรูปแบบ CSH-gel ที่ขั้นตอนสุดท้าย หน้าที่รองคือเป็นลักษณะทางกายภาพหนึ่ง เนื่องจาก micro-silica ประมาณ 100 ครั้งมีจำนวนน้อยกว่าปูนซีเมนต์ Micro-silica สามารถเติมเต็มช่องว่างที่เหลืออยู่และ cement paste ซึ่งมีน้ำเพียงบางส่วน การเพิ่มความหนาแน่นสุดท้าย นักวิจัยบางท่านพบว่าการเพิ่ม micro-silica ปริมาณ 1 kg ช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงถึง 4 kg และอาจจะสูงขึ้นได้ถ้านาโนซิลิก้าถูกนำมาใช้ ความเป็นไปได้อีกประการหนึ่งคือการรักษาปริมาณของปูนซีเมนต์ในระดับคงที่แต่มีการรวบรวมอนุภาคที่มีประสิทธิภาพโดยการใช้ของเสียจากหินเพื่อให้ได้ PSD ในวงกว้าง โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของ PSD จะเพิ่มคุณสมบัติ (ความแข็งแรง, ความทนทาน) ของคอนกรีต เนื่องจากผลกระทบจากการเร่งปฏิกิริยาของนาโนซิลิก้าใน cement paste การเพิ่มนาโนซิลิก้าใน cement paste และคอนกรีตอาจส่งผลกระทบต่างๆ ผลกระทบจากการเร่งปฏิกิริยาใน cement paste เกี่ยวข้องกับพื้นผิวของนาโนซิลิก้าที่สูงขึ้น, เนื่องจากทำหน้าที่เป็นบริเวณที่เกิดการรวมอนุภาคสำหรับการตกตะกอนของ อย่างไรก็ตาม ยังไม่ได้รับการกำหนดเกี่ยวกับกระบวนการเกิดไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ที่รวดเร็วมากขึ้นที่เกิดขึ้นของนาโนซิลิก้า เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีต่อการสลายตัว (กิจกรรมพอซโซลานิก) หรือกิจกรรมบริเวณพื้นผิว นอกจากนี้ยังมีผลกระทบจากการเร่งปฏิกิริยาของการเพิ่มนาโนซิลิก้า ที่เกิดขึ้นทางอ้อมโดยวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืด (กลศาสตร์ของไหล) ของ cement paste และปูนทนไฟ ผลการทดสอบความหนืดได้แสดงให้เห็นว่า cement paste และปูนทนไฟที่มีการเพิ่มนาโนซิลิก้าต้องการน้ำมากขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการทำงานได้ของสารผสมที่คงตัว, รวมทั้ง นาโนซิลิก้าที่แสดงแนวโน้มมากขึ้นสำหรับการดูดซับไอออนในอาหารเหลวและสร้างการจับกันเป็นกลุ่มก้อนดังที่คาดการณ์ ในกรณีหลังจำเป็นต้องใช้สารแต่งเติมที่ทำให้เกิดการกระจายออกไปหรือ plasticizer เพื่อลดผลกระทบนี้

ได้ศึกษาผลกระทบของการเพิ่ม นาโนซิลิก้าต่อการซึมผ่านของน้ำและโครงสร้างทางจุลภาคในคอนกรีต โดยคอนกรีตผสมต่างๆ จะได้รับการประเมินเข้าด้วยกันกับอนุภาคของนาโนซิลิก้าที่มีขนาดตั้งแต่ 10 -20 nm (s.s.a. pf 160 m^2/g) เถ้าลอย กรวดและ plasticizer เพื่อให้ได้ระยะเวลาที่ลดลงอย่างฉับพลันเช่นเดียวกับคอนกรีตปกติและคอนกรีตที่มี นาโนซิลิก้าผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า นาโนซิลิก้าสามารถปรับปรุงโครงสร้างทางจุลภาคและลดการซึมผ่านของน้ำจากคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ชี้ให้เห็นว่าผลกระทบของการเพิ่ม นาโนซิลิก้าต่อการซึมผ่านของ eco-concrete โดยพวกเขาได้แสดงให้เห็นว่าการทดสอบ mercury porosimetry มีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการซึมผ่านและขนาดของรูพรุนที่ลดลงด้วยการเพิ่มนาโนซิลิก้า (1 - 2% bwoc) การลดลงของความสามารถในการซึมผ่านของคอนกรีตที่มีปริมาณเถ้าลอยในระดับสูง (50%) และความเข้มข้นของ นาโนซิลิก้าที่คล้ายคลึงกัน (2% ของผงนาโนซิลิก้า) ที่ได้รับการรายงาน การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของคอนกรีตโดยเทคนิคทางกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนต่างๆ (SEM, ESEM, TEM และอื่นๆ) ที่เปิดเผยว่าโครงสร้างทางจุลภาคของคอนกรีตที่มี นาโนซิลิก้าสามารถทำปฏิกิริยากับผลึก $Ca(OH)_2$ และลดขนาดและปริมาณเหล่านั้น ดังนั้นจึงทำให้เกิด interfacial transition zone (ITZ) ของการจับกันเป็นกลุ่มก้อนและการจับกันของ cement paste ที่หนาแน่น อนุภาคของ นาโนซิลิก้าจะเติมเต็มโครงสร้าง CSH-gel และทำหน้าที่เป็นแกนกลางในการเชื่อมพันธะอย่างเหนียวแน่น

ด้วยอนุภาคของ CSH-gel ซึ่งหมายความว่าการใช้ นาโนซิลิก้าช่วยลดอัตราการชะล้างแคลเซียมของ cement pastes และเพิ่มความทนทานให้ด้วย

ผลกระทบที่ได้รับการรายงานมากที่สุดเกี่ยวกับการเพิ่มนาโนซิลิก้าคือผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตและปูนทนไฟ ตามที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ นาโนซิลิก้าช่วยเพิ่มความหนาแน่น ลดความพรุน และปรับปรุงพันธะระหว่างเทริกซ์ของปูนซีเมนต์และการจับเป็นกลุ่มก้อน การผลิตคอนกรีตนี้แสดงให้เห็นว่ามีความต้านแรงกดและความสามารถในการทนต่อการดัดโค้งที่สูงกว่า นอกจากนี้, ยังสังเกตได้ว่าผลกระทบของ นาโนซิลิก้าขึ้นอยู่กับลักษณะและวิธีการผลิต (อนุภาคขนาดเล็กมากหรือผงแห้ง) แม้ว่าผลกระทบที่เป็นประโยชน์ของการเพิ่มนาโนซิลิก้าจะได้รับการรายงาน แต่ความเข้มข้นจะถูกควบคุมอยู่ในระดับสูงสุดคือ 5% -10% bwoc โดยขึ้นอยู่กับผู้เขียนหรือการอ้างอิง ที่ความเข้มข้นของ นาโนซิลิก้าในระดับสูงจะเกิดการหดตัวแบบออโตจีนัสเนื่องจากแรงสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดศักยภาพในการสลายตัวที่สูงขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบดังกล่าว ความเข้มข้นในระดับสูงของ superplasticizer และน้ำต้องมีวิธีการเพิ่มและกรรมวิธีที่เหมาะสมในการนำมาใช้

2.2.4 การประยุกต์ใช้นาโนซิลิก้า

ในปัจจุบันไมโครซิลิก้า และนาโนซิลิก้า มีราคาแพง จึงถูกนำมาใช้ในคอนกรีตประสิทธิภาพสูง (HPC) eco-concretes และคอนกรีตชนิดพิเศษที่มีชื่อว่า Self-Compacting Concrete (SCC) สำหรับคอนกรีตเฉพาะประเภทสุดท้าย (eco-concrete และ SCC) การประยุกต์ใช้วัสดุเหล่านี้จึงมีความจำเป็น นอกจากนี้ การใช้เกี่ยวกับการสำรวจตรวจค้นของ นาโนซิลิก้าซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะปูนทนไฟสำหรับยาปูน และแผ่นยิปซัมที่สามารถพบได้ แต่นาโนซิลิก้าจะยังไม่ถูกนำมาใช้ในทางปฏิบัติ การใช้งานเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นที่ไหนก็ได้ ทั้งในทางสาธารณูปโภคและอาคาร นาโนซิลิก้าจะถูกนำมาใช้ใน HPC และ SCC concrete โดยส่วนใหญ่เพื่อเป็นสารกันซึม นอกจากนี้ ยังเพิ่มความเกาะติดกันของคอนกรีตและลดแนวโน้มในการแยกตัวออก นักวิจัยบางท่านพบว่าการเพิ่ม นาโนซิลิก้าที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (ตั้งแต่ 0 - 2% bwoc) ทำให้เกิดการลดลงเล็กน้อยในการพัฒนาความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยหินปูน, แต่ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความต้านแรงกดของสารผสมที่มีเถ้าลอยหรือตะกอนเถ้าลอย (GFA) ในลักษณะเดียวกัน, Sari และคณะ ได้ใช้นาโนซิลิก้าที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (2% bwoc) เพื่อผลิต HPC concrete ด้วยความต้านแรงกด 85 MPa คุณสมบัติในการกันซึมออก, ความสามารถในการทำงานได้สูงและเวลาข้อนโมลในระยะสั้น (10 ชั่วโมง) การประยุกต์ใช้อีกประการหนึ่งของ นาโนซิลิก้าได้รับการจัดทำเป็นเอกสารและมีการเผยแพร่ทางเทคนิคทั้งหลาย, ที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในสารผสมของ eco-concrete และกระเบื้อง Eco-concretes เป็นของผสมที่ปูนซีเมต์จะถูกแทนที่ด้วยของเสียที่เป็นเถ้าสลัดจ์ส่วนใหญ่ เถ้าสลัดจ์ที่ถูกเผาให้เป็นเถ้าถ่าน เถ้าลอยหรือของเสียเพิ่มเติมอื่นๆ โดยที่หนึ่งในปัญหาของสารผสมเหล่านี้คือความต้านแรงกดต่ำและช่วงการกำหนดค่าที่ยาวนาน ข้อเสียเหล่านี้จะได้รับการแก้ไขโดยการเพิ่มนาโนซิลิก้าไปยัง eco-concrete ผสมเพื่อให้ได้การกำหนดค่าในการจับกันเป็นกลุ่มก้อนและความต้านแรงกดที่สูงขึ้น Roddy และคณะ ได้ประยุกต์ใช้ nSในปูนซีเมนต์ในช่วงเฉพาะทั้งสองของขนาดอนุภาค, โดยช่วงแรกอยู่ระหว่าง 5 -50 nm,และในส่วนที่สองอยู่ระหว่าง 5 -30 nmนอกจากนี้ พวกเขายังใช้ผงแห้งของ นาโนซิลิก้าในรูปแบบอยู่ในแคปซูลและมีความเข้มข้น 5 -15% bwocผลการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับปูนซีเมนต์ชี้ให้เห็นว่าการรวมตัวกันของ นาโนซิลิก้าช่วยลดระยะเวลาในการ

กำหนดค่าและเพิ่มความแข็งแรง (แรงอัด แรงดึง มอดูลัสของยังและอัตราส่วนของปัวซองต์) ของปูนซีเมนต์ที่ส่งผลต่อความสัมพันธ์ขององค์ประกอบอื่นๆ ของซิลิกา (อสัณฐาน 2.5 -50 μm ความเป็นผลึก 5 -10 μm และสารแขวนลอย 20 nm ตามประเภทของซิลิกา) ที่ได้รับการทดสอบ

2.2.5 แผนโครงการระดับบัณฑิตศึกษาและการศึกษาวิจัยต่อไป

โครงการย่อยต่อไปนี้จะมีการใช้นาโนซิลิก้าในคอนกรีตซึ่งจะได้รับการดำเนินการคือ:

1) การทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของ นาโนซิลิก้าที่เหมาะสมต่อคอนกรีตและการคัดเลือกวัสดุ นาโนซิลิก้าในเชิงพาณิชย์เป็นข้อมูลอ้างอิง

2) ลักษณะเฉพาะของคุณสมบัติหลักของนาโนซิลิก้าและไมโครซิลิก้าจะถูกเก็บรวบรวมโดยการใช้เทคนิคต่างๆ เช่น การวัดค่าแบบ laser granulometry, SEM, TEM และ BET ลักษณะเฉพาะของnSแบบใหม่จะส่งผลต่อข้อเสนอแนะสำหรับเงื่อนไขในการผลิตของวัสดุในครั้งนี้

3) การกำหนดความต้องการน้ำและสารผสมเพิ่ม (ประเภทของ superplasticizer และความเข้มข้น) ของนาโนซิลิก้าโดยการใช้การทดสอบเกี่ยวกับการแพร่กระจายการไหลเพื่อประเมินความสามารถในการทำงานของ pastes และปูนทนไฟ ซิลิกาที่มีอยู่และซิลิกาแบบใหม่จะถูกนำมาทดสอบทางการทดลองและมีการตรวจสอบสมมติฐานถ้าหากแบบจำลองทางทฤษฎีที่มีอยู่ยังครอบคลุมไปถึงอนุภาคขนาด submicron

4) การออกแบบและการทดสอบปูนทนไฟและคอนกรีตผสมที่มีนาโนซิลิก้า (ปูนซีเมนต์ในระดับต่ำ ไหลเข้าง่ายและความต้านแรงกดสูง) และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องมือในการจำลอง PSD เพื่อรวมเข้ากับอนุภาคขนาดนาโน

5) การออกแบบและการทดสอบคอนกรีตจะใช้หลักการที่อธิบายไว้ในข้อ [5] และ [6] ที่เครื่องมือในการจำลองได้รับการพัฒนา/ดัดแปลงในช่วงก่อนหน้านี้ รวมทั้ง นาโนซิลิก้า superplasticizer ปูนซีเมนต์ ทรายและกรวด ซึ่งครอบคลุมในช่วงของอนุภาคตั้งแต่ 3 -32 nm (ประกอบด้วยทั้งเจ็ดช่วงของการแพร่กระจายขนาดอนุภาค)

6) การคาดการณ์คุณสมบัติและการใช้ในทางปฏิบัติ ในท้ายที่สุด ผลการทดลองและสมมติฐานที่ถูกนำมาใช้มีความเกี่ยวข้องกับความรู้ทางคุณสมบัติของวัตถุดิบ เครื่องมือการออกแบบและการทดลองจะมีการทดสอบแบบเต็มรูปแบบ ผลที่ได้จากวิธีการออกแบบคอนกรีตและกรอบการปฏิบัติจะให้วิธีการที่เหมาะสมที่สุดต่อการพัฒนา นาโนซิลิก้าในคอนกรีตขึ้นมาใหม่, ซึ่งให้วัตถุดิบที่มีความเหมาะสมแก่การนำมาใช้และคุณสมบัติที่ต้องการของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

2.2.6 ข้อสรุป

นาโนซิลิก้าแบบใหม่สามารถผลิตได้ในปริมาณสูงและมีราคาถูกซึ่งอำนวยแก่การใช้งานเป็นจำนวนมากในคอนกรีต ที่อาจแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผสม ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายมากและเป็นองค์ประกอบที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในคอนกรีต การใช้ นาโนซิลิก้าทำให้เกิดงบประมาณเกี่ยวกับคอนกรีตซึ่งเป็นที่น่าสนใจมากและลดการปล่อยก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์คอนกรีต นาโนซิลิก้ายังเพิ่มคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ของคอนกรีตคือ: ความสามารถในการทำงานและคุณสมบัติในสถานะที่แข็งตัวแล้ว ซึ่งช่วยในการพัฒนาคอนกรีตประสิทธิภาพสูงสำหรับการก่อสร้างเป็นอย่างมาก นั่นหมายความว่าคอนกรีตจะมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ราคาถูกลงและผลกระทบในทางระบบนิเวศวิทยาที่ดีขึ้นซึ่งได้รับการออกแบบ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมว่าต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการผลิตนาโนซิลิก้าเพื่อหลีกเลี่ยงการจับกันเป็นกลุ่มก้อน (เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ นาโนซิลิก้าในสถานะของเหลว, การใช้สารลดแรงตึงผิว, ultrasonification และการทำแห้งโดยไมโครเวฟ) และเพื่อให้เกิดการแพร่กระจายที่ดีขึ้นของ นาโนซิลิก้าที่ได้รับการพัฒนาจากการสลายตัวของแร่โอลิวีน การทำงานเพิ่มเติมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการตรวจสอบผลกระทบของการสังเคราะห์ นาโนซิลิก้าต่อปฏิกิริยา hydration ของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตามระบบ ดังที่มีการวิเคราะห์ทาง calorimetric ที่แตกต่างกัน การวัดอุณหภูมิอะเดียแบติก การวิเคราะห์ pore solution และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แหล่งที่มา :
http://www.researchgate.net/profile/George_Quercia_Bianchi/publication/257029738_Application_of_nano-silica_(nS)_in_concrete_mixtures/file/60b7d5243e5e804358.pdf

2.2.7 องค์ประกอบทางเคมีของนาโนซิลิกาฟูม (Nanosilica Fume)

องค์ประกอบหลักทางเคมีของซิลิกาฟูมคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งควรจะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นผลึกเป็นส่วนใหญ่ คือพร้อมจะทำปฏิกิริยาปอซโซลาน ซิลิกาฟูมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมักจะมี ซิลิกอนไดออกไซด์ ที่สูงมากคือมักจะมากกว่าร้อยละ 90 ขึ้นไป ส่วนที่เหลือจะเป็นองค์ประกอบของ Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O และออกไซด์อื่นๆ ร้อยละ 1 หรือ 2 ซึ่งออกไซด์เหล่านี้ถือว่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับของซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งสูงกว่าร้อยละ 90 ขึ้นไป หากนำค่าออกไซด์ของซิลิกาฟูมมาเปรียบเทียบกับของปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหิน จะพบว่ามีองค์ประกอบที่แตกต่างกันค่อนข้างมากดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของปูนซีเมนต์, เถ้าถ่านหิน, และซิลิกาฟูม

ออกไซด์	ปูนซีเมนต์ประเภท I	เถ้าถ่านหิน	ซิลิกาฟูม
SiO_2	20	48	92
Al_2O_3	5	26	0.7
Fe_2O_3	3	10	1.2
CaO	60	5	0.2
MgO	1.1	2	0.2
SO_3	2.4	0.7	-
ออกไซด์อื่นๆ	1.5	1.3	2.6
LOI.	2	3	-

ที่มา http://www.thaitca.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=52:2010-09-06-10-07-04&catid=42:journal01&Itemid=55

2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของนาโนซิลิกาฟูม

คุณสมบัติ ทางกายภาพของนาโนซิลิกาฟูมที่เห็นชัดเจนคือเป็นฝุ่นผงสีค่อนข้างดำหรือเทาหรือเทาอมขาวที่ละเอียดมาก แต่ถ้าเป็นนาโนซิลิกาฟูมควบแน่นจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น เนื่องจากการรวมตัวของ ซิลิกาฟูมหลายๆเม็ดเข้าด้วยกัน ความถ่วงจำเพาะของซิลิกาฟูมมีค่าประมาณ 2.2 ความละเอียดทดสอบโดยวิธีของเบลนมีค่าประมาณ 150,000 ซม^2/ก ขณะที่ของปูนซีเมนต์มีค่าเพียง 3400 ซม^2/ก ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยเมื่อขยายด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 14 นาโนเมตร ขณะที่ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าประมาณ 15 มิลลิเมตร

รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายขยายด้วย SEM ของนาโนซิลิก้าฟูม

ที่มา http://www.thaitca.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=52:2010-09-06-10-07-04&catid=42:journal01&Itemid=55

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของซิลิกาฟูม,เถ้าถ่านหิน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

คุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์ประเภทที่ I	เถ้าถ่านหิน	ซิลิกาฟูม
ความละเอียดของเบลน ($ซม^2/ก$)	3400	3800	150,000
ความถ่วงจำเพาะ	3.15	2.4	2.2
สี	เทา	เทาอ่อนจนถึงเทาเข้ม หรือสีน้ำตาล	เทาดำ,เทาอมขาว

ที่มา http://www.thaitca.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=52:2010-09-06-10-07-04&catid=42:journal01&Itemid=55

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนผสมและกำลังอัดของคอนกรีตที่มีและไม่มีซิลิกาฟูมเป็นส่วนผสม

ส่วนผสมที่	อัตราส่วนผสม (kg/m^3)					สารลดน้ำพิเศษ (ml/kg CM)	ค่ายุบตัว (mm)	กำลังอัดที่ 28 วัน (MPa)	กำลังดึงผ่าซีกที่ 28 วัน (MPa)
	ปูนซีเมนต์	ซิลิกาฟูม	ทราย	หิน	น้ำ				
1	401	0	729	1211	141	16.1	75	55.6	5.2
2	361	40	725	725	141	18.2	75	70.7	6.3
3	341	60	719	719	140	21.4	60	75.2	6.2
4	320	80	716	716	139	26.2	60	74.2	4.6

ที่มา http://www.thaitca.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=52:2010-09-06-10-07-04&catid=42:journal01&Itemid=55

บทที่ 3

วัสดุและขั้นตอนการทดสอบ

3.1 บทนำ

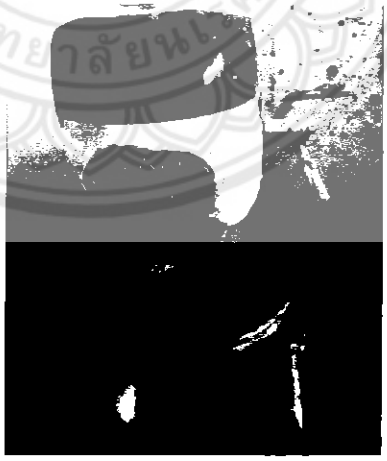
บทนี้จะกล่าวถึงวัสดุและขั้นตอนในการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต ทำการทดสอบ 2 แบบ คือ การหดตัวแบบออโตจีนัส (Autogeneous Shrinkage) และ การหดตัวรวม(total Shrinkage) ซึ่งได้จากการเตรียมวัสดุต่างๆ ที่ส่งผลต่อการหดตัวของคอนกรีต การทดสอบสมบัติของวัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการหดตัว โดยใช้ชุดเครื่องมือทดสอบการหดตัวของคอนกรีต ซึ่งมีรายละเอียดในการทดสอบดังนี้

1. ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในโครงการ
2. ขั้นตอนการเตรียมเตรียมและการทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ

3.2 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในโครงการ

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1) **เครื่องผสม** (mixer) เป็นเครื่องผสมที่ใช้ไฟฟ้า สามารถปรับความเร็วได้ 2 ระดับ มีแกนโลหะที่ใช้ติดใบพายได้ ใบพายเป็นโลหะที่สามารถกันสนิมได้ และสามารรถถอดเข้าออกได้ เมื่อใบพายหมุนแล้วสามารถผสมซีเมนต์มอร์ตาเข้ากันได้ดี โดยไม่เกิดการแยกส่วนผสมได้ ความเร็วของใบพายระดับต่ำหมุนด้วยความเร็ว 140 รอบ / นาที อีกระดับหนึ่งหมุนด้วยความเร็วสูงด้วยความเร็ว 285 รอบ / นาที



รูปที่ 3.1 เครื่องผสมคอนกรีต

2) **หม้อผสม** (mixing bowl) เป็นโลหะที่ไม่เกิดสนิมง่าย มีหูใช้หิ้วไปมาได้ และติดตั้งในตำแหน่งที่ใบพัดสามารถผสมได้อย่างทั่งถึง เมื่อติดตั้งกับเครื่องผสมแล้วต้องไม่โยกไปมาได้ ขนาดของหม้อให้มีความจุ 4.73 ลิตร

3) เครื่องชั่ง (Balance) เครื่องชั่งที่ใช้คือ Precision Balances Model WLC20/A2 ใช้ในการชั่งสารให้ได้ปริมาณตามต้องการ ซึ่งชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

วิธีการใช้เครื่องชั่ง

1. จะต้องติดตั้งเครื่องชั่งในพื้นที่ที่ไม่มีการสั่นสะเทือน และอยู่ในแนวระนาบ
2. ปรับระดับลูกน้ำให้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด
3. ในการวางส่วนผสมต้องวางในตำแหน่งกึ่งกลางของจานชั่งเสมอ
4. ขณะชั่งหากมีส่วนผสมหกหล่น จะต้องรีบทำความสะอาดทันที

รูปที่ 3.2 เครื่องชั่ง Precision Balances Model WLC20/A2

4) ชุดเครื่องมือทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต เป็นชุดทดสอบค่าความข้นเหลวของคอนกรีตเพื่อคำนวณหาส่วนผสมที่เหมาะสม

รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบความข้นเหลว (slump test)

5) แบบหล่อคอนกรีตทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 25x285 mm แผ่นฐานคอนกรีตจะต้องมีลักษณะเรียบ แต่ละชิ้นส่วนจะต้องยึดติดกับตัวแบบด้วยสลักเกลียว รอยต่อจะต้องสนิทกันเพื่อไม่ให้สวนผสมไหลออกได้

รูปที่ 3.4 แบบหล่อคอนกรีต

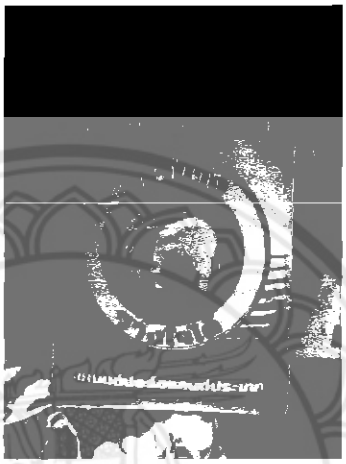
6) การวัดการหดตัวของคอนกรีต จะทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C157-80 ความละเอียด 0.01 mm

รูปที่ 3.5 เครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวคอนกรีต

3.2.2 วัสดุที่ใช้ในโครงการ

1) ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(ตราช้าง) ดังรูปที่ 3.6 ผลิตโดยบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด(ลำปาง) ขนาดบรรจุ 50 กก./ถุง ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 151 เล่ม 2547 ทำการเก็บรักษาโดยนำปูนซีเมนต์มาเก็บใส่ไว้ในกล่องพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้น



รูปที่ 3.6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง)

2) มวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดสอบคือ ทรายแม่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยมีแหล่งผลิตอยู่ที่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก

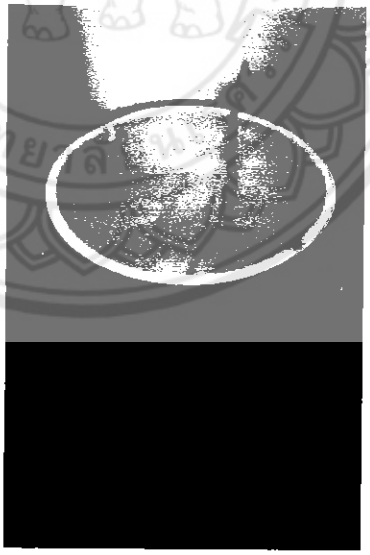
การเตรียมทรายที่ใช้ในการทดสอบ ทำโดยการนำทรายที่มีความชื้นสูง ผึ่งในที่ร่มจนกว่าทรายจะอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง หรือ มีความชื้นระหว่าง 1 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ เสร็จแล้วนำทรายมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หลังจากนั้นนำทรายไปเก็บไว้ในถังพลาสติก และใช้กระดาษชุ่มน้ำคลุมบนทรายเพื่อไม่ให้ความชื้นระเหยออก แล้วปิดฝาถังอย่างมิดชิด

วิธีการหาค่าความถ่วงจำเพาะและหน่วยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128[14] และมาตรฐาน ASTM C29[15] ตามลำดับ มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 2.544 ร้อยละการดูดซึมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.553 และมีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1500 กก./ลบ.ม

รูปที่ 3.7 มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดสอบ

3) น้ำที่ใช้ผสมในการทำคอนกรีต

น้ำที่ใช้มาจากน้ำประปามหาวิทยาลัยนเรศวร ควบคุมอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ขณะทำการผสม



รูปที่ 3.8 ควบคุมอุณหภูมิน้ำ

4) สารลดน้ำอย่างแรง (Super plasticizer)

ในการทดสอบการทดตัวจะควบคุมให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วง 10 ± 2 เซนติเมตร ส่วนผสมใดที่มีค่าการยุบตัวน้อยจะมีการใช้สารลดน้ำอย่างแรงเพื่อช่วยควบคุมค่าการยุบตัวของคอนกรีตให้อยู่ในช่วง 10 ± 2 เซนติเมตร

รูปที่ 3.9 สารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำอย่างแรง ประเภท F

5) นาโนซิลิกาฟูม (Nanosilica Fume)

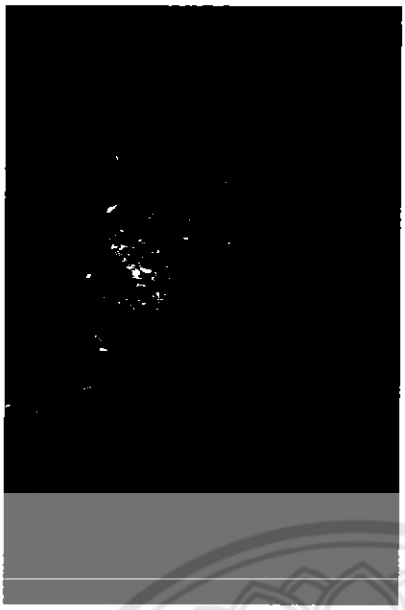
นาโนซิลิกา (Nanosilica) เป็นวัสดุผสมเพิ่มชนิดหนึ่งซึ่งเป็นผลพลอยได้ของโรงงานผลิต Silicon Metal และ Ferrosilicon ในการทดลองเราใช้นาโนซิลิก้าฟูม 2 ประเภทคือ นาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำ (HL) และ นาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ (HB)

5.1) องค์ประกอบทางเคมีของ นาโนซิลิกาฟูม (Nanosilica Fume)

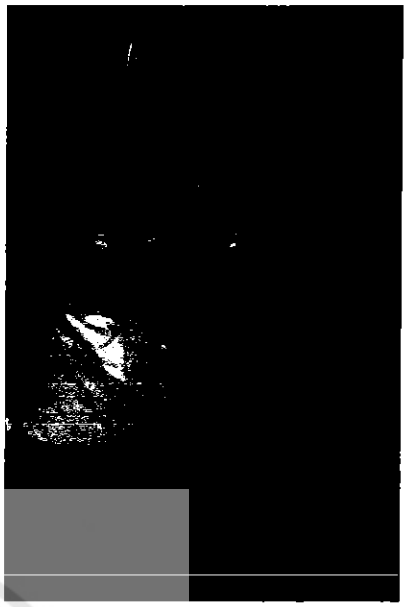
องค์ประกอบหลักทางเคมีของซิลิกาฟูมคือ SiO_2 ซึ่งควรจะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นผลึกเป็นส่วน ส่วนที่เหลือจะเป็นองค์ประกอบของ Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O และออกไซด์อื่นๆ ร้อยละ 1 หรือ 2 ซึ่งออกไซด์เหล่านี้ถือว่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับของ SiO_2 ซึ่งสูงกว่า ร้อยละ 90 ขึ้นไป

5.2) คุณสมบัติทางกายภาพของนาโนซิลิกาฟูม

คุณสมบัติทางกายภาพของนาโนซิลิกาฟูมที่เห็นชัดเจนคือเป็นฝุ่นผงสีค่อนข้างดำหรือเทาหรือเทาอมขาวที่ละเอียดมาก ความถ่วงจำเพาะของนาโนซิลิกาฟูมมีค่าประมาณ 2.2 ความละเอียดทดสอบโดยวิธีของเบลนมีค่าประมาณ 150,000 ซม^2/ก ขณะที่ของปูนซีเมนต์มีค่าเพียง 3400 ซม^2/ก ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยเมื่อขยายด้วยกล้อง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.01 mm ขณะที่ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าประมาณ 15 mm เนื่องจากมีขนาดที่เล็กมากจึงมีปัญหาในการขนย้าย ดังนั้นจึงนิยมนำซิลิกาฟูมมาอัดรวมกันเพื่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกว่า นาโนซิลิกาฟูมอัดแน่น



ก. นาโนซิลิกาฟูม(Nanosilica Fume) ประเภท HL

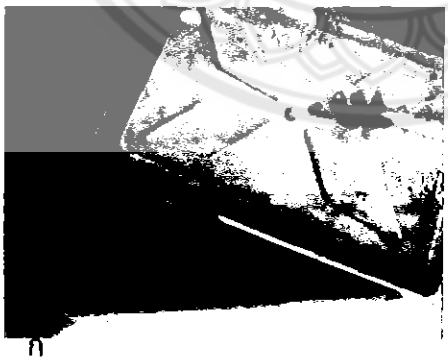


ข. นาโนซิลิกาฟูม (Nanosilica Fume) ประเภท HB

รูปที่ 3.10 ซิลิกาฟูม (Silica Fume)

3.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1) ปูนซีเมนต์ โดยการนำปูนซีเมนต์มาร่อนผ่านตะแกรง เพื่อกำจัดเม็ดปูนซีเมนต์ที่เกิดการแข็งตัวและเสื่อมคุณภาพออกโดยผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เพื่อคัดแยกปูนซีเมนต์ที่เสื่อมสภาพออก เหลือแต่ปูนซีเมนต์ที่ละเอียดไม่จับตัวเป็นก้อนไปใช้งาน

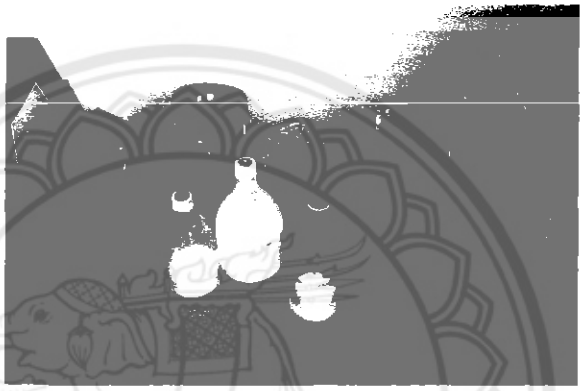


ก.ปูนซีเมนต์ที่เกิดการแข็งตัว

ข.ตะแกรงล่อนปูนเบอร์ 200

รูปที่ 3.11 การเตรียมปูนซีเมนต์

2) การเตรียมนาโนซิลิก้าฟูม โดยการเตรียมนาโนซิลิก้าฟูมมีการเตรียมด้วยกัน 2 แบบ คือ การเตรียมนาโนซิลิก้าฟูมแบบแห้ง และการเตรียมนาโนซิลิก้าฟูมชนิดผสมน้ำ การเตรียมนาโนซิลิก้าฟูมแบบแห้งสามารถนำนาโนซิลิก้าฟูมที่ได้จากโรงงานผลิต Silicon Metal และ Ferrosilicon มาใช้เป็นส่วนผสมได้ทันที แต่การเตรียมนาโนซิลิก้าฟูมชนิดผสมน้ำ เนื่องจากมี นาโนซิลิก้า 2 ประเภท ประเภทที่ไม่ชอบน้ำจะแยกตัวกับน้ำเพื่อทำให้นาโนซิลิก้าฟูมเกิดการแขวนลอยจึงต้องทำการผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องหมุนเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้นาโนซิลิก้าฟูมชนิดไม่ชอบน้ำสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ การเตรียมนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำแบบผสมน้ำก็ใช้เวลา 7 วัน เท่ากันเพื่อใช้เปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจน



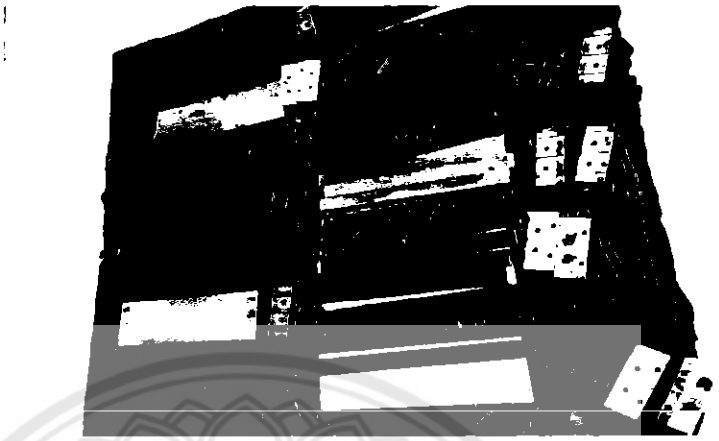
รูปที่ 3.12 การเตรียมนาโนซิลิกาฟูม

3) การเตรียมแบบ

3.1) ทำความสะอาดแบบให้เรียบร้อย ถ้ามีเศษปูน คราบสนิม ไขมัน ให้กำจัดออกให้หมด

รูปที่ 3.13 แบบที่ทำความสะอาดเรียบร้อย

3.2) ทาน้ำมันทั่วแบบให้ชุ่ม เพื่อป้องกันคอนกรีตที่เวลาแข็งตัวแล้วจะทำให้ติดแน่นกับแบบ ซึ่งจะทำให้ถอดแบบยาก



รูปที่ 3.14 แบบที่ทาน้ำมันเรียบร้อยแล้ว

3.3) ห่อแบบที่ทาน้ำมันเสร็จเรียบร้อยแล้ว ด้วยพลาสติกห่ออาหาร เพื่อป้องกันคอนกรีตเสียหายและป้องกันคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วติดกับแบบ ซึ่งจะทำให้ถอดแบบยาก

รูปที่ 3.15 วิธีการห่อพลาสติกห่ออาหาร

3.4) นำแบบที่ห่อด้วยพลาสติกห่ออาหารเสร็จแล้วมาประกอบ ยึดติดด้วยสลักเกลียว รอยต่อต้องต่อกันสนิทพอดีหรือทำให้น้ำใส่ส่วนผสมไม่สามารถไหลผ่านออกไปได้

รูปที่ 3.16 แบบที่ประกอบเสร็จแล้ว

3.4 วิธีการผสมคอนกรีต

1) เตรียมอุปกรณ์และวัสดุสำหรับใช้ในการผสมคอนกรีต ทำความสะอาดใบพาย หม้อผสม และทำให้แห้ง พร้อมสำหรับการผสมซีเมนต์มอร์ตา

รูปที่ 3.17 วัสดุที่ใช้ในการผสมตัวอย่าง

2) เทน้ำที่เตรียมไว้จากการตวงลงในเครื่องผสมคอนกรีต ตามด้วยปูนซีเมนต์ที่ชั่งไว้ลงในน้ำที่อยู่ในหม้อผสม (ถ้ามีส่วนผสมมีสารลดน้ำ ให้เทพร้อมกับน้ำเลย)

รูปที่ 3.18 เทน้ำลงเครื่องผสมคอนกรีต

รูปที่ 3.19 เทปูนลงเครื่องผสมคอนกรีต

3) เปิดเครื่องด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลา 30 วินาที ในขณะที่เปิดเครื่องผสมคอนกรีตความเร็วต่ำนั้น ค่อยๆเติมทรายที่เตรียมไว้ลงไปในหม้อผสมอย่างช้าๆให้หมด

รูปที่ 3.20 เททรายลงเครื่องผสมคอนกรีต

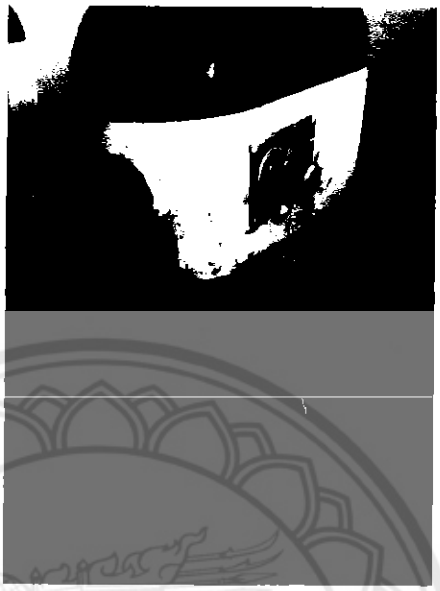
4) ปรับระดับความเร็วของเครื่องผสมคอนกรีตให้เร็วขึ้น ใช้เวลาอีก 30 วินาที

รูปที่ 3.21 ปรับระดับความเร็วของเครื่องผสมคอนกรีต

5) ปิดเครื่องผสมคอนกรีต เป็นเวลา 90 วินาที ระหว่างนี้ก็ให้ขูดซีเมนต์มอร์ตา (โดยใช้มือที่สวมถุงมือยาง) ที่ติดอยู่ข้างๆหม้อผสม และที่ใบพาย ให้มารวมกันอยู่ตรงกลางให้เสร็จในเวลา 15 วินาที แล้วนำภาชนะมาปิดหม้อผสมไว้จนครบเวลาตามที่กำหนด

รูปที่ 3.22 ใช้มือกวนให้ทั่ว

6) เปิดเครื่องผสมคอนกรีตในระดับสูงอีกเป็นเวลา 60 วินาที เสร็จแล้วปิดเครื่องนำส่วนผสมออกไปใช้ได้



รูปที่ 3.23 เปิดเครื่องที่ความเร็วสูงสุด

7) นำซีเมนต์มอร์ตาที่ผสมเสร็จแล้วมาเทลงในแบบหล่อคอนกรีตที่เตรียมไว้ประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณแบบหล่อแล้วนำไปวางบนเครื่องสั่นคอนกรีตเพื่อไล่ฟองอากาศทำการสั่นประมาณ 10 วินาที

รูปที่ 3.24 เทปูนครึ่งแบบ

รูปที่ 3.25 จี้เขย่าเสร็จแล้ว

8) นำซีเมนต์มอร์ตาที่เหลือเทลงไปให้เต็มแบบหล่อ จากนั้นทำการสั่นอีกครั้งประมาณ 10 วินาที แต่งให้เรียบร้อยด้วยเกรียง

รูปที่ 3.26 เทปูนเต็มแบบ

รูปที่ 3.27 แต่งหน้าด้วยเกรียง

9) ปิดบริเวณผิวหน้าของคอนกรีตด้วยพลาสติก เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น

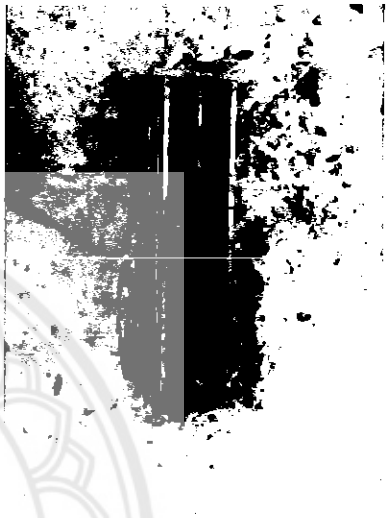
รูปที่ 3.28 แบบหอพลาสติกห่ออาหาร

3.5 ขั้นตอนการแกะแบบ

3.5.1 การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)

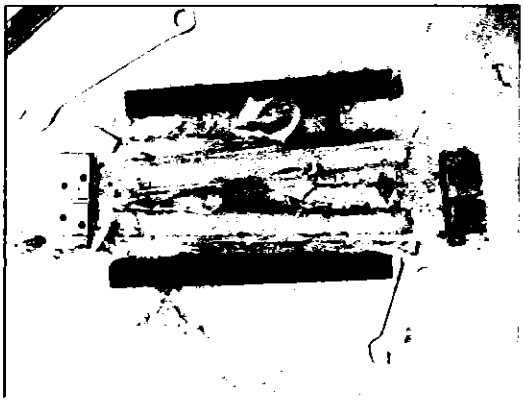
1) แกะพลาสติกห่ออาหารที่หุ้มแบบไว้ออก

รูปที่ 3.29 ภาพก่อนแกะพลาสติก



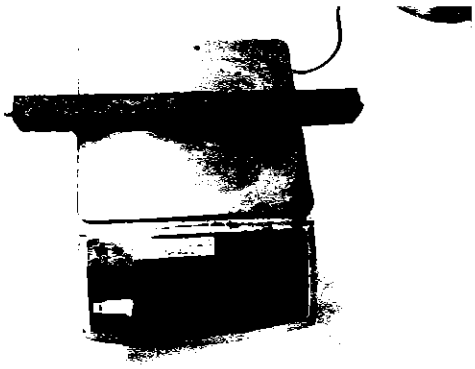
รูปที่ 3.30 ภาพหลังแกะพลาสติก

2) แกะสลักเกรียวที่ยึดแบบไว้ออกจากกันก่อนและแกะแบบเหล็กที่ติดอยู่ด้านข้างออกก่อน แล้วค่อยแกะตรงกลาง การแกะแบบต้องทำด้วยความระมัดระวังเพราะแท่งคอนกรีตอาจแตกหักได้



รูปที่ 3.31 แกะแบบออกแล้ว

3) น้ำแท่งคอนกรีตที่แกะออกจากแบบแล้ว ไปชั่งน้ำหนัก แล้วจดบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3.32 ภาพชั่งก้อนตัวอย่าง

4) นำแท่งคอนกรีตที่แกะแล้วไปวัดความยาว แล้วจดบันทึกข้อมูล

รูปที่ 3.33 วัดความยาว

5) นำแท่งคอนกรีตที่แกะแล้วไปแช่น้ำ และทำการวัดค่าการหดตัวทุกๆ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

รูปที่ 3.34 ที่เก็บตัวอย่าง

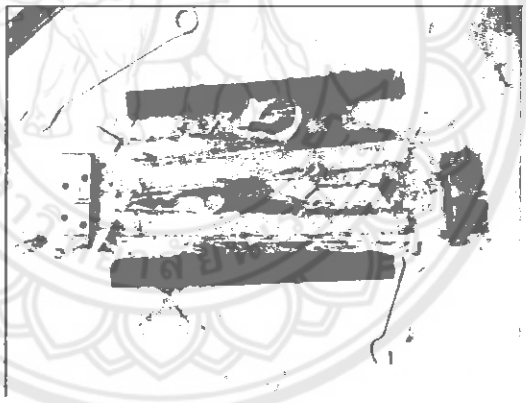
3.5.2 การหดตัวแบบออโตจีนัส (Autogeneous Shrinkage)

1) แกะพลาสติกห่ออาหารที่หุ้มแบบไว้ออก

รูปที่ 3.35 ภาพก่อนแกะพลาสติก

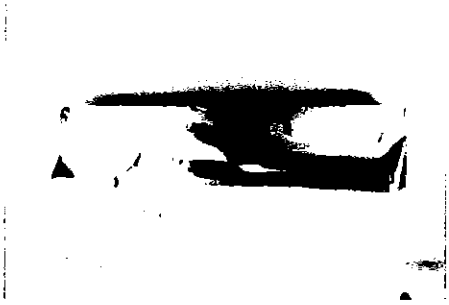
รูปที่ 3.36 ภาพหลังแกะพลาสติก

2) แกะสลักเกรียวที่ยึดแบบไว้ออกจากกันก่อนและแกะแบบเหล็กที่ติดอยู่ด้านข้างออกก่อน แล้วค่อยแกะตรงกลาง การแกะแบบต้องทำด้วยความระมัดระวังเพราะแท่งคอนกรีตอาจแตกหักได้



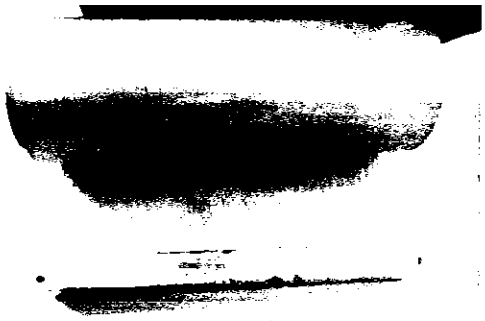
รูปที่ 3.37 แกะแบบออกแล้ว

3) ทำการห่อแท่งคอนกรีตด้วยเทปอลูมิเนียมจำนวน 2 รอบ ในการห่อแท่งคอนกรีตพยายามทำให้เรียบที่สุด แล้วทำการปิดรูตรงหัวและท้ายให้สนิทเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ



รูปที่ 3.38 ภาพการห่อเทปอลูมิเนียม

4) หอด้วยพลาสติกห่ออาหารอีก 3 รอบ พยายามอย่าให้พลาสติกฉีกขาดเพราะอาจทำให้น้ำระเหยออกได้

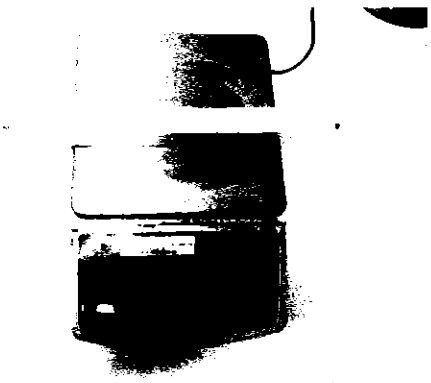


รูปที่ 3.39 ภาพการห่อพลาสติกห่ออาหาร

5) พันแท่งคอนกรีตด้วยเทปใสอีก 2 รอบ เป็นการป้องกันการระเหยของน้ำอีกชั้นหนึ่ง

รูปที่ 3.40 ภาพการห่อเทปใส

6) น้ำแท่งคอนกรีตที่แกะออกจากแบบแล้ว ไปชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3.41 ภาพชั่งก้อนตัวอย่าง

7) ทำแท่งคอนกรีตที่ห่อเสร็จเรียบร้อยแล้วไปวัดความยาว แล้วจดบันทึกข้อมูล

รูปที่ 3.42 ภาพความยาว

8) นำแท่งคอนกรีตที่หอเสร็จเรียบร้อยแล้วไปเก็บไว้ให้เป็นระเบียบ แล้วทำการวัดค่าทุกๆ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

รูปที่ 3.43 เก็บตัวอย่าง เป็นระเบียบ

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมซีเมนต์มอร์ต้า

สูตร	ซีเมนต์ (Kg)	ทราย (Kg)	น้ำ (Kg)	ซิลิกาฟูม (Kg)	นาโนซิลิกาแบบชอบไม่น้ำ (Kg)	นาโนซิลิกาแบบชอบน้ำ (Kg)
LW55r0	0.790	1.189	0.431	-	-	-
LW55Hl0.5	0.786	1.188	0.431	-	-	0.004
LW55Hl2	0.773	1.187	0.430	-	-	0.016
LW55Hb0.5	0.786	1.188	0.431	-	0.004	-
LW55Hb2	0.773	1.187	0.430	-	0.016	-
LW55Hl14.5	0.786	1.188	0.431	-	-	0.004
LW55Hl29.5	0.782	1.188	0.431	-	-	0.008
LW55Hb14.5	0.786	1.188	0.431	-	0.004	-
LW55Hb29.5	0.782	1.188	0.431	-	0.008	-

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์แสดงปริมาณส่วนผสม

ชื่อส่วนผสม	% Nano silica		ตัวควบคุม	หมายเหตุ
	Hydrophilic Nanosilica(Hl)	Hydrophobic Nanosilica(Hb)		
LW55r0	0	-	ปริมาณน้ำ (w/b=0.55)	
LW55Hl0.5	0.5	-		ผสมแบบแห้ง
LW55Hl 2	2	-		
LW55Hb0.5	-	0.5		ผสมแบบแห้ง
LW55Hb2	-	2		
LW55Hl 14.5 g/l	0.5	-		ผสมโดยให้ซิลิก้าฟูมแขวนลอยในน้ำ
LW55Hl 29 g/l	1	-		
LW55Hb 14.5 g/l	-	0.5		ผสมโดยให้ซิลิก้าฟูมแขวนลอยในน้ำ
LW55Hb 29 g/l	-	1		

หมายเหตุ การทดสอบนี้ได้กำหนดน้ำต่อวัสดุประสานที่ 55 %

W = อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

HL = นาโนซิลิก้าฟูมประเภทชอบน้ำ

HB = นาโนซิลิก้าฟูมประเภทไม่ชอบน้ำ

r0 = ไม่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้า

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบที่เกิดขึ้นกับแท่งตัวอย่างคอนกรีต คือ ผลการทดสอบค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวหรือผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเทียบกับน้ำหนัก ซึ่งมีสัดส่วนผสมของคอนกรีตแตกต่างกันออกไป โดยเปรียบเทียบผลของการเกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการหดตัว 2 ประเภทคือ การหดตัวแบบมวลรวม และการหดตัวแบบออโตจีนัส ซึ่งแต่ละประเภทจะมีค่าการหดตัวที่แตกต่างกันไปเนื่องจากวิธีการเก็บรักษาแท่งตัวอย่าง ทั้งนี้ปัจจัยหลักที่ทำการศึกษาขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่มีนาโนซิลิก้าฟูมเป็นตัวแปรหลักอีกด้วย ซึ่งจะมีผลการทดสอบดังนี้

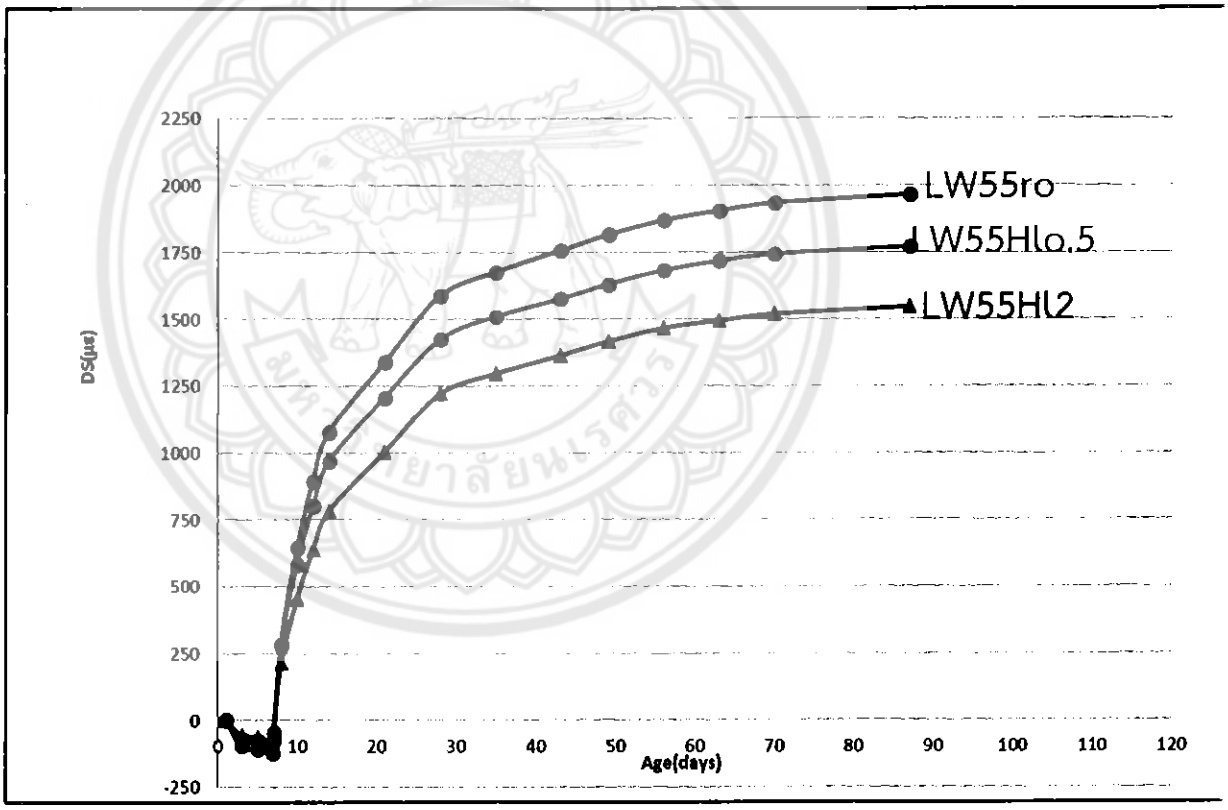
4.1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาวของซีเมนต์มอร์ต้าเนื่องจากการใช้งานนาโนซิลิก้า

4.1.1 การหดตัวแบบแห้ง Drying Shrinkage

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลของการหดตัวแบบแห้งของซีเมนต์มอร์ต้าตามสัดส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไป ตามปัจจัยต่างๆที่ศึกษา ได้แก่ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลของแต่ละอัตราส่วนตามระยะเวลาที่กำหนด

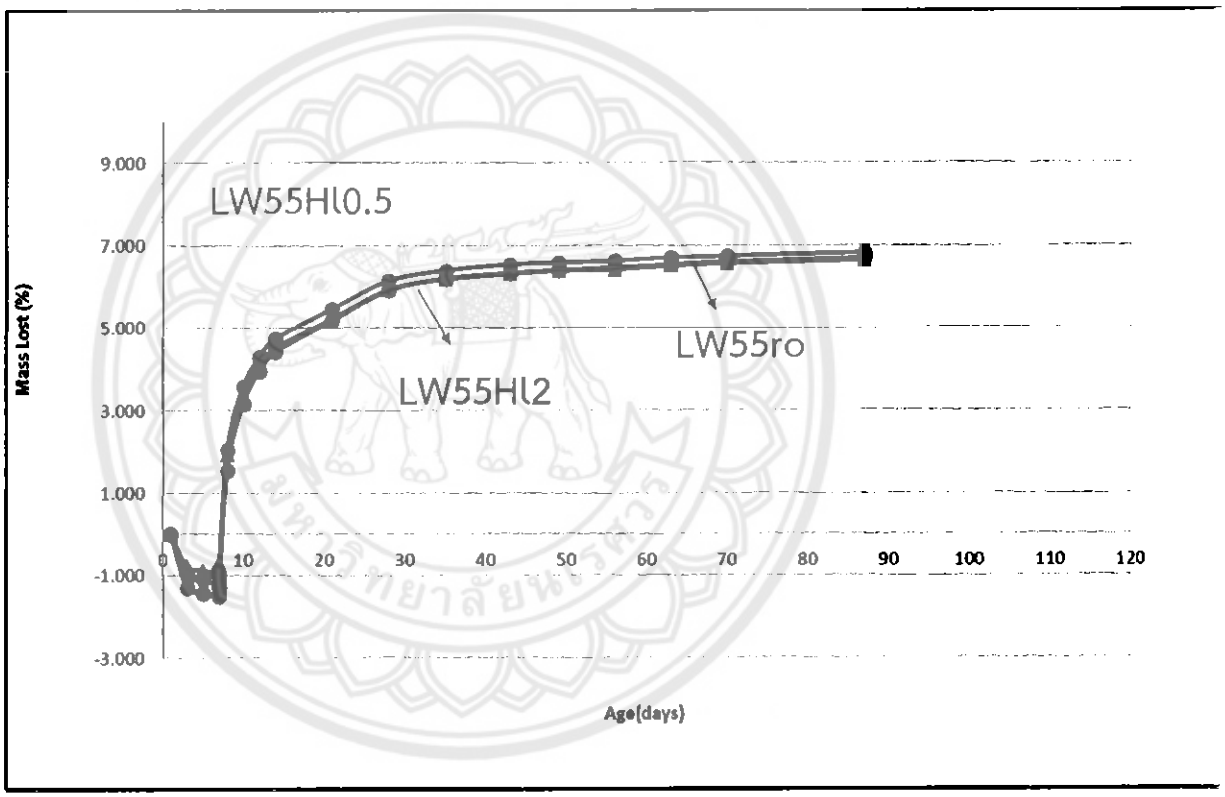
4.1.1.1 การศึกษาผลของการใช้งานนาโนซิลิก้าต่อความยาวที่เปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้งานนาโนซิลิก้าต่อความยาวที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์มอร์ต้า เทียบกับเวลา โดยใช้นาโนซิลิก้าชนิดแห้งเป็นส่วนผสมในช่วง 7 วันแรงเป็นช่วงการบ่มโดยวิธีการแช่น้ำ จะเห็นได้ว่าคอนกรีตตัวอย่างมีการบวมตัวขึ้นเกิดการขยายตัวค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวใกล้เคียงกันมาก หลังจาก 7 วันมีการเปลี่ยนแปลงความยาวอย่างรวดเร็วเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความยาวที่แตกต่างกันเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 วันจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า LW55Hl2 ซึ่งเป็นซิเมนต์มอร์ต้าชนิดชอบน้ำความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์มีค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยสุดเมื่อเทียบกับ LW55ro และ LW55Hl0.5 ซึ่งเป็นซีเมนต์มอร์ต้า และเมื่อเวลาผ่านไป 90 วันยิ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่า LW55Hl2 มีผลการทดสอบที่ดีที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงความยาวเพียง 1500 ไมโครเมตร แต่ LW55Hl0.5 มีการเปลี่ยนแปลงถึง 1750 ไมโครเมตร และ LW55ro มีการเปลี่ยนแปลงความยาวถึง 2000 ไมโครเมตร



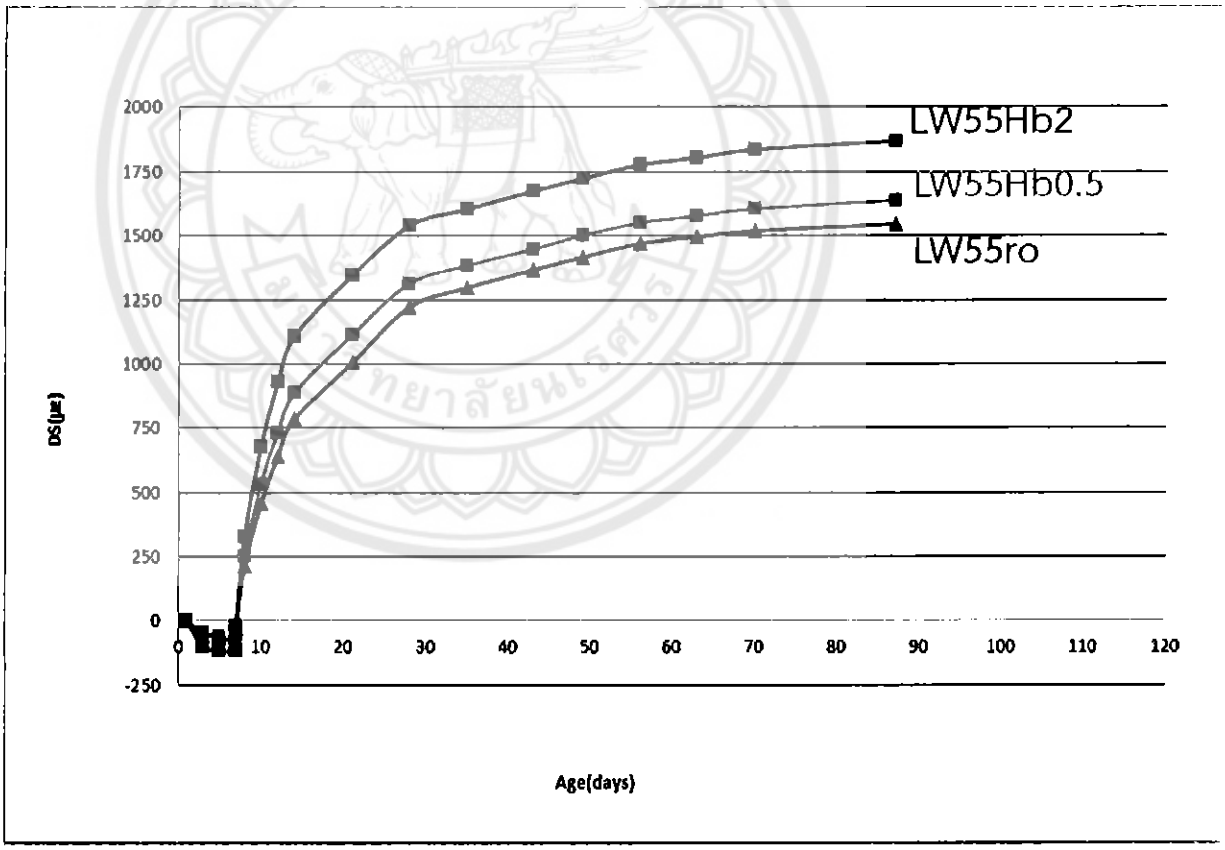
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hl0.5,LW55Hl2 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม)

จากรูปที่ 4.2 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเทียบกับเวลาของนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้า ในช่วง 7 วันแรกมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่จะสังเกตว่า LW55ro มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยที่สุดแต่เมื่อเวลาผ่านไป 7 วันหลังจากนำขึ้นจากน้ำค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแต่ยังมีขนาดใกล้เคียงกัน เมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน เริ่มสังเกตได้ว่า LW55ro มีค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยที่สุดและเมื่อเวลา 90 วันก็มีค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยสุดเมื่อเทียบกับ LW55Hl0.5,LW55Hl2 ซึ่งเป็นนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำความเข้มข้น 0.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับโดยนาโนซิลิก้าที่ใช้ในการผสมใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้ง



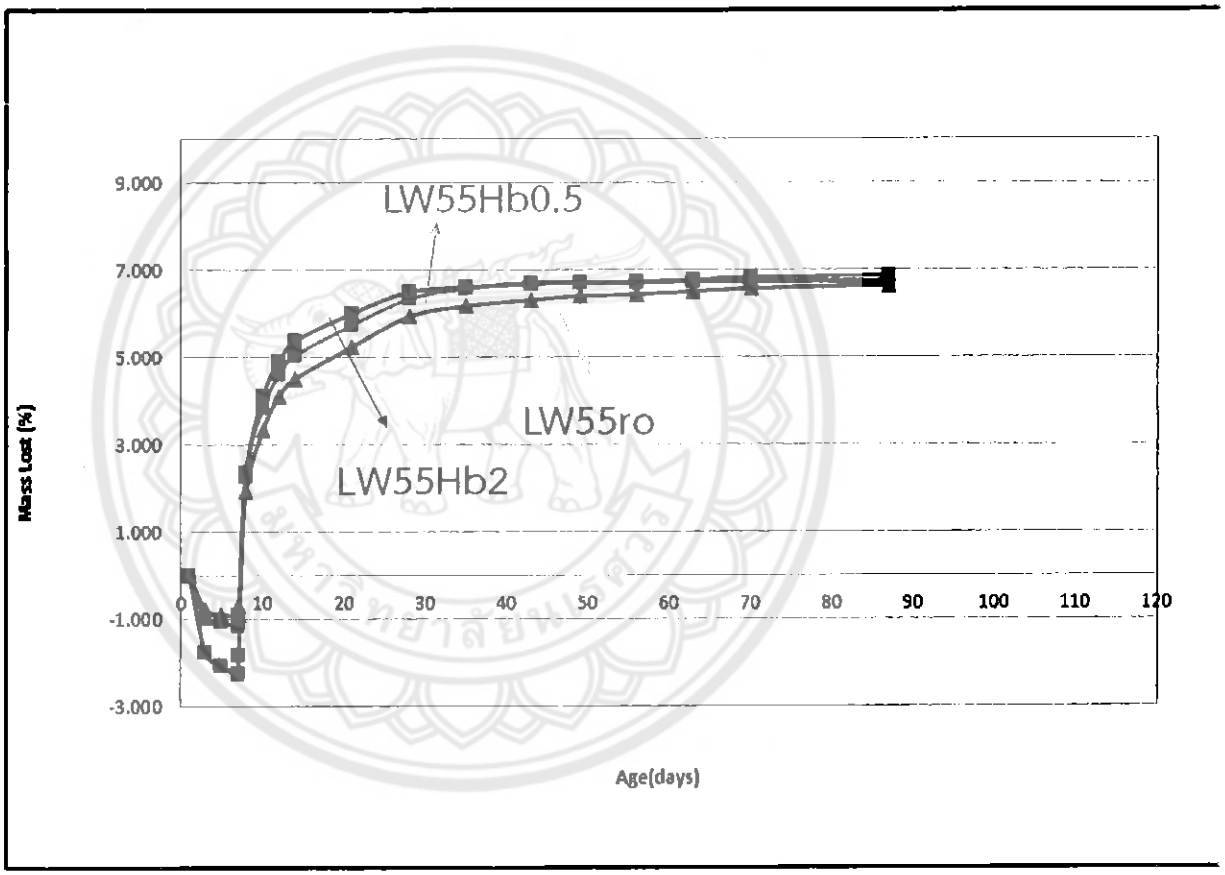
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hl0.5,LW55Hl2 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม)

จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้งานนาโนซิลิก้าต่อความยาวที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์มอร์ต้า เทียบกับเวลา โดยใช้นาโนซิลิก้าชนิดแห้งเป็นส่วนผสมในช่วง 7 วันแรงเป็นช่วงการบ่มโดยวิธีการแช่น้ำ จะเห็นได้ว่าคอนกรีตตัวอย่างมีการบวมตัวขึ้นเกิดการขยายตัวค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวใกล้เคียงกันมาก หลังจาก 7 วันมีการเปลี่ยนแปลงความยาวอย่างรวดเร็วเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความยาวที่แตกต่างกันเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 วันจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า LW55ro ซึ่งเป็นซิเมนต์มอร์ต้าแบบไม่ผสมนาโนซิลิก้า ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยสุดเมื่อเทียบกับ LW55Hb0.5 และ LW55Hb2 ซึ่งเป็นซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการผสมนาโนซิลิก้าชนิดไม่ชอบน้ำ และเมื่อเวลาผ่านไป 90 วันยิ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่า LW55ro มีผลการทดสอบที่ดีที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงความยาวเพียง 1500 ไมโครเมตร แต่ LW55Hb0.5 มีการเปลี่ยนแปลงถึง 1600 ไมโครเมตร และ LW55Hb2 มีการเปลี่ยนแปลงความยาวถึง 1800 ไมโครเมตร



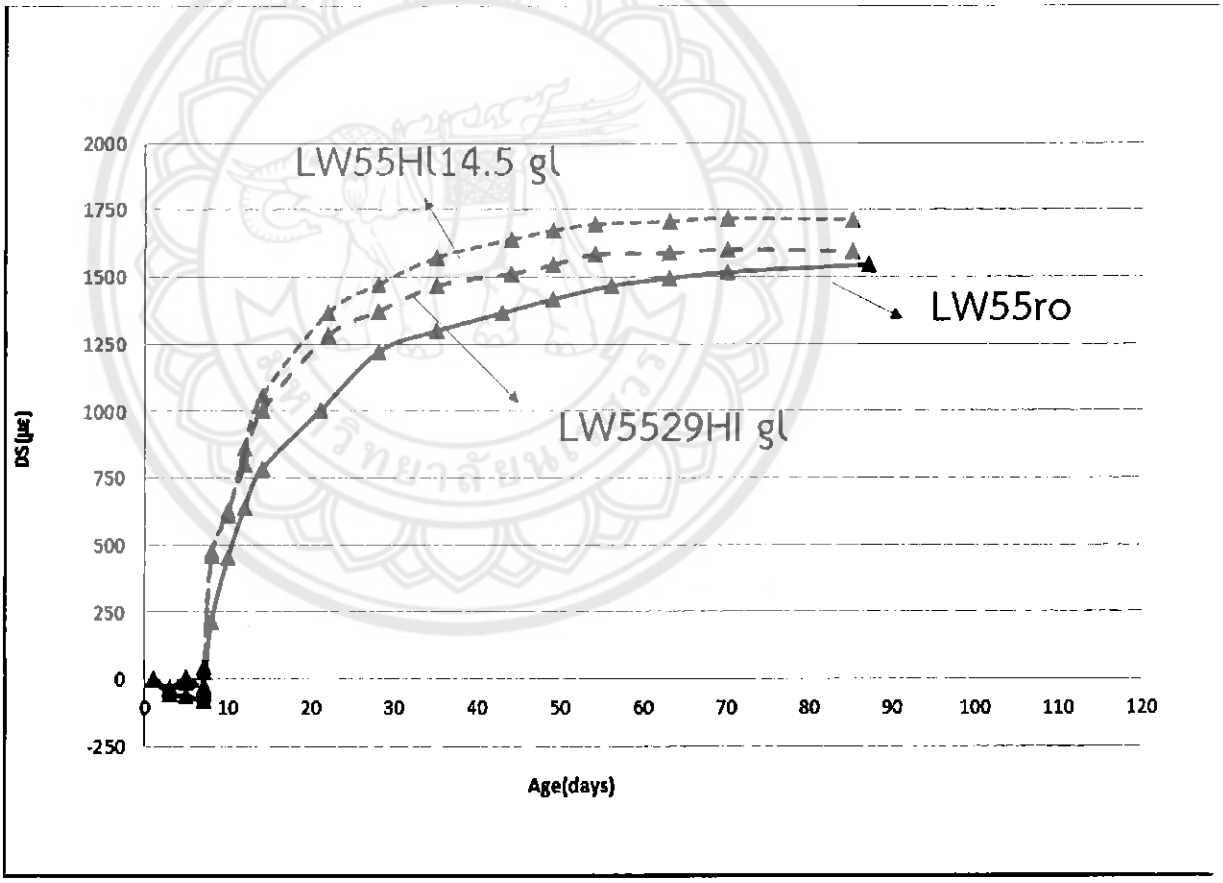
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความยาวเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hb0.5,LW55Hb2 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม)

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเทียบกับเวลา ของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้า ในช่วง 7 วันแรกมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นของน้ำหนักโดยเฉพาะ LW55Hb2 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงมากใน 7 วันแรกและเมื่อเวลาผ่านไปหลักจากเจ็ดวัน ปรากฏว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอย่างรวดเร็วและใกล้เคียงกันทั้ง 3 ตัวอย่างแต่เมื่อเข้าวันที่ 10 เริ่มเห็นได้อย่างจัดเจนว่า LW55ro มีค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่น้อยกว่าตัวอย่างอื่นแล้วเมื่อเวลาผ่านไป 90 วัน ทั้ง 3 ตัวอย่างคือ LW55ro,LW55HLb.5,LW55Hb2 มีค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักใกล้เคียงกันที่ประมาณ 7 เปอร์เซ็น



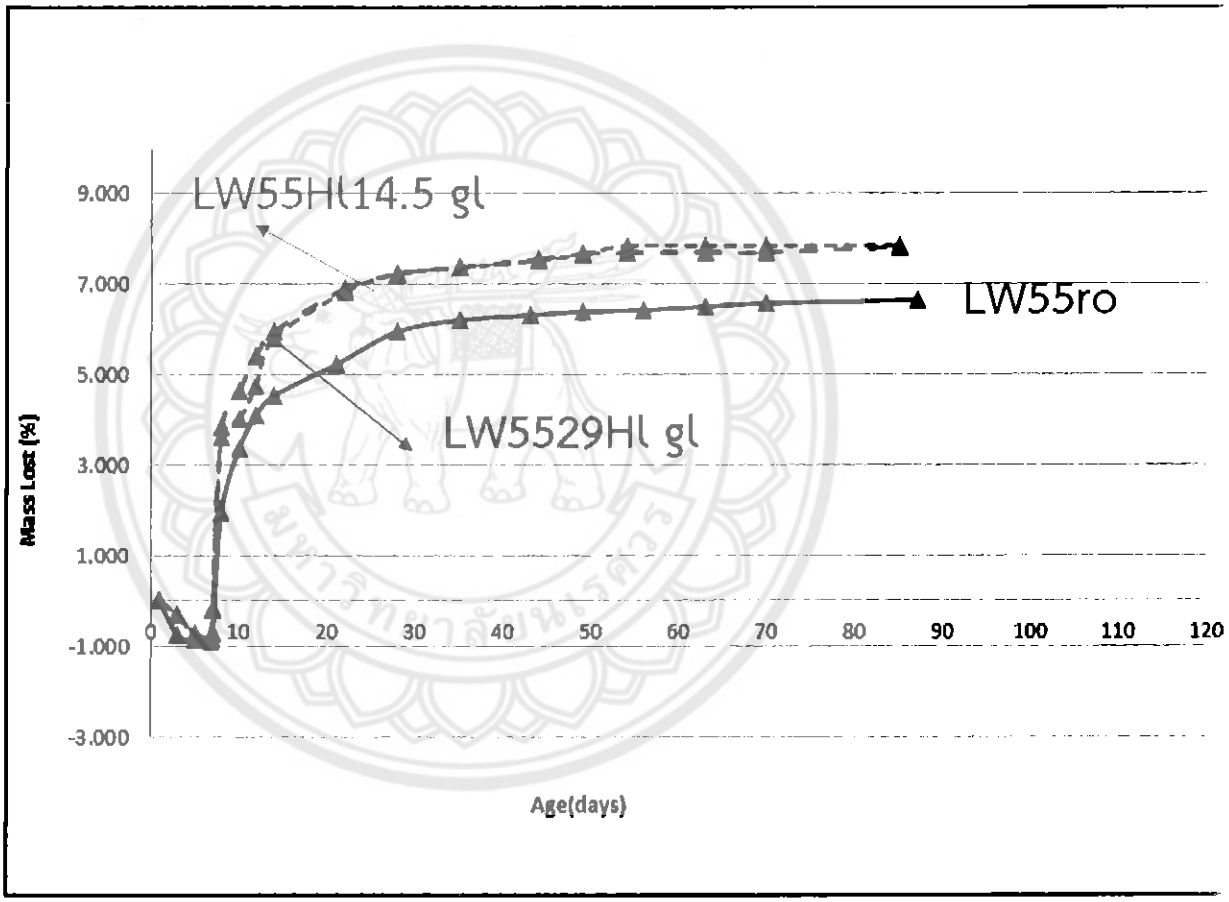
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55HLb.5,LW55Hb2 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม)

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้งานนาโนซิลิก้าต่อความยาวที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์มอร์ต้า เทียบกับเวลา โดยใช้นาโนซิลิก้าชนิดผสมน้ำเป็นส่วนผสมในช่วง 7 วันแรงเป็นช่วงการบ่มโดยวิธีการแช่น้ำ จะเห็นได้ว่าคอนกรีตตัวอย่างมีการบวมตัวขึ้นเกิดการขยายตัวค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวใกล้เคียงกันมาก หลังจาก 7 วันมีการเปลี่ยนแปลงความยาวอย่างรวดเร็วเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความยาวที่แตกต่างกันเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 วันจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า LW55ro ซึ่งเป็นซิเมนต์มอร์ต้าแบบไม่ผสมนาโนซิลิก้า ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยสุดเมื่อเทียบกับ LW55Hl14.5และ LW55Hl29 ซึ่งเป็นซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการผสมนาโนซิลิก้าชนิดชอบน้ำ และเมื่อเวลาผ่านไป 90 วันยิ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่า LW55ro มีผลการทดสอบที่ดีที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงความยาวเพียง 1500 ไมโครเมตร แต่ LW55Hl14.5 มีการเปลี่ยนแปลงถึง 1550 ไมโครเมตร และ LW55Hl29 มีการเปลี่ยนแปลงความยาวถึง 1700 ไมโครเมตร



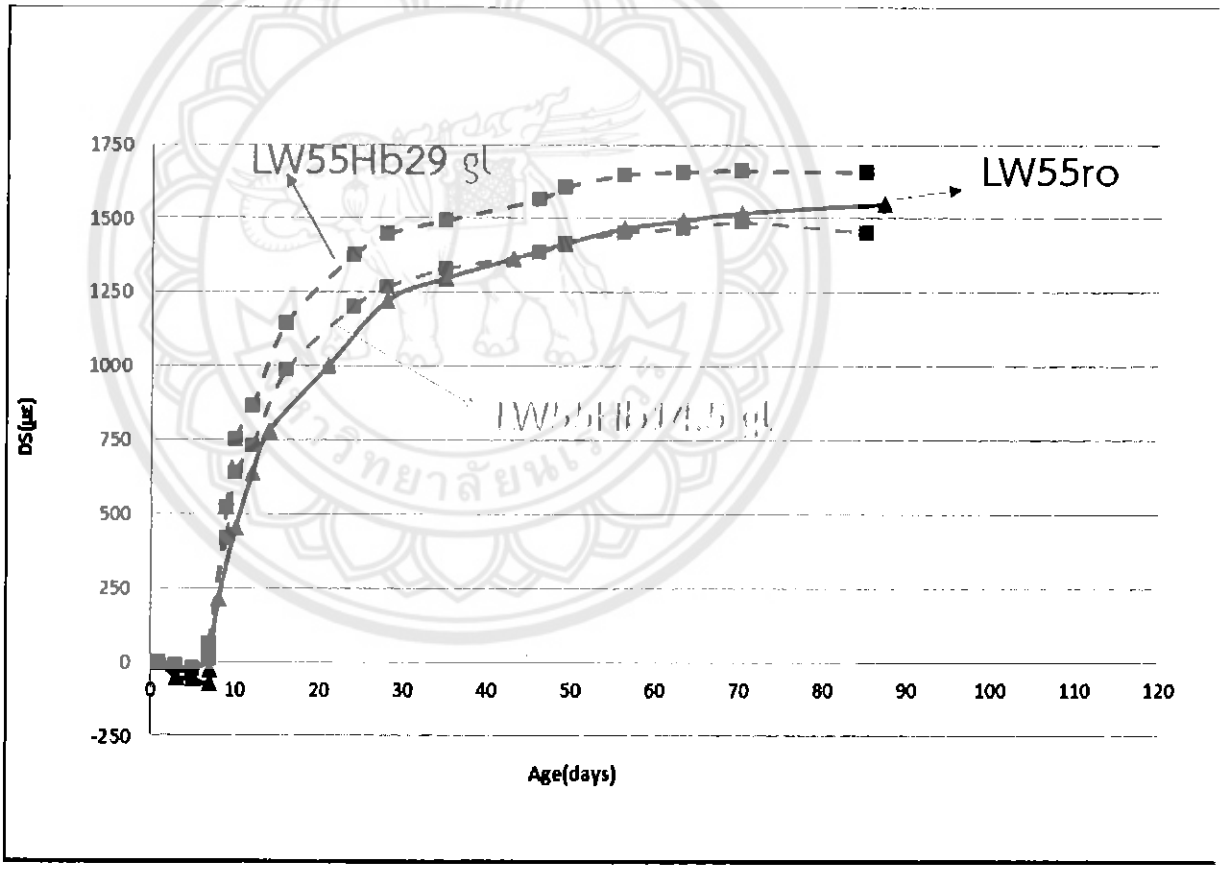
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hl14.5,LW55Hl29 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบผสมน้ำในการผสม)

จากรูปที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเทียบกับเวลา ของนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้า โดยใช้นาโนซิลิก้าประภทชอบน้ำชนิดผสมน้ำเป็นส่วนผสม ในช่วง 7 วันแรกมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันทั้ง 3 ตัวอย่างและเมื่อเวลาผ่านไปหลัง 7 วันมีค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอย่างรวดเร็ว และตั้งแต่วันที่ 20 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า LW55ro ซึ่งเป็นซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้ามีค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยที่สุดประมาณ 6.5 เปอร์เซ็นเมื่อเทียบกับ LW55Hl14.5,LW55Hl29 ที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักใกล้เคียงกันมากที่ประมาณ 8 เปอร์เซ็น



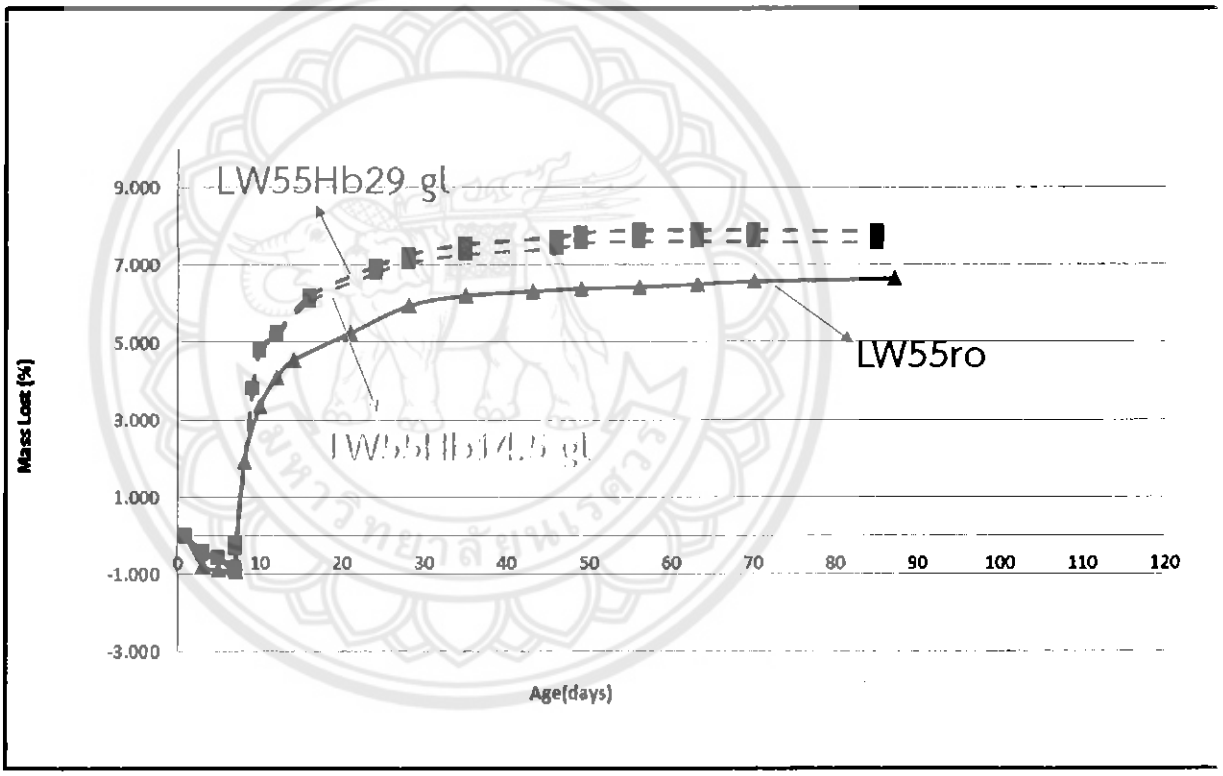
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hl14.5,LW55Hl29 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบผสมน้ำในการผสม)

จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้งานนาโนซิลิก้าต่อความยาวที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์มอร์ต้า เทียบกับเวลา โดยใช้นาโนซิลิก้าชนิดผสมน้ำเป็นส่วนผสมในช่วง 7 วันแรงเป็นช่วงการบ่มโดยวิธีการแช่น้ำ จะเห็นได้ว่าคอนกรีตตัวอย่างมีการบวมตัวขึ้นเกิดการขยายตัวค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวใกล้เคียงกันมาก หลังจาก 7 วันมีการเปลี่ยนแปลงความยาวอย่างรวดเร็วเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความยาวที่แตกต่างกันเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 วันจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า LW55ro ซึ่งเป็นซิเมนต์มอร์ต้าแบบไม่ผสมนาโนซิลิก้า ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยสุดเมื่อเทียบกับ LW55Hb14.5และ LW55Hb29 ซึ่งเป็นซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการผสมนาโนซิลิก้าชนิดไม่ชอบน้ำ แต่มื่อเวลาผ่านไป 90 วัน LW55Hb14. มีผลการทดสอบที่ดีที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงความยาวเพียง 1450 ไมโครเมตร โดยที่ LW55r0 มีการเปลี่ยนแปลง 1500 ไมโครเมตร และ LW55Hb29 มีการเปลี่ยนแปลงความยาวถึง 1600 ไมโครเมตรโดยประมาณ



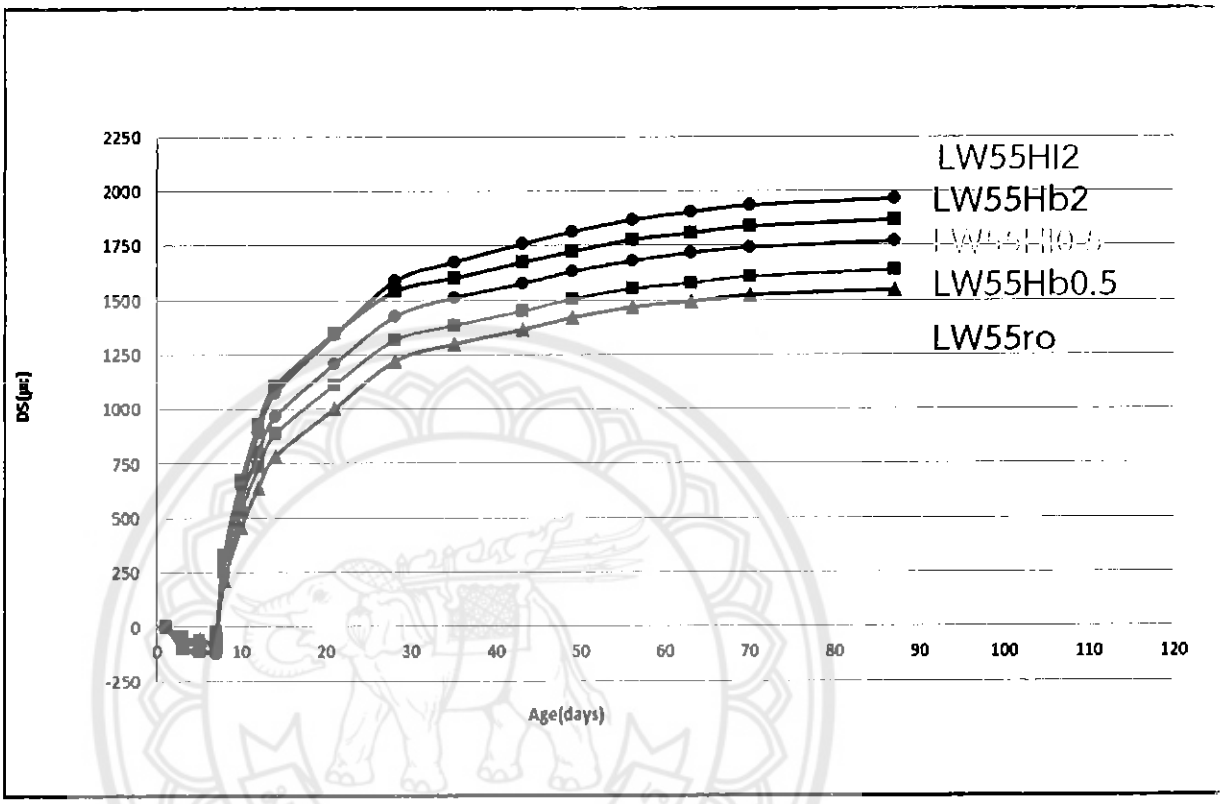
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hb14.5,LW55Hb29 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบผสมน้ำในการผสม)

จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเทียบกับเวลา ของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้า โดยใช้นาโนซิลิก้าประภทไม่ชอบน้ำชนิดผสมน้ำเป็นส่วนผสม ในช่วง 7 วันแรกมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันทั้ง 3 ตัวอย่างและเมื่อเวลาผ่านไปหลัง 7 วันมีค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอย่างรวดเร็ว และตั้งแต่วันที่ 10 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า LW55ro ซึ่งเป็นซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้ามีค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยที่สุดประมาณ 6.5 เปอร์เซ็นเมื่อเทียบกับ LW55Hb14.5,LW55Hb29 ที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักใกล้เคียงกันมากที่ประมาณ 7.5 - 8 เปอร์เซ็นตามลำดับ



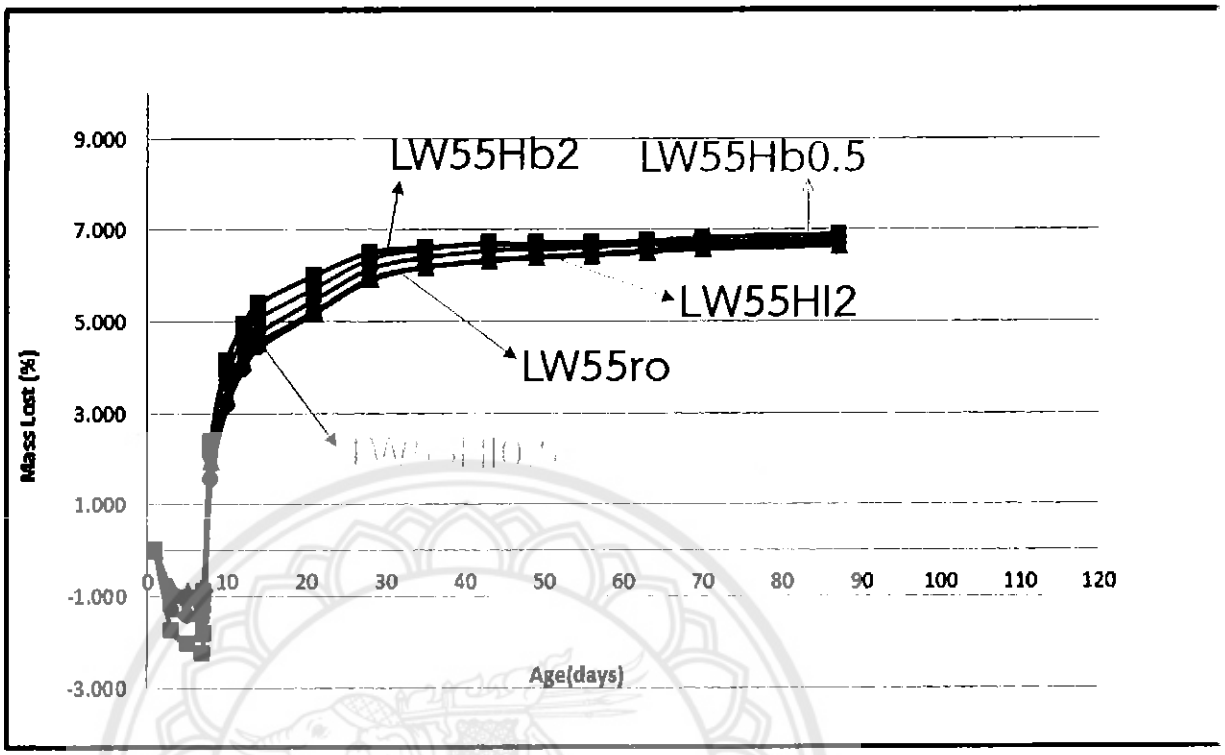
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hb14.5,LW55Hb29 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบผสมน้ำในการผสม)

4.1.1.2 การศึกษาผลของพื้นที่ผิว



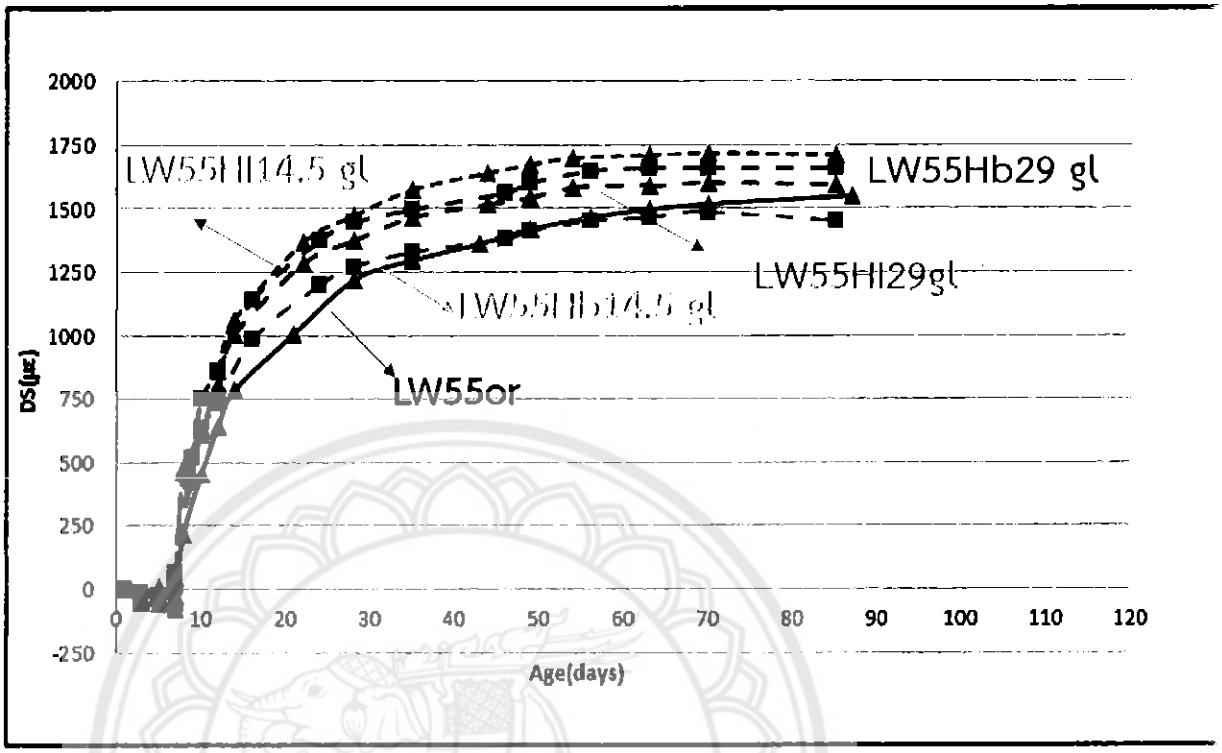
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา จากผลของพื้นผิว
LW55ro, LW55Hb0.5, LW55Hb2, LW55Hl0.5, LW55Hl2 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม)

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าในช่วง 7 วันแรกมีความเปลี่ยนแปลงความยาวใกล้เคียงกันแต่เมื่อเวลาผ่านไปเริ่มเข้าวันที่ 15 จะเริ่มสังเกตเห็นได้ว่า LW55ro มีผลของการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่ากว่าเมื่อเทียบกับอีก 4 ตัวอย่างคือ LW55Hb0.5,LW55Hb2,LW55Hl0.5,LW55Hl2 ซึ่งเป็นนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำและไม่ชอบอย่างเห็นได้ชัดเจน ถ้ามีส่วนผสมของนาโนซิลิก้ามากก็จะยิ่งมีการเปลี่ยนแปลงความยาวมาก โดยเฉพาะนาโนซิลิก้าชนิดชอบน้ำจะเปลี่ยนแปลงความยาวมากกว่า นาโนซิลิก้าชนิดไม่ชอบน้ำในอัตราส่วนเดียวกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการผสมนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ LW55Hb0.5,LW55Hb2,LW55Hl0.5,LW55Hl2 ลงไปในซีเมนต์มอต้า จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความยาวอย่างเห็นได้ชัด ยิ่งเพิ่มการหดตัวในซีเมนต์มอต้ามากกว่า LW55ro ซึ่งเป็นแบบปกติอย่างเห็นได้ชัด ในด้านพื้นที่ผิวมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวมากขึ้นเมื่อเติม นาโนซิลิก้าฟูมชนิด LW55Hb0.5, LW55Hb2, LW55Hl0.5,LW55Hl2 ลงไปในซีเมนต์มอร์ต้า



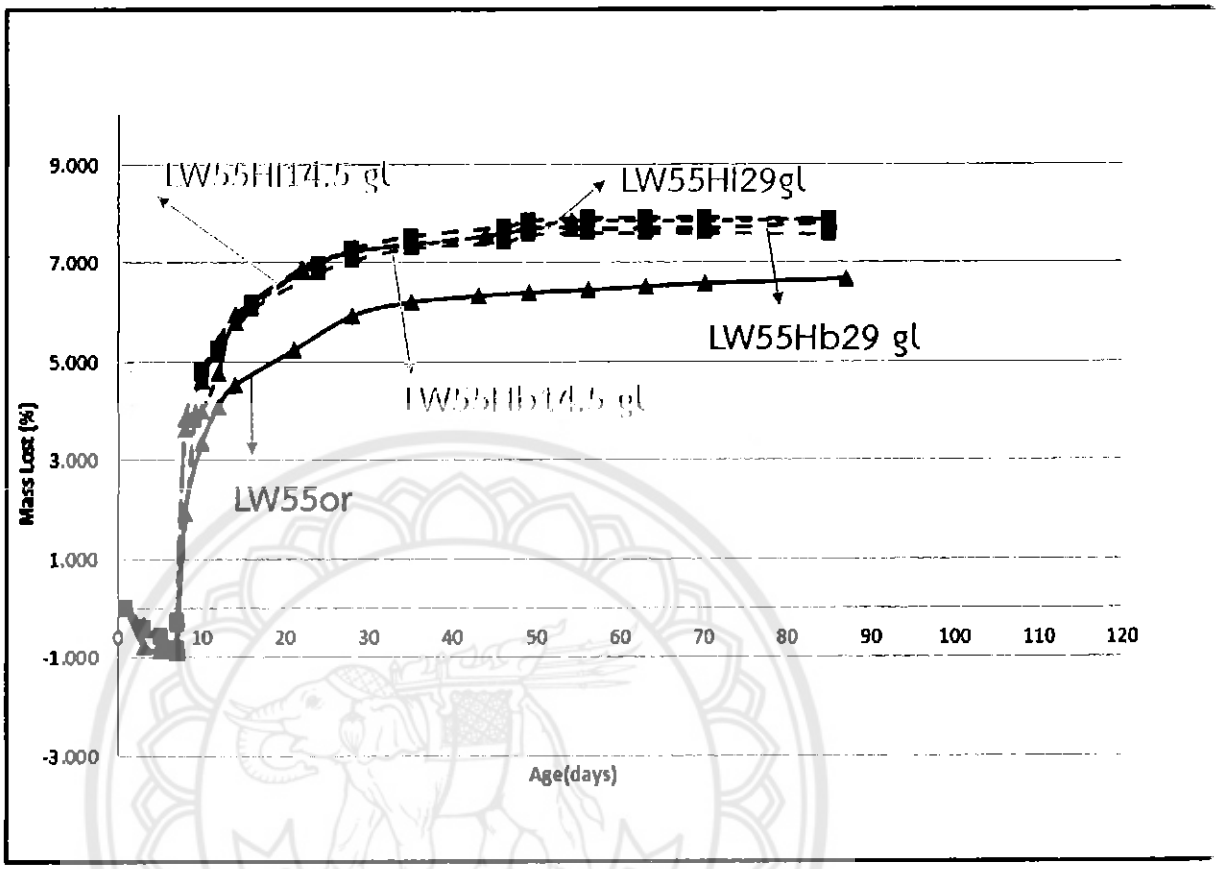
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา จากผลของพื้นผิว LW55ro,LW55Hb0.5,LW55Hb2,LW55Hl0.5,LW55Hl2 (ใช้นาโนซิลิก้าแบบแห้งในการผสม)

จากรูปที่ 4.10 เราจะเห็นได้ว่าในช่วง 10 วันแรกมีความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักใกล้เคียงกันแต่เมื่อเวลาผ่านไปเริ่มเข้าวันที่ 20 จะเริ่มสังเกตเห็นได้ว่า LW55ro มีผลของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่ากว่าเมื่อเทียบกับอีก 3 ตัวอย่างคือ LW55Hb0.5,LW55Hb2 ซึ่งเป็นนาโนซิลิก้าฟูมชนิดไม่ชอบแต่ใกล้เคียงกับ LW55Hl 2, LW55Hl0.5 ซึ่งเป็นนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำ ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการผสมนาโนซิลิก้าฟูมชนิดไม่ชอบน้ำส่วนผสม LW55Hb0.5,LW55Hb2 ลงไปในซีเมนต์มอต้าจะมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากกว่าซีเมนต์มอต้าโดยทั่วไปคือ LW55ro และนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำส่วนผสม LW55Hl2, LW55Hl0.5 อย่างเห็นได้ชัด นาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่าชนิดไม่ชอบน้ำ แสดงให้เห็นว่านาโนซิลิก้าชนิดชอบน้ำสามารถเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในซีเมนต์มอต้าร์ได้ดีกว่านาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา จาก**ผลของพื้นผิว** LW55ro,LW55Hb14.5,LW55Hb29,LW55Hl14.5,LW55Hl29 **(ใช้นาโนซิลิก้าชนิดผสมน้ำในการผสม)**

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าในช่วง 10 วันแรกมีความเปลี่ยนแปลงความยาวใก**ล้เคียงกันแต่เมื่อเวลาผ่านไปเริ่มเข้าวันที่** 20 จะเริ่มสังเกตเห็นได้ว่า LW55ro มีผลของการเปลี่ยนแปลง**ความยาวน้อยกว่ากว่าเมื่อเทียบ**กับอีก 4 ตัวอย่างคือ LW55Hb14.5,LW55Hb29,LW55Hl14.5,LW55Hl29 **ซึ่งเป็นนาโนซิลิก้าชนิดไม่ชอบและนาโนซิลิก้าฟูชนิดชอบน้ำ ที่ความเข้มข้น** 14.5 gl **นาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำจะเปลี่ยนแปลงคงามยาวน้อยกว่าประเภทชอบน้ำแต่ที่ความเข้มข้น** 29 gl **นาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำมีผลการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่าประเภทไม่ชอบน้ำ ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการผสมนาโนซิลิก้าฟูมส่วนผสม**LW55Hb14.5,LW55Hb29,LW55Hl14.5,LW55Hl29**ลงไปในซีเมนต์มอต้าจะมีการเปลี่ยนแปลงความยาวมากกว่าซีเมนต์มอต้าโดยทั่วไปคือ** LW55ro



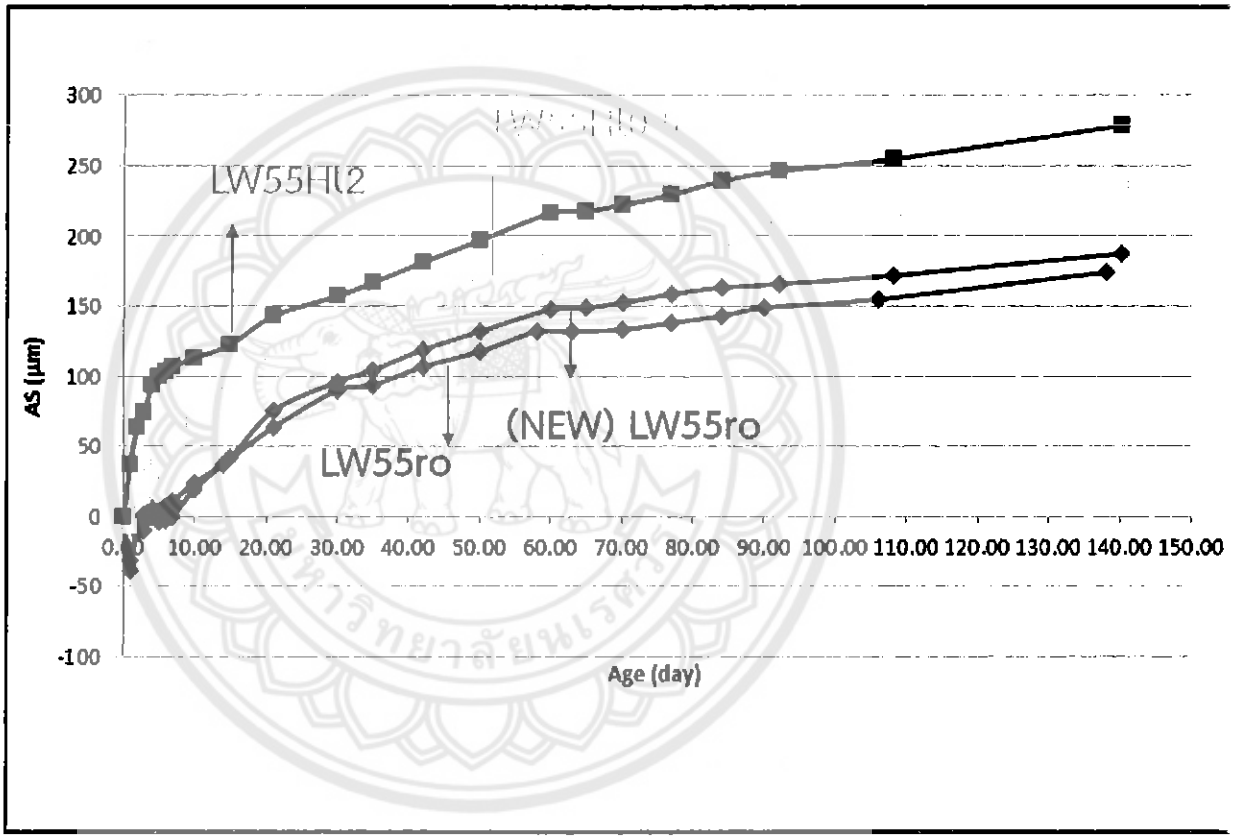
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา จากผลของ**พื้นผิว** LW55ro,LW55Hb14.5,LW55Hb29,LW55Hl14.5,LW55Hl29 (ใช้นาโนซิลิก้า**ชนิดผสมน้ำในการผสม)**

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าในช่วง 10 วันแรกมีความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักใกล้เคียงกันแต่เมื่อเวลาผ่านไปเริ่มมากขึ้นเข้าสู่วันที่ 20 เป็นต้นไป จะเริ่มสังเกตุเห็นได้ว่า LW55ro มีผลของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่ากว่าเมื่อเทียบกับอีก 4 ตัวอย่างคือ LW55Hb14.5,LW55Hb29,LW55Hl14.5,LW55Hl29ซึ่งมีนาโนซิลิก้าฟูมชนิดไม่ชอบและไม่ชอบน้ำเป็นส่วนผสมอย่างเห็นได้ชัดซึ่งทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการผสมนาโนซิลิก้าฟูมชนิดไม่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำส่วนผสม LW55Hb14.5,LW55Hb29,LW55Hl14.5,LW55Hl29 ลงไปในซีเมนต์มอต้าจะมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากกว่าซีเมนต์มอต้าโดยทั่วไปคือ LW55ro อย่างเห็นได้ชัดเจน

4.1.2 การหดตัวแบบออโตจีนัส Autogeneous Shrinkage

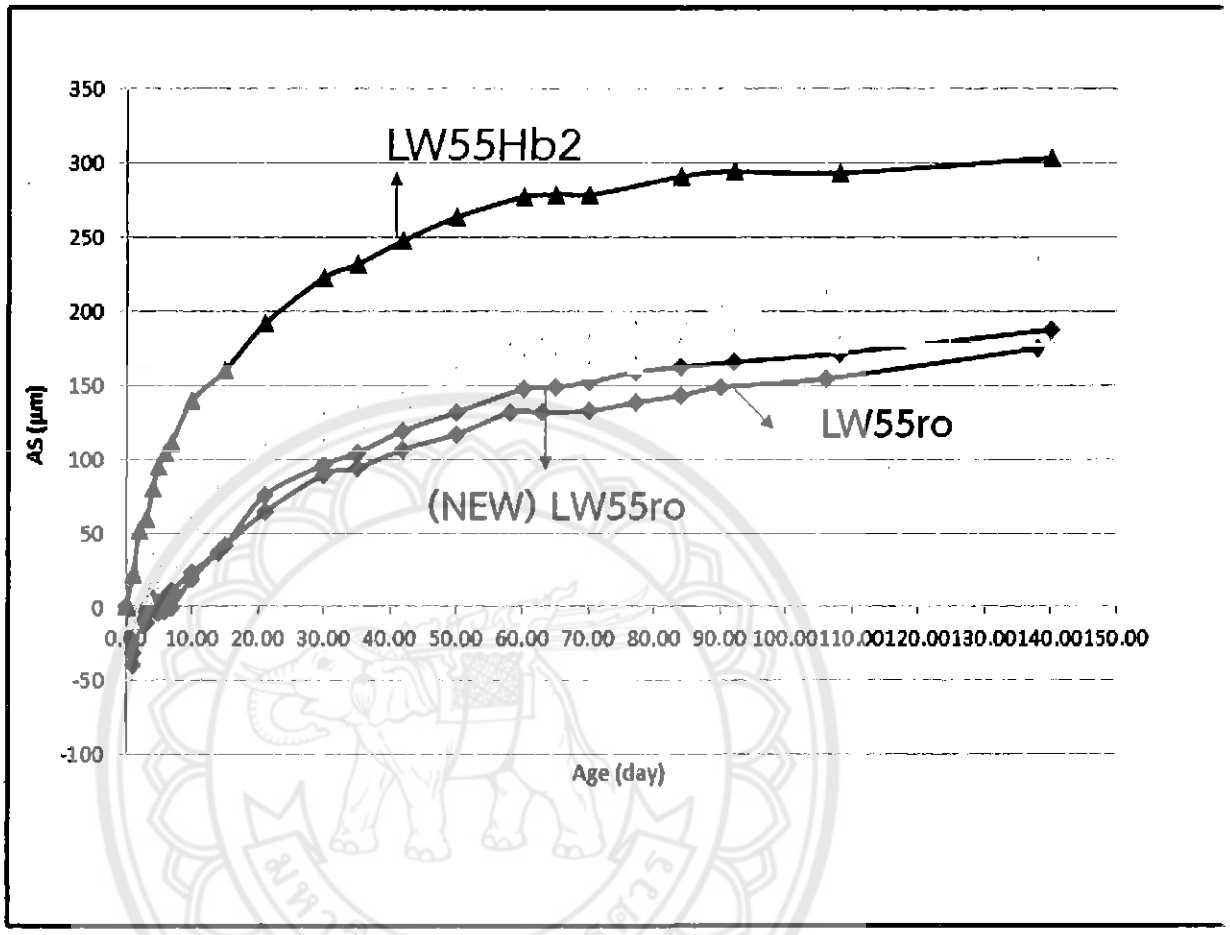
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลของการหดตัวแบบออโตจีนัสของซีเมนต์มอร์ต้าตามสัดส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไป ตามปัจจัยต่างๆที่ศึกษา ได้แก่ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลของแต่ละอัตราส่วนตามระยะเวลาที่กำหนด

4.1.2.1 การศึกษาผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา
LW55ro, ,LW55Hl0.5,LW55Hl2 (ใช้นาโนซิลิก้าชนิดแห้งในการผสม)

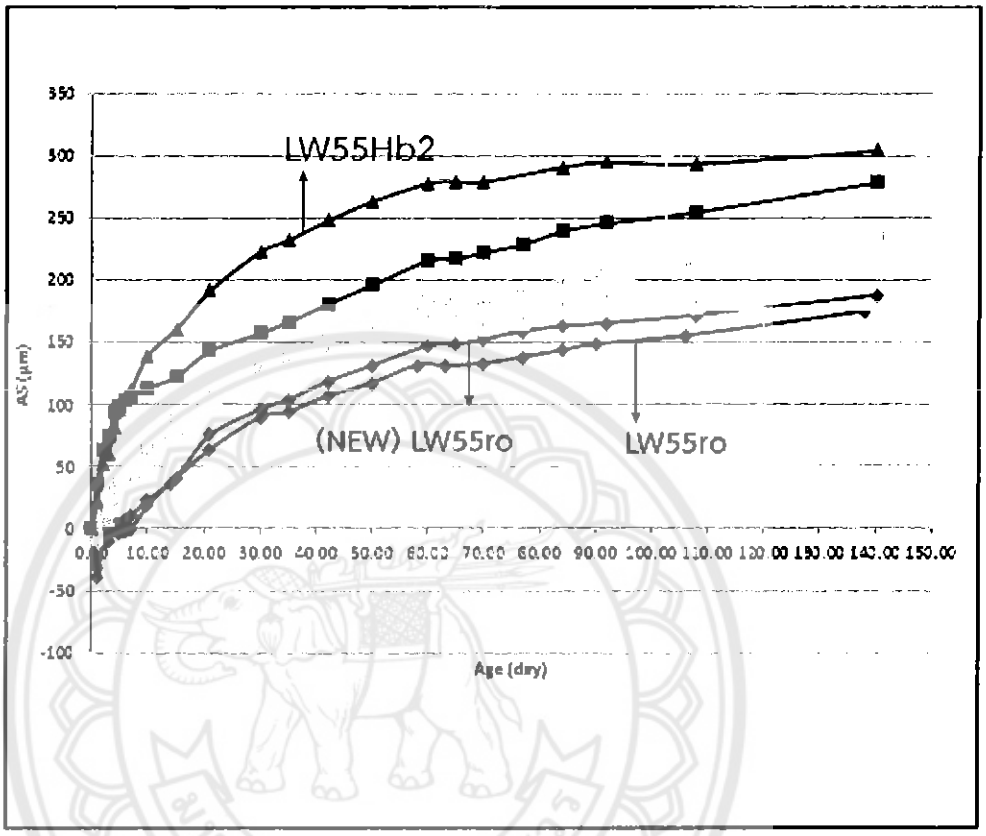
จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าในช่วง 2-3 วันแรกมีความเปลี่ยนแปลงความยาวใกล้เคียงกัน เมื่อเวลาผ่านไปหลังจาก 7 วันจะเริ่มสังเกตเห็นได้ว่า LW55ro มีผลของการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่ากว่าเมื่อเทียบกับอีก 2 ตัวอย่างคือ LW55Hl0.5,LW55Hl2 ซึ่งเป็นนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการผสมนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำส่วนผสม LW55Hl0.5, LW55Hl2 ลงไปในซีเมนต์มอต้าจะมีการเปลี่ยนแปลงความยาวมากกว่า LW55ro



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผลของการใช้งานนาโนซิลิก้า LW55ro,LW55Hb0.5,LW55Hb2 (ใช้นาโนซิลิก้าชนิดแห้งในการผสม)

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าในช่วง 2 วันแรกมีความเปลี่ยนแปลงความยาวใกล้เคียงกัน เมื่อเวลาผ่านไปเริ่มเข้าวันที่ 7 จะเริ่มสังเกตเห็นได้ว่า LW55ro มีผลของการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่ากว่าเมื่อเทียบกับอีก 2 ตัวอย่างคือ LW55Hb0.5,LW55Hb2 ซึ่งเป็นนาโนซิลิก้าฟูมชนิดไม่ชอบและนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำ ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการผสมนาโนซิลิก้าฟูมส่วนผสม LW55Hb0.5,LW55Hb2 ลงไปในซีเมนต์มอต้าจะมีการเปลี่ยนแปลงความยาวมากกว่าซีเมนต์มอต้าโดยทั่วไปคือ LW55ro

4.1.2.2 การศึกษาผลของพื้นที่ผิว



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ผล**ของพื้นที่ผิว** LW55ro,LW55Hb0.5,LW55Hb2,LW55Hl0.5,LW55Hl2 (ใช้นาโนซิลิก้า**ชนิดแห้งในการผสม)**

จากรูปที่ 4.15 เราจะเห็นได้ว่าในเรื่องของพื้นที่ผิวในช่วง 7 วันแรกมีความเปลี่ยนแปลงความยาวใกล้เคียงกัน เมื่อเวลาผ่านไปเริ่มเข้าวันที่ 15 จะเริ่มสังเกตเห็นได้ว่า LW55ro มีผลของการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่ากว่าเมื่อเทียบกับอีก 4 ตัวอย่างคือ LW55Hb0.5,LW55Hb2,LW55Hl0.5,LW55Hl2 ซึ่งเป็นนาโนซิลิก้าฟูมชนิดไม่ชอบและนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำ ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการผสมนาโนซิลิก้าฟูมส่วนผสมLW55Hb0.5,LW55Hb2,LW55Hl0.5,LW55Hl2 ลงไปในซีเมนต์มอต้าจะมีการเปลี่ยนแปลงความยาวมากกว่าซีเมนต์มอต้าโดยทั่วไปคือ LW55ro อย่างเห็นได้ชัด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองของการศึกษาการหดตัวของคอนกรีตทั้ง 2 ประเภทคือแบบมวลรวม และแบบออโตจีนัสโดยที่ทั้ง 2 ประเภทมีส่วนผสมต่างกัน และเก็บไว้ในห้องเดียวกันที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เท่ากันทั้งสองประเภทโดยปัจจัยหลักที่ทำการศึกษาคือการใช้ซิลิก้าฟูมเป็นส่วนผสมเพื่อช่วยลดการหดตัวของคอนกรีตจะสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 ผลการเปลี่ยนแปลงความยาวและน้ำหนักของก้อนตัวอย่าง

1) การศึกษาผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า

เมื่อนำนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำและชนิดไม่ชอบน้ำมาเป็นส่วนผสมในซีเมนต์มอล์ต้ามีเพียง ,LW55Hl0.5,LW55Hl2ที่มีผลการทดลองดีกว่า LW55ro ซึ่งเป็นตัวควบคุม (ซีเมนต์มอล์ต้าแบบทั่วไป) และเมื่อนำ LW55ro ไปเปรียบเทียบกับ LW55Hb0.5,LW55Hb2,LW55Hl0.5,LW55Hl2 ,LW55Hb14.5,LW55Hb29,LW55Hl14.5,LW55Hl29 มีผลการทดสอบที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด

2) การศึกษาผลของพื้นที่ผิว

เมื่อนำนาโนซิลิก้าฟูมชนิดชอบน้ำและชนิดไม่ชอบน้ำมาเป็นส่วนผสมในซีเมนต์มอล์ต้ามีเพียงพบว่า LW55ro ซึ่งเป็นตัวควบคุม (ซีเมนต์มอล์ต้าแบบทั่วไป) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีการผสมนาโนซิลิก้าลงไป (,LW55Hl0.5,LW55Hl2,LW55Hb0.5,LW55Hb2,LW55Hl0.5,LW55Hl2,LW55Hb14.5,LW55Hb29,LW55Hl14.5,LW55Hl29)มีผลการทดสอบที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด

3) ปัจจัยเพิ่มเติม

3.1) ผลของการใช้สารลดน้ำ

หากใช้สารลดน้ำช่วยในการผสมจะช่วยให้คอนกรีตมีค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและน้ำหนักน้อยกว่าการใช้น้ำที่ความข้นเหลวเดียวกัน

3.2) ผลจากอุณหภูมิ

หากห้องควบคุมมีอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำคอนกรีตตัวอย่างจะแข็งตัวอย่างรวดเร็วแต่ถ้าอุณหภูมิต่ำและความชื้นมากก้อนตัวอย่างก็จะแข็งตัวได้ช้ากว่าที่ควร

โดยรวมสรุปว่า การใช้ซิลิก้าฟูมเป็นส่วนผสมในคอนกรีตอาจช่วยหรือไม่ช่วยให้คอนกรีตมีประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนและการผสม หากผสมได้ถูกต้องก็จะช่วยลดปัญหาด้านการหดตัวของคอนกรีตได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ก่อนการเทแบบคอนกรีตตัวอย่างจะต้องทำความสะอาดแบบและห่อด้วยพลาสติกให้เรียบร้อยก่อนทำงานจะทำงานได้ง่ายและสะดวกขึ้น

2) ก่อนการเทหรือแกะแบบคอนกรีตทุกครั้งต้องตรวจสอบ วัน เวลา ให้ถูกต้อง ชัดเจน เพื่อไม่ให้กระทบผลการทดลอง

3) การเก็บก้อนตัวอย่างต้องเก็บไว้ในที่ๆควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อผลในการทดสอบที่แม่นยำ

4) ในการวัดค่าการหดตัวของคอนกรีตในแต่ละครั้งด้วย เครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวควรใช้สามค่าที่ต่ำที่สุดมาเฉลี่ยหาค่าการหดตัวของคอนกรีต เพื่อความแม่นยำของข้อมูลมากยิ่งขึ้น

5) ในการวัดค่าการหดตัวของคอนกรีตบางครั้งเกิดความผิดพลาดเนื่องจาก เครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวหลวม ไม่มั่นคงทำให้ค่าการหดตัวของคอนกรีตเกิดการเปลี่ยนแปลง

6) ในการผสมคอนกรีตแต่ละครั้ง ต้องมีการควบคุมอัตราส่วนผสมอย่างเข้มงวดเนื่องจากหากส่วนผสมที่ใช้ไม่ถูกต้องจะทำให้คอนกรีตที่ได้มีคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปอย่างมาก

7) การทำการเคลื่อนย้ายก้อนตัวอย่างคอนกรีตควรทำด้วยความระมัดระวังไม่ให้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตตกหรือกระทบกับสิ่งอื่น ซึ่งอาจทำให้น้ำหนักและความยาวของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้

8) การเก็บก้อนตัวอย่างต้องเขียนหรือทำเครื่องหมายให้ชัดเจนเพื่อไม่ให้สับสนเมื่อเวลาผ่านไปหลังจากเก็บก้อนตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

[1] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล .ปูนซีเมน และคอนกรีต สมาคมคอนกรีตไทย.พิมพ์ครั้ง ที่ 1 ตุลาคม 2547.หน้า 347

[2] นายธีรวัฒน์ วงศ์เวียน ,นายธรรมนูญ เกษตรธรรม และ นายทิชากร ขุนหมื่น(2555). การศึกษาผลของการบ่ม ต่อกำลังอัดและการหดตัวของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยและผงหินปูนเป็นวัสดุประสาน.ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

[3] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. ซิลิก้าฟูม. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
วราสาร โยธาสาร ฉบับเดือนตุลาคม 2542.

[4] ภควัต รักศรี.สภาวิศวกร รอยร้าวของคอนกรีต .เว็บไซน์สภาวิศวกร
http://www.coe.or.th/e_engineers/knc_detail.php?id=52