

อิทธิพลของอุณหภูมิการบ่มต่อคุณสมบัติของคอนกรีตรับกำลังสูงเร็ว  
INFLUENCE OF CURING TEMPERATURE ON PROPERTIES  
OF HIGH EARLY STRENGTH CONCRETE



โดย

นางสาวเกวริน

ก้อนแก้ว

นายจิตติพันธ์

เพ็ญศิริกุล

นายเฉลิมรัฐ

ทองรุ่งโรจน์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 62924  
วัน,เดือน,ปี..... 23 ส.ค. 2549

6 11152192  
.....  
.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **INFLUENCE OF CURING TEMPERATURE ON PROPERTIES OF HIGH EARLY STRENGTH CONCRETE**



**MS. KEWARIN  
MR. JITTIPUNT  
MR. CHALERMURUT**

**KONKAEW  
PENSIRIKUL  
THONGRUNGROJ**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT 'S INSTITUTR OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2005**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ


หัวข้อโครงการพิเศษ อิทธิพลของอุณหภูมิการบ่มต่อคุณสมบัติของคอนกรีตรับกำลังสูงเร็ว

นักศึกษา นางสาวเกวริน ก้อนแก้ว รหัสประจำตัว 45010065  
นายจิตติพันธ์ เพ็ญศิริกุล รหัสประจำตัว 45010111  
นายเฉลิมรัฐ ทองรุ่งโรจน์ รหัสประจำตัว 45010151

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.คมสัน มาลีสี

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ศักดิ์ชัย สกานุปงษ์	
ผศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
อ.ทรงกลด แซ่ฮ้อ	
ดร.คมสัน มาลีสี	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาได้รับรองแล้ว

  
(ผศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2549

อิทธิพลของอุณหภูมิการบ่มต่อคุณสมบัติของคอนกรีตรับกำลังสูงเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ โครงการพิเศษ อิทธิพลของอุณหภูมิการบ่มต่อคุณสมบัติของคอนกรีตรับกำลังสูงเร็ว  
INFLUENCE OF CURING TEMPERATURE ON PROPERTIES  
OF HIGH EARLY STRENGTH CONCRETE

นักศึกษา เกวริน ก้อนแก้ว, จิตติพันธ์ เพ็ญศิริกุล, เฉลิมรัตน์ ทองรุ่งโรจน์  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. คมสัน มาลีสี  
ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2548

### บทคัดย่อ

งานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มที่จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางด้านความสามารถด้านทานกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูงเร็ว (High Early Strength Concrete) ในขั้นแรกจะทำการทดลองหาสัดส่วนของสารผสมเพิ่ม เพื่อทำให้เป็นคอนกรีตรับกำลังสูงเร็ว จากนั้น จึงใช้อุณหภูมิในการบ่มคอนกรีตซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มเข้าไปจะไปเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันและจำทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดเร็วขึ้นพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการบ่ม ความสามารถด้านทานรับกำลังอัดจะสูงขึ้นจากคอนกรีตเดิมที่เป็นคอนกรีตรับกำลังสูงเร็วอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : INFLUENCES OF CURING TYPES ON PROPERTIES OF HIGH EARLY STRENGTH CONCRETE

Name : MS. KAWARIN KONKAEW , MR. JITTIPUNT PENSIRIKUL,  
MR. CHALERMRUT THONGRUNGROJ

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : DR. KOMSAN MALEESEE

## Abstract

This research studies the relation of temperature which is used in concrete curing which will effect to compression strength capacity of High Early Strength Concrete .Primary study will test for the ratio of admixture in which increases the strength of concrete rapidly. Afterward will use the temperature for curing concrete. The temperature will be increased for hasten the hydration reaction and its process the result of this process has found that the resistance of compressive strength ability will be risen from its original high strength ability.

KEYWORDS : Curing , High Early Strength Concrete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	ใบรับรองโครงการพิเศษ	ค
	บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ง
	บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)	จ
	สารบัญ	ฉ
	สารบัญตาราง	ซ
	สารบัญรูป	ณ
1	บทนำ	
	1.1 กล่าวนำ	1
	1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
	1.5 วิธีการศึกษา	3
	1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1 กล่าวนำ	6
	2.2 คุณสมบัติของซีเมนต์ที่มีผลต่อคอนกรีต	6
	2.3 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่มีผลต่อคอนกรีต	7
	2.4 คุณสมบัติของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคอนกรีต	8
	2.5 ค่าระยะห่างระหว่างมวลรวมที่มีผลต่อคอนกรีต	12
	2.6 การหดตัว	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	วิธีการศึกษา	
	3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	15
	3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ	16
	3.2.1 เครื่องผสมคอนกรีต	16
	3.2.2 แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ	17
	3.2.3 เครื่องอบคอนกรีต	17
	3.2.4 เครื่องเพิ่มอุณหภูมิน้ำในการให้ความร้อนแก่คอนกรีต	18
	3.3 การดำเนินการทดสอบ	18
	3.3.1 การดำเนินการทดสอบซีเมนต์เพสต์	18
	3.3.2 การดำเนินการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต	23
	3.4 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง	26
	3.5 การดำเนินการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต (Autogenous Shrinkage)	27
4	ผลการทดลอง	
	4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์	30
	4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูงเร็วที่อุณหภูมิต่างกัน	49
	4.3 ผลการทดสอบ Autogenous Shrinkage	65
	4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง	70
5	สรุป	
	5.1 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์	71
	5.2 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ	71
	5.3 สรุป Autogenous Shrinkage	72
	5.4 สรุปผลการทดสอบคอนกรีตกำลังสูง	73

### บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
3.1	อัตราส่วนผสมซีเมนต์เพสต์ w/c ratio 0.30	19
3.2	อัตราส่วนผสมซีเมนต์เพสต์ w/c ratio 0.35	20
3.3	อัตราส่วนผสมซีเมนต์เพสต์ w/c ratio 0.40	21
3.4	อัตราส่วนที่ใช้ในการผสม Concrete, w/c 0.35(ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร)	24
3.5	อัตราส่วนที่ใช้ในการผสม Concrete Alumina Cement, w/c 0.35	24
3.6	อัตราส่วนที่ใช้ในการผสม Concrete Silica Fume, w/c 0.35	25
4.1	กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานของการศึกษา	5
3.1	เครื่องผสม Concrete Paste	16
3.2	เครื่องผสมคอนกรีต	16
3.3	เครื่องอบคอนกรีต	17
3.4	เครื่องเพิ่มอุณหภูมิน้ำในการต้มคอนกรีต	18
3.5	การบ่มตัวอย่างโดยการนำไปแช่น้ำ	22
3.6	Universal Testing Machine	26
3.7	เครื่องมือที่ใช้ในการวัด Autogenous Shrinkage	27
3.8	ลักษณะแกนเหล็กที่ขึ้นเข้ามาในเนื้อแบบ	28
3.9	วิธีการวัดระยะห่างระหว่างแกนเหล็กทั้ง 2 ข้าง	28
3.10	การเทซีเมนต์เพสต์ที่ผสมลงในแบบ	29
3.11	วิธีการวัดก่อนตัวอย่าง	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. กล่าวนำ

ในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นงานหรือธุรกิจใดๆก็ตาม สิ่งที่เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ ค่าใช้จ่ายและเวลา แต่สำหรับปัจจัยสำคัญในการก่อสร้างคอนกรีต คือวัสดุวิศวกรรม ที่นิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้าง โครงสร้างต่าง ๆ เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ เป็นส่วนผสมของคอนกรีต มีอยู่เป็นจำนวนมากตามธรรมชาติ มีความคงทนสูง และมีราคาไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับวัสดุวิศวกรรมก่อสร้างชนิดอื่น ๆ ขณะที่ประโยชน์ที่ได้รับ ยังตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ ได้หลายรูปแบบ แต่กระนั้นคอนกรีตยังมีข้อด้อยในด้านระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง เพราะต้องใช้เวลาในการทำแบบหล่อและรอให้คอนกรีตแข็งตัว ซึ่งจุดนี้เองที่ทำให้ในบางครั้งงานก่อสร้างเลือกที่จะใช้วัสดุชนิดอื่นแทนคอนกรีต เพราะถ้างานก่อสร้างนั้นเสร็จรวดเร็วแล้ว จะสามารถดำเนินธุรกิจอื่นตามมาได้ก่อน เช่น งานอาคาร เป็นต้น

### 1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในโครงการหรืองานก่อสร้างต่างๆ ปัญหาที่พบบ่อยก็คือความล่าช้าของงานและจะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายต่างๆด้วย ปัญหาเหล่านี้ส่วนมากหนีไม่พ้นเรื่องงานของคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่ต้องการความเร่งด่วน ซึ่งคอนกรีตนั้นจะต้องใช้เวลาในการก่อตัวและต้องใช้เวลาอีกหลายวันจนกว่าคอนกรีตจะสามารถรับกำลังตามที่ต้องการเพื่อที่จะรับ โครงสร้างอื่นๆได้ และจะทำให้ปัญหาอื่นๆเกิดขึ้นมาภายหลัง อาทิ เช่น การทำงานไม่เสร็จตามแผนที่วางเอาไว้ หรือส่งมอบโครงการไม่ทันตามกำหนดทำให้ต้องโดนค่าปรับอันเนื่องมาจากความล่าช้าของงานซึ่งเป็นผลทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายต่างโดยไม่จำเป็น

ปัญหาที่มักพบเห็นกันบ่อยๆอันเนื่องมาจากคอนกรีตรับกำลังได้ช้า เช่น งานซ่อมแซมถนน หรือขยายพื้นผิวจราจร งานเหล่านี้เป็นงานที่มีความจำเป็นที่จะต้องปิดกั้นช่องทางจราจรที่มีการซ่อมแซมอยู่ โดยเฉพาะบริเวณที่มีการจราจรคับคั่ง จะก่อให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดตามมา ถึงแม้ว่าจะมีการเทคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว หรือคอนกรีตได้มีการก่อตัวหรือแข็งตัวแล้ว ก็ไม่ได้หมายความว่าสามารถให้รถวิ่งบนถนนนั้นๆได้ เพราะคอนกรีตนั้นยังต้องใช้เวลาอีกหลายวันจนกว่าคอนกรีตจะสามารถรับน้ำหนักของรถที่วิ่งบนถนนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือปัญหาอีกประการ คือในโรงงานที่ผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง( Pre and Post tensioned Concrete) การดึงถ่ายแรงแล้วปล่อยลวดภายในหลังการหล่อชิ้นส่วน จะทำได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตที่หล่อแล้วมีกำลังรับแรงได้สูงเพียงพอที่ได้กำหนดไว้ตามมาตรฐานของโรงงานที่ทำการผลิต ดังนั้นการรอเวลาจึงทำให้เกิดปัญหาต่างๆตามมามากมาย

ด้วยเหตุนี้ถ้ามีการพัฒนาคอนกรีตให้สามารถรับกำลังได้สูงกว่า 210 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร หรือเพียงพอต่อการใช้งานภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว เช่น 6-8 ชั่วโมงหลังการผสมเสร็จ และจะเรียกคอนกรีตประเภทนี้ว่าคอนกรีตกำลังสูงเร็ว ( High Early Strength Concrete) ซึ่งจะเป็นผลดีอย่างมาก เช่นถ้าต้องรอให้คอนกรีตรับกำลังได้สูงภายในเวลา 7 วัน หรือ 14 วัน ก็จะเหลือเพียง 3 วัน หรือไม่ถึง 1 วัน ปัญหาต่างๆที่เกิดจากความล่าช้าของคอนกรีตก็จะหมดไป เช่น

- การซ่อมแซมถนนที่จะทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด
- การผลิตชิ้นส่วนของคอนกรีตอัดแรง
- ในงานที่ต้องการถอดแบบอย่างรวดเร็ว
- ยังสามารถช่วยลดเวลาที่สูญเปล่าและค่าใช้จ่ายที่เสียไปกับเวลา

### 1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. ทดลองหาสัดส่วนการผสมคอนกรีตกำลังรับแรงอัดสูงเร็ว (High Early Strength Concrete) โดยพิจารณากำลังรับแรงอัดในช่วงต้นที่ 8 ชั่วโมง และ 1 วัน และทดสอบกำลังรับแรงอัดไปจนถึงตัวอย่างทดสอบมีอายุที่ 28 วัน หลังผสมเสร็จ

2. ศึกษาการประยุกต์ใช้สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixture) เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงอัดในช่วงต้น ซึ่งสารผสมเพิ่มที่ใช้ คือ ซิลิกาฟูม

3. เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมสารผสมเพิ่มโดยบ่มที่อุณหภูมิ 25, 40, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส และนำมาทดสอบกำลังอัดตามอายุของคอนกรีตที่อายุ 8 ชั่วโมง, 3, 7 และ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4. ขอบเขตของการศึกษา

1. เลือกใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland cement)
2. ใช้วัสดุผสมรวมที่มีอยู่ในประเทศ เช่น ทรายแม่น้ำ โดยให้มีขนาดละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C33
3. ใช้สารผสมเพิ่ม ซิลิกาฟูม อลูมินาซีเมนต์ ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย
4. วิธีการผสมใช้ไม้ผสมชนิดเอียงมีถังผสมเป็นรูปกรวย
5. ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตสดเมื่อแข็งตัวแล้วต้านกำลังรับแรงอัด
6. การทดสอบที่ใช้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM
7. ศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยการบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน ในงานวิจัยนี้บ่มโดยใช้ อุณหภูมิการบ่ม 25, 40, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

#### 1.5. วิธีการศึกษา

ขั้นตอนดำเนินงานได้แบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ขั้นตอนการทบทวนวรรณกรรม
  - ศึกษาทฤษฎีของคอนกรีต
2. ขั้นตอนการศึกษางานวิจัยเดิม
  - ศึกษาฐานข้อมูลของวิศวกรรมโยธาที่มีอยู่
  - ศึกษางานวิจัยของงานคอนกรีตที่มีในประเทศไทย
3. ขั้นตอนการปรับปรุงฐานข้อมูลจากที่ศึกษาในข้อ 1 และ ข้อ 2
  - ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยวิธีของ ACI เพื่อทดสอบส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัย
  - ให้สารผสมเพิ่มเป็นตัวที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตโดยศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารผสมเพิ่ม
  - อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ในแต่ละสัดส่วนการผสมเพื่อให้คอนกรีตมีคุณสมบัติต้านกำลังและความสามารถในการไหลเพื่อความสะดวกในการทำงาน
  - ทำตัวอย่างการทดสอบ
  - ทำการบ่มคอนกรีตโดยใช้อุณหภูมิการบ่มที่ต่างกัน
  - ทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่าที่ต้องการศึกษา ได้แก่

- กำลังอัดที่ 8, 24 ชั่วโมง นับจากเวลาการผสม
- กำลังอัดที่ 3, 7, 28 วัน
- เวลาการก่อตัวเริ่มต้นและเวลาก่อตัวสุดท้าย (Initial & Final Setting Time)

5. ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่

- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) 0.30, 0.35 และ 0.40
- ชนิดและปริมาณการใช้สารผสมเพิ่ม
- การใช้สารผสมเพิ่มมากกว่า 2 ชนิดขึ้นไป
- การบ่มคอนกรีตโดยใช้อุณหภูมิการบ่มที่ต่างกัน
- ค่ายุบตัวประมาณ 5 เซนติเมตร

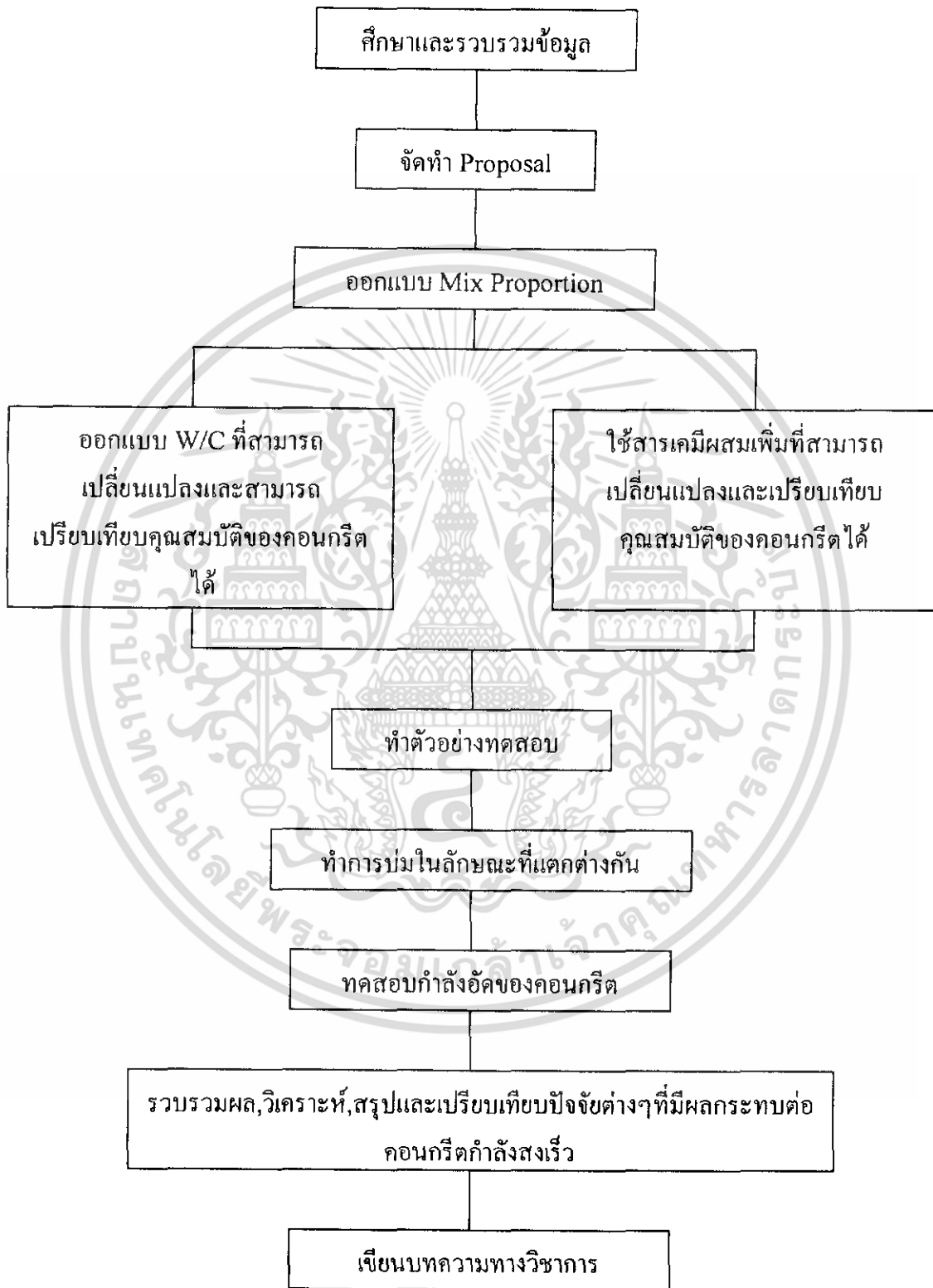
1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่สูงขึ้นในช่วงต้นเมื่อผสมสารผสมเพิ่ม
- กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่สูงขึ้นในช่วงต้นเนื่องจากการบ่มด้วยน้ำที่อุณหภูมิสูง
- ผลจากการศึกษาที่ได้จะสามารถนำไปใช้ในการศึกษาอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา

คุณสมบัติของคอนกรีตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานของการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์

#### 2.1. กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงคำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับโครงการ มีการรวบรวมประเด็นแนวคิด ทฤษฎี หรือเอกสารสิ่งพิมพ์ต่างๆที่ผ่านมา เพื่อให้ผู้ศึกษาได้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาได้ง่ายขึ้น

#### 2.2. คุณสมบัติของซีเมนต์ที่มีผลต่อคอนกรีต

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

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

**ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate,  $C_2S$ )** ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดในระยะหลัง ประมาณ 14-28 วันและเรื่อยไปหลังได้รับการบ่มชื้น ทำปฏิกิริยากับน้ำช้าให้ความร้อนน้อยประมาณ 60 แคลอรี/กรัม เมื่อเกิดปฏิกิริยามีการทนทานสูงต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตและมีการหดตัวน้อย

**ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate,  $C_3A$ )** ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดได้เร็วมากในระยะแรกประมาณ 1 วันหลังการผสมเพราะทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ก่อและแข็งตัวเร็วโดยให้ความร้อนมากประมาณ 210 แคลอรี/กรัม เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่ไม่ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงในระยะหลัง ทำให้เกิดความไม่คงตัว (Unsoundness) และไม่ทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite,  $C_4AF$ ) ไม่มี ส่วนในการพัฒนากำลังรับแรงอัดแต่ให้ความร้อนน้อยในปฏิกิริยาไฮเดรชัน ประมาณ 100 แคลอรี/กรัม

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water/cement ratio) ส่วนผสมของน้ำที่ผสมในคอนกรีต มีหน้าที่สำคัญ 2 อย่างคือ มีหน้าที่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับซีเมนต์และช่วยหล่อลื่นระหว่างอนุภาคเพิ่มความสามารถในการเทได้ ปริมาณน้ำที่ผสมจะมีบทบาทมากต่อกำลังของคอนกรีต กำลังของคอนกรีตจะสูงขึ้นเมื่อใช้น้ำผสมลดลง ปฏิกิริยาไฮเดรชันจะต้องการน้ำจำนวนหนึ่งเท่านั้น โดยมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ประมาณเท่ากับ 0.28

ในการผสมคอนกรีตตามปกติอาจใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มากกว่า 0.35 ขึ้นไป ซึ่งน้ำส่วนนี้จะทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียกและหล่อลื่นให้คอนกรีตเหลวเข้าแบบได้ง่าย น้ำส่วนนี้เรียกว่า “น้ำส่วนเกิน” (Excess water) ถ้ามีมากจะทำให้เกิดการเยิ้ม (Bleeding) การแยกตัว (Segregation) กำลังรับแรงอัดต่ำลง มีการหดตัว (Shrinkage) มากขึ้นและเกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตมากขึ้น

### 2.3. คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่มีผลต่อคอนกรีต

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

ขนาดกละ (Gradation) คือ การกระจายของขนาดต่างๆของอนุภาควัสดุมวลรวม เป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการกำหนดประมาณซีเมนต์พิเศษที่ต้องการสำหรับคอนกรีตสด (Fresh concrete) คือ ถ้าใช้หินและทรายหลายขนาดที่ลดหลั่นกัน มาผสมกันโดยมีขนาดกละที่เหมาะสมแล้ว จะทำให้ช่องว่างเหลือน้อยที่สุด ทำให้ปริมาณซีเมนต์พิเศษที่ใช้มีน้อยสุดตามไปด้วย ซึ่งทำให้ประหยัดปูนซีเมนต์ในส่วนผสมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4. คุณสมบัติของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคอนกรีต

สารผสมเพิ่ม (Admixtures) หมายถึงสารใดๆนอกเหนือจากน้ำ ปูนซีเมนต์ หินและทราย ที่ใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีตทั้งก่อนผสมหรือขณะผสม เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตขณะยังเหลวอยู่หรือคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพสิ่งแวดล้อมและสภาพการทำงาน วัตถุประสงค์ทั่วไปของการใช้สารผสมเพิ่มคือ ปรับปรุงความสามารถได้ แรงหรือหน่วงเวลาการก่อตัว ควบคุมหรือพัฒนากำลังรับแรงอัด ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน การทนต่อกรดและซัลเฟต หรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง แต่สารผสมเพิ่มต้องไม่ทำลายคุณภาพของคอนกรีตทั้งในระยะสั้นและระยะยาว รวมทั้งไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบของซีเมนต์และเหล็กเสริมซึ่งจะทำให้คุณสมบัติเด่นของสารผสมเพิ่มแต่ละตัวเสียไป ประเภทของสารที่ใช้แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 4 กลุ่มคือ

1. สารกระจายกักฟองอากาศ (Air-entraining agents) ใช้เพื่อปรับปรุงความสามารถในการเทโดยเพิ่มปริมาณฟองอากาศเล็กๆ แต่จะมีผลต่อกำลังรับแรงอัด ถ้ามีจำนวนฟองอากาศมากเกินไป
2. สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical admixtures) เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำเติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการ
3. สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral admixtures) เป็นวัสดุผงละเอียด ใช้ปรับปรุงความสามารถในการใช้งาน เพิ่มความคงทนทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการก่อตัวดีขึ้น สามารถใช้ทดแทนปริมาณซีเมนต์ได้บางส่วน
4. สารผสมเพิ่มอื่นที่ไม่จัดอยู่ในสามประเภทแรก เช่น สารป้องกันการซึม สารป้องกันเชื้อรา สำหรับสีตกแต่ง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของสารเคมีผสมเพิ่มนั้น อาจแบ่งได้อีกเป็น 7 ประเภทตามมาตรฐาน ASTM C494 (1996) คือ

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

เนื่องจากการศึกษานี้ ต้องการคอนกรีตที่มีกำลังสูงเร็วซึ่งในมาตรฐาน ASTM ยังไม่มีสารเคมีผสมเพิ่มประเภทใดทำให้มีคุณสมบัติตามต้องการนี้ ดังนั้นจึงเลือกใช้สารเคมีผสมเพิ่ม 2 ประเภทร่วมกัน คือ สารลดปริมาณน้ำเพื่อลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ทำให้คอนกรีตที่ได้มีกำลังสูงขึ้น และสามารถทำงานได้ง่ายเมื่อยังไม่แข็งตัว และในขณะเดียวกันก็ต้องการให้คอนกรีตรับแรงอัดได้เร็วขึ้นด้วย สารเร่งการก่อตัวจึงถูกนำมาใช้ร่วมด้วยเพื่อช่วยในการเร่งการพัฒนา กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ดังนั้น จึงเน้นถึงการศึกษาผลกระทบการทำงานและผลที่จะได้รับจากการผสมสารเคมีผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดนี้ในคอนกรีต ซึ่งคณะผู้ทดลองจะขออธิบายเกี่ยวกับสารเคมีผสมเพิ่มทั้งสองชนิดดังกล่าวอย่างคร่าวๆ ดังนี้

#### สารลดปริมาณน้ำ

#### ประโยชน์

ทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ตามที่ต้องการ โดยใช้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมลดลงในขณะที่ปริมาณซีเมนต์คงที่ ซึ่งทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประเภทของสารลดปริมาณน้ำ

สารลดปริมาณน้ำสามารถจำแนกได้อย่างคร่าวๆ ตามสารประกอบพื้นฐาน (Based components) ดังนี้

1. สารลดปริมาณน้ำที่มีกรดคลอโรฟอสฟอริกเป็นสารประกอบหลัก
2. สารลดปริมาณน้ำที่มีกรดไฮดรอกซีคาร์โบไฮลิกเป็นสารประกอบหลัก
3. สารลดปริมาณน้ำที่มีเมลามีนหรือเนฟทาลินเป็นสารประกอบหลัก

## ผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเหลว

ผลกระทบโดยตรงคือทำให้คอนกรีตที่ได้มีความสามารถเทได้ดีขึ้น แต่การใช้ปริมาณสารลดปริมาณน้ำประเภทนี้ในการผสมมากเกินไปจะทำให้เกิดการหน่วงตัวขึ้นได้ นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มฟองอากาศแก่คอนกรีตเหลวเล็กน้อยประมาณ 0.2 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้สารลดปริมาณน้ำที่มีกรดคลอโรฟอสฟอริกเป็นสารประกอบหลักเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตเหลวธรรมดา แต่ถ้าใช้สารลดปริมาณน้ำที่มีกรดไฮดรอกซีคาร์โบไฮลิกเป็นสารประกอบหลักจะลดปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตเหลวลงเล็กน้อย

## ผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว

เนื่องจากการผสมคอนกรีตต้องการปริมาณน้ำลดลงเพื่อให้ได้ความสามารถเทได้เท่าเดิม ดังนั้นการใช้สารลดปริมาณน้ำจึงเป็นการลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ส่งผลให้การพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตรวดเร็วขึ้น นอกจากนี้การใช้สารลดปริมาณน้ำยังช่วยลดปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการใช้ด้วย จึงทำให้คอนกรีตที่ผสมได้มีราคาถูกลง เมื่อพิจารณาผลกระทบทางด้านการหดตัวและความล้า (Shrinkage and creep) เมื่อนำคอนกรีตที่ผสมไปใช้งาน พบว่าไม่มีผลกระทบใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กลไกการทำงาน

กลไกการทำงานสารเคมีผสมเพิ่มชนิดนี้จะช่วยลดความต้องการน้ำของคอนกรีต ทั้งนี้ เพราะมีคุณสมบัติในการช่วยเปลี่ยนคุณสมบัติของผิวต่อระหว่างของแข็งและน้ำในคอนกรีต ปกติ อนุภาคซีเมนต์ต่างๆในคอนกรีตจะมีประจุไฟฟ้าเหลือตกค้างบนผิวซึ่งมีทั้งขั้วบวกและลบ ทำให้อาจมีการจับตัวกันเป็นก้อน (Flocculate) ซึ่งสามารถดูดน้ำในคอนกรีตจำนวนมากทำให้เหลือน้ำหล่อลื่น น้อย โมเลกุลของสารผสมเพิ่มชนิดนี้ช่วยทำให้ประจุเป็นกลางหรืออาจทำให้เกิดประจุชนิดเดียวกันก็ได้ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการแยกตัวกันในเนื้อซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นการใช้สารลดปริมาณน้ำหรือสารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก จะช่วยเพิ่มความสามารถได้แทนหน้าที่ของน้ำเพื่อกำจัดน้ำส่วนเกินที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

## สารเร่งการก่อตัว

### ประโยชน์

เป็นสารเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่งผลทำให้เร่งการก่อตัวและพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในช่วงต้น

### ประเภทของสารเร่งการก่อตัว

สารเร่งการก่อตัวที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามสารประกอบพื้นฐาน (Based components) ที่มีอยู่ในสารเร่งการก่อตัวแต่ละตัวดังนี้

1. สารเร่งการก่อตัวชนิดที่มีคลอไรด์เป็นสารประกอบพื้นฐาน
2. สารเร่งการก่อตัวชนิดที่ไม่มีคลอไรด์เป็นสารประกอบพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กลไกการทำงาน

สารเร่งเวลาการก่อตัวของคอนกรีตทำหน้าที่เหมือนตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี(Catalyst) ระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ผลก็คือจะเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ก่อให้เกิดความร้อนและกำลังอัดจะเพิ่มขึ้น ในเวลาอันรวดเร็ว การเร่งปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารผสมนี้มากขึ้น

### 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 และการหดตัวในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว การหดตัวในคอนกรีตสดจะเกิดขึ้นในสองสามชั่วโมงแรกหลังจากเทคอนกรีตสดลงในแบบ ความชื้นในผิวที่สัมผัสกับอากาศแห้งเช่น ในบริเวณผิวหน้าของแผ่นพื้น จะระเหยออกอย่างรวดเร็วจนน้ำจากชั้นล่างของคอนกรีตซึมเข้ามาแทนที่ไม่ทัน ในทางตรงกันข้าม การหดตัวในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะเกิดหลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันส่วนใหญ่ไปแล้ว

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

การหดตัวส่วนใหญ่จะไม่สามารถคืนกลับได้ ถ้านำคอนกรีตที่หดตัวเต็มที่แล้ว ไปแช่ในน้ำ มันจะไม่ขยายตัวกลับสู่สภาพเดิม อัตราการเพิ่มจะลดลงตามเวลา เนื่องจากคอนกรีตที่มีอายุมากขึ้น จะมีกำลังต้านหน่วยแรงมากขึ้น ทำให้เกิดการหดตัวน้อยลง จนเกือบ ไม่มีการหดตัวเลยเมื่อถึงเวลาช่วงหนึ่ง

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อขนาดของการหดตัวในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีดังต่อไปนี้

1. มวลรวม มวลรวมจะต้านการหดตัวของคอนกรีตสด ดังนั้นคอนกรีตที่มีมวลรวมมากจะเกิดการหดตัวน้อย ปริมาณการต้านจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวม มวลรวมที่ไม่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงหรือมีผิวที่ผิวขรุขระก็ต้านการหดตัวได้ดี
2. อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ การหดตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์มีค่าเพิ่มมากขึ้น
3. ขนาดขององค์อาคาร อัตราการหดตัวและปริมาณการหดตัวทั้งหมดจะแปรผกผันกับปริมาตร ขององค์อาคาร อย่างไรก็ตามการหดตัวจะต้องใช้เวลานานสำหรับองค์อาคารที่มีขนาดใหญ่ เพราะจะต้องใช้เวลามากก่อนที่ความชื้นในเนื้อคอนกรีตส่วนในจะเกิดการระเหย เป็นไปได้ว่า อาจจะต้องใช้เวลาถึงหนึ่งปี ก่อนที่การระเหยจะเกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตลึก 25 ซม. จากผิวนอก และที่ลึก 60 ซม. อาจจะต้องใช้เวลาถึง 10 ปี
4. สภาวะแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์จะมีผลอย่างมากต่อปริมาณของการหดตัว อัตราการหดตัวจะแปรผกผันกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง โดยที่ การหดตัวจะไม่เกิดที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปริมาณเหล็กเสริม คอนกรีตเสริมเหล็กจะหดตัวน้อยกว่าคอนกรีตล้วน ความแตกต่างจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเหล็กเสริม

6. สารผสมเพิ่ม ผลกระทบจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารผสมเพิ่ม สารเร่งเวลาการก่อตัว และแข็งตัว เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ทำให้การหดตัวเพิ่มขึ้น สารปอชโซลานิกจะเพิ่มการหดตัวในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ในระหว่างที่สารกักฟองอากาศจะมีผลน้อยมากต่อการหดตัว

7. ชนิดของซีเมนต์ ซีเมนต์ชนิดก่อตัวเร็วจะเกิดการหดตัวมากกว่าชนิดอื่น ชนิดที่ต้านการหดตัวจะเกิดการหดตัวน้อยมาก และยังกำจัดการขยายเนื่องจากเกิดการหดตัวเมื่อมีการเสริมเหล็กที่เหมาะสม

8. Carbonation การหดตัวแบบนี้ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอากาศกับอัลไซมไฮดรอกไซด์ในซีเมนต์เจล ส่งผลให้เกิดการลดของปริมาณของซีเมนต์เจลและเกิดการหดตัว ปริมาณของการหดตัวทั้งหมดขึ้นอยู่กับขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา carbonation และขบวนการของการสูญเสียความชื้น ถ้าปรากฏการณ์ทั้งสองเกิดพร้อมกัน จะเกิดการหดตัวน้อย อย่างไรก็ตามปฏิกิริยา Carbonation นี้จะเกิดขึ้นน้อยมากเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 50%

# บทที่ 3

## วิธีการศึกษา

ในการศึกษาและวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ โดยมีการบ่มด้วยตู้อบ และการบ่มน้ำธรรมชาติ ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 ซม. x 5 ซม. x 5 ซม. หลังจากนั้นได้ทำการหล่อ และทดสอบคุณสมบัติทางด้านการรับกำลังอัดของคอนกรีต โดยมีวิธีการบ่มแบ่งตามอุณหภูมิ ใช้ตัวอย่างทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 ซม. x 10 ซม. x 10 ซม. และทำการศึกษาพฤติกรรมการหดตัวและขยายตัวของคอนกรีตที่มีอุณหภูมิต่างกัน

### 3.1. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

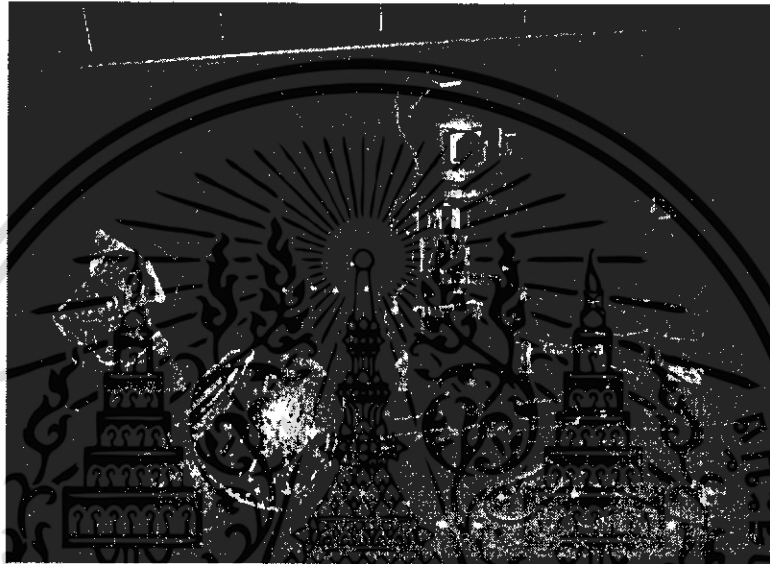
- ปูนซีเมนต์ประเภท 1 (Ordinary Portland cement)	โดยใช้ปูนตราช้าง
- น้ำสะอาด	
- ทรายแม่น้ำ	
ค่าความชื้น	6.01 %
ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.)	2.887
อัตราการดูดซึมน้ำ	4.33 %
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.62
- หิน	
วัสดุผสมหยาบขนาดโตสุด	40 มิลลิเมตร
หน่วยน้ำหนักแห้ง	1597.7 กิโลกรัมต่อเมตรกำลังสาม
ค่าความชื้น	3.19 %
อัตราการดูดซึมน้ำ	1.42 %
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.68
- สารเคมี ซิลิกาฟูม อลูมินาซีเมนต์	
- Lithium Carbonate ใช้ 0.1%-0.3%	
- Sodium Silicate ใช้ 1%-3%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2. อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

#### 3.2.1. เครื่องผสมคอนกรีต

เป็นเครื่องผสมปูนก่อ (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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2. แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ

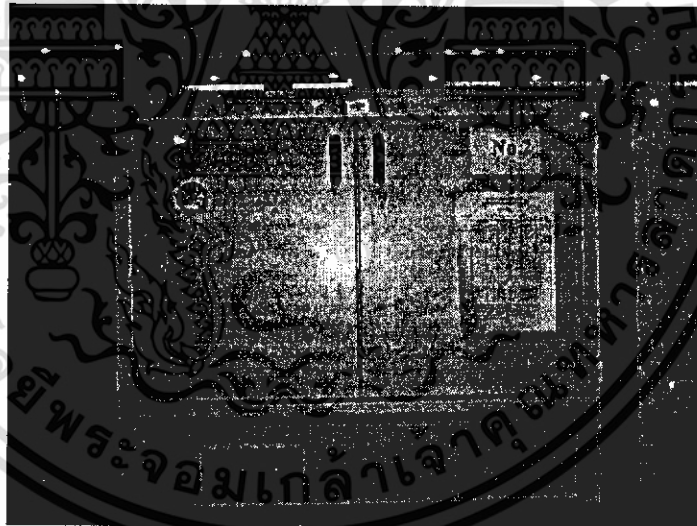
แบบหล่อที่ใช้หล่อซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง เป็นแบบหล่อมาตรฐาน ASTM C450 มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 ซม. X 5 ซม. X 5 ซม.

แบบหล่อที่ใช้หล่อคอนกรีตตัวอย่าง เป็นแบบหล่อมาตรฐาน ASTM C450 มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 ซม. X 10 ซม. X 10 ซม.

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

### 3.2.3. เครื่องอบคอนกรีต

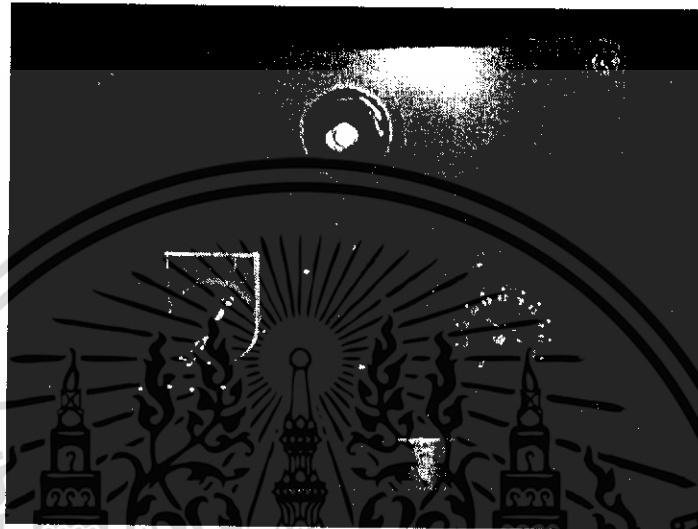
เครื่องอบคอนกรีตเป็นเครื่องที่ใช้ในการอบคอนกรีต สามารถปรับอุณหภูมิได้



รูปที่ 3.3 เครื่องอบคอนกรีต

### 3.2.4. เครื่องเพิ่มอุณหภูมิน้ำในการให้ความร้อนแก่คอนกรีต

เครื่องเพิ่มอุณหภูมิน้ำในการต้มคอนกรีตเป็นเครื่องที่ใช้เพิ่มความร้อนให้น้ำในการต้มคอนกรีต สามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 30-120 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.4 เครื่องเพิ่มอุณหภูมิน้ำในการต้มคอนกรีต

## 3.3. การดำเนินการทดสอบ

### 3.3.1. การดำเนินการทดสอบซีเมนต์เฟสท์

ทำการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ รวมทั้งวิธีการบ่มที่เหมาะสม เพื่อจะได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงภายในเวลา 1, 3, 7 วัน และนำส่วนผสมที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบมาทำเป็นคอนกรีตเพื่อหาผลกระทำทางด้านการรับกำลังอัดและการหดตัวในอุณหภูมิที่ต่างกันของคอนกรีตกำลังสูงเร็ว โดยทำการหล่อรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 ซม. X 5 ซม. X 5 ซม. ตัวแปรที่สำคัญในการทดสอบมีดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30, 0.35, 0.40

ตาราง 3.1 อัตราส่วนผสมซีเมนต์เพลสท์ w/c ratio 0.30

ซีเมนต์ (g)	Alumina cement	สารผสม เพิ่ม	Al (g)	SF (g)	ปริมาณน้ำ (g)	กำลังอัดที่ 1 วัน (ksc)
1940	3 %		60	0	600	540
1900	5 %		100	0	600	525
1860	7 %		140	0	600	329
2000		SF 10 %	0	200	600	406
2000		SF 15 %	0	300	600	340
2000		SF 20 %	0	400	600	388

หมายเหตุ

Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เพลสท์ เมื่อแกะซีเมนต์เพลสท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -7% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 7 % (ปูนซีเมนต์ 93 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 7 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-15% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 15% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 15 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-20% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 20% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 20 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.2 อัตราส่วนผสมซีเมนต์เฟลท์ w/c ratio 0.35

ซีเมนต์ (g)	Alumina cement	สารผสม เพิ่ม	Al (g)	SF (g)	ปริมาณน้ำ (g)	กำลังอัดที่ 1 วัน (ksc)
1940	3 %		60	0	700	362
1900	5 %		100	0	700	229
1860	7 %		140	0	700	234
2000		SF 10 %	0	200	700	424
2000		SF 15 %	0	300	700	242
2000		SF 20 %	0	400	700	400

หมายเหตุ

Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เฟลท์ เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -7% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 7 % (ปูนซีเมนต์ 93 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 7 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-15% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 15% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 15 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-20% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 20% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 20 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.3 อัตราส่วนผสมซีเมนต์เฟลท์ w/c ratio 0.40

ซีเมนต์ (g)	Alumina cement	สารผสม เพิ่ม	Al (g)	SF (g)	ปริมาณน้ำ (g)	กำลังอัดที่ 1 วัน (ksc)
1940	3 %		60	0	800	176
1900	5 %		100	0	800	284
1860	7 %		140	0	800	179
2000		SF 10 %	0	200	800	326
2000		SF 15 %	0	300	800	202
2000		SF 20 %	0	400	800	304

หมายเหตุ

Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เฟลท์ เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -7% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 7 % (ปูนซีเมนต์ 93 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 7 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-15% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 15% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 15 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-20% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 20% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 20 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลท์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชนิดของการบ่ม เมื่อคอนกรีตอายุได้ 6 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก และนำตัวอย่างไปทำการบ่มในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- บ่มโดยการแช่น้ำ 1 วัน และทิ้งไว้ในอากาศให้แห้ง จนกว่าจะถึงกำหนดการทดสอบตัวอย่าง
- บ่มโดยการแช่น้ำ 3 วัน และทิ้งไว้ในอากาศให้แห้ง จนกว่าจะถึงกำหนดการทดสอบตัวอย่าง
- บ่มโดยการแช่น้ำ 7 วัน และทิ้งไว้ในอากาศให้แห้ง จนกว่าจะถึงกำหนดการทดสอบตัวอย่าง



รูปที่ 3.5 บ่มตัวอย่างโดยการนำไปแช่น้ำ

- บ่มโดยการนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 1 วัน จนกว่าจะถึงกำหนดการทดสอบตัวอย่าง
- บ่มโดยการนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 3 วัน จนกว่าจะถึงกำหนดการทดสอบตัวอย่าง
- บ่มโดยการนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 7 วัน จนกว่าจะถึงกำหนดการทดสอบตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2. การดำเนินการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต

หลังจากหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวอย่างซีเมนต์เพสต์แล้วจึงนำสัดส่วนที่ได้มาทำการทดสอบตัวอย่างที่เป็นคอนกรีต เพื่อจะได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงภายในเวลา 8 ชั่วโมง 1, 3, 7 วัน โดยทำการหล่อรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 ซม. x 10 ซม. x 10 ซม. ตัวแปรที่สำคัญในการทดสอบมีดังนี้คือ

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.35
2. ชนิดของการบ่ม เมื่อคอนกรีตอายุได้ 6 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก และนำตัวอย่างไปทำการบ่มในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้
  - นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด
  - นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง
  - นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3, 7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.4 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสม Concrete, W/C 0.35(ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร)

ปูนซีเมนต์ประเภท 1 (Ordinary Portland cement)	514 กิโลกรัม
น้ำ	180 กิโลกรัม
ทราย	627.3 กิโลกรัม
หิน ( $\frac{3}{4}$ )	1134 กิโลกรัม
Super plasticizer	3.084 กิโลกรัม

ตาราง 3.5 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสม Concrete + Alumina Cement, W/C 0.35  
(ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร)

ปูนซีเมนต์ประเภท 1 (Ordinary Portland cement)	498.58 กิโลกรัม
น้ำ	180 กิโลกรัม
ทราย	627.3 กิโลกรัม
หิน ( $\frac{3}{4}$ )	1134 กิโลกรัม
Super plasticizer	3.084 กิโลกรัม
Silica Fume	51.4 กิโลกรัม
Sodium Silicate	5.14 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.6 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสม Concrete + Silica Fume, W/C 0.35  
(ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร)

ปูนซีเมนต์ประเภท 1 (Ordinary Portland cement)	514 กิโลกรัม
น้ำ	180 กิโลกรัม
ทราย	627.3 กิโลกรัม
หิน ( $\frac{3}{4}$ )	1134 กิโลกรัม
Super plasticizer	3.084 กิโลกรัม
Silica Fume	51.4 กิโลกรัม
Lithium Carbonate	1.542 กิโลกรัม

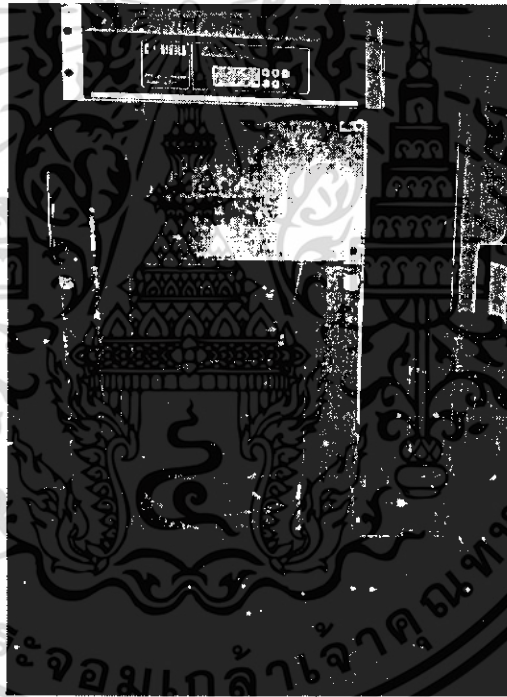
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4. การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ (ASTM C 109-73) เลือกตัวอย่างทดสอบด้านเรียบที่สุดมารับแรงกด วัดขนาดทางด้านกว้าง ยาว สูง และนำไปทดสอบโดยเครื่อง Universal testing Machine 2 ตัน จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบวิบัติ แล้วบันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดไว้ จากนั้นทำการคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต ดังนี้

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต} = \text{น้ำหนักบรรทุกสูงสุด} / \text{พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ}$$

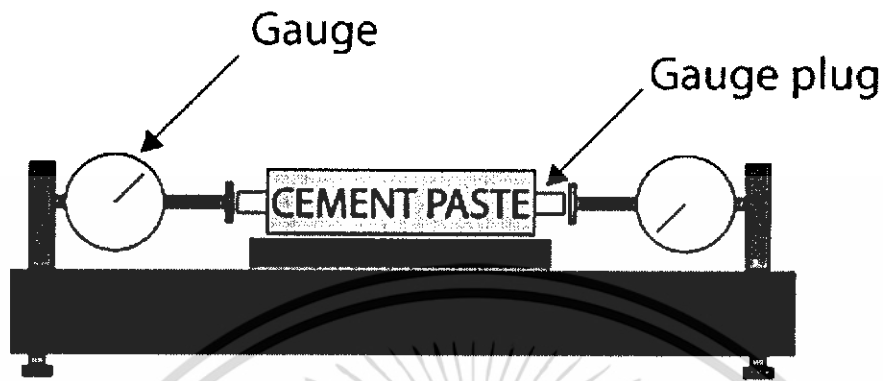
โดยที่  $\text{พื้นที่หน้าตัด} = \text{ด้านกว้าง} \times \text{ด้านยาว}$



รูปที่ 3.6 Universal testing machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การดำเนินการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต (Autogenous Shrinkage)



รูปที่ 3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวัด Autogenous Shrinkage

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

1. ทำการเตรียมแบบที่ใช้หล่อซีเมนต์เพสต์ โดยมีแกนเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ยื่นเข้าไปในเนื้อซีเมนต์เพสต์  $15 \pm 5$  มม. จากแบบหล่อ
2. ทำการวัดระยะห่างภายในระหว่างแกนเหล็กทั้งสองข้างของแบบหล่อ
3. ทำการหล่อในแบบตัวอย่าง
4. ทำการแกะแบบออกหลังจากผสมเสร็จประมาณ 6 ชั่วโมง แล้วทำการวัดมาทำการวัดก่อนตัวอย่าง
5. ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กับ 80 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการวัดทุกวัน

สูตรที่ใช้ในการหาค่าการยิดตัวและหดตัวของซีเมนต์เพสต์

$$\text{Shrinkage} = \frac{[\Delta x_0 - \Delta x_1]}{L_0} \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

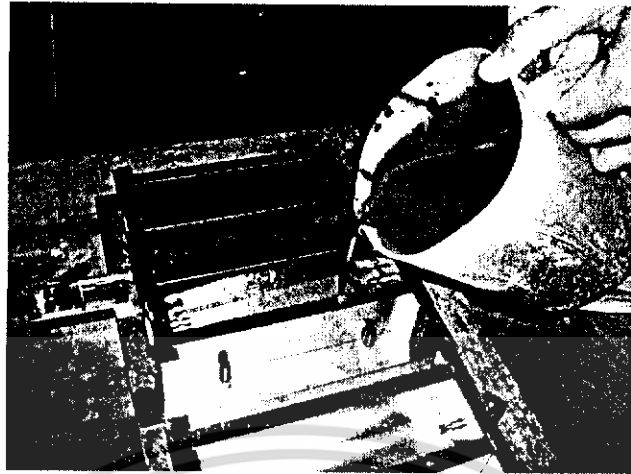


รูปที่ 3.8 ลักษณะแกนเหล็กที่ขึ้นเข้ามาในเนื้อแบบ



รูปที่ 3.9 วิธีการวัดระยะห่างระหว่างแกนเหล็กทั้งสองข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 เทซีเมนต์เพสต์ที่ผสมลงในแบบ



รูปที่ 3.11 วิธีการวัดก้อนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

## ผลการทดลอง

### ผลการทดสอบ

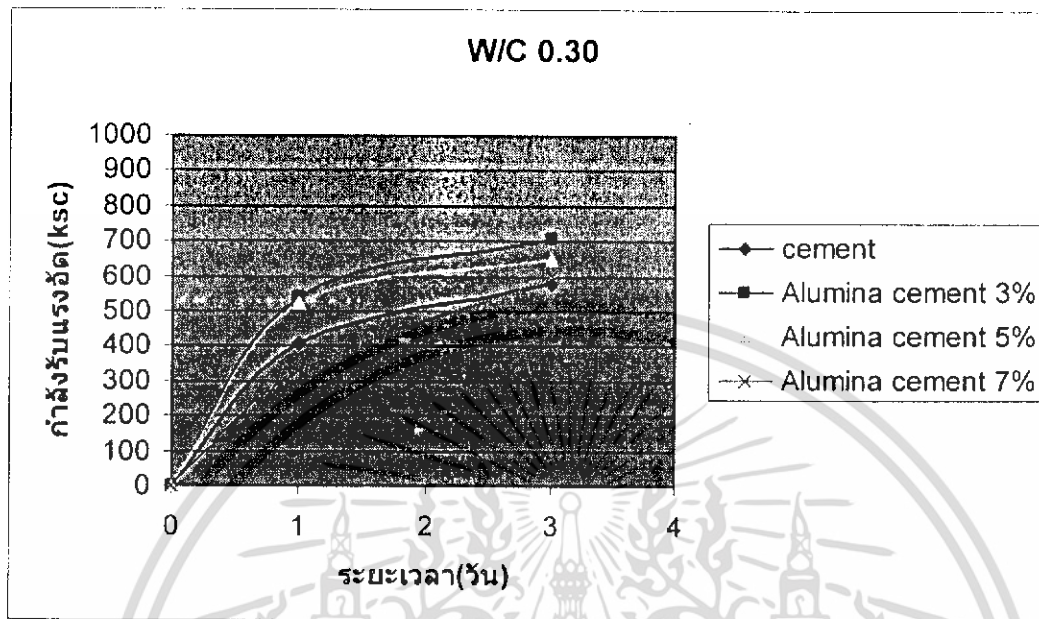
#### 4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์พิเศษ

ตาราง 4.1 กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์พิเศษ

สารผสมที่ใช้เพิ่ม	W/C Ratio	กำลังรับแรงอัด (ksc)		
		1 วัน	3 วัน	7 วัน
Cement	0.30	407	581	921
	0.35	293	429	647
	0.40	241	373	547
Alumina cement 3 %	0.30	540	705	-
	0.35	362	546	-
	0.40	176	520	-
Alumina cement 5 %	0.30	525	651	-
	0.35	229	569	-
	0.40	284	420	-
Alumina cement 7 %	0.30	329	599	-
	0.35	234	680	-
	0.40	179	467	-
SF 10 %	0.30	460	609	610
	0.35	424	573	660
	0.40	326	420	366
SF 15 %	0.30	340	630	694
	0.35	242	465	686
	0.40	202	472	556
SF 20 %	0.30	388	607	453
	0.35	400	548	479
	0.40	304	505	445

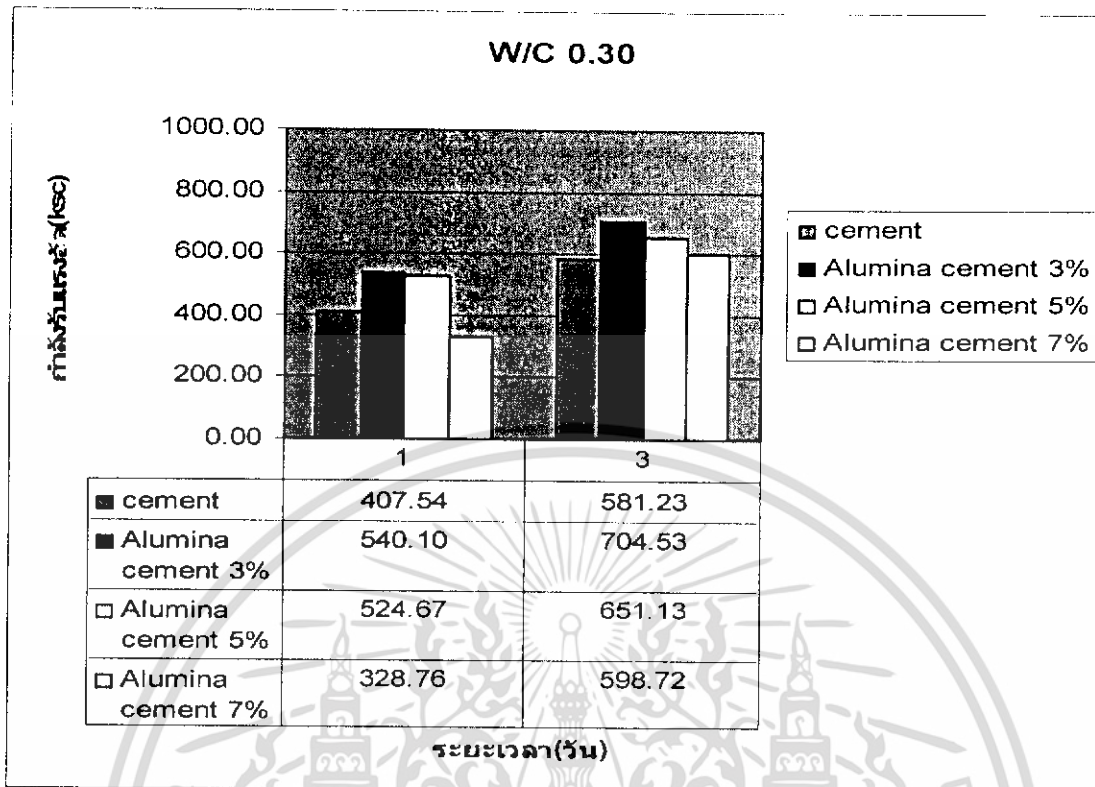
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ได้จากการทดสอบของซีเมนต์พิเศษ



รูปที่ 4.1.1 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.2 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30

หมายเหตุ

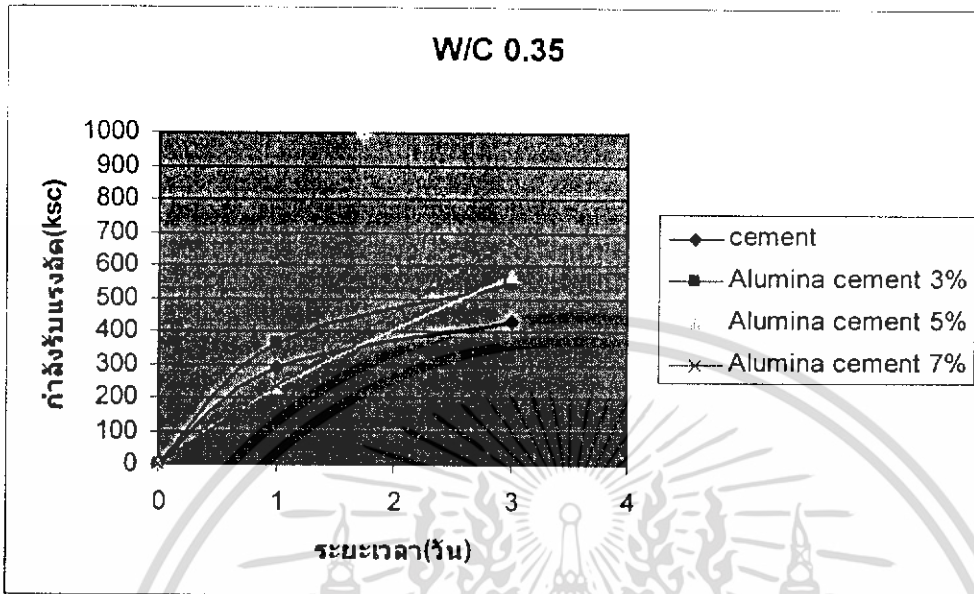
Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เพลส เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -7% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 7 % (ปูนซีเมนต์ 93 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 7 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

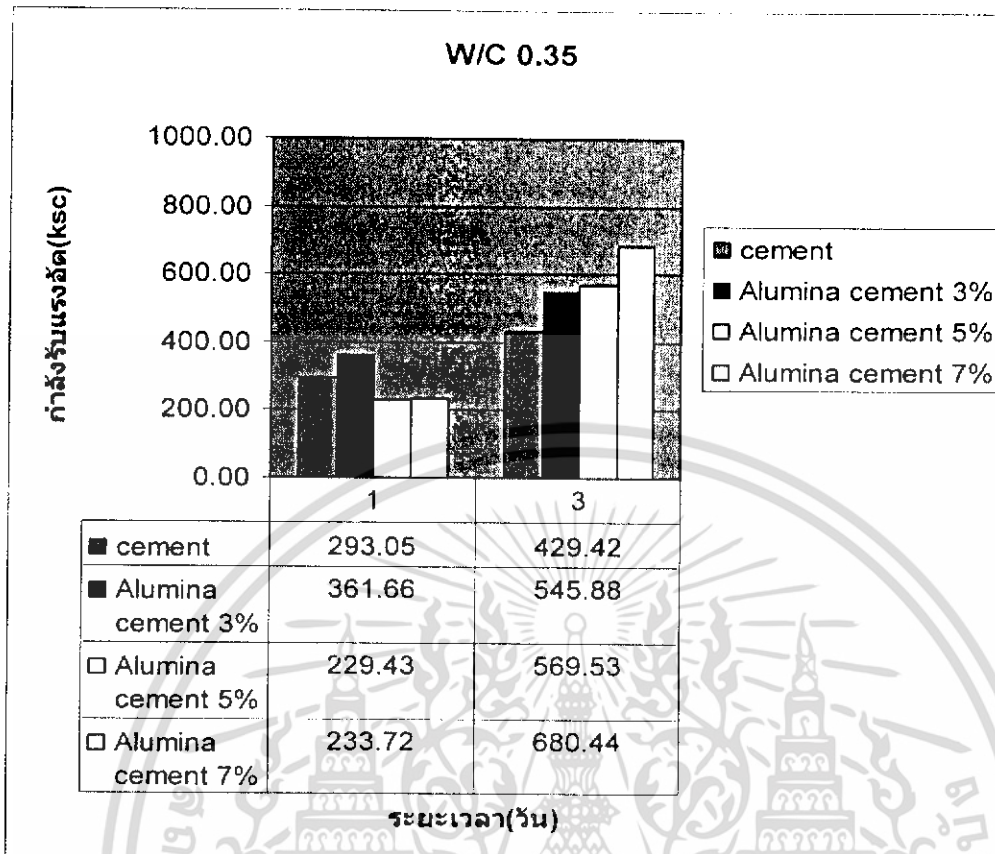
จากความสัมพันธ์ของกราฟที่ได้จากการทดสอบ พบว่าเมื่อใส่สารผสมเพิ่ม Al 3% สามารถรับกำลังอัดในระยะเริ่มแรกได้ดีที่สุด ซึ่งใน 1 วัน สามารถรับกำลังอัดได้สูงถึง 540 ksc ดูจากกราฟความสัมพันธ์ใน 8 ชั่วโมง สามารถรับแรงอัดได้มากกว่า 280 ksc ซึ่งสามารถใช้รับแรงที่เพียงพอในการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.3 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.4 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.35

หมายเหตุ

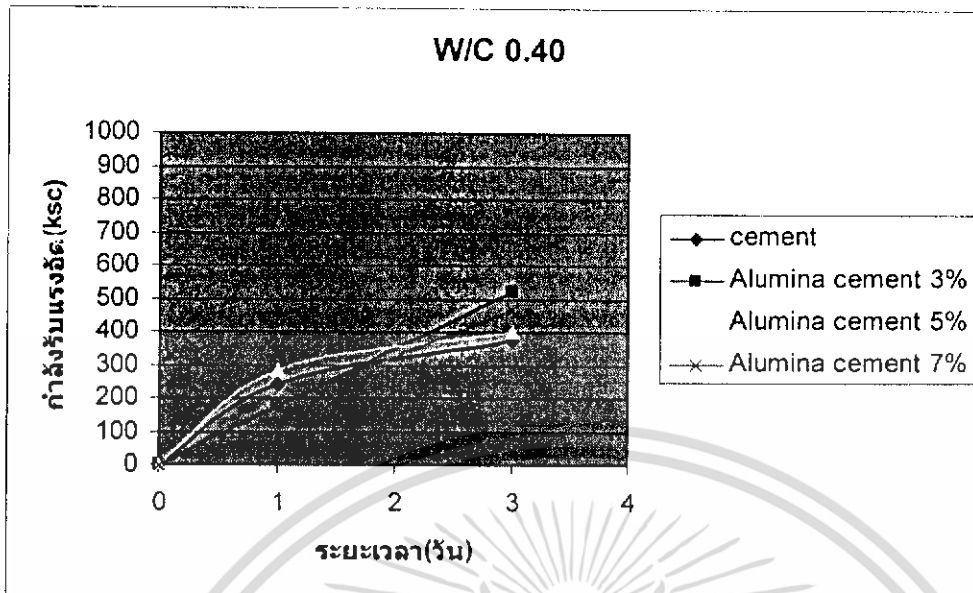
Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เฟลส์ เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -7% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 7 % (ปูนซีเมนต์ 93 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 7 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

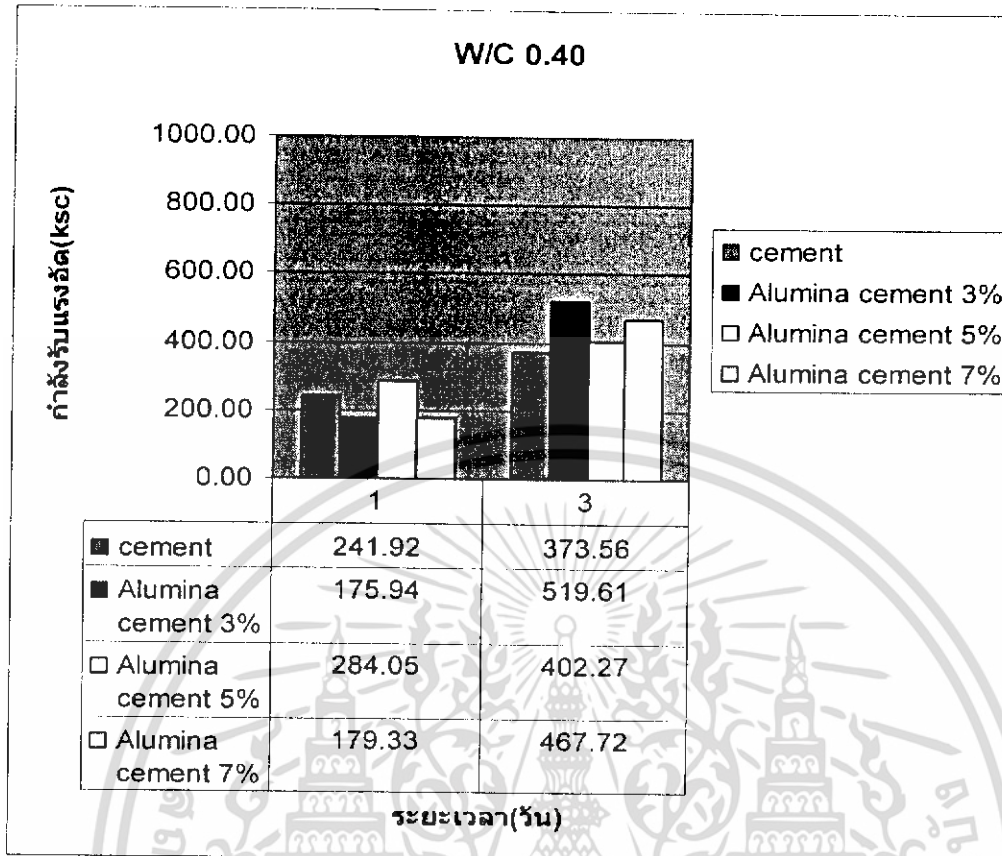
จากกราฟความสัมพันธ์พบว่า alumina cement 3% มีกำลังอัดสูงขึ้นในระยะแรก และค่อย ๆ ลดลง แต่ก็มีกำลังอัดสูงกว่าซีเมนต์เฟส และ alumina cement 5% สำหรับ alumina cement 7% ค่ากำลังอัดเริ่มแรกจะไม่สูงมากนักแต่จะสามารถเพิ่มกำลังขึ้นได้เรื่อย ๆ จนสูงกว่า alumina cement 3 % ในเวลา 3 วันขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.5 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.40  
หมายเหตุ

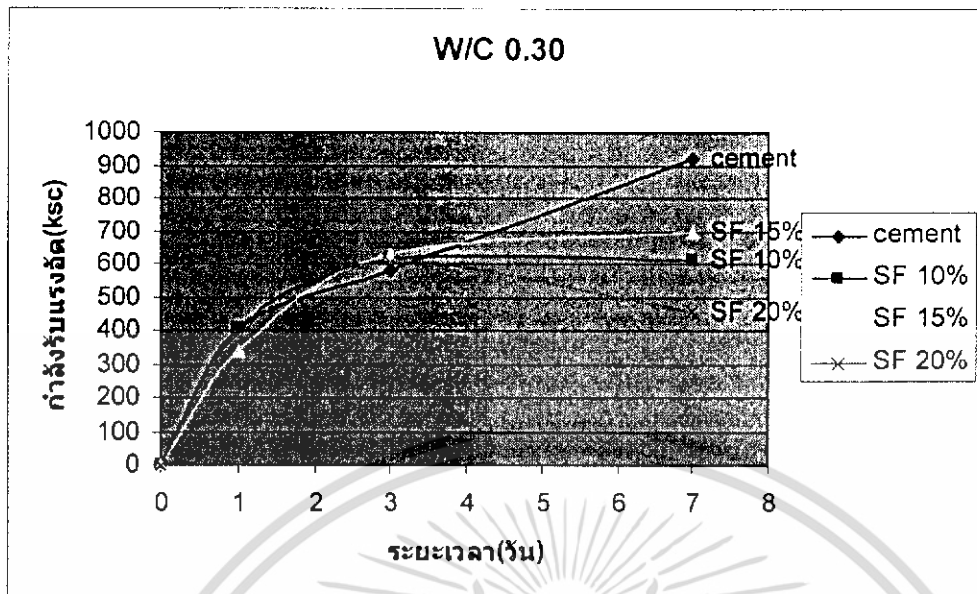
Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เพลส เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

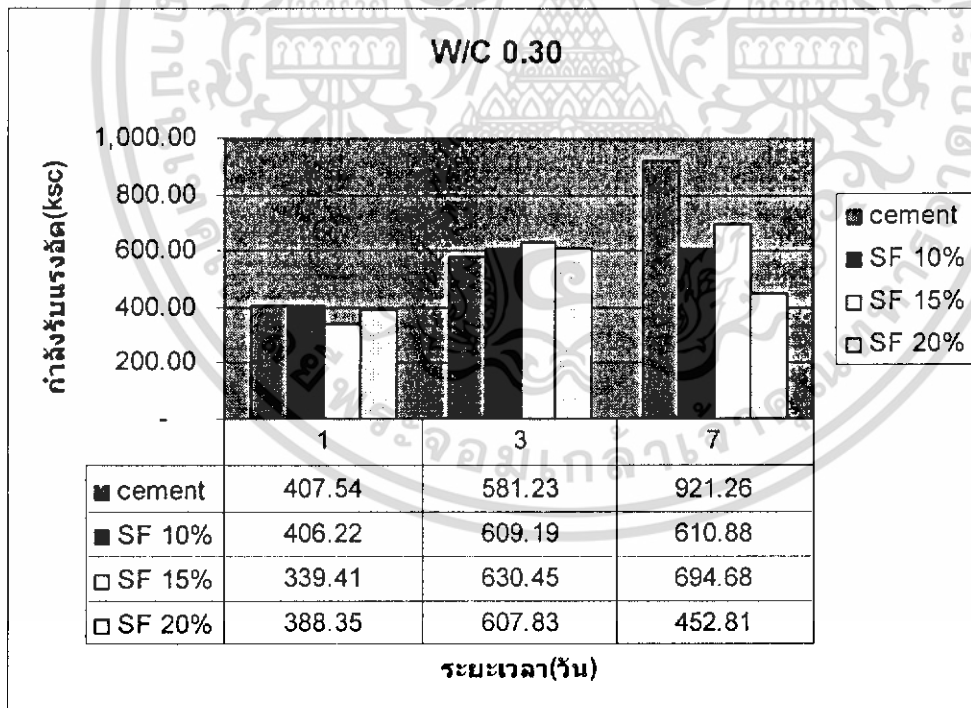
Alumina cement -7% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 7 % (ปูนซีเมนต์ 93 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 7 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

จากกราฟความสัมพันธ์ W/c ratio alumina cement 5 % พบว่ามีกำลังอัดในระยะแรกสูง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่าง alumina กับ cement ที่เกิดขึ้น สำหรับ Al 3% และ 7% กำลังอัดใน 1 วันมีค่าน้อยกว่าซีเมนต์เพลส แต่ในช่วงวันที่ 2-3 กำลังอัดจะเพิ่มมากขึ้น จนทำให้กำลังอัดช่วงนี้สูงกว่าซีเมนต์เพลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.7 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมซิลิกาฟุ่มที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30



รูปที่ 4.1.8 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมซิลิกาฟุ่มที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

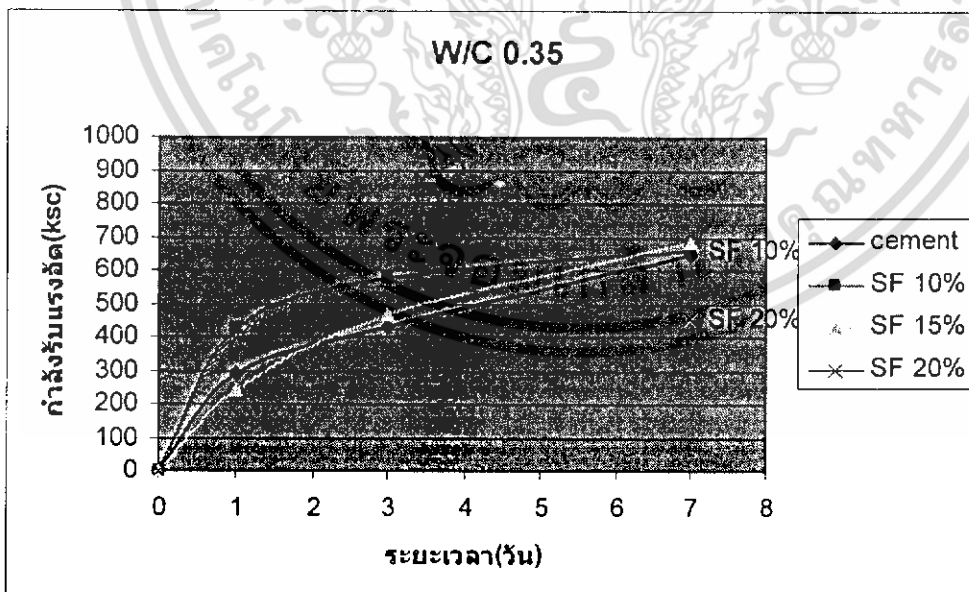
Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เปลล์ เมื่อแกะซีเมนต์เปลล์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เปลล์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-15% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม15% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 15 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เปลล์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

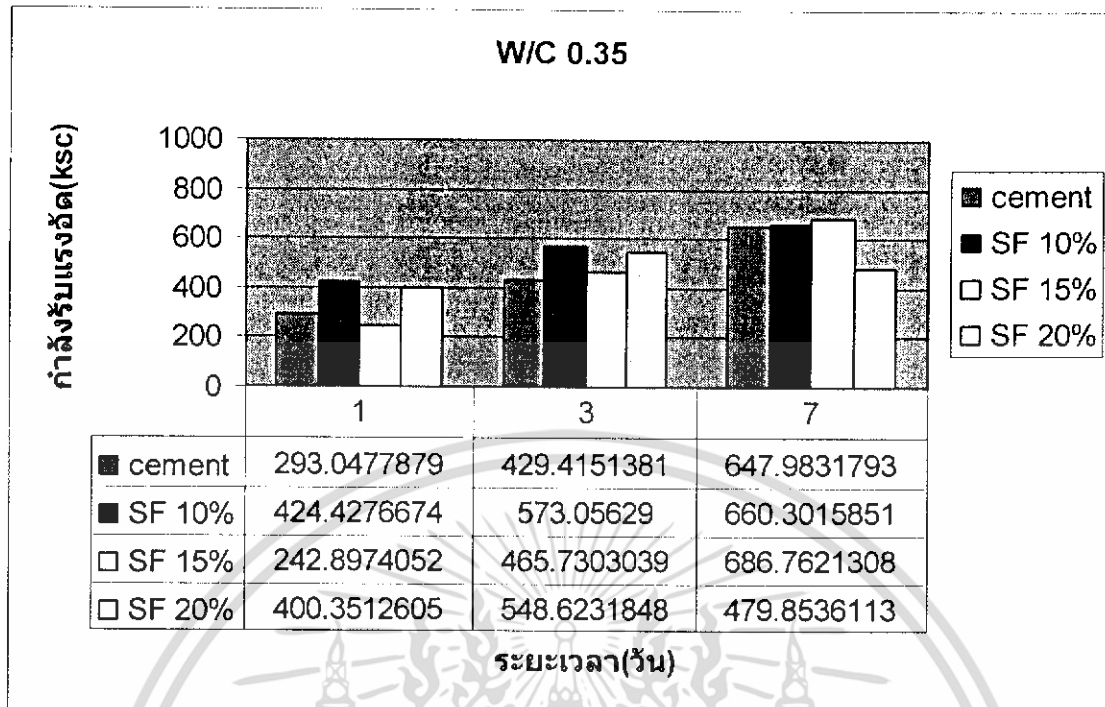
SF-20% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม20% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 20 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เปลล์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

จากกราฟความสัมพันธ์ W/c ratio 0.30 เมื่อเติม silica fume พบว่ามีกำลังอัดเริ่มแรกไม่แตกต่างกันมากนักแต่ในระยะเวลาวันที่ 4 กำลังรับแรงอัดจะลดลง อาจมีผลมาจากการใช้ปริมาณน้ำที่น้อยเกินไปจึงทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.1.9 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.10 กราฟแห่งแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.35

จากความสัมพันธ์ของกราฟจะพบว่ากำลังรับแรงอัดในระยะเริ่มแรกเพิ่มมากขึ้นและมากกว่าอัตราส่วนผสมที่มี Silica fume, w/c ratio 0.30 เพราะเนื่องจากที่ปริมาณน้ำที่เพียงพอในการทำปฏิกิริยา จากกราฟเมื่อใส่สารผสมเพิ่ม silica fume 10% พบว่าจะสามารถรับกำลังอัดในระยะเริ่มแรกได้ดีที่สุด

หมายเหตุ

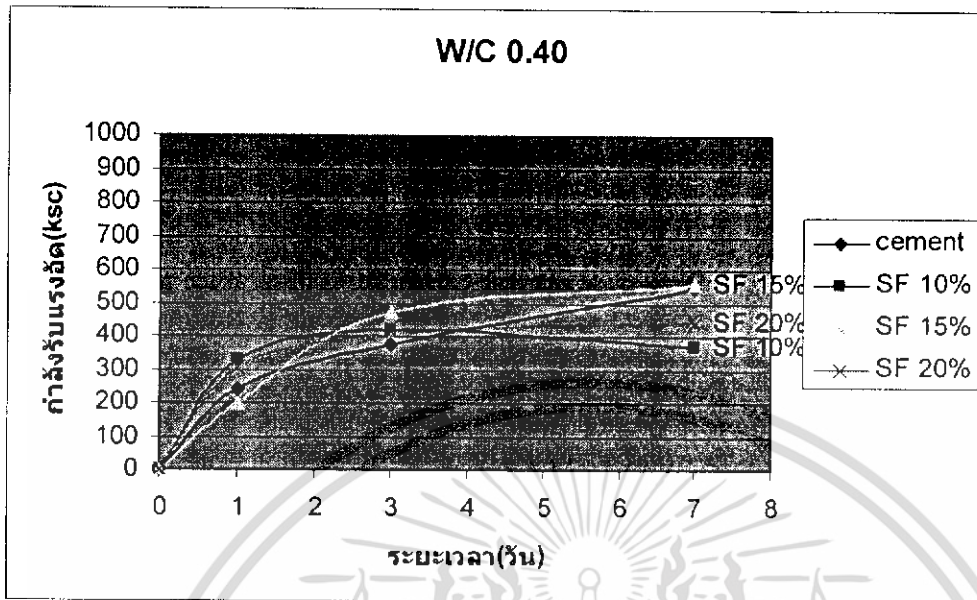
Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เพลส เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ ผสมซิลิกาฟูม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

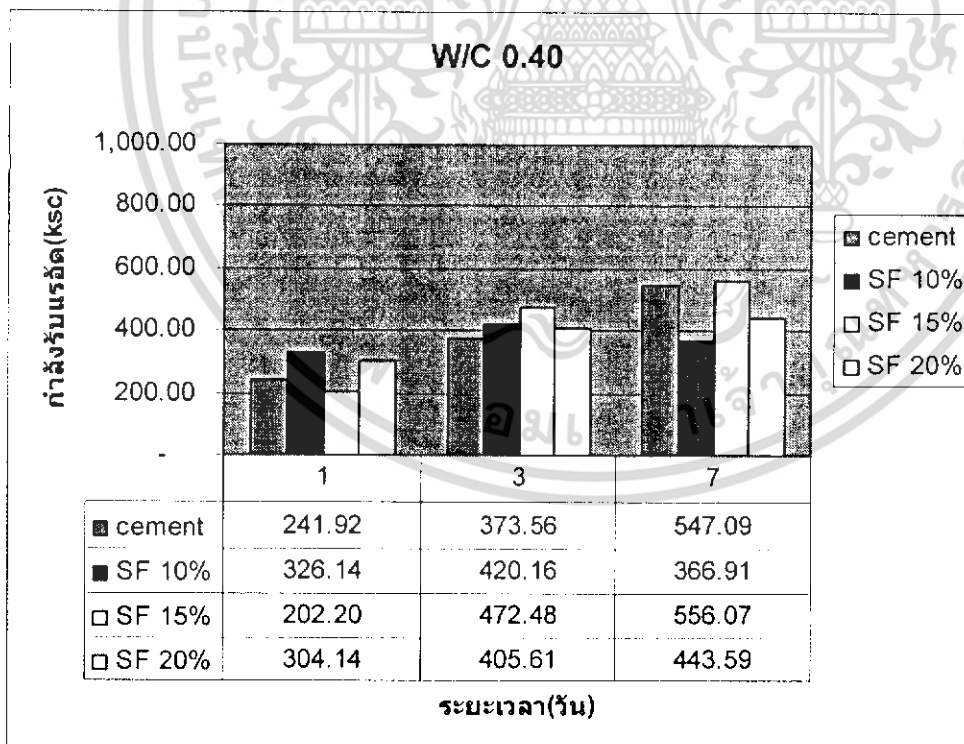
SF-15% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ ผสมซิลิกาฟูม 15% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 15 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-20% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 20% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 20 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.11 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมซิลิกาฟุ่ม ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.40



รูปที่ 4.1.12 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมซิลิกาฟุ่ม ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของกราฟที่ได้จากการทดสอบนี้ เมื่อใส่สารผสมเพิ่ม silica fume 10% จะสามารถรับกำลังอัดในระยะเริ่มแรกได้ดีแต่จะลดลงในช่วงวันที่ 4 และเมื่อใส่สารผสมเพิ่ม silica fume 20% จะให้กำลังอัดในระยะเริ่มแรกได้สูงเช่นกัน แต่กำลังรับแรงอัดจะไม่ลดลงเหมือนใส่สารผสมเพิ่ม silica fume 10% จากกราฟนี้ความสัมพันธ์ของสารผสมเพิ่ม silica fume 15% จะให้กำลังรับแรงอัดในระยะเริ่มแรกไม่สูงมาก แต่กำลังรับแรงอัดจะสูงขึ้นในวันที่ 3

หมายเหตุ

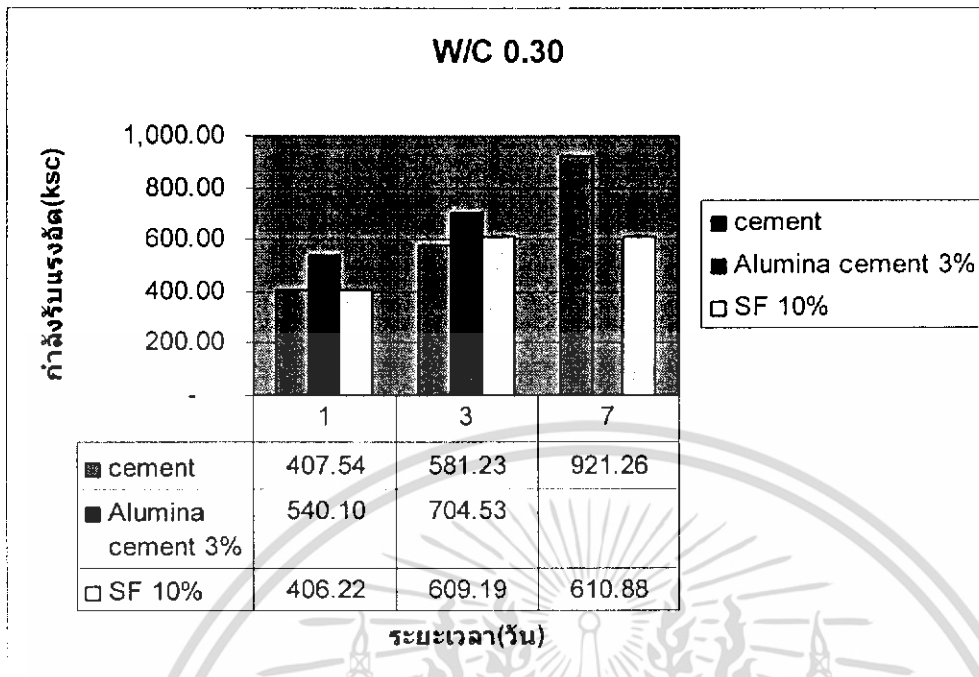
Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เพลส เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-15% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 15% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 15 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-20% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 20% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 20 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.13 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.30

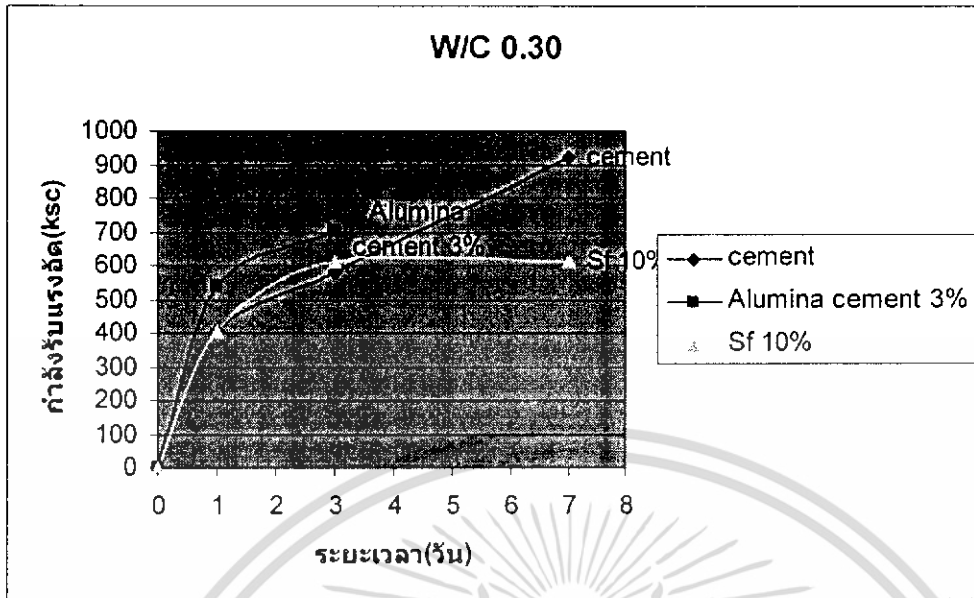
หมายเหตุ

Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เพลส เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.14 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.30

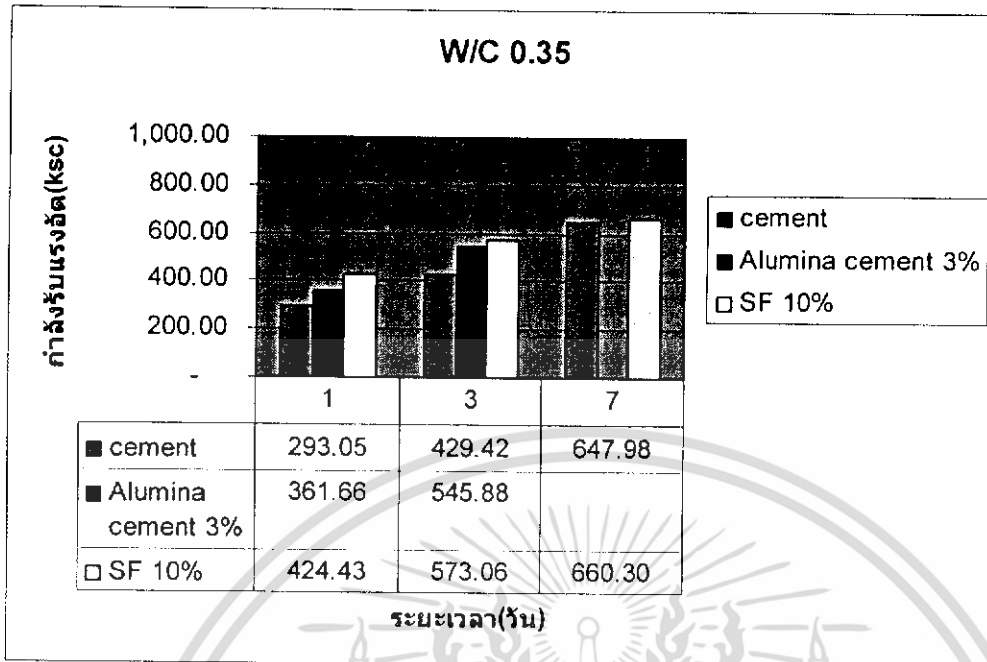
หมายเหตุ

Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เพลส เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เพลสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.15 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม ซีเมนต์เฟลส์ และซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.35

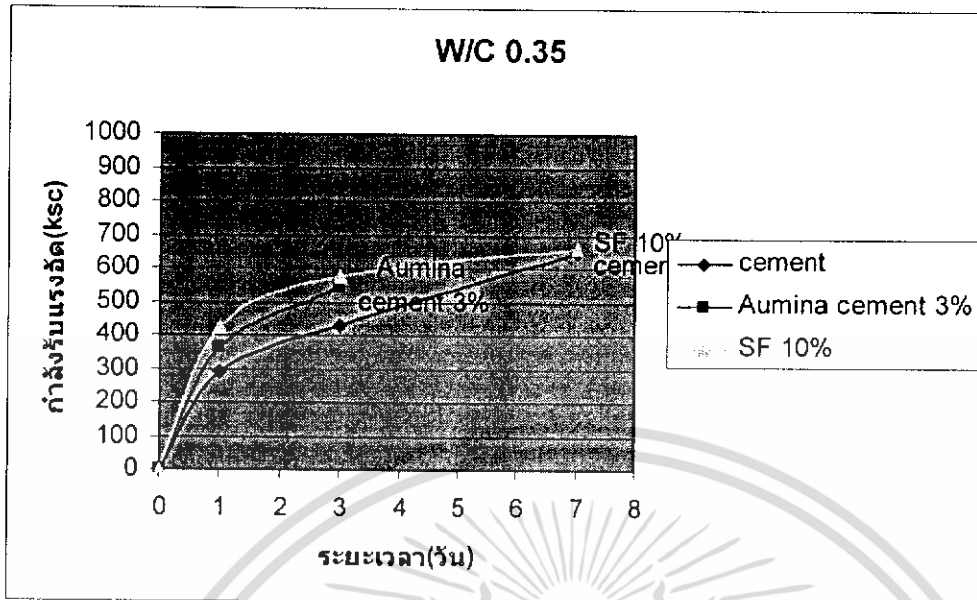
หมายเหตุ

Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมชาติจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมชาติจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมชาติจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.16 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของ ซีเมนต์พลัส ซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม และซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.35

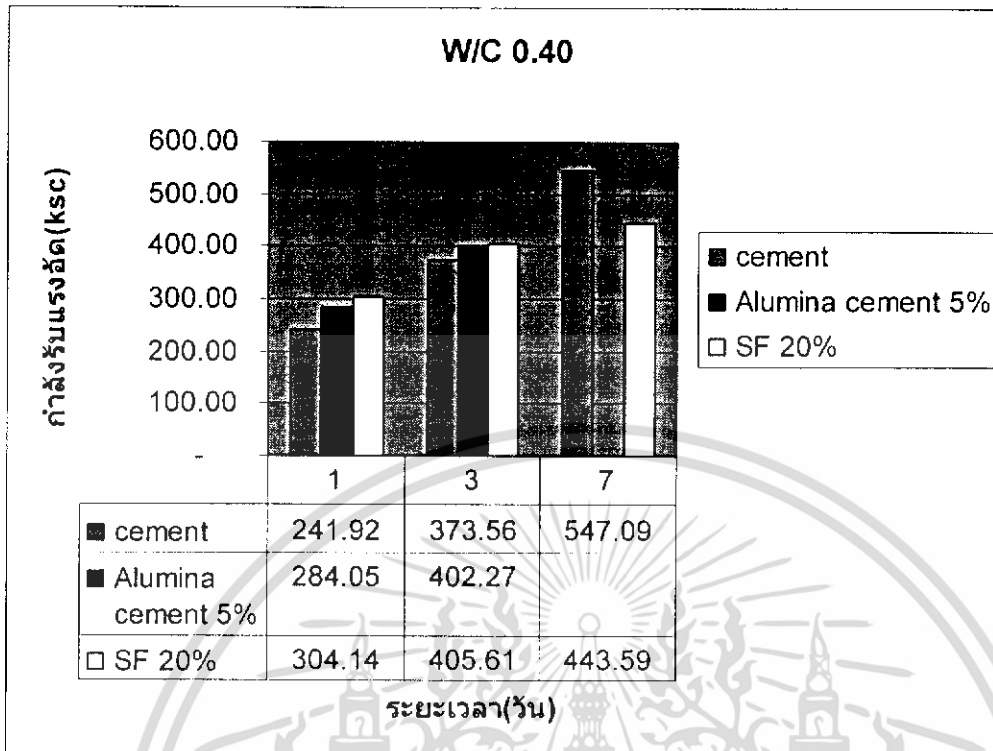
หมายเหตุ

Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์พลัส เมื่อแกะซีเมนต์พลัสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์พลัสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์พลัสออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.17 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของ ซีเมนต์เฟลส์ ซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม และซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.40

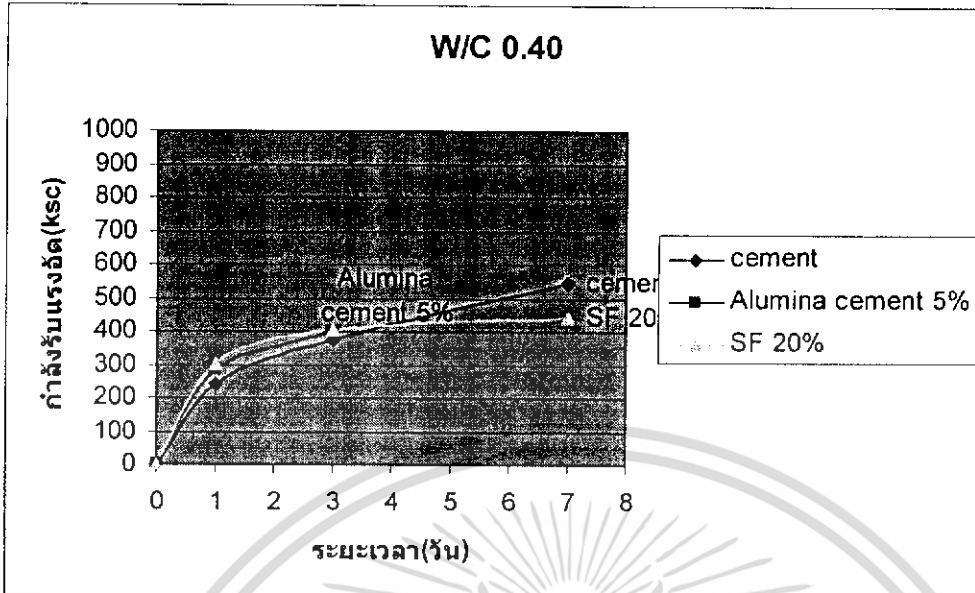
หมายเหตุ

Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.18 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของ ซีเมนต์เฟลส์ ซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม และซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.40

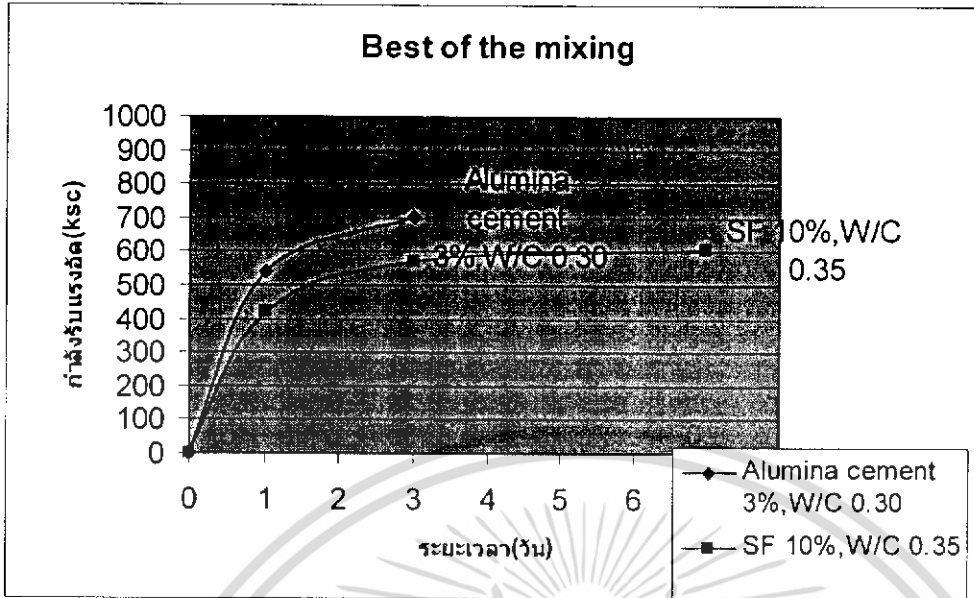
หมายเหตุ

Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เฟลส์ เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟูม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟูม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.19 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ และซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟุ่ม ที่กำลังรับแรงอัดดีที่สุดจากการทดสอบ

หมายเหตุ

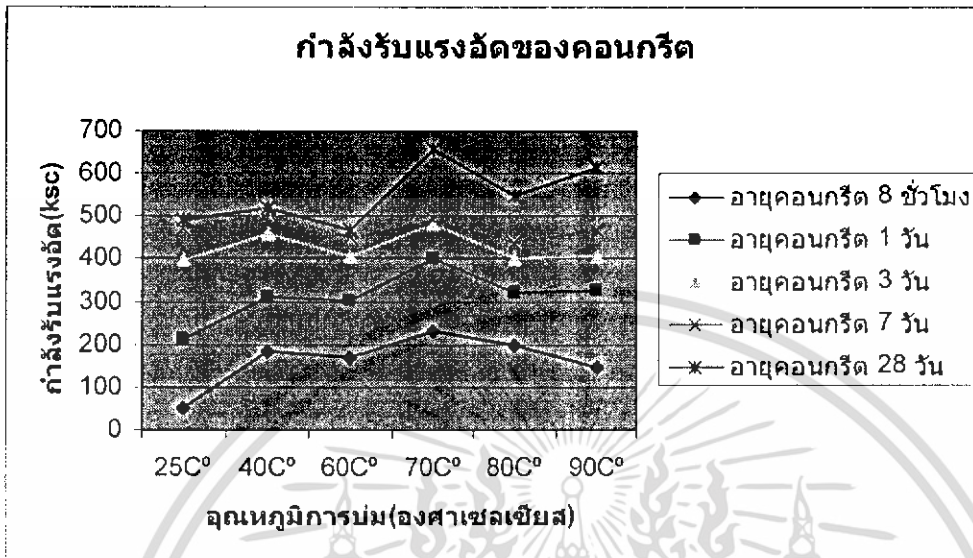
Cement เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เฟลส์ เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

Alumina cement -3% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3 % (ปูนซีเมนต์ 97 กรัม อลูมินาซีเมนต์ 3 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

SF-10% เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ที่ผสมซิลิกาฟุ่ม 10% (ปูนซีเมนต์ 100 กรัม ซิลิกาฟุ่ม 10 กรัม) เมื่อแกะซีเมนต์เฟลส์ออกจากแบบหล่อ นำมาบ่มน้ำธรรมดาจนครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูงเร็วที่อุณหภูมิต่างกัน



รูปที่ 4.2.1 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตามอายุของคอนกรีตและอุณหภูมิการบ่ม

จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและอุณหภูมิการบ่มมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิคอนกรีตจะมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการบ่มคอนกรีตอยู่ในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

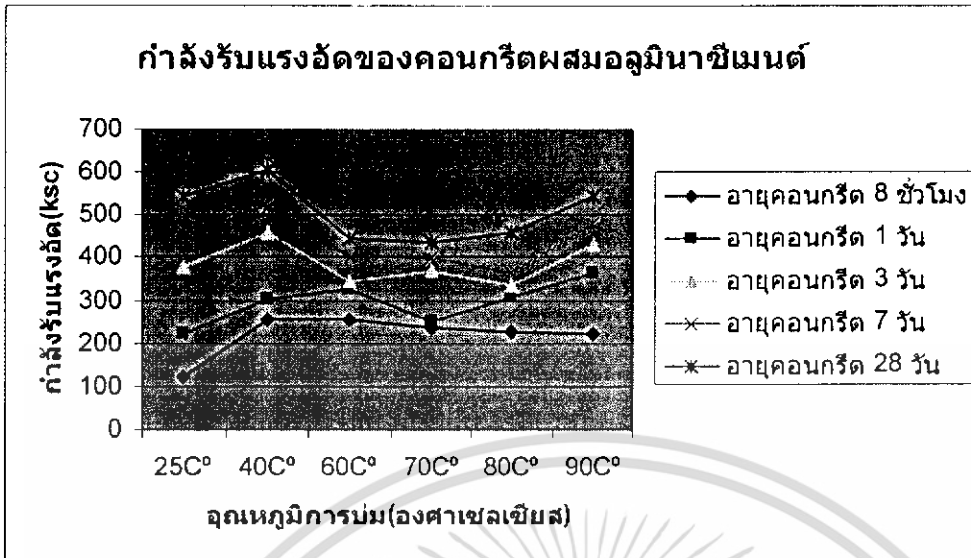
- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3,7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

หมายเหตุ การบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส บ่มตั้งแต่แกะ

คอนกรีตออกจากแบบหล่อ จนครบอายุการทดสอบ 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.2 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ตามอายุของคอนกรีตและอุณหภูมิการบ่ม

จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมอลูมินาซีเมนต์และอุณหภูมิการบ่มมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิคอนกรีตจะมีกำลังรับแรงอัดลดลงในช่วงอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการบ่มคอนกรีตอยู่ในช่วง 25-40 องศาเซลเซียส

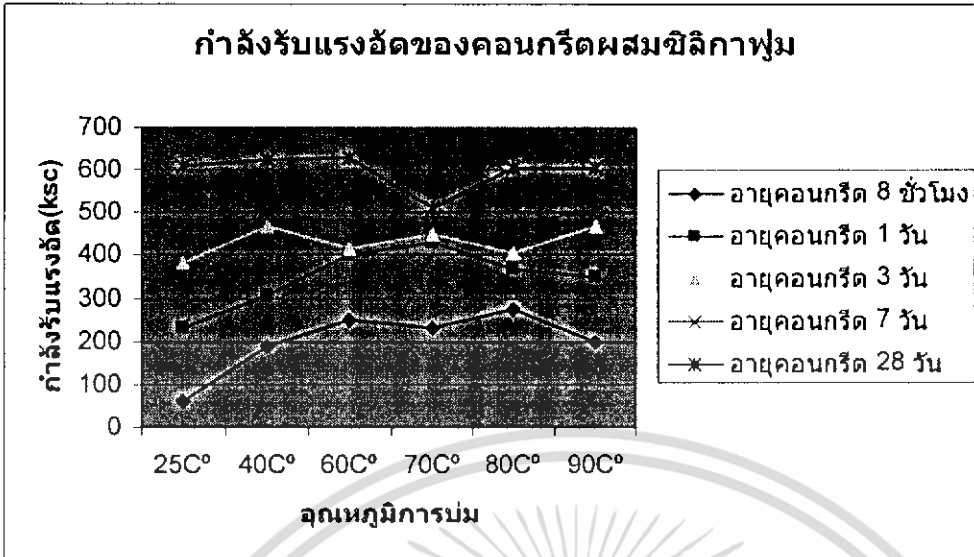
#### หมายเหตุ

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3,7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



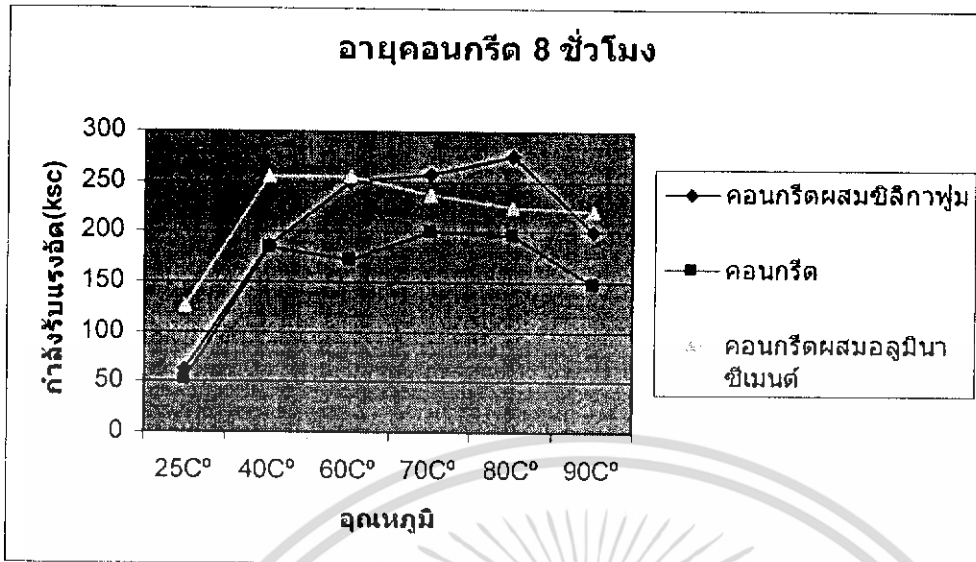
รูปที่ 4.2.3 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมซีลีกาฟุ่มตามอายุของคอนกรีตและอุณหภูมิการบ่ม

จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมซีลีกาฟุ่มและอุณหภูมิการบ่มมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิคอนกรีตจะมีกำลังรับแรงอัดลดลงในช่วงอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการบ่มคอนกรีตอยู่ในช่วง 40-60 องศาเซลเซียส

**หมายเหตุ**

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด
- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง
- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และมีคอนกรีตที่มีอายุครบ 3, 7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.4 กราฟเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูม คอนกรีต คอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อายุ 8 ชั่วโมง ของคอนกรีตและอุณหภูมิการบ่ม

จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและอุณหภูมิของการบ่มคอนกรีต พบว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมสารผสมเพิ่มในการบ่มช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ มีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่าคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูม

เช่น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูมที่อายุ 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิของการบ่มคอนกรีต 80 องศาเซลเซียส คอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูมมีกำลังรับแรงอัด สูงกว่าคอนกรีตถึง 44%

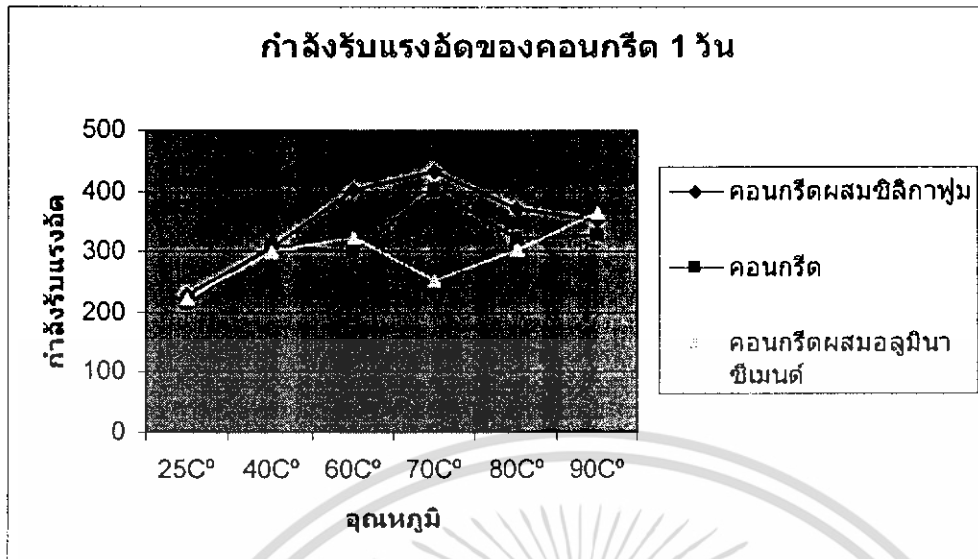
#### หมายเหตุ

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3,7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.5 กราฟเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟวม คอนกรีต คอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อายุ 1 วัน ของคอนกรีตและอุณหภูมิการบ่ม

จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและอุณหภูมิของการบ่มคอนกรีต พบว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมสารผสมเพิ่มในการบ่มช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ มีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่า คอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟวมและคอนกรีตที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ คอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟวม 10 % และ คอนกรีตที่ผสมอลูมินาซีเมนต์

จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและอุณหภูมิของการบ่มคอนกรีต พบว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมสารผสมเพิ่มในช่วงต้นถ้าต้องการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตการผสมซิลิกาฟวม ผสมอลูมินาซีเมนต์ และบ่มในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมจะช่วยพัฒนากำลังอัดได้เป็นผลดีทีเดียว

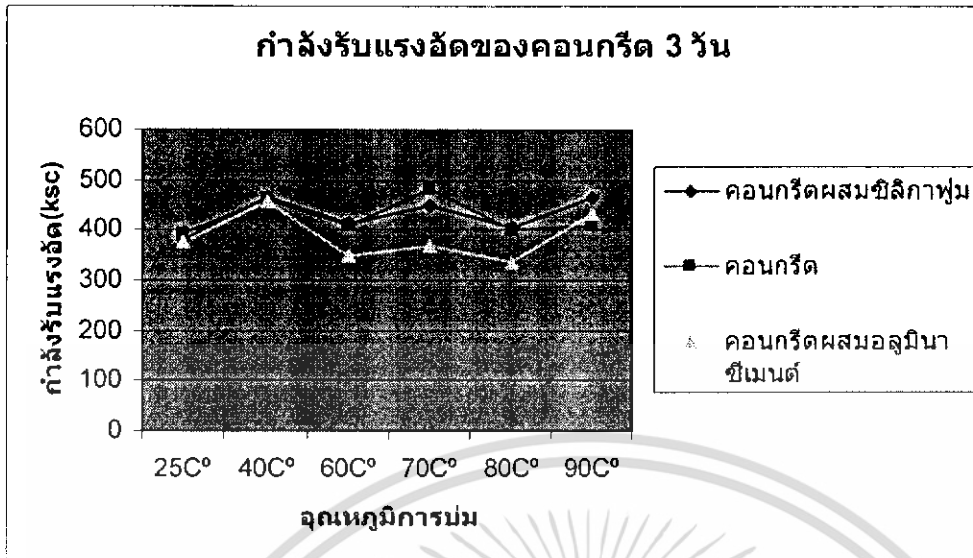
หมายเหตุ

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3,7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.6 กราฟเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูม คอนกรีต คอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อายุ 3 วัน ของคอนกรีตและอุณหภูมิการบ่ม

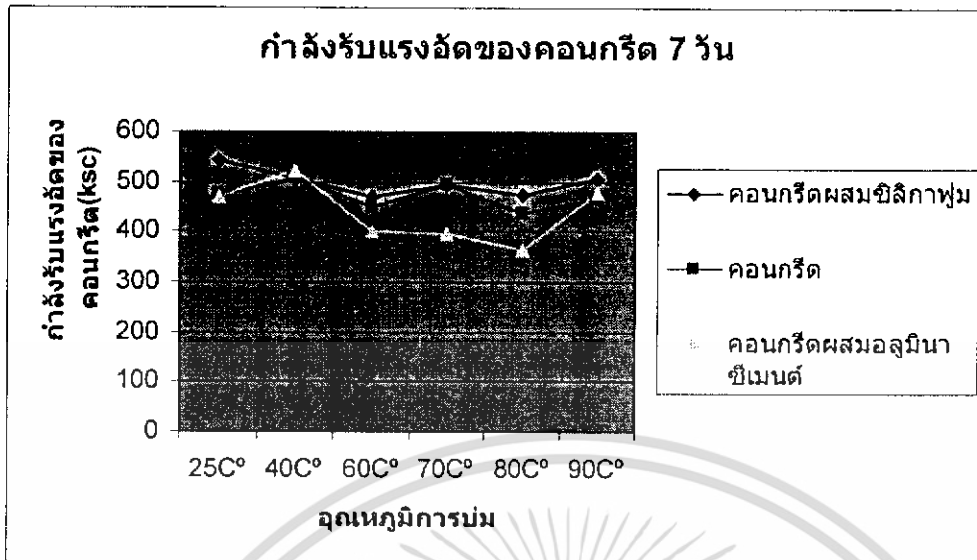
**หมายเหตุ**

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3, 7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

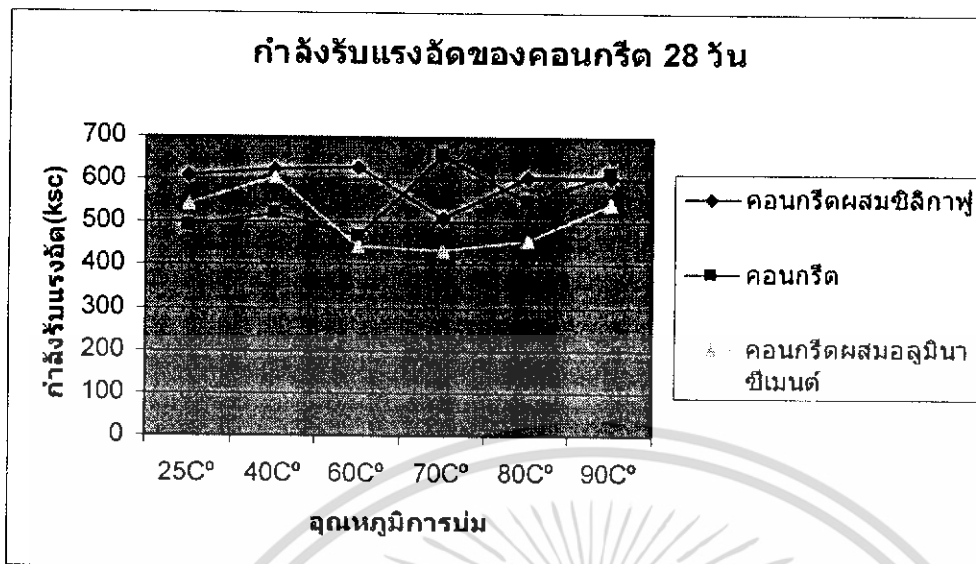


รูปที่ 4.2.7 กราฟเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูม คอนกรีต คอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อายุ 1 วัน ของคอนกรีตและอุณหภูมิการบ่ม

**หมายเหตุ**

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด
- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง
- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3,7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.8 จากกราฟเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูม คอนกรีต คอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ ที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตและอุณหภูมิการบ่ม

หมายเหตุ

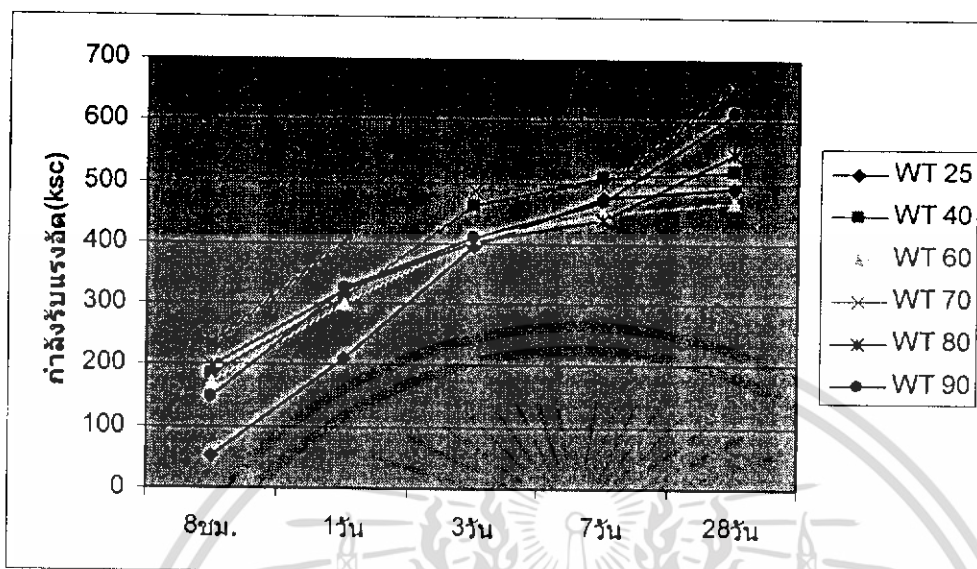
- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3, 7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยอุณหภูมิที่ต่างกันตามอายุของคอนกรีต**



รูปที่ 4.2.9 จากกราฟเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยอุณหภูมิที่ต่างกันตามอายุของคอนกรีต

จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดตามอายุของคอนกรีตและอุณหภูมิของการบ่มคอนกรีต พบว่าคอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมงบ่มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีกำลังรับแรงอัด 233 ksc ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 348.0769% จากการทดสอบจะเห็นว่าอุณหภูมิมิผลต่อการเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

คอนกรีตที่มีอายุ 1 วันบ่มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีกำลังรับแรงอัด 402 ksc ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 90%

คอนกรีตที่มีอายุ 28 วันบ่มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีกำลังรับแรงอัด 657 ksc ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 34%

จากแนวโน้มดังกล่าวทำให้เห็นได้ว่าอุณหภูมิจากการบ่มมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หมายเหตุ

- WT 25 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
- WT 40 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
- WT 60 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
- WT 70 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
- WT 80 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
- WT 90 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

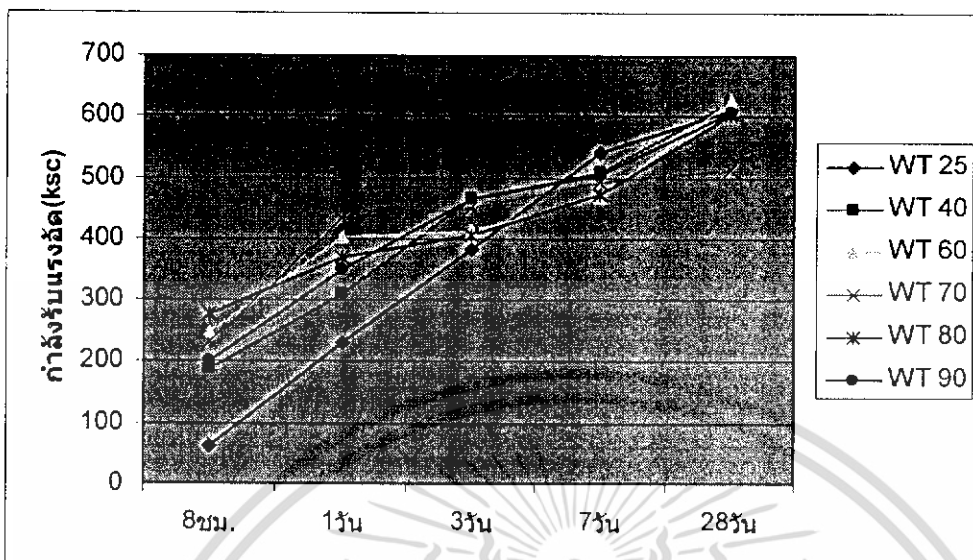
- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3,7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมซลิกาฟุ่มที่บ่มด้วยอุณหภูมิที่ต่างกันตามอายุของคอนกรีต**



รูปที่ 4.2.10 จากกราฟเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมซลิกาฟุ่มที่บ่มด้วยอุณหภูมิที่ต่างกันตามอายุของคอนกรีต

จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดตามอายุของคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์และอุณหภูมิของการบ่มคอนกรีตผสมซลิกาฟุ่ม พบว่าคอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมงบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส มีกำลังรับแรงอัด 255 ksc ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 104%

คอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่มีอายุ 1 วันบ่มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีกำลังรับแรงอัด 363.6 ksc ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 63%

คอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่มีอายุ 28 วันบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีกำลังรับแรงอัด 604 ksc ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 11%

จากแนวโน้มจะเห็นได้ว่าการบ่มทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต คอนกรีตผสมซลิกาฟุ่ม และคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ มีกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หมายเหตุ

- WT 25 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
- WT 40 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
- WT 60 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
- WT 70 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
- WT 80 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
- WT 90 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

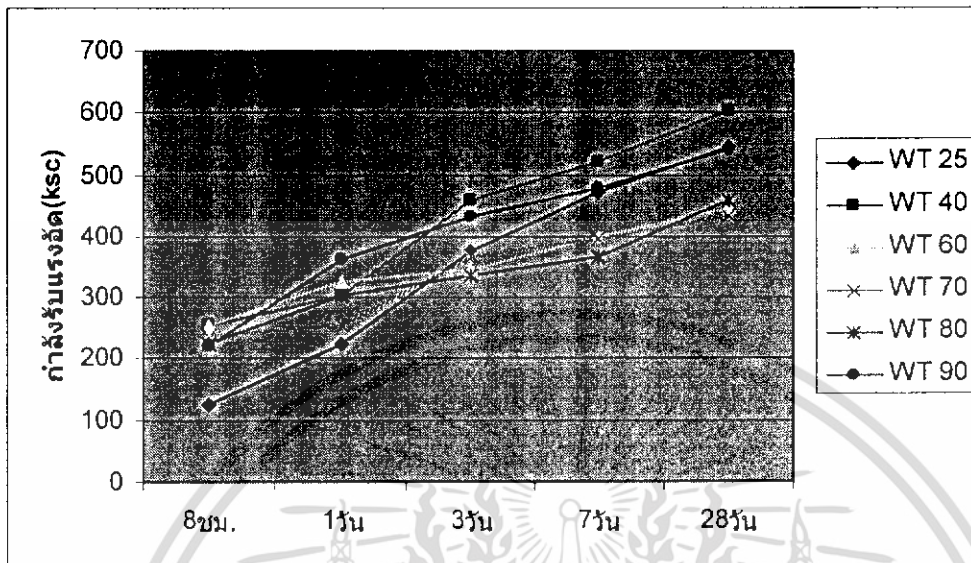
- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3, 7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มด้วยอุณหภูมิที่ต่างกันตามอายุของคอนกรีต**



รูปที่ 4.2.11 จากกราฟเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มด้วยอุณหภูมิที่ต่างกันตามอายุของคอนกรีต

จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดตามอายุของคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์และอุณหภูมิของการบ่มคอนกรีตผสมซิลิกาฟูม พบว่าคอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมงบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส มีกำลังรับแรงอัด 255 ksc ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 104%

คอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่มีอายุ 1 วันบ่มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีกำลังรับแรงอัด 363.6 ksc ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 63%

คอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่มีอายุ 28 วันบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีกำลังรับแรงอัด 604 ksc ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 11%

จากแนวโน้มจะเห็นได้ว่าการบ่มทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต คอนกรีตผสมซิลิกาฟูม และคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ มีกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หมายเหตุ

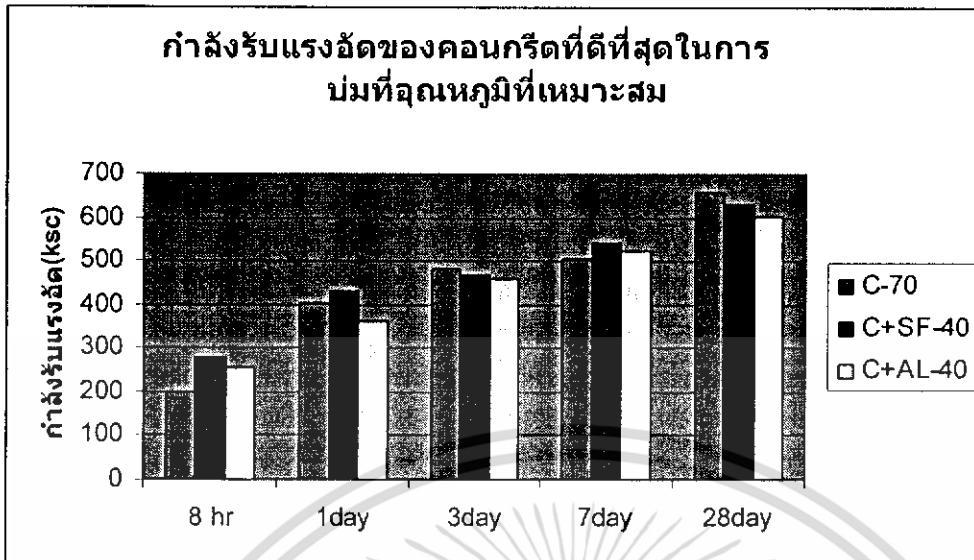
- WT 25 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
- WT 40 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
- WT 60 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
- WT 70 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
- WT 80 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
- WT 90 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอลคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3, 7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.12 กราฟเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต คอนกรีตผสมซิลิกาฟุ่ม คอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ ตามอายุของคอนกรีต

กราฟแสดงความสัมพันธ์ กำลังรับแรงอัดตามอายุของคอนกรีตและอุณหภูมิการบ่มที่เหมาะสมของคอนกรีตแบบต่าง ๆ

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 8 ชั่วโมงและอุณหภูมิการบ่มที่ 40-60 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบ่มของคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟุ่ม จะให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิการบ่มที่เหมาะสมและสารผสมเพิ่ม (ซิลิกาฟุ่ม) มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในเวลาสั้น

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 1 วัน อุณหภูมิการบ่มที่ 40-60 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบ่มของคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟุ่ม จะให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด เห็นได้ว่าอุณหภูมิการบ่มที่เหมาะสมและสารผสมเพิ่ม (ซิลิกาฟุ่ม) มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในเวลาสั้น

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 3 วัน อุณหภูมิการบ่มที่ 70 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบ่มของคอนกรีต จะให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด เห็นได้ว่าอุณหภูมิการบ่มที่เหมาะสม มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 28 วัน อุณหภูมิการบ่มที่ 70 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบ่มของคอนกรีต จะให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด เห็นได้ว่าอุณหภูมิการบ่มที่เหมาะสม มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หมายเหตุ

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้คอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง

- นำคอนกรีตอายุ 6 ชั่วโมง มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยการบ่มแต่ละอุณหภูมิ ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหลังผสมเสร็จ พอลคอนกรีตอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงนำมาบ่มโดยการแช่น้ำธรรมดา และเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3,7 และ 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

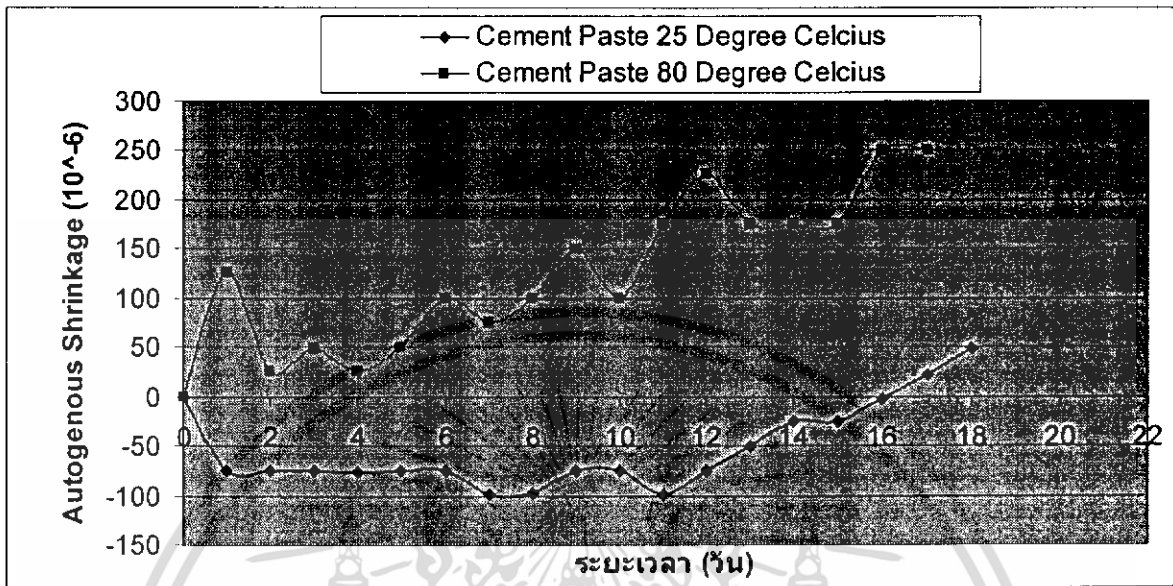
C-70 เป็นสัญลักษณ์ของ คอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และนำมาบ่มน้ำธรรมดานครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

C+SF-40 เป็นสัญลักษณ์ของคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูมบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และนำมาบ่มน้ำธรรมดานครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

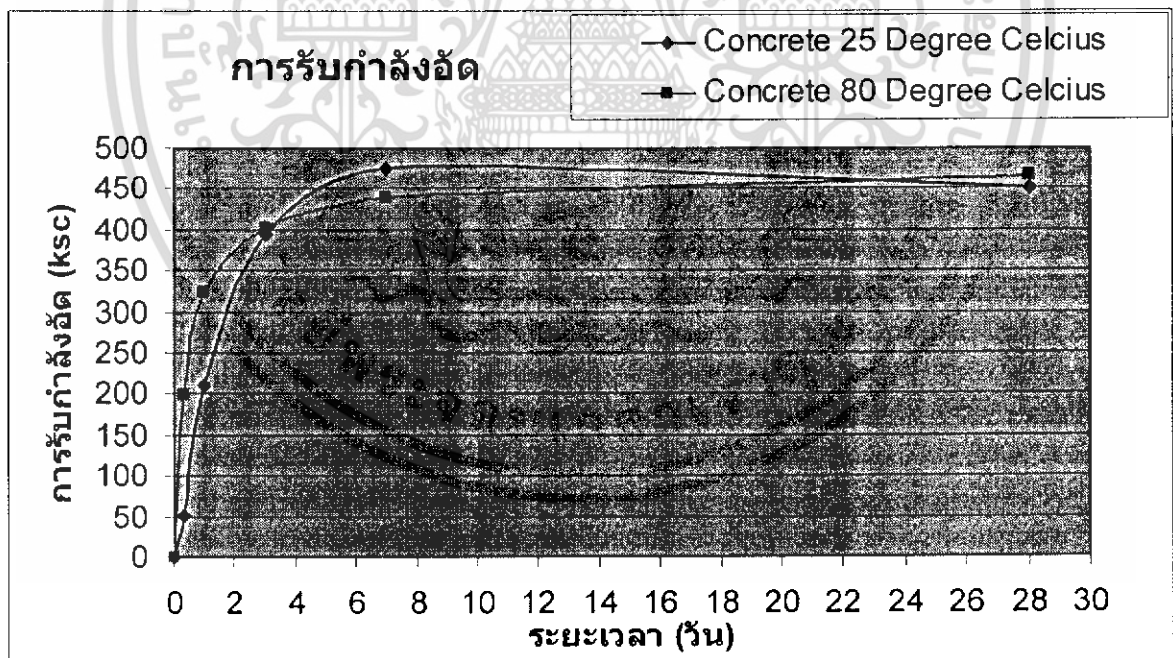
C+AL-40 เป็นสัญลักษณ์ของคอนกรีตที่ผสมอลูมินาซีเมนต์บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และนำมาบ่มน้ำธรรมดานครบอายุที่จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดสอบ Autogenous Shrinkage



รูปที่ 4.3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหดตัวเมื่อให้อุณหภูมิที่ต่างกันของซีเมนต์เพสต์



รูปที่ 4.3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

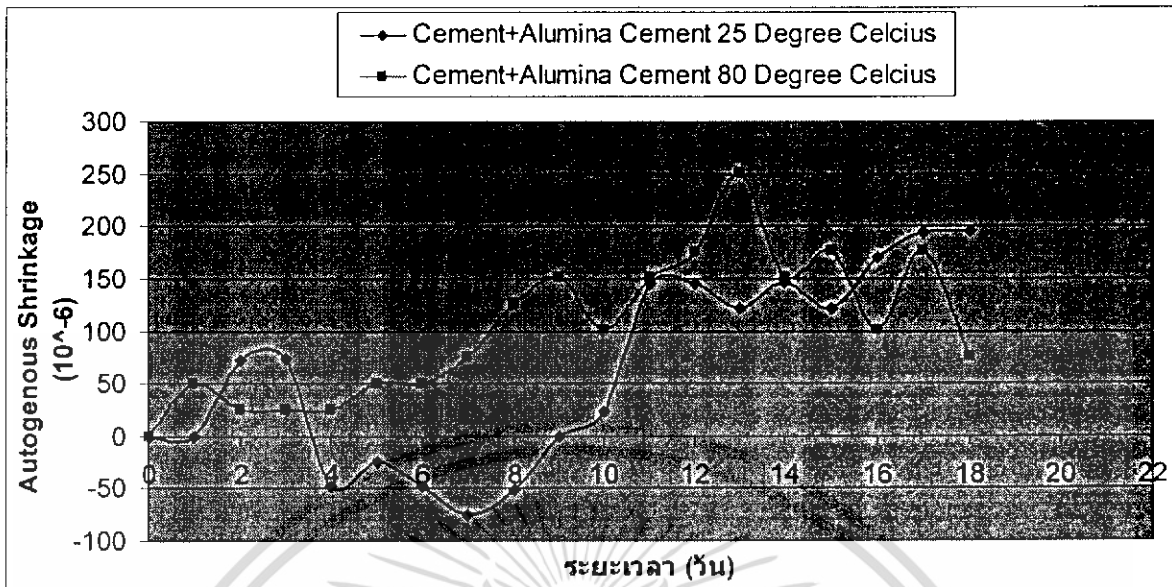
จากกราฟความสัมพันธ์จะพบว่าเริ่มแรกเส้นกราฟที่บ่มด้วยอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกจะมีการหดตัว หลังจากนั้นประมาณวันที่ 12 จะเริ่มมีการขยายตัวเกิดขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนคอนกรีตก่อนมีการขยายตัวเกิดขึ้นแต่หลังจากที่หยุดให้ความร้อนก็จะมี การหดตัวของชิ้นตัวอย่างจากนั้นประมาณวันที่ 5-6 ชิ้นตัวอย่างเริ่มมีการขยายตัวเกิดขึ้น เมื่อนำกราฟ ความสัมพันธ์ของ Autogenous Shrinkage มาเปรียบเทียบกับ กราฟกำลังรับแรงอัด จะพบว่าที่คอนกรีต หดตัวเนื่องจากอยู่ในช่วงของอัตราการขึ้นของกำลังรับแรงอัดที่สูง แต่เมื่อถึงช่วงที่อัตราการขึ้นของ กำลังที่น้อยลงจะเกิดการขยายตัวของเนื้อคอนกรีต

หมายเหตุ

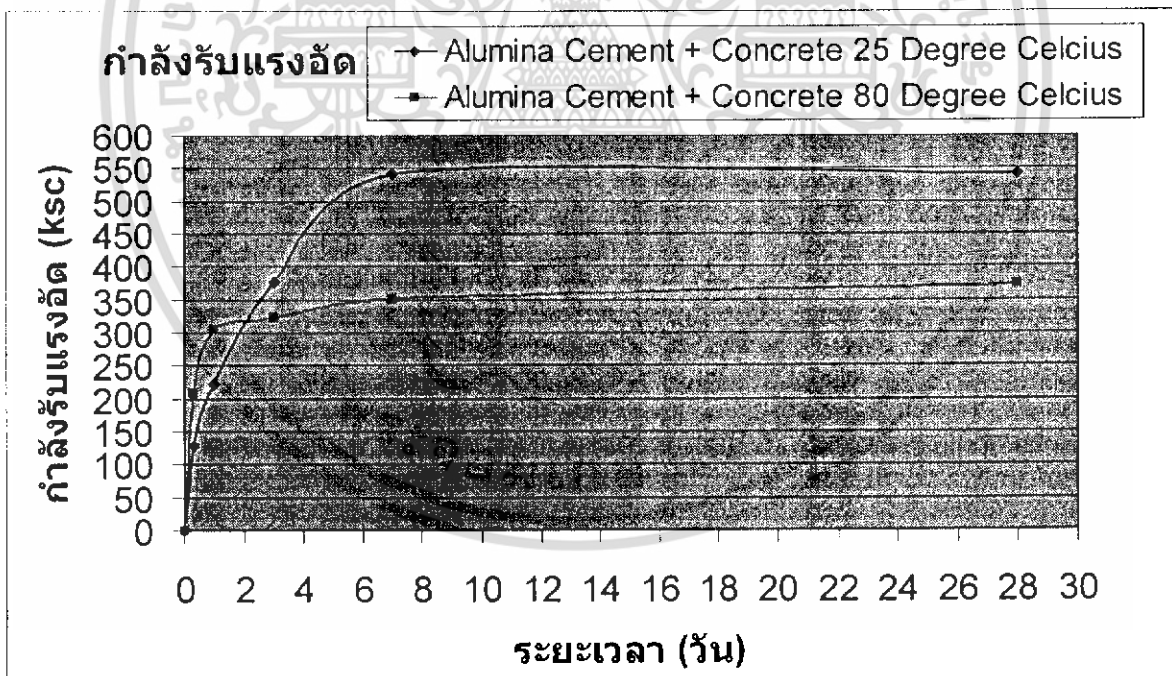
Cement Paste 25 Degree Celcius – เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ เมื่อแกะซีเมนต์ เพลสต์และนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดการบวมหดตัวทุกวัน

Cement Paste 80 Degree Celcius – เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เพลสต์ เมื่อแกะ ซีเมนต์เพลสต์และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสให้คอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบ่มที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและวัดการบวมหดตัวทุกวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหดตัวเมื่อให้อุณหภูมิที่ต่างกันของซีเมนต์เพสต์+อลูมินาซีเมนต์



รูปที่ 4.3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต+อลูมินาซีเมนต์

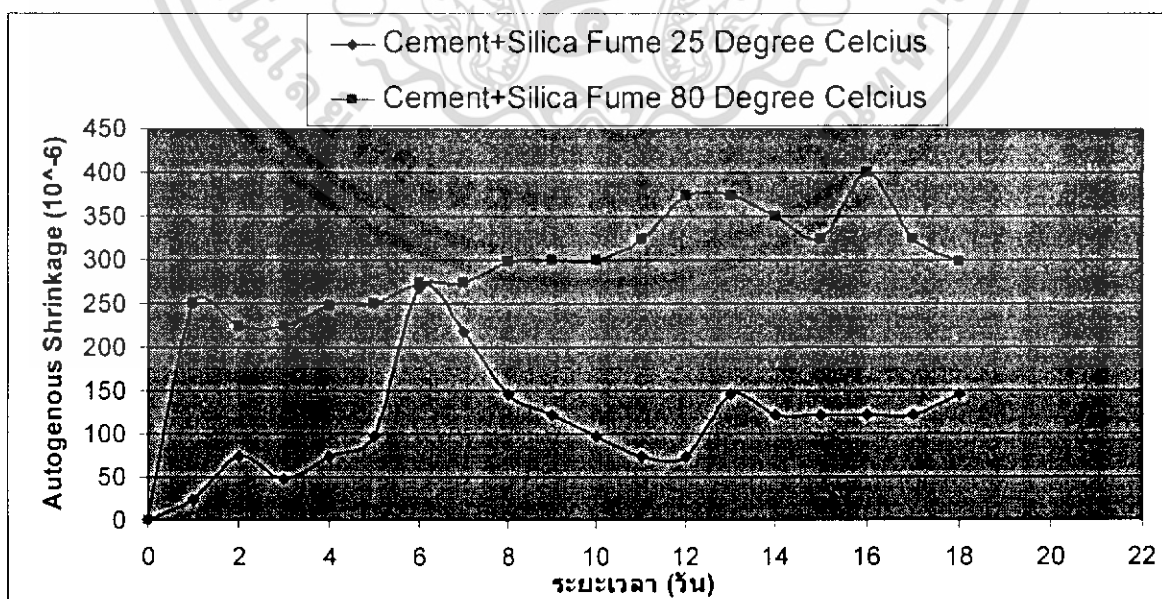
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเมนต์เฟสที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ จากกราฟความสัมพันธ์จะพบว่าเริ่มแรกเส้นกราฟที่ บ่มด้วยอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกจะมีการขยายตัวเกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากสารเคมีผสมเพิ่ม ประมาณวันที่ 3 จะเริ่มมีการหดตัวและจะขยายตัวอีกครั้งในวันที่ 9-10 ส่วนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนคอนกรีตย่อมมีการขยายตัวเกิดขึ้น แต่จะมีการหดตัวเล็กน้อยในวันที่ 2 และ จะค่อยๆขยายตัวในวันต่อมาแต่จะเริ่มขยายตัวมากขึ้นในวันที่ 7 เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์ของ Autogenous Shrinkage มาเปรียบเทียบกับ กราฟกำลังรับแรงอัด จะพบว่าที่คอนกรีตหดตัวเนื่องจากอยู่ใน ช่วงของอัตราการขึ้นของกำลังรับแรงอัดที่สูง แต่เมื่อถึงช่วงที่อัตราการขึ้นของกำลังที่น้อยลงจะเกิด การขยายตัวของเนื้อคอนกรีต

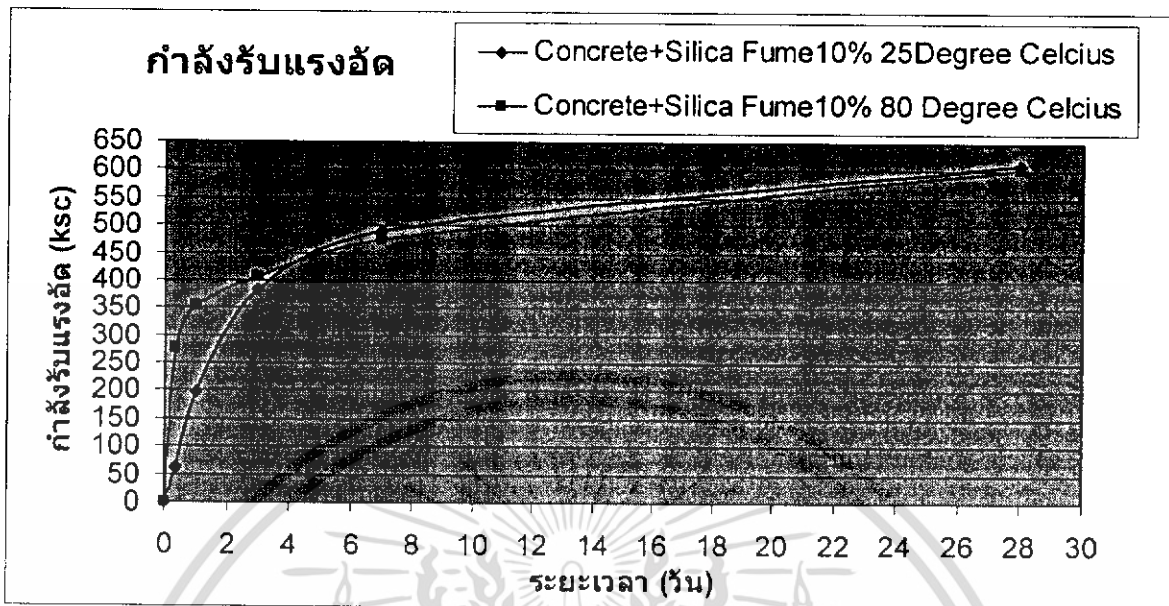
หมายเหตุ

Cement Paste 25 Degree Celcius – เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ เมื่อแกะซีเมนต์ เฟลต์และนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดการยืหดตัวทุกวัน

Cement Paste 80 Degree Celcius – เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เฟลต์ เมื่อแกะ ซีเมนต์เฟลต์และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสให้คอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบ่มที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและวัดการยืหดตัวทุกวัน



รูปที่ 4.3.4 กราฟแสดงกรรมสัมพันธ์ในการหดตัวเมื่อให้อุณหภูมิที่ต่างกันของซีเมนต์เฟลต์+ซิลิกาฟุม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่อเผยแพร่เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต+อลูมินาซีเมนต์

ซีเมนต์เฟสท์ผสมซิลิกาฟุม จากกราฟความสัมพันธ์จะพบว่าเริ่มแรกเส้นกราฟที่บ่มด้วยอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีการขยายตัวเกิดขึ้นและจะขยายตัวสูงสุดในวันที่ 6 อาจเนื่องมาจากการสิ้นสุดปฏิกิริยาเคมีที่ช่วยในการเร่งกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และจะลดการขยายตัวลงและจะไม่มีการขยายตัวที่เพิ่มขึ้นอีก ส่วนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนคอนกรีตบ่มมีการขยายตัวเกิดขึ้นสูงมาก หลังจากนั้นจะมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

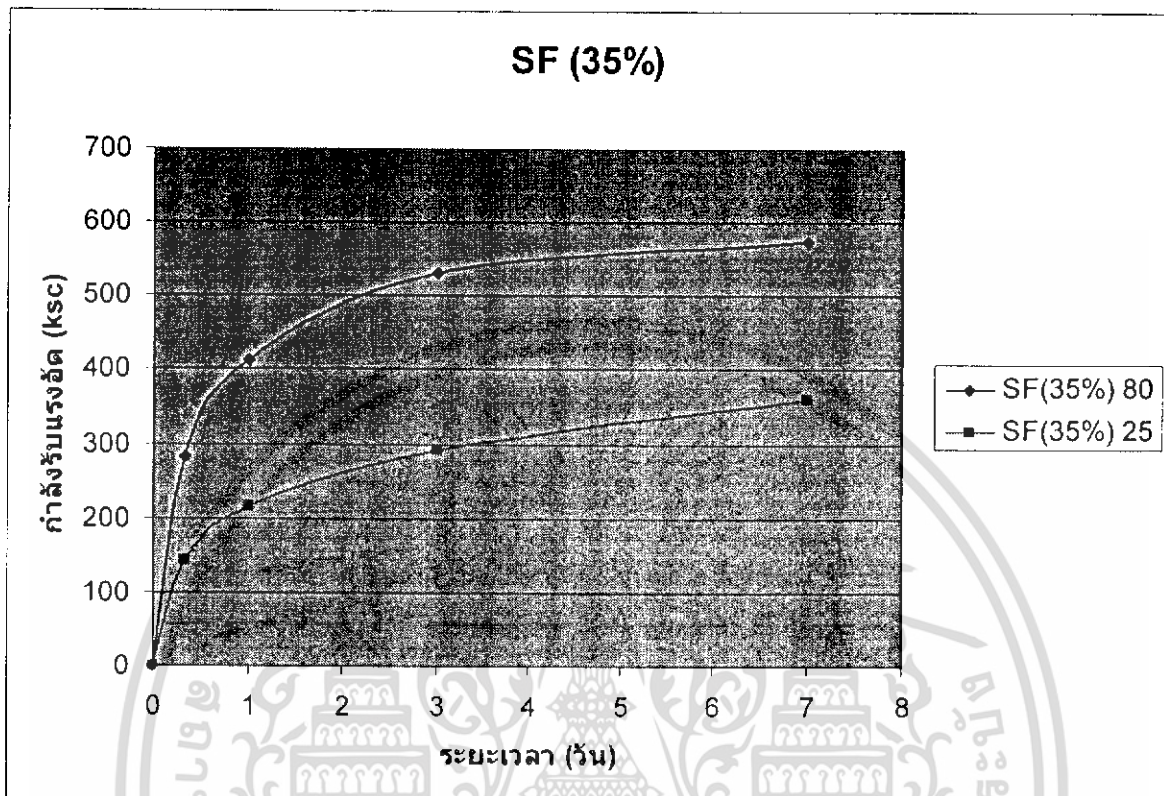
หมายเหตุ

Cement Paste 25 Degree Celcius – เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ เมื่อแกะซีเมนต์เฟสท์และนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดการบวมตัวทุกวัน

Cement Paste 80 Degree Celcius – เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เฟสท์ เมื่อแกะซีเมนต์เฟสท์และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสให้คอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและวัดการบวมตัวทุกวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง



รูปที่ 4.4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของคอนกรีตกำลังสูง (Concrete + Silica Fume 35%)

หมายเหตุ

Cement Paste 25 Degree Celcius – เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์ เมื่อแกะซีเมนต์  
เพลสส์และนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วิศวกรยึดหดตัวทุกวัน

Cement Paste 80 Degree Celcius – เป็นสัญลักษณ์ของซีเมนต์เพลสส์ เมื่อแกะ  
ซีเมนต์เพลสส์และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสให้คอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบ่มที่  
อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและวิศวกรยึดหดตัวทุกวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

## สรุป

### 5.1 สรุปการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

เมื่อทำการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ จากความสัมพันธ์จะได้ส่วนผสมที่ดีที่สุดในการทดสอบการรับกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ คือ ซีเมนต์ผสมอลูมินาซีเมนต์ 3% (Cement + alumina cement 3%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 และซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม 10% (Cement + silica fume 10%) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 แต่เพื่อต้องการให้ได้ค่าของคอนกรีต  $\pm 5$  เซนติเมตร จึงทำการทดสอบโดยการผสมคอนกรีตที่ผสม Super plasticizer ลงไป ผลที่ได้คือที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 (w/c ratio 0.30) ไม่สามารถผสมให้ได้ค่าของ  $\pm 5$  เซนติเมตร จึงจำเป็นต้องใช้ส่วนผสมที่มี อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 (w/c ratio 0.35) ในการทำตัวอย่างที่เป็นคอนกรีต

### 5.2 สรุปผลการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต

การบ่มที่อุณหภูมิสูงมีผลต่อกำลังรับแรงอัดจากความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดตามอายุของคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์และอุณหภูมิของการบ่มคอนกรีตผสมซิลิกาฟูม พบว่าคอนกรีตที่มีอายุ 8 ชั่วโมงบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส มีกำลังรับแรงอัด 255 ksc ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 104%

คอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่มีอายุ 1 วันบ่มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีกำลังรับแรงอัด 363.6 ksc ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมอลูมินาซีเมนต์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 63% จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงในช่วงต้นทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นด้วย

การผสมสารผสมเพิ่มมีผลต่อการเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เช่นคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูมที่อายุ 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิของการบ่มคอนกรีต 80 องศาเซลเซียส คอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูมมีกำลังรับแรงอัด สูงกว่าคอนกรีตถึง 44%  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและอุณหภูมิการบ่มมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิคอนกรีตจะมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการบ่มคอนกรีตอยู่ในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มจะมีผลต่อกำลังรับแรงอัดในช่วงต้นและช่วงท้าย

5.2.2 จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมอลูมินาซีเมนต์และอุณหภูมิการบ่มมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิคอนกรีตจะมีกำลังรับแรงอัดลดลงในช่วงอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่ทำให้กำลังรับแรงอัดจะอยู่ในช่วงการบ่มคอนกรีตที่ 25-40 องศาเซลเซียส เนื่องจากการทำให้อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้ความสามารถในการเพิ่มกำลังรับแรงอัดลดลง ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้การบ่มคอนกรีตที่ผสมอลูมินาซีเมนต์ไม่จำเป็นต้องเป็นอุณหภูมิที่สูง

5.2.3 จากกราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูมและอุณหภูมิการบ่มมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิคอนกรีตผสมซิลิกาฟูมจะทำให้มีกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้นในช่วง 8 ชั่วโมง ถึง 1 วัน แต่กำลังรับแรงอัดช่วง 3 วันเป็นต้นไปอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มจะไม่มีผลกับกำลังรับแรงอัด เนื่องจากการรับแรงอัดในช่วง 3 วันเป็นต้นไปจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูมจะทำให้กำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้นในช่วง 8 ชั่วโมง ถึง 1 วันเท่านั้น

### 5.3 สรุปผลการทดสอบ Autogenous Shrinkage

จากการศึกษาจากผลการทดลองพบว่าเมื่อคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น จะเกิดการหดตัวของตัวอย่างคอนกรีต จนกระทั่งไม่มีการเพิ่มของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ก็จะมีการขยายตัวของตัวอย่างคอนกรีตเกิดขึ้น

5.3.1. จากกราฟความสัมพันธ์จะพบว่าเริ่มแรกเส้นกราฟที่บ่มด้วยอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในช่วงแรกจะมีการหดตัว หลังจากนั้นประมาณวันที่ 12 จะเริ่มมีการขยายตัวเกิดขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนคอนกรีตย่อมมีการขยายตัวเกิดขึ้นแต่หลังจากที่หยุดให้ความร้อนก็จะมีอาการหดตัวของชิ้นตัวอย่างจากนั้นประมาณวันที่ 5-6 ชิ้นตัวอย่างเริ่มมีการขยายตัวเกิดขึ้น เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์ของ Autogenous Shrinkage มาเปรียบเทียบ กราฟกำลังรับแรงอัด จะพบว่าที่คอนกรีตหดตัวเนื่องจากอยู่ในช่วงของอัตราการขึ้นของกำลังรับแรงอัดที่สูง แต่เมื่อถึงช่วงที่อัตราการขึ้นของกำลังที่น้อยลงจะเกิดการขยายตัวของเนื้อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 ซีเมนต์เพสต์ผสมอูมินาซีเมนต์ จากกราฟความสัมพันธ์จะพบว่าเริ่มแรกเส้นกราฟที่บ่มด้วยอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในช่วงแรกจะมีการขยายตัวเกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากสารเคมีผสมเพิ่ม ประมาณวันที่ 3 จะเริ่มมีการหดตัวและจะขยายตัวอีกครั้งในวันที่ 9-10 ส่วนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนคอนกรีตย่อมมีการขยายตัวเกิดขึ้น แต่จะมีการหดตัวเล็กน้อยในวันที่ 2 และจะค่อยๆขยายตัวในวันต่อมาแต่จะเริ่มขยายตัวมากขึ้นในวันที่ 7 เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์ของ Autogenous Shrinkage มาเปรียบเทียบ กราฟกำลังรับแรงอัด จะพบว่าที่คอนกรีตหดตัวเนื่องจากอยู่ในช่วงของอัตราการขึ้นของกำลังรับแรงอัดที่สูง แต่เมื่อถึงช่วงที่อัตราการขึ้นของกำลังที่น้อยลงจะเกิดการขยายตัวของเนื้อคอนกรีต

5.3.3 ซีเมนต์เพสต์ผสมซิลิกาฟูม จากกราฟความสัมพันธ์จะพบว่าเริ่มแรกเส้นกราฟที่บ่มด้วยอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีการขยายตัวเกิดขึ้นและจะขยายตัวสูงสุดในวันที่ 6 อาจเนื่องมาจากการสิ้นสุดปฏิกิริยาเคมีที่ช่วยในการเร่งกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และจะลดการขยายตัวลงและจะไม่มีการขยายตัวที่เพิ่มขึ้นอีก ส่วนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนคอนกรีตย่อมมีการขยายตัวเกิดขึ้นสูงมาก หลังจากนั้นจะมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

#### 5.4 สรุปผลการทดสอบคอนกรีตกำลังสูง

จากการศึกษาผลการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงจะพบว่าเมื่อให้อุณหภูมิกับคอนกรีต จะทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าสูงมากในช่วงต้นและส่งผลทำให้กำลังรับแรงอัดในช่วงปลายนั้นสูงขึ้นตามไปด้วย

#### สรุปปัญหา

การบ่มที่อุณหภูมิต่าง ๆ ถึงแม้ใช้ในการบ่มมีความสูงและอุณหภูมิไม่คงที่ทั่วถึง ส่วนที่อยู่ใกล้แกนให้ความร้อนก็จะมีอุณหภูมิสูงกว่าส่วนที่ไกลกว่าแกนให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้