การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดและแนวทางการพัฒนาคอนกรีตกำลังอัดสูงที่อายุ 24 ชั่วโมง

A Study of factor affecting the concrete's compressive strength and development of 24-hours high strength concrete.

นายชิติพัทธ์	จุลลา	รหัส 52363813
นายพรพงษ์	สมณะธัญกรณ์	รหัส 52364063
นายวันรุ่ง	ทรงปัญญาวุฒิ	รหัส 52364148
นายสรอรรจน์	นิ่มงามศรี	รหัส 52364247

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2555

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
- 7 ส.ค. 2556
เลขทะเบียน 1634008
ม.ร.
เลขหมู่ 2555

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดและแนวทางการพัฒนาคอนกรีตกำลังอัดสูงที่อายุ 24 ชั่วโมง**		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายชิติพัทธ์	จุลลา	รหัส 52363813
	นายพรพงษ์	สมถะธัญกรณ์	รหัส 52364063
	นายวันรุ่ง	ทรงปัญญาวุฒิ	รหัส 52364148
	นายสรอรรจน์	นิ่มงามศรี	รหัส 52364247
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร. สรัณกร	เหมะวิบูลย์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2555		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

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

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

.....กรรมการ
(ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดและแนวทางการพัฒนาคอนกรีตกำลังอัดสูงที่อายุ 24 ชั่วโมง		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายชิติพัทธ์	จุลลา	รหัส 52363813
	นายพรพงษ์	สมณะธัญกรณ์	รหัส 52364063
	นายวันรุ่ง	ทรงปัญญาวุฒิ	รหัส 52364148
	นายสรอรรจน์	นิ่มงามศรี	รหัส 52364247
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร. สรัณกร	เหมะวิบูลย์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2555		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตกำลังอัดสูงที่ 24 ชั่วโมง ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วย อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ปริมาณการแทนปูนซีเมนต์ด้วยซิลิก้าฟูม ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการผสม ชนิดและขนาดของมวลรวมและวิธีการบ่มคอนกรีต จากผลการศึกษาพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 24 ชั่วโมงจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทุกตัวที่ทำการศึกษา สำหรับส่วนผสมที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.28 การแทนปูนซีเมนต์ด้วยซิลิก้า-ฟูมในปริมาณร้อยละ 30 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ร้อยละ 2 ต่อปริมาณน้ำ การใช้หินบะซอลต์ขนาดค้างตะแกรงมาตราฐานเบอร์ 4# เป็นมวลรวมหยาบ ใช้น้ำที่มีอุณหภูมิ 80^0c ในการผสม และบ่มด้วยหม้อบ่มแรงดัน จะให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ 24 ชั่วโมงสูงที่สุด

Project title	A Study of factor affecting the concrete's compressive strength and development of 24-hours high strength concrete.		
Name	Mr.Chitipat	Julla	ID 52363813
	Mr.Pornpong	Samatatanyakorn	ID 52364063
	Mr.Vanrung	Songpanyawut	ID 52364148
	Mr.Sora-aut	Nimagamsri	ID 52364247
Project advisor	Asst. Prof. Dr. Saranagon	Hemavibool	
Major	Civil Engineering, Naresuan University.		
Department	Civil Engineering		
Academic year	2012		

.....

Abstract

The main objective of this project is to study the various factors affecting the 24 hours concrete compressive strength. The experimental parameters that were investigated in this study include : water to cement ratio (0.25-0.33), replacement percentage of silica fume for cement (0-40%), volume of calcium chloride ($CaCl_2$), type and size of coarse aggregates, temperature of mixing water and curing method. It is shown that the 24 hours concrete compressive strength depends on all parameters investigated. For the mixture with water to cement ratio of 0.28, the maximum compressive strength was obtained by using 30 percent replacement of cement with silica fume, 2 percent addition of calcium chloride ($CaCl_2$), basalt as the coarse aggregates, mixing water at 80°c and autoclave curing.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ล่วงลุด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแก้ไขรายงานโครงงานนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง มา ณ ที่นี้ด้วย ขอขอบพระคุณว่าที่ร้อยตรีนันธวัฒน์ เบอะเทพ นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ที่ชี้แนะแก้ไขรายงานและแนะนำขั้นตอนการดำเนินโครงงาน ในการปฏิบัติการทดสอบเกี่ยวกับโครงงาน ขอขอบพระคุณเพื่อนนิสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยเหลือ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่สนับสนุนส่งเสริมในเรื่องการศึกษา

นายชิติพัทท์ จุลลา
นายพรพงษ์ สมถะธัญกรณ์
นายวันรุ่ง ทรงปัญญาวุฒิ
นายสรอรรจน์ นิ่มงามศรี
มีนาคม 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.4 ขอบเขตการศึกษา 3

1.5 ตารางการทำงานและจัดทำโครงงาน 4

1.6 งบประมาณในการทำโครงงาน 5

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 6

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต 6

2.1.1 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 7

2.1.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น 7

2.1.3 ปฏิกิริยาปอซโซลานิค 9

2.1.4 การบ่ม 9

2.1.5 อายุของคอนกรีต 11

2.2 วัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตกำลังอัดสูง 12

2.2.1 ซิลิก้าฟูม 12

2.2.2 มวลรวมหยาบ 13

2.2.3 มวลรวมละเอียด 14

2.3 การประยุกต์ใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง 15

2.4 ข้อมูลจากการแข่งขันคอนกรีตพลังช้างครั้งที่ 13 ประจำปี 2555
ประเภทกำลังอัดสูงตามเป้าหมาย 16

บทที่ 3 การดำเนินงานและการทดสอบ 21

3.1 วัสดุ 21

3.1.1 ปูนซีเมนต์ 21

3.1.2 ซิลิก้าฟูม 23

3.1.3 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) 24

3.1.4 สารลดน้ำชนิดพิเศษ 25

3.1.5 น้ำ 26

3.1.6 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) 28

3.1.7 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) 29

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย 34

3.2.1 การทดสอบในซีเมนต์มอร์ต้า 36

3.2.2 การทดสอบในคอนกรีต 41

3.2.3 การเทเข้าแบบหล่อคอนกรีต.....47

3.2.4 การบ่มคอนกรีต.....49

3.2.5 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต.....51

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....52

4.1 การทดสอบในซีเมนต์มอร์ต้า.....52

4.1.1 ผลชนิดของทรายต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า.....52

4.1.2 ผลของปริมาณซิลิก้าฟูมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า.....54

4.1.3 ผลของปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ต่อกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้า.....56

4.1.4 ผลของอุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า.....58

4.1.5 ผลของปริมาณซิลิก้าฟูมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 80^0c ในการผสม.....60

4.2 การทดสอบในคอนกรีต.....62

4.2.1 ผลของอุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมต่อกำลังอัดคอนกรีต.....62

4.2.2 ผลค่าการไหลแผ่ในคอนกรีต.....64

4.2.3 ผลชนิดและขนาดของหินต่อกำลังอัดของคอนกรีต.....66

4.2.4 ผลทดสอบปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ต่อกำลังอัดคอนกรีต.....68

4.2.5 ผลของการบ่มลักษณะต่างๆต่อกำลังอัดของคอนกรีต.....70

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....73

5.1 สรุปผลการทดลอง.....73

5.1.1 น้ำ.....73

5.1.2 มวลรวมละเอียด.....73

5.1.3 มวลรวมหยาบ 74

5.1.4 ซิลิก้าฟูม 74

5.1.5 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) 74

5.1.6 การบ่มคอนกรีต.....75

5.2 ข้อเสนอแนะ 75

เอกสารอ้างอิง.....76

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 แสดงขอบเขตการศึกษาคุณสมบัติและปัจจัยของปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต 3

ตารางที่ 2-1 การพัฒนาของคอนกรีตกำลังอัดสูง (ACI 363R-92).....6

ตารางที่ 2-2 อัตราการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตกำลังอัดสูง 11

ตารางที่ 2-3 สรุปปฏิภาคส่วนผสมของผู้เข้าร่วมการแข่งขัน 16

ตารางที่ 3-1 องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1.....22

ตารางที่ 3-2 องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภายของซิลิก้าฟูม 23

ตารางที่ 3-3 ปริมาณสารประกอบทางเคมีที่เจือปนในน้ำมากที่สุดที่ยอมให้สำหรับผสมคอนกรีต 27

ตารางที่ 3-4 องค์ประกอบทางเคมีของหินบะซอลต์ 29

ตารางที่ 3-5 องค์ประกอบทางเคมีของหินแกรนิต.....31

ตารางที่ 3-6 ตารางแสดงการทดสอบทั้งหมด 34

ตารางที่ 3-7 อัตราส่วนผสมของการทดสอบในซีเมนต์มอร์ต้า.....36

ตารางที่ 3-8 อัตราส่วนผสมของการทดสอบในคอนกรีต 41

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2-1 พิธีการเปิดการแข่งขัน.....19

รูปที่ 2-2 การเตรียมปูนซีเมนต์.....19

รูปที่ 2-3 บรรยากาศก่อนการแข่งขัน.....19

รูปที่ 2-4 การตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในการแข่งขัน.....19

รูปที่ 2-5 เครื่องผสมคอนกรีตแนวราบ.....19

รูปที่ 2-6 การเข้าแบบหล่อคอนกรีต.....19

รูปที่ 2-7 แบบหล่อคอนกรีต.....20

รูปที่ 2-8 แม่แรงไฮดรอลิคใช้ในการเข้าแบบหล่อ.....20

รูปที่ 2-9 การใช้กระจกปิดหน้าคอนกรีต.....20

รูปที่ 2-10 การเข้าแบบหล่อด้วยแม่แรงไฮดรอลิค.....20

รูปที่ 2-11 แม่แรงไฮดรอลิค.....20

รูปที่ 2-12 หม้อบ่มแรงดัน.....20

รูปที่ 3-1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาประเภท 1 (Ordinary Portland Cement type I).....21

รูปที่ 3-2 ร่อนปูนผ่านตะแกรงเบอร์ 100.....22

รูปที่ 3-3 ซิลิก้าฟูม 10000D.....24

รูปที่ 3-4 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$).....24

รูปที่ 3-5 เม็ดแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$).....25

รูปที่ 3-6 สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizers).....25

รูปที่ 3-7 ทรายแม่น้ำ.....28

รูปที่ 3-8 หินบะซอลต์ขนาดค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4# 30

รูปที่ 3-9 หินบะซอลต์ขนาด 3/8" 30

รูปที่ 3-10 หินบะซอลต์ขนาด 1/2" 30

รูปที่ 3-11 หินแกรนิตขนาดค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4# 32

รูปที่ 3-12 หินแกรนิตขนาด 3/8" 32

รูปที่ 3-13 หินแกรนิตขนาด 3/4" 32

รูปที่ 3-14 เศษหินบะซอลต์ 33

รูปที่ 3-15 กรอบการทำงานทั้งหมด 35

รูปที่ 3-16 เทปูนลงในเครื่องผสม 39

รูปที่ 3-17 ถ้ามีการเติมสารผสมเพิ่มให้ผสมพร้อมน้ำ 39

รูปที่ 3-18 เติมทรายลงไปผสม 39

รูปที่ 3-19 ลงแบบโดยใช้โต๊ะเขย่า 40

รูปที่ 3-20 ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่าง 40

รูปที่ 3-21 แท่นกดเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compaction Strength) 41

รูปที่ 3-22 ทำการคลุกหินเข้ากับซิลิกาฟูม 44

รูปที่ 3-23 เทปูนซีเมนต์ที่คลุกกับซิลิก้าฟูมลงผสมกับทราย 45

รูปที่ 3-24 เมื่อครบเวลา 3 นาที เทปูนซีเมนต์ผสมลงไป 45

รูปที่ 3-25 เมื่อครบ 5 นาที ทำการใส่น้ำที่ผสมสารลดน้ำชนิดพิเศษ 46

รูปที่ 3-26 เทคอนกรีตลงในกรวยเพื่อเช็คค่าการไหลแผ่คอนกรีต 46

รูปที่ 3-27 การวัดค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต 46

รูปที่ 3-28 การเข้าแบบคอนกรีตโดยการแบ่งเป็นชั้น 47

รูปที่ 3-29 ทำการตำเพื่อให้หินกระจายทั่วคอนกรีตและลดช่องว่างในเนื้อคอนกรีต 47

รูปที่ 3-30 นำกระจกปิดเพื่อแต่งหน้าคอนกรีต 48

รูปที่ 3-31 ก้อนคอนกรีตขนาด10*10*10 เซนติเมตร 48

รูปที่ 3-32 หม้อบ่มแรงดัน (Autoclave) 49

รูปที่ 3-33 แสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการบ่มด้วยหม้อบ่มแรงดัน.....50

รูปที่ 3-34 กดก้อนคอนกรีตด้วยเครื่องกดและก้อนตัวอย่างคอนกรีตเกิดการวิบัติ.....51

รูปที่ 4-1 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าระหว่างการใช้ทรายแม่น้ำ
และทรายเศษหินบะซอลต์เป็นมวลรวมละเอียด.....53

รูปที่ 4-2 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณซิลิก้าฟูม
แทนที่ปูนซีเมนต์ในปฏิภาคส่วนผสม 55

รูปที่ 4-3 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณ $CaCl_2$
ต่อปริมาณน้ำในปฏิภาคส่วนผสม 57

รูปที่ 4-4 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้น้ำอุณหภูมิต่างๆ ในการผสม.....59

รูปที่ 4-5 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณซิลิก้าฟูม
แทนที่ปูนซีเมนต์โดยใช้น้ำอุณหภูมิ 80^0c ในการผสม.....61

รูปที่ 4-6 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 30^0c, 40^0c และ50^0c
ในการผสม 63

รูปที่ 4-7 แสดงผลค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต 65

รูปที่ 4-8 แสดงค่ากำลังอัดคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.25, 0.28, 0.30 และ 0.33 65

รูปที่ 4-9 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่มีหินแกรนิตและหินบะซอลต์ ที่ขนาดต่างๆ 67

รูปที่ 4-10 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตระหว่างคอนกรีตที่มีปริมาณ $CaCl_2$ เทียบกับ
ปริมาณน้ำในปฏิภาคส่วนผสม 69

รูปที่ 4-11 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่มีการบ่มแต่ละประเภท.....71

รูปที่ 4-12 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตระหว่างการบ่มด้วยหม้อบ่มแรงดันและการบ่มด้วยน้ำอุณหภูมิห้องที่อายุ 7 วัน 72

บทที่ 1

บทนำ

คอนกรีตกำลังอัดสูงเริ่มเข้ามามีบทบาทในวงการก่อสร้างของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 เป็นต้นมา คอนกรีตกำลังอัดสูงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่สำหรับวิศวกรไทย แต่ในต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศแถบยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น มีการศึกษาคอนกรีตกำลังอัดสูงมานานและต่อเนื่อง

1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องด้านคอนกรีตเทคโนโลยีและการจัดการแข่งขันด้านคอนกรีตเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องในระดับอุดมศึกษา ทำให้เกิดแรงกระตุ้นต่อการนำวัสดุก่อสร้างที่เรียกว่าคอนกรีตกำลังอัดสูงเข้ามาใช้ในวงการก่อสร้างแพร่หลายขึ้น

คอนกรีตกำลังอัดสูงประกอบด้วยวัสดุหลากหลายชนิด อาทิ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวม น้ำและสารลดปริมาณน้ำหรือสารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer)นอกจากนี้ยังนิยมผสมสารเคมีหรือวัสดุปอซโซลาน เช่น ซิลิกาฟูมเพื่อทำปฏิกริยาปอซโซลานิคและเพิ่มกำลังอัดประลัยของคอนกรีตให้สูงขึ้น

การออกแบบและพัฒนาคอนกรีตกำลังอัดสูงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น กำลังอัดที่ต้องการ อายุที่ระบุในการทดสอบ ความสามารถในการทำงาน เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการเลือกปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตกำลังอัดสูงที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจ ในการเลือกใช้วัสดุต่างๆมาประกอบการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตกำลังอัดสูง ในโครงงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังอัดและการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตกำลังอัดสูง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังอัดและการพัฒนากำลังของคอนกรีตกำลังอัดสูงคอนกรีตที่อายุ 24 ชั่วโมง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตกำลังอัดสูงที่ใช้กำลังรับแรงอัดได้ดีที่สุดในสภาวะที่สามารถนำไปใช้งานได้

1.3.2 สามารถนำข้อมูลหรือผลการทดลองไปใช้เป็นแนวทางปรับปรุง แก้ไขปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตกำลังอัดสูง

1.3.3 เพิ่มพูนทักษะในการใช้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาคุณสมบัติและปัจจัยของปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตที่ส่งผลต่อกำลังอัดและการพัฒนากำลังอัด ในช่วงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1-1 แสดงขอบเขตการศึกษาคุณสมบัติและปัจจัยของปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

ปัจจัยหรือคุณสมบัติที่ทำการศึกษา	ขอบเขตการศึกษา
อุณหภูมิของน้ำ	อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการผสมในช่วงอุณหภูมิห้อง-100^{0}c
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในช่วง 0.25-0.33
มวลรวมละเอียด	ทรายแม่น้ำและการแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษหินบะซอลต์
มวลรวมหยาบ	หินแกรนิตและหินบะซอลต์
ซิลิก้าฟูม	การแทนที่ปูนซีเมนต์ในช่วงร้อยละ 0-45
$CaCl_2$	ปริมาณ $CaCl_2$ต่อปริมาณน้ำในช่วงร้อยละ 0-3.5
การบ่ม	การบ่มพลาสติก บ่มน้ำที่อุณหภูมิห้อง บ่มหม้อบ่มแรงดัน
กำลังอัด	กำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง
ค่าการไหลแผ่	มากกว่า 50 เซนติเมตร

1.5 ตารางการทำงานและจัดทำโครงงาน

ลำดับที่	กิจกรรม	ระยะเวลา			
		1 พ.ย.-30 พ.ย.2555	1 ธ.ค.-31 ธ.ค.2555	1 ม.ค.-31 ม.ค.2556	1 ก.พ.-31 มี.ค.2556.
1	จัดเตรียมอุปกรณ์ วัสดุ สถานที่ ที่ใช้ในการวิจัย				
2	ทำการทดลองตามขอบเขตการศึกษา				
3	วิเคราะห์ผลการทดลองและปัญหาที่เกิดขึ้น				
4	แก้ไขปัญหาเขียนโครงงาน				
5	นำเสนอโครงงาน				

1.6 งบประมาณในการทำโครงงาน

- ซื้อวัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ	2500 บาท
- ทำรูปเล่มโครงงาน	1000 บาท
- ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	500 บาท
รวมค่าใช้จ่าย	4000 บาท (สี่พันบาทถ้วน)

หมายเหตุ ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

การศึกษาโครงงานนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังอัดและการพัฒนากำลังอัด เพื่อ การหาปฏิภาคส่วนผสมของวัตถุดิบในการทำคอนกรีตกำลังอัดสูง ดังนั้นในบทนี้จึงมีการอธิบายทั้งในส่วนของกลไกต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังอัดและการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต ที่มาและคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุต่างๆที่ใช้ในการศึกษาโครงงานครั้งนี้

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

คอนกรีตกำลังอัดสูง คำนิยามของคอนกรีตกำลังอัดสูงจะแตกต่างกันไปตามในแต่ละเวลาและความก้าวหน้าทางด้านคอนกรีตเทคโนโลยี ซึ่งสามารถแบ่งได้ ดังตารางที่ 2-1 คอนกรีตกำลังอัดสูงนอกจากจะมีกำลังอัดที่สูงแล้ว ยังมีคุณสมบัติด้านการรับแรงดึง การรับแรงเฉือน และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูง [1]

ตารางที่ 2-1 การพัฒนาของคอนกรีตกำลังอัดสูง (ACI 363R-92)

ปี	กำลังอัดประลัยของคอนกรีตกำลังอัดสูงทรงกระบอกมาตรฐาน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
พ.ศ. 2493	สูงกว่า 340
พ.ศ. 2403	410-520

ปี	กำลังอัดประลัยของคอนกรีตกำลังอัดสูงทรงกระบอกมาตรฐาน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
พ.ศ. 2413	620
ปัจจุบัน	สูงกว่า 1100

2.1.1 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ทั่วไปแล้วกำลังของคอนกรีตที่อายุเท่ากัน ผ่านการบ่มประเภทเดียวกัน กำลังอัดจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน โดยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวม ขนาดคละ ผิวของมวลรวม รูปร่าง ความแข็งและกำลังของมวลรวมหยาบมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตไม่มากเท่ากับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานของคอนกรีต โดยถ้าใช้น้ำผสมคอนกรีตน้อย กำลังอัดของคอนกรีตก็จะสูง การที่กำลังของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุนั้น เป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับซีเมนต์ ดังนั้นอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่พอเหมาะจึงมีความจำเป็นอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต [1]

2.1.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำ ทำให้เกิดความร้อน การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นขึ้นอยู่กับสารประกอบในปูนซีเมนต์

โดยสารประกอบเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำและมีอิทธิพลต่อกันและกัน นอกจากนี้ปฏิกิริยาดังกล่าวยังเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ทั้งในสภาพพลาสติกและสภาพแข็งตัวแล้ว

ผลผลิตของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นประกอบด้วย แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต(CSH) แคลเซียมไฮดรอกไซด์(CH) และเอททริงไกต์เป็นหลัก อธิบายพอสังเขปได้ดังนี้

แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต(CSH) มีปริมาณมากที่สุด(ร้อยละ 50-70 โดยปริมาณ)ในส่วนประกอบของซีเมนต์เพสต์ จึงมีความสำคัญต่อการรับกำลังอัดมากที่สุด แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต(CSH) เป็นผลผลิตที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไตรแคลเซียมซิลิเกต(C_3S) และไดรแคลเซียมซิลิเกต(C_2S) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ กับน้ำ ปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดความร้อนและเกิดขึ้นทันที จนถึงจุดสูงสุดเมื่ออายุได้ 4-6 ชั่วโมง และจุดนี้ซีเมนต์เพสต์จะเริ่มแข็งตัวและสามารถรับกำลังอัดเพิ่มขึ้นตามอายุ หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นน้อยแต่ยังคงเกิดต่อไป [1]

แคลเซียมไฮดรอกไซด์(CH) เป็นผลผลิตที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไตรแคลเซียมซิลิเกต(C_3S) และไดรแคลเซียมซิลิเกต(C_2S) กับน้ำ เช่นเดียวกับแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต(CSH) แคลเซียมไฮดรอกไซด์(CH) มีปริมาณร้อยละ 20-25 โดยปริมาณ และเป็นสารประกอบที่ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความคงทนลดลงเนื่องจากเป็นสารที่ละลายได้ นอกจากนี้การให้กำลังอัดของแคลเซียมไฮดรอกไซด์(CH) ยังค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต(CSH) [1]

เอททริงไกต์ เป็นผลผลิตที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไตรแคลเซียมอลูมิเนต(C_3A)ซึ่งเป็นสารประกอบของปูนซีเมนต์กับยิปซัม(การใส่ยิปซัมเพื่อหน่วงปฏิกิริยาระหว่างไตรแคลเซียมอลูมิเนตกับน้ำ) เอททริงไกต์มีปริมาณร้อยละ 10-15 โดยเอททริงไกต์จะเกิดขึ้นทันทีเมื่อปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ มีลักษณะเป็นเข็มยาวเกิดขึ้นรอบเม็ดปูน ถ้าเกิดเอททริงไกต์เมื่อซีเมนต์เพสต์แข็งตัวแล้วจะทำให้เกิดแรงดันและทำให้ซีเมนต์เพสต์ขยายตัวและแตกร้าวได้ [1]

2.1.3 ปฏิกิริยาปอซโซลานิค

วัสดุปอซโซลาน คือวัสดุที่มีซิลิก้าหรือซิลิก้าและอลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก(ASTM C618) ปฏิกิริยาปอซโซลานิคคือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุปอซโซลานที่มีน้ำหรือความชื้นเพียงพอกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์(CH) ที่อุณหภูมิปกติ จะทำให้เกิดสารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน ปฏิกิริยาปอซโซลานิคจะคล้ายกับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์แต่อัตราการเกิดจะช้ากว่า จึงจำเป็นต้องใช้การบ่มเพื่อเร่งปฏิกิริยาเมื่อต้องการกำลังอัดที่อายุของคอนกรีตน้อย [1]

2.1.4 การบ่ม

คอนกรีตกำลังอัดสูงต้องการน้ำสำหรับทำปฏิกิริยาไฮเดรชั้น ดังนั้นจึงต้องมีการบ่มคอนกรีตเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั้นและการพัฒนากำลังของคอนกรีตเกิดขึ้นอย่างเต็มที่และต่อเนื่อง ซึ่งในโครงงานนี้ผู้ทดลองได้ใช้การบ่มทั้งหมด 3 วิธี ดังนี้

2.1.4.1 การบ่มด้วยไอน้ำที่มีความกดดันสูง

เป็นการบ่มโดยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นโดยอาศัยความดันเข้าช่วย การบ่มคอนกรีตจะกระทำในภาชนะที่ปิดสนิท คือหม้อบ่มแรงดัน(Autoclave) อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วง120-130 องศาเซลเซียส ที่ความดัน1–2 atm นาน 12-18 ชั่วโมง

สารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีภายใต้สภาวะดังกล่าว ส่งผลให้มีคุณสมบัติต่างจากสารประกอบที่เกิดขึ้นในอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส และมีผลดีที่สำคัญ คือสามารถใช้คอนกรีตได้ภายใน 24 ชั่วโมงเพราะคอนกรีตมีกำลังทัดเทียมการบ่มเป็นเวลา 28 วัน มีการหดตัวและการล้าลดลงมาก ทนซัลเฟตได้ดีขึ้น มีความชื้นหลังการบ่มต่ำ [1]

2.1.4.2 การบ่มด้วยการใช้แผ่นพลาสติกคลุม

เป็นการป้องกันการสูญเสียความชื้นของคอนกรีต ด้วยการวางแผ่นพลาสติกคลุมบนผิวคอนกรีตสดเพื่อป้องกันความชื้นหนีออกไป การวางแผ่นพลาสติกคลุมจะทำให้ความชื้นภายใต้แผ่นพลาสติกควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ [1]

2.1.4.3 การบ่มด้วยการแช่น้ำ

การบ่มด้วยการแช่น้ำเป็นการปมเปียก เนื่องจากผิวหน้าของคอนกรีตที่สัมผัสกับอากาศจะสูญเสียความชื้นได้ง่าย การบ่มด้วยการแช่น้ำจะทำทันที่หลังจากแข็งตัวหรือหลังจากถอดแบบหล่อโดยการนำคอนกรีตไปแช่ในน้ำให้จมทั้งก้อน

2.1.5 อายุของคอนกรีต

คอนกรีตจะพัฒนากำลังเพิ่มขึ้นตามปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อมีน้ำหรือความชื้นเพียงพอ กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างมากในระยะแรกภายหลังจากการแข็งตัว แต่หลังจากอายุ 28 วัน กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งเป็นคอนกรีตที่มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 67.1 เมกะปาสกาล และปรับให้กำลังอัดที่อายุ 90 วัน เท่ากับร้อยละ100 สังเกตได้ว่าในช่วงอายุ 28 วันแรก กำลังอัดพัฒนาสูงขึ้นมากและมีอัตราลดลงเมื่ออายุเกิน 28 วัน [1]

ตารางที่ 2-2 อัตราการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตกำลังอัดสูง [3]

อายุ (วัน)	คอนกรีตกำลังอัดสูง	
	เมกะปาสกาล	ร้อยละ
1	44.2	61.0
3	52.8	72.9
7	62.4	86.2
14	65.6	90.6
28	67.1	92.7
60	71.9	99.3
90	72.4	100.0

2.2 วัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตกำลังอัดสูง

2.2.1 ซิลิก้าฟูม

ซิลิก้าฟูม (Silica Fume) ในงานคอนกรีตเป็นการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ช่วยทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นมากขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตมีความทนทานสูง ทั้งยังลดการเยิ้มและการแยกตัวของคอนกรีตสด ซิลิก้าเป็นวัสดุผสมเพิ่มชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตซิลิกอนเมททัลและเฟอร์โรซิลิกอนอัลลอยด์เป็นกระบวนการรีดักชันจากควอร์ตที่บริสุทธิ์ไปเป็นซิลิกอน ซิลิก้าฟูมสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากมีความละเอียดสูง [2]

2.2.1.1 ผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

ปัจจุบันซิลิก้าฟูมนิยมใช้ในงานคอนกรีตกำลังอัดสูง และเพื่อเพิ่มความทนทานของคอนกรีต โดยการใช้ร่วมกับสารเคมีผสมเพิ่มชนิดสารลดน้ำพิเศษ(Superplasticizer) ซึ่งนอกจากจะทำให้คอนกรีตมีค่ากำลังอัดที่สูงแล้ว ค่าการซึมน้ำผ่านที่ต่ำมากด้วย เพราะซิลิก้าฟูมจะเข้าไปอุดโพรงของซีเมนต์เพสต์ การใช้ซิลิก้าฟูมในปริมาณที่เหมาะสมแทนที่ปูนซีเมนต์ในคอนกรีต จะมีประสิทธิภาพในการรับกำลังอัดที่อายุมากกว่า 28 วันมากกว่าคอนกรีตที่ไม่มีซิลิก้าฟูมเป็นส่วนผสม [2]

2.2.1.2 ผลกระทบของซิลิก้าฟูมต่อความสามารถในการเทและการเยิ้มน้ำ

เนื่องจากซิลิก้าฟูมมีความละเอียดสูงมาก ดังนั้นเมื่อใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำที่มากขึ้น

ซึ่งแนวทางแก้ไขในปัญหานี้คือการใช้สารลดน้ำหรือสารลดน้ำพิเศษ(Superplasticizer) เข้าช่วยเพื่อไม่ให้ปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตสูงจนเกินไปเพราะจะทำให้คอนกรีตมีกำลังต่ำลง ตามกฎของอับรา (Abram's Law) ส่วนการเยิ้มน้ำในคอนกรีตที่มีซิลิก้าฟูมพบว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา [2]

2.2.2 มวลรวมหยาบ

คุณสมบัติของมวลรวมหยาบต้องมีความคงทนต่อการขัดสี ความแกร่งสูง ทนแรงกดอัดได้มาก ทนสารเคมีสูง ปริมาณขนาดคละภายหลังการย่อยบดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ความซึมน้ำต่ำ ไม่ทำปฏิริยากับสารเคมีง่าย เป็นต้น โดยเราใช้หินเป็นมวลรวมหยาบในการทดสอบ หินที่ใช้ทำคอนกรีตกำลังอัดสูงควรเป็นหินขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1/2 นิ้ว หรือขนาด 3/8 นิ้ว เพราะการใช้หินขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวของหินมากขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหินกับซีเมนต์เพสต์ นอกจากนี้หินที่มีขนาดเล็กกว่าสามารถกระจายแรงให้แก่หินก้อนอื่นๆ ได้สม่ำเสมอกว่าการใช้หินก้อนใหญ่ [1] โดยการทดสอบใช้หินดังต่อไปนี้

หินบะซอลต์ เป็นหินที่มีความแข็งแรงสูงจึงนำมาผสมในคอนกรีตเพื่อเพิ่มกำลังอัดให้มากกว่าหินปูน แต่หินบะซอลต์อาจมีแร่เหล็กปะปนอยู่บ้างและยังมีรูพรุนในเนื้อหินการเลือกใช้ควรระมัดระวัง หาแหล่งที่มีคุณภาพหินที่ดี

หินแกรนิต เป็นหินที่มีความแข็งแรงสูงรองจากหินบะซอลต์ สามารถนำมาผสมคอนกรีตเนื่องจากทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงขึ้น

หินจะต้องมีความสามารถรับแรงอัด ได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ซึ่งปกติหินที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่าคอนกรีตมาก คือจะรับแรงอัดได้ 300-3500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของหินที่ใช้ [2]

2.2.3 มวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียดเป็นส่วนผสมที่สำคัญในคอนกรีตกำลังอัดสูง และส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมากกว่ามวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียดที่มีขนาดคละดีจะให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้น ความสะอาดของมวลรวมละเอียดก็เป็นอีกหนึ่งสิ่งสำคัญเพราะจะช่วยทำให้ส่วนผสมคอนกรีตต้องการน้ำต่ำลง [1] มวลรวมละเอียดที่เรานำมาใช้ในการทดสอบมีดังนี้

ทรายแม่น้ำ ทรายแม่น้ำเป็นทรายที่เกิดจากการกัดเซาะของกระแสน้ำแล้วตกตะกอนสะสมกลายเป็นแหล่งทรายอยู่ใต้ท้องน้ำ โดยทรายที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกตะกอนอยู่บริเวณต้นน้ำ ส่วนทรายละเอียดนั้นก็จะถูกกระแสน้ำพัดพามารวมกันบริเวณท้ายน้ำ

เศษหินบะซอลต์ เศษหินบะซอลต์เกิดจากเป็นหินบะซอลต์พุที่พบได้โดยทั่วไป มักพบมีสีเทาถึงสีดำ มีเนื้อละเอียดเนื่องจากเกิดจากการเย็นตัวของลาวาอย่างรวดเร็วบนพื้นผิวโลก อาจพบมีเนื้อสองขนาดที่มีผลึกขนาดโตกว่าอยู่ในพื้นเนื้อละเอียด หรือมีเนื้อเป็นโพรงจ่าย หรือมีเนื้อเป็นตะกรันภูเขาไฟ เศษหินบะซอลต์ที่ใช้ในโครงงานครั้งนี้ทำมาจากการบดหินบะซอลต์หรือการขัดสีให้หินเป็นเม็ดละเอียดมีขนาดเท่ากับทรายแม่น้ำ นำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4# และค้างตะแกรงเบอร์ 100 แล้วล้างน้ำให้สะอาด

2.3 การประยุกต์ใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง

คอนกรีตกำลังอัดสูงมีประโยชน์มากทั้งด้านการออกแบบหรือการก่อสร้าง เช่น สามารถออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างให้เล็กลงโดยกำลังรับเท่าเดิม ทำให้ช่วยเพิ่มพื้นที่ใช้สอยมากขึ้น ทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้างและลดแรงงานก่อสร้างเนื่องจากสามารถถอดแบบหล่อได้เร็ว คอนกรีตกำลังอัดสูงสามารถประยุกต์กับการโครงสร้างต่างๆได้ดังนี้

2.3.1 ในงานอาคารสูง

คอนกรีตกำลังอัดสูงส่วนใหญ่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารสูงและนิยมใช้มากในเสาของอาคารสูง เนื่องจากสามารถลดพื้นที่หน้าตัดของเสาลงทำให้มีพื้นที่ใช้สอยเพิ่มขึ้น นอกจากนี้คอนกรีตกำลังอัดสูงยังใช้ทำเป็นพื้นหรือคานของอาคารด้วย เพื่อลดขนาดของพื้นและคานทำให้น้ำหนักคงที่ลดลง หรือใช้สำหรับคานที่มีช่วงยาวซึ่งไม่สามารถทำได้ในกรณีที่ใช้คอนกรีตทั่วไป [2]

2.3.2 ในงานสะพาน

มีการใช้คอนกรีตกำลังอัดสูงในการทำเป็นคานคอนกรีตอัดแรงของสะพานจำนวนมาก เนื่องจากสามารถลดปริมาณคอนกรีตและน้ำหนักของสะพานลง ทำให้สามารถสร้างสะพานที่มีความยาวได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ทำเป็นตอม่อของสะพานเพราะสามารถลดขนาดและคอนกรีตกำลังอัดสูงมีค่าการซึมผ่านของน้ำต่ำ จึงช่วยลดปัญหาการกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมีได้ดีกว่าคอนกรีตทั่วไป ทำให้ตอม่อสะพานมีอายุการใช้งานนานขึ้น [2]

2.4 ข้อมูลจากการแข่งขันคอนกรีตพลังช้างครั้งที่ 13 ประจำปี 2555 ประเภทกำลังอัดสูงตามเป้าหมาย

จากการไปแข่งขันคอนกรีตพลังช้างครั้งที่ 13 ประจำปี 2555 ประเภทกำลังอัดสูงตามเป้าหมาย ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในครั้งนี้ ทางคณะกรรมการจะให้แต่ละมหาวิทยาลัยทำการจับฉลากค่ากำลังอัดของคอนกรีต โดยค่ากำลังอัดจะอยู่ในช่วง 800 – 1200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร. จากการสำรวจมีผู้เข้าแข่งขันเป็นสถาบันศึกษา 44 สถาบัน และเป็นบริษัท 3 บริษัท

ตารางที่ 2-3 สรุปปฏิภาคส่วนผสมของผู้เข้าร่วมการแข่งขัน

วัสดุปอซโซลาน		
ประเภทวัสดุปอซโซลาน	วัสดุปอซโซลานที่สถาบันทั้งหมดใช้	วัสดุปอซโซลานที่สถาบันอันดับที่ 1-20 ใช้
ไม่ใช้วัสดุปอซโซลาน	12 สถาบัน	4 สถาบัน
เถ้าลอย	2 สถาบัน	-
ซิลิก้าฟูม	26 สถาบัน	15 สถาบัน
ผงหินปูน	1 สถาบัน	1 สถาบัน
ไม่ระบุ	1 สถาบัน	-

มวลรวมหยาบ		
ประเภทมวลรวมหยาบ	มวลรวมหยาบที่สถาบันทั้งหมดใช้	มวลรวมหยาบที่สถาบันอันดับที่ 1-20 ใช้
หินปูน	5 สถาบัน	3 สถาบัน
หินบะซอลต์	3 สถาบัน	3 สถาบัน
หินแกรนิต	8 สถาบัน	4 สถาบัน
ไม่ระบุชนิด	26 สถาบัน	10 สถาบัน

มวลรวมละเอียด		
ประเภทมวลรวมละเอียด	มวลรวมละเอียดที่สถาบันทั้งหมดใช้	มวลรวมละเอียดที่สถาบันอันดับที่ 1-20 ใช้
ทรายแม่น้ำ	11 สถาบัน	9 สถาบัน
ทรายบก	1 สถาบัน	-
ทรายแม่น้ำระบุขนาด	8 สถาบัน	4 สถาบัน
ไม่ระบุชนิด	18 สถาบัน	7 สถาบัน

สารเคมีผสมเพิ่ม		
ประเภทสารเคมีผสมเพิ่ม	สารเคมีผสมเพิ่มที่สถาบันทั้งหมดใช้	สารเคมีผสมเพิ่มที่สถาบันอันดับที่ 1-20 ใช้
สารลดน้ำพิเศษ	20 สถาบัน	14 สถาบัน
สารลดน้ำ	7 สถาบัน	3 สถาบัน
สารเร่งปฏิกริยา	3 สถาบัน	2 สถาบัน
ไม่ระบุชนิด	9 สถาบัน	3 สถาบัน

จากตารางที่ 2.3 สรุปข้อมูลของสถาบันที่เข้าแข่งขันอันดับที่ 1-20 พอสังเขปได้ดังนี้ วัสดุปอซโซลานที่ใช้มากที่สุดคือซิลิก้าฟูม มวลรวมหยาบที่ใช้มากที่สุดคือหินแกรนิต มวลรวมละเอียดที่ใช้มากที่สุดคือทรายแม่น้ำ สารเคมีผสมเพิ่มที่ใช้มากที่สุดคือสารลดน้ำพิเศษ

ภาพบรรยากาศการแข่งขันคอนกรีตพลังช้างครั้งที่ 13 ประจำปี 2555 ประเภทกำลังอัดสูง ตามเป้าหมาย

รูปที่ 2-1 พิธีการเปิดการแข่งขัน

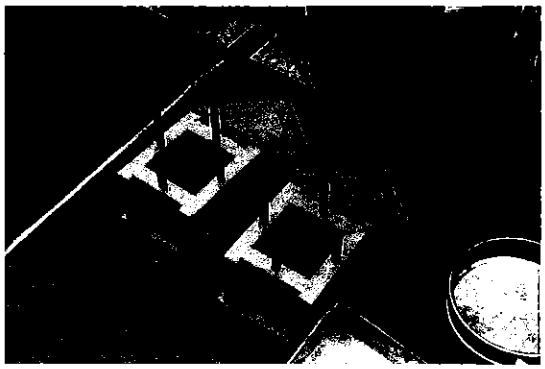
รูปที่ 2-2 การเตรียมปูนซีเมนต์

รูปที่ 2-3 บรรยากาศก่อนการแข่งขัน

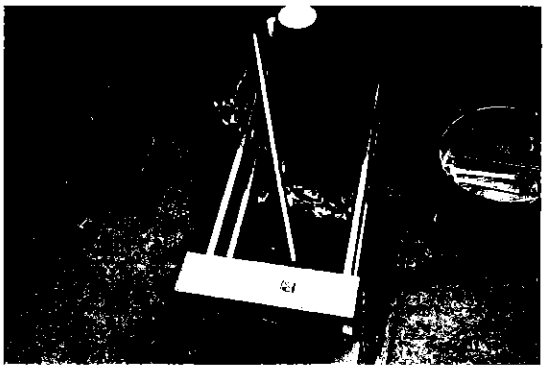
รูปที่ 2-4 การตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในการแข่งขัน

รูปที่ 2-5 เครื่องผสมคอนกรีตแนวราบ

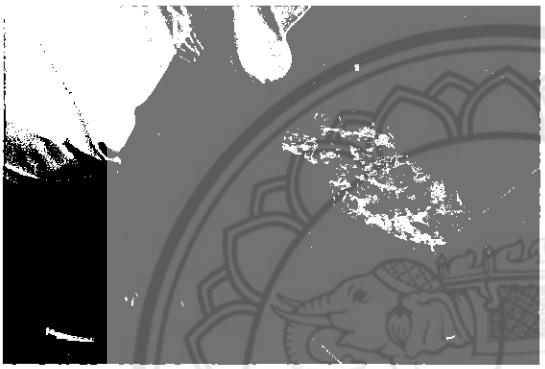
รูปที่ 2-6 การเข้าแบบหล่อคอนกรีต



รูปที่ 2-7 แบบหล่อคอนกรีต



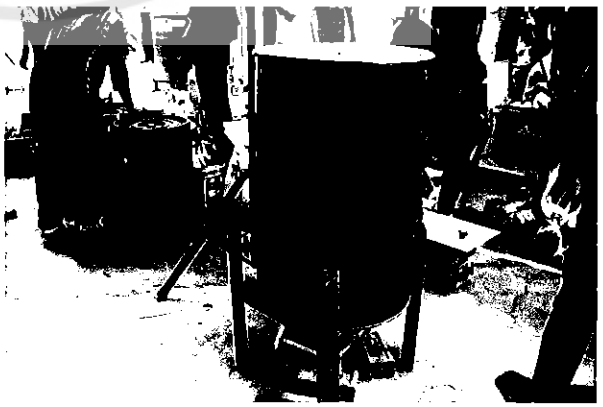
รูปที่ 2-8 แม่แรงไฮดรอลิคใช้ในการเข้าแบบหล่อ



รูปที่ 2-9 การใช้กระจกปิดหน้าคอนกรีต

รูปที่ 2-10 การเข้แบบหล่อด้วยแม่แรงไฮดรอลิค

รูปที่ 2-11 แม่แรงไฮดรอลิค



รูปที่ 2-12 หม้อบ่มแรงดัน

บทที่ 3

การดำเนินงานและการทดสอบ

ในบทที่สามจะกล่าวถึงวัสดุที่ใช้ในการศึกษาและทดสอบ รวมถึงแนวทางการดำเนินงานทั้งหมด ซึ่งจะประกอบด้วยสามส่วนหลัก คือคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทดสอบ การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ และวิธีการทดสอบทั้งหมดของงานวิจัยการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกำลังอัดในคอนกรีตกำลังอัดสูงโดยจะกล่าวต่อไปนี้

3.1 วัสดุ

3.1.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement type I) ดังรูปที่ 3.1 ตราช้างผลิตจากบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จากแหล่งผลิตจังหวัดลำปาง โดยมีการรับรองคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C 150 คุณสมบัติทางเคมี และสมบัติกายภาพประกอบด้วย แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกกา(SiO_2) อะลูมินา(Al_2O_3) และเหล็กออกไซด์(Fe_2O_3) เป็นหลัก ดังตารางที่ 3.1 ก่อนนำไปใช้งาน ทำการร่อนปูนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ดังรูปที่ 3.2 เพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียด เพื่อช่วยเพิ่มความเร็วในการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น)

รูปที่ 3-1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาประเภท 1 (Ordinary Portland Cement type I)

รูปที่ 3-2 ร่อนปูนผ่านตะแกรงเบอร์ 100

ตารางที่ 3-1 องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

(ศุภชัย,2550)

องค์ประกอบทางเคมี	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1
Silicon Dioxide (SiO_2), %	21.45
Aluminum Oxide (Al_2O_3), %	4.64
Ferric Oxide (Fe_2O_3), %	3.05
Calcium Oxide (CaO), %	64.99
Magnesium Oxide (MgO), %	0.88
Sodium Oxide (Na_2O), %	0.09
Potassium Oxide (K_2O), %	0.59
Sulfur Trioxide (SO_3), %	2.47
ค่าความถ่วงจำเพาะ	3.15

3.1.2 ซิลิก้าฟูม

ซิลิก้าฟูมที่นำมาใช้งาน จากบริษัท W.R. Grace ชื่อทางการค้า Force 10000D ดังรูปที่ 3.3 คุณสมบัติทางกายภาพ มีลักษณะสีเทาหรือเทาอมขาวมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.1 องค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยซิลิก้า(SiO_2) เป็นส่วนประกอบหลักประกอบด้วยซิลิก้าไดออกไซด์(SiO_2) มากกว่าร้อยละ90 ความถ่วงจำเพาะ 2.1 ก่อนการนำไปใช้งานทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เพื่อให้ได้ซิลิก้าฟูมขนาดอนุภาคเล็กจะทำให้พัฒนากำลังในช่วงต้นได้เร็ว

ตารางที่ 3-2 องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภายของซิลิก้าฟูม (ศุภชัย,2550)

องค์ประกอบทางเคมี	ซิลิกาฟูม
Silicon Dioxide (SiO_2), %	93.00
Aluminum Oxide (Al_2O_3), %	0.40
Ferric Oxide (Fe_2O_3), %	1.20
Calcium Oxide (CaO), %	0.20
Magnesium Oxide (MgO), %	1.20
Sodium Oxide (Na_2O), %	0.10
Potassium Oxide (K_2O), %	1.10
Sulfur Trioxide (SO_3), %	0.30
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	94.60
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.1

รูปที่ 3-3 ซิลิก้าฟูม 10000D

3.1.3 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

แคลเซียมคลอไรด์ จากบริษัท UNILAB ดังรูปที่ 3.4 มีลักษณะเป็นเม็ดแข็ง สีขาวหรือเทาขาวไม่มีกลิ่น ดังรูปที่ 3.5 ความถ่วงจำเพาะ 2.15 มีความสามารถละลายน้ำได้ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 8-9 การเก็บรักษาควรเก็บในที่ปิดสนิทโดยใส่สารป้องกันความชื้น ใช้งานโดยการผสมแคลเซียมคลอไรด์($CaCl_2$) ที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์($CaCl_2$) ต่อปริมาณน้ำในปฏิภาคส่วนที่ร้อยละ 0-3.5

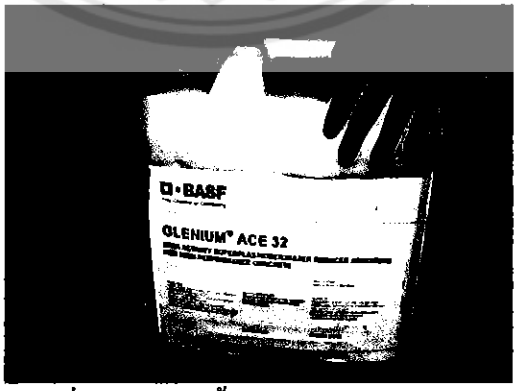
รูปที่ 3-4 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

รูปที่ 3-5 เม็ดแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

3.1.4 สารลดน้ำชนิดพิเศษ

สารลดน้ำพิเศษเหรือ "ซูเปอร์พลาสติไซเซอร์" (Superplasticizers) สามารถใช้ลดน้ำได้มากกว่าสารลดน้ำธรรมดา สารเคมีผสมเพิ่มนี้จะสามารถช่วยลดน้ำที่ใช้ในปฏิภาคผสมในส่วนผสมได้ 15-30% เมื่อเทียบกันที่ความข้นเหลวเดียวกัน ทำให้คอนกรีตกำลังสูงมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำและเพิ่มค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต โดยใช้สารลดน้ำพิเศษจากบริษัท BASF ชื่อทางการค้า Glenium Ace 32 ดังรูปที่ 3.6 ลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวสีเหลืองขุ่นดังรูปที่ 3.7 อยู่ในประเภท F ตามมาตรฐาน ASTM C494



รูปที่ 3-6 สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizers)

รูปที่ 3.1 มีลักษณะสีเหลืองขุ่น

3.1.5 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของคอนกรีต โดยแบ่งการใช้ออกเป็น 2ส่วน คือ 1.น้ำใช้ในการผสมคอนกรีต 2.น้ำบ่มคอนกรีต

1.น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตนั้น เป็นน้ำประปาส่งจากโรงผลิตของมหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบน้ำสำหรับผสมคอนกรีต ควรไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสและสามารถดื่มได้ หรือไม่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงและความคงทนของคอนกรีต สำหรับการทดสอบเลือกใช้น้ำผสมคอนกรีตที่อุณหภูมิ 25-100^{0}c

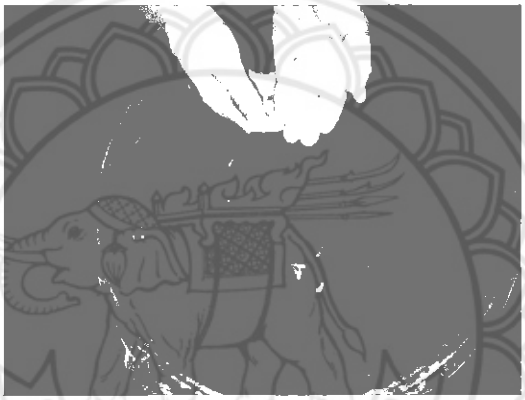
2.น้ำสำหรับการบ่มก้อนตัวอย่างคอนกรีต ใช้น้ำสะอาด ตามมาตรฐานโรงผลิตน้ำประปา มีสภาพไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสเช่นเดียวกับน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

ตารางที่ 3-3 ปริมาณสารประกอบทางเคมีที่เจือปนในน้ำมากที่สุดที่ยอมให้สำหรับผสมคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C 1602

ชนิดของสารประกอบทางเคมี	ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้ (ppm)	วิธีการทดสอบ
คลอไรด์ (ในรูปของ) Cl.		
1) สำหรับคอนกรีตอัดแรงหรือพื้นสะพาน	500	ASTM C 114
2) สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดอื่นที่สัมผัสกับความชื้นหรือมีอลูมิเนียมหรือโลหะอื่นฝังอยู่	1000	ASTM C 114
ซัลเฟต (ในรูปของ SO_4)	3,000	ASTM C 114
ด่าง (ในรูปของ$Na_2O + 0.658K_2O$)	600	ASTM C 114
ปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยมวล (Total Solids)	50,000	ASTM C 114

3.1.6 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

มวลรวมละเอียดใช้เป็นทรายแม่น้ำ โดยทรายแม่น้ำมาจากอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กละเอียด สีน้ำตาลขุ่น ค่าโมดูลัสความละเอียด 2.513 มีค่าสารอินทรีย์เจือปนไม่เกินมาตรฐาน ASTM C87 ก่อนนำมาใช้งานทำการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4# ล้างให้สะอาด จากนั้นนำไปผึ่งแดดจนแห้งสนิทแล้วทำการเก็บไว้ในถังปิดสนิท ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3-7 ทรายแม่น้ำ

3.1.7 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)

มวลรวมหยาบหรือหินที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร(ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4#) หรือ มอก.566 มวลรวมหยาบที่ใช้ในการศึกษาและทดสอบ เลือกใช้ทั้งหมด 2 ชนิด คือ หินบะซอลต์และหินแกรนิต มวลรวมหยาบทั้งสองชนิดมีส่วนประกอบหลักคือซิลิก้าออกไซด์ (SiO_2) หรือควอรตซ์ โดยต้องทำการร่อนเพื่อเลือกใช้ทั้งหมด3 ขนาดได้แก่ 1/2" , 3/8" และค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4# รายละเอียดจะกล่าวดังต่อไปนี้

3.1.7.1 หินบะซอลต์

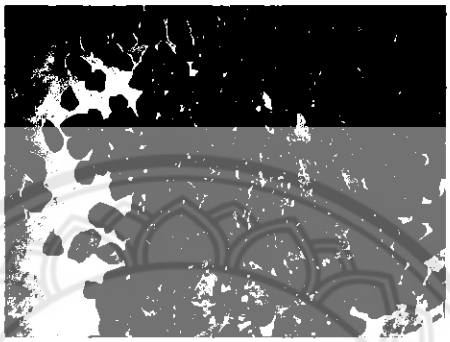
หินบะซอลต์ที่ใช้ในการทดสอบ เลือกใช้จากบริษัทโรงโม่หินนวรัตน์ อ.เมืองบุรีรัมย์ จ.บุรีรัมย์ ลักษณะทั่วไปเนื้อหินมีสีดำหยาบจับแล้วสากมือมาก เนื้อหินแน่นแต่มีรูพรุนและหินผิวขรุขระ ความถ่วงจำเพาะ 2.94 หน่วยน้ำหนัก 1960 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.77 มีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3-4 องค์ประกอบทางเคมีของหินบะซอลต์

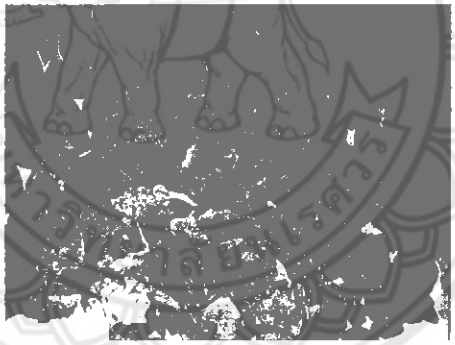
แร่ธาตุ	เปอร์เซ็นร้อยละ
ซิลิก้าไดออกไซด์ (SiO_2)	45 - 55
อัลคาไล	2 – 6
ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2)	0.5 - 2.0
เหล็กออกไซด์ (FeO)	5 – 14
อะลูมินา (Al_2O_3)	14
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	10
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	5 – 12

(อ้างอิง http://www.kanok.co.th/substance_detail.php?id=3)

ขนาดของหินที่เลือกใช้ประกอบด้วย ขนาดค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4# ดังรูปที่ 3.8 ขนาด 3/8" ดังรูปที่ 3.9 และขนาด 1/2",ดังรูปที่ 3.10 ตามลำดับ เตรียมหินก่อนนำมาใช้งานด้วยการล้างน้ำสะอาด จากนั้นทำการอบที่อุณหภูมิ 100^{0}c เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บรักษาในถังพลาสติกปิดสนิทเพื่อรอการใช้งานต่อไป



รูปที่ 3-8 หินบะซอลต์ขนาดค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4#



รูปที่ 3-9 หินบะซอลต์ขนาด 3/8"

รูปที่ 3-10 หินบะซอลต์ขนาด 1/2"

3.1.7.2 หินแกรนิต

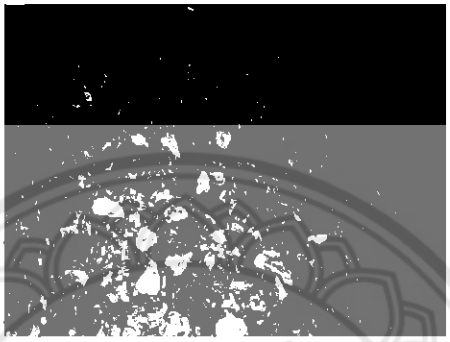
หินแกรนิตที่ใช้ในการทดสอบ เลือกใช้จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ต.ไม้งาม อ.เมือง จ.ตาก ลักษณะทั่วไปของหินแกรนิตเป็นหินอัคนีแทรกซ้อน สีขาวเทาเขียวจาง มีเนื้อหินปานกลางถึงเนื้อหยาบ ความถ่วงจำเพาะ 2.21 หน่วยน้ำหนัก 2643 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.5 มีองค์ประกอบทางเคมีดัง ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3-5 องค์ประกอบทางเคมีของหินแกรนิต

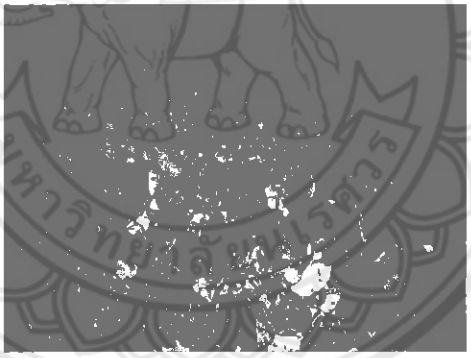
แร่ธาตุ	เปอร์เซ็นร้อยละ
SiO_2	72.04
Al_2O_3	14.42
K_2O	4.12
Na_2O	3.69
CaO	1.82
FeO	1.68
Fe_2O_3	1.22
MgO	0.71
TiO_2	0.30
P_2O_5	0.12

(อ้างอิงhttp://vamonchai.com/index.php?module=Content&file=view&id=4)

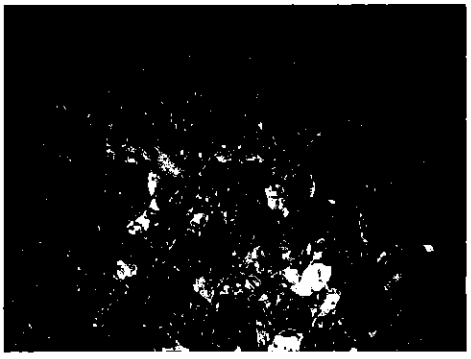
ขนาดของหินที่เลือกใช้ประกอบด้วยขนาดค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4# ดังรูปที่ 3.11 ขนาด 3/8" ดังรูปที่ 3.12 และขนาด 1/2",ดังรูปที่ 3.13 ตามลำดับ เตรียมหินก่อนนำมาใช้งานด้วยการล้างน้ำสะอาด จากนั้นทำการอบที่อุณหภูมิ 100^{0}c เป็นเวลา 24 ชม. แล้วเก็บรักษาในถังพลาสติกปิดสนิทเพื่อรอการใช้งานต่อไป



รูปที่ 3-11 หินแกรนิตขนาดค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4#



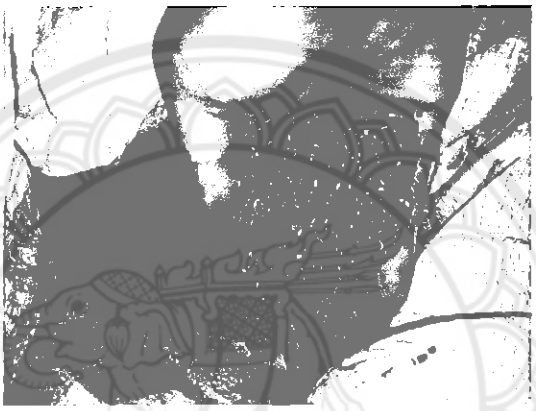
รูปที่ 3-12 หินแกรนิตขนาด 3/8"



รูปที่ 3-13 หินแกรนิตขนาด 3/4"

3.1.7.3 เศษหินบะซอลต์

เศษหินบะซอลต์จากจังหวัดบุรีรัมย์ เกิดจากหินบะซอลต์ที่แตก มีลักษณะสีเทาจนถึงดำ เป็นเกร็ด มีค่าโมดูลัสความละเอียด 4.052 มีค่าสารอินทรีย์เจือปนไม่เกินมาตรฐาน ASTM C87 ก่อนนำมาใช้งานทำการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4# ล้างให้สะอาด จากนั้นนำไปผึ่งแดดจนแห้งสนิทแล้วทำการเก็บไว้ในถังปิดสนิทดังรูปที่ 3.14



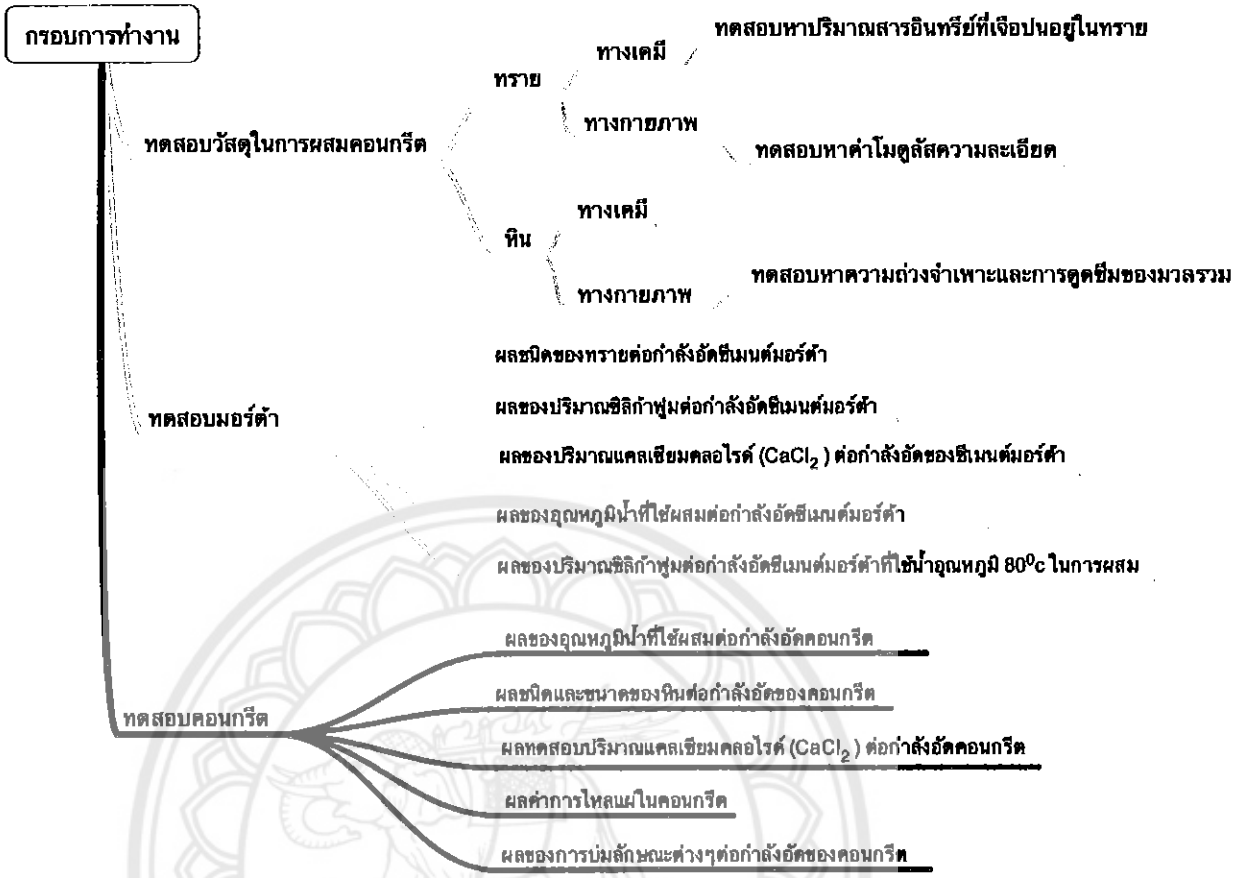
รูปที่ 3-14 เศษหินบะซอลต์

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดสอบปัจจัยที่ศึกษา ทำการทดสอบในซีเมนต์มอร์ต้าและคอนกรีต ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3-6 ตารางแสดงการทดสอบทั้งหมด

การทดสอบ	วัสดุ	ซีเมนต์มอร์ต้า	คอนกรีต
ทดสอบหาค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายแม่น้ำ	✓		
ทดสอบหาค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายบะซอลต์	✓		
ทดสอบหาปริมาณสารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่ในทราย	✓		
ทดสอบผลของอุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมต่อกำลังอัด		✓	✓
ผลทดสอบการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิก้าฟูมต่อกำลังอัด		✓	✓
ผลทดสอบปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ต่อกำลังอัดา		✓	✓
ทดสอบผลชนิดของทรายและการแทนที่ทรายต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า		✓	
ผลทดสอบการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิก้าฟูมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 80^0c ในปฏิภาคส่วนผสม		✓	
ผลชนิดและขนาดของหินต่อกำลังอัดของคอนกรีต			✓
ผลค่าการไหลแผ่ในคอนกรีต			✓
ผลของการบ่มลักษณะต่างๆต่อกำลังอัดของคอนกรีต			✓



รูปที่ 3-15 แสดงกรอบการทำงานทั้งหมด

3.2.1 การทดสอบในซีเมนต์มอร์ต้า

ในการทดสอบเตรียมตัวอย่างทรงลูกบาศก์ตัวอย่าง ขนาด 5*5*5 เซนติเมตร จำนวนอย่างน้อย 3 ก้อนตัวอย่าง เพื่อทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่อายุ 24 ชั่วโมง เป็นไปตามมาตรฐานASTM C305 โดยมีปฏิภาคส่วนผสมดังตารางที่ 3.7 และมีรายละเอียดในการผสมซีเมนต์มอร์ต้าพอสังเขปดังนี้

ตารางที่ 3-7 อัตราส่วนผสมของการทดสอบในซีเมนต์มอร์ต้า

อัตราส่วนวัสดุประสาน : มวลรวมหยาบ :มวลรวมละเอียด คือ 1:1:1

W = อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน Sp =สารลดน้ำพิเศษ

Si = ซิลิกาฟูม T = อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสม

G = หินแกรนิต B = หินบะซอลต์

C = แคลเซียมคลอไรด์

ลำดับที่	ปฏิภาคส่วนผสม	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนซิลิก้าฟูมต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนแคลเซียมคลอไรด์ต่อปริมาณน้ำ	อุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสม (^{0}c)	หมายเหตุ
1	W35T30	0.35	1	0	0	อุณหภูมิห้อง	-
2	W35T40	0.35	1	0	0	40	-
3	W35T50	0.35	1	0	0	50	-
4	W35T60	0.35	1	0	0	60	-
5	W35T70	0.35	1	0	0	70	-
6	W35T80	0.35	1	0	0	80	-
7	W35T90	0.35	1	0	0	90	-
8	W35T100	0.35	1	0	0	100	-
9	W35C0	0.35	1	0	0	อุณหภูมิห้อง	-
10	W35C1.5	0.35	1	0	0.015	อุณหภูมิห้อง	-
11	W35C2	0.35	1	0	0.020	อุณหภูมิห้อง	-
12	W35C2.5	0.35	1	0	0.025	อุณหภูมิห้อง	-
13	W35C3	0.35	1	0	0.030	อุณหภูมิห้อง	-
14	W35C3.5	0.35	1	0	0.035	อุณหภูมิห้อง	-

ลำดับที่	ปฏิภาคส่วนผสม	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนซิลิก้าฟูมต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนแคลเซียมคลอไรด์ต่อปริมาณน้ำ	อุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสม (^{0}c)	หมายเหตุ
15	W50Si0	0.50	1	0	0	อุณหภูมิห้อง	-
16	W50Si25	0.50	0.75	0.25	0	อุณหภูมิห้อง	-
17	W50Si30	0.50	0.70	0.30	0	อุณหภูมิห้อง	-
18	W50Si35	0.50	0.65	0.35	0	อุณหภูมิห้อง	-
19	W50Si40	0.50	0.60	0.40	0	อุณหภูมิห้อง	-
20	W50Si45	0.50	0.55	0.45	0	อุณหภูมิห้อง	-
21	W50Sp2Si20T80	0.50	0.80	0.20	0	80	อัตราส่วนสารลดน้ำพิเศษต่อวัสดุประสาน 0.020
22	W50Sp2Si40T80	0.50	0.60	0.40	0	80	อัตราส่วนสารลดน้ำพิเศษต่อวัสดุประสาน 0.020
23	W35	0.35	1	0	0	อุณหภูมิห้อง	ทรายแม่น้ำ
24	W35	0.35	1	0	0	อุณหภูมิห้อง	เศษหินบะซอลต์

นำปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำสะอาด ถ้าหากต้องใส่สารลดน้ำชนิดพิเศษให้เติมไปพร้อมกับน้ำที่ใช้ในการผสม จากนั้นปั่นเวลา 15 วินาที

รูปที่ 3-16 เทปูนลงในเครื่องผสม

รูปที่ 3-17 ถ้ามีการเติมสารผสมเพิ่มให้ผสมพร้อมน้ำ

หลังจากนั้นเติมทรายลงไปผสมปั่นเป็นเวลา 30 วินาที เพิ่มความเร็วแล้วปั่นจนครบ 1 นาที แล้วหยุดคน ปั่นซีเมนต์เพจต่อจนครบ 3 นาทีโดยใช้ความเร็วสูงสุดของเครื่อง ทำการเทซีเมนต์เพจลงในแบบหล่อซีเมนต์มอร์ต้า ใช้โต๊ะเขย่าในการลงแบบหล่อ แบ่งเทซีเมนต์เพจเป็น3ชั้น สลับกับการเขย่าโดยในการเขย่าแต่ละครั้งใช้เวลา 60 วินาที ดังรูปที่ 3.19

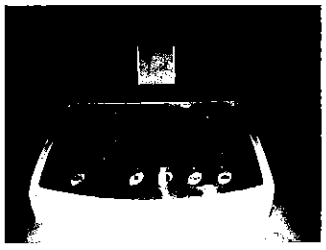
รูปที่ 3-18 เติมทรายลงไปผสม

รูปที่ 3-19 ลงแบบโดยใช้โต๊ะเขย่า

การทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้า ทำการทดสอบที่ตัวอย่างอายุ 24ชั่วโมง โดยก้อนตัวอย่างจะถูกทิ้งไว้ที่อุณหภูมิปกติ ในการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้านั้นจะอ้างอิงมาตราฐาน ASTM C109

มีขั้นตอนการทดสอบต่อดังนี้

ชั่งก้อนตัวอย่างพร้อมจดบันทึกค่าน้ำหนักของก้อนซีเมนต์มอร์ต้า การกดก้อนซีเมนต์มอร์ต้าด้วยเครื่องทดสอบแรงอัด(Compaction Strength) ควบคุมความเร็วของเครื่องกด 25 กิโลนิวตันต่อวินาที ในการทดสอบมีการใช้แท่นกดเพื่อต้องการให้เครื่องกดถ่ายแรงเต็มพื้นที่หน้าตัดของซีเมนต์มอร์ต้าดังรูปที่ 3.21 กดด้วยเครื่องกดกำลังอัดแล้วบันทึกค่า



รูปที่ 3-20 ชั่งน้ำหนักก้อนตัว

รูปที่ 3-21 แท่นกดเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compaction Strength)

3.2.2 การทดสอบในคอนกรีต

ในการทดสอบเตรียมตัวอย่างทรงลูกบาศก์ตัวอย่าง ขนาด 10*10*10 เซนติเมตร จำนวนอย่าง 3 ก้อนตัวอย่างดังรูปที่ 3.31 เพื่อทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 24 ชั่วโมง โดยมีปฏิภาคส่วนผสมดังตารางที่ 3.8 และมีรายละเอียดในการผสมคอนกรีตพอสังเขปดังนี้

ตารางที่ 3-8 อัตราส่วนผสมของการทดสอบในคอนกรีต

อัตราส่วนวัสดุประสาน : มวลรวมหยาบ :มวลรวมละเอียด คือ 1:1:1

W = อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

Sp =สารลดน้ำพิเศษ

Si = ซิลิกาฟูม

T = อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสม

G = หินแกรนิต

B = หินบะซอลต์

C = แคลเซียมคลอไรด์

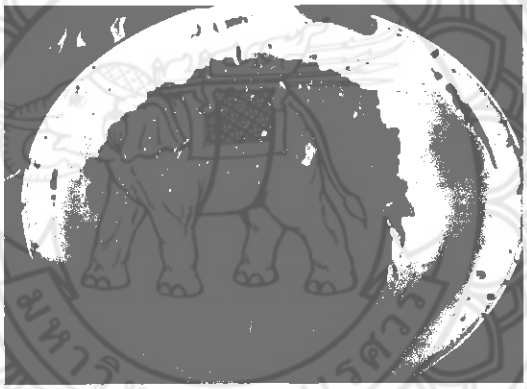
ลำดับที่	ปฏิภาคส่วนผสม	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนซิลิก้าฟูมต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนแคลเซียมคลอไรด์ต่อปริมาณน้ำ	อัตราส่วนสารลดน้ำพิเศษต่อวัสดุประสาน	อุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสม (^{o}c)	หมายเหตุ
1	W30Sp2Si30T30	0.30	0.70	0.30	0	0.020	อุณหภูมิห้อง	-
2	W30Sp2Si30T50	0.30	0.70	0.30	0	0.020	50	-
3	W30Sp2Si30T80	0.30	0.70	0.30	0	0.020	80	-
4	W22Sp2Si30T80	0.25	0.70	0.30	0	0.020	80	-
5	W28Sp2Si30T80	0.28	0.70	0.30	0	0.020	80	-
6	W30Sp2Si30T80	0.30	0.70	0.30	0	0.020	80	-
7	W33Sp2Si30T80	0.33	0.70	0.30	0	0.020	80	-
8	W25Sp2T80G1/2”	0.25	1	0	0	0.020	80	-
9	W25Sp2T80G3/8”	0.25	1	0	0	0.020	80	-
10	W25Sp2T80G4#	0.25	1	0	0	0.020	80	-
11	W25Sp2T80B1/2”	0.25	1	0	0	0.020	80	-
12	W25Sp2T80B3/8”	0.25	1	0	0	0.020	80	-

ลำดับที่	ปฏิภาคส่วนผสม	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนซิลิก้าฟูมต่อวัสดุประสาน	อัตราส่วนแคลเซียมคลอไรด์ต่อปริมาณน้ำ	อัตราส่วนสารลดน้ำพิเศษต่อวัสดุประสาน	อุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสม (^{0}c)	หมายเหตุ
13	W25Sp2T80B4#	0.25	1	0	0	0.020	80	-
14	W28Sp2Si30T80	0.28	0.70	0.30	0	0.020	80	-
15	W28Sp2Si30Ca2T80	0.28	0.70	0.30	0.020	0.020	80	-
16	W28Sp2Si30Ca2T80	0.28	0.70	0.30	0.020	0.020	80	ทดสอบประเภทการบ่ม

คอนกรีตคือการผสมปูซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ และสารผสมอื่นๆเข้าด้วยกัน โดยทุกๆตัวแปรจะมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต ในการผสมคอนกรีตต้องการค่ากำลังอัดของคอนกรีตสูงสุดที่อายุ 24 ชั่วโมง โดยควบคุมค่าการไหลแผ่มากกว่า 50 เซนติเมตร

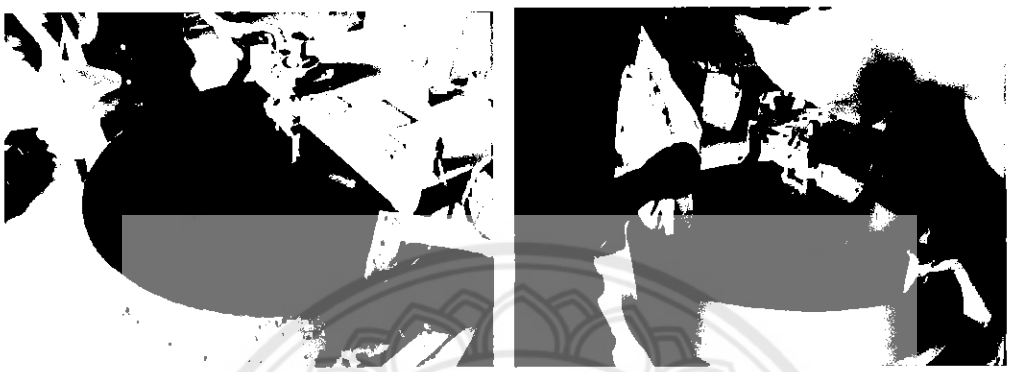
ขั้นตอนการผสม

เริ่มจากการผสมหินเข้ากับซิลิกาฟูมเพื่อทำให้ซิลิกาฟูมกระจายเกาะเข้ากับหินแล้วทำการพรมน้ำเล็กน้อยให้ซิลิกาฟูมจับตัวกับหิน ทำให้ขั้นตอนผสมคอนกรีตซิลิกาฟูมผสมเข้ากับส่วนผสมอื่นๆดีขึ้นดังรูปที่ 3.22

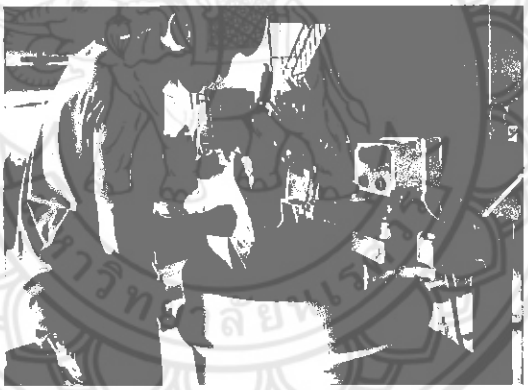


รูปที่ 3-22 ทำการคลุกหินเข้ากับซิลิกาฟูม

นำหินกับซิลิกาฟูมที่ผสมกัน นำลงเครื่องผสม ผสมกับทรายเป็นเวลา 3 นาที แล้วจึงนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ประเภท 1 ที่ทำการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์100# ลงไปผสมจนครบ 5 นาทีจากเวลาเริ่มต้นผสมดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3-23 เทปูนซีเมนต์ที่คลุกกับซิลิก้าฟูมลงผสมกับทราย

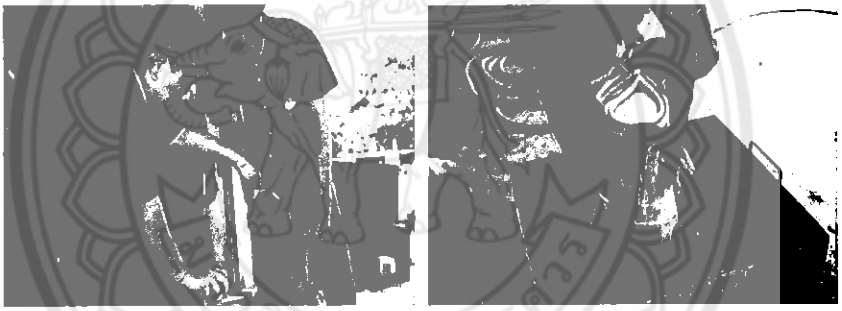


รูปที่ 3-24 เมื่อครบเวลา 3 นาที เทปูนซีเมนต์ผสมลงไป

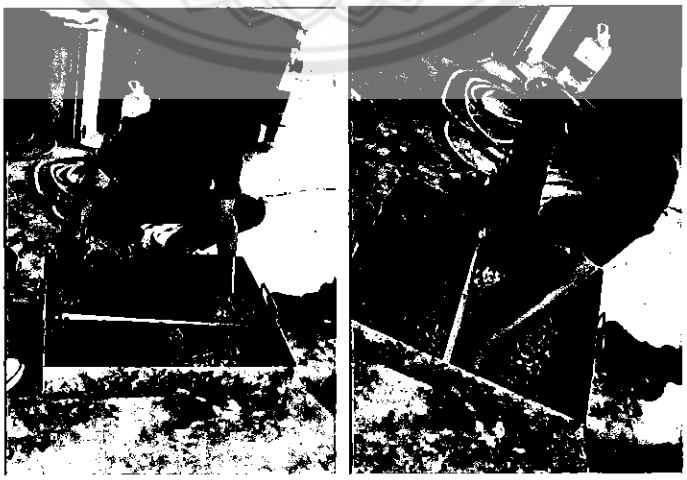
เติมน้ำอุณหภูมิ 80^{0}c โดยแบ่งครึ่งจากปริมาณน้ำที่ใช้ผสม มาผสมกับสารลดน้ำชนิดพิเศษผสมจนครบ 10 นาทีดังรูปที่ 3.25 แล้วปิดเครื่อผสมคอนกรีต คนคอนกรีตด้วยมือให้เข้ากัน

รูปที่ 3-25 เมื่อครบ 5 นาที ทำการใส่น้ำที่ผสมสารลดน้ำชนิดพิเศษ]

จากนั้นผสมจนครบ 15นาที ทำการเช็คค่าการไหลแผ่ โดยวัดค่าการไหลแผ่สองด้านตั้งฉากกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต โดยกำหนดให้มากกว่า 50 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3-26 เทคอนกรีตลงในกรวยเพื่อเช็คค่าการไหลแผ่คอนกรีต



รูปที่ 3-27 การวัดค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต

3.2.3 การเทเข้าแบบหล่อคอนกรีต

ในการเทเข้าแบบหล่อ หลังจากผสมคอนกรีตเป็นที่เรียบร้อย โดยแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

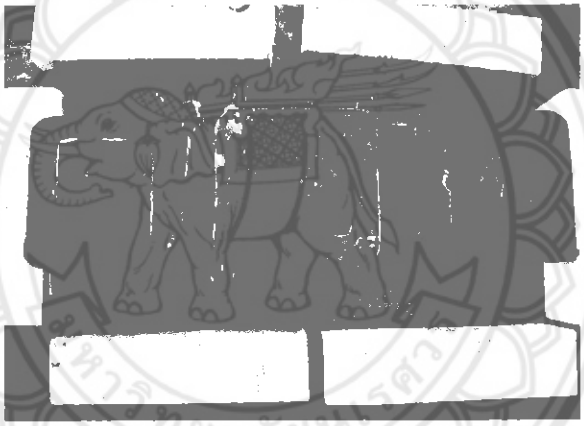
เทคอนกรีตลงแบบหล่อ โดยแบ่งเป็น 5 ชั้นดังรูปที่ 3.28 ในแต่ล่ะชั้นของคอนกรีตจะทำการตำ 20-30 ครั้งและเขย่าด้วยมือไปมา 30 ครั้งดังรูปที่ 3.29 ข้อควรระวังถ้าหินที่ใช้มีขนาดเล็กกว่า 3/8" จะทำให้หินจมลงทำให้ด้านบนของแบบหล่อมีแต่ซีเมนต์เพส

รูปที่ 3-28 การเข้าแบบคอนกรีตโดยการแบ่งเป็นชั้น

รูปที่ 3-29 ทำการตำเพื่อให้หินกระจายทั่วคอนกรีตและลดช่องว่างในเนื้อคอนกรีต

แต่งหน้าคอนกรีตให้เรียบ แล้วนำกระจกมาปิดดังรูปที่ 3.30

รูปที่ 3-30 นำกระจกปิดเพื่อแต่งหน้าคอนกรีต



รูปที่ 3-31 ก้อนคอนกรีตขนาด10*10*10 เซนติเมตร

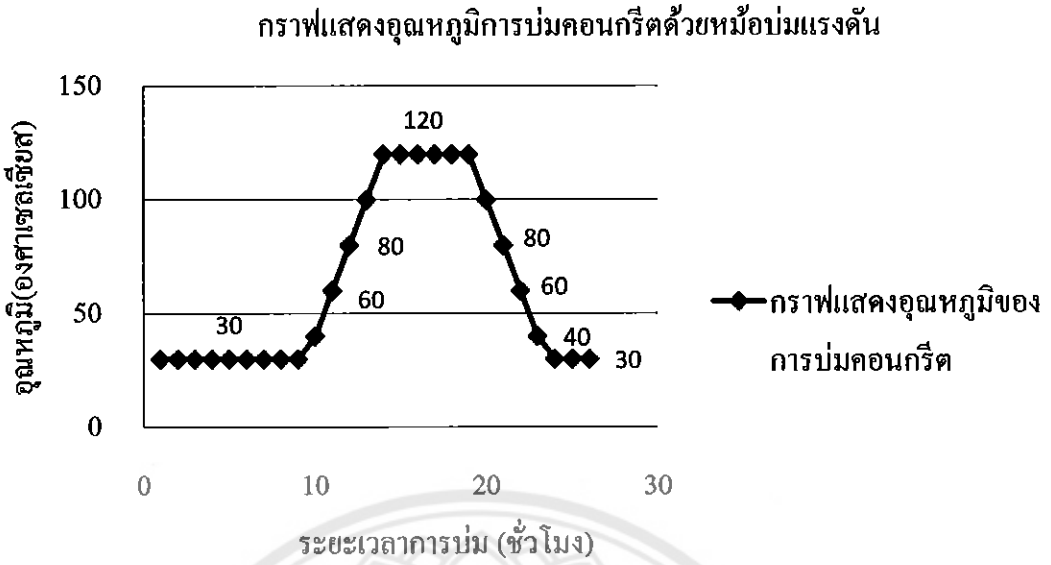
3.2.4 การบ่มคอนกรีต

การบ่มคอนกรีตโดยกำหนดอายุของคอนกรีตที่ 24 ชั่วโมง โดยทดสอบการบ่ม โดยการบ่มด้วยอากาศ บ่มด้วยการนำพลาสติก บ่มด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องและการบ่มด้วยหม้อบ่มแรงดัน

การบ่มก้อนตัวอย่างด้วยหม้อบ่มแรงดัน (autoclave)

ในการบ่มจะใช้หม้อบ่มแรงดัน(autoclave)ดังรูปที่ 3. 32 โดยหลังจากรอคอนกรีตใช้เวลาในการแข็งตัวเป็นเวลา 6-10 ชั่วโมง จะทำการถอดแบบหล่อ แล้วนำก้อนคอนกรีตเข้าไปบ่มในหม้อบ่มแรงดัน(autoclave) โดยทำการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในช่วง 4 ชั่วโมงแรก ให้อุณหภูมิเพิ่มจากอุณหภูมิห้องไปจนอุณหภูมิถึง120-130 ^{0}c ใช้เวลาบ่มที่อุณหภูมิสูงสุด 6-8ชั่วโมง จากนั้นทำการปิดไฟ ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิในหม้อบ่มแรงดัน(autoclave) เย็นลงเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเปิดฝาหม้อบ่มแรงดัน(autoclave) ออกรอจนถึงเวลานำก้อนคอนกรีตไปทำการกดทดสอบกำลังอัด ดังรูปที่ 3. 33 แสดงเวลาการบ่มคอนกรีตด้วยหม้อบ่มแรงดัน(autoclave)

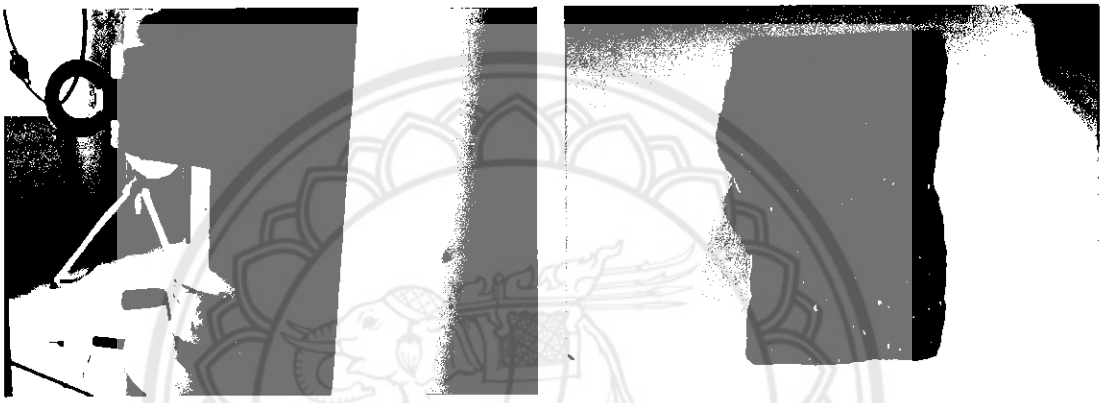
รูปที่ 3-32 หม้อบ่มแรงดัน (Autoclave)



รูปที่ 3-33 แสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการบ่มด้วยหม้อบ่มแรงดัน

3.2.5 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

หลังจากคอนกรีตผ่านการบ่มจนมีอายุครบ 24ชั่วโมง นำก้อนคอนกรีตชั่งน้ำหนัก วัดขนาดรูปด้านของก้อนตัวอย่าง จากนั้นทำการกดก้อนตัวอย่างโดยเครื่องทดสอบกำลังอัด ควบคุมความเร็ว 25 กิโลนิวตันต่อวินาที ทำการกดก้อนตัวอย่างโดยให้เกิดความเค้นเท่ากับ 0.40 เมกะปาสคาลต่อวินาที จนกระทั่งเกิดการวิบัติและไม่สามารถรับแรงอัดได้ ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3-34 กดก้อนคอนกรีตด้วยเครื่องกดและก้อนตัวอย่างคอนกรีตเกิดการวิบัติ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการแสดงผลการศึกษาปัจจัยต่างๆ ในปฏิภาคส่วนผสมที่ส่งผลต่อกำลังอัดและการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต โดยส่วนแรกจะเป็นผลการทดสอบในซีเมนต์มอร์ต้าและในส่วนที่สองจะเป็นผลการทดสอบในคอนกรีต

4.1 การทดสอบในซีเมนต์มอร์ต้า

การทดสอบในซีเมนต์มอร์ต้า เป็นการทดสอบปัจจัยโดยเปรียบเทียบกับกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า ทรงลูกบาศก์ 5*5*5 เซนติเมตร หล่อก้อนตัวอย่างแต่ละปฏิภาคส่วนผสมอย่างน้อย 2 ก้อนตัวอย่าง กดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง

4.1.1 ผลชนิดของทรายต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า

รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าจำนวน 12 ก้อนตัวอย่าง ขนาดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 5*5*5 เซนติเมตร กดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.35 โดยการเปรียบเทียบผลชนิดของทราย 2 ชนิด คือ ทรายแม่น้ำ และทรายเศษหินบะซอลต์ ในการใช้เป็นมวลรวมละเอียด

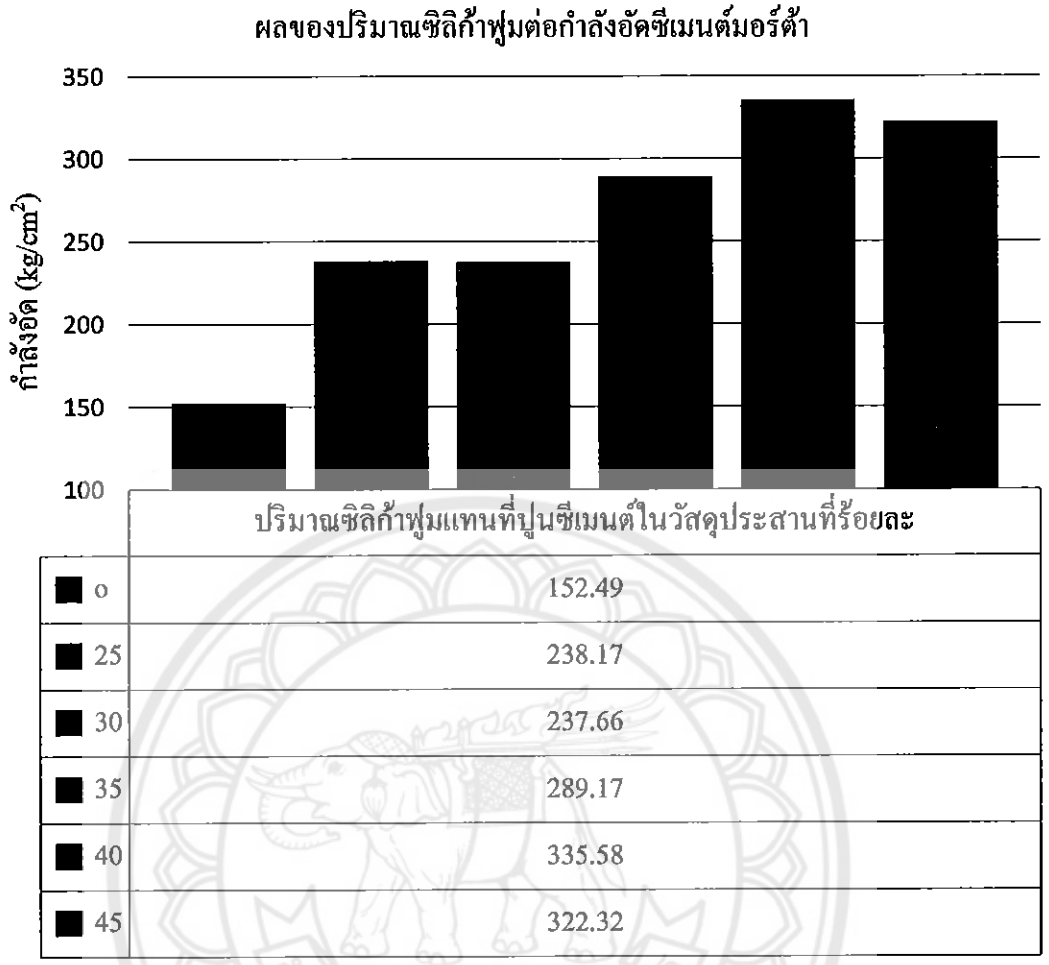
จากรูปที่ 4.1 ผลการทดสอบพบว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีทรายแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียดให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 431.53 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีทรายเศษหินบะซอลต์เป็นมวลรวมละเอียดให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 338.43 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจากผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้ามีทรายแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียดมีค่ากำลังอัดที่ดีกว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีทรายเศษหินบะซอลต์เป็นมวลรวมละเอียด

รูปที่ 4-1 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าระหว่างการใช้ทรายแม่น้ำและทรายเศษหินบะซอลต์เป็นมวลรวมละเอียด

4.1.2 ผลของปริมาณซิลิก้าฟูมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า

รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าจำนวน 12 ก้อนตัวอย่าง กดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง ขนาดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 5*5*5 เซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.50 โดยที่มีการเปรียบเทียบปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 0, 25, 30, 35, 40 และ45 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.2 ผลการทดสอบพบว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 0, 25, 30, 35, 40 และ45 ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 152.49, 238.17, 237.66, 289.17, 335.58 และ322.32 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบ กำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 40 ให้ค่ากำลังอัดมากที่สุดและ ให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น 2.20 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่มีปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสาน



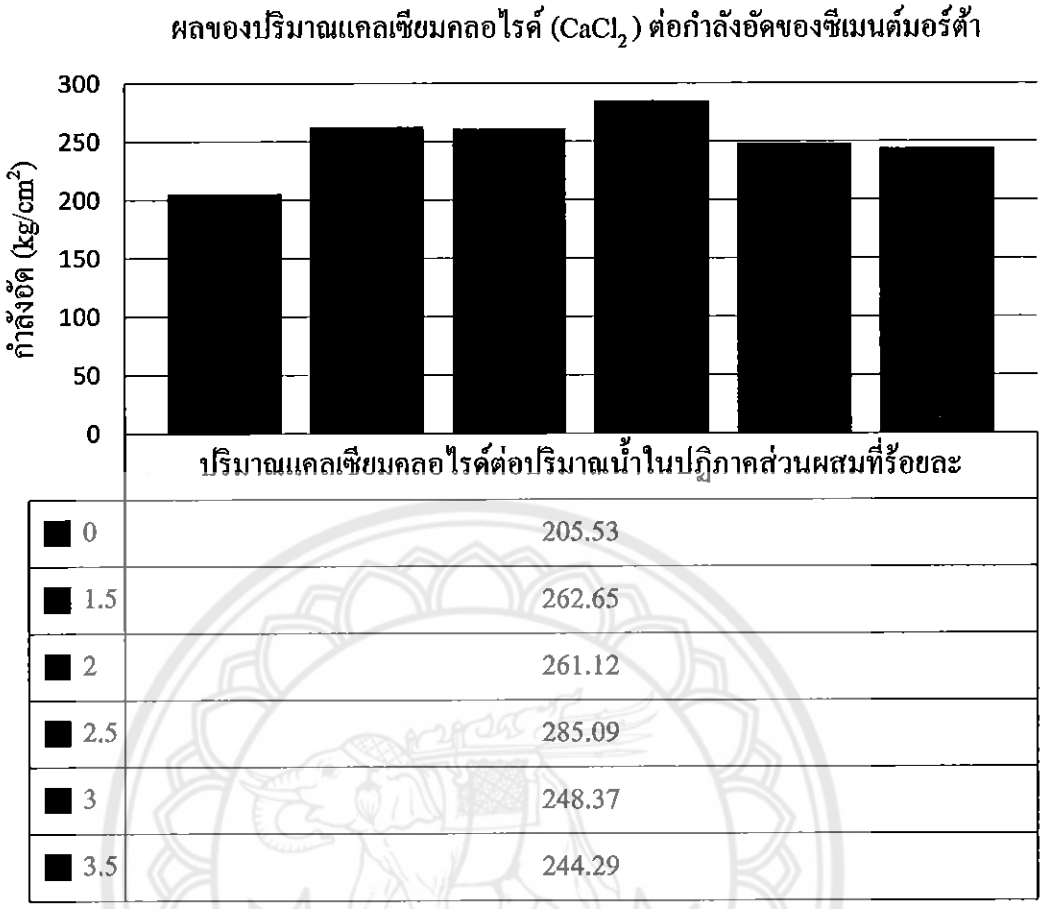
รูปที่ 4-2 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณซิลิก้าฟูมแทน**ที่ปูนซีเมนต์ใน**

วัสดุประสานที่ร้อยละ 0, 25, 30, 35, 40 และ45 ตามลำดับในปฏิภาคส่วนผสม

4.1.3 ผลของปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ต่อกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้า

รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าจำนวน 12 ก้อนตัวอย่าง กดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง ขนาดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 5*5*5 เซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.35 โดยที่ใช้ปริมาณ $CaCl_2$ ในการทดสอบที่ร้อยละ 0, 1.5, 2, 2.5, 3 และ 3.5 ต่อปริมาณน้ำในปฏิภาคส่วนผสม

จากรูปที่ 4.3 ผลการทดสอบพบว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณ $CaCl_2$ ต่อปริมาณน้ำในปฏิภาคส่วนผสมที่ร้อยละ 0, 1.5, 2, 2.5, 3 และ 3.5 ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 205.53, 262.65, 261.12, 285.09, 248.37 และ244.29 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบ กำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณ $CaCl_2$ ต่อปริมาณน้ำในปฏิภาคส่วนผสมที่ร้อยละ 2.50 ให้กำลังอัดมากที่สุดและ ให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น 1.38 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่มี $CaCl_2$ ในปฏิภาคส่วนผสม

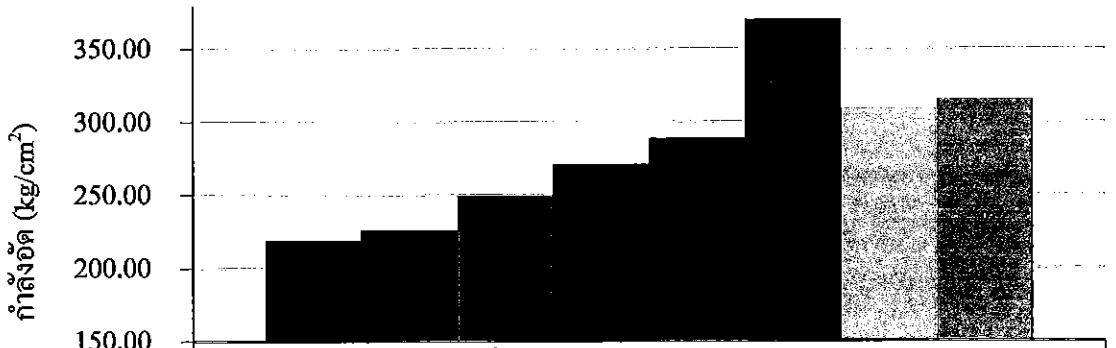


รูปที่ 4-3 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณ $CaCl_2$ ต่อ**ปริมาณน้ำใน**ปฏิภาคส่วนผสมที่ร้อยละ 0, 1.5, 2, 2.5, 3 และ 3.5 ตามลำดับ

4.1.4 ผลของอุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า

รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าจำนวน 16 ก้อนตัวอย่าง กดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง ขนาดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 5*5*5 เซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.35 โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมมอร์ต้าที่อุณหภูมิ 30^0c, 40^0c, 50^0c, 60^0c,75^0c, 80^0c, 90^0c และ100^0c ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.4 ผลการทดสอบพบว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 30^0c, 40^0c, 50^0c, 60^0c,75^0c, 80^0c, 90^0c และ100^0c ในการผสมให้กำลังอัดเท่ากับ 219.10, 226.18 กิ, 249.45, 271.21, 288.92,370.39, 309.16 และ315.23 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 80^0c ในการผสมให้กำลังอัดมากที่สุดและ ให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น 1.69 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 30^0c ในการผสม



อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมซีเมนต์มอร์ต้า(องศาเซลเซียส)	
30	219.10
40	226.18
50	249.46
60	271.22
75	288.93
80	370.39
90	309.17
100	315.24

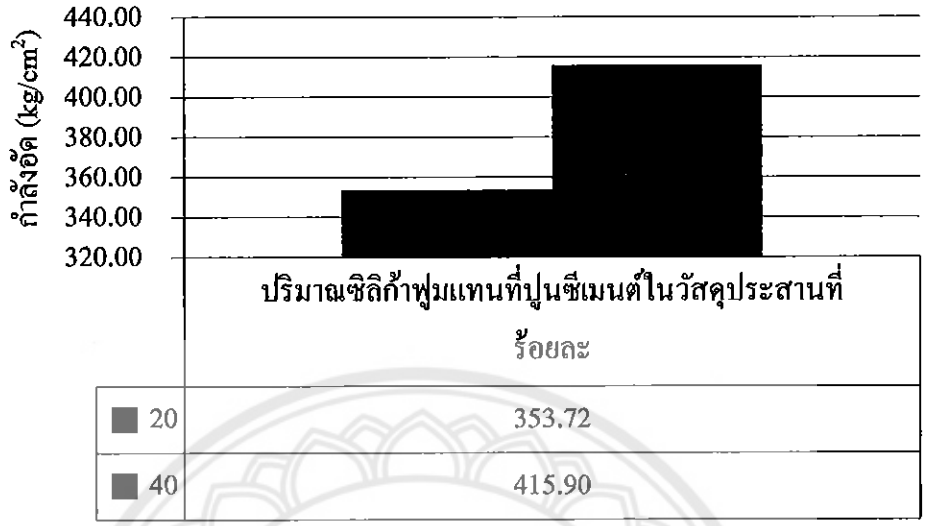
รูปที่ 4-4 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 30°c, 40°c, 50°c, 60°c, 75°c, 80°c, 90°c และ100°c ตามลำดับ ในการผสม

4.1.5 ผลของปริมาณซิลิก้าฟูมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 80^0c ในการผสม

รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าจำนวน 8 ก้อนตัวอย่าง กดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง ขนาดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 5*5*5 เซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.50 โดยควบคุมอุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมที่ 80^0c มีการเปรียบเทียบปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 20 และร้อยละ 40 เพื่อเปรียบเทียบกับผลทดสอบปริมาณซิลิก้าฟูมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า(รูปที่ 4.2) โดยใช้น้ำอุณหภูมิแตกต่างกันในการผสม

จากรูปที่ 4.5 ผลการทดสอบพบว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 20 และร้อยละ 40 ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 353.72 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 415.90 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบ กำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 40 ให้ค่ากำลังอัดที่ดีกว่ากำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 20 ซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบปริมาณซิลิก้าฟูมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า(รูปที่ 4.2)

ผลของปริมาณซิลิก้าฟูมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 80^0c ในการผสม



รูปที่ 4-5 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณซิลิก้าฟูมแทน**ที่ปูนซีเมนต์ใน**

วัสดุประสานที่ร้อยละ 20 และ 40 โดยควบคุมอุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมที่ 80^0c

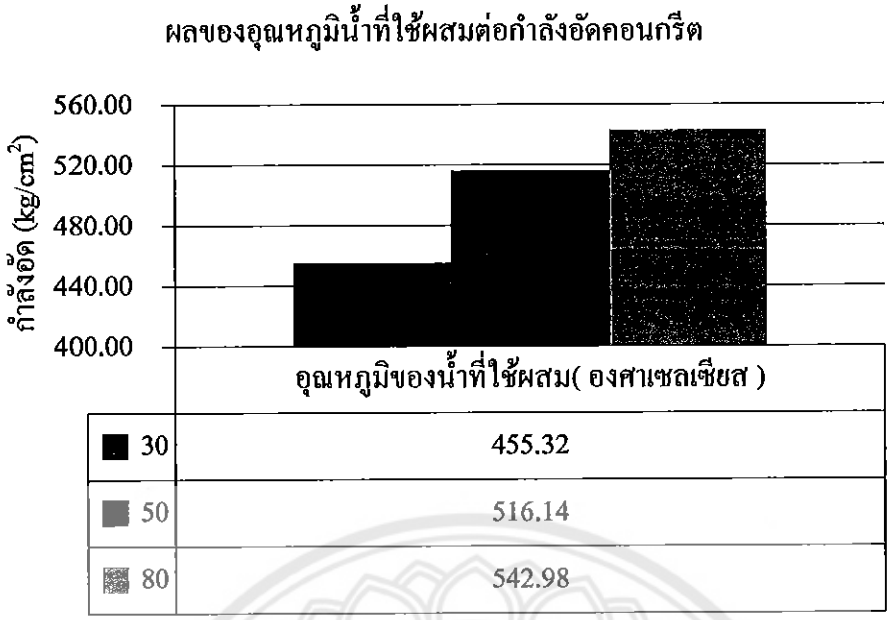
4.2 การทดสอบในคอนกรีต

การทดสอบในคอนกรีต เป็นการทดสอบปัจจัยโดยใช้ผลการทดสอบในซีเมนต์มอร์ต้าเป็นแนวทางในการทดสอบและออกแบบปฏิภาคในการทดสอบ เปรียบเทียบกับกำลังอัดคอนกรีต ทรงลูกบาศก์ 10*10*10 เซนติเมตร หล่อก้อนตัวอย่างแต่ละปฏิภาคส่วนผสมอย่างน้อย 3 ก้อนตัวอย่างกดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง

4.2.1 ผลของอุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมต่อกำลังอัดคอนกรีต

รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีตจำนวน 9 ก้อนตัวอย่าง กดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง ขนาดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 10*10*10 เซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.30 อัตราส่วนสารเคมีผสมเพิ่ม(Superplasticizer) ร้อยละ 2 ต่อน้ำหนักวัสดุประสาน ปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 30 โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมที่อุณหภูมิ 30^0c, 50^0cและ 80^0c เพื่อเปรียบเทียบกับผลของอุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า(รูปที่ 4.4)

จากรูปที่ 4.6 ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 30^0c, 50^0c และ80^0c ในการผสมให้กำลังอัดเท่ากับ 455.32, 516.14 และ542.98 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบ กำลังอัดคอนกรีตที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 80^0c ในการผสมให้กำลังอัดมากที่สุดและให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น 1.19 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดคอนกรีตที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 30^0c ในการผสม สอดคล้องกับผลทดสอบอุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมต่อกำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า (รูปที่ 4.4)



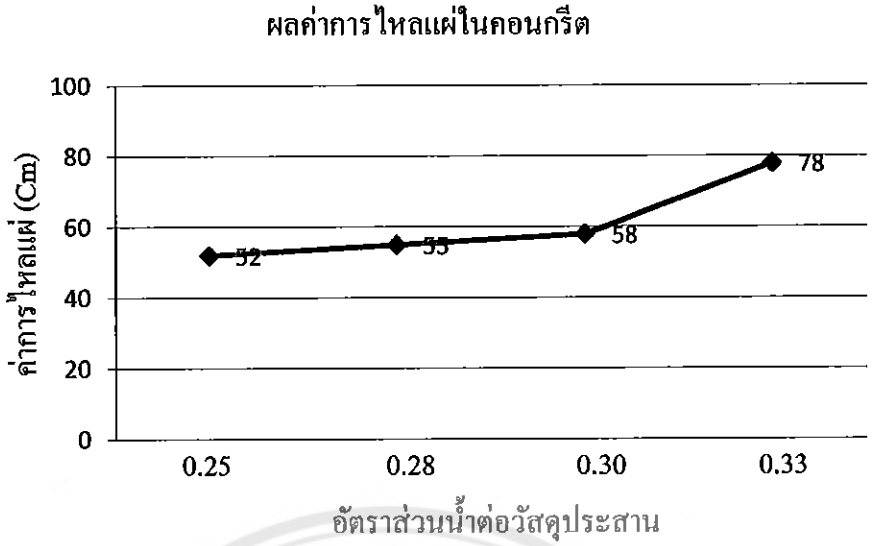
รูปที่ 4-6 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 30^0c, 40^0c และ50^0c **ในการ**

ผสม

4.2.2 ผลค่าการไหลแผ่ในคอนกรีต

รูปที่ 4.7 แสดงผลการไหลแผ่และรูปที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีตจำนวน 12 ก้อน ตัวอย่าง กดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง ขนาดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 10*10*10 เซนติเมตร อัตราส่วนสารเคมีผสมเพิ่ม(Superplasticizer) ร้อยละ 2 ต่อน้ำหนักวัสดุประสาน ปริมาณซิลิก้าฟูม แทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 30 โดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.25, 0.28, 0.30 และ 0.33ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.25, 0.28, 0.30 และ 0.33 มีค่าการไหลแผ่เป็น 52, 55, 58 และ78 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบ คอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.33 มีค่าการไหลแผ่มากที่สุดแต่ความสามารถในการรับกำลังอัดต่ำที่สุด คอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.25 มีค่าการไหลแผ่น้อยที่สุดแต่ความสามารถในการรับกำลังอัดสูงที่สุด



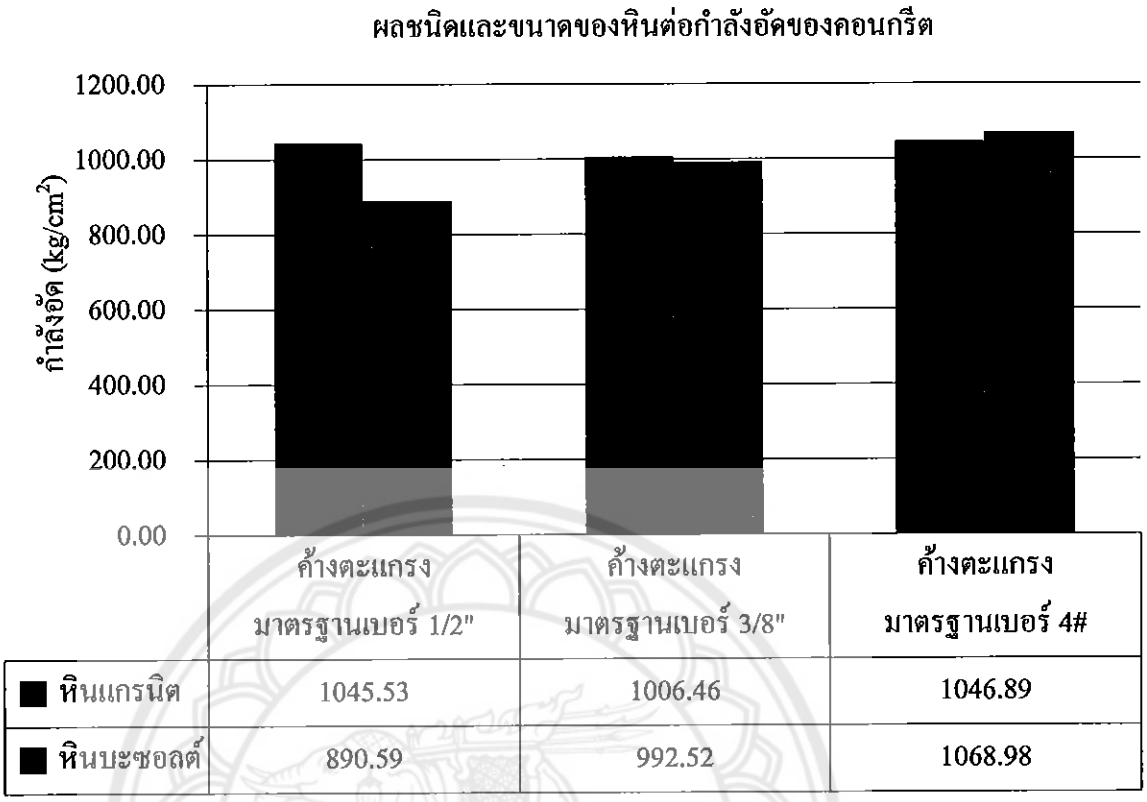
รูปที่ 4-7 แสดงผลค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต

รูปที่ 4-8 แสดงค่ากำลังอัดคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.25, 0.28, 0.30 และ 0.33

4.2.3 ผลชนิดและขนาดของหินต่อกำลังอัดของคอนกรีต

รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีตจำนวน 18 ก้อนตัวอย่าง กดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3วัน ขนาดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 10*10*10 เซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.25 อัตราส่วนสารเคมีผสมเพิ่ม(Superplasticizer) ร้อยละ 2 ต่อน้ำหนักวัสดุประสาน โดยการเปรียบเทียบผลชนิดและขนาดของหิน 2 ชนิดคือ หินแกรนิต และหินบะซอลต์ ที่มีขนาดค้างตะแกรง 1/2", ค้างตะแกรง 3/8"และขนาดค้างตะแกรง 4# ในการใช้เป็นมวลรวมหยาบ

จากรูปที่ 4.9 ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่มีหินแกรนิตขนาดค้างตะแกรง 1/2", ค้างตะแกรง 3/8"และขนาดค้างตะแกรง 4# เป็นมวลรวมหยาบให้ค่ากำลังอัด 1045.53, 1006.46 และ 1046.89 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ คอนกรีตที่มีหินบะซอลต์ขนาดค้างตะแกรง 1/2", ค้างตะแกรง 3/8"และขนาดค้างตะแกรง 4# เป็นมวลรวมหยาบให้ค่ากำลังอัด 890.59, 992.52 และ 1068.98 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบ คอนกรีตที่มีหินบะซอลต์ขนาดค้างตะแกรง 4# เป็นมวลรวมหยาบให้ค่ากำลังอัดที่มากที่สุดและคอนกรีตที่มีหินแกรนิตขนาดค้างตะแกรง 4# เป็นมวลรวมหยาบให้ค่ากำลังอัดรองลงมา หินแกรนิตมีแนวโน้มให้ค่ากำลังอัดในคอนกรีตมากกว่าหินบะซอลต์ ขนาดหินที่เล็กมีแนวโน้มให้ค่ากำลังอัดในคอนกรีตมากกว่าหินขนาดใหญ่

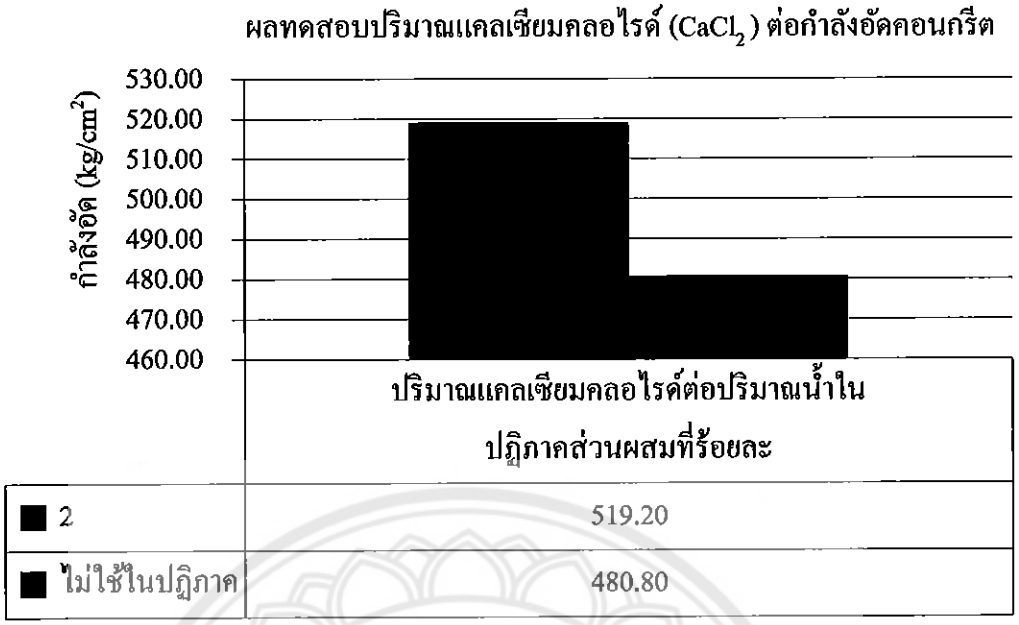


รูปที่ 4-9 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่มีหินแกรนิตและหินบะซอลต์ ขนาดค้างตะแกรง 1/2", ค้างตะแกรง 3/8"และขนาดค้างตะแกรง 4# เป็นมวลรวมหยาบ

4.2.4 ผลทดสอบปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ต่อกำลังอัดคอนกรีต

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีตจำนวน 6 ก้อนตัวอย่าง กดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง ขนาดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 10*10*10 เซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.28 อัตราส่วนสารเคมีผสมเพิ่ม(Superplasticizer) ร้อยละ 2 ต่อน้ำหนักวัสดุประสาน ปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 30 โดยที่ใช้ปริมาณ $CaCl_2$ ในการทดสอบที่ร้อยละ 2 และไม่ใช้ ต่อปริมาณน้ำในปฏิภาคส่วนผสม เพื่อเปรียบเทียบกับผลทดสอบปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ต่อกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้า(รูปที่ 4.3)

จากรูปที่ 4.10 ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่มีปริมาณ $CaCl_2$ ต่อปริมาณน้ำในปฏิภาคส่วนผสมที่ร้อยละ 2 และไม่ใช้ ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 519.20 และ480.80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบ กำลังอัดคอนกรีตที่มีปริมาณ $CaCl_2$ ต่อปริมาณน้ำในปฏิภาคส่วนผสมที่ร้อยละ 2 ให้กำลังอัดมากกว่ากำลังอัดคอนกรีตที่ไม่มีปริมาณ $CaCl_2$ ในปฏิภาคส่วนผสม สอดคล้องกับผลทดสอบปริมาณ $CaCl_2$ ต่อกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้า (รูปที่ 4.3)



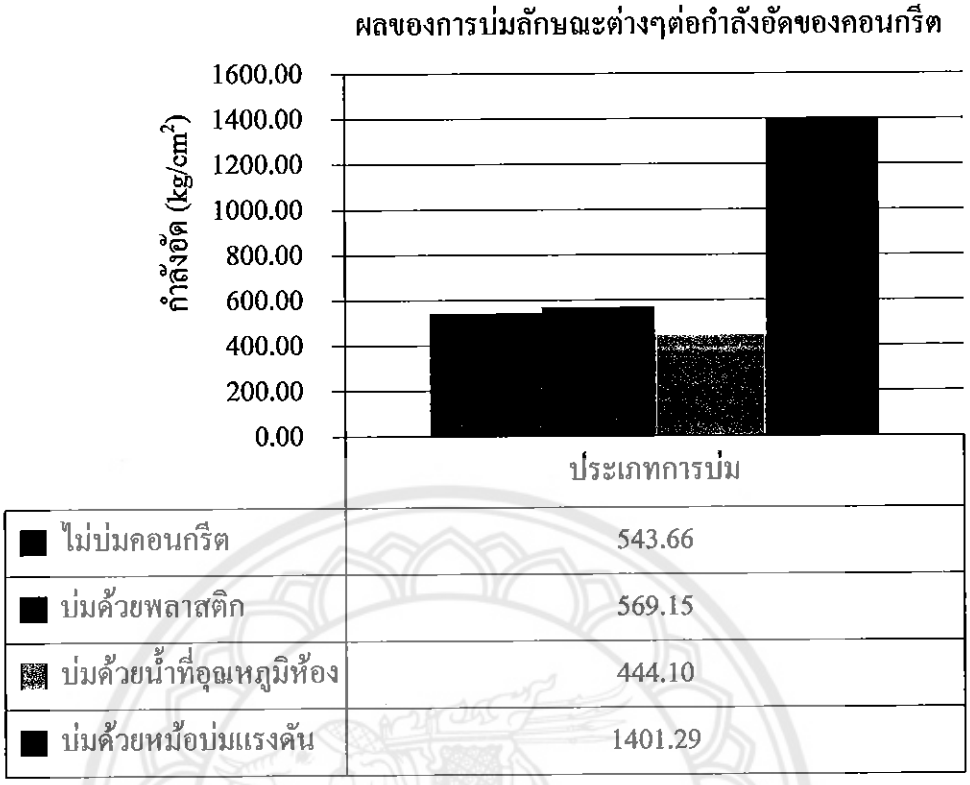
รูปที่ 4-10 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตระหว่างคอนกรีตที่มีปริมาณ $CaCl_2$ **เทียบกับ**

ปริมาณน้ำที่ 0%และ 2% ในปฏิภาคส่วนผสม

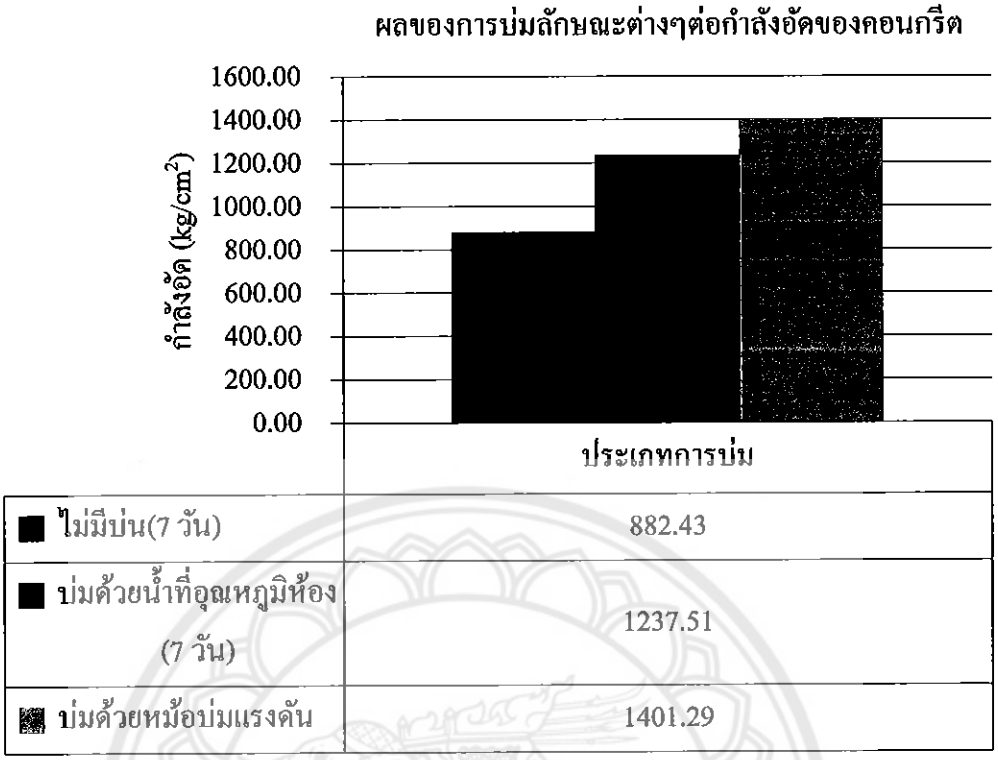
4.2.5 ผลของการบ่มลักษณะต่างๆต่อกำลังอัดของคอนกรีต

รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีตจำนวน 18 ก้อนตัวอย่าง กดทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมงและ 7 วัน ขนาดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 10*10*10 เซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.28 อัตราส่วนสารเคมีผสมเพิ่ม(Superplasticizer) ร้อยละ 2 ต่อน้ำหนักวัสดุประสาน ปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 30 ปริมาณ$CaCl_2$ ต่อปริมาณน้ำที่ร้อยละ 2 ใช้หินบะซอลต์ขนาดค้างตะแกรง 4# เป็นมวลรวมหยาบ โดยการเปรียบเทียบผลการบ่ม 3ลักษณะคือ บ่มด้วยพลาสติก, บ่มด้วยน้ำอุณหภูมิห้องและ บ่มด้วยหม้อบ่มแรงดัน

จากรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่บ่มด้วยพลาสติกให้ค่ากำลังอัด 569.15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำอุณหภูมิห้องให้ค่ากำลังอัด 444.10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตที่บ่มด้วยหม้อบบ่มแรงดันให้ค่ากำลังอัด1401.29 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตที่ไม่มีการบ่ม(อายุ 7 วัน)ให้ค่ากำลังอัด 882.43 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตที่บ่มด้วยบ่มด้วยน้ำอุณหภูมิห้อง(อายุ 7 วัน)ให้ค่ากำลังอัด 1237.51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจากผลการทดสอบ คอนกรีตที่บ่มด้วยหม้อบ่มแรงดันให้ค่ากำลังอัดมากกว่าคอนกรีตที่ไม่มีการบ่ม 2.58 เท่า, ให้ค่ากำลังอัดมากกว่าคอนกรีตที่ไม่มีการบ่ม(อายุ 7 วัน) 1.58 เท่า และให้ค่ากำลังอัดมากกว่าคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำอุณหภูมิห้อง 3.15 เท่า, ให้ค่ากำลังอัดมากกว่าคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำอุณหภูมิห้อง(อายุ 7 วัน) 1.13 เท่า คอนกรีตที่บ่มด้วยพลาสติกให้ค่ากำลังอัดมากกว่าคอนกรีตที่ไม่มีการบ่ม 1.04 เท่า แต่การบ่มด้วยน้ำอุณหภูมิห้องทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลงเหลือ 0.82 เท่าเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการบ่ม



รูปที่ 4-11 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่มีการบ่มแต่ละประเภท



รูปที่ 4-12 แสดงผลเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตระหว่างการบ่มด้วยหม้อบ่มแรง**ดันและการบ่ม**

ด้วยน้ำอุณหภูมิห้อง(อายุ 7 วัน)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในโครงงานการศึกษานี้มุ่งเน้นศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังอัดและการพัฒนากำลังของคอนกรีตเพื่อให้ได้คอนกรีตกำลังอัดสูง โดยจะนำผลจากการศึกษาปัจจัยมาประกอบการเลือกปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตกำลังอัดสูง ซึ่งผลการทดสอบสามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการผสมซีเมนต์มอร์ต้าและคอนกรีตที่อุณหภูมิ 80^{0}c ให้ค่ากำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้า ทรงลูกบาศก์ขนาด 5*5*5 เซนติเมตรและคอนกรีต ทรงลูกบาศก์ขนาด 10*10*10 เซนติเมตร สูงที่สุดแต่

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.25 ให้ค่ากำลังอัดคอนกรีต ทรงลูกบาศก์ขนาด 10*10*10 เซนติเมตร สูงที่สุดแต่ให้ค่าการไหลแผ่น้อยที่สุด

5.1.2 มวลรวมละเอียด

ซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียด ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด

5.1.3 มวลรวมหยาบ

คอนกรีตที่มีหินแกรนิตหรือหินบะซอลต์ เป็นมวลรวมหยาบให้ค่ากำลังอัดแตกต่างกันค่อนข้างน้อย คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบขนาดค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์4# ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบขนาดค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์3/8" และคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบขนาดค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์1/2" คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบขนาดเล็กช่วยให้ค่าการไหลแผ่มีค่ามากขึ้น

5.1.4 ซิลิก้าฟูม

ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่ร้อยละ 40 ให้ค่ากำลังอัดมากที่สุด คอนกรีตที่มีการใช้ซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานทำให้ค่าการไหลแผ่ลดลงตามปริมาณซิลิก้าฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์

5.1.5 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

กำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าและคอนกรีตที่มีปริมาณ $CaCl_2$ ต่อปริมาณน้ำในปฏิภาคส่วนผสมที่ร้อยละ 2% ช่วยเพิ่มค่ากำลังอัด แต่คอนกรีตที่ใช้ $CaCl_2$ ในปฏิภาคส่วนผสม มีผลทำให้ผิวหน้าคอนกรีตแข็งตัวค่อนข้างเร็วกว่าปกติ

5.1.6 การบ่มคอนกรีต

คอนกรีตที่บ่มด้วยหม้อบ่มแรงดันให้ค่ากำลังอัดมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการควบคุมตัวแปรอื่นๆเพิ่มมากขึ้น เช่นค่าความชื้นของวัสดุ การหล่อเข้าแบบคอนกรีต

2. ควรมีการทดสอบเพิ่มเติม เรื่องประเภทของการบ่มต่อกำลังอัด

3. ในการพัฒนาต่อ ควรมีการศึกษาโดยทดสอบปัจจัยต่างๆในคอนกรีต

4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่อง การคืบและการหดตัวของคอนกรีตกำลังอัดสูง

เอกสารอ้างอิง

1 ศ. ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ, ศ. ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต, พิมพ์ครั้งที่ 5 พ.ศ. 2550

2 ศ. ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ, ศ. ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน

3 เอกภพ อังศุวัฒนา, การแยกและคัดเลือกเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะเพื่อมาใช้ในคอนกรีตกำลังสูง,วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พ.ศ. 2541

4 ศ. ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ซิลิก้าฟูม, โยธาสาร, ฉบับเดือน ตุลาคม 2542

5 ศ. ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, คอนกรีตที่ดีต้องบ่ม (ให้สุก), วารสารคอนกรีต, ฉบับที่ 7 ประจำเดือนสิงหาคม 2552

6 บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน), คู่มืออินทรีทดสอบคอนกรีตและวัสดุ, พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2551

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายชิติพัทธ์ จุลลา

ภูมิลำเนา 113/27 ต.สันกำแพง อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวชิรวิทย์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: mochi_dome@hotmail.com

ชื่อ นายพรพงษ์ สมณะธัญกรณ์

ภูมิลำเนา 31/3 หมู่ที่ 6 ต.หนองเต่า อ.เมือง จ.อุทัยธานี

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองเต่าวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: kee_2593@hotmail.co.th

ชื่อ นายวันรุ่ง ทรงปัญญาวุฒิ
ภูมิลำเนา 70/2 ถ.พิมพสุต ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: book_big-o_o@hotmail.com

ชื่อ นายสรอรรจน์ นิ่มงามศรี
ภูมิลำเนา 332/1 หมู่ที่ 2 ต.บ้านคลอง อ.เมือง จ.พิษณุโลก
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่4
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: soraaut99@yahoo.com