สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิทธิพลของผงอะลูมิเนียมที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา

INFLUENCES OF ALUMINIUM POWDER ON PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

โดย

นายรณฤทธิ์ รักวงศ์

นายวัชระ มณีวงศ์

นายศิริพงศ์ พรหมศาสตร์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62923
วัน,เดือน,ปี 23 ส.ค. 2549

b 11633670
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INFLUENCES OF ALUMINIUM POWDER ON PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

MR.RONNARIT RAGWONG
MR.WATCHARA MANEEWONG
MR.SIRIPONG PROMSART

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 INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	อิทธิพลของผงอะลูมิเนียมที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา			
นักศึกษา	นายรณฤทธิ์	รักวงศ์	รหัสประจำตัว	45010628
	นายวัชระ	มณีวงค์	รหัสประจำตัว	45010693
	นายศิริพงศ์	พรหมศาสตร์	รหัสประจำตัว	45010764
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต		สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.คมสัน มาลีสี			

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	
ผศ.ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์	
ดร.คมสัน มาลีสี	
อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	อิทธิพลของผงอลูมิเนียมที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา
	INFLUENCE OF ALUMINIUM POWDER ON PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE
นักศึกษา	นายรณฤทธิ์ รักวงศ์
	นายวัชระ มณีวงค์
	นายศิริพงศ์ พรหมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.คมสัน มาลีสี
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2548

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาอิทธิพลของผงอลูมิเนียมต่อคุณสมบัติด้านต่างๆ ของคอนกรีตเบา โดยผงอลูมิเนียมจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์และน้ำทำให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้ความหนาแน่นลดลง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาคอนกรีตเบาเพื่อนำไปใช้ในงานโครงสร้าง ซึ่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,400 - 1,800 กก./ลบ.ม. และกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน มากกว่า 180 กก./ตร.ซม. ทดลองโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.3 , 0.4 และ 0.5 ปริมาณผงอลูมิเนียมตั้งแต่ 0% ถึง 0.1 % ต่อน้ำหนักซีเมนต์ และใช้อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ที่ 0 จนถึง 2.5 โดยทำการทดสอบคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัด อัตราการซึมน้ำ และการยืดหดตัว และยังศึกษาถึงผลของการบ่มด้วยไอน้ำแรงดันสูง , บ่มด้วยน้ำอุณหภูมิสูง และบ่มด้วยการหุ้มพลาสติกป้องกันการสูญเสียน้ำ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้างได้ โดยการปรับลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ , ปริมาณผงอลูมิเนียมและปริมาณทรายให้เหมาะสม แต่ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ควรน้อยกว่า 0.75 , ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ควรน้อยกว่า 1.1 และที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ควรน้อยกว่า 2 คอนกรีตเบาที่บ่มด้วยไอน้ำแรงดันสูงและบ่มด้วยน้ำอุณหภูมิสูงจะมีกำลังรับแรงอัดในช่วงแรกเพิ่มขึ้น และคอนกรีตเบาที่ใส่ผงอลูมิเนียมจะเกิดการยืดหดตัวมากกว่าคอนกรีตทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : INFLUENCE OF ALUMINIUM POWDER ON PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

Name : MR.RONNARIT RAGWONG
MR.WATCHARA MANEEWONG
MR.SIRIPONG PROMSART

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : DR.KOMSON MALEESEE

ABSTRACT

This Project is study the Influence of Aluminium powder on Properties of Lightweight Concrete , by Aluminium powder made many bubble of Hydrogen gas from chemical reaction , so the density of concrete was reduce. The object of this project is developed for Structural Lightweight Concrete that has density 1,400 to 1,800 kg/m^3 and compressive strength at age 28 days more than 180 ksc , test by used w/c ratio at 0.3 , 0.4 , 0.5 and used sand/cement ratio from 0 to 2.5 and used quantity of Aluminium powder from 0% to 0.1% by weight of cement. By testing the Compressive strength , Absorption and Autogeneous shrinkage.And study impact of curing by Autoclave , Hot water and Wrapping

The result of this study apply to mixed design the Structural Lightweight Concrete, By adjust the w/c ratio , quantity of Aluminium powder and sand/cement ratio. But at w/c ratio 0.3 just use sand/cement ratio less than 0.75 , at w/c ratio 0.4 just use sand/cement ratio less than 1.1 and at w/c ratio 0.5 just use sand/cement ratio less than 2 . the lightweight concrete that curing by Autocalve or Hot water has more compressive strength at begin. And lightweight concrete that made by Aluminium powder has more Autogeneous shrinkage than normal concrete.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ไม่มีคำกล่าวใดที่จะใช้บ่งบอกถึงความกรุณา ของอาจารย์ คมสัน มาลีสี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ได้ ตลอดระยะเวลาของงานศึกษานี้ ท่านได้ให้คำแนะนำและสั่งสอนที่มีค่ามากมาย ท่านได้สอนให้อุทิศตนให้กับงานและปรับปรุงเกี่ยวกับการนำเสนองาน ซึ่งถือเป็นสิ่งที่มีคุณค่าที่ผู้ประพันธ์ได้จากการศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นอกเหนือจากปริญญาอันสูงส่ง ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างซาบซึ้งและนับถือแด่ อาจารย์ คมสัน มาลีสี

ถือเป็นเกียรติอย่างยิ่งแก่ผู้ประพันธ์ ที่ได้รับคำแนะนำและข้อคิดเห็นอันกระจ่างชัดจาก อาจารย์ ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์ , อาจารย์ สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ และอาจารย์ ทรงกลด แซ่อึ้ง ในฐานะอาจารย์สอบโครงงานพิเศษ ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับความสำเร็จในงานนี้ ผู้ประพันธ์ได้เรียนรู้สิ่งต่างๆ มากมายจากท่าน

ท้ายที่สุดขอขอบคุณสมาชิกของครอบครัวทุกคน ที่มอบความรักความห่วงใย และการช่วยเหลือด้านต่างๆ โดยเฉพาะการเงิน ขอขอบคุณแหล่งข้อมูลต่างๆอันทรงคุณค่าสำหรับการศึกษานี้

นายรณฤทธิ์ รักวงศ์
นายวัชระ มณีวงศ์
นายศิริพงศ์ พรหมศาสตร์
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ง
	บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฎ
	สารบัญรูป	ฐ
1	บทนำ	1
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4. ขอบเขตการศึกษา	2
	1.5. วิธีการศึกษา	2
2	วรรณกรรมปริทัศน์	3
	2.1. กล่าวนำ	3
	2.2. วิธีผลิตคอนกรีตเบา	3
	2.2.1. คอนกรีตเบาที่ใช้วัสดุผสมเบา	3
	2.2.2. คอนกรีตมวลเบาที่ใช้สารเคมี	5
	2.3. การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ	13
	3.1. การเตรียมส่วนผสมและการผสม	13
	3.1.1. การผสมซีเมนต์เพสท์	13
	3.1.2. การผสมตัวอย่างมอร์ต้า	17
	3.2. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ	19
	3.2.1. การทดลองหาอัตราการขยายตัวที่เวลาต่างๆ	19
	3.2.2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์	20
	3.2.3 การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า	21
	3.2.4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึม	22
	3.2.5. การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีต่างๆ	23
	3.2.6. การทดสอบการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) ที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ	26
	3.2.7. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว	28
	3.3 วิธีการทดสอบและการคำนวณ	29
	3.3.1. การหาอัตราการขยายตัว	29
	3.3.2. การหากำลังรับแรงอัด	29
	3.3.3. การหาความหนาแน่น	30
	3.3.4. การหาอัตราการดูดซึมน้ำ	30
	3.3.5. การทดสอบการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage)	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
4	**ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล**	**32**
	4.1. การทดสอบหาเวลาในการขยายตัวเต็มที่	32
	4.2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์	32
	4.3. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า	35
	4.4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ	38
	4.5. การทดสอบหากำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ	41
	4.6. การทดสอบหาการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage) ที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ	42
	4.7. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัด ของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว	45
5	**สรุปผลการศึกษา**	**47**
	5.1 สรุปผลการศึกษา	47
	5.2 อัตราส่วนต่างๆที่เหมาะสมของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง	47
	5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษา	48
	บรรณานุกรม	
	ภาคผนวก ก	**ผก1**
	ก1. การทดสอบหาเวลาในการขยายตัวเต็มที่	ผก2
	ก2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์	ผก3
	ก3. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า	ผก4
	ก4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ	ผก7
	ก5. การทดสอบหากำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ	ผก9
	ก6. การทดสอบหาการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage) ที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ	ผก9
	ก7. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของ ซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว	ผก10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ เรื่อง **หน้า**

ภาคผนวก ข ผข1

ข1. การทดสอบหาเวลาในการขยายตัวเต็มที่ ผข2

ข2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ ผข5

ข3. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า ผข11

ข4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ ผข26

ข5. การทดสอบหากำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ ผข29

ข6. การทดสอบหาการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage)
ที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ ผข33

ข7. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัด
ของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว ผข38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	ประเภทและคุณสมบัติของมวลรวมเบา	5
3.1.	จำนวนตัวอย่างในการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์	20
3.2.	จำนวนตัวอย่างในการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า	21
3.3.	จำนวนตัวอย่างในการทดสอบอัตราการดูดซึมของซีเมนต์เพสท์	22
3.4.	จำนวนตัวอย่างในการทดสอบอัตราการดูดซึมของมอร์ต้า	22
3.5.	จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีต่างๆ	26
3.6.	จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage)	27
3.7.	จำนวนตัวอย่างในการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว	29
ผ.ก.1.	อัตราการขยายตัวเฉลี่ยที่ระยะเวลาต่างๆ	ผก2
ผ.ก.2.	ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของซีเมนต์เพสท์	ผก3
ผ.ก.3.	ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของมอร์ต้า ที่ w/c 0.3	ผก4
ผ.ก.4.	ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของมอร์ต้า ที่ w/c 0.4	ผก5
ผ.ก.5.	ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของมอร์ต้า ที่ w/c 0.5	ผก6
ผ.ก.6.	อัตราการดูดซึมเฉลี่ยของซีเมนต์เพสท์	ผก7
ผ.ก.7.	อัตราการดูดซึมเฉลี่ยของมอร์ต้า	ผก7
ผ.ก.8.	กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของมอร์ต้าในการบ่มวิธีต่างๆ	ผก9
ผ.ก.9.	การยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage)เฉลี่ยของมอร์ต้าในการบ่มวิธีต่างๆ	ผก9
ผ.ก.10.	ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของซีเมนต์เพสท์ผสมปูนขาว	ผก10
ผ.ข.1.	ผลการทดสอบหาอัตราการขยายตัวที่เวลาต่างๆของซีเมนต์เพสท์	ผข2
ผ.ข.2.	ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ w/c 0.3	ผข5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ข.3.	ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ w/c 0.4	ผข7
ผ.ข.4.	ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ w/c 0.5	ผข9
ผ.ข.5.	ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ w/c 0.3	ผข11
ผ.ข.6.	ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.4	ผข16
ผ.ข.7.	ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.5	ผข21
ผ.ข.8.	ผลการทดสอบหาอัตราการดูดซึมของซีเมนต์เพสท์	ผข26
ผ.ข.9.	ผลการทดสอบหาอัตราการดูดซึมของมอร์ต้า	ผข27
ผ.ข.10.	ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ	ผข30
ผ.ข.11.	ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ	ผข31
ผ.ข.12.	ผลการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) ของมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียม	ผข33
ผ.ข.13.	ผลการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) ของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียม	ผข35
ผ.ข.14.	ค่าเฉลี่ยการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) ของมอร์ต้า	ผข37
ผ.ข.15.	ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว	ผข38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.1.	ผงอลูมิเนียม	14
3.2.	เครื่องผสมซีเมนต์เพสท์และมอร์ต้า	14
3.3.	การใส่น้ำขณะเครื่องผสมกำลังทำงาน	15
3.4.	เทไม่เต็มแบบ	15
3.5.	การขยายตัวจนล้นแบบ	15
3.6.	ลักษณะผิวของตัวอย่างที่ขยายตัว	16
3.7.	การปาดตกแต่งให้เรียบ	16
3.8.	ตัวอย่างที่แกะออกจากแบบ	16
3.9.	ลักษณะผิวตัวอย่างที่ได้หลังจากแกะแบบ	17
3.10.	แสดงการทดสอบสภาพอิ่มตัวผิวแห้งของทราย	18
3.11.	ลักษณะการพังทลายของทรายที่สภาพความชื้นต่างๆ	18
3.12.	แสดงลักษณะผิวของมอร์ต้าที่ผสมผงอลูมิเนียม	18
3.13.	ตัวอย่างการทดสอบหาอัตราการขยายตัวที่เวลาต่างๆ	19
3.14.	แบบหล่อ 5cm. × 5cm. × 5cm.	20
3.15.	เครื่อง Autoclave	23
3.16.	แสดงพื้นที่ภายในเครื่อง Autoclave	24
3.17.	เครื่องเพิ่มอุณภูมิน้ำ	24
3.18.	การติดตั้งเครื่องเพิ่มอุณภูมิน้ำบนถังเหล็ก	25
3.19.	การหุ้มด้วยพลาสติก	25
3.20.	แสดงแบบหล่อ 4cm. × 4cm. × 16cm.	27
3.21.	การติดตั้ง gauge plug	27
3.22.	การวัดระยะภายในระหว่าง gauge plug	28
3.23	แสดงชิ้นตัวอย่างที่ถอดจากแบบแล้ว	28
3.24.	การวัดขนาดตัวอย่าง	30
3.25	ภาพเครื่องมือวัด Autogeneous Shrinkage	31
3.26	ส่วนประกอบของเครื่องมือวัด Autogeneous Shrinkage	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.1.	อัตราการขยายตัวที่เวลาต่างๆ	32
4.2.	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณผงอลูมิเนียมของซีเมนต์เพสท์	33
4.3.	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับปริมาณผงอลูมิเนียมของซีเมนต์เพสท์	33
4.4.	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.3	35
4.5.	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.3	35
4.6.	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.4	36
4.7.	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.4	36
4.8.	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.5	37
4.9.	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.5	37
4.10.	อัตราการดูดซึมของซีเมนต์เพสท์	39
4.11.	อัตราการดูดซึมของมอร์ต้าที่w/c 0.3	39
4.12.	อัตราการดูดซึมของมอร์ต้าที่w/c 0.4	40
4.13.	อัตราการดูดซึมของมอร์ต้าที่w/c 0.5	40
4.14.	กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ	41
4.15.	กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ	42
4.16.	การยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage)ของ มอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ	43
4.17.	การยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage)ของ มอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ	43
4.18.	เปรียบเทียบการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage)ของมอร์ต้า ที่ใส่ผงอลูมิเนียมกับมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มด้วยไอน้ำแรงดันสูง	44
4.19.	เปรียบเทียบการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage)ของมอร์ต้า ที่ใส่ผงอลูมิเนียมกับมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มด้วยน้ำ	44
4.20.	เปรียบเทียบการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage)ของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียม กับมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการใช้พลาสติกหุ้มกันการสูญเสียความชื้น	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.21.	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณปูนขาวของซีเมนต์เพสท์	46
4.22.	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับปริมาณปูนขาวของซีเมนต์เพสท์	46
5.1	แสดงรอยแยกของคอนกรีตเบา	48
5.2	แสดงฝาปิดเครื่อง Autoclave	49
5.3	แสดงการระบายความดันภายในเครื่อง	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. กล่าวนำ

ประเทศไทยกำลังพัฒนาด้านเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ซึ่งงานด้านวิศวกรรมโยธาก็ได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วตามสภาพเศรษฐกิจ ทำให้เกิดการแข่งขันกันนำเทคโนโลยีใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดเวลาในการก่อสร้าง ลดค่าใช้จ่าย จึงได้มีการนำคอนกรีตเบามาใช้ในการก่อสร้างกันอย่างแพร่หลาย เช่น อิฐมวลเบา ซึ่งช่วยทำให้การก่อสร้างสะดวกรวดเร็วและง่ายในการทำงาน น้ำหนักที่ลดลงช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของโครงสร้าง อีกทั้งยังเป็นฉนวนกันความร้อนได้อย่างดี ซึ่งจะมีประโยชน์ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยตลอดจนอาคารสูง

1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาคอนกรีตเบาเริ่มมากกว่า 40 ปี ได้ทำการศึกษาการผลิตคอนกรีตเบาประเภท Lightweight Aggregate และพัฒนามาตลอด จนกระทั่งนำมาใช้งานก่อสร้างทั่วๆไป เช่น หล่อเป็นก้อนสี่เหลี่ยม (Block) กำแพง หลังคา พื้น และประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตอัดแรง

คอนกรีตเบาที่นำมาใช้งานจะมี 3 ประเภท คือ 1) คอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง 2) คอนกรีตเบาสำหรับงานก่อ 3) คอนกรีตเบาสำหรับงานฉนวนกันความร้อน ซึ่งคอนกรีตเบาสำหรับงานก่อมีผู้ผลิตหลายรายแข่งขันกันพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาแบบบล็อกคอนกรีต แต่คอนกรีตมวลเบาก็มีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น การรับกำลังอัด ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะรับน้ำหนักได้ไม่มาก แต่เนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างมีผลต่อการออกแบบและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง คอนกรีตเบาสำหรับโครงสร้างจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ควรจะนำใช้ประยุกต์ใช้งานในแบบต่างๆ เช่น งานเสา คาน พื้น พื้นดาดฟ้า หรือผนังรับน้ำหนักสำเร็จรูป เป็นต้น แต่ยังพบว่าประเทศไทยมีการวิจัยอยู่ไม่มาก

ดังนั้นหากมีการศึกษาวิจัยในการพัฒนาคอนกรีตเบาสำหรับโครงสร้าง โดยสามารถทำให้คอนกรีตที่ต้องรับกำลังอัดมีน้ำหนักลดลงได้ จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆซึ่งจะช่วยเพิ่มศักยภาพด้านงานก่อสร้าง ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาส่วนประกอบที่เหมาะสมของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้างโดยใช้ผงอลูมิเนียมทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต
2. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตเบาที่ได้จากผลการวิจัย

1.4. ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาการทำคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง ซึ่งมีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1,400-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีกำลังรับแรงอัด เมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในการทำวิจัยครั้งนี้ พิจารณาตัวแปรต่างที่มีผลต่อคอนกรีตเบาดังนี้

1. ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I
2. ใช้ผงอลูมิเนียม (Al) ในปริมาณตั้งแต่ 0% ถึง 0.1% โดยน้ำหนักซีเมนต์
3. อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ตั้งแต่ 0 ถึง 2.5
4. ใช้แบบหล่อชิ้นทดสอบทรงลูกบาศก์ 5 cm. × 5 cm. × 5 cm. ในการหากำลังรับแรงอัด , ความหนาแน่น และ อัตราการดูดซึม
5. ใช้แบบหล่อชิ้นทดสอบ 4 cm. × 4 cm. × 16 cm. ในการทดสอบการยืดหดตัว
6. การทดสอบเรื่องวิธีการบ่ม ใช้ไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave) , น้ำอุณหภูมิสูง , น้ำอุณหภูมิปกติ และการหุ้มด้วยพลาสติก(Wrapping)

1.5. วิธีการศึกษา

ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและศึกษางานวิจัยการทำคอนกรีตเบา
2. ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงอลูมิเนียม กับ ความหนาแน่นและกำลังอัด
3. ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทราย กับ ความหนาแน่นและกำลังอัด
4. ขั้นตอนทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตเบา
   - อัตราการดูดซึมน้ำ
   - กำลังรับแรงอัดกับวิธีการบ่ม
   - การยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. กล่าวนำ

คอนกรีตเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป โดยหากจำแนกคอนกรีตเบาตามหน่วยน้ำหนักสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. คอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural Lightweight Concrete)มีน้ำหนักระหว่าง 1,400 ถึง 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีกำลังต้านทานแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2. คอนกรีตชนิดกึ่งเบา (*Semi - Lightweight Concrete*) มีน้ำหนักตั้งแต่ 1,800 ถึง 2,050 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นำมาทำพวกคอนกรีตบล็อก สำหรับกำแพงรั้วและใช้เป็นวัสดุทนไฟ และมีกำลังต้านทานแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 120 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
3. คอนกรีตสำหรับงานฉนวนกันความร้อน (Insulating Lightweight Concrete) มีน้ำหนักตั้งแต่ 315 ถึง 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีกำลังต้านทานแรงอัดระหว่าง 7 ถึง 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2.2. วิธีผลิตคอนกรีตเบา ทำได้สองวิธี คือ

2.2.1. คอนกรีตเบาที่ใช้วัสดุผสมเบา

วัสดุผสมเบามีลักษณะที่สำคัญคือ พรุน ทำให้ความถ่วงจำเพาะมีค่าต่ำวัสดุผสมนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือวัสดุผสมที่ได้จากธรรมชาติ และวัสดุที่ทำเทียมขึ้น

1) วัสดุผสมที่ได้จากธรรมชาติ (Natural Aggregates)

ได้แก่ หินพรุน (Pumice) และหินละลายชนิดเบา (Scoria) ได้จากวัสดุทับถม (ลาวา)ภูเขาไฟ นำมาบดให้ได้ขนาดและจัดขนาด หินพรุนมีโพรงยาวจำนวนมาก และมีสีขาวเทาแกมน้ำเงิน โดยมีสารเจือปนเป็นรอยด่างสีน้ำตาลไม่เปราะง่าย ดูดซึมน้ำได้มากและมีการหดตัวมาก มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยน้ำหนัก 470 – 870 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีตเบาที่ทำจากหินพรุน มีหน่วยน้ำหนัก 710 –1,420 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีกำลังรับแรงอัดต่ำประมาณ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนหินละลายชนิดเบานั้นคล้ายคลึงกับหินพรุน แต่เป็นลาวาที่มีเซลล์ใหญ่กว่าและมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอมากกว่า เมื่อนำมาทำเป็นคอนกรีตเบาจะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับพวกหินพรุน

2) วัสดุผสมที่ทำเทียมขึ้น (Artificial Aggregates)

เป็นผลที่ได้จากการปฏิบัติทางความร้อนของวัสดุต่างๆต่อไปนี้คือ

ก) ดิน ดินดาน และหินชนวนเผา ซึ่งมีชื่อเรียกทางการค้าต่างๆเช่น เฮย์ไดท์ (Haydite) เลไลท์(Lelite) โซไลท์ (Solite) และทัฟฟ์-ไลท์ (Tuff-Lite)

ข) เพอร์ไลท์ (Perlite) เวอร์มิคิวไลท์ (Vermiculite) ซึ่งเป็นสารประกอบอลูมิโนซิลิเกต (ไมกา) ที่มีน้ำประกอบอยู่

ค) มวลรวมเบาที่ได้จากการผลิตนี้เป็นมวลรวมเบาที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมากที่สุดสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท

1. Expanded Clay Aggregate ได้จากการนำดินเหนียวมาผสมกับสารที่ทำให้เกิดฟองอากาศ และนำไปเผาในหม้อไฟ (Rotary Kiln) ที่ 1,200°C ณ อุณหภูมิขณะนี้จะมีการขยายตัวเนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์เกิดเป็นฟองอากาศอยู่ภายในเนื้อหิน ลักษณะของหินพวกนี้จะมีรูปร่างกลม แข็ง ผิวเรียบแน่น แต่เนื้อภายในเป็นโพรงอากาศ

2. Expanded Shale Aggregate ได้จากการนำดินดาน (Shale) มาผสมกับถ่านที่บดละเอียดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200°C วัตถุดิบจะถูกหลอมรวมกันและจะมีฟองอากาศถูกกักไว้ภายในเนื้อหิน ลักษณะจะเป็นหินที่มีความแข็งมาก หลังจากเผามวลรวมทั้ง 2 นี้ ได้ที่แล้ว จะนำมวลรวมที่ได้ไปย่อยให้ได้ตามขนาดตามต้องการ มวลรวมเบาชนิดนี้จะมีความแข็งแรงค่อนข้างดี จึงเป็นที่นิยมใช้ผลิตคอนกรีตเบา

3. Sintered Fly Ashได้จากการนำ Fly Ash หรือ PFA ที่ได้จากการนำไปเผาไหม้ของถ่านหินไปทำให้เป็นเม็ดก่อน แล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,400°C ณ อุณหภูมินี้อนุภาคของ Ash จะเกาะกัน ผิวของมวลรวมเบานี้ค่อนข้างเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีมวลรวมที่ได้จากของเหลือของขบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าที่หนัก Fumace Bottom Ash ที่ได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง หรือ ได้จากการพ่นน้ำไปบน slag ที่หลอมเหลว อันจะก่อให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อ Slag ที่แข็งตัวแล้ว หลังจากนั้นจะนำไปย่อยเพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ

ตารางที่ 2.1 ประเภทและคุณสมบัติของมวลรวมเบา (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร,2536)

วัสดุ	หน่วยน้ำหนักมวลรวมเบา kg/m^3	แหล่งกำเนิด	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต kg/m^3	กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ kg/cm^2	การดูดซึม (%)
Expanded Clay Expanded Shale	550-1,050	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	110-1,850	180-450	5-15
Fomed Slag	650-900	สังเคราะห์	110-1,850	180-450	5-25
Sintered Fly ash	600-100	สังเคราะห์	1,350-1,900	180-450	14-24
Vermiculite	65-200	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	400-950	8-35	20-35
Perlite	65-200	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	550-800	7-42	10-50
Pumice	-	ธรรมชาติ	800-1,300	50-60	สูงมาก
Crushed Stone	1,450-1,750	ธรรมชาติ	2,250-2,400	240-550	0.5-2.0

2.2.2. คอนกรีตมวลเบาที่ใช้สารเคมี

1) ทำให้เกิดโฟมก่อนผสม (Foaming Mixture)

คอนกรีตประเภทนี้ได้จากการผสมฟองอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-1 มิลลิเมตร หรือที่เรียกว่า "โฟม" ลงในคอนกรีต

การผสมมี 2 วิธี คือ

1) ผสมสารทำให้เกิดโฟม (Foaming Agent) ลงในส่วนผสม

2) ทำให้เกิดโฟมก่อนแล้วค่อยผสมกับมอร์ต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ใส่สารเคมีที่ทำปฏิกิริยา (Aerated Concrete)

ทำโดยใช้ผงด่างโลหะชนิดหนึ่ง (alkaline metal) ผสม เช่น ผงอลูมิเนียม (Aluminium Powder) ซึ่งเป็นสารผสมเพิ่มชนิดทำให้เกิดก๊าซ (Gas-forming Admixture) ผงอลูมิเนียมทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นผลจากการทำปฏิกิริยากับอัลคาไลน์ไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในซีเมนต์เพสท์ ไฮโดรเจนก็กลายเป็นฟองอากาศเล็กๆขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-1 มิลลิเมตร อยู่ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตพองตัวฟูขึ้นมาปริมาตรเพิ่มขึ้นกว่าเดิมหลายเท่า และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะกลายเป็นคอนกรีตที่มีรูเล็กๆอยู่ข้างในมากมาย คอนกรีตที่ได้เรียกว่า โฟมคอนกรีต (Aerated or Foam Concrete) โฟมคอนกรีตอาจผลิตโดยมีหรือไม่มีทรายผสมอยู่ก็ได้ โฟมคอนกรีตที่ไม่มีทรายผสมจะเบากว่าน้ำถึงสามเท่า คือน้ำหนักเพียง 200-300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทะฉนวนกันความร้อน หากมีทรายผสมด้วยจะหนัก 500-1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้อาจใช้ผงสังกะสี (Zinc Powder) หรือไฮโดรเจนเพอออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

การหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตเบาจะต่างกับวิธีที่ใช้คอนกรีตน้ำหนักธรรมดา เพราะวัสดุผสมจะดูดน้ำที่ใช้ผสมส่วนหนึ่งไป การคำนวณโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จึงค่อนข้างยาก โดยมากจึงเปลี่ยนใช้วิธีหาปริมาณของซีเมนต์ที่ต้องใช้ต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร

คอนกรีตที่ใช้วัสดุน้ำหนักเบา ต้องการเวลาผสมมากกว่าคอนกรีตธรรมดา และวัสดุผสมนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกแยะในขณะเทและเขย่าคอนกรีตมากกว่าธรรมดา ด้วยเหตุนี้จึงควรใช้สารกระจายกักฟองอากาศเข้าช่วยหรือวิธีการจัดการอย่างอื่น การแยกแยะในเนื้อคอนกรีตเป็นผลมาจากการลอยตัวอันเนื่องมาจากค่าความข้นตัวสูงเกินไปหรือใช้เครื่องเขย่านานเกินไป

คอนกรีตเบาที่ทำขึ้นจากวัสดุผสมต่างๆกัน จะมีน้ำหนักต่างกันมาก ซึ่งอาจมีหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 300-1,850 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีกำลังต้านทานแรงอัดตั้งแต่ 3-400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังต้านทานแรงอัดมีค่าขึ้นอยู่กับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ถ้าหน่วยน้ำหนักสูงกำลังต้านทานแรงอัดก็สูงด้วย ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ก็มีส่วนต่อกำลังความแข็งแรงของคอนกรีตเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าต้องการกำลังต้านทานแรงอัด 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ก็ต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 235-400 กิโลกรัมต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร หรือถ้าต้องการกำลังต้านทานแรงอัด 310 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ก็ต้องใช้ปูนซีเมนต์ 330-490 กิโลกรัมต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร

คอนกรีตที่ใช้วัสดุผสมน้ำหนักเบา ต้องการเวลาผสมมากกว่าคอนกรีตธรรมดา และวัสดุผสมนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกแยะในขณะเทและเขย่าคอนกรีตมากกว่าธรรมดา ด้วยเหตุนี้จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรใช้สารกระจายกักฟองอากาศเข้าช่วยหรือวิธีการจัดการอย่างอื่น การแยกแยะในคอนกรีตเป็นผลมาจากการลอยตัวอันเนื่องมาจากค่าการยุบตัวสูงเกินไปหรือใช้เครื่องเขย่านานเกินไป

คุณสมบัติของคอนกรีตเบา ได้แก่

1) คอนกรีตเบาดูดซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากมีรูพรุนมากกว่า
2) คอนกรีตเบาหดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณ 5-40% แต่คอนกรีตเบาที่ใช้วัสดุผสมซึ่งเป็นผลิตผลจาก ดินเผา ดินดานหรือตะกรัน จะหดตัวน้อยลง
3) คอนกรีตเบาอาจล้ามากกว่าคอนกรีตธรรมดา
4) ค่าปัวส์ซองเรโชของคอนกรีตเบาเท่ากับของคอนกรีตธรรมดา แต่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าประมาณ ½ ถึง ¾ เท่าของคอนกรีตธรรมดา เมื่อมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดประลัยเท่ากัน
5) คอนกรีตเบาเก็บเสียงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่ถ้าดัดแปลงผิวของคอนกรีตเสียใหม่แทนที่จะเก็บเสียง คอนกรีตเบานี้จะกลายเป็นฝาสำหรับสะท้อนเสียงได้สูงมาก
6) สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตเบาประมาณ 7×106 ถึง 14×106 ต่อองศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา
7) คอนกรีตเบามีความต้านทานเพลิงไหม้ได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา

2.3. การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา

การศึกษาคอนกรีตเบาเริ่มมากกว่า 40 ปี ได้ทำการศึกษาการผลิตคอนกรีตเบาประเภท Lightweight Aggregate และพัฒนามาตลอด จนกระทั่งนำมาใช้งานก่อสร้างทั่วๆไป เช่น หล่อเป็นก้อนสี่เหลี่ยม (Block) กำแพง หลังคา พื้น และประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตอัดแรง

ในปี ค.ศ. 1960 I.A. Benjamin ได้ทำการศึกษาการผลิตคอนกรีตเบาประเภท Foam Concrete โดยใช้สารเคมีทำให้เกิดฟองก่อนแล้วจึงผสมกับคอนกรีต ปรากฏว่าคอนกรีตที่มีความหนาแน่น 0.79-0.95 ตันต่อลูกบาศก์เมตร มีกำลังรับแรงอัด 31.6-52.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีการหดตัวที่ 180 วัน เท่ากับ 0.2-0.6% มีคุณสมบัติเด่นคือ เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี

ในปี ค.ศ. 1976 C.Bagon & S.Frondistou-Yannas ได้ทำการศึกษาและผลิตคอนกรีตเบาประเภท Aerated Concrete โดยใช้ส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3 น้ำ ทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละเอียด และสารทำให้เกิดฟองอากาศ ได้คอนกรีตที่มีความหนาแน่น 0.845 ตันต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัด 48 Modulus of Elasticity เท่ากับ 5.9×10^4

ในปี พ.ศ. 2525 ได้ทำการศึกษาและผลิตคอนกรีตเบาประเภท Foam Concrete โดยใช้ส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 น้ำ ทรายละเอียด ผงซักฟอก ได้คอนกรีตที่มีความหนาแน่น 1.06 ตันต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัดที่ 20 วัน เท่ากับ 5.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ในปี พ.ศ. 2528 ได้ทำการผลิตคอนกรีตพรุนโดยใช้สารที่ทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต โดยใช้สารที่ทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต มีชื่อทางเคมีว่า Sodium Lauryl Ether Sulphate ($NaC_{12}H_{25}SO_4$) คอนกรีตที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นส่วนผสมระหว่าง ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท3 กับ ทรายละเอียดในอัตราส่วน1:2โดยน้ำหนัก และกำหนดปัจจัยซึ่งเป็นตัวแปรขึ้น 3 อย่างคือ เวลาการผสม ปริมาณสารเคมี และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ได้คอนกรีตพรุนที่มีความหนาแน่นต่ำสุด 1.09 ตันต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้เวลาในการผสม 5 นาที อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6 ปริมาณสาร 2% ของน้ำหนักซีเมนต์ มีกำลังรับแรงอัด 27.8 และคอนกรีตพรุนที่มีกำลังรับแรงอัดสูงสุด มีค่าเท่ากับ 71.2 โดยใช้เวลาผสม 5 นาที อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 ปริมาณสาร 2% ของน้ำหนักซีเมนต์ มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.31 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งผลการทดลองต่างๆมีดังนี้

- ถ้าใช้เวลาผสมคอนกรีตน้อย กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะสูง ขณะเดียวกันความหนาแน่นจะสูงตามไปด้วย เมื่อใช้เวลาผสมมากขึ้นกำลังอัดของคอนกรีตและความหนาแน่นจะลดลง สำหรับการหดตัวนั้นมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาที่ใช้ผสมมากขึ้น
- ถ้าใช้ปริมาณของสารมาก ความหนาแน่นของคอนกรีตจะมีค่าต่ำกว่าที่ใช้ปริมาณสารน้อย
- ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกับปริมาณสาร ปรากฏว่ายังมีความสัมพันธ์กับ Water Cement Ratio (w/c) ด้วย กล่าวคืออัตราส่วนที่ใช้ w/c ไม่มาก คือในช่วง 0.2-0.5 และใช้ปริมาณน้อย กำลังรับแรงอัดจะน้อยกว่าที่ใช้ปริมาณสารมากกว่า โดยมี w/c ค่าเดียวกัน แต่ถ้าหาก w/c 0.6-0.8 กำลังรับแรงอัดที่ได้จะลดลงเมื่อใช้ปริมาณสารมากขึ้น
- ถ้าพิจารณาอัตราส่วนที่มี w/c ต่างกันแต่เพียงอย่างเดียว จะพบว่าความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับ w/c โดยที่คุณสมบัติทั้งสองเพิ่มขึ้น เมื่อ w/c เพิ่มขึ้นจนถึงค่า w/c ค่าหนึ่ง ซึ่งจะได้คุณสมบัติทั้งสองมีค่าสูงสุด และเมื่อเพิ่ม w/c ขึ้นอีกคุณสมบัติทั้งสองจะลดลงเรื่อยๆสำหรับค่า w/c ที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด อยู่ในช่วง 0.4 - 0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 2533 การผลิตคอนกรีตพรุนบ่มด้วยไอน้ำความดันสูง โดยการเติมฟองอากาศที่เกิดจากสารเคมีลงไป โดยการเติมฟองอากาศที่เกิดจากสารเคมีลงไป ฟองอากาศนี้ได้จากการอัดอากาศลงไป ในสารละลาย Sodium Lauryl Ether Sulphate ($NaC_{12}H_{25}SO_4$) ที่มีความเข้มข้น 4% โดยปริมาตร โดยใช้ฟองอากาศในปริมาณต่างๆกัน (100, 125, 150, 175, 200ลิตร ต่อ ซีเมนต์100 กิโลกรัม) คอนกรีตที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นส่วนผสมระหว่าง ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 3 กับ ทรายละเอียดในอัตราส่วน1:2โดยน้ำหนัก ผสมกับน้ำในอัตราส่วนต่างๆกัน จากการทดสอบสรุปผลได้ดังนี้

- เมื่อใช้เวลาบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำสูงมากกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนจะสูงขึ้นในขณะที่ความหนาแน่นไม่เปลี่ยนแปลงเท่าไหร่นัก และเมื่อทิ้งไว้ในอากาศนานขึ้นกำลังรับแรงอัดก็จะสูงขึ้นด้วย
- ถ้าใช้ปริมาณโฟมมากความหนาแน่นของคอนกรีตจะมีค่าต่ำสำหรับปริมาณ foam ที่ 200 ลิตรต่อซีเมนต์ 100 กิโลกรัม จะให้ความหนาแน่นต่ำกว่า จะให้ความหนาแน่นต่ำกว่า 1.00 ตันต่อลูกบาศก์เมตร แต่กำลังรับแรงอัดไม่ดีเท่าที่ควรมีปัญหาด้านการทรุดตัวมาก
- เมื่อคอนกรีตพรุนมีความหนาแน่นมากขึ้น จำนวนร้อยละของการดูดซึมน้ำจะมีค่าลดลง คอนกรีตพรุนที่ได้จากการทดสอบ จะมีร้อยละของการดูดซึมน้ำ 8.026 -23.335 โดยน้ำหนักของคอนกรีตพรุนและมีความหนาแน่น 0.766-1.52 สำหรับปริมาณ foam เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นสำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆนั้น จะได้ว่าสำหรับ w/c ในช่วง 0.45-0.5 ความหนาแน่นจะลดลงและกำลังรับแรงอัดจะลดลงสำหรับ w/c ในช่วง 0.55-0.6 ความหนาแน่นจะมากขึ้นกำลังรับแรงอัดจะมากขึ้นด้วยสำหรับค่า w/c ที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดคือ 0.60

ในปี 2539 ได้ทำการศึกษาบล็อคคอนกรีตผนัง ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ อัตราส่วนผสมวัสดุที่เหมาะสม และลักษณะรูปทรงที่เหมาะสมในการผลิตบล็อคผนังเบา โดยศึกษาจากวัตถุดิบธรรมชาติ 2 ชนิด คือ pumice กับ perlite นำมาผสมกับซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ : กลุ่มที่ 1 ใช้ส่วนผสมปูน ซีเมนต์ ทราย pumice และกลุ่มที่ 2 ใช้ส่วนผสมปูนซีเมนต์ ทราย pumice perlite ควบคุมการเติมน้ำไม่ให้แห้ง หรือเปียก จนเกินไป เก็บข้อมูล Unit Weight และ Strength ที่อายุ 3, 7, 14, 21และ 28 วัน นำมาเปรียบเทียบและเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด จากผลการศึกษานำมาทดลองสร้างเป็นชิ้นงานจริงด้วยการทำเป็นก้อนบล็อกขนาด สูง 190 มิลลิเมตร ยาว 390 มิลลิเมตร และหนา 90 มิลลิเมตร สรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือปูนซีเมนต์:ทราย:pumice:perlite ในสัดส่วน1:0.80:2.40:0.80 โดยน้ำหนัก ได้ค่า Unit Weight 1,452 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ Strength 118 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ที่อายุ 28 วัน ก้อนอิฐบล็อก หนักเฉลี่ย 6.5 กิโลกรัม มีคุณสมบัติไม่ติดไฟ ทนความร้อนและมีอัตราการดูดซึมน้ำประมาณ 19.6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 2540 คอนกรีตเบาที่ผลิตโดยวิธีผงอลูมิเนียม โดยใช้อัตราส่วน ปูน ต่อ ทราย 1:1 โดยน้ำหนัก ปูนขาว 5% และยิปซัม 3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ได้ว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุน จะแปรผกผันกับ ปริมาณผงอลูมิเนียม และแปรผกผันกับ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตพรุน จะแปรผกผันกับ ปริมาณผงอลูมิเนียม และแปรผกผันกับ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ความหนาแน่นของคอนกรีตพรุน จะแปรผกผันกับ ปริมาณผงอลูมิเนียม และแปรผกผันกับ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราการดูดซึมของคอนกรีตพรุน จะแปรผันตรงกับ ปริมาณผงอลูมิเนียม และแปรผันตรงกับ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดสอบครั้งนี้ โดยพิจารณาจาก กำลังรับแรงอัด และแรงเฉือน ความหนาแน่น และการดูดซึมของคอนกรีตพรุน คือ ใช้ปริมาณผงอลูมิเนียม 0.15% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 มีราคาประมาณ 2,610 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และมีคุณสมบัติดังนี้ กำลังรับแรงอัด 46.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังรับแรงเฉือน 7.17 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความหนาแน่น 1.19 ตันต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการดูดซึม 35.36% การศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Standing Wave จะได้ว่าช่วง ความถี่ต่ำค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมมีค่าใกล้เคียงกับผนังก่ออิฐฉาบปูนทั่วไปคือ 4.46% กับ 5% ตามลำดับ แต่จะมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้น ที่ความถี่ 500 เฮิร์ท มีค่า 24.98%กับ 20.6% ตามลำดับ ความถี่สำคัญที่ 1,000 เฮิร์ท มีค่าแตกต่างกันคือ 19.6% กับ 11.5% จากการนั้นค่าความถี่ 2,000 และ 4,000 เฮิร์ท

ในปี 2543 ได้มีการศึกษาวัสดุผสมคอนกรีตและเศษโฟม ในลักษณะการแทนที่หินด้วยโฟมโดยปริมาตร โฟมที่ใช้มีขนาดเท่าหินเบอร์ 1 เป็นเศษโฟมที่เหลือทิ้งในธรรมชาติ กำหนดกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 425 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ปริมาณโฟมที่แทนที่คอนกรีต 0% ,15% ,30% ,45% ,60% และ 75% และบ่มที่ 3,5,7 วัน จากผลการทดลองการรับกำลังอัดที่ 28 วันคอนกรีตที่บ่ม 7 วันจะมีกำลังสูงที่สุด

- คอนกรีตที่แทนที่ด้วยโฟม 0% โดยปริมาตรของหิน มีความหนาแน่น 2,484.0 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัด 343.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- คอนกรีตที่แทนที่ด้วยโฟม 15% โดยปริมาตรของหิน มีความหนาแน่น 2,198.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัด 215.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- คอนกรีตที่แทนที่ด้วยโฟม 30% โดยปริมาตรของหิน มีความหนาแน่น 1,985.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัด 156.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- คอนกรีตที่แทนที่ด้วยโฟม 45% โดยปริมาตรของหิน มีความหนาแน่น 1,814.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัด 116.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คอนกรีตที่แทนที่ด้วยโฟม 60% โดยปริมาตรของหิน มีความหนาแน่น 1,765.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัด 117.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- คอนกรีตที่แทนที่ด้วยโฟม 75% โดยปริมาตรของหินมีความหนาแน่น 1,317.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัด 72.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1. การเตรียมส่วนผสมและการผสม

ขั้นตอนแรกของการเตรียมการทดสอบ คือ การผสมคอนกรีตเบา ซึ่งชิ้นตัวอย่างที่จะนำไปทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ 1. ชิ้นตัวอย่างซีเมนต์เพสท์ หมายถึง ตัวอย่างที่มีส่วนผสมเฉพาะซีเมนต์กับน้ำและสารผสมเพิ่ม 2. ชิ้นตัวอย่างมอร์ต้า หมายถึง ตัวอย่างที่มีส่วนผสมของซีเมนต์ , น้ำ , ทรายและสารผสมเพิ่ม โดยทั้งสองชนิดจะมีวิธีการผสมที่ไม่แตกต่างกันมาก

3.1.1. การผสมซีเมนต์เพสท์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมมีดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ประเภทที่ 1
2. ผงอลูมิเนียม ดังแสดงในรูปที่ 3.1.
3. น้ำ
4. เครื่องผสมซีเมนต์เพสท์และมอร์ต้า ดังแสดงในรูปที่ 3.2.
5. แบบหล่อตามที่กำหนดไว้ในการทดลองต่างๆ
6. เกรียงสำหรับปาด
7. เหล็กสำหรับกระทุ้ง

วิธีการผสมมีดังนี้

1. เตรียมส่วนผสมต่างๆ โดยชั่งหนักตามอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้
2. เทปูนซีเมนต์กับผงอลูมิเนียมลงไปในเครื่องผสม แล้วปั่นผสมรวมกันก่อน โดยใช้เวลาประมาณ 30 วินาที เพื่อให้ผงอลูมิเนียมกระจายทั่วตัวอย่าง
3. หลังจากนั้นค่อยๆเทน้ำลงไปที่ช่องด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.3.
4. ปั่นช้า 1 $^1/_2$ นาที แล้วปั่นเร็วอีก 1 $^1/_2$ นาที
5. เทส่วนผสมที่ได้ ลงในแบบหล่อที่ได้ทาน้ำมันไว้แล้ว โดยเทครั้งละ $^1/_3$ ของแบบ กระทุ้งให้ทั่วประมาณ 25 ครั้ง เทต่อไปจนกระทั่งเต็มแบบ

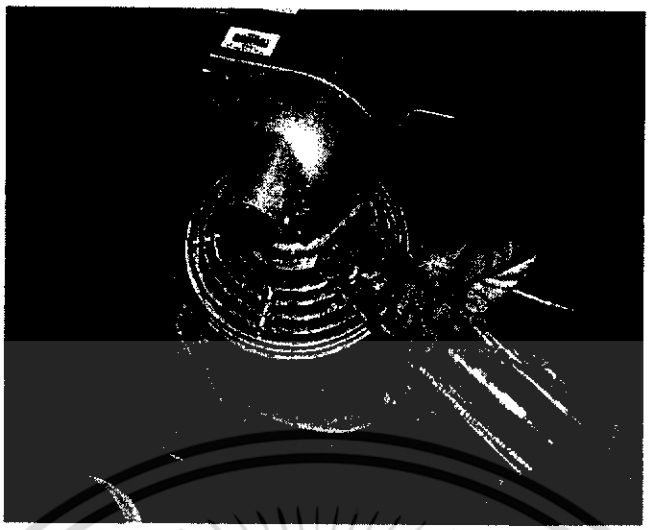
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ในชุดที่ใส่ผงอลูมิเนียมจะเทไม่เต็มแบบ เนื่องจากซีเมนต์เพสท์จะมีการขยายตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.4. โดยอัตราส่วนที่เทจะขึ้นอยู่กับปริมาณผงอลูมิเนียม คือ ถ้าใส่ผงอลูมิเนียมมากก็จะเผื่อไว้มาก แต่ควรเทลงไปไม่น้อยกว่า $^3/_4$ ของแบบหล่อ
7. รอให้ตัวอย่างขยายตัวเต็มที่ (ดูรูปที่ 3.5. และรูปที่ 3.6.) โดยใช้เวลาประมาณ 90 นาที (จากผลการทดสอบในหัวข้อที่ 4.1) แล้วทำการปาดตกแต่งด้วยเกรียง ดังแสดงในรูปที่ 3.7.
8. ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงแกะแบบ แล้วชั่งน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 3.8.
9. บ่มตัวอย่างตามวิธีการที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละประเภทของการทดสอบ
10. เมื่อครบกำหนดจะนำตัวอย่างเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ
11. บันทึกผลแล้วนำมาวิเคราะห์

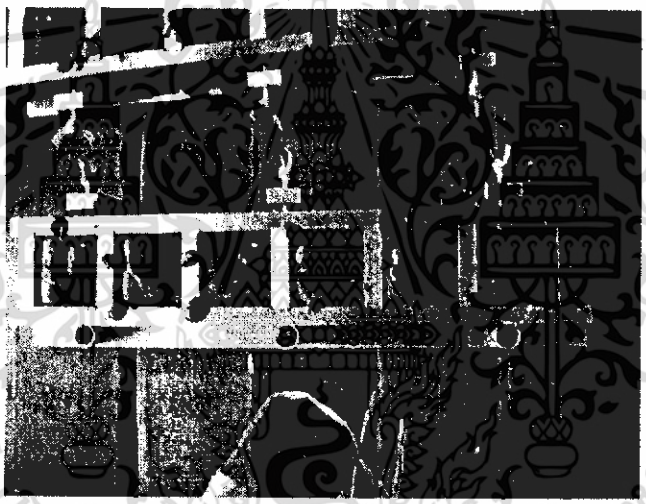
รูปที่ 3.1. ผงอลูมิเนียม

รูปที่ 3.2. เครื่องผสมซีเมนต์เพสท์และมอร์ต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



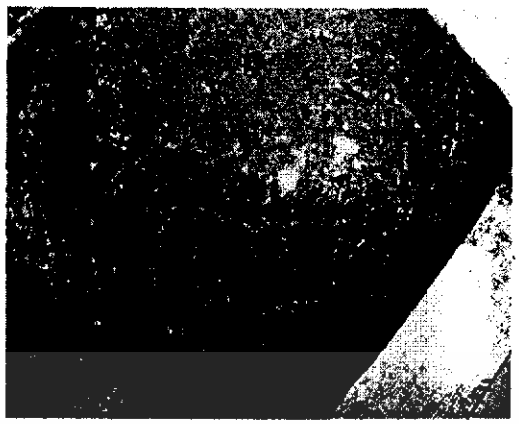
รูปที่3.3. การใส่น้ำขณะเครื่องผสมกำลังทำงาน



รูปที่ 3.4. เทไม่เต็มแบบ

รูปที่ 3.5. การขยายตัวจนล้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

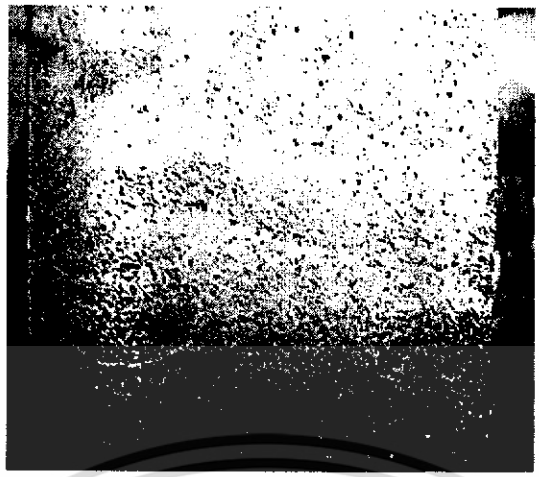


รูปที่ 3.6. ลักษณะผิวของตัวอย่างที่ขยายตัว

รูปที่ 3.7. การปาดตกแต่งให้เรียบ

รูปที่ 3.8. ตัวอย่างที่แกะออกจากแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9. ลักษณะผิวตัวอย่างที่ได้หลังจากแกะแบบ

3.1.2. การผสมตัวอย่างมอร์ต้า

ในการผสมมอร์ต้าจะคล้ายกับการผสมซีเมนต์เพสท์แต่จะมีขั้นตอนที่เพิ่มเข้ามา คือการผสมทรายลงไป โดยจะค่อยๆเททรายลงไปหลังจากใส่น้ำแล้วในขณะที่เครื่องผสมกำลังทำงานอยู่ ทรายที่นำมาใช้ คือ ทรายละเอียดและจะต้องมีสภาพอิ่มตัวผิวแห้งเพื่อไม่ให้ความชื้นในทรายทำให้การทดลองคลาดเคลื่อน อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

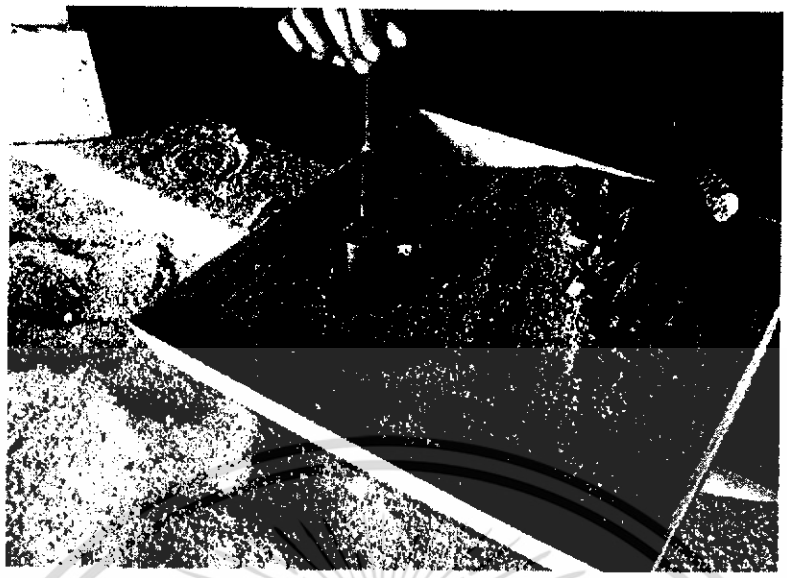
1. กรวยสำหรับทดสอบทราย
2. ท่อนเหล็กทรงกระบอกสำหรับตอกทราย
3. ถาดหรือภาชนะพื้นเรียบ

วิธีการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ตั้งกรวยในลักษณะคว่ำบนภาชนะที่เรียบ
2. ใส่ทรายลงในกรายประมาณ 1/3 ของความสูงกรวย
3. ยกท่อนเหล็กให้สูงกว่าปากกรวยเล็กน้อยแล้วปล่อยตกด้วยแรงโน้มถ่วง 25 ครั้ง
4. ทำตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนกระทั่งทรายเต็มกรวย ดังแสดงในรูปที่ 3.10.
5. ยกกรวยขึ้น แล้วสังเกตลักษณะการพังทลายของทราย ดังแสดงในรูปที่ 3.11.
6. ถ้าบริเวณรอบนอกทลาย ส่วนบริเวณแกนกลางยังคงรูปเดิม ไม่พังทลายทั้งหมด จะถือว่าเป็นสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.11. (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

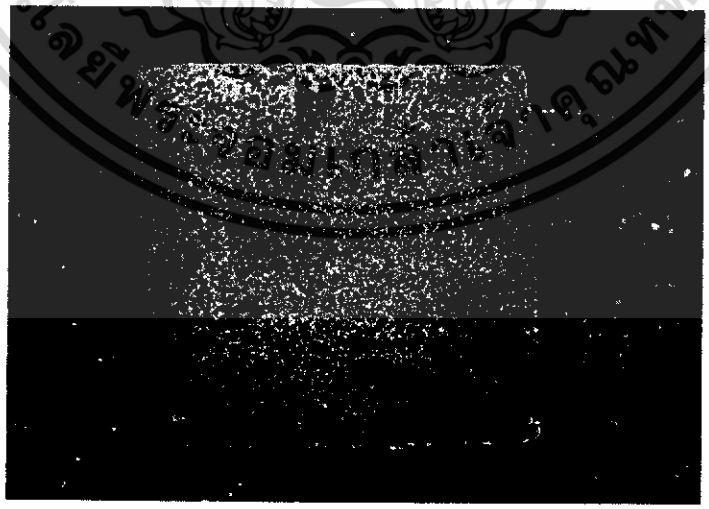
62923



รูปที่ 3.10. แสดงการทดสอบสภาพอิ่มตัวผิวแห้งของทราย

(ก) สภาพแห้งเกินไป (ข) สภาพชื้นเกินไป (ค) สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

รูปที่ 3.11. ลักษณะการพังทลายของทรายที่สภาพความชื้นต่างๆ



รูปที่ 3.12. แสดงลักษณะผิวของมอร์ต้าที่ผสมผงอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

ในหัวข้อนี้จะแสดงจำนวนชิ้นตัวอย่างและแบบหล่อที่ต้องใช้ในแต่ละการทดสอบ โดยกำหนดขอบเขตให้ใช้ผงอลูมิเนียม (Al) ในปริมาณตั้งแต่ 0% ถึง 0.1% โดยน้ำหนักซีเมนต์ อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ตั้งแต่ 0 ถึง 2.5 การทดสอบต่างๆแบ่งออกเป็น 7 หัวข้อ ดังนี้

3.2.1. การทดลองหาอัตราการขยายตัวที่เวลาต่างๆ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการขยายตัวสูงสุด เพื่อนำมาใช้กำหนดระยะเวลาที่จะทำการปาดหน้าตัวอย่างสำหรับการทดสอบในหัวข้ออื่นๆต่อไป อุปกรณ์เพิ่มเติมที่ต้องใช้ คือ กระบอกพลาสติกใส เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และแถบวัดความยาว ในการทดลองจะใช้ซีเมนต์เพสท์ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด แต่ละชุดจะมี 3 ตัวอย่าง รวม 9 ตัวอย่าง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. w/c Ratio 0.3 ปริมาณผงอลูมิเนียม 0.1%
2. w/c Ratio 0.4 ปริมาณผงอลูมิเนียม 0.1%
3. w/c Ratio 0.5 ปริมาณผงอลูมิเนียม 0.1%

มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ติดแถบวัดความยาวที่กระบอกพลาสติกใสและขีดเส้นกำหนดความสูงเริ่มต้นไว้ที่ 10 ซ.ม.
2. เทส่วนผสมที่ได้ลงในท่อพลาสติกใสจนถึงเส้นที่ขีดไว้ พร้อมทั้งบันทึกเวลาเริ่มต้น
3. บันทึกความสูงของตัวอย่างทุกๆ 5 นาที จนกระทั่งพบว่าความสูงไม่เพิ่มขึ้นเป็นเวลา 20 นาที

รูปที่ 3.13. ตัวอย่างการทดสอบหาอัตราการขยายตัวที่เวลาต่างๆ

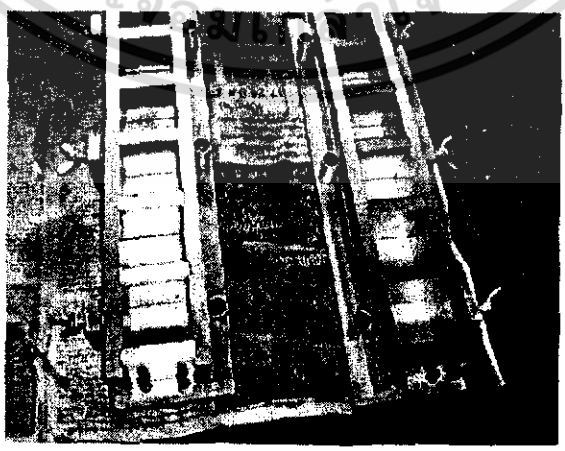
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงอลูมิเนียมกับความหนาแน่นและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงอลูมิเนียมกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ w/c Ratio 0.3 , 0.4 , 0.5 ปริมาณผงอลูมิเนียมตั้งแต่ 0 - 0.1% ใช้แบบหล่อขนาด 5cm. × 5cm. × 5cm. ดังแสดงในรูปที่ 3.14 การบ่มจะบ่มด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 3 , 7 , 28 วัน จำนวนชิ้นตัวอย่างได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1.

ตารางที่ 3.1. จำนวนตัวอย่างในการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์

w/c Ratio	Aluminium Powder (%)	Number of sample		
		3 days	7 days	28 days
0.3	0.000%	3	3	3
	0.010%	3	3	3
	0.025%	3	3	3
	0.050%	3	3	3
	0.075%	3	3	3
	0.100%	3	3	3
0.4	0.000%	3	3	3
	0.010%	3	3	3
	0.025%	3	3	3
	0.050%	3	3	3
	0.075%	3	3	3
	0.100%	3	3	3
0.5	0.000%	3	3	3
	0.010%	3	3	3
	0.025%	3	3	3
	0.050%	3	3	3
	0.075%	3	3	3
	0.100%	3	3	3



รูปที่3.14. แบบหล่อ 5cm. × 5cm. × 5cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทรายต่อซีเมนต์ กับความหนาแน่นและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทรายกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ w/c Ratio ต่างๆ จากผลการทดลองที่ในหัวข้อ 4.2 ได้ทำการเลือกปริมาณผงอลูมิเนียมที่น่าสนใจมาใช้ 2 แบบ คือ 0.025% และ 0.1% แบบหล่อที่ใช้ในการทดสอบ คือ แบบหล่อขนาด 5cm. × 5cm. × 5cm. โดยจำนวนชิ้นตัวอย่างที่ใช้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2.

ตารางที่ 3.2. จำนวนตัวอย่างในการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

w/c Ratio	Sand / Cement	Aluminium Powder (%)	Number of sample		
			3 days	7 days	28 days
0.3	0.5	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	0.75	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	1	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	1.5	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	1.75	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
0.4	0.5	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	0.75	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	1	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	1.5	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	2	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
0.5	0.5	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	1	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	1.5	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	2	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3
	2.5	0.025%	3	3	3
		0.100%	3	3	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึม

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึมกับปริมาณผงอลูมิเนียม , w/c Ratio และ ปริมาณทราย โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของซีเมนต์เพสท์และส่วนของมอร์ต้า แบบหล่อที่ใช้ในการทดสอบ คือ แบบหล่อขนาด 5cm. × 5cm. × 5cm. จากผลการทดสอบในหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 ได้ทำการเลือกปริมาณผงอลูมิเนียมและปริมาณทรายมาใช้ โดยได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3. และ ตารางที่ 3.4.

ตารางที่ 3.3. จำนวนตัวอย่างในการทดสอบอัตราการดูดซึมของซีเมนต์เพสท์

w/c Ratio	Aluminium Powder (%)	Number of sample
0.3	0.000%	3
	0.025%	3
	0.050%	3
	0.100%	3
0.4	0.000%	3
	0.025%	3
	0.050%	3
	0.100%	3
0.5	0.000%	3
	0.025%	3
	0.050%	3
	0.100%	3

ตารางที่ 3.4. จำนวนตัวอย่างในการทดสอบอัตราการดูดซึมของมอร์ต้า

w/c Ratio	Sand / Cement	Aluminium Powder (%)	Number of sample
0.3	1	0.025%	3
		0.100%	3
	1.5	0.025%	3
		0.100%	3
0.4	1	0.025%	3
		0.100%	3
	2	0.025%	3
		0.100%	3
0.5	1	0.025%	3
		0.100%	3
	2	0.025%	3
		0.100%	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

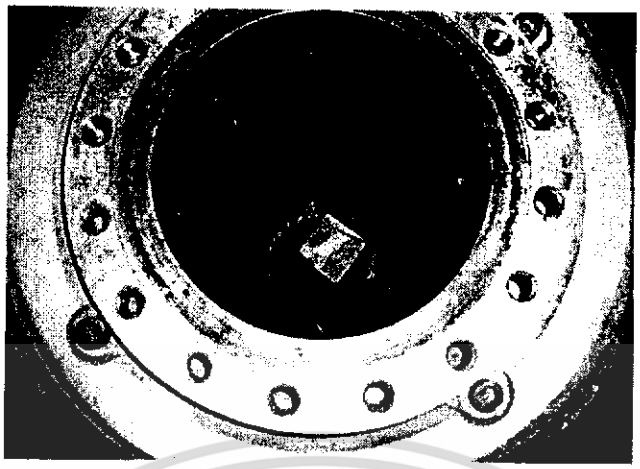
3.2.5. การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีต่างๆ

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่บ่มด้วยวิธีต่างๆ จากผลการศึกษาในหัวข้อที่ 4.3 โดยพิจารณาตัวอย่างที่มีความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดอยู่ในขอบเขตการศึกษา จึงได้เลือกทดสอบมอร์ต้าที่ w/c Ratio 0.5 ปริมาณทรายต่อซีเมนต์ที่ 2 และปริมาณผงอลูมิเนียมที่ 0% และ 0.1% แบบหล่อที่ใช้ในการทดสอบ คือ แบบหล่อขนาด 5cm. × 5cm. × 5cm. จำนวนชิ้นตัวอย่างที่ใช้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5 และวิธีการบ่มจะแบ่งเป็น 4 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

1. **การบ่มด้วยไอน้ำแรงดันสูง หรือ** Autoclave โดยจะทำการบ่มชิ้นตัวอย่างด้วยไอน้ำแรงดัน 12 บาร์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วบ่มด้วยน้ำตามปกติ ในการบ่มจะนำชิ้นตัวอย่างใส่ในเครื่อง Autoclave (ดูรูปที่ 3.15.) ใส่น้ำลงไปประมาณ 2 ลิตร โดยน้ำที่ใส่ลงไปจะต้องไม่ท่วมชิ้นตัวอย่าง จากนั้นทำการปิดฝาเครื่องและขันน็อตให้สนิท เปิดสวิตช์ทิ้งไว้ เครื่องจะทำการรักษาความดันโดยอัตโนมัติ เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดจึงทำการปิดเครื่องและรอให้ความดันลดลงจนหมดแล้วจึงทำการเปิดฝา ตัวอย่างที่บ่มแล้วส่วนหนึ่งจะนำมาทดสอบเลยและอีกส่วนหนึ่งจะนำไปบ่มด้วยน้ำเป็นระยะเวลา 3 , 7 และ 28 วัน

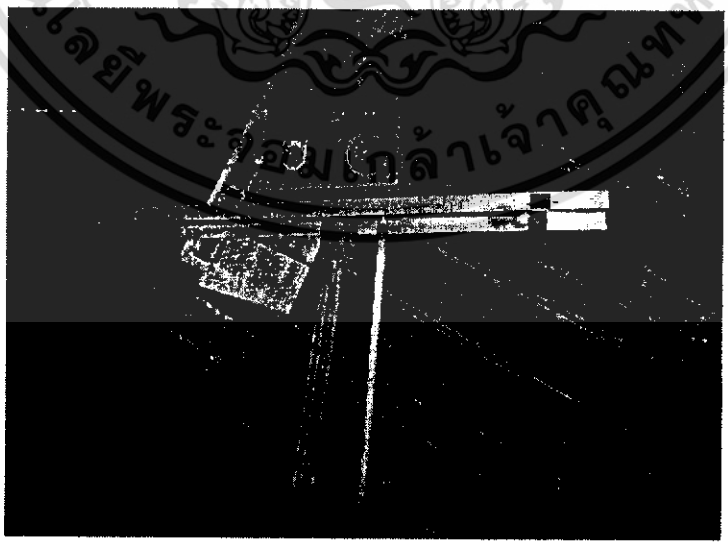
รูปที่ 3.15. เครื่อง Autoclave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



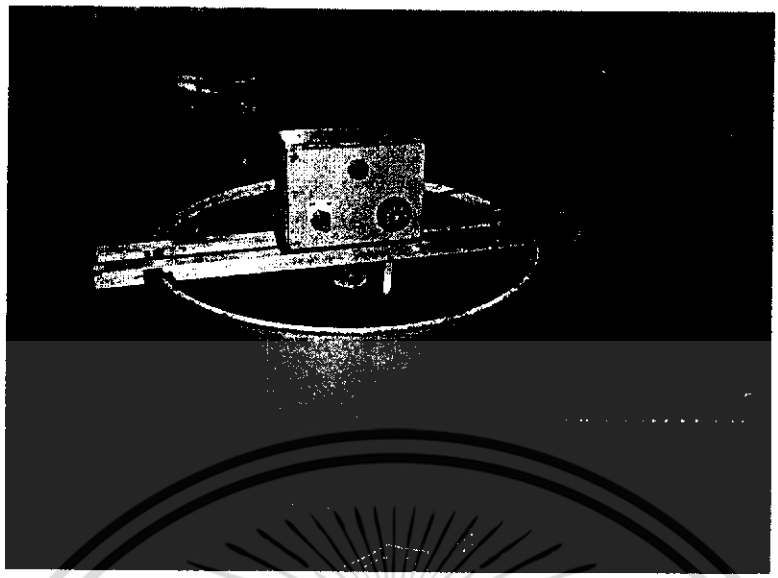
รูปที่ 3.16. แสดงพื้นที่ภายในเครื่อง Autoclave

2. การบ่มด้วยน้ำอุณหภูมิสูง จะทำการบ่มชิ้นตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิ 83 °C เป็นเวลานาน 12 ชั่วโมง แล้วจะทำการบ่มด้วยน้ำตามปกติ ในการบ่มจะใช้เครื่องเพิ่มอุณภูมิน้ำ (ดูรูปที่ 3.17.) ติดตั้งบนถังน้ำเหล็กขนาดใหญ่หรือถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร (ดูรูปที่ 3.18.) ในการติดตั้งจะต้องเติมน้ำจนท่วมก้านเหล็กสำหรับให้ความร้อนเพื่อป้องกันอันตรายจากก้านเหล็กที่ร้อนจัดแต่ไม่สามารถถ่ายความร้อนลงสู่น้ำได้ ซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ในส่วนอื่นๆเกิดความเสียหายและต้องหมั่นดูปริมาณน้ำให้ท่วมก้านเหล็กอยู่เสมอ ตัวอย่างที่บ่มแล้วส่วนหนึ่งจะนำมาทดสอบเลยและอีกส่วนหนึ่งจะนำไปบ่มด้วยน้ำเป็นระยะเวลา 3 , 7 และ 28 วัน



รูปที่ 3.17. เครื่องเพิ่มอุณภูมิน้ำ

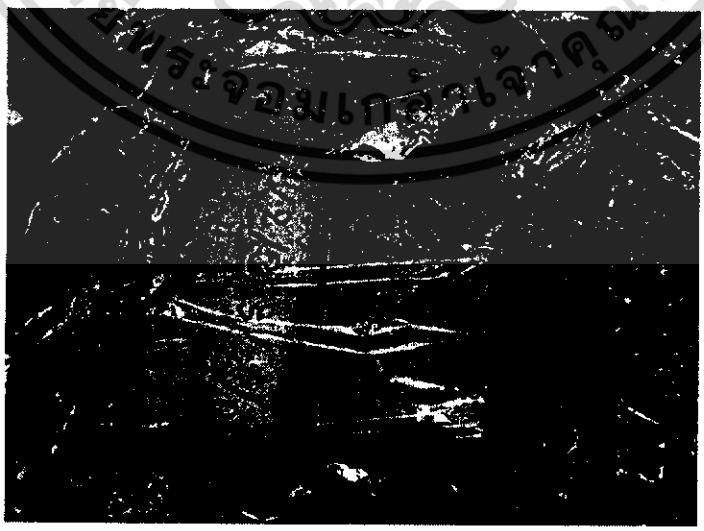
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18. การติดตั้งเครื่องเพิ่มอุณภูมิน้ำบนถังเหล็ก

3. การบ่มด้วยน้ำอุณหภูมิปกติ จะทำการบ่มชิ้นตัวอย่างด้วยน้ำสะอาดในอุณหภูมิปกติ ตัวอย่างที่บ่มส่วนหนึ่งจะนำมาทดสอบหลังการบ่ม 12 ชั่งโมงและอีกส่วนหนึ่งจะบ่มเป็นระยะเวลา 3 , 7 และ 28 วัน

4. การหุ้มด้วยพลาสติก หรือ Wrapping โดยจะนำพลาสติกใสมาหุ้มชิ้นตัวอย่างเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.19. ตัวอย่างที่บ่มส่วนหนึ่งจะนำมาทดสอบหลังการบ่ม 12 ชั่งโมงและอีกส่วนหนึ่งจะบ่มเป็นระยะเวลา 3 , 7 และ 28 วัน



รูปที่ 3.19. การหุ้มด้วยพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5. จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีต่างๆ

w/c Ratio	Sand / Cement	Aluminium Powder (%)	curing type	number of sample			
				2 days	3 days	7 days	28 days
0.5	2	0.000%	A.c.	3	3	3	3
			H.W.c.	3	3	3	3
			water	3	3	3	3
			wrapping	3	3	3	3
0.5	2	0.100%	A.c.	3	3	3	3
			H.W.c.	3	3	3	3
			water	3	3	3	3
			wrapping	3	3	3	3

A.c. หมายถึง การบ่มด้วยไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave)

H.w.c. หมายถึง การบ่มด้วยน้ำอุณหภูมิสูง

Water หมายถึง การบ่มด้วยน้ำอุณหภูมิปกติ

Wrapping หมายถึง การบ่มด้วยการหุ้มพลาสติกใส (Wrapping)

2 days หมายถึง ระยะเวลาหลังการบ่มครบ 12 ชั่วโมง

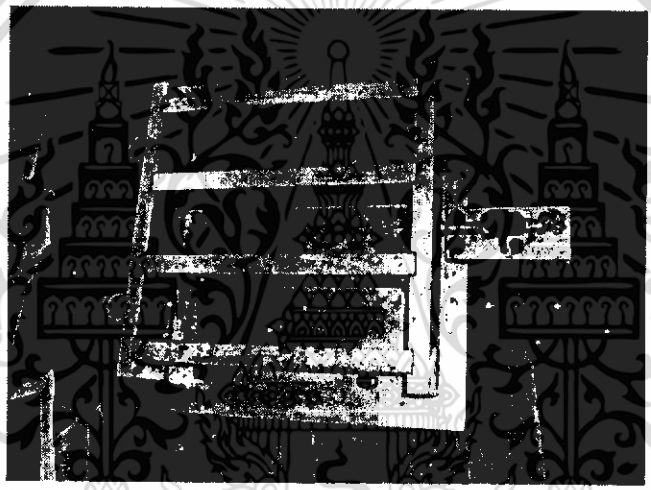
3.2.6. การทดสอบการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) ที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาการยืดหดตัวที่การบ่มด้วยวิธีต่างๆ โดยรูปแบบการบ่มและมีจำนวนชิ้นตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 3.6. แบบหล่อที่ใช้ในการทดสอบ คือ แบบหล่อขนาด 4cm. × 4cm. × 16cm. ดังแสดงในรูปที่ 3.20. โดยจะมีการติดตั้ง gauge plug 2 ตัวที่ด้านหัวและด้านท้ายตัวอย่าง (ดูรูปที่ 3.21.) เพื่อใช้เป็นจุดในการวัดการยืดหดตัว และก่อนทำการหล่อตัวอย่างจะทำการวัดความยาวภายในระหว่าง gauge plug ทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 3.22. ในการทดสอบจะทำการวัดการยืดหดตัวหลังการบ่ม และที่ระยะเวลา 3 วัน , 7 วัน และ 28 วัน

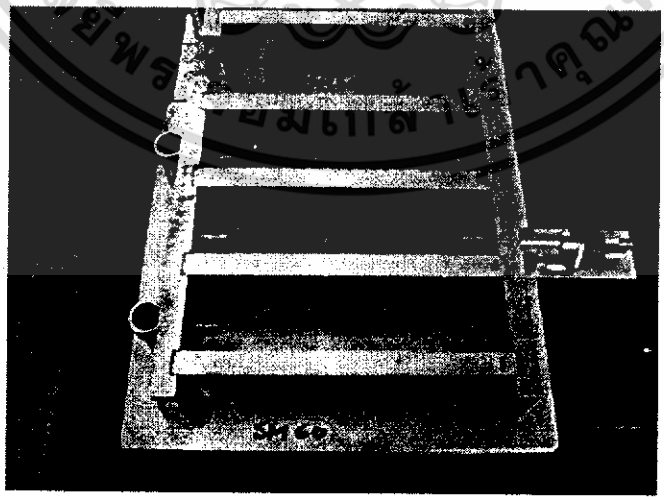
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6. จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage)

w/c Ratio	Sand / Cement	Aluminium Powder (%)	curing type	number of sample
0.5	2	0.000%	A.c. H.W.c. water wrapping	3 3 3 3
0.5	2	0.100%	A.c. H.W.c. water wrapping	3 3 3 3

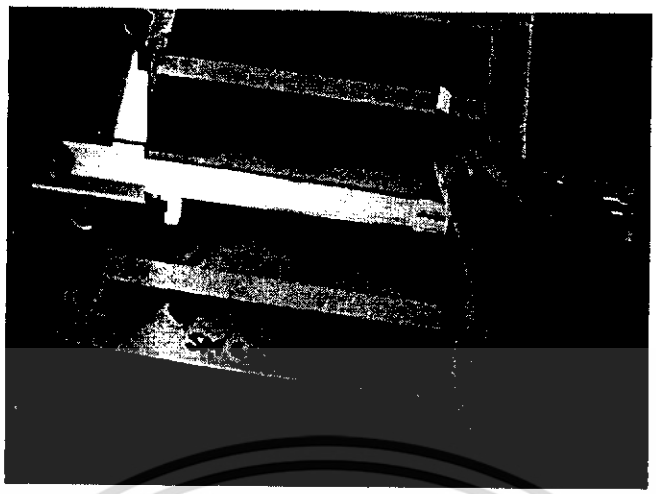


รูปที่ 3.20. แสดงแบบหล่อ 4cm. × 4cm. × 16cm.

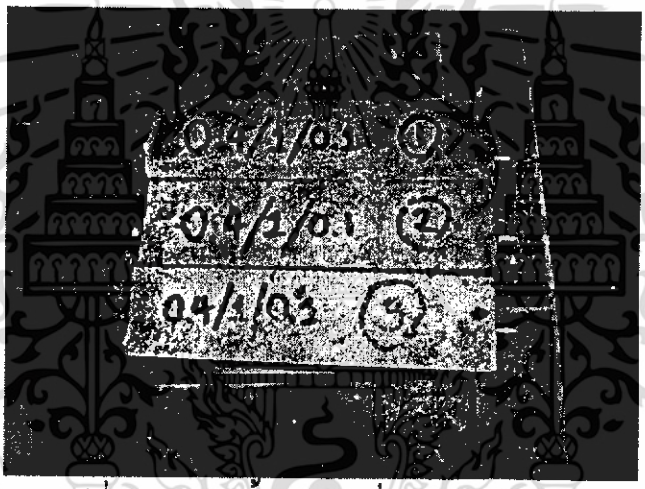


รูปที่ 3.21. การติดตั้ง gauge plug

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22. การวัดระยะภายในระหว่าง gauge plug



รูปที่ 3.23 แสดงชิ้นตัวอย่างที่ถอดจากแบบแล้ว

3.2.7. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว

เป็นการทดสอบที่เพิ่มเข้ามานอกเหนือจากขอบเขตของการศึกษา โดยทำการศึกษาเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างปริมาณปูนขาวกับความหนาแน่นและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนขาวกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ แบบหล่อที่ใช้ในการทดสอบ คือ แบบหล่อขนาด 5cm. × 5cm. × 5cm. ขั้นตอนการผสมจะคลุกเคล้าปูนซีเมนต์กับปูนขาวก่อนแล้วจึงดำเนินการในขั้นต่อไป การบ่มจะบ่มด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 3 , 7 , 28 วัน จำนวนชิ้นตัวอย่างที่ใช้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7. จำนวนตัวอย่างในการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว

w/c Ratio	Aluminium Powder (%)	ปูนขาว (%)	number of sample		
			3 days	7 days	28 days
0.5	0.050%	2.5%	3	3	3
		5.0%	3	3	3
		7.5%	3	3	3
		10.0%	3	3	3

3.3 วิธีการทดสอบและการคำนวณ

3.3.1. การหาอัตราการขยายตัว

บันทึกความสูงของตัวอย่างทุกๆ 5 นาที จนกระทั่งพบว่าความสูงไม่เพิ่มขึ้นเป็นเวลา 20 นาที นำผลการทดลองที่ได้บันทึกมาคำนวณดังสมการ (1)

$$\text{อัตราการขยายตัว (\%)} = \frac{\text{ความสูงที่เวลาต่างๆ - ความสูงเริ่มต้น}}{\text{ความสูงเริ่มต้น}} \times 100 \qquad (1)$$

3.3.2. การหากำลังรับแรงอัด (ASTM C39-72)

นำชิ้นตัวอย่างไปวัดขนาดความกว้างและความยาวด้วยเวอร์เนีย ดังแสดงในรูปที่ 3.24 เพื่อคำนวนหาพื้นที่หน้าตัด จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปวางบนศูนย์กลางของแท่นรองรับบนเครื่องกดทดสอบ แล้วให้น้ำหนักกดบนชิ้นตัวอย่างด้วยอัตราเร็วคงที่ จนกระทั่งชิ้นตัวอย่างพัง บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดไว้ แล้วคำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัด ดังสมการ (2)

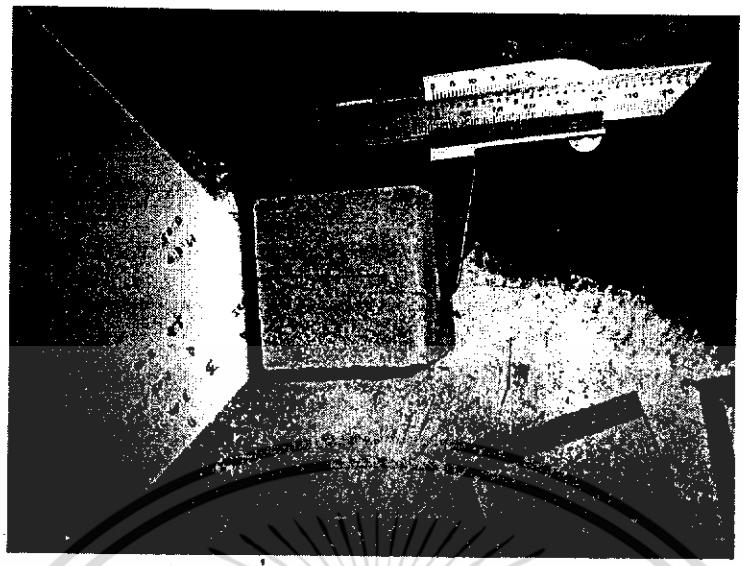
$$F = \frac{P}{A} \qquad (2)$$

โดย F คือ กำลังรับแรงอัด strength (ksc)

P คือ แรงกระทำสูงสุด (kg.)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงกด (cm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24. วัดขนาดตัวอย่าง

3.3.3. การหาความหนาแน่น (ASTM C1040-93)

นำชิ้นตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักและวัดขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง แล้วคำนวณหาความหนาแน่นดังสมการ (3)

$$D = \frac{M}{V} \qquad (3)$$

โดย D คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)
M คือ น้ำหนัก (kg)
V คือ ปริมาตร (m3)

3.3.4. การหาอัตราการดูดซึมน้ำ (ASTM C642-90)

นำชิ้นตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 100-110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า นำชิ้นตัวอย่างไปแช่ในน้ำสะอาดอีก 48 ชั่งโมง จากนั้นนำขึ้นจากน้ำแล้วทำการซับน้ำที่ผิวออก ทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า คำนวณหาอัตราการดูดซึมได้จากสมการ (4)

$$\text{อัตราการดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักหลังอบ})}{\text{น้ำหนักหลังอบ}} \times 100 \qquad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5. การทดสอบการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) (JIS A 1129)

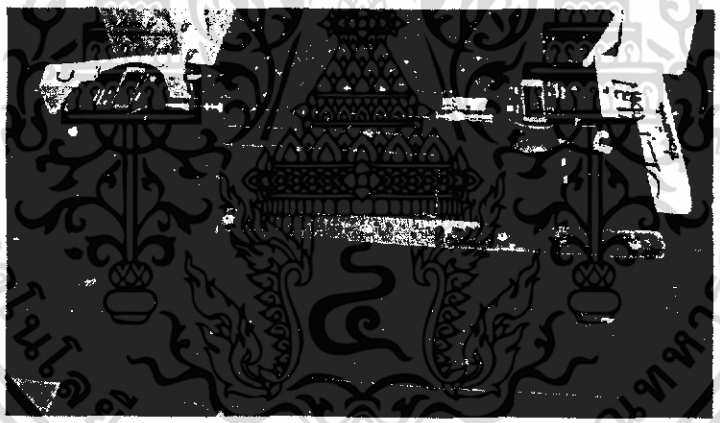
ในการวัดการยืดหดตัวจะต้องทำการวัดครั้งแรกหลังถอดตัวอย่างจากแบบเพื่อใช้อ้างอิงกับการวัดครั้งต่อๆไป ก่อนนำตัวอย่างทำการบ่มแล้วมาวัดการยืดหดตัวจะทำการซับน้ำที่ผิวหน้าและวางตัวอย่างทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อปรับสภาพของตัวอย่าง จากนั้นนำไปวางบนแท่นวัด โดยอ่านค่าจาก Dial Gauge ทั้งสองตัว ทำการบันทึกค่าแล้วคำนวณการยืดหดตัวจากสมการ (5)

$$\text{Autogeneous Shrinkage} = \frac{(\Sigma X_0 - \Sigma X_1)}{L_0} \times 10^6 \qquad (5)$$

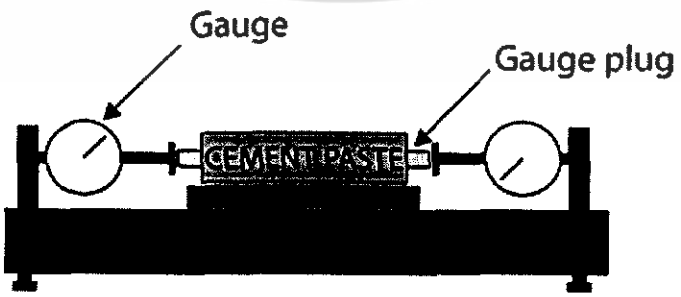
โดย $\Sigma X0$ = ผลบวกของค่าที่อ่านได้จาก Dial Gauge ทั้งสองด้าน ในช่วงเริ่มต้นแกะแบบ

$\Sigma X1$ = ผลบวกของค่าที่อ่านได้จาก Dial Gauge ทั้งสองด้าน ณ เวลาที่ทดสอบ

L0 = ระยะห่างระหว่าง gauge plug ที่ทำการวัดก่อนหล่อตัวอย่าง



รูปที่ 3.25 ภาพเครื่องมือวัด Autogeneous Shrinkage



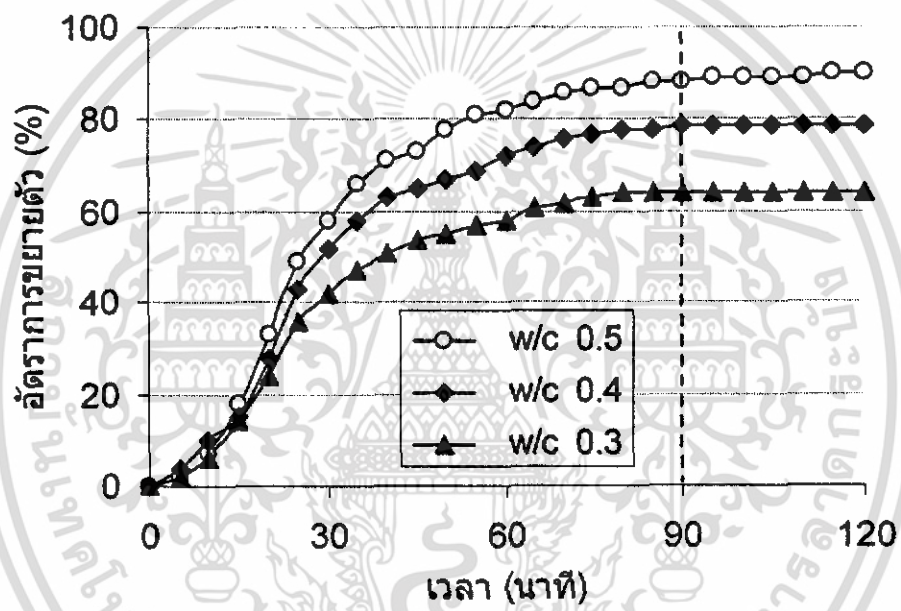
รูปที่ 3.26 ส่วนประกอบของเครื่องมือวัด Autogeneous Shrinkage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1. การทดสอบหาเวลาในการขยายตัวเต็มที่

ผลการทดสอบหาอัตราการขยายตัวในช่วงเวลาต่างๆของซีเมนต์เพสท์ ที่ w/c Ratio 0.3 - 0.5 และ ปริมาณผงอลูมิเนียม 0.1% ของน้ำหนักซีเมนต์ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1.



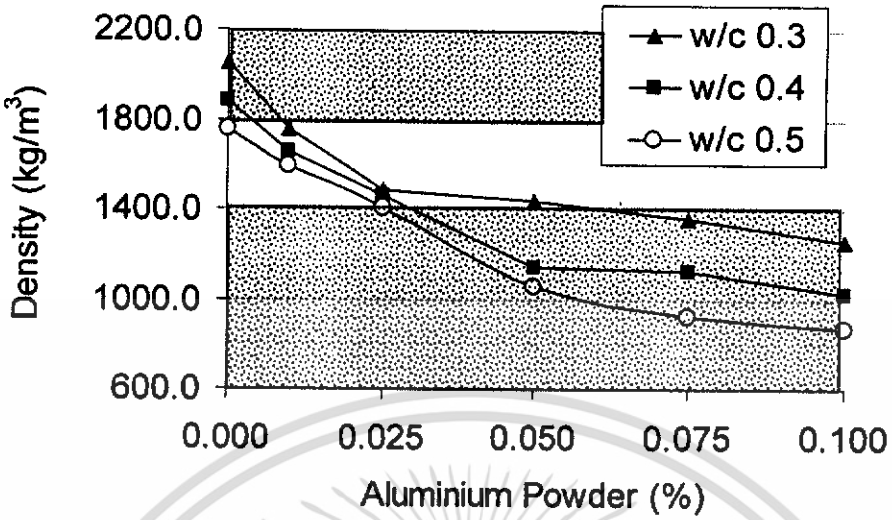
รูปที่ 4.1. อัตราการขยายตัวที่เวลาต่างๆ

จากผลการทดสอบหาอัตราการขยายตัวดังที่แสดงในรูปที่ 4.1. พบว่าซีเมนต์เพสท์ ที่ w/c Ratio ทั้ง 0.3 , 0.4 และ 0.5 จะมีการขยายตัวมากขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น และการขยายตัวจะแปรผันกับ w/c Ratio คือ ที่ w/c Ratio มากขึ้นการขยายตัวจะมากขึ้น การขยายตัวจะมีแนวโน้มลดลงและเริ่มหยุดการขยายตัว ณ ช่วงเวลาตั้งแต่ 90 นาที เป็นต้นไป เนื่องจากผงอลูมิเนียมได้ทำปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงแล้ว

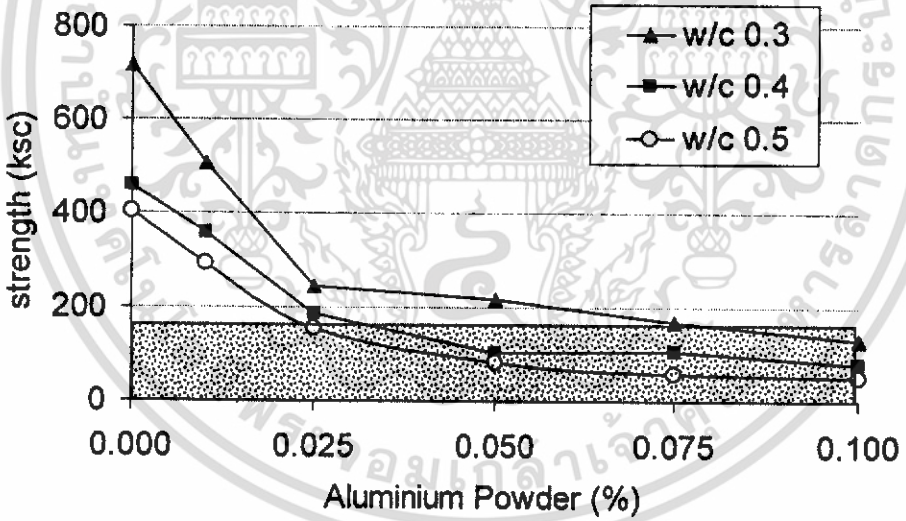
4.2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์

ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังอัดของซีเมนต์เพสท์ ที่ w/c Ratio ตั้งแต่ 0.3 - 0.5 และปริมาณผงอลูมิเนียมตั้งแต่ 0% - 0.1% ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.2. - 4.3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณผงอลูมิเนียมของซีเมนต์เพสท์



รูปที่ 4.3. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับปริมาณผงอลูมิเนียมของซีเมนต์เพสท์

จากผลการทดสอบหาความหนาแน่นดังที่แสดงในรูปที่ 4.2. จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นจะแปรผกผันกับปริมาณผงอลูมิเนียมที่ใส่และ w/c Ratio คือ เมื่อปริมาณผงอะลูมิเนียมมากขึ้น ความหนาแน่นจะลดลง เนื่องจากผงอลูมิเนียมทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนเข้าไปแทนที่ในซีเมนต์เพสท์ ทำให้เกิดรูพรุนกระจายทั่วเนื้อซีเมนต์เพสท์ ความหนาแน่นจึงลดลง และเมื่อ w/c Ratio มากขึ้น ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นจะลดลงเช่นกัน เนื่องจากเมื่อ w/c Ratio มาก เนื้อซีเมนต์เพสท์จะเหลว ทำให้ก๊าซไฮโดรเจนขยายตัวได้ดีกว่า และเส้นกราฟในแต่ w/c Ratio มีรายละเอียดดังนี้

- เส้นกราฟ w/c Ratio 0.3 การเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียมจะมีผลทำให้ความหนาแน่นลดลง แต่การเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียมมากกว่า 0.025% จะมีผลทำให้ความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงไม่มาก
- เส้นกราฟ w/c Ratio 0.4 การเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียมจะมีผลทำให้ความหนาแน่นลดลง แต่การเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียมมากกว่า 0.050% จะมีผลทำให้ความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงไม่มาก
- เส้นกราฟ w/c Ratio 0.5 การเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียมจะมีผลทำให้ความหนาแน่นลดลง แต่การเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียมมากกว่า 0.075% จะมีผลทำให้ความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงไม่มาก

จากผลการทดสอบหากำลังอัดดังแสดงในรูปที่ 4.3. จะเห็นได้ว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุน จะแปรผกผันกับปริมาณผงอลูมิเนียมที่ใส่ คือ เมื่อปริมาณผงอลูมิเนียมเพิ่มขึ้นกำลังรับแรงอัดจะลดลง เนื่องจาก การเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียมทำให้เกิดความพรุนในเนื้อคอนกรีตมากขึ้นซึ่งมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงตามไปด้วย เส้นกราฟ w/c 0.3 , 0.4 , 0.5 การเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียมจะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลง แต่การเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียมมากกว่า 0.025% จะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลงไม่มาก

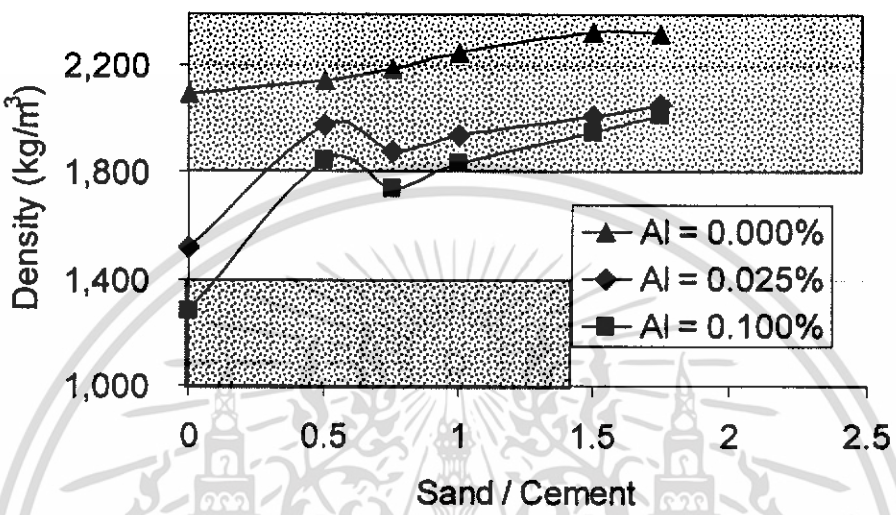
สำหรับชิ้นตัวอย่างที่อยู่ในขอบเขตของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง คือ มีความหนาแน่นระหว่าง 1,400 – 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน มากกว่า 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้แสดงไว้โดยการทำแถบสีทึบในบริเวณที่ไม่อยู่ในขอบเขตดังกล่าว ซึ่งจากรูปที่ 4.2 – 4.3 พบว่ามีชิ้นตัวอย่างที่อยู่ในขอบเขตการศึกษาดังนี้

- w/c Ratio 0.3 ผงอลูมิเนียมตั้งแต่ 0.001- 0.075%
- w/c Ratio 0.4 ผงอลูมิเนียมตั้งแต่ 0.001- 0.025%
- w/c Ratio 0.5 ผงอลูมิเนียมตั้งแต่ 0.000- 0.025%,

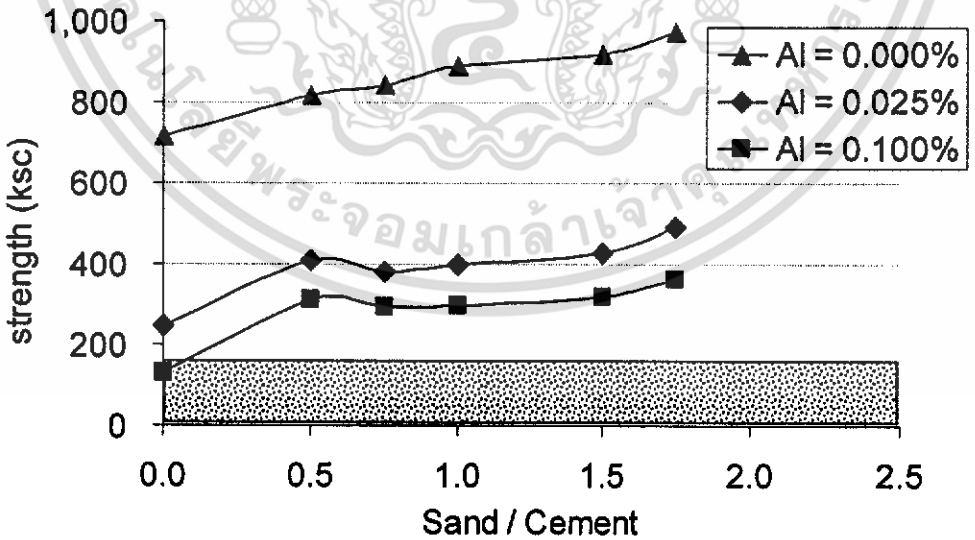
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังอัดของมอร์ต้า ที่ w/c Ratio ตั้งแต่ 0.3 - 0.5 และปริมาณผงอลูมิเนียมตั้งแต่ 0% - 0.1% ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 - 4.9

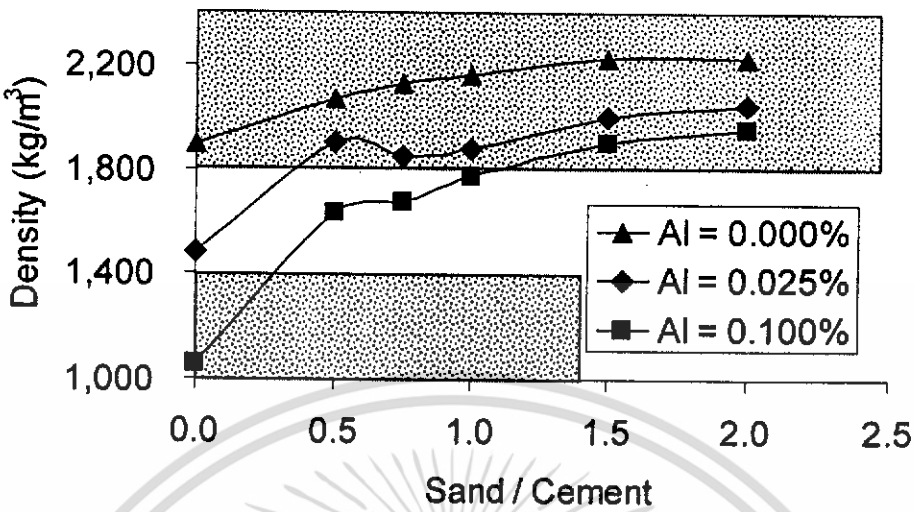


รูปที่ 4.4. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.3

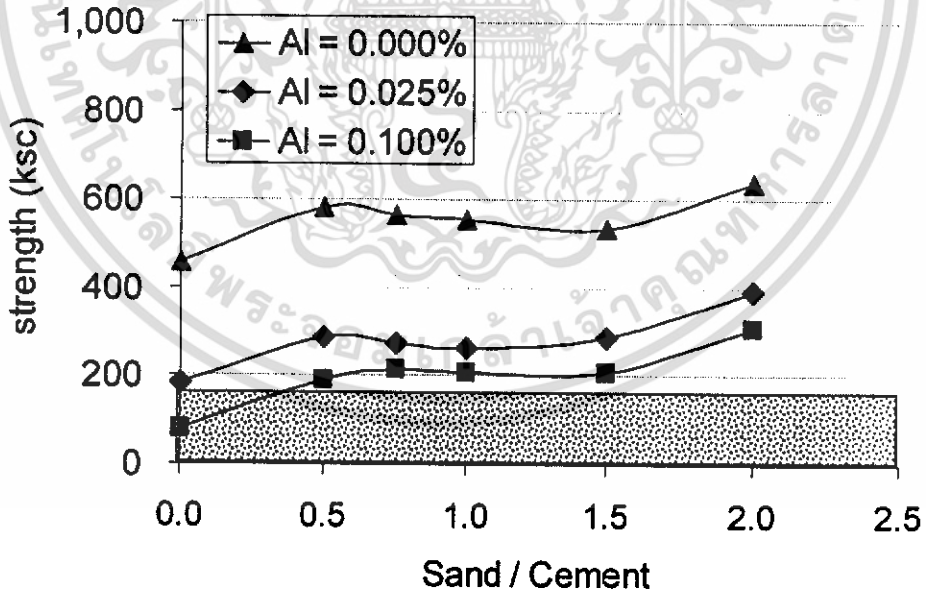


รูปที่ 4.5. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

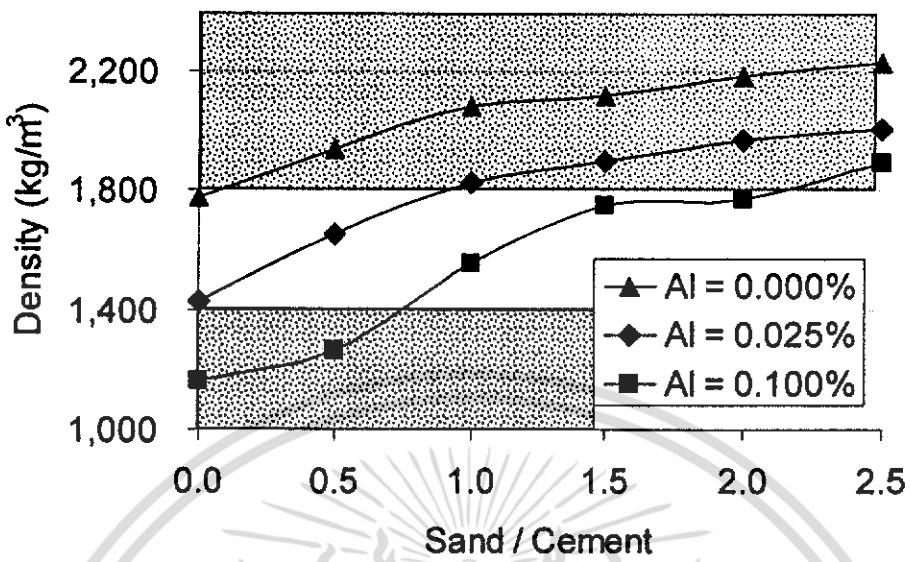


รูปที่ 4.6. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.4

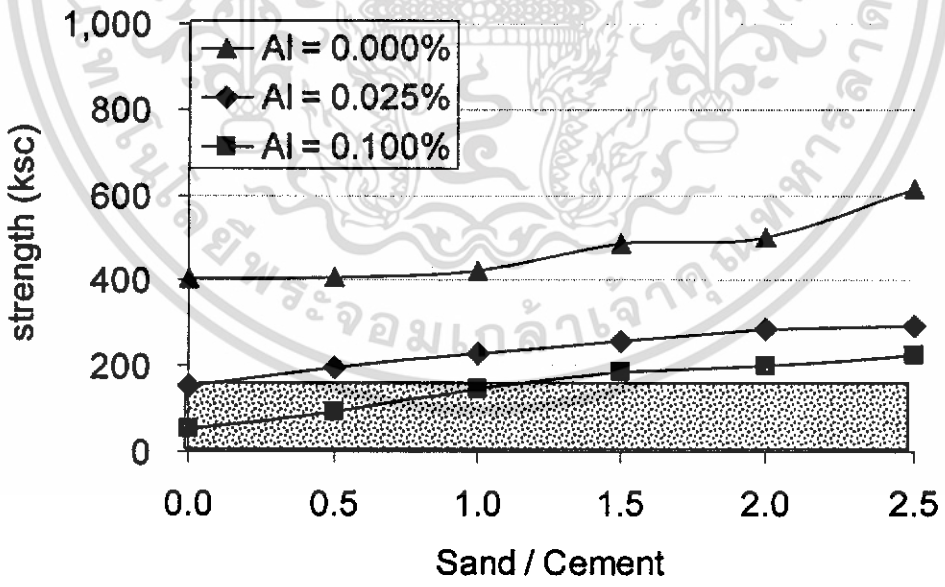


รูปที่ 4.7. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.5



รูปที่ 4.9. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณทรายของมอร์ต้าที่ w/c 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบหาความหนาแน่นดังที่แสดงในรูปที่ 4.4. , รูปที่ 4.6. และรูปที่ 4.8. จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นจะแปรผันตรงกับปริมาณทราย คือ เมื่อเพิ่มปริมาณทรายจะมีผลทำให้ความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากทรายซึ่งมีความหนาแน่นมากได้เข้าไปแทนที่ซีเมนต์เพสท์ ทำให้ความหนาแน่นของมอร์ต้าเพิ่มมากขึ้น

จากผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดดังที่แสดงในรูปที่ 4.5. , รูปที่ 4.7. และรูปที่ 4.9. จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดจะแปรผันตรงกับปริมาณทราย คือ เมื่อเพิ่มปริมาณทรายจะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากทรายที่เข้าไปแทนที่ซีเมนต์เพสท์จะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

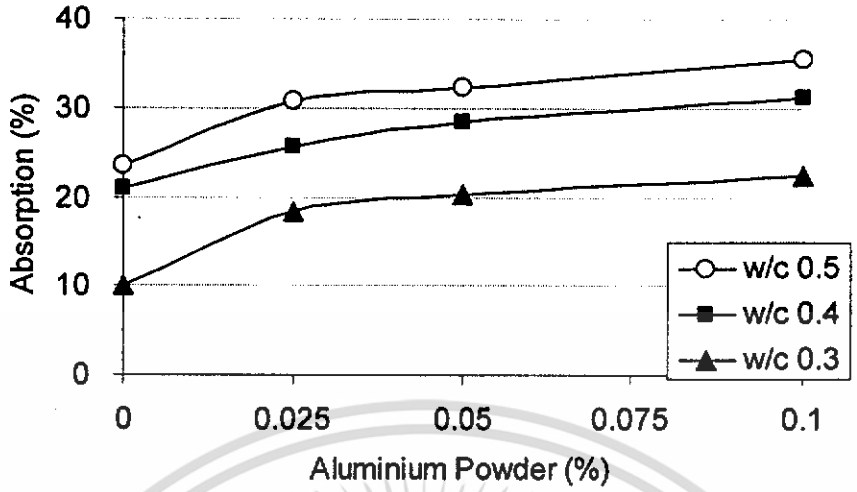
สำหรับชิ้นตัวอย่างที่อยู่ในขอบเขตของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง คือ มีความหนาแน่นระหว่าง 1,400 – 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน มากกว่า 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้แสดงไว้โดยการทำแถบสีทึบในบริเวณที่ไม่อยู่ในขอบเขตดังกล่าว ซึ่งจากรูปที่ 4.4 – 4.9 พบว่ามีชิ้นตัวอย่างที่อยู่ในขอบเขตการศึกษาดังนี้

- w/c Ratio 0.3	ผงอลูมิเนียม	0.025 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0.2 – 0.75
	ผงอลูมิเนียม	0.100 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0 – 0.5
- w/c Ratio 0.4	ผงอลูมิเนียม	0.025 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0 – 0.3
	ผงอลูมิเนียม	0.100 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0.25 – 1.1
- w/c Ratio 0.5	ผงอลูมิเนียม	0.025 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0 – 0.8
	ผงอลูมิเนียม	0.100 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0.75 – 2

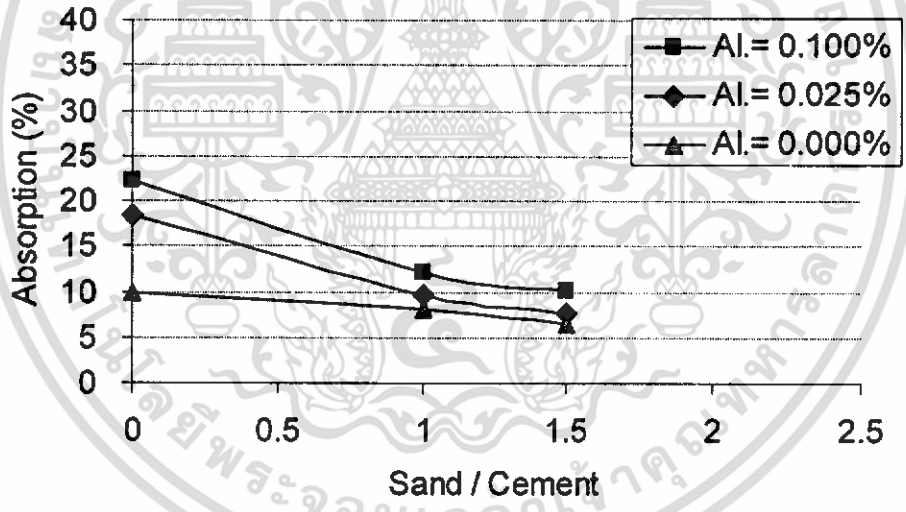
4.4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสท์ ที่ w/c Ratio ตั้งแต่ 0.3 - 0.5 และปริมาณผงอลูมิเนียมตั้งแต่ 0% - 0.1% ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.10. และอัตราการดูดซึมของมอร์ต้า ที่ w/c Ratio ตั้งแต่ 0.3 , 0.4 , 0.5 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 0 ถึง 2.5 และปริมาณผงอลูมิเนียม 0% , 0.025% , 0.1% ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.11. – 4.13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

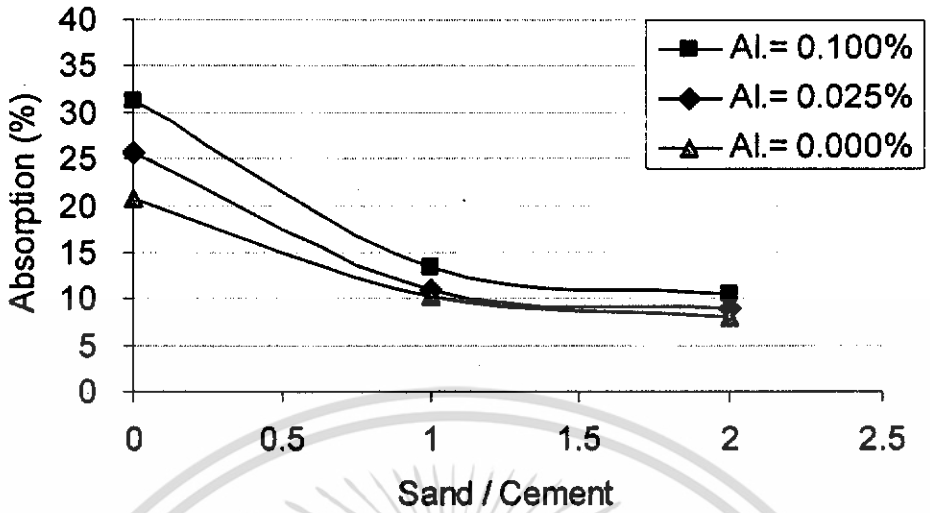


รูปที่ 4.10. อัตราการดูดซึมของซีเมนต์เพสท์

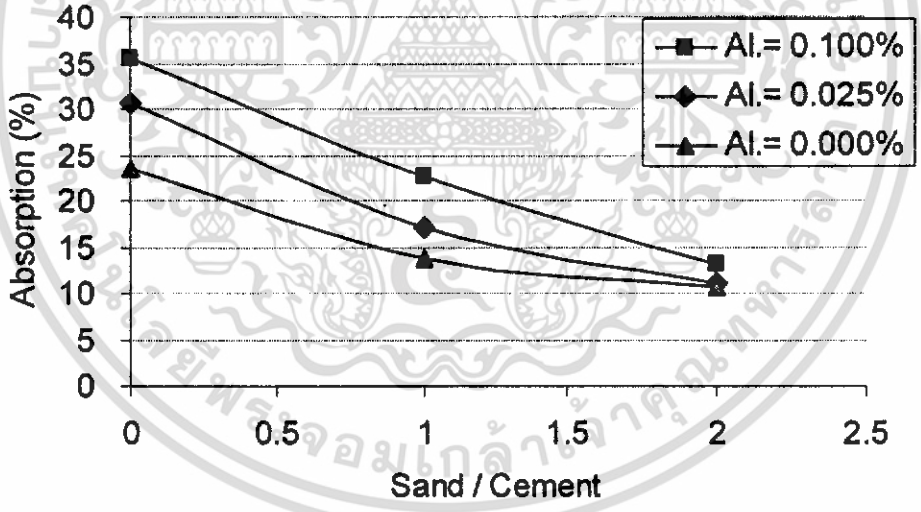


รูปที่ 4.11. อัตราการดูดซึมของมอร์ต้าที่w/c 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12. อัตราการดูดซึมของมอร์ต้าที่w/c 0.4



รูปที่ 4.13. อัตราการดูดซึมของมอร์ต้าที่w/c 0.5

จากผลการทดสอบหาอัตราการดูดซึมของซีมเนต์เพสท์ดังที่แสดงในรูปที่ 4.10. จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมจะแปรผันตรงกับ w/c Ratio และปริมาณผงอลูมิเนียม คือ เมื่อ w/c Ratio มาก อัตราการดูดซึมจะมีค่ามากเมื่อมีค่า w/c Ratio และเมื่อมีผงอลูมิเนียมผสมอยู่มาก อัตราการดูดซึมก็จะมากด้วย เนื่องจากเมื่อปริมาณผงอลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้น ความพรุนในเนื้อคอนกรีตจะเพิ่มมากขึ้นด้วย เป็นผลให้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดีเพราะมีช่องว่างของอากาศอยู่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

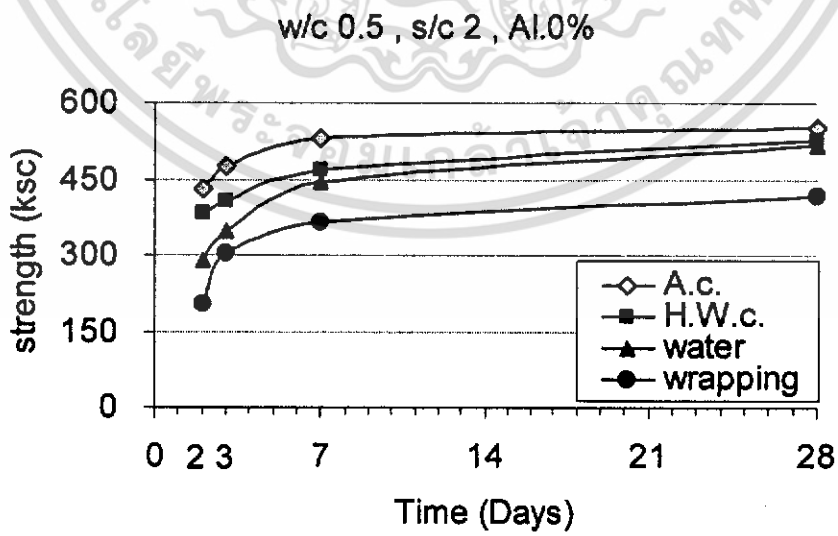
จากผลการทดสอบหาอัตราการดูดซึมของมอร์ต้าดังที่แสดงในรูปที่ 4.11. , 4.12. และ 4.13. จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมจะแปรผกผันปริมาณทราย คือ เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น อัตราการดูดซึมจะยิ่งน้อยลง และความแตกต่างของอัตราการดูดซึมของมอร์ต้าที่เพิ่มผงอลูมิเนียมลงไปจะน้อยลงเมื่อปริมาณทรายมากขึ้น เนื่องจากทรายมีคุณสมบัติไม่อุ้มน้ำเมื่อเข้าไปแทนที่เนื้อซีเมนต์จึงทำให้อัตราการดูดซึมลดลง

4.5. การทดสอบหากำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

ผลการทดสอบหากำลังอัดของมอร์ต้าในการบ่มด้วยวิธีต่างๆ โดยใช้ w/c Ratio = 0.5, อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ = 2 และปริมาณผงอลูมิเนียม 0% และ 0.1% ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.14. และ รูปที่ 4.15.

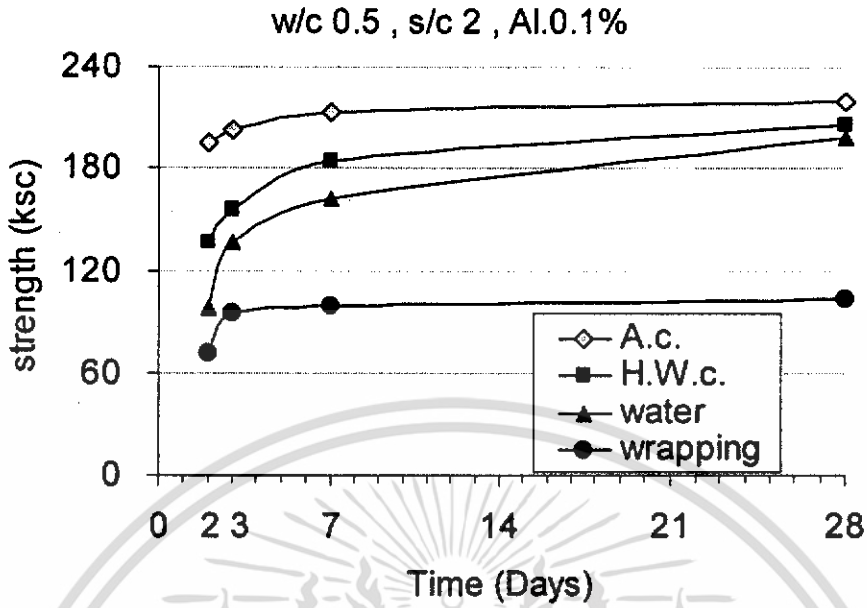
กำหนดให้

A.c.	หมายถึง	การบ่มด้วยไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วบ่มด้วยน้ำตามปกติ
H.w.c.	หมายถึง	การบ่มด้วยน้ำอุณหภูมิสูง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วบ่มด้วยน้ำตามปกติ
Water	หมายถึง	การบ่มด้วยน้ำอุณหภูมิปกติ
Wrapping	หมายถึง	การบ่มด้วยการหุ้มพลาสติกใส (Wrapping)
2 days	หมายถึง	ระยะเวลาหลังการบ่มครบ 12 ชั่วโมง



รูปที่ 4.14. กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



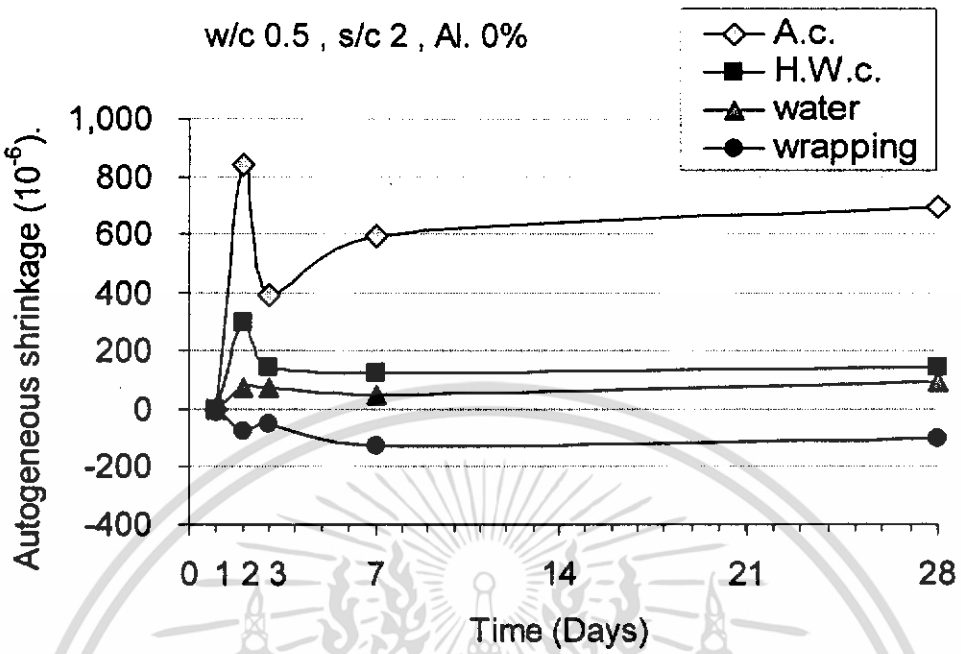
รูปที่ 4.15. กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ

จากผลการทดสอบหากำลังอัดของมอร์ต้าในการบ่มด้วยวิธีต่างๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15 จะเห็นได้ว่าการบ่มด้วย Autoclave จะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นมากในช่วงแรกและมีค่าใกล้เคียงการบ่มที่ 28 วัน การบ่มด้วยน้ำร้อนจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดในช่วงแรกแต่ยังต้องอาศัยการบ่มด้วยน้ำธรรมดาอีกเพื่อให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างสมบูรณ์ ส่วนการใช้พลาสติกคลุมกำลังอัดจะไม่เพิ่มขึ้น

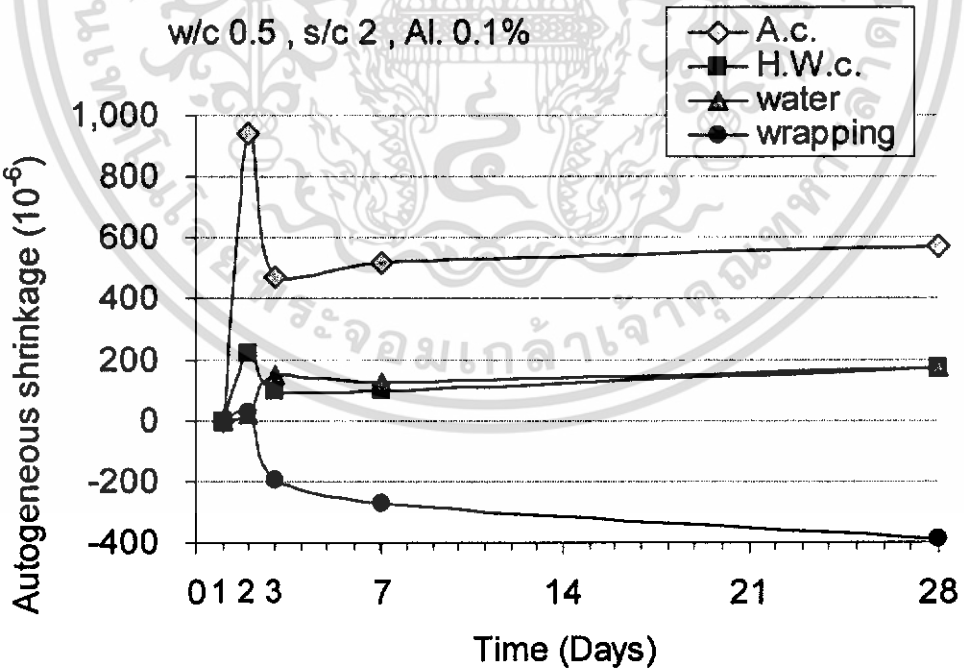
4.6. การทดสอบหาการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage) ที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

ผลการทดสอบการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage) ของมอร์ต้าในการบ่มด้วยวิธีต่างๆ โดยใช้ w/c Ratio = 0.5, อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ = 2 และปริมาณผงอลูมิเนียม 0% และ0.1% ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.16. และรูปที่ 4.17. โดยกำหนดให้กราฟเริ่มจากจุดที่ 1 วันหลังการถอดจากแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

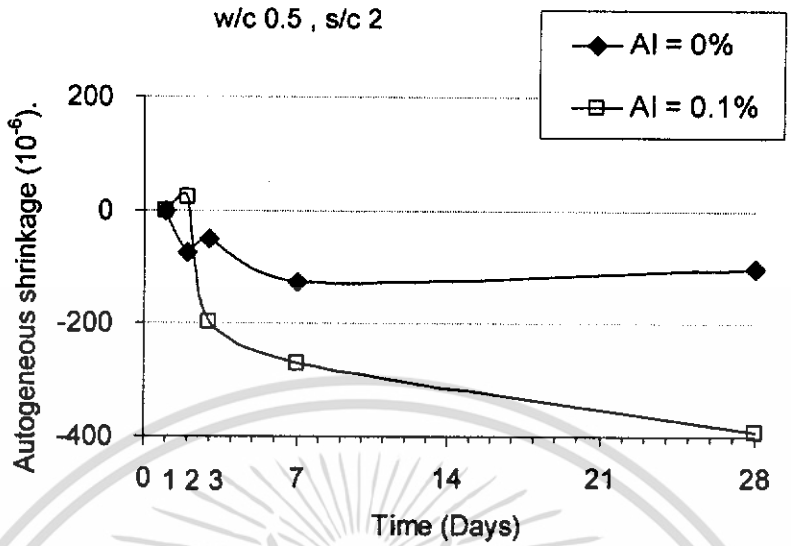


รูปที่ 4.16. การยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage)ของมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ

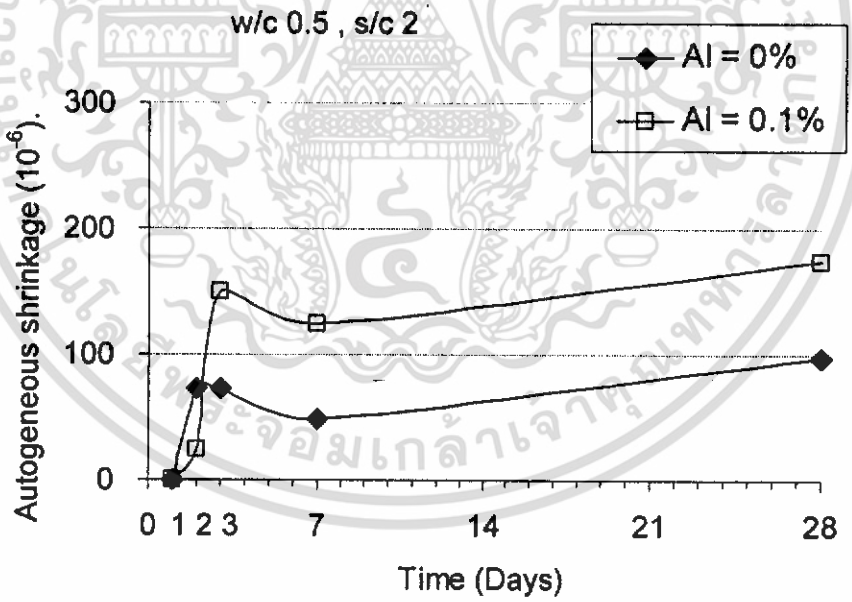


รูปที่ 4.17. การยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage)ของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

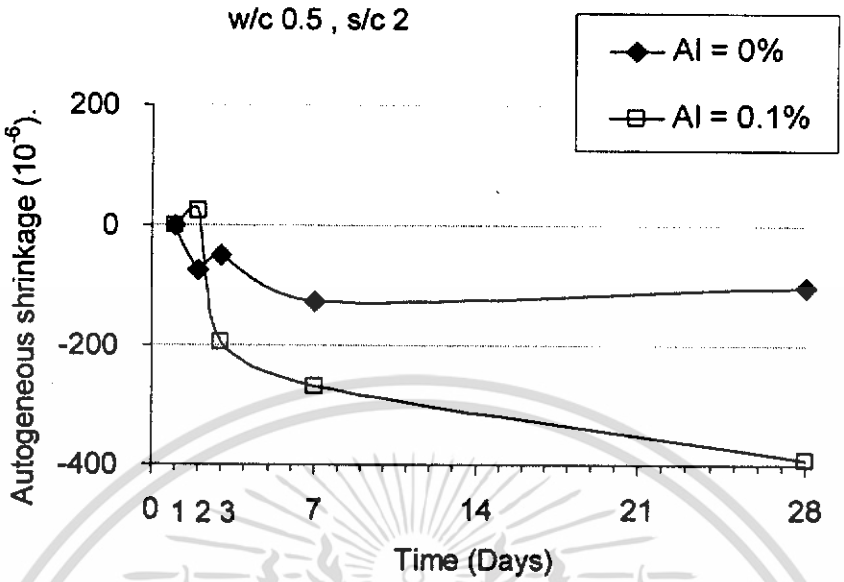


รูปที่ 4.18. เปรียบเทียบการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage)ของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียม กับมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มด้วยไอน้ำแรงดันสูง



รูปที่ 4.19. เปรียบเทียบการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage)ของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียม กับมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มด้วยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20. เปรียบเทียบการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage)ของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียม กับมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการใช้พลาสติกหุ้มกันการสูญเสียความชื้น

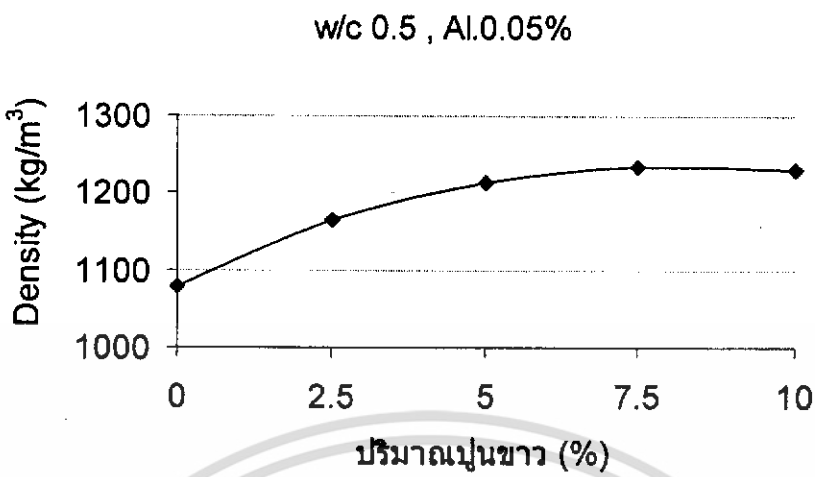
จากผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17 จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างที่บ่มด้วยไอน้ำแรงดันสูงจะขยายตัวมากที่สุด ตัวอย่างที่บ่มด้วยน้ำร้อนจะขยายตัวใกล้เคียงกับการบ่มด้วยน้ำ และตัวอย่างที่ทำการห่อพลาสติกจะหดตัวอย่างมาก

จากรูปที่ 4.18 พบว่ามอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียมมีแนวโน้มการขยายตัวหลังการบ่มด้วยไอน้ำ น้อยกว่ามอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียม และจากรูปที่ 4.19 พบว่ามอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียมมีแนวโน้มการขยายตัวหลังการบ่มด้วยน้ำ มากกว่ามอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียม และจากรูปที่ 4.20 พบว่ามอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียมมีแนวโน้มการหดตัวหลังการใช้พลาสติกหุ้ม มากกว่ามอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียม

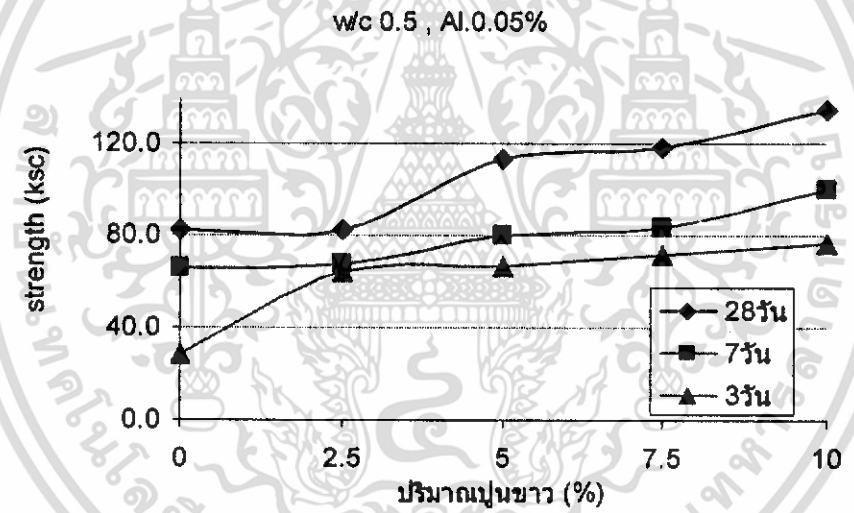
4.7. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว

ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังอัดซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว โดยใช้ w/c Ratio 0.5 , ปริมาณผงอลูมิเนียม = 0.05% และปริมาณปูนขาวตั้งแต่ 0% - 10% ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.18. และรูปที่ 4.19.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณปูนขาวของซีเมนต์เพสท์



รูปที่ 4.22. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับปริมาณปูนขาวของซีเมนต์เพสท์

จากผลการทดสอบหาความหนาแน่นของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาวดังที่แสดงในรูปที่ 4.21. จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นจะแปรผันตรงกับปริมาณปูนขาว คือ เมื่อปริมาณปูนขาวมากขึ้นความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นตาม

จากผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาวดังที่แสดงในรูปที่ 4.22. จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดจะแปรผันตรงกับปริมาณปูนขาว คือ เมื่อปริมาณปูนขาวมากขึ้นกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณปูนขาวมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดที่ 3 วัน เพิ่มขึ้น แต่กำลังกำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน และ 28 วัน จะเป็นไปตามแนวโน้มปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการใช้ผงอลูมิเนียมในคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง โดยใช้ w/c Ratio 0.3 , 0.4 , 0.5 ปริมาณผงอลูมิเนียมต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก ตั้งแต่ 0% - 0.1% และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก ตั้งแต่ 0-2.5 สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. คอนกรีตเบาที่ผสมผงอลูมิเนียมจะเกิดการขยายตัวอย่างต่อเนื่องโดยจะใช้เวลาประมาณ 90 นาที
2. สามารถลดความหนาแน่นของคอนกรีตเบาได้ ด้วยการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c Ratio) หรือด้วยการเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียม หรือด้วยการลดปริมาณทราย
3. สามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเบาได้ด้วยการควบคุมปริมาณผงอลูมิเนียมหรือด้วยการเพิ่มปริมาณทราย
4. สามารถลดอัตราการดูดซึมน้ำได้ด้วยการเพิ่มปริมาณทราย
5. สามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดในช่วงแรกให้สูงขึ้นได้ ด้วยการบ่มไอน้ำความดันสูง (Autoclave) หรือ การบ่มในน้ำร้อน โดยที่การบ่มไอน้ำความดันสูงจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดในช่วงแรกมากกว่าการบ่มในน้ำร้อน
6. การบ่มด้วยไอน้ำความดันสูง (Autoclave) จะทำให้เกิดการยืดตัวสูง การบ่มด้วยน้ำจะทำให้เกิดการยืดตัวเล็กน้อย แต่การหุ้มด้วยพลาสติก (Wrapping)จะทำให้เกิดการหดตัว
7. คอนกรีตเบาที่ผสมผงอลูมิเนียมจะมีการยืดตัวหรือหดตัวในสภาวะการบ่มต่างๆ มากกว่าคอนกรีตทั่วไป
8. การผสมปูนขาวช่วยให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นโดยจะสูงขึ้นอย่างชัดเจนในช่วง 3 วันแรก แต่การผสมปูนขาวมากจะทำให้ความหนาแน่นมาก

5.2 อัตราส่วนต่างๆที่เหมาะสมของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปอัตราส่วนต่างๆที่เหมาะสมของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง ซึ่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,400 – 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน มากกว่า 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อัตราส่วนสำหรับซีเมนต์เพสต์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- w/c Ratio 0.3 ใช้ผงอลูมิเนียมตั้งแต่ 0.001- 0.075%
- w/c Ratio 0.4 ใช้ผงอลูมิเนียมตั้งแต่ 0.001- 0.025%
- w/c Ratio 0.5 ใช้ผงอลูมิเนียมตั้งแต่ 0.000- 0.025%,

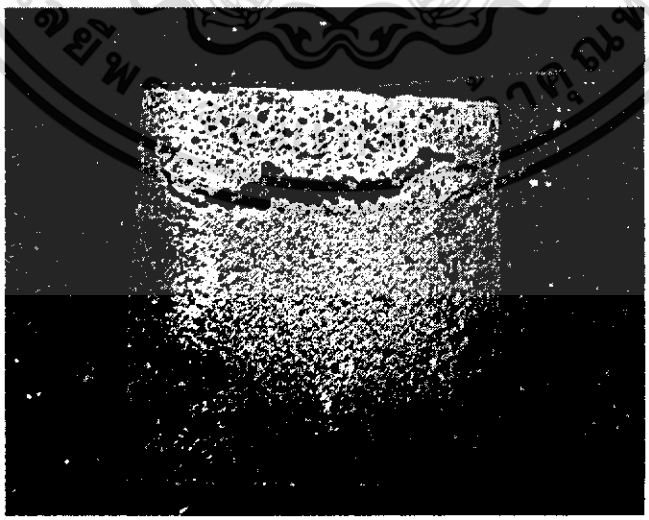
2. อัตราส่วนสำหรับมอต้าร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- w/c Ratio 0.3	ใช้ผงอลูมิเนียม 0.025 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0.2 – 0.75
	ใช้ผงอลูมิเนียม 0.100 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0 – 0.5
- w/c Ratio 0.4	ใช้ผงอลูมิเนียม 0.025 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0 – 0.3
	ใช้ผงอลูมิเนียม 0.100 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0.25 – 1.1
- w/c Ratio 0.5	ใช้ผงอลูมิเนียม 0.025 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0 – 0.8
	ใช้ผงอลูมิเนียม 0.100 %	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตั้งแต่ 0.75 – 2

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษา

ในการศึกษาและการทดสอบได้พบปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ดังนี้

1. คอนกรีตเบาอาจมีรอยแยกเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนบนของตัวอย่าง เนื่องจากปริมาณผงอลูมิเนียมที่มากจะทำให้เกิดฟองก๊าซมาก ซึ่งฟองก๊าซในบริเวณใกล้เคียงได้เกิดการรวมตัวกันเป็นช่องว่างขนาดใหญ่และจะดันตัวขึ้นจนเกิดรอยแยก ดังรูปที่ 5.1

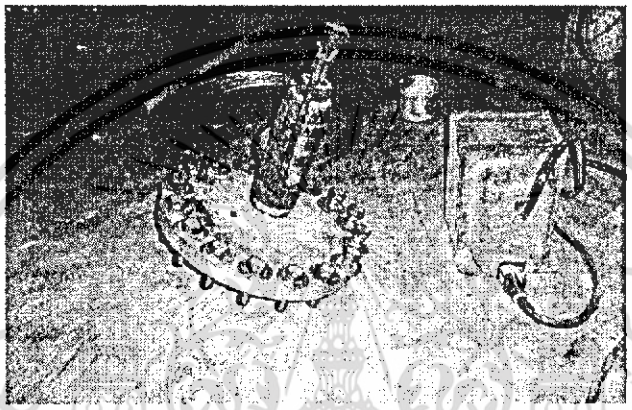


รูปที่ 5.1 แสดงรอยแยกของคอนกรีตเบา

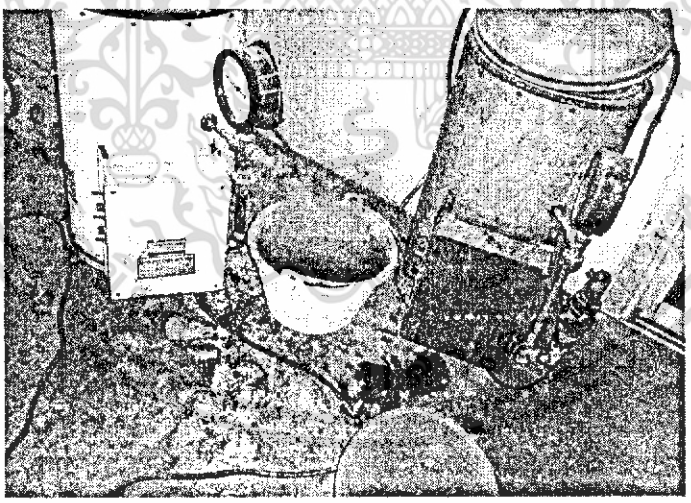
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีขนาดเล็ก คือ ขนาด 5cm. × 5cm. × 5cm. ซึ่งใช้แรงกดทดสอบน้อยกว่าและเนื่องจากคอนกรีตเบาเป็นคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดน้อยด้วย จึงต้องสังเกตุค่าแรงกดให้ดีเพราะเครื่องทดสอบจะไม่บันทึกแรงกดสูงสุดที่น้อยกว่า 25 kN

3. เครื่องAutoclave มีแรงดันสูง เมื่อปิดฝาแน่น(ดูรูปที่ 5.2)ไม่แน่นทำให้ไอน้ำความดันสูงรั่วออกมาจึงต้องรีบปิดเครื่องและเปิดให้ไอความดันออกมาทางท่อระบายความดัน ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และจากการสอบถามเจ้าหน้าที่พบว่าการขันน็อตปิดฝาอุปกรณ์ที่มีความดันสูงจะต้องขันน็อต 4 ตัวหลักในรูปกากบาทเพื่อให้ฝาแนบสนิทก่อนการขันน็อตตัวอื่น



รูปที่ 5.2 แสดงฝาปิดเครื่อง Autoclave



รูปที่ 5.3 แสดงการระบายความดันภายในเครื่อง

4. การทดสอบหาค่าการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) จะวัดค่าด้วย Dial Gauge ซึ่งมีความละเอียดสูง (0.01 mm.) การวัดแต่ละครั้งจะต้องวางในลักษณะเดิม จึงต้องทำสัญลักษณ์ของการวางเอาไว้เพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากลักษณะการวางที่ไม่ตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- วินิต ช่อวิเชียร , 2544. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 9.
- ชัชวาล เศรษฐบุตร , 2539 คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8
- ศิริวัฒน์ ไชยชนะ , 2542. ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2
- เกียรตินันท์ เด่นไพศาล , พรชัย เดชะภากร , รุ่งเรือง มังครักษ์ และสมหวัง หาญไพบูลย์สุข ,2528. คอนกรีตพรุน. ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- เจริญฤทธิ์ วรรณะพาหุณ , จิระพันธ์ บางท่าไม้ , สมบัติ ฐาปนาชีวะ และประสิทธิ์ ปัณฑรมงคล ,2533. คอนกรีตพรุนบ่มด้วยไอน้ำความดันสูง. ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- วรวิทย์ ขอเจริญ , ปรเมศวร์ เจริญรุ่งโรจน์ และ อิศรา ชินสว่างวัฒนกุล , 2539. บล็อคคอนกรีตผนังเบา. ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ขจรพันธ์ ตันติพจน์ , ณัฐพงษ์ อภินันท์กูล และ ปรีชา ชีวะเจริญไชย , 2540 การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตพรุนที่ผลิตโดยวิธีผงอะลูมิเนียม. ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เยาวรัตน์ ตั้งติวิริยะ และ อุกฤษ ปัจฉิม , 2543. อิฐระบบบล็อกในตัวโดยใช้คอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล. ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- อัศวิน เลิศโสภา , โอภาส วิศรุตธรรม และปีใหม่ อาจสาคร ,2543.วัสดุผสมคอนกรีตและเศษโฟม. ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ก1. การทดสอบหาเวลาในการขยายตัวเต็มที่

ก2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์

ก3. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

ก4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ

ก5. การทดสอบหากำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

ก6. การทดสอบหาการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage) ที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

ก7. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก1. การทดสอบหาเวลาในการขยายตัวเต็มที่

ตารางที่ ผ.ก.1. อัตราการขยายตัวเฉลี่ยที่ระยะเวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	อัตราการขยายตัว(%)		
	w/c 0.3	w/c 0.4	w/c 0.5
0	0.3	0.0	0.3
5	1.7	3.7	2.3
10	5.7	9.7	7.3
15	13.7	15.3	16.7
20	24.3	28.3	32.7
25	35.7	43.0	48.7
30	42.3	52.3	58.3
35	47.3	58.0	66.0
40	51.3	62.3	70.7
45	54.3	65.0	72.7
50	55.3	67.3	78.0
55	57.3	69.0	81.7
60	58.3	72.0	83.0
65	60.7	74.0	84.3
70	61.7	76.0	86.0
75	62.7	76.3	87.0
80	63.7	77.7	87.3
85	63.7	78.3	88.0
90	64.0	78.7	88.0
95	64.3	78.7	88.7
100	64.0	78.7	89.0
105	64.0	78.7	89.0
110	64.0	78.7	89.0
115	64.3	78.7	89.3
120	64.3	78.7	89.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์

ตารางที่ ผ.ก.2. ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของซีเมนต์เพสท์

w/c	Al. (%)	Density (kg/m^3)	strength (ksc)		
			3 days	7 days	28 days
0.3	0.000	2051.3	606.2	699.9	715.9
	0.010	1758.4	282.4	357.0	507.7
	0.025	1486.9	140.0	236.3	246.4
	0.050	1439.9	95.9	195.5	216.1
	0.075	1361.7	71.0	159.3	169.9
	0.100	1257.7	116.9	130.9	131.6
0.4	0.000	1877.8	431.2	434.0	459.9
	0.010	1659.3	232.1	254.6	357.5
	0.025	1465.1	150.3	178.8	184.9
	0.050	1142.9	62.0	85.8	102.5
	0.075	1129.0	54.4	82.0	106.9
	0.100	1026.2	41.0	65.3	80.3
0.5	0.000	1756.9	271.9	304.0	403.7
	0.010	1592.7	194.1	224.5	294.0
	0.025	1404.2	114.5	131.6	155.6
	0.050	1054.5	32.9	66.2	82.9
	0.075	929.5	32.3	46.8	60.2
	0.100	873.3	26.6	39.0	52.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก3. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

ตารางที่ ผ.ก.3. ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของมอร์ต้า ที่ w/c 0.3

w/c	s/c	Al. (%)	Density (kg/m^3)	strength (ksc)		
				3 days	7 days	28 days
0.3	0	0.000	2096.1	606.2	699.9	715.9
		0.025	1518.1	140.0	236.3	246.4
		0.100	1280.5	116.9	130.9	131.6
	0.5	0.000	2147.1	583.9	713.6	818.2
		0.025	1981.5	337.9	364.0	408.8
		0.100	1849.2	240.9	281.5	311.4
	0.75	0.000	2191.5	649.0	780.3	842.5
		0.025	1879.0	292.7	354.0	379.7
		0.100	1741.7	221.3	262.4	293.4
	1	0.000	2247.9	664.1	769.2	891.2
		0.025	1941.3	332.3	374.6	399.0
		0.100	1837.0	258.2	275.2	297.8
	1.5	0.000	2327.7	621.3	735.3	921.3
		0.025	2011.3	370.9	384.6	426.3
		0.100	1954.1	299.5	309.4	320.4
	1.75	0.000	2322.7	596.9	695.5	976.4
		0.025	2059.1	387.9	420.8	491.1
		0.100	2016.8	324.9	323.5	362.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.4. ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของมอร์ต้า ที่ w/c 0.4

w/c	s/c	Al. (%)	Density (kg/m^3)	strength (ksc)		
				3 days	7 days	28 days
0.4	0	0.000	1900.9	431.2	434.0	459.9
		0.025	1482.4	150.3	178.8	184.9
		0.100	1059.0	41.0	65.3	80.3
	0.5	0.000	2030.6	476.9	528.2	584.7
		0.025	1873.5	194.2	252.7	287.3
		0.100	1606.1	133.5	147.9	190.6
	0.75	0.000	2083.7	452.9	533.2	567.7
		0.025	1818.6	196.6	252.1	275.5
		0.100	1646.2	166.7	205.0	216.6
	1	0.000	2137.2	349.7	456.8	556.6
		0.025	1828.3	189.3	248.7	263.6
		0.100	1741.4	144.2	191.2	210.0
	1.5	0.000	2181.3	444.1	492.6	534.0
		0.025	1962.3	236.0	269.5	287.9
		0.100	1864.7	172.3	181.4	208.0
	2	0.000	2200.3	437.0	528.4	638.2
		0.025	1993.8	341.2	340.2	393.9
		0.100	1954.1	260.7	287.5	308.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.5. ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของมอร์ต้า ที่ w/c 0.5

w/c	s/c	Al. (%)	Density (kg/m^3)	strength (ksc)		
				3 days	7 days	28 days
0.5	0	0.000	1776.2	271.9	304.0	403.7
		0.025	1427.7	114.5	131.6	155.6
		0.100	1164.1	26.6	39.0	52.4
	0.5	0.000	1898.6	249.5	307.5	408.4
		0.025	1626.7	118.2	147.2	197.5
		0.100	1239.7	59.9	70.9	94.3
	1	0.000	2039.8	280.4	349.9	421.5
		0.025	1792.9	176.5	206.2	227.8
		0.100	1527.8	103.9	122.2	147.6
	1.5	0.000	2077.2	317.7	435.2	486.3
		0.025	1865.1	178.1	248.6	258.1
		0.100	1717.1	126.2	162.8	185.6
	2	0.000	2136.1	334.0	439.3	503.0
		0.025	1931.8	213.6	273.1	286.0
		0.100	1737.0	138.1	166.4	202.1
	2.5	0.000	2184.1	558.8	585.7	615.4
		0.025	1971.9	256.5	284.8	292.5
		0.100	1860.4	181.0	204.5	225.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ ผ.ก.6. อัตราการดูดซึมเฉลี่ยของซีเมนต์เพสท์

w/c Ratio	Aluminium powder (%)	Absorption(%)
0.3	0.000	9.99
	0.025	18.41
	0.050	20.40
	0.100	22.36
0.4	0.000	20.88
	0.025	25.61
	0.050	28.40
	0.100	31.21
0.5	0.000	23.46
	0.025	30.73
	0.050	32.33
	0.100	35.54

ตารางที่ ผ.ก.7. อัตราการดูดซึมเฉลี่ยของมอร์ต้า

w/c 0.3

s/c	Aluminium powder (%)	Absorption(%)
0	0.000	9.99
	0.025	18.41
	0.100	22.36
1	0.000	8.09
	0.025	9.75
	0.100	12.03
1.5	0.000	6.45
	0.025	7.64
	0.100	10.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.7. อัตราการดูดซึมเฉลี่ยของมอร์ต้า

w/c 0.4

s/c	Aluminium powder (%)	Absorption(%)
0	0.000	20.88
	0.025	25.61
	0.100	31.21
1	0.000	10.28
	0.025	11.06
	0.100	13.43
2	0.000	8.01
	0.025	9.01
	0.100	10.58

w/c 0.5

s/c	Aluminium powder (%)	Absorption(%)
0	0.000	23.46
	0.025	30.73
	0.100	35.54
1	0.000	13.71
	0.025	17.16
	0.100	22.69
2	0.000	10.76
	0.025	11.22
	0.100	13.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก5. การทดสอบหากำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

ตารางที่ ผ.ก.8. กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของมอร์ต้าในการบ่มวิธีต่างๆ

w/c 0.5 , s/c 2

Aluminium Powder (%)	curing type	strength (ksc)			
		2 days	3 days	7 days	28 days
0.000%	A.c.	195.4	203.1	213.1	219.4
	H.W.c.	136.3	155.6	184.8	205.4
	water	97.7	136.1	162.4	198.3
	wrapping	71.6	95.4	98.7	103.7
0.100%	A.c.	431.7	476.4	530.3	553.3
	H.W.c.	382.4	408.2	467.3	527.3
	water	288.6	348.1	445.4	517.9
	wrapping	203.6	302.6	365.2	417.3

ก6. การทดสอบหาการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage) ที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

ตารางที่ ผ.ก.9. การยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage)เฉลี่ยของมอร์ต้าในการบ่มวิธีต่างๆ

w/c 0.5 , s/c 2

Aluminium Powder (%)	type of curing	Autogeneous shrinkage (10^{-6})			
		2 days	3 days	7 days	28 days
0.000%	A.c.	842.1	393.5	594.2	693.9
	H.W.c.	295.5	147.4	123.6	147.8
	water	73.2	73.2	49.1	97.3
	wrapping	-74.3	-49.4	-125.3	-100.2
0.100%	A.c.	939.9	471.7	519.8	570.6
	H.W.c.	221.6	98.6	98.4	172.2
	water	24.5	150.3	124.3	174.1
	wrapping	24.8	-195.8	-268.9	-391.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก7. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว

ตารางที่ ผ.ก.10. ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของซีเมนต์เพสท์ผสมปูนขาว

w/c Ratio 0.5 , Aluminium Powder 0.05%

ปูนขาว (%)	Density	strength (ksc)		
	(kg/m^3)	3 days	7 days	28 days
0	1077.9	28.0	66.2	82.9
2.5	1165.3	64.3	67.1	82.9
5.0	1213.9	66.7	79.9	113.4
7.5	1234.4	71.5	83.7	118.4
10	1230.7	76.5	100.3	134.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางการบันทึกข้อมูล

ข1. การทดสอบหาเวลาในการขยายตัวเต็มที่

ข2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์

ข3. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

ข4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ

ข5. การทดสอบหากำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

ข6. การทดสอบหาการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage) ที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

ข7. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข1. การทดสอบหาเวลาในการขยายตัวเต็มที่

ตารางที่ ผ.ข.1. ผลการทดสอบหายัตราการขยายตัวที่เวลาต่างๆของซีเมนต์เพสท์

ที่ w/c Ratio 0.3

เวลา	ความสูง (ซ.ม.)				ขยายตัว
(นาที)	1	2	3	เฉลี่ย	(%)
0	10.0	10.0	10.1	10.03	0.3
5	10.0	10.2	10.3	10.17	1.7
10	10.6	10.6	10.5	10.57	5.7
15	11.4	11.4	11.3	11.37	13.7
20	12.5	12.4	12.4	12.43	24.3
25	13.5	13.6	13.6	13.57	35.7
30	14.3	14.2	14.2	14.23	42.3
35	14.7	14.7	14.8	14.73	47.3
40	15.1	15.1	15.2	15.13	51.3
45	15.5	15.4	15.4	15.43	54.3
50	15.6	15.5	15.5	15.53	55.3
55	15.8	15.7	15.7	15.73	57.3
60	15.9	15.8	15.8	15.83	58.3
65	16.0	16.1	16.1	16.07	60.7
70	16.1	16.2	16.2	16.17	61.7
75	16.2	16.3	16.3	16.27	62.7
80	16.3	16.4	16.4	16.37	63.7
85	16.3	16.4	16.4	16.37	63.7
90	16.3	16.4	16.5	16.40	64.0
95	16.4	16.4	16.5	16.43	64.3
100	16.4	16.4	16.4	16.40	64.0
105	16.4	16.4	16.4	16.40	64.0
110	16.4	16.4	16.4	16.40	64.0
115	16.5	16.4	16.4	16.43	64.3
120	16.5	16.4	16.4	16.43	64.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.1. ผลการทดสอบหาอัตราการขยายตัวที่เวลาต่างๆของซีเมนต์เพสท์

ที่ w/c Ratio 0.4

เวลา (นาที)	ความสูง (ซ.ม.)				ขยายตัว (%)
	1	2	3	เฉลี่ย	
0	10.0	10.0	10.0	10.00	0.0
5	10.4	10.4	10.3	10.37	3.7
10	11.0	11.0	10.9	10.97	9.7
15	11.6	11.5	11.5	11.53	15.3
20	12.9	12.8	12.8	12.83	28.3
25	14.3	14.3	14.3	14.30	43.0
30	15.3	15.2	15.2	15.23	52.3
35	15.8	15.8	15.8	15.80	58.0
40	16.2	16.3	16.2	16.23	62.3
45	16.5	16.5	16.5	16.50	65.0
50	16.7	16.7	16.8	16.73	67.3
55	16.9	16.9	16.9	16.90	69.0
60	17.2	17.2	17.2	17.20	72.0
65	17.4	17.4	17.4	17.40	74.0
70	17.6	17.6	17.6	17.60	76.0
75	17.6	17.7	17.6	17.63	76.3
80	17.7	17.8	17.8	17.77	77.7
85	17.8	17.8	17.9	17.83	78.3
90	17.8	17.9	17.9	17.87	78.7
95	17.8	17.9	17.9	17.87	78.7
100	17.8	17.9	17.9	17.87	78.7
105	17.8	17.9	17.9	17.87	78.7
110	17.8	17.9	17.9	17.87	78.7
115	17.8	17.9	17.9	17.87	78.7
120	17.8	17.9	17.9	17.87	78.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.1. ผลการทดสอบหาอัตราการขยายตัวที่เวลาต่างๆของซีเมนต์เพสท์

w/c Ratio 0.5

เวลา	ความสูง (ซ.ม.)				ขยายตัว
(นาที)	1	2	3	เฉลี่ย	(%)
0	10.1	10.0	10.0	10.03	0.3
5	10.4	10.2	10.1	10.23	2.3
10	10.9	10.7	10.6	10.73	7.3
15	11.3	11.8	11.9	11.67	16.7
20	13.2	13.3	13.3	13.27	32.7
25	14.8	14.9	14.9	14.87	48.7
30	15.8	15.8	15.9	15.83	58.3
35	16.7	16.6	16.5	16.60	66.0
40	17.1	17.1	17.0	17.07	70.7
45	17.2	17.3	17.3	17.27	72.7
50	17.8	17.8	17.8	17.80	78.0
55	18.2	18.1	18.2	18.17	81.7
60	18.4	18.2	18.3	18.30	83.0
65	18.5	18.4	18.4	18.43	84.3
70	18.6	18.6	18.6	18.60	86.0
75	18.7	18.7	18.7	18.70	87.0
80	18.7	18.7	18.8	18.73	87.3
85	18.8	18.8	18.8	18.80	88.0
90	18.8	18.8	18.8	18.80	88.0
95	18.9	18.9	18.8	18.87	88.7
100	18.9	18.9	18.9	18.90	89.0
105	18.9	18.9	18.9	18.90	89.0
110	18.9	18.9	18.9	18.90	89.0
115	18.9	19.0	18.9	18.93	89.3
120	18.9	19.0	18.9	18.93	89.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์

ตารางที่ ผ.ข.2. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ w/c 0.3

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.02	5.06	5.04	262.4	2049.6	153.7	616.8	606.2
	2	3	5.00	5.09	5.05	261.7	2036.2	149.2	597.6	
	3	3	4.99	5.00	5.05	262.3	2081.8	147.9	604.3	
	4	7	5.00	5.01	5.05	263.8	2085.3	177.6	722.7	699.9
	5	7	5.08	5.04	5.05	262.8	2032.5	174.6	695.2	
	6	7	5.04	5.09	5.06	261.1	2011.4	171.6	681.9	
	7	28	5.05	5.01	5.06	260.9	2038.0	176.5	711.1	715.8
	8	28	5.04	5.00	5.04	262.3	2065.2	172.6	698.2	
	9	28	5.00	5.04	5.02	260.8	2061.6	182.5	738.2	
	Average						2051.3			
0.010	1	3	5.03	5.07	5.03	224.7	1751.7	69.9	279.4	282.4
	2	3	5.04	5.04	5.05	224.7	1751.7	70.8	284.1	
	3	3	5.09	5.09	5.03	225.9	1733.5	72.1	283.7	
	4	7	5.08	5.07	5.03	224.8	1735.2	87.4	345.9	357.0
	5	7	5.07	5.02	5.05	225.2	1752.1	86.3	345.6	
	6	7	5.11	5.02	5.06	225.9	1740.4	95.5	379.5	
	7	28	5.05	5.01	5.06	226.8	1771.6	115.0	463.3	507.7
	8	28	5.04	5.00	5.04	227.4	1790.4	131.4	531.5	
	9	28	5.00	5.04	5.02	227.6	1799.2	130.6	528.3	
	Average						1758.4			
0.025	1	3	5.06	5.10	5.02	191.7	1479.8	37.1	146.5	140.0
	2	3	5.05	5.05	5.09	190.5	1467.6	36.5	145.9	
	3	3	5.03	5.02	5.04	187.7	1474.9	31.6	127.6	
	4	7	5.01	5.04	5.02	191.7	1512.3	57.8	233.3	236.3
	5	7	5.03	5.02	5.06	188.7	1476.9	59.5	240.2	
	6	7	5.03	5.02	5.06	190.4	1490.2	58.3	235.4	
	7	28	5.02	5.02	5.03	187.9	1482.4	62.3	252.0	246.4
	8	28	5.01	5.03	5.01	190.9	1512.0	61.7	249.6	
	9	28	5.03	5.00	5.04	188.4	1486.3	58.6	237.5	
	Average						1486.9			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.2. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ w/c 0.3

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.050	1	3	5.00	5.03	5.13	184.5	1430.0	23.2	94.0	95.9
	2	3	5.00	5.02	5.10	185.6	1449.9	24.1	97.9	
	3	3	5.00	5.02	5.10	186.5	1456.9	23.6	95.8	
	4	7	5.09	5.03	5.02	188.4	1465.9	49.0	195.1	195.5
	5	7	5.02	5.03	5.06	184.5	1444.0	50.1	202.3	
	6	7	5.09	5.00	5.02	185.6	1452.7	47.2	189.1	
	7	28	5.10	5.11	5.08	188.2	1421.6	57.6	225.3	216.1
	8	28	5.05	5.03	5.08	186.1	1442.2	54.9	220.3	
	9	28	5.10	5.11	5.11	185.9	1395.9	51.8	202.6	
	Average						1439.9			
0.075	1	3	5.00	5.04	5.14	174.2	1344.9	16.7	67.6	71.0
	2	3	5.00	5.00	5.08	175.7	1383.5	17.2	70.1	
	3	3	5.05	5.01	5.14	178.4	1371.8	18.7	75.3	
	4	7	5.04	5.00	5.05	174.5	1371.2	36.0	145.6	159.3
	5	7	5.08	5.03	5.00	177.4	1388.5	43.6	173.9	
	6	7	5.08	5.01	5.00	174.1	1368.1	39.5	158.2	
	7	28	5.10	5.06	5.06	175.2	1341.7	44.4	175.4	169.9
	8	28	5.11	5.06	5.06	173.0	1322.3	40.8	160.8	
	9	28	5.12	5.04	5.04	177.3	1363.3	43.9	173.4	
	Average						1361.7			
0.100	1	3	5.09	4.97	5.00	154.5	1221.5	35.1	141.4	116.9
	2	3	5.00	5.05	5.03	157.5	1240.1	27.1	109.4	
	3	3	5.03	5.06	5.04	160.9	1254.3	24.9	99.7	
	4	7	5.03	5.04	5.03	166.8	1308.1	30.0	120.6	130.9
	5	7	5.02	5.04	5.06	158.1	1234.9	33.6	135.4	
	6	7	5.04	5.06	5.04	159.5	1240.9	34.2	136.7	
	7	28	5.02	5.01	5.01	153.8	1220.6	32.3	130.9	131.6
	8	28	5.01	5.01	5.06	172.8	1360.6	34.0	138.1	
	9	28	5.02	5.00	5.04	156.7	1238.7	31.0	125.9	
	Average						1257.7			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.3. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ w/c 0.4

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm)			Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength	
			W.	L.	H.				(ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.04	4.97	4.99	239.1	1912.9	104.6	425.7	431.2
	2	3	4.97	5.00	5.05	240.1	1913.3	103.9	426.2	
	3	3	4.92	5.02	4.99	239.6	1944.1	107.0	441.6	
	4	7	5.09	5.06	5.04	240.3	1851.2	117.3	464.3	434.0
	5	7	5.08	5.04	5.01	238.4	1858.6	98.3	391.4	
	6	7	5.05	5.06	5.00	233.3	1826.0	111.9	446.4	
	7	28	5.01	5.01	5.06	235.3	1852.7	112.3	456.1	459.9
	8	28	5.02	5.00	5.04	235.6	1862.4	109.8	445.9	
	9	28	5.00	5.02	5.02	236.8	1879.3	117.6	477.6	
	Average						1877.8			
0.010	1	3	5.02	5.04	5.09	213.0	1654.0	57.9	233.3	232.1
	2	3	5.02	5.02	5.10	212.9	1656.5	58.2	235.4	
	3	3	5.00	5.00	5.08	211.4	1664.6	55.8	227.5	
	4	7	5.04	5.01	5.02	209.3	1651.2	61.9	249.9	254.6
	5	7	5.00	5.00	5.05	210.3	1665.7	56.5	230.4	
	6	7	5.02	5.03	5.01	210.5	1664.0	70.2	283.4	
	7	28	5.05	5.01	5.06	210.1	1641.1	86.8	349.7	357.5
	8	28	5.04	5.00	5.04	211.0	1661.3	90.4	365.7	
	9	28	5.00	5.04	5.02	211.9	1675.0	88.3	357.2	
	Average						1659.3			
0.025	1	3	5.04	5.00	5.03	184.3	1454.0	36.8	148.9	150.3
	2	3	5.00	5.00	5.04	183.3	1454.8	37.1	151.3	
	3	3	5.00	5.00	5.03	184.6	1468.0	37.0	150.9	
	4	7	5.02	5.06	5.00	182.4	1436.2	43.6	175.0	184.9
	5	7	5.00	5.00	5.00	185.6	1484.8	45.3	184.7	
	6	7	5.00	5.05	5.00	187.4	1484.4	48.3	195.0	
	7	28	5.00	4.99	5.06	185.0	1465.4	39.5	161.4	173.3
	8	28	5.06	5.02	5.01	187.2	1471.0	45.3	181.8	
	9	28	5.06	5.08	4.98	187.9	1467.9	44.6	176.9	
	Average						1465.1			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.3. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ w/c 0.4

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm)			Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
			W.	L.	H.					
0.050	1	3	5.00	5.03	5.01	144.1	1143.6	16.2	65.7	62.0
	2	3	5.00	5.00	5.03	142.5	1133.2	17.4	70.9	
	3	3	5.00	5.00	5.04	143.7	1140.5	12.1	49.3	
	4	7	5.03	5.06	5.02	144.5	1131.0	20.0	80.1	85.8
	5	7	5.08	5.04	5.09	146.0	1120.3	23.8	94.8	
	6	7	5.05	5.02	5.10	153.1	1184.2	20.5	82.4	
	7	28	5.00	5.00	5.05	145.3	1150.9	26.0	106.0	102.5
	8	28	5.02	5.06	5.04	144.5	1128.7	24.7	99.1	
	9	28	5.00	5.04	5.02	145.9	1153.3	25.3	102.3	
	Average						1142.9			
0.075	1	3	5.00	5.07	5.02	135.3	1063.2	10.1	40.6	54.4
	2	3	5.03	5.06	5.02	141.2	1105.1	15.5	62.1	
	3	3	5.00	5.06	5.04	140.1	1098.7	15.0	60.4	
	4	7	5.10	5.03	5.01	142.5	1108.8	18.7	74.3	82.0
	5	7	5.09	5.02	5.03	148.3	1153.9	20.0	79.8	
	6	7	5.08	5.02	5.01	146.8	1149.0	23.0	91.9	
	7	28	5.06	5.02	5.03	148.4	1161.5	28.2	113.2	106.9
	8	28	5.01	5.07	5.01	149.6	1175.6	25.7	103.1	
	9	28	5.02	5.04	5.03	145.8	1145.7	25.9	104.4	
	Average						1129.0			
0.100	1	3	5.03	5.00	5.10	129.6	1010.4	10.7	43.4	41.0
	2	3	5.03	5.03	5.07	132.1	1029.8	10.5	42.3	
	3	3	5.03	5.00	5.10	133.8	1043.2	9.2	37.3	
	4	7	5.09	5.02	5.07	131.6	1015.8	16.9	67.4	65.3
	5	7	5.10	5.03	5.00	131.6	1026.0	14.0	55.6	
	6	7	5.08	5.02	5.01	135.0	1056.6	18.2	72.8	
	7	28	5.11	5.09	5.01	132.0	1013.0	21.0	82.3	80.3
	8	28	5.08	5.01	5.10	134.6	1037.0	20.1	80.5	
	9	28	5.12	5.02	5.08	131.1	1004.1	19.7	78.1	
	Average						1026.2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.4. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ w/c 0.5

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm)			Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength	
			W.	L.	H.				(ksc)	Avg.
0.000	1	3	4.91	5.09	5.02	222.1	1770.3	70.8	288.8	271.9
	2	3	4.91	5.06	5.02	222.1	1780.8	64.9	266.3	
	3	3	4.94	5.02	5.06	222.3	1771.6	63.4	260.6	
	4	7	5.01	5.00	5.17	220.9	1705.7	64.2	261.3	304.0
	5	7	4.85	5.02	5.03	220.6	1801.3	83.0	347.5	
	6	7	5.04	4.87	5.00	219.3	1786.9	73.0	303.2	
	7	28	5.08	5.06	5.03	221.7	1714.7	98.7	391.4	403.7
	8	28	5.04	5.07	5.04	225.8	1753.3	100.5	400.9	
	9	28	5.07	5.06	5.04	223.4	1727.8	105.4	418.8	
	Average						1756.9			
0.010	1	3	5.01	5.10	5.04	204.4	1587.2	49.4	197.1	194.1
	2	3	5.01	5.09	5.06	203.9	1580.2	47.8	191.1	
	3	3	5.00	4.98	5.05	200.3	1592.9	47.4	194.0	
	4	7	5.03	5.05	5.03	201.6	1577.8	51.8	207.9	224.5
	5	7	5.05	5.08	5.04	203.6	1574.7	62.5	248.3	
	6	7	5.04	5.03	5.06	202.5	1578.6	54.0	217.1	
	7	28	5.00	5.00	5.05	205.2	1625.3	71.1	289.9	294.0
	8	28	5.04	5.05	5.01	204.3	1602.2	73.8	295.6	
	9	28	5.03	5.03	5.02	205.2	1615.6	73.6	296.5	
	Average						1592.7			
0.025	1	3	5.04	5.02	5.08	181.2	1409.8	28.2	113.6	114.5
	2	3	5.04	5.03	5.05	179.8	1404.4	30.1	121.0	
	3	3	5.10	5.00	5.04	181.5	1412.2	27.2	108.7	
	4	7	5.01	5.00	5.03	177.0	1404.7	30.0	122.1	131.6
	5	7	5.04	5.03	5.03	176.9	1387.3	33.6	135.1	
	6	7	5.04	5.03	5.00	176.1	1389.3	34.2	137.5	
	7	28	5.00	5.00	4.99	176.9	1418.0	36.6	149.2	155.6
	8	28	5.00	5.00	5.05	177.0	1402.0	42.6	173.7	
	9	28	5.04	5.05	5.01	179.8	1410.0	35.9	143.8	
	Average						1404.2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.4. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ w/c 0.5

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.050	1	3	5.06	5.00	5.01	133.9	1056.4	9.5	38.3	32.9
	2	3	5.05	4.98	5.05	136.9	1077.9	6.2	25.1	
	3	3	5.02	5.02	5.05	135.6	1065.5	8.7	35.2	
	4	7	5.04	5.02	5.02	134.9	1062.1	15.7	63.3	66.2
	5	7	5.08	5.00	5.02	133.9	1050.1	16.0	64.2	
	6	7	5.08	5.02	5.01	131.3	1027.7	17.8	71.2	
	7	28	5.10	5.03	5.04	135.4	1047.2	21.0	83.4	82.9
	8	28	5.06	5.03	5.02	135.3	1059.0	22.0	88.1	
	9	28	5.04	5.06	5.05	134.5	1044.4	19.3	77.1	
	Average						1054.5			
0.075	1	3	5.04	5.01	5.03	116.0	913.3	8.2	33.1	32.3
	2	3	5.03	5.03	5.03	117.0	919.4	8.9	35.9	
	3	3	5.05	5.01	5.01	117.9	930.1	6.9	27.8	
	4	7	5.06	5.03	5.06	119.7	929.4	10.0	40.1	46.8
	5	7	5.04	5.01	5.05	118.4	928.5	11.4	46.0	
	6	7	5.03	5.03	5.01	119.6	943.5	13.5	54.4	
	7	28	5.06	5.03	5.06	119.7	929.4	14.0	56.1	60.8
	8	28	5.04	5.01	5.05	118.4	928.5	16.6	67.0	
	9	28	5.03	5.03	5.01	119.6	943.5	14.7	59.2	
	Average						929.5			
0.100	1	3	5.03	5.01	5.06	113.8	892.5	7.1	28.7	26.6
	2	3	5.04	5.04	5.07	112.9	876.6	6.3	25.3	
	3	3	5.00	5.07	5.08	110.5	858.1	6.4	25.7	
	4	7	5.08	5.03	5.07	113.6	876.9	7.1	28.3	39.0
	5	7	5.06	5.04	5.03	111.3	867.7	10.0	40.0	
	6	7	5.02	5.00	5.02	112.8	895.2	12.0	48.7	
	7	28	5.04	5.07	5.04	111.6	866.6	13.8	55.1	52.4
	8	28	5.07	5.06	5.04	110.9	857.7	11.9	47.3	
	9	28	5.11	5.06	5.07	113.9	868.8	13.9	54.8	
	Average						873.3			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข3. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

ตารางที่ ผ.ข.5. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ w/c 0.3

Sand / Cement = 0.5

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age.	Dimention (cm)			Weight	Density	load	Compressive strength	
		(days)	W.	L.	H.	(g)	(kg/m^3)	(kN)	(ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.03	5.04	5.06	273.8	2134.6	146.2	587.9	583.9
	2	3	5.04	5.04	5.01	274.9	2160.1	151.4	607.6	
	3	3	5.03	5.05	5.03	271.3	2123.4	138.6	556.2	
	4	7	5.05	5.07	5.03	274.1	2128.3	178.2	709.5	713.6
	5	7	5.07	5.02	5.02	275.5	2156.3	181.4	726.5	
	6	7	5.03	5.05	5.06	270.9	2107.7	175.6	704.7	
	7	28	5.05	5.04	5.00	275.0	2160.9	179.1	717.3	818.2
	8	28	5.01	5.00	5.04	276.9	2193.2	206.3	839.5	
	9	28	5.06	5.04	5.02	276.5	2159.8	224.6	897.8	
	Average						2147.1			
0.025	1	3	5.06	5.05	5.03	255.7	1989.4	82.4	328.7	337.9
	2	3	5.02	5.05	5.02	250.3	1966.8	85.6	344.2	
	3	3	5.02	5.01	5.04	252.8	1994.4	84.1	340.9	
	4	7	5.01	5.03	5.03	251.8	1986.5	89.1	360.4	364.0
	5	7	5.04	5.02	5.02	253.2	1993.5	94.5	380.7	
	6	7	5.02	5.06	5.06	252.9	1967.6	87.4	350.7	
	7	28	5.02	5.01	5.03	249.3	1970.7	98.9	400.9	408.8
	8	28	5.02	5.03	5.00	250.4	1983.3	100.2	404.5	
	9	28	5.03	5.01	5.04	251.7	1981.7	104.1	421.1	
	Average						1981.5			
0.100	1	3	5.03	5.05	5.06	229.8	1787.9	62.1	249.2	240.9
	2	3	5.05	5.04	5.00	237.8	1868.6	59.4	237.9	
	3	3	5.01	5.00	5.04	237.9	1884.3	57.9	235.6	
	4	7	5.06	5.04	5.02	239.1	1867.6	71.6	286.2	281.5
	5	7	5.06	5.05	5.03	233.7	1818.2	64.3	256.5	
	6	7	5.04	5.02	5.02	233.7	1840.0	74.9	301.8	
	7	28	5.02	5.06	5.06	235.6	1833.0	79.7	319.8	311.4
	8	28	5.02	5.01	5.03	239.0	1889.2	75.7	306.8	
	9	28	5.02	5.03	5.00	234.1	1854.2	76.2	307.6	
	Average						1849.2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.5. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ w/c 0.3

Sand / Cement = 0.75

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.02	5.08	5.01	278.5	2179.8	160.2	640.4	649.0
	2	3	5.02	5.04	5.05	280.0	2191.5	162.7	655.5	
	3	3	5.02	5.04	5.02	277.3	2183.3	161.6	651.1	
	4	7	5.00	5.00	5.00	277.7	2221.6	189.2	771.5	780.3
	5	7	5.00	5.00	5.05	278.1	2202.8	191.5	780.6	
	6	7	5.00	5.05	5.00	278.5	2205.9	195.4	788.8	
	7	28	5.03	5.06	5.03	277.7	2169.1	227.7	912.0	842.5
	8	28	5.03	5.08	5.05	278.1	2155.2	202.5	807.8	
	9	28	5.00	5.01	5.02	278.5	2214.7	198.5	807.8	
	Average						2191.5			
0.025	1	3	5.10	5.01	5.09	238.9	1836.9	69.7	278.1	292.7
	2	3	5.00	5.09	5.09	244.1	1884.4	77.7	311.2	
	3	3	5.07	5.08	5.04	239.3	1843.5	73.0	288.9	
	4	7	5.06	5.00	5.00	243.5	1924.9	96.7	389.6	354.0
	5	7	5.00	5.00	5.02	240.4	1915.5	86.6	353.1	
	6	7	5.00	5.03	5.02	239.9	1900.2	78.8	319.4	
	7	28	5.08	5.00	5.03	243.5	1905.9	103.1	413.8	379.7
	8	28	5.10	5.04	5.08	240.4	1841.1	83.0	329.2	
	9	28	5.06	5.04	5.06	239.9	1859.1	99.1	396.1	
	Average						1879.0			
0.100	1	3	5.02	5.10	5.04	221.3	1715.1	58.2	231.7	221.3
	2	3	5.03	5.02	5.02	220.7	1741.1	51.2	206.7	
	3	3	5.03	5.03	5.03	221.3	1738.9	56.0	225.6	
	4	7	5.05	5.02	5.03	224.5	1760.6	62.4	250.9	262.4
	5	7	5.04	5.05	5.05	223.9	1742.0	67.9	271.9	
	6	7	5.05	5.05	5.05	223.3	1733.9	66.1	264.2	
	7	28	5.03	5.04	5.04	224.5	1757.1	65.7	264.2	293.4
	8	28	5.10	5.04	5.00	223.9	1742.1	72.6	287.9	
	9	28	5.04	5.08	5.00	223.3	1744.3	82.4	328.1	
	Average						1741.7			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.5. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ w/c 0.3

Sand / Cement = 1.0

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.03	5.02	5.00	287.0	2273.2	166.7	673.0	664.1
	2	3	5.01	5.03	5.04	286.3	2254.2	155.1	627.4	
	3	3	5.05	5.03	5.06	287.5	2236.8	172.4	691.8	
	4	7	5.05	5.03	5.06	287.2	2234.5	200.3	803.8	769.2
	5	7	5.04	5.05	5.00	285.5	2243.4	185.2	741.7	
	6	7	5.00	5.01	5.04	287.6	2278.0	187.3	762.2	
	7	28	5.04	5.06	5.02	287.2	2243.4	237.6	949.7	891.2
	8	28	5.05	5.03	5.03	285.5	2234.5	209.2	839.5	
	9	28	5.07	5.05	5.03	287.6	2233.2	222.1	884.3	
	Average						2247.9			
0.025	1	3	5.04	5.02	5.02	241.4	1900.6	92.3	371.9	332.3
	2	3	5.02	5.06	5.06	248.8	1935.7	79.8	320.2	
	3	3	5.02	5.01	5.03	244.8	1935.1	75.2	304.8	
	4	7	5.02	5.03	5.00	250.0	1980.2	92.0	371.4	374.6
	5	7	5.03	5.01	5.04	245.8	1935.3	87.0	351.9	
	6	7	5.03	5.05	5.06	248.9	1936.5	99.8	400.5	
	7	28	5.03	5.05	5.06	250.0	1945.0	96.7	388.1	399.0
	8	28	5.05	5.04	5.00	245.8	1931.5	103.5	414.5	
	9	28	5.01	5.00	5.04	248.9	1971.5	96.9	394.3	
	Average						1941.3			
0.100	1	3	5.00	5.01	5.04	234.0	1853.4	62.3	253.5	258.2
	2	3	5.04	5.06	5.02	234.3	1830.2	66.7	266.6	
	3	3	5.05	5.03	5.03	233.5	1827.5	63.4	254.4	
	4	7	5.07	5.05	5.03	234.6	1821.6	67.4	268.3	275.2
	5	7	5.02	5.07	5.02	234.6	1836.2	70.9	284.0	
	6	7	5.05	5.03	5.06	234.2	1822.1	68.1	273.3	
	7	28	5.04	5.05	5.00	234.6	1843.5	81.3	325.6	297.8
	8	28	5.00	5.04	5.04	234.6	1847.1	68.0	275.1	
	9	28	5.04	5.00	5.02	234.2	1851.3	72.4	292.9	
	Average						1837.0			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.5. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ w/c 0.3

Sand / Cement = 1.5

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm)			Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
			W.	L.	H.					
0.000	1	3	5.01	5.03	5.04	292.3	2301.4	156.4	632.6	621.3
	2	3	5.05	5.03	5.06	301.4	2344.9	149.5	599.9	
	3	3	5.05	5.03	5.06	297.3	2313.1	157.3	631.2	
	4	7	5.04	5.05	5.00	296.5	2329.9	178.2	713.7	735.3
	5	7	5.00	5.01	5.04	297.6	2357.2	186.6	759.3	
	6	7	5.04	5.06	5.02	294.3	2298.8	183.4	732.9	
	7	28	5.05	5.03	5.03	294.5	2304.9	231.0	927.0	921.3
	8	28	5.07	5.05	5.03	299.1	2322.5	219.6	874.3	
	9	28	5.02	5.07	5.02	303.6	2376.2	240.3	962.4	
	Average						2327.7			
0.025	1	3	5.06	5.04	5.02	251.3	1962.9	92.6	370.1	370.9
	2	3	5.06	5.05	5.03	255.3	1986.3	87.9	350.7	
	3	3	5.04	5.02	5.02	262.5	2066.8	97.3	392.0	
	4	7	5.02	5.06	5.06	261.4	2033.8	89.6	359.6	384.6
	5	7	5.05	5.04	5.00	257.9	2026.6	95.8	383.7	
	6	7	5.04	5.00	5.04	253.3	1994.4	101.5	410.6	
	7	28	5.00	5.04	5.02	254.5	2011.8	102.4	414.2	426.3
	8	28	5.06	5.02	5.02	253.9	1991.2	110.3	442.6	
	9	28	5.05	5.05	5.01	259.1	2027.9	105.6	422.1	
	Average						2011.3			
0.100	1	3	5.07	5.02	5.02	248.9	1948.1	74.0	296.4	299.5
	2	3	5.03	5.05	5.06	244.9	1905.4	71.6	287.3	
	3	3	5.05	5.04	5.00	252.1	1981.0	78.6	314.8	
	4	7	5.01	5.00	5.04	245.7	1946.1	81.8	332.9	309.4
	5	7	5.06	5.04	5.02	253.9	1983.3	76.5	305.8	
	6	7	5.06	5.05	5.03	248.9	1936.5	72.6	289.6	
	7	28	5.02	5.05	5.02	244.9	1924.4	76.5	307.6	320.4
	8	28	5.02	5.01	5.04	252.1	1988.8	83.6	338.8	
	9	28	5.01	5.03	5.03	250.1	1973.1	77.8	314.7	
	Average						1954.1			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.5. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ w/c 0.3

Sand / Cement = 1.75

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.01	5.03	5.04	301.2	2371.5	156.1	631.4	596.9
	2	3	5.05	5.03	5.06	293.7	2285.0	154.3	619.2	
	3	3	5.05	5.03	5.06	296.2	2304.5	134.6	540.2	
	4	7	5.04	5.05	5.00	298.0	2341.7	168.5	674.9	695.5
	5	7	5.00	5.01	5.04	296.5	2348.5	170.9	695.4	
	6	7	5.04	5.06	5.02	295.1	2305.1	179.2	716.3	
	7	28	5.05	5.03	5.03	297.8	2330.8	243.9	978.8	976.4
	8	28	5.07	5.05	5.03	296.7	2303.8	245.2	976.2	
	9	28	5.02	5.07	5.02	295.6	2313.6	243.2	974.1	
	Average						2322.7			
0.025	1	3	5.00	5.01	5.04	264.4	2094.2	98.2	399.6	387.9
	2	3	5.04	5.02	5.02	265.7	2092.0	93.4	376.3	
	3	3	5.02	5.06	5.06	265.0	2061.8	96.6	387.7	
	4	7	5.02	5.01	5.03	264.9	2094.0	104.7	424.4	420.8
	5	7	5.01	5.02	5.03	264.7	2092.4	103.9	421.1	
	6	7	5.03	5.02	5.00	263.5	2087.1	103.3	417.0	
	7	28	5.01	5.03	5.04	257.0	2023.5	107.9	436.5	491.1
	8	28	5.05	5.03	5.06	256.3	1994.1	132.9	533.3	
	9	28	5.05	5.03	5.06	256.1	1992.5	125.5	503.6	
	Average						2059.1			
0.100	1	3	5.05	5.01	5.06	258.5	2019.2	81.5	328.4	324.9
	2	3	5.04	5.00	5.04	256.2	2017.2	80.3	324.8	
	3	3	5.00	5.04	5.02	258.5	2043.4	79.5	321.6	
	4	7	5.06	5.02	5.02	257.0	2015.5	76.3	306.2	323.5
	5	7	5.05	5.05	5.01	256.3	2006.0	78.0	311.8	
	6	7	5.03	5.02	5.04	256.1	2012.4	87.3	352.4	
	7	28	5.01	5.04	5.02	257.0	2027.5	108.1	436.4	362.9
	8	28	5.03	5.02	5.06	256.3	2006.0	73.7	297.5	
	9	28	5.03	5.02	5.06	256.1	2004.4	87.9	354.9	
	Average						2016.8			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.6. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.4

Sand / Cement = 0.5

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.03	5.04	5.06	254.0	1980.1	119.4	480.1	476.9
	2	3	5.04	5.04	5.01	260.2	2044.6	111.5	447.5	
	3	3	5.03	5.05	5.03	259.7	2032.6	125.4	503.2	
	4	7	5.05	5.07	5.03	259.5	2015.0	135.4	539.1	528.2
	5	7	5.07	5.02	5.02	259.1	2027.9	128.4	514.3	
	6	7	5.03	5.05	5.06	258.7	2012.7	132.4	531.3	
	7	28	5.05	5.04	5.00	261.6	2055.6	142.1	569.1	584.7
	8	28	5.01	5.00	5.04	260.8	2065.5	147.5	600.2	
	9	28	5.06	5.04	5.02	261.4	2041.8	146.3	584.8	
	Average						2030.6			
0.025	1	3	5.06	5.05	5.03	240.1	1868.0	51.0	203.5	194.2
	2	3	5.02	5.05	5.02	240.1	1886.7	42.0	168.9	
	3	3	5.02	5.01	5.04	232.4	1833.4	51.9	210.4	
	4	7	5.01	5.03	5.03	239.2	1887.1	65.2	263.7	252.7
	5	7	5.04	5.02	5.02	239.7	1887.3	63.8	257.0	
	6	7	5.02	5.06	5.06	241.2	1876.6	59.1	237.2	
	7	28	5.02	5.01	5.03	238.3	1883.7	69.8	282.9	287.3
	8	28	5.02	5.03	5.00	235.9	1868.5	68.1	274.9	
	9	28	5.03	5.01	5.04	237.5	1869.9	75.2	304.2	
	Average						1873.5			
0.100	1	3	5.03	5.05	5.06	208.7	1623.7	34.5	138.4	133.5
	2	3	5.05	5.04	5.00	212.4	1669.0	30.4	121.8	
	3	3	5.01	5.00	5.04	213.8	1693.4	34.5	140.4	
	4	7	5.06	5.04	5.02	200.6	1566.9	31.5	125.9	147.9
	5	7	5.06	5.05	5.03	202.4	1574.7	43.3	172.7	
	6	7	5.04	5.02	5.02	203.8	1604.6	36.0	145.0	
	7	28	5.02	5.06	5.06	197.1	1533.5	49.6	199.0	190.6
	8	28	5.02	5.01	5.03	200.7	1586.5	42.8	189.5	
	9	28	5.02	5.03	5.00	202.3	1602.3	45.4	183.3	
	Average						1606.1			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.6. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.4

Sand / Cement = 0.75

Aluminium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.03	5.01	5.04	265.2	2088.0	121.7	492.3	452.9
	2	3	5.03	5.05	5.06	256.6	1996.4	110.2	442.2	
	3	3	5.03	5.05	5.06	266.1	2070.3	105.7	424.2	
	4	7	5.05	5.04	5.00	268.0	2105.9	138.4	554.3	533.2
	5	7	5.01	5.00	5.04	267.9	2121.9	129.5	527.0	
	6	7	5.06	5.04	5.02	268.1	2094.2	129.7	518.4	
	7	28	5.03	5.05	5.03	267.9	2096.7	152.5	612.0	567.7
	8	28	5.05	5.07	5.03	268.2	2082.5	148.7	592.0	
	9	28	5.07	5.02	5.02	268.0	2097.6	124.6	499.0	
	Average						2083.7			
0.025	1	3	5.05	5.04	5.00	231.6	1819.9	47.2	189.0	196.6
	2	3	5.01	5.00	5.04	229.3	1816.4	47.7	194.1	
	3	3	5.06	5.04	5.02	229.2	1790.3	51.7	206.7	
	4	7	5.06	5.05	5.03	232.4	1808.1	63.7	254.1	252.1
	5	7	5.02	5.05	5.02	230.7	1812.8	62.2	250.1	
	6	7	5.02	5.01	5.04	234.2	1847.6	62.2	252.1	
	7	28	5.01	5.03	5.03	233.4	1841.3	68.9	278.7	275.5
	8	28	5.04	5.02	5.02	233.3	1836.9	71.4	287.7	
	9	28	5.05	5.07	5.03	231.0	1793.7	65.3	260.0	
	Average						1818.6			
0.100	1	3	5.03	5.05	5.06	209.0	1626.1	42.4	170.2	166.7
	2	3	5.05	5.04	5.00	207.9	1633.7	40.3	161.4	
	3	3	5.01	5.00	5.04	212.1	1680.0	41.4	168.5	
	4	7	5.06	5.04	5.02	209.2	1634.1	53.7	214.6	205.0
	5	7	5.06	5.05	5.03	211.9	1648.6	53.6	213.8	
	6	7	5.02	5.05	5.02	206.9	1625.8	46.4	186.6	
	7	28	5.02	5.01	5.04	209.9	1655.9	58.4	236.7	216.6
	8	28	5.01	5.03	5.03	215.9	1703.3	55.4	224.1	
	9	28	5.05	5.05	5.01	205.5	1608.4	47.3	189.1	
	Average						1646.2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.6. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.4

Sand / Cement = 1.0

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.03	5.03	5.02	269.0	2117.9	82.4	332.0	349.7
	2	3	5.04	5.03	5.01	272.1	2142.4	85.3	343.0	
	3	3	5.02	5.00	5.02	270.8	2149.2	92.1	374.0	
	4	7	5.05	5.04	5.00	270.2	2123.2	109.3	437.8	456.8
	5	7	5.00	5.04	5.04	273.8	2155.8	114.0	461.1	
	6	7	5.00	5.00	5.00	271.0	2168.0	115.6	471.4	
	7	28	5.05	5.04	5.04	268.8	2095.4	139.7	559.5	556.6
	8	28	5.01	5.02	5.03	273.2	2159.6	135.4	548.8	
	9	28	5.02	5.10	5.00	271.8	2123.3	141.0	561.4	
	Average						2137.2			
0.025	1	3	5.02	5.10	5.07	234.6	1807.4	58.7	233.7	189.3
	2	3	5.04	5.06	5.04	235.4	1831.4	38.1	152.3	
	3	3	5.02	5.06	5.08	235.1	1821.9	45.3	181.8	
	4	7	5.04	5.02	5.00	237.1	1874.2	63.9	257.5	248.7
	5	7	5.04	5.04	5.00	234.5	1846.3	64.0	256.8	
	6	7	5.03	5.01	5.03	233.3	1840.5	57.3	231.8	
	7	28	5.05	5.06	5.07	237.1	1830.1	63.8	254.5	263.6
	8	28	5.02	5.09	5.10	234.5	1799.5	65.1	259.7	
	9	28	5.04	5.04	5.09	233.2	1803.6	68.9	276.5	
	Average						1828.3			
0.100	1	3	5.00	5.02	5.05	217.4	1715.1	38.2	155.1	144.2
	2	3	5.00	5.08	5.07	220.9	1714.3	32.4	130.0	
	3	3	5.00	5.08	5.06	223.7	1740.5	36.7	147.3	
	4	7	5.05	5.04	5.04	218.0	1699.4	49.4	197.8	191.2
	5	7	5.01	5.02	5.03	224.1	1771.5	44.2	179.1	
	6	7	5.02	5.10	5.00	225.4	1760.8	49.4	196.7	
	7	28	5.05	5.04	5.00	220.0	1728.7	55.5	222.3	210.0
	8	28	5.00	5.04	5.04	222.2	1749.5	51.2	207.1	
	9	28	5.00	5.00	5.00	224.1	1792.8	49.2	200.6	
	Average						1741.4			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.6. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.4

Sand / Cement = 1.5

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.01	5.03	5.04	279.4	2199.8	109.7	443.7	444.1
	2	3	5.05	5.03	5.06	279.1	2171.5	115.6	463.9	
	3	3	5.05	5.03	5.06	276.0	2147.3	105.8	424.6	
	4	7	5.04	5.05	5.00	277.9	2183.7	122.1	489.0	492.6
	5	7	5.00	5.01	5.04	279.9	2217.0	124.6	507.0	
	6	7	5.04	5.06	5.02	279.6	2184.0	120.5	481.7	
	7	28	5.05	5.03	5.03	280.4	2194.6	132.1	530.1	534.0
	8	28	5.07	5.05	5.03	279.2	2167.9	136.4	543.1	
	9	28	5.02	5.07	5.02	276.7	2165.7	132.0	528.7	
	Average						2181.3			
0.025	1	3	5.06	5.04	5.02	250.9	1959.8	51.8	207.1	236.0
	2	3	5.06	5.05	5.03	251.2	1954.4	65.7	262.1	
	3	3	5.04	5.02	5.02	248.6	1957.3	59.3	238.9	
	4	7	5.02	5.06	5.06	249.6	1942.0	63.9	256.4	269.5
	5	7	5.05	5.04	5.00	251.9	1979.4	69.8	279.6	
	6	7	5.04	5.00	5.04	249.5	1964.4	67.4	272.6	
	7	28	5.00	5.04	5.02	251.7	1989.7	72.4	292.9	287.9
	8	28	5.06	5.02	5.02	249.5	1956.6	71.6	287.3	
	9	28	5.05	5.05	5.01	250.1	1957.5	70.9	283.4	
	Average						1962.3			
0.100	1	3	5.07	5.02	5.02	238.5	1866.7	41.1	164.6	172.3
	2	3	5.03	5.05	5.06	246.2	1915.5	45.6	183.0	
	3	3	5.05	5.04	5.00	236.1	1855.3	42.3	169.4	
	4	7	5.01	5.00	5.04	234.3	1855.8	44.7	181.9	181.4
	5	7	5.06	5.04	5.02	239.4	1870.0	43.0	171.9	
	6	7	5.06	5.05	5.03	236.7	1841.6	47.7	190.3	
	7	28	5.02	5.05	5.02	230.6	1812.0	51.8	208.3	208.0
	8	28	5.02	5.01	5.04	243.5	1921.0	52.7	213.6	
	9	28	5.01	5.03	5.03	233.8	1844.5	50.0	202.3	
	Average						1864.7			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.6. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.4

Sand / Cement = 2.0

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.04	5.06	5.04	279.9	2177.7	112.9	451.3	437.0
	2	3	5.04	5.07	5.01	278.4	2174.7	104.6	417.3	
	3	3	5.05	5.01	5.08	282.5	2198.0	109.8	442.4	
	4	7	5.00	5.07	5.04	282.1	2208.0	137.1	551.3	528.4
	5	7	5.00	5.04	5.05	284.2	2233.2	131.1	530.3	
	6	7	5.02	5.07	5.02	280.0	2191.5	125.7	503.4	
	7	28	5.04	5.05	5.03	282.1	2203.5	140.7	563.5	638.2
	8	28	5.03	5.00	5.03	284.2	2246.6	176.1	713.8	
	9	28	5.10	5.04	5.02	280.0	2170.0	160.7	637.3	
	Average						2200.3			
0.025	1	3	5.02	5.07	5.02	255.1	1996.6	83.3	333.6	341.2
	2	3	5.04	5.05	5.03	255.9	1998.9	84.6	338.8	
	3	3	5.03	5.00	5.03	257.6	2036.3	86.6	351.0	
	4	7	5.10	5.04	5.02	256.9	1990.9	86.7	343.8	340.2
	5	7	5.05	5.02	5.06	254.9	1987.1	84.9	341.4	
	6	7	5.04	5.13	5.02	255.5	1968.5	85.1	335.5	
	7	28	5.04	5.02	5.07	256.9	2002.7	90.1	363.0	393.9
	8	28	5.07	5.04	5.06	254.9	1971.4	89.1	355.4	
	9	28	5.04	5.02	5.07	255.5	1991.8	115.0	463.3	
	Average						1993.8			
0.100	1	3	5.04	5.02	5.03	248.6	1953.4	66.5	267.9	260.7
	2	3	5.00	5.02	5.04	246.6	1949.3	63.1	256.3	
	3	3	5.04	5.04	5.01	249.3	1959.0	64.3	258.0	
	4	7	5.05	5.06	5.07	251.9	1944.4	75.3	300.4	287.5
	5	7	5.02	5.09	5.10	249.6	1915.4	74.5	297.2	
	6	7	5.04	5.04	5.09	250.2	1935.1	66.0	264.9	
	7	28	5.04	5.02	5.00	251.9	1991.2	82.1	330.8	308.7
	8	28	5.04	5.04	5.00	249.6	1965.2	76.4	306.6	
	9	28	5.03	5.01	5.03	250.2	1973.8	71.4	288.8	
	Average						1954.1			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.7. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.5

Sand / Cement = 0.5

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age.	Dimention (cm)			Weight	Density	load	Compressive strength	
		(days)	W.	L.	H.	(g)	(kg/m^3)	(kN)	(ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.03	5.04	5.06	242.7	1892.0	63.2	254.1	249.5
	2	3	5.04	5.04	5.01	241.5	1897.7	60.9	244.4	
	3	3	5.03	5.05	5.03	243.2	1903.4	62.3	250.0	
	4	7	5.05	5.07	5.03	241.2	1872.9	83.8	333.6	307.5
	5	7	5.07	5.02	5.02	244.0	1909.7	71.3	285.6	
	6	7	5.03	5.05	5.06	243.3	1892.9	75.6	303.4	
	7	28	5.05	5.04	5.00	241.5	1897.7	102.7	411.3	408.4
	8	28	5.01	5.00	5.04	244.0	1932.6	100.3	408.2	
	9	28	5.06	5.04	5.02	241.8	1888.7	101.5	405.7	
	Average						1898.6			
0.025	1	3	5.06	5.05	5.03	204.6	1591.8	27.3	108.9	118.2
	2	3	5.02	5.05	5.02	208.7	1639.9	31.1	125.1	
	3	3	5.02	5.01	5.04	206.5	1629.1	29.8	120.8	
	4	7	5.01	5.03	5.03	207.9	1640.1	32.6	131.9	147.2
	5	7	5.04	5.02	5.02	206.1	1622.7	38.4	154.7	
	6	7	5.02	5.06	5.06	206.2	1604.3	38.6	154.9	
	7	28	5.02	5.01	5.03	209.4	1655.3	43.6	176.7	197.5
	8	28	5.02	5.03	5.00	205.2	1625.3	52.4	211.5	
	9	28	5.03	5.01	5.04	207.2	1631.4	50.5	204.3	
	Average						1626.7			
0.100	1	3	5.03	5.05	5.06	161.6	1257.3	12.6	50.6	59.9
	2	3	5.05	5.04	5.00	157.9	1240.8	16.4	65.7	
	3	3	5.01	5.00	5.04	161.4	1278.4	15.6	63.5	
	4	7	5.06	5.04	5.02	155.5	1214.6	17.9	71.5	70.9
	5	7	5.06	5.05	5.03	157.7	1226.9	16.8	67.0	
	6	7	5.04	5.02	5.02	159.2	1253.4	18.4	74.1	
	7	28	5.02	5.06	5.06	151.8	1181.0	22.8	91.5	94.3
	8	28	5.02	5.01	5.03	157.8	1247.4	23.2	94.0	
	9	28	5.02	5.03	5.00	158.8	1257.8	24.1	97.3	
	Average						1239.7			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.7. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.5

Sand / Cement = 1.0

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.03	5.01	5.04	260.4	2050.2	68.2	275.9	280.4
	2	3	5.03	5.05	5.06	260.5	2026.7	70.8	284.1	
	3	3	5.03	5.05	5.06	260.9	2029.9	70.1	281.3	
	4	7	5.05	5.04	5.00	257.9	2026.6	82.7	331.2	349.9
	5	7	5.01	5.00	5.04	264.0	2091.1	96.9	394.3	
	6	7	5.06	5.04	5.02	257.6	2012.2	81.1	324.2	
	7	28	5.03	5.05	5.03	261.6	2047.4	101.1	405.7	421.5
	8	28	5.05	5.07	5.03	258.9	2010.3	99.4	395.7	
	9	28	5.07	5.02	5.02	263.7	2063.9	115.6	463.0	
	Average						2039.8			
0.025	1	3	5.05	5.04	5.00	230.0	1807.3	45.5	182.2	176.5
	2	3	5.01	5.00	5.04	231.3	1832.1	43.9	178.6	
	3	3	5.06	5.04	5.02	228.4	1784.1	42.2	168.7	
	4	7	5.06	5.05	5.03	229.2	1783.2	48.3	192.7	206.2
	5	7	5.02	5.05	5.02	230.1	1808.1	52.2	209.9	
	6	7	5.02	5.01	5.04	228.8	1805.0	53.3	216.0	
	7	28	5.01	5.03	5.03	229.5	1810.5	61.6	249.2	227.8
	8	28	5.04	5.02	5.02	225.1	1772.3	54.6	220.0	
	9	28	5.05	5.07	5.03	223.2	1733.1	53.8	214.2	
	Average						1792.9			
0.100	1	3	5.03	5.05	5.06	190.7	1483.7	25.4	101.9	103.9
	2	3	5.05	5.04	5.00	202.7	1592.8	28.5	114.1	
	3	3	5.01	5.00	5.04	193.2	1530.3	23.5	95.6	
	4	7	5.06	5.04	5.02	195.4	1526.3	32.1	128.3	122.2
	5	7	5.06	5.05	5.03	199.3	1550.6	30.5	121.7	
	6	7	5.02	5.05	5.02	188.1	1478.1	29.0	116.6	
	7	28	5.02	5.01	5.04	200.3	1580.2	45.7	185.2	147.6
	8	28	5.01	5.03	5.03	191.6	1511.5	30.5	123.4	
	9	28	5.05	5.05	5.01	191.2	1496.5	33.6	134.3	
	Average						1527.8			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.7. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.5

Sand / Cement = 1.5

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.03	5.02	5.00	264.7	2096.6	82.1	331.4	317.7
	2	3	5.01	5.03	5.04	266.5	2098.3	78.3	316.7	
	3	3	5.05	5.03	5.06	264.8	2060.2	76.0	305.0	
	4	7	5.05	5.03	5.06	265.6	2066.4	104.1	417.8	435.2
	5	7	5.04	5.05	5.00	265.5	2086.3	108.1	432.9	
	6	7	5.00	5.01	5.04	264.1	2091.8	111.8	455.0	
	7	28	5.04	5.06	5.02	265.8	2076.2	123.1	492.0	486.3
	8	28	5.05	5.03	5.03	264.8	2072.5	123.2	494.4	
	9	28	5.07	5.05	5.03	263.6	2046.8	118.7	472.6	
	Average						2077.2			
0.025	1	3	5.04	5.02	5.02	232.5	1830.6	44.7	180.1	178.1
	2	3	5.02	5.06	5.06	238.5	1855.6	45.0	180.6	
	3	3	5.02	5.01	5.03	240.3	1899.5	42.8	173.5	
	4	7	5.02	5.03	5.00	237.0	1877.2	62.8	253.5	248.6
	5	7	5.03	5.01	5.04	239.0	1881.7	61.1	247.2	
	6	7	5.03	5.05	5.06	241.4	1878.1	61.1	245.2	
	7	28	5.03	5.05	5.06	235.8	1834.6	64.0	256.8	258.1
	8	28	5.05	5.04	5.00	237.5	1866.3	65.1	260.7	
	9	28	5.01	5.00	5.04	235.1	1862.1	63.1	256.8	
	Average						1865.1			
0.100	1	3	5.00	5.01	5.04	219.4	1737.8	31.2	127.0	126.2
	2	3	5.04	5.06	5.02	211.4	1651.3	27.2	108.7	
	3	3	5.05	5.03	5.03	222.0	1737.5	35.6	142.9	
	4	7	5.07	5.05	5.03	218.7	1698.2	37.6	149.7	162.8
	5	7	5.02	5.07	5.02	220.1	1722.7	38.6	154.6	
	6	7	5.05	5.03	5.06	224.4	1745.9	45.9	184.2	
	7	28	5.04	5.05	5.00	215.8	1695.7	47.7	191.0	185.6
	8	28	5.00	5.04	5.04	217.1	1709.3	41.7	168.7	
	9	28	5.04	5.00	5.02	222.1	1755.7	48.7	197.0	
	Average						1717.1			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.7. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.5

Sand / Cement = 2.0

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.01	5.03	5.04	274.7	2162.8	84.1	340.2	334.0
	2	3	5.05	5.03	5.06	270.0	2100.7	81.4	326.7	
	3	3	5.05	5.03	5.06	269.5	2096.8	83.5	335.1	
	4	7	5.04	5.05	5.00	277.0	2176.6	114.4	458.2	439.3
	5	7	5.00	5.01	5.04	271.7	2152.0	99.3	404.1	
	6	7	5.04	5.06	5.02	272.7	2130.1	114.0	455.7	
	7	28	5.05	5.03	5.03	279.3	2186.0	118.6	475.9	503.0
	8	28	5.07	5.05	5.03	269.1	2089.5	130.2	518.4	
	9	28	5.02	5.07	5.02	272.2	2130.5	128.5	514.7	
	Average						2136.1			
0.025	1	3	5.06	5.04	5.02	248.6	1941.9	51.6	206.3	213.6
	2	3	5.06	5.05	5.03	244.9	1905.4	54.9	219.0	
	3	3	5.04	5.02	5.02	248.0	1952.6	53.5	215.6	
	4	7	5.02	5.06	5.06	249.5	1941.2	69.4	278.5	273.1
	5	7	5.05	5.04	5.00	242.0	1901.6	68.3	273.5	
	6	7	5.04	5.00	5.04	244.5	1925.1	66.1	267.4	
	7	28	5.00	5.04	5.02	247.4	1955.7	72.6	293.7	286.0
	8	28	5.06	5.02	5.02	247.8	1943.3	73.8	296.2	
	9	28	5.05	5.05	5.01	245.3	1919.9	67.1	268.2	
	Average						1931.8			
0.100	1	3	5.07	5.02	5.02	213.1	1667.9	35.8	143.4	138.1
	2	3	5.03	5.05	5.06	222.5	1731.1	35.6	142.9	
	3	3	5.05	5.04	5.00	223.5	1756.2	32.0	128.2	
	4	7	5.01	5.00	5.04	217.2	1720.4	41.1	167.2	166.4
	5	7	5.06	5.04	5.02	226.5	1769.2	41.9	167.5	
	6	7	5.06	5.05	5.03	223.9	1742.0	41.2	164.4	
	7	28	5.02	5.05	5.02	219.7	1726.4	48.1	193.4	202.1
	8	28	5.02	5.01	5.04	222.4	1754.5	49.5	200.6	
	9	28	5.01	5.03	5.03	223.8	1765.6	52.5	212.4	
	Average						1737.0			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.7. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า w/c 0.5

Sand / Cement = 2.5

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
0.000	1	3	5.01	5.03	5.04	279.5	2200.6	134.5	544.1	558.8
	2	3	5.05	5.03	5.06	280.4	2181.6	139.7	560.6	
	3	3	5.05	5.03	5.06	276.6	2152.0	142.5	571.9	
	4	7	5.04	5.05	5.00	281.7	2213.6	149.6	599.2	585.7
	5	7	5.00	5.01	5.04	277.9	2201.2	147.3	599.4	
	6	7	5.04	5.06	5.02	278.6	2176.2	139.7	558.4	
	7	28	5.05	5.03	5.03	280.6	2196.1	151.2	606.8	615.4
	8	28	5.07	5.05	5.03	278.2	2160.2	154.3	614.3	
	9	28	5.02	5.07	5.02	278.0	2175.9	156.1	625.2	
	Average						2184.1			
0.025	1	3	5.00	5.01	5.04	248.3	1966.7	63.5	258.4	256.5
	2	3	5.04	5.02	5.02	247.9	1951.8	61.7	248.6	
	3	3	5.02	5.06	5.06	256.0	1991.8	65.4	262.5	
	4	7	5.02	5.01	5.03	242.7	1918.5	74.7	302.8	284.8
	5	7	5.01	5.02	5.03	251.3	1986.5	67.3	272.8	
	6	7	5.03	5.02	5.00	259.5	2055.4	69.1	279.0	
	7	28	5.01	5.03	5.04	244.8	1927.4	70.7	286.0	292.5
	8	28	5.05	5.03	5.06	251.0	1952.8	73.3	294.2	
	9	28	5.05	5.03	5.06	256.6	1996.4	74.1	297.4	
	Average						1971.9			
0.100	1	3	5.05	5.01	5.06	232.9	1819.2	41.6	167.6	181.0
	2	3	5.04	5.00	5.04	235.6	1855.0	45.6	184.5	
	3	3	5.00	5.04	5.02	235.3	1860.0	47.2	190.9	
	4	7	5.06	5.02	5.02	237.4	1861.8	51.6	207.1	204.5
	5	7	5.05	5.05	5.01	238.1	1863.5	50.5	201.9	
	6	7	5.03	5.02	5.04	235.9	1853.6	50.7	204.7	
	7	28	5.01	5.04	5.02	237.3	1872.1	55.1	222.4	225.1
	8	28	5.03	5.02	5.06	239.4	1873.7	59.4	239.8	
	9	28	5.03	5.02	5.06	240.8	1884.7	52.8	213.2	
	Average						1860.4			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ ผ.ข.8. ผลการทดสอบหาอัตราการดูดซึมของซีเมนต์เพสท์

w/c	Aluminium Powder (%)	No.	Weight (Dry oven) (g)	Weight (Wet) (g)	Weight (Water) (g)	Absorption	
						(%)	Avg.
0.3	0	1	250.91	276.52	25.61	10.21	9.99
		2	252.64	277.65	25.01	9.90	
		3	252.42	277.34	24.92	9.87	
	0.025	1	174.64	207.44	32.80	18.78	18.41
		2	178.76	211.68	32.92	18.42	
		3	180.93	213.56	32.63	18.03	
	0.05	1	165.78	197.86	32.08	19.35	20.40
		2	167.25	201.85	34.60	20.69	
		3	165.43	200.46	35.03	21.18	
	0.1	1	150.25	183.37	33.12	22.04	22.36
		2	147.83	180.92	33.09	22.38	
		3	147.52	180.95	33.43	22.66	
0.4	0	1	198.26	241.59	43.33	21.86	20.88
		2	198.94	239.56	40.62	20.42	
		3	198.05	238.38	40.33	20.36	
	0.025	1	165.21	208.11	42.90	25.97	25.61
		2	165.05	206.55	41.50	25.14	
		3	164.10	206.31	42.21	25.72	
	0.05	1	137.45	177.20	39.75	28.92	28.40
		2	142.56	184.32	41.76	29.29	
		3	143.67	182.46	38.79	27.00	
	0.1	1	127.54	167.29	39.75	31.17	31.21
		2	124.37	163.55	39.18	31.50	
		3	128.57	168.37	39.80	30.96	
0.5	0	1	198.24	244.66	46.42	23.42	23.46
		2	199.26	246.06	46.80	23.49	
		3	201.58	248.91	47.33	23.48	
	0.025	1	151.01	197.62	46.61	30.87	30.73
		2	149.17	195.24	46.07	30.88	
		3	150.22	195.96	45.74	30.45	
	0.05	1	130.61	173.22	42.61	32.62	32.33
		2	133.34	175.75	42.41	31.81	
		3	130.15	172.52	42.37	32.55	
	0.1	1	114.89	156.43	41.54	36.16	35.54
		2	119.57	161.44	41.87	35.02	
		3	119.18	161.44	42.26	35.46	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.9. ผลการทดสอบหาอัตราการดูดซึมของมอร์ต้า

w/c	s/c	Aluminium Powder (%)	No.	Weight (Dry oven) (g)	Weight (Wet) (g)	Weight (Water) (g)	Absorption (%)	Absorption Avg.
0.3	1	0	1	263.91	285.36	21.45	8.13	8.09
			2	267.56	289.31	21.75	8.13	
			3	266.27	287.63	21.36	8.02	
		0.025	1	238.46	261.51	23.05	9.67	9.75
			2	235.94	259.12	23.18	9.82	
			3	236.79	259.89	23.10	9.76	
		0.1	1	214.56	239.90	25.34	11.81	12.03
			2	213.76	239.75	25.99	12.16	
			3	215.68	241.84	26.16	12.13	
	1.5	0	1	277.56	294.57	17.01	6.13	6.45
			2	274.68	293.45	18.77	6.83	
			3	275.69	293.31	17.62	6.39	
		0.025	1	247.98	264.89	16.91	6.82	7.64
			2	242.76	263.07	20.31	8.37	
			3	245.16	264.13	18.97	7.74	
		0.1	1	223.46	245.89	22.43	10.04	10.13
			2	225.64	246.78	21.14	9.37	
			3	222.89	247.39	24.50	10.99	
0.4	1	0	1	250.14	275.98	25.84	10.33	10.28
			2	253.32	279.19	25.87	10.21	
			3	251.69	277.59	25.90	10.29	
		0.025	1	220.27	245.49	25.22	11.45	11.06
			2	222.66	246.87	24.21	10.87	
			3	223.64	247.89	24.25	10.84	
		0.1	1	209.91	237.85	27.94	13.31	13.43
			2	208.82	236.90	28.08	13.45	
			3	208.11	236.25	28.14	13.52	
	2	0	1	260.89	281.56	20.67	7.92	8.01
			2	262.35	282.77	20.42	7.78	
			3	257.12	278.54	21.42	8.33	
		0.025	1	219.39	239.16	19.77	9.01	9.01
			2	220.67	239.97	19.30	8.75	
			3	219.69	240.04	20.35	9.26	
		0.1	1	189.70	210.49	20.79	10.96	10.58
			2	185.46	207.31	21.85	11.78	
			3	187.29	204.16	16.87	9.01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.9. ผลการทดสอบหาอัตราการดูดซึมของมอร์ต้า

w/c	s/c	Aluminium Powder (%)	No.	Weight (Dry oven) (g)	Weight (Wet) (g)	Weight (Water) (g)	Absorption (%)	Absorption Avg.
0.5	1	0	1	232.83	264.63	31.80	13.66	13.71
			2	233.34	265.45	32.11	13.76	
			3	232.67	264.56	31.89	13.71	
		0.025	1	188.78	220.71	31.93	16.91	17.16
			2	187.92	219.87	31.95	17.00	
			3	185.44	218.03	32.59	17.57	
		0.1	1	157.52	193.36	35.84	22.75	22.69
			2	158.64	195.66	37.02	23.34	
			3	160.08	195.25	35.17	21.97	
	2	0	1	242.95	269.17	26.22	10.79	10.76
			2	244.38	270.46	26.08	10.67	
			3	244.51	270.95	26.44	10.81	
		0.025	1	229.46	255.21	25.75	11.22	11.22
			2	231.30	257.60	26.30	11.37	
			3	233.20	258.98	25.78	11.05	
		0.1	1	207.01	234.18	27.17	13.12	13.05
			2	206.61	233.84	27.23	13.18	
			3	206.04	232.49	26.45	12.84	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข5. การทดสอบหากำลังรับแรงอัดที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

ตารางที่ ผ.ข.10. ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ

w/c 0.5 , s/c 2 , Al 0%

Alumi-nium Powder (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
A.c.	1	1	5.04	5.02	5.06	272.9	2131.7	112.3	452.5	431.7
	2	1	5.05	5.00	5.09	274.8	2138.1	102.8	415.0	
	3	1	5.05	5.04	5.04	271.8	2118.8	106.8	427.7	
	4	3	5.03	5.09	5.09	272.3	2089.5	124.9	497.1	476.4
	5	3	5.03	5.08	5.07	274.6	2119.6	114.2	455.6	
	6	3	5.05	5.07	5.02	272.8	2122.5	119.7	476.6	
	7	7	5.06	5.11	5.02	273.7	2108.6	128.9	508.2	530.3
	8	7	5.06	5.05	5.01	276.3	2158.2	133.2	531.4	
	9	7	5.04	5.04	5.00	275.4	2168.4	137.4	551.4	
	10	28	5.06	5.05	5.01	274.0	2140.3	140.4	560.1	553.3
	11	28	5.04	5.04	5.00	271.8	2140.0	138.2	554.6	
	12	28	5.02	5.00	5.04	275.0	2173.8	134.3	545.2	
	Average						2134.1			
H.W.c.	13	27.1	5.04	5.05	5.00	273.1	2148.5	97.3	389.6	382.4
	14	29.8	5.04	5.05	4.99	272.8	2149.2	95.5	382.6	
	15	32.5	5.04	5.05	4.98	271.9	2145.2	93.6	375.0	
	16	35.2	5.04	5.05	4.98	273.8	2163.3	98.2	393.5	408.2
	17	37.8	5.04	5.05	4.97	273.3	2162.4	106.3	426.0	
	18	40.5	5.04	5.05	4.96	272.7	2160.8	101.1	405.2	
	19	43.2	5.04	5.05	4.96	272.3	2160.8	112.4	450.6	467.3
	20	45.9	5.04	5.04	4.95	272.8	2167.8	115.8	464.3	
	21	48.5	5.04	5.04	4.94	273.5	2176.6	121.5	487.2	
	22	51.2	5.04	5.04	4.94	273.9	2182.9	134.8	540.6	527.3
	23	53.9	5.04	5.04	4.93	273.6	2183.7	132.5	531.4	
	24	56.6	5.04	5.04	4.92	272.6	2178.9	127.1	509.8	
	Average						2165.0			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.10. ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ

w/c 0.5 , s/c 2 , Al 0%

curing type	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
water	1	1	4.97	5.00	5.09	274.2	2167.8	67.5	276.9	288.6
	2	1	5.05	5.03	5.00	273.5	2153.4	71.9	288.5	
	3	1	5.06	5.04	5.03	273.7	2133.7	75.2	300.4	
	4	3	5.04	5.03	5.03	272.3	2135.4	91.4	367.5	348.1
	5	3	5.04	5.06	5.02	272.9	2131.7	83.4	333.4	
	6	3	5.06	5.04	5.04	272.5	2120.1	85.9	343.4	
	7	7	5.01	5.01	5.02	273.1	2167.4	108.9	442.3	445.4
	8	7	5.01	5.06	5.01	272.4	2144.8	116.1	466.8	
	9	7	5.00	5.04	5.02	274.3	2168.3	105.6	427.2	
	10	28	5.14	5.00	5.04	273.6	2112.3	134.8	534.5	517.9
	11	28	5.08	5.00	5.00	273.2	2151.2	128.9	517.3	
	12	28	5.14	5.05	5.01	273.3	2101.6	127.8	501.9	
	Average						2140.6			
wrapping	13	27.1	5.11	5.08	5.10	273.1	2062.8	50.1	196.7	203.6
	14	29.8	5.03	5.08	5.05	272.8	2114.1	55.2	220.2	
	15	32.5	5.11	5.11	5.10	271.9	2041.7	49.7	193.8	
	16	35.2	5.04	5.14	5.00	273.8	2113.8	80.1	315.2	303.6
	17	37.8	5.00	5.08	5.00	273.3	2152.0	76.8	308.2	
	18	40.5	5.01	5.14	5.05	272.7	2097.0	72.6	287.4	
	19	43.2	5.00	5.05	5.04	272.3	2139.7	89.4	360.9	365.2
	20	45.9	5.03	5.00	5.08	272.8	2135.2	88.6	359.1	
	21	48.5	5.01	5.00	5.08	273.5	2149.2	92.3	375.6	
	22	51.2	5.06	5.06	5.10	273.9	2097.6	104.6	416.4	417.3
	23	53.9	5.06	5.06	5.11	273.6	2091.2	99.6	396.5	
	24	56.6	5.04	5.04	5.12	272.3	2093.7	109.4	439.0	
	Average						2107.3			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.11. ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ

w/c 0.5 , s/c 2 , Al 0.1%

curing type	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
A.c.	1	1	4.97	4.99	5.04	211.9	1695.3	45.3	186.2	195.4
	2	1	5.00	5.05	4.97	214.9	1712.5	50.8	205.1	
	3	1	5.02	4.99	4.92	210.6	1708.8	47.9	194.9	
	4	3	5.06	5.09	5.04	214.6	1653.2	54.1	214.1	203.1
	5	3	5.04	5.08	5.01	209.3	1631.7	52.6	209.4	
	6	3	5.06	5.05	5.00	211.6	1656.2	46.6	185.9	
	7	7	5.01	5.01	5.06	216.4	1703.8	54.1	219.7	213.1
	8	7	5.00	5.02	5.04	222.7	1760.4	50.4	204.7	
	9	7	5.02	5.00	5.02	218.8	1736.5	52.9	214.8	
	10	28	5.04	5.02	5.09	217.4	1688.1	57.8	232.9	219.4
	11	28	5.02	5.02	5.10	222.2	1728.9	50.1	202.7	
	12	28	5.00	5.00	5.08	214.6	1689.8	54.6	222.7	
	Average						1697.1			
H.W.c.	13	27.1	5.06	5.09	5.04	206.1	1587.7	31.3	123.9	136.3
	14	29.8	5.04	5.08	5.01	206.7	1611.4	34.8	138.6	
	15	32.5	5.06	5.05	5.00	206.8	1618.6	36.7	146.4	
	16	35.2	5.01	5.01	5.06	207.4	1633.0	37.8	153.5	155.6
	17	37.8	5.00	5.02	5.04	209.4	1655.3	37.5	152.3	
	18	40.5	5.02	5.00	5.02	209.8	1665.1	39.7	161.0	
	19	43.2	5.04	5.02	5.09	217.1	1685.8	47.2	190.2	184.8
	20	45.9	5.02	5.02	5.10	217.2	1690.0	45.9	185.7	
	21	48.5	5.00	5.00	5.08	214.9	1692.1	43.8	178.6	
	22	51.2	5.01	5.04	5.02	216.3	1706.4	54.1	218.4	205.4
	23	53.9	5.00	5.00	5.05	214.3	1697.4	50.2	204.7	
	24	56.6	5.03	5.02	5.01	212.5	1679.8	47.8	193.0	
	Average						1660.2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.11. ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียมในการบ่มวิธีต่างๆ

w/c 0.5 , s/c 2 , Al 0.1 %

curing type	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
water	1	1	5.03	5.04	5.00	215.9	1703.3	24.8	99.7	97.7
	2	1	5.04	5.00	5.00	218.7	1735.7	23.2	93.6	
	3	1	5.03	5.00	5.00	214.5	1705.8	24.6	99.7	
	4	3	5.00	5.02	5.06	213.9	1684.2	33.1	134.4	136.1
	5	3	5.00	5.00	5.00	218.9	1751.2	39.8	162.3	
	6	3	5.00	5.00	5.05	217.2	1720.4	27.4	111.7	
	7	7	5.06	5.00	4.99	218.6	1731.5	37.1	149.5	162.4
	8	7	5.01	5.06	5.02	218.5	1717.0	37.9	152.4	
	9	7	4.98	5.06	5.08	218.0	1703.0	45.8	185.3	
	10	28	5.06	5.05	5.01	217.7	1700.5	51.3	204.6	198.3
	11	28	5.04	5.04	5.00	216.5	1704.6	49.8	199.8	
	12	28	5.02	5.00	5.04	218.0	1723.3	46.9	190.5	
	Average						1715.0			
wrapping	13	27.1	5.01	5.00	5.03	211.0	1674.6	16.9	68.8	71.6
	14	29.8	5.03	5.00	5.00	206.4	1641.4	17.6	71.3	
	15	32.5	5.04	5.00	5.00	202.3	1605.6	18.5	74.8	
	16	35.2	5.02	5.03	5.06	209.8	1642.0	25.6	103.3	95.4
	17	37.8	5.09	5.08	5.04	208.8	1602.2	24.1	95.0	
	18	40.5	5.10	5.05	5.02	206.6	1598.0	22.2	87.9	
	19	43.2	5.05	5.00	5.00	201.5	1596.0	26.0	105.0	98.8
	20	45.9	5.04	5.02	5.06	210.3	1642.7	22.5	90.7	
	21	48.5	5.02	5.00	5.04	209.8	1658.4	24.8	100.7	
	22	51.2	5.02	5.00	5.07	212.6	1670.6	23.7	96.3	103.7
	23	53.9	5.02	5.03	5.06	208.5	1631.9	26.1	105.4	
	24	56.6	5.04	5.00	5.06	208.9	1638.3	27.1	109.6	
	Average						1633.5			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข6. การทดสอบหาการยืดหดตัว(Autogeneous shrinkage) ที่การบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

ตารางที่ ผ.ข.12. ผลการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) ของมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียม

w/c 0.5 , s/c 2 , Al 0%

curing type	No.	length	time (Days)	data on gauge		X_1+X_2	ΔX	Autogeneous shrinkage (10^{-6})
				X_1	X_2			
A.c.	1	136.9	1	10.86	9.57	20.43	0.00	0.0
			2	10.45	10.08	20.53	0.10	730.5
			3	10.64	9.87	20.51	0.08	584.4
			7	10.78	9.73	20.51	0.08	584.4
			28	10.94	9.56	20.50	0.07	511.3
	2	134.8	1	9.62	10.10	19.72	0.00	0.0
			2	9.12	10.73	19.85	0.13	964.4
			3	9.45	10.33	19.78	0.06	445.1
			7	9.31	10.49	19.80	0.08	593.5
			28	9.48	10.36	19.84	0.12	890.2
	3	132.3	1	9.86	9.76	19.62	0.00	0.0
			2	10.20	9.53	19.73	0.11	831.4
			3	10.12	9.52	19.64	0.02	151.2
			7	10.14	9.56	19.70	0.08	604.7
			28	10.07	9.64	19.71	0.09	680.3
H.W.c	4	136.2	1	10.98	9.34	20.32	0.00	0.0
			2	11.02	9.36	20.38	0.06	440.5
			3	11.16	9.20	20.36	0.04	293.7
			7	10.97	9.36	20.33	0.01	73.4
			28	11.03	9.32	20.35	0.03	220.3
	5	134.4	1	10.14	10.02	20.16	0.00	0.0
			2	10.36	9.84	20.20	0.04	297.6
			3	10.45	9.72	20.17	0.01	74.4
			7	10.87	9.32	20.19	0.03	223.2
			28	10.65	9.53	20.18	0.02	148.8
	6	134.8	1	11.13	9.18	20.31	0.00	0.0
			2	10.89	9.44	20.33	0.02	148.4
			3	10.95	9.37	20.32	0.01	74.2
			7	11.02	9.30	20.32	0.01	74.2
			28	10.79	9.53	20.32	0.01	74.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.12. ผลการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) ของมอร์ต้าที่ไม่ใส่ผงอลูมิเนียม

w/c 0.5 , s/c 2 , Al 0%

curing type	No.	length	time (Days)	data on gauge		X_1+X_2	ΔX	Autogeneous shrinkage (10^{-6})
				X_1	X_2			
water	7	137.4	1	10.32	10.54	20.86	0.00	0.0
			2	10.54	10.33	20.87	0.01	72.8
			3	10.62	10.25	20.87	0.01	72.8
			7	10.28	10.58	20.86	0.00	0.0
			28	10.51	10.38	20.89	0.03	218.3
	8	135.4	1	10.97	9.26	20.23	0.00	0.0
			2	10.64	9.59	20.23	0.00	0.0
			3	10.59	9.64	20.23	0.00	0.0
			7	10.84	9.40	20.24	0.01	73.9
			28	10.38	9.85	20.23	0.00	0.0
	9	136.2	1	9.15	11.4	20.55	0.00	0.0
			2	9.84	10.73	20.57	0.02	146.8
			3	9.56	11.01	20.57	0.02	146.8
			7	9.15	11.41	20.56	0.01	73.4
			28	9.37	11.19	20.56	0.01	73.4
wrapping	10	132.7	1	9.12	10.64	19.76	0.00	0.0
			2	9.61	10.13	19.74	-0.02	-150.7
			3	9.54	10.20	19.74	-0.02	-150.7
			7	9.31	10.41	19.72	-0.04	-301.4
			28	9.62	10.11	19.73	-0.03	-226.1
	11	134.3	1	11.01	9.21	20.22	0.00	0.0
			2	10.62	9.60	20.22	0.00	0.0
			3	10.34	9.89	20.23	0.01	74.5
			7	10.75	9.46	20.21	-0.01	-74.5
			28	10.97	9.24	20.21	-0.01	-74.5
	12	138.8	1	12.11	9.28	21.39	0.00	0.0
			2	10.47	10.91	21.38	-0.01	-72.0
			3	9.36	12.02	21.38	-0.01	-72.0
			7	1.12	20.27	21.39	0.00	0.0
			28	10.57	10.82	21.39	0.00	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.13. ผลการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) ของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียม

w/c 0.5 , s/c 2 , Al 0.1 %

curing type	No.	length	time (Days)	data on gauge		X_1+X_2	ΔX	Autogeneous shrinkage (10^{-6})
				X_1	X_2			
A.c.	1	136.0	1	11.05	9.49	20.54	0.00	0.0
			2	10.14	10.55	20.69	0.15	1102.9
			3	9.66	10.94	20.60	0.06	441.2
			7	10.33	10.28	20.61	0.07	514.7
			28	11.46	9.14	20.60	0.06	441.2
	2	131.3	1	9.75	9.97	19.72	0.00	0.0
			2	10.14	9.68	19.82	0.10	761.6
			3	10.55	9.24	19.79	0.07	533.1
			7	11.00	8.78	19.78	0.06	457.0
			28	10.94	8.86	19.80	0.08	609.3
	3	136.1	1	10.54	10.14	20.68	0.00	0.0
			2	11.12	9.69	20.81	0.13	955.2
			3	11.62	9.12	20.74	0.06	440.9
			7	10.95	9.81	20.76	0.08	587.8
			28	10.78	9.99	20.77	0.09	661.3
H.W.c	4	134.9	1	11.05	9.49	20.54	0.00	0.0
			2	9.46	11.12	20.58	0.04	296.5
			3	11.26	9.30	20.56	0.02	148.3
			7	10.68	9.87	20.55	0.01	74.1
			28	10.34	10.22	20.56	0.02	148.3
	5	135.8	1	9.75	9.97	19.72	0.00	0.0
			2	10.31	9.45	19.76	0.04	294.6
			3	9.54	10.18	19.72	0.00	0.0
			7	10.25	9.49	19.74	0.02	147.3
			28	9.91	9.84	19.75	0.03	220.9
	6	135.6	1	10.54	10.14	20.68	0.00	0.0
			2	11.23	9.46	20.69	0.01	73.7
			3	10.98	9.72	20.70	0.02	147.5
			7	12.05	8.64	20.69	0.01	73.7
			28	10.02	10.68	20.70	0.02	147.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.13. ผลการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) ของมอร์ต้าที่ใส่ผงอลูมิเนียม

w/c 0.5 , s/c 2 , Al 0.1 %

curing type	No.	length	time (Days)	data on gauge		X_1+X_2	ΔX	Autogeneous shrinkage (10^{-6})
				X_1	X_2			
water	7	135.6	1	11.05	9.49	20.54	0.00	0.0
			2	12.54	7.99	20.53	-0.01	-73.7
			3	10.46	10.09	20.55	0.01	73.7
			7	11.15	9.42	20.57	0.03	221.2
			28	11.84	8.72	20.56	0.02	147.5
	8	131.8	1	9.84	9.97	19.81	0.00	0.0
			2	10.02	9.79	19.81	0.00	0.0
			3	9.87	9.98	19.85	0.04	303.5
			7	11.16	8.67	19.83	0.02	151.7
			28	10.05	9.79	19.84	0.03	227.6
	9	135.9	1	10.54	10.14	20.68	0.00	0.0
			2	9.64	11.06	20.70	0.02	147.2
			3	9.45	11.24	20.69	0.01	73.6
			7	9.87	10.81	20.68	0.00	0.0
			28	9.15	11.55	20.70	0.02	147.2
wrapping	10	135.7	1	11.05	9.49	20.54	0.00	0.0
			2	11.36	9.20	20.56	0.02	147.4
			3	10.16	10.34	20.50	-0.04	-294.8
			7	11.24	9.26	20.50	-0.04	-294.8
			28	11.94	8.55	20.49	-0.05	-368.5
	11	136.5	1	10.75	9.97	20.72	0.00	0.0
			2	9.87	10.85	20.72	0.00	0.0
			3	10.65	10.06	20.71	-0.01	-73.3
			7	10.26	10.44	20.70	-0.02	-146.5
			28	10.88	9.79	20.67	-0.05	-366.3
	12	136.8	1	10.54	10.14	20.68	0.00	0.0
			2	10.49	10.18	20.67	-0.01	-73.1
			3	11.14	9.51	20.65	-0.03	-219.3
			7	10.97	9.66	20.63	-0.05	-365.5
			28	11.13	9.49	20.62	-0.06	-438.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.14. ค่าเฉลี่ยการยืดหดตัว (Autogeneous shrinkage) ของมอร์ต้า

w/c 0.5 , Al 0% , s/c 2

curing type	No.	Autogeneous shrinkage							
		2 Days		3 Days		7 Days		28 Days	
		(10^{-6})	Avg.	(10^{-6})	Avg.	(10^{-6})	Avg.	(10^{-6})	Avg.
A.c.	1	730.5	842.1	584.4	393.5	584.4	594.2	511.3	693.9
	2	964.4		445.1		593.5		890.2	
	3	831.4		151.2		604.7		680.3	
H.W.c.	4	440.5	295.5	293.7	147.4	73.4	123.6	220.3	147.8
	5	297.6		74.4		223.2		148.8	
	6	148.4		74.2		74.2		74.2	
water	7	72.8	73.2	72.8	73.2	0.0	49.1	218.3	97.3
	8	0.0		0.0		73.9		0.0	
	9	146.8		146.8		73.4		73.4	
wrapping	10	- 150.7	-74.3	- 150.7	-49.4	- 301.4	- 125.3	- 226.1	- 100.2
	11	0.0		74.5		-74.5		-74.5	
	12	-72.0		-72.0		0.0		0.0	

w/c 0.5 , Al 0.1% , s/c 2

curing type	No.	Autogeneous shrinkage							
		2 Days		3 Days		7 Days		28 Days	
		(10^{-6})	Avg.	(10^{-6})	Avg.	(10^{-6})	Avg.	(10^{-6})	Avg.
A.c.	1	1102.9	939.9	441.2	471.7	514.7	519.8	441.2	570.6
	2	761.6		533.1		457.0		609.3	
	3	955.2		440.9		587.8		661.3	
H.W.c.	4	296.5	221.6	148.3	98.6	74.1	98.4	148.3	172.2
	5	294.6		0.0		147.3		220.9	
	6	73.7		147.5		73.7		147.5	
water	7	-73.7	24.5	73.7	150.3	221.2	124.3	147.5	174.1
	8	0.0		303.5		151.7		227.6	
	9	147.2		73.6		0.0		147.2	
wrapping	10	147.4	24.8	-294.8	- 195.8	-294.8	- 268.9	-368.5	- 391.1
	11	0.0		-73.3		-146.5		-366.3	
	12	-73.1		-219.3		-365.5		-438.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข7. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว

ตารางที่ ผ.ข.15. ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมปูนขาว

ปูนขาว (%)	No.	Age. (days)	Dimention (cm) W.	L.	H.	Weight (g)	Density (kg/m^3)	load (kN)	Compressive strength (ksc)	Avg.
2.5	1	3	5.03	5.04	5.06	151.1	1177.9	16.2	65.1	64.3
	2	3	5.04	5.04	5.01	148.2	1164.5	14.1	56.6	
	3	3	5.03	5.05	5.03	146.5	1146.6	17.7	71.0	
	4	7	5.05	5.07	5.03	148.0	1149.3	18.8	74.8	67.1
	5	7	5.07	5.02	5.02	148.8	1164.4	14.5	57.9	
	6	7	5.03	5.05	5.06	149.7	1164.7	17.1	68.6	
	7	28	5.05	5.04	5.00	148.5	1166.9	20.1	80.5	82.9
	8	28	5.01	5.00	5.04	149.9	1187.3	19.4	78.9	
	9	28	5.06	5.04	5.02	149.3	1166.3	22.3	89.1	
	Average						1165.3			
5.0	1	3	5.06	5.05	5.03	156.0	1213.5	16.3	65.0	66.7
	2	3	5.02	5.05	5.02	157.2	1235.2	16.6	66.5	
	3	3	5.02	5.01	5.04	154.2	1216.6	16.9	68.5	
	4	7	5.01	5.03	5.03	153.6	1211.7	20.9	84.5	79.9
	5	7	5.04	5.02	5.02	154.8	1218.8	19.1	77.0	
	6	7	5.02	5.06	5.06	154.3	1200.3	19.5	78.3	
	7	28	5.02	5.01	5.03	152.7	1207.1	30.1	122.0	113.4
	8	28	5.02	5.03	5.00	153.1	1212.6	25.6	103.3	
	9	28	5.03	5.01	5.04	153.5	1208.9	28.4	114.9	
	Average						1213.9			
7.5	1	3	5.03	5.05	5.06	153.2	1191.9	18.6	74.6	71.5
	2	3	5.05	5.04	5.00	158.7	1247.1	17.8	71.1	
	3	3	5.01	5.00	5.04	158.7	1257.0	16.9	68.8	
	4	7	5.06	5.04	5.02	159.6	1246.7	21.3	85.1	83.7
	5	7	5.06	5.05	5.03	156.1	1214.6	22.3	89.0	
	6	7	5.04	5.02	5.02	156.1	1229.1	19.1	77.0	
	7	28	5.02	5.06	5.06	157.4	1224.5	27.0	108.4	118.4
	8	28	5.02	5.01	5.03	159.4	1260.0	29.8	120.8	
	9	28	5.02	5.03	5.00	156.4	1238.6	31.2	126.0	
	Average						1234.4			
0.0	1	3	5.03	5.05	5.06	152.8	1188.9	21.0	84.3	76.5
	2	3	5.05	5.04	5.00	158.1	1242.6	18.2	72.9	
	3	3	5.01	5.00	5.04	158.2	1253.1	17.8	72.4	
	4	7	5.06	5.04	5.02	159.4	1245.1	21.6	86.3	100.3
	5	7	5.06	5.05	5.03	155.6	1210.6	27.1	108.1	
	6	7	5.04	5.02	5.02	155.7	1225.9	26.4	106.4	
	7	28	5.02	5.06	5.06	156.9	1220.7	31.6	126.8	134.8
	8	28	5.02	5.01	5.03	158.9	1256.3	33.5	135.8	
	9	28	5.02	5.03	5.00	155.7	1233.1	35.1	141.7	
	Average						1230.7			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้