สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

T117937

ทวิช กล้าแท้

TAWICH KLATHEA

วว
ว179ท
2554
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....117937
วัน,เดือน,ปี..22 ส.ค. 2554

b.....12349513
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

KMITL 2011-EN-M-093-027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

TAWICH KLATHEA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2011

KMITL 2011-EN-M-093-027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์
นักศึกษา	นายทวิช กล้าแท้
รหัสนักศึกษา	51061502
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ ที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ที่ร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุผง และควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 และ 0.40 โดยในการทดสอบได้เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่อายุ 3 , 7 , 28 และ 56 วัน รวมถึงการหดตัวแบบออโตจีเนียส ที่อายุ 1-56 วัน กับซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) และซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ผลจากการทดสอบพบว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ LM ที่ร้อยละ 10 (C90LM10) นั้น มีแนวโน้มค่ากำลังอัดที่สูงกว่าซีเมนต์เพสต์ C100 และจะลดลงเมื่อทำการเพิ่ม LM ที่ร้อยละ 20 และ 30 ตามลำดับ ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ส่วนการหดตัวแบบออโตจีเนียสจะพบว่าซีเมนต์เพสต์ LM และซีเมนต์เพสต์ LS นั้น มีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มขึ้นของร้อยละการแทนที่ 10 , 20 และ 30 ตามลำดับ ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Influence Of Limestone Powder Modified On Compressive Strength And Autogenous Shrinkage Of Cement Pastes
Student	Mr. Tawich Klathea
Student ID.	51061502
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Komsan Maleesee

ABSTRACT

The aimed of this research is to study influence of limestone powder modified on compressive strength and autogenous shrinkage of cement pastes. The studied parameter replacement of cement by limestone powder modified (LM) at 0 , 10 , 20 and 30% by weight of binder and the water to binder ratio is controlled at 0.30 , 0.35 and 0.40. Strength development of cement pastes was relatively investigated at ages of 3 , 7 , 28 and 56 days , and autogenous shrinkage at ages of 1–56 days. By comparing with cement pastes replacement of cement by calcium carbonate (LS) and the control cement pastes (C100). The tested results showed that the strength development of cement pastes LM at 10% (C90LM10) was higher than the cement pastes C100 and decreased when the percentage in addition of LM in cement increased to 20 and 30% respectively, all water to binder ratio. For tested the results also showed that the autogenous shrinkage decreased when the percentage of replacement of cement pastes LM and cement pastes LS in cement increased at 10 , 20 and 30% respectively, all water to binder ratio.

KEYWORDS : Limestone powder , Cement paste , Autogenous shrinkage , Calcium carbonate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. คมสัน มาลีสี เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณาสละเวลาอันมีค่าสำหรับการเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ด้วยคำแนะนำ คำติติง แนวทางในการแก้ไขปัญหา อันเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบริษัท คอนกรีต ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด สำหรับผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และบริษัทสุรินทร์ ออมย่า เคมิคอล (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับผงแคลเซียมคาร์บอเนต รวมถึงขอขอบคุณแหล่งข้อมูลที่สำคัญต่างๆในการทำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณแรงสนับสนุนและกำลังใจที่ได้รับจากครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ตลอดจนเพื่อนๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสร็จสมบูรณ์ลงได้

สุดท้ายนี้ หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อบุคคลหรือผู้สนใจอื่นๆในประการใดๆ นับเป็นความปีติอย่างยิ่ง และหากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยไว้ ณ ที่นี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ทวิช กล้าแท้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง.....IV

สารบัญรูป.....XV

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย.....4

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review).....5

2.1.1 ปูนซีเมนต์และองค์ประกอบทางเคมี.....5

2.1.2 หินปูน (Limestone).....14

2.1.3 ปูนขาว (Lime).....17

2.1.4 ผงหินปูน (Limestone Powder).....18

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....27

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....35

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ 35

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....37

3.2 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....37

3.2.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ.....37

3.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์เพสต์.....41

3.3 การกำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....45

3.4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ.....47

3.4.1 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ ที่ใช้ในการทดสอบ.....47

บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล.....49

4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ.....49

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ.....50

4.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ของวัสดุ.....51

4.4 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบความเป็นผลึกด้วยเครื่อง XRD (X - ray Diffractrometer) ของวัสดุ.....54

4.5 ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) ของซีเมนต์เพสต์ 55

4.6 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ ที่ใช้ในการทดสอบ.....58

4.7 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ Limestone Powder Modified (LM) ที่มีผลต่อค่ากำลังอัด ของซีเมนต์เพสต์.....59

4.7.1 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ Limestone Powder Modified (LM) ที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.30.....59

4.7.2 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ Limestone Powder Modified (LM) ที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.35.....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

4.7.3 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ Limestone Powder Modified (LM) ที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.40.....64

4.8 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ Limestone Powder Modified (LM) ที่มีผลต่อค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์.....66

4.8.1 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ที่มีผลต่อค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....67

4.8.2 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ที่มีผลต่อค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....69

4.8.3 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ที่มีผลต่อค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....71

4.9 การวิเคราะห์ราคา.....74

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....76

5.1 สรุปผลการวิจัย.....76

5.2 ข้อเสนอแนะ.....77

บรรณานุกรม.....78

ภาคผนวก.....81

ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 ,0.40 และ ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ที่อายุการบ่ม 1- 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 ,0.40.....82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....128

ประวัติผู้เขียน.....139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 อุณหภูมิที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของสารต่างๆ ในซีเมนต์เพสต์.....12

2.2 คุณสมบัติทางภายภาพของหินปูนทั้งสองชนิด (เชาวลิตร์ ทองประดับ,2542) 19

2.3 แสดงการเรียกชื่อหินคาร์บอเนต (Carbonate Rock: Calcite and Dolomite) โดยพิจารณาจากร้อยละของแร่โดโลไมท์ แมกนีเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมคาร์บอเนต (Murry, 1981) 22

2.4 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของผงหินปูน(วิศิษฏ์ เดชพันธ์, 1998)....24

2.5 ข้อกำหนดของกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์โดยองค์กรปูนซีเมนต์ แห่งยุโรป (Eurocements).....27

2.6 คุณสมบัติพื้นฐานของฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทอลองของ K. Kamzawa, ...30

3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....45

3.2 แสดงอัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และผงแคลเซียม คาร์บอเนตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1.....46

3.3 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ ที่ใช้ในการทดสอบ.....47

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) 49

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ผงหินปูนปรับปรุง คุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Analysis (XRF) 50

4.3 แสดงอัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และผงแคลเซียมคาร์บอเนตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1.....55

4.4 อัตราส่วนผสมและจำนวนของตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ ที่ใช้ในการทดสอบ.....58

4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต กับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน เพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต กับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35 63

4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต กับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40 65

4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) กับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว(C100) 73

4.9 ราคาของคอนกรีตต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร คอนกรีต ค.2 (STRENGTH 240 กก./ตร.ซม.) มอก.15/2514 วัสดุมวลรวมของงานคอนกรีตตามมาตรฐานกรมโยธาธิการฯ.....74

ก – 1 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....83

ก – 2 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 %(C90LM10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....84

ก – 3 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 %(C80LM20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....85

ก – 4 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 %(C70LM30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ก – 5 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียม คาร์บอเนต 10 %(C90LS10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....87

ก – 6 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียม คาร์บอเนต 20 %(C80LS20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....88

ก – 7 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียม คาร์บอเนต 30 %(C70LS30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....89

ข – 1 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....90

ข – 2 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 %(C90LM10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....91

ข – 3 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 %(C80LM20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....92

ข – 4 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 %(C70LM30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....93

ข – 5 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียม คาร์บอเนต 10 %(C90LS10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข – 6 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 %(C80LS20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....95

ข – 7 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 %(C70LS30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....96

ค – 1 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....97

ค – 2 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 %(C90LM10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....98

ค – 3 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 %(C80LM20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40..... 99

ค – 4 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 %(C70LM30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....100

ค – 5 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 10 %(C90LS10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....101

ค – 6 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 %(C80LS20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....102

ค – 7 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 %(C70LS30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง – 1 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....105

ง – 2 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....106

ง – 3 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....107

ง – 4 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....108

ง – 5 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....109

ง – 6 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....110

ง – 7 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....111

จ – 1 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....113

จ – 2 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

จ – 3 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....115

จ – 4 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....116

จ – 5 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....117

จ – 6 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....118

จ – 7 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....119

ฉ – 1 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....121

ฉ – 2 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....122

ฉ – 3 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....123

ฉ – 4 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ฉ – 5 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....125
ฉ – 6 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....126
ฉ – 7 ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ภาพถ่ายขยายโดย SEM ของซีเมนต์เพสต์ (ธีรวัฒน์ และคณะ 2548) 13

3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1.....35

3.2 ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (Limestone Powder Modified) 36

3.3 ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate Powder <$CaCO_3$>).....36

3.4 เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) 38

3.5 ขวดทดลองมาตรฐานเลอชาเตอลิเอร์ (Le Chatelier Flask) 39

3.6 แสดงเครื่อง Laser Particle Size 40

3.7 แสดงเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....40

3.8 แสดงเครื่องวิเคราะห์ความเป็นผลึก X-Ray Diffraction (XRD) 41

3.9 แสดงเครื่องผสมซีเมนต์เพสต์.....42

3.10 แสดงเครื่องทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะปลาย.....42

3.11 แสดงแบบหล่อชิ้นซีเมนต์เพสต์ ขนาด 50x50x50 มม.....43

3.12 รูปภาพแสดงการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ 44

3.13 แสดงแบบหล่อชิ้นซีเมนต์เพสต์ ขนาด 40 x 40 x 160 mm. 44

3.14 เครื่องทดสอบค่าการยืด-หดตัว.....45

4.1 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ที่กำลังขยาย 2500 เท่า...52

4.2 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ที่กำลังขยาย 2500 เท่า.....52

4.3 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่กำลังขยาย 2500 เท่า 53

4.4 แสดงผลการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์ ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) ของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) 54

4.5 แสดงผลการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์ ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) ของผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) 54

4.6 แสดงระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาก่อตัวสุดท้าย ของซีเมนต์เพสต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C) ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.30.....59

4.8 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนต(LS) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.30.....59

4.9 แสดงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....60

4.10 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.35.....61

4.11 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนต(LS) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.35.....62

4.12 แสดงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....62

4.13 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.40.....64

4.14 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนต(LS) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.40.....64

4.15 แสดงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....65

4.16 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....67

4.17 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30.....68

4.18 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.19 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35.....70

4.20 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....71

4.21 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40.....72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมอโลหะที่ประกอบด้วยอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ แก้ว กระจก และเซรามิค เป็นอุตสาหกรรมหลัก ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่สร้างรายได้ให้กับประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท อีกทั้งยังมีแนวโน้มการขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านการบริโภคภายในประเทศและการส่งออกต่างประเทศ เนื่องจากยังมีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมอโลหะเหล่านี้ในปริมาณที่สูง ในมิติด้านพลังงาน อุตสาหกรรมอโลหะเหล่านี้ถือได้ว่า เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานในปริมาณค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มระดับการใช้พลังงานต่อไป ตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ อุตสาหกรรมอโลหะส่วนใหญ่ใช้เทคโนโลยีเป็นแบบสำเร็จรูป ซึ่งรับทั้ง Know-how และเครื่องจักร มาจากต่างประเทศ โดยใช้วัตถุดิบที่ผลิตได้ในประเทศเป็นหลัก แต่มีข้อจำกัดของเทคโนโลยีที่ไม่มีความยืดหยุ่นในการผลิตและเป็นอุตสาหกรรมที่อาศัยปัจจัยทางด้านพลังงานเป็นสำคัญเพราะต้องเดินเครื่องจักรตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งพลังงานของอุตสาหกรรมอโลหะเหล่านี้ มีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30-40 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด

จากข้อความข้างต้นจะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ดังกล่าว โดยเฉพาะอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ซึ่งมีต้นทุนการผลิตทางด้านพลังงานที่สูง อีกทั้งทรัพยากรหรือวัตถุดิบที่นำมาใช้ ก็มีราคาและแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอีกในอนาคต จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีราคาสูงเช่นกัน ในปัจจุบันการศึกษาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์สาขาต่างๆ ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการศึกษาวิจัย วัสดุชนิดใหม่ที่สามารถนำมาใช้ร่วมกับหรือทดแทนวัสดุที่มีอยู่เดิม เพื่อลดการใช้พลังงาน และต้นทุนการผลิตลง โดยเป็นที่ทราบกันดีว่าการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำให้เกิดก๊าซที่มีผลต่อการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ถึงปีละ 13,500 ล้านตัน หรือประมาณร้อยละ 7 ของก๊าซที่ปล่อยออกมาทั้งหมด (Maholtra., 2002) ดังนั้น จึงมีความพยายามที่จะลดการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้น้อยลง โดยมีการศึกษาพัฒนาสารซีเมนต์อื่นมาใช้ทดแทน ตัวอย่างเช่นการใช้ของเหลือจากธรรมชาติ มาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อทำปูนซีเมนต์ผสม (blended cememt) สารที่ใช้ผสมดังกล่าวเป็นสารปอซโซลาน (pozzolanic materials) ซึ่งไม่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุยึดประสานในตัวเอง แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับคัลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) จะสามารถก่อตัว และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งตัวได้ โดยสารปอซโซลานที่นิยมใช้มาก ได้แก่ เถ้าลอย (fly ash) เถ้าแกลบ (rice husk ash), เถ้าภูเขาไฟ (volcanic ash) และดินขาวเผา (metakaolin) เป็นต้น(ดร. ธีรวัฒน์ สินศิริ.,2552)

งานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอผลการศึกษา ของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ สำหรับลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์โดยมุ่งเน้นในการศึกษาและวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลเชื่อมโยงกับการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของ ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ ซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติ และไม่ต้องผ่านกระบวนการเผา แต่สามารถผสมกับปูนซีเมนต์ธรรมดาได้เลย ทำให้มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ผง 20-40 % จึงไม่เพียงลดต้นทุนของราคาวัสดุเท่านั้น แต่ยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในการผลิตคอนกรีตลงได้อีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงผลทางกายภาพ ผลเชิงกลและเชิงจุลภาคที่เกิดจากผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และผงแคลเซียมคาร์บอเนต

1 ทดสอบเชิงจุลภาค
2 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ
3 ทดสอบสมบัติทางกล

1.2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ มาใช้แทนที่การประสานช่องว่างของซีเมนต์เพสต์

1.2.3 เพื่อคัดเลือกอัตราการใช้ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ ในการนำไปใช้งานเป็นวัสดุประสานเด่นชัดทางด้านกายภาพและเชิงกลนำเสนอต่อสาธารณชน เพื่อแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างเป็นรูปธรรม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตดังต่อไปนี้

1.3.1 แหล่งที่มาของวัตถุดิบ จำแนกได้ดังนี้

1) ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ บริษัท คอนกรีต ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด
2) ผงแคลเซียมคาร์บอเนต จากบริษัทสุรินทร์ออมย่า เคมิคอล(ประเทศไทย) จำกัด
3) ปูนซีเมนต์ กำหนดใช้ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 การสร้างชิ้นงานตัวอย่าง

1) ชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมบัติกายภาพและเชิงจุลภาค

2) ชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมบัติเชิงกล

1.3.3 การทดสอบคุณสมบัติของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติกับซีเมนต์และผงแคลเซียมคาร์บอเนตกับซีเมนต์

การทดสอบสมบัติต่างๆ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ในข้อ 1.2 ประกอบด้วย

1 ทดสอบเชิงจุลภาค
- การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธี XRF (X-Ray Fluorescence)
- การวิเคราะห์หาองค์ประกอบความเป็นผลึกด้วยเครื่อง XRD (X-ray Diffractrometer) ของวัสดุ
- การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด SEM (Scanning Electron Microscope) ของวัสดุ

2 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ
- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)
- Laser, Particle Size Analyzer
- ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time)
- การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ (Loss on Ignition)

3 ทดสอบสมบัติทางกล
- การหดตัวแบบออโตจีเนียส (Autogenous Shrinkage)
- กำลังอัด (Compressive Strength)

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ
2. พิจารณาออกแบบตามสัดส่วนที่เหมาะสม
3. จัดทำตัวอย่างการทดสอบพร้อมเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่ม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย

1.5.1 ด้านวิชาการ

1) องค์ความรู้ใหม่ในด้านการศึกษาถึงสมบัติของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และผงแคลเซียมคาร์บอเนต ในการนำมาใช้ในงานคอนกรีต
2) กรอบการนำไปใช้งานตามหลักวิศวกรรม

1.5.2 ด้านเศรษฐกิจ

1) เป็นแนวทางในการสร้างวัสดุทดแทนเพื่อการนำไปใช้งานที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเดิมและเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มแก่วัตถุดิบที่มีมูลค่าต่ำและมีอยู่ในปริมาณสำรองจำนวนมาก ในปัจจุบัน
2) ได้แนวทางสร้างงานและอาชีพและลดต้นทุนการผลิตวัสดุผสมลง

1.5.3 ด้านสังคม

1) ส่งเสริมการประหยัดพลังงานในรูปแบบการใช้ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติทดแทนปูนซีเมนต์ซึ่งจะส่งผลให้ลดพลังงานในการเผาปูนซีเมนต์ลง เป็นแนวทางการใช้วัสดุทดแทนเพื่อการอนุรักษ์สภาพแวดล้อม และธรรมชาติ ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าสู่บรรยากาศให้น้อยลง
2) ปืนการสร้างจิตสำนึกในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ ผงหินปูน รวมถึงปฏิกิริยาทางเคมี ของปูนซีเมนต์-น้ำ-ผงหินปูน ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพและความคงทนของซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผงหินปูน ที่เคยมีการศึกษาทั้งภายในและต่างประเทศ

2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

2.1.1 ปูนซีเมนต์และองค์ประกอบทางเคมี

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) หมายถึง สารซีเมนต์ที่ได้จากการผสมกันของสารจำพวกแคลเซียมหรือวัสดุจำพวกหินปูนกับดินเหนียวและ/หรือซิลิกา, อะลูมินา หรือสารจำพวกออกไซด์ของเหล็กและนำไปเผาด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสมจนเกิดปฏิกิริยาเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงนำไปบดให้ละเอียด ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ ไฮดรอลิกแคลเซียมซิลิเกต (Hydraulic calcium silicates)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

ประเภทที่ 1 เรียกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement หรือ Standard Portland Cement) ปูนชนิดนี้เป็นชนิดมาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างปกติทั่ว ๆ ไป เช่น งานคอนกรีตเสริมเหล็กในงานอาคาร สะพาน ถนน สนามบิน และอื่น ๆ

ประเภทที่ 2 เรียกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดดัดแปลง (Modified Portland Cement) เหมาะสำหรับใช้กับงานประเภทที่ต้องการทนต่อเกลือซัลเฟตได้บ้างพอสมควร เช่น งานก่อสร้างเขื่อนคอนกรีต, กำแพงกั้นดิน หรือบริเวณที่โดนน้ำเค็มเป็นครั้งคราวไม่ตลอดไป

ประเภทที่ 3 เรียกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็วหรือให้กำลังเร็ว (High Early Strength Portland Cement) เหมาะกับงานที่ต้องใช้เร่งด่วน เช่น ถนนที่มีการจราจรคับคั่ง, ลานบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังเร็วมาก ในช่วงอายุ 24 ชั่วโมง จะ มีความแข็งแรงเท่ากับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ที่อายุ 3 วัน และอายุ 7 วัน จะเท่ากับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 อายุ 28 วัน เป็นต้น

ประเภทที่ 4 เรียกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษที่มีอัตราความร้อนต่ำขณะเดียวกันก็ให้กำลังเพิ่มขึ้นช้า ๆ เหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างเขื่อน และงานที่ใช้คอนกรีตหลามาก ๆ

ประเภทที่ 5 เรียกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง เหมาะสำหรับการก่อสร้างในบริเวณใกล้ทะเล หรือใช้กับงานโครงสร้างที่อยู่ในบริเวณที่มีดินเค็ม ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีระยะเวลาของการแข็งตัวช้ากว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

ปูนซีเมนต์เป็นผลผลิตมาจากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ จนรวมตัวกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียมและอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประกอบด้วย 1. วัสดุที่มีธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลักเช่น หินปูนหรือชอล์ก และ 2. วัสดุที่มีธาตุอลูมินัมและซิลิก้าเป็นองค์ประกอบ เช่นหิน Shale หรือดินเหนียว (Clay) และ 3. พวกที่ให้ธาตุเหล็กคือ แร่เหล็ก (Iron Ore) หรือดินลูกรัง (Laterite) ขั้นตอนในการผลิตซีเมนต์แบ่งเป็น การผลิตแบบเปียก (Wet Process) และ การผลิตแบบแห้ง (Dry Process) - การผลิตแบบเปียกนั้นเป็นกรรมวิธีในการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงมาบดผสมกันในสภาพที่เปียกและเติมน้ำเพิ่มลงไปในอัตราส่วนที่พอเหมาะเพื่อช่วยในการบดผสม

วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จจะมีน้ำเป็นส่วนผสมประมาณ 35-50 % ซึ่งอยู่ในรูป Slurry กรรมวิธีในการเผาจะใช้พลังงานความร้อนมากกว่าการผลิตแบบแห้งเพราะว่าต้องใช้ความร้อนส่วนหนึ่งในการไล่ความชื้นใน Slurry ออกให้หมดก่อนที่จะเผาต่อเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา กรรมวิธีในการผลิตแบบเปียกนี้ถือได้ว่าเป็นวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ในสมัยก่อน ซึ่งในปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากต้องใช้พลังงานมากในขบวนการผลิตปูนซีเมนต์ – การผลิตแบบแห้ง คือการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นปกติ เช่น หินปูน (Limestone), หินดินดาน(Shale), ดินลูกรัง(Laterite) และแร่เหล็ก (Iron Ore) มาบดผสมในสภาพที่แห้งและนำไปเข้าเตาเผาโดยเพิ่มอุณหภูมิจนถึงประมาณ 1450 °C หลังจากนั้นทำให้เย็นตัวลงก็จะได้เป็นปูนเม็ด (Clinker) ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดประมาณ 3-25 มม หลังจากที่ได้เป็นปูนเม็ดแล้วก็จะนำปูนเม็ดไปบดในหม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill) โดยทำการบดปูนเม็ดร่วมกับยิปซัมบดจนได้ความละเอียดตามที่ต้องการ หลังจากนั้นก็นำปูนซีเมนต์ที่ได้ไปบรรจุเพื่อจัดจำหน่ายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบต่างๆของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไปจะประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่คือ

- ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO(60-67%),SiO_2(17-25%), Al_2O_3(3-8%) และ Fe_2O_3 (0.5-0.6%) ซึ่งรวมกันประมาณ 90 %

- ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO, TiO_2, Mn_2O_3, Na_2O, K_2O

สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของออกไซด์หลักในขบวนการเผาปูนเม็ด ซึ่งจะทำให้ได้สารประกอบหลัก 4 ชนิด คือ

1. ไตรคัลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$ หรือ ตัวย่อ C_3S) เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดการแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง การเกิดปฏิกิริยาจะให้ความร้อนประมาณ 500 จูลต่อกรัม มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นมากในช่วงสัปดาห์แรก ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3S ประมาณ 50-70%

2. ไดคัลเซียมซิลิเกต ($2CaO.SiO_2$ หรือ ตัวย่อ C_2S) มีการแข็งตัวและให้กำลังช้ากว่า C3S เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวและให้ความร้อนประมาณ 250 จูลต่อกรัม ซึ่งค่าความร้อนจากปฏิกิริยาที่มีค่าน้อยทำให้ปูนซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบของ C_2S มากช่วยลดการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิลงได้ ส่วนกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นในระยะหลัง ซึ่งในระยะยาวแล้วกำลังที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับ C_3S ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_2S ประมาณ 15-30 %

3. ไตรคัลเซียมอลูมิเนต ($3CaO.Al_2O_3$ หรือ ตัวย่อ C_3A) เป็นสารประกอบที่ทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีก่อให้เกิด Flash Set และเกิดความร้อนสูงในช่วงแรก ให้ค่าความร้อนประมาณ 850 จูลต่อกรัม ซึ่งในขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ได้ทำการป้องกันการเกิด Flash Set โดยการเติมยิปซั่มเพื่อหน่วงการก่อตัวอันเนื่องจากปฏิกิริยาของ C_3A และจำพัฒนากำลังอัดในช่วง 1-2 วันแต่มีค่ากำลังอัดที่ต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3A อยู่ประมาณ 5-10% ซึ่งถ้าต้องการปูนซีเมนต์ที่สามารถทนทานต่อซัลเฟตได้ดี ก็ควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ที่มีค่า C_3A ต่ำ

4. เตตระคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรด์ ($4CaO.\ Al_2O3.\ Fe_2O_3$ หรือ ตัวย่อ C_4AF) เป็นสารประกอบที่ได้จากวัตถุดิบที่มีสารประกอบแร่เหล็กและอลูมิเนียม เป็นตัวช่วยลดอุณภูมิของปูนเม็ดระหว่างกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ความร้อนที่เกิดประมาณ 420 จูลต่อกรัม มีผลทำให้ปูนซีเมนต์เป็นสีเทาซึ่งสำหรับปูนซีเมนต์ขาวจะมีสัดส่วนของ C_4AF อยู่ในปริมาณที่น้อยมาก ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_4AF ประมาณ 5-15 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบรองของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่ให้ผลกระทบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์

1. ยิปซั่ม ($CaSO_4.2H_2O$) เป็นสารประกอบที่ใส่เข้าไปในขั้นตอนการบดปูนเม็ด เพื่อไปทำปฏิกิริยากับ C3A เกิดเป็น Ettringite และ Monosulphate เพื่อหน่วงการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A ส่วนมากจะเติมยิปซัมประมาณ 3-5 %

2. Free Lime (CaO) ซึ่งอาจจะเกิดจากวัตถุดิบที่มีปริมาณ CaO มากเกินไป หรือเกิดจาการทำปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ เช่นการเผาปูนยังไม่สุกได้ที่ ซึ่งตัว Free Lime นี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ หลังจากที่ปูนซีเมนต์แข็งตัวแล้ว ทำให้เกิดการขยายปริมาตร อาจส่งผลให้เกิดการแตกร้าวและเสียหายได้เนื่องจากการไม่อยู่ตัวของปูนซีเมนต์ (Unsoundness)

3. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) วัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์โดยปกติจะมี MgCO3 เมื่อเผาแล้วจะได้ MgO และ CO_2 ซึ่งเมื่อ MgO ทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จะคล้ายกับ CaO คือจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่ส่วนมากจะให้ผลที่ค่อนข้างรุนแรงกว่า โดยปกติจะควบคุมปริมาณ MgO ให้มีปริมาณไม่เกิน 5 % ซึ่งถ้ามีมากกว่านี้ก็จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดความไม่อยู่ตัวของปูนซีเมนต์ (Unsoundness)

4. อัลคาไลออกไซด์ (Na_2O, K_2O) ที่อยู่ในปูนซีเมนต์นี้จะส่งผลเสีย ในกรณีที่ใช้มวลรวมบางประเภทที่สามารถทำปฏิกิริยากับอัลคาไลหรือด่างในปูนซีเมนต์ มาผสมเป็นคอนกรีตจะเกิดปฏิกิริยา Alkali-Aggregate Reaction หรือ AAR เป็นผลทำให้เกิดการขยายตัวดันให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหาย

การก่อตัวและปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในซีเมนต์เพสต์

ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำ จะก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลวและลื่นไหลได้ในช่วงเวลาหนึ่ง โดยจะเรียกช่วงเวลาที่คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า “Dormant Period” หลังจากนั้นซีเมนต์เพสต์จะเริ่มจับตัว (Stiff) ถึงแม้ว่าจะยังนิ่มอยู่แต่ก็จะไม่สามารถไหลตัวได้อีกแล้ว จุดนี้จะเป็นจุดที่เรียกว่า “จุดเริ่มแข็งตัว (Initial Setting Time)” การก่อตัวของซีเมนต์เพสต์จะยังคงดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนถึงจุดที่เป็นของแข็งที่คงสภาพซึ่งเรียกจุดนี้ว่า “จุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Setting Time)” ซีเมนต์เพสต์ยังคงแข็งตัวต่อไป จนกระทั่งสามารถรับน้ำหนักได้กระบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า “การก่อตัวและการแข็งตัว (Setting and Hardening)”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบในคอนกรีตเกือบทุกตัวเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เกิดจากสารประกอบแต่ละตัวทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง (Solid Product of Hydrations) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาจะทำให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าน้อยกว่าปริมาตรของซีเมนต์เพสต์เริ่มต้น จึงทำให้เกิดการหดตัวขึ้นในซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว สำหรับปฏิกิริยาไฮรเดรชันของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์มีดังนี้

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคัลเซียมซิลิเกต Alite (C_3S) และ Belite(C_2S)

1. $2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 2Ca(OH)_2$ -Alite -
2. $2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$ -Belite-

สมการที่ 1. เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีของ Alite กับ น้ำ ทำให้ได้ของแข็งคือ $CaO.2SiO_2.3H_2O$ ($C_3S_2H_3$) ซึ่งเป็นผลึกของแข็งหลักในซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว และได้ของแข็งอีกชนิดหนึ่งคือ $Ca(OH)_2$ เป็นของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้และมีคุณสมบัติเป็นเบส

สมการที่ 2. เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีของ Belite กับ น้ำ ทำให้ได้ของแข็งคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($C_3S_2H_3$) และ $Ca(OH)_2$ เช่นเดียวกับปฏิกิริยาของ Alite แต่ปฏิกิริยาของ Belite จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และให้ความร้อนออกมาน้อยกว่าปฏิกิริยาของ Alite

ปฏิกิริยาไฮรเดรชันของไตรคัลเซียมอลูมิเนต Aluminate (C_3A)

3. $3CaO.Al_2O_3 + 3(CaSO_4.2H_2O)\ (Gypsum) + 26(H_2O) \rightarrow 6CaO.Al_2O_3.3SO_3.32\ H_2O\ (Ettringite)$
4. $2(3CaO.Al_2O_3) + 6CaO.Al_2O_3.3SO_3.32H_2O + 4(H_2O) \rightarrow 3(4CaO.Al_2O_3.SO_3.12H_2O)\ (Monosulphate)$
5. $3CaO.Al_2O_3 + Ca(OH)_2 + 12(H_2O) \rightarrow 4CaO.Al_2O_3.13\ H_2O\ (Solid\ Solution)$

สมการที่ 3. เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีของ Aluminate กับ ยิปซัม และน้ำ ทำให้ได้สารที่เป็นของแข็งมีลักษณะคล้ายกับหนามเป็นเส้นเล็กๆ ซึ่งเรียกว่า Ettringite ซึ่งจะเป็นปฏิกิริยาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นมาก่อนในการทำปฏิกิริยาของสารประกอบในซีเมนต์ แต่โครงสร้างของผลึกไม่ได้แข็งแรงเท่ากับผลึกของ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต

สมการที่ 4. เนื่องจากผลึก Ettringite ไม่คงตัวจะทำปฏิกิริยาต่อกับ Aluminate และน้ำ ทำให้ได้เป็นของแข็งที่เรียกว่า Monosulphate

สมการที่ 5 หลังจากยิปซัมหมดไปแล้ว Aluminate ที่เหลืออยู่ในระบบจะทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์และน้ำ ได้เป็นสารละลายของแข็งต่อไป

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ Ferrite (C_4AF)

6. $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 + 3(CaSO_4.2H_2O)$ (Gypsum) $+ 27(H_2O)$

$6CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3.3SO_3.32\ H_2O$(Ettringite) $+ Ca(OH)_2$

7. $2(4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3) + 6CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3.3SO_3.32\ H_2O + 6(H_2O)$

$3(4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3.SO_3.12H_2O)$ (Monosulphate) $+ 2Ca(OH)_2$

8. $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 + 2Ca(OH)_2 + 10(H_2O)$

$(3CaO.Al_2O_3.6H_2O + 3CaO.Fe_2O_3.6H_2O)$ (Solid Solution)

สมการที่ 6. เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีของ Ferrite กับ ยิปซัม และน้ำ ทำให้ได้สารที่เป็นของแข็งมีลักษณะคล้ายกับหนามเป็นเส้นเล็กๆ ซึ่งเรียกว่า Ettringite มีลักษณะคล้ายคลึงกับปฏิกิริยาของ Aluminate และยังได้ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ออกมาด้วย

สมการที่ 7. เนื่องจากผลึก Ettringite ไม่คงตัวจะทำปฏิกิริยาต่อกับ Ferrite และน้ำ ทำให้ได้เป็นของแข็งที่เรียกว่า Monosulphate และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์

สมการที่ 8 หลังจากยิปซัมหมดไปแล้ว Aluminate ที่เหลืออยู่ในระบบจะทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์และน้ำ ได้เป็นสารละลายของแข็งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของซีเมนต์เพสต์มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็ง, ช่องว่างในซีเมนต์เพสต์ (Voids) และน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ทำปฏิกิริยาแล้ว

1) ของแข็ง ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) เป็นสารที่ให้กำลังกับคอนกรีต มีปริมาณมากที่สุดในซีเมนต์เพสต์ คือ มีอยู่ประมาณร้อยละ 50-70, แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตและซัลโฟเฟอร์ไรด์มีอยู่ประมาณร้อยละ 10-15, แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารที่เหลือ ซึ่งแทรกตัวอยู่ในช่องว่างของซีเมนต์เพสต์มีอยู่ประมาณร้อยละ 20-25 โดยปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ และอนุภาคปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาไม่หมดก็ยังคงมีอยู่ในซีเมนต์เพสต์ด้วย

2) ช่องว่างในซีเมนต์เพสต์ ได้แก่ ช่องว่างคาปิลลารี (Capillary Voids) คือ ช่องว่างที่ไม่ถูกอุดด้วยส่วนที่เป็นของแข็ง และโพรงอากาศ (Air Voids) คือ ช่องว่างอากาศ

3) น้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ทำปฏิกิริยาแล้ว (Hydrate Cement Paste, HCP) น้ำที่อยู่ใน HCP สามารถอยู่ได้หลายรูปแบบ การแบ่งแยกรูปแบบของน้ำที่อยู่ใน HCP แบ่งโดยดูที่ความยากง่ายในการเคลื่อนน้ำออกจาก HCP ซึ่งน้ำสามารถออกจาก HCP เมื่อได้รับความร้อน ซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาวะแข็งประกอบไปด้วยสารต่างๆ ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ การสูญเสียน้ำในซีเมนต์เพสต์จะส่งผลทำให้ซีเมนต์เพสต์มีการหดตัว (Shrinkage) น้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ทำปฏิกิริยาแล้วสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทตามความยากง่ายในการกำจัดออกไป ดังนี้

- น้ำที่สามารถระเหยได้ง่าย (Water Vapour) เป็นน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ของซีเมนต์เพสต์ น้ำประเภทนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิ

- น้ำคาปิลลารี (Capillary Water) คือ น้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่กว่า 5 นาโนเมตร ซึ่งเป็นน้ำอิสระจากอิทธิพลของแรงดึงดูด (Attractive Force) ของของแข็งที่อยู่ในเพสต์ จากพฤติกรรมดังกล่าวสามารถแบ่งน้ำคาปิลลารีได้ 2 ชนิด ชนิดที่ 1 น้ำในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร เรียกน้ำดังกล่าวว่าน้ำอิสระ (Free Water) เมื่อนำน้ำอิสระออกจากเพสต์แล้วจะไม่ทำให้ปริมาตรเปลี่ยนแปลง ส่วนน้ำชนิดที่ 2 เป็นน้ำที่เกิดจากแรงดึงคาปิลลารี (Capillary Tension) ในช่องว่างขนาด 5-50 นาโนเมตร ซึ่งเมื่อน้ำชนิดนี้ระเหยออกไปจะส่งผลทำให้ซีเมนต์เกิดการหดตัว

- น้ำที่ถูกดูดซับ (Adsorbed Water) คือ น้ำที่อยู่ใกล้กับผิวสัมผัสของของแข็งซึ่งถูกยึดไว้ด้วยแรงดึงดูด (Attractive Force) ของของแข็งที่อยู่ในเพสต์ โดยโมเลกุลของน้ำจะถูกดูดซับอยู่รอบๆผิวสัมผัสของของแข็งในเพสต์ เรียกแรงยึดเหนี่ยวนี้ว่าแรงยึดเหนี่ยวไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) น้ำในส่วนนี้จะเรียงตัวกันไม่เกิน 5 โมเลกุล (ความหนารวมไม่เกิน 1.3 นาโนเมตร) น้ำส่วนนี้ถูกขับออกโดยทำให้เพสต์แห้งเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าประมาณร้อยละ 30 การสูญเสียน้ำในส่วนนี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ซีเมนต์เพสต์เกิดการหดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำระหว่างชั้น (Interlayer Water) เป็นน้ำที่อยู่ในโครงสร้างของ C-S-H เนื่องจากโครงสร้างของ C-S-H มีลักษณะเป็นชั้นๆ โดยแรงดึงดูดแต่ละชั้นเป็นแรงยึดเหนี่ยวไฮโดรเจน น้ำส่วนนี้อยู่ใน Gel Pore ของซีเมนต์เพสต์ (มีขนาดเล็กกว่า 2.6 นาโนเมตร) น้ำส่วนนี้ถูกยึดไว้อย่างแข็งแรงโดยผิวของของแข็งในช่องว่าง การกำจัดน้ำในส่วนนี้ต้องใช้ความร้อนสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 11% โครงสร้างของ C-S-H จะหดตัวเมื่อสูญเสียน้ำดังกล่าวไป

- น้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทางเคมี (Chemically Combined Water) เป็นน้ำที่เป็นส่วนประกอบของผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Product) น้ำในส่วนนี้นำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาทางเคมี การกำจัดน้ำในส่วนนี้ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,000°C เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์และน้ำสลายตัวไปเป็นสารอื่นหรือที่เรียกว่าการสลายตัวของสาร (Decomposition) เช่น การสลายตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ CaO กับน้ำ (H_2O)

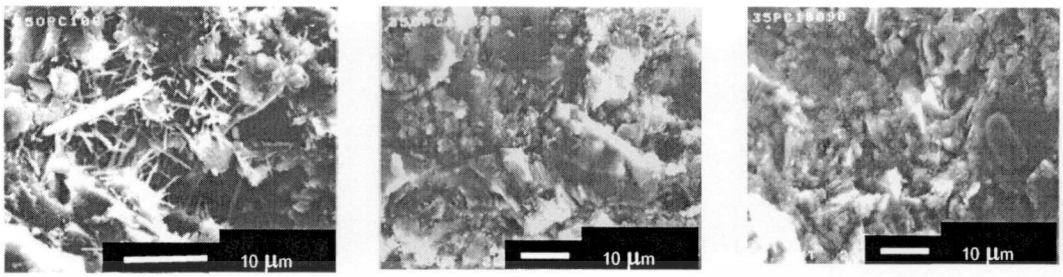
เมื่อเผาซีเมนต์เพสต์ที่อุณหภูมิระหว่าง 100-400°C ปริมาณน้ำประเภทต่างๆ ในซีเมนต์เพสต์จะระเหยไป แต่เมื่อเผาซีเมนต์เพสต์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 400-1,000°C สารประกอบต่างๆ ในซีเมนต์เพสต์จะสลายตัวไปเป็นสารประกอบอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำลงหรือเป็นธาตุ

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของสารต่างๆ ในซีเมนต์เพสต์

ลำดับที่	อุณหภูมิ (°C)	ปฏิกิริยา
1	100	น้ำในช่องว่างระเหย
2	180	การสลายตัวของ C-S-H
3	350	การสลายตัวของ C-S-H
4	400	การสลายตัวของ C-S-H
5	600	การสลายตัวของ $Ca(OH)_2$
6	700	การสลายตัวของ $CaCO_3$

รูปที่ 2.1 แสดงภาพถ่ายขยายโดย SEM ของซีเมนต์เพสต์ที่อายุ 7, 28, และ 90 วัน ตามลำดับ พบว่าที่อายุ 7 วัน (รูปที่ 2.1a) โครงสร้างระดับจุลภาคของซีเมนต์เพสต์มีช่องว่างหรือโพรงมาก พบเอททริงไกต์มีลักษณะเป็นเข็มยาวเกิดขึ้นรอบเม็ดปูนและขยายเข้าไปในช่องว่าง ที่อายุ 28 วัน (รูปที่ 2.1b) ผลิตผลไฮเดรชันประกอบด้วยแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต, แคลเซียมไฮดรอกไซด์, แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตและซัลโฟเฟอร์ไรด์ และส่วนประกอบย่อยอื่นอีกไม่มาก ขยายเข้าไปในโพรงหรือช่องว่างมากขึ้นทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความแน่นขึ้น โดยเฉพาะที่อายุ 90 วัน (รูปที่ 2.1c) ซีเมนต์เพสต์มีโครงสร้างที่แน่นยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(2.1a) อายุ 7 วัน (2.1b) อายุ 28 วัน (2.1c) อายุ 90 วัน

รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายขยายโดย SEM ของซีเมนต์เพสต์ (ธีรวัฒน์ และคณะ 2548)

โดยทั่วไปซีเมนต์เพสต์ประกอบด้วยโพรงอากาศ (Air Voids) โพรงคาปิลลารี (Capillary Pores) และโพรงเจล (Gel Pores)

1) โพรงอากาศ (Air Voids) โดยทั่วไปโพรงอากาศมีรูปร่างค่อนข้างกลมในระหว่างการผสมคอนกรีตทำให้เกิดโพรงอากาศ (Entrapped Air Voids) ซึ่งอาจมีขนาดใหญ่ถึง 3 มิลลิเมตร และถ้าใส่สารผสมเพิ่มชนิดสารกักกระจายฟองอากาศ (Air-Entraining Admixture) เข้าไปในคอนกรีตทำให้เกิดโพรงอากาศขนาดเล็กกระจายในซีเมนต์เพสต์ระหว่างการผสมเรียกโพรงอากาศชนิดนี้ว่า Entrained Air Voids มีขนาดอยู่ในช่วง 50-200 ไมโครเมตร โพรงอากาศที่ใหญ่และจำนวนมาก ทำให้กำลังรับแรงลดลงและทำให้การซึมผ่านเร็วและง่ายขึ้น

2) โพรงคาปิลลารี (Capillary Pores) เป็นส่วนของช่องว่างของน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมไม่แน่นอน (Irregular Shape) ปริมาตรและขนาดของโพรงคาปิลลารีขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และการเกิดปฏิกิริยา ในอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ต่ำ (w/c<0.35) โพรงคาปิลลารีมีขนาดอยู่ในช่วง 10-50 นาโนเมตร ในขณะที่เมื่ออัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์มีค่าสูง (w/c>0.50) โพรงคาปิลลารีมีขนาดใหญ่ถึง 3-5 ไมโครเมตร โพรงคาปิลลารีที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 นาโมเมตรมีผลต่อกำลังและการซึมผ่านของคอนกรีต ส่วนโพรงคาปิลลารีที่มีขนาดเล็กกว่า 50 นาโนเมตร ส่งผลต่อการหดตัวและการคืบของคอนกรีต

3) โพรงเจล (Gel Pores) เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของซีเมนต์เจล เป็นโพรงที่มีขนาดเล็กมาก คือ มีขนาดต่ำกว่า 10 นาโมเมตร โดย Powers คำนวณว่าโพรงเจลระหว่างโครงสร้างของ C-S-H มีขนาดเฉลี่ย 18 °A (1 °A = 10-10 เมตร) Feldman and Seredar พบว่าช่องว่างระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของ C-S-H มีขนาดตั้งแต่ 5 ถึง 25°A โพรงเจลมีผลน้อยมากต่อกำลังและการซึมผ่าน แต่จะมีผลต่อการหดตัวและการคืบของคอนกรีต

2.1.2 หินปูน (Limestone) หมายถึง หินที่ประกอบด้วยแร่คาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป และในจำนวนแร่คาร์บอเนตนี้จะต้องเป็นแร่แคลไซต์ หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) มากกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนักหินปูนบริสุทธิ์จะมีสีขาวประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 100 ในธรรมชาติจะพบหินปูนที่มีสีต่าง ๆ เช่น สีเทา สีเท่าแกมเหลือง สีเทาแกมเขียว สีเทาแกมน้ำเงิน สีชมพู หรือสีดำ ซึ่งขึ้นอยู่กับบริเวณและชนิดของอนุภาคดินหรือสารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในหินปูนถึงแม้จะมีปะปนเพียงเล็กน้อยก็ทำให้หินปูนมีสีได้ นอกจากนี้หินปูนที่มีเนื้อหยาบจะมีสีอ่อนกว่าหินปูนที่มีเนื้อละเอียด หินปูนจัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญมากชนิดหนึ่งในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากว่าหินปูนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายประเภทในด้านอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตปูนซิเมนต์และปูนไลม์ใช้ในมวลผสมหรือหินก่อสร้างและใช้เป็นสารช่วยหลอมละลายเป็นต้น ความต้องการในการใช้หินปูนในประเทศไทยมีอยู่มาก และมีความจำเป็นต้องใช้หินปูนที่มีคุณภาพดี

สารมลทินที่อาจพบในหินปูน ได้แก่ แมกนีเซียมคาร์บอเนต โดโลไมต์ ซิลิกา กลอโคไนต์ ยิปซั่ม ฟลูออไรต์ เหล็กออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ ฟอสเฟต ดิน และสารอินทรีย์ส่วนประกอบโดยทั่ว ๆ ไปของหินปูนมีดังนี้

CaO	ร้อยละ	22 – 56
MgO	ร้อยละ	0 – 21
Fe_2O_3	ร้อยละ	0 – 3

การกำเนิดของหินปูน

หินปูนส่วนใหญ่เกิดในทะเลน้ำตื้นและอบอุ่นหินปูนที่มีแคลเซียมสูงมักเกิดในบริเวณที่น้ำถ่ายเทสะดวก ใสไม่มีตะกอนจากแม่น้ำ

หินปูนมีกำเนิดได้ **3** แบบ คือ

1. เกิดจากการตกทับถมรวมตัวของเศษชิ้นหินปูนที่ถูกพัดพามาจากแผ่นดิน
2. เกิดจากการตกตะกอนทางเคมี
3. เกิดจากสิ่งมีชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งหินปูนที่มีคุณค่าในเชิงพาณิชย์โดยมากนั้นจะมีส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดกำเนิดมาจากสิ่งมีชีวิตที่อาศัยและสะสมตัวในทะเลบริเวณน้ำตื้น สภาพแวดล้อมของแหล่งกำเนิดมีความสำคัญมากต่อนักเศรษฐธรณีเพราะทำให้สามารถคาดคะเนถึงรูปร่าง ขนาด ความบริสุทธิ์ และลักษณะที่สำคัญอื่น ๆ ของหินคาร์บอเนตนั้น ๆ ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างดี

ประโยชน์ของหินปูน

1. ใช้ในรูปหินย่อยเพื่องานสร้างถนน และงานก่อสร้าง
2. ใช้ทำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนซีเมนต์
3. ใช้ทำหินประดับ และหินอ่อน
4. ใช้ทำปูนไลม์
5. ใช้เป็นเชื้อถลุงในอุตสาหกรรมถลุงเหล็กและเหล็กกล้า
6. ใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว โดยใช้เป็นวัตถุดิบทางเคมี
7. ใช้ทำแคลเซียมคาร์ไบด์
8. หินปูนบดละเอียดใช้เป็นฟิลเลอร์ในอุตสาหกรรมยางและกระดาษ
9. ใช้เป็นอาหารสัตว์ปีก เพื่อช่วยในการย่อยอาหาร
10. ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา
11. ใช้แก้ดินเปรี้ยว เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินให้เหมาะสมในการเกษตร
12. ทำไวทิงเพื่อใช้ผสมทำยาสีฟัน
13. ทำวัตถุทนไฟ
14. ทำแคลเซียมคาร์บอเนตตกตะกอนใหม่เพื่อใช้เป็นฟิลเลอร์ในอุตสาหกรรมพลาสติก ยางกระดาษและสี
15. ใช้ผลิตธาตุแคลเซียม
16. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต **Soda ash** ใน **Ammonia-Soda process**
17. ใช้ทำชอล์ค **(chalk)** ตามมาตรฐานออสเตรเลีย
18. ใช้ผลิต **Carbon dioxide**
19. ใช้ในการทำ **Rock wool** หรือ **mineral wool** ซึ่งใช้เป็นฉนวนกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าหินปูนได้นำมาใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มากมายดังนั้นเป็นการยากที่จะกล่าวถึงเกณฑ์ที่กำหนดของหินปูนแต่ละชนิดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภทได้ทั้งหมดในที่นี้จะกล่าวถึงเกณฑ์กำหนดโดยทั่ว ๆ ไปของหินปูนใช้ในอุตสาหกรรมที่สำคัญ ซึ่งเกณฑ์ที่กำหนดสามารถนำไปใช้เป็นมาตรฐานในการชี้นำทั่วๆ ไปในการใช้งานอุตสาหกรรมแต่ละประเภทของหินปูน

แหล่งหินปูนในเขตจังหวัดนครราชสีมา

การสำรวจทางธรณีวิทยา เกี่ยวกับแหล่งหินปูนในประเทศไทยปรากฏว่า มีอยู่ทั่วไปในทุกภาคของประเทศไทย ยกเว้นภาคเดียวคือบริเวณที่ราบสูงโคราช หรือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในภาคนี้จะพบเฉพาะบริเวณขอบของที่ราบสูงเท่านั้น ตั้งแต่จังหวัดเลย จังหวัดชัยภูมิ และอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

สำหรับแหล่งหินปูน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ได้สำรวจเฉพาะระวาง **5238 II** และระวาง **5338 III** พบว่าที่ระวาง **5238 II** ได้แก่เขาไม้พอก เขาถ้ำหน้าจั่ว เขาน้ำพุ เขาวังหิน เขาถ้ำดิน เขาริมห้วย เขาแสงคำ เขาท่าช้าง**2** บ้าน โป่งกะสัง **1** และ **2** เขาแหลม บ้าน อ่างหิน น้อย เขาส้มเช้า เขาแผนที่ เขาจันทร์ และบ้าน หนองผักแว่น ใน พบว่า ส่วนใหญ่เป็น หินปูน ค่อนข้างบริสุทธิ์มีร้อยละของ **CaO** อยู่ในช่วง **55.01 55.77**(คิดเป็นร้อยละของ $CaCO_3$ **98.23** ถึง **99.59**)มีบางแหล่งพบหินปูนที่มีร้อยละของ **CaO** ในช่วง **49.18** ถึง **54.73**(คิดเป็น ร้อยละของ $CaCO_3$ **87.82** ถึง **97.73**) บ้างเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบหินปูนที่มี SiO_2 แทรกอยู่ในเนื้อหินปูนหลายแหล่ง เช่น เขาริมห้วย บ้านหนองมะค่า **1** และ **2** บ้านสถานีบันใดไม้ **1** และ **2** และเขาจันทร์ ส่วนที่แหล่งบ้านหนองผักแว่นในจะพบแร่ **wollastonite** ($Ca SiO_3$) ปนอยู่กับหินปูน

ที่ระวาง **5338 II** ได้แก่ เขาซับตะเคียน บ้านนิคมสร้างตนเองลำตะคอง บ้านหนองแก**2** บ้านหนองมะค่า**3** เข้าหนองเชื่อม เขาจันทร์ บ้านหนองขวาง เขาเพกา เขามดง่าม เขาส้มพุง เขาหนองสองห้อง เขาอีด่าง ภูเขาปลายคลองกุ่ม พบหินปูนค่อยข้างบริสุทธิ์บ้าง มีร้อยละของ **CaO** ในช่วง **55.14** ถึง **55.67** (คิดเป็นร้อยละของ $CaCO_3$ **98.46** ถึง **99.41**) ส่วนใหญ่จะเป็นหินปูนที่มีร้อยละของ $CaCO_3$ **90.62** ถึง **98.20**) และเป็นหินปูนที่มีแร่โดโลไมต์ปนอยู่ด้วยนอกจากนี้ยังพบหินปูนที่มี SiO_2 แทรกอยู่ในเนื้อหินปูนที่แหล่งเขาซับตะเคียน และแหล่งเขาหนองเชื่อม

สรุปได้ว่าแหล่งหินปูนอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา มีลักษณะเป็นหินปูนแท้ส่วนใหญ่มีบางแหล่งเท่านั้นที่เป็นหินปูนที่มีความบริสุทธิ์น้อยมี SiO_2 เข้าแทรกอยู่ในเนื้อหินปูน นอกจากนี้หินปูนเหล่งนี้ยังมีสิ่งเจือปนน้อยมากจึงนับได้ว่าหินปูนแหล่งนี้เป็นหินปูนที่มีคุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แหล่งหนึ่งที่พบในประเทศไทยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

2.1.3 ปูนขาว (Lime)

เป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้งานเป็นวัสดุก่อสร้างต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลายาวนาน การก่อสร้างอาคารในสมัยโบราณใช้ปูนขาวเป็นส่วนผสมของ Mortar เริ่มใช้ครั้งแรกโดยชาวโรมันกรีก และอียิปต์ จากหลักฐานการก่อสร้างปิรามิดโดยการนำดินเหนียวผสมกับปูนขาวแล้วบดอัดแน่น ถึงแม้จะไม่มีการบันทึกเอาไว้แต่ก็เป็นสิ่งที่ยืนยันว่ามีการนำเอาปูนขาวมาใช้ตั้งแต่ 5,000 ปีมาแล้ว ปูนขาวเป็นสารผสมเพิ่มชนิดหนึ่งในอีกหลายชนิดที่สามารถนำมาปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตได้ ในด้านเคมีถ้ากล่าวถึงคำว่าปูนขาว (Lime) แล้วมักจะหมายถึงออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) แต่ในความหมายที่แท้จริงแล้วได้รวมถึงพวก Quick Lime, Hydrated Lime และ Hydraulic Lime ด้วย

ปูนขาวผลิตขึ้นมาจากการเผาหินปูน (Limestone) หินปูนที่ใช้ผลิตปูนขาวแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. Calcining Crushed Limestone หินชนิดนี้เมื่อนำมาเผาโดยให้ความร้อนผ่านหินขึ้นมาจะเป็นการลดแคลเซียมคาร์บอเนตในหินกลายเป็นออกไซด์ของแคลเซียม แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากหินปูนชนิดนี้เรียกว่า Calcia หรือ High – Calcium Quick Lime ประกอบด้วยวัสดุประเภทสารปูนมีแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณ 95 – 99 เปอร์เซ็นต์

2. Dolomite หรือ Dolomitic Limestone หินชนิดนี้มีสารประกอบส่วนใหญ่อยู่ 2 อย่างคือ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ปูนขาวที่ได้จากหินชนิดนี้เรียกว่า Dolomitic Lime ซึ่งมีทั้งออกไซด์ของแคลเซียมและหรือแมกนีเซีย (CaO และหรือ Mgo) ปูนขาวชนิดนี้จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Dolomitic Quick Lime ประกอบด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตประมาณ30–40เปอร์เซ็นต์

ก. Quick Lime คือวัสดุที่ได้จากการเผาหินปูนซึ่งวัสดุนี้จะประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นส่วนใหญ่และมีแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) อยู่บางเล็กน้อย Quick Lime สามารถแตกตัวได้ในน้ำจำแนกเป็น High Calcium Lime ถ้า Quick Lime ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เท่ากับหรือมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ จำแนกเป็น Calcium Lime ถ้ามีแคลเซียมออกไซด์มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ และจำแนกเป็น Calcium Lime หรือ High magnesium Lime ถ้ามีแมกนีเซียมออกไซด์มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
117937

ปฏิกิริยาทางเคมีของ Quick Lime มีสมการดังนี้

High Calcium Quick Lime

$$CaCO_3 \xrightarrow{1650°F} CaO + CO_2$$

Dolomitic Quick Lime

$$CaMg(CO_3)_2 \xrightarrow{1350°F} MgO + CaCO_3 + Co$$

$$MgO + CaCO_3 \xrightarrow{1650°F} MgO + CaO + Co$$

ข. Hydrated Lime คือวัสดุที่ได้จากการนำเอา Quick Lime ซึ่งอยู่ในสภาพเป็นผงแห้งมาผสมกับน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydration ปูนขาวชนิด High Calcium Quick Lime เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะได้ $Ca(OH)_2$ ปฏิกิริยา Hydration ของ Dolomitic Quick Lime ภายใต้ความดันบรรยากาศจะได้ Hydrated Lime Type N ประกอบด้วย $Ca(OH)_2$+ Mgo เรียกว่า Normal Hydrated หรือ Monohydrated Dolomitic Lime ปฏิกิริยา Hydration ของแมกนีเซียมออกไซด์ภายใต้ความดันจะทำให้เกิด Hydrated Lime Type S ประกอบด้วย$Mg(OH)_2 + Ca(OH)_2$ เรียกว่า Pressure Hydrated หรือ Dihydrated Dolomitic Lime

ค. Hydraulic Lime ปูนขาวชนิดนี้เป็นทั้ง Dolomitic Lime หรือ Calciytic Lime จัดอยู่กึ่งกลางระหว่างปูนขาวชนิดธรรมดากับปอร์ตแลนซีเมนต์ชนิดธรรมดา ถ้าหินปูนที่ใช้ผลิตปูนขาวมีปริมาณดินเหนียวน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ปูนขาวนั้นจะจำแนกเป็น Semi-Hydraulic Lime ถ้ามีปริมาณดินเหนียวมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ จะจำแนกเป็น Hydraulic Lime สำหรับ High Calcium Hydraulic Hydrated Lime จะประกอบด้วยแมกนีเซียมออกไซด์(Mgo) ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วน High Magnesium Hydraulic Hydrated Lime จะประกอบด้วยแมกนีเซียมออกไซด์มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

2.1.4 ผงหินปูน (Limestone Powder)

หินปูนประเภทโดโลมิติก (Dolomitic Limestone) และโดโลไมท์ (Dolomite) ต่างก็ถูกจัดประเภทและพอที่จะเรียกรวมว่าหินคาร์บอเนต (Carbonate Rock) จัดได้ว่าเป็นหินที่ให้ประโยชน์มากอย่างที่สุด เมื่อเทียบกับหินหรือแร่อุตสาหกรรมประเภทอื่น

ดังที่กล่าวไปแล้วในข้างต้นถึงประเภทของผงหินปูนทั้งสองชนิด เป็นการยากอย่างยิ่งที่จะแยกลักษณะพิเศษเกี่ยวกับคุณสมบัติและคุณประโยชน์ของมันออกมาจากหินคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Carbonate Rock) โดยเฉพาะอย่างยิ่งหินปูน อย่างไรก็ตามเมื่อกล่าวถึงหินปูนประเภทโดโลมิติก และโดโลไมท์ จะมีความหมายอยู่สองประการ คือ

- กล่าวถึงชื่อแร่โดยตรงมีสูตรทางเคมีขององค์ประกอบหลักเป็น แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($CaMg(CO_3)_2$)
- กล่าวถึงหินคาร์บอเนตที่มีองค์ประกอบของแร่โดโลไมท์อยู่ในช่วงร้อยละ 10 ถึง 50 และมากกว่าร้อยละ 50 สำหรับหินปูนประเภทโดโลมิติกและโดโลไมท์ตามลำดับ

1. คุณสมบัติทางกายภาพของหินปูน

คุณสมบัติทางกายภาพของหินปูนประเภทโดโลมิติก (Dolomitic Limstone) และโดโลไมท์ (Dolomite) สามารถแสดงเปรียบดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางภายภาพของหินปูนทั้งสองชนิด (เชาวลิตร์ ทองประดับ,2542)

คุณสมบัติทางกายภาพ	ประเภทของหินปูน	
	โดโลมิติก	โดโลไมท์
รูปผลึก	Hexagonal/Rhombohedral ที่มีผิวหน้าโค้ง	Hexagonal/Rhombohedral ที่มีผิวหน้าโค้ง
ความแข็ง	3.0 – 3.5 ตามมาตรฐาน Mohs' Scale	3.5 – 4.0 ตามมาตรฐาน Mohs'
ความถ่วงจำเพาะ	2.65 – 2. 75	2.82
สี	สีขาว สีเทาหรือสีส้มอมชมพู	สีขาวหรือสีชมพู
ธาตุเจือปนที่พบ	Fe, Mn, Co, Zn และ Mg	Fe, Mn, Co, Zn และ Pb

คุณสมบัติบางประการที่ใช้แยกหินปูนทั้งสองชนิด ซึ่งเกิดปะปนอยู่กับแคลไซท์ (Calcite) ได้ คือ คุณสมบัติที่เกี่ยวการการละลายในกรดเจือจาง หินปูนทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการละลายในกรดเกลือเจือจางที่ไม่ดีเท่ากับแคลไซท์ วิธีการแยกหินปูนทั้งสองชนิดนี้ออกจากแคลไซท์และแร่คาร์บอเนตอื่น ๆ ที่นิยมกันมาก คือ การย้อมสี (Staining Method) ที่ผิวของหินคาร์บอเนต โดยผิวที่ทำการย้อมต้องเป็นผิวสด หินปูนทั้งสองชนิดและแร่คาร์บอเนตอื่น ๆ จะมีคุณสมบัติในการติดสีที่ย้อมแตกต่างกันไป ตามชนิดของสารที่ใช้ โดยตารางการใช้สารต่าง ๆ และผลที่เกิดขึ้น Wanhe (1962) ได้เขียนไว้เป็นมาตรฐานที่นำมาใช้กันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกำเนิดของหินปูนประเภทโดโลไมท์

หินปูนประเภทโดโลมิติกและโดโลไมท์ นั้นเป็นผลทางอนินทรีย์ (Inorganic Product) ที่เกิดขึ้นในเขตระดับน้ำขึ้นลงของทะเลในโซนร้อน (Superheated Intertidal Localities) โดยมีการเกิดแบบไดเจเนติก ออริจิน (Digenetic Origin) อาจเกิดเป็นผลึกเล็ก ๆ กระจัดกระจายอยู่ตามเขตน้ำลึกได้เช่นกัน แต่พบได้น้อยมาก

จากสูตรเคมีของโดโลไมท์ (Dolomite: $CaMg(CO_3)_2$) จะเห็นได้ว่าการเกิดของโดโลไมท์มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดอย่างยิ่งกับแคลไซท์ (Calcite: $CaCO_3$)) จะเห็นได้ว่าการเกิดในรูปของแมกนีเซียมคาร์บอเนตโดด ๆ แต่ทว่ามันคงอยู่ในรูปโครงสร้างของผลึกแคลไซท์ (Lattice of Calcite Crystal) แบบโซลิด โซลูชั่น (Solid Solution) ปริมาณแมกนีเซียมที่เข้าไปอยู่ในโครงสร้างของผลึกแคลไซท์นั้น มากน้อยแตกต่างกันไปซึ่งพอจะแยกได้ดังนี้

- High-Mg Calcite จะเป็นแคลไซท์ที่มีปริมาณของแมกนีเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 8 โดยมวลโมเลกุล
- Low-Mg Calcite จะเป็นแคลไซท์ที่มีปริมาณของแมกนีเซียมคาร์บอเนตน้อยกว่าร้อยละ 8 โดยมวลโมเลกุล

แมกนีเซียมคาร์บอนเนตเหล่านี้จะอยู่ในโครงสร้างของผลึกแคลไซท์ การหาปริมาณแมกนิเซียมที่แทนที่แคลเซียมในโครงสร้างของแร่แคลไซท์ หาได้จากการวัดหน้าผลึกในตำแหน่งที่ d(211) ที่คลาดเคลื่อนไปจากเดิมโดยวิธี X-Ray Diffraction แร่โดโลไมท์โดยทั่วไปจะมีแมกนีเซียมคาร์บอเนตอยู่มากกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนักและแร่ High-Mg Calcite จะมีแมกนีเซียมคาร์บอเนตอยู่ประมาณร้อยละ 20 – 30 โดยน้ำหนัก

แร่โดโลไมท์เกิดร่วมกับตะกอนคาร์บอเนตในบริเวณใกล้ ๆ กับระดับน้ำทะเลหรืออยู่ช่วงระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดของน้ำทะเล (Intertidal and Supertidal Environment) ตะกอนส่วนใหญ่ต้องเป็นพวกแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งทำให้แมกนีเซียมในน้ำทะเลได้มีโอกาสเข้าไปแทนที่แคลเซียมในโครงสร้างของผลึกแคลไซท์ ได้มากจนกลายเป็นแร่โดโลไมท์ขึ้น จากหลักฐานทางศิลาศาสตร์ (Petrography) พอจะบอกได้ว่าโดโลไมท์เกิดขึ้นได้สองวิธีด้วยกัน

1. แร่โดโลไมท์เกิดจากผลึกเล็ก ๆ ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในรูปของไมโครคริสตัลลายแคลไซท์ (Microcrystalline Calcite) ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้าง โดยแคลเซียมถูกแทนที่ด้วยแมกนีเซียม ในขณะที่ตะกอนคาร์บอเนตเหล่านี้กำลังอยู่ในขบวนการกลายสภาพเป็นหิน (Digenetic Replacement) ทำให้ผลึกเล็ก ๆ เหล่านี้กลายเป็นผลึกของโดโลไมท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โดโลไมท์เกิดในสภาพเป็นตัวเชื่อมระหว่างเม็ดตะกอน (Fringe Cement) แหล่งที่มาของแมกนีเซียมที่เข้าไปแทนที่ในแคลไซท์

2.1) การที่ High-Mg Calcite เปลี่ยนสภาพกลายเป็น Low-Mg Calcite ทำให้ได้แมกนีเซียมออกมา และมันยังคงค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างผลึกและตะกอนเหล่านั้นซึ่งแมกนีเซียมจำนวนนี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดกระบวนการโดโลมิไทเซชั่น (Dolomitization) ในเวลาต่อมา

2.2) แมกนีเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลอยู่แล้วและซึมผ่าน (Diffuse) ลงไปตามช่องว่างระหว่างตะกอนที่สะสมตัวอยู่

แมกนีเซียมที่คงค้างอยู่ในช่องว่างตะกอนเหล่านี้ เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม กล่าวคือ อุณหภูมิประมาณ 34 -35 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนน้ำหนักของ แมกนีเซียมต่อแคลเซียม (Mg/Ca) มีค่าประมาณ 3 แมกนีเซียมจะเกิดปฏิกิริยาแทนที่แคลเซียมในตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต และเกิดเป็นสายแร่โดโลไมท์ขึ้น

ในทะเลทั่วไป โดยเฉพาะในเขตร้อน ขบวนการระเหย (Evaporation) จะเกิดได้ดีมากเป็นเหตุให้น้ำทะเลบางส่วนมีความเข้มข้นของแร่ธาตุต่าง ๆ มากขึ้น และจมดิ่งลงสู่พื้นทะเล แมกนีเซียมก็เป็นหนึ่งในแร่ธาตุเหล่านั้นที่ซึมผ่านลงไปในช่องว่างของตะกอนพร้อมกับน้ำทะเล หรืออาจจะเกิดการซึมผ่านของแมกนีเซียมเข้าไปในช่องว่างระหว่างตะกอนเอง ความลึกที่แมกนีเซียมจะแพร่กระจายหรือซึมผ่านลงไปนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำทะเลเอง ในแง่อุทกกลศาสตร์และคุณสมบัติที่เกี่ยวกับการซึมผ่านของตะกอนด้วย

องค์ประกอบที่ควบคุมหรือมีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดโดโลไมท์ได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้

- ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในช่องว่างตะกอน
- ความพรุนและความสามารถในการซึมผ่านชั้นตะกอนของน้ำทะเลได้
- ปริมาณไมโครคริสตัลลายอราโกไนท์(Microcrystalline Aragonite)และแคลไซท์ (Calcite)

ถ้าหากว่าองค์ประกอบเหล่านี้มีอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมและสภาพแวดล้อมอำนวยแล้ว แมกนีเซียมจะสามารถแทรกซึมลงไปและแทนที่แคลไซท์ กลายเป็นโดโลไมท์ นอกจากนี้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีเซียมบางส่วนยังมีผลให้เกิดการเชื่อมประสาน (Cementation) ของพวก High-Mg Calcite อีกด้วย

3. คุณสมบัติทางเคมีของหินปูนทั้งสองชนิด

คุณสมบัติทางเคมีและการจำแนกชื่อของหินปูนทั้งสองชนิดนั้นต้องอาศัยปริมาณร้อยละของแร่โดโลไมท์และแร่แคลไซท์ โดยการจำแนกชื่อของหมู่แคลไซท์และโดโลไมท์ (Classification of Calcite-Dolomite Mixture) เป็นหลัก มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงการเรียกชื่อหินคาร์บอเนต (Carbonate Rock: Calcite and Dolomite) โดยพิจารณาจากร้อยละของแร่โดโลไมท์ แมกนีเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมคาร์บอเนต (Murry, 1981)

ประเภท	ร้อยละของโดโลไมท์	แมกนีเซียมออกไซด์ โดยประมาณ ร้อยละเทียบเท่า	แมกนีเซียมคาร์บอเนต โดยประมาณ ร้อยละเทียบเท่า
High Calcium	-	0 to 1.1	0 to 2.30
Calcite	0 - 10	-	-
Magnesium	-	1.1 to 2.1	2.30 to 4.40
Dolomitic Limestone	10 - 15	2.1 to 10.80	4.40 to 22.70
Calcite Dolomitic	50 - 90	10.80 to 19.50	22.70 to 41.00
Dolomitic	90 - 100	19.50 to 21.60	41.00 to 45.40

4. คุณสมบัติของผงหินปูนและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในบทนำ ผงหินปูนนั้นเป็นผลพลอยได้ (By Product) จากการย่อยหินเพื่อใช้ในอุตสาหรรมการผลิตปูนซีเมนต์ และอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ โดยองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ของหินปูน จะประกอบด้วยสารประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ซึ่งมีทั้งที่อยู่ในรูปของสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุเฉื่อยที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาทางเคมี (Inert Material) ในที่นี้อาจพิจารณาเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วัสดุเฉื่อยที่ไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมี (Inert Material) ในกรณีที่มีการนำส่วนของวัสดุเฉื่อยมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ จะมีส่วนช่วยลดการหดตัวของปูนซีเมนต์ จะมีส่วนช่วยลดการหดตัวของปูนซีเมนต์ ทั้งนี้เนื่องจาก คุณสมบัติของวัสดุเองที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี จึงทำให้เสถียรภาพในเชิงปริมาตรดีขึ้น และยังช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟตอีกด้วยย แต่ก็อาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟตอีกด้วย แต่ก็อาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับแรงของซีเมนต์เพสต์ในขณะเดียวกันกันอีกด้วย สารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) อาจจัดได้เป็นสารประกอบในส่วนที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาทางเคมีได้ อย่างไรก็ตามสารประกอบดังกล่าวทั้งสองนั้นก็สามารถที่จะทำปฏิกิริยาทางเคมีได้ ถ้าหากสารประกอบดังกล่าวมีความละเอียดมากเพียงพอ และ/หรือให้พลังงานความร้อนช่วยในการเร่งปฏิกิริยาทางเคมี ดังตัวอย่างในสมการเคมีต่อไปนี้

$$CaCO_3 + H_2O + heat \longrightarrow Ca(OH)_2 + CO_2 \qquad (2.15)$$

$$MgCO_3 + H_2O + heat \longrightarrow Mg(OH)_2 + CO_2 \qquad (2.16)$$

2. วัสดุที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมี (Reactive Material) ในกรณีที่มีการนำส่วนของวัสดุที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมีมาใช้ผสมเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์สารประกอบของแคลเซียมออกไซด์(CaO) ที่พร้อมในการทำปฏิกิริยาจะร่วมตัวกับน้ำซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้ดังนี้คือ $CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$ (2.17) ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากสมการข้างต้นนี้ สามารถใช้เป็นสารเบื้องต้นในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิคได้เช่นเดียวกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)2ที่เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ ดังสมการที่ (2.15)ถึง(2.17)

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำเอาผงหินปูน และวัสดุปอซโซลานมาใช้ในฐานะวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและความคงทนของวัสดุเชื่อมประสานในระยะยาวได้อย่างไรก็ตามปริมาณที่เหมาะสมในการใช้งานผงหินปูน และวัสดุปอซโซลานจากแหล่งที่มาต่างๆกันเมื่อนำมาใช้ร่วมกันจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมของวัสดุเชื่อมหระสาน มอร์ต้าร์ และ/หรือคอนกรีต ที่มีส่วนผสมของวัสดุทั้งสองให้แน่ชัดก่อนการนำมาใช้งานเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของผงหินปูน(วิศิษฏ์ เดชพันธ์, 1998)

Chemical Composition (%)	ผงหินปูน		
	LSP1	**LSP2**	**LSP3**
Silicon Dioxide (SiO_2)	0.20	24.01	12.56
Aluminum Oxide (Al_2O_3)	0.05	2.04	3.23
Ferric Oxide (Fe_2O_3)	0.04	0.61	0.82
Calcium Oxide (CaO)	55.52	39.55	44.79
Magnesium Oxide (MgO)	0.49	0.92	0.73
Potassium Oxide (K_2O)	NA	NA	0.58
Sodium Oxide (Na_2O)	0.05	0.08	0.05
Sulfur Trioxide (SO_3)	NA	NA	NA
Loss on Ignition	43.59	32.07	36.48
Specific Gravity	2.72	3.00	2.66
Blaine Fineness , (cm^2/g)	4520	2620	2670

หมายเหตุ : LSP1 หมายถึง ผงหินปูนตัวอย่างจากแหล่ง SC- สระบุรี
LSP2 หมายถึง ผงหินปูนตัวอย่างจากแหล่ง SCC-สระบุรี
LSP3 หมายถึง ผงหินปูนตัวอย่างจากแหล่ง TPI-สระบุรี

2.1.5 แคลเซียมคาร์บอเนต

จัดอยู่ในกลุ่มของแคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide) สูตรทางเคมี คือ CaO เมื่อผสมในเคลือบจะทำให้เคลือบมีความแข็งแกร่งดีขึ้น (Tensile strength) ทนต่อการขีดข่วนได้ดีกว่า โซเดียม โพแทสเซียม และลิเทียม ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและด่าง ลดสัมประสิทธิการขยายตัวของเคลือบได้ดีกว่าด่างด้วยกัน ทำปฏิกิริยารุนแรงกับซิลิกา ปกติจะใช้เพียงเล็กน้อยร่วมกับฟลักซ์ ชนิดอื่น โดยเฉพาะเคลือบไฟต่ำกว่า โคน 3 ไม่ควรใช้โดด ๆ เพราะจะทำหน้าที่เป็น ตัวทนไฟ แต่ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เผาที่อุณหภูมิสูง จะทำหน้าที่ เป็นฟลักซ์ ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไป มักจะเกิดการตกผลึก และทำให้ผิวเคลือบด้าน ซึ่งเกิดขึ้นในธรรมชาติหลายรูปด้วยกัน เช่น หินปูน (Limestone) หินอ่อน (Marble) และดินมาร์ล (Marl) เป็นต้น สารที่ให้แคลเซียมออกไซด์ ได้แก่

แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) สูตรทางเคมี คือ $CaCO_3$ หรือที่เรียกว่า ไวติง (Whiting) ไวติงก็คือแคลเซียมคาร์บอเนต ที่บริสุทธิ์ บดละเอียด และกำหนดขนาดของความละเอียดไว้ด้วยตะแกรงเมช (Mesh) จึงมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันตามขนาดของตะแกรงที่ใช้กรองจากหยาบจนถึงละเอียด ดังต่อไปนี้

ถ้ากรองด้วยตะแกรงเบอร์ 60 – 70 เรียกว่าคอมเมอร์เซียล ไวติง
ถ้ากรองด้วยตะแกรงเบอร์ 80 – 100 เรียกว่าอเมริกันปารีส ไวติง
ถ้ากรองด้วยตะแกรงเบอร์ 120 – 150 เรียกว่าอังกฤษเอฟสโตน ไวติง
ถ้ากรองด้วยตะแกรงเบอร์ 200 เรียกว่าสเปเชียล พอทเทอรี่ ไวติง

แคลเซียมคาร์บอเนตนี้เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายในเคลือบไฟสูง ถ้าผสมในเนื้อดิน (Body) จะช่วยลดความพรุนตัว (Porosity) ของเนื้อดินด้วย ถ้าผสมในเคลือบจะทำให้เคลือบมีความแข็งแกรงดียิ่งขึ้น (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2534 : 8) นอกจากนี้ อายุวัฒน์ สว่างผล (2543 : 128) ได้กล่าวอีกว่า หินปูน เป็นสินแร่ที่มีแร่แคลไซต์ เป็นสารประกอบหลัก พบทั่วไปแต่มีมากที่จังหวัดสระบุรี ราชบุรี หินปูนจะแตกตัวให้ CaO และ CO_2 ที่อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส แคลเซียมออกไซด์ ที่ได้จากการแตกตัวของหินปูน คือปูนขาว นั้นเอง

ความสำคัญของหินปูน ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา คือ เป็นวัตถุดิบผสมในเคลือบปอร์ซเลน หรือเคลือบหินชนิดต่างๆ

สมบัติทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต (Chemical property of Calcium carbonate)

แคลเซียมคาร์บอเนต มีสูตรทางเคมีว่า $CaCO_3$ โดยมีร้อยละของสารประกอบต่างๆ ดังนี้

CaO	ร้อยละ 56.30
CO_2	ร้อยละ 43.97

แคลเซียมคาร์บอเนต บางแหล่งอาจมี แมงกานีส สังกะสี และเหล็กเฟอร์รัสเข้าแทนที่ธาตุแคลเซียมบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของแคลเซียมคาร์บอเนต (Use of Calcium carbonate)

แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นวัตถุดิบที่มีประโยชน์กว้างขวางมาก หินปูนที่เป็นผลึกใส แบบ ไอแลนด์สปาร์ สามารถนำมาทำอุปกรณ์เกี่ยวกับกล้องจุลทรรศน์ แบบ โพราลิไซด์ ไมโครซอฟนอกจากนี้ยังเป็นหินที่ให้แร่แคลไซต์ในการผลิตแสงเลเซอร์ได้ด้วย

แคลเซียมคาร์บอเนต ที่เป็นผลึกแบบอื่นๆ สามารถนำมาใช้เป็นหินขัดและหินประดับหินคอนกรีต ตลอดจนนำมาทำปูนขาว ปูนซีเมนต์ ชอล์ก ได้ด้วย

ประโยชน์ของแคลเซียมคาร์บอเนต ในอุตสาหกรรมของเครื่องปั้นดินเผา ทำหน้าที่เป็นตัวลดจุดหลอมละลายในน้ำเคลือบ ช่วยให้การเผาเคลือบสั้นลง นอกจากนี้หินปูนยังช่วยให้เกิดความต้านทานต่อกรดในเคลือบ ทำให้เคลือบมีความแข็งแกร่งดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

P. Livesey (1991)

ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมวัสดุฟิลเลอร์ที่เป็นฝุ่นหินปูน (Limestone-Felled Cements) โดยได้กล่าวว่าฝุ่นหินปูนที่นำมาใช้เป็นวัสดุผสมปูนซีเมนต์ควรมี $CaCO_3$ มากกว่าร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก อีกทั้งควรมีปริมาณของดินเหนียว (Clay Content) ไม่เกิน 1.20 ก./100 ก. และมีปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Material Conternt) ไม่เกินร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก แต่ถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.2 ถึง 0.5 โดยน้ำหนักจะต้องมีการทดสอบและผ่านการพิสูจน์ว่าสามารถใช้ได้จริงอย่างแน่ชัด การทดลองใช้มอร์ต้าร์หล่อเข้าแบบลูกบาศก์ ตามมาตราฐาน BS 8110 (1985) โดยการแทนที่ฝุ่นหินปูนเป็นปริมาณร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 28 โดยน้ำหนักของวัสดุผง สรุปได้ว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมฝุ่นหินปูนอยู่ในชั้นของกำลัง (Strength Class) 32.5R, 42.5R, และ 52.5 ซึ่งในแต่ละชั้นของกำลังองค์กรปูนซีเมนต์แห่งยุโรป (Eurocements) มีข้อกำหนดดังนี้ (PRENV 197:1990)

ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดของกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์โดยองค์กรปูนซีเมนต์แห่งยุโรป (Eurocements)

ชั้นคุณภาพกำลังอัด	กำลังอัดระยะเริ่มต้น (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)		กำลังอัดที่อายุ 28 วัน (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)	
	2 วัน	7 วัน	ต่ำสุด	สูงสุด
32.5	-	≥ 16	32.5	52.5
32.5R	≥ 10	-	32.5	52.5
42.5	≥ 10	-	42.5	62.5
42.5R	≥ 20	-	42.5	62.5
52.5	≥ 20	-	52.5	-
52.5R	≥ 30	-	52.5	-

หมายเหตุ : R หมายถึง ชั้นของการวัดค่ากำลังอัดเปรียบเทียบค่ากำลังอัดระยะเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J.D. Mathews (1994)

ให้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมการแทนที่โดยฝุ่นหินปูนและศึกษาผลกระทบทางด้านกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ปริมาณการใช้ฝุ่นหินปูนคือ การใช้ร้อยละ 5 และ 25 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จากการศึกษาพบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 5 ปี คอนกรีตที่ผสมฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์จะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ผสมฝุ่นหินปูนร้อยละ 25 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และคอนกรีตที่บ่มในอากาศมีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำกว่าคอนกรีตที่บ่มในน้ำ และการผสมฝุ่นหินปูนในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีต แต่ไม่ควรผสมฝุ่นหินปูนเกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ข้อสรุปจากงานวิจัยดังกล่าว มีดังต่อไปนี้

1. เมื่อเวลาผ่านไป 5 ปี คอนกรีตที่ผสมฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์จะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ผสมฝุ่นหินปูนร้อยละ 25 โดยน้ำหนักและคอนกรีตที่บ่มในอากาศจะมีกำลังรัลแรงอัดที่ต่ำกว่าคอนกรีตที่บ่มในน้ำ
2. ค่าปริมาณซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen Permeability) จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณฝุ่นหินปูนมีค่ามากขึ้น
3. การผสมฝุ่นหินปูนในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของคอนกรีตจะไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีต แต่ไม่ควรผสมฝุ่นหินปูนเกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของคอนกรีต

G. Minor (1994)

ได้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมทางกายภาพของคอนกรีตผสมฝุ่นหินปูน โดยทดลองตามข้อกำหนดตามมาตรฐานของประเทศอังกฤษ (British Standard) โดยผสมฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และขนาดของฝุ่นหินปูนอยู่ในช่วงระหว่าง 5 ถึง 20 ไมครอน จากการศึกษาพบว่า เมื่อผสมฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement. OPC) กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมฝุ่นหินปูน และปริมาณเนื้อซีเมนต์ต่อหนึ่งลูกบาศก์ของคอนกรีตมีค่ามากจะทำให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) ของคอนกรีตจะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ถ้าปริมาณเนื้อปูนซีเมนต์ต่อหนึ่งลูกบาศก์ของคอนกรีตมีค่าน้อยทำให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของคอนกรีตมีค่าลดลงมาก และฝุ่นหินปูนไม่มีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสรุปจากงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. เมื่อผสมฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนดธรรมดา (OPC) กำลังรับแรงอัดจะต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมฝุ่นหินปูน

2. ถ้ามีปริมาณเนื้อปูนซีเมนต์ต่อหนึ่งลูกบาศก์ของคอนกรีตมีค่ามากจะทำให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์(w/c) ของคอนกรีตจะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ถ้าปริมาณเนื้อปูนซีเมนต์ต่อหนึ่งลูกบาศก์ของคอนกรีตมีค่าน้อยจะทำให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของคอนกรีตมีค่าลดลงมาก

3. อัตราการเยิ้ม (Bleeding Rate) มีค่าลดลงเมื่อพื้นที่ผิว (Cement Surface Area) มีค่าเพิ่มขึ้น

4. ฝุ่นหินปูนไม่สามารถที่จะมีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์

P. Krstulovic. N. Kamenic and K. Popovic (1994)

ได้ทำการศึกษากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ และคอนกรีตผสมฝุ่นหินปูนซึ่งทำหน้าที่เป็นวัสดุประสาน โดยแบบจำลองปริมาตรความจุ (Bulk Model) การทดสอบคอนกรีตโดยใช้ปูนซีเมนต์ด้วยปริมาณ 450 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทดลองได้จากขบวนการบดเพื่อทำให้ขนาดของอนุภาคฝุ่นหินปูนเล็กกว่าอนุภาคของปูนซีเมนต์ ส่วนการทดสอบโดยมอร์ต้าร์ใช้มาตรฐาน DIN 1164 จากการศึกษาพบว่า กำลังรับแรงอัดมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นและแปรผกผันกับปริมาตรของวัสดุประสานที่เป็นฝุ่นหินปูน กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมวัสดุประสานที่เป็นฝุ่นหินปูนจะให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ต้าร์ผสมวัสดุผงที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุซีเมนต์ (Cementitious Material) เพียงอย่างเดียว ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวมด้วย

ข้อสรุปจากงานวิจัยดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1.กำลังรับแรงอัดมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับปริมาตรของวัสดุฟิลเลอร์ (Volumetric Concentration) กำลังรับแรงอัดจะแปรผกผันกับปริมาตรของวัสดุฟิลเลอร์

2. กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ ผสมวัสดุฟิลเลอร์ที่เป็นฝุ่นหินปูนจะให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ต้าร์ผสมวัสดุฟิลเลอร์ที่เป็นวัสดุปอซโซลาน

3.กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุซีเมนต์ (Cementitious Material) เพียงอย่างเดียว ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K. Kamazawa, K. Yamada and S. Sogo (1995)

ได้ศึกษาผลกระทบของฝุ่นหินปูนเมื่อผสมลงในคอนกรีตด้วยปริมาณร้อยละ 5 และร้อยละ 10 โดยมวลรวมของทรายและคุณสมบัติของฝุ่นหินปูนมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติพื้นฐานของฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทอลองของ K. Kamzawa,

Specific Gravity	Water Absorption (%)	$CaCO_3$ (%)	Passing (%)			
2.73	0.1	9.1	100	100	93	80

เมื่อใช้ตะแกรงเบอร์ 30, 50, 100 และ 200 ตามลำดับซึ่งเป็นตะแกรงร่อนตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM)

ข้อสรุปจากผลงานวิจัยมีดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1. อัตราการเยิ้ม (Bleeding) จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณฝุ่นหินปูน
2. ค่าโมดูลัสของยืดหยุ่น (Young's Modulus) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณฝุ่นหินปูน
3. อัตราการเยิ้ม (Bleeding) จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความละเอียดแบบเบลนมีค่าลดลง

K. Sakata, T. Ayano and Ogawa (1995)

ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของฝุ่นหินปูนต่อคุณสมบัติการไหลของคอนกรีตที่ไม่ต้องใช้เมื่อคุณสมบัติของฝุ่นหินปูนมีดังต่อไปนี้คือ ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.73 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) โดยวิธีเบลนเท่ากับ 3,000 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และขนาดใหญ่สุดของมวลรวมเท่ากับ และขนาดใหญ่สุดของมวลรวมเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และสารผสมเพิ่มที่ใช้เป็นสารโพลีเมอร์ (Polymer) จำพวกแนฟทาลีนฟอร์มาดีไฮด์ (Naphthalene Formaldehyde) ช่วยลดน้ำในปริมาณสูง (High-Range Water Reducing Admixture) และสารแอครีลาไมด์ (Acrylamide) ช่วยลดการแยกแยะ (Segregation) และวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ต้องการให้ค่าการยุบตัวโดยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหล (Slump Flow) มากกว่า 600 มม. ในการทดลองได้แทนที่ฝุ่นหินปูนลงในปูนซีเมนต์ด้วยปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด และใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณ 360 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากผลการศึกษาพบว่าปริมาตรของมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด (S/A) มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 42.5 ถึง 47.5 ค่าของการยุบตัวโดยการไหลมีค่ามากกว่า 600 มม. และถ้าปริมาตรของวัสดุละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด (S/A) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 42.5 จะเกิดการเยิ้ม และถ้าปริมาตรของวัสดุละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด (S/A) มีค่ามากกว่าร้อยละ 52.5 ค่าของการยุบตัวโดยการไหลมีค่าการยุบตัวโดยการไหลจะน้อยกว่า 600 มม. การเพิ่มปริมาณฝุ่นหินปูนจะช่วยป้องกันการแยกตัวของคอนกรีต และฝุ่นหินปูนที่นำมาใช้มีคุณสมบัติไม่ทำปฏิกิริยาทำให้เกิดการหดตัวของคอนกรีตลด

ข้อสรุปของงานวิจัยดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1. ถ้าปริมาตรของวัสดุละเอียดต่อวัสดุหยาบ (s/a) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 47.5 ค่าของการยุบตัวโดยการไหลจะมีค่ามากกว่า 600 มม.
2. ถ้าปริมาตรของวัสดุละเอียดต่อวัสดุหยาบ (s/a) มีค่าน้อยกว่าร้อยลุ 42.5 จะเกิดการเยิ้ม
3. ถ้าปริมาตรของวัสดุละเอียดต่อวัสดุหยาบ (s/a) มากกว่าร้อยละ 52.5 ค่าของการยุบตัวโดยการไหลจะมีค่าของการยุบตัวโดยการไหลจะน้อยกว่า 600 มม.
4. ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) มีค่าสูงจะทำให้ค่าการยุบตัวลดลง
5. การเพิ่มปริมาณของฝุ่นหินปูนจะช่วยป้องกันการแยกตัว เพราะฝุ่นหินปูนจะช่วยเพิ่มความหนืดให้คอนกรีต
6. ฝุ่นหินปูนเป็นวัสดุชนิดที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีได้น้อย (Low Reactive Material) และเมื่อผสมลงในปูนซีเมนต์จะทำให้ความร้อนที่เกิดจากปฏิกริยาไฮเดรชั่น และการหดตัวของคอนกรีตลดลง

S. Kelham, J. S. Damtoft and B.L.O Talling (1995)

ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของวัสดุผสมละเอียดที่เป็นวัสดุที่มีแร่ธาตุต่าง ๆ ต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีต (The Influence of High Early-Strength (HES) Mineralized Clinker on the Strength Development of Blended Cement Containing Fly Ash, Slag or Ground Limestone) เมื่อคอนกรีตกำลังสูงในระยะต้น (HES) มีกำลังแรงอัดอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 MPa, ฝุ่นหินปูนร้อยละ 90 จะมีขนาดต่ำกว่า 45 ไมครอน และฝุ่นหินชอล์กร้อยละ 50 จะมีขนาดต่ำกว่า 2 ไมคอน ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งนี้ใช้คอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีสารประกอบ SO_3 จำนวนร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) เท่ากับ 400 หรือ 500 ม.^{3}/กก.

ข้อสรุปจากงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. อัตราการเยิ้มของคอนกรีตกำลังสูงในระยะต้น (HES) มีค่าลดลงเมื่อพื้นที่ผิวจำเพาะ (Cement Surface Area) มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเหมือนกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา
2. อัตราการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูงระยะต้น (HES) จะเกิดขึ้นเนื่องจากผลของฝุ่นหินปูน และฝุ่นหินชอล์กมีอิทธิพลมากกว่าเม็ดปูน (Clinkers)
3. คอนกรีตกำลังสูงในระยะต้น (HES) จะมีค่าปริมาณเนื้อปูนซีเมนต์ (Cement Content) ต่ำกว่าคอนกรีตปกติ

Wojciech G. Plasta (1995)

ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของฝุ่นหินปูนที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าปูนซีเมนต์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวฟิลเลอร์ (Filler) และมีผลกระทบต่อความทนทานต่อเกลือซัลเฟต เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบด้านกายภาพเมื่อผสมฝุ่นหินปูนลงในคอนกรีตฝุ่นหินปูนนั้นจะทำหน้าที่ลดปริมาณช่องว่างทำให้เนื้อคอนกรีตแน่นขึ้นจึงส่งผลให้เกลือซัลเฟตซึมเข้าไปภายในเนื้อคอนกรีตได้ยากขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในเนื้อคอนกรีตที่แข็งตัวลงได้ร้อยละ 20 ถึง 25 โดยน้ำหนักของน้ำ

D.M. Mahapatra. G. Goswami and J.D. Panda (1996)

ได้ศึกษาถึงปริมาณการกระจายตัวของ MgO ในโดโลไมด์ (Dolomite) คัลไซด์ (Calcite) และซิลิกเกต (Silicate) ศึกษาโดยการละลายฝุ่นหินปูนเป็นปริมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตรในกรดอะซิติก (Acetic Acid) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการทดสอบหาปริมาณของ MgO ในฝุ่นหินปูน จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า ฝุ่นหินปูนมีปริมาณคัลไซด์เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 1.3 ถึง 1.9 โดยน้ำหนักในฝุ่นหินปูนมี MgO โดยรวมประมาณร้อยละ 11 ถึง 45 โดยน้ำหนัก ในซิลิเกตมี MgO อยู่ร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก และโดโลไมด์มี MgO อยู่ร้อยละ 19 ถึงร้อยละ 23 โดยน้ำหนัก

Moncef Nehdi, Sidney Mindess, Pierre and Claude Aitcin (1996)

ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกลของมอร์ต้าร์ตามมาตรฐาน ASTM C 305 ผสมฝุ่นหินปูนที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าปูนซีเมนต์ซึ่งทำหน้าที่โดยการแทนที่ฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณร้อยละ 0.5, 15, 20 และ 25 โดยปริมาตร และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.30, 0.325, 0.350, 0.375, และ 0.40 ตามลำดับ นอกจากนั้นได้ทำการผสมซิลิกาฟูมเป็นปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตรและทำการแปรค่าของปริมาณฝุ่นหินปูน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง เช่นเดียวกันกับกรณีของมอร์ต้าร์ผสมฝุ่นหินปูนอย่างเดียว การผสมมอร์ต้าร์ใช้ตามมาตรฐาน ASTM C 305 ทุกอัตราส่วนผสมจากการศึกษาพบว่า การแทนที่ฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์จะไม่มีผลกระทบต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดในช่วงต้นของมอร์ต้าร์ซึ่งมีปริมาณฝุ่นหินปูนในช่วงร้อยละ 10 ถึง 15 โดยปริมาณ และการเพิ่มปริมาณของฝุ่นหินปูนมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ลดลงมากกว่าในกรณีการเพิ่มปริมาณของซิลิกาฟูม และฝุ่นหินปูนที่ทำการคลุกเคล้าผสม ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ที่ 28 วัน ซึ่งมีส่วนผสมสามชนิด ได้แก่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดารวมกับซิลิกาฟูมร้อยละ 10 โดยปริมาตร และฝุ่นหินปูนร้อยละ 10 ถึง 15 โดยปรมาตร สามารถลดราคาปูนซีเมนต์ในส่วนของฝุ่นหินปูนได้ 300 เหรียญต่อตัน

ข้อสรุปจากงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. การแทนที่ฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์จะไม่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดในช่วงต้นของมอร์ต้าร์สูงขึ้นมีปริมาณฝุ่นหินปูนในช่วงร้อยละ 10 ถึง 15 โดยปริมาตร และการเพิ่มปริมาณของฝุ่นหินปูนจะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าลดลงมากกว่าในกรณีการเพิ่มปริมาณของซิลิกาฟูม นอกจากนั้นสาเหตุการลดลงของกำลังรับแรงอัดเป็นสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง ถ้าเพิ่มปริมาณฝุ่นหินปูนเกินกว่าปริมาณร้อยละ 15 โดยปริมาตร
2. การคลุกผสมระหว่างซิลิกาฟูมและฝุ่นหินปูนส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่อายุ 28 วัน สูงขึ้นกว่ามอร์ต้าร์ผสมซิลิกาฟูมที่ไม่ทำการคลุกผสม
3. ที่ 28 วันกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมสามชนิดได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดารวมกับซิลิกาฟูมร้อยละ 10 โดยปริมาตร และฝุ่นหินปูนร้อยละ 10 ถึง 15 โดบประมาณในส่วนของฝุ่นหินปูนได้ 300 เหรียญ/ตันของปูนซีเมนต์ในส่วนของซิลิกาฟูมได้ 500 เหรียญ/ตันของปูนซีเมนต์
4. การแทนที่ปูนซีเมนต์โดยวัสดุปอซโซลานซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ต้องการที่เกิดจากขบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม และวัสดุที่ไม่ใช่ผลผลิตที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม และวัสดุที่ไม่ใช่ผลผลิตที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม คือ วัสดุขนาดเล็กโดยมีข้อแม้ว่าปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นนั้นต้องสิ้นเปลืองพลังงานน้อย และลดมลภาวะทางอากาศ อีกทั้งคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุผงดังกล่าวนั้นสามารถยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aye Monn Sheinn (1998)

ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมทางด้านกายภาพของฝุ่นหินปูน โดยมุ่งเน้นในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้ค่าโมดูลัสของความละเอียด (F.M) คือ 2.50, 2.75 และ 3.0 ตามลำดับ อีกทั้งใช้ซิลิกาฟูมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และใส่สารผสมเพิ่มลดน้ำร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของวัสดุที่เป็นเนื้อซีเมนต์ (Cementitious Materials) และมวลรวมหยาบ ใช้ขนาด 10 มม. และ 20 มม. โดยใช้อัตราส่วน 1 : 2 ส่วนโดยน้ำหนักตามลำดับ

ข้อสรุปจากงานวิจัยดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1. การผลิตคอนกรีตกำลังสูงสามารถที่จะใช้ฝุ่นหินปูนในการผลิตได้ และโดยเฉลี่ยแล้วกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน มีค่าประมาณ 76 MPa ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของทรายตามธรรมชาติที่นำมาใช้งาน
2. ความสามาถในการทำงานของคอนกรีตที่มีผลกระทบโดยตรงกับค่าโมดูลัสของความละเอียด (F.M) และชนิดของมวลรวม ถ้าค่าโมดูลัสของความสะเอียดมีค่าสูงจะทำให้ค่าความสามารถในการทำงานต่ำ

A. M. M. Sheinn (1998)

ได้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมทางด้านกายภาพของฝุ่นหินปูน โดยมุ่งเน้นในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้ค่าโมดูลัสของความละเอียดของทราย คือ 2.50, 2.75 และ 3.0 ตามลำดับ และใช้ซิลิกาฟูมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และใส่สารผสมเพิ่มลดน้ำร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของวัสดุที่เป็นเนื้อซีเมนต์ และมวลรวมหยาบ ใช้ขนาด 10 มม. และ 20 มม. โดยใช้อัตราส่วน 1 : 2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า การผลิตคอนกรีตกำลังสูงสามารถที่จะใช้ฝุ่นหินปูนในการผลิตได้ และโดยเฉลี่ยแล้วกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน มีค่าประมาณ 76 เมกะปาสคาล (MPa) ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของทรายตามธรรมชาติที่นำมาใช้งาน ความสามารถในการทำงานของคอนกรีตที่มีผลกระทบโดยตรงกับค่าโมดูลัสของความละเอียดและชนิดของมวลรวม ถ้าค่าโมดูลัสของความละเอียดมีค่าสูงจะทำให้ค่าความสามารถในการทำงานต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึง รายละเอียดในการดำเนินงานวิจัยซึ่งจะคลอบคลุมไปถึง วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ สัดส่วนผสม โปรแกรมการทดสอบ และวิธีการเตรียมตัวอย่างทดสอบ วิธีดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

3.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

3.2 การทดสอบองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.3 กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ

3.1วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

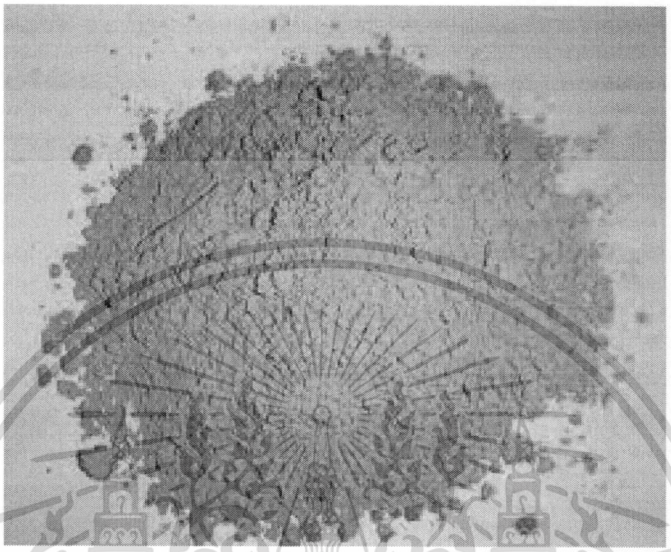
3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ (Cement) ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 และมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.15

ภาพที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

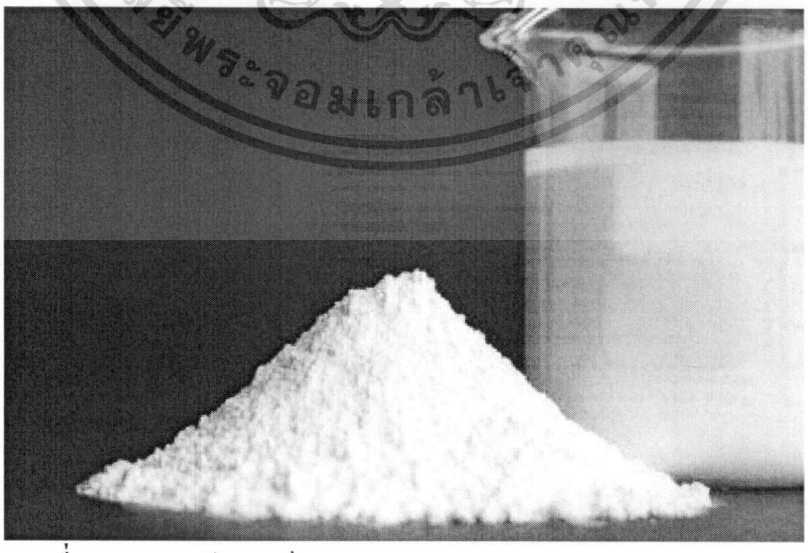
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (Limestone Powder Modified) ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีสีบรอนซ์เทาเหมือนปูนซีเมนต์ ผลิตโดย บริษัท คอนกรีต ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด



ภาพที่ 3.2 ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (Limestone Powder Modified)

3. ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate Powder <CaCO3>)ในงานวิจัยนี้ใช้ผงแคลเซียมคาร์บอเนต จาก บริษัทสุรินทร์ ออมย่า เคมิคอล(ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตผงแคลเซียมคาร์บอเนต รายใหญ่ที่สุดในประเทศไทย โดยสีของผงแคลเซียมคาร์บอเนตมีสีขาวมีค่าความละเอียด Blaine Surface Area 5,750 cm^2/g



ภาพที่ 3.3 ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate Powder <$CaCO_3$>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. น้ำผสมคอนกรีต (Water) ใช้น้ำสะอาด ปราศจาก กรด ด่าง น้ำมัน และอินทรีย์สารอื่นๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ตะแกรงร่อนมาตรฐาน
2. เครื่องชั่งอิเลคทรอนิกส์
3. ชุดทดลองหาความถ่วงจำเพาะ
4. ชุดอุปกรณ์เตรียมก้อนซีเมนต์แพสต์
5. เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์
6. Laser, Particle Size Analyzer
7. เครื่องทดสอบระยะเวลาการก่อตัว
8. แบบหล่อก้อนตัวอย่าง ขนาด 50 x 50 x 50 mm
9. แบบหล่อก้อนตัวอย่าง ขนาด 40 x 40 x 160 mm.
10. เครื่องทดสอบวัดระยะการยืดและหดตัว
11. เครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Testing Machine)
12. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี วิธี X-Ray Fluorescence Analysis (XRF)
13. เครื่องทดสอบองค์ประกอบทางเคมี วิธี X-Ray Diffractometer Analysis (XRD)
14. เครื่องถ่ายภาพขยายกำลังสูง Scanning Electron Microscope (SEM)
15. เตาเผา (Furnace)

3.2 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) ของปูนซีเมนต์ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและผงแคลเซียมคาร์บอเนต X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) เป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์ทางเคมีแบบไม่ทำลายตัวอย่างสามารถที่จะวิเคราะห์ถึงชนิด หรือปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้ โดยการวัดความยาวคลื่น(พลังงาน) หรือความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุที่ได้จากการกระตุ้นอะตอมของธาตุที่อยู่ในเนื้อของสารตัวอย่าง โดยใช้อนุภาค

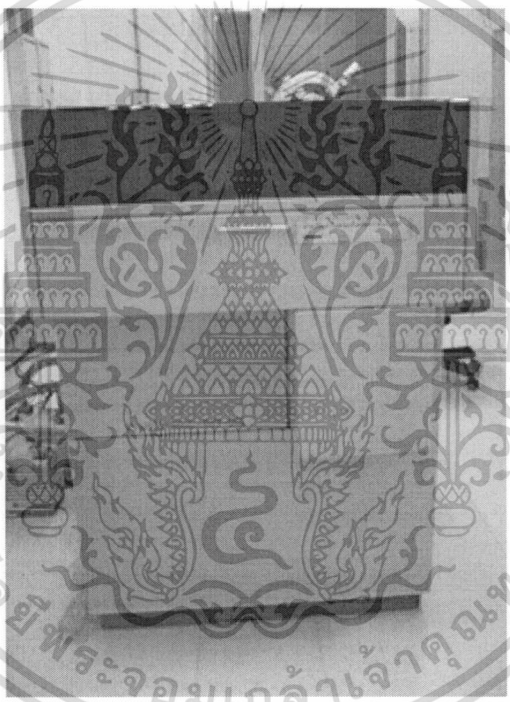
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานสูงเป็นตัวกระตุ้น เช่น โปรตรอน อิเล็กตรอนโฟตรอนหรือรังสีเอ็กซ์ เป็นต้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ธาตุเดี่ยวๆ ทีละธาตุหรือหลายธาตุพร้อมกันได้ การวิเคราะห์ด้วยวิธี XRF มีอยู่ 2 ระบบ

1 ระบบที่วัดเป็นความยาวคลื่น (Wave length Dispersion System : WDS)

2 ระบบที่วัดเป็นพลังงาน (Energy Dispersion System : EDS)

โดยการนำผงตัวอย่าง ทาลงบนเทปด้านที่เป็นกาวบนแผ่นเฟรมที่เตรียมไว้ ใช้พู่กันที่สะอาดเกลี่ยผงตัวอย่างให้ติดบนเทปเป็นชั้นบางอย่างสม่ำเสมอ ทำความสะอาดแผ่นตัวอย่างให้เรียบร้อย ตรวจสอบความสม่ำเสมอของแผ่นตัวอย่างใช้เทปกาวปิดทับตัวอย่าง เพื่อกันไม่ให้ผงหลุดออกจากแผ่นเฟรม จากนั้นนำไปทดสอบ ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Analysis (XRF)



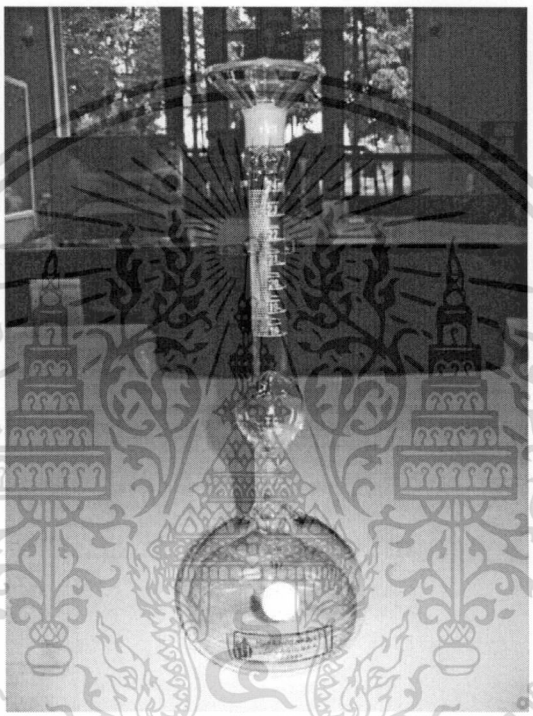
ภาพที่ 3.4 เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)

2. การสูญเสียน้ำหนักหลังจากการเผา การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาเป็นการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ , ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและผงแคลเซียมคาร์บอเนต ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาในอากาศ โดยมาตรฐานกำหนดค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา สูงสุดไม่เกินร้อยละ 3 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทำได้โดยการเผาวัสดุผงที่อุณหภูมิ 950±50 องศาเซลเซียส

3. การทดสอบความถ่วงจำเพาะ(Specific Gravity) โดยใช้ขวดทดลองมาตรฐานเลอชาเตอลิแอร์ (Le Chatelier Flask) ตาม ASTM C 188 ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

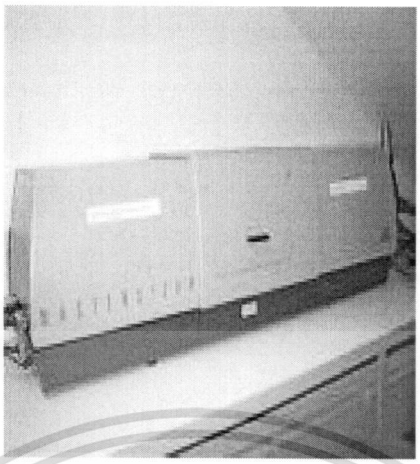
ของวัสดุต่อน้ำหนักของน้ำ ที่มีปริมาตรเท่าวัสดุนั้นโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ , ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและผงแคลเซียมคาร์บอเนต หาได้จากการแทนที่ในน้ำมันก๊าด (Kerosene) แทนน้ำ เพื่อไม่ให้ปูนซีเมนต์, ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและผงแคลเซียมคาร์บอเนต ทำปฏิกิริยาเคมีและเกิดการแข็งตัวภายในขวดทดลอง



ภาพที่ 3.5 ขวดทดลองมาตรฐานเลอชาเตอลิเอร์ (Le Chatelier Flask)

4. Laser, Particle Size Analyzer เป็นเครื่องวัดขนาดและการกระจายตัวของตัวอย่างที่เป็นผงแห้งและสารแขวนลอย โดยวิเคราะห์ในตัวกลางทั้งที่เป็นของเหลวและอากาศ สามารถวัดขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.04 ถึง 2000 ไมโครเมตร ตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ ได้แก่ สารเคมีในอุตสาหกรรมถุงมือยาง และสารเคมีในอุตสาหกรรมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 แสดงเครื่อง Laser Particle Size

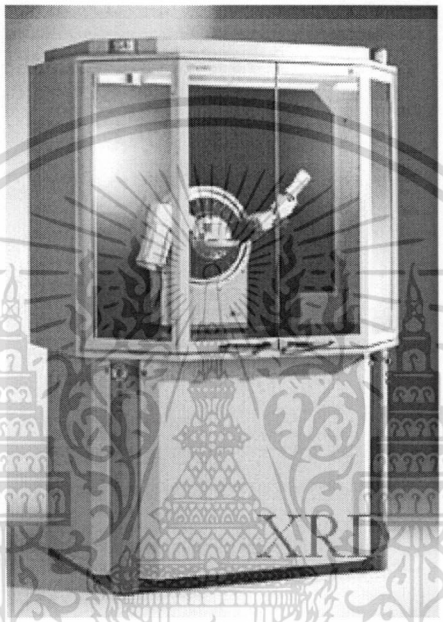
5. กล้องจุลทรรศน์อีเล็กตรอนแบบส่องกราด หรือ Scanning Electron Microscope (SEM)

โดยการนำผงตัวอย่างมาโรยบนแท่นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 ซม. ที่ติดแผ่นกาว 2 หน้า เตรียมไว้แล้ว โดยให้ผงตัวอย่างติดแผ่นกาวเป็นแผ่นบาง ๆ จากนั้นนำไปเป่าด้วยลมออกซิเจนเพื่อให้ผงตัวอย่างหลุดออกให้เหลือเพียงชั้นเดียว นำแท่นตัวอย่างไปอบด้วยแสงไฟเพื่อไล่ความชื้น แล้วนำแท่นตัวอย่างไปเคลือบด้วยอิออนทองคำ หลังจากนั้นจึงนำไปถ่ายภาพขยายอนุภาคด้วยเครื่อง SEM ณ. ห้องปฏิบัติการจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิงและจุลวิเคราะห์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)

ภาพที่ 3.7 แสดงเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและผงแคลเซียมคาร์บอเนต โดยเครื่อง X-Ray Diffraction ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุพื้นฐานชนิดการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายเพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึก (Crystal structure) การจัดเรียงตัวของอะตอม ในโมเลกุลของสารประกอบต่าง ๆ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ

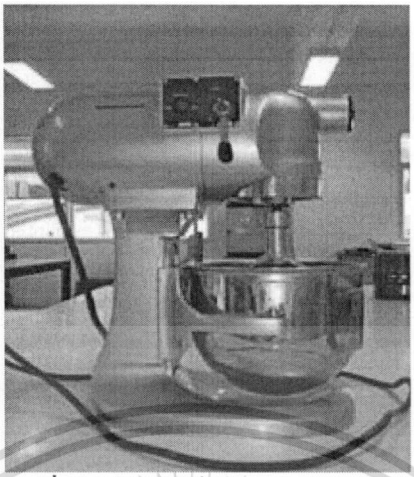


ภาพที่ 3.8 แสดงเครื่องวิเคราะห์ความเป็นผลึก X-Ray Diffraction (XRD)

3.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์เพสต์

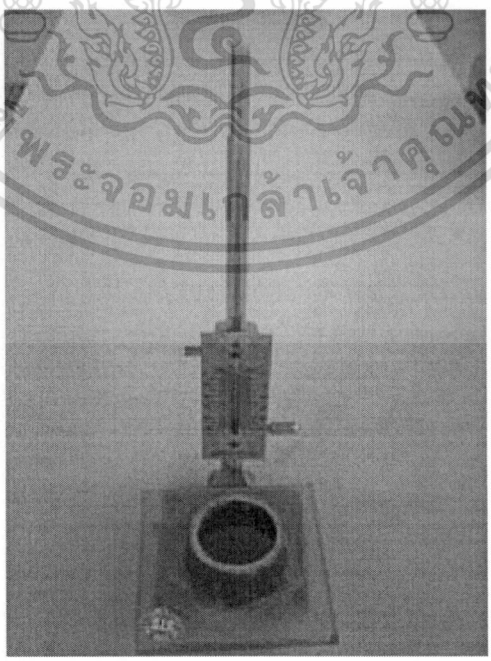
ชิ้นงานตัวอย่าง ผสมระหว่างผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติกับซีเมนต์และผงแคลเซียมคาร์บอเนตกับซีเมนต์ โดยเลือกอัตราส่วนที่คาดว่าจะให้ผลการทดสอบดีที่สุดโดยนำมาทดแทนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1 จำนวน 4 อัตราส่วนผสม คือร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 และควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 และ 0.40 โดยทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยใช้เป็นก้อนตัวอย่างสำหรับงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 แสดงเครื่องผสมซีเมนต์เพสต์

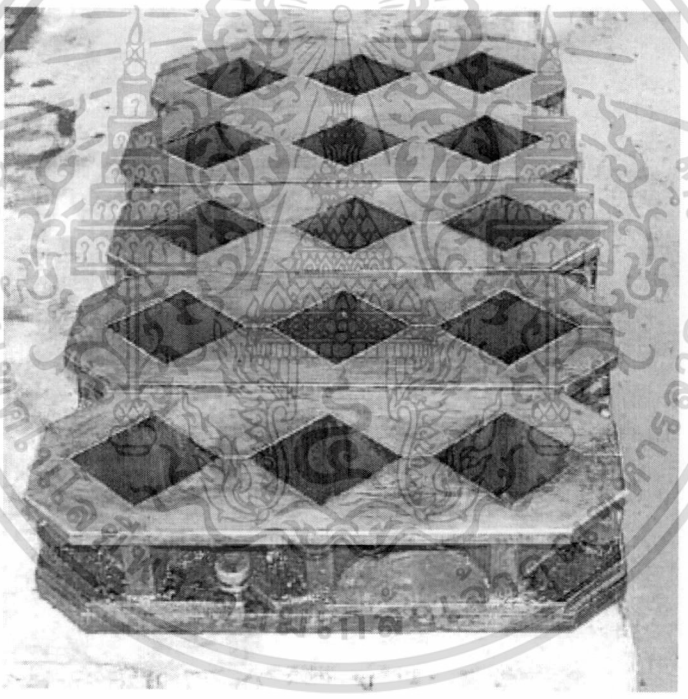
1) การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัว ทำการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะปลาย ตาม ASTM C 191 โดยใช้ปริมาณน้ำที่พอเหมาะจากการทดสอบความข้นเหลวปรกติ ซึ่งมีอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0,10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ผสมซีเมนต์เพสต์ โดยการทดสอบจะใช้เครื่องมือ Vicat Needle ซึ่งการก่อตัวระยะต้นคือระยะเวลาที่การจมของเข็มมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. เป็นระยะ 25 มม. ในเวลา 30 วินาที และการก่อตัวระยะปลายคือระยะเวลาที่เพสต์แข็งตัวแล้วจนทำให้เข็มมาตรฐานไม่สามารถจมลงด้วยน้ำหนักของตัวเองได้



ภาพที่ 3.10 แสดงเครื่องทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะปลาย

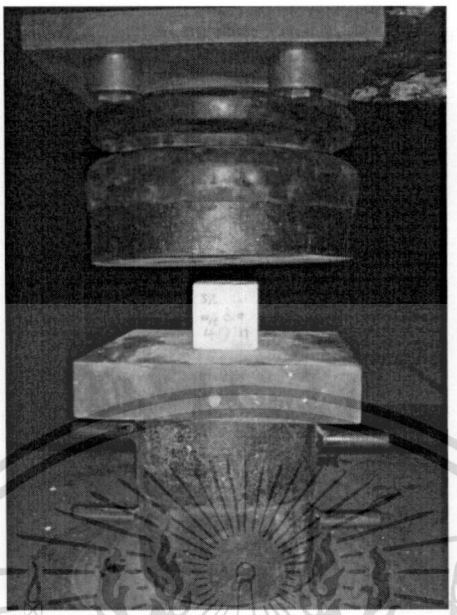
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ หล่อก้อนซีเมนต์เพสต์ขนาด 50x50x50 มม. โดยกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ทุกส่วนผสมจะทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 และ 0.40 ทั้งนี้เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C 109 โดยมีอัตราการแทนที่ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1 ด้วยส่วนผสม ทั้ง 4 ส่วนผสม คือร้อยละ 0, 10 , 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและปูนซีเมนต์ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนต) ซึ่งผลของค่ากำลังอัดที่ได้จะเปรียบเทียบผลการทดสอบกับซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว โดยค่าเฉลี่ยของกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ แต่ละอัตราส่วนผสมได้จากการทดสอบซีเมนต์เพสต์ 3 ก้อนตัวอย่าง



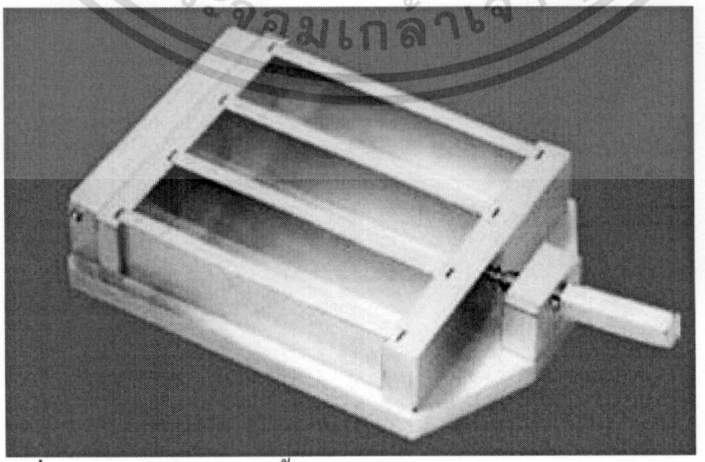
ภาพที่ 3.11 แสดงแบบหล่อชิ้นซีเมนต์เพสต์ ขนาด 50x50x50 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



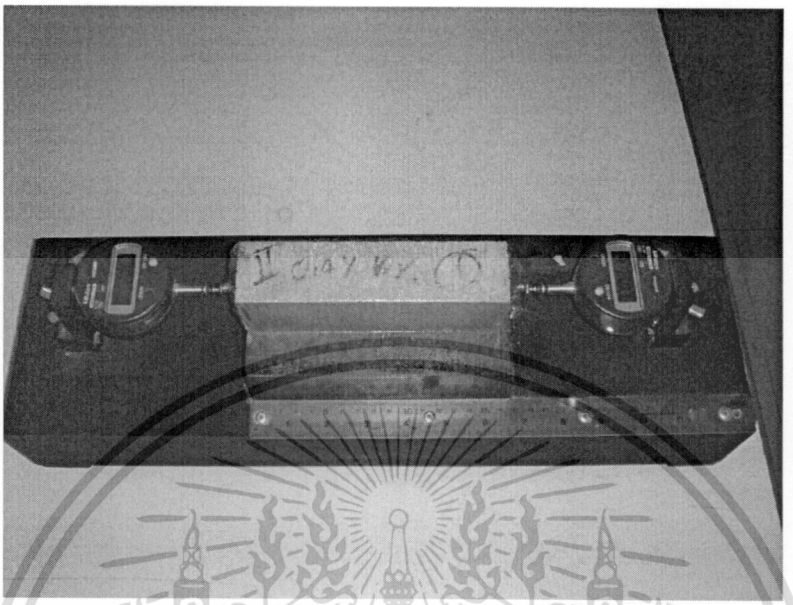
ภาพที่ 3.12 รูปภาพแสดงการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

3) การหดตัวแบบออโตจีเนียส (Autogenous Shrinkage) ตามมาตรฐาน ASTM : C151-89 โดยการหล่อก้อนซีเมนต์เพสต์ขนาด 40 x 40 x 160 mm. ทุกส่วนผสมจะทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 และ 0.40 โดยมีอัตราการแทนที่ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1 ด้วยส่วนผสม ทั้ง 4 ส่วนผสม คือร้อยละ 0, 10, 20และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและปูนซีเมนต์ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนต) ซึ่งผลของค่าการยืดหดตัวที่ได้จะเปรียบเทียบผลการทดสอบกับซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 3.13 แสดงแบบหล่อชิ้นซีเมนต์เพสต์ ขนาด 40 x 40 x 160 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.14 เครื่องทดสอบค่าการยืด-หดตัว

3.3 กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

CODE	สัญลักษณ์
C100	ซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว
C90LM10	ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 %
C80LM20	ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 %
C70LM30	ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 %
C90LS10	ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 10 %
C80LS20	ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 %
C70LS30	ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและผงแคลเซียมคาร์บอเนตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ส่วนผสม	ร้อยละการแทนที่		
	Portland Cement Type I (C)	**Limestone Powder Modified (LM)**	**Calcium carbonate (LS)**
C100	100	0	0
C90LM10	90	10	0
C80LM20	80	20	0
C70LM30	70	30	0
C90LS10	90	0	10
C80LS20	80	0	20
C70LS30	70	0	30

หมายเหตุ : C หมายถึง ปูนซีเมนต์

LM หมายถึง ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ

LS หมายถึง ผงแคลเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ

3.4.1 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ ที่ใช้ในการทดสอบ

สัญลักษณ์	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง	สัดส่วนผสม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)				วิธีการทดสอบ/จำนวนตัวอย่าง	
		ปูนซีเมนต์	ผงหินปูน	$CaCO_3$	น้ำ	กำลังอัด	การหดตัว
C100	0.30	1,394	0	0	418	12	3
C90LM10	0.30	1,255	139	0	418	12	3
C80LM20	0.30	1,115	279	0	418	12	3
C70LM30	0.30	976	418	0	418	12	3
C90LS10	0.30	1,255	0	139	418	12	3
C80LS20	0.30	1,115	0	279	418	12	3
C70LS30	0.30	976	0	418	418	12	3
C100	0.35	1,394	0	0	488	12	3
C90LM10	0.35	1,255	139	0	488	12	3
C80LM20	0.35	1,115	279	0	488	12	3
C70LM30	0.35	976	418	0	488	12	3
C90LS10	0.35	1,255	0	139	488	12	3
C80LS20	0.35	1,115	0	279	488	12	3
C70LS30	0.35	976	0	418	488	12	3
C100	0.40	1,394	0	0	558	12	3
C90LM10	0.40	1,255	139	0	558	12	3
C80LM20	0.40	1,115	279	0	558	12	3
C70LM30	0.40	976	418	0	558	12	3
C90LS10	0.40	1,255	0	139	558	12	3
C80LS20	0.40	1,115	0	279	558	12	3
C70LS30	0.40	976	0	418	558	12	3

หมายเหตุ :

C หมายถึง ปูนซีเมนต์

LM หมายถึง ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ

LS หมายถึง ผงแคลเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบส่วนผสมนั้น จะทำการผสมระหว่างผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยเลือกอัตราส่วนผสมที่คาดว่าจะให้ผลการทดสอบดีที่สุด โดยพิจารณาจากข้อมูลของการทดลองเบื้องต้น โดยนำมาทดแทนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 จำนวน 4 อัตราส่วนผสม คือร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 และควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 และ 0.40 โดยมีรายละเอียดส่วนผสมดังตาราง ที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

เนื้อหาในบทนี้ จะกล่าวถึงผลการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) โดยในการทดสอบได้เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) และซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ที่อายุการบ่มต่าง ๆ รวมถึงการวิเคราะห์เปรียบเทียบราคา เพื่อหาความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS)

Chemical Composition (%)	Portland Cement Type I (C)	Limestone Powder Modified (LM)	Calcium carbonate (LS)
Specific Gravity	3.15	2.66	2.70
Particle Size , (μm)	16.50	6.50	12.00
Blaine Surface, (cm^2/g)	3,400	12,230	5,750

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) และปูนซีเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายแป้งฝุ่น เมื่อสัมผัสจะรู้สึกมีเนื้อเนียนลื่น มีสีคล้ายคลึงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 คือเทาอ่อนแต่มีสีอ่อนกว่านิดหน่อย และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) มีลักษณะเป็นผงคล้ายแป้งฝุ่นเช่นกัน แต่มีสีขาว โดยมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.84 และ 0.86เท่าของปูนซีเมนต์ ตามลำดับ โดยที่ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ประมาณ 0.98 เท่า

จากผลการทดสอบ Laser Particle Size พบว่าผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 6.50 μm ซึ่งเล็กกว่าปูนซีเมนต์ที่มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 16.50 μm อยู่ 2.54 เท่า แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแทรกเข้าไปในช่องว่างของซีเมนต์เพสต์ ทำให้มีความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นได้ ส่วนผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 12.00 μm ซึ่งเล็กกว่าปูนซีเมนต์ 1.38 เท่า จากผลการทดสอบหาพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) ของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) พบว่าผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 12,230 cm^2/g ซึ่งมากกว่าปูนซีเมนต์ที่มีขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 3,400 cm^2/g อยู่ 3.60 เท่า ส่วนผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 5,750 cm^2/g ซึ่งมากกว่าปูนซีเมนต์ 1.70 เท่า แต่อย่างไรก็ตาม ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีพื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งมากกว่าผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) อยู่ 2.12 เท่า ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐาน ASTM C 150 กำหนดคือ ต้องไม่ต่ำกว่า 2,800 cm^2/g แสดงในตารางที่ 4.1

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Analysis (XRF)

Chemical Composition (%)	**Portland Cement Type I (C)**	**Limestone Powder Modified (LM)**	**Calcium carbonate (LS)**
Silicon Dioxide (SiO_2)	20.80	3.25	0.98
Aluminum Oxide (Al_2O_3)	5.50	1.50	0.31
Ferric Oxide (Fe_2O_3)	3.16	1.28	0.15
Calcium Oxide (CaO)	64.97	65.40	57.30
Magnesium Oxide (MgO)	1.06	1.32	0.39
Potassium Oxide (K_2O)	0.55	0.26	0.02
Sodium Oxide (Na_2O)	0.08	NA	0.01
Sulfur Trioxide (SO_3)	2.96	NA	0.05
Titanium Oxide (Tio_2)	NA	0.19	NA
Copper Oxide (Cuo)	NA	0.24	NA
Strontium Oxide (Sro)	NA	0.14	NA
Palladium (Pd)	NA	0.13	NA
Hafnium Oxide (Hfo_2)	NA	0.15	NA
Loss on Ignition	1.40	26.15	40.60

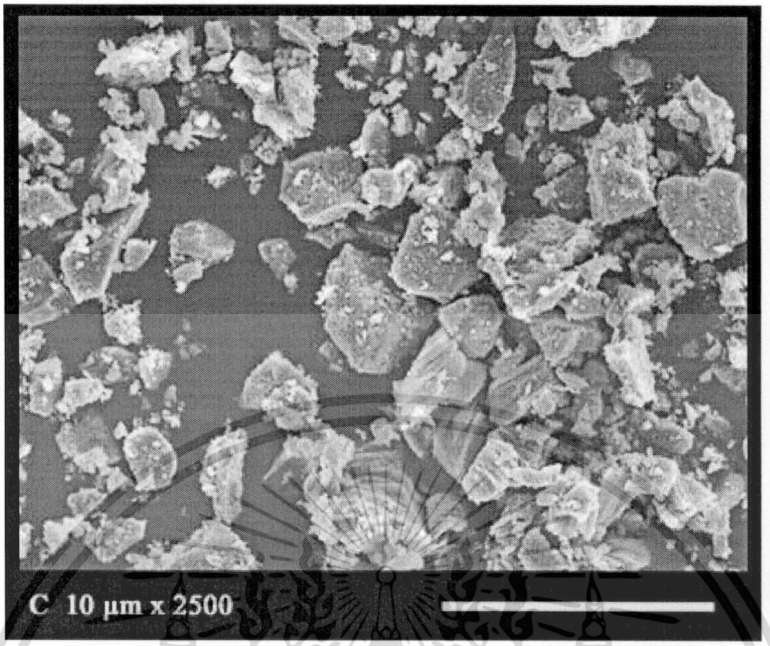
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และผงแคลเซียมคาร์บอเนต ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Analysis (XRF) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าค่าออกไซด์ต่างๆ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และผงแคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าใกล้เคียงกัน โดยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีองค์ประกอบทางเคมีหลักคือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยมีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ เท่ากับร้อยละ 64.97 เปรียบเทียบกับปริมาณแคลเซียมออกไซด์ของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและผงแคลเซียมคาร์บอเนต โดยมีค่าร้อยละ 65.40 และ 57.30 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคลเซียมออกไซด์ ของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติมีค่าสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และผงแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติด้านกำลัง ส่วนองค์ประกอบของ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO2) พบว่าในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบร้อยละ 20.80 ในขณะที่ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและผงแคลเซียมคาร์บอเนต มีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบร้อยละ 3.25 และ 0.98 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และผงแคลเซียมคาร์บอเนต มีปริมาณ LOI (Loss on Ignition) สูงถึงร้อยละ 26.15 และ40.60 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน ASTM C 150 ที่ค่า LOI ต้องไม่เกินร้อยละ 3 โดยอาจเป็นผลเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบค่อนข้างสูง โดยใช้เตาเผา (Furnace) ที่อุณหภูมิประมาณ 900-1000 ˚C ทำให้ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และผงแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งอยู่ในรูปของ Ca(OH2) สลายตัวเป็น H_2O และเกิดการระเหยกลายเป็นไอออกไป ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน ASTM C618 หมวด N โดยมีคุณสมบัติของวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐานหลายประการ เช่น ผลรวมร้อยละต่ำสุดของซิลิกอนไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์และไอรอนออกไซด์

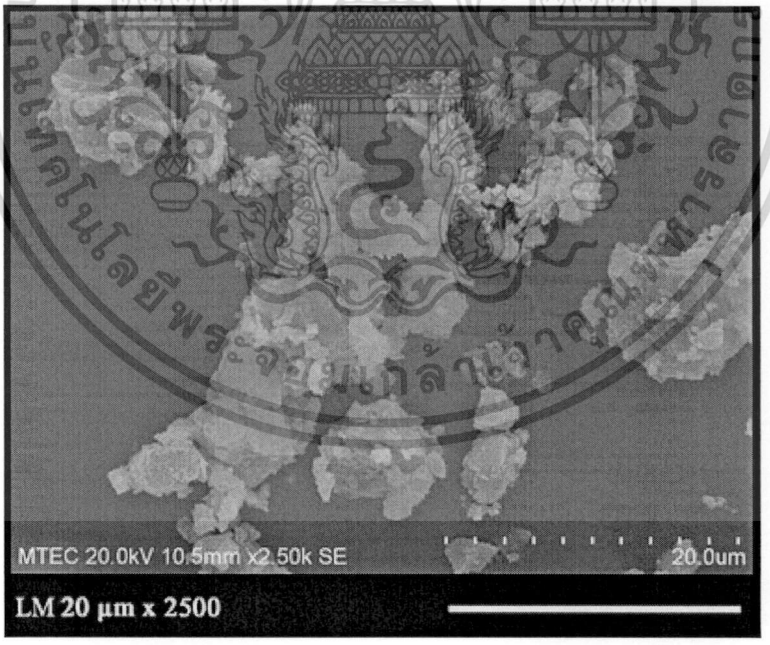
4.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ของวัสดุ

การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

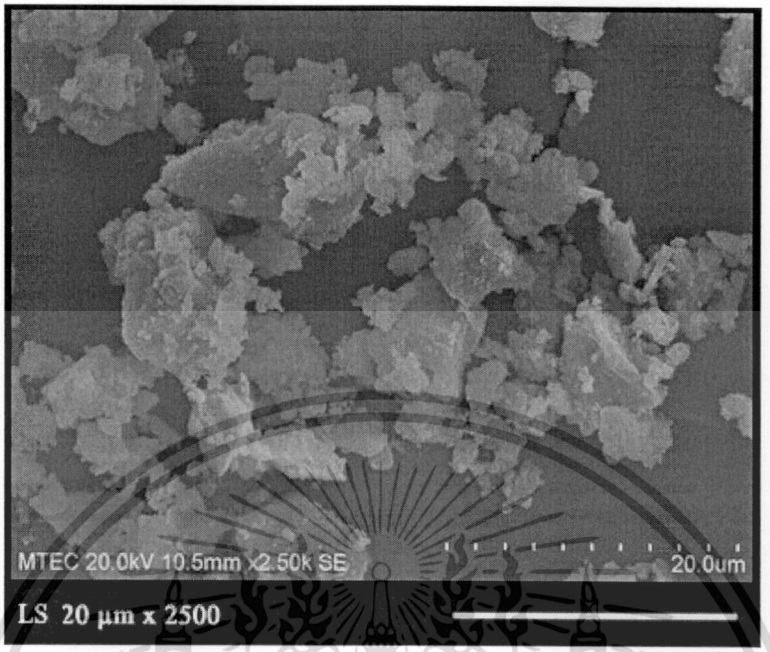


รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ที่กำลังขยาย 2500 เท่า



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ที่กำลังขยาย 2500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

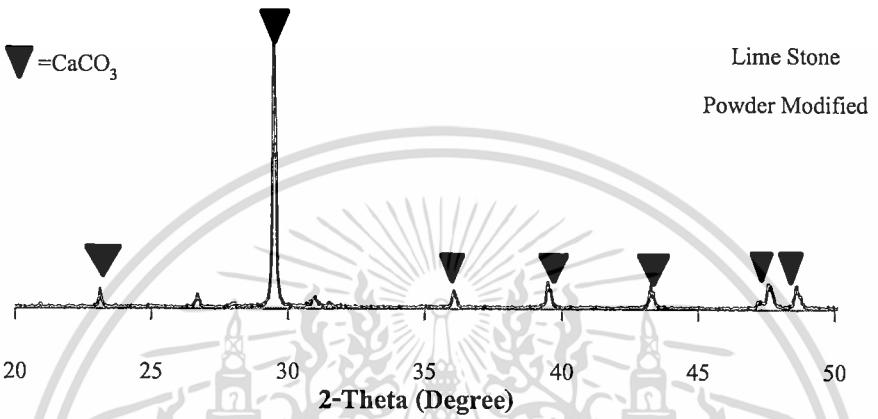


รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่กำลังขยาย 2500 เท่า

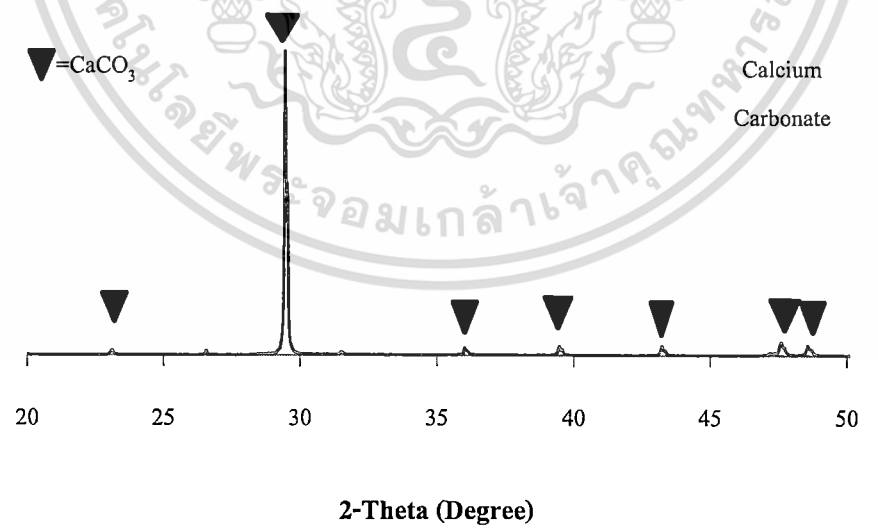
จากรูปที่ 4.1 - 4.3 แสดงภาพถ่ายการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C) ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 2500 เท่า พบว่าลักษณะอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C) จะมีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมขรุขระและมีรูปทรงไม่แน่นอน อาจเป็นเพราะขนาดของอนุภาคที่มีขนาดไม่ละเอียดมากนักปะปนกันอยู่ ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยการบดปูนเม็ด (Clinker) ให้เป็นปูนซีเมนต์ผงตามที่ใช้กันอยู่ทั่วไป และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) โดยทั้งสองชนิดมีลักษณะรูปร่างของอนุภาคที่คล้ายคลึงกัน คือมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม เช่นเดียวกับ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C) แต่มีความละเอียดและมีความพรุนต่ำเนื่องจากมีช่องว่างอยู่น้อย โดยลักษณะของรูปร่างประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆเกาะกันเป็นกลุ่มอย่างหลวมๆ ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ขนาดของอนุภาคจะมีขนาดที่ใกล้เคียงกันระหว่าง ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และ ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) แต่ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) จะมีความละเอียดสูงกว่า จึงส่งผลให้ความสามารถในการลดช่องว่างในซีเมนต์เพสต์ ทำให้เนื้อแน่นทึบน้ำมากขึ้น จึงส่งผลดีไปยังคุณสมบัติด้านอื่นๆของซีเมนต์เพสต์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบความเป็นผลึกด้วยเครื่อง XRD (X - ray Diffractometer) ของวัสดุ



รูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์ ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) ของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM)



รูปที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์ ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) ของผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปสถานะของสสารประกอบด้วยสถานะสองสถานะด้วยกันคือสถานะผลึก (Crystalline) ซึ่งมีความเฉื่อยและความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้ต่ำเนื่องจากโครงสร้างจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและอีกสถานะหนึ่งคือ สถานะอสัณฐาน (Amorphous) เป็นสถานะที่มีแนวโน้มที่จะสามารถทำปฏิกิริยาได้ สสารที่อยู่ในสถานะอสัณฐาน (Amorphous) นี้จึงเป็นค่าที่บ่งบอกว่าสสารมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้าง ซึ่งจะสามารถตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์ ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงผลจากการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์ ของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) พบว่า ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) มีสถานะเป็นผลึก (Crystalline) <Calcite ($CaCO_3$)> และพบว่า จุดยอด (Peak Intensity) ของผลึกระหว่าง ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) มีความแตกต่างกันไม่มากนัก โดยจะปรากฏ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) โดยเมื่อพิจารณาที่มุมสะท้อน 2 – Theta เท่ากับ 29.487 และ 29.482 ตามลำดับ

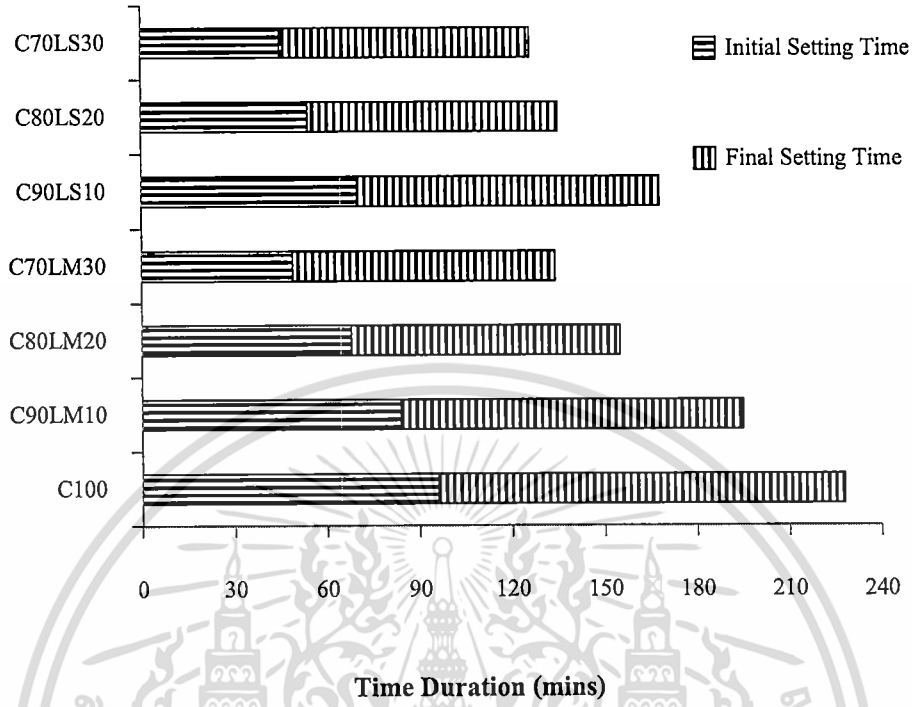
4.5 ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) ของซีเมนต์เพสต์

โดยอัตราส่วนผสมของวัสดุผงที่ใช้ในการทำซีเมนต์เพสต์ แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและผงแคลเซียมคาร์บอเนตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ส่วนผสม	ร้อยละการแทนที่		
	Portland Cement Type I (C)	**Limestone Powder Modified (LM)**	**Calcium carbonate (LS)**
C100	100	0	0
C90LM10	90	10	0
C80LM20	80	20	0
C70LM30	70	30	0
C90LS10	90	0	10
C80LS20	80	0	20
C70LS30	70	0	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาก่อตัวสุดท้าย ของซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C) ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS)

ผลการทดสอบระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์ ด้วยชุดทดสอบไวแคทตามมาตรฐาน ASTM C191 ของซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่ร้อยละ 10, 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน โดยแสดงระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาก่อตัวสุดท้าย โดยซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) มีระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น (Initial SettingTime) เท่ากับ 96 นาที ส่วนเวลาการก่อตัวระยะปลาย (Final Setting Time) เท่ากับ 228 นาที ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป ที่มีการก่อตัวระยะต้นภายใน 60-240 นาที และการก่อตัวระยะปลายภายใน 180-360 นาที สำหรับซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่ร้อยละ 10, 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน พบว่ามีระยะเวลาการก่อตัวในระยะต้นตั้งแต่ 45-84 นาที และระยะปลายตั้งแต่ 126-195 นาที ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่า การนำผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และ ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) แทนที่ปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางส่วนนั้น ช่วยเร่งให้เกิดการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ โดยเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ขึ้น ก็จะส่งผลให้ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์จะยิ่งลดลงอย่างชัดเจน อาจเป็นเพราะช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์นั้นมีปริมาณลดลง เนื่องจากการแทนที่ด้วย ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ(LM) และ ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) มีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ ทำให้ไปช่วยในการลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ และรวมถึงส่งผงให้วัสดุผงมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำได้มาก ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาในช่วงแรกของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เร็วขึ้น แนวโน้มของระยะการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาก่อตัวสุดท้าย จึงลดลงเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ 10 , 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการนำผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และ ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนนั้น ทำให้การก่อตัวของซีเมนต์เร็วขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในการก่อตัวเริ่มแรกของซีเมนต์เพสต์เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบ C_3S เป็นหลัก ดังนั้นการ แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และ ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนนั้น ทำให้ปริมาณ C_3S ของปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น และร่นเวลาการก่อตัวให้เร็วขึ้นตามสัดส่วนการแทนที่ของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และ ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ดังจะเห็นได้จากซีเมนต์เพสต์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และ ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS)ในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีระยะเวลาการก่อตัวทั้งในระยะต้นและระยะปลายเร็วกว่าที่อัตราส่วนการแทนที่อื่นๆ โดยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระยะเวลาการก่อตัวเนื่องจากผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และ ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนผสม ความละเอียดและองค์ประกอบทางเคมีของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และ ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS)โดยเฉพาะผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และ ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตสูงจะดูดซึมน้ำมาก ซึ่งส่งผลให้ระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์เร็วขึ้นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ ที่ใช้ในการทดสอบ

ในการออกแบบส่วนผสมนั้น จะทำการผสมระหว่างผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยเลือกอัตราส่วนผสมที่คาดว่าจะให้ผลการทดสอบดีที่สุด โดยพิจารณาจากข้อมูลของการทดลองเบื้องต้น โดยนำมาทดแทนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1 จำนวน 4 อัตราส่วนผสม คือร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 และควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 และ 0.40 โดยมีรายละเอียดส่วนผสมดังตาราง ที่ 4.4

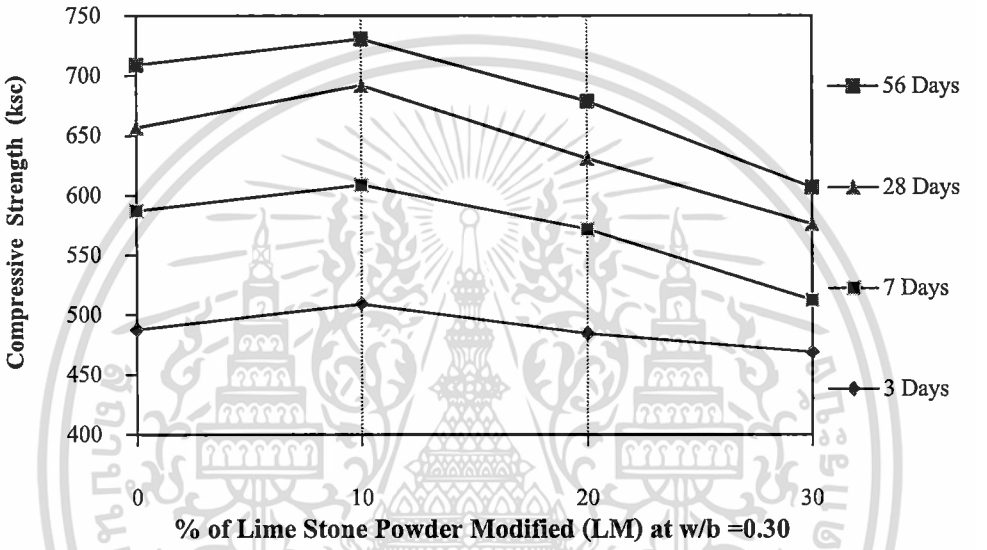
ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนผสมและจำนวนของตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ ที่ใช้ในการทดสอบ

สัญลักษณ์	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง	สัดส่วนผสม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)				วิธีการทดสอบ/จำนวนตัวอย่าง	
		ปูนซีเมนต์	ผงหินปูน	$CaCO_3$	น้ำ	กำลังอัด	การหดตัว
C100	0.30	1,394	0	0	418	12	3
C90LM10	0.30	1,255	139	0	418	12	3
C80LM20	0.30	1,115	279	0	418	12	3
C70LM30	0.30	976	418	0	418	12	3
C90LS10	0.30	1,255	0	139	418	12	3
C80LS20	0.30	1,115	0	279	418	12	3
C70LS30	0.30	976	0	418	418	12	3
C100	0.35	1,394	0	0	488	12	3
C90LM10	0.35	1,255	139	0	488	12	3
C80LM20	0.35	1,115	279	0	488	12	3
C70LM30	0.35	976	418	0	488	12	3
C90LS10	0.35	1,255	0	139	488	12	3
C80LS20	0.35	1,115	0	279	488	12	3
C70LS30	0.35	976	0	418	488	12	3
C100	0.40	1,394	0	0	558	12	3
C90LM10	0.40	1,255	139	0	558	12	3
C80LM20	0.40	1,115	279	0	558	12	3
C70LM30	0.40	976	418	0	558	12	3
C90LS10	0.40	1,255	0	139	558	12	3
C80LS20	0.40	1,115	0	279	558	12	3
C70LS30	0.40	976	0	418	558	12	3

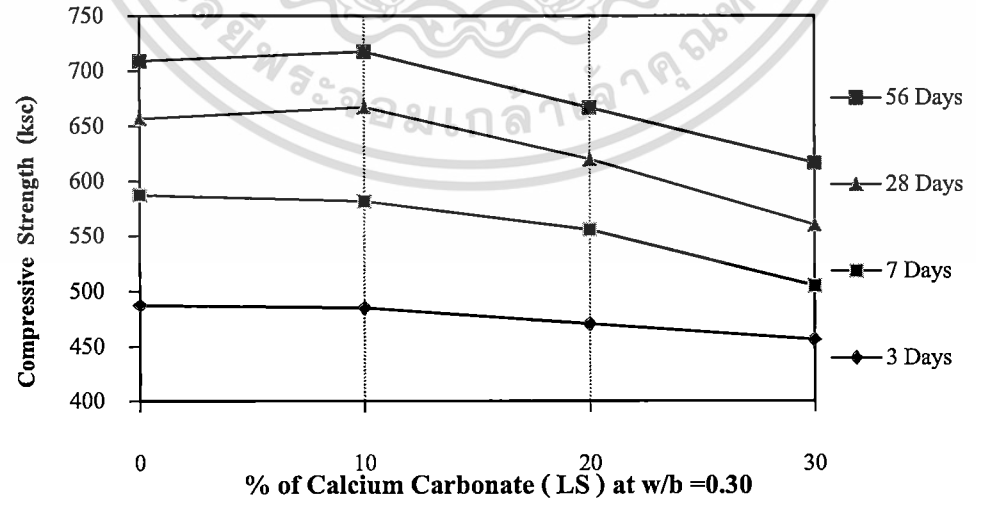
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ Limestone Powder Modified (LM) ที่มีผลต่อค่ากำลังอัด ของซีเมนต์เพสต์

4.7.1 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ Limestone Powder Modified (LM) ที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.30

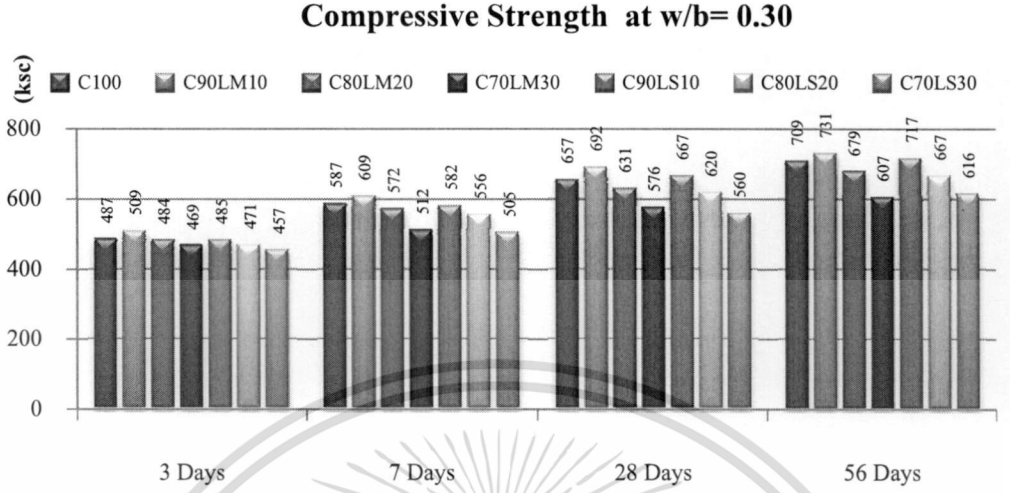


รูปที่ 4.7 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.30



รูปที่ 4.8 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนต(LS) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต กับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

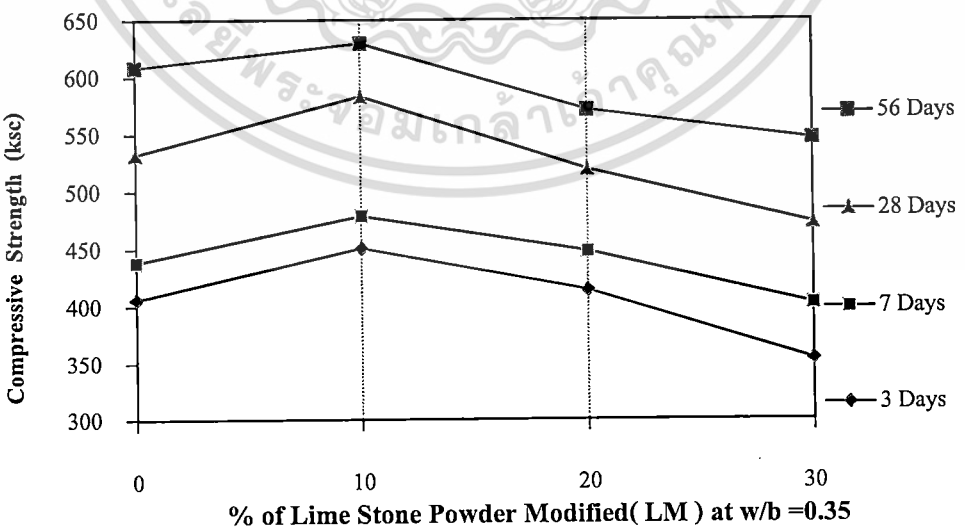
W/B=0.30								
Code	**Compressive Strength (ksc) - *% of C100 Compressive Strength***							
	3 Days		7 Days		28 Days		56 Days	
C100	487	*100*	587	*100*	657	*100*	709	*100*
C90LM10	509	*104*	609	*104*	692	*105*	731	*103*
C80LM20	484	*99*	572	*97*	631	*96*	679	*96*
C70LM30	469	*96*	512	*87*	576	*88*	607	*86*
C90LS10	485	*99*	582	*99*	667	*102*	717	*101*
C80LS20	471	*97*	556	*95*	620	*94*	667	*94*
C70LS30	457	*94*	505	*86*	560	*85*	616	*87*

หมายเหตุ : ตัวเลขในคอลัมน์แรกคือ ค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ *คอลัมน์ที่สองคือ อัตราส่วนของกำลังอัดเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว(C100)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

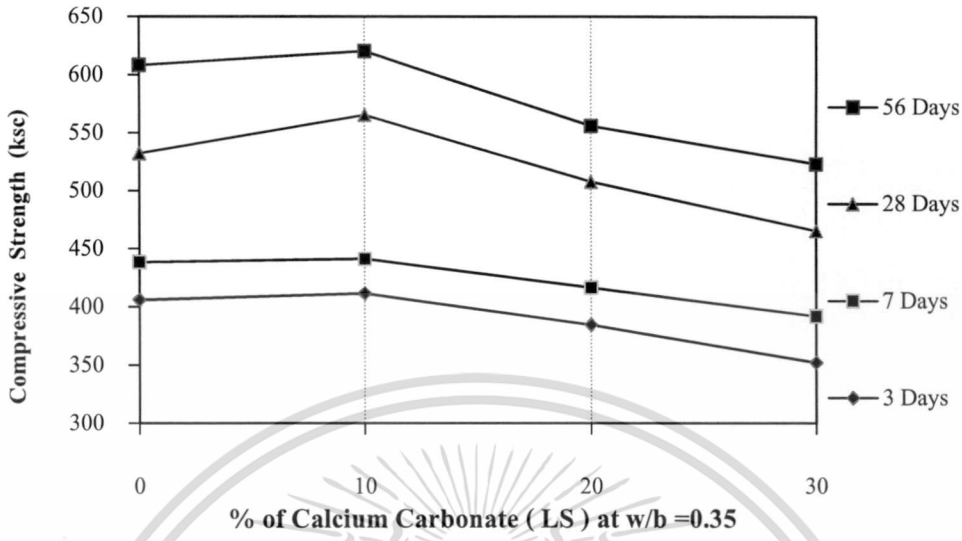
รูปที่ 4.7 - 4.9 แสดงค่ากำลังอัดของ ซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C) ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 พบว่ามีลักษณะการพัฒนาค่ากำลังอัด คล้ายซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว โดยมีการพัฒนาค่ากำลังอัดอย่างรวดเร็วในช่วงต้น หลังจากนั้นการพัฒนาค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย (LM) ก็จะเพิ่มขึ้นช้าๆอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย (LM) ที่ร้อยละ 10 - 15 นั้น มีแนวโน้มค่ากำลังอัดที่สูงกว่า ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) และซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ส่วนการแทนที่ที่ร้อยละ 20 และ 30 นั้นมีค่ากำลังอัดใกล้เคียงและน้อยกว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว แต่มากกว่าซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย (LS) โดยที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 ซีเมนต์เพสต์ (C90LM10) และ (C90LS10)ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 509 , 609, 692, 731 ksc และ 485, 582, 667,717 ksc ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 104, 104, 105, 103 และ 99, 99, 101,101 ของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

4.7.2 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ Limestone Powder Modified (LM) ที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.35

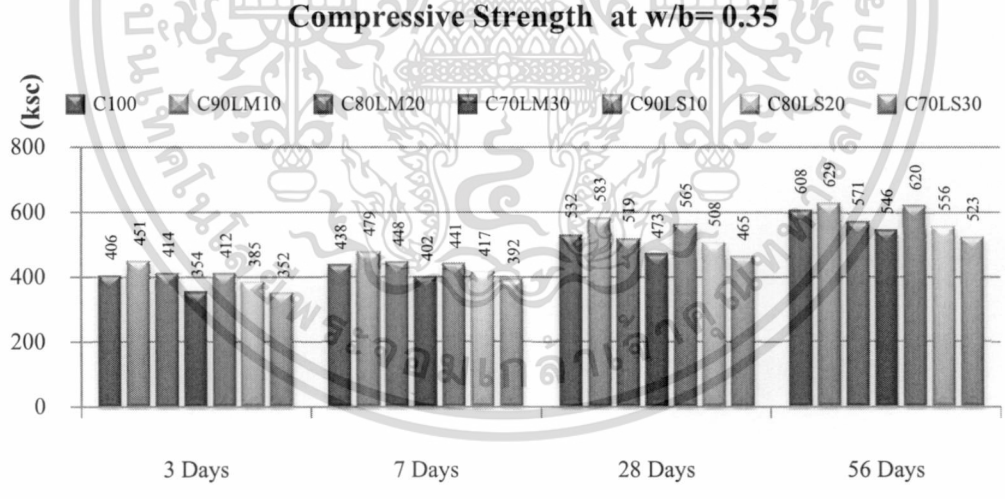


รูปที่ 4.10 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.35



รูปที่ 4.12 แสดงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต กับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

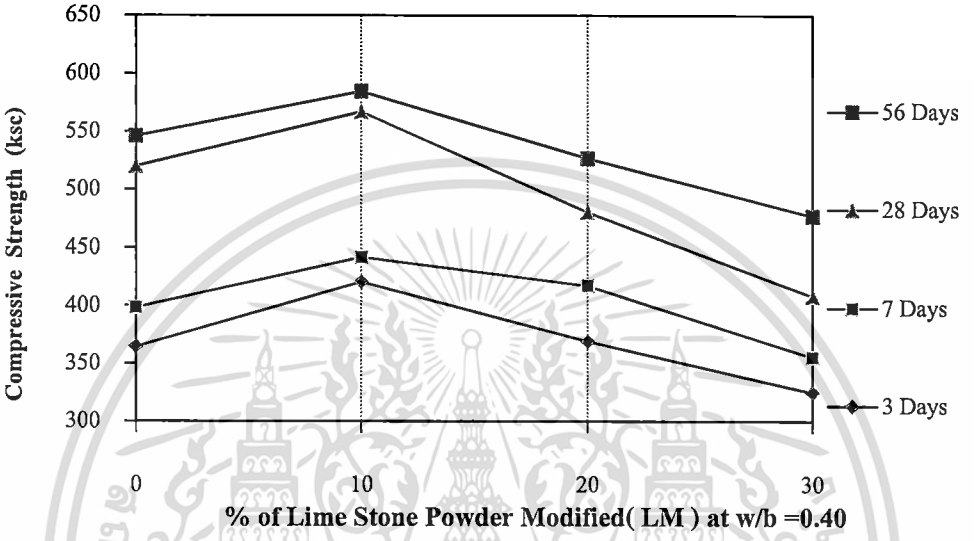
W/B=0.35								
Code	**Compressive Strength (ksc) - *% of C100 Compressive Strength***							
	3 Days		7 Days		28 Days		56 Days	
C100	406	*100*	438	*100*	532	*100*	608	*100*
C90LM10	451	*111*	479	*109*	583	*110*	629	*103*
C80LM20	414	*102*	448	*102*	519	*98*	571	*94*
C70LM30	354	*87*	402	*92*	473	*89*	546	*90*
C90LS10	412	*101*	441	*101*	565	*106*	620	*102*
C80LS20	385	*95*	417	*95*	508	*95*	556	*91*
C70LS30	352	*87*	392	*89*	465	*87*	523	*86*

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ ( )คอลัมน์แรกคือ ค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ *ในวงเล็บ ( ) คอลัมน์ที่สองคือ อัตราส่วนของกำลังอัดเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว(C100)*

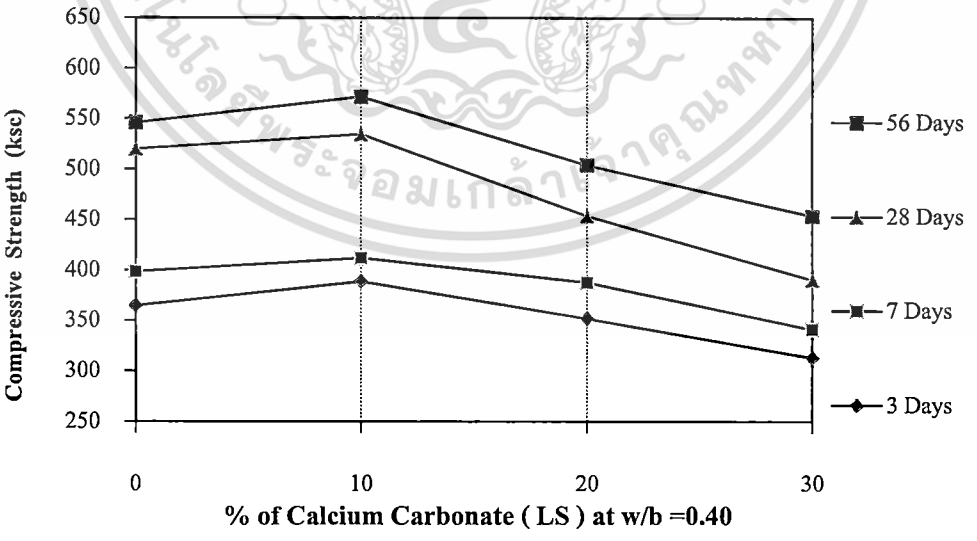
รูปที่ 4.10 - 4.12 แสดงค่ากำลังอัดของ ซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C) ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35 พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย (LM) ที่ร้อยละ 10 - 15 นั้น มีแนวโน้มค่ากำลังอัดที่สูงกว่า ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) และซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว โดยที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35 นั้น ซีเมนต์เพสต์ (C90LM10) และ (C90LS10)ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 451 , 479, 583, 629 ksc และ 412 , 441 , 565 ,620 ksc ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 111, 109, 110, 103 และ 101, 101, 106,102 ของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ Limestone Powder Modified (LM) ที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.40

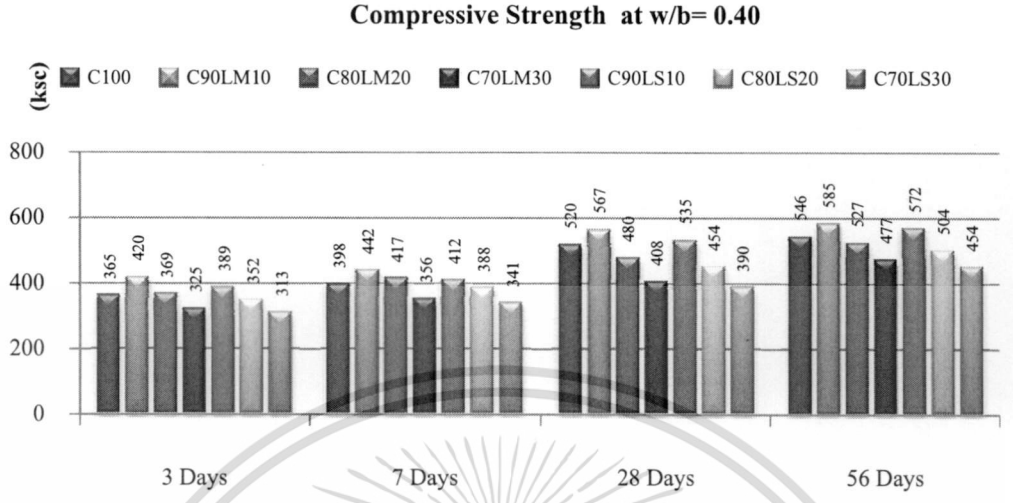


รูปที่ 4.13 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.40



รูปที่ 4.14 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนต(LS) เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต กับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

W/B=0.40								
Code	**Compressive Strength (ksc) - *% of C100 Compressive Strength***							
	3 Days		7 Days		28 Days		56 Days	
C100	365	*100*	398	*100*	520	*100*	546	*100*
C90LM10	420	*115*	442	*111*	567	*109*	585	*107*
C80LM20	369	*101*	417	*105*	480	*92*	527	*96*
C70LM30	325	*89*	356	*89*	408	*78*	477	*87*
C90LS10	389	*107*	412	*103*	535	*103*	572	*105*
C80LS20	352	*97*	388	*97*	454	*87*	504	*92*
C70LS30	313	*86*	341	*86*	390	*75*	454	*83*

หมายเหตุ : ตัวเลขในคอลัมน์แรกคือ ค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ *คอลัมน์ที่สองคือ อัตราส่วนของกำลังอัดเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว(C100)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 - 4.15 แสดงค่ากำลังอัดของ ซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C) ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40 พบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย (LM) ที่ร้อยละ 10 นั้น มีแนวโน้มค่ากำลังอัดที่สูงกว่า ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) และซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว โดยที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40 นั้น ซีเมนต์เพสต์ (C90LM10) และ (C90LS10)ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 420 , 442, 567, 585 ksc และ 389 , 412 , 535 ,572 ksc ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 115, 111, 109, 107 และ 107, 103, 103,105 ของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

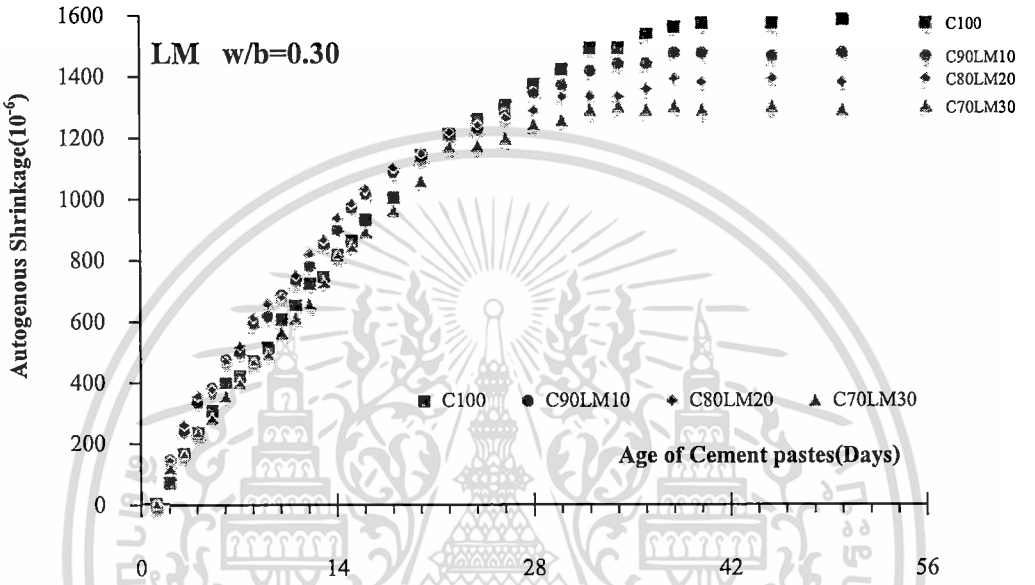
จะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ที่ 0.35 และ 0.40 ผลการทดลองที่ได้นั้น ค่ากำลังอัดมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อทำการเพิ่ม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ที่ 0.35 และ 0.40 ตามลำดับ เพราะปริมาณน้ำที่มากขึ้นนั้นทำให้เกิดฟองอากาศ ส่งผลกระทบต่อช่องว่างในเนื้อของซีเมนต์เพสต์ทำให้ความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์ลดลง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดได้อย่างรวดเร็วในช่วงต้น และส่งผลถึงค่ากำลังรับแรงอัดในระยะยาว ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีจากองค์ประกอบหลักที่เป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งทำปฏิกิริยากับซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO2) ในปูนซีเมนต์และน้ำ (H2O) ทำให้ได้ผลผลิตที่เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CaO-SiO2-H2O) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในการรับกำลังได้ดี

4.8 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ Limestone Powder Modified (LM) ที่มีผลต่อค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์

การหดตัวแบบออโตจีเนียส (Autogenous Shrinkage)ทุกส่วนผสมจะทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 และ 0.40 โดยมีอัตราการแทนที่ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1 ด้วยส่วนผสม ทั้ง 4 ส่วนผสม คือร้อยละ 0, 10, 20และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติและปูนซีเมนต์ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนต) ซึ่งผลของค่าการยืดหดตัวที่ได้จะเปรียบเทียบผลการทดสอบกับซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว

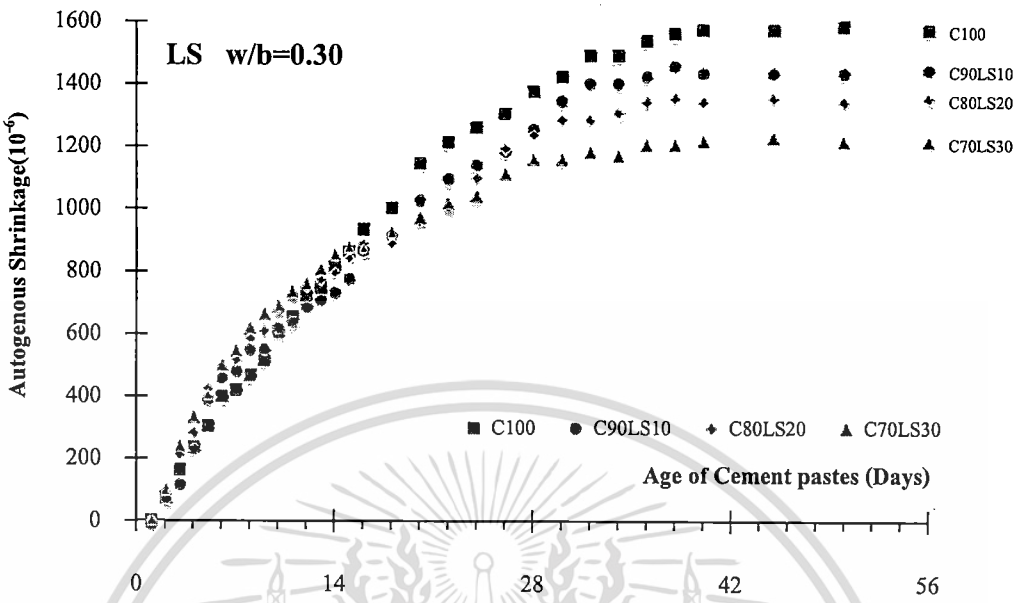
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.1 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ที่มีผลต่อค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30



รูปที่ 4.16 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

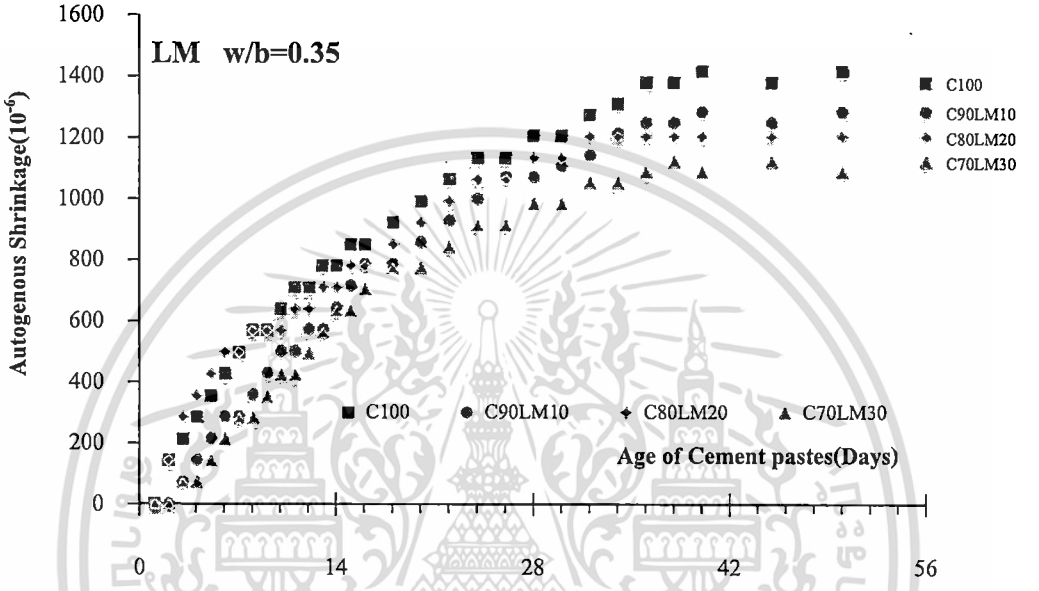


รูปที่ 4.17 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

รูปที่ 4.16 - 4.17 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วย (LM) นั้นสามารถช่วยลดการค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ได้ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C) จะเห็นว่า ร้อยละการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ จะลดลงเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ของ (LM) ที่ร้อยละ 10, 20 และร้อยละ 30 โดยซีเมนต์เพสต์ (C70LM30) และ (C70LS30) สามารถลดค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสเท่ากับ 17 % และ 23% ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100)

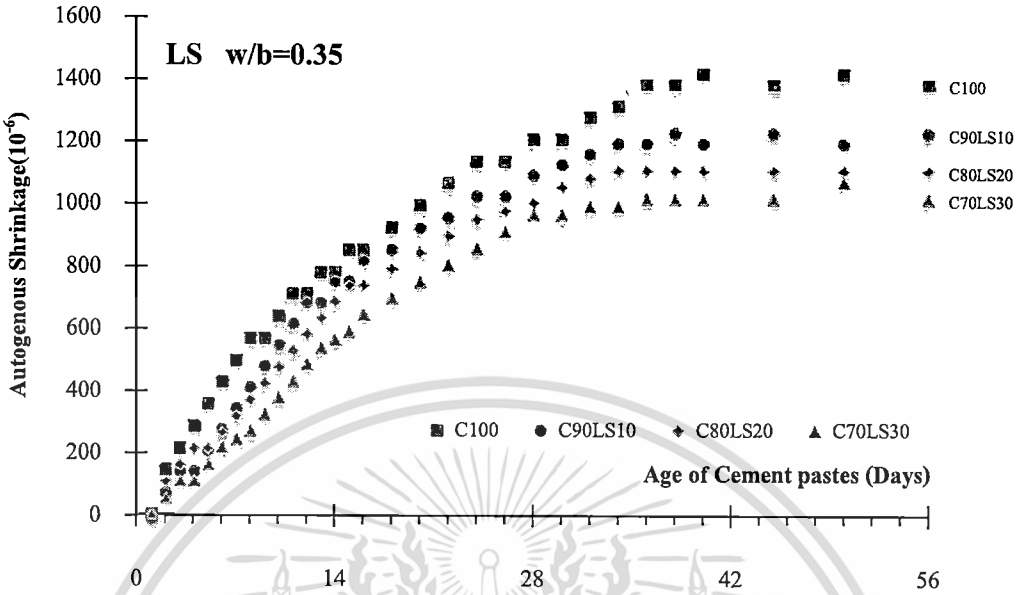
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ที่มีผลต่อค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35



รูปที่ 4.18 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

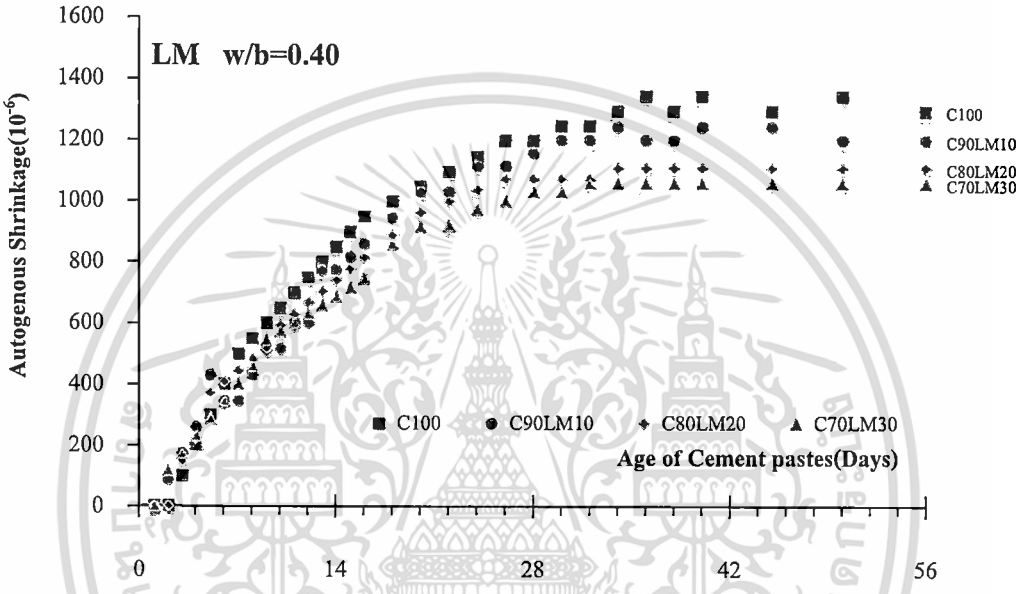


รูปที่ 4.19 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว(C100) โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

รูปที่ 4.18 - 4.19 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35 พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วย (LM) นั้นสามารถช่วยลดการค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ได้ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C) จะเห็นว่า ร้อยละการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ จะลดลงเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ของ (LM) ที่ร้อยละ 10, 20 และร้อยละ 30 โดยซีเมนต์เพสต์ (C70LM30) และ (C70LS30) สามารถลดค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสเท่ากับ 19 % และ 27% ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100)

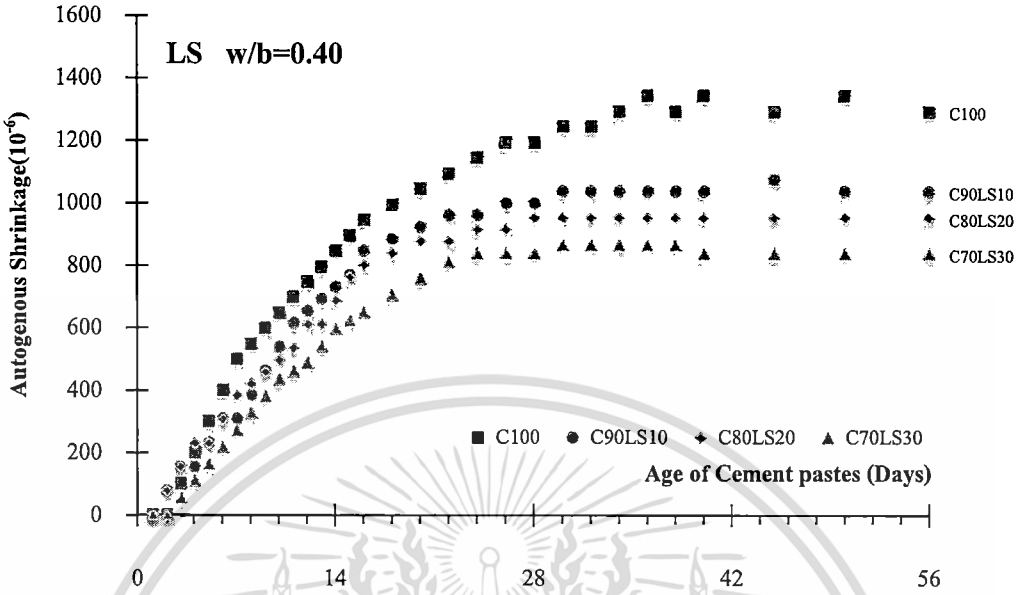
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.3 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ที่มีผลต่อค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว(C100)โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40



รูปที่ 4.20 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM)เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว(C100)โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว(C100) โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

รูปที่ 4.20 - 4.21 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40 พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 และ 0.35 โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วย (LM) นั้นสามารถช่วยลดการค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ได้ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C) จะเห็นว่า ร้อยละการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ จะลดลงเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ของ (LM) ที่ร้อยละ 10, 20 และร้อยละ 30 โดยซีเมนต์เพสต์ (C70LM30) และ (C70LS30) สามารถลดค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสเท่ากับ 18 % และ 35% ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) กับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว(C100)

Autogeneous Shrinkage At 56 Days (x10^{-6}) - *% of C100 Autogeneous Shrinkage*						
Specimen	**w/b=0.30**		**w/b=0.35**		**w/b=0.40**	
C100	(1575)	*(100)*	(1384)	*(100)*	(1295)	*(100)*
C90LM10	(1466)	*(93)*	(1288)	*(93)*	(1199)	*(93)*
C80LM20	(1393)	*(88)*	(1206)	*(87)*	(1107)	*(85)*
C70LM30	(1302)	*(83)*	(1125)	*(81)*	(1056)	*(82)*
C90LS10	(1447)	*(92)*	(1227)	*(89)*	(1038)	*(80)*
C80LS20	(1354)	*(86)*	(1106)	*(80)*	(953)	*(74)*
C70LS30	(1216)	*(77)*	(1016)	*(73)*	(838)	*(65)*

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ ( )คอลัมน์แรกคือ ค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ *ในวงเล็บ ( )คอลัมน์ที่สองคือ อัตราส่วนของการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ เมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว(C100)*

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 และ 0.40 พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วย (LM) นั้นสามารถช่วยลดการค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ได้ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) จะเห็นว่า ร้อยละการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ จะลดลงเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ของ (LM) ที่ร้อยละ 10, 20 และร้อยละ 30 ตามลำดับ

ซึ่งอาจจะส่งผลมาจากปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ของ ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) ซึ่งมีปริมาณมากกว่า เมื่อเทียบกับ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1(C) โดยปริมาณของ ($CaCO_3$) มีผลโดยตรงต่อการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ เพราะเมื่อ $CaCO_3$ เริ่มมีการทำปฏิกิริยากับ ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) เพื่อทำการสร้างผลผลิตที่เป็น แคลเซียม คาร์บออลูมิเนตไฮเดรต (Calcium Carboaluminate Hydrates) โดยปฏิกิริยาระหว่าง C_3A และ $CaCO_3$ จะให้ผลผลิต ที่มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ็ททริงไกด์ (Ettringite) ซึ่งโครงสร้างของ Ettringite จะมีลักษณะคล้ายผลึกเข็ม โดยผลึกดังกล่าวจะมีการพัฒนาโครงสร้างขยายออกในแนวของเข็ม ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มจำนวนโพรงที่ละเอียด (Finer pores)ให้มีปริมาณมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการขยายตัวซึ่งทำให้การหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ที่ผสม (LM) และ (LS) มีค่าลดลงอย่างชัดเจน และในกรณีที่ทำการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงมากขึ้นจะเกิดอัตราการหดตัวที่น้อยลง ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.30 , 0.35 และ 0.40 ตามลำดับ ในระยะช่วงเวลาการวัดค่าการหดตัวที่เท่ากัน

4.9 การวิเคราะห์ราคา

โดยราคาวัสดุเทียบกับราคากลางของเดือนพฤษภาคม 2553 ดังต่อไปนี้

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่1 (เช่น ตราช้าง,พญานาค,เพชร ฯ) 2,550 บาท/ตัน
- ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) 1,250 บาท/ตัน
- ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) 2,850 บาท/ตัน
- ทรายหยาบ 360 บาท/ลบ.ม.
- หินเบอร์ 1-2 455 บาท/ลบ.ม.

ตารางที่ 4.9 ราคาของคอนกรีตต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร คอนกรีต ค.2 (STRENGTH 240 กก./ตร.ซม.) มอก.15/2514 วัสดุมวลรวมของงานคอนกรีตตามมาตรฐานกรมโยธาธิการฯ

CODE	Bath / m^3
C100	1,569
C90LM10	1,525
C80LM20	1,481
C70LM30	1,438
C90LS10	1,579
C80LS20	1,589
C70LS30	1,599

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะเห็นว่าผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) นั้นมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เกือบ 2 เท่า กล่าวคือมีราคาประมาณกิโลกรัมละ 1.25 บาทต่อกิโลกรัม โดยรวมค่าขนส่งแล้ว ซึ่งเมื่อคิดเป็นต้นทุนวัสดุรวมต่อปริมาณคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตรจะมีราคาดังแสดงในตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

เนื้อหาในบทที่ 5 จะกล่าวถึงผลสรุปของการวิจัย ด้านคุณสมบัติของของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) โดยในการทดสอบได้เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) และซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) รวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายแป้งฝุ่น เมื่อสัมผัสจะรู้สึกมีเนื้อเนียนลื่น มีสีคล้ายคลึงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 คือเทาอ่อนแต่มีสีอ่อนกว่านิดหน่อย โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.66

5.1.2 ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 6.50 μm ซึ่งเล็กกว่าปูนซีเมนต์ อยู่ 2.54 เท่า และจากผลการทดสอบหาพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) พบว่าผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 12,230 cm^2/g ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐาน ASTM C 150 กำหนดคือ ต้องไม่ต่ำกว่า 2,800 cm^2/g

5.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติพบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีหลักคือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยมีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ ร้อยละเท่ากับ 65.40 และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) มีองค์ประกอบร้อยละ 3.25 มีปริมาณ LOI (Loss on Ignition) สูงถึงร้อยละ 26.15 ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน ASTM C 150 ที่ค่า LOI ต้องไม่เกินร้อยละ 3

5.1.4 ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของ ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ที่กำลังขยาย 2500 เท่า พบว่าลักษณะอนุภาคของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม มีความละเอียดและมีความพรุนต่ำเนื่องจากมีช่องว่างอยู่น้อย รูปร่างประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆเกาะกันเป็นกลุ่มอย่างหลวมๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5 ผลจากการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์ ของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) พบว่า ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีสถานะเป็นผลึก (Crystalline) <Calcite ($CaCO_3$)>

5.1.6 ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีส่วนช่วยในการเร่งการก่อตัวเริ่มต้นและการก่อตัวสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์ให้เร็วขึ้น โดยเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ร้อยละ 10 , 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ก็จะส่งผลให้ระยะเวลาในการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์จะยิ่งลดลงอย่างชัดเจน ตามลำดับ

5.1.7 ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีความสารถในการเพิ่มค่ากำลังอัดได้ โดยที่ร้อยละ 10 ให้ค่ากำลังอัดมากที่สุด และกำลังอัดจะมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง

5.1.8 ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีความสามารถในการช่วยลดการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ได้ โดยจะมีค่าการหดตัวที่ลดลง เมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ 10 , 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผลที่ได้เป็นข้อมูลการวิเคราะห์ผล จากอิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์ โดยได้ศึกษาถึงอิทธิพลและปริมาณของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ ที่ร้อยละการแทนที่ 10 , 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ที่ให้ผลต่อคุณสมบัติบางประการ รวมถึงปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ (w/b) 0.3 , 0.35 และ 0.40 เท่านั้น จึงควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในด้านอื่นๆ และอาจจะมีการปรับวิธีการ เทคนิคการทดสอบ ดังนี้

5.2.1 ควรมีการศึกษาคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของซีเมนต์มอร์ตาร์หรือคอนกรีต ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ต่อไปในอนาคต

5.2.2 ควรมีการศึกษาคุณสมบัติด้านอื่นๆ เช่น การซึมผ่านของน้ำ ความต้านทางการกัดกร่อน การต้านทานการเสียดสี สภาวะจากการบ่มน้ำหรืออากาศ เป็นต้น

5.2.3 ในการทดสอบควรมีการหาปริมาณน้ำต่อซีเมนต์(w/b) ที่เหมาะสมที่สุด

5.2.4 ควรมีการคำนึงถึงเรื่องอุณหภูมิต่างๆที่มีผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ ซีเมนต์มอร์ตาร์หรือคอนกรีต

5.2.5 ควรทำการศึกษาและทำการทดลอง เพิ่มวัสดุผสมเช่น ซิลิกาฟูมหรือวัสดุปอซโซลานอย่างอื่นอาจช่วยให้ค้นพบวัสดุที่จะสามารถสร้างอนุภาคผสมได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] American Society for Testing and Materials. (2001). Annual Book of ASTM Standards 2001. Volume 04.01and 04.02, West Conshohocken, U.S.A.

[2] ASTM Committee, 1994, Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.02 : Concrete and Aggregate, American Concrete Institute.

[3] Borgholm, H. E., Herfort, D., and Rasmusssen, S., 1995, A New Blended Cement Based on Mineralized Clinker, World Cement, Vol. 8, pp. 27-33.

[4] C.Jaturapitakkul, K. Kaittikomol, V. Sata and T.Leekeeratikul. (2004). Use of Ground Coarse Fly Ash as a Replacement of Condensed Silica Fume in Producing High-Strength Concrete. Cement and Concrete Research. 34. p.549-555.

[5] Ingram, K. D. and Daugherty, K. E., 1994, A Review of Limestone Additions to Portland Cement and Concrete, Cement and Concrete Composites, Vol. 13, No. 3, pp. 165-170.

[6] Klemn, W.A. and Adams, L. D., 1990, An Investigation of the Formation of Carboaluminatesin Carbonate Additions to Cement, Klieger and Hooton, Eds. ASTM STP 1064, pp. 60-72.

[7] Okagbue, C.O. and J.A. Yakubu.2000. Limestone ash wste as a substitute for lime in soil improvement for engineering construction. Bull Eng Geol Env (2000) 58: 107 -113.

[8] P. Chindaprasirt, P. Kanchanda,A.Sathonsaowaphak and H.T. Cao, Sulfate Resistance of Blended Cements Containing Fly Ash and Rice Husk Ash, 2006, accepted for publication in Construction and Building Materials,

[9] Philippe J.P. Gleize, 2006, Cement&Concrete Composites 29 (2007) 80-87 "Effect of matakaolin on autogenous shrinkage of cement pastes

[10] Sato, T;Beaudoin,J.J. " the effect of nano-size CaCO3 addition on the hydration of cement paste containing high volumes of fly ash "12th International Congress on the Chemistry of Cement, Montreal, QC. ,July

[11] Sinsiri, T., Jaturapitakkul, C. and Chindaprasert, P., 2004, "Effect of Fly Ash on Pore Size and Microstructure of Hardened Blended Cement Paste" The First Asian Concrete Federation (ACF) Conference, October 18-19, Chiang-Mai, pp. 626-632.

[12] Stark, J., Freyberg, E., and Lohmer, K., 1999, Investigations into the Influence of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Limestone Additions to Portland Cement Clinker Phases on the Early Phase of Hydration, Modern Concrete Materials : Binders, Additions and Admixtures, Thomas, Telford, London, Englandpp. 69-77

[13] กฤติยา แก้วมณี และ ศ.ดร.สมนึก ตั้งเติมสิริกุล "คุณสมบัติพื้นฐานและความคงทนของคอนกรีตและคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต",การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 2 , 25-27 ตุลาคม 2549.

[14] ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2536. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: เดอะปริ้นอินแตอร์เนชั่นแนล

[15] ธีรวัฒน์ สินศิริ, 2549, "การวัดปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตโดย TGA และ XRD ของเพสต์ที่แข็งตัวแล้ว", การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 2, 25-27 ตุลาคม, อุดรธานี, หน้า MAT64-MAT72.

[16] ธีรวัฒน์ สินศิริ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ, 2547, "โครงสร้างขนาดเล็กของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าถ่านหิน", การนำเถ้าถ่านหินในประเทศไทยมาใช้ในงานคอนกรีต ครั้งที่ 1, 26 เมษายน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 71-78.

[17] ธีรวัฒน์ สินศิริ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2548, "ผลกระทบของความละเอียดเถ้าถ่านหินต่อกำลังอัด ปริมาตรโพรงทั้งหมดและขนาดโพรงในซีเมนต์เพสต์", วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., ปีที่ 28, ฉบับที่ 1, มกราคม-มีนาคม, หน้า 17-28.

[18] ปริญญา จินดาประเสริฐ, สมศักดิ์ เมตะนันท์, สุรเชษฐ์ มั่งมีศรี และ ธีรวัฒน์ สินศิริ, 2543, "คุณสมบัติของ คอนกรีตบดอัดผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบดำ", การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6, 10-12 พฤษภาคม, เพชรบุรี, หน้า MAT47-MAT57.

[19] พนาพร เจริญพงศ์ วราพงษ์ บุญรอด และสุชาติ ภาคภูมิเกียรติคุณ. (2549). การแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตในงานมอร์ตาร์ซีเมนต์. ปริญญานิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ(องครักษ์), นครนายก

[20] พลสันธิ์ พุกะทรัพย์ และ ธนนัญ วานิชชินชัย "การลดปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในคอนกรีตในคอนกรีตโดยใช้ขี้เถ้าแกลบและขี้เถ้าลอย" วิทยานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2536.

[21] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มอก.15. (2532). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม,กระทรวงอุตสาหกรรม.

[22] วิศิษฏ์ เดชพันธ์. (2542). คุณสมบัติของคอนกรีตผสมฝุ่นหินปูน. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

[23] สายัณห์ ทัศนโกศล. (2542). ความทนทานของคอนกรีตผสมฝุ่นหินปูน. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[24] สารพล ตรีสุวรรณ,คมสัน มาลีสี “ผลกระทบของวัสดุอนินทรีย์ผสมเพิ่มต่อการหดตัวของมอร์ต้าสด”การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่15 หน้า.315-320

[25] สมนึก ตั้งเติมสิริกุล , คุณสมบัติพื้นฐานและความคงทนของคอนกรีตและคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้าลอย ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO3) , พ.ศ.2552 , เอกสารประกอบการสัมมนาคอนกรีตวิชาการ

[26] สราวุธ เจริญสิริเสถียร,บุระฉัตร ฉัตรวีระ,สมนึก ตั้งเติมสิริกุล“ผลของเถ้าหินปูนที่มีต่อสมบัติคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงในช่วงต้น”วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 29 ฉบับที่3 กรกฎาคม-กันยายน 2549 , หน้า.375-388

[27] ศิริวัฒน์ ไชยชนะ. ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2542

[28] เอกสาร “คอนกรีตเทคโนโลยี” ของ คมสัน มาลีสี. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน
โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 ,0.40

และ

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ที่อายุการบ่ม 1- 56 วัน
โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 ,0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-1

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100)
ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C100 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 11/8/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C100	24.90	5.10	0.24984	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,800	514.06	1,967.40	
2	C100	25.00	5.00	0.25390	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,000	480.00	2,031.20	
3	C100	25.00	5.10	0.25566	11-Aug-09	14-Aug-09	3	11,700	468.00	2,005.18	
						average		**12,167**	**487.35**	**2,001.26**	
1	C100	24.75	5.00	0.25698	11-Aug-09	18-Aug-09	7	14,500	585.86	2,076.61	
2	C100	25.00	4.98	0.25648	11-Aug-09	18-Aug-09	7	14,600	584.00	2,060.08	
3	C100	25.35	5.00	0.26219	11-Aug-09	18-Aug-09	7	15,000	591.69	2,068.48	
						average		**14,700**	**587.18**	**2,068.39**	
1	C100	25.50	4.98	0.28125	11-Aug-09	8-Sep-09	28	16,500	647.06	2,214.74	
2	C100	25.00	5.00	0.28474	11-Aug-09	8-Sep-09	28	16,800	672.00	2,277.92	
3	C100	25.50	5.00	0.27978	11-Aug-09	8-Sep-09	28	16,600	650.98	2,194.35	
						average		**16,633**	**656.68**	**2,229.00**	
1	C100	24.75	5.00	0.28810	11-Aug-09	6-Oct-09	56	17,600	711.11	2,328.08	
2	C100	24.90	5.00	0.28137	11-Aug-09	6-Oct-09	56	18,000	722.89	2,260.00	
3	C100	25.25	5.02	0.27931	11-Aug-09	6-Oct-09	56	17,500	693.07	2,203.54	
						average		**17,700**	**709.02**	**2,263.87**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-2

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 % (C90LM10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LM10 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 11/8/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C90LM10	25.15	5.00	0.25092	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,600	501.07	1,995.71	
2	C90LM10	24.75	5.02	0.25267	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,800	517.16	2,033.59	
3	C90LM10	25.55	5.02	0.25168	11-Aug-09	14-Aug-09	3	13,000	508.81	1,962.25	
						average		**12,800**	**509.01**	**1,997.18**	
1	C90LM10	25.76	4.97	0.25852	11-Aug-09	18-Aug-09	7	15,100	586.29	2,019.65	
2	C90LM10	25.40	4.98	0.25412	11-Aug-09	18-Aug-09	7	16,200	637.80	2,008.98	
3	C90LM10	24.90	5.00	0.25600	11-Aug-09	18-Aug-09	7	15,000	602.41	2,056.22	
						average		**15,433**	**608.83**	**2,028.29**	
1	C90LM10	25.25	4.95	0.27339	11-Aug-09	8-Sep-09	28	17,300	685.21	2,187.55	
2	C90LM10	24.80	4.97	0.27259	11-Aug-09	8-Sep-09	28	17,600	709.67	2,211.54	
3	C90LM10	25.55	5.00	0.27508	11-Aug-09	8-Sep-09	28	17,400	681.02	2,153.27	
						average		**17,433**	**691.97**	**2,184.12**	
1	C90LM10	25.50	5.05	0.27621	11-Aug-09	6-Oct-09	56	18,500	725.49	2,144.90	
2	C90LM10	25.50	5.00	0.27849	11-Aug-09	6-Oct-09	56	18,300	717.60	2,184.10	
3	C90LM10	25.10	4.98	0.27022	11-Aug-09	6-Oct-09	56	18,800	749.00	2,161.79	
						average		**18,533**	**730.70**	**2,163.60**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-3

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 % (C80LM20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LM20 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 11/8/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C80LM20	25.76	4.98	0.24899	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,000	465.93	1,941.29	
2	C80LM20	25.10	4.97	0.24914	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,400	494.02	1,997.16	
3	C80LM20	24.75	5.05	0.24730	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,200	492.92	1,978.55	
						average		**12,200**	**484.29**	**1,972.33**	
1	C80LM20	25.86	4.98	0.26052	11-Aug-09	18-Aug-09	7	14,200	549.20	2,023.25	
2	C80LM20	24.90	5.00	0.25426	11-Aug-09	18-Aug-09	7	14,000	562.25	2,042.25	
3	C80LM20	25.00	4.97	0.24956	11-Aug-09	18-Aug-09	7	15,100	604.00	2,008.53	
						average		**14,433**	**571.81**	**2,024.68**	
1	C80LM20	25.15	5.10	0.27241	11-Aug-09	8-Sep-09	28	15,600	620.30	2,123.89	
2	C80LM20	24.75	5.02	0.27687	11-Aug-09	8-Sep-09	28	15,800	638.37	2,228.37	
3	C80LM20	25.25	4.97	0.27587	11-Aug-09	8-Sep-09	28	16,000	633.66	2,198.30	
						average		**15,800**	**630.78**	**2,183.52**	
1	C80LM20	25.50	5.05	0.27811	11-Aug-09	6-Oct-09	56	17,500	686.34	2,159.86	
2	C80LM20	24.85	4.98	0.27201	11-Aug-09	6-Oct-09	56	16,800	676.06	2,198.01	
3	C80LM20	25.25	5.00	0.27447	11-Aug-09	6-Oct-09	56	17,000	673.27	2,174.02	
						average		**17,100**	**678.55**	**2,177.30**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-4

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 % (C70LM30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LM30 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 11/8/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C70LM30	24.95	5.00	0.25333	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,000	480.97	2,030.75	
2	C70LM30	25.05	4.97	0.25229	11-Aug-09	14-Aug-09	3	11,400	455.09	2,026.45	
3	C70LM30	25.10	5.00	0.25205	11-Aug-09	14-Aug-09	3	11,800	470.12	2,008.37	
						average		**11,733**	**468.73**	**2,021.86**	
1	C70LM30	25.00	4.95	0.25440	11-Aug-09	18-Aug-09	7	12,500	500.00	2,055.76	
2	C70LM30	24.65	5.00	0.24868	11-Aug-09	18-Aug-09	7	12,500	507.07	2,017.59	
3	C70LM30	24.90	5.03	0.25122	11-Aug-09	18-Aug-09	7	13,200	530.12	2,005.80	
						average		**12,733**	**512.40**	**2,026.38**	
1	C70LM30	25.10	4.97	0.26443	11-Aug-09	8-Sep-09	28	14,400	573.71	2,119.73	
2	C70LM30	24.90	5.00	0.27225	11-Aug-09	8-Sep-09	28	14,200	570.29	2,186.77	
3	C70LM30	25.00	5.02	0.26874	11-Aug-09	8-Sep-09	28	14,600	584.00	2,141.35	
						average		**14,400**	**576.00**	**2,149.29**	
1	C70LM30	24.75	5.00	0.27834	11-Aug-09	6-Oct-09	56	14,000	565.66	2,249.21	
2	C70LM30	24.85	4.96	0.27898	11-Aug-09	6-Oct-09	56	15,800	635.81	2,263.42	
3	C70LM30	25.05	5.00	0.27866	11-Aug-09	6-Oct-09	56	15,500	618.78	2,224.88	
						average		**15,100**	**606.75**	**2,245.84**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-5

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 10 % (C90LS10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LS10 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 11/8/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C90LS10	25.40	5.10	0.26250	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,300	484.29	2,026.56	
2	C90LS10	25.60	5.12	0.26280	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,400	484.38	2,005.00	
3	C90LS10	24.90	4.98	0.26180	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,100	485.94	2,111.26	
						average		**12,267**	**484.87**	**2,047.61**	
1	C90LS10	25.50	5.10	0.25775	11-Aug-09	18-Aug-09	7	14,200	556.86	1,981.93	
2	C90LS10	25.25	5.05	0.25800	11-Aug-09	18-Aug-09	7	15,200	601.98	2,023.33	
3	C90LS10	25.10	5.00	0.25661	11-Aug-09	18-Aug-09	7	14,700	585.66	2,044.70	
						average		**14,700**	**581.50**	**2,016.65**	
1	C90LS10	24.90	4.98	0.26170	11-Aug-09	8-Sep-09	28	17,100	686.75	2,110.45	
2	C90LS10	25.50	5.10	0.25970	11-Aug-09	8-Sep-09	28	16,800	658.82	1,996.92	
3	C90LS10	25.00	5.00	0.25790	11-Aug-09	8-Sep-09	28	16,400	656.00	2,063.20	
						average		**16,767**	**667.19**	**2,056.86**	
1	C90LS10	24.85	5.02	0.26170	11-Aug-09	6-Oct-09	56	18,100	728.40	2,097.93	
2	C90LS10	24.90	4.98	0.25775	11-Aug-09	6-Oct-09	56	17,700	710.84	2,078.60	
3	C90LS10	25.25	5.00	0.26180	11-Aug-09	6-Oct-09	56	18,000	712.87	2,073.66	
						average		**17,933**	**717.37**	**2,083.40**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-6

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 % (C80LS20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LS20 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 11/8/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C80LS20	25.91	5.05	0.25880	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,100	467.04	1,978.06	
2	C80LS20	25.00	5.00	0.25960	11-Aug-09	14-Aug-09	3	12,000	480.01	2,076.83	
3	C80LS20	25.40	4.98	0.26160	11-Aug-09	14-Aug-09	3	11,800	464.63	2,068.38	
						average		**11,967**	**470.56**	**2,041.09**	
1	C80LS20	26.11	5.05	0.26199	11-Aug-09	18-Aug-09	7	14,200	543.81	1,986.80	
2	C80LS20	25.40	4.98	0.26436	11-Aug-09	18-Aug-09	7	14,300	562.99	2,089.93	
3	C80LS20	25.00	5.00	0.26235	11-Aug-09	18-Aug-09	7	14,000	560.00	2,098.80	
						average		**14,167**	**555.60**	**2,058.51**	
1	C80LS20	25.30	5.05	0.26310	11-Aug-09	8-Sep-09	28	16,500	652.22	2,059.38	
2	C80LS20	24.75	4.98	0.26360	11-Aug-09	8-Sep-09	28	15,500	626.25	2,138.60	
3	C80LS20	25.81	5.00	0.26520	11-Aug-09	8-Sep-09	28	15,000	581.27	2,055.38	
						average		**15,667**	**619.91**	**2,084.45**	
1	C80LS20	26.11	4.98	0.26360	11-Aug-09	6-Oct-09	56	17,000	651.04	2,027.10	
2	C80LS20	25.40	4.97	0.26436	11-Aug-09	6-Oct-09	56	17,200	677.17	2,094.14	
3	C80LS20	25.00	5.05	0.25880	11-Aug-09	6-Oct-09	56	16,800	672.00	2,049.90	
						average		**17,000**	**666.74**	**2,057.05**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-7

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 % (C70LS30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LS30 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 11/8/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C70LS30	25.40	5.08	0.25790	11-Aug-09	14-Aug-09	3	11,800	464.60	1,998.89	
2	C70LS30	25.10	4.98	0.26240	11-Aug-09	14-Aug-09	3	11,200	446.22	2,099.23	
3	C70LS30	24.85	5.11	0.26010	11-Aug-09	14-Aug-09	3	11,400	458.75	2,048.30	
						average		**11,467**	**456.52**	**2,048.81**	
1	C70LS30	25.60	5.10	0.26607	11-Aug-09	18-Aug-09	7	12,000	468.75	2,037.91	
2	C70LS30	25.00	5.08	0.26876	11-Aug-09	18-Aug-09	7	13,200	528.00	2,116.22	
3	C70LS30	25.10	5.00	0.26911	11-Aug-09	18-Aug-09	7	13,000	517.93	2,144.30	
						average		**12,733**	**504.89**	**2,099.48**	
1	C70LS30	24.90	5.08	0.26690	11-Aug-09	8-Sep-09	28	14,500	582.33	2,110.01	
2	C70LS30	24.85	4.98	0.26690	11-Aug-09	8-Sep-09	28	14,000	563.38	2,156.72	
3	C70LS30	25.25	5.11	0.26740	11-Aug-09	8-Sep-09	28	13,500	534.65	2,072.43	
						average		**14,000**	**560.12**	**2,113.05**	
1	C70LS30	25.34	5.10	0.25790	11-Aug-09	6-Oct-09	56	15,200	599.75	1,995.29	
2	C70LS30	25.00	5.08	0.26010	11-Aug-09	6-Oct-09	56	15,600	624.00	2,048.03	
3	C70LS30	25.25	5.00	0.26690	11-Aug-09	6-Oct-09	56	15,800	625.74	2,114.06	
						average		**15,533**	**616.50**	**2,052.46**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-1

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100)
ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C100 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C100	25.30	5.02	0.25011	1-Aug-09	4-Aug-09	3	9,800	387.35	1,969.28	
2	C100	25.50	5.01	0.25746	1-Aug-09	4-Aug-09	3	11,000	431.36	2,015.19	
3	C100	25.05	5.00	0.25361	1-Aug-09	4-Aug-09	3	10,000	399.20	2,024.83	
						average		**10,267**	**405.97**	**2,003.10**	
1	C100	24.75	5.00	0.25698	1-Aug-09	8-Aug-09	7	11,500	464.65	2,076.61	
2	C100	25.00	4.98	0.25648	1-Aug-09	8-Aug-09	7	11,400	456.00	2,060.08	
3	C100	25.35	5.00	0.26219	1-Aug-09	8-Aug-09	7	10,000	394.46	2,068.48	
						average		**10,967**	**438.37**	**2,068.39**	
1	C100	25.00	4.95	0.26153	1-Aug-09	29-Aug-09	28	14,500	580.00	2,113.37	
2	C100	25.05	5.00	0.25802	1-Aug-09	29-Aug-09	28	13,500	538.92	2,060.04	
3	C100	25.10	5.05	0.25931	1-Aug-09	29-Aug-09	28	12,000	478.09	2,045.76	
						average		**13,333**	**532.34**	**2,073.06**	
1	C100	25.05	5.00	0.25733	1-Aug-09	26-Sep-09	56	15,500	618.84	2,054.78	
2	C100	25.45	5.01	0.26228	1-Aug-09	26-Sep-09	56	14,500	569.74	2,057.03	
3	C100	25.30	5.00	0.25957	1-Aug-09	26-Sep-09	56	16,100	636.35	2,051.90	
						average		**15,367**	**608.31**	**2,054.57**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-2

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 % (C90LM10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LM10 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C90LM10	25.05	5.01	0.25494	1-Aug-09	4-Aug-09	3	10,500	419.16	2,031.39	
2	C90LM10	25.25	4.96	0.25232	1-Aug-09	4-Aug-09	3	12,000	475.24	2,014.64	
3	C90LM10	25.15	4.97	0.25133	1-Aug-09	4-Aug-09	3	11,500	457.26	2,010.71	
						average		**11,333**	**450.55**	**2,018.91**	
1	C90LM10	25.76	4.97	0.25852	1-Aug-09	8-Aug-09	7	12,700	493.11	2,019.65	
2	C90LM10	25.40	4.98	0.25412	1-Aug-09	8-Aug-09	7	11,500	452.76	2,008.98	
3	C90LM10	24.90	5.00	0.25600	1-Aug-09	8-Aug-09	7	12,200	489.96	2,056.22	
						average		**12,133**	**478.61**	**2,028.29**	
1	C90LM10	25.05	5.10	0.26004	1-Aug-09	29-Aug-09	28	15,000	598.80	2,035.46	
2	C90LM10	24.90	5.08	0.25922	1-Aug-09	29-Aug-09	28	14,500	582.35	2,049.37	
3	C90LM10	25.00	5.00	0.25742	1-Aug-09	29-Aug-09	28	14,200	568.02	2,059.43	
						average		**14,567**	**583.06**	**2,048.09**	
1	C90LM10	25.35	5.05	0.25777	1-Aug-09	26-Sep-09	56	15,100	595.73	2,013.79	
2	C90LM10	25.30	5.00	0.25940	1-Aug-09	26-Sep-09	56	16,500	652.22	2,050.72	
3	C90LM10	25.00	4.98	0.25914	1-Aug-09	26-Sep-09	56	16,000	640.00	2,081.45	
						average		**15,867**	**629.32**	**2,048.65**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-3

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 % (C80LM20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LM20 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C80LM20	25.25	5.00	0.24737	1-Aug-09	4-Aug-09	3	10,800	427.73	1,959.41	
2	C80LM20	25.10	5.09	0.24463	1-Aug-09	4-Aug-09	3	9,500	378.49	1,914.78	
3	C80LM20	25.25	5.09	0.24317	1-Aug-09	4-Aug-09	3	11,000	435.64	1,892.04	
						average		**10,433**	**413.95**	**1,922.08**	
1	C80LM20	25.86	4.98	0.26052	1-Aug-09	8-Aug-09	7	10,800	417.70	2,023.25	
2	C80LM20	24.90	5.00	0.25426	1-Aug-09	8-Aug-09	7	11,500	461.85	2,042.25	
3	C80LM20	25.00	4.97	0.24956	1-Aug-09	8-Aug-09	7	11,600	464.00	2,008.53	
						average		**11,300**	**447.85**	**2,024.68**	
1	C80LM20	26.01	5.06	0.25536	1-Aug-09	29-Aug-09	28	12,000	461.37	1,940.30	
2	C80LM20	25.15	5.02	0.25948	1-Aug-09	29-Aug-09	28	14,500	576.54	2,055.24	
3	C80LM20	25.00	5.00	0.25730	1-Aug-09	29-Aug-09	28	13,000	520.00	2,058.40	
						average		**13,167**	**519.30**	**2,017.98**	
1	C80LM20	25.30	5.12	0.25367	1-Aug-09	26-Sep-09	56	14,500	573.16	1,958.42	
2	C80LM20	25.15	5.00	0.26261	1-Aug-09	26-Sep-09	56	13,500	536.78	2,088.35	
3	C80LM20	24.85	5.00	0.26040	1-Aug-09	26-Sep-09	56	15,000	603.62	2,095.77	
						average		**14,333**	**571.19**	**2,047.52**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-4

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 % (C70LM30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LM30 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C70LM30	25.20	5.08	0.25011	1-Aug-09	4-Aug-09	3	8,500	337.30	1,953.74	
2	C70LM30	25.40	5.03	0.25746	1-Aug-09	4-Aug-09	3	9,600	377.93	2,015.03	
3	C70LM30	24.90	5.00	0.25361	1-Aug-09	4-Aug-09	3	8,600	345.38	2,037.03	
						average		**8,900**	**353.54**	**2,001.93**	
1	C70LM30	25.00	4.95	0.25440	1-Aug-09	8-Aug-09	7	10,200	408.00	2,055.76	
2	C70LM30	24.65	5.00	0.24868	1-Aug-09	8-Aug-09	7	9,800	397.55	2,017.59	
3	C70LM30	24.90	5.03	0.25122	1-Aug-09	8-Aug-09	7	10,000	401.61	2,005.80	
						average		**10,000**	**402.38**	**2,026.38**	
1	C70LM30	24.75	5.00	0.25557	1-Aug-09	29-Aug-09	28	12,200	492.93	2,065.21	
2	C70LM30	24.80	4.96	0.25508	1-Aug-09	29-Aug-09	28	11,500	463.71	2,073.69	
3	C70LM30	25.15	5.00	0.25026	1-Aug-09	29-Aug-09	28	11,600	461.23	1,990.14	
						average		**11,767**	**472.62**	**2,043.01**	
1	C70LM30	25.15	5.00	0.25544	1-Aug-09	26-Sep-09	56	13,500	536.86	2,031.66	
2	C70LM30	25.15	5.04	0.25980	1-Aug-09	26-Sep-09	56	13,600	540.76	2,049.61	
3	C70LM30	25.15	4.98	0.25598	1-Aug-09	26-Sep-09	56	14,100	560.64	2,043.80	
						average		**13,733**	**546.09**	**2,041.69**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข -5

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 10 %
(C90LS10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LS10 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C90LS10	25.40	5.08	0.26250	1-Aug-09	5-Oct-09	65	10,200	401.61	2,034.54	
2	C90LS10	25.10	4.98	0.26280	1-Aug-09	5-Oct-09	65	10,000	398.41	2,102.43	
3	C90LS10	24.85	5.11	0.26180	1-Aug-09	5-Oct-09	65	10,800	434.61	2,061.69	
						average		**10,333**	**411.54**	**2,066.22**	
1	C90LS10	25.60	5.10	0.25775	1-Aug-09	9-Oct-09	69	11,100	433.59	1,974.19	
2	C90LS10	25.00	5.08	0.25800	1-Aug-09	9-Oct-09	69	11,200	448.00	2,031.50	
3	C90LS10	25.10	5.00	0.25661	1-Aug-09	9-Oct-09	69	11,100	442.23	2,044.70	
						average		**11,133**	**441.27**	**2,016.80**	
1	C90LS10	24.90	5.08	0.26170	1-Aug-09	30-Oct-09	90	13,900	558.23	2,068.91	
2	C90LS10	24.85	4.98	0.25970	1-Aug-09	30-Oct-09	90	14,500	583.50	2,098.53	
3	C90LS10	25.25	5.11	0.25790	1-Aug-09	30-Oct-09	90	14,000	554.46	1,998.80	
						average		**14,133**	**565.40**	**2,055.41**	
1	C90LS10	25.34	5.10	0.25970	1-Aug-09	27-Nov-09	118	15,400	607.64	2,009.22	
2	C90LS10	25.00	5.08	0.25800	1-Aug-09	27-Nov-09	118	15,500	620.00	2,031.50	
3	C90LS10	25.25	5.00	0.26170	1-Aug-09	27-Nov-09	118	16,000	633.66	2,072.87	
						average		**15,633**	**620.43**	**2,037.86**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข -6

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 %
(C80LS20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LS20 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C80LS20	25.40	5.10	0.25880	1-Aug-09	4-Aug-09	3	10,500	413.42	1,998.00	
2	C80LS20	25.60	5.12	0.25960	1-Aug-09	4-Aug-09	3	9,500	371.09	1,980.59	
3	C80LS20	24.90	4.98	0.26160	1-Aug-09	4-Aug-09	3	9,200	369.48	2,109.64	
						average		**9,733**	**384.66**	**2,029.41**	
1	C80LS20	25.50	5.10	0.26199	1-Aug-09	8-Aug-09	7	10,600	415.69	2,014.53	
2	C80LS20	25.25	5.05	0.26436	1-Aug-09	8-Aug-09	7	10,500	415.84	2,073.21	
3	C80LS20	25.10	5.00	0.26235	1-Aug-09	8-Aug-09	7	10,500	418.33	2,090.44	
						average		**10,533**	**416.62**	**2,059.39**	
1	C80LS20	24.90	4.98	0.26310	1-Aug-09	29-Aug-09	28	12,500	502.01	2,121.74	
2	C80LS20	25.50	5.10	0.26360	1-Aug-09	29-Aug-09	28	13,000	509.80	2,026.91	
3	C80LS20	25.00	5.00	0.26520	1-Aug-09	29-Aug-09	28	12,800	512.00	2,121.60	
						average		**12,767**	**507.94**	**2,090.08**	
1	C80LS20	24.85	5.02	0.26310	1-Aug-09	26-Sep-09	56	14,000	563.40	2,109.15	
2	C80LS20	24.90	4.98	0.25880	1-Aug-09	26-Sep-09	56	13,800	554.22	2,087.06	
3	C80LS20	25.25	5.00	0.26160	1-Aug-09	26-Sep-09	56	13,900	550.50	2,072.08	
						average		**13,900**	**556.04**	**2,089.43**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข -7

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 % (C70LS30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LS30 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C70LS30	25.91	5.05	0.25790	1-Aug-09	4-Aug-09	3	9,800	378.26	1,971.18	
2	C70LS30	25.00	5.00	0.26240	1-Aug-09	4-Aug-09	3	8,500	340.01	2,099.23	
3	C70LS30	25.40	4.98	0.26010	1-Aug-09	4-Aug-09	3	8,600	338.63	2,056.52	
						average		**8,967**	**352.30**	**2,042.31**	
1	C70LS30	26.11	5.05	0.26607	1-Aug-09	8-Aug-09	7	10,200	390.63	2,017.74	
2	C70LS30	25.40	4.98	0.26876	1-Aug-09	8-Aug-09	7	9,800	385.83	2,124.72	
3	C70LS30	25.00	5.00	0.26911	1-Aug-09	8-Aug-09	7	10,000	400.00	2,152.88	
						average		**10,000**	**392.15**	**2,098.45**	
1	C70LS30	25.30	5.05	0.26690	1-Aug-09	29-Aug-09	28	12,200	482.24	2,089.12	
2	C70LS30	24.75	4.98	0.26690	1-Aug-09	29-Aug-09	28	11,500	464.64	2,165.38	
3	C70LS30	25.81	5.00	0.26740	1-Aug-09	29-Aug-09	28	11,600	449.52	2,072.43	
						average		**11,767**	**465.47**	**2,108.98**	
1	C70LS30	26.11	4.98	0.26740	1-Aug-09	26-Sep-09	56	13,200	505.51	2,056.33	
2	C70LS30	25.40	4.97	0.26876	1-Aug-09	26-Sep-09	56	12,600	496.06	2,128.99	
3	C70LS30	25.00	5.05	0.26690	1-Aug-09	26-Sep-09	56	14,200	568.00	2,114.06	
						average		**13,333**	**523.19**	**2,099.79**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค -1

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100)
ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C100 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 5/8/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C100	24.90	5.10	0.24984	5-Aug-09	8-Aug-09	3	9,400	377.51	1,967.40	
2	C100	25.00	5.00	0.25390	5-Aug-09	8-Aug-09	3	8,900	356.00	2,031.20	
3	C100	25.00	5.10	0.25566	5-Aug-09	8-Aug-09	3	9,000	360.00	2,005.18	
						average		**9,100**	**364.50**	**2,001.26**	
1	C100	24.75	5.00	0.25698	5-Aug-09	12-Aug-09	7	11,200	452.53	2,076.61	
2	C100	25.00	4.98	0.25648	5-Aug-09	12-Aug-09	7	8,900	356.00	2,060.08	
3	C100	25.35	5.00	0.26219	5-Aug-09	12-Aug-09	7	9,800	386.57	2,068.48	
						average		**9,967**	**398.37**	**2,068.39**	
1	C100	24.90	4.98	0.25783	5-Aug-09	2-Sep-09	28	13,500	542.17	2,079.24	
2	C100	25.00	5.00	0.26291	5-Aug-09	2-Sep-09	28	12,900	516.00	2,103.28	
3	C100	25.10	5.00	0.25760	5-Aug-09	2-Sep-09	28	12,600	501.99	2,052.59	
						average		**13,000**	**520.05**	**2,078.37**	
1	C100	24.65	5.00	0.26231	5-Aug-09	30-Sep-09	56	13,500	547.65	2,128.19	
2	C100	25.00	5.00	0.26074	5-Aug-09	30-Sep-09	56	12,600	504.00	2,085.92	
3	C100	25.25	5.02	0.25641	5-Aug-09	30-Sep-09	56	14,800	586.14	2,022.88	
						average		**13,633**	**545.93**	**2,079.00**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค -2

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 % (C90LM10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LM10 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 5/8/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C90LM10	25.15	5.00	0.25092	5-Aug-09	8-Aug-09	3	11,000	437.45	1,995.71	
2	C90LM10	24.75	5.02	0.25267	5-Aug-09	8-Aug-09	3	10,800	436.35	2,033.59	
3	C90LM10	25.55	5.02	0.25168	5-Aug-09	8-Aug-09	3	9,900	387.48	1,962.25	
						average		**10,567**	**420.42**	**1,997.18**	
1	C90LM10	25.76	4.97	0.25852	5-Aug-09	12-Aug-09	7	11,800	458.16	2,019.65	
2	C90LM10	25.40	4.98	0.25412	5-Aug-09	12-Aug-09	7	10,700	421.26	2,008.98	
3	C90LM10	24.90	5.00	0.25600	5-Aug-09	12-Aug-09	7	11,100	445.78	2,056.22	
						average		**11,200**	**441.74**	**2,028.29**	
1	C90LM10	25.25	4.95	0.24971	5-Aug-09	2-Sep-09	28	14,300	566.45	1,998.28	
2	C90LM10	25.25	4.97	0.25955	5-Aug-09	2-Sep-09	28	14,100	558.47	2,068.45	
3	C90LM10	25.00	5.00	0.25447	5-Aug-09	2-Sep-09	28	14,400	576.00	2,035.76	
						average		**14,267**	**566.97**	**2,034.16**	
1	C90LM10	25.00	5.05	0.25388	5-Aug-09	30-Sep-09	56	14,500	580.06	2,011.13	
2	C90LM10	24.85	5.00	0.25960	5-Aug-09	30-Sep-09	56	14,500	583.50	2,089.34	
3	C90LM10	24.90	4.98	0.25238	5-Aug-09	30-Sep-09	56	14,700	590.36	2,035.29	
						average		**14,567**	**584.64**	**2,045.25**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค - 3

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 % (C80LM20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LM20 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 5/8/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C80LM20	25.76	4.98	0.24899	5-Aug-09	8-Aug-09	3	9,200	357.21	1,941.29	
2	C80LM20	25.10	4.97	0.24914	5-Aug-09	8-Aug-09	3	9,500	378.49	1,997.16	
3	C80LM20	24.75	5.05	0.24730	5-Aug-09	8-Aug-09	3	9,200	371.71	1,978.55	
						average		**9,300**	**369.14**	**1,972.33**	
1	C80LM20	25.86	4.98	0.26052	5-Aug-09	12-Aug-09	7	10,700	413.83	2,023.25	
2	C80LM20	24.90	5.00	0.25426	5-Aug-09	12-Aug-09	7	10,100	405.62	2,042.25	
3	C80LM20	25.00	4.97	0.24956	5-Aug-09	12-Aug-09	7	10,800	432.00	2,008.53	
						average		**10,533**	**417.15**	**2,024.68**	
1	C80LM20	25.15	5.12	0.25222	5-Aug-09	2-Sep-09	28	11,800	469.20	1,958.79	
2	C80LM20	24.75	5.00	0.25071	5-Aug-09	2-Sep-09	28	12,000	484.84	2,025.89	
3	C80LM20	25.25	5.00	0.25344	5-Aug-09	2-Sep-09	28	12,300	487.13	2,007.45	
						average		**12,033**	**480.39**	**1,997.38**	
1	C80LM20	25.50	5.05	0.25536	5-Aug-09	30-Sep-09	56	12,500	490.24	1,983.18	
2	C80LM20	24.85	4.98	0.25205	5-Aug-09	30-Sep-09	56	13,600	547.28	2,036.72	
3	C80LM20	25.25	5.00	0.25114	5-Aug-09	30-Sep-09	56	13,700	542.57	1,989.23	
						average		**13,267**	**526.70**	**2,003.04**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค - 4

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 % (C70LM30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LM30 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 5/8/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C70LM30	24.95	5.00	0.25333	5-Aug-09	8-Aug-09	3	8,000	320.65	2,030.75	
2	C70LM30	25.05	4.97	0.25229	5-Aug-09	8-Aug-09	3	7,500	299.40	2,026.45	
3	C70LM30	25.10	5.00	0.25205	5-Aug-09	8-Aug-09	3	8,900	354.58	2,008.37	
						average		**8,133**	**324.88**	**2,021.86**	
1	C70LM30	25.00	4.95	0.25440	5-Aug-09	12-Aug-09	7	8,600	344.00	2,055.76	
2	C70LM30	24.65	5.00	0.24868	5-Aug-09	12-Aug-09	7	9,100	369.15	2,017.59	
3	C70LM30	24.90	5.03	0.25122	5-Aug-09	12-Aug-09	7	8,800	353.41	2,005.80	
						average		**8,833**	**355.52**	**2,026.38**	
1	C70LM30	24.75	4.97	0.25472	5-Aug-09	2-Sep-09	28	10,700	432.32	2,070.77	
2	C70LM30	24.85	5.00	0.24676	5-Aug-09	2-Sep-09	28	9,800	394.37	1,986.00	
3	C70LM30	25.15	5.02	0.25690	5-Aug-09	2-Sep-09	28	10,000	397.61	2,034.80	
						average		**10,167**	**408.10**	**2,030.52**	
1	C70LM30	24.75	5.00	0.25273	5-Aug-09	30-Sep-09	56	11,700	472.73	2,042.26	
2	C70LM30	24.85	4.97	0.24970	5-Aug-09	30-Sep-09	56	13,100	527.16	2,021.79	
3	C70LM30	25.05	4.98	0.25086	5-Aug-09	30-Sep-09	56	10,800	431.15	2,010.97	
						average		**11,867**	**477.01**	**2,025.01**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค -5

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 10 % (C90LS10) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LS10 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 2/10/2009

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C90LS10	25.40	5.08	0.26250	5-Aug-09	8-Aug-09	3	10,200	401.61	2,034.54	
2	C90LS10	25.10	4.98	0.26280	5-Aug-09	8-Aug-09	3	9,500	378.49	2,102.43	
3	C90LS10	24.85	5.11	0.26180	5-Aug-09	8-Aug-09	3	9,600	386.32	2,061.69	
						average		**9,767**	**388.80**	**2,066.22**	
1	C90LS10	25.60	5.10	0.25775	5-Aug-09	12-Aug-09	7	10,800	421.88	1,974.19	
2	C90LS10	25.00	5.08	0.25800	5-Aug-09	12-Aug-09	7	10,400	416.00	2,031.50	
3	C90LS10	25.10	5.00	0.25661	5-Aug-09	12-Aug-09	7	10,000	398.41	2,044.70	
						average		**10,400**	**412.09**	**2,016.80**	
1	C90LS10	24.90	5.08	0.26170	5-Aug-09	2-Sep-09	28	13,500	542.17	2,068.91	
2	C90LS10	24.85	4.98	0.25970	5-Aug-09	2-Sep-09	28	13,200	531.19	2,098.53	
3	C90LS10	25.25	5.11	0.25790	5-Aug-09	2-Sep-09	28	13,400	530.69	1,998.80	
						average		**13,367**	**534.68**	**2,055.41**	
1	C90LS10	25.34	5.10	0.25661	5-Aug-09	30-Sep-09	56	13,800	544.51	1,985.31	
2	C90LS10	25.00	5.08	0.25775	5-Aug-09	30-Sep-09	56	14,500	580.00	2,029.53	
3	C90LS10	25.25	5.00	0.26170	5-Aug-09	30-Sep-09	56	14,900	590.10	2,072.87	
						average		**14,400**	**571.54**	**2,029.24**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค -6

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 % (C80LS20) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LS20 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 2/10/2009

CONTRACTOR : **Date of Submission**

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C80LS20	25.40	5.10	0.25880	5-Aug-09	8-Aug-09	3	9,000	354.36	1,998.00	
2	C80LS20	25.60	5.12	0.25960	5-Aug-09	8-Aug-09	3	8,900	347.66	1,980.59	
3	C80LS20	24.90	4.98	0.26160	5-Aug-09	8-Aug-09	3	8,800	353.41	2,109.64	
						average		**8,900**	**351.81**	**2,029.41**	
1	C80LS20	25.50	5.10	0.26199	5-Aug-09	12-Aug-09	7	9,700	380.39	2,014.53	
2	C80LS20	25.25	5.05	0.26436	5-Aug-09	12-Aug-09	7	9,900	392.08	2,073.21	
3	C80LS20	25.10	5.00	0.26235	5-Aug-09	12-Aug-09	7	9,800	390.44	2,090.44	
						average		**9,800**	**387.64**	**2,059.39**	
1	C80LS20	24.90	4.98	0.26310	5-Aug-09	2-Sep-09	28	11,700	469.88	2,121.74	
2	C80LS20	25.50	5.10	0.26360	5-Aug-09	2-Sep-09	28	11,500	450.98	2,026.91	
3	C80LS20	25.00	5.00	0.26520	5-Aug-09	2-Sep-09	28	11,000	440.00	2,121.60	
						average		**11,400**	**453.62**	**2,090.08**	
1	C80LS20	24.85	5.02	0.26310	5-Aug-09	30-Sep-09	56	12,400	499.01	2,109.15	
2	C80LS20	24.90	4.98	0.26436	5-Aug-09	30-Sep-09	56	13,100	526.10	2,131.90	
3	C80LS20	25.25	5.00	0.26520	5-Aug-09	30-Sep-09	56	12,300	487.13	2,100.59	
						average		**12,600**	**504.08**	**2,113.88**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค -7

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 % (C70LS30) ที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S

INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LS30 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 2/10/2009

CONTRACTOR : **Date of Submission**

Spec. No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume kg/cu.m.	Remark
1	C70LS30	25.91	5.05	0.25790	5-Aug-09	8-Aug-09	3	8,000	308.78	1,971.18	
2	C70LS30	25.00	5.00	0.26240	5-Aug-09	8-Aug-09	3	7,400	296.00	2,099.23	
3	C70LS30	25.40	4.98	0.26010	5-Aug-09	8-Aug-09	3	8,500	334.69	2,056.52	
						average		**7,967**	**313.16**	**2,042.31**	
1	C70LS30	26.11	5.05	0.26607	5-Aug-09	12-Aug-09	7	8,600	329.35	2,017.74	
2	C70LS30	25.40	4.98	0.26876	5-Aug-09	12-Aug-09	7	9,100	358.27	2,124.72	
3	C70LS30	25.00	5.00	0.26911	5-Aug-09	12-Aug-09	7	8,400	336.00	2,152.88	
						average		**8,700**	**341.21**	**2,098.45**	
1	C70LS30	25.30	5.05	0.26690	5-Aug-09	2-Sep-09	28	9,800	387.38	2,089.12	
2	C70LS30	24.75	4.98	0.26690	5-Aug-09	2-Sep-09	28	10,000	404.03	2,165.38	
3	C70LS30	25.81	5.00	0.26740	5-Aug-09	2-Sep-09	28	9,800	379.76	2,072.43	
						average		**9,867**	**390.39**	**2,108.98**	
1	C70LS30	26.11	4.98	0.26010	5-Aug-09	30-Sep-09	56	11,000	421.26	2,000.19	
2	C70LS30	25.40	4.97	0.26690	5-Aug-09	30-Sep-09	56	12,500	492.13	2,114.26	
3	C70LS30	25.00	5.05	0.26740	5-Aug-09	30-Sep-09	56	11,200	448.00	2,118.02	
						average		**11,567**	**453.80**	**2,077.49**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-1

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

ตาราง ง-2

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

ตาราง ง-3

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

ตาราง ง-4

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

ตาราง ง-5

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

ตาราง ง-6

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

ตาราง ง-7

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

NFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C100 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 11/8/2009

		Sample 1	X_0	11.98	Sample 2	X_0	12.08	Sample 3	X_0	11.08	Average
of Test	Age	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	
'8/2009	1	143.08	11.98	0	143.18	12.08	0	142.18	11.08	0	0
'8/2009	2	143.08	11.97	69.89097	143.18	12.07	69.84216	142.18	11.07	70.33338	70.02217
'8/2009	3	143.08	11.96	139.78194	143.18	12.06	139.68431	142.18	11.05	211.00014	163.4888
'8/2009	4	143.08	11.94	279.56388	143.18	12.05	209.52647	142.18	11.05	211.00014	233.3635
'8/2009	5	143.08	11.94	279.56388	143.18	12.03	349.21078	142.18	11.04	281.33352	303.3694
'8/2009	6	143.08	11.92	419.34582	143.18	12.02	419.05294	142.18	11.03	351.66690	396.6886
'8/2009	7	143.08	11.92	419.34582	143.18	12.01	488.89510	142.18	11.03	351.66690	419.9693
'8/2009	8	143.08	11.92	419.34582	143.18	12.00	558.73725	142.18	11.02	422.00028	466.6945
'8/2009	9	143.08	11.9	559.12776	143.18	12.00	558.73725	142.18	11.02	422.00028	513.2884
'8/2009	10	143.08	11.89	629.01873	143.18	11.98	698.42157	142.18	11.01	492.33366	606.5913
'8/2009	11	143.08	11.87	768.80067	143.18	11.98	698.42157	142.18	11.01	492.33366	653.1853
'8/2009	12	143.08	11.86	838.69164	143.18	11.97	768.26372	142.18	11.00	562.66704	723.2075
'8/2009	13	143.08	11.85	908.58261	143.18	11.97	768.26372	142.18	11.00	562.66704	746.5045
'8/2009	14	143.08	11.84	978.47358	143.18	11.95	907.94804	142.18	11.00	562.66704	816.3629
'8/2009	15	143.08	11.84	978.47358	143.18	11.94	977.79019	142.18	10.99	633.00042	863.0881
'8/2009	16	143.08	11.82	1118.25552	143.18	11.94	977.79019	142.18	10.98	703.33380	933.1265
'8/2009	18	143.08	11.82	1118.25552	143.18	11.93	1047.63235	142.18	10.96	844.00056	1003.296
'8/2009	20	143.08	11.81	1188.14649	143.18	11.91	1187.31666	142.18	10.93	1055.00070	1143.488
9/2009	22	143.08	11.80	1258.03746	143.18	11.9	1257.15882	142.18	10.92	1125.33408	1213.51
9/2009	24	143.08	11.79	1327.92843	143.18	11.89	1327.00098	142.18	10.92	1125.33408	1260.088
9/2009	26	143.08	11.78	1397.81940	143.18	11.88	1396.84313	142.18	10.92	1125.33408	1306.666
9/2009	28	143.08	11.78	1397.81940	143.18	11.87	1466.68529	142.18	10.9	1266.00084	1376.835
'9/2009	30	143.08	11.77	1467.71037	143.18	11.86	1536.52745	142.18	10.9	1266.00084	1423.413
'9/2009	32	143.08	11.76	1537.60134	143.18	11.84	1676.21176	142.18	10.9	1266.00084	1493.271
'9/2009	34	143.08	11.76	1537.60134	143.18	11.84	1676.21176	142.18	10.9	1266.00084	1493.271
'9/2009	36	143.08	11.76	1537.60134	143.18	11.84	1676.21176	142.18	10.88	1406.66760	1540.16
'9/2009	38	143.08	11.76	1537.60134	143.18	11.84	1676.21176	142.18	10.87	1477.00098	1563.605
'9/2009	40	143.08	11.76	1537.60134	143.18	11.84	1676.21176	142.18	10.87	1512.16767	1575.327
'9/2009	45	143.08	11.76	1537.60134	143.18	11.84	1676.21176	142.18	10.87	1512.16767	1575.327
'9/2009	50	143.08	11.76	1537.60134	143.18	11.84	1676.21176	142.18	10.86	1547.33436	1587.049
0/2009	56	143.08	11.76	1537.60134	143.18	11.84	1676.21176	142.18	10.87	1512.16767	1575.327

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LM10 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 11/8/2009

		Sample 1	X_0	10.14	Sample 2	X_0	10.09	Sample 3	X_0	9.32	Average
of Test	Age	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
/8/2009	1	141.24	10.14	0	141.19	10.09	0	140.42	9.32	0	0
/8/2009	2	141.24	10.12	141.60295	141.19	10.07	141.65309	140.42	9.3	142.42985	141.90
/8/2009	3	141.24	10.11	212.40442	141.19	10.05	283.30618	140.42	9.29	213.64478	236.45
/8/2009	4	141.24	10.1	283.20589	141.19	10.04	354.13273	140.42	9.27	356.07463	331.14
/8/2009	5	141.24	10.1	283.20589	141.19	10.03	424.95927	140.42	9.26	427.28956	378.48
/8/2009	6	141.24	10.09	354.00736	141.19	10.01	566.61237	140.42	9.25	498.50449	473.04
/8/2009	7	141.24	10.09	354.00736	141.19	10.00	637.43891	140.42	9.25	498.50449	496.65
/8/2009	8	141.24	10.08	424.80884	141.19	9.98	779.09200	140.42	9.24	569.71941	591.21
/8/2009	9	141.24	10.08	424.80884	141.19	9.97	849.91855	140.42	9.24	569.71941	614.82
/8/2009	10	141.24	10.07	495.61031	141.19	9.96	920.74510	140.42	9.23	640.93434	685.76
/8/2009	11	141.24	10.06	566.41178	141.19	9.95	991.57164	140.42	9.23	640.93434	732.97
/8/2009	12	141.24	10.05	637.21325	141.19	9.95	991.57164	140.42	9.22	712.14927	780.31
/8/2009	13	141.24	10.04	708.01473	141.19	9.94	1062.39819	140.42	9.21	783.36419	851.26
/8/2009	14	141.24	10.03	778.81620	141.19	9.94	1062.39819	140.42	9.20	854.57912	898.60
/8/2009	15	141.24	10.03	778.81620	141.19	9.92	1204.05128	140.42	9.19	925.79405	969.55
/8/2009	16	141.24	10.03	778.81620	141.19	9.91	1274.87782	140.42	9.18	997.00897	1016.90
/8/2009	18	141.24	10.02	849.61767	141.19	9.9	1345.70437	140.42	9.17	1068.22390	1087.85
/8/2009	20	141.24	10.02	849.61767	141.19	9.88	1487.35746	140.42	9.17	1068.22390	1135.07
9/2009	22	141.24	10.02	849.61767	141.19	9.87	1558.18401	140.42	9.15	1210.65375	1206.15
9/2009	24	141.24	10.01	920.41914	141.19	9.86	1629.01055	140.42	9.16	1139.43883	1229.62
9/2009	26	141.24	10.00	991.22062	141.19	9.86	1629.01055	140.42	9.15	1210.65375	1276.96
9/2009	28	141.24	9.98	1132.82356	141.19	9.86	1629.01055	140.42	9.14	1281.86868	1347.90
/9/2009	30	141.24	9.98	1132.82356	141.19	9.85	1699.83710	140.42	9.14	1281.86868	1371.51
/9/2009	32	141.24	9.96	1274.42651	141.19	9.85	1699.83710	140.42	9.14	1281.86868	1418.71
/9/2009	34	141.24	9.96	1274.42651	141.19	9.84	1770.66364	140.42	9.14	1281.86868	1442.32
/9/2009	36	141.24	9.96	1274.42651	141.19	9.84	1770.66364	140.42	9.14	1281.86868	1442.32
/9/2009	38	141.24	9.95	1345.22798	141.19	9.84	1770.66364	140.42	9.135	1317.47614	1477.79
/9/2009	40	141.24	9.95	1345.22798	141.19	9.84	1770.66364	140.42	9.135	1317.47614	1477.79
/9/2009	45	141.24	9.95	1345.22798	141.19	9.84	1770.66364	140.42	9.14	1281.86868	1465.92
/9/2009	50	141.24	9.95	1345.22798	141.19	9.84	1770.66364	140.42	9.135	1317.47614	1477.79
0/2009	56	141.24	9.95	1345.22798	141.19	9.84	1770.66364	140.42	9.14	1281.86868	1465.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LM20 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 11/8/2009

		Sample 1	X_0	12.47	Sample 2	X_0	9.6	Sample 3	X_0	11.62	Average
of Test	Age	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0 (10^{-6})$ %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0 (10^{-6})$	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0 (10^{-6})$	
/8/2009	1	143.57	12.47	0	140.70	9.6	0	142.72	11.62	0	0
/8/2009	2	143.57	12.45	139.30487	140.70	9.58	142.14641	142.72	11.6	140.13453	140.529
/8/2009	3	143.57	12.43	278.60974	140.70	9.57	213.21962	142.72	11.58	280.26906	257.366
/8/2009	4	143.57	12.42	348.26217	140.70	9.55	355.36603	142.72	11.57	350.33632	351.322
/8/2009	5	143.57	12.42	348.26217	140.70	9.55	355.36603	142.72	11.56	420.40359	374.677
/8/2009	6	143.57	12.42	348.26217	140.70	9.53	497.51244	142.72	11.54	560.53812	468.771
/8/2009	7	143.57	12.41	417.91461	140.70	9.52	568.58564	142.72	11.54	560.53812	515.679
/8/2009	8	143.57	12.4	487.56704	140.70	9.51	639.65885	142.72	11.52	700.67265	609.300
/8/2009	9	143.57	12.39	557.21947	140.70	9.50	710.73205	142.72	11.52	700.67265	656.208
/8/2009	10	143.57	12.38	626.87191	140.70	9.5	710.73205	142.72	11.52	700.67265	679.426
/8/2009	11	143.57	12.35	835.82921	140.70	9.5	710.73205	142.72	11.52	700.67265	749.078
/8/2009	12	143.57	12.32	1044.78652	140.70	9.5	710.73205	142.72	11.52	700.67265	818.730
/8/2009	13	143.57	12.31	1114.43895	140.70	9.50	710.73205	142.72	11.51	770.73991	865.304
/8/2009	14	143.57	12.3	1184.09138	140.70	9.48	852.87846	142.72	11.51	770.73991	935.903
/8/2009	15	143.57	12.3	1184.09138	140.70	9.48	852.87846	142.72	11.49	910.87444	982.615
/8/2009	16	143.57	12.3	1184.09138	140.70	9.46	995.02488	142.72	11.49	910.87444	1029.997
/8/2009	18	143.57	12.30	1184.09138	140.70	9.46	995.02488	142.72	11.46	1121.07623	1100.064
/8/2009	20	143.57	12.30	1184.09138	140.70	9.45	1066.09808	142.72	11.45	1191.14350	1147.111
9/2009	22	143.57	12.29	1253.74382	140.70	9.44	1137.17129	142.72	11.44	1261.21076	1217.375
9/2009	24	143.57	12.29	1253.74382	140.70	9.43	1208.24449	142.72	11.44	1261.21076	1241.066
9/2009	26	143.57	12.29	1253.74382	140.70	9.42	1279.31770	142.72	11.44	1261.21076	1264.757
9/2009	28	143.57	12.29	1253.74382	140.70	9.42	1279.31770	142.72	11.43	1331.27803	1288.113
/9/2009	30	143.57	12.29	1253.74382	140.70	9.42	1279.31770	142.72	11.41	1471.41256	1334.825
/9/2009	32	143.57	12.29	1253.74382	140.70	9.42	1279.31770	142.72	11.41	1471.41256	1334.825
/9/2009	34	143.57	12.29	1253.74382	140.70	9.42	1279.31770	142.72	11.41	1471.41256	1334.825
/9/2009	36	143.57	12.29	1253.74382	140.70	9.41	1350.39090	142.72	11.41	1471.41256	1358.516
/9/2009	38	143.57	12.27	1393.04869	140.70	9.42	1279.31770	142.72	11.41	1506.44619	1392.938
/9/2009	40	143.57	12.27	1393.04869	140.70	9.42	1279.31770	142.72	11.41	1471.41256	1381.260
/9/2009	45	143.57	12.27	1393.04869	140.70	9.42	1279.31770	142.72	11.41	1506.44619	1392.938
/9/2009	50	143.57	12.27	1393.04869	140.70	9.42	1279.31770	142.72	11.41	1471.41256	1381.260
0/2009	56	143.57	12.27	1393.04869	140.70	9.42	1279.31770	142.72	11.41	1506.44619	1392.938

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LM30 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 11/8/2009

e of Test	Age	Sample 1	X_0	11.13	Sample 2	X_0	10.59	Sample 3	X_0	11.18	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
-/8/2009	1	142.23	11.13	0	141.69	10.59	0	142.28	11.18	0	0
/8/2009	2	142.23	11.1	210.92596	141.69	10.57	141.15322	142.28	11.18	0	117.3597
/8/2009	3	142.23	11.08	351.54327	141.69	10.57	141.15322	142.28	11.18	0	164.2322
/8/2009	4	142.23	11.07	421.85193	141.69	10.56	211.72983	142.28	11.17	70.28395	234.6219
/8/2009	5	142.23	11.06	492.16058	141.69	10.56	211.72983	142.28	11.16	140.56789	281.4861
/8/2009	6	142.23	11.05	562.46924	141.69	10.55	282.30644	142.28	11.15	210.85184	351.8758
/8/2009	7	142.23	11.04	632.77789	141.69	10.55	282.30644	142.28	11.14	281.13579	398.74
/8/2009	8	142.23	11.02	773.39520	141.69	10.54	352.88305	142.28	11.14	281.13579	469.138
/8/2009	9	142.23	11.01	843.70386	141.69	10.53	423.45967	142.28	11.15	210.85184	492.6718
/8/2009	10	142.23	11.01	843.70386	141.69	10.52	494.03628	142.28	11.13	351.41974	563.0533
/8/2009	11	142.23	11.01	843.70386	141.69	10.51	564.61289	142.28	11.12	421.70368	610.0068
/8/2009	12	142.23	11	914.01251	141.69	10.5	635.18950	142.28	11.12	421.70368	656.9686
/8/2009	13	142.23	11	914.01251	141.69	10.49	705.76611	142.28	11.10	562.27158	727.3501
/8/2009	14	142.23	10.97	1124.93848	141.69	10.49	705.76611	142.28	11.09	632.55552	821.0867
/8/2009	15	142.23	10.97	1124.93848	141.69	10.48	776.34272	142.28	11.09	632.55552	844.6122
/8/2009	16	142.23	10.97	1124.93848	141.69	10.48	776.34272	142.28	11.07	773.12342	891.4682
-/8/2009	18	142.23	10.95	1265.55579	141.69	10.47	846.91933	142.28	11.07	773.12342	961.8662
/8/2009	20	142.23	10.93	1406.17310	141.69	10.47	846.91933	142.28	11.05	913.69131	1055.595
9/2009	22	142.23	10.91	1546.79041	141.69	10.46	917.49594	142.28	11.03	1054.25921	1172.849
9/2009	24	142.23	10.92	1476.48175	141.69	10.46	917.49594	142.28	11.02	1124.54315	1172.84
9/2009	26	142.23	10.92	1476.48175	141.69	10.46	917.49594	142.28	11.01	1194.82710	1196.268
9/2009	28	142.23	10.91	1546.79041	141.69	10.45	988.07255	142.28	11.01	1194.82710	1243.23
/9/2009	30	142.23	10.91	1546.79041	141.69	10.44	1058.64916	142.28	11.015	1159.68513	1255.042
/9/2009	32	142.23	10.9	1617.09906	141.69	10.43	1129.22577	142.28	11.02	1124.54315	1290.289
/9/2009	34	142.23	10.9	1617.09906	141.69	10.43	1129.22577	142.28	11.015	1159.68513	1302.003
/9/2009	36	142.23	10.9	1617.09906	141.69	10.43	1129.22577	142.28	11.02	1124.54315	1290.289
/9/2009	38	142.23	10.9	1617.09906	141.69	10.43	1129.22577	142.28	11.015	1159.68513	1302.003
/9/2009	40	142.23	10.9	1617.09906	141.69	10.43	1129.22577	142.28	11.02	1124.54315	1290.289
/9/2009	45	142.23	10.9	1617.09906	141.69	10.43	1129.22577	142.28	11.015	1159.68513	1302.003
/9/2009	50	142.23	10.9	1617.09906	141.69	10.43	1129.22577	142.28	11.02	1124.54315	1290.289
0/2009	56	142.23	10.9	1617.09906	141.69	10.43	1129.22577	142.28	11.015	1159.68513	1302.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LS10 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 2/10/2009

e of Test	Age	Sample 1	X_0	11.96	Sample 2	X_0	11.56	Sample 3	X_0	12.98	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_n (10^{-6})$ %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_n (10^{-6})$	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_n (10^{-6})$	
/8/2009	1	146.06	11.96	0	145.66	11.56	0	147.08	12.98	0	0
/8/2009	2	146.06	11.94	136.93003	145.66	11.55	68.65303	147.08	12.98	0	68.52769
/8/2009	3	146.06	11.94	136.93003	145.66	11.54	137.30606	147.08	12.97	67.99021	114.0754
/8/2009	4	146.06	11.91	342.32507	145.66	11.53	205.95908	147.08	12.96	135.98042	228.0882
/8/2009	5	146.06	11.88	547.72012	145.66	11.51	343.26514	147.08	12.94	271.96084	387.6487
/8/2009	6	146.06	11.87	616.18513	145.66	11.50	411.91817	147.08	12.93	339.95105	456.0181
/8/2009	7	146.06	11.86	684.65014	145.66	11.50	411.91817	147.08	12.93	339.95105	478.8398
/8/2009	8	146.06	11.85	753.11516	145.66	11.49	480.57119	147.08	12.92	407.94126	547.2092
/8/2009	9	146.06	11.85	753.11516	145.66	11.49	480.57119	147.08	12.92	407.94126	547.2092
/8/2009	10	146.06	11.84	821.58017	145.66	11.48	549.22422	147.08	12.91	475.93147	615.5786
/8/2009	11	146.06	11.84	821.58017	145.66	11.47	617.87725	147.08	12.91	475.93147	638.463
/8/2009	12	146.06	11.84	821.58017	145.66	11.46	686.53028	147.08	12.9	543.92168	684.0107
/8/2009	13	146.06	11.84	821.58017	145.66	11.46	686.53028	147.08	12.89	611.91188	706.6741
/8/2009	14	146.06	11.83	890.04519	145.66	11.46	686.53028	147.08	12.89	611.91188	729.4958
/8/2009	15	146.06	11.82	958.51020	145.66	11.46	686.53028	147.08	12.88	679.90209	774.9809
/8/2009	16	146.06	11.79	1163.90524	145.66	11.45	755.18330	147.08	12.88	679.90209	866.3302
/8/2009	18	146.06	11.79	1163.90524	145.66	11.44	823.83633	147.08	12.87	747.89230	911.878
/8/2009	20	146.06	11.78	1232.37026	145.66	11.42	961.14239	147.08	12.85	883.87272	1025.795
9/2009	22	146.06	11.77	1300.83527	145.66	11.41	1029.79541	147.08	12.84	951.86293	1094.165
9/2009	24	146.06	11.76	1369.30029	145.66	11.41	1029.79541	147.08	12.83	1019.85314	1139.65
9/2009	26	146.06	11.75	1437.76530	145.66	11.4	1098.44844	147.08	12.83	1019.85314	1185.356
9/2009	28	146.06	11.75	1437.76530	145.66	11.37	1304.40752	147.08	12.83	1019.85314	1254.009
/9/2009	30	146.06	11.74	1506.23032	145.66	11.37	1304.40752	147.08	12.8	1223.82377	1344.821
/9/2009	32	146.06	11.74	1540.46282	145.66	11.36	1373.06055	147.08	12.79	1291.81398	1401.779
/9/2009	34	146.06	11.74	1540.46282	145.66	11.36	1373.06055	147.08	12.79	1291.81398	1401.779
/9/2009	36	146.06	11.74	1540.46282	145.66	11.36	1373.06055	147.08	12.78	1359.80419	1424.443
/9/2009	38	146.06	11.73	1574.69533	145.66	11.36	1407.38707	147.08	12.78	1393.79929	1458.627
/9/2009	40	146.06	11.73	1574.69533	145.66	11.36	1373.06055	147.08	12.78	1359.80419	1435.853
/9/2009	45	146.06	11.74	1540.46282	145.66	11.36	1373.06055	147.08	12.78	1393.79929	1435.774
/9/2009	50	146.06	11.73	1574.69533	145.66	11.36	1373.06055	147.08	12.78	1359.80419	1435.853
.0/2009	56	146.06	11.73	1574.69533	145.66	11.36	1373.06055	147.08	12.78	1393.79929	1447.185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LS20 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 2/10/2009

		Sample 1	X_0	12.31	Sample 2	X_0	12.08	Sample 3	X_0	10.77	Average
e of Test	Age	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
/8/2009	1	143.41	12.31	0	143.18	12.08	0	141.87	10.77	0	0
/8/2009	2	143.41	12.3	69.73014	143.18	12.07	69.84216	141.87	10.75	140.97413	93.51548
/8/2009	3	143.41	12.29	139.46029	143.18	12.06	139.68431	141.87	10.72	352.43533	210.5266
/8/2009	4	143.41	12.29	139.46029	143.18	12.05	209.52647	141.87	10.7	493.40946	280.7987
/8/2009	5	143.41	12.27	278.92058	143.18	12.03	349.21078	141.87	10.68	634.38359	420.8383
/8/2009	6	143.41	12.26	348.65072	143.18	12.02	419.05294	141.87	10.67	704.87066	490.8581
/8/2009	7	143.41	12.25	418.38087	143.18	12.02	419.05294	141.87	10.67	704.87066	514.1015
/8/2009	8	143.41	12.24	488.11101	143.18	12.01	488.89510	141.87	10.66	775.35772	584.1213
/8/2009	9	143.41	12.23	557.84115	143.18	12.01	488.89510	141.87	10.66	775.35772	607.3647
/8/2009	10	143.41	12.22	627.57130	143.18	12	558.73725	141.87	10.65	845.84479	677.3844
/8/2009	11	143.41	12.22	627.57130	143.18	11.99	628.57941	141.87	10.64	916.33185	724.1609
/8/2009	12	143.41	12.22	627.57130	143.18	11.98	698.42157	141.87	10.64	916.33185	747.4416
/8/2009	13	143.41	12.23	557.84115	143.18	11.97	768.26372	141.87	10.63	986.81892	770.9746
/8/2009	14	143.41	12.23	557.84115	143.18	11.96	838.10588	141.87	10.63	986.81892	794.2553
/8/2009	15	143.41	12.22	627.57130	143.18	11.95	907.94804	141.87	10.63	986.81892	840.7794
/8/2009	16	143.41	12.21	697.30144	143.18	11.94	977.79019	141.87	10.63	986.81892	887.3035
/8/2009	18	143.41	12.21	697.30144	143.18	11.94	977.79019	141.87	10.63	986.81892	887.3035
/8/2009	20	143.41	12.20	767.03159	143.18	11.92	1117.47451	141.87	10.63	986.81892	957.1083
9/2009	22	143.41	12.20	767.03159	143.18	11.91	1187.31666	141.87	10.62	1057.30598	1003.885
9/2009	24	143.41	12.18	906.49188	143.18	11.9	1257.15882	141.87	10.61	1127.79305	1097.148
9/2009	26	143.41	12.16	1045.95217	143.18	11.89	1327.00098	141.87	10.6	1198.28012	1190.411
9/2009	28	143.41	12.16	1045.95217	143.18	11.88	1396.84313	141.87	10.59	1268.76718	1237.187
/9/2009	30	143.41	12.15	1115.68231	143.18	11.87	1466.68529	141.87	10.59	1268.76718	1283.712
/9/2009	32	143.41	12.15	1115.68231	143.18	11.87	1466.68529	141.87	10.59	1268.76718	1283.712
/9/2009	34	143.41	12.15	1115.68231	143.18	11.87	1466.68529	141.87	10.58	1339.25425	1307.207
/9/2009	36	143.41	12.145	1150.54738	143.18	11.86	1536.52745	141.87	10.58	1339.25425	1342.11
/9/2009	38	143.41	12.145	1150.54738	143.18	11.86	1536.52745	141.87	10.58	1374.49778	1353.858
/9/2009	40	143.41	12.145	1150.54738	143.18	11.86	1536.52745	141.87	10.58	1339.25425	1342.11
/9/2009	45	143.41	12.145	1150.54738	143.18	11.86	1536.52745	141.87	10.58	1374.49778	1353.858
/9/2009	50	143.41	12.145	1150.54738	143.18	11.86	1536.52745	141.87	10.58	1339.25425	1342.11
0/2009	56	143.41	12.145	1150.54738	143.18	11.86	1536.52745	141.87	10.58	1374.49778	1353.858

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

NFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LS30 **w/b :** 0.30 **Date of Mix :** 2/10/2009

e of Test	Age	Sample 1	X_0	10.35	Sample 2	X_0	9.4	Sample 3	X_0	10.13	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
8/2009	1	141.45	10.35	0	140.50	9.4	0	141.23	10.13	0	0
8/2009	2	141.45	10.35	0	140.50	9.38	142.34875	141.23	10.11	141.61297	94.65391
8/2009	3	141.45	10.34	70.69636	140.50	9.35	355.87189	141.23	10.09	283.22594	236.5981
8/2009	4	141.45	10.33	141.39272	140.50	9.34	427.04626	141.23	10.07	424.83892	331.0926
8/2009	5	141.45	10.33	141.39272	140.50	9.33	498.22064	141.23	10.05	566.45189	402.0217
8/2009	6	141.45	10.32	212.08908	140.50	9.32	569.39502	141.23	10.03	708.06486	496.5163
8/2009	7	141.45	10.32	212.08908	140.50	9.31	640.56940	141.23	10.02	778.87134	543.8433
8/2009	8	141.45	10.31	282.78544	140.50	9.31	640.56940	141.23	10	920.48432	614.613
8/2009	9	141.45	10.32	212.08908	140.50	9.30	711.74377	141.23	9.98	1062.09729	661.9767
8/2009	10	141.45	10.32	212.08908	140.50	9.3	711.74377	141.23	9.97	1132.90377	685.5789
8/2009	11	141.45	10.31	282.78544	140.50	9.29	782.91815	141.23	9.97	1132.90377	732.8691
8/2009	12	141.45	10.3	353.48180	140.50	9.29	782.91815	141.23	9.97	1132.90377	756.4346
8/2009	13	141.45	10.29	424.17815	140.50	9.28	854.09253	141.23	9.97	1132.90377	803.7248
8/2009	14	141.45	10.29	424.17815	140.50	9.28	854.09253	141.23	9.95	1274.51675	850.9291
8/2009	15	141.45	10.29	424.17815	140.50	9.29	782.91815	141.23	9.93	1416.12972	874.4087
8/2009	16	141.45	10.28	494.87451	140.50	9.31	640.56940	141.23	9.92	1486.93620	874.1267
8/2009	18	141.45	10.27	565.57087	140.50	9.31	640.56940	141.23	9.91	1557.74269	921.2943
8/2009	20	141.45	10.25	706.96359	140.50	9.31	640.56940	141.23	9.91	1557.74269	968.4252
9/2009	22	141.45	10.23	848.35631	140.50	9.31	640.56940	141.23	9.91	1557.74269	1015.556
9/2009	24	141.45	10.21	989.74903	140.50	9.32	569.39502	141.23	9.91	1557.74269	1038.962
9/2009	26	141.45	10.19	1131.14175	140.50	9.31	640.56940	141.23	9.91	1557.74269	1109.818
9/2009	28	141.45	10.17	1272.53446	140.50	9.31	640.56940	141.23	9.91	1557.74269	1156.949
9/2009	30	141.45	10.16	1343.23082	140.50	9.32	569.39502	141.23	9.91	1557.74269	1156.79
9/2009	32	141.45	10.16	1343.23082	140.50	9.32	569.39502	141.23	9.9	1628.54918	1180.392
9/2009	34	141.45	10.16	1343.23082	140.50	9.32	569.39502	141.23	9.905	1593.14593	1168.591
9/2009	36	141.45	10.15	1413.92718	140.50	9.32	569.39502	141.23	9.9	1628.54918	1203.957
9/2009	38	141.45	10.15	1413.92718	140.50	9.32	569.39502	141.23	9.9	1628.54918	1203.957
9/2009	40	141.45	10.14	1484.62354	140.50	9.32	569.39502	141.23	9.905	1593.14593	1215.721
9/2009	45	141.45	10.14	1484.62354	140.50	9.32	569.39502	141.23	9.9	1628.54918	1227.523
9/2009	50	141.45	10.14	1484.62354	140.50	9.32	569.39502	141.23	9.905	1593.14593	1215.721
0/2009	56	141.45	10.14	1484.62354	140.50	9.32	569.39502	141.23	9.905	1593.14593	1215.721

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จ-1

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

ตาราง จ-2

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

ตาราง จ-3

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

ตาราง จ-4

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

ตาราง จ-5

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

ตาราง จ-6

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

ตาราง จ-7

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

NFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C100 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

		Sample 1	X_0	9.91	Sample 2	X_0	9.77	Sample 3	X_0	8.67	Average
e of Test	Age	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
0/2009	1	141.01	9.91	0	140.87	9.77	0	139.77	8.67	0	0
0/2009	2	141.01	9.9	70.91696	140.87	9.75	141.97487	139.77	8.65	143.09222	118.6613
0/2009	3	141.01	9.9	70.91696	140.87	9.74	212.96231	139.77	8.64	214.63833	166.1725
0/2009	4	141.01	9.89	141.83391	140.87	9.73	283.94974	139.77	8.63	286.18445	237.3227
0/2009	5	141.01	9.87	283.66782	140.87	9.72	354.93718	139.77	8.61	429.27667	355.9606
0/2009	6	141.01	9.87	283.66782	140.87	9.71	425.92461	139.77	8.61	429.27667	379.623
0/2009	7	141.01	9.87	283.66782	140.87	9.70	496.91205	139.77	8.6	500.82278	427.1342
0/2009	8	141.01	9.86	354.58478	140.87	9.69	567.89948	139.77	8.6	500.82278	474.4357
10/2009	9	141.01	9.84	496.41869	140.87	9.69	567.89948	139.77	8.59	572.36889	545.5624
10/2009	10	141.01	9.82	638.25261	140.87	9.68	638.88692	139.77	8.57	715.46111	664.2002
10/2009	11	141.01	9.82	638.25261	140.87	9.67	709.87435	139.77	8.56	787.00723	711.7114
10/2009	12	141.01	9.83	567.33565	140.87	9.67	709.87435	139.77	8.54	930.09945	735.7698
10/2009	13	141.01	9.84	496.41869	140.87	9.66	780.86179	139.77	8.55	858.55334	711.9446
10/2009	14	141.01	9.82	638.25261	140.87	9.66	780.86179	139.77	8.55	858.55334	759.2226
10/2009	15	141.01	9.82	638.25261	140.87	9.65	851.84922	139.77	8.54	930.09945	806.7338
10/2009	16	141.01	9.81	709.16956	140.87	9.65	851.84922	139.77	8.54	930.09945	830.3727
10/2009	18	141.01	9.80	780.08652	140.87	9.64	922.83666	139.77	8.53	1001.64556	901.5229
10/2009	20	141.01	9.79	851.00347	140.87	9.63	993.82409	139.77	8.51	1144.73778	996.5218
10/2009	22	141.01	9.79	851.00347	140.87	9.62	1064.81153	139.77	8.48	1359.37612	1091.73
10/2009	24	141.01	9.79	851.00347	140.87	9.61	1135.79896	139.77	8.46	1502.46834	1163.09
10/2009	26	141.01	9.78	921.92043	140.87	9.61	1135.79896	139.77	8.45	1574.01445	1210.578
10/2009	28	141.01	9.78	921.92043	140.87	9.6	1206.78640	139.77	8.45	1574.01445	1234.24
10/2009	30	141.01	9.77	992.83739	140.87	9.6	1206.78640	139.77	8.43	1717.10668	1305.577
1/2009	32	141.01	9.76	1063.75434	140.87	9.59	1277.77383	139.77	8.42	1788.65279	1376.727
1/2009	34	141.01	9.77	992.83739	140.87	9.59	1313.26755	139.77	8.44	1645.56056	1317.222
1/2009	36	141.01	9.76	1063.75434	140.87	9.58	1384.25499	139.77	8.45	1574.01445	1340.675
1/2009	38	141.01	9.77	992.83739	140.87	9.575	1384.25499	139.77	8.45	1574.01445	1317.036
11/2009	40	141.01	9.76	1063.75434	140.87	9.57	1419.74870	139.77	8.44	1645.56056	1376.355
11/2009	45	141.01	9.76	1063.75434	140.87	9.575	1384.25499	139.77	8.45	1574.01445	1340.675
11/2009	50	141.01	9.76	1063.75434	140.87	9.57	1419.74870	139.77	8.44	1645.56056	1376.355
11/2009	56	141.01	9.76	1063.75434	140.87	9.575	1384.25499	139.77	8.43	1717.10668	1388.372

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LM10 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

		Sample 1	X_0	8.64	Sample 2	X_0	9.97	Sample 3	X_0	10.3	Average
e of Test	Age	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
0/2009	1	139.74	8.64	0	141.07	9.97	0	141.40	10.3	0	0
0/2009	2	139.74	8.64	0.00000	141.07	9.95	141.77359	141.40	10.29	70.72136	70.83
0/2009	3	139.74	8.63	71.56147	141.07	9.93	283.54718	141.40	10.25	353.60679	236.24
0/2009	4	139.74	8.62	143.12294	141.07	9.9	496.20756	141.40	10.24	424.32815	354.55
0/2009	5	139.74	8.61	214.68441	141.07	9.89	567.09435	141.40	10.25	353.60679	378.46
0/2009	6	139.74	8.6	286.24589	141.07	9.90	496.20756	141.40	10.26	282.88543	355.11
0/2009	7	139.74	8.6	286.24589	141.07	9.91	425.32076	141.40	10.25	353.60679	355.06
0/2009	8	139.74	8.59	357.80736	141.07	9.88	637.98114	141.40	10.23	495.04950	496.95
10/2009	9	139.74	8.58	429.36883	141.07	9.87	708.86794	141.40	10.21	636.49222	591.58
10/2009	10	139.74	8.57	500.93030	141.07	9.87	708.86794	141.40	10.2	707.21358	639.00
10/2009	11	139.74	8.57	500.93030	141.07	9.86	779.75473	141.40	10.21	636.49222	639.06
10/2009	12	139.74	8.56	572.49177	141.07	9.86	779.75473	141.40	10.2	707.21358	686.49
10/2009	13	139.74	8.56	572.49177	141.07	9.84	921.52832	141.40	10.18	848.65629	780.89
10/2009	14	139.74	8.55	644.05324	141.07	9.85	850.64153	141.40	10.19	777.93494	757.54
10/2009	15	139.74	8.54	715.61471	141.07	9.86	779.75473	141.40	10.17	919.37765	804.92
10/2009	16	139.74	8.53	787.17618	141.07	9.85	850.64153	141.40	10.16	990.09901	875.97
10/2009	18	139.74	8.53	787.17618	141.07	9.85	850.64153	141.40	10.14	1131.54173	923.12
10/2009	20	139.74	8.52	858.73766	141.07	9.84	921.52832	141.40	10.15	1060.82037	947.03
10/2009	22	139.74	8.51	930.29913	141.07	9.82	1063.30191	141.40	10.14	1131.54173	1041.71
10/2009	24	139.74	8.50	1001.86060	141.07	9.8	1205.07549	141.40	10.14	1131.54173	1112.83
10/2009	26	139.74	8.49	1073.42207	141.07	9.81	1134.18870	141.40	10.13	1202.26308	1136.62
10/2009	28	139.74	8.49	1073.42207	141.07	9.81	1134.18870	141.40	10.12	1272.98444	1160.20
10/2009	30	139.74	8.485	1109.20281	141.07	9.8	1205.07549	141.40	10.11	1343.70580	1219.33
1/2009	32	139.74	8.48	1144.98354	141.07	9.8	1205.07549	141.40	10.12	1272.98444	1207.68
1/2009	34	139.74	8.47	1216.54501	141.07	9.79	1275.96229	141.40	10.11	1343.70580	1278.74
1/2009	36	139.74	8.465	1252.32575	141.07	9.78	1346.84908	141.40	10.1	1414.42716	1337.87
1/2009	38	139.74	8.465	1252.32575	141.07	9.8	1205.07549	141.40	10.12	1272.98444	1243.46
11/2009	40	139.74	8.46	1288.10648	141.07	9.8	1205.07549	141.40	10.12	1272.98444	1255.39
11/2009	45	139.74	8.465	1252.32575	141.07	9.81	1134.18870	141.40	10.1	1414.42716	1266.98
11/2009	50	139.74	8.46	1288.10648	141.07	9.82	1063.30191	141.40	10.1	1414.42716	1255.28
11/2009	56	139.74	8.46	1288.10648	141.07	9.79	1275.96229	141.40	10.09	1485.14851	1349.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LM20 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

e of Test	Age	Sample 1	X_0	10.49	Sample 2	X_0	10.6	Sample 3	X_0	9.89	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
10/2009	1	141.59	10.49	0	141.70	10.6	0	140.99	9.89	0	0
10/2009	2	141.59	10.48	70.62646	141.70	10.59	70.57163	140.99	9.87	141.85403	94.351
10/2009	3	141.59	10.47	141.25291	141.70	10.59	70.57163	140.99	9.85	283.70806	165.178
10/2009	4	141.59	10.47	141.25291	141.70	10.59	70.57163	140.99	9.84	354.63508	188.820
10/2009	5	141.59	10.46	211.87937	141.70	10.58	141.14326	140.99	9.83	425.56210	259.528
10/2009	6	141.59	10.46	211.87937	141.70	10.58	141.14326	140.99	9.82	496.48911	283.171
10/2009	7	141.59	10.45	282.50583	141.70	10.58	141.14326	140.99	9.82	496.48911	306.713
10/2009	8	141.59	10.45	282.50583	141.70	10.57	211.71489	140.99	9.81	567.41613	353.879
'10/2009	9	141.59	10.44	353.13228	141.70	10.57	211.71489	140.99	9.81	567.41613	377.421
'10/2009	10	141.59	10.44	353.13228	141.70	10.56	282.28652	140.99	9.81	567.41613	400.945
'10/2009	11	141.59	10.43	423.75874	141.70	10.53	494.00141	140.99	9.8	638.34314	518.701
'10/2009	12	141.59	10.43	423.75874	141.70	10.5	705.71630	140.99	9.8	638.34314	589.273
'10/2009	13	141.59	10.43	423.75874	141.70	10.48	846.85956	140.99	9.79	709.27016	659.963
'10/2009	14	141.59	10.43	423.75874	141.70	10.49	776.28793	140.99	9.79	709.27016	636.439
'10/2009	15	141.59	10.4	635.63811	141.70	10.49	776.28793	140.99	9.78	780.19718	730.708
'10/2009	16	141.59	10.4	635.63811	141.70	10.48	846.85956	140.99	9.78	780.19718	754.232
'10/2009	18	141.59	10.38	776.89102	141.70	10.5	705.71630	140.99	9.77	851.12419	777.911
'10/2009	20	141.59	10.37	847.51748	141.70	10.49	776.28793	140.99	9.76	922.05121	848.619
10/2009	22	141.59	10.38	776.89102	141.70	10.49	776.28793	140.99	9.75	992.97823	848.719
10/2009	24	141.59	10.36	918.14394	141.70	10.48	846.85956	140.99	9.74	1063.90524	942.970
10/2009	26	141.59	10.36	918.14394	141.70	10.56	282.28652	140.99	9.74	1063.90524	754.779
10/2009	28	141.59	10.34	1059.39685	141.70	10.53	494.00141	140.99	9.73	1134.83226	896.077
'10/2009	30	141.59	10.32	1200.64976	141.70	10.5	705.71630	140.99	9.73	1134.83226	1013.733
11/2009	32	141.59	10.31	1271.27622	141.70	10.48	846.85956	140.99	9.72	1205.75927	1107.965
11/2009	34	141.59	10.31	1271.27622	141.70	10.49	776.28793	140.99	9.72	1205.75927	1084.441
11/2009	36	141.59	10.31	1271.27622	141.70	10.49	776.28793	140.99	9.72	1205.75927	1084.441
11/2009	38	141.59	10.3	1341.90268	141.70	10.48	846.85956	140.99	9.72	1205.75927	1131.507
11/2009	40	141.59	10.31	1271.27622	141.70	10.5	705.71630	140.99	9.72	1205.75927	1060.917
11/2009	45	141.59	10.31	1271.27622	141.70	10.49	776.28793	140.99	9.72	1205.75927	1084.441
11/2009	50	141.59	10.3	1341.90268	141.70	10.49	776.28793	140.99	9.72	1205.75927	1107.983
11/2009	56	141.59	10.3	1341.90268	141.70	10.48	846.85956	140.99	9.72	1205.75927	1131.507

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LM30 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

e of Test	Age	Sample 1	X_0	11.13	Sample 2	X_0	10.59	Sample 3	X_0	11.18	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
10/2009	1	142.23	11.13	0	141.69	10.59	0	142.28	11.18	0	0
10/2009	2	142.23	11.12	70.30865	141.69	10.59	0.00000	142.28	11.18	0	23.43622
10/2009	3	142.23	11.1	210.92596	141.69	10.59	0.00000	142.28	11.17	70.28394715	93.73664
10/2009	4	142.23	11.1	210.92596	141.69	10.58	70.57661	142.28	11.17	70.28395	117.2622
10/2009	5	142.23	11.09	281.23462	141.69	10.56	211.72983	142.28	11.16	140.56789	211.1774
10/2009	6	142.23	11.07	421.85193	141.69	10.56	211.72983	142.28	11.15	210.85184	281.4779
10/2009	7	142.23	11.06	492.16058	141.69	10.56	211.72983	142.28	11.14	281.13579	328.3421
10/2009	8	142.23	11.04	632.77789	141.69	10.55	282.30644	142.28	11.14	281.13579	398.74
10/2009	9	142.23	11.03	703.08655	141.69	10.54	352.88305	142.28	11.13	351.41974	469.1298
10/2009	10	142.23	11.05	562.46924	141.69	10.53	423.45967	142.28	11.12	421.70368	469.2109
10/2009	11	142.23	11.05	562.46924	141.69	10.53	423.45967	142.28	11.12	421.70368	469.2109
10/2009	12	142.23	11.04	632.77789	141.69	10.53	423.45967	142.28	11.11	491.98763	516.0751
10/2009	13	142.23	11.02	773.39520	141.69	10.52	494.03628	142.28	11.10	562.27158	609.901
10/2009	14	142.23	11	914.01251	141.69	10.5	635.18950	142.28	11.09	632.55552	727.2525
10/2009	15	142.23	11	914.01251	141.69	10.51	564.61289	142.28	11.09	632.55552	703.727
10/2009	16	142.23	10.96	1195.24713	141.69	10.52	494.03628	142.28	11.08	702.83947	797.3743
10/2009	18	142.23	10.97	1124.93848	141.69	10.5	635.18950	142.28	11.07	773.12342	844.4171
10/2009	20	142.23	10.95	1265.55579	141.69	10.49	705.76611	142.28	11.07	773.12342	914.8151
10/2009	22	142.23	10.93	1406.17310	141.69	10.48	776.34272	142.28	11.06	843.40737	1008.641
10/2009	24	142.23	10.92	1476.48175	141.69	10.46	917.49594	142.28	11.05	913.69131	1102.556
10/2009	26	142.23	10.90	1617.09906	141.69	10.46	917.49594	142.28	11.05	913.69131	1149.429
10/2009	28	142.23	10.89	1687.40772	141.69	10.45	988.07255	142.28	11.04	983.97526	1219.819
10/2009	30	142.23	10.89	1687.40772	141.69	10.45	988.07255	142.28	11.04	983.97526	1219.819
11/2009	32	142.23	10.88	1757.71637	141.69	10.44	1058.64916	142.28	11.03	1054.25921	1290.208
11/2009	34	142.23	10.9	1617.09906	141.69	10.44	1058.64916	142.28	11.03	1054.25921	1243.336
11/2009	36	142.23	10.9	1617.09906	141.69	10.44	1058.64916	142.28	11.025	1089.40118	1255.05
11/2009	38	142.23	10.9	1617.09906	141.69	10.43	1129.22577	142.28	11.02	1124.54315	1290.289
11/2009	40	142.23	10.88	1757.71637	141.69	10.44	1058.64916	142.28	11.025	1089.40118	1301.922
11/2009	45	142.23	10.88	1757.71637	141.69	10.43	1129.22577	142.28	11.02	1124.54315	1337.162
11/2009	50	142.23	10.88	1757.71637	141.69	10.44	1058.64916	142.28	11.025	1089.40118	1301.922
11/2009	56	142.23	10.88	1757.71637	141.69	10.43	1129.22577	142.28	11.02	1124.54315	1337.162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LS10 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

e of Test	Age	Sample 1	X_0	12.61	Sample 2	X_0	11.27	Sample 3	X_0	11.93	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
10/2009	1	146.71	12.61	0	145.37	11.27	0	146.03	11.93	0	0
10/2009	2	146.71	12.6	68.16168	145.37	11.26	68.78998	146.03	11.92	68.47907964	68.47691
10/2009	3	146.71	12.59	136.32336	145.37	11.24	206.36995	146.03	11.93	0.00000	114.2311
10/2009	4	146.71	12.59	136.32336	145.37	11.23	275.15994	146.03	11.91	136.95816	182.8138
10/2009	5	146.71	12.58	204.48504	145.37	11.23	275.15994	146.03	11.91	136.95816	205.5344
10/2009	6	146.71	12.57	272.64672	145.37	11.22	343.94992	146.03	11.9	205.43724	274.0113
10/2009	7	146.71	12.56	340.80840	145.37	11.22	343.94992	146.03	11.9	205.43724	296.7319
10/2009	8	146.71	12.55	408.97008	145.37	11.21	412.73991	146.03	11.89	273.91632	365.2088
'10/2009	9	146.71	12.54	477.13176	145.37	11.21	412.73991	146.03	11.89	273.91632	387.9293
'10/2009	10	146.71	12.53	545.29344	145.37	11.21	412.73991	146.03	11.89	273.91632	410.6499
'10/2009	11	146.71	12.52	613.45512	145.37	11.2	481.52989	146.03	11.89	273.91632	456.3004
'10/2009	12	146.71	12.51	681.61680	145.37	11.19	550.31987	146.03	11.89	273.91632	501.951
'10/2009	13	146.71	12.51	681.61680	145.37	11.19	550.31987	146.03	11.88	342.39540	524.7774
'10/2009	14	146.71	12.5	749.77847	145.37	11.18	619.10986	146.03	11.87	410.87448	593.2543
'10/2009	15	146.71	12.5	749.77847	145.37	11.16	756.68983	146.03	11.86	479.35356	661.9406
'10/2009	16	146.71	12.49	817.94015	145.37	11.15	825.47981	146.03	11.85	547.83264	730.4175
'10/2009	18	146.71	12.49	852.02099	145.37	11.14	894.26979	146.03	11.84	616.31172	787.5342
'10/2009	20	146.71	12.48	920.18267	145.37	11.12	1031.84976	146.03	11.82	753.26988	901.7674
'10/2009	22	146.71	12.47	954.26351	145.37	11.11	1100.63975	146.03	11.82	753.26988	936.0577
10/2009	24	146.71	12.46	1022.42519	145.37	11.11	1100.63975	146.03	11.81	821.74896	981.6046
'10/2009	26	146.71	12.46	1022.42519	145.37	11.11	1100.63975	146.03	11.81	821.74896	981.6046
'10/2009	28	146.71	12.45	1090.58687	145.37	11.1	1169.42973	146.03	11.79	958.70711	1072.908
'10/2009	30	146.71	12.45	1124.66771	145.37	11.08	1307.00970	146.03	11.78	1027.18619	1152.955
11/2009	32	146.71	12.44	1158.74855	145.37	11.07	1375.79968	146.03	11.77	1095.66527	1210.071
11/2009	34	146.71	12.44	1192.82939	145.37	11.08	1307.00970	146.03	11.77	1095.66527	1198.501
11/2009	36	146.71	12.44	1192.82939	145.37	11.09	1238.21972	146.03	11.76	1164.14435	1198.398
11/2009	38	146.71	12.43	1226.91023	145.37	11.10	1169.42973	146.03	11.79	958.70711	1118.349
'11/2009	40	146.71	12.44	1192.82939	145.37	11.08	1307.00970	146.03	11.77	1095.66527	1198.501
'11/2009	45	146.71	12.43	1226.91023	145.37	11.08	1307.00970	146.03	11.78	1027.18619	1187.035
'11/2009	50	146.71	12.44	1192.82939	145.37	11.07	1375.79968	146.03	11.78	1027.18619	1198.605
11/2009	56	146.71	12.43	1226.91023	145.37	11.07	1375.79968	146.03	11.77	1095.66527	1232.792

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LS20 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

e of Test	Age	Sample 1	X_0	10.63	Sample 2	X_0	9.78	Sample 3	X_0	10.4	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
10/2009	1	141.73	10.63	0	189.88	9.78	0	141.50	10.4	0	0
10/2009	2	141.73	10.64	-70.55669	189.88	9.76	105.32968	141.50	10.41	-70.67138	-11.96613
10/2009	3	141.73	10.64	-70.55669	189.88	9.75	157.99452	141.50	10.41	-70.67138	5.588817
10/2009	4	141.73	10.63	0.00000	189.88	9.74	210.65936	141.50	10.39	70.67138	93.77691
10/2009	5	141.73	10.62	70.55669	189.88	9.74	210.65936	141.50	10.37	212.01413	164.4101
10/2009	6	141.73	10.62	70.55669	189.88	9.73	263.32420	141.50	10.37	212.01413	181.965
10/2009	7	141.73	10.61	141.11338	189.88	9.72	315.98905	141.50	10.37	212.01413	223.0389
10/2009	8	141.73	10.6	211.67008	189.88	9.71	368.65389	141.50	10.36	282.68551	287.6698
10/2009	9	141.73	10.58	352.78346	189.88	9.70	421.31873	141.50	10.36	282.68551	352.2626
10/2009	10	141.73	10.59	282.22677	189.88	9.69	473.98357	141.50	10.35	353.35689	369.8557
10/2009	11	141.73	10.58	352.78346	189.88	9.68	526.64841	141.50	10.33	494.69965	458.0438
10/2009	12	141.73	10.57	423.34015	189.88	9.67	579.31325	141.50	10.32	565.37102	522.6748
10/2009	13	141.73	10.56	493.89685	189.88	9.66	631.97809	141.50	10.31	636.04240	587.3058
10/2009	14	141.73	10.54	635.01023	189.88	9.65	684.64293	141.50	10.32	565.37102	628.3414
10/2009	15	141.73	10.52	776.12362	189.88	9.64	737.30777	141.50	10.32	565.37102	692.9341
10/2009	16	141.73	10.5	917.23700	189.88	9.64	737.30777	141.50	10.3	706.71378	787.0862
10/2009	18	141.73	10.50	917.23700	189.88	9.63	789.97261	141.50	10.31	636.04240	781.084
10/2009	20	141.73	10.50	917.23700	189.88	9.62	842.63746	141.50	10.32	565.37102	775.0818
10/2009	22	141.73	10.51	846.68031	189.88	9.61	895.30230	141.50	10.32	565.37102	769.1179
10/2009	24	141.73	10.49	987.79369	189.88	9.6	947.96714	141.50	10.3	706.71378	880.8249
10/2009	26	141.73	10.48	1058.35038	189.88	9.595	974.29956	141.50	10.28	848.05654	960.2355
10/2009	28	141.73	10.45	1270.02046	189.88	9.59	1000.63198	141.50	10.28	848.05654	1039.57
10/2009	30	141.73	10.46	1199.46377	189.88	9.58	1053.29682	141.50	10.29	777.38516	1010.049
11/2009	32	141.73	10.46	1199.46377	189.88	9.575	1079.62924	141.50	10.29	777.38516	1018.826
11/2009	34	141.73	10.47	1128.90708	189.88	9.57	1105.96166	141.50	10.3	706.71378	980.5275
11/2009	36	141.73	10.48	1058.35038	189.88	9.57	1105.96166	141.50	10.29	777.38516	980.5657
11/2009	38	141.73	10.46	1199.46377	189.88	9.57	1105.96166	141.50	10.28	848.05654	1051.161
11/2009	40	141.73	10.48	1058.35038	189.88	9.57	1105.96166	141.50	10.28	848.05654	1004.123
11/2009	45	141.73	10.49	987.79369	189.88	9.57	1105.96166	141.50	10.27	918.72792	1004.161
11/2009	50	141.73	10.49	987.79369	189.88	9.57	1105.96166	141.50	10.27	918.72792	1004.161
11/2009	56	141.73	10.49	987.79369	189.88	9.57	1105.96166	141.50	10.27	918.72792	1004.161

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

NFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LS30 **w/b :** 0.35 **Date of Mix :** 1/10/2009

te of Test	Age	Sample 1	X_0	9.57	Sample 2	X_0	8.89	Sample 3	X_0	8.33	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
10/2009	1	140.67	9.57	0	186.99	8.89	0	139.43	8.33	0	0
10/2009	2	140.67	9.56	71.08836284	186.99	8.88	53.47880	139.43	8.33	0.00000	41.52239
10/2009	3	140.67	9.56	71.08836	186.99	8.87	106.95759	139.43	8.31	143.44115	107.1624
10/2009	4	140.67	9.54	213.26509	186.99	8.87	106.95759	139.43	8.29	286.88231	202.3683
10/2009	5	140.67	9.52	355.44181	186.99	8.86	160.43639	139.43	8.28	358.60288	291.4937
10/2009	6	140.67	9.51	426.53018	186.99	8.85	213.91518	139.43	8.28	358.60288	333.0161
10/2009	7	140.67	9.52	355.44181	186.99	8.85	240.65458	139.43	8.27	430.32346	342.14
10/2009	8	140.67	9.51	426.53018	186.99	8.84	267.39398	139.43	8.27	430.32346	374.7492
'10/2009	9	140.67	9.5	497.61854	186.99	8.83	320.87277	139.43	8.25	573.76461	464.0853
'10/2009	10	140.67	9.49	568.70690	186.99	8.82	374.35157	139.43	8.24	645.48519	529.5146
'10/2009	11	140.67	9.48	639.79527	186.99	8.81	427.83037	139.43	8.24	645.48519	571.0369
'10/2009	12	140.67	9.48	639.79527	186.99	8.8	481.30916	139.43	8.24	645.48519	588.8632
'10/2009	13	140.67	9.47	710.88363	186.99	8.79	534.78796	139.43	8.23	717.20577	654.2925
'10/2009	14	140.67	9.48	639.79527	186.99	8.79	561.52735	139.43	8.22	788.92634	663.4163
'10/2009	15	140.67	9.47	710.88363	186.99	8.78	588.26675	139.43	8.23	717.20577	672.1187
'10/2009	16	140.67	9.46	781.97199	186.99	8.77	641.74555	139.43	8.23	717.20577	713.6411
'10/2009	18	140.67	9.45	853.06035	186.99	8.76	695.22434	139.43	8.22	788.92634	779.0703
'10/2009	20	140.67	9.44	924.14872	186.99	8.75	748.70314	139.43	8.22	788.92634	820.5927
'10/2009	22	140.67	9.43	995.23708	186.99	8.74	802.18193	139.43	8.2	932.36750	909.9288
'10/2009	24	140.67	9.41	1137.41381	186.99	8.73	855.66073	139.43	8.18	1075.80865	1022.961
'10/2009	26	140.67	9.42	1066.32544	186.99	8.72	909.13953	139.43	8.16	1219.24980	1064.905
'10/2009	28	140.67	9.42	1066.32544	186.99	8.71	962.61832	139.43	8.15	1290.97038	1106.638
'10/2009	30	140.67	9.41	1137.41381	186.99	8.71	962.61832	139.43	8.14	1362.69096	1154.241
11/2009	32	140.67	9.41	1137.41381	186.99	8.705	989.35772	139.43	8.15	1290.97038	1139.247
11/2009	34	140.67	9.4	1208.50217	186.99	8.71	989.35772	139.43	8.15	1290.97038	1162.943
11/2009	36	140.67	9.4	1208.50217	186.99	8.7	1016.09712	139.43	8.14	1362.69096	1195.763
11/2009	38	140.67	9.4	1208.50217	186.99	8.7	1016.09712	139.43	8.14	1362.69096	1195.763
'11/2009	40	140.67	9.4	1208.50217	186.99	8.7	1016.09712	139.43	8.15	1290.97038	1171.857
'11/2009	45	140.67	9.39	1279.59053	186.99	8.7	1016.09712	139.43	8.16	1219.24980	1171.646
'11/2009	50	140.67	9.39	1279.59053	186.99	8.69	1069.57591	139.43	8.15	1290.97038	1213.379
'11/2009	56	140.67	9.39	1279.59053	186.99	8.7	1016.09712	139.43	8.15	1290.97038	1195.553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ฉ -1

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

ตาราง ฉ-2

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

ตาราง ฉ-3

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

ตาราง ฉ-4

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

ตาราง ฉ-5

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 10 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

ตาราง ฉ-6

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

ตาราง ฉ -7

ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต 30 %ที่อายุการบ่ม 1-56 วัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

NFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C100 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 5/8/2009

e of Test	Age	Sample 1	X_0	10.4	Sample 2	X_0	5.74	Sample 3	X_0	9.36	
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
'8/2009	1	100.40	10.4	0	136.84	5.74	0	140.46	9.36	0	0
'8/2009	2	100.40	10.4	0.00000	136.84	5.74	0.00000	140.46	9.35	71.19465	23.73155
'8/2009	3	100.40	10.39	99.60159	136.84	5.74	0.00000	140.46	9.34	142.38929	80.66363
'8/2009	4	100.40	10.38	199.20319	136.84	5.74	0.00000	140.46	9.34	142.38929	113.8642
/8/2009	5	100.40	10.37	298.80478	136.84	5.76	-146.15609	140.46	9.34	142.38929	98.34599
/8/2009	6	100.40	10.36	398.40637	136.84	5.76	-146.15609	140.46	9.33	213.58394	155.2781
/8/2009	7	100.40	10.35	498.00797	136.84	5.75	-73.07805	140.46	9.32	284.77858	236.5695
/8/2009	8	100.40	10.345	547.80876	136.84	5.75	-73.07805	140.46	9.32	284.77858	253.1698
/8/2009	9	100.40	10.34	597.60956	136.84	5.76	-146.15609	140.46	9.32	284.77858	245.4107
/8/2009	10	100.40	10.335	647.41036	136.84	5.75	-73.07805	140.46	9.30	427.16788	333.8334
/8/2009	11	100.40	10.33	697.21116	136.84	5.74	0.00000	140.46	9.29	498.36252	398.5246
/8/2009	12	100.40	10.325	747.01195	136.84	5.74	0.00000	140.46	9.28	569.55717	438.8564
/8/2009	13	100.40	10.32	796.81275	136.84	5.72	146.15609	140.46	9.27	640.75182	527.9069
/8/2009	14	100.40	10.315	846.61355	136.84	5.70	292.31219	140.46	9.26	711.94646	616.9574
/8/2009	15	100.40	10.31	896.41434	136.84	5.69	365.39024	140.46	9.25	783.14111	681.6486
/8/2009	16	100.40	10.305	946.21514	136.84	5.68	438.46828	140.46	9.26	711.94646	698.8766
/8/2009	18	100.40	10.30	996.01594	136.84	5.66	584.62438	140.46	9.25	783.14111	787.9271
/8/2009	20	100.40	10.30	1045.81673	136.84	5.64	730.78047	140.46	9.26	711.94646	829.5146
/8/2009	22	100.40	10.29	1095.61753	136.84	5.65	657.70243	140.46	9.27	640.75182	798.0239
/8/2009	24	100.40	10.29	1145.41833	136.84	5.66	584.62438	140.46	9.27	640.75182	790.2648
/8/2009	26	100.40	10.28	1195.21912	136.84	5.67	511.54633	140.46	9.27	640.75182	782.5058
'9/2009	28	100.40	10.28	1195.21912	136.84	5.68	438.46828	140.46	9.27	640.75182	758.1464
'9/2009	30	100.40	10.275	1245.01992	136.84	5.66	584.62438	140.46	9.26	711.94646	847.1969
'9/2009	32	100.40	10.275	1245.01992	136.84	5.64	730.78047	140.46	9.24	854.33575	943.3787
'9/2009	34	100.40	10.27	1294.82072	136.84	5.64	730.78047	140.46	9.25	783.14111	936.2474
/9/2009	36	100.40	10.265	1344.62151	136.84	5.64	730.78047	140.46	9.25	783.14111	952.8477
/9/2009	38	100.40	10.27	1294.82072	136.84	5.63	803.85852	140.46	9.24	854.33575	984.3383
/9/2009	40	100.40	10.265	1344.62151	136.84	5.63	803.85852	140.46	9.24	854.33575	1000.939
/9/2009	45	100.40	10.27	1294.82072	136.84	5.63	803.85852	140.46	9.25	783.14111	960.6068
/9/2009	50	100.40	10.265	1344.62151	136.84	5.64	730.78047	140.46	9.26	711.94646	929.1161
/9/2009	56	100.40	10.27	1294.82072	136.84	5.63	803.85852	140.46	9.24	854.33575	984.3383

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LM10 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 5/8/2009

e of Test	Age	Sample 1	X_0	10.69	Sample 2	X_0	10.78	Sample 3	X_0	10.71	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
8/2009	1	116.79	10.69	0	141.88	10.78	0	141.81	10.71	0	0
8/2009	2	116.79	10.68	85.62377	141.88	10.78	0.00000	141.81	10.69	141.03378	75.55
8/2009	3	116.79	10.67	171.24754	141.88	10.78	0.00000	141.81	10.7	70.51689	80.59
8/2009	4	116.79	10.66	256.87131	141.88	10.77	70.48210	141.81	10.71	0.00000	109.12
/8/2009	5	116.79	10.64	428.11885	141.88	10.79	-70.48210	141.81	10.69	141.03378	166.22
/8/2009	6	116.79	10.65	342.49508	141.88	10.79	-70.48210	141.81	10.68	211.55067	161.19
/8/2009	7	116.79	10.65	342.49508	141.88	10.76	140.96420	141.81	10.66	352.58444	278.68
/8/2009	8	116.79	10.64	428.11885	141.88	10.74	281.92839	141.81	10.66	352.58444	354.21
/8/2009	9	116.79	10.63	513.74261	141.88	10.73	352.41049	141.81	10.66	352.58444	406.25
/8/2009	10	116.79	10.63	513.74261	141.88	10.74	281.92839	141.81	10.65	423.10133	406.26
/8/2009	11	116.79	10.62	599.36638	141.88	10.75	211.44629	141.81	10.67	282.06756	364.29
/8/2009	12	116.79	10.62	599.36638	141.88	10.73	352.41049	141.81	10.65	423.10133	458.29
/8/2009	13	116.79	10.6	770.61392	141.88	10.72	422.89259	141.81	10.64	493.61822	562.37
/8/2009	14	116.79	10.6	770.61392	141.88	10.73	352.41049	141.81	10.64	493.61822	538.88
/8/2009	15	116.79	10.595	813.42581	141.88	10.72	422.89259	141.81	10.64	493.61822	576.65
/8/2009	16	116.79	10.59	856.23769	141.88	10.71	493.37468	141.81	10.65	423.10133	590.90
/8/2009	18	116.79	10.58	941.86146	141.88	10.7	563.85678	141.81	10.65	423.10133	642.94
/8/2009	20	116.79	10.57	1027.48523	141.88	10.69	634.33888	141.81	10.64	493.61822	718.48
/8/2009	22	116.79	10.57	1027.48523	141.88	10.69	634.33888	141.81	10.62	634.65200	765.49
/8/2009	24	116.79	10.56	1113.10900	141.88	10.69	634.33888	141.81	10.61	705.16889	817.54
/8/2009	26	116.79	10.56	1113.10900	141.88	10.68	704.82098	141.81	10.61	705.16889	841.03
/9/2009	28	116.79	10.555	1155.92088	141.88	10.67	775.30307	141.81	10.6	775.68578	902.30
/9/2009	30	116.79	10.55	1198.73277	141.88	10.67	775.30307	141.81	10.6	775.68578	916.57
/9/2009	32	116.79	10.55	1198.73277	141.88	10.67	775.30307	141.81	10.6	775.68578	916.57
/9/2009	34	116.79	10.545	1241.54465	141.88	10.66	845.78517	141.81	10.61	705.16889	930.83
/9/2009	36	116.79	10.55	1198.73277	141.88	10.66	845.78517	141.81	10.59	846.20267	963.57
/9/2009	38	116.79	10.55	1198.73277	141.88	10.67	775.30307	141.81	10.58	916.71955	963.59
/9/2009	40	116.79	10.545	1241.54465	141.88	10.67	775.30307	141.81	10.59	846.20267	954.35
/9/2009	45	116.79	10.545	1241.54465	141.88	10.67	775.30307	141.81	10.61	705.16889	907.34
/9/2009	50	116.79	10.55	1198.73277	141.88	10.66	845.78517	141.81	10.61	705.16889	916.56
/9/2009	56	116.79	10.55	1198.73277	141.88	10.66	845.78517	141.81	10.61	705.16889	916.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LM20 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 5/8/2009

te of Test	Age	Sample 1	X_0	10.4	Sample 2	X_0	5.74	Sample 3	X_0	9.36	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
/8/2009	1	135.50	10.4	0	136.84	5.74	0	140.46	9.36	0	0
/8/2009	2	135.50	10.4	0.00000	136.84	5.74	0.00000	140.46	9.35	71.19465	35.597
/8/2009	3	135.50	10.38	147.60148	136.84	5.74	0.00000	140.46	9.34	142.38929	144.995
/8/2009	4	135.50	10.37	221.40221	136.84	5.74	0.00000	140.46	9.34	142.38929	181.896
/8/2009	5	135.50	10.35	369.00369	136.84	5.76	-146.15609	140.46	9.34	142.38929	255.696
/8/2009	6	135.50	10.35	405.90406	136.84	5.78	-292.31219	140.46	9.33	213.58394	309.744
/8/2009	7	135.50	10.34	442.80443	136.84	5.79	-365.39024	140.46	9.32	284.77858	363.792
/8/2009	8	135.50	10.34	479.70480	136.84	5.79	-365.39024	140.46	9.32	284.77858	382.242
/8/2009	9	135.50	10.33	516.60517	136.84	5.80	-438.46828	140.46	9.32	284.77858	400.692
/8/2009	10	135.50	10.32	590.40590	136.84	5.8	-438.46828	140.46	9.3	427.16788	508.787
/8/2009	11	135.50	10.32	627.30627	136.84	5.79	-365.39024	140.46	9.29	498.36252	562.834
/8/2009	12	135.50	10.31	664.20664	136.84	5.78	-292.31219	140.46	9.28	569.55717	616.882
/8/2009	13	135.50	10.31	701.10701	136.84	5.77	-219.23414	140.46	9.27	640.75182	670.929
/8/2009	14	135.50	10.3	738.00738	136.84	5.75	-73.07805	140.46	9.26	711.94646	724.977
/8/2009	15	135.50	10.3	774.90775	136.84	5.72	146.15609	140.46	9.25	783.14111	779.024
/8/2009	16	135.50	10.29	811.80812	136.84	5.7	292.31219	140.46	9.26	711.94646	761.877
/8/2009	18	135.50	10.28	885.60886	136.84	5.67	511.54633	140.46	9.25	783.14111	834.375
/8/2009	20	135.50	10.27	959.40959	136.84	5.64	730.78047	140.46	9.26	711.94646	835.678
/8/2009	22	135.50	10.27	996.30996	136.84	5.62	876.93657	140.46	9.27	640.75182	818.531
/8/2009	24	135.50	10.26	1033.21033	136.84	5.6	1023.09266	140.46	9.27	640.75182	836.981
/8/2009	26	135.50	10.26	1070.11070	136.84	5.6	1023.09266	140.46	9.27	640.75182	855.431
/9/2009	28	135.50	10.26	1070.11070	136.84	5.59	1096.17071	140.46	9.27	640.75182	855.431
/9/2009	30	135.50	10.26	1070.11070	136.84	5.6	1023.09266	140.46	9.26	711.94646	891.029
/9/2009	32	135.50	10.26	1070.11070	136.84	5.61	950.01462	140.46	9.24	854.33575	962.223
/9/2009	34	135.50	10.25	1107.01107	136.84	5.6	1023.09266	140.46	9.27	640.75182	873.881
/9/2009	36	135.50	10.25	1107.01107	136.84	5.61	950.01462	140.46	9.26	711.94646	909.479
/9/2009	38	135.50	10.25	1107.01107	136.84	5.58	1169.24876	140.46	9.24	854.33575	980.673
/9/2009	40	135.50	10.25	1107.01107	136.84	5.59	1096.17071	140.46	9.25	783.14111	945.076
/9/2009	45	135.50	10.25	1107.01107	136.84	5.58	1169.24876	140.46	9.25	783.14111	945.076
/9/2009	50	135.50	10.25	1107.01107	136.84	5.57	1242.32681	140.46	9.24	854.33575	980.673
/9/2009	56	135.50	10.25	1107.01107	136.84	5.57	1242.32681	140.46	9.24	854.33575	980.673

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LM30 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 5/8/2009

of Test	Age	Sample 1	X_0	10.66	Sample 2	X_0	9.87	Sample 3	X_0	10.18	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
/8/2009	1	116.76	10.66	0	140.97	9.87	0	175.18	10.18	0	0
/8/2009	2	116.76	10.65	85.64577	140.97	9.87	0.00000	175.18	10.16	114.1682841	66.60468
/8/2009	3	116.76	10.667	-59.95204	140.97	9.88	-70.93708	175.18	10.15	171.2524261	13.45444
/8/2009	4	116.76	10.66	0.00000	140.97	9.89	-141.87416	175.18	10.14	228.33657	28.8208
)/8/2009	5	116.76	10.66	0.00000	140.97	9.87	0.00000	175.18	10.13	285.42071	95.14024
1/8/2009	6	116.76	10.63	256.93731	140.97	9.87	0.00000	175.18	10.12	342.50485	199.8141
2/8/2009	7	116.76	10.65	85.64577	140.97	9.87	0.00000	175.18	10.11	399.58899	161.7449
3/8/2009	8	116.76	10.63	256.93731	140.97	9.87	0.00000	175.18	10.1	456.67314	237.8701
4/8/2009	9	116.76	10.61	428.22885	140.97	9.86	70.93708	175.18	10.09	542.29935	347.1551
5/8/2009	10	116.76	10.62	342.58308	140.97	9.86	70.93708	175.18	10.08	570.84142	328.1205
5/8/2009	11	116.76	10.61	428.22885	140.97	9.84	212.81124	175.18	10.08	599.38349	413.4745
7/8/2009	12	116.76	10.6	513.87461	140.97	9.85	141.87416	175.18	10.07	627.92556	427.8914
8/8/2009	13	116.76	10.61	428.22885	140.97	9.85	141.87416	175.18	10.07	656.46763	408.8569
9/8/2009	14	116.76	10.61	428.22885	140.97	9.85	141.87416	175.18	10.06	685.00970	418.3709
0/8/2009	15	116.76	10.6	513.87461	140.97	9.86	70.93708	175.18	10.055	713.55178	432.7878
1/8/2009	16	116.76	10.61	428.22885	140.97	9.86	70.93708	175.18	10.05	742.09385	413.7533
3/8/2009	18	116.76	10.59	599.52038	140.97	9.85	141.87416	175.18	10.03	856.26213	532.5522
5/8/2009	20	116.76	10.59	599.52038	140.97	9.83	283.74832	175.18	10.02	913.34627	598.8717
7/8/2009	22	116.76	10.58	685.16615	140.97	9.81	425.62247	175.18	10.02	916.20048	675.663
9/8/2009	24	116.76	10.57	770.81192	140.97	9.8	496.55955	175.18	10.01	970.43041	745.934
1/8/2009	26	116.76	10.56	856.45769	140.97	9.79	567.49663	175.18	10.005	998.97249	807.6423
/9/2009	28	116.76	10.56	856.45769	140.97	9.77	709.37079	175.18	10	1027.51456	864.4477
/9/2009	30	116.76	10.56	856.45769	140.97	9.77	709.37079	175.18	10	1027.51456	864.4477
3/9/2009	32	116.76	10.55	942.10346	140.97	9.77	709.37079	175.18	9.995	1056.05663	902.5103
:/9/2009	34	116.76	10.55	942.10346	140.97	9.78	638.43371	175.18	9.995	1056.05663	878.8646
0/9/2009	36	116.76	10.56	856.45769	140.97	9.78	638.43371	175.18	9.995	1056.05663	850.316
2/9/2009	38	116.76	10.55	942.10346	140.97	9.78	638.43371	175.18	9.995	1056.05663	878.8646
4/9/2009	40	116.76	10.56	856.45769	140.97	9.78	638.43371	175.18	9.995	1056.05663	850.316
9/9/2009	45	116.76	10.55	942.10346	140.97	9.77	709.37079	175.18	9.995	1056.05663	902.5103
1/9/2009	50	116.76	10.55	942.10346	140.97	9.77	709.37079	175.18	9.995	1056.05663	902.5103
)/9/2009	56	116.76	10.54	1027.74923	140.97	9.76	780.30787	175.18	9.995	1056.05663	954.7046

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C90LS10 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 5/8/2009

e of Test	Age	Sample 1	X_0	12.44	Sample 2	X_0	12.24	Sample 3	X_0	12.64	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
'8/2009	1	146.54	12.44	0	146.34	12.24	0	130.00	12.64	0	0
'8/2009	2	146.54	12.44	0.00000	146.34	12.24	0.00000	130.00	12.63	76.92307692	25.64103
'8/2009	3	146.54	12.43	68.24075	146.34	12.24	0.00000	130.00	12.62	153.84615	74.02897
'8/2009	4	146.54	12.42	136.48151	146.34	12.23	68.33402	130.00	12.62	153.84615	119.5539
)/8/2009	5	146.54	12.42	136.48151	146.34	12.22	136.66803	130.00	12.61	230.76923	167.9729
/8/2009	6	146.54	12.41	204.72226	146.34	12.23	68.33402	130.00	12.6	307.69231	193.5829
/8/2009	7	146.54	12.4	272.96301	146.34	12.22	136.66803	130.00	12.6	307.69231	239.1078
/8/2009	8	146.54	12.39	341.20377	146.34	12.21	205.00205	130.00	12.59	384.61538	310.2737
/8/2009	9	146.54	12.39	341.20377	146.34	12.20	273.33607	130.00	12.58	461.53846	358.6928
/8/2009	10	146.54	12.39	341.20377	146.34	12.2	273.33607	130.00	12.57	538.46154	384.3338
/8/2009	11	146.54	12.38	409.44452	146.34	12.19	341.67008	130.00	12.56	615.38462	455.4997
'8/2009	12	146.54	12.38	409.44452	146.34	12.19	341.67008	130.00	12.555	653.84615	468.3203
/8/2009	13	146.54	12.38	409.44452	146.34	12.19	341.67008	130.00	12.55	692.30769	481.1408
)/8/2009	14	146.54	12.37	477.68527	146.34	12.18	410.00410	130.00	12.545	730.76923	539.4862
)/8/2009	15	146.54	12.37	477.68527	146.34	12.18	410.00410	130.00	12.54	769.23077	552.3067
/8/2009	16	146.54	12.34	682.40753	146.34	12.15	615.00615	130.00	12.53	846.15385	714.5225
/8/2009	18	146.54	12.34	682.40753	146.34	12.14	683.34017	130.00	12.525	884.61538	750.121
/8/2009	20	146.54	12.33	750.64829	146.34	12.13	751.67418	130.00	12.52	923.07692	808.4665
'8/2009	22	146.54	12.31	887.12979	146.34	12.12	820.00820	130.00	12.515	961.53846	889.5588
)/8/2009	24	146.54	12.31	887.12979	146.34	12.12	820.00820	130.00	12.515	961.53846	889.5588
/8/2009	26	146.54	12.30	955.37055	146.34	12.09	1025.01025	130.00	12.51	1000.00000	993.4603
/9/2009	28	146.54	12.3	955.37055	146.34	12.09	1025.01025	130.00	12.51	1000.00000	993.4603
/9/2009	30	146.54	12.28	1091.85205	146.34	12.08	1093.34427	130.00	12.505	1038.46154	1074.553
/9/2009	32	146.54	12.27	1160.09281	146.34	12.07	1161.67828	130.00	12.505	1038.46154	1120.078
/9/2009	34	146.54	12.28	1091.85205	146.34	12.05	1298.34632	130.00	12.505	1038.46154	1142.887
)/9/2009	36	146.54	12.28	1091.85205	146.34	12.07	1161.67828	130.00	12.505	1038.46154	1097.331
/9/2009	38	146.54	12.26	1228.33356	146.34	12.07	1161.67828	130.00	12.51	1038.46154	1142.824
/9/2009	40	146.54	12.27	1160.09281	146.34	12.06	1230.01230	130.00	12.51	1038.46154	1142.856
)/9/2009	45	146.54	12.27	1160.09281	146.34	12.06	1209.51210	130.00	12.50	1076.92308	1148.843
/9/2009	50	146.54	12.28	1091.85205	146.34	12.07	1161.67828	130.00	12.51	1038.46154	1097.331
)/9/2009	56	146.54	12.27	1160.09281	146.34	12.07	1161.67828	130.00	12.51	1038.46154	1120.078

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C80LS20 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 5/8/2009

e of Test	Age	Sample 1	X_0	10.79	Sample 2	X_0	10.24	Sample 3	X_0	11.08	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_n (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_n (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
/8/2009	1	141.89	10.79	0	141.34	10.24	0	131.18	11.08	0	0
/8/2009	2	141.89	10.79	0.00000	141.34	10.22	141.50276	131.18	11.07	76.23113	72.57796
/8/2009	3	141.89	10.79	0.00000	141.34	10.23	70.75138	131.18	11.06	152.46227	74.40455
/8/2009	4	141.89	10.78	70.47713	141.34	10.21	212.25414	131.18	11.05	228.69340	170.4749
)/8/2009	5	141.89	10.77	140.95426	141.34	10.19	353.75690	131.18	11.05	228.69340	241.1349
/8/2009	6	141.89	10.77	140.95426	141.34	10.18	424.50828	131.18	11.04	304.92453	290.129
/8/2009	7	141.89	10.77	140.95426	141.34	10.17	495.25966	131.18	11.03	381.15566	339.1232
/8/2009	8	141.89	10.77	140.95426	141.34	10.15	636.76242	131.18	11.025	419.27123	398.996
/8/2009	9	141.89	10.76	211.43139	141.34	10.14	707.51380	131.18	11.02	457.38680	458.7773
/8/2009	10	141.89	10.74	352.38565	141.34	10.12	849.01656	131.18	11.02	495.50236	565.6349
/8/2009	11	141.89	10.74	352.38565	141.34	10.1	990.51932	131.18	11.01	533.61793	625.5076
/8/2009	12	141.89	10.74	352.38565	141.34	10.1	990.51932	131.18	11.00	609.84906	650.918
/8/2009	13	141.89	10.72	493.33991	141.34	10.10	990.51932	131.18	11.00	609.84906	697.9028
)/8/2009	14	141.89	10.72	493.33991	141.34	10.09	1061.27069	131.18	10.99	686.08020	746.8969
)/8/2009	15	141.89	10.7	634.29417	141.34	10.09	1061.27069	131.18	10.98	762.31133	819.2921
/8/2009	16	141.89	10.7	634.29417	141.34	10.09	1061.27069	131.18	10.975	800.42689	831.9973
/8/2009	18	141.89	10.71	563.81704	141.34	10.09	1061.27069	131.18	10.97	838.54246	821.2101
/8/2009	20	141.89	10.72	493.33991	141.34	10.08	1132.02207	131.18	10.965	876.65803	834.0067
/8/2009	22	141.89	10.72	493.33991	141.34	10.08	1132.02207	131.18	10.965	876.65803	834.0067
)/8/2009	24	141.89	10.71	563.81704	141.34	10.07	1202.77345	131.18	10.96	914.77359	893.788
/8/2009	26	141.89	10.71	563.81704	141.34	10.07	1202.77345	131.18	10.96	914.77359	893.788
/9/2009	28	141.89	10.69	704.77130	141.34	10.06	1273.52483	131.18	10.955	952.88916	977.0618
/9/2009	30	141.89	10.68	775.24843	141.34	10.06	1273.52483	131.18	10.955	952.88916	1000.554
/9/2009	32	141.89	10.68	775.24843	141.34	10.06	1273.52483	131.18	10.955	952.88916	1000.554
/9/2009	34	141.89	10.68	775.24843	141.34	10.05	1344.27621	131.18	10.955	952.88916	1024.138
)/9/2009	36	141.89	10.69	704.77130	141.34	10.05	1344.27621	131.18	10.96	952.88916	1000.646
/9/2009	38	141.89	10.68	775.24843	141.34	10.05	1344.27621	131.18	10.96	952.88916	1024.138
/9/2009	40	141.89	10.68	775.24843	141.34	10.04	1415.02759	131.18	10.96	952.88916	1047.722
)/9/2009	45	141.89	10.67	845.72556	141.34	10.05	1344.27621	131.18	10.96	952.88916	1047.63
/9/2009	50	141.89	10.67	845.72556	141.34	10.04	1415.02759	131.18	10.96	952.88916	1071.214
)/9/2009	56	141.89	10.66	916.20269	141.34	10.04	1415.02759	131.18	10.96	952.88916	1094.706

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING , FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

CEMENT PASTE AUTOGENOUS SHRINKAGE TEST

NFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

Code : C70LS30 **w/b :** 0.40 **Date of Mix :** 5/8/2009

te of Test	Age	Sample 1	X_0	10.43	Sample 2	X_0	9.24	Sample 3	X_0	9.98	Average
		L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6}) %	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	L_0 (mm.)	X_1 (mm.)	$\Delta L/L_0$ (10^{-6})	
/8/2009	1	141.53	10.43	0	139.34	9.24	0	184.98	9.98	0	0
/8/2009	2	141.53	10.41	141.3127959	139.34	9.24	0.00000	184.98	9.98	0.00000	47.10427
/8/2009	3	141.53	10.4	211.96919	139.34	9.23	71.76690	184.98	9.97	54.05990	112.5987
/8/2009	4	141.53	10.35	565.25118	139.34	9.23	71.76690	184.98	9.96	108.11980	248.3793
)/8/2009	5	141.53	10.33	706.56398	139.34	9.21	215.30070	184.98	9.95	162.17970	361.3481
/8/2009	6	141.53	10.35	565.25118	139.34	9.19	358.83451	184.98	9.94	216.23959	380.1084
/8/2009	7	141.53	10.33	706.56398	139.34	9.20	287.06760	184.98	9.93	270.29949	421.3104
/8/2009	8	141.53	10.31	847.87678	139.34	9.19	358.83451	184.98	9.92	324.35939	510.3569
/8/2009	9	141.53	10.31	847.87678	139.34	9.18	430.60141	184.98	9.91	378.41929	552.2992
/8/2009	10	141.53	10.31	847.87678	139.34	9.16	574.13521	184.98	9.90	432.47919	618.1637
/8/2009	11	141.53	10.3	918.53317	139.34	9.15	645.90211	184.98	9.90	459.50914	674.6481
/8/2009	12	141.53	10.29	989.18957	139.34	9.15	645.90211	184.98	9.89	486.53909	707.2103
/8/2009	13	141.53	10.29	989.18957	139.34	9.15	645.90211	184.98	9.88	540.59898	725.2302
)/8/2009	14	141.53	10.29	989.18957	139.34	9.14	717.66901	184.98	9.87	594.65888	767.1725
)/8/2009	15	141.53	10.28	1059.84597	139.34	9.14	717.66901	184.98	9.865	621.68883	799.7346
/8/2009	16	141.53	10.28	1059.84597	139.34	9.13	789.43591	184.98	9.86	648.71878	832.6669
/8/2009	18	141.53	10.30	918.53317	139.34	9.12	861.20281	184.98	9.85	702.77868	827.5049
/8/2009	20	141.53	10.29	989.18957	139.34	9.1	1004.73662	184.98	9.84	756.83858	916.9216
/8/2009	22	141.53	10.27	1130.50237	139.34	9.09	1076.50352	184.98	9.83	810.89848	1005.968
/8/2009	24	141.53	10.27	1130.50237	139.34	9.08	1148.27042	184.98	9.825	837.92842	1038.9
/8/2009	26	141.53	10.25	1271.81516	139.34	9.06	1291.80422	184.98	9.825	837.92842	1133.849
/9/2009	28	141.53	10.25	1271.81516	139.34	9.05	1363.57112	184.98	9.825	837.92842	1157.772
/9/2009	30	141.53	10.24	1342.47156	139.34	9.04	1435.33802	184.98	9.82	864.95837	1214.256
/9/2009	32	141.53	10.24	1342.47156	139.34	9.05	1363.57112	184.98	9.82	864.95837	1190.334
/9/2009	34	141.53	10.26	1201.15876	139.34	9.05	1363.57112	184.98	9.82	864.95837	1143.229
)/9/2009	36	141.53	10.25	1271.81516	139.34	9.05	1363.57112	184.98	9.82	864.95837	1166.782
/9/2009	38	141.53	10.25	1271.81516	139.34	9.05	1363.57112	184.98	9.82	864.95837	1166.782
/9/2009	40	141.53	10.25	1271.81516	139.34	9.05	1363.57112	184.98	9.825	837.92842	1157.772
/9/2009	45	141.53	10.24	1342.47156	139.34	9.04	1435.33802	184.98	9.825	837.92842	1205.246
/9/2009	50	141.53	10.24	1342.47156	139.34	9.04	1435.33802	184.98	9.825	837.92842	1205.246
)/9/2009	56	141.53	10.24	1342.47156	139.34	9.04	1435.33802	184.98	9.825	837.92842	1205.246

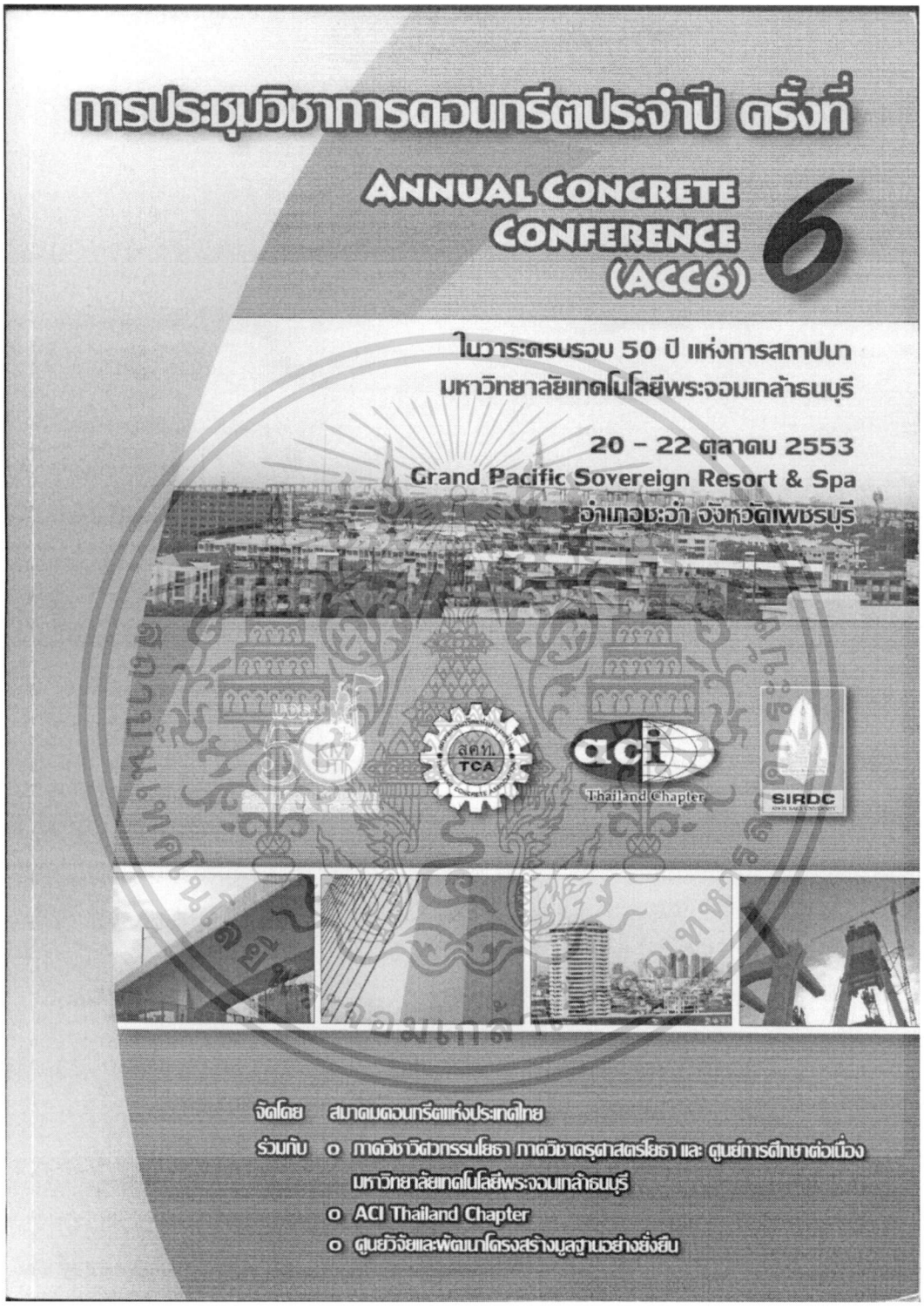
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่
การประชุมวิชาการระดับชาติ

1. **ทวิช กล้าแท้** และคมสัน มาลีสี **"อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์"** , การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6 , MAT 60 หน้า 309 - 314 , อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี , 20-22 ตุลาคม 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ

การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6

Annual Concrete Conference 6 (ACC6)

บทความ

- บทความโดยองค์ปาฐก (Keynote)
- บทความวิจัยรับเชิญ (IVT)
- บทความวิจัย สาขาคอนกรีตและวัสดุ (MAT)
- บทความวิจัย สาขาโครงสร้างคอนกรีต (STR)
- บทความวิจัย สาขาบำรุงรักษา ซ่อมแซม และเสริมกำลังคอนกรีต (REP)
- บทความวิจัย สาขาคอนกรีตเพื่อสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงาน (ENV)

20-22 ตุลาคม 2553
โรงแรมแกรนด์ แปซิฟิค ซอฟเฟอริน รีสอร์ท แอนด์ สปา
อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

จัดทำโดย

- สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ร่วมกับ

- ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาครุศาสตร์โยธา และ ศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ACI Thailand Chapter
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน

สงวนลิขสิทธิ์ © ตาม พรบ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2521 โดยสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย
พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2553 จำนวน 400 เล่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.30 – 12.00 น. การนำเสนอบทความวิจัย (ห้อง Pecth Siam)

ประธานภาค : ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ สินสิริ

รองประธานภาค : ดร.ประวีณ ชมปรีดา

IVT-02	A model for predicting early age coefficient of thermal expansion of concrete
MAT-12	ผลกระทบของกำลังคอนกรีตและความชื้นในอากาศต่อพฤติกรรมการหดตัวแบบแห้ง
MAT-57	AUTOGENOUS SHRINKAGE AND TOTAL SHRINKAGE OF BINARY AND TERNARY SYSTEMS CONTAINING FLY ASH AND LIMESTONE POWDER
MAT-59	อิทธิพลของวัสดุผสมเพิ่มที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์สูงต่อกำลังอัด การหดตัวและขยายตัวของซีเมนต์เพสต์
MAT-60	อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

10.30 – 12.00 น. การนำเสนอบทความวิจัย (ห้อง Petch Phailin)

ประธานภาค : ผศ.ดร.ทวีชัย สาราญวานิช

รองประธานภาค : ดร.วีรชาติ ดั้งจิรภัทร

MAT-54	Comparison of different methods for determination of pozzolanic activity
MAT-68	EFFECT OF PLASTERING MORTAR AND PAINT ON CARBONATION RESISTANCE OF CONCRETE
MAT-71	การศึกษาอิทธิพลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีต และการหดตัวแบบออโตจีนัสของมอร์ต้าที่ใช้วัสดุประสานต่างกัน และเถ้าก้นเตาเป็นวัสดุบ่มภายใน
MAT-74	ผลกระทบของการเติมแคลเซียมออกไซด์อิสระในเถ้าลอยต่อการขยายตัวและการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในสารละลายซัลเฟต
MAT-75	การขยายตัวของมอร์ต้าร์เถ้าลอยและผงหินปูนในสารละลายโซเดียมซัลเฟต
MAT-81	การศึกษาการใช้เปลือกหอยแมลงภู่แทนที่หินปูนในการผลิตปูนซีเมนต์เม็ด

12.00 – 13.00 น. รับประทานอาหารกลางวัน

13.00 – 13.45 น. การบรรยายพิเศษ (ห้อง Pecth Siam)

4. บทความโดยองค์ปาฐก 4 (Keynote Lecture 4)

เรื่อง Development of new Mighty

โดย *Mr.Makoto OKUBO*

Kao corporation, Performance Chemicals Research laboratories

13.45 – 17.00 น. ชมการสาธิตผลิตภัณฑ์ในงานคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญบทความ (ต่อ)

บทความวิจัย สาขาคอนกรีตและวัสดุ (MAT)		หน้า
MAT-54	Comparison of different methods for determination of pozzolanic activity *Atthapol Kasemsuknimit and Sakprayut Sinthupinyo*	291
MAT-57	AUTOGENOUS SHRINKAGE AND TOTAL SHRINKAGE OF BINARY AND TERNARY SYSTEMS CONTAINING FLY ASH AND LIMESTONE POWDER *Warangkana Saengsoy, Sontaya Tongaroonsri, Saranagon Hemavibool, Somnuk Tangtermsirikul, and Saksit Plang-ngern*	297
MAT-59	อิทธิพลของวัสดุผสมเพิ่มที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์สูงต่อกำลังอัด การหดตัวและขยายตัวของซีเมนต์เพสต์ *รังสรรค์ สำโรงทอง และ คมสัน มาลีสี*	303
MAT-60	อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ *ทวิช กล้าแท่ และ คมสัน มาลีสี*	309
MAT-61	อิทธิพลของเหล็กปลอกและเหล็กหลัก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี ชมิดท์แฮมเมอร์ *สุชิโย พลูสวัสดิ์ และ คมสัน มาลีสี*	315
MAT-62	ผลกระทบของกำลังอัดคอนกรีตผสมเสร็จที่เกินระยะเวลาก่อตัว *อุดมวิทย์ กาญจนวรงค์*	323
MAT-64	การสำรวจอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นของอาคารที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล *บัญญัติ วารินทร์ไหล ภัทธิพงษ์ สหมิตรมงคล ปิติศานต์ กร้ำมาตร และ สมนึก ตั้งเติมสิริกุล*	329
MAT-65	การศึกษากำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีตผสมน้ำเสียที่ออกจากนิคมอุตสาหกรรม *พิชญุตม์ จรัสบำรุงโรจน์*	335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัด และการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์

INFLUENCE OF LIMESTONE POWDER MODIFIED ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF CEMENT PASTES

ทวิช กล้าแท้ (Tawich Klathea)[1]
คมสัน มาลีสี (Komsan Maleesee)[2]

[1]*นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(klathea@hotmail.com)*
[2]*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(mkomsan@hotmail.com)*

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ ที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) ที่ร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุผง และควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 , 0.35 และ 0.40 โดยในการทดสอบได้เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่อายุ 3 , 7 , 28 และ 56 วัน รวมถึงการหดตัวแบบออโตจีเนียสที่อายุ 1-56 วัน กับซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) และซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100) ผลจากการทดสอบพบว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ LM ที่ร้อยละ 10 (C90LM10) นั้น มีแนวโน้มค่ากำลังอัดที่สูงกว่าซีเมนต์เพสต์ C100 และจะลดลงเมื่อทำการเพิ่ม LM ที่ร้อยละ20 และ 30 ตามลำดับ ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ส่วนการหดตัวแบบออโตจีเนียสจะพบว่า ซีเมนต์เพสต์ LM และซีเมนต์เพสต์ LS นั้น มีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มขึ้นของร้อยละการแทนที่ 10 , 20 และ 30 ตามลำดับ ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง

ABSTRACT : The aimed of this research is to study influence of limestone powder modified on compressive strength and autogenous shrinkage of cement pastes.The studied parameter replacement of cement by limestone powder modified (LM) at 0 , 10 , 20 and 30% by weight of binder and the water to binder ratio is controlled at 0.30 , 0.35 and 0.40. Strength development of cement pastes was relatively investigated at ages of 3 , 7 , 28and 56 days , and autogenous shrinkage at ages of 1–56 days. By comparing with cement pastes replacement of cement by calcium carbonate (LS) and the control cement pastes (C100).The tested results showed that the strength development of cement pastes LM at 10% (C90LM10) was higher than to the cement pastes C100 and decreased when the percentage of replacement of LM in cement increased at 20 and 30% respectively, all water to binder ratio.For tested results showed that the autogenous shrinkage decreased when the percentage of replacement of cement pastes LM and cement pastes LS in cement increased at 10 , 20 and 30% respectively, all water to binder ratio.

KEYWORDS : Limestone powder , Cement paste , Autogenous shrinkage , Calcium carbonate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในปัจจุบันการศึกษาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์สาขาต่างๆ ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการศึกษาวิจัย วัสดุชนิดใหม่ที่นำมาใช้ร่วมกับวัสดุที่มีอยู่เดิม เพื่อลดการใช้พลังงาน งานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอผลการศึกษา ของซิเมนต์เพสต์ที่ผสมผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ โดยเป็นวัสดุจากธรรมชาติ และไม่ต้องผ่านกระบวนการเผา แต่สามารถผสมกับปูนซิเมนต์ธรรมดาได้เลย ทำให้มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ผง 20-40 % จึงไม่เพียงลดต้นทุนของราคาวัสดุเท่านั้น แต่ยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในการผลิต ลงได้อีกด้วย

2. ขอบเขตและวิธีการศึกษา

วัสดุที่ใช้ได้แก่ ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1(C), ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) จากบริษัท คอนกริต ดิเวลลอปเมนต์ จำกัด, ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) จากบริษัทสุรินทร์ ออมย่า เคมิคอล (ประเทศไทย) จำกัด โดยทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ได้แก่ การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (XRF), การสูญเสียน้ำหนักจากการเผา,ความถ่วงจำเพาะ, ความละเอียดแบบเบลน, ลักษณะทางจุลภาค (SEM) , องค์ประกอบความเป็นผลึก (XRD) , ระยะเวลาการก่อตัว , และคุณสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังอัด , การหดตัวแบบออโตจีเนียส , ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.30 , 0.35 และ 0.40 โดยอัตราส่วนผสมวัสดุผงที่ใช้ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์

ส่วนผสม	ร้อยละการแทนที่		
	C	LM	LS
C100	100	-	-
C90LP10	90	10	-
C80LP20	80	20	-
C70LP30	70	30	-
C90CF10	90	-	10
C80CF20	80	-	20
C70CF30	70	-	30

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

3.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพพบว่า C มีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยมีปริมาณของ CaO เท่ากับร้อยละ 64.97 เปรียบเทียบกับปริมาณ CaO ของ LM และ LS โดยมีค่าร้อยละ 65.40 และ 57.30 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณ CaO ของ LM มีค่าสูงกว่าปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ LS ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติด้านกำลังอัด ส่วนองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) พบว่าใน C มี SiO_2 เป็นองค์ประกอบร้อยละ 20.80 ในขณะที่ LM และ LS มี SiO_2 เป็นองค์ประกอบร้อยละ 3.25 และ 0.98 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม LM และ LS มีปริมาณ LOI สูงถึงร้อยละ 26.15 และ 40.60 ตามลำดับ

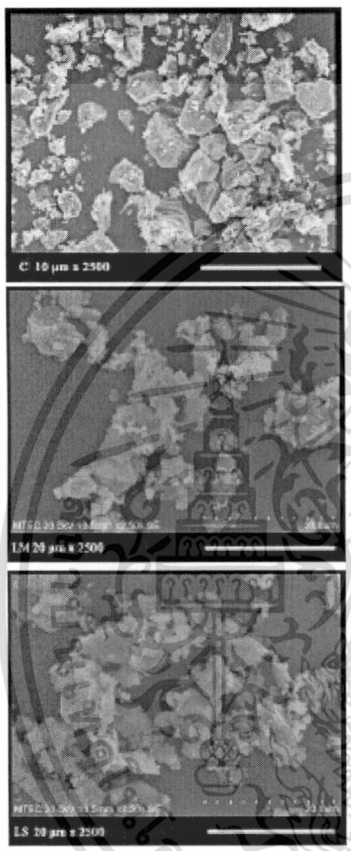
ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

Chemical Composition (%)	C	LM	LS
Silicon Dioxide (SiO_2)	20.80	3.25	0.98
Aluminum Oxide (Al_2O_3)	5.50	1.50	0.31
Ferric Oxide (Fe_2O_3)	3.16	1.28	0.15
Calcium Oxide (CaO)	64.97	65.40	57.30
Magnesium Oxide (MgO)	1.06	1.32	0.39
Potassium Oxide (K_2O)	0.55	0.26	0.02
Sodium Oxide (Na_2O)	0.08	NA	0.01
Sulfur Trioxide (SO_3)	2.96	NA	0.05
การเผาไหม้ (L O I)	1.40	26.15	40.60
ค่าความถ่วงจำเพาะ	3.15	2.66	2.70
อนุภาคโดยเฉลี่ย , (μm)	16.5	6.5	12
Blaine Surface, (cm^2/g)	3,400	12,230	5,750

ภาพที่1 แสดงอนุภาคของปูนซีเมนต์โดยมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมและมีช่องว่างภายในค่อนข้างสูงอาจเป็นเพราะขนาดของอนุภาคที่ไม่ละเอียดมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับ LM และ LS โดยทั้งสองชนิดมีลักษณะของอนุภาคที่

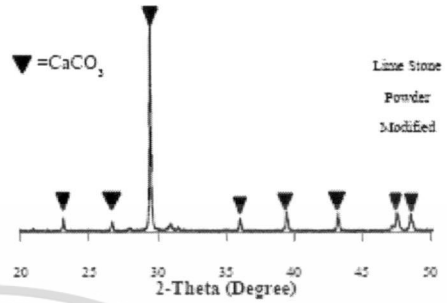
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คล้ายคลึงกันคือ มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม แต่มีความละเอียดและมีความพรุนต่ำเนื่องจากมีช่องว่างอยู่น้อย โดยประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆเกาะกันเป็นกลุ่มอย่างหลวมๆ ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ขนาดของอนุภาคจะมีขนาดที่ใกล้เคียงกันระหว่าง LM และ LS แต่ LM จะมีความละเอียดสูงกว่าส่งผลให้ความสามารถในการลดช่องว่างในซิเมนต์เพสต์ได้ดี

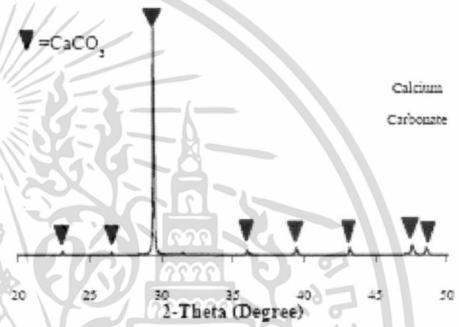


ภาพที่ 1 ภาพถ่ายขยายอนุภาค ของวัสดุผง (C) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 (LM) ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ, (LS)ผงแคลเซียมคาร์บอเนต

รูปที่ 1 และ 2 แสดงผลจากการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์ ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) พบว่า LM และ LS มีสถานะเป็นผลึก Calcite ($CaCO_3$) และพบว่าผลึกระหว่าง LM และ LS มีความแตกต่างกันไม่มากนัก โดยจุดยอด (Peak Intensity) จะปรากฏ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ที่มุม 2–Theta เท่ากับ 29.487 และ 29.482 ตามลำดับ



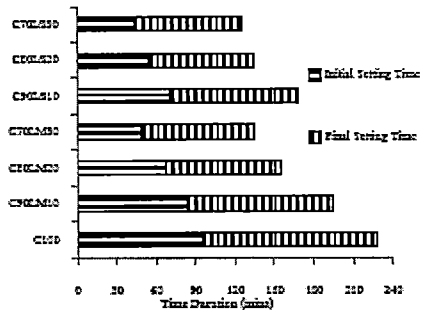
รูปที่ 1 แสดงผลการทดสอบ X-ray Diffraction ของ LM



รูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบ X-ray Diffraction ของ LS

รูปที่ 3 แสดงระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายของซิเมนต์เพสต์ ด้วยชุดทดสอบไวแคทต (ASTM C191) ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าการนำ LM และ LS แทนที่ปูนซิเมนต์บางส่วนนั้นช่วยเร่งให้เกิดการก่อตัวของซิเมนต์เพสต์ โดยเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ขึ้น จะส่งผลให้ระยะเวลาการก่อตัวลดลง อาจเป็นเพราะช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซิเมนต์นั้นมีปริมาณลดลง เนื่องจาก LM และ LS มีความละเอียดมากกว่าปูนซิเมนต์ ทำให้ไปช่วยในการลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซิเมนต์ และรวมถึงส่งผลให้วัสดุผงมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำได้มาก ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาในช่วงแรกของ ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เร็วขึ้น แนวโน้มของระยะการก่อตัวจึงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

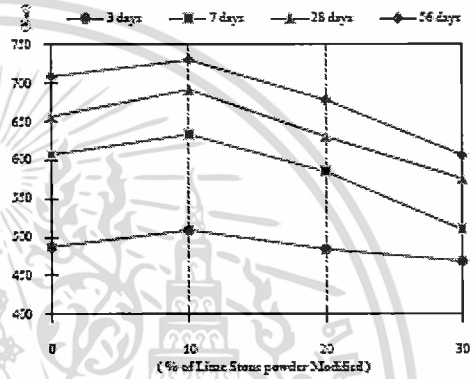


รูปที่ 3 แสดงระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

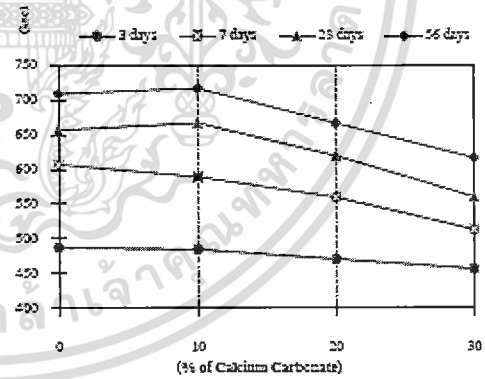
3.2 อิทธิพลของหงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ(LM)ที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

รูปที่ 4-6 แสดงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ พบว่า ซีเมนต์เพสต์ LM มีลักษณะการพัฒนาค่ากำลังอัด คล้ายซีเมนต์เพสต์ C100โดยมีการพัฒนาค่ากำลังอัด อย่างรวดเร็วในช่วงต้น หลังจากนั้นการพัฒนาค่ากำลังอัด ก็จะเพิ่มขึ้นช้าๆ อย่างต่อเนื่อง ซึ่งที่ร้อยละ 10(C90LM10) นั้น มีแนวโน้มให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดโดยสูงกว่า ซีเมนต์เพสต์ C100 ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ส่วนการแทนที่ ที่ร้อยละ 20 และ 30 นั้นมีค่ากำลังอัดใกล้เคียงและน้อยกว่า ซีเมนต์เพสต์ C100 ดังแสดงในรูปที่ 4 และในส่วนของซีเมนต์เพสต์ LS ที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 นั้นมีค่ากำลังอัดใกล้เคียงและน้อยกว่า ซีเมนต์เพสต์ C100 ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.30 นั้น (C90LM10) และ (C90LS10) ให้ค่ากำลังอัดที่ร้อยละ 104,104,105,103 และ 99,97,101,101ของซีเมนต์เพสต์ C100 ตามลำดับ

และเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ที่ 0.35 และ 0.40 ผลการทดลองที่ได้ ก็เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ ซีเมนต์เพสต์ LM ที่ร้อยละ 10 (C90LM10) นั้น มีแนวโน้มให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด แต่ค่ากำลังอัดที่ได้มีการลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง เพราะปริมาณน้ำที่มากขึ้นนั้นทำให้เกิด ฟองอากาศ ส่งผลกระทบต่อช่องว่างในเนื้อของซีเมนต์เพสต์ทำให้ความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 6 อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า หงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ(LM)สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดได้อย่างรวดเร็วในช่วงต้นและส่งผลถึงค่ากำลังรับแรงอัดในระยะยาว ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีจากองค์ประกอบหลักที่เป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งทำปฏิกิริยากับซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ในปูนซีเมนต์และน้ำ (H_2O) ทำให้ได้ผลผลิตที่เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($CaO\text{-}SiO_2\text{-}H_2O$) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในการรับกำลังได้ดี

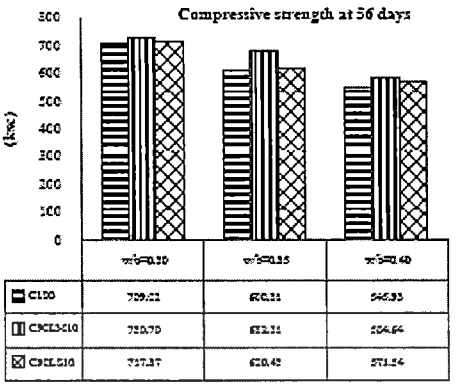


รูปที่ 4 แสดงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ LM เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.30

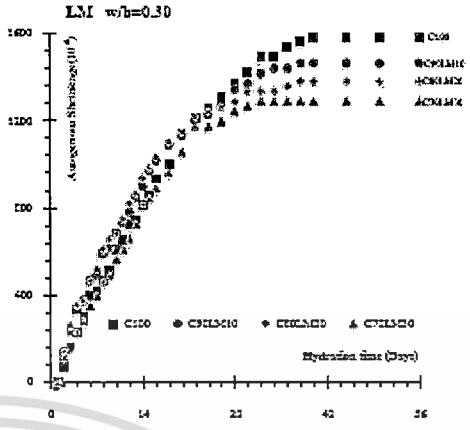


รูปที่ 5 แสดงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ LS เปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30 ของวัสดุผง โดย w/b= 0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 แสดงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่ 56 วัน โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำต่อวัสดุผง

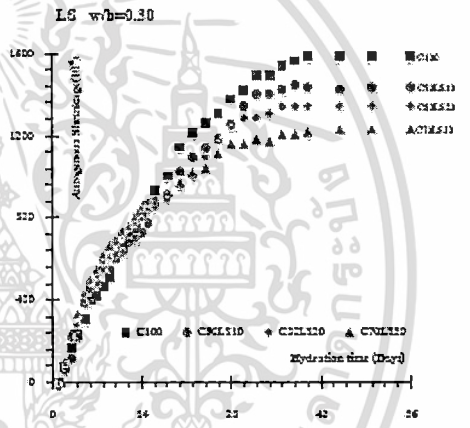


รูปที่ 7 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์ LS โดย w/b= 0.30

3.3 อิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ ที่มีผลต่อค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส

รูปที่ 7-8 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วย ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) นั้นสามารถช่วยลดการค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ได้ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ ซีเมนต์เพสต์ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 เพียงอย่างเดียว (C100)

โดยจะเห็นได้ว่า ร้อยละการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วย LM นั้น จะมีค่าลดลง เมื่อทำการเพิ่มร้อยละ การแทนที่ของ LM ที่ 10, 20 และ 30 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 แต่ยังคงมีร้อยละการหดตัวแบบออโตจีเนียส ที่มากกว่า ซีเมนต์เพสต์แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วย ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LS) เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งอาจส่งผลมาจากปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ของ LS ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดถึง 98 % เมื่อเทียบกับ LM และ C



รูปที่ 8 แสดงค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส ของซีเมนต์เพสต์ LS โดย w/b= 0.30

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาอิทธิพลของผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ สามารถสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีส่วนช่วยในการเร่งการก่อตัวเริ่มต้นและการก่อตัวสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์ให้เร็วขึ้น

4.2 ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีความสารถในการเพิ่มค่ากำลังอัดได้ โดยที่ร้อยละ 10 ให้ค่ากำลังอัดมากที่สุด และกำลังอัดจะมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ 20 และ 30 ตามลำดับ ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง

4.3 ผงหินปูนปรับปรุงคุณสมบัติ (LM) มีความสามารถในการช่วยลดการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ได้ โดยจะมีค่าการหดตัวที่ลดลง เมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ 10 , 20 และ 30 ตามลำดับ ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการสนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้ปี 2554 , บริษัท คอนกรีต ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด , บริษัทสุรินทร์ ออมย่า เคมิคอล (ประเทศไทย) จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัสดุในการทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

[1]C.Jaturapitakkul, K. Kaitkhomol, V. Sata and T.Leekeeratikul. (2004). Use of Ground Coarse Fly Ash as a Replacement of Condensed Silica Fume in Producing High-Strength Concrete. Cement and Concrete Research. 34. p.549-555.

[2] P. Chindaprasirt, P. Kanchanda,A.Sathonsaowaphak and H.T. Cao, Sulfate Resistance of Blended Cements Containing Fly Ash and Rice Husk Ash, 2006, accepted for publication in Construction and Building Materials,

[3] Philippe J.P. Gleize, 2006, Cement&Concrete Composites 29 (2007) 80-87 "Effect of metakaolin on autogenous shrinkage of cement pastes"

[4] Sato, T;Beaudoin,J.J. " the effect of nano-size $CaCO_3$ addition on the hydration of cement paste containing high volumes of fly ash "12th International Congress on the Chemistry of Cement, Montreal, QC. ,July

[5] กฤติยา แก้วมณี และ ศ.ดร.สมนึก ตั้งเติมสิริกุล "คุณสมบัติพื้นฐานและความคงทนของคอนกรีตและคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต",การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 2 , 25-27 ตุลาคม 2549.

[6] ธีรวัฒน์ สินศิริ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2548, "ผลกระทบของความละเอียดเถ้าถ่านหินต่อกำลังอัด ปริมาตรโพรงทั้งหมดและขนาดโพรงในซีเมนต์เพสต์", วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., ปีที่ 28, ฉบับที่ 1, มกราคม-มีนาคม, หน้า 17-28.

[7] ธีรวัฒน์ สินศิริ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ, 2547, "โครงสร้างขนาดเล็กของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าถ่านหิน", การนำเถ้าถ่านหินในประเทศไทยมาใช้ในงานคอนกรีต ครั้งที่ 1, 26 เมษายน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 71-78.

[8] สารพล ศรีสุวรรณ,คมคัน มาลีสี "ผลกระทบของวัสดุอนินทรีย์ผสมเพิ่มต่อการหดตัวของมอร์ต้าสด"การประชุมวิชาการ โยธาแห่งชาติครั้งที่15 หน้า.315-320

[9] สราวุธ เจริญสิริเลิศยร,บุระฉัตร ฉัตรวิระ,สมนึก ตั้งเติมสิริกุล"ผลของเถ้าหินปูนที่มีต่อสมบัติคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงในช่วงต้น"วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 29 ฉบับที่3 กรกฎาคม-กันยายน 2549 , หน้า.375-388

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายทวิช กล้าแท้

วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 23 ตุลาคม พ.ศ.2525 อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

ที่อยู่ 1259/28 หมู่บ้านเอื้อาทรลาดกระบัง 2 ถ.ประชาพัฒนา
แขวงทับยาว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ประวัติการศึกษา

2547 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2551 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ทะเบียนวิชาชีพ ภาคีวิศวกรใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบการวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม
สาขาวิศวกรรมโยธา เลขที่ ภย 46015

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

2548 - 2550 เข้าทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่เขียนแบบ สังกัดงานอาคารสถานที่
สำนักงานคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2548 – 2549 โครงงานพิเศษ การโก่งเดาะของวงแหวนผนังบาง
BUCKLING OF THIN–WALLED CYLINDER
นายทวิช กล้าแท้ , นายรังสรรค์ สำโรงทอง หลักสูตรวิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

2550 – ปัจจุบัน วิศวกรโยธา สังกัดงานอาคารสถานที่ ส่วนบริหารงานทั่วไป
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้