อิทธิพลของนาโนซิลิก้าประเภทที่ชอบน้ำและประเภทที่ไม่ชอบน้ำต่อการต้านทานสารละลายกรดซัลฟูริกของซีเมนต์มอร์ต้า

Effect of hydrophilic and hydrophobic nano silica on acid resistance of cement mortar.

นางสาวกมลชนก อนุอัน รหัส 53360019
นางสาวกาญจนา การะภักดี รหัส 53360057
นายกู้เกียรติ มูรามัญ รหัส 53360064

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 20 ก.ค. 2558
เลขทะเบียน 1691214 X
เลขเรียกหนังสือ วร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร TH366 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การศึกษาอิทธิพลของนาโนซิลิก้าประเภทที่ชอบน้ำ และประเภทที่ไม่ชอบน้ำต่อการต้านทานสารละลายกรดซัลฟูริกของซีเมนต์มอร์ต้า

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวกมลชนก อนุอัน รหัส 53360019
นางสาวกาญจนา การะภักดี รหัส 53360057
นายกู้เกียรติ มูรามัญ รหัส 53360064

ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์
ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2556

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

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

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

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ บุญพล มีชัยโย)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาอิทธิพลของนาโนซิลิก้าประเภทที่ชอบน้ำ และประเภทที่ไม่ชอบน้ำต่อการต้านทานสารละลายกรดซัลฟูริกของซีเมนต์มอร์ต้า
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวกมลชนก อนุอัน รหัส 53360019
	นางสาวกาญจนา การะภักดี รหัส 53360057
	นายกู้เกียรติ มูรามัญ รหัส 53360064
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์
	ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2556

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของนาโนซิลิก้าประเภทที่ชอบน้ำ และประเภทที่ไม่ชอบน้ำต่อการต้านทานการกัดกร่อนโดยสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน(w/b) เท่ากับ 0.55 ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ประเภทของนาโนซิลิก้า ผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า วิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกัน และความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ที่ร้อยละ 3 และ 5 จากผลการศึกษาพบว่า อัตราการสูญเสียน้ำหนักในช่วง 28 วันแรกสำหรับแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเกือบทั้งหมดเมื่อถูกแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 มีค่าต่ำ หลังจากนั้นอัตราการสูญเสียน้ำหนักจะมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าการสูญเสียน้ำหนักสำหรับทุกส่วนผสมมีค่าใกล้เคียงกันยกเว้นซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทที่ไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) มีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าสัดส่วนผสมอื่นที่เห็นได้อย่างชัดเจน ตั้งแต่เริ่มทำการแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) จนวันสิ้นสุดการแช่ที่ระยะเวลา 112 วัน จากผลการทดสอบที่ได้ การผสมนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำโดยวิธีการผสมแบบแห้งมีแนวโน้มในการลดค่าการสูญเสียน้ำหนักของแท่งทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทดสอบในสารละลายกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 3

Project title	A Study of effect of hydrophobic and hydrophilic nano silica on acid resistance of cement mortar.
Name	Ms.Kamolchanok A nu-an ID. 53360019
	Ms.Kanjana Karaphakdee ID. 53360057
	Mr.Kukiat Muraman ID. 53360064
Project advisor	Asst.Prof.Dr.saranagon Hemavibool
	Dr.Tanapon Phenrat
Major	Civil Engineering
Department	Civil Engineering
Academic year	2013

Abstract

This project aims to study the effect of hydrophilic and hydrophobic nano-silica on sulfuric acid (H_2SO_4) resistance of cement mortar at the ratio of water to binder (w/b) of 0.55. We evaluated the influence of types of nano-silica, the amount of nano-silica added, different nano-silica preparation methods, and the concentration of sulfuric acid (H_2SO_4) in solution (at 3 % and 5%). As for the first 28 days, the weight loss of cement mortar due to acidic corrosion was low. The weight loss increased after 28 days. Cement mortar with the addition of hydrophobic nano silica (2%) has the lowest weight loss. Over 112 days of study, it is obvious that adding hydrophobic nano silica into cement mortar via dry mixing protocol can enhance the acid resistance the best, especially at the H_2SO_4 concentration of 3%.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากทางผู้จัดทำได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์ ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ท่านได้กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการดำเนินโครงการ พร้อมทั้งเสียสละเวลาของท่านมาให้คำแนะสำหรับแก้ไขปัญหาในการปฏิบัติงานในโครงงานนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย ขอขอบพระคุณว่าที่ร้อยตรี นันธวัฒน์ เบอะเทพ นิสิตปริญญาโท สาขาวิศกรรมโครงสร้าง ที่ช่วยให้ข้อมูลในการศึกษาค้นคว้า และแนะนำขั้นตอนในการปฏิบัติการในการทดสอบของโครงงานนี้ ขอขอบพระคุณครูช่างทุกท่านที่เอื้อเฟื้อให้ยืมอุปกรณ์ เครื่องมือทดสอบต่างๆตลอดจนคำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ และสถานที่ปฏิบัติโครงงาน ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้การสนับสนุนและส่งเสริมด้านการศึกษา สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณเพื่อนนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่คอยช่วยเหลืองานบางอย่างในการปฏิบัติโครงงานและกำลังใจที่ดีตลอดมาจนกระทั่งโครงงานนี้สำเร็จ

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นางสาวกมลชนก อนุอัน
นางสาวกาญจนา การะภักดี
นายกู้เกียรติ มูรามัญ
มกราคม 2556

สารบัญ

หน้า

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

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน 2
1.5 ตารางขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 3
1.5 รายละเอียดและงบประมาณที่ใช้ตลอดโครงการ 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 4
2.1 ปัญหาการเสื่อมสภาพของโครงสร้างตอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากกรด 4
2.1.1 ผลกระทบต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรม 4
2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนของซีเมนต์มอร์ตาด้วยกรดซัลฟูริก 6
2.1.3 วิธีการป้องกันการกัดกร่อนกรด 8

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 9
3.1 วัสดุ 9
3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง แบบผสมเปียก ผสมแห้ง และการเตรียม
ตัวอย่างไมโครซิลิก้า 13
3.3 ขั้นตอนการผสมซีเมนต์มอร์ต้า 14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล 19
4.1 ผลของชนิดวัสดุผสมซีเมนต์มอร์ต้าต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก 19
4.2 ตัวอย่างรูปเปรียบเทียบซีเมนต์มอร์ต้าที่ถูกกัดกร่อนโดยสารละลายกรดซัลฟูริก 40
4.3 ข้อเสนอแนะในการเลือกใช้งานนาโนซิลิก้า 46

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 48
5.1 สรุปผล 48
5.2 ข้อเสนอแนะ 51

เอกสารอ้างอิง 52

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน ... 3

2.1 คุณสมบัติทางเคมี ... 7

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ ... 7

3.1 ส่วนผสมซีเมนต์มอร์ต้าแต่ละสูตร ... 16

4.1 ข้อมูลเปรียบเทียบค่าสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยของซีเมนต์มอร์ต้าภายหลังจากที่แช่ใน กรดซัลฟูริก 3% ที่ระยะเวลาต่างๆ ... 20

4.2 ข้อมูลเปรียบเทียบค่าสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยของซีเมนต์มอร์ต้าภายหลังจากที่แช่ใน กรดซัลฟูริก 5% ที่ระยะเวลาต่างๆ ... 21

4.3 ข้อมูลเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์สูญเสียน้ำหนักระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วย นาโนซิลิกากับซีเมนต์มอร์ต้าธรรมดา(r0) หลังจากแช่ในกรดซัลฟูริก 3% ... 22

4.4 ข้อมูลเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์สูญเสียน้ำหนักระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วย นาโนซิลิกากับซีเมนต์มอร์ต้าธรรมดา(r0) หลังจากแช่ในกรดซัลฟูริก 5% ... 23

4.5 เปรียบเทียบซีเมนต์มอร์ต้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำและไม่ชอบน้ำกับซีเมนต์มอร์ต้าที่ เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 % ... 40

4.6 รูปเปรียบเทียบซีเมนต์มอร์ต้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำและไม่ชอบน้ำกับซีเมนต์มอร์ต้าที่ เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 % ... 43

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 คอนกรีตถูกทำลายด้วยการกัดกร่อนของกรด 5

2.2 ภาพขยายขนาดของซิลิกาฟูม 7

3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ใช้ในโครงการ 9

3.2 การเก็บรักษาปูนซีเมนต์ 10

3.3 ทรายแม่น้ำสภาพอิ่มตัวผิวแห้งและการทดสอบความสะอาดของทรายก่อนการใช้งาน 10

3.4 ถังเก็บรักษาความชื้นทราย 10

3.5 น้ำประปาที่ใช้ในโครงงาน 11

3.6 ซิลิกาฟูมที่ใช้ทั้งสามชนิด 12

3.7 กรดซัลฟูริกที่ใช้ในโครงงาน 12

3.8 การเตรียมตัวอย่างนาโนซิลิก้าแบบไม่ชอบน้ำ(ผสมเปียก) 13

3.9 การเตรียมตัวอย่างก่อนผสม 13

3.10 การคลุกเคล้าส่วนผสมก่อนใส่เครื่องกวน 14

3.11 การดับเครื่องทิ้งไว้ 30 วินาที 14

3.12 การกวนส่วนผสมด้วยมือให้เข้ากัน 15

3.13 การเทมอร์ต้าลงในแบบหล่อและการไล่ฟองอากาศโดยใช้เครื่องสั่น 15

3.14 การบ่มซีเมนต์มอร์ต้า 15

3.15 อุปกรณ์สำหรับตวงกรดซัลฟูริกที่ใช้ในโครงงาน 17

3.16 ก้อนซีเมนต์มอร์ต้าที่บ่มครบ 28 วัน 17

3.17 ก้อนตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าที่ถูกกัดโดยกรดในวันทดสอบต่างๆ 17

3.18 ก้อนซีเมนต์มอร์ต้าแช่ในกรดซัลฟูริก 18

4.1 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน
ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% 25

4.2 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน
ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% 25

4.3 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน
ทดสอบแช่ในสารละลาย กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 % 26

4.4 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน
ทดสอบแช่ในสารละลาย กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 % 27

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน ทดสอบแช่ในสารละลาย กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %..... 28

4.6 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน ทดสอบแช่ในสารละลาย กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %..... 29

4.7 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) ร้อยละ 0.5,1 และ 2 ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %..... 30

4.8 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) ร้อยละ 0.5,1 และ 2 ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %..... 31

4.9 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl) ร้อยละ 0.5,1 และ 2 ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %..... 31

4.10 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl) ร้อยละ 0.5,1 และ 2 ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %..... 32

4.11 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน(แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %..... 33

4.12 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน(แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %..... 34

4.13 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน(แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %..... 35

4.14 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน(แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %..... 35

4.15 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) (แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %..... 36

4.16 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl) (แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %..... 37

4.17 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) (แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %..... 38

4.18 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl) (แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %..... 38

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.19 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริกของซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก ($r0$) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% และ 5%..... 39

บทที่ 1
บทนำ

คอนกรีต ถือเป็นวัสดุสำคัญที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างอย่างแพร่หลายตั้งแต่ในอดีตจนปัจจุบัน เนื่องจากคอนกรีตมีคุณสมบัติหลักเด่นๆ คือ มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถรับแรงอัดได้สูง แต่ทั้งนี้คอนกรีตก็มีข้อจำกัดในบางด้าน เช่น สามารถรับแรงดึงได้ต่ำ (ประมาณ 10% ของแรง อัด)[1] มีกำลัง (Strength) และอายุการใช้งานน้อยลงเมื่อสัมผัสกับสภาวะที่เป็นกรด จึงต้องมีการคิดค้นและพัฒนาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต รวมถึงสัดส่วนของวัสดุแต่ละอย่างแตกต่างกันไปเพื่อเพิ่มประ - สิทธิภาพของคอนกรีตตามความเหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการคุณสมบัติของคอนกรีตตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันของผู้ใช้ด้วย เช่น จะต้องมีกำลัง (Strength) ที่เหมาะสมและความคงทน (Durability) ต่อสภาพการใช้งานตามที่ออกแบบไว้

1.1 ประวัติความเป็นมาและสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันคุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตนอกเหนือจากคุณสมบัติเชิงกล เนื่องจากในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้งานคอนกรีตเสริมเหล็กคอนกรีตในรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น เช่น โครงสร้างในทะเล โครงสร้างของโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทที่ต้องสัมผัสกับสภาวะที่เป็นกรด หรือแม้กระทั่งโครงสร้างต่างๆ ที่ต้องสัมผัสกับฝนกรดอันเนื่องมาจากมลพิษจากสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน ทำให้ความสามารถของคอนกรีตในสภาวะแวดล้อมที่ประสบปัญหาเนื่องจากการกัดกร่อนของสารเคมี และเหล็กเสริมภายในคอนกรีตเป็นสนิม ก่อให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและลดความคงทนของคอนกรีตส่งผลให้อายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กลดน้อยลง

ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตปูนซีเมนต์และคอนกรีตอยู่หลายชนิด ตัวอย่างเช่น เถ้าลอย ผงหินปูน ผงซิลิกา เป็นต้น เพื่อเป็นทางเลือกในการพัฒนาคอนกรีตให้มีความคงทนต่อการทำลายเนื่องจากสภาวะที่เป็นกรด นั่นหมายถึงคอนกรีตสามารถทนทานจากการกัดกร่อนเนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่ต้องสัมผัสกับกรดได้ดีขึ้น

จึงเป็นที่มาให้โครงงานนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองเพื่อหาปฏิภาคส่วนผสม ของซีเมนต์มอร์ตา (Mortar) ที่มีความสามารถต้านทานกรดได้ โดยใช้คุณสมบัติพิเศษจากนาโนซิลิก้า (Nano Silica) ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก สามารถเข้าไปแทนที่ช่องว่างในซีเมนต์มอร์ต้า (Mortar) จึงเป็นการเพิ่มความแน่นให้แก่ซีเมนต์มอร์ต้า (Mortar)[2] ที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้า (Nano Silica) ทนต่อการกัดกร่อนจากสภาวะที่เป็นกรด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาและเพิ่มความสามารถให้กับคอนกรีตตามความต้องการข้างต้นได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของนาโนซิลิก้า (Nano Silica) ประเภทที่ชอบน้ำและประเภทที่ไม่ชอบน้ำต่อการต้านทานสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ของซีเมนต์มอร์ต้า (Mortar)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ช่วยให้ทราบถึงอิทธิพลของนาโนซิลิก้า (Nano Silica) ประเภทที่ชอบน้ำและประเภทที่ไม่ชอบน้ำต่อการต้านทานสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ของซีเมนต์มอร์ต้า (Mortar)

1.3.2 สามารถใช้เป็นข้อมูลเพิ่มเติมและแนวทางให้แก่ผู้ที่จะทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมในเรื่องปัจจัยความสำคัญการใช้งานนาโนซิลิก้า (Nano Silica) ต่อการฮต้านทานสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ของซีเมนต์มอร์ต้า (Mortar)

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

1.4.1 ด้านวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.4.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้างแดงจากจังหวัดลำปาง

1.4.1.2 ทรายแม่น้ำ

1.4.1.3 น้ำสะอาด ควบคุมอุณหภูมิที่ 23°C

1.4.1.3.1 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b = 55%)

1.4.1.4 ซิลิก้า

1.4.1.4.1 ซิลิก้าฟูม

(Si = 1%, 2%, 14.5 g/l., 29 g/l.)

1.4.1.4.2 นาโนซิลิก้าประเภทที่ชอบน้ำ

(Hl = 0.5%, 1%, 2%, 14.5 g/l., 29 g/l.)

1.4.1.4.3 นาโนซิลิก้าประเภทที่ไม่ชอบน้ำ

(Hb = 0.5%, 1%, 2%, 14.5 g/l., 29 g/l.)

1.4.2 สารละลายกรดซัลฟูริก

1.4.3.1 สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 3%

1.4.3.2 สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 5%

1.4.3 ด้านขนาดของซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้ในการทดลอง

1.4.3.1 ขนาด กว้าง x ยาว x สูง = 5 cm. x 5 cm. x 5 cm.

1.5 ตารางขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

เดือน / กิจกรรม	กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.ศึกษาข้อมูลและเลือกหัวข้อโครงงาน																				
2.ตรวจดูอุปกรณ์และสถานที่ทำโครงงาน																				
3.ลงมือปฏิบัติทำการทดลอง																				
4.เขียนโครงการและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น																				
5.นำเสนอโครงงาน																				

1.6 รายละเอียดและงบประมาณที่ใช้ตลอดโครงการ

- ค่าอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	1,000	บาท
- ค่าถ่ายเอกสารรูปเล่มโครงงาน	1,000	บาท
- ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	1,000	บาท

<u>หมายเหตุ</u> ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ในปัจจุบันสิ่งปลูกสร้างต่างๆได้รับความนิยมในการใช้งานคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นอย่างมาก แต่โครงสร้างเหล่านี้ได้ถูกใช้งานในสภาวะที่แตกต่างกันออกไป อาจขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสภาพการใช้งาน แต่หากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กถูกใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีความรุนแรงจะทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมสภาพ ส่งผลให้ อายุการใช้งานของสิ่งปลูกสร้างเริ่มน้อยลง จึงได้มีการประยุกต์ใช้วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) เช่น เถ้าลอย(Pulverized Fuel Ash) ซิลิก้าฟูม (silica fume) และนาโนซิลิก้า (nano silica) ให้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตมากขึ้นเนื่องจากวัสดุที่มีความเป็นปอซโซลานจะทำให้เกิดการเชื่อมประสานที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับคอนกรีต และเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.1 ปัญหาการเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากกรด

การเสื่อมสภาพของโครงสร้าง ไม่ว่าเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหรือวัสดุประเภทอื่น ก็สามารถเสื่อมสภาพได้ตามกาลเวลาและการใช้งาน ซึ่งมีปัจจัยเสริมทั้งการออกแบบที่ไม่เพียงพอหรือการก่อสร้างที่ไม่ได้คุณภาพในหลายกรณีสาเหตุการเสื่อมสภาพของคอนกรีตจะอยู่ที่การใช้งานและสภาพผิวคอนกรีตที่เปิดสู่สภาพแวดล้อม (เช่น อุณหภูมิความชื้น สารเคมีและน้ำหนักบรรทุก) โดยปกติคอนกรีตจะมีสภาพเป็นด่าง (ค่า pH ประมาณ 12.5)แต่ในสภาพแวดล้อมแวดล้อมใช้งานจริงอาจจะต้องสัมผัสกับสารละลายกรดประเภทต่างๆที่มีค่า pH ต่ำกว่า 6.5 คอนกรีตจะเริ่มเกิดความเสียหายขึ้น ตัวอย่างของกรดที่สามารถกัดกร่อนคอนกรีตอย่างรุนแรงคือ กรด Carbonic, Hydrochloric, Hydrofluoric, Nitric, Phosphoric, Sulfuric, Acetic, Citric, Humic, Lactic และ Tannic ซึ่งกรดเหล่านี้อาจมาจาก

1. โรงงานหรือแหล่งผลิตที่มีการใช้กรดในการผลิตหรือได้กรดเป็นผลิตผลจากการผลิต เช่น อุตสาหกรรมผักและผลไม้ดอง อุตสาหกรรมแปรรูปยางพารา เป็นต้น

2. ระบบบำบัดน้ำเสียและท่อระบายน้ำเสียจากบ้านเรือน ซึ่งโดยระบบทางชีวภาพทำให้เกิดกรดซัลฟูริก (H_2SO_4)

3. ฝนกรด ซึ่งอาจจะมีกรดซัลฟูริก หรือ คาร์บอนิก เป็นต้น

เมื่อโครงสร้างคอนกรีตสัมผัสกับกรดอาจเกิดผลกระทบดังต่อไปนี้

2.1.1 ผลกระทบต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรม

2.1.1.1โครงสร้างสูญเสียกำลังและความแข็งแรง

ปกติคอนกรีตถ้าไม่มีการบำรุงรักษาผิวหน้าคอนกรีตให้ดี หรือมีรอยแตกรอยร้าวเกิดขึ้น สารเคมีที่มีสภาพความเป็นกรดสูงจะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีต กรดเหล่านี้จะเข้าไปเปลี่ยนแคลเซียมทุกประเภทในคอนกรีตให้กลายเป็นเกลือแคลเซียมที่สามารถชะล้างออกได้ง่าย ซึ่งจะทำให้คอนกรีตเกิดความพรุนสูงและสูญเสียกำลังและความแข็งแรงในที่สุด

2.1.1.2 ความพรุน และความสามารถซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตเพิ่มขึ้น ทำให้ความทนทานลดลง

เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีความพรุน ตัวน้ำหรือสารเคมีภายนอกสามารถแทรกซึมเข้าไปภายในคอนกรีต และอาจก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อคอนกรีตเองหรือเหล็กเสริมที่อยู่ภายในได้ เนื่องจากในสิ่งแวดล้อมทั่วไปคอนกรีตสามารถเสื่อมสภาพได้จากหลายสาเหตุ เช่น การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากแรงกระทำหรือการยืดรั้ง, การเสื่อมสภาพจากคาร์บอเนชั่น, การเสื่อมสภาพจากคลอไรด์, การเสื่อมสภาพจากกรด เป็นต้น

2.1.1.3ค่า pH ของคอนกรีตลดลงอย่างมาก

เนื่องจากความรุนแรงของการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของกรด กรดที่มีการกัดกร่อนรุนแรง จะเป็นชนิดที่เปลี่ยนสารประกอบแคลเซียมในคอนกรีตไปเป็นเกลือแคลเซียมซึ่งจะทำให้ค่า pH ลดลงอย่างมาก และในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดหรือ pH ต่ำกว่า 6.5 คอนกรีตจะเริ่มเกิดความเสียหายขึ้น

2.1.1.4 การสูญเสียมวลหรือน้ำหนักคอนกรีต

เนื่องจากกรดจะทำปฏิกิริยากับเนื้อคอนกรีตและทำลายสารประกอบแคลเซียมในคอนกรีตและได้ผลผลิตเป็นเกลือแคลเซียมซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี จึงทำให้เกิดการแยกกันระหว่างมวลรวมกับซีเมนต์เพสต์ได้ง่ายซึ่งนำมาสู่การสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีต

รูปที่ 2.15 รูปจากการทดลอง คอนกรีตถูกทำลายด้วยกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 5% รูปซ้ายแช่กรดที่อายุ 14 วัน รูปขวาแช่กรดที่อายุ 112 วัน

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนของซีเมนต์มอร์ต้าด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4)

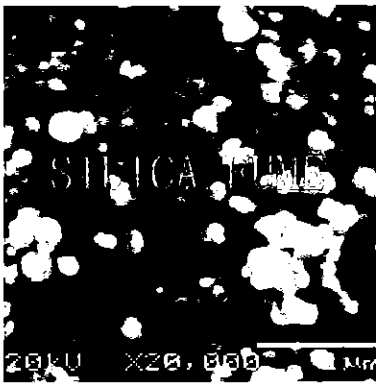
การต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีตอาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย แต่มีอยู่หนึ่งปัจจัยที่ปัจจุบันมีการนำมาผสมกับคอนกรีตและใช้กันอย่างแพร่หลายคือ สารปอซโซลาน เนื่องจากสารปอซโซลานมีคุณสมบัติช่วยต้านทานการกัดกร่อนของกรดได้ดี เพราะว่ามี ซิลิก้า(SiO2) อลูมินา (Al2O3) และเหล็กออกไซด์ (Fe2O3) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)2) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำในคอนกรีต ปฏิกิริยาปอซโซลานจะทำให้เกิดสารเชื่อมประสานที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับคอนกรีต จากคุณสมบัติที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซิลิก้าฟูมและนาโนซิลิก้าก็เป็นสารปอซโซลานชนิดหนึ่ง เมื่อมีการทำปฏิกิริยาดังที่ได้กล่าวมาแล้วจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติคอนกรีตบางประการให้ดีขึ้น เช่น การต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากกรด ความคงทนต่อสภาพแวดล้อม กำลังอัด เป็นต้น

2.1.2.1 ซิลิก้าฟูม (silica fume)หรือไมโครซิลิก้า (microsilica)

ซิลิก้าฟูม (silica fume) เป็นสารปอซโซลาน(Pozzolan)ประเภทหนึ่งที่ได้จากกระบวนการผลิต Silicon Alloy เนื่องจากซิลิก้าฟูมเป็นผงที่มีขนาดเล็กมาก (มีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ถึงกว่า 100 เท่า) มีราคาแพงมาก ทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว ปัจจุบันในประเทศไทย, อเมริกา และ ยุโรป จะใช้ซิลิกาฟูมในการผสมคอนกรีตโดยการผสม “แยก” กล่าวคือใส่ซิลิกาฟูมในการผสมคอนกรีต และพบว่าซิลิกาฟูมนิยมใช้ในการทำคอนกรีตกำลังสูงและเพื่อเพิ่มการต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมีเป็นหลัก จากการวิจัยพบว่าการใช้ซิลิก้าฟูมในคอนกรีตช่วยเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต, การแทรกซึมของคลอไรด์ รวมถึงการกัดกร่อนเนื่องจากน้ำเค็ม (น้ำทะเล) ด้วย[3]

2.1.2.2 นาโนซิลิก้า (nano silica)

นาโนซิลิก้า (nano silica) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ นาโนซิลิก้า ที่มีพื้นผิวแบบชอบน้ำ (hydrophilic nano silica) และนาโนซิลิก้า แบบมีพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (hydrophobicnano silica)โดยที่นาโนซิลิก้าประเภทที่ชอบน้ำ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 12 นาโนเมตร พื้นผิวสัมผัส 175-225 ตารางเมตรต่อกรัม (ทดสอบด้วยวิธี Brunauer, Emmett and Teller theory(BET)ปริมาณ SiO2 ≥ 99.8 % โดยน้ำหนัก นาโนซิลิก้าประเภทที่ไม่ชอบน้ำขนาดอนุภาคเฉลี่ย 16 นาโนเมตร พื้นผิวสัมผัส 90-130 ตารางเมตรต่อกรัม (ทดสอบด้วยวิธีBrunauer, Emmett and Teller theory(BET)) ปริมาณคาร์บอน 0.6-4.2 % โดยน้ำหนัก และปริมาณ SiO2 ≥ 99.8 % โดยน้ำหนัก [4] ปัจจุบันมีการใช้ซิลิก้าฟูม (silica fume) และนาโนซิลิก้า (nano silica) ในงานคอนกรีตมากขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากซิลิก้าฟูมและนาโนซิลิก้ามีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของปูนซีเมนต์ธรรมดามาก ซิลิก้าฟูมและนาโนซิลิก้านี้จะเข้าไปแทรกระหว่างช่องว่างซึ่งจะทำให้คอนกรีตทึบน้ำ ช่องว่างมีขนาดลดลง ทำให้มีผลต่อการเพิ่มความคงทนของโครงสร้างและยังสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำในคอนกรีต ปฏิกิริยาปอซโซลานจะทำให้เกิดสารเชื่อมประสานที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับคอนกรีต



รูปที่ 2.2 การภาพขยายขนาดของซิลิก้าฟูม

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมี

คุณสมบัติทางเคมี	SiHl	SiHb
ปริมาณ SiO_2% โดยน้ำหนัก	≥99.8	≥99.8
ความเป็นกรดด่าง	4-4.5	3.6-5
ปริมาณคาร์บอน	0	0.6-1.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพ	SiHl	SiHb
พื้นที่ผิวสัมผัส (ตารางเมตรต่อกรัม)	175-225	90-130
ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย	12 nm	16 nm

2.1.3 วิธีการป้องกันการกัดกร่อนโดยกรด

การป้องกันหรือบรรเทาปัญหาการกัดกร่อนโดยกรดสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

1. การออกแบบคอนกรีตให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ ถึงแม้จะไม่สามารถป้องกันได้ไม่สมบูรณ์มากนัก แต่ก็สามารถช่วยบรรเทาปัญหาให้รุนแรงน้อยลงได้

2. การบ่มคอนกรีตที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคอนกรีตที่ใช้สารปอซโซลานผสม การบ่มจะต้องมีการบ่มด้วยวิธีการที่พอเหมาะในระยะเวลาที่ยาวนานพอ

3. การใช้สารเคลือบคอนกรีต เช่น epoxy แต่ก็มีข้อจำกัดที่ไม่อาจใช้วิธีนี้กับทุกพื้นที่ได้ และมีราคาแพง

การใช้คอนกรีตที่ผสมนาโนซิลิก้าก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยบรรเทาปัญหาการกัดกร่อนโดยกรดได้ เนื่องจากเป็นสารปอซโซลานที่มีคุณสมบัติดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1.2 แล้ว เราจึงสนใจที่จะศึกษาและทำการทดลองเกี่ยวกับการใช้นาโนซิลิก้าเพื่อลดปัญหาการกัดกร่อนคอนกรีตโดยกรดและเพิ่มคุณสมบัติบางประการให้กับคอนกรีต เช่น การทึบน้ำ เป็นต้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ศึกษา รวมทั้งวิธีการปฏิบัติโครงงานตั้งแต่ต้นจนจบโครงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย การเตรียมวัสดุ คุณสมบัติของวัสดุ รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงาน จะกล่าวดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุ

3.1.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ประเภทที่ 1 น้ำหนักสุทธิ 50 กก./ถุง ผลิตโดยบริษัทปูนซีเมนต์ไทย(ลำปาง) จำกัด ตาม มอก. 15 เล่ม 1-2547 และมาตรฐาน ASTM C 150 Type 1 ลักษณะเป็นผง สีเทา สมบัติทางกายภาพประกอบด้วย ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 (ทดสอบอ้างอิงจากมาตรฐานการทดสอบ ASTM C 188) ความละเอียด เท่ากับ 3,480 (cm^2/g) และสมบัติทางเคมี C_3S 64.12% C_2S 9.63% C_3A 6.15% และ C_4AF 11.34%

การเก็บรักษา เก็บอยู่ในถังพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมมีฝาปิด สามารถป้องกันความชื้น ก่อนใช้งานได้ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 แล้วเพื่อนำปูนซีเมนต์ที่จับตัวกันเป็นก้อนเนื่องจากความชื้นออก ลักษณะเป็นผงละเอียดดังรูป 3.2

รูป 3.1 ตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ใช้ในโครงงาน

รูปที่ 3.2 การเก็บรักษาปูนซีเมนต์

3.1.2 ทราย

ทรายที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำจากอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ที่เก็บอยู่ในถังเก็บรักษาความชื้น โดยผ่านการทดสอบมาตรฐาน ASTM C 128 มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 การทดสอบความสะอาดทราย มีสีใส สภาพสะอาด สามารถนำมาใช้งานได้ดี

รูป 3.3 ทรายแม่น้ำสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง(ซ้าย) และการทดสอบความสะอาดของทราย ก่อนการใช้งาน(ขวา)

รูป 3.4 ถังเก็บรักษาความชื้นทราย

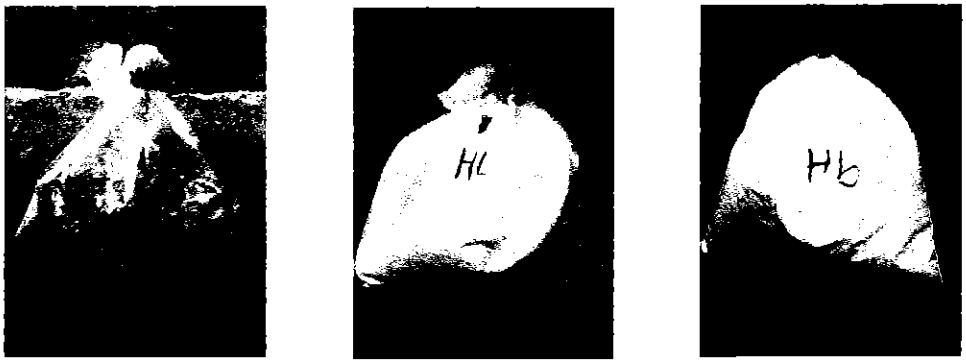
3.1.3 น้ำ (Water)

น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของคอนกรีต โดยน้ำที่ใช้เป็นน้ำประปาของมหาวิทยาลัยนเรศวร มีลักษณะใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ไม่มีสิ่งเจือปน อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 23 - 25 องศาเซลเซียส

รูป 3.5 น้ำประปาที่ใช้ในโครงงาน

3.1.4 ซิลิก้าฟูม (Silica Fume)

ซิลิก้าฟูมจะใช้ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ซิลิก้าฟูมแบบธรรมดาที่มีลักษณะเป็นเม็ดสีเทา - ดำ นาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ (Hydrophilic Silica Fume) มีลักษณะเป็นผงสีขาว โดยคุณสมบัติทางเคมีประกอบด้วยปริมาณ SiO_2 ≥99.8 % โดยน้ำหนัก ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 4-4.5 ปริมาณคาร์บอนเป็น 0 และคุณสมบัติทางกายภาพ พื้นที่ผิวสัมผัส เท่ากับ 175-225 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย คือ 12 nm และนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Silica Fume) มีลักษณะเป็นผงสีขาว คุณสมบัติทางเคมีประกอบด้วย ปริมาณ SiO_2 ≥99.8 % โดยน้ำหนัก ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 3.6-5 ปริมาณคาร์บอน 0.6-1.2 และคุณสมบัติทางกายภาพ พื้นที่ผิวสัมผัส เท่ากับ 90-130 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย คือ 16 nm ซึ่งแบบชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ มีลักษณะไม่แตกต่างกันมากนัก และมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.2 [4]



a). b). c).

รูป 3.6 ซิลิก้าฟูมที่ใช้ทั้งสามชนิดโดย a).ซิลิก้าฟูมแบบธรรมดา b).นาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ c).นาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ

3.1.5 สารละลายกรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid)

สารละลายกรดซัลฟูริก(Sulfuric Acid) ความเข้มข้น 98% H_2SO_4 AR1193-G2.5L มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.84 เลขทะเบียน CAS คือ 7664-93-9 ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ลักษณะเป็นของเหลว ใส ไม่มีสี มีจุดเดือดที่ : 276 °C และ จุดหลอมเหลวที่ : -30 °C

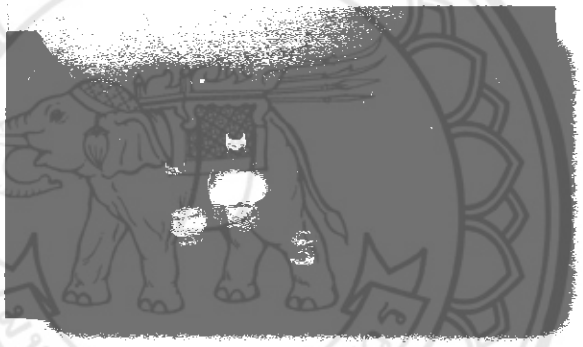
รูป 3.7 สารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ในโครงงาน

3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง แบบผสมเปียก ผสมแห้ง และการเตรียมตัวอย่างไมโครซิลิก้า

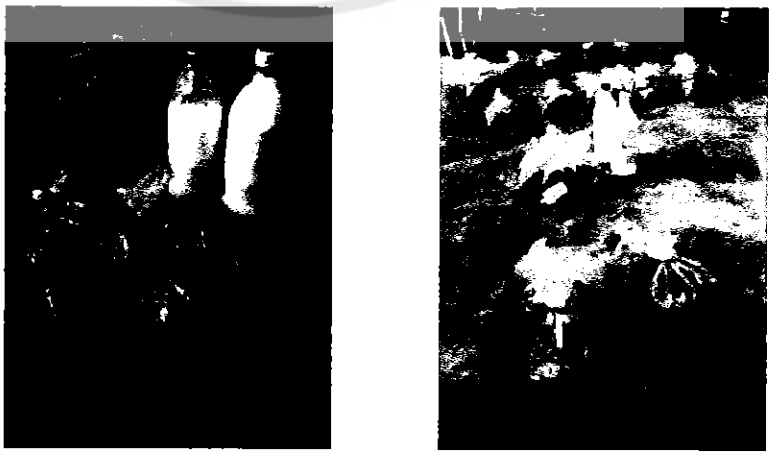
- นาโนซิลิก้าแบบไม่ชอบน้ำ(ผสมเปียก) อัตราส่วนตามตาราง 3.1 ผสมกับน้ำโดยการใช้เครื่องเขย่าปล่อยทิ้งไว้ 7 วันเพื่อให้เกิดการแขวนลอยในน้ำและผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีจึงจะนำมาใช้ได้ ดังรูป 3.8 แต่หากใช้เวลาน้อยกว่านี้จะทำให้นาโนซิลิก้าผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับน้ำได้ไม่ดีพอ

- ส่วนนาโนซิลิก้าแบบชอบน้ำ(ผสมแห้ง) อัตราส่วนตามตาราง 3.1 นำมาผสมรวมกับปูนซีเมนต์เขย่าคลุกเคล้าให้เข้ากัน พร้อมทั้งบี้นาโนซิลิก้าให้เป็นผงละเอียดไม่ให้เหลือส่วนที่จับตัวเป็นก้อน

- ในส่วนของไมโครซิลิก้า อัตราส่วนตามตาราง 3.1 ให้นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ พร้อมคลุกเคล้าให้เข้ากัน



รูป 3.8 การเตรียมตัวอย่างนาโนซิลิก้าแบบไม่ชอบน้ำ(ผสมเปียก)



รูป 3.9 การเตรียมตัวอย่างก่อนผสม

3.3 ขั้นตอนการผสมซีเมนต์มอร์ต้า

นำส่วนผสมที่ได้จากหัวข้อที่แล้วไปเข้าเครื่องผสม โดยวิธีการมีดังนี้

- นำปูนซีเมนต์และไมโครซิลิก้าหรือนาโนซิลิก้าแบบชอบน้ำมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อน จากนั้นนำไปใส่เครื่องกวน

รูป 3.10 การคลุกเคล้าส่วนผสมก่อนใส่เครื่องกวน

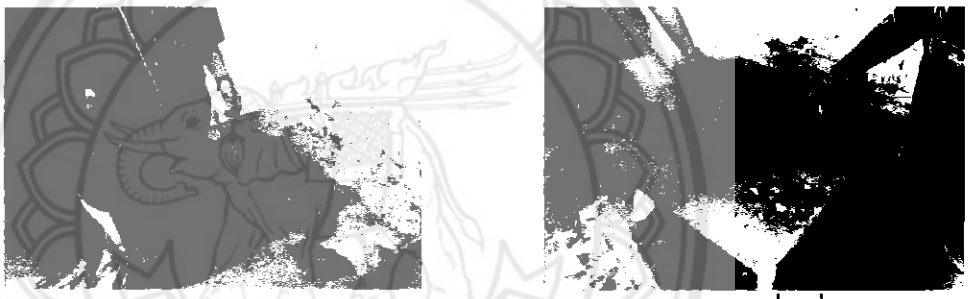
- ใส่น้ำตามลงไป(หากเป็นนาโนซิลิก้าแบบไม่ชอบน้ำ ให้นำปูนซีเมนต์ใส่เครื่องกวนได้เลย พร้อมใส่น้ำที่ผสมนาโนซิลิก้าแบบไม่ชอบน้ำตามลงไป) ทิ้งไว้ 30 วินาที จากนั้นเปิดเครื่องกวนอีก 30 วินาที พร้อมใส่ทรายลงไป

รูป 3.11 การดับเครื่องทิ้งไว้ 30 วินาที

- ดับเครื่องกวนแล้วทำการกวนผสมด้วยมือให้เข้ากันอีก 15 วินาที จากนั้นเปิดเครื่องกวนพร้อมปรับเครื่องให้มีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็นเวลา 1 นาที เสร็จแล้วดับเครื่อง

รูป 3.12 การกวนส่วนผสมด้วยมือให้เข้ากัน

- นำซีเมนต์มอร์ต้าที่ได้มาเทใส่แบบหล่อ จากนั้นนำไปวางบนเครื่องสั่นเพื่อไล่ฟองอากาศ จากนั้นปาดหน้าให้เรียบแล้วนำยางพลาสติกมาปิดไว้ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง



รูป 3.13 การเทมอร์ต้าลงในแบบหล่อ(ซ้าย) และการไล่ฟองอากาศโดยใช้เครื่องสั่น(ขวา)

- แกะแบบพร้อมนำไปบ่มที่อายุ 28 วัน ในน้ำ และขั้นตอนสุดท้ายให้ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนแรกใหม่ ให้ครบทุกสูตรตามตาราง 3.1

รูป 3.14 การบ่มซีเมนต์มอร์ต้า

ตาราง 3.1 ส่วนผสมซีเมนต์มอร์ต้าแต่ละสูตร

สูตร	ซีเมนต์ (Kg)	ทราย (Kg)	น้ำ (Kg)	ซิลิก้าฟูม (Kg)	นาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ (Kg)	นาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำ (Kg)
LW55r0	0.790	1.189	0.431	-	-	-
LW55SiHl0.5	0.786	1.188	0.431	-	-	0.004
LW55SiHl1	0.782	1.188	0.431	-	-	0.008
LW55SiHl2	0.773	1.187	0.430	-	-	0.016
LW55SiHb0.5	0.786	1.188	0.431	-	0.004	-
LW55SiHb1	0.782	1.188	0.431	-	0.008	-
LW55SiHb2	0.773	1.187	0.430	-	0.016	-
LW55SiHl14.5	0.786	1.188	0.431	-	-	0.004
LW55SiHl29	0.782	1.188	0.431	-	-	0.008
LW55SiHb14.5	0.786	1.188	0.431	-	0.004	-
LW55SiHb29	0.782	1.188	0.431	-	0.008	-
LW55Si1	0.782	1.188	0.431	0.008	-	-
LW55Si2	0.773	1.187	0.430	0.016	-	-
LW55Si14.5	0.786	1.188	0.431	0.004	-	-
LW55Si29	0.782	1.188	0.431	0.008	-	-

หมายเหตุ :

W คือ น้ำต่อวัสดุประสาน

55 คือ การทดสอบในโครงงานนี้ใช้น้ำต่อวัสดุประสาน 55 เปอร์เซ็นต์

r0 คือ ส่วนผสมหลัก

Si คือ ซิลิก้าฟูมแบบธรรมดา

Hb คือ นาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ

Hl คือ นาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ

3.4 การทดสอบด้วยกรดซัลฟูริก

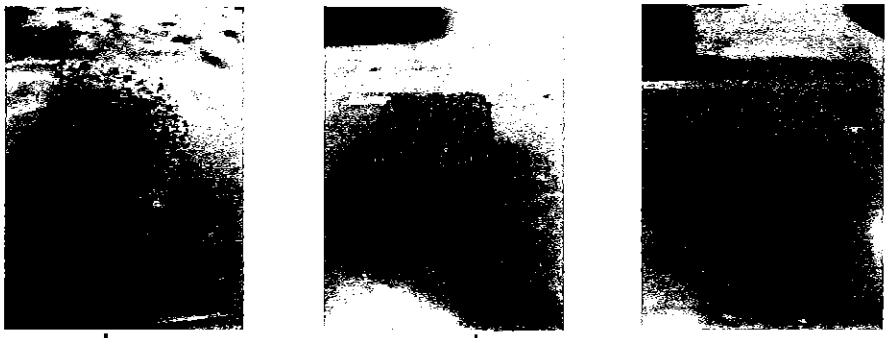
- เมื่อครบกำหนดบ่มก็ทำการชั่งตวงกรดซัลฟูริก (5% = 60 ml) และ (3% = 36 ml) โดยแบ่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าใส่กล่อง สูตรละ 2 กล่อง

รูปที่ 3.15 อุปกรณ์สำหรับตวงกรดซัลฟูริกที่ใช้ในโครงงาน

- นำซีเมนต์มอร์ต้าที่ครบกำหนด บ่ม 28 วัน ออกมาเช็ด แล้วนำไปชั่งน้ำหนักพร้อมจดบันทึกค่า จากนั้นนำกรดที่ได้ตวงไว้ (5%,3%) มาผสมรวมกับน้ำในกล่อง

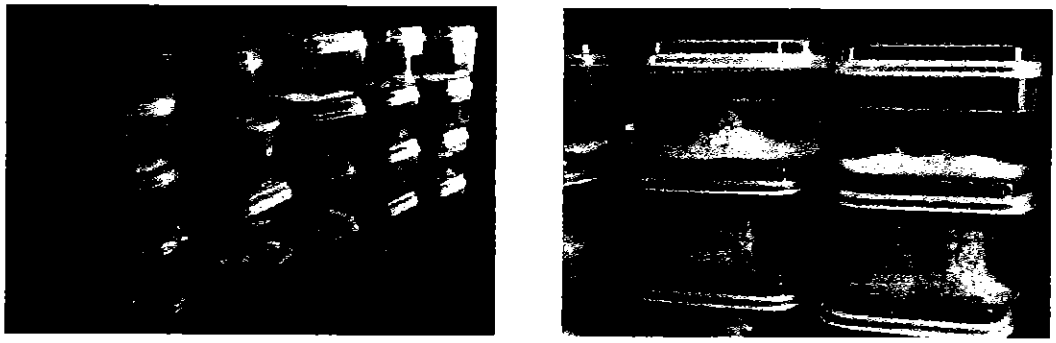
รูปที่ 3.16 ก้อนซีเมนต์มอร์ต้าที่บ่มครบ 28 วัน

- แช่ทิ้งไว้ตามเวลาที่กำหนด (7,14,28,56,84,112วัน ตามลำดับ) เมื่อครบกำหนดวันให้นำก้อนซีเมนต์มอร์ต้าขึ้นมาขูดนำส่วนที่ถูกกรดกัดกร่อนออกให้หมด เช็ดให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล



รูปที่ 3.17 ก้อนตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าที่ถูกกัดโดยกรดในวันทดสอบต่างๆ

- ในขณะเมื่อครบกำหนดวัน ต้องทำการเปลี่ยนน้ำกรดใหม่ทุกครั้ง ในปริมาตรเดิม (5% = 60 ml และ 3% = 36 ml) และนำมาแช่น้ำกรดทิ้งไว้เหมือนเดิม



รูปที่ 3.18 ก้อนซีเมนต์มอร์ต้าแช่ในกรดซัลฟูริก

- ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนแรก แต่เปลี่ยนจากเถ้าลอยเป็นซิลิก้า,ซิลิก้าแบบชอบน้ำและซิลิก้าแบบไม่ชอบน้ำ

บทที่ 4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบและวิเคราะห์โครงงานที่จะกล่าวในบทนี้ เป็นการแสดงผลการทดสอบต่อเนื่องมาจากบทที่ 3 โดยเนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอข้อมูลและเปรียบเทียบน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่ผ่านการแช่ในกรดซัลฟูริก ณ เวลาแตกต่างกัน เพื่อหาสัดส่วนผสมใดที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้น 3% และ 5% ได้ดีที่สุด ซึ่งผลการทดสอบมีดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาผลการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าเนื่องจากการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก

จากการศึกษาและทดสอบหาค่าการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้า โดยส่วนผสมทั้งหมดใช้น้ำต่อวัสดุประสาน w/b=0.55 ทำการทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้นเท่ากับ 3% และ 5% ในระยะเวลา 7,14,28,56,84 และ 112 วัน ตามลำดับ มีการแทนที่บางส่วนด้วยนาโนซิลิก้า 2 ชนิด คือ นาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hb) และนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ (Hl) ในปริมาณร้อยละ 0-2 ของปูนซีเมนต์ แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ซึ่งในหัวข้อต่อไปจะเป็นการพิจารณาผลของการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน โดยมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยของแต่ละสัดส่วนผสมที่ได้จากการทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยของซีเมนต์มอร์ต้าภายหลังจากที่แช่ในกรดซัลฟูริก 3% ที่ระยะเวลาต่างๆ

สูตร	ค่าสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยซีเมนต์มอร์ต้าชนิดต่างๆหลังแช่ในกรดซัลฟูริกในระยะเวลาวันต่างๆ (กรัม)						
	0 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	56 วัน	84 วัน	112 วัน
Lw55r0	0	4.634	7.564	8.278	26.585	43.819	60.156
LW55SiHl0.5	0	2.489	4.458	5.807	24.010	42.726	60.310
LW55SiHl1	0	3.811	6.230	6.790	25.767	42.130	58.545
LW55SiHl2	0	2.273	5.613	6.337	27.283	44.446	61.165
LW55SiHb0.5	0	2.653	3.702	5.462	23.752	40.921	58.324
LW55SiHb1	0	4.096	5.152	5.787	23.897	42.830	60.016
LW55SiHb2	0	-3.771	-2.449	-1.628	2.455	26.798	49.504
Lw55SiHl14.5	0	3.909	4.824	6.309	26.046	43.113	59.560
Lw55SiHl29	0	1.808	3.838	4.597	23.999	41.223	59.813
Lw55SiHb14.5	0	1.837	2.753	4.019	21.206	39.139	54.609
Lw55SiHb29	0	-1.374	0.607	1.702	19.769	37.259	53.223
LW55Si1	0	4.969	7.077	7.594	25.005	42.440	57.999
LW55Si2	0	4.810	6.316	7.045	25.357	42.436	58.643
LW55Si14.5	0	6.232	7.322	8.184	25.769	42.796	58.704
LW55Si29	0	4.326	6.783	7.327	26.868	43.812	59.991

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยของซีเมนต์มอร์ต้าภายหลังจากที่แช่ในกรดซัลฟูริก 5% ที่ระยะเวลาต่างๆ

สูตร	ค่าสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยซีเมนต์มอร์ต้าชนิดต่างๆหลังแช่ในกรดซัลฟูริกในระยะเวลาวันต่างๆ (กรัม)						
	0 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	56 วัน	84 วัน	112 วัน
Lw55r0	0	12.766	15.927	17.410	47.677	74.824	94.533
LW55SiHl0.5	0	11.954	14.952	16.615	46.258	73.496	93.874
LW55SiHl1	0	13.025	17.662	18.183	48.321	74.787	94.273
LW55SiHl2	0	10.904	16.002	17.475	48.801	76.673	95.383
LW55SiHb0.5	0	11.651	14.151	16.310	44.409	73.158	94.023
LW55SiHb1	0	11.874	16.864	17.560	48.610	76.048	96.045
LW55SiHb2	0	3.075	7.889	10.237	45.352	74.321	95.338
Lw55SiHl14.5	0	13.062	16.168	17.895	48.609	76.267	94.762
Lw55SiHl29	0	7.567	11.784	13.439	43.956	68.508	89.736
Lw55SiHb14.5	0	8.259	11.794	14.198	45.578	72.532	92.127
Lw55SiHb29	0	12.176	15.479	18.176	49.524	75.138	93.444
LW55Si1	0	14.820	17.721	18.796	48.171	74.795	94.106
LW55Si2	0	13.409	16.421	17.627	47.539	74.517	94.021
LW55Si14.5	0	17.967	20.367	22.040	50.397	78.070	95.739
LW55Si29	0	14.090	17.200	18.463	48.738	75.319	93.953

จากตาราง 4.1 และ 4.2 จะได้ค่าการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% และ 5% ตามลำดับ ผลคือเมื่อแช่ซีเมนต์มอร์ต้าในสารละลายกรดซัลฟูริกที่อายุวันมากขึ้น ค่าการสูญเสียน้ำหนักก็จะมากขึ้น และหากแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นมากกว่า ก็จะมีผลทำให้ซีเมนต์มอร์ต้ามีค่าการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าด้วยเช่นกัน

เมื่อทำการทดลองและเก็บข้อมูลค่าการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% และ 5% ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 แล้ว จะนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) เพื่อเปรียบเทียบค่าการสูญเสียน้ำหนัก(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์)ของซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในสัดส่วนผสมต่างๆกับซีเมนต์มอร์ต้าธรรมดา (r0) หลังจากแช่ในกรดซัลฟูริก 3% และ 5% ตามลำดับ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์สูญเสียน้ำหนักระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้ากับซีเมนต์มอร์ต้าธรรมดา(r0) หลังจากแช่ในกรดซัลฟูริก 3%

$$\frac{\%\ \text{สูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าชนิดต่างๆ} - \%\ \text{สูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก}(r0)}{\%\ \text{สูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก}(r0)}$$

สูตร	เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าชนิดต่างๆหลังแช่ในกรดซัลฟูริกกับซีเมนต์มอร์ต้าธรรมดา (r0) ในระยะเวลาวันต่างๆ (กรัม)					
	14 วัน	21 วัน	28 วัน	56 วัน	84 วัน	112 วัน
Lw55r0	0	0	0	0	0	0
LW55SiHl0.5	-0.46288	-0.41063	-0.29850	-0.09686	-0.02494	0.00256
LW55SiHl1	-0.17760	-0.17636	-0.17975	-0.03077	-0.03854	-0.02678
LW55SiHl2	-0.50950	-0.25793	-0.23448	0.02626	0.01431	0.01677
LW55SiHb0.5	-0.42749	-0.51058	-0.34018	-0.10656	-0.06614	-0.03045
LW55SiHb1	-0.11610	-0.31888	-0.30092	-0.10111	-0.02257	-0.00233
LW55SiHb2	-1.81377	-1.32377	-1.19667	-0.90765	-0.38844	-0.17707
Lw55SiHl14.5	-0.15645	-0.36224	-0.23786	-0.02027	-0.01611	-0.00991
Lw55SiHl29	-0.60984	-0.49260	-0.44467	-0.09727	-0.05924	-0.00570
Lw55SiHb14.5	-0.60358	-0.63604	-0.51450	-0.20233	-0.10680	-0.09221
Lw55SiHb29	-1.29650	-0.91975	-0.79439	-0.25639	-0.14971	-0.11525
LW55Si1	0.07229	-0.06438	-0.08263	-0.05943	-0.03147	-0.03586
LW55Si2	0.03798	-0.16499	-0.14895	-0.04619	-0.03156	-0.02515
LW55Si14.5	0.34484	-0.03199	-0.01136	-0.03069	-0.02335	-0.02414
LW55Si29	-0.06647	-0.10325	-0.11488	0.01065	-0.00016	-0.00274

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์สูญเสียน้ำหนักระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้ากับซีเมนต์มอร์ต้าธรรมดา(r0) หลังจากแช่ในกรดซัลฟูริก 5%

$$\frac{\%\ \text{สูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าชนิดต่างๆ}\% \ -\ \text{สูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก}(r0)}{\%\ \text{สูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก}(r0)}$$

สูตร	เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าชนิดต่างๆหลังแช่ในกรดซัลฟูริกกับซีเมนต์มอร์ต้าธรรมดา (r0) ในระยะเวลาวันต่างๆ (กรัม)					
	14 วัน	21 วัน	28 วัน	56 วัน	84 วัน	112 วัน
Lw55r0	0	0	0	0	0	0
LW55SiHl0.5	-0.06361	-0.06122	-0.04566	-0.02976	-0.01775	-0.00697
LW55SiHl1	0.02029	0.10893	0.04440	0.01351	-0.00049	-0.00275
LW55SiHl2	-0.14586	0.00471	0.00373	0.02358	0.02471	0.00899
LW55SiHb0.5	-0.08734	-0.11151	-0.06318	-0.06854	-0.02227	-0.00539
LW55SiHb1	-0.06987	0.05883	0.00862	0.01957	0.01636	0.01599
LW55SiHb2	-0.75913	-0.50468	-0.41200	-0.04877	-0.00672	0.00852
Lw55SiHl14.5	0.02319	0.01513	0.02786	0.01955	0.01929	0.00242
Lw55SiHl29	-0.40725	-0.26012	-0.22809	-0.07805	-0.08441	-0.05074
Lw55SiHb14.5	-0.35305	-0.25950	-0.18449	-0.04403	-0.03063	-0.02545
Lw55SiHb29	-0.04622	-0.02813	0.04400	0.03874	0.00420	-0.01152
LW55Si1	0.16090	0.11264	0.07961	0.01036	-0.00039	-0.00452
LW55Si2	0.05037	0.03102	0.01246	-0.00289	-0.00410	-0.00542
LW55Si14.5	0.40741	0.27877	0.26594	0.05705	0.04338	0.01276
LW55Si29	0.10371	0.07993	0.06048	0.02225	0.00662	-0.00614

จากตาราง 4.3 และ 4.4 จะนำค่าการสูญเสียน้ำหนักที่ได้จากตาราง 4.1 และ 4.2 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก(r0) ที่อายุวันต่างๆ คิดตามสูตร

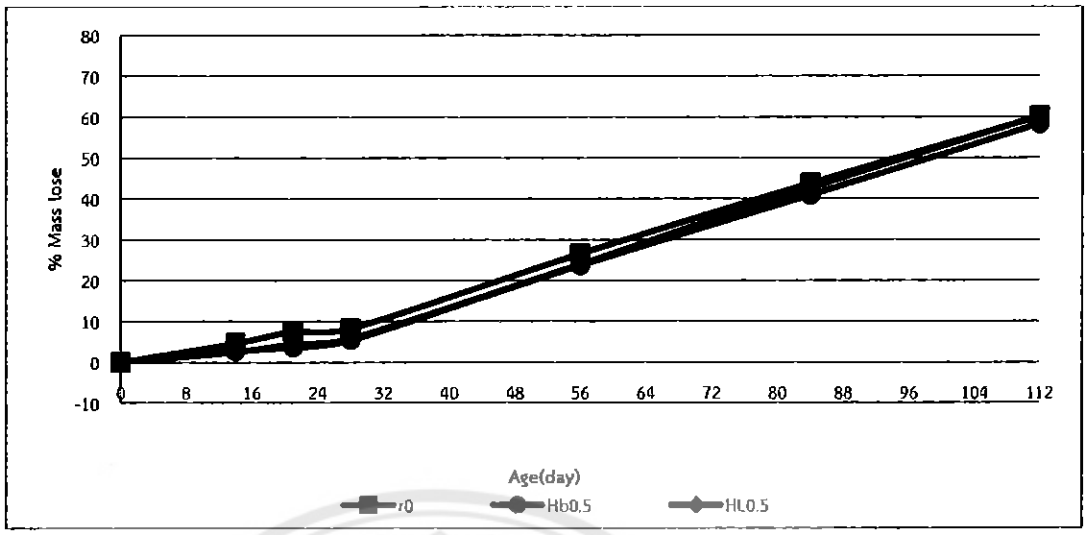
$$\frac{\%\ \text{สูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าชนิดต่างๆ}\% - \text{สูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก}(r0)}{\%\ \text{สูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก}(r0)}$$

โดยค่าในตารางมีค่าติดลบ เนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์สูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าชนิดต่างๆนั้นน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์สูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก(r0) กล่าวคือ ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้า มีความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนของสารละลายกรดซัลฟูริกได้ดีกว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก(r0) โดยจากการศึกษาได้แยกการทดสอบเป็นหัวข้อได้ดังนี้

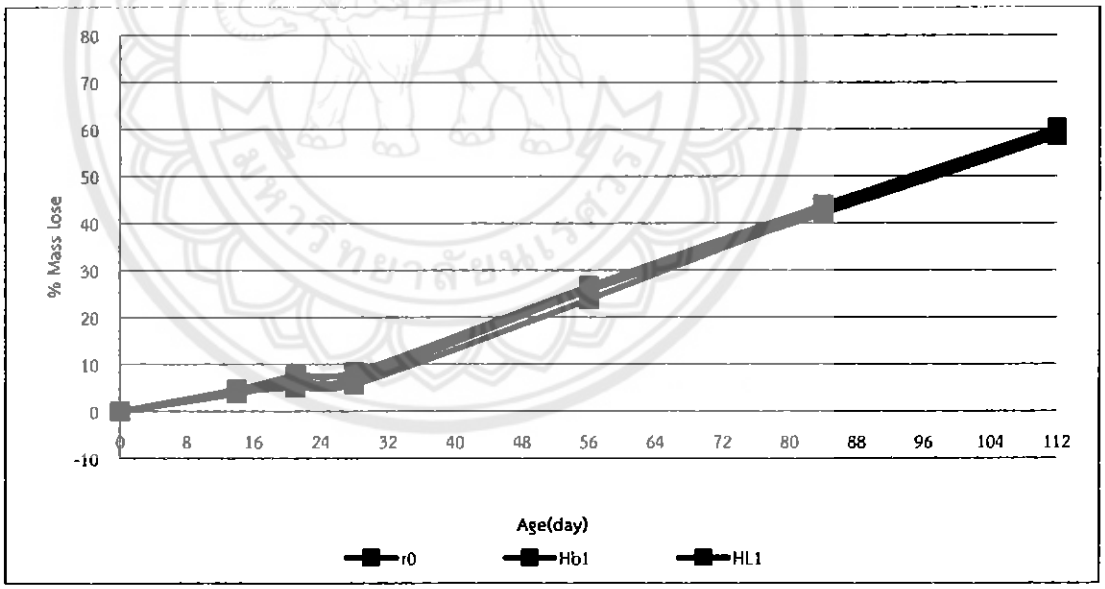
4.1.1 การศึกษาและเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน

จากผลการทดสอบได้ค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่บางส่วนด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hb) และนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ (Hl) มีการสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันมาก ดังรูปที่ 4.1, 4.2 , 4.3 , 4.4 , 4.5 และ รูปที่ 4.6

จากรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 แสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 0.5 (Hb0.5) ,ประเภทที่ชอบน้ำร้อยละ 0.5 (Hl0.5) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) และแสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้า ประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 1 (Hb1), ประเภทที่ชอบน้ำร้อยละ 1 (Hl1) และซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ตามลำดับ โดยแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% ผลการทดสอบพบว่าในช่วงที่แช่สารละลายกรดซัลฟูริกที่ระยะเวลา 28 วันแรกจะมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ค่อนข้างช้าแต่ภายหลังจาก 28 วันแล้ว ค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักจะเพิ่มเร็วขึ้นและเป็นอัตราส่วนค่อนข้างคงที่มีลักษณะคล้ายเส้นตรงและค่าการสูญเสียน้ำหนักของทุกสัดส่วนผสมมีค่าใกล้เคียงกันมาก (พิจารณาจากอายุทดสอบที่ 28 - 112 วัน)

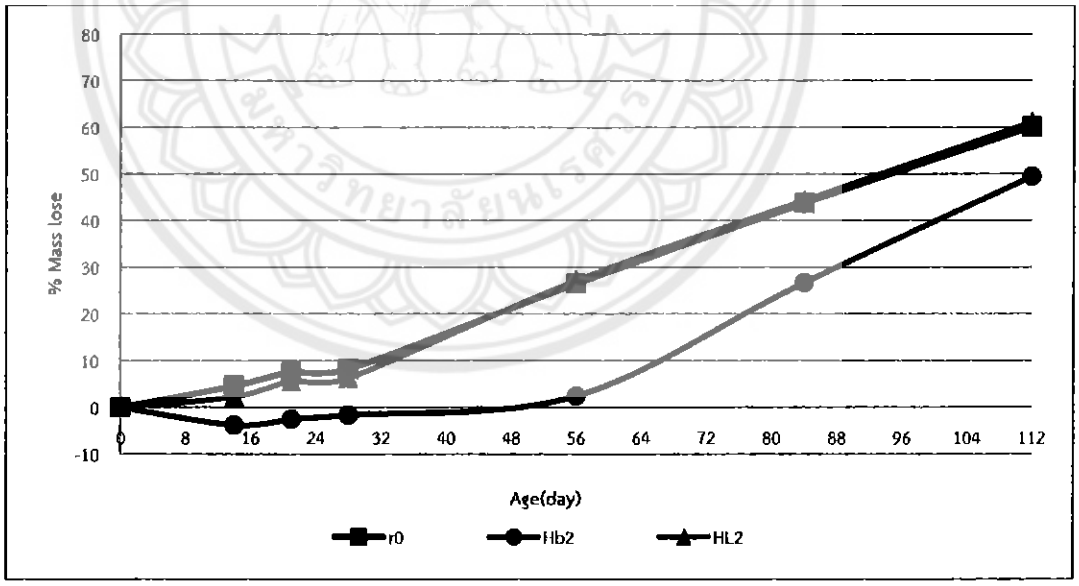


รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน ทดสอบ**แช่ในสารละลาย**กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %



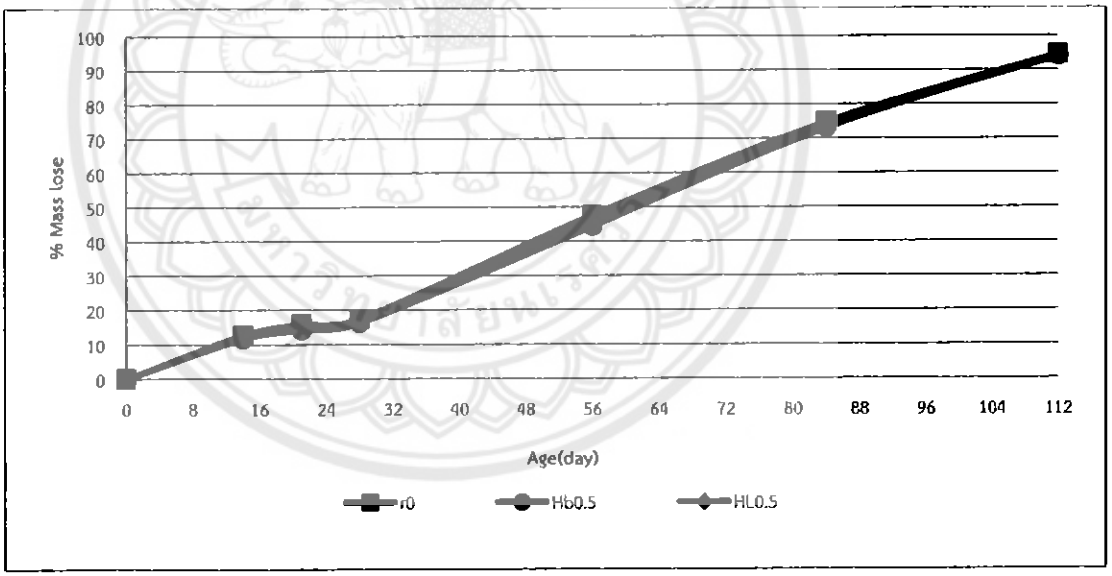
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

จากรูปที่ 4.3 แสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) ,ประเภทที่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hl2) และซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% ผลการทดสอบพบว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำร้อยละ 2 (Hl2) และซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) มีค่าการสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันมาก(ตั้งแต่เริ่มทดสอบถึง 112 วัน) แต่มีกราฟเส้นหนึ่งที่แตกต่างออกไปคือ กราฟซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) โดยระยะเวลาที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกที่ 28 วันแรกไม่มีการสูญเสียน้ำหนัก แต่กลับมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำหนักเริ่มต้น หลังจากแช่สารละลายกรดซัลฟูริกเป็นระยะเวลา 28 วันไปแล้ว จึงเริ่มมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาในการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกที่ 56 วัน และหลังจากนั้นมีการสูญเสียน้ำหนักที่เร็วขึ้นและเป็นอัตราส่วนคงที่ (อายุทดสอบ 112 วัน) เนื่องจากผลที่ได้มีความแตกต่างกันมากระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) และซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำร้อยละ 2 (Hl2) โดยเปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) จึงได้ทำการทดสอบซ้ำถึงสามครั้งแต่ผลที่ได้ก็เป็นเช่นเดิม

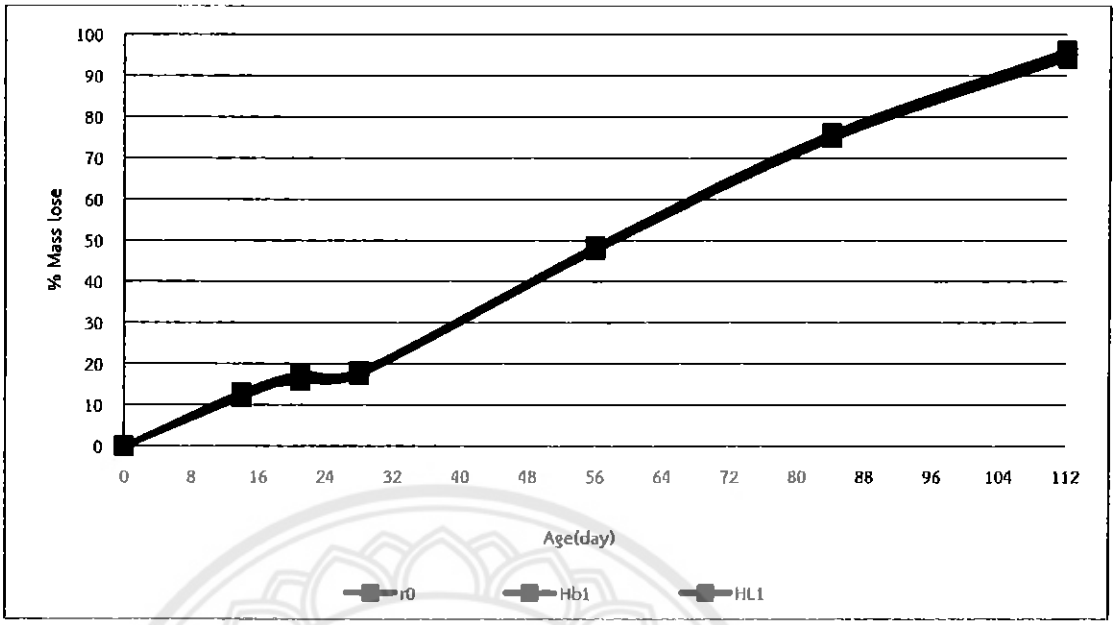


รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

จากรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 แสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 0.5 (Hb0.5) ,ประเภทที่ชอบน้ำร้อยละ 0.5 (Hl0.5) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) และแสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้า ประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 1 (Hb1), ประเภทที่ชอบน้ำร้อยละ 1 (Hl1) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ตามลำดับ โดยแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5% ผลการทดสอบพบว่าในช่วงที่แช่สารละลายกรดซัลฟูริกที่ระยะเวลา 21 วันแรก ทุกสัดส่วนผสมมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นคงที่และมีลักษณะเป็นเส้นตรงแต่ภายหลังจากที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกที่ระยะเวลา 21 วัน ค่าการสูญเสียน้ำหนักมีอัตราการสูญเสียที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 จนถึงระยะเวลาที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกที่ 28 วันได้เริ่มมีการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นโดยมีค่าการสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันมาก(ช่วงอายุทดสอบ 28 - 112 วัน) และมีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อยๆ

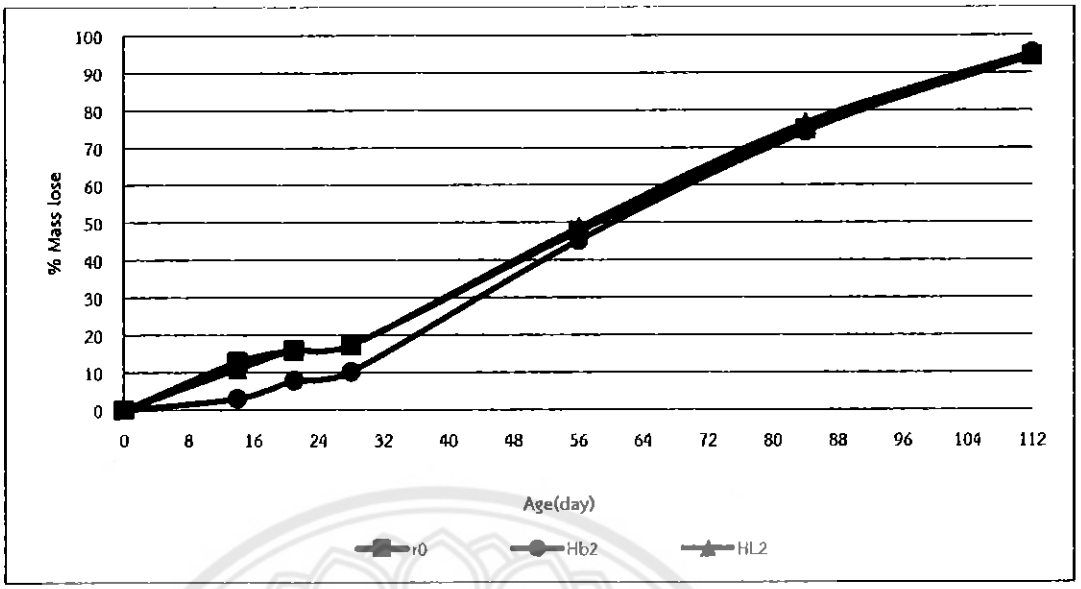


รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน ทดสอบ**แช่ในสารละลาย**กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้า**ที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน**ของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) ,**ประเภทที่ชอบน้ำร้อย**ละ 2 (Hl2) และซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความ**เข้ม**ข้น 5% ผลการทดสอบพบว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประ**เภทชอบน้ำร้อยละ** 2 (Hl2) และซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) มีค่าการสูญเสียน้ำหนัก**ที่ใกล้เคียงกันมากตั้งแต่**ระยะเวลาเริ่มแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกจนสิ้นสุดการแช่ที่ระยะเวลา 112 **วัน ซึ่งแตกต่างจาก**ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) **ที่ช่วงระยะเวลาแช่ใน**สารละลายกรดซัลฟูริกที่ 28 วันแรกมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ค่อนข้างช้าและ**น้อยกว่าซีเมนต์มอร์ที่มีส่**วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำร้อยละ 2 (Hl2) และซีเมนต์มอร์ต้าที่**เป็นส่วนผสมหลัก (r0)**อย่างเห็นได้ชัดเจน โดยหลังจากแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกที่ 28 วันไปแล้วมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่เร็วขึ้นและมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทที่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hl2) และซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0)ที่ระยะเวลา 112 วัน และมีแนวโน้มว่าจะลดลงเรื่อยๆ



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน ทดสอบ**แช่ในสารละลาย** กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

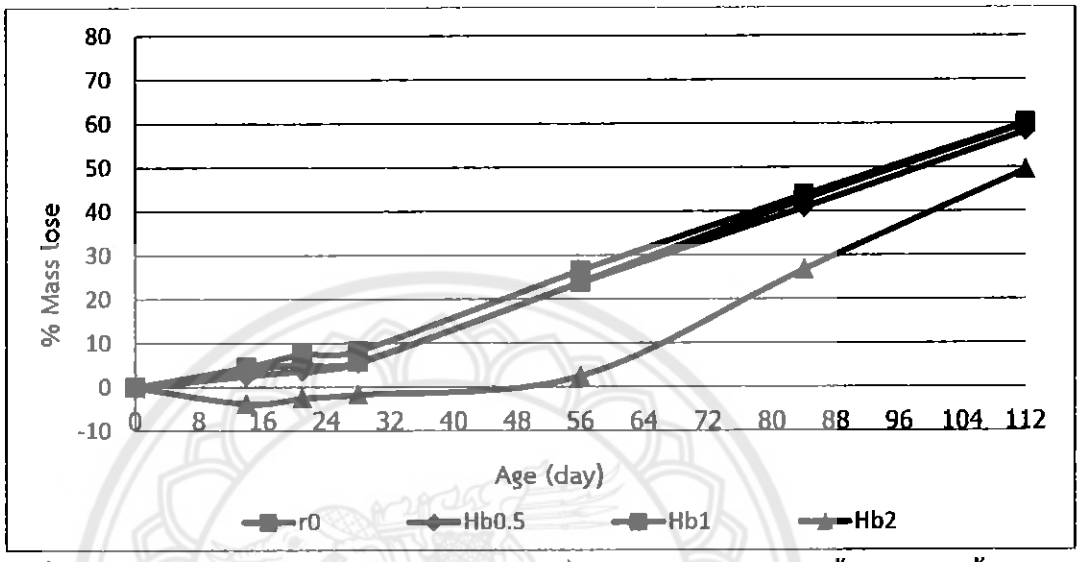
4.1.2 การศึกษาและเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า

เพื่อหาปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้าที่เหมาะสม โดยการนำซีเมนต์มอร์**ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิ**ก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hb) และไม่ชอบน้ำ(Hl) ในปริมาณต่างกัน แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 3% และ 5%

จากการศึกษาและเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า **ผลปรากฏว่าค่าอัตรา**การสูญเสียน้ำหนักของสัดส่วนผสมอื่นรวมทั้งของส่วนผสมหลัก(r0) มีค่าใก**ล้เคียงกันมาก ยกเว้น ซีเม**นต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) ดัง**รูปที่ 4.7**

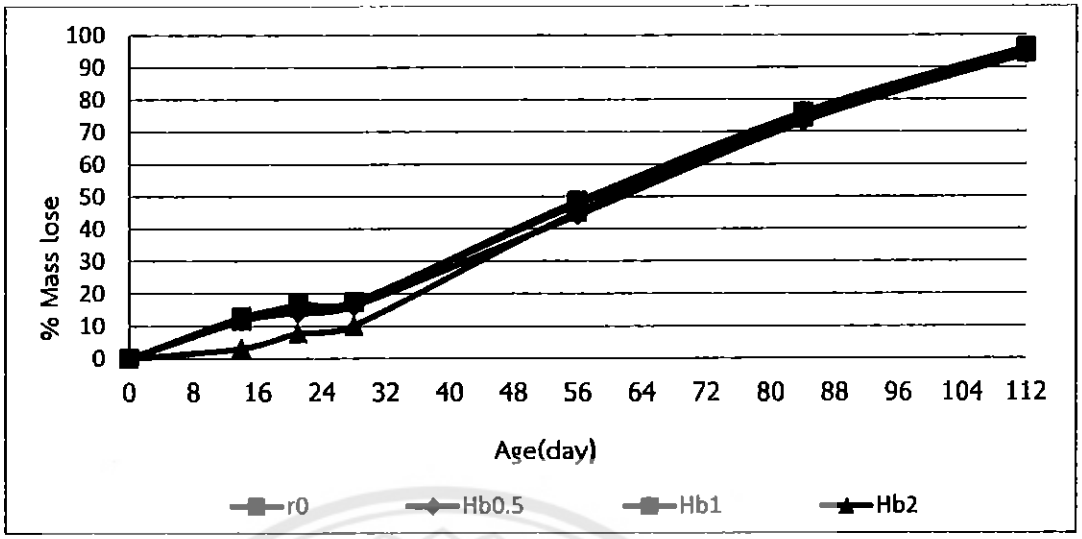
จากรูปที่ 4.7 แสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบปริมาณการใช้**งานที่แช่ในสารละลาย กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% ของซีเมนต์มอร์ต้าแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) ร้อยละ 0.5,1,2 และซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ผลการทดสอบปรากฏว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) ร้อยละต่างๆ และซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) มีค่าใกล้เคียงกันมาก ยกเว้น ซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) ร้อยละ 2 (Hb2) มีค่าสูญเสียน้ำหนักแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ตั้งแต่เริ่มแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริก โดยจากรูปที่ 4.7 นั้น ซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb2) มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ช้าและน้อยกว่าส่วนผสมอื่นอย่างมาก ในช่วงเริ่มถึงอายุทดสอบที่ 56 วัน แต่หลังจากนั้นค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักก็มีค่าเพิ่มเร็วขึ้น ค่อนข้างคงที่คล้ายเส้นตรง แต่ก็ยังน้อยกว่าสัดส่วนผสมอื่นอย่างเห็นได้ชัด(ช่วงอายุทดสอบ 56 - 112 วัน) ดังนั้นซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) มี

ความสามารถต้านทานกรดได้ดีที่สุด(อายุทดสอบ 112 วัน Hb2 = 49.504 กรัม ส่วน r0 , Hb0.5 , Hb1 = 60.156 , 58.324 และ 60.016 กรัม ตามลำดับ)



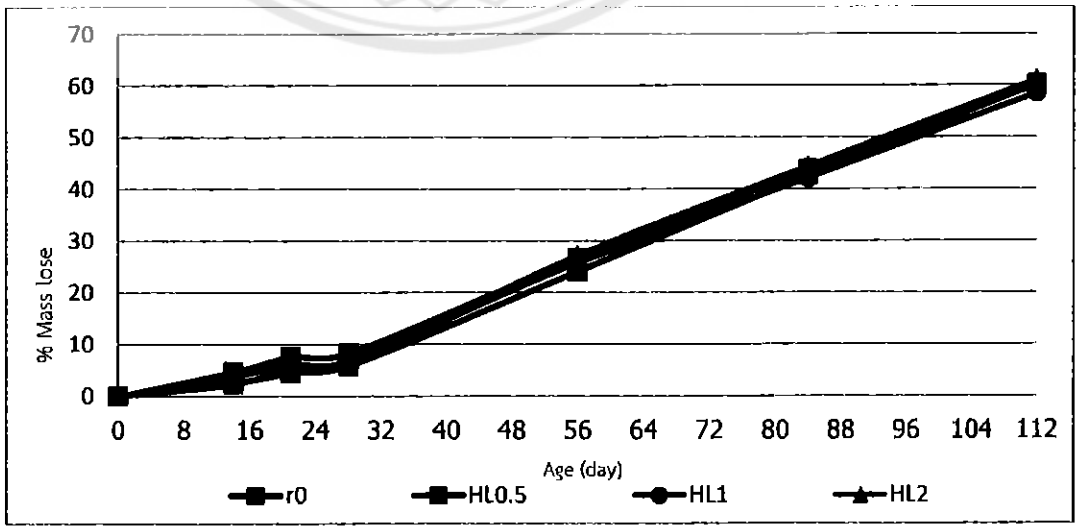
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) ร้อยละ 0.5,1 และ 2 ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

จากรูปที่ 4.8 แสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 % ของซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) ร้อยละ 0.5,1,2 และ ซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก(r0) ผลปรากฏว่า ในช่วง 28 วันแรกซีเมนต์มอร์ต้าทุกสัดส่วนผสมรวมทั้งส่วนผสมหลัก(r0) มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ช้าและมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) ที่มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ช้าและน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด(อายุทดสอบที่ 28 วัน Hb2 = 95.338 กรัม r0 , Hb0.5 , Hb1 = 94.533 , 94.023 และ 96.045 กรัม ตามลำดับ) แต่หลังจากนั้นค่าการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) มีค่าเพิ่มเร็วขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วนผสมอื่นๆ รวมทั้งส่วนผสมหลัก(r0) และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ (ที่อายุทดสอบ 28 - 112 วัน)

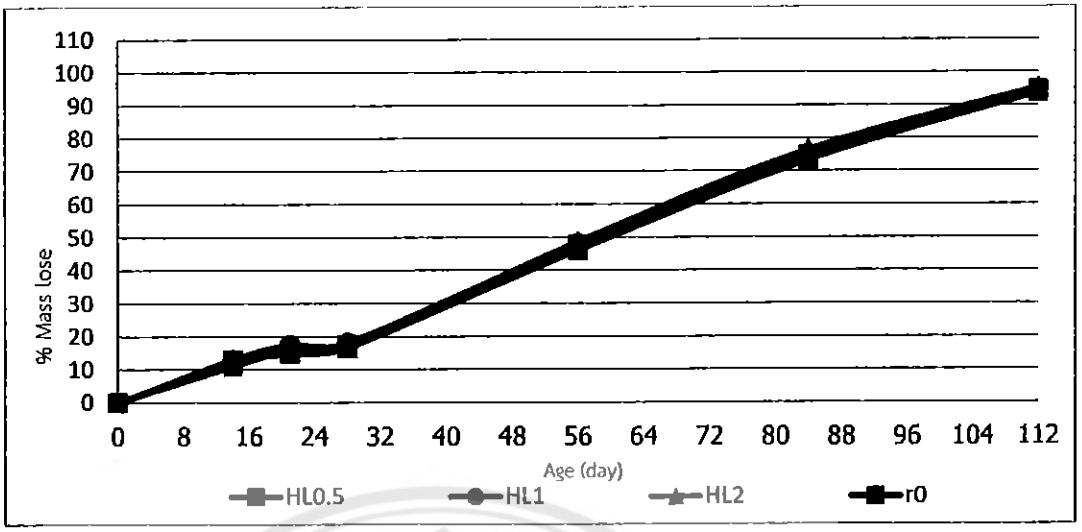


รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) ร้อยละ 0.5,1 และ 2 ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงค่าสูญเสียน้ำหนักปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 % และ 5% ตามลำดับ ของซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl) ร้อยละ 0.5,1,2 และซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก(r0) ผลปรากฏว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl) ร้อยละ 0.5,1,2 และซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก(r0) ของรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 มีค่าใกล้เคียงกันมากโดยช่วงอายุทดสอบที่ 28 วันแรก จะมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ช้า แต่หลังจากนั้นค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักก็เพิ่มขึ้นลักษณะคล้ายเส้นตรง(อายุทดสอบที่ 28 - 112 วัน ของรูปที่ 4.9) และค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มจะลดลง(อายุทดสอบที่ 28 - 112 วันของรูปที่ 4.10)



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl) ร้อยละ 0.5,1 และ 2 ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภท**พื้นผิวชอบน้ำ**(Hl) ร้อยละ 0.5,1 และ 2 ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

4.1.3 การศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกัน

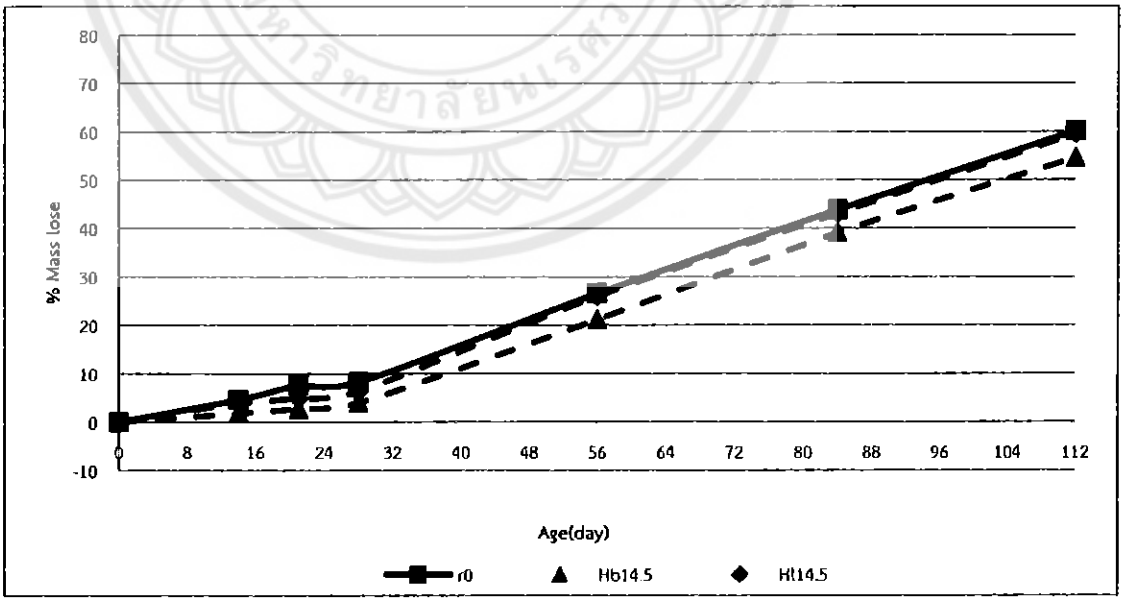
การศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกันนี้เพื่อ**ต้องการที่จะทราบผล**การทดสอบว่า หากมีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกันแล้ว จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติ**ให้กับซีเมนต์มอร์**ต้าในการต้านทานกรดหรือไม่ โดยมีการเตรียมนาโนซิลิก้าทั้งหมด 2 แบบ คือแบบผสมเปียกและแบบผสมแห้ง ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง แบบผสมเปียก ผสมแห้ง และการเตรียมตัวอย่างไมโครซิลิก้า ทั้งนี้จึงได้มีการเปรียบเทียบกันระหว่างแบบผสมเปียกและแบบผสมแห้ง คือ ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่บางส่วนด้วยนาโนซิลิก้า 2 ชนิดคือ นาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hb) ,นาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ (Hl) ในปริมาณ 14.5 , 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (แบบผสมเปียก) และในปริมาณร้อยละ 0-2 ของปูนซีเมนต์(แบบผสมแห้ง) โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก(r0) ซึ่งส่วนผสมทั้งหมดใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุผสาน w/b = 0.55 และได้ทำการทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้นเท่ากับ 3% และ 5% ในระยะเวลา 7,14,28,56,84 และ 112 วัน ตามลำดับ

โดยในหัวข้อนี้จะไม่แสดงผลการทดสอบในการเตรียมนาโนซิลิก้าแบบผสมแห้ง เนื่องจากได้มีการแสดงผลไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1.1 การศึกษาและเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน และหัวข้อที่ 4.1.2 การศึกษาและเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า แต่จะแสดงผลการทดสอบเฉพาะการเตรียมนาโนซิล้าแบบผสมเปียก

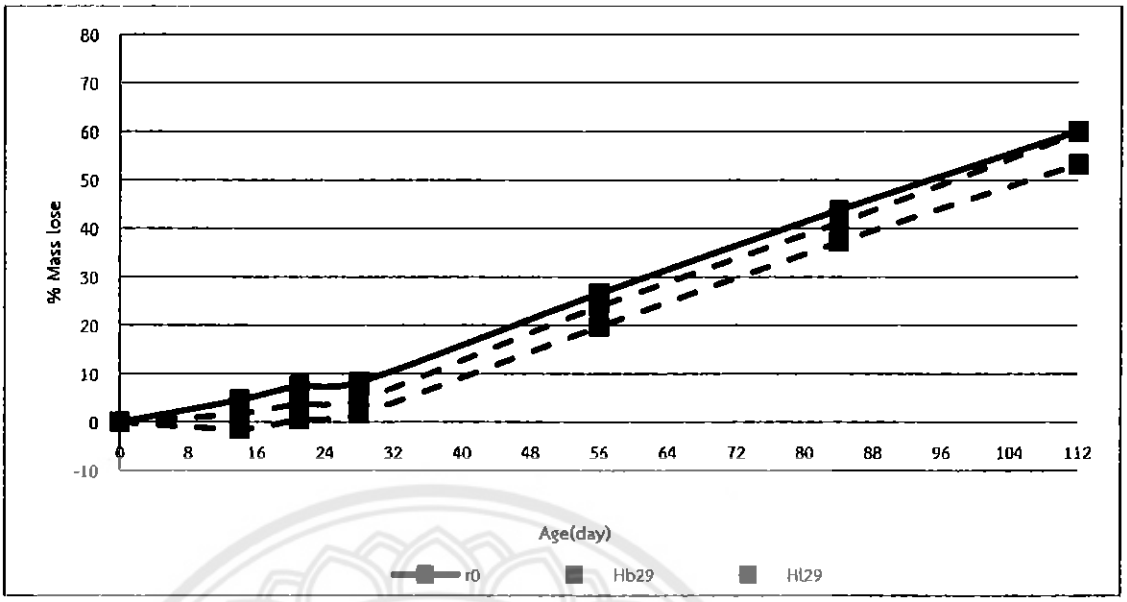
4.1.3.1 การศึกษาและเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน (แบบผสมเปียก)

จากการศึกษาและเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน (แบบผสมเปียก) ระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hb) และนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ (Hl) และมีผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.11 , 4.12 , 4.13 และรูปที่ 4.14

จากรูปที่ 4.11และรูปที่ 4.12 แสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb14.5) ,ประเภทที่ชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hl14.5) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) และแสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb29) ,ประเภทที่ชอบน้ำ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hl29) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ตามลำดับโดยแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% ผลการทดสอบพบว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb14.5)และซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb29) มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าอัตราส่วนผสมอื่นที่ระยะเวลาในการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกที่ 112 วัน และมีการสูญเสียน้ำหนักที่มีลักษณะเป็นอัตราส่วนที่คงที่ คล้ายเส้นตรง

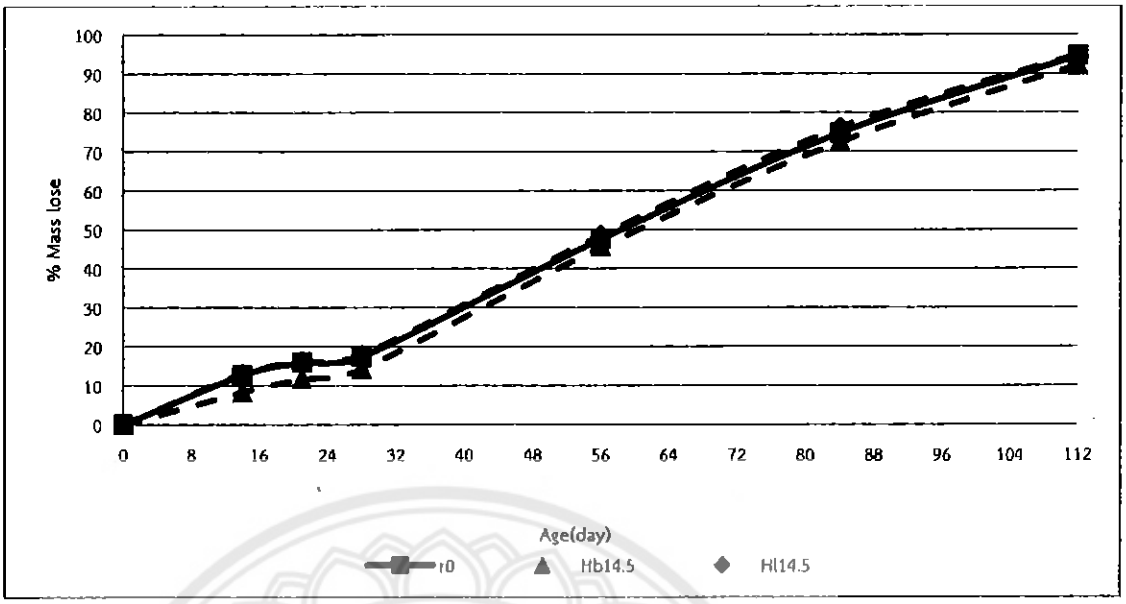


รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน(แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

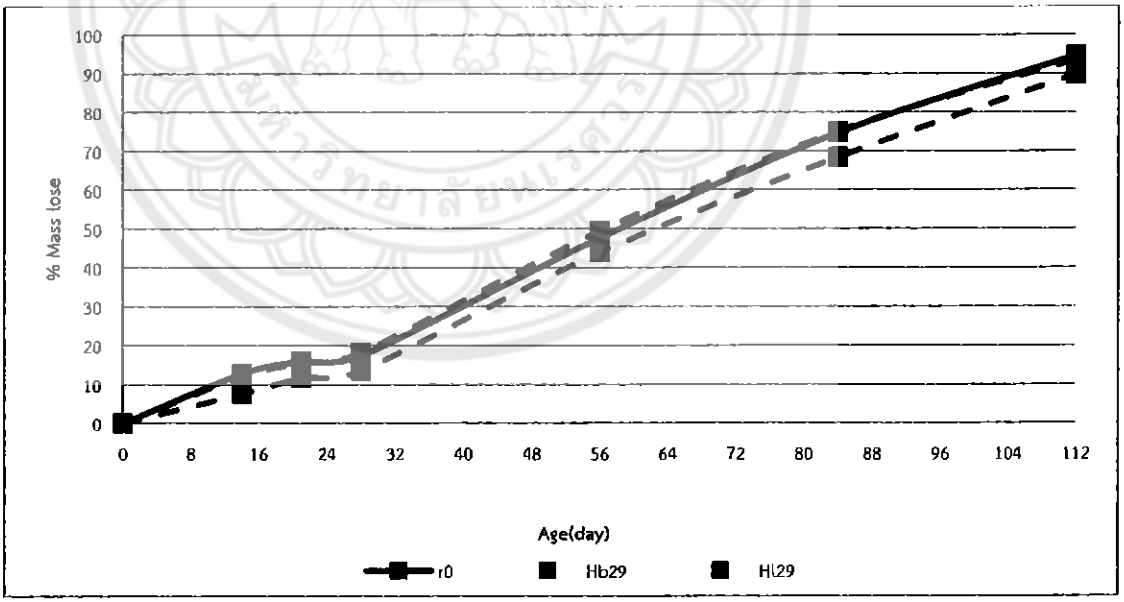


รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน(แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

จากรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 แสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb14.5) ,ประเภทที่ชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hl14.5) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) และแสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb29) ,ประเภทที่ชอบน้ำ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hl29) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ตามลำดับโดยแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5% ผลการทดสอบพบว่าค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักในช่วงระยะเวลาในการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกที่ 28 วันแรกมีการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน และหลังจาก 28 ค่าการสูญเสียน้ำหนักมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มเร็วขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกันมากที่ระยะเวลา 112 วัน และมีแนวโน้มที่อัตราการสูญเสียน้ำหนักจะลดลงเรื่อยๆดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน(แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

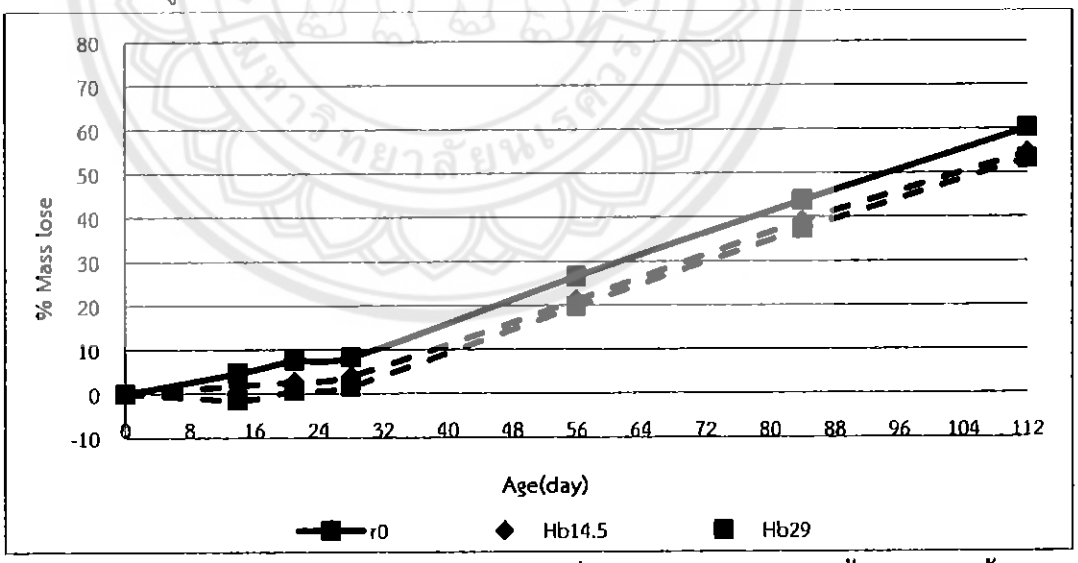


รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน(แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

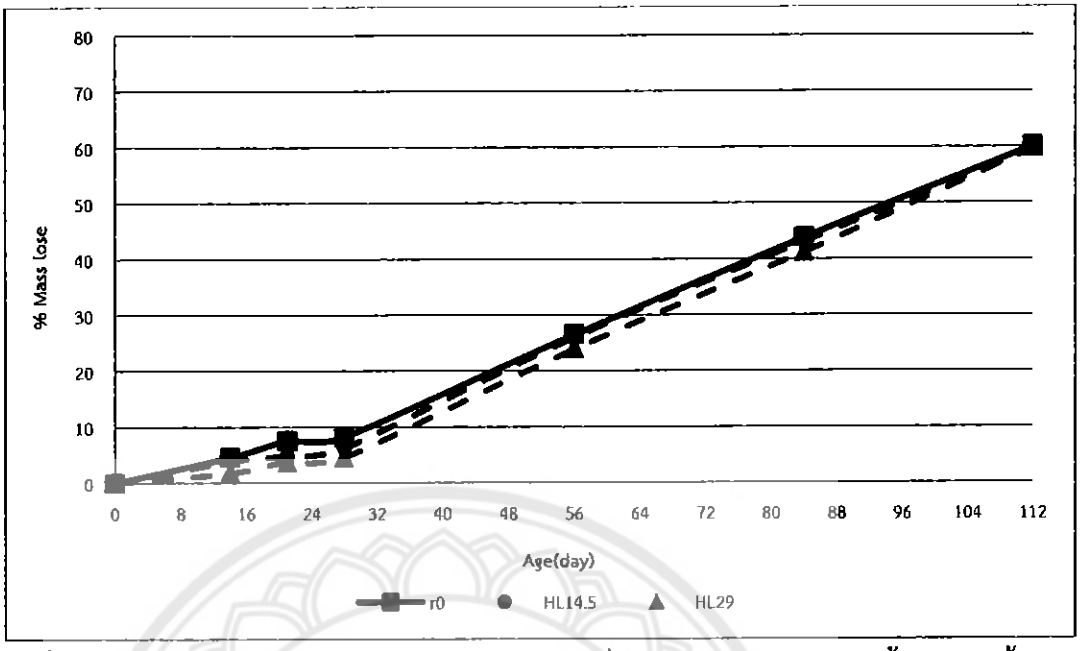
4.1.3.2 การศึกษาและเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า(แบบผสมเปียก)

จากการศึกษาและเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน (แบบผสมเปียก) ระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hb) และนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ (Hl) และมีผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16

จากรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 แสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb14.5) และ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb29) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) และแสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hl14.5) และ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hl29) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ตามลำดับ โดยแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% ผลการทดสอบพบว่า ในช่วง 28 วันแรก ค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นที่ช้า หลังจากนั้นค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนค่อนข้างคงที่คล้ายเส้นตรง(ช่วงอายุทดสอบ 28 - 112 วัน) และมีค่าใกล้เคียงกัน(รูปที่ 4.16) แต่ค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb14.5) และ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb29) มีค่าน้อยกว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) อย่างเห็นได้ชัด(รูปที่ 4.15)

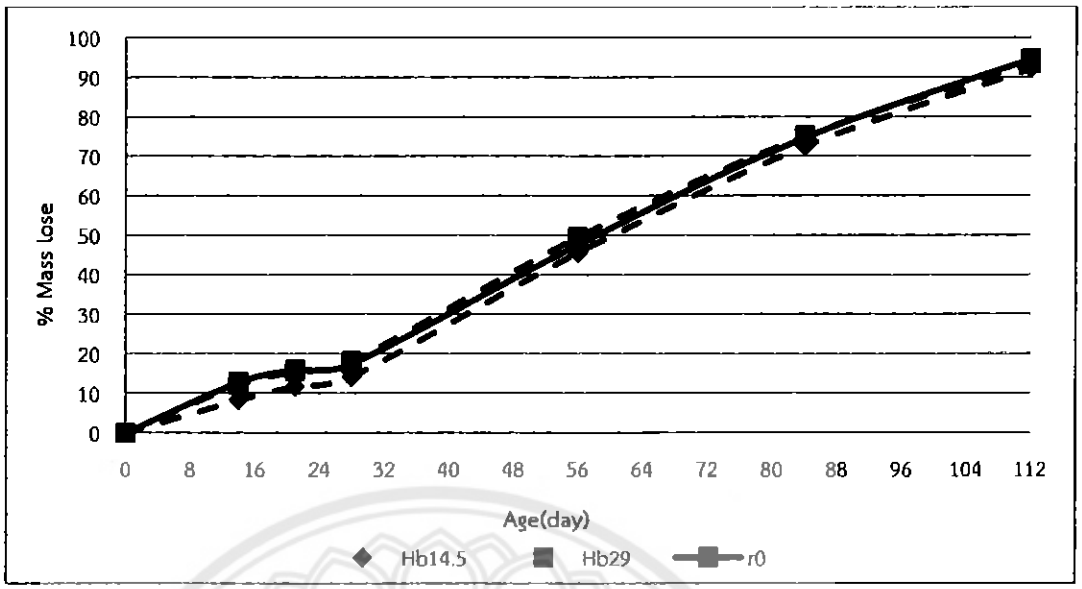


รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) (แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

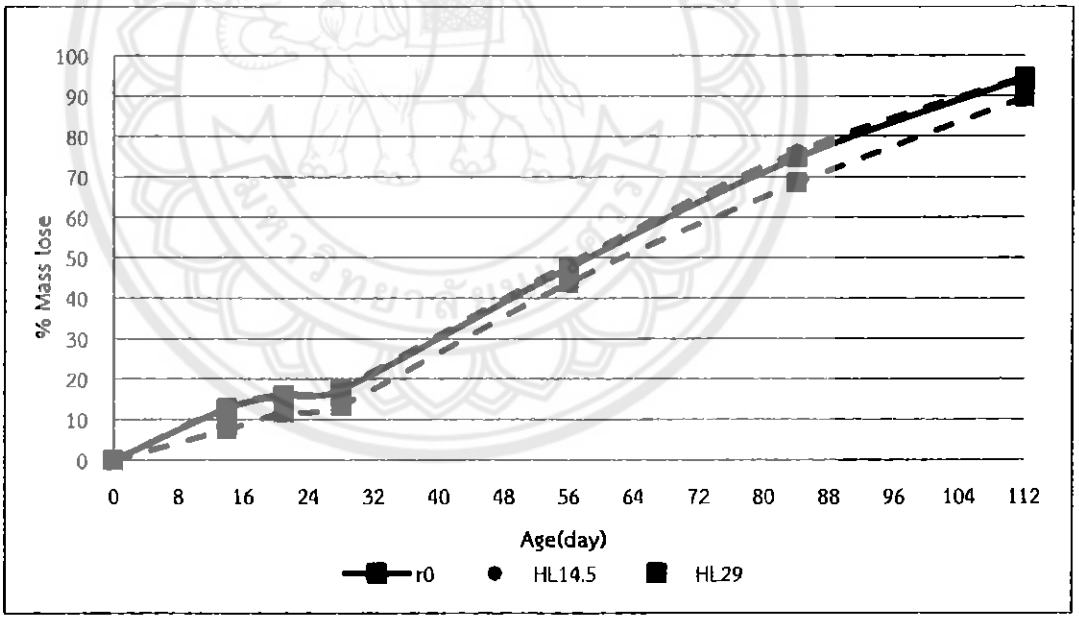


รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl) (แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

จากรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 แสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb14.5) และ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb29) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) และแสดงค่าสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hl14.5) และ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hl29) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ตามลำดับ โดยแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5% ผลการทดสอบปรากฏว่าในช่วง 28 วันแรกของการแช่ซีเมนต์มอร์ต้าทุกสัดส่วนผสมในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5% นั้นมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ช้าแต่หลังจากนั้นค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดซึ่งมีค่าสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านอายุทดสอบที่ 112 วัน



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภท**พื้นผิวไม่ชอบน้ำ**(Hb) (แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

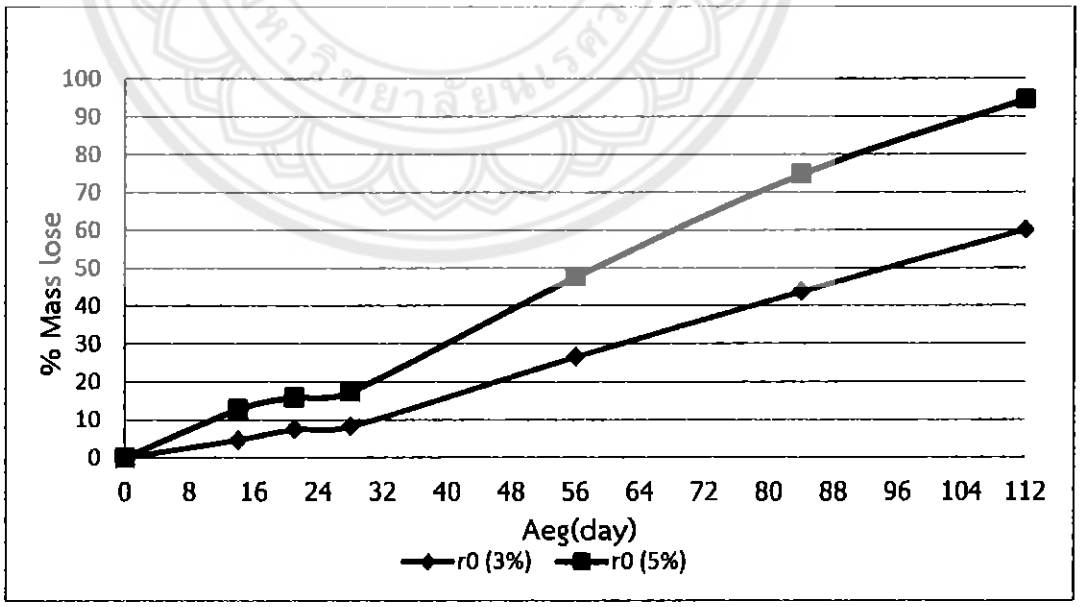


รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl) (แบบผสมเปียก) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

4.1.4 การศึกษาและเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก

เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกต่อการกัดกร่อนซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก(r0) จากผลการทดสอบได้ค่าดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 4.17 แสดงค่าการสูญเสียน้ำหนักเปรียบเทียบความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริกของซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% และ 5% ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าตั้งแต่วันแรกที่ทำการทดสอบมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ช้าและมีแนวโน้มจะลดลงเมื่ออายุ 24 วัน แต่ภายหลังจาก 24 วัน ค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนัก(ที่อายุทดสอบ 28 - 112 วันของสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% และ 5%)จะเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนค่อนข้างคงที่ลักษณะคล้ายเส้นตรง และค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มลดลง ซึ่งค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่อายุทดสอบ 112 วันของสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% = 60.156 และ 5% = 94.533 กรัม ตามลำดับ โดยซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% มีความต้านทานกรดได้ดีที่สุด(อายุทดสอบที่ 112 วัน มีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด) เพราะซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% ถูกแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกที่รุนแรงน้อยกว่า ซึ่งกรดสามารถกัดกร่อนได้ไม่มากนัก ทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักสะสมจึงน้อยกว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5%

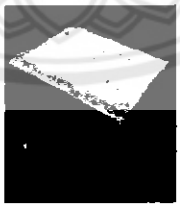
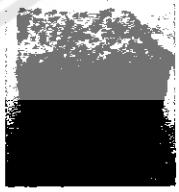
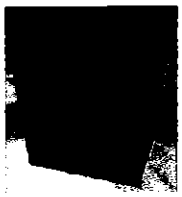


รูป 4.19 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริกของซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% และ 5%

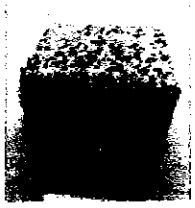
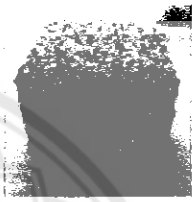
4.2 ตัวอย่างรูปเปรียบเทียบซีเมนต์มอร์ต้าที่ถูกกัดกร่อนโดยสารละลายกรดซัลฟูริก

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 จะแสดงถึงรูปก้อนตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าที่ทดสอบโดยการแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% และ 5% ที่อายุวันทดสอบ 0 , 28 และ 112 วันตามลำดับของซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าในสัดส่วนผสมต่างๆ และซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) เพื่อเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของซีเมนต์มอร์ต้าที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% และ 5% ในอายุวันทดสอบต่างๆ ทำให้ผู้อ่านเห็นภาพลักษณะการถูกกัดกร่อนเป็นแบบใด หรือกัดกร่อนมากน้อยเพียงใด จากการปฏิบัติงาน ได้รูปเปรียบเทียบดังนี้

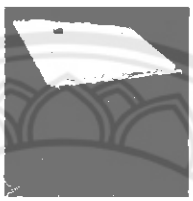
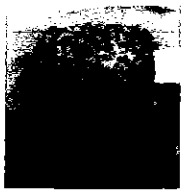
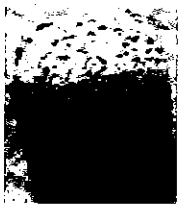
ตารางที่ 4.5 รูปเปรียบเทียบซีเมนต์มอร์ต้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำและไม่ชอบน้ำกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

Mix NO.	Name	Age (day)		
		0	28	112
	LW55r0			
1	LW55SiHl0.5			
2	LW55SiHl1			
3	LW55SiHl2			

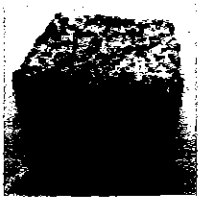
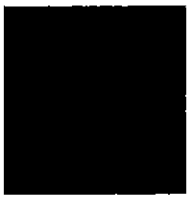
ตารางที่ 4.5 รูปเปรียบเทียบซีเมนต์มอร์ต้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำและไม่ชอบน้ำกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 % (ต่อ)

Mix NO.	Name	Age (day)		
		0	28	112
	LW55r0			
4	LW55SiHb0.5			
5	LW55SiHb1			
6	LW55SiHb2			

ตารางที่ 4.5 รูปเปรียบเทียบซีเมนต์มอร์ต้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำและไม่ชอบน้ำกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 % (ต่อ)

Mix NO.	Name	Age (day)		
		0	28	112
	LW55r0			
7	LW55SiHl14.5 g/l			
8	LW55SiHl29 g/l			
	LW55r0			
9	LW55SiHb14.5 g/l			
10	LW55SiHb29 g/l			

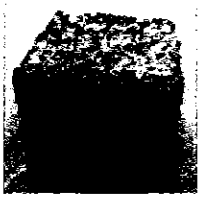
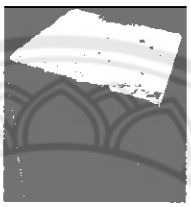
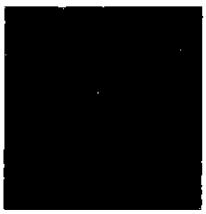
ตารางที่ 4.6 รูปเปรียบเทียบซีเมนต์มอร์ต้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำและไม่ชอบน้ำกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

Mix NO.	Name	Age (day)		
		0	28	112
	LW55r0			
1	LW55SiHl0.5			
2	LW55SiHl1			
3	LW55SiHl2			

ตารางที่ 4.6 รูปเปรียบเทียบซีเมนต์มอร์ต้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำและไม่ชอบน้ำกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 % (ต่อ)

Mix NO.	Name	Age (day)		
		0	28	112
	LW55r0			
4	LW55SiHb0.5			
5	LW55SiHb1			
6	LW55SiHb2			

ตารางที่ 4.6 รูปเปรียบเทียบซีเมนต์มอร์ต้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำและไม่ชอบน้ำกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 % (ต่อ)

Mix NO.	Name	Age (day)		
		0	28	112
	LW55r0			
7	LW55SiHl14.5 g/l			
8	LW55SiHl29 g/l			
	LW55r0			
9	LW55SiHb14.5 g/l			
10	LW55SiHb29 g/l			

4.3 ข้อเสนอแนะในการเลือกใช้งานนาโนซิลิก้า

ในการศึกษาเพื่อหาความสามารถในการต้านทานสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้นที่ 3% และ 5% ของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าพื้นผิวชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ โดยแบ่งการพิจารณาตามปัจจัยที่ศึกษาอยู่ 4 ปัจจัย คือ การเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน การเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกัน และการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกา ซึ่งจะมีข้อเสนอแนะในการเลือกใช้งานที่เหมาะสมตามปัจจัยการศึกษาข้างต้น ดังนี้

4.3.1 การเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน

ในการศึกษาและเปรียบเทียบการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน ระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hb) และนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ (Hl) กับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) ซึ่งจากผลการทดสอบได้ค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่บางส่วนด้วยนาโนซิลิก้าที่สัดส่วนผสมต่างๆ จะมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่ต่างจากซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) มากเท่าใดนัก แต่ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) ที่มีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่แตกต่างและน้อยกว่าสัดส่วนผสมอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด

ดังนั้น ผู้ที่สนใจในการใช้งานซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน จึงควรเลือกใช้นาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hb) ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 2 (Hb2)

4.3.2 การเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบผลของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่บางส่วนด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hb) และนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ (Hl) ที่สัดส่วนผสมต่างกันเปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) พบว่าค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักของสัดส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ยกเว้นซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) ที่มีค่าสูญเสียน้ำหนักแตกต่างจากสัดส่วนผสมอื่นๆอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่เริ่มแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริก โดยมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ช้ามากในช่วงเริ่มถึงอายุทดสอบที่ 56 วัน แต่หลังจากนั้นจะมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มเร็วขึ้นและค่อนข้างคงที่

ดังนั้น ผู้ที่สนใจในการใช้งานซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงควรเลือกใช้ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2)

4.3.3 การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกัน

เนื่องจากการทดลองมีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกันเพื่อทำการเปรียบเทียบผลของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่บางส่วนด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hb) และนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ (Hl) ว่าผลของวิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกันนั้นจะมีผลที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติให้กับซีเมนต์มอร์ต้าในการต้านทานสารละลายกรดซัลฟูริกหรือไม่ โดยมีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 2 แบบ คือแบบผสมเปียกและแบบผสมแห้ง สำหรับซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่บางส่วนด้วยนาโนซิลิก้าทั้ง 2 ประเภทในปริมาณ 14.5 , 29 มิลลิกรัมต่อลิตร(แบบผสมเปียก) และในปริมาณร้อยละ 0-2 ของปูนซีเมนต์(แบบผสมแห้ง) เปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) โดยส่วนผสมทั้งหมดใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุผสาน w/b = 0.55 จากการทดลองพบว่าการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกันทั้ง 2 แบบ คือแบบผสมเปียกและแบบผสมแห้ง ของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่บางส่วนด้วยนาโนซิลิก้าทั้ง 2 ประเภท มีรูปแบบการสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันมาก นั่นหมายถึงการเตรียมนาโนซิลิก้าทั้ง 2 แบบ คือแบบผสมเปียกและแบบผสมแห้งไม่สามารถเพิ่มคุณสมบัติให้กับซีเมนต์มอร์ต้าในการต้านทานสารละลายกรดซัลฟูริกได้ เนื่องจากการเตรียมนาโนซิลิก้าทั้ง 2 แบบ ให้ผลการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าไม่แตกต่างกัน

ดังนั้น ผู้ที่สนใจในการใช้งานซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าโดยใช้วิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกัน สามารถเลือกใช้วิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าแบบใดก็ได้ แต่การเตรียมแบบผสมเปียกจะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากกว่าแบบผสมแห้ง

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การศึกษาและเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาและเปรียบเทียบการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน ระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hb) และนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ (Hl)ได้ผลการทดลองดังนี้

5.1.1.1 ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) และประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl)

แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

จากผลการทดสอบพบว่า ค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักมีค่าใกล้เคียงกันมาก (พิจารณาจากอายุทดสอบที่ 112 วัน) เมื่อเทียบกับกรณีที่มีซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) และมีพฤติกรรมที่เกือบเหมือนกันหมดในปริมาณที่ใส่นาโนซิลิก้าที่แตกต่างกัน ยกเว้นซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) ที่มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสัดส่วนผสมอื่นอย่างเห็นได้ชัด

แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

จากผลการทดสอบพบว่าค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักมีค่าใกล้เคียงกันมาก (พิจารณาจากอายุทดสอบที่ 112 วัน) เมื่อเทียบกับกรณีที่มีซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) แต่มีพฤติกรรมที่ต่างกันในปริมาณที่ใส่นาโนซิลิก้าที่ร้อยละ 2 (Hb2 และ Hl2) เนื่องจากช่วงเริ่มแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกของ Hb2 มีการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าสัดส่วนผสมอื่นในระยะเวลาที่ 56 วันแรกและหลังจากนั้นมีการสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันในระยะเวลา 112 วัน

5.1.2 การศึกษาและเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า

5.1.2.1 ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb)

แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

จากผลการทดสอบพบค่าการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) ในปริมาณที่ต่างกันมีค่าการสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันมาก ยกเว้นซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) ซึ่งมีค่าการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าปริมาณการใส่นาโนซิลิก้าในปริมาณอื่นที่เห็นได้อย่างชัดเจน ตั้งแต่เริ่มทำการแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกจนวันสิ้นสุดการแช่ที่ 112 วัน ดังนั้นซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำร้อยละ 2 (Hb2) มีความสามารถต้านทานกรดได้ดีที่สุด(อายุทดสอบ112 วัน)

แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

จากผลการทดสอบพบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำ(Hb) ในช่วงระยะเวลาในการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกที่ 28 วันแรก มีการสูญเสียน้ำหนักที่ค่อนข้างช้าและมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวไม่ชอบน้ำที่ร้อยละ 2 (Hb2) ที่มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าปริมาณการใส่นาโนซิลิก้าที่ปริมาณอื่น และหลังจาก 28 วันแล้วอัตราการสูญเสียน้ำหนักก็เพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับปริมาณการใส่นาโนซิลิก้าปริมาณอื่นๆที่ระยะเวลา 112 วันและมีผลต่อการต้านทานกรดในช่วง 28 วันแรก เท่านั้น

5.1.2.2 ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีการแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl)

แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 % และ 5%

จากผลการทดสอบพบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl) ทั้งความเข้มข้น 3% และ5% ในช่วงระยะเวลาในการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกที่ 28 วันแรก มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ค่อนข้างช้าไม่คงที่และมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยภายหลัง 28 วันมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและใกล้เคียงกันมากที่ระยะเวลา 112 วัน แต่ซีเมนต์มอร์ต้าที่แทนที่ด้วยนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวชอบน้ำ(Hl) ที่ความเข้มข้น 5% มีแนวโน้มของอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ลดลงเรื่อยๆ

5.1.3 การศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกันนี้ เพื่อต้องการศึกผลที่ได้จากการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกันและการใช้นาโนซิลิก้าในปริมาณที่ต่างกัน ดังนั้นจึงมีผลสรุปเกี่ยวกับหัวข้อ 5.1.1 และ 5.1.2 ซ้ำอีกครั้งในเรื่องของการเตรียมนาโนซิลิก้าแบบผสมเปียกและแบบผสมแห้ง

5.1.3.1 การศึกษาและเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน

5.1.3.1.1 แบบผสมเปียก

ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

จากผลการทดสอบพบว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb14.5)และซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb29) มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวอื่นที่ระยะเวลาในการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกที่ 112 วัน และมีการสูญเสียน้ำหนักที่มีลักษณะเป็นอัตราส่วนที่คงที่ คล้ายเส้นตรง ดังนั้นในการเตรียมส่วนผสมแบบเปียกที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 % Hb14.5 และ Hb29 ช่วยต้านทานกรดได้ดีกว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทพื้นผิวอื่น

ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

จากผลการทดสอบพบว่าค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักในช่วงระยะเวลาในการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกที่ 28 วันแรกมีการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน และหลังจาก 28 ค่าการสูญเสียน้ำหนักมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มเร็วขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกันมากที่ระยะเวลา

112 วัน และมีแนวโน้มที่อัตราการสูญเสียน้ำหนักจะลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นในการเตรียมส่วนผสมแบบเปียกที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 % ไม่มีความแตกต่างกันเลยกับซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0)

5.1.3.1.1 แบบผสมแห้ง

ผลสรุปของการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกันโดยการศึกษาและเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน(แบบผสมแห้ง)ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.1.1

5.1.3.2 การศึกษาและเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้า

5.1.3.2.1 แบบผสมเปียก

ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 %

จากผลการทดสอบพบว่า ในช่วง 28 วันแรก ค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำทุกปริมาณการใส่นาโนซิลิก้าที่แตกต่างกันมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ หลังจากนั้นค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนค่อนข้างคงที่คล้ายเส้นตรงและมีค่าใกล้เคียงกันมาก(ช่วงอายุทดสอบ 28 - 112 วัน) แต่ค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำ 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb14.5) และ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hb29) มีค่าน้อยกว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) อย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นในการเตรียมส่วนผสมแบบเปียกโดยการศึกษาและเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้งานนาโนซิลิก้าที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% Hb14.5และHb29 ช่วยต้านทานกรดได้ดีกว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0)

ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5 %

ผลการทดสอบปรากฏว่าในช่วง 28 วันแรกของการแช่ซีเมนต์มอร์ต้าเกือบทุกสัดส่วนผสมในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 5% นั้นมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ช้าในระยะเริ่มต้นแต่หลังจากนั้นค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดซึ่งมีค่าสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านอายุทดสอบที่ 112 วัน แต่ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hl29) ที่มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทชอบน้ำในปริมาณอื่นๆ ดังนั้น Hl29 สามารถช่วยต้านทานกรดได้

5.1.3.2.1 แบบผสมแห้ง

ผลสรุปของการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการเตรียมนาโนซิลิก้าที่แตกต่างกันโดยการศึกษาและเปรียบเทียบผลการใช้นาโนซิลิก้าที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน(แบบผสมแห้ง)ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.1.2

5.1.4 การศึกษาและเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก

ทดสอบแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 % และ 5%

จากผลการทดสอบพบว่าตั้งแต่วันแรกที่ทำการทดสอบมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ช้าและมีแนวโน้มจะลดลงเมื่ออายุ 24 วัน แต่ภายหลังจาก 24 วัน ค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนัก(ที่อายุทดสอบ 28 - 112 วันของสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% และ 5%)จะเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนค่อนข้างคงที่ลักษณะคล้ายเส้นตรง โดยซีเมนต์มอร์ต้าที่เป็นส่วนผสมหลัก (r0) แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3% มีความต้านทานกรดได้มากกว่าแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความ

เข้มข้น 5% (อายุทดสอบที่ 112)ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่มีการแทนที่ด้วยนาโนซิลิก้า (r0) เมื่อสัมผัสกับสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นน้อย ความสามารถต้านทานการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดก็มากด้วย

จากการทดสอบพบว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำและประเภทชอบน้ำ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b)เท่ากับ 0.55 การผสมนาโนซิลิก้าประเภทไม่ชอบน้ำโดยวิธีการผสมแบบแห้งมีแนวโน้มในการลดค่าการสูญเสียน้ำหนักของแท่งทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทดสอบในสารละลายกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 3

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการผสมนาโนซิลิก้าที่มีการปรับปรุงพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำ ในขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากนาโนซิลิก้ามีการแยกตัวออกจากน้ำ จึงต้องใช้เวลานานเพื่อที่จะทำให้น้ำและนาโนซิกาไม่แยกออกจากกันโดยใช้เทคนิคพิเศษ

2. ควรมีการศึกษาผลของการต้านทานกรดโดยใช้วัสดุในโครงการนี้ เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาคอนกรีตต่อไป

3. ความรุนแรงในการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับค่า pH ถ้ามีค่าต่ำมาก ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง pH < 3 เราต้องใช้ วัสดุมาเคลือบผิว (Protective layer) ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] บทความ เกี่ยวกับคอนกรีต. สืบคนเมื่อ 25 พฤศจิกายน ,2556 จาก http://th.wikipedia.org/wiki/คอนกรีต

[2] นันธวัฒน์ เบอะเทพ. (2556). **อิทธิพลของนาโนซิลิก้าประเภทที่ชอบน้ำ และที่ไม่ชอบน้ำต่อระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ กำลังรับแรงอัดและการต้านทานกรดของซีเมนต์มอร์ต้า**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

[3] บทความ เกี่ยวกับซิลิก้าฟูม. สืบคนเมื่อ 1 กันยายน ,2556 จาก http://www.thaitca.or.th/images/journal/journal1/journal1-2.pdf

[4] บทความ เกี่ยวกับนาโนซิลิก้า. สืบคนเมื่อ 7 กันยายน ,2556 จาก http://www.alibaba.com/product-detail/Silica-flour-sio2-99-8-_483303403.html

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ

ชื่อ นางสาวกมลชนก อนุอัน

ภูมิลำเนา 206 หมู่ 10 ต.โนนทอง อ.แวงใหญ่ จ.ขอนแก่น

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเมืองพลพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: super_fourthz@hotmail.com

ชื่อ นางสาวกาญจนา การะภักดี

ภูมิลำเนา 26 หมู่ 12 ต.ซุมตาบง อ.ซุมตาบง จ.นครสวรรค์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนห้วยน้ำหอมวิทยาคาร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: py.ky@hotmail.com

ชื่อ นายกู้เกียรติ มูรามัญ

ภูมิลำเนา 128 หมู่ 9 ต.ดงเสือเหลือง อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสระหลวงพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: ku_united09@hotmail.com`