



245564



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน  
(Sulfate resistance of limestone powder mortar)

โดย

ผศ. ดร. ปิติศานต์ กร้ามาตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1 กันยายน 2553

สัญญาเลขที่ MRG5080440

600251304

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



245564



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์



การต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน  
(Sulfate resistance of limestone powder mortar)

โดย

ผศ. ดร. ปิติสานต์ กร้ามาตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1 กันยายน 2553

สัญญาเลขที่ MRG5080440

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

### การต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน (Sulfate resistance of limestone powder mortar)

ผู้วิจัย

ผศ. ดร. ปิติศานต์ กร้ามาตร

สังกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องการต้านทานซัลเฟตของมอร์ดาร์ผสมฝุ่นหินปูนนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบคุณไว้เป็นอย่างสูง และขอขอบคุณ ศ.ดร.สมนึก ตั้งเต็มศิริกุล สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ความกรุณาเป็นนักวิจัยที่ปรึกษาของผู้วิจัย และได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างมากต่องานวิจัยนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์บางส่วนสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ด้วย

ผศ. ดร. ปิติสานต์ กร้ามาตร

ผู้วิจัย

## บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG5080440

ชื่อโครงการ: การต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน

ชื่อนักวิจัยและสถาบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติศานต์ กร้ามาตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail Address: [pitisan.k@en.rmutt.ac.th](mailto:pitisan.k@en.rmutt.ac.th) , [pkrammart@yahoo.com](mailto:pkrammart@yahoo.com)

ระยะเวลาโครงการ: 2 ปี (2 กรกฎาคม 2550 - 1 กรกฎาคม 2552)

245564

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบการขยายตัวและการสูญเสียน้ำหนักในสารละลายซัลเฟต (โซเดียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และโซเดียมผสมแมกนีเซียมซัลเฟต) ของตัวอย่างมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน (ความละเอียดขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) รวมทั้งมอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าลอยในส่วนผสมด้วย โดยแทนที่ทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

ผลการศึกษาพบว่าในสารละลายซัลเฟตนั้นการขยายตัวของมอร์ตาร์ฝุ่นหินปูนมีแนวโน้มมากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ในขณะที่การขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยหินปูนร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้งประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ยกเว้นการแทนที่ร่วมของเถ้าลอยที่มีปริมาณ CaO สูงในปริมาณต่ำๆ จะมีค่าการขยายตัวของตัวอย่างมีแนวโน้มใกล้เคียงหรือมากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน และพบว่าในสารละลายโซเดียมซัลเฟตนั้นให้ค่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่สารทดแทนปูนซีเมนต์ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ให้ค่ามากกว่าเมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แต่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตนั้นกลับให้แนวโน้มว่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่สารทดแทนปูนซีเมนต์ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 จะให้ค่าที่มากกว่าของเมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยเฉพาะเมื่อมีผงหินปูนในส่วนผสม สำหรับในกรณีของการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่อายุ 92 สัปดาห์ พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่สารทดแทนปูนซีเมนต์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าน้อยมาก ส่วนในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตผลของค่าการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างดังกล่าวเห็นได้ชัดเจน นอกจากนี้พบว่าในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนมีค่าใกล้เคียงหรือแนวโน้มว่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ในขณะที่ของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยนั้นมีค่าค่อนข้างมาก แต่เมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย มีแนวโน้มว่าจะให้การสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างมอร์ตาร์น้อยที่สุด และสุดท้ายพบว่าผลของความละเอียดของฝุ่นหินปูน (ขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ต่อการขยายตัวและการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายซัลเฟตมีค่าน้อยมาก

คำหลัก: ฝุ่นหินปูน เถ้าลอย สารละลายซัลเฟต มอร์ตาร์ การขยายตัว การสูญเสียน้ำหนัก

## Abstract

**Project Code:** MRG5080440

**Project Title:** Sulfate resistance of limestone powder mortar

**Investigator:** Asst. Prof. Dr. Pitisan Krammart Rajamangala University of Technology Thanyaburi

**E-mail Address:** [pitisan.k@en.rmutt.ac.th](mailto:pitisan.k@en.rmutt.ac.th) , [pkrammart@yahoo.com](mailto:pkrammart@yahoo.com)

**Project Period:** 2 years (July 2, 2007 - July 1, 2009)

245564

This research aimed to compare the expansion and weight loss of mortar specimens, which made from limestone powder and fly ash, in sulfate solutions, namely sodium, magnesium and combined sodium and magnesium sulfates. The limestone powder, having fineness equal to 4 and 14 micrometer, and fly ash were replaced in both of Type I and Type V cements.

Test results indicate that the expansion of limestone powder mortar specimens in all of sulfate solution tends larger than that of Type I and Type V cement mortar specimens. Except for the specimens replaced in low quantity with fly ash having high CaO content, which induce similar or higher expansion as of Type I and Type V cement specimens, the expansion of mortar specimens with fly ash and/or incorporating limestone powder with fly ash had smaller than those of Type I and Type V cement mortar specimens. Furthermore, the expansion of mortar specimens made from mineral replaced in Type I cement in sodium sulfate solution has become larger than that of those in Type V cement. On the other hand, in magnesium sulfate solution, the expansion of mortar specimens made from mineral replaced in Type V cement has become larger when compared to that of those in Type I cement, especially when the limestone powder was presented in the ingredient of mortar. In addition to the weight loss of mortar specimens immersed in sodium sulfate solution at 92 weeks, the slightly decreasing in weight loss can be observed for the specimens made by partially replacing with mineral in both Type I and Type V cements. While the weight loss of mortar specimens in magnesium sulfate solution at 92 weeks of immersing shows superior results. Besides, in magnesium sulfate solution, the mortar specimens made from limestone powder seem to give similar or smaller amount of weight loss when compared with both Type I and Type V cement mortar specimens. On the contrary, the weight loss of mortar specimens made from fly ash appear to be larger than that of the Type I and Type V cement mortar specimens to a great extent. Nevertheless, the weight loss of mortar specimens incorporating both limestone powder and fly ash shows the lowest when compared to

245564

other mortar specimens. Finally, the fineness of limestone powder, 4 and 14 micrometer, had only small effects on the expansion and weight loss of mortar specimens in sulfate solution.

**Keywords:** Limestone powder, Fly ash, Sulfate solution, Mortar, Expansion, Weight loss

## สารบัญ

|                                                      | หน้า |
|------------------------------------------------------|------|
| กิตติกรรมประกาศ                                      | ก    |
| บทคัดย่อ                                             | ข    |
| Abstract                                             | ค    |
| สารบัญ                                               | จ    |
| บทที่ 1 บทนำ                                         | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา                        | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย                          | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย                                | 2    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                        | 2    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                | 4    |
| 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง                               | 4    |
| 2.1.1 บทนำทั่วไป                                     | 4    |
| 2.1.2 การกักกร่อนเนื่องจากสารละลายซัลเฟต             | 5    |
| 2.1.3 ฟูนินปิุน                                      | 7    |
| 2.1.4 เถ้าลอย                                        | 7    |
| 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                            | 12   |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย                           | 25   |
| 3.1 วัสดุและเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย        | 14   |
| 3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย                          | 14   |
| 3.1.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย              | 14   |
| 3.2 ขอบเขตของการวิจัย                                | 17   |
| 3.3 การเตรียมสารละลายซัลเฟต                          | 18   |
| 3.4 สัดส่วนผสมมอร์ตาร์ที่ใช้ในการวิจัย               | 19   |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์                       | 22   |
| 4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัย | 22   |
| 4.1.1 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุประสาน                   | 22   |
| 4.1.2 ความละเอียดโดยวิธีเบลนของวัสดุประสาน           | 22   |

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1.3 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาคของวัสดุประสาน                             | 23         |
| 4.1.4 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสาน                              | 23         |
| 4.1.5 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน                                        | 25         |
| 4.2 การขยายตัว                                                               | 31         |
| 4.2.1 ผลกระทบจากชนิดและปริมาณการแทนที่ของวัสดุประสานต่อการขยายตัว            | 31         |
| 4.2.2 ผลกระทบจากความละเอียดของฝุ่นหินปูนต่อการขยายตัว                        | 68         |
| 4.2.3 ผลกระทบจากชนิดของสารละลายอัลเฟดต่อการขยายตัว                           | 80         |
| 4.3 การสูญเสียน้ำหนัก                                                        | 93         |
| 4.3.1 ผลกระทบจากชนิดและปริมาณการแทนที่ของวัสดุประสานต่อการสูญเสีย<br>น้ำหนัก | 93         |
| 4.3.2 ผลกระทบจากความละเอียดของฝุ่นหินปูนต่อการสูญเสียน้ำหนัก                 | 100        |
| 4.3.3 ผลกระทบจากชนิดของสารละลายอัลเฟดต่อการสูญเสียน้ำหนัก                    | 107        |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย</b>                                                | <b>113</b> |
| <b>บรรณานุกรม</b>                                                            | <b>116</b> |
| <b>ภาคผนวก</b>                                                               |            |