การศึกษาการดูดซึมน้ำและการกัดกร่อนของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่น

A Study of Absorption and Corrosion of Mortar Mixed with Quarry Dust

ประชุม คำพุฒ (Prachoom Khamput)[1]

[1]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (choomy_gtc@hotmail.com)

บทคัดย่อ : การศึกษาการดูดซึมน้ำและการกัดกร่อนของมอร์ต้าร์ที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดแทนทราย กำหนดอัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมละเอียด เท่ากับ 1: 2.75 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 โดยนำตัวอย่างมอร์ต้าร์ไปบ่มน้ำสะอาด 27 วัน ก่อนนำมาแช่สารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบพบว่ามอร์ต้าร์ที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดมีร้อยละการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกับมอร์ต้าร์ปกติ และมีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่ามอร์ต้าร์ปกติ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมของมอร์ต้าร์ไม่สามารถเพิ่มความทนทานต่อการถูกกัดกร่อนจากกรดซัลฟูริกได้ เพียงแต่ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักจากการถูกกัดกร่อนเท่านั้น

ABSTRACT : This research studies the absorption and corrosion on quarry dust mortars due to sulfuric acid. By fully using quarry dust to replace sand, cementitious: fine aggregate = 1: 2.75 by weight and w/c = 0.45. The mortar specimens are formed and cured for 27 days before immerse them into 1%, 3% and 5% (W/W) of sulfuric acid solutions. The results showed that the quarry dust mortars have absorption are nearly same as normal mortars and weight loss less than normal mortars. In additional, the replacement of sand by quarry dust could not be increased to the corrosion resistance, but it reduced in weight loss due to corrosion caused by sulfuric acid.

KEYWORDS : Sulfuric Acid, Quarry Dust, Corrosion, Fine Aggregate, Mortar

1. บทนำ

การขยายตัวของภาคก่อสร้างทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2547 ส่งผลให้มีความต้องการใช้หินรวม 140 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2546 ร้อยละ 7.9 โดยภาคก่อสร้างใช้หินปูนสูงถึงร้อยละ 80 รองลงมาเป็นหินแกรนิต หินบะซอลต์ หินทราย และหินชนิดอื่นๆ โดยผ่านกระบวนการโม่บด และย่อยหิน จากโรงโม่หินที่เปิดดำเนินการจำนวน 439 ราย มีกำลังการผลิตรวม 334 ล้านตัน/ปี และมีปริมาณหินสำรองสำหรับการก่อสร้าง (ได้แก่ หินปูน หินแกรนิต หินบะซอลต์ หินทราย และหินชนิดอื่นๆ) ซึ่งเป็นวัตถุดิบของ โรงโม่หินสูงถึง 4,726.8 ล้านตัน จากแหล่งหินในเขตประทานบัตร 402 แปลง ทั่วประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเขตภาคกลางและภาคเหนือ [1]

ในปี พ.ศ. 2548 ความต้องการใช้หินเพื่อการก่อสร้างยังมีอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลมาจากนโยบายหลักของภาครัฐที่มุ่งเน้นก่อสร้างโครงการสาธารณูปโภคขนาดใหญ่ และการก่อสร้างภาคเอกชนยังคงเติบโต ทั้งนี้มูลค่าการลงทุนภาคก่อสร้างทั่วประเทศในช่วงไตรมาสแรกของ

ปี พ.ศ. 2548 ขยายตัวสูงถึงร้อยละ 20.2 คาดว่ามูลค่าการก่อสร้างรวมทั้งปีจะขยายตัวประมาณร้อยละ 15 ซึ่งจะมีผลให้เกิดความต้องการใช้หินรวมสูงถึง 155 ล้านตัน หรือเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2547 ร้อยละ 10.8 [1] ซึ่งจากตัวเลขดังกล่าวจะเห็นได้ว่าปริมาณหินฝุ่นที่เหลือทิ้งจากกระบวนการโม่บด และย่อยหิน ก็ต้องมีอยู่ในปริมาณที่สูงมากเช่นเดียวกัน (รูปที่ 1 แสดงการระเบิดภูเขาหินปูนเพื่อนำมาบดย่อยใช้ในงานก่อสร้าง และรูปที่ 2 เป็นกองหินฝุ่นขนาดใหญ่ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการบดย่อยหินก่อสร้าง)

รูปที่ 1 การระเบิดภูเขาหินปูนในจังหวัดสระบุรี

รูปที่ 2 กองหินฝุ่นขนาดใหญ่ที่โรงโม่หิน จังหวัดสระบุรี

จากการที่หินฝุ่นเป็นผลพลอยได้มาจากภูเขาหินปูนเป็นส่วนใหญ่นั้น องค์ประกอบทางเคมีของหินฝุ่นจึงใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ งานวิจัยที่นิยมศึกษาในประเทศไทยจึงมุ่งเน้นวัตถุประสงค์ เพื่อการนำหินฝุ่นไปใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ด้วยเหตุผลที่ว่าปูนซีเมนต์มีราคาแพง ซึ่งหากนำหินฝุ่นไปทดแทนในปูนซีเมนต์ได้ ก็จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้มาก งานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำฝุ่นหินปูนมาใช้ร่วมกันหรือใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์บางส่วนนั้น อาทิ เช่น ได้ศึกษาการนำหินฝุ่นมาผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 1, 3, 5, 7 และ 9 โดยน้ำหนัก แล้วทดสอบหาค่ากำลังรับแรงกดอัดทิศทางเดียว (UCS) โดยใช้การบ่มที่อายุ 0, 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ และหาค่ากำลังรับแบกทานทั้งแบบแช่น้ำ (Soaked CBR) และแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked CBR) ที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 14 วัน ผลการทดสอบพบว่า หินฝุ่นที่ผสมปูนซีเมนต์ สามารถใช้เป็นวัสดุรองพื้นทางได้ เนื่องจากมีค่า CBR มากกว่า 80 ตามมาตรฐานกรมทางหลวง [2] นอกจากนั้นได้มีการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตผสมฝุ่นหินปูน [3] เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบคอนกรีตผสมฝุ่นหินปูนจาก 3 แหล่ง ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำเสนอแผนภูมิ สำหรับใช้ในการออกแบบคอนกรีตผสมฝุ่นหินปูนทั้ง 3 ชนิด ที่มีการแทนที่ไม่เกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก อีกทั้งยังมีการศึกษาในเรื่องของการใช้ประโยชน์จากผงหินปูนร่วมกับวัสดุปอซโซลาน [4] โดยกำหนดปริมาณร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนตั้งแต่ร้อยละ 20 ถึง 60 โดยน้ำหนักของวัสดุผงทั้งหมด และควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ 0.485 ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติต่างๆ นั้น สามารถนำไปใช้ในการกำหนดแนวทางการนำผงหินปูนมาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมโยธา

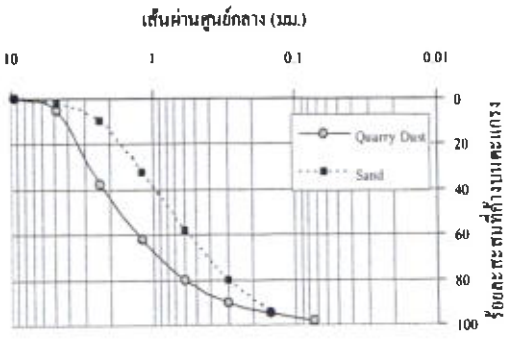
โดยแท้จริงแล้วหินฝุ่นที่ได้จากโรงโม่หินนั้น มีขนาดใกล้เคียงกับทรายมากกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นการที่จะนำหินฝุ่นมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ได้ ก็ต้องทำขนาดให้ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ โดยนำมาทำการบดหรือร่อนให้เป็นฝุ่นหินปูน ก่อนนำมาใช้ผสมในคอนกรีต ซึ่งนับเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายมาก จนบางครั้งอาจไม่คุ้มค่ากับการนำไปใช้งานจริง แต่ถ้าหากมีวิธีการใดที่จะนำหินฝุ่นไปใช้ให้หมดได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการอื่นใดอีก ย่อมเป็นวิธีการที่เหมาะสมและสมควรนำไปใช้งานได้จริงมากกว่า เมื่อพิจารณาด้วยตาเปล่าแล้ว หินฝุ่นมีขนาดใกล้เคียงกับทรายมาก จึงได้มีการนำหินฝุ่นไปทำการทดสอบคุณ สมบัติทางกายภาพ โดยใช้มาตรฐานเดียวกันกับการทดสอบมวลรวมละเอียด [5]

พบว่าหินฝุ่นมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.68 ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏเท่ากับ 2.71 ค่าการดูดซึมเท่ากับร้อยละ 0.47 สารอินทรีย์มีค่าความสะอาดเท่ากับเบอร์ 5 ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,695 กก./ม.^{3} การพองตัวเท่ากับร้อยละ 33.33 ปริมาณดินและฝุ่นผงเท่ากับร้อยละ 4.34 ความทนทานต่อการสึกกร่อนโดยซัลเฟตมีค่าร้อยละการสูญเสียเท่ากับ 5.13 เมื่อนำมาเปรียบกับทรายแล้วมีความใกล้เคียงกันมาก [6] จึงได้มีการนำหินฝุ่นไปทำการทดลองผสมคอนกรีต เพื่อทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนผสมต่างๆ พบว่าสามารถนำหินฝุ่นไปใช้ผสมเป็นมวลรวมละเอียดแทนทรายในงานก่อสร้างทั่วไปได้ [7-9] งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความสามารถการต้านทานสารละลายกรดซัลฟูริกของมอร์ต้าร์ที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดทั้งหมดและมอร์ต้าร์ปกติ เนื่องจากในบางกรณีการก่อสร้างอาคารต่างๆ อาจต้องสัมผัสกับสารละลายกรดซัลฟูริกโดยตรง ซึ่งสามารถกัดกร่อนทำลายซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตได้

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่างวัสดุและอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I ทรายแม่น้ำ หินฝุ่น จากจังหวัดสระบุรี แบ่งเก็บตัวอย่าง ทั้งส่วนล่าง ส่วนกลาง และส่วนบน รอบกองตามรัศมีทุกทิศทางของกองหิน และทำการผสมกันโดยการแบ่งสี่ (กราฟการเปรียบเทียบขนาดคละมาตรฐานของมวลรวมละเอียด และขนาดคละของหินฝุ่นแสดงในรูปที่ 3)



รูปที่ 3 กราฟขนาดคละของทรายและหินฝุ่น [6]

2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานทดสอบ

1) อัตราส่วนวัสดุประสานต่อทราย เท่ากับ 1: 2.75 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45

2) หล่อก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์ รูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5 × 5 × 5 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C109 [10]

3) ถอดแบบและบ่มตัวอย่างมอร์ต้าร์ ในน้ำสะอาดเป็นระยะเวลา 27 วัน

4) หาค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างมอร์ต้าร์ ที่อายุ 3, 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 วัน

5) แช่ตัวอย่างมอร์ต้าร์ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนัก

6) นำตัวอย่างมอร์ต้าร์มาชั่งน้ำหนักหาค่าการสูญเสียน้ำหนัก ที่อายุ 7, 14, 28, 42, 56 และ 90 วัน

7) ตรวจสอบและถ่ายภาพลักษณะการถูกกัดกร่อน

8) วิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำ และการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์ที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดและมอร์ต้าร์ปกติที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด

3. ผลและการวิเคราะห์ผล

ผลของการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นและมอร์ต้าร์ผสมทราย

ประเภทมวลรวมละเอียด	ร้อยละของการดูดซึมน้ำเมื่อแช่ในน้ำสะอาด						
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน
ทราย	1.33	1.55	1.79	2.72	2.85	2.93	2.98
หินฝุ่น	1.15	1.36	1.55	2.65	2.77	2.85	2.91

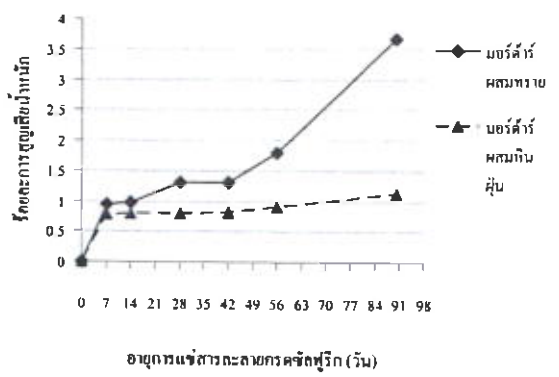
จากตารางที่ 1 พบว่าร้อยละการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นและมอร์ต้าร์ผสมทรายมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่มอร์ต้าร์ผสมทรายจะมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่ามอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นอยู่เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหินฝุ่นมีขนาดและรูปร่างโดยเฉลี่ยโตกว่าทรายเล็กน้อยจึงทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสกับซีเมนต์เพสต์น้อยกว่าทราย ส่งผลให้ความต้องการน้ำของซีเมนต์เพสต์เพื่อไปทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

ของมอร์ต้าร์ที่ผสมทรายมีปริมาณมากกว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมหินฝุ่น [11] และผลของการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์แสดงในตารางที่ 2

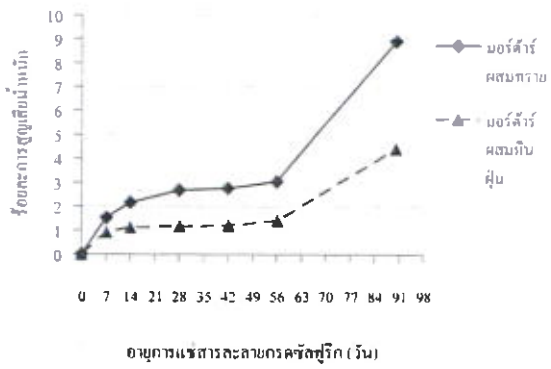
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นและมอร์ต้าร์ผสมทราย ที่แช่สารละลายกรดซัลฟูริก

ประเภทมวลรวมละเอียด	ร้อยละความเข้มข้น	ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนัก					
		7 วัน	14 วัน	28 วัน	42 วัน	56 วัน	90 วัน
ทราย	1	0.95	0.98	1.30	1.30	1.80	3.67
	3	1.52	2.15	2.67	2.74	3.02	8.93
	5	2.57	8.77	15.57	17.26	17.62	34.71
หินฝุ่น	1	0.79	0.80	0.80	0.82	0.91	1.14
	3	0.90	1.13	1.17	1.21	1.39	4.37
	5	1.71	3.46	7.25	8.49	9.57	21.97

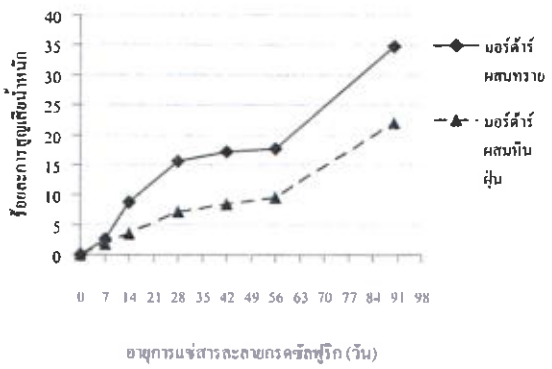
จากผลการทดสอบหาค่าการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์ที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียด และมอร์ต้าร์ปกติที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด ในตารางที่ 2 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกและการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์ ดังรูปที่ 4, 5 และ 6 และลักษณะการถูกกัดกร่อนของมอร์ต้าร์ ดังรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการแช่สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ การสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการแช่สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้นร้อยละ 3 และ การสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์

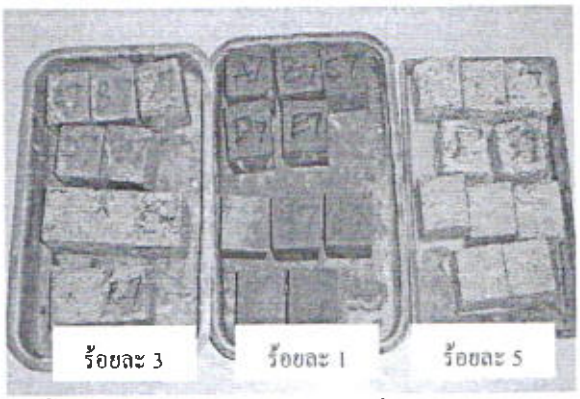


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการแช่สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ การสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์

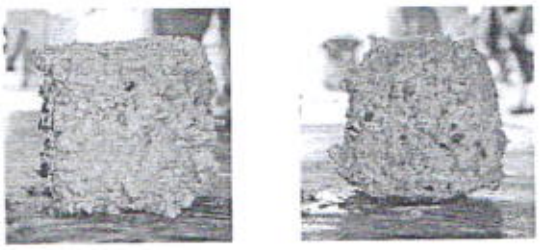
จากรูปที่ 4, 5 และ 6 พบว่าตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียด มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียดในทุกความเข้มข้นของสารละลาย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหินฝุ่นมีขนาดเม็ดใหญ่กว่าทรายเล็กน้อย และมีเหลี่ยมคมมากกว่าทราย จึงทำให้ยึดเกาะตัวกับเพสต์ได้ดีกว่าทราย [11]

การกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟูริกกับเพสต์เป็นหลัก ดังนั้นพฤติกรรมการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกที่กระทำกับมอร์ต้าร์จึงเป็นลักษณะการกัดเซาะเพสต์ที่อยู่รอบๆ ผิวของมวลรวม

ละเอียด การกัดเซาะในลักษณะดังกล่าวทำให้ทรายเกิดการหลุดร่วงก่อนหินฝุ่น เนื่องจากทรายมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าหินฝุ่น จึงทำให้การกัดกร่อนเพสต์รอบๆ อนุภาคเม็ดทรายใช้เวลาน้อยกว่าของหินฝุ่น ดังนั้นในระยะเวลาที่เท่ากันของการแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริก การหลุดร่วงของปริมาณเม็ดทรายจะมากกว่าหินฝุ่น ส่งผลให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์ปกติมีค่ามากกว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมหินฝุ่น



รูปที่ 7 ตัวอย่างมอร์ต้าที่ถูกกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนัก



ก) มอร์ต้าร์ที่ผสมหินฝุ่น ข) มอร์ต้าร์ผสมทรายปกติ

รูปที่ 8 การถูกกัดกร่อนของมอร์ต้าร์ผสมทรายปกติและมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นเนื่องจากสารละลายซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่อายุ 90 วัน

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจะแปรผันตรงกับร้อยละของความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก และระยะเวลาของการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกนั้นมีผลต่อการกัดกร่อนคือ เมื่อระยะเวลาการสัมผัสกับกรดซัลฟูริกยิ่งนานเท่าใด การกัดกร่อนก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งแสดงผลอย่างชัดเจนที่อายุ 90 วัน (รูปที่ 8ก และ 8ข) ทั้งนี้อาจเป็นช่วงเวลาที่กรดซัลฟูริกสามารถกัดกร่อนเพสต์ที่หุ้มรอบมวลรวมละเอียดได้มากจนทำให้มวลรวมละเอียดหลุดร่วงออกไปเป็นจำนวนมาก และยังกัดกร่อนต่อไปเรื่อยๆ ในขณะที่ช่วงแรกๆ ที่มีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยก็เนื่องจากว่ากรดซัลฟูริกยังกัดกร่อนเพสต์ที่หุ้มมวลรวมละเอียดได้ไม่รอบนั่นเอง

4. สรุปผล

1) มอร์ต้าร์ที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียด จะมีร้อยละการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์ใกล้เคียงกับมอร์ต้าร์ปกติ โดยที่จะมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่ามอร์ต้าร์ปกติอยู่เล็กน้อย เนื่องมาจากหินฝุ่นมีขนาดโตกว่าทรายเล็กน้อย ทำให้พื้นผิวสัมผัสกับเพสต์น้อยกว่า ความต้องการน้ำเพื่อไปทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จึงมีปริมาณน้อยกว่ามอร์ต้าร์ปกติ

2) มอร์ต้าร์ที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดจะมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่ามอร์ต้าร์ปกติทุกความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก เนื่องจากการถูกกัดกร่อนของเพสต์รอบๆ หินฝุ่นจะต้องใช้เวลานานกว่าที่หินฝุ่นจะเกิดการหลุดร่วง แต่สำหรับทรายจะเกิดการหลุดร่วงได้มากกว่า

3) สำหรับการใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมของมอร์ต้าร์นั้น ไม่สามารถเพิ่มความทนทานต่อการถูกกัดกร่อนจากกรดซัลฟูริกได้โดยตรง เพียงแต่ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักจากการถูกกัดกร่อนจากกรดเท่านั้น เพราะกรดจะทำปฏิกิริยากับเพสต์จนเพสต์เกิดการเปื่อยยุ่ยและเสื่อมคุณสมบัติการยึดเกาะ จนทำให้เกิดการหลุดร่วงของมวลรวมละเอียดอย่างต่อเนื่อง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2548 โดยเป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย "การใช้หินฝุ่นผสมคอนกรีตแทนทราย" ขอขอบคุณโรงโม่หินน้ำเฮง จังหวัดสระบุรี สำหรับการเอื้อเฟื้อหินฝุ่นในงานวิจัย ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยเหลืออุปกรณ์ในการวิจัย ขอบคุณนางสาวศิรินทิพย์ สืบพันธ์โกย สำหรับความช่วยเหลืออย่างดีในทุกด้าน และ

ขอขอบคุณพิเศษแก่ กลุ่มทุนสนับสนุนการวิจัยเพื่อความอยู่รอดของนักวิจัยอย่างยั่งยืน (กสวร.) ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยเพิ่มเติมในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ไตรวุฒิ นพรัตน์, 2548. ข้อมูลเศรษฐกิจและธุรกิจ. สำนักงานวิจัยธุรกิจ. ธนาคารกรุงไทย. <www.cb.ktb.co.th: >.

[2] ชัยวัฒน์ มาตรศรี และอุดม อินสว่าง, 2546. การศึกษากำลังรับแบกทานและแรงอัดทิศทางเดียวของหินฝุ่นผสมปูนซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น.

[3] วิศิษฎ์ เดชพันธ์, 2541. คุณสมบัติของคอนกรีตผสมฝุ่นหินปูน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[4] ปีติ เสรเมธากุล, บุรฉัตร ฉัตรวีระ และสมนึก ตั้งเติมสิริกุล, 2547. การใช้ประโยชน์จากผงหินปูนร่วมกับวัสดุปอซโซลาน. วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, ปีที่ 36, เล่มที่ 1 : 239-262.

[5] เมธี บุญเลี้ยงอุปถัมภ์ และฉัตรชัย ชูพานิช, 2543. คู่มือการทดสอบ หิน ทราย และคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด.

[6] Khamput, P., 2005. Properties of Quarry Dust for Use as Fine Aggregate. Research and Development Journal. The Engineering Institute of Thailand, Vol. 16, No. 2. : 33-37.

[7] Prachoom Khamput, 2006. A Study of Compressive Strength of Concrete used Quarry Dust to Replace Sand. Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2006), Khon Kaen, Thailand.

[8] Prachoom Khamput, 2005. A Study of Compressive Strength of Quarry Dust Concrete Mixed Water Reducing and Accelerating Admixture (W/C = 0.5). 31st Congress on Science and Technology of Thailand, Technopolis, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima.

[9] ประชุม คำพุฒ และ สัจจะชาญ พรัดมะลิ, 2548. การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดแทนทรายและใส่สารผสมเพิ่มประเภทลดปริมาณน้ำและเร่งเวลาการก่อตัว. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 1, ณ โรงแรมระยองรีสอร์ท, จังหวัดระยอง.

[10] Annual Book of ASTM Standards. 1996. Volume 04.02.

[11] ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2542. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 7, กรุงเทพ มหานคร: บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด.