

กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นแทนทราย

Compressive Strength of Mortar Using the Mineral Dust Partial Replacement in Sand

ชูเกียรติ ชูสกุล^{1*} และ ขวัญชีวา หงสตา²
Chookiat Choosakul^{1*} and Khwanchiwa Yongsata²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมแทนทรายโดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของหินฝุ่นและทรายประกอบด้วย ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ หน่วยน้ำหนัก และช่องว่าง การทดสอบขนาดคละ และค่าโมดูลัสความละเอียด ศึกษาคุณสมบัติของมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นแทนทราย ได้แก่ ความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัด โดยนำทรายผสมกับหินฝุ่นที่นำมาจากโรงโม่หิน เอส ซีจี (1995) ตำบลกรูด อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในสัดส่วนการแทนที่ทรายร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 ผลการศึกษาด้านกำลังอัดพบว่าที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน มอร์ตาร์ที่ผสมหินฝุ่นมีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานทุกอัตราส่วนผสม โดยกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมหินฝุ่นร้อยละ 40 มีค่ากำลังอัดสูงที่สุดเท่ากับ 373, 397 และ 578 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุ 3, 7 และ 28 วันตามลำดับ

คำสำคัญ: มอร์ตาร์, หินฝุ่น, ทรายหยาบ, กำลังรับแรงอัด

ABSTRACT

This research aimed to study the physical properties of mineral dust and sand that consisted of specific gravity, water absorption, unit weight and voids, gradation test and fineness modulus. The properties of mortar using the mineral dust instead of sand, such as density and compressive strength, was explored by using mineral dust brought from the S.C.G (1995) Stone Mill at Krut Sub-district, Kanchanadit District, Suratthani Province ranging from the ratio of 20, 40, 60, 80 and 100 percent.

¹ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210

¹ College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Srivijaya, Khanom, Nakornsrihammarat 80210, Thailand.

² คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

² Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Srivijaya, Sikao, Trang 92150, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): Chookiat56@yahoo.com

According to the experimental investigation, the compressive strength of the mortar mixed with mineral dust was higher than standard mortar in any mixture ratio at the period of 3, 7 and 28 days. The mortar that mixed with 40-percent mineral dust 40 percentages produced the highest of compressive strength of 373, 397 and 578 ksc at 3, 7 and 28 days, respectively.

Key words: mortar, mineral dust, sand, compressive strength

บทนำ

ประเทศไทยนิยมใช้หินปูนในงานก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากมีภูเขาหินปูนกระจายอยู่ทั่วประเทศ การจะนำหินที่อยู่ตามธรรมชาติมาใช้นั้น จะต้องผ่านการแปรรูปให้มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน ซึ่งต้องทำการระเบิดภูเขาหินปูน แล้วเข้าสู่กระบวนการโม่หิน ทำการโม่หินจนมีขนาดที่ต้องการ ขั้นตอนการโม่หินนี้จะมีเศษฝุ่นหินที่เล็กมากจะไม่ผ่านตะแกรงร่อน แต่ปลิวออกมาตกกองทับถมอยู่ด้านใต้เครื่องโม่หินฝุ่นมักจะเป็นวัสดุเหลือใช้ของโรงโม่ที่มีขนาดจำหน่ายน้อย (ส่วนใหญ่ใช้เฉพาะเป็นวัสดุผสมในอิฐบล็อก) ที่เหลือต้องขนออกไปทิ้ง ทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่และค่าใช้จ่ายจำนวนมาก และในขณะเดียวกันคุณสมบัติทางกายภาพของหินฝุ่นและทรายมีขนาดใกล้เคียงกันมาก แต่หินฝุ่นมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงมากกว่าทราย (เผ่าพงศ์ และ ประชุม, 2550)

หินฝุ่น คือ หินปูนบดหยาบๆ เป็นผลพลอยได้จากการโม่หินปูน มีองค์ประกอบขึ้นอยู่กับแหล่งของหินว่ามีสิ่งเจือปนมากน้อยเท่าใด หินฝุ่นจะมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับทรายมาก หินฝุ่นจึงน่าที่จะมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับทรายเมื่อนำมาใช้ผสมในงานคอนกรีต และอีกทั้งหินฝุ่นยังมีราคาถูกกว่าทราย การทดลองหล่อแท่งตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทดสอบหาค่ากำลังอัดในขั้นต้น พบว่า

ได้ค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไปซึ่งสามารถนำไปใช้งานก่อสร้างทั่วไปได้ และสามารถนำไปพัฒนาเป็นคอนกรีตสำหรับใช้ในงานก่อสร้างที่ต้องการกำลังสูงๆ ได้ (ประชุม และ วีระศักดิ์, 2551) โดยในปัจจุบันได้มีการศึกษาการนำหินฝุ่นมาทดแทนมวลรวมละเอียดใช้ในงานมอร์ตาร์และงานคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง (ธีระ, 2552; สุทธิเทพ และ สุรพิน, 2556; พวงแก้ว และคณะ, 2557)

จากข้อมูลการประมาณการผลิตหินในประเทศไทยจะอยู่ที่ประมาณ 150 ล้านตันต่อปี และมีหินฝุ่นเหลือจากการผลิตหินประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2557) ซึ่งมีปริมาณมากและการนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรจะนำหินฝุ่นที่เหลือทิ้งเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดในงานคอนกรีต โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำหินฝุ่นมาใช้แทนทรายบางส่วนในการผสมคอนกรีต โดยคอนกรีตที่ได้จากหินฝุ่นแทนที่ทรายนั้น จะเป็นการลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตเนื่องจากหินฝุ่นมีราคาถูกกว่าทราย (ประชุม และ วีระศักดิ์, 2551) รวมถึงเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า และช่วยลดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการโม่หินด้วยการนำกลับมาใช้ประโยชน์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มวลรวมละเอียดเป็นทรายหยาบและหินฝุ่น จากโรงโม่หินเอสซีจี (1995) ตาบลดรูปจากเอกสารงานวิจัย จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยนำทรายหยาบและหินฝุ่นมาทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าการดูดซึมน้ำ ตาม ASTM C 128 (ASTM, 2001a) ทดสอบหน่วยน้ำหนักอัดแน่น ตาม ASTM C 29 (ASTM, 2001b) และทดสอบขนาดผลตาม ASTM C 136 (ASTM, 2001c)

2. ส่วนผสมของมอร์ตาร์

การศึกษาครั้งนี้ออกแบบส่วนผสมมอร์ตาร์ตาม ASTM 109/C 109M-13 (ASTM, 2013) โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1: 2.75 โดยน้ำหนัก และกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.485 คงที่ตลอดการทดสอบ ใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยน้ำหนักทรายตามลำดับ ส่วนผสมของมอร์ตาร์แสดงไว้ในตารางที่ 1

3. การทดสอบกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์

ทดสอบกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ โดยใช้ก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์ขนาด $50 \times 50 \times 50$ มิลลิเมตร และถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมงตาม ASTM C 109/C 109M-13 (ASTM, 2013) จากนั้นนำตัวอย่างมอร์ตาร์ไปบ่มในน้ำปูนขาวอิ่มตัวเพื่อทดสอบกำลังอัด ตาม ASTM C 109/C 109M-13 (ASTM, 2013) ที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ตามลำดับ

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. คุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวม

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมตามตารางที่ 2 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของหินฝุ่นมีค่าเท่ากับ 2.54 สอดคล้องกับ Rai *et al.* (2104) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมากกับทราย โดยหินฝุ่นมีขนาดเม็ดโตกว่าทรายเมื่อพิจารณาจากค่าโมดูลัสความละเอียด มีค่าหน่วยน้ำหนักอัดแน่นมากกว่าทรายร้อยละ 6.57 และมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าทรายร้อยละ 59

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของมอร์ตาร์

ชนิด	สัดส่วนโดยน้ำหนัก			
	ปูนซีเมนต์	ทราย	หินฝุ่น	น้ำ
Control	1	2.75	-	0.485
MDS ₂₀	1	2.20	0.55	0.485
MDS ₄₀	1	1.65	1.10	0.485
MDS ₆₀	1	1.10	1.65	0.485
MDS ₈₀	1	0.55	2.20	0.485
MDS ₁₀₀	1	-	2.75	0.485

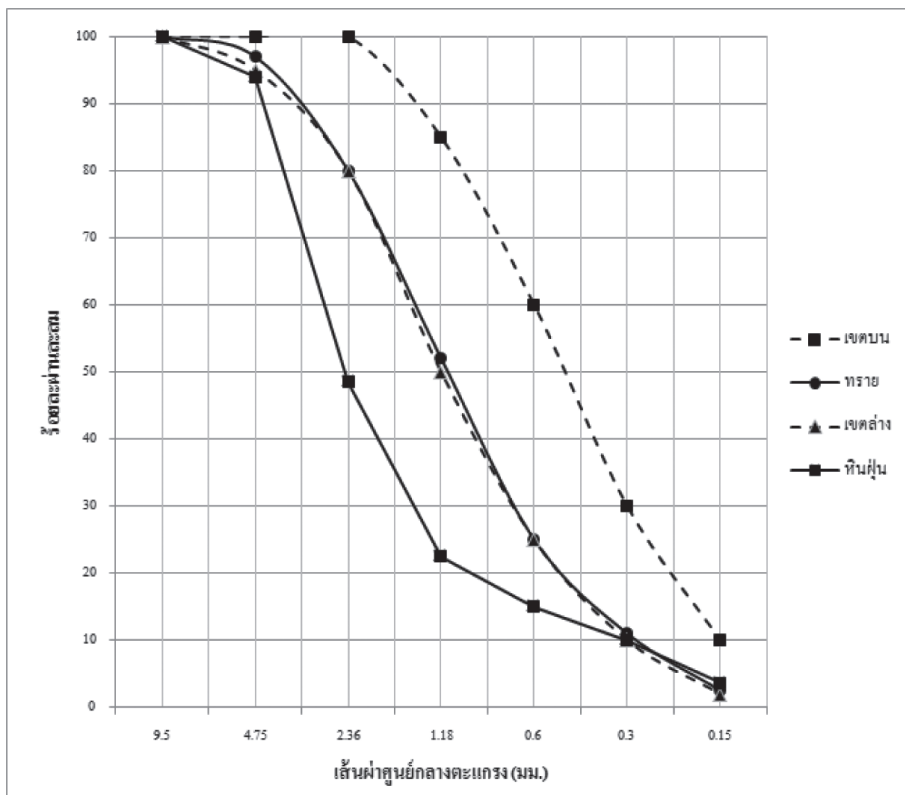
หมายเหตุ: Control หมายถึง มอร์ตาร์ควบคุม, MDS20 หมายถึง มอร์ตาร์ที่แทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นร้อยละ 20

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของทรายหยาบและหินฝุ่น

คุณสมบัติ	ทรายหยาบ	หินฝุ่น	มาตรฐานการทดสอบ
ความถ่วงจำเพาะ	2.55	2.54	ASTM C 128
หน่วยน้ำหนักอัดแน่น (กก./ม. ³)	1659	1768	ASTM C 29
ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	0.44	0.70	ASTM C 128
ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M)	3.38	4.06	ASTM C 136

ในภาพที่ 1 พบว่าทรายมีขนาดละเอียดเป็นไปตาม ASTM C 33 (ASTM, 1997) แต่หินฝุ่นมีขนาดละเอียดไม่เป็นไปตาม ASTM C 33 (ASTM, 1997) ซึ่งหินฝุ่นจะมีขนาดใหญ่กว่าขนาดละเอียดมาตรฐาน มีส่วนที่ค้างบนตะแกรงมากกว่าข้อกำหนด โดยทรายและหินฝุ่น

มีจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายที่ใกล้เคียงกัน เพราะทั้งหินฝุ่นและทรายมีปริมาณของฝุ่นที่ใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ เผ่าพงศ์ และ ประชุม (2550)



ภาพที่ 1 กราฟการเปรียบเทียบขนาดละเอียดของทรายและขนาดละเอียดของหินฝุ่น

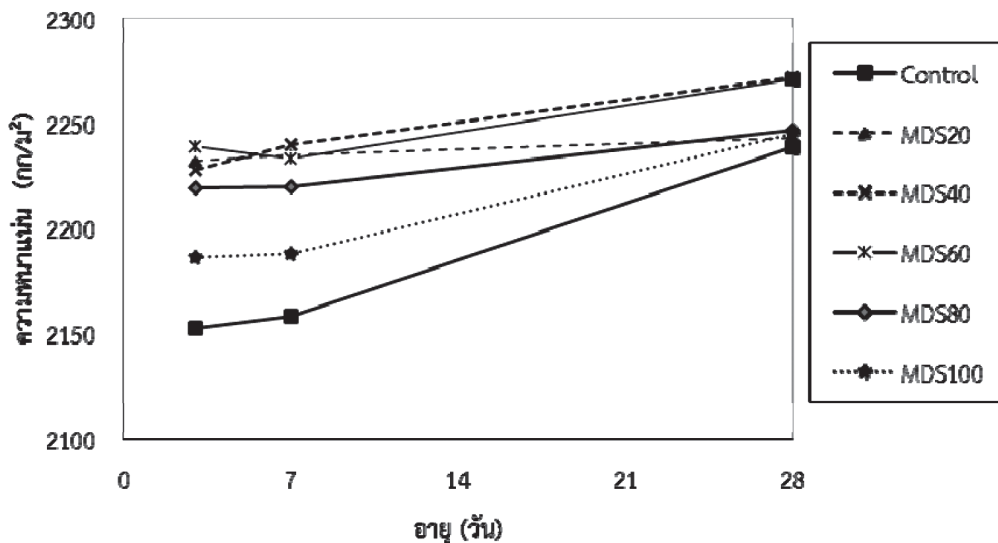
2. ความหนาแน่นของมอร์ตาร์

ผลการทดสอบความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่อายุการบ่ม 3, 7 และ 28 วัน ดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 2 พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุการบ่มเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนการผสม โดยความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ผสมหินฝุ่นแทนทรายจะมีค่ามากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม

ทุกอัตราส่วนผสม ทั้งนี้อาจเป็นผลจากช่องว่างในเนื้อของมอร์ตาร์ลดลง เนื่องจากเมื่อนำหินฝุ่นมาผสมกับทรายบางส่วนจะทำให้ขนาดคละของมวลรวมละเอียดดีกว่าการใช้ทรายล้วน หินฝุ่นมีขนาดเล็กกว่าหินแต่ใหญ่กว่าทรายเล็กน้อย จึงทำให้มีการกระจายตัวของมวลรวมที่ดีสอดคล้องกับงานวิจัยของอุดมวิทย์และอรรรถพล (2559)

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นและร้อยละความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นแทนทรายเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

ชนิด	ความหนาแน่น (กก./ม. ³) - ร้อยละความหนาแน่น (%)		
	3 วัน	7 วัน	28 วัน
Control	2152-100	2158-100	2239-100
MDS ₂₀	2232-104	2235-104	2243-100
MDS ₄₀	2228-104	2240-104	2272-101
MDS ₆₀	2239-104	2233-103	2271-101
MDS ₈₀	2219-103	2220-103	2247-100
MDS ₁₀₀	2186-102	2188-101	2245-100



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอายุของมอร์ตาร์

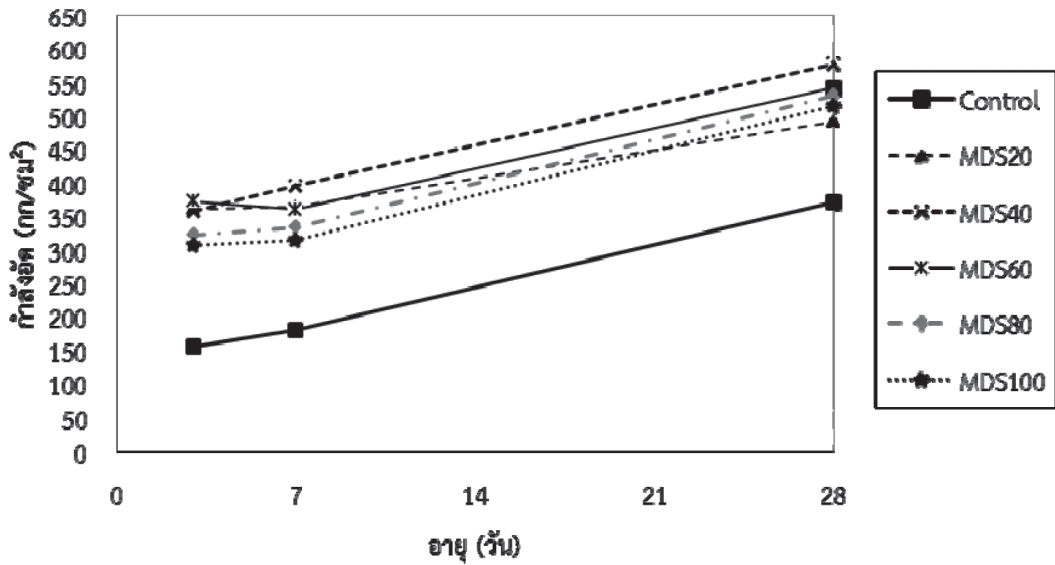
3. กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ที่อายุการบ่ม 3, 7 และ 28 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 3 พบว่าค่ากำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ทุกอัตราส่วนผสมมีการพัฒนากำลังอัดประลัยเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Malhotra and Mehta, 1996) และค่ากำลังอัดประลัยสูงกว่าที่ ASTM C 109/C 109M-13 (ASTM, 2013) ได้กำหนดไว้ โดยกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นแทนทรายจะมีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมทุกอัตราส่วนการแทนที่และทุกช่วงระยะเวลา ทั้งนี้เนื่องจากมวลรวมที่เป็นหินฝุ่นมีอนุภาคที่เป็นเหลี่ยมและผิวหยาบกว่าอนุภาคของทรายจึงทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์ได้ดีกว่า ทำให้กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของประชุม และ กิตติพงษ์ (2552) และ

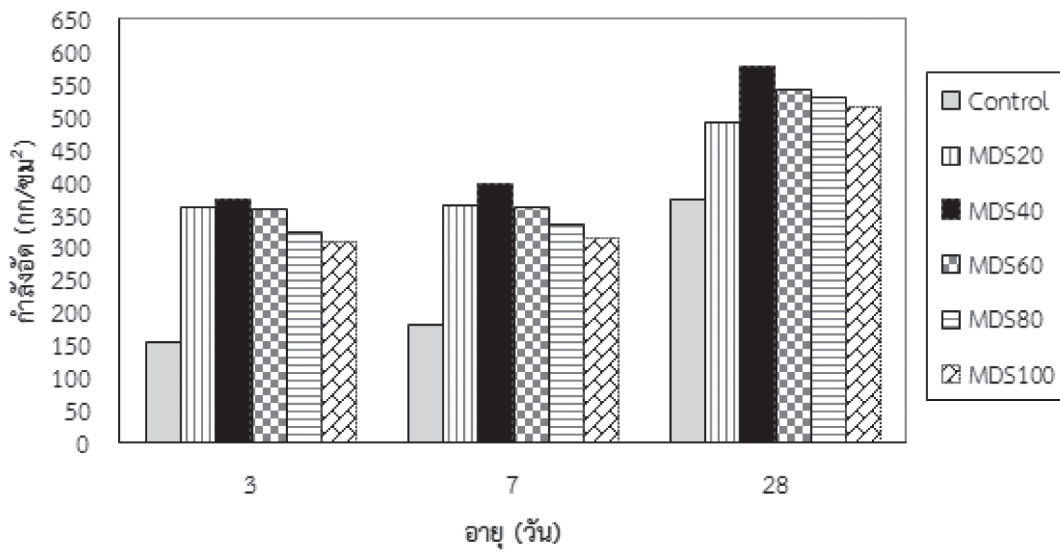
อุดมวิทย์ และ อรรถพล (2559) นอกจากนั้นมวลรวมที่เป็นหินฝุ่นซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าทรายจึงให้กำลังอัดประลัยดีกว่า (ปริญญา และ ชัย, 2556) โดยที่อายุการบ่ม 28 วัน ค่ากำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นแทนทรายจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มของปริมาณหินฝุ่นคือที่ร้อยละ 20 และ 40 จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 132 และ 155 ของมอร์ตาร์ควบคุม แต่เมื่อผสมหินฝุ่นเกินร้อยละ 40 ค่ากำลังอัดประลัยจะมีแนวโน้มลดลงตามการปริมาณการเพิ่มของหินฝุ่นกล่าวคือที่ร้อยละ 60, 80 และ 100 จะมีค่าเป็นร้อยละ 146, 142 และ 138 ของมอร์ตาร์ควบคุมตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lohani *et al.* (2012) และ Rai *et al.* (2014) ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังอัดประลัยที่อายุการบ่ม 3, 7 และ 28 วัน ของมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นแทนทรายในอัตราร้อยละที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 กำลังอัดและร้อยละกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นแทนทรายเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

ชนิด	กำลังอัดประลัย (กก./ซม. ²) - ร้อยละกำลังอัดประลัย (%)		
	3 วัน	7 วัน	28 วัน
Control	155-100	181-100	372-100
MDS ₂₀	362-234	365-202	492-132
MDS ₄₀	373-241	397-219	578-155
MDS ₆₀	358-231	361-199	542-146
MDS ₈₀	322-208	334-185	530-142
MDS ₁₀₀	307-198	315-174	515-138



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างก้างรับแรงอัดประลัยกับอายุของมอร์ตาร์



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของค่าก้างอัดประลัยตามอายุการบ่มกับร้อยละต่างๆ ของหินฝุ่น

สรุปผล

ผลการศึกษาคณสมบัติของมอร์ตาร์ที่ใช้ หินฝุ่นแทนทรายในครั้งนี้สรุปได้ว่า หินฝุ่นสามารถนำมาใช้ทดแทนทรายบางส่วนได้ในงานคอนกรีต โดยเมื่อใช้หินฝุ่นทดแทนทรายจะทำให้ความหนาแน่นและค่ากำลังอัดประลัยเพิ่มขึ้น โดยเมื่อนำหินฝุ่นมาแทนที่ทรายบางส่วน ทำให้ความหนาแน่นและกำลังอัดประลัยมีค่าดีขึ้น แต่เมื่อหินฝุ่นมีปริมาณสูงมีผลทำให้ขนาดคละของมวลรวมละเอียดไม่ดีค่ากำลังอัดประลัยก็จะลดลง โดยสัดส่วนการใช้หินฝุ่นทดแทนทรายที่ร้อยละ 40 ดีที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ โดยมอร์ตาร์มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2272 กก./ม.³ คิดเป็นร้อยละ 101 ของมอร์ตาร์ควบคุมและมีค่ากำลังรับแรงอัดประลัย เท่ากับ 492 กก./ชม.² คิดเป็นร้อยละ 155 ของมอร์ตาร์ควบคุม ที่อายุ 28 วัน ซึ่งอัตราส่วนนี้ทำให้มวลรวมมีการคละขนาดที่ดีที่สุด จึงทำให้ช่องว่างในมอร์ตาร์มีน้อย และเมื่อมอร์ตาร์มีความแน่นกว่า มอร์ตาร์ที่แทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นในอัตราส่วนผสมอื่น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณที่มงานวิจัยคุณ วารรณวิศา ไชยภักดี คุณเอมอร เป็ไชสง และสาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และห้องทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2557. **Department of Primary Industries and Mines.** Available Source: <http://www1.dpim.go.th/wbd/question.php?gid=00000959>, 15 ธันวาคม 2557.

ธีระ เทพพรหม. 2552. การศึกษากำลังอัดคอนกรีต โดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ กรณีศึกษา หินฝุ่นโรงโม่หิน นราธิวาส โรงโม่หิน. **วารสาร มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์** 1(2): 28-41.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2556. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 7. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ประชุม คำพุด และ วีระศักดิ์ ละอองจันทร์. 2551. การดูซึมน้ำและกรดกัดกร่อนของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่น, ใน **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6.** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ประชุม คำพุด และ กิตติพงษ์ สุวีโร. 2552. การกัดกร่อนจากกรดซัลฟูริกของมอร์ตาร์ผสมโคลอไมต์และมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่น, น. 718-725. ใน **รายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 (สาขาสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมศาสตร์).** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี และ ประชุม คำพุด. 2550. **รายงานวิจัยการใช้หินฝุ่นแทนทรายในงานคอนกรีตผสมถ้ำลอย.** คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

พวงแก้ว บัวทอง, รวิกานต์ อมฤตเบญจฤทัย และ ดนุพล ตันนโยภาส. 2557. สมบัติของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตคัดแปร. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ** 17(1): 5-12.

สุทธิเทพ รมยเวศม์ และ สุรพิน พรหมแดน. 2556. **รายงานการวิจัยการศึกษาการนำหินฝุ่นจากโรงโม่หินมาใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรง.**

- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ภาคพายัพ.
อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ และ อรรถพล มาลัย.
2559. การศึกษาผลของการบ่มต่อกำลังอัด
ของคอนกรีตที่ใช้ชนิดและวัสดุประสาน
ร่วมต่างกัน. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ** 26(1): 13-18.
- ASTM. 1997. ASTM C 33. Standard Specification
Concrete Aggregates. Annual Book of
ASTM Standards, American Society for
Testing and Materials, Philadelphia.
- ASTM. 2001a. ASTM C 128. Standard Test
Method for Specific Gravity and Absorption
of Fine Aggregate. Annual Book of ASTM
Standards, American Society for Testing
and Materials, Vol. 04.02, Philadelphia.
- ASTM. 2001b. ASTM C 29. Standard Test
Method for Unit Weight and Voids in
Aggregates. Annual Book of ASTM
Standards, American Society for Testing
and Materials, Vol. 04.02, Philadelphia.
- ASTM. 2001c. ASTM C 136. Standard Test
Method for Sieve Analysis of Fine and
Coarse Aggregates, Annual Book of
ASTM Standards, American Society
for Testing and Materials, Vol. 04.02,
Philadelphia.
- ASTM. 2013. ASTM C 109/C 109M-13. Standard
Test Method for Compressive Strength
of hydraulic cement mortars (using 2-in or
[50-mm] cube specimens). Annual Book
of ASTM Standards. American Society
for Testing and Materials, Vol. 04.01, West
Conshohocken.
- Lohani, T.K., Padhi, M., Dash, K.P. and Jena, S.
2012. Optimum utilization of quarry dust as
partial replacement of sand in concrete.
**International Journal of Applied Science
and Engineering Research** 1(2): 391-404.
- Malhotra, V.M. and Mehta, P.K. 1996. **Pozzolanic
and Cementitious Materials**. Gordon and
Breach Publishers, Canada.
- Rai, B., Kumar, S. and Satish, K. 2014. Effect of
fly ash on mortar mixes with quarry dust as
fine aggregate. **Advances in Materials
Science and Engineering** 2014: 1-7.