บทความวิจัย

สมบัติของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตดัดแปร
Properties of Mortar Blended Modified Granite Fine

พวงแก้ว บัวทอง[1] รวิกานต์ อมฤตเบญจฤทัย[1] และ ดนุพล ตันนโยภาส[2*]
Poungkaew Bouthong[1] Rawikan Amritbenjaruethai1 and Danupon Tonnayopas[2*]

บทคัดย่อ

ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตที่ดัดแปร โดยบดหินฝุ่นแกรนิตและคัดขนาดละเอียดกว่า 45 ไมครอน และเผาที่อุณหภูมิ 900 และ 1,050 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ในมอร์ต้าร์ด้วยอัตราส่วนผสมร้อยละ 0 5 10 และ 15 ไม่บ่มและบ่มด้วยความชื้นที่ 7 และ 28 วัน เพสต์ตรวจสอบการก่อตัว อุณหภูมิไฮเดรชัน และความถ่วงจำเพาะ ส่วนตัวอย่างมอร์ต้าร์ได้ประเมินค่าความหนาแน่นรวม ความแข็งแบบชอร์ กำลังอัด และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส 10% บ่ม 28 วัน มีกำลังอัดสูงสุดประมาณ 61 เมกะพาสคัล และยังพบว่าหินฝุ่นแกรนิตเผานั้นเป็นวัสดุสารสีเซรามิกและเป็นวัสดุแร่ผสมเพิ่มอย่างมีประสิทธิผลของมอร์ต้าร์ได้

คำสำคัญ : หินฝุ่นแกรนิตดัดแปร มอร์ต้าร์ แร่ผสมเพิ่ม กำลังอัด วัสดุสารสีเซรามิก

Abstract

The physical and mechanical properties of mortar blended modified granite fine (MGF) was investigated. The granite fine (GF) was ground and seived particle size less than 45 micron then modified GF heated at temperature of 900°C and 1,050°C for 2 hours. Portland cement, Type 1 of mortar was partially replaced in the proportion of 0%, 5%, 10% and 15%wt. uncured and cured in water for 7 and 28 days. The MGF pastes had been examined on setting time, specific gravity and hydraulic temperature. The mortar specimens were determined on bulk density, Shore hardness and compressive strength and X-ray diffraction and scanning electron microscope. Experimental results revealed mortars blended 10% MGF at 1,050°C curing for 28 days given the highest compressive strength of 61 MPa. MGF was indicated to be an effective ceramic pigment and mineral admixture for mortars.

Keywords: Modified Granite Fine, Mortars, Mineral Admixture, Compressive Strength, Ceramic Pigment

[1] บัณฑิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ 90112
[2] รศ.ดร., ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ 90112
[*] Corresponding author: โทรศัพท์/โทรสาร 074 558 834 ต่อ 7318 อีเมล์ danupon.t@psu.ac.th

Thaksin.J., Vol.17 (1) January-June 2014

บทนำ

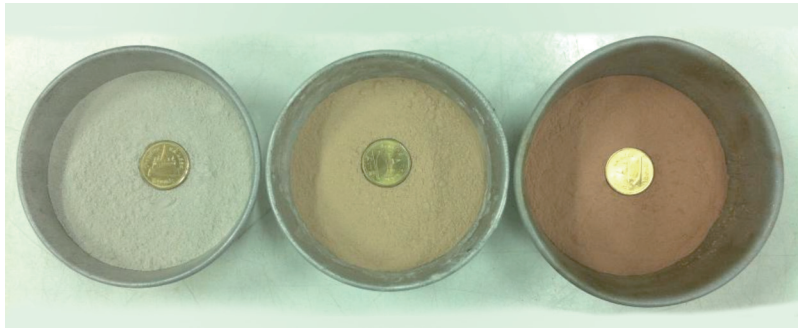
อุตสาหกรรมเหมืองแร่และโรงโม่หินอยู่คู่กับประเทศไทยเป็นเวลานาน เพื่อผลิตวัตถุดิบในงานก่อสร้างอาคารและวัสดุอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ จึงมีอุปสงค์หินและแร่ชนิดต่างๆ สูง และของเสียที่เหลือจากการนำไปผลิตเป็นวัตถุดิบต่างๆ ก็มากเช่นเดียวกันด้วย เช่น หินฝุ่นจากโรงโม่หินเป็น ในปัจจุบันงานก่อสร้างอาคารทั่วไป ส่วนใหญ่มักนิยมก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แสดงให้เห็นว่าความนิยมในการเลือกใช้วัสดุคอนกรีต (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่ม) และเหล็กเส้น เป็นวัสดุที่มีปริมาณการใช้มาก ดังนั้นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งเป็นส่วนผสมหลัก จึงมีความต้องการสูง แต่เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์นั้นได้ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซที่มีผลต่อการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ดังนั้นจึงมีความคิดในการลดใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลง โดยใช้วัสดุอื่นทดแทน ได้แก่ หินฝุ่นแกรนิตที่เหลือจากกระบวนการโม่หิน ดนุพลและอภิชาติ [1] ได้นำหินฝุ่นแกรนิตผสมในคอนกรีตมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันพบว่าให้กำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติ Mármol et al. [2] ศึกษาตะกอนหินแกรนิตทำมอร์ต้าร์ปูนให้สี (coloured cement-based mortars) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ SiO_2, $Al2O_3$, CaO และ Fe_2O_3 พบว่าการแทนที่ $CaCO_3$ ด้วยตะกอนทิ้งจากแกรนิต (granite sludge) นั้นได้เพิ่มกำลังอัดจาก 5.2 เป็น 6.25 เมกะพาสคัล และตะกอนดังกล่าว สามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ได้ร้อยละ 10 ยังคงมีสมบัติเดิมรวมไปถึงตะกอนทิ้งจากแกรนิต ได้เปลี่ยนเป็นสารสีซึ่งมีสีแดงจากการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700-800°C ในเวลาอันสั้น

การพัฒนาคอนกรีตสีอัดตัวแน่นเองได้เปิดโอกาสการประยุกต์งานใหม่ เพิ่มสิ่งท้าทายการออกแบบสถาปัตยกรรมทั้งในรูปทรงและสี คุณลักษณะความงามศิลปินแปรผันตามคอนกรีตสีแบบเดิม คุณประโยชน์ของการทดสอบใช้ซีเมนต์เพสต์หรือมอร์ต้าร์เป็นขั้นตอนสู่การออกแบบคอนกรีตอัดตัวแน่นเอง ทำให้รู้ถึงสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นประโยชน์ในการผลิตมอร์ต้าร์ [3] วิธีการออกแบบสำหรับคอนกรีตอัดตัวแน่นเอง นอกจากนี้ยังรวดเร็วและง่ายต่อการหาสัดส่วนผสมที่ประกอบด้วยเม็ดสีชนิดต่างๆ ปูนซีเมนต์ แร่ผสมเพิ่ม และสารเติมทางเคมี [4] พบว่าใช้เถ้าตะกอนน้ำทิ้งผสมในมอร์ต้าร์ที่เผาอุณหภูมิต่างกัน พบว่าเปลี่ยนสีผิวมอร์ต้าร์เติมเถ้าเป็นสีแดง เขียวและน้ำเงิน [5] ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มุ่งเปลี่ยนสีของวัสดุคอนกรีตหรืออิฐบล็อก อันช่วยเพิ่มมูลค่าและเป็นการลดของเสียและพื้นที่ในการฝังกลบ ผลที่ได้นอกจากจะเป็นการพัฒนาด้านเทคโนโลยีวัสดุก่อสร้างแล้ว ยังลดการใช้และสามารถใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วิธีการ วัสดุและอุปกรณ์

ลักษณะและการเตรียมวัตถุดิบ

วัสดุที่ใช้ประกอบด้วย หินฝุ่นแกรนิตที่นำมาจากเหมืองแกรนิต บ้านทุ่งหวัง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา มาบดด้วยเครื่องบดปากกรวย (cone crusher) และเครื่องบดแบบลูกบอลกระแทก (jar mill) และคัดขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน ตาม ASTM C128 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อีกสองส่วนนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900 และ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ภาพที่ 1) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 1 พบว่าไม่แตกต่างกันในระดับนัยสำคัญ มีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ราวร้อยละ 64-65 รองลงมาคืออะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 14-15 และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 4-5 ล้วนเป็นสารประกอบสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน [6] และไม่ต่างจากหินฝุ่นของดนุพลและอภิชาตใช้ [1] แต่สิ่งต่างออกไปคือสีของหินฝุ่นจากสีเทาไปเหลืองและน้ำตาลแดงตามอุณหภูมิเผา ซึ่งน่าจะเกิดเปลี่ยนแปลงแรงยึดเกาะกันของกลุ่มอนุภาคของหินฝุ่นแกรนิตต่อจลน์ของสี (color kinetics) [7]



ภาพที่ 1 สีหินฝุ่นแกรนิตบดละเอียด ก) ไม่เผา ข) เผาที่ 900°C และ ค) เผาที่ 1,050°C

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของหินฝุ่นแกรนิตด้วยวิธี XRF

ปริมาณ / หินฝุ่นแกรนิต	องค์ประกอบทางเคมี (%)									
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	TiO_2	P_2O_5	MgO	LOI
ไม่เผา	64.62	15.02	4.65	8.52	3.38	2.03	0.48	0.50	0.43	0.80
อุณหภูมิ 900°C	64.32	14.93	4.86	8.62	3.22	2.04	0.60	0.58	0.45	0.38
อุณหภูมิ 1,050°C	65.19	14.92	4.85	7.60	3.45	2.19	0.51	0.52	0.38	0.39

การออกแบบส่วนผสมของมอร์ต้าร์

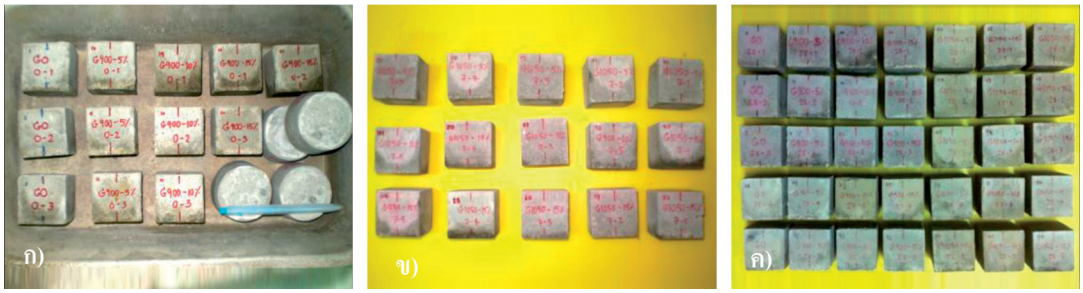
หล่อตัวอย่างในเบ้าโลหะทรงลูกบาศก์ขนาด 50×50×50 มม. ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคือ 0.4 คงที่ตลอดการทดสอบ หินฝุ่นแกรนิตแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 0 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน หล่อมอร์ต้าร์แต่ละอัตราส่วนจำนวน 3 ก้อน รวมทั้งหมด 12 ก้อนต่ออายุบ่มเดียวและสูตรเดียว กำหนดไว้ 3 ช่วง เป็นระยะเวลา 7 และ 28 วันและไม่บ่ม ที่อุณหภูมิห้อง (25±5องศาเซลเซียส) รวมตัวอย่างทั้งหมด 108 ก้อน

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของมอร์ต้าร์ที่ใช้ศึกษา

อัตราส่วนผสม / ชนิดวัสดุ	ปริมาณ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)			
	0	5	10	15
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	250	237.5	225	212.5
หินฝุ่นแกรนิตทั้งปกติและดัดแปร	0	12.5	25.0	37.5
ทราย	600	600	600	600
น้ำ	100	100	100	100

วิธีการทดสอบมอร์ต้าร์

เวลาการก่อตัวของเพสต์ด้วยเข็มไวแคตตามวิธี ASTM C191-01 หลังครบกำหนดบ่มนำมาเช็ดให้ผิวแห้งและชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของก้อนตัวอย่างเพื่อคำนวณความหนาแน่นรวม วัดความแข็งแบบชอร์ด้วยเครื่อง Hardness Tester รุ่น EQUO TIP ทดสอบกำลังอัดตาม ASTM C192 ด้วยเครื่อง K.THAITHAMRONG ENGINEERING, PART. รุ่น KC-150D ซึ่งสามารถใช้กำลังอัดสูงสุดที่ 1,500 kN และเพิ่มอัตราการกดได้สม่ำเสมอในช่วง 85.8 –208.2 กก./ตร.ซม./นาที ซึ่งอัตราที่เหมาะสมอยู่ราว 140 กก./ตร.ซม./นาที ตัวอย่างมอร์ต้าร์ทดลองแสดงไว้ในภาพที่ 2 ซึ่งสังเกตว่ามีสีผิวทั้งสีเทา เหลืองและแดงอ่อน อันได้รับอิทธิพลมาจากชนิดและปริมาณของหินฝุ่นแกรนิตที่ผสมลงไป (ภาพที่ 1)

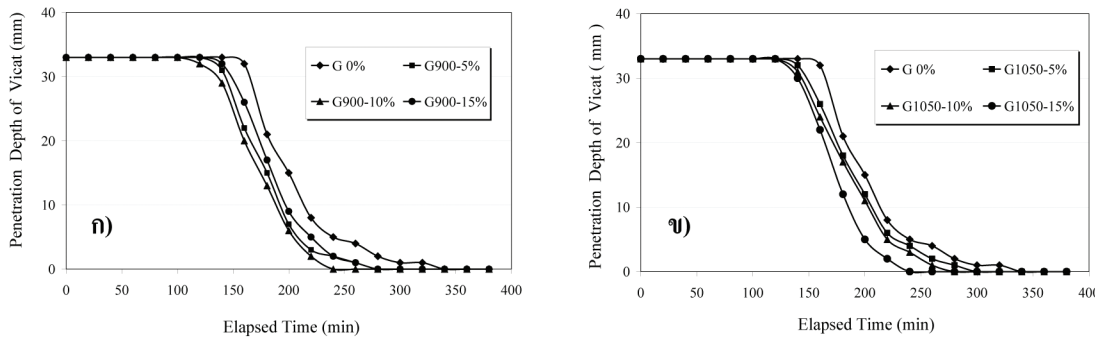


ภาพที่ 2 ตัวอย่างมอร์ต้าร์ ก) ไม่บ่ม ข) บ่ม 7 วัน และ ค) บ่ม 28 วัน

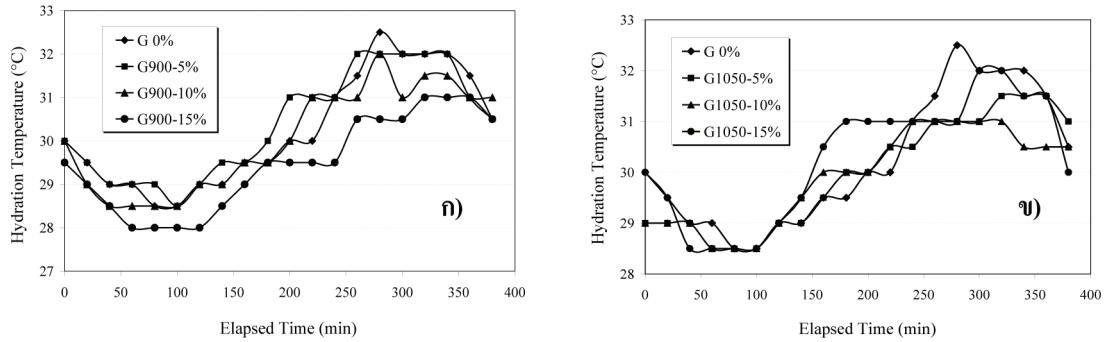
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เวลาก่อตัวของเพสต์

เพสต์ที่ก่อตัวช้าที่สุดคือ เพสต์ที่ไม่ผสมหินฝุ่นแกรนิต เวลาก่อตัวเริ่มต้นที่ 160 นาที เวลาในการก่อตัวครั้งสุดท้าย 340 นาที และในกรณีที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C พบว่าเพสต์ที่ก่อตัวเร็วที่สุดคือ เพสต์ผสมหินฝุ่นแกรนิตร้อยละ 10 เริ่มก่อตัวที่เวลา 120 นาที ก่อตัวเสร็จที่เวลา 240 นาที (ภาพที่ 3 ก) ในกรณีที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C น้ำปูนข้นที่มีการก่อตัวเร็วที่สุดคือ ผสมหินฝุ่นแกรนิตปริมาณร้อยละ 15 เริ่มก่อตัวที่เวลา 140 นาที ก่อตัวเสร็จที่เวลา 240 นาที (ภาพที่ 3 ข) เมื่อพิจารณาช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการก่อตัว พบว่าการผสมหินฝุ่นแกรนิตช่วยทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเร็วขึ้น



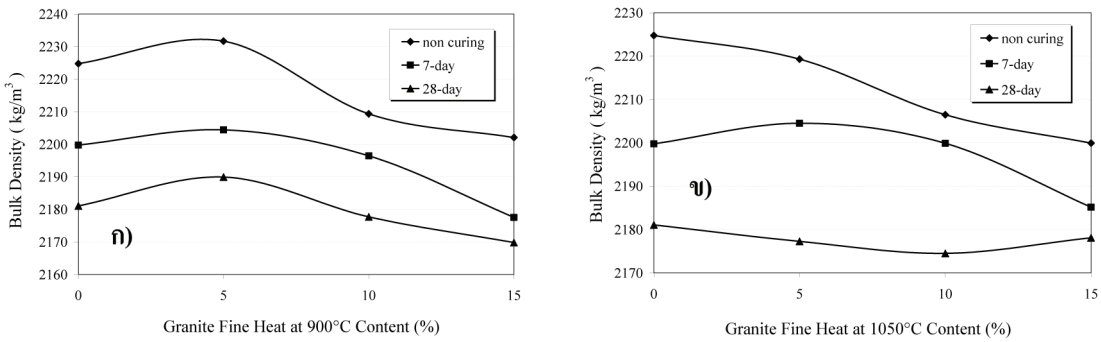
ภาพที่ 3 พฤติกรรมก่อตัวของเพสต์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่ ก) 900°C และ ข) 1,050°C



ภาพที่ 4 พฤติกรรมอุณหภูมิไฮเดรชันช่วงก่อตัวของเพสต์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่ ก) 900°C และ ข) 1,050°C

ความหนาแน่นรวมของมอร์ต้าร์

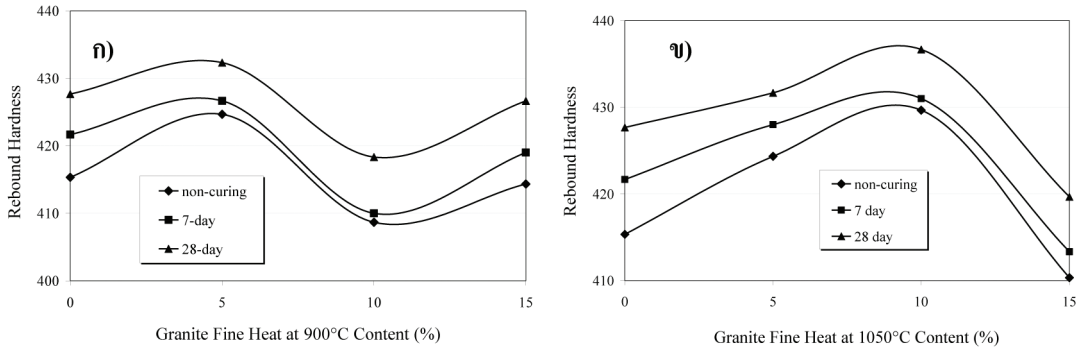
ความหนาแน่นรวมของก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์ ในกรณีที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณของหินฝุ่นแกรนิตเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าความหนาแน่นรวมของมอร์ต้าร์เติมหินฝุ่นแกรนิตเผาร้อยละ 5 สูงสุดประมาณ 2,230 กก./ลบ.ม. (ภาพที่ 5 ก) ส่วนมอร์ต้าร์ที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C พบว่าค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณของหินฝุ่นแกรนิตดัดแปรเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยที่ค่าความหนาแน่นรวมสูงสุดคือ ที่เติมหินฝุ่นแกรนิตเผาร้อยละ 5 ประมาณ 2,220 กก./ลบ.ม. (ภาพที่ 5 ข) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นรวมระหว่างไม่บ่ม บ่ม 7 และ 28 วัน พบว่าค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีอายุบ่มเพิ่มขึ้น นั้นน่ามีความเป็นนัยว่าคอนกรีตมีความพรุนมากขึ้น



ภาพที่ 5 ความหนาแน่นรวมของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่ ก) 900°C และ ข) 1,050°C

ความแข็งแบบชอร์

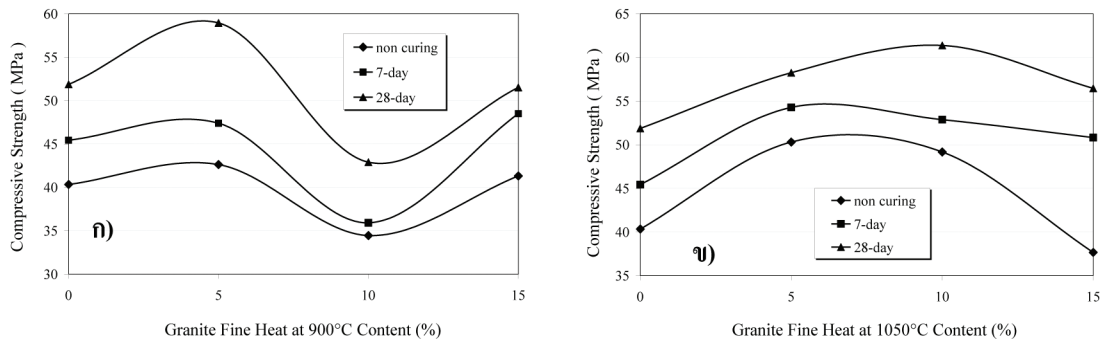
ความแข็งแบบชอร์ของมอร์ต้าร์ที่อายุบ่มเพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในกรณีที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C ปริมาณร้อยละ 5 พบว่าค่าความแข็งแบบชอร์เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.09-2.25 แต่เมื่อผสมมากขึ้นค่าความแข็งแบบชอร์มีแนวโน้มลดลงร้อยละ 0.23-2.77 ค่าความแข็งแบบชอร์สูงสุดเท่ากับ 432.33 ของสูตรผสมร้อยละ 5 บ่ม 28 วัน และค่าต่ำสุดเท่ากับ 408.67 ที่ผสมร้อยละ 10 ไม่บ่ม (ภาพที่ 6 ก) ในกรณีที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C พบว่าเมื่อผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณร้อยละ 10 ค่าความแข็งแบบชอร์มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.93-3.34 แต่เมื่อเกินร้อยละ 10 ค่าความแข็งแบบชอร์ลดลงร้อยละ 1.21-1.98 โดยที่ค่าความแข็งแบบชอร์ของมอร์ต้าร์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 436.67 ที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาร้อยละ 10 บ่ม 28 วัน และค่าต่ำสุดเท่ากับ 410.33 ที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาร้อยละ 15 ไม่บ่ม (ภาพที่ 6 ข)



ภาพที่ 6 ความแข็งแบบชอร์ของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่ ก) 900°C และ ข) 1,050°C

กำลังอัด

พบว่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม กรณีที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C เมื่อผสมในปริมาณร้อยละ 5 พบว่าค่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.12-12.01 แต่เมื่อผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น พบว่าค่ากำลังอัดได้ลดลงร้อยละ 0.67-20.96 โดยค่ากำลังอัดสูงสุด 58.95 เมกะพาสคัล ของมอร์ต้าร์ที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาร้อยละ 5 บ่ม 28 วัน และค่ากำลังอัดต่ำสุด 34.45 เมกะพาสคัล ของมอร์ต้าร์ผสมร้อยละ 10 ไม่บ่ม (ภาพที่ 7 ก) ในกรณีหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C พบว่าผสมร้อยละ 10 ค่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.59-19.82 แต่ผสมเกินร้อยละ 10 ค่ากำลังอัดมีแนวโน้มที่ลดลงร้อยละ 1.42-6.62 ซึ่งค่ากำลังอัดสูงสุดคือ 61.38 เมกะพาสคัล ที่ผสมร้อยละ 10 อายุบ่ม 28 วัน และค่ากำลังอัดต่ำสุดเท่ากับ 37.66 เมกะพาสคัล ที่ผสมปริมาณร้อยละ 15 ไม่บ่ม (ภาพที่ 7 ข) พบว่าความแข็งแบบชอร์สอดคล้องกับค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมหินฝุ่นเผาทั้งสองอุณหภูมิได้อย่างดี จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตแบบไม่ทำลายตัวอย่าง เทียบกับผลการศึกษาของ Mármol et al. [1] ค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ครั้งนี้สูงกว่า 40 เมกะพาสคัล และมอร์ต้าร์ทุกสูตรผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาและทุกอายุบ่มมีค่าดัชนีกำลังเกินร้อยละ 75 สาเหตุเนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์กับอนุภาคซิลิกาถูกกระตุ้นด้วยความร้อน จึงพัฒนากำลังต่อเนื่องมา



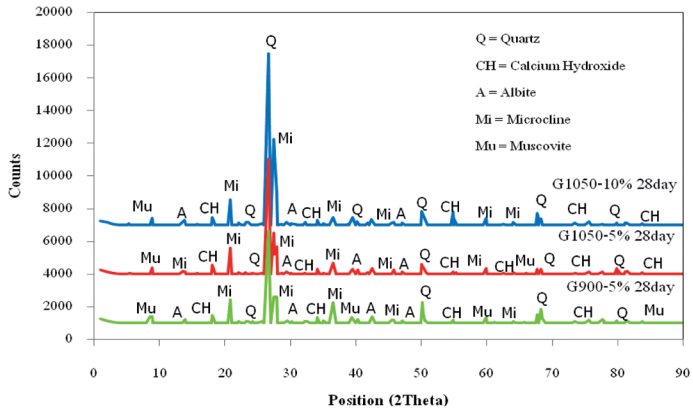
ภาพที่ 7 กำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่ ก) 900°C และ ข) 1,050°C

การเกิดวัฏภาคของแร่ในมอร์ต้าร์

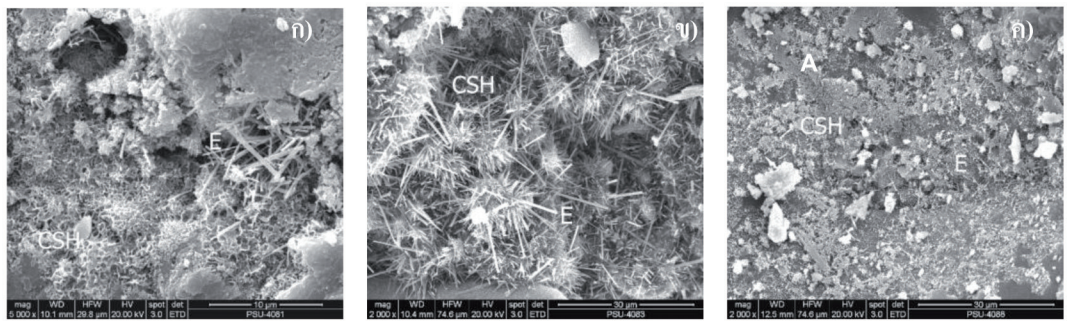
ผลวิเคราะห์ XRD ของก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่มีค่ากำลังอัดสูงสุด 3 สูตรคือ สูตรผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C ปริมาณร้อยละ 5 สูตรผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C ปริมาณ 5% และสูตรผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C ปริมาณร้อยละ 10 ผลการคำนวณหาปริมาณแร่แต่ละชนิดด้วยวิธีการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ พบว่าจากการวิเคราะห์ไม่พบแอตตริงไกต์ (Ettringite) และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) สันนิษฐานว่าเนื่องจากตัวอย่างที่ตรวจอาจมีปริมาณของแร่ดังกล่าวอยู่น้อยในชิ้นส่วนที่สุ่มไปตรวจ

โครงสร้างจุลภาคของมอร์ต้าร์

จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค (SEM) ของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C ปริมาณร้อยละ 5 และที่อุณหภูมิ 1,050°C ปริมาณร้อยละ 5 และ 10 บ่มที่ 28 วัน ที่มีค่ากำลังอัดสูงสุด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยายต่างกัน จะเห็นได้ว่าโครงสร้างภายในมีการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (ภาพที่ 9) พบลักษณะผลึกแร่รูปคล้ายแท่งเข็มยาวของแอตตริงไกต์ (E) และผลึกแบบกระจุกเข็มแหลมล้อมรอบคล้ายหอยเม่น เรียกว่า แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) หลักฐานในภาพถ่ายครั้งนี้ จึงยืนยันว่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานขึ้นในเนื้อของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตที่ดัดแปร



ภาพที่ 8 ลายพิมพ์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตที่เผา ก) 900°C และ ข) 1,050°C



ภาพที่ 9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตที่บ่ม 28 วัน เผา ก) 900°C ปริมาณร้อยละ 5 ข) 1050°C ปริมาณร้อยละ 5 และ ค) 1050°C ปริมาณร้อยละ10

สรุปผลการทดลอง

หินฝุ่นแกรนิตที่บดละเอียด 45 ไมครอน และเผาที่ 950°C และ 1,050°C พบว่าองค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไปไม่ระดับนัยสำคัญ แต่สมบัติทางกายภาพได้เปลี่ยนแปลงไปคือ สีผงจากเทาขาวไปเป็นเหลืองและแดงตามลำดับ นอกจากนี้การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยหินฝุ่นแกรนิตบางส่วน ในการทดสอบเพสต์พบว่าช่วยให้ระยะก่อตัวของเพสต์เร็วขึ้นและส่งผลให้ผิวมอร์ต้าร์มีสีตามไปด้วย ดังนั้นหินฝุ่นแกรนิตที่เผาจึงมีศักยภาพเป็นวัสดุสารสี (pigment materials) หินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C ผสม 5% 1,050°C ผสม 5% และ 1,050°C ผสม 10% บ่ม 28 วัน มีกำลังอัดเทียบเท่าได้กับคอนกรีตกำลังสูง [8] ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยอายุบ่ม ปริมาณของหินฝุ่นแกรนิตและอุณหภูมิที่เผา นอกจากนี้ค่ากำลังอัดที่บ่ม 7 วัน สามารถพัฒนาทำเป็นคอนกรีตปูถนนได้หรืออิฐคอนกรีตปูทางเท้าได้ เพราะมีคุณลักษณะเทียบได้กับอิฐคอนกรีตของ มอก. 59-2516 [9] ที่กำหนดกำลังอัดไม่น้อยกว่า 210 กก./ตร.ซม. หรือประมาณ 21 เมกะพาสคัล

เอกสารอ้างอิง

[1] ดนุพล ตันนโยภาส และอภิชาติ พ่วงพี. (2550). คอนกรีตมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12** รร.อัมรินทร์ ลากูน จ.พิษณุโลก 2-4 พฤษภาคม 2550 หน้า 175-180.

[2] Mármol, I., Ballester, P., Cerro, S., Monrós, G., Morales, J. and Sánchez, L. (2010). Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-based mortars. **Cement and Concrete Composites, 32(8):** 617-622.

[3] Corinaldesi, V., Monosi, S. and Ruello, M.L. (2012). Influence of inorganic pigments' addition on the performance of coloured SCC. **Construction and Building Materials, 30,** 289-293.

[4] López, A., Tobes, J.M., Giaccio, G. and Zerbino, R. (2009). Advantages of mortar-based design for coloured self-compacting concrete. **Cement and Concrete Composites, 31(10):** 754-761.

[5] Luo, H.L. and Lin, D.F. (2007). Study the surface color of sewage sludge mortar at high temperature. **Construction and Building Materials, 21(1):** 90-97.

[6] ASTM C618 - Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete

[7] Jézéquel, P.-H. and Collin, V. (2007). Mixing of concrete or mortars: Dispersive aspects. **Cement and Concrete Research, 37(9):** 1321-1333.

[8] ASTM C109/C109M (2012). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)

[9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) อิฐคอนกรีต. **มอก. 59 (2516).** 14 หน้า