

ผลกระทบของขนาดผงหินปูนต่อสมบัติของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ผสมและเถ้าแกลบ

Effect of the Particle Size of Limestone Powder on Portland Cement Mortar Mixed with Rice Husk Ash

บุรฉัตร ฉัตรวีระ^[1] และ ณัฐ มากุล^[2]

Burachat Chatveera^[1] and Natt Makul^[2]

^[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

อ. คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121 โทรศัพท์ : (+662) 564-3001-9 ต่อ 3105 โทรสาร: (+662) 564-3010

^[2] สาขาเทคโนโลยีการก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เลขที่ 9 แจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพฯ 10220 โทร. (+662) 544-8000

E-mail: ^[1]cburacha@engr.tu.ac.th, ^[2]shinomomo7@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอผลกระทบของขนาดผงหินปูนต่อสมบัติของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 ผสมเถ้าแกลบที่ผ่านการบด โดยใช้ผงหินปูนที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 12 และ 128 ไมโครเมตร แทนที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของน้ำหนัควัสดุผง และ/หรือ เถ้าแกลบที่ผ่านการบดซึ่งมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 29 ไมโครเมตร แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 20 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุผง นอกจากนั้นอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงสอดคล้องกับปริมาณที่ต้องการสำหรับค่าการไหลเผื่อที่ร้อยละ 110 ± 5 ทดสอบคุณสมบัติได้แก่กำลังอัด การหดตัวแบบแห้งและการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ผลการทดสอบพบว่า ผงหินปูนขนาด 12 ไมโครเมตร ช่วยเพิ่มการกระจายตัวของ วัสดุผงได้ดี ส่งผลให้ความต้องการน้ำลดลง กำลังอัดในช่วงต้นสูงขึ้น ลดการหดตัวแบบแห้งและการขยายตัวสารละลายซัลเฟต แต่อย่างไรก็ตาม ผงหินปูนขนาดอนุภาค 128 ไมโครเมตร กลับทำให้ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้น กำลังในช่วงต้นต่ำ การหดตัวแบบแห้งและการขยายเนื่องจากสารละลายซัลเฟตเพิ่มขึ้น

Abstract

This paper presented the effect of the particle size of limestone powder (LS) on Portland cement mortar mixed with ground rice husk ash (GRHA). Two different sizes of the LS, 12 and 128 μm , were used to partially replace in

Portland cement Type 1 at replacement levels of 5, 10 and 15% by weight of powder materials (Portland cement Type 1, LS and GRHA). GRHA was also used to partially replace in cement at replacement levels of 0, 20 and 40% by weight of powder materials. The water-to-powder materials corresponded to the water requirements that conformed to a flow value at $110\% \pm 5\%$. The tested properties were compressive strength, drying shrinkage and expansion in Na_2SO_4 solution with a concentration of 5% wt. The test results showed that the 12 μm -LS could be improved dispersion, resulted in the reduced water requirement, increased early-age compressive strengths, reduced drying shrinkage and expansion under sulfate attack on the mortars. However, the 128 μm -LS resulted reversely in the increased water requirement reduction, lower compressive strengths at the early stage, increased drying shrinkage and increased expansion under sulfate attack.

1. บทนำ

การค้นคว้าวิจัยในปัจจุบันได้มีการนำสิ่งที่เหลือหรือถูกทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมมาใช้เป็นวัสดุแทนที่ในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดต้นทุนของคอนกรีต หรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น เพิ่มความทนทานให้กับคอนกรีตต่อสภาพการกัดกร่อน ช่วยปรับคุณสมบัติของ

คอนกรีตสดเพื่อให้ทำงานได้ง่ายขึ้น การปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตสามารถใช้วัสดุบางชนิดผสมเพิ่มเติมในปูนซีเมนต์หรือคอนกรีต เช่น วัสดุเฉื่อย (Inert Materials) วัสดุซีเมนต์ (Cementing Materials) และวัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic Materials) [1] คอนกรีตที่ขาดมวลรวมที่ค่อนข้างละเอียดเกิดการแยกตัวได้ง่ายและไม่เหมาะในการลำเลียงโดยการสูบล้างหรือการเทโดยใช้ท่อ การเพิ่มการเกาะตัวของคอนกรีตสามารถทำได้โดยการใช้วัสดุเฉื่อยผสมจำพวกหินปูนบดละเอียด ทรายละเอียด และหินฝุ่น เป็นต้น การใช้วัสดุละเอียดผสมเพิ่มยังช่วยลดการเย็นน้ำและการตกแต่งผิวคอนกรีตทำได้ง่ายขึ้น วัสดุซีเมนต์และวัสดุปอซโซลานนอกจากใช้ปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตเช่นเดียวกับการใช้วัสดุเฉื่อยแล้วยังทำให้คอนกรีตมีกำลังและความทนทานที่ดีขึ้นด้วย [1]

เนื่องจากมีข้อจำกัดของวัสดุผสมดังกล่าวในงานคอนกรีตที่ต้องการปรับปรุงคุณสมบัติ กล่าวคือ ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุดิบที่มีราคาสูงสุดของวัสดุผสมคอนกรีต เพื่อลดต้นทุนในงานคอนกรีตจึงต้องหาวัสดุอื่น ๆ ที่มีมูลค่าต่ำกว่าปูนซีเมนต์มาทดแทน โดยที่คุณสมบัติต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลงหรือเป็นไปในทางที่ดีขึ้น เถ้าแกลบซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลานเมื่อใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น แต่มีข้อด้อยที่โครงสร้างของเซลล์มีขนาดใหญ่และเป็นโพรงมาก การนำมาใช้ต้องบดให้ละเอียดเพื่อลดปริมาณของโพรงเหล่านั้น แต่การบดให้มีขนาดอนุภาคเล็กตามที่ต้องการมีความยุ่งยากและใช้เวลา ส่วนวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เช่น ผงหินปูนมีขนาดอนุภาคเล็กเมื่อนำมาใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์จะทำหน้าที่เป็นวัสดุเติมเต็มหรือเติมแทรก (Filler) ในคอนกรีตช่วยลดความต้องการน้ำ ทำให้โครงสร้างแน่นขึ้น ส่งผลให้กำลังมีค่ามากขึ้น แต่มีข้อจำกัดของปริมาณในการแทนที่ที่เหมาะสมในปูนซีเมนต์ต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการแทนที่ผงหินปูนและ เถ้าแกลบเพื่อนำข้อดีของวัสดุมาลดข้อด้อยของข้อจำกัดดังกล่าว และช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเถ้าแกลบและผงหินปูนได้

2. วัสดุ และวิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. ผงหินปูน จากจังหวัดสระบุรี 2 ขนาด คือ 0 ถึง 100 ไมโครเมตร (LS1) และขนาด 100 ถึง 600 ไมโครเมตร (LS2)
2. เถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้า ปทุมไรชมิล แอนด์แกรนารี จำกัด (มหาชน) ปทุมธานี นำมาบดด้วยเครื่องบด [2] เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
4. น้ำประปาที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 7.0
5. ทรายแม่น้ำละหานดที่อยู่ใต้อาคารอิมตัวผิวแห้งตามมาตรฐาน ASTM C33 [3]

2.2 อัตราส่วนผสมและการทดสอบกำลังอัด

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างมอร์ตาร์ใช้เถ้าแกลบและผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 20 และ 40 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/c) จากการทดสอบการไหลผ่าน (Flow Test) ตามมาตรฐาน ASTM C1437 [4] ใช้อัตราส่วนน้ำที่ทำให้การไหลผ่านเท่ากับร้อยละ 110 ± 5 ทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C109 [5] ที่อายุ 7, 28, 90 และ 150 วัน ตามลำดับ

2.3 คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ

องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธีเบรอน การกระจายขนาดผลึกของอนุภาค ลักษณะพื้นผิวของอนุภาคด้วยเทคนิค SEM และความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD

2.4 คุณสมบัติด้านความทนทาน

การหดตัวแบบแห้งตามมาตรฐาน ASTM C490 [6] โดยใช้แบบหล่อขนาด 25x25x285 มม. และทดสอบการขยายตัวของมอร์ตาร์เนื่องจากสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C1012 [7]

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (C) เถ้าแกลบบด (GRHA) ผงหินปูน (LS)

สัดส่วนผสมของ มอร์ตาร์	ร้อยละการแทนที่ โดยน้ำหนัก		
	C	GRHA	LS
C100	100	-	-
C80R20	80	20	-
C80R15LS5	80	15	5
C80R10LS10	80	10	10
C80R5LS15	80	5	15
C60R40	60	40	-
C60R35LS5	60	35	5
C60R30LS10	60	30	10
C60R25LS15	60	25	15

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

3.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

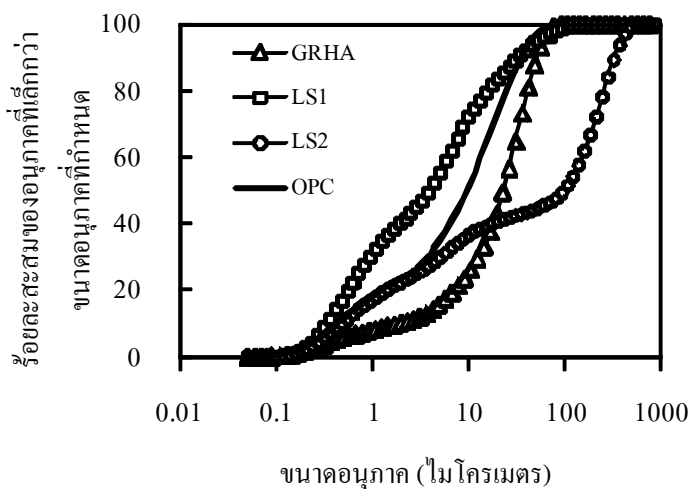
ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุพบว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลักเท่ากับร้อยละ 65.30 มีปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) เท่ากับร้อยละ 20.58 เถ้าแกลบบดมีปริมาณของ SiO₂ เท่ากับร้อยละ 88.75 และองค์ประกอบหลักของผงหินปูน LS1 และ LS2 คือ CaO เท่ากับร้อยละ 46.77 และ 44.94 ตามลำดับ เถ้าแกลบบดมีปริมาณร้อยละของ SiO₂ สูงกว่าปูนซีเมนต์ และผงหินปูนส่วนปริมาณของ CaO ในเถ้าแกลบบดมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์และผงหินปูน ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่า ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์สูงสุด เท่ากับ 3.13 ตามด้วยผงหินปูน LS2 ผงหินปูน LS1 และเถ้าแกลบบด เท่ากับ 2.77, 2.76 และ 2.12 ตามลำดับ ความละเอียดแบบเบลนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าแกลบบด ผงหินปูน LS1 และ LS2 มีค่าเท่ากับ 3200, 4900, 6380 และ 410 ตามลำดับ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตร (D[4,3]) ของผงหินปูน LS1 มีขนาดเล็กสุดเท่ากับ 12 ไมโครเมตร ตามด้วยปูนซีเมนต์

เถ้าแกลบบด และผงหินปูน LS2 เท่ากับ 14, 29 และ 128 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1

ตารางที่ 2 องค์ประกอบเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (C) เถ้าแกลบบด (GRHA) ผงหินปูนชนิดที่ 1 (LS1) และชนิดที่ 2 (LS2)

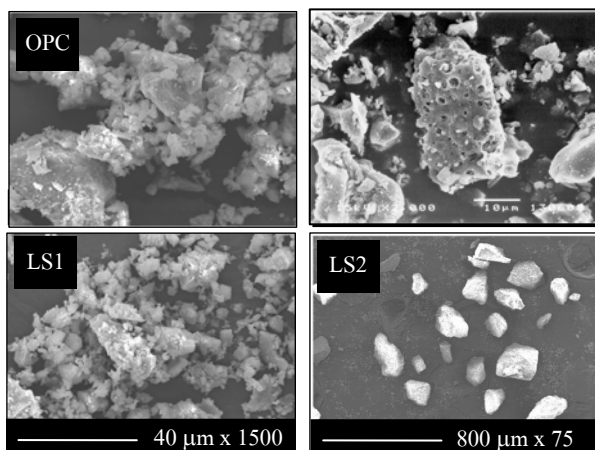
องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	OPC	GRHA	LS1	LS2
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	20.58	88.75	8.97	11.27
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	5.30	0.85	1.02	0.80
ไออนออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	3.41	1.07	0.37	0.32
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	65.30	0.44	46.77	44.94
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	1.39	0.07	2.38	2.92
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.35	1.74	0.13	0.14
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	0.02	0.05	0.02	0.02
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃)	2.26	0.02	0.33	0.12
ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้ (LOI)	1.40	7.27	39.54	38.68
คุณสมบัติทางกายภาพ	C	GRHA	LS1	LS2
ความละเอียดแบบเบลน (cm ² /g)	3200	4900	6380	410
ความถ่วงจำเพาะ	3.13	2.12	2.76	2.77
อนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตร (μm)	14	29	12	128

รูปที่ 2 แสดงภาพถ่ายขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าแกลบบด ผงหินปูน LS1 และ LS2 ด้วยเทคนิค SEM พบว่าอนุภาคของปูนซีเมนต์ มีลักษณะเหลี่ยมมุม พื้นผิวขรุขระ อนุภาคของเถ้าแกลบบดมีลักษณะเป็นโพรงและมีรูพรุนเยอะ ลักษณะอนุภาคของผงหินปูน LS1 มีผิวขรุขระ อนุภาคมีขนาดเล็ก ส่วนผงหินปูน LS2 สามารถเห็นได้ที่กำลังขยายต่ำ มีลักษณะอนุภาคเป็นเหลี่ยมมุมผิวขรุขระ

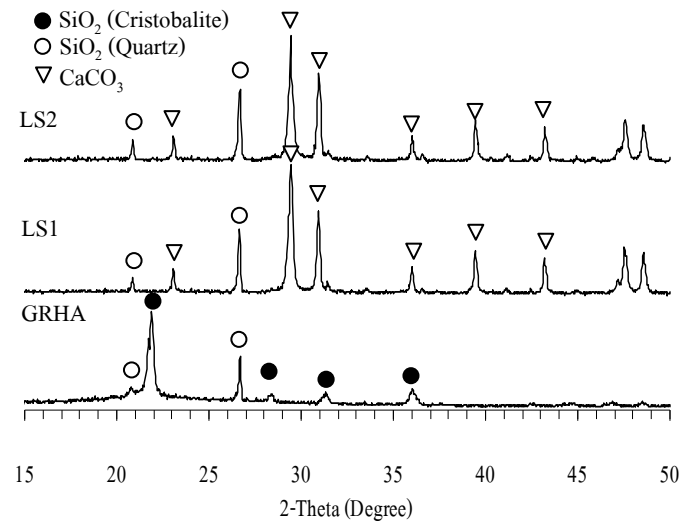


รูปที่ 1 การกระจายขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าแกลบบด
ผงหินปูนชนิด LS1 และ LS2

รูปที่ 3 แสดงผลของการใช้เทคนิค XRD พบว่า
เถ้าแกลบจุด Peak Intensity ของ (SiO_2) ปรากฏชัดเจนที่มุม
2-Theta เท่ากับ 22 และ 27 ส่วนผงหินปูน LS1 และ LS2 มี
Peak Intensity ของ SiO_2 ปรากฏชัดเจนที่มุมเท่ากับ 26.5 และ
มีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ปรากฏชัดเจนที่มุม 2-Theta
เท่ากับ 29.44 และ 30.97



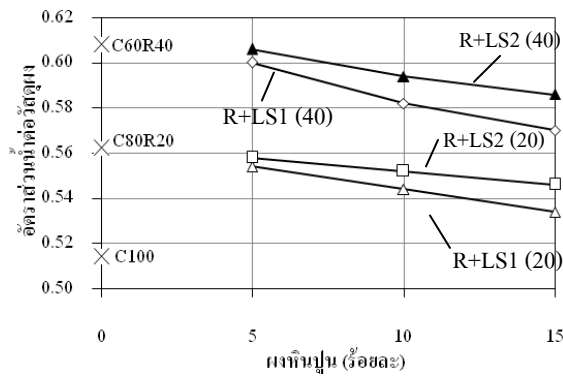
รูปที่ 2 ภาพขยายของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
เถ้าแกลบบด ผงหินปูนชนิด LS1 และ LS2



รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซ์ของ
เถ้าแกลบบด ผงหินปูนชนิด LS1 และ LS2

3.2 ความต้องการน้ำ

รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบความต้องการน้ำของมอร์ต้าผสม
เถ้าแกลบบดและผงหินปูน พบว่า ความต้องการน้ำทุกชุด
ทดสอบมีค่ามากกว่าชุดควบคุม มอร์ต้าแทนที่ด้วยผงหินปูน
และเถ้าแกลบบดมีความต้องการน้ำน้อยกว่ามอร์ต้าแทนที่
ด้วยเถ้าแกลบบดล้วน โดยที่มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของ
ผงหินปูน LS1 (ขนาด 12 ไมโครเมตร) มีค่าความต้องการน้ำ
น้อยสุดที่อัตราส่วนเดียวกัน การแทนที่เถ้าแกลบบดและ
ผงหินปูนร้อยละ 20 มีความต้องการน้ำน้อยกว่าการแทนที่
ร้อยละ 40 โดยมอร์ต้าที่ผสมผงหินปูน LS1 มีความ
ต้องการน้ำน้อยกว่ามอร์ต้าผสมผงหินปูน LS2 (ขนาด 128
ไมโครเมตร) ทั้งนี้เป็นเพราะอนุภาคของผงหินปูน LS2 มี
ขนาดใหญ่กว่าทั้งปูนซีเมนต์และเถ้าแกลบบด สามารถแทรก
สอดเข้าระหว่างอนุภาคเพื่อให้วัสดุกระจายตัวได้น้อยกว่า
ผงหินปูน LS1 ทำให้ต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้การไหลแผ่
เท่ากัน การเพิ่มปริมาณร้อยละการแทนที่ของผงหินปูน (จาก
ร้อยละ 5 เพิ่มขึ้นเป็น 10 และ 15) ช่วยลดความต้องการน้ำได้
เพราะปริมาณของผงหินปูนที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีอนุภาคละเอียด
เยอะขึ้นการกระจายตัวจึงเกิดขึ้น รวมทั้งการเพิ่มปริมาณของ
ผงหินปูนเป็นการลดปริมาณของเถ้าแกลบบดในส่วนผสม
ซึ่งช่วยลด การกักเก็บน้ำจากอนุภาคเถ้าแกลบบดได้



รูปที่ 4 ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบและ
ผงหินปูนแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

หมายเหตุ: R+LS1(x) คือ มอร์ตาร์เถ้ากลบผสมผงหินปูน LS1 ร้อยละ x
R+LS2(x) คือ มอร์ตาร์เถ้ากลบผสมผงหินปูน LS2 ร้อยละ x

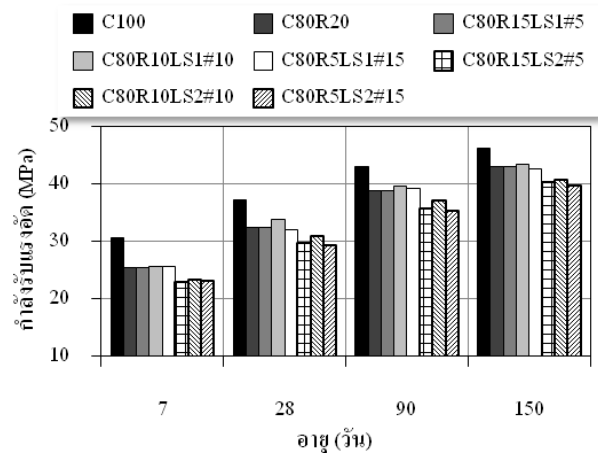
3.3 กำลังอัด

รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบและผงหินปูนแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0, 20 และ 40 โดยน้ำหนัก พบว่า กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบและผงหินปูนที่อายุ 7, 28, 90 และ 150 วัน มีกำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมทุกส่วนผสม การแทนที่เถ้ากลบและผงหินปูน ร้อยละ 20 และร้อยละ 40 มีแนวโน้มที่คล้ายกัน คือ มอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้ากลบผสมผงหินปูน LS1 มีกำลังอัดมากที่สุด ตามด้วยมอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้ากลบผสมผงหินปูน LS2 ตามลำดับ แนวโน้มการพัฒนาการกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบและผงหินปูนดีขึ้นในระยะยาว (หลัง 28 วัน) ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ที่เพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับซิลิกา (SiO_2) ในเถ้ากลบได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) เพิ่มขึ้นส่งผลให้โครงสร้างแน่นและรับกำลังอัดได้สูงขึ้น

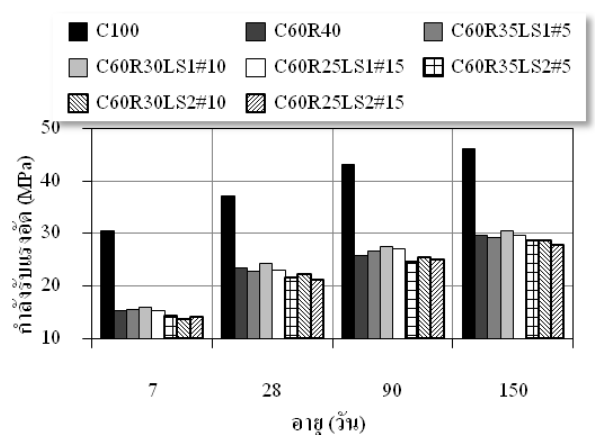
3.4 การหดตัวแบบแห้ง

รูปที่ 6 แสดงการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบและผงหินปูน แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0, 20 และ 40 โดยน้ำหนัก หลังจากบ่มตัวอย่างมอร์ตาร์ในน้ำ 28 วัน พบว่าการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ควบคุม มีค่ามากกว่ามอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบและผงหินปูน

ทุกส่วนผสม ค่าการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ควบคุมที่อายุ 150 วัน เท่ากับร้อยละ 0.0435 โดยในช่วงแรก (ช่วง 0 ถึง 30 วัน) การหดตัวของมอร์ตาร์ควบคุมมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำอิสระซึ่งมีปริมาณมากสามารถเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกโดยผ่านทางช่องคาпилลารีได้ง่าย จนกระทั่งน้ำอิสระมีปริมาณลดลง ประกอบกับการที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ในมอร์ตาร์มีปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเพิ่มขึ้น ทำให้ช่องคาпилลารีมีขนาดเล็กลง [8] น้ำอิสระที่ยังคงหลงเหลือเคลื่อนที่ออกได้ยากขึ้น อัตราการหดตัวจึงลดลงอย่างช้าๆ การแทนที่เถ้ากลบและผงหินปูนร้อยละ 20 และร้อยละ 40 มีแนวโน้มคล้ายกัน คือ ชุดทดสอบ C80R5LS1#15 มีค่าการหดตัวน้อยที่สุด



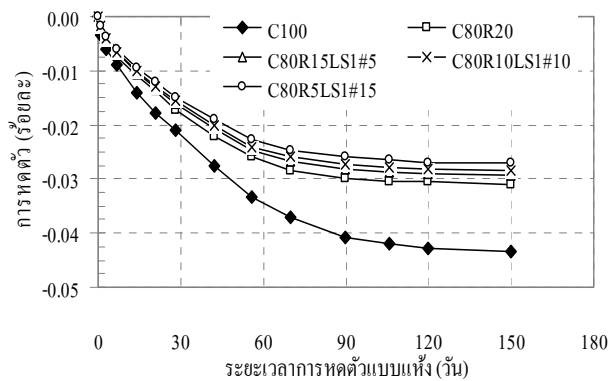
(ก) มอร์ตาร์แทนที่ร้อยละ 20



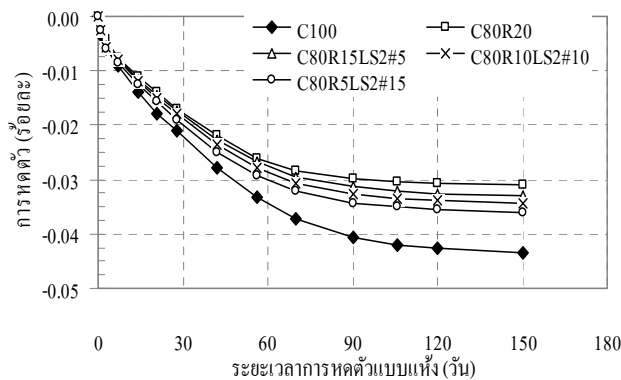
(ข) มอร์ตาร์แทนที่ร้อยละ 40

รูปที่ 5 กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบและผงหินปูน แทนที่ในปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

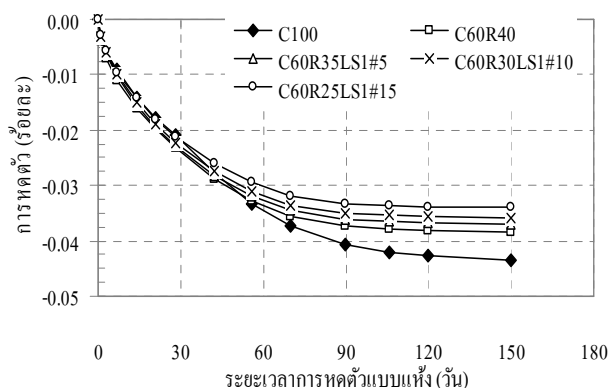
หมายเหตุ: สัญลักษณ์ C(x)R(x)LS1#(x) คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ ร้อยละ x
เถ้ากลบร้อยละ x และผงหินปูน LS1 ร้อยละ x



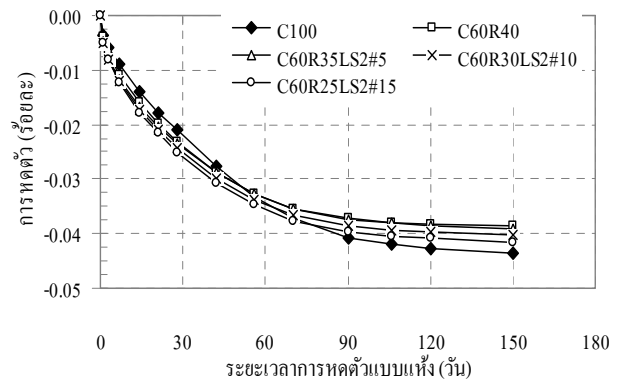
(ก) มอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบผสมผงหินปูน LS1
ร้อยละ 20



(ข) มอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบผสมผงหินปูน LS2
ร้อยละ 20



(ค) มอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบผสมผงหินปูน LS1
ร้อยละ 40



(ง) มอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบผสมผงหินปูน LS2
ร้อยละ 40

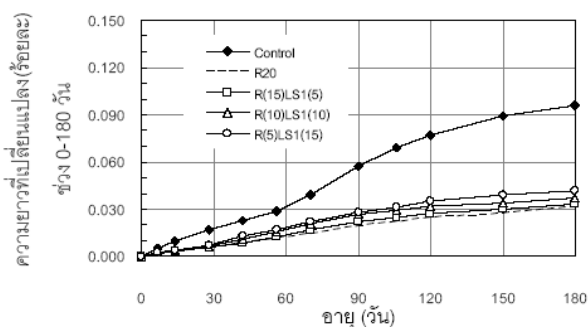
รูปที่ 6 การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบและผงหินปูน แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0, 20 และ 40 โดยน้ำหนัก

3.5 การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

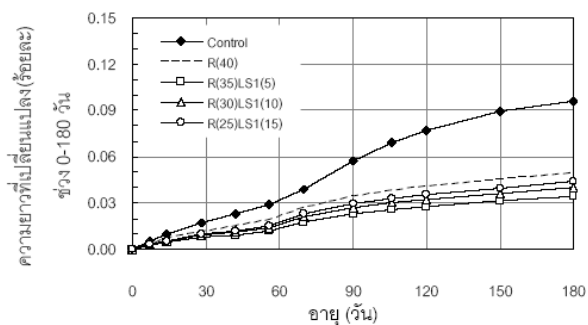
รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบการขยายตัวเนื่องจากสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบและผงหินปูนแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 อัตราส่วนร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก พบว่า ปริมาณของเถ้าแกลบและผงหินปูน LS1 (ขนาด 12 ไมโครเมตร) ช่วย ทำให้มอร์ตาร์มีการขยายตัวเมื่อแช่ในสารละลายซัลเฟตลดลง เนื่องจากปริมาณของ SiO_2 ในเถ้าแกลบสามารถทำปฏิกิริยากับ $\text{Ca}(\text{HO})_2$ ที่ได้จากผลผลิต ไฮดรอกไซด์ของปูนซีเมนต์ได้ดีที่สุด ช่วยลดปริมาณของ $\text{Ca}(\text{HO})_2$ ซึ่งเป็นสาเหตุของการขยายตัว อีกทั้งเป็นการลดปริมาณของปูนซีเมนต์ทำให้ปริมาณของ $\text{Ca}(\text{HO})_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ลดลง ส่วนผงหินปูน LS1 ทำหน้าที่เป็นตัวสอดแทรกให้ปูนซีเมนต์กระจายตัวได้ดียิ่งขึ้นทำให้การทำปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์สมบูรณ์ขึ้น โครงสร้างมีความหนาแน่นมากขึ้น การซึมเข้าทำปฏิกิริยาของซัลเฟต จึงทำได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าการขยายตัวน้อยลง ในขณะที่การแทนที่เถ้าแกลบและผงหินปูนที่มากกว่าร้อยละ 30 มีผลต่อค่าความพรุนของโครงสร้างเพสต์ที่เพิ่มขึ้น ไอออนซัลเฟตสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ดีจึงทำให้ค่าการขยายตัวเพิ่มขึ้น สำหรับเถ้าแกลบและผงหินปูน LS1 มีค่าการขยายตัวเนื่องจากโซเดียมซัลเฟตน้อยกว่าชุดทดสอบที่

ผสมเถ้าแกลบบดและผงหินปูน LS2 (ขนาด 128 ไมโครเมตร) ที่อัตราส่วนเดียวกัน เนื่องจากความแตกต่างทางกายภาพของผงหินปูนทั้งสองชนิด ซึ่งผงหินปูน LS1 ทำหน้าที่เป็นวัสดุเติมแทรกได้ดีกว่าผงหินปูน LS2

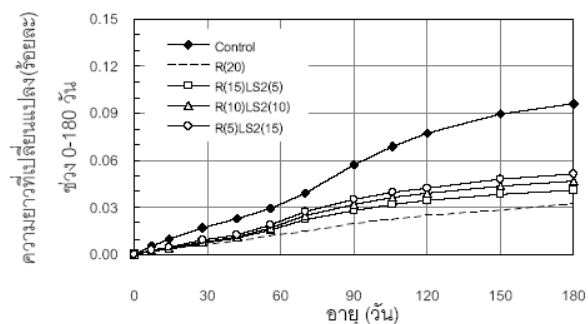
การเพิ่มปริมาณร้อยละแทนที่ของผงหินปูนทำให้การขยายตัวมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มปริมาณของผงหินปูน เป็นการลดปริมาณของเถ้าแกลบบด ทำให้ปริมาณของ SiO_2 ลดลง การลดลงของ SiO_2 ทำให้มีปริมาณของ $\text{Ca}(\text{HO})_2$ ที่สามารถทำปฏิกิริยากับไอออนซัลเฟตเพิ่มขึ้น เกิดยิปซัมและเอททริงไคต์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการขยายตัว



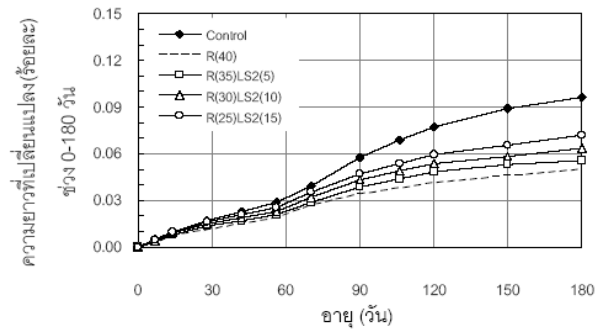
(ก) มอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบบดและผงหินปูน LS1 ในอัตราส่วน ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุผง ในช่วง 180 วัน



(ข) มอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบบดและผงหินปูน LS1 ในอัตราส่วน ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุผง ในช่วง 180 วัน



(ค) มอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบบดและผงหินปูน LS2 ในอัตราส่วน ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุผง ในช่วง 180 วัน



(ง) มอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบบดและผงหินปูน LS2 ในอัตราส่วน ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุผง ในช่วง 180 วัน

รูปที่ 7 การขยายตัวเนื่องจากสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบบดและผงหินปูน

4. สรุปผล

จากผลการทดสอบ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. มอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบบดผสมผงหินปูน LS1 ช่วยพัฒนากำลังอัดในช่วงต้นได้ดีกว่ามอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบล้วนแล มอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบบดผสมผงหินปูน LS2
2. มอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบบดผสมผงหินปูนขนาด 12 ไมโครเมตร ช่วยลดการหดตัวแบบแห้งได้มากที่สุดตามด้วยมอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบบดล้วนและมอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบบดผสมผงหินปูนขนาด 128 ไมโครเมตรตามลำดับ
3. การแทนที่ด้วยเถ้าแกลบบดผสมผงหินปูนขนาด 12 ไมโครเมตร สามารถลดการขยายตัวเนื่องจากสารละลายซัลเฟตได้อีกเพียงเล็กน้อย แต่ถ้ามีส่วนผสมของผงหินปูนขนาด 128 ไมโครเมตร ทำให้การขยายตัวเนื่องจากสารละลายซัลเฟตเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบ ผลการทดสอบการขยายตัวตามมาตรฐาน ASTM C1157 [4] พบว่า มอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบและผงหินปูนทุกส่วนผสมอยู่ในเกณฑ์ทนซัลเฟตได้ปานกลาง (Moderate Sulfate Resistance)

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ โรงไฟฟ้าปทุมไรชมิด แอนด์แกรนารีจำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เถ้าแกลบบริษัท ทีพีโอโพลีน จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ผงหินปูน และบริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวงจำกัด (มหาชน)

ที่อนุเคราะห์การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ และคุณอนุชา สิทธิจินดา ที่ได้ช่วยงานการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, "Cement, Pozzolan and Concrete", สมาคมคอนกรีตไทย, กรุงเทพฯ, 2549.
- [2] Columnna, V.B., "The Effect of Rice Husk Ash in Cement and Concrete Mixes", Master's Thesis No. 678, AIT, 1974.
- [3] American Society for Testing and Materials, "ASTM C33/C33M-11a Standard Specification for Concrete Aggregates", Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.02 Concrete and Aggregate, 2011.
- [4] American Society for Testing and Materials, "ASTM C1437-07 Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar", Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.02 Concrete and Aggregate, 2007.
- [5] American Society for Testing and Materials, "ASTM C109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)", Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.02 Concrete and Aggregate, 2011.
- [6] American Society for Testing and Materials, "ASTM C490 Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete", Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.01 Cement; Lime; Gypsum, 2010.
- [7] American Society for Testing and Materials, "ASTM C1012 Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution", Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.01 Cement; Lime; Gypsum, 2010.
- [8] Hewlett, P. C., "Lea's Chemistry of Cement and Concrete", 4th Edition. New York: John Wiley & Sons Inc., 1998.