

อิทธิพลของฝุ่นหินปูนต่อสมบัติของซีเมนต์เพสต์ชนิดไหลตัวได้ผสมเถ้าแกลบ

Influence of Limestone Powder on the Properties of Self-flowable Cement Paste containing

Rice Husk Ash

กฤษฎดา เสือเอี่ยม¹ และ ณัฐ มากุล²

Gritsdada Sua-iam¹ and Natt Makul²

¹ สาขาการจัดการเทคโนโลยี โครงการฝึกกำลังเปิดสอนปริญญาเอกมหาวิทยาลัยราชภัฏ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

² สาขาเทคโนโลยีอาคาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เลขที่ 9 แขวงวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพฯ 10220 โทร. (+662) 544-8275

E-mail: ^[1]cm_gritsdada@hotmail.com, ^[2]shinomomo7@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนออิทธิพลของฝุ่นหินปูนต่อสมบัติของซีเมนต์เพสต์ชนิดไหลตัวได้ โดยทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าแกลบและ/หรือฝุ่นหินปูนที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 24.32 และ 15.63 ไมโครเมตร ตามลำดับ ที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุผง อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง (w/p) เท่ากับ 0.38 ทำการทดสอบสมบัติของซีเมนต์เพสต์ในสถานะสดและแข็งตัวแล้ว ผลการทดสอบพบว่า ฝุ่นหินปูนสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลตัวได้ของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบได้

Abstract

This paper presented the influence of limestone powder on the properties of self-flowable cement paste. Type 1 Portland cement was replaced by rice husk ash (RHA) and/or limestone powder (LS) that having averaged particle sizes (D[4,3]) of 24.32 and 15.63 μm , respectively. The replacement levels of RHA and LS at 0%, 10%, 20% and 40% by weight of powder materials. The water-to-powder materials ratio (w/p) at 0.38 was constantly controlled. The fresh and hardened properties of cement paste were investigated. From the test results, it was found that limestone powder can increase the flowability of cement paste containing RHA.

1. บทนำ

แนวคิดหนึ่งในการลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการผลิตวัสดุคอนกรีตคือ การใช้ปูนซีเมนต์ร่วมกับวัสดุทดแทนในการผลิตคอนกรีตที่ยังคงคุณสมบัติที่ดีไว้ โดยจะเห็นว่าเป็นพื้นฐานของประเทศไทยที่เป็นสังคมเกษตรและมีการผลิตข้าวเป็นอันดับหนึ่งของโลกมาหลายปี โดยในแต่ละปีมีปริมาณแกลบดิบ (Rice Husk) เกิดขึ้นในปริมาณมาก ซึ่งส่วนใหญ่ในปัจจุบันแกลบดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล จากการเผาแกลบจะได้เถ้าแกลบออกมาในปริมาณร้อยละ 20-25 โดยน้ำหนักแกลบดิบ ซึ่งถือว่ามีความเพียงพอเมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ เนื่องจากผลการวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมีบ่งชี้ว่า เถ้าแกลบมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 90 จัดเป็นวัสดุปอซโซลานที่ได้จากธรรมชาติ โดยแกลบที่ได้จากการเผาในช่วงอุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง เถ้าแกลบที่ได้จะมีความว่องไวในการปฏิกิริยาร่วมกับปูนซีเมนต์ได้ดี [1] แต่อย่างไรก็ตาม การนำเถ้าแกลบมาใช้งานจริงกลับมีอุปสรรคที่ต้องการกระบวนการปรับปรุงความละเอียด ซึ่งในปัจจุบันมีเทคนิคหลากหลายในการเพิ่มความละเอียดของเถ้าแกลบ อาทิเช่น การบด เป็นต้น ทำให้เถ้าแกลบที่มีความละเอียดสูงถือว่าเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี [2,3] แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในส่วนของการนำมาใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่สูงส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง [3]

ฝุ่นหินปูนซึ่งได้จากกระบวนการผลิตหินปูนถือว่าเป็นวัสดุเฉื่อยเนื่องจากไม่สามารถเปลี่ยนรูปแบบองค์ประกอบทางเคมีได้เมื่อผสมร่วมกับปูนซีเมนต์ แต่เนื่องจากผงฝุ่นหินมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าปูนซีเมนต์สามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีตได้เลยโดยไม่ต้องทำการบด ใช้เป็นวัสดุเติมเต็ม (Filler) โดยสามารถผสมและแทรกกระจายตัวระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ได้ดี จึงมีส่วนช่วยลดปริมาณความต้องการน้ำ [4]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพในการนำฝุ่นหินปูน ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งในภาคอุตสาหกรรมมาผสมร่วมกับเถ้าแกลบโดยการแทนที่ในปูนซีเมนต์ เพื่อช่วยลดข้อด้อยของเถ้าแกลบ ซึ่งผงฝุ่นหินเมื่อทดแทนในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถช่วยกระจายขนาดผลของวัสดุผงเพื่อช่วยให้คุณสมบัติของคอนกรีตดีขึ้น ทั้งยังเป็นการช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเถ้าแกลบและผงฝุ่นหินจากความเป็นไปได้ที่จะสามารถเพิ่มระดับการแทนที่ของเถ้าแกลบในปูนซีเมนต์และยังทำให้ราคาของคอนกรีตลดลงได้อีก

2. วัสดุ และวิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C150 [5]
2. เถ้าแกลบ จากโรงไฟฟ้านำมาทำการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพโดยการบดด้วยเครื่องบดแบบเซรามิกซ์ (Ceramic Ball Mill) เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง
3. ฝุ่นหินปูน จากจังหวัดสระบุรี
4. สารเคมีผสมเพิ่ม ประเภทสารลดปริมาณน้ำจำนวนมากประเภทคาร์บอกซีเลต (Polycarboxylate-based Superplasticizer) ตามมาตรฐาน ASTM C494 [6]
5. น้ำประปาที่มีค่าความเป็นกรดค่า (pH) เท่ากับ 7
6. ทราชม้วนน้ำและหินขนาดที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัว ผิวแห้งตามมาตรฐาน ASTM C33 [7]

2.2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต

ตารางที่ 1 แสดงปฏิภาคส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าแกลบและผงหินปูน โดยทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 40 โดยน้ำหนัก โดยทำการแทนที่ปูนซีเมนต์โดยผสมรวมวัสดุผง 2 ชนิด (ปูนซีเมนต์+เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์+ฝุ่นหินปูน) และ 3 ชนิด (ปูนซีเมนต์+เถ้าแกลบ+ฝุ่นหินปูน) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง (w/p) เท่ากับ 0.38

2.3. วิธีการทดสอบ

หลังจากทำการทดสอบซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน ASTM C305 [8] สมบัติของซีเมนต์เพสต์ประกอบด้วย

1. ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน ASTM C191 [9]

2. ทดสอบความสามารถในการไหลได้

2.1 รูปที่ 1(ก) แสดงกรวย (Flow cone) ตามมาตรฐาน EFNARC [10] สำหรับทดสอบเวลาในการไหลแผ่ที่ระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร และการทดสอบการไหลแผ่สูงสุดของซีเมนต์เพสต์

2.2 รูปที่ 1(ข) แสดงกล่องแบบรูปทรงวี (V-Funnel) ขนาดบรรจุซีเมนต์เพสต์ 1.0 ลิตร ตามมาตรฐาน EFNARC [10] สำหรับทดสอบเวลาในการไหลผ่านตั้งแต่เริ่มเปิดฝาด้านล่างจนซีเมนต์เพสต์ไหลออกจนหมด

2.3 รูปที่ 1(ค) แสดงรูปทรงกรวย (Marsh cone) ตามมาตรฐาน ASTM C939 [11] สำหรับทดสอบเวลาในการไหลผ่านรูขนาดเล็กด้านล่างจนซีเมนต์เพสต์ไหลออกจนหมด

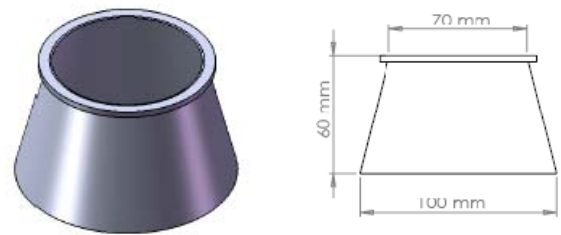
ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้ากลบและผงฟูหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ส่วนผสม	สัดส่วน (ร้อยละ)		
	ปูนซีเมนต์	เถ้ากลบ	ผงฟูหินปูน
CP	100	-	-
RHA10	90	10	-
RHA20	80	20	-
RHA40	60	40	-
LS10	90	-	10
LS20	80	-	20
LS40	60	-	40
RHA10LS10	80	10	10
RHA20LS20	60	20	20

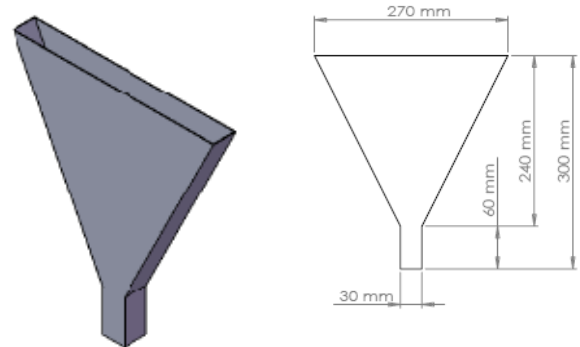
หมายเหตุ: สัญลักษณ์ CP, RHA และ LS คือ ซีเมนต์เพสต์ควบคุม ซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้ากลบ ซีเมนต์เพสต์ผสมผงฟูหิน ตามลำดับ

3. อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

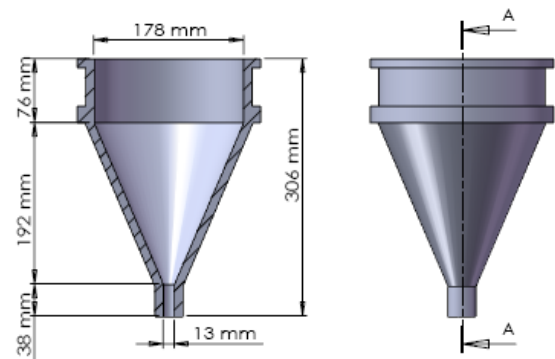
ในกรณี บ่มแบบปกติของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเรียบร้อยถูกเทลงในแบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ทำการต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) ชนิด K ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกสอดเข้าไปยังตำแหน่งตรงกลางของแท่งตัวอย่าง ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ (Computing Data Logger) ตัวอย่างถูกบรรจุในกล่องโฟมโพลีสไตรีนขนาด 30 × 30 × 30 เซนติเมตร ทำการปิดฝาและซีลรอยต่อทั้งหมดเพื่อป้องกันการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างตัวอย่างและสภาพแวดล้อม ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุกช่วงระยะเวลา 15 นาที ตลอดระยะเวลารวมทั้งสิ้น 3 วัน



(ก) Flow cone test



(ข) V-Funnel flow test



(ค) Marsh cone test

รูปที่ 1 การทดสอบความสามารถในการไหลได้

4. กำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C39 [12] และทดสอบความสมบูรณ์ของซีเมนต์เพสต์โดยการส่งผ่านคลื่นอัลตราโซนิก ตามมาตรฐาน ASTM C597 [13] ที่อายุ 1, 7 และ 28 วันตามลำดับ

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

3.1 องค์ประกอบเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

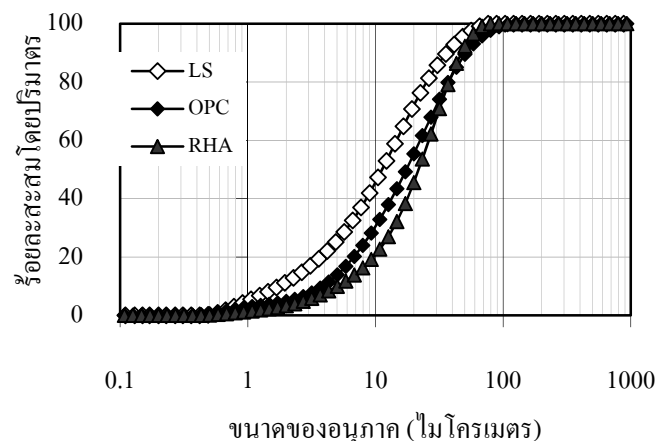
ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบองค์ประกอบเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุผง โดยพบว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนฝุ่นหินปูนมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เท่ากับร้อยละ 46.77 แก้วกลบดมีปริมาณร้อยละของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) สูงที่สุด รองลงมาคือปูนซีเมนต์ และฝุ่นหินปูนตามลำดับ ส่วนปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แก้วกลบดมีปริมาณน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับฝุ่นหินปูนและปูนซีเมนต์

ตารางที่ 2 องค์ประกอบเคมีและสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) แก้วกลบ (RHA) และฝุ่นหินปูน (LS)

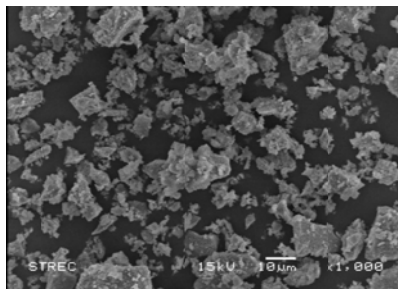
	OPC	RHA	LS
องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)			
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	16.39	93.0	8.97
อลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	3.85	0.35	1.02
ไออนออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	3.48	0.23	0.37
แมงกานีสออกไซด์ (MnO)	0.08	0.14	-
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.64	0.41	2.38
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	68.48	1.31	46.77
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	0.06	0.15	0.02
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.52	1.61	0.13
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃)	4	0.09	0.33
คุณสมบัติทางกายภาพ			
พื้นที่ผิวจำเพาะ (cm ² /kg)	6100	8400	13000
ความถ่วงจำเพาะ	3.2	2.2	2.76
การสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้ (ร้อยละ)	1.7	1.9	39.54
อนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตร (μm)	23.32	24.32	15.63

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์สูงสุดเท่ากับ 3.20 มากกว่าฝุ่นหินปูนและแก้วกลบ เท่ากับ 2.76 และ 2.20 ตามลำดับ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตร (D[4,3]) ของผงฝุ่นหินมีขนาดเล็กสุดเท่ากับ 15.63 ไมโครเมตร ตามด้วยปูนซีเมนต์ และแก้วกลบด เท่ากับ 23.32 และ 24.32 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2

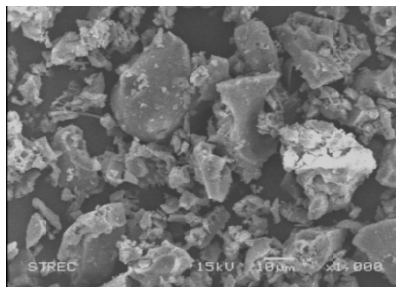
รูปที่ 3 แสดงภาพถ่ายขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แก้วกลบด และผงฝุ่นหินด้วยเทคนิค SEM พบว่า อนุภาคของปูนซีเมนต์มีลักษณะเหลี่ยมมุม พื้นผิวขรุขระ ส่วนอนุภาคของแก้วกลบดมีลักษณะรูปทรงไม่แน่นอน เป็นโพรงมีรูพรุน ในขณะที่อนุภาคของผงฝุ่นหินมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมผิวขรุขระ บางส่วนมีลักษณะทรงกลมผิวเรียบ



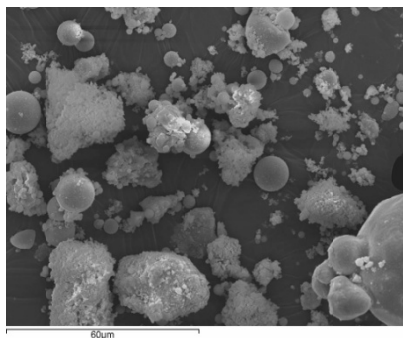
รูปที่ 2 การกระจายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แก้วกลบ และผงฝุ่นหิน



(ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



(ข) ไข่แกลบ



(ค) ฝุ่นหินปูน

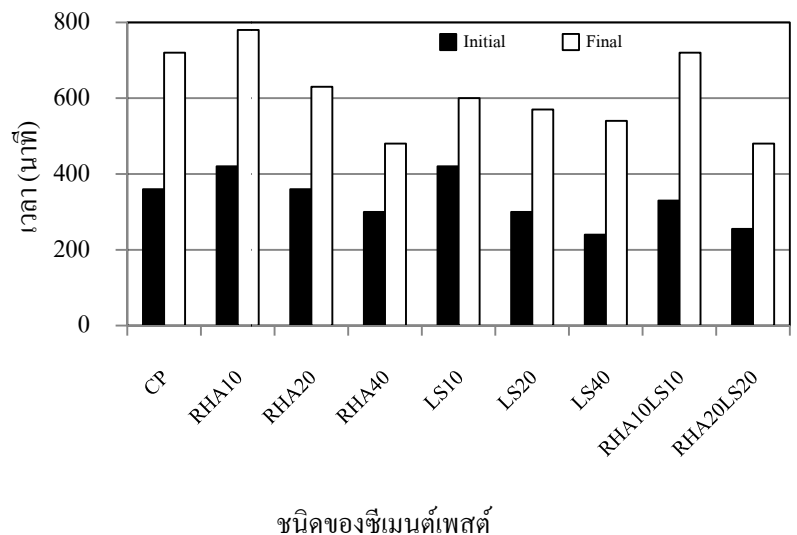
รูปที่ 3 ภาพขยายของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่

1 ไข่แกลบและฝุ่นหินปูนที่กำลังขยาย 1000 เท่า

3.2 ระยะเวลาการก่อตัว

รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ พบว่าอัตราส่วนการแทนที่ของไข่แกลบในปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ลดลง เนื่องจากขนาดอนุภาคของไข่แกลบที่เล็กใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์มีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน [3] ในขณะที่ซีเมนต์เพสต์ผสมฝุ่นหินปูนยังมิ

ผลทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผงหินปูนช่วยเพิ่มปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca^{2+}) ในระบบของซีเมนต์เพสต์ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะมีการตกผลึกของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (C-S-H) ที่เพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ความสามารถในการรับแรงเพิ่มขึ้นโดยใช้เวลาที่ลดลงตามลำดับ [4] ประกอบกับขนาดเฉลี่ยอนุภาคของฝุ่นหินปูนที่เล็กกว่าปูนซีเมนต์ช่วยในการเติมเต็มช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์และทำให้โครงสร้างโดยรวมของซีเมนต์เพสต์มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



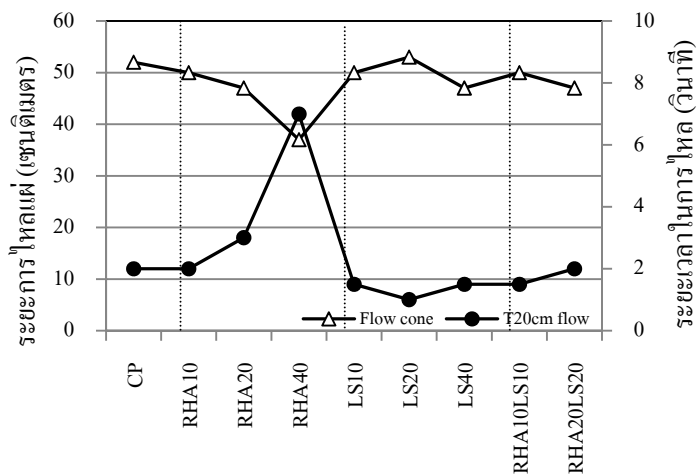
รูปที่ 4 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ปกติและซีเมนต์เพสต์ผสมไข่แกลบและหรือฝุ่นหินปูน

3.3 ความสามารถในการไหล

รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบการไหลแผ่ด้วยกรวย Flow cone พบว่า ระยะของการไหลแผ่ของซีเมนต์เพสต์ผสมฝุ่นหินปูนร้อยละ 20 มีระยะการไหลแผ่สูงสุด 53 เซนติเมตร ในขณะที่ใช้เวลาในการไหลแผ่ถึงระยะ 20 เซนติเมตร น้อยที่สุด 1 วินาที โดยระยะการไหลแผ่ของซีเมนต์เพสต์ผสมไข่แกลบร้อยละ 40 มีระยะการไหลแผ่ต่ำสุด 37 เซนติเมตร ในขณะที่ใช้เวลาในการไหลแผ่ถึงระยะ 20 เซนติเมตรมากที่สุด 7 วินาที เนื่องจากลักษณะรูปทรง และพื้นที่ผิวที่สูงของไข่แกลบทำให้มีความต้องการปริมาณน้ำในส่วนผสมที่

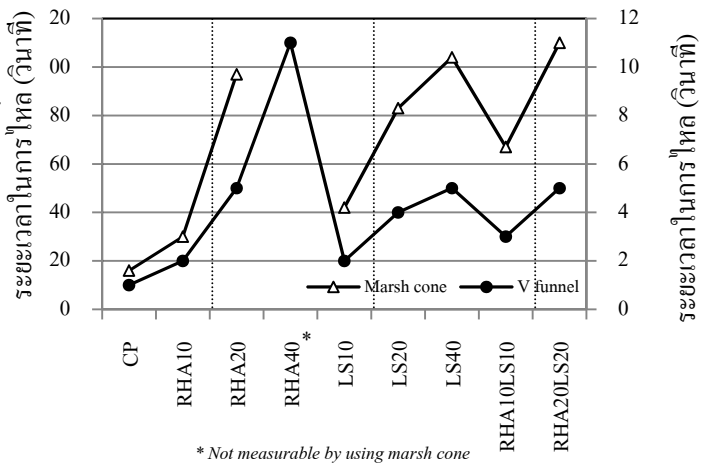
สูงกว่าส่งผลให้เนื้อเพสต์มีความหนืดมากขึ้นหรือระยะในการไหลลดลง ส่วนผงฝุ่นหินมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าและมีรูปทรงกลมผิวเรียบทำให้เพสต์มีความไหลตัวที่ดีกว่าเพสต์ผสมเถ้าแกลบ

รูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบการไหลในแนวดิ่งผ่านรูปทรงที่แตกต่างกันซึ่งประกอบด้วยกล่องรูปทรง V-funnel และรูปทรงกรวย Marsh cone โดยพบว่าเวลาในการไหลผ่านของรูปทรงทั้งสองมีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ เวลาในการไหลของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนร้อยละ 40 ใช้เวลาในการไหลผ่านของ V-funnel สูงสุด 11 วินาที ในขณะที่การวัดการไหลผ่านรูขนาดเล็กของ Marsh cone ไม่สามารถกระทำได้อาจเนื่องจากเพสต์มีความหนืดมากขึ้น ในขณะที่ซีเมนต์เพสต์ผสมผงฝุ่นหินมีความสามารถในการไหลที่ดีกว่าซีเมนต์เพสต์ผสม เถ้าแกลบจากระดับความหนืดที่เหมาะสม [14]



ชนิดของซีเมนต์เพสต์

รูปที่ 5 การไหลผ่านด้วยกรวย Flow cone



* Not measurable by using marsh cone

ชนิดของซีเมนต์เพสต์

รูปที่ 6 ระยะเวลาจากการไหลผ่าน V-funnel และ Marsh cone ของซีเมนต์เพสต์

3.4 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

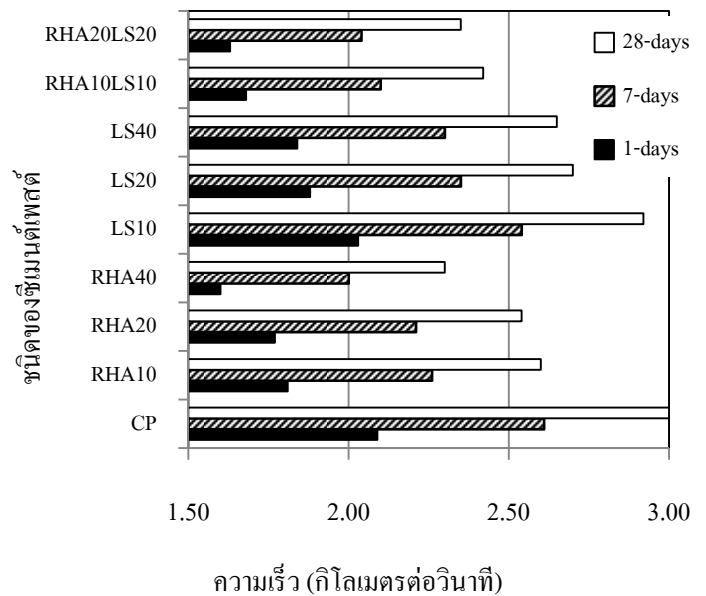
ปริมาณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุด ระยะเวลาที่อุณหภูมิถึงจุดสูงและอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 3 พบว่าซีเมนต์เพสต์ผสมฝุ่นหินปูนร้อยละ 10 มีอุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 64.4 องศาเซลเซียส ใช้เวลาที่อุณหภูมิถึงจุดสูงสุดที่เวลา 14 ชั่วโมง หลังจากเริ่มทำการผสม โดยการแทนที่ฝุ่นหินปูนมากขึ้นอุณหภูมิภายในลดลง ในขณะที่ใช้เวลาที่อุณหภูมิถึงจุดสูงสุดเร็วขึ้น [15] ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลง ซึ่งมีผลสอดคล้องในกรณีของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบที่มีอุณหภูมิลดต่ำลง

ตารางที่ 3 ปริมาณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุด ระยะเวลาที่อุณหภูมิถึงจุดสูงและอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

ส่วนผสม	อุณหภูมิสูงสุด [°C]	ระยะเวลาที่อุณหภูมิสูงสุด [h]	อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ [°C/h]
CP	61.9	15.0	8.1
RHA10	60.7	16.0	7.5
RHA20	54.4	16.5	5.8
RHA40	50.5	17.0	4.9
LS10	64.4	14.0	10.7
LS20	58.2	13.0	7.8
LS40	54.6	11.5	6.4
RHA10LS10	57.8	14.0	6.6
RHA20LS20	53.9	15.0	4.2

3.5 การส่งผ่านคลื่นอัลตราโซนิก

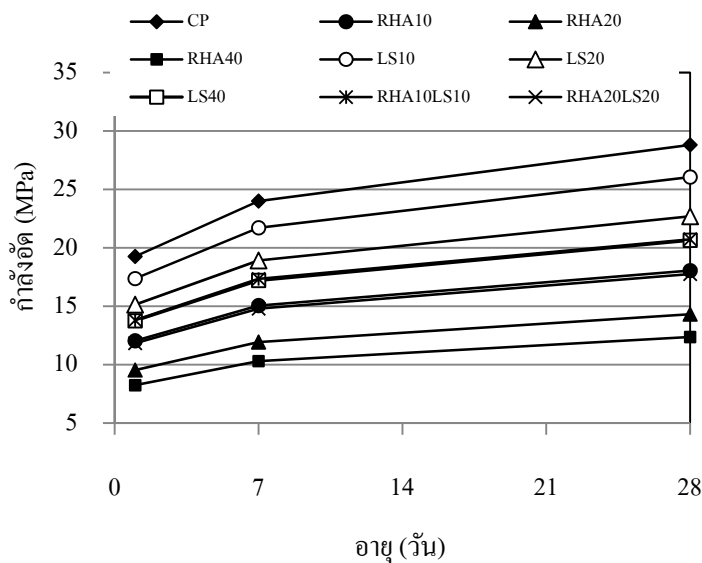
รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบความเร็วในการส่งผ่านคลื่นอัลตราโซนิกเพื่อประเมินความหนาแน่นของโครงสร้าง โดยพบว่า แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความเร็วมีค่ามากขึ้นตามอายุของซีเมนต์เพสต์ และความเร็วในการส่งผ่านคลื่นอัลตราโซนิกของซีเมนต์เพสต์ควบคุมทุกช่วงอายุทดสอบมีค่าสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ผสมฝุ่นหินปูนและซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบตามลำดับ ในขณะที่ซีเมนต์เพสต์ผสมฝุ่นหินปูนมีค่าสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบ เนื่องจากขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่เล็กกว่าเถ้าแกลบ เข้าไปแทรกระหว่างอนุภาคส่งผลให้ช่องว่างและความพรุนของซีเมนต์เพสต์ลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 7 ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบและฝุ่นหินปูน

3.6 กำลังอัด

ผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบและฝุ่นหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์แสดงในรูปที่ 8 พบว่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบและซีเมนต์เพสต์ผสมฝุ่นหินปูนที่อายุ 1, 7 และ 28 วัน มีกำลังอัดน้อยกว่าซีเมนต์เพสต์ควบคุมทุกส่วนผสม และซีเมนต์เพสต์ผสมฝุ่นหินปูนมีกำลังอัดสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบเนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าเถ้าแกลบและปูนซีเมนต์สามารถแทรกตัวเข้าไปภายในระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ส่งผลให้กำลังอัดมีค่าสูง ในขณะที่ซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบมีกำลังอัดลดลงตามปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ลดลง



รูปที่ 8 กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความสามารถในการไหลได้ (Flowability) ของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุผงที่นำมาใช้ โดยถ้าเม็ดผงเมื่อใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์มากขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการไหลได้ลดลงอย่างมาก ในขณะที่ฝุ่นหินปูนมีความสามารถในการไหลได้ดีกว่าเนื่องจากขนาดที่เล็กกว่าและรูปทรงที่กลมเรียบเมื่อนำมาผสมรวมกับเม็ดผงสามารถช่วยในการเพิ่มความสามารถของการไหลได้อย่างมีนัยสำคัญ
2. ซีเมนต์เพสต์ผสมฝุ่นหินปูนมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันไว และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ควบคุมและซีเมนต์เพสต์ผสมเม็ดผง
3. ซีเมนต์เพสต์ผสมฝุ่นหินปูนมีกำลังอัดทุกช่วงอายุสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ผสมเม็ดผง แต่ต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ควบคุม ทั้งนี้เมื่อนำฝุ่นหินปูนผสมรวมในซีเมนต์เพสต์ผสมเม็ดผงทำให้มีกำลังอัดที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ผสมเม็ดผง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] D.G. Nair, A. Fraaij, A.A.K. Klaassen and A.P.M. Kentgens, "Structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes", Cement and Concrete Research, vol. 38, 2008: 861–869.
- [2] S. Rukzon, P. Chindaprasirt and R. Mahachai, "Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash", International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, vol. 16, 2009: 242–247.
- [3] K. Ganesan, K. Rajagopal and K. Thangavel, "Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete", Construction and Building Materials, vol. 22, 2008: 1675–1683.
- [4] M. Heikala, H. El-Didamonyb and M.S. Morsy, "Limestone-filled pozzolanic cement", Cement and Concrete Research, vol. 30, 2000: 1827–1834.
- [5] American Society for Testing and Materials, "ASTM C150-07 Standard Specification for Portland Cement", Annual Book of ASTM Standard, Volume 4.01, 2011.
- [6] American Society for Testing and Materials, "ASTM C494/C494M-10a Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete", Annual Book of ASTM Standard, Volume 4.02, 2011.
- [7] American Society for Testing and Materials, "ASTM C33/C33M-11 Standard Specification for Concrete Aggregates", Annual Book of ASTM Standard, Volume 4.02, 2011.
- [8] American Society for Testing and Materials, "ASTM C305-06 Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency", Annual Book of ASTM Standard, Volume 4.01, 2011.
- [9] American Society for Testing and Materials, "ASTM C191-08 Standard Test Methods for Time of Setting of

Hydraulic Cement by Vicat Needle”, Annual Book of ASTM Standard, Volume 4.01, 2011.

[10] EFNARC, “Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete”, February, 2002.

[11] American Society for Testing and Materials, “ASTM C939-10 Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)”, Annual Book of ASTM Standard, Volume 4.02, 2011.

[12] American Society for Testing and Materials, “ASTM C39/C39M-10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, Annual Book of ASTM Standard, Volume 4.02, 2011.

[13] American Society for Testing and Materials, “ASTM C597-09 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”, Annual Book of ASTM Standard, Volume 4.02, 2011.

[14] A. Hallal, E.H. Kadri, K. Ezziane, A. Kadri and H. Khelafi, “Combined effect of mineral admixtures with superplasticizers on the fluidity of the blended cement paste”, Construction and Building Materials, vol. 24, 2010: 1418–1423.

[15] M. Valcuende, E. Marco, C. Parra and P. Serna, “Influence of limestone filler and viscosity-modifying admixture on the shrinkage of self-compacting concrete”, Cement and Concrete Research, vol. 42, 2012: 583–592.