

คุณสมบัติเบื้องต้นของเพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด

Basic Properties of Pastes, Mortars and Concrete Containing Strength Enhancing Mineral Admixture

ปิติศานต์ กร้ามาตร¹ อธิกานต์ อธิวงศ์คำ² ปานเทพ จุลนิพิฐวงษ์³ และ สมนึก ตั้งเต็มสิริกกุล⁴

pitisan.k@en.rmutt.ac.th¹, zerotype07@gmail.com², parnthep@siit.tu.ac.th³, somnuk@siit.tu.ac.th⁴

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด โดยใส่เพิ่มสารเพิ่มกำลังอัด (Addition) และโดยการแทนที่สารเพิ่มกำลังอัด (Replacement) ร้อยละ 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) ผลการศึกษา พบว่า การขยายตัวออตโตเคลฟของเพสต์ผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าน้อยกว่าของ OPC ล้วน โดยการขยายตัวออตโตเคลฟของเพสต์ Replacement มีค่าน้อยกว่าของ Addition และการผสมสารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากให้ค่าการขยายตัวออตโตเคลฟมากขึ้น ส่วนการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่ามากกว่าของ OPC ล้วน โดยการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ Replacement มีค่าน้อยกว่าของ Addition และการใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากให้ค่าการขยายตัวของมอร์ตาร์ในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น นอกจากนี้ พบว่า คอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีทั้งค่าการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวน้อยกว่า ในขณะที่ค่าการก่อตัวมีค่ามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับของ OPC ล้วน โดยการผสมสารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่ต่างกันให้ทั้งค่าการยุบตัว การสูญเสียค่าการยุบตัว และการก่อตัวของคอนกรีตที่ไม่แตกต่างกัน สุดท้ายพบว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต Addition มีค่ามากกว่า ในขณะที่ของ Replacement มีแนวโน้มต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับของ OPC ล้วน โดยทั้งคอนกรีต Addition และ Replacement เมื่อใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่ต่างกันให้กำลังอัดประลัยที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนกำลังดึงของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดนั้นมีค่าใกล้เคียงกับของ OPC ล้วน

คำสำคัญ: สารเพิ่มกำลังอัด, การขยายตัว, การก่อตัว, กำลังอัดประลัย, กำลังดึง

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ² นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ นักวิจัย ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

⁴ ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Abstract

This research was aimed to study the basic properties of concrete containing strength enhancing mineral admixture (SA). The SA was used to add and partial replacement of 5.5, 6.5 and 7.5% by weight of Portland cement type 1 (OPC). The study found that the autoclave expansion of paste containing SA was lesser than that of OPC paste. The autoclave expansion of paste containing SA with partial replaced was lower than that of paste contained SA addition. Moreover, the more SA was mixed, the more autoclave expansion occurred. Furthermore, mortar containing SA having expanded in calcium hydroxide solution was more than OPC mortar. The expansion in calcium hydroxide solution of mortar containing SA with partial replaced was lower than that of mortar contained SA addition. In addition, the more SA was used, the more expansion in calcium hydroxide solution occurred. Besides, slump and slump loss of concrete containing SA was lower whereas its setting time was higher when compared to those of OPC concrete. Nevertheless, whether the more or less using SA quantity, the result of slump, slump loss and setting time of concrete would be the same. Finally, compressive strength of concrete contained SA addition was higher than that of OPC concrete. Whereas the compressive strength of concrete containing SA with partial replaced had the same tendency lower than or close to that of OPC concrete. The different of using SA quantity, the compressive strength of concrete was no different. As well, tensile strength of concrete containing SA had the same tendency to that of OPC concrete.

Keywords: strength enhancing mineral admixture, expansion, setting time, compressive strength, tensile strength

1. บทนำ

ปัจจุบันการค้นคว้าวิจัยทางด้านวัสดุคอนกรีต นักวิจัยและวิศวกรมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น และได้มีงานวิจัยที่ระบุแนวทางการเลือกสัดส่วนผสมที่เหมาะสมกับสมรรถนะของคอนกรีต ทำให้มีผู้คิดค้นสารสังเคราะห์เพื่อช่วยปรับปรุงปฏิกิริยาในส่วนผสมปูนซีเมนต์ โดยสารที่สังเคราะห์จะทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมให้ได้มาซึ่งสารที่ก่อให้เกิดกำลังในคอนกรีตเพิ่มเติม มีนักวิจัยได้ทดลองแทนที่สารผสมเพิ่มกำลังอัดในคอนกรีต และพบว่าทำให้ปฏิกิริยาในช่วงอายุเริ่มแรกสามารถพัฒนากำลังไปได้ดี [1] ทำให้มีการประเมินกันว่า การแทนที่สารเพิ่มกำลังอัดจะช่วยทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงไปทั้งในด้านของคุณสมบัติเบื้องต้นและด้านความคงทน [2]

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติของสารเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการ

ใช้งานสารเพิ่มกำลังอัดอย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้ศึกษาถึงการขยายตัวออสโตรคอฟของเพสต์ การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ ค่าการยุบตัว การสูญเสียค่าการยุบตัว การก่อตัว กำลังอัดประลัย และกำลังดึงของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด เพื่อนำผลงานวิจัยอันเป็นประโยชน์นี้ไปใช้พัฒนาเทคโนโลยีด้านวัสดุคอนกรีตต่อไป

2. รายละเอียดวิธีการศึกษา

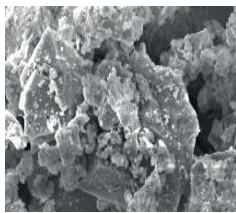
2.1 วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุประสานที่ใช้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก.15-2555 [3] และสารเพิ่มกำลังอัด โดยตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมี ความถ่วงจำเพาะ และความละเอียดโดยวิธีเบลนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และสารเพิ่มกำลังอัด

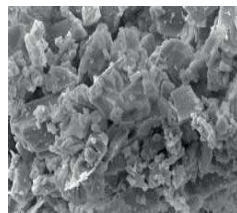
ส่วนรูปที่ 1 แสดงภาพถ่ายขยายกำลังสูง (3,500 เท่า) ของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และสารเพิ่มกำลังอัด ซึ่งรูปร่างของอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และสารเพิ่มกำลังอัด มีลักษณะเป็นเหลี่ยม ผิวขรุขระ ขนาดไม่แน่นอนแตกต่างกันไป

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมี ความถ่วงจำเพาะ และความละเอียดโดยวิธีเบลนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และสารเพิ่มกำลังอัด

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1	สารเพิ่ม กำลังอัด
SiO ₂	18.93	1.94
Al ₂ O ₃	5.51	1.39
Fe ₂ O ₃	3.31	0.61
CaO	65.53	42.97
MgO	1.24	0.10
Na ₂ O	<0.01	-
K ₂ O	0.31	-
SO ₃	2.88	49.50
LOI	1.06	3.78
ความถ่วงจำเพาะ	3.12	2.95
ความละเอียดโดย วิธีเบลน (ชม. ² /ก.)	3,300	2,984



ก) ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1



ข) สารเพิ่มกำลังอัด

รูปที่ 1 ภาพถ่ายขยายกำลังสูง (3,500 เท่า) ของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และสารเพิ่มกำลังอัด

2.2 การขยายตัวของคอนกรีตของเพสต์

วิธีการวัดการขยายตัวของคอนกรีตของตัวอย่างเพสต์ (ขนาด 25x25x285 มม.) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 151/C 151M - 15 [4] โดยหลังจากถอด

แบบที่อายุตัวอย่างเพสต์ 24 ชั่วโมง วัดความยาวทันที แล้วนำใส่ท่อไฮดรอลิกให้ผิวทุกด้านของชิ้นทดสอบถูกไอน้ำชนิดอิ่มตัว เพิ่มอุณหภูมิของไฮดรอลิกให้ความดันของไอน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 2 MPa ภายในเวลา 45 ถึง 75 นาที ควบคุมความดันอยู่ในระดับ 2±0.07 MPa เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้ไฮดรอลิกเย็นลงจนความดันลดต่ำกว่า 0.07 MPa เมื่อครบ 1½ ชั่วโมง ให้เปิดลิ้นระบายอากาศให้ความดันที่ค้างอยู่ในไฮดรอลิกเท่าความดันบรรยากาศ แล้วนำชิ้นทดสอบออกไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 90 °C จากนั้นให้อุณหภูมิ น้ำลดลง 23 °C ภายในเวลา 15 นาที โดยค่อย ๆ เติมน้ำเย็นลงไปปล่อยชิ้นทดสอบให้แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 23 °C ต่อไปอีก 15 นาที แล้วทำให้ชิ้นทดสอบแห้งและวัดความยาวอีกครั้ง

2.3 การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์

วิธีการวัดการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของตัวอย่างมอร์ตาร์ (ขนาด 25x25x285 มม.) หลังจากถอดแบบที่อายุตัวอย่างมอร์ตาร์ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างบ่มในน้ำที่ผสมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทดสอบการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อายุ 14 วัน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 1038 - 04 [5]

2.4 ค่าการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีต

วิธีการทดสอบการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวของตัวอย่างคอนกรีต ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 143/C 143M - 98 [6] โดยวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตเมื่อเวลาผ่านไป ที่ 0 15 30 45 และ 60 นาที

2.5 การก่อตัวของคอนกรีต

วิธีการทดสอบการก่อตัวของตัวอย่างคอนกรีตโดยใช้คอนกรีตส่วนที่ร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เทลงแบบหล่อ (ขนาด 150x150x150 มม.) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 403/C 403M - 99 [7]

2.6 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

วิธีการทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีต (ขนาด 100x100x100 มม.) หลังจากถอดแบบที่อายุตัวอย่างคอนกรีต 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างบ่มในน้ำ ทดสอบกำลังอัดประลัยที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน ทดสอบตามมาตรฐาน BS 1881 : PART 108 [8]

2.7 กำลังดึงของคอนกรีต

วิธีการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต ใช้โดยวิธีการตัดของตัวอย่างคอนกรีต (ขนาด 100x100x300 มม.) หลังจากถอดแบบที่อายุตัวอย่างคอนกรีต 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างบ่มในน้ำ ทดสอบกำลังดึงที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 78 - 94 [9]

2.8 สัดส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษา

สัดส่วนผสมของเพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แยกตามคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ที่ศึกษา ซึ่งได้แก่ การขยายตัวของโอโตเคลฟของเพสต์ การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ ค่าการยุบตัว การสูญเสียค่าการยุบตัว การก่อตัว กำลังอัดประลัย และกำลังดึงของคอนกรีต ซึ่งสัดส่วนผสมของเพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ

การใช้สัญลักษณ์ของสัดส่วนผสมในการศึกษาเป็นดังนี้ P หมายถึง เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน, P5.5Ad หมายถึง เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยใส่เพิ่มสารเพิ่มกำลังอัด (Addition) ร้อยละ 5.5, M หมายถึง มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน, M7.5Re หมายถึง มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยการแทนที่สารเพิ่มกำลังอัด (Replacement) ร้อยละ 7.5, g หมายถึง อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่างในคอนกรีต, C g=1.40 หมายถึง คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ใช้อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่างในคอนกรีต เท่ากับ 1.40 และ C6.5Re g=1.40 หมายถึง คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยการแทนที่สารเพิ่มกำลังอัด (Replacement) ร้อยละ 6.5 และใช้อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่างในคอนกรีต เท่ากับ 1.40 เป็นต้น

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมของเพสต์ที่ใช้ในการทดสอบการขยายตัวโอโตเคลฟ

ส่วนผสม	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)		
		ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	สารเพิ่มกำลังอัด	น้ำ
1	P	100	-	25.5
2	P5.5Ad	100	5.5	25.5
3	P6.5Ad	100	6.5	25.5
4	P7.5Ad	100	7.5	25.5
5	P5.5Re	94.5	5.5	25.5
6	P6.5Re	93.5	6.5	25.5
7	P7.5Re	92.5	7.5	25.5

หมายเหตุ น้ำใช้เท่ากับปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ส่วนผสม	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)			
		ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	สารเพิ่มกำลังอัด	ทราย	น้ำ
1	M	100	-	275	48.6
2	M5.5Ad	100	5.5	275	48.6
3	M6.5Ad	100	6.5	275	48.6
4	M7.5Ad	100	7.5	275	48.6
5	M5.5Re	94.5	5.5	275	48.6
6	M6.5Re	93.5	6.5	275	48.6
7	M7.5Re	92.5	7.5	275	48.6

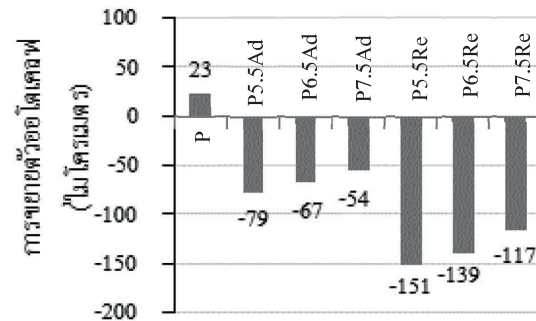
ตารางที่ 4 สัดส่วนผสมของคอนกรีตต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.30 โดยน้ำหนัก

ส่วนผสม	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กิโลกรัม)					
		ปูนซีเมนต์ประเภท 1	สารเพิ่มกำลังอัด	ทราย	หิน	น้ำ	สารลดน้ำ
1	C g=1.38	520	-	727	1047	151	5.2
2	C g=1.40	520	-	727	1047	151	5.2
3	C5.5Ad g=1.38	520	28.6	727	1047	151	5.2
4	C6.5Ad g=1.38	520	33.8	727	1047	151	5.2
5	C7.5Ad g=1.38	520	39.0	727	1047	151	5.2
6	C5.5Re g=1.40	491	28.6	727	1047	151	5.2
7	C6.5Re g=1.40	486	33.8	727	1047	151	5.2
8	C7.5Re g=1.40	481	39.0	727	1047	151	5.2

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 การขยายตัวของโตะเคลฟของเพสต์

รูปที่ 2 แสดงการขยายตัวของโตะเคลฟของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และเพสต์ผสมสารเพิ่มกำลังอัด ทั้งที่ใส่เพิ่มสารเพิ่มกำลังอัด (Addition) และโดยการแทนที่สารเพิ่มกำลังอัด (Replacement) ร้อยละ 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนัก พบว่า การขยายตัวของโตะเคลฟของเพสต์ทั้ง Addition และ Replacement มีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยทุกส่วนผสมที่ใส่สารเพิ่มกำลังอัด ไม่มีการขยายตัวแต่กลับมีการขยายตัวลดลง (หดตัว) โดยการหดตัวของเพสต์ Replacement มีค่ามากกว่าของ Addition อาจเป็นไปได้เพราะเพสต์ Replacement เป็นการลดปริมาณของปูนซีเมนต์ลง ทำให้ลดปริมาณของ free lime ส่งผลให้การขยายตัวน้อยลง (การหดตัวมากขึ้น) และพบว่า ทั้งเพสต์ Addition และ Replacement เมื่อใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากขึ้น ให้ค่าการขยายตัวมากขึ้น (การหดตัวที่น้อยลง) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มกำลังอัด ทำให้ปริมาณของ SO_3 มากขึ้น ส่งผลให้การขยายตัวเพิ่มขึ้น [10]

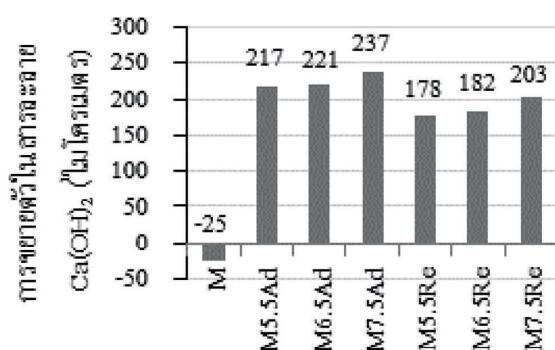


รูปที่ 2 การขยายตัวของโตะเคลฟของเพสต์

3.2 การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์

รูปที่ 3 แสดงการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และมอร์ตาร์ผสมสารเพิ่มกำลังอัด ทั้ง Addition และ Replacement ร้อยละ 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนัก พบว่า การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ผสมสารเพิ่มกำลังอัดที่อายุ 14 วัน ทั้ง Addition และ Replacement มีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารเพิ่มกำลังอัดมีปริมาณของ SO_3 ที่ค่อนข้างสูง เมื่อ

เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดแอทรินใจท์มาก [10] ส่งผลให้เกิดการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาก และพบว่า การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ Addition มีค่ามากกว่าของ Replacement ทั้งนี้เป็นไปได้เพราะการ Replacement เป็นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ลง นอกจากนั้นมอร์ตาร์ทั้ง Addition และ Replacement เมื่อใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากขึ้น ให้ค่าการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มากกว่าเมื่อใส่ในปริมาณน้อย ทั้งนี้เป็นไปได้เพราะปริมาณของ SO_3 มากขึ้น



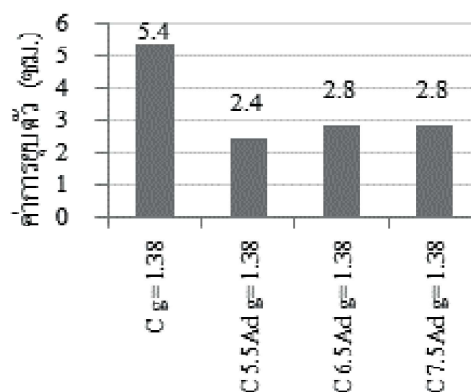
รูปที่ 3 การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์

3.3 ค่าการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีต

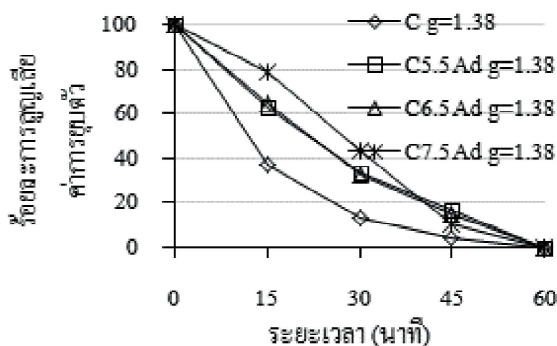
รูปที่ 4 แสดงค่าการยุบตัวของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด โดย Addition ร้อยละ 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่างในคอนกรีต เท่ากับ 1.38 พบว่า ค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน อาจเป็นเพราะสารเพิ่มกำลังอัด มีค่า LOI ที่สูงกว่า ทำให้มีความต้องการน้ำที่มากกว่า ส่งผลให้ค่าการยุบตัวมีค่าน้อยลง ส่วนเมื่อผสมสารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่ต่างกัน ให้ค่าการยุบตัวที่ใกล้เคียงกัน

รูปที่ 5 แสดงการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด โดย Addition ร้อยละ 5.5 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่าง

ในคอนกรีต เท่ากับ 1.38 พบว่า การสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารเพิ่มกำลังอัดมีปริมาณของ SO_3 ค่อนข้างสูง ซึ่งไปขัดขวางการเกิดไฮเดรชัน ของ C_3A และ C_4AF [10] ส่งผลให้การสูญเสียค่าการยุบตัวเกิดขึ้นช้าลง



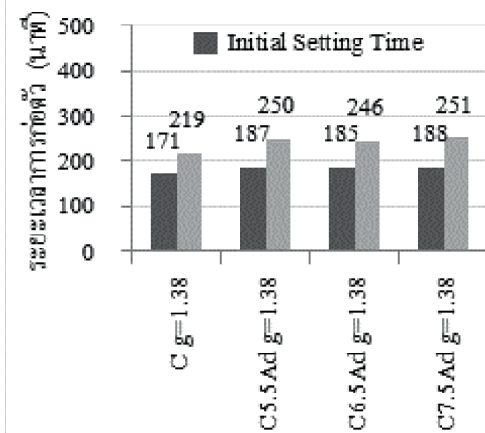
รูปที่ 4 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต Addition



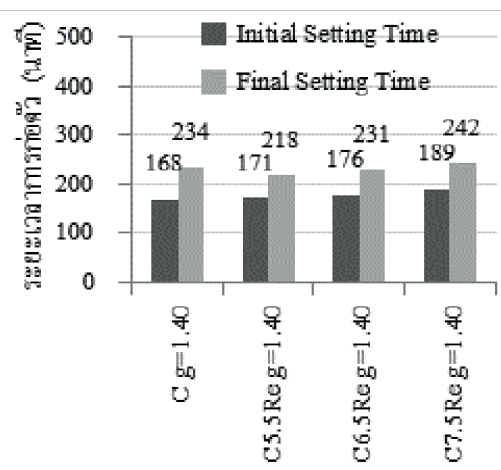
รูปที่ 5 การสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีต Addition

3.4 การก่อตัวของคอนกรีต

รูปที่ 6 แสดงการก่อตัวของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด ทั้ง Addition และ Replacement ร้อยละ 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนัก โดยคอนกรีต Addition และ Replacement ใช้อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่างในคอนกรีตเท่ากับ 1.38 และ 1.40 ตามลำดับ พบว่า การก่อตัวของคอนกรีต Addition นานกว่าเล็กน้อย ในขณะที่ของคอนกรีต Replacement ไม่แตกต่าง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อตัวของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน



n) Addition



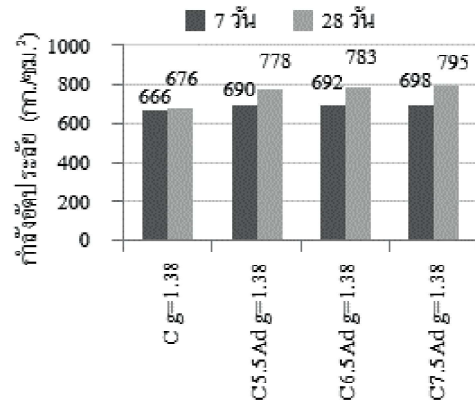
ข) Replacement

รูปที่ 6 การก่อตัวของคอนกรีต

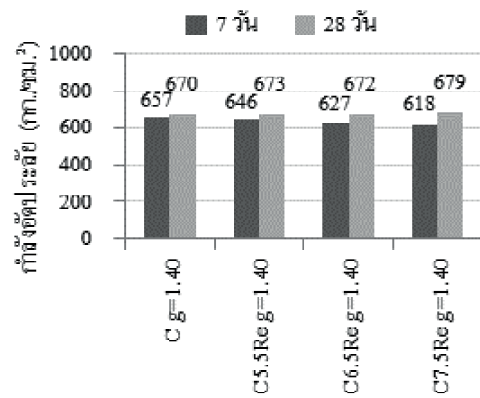
3.5 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

รูปที่ 7 แสดงกำลังอัดประลัยของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด พบว่า กำลังอัดประลัยของคอนกรีต Addition ทั้งที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน มีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารเพิ่มกำลังอัดทำปฏิกิริยาเกิดผลผลิตที่ก่อให้เกิดกำลังมากขึ้น จึงส่งผลให้กำลังอัดประลัยสูงขึ้น [1] ส่วนกำลังอัดประลัยของคอนกรีต Replacement ที่อายุ 7 วัน มีค่าน้อยกว่า ในขณะที่อายุ 28 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลการลดปริมาณของปูนซีเมนต์ลง มีผลมากกว่าผลจากการทำปฏิกิริยาของสารเพิ่มกำลังอัด นอกจากนี้พบว่า คอนกรีตทั้ง Addition และ Replacement เมื่อใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่ต่างกัน ให้กำลังอัดประลัยที่ไม่แตกต่างกัน



n) Addition

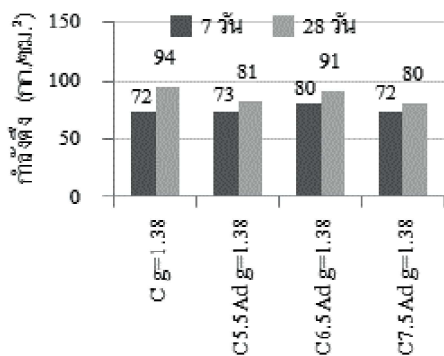


ข) Replacement

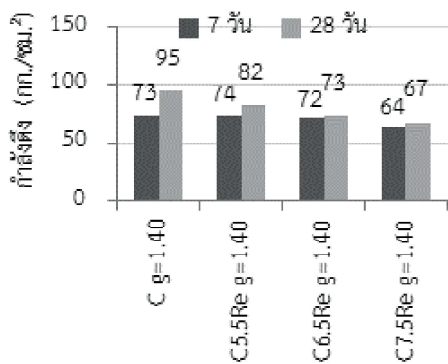
รูปที่ 7 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน

3.6 กำลังดึงของคอนกรีต

รูปที่ 8 แสดงกำลังดึงของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด พบว่า กำลังดึงของคอนกรีตทั้ง Addition และ Replacement มีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน



ก) Addition



ข) Replacement

รูปที่ 8 กำลังดึงของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน

4. สรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การขยายตัวออตเคลฟของเพสต์ผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยการขยายตัวออตเคลฟของเพสต์ Replacement มีค่าน้อยกว่าของ Addition และการใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากให้ค่าการขยายตัวออตเคลฟของเพสต์มากขึ้น

2) การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ Replacement มีค่าน้อยกว่าของ Addition และการใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากให้ค่าการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น

3) ค่าการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยคอนกรีตที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่ต่างกัน ให้ทั้งค่าการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวไม่แตกต่างกัน ในขณะที่การก่อตัวของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

4) กำลังอัดประลัยของคอนกรีต Addition มีค่ามากกว่า ในขณะที่ของ Replacement มีแนวโน้มต่ำกว่าหรือไม่แตกต่าง เมื่อเปรียบเทียบกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ส่วนกำลังดึงของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Panthep Julnipitawong and Somnuk Tangtermsirikul, Investigation on Performance of Concrete and Mortar Using Active Chemical Compound Rockfil-HSM, Final Report Submission to BKG Group Corporation, 2013.
- [2] Panthep Julnipitawong and Somnuk Tangtermsirikul, A Study on Effect of Strength Accelerating Compound on Properties of Concrete and Mortar, volume 2, No. 1, January – June 2014, pp. 17-29.
- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก. 15-2555: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์

ปอร์ตแลนด์, เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ,
กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร, พ.ศ.
2555.

- [4] American Society for Testing and Materials,
ASTM C 151/C 151M – 15: Standard
Test Method for Autoclave Expansion of
Hydraulic Cement, Annual Book of ASTM
Standards, 2015.
- [5] American Society for Testing and Materials,
ASTM C 1038 - 04: Standard Test Method
for Standard Test Method for Expansion
of Hydraulic Cement Mortar Bars Stored
in Water, Annual Book of ASTM Standards,
2004.
- [6] American Society for Testing and Materials,
ASTM C 143/C 143M - 98: Standard Test
Method for Slump of Hydraulic-Cement
Concrete, Annual Book of ASTM Standards,
1998.
- [7] American Society for Testing and Materials,
ASTM C 403/C 403M - 99: Standard Test
Method for Time of Setting of Concrete
Mixtures by Penetration Resistance, Annual
Book of ASTM Standards, 1999.
- [8] British Standard Institute, BS 1881: Part 108
Method of Making Test Cube from Fresh
Concrete, London, 1983.
- [9] American Society for Testing and Materials,
ASTM C 78 - 94: Standard Test Method for
Flexural Strength of Concrete (Using Simple
Beam with Third-Point Loading), Annual
Book of ASTM Standards, 1994.
- [10] ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จตุรพิทักษ์กุล,
ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต, พิมพ์ครั้งที่
5, สมาคมคอนกรีตไทย, พ.ศ. 2551.