



Journal of Thailand Concrete Association วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ผลกระทบของสารเพิ่มกำลังอัดต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัว

A Study on Effect of Strength Accelerating Compound on Properties of Concrete and Mortar

ปานเทพ จุณนิพิฐวงษ์¹, สมนึก ตั้งเต็มสิริกกุล²

¹ ศูนย์วิจัยศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา, สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

² ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและเทคโนโลยี, สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ARTICLE INFO:

Received: February 16, 2014

Received Revised Form: March 30, 2014

Accepted: April 2, 2014

ABSTRACT :

The early-age properties of low slump concrete and mortar with the strength accelerating compound were investigated. The strength accelerating compound was used as an additive and replacement material with varied content. The expansion of mortar samples containing the strength accelerating compound stored in water and the autoclave expansion of paste bar samples containing the strength accelerating compound were used to determine durability properties. The long term durability property such as sulfate resistance was also investigated. It was found that as consequence of using the strength accelerating compound as an additive material the early-age compressive strength and slump of concrete were improved. The expansion of mortar due to storage in water was in the limit of the standard when incorporated with limestone powder. The autoclave expansion of paste bar sample containing the strength accelerating compound was less than 0.8%. The sulfate resistance of concrete was improved when using strength accelerating compound as replacement material.

*Corresponding Author,

Email address: parnthep@siit.tu.ac.th

KEYWORDS: strength accelerating compound, additive, early-age

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมคอนกรีตมีความต้องการคอนกรีตประเภทที่ให้กำลังอัดสูงในช่วงต้นเป็นอย่างมากเนื่องจากการแข่งขันที่รุนแรงของธุรกิจก่อสร้าง ประเภทของงานที่ต้องการคอนกรีตที่ให้กำลังอัดในช่วงต้นยังรวมถึงงานซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต เช่น งานซ่อมแซมถนน เพื่อที่สามารถเปิดให้บริการได้อย่างเร็วที่สุด ในอุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูปยังได้นำคอนกรีต

ประเภทนี้ไปใช้อย่างแพร่หลาย เพื่อช่วยเพิ่มกำลังการผลิตและลดต้นทุน

การเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตมีหลายวิธี โดยทั่วไปจะใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ทว่าราคาของปูนพอร์ตแลนด์ชนิดนี้มีราคาสูงกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งประเด็นนี้มีผลต่อการตัดสินใจที่จะนำปูนพอร์ตแลนด์ชนิดนี้ไปใช้อีกวิธีหนึ่งคือการใช้สารผสมเพิ่ม (mineral admixture) แทนที่บางส่วนของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ในส่วนผสมของ

คอนกรีต เพื่อเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต ณ. ปัจจุบันสารผสมเพิ่มที่รู้จักกัน ได้แก่ ซิลิกาฟูม, ผงหินปูน เป็นต้น

สารผสมเพิ่ม โดยส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้ระหว่างกระบวนการผลิตอื่นๆ นำมาใช้งานในลักษณะเป็นผงซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ด้วยวิวัฒนาการที่ก้าวหน้า นักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันสามารถสังเคราะห์สารผสมเพิ่มขึ้นมาได้เอง มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ และสารผสมเพิ่มนี้สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วในช่วงอายุต้นๆของคอนกรีตเพื่อเพิ่มอัตราพัฒนาการกำลังอัดช่วงต้นของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม ผลกระทบของการใช้สารผสมเพิ่มชนิดนี้ต่อคุณภาพของคอนกรีตในระยะยาวยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างเพียงพอ

2. วัตถุประสงค์

งานศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาผลของการใช้สารผสมเพิ่มชนิดเพิ่มกำลังอัดในช่วงอายุต้นๆของคอนกรีตต่อคุณสมบัติช่วงอายุต้นและปลายของคอนกรีตและมอร์ต้า ในด้านความสามารถเทได้ (workability), คุณสมบัติทางกล (mechanical property) และความคงทน (durability)

3. วิธีการศึกษา

3.1 วัสดุและส่วนผสมที่ใช้ศึกษา

ส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ต้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (OPC1), เถ้าลอย (FA), ผงฝุ่นหินปูนที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3 ไมครอน (LP) และสารเพิ่มกำลังอัด (strength accelerating compound, AC) โดยนำสารเพิ่มกำลังอัดนี้มาใช้ในการผสมตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ต้าแบบสารผสมเพิ่มที่ใช้ในงานคอนกรีตทั่วไป กล่าวคือใช้ทั้งแทนที่และเติมลงไปในวัสดุประสานของส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ต้า

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภท 1, เถ้าลอยและสารเพิ่มกำลังอัด แสดงในตารางที่ 1

เพื่อศึกษาผลของสารเพิ่มกำลังอัดต่อคุณสมบัติของคอนกรีตและมอร์ต้า จะใช้สารเพิ่มกำลังอัดผสมกับ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภท 1, เถ้าลอย, ผงฝุ่นหินปูน โดยผสมสารเพิ่มกำลังอัด 2 วิธี กล่าวคือ

- วิธีที่ 1 คือ การแทนที่วัสดุประสาน
- วิธีที่ 2 คือ การเติม โดยวิธีนี้วัสดุประสานจะคงเดิมแต่เติมสารเพิ่มกำลังอัดเพิ่มลงไปในวัสดุประสานซึ่งทำให้ส่วนผสมมีวัสดุประสานเพิ่มขึ้น

โดยมีปริมาณร้อยละการแทนที่ (replacement percentage) และร้อยละการเติม (addition percentage) ของสารเพิ่มกำลังอัดชนิดนี้ที่แตกต่างกัน

โดยปริมาณร้อยละการแทนที่และการเติมจะคำนวณจากน้ำหนักของวัสดุประสานที่ผสมอยู่ในตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ต้า ปริมาณร้อยละการแทนที่และการเติมของสารเพิ่มกำลังอัดที่ใช้ศึกษามีค่าเท่ากับ 5.5%, 6.5% และ 7.5% โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

ส่วนผสมสำหรับใช้ทดสอบ ความสามารถเทได้, การก่อตัว, กำลังรับแรงอัด, การขยายตัวในน้ำ, การขยายตัวเมื่อแช่สารละลายโซเดียมซิลเฟต แสดงในตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 4

3.2 วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยจะศึกษาผลของสารเพิ่มกำลังอัด (Strength accelerating compound) ต่อคุณสมบัติของตัวอย่างคอนกรีต, เพสต์ และมอร์ต้า โดยแยกเป็นการศึกษาผลของสารเพิ่มกำลังอัดต่อคุณสมบัติช่วงต้นของคอนกรีต และการศึกษาผลของสารเพิ่มกำลังอัดต่อคุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีต ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 การทดสอบความสามารถเทได้ การก่อตัว และ กำลังอัด

- ควบคุมค่าการยุบตัวเริ่มต้น (initial slump) ของตัวอย่างคอนกรีตไว้ที่ 50 ± 20 มม. และวัดค่าการสูญเสียค่าการยุบตัว (slump loss) ทุกๆ 15 นาที
- การก่อตัวของคอนกรีต ทดสอบโดยนำตัวอย่างส่วนผสมคอนกรีตมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อให้ได้ตัวอย่างมอร์ต้า

ทรงลูกบาศก์สี่เหลี่ยม ขนาด 150 มม. เสร็จแล้วนำไปทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C403

- ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่เป็นลูกบาศก์ ที่มีขนาด 100x100x100 มม. เมื่อมีอายุครบ 18 ชั่วโมง, 1 วัน และ 3 วัน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภท 1, แก่ลอย, และสารเพิ่มกำลังอัด

Chemical and Physical Properties		OPC1	Fly ash	Strength accelerating compound
Chemical Compositions*	SiO ₂	17.72	33.41	1.76
	Al ₂ O ₃	3.78	18.74	0.36
	Fe ₂ O ₃	3.64	15.03	0.31
	CaO	66.76	20.01	43.96
	MgO	1.42	2.02	0.24
	SO ₃	4.32	5.19	48.79
	Na ₂ O	0.24	1.27	0.60
	K ₂ O	0.60	2.92	0.08
	TiO ₂	0.25	0.49	0.02
	P ₂ O ₅	0.07	0.22	0.01
Physical properties	Density	3.15	2.24	2.95
	Blaine surface area (cm ² /g)	3300	2578	2984
	Loss on ignition	1.06	0.23	3.78

- การทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C151 คือ การวัดการขยายตัวของแท่งตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ขนาด 25x25x285 มม. เมื่อผ่านการอบในเตา autoclave และการทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าตามมาตรฐาน ASTM C1038 คือ การวัดการขยายตัวของแท่งมอร์ต้าขนาด 25x25x285 มม. เมื่อบ่มในสารละลาย Ca(OH)₂ เป็นระยะเวลา 14 วัน

- เนื่องจากสารเพิ่มกำลังอัดมีปริมาณ SO₃ ที่สูง จึงต้องทำการทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าเมื่อบ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ทำได้โดยหล่อตัวอย่างมอร์ต้าขนาด 25x25x285 มม. หลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมงนำตัวอย่างที่ได้ไปบ่มในน้ำจนตัวอย่างมีอายุ 28 วัน จึงนำตัวอย่างทั้งหมดไปแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต หลังจากนั้นจะทำการวัดการขยายตัวทุกๆ 2 เดือนโดยประมาณ

จะสังเกตเห็นว่าสารเพิ่มกำลังอัดมีองค์ประกอบทางเคมีในลักษณะคล้ายกับของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์และแก่ลอย แต่มีปริมาณออกไซด์หลักน้อยกว่ามาก ยกเว้นปริมาณ SO₃ ของสารเพิ่มกำลังอัดที่สูงกว่าของปูนซีเมนต์และแก่ลอยมาก

3.2.2 การทดสอบด้านความคงทน

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 เพื่อใช้ทดสอบการสูญเสียค่ายุบตัว การก่อตัว กำลังอัด

ส่วนผสม	Paste Volume (litre/m ³)	SP (%)	C (kg/m ³)	AC (kg/m ³)	W (kg/m ³)	SP (cc/m ³)	G (kg/m ³)	S (kg/m ³)
opc-1	352	1.35	554	0	159	7473	980	742
opc1+AC5.5 (add)	352	1	554	30	161	5536	980	742
opc1+RK6.5 (add)	352	1	554	36	161	5536	980	742
opc1+RK7.5 (add)	352	1	554	42	161	5536	980	742
opc1	357	1	562	0	163	5618	972	736
opc1+RK5.5 (replace)	357	0.8	530	31	164	4239	972	736
opc1+RK6.5 (replace)	357	0.8	524	36	164	4193	972	736
opc1+RK7.5 (replace)	357	0.8	518	42	164	4147	972	736

4. ผลการทดสอบ

การสูญเสียการยุบตัวน้อยกว่าการใช้ปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดที่ 5.5% และ 6.5%

4.1 ผลการทดสอบความสามารถเทได้ การก่อตัว และ กำลังอัด

4.1.1 ผลการทดสอบความสามารถเทได้

รูปที่ 1 แสดงผลการทดสอบการสูญเสียค่าการยุบตัวของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 ที่มีการใส่สารเพิ่มกำลังอัดโดยใช้วิธีเดิมและแทนที่บางส่วน ในปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% ของน้ำหนักวัสดุประสาน จากผลการทดสอบสังเกตเห็นว่าตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดแสดงค่าการสูญเสียการยุบตัวที่น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด โดยที่การใช้ปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดแบบวิธีเดิมและแทนที่บางส่วนที่ 7.5% ของน้ำหนักวัสดุประสานจะเกิดค่า

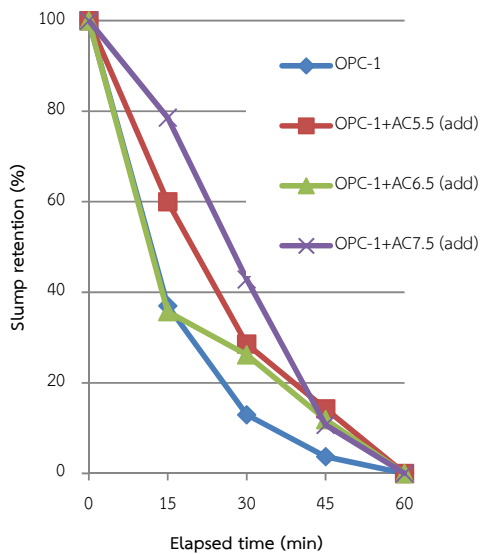
รูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบการสูญเสียค่าการยุบตัวของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP ผสมกับสารเพิ่มกำลังอัดโดยใช้วิธีเดิมและแทนที่บางส่วน ในปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% ของน้ำหนักวัสดุประสาน จากการทดสอบจะสังเกตเห็นว่าการใช้สารเพิ่มกำลังอัดโดยวิธีเดิมให้ค่าการสูญเสียค่าการยุบตัวน้อยกว่าวิธีแทนที่บางส่วนของวัสดุประสาน ซึ่งสอดคล้องกับกรณีของส่วนผสมคอนกรีต OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP เพื่อใช้ทดสอบการสูญเสียค่าการยุบตัว การก่อตัว กำลังอัด

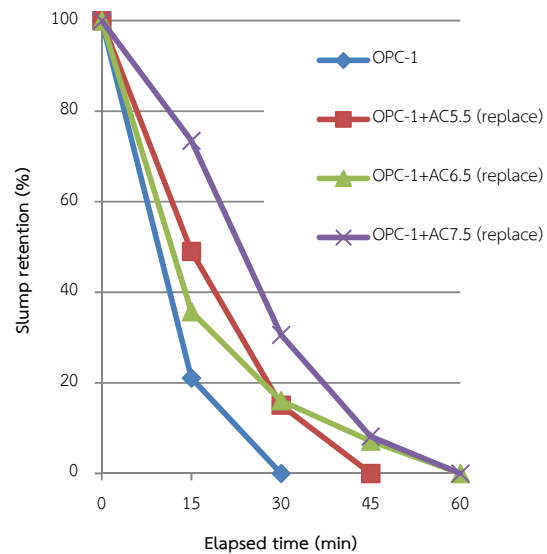
ส่วนผสม	Paste Volume (litre/m ³)	SP (%)	C (kg/m ³)	RK (kg/m ³)	LP (kg/m ³)	W (kg/m ³)	SP (cc/m ³)	G (kg/m ³)	S (kg/m ³)
opc1+LP10	332	1.2	465	0	52	149	6193	1011	765
opc1+LP10+RK5.5 (add)	332	0.9	465	28	52	150	4645	1011	765
opc1+LP10+RK6.5 (add)	332	0.9	465	34	52	150	4645	1011	765
opc1+LP10+RK7.5 (add)	332	0.9	465	39	52	150	4645	1011	765
opc1+LP10	357	0.9	501	0	56	162	5013	972	736
opc1+LP10+RK5.5 (re)	357	0.7	470	31	56	163	3678	972	736
opc1+LP10+RK6.5 (re)	357	0.7	464	36	56	163	3638	972	736
opc1+LP10+RK7.5 (re)	357	0.7	458	42	56	163	3598	972	736

ตารางที่ 4 ส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 เพื่อใช้ทดสอบการสูญเสียค่าการยุบตัว การก่อตัว กำลังอัด

Mix proportion	w/b	s/b	C	FA (kg/m ³)	RK (kg/m ³)	sand (kg/m ³)	W (kg/m ³)
opc-1	0.55	2.75	519	-	-	1426	285
opc-5	0.55	2.75	519	-	-	1426	285
opc-1+FA20%	0.55	2.75	409	102	-	1407	281
opc-1+FA30%	0.55	2.75	356	152	-	1397	279
opc-1+RK5.5% Add	0.55	2.75	519	-	29	1426	285
opc-1+RK6.5% Add	0.55	2.75	519	-	34	1426	285
opc-1+RK7.5% Add	0.55	2.75	519	-	39	1426	285
opc-1+RK5.5% Replace	0.55	2.75	490	-	29	1425	285
opc-1+RK6.5% Replace	0.55	2.75	485	-	34	1425	285
opc-1+RK7.5% Replace	0.55	2.75	479	-	39	1425	285

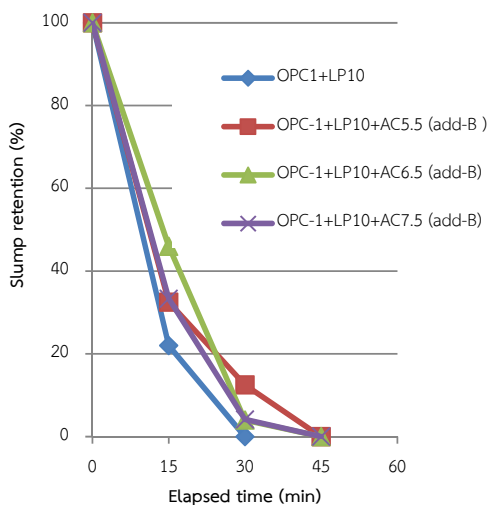


(a) กรณีผสมโดยการเติม

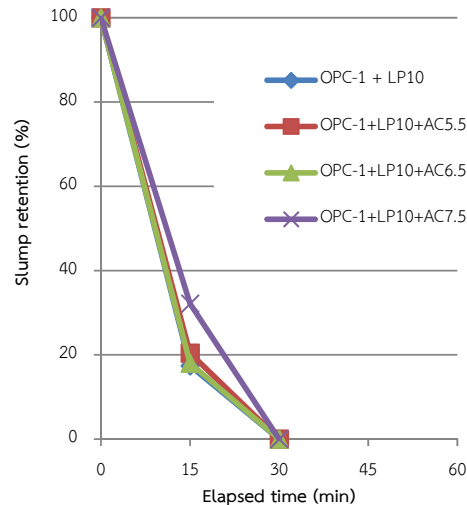


(b) กรณีผสมโดยการแทนที่

รูปที่ 1 การยุบตัวตามเวลาของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด



(ก) กรณีผสมโดยการเติม



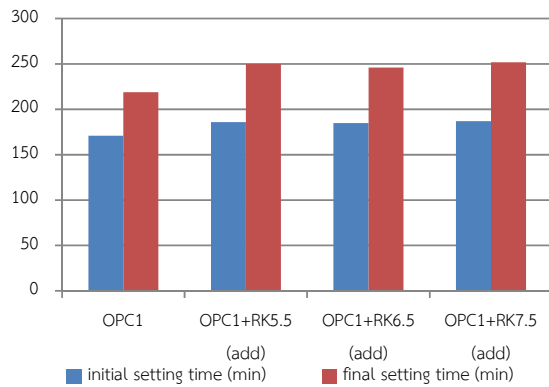
(ข) กรณีผสมโดยการแทนที่

รูปที่ 2 การยุบตัวตามเวลาของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด

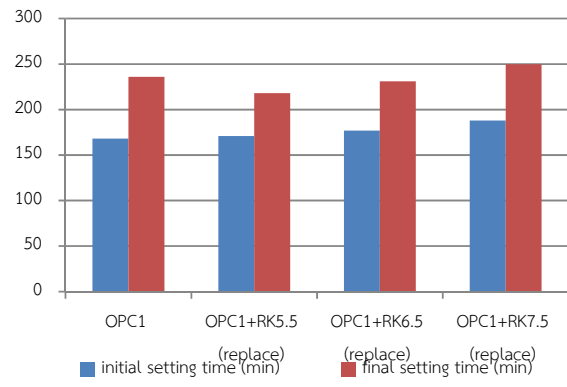
4.1.2 ผลการทดสอบการก่อตัว

ผลการทดสอบการก่อตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่ในปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% ของน้ำหนักวัสดุประสาน แสดงอยู่ในรูปที่ 3 จากผลการทดสอบปรากฏว่า กรณีที่ใช้สารเพิ่มกำลังอัดโดยการเติม ยิ่งปริมาณการเติมเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการก่อตัวเริ่มต้นและการก่อตัวสุดท้ายยาวนานกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารเพิ่มกำลังอัด อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณสาร

เพิ่มกำลังอัดมากขึ้นค่าการก่อตัวเริ่มต้นและการก่อตัวสุดท้ายของตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดนั้นมีความเท่ากัน ในทางตรงกันข้ามเมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัดโดยการแทนที่บางส่วนของวัสดุประสานในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการก่อตัวเริ่มต้นและการก่อตัวสุดท้ายมีค่ามากขึ้นเป็นลำดับจนกระทั่งมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด



(a) กรณีผสมโดยการเติม

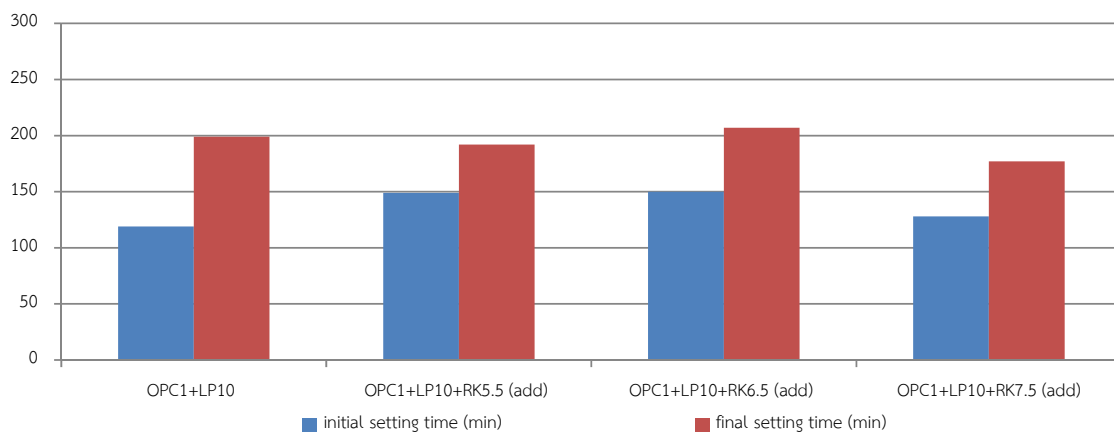


(b) กรณีผสมโดยการแทนที่

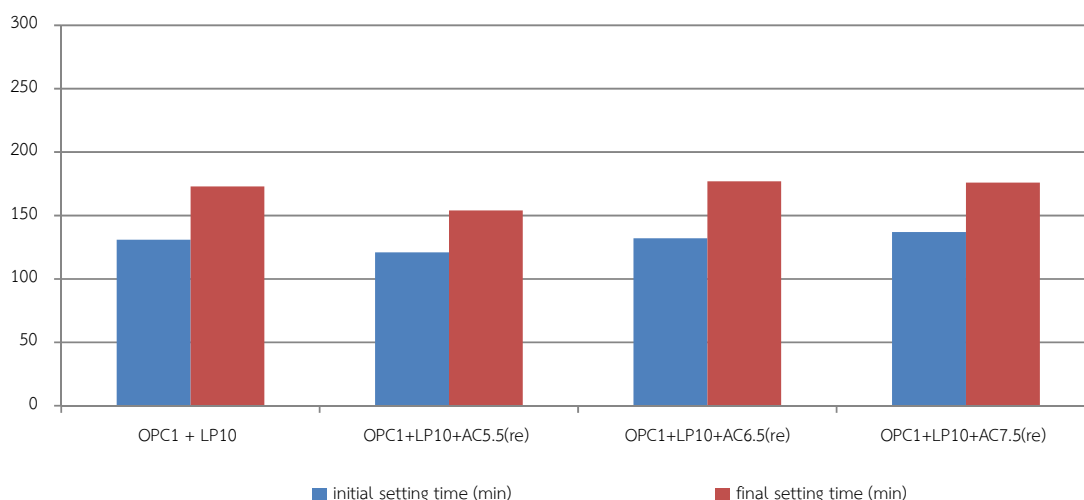
รูปที่ 3 ค่าการก่อตัวเริ่มต้นและค่าการก่อตัวสุดท้ายของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด

ผลการทดสอบการก่อตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่โดยใช้วิธีการเติมและแทนที่ ในปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% ของน้ำหนักวัสดุประสาน แสดงอยู่ในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ เมื่อพิจารณากรณีที่ใช้สารเพิ่มกำลังอัดโดยวิธีการเติม พบว่าเมื่อปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดเพิ่มสูงขึ้นจาก 5.5% ถึง 6.5% จะทำให้ค่าการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดเป็น 7.5% ค่าการก่อตัวเริ่มต้นมีค่าเท่ากับตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัดและการก่อตัวสุดท้ายมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด

ในทางตรงกันข้าม เมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัดโดยใช้วิธีแทนที่ พบว่าเมื่อใช้ปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดที่ 5.5% จะทำให้การก่อตัวเริ่มต้นและการก่อตัวสุดท้ายเร็วขึ้น และเมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัดปริมาณ 6.5% กับ 7.5% พบว่าการก่อตัวจะยาวขึ้นจนเทียบเท่ากับตัวอย่างที่ไม่ใช้สารเพิ่มกำลังอัด เมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัด 6.5% และการก่อตัวยาวมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้สารเพิ่มกำลังอัด เมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัด 7.5%



รูปที่ 4 ค่าการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP10 ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีผสมโดยการเติม)



รูปที่ 5 ค่าการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP10 ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีผสมโดยการแทนที่)

4.1.3 ผลการทดสอบกำลังอัด

จากผลการทดสอบกำลังอัดที่อายุช่วงต้นของคอนกรีตชนิด OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่โดยวิธีเติมเป็นปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าตัวอย่างคอนกรีตที่มีสารเพิ่มกำลังอัดให้กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 18 ชม., 1 วัน และ 3 วันสูงกว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด ทั้งนี้เมื่อใช้ปริมาณสารเพิ่มกำลัง

อัด 6.5% ของน้ำหนักวัสดุประสานทำให้กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 18 ชม. มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 16%

อย่างไรก็ตามเมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัดโดยวิธีแทนที่บางส่วนของวัสดุประสาน กำลังอัดที่ได้ของตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าเท่ากับกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด ดังแสดงในรูปที่ 7

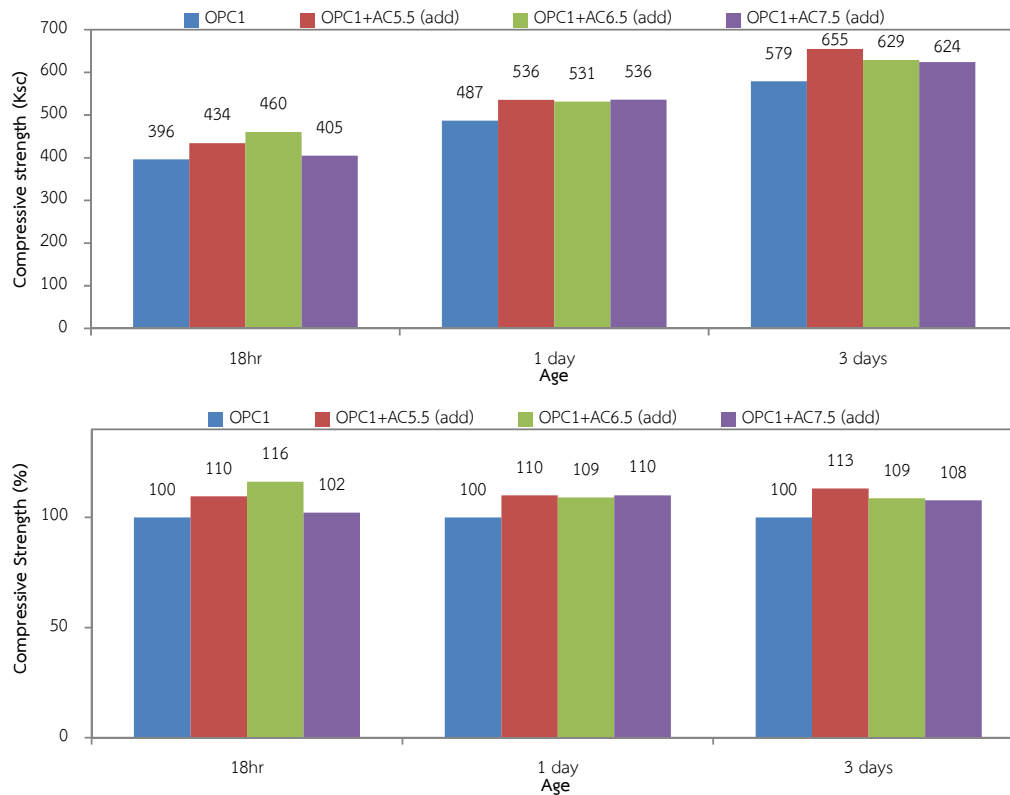
รูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่าง OPC1+LP ที่มีสารใส่สารเพิ่มกำลังอัดโดยวิธีเติม ที่ปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% พบว่าปริมาณการใช้สารเพิ่มกำลังอัดที่สูงขึ้นให้กำลังอัดของตัวอย่างที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัดที่อายุ 18 ชม., 1 วันและ 3 วัน สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด โดยเฉพาะที่อายุ 18 ชม. กำลังอัดของตัวอย่างที่ใส่สารเพิ่มกำลังอัดที่ 6.5% มีค่าเพิ่มขึ้นถึง 20%

ในทางตรงกันข้าม เมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัดแบบแทนที่บางส่วนของวัสดุประสาน ดังแสดงในรูปที่ 9 ทำให้ค่ากำลังของตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดในช่วงกำลังอัดที่อายุ 18 ชม. และ 1 วัน ทั้งนี้กำลังอัดที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าเท่ากับตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด ยกเว้นตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่ 6.5% โดยน้ำหนักวัสดุประสานที่ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัดเล็กน้อย

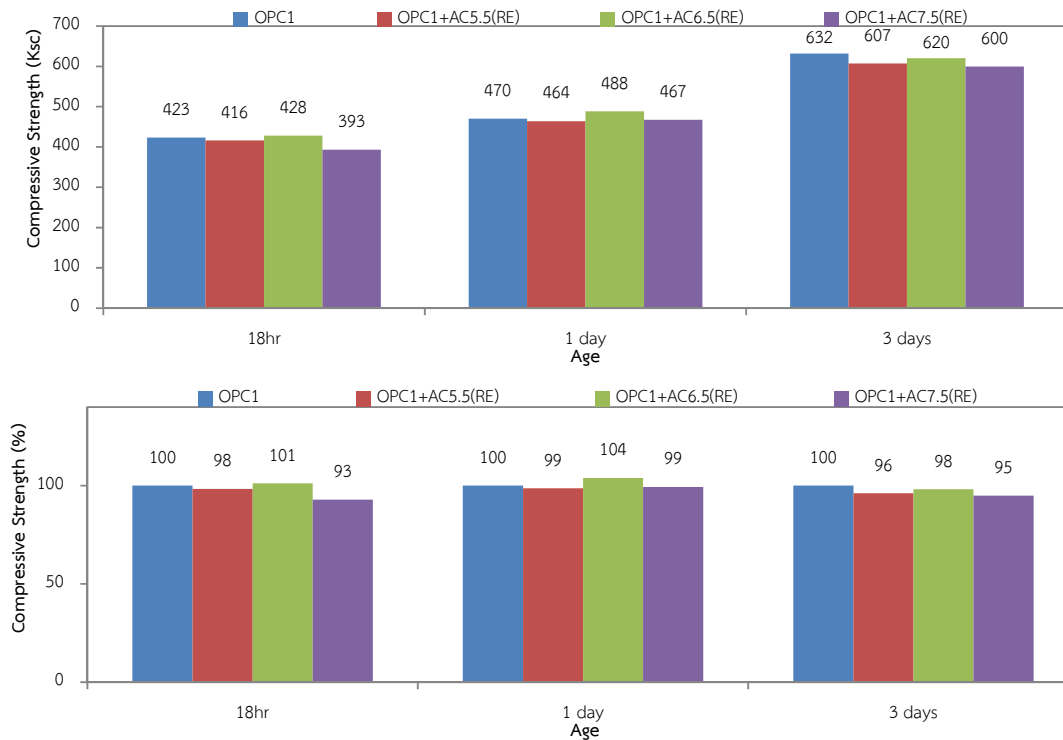
4.2 ผลการทดสอบด้านความคงทน

4.2.1 ผลการทดสอบการขยายตัว ตามมาตรฐาน ASTM C1038

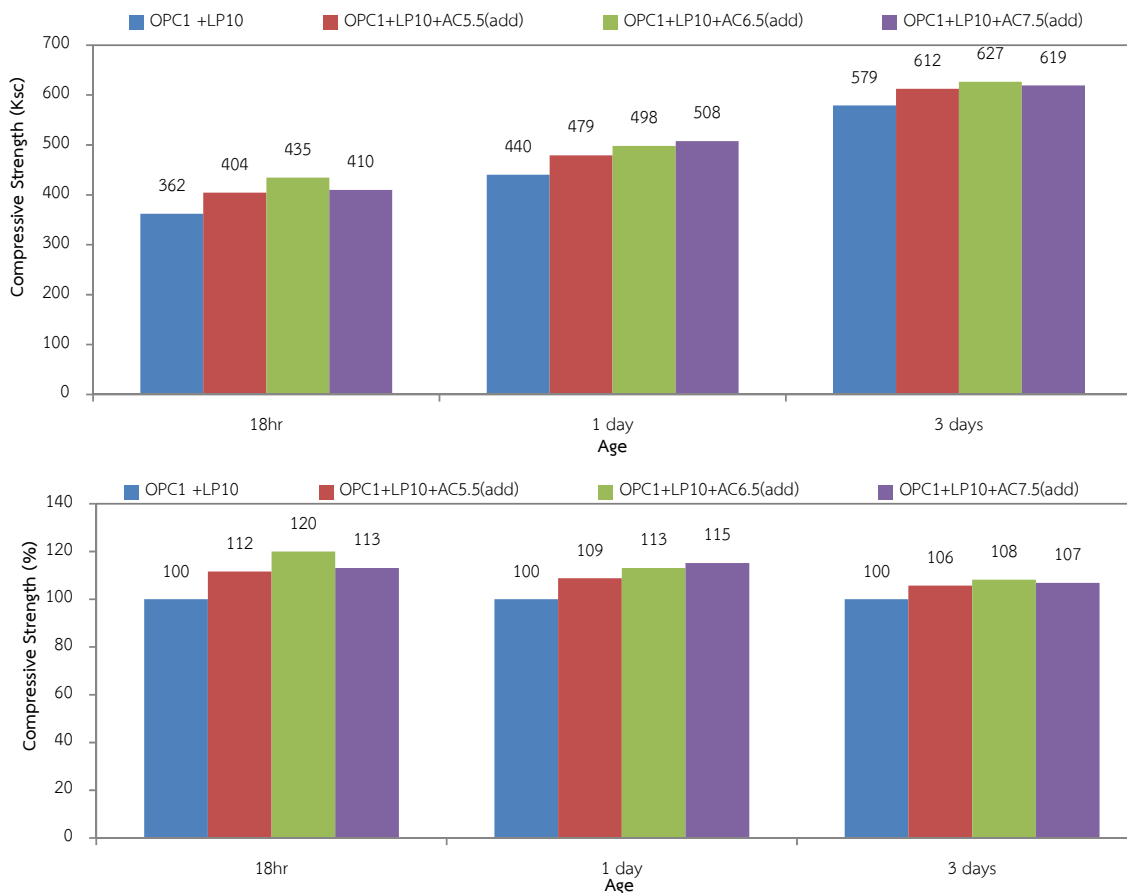
การทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าตามมาตรฐาน ASTM C1038 คือ การวัดการขยายตัวของแท่งมอร์ต้าขนาด 25x25x285 มม. เมื่อบ่มในสารละลาย Ca(OH)_2 เป็นระยะเวลา 14 วัน รูปที่ 10 แสดงผลการทดสอบของตัวอย่าง OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด จะสังเกตเห็นว่าเมื่อใช้ปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดมากขึ้นทั้งโดยใช้วิธีเติมและแทนที่บางส่วน ทำให้ตัวอย่างมีการขยายตัวมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด และบางตัวอย่างให้ค่าการขยายตัวมากกว่า 200 ไมครอนที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM 150



รูปที่ 6 ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีผสมโดยการเติม)



รูปที่ 7 ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีผสมโดยการแทนที่)



รูปที่ 8 ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีผสมโดยการเติม)

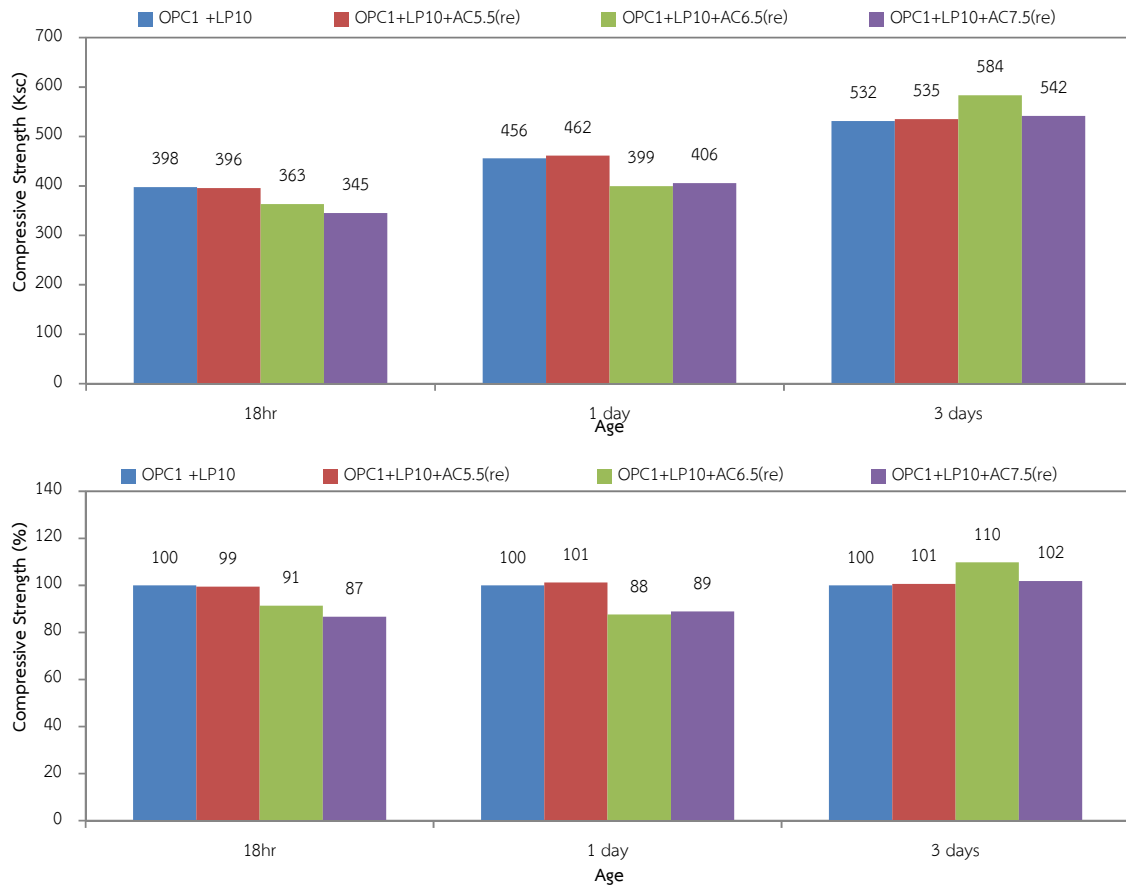
รูปที่ 11 แสดงผลการทดสอบการขยายตัวของส่วนผสม OPC1+LP ตามมาตรฐาน ASTM C1038 พบว่าค่าการขยายตัวของตัวอย่าง OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่โดยวิธีการเติมมีค่าลดลงและน้อยกว่าตัวอย่าง OPC1 ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัดโดยวิธีเดียวกัน และยังมีค่าไม่เกิน 200 ไมครอนตามมาตรฐาน ASTM C150 อย่างไรก็ตามค่าการขยายตัวของตัวอย่าง OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่โดยวิธีแทนที่ ที่ปริมาณ 6.5% และ 7.5% มีค่าใกล้เคียง 200 ไมครอน

4.2.2 ผลการทดสอบการขยายตัว ตามมาตรฐาน ASTM C151 การทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C151 คือ การวัดการขยายตัวของแท่งตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ขนาด 25x25x285 มม. เมื่อผ่านการอบในเตา autoclave เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง จากผลการทดสอบการขยายตัวของตัวอย่าง OPC1 และ OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดดังแสดงในรูปที่ 12 และรูปที่ 13 ตามลำดับ พบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีค่าการขยายตัว

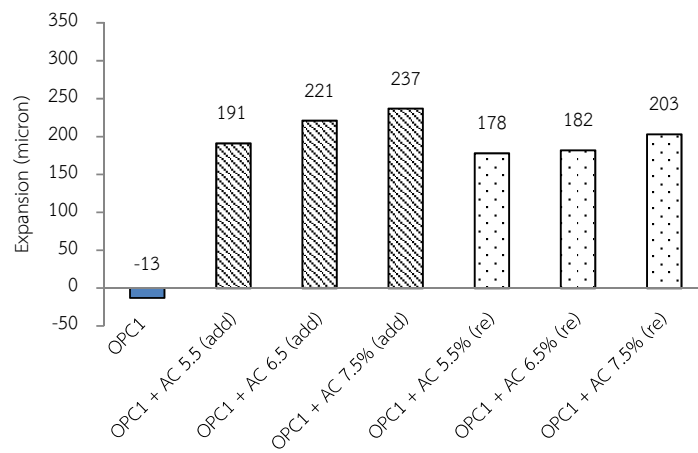
น้อยและมีค่าไม่เกิน 0.8% ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM C151

4.2.3 ผลการทดสอบการขยายตัวเมื่อบ่มในสารละลายโซเดียมซิลิเฟต

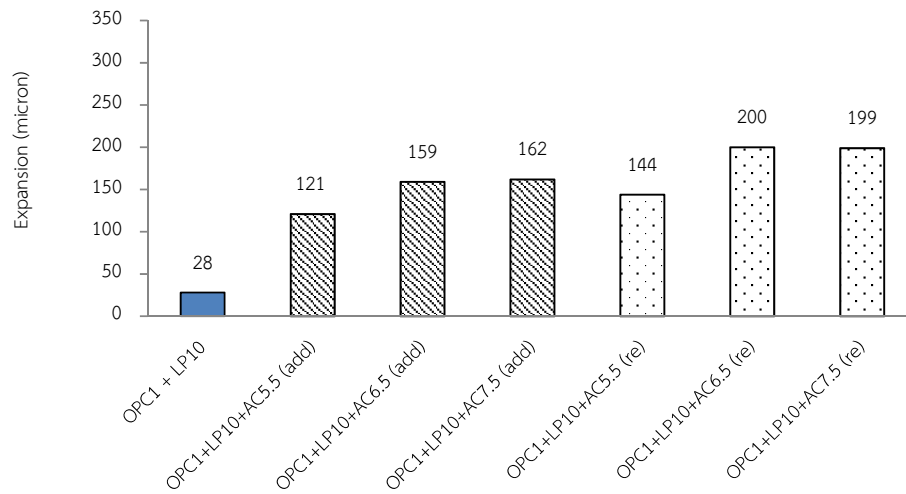
รูปที่ 14 แสดงผลการทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมโดยวิธีการเติม เปรียบเทียบกับการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด (OPC1, OPC1+FA20, OPC1+FA30, OPC5) จากรูปจะพบว่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่ปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% มีค่าการขยายตัวใกล้เคียงกับของตัวอย่าง OPC1 ที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด อย่างไรก็ตามค่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าที่มีสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าสูงกว่าของตัวอย่างที่มีการผสมเกลือและตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ต้านทานซิลิเฟต (OPC1+FA20, OPC1+FA30 และ OPC5)



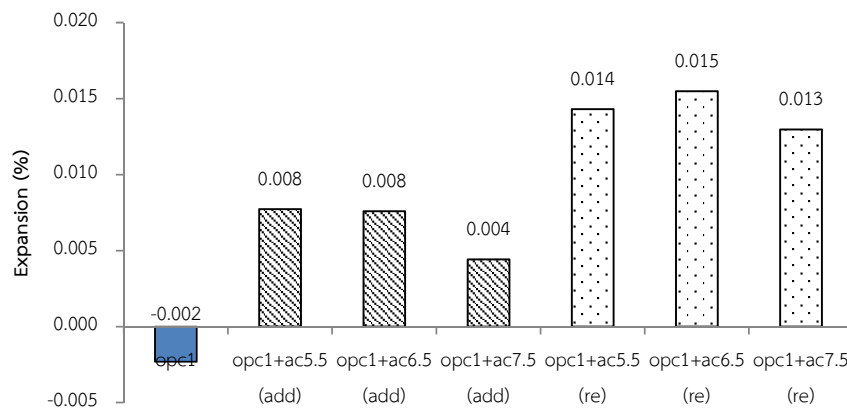
รูปที่ 9 ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีผสมโดยการแทนที่)



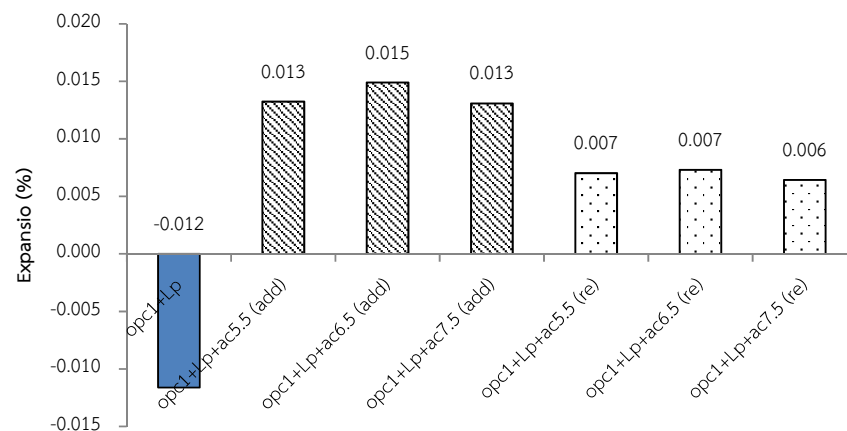
รูปที่ 10 การขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด



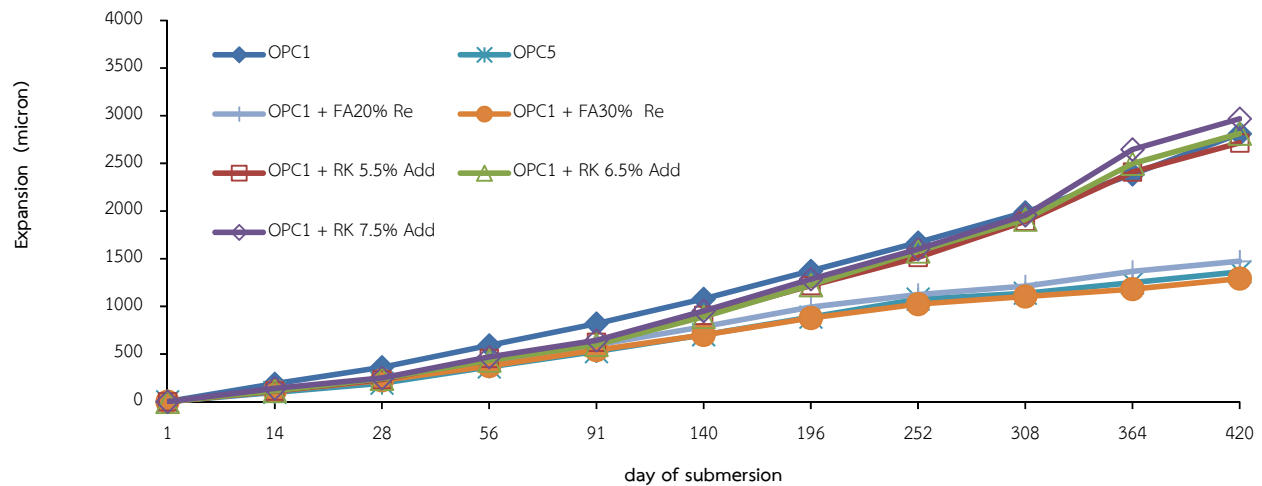
รูปที่ 11 การขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด



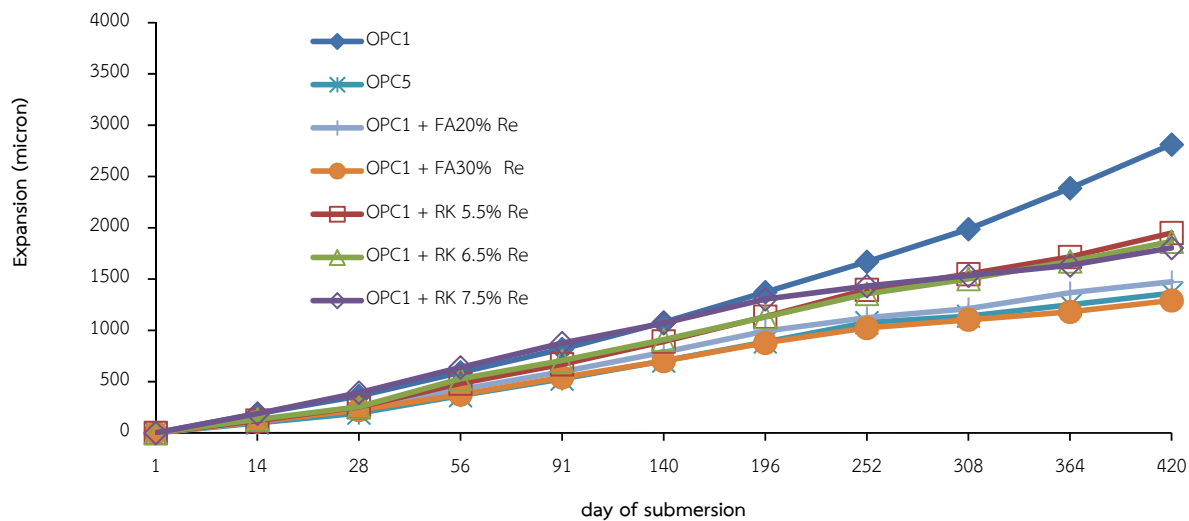
รูปที่ 12 การขยายตัวของตัวอย่างเพสต์ OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดเมื่อบ่มในเตา autoclave



รูปที่ 13 การขยายตัวของตัวอย่างเพสต์ OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดเมื่อบ่มในเตา autoclave



รูปที่ 14 ค่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด
เปรียบเทียบกับตัวอย่างมอร์ต้าที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีใช้สารเพิ่มกำลังอัดแบบเดิม)



รูปที่ 15 ค่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด
เปรียบเทียบกับตัวอย่างมอร์ต้าที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีใช้สารเพิ่มกำลังอัดแบบแทนที่)

รูปที่ 15 แสดงผลการทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมโดยวิธีการแทนที่ เปรียบเทียบกับการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด (OPC1, OPC1+FA20, OPC1+FA30, OPC5) จากรูปจะพบว่า การขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่ปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% มีค่าการขยายตัวน้อยกว่าของตัวอย่าง

OPC1 ที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด แต่ยังคงมีค่าการขยายตัวมากกว่าของตัวอย่าง OPC1+FA20, OPC1+FA30 และ OPC5

5. สรุป

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัดผสมกับวัสดุประสานโดยวิธีการเติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีต ทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวดีขึ้น อาทิเช่น เพิ่มระยะเวลาค่าสูญเสียการยุบตัว, เพิ่มระยะเวลาการก่อตัว, เพิ่มกำลังอัดช่วงต้น ทางด้านคุณสมบัติความคงทน การใช้สารเพิ่มกำลังอัดยังช่วยให้คุณสมบัติทางความคงทนของคอนกรีตดีขึ้น อาทิเช่น ค่าการขยายตัวเนื่องจากบ่มในสารละลายซัลเฟตมีค่าน้อยกว่าค่าการขยายตัวของตัวอย่าง OPC1 ที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด อย่างไรก็ตามการพัฒนาคุณสมบัติที่ดีขึ้นทั้งทางกลและความคงทนยังขาดข้อมูลสนับสนุนทางด้านการวิเคราะห์ทางเคมีเชิงลึกและการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค เพื่อใช้อธิบายเพิ่มเติมถึงสาเหตุและกลไกที่ทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตและมอร์ตาร์เปลี่ยนไปในทางที่ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Society for Testing and Materials, 1999. ASTM C 403: Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance, *In Annual Book of ASTM Standard*, West Conshohocken, PA.
- [2] American Society for Testing and Materials, 2000. ASTM C 151: Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement, *In Annual Book of ASTM Standard*, West Conshohocken, PA.
- [3] American Society for Testing and Materials, 1995. ASTM C 1038: Standard Test Method for Expansion of Portland Cement Mortar Bars Stored in Water, *In Annual Book of ASTM Standards*, West Conshohocken, PA.
- [4] American Society for Testing and Materials, 1995. ASTM C 1012: Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution, *In Annual Book of ASTM Standards*, West Conshohocken, PA.