

วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



ผลกระทบของสารเพิ่มกำลังอัดต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัว

¹ดร. ปานเทพ จุฬนิพัธวงษ์

²ศ.ดร. สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล

¹ศูนย์วิจัยศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา, สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, parnthep@siit.tu.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและเทคโนโลยี, สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, somnuk@siit.tu.ac.th

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมคอนกรีตมีความต้องการคอนกรีตประเภทที่ให้กำลังอัดสูงในช่วงต้นเป็นอย่างมาก เนื่องจากการแข่งขันที่รุนแรงของธุรกิจก่อสร้าง ประเภทของงานที่ต้องการคอนกรีตที่ให้กำลังอัดในช่วงต้นยังรวมถึงงานซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต เช่น งานซ่อมแซมถนน เพื่อที่สามารถเปิดให้บริการได้อย่างเร็วที่สุด ในอุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูปยังได้นำคอนกรีตประเภทนี้ไปใช้อย่างแพร่หลาย เพื่อช่วยเพิ่มกำลังการผลิตและลดต้นทุน

การเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตมีหลายวิธี โดยทั่วไปจะใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ทว่าราคาของปูนพอร์ตแลนด์ชนิดนี้มีราคาสูงกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งประเด็นนี้มีผลต่อการตัดสินใจที่จะนำปูนพอร์ตแลนด์ชนิดนี้ไปใช้ อีกวิธีหนึ่งคือการใช้สารผสมเพิ่ม (mineral admixture) แทนที่บางส่วนของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ในส่วนผสมของคอนกรีต เพื่อเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต ณ. ปัจจุบันสารผสมเพิ่มที่รู้จักกัน ได้แก่ ซิลิกาฟูม, ผงหินปูน เป็นต้น

สารผสมเพิ่ม โดยส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้ระหว่างกระบวนการผลิตอื่นๆ นำมาใช้งานในลักษณะเป็นผง ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ด้วยวิวัฒนาการที่ก้าวหน้านักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันสามารถสังเคราะห์สารผสมเพิ่มขึ้นมาได้เอง มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ และสารผสมเพิ่มนี้สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วในช่วงอายุต้นๆของคอนกรีตเพื่อ

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

เพิ่มอัตราพัฒนากำลังอัดช่วงต้นของคอนกรีตอย่างไรก็ตามผลกระทบของการใช้สารผสมเพิ่มชนิดนี้ต่อคุณภาพของคอนกรีตในระยะยาวยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างเพียงพอ

2. จุดประสงค์และขอบเขตการศึกษา

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

3. วัสดุและส่วนผสมที่ใช้ศึกษา

ส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ต้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 (OPC1), เถ้าลอย (FA), ผงฝุ่นหินปูนที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3 ไมครอน (LP) และสารเพิ่มกำลังอัด (strength accelerating compound, AC) โดยนำสารเพิ่มกำลังอัดนี้มาใช้ในการผสมตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ต้าแบบสารผสมเพิ่มที่ใช้ในงานคอนกรีตทั่วไป กล่าวคือ ใช้ทั้งแทนที่และเติมลงไปในส่วนประกอบของตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ต้า

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภท 1, เถ้าลอยและสารเพิ่มกำลังอัด แสดงในตารางที่ 1

เพื่อศึกษาผลของสารเพิ่มกำลังอัดต่อคุณสมบัติของคอนกรีตและมอร์ต้า จะใช้สารเพิ่มกำลังอัดผสมกับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภท 1, เถ้าลอย, ผงฝุ่นหินปูน โดยผสมสารเพิ่มกำลังอัด 2 วิธี กล่าวคือ

- วิธีที่ 1 คือ การแทนที่วัสดุประสาน
- วิธีที่ 2 คือ การเติม โดยวิธีนี้วัสดุประสานจะคงเดิมแต่เติมสารเพิ่มกำลังอัดเพิ่มลงไปในส่วนผสมวัสดุประสานเพิ่มขึ้น

โดยมีปริมาณร้อยละการแทนที่ (replacement percentage) และร้อยละการเติม (addition percentage) ของสารเพิ่มกำลังอัดชนิดนี้ที่แตกต่างกัน

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



โดยปริมาณร้อยละการแทนที่และการเติมจะคำนวณจากน้ำหนักของวัสดุประสานที่ผสมอยู่ในตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ต้า ปริมาณร้อยละการแทนที่และการเติมของสารเพิ่มกำลังอัดที่ใช้ศึกษามีค่าเท่ากับ 5.5%, 6.5% และ 7.5% โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

ส่วนผสมสำหรับใช้ทดสอบ ความสามารถเทได้, การก่อตัว, กำลังรับแรงอัด, การขยายตัวในน้ำ, การขยายตัวเมื่อแช่สารละลายโซเดียมซิลิเฟต แสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภท 1, เถ้าลอย, 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

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : http://www.thaitca.or.th

จะสังเกตเห็นว่าสารเพิ่มกำลังอัดมีองค์ประกอบทางเคมีในลักษณะคล้ายกับของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ แหะเล้าลอย แต่มีปริมาณออกไซด์หลักน้อยกว่ามาก ยกเว้นปริมาณ SO_3 ของสารเพิ่มกำลังอัดที่สูงกว่าของปูนซีเมนต์และเล้าลอยมาก

4. วิธีการวิจัย

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

4.1 การทดสอบความสามารถเทได้ การก่อตัว และ กำลังอัด

- ควบคุมค่าการยุบตัวเริ่มต้น (initial slump) ของตัวอย่างคอนกรีตไว้ที่ 50 ± 20 มม. และวัดค่าการสูญเสียค่าการยุบตัว (slump loss) ทุกๆ 15 นาที
- การก่อตัวของคอนกรีต ทดสอบโดยนำตัวอย่างส่วนผสมคอนกรีตมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อให้ได้ตัวอย่างมอร์ต้าทรงลูกบาศก์สี่เหลี่ยม ขนาด 150 มม. เสร็จแล้วนำไปทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C403
- ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่เป็นลูกบาศก์ ที่มีขนาด $100 \times 100 \times 100$ มม. เมื่อมีอายุครบ 18 ชั่วโมง, 1 วัน และ 3 วัน

4.2 การทดสอบด้านความคงทน

- การทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C151 คือ การวัดการขยายตัวของแท่งตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ขนาด $25 \times 25 \times 285$ มม. เมื่อผ่านการอบในเตา autoclave และการทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าตามมาตรฐาน ASTM C1038 คือ การวัดการขยายตัวของแท่งมอร์ต้าขนาด $25 \times 25 \times 285$ มม. เมื่อบ่มในสารละลาย $Ca(OH)_2$ เป็นระยะเวลา 14 วัน

- เนื่องจากสารเพิ่มกำลังอัดมีปริมาณ SO_3 ที่สูง จึงต้องทำการทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าเมื่อปรมในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ทำได้โดยหล่อตัวอย่างมอร์ต้าขนาด 25x25x285 มม. หลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมงนำตัวอย่างที่ได้ไปปรมในน้ำจนตัวอย่างมีอายุ 28 วัน จึงนำตัวอย่างทั้งหมดไปแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต หลังจากนั้นจะทำการวัดการขยายตัว ทุกๆ 2 เดือนโดยประมาณ

5. ผลการทดสอบ

5.1 ผลการทดสอบความสามารถเทได้ การก่อตัว และ กำลังอัด

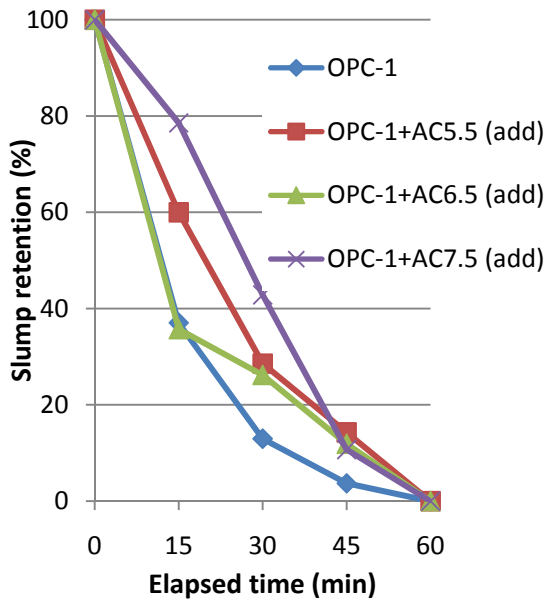
5.1.1 ผลการทดสอบความสามารถเทได้

รูปที่ 1 แสดงผลการทดสอบการสูญเสียค่าการยุบตัวของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดโดยใช้วิธีเติมและแทนที่บางส่วน ในปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% ของน้ำหนักวัสดุประสาน จากผลการทดสอบสังเกตเห็นว่าตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดแสดงค่าการสูญเสียการยุบตัวที่น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด โดยที่การใช้ปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดแบบวิธีเติมและแทนที่บางส่วนที่ 7.5% ของน้ำหนักวัสดุประสานจะเกิดค่าการสูญเสียการยุบตัวน้อยกว่าการใช้ปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดที่ 5.5% และ 6.5%

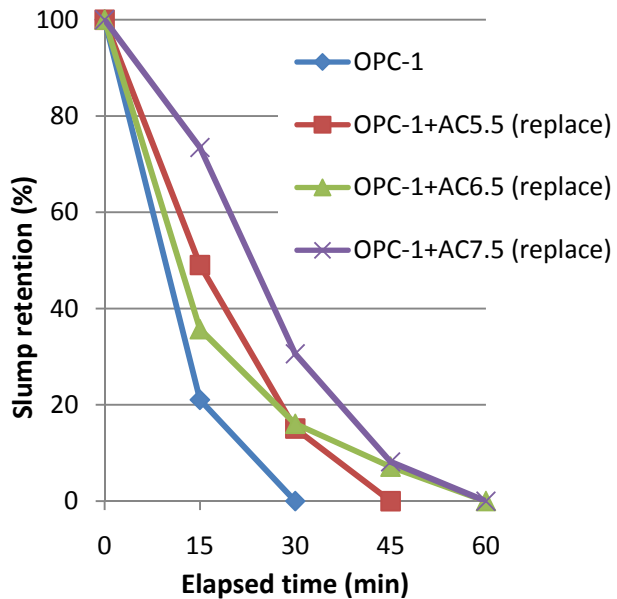
รูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบการสูญเสียค่าการยุบตัวของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP ผสมกับสารเพิ่มกำลังอัดโดยใช้วิธีเติมและแทนที่บางส่วน ในปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% ของน้ำหนักวัสดุประสานจากการทดสอบจะสังเกตเห็นว่าการใช้สารเพิ่มกำลังอัดโดยวิธีเติมให้ค่าการสูญเสียค่าการยุบตัวน้อยกว่าวิธีแทนที่บางส่วนของวัสดุประสานซึ่งสอดคล้องกับกรณีของส่วนผสมคอนกรีต OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine

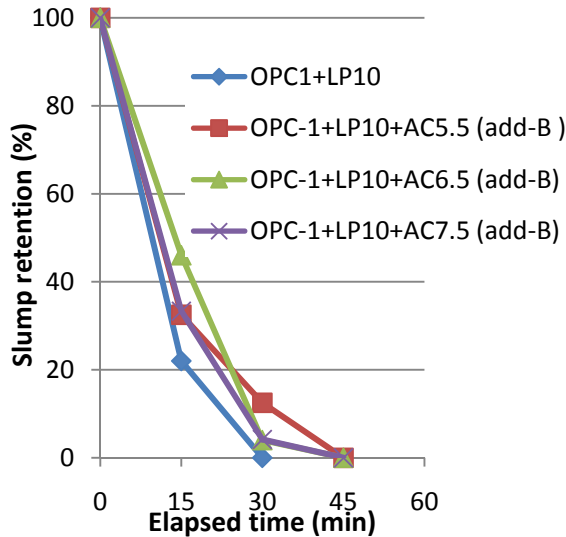


(a) กรณีผสมโดยการเติม

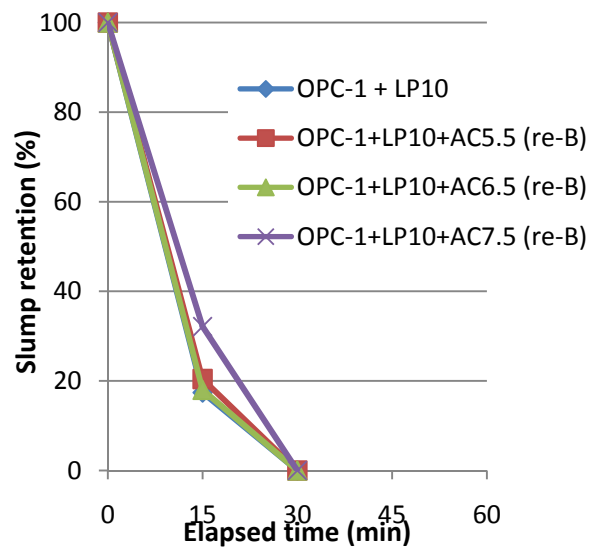


(b) กรณีผสมโดยการแทนที่

รูปที่ 1 - การยุบตัวตามเวลาของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด



(a) กรณีผสมโดยการเติม



(b) กรณีผสมโดยการแทนที่

รูปที่ 2 - การยุบตัวตามเวลาของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด

5.1.2 ผลการทดสอบการก่อตัว

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

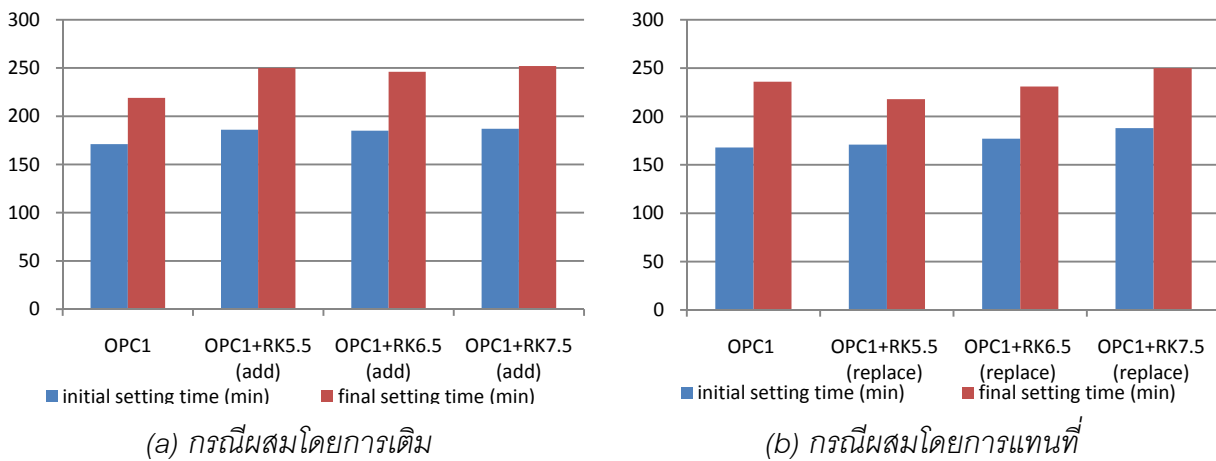
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



ผลการทดสอบการก่อตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่ในปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% ของน้ำหนักวัสดุประสาน แสดงอยู่ในรูปที่ 3 จากผลการทดสอบปรากฏว่ากรณีที่ใส่สารเพิ่มกำลังอัดโดยการเติม ยิ่งปริมาณการเติมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการก่อตัวเริ่มต้นและการก่อตัวสุดท้ายยาวนานกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารเพิ่มกำลังอัด อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดมากขึ้นค่าการก่อตัวเริ่มต้นและการก่อตัวสุดท้ายของตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดนั้นมีค่าเท่าๆกัน ในทางตรงกันข้ามเมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัดโดยการแทนที่บางส่วนของวัสดุประสานในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการก่อตัวเริ่มต้นและการก่อตัวสุดท้ายมีค่ามากขึ้นเป็นลำดับ จนกระทั่งมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด



รูปที่ 3 -ค่าการก่อตัวเริ่มต้นและค่าการก่อตัวสุดท้ายของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด

ผลการทดสอบการก่อตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่โดยใช้วิธีการเติมและแทนที่ ในปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% ของน้ำหนักวัสดุประสานแสดงอยู่ในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ เมื่อพิจารณากรณีที่ใส่สารเพิ่มกำลังอัดโดยวิธีการเติม พบว่าเมื่อปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดเพิ่มสูงขึ้นจาก 5.5% ถึง 6.5% จะทำให้ค่าการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดเป็น 7.5% ค่าการก่อตัวเริ่มต้นมีค่าเท่าๆกันกับตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัดและการก่อตัวสุดท้ายมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

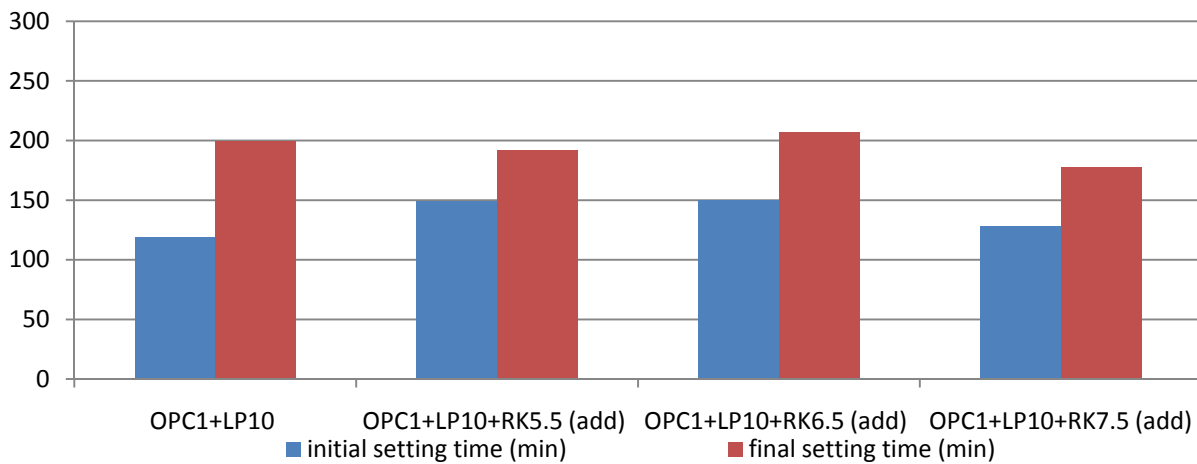
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : http://www.thaitca.or.th

วารสารคอนกรีต

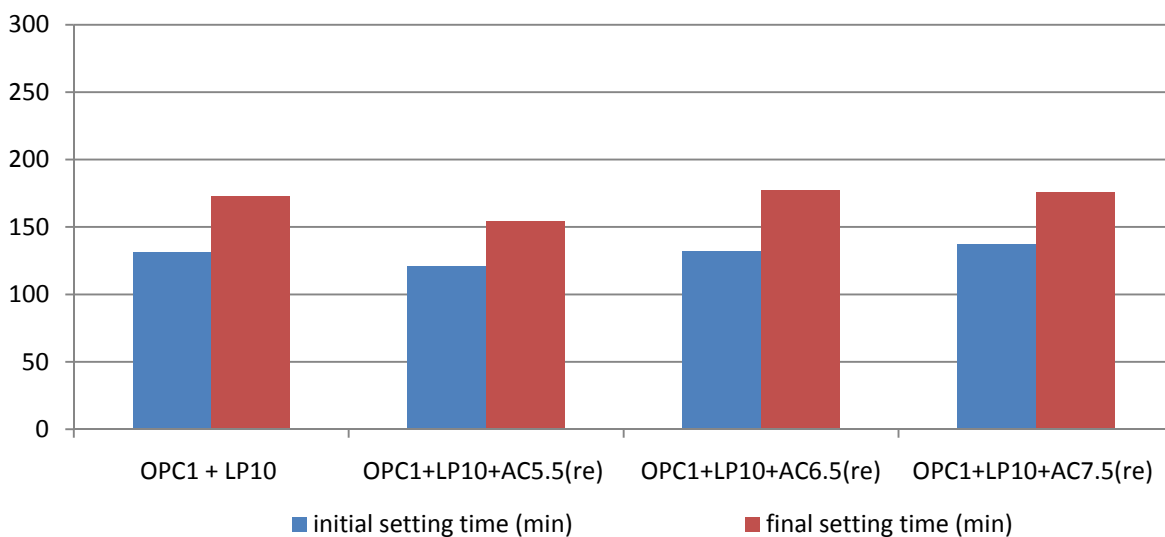
TCA e-magazine



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)

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

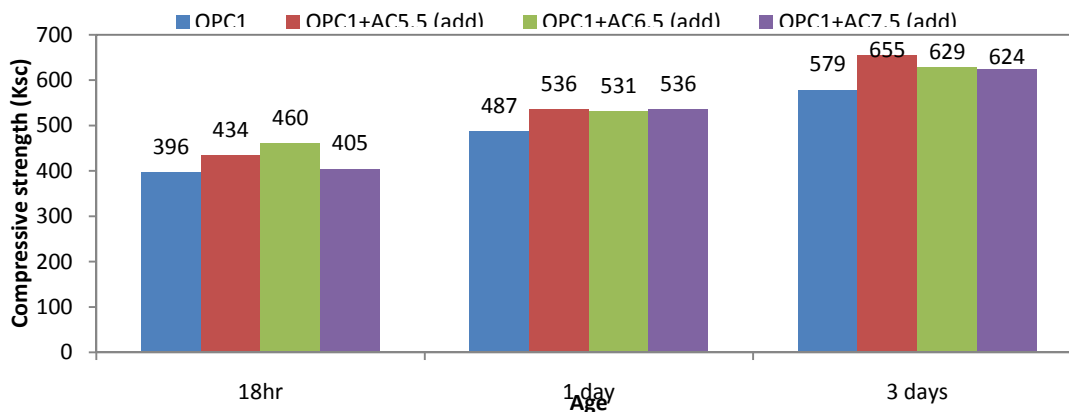
ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

5.1.3 ผลการทดสอบกำลังอัด

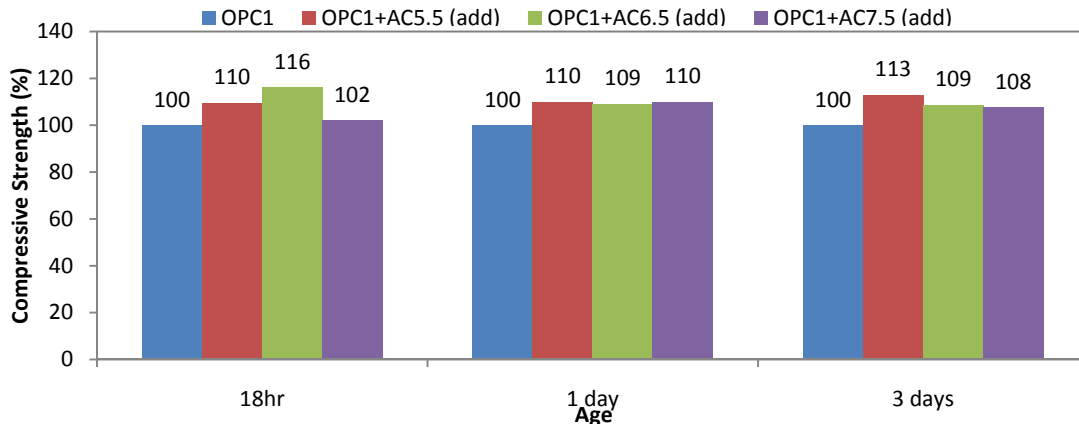
จากผลการทดสอบกำลังอัดที่อายุช่วงต้นของคอนกรีตชนิด OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่โดยวิธีเติมเป็นปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าตัวอย่างคอนกรีตที่มีสารเพิ่มกำลังอัดให้กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 18 ชม., 1 วัน และ 3 วันสูงกว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด ทั้งนี้เมื่อใช้ปริมาณสารเพิ่มกำลังอัด 6.5% ของน้ำหนักวัสดุประสานทำให้กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 18 ชม. มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 16%

อย่างไรก็ตามเมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัดโดยวิธีแทนที่บางส่วน of วัสดุประสาน กำลังอัดที่ได้ของตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าเท่ากับกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด ดังแสดงในรูปที่ 7

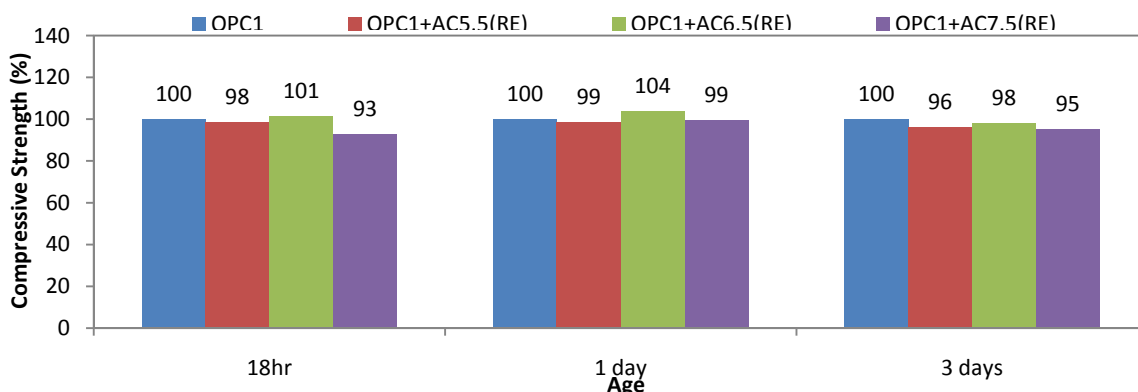
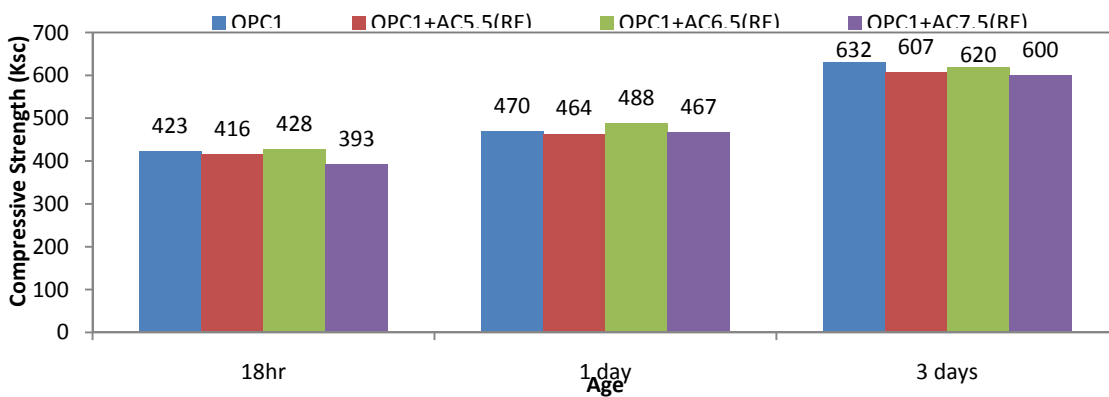


วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



รูปที่ 6 - ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีผสมโดยการเติม)



รูปที่ 7 - ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต OPC1 ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีผสมโดยการแทนที่)

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

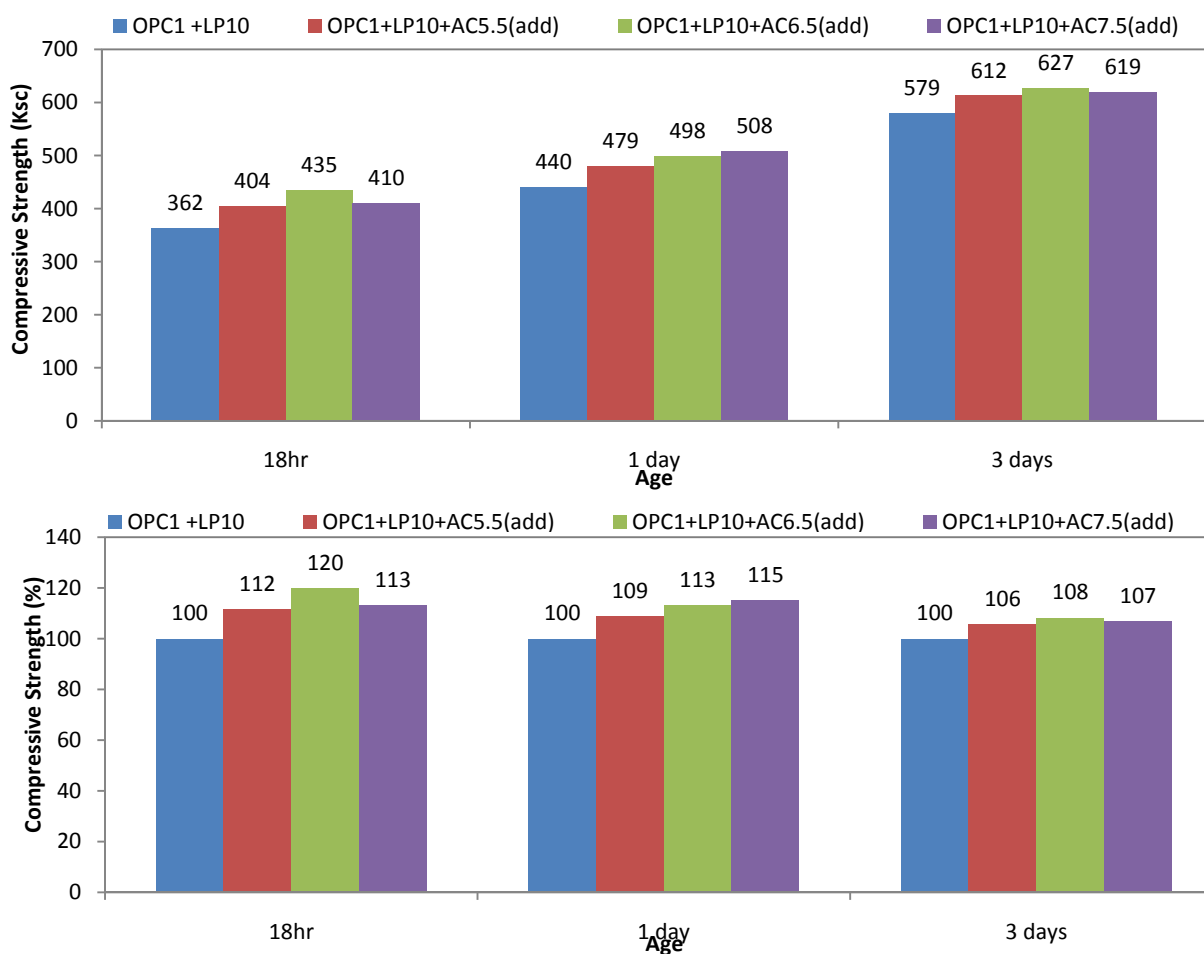
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : http://www.thaitca.or.th

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



รูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่าง OPC1+LP ที่มีการใส่สารเพิ่มกำลังอัดโดยวิธีเติมที่ ปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% พบว่าปริมาณการใช้สารเพิ่มกำลังอัดที่สูงขึ้นให้กำลังอัดของตัวอย่างที่ผสมสาร เพิ่มกำลังอัดที่อายุ 18 ชม., 1 วัน และ 3 วัน สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ใส่สารเพิ่มกำลังอัด โดยเฉพาะที่อายุ 18 ชม. กำลัง อัดของตัวอย่างที่ใส่สารเพิ่มกำลังอัดที่ 6.5% มีค่าเพิ่มขึ้นถึง 20%



รูปที่ 8 – ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP ที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีผสมโดยการเติม)

ในทางตรงกันข้าม เมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัดแบบแทนที่บางส่วนของวัสดุประสาน ดังแสดงในรูปที่ 9 ทำให้ ค่ากำลังของตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มกำลังอัดในช่วงกำลังอัดที่อายุ 18

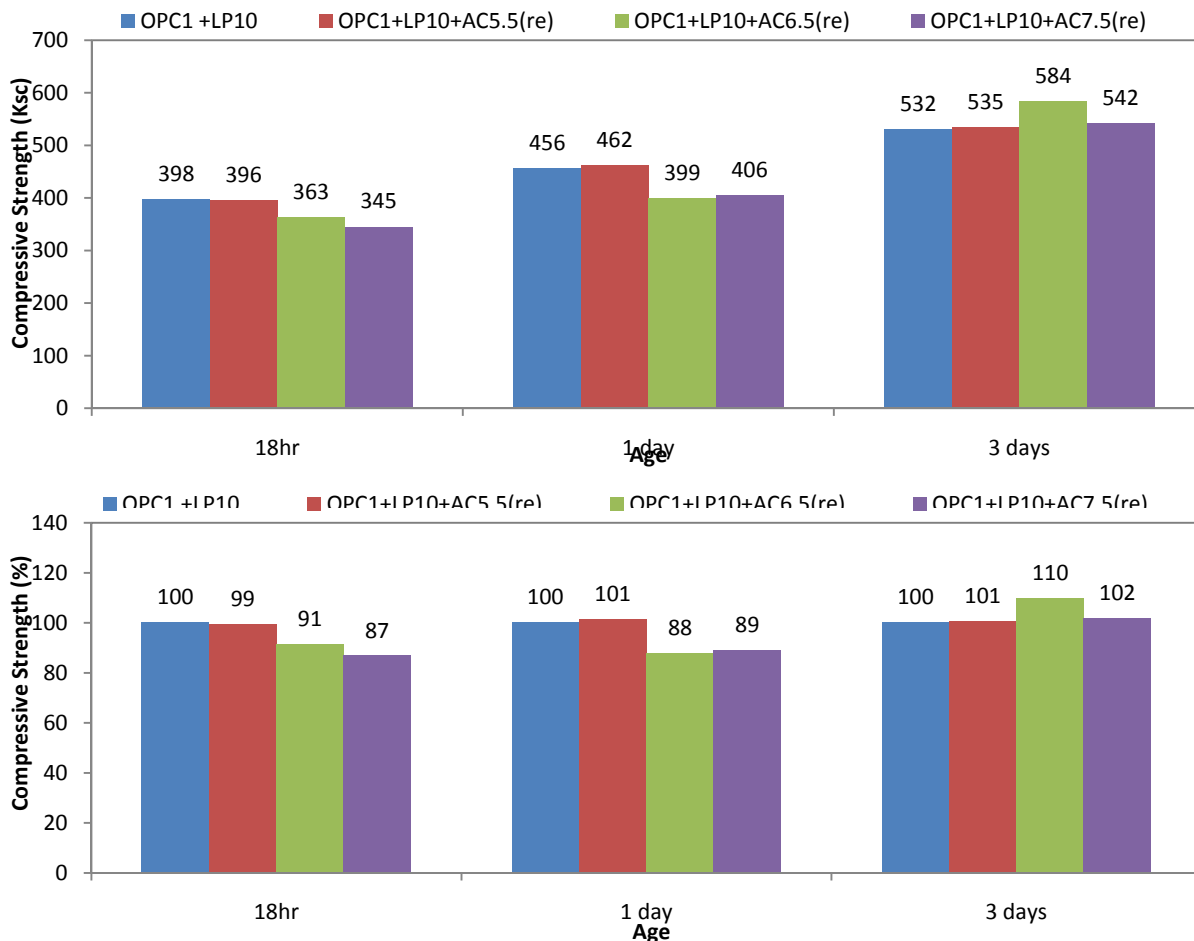
สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



ชม. และ 1 วัน ทั้งนี้กำลังอัดที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าเท่ากับตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด ยกเว้นตัวอย่างที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่ 6.5% โดยน้ำหนักวัสดุประสานที่ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัดเล็กน้อย



รูปที่ 9 – ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีผสมโดยการแทนที่)

5.2 ผลการทดสอบด้านความคงทน

5.2.1 ผลการทดสอบการขยายตัว ตามมาตรฐาน ASTM C1038

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

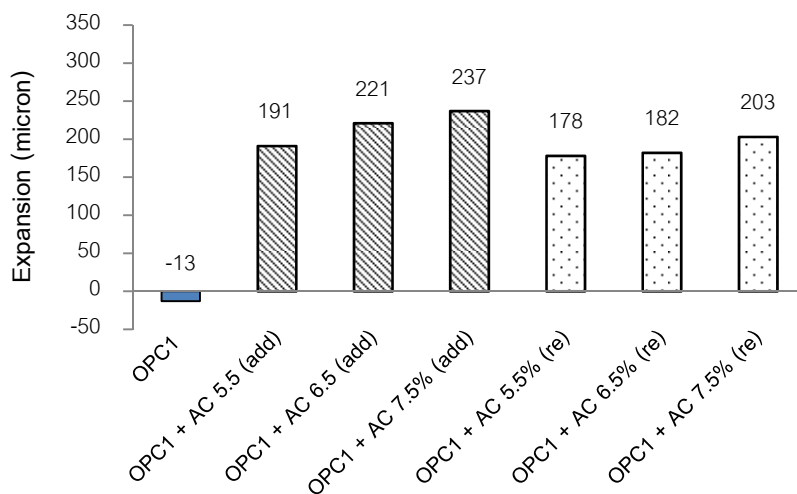
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



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

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

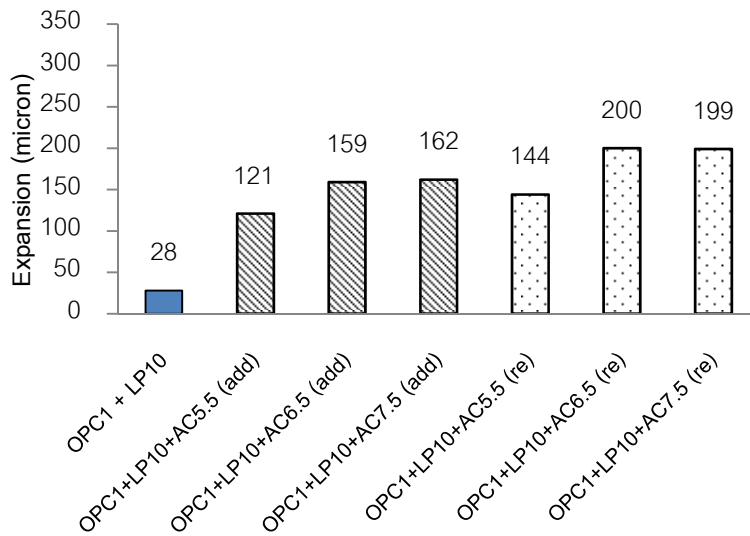


รูปที่ 10 – การขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

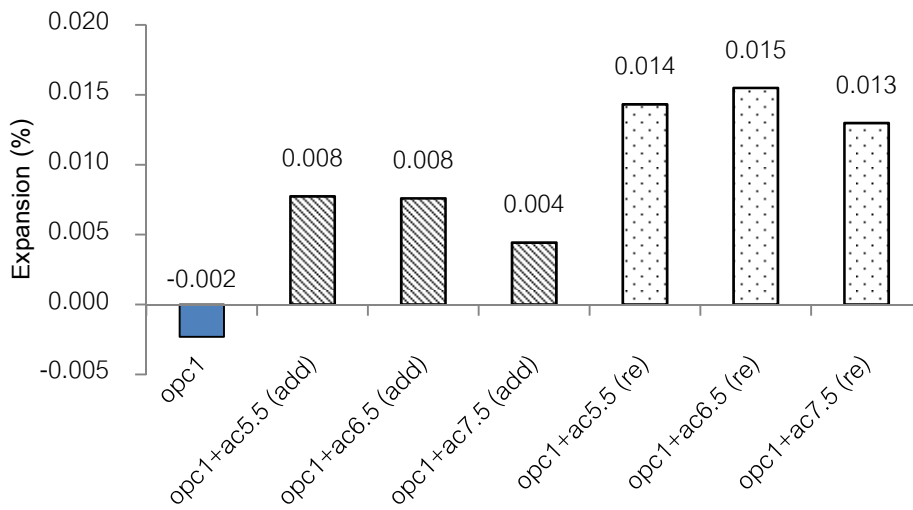
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>



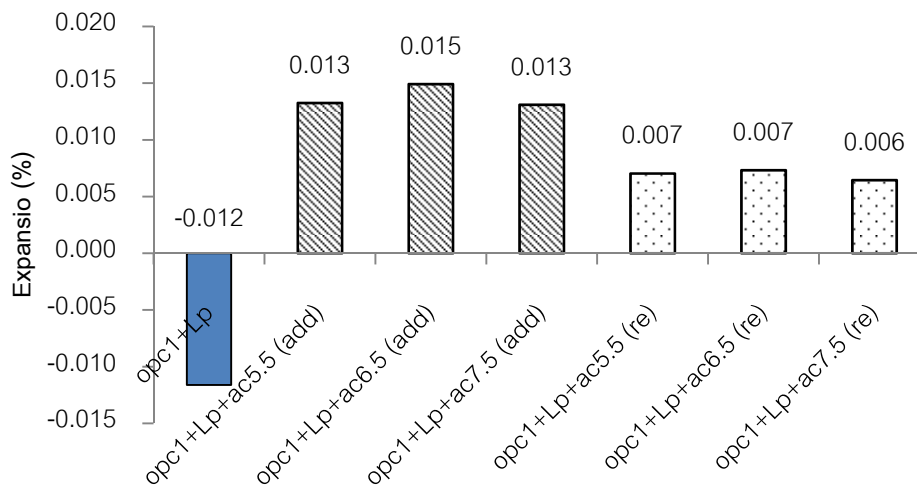
รูปที่ 11 – การขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด

5.2.2 ผลการทดสอบการขยายตัว ตามมาตรฐาน ASTM C151

การทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C151 คือ การวัดการขยายตัวของแท่งตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ขนาด 25x25x285 มม. เมื่อผ่านการอบในเตา autoclave เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงจากผลการทดสอบการขยายตัวของตัวอย่าง OPC1 และ OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดดังแสดงในรูปที่ 12 และรูปที่ 13 ตามลำดับ พบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีค่าการขยายตัวน้อยและมีค่าไม่เกิน 0.8% ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM C151



รูปที่ 12- การขยายตัวของตัวอย่างเพสต์ OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดเมื่อบ่มในเตา autoclave



รูปที่ 13- การขยายตัวของตัวอย่างเพสต์ OPC1+LP ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดเมื่อบ่มในเตา autoclave

5.2.3 ผลการทดสอบการขยายตัวเมื่อบ่มในสารละลายโซเดียมซิลิเฟต

รูปที่ 14 แสดงผลการทดสอบการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมโดยวิธีการเติม เปรียบเทียบกับการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด (OPC1, OPC1+FA20, OPC1+FA30, OPC5) จากรูปจะพบว่า การขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัดผสมอยู่

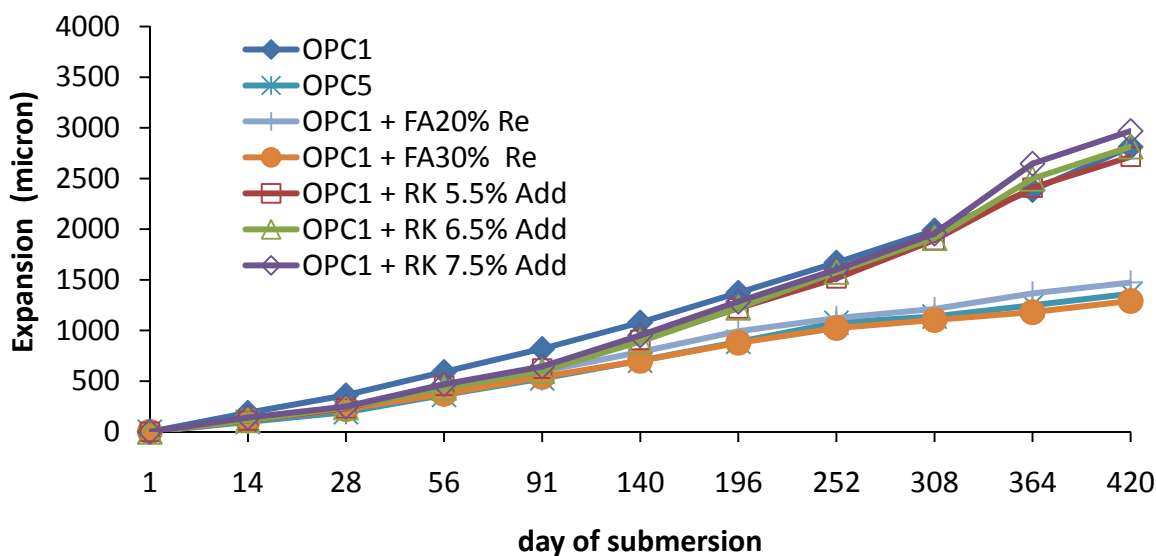
วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย
Thailand Concrete Association

ปริมาณ 5.5%, 6.5% และ 7.5% มีค่าการขยายตัวใกล้เคียงกับของตัวอย่าง OPC1 ที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด อย่างไรก็ตามค่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าที่มีสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าสูงกว่าของตัวอย่างที่มีการผสมเถ้าลอย และตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ด้านทานซัลเฟต (OPC1+FA20, OPC1+FA30 และ OPC5)

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

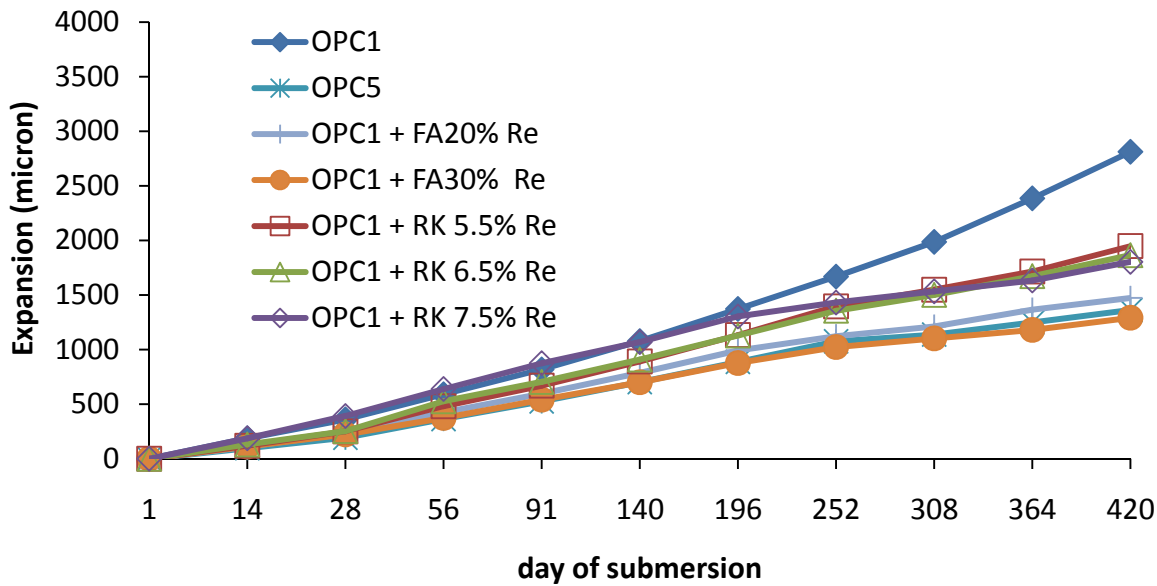


รูปที่ 14 -ค่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด เปรียบเทียบกับตัวอย่างมอร์ต้าที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีใช้สารเพิ่มกำลังอัดแบบเต็ม)

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>



รูปที่ 15 - ค่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้า OPC1 ที่มีสารเพิ่มกำลังอัด
เปรียบเทียบกับตัวอย่างมอร์ต้าที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด (กรณีใช้สารเพิ่มกำลังอัดแบบแทนที่)

6.สรุป

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อใช้สารเพิ่มกำลังอัดผสมกับวัสดุประสานโดยวิธีการเติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีต ทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวดีขึ้น อาทิเช่น เพิ่มระยะเวลาค่าสูญเสียน้ำ, เพิ่มระยะเวลาการก่อตัว, เพิ่มกำลังอัดช่วงต้น ทางด้านคุณสมบัติความคงทน การใช้สารเพิ่มกำลังอัดยังช่วยทำให้คุณสมบัติทางด้านความคงทนของคอนกรีตดีขึ้น อาทิเช่น ค่าการขยายตัวเนื่องจากบวมในสารละลายซัลเฟตมีค่าน้อยกว่าค่าการขยายตัวของตัวอย่าง OPC1 ที่ไม่มีสารเพิ่มกำลังอัด อย่างไรก็ตามการพัฒนาคุณสมบัติที่ดีขึ้นทั้งทางกลและความคงทนยังขาดข้อมูลสนับสนุนทางด้านการวิเคราะห์ทางเคมีเชิงลึกและการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค เพื่อใช้อธิบายเพิ่มเติมถึงสาเหตุและกลไกที่ทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตและมอร์ต้าเปลี่ยนไปในทางที่ดีขึ้น

7. อ้างอิง

ASTM C151 Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement

ASTM C403 Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance

ASTM C1012 Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution

ASTM C1038 Standard Test Method for Expansion of Portland Cement Mortar Bars Stored in Water

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



8. ภาคผนวก

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

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีต OPC1+LP เพื่อใช้ทดสอบการสูญเสียค่ายุบตัว การก่อตัว กำลังอัด

Mix proportion	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

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : http://www.thaitca.or.th

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



ตารางที่ 4 ส่วนผสมของตัวอย่างมอร์ต้า เพื่อใช้ทดสอบการขยายตัวในสารละลายซัลเฟต

Mix proportion	w/b	s/b	C (kg/m ³)	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

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>