Journal of Thailand Concrete Association
วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

คุณสมบัติพื้นฐานและความคงทนของคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต

BASIC PROPERTIES AND DURABILITY OF CONCRETE WITH FLY ASH AND $CACO_3$ POWDER

กฤติยา แก้วมณี[1] สมนึก ตั้งเติมสิริกุล[2] คมสันต์ มีธนาถาวร[3]

[1]อาจารย์วิจัย ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา, ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและเทคโนโลยี, สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[2]ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและเทคโนโลยี, สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[3]อดีตนักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและเทคโนโลยี, สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ARTICLE INFO:

Received: December 16, 2015
Received Revised Form: February 1, 2016
Accepted: February 5, 2016

ABSTRACT :

This article presents basic properties and durability aspects of concrete incorporating calcium carbonate ($CaCO_3$) powder having average diameter of 2 and 13 micron. The replacement percentages were varied from 5-20% by weight of binder content. The tested basic properties were normal consistency, setting time, slump, compressive strength and strength development. Durability tests consisted of sulfate resistance, carbonation, autogenous and drying shrinkage. It was found that a partial replacement of cement with an optimum content of calcium carbonate not only improved mechanical properties of concrete but also made concrete more durable.

**Corresponding Author,*
Email address: krittiya@siit.tu.ac.th

KEYWORDS: Calcium carbonate powder, Cement replacing material, Compressive strength, Durability

1. บทนำ

ผงแคลเซียมคาร์บอเนตได้ถูกนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตอย่างแพร่หลายทั่วโลกซึ่งแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนนั้นมีอยู่หลายขนาดขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการของคอนกรีตในแต่ละประเภทของงาน [1,2,3,4,5] โดยการทำงานคล้ายกับการเพิ่มอนุภาคละเอียดในคอนกรีตซึ่งจะเร่งให้เกิดปฏิกริยาไฮเดรชั่นให้เร็วยิ่งขึ้น [6] พร้อมกับคุณสมบัติการเติมเต็มช่องว่าง (filling effect) ทำให้ผิวของคอนกรีตเนียนขึ้นอีกทั้งยังปรับปรุงคุณสมบัติในด้านความคงทนของคอนกรีตบางประการ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงพฤติกรรมของมอร์ต้าร์และคอนกรีตที่มีการแทนที่วัสดุประสานบางส่วนด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต รวมไปถึงศึกษาผลของขนาดอนุภาคของผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมกับคอนกรีตในแต่ละประเภทของงาน

3. วัสดุและวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ทดสอบมี 2 ขนาด ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2 และ 13 ไมครอน (LP#02 และ LP#13) ตามลำดับ โดยใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และเถ้าลอยจากแม่เมาะ

©2015 J. of TCA All rights reserved

เป็นวัสดุประสานในการทดลอง องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1, เถ้าลอยแม่เมาะ และผงแคลเซียมคาร์บอเนตแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

3.2 วิธีทดลอง

เพื่อศึกษาผลของปริมาณและขนาดของผงแคลเซียมคาร์บอเนตต่อคุณสมบัติเบื้องต้นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ จะแบ่งส่วนผสมเพสต์/มอร์ต้าร์ที่ใช้ทดสอบออกเป็นเพสต์/มอร์ต้าร์ธรรมดา และเพสต์/มอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยโดยส่วนผสมที่เป็นเพสต์/มอร์ต้าร์ธรรมดา ปูนซีเมนต์จะถูกแทนที่ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ขนาด (LP#02 และ LP#13) ในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์ตามลำดับ สำหรับส่วนผสมที่เป็นเพสต์/มอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอย จะมีเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 30 ต่อน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้ผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ขนาด (LP#02 และ LP#13) ในการแทนที่บางส่วนของเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 25 และ 50 ต่อน้ำหนักเถ้าลอย มอร์ต้าร์ที่ทดสอบใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมละเอียดโดยน้ำหนัก (binder to sand ratio) เท่ากับ 1:2.75 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.485 ในทุกๆ ส่วนผสม ทั้งนี้มวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำ ซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.53

นอกจากนี้ในการทดสอบคอนกรีตและคอนกรีตผสมเถ้าลอยได้มีการแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตในลักษณะเดียวกันกับการทดสอบเพสต์/มอร์ต้าร์ โดยสัดส่วนผสมคอนกรีตที่ทดสอบประกอบไปด้วยคอนกรีตที่มีปริมาณวัสดุประสานต่ำๆ (low binder content) ซึ่งมีปริมาณวัสดุประสานประมาณ 200-300 กก./ม.^{3} ในที่นี้ ได้แก่ สัดส่วนผสมคอนกรีตที่มีปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 258 กก./ม.^{3}และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.72 และสัดส่วนผสมที่มีปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 300 กก./ม.^{3} และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 โดยที่คอนกรีตผสมเถ้าลอยจะมีปริมาณเถ้าลอยอยู่ในอัตราส่วนร้อยละ 30 ต่อน้ำหนักวัสดุประสาน ปูนซีเมนต์จะถูกแทนที่ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตในส่วนผสมที่เป็นคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วน และเถ้าลอยจะถูกแทนที่ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตในส่วนผสมที่เป็นคอนกรีตผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10 และ 20 ต่อน้ำหนักของวัสดุประสาน

ในกรณีของคอนกรีตที่มีปริมาณวัสดุประสานสูงนั้น (high binder content) สำหรับคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วนปูนซีเมนต์จะถูกแทนที่ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LP#02) ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 แต่ในส่วนของคอนกรีตผสมเถ้าลอยนั้น ทั้งปูนซีเมนต์และเถ้าลอยจะถูกแทนที่ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LP#02) ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักวัสดุประสานรวม (ทั้งกรณีคอนกรีตอัดแน่นด้วยตัวเอง (self-compacting concrete) และ คอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วนปกติ) สำหรับคอนกรีตอัดแน่นด้วยตัวเองนั้น ทุกสัดส่วนผสมมีระยะการไหลแผ่ (slump flow) อยู่ในช่วง 700-750 มม. รายละเอียดของสัดส่วนผสมคอนกรีตที่ทดสอบแสดงในตารางที่ 3

สำหรับคุณสมบัติด้านความคงทนที่ทดสอบ ได้แก่ การต้านทานซัลเฟต การต้านทานคาร์บอเนชั่นนั้นทดสอบด้วยมอร์ต้าร์ ส่วนผสมมอร์ต้าร์ที่ใช้ทดสอบเป็นมอร์ต้าร์ธรรมดาและมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยโดยส่วนผสมที่เป็นมอร์ต้าร์ธรรมดาปูนซีเมนต์จะถูกแทนที่ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ขนาด (LP#02 และ LP#13) ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 ต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์ สำหรับส่วนผสมที่เป็นมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอย จะมีเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 30 ต่อน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้ผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ขนาด (LP#02 และ LP#13) ในการแทนที่บางส่วนของเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 ต่อน้ำหนักเถ้าลอย มอร์ต้าร์ที่ทดสอบใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมละเอียดโดยน้ำหนัก (binder to sand ratio) เท่ากับ 1:2.75 ทั้งนี้มวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำ ซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.53 ทั้งนี้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) สำหรับการทดสอบการต้านทานซัลเฟตนั้น และการต้านทานคาร์บอเนชั่น มีค่าเท่ากับ 0.45 และ 0.485 ตามลำดับ

การหดตัวแบบออโตจีนัส การหดตัวแบบแห้งนั้นทดสอบด้วยเพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30 โดยส่วนผสมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือเพสต์ธรรมดาและเพสต์ผสมเถ้าลอย ส่วนผสมที่เป็นเพสต์ธรรมดา ปูนซีเมนต์จะถูกแทนที่ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ขนาด (LP#02 และ LP#13) ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 ต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์ แต่ส่วนผสมที่เป็นเพสต์ผสมเถ้าลอยซึ่งมีปริมาณเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 30 ต่อน้ำหนักวัสดุประสานนั้น ผงแคลเซียมทั้ง 2 ขนาด (LP#02 และ LP#13) จะใช้แทนที่เถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 ต่อน้ำหนักวัสดุประสาน

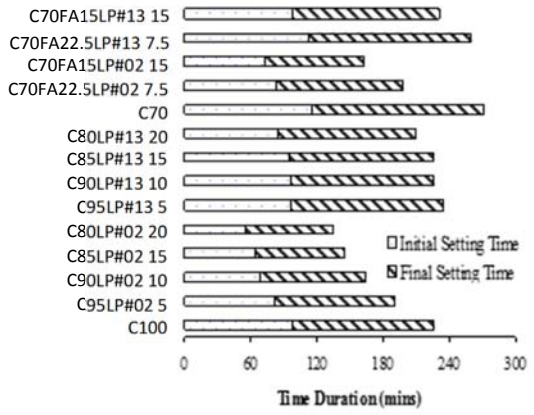
©2015 J. of TCA All rights reserved

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1, เถ้าลอยแม่เมาะและผงแคลเซียมคาร์บอเนต

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	เถ้าลอยแม่เมาะ	ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LP#02)	ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LP#13)
SiO_2	20.20	36.1	0.06	0.27
Al_2O_3	4.70	19.4	0.09	0.18
Fe_2O_3	3.73	15.1	0.037	0.079
CaO	63.40	17.4	54.8	54.3
MgO	1.37	2.97	0.57	0.62
SO_3	1.22	0.77	-	-
Na_2O	-	0.55	-	-
K_2O	0.28	2.17	-	-
LOI	2.72	2.81	43.8	43.63

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1, เถ้าลอยแม่เมาะและผงแคลเซียมคาร์บอเนต

คุณสมบัติทางฟิสิกส์	ปูนซีเมนต์ประเภทที่1	เถ้าลอยแม่เมาะ	ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LP#02)	ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (LP#13)
ความถ่วงจำเพาะ	3.11	2.44	2.70	2.71
ความละเอียดทดสอบโดยวิธีเบลน (cm^2/g)	3430	2460	9260	3320



รูปที่ 1 กราฟแสดงระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น และระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายของเพสต์

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมของคอนกรีตปกติและคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอย

ปริมาณวัสดุประสาน (กก./ม.^{3})	w/b	การแทนที่ (ร้อยละ)			
		วัสดุประสานร่วม 2 ชนิด		วัสดุประสานร่วม 3 ชนิด	
		LP#02/ LP#13	เถ้าลอย	LP#02/ LP#13	เถ้าลอย
258	0.72	0.05,0.10	0.30	0.05,0.10	0.20, 0.25
300	0.55	0.05,0.10, 0.20	0.30	0.05,0.10, 0.20	0.10,0. 20,0.25
500	0.30	0.05,0.10	0.25	0.10	0.20

ตารางที่ 4 ความข้นเหลวปกติและเวลาในการก่อตัวของเพสต์

สัดส่วนผสม	ความข้นเหลวปกติ (%)	การก่อตัวเริ่มต้น (นาที)	การก่อตัวสุดท้าย (นาที)
C100	23.08	98	128
C95LP#02 5	23.08	82	108
C90LP#02 10	23.38	69	95
C85LP#02 15	24.00	63	82
C80LP#02 20	24.31	55	79
C95LP#13 5	23.54	96	138
C90LP#13 10	23.85	96	130
C85LP#13 15	24.31	95	130
C80LP#13 20	24.62	84	126
C70FA30	21.85	116	155
C70FA22.5LP#02 7.5	22.00	83	115
C70FA15LP#02 15	23.08	73	90
C70FA22.5LP#13 7.5	22.31	112	148
C70FA15LP#13 15	23.38	98	133

4. ผลและการวิเคราะห์ผล

4.1 เพสต์และมอร์ต้าร์

การก่อตัวของเพสต์ (รูปที่ 1 และตารางที่ 4) แสดงให้เห็นได้ชัดว่าการแทนที่ผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ขนาด (LP#02 และ LP#13) ในปูนซีเมนต์และเถ้าลอยบางส่วนนั้นช่วยเร่งการก่อตัวของเพสต์ได้เป็นอย่างดียิ่งแทนในอัตราส่วนที่มากและใช้ผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดเล็กลงเวลาในการก่อตัว

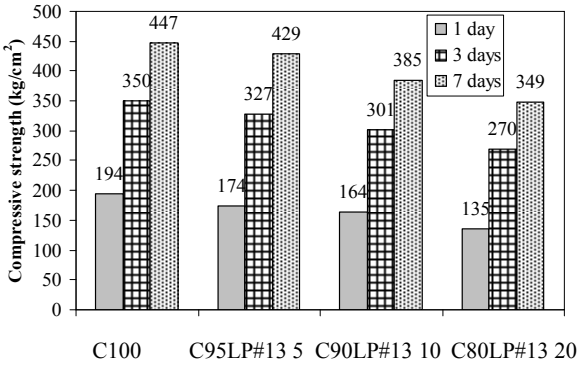
©2015 J. of TCA All rights reserved

ของเพสต์ก็จะยิ่งสั้นลงเช่นกันในทางกลับกันนั้นยิ่งแทนที่ผงแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนที่มากและใช้ขนาดที่ใหญ่ขึ้นเท่าใดค่าความข้นเหลวปกติก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

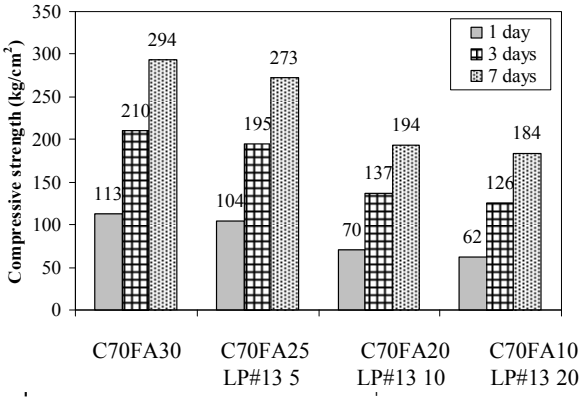
สำหรับการไหลของมอร์ต้าร์นั้น (ตารางที่ 5) จากการทดลองพบว่าทั้งมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนและมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยนั้น เมื่อถูกแทนที่ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ขนาด (LP#02 และ LP#13) จะทำให้การไหลของเพสต์ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ดี ถ้าแทนที่ในปริมาณที่มากจนเกินไป เช่นร้อยละ 20 ในส่วนผสมที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน ก็จะทำให้การไหลได้ของเพสต์นั้นลดลง เนื่องจากส่วนผสมจะหนืดเกินไปและเพสต์จะเหนียวขึ้นในส่วนของกำลังอัดนั้น(ตารางที่ 5) พบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ขนาด (LP#02 และ LP#13) ถ้าแทนที่ในปริมาณที่เหมาะสม (optimum content) กำลังอัดของมอร์ต้าร์จะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงระยะแรก (early age) โดยในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน การแทนที่โดยผงแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด LP#02 จะทำให้กำลังอัดระยะต้นสูงขึ้น-แต่ผงแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด LP#13 ไม่สามารถช่วยเพิ่มกำลังอัดแต่กลับทำให้กำลังอัดลดต่ำลง ส่วนในกรณีมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย การแทนที่โดยผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งขนาด LP#02 และ LP#13 สามารถทำให้กำลังอัดระยะต้นสูงขึ้น โดยขนาดอนุภาคของผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่เล็กลง ก็จะทำให้เห็นผลในเรื่องกำลังอัดที่เพิ่มขึ้นมาชัดเจนยิ่งขึ้น

4.2 คอนกรีต

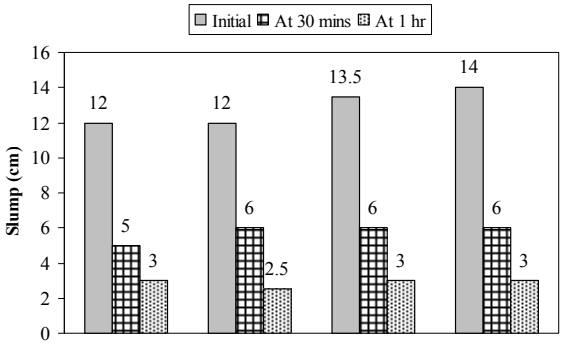
กรณีคอนกรีตที่มีปริมาณวัสดุประสานต่ำๆนั้น (low binder content) ผลของกำลังอัดและค่ายุบตัวแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 2 ถึง 5 จากการทดลองจะเห็นได้ชัดว่า LP#13 ไม่ทำให้เกิดข้อได้เปรียบในเรื่องกำลังอัด แต่ LP#02 ถึงแม้จะไม่เกิดข้อได้เปรียบในเรื่องกำลังอัดกับคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วน สรุปคร่าวๆได้ว่า ผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดอนุภาคละเอียดกว่าจะทำให้เกิดข้อได้เปรียบมากกว่าผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอนุภาคหยาบ ในกรณีของคอนกรีตที่มีปริมาณวัสดุประสานสูงนั้น (high binder content) กำลังอัดที่ได้ของคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วนและคอนกรีตผสมเถ้าลอยนั้นแสดงในรูปที่ 6 และ 7 จะเห็นได้ว่า กำลังอัดของคอนกรีตทั้ง 2 ชนิดจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ในส่วนของคอนกรีตอัดแน่นด้วยตัวเอง (self-compacting concrete) นั้น เมื่อมีการผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนตเข้าไปแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้าลอย ปริมาณของสารลดน้ำพิเศษ (superplasticizer) สามารถลดลงได้โดยที่ระยะการไหลแผ่ (slump flow) เท่าเดิม



รูปที่ 2 กำลังอัดของคอนกรีตปกติที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ 300 กก./ม.^{3} และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55

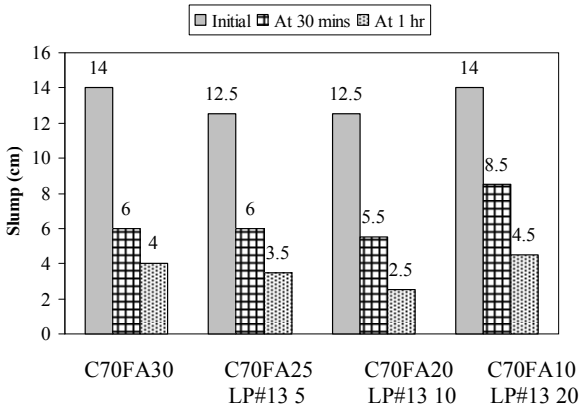


รูปที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีปริมาณวัสดุประสาน 300 กก./ม.^{3} และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55

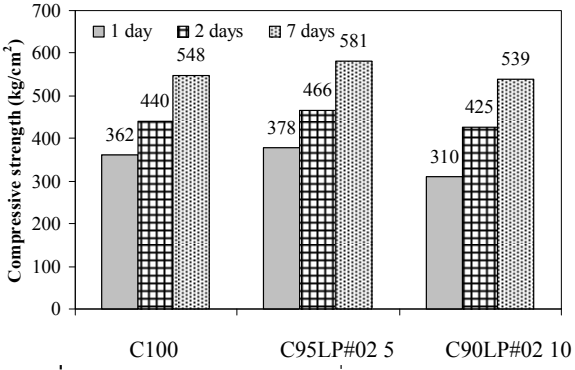


รูปที่ 4 ค่าการยุบตัวและการยุบตัวที่ลดลงของคอนกรีตปกติที่มีปริมาณวัสดุประสาน 300 กก./ม.^{3} และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55

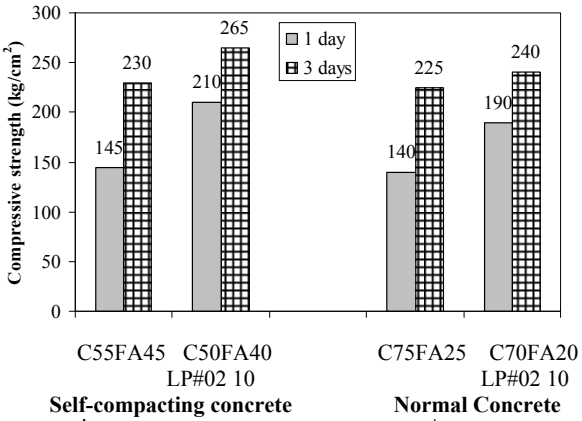
©2015 J. of TCA All rights reserved



รูปที่ 5 ค่าการยุบตัวและการยุบตัวที่ลดลงของคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีปริมาณวัสดุประสาน 300 กก./ม.^{3} และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55



รูปที่ 6 กำลังอัดของคอนกรีตปกติที่มีปริมาณวัสดุประสาน 500 กก./ม.^{3} และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30



รูปที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีปริมาณวัสดุประสานสูง

ตารางที่ 5 ค่าการไหลและกำลังอัดของมอร์ต้าร์

สัดส่วนผสม	การไหล (%)	กำลังรับแรงอัด (กก./ซม.^{2})		
		1 วัน	3 วัน	7 วัน
C100	107	189	337	341
C95LP#02 5	112	183	338	362
C90LP#02 10	112	202	332	502
C85LP#02 15	111	189	293	414
C80LP#02 20	100	189	275	405
C95LP#13 5	115	159	310	362
C90LP#13 10	119	183	290	445
C85LP#13 15	119	149	239	386
C80LP#13 20	100	160	284	340
C70FA30	129	110	179	293
C70FA22.5LP#02 7.5	131	153	294	359
C70FA15LP#02 15	123	174	297	343
C70FA22.5LP#13 7.5	134	116	199	263
C70FA15LP#13 15	134	118	220	291

ตารางที่ 6 กำลังอัดของคอนกรีตปกติและคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ 258 กก./ม.^{3} และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.72

สัดส่วนผสม	กำลังรับแรงอัด (กก./ซม.^{2})		
	1 วัน	3 วัน	7 วัน
C100	136	190	258
C95LP#02 5	109	170	225
C90LP#02 10	96	163	204
C95LP#13 5	90	138	183
C90LP#13 10	71	110	152
C70FA30	53	92	117
C70FA25LP#02 5	55	96	117
C70FA20LP#02 10	52	89	117
C70FA25LP#13 5	45	74	98
C70FA20LP#13 10	44	70	92

©2015 J. of TCA All rights reserved

ตารางที่ 7 การขยายตัวของแท่งตัวอย่างหลังแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เป็นระยะเวลา 277 วัน

สัดส่วนผสม	การขยายตัว (x 10^{-6})
C100	2851
C95LP#02 5	1056
C90LP#02 10	1161
C95LP#13 5	680
C90LP#13 10	802
C70FA30	1090
C70FA25LP#02 5	164
C70FA20LP#02 10	595
C70FA25LP#13 5	152
C70FA20LP#13 10	540

5. ความคงทน

5.1 การต้านทานสารละลายซัลเฟต

ในการทดสอบการต้านทานสารละลายซัลเฟต (sulfate resistance) ทดสอบโดยใช้แท่งมอร์ต้าร์ที่มีขนาด 25x25x285 มม. หลังจากถอดแบบ แท่งตัวอย่างถูกนำไปแช่ในน้ำที่เป็นด่างเป็นระยะเวลา 28 วัน หลังจากนั้นจึงนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ที่มีความเข้มข้นของสารละลายร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก หรือปริมาณซัลเฟตอิออน (SO_4^{2-}) เท่ากับ 33,800 ppm ผลการทดสอบแต่ละค่าได้จากค่าเฉลี่ยของ 3 แท่งตัวอย่าง

ผลการทดสอบที่อายุการแช่สารละลายซัลเฟต 277 วัน แสดงในตารางที่ 7 จะสังเกตุเห็นว่าการแทนที่ทั้งปูนซีเมนต์และเถ้าลอยด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ขนาด (LP#02 และ LP#13) นั้นจะส่งผลให้คอนกรีตสามารถต้านทานสารละลายซัลเฟต (sulfate resistant) ได้ดีขึ้น ทั้งนี้ทั้งนั้น ผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดหยาบ (LP#13) จะให้คุณสมบัติในการต้านทานซัลเฟตได้ดีกว่า

5.2 ความต้านทานคาร์บอเนชั่น

ในการทดลองการต้านทานคาร์บอเนชั่นนั้นใช้การทดสอบด้วยวิธีการเร่ง ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีขนาด 50x50x50 มม. หลังจากถอดแบบ จะบ่มตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 7 และ 28 วัน จากนั้นนำตัวอย่างไปไว้ในห้องทดสอบคาร์บอเนชั่น ภายในห้องทดสอบคาร์บอเนชั่นนี้ ควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ 40,000 ppm และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50-55% ทำการทดสอบความลึกคาร์บอเนชั่นที่ 28 และ 56 วัน หลังจากที่นำแท่งตัวอย่างใส่ไว้ในห้องทดสอบคาร์บอเนชั่น โดยวิธีพ่นสารละลายฟีนอฟธาลีน (phenolphthalein) ผลของการทดสอบแสดงในตารางที่ 8 และ 9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง LP#02 และ LP#13 นั้น ทำให้ความลึกคาร์บอเนชั่นมากขึ้นแต่หากบ่มมอร์ต้าร์ในน้ำให้นานขึ้นก็จะช่วยลดความลึกคาร์บอเนชั่นลงได้ (เปรียบเทียบตารางที่ 8 และ 9)

การทดสอบความลึกคาร์บอเนชั่นนั้นยังได้ทดสอบกับคอนกรีตทั้งที่มีปริมาณวัสดุประสานต่ำ และปานกลาง โดยใช้ขนาดของตัวอย่างเท่ากับ 10x10x10 ซม. และบ่มคอนกรีตในน้ำเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นนำตัวอย่างมาทดสอบคาร์บอเนชั่น พบว่า LP#02–สามารถช่วยลดความลึกคาร์บอเนชั่นของคอนกรีตที่มีปริมาณวัสดุประสานปานกลางได้ทั้งคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเถ้าลอย (ดูตารางที่ 10 และ 11) ส่วน LP#13 นั้นไม่สามารถช่วยลดความลึกคาร์บอเนชั่นได้เลยไม่ว่าจะใช้กับคอนกรีตประเภทใดก็ตาม โดยทำให้ความลึกคาร์บอเนชั่นเพิ่มขึ้นเสียด้วยซ้ำ

5.3 การหดตัวแบบออโตจีนัส (autogenous shrinkage)

สำหรับการทดสอบการหดตัวแบบออโตจีนัสนั้น ทดสอบด้วยเพสต์ ตัวอย่างมีขนาด 25x25x285มม. หลังจากระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายแล้ว ตัวอย่างถูกถอดออกจากแบบและห่อด้วยฟอยล์อลูมิเนียมและแผ่นพลาสติกใสหลังจากนั้นจะถูกนำไปเก็บในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ความยาวของตัวอย่างจะถูกวัดเป็นระยะๆ เพื่อหาค่าการหดตัวแบบออโตจีนัส ค่าที่ได้มาจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 4 ชิ้น

©2015 J. of TCA All rights reserved

ตารางที่ 8 ความลึกคาร์บอเนชั่นของมอร์ต้าร์ (บ่มในน้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน)

สัดส่วนผสม	ความลึกคาร์บอเนชั่น (มม.)	
	28 วัน	56 วัน
C100	3.0	4.0
C95LP#02 5	3.0	4.5
C90LP#02 10	4.0	5.0
C95LP#13 5	3.0	4.5
C90LP#13 10	4.0	5.0
C70FA30	7.0	8.0
C70FA25LP#02 5	6.0	9.0
C70FA20LP#02 10	6.0	9.5
C70FA25LP#13 5	7.0	9.5
C70FA20LP#13 10	7.0	10.5

ตารางที่ 9 ความลึกคาร์บอเนชั่นของมอร์ต้าร์(บ่มในน้ำเป็นระยะเวลา 28 วัน)

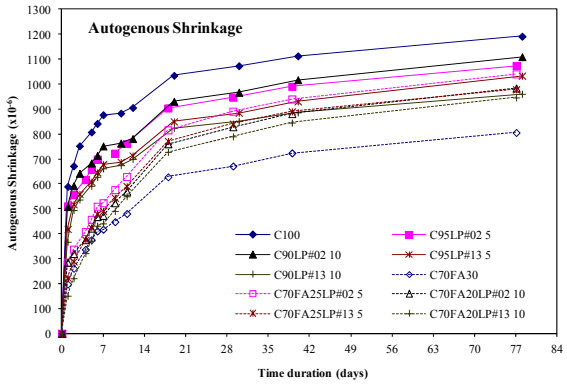
สัดส่วนผสม	ความลึกคาร์บอเนชั่น (มม.)	
	28 วัน	56 วัน
C100	2.0	3.0
C95LP#02 5	3.0	3.5
C90LP#02 10	3.5	4.0
C95LP#13 5	3.0	3.5
C90LP#13 10	4.0	4.0
C70FA30	5.5	6.3
C70FA25LP#02 5	5.5	6.0
C70FA20LP#02 10	6.0	6.5
C70FA25LP#13 5	6.5	6.8
C70FA20LP#13 10	7.0	7.0

ตารางที่ 10 ความลึกคาร์บอเนชั่นของคอนกรีต (ปริมาณวัสดุประสานต่ำ)

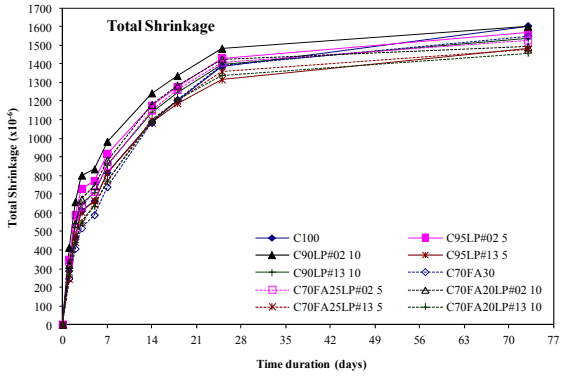
สัดส่วนผสม	ความลึกคาร์บอเนชั่น (มม.)	
	28 วัน	56 วัน
C100	5.5	6.5
C95LP#02 5	8.5	9.5
C90LP#02 10	9.0	10.0
C95LP#13 5	10.0	10.5
C90LP#13 10	12.0	12.5
C70FA30	13.0	15.0
C70FA25LP#02 5	11.0	15.5
C70FA20LP#02 10	12.5	15.5
C70FA25LP#13 5	13.0	16.0
C70FA20LP#13 10	14.0	16.0

ตารางที่ 11 ความลึกคาร์บอเนชั่นของคอนกรีต (ปริมาณวัสดุประสานปานกลาง)

สัดส่วนผสม	ความลึกคาร์บอเนชั่น (มม.)	
	28 วัน	56 วัน
C100	4.0	6.0
C95LP#02 5	4.0	5.5
C90LP#02 10	4.0	5.5
C95LP#13 5	4.0	7.0
C90LP#13 10	6.0	7.0
C70FA30	6.5	8.0
C70FA25LP#02 5	6.0	7.5
C70FA20LP#02 10	6.0	7.0
C70FA25LP#13 5	7.0	8.5
C70FA20LP#13 10	6.5	8.5



รูปที่ 8 ผลของการหดตัวแบบออโตจีนัส



รูปที่ 9 ผลของการหดตัวรวม

©2015 J. of TCA All rights reserved

ตารางที่ 12 ค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสที่ 78 วัน

สัดส่วนผสม	ค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสที่ 78 วัน($x10^{-6}$)
C100	1192
C95LP#02 5	1074
C90LP#02 10	1110
C95LP#13 5	1034
C90LP#13 10	961
C70FA30	806
C70FA25LP#02 5	1041
C70FA20LP#02 10	984
C70FA25LP#13 5	979
C70FA20LP#13 10	946

ตารางที่ 13 ค่าการหดตัวรวมที่ 73 วัน

สัดส่วนผสม	ค่าการหดตัวรวมที่ 73วัน($x10^{-6}$)
C100	1603
C95LP#02 5	1568
C90LP#02 10	1599
C95LP#13 5	1481
C90LP#13 10	1533
C70FA30	1547
C70FA25LP#02 5	1525
C70FA20LP#02 10	1490
C70FA25LP#13 5	1476
C70FA20LP#13 10	1457

กราฟแสดงผลการหดตัวแบบออโตจีนัสนั้นแสดงในรูปที่ 8 และค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสที่ 78 วันแสดงในตารางที่ 12 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง LP#02 และ LP#13 นั้นช่วยลดการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวจะลดลงถ้าขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้แทนหยาบขึ้นหรือใช้แทนที่ในอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้น แต่สำหรับการแทนที่เถ้าลอยด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ขนาด(LP#02 และ LP#13) นั้น ไม่เกิดประโยชน์ในการช่วยลดการหดตัวแบบออโตจีนัสแถมยังมีแนวโน้มของการหดตัวที่เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากใช้ผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดเล็ก (LP#02)

5.4 การหดตัวแบบแห้ง (drying shrinkage)

สำหรับการหดตัวแบบแห้งนั้น ทดสอบด้วยเพสต์เช่นเดียวกับการหดตัวแบบออโตจีนัส ขนาดของตัวอย่างคือ 25x25x285 มม. ตัวอย่างจะถูกถอดออกจากแบบเมื่ออายุครบ 24 ชม. และนำไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นจึงนำไปเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ความยาวของตัวอย่างจะถูกวัดเป็นระยะๆ เพื่อหาค่าการหดตัวรวม ค่าที่ได้มาจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 4 ชิ้น กราฟแสดงผลการหดตัวรวมนั้นแสดงในรูปที่ 9 และค่าการหดตัวรวมที่อายุการทำให้แห้ง 73 วันของทุกส่วนผสมนั้นแสดงในตารางที่ 13 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผงแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง LP#02 และ LP#13 นั้นช่วยลดการหดตัวรวมของทั้งเพสต์ธรรมดาและเพสต์ผสมเถ้าลอยได้และการหดตัวจะลดลงถ้าขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้แทนหยาบขึ้นหรือใช้แทนที่ในอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้น

6. สรุปผล

ผงแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนสำหรับคอนกรีตธรรมดา และสามารถแทนเถ้าลอยได้บางส่วนสำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยประโยชน์ที่ได้รับอย่างดียิ่งคือค่าการก่อตัวที่เร็วขึ้น อีกทั้งยังเร่งแรงอัดที่อายุต้น

ส่วนในเรื่องของความคงทนนั้น การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตในคอนกรีตธรรมดา และการแทนที่เถ้าลอยด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตในคอนกรีตผสมเถ้าลอยนั้นจะมีผลที่แตกต่างกันดังนี้ การแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนตจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานสารละลายซัลเฟต ส่วนความต้านทานคาร์บอเนชั่นจะลดลงไม่มากและหากบ่มในน้ำให้นานขึ้นก็จะช่วยลดความรุนแรงลงได้ สำหรับการหดตัวแบบออโตจีนัส และการหดตัวแบบแห้งจะช่วยลดลงได้ทั้งคู่ โดยจะได้ผลดีกว่าในกรณีที่ใช้ผงแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดหยาบ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัท สุรินทร์ ออมย่า เคมิคอล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ผงแคลเซียมคาร์บอเนตสำหรับใช้ในการทดสอบ

©2015 J. of TCA All rights reserved

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Sarkar, S. and Ghosh, S., 1993. Mineral Admixtures in Cement and Concrete. *India :ABI Books.*

[2] Neville, Adam M.., 1996. *Properties of concrete*. England: Addison Wesley Longman.

[3] Baron, J., Dourve, C., 1987. Technical and Economical Aspects of the Use of Limestone Filler Additions in Cement. *World Cem,* (18): 100-104.

[4] Schmidt, M., 1992. Cement with Interground Materials-Capabilities and Environmental Relief: Part 1, *Zem- Kalk- Gips 45 E87-E92.*

[5] Schmidt, M., 1992. Cement with Interground Materials-Capabilities and Environmental Relief: Part 2, *Zem- Kalk- Gips 45 E87-E92.*

[6] Kakali, G., Tsivilis, S., Aggeli, E. and Bati, M., 2000. Hydration products of C_3A, C_3S and Portland cement in the presence of $CaCO_3$. *Cement and Concrete Research*, (30): 1073-1077.

©2015 J. of TCA All rights reserved