



Journal of Thailand Concrete Association

วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

การต้านทานซัลเฟตของตัวอย่างมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน

SULFATE RESISTANCE OF MORTARS WITH LIMESTONE POWDER

ปิติสานต์ กร้ามาตร¹ อธิพร ศิริสวัสดิ์² วรางคณา แสงสร้อย³ สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล⁴

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²รองศาสตราจารย์ ว่าที่ พ.ต. ดร.ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

³ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

⁴ศาสตราจารย์ ดร.ภาควิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ARTICLE INFO:

Received: June 2, 2015

Received Revised Form: August 4, 2015

Accepted: August 10, 2015

ABSTRACT :

In this investigation, mortar specimens made from two types of ordinary Portland cements, Type I and Type V, and Type I and Type V cements with limestone powder and fly ash were exposed to sulfate solutions. Performances in sulfate environment of mortars using these cementitious binders were evaluated by measuring expansion and weight loss of the specimens. Test results indicated that in both sodium sulfate (NS) and magnesium sulfate (MS) solutions the expansion of mortar bar specimens made from Type I and Type V cements with limestone powder and fly ash were smaller than those made from Type I cement. In addition, smaller or closer expansion can be observed when compared with specimens made from Type V cement. In regard of weight loss, mortar cube specimens submersed in NS solution at the age of 68 weeks still had no loss in weight for all type of specimens. On the other hand, in MS environment weight losses were rather high for mortar cube specimens made from Type I and Type V cements with fly ash when compared with those made from Type I and Type V cements. However, it was found that weight loss of mortar cube specimens with limestone powder gave closely results to those made from Type I and Type V cements.

*Corresponding Author,
Email address:
pitisan.k@en.rmutt.ac.th

KEYWORDS: Limestone Powder, Fly Ash, Sulfate Resistance, Sodium Sulfate, Magnesium Sulfate

1. บทนำ

โครงสร้างคอนกรีตบางประเภทต้องสัมผัสกับสภาพแวดล้อมซึ่งมีสารซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่อยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งสามารถทำอันตรายต่อซีเมนต์เฟสในคอนกรีตได้ ซึ่งจะพบได้ในดินหรือน้ำใต้ดิน น้ำเสียจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม หรือจากโรงงานผลิตสารเคมีบางประเภท และในน้ำทะเลที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างของซัลเฟตที่พบมากในธรรมชาติและเป็นอันตรายต่อคอนกรีต เช่น โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) และแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) เป็นต้น ความ

เสียหายจากซัลเฟตที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตนั้น จะเกิดการผุกร่อนพองตัว และแตกร้าว ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของซัลเฟตและความชื้น จากผลการศึกษาของนักวิจัย [1, 2, 3 และ 4] ซึ่งให้ผลในแนวทางเดียวกัน กล่าวคือการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan materials) เช่น เถ้าลอย (Fly ash) ซิลิกาฟูม และ Slag เป็นต้น ในอัตราส่วนที่เหมาะสม สามารถต้านทานซัลเฟตได้ดี อย่างไรก็ตามการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลานสามารถต้านทานซัลเฟตได้ดีในกรณีโซเดียมซัลเฟต แต่ในกรณีแมกนีเซียมซัลเฟตนั้น กลับต้านทานซัลเฟตด้อยกว่ากรณีที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน

[5] ดังนั้นเพื่อลดจุดอ่อนของตัวอย่างมอร์ตาร์ในกรณีแมกนีเซียมซัลเฟต งานวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาการต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน รวมทั้งใช้เถ้าลอยผสมในส่วนผสมด้วย แล้ววัดการขยายตัว (Expansion) และการสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss) ของตัวอย่างมอร์ตาร์ เมื่อสัมผัสกับสารละลายโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต เพื่อเป็นการศึกษาการต้านทานซัลเฟตของตัวอย่างมอร์ตาร์ฝุ่นหินปูนเมื่อสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมซัลเฟตโดยเฉพาะกรณีแมกนีเซียมซัลเฟต

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา (Materials)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ 5 ฝุ่นหินปูนหรือผงแคลเซียมคาร์บอเนต (ในที่นี้มีความละเอียดขนาดเฉลี่ย 3 ไมครอน) เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ทราายแม่น้ำและสารโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต สมบัติทางกายภาพบางประการและองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยที่ใช้ในการศึกษา แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยที่ใช้ในการศึกษา

องค์ประกอบทางเคมี (% wt)	ปูนซีเมนต์ประเภท		ฝุ่นหินปูน	เถ้าลอย
	I	V		
SiO ₂	20.61	20.97	0.06	36.10
Al ₂ O ₃	5.03	3.49	0.09	19.40
Fe ₂ O ₃	3.03	4.34	0.04	15.10
CaO	64.89	62.86	54.80	17.40
MgO	1.43	3.33	0.57	2.97
Na ₂ O	0.22	0.12	-	0.55
K ₂ O	0.46	0.47	-	2.17
SO ₃	2.70	2.12	-	0.77
Free CaO	0.79	2.12	-	-
LOI (%)	1.23	1.21	43.80	2.81
Sp. Gr.	3.15	3.18	2.70	2.44
Blaine fineness(cm ² /g)	3,910	3,727	9,260	2,460

2.2 สัดส่วนผสม (Mix proportions)

การศึกษาค้างนี้ประกอบด้วย 14 สัดส่วนผสม โดยทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยถูกนำไปแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ

5 สำหรับตัวอย่างมอร์ตาร์ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.40 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนวัสดุประสานต่อทราายเท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนักตลอดการทดลอง รายละเอียดของสัดส่วนผสมของมอร์ตาร์แสดงในตารางที่ 2

2.3 สารละลายซัลเฟต (Sulfate solutions)

การศึกษาในครั้งนี้ใช้โซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) และแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO₄) ในการเตรียมสารละลายซัลเฟต โดยใช้โซเดียมซัลเฟต 50 กรัม (SO₄²⁻ เท่ากับ 33,800 ppm) ในสารละลาย 1 ลิตร และใช้แมกนีเซียมซัลเฟต 42.36 กรัม ในสารละลาย 1 ลิตร เพื่อให้ปริมาณของไอออนซัลเฟต (SO₄²⁻) เท่ากัน โดยเตรียมสารละลายซัลเฟตล่วงหน้า 1 วันที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส ก่อนที่ใช้แช่ตัวอย่าง อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายซัลเฟตต่อปริมาตรตัวอย่างที่แช่ประมาณ 4:1

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ทดสอบการขยายตัวและการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างที่แช่ในสารละลายซัลเฟต

ที่	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสม (โดยน้ำหนัก)					
		ปูนซีเมนต์ประเภท		ฝุ่นหินปูน	เถ้าลอย	ทราาย	น้ำ
		I	V				
1	C1-5LP	1.00	-	-	-	2.75	0.40
2	C1-10LP	0.95	-	0.05	-	2.75	0.40
3	C1-20FA	0.90	-	0.10	-	2.75	0.40
4	C1-40FA	0.80	-	-	0.20	2.75	0.40
5	C1-5LP-	0.60	-	-	0.40	2.75	0.40
6	15FA	0.80	-	0.05	0.15	2.75	0.40
7	C1-10LP-30FA	0.60	-	0.10	0.30	2.75	0.40
8	C5-5LP	-	1.00	-	-	2.75	0.40
9	C5-10LP	-	0.95	0.05	-	2.75	0.40
10	C5-20FA	-	0.90	0.10	-	2.75	0.40
11	C5-40FA	-	0.80	-	0.20	2.75	0.40
12	C5-5LP-	-	0.60	-	0.40	2.75	0.40
13	15FA	-	0.80	0.05	0.15	2.75	0.40
14	C5-10LP-30FA	-	0.60	0.10	0.30	2.75	0.40

C1: ตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน, C1-5LP: ตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร้อยละ 5, C5-5LP-15FA: ตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 และ แก้วลอยร้อยละ 15

2.4 การหล่อและบ่มตัวอย่าง (Casting and curing)

การเตรียมตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ (ขนาด 2.5x2.5x28.5 เซนติเมตร) เพื่อทำการขยายตัว กระทำตาม ASTM C1012 ในขณะที่การทดสอบหาการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ (ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร) กระทำตาม ASTM C109 ตัวอย่างมอร์ตาร์หลังจากหล่อลงแบบหล่อ (Mold) แล้วหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อกั้นน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ถอดแบบตัวอย่างที่อายุ 1 วัน แล้วนำไปแช่ในน้ำที่อิ่มตัวด้วยปูนขาว (Saturated lime water) เป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในสารละลายซิลเฟตที่เตรียมไว้ เพื่อทดสอบการขยายตัว และการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างที่อายุต่างๆ สำหรับสารละลายซิลเฟตจะมีการเปลี่ยนที่อายุ 1 2 และ 4 สัปดาห์ และหลังจากนั้นเปลี่ยนทุก ๆ 2 เดือนของการแช่ตัวอย่าง

2.5 การทดสอบ (Testing)

การศึกษาครั้งนี้จะประเมินการต้านทานซิลเฟตของตัวอย่างมอร์ตาร์ โดยวัดการขยายตัวและการสูญเสียน้ำหนัก

2.5.1 การวัดการขยายตัว

วิธีการวัดการขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายซิลเฟตกระทำตามมาตรฐาน ASTM C 1012 โดยหลังจากแช่ตัวอย่างในน้ำที่อิ่มตัวด้วยปูนขาว 28 วัน ทำการวัดความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความยาว (Length comparator) ตามมาตรฐาน ASTM C 490 ต่อจากนั้นนำตัวอย่างแช่ในสารละลายซิลเฟตที่เตรียมไว้ แล้วทำการวัดความยาวของตัวอย่างที่อายุ 2 3 4 8 13 และ 16 สัปดาห์ของการแช่ในสารละลายซิลเฟต หลังจากนั้นทำการวัดทุก ๆ อายุ 2 เดือนของการแช่ในสารละลายซิลเฟต ค่าการขยายตัวของตัวอย่างเป็นการเฉลี่ยการขยายตัวของ 3 แท่งตัวอย่าง ค่าการขยายตัวของแต่ละตัวอย่างคำนวณจากสมการ (1)

$$\text{การขยายตัว (\%)} = [(L_t - L_i)/L_i] \times 100(1)$$

โดยที่ L_i คือค่าความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างหลังจากแช่ในน้ำที่อิ่มตัวด้วยปูนขาว 28 วัน

L_t คือค่าความยาวของตัวอย่างหลังจากแช่ในสารละลายซิลเฟตหลังจากแช่สารละลาย i สัปดาห์

2.5.2 การวัดการสูญเสียน้ำหนัก

เมื่อตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์แช่ในน้ำที่อิ่มตัวด้วยปูนขาว 28 วันแล้ว ทำการวัดน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง ต่อจากนั้นนำตัวอย่างแยกแช่ในสารละลายโซเดียมซิลเฟตและแมกนีเซียมซิลเฟต การสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างคำนวณจากค่าเฉลี่ยของการสูญเสียน้ำหนักของ 3 ตัวอย่าง ค่าการสูญเสียน้ำหนักของแต่ละตัวอย่างคำนวณจากสมการ (2)

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = [(W_i - W_f)/(W_i)] \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ W_i คือน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากแช่ในน้ำที่อิ่มตัวด้วยปูนขาว 28 วัน

W_f คือน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากแช่ในสารละลายซิลเฟต

3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

ผลการทดลองการต้านทานซิลเฟตของตัวอย่างมอร์ตาร์ โดยการประเมินการต้านทานดังกล่าวพิจารณาใน 2 ลักษณะด้วยกัน คือการขยายตัว และการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง แต่ลักษณะจะดูผลกระทบจากชนิดของวัสดุประสาน

3.1 การขยายตัว (Expansion)

รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวและอายุการแช่ในสารละลายซิลเฟตของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน และตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและแก้วลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 พบว่าตัวอย่างที่แช่ทั้งในสารละลายโซเดียมซิลเฟตและแมกนีเซียมซิลเฟต การขยายตัวของตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วนมีค่ามากกว่าของตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 ล้วน ทั้งนี้เพราะว่าปริมาณ C_3A ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 มีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 จึงทำให้เกิดปริมาณ Ettringite น้อยกว่า อีกทั้งมี C_3S ต่ำกว่าทำให้เกิด $Ca(OH)_2$ น้อยกว่า ส่วนการขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ด้วยแก้วลอย (ร้อยละ 20 และ 40) ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 มีค่าน้อยกว่าของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน เพราะว่าตัวอย่างมอร์ตาร์ของการแทนที่ด้วยแก้วลอยนั้น ปูนซีเมนต์ถูกแทนที่ให้มีปริมาณ C_3A น้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน รวมทั้งการเกิด

ปริมาณยับยั้งที่น้อยกว่าด้วย เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานช่วยลดปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์

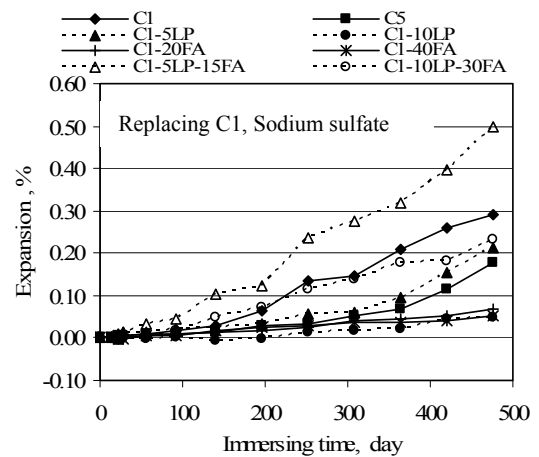
ส่วนการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 3 ไมครอน สำหรับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 (ร้อยละ 5 และ 10) ในกรณีสารละลายโซเดียมซัลเฟต (รูปที่ 1 (ก)) พบว่าการขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ที่แทนที่ร้อยละ 10 น้อยกว่าของทั้งตัวอย่างที่แทนที่ร้อยละ 5 และปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน แต่มีค่าใกล้เคียงกับการขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย ในขณะที่ขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 มีค่าสูงกว่าของตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 ล้วนเล็กน้อย สำหรับสาเหตุที่ทำให้การขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างปูนซีเมนต์ล้วนเป็นไปได้เพราะการแทนที่บางส่วนของปูนซีเมนต์ทำให้ลดปริมาณของปูนซีเมนต์ลง จึงเป็นการลดปริมาณของ C_3A และปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นผลให้เกิดปริมาณของ Gypsum และ Ettringite น้อยลง

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อแทนที่ทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 พบว่าการขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์มีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะตัวอย่างที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 และเถ้าลอยร้อยละ 15 (C1-5LP-15FA) มีค่าการขยายตัวสูงกว่าตัวอย่างปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วนค่อนข้างมาก ในขณะที่ตัวอย่างที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร้อยละ 10 และเถ้าลอยร้อยละ 30 (C1-10LP-30FA) มีค่าการขยายตัวน้อยกว่าของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วนเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการแทนที่เถ้าลอยที่มีปริมาณของ CaO สูง (ร้อยละ 17.40) ในปริมาณที่น้อย จะสามารถทำให้การขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์มากขึ้น แต่ถ้าหากแทนในปริมาณมากขึ้นการขยายตัวจะน้อยลง [6] เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานที่มีมากขึ้น

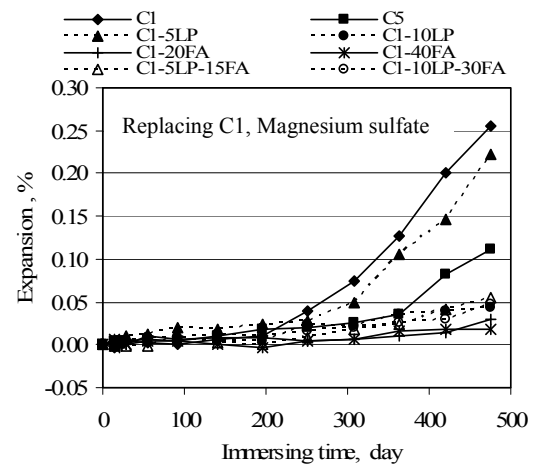
ส่วนในกรณีสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (รูปที่ 1(ข)) เมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 มีแนวโน้มเหมือนกับในกรณีสารละลายโซเดียมซัลเฟต

อย่างไรก็ตามการขยายตัวของแท่งตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตมีค่ามากกว่าเมื่อแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเมื่อเปรียบเทียบที่อายุการแช่เดียวกัน เพราะว่าการเกิดของ Ettringite และยับยั้งในกลไกการทำลายของสารละลายโซเดียมซัลเฟต มีมากกว่า จึงเป็นผลให้การขยายตัวของตัวอย่างมากกว่า [7]

ส่วนรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวและอายุการแช่ในสารละลายซัลเฟตของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน และตัวอย่างเมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 พบว่าการขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แต่อย่างไรก็ตามการขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ที่แทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 ทุกอัตราส่วน มีค่าน้อยกว่าของตัวอย่างปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน

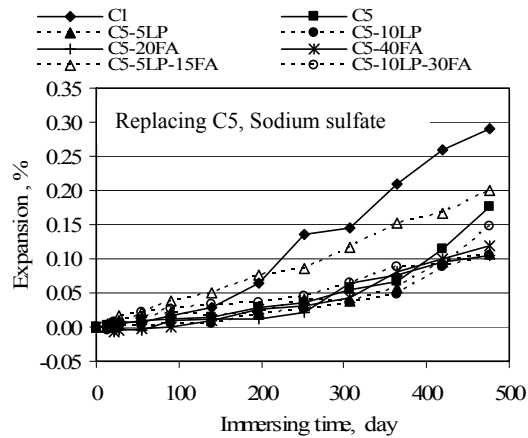


ก) โซเดียมซัลเฟต

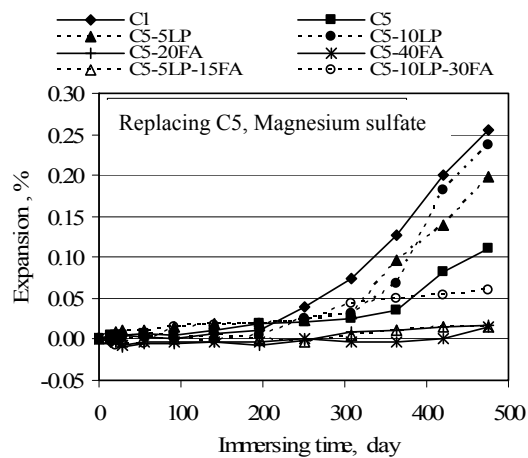


ข) แมกนีเซียมซัลเฟต

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวและอายุการแช่ในสารละลายซัลเฟตของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน และตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1



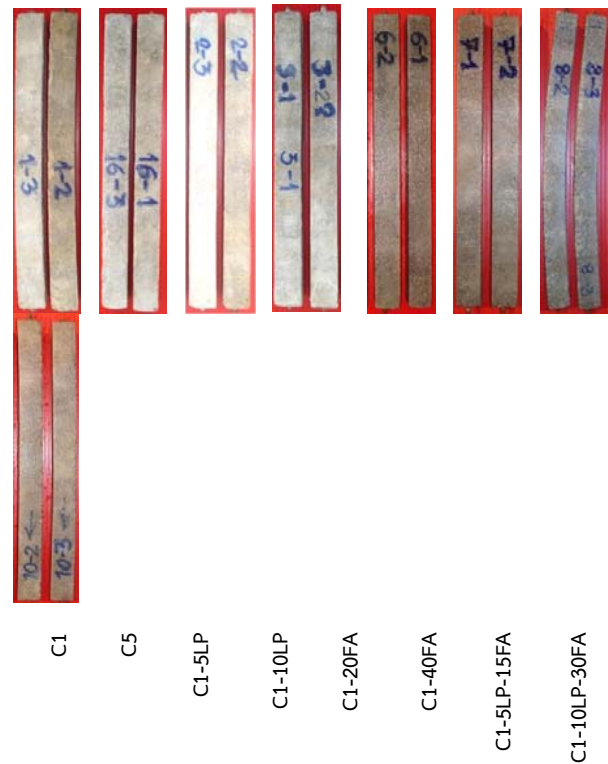
ก) โซเดียมซัลเฟต



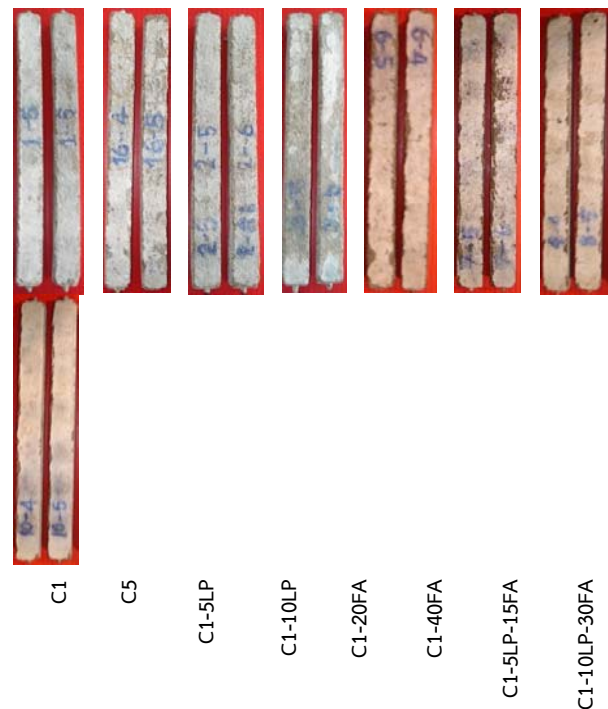
ข) แมกนีเซียมซัลเฟต

รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวและอายุการแช่ในสารละลายซัลเฟตของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน และตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5

รูปที่ 3 แสดงภาพถ่ายตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน และตัวอย่างการแทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ที่อายุ 68 สัปดาห์ในสารละลายซัลเฟต ซึ่งพิจารณาจากภาพจะเห็นว่าการทำงานทำลายของสารละลายซัลเฟตต่อตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์นั้น มีแนวโน้มให้ผลในทิศทางเดียวเมื่อพิจารณาในกรณีของการขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ (รูปที่ 2)



(ก) โซเดียมซัลเฟต



(ข) แมกนีเซียมซัลเฟต

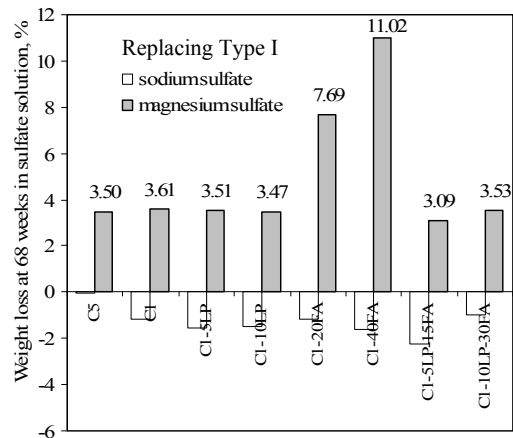
รูปที่ 3 ภาพถ่ายตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน และตัวอย่างการแทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แช่ในสารละลายซัลเฟตที่อายุ 68 สัปดาห์

3.2 การสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss)

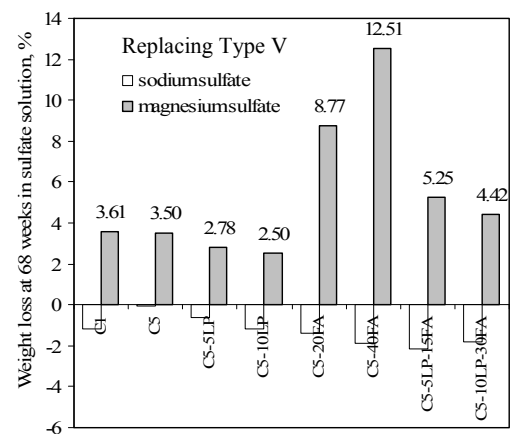
รูปที่ 4 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ที่อายุการแช่ในสารละลายซัลเฟต 68 สัปดาห์ จากผลการทดลอง พบว่าในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ทุกส่วนผสมยังไม่มี การสูญเสีย น้ำหนัก แต่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ไม่ว่าจะเป็นตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน หรือตัวอย่างการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน หรือเถ้าลอยทั้งในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ในขณะที่การสูญเสีย น้ำหนักของตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตนั้นจะเห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้เพราะว่า M-S-H ที่เกิดขึ้นในกลไกการทำลายของแมกนีเซียมซัลเฟต ไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน ซึ่งเป็นสาเหตุของการหลุดร่อนของผิวตัวอย่าง จึงทำให้สูญเสีย น้ำหนัก [7]

สำหรับตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์เมื่อแทนที่ด้วยเถ้าลอย (ร้อยละ 20 และ 40) ทั้งในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ที่แช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต พบว่าการสูญเสีย น้ำหนักของตัวอย่างค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับของตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ล้วน โดยเฉพาะเมื่อปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยมากขึ้น ซึ่งเป็นไปได้เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานจะทำให้ pH ของส่วนผสมลดลง ทำให้ C-S-H มีความเสถียรภาพน้อยลง จึงทำให้ปริมาณของ M-S-H (ซึ่งไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน) เกิดมากขึ้นตามกลไกการทำลายของแมกนีเซียมซัลเฟต [7]

แต่เมื่อพิจารณาในกรณีตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน พบว่าการสูญเสีย น้ำหนักของตัวอย่างที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนให้ผลของการสูญเสีย น้ำหนักที่ใกล้เคียงหรือน้อยกว่าตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ล้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีค่าน้อยกว่ากรณีของตัวอย่างที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยอย่างเดียวในปูนซีเมนต์ ทั้งนี้เนื่องจากฝุ่นหินปูนรบกวนปฏิกิริยาการเกิด M-S-H [8] นั้นแสดงว่าในกรณีของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต การแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์บางส่วนสามารถต้านทานซัลเฟตได้ดี ในขณะที่การแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์กลับด้อยลง แต่อย่างไรก็ตามการแทนที่ของเถ้าลอยนั้นจะต้านทานซัลเฟตได้ดีเมื่อเป็นสารละลายโซเดียมซัลเฟต



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1



ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4 การสูญเสีย น้ำหนักของตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ที่อายุการแช่ในสารละลายซัลเฟต 68 สัปดาห์

รูปที่ 5 แสดงภาพถ่ายตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน และการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ที่อายุ 68 สัปดาห์ในสารละลายซัลเฟต ซึ่งเมื่อพิจารณาจากภาพแล้วจะเห็นได้ว่าการทำลายของสารละลายซัลเฟตต่อตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์นั้น มีแนวโน้มให้ผลในทิศทางเดียวเมื่อพิจารณาในกรณีของการสูญเสีย น้ำหนักของตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ (รูปที่ 4 (ก))



(ก) โซเดียมซิลิเฟต



(ข) แมกนีเซียมซิลิเฟต

รูปที่ 5 ภาพถ่ายตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน และ 5 ล้วน และตัวอย่างการแทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แขนงสารละลายซิลิเฟตที่อายุ 68 สัปดาห์

3.3 สรุป (Conclusion)

จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ในสารละลายซิลิเฟตการขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ที่แทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 มีค่าน้อยกว่าการขยายตัวของตัวอย่างปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน และน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับตัวอย่างปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 ล้วน ยกเว้นการขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 และเถ้าลอยร้อยละ 15 ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 เมื่อแขนสารละลายโซเดียมซิลิเฟต มีค่ามากกว่าตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน

2. ในสารละลายโซเดียมซิลิเฟต พบว่าตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ที่อายุ 68 สัปดาห์ ของการแช่ ทุกส่วนผสมยังไม่มี การสูญเสียน้ำหนัก ไม่ว่าจะเป็นตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน หรือที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน หรือเถ้าลอย ทั้งในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5

3. ในสารละลายแมกนีเซียมซิลิเฟตที่อายุ 68 สัปดาห์ ของการแช่ พบว่าเมื่อแทนที่ด้วยเถ้าลอยทั้งในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 การสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยมากขึ้น แต่ในกรณีตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนทั้งในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 พบว่าการสูญเสีย น้ำหนักของตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงหรือน้อยกว่าของตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 ล้วน

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณประจำปี 2558 ในงานวิจัยนี้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Tangtermsirikul, S. and Bumrungwong, C, 1997. Conceptual Model for Determining Optimum Proportion of Fly Ash in Sulfate resisting Concrete, *Proceedings of the 3rd National Convention on Civil Engineering, Thailand*, January, pp. MAT 4-1 to 4-9.
- [2] Songpiriyakij, S. and Jaturapitakkul, C., 1995. A Study of Ground Mae Moh Fly Ash as a Pozzolan for Increasing Concrete Strength, *KMITT Research and Development Journal*, Vol. 18, No. 2. pp. 52-64.
- [3] Kaittikomol, K., Jaturapitakkul, C., Siripanichgorn, A., Nimityongskul, P., Chindaprasirt, P. and Tangsathitkulchai, C., 1997. Influence of Fineness of Classified Fly Ash on Compressive Strength and Sulfuric Acid Attack of Mortar, *Proceedings of the 3rd National Convention on Civil Engineering, Thailand*, January, pp. MAT 2-1 to 2-10.
- [4] Chindaprasirt, P., Meatanan, S., Mangmeesri, S., and Sinsiri, T., 2000. Properties of Compacted Concrete Containing Fly Ash and Black Rice Husk Ash, *Proceedings of the 6th National Convention on Civil Engineering, Thailand*, January, pp. MAT- 47 to -57.
- [5] Krammart, P., and Tangtermsirikul, S., 2002. Strength Reduction and Expansion of Mortars with Fly Ash,

Research and Development Journal of The Engineering Institute of Thailand, V.13, No.3, pp. 9-16.

[6] Nopakun, P., Pitisan, K., Ittiporn, S., and Tangtermsirikul, S., 2010. Expansion of Mortar with Fly Ash and Limestone Powder in Sodium Sulfate Solution, *Proceedings of the 6th Annual Concrete Conference, Petchaburi, Thailand*, 20-23 September, pp. 395-405.

[7] Al-Amoudi, O. S. B., 1999. Mechanisms of Sulfate Attack in Plain and Blended Cement: a Review, *Proceeding of the International Seminar*, September 1999, University of Dundee, Scotland, UK, pp. 247-260.

[8] Ittiporn S., Lalita B., Warangka S., Pitisan, K., and Tangtermsirikul, S., 2014. Sodium and Magnesium Sulfate Resistance of Mortars with Intergrated Limestone and Limestone Powder Replacing Cements, *Journal of Advanced Concrete Technology*, volume 12 (2014), pp. 403-412.