

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์

สำหรับผลการวิจัยและวิเคราะห์ในการวิจัยการต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูนในครั้งนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยดังกล่าวจึงได้ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นบางประการของวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ด้วย คุณสมบัติดังกล่าวที่ศึกษาได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียดโดยวิธีเบลน ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาค ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค และองค์ประกอบทางเคมี ส่วนในด้านการต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน ได้ประเมินความต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ใน 2 ลักษณะ คือ การขยายตัว และการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ โดยในแต่ละการประเมินนั้นได้พิจารณาถึงผลกระทบที่มีต่อการต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูนดังนี้ ผลกระทบจากชนิดและปริมาณการแทนที่ของวัสดุประสาน ผลกระทบจากความละเอียดของฝุ่นหินปูน และผลกระทบจากชนิดของสารละลายซัลเฟต โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ฝุ่นหินปูนขนาดความละเอียด 4 และ 14 ไมโครเมตร และเถ้าลอย โดยคุณสมบัติเบื้องต้นที่ได้ศึกษาในครั้งนี้ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียดโดยวิธีเบลน ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาค ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค และคุณสมบัติทางเคมี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุประสาน

ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันคือ 3.15 และ 3.18 ตามลำดับ ส่วนฝุ่นหินปูนที่มีขนาดเฉลี่ย 4 และ 14 ไมโครเมตรนั้น มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.70 และ 2.71 ตามลำดับ ในขณะที่เถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปาง มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.44

4.1.2 ความละเอียดโดยวิธีเบลนของวัสดุประสาน

สำหรับผลการทดสอบความละเอียดโดยวิธีเบลน (Blaine's fineness) ของวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 คือของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีค่าความละเอียดโดยวิธีเบลนเท่ากับ 3,190 และ 3,727 ซม.²/ก. ตามลำดับ ในขณะที่ฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร และขนาด 14 ไมโครเมตร เท่ากับ 9,260 และ 3,320 ซม.²/ก. ตามลำดับ โดยความละเอียดขนาด 4 ไมโครเมตร นั้นมากกว่าของปูนซีเมนต์ประมาณ 3 เท่า ส่วนของเถ้าลอยที่ใช้มีค่าความละเอียดต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือมีค่าเท่ากับ 2,460 ซม.²/ก.

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ที่	สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ ประเภทที่		เถ้าลอย	ฝุ่นหินปูน		ทราย	น้ำ
		1	5		4 μ	14 μ		
26	C5-25FA -15LP4	-	0.60	0.25	0.15	-	2.75	0.55
27	C5-15FA -5LP14	-	0.80	0.15	-	0.05	2.75	0.55
28	C5-10FA -10LP14	-	0.80	0.10	-	0.10	2.75	0.55
29	C5-30FA -10LP14	-	0.60	0.30	-	0.10	2.75	0.55
30	C5-25FA -15LP14	-	0.60	0.25	-	0.15	2.75	0.55

หมายเหตุ อัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.1 เป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแต่ละวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุประสานทั้งหมดในส่วนผสม

- C1 หมายถึง ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1
- C5 หมายถึง ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5
- LP4 หมายถึง ฝุ่นหินปูนความละเอียดประมาณ 4 ไมโครเมตร
- LP14 หมายถึง ฝุ่นหินปูนความละเอียดประมาณ 14 ไมโครเมตร
- FA หมายถึง เถ้าลอยจากแหล่งโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- 5LP4 หมายถึง แทนที่ฝุ่นหินปูนขนาดความละเอียดประมาณ 4 ไมโครเมตรเป็นปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปริมาณวัสดุประสานทั้งหมด
- 5LP14 หมายถึง แทนที่ฝุ่นหินปูนขนาดความละเอียดประมาณ 14 ไมโครเมตรปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปริมาณวัสดุประสานทั้งหมด
- 20FA หมายถึง แทนที่เถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปริมาณวัสดุประสานทั้งหมด

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียด โดยวิธีเบลน และขนาดอนุภาคเฉลี่ย ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ผุ่นหินปูน และเถ้าลอย ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

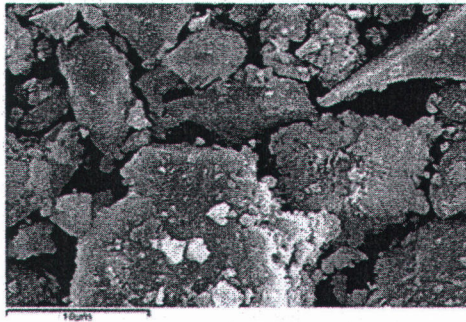
คุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		ผุ่นหินปูน		เถ้าลอย
	ประเภท 1	ประเภท 5	4 μm	14 μm	
ความถ่วงจำเพาะ	3.15	3.18	2.70	2.71	2.44
ความละเอียด ; ซม. ² / ก.	3,190	3,727	9,260	3,320	2,460
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย ; μm	17.54	16.25	3.93	14.11	20.28

4.1.3 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาคของวัสดุประสาน

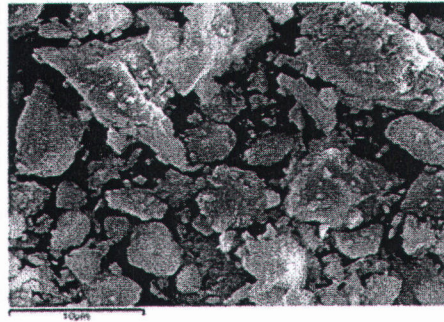
ในการถ่ายภาพขยายกำลังสูงของอนุภาคของวัสดุประสานในครั้งนี้ได้ใช้โดยวิธี Scanning Electronic Microscope (SEM) แสดงดังรูปที่ 4.1 จากภาพถ่ายขยายขนาด 3,500 เท่าของอนุภาคของวัสดุประสานพบว่า อนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ก็จะมีลักษณะเป็นเหลี่ยมกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป ส่วนของผุ่นหินปูนก็จะมีลักษณะเป็นเหลี่ยมเช่นเดียวกับกรณีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยที่ผุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร นั้นจะมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าของปูนซีเมนต์ และเล็กกว่าของผุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 14 ไมโครเมตร ในขณะที่ลักษณะของอนุภาคของเถ้าลอยของแม่เมาะที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ จะมีลักษณะค่อนข้างกลมที่กระจัดกระจายอยู่ทั่วไปเช่นเดียวกัน

4.1.4 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสาน

ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า การกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสานที่ใช้นั้นมีลักษณะการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีของเถ้าลอยที่แนวโน้มจะมีอนุภาคส่วนที่หยาบมากกว่าวัสดุตัวอื่น กล่าวคือกราฟส่วนสะสมที่ค่าตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปจะมีส่วนที่หยาบมากกว่าส่วนที่ละเอียด สำหรับค่าของขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ร้อยละค่าสะสมที่ 50) ของวัสดุประสานแต่ละชนิดเป็นดังนี้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เท่ากับ 17.54 ไมโครเมตร ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เท่ากับ 16.25 ไมโครเมตร ในขณะที่ของผุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร มีค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 3.93 และ 14.11 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งผุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 4 ไมโครเมตรมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยค่อนข้างเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคเฉลี่ยของปูนซีเมนต์ ส่วนเถ้าลอยนั้นมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 20.28 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5



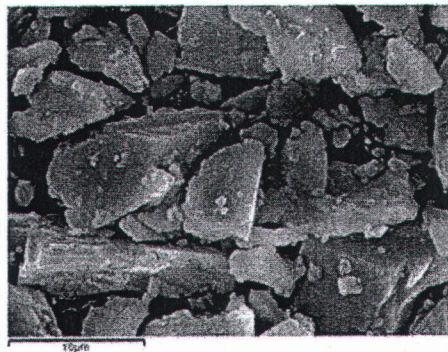
ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



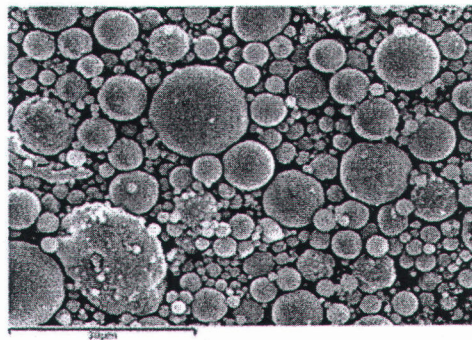
ข) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5



ค) ฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร

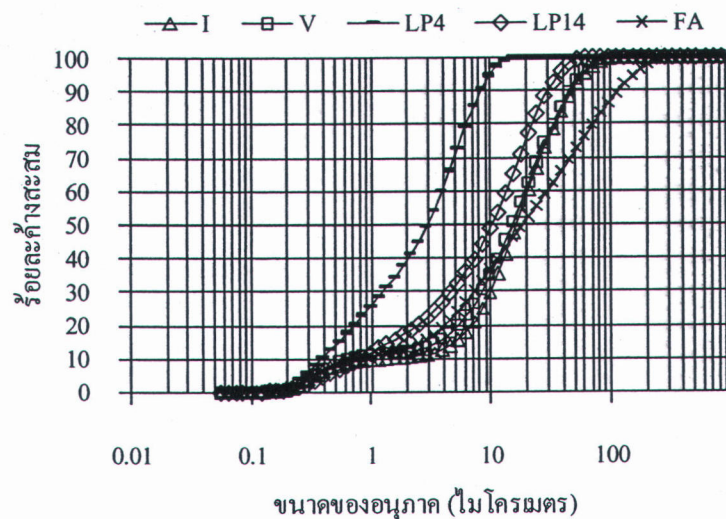


ง) ฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร



จ) แก้วลอย

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายขยายกำลังสูง (ขนาด 3,500 เท่า) ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร และ แก้วลอย



รูปที่ 4.2 ลักษณะการกระจายสะสมของอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ผุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร และ ถ้ำล่อยในเทอมของร้อยละค่าสะสม

4.1.5 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ผุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร และ ถ้ำล่อย โดยใช้วิธี X-ray fluorescence spectrometry (XRF) แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า SiO_2 ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีค่าเท่ากับร้อยละ 20.61 และร้อยละ 20.97 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ในขณะที่ของผุ่นหินปูนมีน้อยมากคือน้อยกว่าร้อยละ 1 แต่ของถ้ำล่อยมีมากถึงร้อยละ 36.10 ส่วนปริมาณของ Al_2O_3 และ Fe_2O_3 นั้นพบว่าของปูนซีเมนต์มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 3-5 ของผุ่นหินปูนไม่ถึงร้อยละ 1 แต่ของถ้ำล่อยมีค่าเท่ากับร้อยละ 19.40 และ 15.10 ตามลำดับ ในส่วนปริมาณของ CaO นั้น ปรากฏว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 นั้น มีเท่ากับร้อยละ 64.89 และ 62.86 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับของผุ่นหินปูน (ร้อยละ 54.80 และ 54.30) ในขณะที่ถ้ำล่อยจากแม่เมาะที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีปริมาณ CaO เท่ากับร้อยละ 17.40 โดยน้ำหนัก

ในส่วนของออกไซด์รอง ซึ่งได้แก่ MgO , Na_2O , K_2O หรือ SO_3 ในวัสดุประสานแต่ละชนิดที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ปรากฏว่ามีค่าค่อนข้างน้อยและมีในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน แต่สำหรับปริมาณของ LOI (การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา) พบว่า ของผุ่นหินปูนนั้นมีค่าค่อนข้างสูงคือประมาณร้อยละ 43-44 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ของปูนซีเมนต์และถ้ำล่อยนั้นน้อยมาก คือ ประมาณร้อยละ 1-3 โดยน้ำหนักเท่านั้น

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ผุนหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร และเถ้าลอย

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		ผุนหินปูน		เถ้าลอย
	ประเภท 1	ประเภท 5	4 μm	14 μm	
Silicon Dioxide , SiO_2	20.61	20.97	0.06	0.27	36.10
Aluminum Oxide , Al_2O_3	5.03	3.49	0.09	0.18	19.40
Ferric Oxide , Fe_2O_3	3.03	4.34	0.04	0.08	15.10
Calcium Oxide , CaO	64.89	63.86	54.80	54.30	17.40
Magnesium Oxide , MgO	1.43	3.33	0.57	0.62	2.97
Sodium Oxide , Na_2O	0.22	0.12	-	-	-
Potassium Oxide , K_2O	0.46	0.47	-	-	-
Sulfur Trioxide , SO_3	2.70	2.12	-	-	0.77
Free Lime , CaO	0.79	1.01	-	-	-
Loss on Ignition, LOI	1.23	1.21	43.80	43.63	2.81

อย่างไรก็ตามในการศึกษาความต้านทานซัลเฟตของตัวอย่างมอร์ตาร์ผสมผุนหินปูนในครั้งนี้นั้น ได้ทำการทดลองหาค่าความพรุน (Total porosity) ของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่บ่มในน้ำปูนขาวที่อายุ 28 วัน โดยกระทำตามมาตรฐาน ASTM C 642 ซึ่งผลจากการทดสอบหาค่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์นั้น ได้แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 ถึง รูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 ความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่บ่มในน้ำปูนขาวที่อายุ 28 วัน (มาตรฐาน ASTM C 642)

ที่	สัญลักษณ์	ความพรุน (%wt)
1	C1	17.81
2	C1-5LP4	17.52
3	C1-5LP4	18.19
4	C1-5LP14	16.61
5	C1-5LP14	16.88
6	C1-20FA	16.96
7	C1-40FA	17.53
8	C1-15FA -5LP4	17.34
9	C1-10FA -10LP4	17.68
10	C1-30FA -10LP4	18.43
11	C1-25FA -15LP4	18.04
12	C1-15FA -5LP14	16.94
13	C1-10FA -10LP14	17.56
14	C1-30FA -10LP14	18.63
15	C1-25FA -15LP14	19.38
16	C5	18.09
17	C5-5LP4	17.76
18	C5-5LP4	18.43
19	C5-5LP14	16.74
20	C5-5LP14	17.31
21	C5-20FA	17.89
22	C5-40FA	18.99
23	C5-15FA -5LP4	18.84
24	C5-10FA -10LP4	17.68
25	C5-30FA -10LP4	18.76

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ที่	สัญลักษณ์	ความพรุน (%wt)
26	C5-25FA -15LP4	18.85
27	C5-15FA -5LP14	18.64
28	C5-10FA -10LP14	18.32
29	C5-30FA -10LP14	18.69
30	C5-25FA -15LP14	19.96

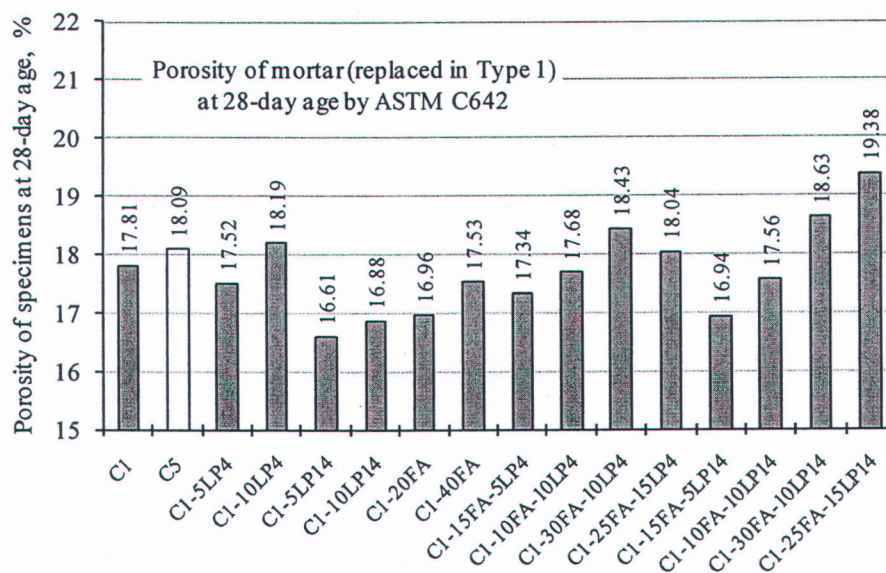
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอย ผุ่นหินปูน และทั้งเถ้าลอยและผุ่นหินปูน พบว่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน มีค่าสูงกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน เล็กน้อย คือเท่ากับร้อยละ 18.09 และ 17.81 ตามลำดับ ในขณะที่ของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 4 ไมโครเมตร ร้อยละ 5 มีค่าต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน แต่เมื่อแทนที่ด้วยร้อยละ 10 กลับมีค่าสูงกว่าทั้งของปูนซีเมนต์ล้วนและที่แทนที่ด้วยร้อยละ 5 ส่วนกรณีเมื่อแทนด้วยผุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 14 ไมโครเมตร ทั้งร้อยละ 5 และร้อยละ 10 นั้นค่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์จะต่ำกว่าทั้งของปูนซีเมนต์ (ทั้งประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5) ล้วน และของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร (ทั้งร้อยละ 5 และร้อยละ 10) นั้นแสดงว่าผุ่นหินปูนมีผลต่อการเติมเต็มช่องว่างในมอร์ตาร์ ซึ่งประสิทธิภาพของการเติมเต็มขึ้นกับปริมาณที่เหมาะสมของผุ่นหินปูน ตัวอย่างเช่นเมื่อเปรียบเทียบกับผุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร กับขนาด 14 ไมโครเมตร จากผลของความพรุนแสดงว่า ผุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรมีผลในการไปเติมเต็มได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของการแทนที่ร้อยละ 5 กับร้อยละ 10 ไม่ว่าจะเป็นของผุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 4 หรือ 14 ไมโครเมตร พบว่า การแทนที่ร้อยละ 5 ให้ค่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ต่ำกว่าเมื่อแทนที่ร้อยละ 10 นั้นก็แสดงว่าเป็นไปได้ว่า ปริมาณร้อยละ 5 ของการแทนที่น่าจะเป็นปริมาณที่เหมาะสมกว่าปริมาณร้อยละ 10 ในการไปเติมเต็มช่องว่างของตัวอย่างมอร์ตาร์

สำหรับการแทนที่ด้วยเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 นั้น พบว่า การแทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 และ 40 ทำให้ความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน ต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ร้อยละ 20 นั้นจะมีค่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ต่ำกว่าเมื่อแทนที่ด้วยร้อยละ 40 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่ออายุ 28 วัน ปฏิกิริยาปอลิโซลานบวกกับการเติมเต็มในช่องว่างช่วยส่งเสริมให้มอร์ตาร์มีความแน่นสูงขึ้นจึงทำให้ความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์มีค่าต่ำกว่า ส่วนการแทนที่

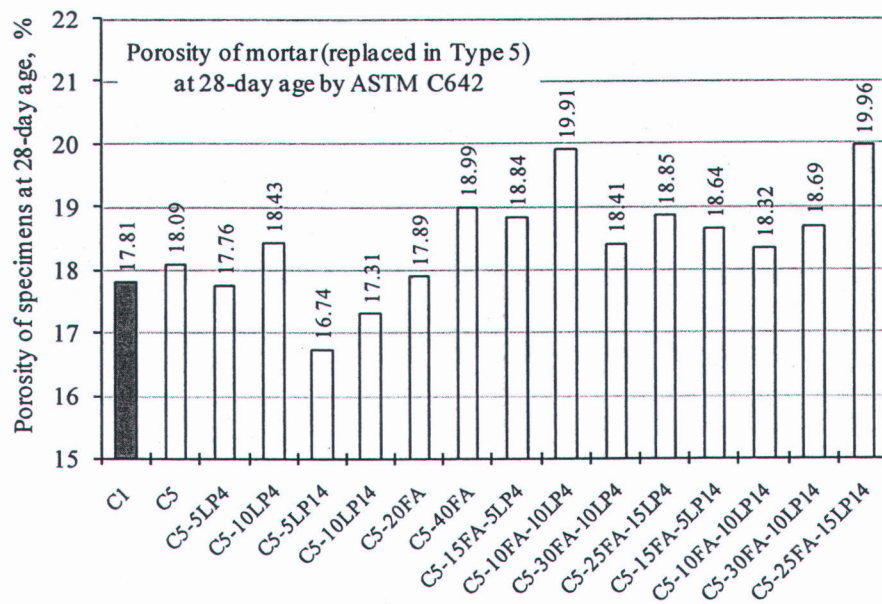
ทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 นั้นจะให้ผลในทิศทางของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย ซึ่งแล้วแต่ปริมาณที่มากน้อยอย่างไรของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย ซึ่งค่าความพรุนดังกล่าวได้แสดงดังรูปที่ 4.3

ส่วนกรณีการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และเถ้าลอย ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 (รูปที่ 4.4) ก็จะให้ผลของความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ในแนวโน้มนี้อยู่เกี่ยวกับกรณีของการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

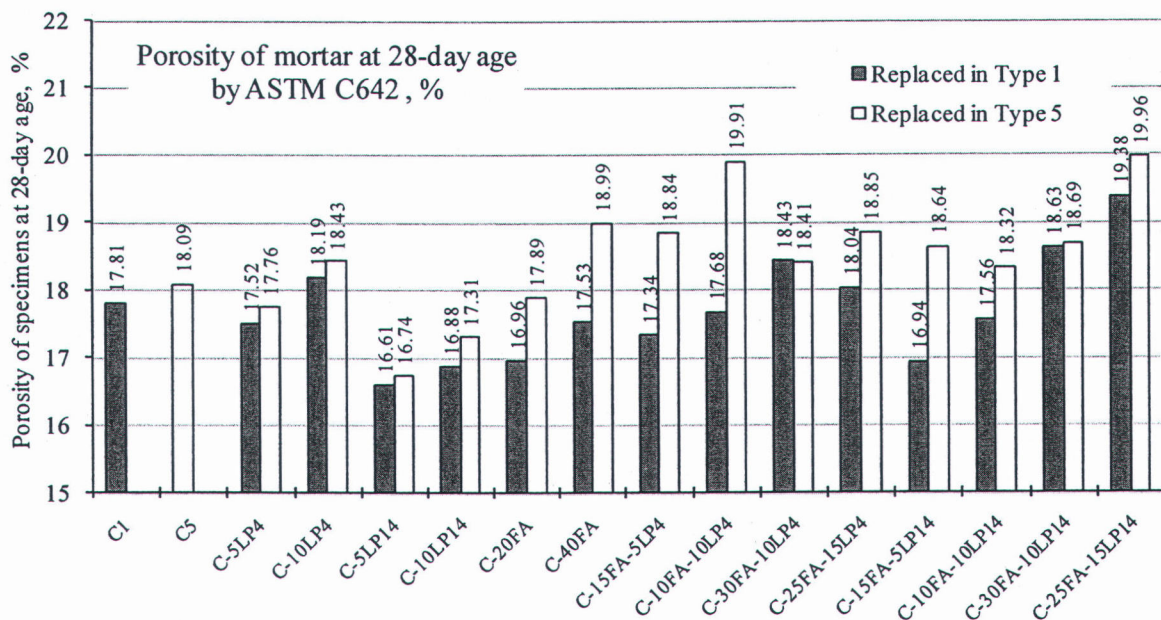
ส่วนรูปที่ 4.5 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่า ความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 นั้น จะมีค่ากว่าของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ในทุกอัตราส่วนหรือสัดส่วนของการแทนที่ที่เหมือนกัน



รูปที่ 4.3 ความพรุน (มาตรฐาน ASTM C 642) ของตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่บ่มในน้ำปูนขาวที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 4.4 ความพรุน (มาตรฐาน ASTM C 642) ของตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่บ่มในน้ำปูนขาวที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 4.5 ความพรุน (มาตรฐาน ASTM C 642) ของตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 บ่มในน้ำปูนขาวที่อายุ 28 วัน

4.2 การขยายตัว

ในการประเมินความต้านทานซัลเฟตโดยการวัดการขยายตัว (Expansion) ของชิ้นตัวอย่างขนาด $2.5 \times 2.5 \times 28.5$ ซม. ซึ่งได้พิจารณาถึงผลกระทบที่มีต่อการขยายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน คือผลกระทบจากชนิดและการแทนที่ของวัสดุประสาน ผลกระทบจากความละเอียดของฝุ่นหินปูน และผลกระทบจากชนิดของสารละลายซัลเฟต

4.2.1 ผลกระทบจากชนิดและปริมาณการแทนที่ของวัสดุประสานต่อการขยายตัว

สำหรับวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัยของการศึกษาความต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ฝุ่นหินปูน (ความละเอียดขนาด 3 และ 14 ไมโครเมตร) โดยการแทนที่ฝุ่นหินปูน (แต่ละชนิด) ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ซึ่งแทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ส่วนเผ้าล่อยจะใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก สำหรับการแทนที่ทั้งฝุ่นหินปูนและเผ้าล่อยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 นั้น เป็นดังนี้ คือฝุ่นหินปูน (แต่ละชนิด) แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 5 พร้อมทั้งแทนที่เผ้าล่อยร้อยละ 15 ถัดมาแทนที่ฝุ่นหินปูน (แต่ละชนิด) ในอัตราส่วนร้อยละ 10 พร้อมทั้งแทนที่เผ้าล่อยร้อยละ 10 และฝุ่นหินปูน (แต่ละชนิด) แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 10 พร้อมทั้งแทนที่เผ้าล่อยร้อยละ 30 สุดท้ายใช้ฝุ่นหินปูน (แต่ละชนิด) แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 15 พร้อมทั้งแทนที่เผ้าล่อยร้อยละ 25 (โดยทุกสัดส่วนของการแทนที่ใช้น้ำหนักของวัสดุประสาน)

1) กรณีแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

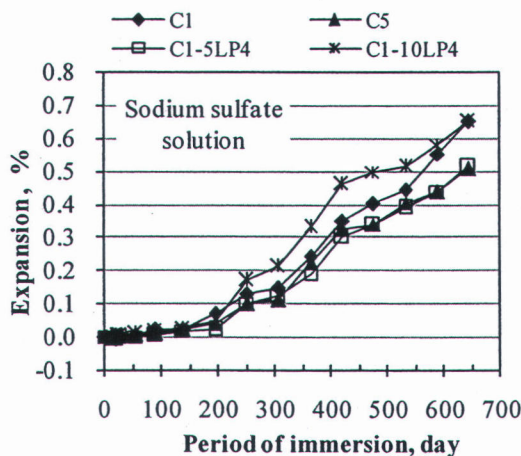
- วัสดุประสานร่วมสองชนิด (Binary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภท 5

รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ซึ่งพบว่า การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน มีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน ทั้งนี้เนื่องจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีปริมาณของ C_3A สูงกว่า ทำให้เกิด Ettringite มากกว่า การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างจึงมากกว่า [7, 12, 13]

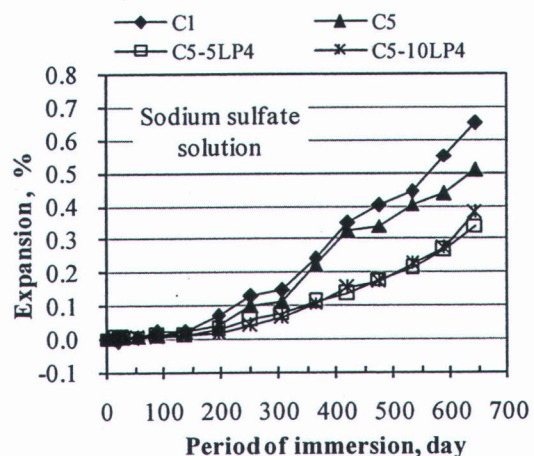
สำหรับการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 4 ไมโครเมตรในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (รูปที่ 4.6 ก) พบว่าเมื่อแทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 5 มีค่าการขยายตัวน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน แต่มีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน แต่เมื่อแทนที่ร้อยละ 10 การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์มีค่ามากกว่าทั้งของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ

ประเภทที่ 5 ล้วน ซึ่งทั้งนี้อาจเป็นเพราะการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร้อยละ 5 นั้น เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการเติมเต็มช่องว่างในมอร์ตาร์ ทำให้สารละลายซัลเฟตเข้าทำลายได้ยากขึ้น ในขณะที่เมื่อแทนที่ร้อยละ 10 อาจเป็นปริมาณที่มากเกินไป ทำให้มีความพรุนสูงขึ้น ดังนั้นการเข้าทำลายของสารละลายซัลเฟตได้ยากขึ้น ส่วนการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 (รูปที่ 4.6 ข)) พบว่าการแทนที่ทั้งร้อยละ 5 และร้อยละ 10 นั้น การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าน้อยกว่าทั้งของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนซึ่งเป็นการลดปริมาณของปูนซีเมนต์ โดยที่คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ซึ่งมีปริมาณ C_3A ต่ำ จึงทำให้เกิด Ettringite น้อย

สำหรับการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 14 ไมโครเมตรในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน (รูปที่ 4.7) ก็ให้ผลในแนวโน้มเดียวกันกับกรณีของฝุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 4 ไมโครเมตร กล่าวคือเมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (รูปที่ 4.7 ก)) การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ทั้งร้อยละ 5 และ 10 มีค่าสูงกว่าทั้งของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน (ทั้งประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5) โดยที่แทนที่ร้อยละ 10 ยังให้ค่าการขยายตัวที่สูงกว่าร้อยละ 5 และเมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 14 ไมโครเมตรในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 (รูปที่ 4.7 ข)) จะให้ผลในทิศทางเดียวกับเมื่อแทนที่ด้วยขนาด 4 ไมโครเมตร กล่าวคือ การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ทั้งร้อยละ 5 และ 10 มีค่าไม่แตกต่างกัน และมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน

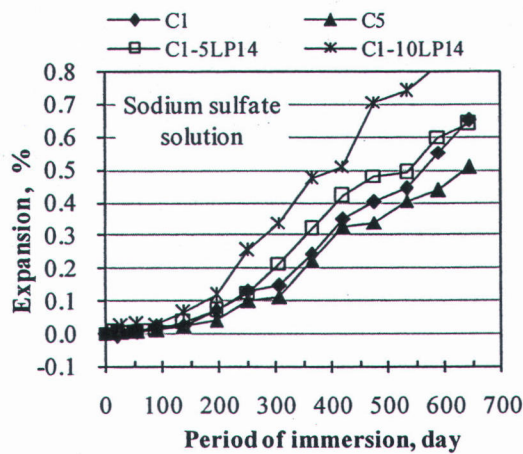


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

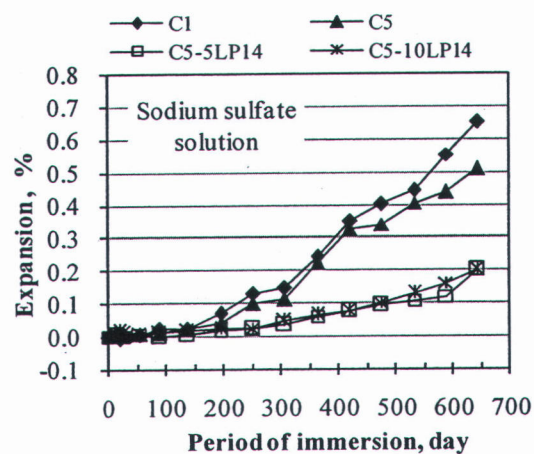


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

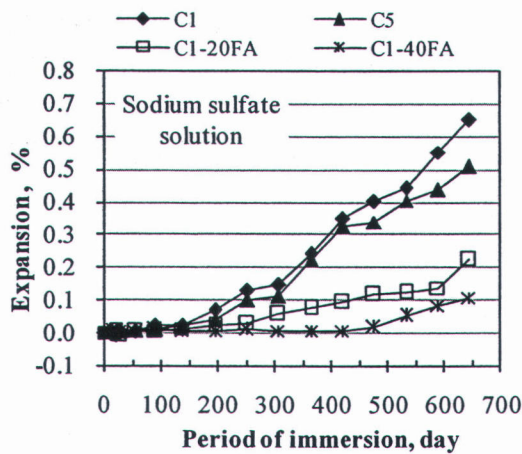


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

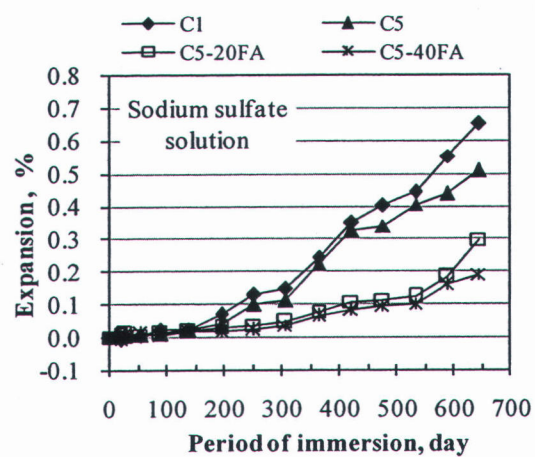
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

- วัสดุประสานร่วมสองชนิด (Binary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต พบว่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าร์ของเถ้าลอยทั้งของการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีค่าน้อยกว่าของมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน ทั้งนี้เป็นเพราะการแทนที่ด้วยเถ้าลอยซึ่งเป็นสารปอซโซลานไปทำปฏิกิริยาปอซโซลานสามารถลดปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ซึ่งเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาไฮเดรชัน จึงทำให้เกิด Ettringite น้อยลง และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณการแทนที่เถ้าลอยระหว่างร้อยละ 20 และ 40 พบว่าการแทนที่ด้วยปริมาณที่น้อยกว่ามีค่าการขยายตัวที่มากกว่า เพราะแทนที่มาก ก็ลดปูนซีเมนต์มาก ลด C_3A มาก และลด $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ทั้งจากลดปูนซีเมนต์และปฏิกิริยาปอซโซลาน จึงเป็นผลให้เกิด Ettringite น้อยกว่า ดังนั้นค่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าร์จึงมีค่าน้อยกว่ากรณีเมื่อแทนที่ในปริมาณที่ต่ำ ๆ



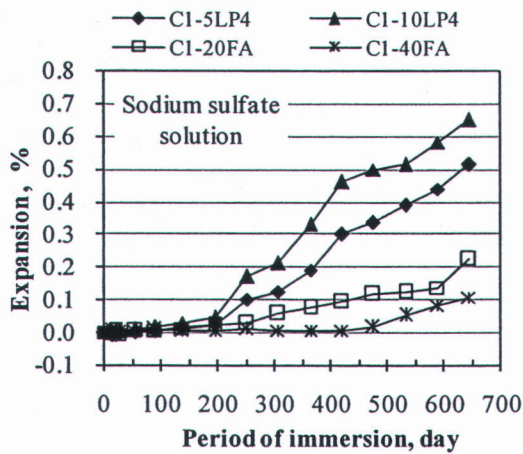
ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



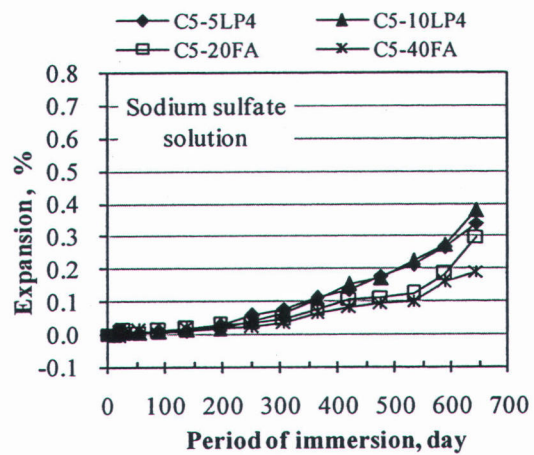
ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ถ้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ถ้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินกับการแทนที่ด้วยเถ้าลอย ดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน 4 และ 14 ไมโครเมตร และมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต พบว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ฝุ่นหินปูน (ทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ที่แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่ามากกว่าของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 และร้อยละ 40 (รูปที่ 4.9 ก) และ 4.10 ก)) ส่วนเมื่อฝุ่นหินปูน (ทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 (รูปที่ 4.9 ข) และ 4.10 ข)) นั้น พบว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์มีค่าใกล้เคียงมากขึ้นกับชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยทั้งร้อยละ 20 และร้อยละ 40 แต่ก็มีแนวโน้มว่า การแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนจะมีค่าการขยายตัวที่มากกว่า

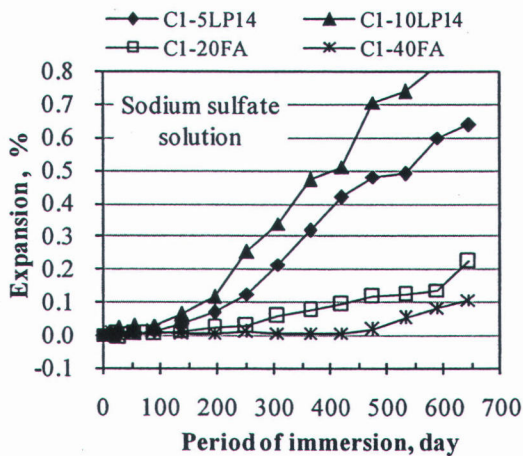


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

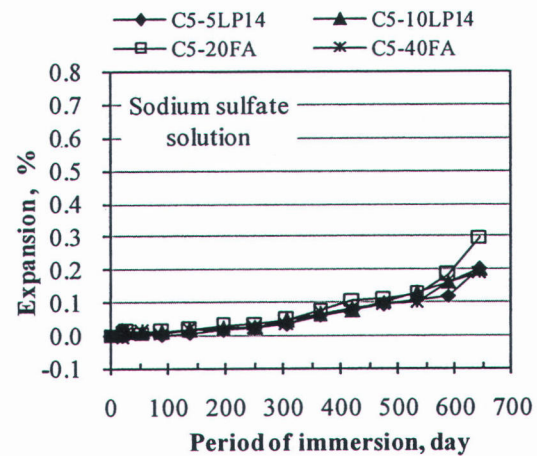


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน 4 ไมโครเมตร และมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

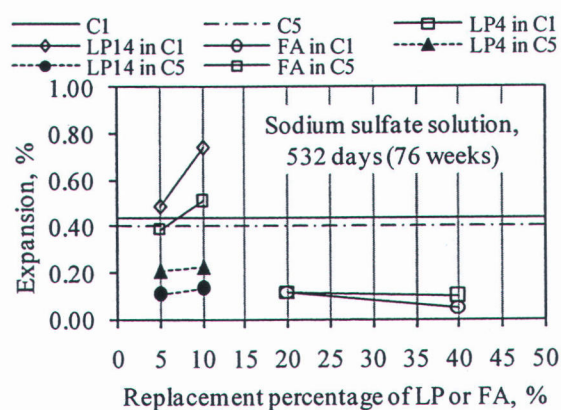


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

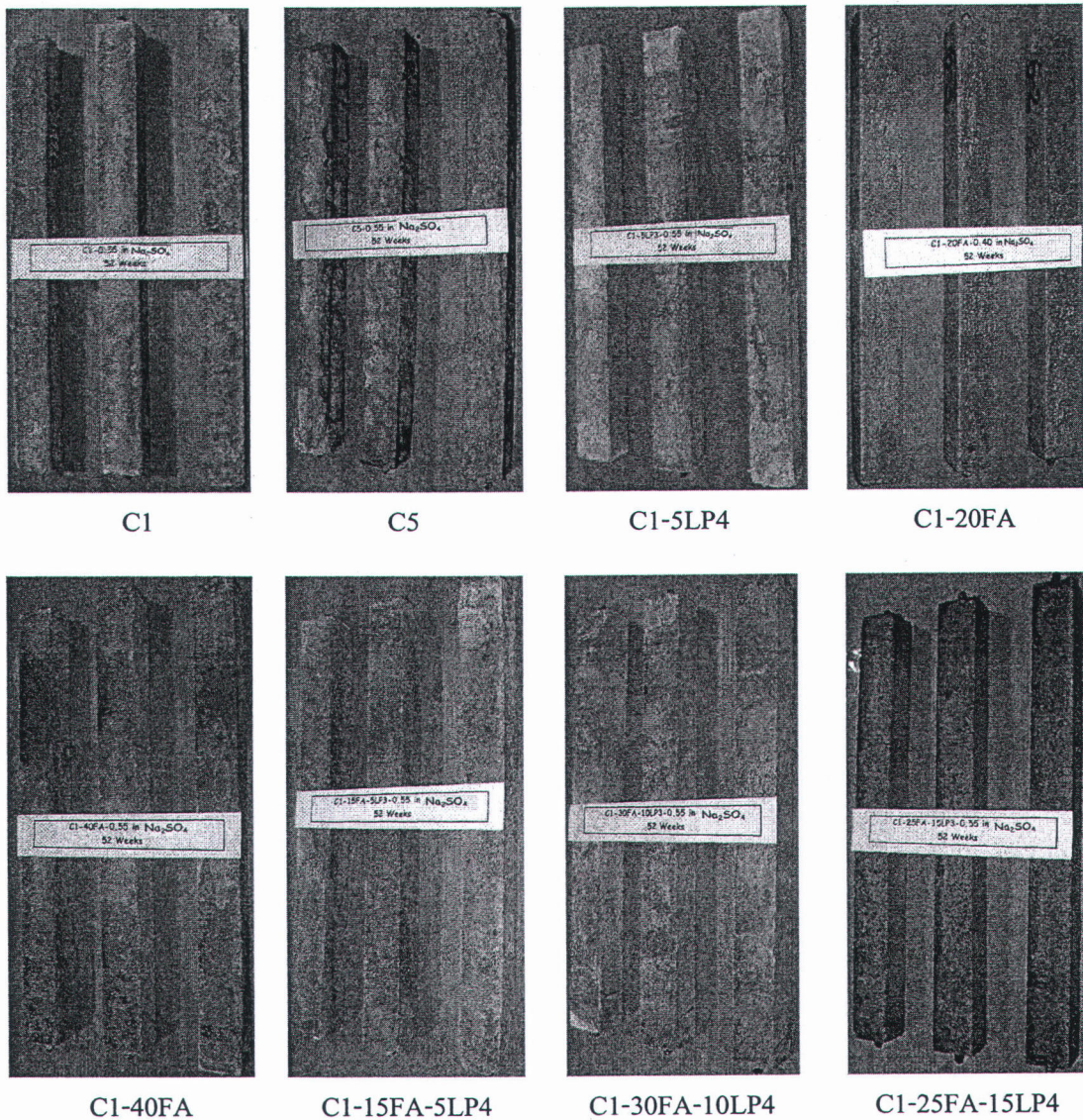
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน 14 ไมโครเมตร และมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

อย่างไรก็ตามเพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบระหว่างการขยายตัวของหินตัวอย่างมอร์ตาร์ทั้งที่ไม่แทนที่และแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของหินตัวอย่างมอร์ตาร์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ด้วยเถ้าลอย ที่อายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 532 วัน ซึ่งจะเห็นว่าการแทนที่ฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีแนวโน้มว่า การขยายตัวของหินตัวอย่างมอร์ตาร์มีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ในขณะที่เมื่อแทนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 นั้นการขยายตัวของหินตัวอย่างมอร์ตาร์มีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน โดยที่การแทนที่ร้อยละ 10 ของฝุ่นหินปูนทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร ทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 จะมีค่าการขยายตัวของหินตัวอย่างมอร์ตาร์มากกว่าการแทนที่ในปริมาณร้อยละ 5 ส่วนการแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้งของประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 นั้น มีค่าใกล้เคียงกัน โดยแทนที่ในปริมาณที่ต่ำๆ จะมีค่าการขยายตัวมากกว่า และการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีแนวโน้มว่าจะการขยายตัวมากกว่าการแทนที่ในประเภทที่ 5 แต่อย่างไรก็ตามการแทนที่ของเถ้าลอยดังกล่าว การขยายตัวของหินตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน (ทั้งประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5)

ถ้าพิจารณาจากภาพถ่ายของหินตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่อายุ 364 วัน (52 สัปดาห์) หลังจากการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (รูปที่ 4.12) พบว่าการทำลายของสารละลายซัลเฟตต่อหินตัวอย่างมอร์ตาร์จะให้ผลในทิศทางเดียวกันกับกรณีการขยายตัวของแท่งตัวอย่าง แต่อาจไม่ชัดเจนมากนักเนื่องจากอายุของการแช่ยังน้อยอยู่



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของหินตัวอย่างมอร์ตาร์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ด้วยเถ้าลอย กับร้อยละของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 532 วัน



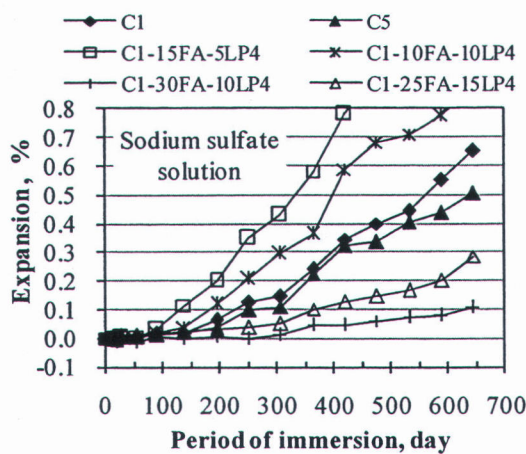
รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผงหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมครอน และเถ้าลอย ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ที่อายุ 364 วัน (52 สัปดาห์)

- วัสดุประสานร่วมสามชนิด (Ternary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

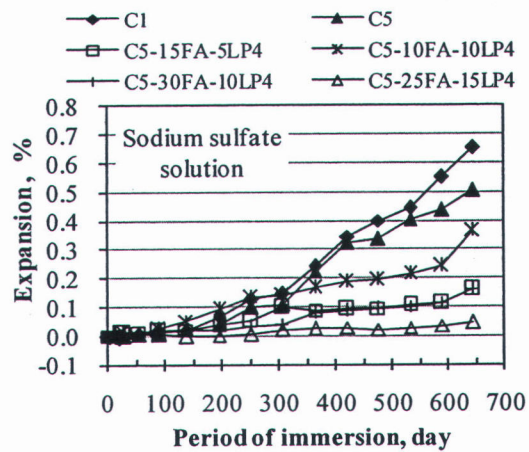
รูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนด้วยเถ้าลอย แทนด้วยฝุ่นหินปูน (ขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) และแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซิลิเฟต

รูปที่ 4.13ก) แสดงการขยายตัวของขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 พบว่าการแทนที่เถ้าลอยในอัตราส่วนปริมาณที่ต่ำๆ ไม่ว่าจะปริมาณของฝุ่นหินปูนมากหรือน้อย (C1-15FA-5LP3 และ C1-10FA-10LP3) จะให้แนวโน้มการขยายตัวของขึ้นตัวอย่างมากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ในขณะที่การแทนที่เถ้าลอยในปริมาณสูงขึ้น (C1-30FA-10LP3 และ C1-25FA-15LP3) กลับทำให้ค่าการขยายตัวของขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดาร์มีค่าน้อยกว่าทั้งของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน ทั้งนี้เป็นเพราะเถ้าลอยที่มีปริมาณ CaO สูง เมื่อแทนที่ในปริมาณที่น้อยๆ จะมีค่าการขยายตัวมาก แต่เมื่อปริมาณของการแทนที่ที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าการขยายตัวน้อยลง ซึ่งเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว นั้นแสดงว่าในกรณีที่กำลังกล่าวมาปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยมีผลมากกว่า ส่วนในรูปที่ 4.13 ข) ซึ่งเป็นของการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ก็จะให้ผลในทิศทางเดียวกันกับการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กล่าวคือถ้าแทนที่ปริมาณของเถ้าลอยต่ำจะทำให้การขยายตัวของขึ้นตัวอย่างสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 นั้นการขยายตัวของขึ้นตัวอย่างจะมีค่าน้อยกว่าทั้งของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน

สำหรับรูปที่ 4.14 แสดงการขยายตัวของขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 พบว่า ให้ผลในทิศทางเดียวกับการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

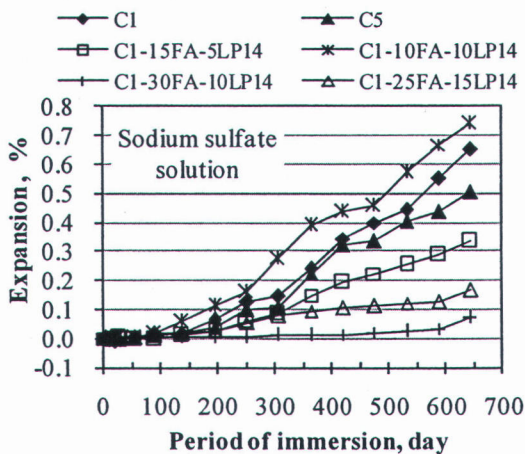


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

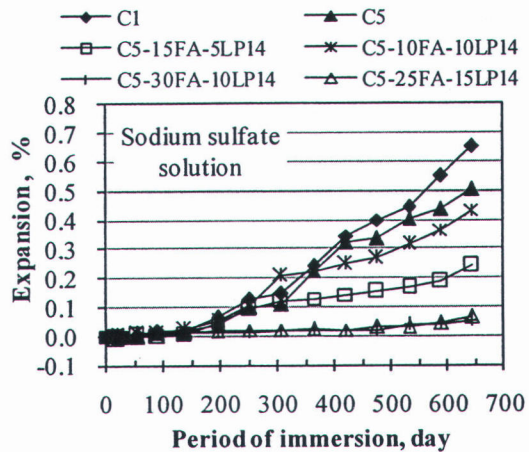


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ส่วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเกลือลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

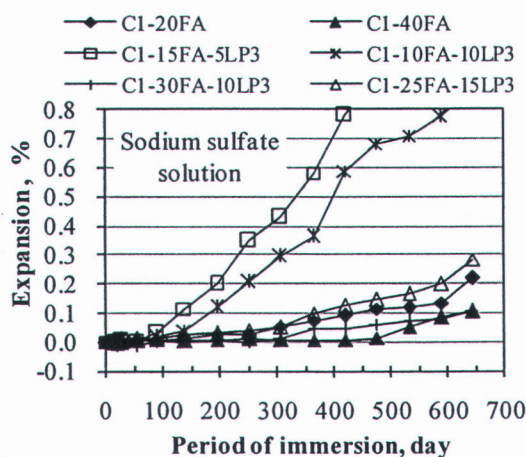
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ส่วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรร่วมกับเกลือลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

ส่วนรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 เป็นการเปรียบเทียบการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเกลือลอย กับ การแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเกลือลอย พบว่าการขยายของชิ้นตัวอย่างที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเกลือลอย มีแนวโน้มว่าจะ

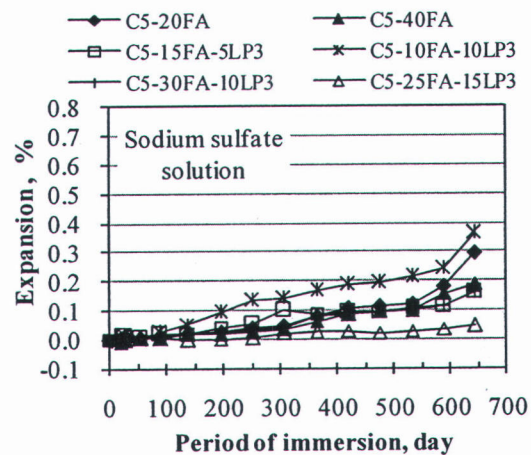
มากกว่ามอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยล้วน ยกเว้นในกรณีของส่วนผสมวัสดุประสานสามชนิดที่แทนที่ด้วยปริมาณเถ้าลอย (ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้) ในปริมาณที่สูงจะมีค่าการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใกล้เคียงกับของมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย ซึ่งก็เป็นดังที่กล่าวมาแล้ว

สำหรับในส่วนของการเปรียบเทียบระหว่างการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนกับการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย ได้แสดงดังรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 โดยรูปที่ 4.17 ก) แสดงการแทนที่ฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 พบว่าการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยปริมาณที่ต่ำๆ (C1-15FA-5LP3 และ C1-10FA-10LP3) จะมีค่าการขยายตัวมากกว่าของทั้งที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนล้วน (C1-5LP3 และ C1-10LP3) และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยที่ปริมาณสูงๆ (C1-30FA-10LP3 และ C1-25FA-15LP3) และพบอีกว่าในการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับปริมาณเถ้าลอยที่สูงๆ จะมีค่าการขยายตัวของมอร์ตาร์น้อยกว่าเมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนล้วน ส่วนรูปที่ 4.17 ข) ซึ่งเป็นของกรณีแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ก็ให้แนวโน้มในทิศทางเดียวกัน แต่การขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์มีค่าแตกต่างกันน้อยกว่ากรณีของแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

รูปที่ 4.18 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบของกรณีฝุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 14 ไมโครเมตร ซึ่งก็ให้แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับกรณีของฝุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 4 ไมโครเมตร



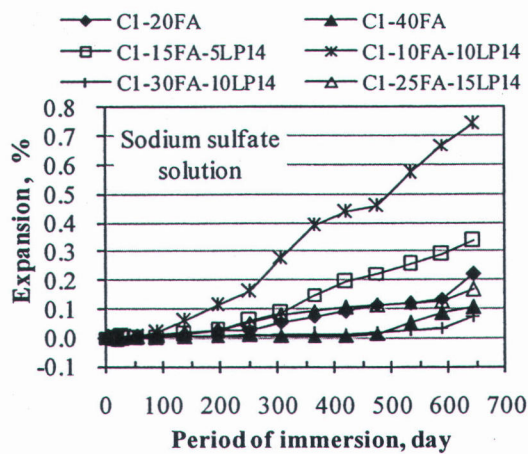
ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



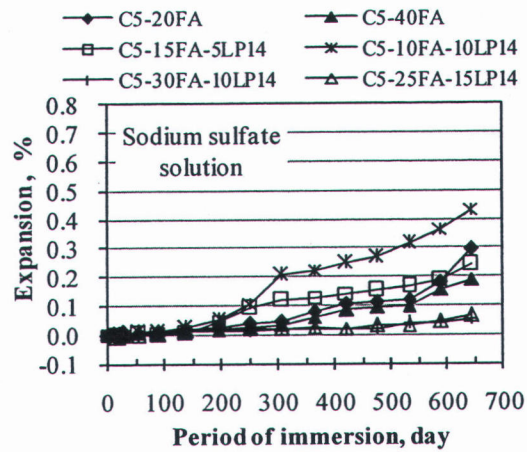
ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่ด้วยเถ้าลอย และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต



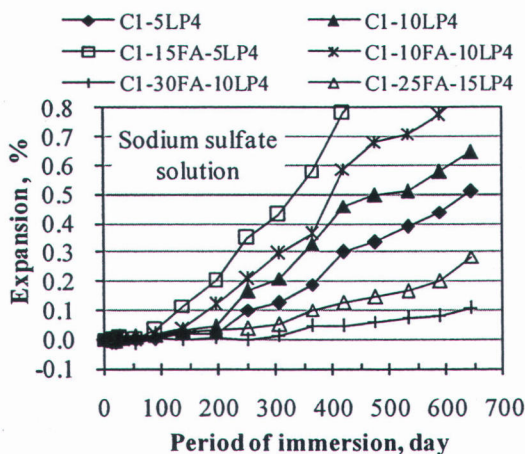


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

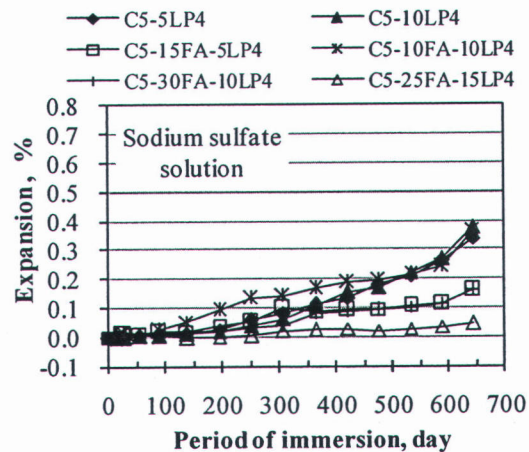


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่ด้วยเกลือลอย และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรร่วมกับเกลือลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

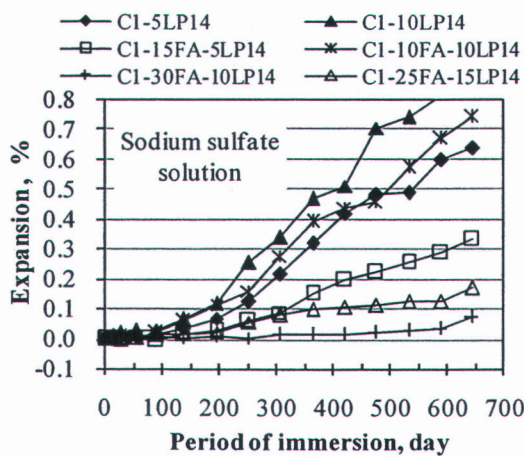


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

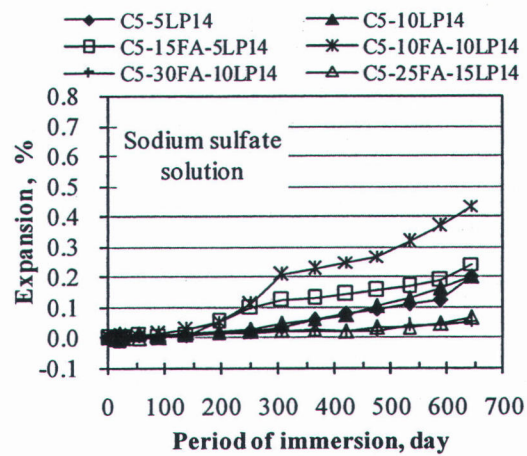


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนด้วยฝุ่นหินปูน (4 ไมโครเมตร) และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (4 ไมโครเมตร) ร่วมกับเกลือลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกโซเดียมซัลเฟต



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

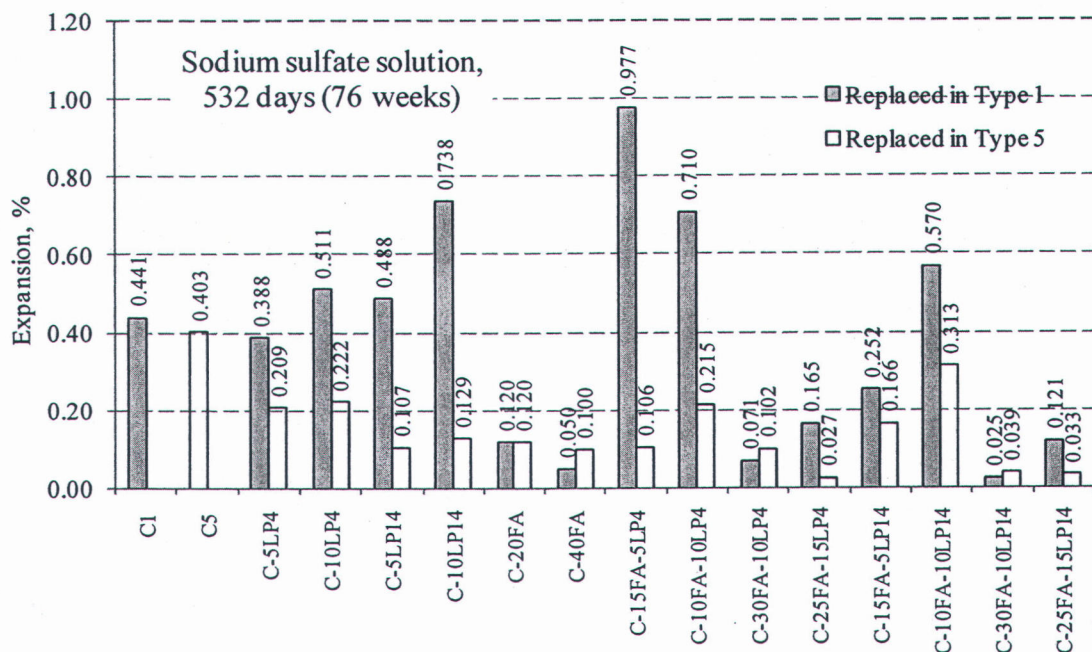


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนด้วยฝุ่นหินปูน (14 ไมโครเมตร) และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (14 ไมโครเมตร) ร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

อย่างไรก็ตามเพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบระหว่างค่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ทั้งที่ไม่แทนที่และแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต จึงได้แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวดังรูปที่ 4.19 ซึ่งได้เปรียบเทียบการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 532 วัน ซึ่งพบว่าการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั้น จะให้ค่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่น้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 จะให้ค่าการขยายตัวของตัวอย่างก่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ยกเว้นในกรณีที่แทนที่ในส่วนหนึ่งของเถ้าลอยใช้ครั้งนี้ (ปริมาณร้อยละ CaO เท่ากับ 17.40) ในอัตราส่วนที่ต่ำๆ (ร้อยละ 10) จะให้ค่าการขยายตัวก่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนผสมที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ข้อสังเกต การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย และแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยนั้น จะมีแนวโน้มน้อยกว่ากรณีที่แทนที่ดังกล่าวในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 อย่างเช่นรูปที่ 4.19 ซึ่งจะได้ชัดเจนว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน หรือแทนที่ด้วยเถ้าลอย หรือแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย จะมีค่าน้อยกว่าเกือบทุกกรณีของการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 532 วัน



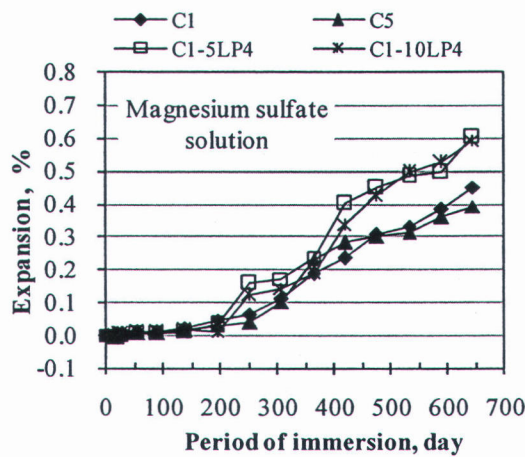
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 532 วัน

2) กรณีแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

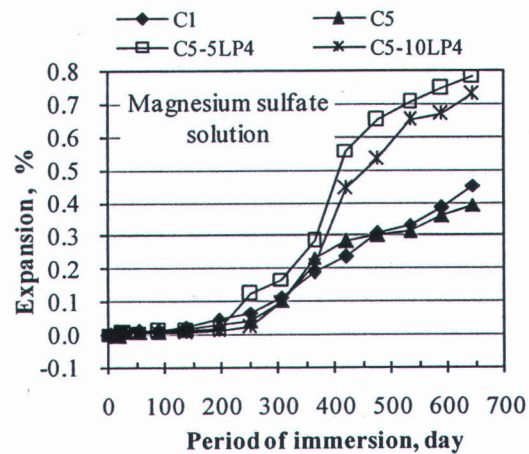
- วัสดุประสานร่วมสองชนิด (Binary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภท 5

รูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งพบว่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน มีแนวโน้มมากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน เหมือนกับในกรณีโซเดียมซัลเฟต ซึ่งเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม การขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ทั้งสองมีค่าแตกต่างกันได้ไม่ชัดเจนเหมือนกับในกรณีของในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ทั้งนี้เพราะในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตนั้น Ettringite เกิดน้อยมากหรือไม่มากเท่าในกรณีของสารละลายโซเดียมซัลเฟต เนื่องจากสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเข้าไปทำให้ความเป็นด่างในมอร์ตาร์ลดลง ทำให้ความไม่เสถียรภาพเกิดขึ้นในมอร์ตาร์ นอกจากนี้กลไกการทำลายของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตจะเข้าไปเปลี่ยนผลผลิตแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต (CSH) ไปเป็นแมกนีเซียมซิลิเกตไฮดรต (MSH) ซึ่งไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน [7,13]

ส่วนการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน พบว่าในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต การแทนที่ฝุ่นหินปูน (ขนาด 4 ไมโครเมตร) ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้งประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 (รูปที่ 4.20) ไม่ว่าร้อยละ 5 หรือ 10 ของการแทนที่นั้น ให้ค่าของการขยายตัวของหินตัวอย่างมอร์ต้ารมากกว่าในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน เมื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณการแทนที่ในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่กรณีการแทนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ร้อยละ 5 มีแนวโน้มจะมากกว่าร้อยละ 10 ส่วนเมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั้น (รูปที่ 4.21) ก็มีแนวโน้มของการขยายตัวของหินตัวอย่างมอร์ต้าให้ค่าในทิศทางเดียวกับกรณีของการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร

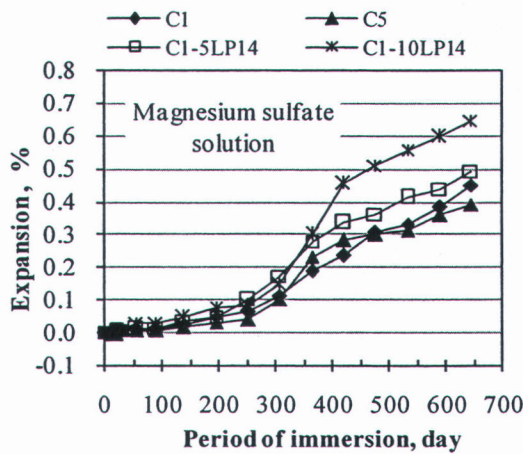


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

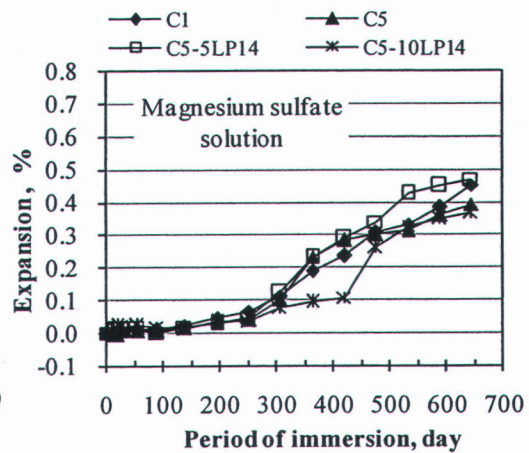


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของหินตัวอย่างมอร์ต้าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

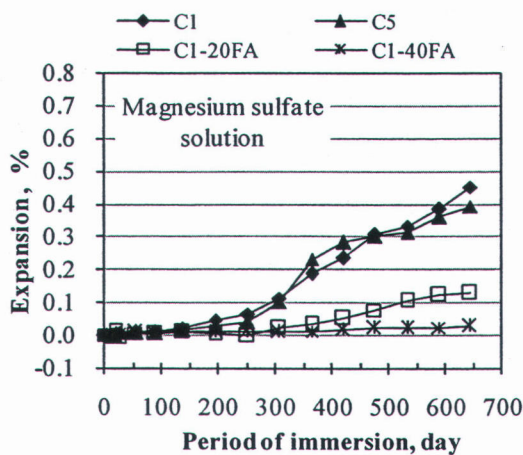


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

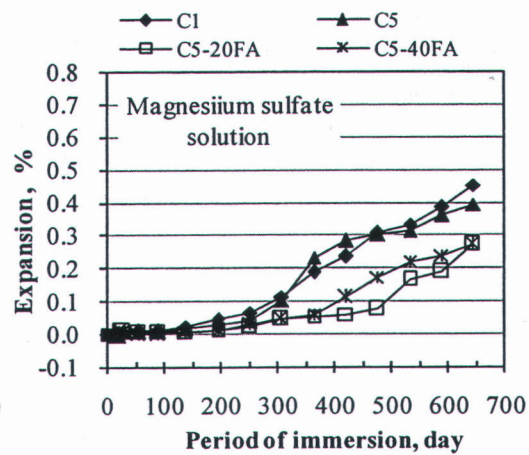
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

- วัสดุประสานร่วมสองชนิด (Binary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยกับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ก็ยังคงให้ผลทิศทางแนวโน้มเดียวกับกรณีในสารละลายโซเดียมซัลเฟต กล่าวคือ การขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าร์ของเถ้าลอยทั้งของการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีค่าน้อยกว่าของมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ล้วน ทั้งนี้เป็นเพราะการแทนที่ด้วยเถ้าลอยซึ่งเป็นสารปอซโซลานไปทำปฏิกิริยาปอซโซลานสามารถลดปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ซึ่งเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาไฮเดรชัน จึงทำให้เกิดยิบซัมน้อยลง และนอกจากนี้ปฏิกิริยาปอซโซลานช่วยให้มอร์ต้าร์มีความที่บ่มแน่นมากขึ้นเป็นผลให้การเข้าทำลายของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตได้ยากขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณการแทนที่เถ้าลอยระหว่างร้อยละ 20 และ 40 พบว่าการขยายตัวไม่ค่อยแตกต่างกัน แต่เมื่ออายุมากขึ้นมีแนวโน้มว่าแทนที่ด้วยปริมาณที่น้อยกว่า (ร้อยละ 20) จะมีค่าการขยายตัวมากกว่าเมื่อแทนที่ในปริมาณที่มากกว่า (ร้อยละ 40) ทั้งนี้เป็นเพราะชนิดเถ้าลอยที่ใช้ในครั้งนี้มีปริมาณ CaO ค่อนข้างสูง (ร้อยละ 17.40) นั้นการแทนที่ในปูนซีเมนต์ในปริมาณที่ต่ำ ๆ จะให้ค่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่มากกว่าเมื่อแทนที่ในปริมาณที่สูงกว่า ซึ่งเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

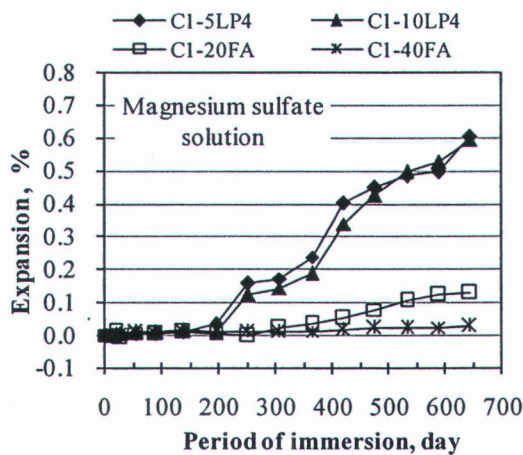
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ถ้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ถ้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินกับการแทนที่ด้วยเถ้าลอย ดังรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน 3 และ 14 ไมโครเมตร และมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต พบว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ฝุ่นหินปูน (ทั้ง 3 และ 14 ไมโครเมตร) ทั้งแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีค่ามากกว่าของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยทั้งร้อยละ 20 และ 40 เห็นได้อย่างชัดเจน

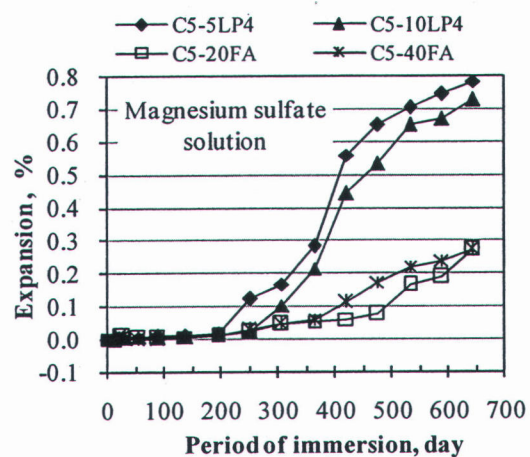
อย่างไรก็ตามเพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ทั้งที่ไม่แทนที่และแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต เช่นเดียวกับในกรณีสารละลายโซเดียมซัลเฟต ดังรูปที่ 4.25 ซึ่งได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ถ้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ด้วยเถ้าลอย เมื่อแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ที่อายุของการแช่ 532 วัน

ถ้าพิจารณาจากภาพถ่ายของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ ที่อายุ 364 วัน (52 สัปดาห์) ในการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (รูปที่ 4.26) เช่นกันอาจไม่ชัดเจนมากนักเนื่องจากอายุของการแช่น้อยอยู่ แต่มีข้อสังเกตว่า กลไกการทำลายของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตต่อชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์นั้น จะเปลี่ยนผลผลิตของมอร์ต้าร์จาก CSH เป็นแมกนีเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (MSH) ซึ่งไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน ไม่เหมือนกับกรณี

ของสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่ทำให้เกิด Ettringite ซึ่งมีคุณสมบัติในการขยายตัว ดังที่กล่าวมาแล้ว [7, 13] ดังนั้นการเปรียบเทียบการด้านทานซัลเฟตของซีเมนต์อย่างมอร์ตาร์ โดยการวัดค่าการขยายตัวของซีเมนต์อย่างมอร์ตาร์ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต จึงน่าจะไม่เหมาะสมมากนัก โดยน่าจะใช้การประเมินในลักษณะอื่นควบคู่ไปด้วย เช่น วัดการขยายตัวและการสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss) ควบคู่กันไปด้วย

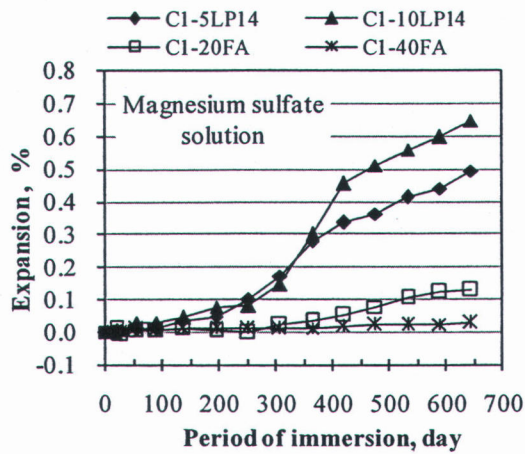


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

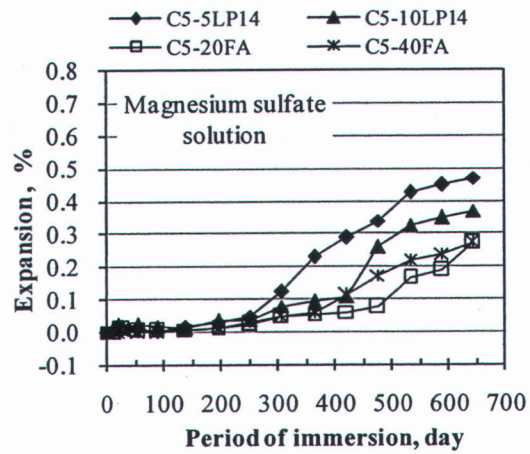


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของซีเมนต์อย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน 4 ไมโครเมตร และแทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

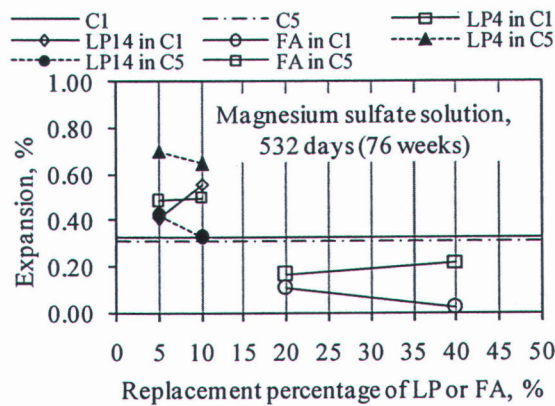


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

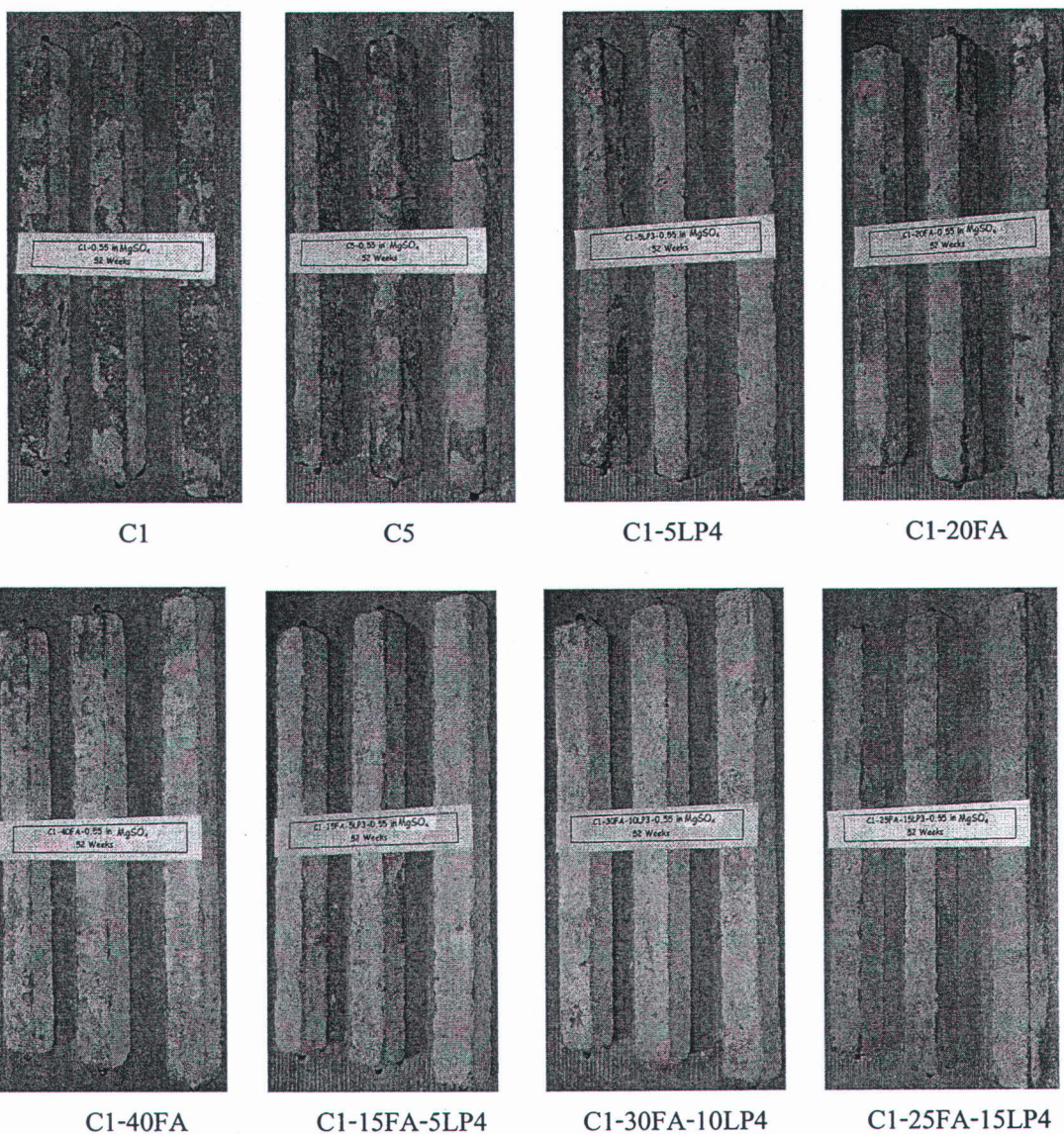
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน 4 ไมโครเมตร และแทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ด้วยเถ้าลอย กับร้อยละของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 532 วัน



รูปที่ 4.26 ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผงหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมครอน และเถ้าลอย ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ที่อายุ 364 วัน (52 สัปดาห์)

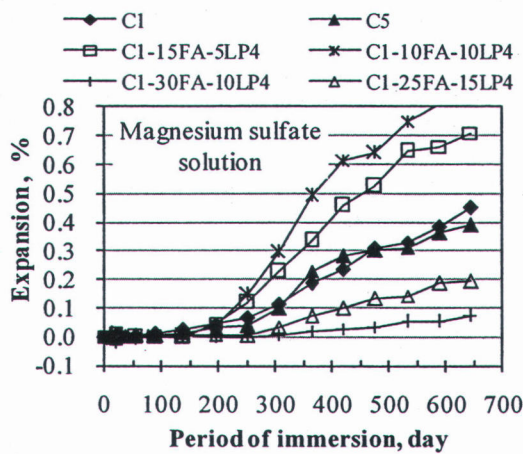
- วัสดุประสานร่วมสามชนิด (Ternary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

รูปที่ 4.27 ถึงรูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนด้วยเถ้าลอย แทนด้วยฝุ่นหินปูน (ขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

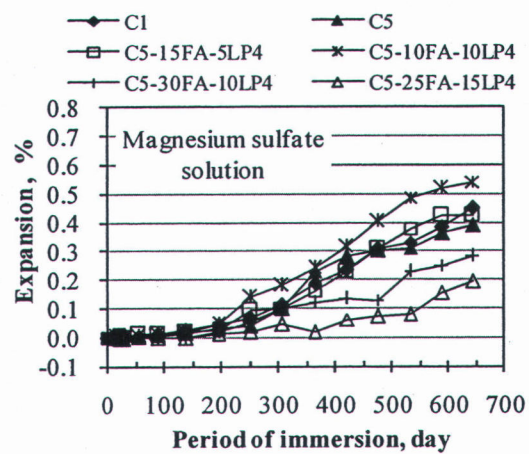
จากรูปที่ 4.27 ก) แสดงการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 พบว่าการแทนที่เถ้าลอยในอัตราส่วนปริมาณที่ต่ำๆ ไม่ว่าปริมาณของฝุ่นหินปูนมากหรือน้อย (C1-15FA-5LP3 และ C1-10FA-10LP3) มีแนวโน้มว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างจะมีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ในขณะที่แทนปริมาณเถ้าลอยที่ปริมาณสูงขึ้น (C1-30FA-10LP3 และ C1-25FA-15LP3) กลับทำให้ค่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์มีค่าน้อยกว่าทั้งของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่สูงๆ (ในครั้งนี้อยู่ที่ 30) ทั้งนี้เป็นเพราะเถ้าลอยที่มีปริมาณ CaO สูง เมื่อแทนที่ในปริมาณที่น้อยๆ จะมีค่าการขยายตัวมาก แต่เมื่อปริมาณของการแทนที่ที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าการขยายตัวน้อยลง ซึ่งแสดงว่าในกรณีที่กล่าวมาปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยมีผลมากกว่า ซึ่งก็เป็นดังเช่นกรณีของโซเดียมซัลเฟต ซึ่งเหตุผลเป็นดังที่กล่าวมาแล้ว ส่วนในรูปที่ 4.27 ข) ซึ่งเป็นผลของการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ก็จะให้ผลในทิศทางเดียวกันกับการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กล่าวคือถ้าแทนที่ปริมาณของเถ้าลอยต่ำจะทำให้การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างสูงขึ้น

สำหรับรูปที่ 4.28 แสดงการขยายตัวในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 พบว่า ให้ผลในทิศทางเดียวกันของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5



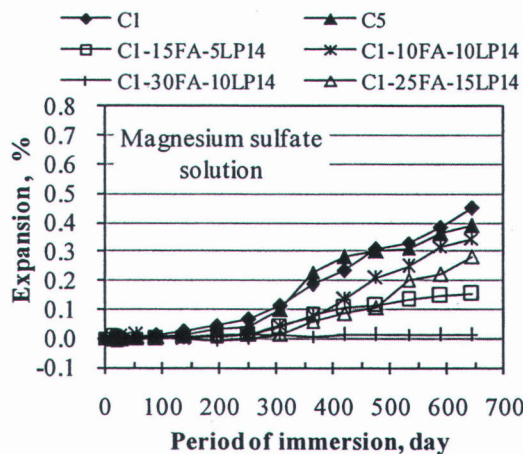


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

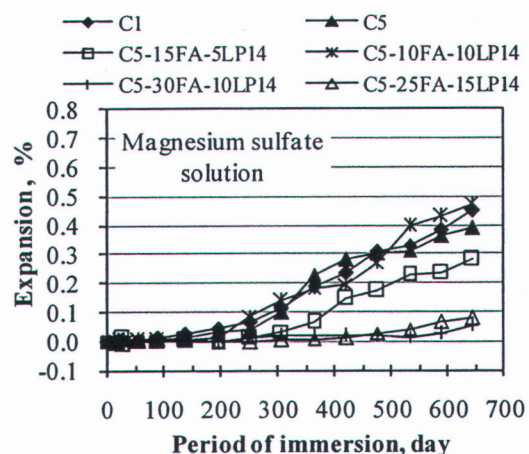


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ถ้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ทั้งที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรและถั่วลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



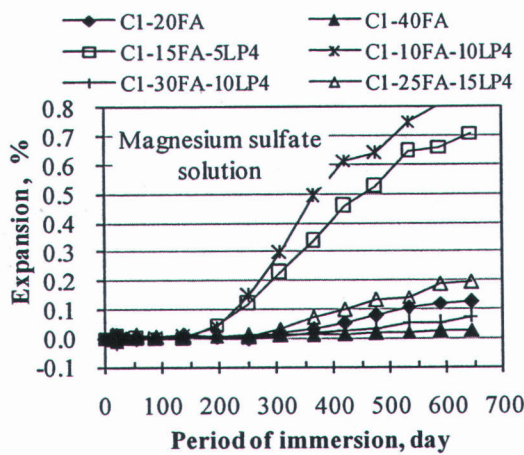
ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ถ้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ทั้งที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรและถั่วลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

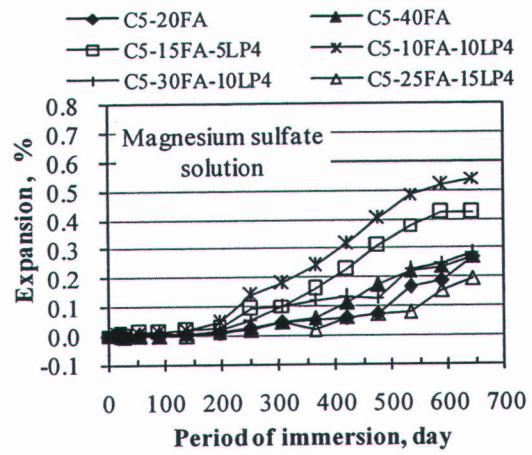
ส่วนรูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30 เป็นการเปรียบเทียบการขยายตัวในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตของ ซีนตัวอย่างมอร์ตาร์ดรูปนูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยอย่างเดียว กับ ตัวอย่างมอร์ ตาร์ดที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย พบว่าการขยายตัวของซินตัวอย่างที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับ เถ้าลอย จะมีค่ามากกว่ามอร์ตาร์ดที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย ยกเว้นในกรณีที่แทนที่ด้วยปริมาณเถ้าลอย (ที่ใช้ใน การศึกษาในครั้งนี้) ในปริมาณที่สูงจะมีค่าการขยายตัวของซินตัวอย่างมอร์ตาร์ดที่ใกล้เคียงกับของมอร์ตาร์ดที่ แทนที่ด้วยเถ้าลอย ซึ่งก็เป็นดังที่กล่าวมาแล้ว

สำหรับในส่วนของการเปรียบเทียบระหว่างการขยายตัวในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตของซิน ตัวอย่างมอร์ตาร์ดรูปนูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน กับการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน ร่วมกับเถ้าลอย ได้แสดงดังรูปที่ 4.31 และรูปที่ 4.32 โดยรูปที่ 4.31 ก) แสดงการแทนที่ฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 พบว่าการขยายตัวของซินตัวอย่างมอร์ตาร์ดที่ แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยปริมาณที่ต่ำๆ (C1-15FA-5LP3 และ C1-10FA-10LP3) จะมีค่าการ ขยายตัวมากกว่าของทั้งที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนอย่างเดียว (C1-5LP3 และ C1-10LP3) และที่แทนที่ด้วยฝุ่น หินปูนร่วมกับเถ้าลอยที่ปริมาณสูงๆ (C1-30FA-10LP3 และ C1-25FA-15LP3) และโดยที่การแทนที่ด้วยฝุ่น หินปูนร่วมกับเถ้าลอยในปริมาณเถ้าลอยที่สูงๆ นั้น จะมีค่าการขยายตัวของมอร์ตาร์ดน้อยกว่าเมื่อแทนที่ด้วย ฝุ่นหินปูนอย่างเดียว ส่วนรูปที่ 4.31 ข) ซึ่งเป็นของกรณีแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ก็ให้ แนวโน้มในทิศทางเดียวกัน แต่การขยายตัวของซินตัวอย่างมอร์ตาร์ดมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่ากรณีของแทนที่ ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการขยายตัวของซินตัวอย่างมอร์ตาร์ดทุกการ แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรและเถ้าลอยที่ศึกษาในครั้งนี้ ให้ค่าน้อยกว่าของมอร์ตาร์ดเมื่อแทนที่ ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรอย่างเดียว (ร้อยละ 5 และร้อยละ 10)

รูปที่ 4.32 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบของกรณีฝุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 14 ไมโครเมตร ซึ่งก็ ให้แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับกรณีของฝุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 4 ไมโครเมตร ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว แต่มีข้อสังเกตว่า การขยายตัวของซินตัวอย่างมอร์ตาร์ดทุกการแทนที่ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรและเถ้าลอยที่ศึกษาในครั้งนี้ ไม่ว่าจะแทนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 หรือ ประเภทที่ 5 ให้ค่าน้อยกว่าของมอร์ตาร์ดเมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรอย่างเดียว (ร้อยละ 5 และร้อยละ 10)

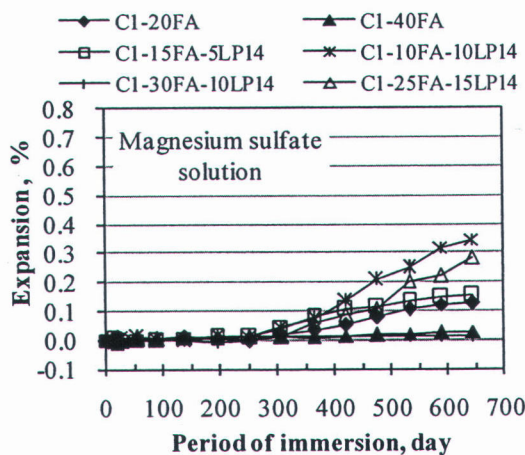


ก) แท่นที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

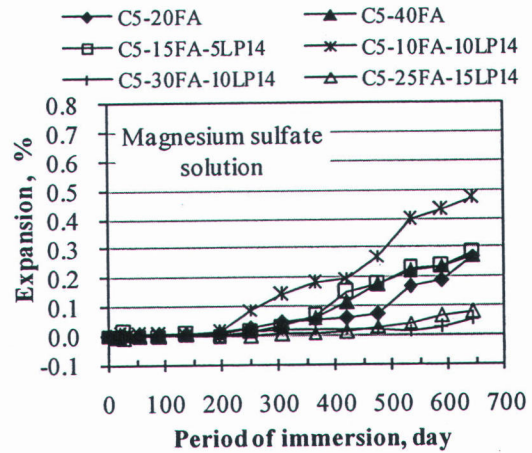


ข) แท่นที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่ด้วยเกลือลอย และที่แท่นที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเกลือลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

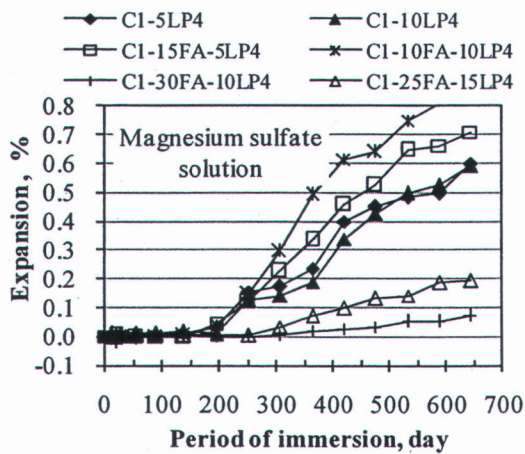


ก) แท่นที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

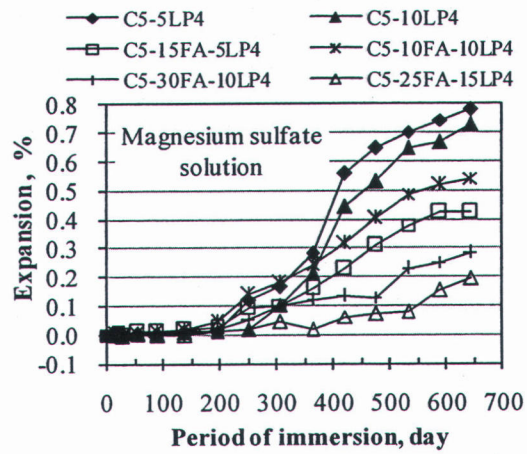


ข) แท่นที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่ด้วยเกลือลอย และที่แท่นที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรร่วมกับเกลือลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

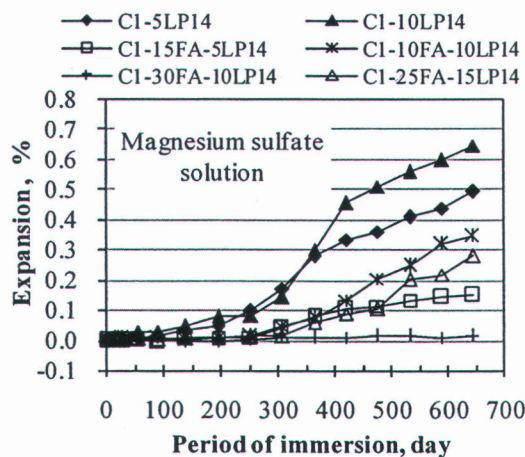


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

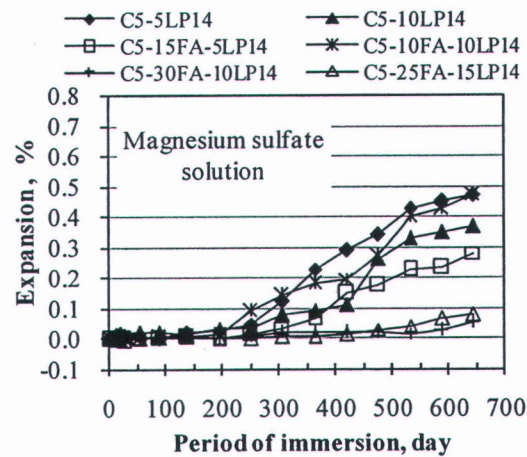


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร ร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

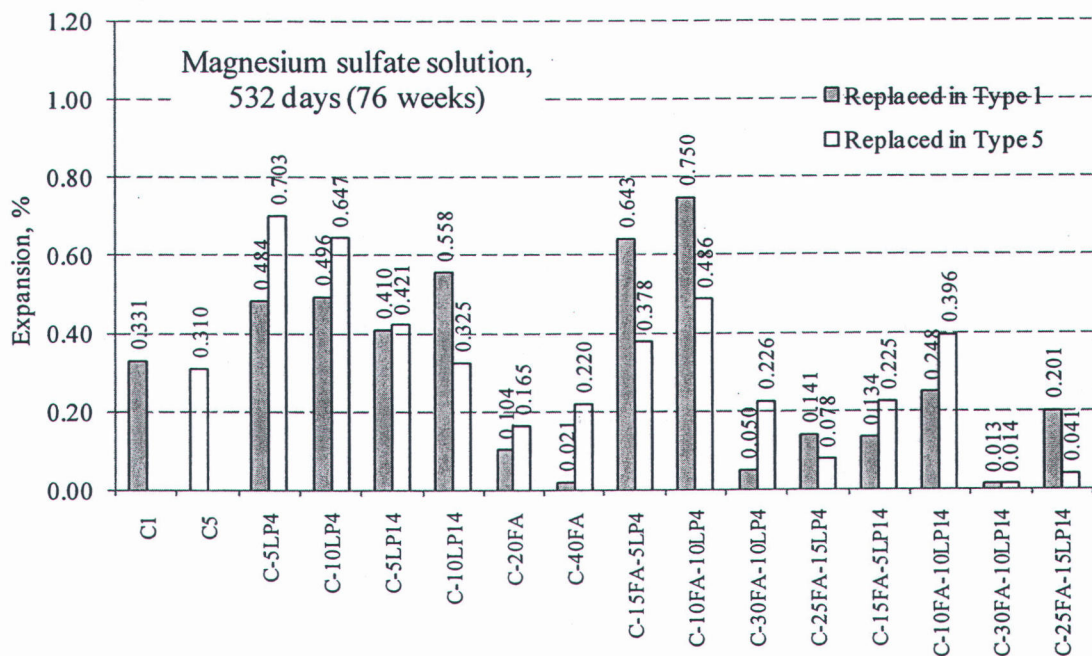


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร ร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

อย่างไรก็ตามเพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบระหว่างค่าการขยายตัวของขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ทั้งที่ไม่แทนที่และแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต จึงได้แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวดังรูปที่ 4.33 ซึ่งได้เปรียบเทียบการขยายตัว

ชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 532 วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนอย่างเดียวนั้นมีแนวโน้มให้ค่าการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่มากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ในขณะที่แทนที่ด้วยทั้งฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยกลับให้ค่าน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ยกเว้นในกรณีที่แทนที่ในส่วนของเถ้าลอยในอัตราส่วนที่ต่ำๆ จะให้ค่าการขยายที่มากขึ้น



รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 532 วัน

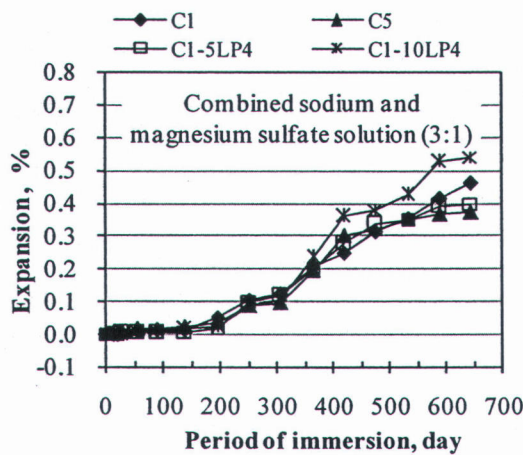
3) วัสดุประสานกรณีแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต

สำหรับสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมกับแมกนีเซียมซัลเฟตนั้น ในที่นี้ใช้อัตราส่วนผสมโซเดียมซัลเฟตต่อแมกนีเซียมซัลเฟต เท่ากับ 3:1 โดยน้ำหนัก

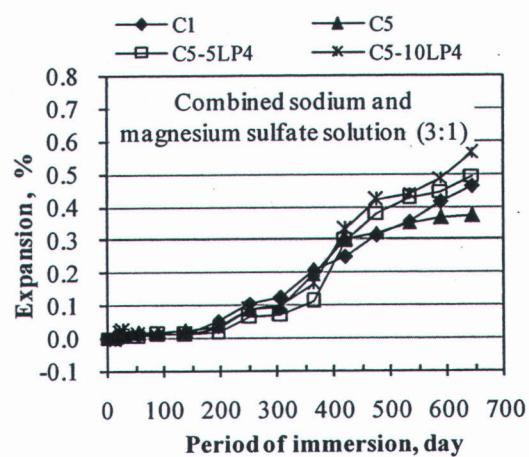
- วัสดุประสานร่วมสองชนิด (Binary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

รูปที่ 4.34 และรูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) ซึ่งพบว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน มีแนวโน้มมากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน เหมือนกับในกรณีโซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต แต่ไม่ชัดเจนเท่ากรณีของโซเดียมซัลเฟต ซึ่งคงเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว

ส่วนการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน พบว่าในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) การแทนที่ฝุ่นหินปูน (ทั้งความละเอียดขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 (ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 ของการแทนที่) ให้ค่าของการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์มีค่าไม่แตกต่างกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนมากนัก หรือมีแนวโน้มว่าจะสูงกว่าเล็กน้อยโดยเฉพาะในกรณีที่แทนที่ด้วยร้อยละ 10 และพบว่าการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนทั้งความละเอียดขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตรนั้น การแทนที่ร้อยละ 5 จะมีแนวโน้มให้ค่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์น้อยกว่าเมื่อแทนที่ด้วยร้อยละ 10 ยกเว้นในกรณีฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 (รูปที่ 4.35 ข)

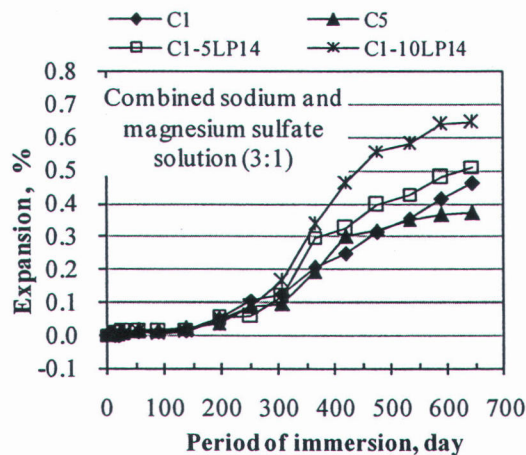


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

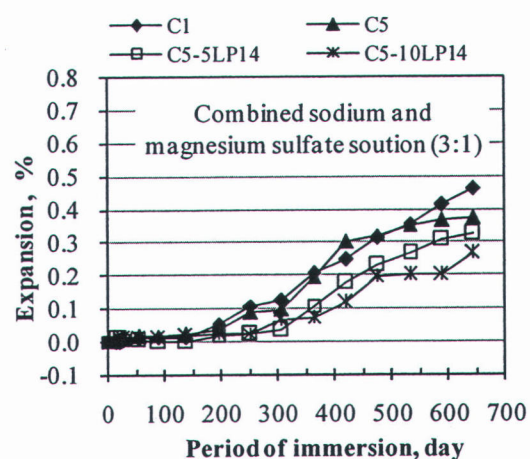


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

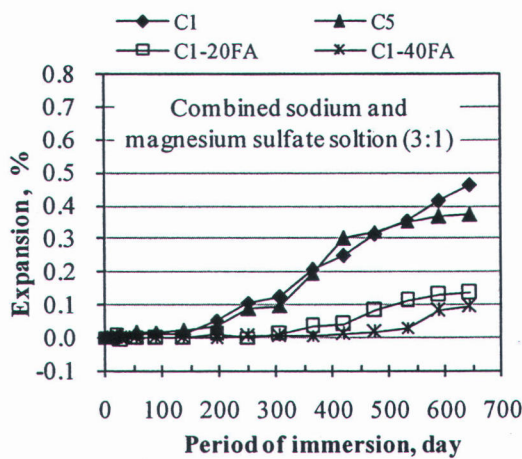


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

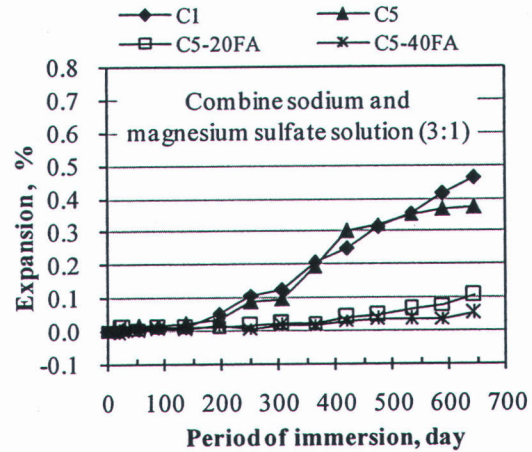
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)

- วัสดุประสานร่วมสองชนิด (Binary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยกับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) ให้ผลแนวโน้มเดียวกับกรณีในสารละลายโซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต กล่าวคือ การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ของเถ้าลอยทั้งของการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีค่าน้อยกว่าของมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ล้วน เหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณการแทนที่เถ้าลอยระหว่างร้อยละ 20 และ 40 พบว่าการขยายตัวไม่ค่อยแตกต่างกัน แต่เมื่ออายุมากขึ้นมีแนวโน้มว่าแทนที่ด้วยปริมาณที่น้อยกว่า (ร้อยละ 20) จะมีค่าการขยายตัวมากกว่าเมื่อแทนที่ในปริมาณที่มากกว่า (ร้อยละ 40) ซึ่งเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วเช่นกัน กล่าวคือการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในปริมาณที่ต่ำ จะให้ค่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแทนที่ในปริมาณที่สูงกว่า



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

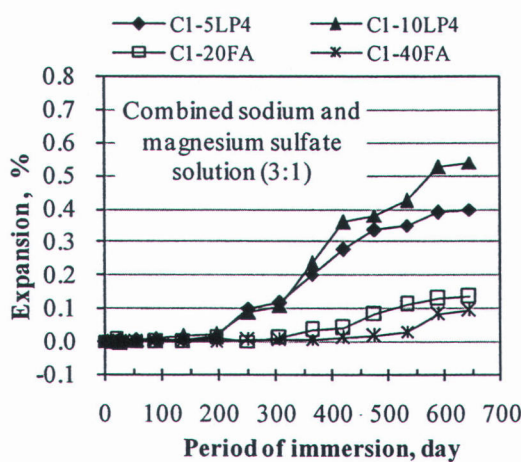
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนกับการแทนที่ด้วยเถ้าลอย ดังรูปที่ 4.37 และรูปที่ 4.38 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน 4 และ 14 ไมโครเมตร และมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุ

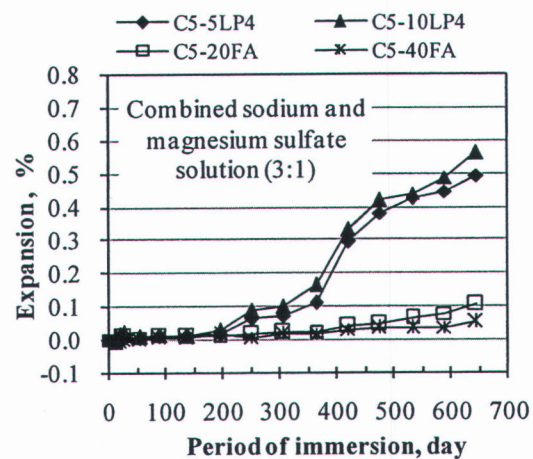
ของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) พบว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ฝุ่นหินปูน (ทั้ง 4 และ 14 ไมโครเมตร) ทั้งแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีค่ามากกว่าของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยทั้งร้อยละ 20 และ 40 เห็นได้อย่างชัดเจนเช่นเดียวกับกรณีของโซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต

อย่างไรก็ตามเพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ทั้งที่ไม่แทนที่และแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) เช่นเดียวกับในกรณีสารละลายโซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต ได้แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวดังรูปที่ 4.39 ซึ่งได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ด้วยเถ้าลอย เมื่อแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) ที่อายุของการแช่ 532 วัน

ถ้าพิจารณาจากภาพถ่ายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่อายุ 364 วัน (52 สัปดาห์) ในการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) (รูปที่ 4.40) พบว่าการทำลายของสารละลายซัลเฟตต่อชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์จะให้ผลในทิศทางเดียวกันกับกรณีการขยายตัวของแท่งตัวอย่าง แต่อาจจะเห็นความไม่แตกต่างไม่ชัดเจนมากนักเนื่องจากอายุของการแช่น้อย อย่างไรก็ตามกลไกการทำลายของสารละลายที่ผสมกันระหว่างโซเดียมซัลเฟตกับแมกนีเซียมซัลเฟต จะเป็นไปในลักษณะการขยายตัวร่วมกับการถูกทำลายการยึดประสานตามลักษณะของกลไกการทำลายของโซเดียมและแมกนีเซียม ตามลำดับ ดังที่ได้อธิบายมาแล้ว

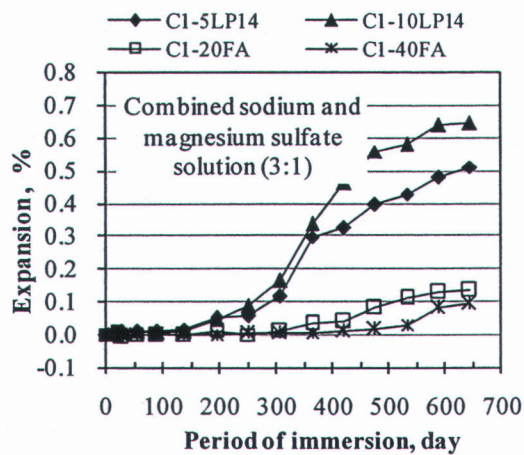


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

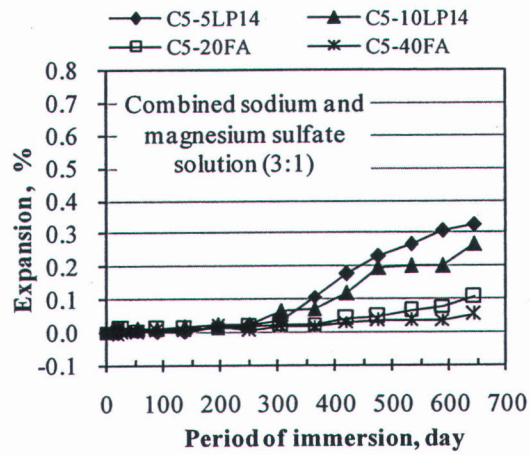


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินขนาด 4 ไมโครเมตร และแทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)

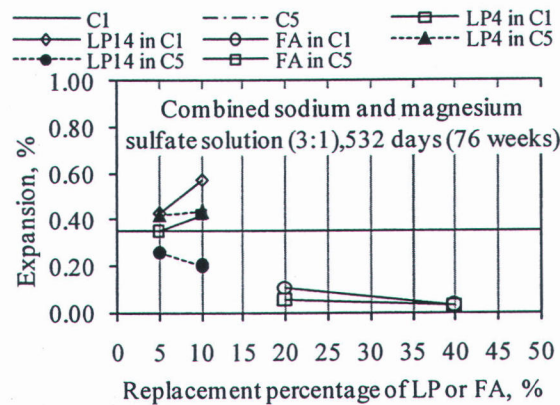


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

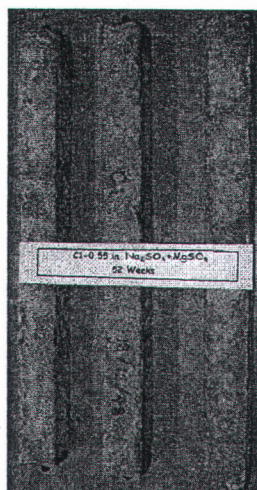
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินขนาด 14 ไมโครเมตร และแทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)



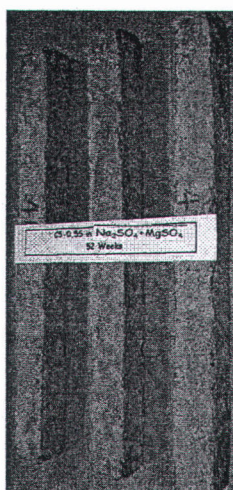
ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

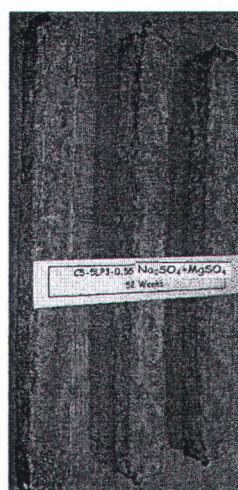
รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ถ้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ด้วยเถ้าลอย กับร้อยละของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) 532 วัน



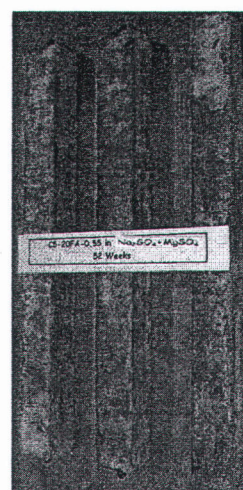
C1



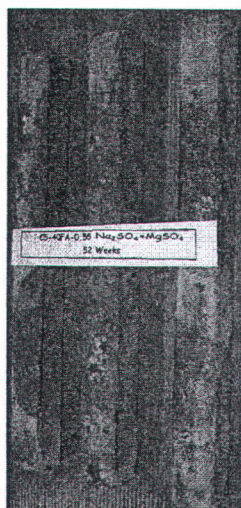
C5



C1-5LP4



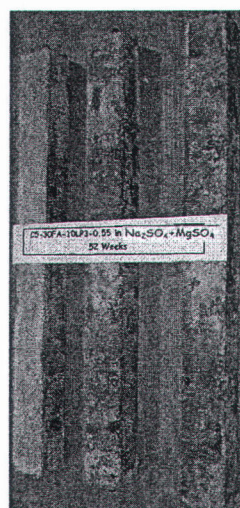
C1-20FA



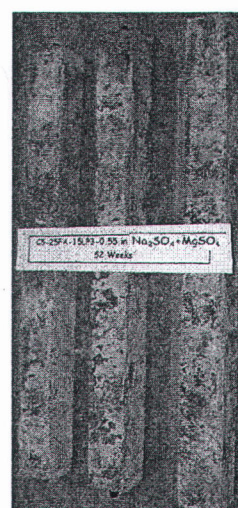
C1-40FA



C1-15FA-5LP4



C1-30FA-10LP4



C1-25FA-15LP4

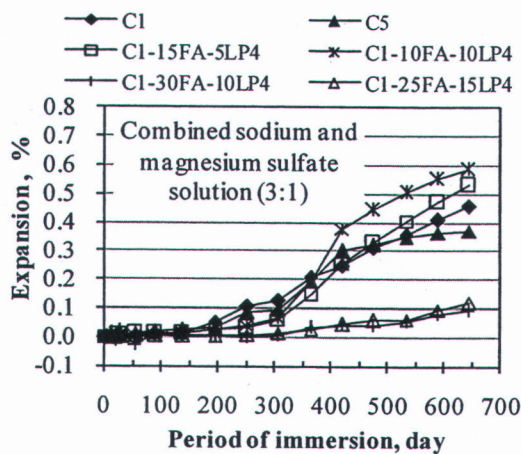
รูปที่ 4.40 ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผงหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมครอน และเถ้าลอย ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) ที่อายุ 364 วัน (52 สัปดาห์)

- วัสดุประสานร่วมสามชนิด (Ternary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

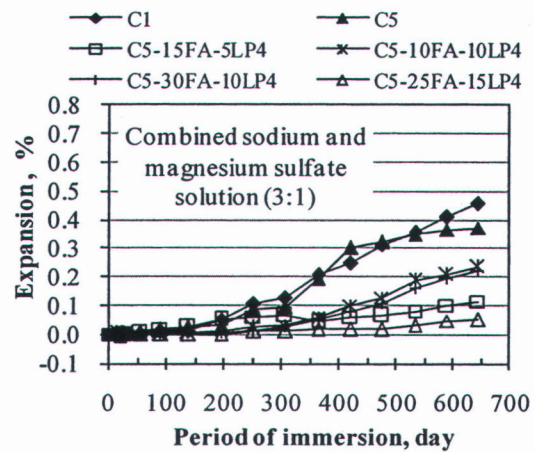
รูปที่ 4.41 ถึงรูปที่ 4.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนด้วยเถ้าลอย แทนด้วยฝุ่นหินปูน (ขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)

จากรูปที่ 4.41 ก) แสดงการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) ของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 พบว่าการแทนที่เถ้าลอยในอัตราส่วนปริมาณที่ต่ำๆ ไม่ว่าจะปริมาณของฝุ่นหินปูนมากหรือน้อย (C1-15FA-5LP3 และ C1-10FA-10LP3) มีแนวโน้มว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างจะมีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ในขณะที่การแทนที่ปริมาณเถ้าลอยที่ปริมาณสูงขึ้น (C1-30FA-10LP3 และ C1-25FA-15LP3) กลับทำให้ค่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์มีค่าน้อยกว่าทั้งของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อปริมาณเถ้าลอยที่สูงๆ (ในครั้งนี้อยู่ที่ 30) ทั้งนี้เป็นเพราะเถ้าลอยที่มีปริมาณ CaO สูง เมื่อแทนที่ในปริมาณที่น้อยๆ จะมีค่าการขยายตัวมาก แต่เมื่อปริมาณของการแทนที่ที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าการขยายตัวน้อยลง นั้นแสดงว่าในกรณีที่กล่าวมาปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยมีผลมากกว่า ซึ่งก็เป็นดังเช่นกรณีของสารละลายโซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต ส่วนในรูปที่ 4.41 ข) ซึ่งเป็นของการแทนที่ฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ก็จะให้ผลในทิศทางเดียวกันกับการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กล่าวคือถ้าแทนที่ปริมาณของเถ้าลอยต่ำจะทำให้การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างสูงขึ้น

สำหรับรูปที่ 4.42 แสดงการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) ของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 พบว่า ให้ผลในทิศทางเดียวกันกับการแทนที่ของด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 แต่อย่างไรก็ตามในกรณีการแทนที่ของฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรนั้น พบว่าการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (ขนาด 14 ไมโครเมตร) ร่วมกับเถ้าลอยนั้น ทุกสัดส่วนของการแทนที่ (ที่ศึกษาในครั้งนี้) จะให้ค่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่น้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน

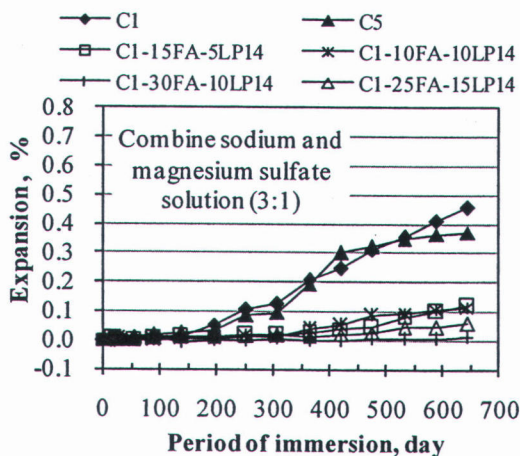


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

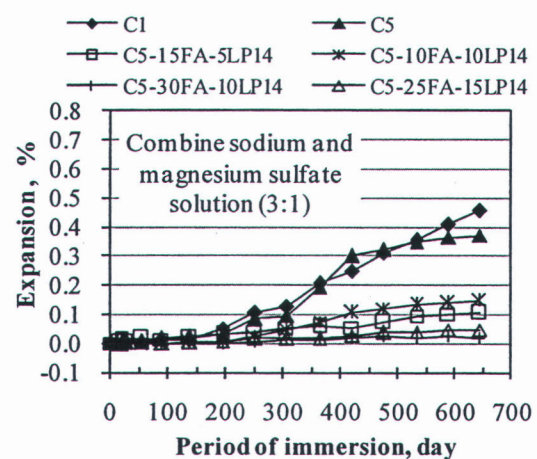


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ถ้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเกลือของกำมะถันในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

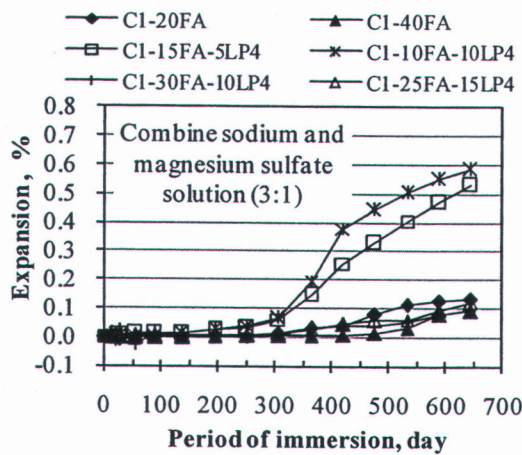
รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ถ้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรร่วมกับเกลือของกำมะถันในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)



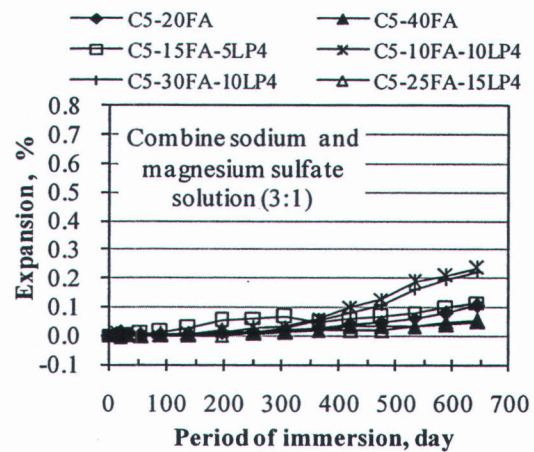
ส่วนรูปที่ 4.43 เป็นการเปรียบเทียบการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) ของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับ การแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอย พบว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย จะมีค่ามากกว่ามอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย ยกเว้นในกรณีที่แทนที่ด้วยปริมาณเถ้าลอย (ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้) ในปริมาณที่สูงจะมีค่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใกล้เคียงกับของมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย ซึ่งก็เป็นดังกรณีของสารละลายโซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต ดังที่กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามในส่วนของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ นั้น (รูปที่ 4.44) นั้น การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ทุกสัดส่วนของการแทนที่ (ที่ศึกษาในครั้งนี้) ให้ค่าการขยายตัวในสารละลายซัลเฟตดังกล่าวไม่แตกต่างกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน

สำหรับในส่วนของการเปรียบเทียบระหว่างการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) ของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน กับการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย ได้แสดงดังรูปที่ 4.45 และรูปที่ 4.46 โดยรูปที่ 4.45 ก) แสดงการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 พบว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยปริมาณที่ต่ำๆ (C1-15FA-5LP3 และ C1-10FA-10LP3) จะมีค่าการขยายตัวมากกว่าของทั้งที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนอย่างเดียว (C1-5LP3 และ C1-10LP3) และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยที่ปริมาณสูงๆ (C1-30FA-10LP3 และ C1-25FA-15LP3) และโดยที่การแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมด้วยปริมาณเถ้าลอยที่สูงๆ นั้น จะมีค่าการขยายตัวของมอร์ตาร์น้อยกว่าเมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนอย่างเดียว เช่นเดียวกับกรณีของสารละลายโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต ดังที่กล่าวมาแล้ว ส่วนรูปที่ 4.45 ข) ซึ่งเป็นของกรณีแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ก็ให้แนวโน้มในทิศทางเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ทุกการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอยที่ศึกษาในครั้งนี้ ให้ค่าน้อยกว่าของมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรอย่างเดียว (ร้อยละ 5 และร้อยละ 10)

รูปที่ 4.46 แสดงการเปรียบเทียบของกรณีฝุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 14 ไมโครเมตร ซึ่งก็ให้แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับกรณีของฝุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 4 ไมโครเมตร ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว แต่มีข้อสังเกตว่า การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ทุกการแทนที่ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอยที่ศึกษาในครั้งนี้ ไม่ว่าจะแทนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 หรือ ประเภทที่ 5 ให้ค่าน้อยกว่าของมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรอย่างเดียว (ร้อยละ 5 และร้อยละ 10) เป็นเช่นเดียวกับกรณีสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

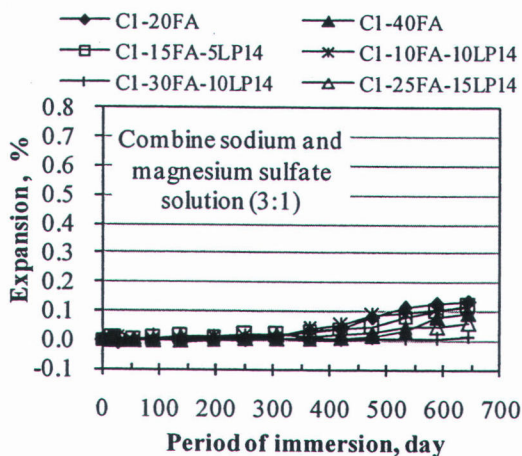


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

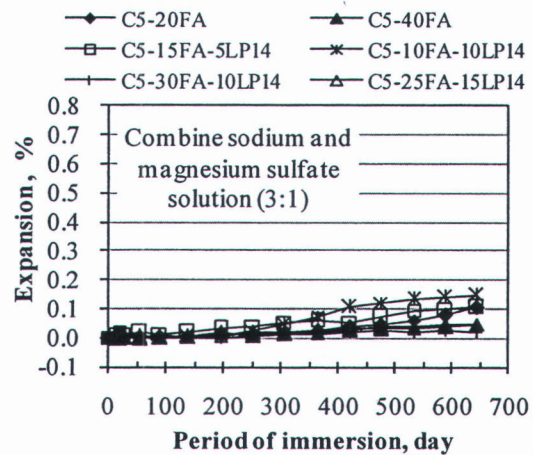


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่ด้วยเกลือลอย และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเกลือลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)

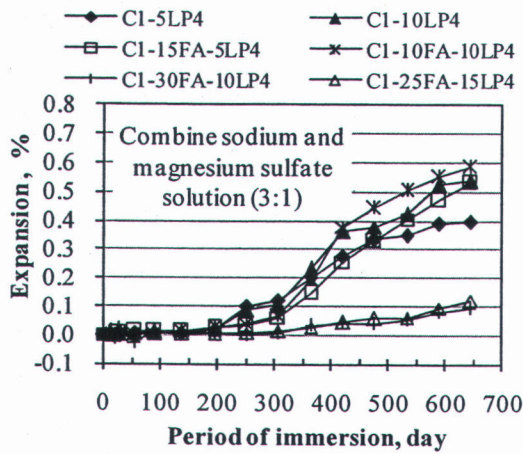


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

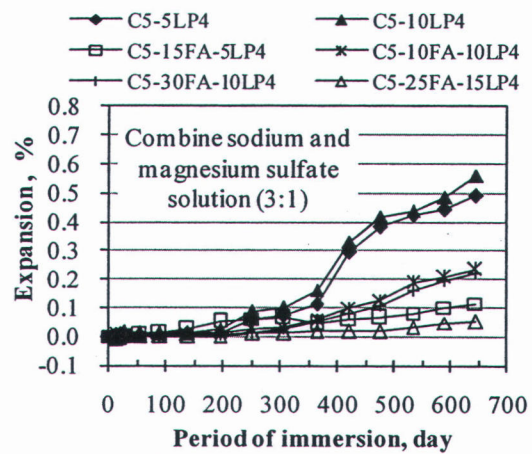


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่ด้วยเกลือลอย และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรร่วมกับเกลือลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)

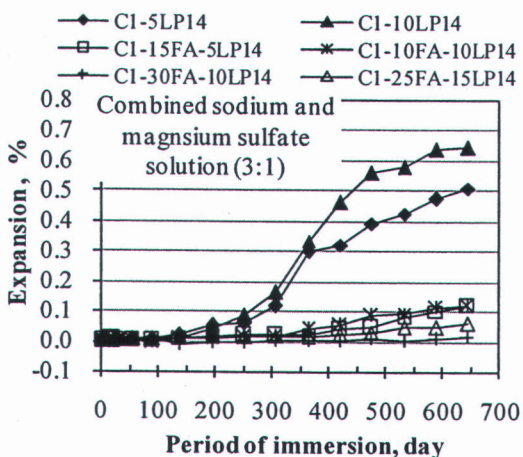


ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

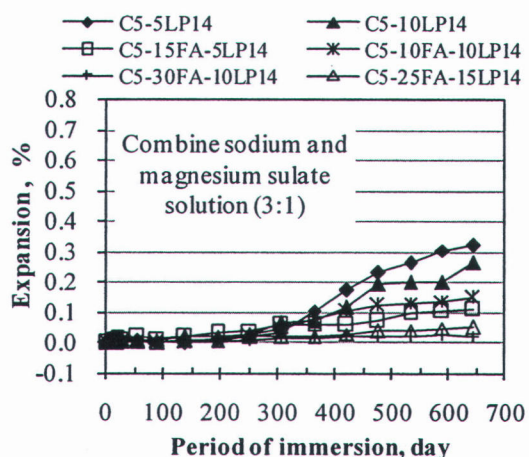


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร ร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)



ก) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

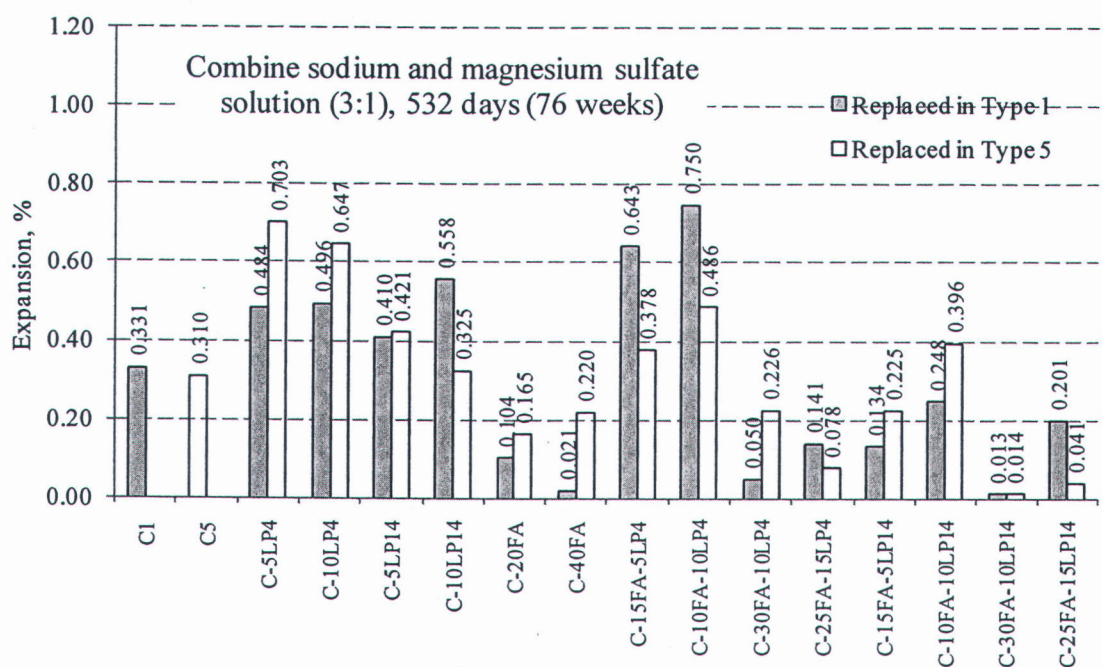


ข) แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร ร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1)

อย่างไรก็ตามเพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบระหว่างค่าการขยายตัวของขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดาร์ทั้งที่ไม่แทนที่และแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) จึงได้แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วยรูปที่ 4.47 ซึ่งได้

เปรียบเทียบการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ถ้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) 532 วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนอย่างเดียวมีแนวโน้มให้ค่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่มากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ในขณะที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยกลับให้ค่าน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ยกเว้นในกรณีที่แทนที่ในส่วนหนึ่งของเถ้าลอยในอัตราส่วนที่ต่ำๆ จะให้ค่าการขยายที่มากขึ้น ซึ่งก็เป็นไปในลักษณะเดียวกับของกรณีสารละลายโซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.47 เปรียบเทียบการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ถ้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย ลที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3: 1) 532 วัน

4.2.2 ผลกระทบจากความละเอียดของฝุ่นหินปูนต่อการขยายตัว

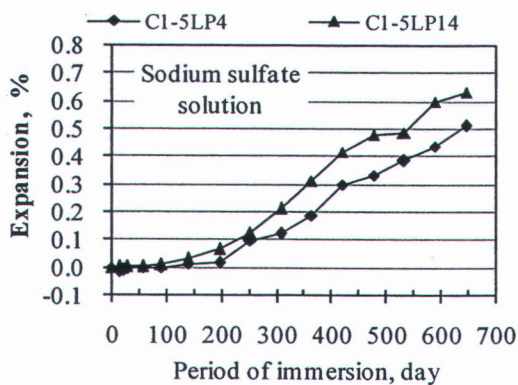
สำหรับฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้ใช้ฝุ่นหินปูนที่มีความละเอียดเฉลี่ยของอนุภาคขนาด 4 ไมโครเมตร และขนาด 14 ไมโครเมตร ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะบางประการของฝุ่นหินปูนดังกล่าว ตลอดจนการแทนที่ในวัสดุประสานตัวอื่นๆ ที่ศึกษาวิจัยในครั้งนี้ นั้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยเมื่อพิจารณาผลกระทบจากความละเอียดของฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร และขนาด 14 ไมโครเมตร ต่อการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายซัลเฟต มีรายละเอียดดังนี้

1) กรณีแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

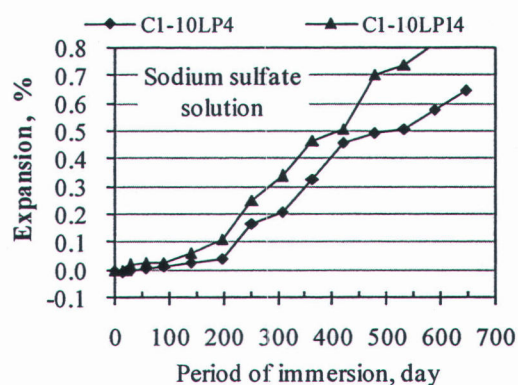
- วัสดุประสานร่วมสองชนิด (Binary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

รูปที่ 4.48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยฝุ่นหินปูนทั้งร้อยละ 5 และ 10 นั้น การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร ให้ค่าน้อยกว่าเมื่อแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร (ในปริมาณการแทนที่ที่เท่ากัน) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความละเอียดของฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร ซึ่งมีความละเอียดมากกว่า สามารถแทรกตามส่วนต่างๆ ของมอร์ตาร์ได้ดีกว่า จึงทำให้คุณสมบัติบางอย่าง เช่น การทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ได้ดีกว่า อาจทำให้ได้กำลังที่ดีกว่า หรือแม้กระทั่งเรื่องการเติมเต็มในช่องว่างในมอร์ตาร์น่าจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ซึ่งเมื่อสารละลายซัลเฟตเข้าไปแล้วมีประสิทธิภาพในการทำละลายได้ได้น้อยกว่า การขยายตัวจึงเกิดน้อยกว่า

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร (ร้อยละ 5 และ 10) กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ได้แสดงดังรูปที่ 4.49 กลับให้ผลตรงข้ามกับกรณีเมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กล่าวคือ การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร มีค่าน้อยกว่าของฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร

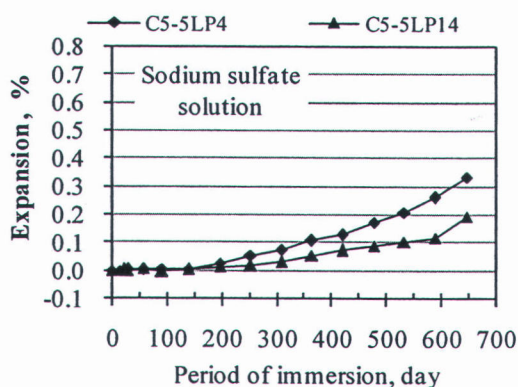


ก) แทนที่ร้อยละ 5

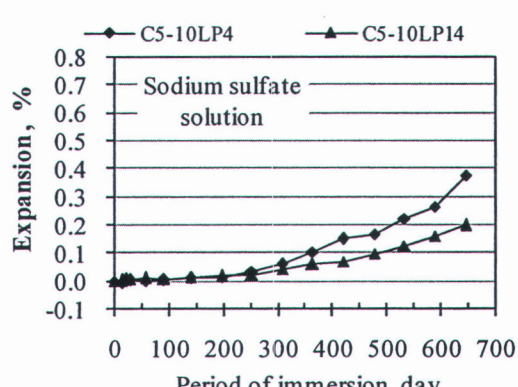


ข) แทนที่ร้อยละ 10

รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้ารูปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 3 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต



ก) แทนที่ร้อยละ 5

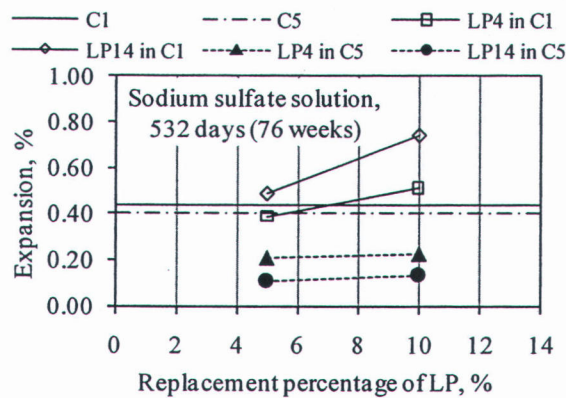


ข) แทนที่ร้อยละ 10

รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้ารูปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 3 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

อย่างไรก็ตามเพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบระหว่างความขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 เพื่อดูถึงผลกระทบของความละเอียดของฝุ่นหินปูนต่อการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าในสารละลายโซเดียมซัลเฟต จึงได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้ารูปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน กับร้อยละของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 532 วัน หรือ 76 สัปดาห์ (รูปที่ 4.50) ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่า ค่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้ารูปูนหินปูนความละเอียด 4 ไมโครเมตรนั้นมีค่า

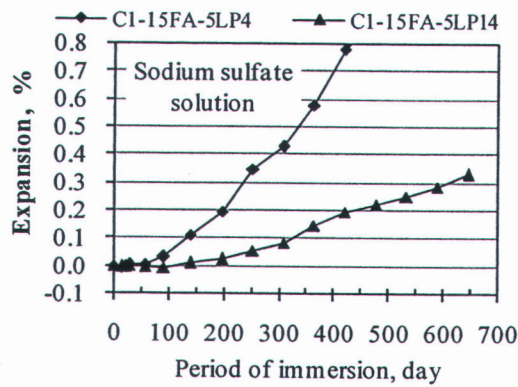
น้อยกว่ามอร์ตาร์ฝุ่นหินปูนความละเอียด 14 ไมโครเมตร เมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทั้งแทนที่ในอัตราร้อยละ 5 และ 10 แต่เมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 กลับให้ค่าตรงข้าม คือ ฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร มีค่าการขยายตัวที่น้อยกว่า



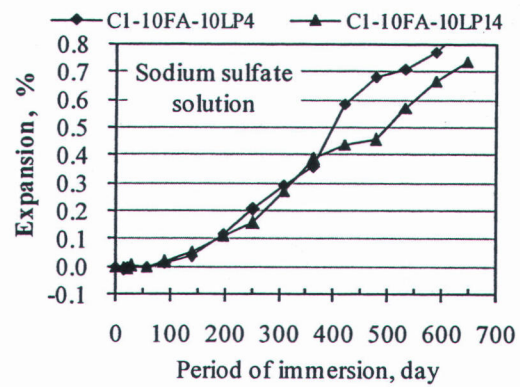
รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน กับร้อยละของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 532 วัน

- วัสดุประสานร่วมสามชนิด (Ternary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

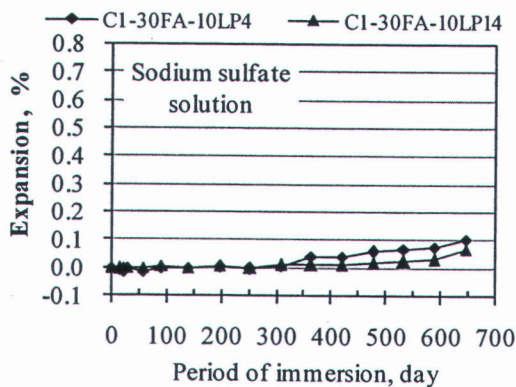
รูปที่ 4.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ทั้งฝุ่นหินปูน (ทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) และเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต โดยรูปที่ 4.51 ก) พบว่าสัดส่วนผสม C1-15FA-SLP3 มีค่าการขยายตัวของขึ้นตัวอย่างมากกว่าเห็นได้ชัดเจนเมื่อเทียบกับ C1-15FA-SLP13 และเช่นเดียวกับในรูปที่ 4.51 ข) โดยที่ตัวอย่างมอร์ตาร์ C1-10FA-10LP3 มีค่าการขยายตัวมากกว่าของ C1-10FA-10LP13 ส่วนรูปที่ 4.51 ค) และ ง) ซึ่งเป็นของสัดส่วนเมื่อแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 30 ร่วมกับฝุ่นหินปูนร้อยละ 10 และการแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 25 ร่วมกับฝุ่นหินปูนร้อยละ 15 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการขยายตัวของขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ค่อนข้างน้อย เมื่อแทนที่ด้วยเถ้าลอยในปริมาณที่สูง ดังนั้นทำให้ผลของความละเอียดของฝุ่นหินปูนไม่ค่อยมีผลกระทบต่อการขยายตัวของขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดังกล่าว



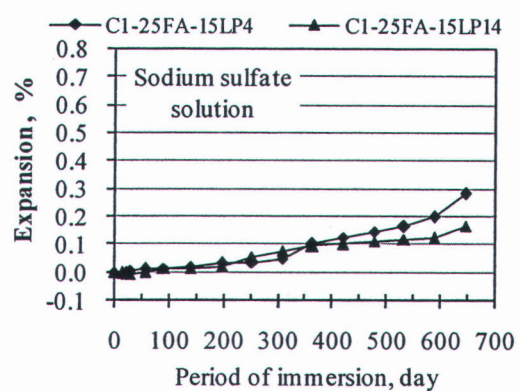
ก) ถ้าวัดร้อยละ 15 ผุ่นหินปูนร้อยละ 5



ข) ถ้าวัดร้อยละ 10 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10



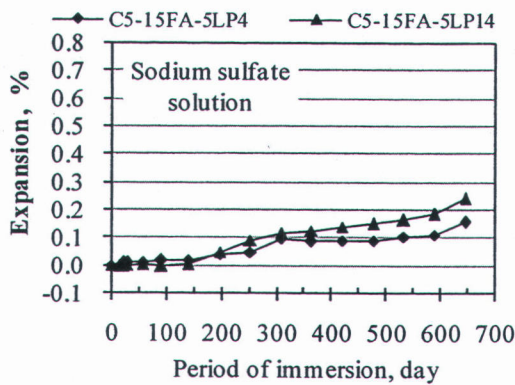
ค) ถ้าวัดร้อยละ 30 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10



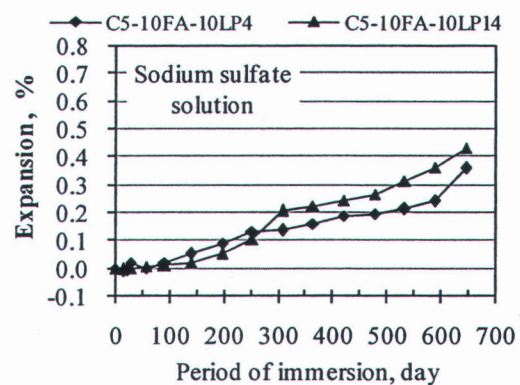
ง) ถ้าวัดร้อยละ 25 ผุ่นหินปูนร้อยละ 15

รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผุ่นหินปูนร่วมกับถั่วลย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

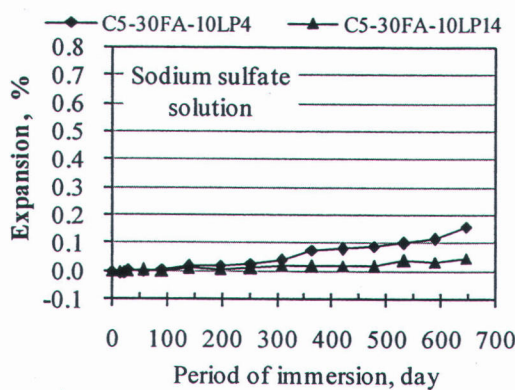
สำหรับรูปที่ 4.52 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยผุ่นหินปูน (ทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ร่วมกับถั่วลย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ซึ่งก็ในลักษณะเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว กล่าวคือเมื่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างในสารละลายซัลเฟตมีค่าน้อยๆ ทำให้ความละเอียดของผุ่นหินปูนไม่ค่อยมีผลกระทบต่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้า



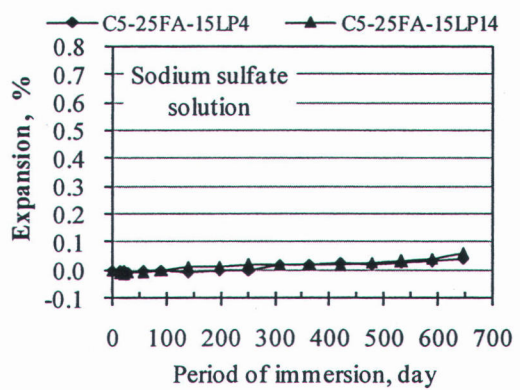
ก) เถ้าลอยร้อยละ 15 ผุ่นหินปูนร้อยละ 5



ข) เถ้าลอยร้อยละ 10 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10



ค) เถ้าลอยร้อยละ 30 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10



ง) เถ้าลอยร้อยละ 25 ผุ่นหินปูนร้อยละ 15

รูปที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยผุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

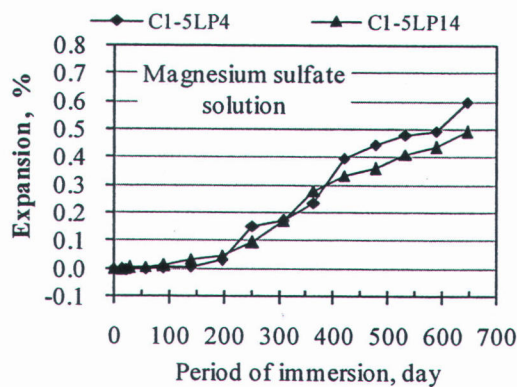
2) กรณีแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

- วัสดุประสานร่วมสองชนิด (Binary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ด้วยผุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

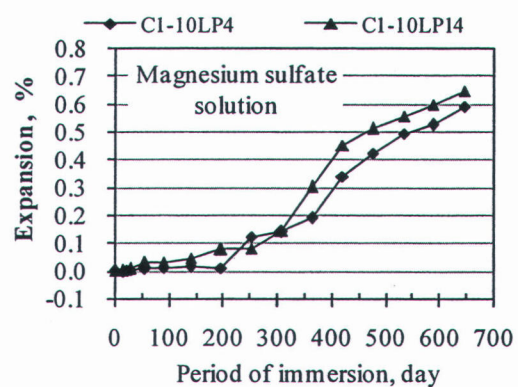
รูปที่ 4.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผุ่นหินปูนทั้งร้อยละ 5 และ 10 นั้น การขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยผุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร ให้ค่าไม่แตกต่างกันมากนักกับเมื่อแทนที่ด้วยผุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร (ในปริมาณการแทนที่ที่เท่ากัน) โดยที่แนวโน้มของการขยายตัวที่สลับกันกล่าวคือเมื่อแทนที่ด้วยร้อยละ 5 การขยายตัวของมอร์ตาร์ผุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร มีค่ามากกว่าขนาด

14 ไมโครเมตร แต่เมื่อแทนที่ร้อยละ 10 กลับพบว่า การขยายตัวของมอร์ตาร์ฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร มีค่ามากกว่า นั่นแสดงว่าความละเอียดของฝุ่นหินปูนไม่มีผลต่อการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร (ร้อยละ 5 และ 10) กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ได้แสดงดังรูปที่ 4.54 พบว่า การขยายตัวของมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร มีค่าน้อยกว่าของฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร

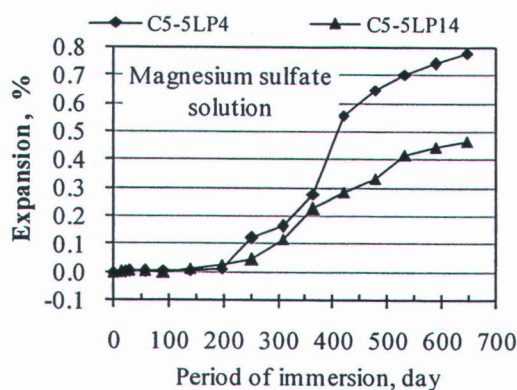


ก) แทนที่ร้อยละ 5

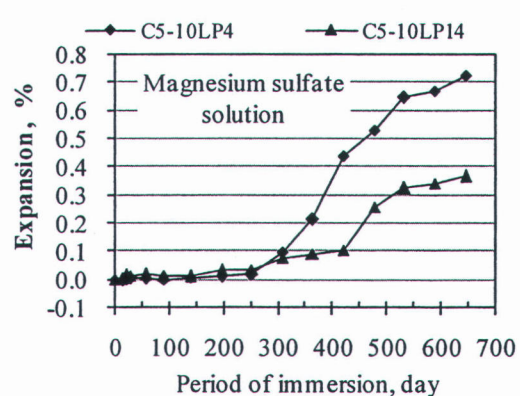


ข) แทนที่ร้อยละ 10

รูปที่ 4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต



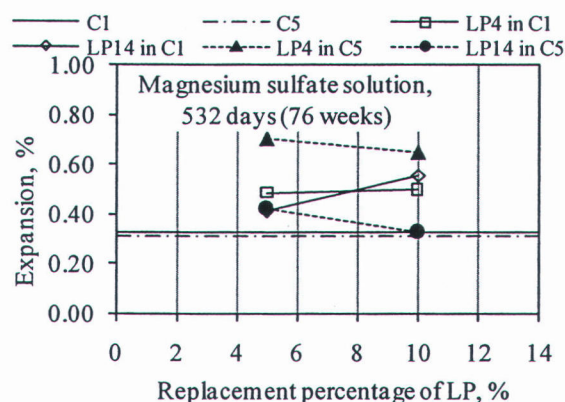
ก) แทนที่ร้อยละ 5



ข) แทนที่ร้อยละ 10

รูปที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

อย่างไรก็ตามเพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบระหว่างความขยายตัวของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 เพื่อดูถึงผลกระทบของความละเอียดของฝุ่นหินปูนต่อการขยายตัวของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 532 วัน หรือ 76 สัปดาห์ (รูปที่ 4.55) ซึ่งก็เป็นไปดังที่กล่าวมาแล้ว นั่นคือการขยายตัวน่าจะมีผลจากความพรุนของตัวอย่างซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 28 วันส่วนหนึ่ง ซึ่งเป็นการเริ่มต้นในการสัมผัสกับสารละลายซัลเฟต โดยค่าความพรุนก็น่าจะมาจากผลของความละเอียดของฝุ่นหินปูนด้วย แต่อย่างไรก็ตามความละเอียดของฝุ่นหินปูนก็น่าจะมีผลกระทบต่อการขยายตัวของตัวอย่างซีเมนต์ปอร์ตแลนด์น้อย ดังนั้นจึงทำให้การขยายตัวของตัวอย่างซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เมื่อพิจารณาถึงผลของความละเอียดของฝุ่นหินปูนแล้วทำให้ไม่แน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 4.55

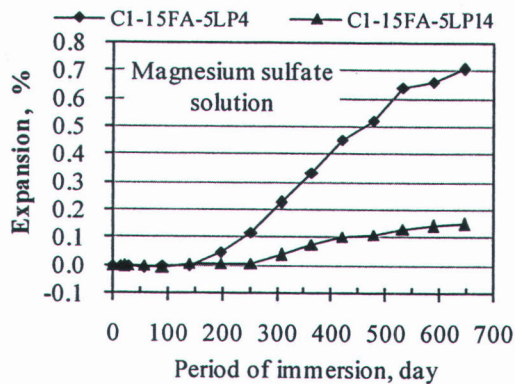


รูปที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน กับร้อยละของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 532 วัน

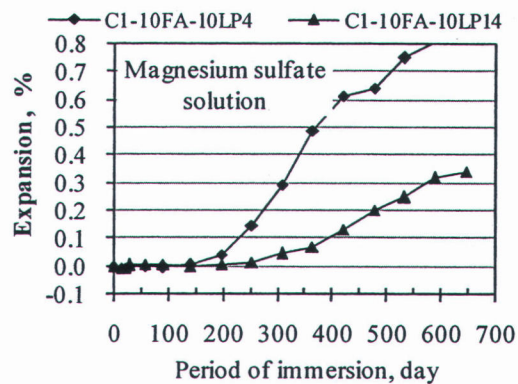
- วัสดุประสานร่วมสามชนิด (Ternary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

รูปที่ 4.56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (ทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต โดยรูปที่ 4.56 ก) พบว่าสัดส่วนผสม C1-15FA-5LP3 มีค่าการขยายตัวของซีเมนต์ตัวอย่างมากกว่าเห็นได้ชัดเจนเมื่อเทียบกับ C1-15FA-5LP13 และเช่นเดียวกับในรูปที่ 4.56 ข) โดยที่ตัวอย่างซีเมนต์ C1-10FA-10LP3 มีค่าการขยายตัวมากกว่าของ C1-10FA-10LP13 ส่วนรูปที่ 4.56 ค) และ ง) ซึ่งเป็น

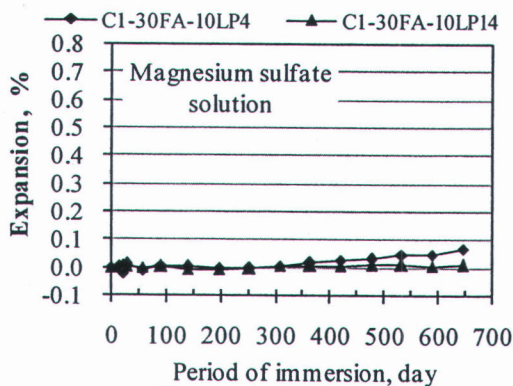
ของสัดส่วนเมื่อแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 30 ร่วมฝุ่นหินปูนร้อยละ 10 และเถ้าลอยร้อยละ 25 ร่วมกับฝุ่นหินปูนร้อยละ 15 ตามลำดับ ซึ่งก็ในลักษณะเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว ถ้าการขยายตัวของชั้นตัวอย่างในสารละลายซัลเฟตมีค่าน้อยๆ ทำความละเอียดของฝุ่นหินปูนไม่ค่อยมีผลกระทบต่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์



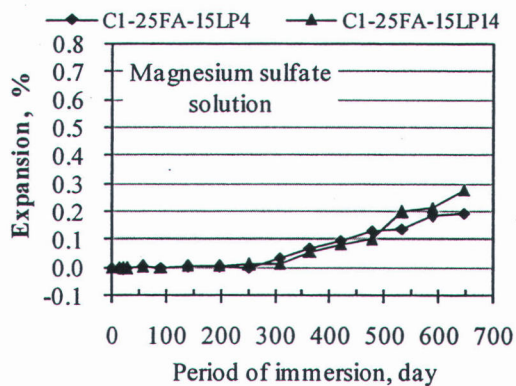
ก) เถ้าลอยร้อยละ 15 ฝุ่นหินปูนร้อยละ 5



ข) เถ้าลอยร้อยละ 10 ฝุ่นหินปูนร้อยละ 10



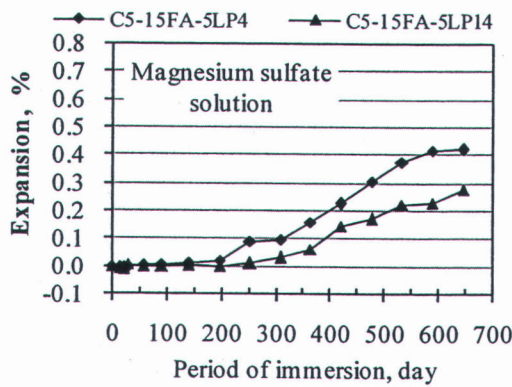
ค) เถ้าลอยร้อยละ 30 ฝุ่นหินปูนร้อยละ 10



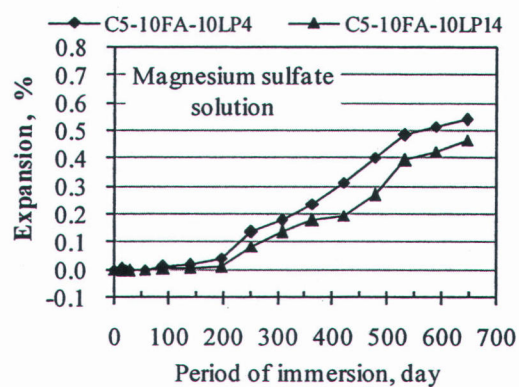
ง) เถ้าลอยร้อยละ 25 ฝุ่นหินปูนร้อยละ 15

รูปที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

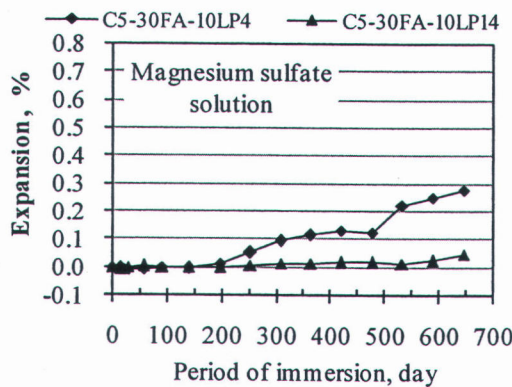
สำหรับรูปที่ 4.57 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (ทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งก็ให้ผลในลักษณะเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว กล่าวคือถ้าการขยายตัวของชั้นตัวอย่างในสารละลายซัลเฟตมีค่าน้อยๆ ทำให้ความละเอียดของฝุ่นหินปูนไม่ค่อยมีผลกระทบต่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์



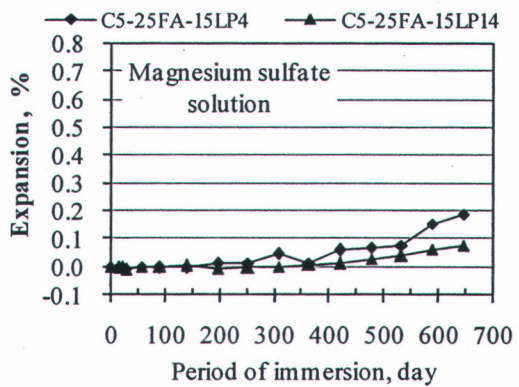
ก) ถ้าวัดร้อยละ 15 ผุ่นหินปูนร้อยละ 5



ข) ถ้าวัดร้อยละ 10 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10



ค) ถ้าวัดร้อยละ 30 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10



ง) ถ้าวัดร้อยละ 25 ผุ่นหินปูนร้อยละ 15

รูปที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ทั้งผุ่นหินปูนและถั่วลย กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

3) กรณีแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต

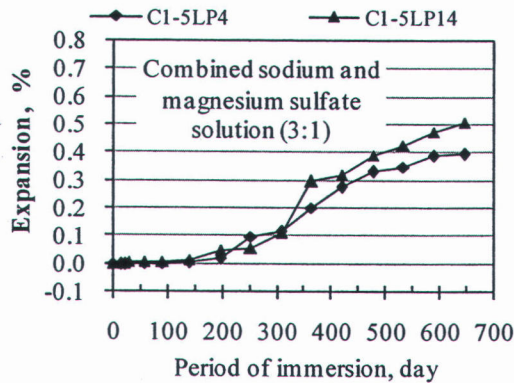
สำหรับสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมกับแมกนีเซียมซัลเฟตนั้น ในที่ใช้อัตราส่วนผสมโซเดียมซัลเฟตต่อแมกนีเซียมซัลเฟต เท่ากับ 3:1 โดยน้ำหนัก

- วัสดุประสานร่วมสองชนิด (Binary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ผุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

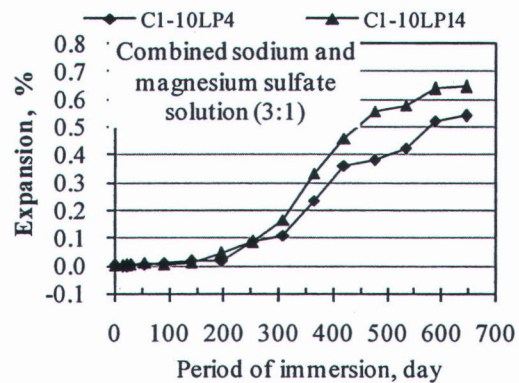
รูปที่ 4.58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผุ่นหินปูนทั้งร้อยละ 5 และ 10 นั้น การขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยผุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร ให้ค่ามากกว่าเมื่อแทนที่ด้วยผุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร (ในปริมาณการแทนที่ที่เท่ากัน)



ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร (ร้อยละ 5 และ 10) กับอายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ได้แสดงดังรูปที่ 4.59 พบว่า การขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร มีค่าน้อยกว่าของฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร

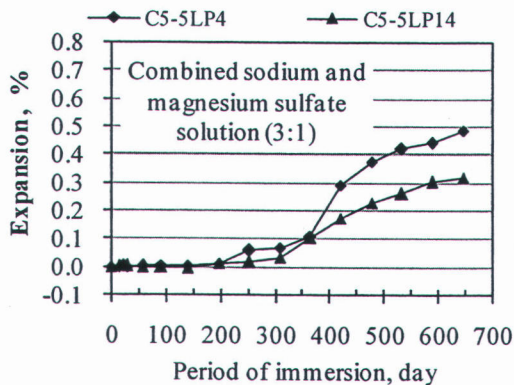


ก) แทนที่ร้อยละ 5

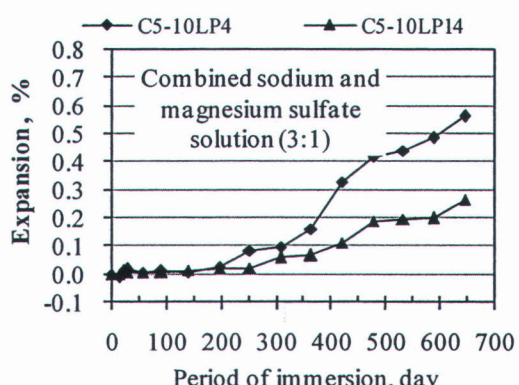


ข) แทนที่ร้อยละ 10

รูปที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1)



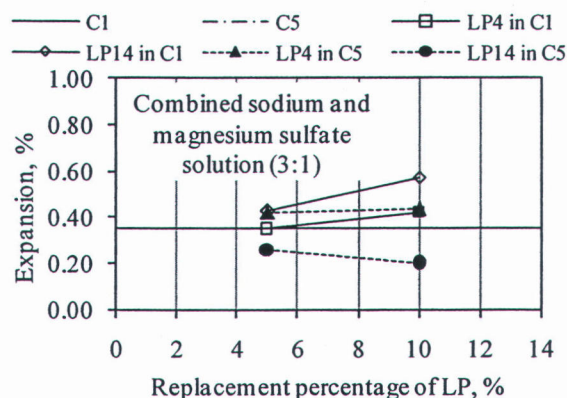
ก) แทนที่ร้อยละ 5



ข) แทนที่ร้อยละ 10

รูปที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1)

อย่างไรก็ตามเพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบระหว่างความขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 เพื่อดูถึงผลกระทบของความละเอียดของฝุ่นหินปูนต่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) จึงได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ถ้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน กับร้อยละของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) 532 วัน หรือ 76 สัปดาห์ (รูปที่ 4.60) ซึ่งก็เป็นไปตามที่กล่าวมาแล้ว นั่นคือการขยายตัวน่าจะมีผลจากความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วันส่วนหนึ่ง ซึ่งเป็นการเริ่มต้นในการสัมผัสกับสารละลายซัลเฟต โดยค่าความพรุนก็น่าจะมาจากผลของความละเอียดของฝุ่นหินปูนด้วย แต่อย่างไรก็ตามความละเอียดของฝุ่นหินปูนก็น่าจะมีผลกระทบต่อการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์น้อย ดังนั้นจึงทำให้การขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อพิจารณาถึงผลของความละเอียดของฝุ่นหินปูนแล้วทำให้ไม่แน่นอนดังที่แสดงในรูปที่ 4.60 เช่นเดียวกับกรณีของในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต



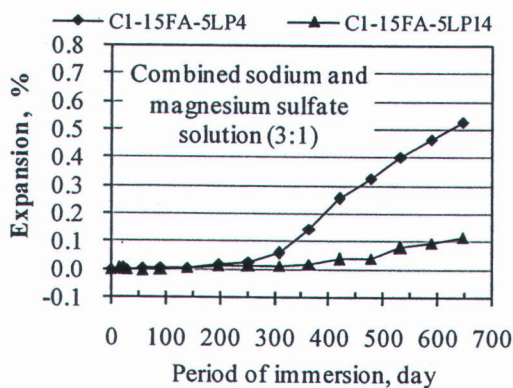
รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ถ้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนกับร้อยละของการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) 532 วัน

- วัสดุประสานร่วมสามชนิด (Ternary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

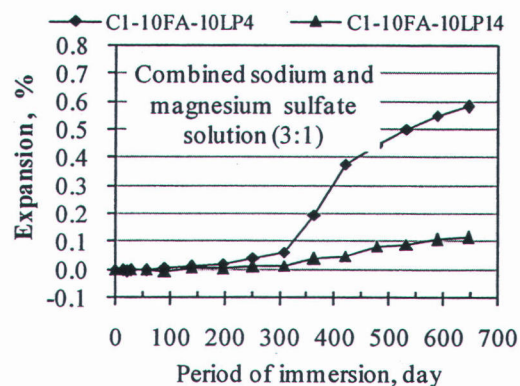
รูปที่ 4.61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (ทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) โดยรูปที่ 4.61 ก) พบว่าสัดส่วนผสม C1-15FA-5LP3

มีค่าการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมากกว่าเห็นได้ชัดเจนเมื่อเทียบกับ C1-15FA-5LP13 และเช่นเดียวกับในรูปที่ 4.61 ข) โดยที่ตัวอย่างมอร์ตาร์ C1-10FA-10LP3 มีค่าการขยายตัวมากกว่าของ C1-10FA-10LP13 ส่วนรูปที่ 4.61 ค) และ ง) ซึ่งเป็นของสัดส่วนเมื่อแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 30 ร่วมกับฝุ่นหินปูนร้อยละ 10 และการแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 25 ร่วมกับฝุ่นหินปูนร้อยละ 15 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ค่อนข้างน้อย ดังนั้นทำให้ผลของความละเอียดของฝุ่นหินปูนไม่ค่อยมีผลกระทบต่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์

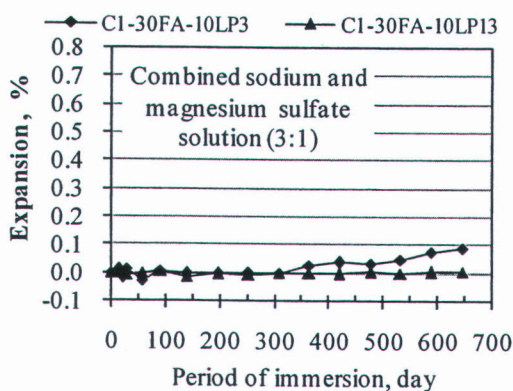
สำหรับรูปที่ 4.62 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (ทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) ซึ่งก็ในลักษณะเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว ถ้าการขยายตัวของชั้นตัวอย่างในสารละลายซัลเฟตมีค่าน้อยๆ ทำความละเอียดของฝุ่นหินปูนไม่ค่อยมีผลกระทบต่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์



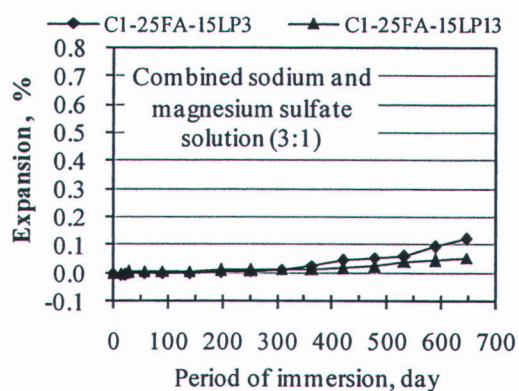
ก) เถ้าลอยร้อยละ 15 ฝุ่นหินปูนร้อยละ 5



ข) เถ้าลอยร้อยละ 10 ฝุ่นหินปูนร้อยละ 10

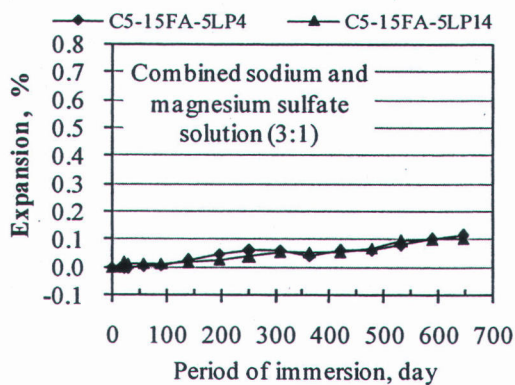


ค) เถ้าลอยร้อยละ 30 ฝุ่นหินปูนร้อยละ 10

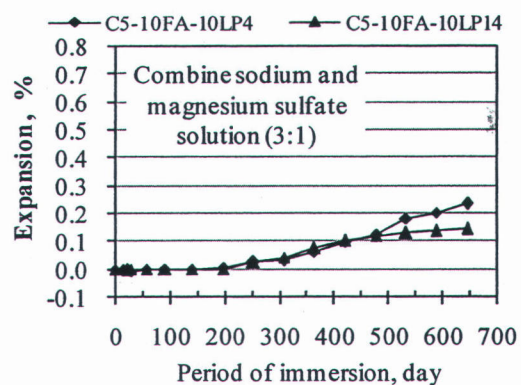


ง) เถ้าลอยร้อยละ 25 ฝุ่นหินปูนร้อยละ 15

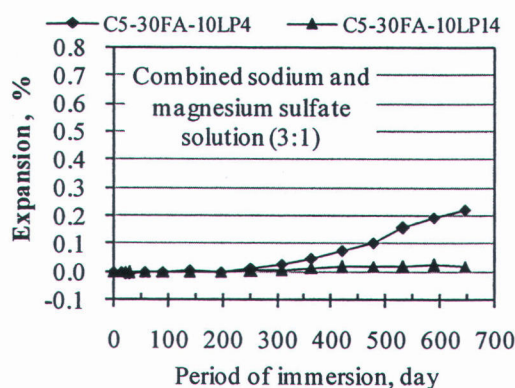
รูปที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1)



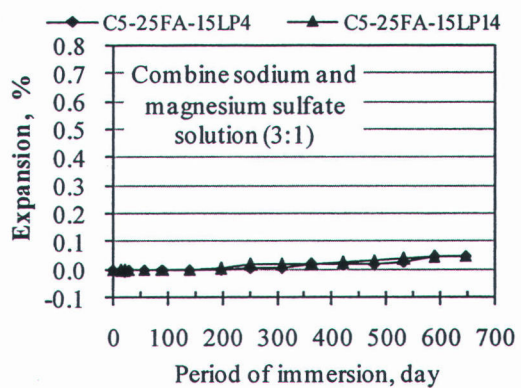
ก) เถ้าลอยร้อยละ 15 ผุ่นหินปูนร้อยละ 5



ข) เถ้าลอยร้อยละ 10 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10



ค) เถ้าลอยร้อยละ 30 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10



ง) เถ้าลอยร้อยละ 25 ผุ่นหินปูนร้อยละ 15

รูปที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ทั้งผุ่นหินปูนและเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1)

4.2.3 ผลกระทบจากชนิดของสารละลายซัลเฟตต่อการขยายตัว

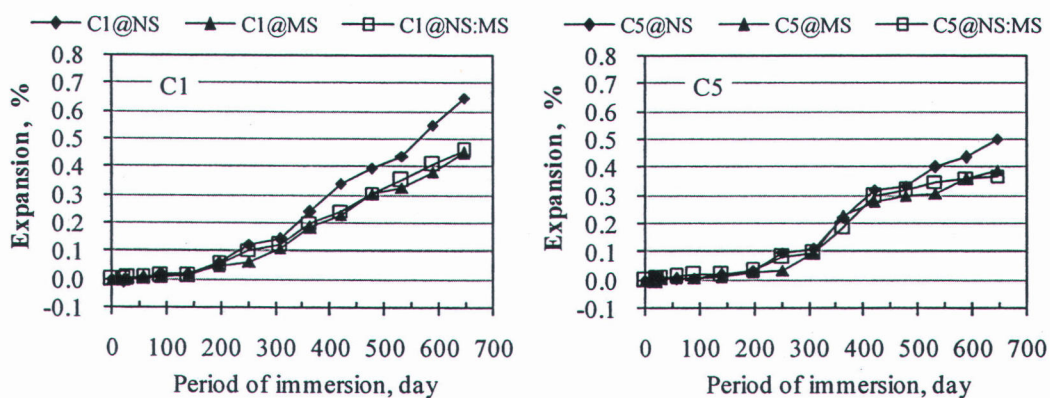
สารละลายซัลเฟตที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้สารละลายซัลเฟต 3 ชนิด คือ สารละลายโซเดียมซัลเฟต สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต และสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมกับสารละลายแมกนีเซียมในอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก ดังนั้นในการประเมินความต้านทานซัลเฟตโดยวัดการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์นั้น จึงได้พิจารณาถึงผลกระทบของชนิดของสารละลายซัลเฟตทั้ง 3 กรณี ที่มีต่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- เมื่อวัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน

รูปที่ 4.63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต โดยรูปที่ 4.63 ก) แสดงการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วนในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

แมกนีเซียมซัลเฟต และสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต ในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 โดยน้ำหนัก พบว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต และในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะกลไกการทำลายของสารละลายโซเดียมซัลเฟตจะทำให้เกิด Ettringite ซึ่งมีคุณสมบัติในการขยายตัว ส่วนกลไกการทำลายของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตนั้น จะทำให้ไม่มีความเสถียรภาพภายในโครงสร้างของมอร์ตาร์ โดยจะเปลี่ยนผลผลิตปฏิกิริยาไฮเดรชัน (CSH) ให้เป็น MSH ซึ่งไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน โดยจะทำให้ชิ้นตัวอย่างยู่ มีการหลุดร่อนของผิวหรือโครงสร้างของตัวอย่าง มีการสูญเสียน้ำหนัก [7,9,13] จึงทำให้ชิ้นตัวอย่างมีการขยายตัวที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ส่วนการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟตนั้น แนวโน้มของการถูกทำลายของตัวอย่างมีทั้งการขยายตัวและการสูญเสียน้ำหนักของตัวชิ้นตัวอย่าง ดังนั้นค่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างจึงอยู่ระหว่างของในสารละลายโซเดียมซัลเฟต กับ สารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต

ส่วนการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน (รูปที่ 4.63 ข) ในสารละลายซัลเฟตทั้ง 3 ชนิด ก็มีแนวโน้มให้ผลในทิศทางเดียวกับกรณีของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน แต่ในส่วนของการขยายตัวในสารละลายแมกนีเซียม กับ ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟตนั้นมีค่าไม่แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะกลไกการทำลายของแมกนีเซียมซัลเฟตมีผลที่เด่นชัดกว่า



ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

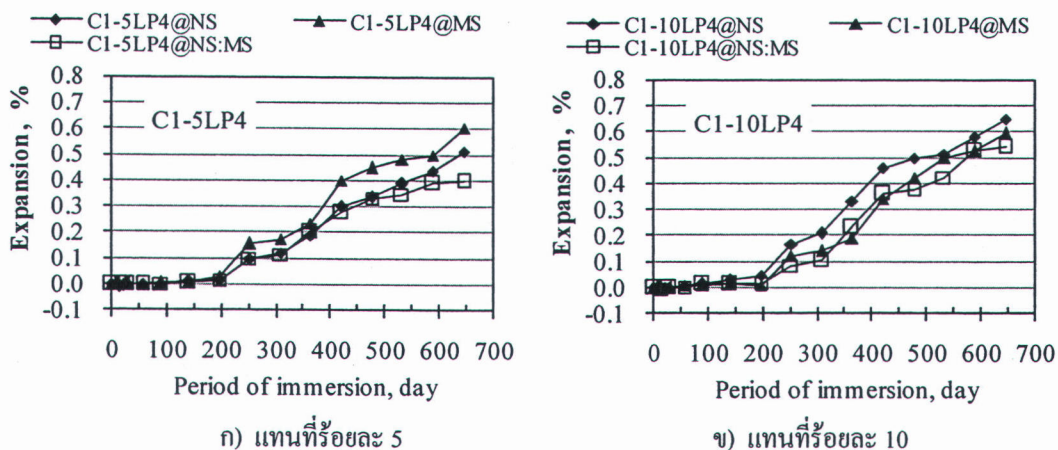
ข) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน

รูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต

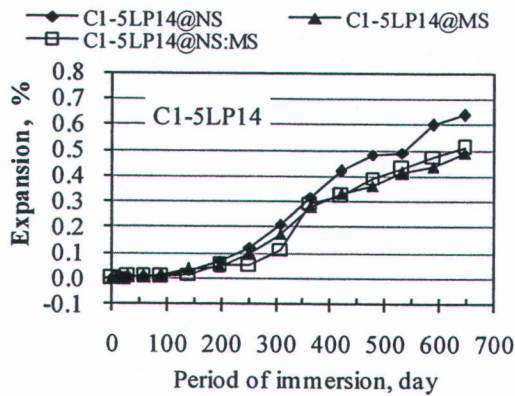
- วัสดุประสานร่วมสองชนิด (Binary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

รูปที่ 4.64 ถึงรูปที่ 4.67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร และแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต เพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาผลกระทบของชนิดสารละลายซัลเฟตต่อการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่สัมผัสกับสารละลายซัลเฟต

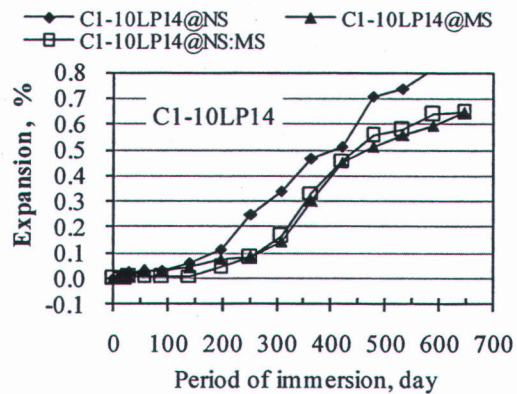
จากรูปที่ 4.64 และรูปที่ 4.65 แสดงการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (ขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ซึ่งแทนที่ฝุ่นหินปูนแต่ละชนิดในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ทุกอัตราส่วนของการแทนที่ ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตมีค่ามากกว่าอีก 2 ชนิดของสารละลายซัลเฟต โดยที่การขยายตัวในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต และโซเดียมผสมแมกนีเซียมซัลเฟตนั้นมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีลักษณะที่เหมือนกันกับกรณีของปูนซีเมนต์ล้วน ยกเว้นในกรณีการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร้อยละ 5 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 นั้น การขยายตัวในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต กลับมีค่ามากกว่ากรณีของสารละลายซัลเฟตอื่น (รูปที่ 4.64 ก)) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกลไกการทำลายของสารละลายแมกนีเซียม นั้น จะเกิดความไม่เสถียรภาพภายในโครงสร้างของมอร์ตาร์ [7,9,13] ดังนั้นการขยายตัวที่เกิดขึ้นในกรณีของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต หรือแม้กระทั่งของโซเดียมซัลเฟตผสมกับแมกนีเซียมซัลเฟตก็ตาม จึงมีแนวโน้มที่ไม่สม่ำเสมอ มีการแกว่งสูง



รูปที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต



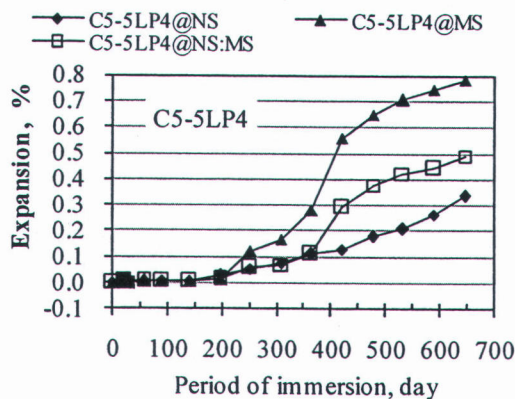
ก) แทนที่ร้อยละ 5



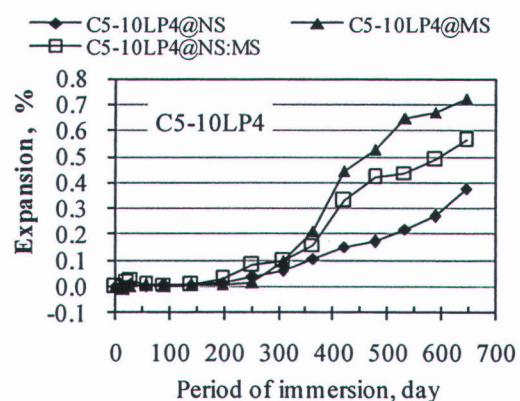
ข) แทนที่ร้อยละ 10

รูปที่ 4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต

ส่วนในกรณีของมอร์ต้าร์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (ทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.66 และ 4.67 พบว่าการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตกลับมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต และในสารละลายโซเดียมซัลเฟตมีค่าน้อยที่สุด

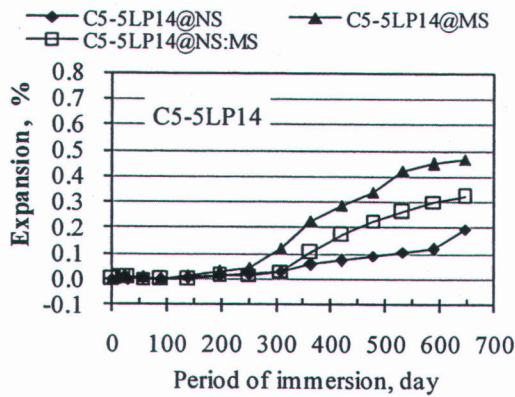


ก) แทนที่ร้อยละ 5

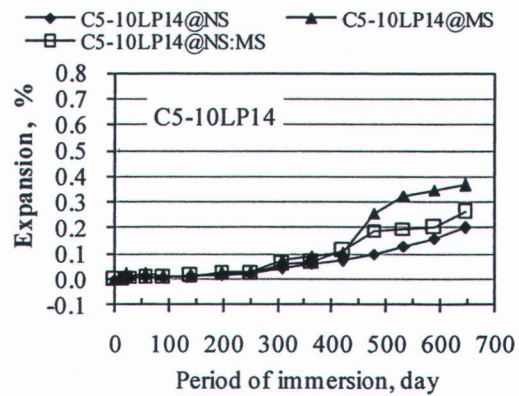


ข) แทนที่ร้อยละ 10

รูปที่ 4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต



ก) แทนที่ร้อยละ 5

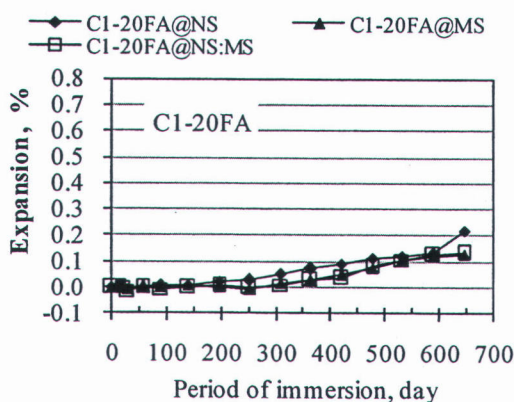


ข) แทนที่ร้อยละ 10

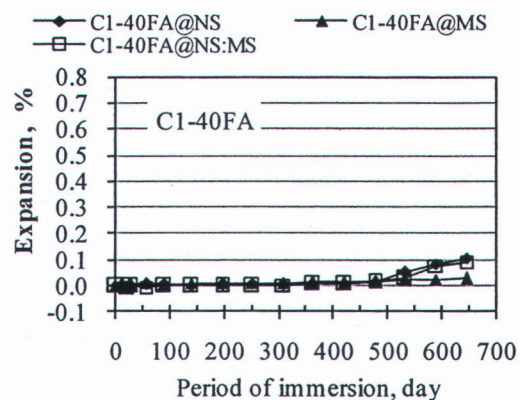
รูปที่ 4.67 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต

- วัสดุประสานร่วมสองชนิด (Binary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ที่ละลายในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

รูปที่ 4.68 และรูปที่ 4.69 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยเถ้าลอย (ร้อยละ 20 และ 40) กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต เพื่อพิจารณาผลกระทบของชนิดสารละลายซัลเฟตต่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่สัมผัสกับสารละลายซัลเฟต พบว่าชนิดของสารละลายซัลเฟตมีผลกระทบต่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างน้อยมาก ทั้งนี้เป็นเพราะการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายซัลเฟตทั้ง 3 ชนิด มีค่าน้อยมาก จึงทำให้การขยายตัวมีค่าไม่ค่อยแตกต่างกัน

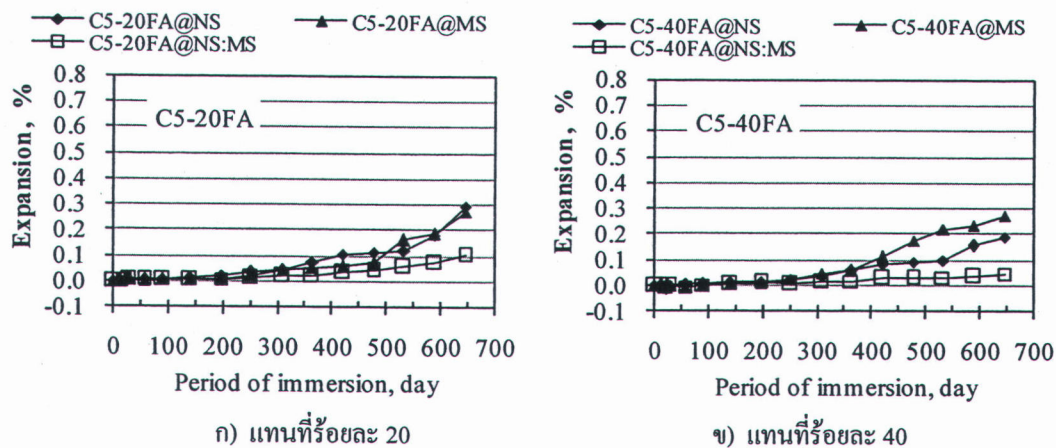


ก) แทนที่ร้อยละ 20



ข) แทนที่ร้อยละ 40

รูปที่ 4.68 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต



รูปที่ 4.69 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต

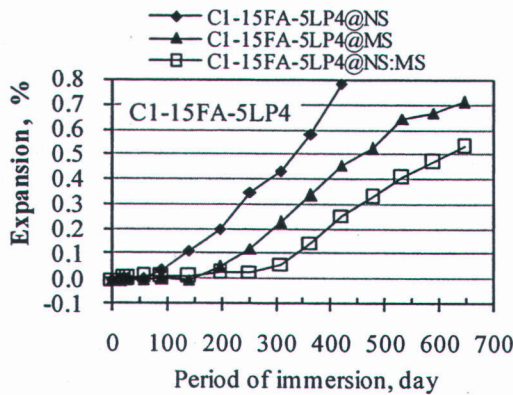
- วัสดุประสานร่วมสามชนิด (Ternary) กรณีเมื่อวัสดุประสานมีการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

รูปที่ 4.70 ถึงรูปที่ 4.73 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยทั้งฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต เพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาผลกระทบของชนิดสารละลายซัลเฟตต่อการขยายตัวของซีเมนต์ตัวอย่างมอร์ตาร์ที่สัมผัสกับสารละลายซัลเฟต

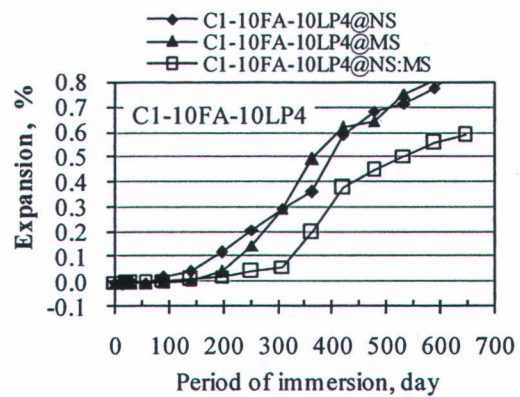
รูปที่ 4.70 แสดงการขยายตัวของซีเมนต์ตัวอย่างมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอย โดยที่สัดส่วนผสมมอร์ตาร์ C1-10FA-5LP3 (รูปที่ 4.70 ก)) การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตมีค่ามากที่สุด ตามไปด้วยในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตและโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต ส่วนสัดส่วนผสม C1-10FA-10LP3 (รูปที่ 4.70 ข)) การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตมีค่าใกล้เคียงกับแมกนีเซียมซัลเฟต โดยที่มากกว่าการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต และสำหรับสัดส่วนผสมมอร์ตาร์ C1-30FA-10LP3 และ C1-25FA-15LP3 (รูปที่ 4.70 ค) และ ง)) พบว่าการขยายตัวของซีเมนต์ตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายซัลเฟตทั้ง 3 ชนิด มีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะการขยายตัวของซีเมนต์ตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายซัลเฟตทั้ง 3 ชนิด มีค่าน้อยมาก นั้นแสดงว่าชนิดของสารละลายซัลเฟตไม่มีผลกระทบต่อการขยายตัวของซีเมนต์ตัวอย่าง

ส่วนรูปที่ 4.71 เป็นการแสดงการขยายตัวของซีเมนต์ตัวอย่างมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรร่วมกับเถ้าลอย ซึ่งพบว่าผลกระทบของชนิดสารละลายซัลเฟตต่อการขยายตัวของซีเมนต์ตัวอย่างมอร์ตาร์ ให้ผลในแนวโน้มเดียวกัน กล่าวคือการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตมีค่ามากกว่าอีก 2 ชนิดสารละลายซัลเฟต ส่วนการขยายตัวของตัวอย่างมีค่าไม่ค

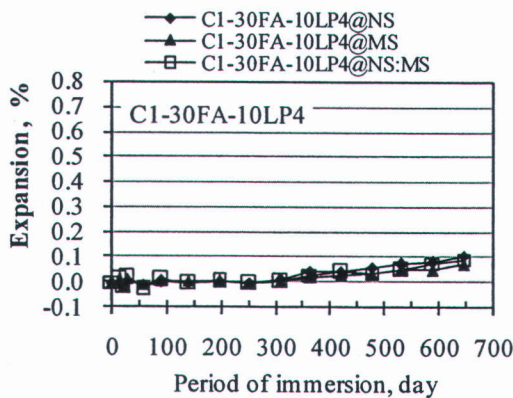
แตกต่างกันระหว่างในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต และโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต และถ้าการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้ารมีค่าค่อนข้างน้อยทั้งใน 3 ชนิดของสารละลายซัลเฟต ทำให้ผลของชนิดสารละลายซัลเฟตยังไม่มีผลชัดเจนต่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์



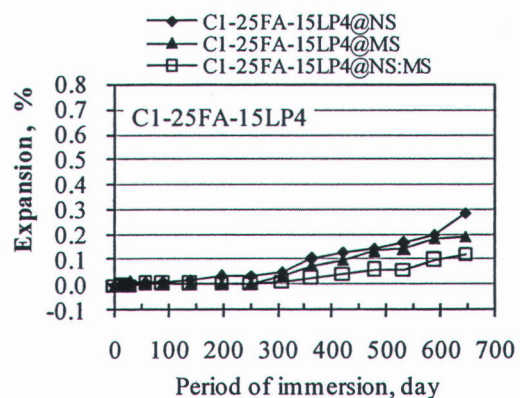
ก) เถ้าลอยร้อยละ 15 ผุ่นหินปูนร้อยละ 5



ข) เถ้าลอยร้อยละ 10 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10

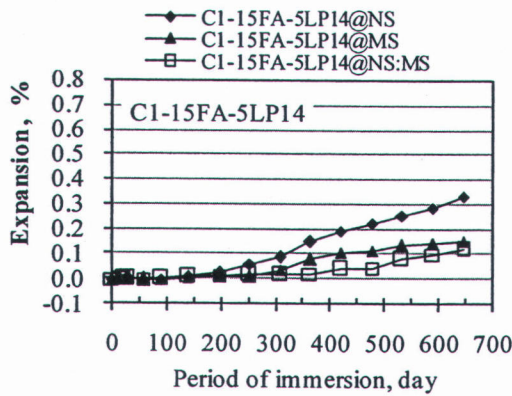


ค) เถ้าลอยร้อยละ 30 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10

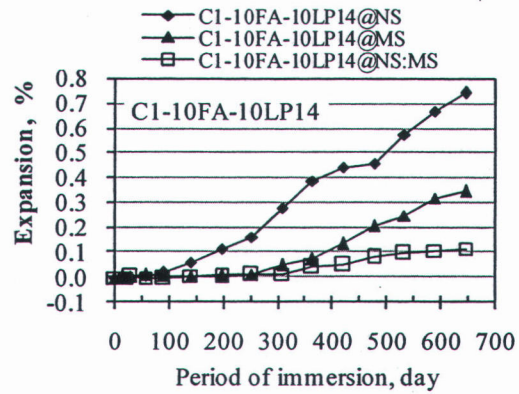


ง) เถ้าลอยร้อยละ 25 ผุ่นหินปูนร้อยละ 15

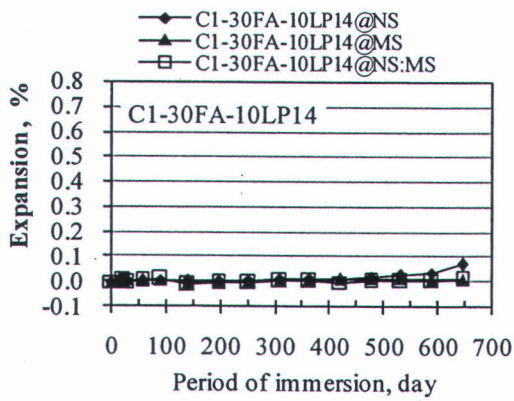
รูปที่ 4.70 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผุ่นหินปูน (ขนาด 4 ไมโครเมตร) ร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต



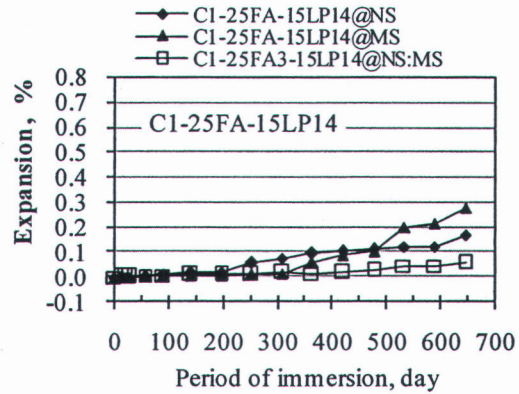
ก) แฉัลอยร้อยละ 15 ฝุ่นห็นปนร้อยละ 5



ข) แฉัลอยร้อยละ 10 ฝุ่นห็นปนร้อยละ 10



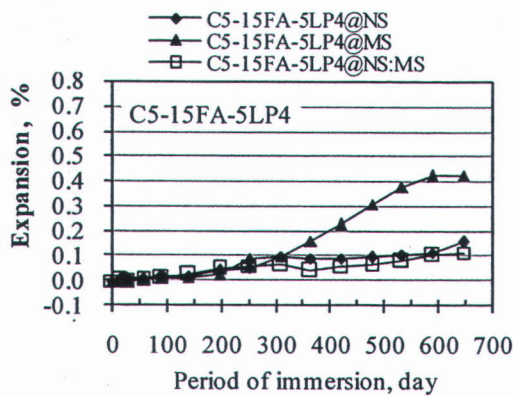
ค) แฉัลอยร้อยละ 30 ฝุ่นห็นปนร้อยละ 10



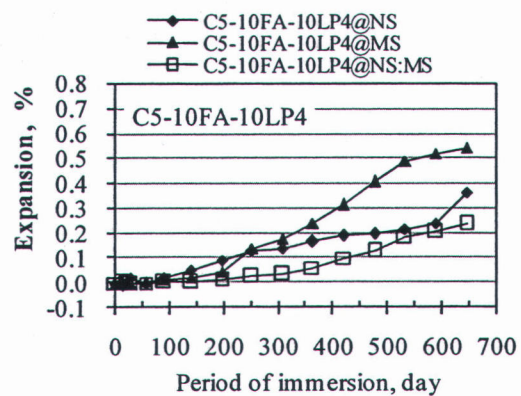
ง) แฉัลอยร้อยละ 25 ฝุ่นห็นปนร้อยละ 15

รูปที่ 4.71 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (ขนาด 14 ไมโครเมตร) ร่วมกับแฉัลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต

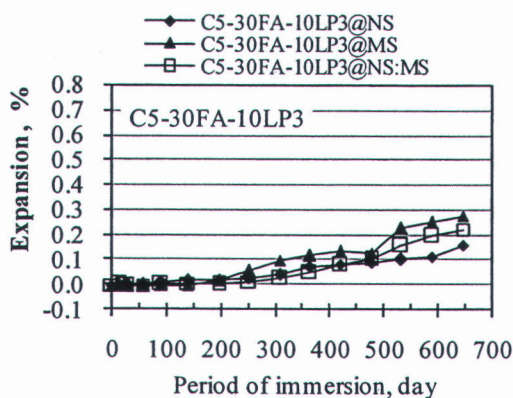
สำหรับผลกระทบของชนิดของสารละลายซัลเฟตต่อการขยายตัวของกรณีชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (ขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ร่วมกับแฉัลอย ได้แสดงดังรูปที่ 4.72 และรูปที่ 4.73 พบว่าแนวโน้มการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมีค่ามากกว่าอีก 2 ชนิดสารละลายซัลเฟต แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากว่าการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ในสารละลายซัลเฟตมีค่าค่อนข้างน้อยแล้ว ทำให้ผลของชนิดสารละลายซัลเฟตยังไม่มีผลชัดเจนต่อการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ เช่นเดียวดังที่กล่าวมาแล้ว



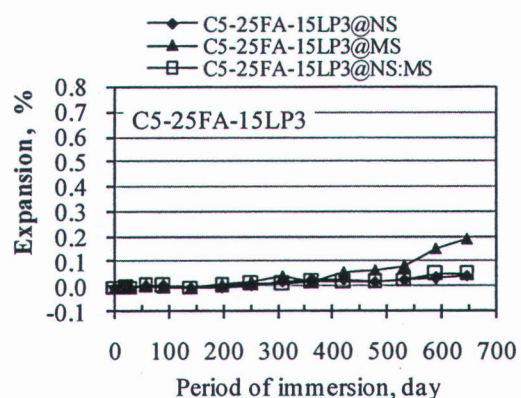
ก) เถ้าลอยร้อยละ 15 ผุ่นหินปูนร้อยละ 5



ข) เถ้าลอยร้อยละ 10 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10

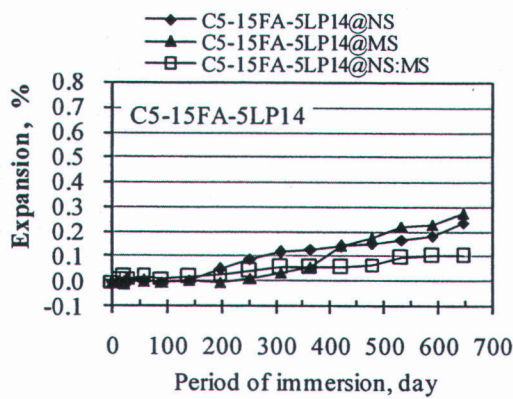


ค) เถ้าลอยร้อยละ 30 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10

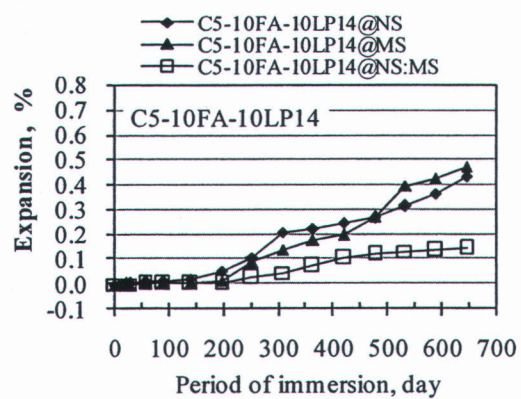


ง) เถ้าลอยร้อยละ 25 ผุ่นหินปูนร้อยละ 15

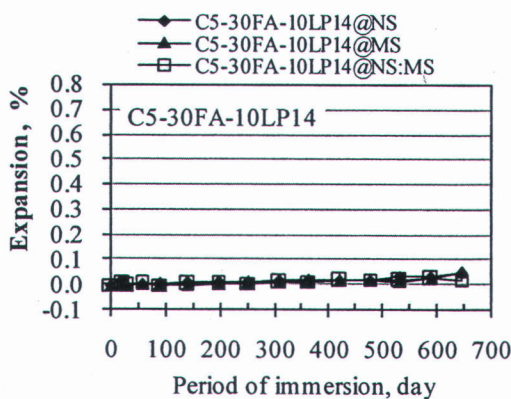
รูปที่ 4.72 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวขึ้นตัวของมอร์ต้ารูปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยผุ่นหินปูน (ขนาด 4 ไมโครเมตร) ร่วมกับเถ้าลอย กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต



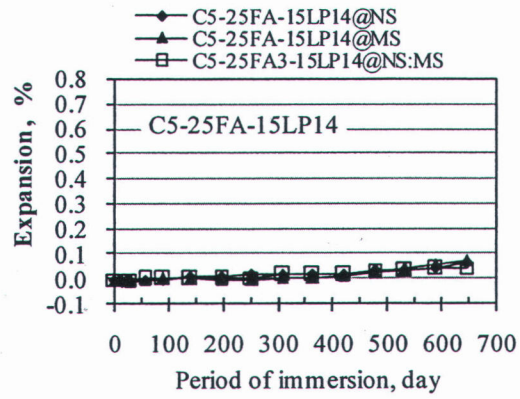
ก) ถั่วลยร้อยละ 15 ผุ่นหินปูนร้อยละ 5



ข) ถั่วลยร้อยละ 10 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10



ค) ถั่วลยร้อยละ 30 ผุ่นหินปูนร้อยละ 10

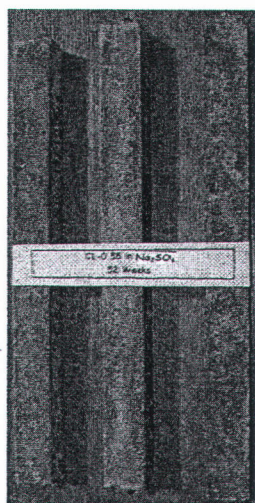


ง) ถั่วลยร้อยละ 25 ผุ่นหินปูนร้อยละ 15

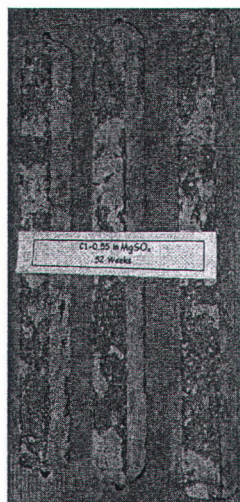
รูปที่ 4.73 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยผุ่นหินปูน (ขนาด 14 ไมโครเมตร) ร่วมกับถั่วลย กับอายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต

ถ้าพิจารณาจากภาพถ่ายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่อายุ 364 วัน (52 สัปดาห์) จากการแช่ในสารละลายซัลเฟต (รูปที่ 4.74) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบลักษณะของการทำลายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ลักษณะการถูกทำลายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์จะแตกต่างกัน กล่าวคือ ชิ้นตัวอย่างในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตจะมีลักษณะที่เสื่อมสภาพของผิวชิ้นตัวอย่าง เนื่องจากกลไกการทำลายจะไปลดความยึดประสานของโครงสร้างของเพสต์ ไม่เหมือนกับกรณีของโซเดียมซัลเฟตซึ่งจะทำให้เกิด Ettringite ในโครงสร้างของเพสต์ผลทำให้เกิดการขยายตัวในชิ้นตัวอย่าง ดังกลไกที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนในกรณีของสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต ในอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนักนั้น จะเห็นได้ว่าลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ถูกทำลายนั้นจะมีลักษณะระหว่างของโซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต แต่แนวโน้มการทำลายนั้นจะไปในลักษณะของกลไกการทำลายของแมกนีเซียมซัลเฟตมากกว่า กล่าวคือในสารละลายที่

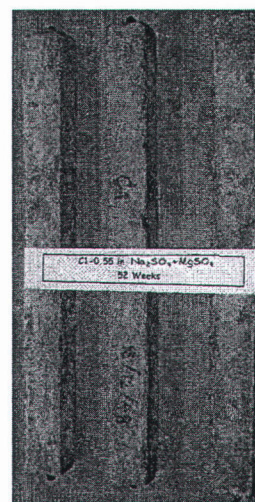
ผลมกัณดั่งกล่าว แมกนีเซียมมีแนวโน้มว่าจะมีสัคยภาพมากกว่า โดยที่ซึ้นตัวอย่างมอรั้ดาร์ไม่มีลักษณะที่จะขยายตัวหรืออง



โซเดียมซัลเฟต

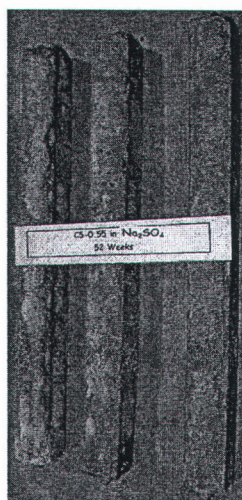


แมกนีเซียมซัลเฟต

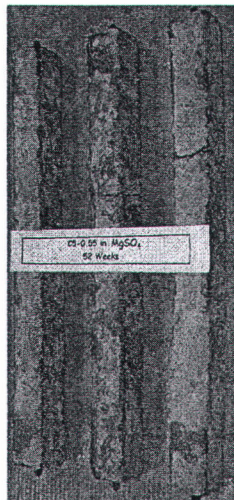


โซเดียมผสมแมกนีเซียมซัลเฟต

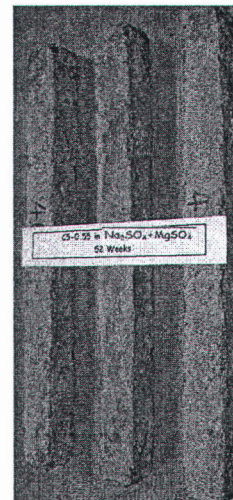
ปูนซีเมนต์ปอรั้ดแลนค์ประเภทที่ 1 ลั้วน (CI)



โซเดียมซัลเฟต



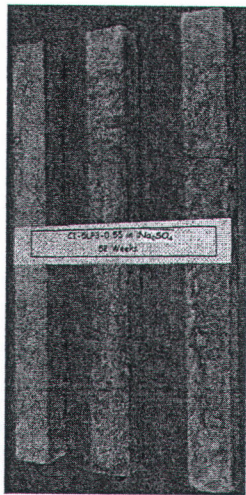
แมกนีเซียมซัลเฟต



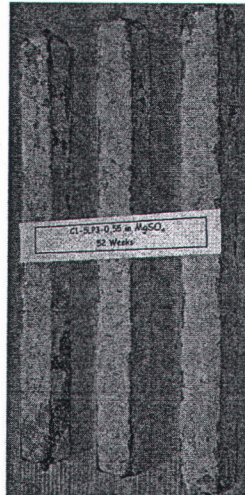
โซเดียมผสมแมกนีเซียมซัลเฟต

ปูนซีเมนต์ปอรั้ดแลนค์ประเภทที่ 5 ลั้วน (C5)

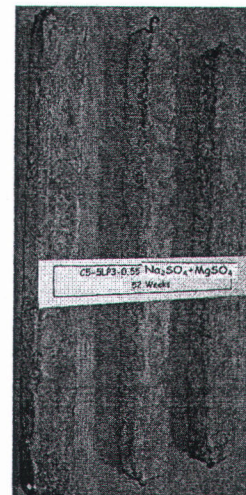
รูปที่ 4.74 ภาพถ่ายซึ้นตัวอย่างมอรั้ดาร์ปูนซีเมนต์ปอรั้ดแลนค์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ลั้วน และซึ้นตัวอย่างมอรั้ดาร์เมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผงหินปูน และเถ้าลอย ในสารละลายซัลเฟตที่อายุ 364 วัน (52 สัปดาห์)



โซเดียมซัลเฟต

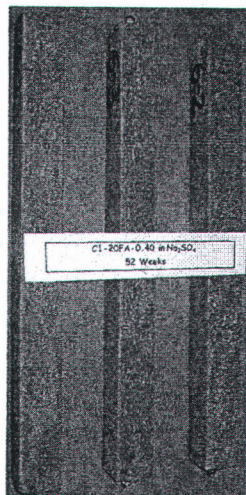


แมกนีเซียมซัลเฟต

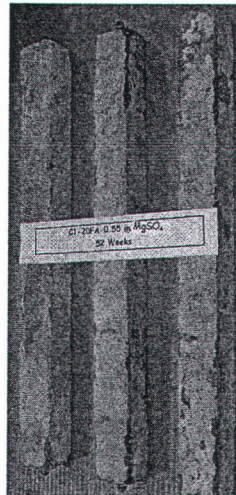


โซเดียมผสมแมกนีเซียมซัลเฟต

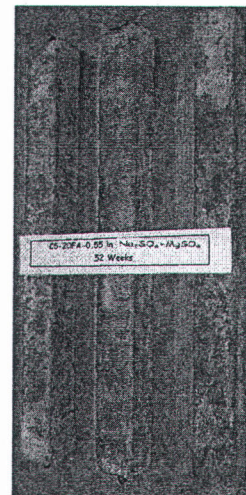
แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน 4 ไมโครเมตรร้อยละ 5 (C1-5LP4)



โซเดียมซัลเฟต



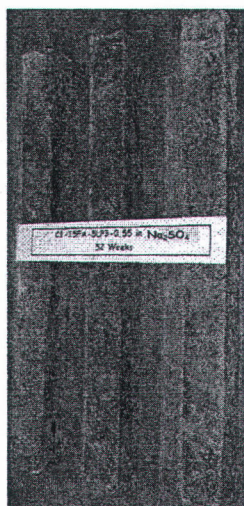
แมกนีเซียมซัลเฟต



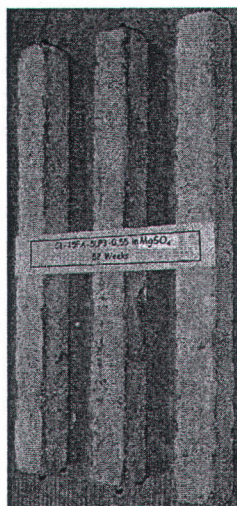
โซเดียมผสมแมกนีเซียมซัลเฟต

แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 (C1-20FA)

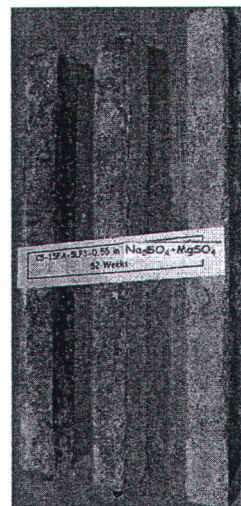
รูปที่ 4.74 (ต่อ)



โซเดียมซัลเฟต

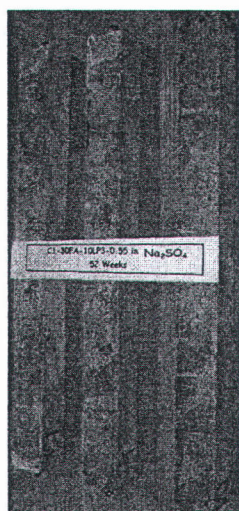


แมกนีเซียมซัลเฟต

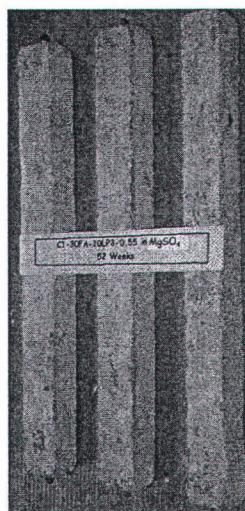


โซเดียมผสมแมกนีเซียมซัลเฟต

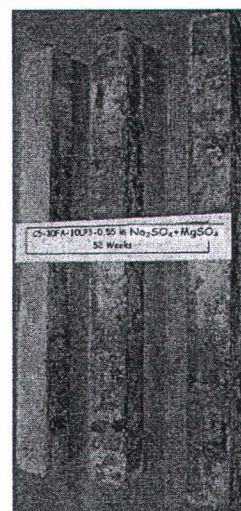
แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 และฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 (CI-15FA-5LP4)



โซเดียมซัลเฟต



แมกนีเซียมซัลเฟต



โซเดียมผสมแมกนีเซียมซัลเฟต

แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 30 และฝุ่นหินปูนร้อยละ 10 (CI-30FA-10LP4)

รูปที่ 4.74 (ต่อ)

4.3 การสูญเสียน้ำหนัก

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงผลการประเมินความต้านทานซัลเฟตโดยการวัดการสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss) ของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ขนาด 5x5x5 ซม. ซึ่งได้พิจารณาถึงผลกระทบที่มีต่อการต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน โดยแสดงผลกระทบของชนิดและปริมาณการแทนที่ของวัสดุประสาน ผลกระทบของความละเอียดของฝุ่นหินปูน และผลกระทบของชนิดของสารละลายซัลเฟตต่อการสูญเสีย น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.1 ผลกระทบจากชนิดและปริมาณการแทนที่ของวัสดุประสานต่อการสูญเสียน้ำหนัก

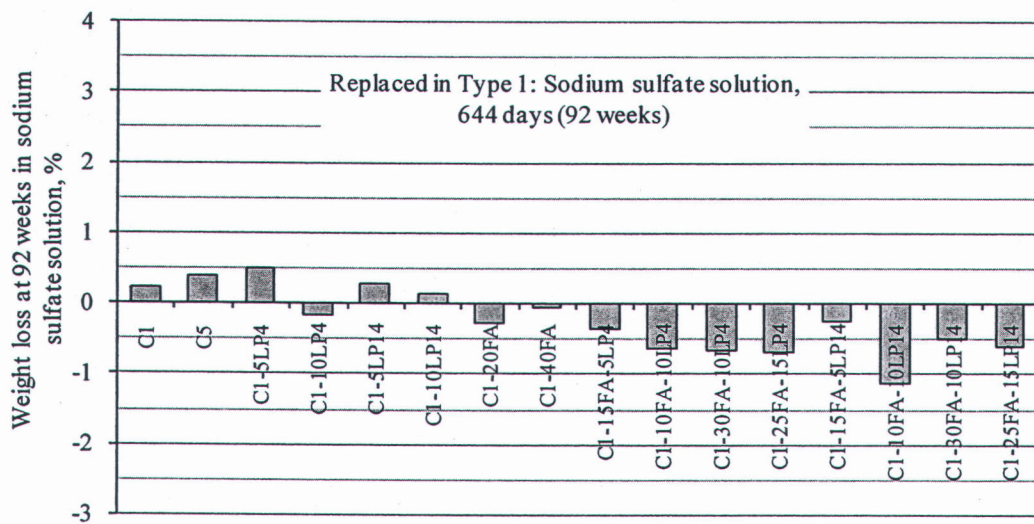
สำหรับชนิดและปริมาณการแทนที่ของวัสดุประสาน ที่ใช้พิจารณาถึงผลกระทบจากชนิดและ ปริมาณการแทนที่ของวัสดุประสานต่อการสูญเสีย น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายซัลเฟตนั้น ใช้เหมือนกับกรณีของการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ฝุ่นหินปูน (ความละเอียดขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) และ เถ้าลอย โดยการแทนที่นั้นใช้เหมือนกรณีของการขยายตัวทุกประการ

1) กรณีแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

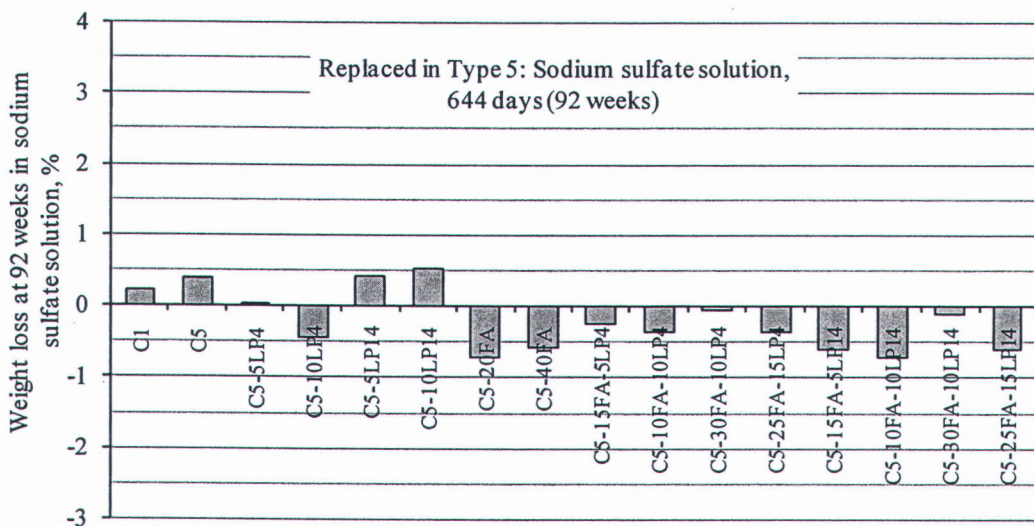
รูปที่ 4.75 และรูปที่ 4.76 แสดงการเปรียบเทียบการการสูญเสีย น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของ การแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 644 วัน

สำหรับกรณีการเปรียบเทียบการสูญเสีย น้ำหนักในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูน และเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับเมื่อเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน (รูปที่ 4.75) พบว่า การสูญเสีย น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์มีค่าไม่แตกต่างกัน หรือก็แตกต่างกัน น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบของตัวอย่างมอร์ตาร์ในแต่ละสัดส่วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าการสูญเสีย น้ำหนัก ของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตนั้นมีค่าน้อย เนื่องจากกลไกการทำลายมิได้เป็นการทำ ให้สูญเสียเนื้อเปสต์ไป จึงทำให้ไม่เห็นข้อแตกต่างของค่าการสูญเสีย น้ำหนัก ส่วนเมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูน และ เถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 บ้าง (รูปที่ 4.76) ก็ให้ผลในทิศทางเดียวกัน

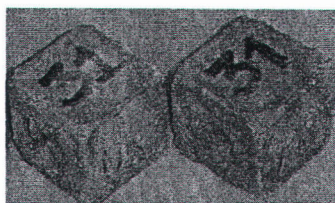
รูปที่ 4.77 แสดงภาพถ่ายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์) ที่แช่ในสารละลาย โซเดียมซัลเฟต ก็ให้ผลสอดคล้องกับการสูญเสีย น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์จากที่กล่าวมาแล้ว (รูปที่ 4.75 และรูปที่ 4.76)



รูปที่ 4.75 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 644 วัน



รูปที่ 4.76 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 644 วัน



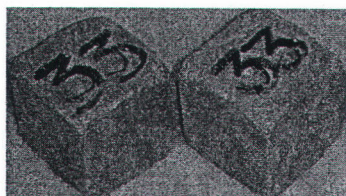
C1



C5



C1-5LP4



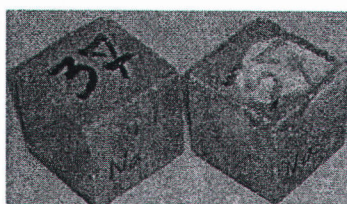
C1-10LP4



C1-10LP14



C1-20FA



C1-40FA



C1-30FA-5LP4



C1-30FA-5LP14

รูปที่ 4.77 ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์)

2) กรณีแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

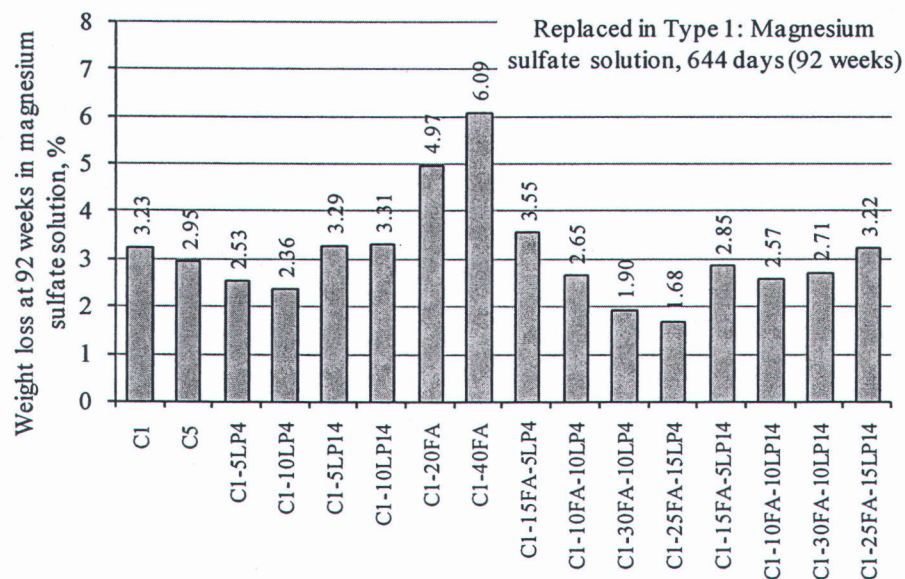
รูปที่ 4.78 และรูปที่ 4.79 แสดงการเปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 644 วัน

สำหรับการเปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูน และเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับเมื่อเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน (รูปที่ 4.78) พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ของการแทนที่ฝุ่นหินปูน (ทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 นั้น มีค่าไม่แตกต่างหรือมีแนวโน้มว่าจะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน (ทั้งประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5) แต่ในกรณีการแทนที่ด้วยเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 นั้น จะเห็นได้ชัดเจนว่า การสูญเสียน้ำหนักของ

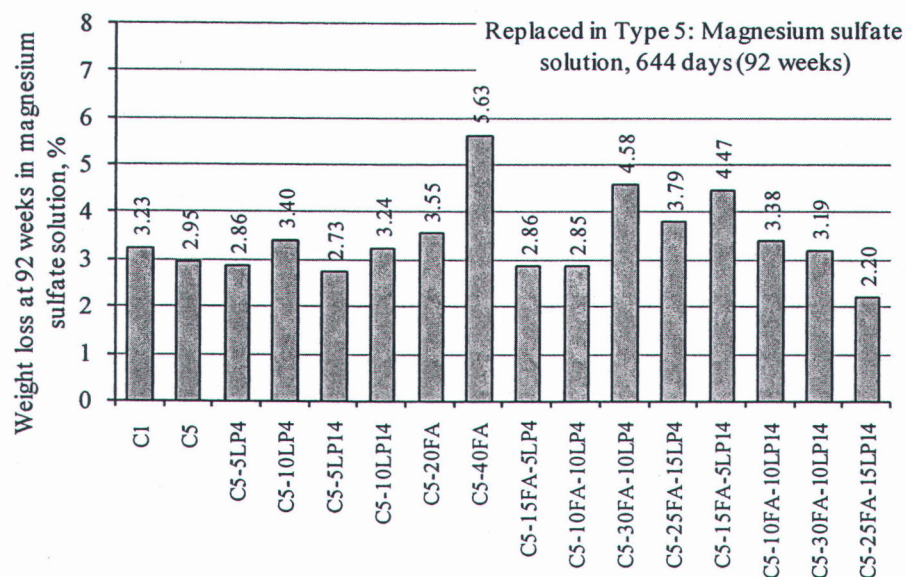
ชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์มากกว่าทั้งของปูนซีเมนต์ล้วนและที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน (ทั้งร้อยละ 5 และร้อยละ 10) แต่เมื่อมีการแทนที่ทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กลับพบว่ามีค่าการสูญเสีย น้ำหนักใกล้เคียงหรือมีแนวโน้มต่ำกว่าของกรณีตัวอย่างปูนซีเมนต์ล้วน

ส่วนเมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 (รูปที่ 4.79) ก็ให้ผลการสูญเสียน้ำหนักในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในทิศทางเดียวกันกับกรณีแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังที่กล่าวมาแล้ว

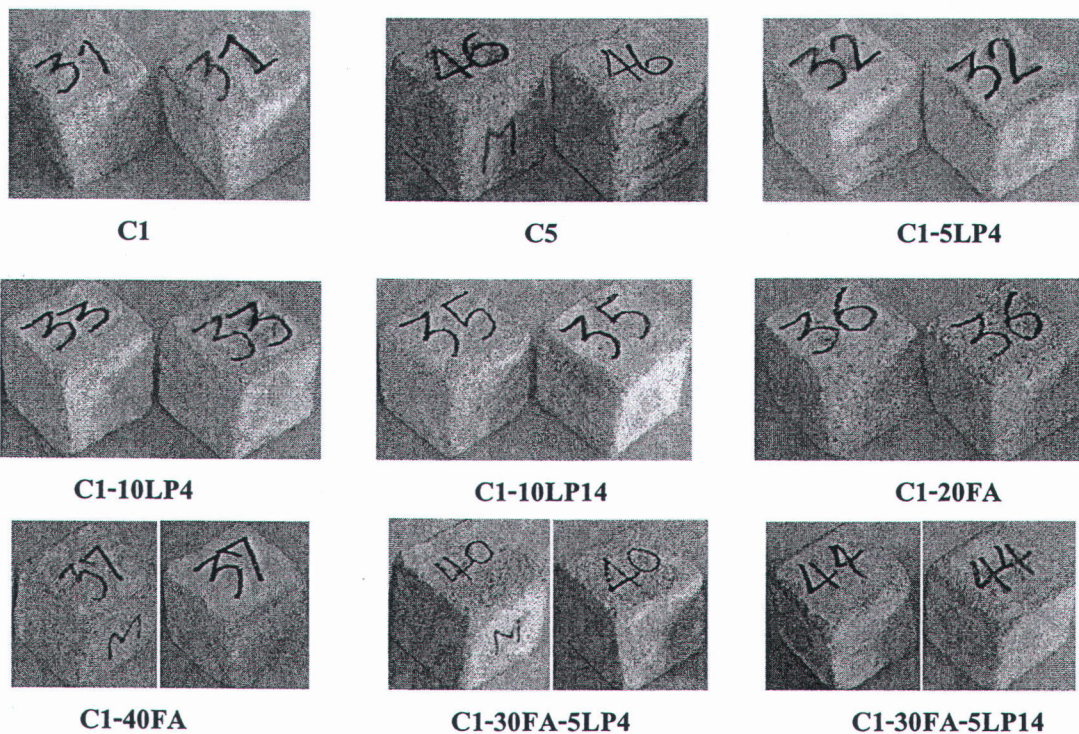
รูปที่ 4.80 แสดงภาพถ่ายของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์) ในการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต พบว่าสอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (รูปที่ 4.78 และรูปที่ 4.79)



รูปที่ 4.78 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 644 วัน



รูปที่ 4.79 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 644 วัน

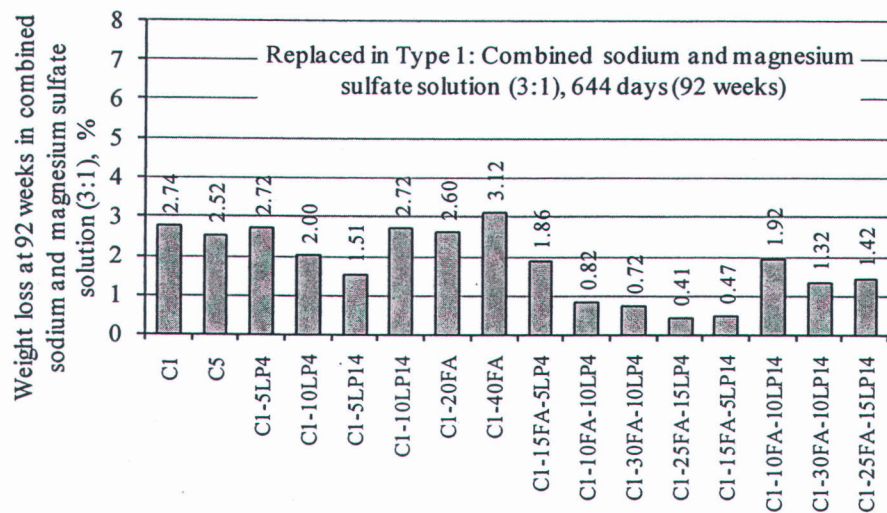


รูปที่ 4.80 ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผงหินปูนและเถ้าลอย ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์)

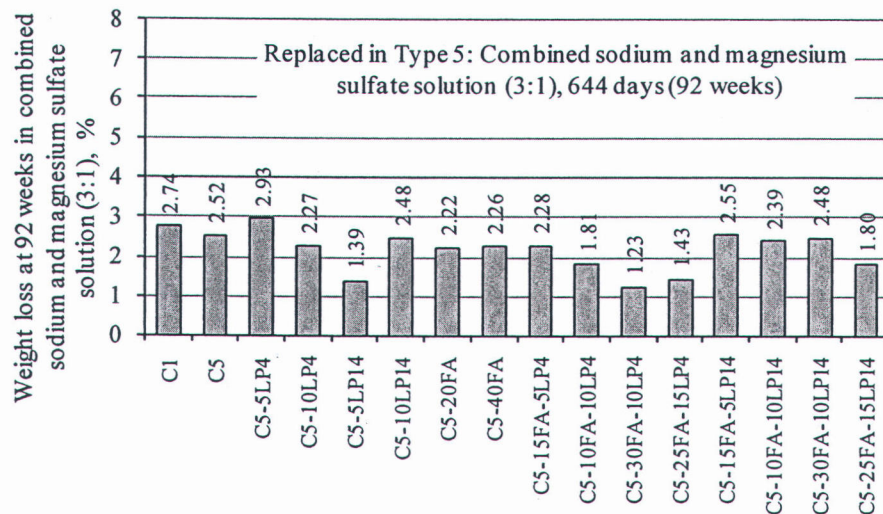
3) กรณีแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1)

รูปที่ 4.81 และรูปที่ 4.82 แสดงการเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยถ้ำลอย และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและถ้ำลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) 644 วัน พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ให้ผลในทิศทางเดียวกันกับกรณีในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต แต่มีข้อสังเกตพบว่าขนาดของการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) จะมีค่าน้อยกว่ากรณีแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ทั้งนี้เพราะในกรณีของสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟตนั้น จะเป็นการผสมระหว่างการขยายตัวและการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง ซึ่งเป็นไปดังกล่าว

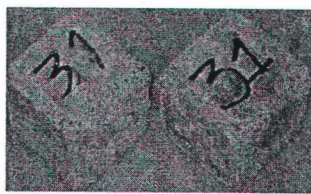
รูปที่ 4.83 แสดงภาพถ่ายของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์) ในการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) พบว่า ให้ผลที่สอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) (รูปที่ 4.81 และรูปที่ 4.82)



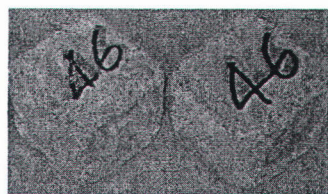
รูปที่ 4.81 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ส่วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) 644 วัน



รูปที่ 4.82 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ส่วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน แทนที่ด้วยเถ้าลอย และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) 644 วัน



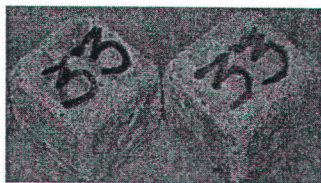
C1



C5



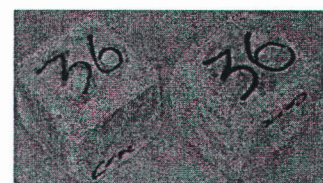
C1-5LP4



C1-10LP4



C1-10LP14



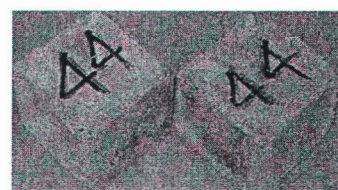
C1-20FA



C1-40FA



C1-30FA-5LP4



C1-30FA-5LP14

รูปที่ 4.83 ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผงหินปูนและเถ้าลอย ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์)

4.3.2 ผลกระทบจากความละเอียดของฝุ่นหินปูนต่อการสูญเสียน้ำหนัก

สำหรับฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้ใช้ฝุ่นหินปูนที่มีความละเอียดเฉลี่ยของอนุภาคนขนาด 4 ไมโครเมตร และขนาด 14 ไมโครเมตร ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยเมื่อพิจารณาถึงผลกระทบจากความละเอียดของฝุ่นหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร และขนาด 14 ไมโครเมตร ต่อการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายซัลเฟตนั้น มีรายละเอียดดังนี้

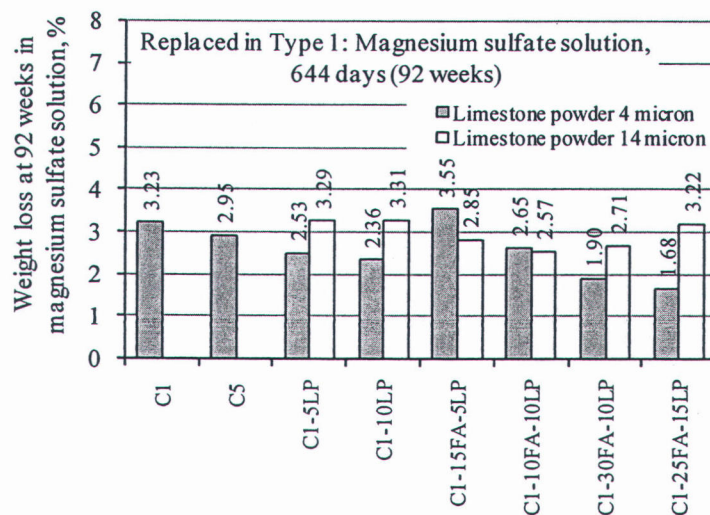
1) กรณีแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

รูปที่ 4.84 และรูปที่ 4.85 แสดงการเปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 644 วัน

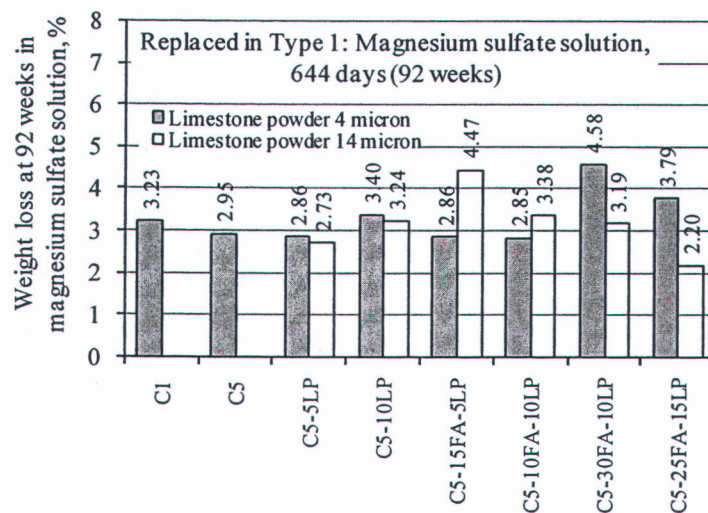
สำหรับกรณีการเปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูน และทั้งเถ้าลอยและฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับเมื่อเป็น

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน (รูปที่ 4.84) พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ เมื่อเปรียบเทียบกับ การแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนความละเอียดขนาด 4 ไมโครเมตร และ 14 ไมโครเมตรนั้น มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในสารละลายโซเดียมซัลเฟตแล้ว นั่นก็แสดงว่าความละเอียดของฝุ่นหินปูน (ระหว่างความละเอียด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ไม่มีผลกระทบต่อ การสูญเสีย น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ส่วนเมื่อแทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 บ้าง (รูปที่ 4.85) ก็ให้ผลในทิศทางเดียวกัน

รูปที่ 4.86 แสดงภาพถ่ายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์) ในการแช่ใน สารละลายโซเดียมซัลเฟต ซึ่งก็ไม่สามารถเห็นถึงข้อแตกต่างจากภาพถ่ายได้ ที่เกิดจากผลของความละเอียด ของฝุ่นหินปูนระหว่าง 4 และ 14 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.84 เปรียบเทียบการการสูญเสีย น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ทั้งฝุ่น หินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 644 วัน



รูปที่ 4.85 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้ารปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 644 วัน



C1-5LP4



C1-10LP4



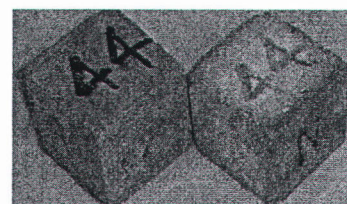
C1-30FA-5LP4



C1-5LP14



C1-10LP14



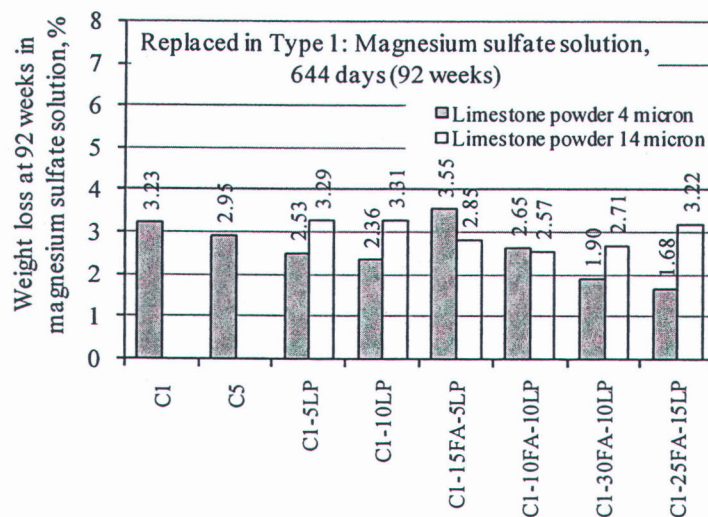
C1-30FA-5LP14

รูปที่ 4.86 ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างมอร์ต้ารปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และชิ้นตัวอย่างมอร์ต้ารเมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผงหินปูนและเถ้าลอย ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์)

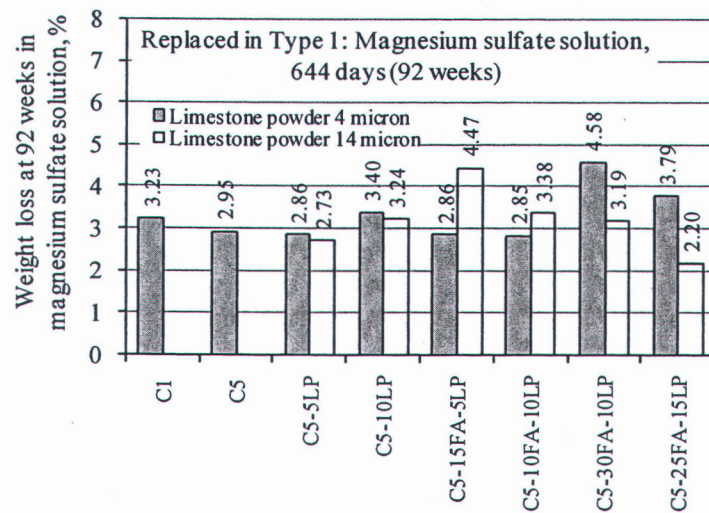
2) กรณีแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

รูปที่ 4.87 และรูปที่ 4.88 แสดงการเปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 644 วัน ซึ่งก็จะให้ผลในทิศทางเดียวกับกรณีในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ถึงแม้ว่าขนาดการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างจะมีขนาดที่มากขึ้นก็ตาม จะเห็นได้ว่าผลของความละเอียดของฝุ่นหินปูน (ระหว่างความละเอียด 3 และ 14 ไมโครเมตร) ต่อการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์แตกต่างกันไม่มาก และสลับกันมากบ้างน้อยบ้างไม่แน่นอน นั่นก็แสดงว่าความละเอียดของฝุ่นหินปูน (ระหว่างความละเอียด 3 และ 14 ไมโครเมตร) ไม่มีผลกระทบต่อการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

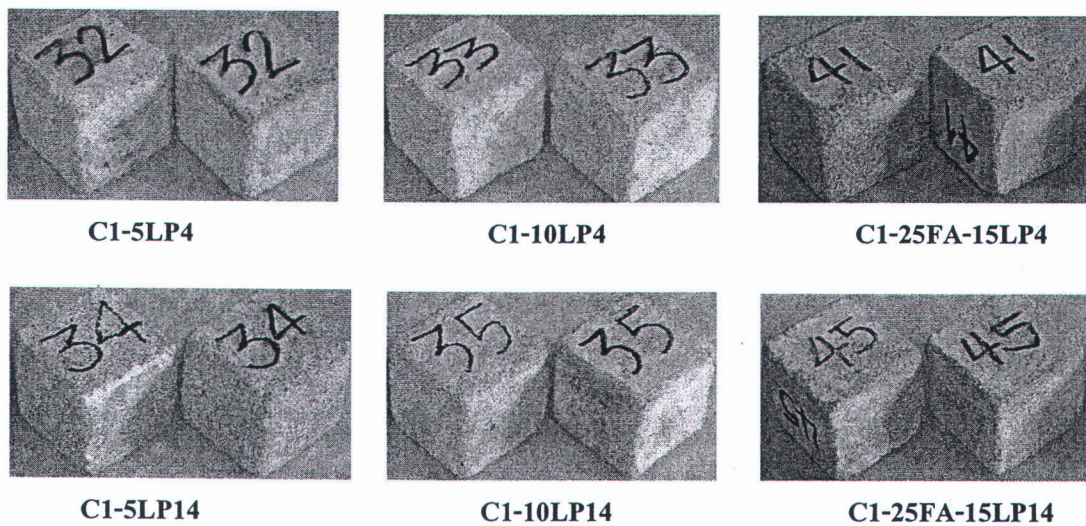
รูปที่ 4.89 แสดงภาพถ่ายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์) ในการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ก็ให้ผลที่สอดคล้องกับกรณีการสูญเสียน้ำหนัก (รูปที่ 4.87 และรูปที่ 4.88)



รูปที่ 4.87 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียม 644 วัน



รูปที่ 4.88 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 644 วัน

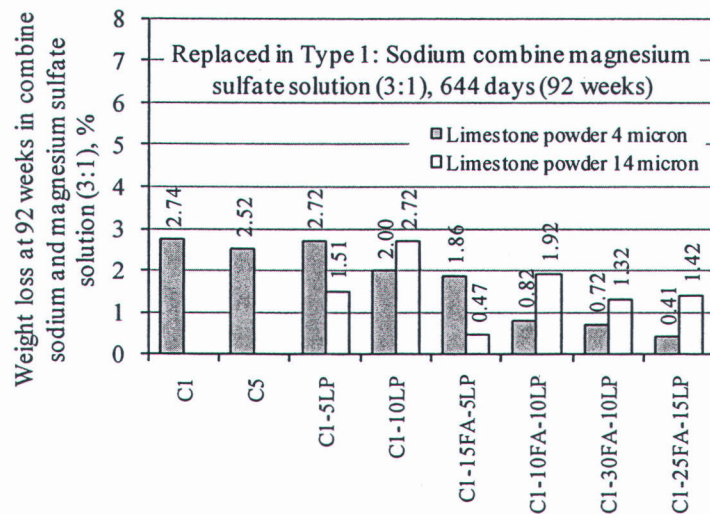


รูปที่ 4.89 ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผงหินปูนและเถ้าลอย ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์)

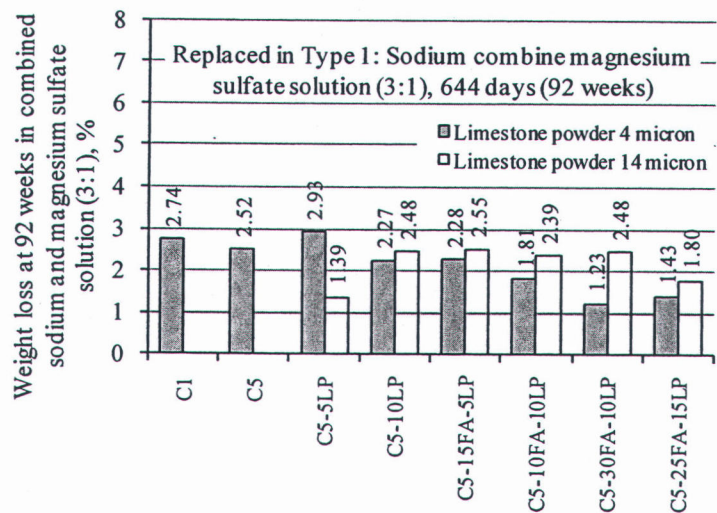
3) กรณีแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1)

รูปที่ 4.90 และรูปที่ 4.91 แสดงการเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และทั้งแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) 644 วัน ผลก็ให้ในทิศทางหรือแนวโน้มเดียวกับกรณีของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ทั้งในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตและสารละลายโซเดียมซัลเฟต กล่าวคือความละเอียดของฝุ่นหินปูน (ระหว่างความละเอียด 3 และ 14 ไมโครเมตร) ไม่มีผลกระทบต่อการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1)

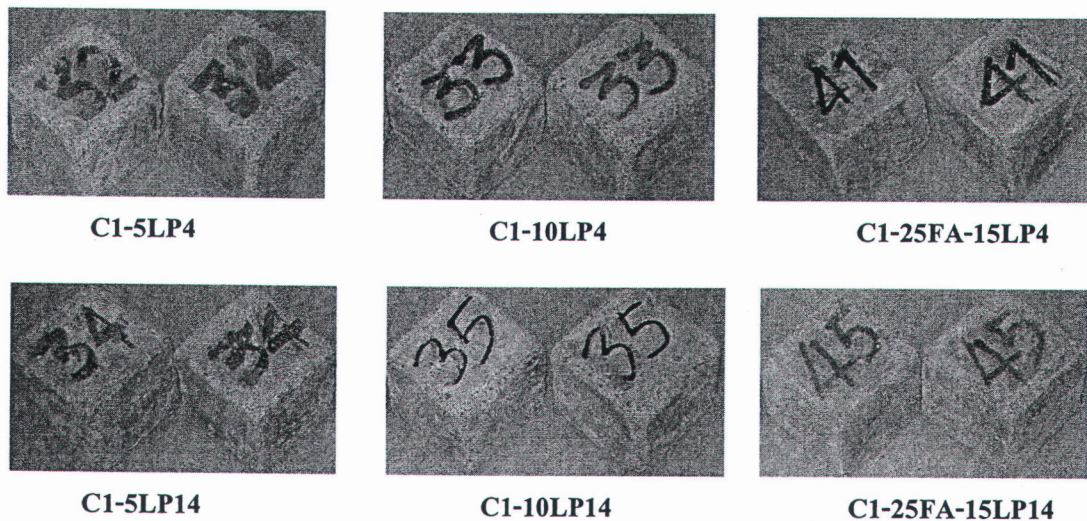
รูปที่ 4.92 แสดงภาพถ่ายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์) ในการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) ก็ให้ผลที่สอดคล้องกับกรณีการสูญเสียน้ำหนัก (รูปที่ 4.90 และรูปที่ 4.91)



รูปที่ 4.90 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) 644 วัน



รูปที่ 4.91 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ต้ารูปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ถ้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และแทนที่ทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) 644 วัน



รูปที่ 4.92 ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างมอร์ต้ารูปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ถ้วน และชิ้นตัวอย่างมอร์ต้าเมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผงหินปูนและเถ้าลอย ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) ที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์)

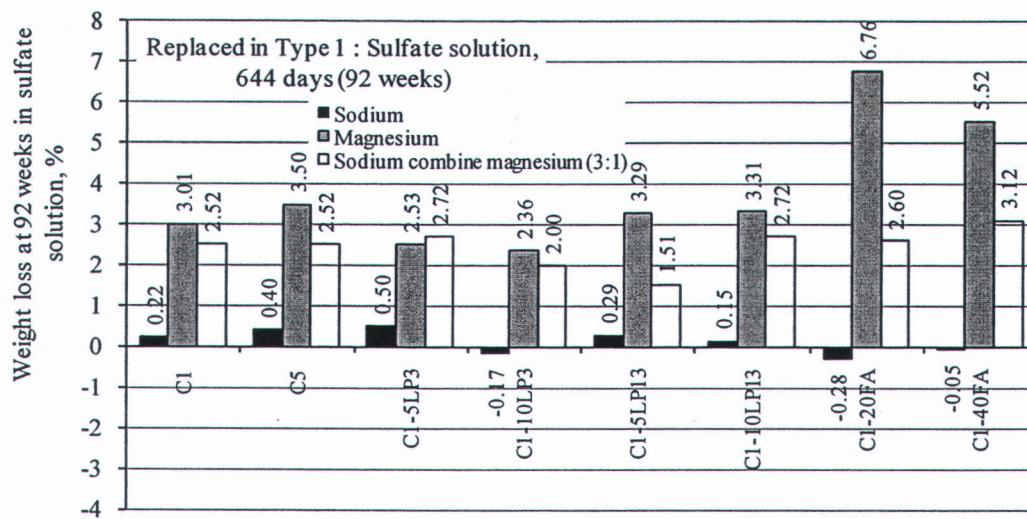
4.3.3 ผลกระทบจากชนิดของสารละลายซัลเฟตต่อการสูญเสียน้ำหนัก

ในการประเมินความต้านทานซัลเฟตโดยวัดการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์นั้น ได้พิจารณาถึงผลกระทบของชนิดของสารละลายซัลเฟตทั้ง 3 กรณีสารละลายซัลเฟตที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เช่นเดียวกับการขยายตัวของชิ้นตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดดังนี้

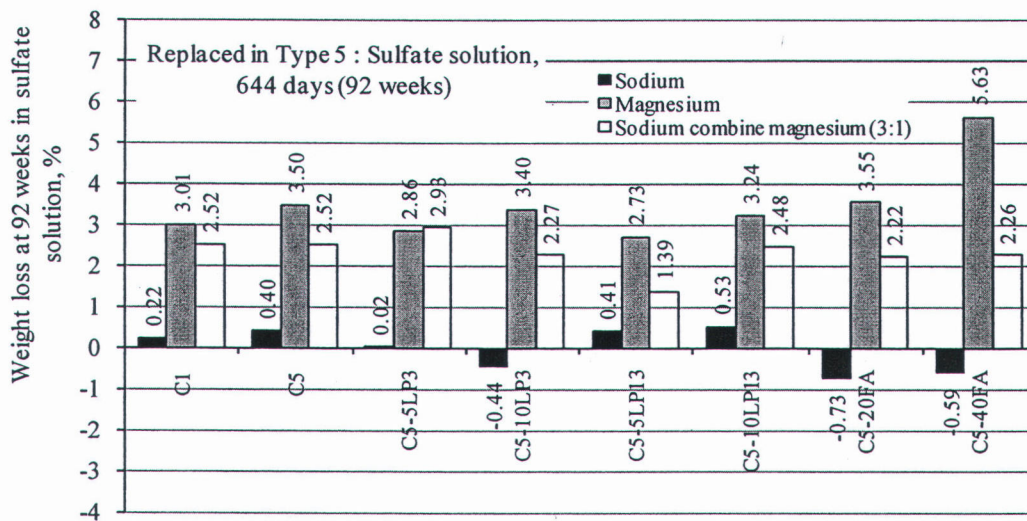
- เมื่อวัสดุประสานแทนที่ฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

รูปที่ 4.93 และรูปที่ 4.94 แสดงการเปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต 644 วัน ซึ่งจากพิจารณาผลกระทบของชนิดสารละลายซัลเฟตต่อการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตนั้น จะมีแนวโน้มให้ค่ามากที่สุด ถัดมาเป็นกรณีในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) ส่วนชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตนั้น ค่อยข้างน้อยมากหรือบางสัดส่วนผสมมอร์ตาร์กลับมีน้ำหนักเพิ่ม ทั้งนี้เป็นเพราะการถูกทำลายชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตจะมีลักษณะที่เสื่อมสภาพของผิวชิ้นตัวอย่าง เนื่องจากกลไกการทำลายจะไปลดความยึดประสานของโครงสร้างของเพสต์ ไม่เหมือนกับกรณีของโซเดียมซัลเฟตซึ่งจะทำให้เกิด Ettringite ในโครงสร้างของเพสต์ผลทำให้เกิดการขยายตัวในชิ้นตัวอย่าง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนในกรณีของสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต ในอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนักนั้น จะเห็นได้ว่าชิ้นตัวอย่างที่ถูกทำลายนั้นจะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักอยู่ระหว่างของโซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต แต่แนวโน้มการทำลายนั้นจะไปในลักษณะของกลไกการทำลายของแมกนีเซียมซัลเฟตมากกว่า กล่าวคือในสารละลายที่ผสมกันดังกล่าว แมกนีเซียมมีแนวโน้มว่าจะมีศักยภาพการทำลายมากกว่า

ถ้าพิจารณาจากภาพถ่ายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่อายุ 364 วัน (52 สัปดาห์) จากการแช่ในสารละลายซัลเฟต (รูปที่ 4.95) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบลักษณะของการทำลายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ลักษณะการถูกทำลายของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์จะไปในทิศทางเดียวกับการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ (รูปที่ 4.93 และรูปที่ 4.94) ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.93 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต 644 วัน



รูปที่ 4.94 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต 644 วัน



Sodium



Magnesium

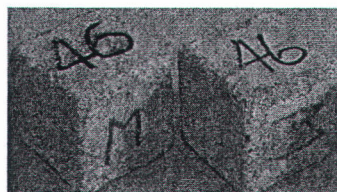


Sodium : magnesium (3:1)

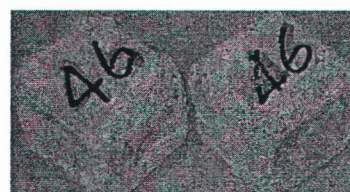
C1



Sodium



Magnesium



Sodium : magnesium (3:1)

C5



Sodium



Magnesium

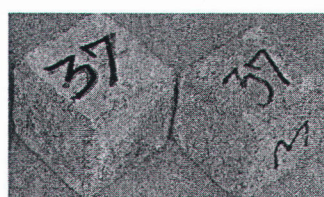


Sodium : magnesium (3:1)

C1-5LP3



Sodium



Magnesium



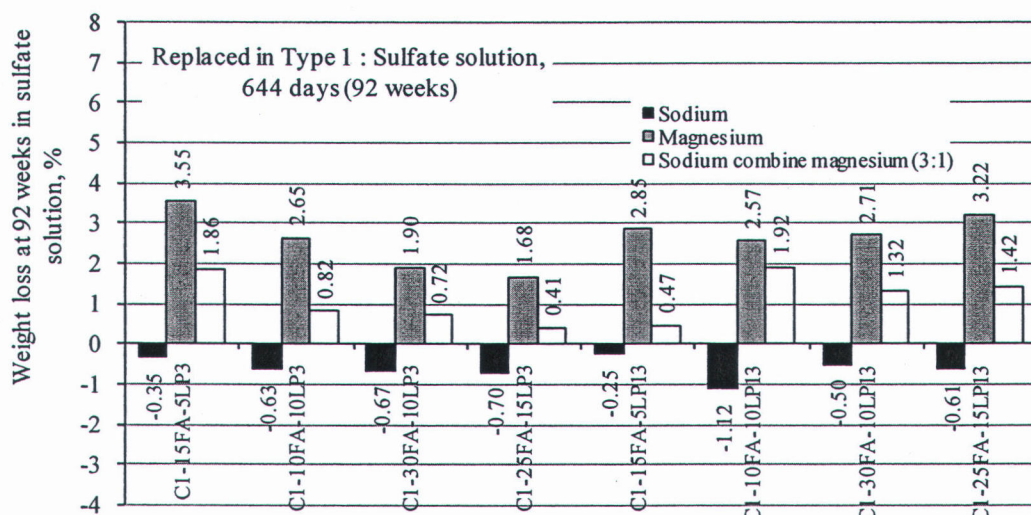
Sodium : magnesium (3:1)

C1-40FA

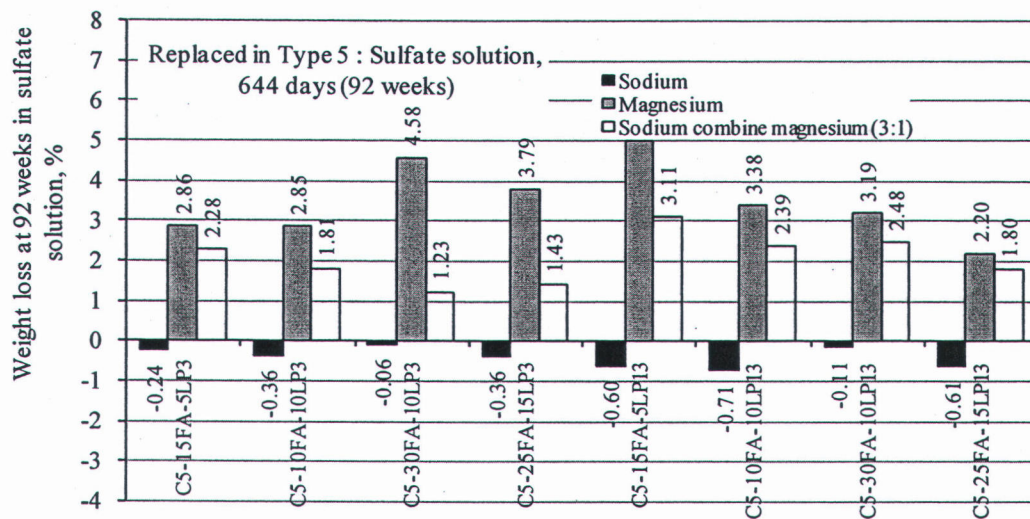
รูปที่ 4.95 ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยผงหินปูนและเถ้าลอย ในสารละลายซัลเฟตที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์)

- เมื่อวัสดุประสานแทนที่ทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

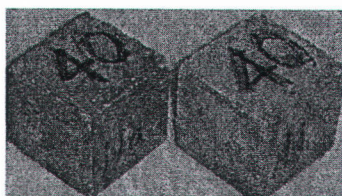
สำหรับรูปที่ 4.96 ถึงรูปที่ 4.98 เป็นการแสดงถึงผลกระทบของชนิดสารละลายซัลเฟตที่มีต่อการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย ซึ่งก็ให้ผลในทิศทางเดียวกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน และการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูน และเถ้าลอย ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 (รูปที่ 4.93 ถึงรูปที่ 4.95) กล่าวคือ การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมีมากที่สุด ถัดมาเป็นในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟต (3:1) และในสารละลายโซเดียมซัลเฟตจะมีค่าน้อยที่สุด



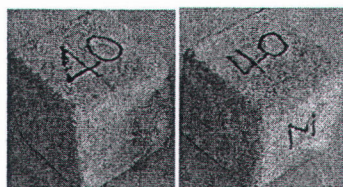
รูปที่ 4.96 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่แทนที่ด้วยทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต 644 วัน



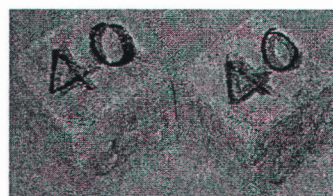
รูปที่ 4.97 เปรียบเทียบการการสูญเสียน้ำหนักของชั้นตัวอย่างมอร์ต้ารปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ถ้วน และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่แทนที่ด้วยทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย เมื่ออายุของการแช่ในสารละลายซัลเฟต 644 วัน



Sodium



Magnesium

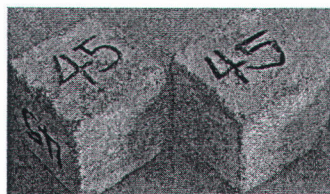


Sodium : magnesium (3:1)

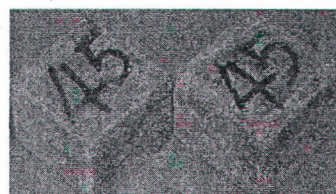
C1-30FA-10LP3



Sodium



Magnesium



Sodium : magnesium (3:1)

C1-25FA-15LP3



Sodium

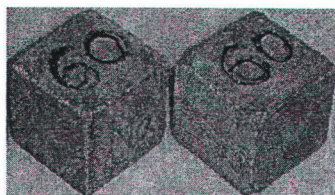


Magnesium

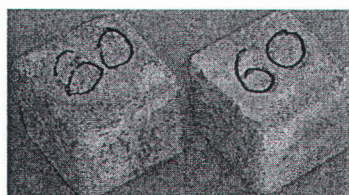


Sodium : magnesium (3:1)

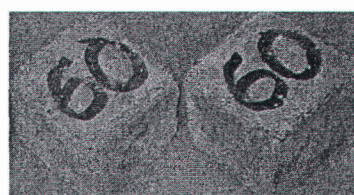
C5-30FA-10LP3



Sodium



Magnesium



Sodium : magnesium (3:1)

C5-25FA-15LP3

รูปที่ 4.98 ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 แทนที่ด้วยทั้งฝุ่นหินปูนและเถ้าลอย ในสารละลายซัลเฟตที่อายุ 476 วัน (68 สัปดาห์)