

# 알칼리자극제 및 고로슬래그미분말을 병용한 에폭시수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르의 성질

김완기<sup>1\*</sup>

## Properties of Epoxy-Modified Mortars with Alkali Activators and Ground Granulated Blast Furnace Slag

Wan-Ki Kim<sup>1\*</sup>

**Abstract:** The purpose of this study is to investigate the properties of hardener-free epoxy-modified mortars(EMMs) using ground granulated blast furnace slag(GGBFS) and alkali activators. The hardener-free EMMs with a GGBFS content of 20% using 4 types of alkali activators were prepared with various polymer-binder ratios, and tested for strengths, water absorption, carbonation depth, chloride ion and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> penetration depth. The conclusions obtained from the test results are summarized as follows: The compressive strength of the EMMs with a GGBFS content of 20% attains a maximum at a polymer-binder ratio of 10%. The flexural strength of the hardener-free EMMs using Ca(OH)<sub>2</sub> as a alkali activator is improved with increasing polymer-binder ratios. However, the flexural strength of the EMMs using NaCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> is gradually decreased with increasing polymer-binder ratios. Regardless of the type of alkali activator, the water absorption, chloride ion penetration and carbonation depth are remarkably decreased with increasing polymer-binder ratios due to the epoxy film formed in the EMMs. The H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> penetration depth of the hardener-free EMMs with a GGBFS content of 20% is gradually increased with increasing polymer-binder ratio. In this study, the properties of hardener-free EMMs using Ca(OH)<sub>2</sub> as a alkali activator are more excellent than those of other alkali activators.

**Keywords:** Ground granulated blast furnace slag, Alkali activator, Epoxy-modified mortar(EMM), Strengths, Degree of hardening, Water absorption, Carbonation

### 1. 서 론

우리나라의 도로, 철도, 항만 등의 사회기반시설은 1960년대부터 구축되기 시작하여 1990년대 중반에 절정기에 이르며, 현재 그 수명은 사회기반시설이 본격화하기 시작한 아래 60년에 달한다. 그리고 통계청의 각 연도 ‘인구 주택 총 조사’에 의하면 1990년대 200만호 주택공급 정책 등 대량 공급 확대 정책을 수행하였으며, 1995년은 76만 5000호로 최고조에 달한다. 2020년은 90년 당시 건설된 주택의 건령이 30년이 되는 해이다. 이와 같이 우리 사회의 기반시설이나 사람들의 안전을 지탱하는 매우 중요한 부분을 차지하는 철근콘크리트 구조물은 내구성이 뛰어나며, 반영구적으로 사용할 수 있다고 여겨져 왔다. 그러나 건설 후에 중성화, 염해, 알칼리골재 반응, 동결융해, 화학적 침식, 용해·용출, 캐비테이션 등의 각

종 성능저하 요인이나 자중, 적재 하중, 지진력, 풍력 등과 같은 과하중에 의해 손상이 발생하여 내구성이 현격히 떨어진다. 특히 그 성능 저하의 4대 요인으로는 중성화, 염해, 알칼리골재반응, 동해를 들 수 있다.

철근콘크리트 구조물의 보수재료에는 열화 인자의 침입을 억제하는 시멘트 혼화용 폴리머를 활용한 폴리머 시멘트 모르타르가 대표적이다(Ohama, 1973). 특히 철근 부식에 대한 대표적인 보수방법으로써 적용되는 단면복구공법, 균열주입 보수 및 외벽 복합 개수 공법은 폴리머 시멘트 모르타르 및 폐이스트 그리고 폴리머 모르타르가 주로 이용된다. 폴리머 시멘트 모르타르는 폴리머 디스퍼전, 재유화형 분말수지, 액상 폴리머와 같은 시멘트 혼화용 폴리머를 시멘트 모르타르에 혼화한 것이며, 경화과정에서는 시멘트의 수화와 폴리머 필름이 동시에 진행되어 폴리머의 망상구조를 포함한 일체화된 매트릭스가 형성되어 조직이 치밀해진다(Ohama, 1973). 이로 인해 강도 발현, 방수성, 내구성이 크게 향상되며(Kim and Hong, 2012), 구체와의 부착성 또한 우수하여 단면 보수용으로 최적 재료이다.

시멘트 혼화용 폴리머로써의 에폭시수지의 시도는 Donnelly

<sup>1</sup>정회원, 협성대학교 건축공학과, 공학박사

\*Corresponding author: archi-chemi@hanmail.net

Department of Architectural Engineering, Hyupsung University, Hwaseong, 18330, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2021년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2021년 4월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

에 의한 특허가 최초의 것이며(Donnelly, 1965), 그 당시 에폭시 수지는 경화제를 함께 사용해야만 경화할 수 있는 것으로 인식되어 왔다. 그러나 폴리머 시멘트비 10 또는 20% 이하에 있어서는 오히려 경화제를 첨가한 것보다 첨가하지 않은 것이 우수한 것으로 나타났다(Jo and Soh, 1996). 일반적으로 모르타르 중의 경화제 무첨가 에폭시수지는 시멘트 수화물과 에폭시 수지의 계면에서 반응하여 폴리머 필름을 형성하지만 에폭시 수지 전체가 경화하지는 않는다(Ohama et al., 1993).

그러나 시멘트의 수화반응에 의한 생성물의 하나인 수산화 칼슘[Ca(OH)<sub>2</sub>] 중의 수산화물이온(OH<sup>-</sup>)의 촉매작용에 의해, 경화제 무첨가 에폭시수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르 중의 미경화 에폭시수지는 지속적으로 경화하여 장기적으로 강도를 개선한다(Lee and Kim, 2012). 또한 경화제 무첨가 에폭시수지는 시멘트 모르타르나 콘크리트에 혼화함으로써 보수 보강재 및 프리캐스트 제품의 성능을 크게 향상시킬 수 있다(Kim and Jo, 2013).

폴리머 시멘트 콘크리트에 고로슬래그를 이용한 연구로 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 전체 공극률은 감소하며, 이와 함께 강도 개선에 기여한다는 연구 보고가 있으며(Ju et al., 2001), 또한 잠재수경성 재료인 고로슬래그를 이용한 시멘트 계 재료의 자기치유는 자기치유물과 함께 이루어진 시멘트 경화체 내에 발생한 미세 균열 부위에서 미반응 고로슬래그 입자의 추가 반응이 이루어져 자기치유 성능을 발휘하는 것으로 제시하고 있다(Huang et al., 2014). 또한 고로슬래그의 자극제로 사용하는 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 첨가는 무첨가 대비 3.7배 정도 자기치유생성물을 형성시키는 것을 보고하고 있다(Lee et al., 2019). 산업부산물의 재활용은 최근 저탄소 정책과 같은 사회적 요구에 부응하며, 본 연구에서의 잠재수경성 재료인 고로슬래그를 활용하기 위해서는 알칼리 자극제의 사용이 필요하다. 이러한 알칼리 자극제의 사용은 시멘트 매트릭스 중의 에폭시수지의 경화도 및 수화율을 향상하는데 그 역할을 담당할 것으로 판단된다.

본 연구는 방사선 폐기물이나 가스저장시설과 같은 고위험 구조물, 프리캐스트 콘크리트, 철근콘크리트구조물 단면 복구재 등에 사용되는 고내구성 폴리머 시멘트계 재료를 개발할 목적으로 고로슬래그 미분말 치환율을 20%로 고정하고, 4종류의 알칼리 활성화제를 이용한 경화제 무첨가 에폭시수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르를 제작하여, 강도 특성, 흡수율, 내황산성, 중성화 및 염화물이온 침투저항성을 검토하고, 에폭시수지 경화도 및 조직구조의 관찰에 의해 그 성능을 파악하는 것이다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

시멘트 혼화용 폴리머로써 비스페놀 A형 에폭시수지를 사용하고, 결합재로써 보통포틀랜드시멘트와 잠재수경성 재료인 고로슬래그미분말을 사용하였다. 고로슬래그미분말 치환율은 물성에 크게 영향을 끼치지 않는 범위인 20%로 고정하여 사용하였다(Jo and Kim, 2020). 알칼리 자극제는 시멘트 매트릭스 중의 에폭시수지의 경화도와 잠재수경성 재료의 수화율에 대한 영향을 검토하기 위해 4종류로 한정하여 선정하였으며, 선정한 알칼리 자극제는 미세 균열부의 자기치유효과가 있는 재료이다(Ahn and Kishi, 2010). 그리고 선행 연구를 토대로 알칼리 자극제의 적정 첨가율은 결합재에 대하여 1%로 하였다.

결합재 대 잔골재는 1 대 3, 결합재에 대한 고로슬래그미분말 치환율 20%, 그리고 결합재에 대한 에폭시수지의 중량백분율, 즉 폴리머 결합재비는 0, 5, 10, 20%로 변화시켜 공시체를 제작하였으며, 제작한 공시체에 대하여 기초적 성질을 파악하고, 에폭시수지의 경화도 및 주사형 전자현미경을 통한 조직구조를 관찰하였다. 알칼리 자극제 및 고로슬래그미분말을 병용한 에폭시수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르(이하, EMM이라 함)의 실험요인 및 수준은 Table 1과 같다.

**Table 1** Experiment factors in this study

	Factor	Level
Binder	Ordinary portland cement (OPC) Ground granulated blast furnace slag (GGBFS)	
Sand	Silica sand (0.04 ~ 0.60mm)	
Alkali activator	NaCO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub> , Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	
Polymer	Bisphenol A-type epoxy resin	
Mix design	Binder : Sand Polymer- binder ratio (P/B, %)	1 : 3 0, 5, 10, 20
	GGBFS replacement for binder(%)	20
	Alkali activator content (%)	1
	Fresh mortar	Flow
Test item	Hardened mortar	Compressive strength, Flexural strength, Water absorption, Cl <sup>-</sup> and H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> penetration depth, Degree of hardening

Notes: Polymer-binder ratio : weight ratio of epoxy resin to binder

## 2.2 사용재료

### 2.2.1 시멘트

본 실험에서는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 규정된 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

### 2.2.2 고로슬래그미분말

본 연구에서 사용된 고로슬래그는 KS F 2563(콘크리트용 고로슬래그미분말)에서의 품질 규정 값을 만족하는 고로슬래그미분말(GGBFS) 3종이며, 그 특성은 Table 2와 같다.

**Table 2** Properties of ground granulated blast furnace slag

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine's specific surface (cm <sup>2</sup> /g)	Percent flow (%)	Activity index (%, 28d)
2.93	4,250	100	105

### 2.2.3 알칼리 자극제

알칼리 자극제로는 탄산나트륨(NaCO<sub>3</sub>), 황산나트륨(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>) 및 탄산리튬(Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)을 사용하였다.

### 2.2.4 잔골재

잔골재로는 주문진산 규사(크기: 0.04~0.6mm)를 사용하였다.

### 2.2.5 시멘트 혼화용 폴리머

시멘트 혼화용 폴리머로는 비스페놀 A형 에폭시수지(Diglycidyl Ether of Bisphenol A ; DGEBA)를 사용하였으며, 일반적 특성은 Table 3과 같다.

**Table 3** Properties of bisphenol A-type epoxy resin

Epoxy equivalent	Molecular weight	Hue (Gardner)	Density (20°C, g/cm <sup>3</sup> )	Viscosity (mPa·s, 20°C)
189	380	<1	1.17	13,000

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 공시체 제작

공시체의 제작은 KS F 2476(폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 준하여, Table 4에 나타낸 배합의 공시 모르타르를 그 플로 값이 170±5mm의 범위 안에 들어가도록 물시멘트비를 조정하여 비빔을 한 후, 치수 40×40×160mm로 성형하여 2일 습윤양생[20°C, 80%(R.H.)], 5일 수중양생(20°C), 21일 기중양생[20°C, 60%(R.H.)]을 실시하여 공시체로 하였다.

**Table 4** Mix proportions of hardener-free EMMs using GGBFS with 4 types of alkali activators

Type of alkali activator	Binder : Sand	GGBFS replacement for binder (%)	Polymer-binder ratio (%)	Water-binder ratio (%)	Flow (mm)
None			0	64	167
			5	62	169
			10	62	167
			20	62	169
NaCO <sub>3</sub>			0	64	168
			5	62	173
			10	62	171
			20	62	166
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 : 3	20	0	64	171
			5	62	173
			10	62	169
			20	62	168
Ca(OH) <sub>2</sub>			0	64	169
			5	62	168
			10	62	165
			20	62	171
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>			0	64	172
			5	62	170
			10	62	168
			20	62	166

### 2.3.2 강도특성

KS L ISO 679(시멘트의 강도 시험방법)에 준하여 공시체의 압축강도 및 휨강도 시험을 실시하였다.

### 2.3.3 흡수율

흡수율 시험은 KS F 2476(폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 준하여, 28일 동안 양생한 공시체의 최초 중량을 측정하고 20°C의 수중에 침지한 후, 0, 1, 3, 7, 12, 24

$$\text{흡수율}(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

여기서,  $W_0$  : 수중 침지 전의 질량

$W_1$  : 수중 침지 후의 질량

및 48시간 동안의 중량을 측정하여 다음과 같은 식을 이용하여 흡수율을 계산하였다.

### 2.3.4 염화물이온 침투깊이 시험

일본 콘크리트공학협회의 “폴리머 시멘트 모르타르 시험 방법, 폴리머 시멘트 모르타르의 염화물이온 침투깊이 시험 방법(안)”에 준하여, 양생을 마친 공시체를 7일간 염화나트륨 용액(온도: 20°C, 농도: 2.5%) 중에 침지시킨 후 공시체를 2분 할하였다. 그 단면에 0.1% 페놀프탈레인 1% 알코올 용액 및 0.1N 질산은 용액을 분무하여 형광을 발하는 부분을 염화물이온 침투 영역으로 하여 Fig. 1에 나타낸 8개소의 염화물이온 침투 깊이를 측정하였다.

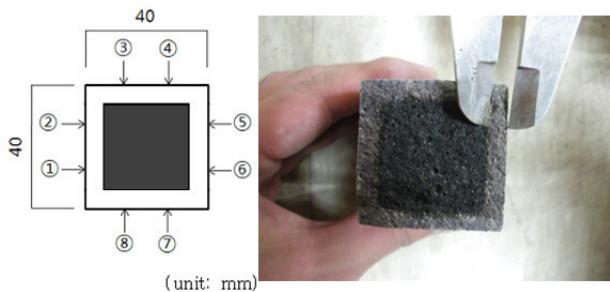


Fig. 1 Crosssection of hardener-free EMMs after Cl- penetration depth test

### 2.3.5 중성화 시험

양생을 마친 공시체를 14일간 촉진 중성화 시험창치(온도: 30°C, 상대습도: 60%, CO<sub>2</sub> 농도: 3.0%) 안에 정지한 후 공시체를 2분 할하였다. 그 단면에 페놀프탈레인 1% 알코올 용액을 분무하여 적색으로 변하지 않은 부분을 중성화 영역으로 하고, Fig. 2에 나타낸 8개소의 중성화 깊이를 측정하였다.

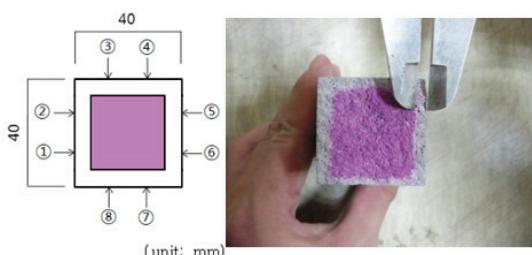


Fig. 2 Crosssection of hardener-free EMMs after carbonation depth test

### 2.3.6 황산침투깊이 시험

양생을 마친 공시체를 28일간 황산수용액(온도: 20°C, 농도: 5%) 중에 침지시킨 후 공시체를 2분 할하였다. 그 단면에 페놀프탈레인 1% 알코올 용액을 분무하여 발색하지 않은 부분의 황산침투 깊이를 측정하였다.

### 2.3.7 경화 에폭시수지의 정량 및 경화도 측정

소정의 양생을 실시한 후 공시체를 분쇄하여 1.2mm의 표준체 시험망에 통과한 5g의 시료를 용량 200ml의 삼각플라스틱에 넣는다. 그리고 30g의 메톡시 프로판올을 이용해 2시간 동안 미경화 에폭시수지를 추출하여 그 추출액을 여과자로 걸러낸다. 여과한 추출액을 스터러를 이용해 온도 100°C에서 2시간 동안 가열하여 메톡시 프로판올을 증발시킨 후, 증발 잔분인 미경화 에폭시수지의 중량을 측정하여 식 (2)와 같이 에폭시수지의 경화도를 산출하였다.

$$\text{Degree of hardening of epoxy resin (\%)} = \frac{Eui - Eue}{Eui} \times 100 \quad (2)$$

여기서,  $Eui$  : 각 시험체의 미경화 에폭시수지의 중량(g)

$Eue$  : 각 시험체에서 추출한 미경화 에폭시수지의 중량(g)

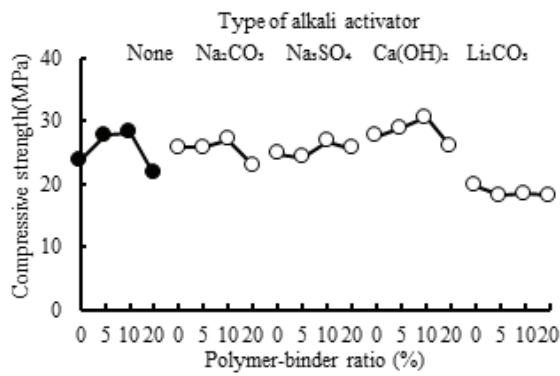
### 2.3.8 전자현미경(FE-SEM)에 의한 조직구조 관찰

에폭시수지 혼입 모르타르의 폴리머 필름의 관찰은 전계방사형 주사전자현미경(Field Emission-Scanning Electron Microscope; FE-SEM)으로 실시하였다. 촬영 면의 표면 전처리는 염산 3% 용액과 불화수소산 용액을 사용하여 시멘트 수화물, 잔골재 입자를 녹여 에폭시수지 필름이 보다 명확히 촬영되도록 실시하였다.

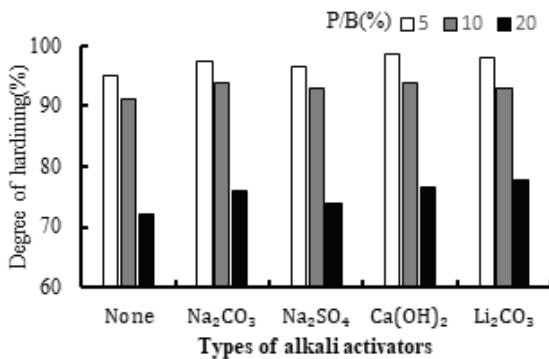
## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 강도특성

Fig. 3은 고로슬래그미분말 치환율을 20%로 고정하고, 폴리머 결합재비 및 알칼리 자극제의 종류를 변화시켜 제작한 경화제 무첨가 에폭시수지 혼입 모르타르(EMM)의 압축강도를 나타낸 것이다. 경화제 무첨가 EMM의 압축강도는 탄산리튬을 제외하면, 알칼리 자극제의 종류에 관계없이 폴리머 결합재비의 증가와 함께 증가하며 폴리머 결합재비 10%에서 최댓값을 나타냈다. 알칼리 자극제의 종류별 압축강도를 비교하면, 수산화칼슘을 이용한 것이 가장 강도발현이 우수하였으며, 황산나트륨과 탄산나트륨 자극제를 첨가한 것은 거의 유사한 경향을 나타냈다. 한편, 탄산리튬을 사용한 것은 폴리머 결합재비에 관계없이 강도발현이 이루어지지 않았다. Fig. 4는 고로슬래그미분말 및 알칼리 자극제를 첨가한 경화제 무첨가 EMM 중의 에폭시수지 경화도를 나타낸 것이다. 알칼리 자극제의 유무에 관계없이, 폴리머 결합재비의 증가와 함께 에폭시수지의 경화도는 감소하는 경향이 뚜렷하였으며, 폴리



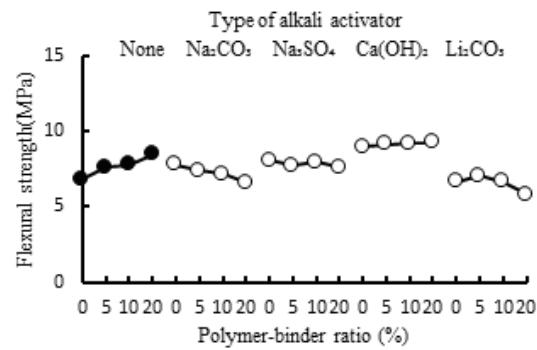
**Fig. 3** Polymer-binder ratio vs. compressive strength of hardener-free EMMs with a GGBFS content of 20%



**Fig. 4** Degree of hardening of EMMs without hardener at a curing period of 28 days

며 결합재비 20%에서는 경화도가 80% 이하로 나타났다. 이러한 미경화 에폭시수지의 증가로 Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 폴리머 결합재비 20%에서는 강도 발현이 늦어지는 것으로 확인되었다. 4종류의 알칼리 자극제 가운데 수산화칼슘을 첨가한 에폭시수지 혼입 EMM의 경화도가 약간 높은 것으로 나타났는데, 이것은 Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 압축강도 발현에 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 고로슬래그미분말 치환율을 20%로 하여 폴리머 결합재비 및 알칼리 자극제의 종류를 변화시켜 제작한 경화제 무첨가 EMM의 휨강도를 나타낸 것이다. 경화제 무첨가 EMM의 휨강도는 압축강도와 마찬가지로 수산화칼슘을 이용한 것이 가장 우수하게 나타났으며, 폴리머 결합재비의 증가와 함께 증가하였으며, 모두 9.0 MPa 이상의 휨강도를 발현하는 것으로 나타났다. 반면에 알칼리 자극제로 탄산나트륨과 황산나트륨을 이용한 것은 폴리머 결합재비의 증가와 함께 감소하는 경향을 나타냈으며, 탄산리튬을 이용한 것은 탄산나트륨을 첨가한 것보다 강도 발현이 떨어지는 것으로 나타났다(Coppola, 2020). 일반적으로 알칼리 자극제를 첨가한



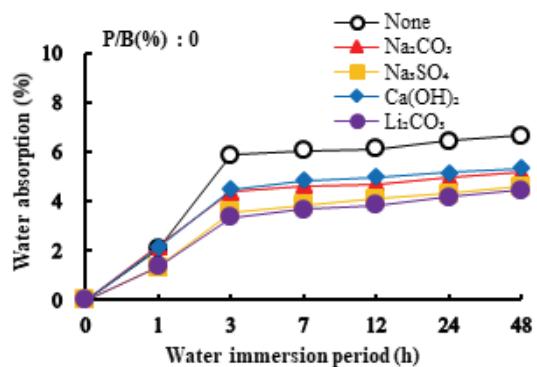
**Fig. 5** Polymer-binder ratio vs. flexural strength of hardener-free EMMs with a GGBFS content of 20%

EMM의 폴리머 혼입에 의한 휨강도 발현 효과는 거의 이루어지지 않았다. 한편, 알칼리 자극제를 첨가하지 않은 에폭시수지 혼입 EMM의 휨강도는 폴리머 결합재비의 증가와 함께 개선되는 것으로 나타났다.

### 3.2 흡수저항성

Fig. 6은 4종류의 알칼리 자극제를 사용한 폴리머 무혼입 시멘트 모르타르의 수중침지시간에 따른 흡수율을 나타낸 것이다. 폴리머 결합재비 및 알칼리 자극제의 종류에 관계없이, 폴리머를 혼입하지 않은 P/B=0%에서는 수중침지시간의 경과와 함께 급격히 증가하였으며 수중침지시간 3시간 경과 후부터는 서서히 증가하는 경향을 나타냈다. 폴리머를 혼입하지 않은 보통 시멘트 모르타르의 48시간에서의 흡수율은 6.7%로 알칼리 자극제를 혼입하지 않은 것보다 높게 나타났다. 폴리머 결합재비 0%에서의 알칼리 자극제를 혼입한 보통 시멘트 모르타르의 48시간에서의 흡수저항성은 탄산리튬>황산나트륨>탄산나트륨>수산화칼슘 순으로 나타났다.

한편 폴리머를 혼입한 폴리머 결합재비 5%, 10% 및 20%에서의 흡수율은 Fig. 7~Fig. 9에 나타낸 바와 같이 수중침지시간의 경과와 함께 서서히 증가하였으며 폴리머 결합재비의



**Fig. 6** Water immersion period vs. water absorption of unmodified mortars at a polymer-binder ratio of 0%

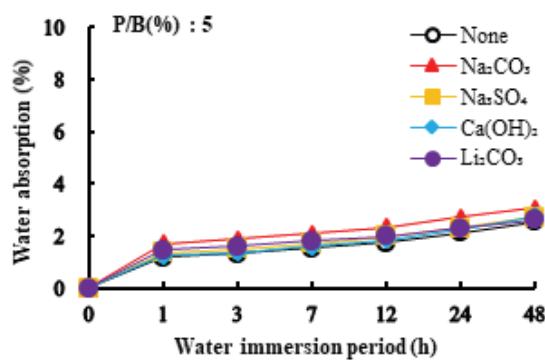


Fig. 7 Water immersion period vs. water absorption of hardener-free EMMs at a polymer-binder ratio of 5%

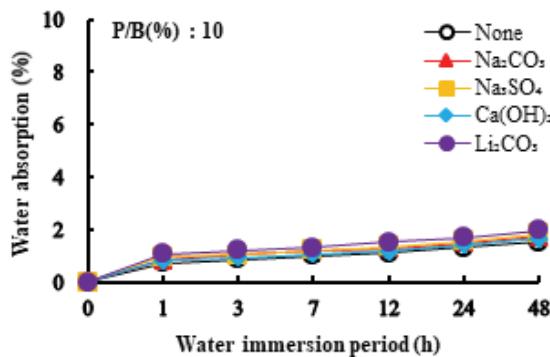


Fig. 8 Water immersion period vs. water absorption of hardener-free EMMs at a polymer-binder ratio of 10%

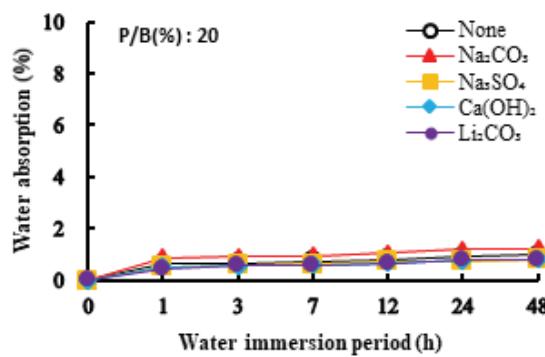


Fig. 9 Water immersion period vs. water absorption of hardener-free EMMs at a polymer-binder ratio of 20%

증가와 함께 현저하게 감소하였다. 폴리머를 혼입한 경화제 무첨가 EMM에서의 흡수율은 알칼리 자극제의 종류에 따른 큰 차이를 나타내지 않았다. 알칼리 자극제의 종류에 관계없이, 경화제 무첨가 EMM의 48시간에서의 흡수율의 범위는 폴리머 결합재비 5%에서 2.6~3.1%이며, 폴리머 결합재비 10%에서는 1.5~2.0% 그리고 폴리머 결합재비 20%에서는 0.8~

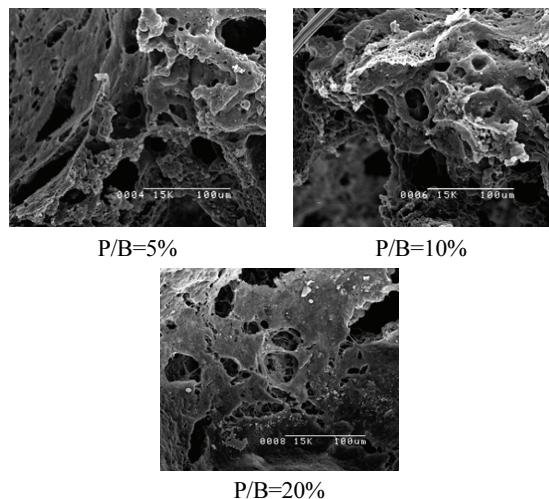


Fig. 10 Microstructures of hardener-free EMMs at a GGBFS content of 20%

1.2%로 매우 우수한 방수성을 나타냈다. 이와 같은 방수성의 큰 개선은 Fig. 10에서 확인할 수 있는 것처럼, 폴리머 결합재비의 증가와 함께 시멘트 매트릭스 내에 형성된 경화 에폭시수지 필름의 형성량의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.3 염화물이온 침투저항성

Fig. 11은 4종류의 알칼리 자극제 및 고로슬래그치환율 20%와 함께 경화제 무첨가 EMM의 7일간 2.5% 염화나트륨 용액 중에 침지시킨 후 폴리머 결합재비에 따른 염화물이온 침투깊이를 나타낸 것이다. 알칼리 자극제의 종류에 관계없이, 경화제 무첨가 EMM의 염화물이온 침투깊이는 폴리머 결합재비의 증가와 함께 감소하는 경향을 나타냈다. 이와 같은 경향은 Fig. 10에 나타난 바와 같이 시멘트 매트릭스 내에 형성된 경화 에폭시수지 필름의 형성이 의한 흡수율의 감소와 관련이 있으며, 에폭시수지의 혼입에 의해 시멘트 모르타르에 우수한 방수성과 염화물이온 침투저항성을 부여할 수 있는 것으로 확인된다. 그리고 그 감소효과는 대체로 알칼리 자

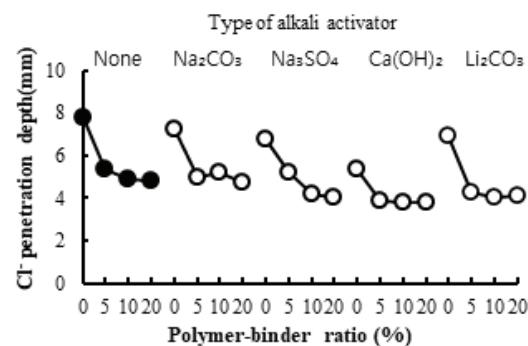


Fig. 11 Polymer-binder ratio vs. Cl<sup>-</sup> penetration depth of hardener-free EMMs with a GGBFS content of 20%

극제를 첨가한 것이 첨가하지 않은 것보다 크게 나타났다. 4종류의 알칼리 자극제 중에서는 수산화칼슘을 첨가한 것이 가장 우수한 염화물이온 침투저항성을 나타냈으며, 그 다음으로 탄산리튬, 황산나트륨, 탄산나트륨 순으로 나타났다. 탄산리튬의 경우, 강도 개선에는 크게 기여하지 않은 반면 (Coppola, 2020) 염화물이온 침투저항성은 우수한 것으로 나타났는데, 이는 경화한 에폭시수지 필름이나 미경화 에폭시수지가 시멘트수화물과 함께 co-matrix를 형성하여 조직이 치밀해지기 때문이라 사료된다.

### 3.4 중성화 저항성

Fig. 12는 4종류의 알칼리 자극제 및 고로슬래그미분말 치환율 20%와 함께 경화제 무첨가 EMM을 14일간 촉진 중성화시험장치[30°C, 60%(RH), CO<sub>2</sub> 농도 3%] 내에 정치한 후에 있어서의 폴리머 결합재비에 따른 중성화깊이를 나타낸 것이다. 경화제 무첨가 EMM의 중성화깊이는 폴리머 결합재비의 증가와 함께 현저히 감소하는 경향을 나타냈으며, 알칼리 자극제의 종류에 관계없이 폴리머 시멘트비 20%에서 폴리머를 첨가하지 않은 시멘트 모르타르(P/B=0%)의 1/3에서 1/5로 크게 감소하였다. 4종류의 알칼리 자극제 중에서는 수산화칼슘을 첨가한 것이 가장 우수한 중성화 저항성을 나타냈다. 이와 같은 중성화 저항성의 큰 개선은 Fig. 10에서 확인할 수 있는 것처럼, 폴리머 결합재비의 증가와 함께 시멘트 매트릭스 내에 형성된 경화 에폭시수지 필름의 형성량의 증가와 아직 경화하지 않은 에폭시수지의 양에 기인한 불투기성의 개선으로 판단된다.

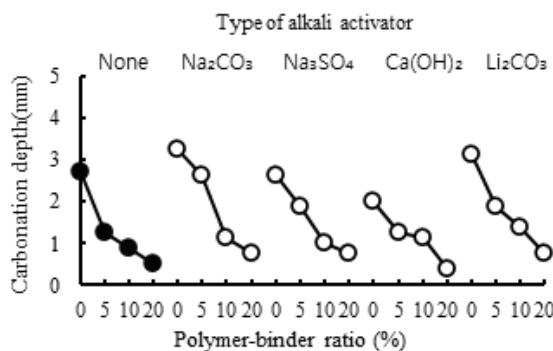


Fig. 12 Polymer-binder ratio vs. carbonation depth of hardener-free EMMs with a GGBFS content of 20%

### 3.5 내황산성

Fig. 13은 4종류의 알칼리 자극제 및 고로슬래그치환율 20%와 함께 경화제 무첨가 EMM을 28일간 5% 황산 용액 중에 침지시킨 후 폴리머 결합재비에 따른 황산 침투깊이를 나타낸 것이다. 알칼리 자극제의 종류에 관계없이, 경화제 무첨

가 EMM의 황산 침투깊이는 폴리머 결합재비의 증가와 함께 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 이러한 현상은 Fig. 4의 경화도에서 알 수 있는 바와 같이, 폴리머 결합재비의 증가에 따른 경화도의 감소, 즉 경화하지 않은 에폭시수지의 증가로 인해 황산에 대한 저항성이 떨어지는 것으로 판단된다. 4종류의 알칼리 자극제 중에서는 큰 변화는 보이지 않지만, 수산화칼슘을 첨가한 것이 그 중 낮은 황산 침투깊이를 나타냈다.

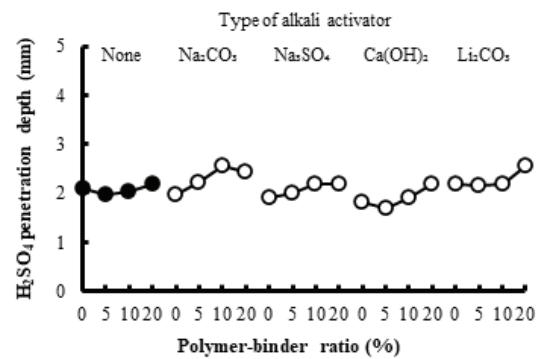


Fig. 13 Polymer-binder ratio vs. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> penetration depth of hardener-free EMMs with a GGBFS content of 20%

## 4. 결론

시멘트 혼화용 폴리머로써 비스페놀 A형 에폭시수지를 사용하고, 4종류의 알칼리 자극제와 고로슬래그미분말을 20% 치환하여 제작한 경화제 무첨가 EMM의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 알칼리 자극제의 종류에 관계없이, 고로슬래그미분말 20%를 사용한 경화제 무첨가 EMM의 압축강도는 폴리머 결합재비 10%에서 최댓값을 나타냈으며, 폴리머 결합재비 20%에서는 에폭시수지의 경화도 감소와 함께 압축강도 또한 감소하는 것으로 나타냈다.
- 2) 경화제 무첨가 EMM의 휨강도는 압축강도와 마찬가지로 수산화칼슘을 첨가한 것이 가장 우수하게 나타났으며, 폴리머 결합재비의 증가와 함께 증가하였으며, 모두 9.0 MPa 이상의 휨강도를 발현하였다.
- 3) 알칼리 자극제의 종류에 관계없이, 경화제 무첨가 EMM의 48시간에서의 흡수율의 범위는 폴리머 결합재비 5%에서 2.6~3.1%이며, 폴리머 결합재비 10%에서는 1.5~2.0% 그리고 폴리머 결합재비 20%에서는 0.8~1.2%로 매우 우수한 방수성을 나타냈다.
- 4) 경화제 무첨가 EMM의 중성화 및 염화물이온침투저항성은 폴리머 결합재비의 증가와 함께 현저히 감소하는 경향을 나타냈으며, 특히, 알칼리 자극제로 수산화칼슘

- 을 첨가한 모르타르가 가장 우수한 것으로 나타났다.
- 5) 알칼리 자극제의 종류에 관계없이, 경화제 무첨가 EMM의 황산 침투깊이는 폴리머 결합재비의 증가와 함께 증가하였는데, 이것은 폴리머 결합재비의 증가에 따른 에폭시수지의 미경화 에폭시수지의 증가로 인해 내황산성이 떨어진 것으로 사료된다.
- 6) 알칼리 자극제 종류에 따른 검토 결과 수산화칼슘을 첨가한 경화제 무첨가 EMM의 물성 및 내구성이 가장 우수한 것으로 확인되었다.

## 감사의 글

이 연구는 2019년도 협성대학교 교내연구비 지원에 의한 연구임(2019-0015).

## References

1. Ohama, Y.(1973), Study on properties and mix proportioning of polymer-modified mortars for buildings(in Japanese), *Report of the Building Research Institute*, 65, 102-104.
2. Kim, W. K., and Hong, S. H.(2012), Corrosion-inhibition and durability of polymer-modified mortars using redispersible polymer powder with nitrite-type hydrocalumite, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 12(3), 275-282.
3. Donnelly, J. H.(1965), Inorganic cement-epoxy resin composition containing animal glue, U.S. Patent, 3, 198, 758.
4. Ohama, Y., Demura, K., and Endo, T.(1993), Properties of polymer-modified mortars using epoxy resin without hardener, *Polymer-Modified Hydraulic-Cement Mixtures*, STP 1176, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 90-103.
5. Lee, J.H, and Kim, W. K.(2012), Long-term strength improvement of epoxy-modified mortars with steam curing, *Proceedings of the Korea Institute of Building Construction*, 12(1), 263-264.
6. Jo, Y. K., Ohama, Y., and Demura, K.(1994), Strengths, adhesion and chemical resistance of epoxy-modified mortars without hardener, *Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete*, Kangwon National University, Korea, 81-90.
7. Kim, W. K., and Jo, Y. K.(2013), Investigation of optimal curing condition of PMM using epoxy resin precast products, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, AIK, 29(3), 73-80.
8. Ju, M. K., Ohama, Y., and Demura, K.(2001), Strength properties of combined wet/dry-cured SBR-modified concretes using ground granulated blast-furnace slag, *Concrete Research and Technology*, 12(1), 55-61.
9. Huang, H., Ye, G., and Damidot, D.(2014), Effect of blast furnace slag on self-healing of microcracks in cementitious materials, *Cement and Concrete Research*, 60, 68-82.
10. Lee, S. H., Kim, H. J., Lim, Y. J., Kim, D. H., and Park, B. S.(2019), Effect of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on autogenous healing in initial cracking of blast furnace slag cement paste, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 31(3), 261-267.
11. Jo, Y. K., and Kim, W. K., Investigation of physical properties and self healing of hardener-free epoxy-modified mortars with GGBFS, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 24(1), 80-87.
12. Ahn, T. H., and Kishi, T.(2010), Effect of various carbonates on the crack self-healing behavior of cementitious materials, *The 64th Annual Meeting of JCA*, pp.156-157.
13. Coppola, L., Coffetti, D., Crotti, E., Dell'Aversano, R., Gazzaniga, G., and Pastore, T.(2020), Influence of lithium carbonate and sodium carbonate on physical and elastic properties and on carbonation resistance of calcium sulfoaluminate-based mortars, *Applied Sciences*, 10(1), 176.

Received : 01/05/2021

Revised : 01/28/2021

Accepted : 02/05/2021

**요    지 :** 본 연구는 액상폴리머인 에폭시수지를 이용한 고내구성 폴리머 시멘트계 재료를 개발할 목적으로 고로슬래그미분말 치환율을 20%로 고정하고, 4종류의 알칼리 활성화제를 이용한 경화제 무첨가 에폭시수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르를 제작하여, 강도 특성, 에폭시수지 경화도, 흡수율, 내황산성, 중성화 및 염화물이온 침투저항성을 검토한 것이다. 그 결과, 알칼리 자극제의 종류에 관계없이, 고로슬래그미분말 20%를 사용한 경화제 무첨가 EMM의 압축강도는 폴리머 결합재비 10%에서 최댓값을 나타냈으며, 폴리머 결합재비 20%에서는 에폭시수지의 경화도 감소와 함께 압축강도 또한 감소하는 것으로 나타났다. 휨강도는 압축강도와 마찬가지로 수산화칼슘을 첨가한 것이 가장 우수하게 나타났으며, 폴리머 결합재비의 증가와 함께 증가하였으며, 모두 9.0 MPa 이상의 휨강도를 발현하였다. 알칼리 자극제의 종류에 관계없이, 경화제 무첨가 EMM의 방수성, 중성화 및 염화물이온 침투저항성은 폴리머 결합재비의 증가와 함께 현저히 개선되었으며, 4종류의 알칼리 자극제 가운데 수산화칼슘을 첨가한 모르타르가 가장 우수한 것으로 나타났다. 한편, 알칼리 자극제의 종류에 관계없이, 경화제 무첨가 EMM의 내황산성은 폴리머 결합재비의 증가와 함께 떨어졌는데, 이것은 폴리머 결합재비의 증가에 따른 에폭시수지의 미경화 에폭시수지의 증가에 기인한 것으로 판단된다. 4가지 알칼리 자극제의 종류에 대하여 물성 및 내구성을 비교 검토한 결과, 수산화칼슘을 첨가한 것이 가장 우수한 것으로 확인되었다.

**핵심용어 :** 알칼리 자극제, 고로슬래그미분말, 에폭시수지 혼입 모르타르, 강도, 경화도, 중성화, 염화물이온 침투저항성