

# 광물질혼화제 혼합 모르타르의 해수침식 저항성

## Seawater Attack Resistance of Mortars Containing Mineral Admixtures

문 한 영\*,  
Han-Young Moon

이 승 태\*\*,  
Seung-Tae Lee

최 강 식\*\*\*  
Kang-Sik Choi

### ABSTRACT

In the present study, immersion test using artificial seawater was performed to evaluate the resistance of mortar specimens with or without ground granulated blast-furnace slag (SG) and fly ash (FA). Another variable was the fineness levels of SG (4,450, 6,000 and 8,000  $\text{cm}^2/\text{g}$ ).

From the results of the immersion test for 270 days of exposure, the excellent resistance to seawater attack for SG mortar mixtures, especially in a high fineness levels, was confirmed. However, the reductions in compressive strength of FA mortar specimens was similar to those of OPC mortar specimens irrespective of replacement of FA..

In order to understand the deterioration mechanism due to seawater attack, X-ray diffraction (XRD) analysis were also carried out. Some reactants such as ettringite, gypsum, brucite and Friedel's salt were possibly detected through XRD technique.

### 1. 서론

콘크리트는 건설재료 중 내구성이 우수한 재료로 널리 알려져 있다. 그러나 콘크리트구조물이 건설되는 주변의 환경조건에 따른 물리, 화학 및 생물학적인 작용 등에 의하여 콘크리트의 성능이 크게 떨어지는 문제점이 제기되면서 콘크리트의 내구성에 대한 관심이 매우 높아지고 있는 실정이다

해양환경하에 건설되는 콘크리트 구조물은 해수 중의 황산염, 마그네슘이온 등 유해이온의 침투에 의한 콘크리트의 성능저하뿐만 아니라 염화물이온의 침투확산에 의한 콘크리트 중의 철근부식이 촉진되어 콘크리트 구조물의 내하력이 크게 저하된다고 한다. 특히 유해이온에 의한 콘크리트의 침식 메커니즘은 주로 시멘트 화학적 개념으로 해석되어 왔으나, 황산염이온과 시멘트 수화물의 반응으로 인하여 시멘트경화체에 팽창성물질이 생성되어 균열을 일으키게 되므로써 과도할 경우 팽창붕괴를 일으키게 된다고 한다. 본 연구에서는 시멘트 경화체의 해수침식 저항성에 대한 광물질혼화제의 효과를 실험적으로 검토하기 위하여 고로슬래그미분말 및 플라이애시를 각각 3단계로 대체한 모르타르를 제조한 후 2배농도 인공해수 중에 약 270일간 침지하여 압축강도 감소율을 측정하였으며, 압축강도 감소율에 대한 고로슬래그미분말 분말도의 영향도 아울러 고찰하였다. 또한, 해수침식에 의한 반응생성물을 알아보기 위하여 동일한 결합재를 사용한 페이스트를 대상으로 X선 회절 분석도 실시하였다.

\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

\*\*\* 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 광물질혼화재 : 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)와 광물질혼화재로서 분말도를 4,450, 6,000 및 8,000 cm<sup>2</sup>/g 의 3단계로 달리한 고로슬래그미분말(이하 SG로 약함), 플라이애시(이하 FA로 약함)를 각각 사용하였으며, 시멘트 및 광물질혼화재의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical composition and physical properties of cement and mineral admixtures

Items Types	Chemical composition (%)							Physical properties	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig. loss	Specific gravity	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)
OPC	20.2	5.8	3.0	63.3	3.4	2.1	2.1	3.13	3,120
SG (4,450)	41.7	14.5	0.7	41.7	5.4	1.1	2.6	2.92	4,450
SG (6,000)	32.2	14.6	0.4	44.0	5.6	1.1	1.2	2.92	6,000
SG (8,000)	32.3	14.6	0.4	44.0	5.6	-	1.2	2.92	8,000
FA	57.6	25.5	6.1	3.4	0.9	-	4.3	2.92	4,930

(2) 잔골재 : 비중 2.60, 흡수율 0.80% 및 조립률 2.80인 강모래를 사용하였다.

(3) 고성능감수제 : 작업성을 확보하기 위해서 주성분이 폴리카르본산계인 Malialim A-20을 시멘트 중량에 대하여 1.8% 사용하였다.

(4) 시험용액 : 시험용액은 'ASTM D 1141' 에 준하여 2배농도 인공해수를 제조하였으며, 재령이 증가함에 따라 용액이 묽어지는 점을 고려하여 인공해수는 4주마다 새로운 용액으로 교체하여 사용하였다.

### 2.2 페이스트 및 모르타르의 배합

본 연구에서 사용된 모르타르는 결합재와 강모래의 중량비 1:2, 물-결합재비 45%로 고정시켰으며, 담수에서 1주일간 표준양생한 후, 담수 및 인공해수에 각각 침지하였다. 또, 페이스트는 OPC에 고로슬래그미분말 및 플라이애시를 각각 50% 및 20% 대체하였으며, 물-결합재비는 45%로 고정하였다.

## 3 실험방법

3.1 압축강도 감소율 : 인공해수에 침지한 모르타르의 압축강도와 수중에 양생한 모르타르의 압축강도를 KS L 5105에 의하여 측정된 후, 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{압축강도 감소율 (\%)} = \frac{C_w - C_s}{C_w} \times 100$$

여기서, C<sub>w</sub> : 수중양생한 모르타르의 압축강도 (kgf/cm<sup>2</sup>)

C<sub>s</sub> : 인공해수에 침지한 모르타르의 압축강도 (kgf/cm<sup>2</sup>)

3.2 페이스트의 XRD (X-ray diffraction) 분석 : 분말법을 이용하여 채취한 시료를 대상으로 RINT

D/max2500(Rigaku)을 이용하여 X선 회절분석을 실시하였으며, 이때 측정조건은 CuK $\alpha$ (Ni filter) : 30 kV, 20mA, Scanning Speed :2°/min., 2 $\theta$  : 5~40°로 하였다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

##### 4.1 고로슬래그미분말 혼합 모르타르의 해수침식 저항성

고로슬래그미분말을 시멘트 중량에 대하여 각각 0, 40, 50 및 60% 대체한 모르타르를 인공해수에 약 270일 동안 침지한 후 재령별 압축강도 감소율을 나타낸 것이 Fig. 1이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 초기재령을 제외하면 고로슬래그미분말의 대체율이 클수록 모든 재령에서 압축강도 감소율은 작은 경향을 나타내었다. 또한, 침지재령 28일에서 고로슬래그미분말을 대체하지 않은 모르타르를 제외하면 모르타르의 압축강도 감소율이 음(-)의 값을 나타냄을 알 수 있다. 이는 해수와 같은 알카리환경에서는 고로슬래그미분말의 잠재수경성이 촉진된 탓으로 담수에 양생한 모르타르의 압축강도에 비하여 오히려 강도발현이 크게 나타남을 의미한다.

한편 해수침식 저항성에 미치는 고로슬래그미분말 분말도의 영향을 고찰하기 위하여 3종류의 분말도를 가진 고로슬래그미분말을 각각 시멘트 중량에 대하여 50% 대체한 후 침지재령별 압축강도 감소율을 나타낸 것이 Fig. 2이다. 이 그림에서 분말도가 4,450 cm<sup>2</sup>/g 고로슬래그미분말을 사용한 모르타르의 압축강도 감소율이 침지재령에 관계없이 다소 크게 나타났으며, 분말도가 6,000 및 8,000 cm<sup>2</sup>/g의 고로슬래그미분말을 사용한 경우, 분말도는 압축강도 감소율에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

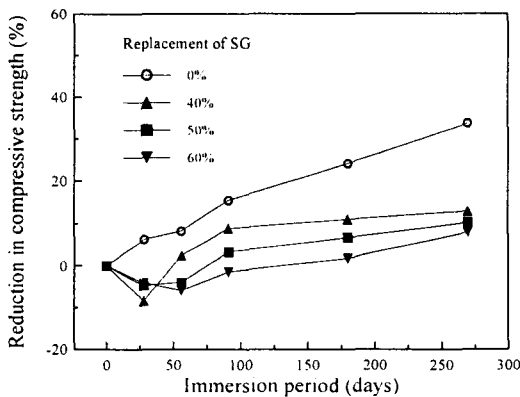


Fig. 1 Reduction in compressive strength of SG mortar specimens with different replacement levels

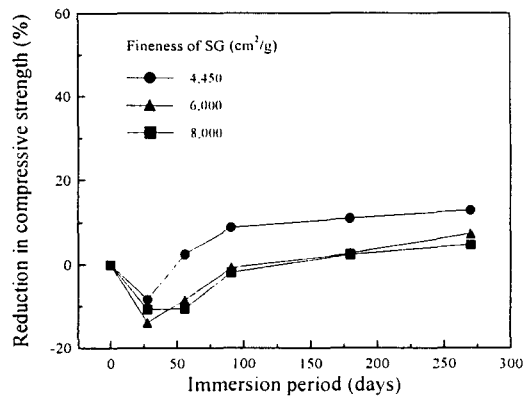


Fig. 2 Reduction in compressive strength of SG mortar specimens with different fineness levels

##### 4.2 플라이애시 혼합 모르타르의 해수침식 저항성

Fig. 3은 플라이애시 대체율별 모르타르의 압축강도 감소율을 나타낸 것으로서, 플라이애시 대체율과 압축강도 감소율은 밀접한 상관관계를 나타내지 않음을 알 수 있었다. 그러나, 침지재령 270일에서 플라이애시 대체율에 따른 모르타르의 압축강도 감소율은 약 26 ~ 33% 정도로서 고로슬래그미분말을 혼합한 모르타르의 압축강도 감소율보다 상대적으로 크게 나타났으며, OPC 모르타르와는 큰 차이를

보이지 않음을 확인할 수 있었다.

### 4.3 X선 회절분석

3종류 시멘트 페이스트의 해수침식에 의한 반응생성물을 정성적으로 평가하기 위하여 인공해수 중에 150일간 침지한 후, 페이스트 분말에 대하여 X선 회절분석을 실시한 결과를 나타낸 것이 Fig. 4이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 수화반응에 의한 영향으로 portlandite 피크가 뚜렷이 나타났으며, 해수 중  $SO_4^{2-}$  이온의 영향으로 ettringite 및 gypsum 피크도 검출되었다. 또한  $Mg^{2+}$  및  $Cl^-$  이온과 시멘트수화물의 반응으로 생성된 brucite 및 Friedel's salt 피크도 관찰되었음을 확인할 수 있었다. 특히, 플라이애시를 20% 대체한 페이스트의 경우 해수침식을 크게 받은 탓으로 C-S-H의 분해로 인한 thaumasite를 나타내는 피크가 검출됨을 알 수 있었다.

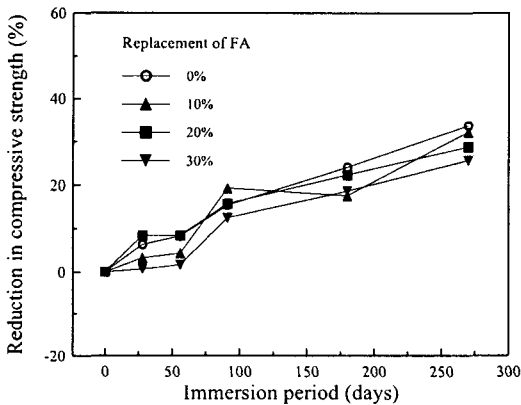


Fig. 3 Reduction in compressive strength of FA mortar specimens with different replacement levels

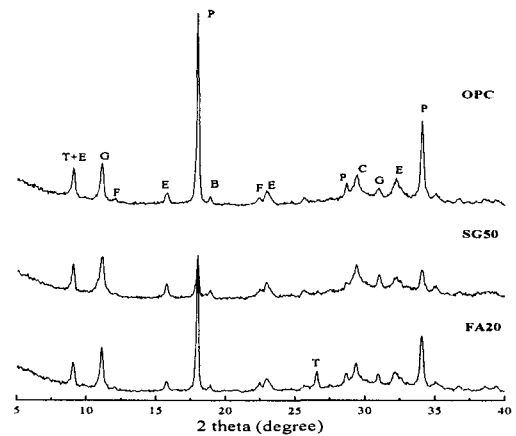


Fig. 4 X-ray diffraction analysis of pastes immersed in artificial seawater for 150 days (P=portlandite, E=ettringite, G=gypsum, T=thaumasite, C=calcite, B=brucite, F=Friedel's salt)

## 5. 결론

- (1) 인공해수용액에 270일 동안 침지한 모르타르의 압축강도의 감소율을 측정된 결과, 고로슬래그미분말을 대체한 모르타르의 경우 대체율 및 분말도와 압축강도 감소율은 밀접한 관련이 있었으며, 플라이애시를 대체한 모르타르의 압축강도 감소율은 대체율과 그다지 큰 상관성을 나타내지 못하였다.
- (2) X선 회절분석 결과, 광물질혼화재를 혼합한 페이스트의 경우 portlandite 피크가 OPC 페이스트의 경우보다 작게 나타났다. 또한  $SO_4^{2-}$  이온의 영향으로 ettringite 및 gypsum,  $Mg^{2+}$  및  $Cl^-$  이온에 의한 영향으로 brucite 및 Friedel's salt 피크도 관찰되었음을 확인할 수 있었다.