

## 숏크리트 모르타르의 성능에 대한 급결제 종류 및 고로슬래그 미분말 대체율의 영향

### Effect of Types of Accelerators and Replacement Levels of GGBFS on the Performance of Shotcrete Mortars

이 승 태<sup>1)\*</sup>      김 성 수<sup>2)</sup>      김 동 규<sup>3)</sup>      박 광 필<sup>4)</sup>  
Lee, Seung Tae      Kim, Seong Soo      Kim, Dong Gyu      Park, Kwang Pil

#### Abstract

In this study, some engineering properties of OPC and GGBFS shotcrete mortars with alkali-free or aluminate accelerator were experimentally examined. As a result, GGBFS mortars with alkali-free accelerator were significantly similar to OPC mortars with same accelerator with respect to both setting time and compressive strength. Comparatively, GGBFS mortars with aluminate accelerator showed a good performance with an increased replacement of GGBFS. Furthermore, when replaced with GGBFS over 50%, the mortars exhibited superior performances of electrical resistivity and chloride ions penetration resistance. Accordingly, it is suggested that GGBFS has a beneficial effect as shotcreting materials in the condition of proper replacement levels.

**Keywords** : Shotcrete mortar, Accelerator, GGBFS, Setting time, Electrical resistivity, Chloride ions penetration resistance

#### 1. 서론

일반적으로 숏크리트는 사면 및 터널의 낙석방지 및 암반변형을 조기에 억제하고 암반의 변형에 대한 지보력을 유지하느라 지반 및 구조물의 안정성을 확보하기 위하여 적용되는 건설재료이다(Kim et al., 2004; Heo et al., 2005; Prudencio, 1998).

또, 급결제는 숏크리트 타설시 리바운드량 감소 및 조기 강도 증진을 목적으로 사용되는 혼화제로써 암반변형을 최소화하며 시멘트의 응결 및 경화를 촉진시키기 위하여 사용되는 것이다. 급결제는 주성분에 따라 alkali-free계, alkaline계, silicate계 및 시멘트 광물계 등으로 나눌 수 있다(Nakagawa and Hirana, 1982). 특히, alkali-free계 급결제는 alkaline계 급결제에 비하여 숏크리트 시공시 비산먼지 감소, 작업자의 안정성 증대, 용출량 감소 및 리바운드량 감소 등의 장점으로 인하여 스위스, 오스트리아

등 유럽에서 많이 사용되고 있다(Huber, 1995). 그러나, 최근의 연구결과(Kim et al., 2006; Paglia et al., 2003)를 고찰해 보면, 보통포틀랜드 시멘트를 기반으로 alkali-free계 및 alkaline계 급결제를 사용하여 제조되는 숏크리트의 공학적 성능 및 화학적 침식 저항성 등과 같은 내구성에 대한 문제점이 제기되므로써 터널구조물의 주요 지보재 중 하나인 숏크리트의 품질에 대한 신뢰성 있는 연구가 매우 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 급결제 종류에 따른 숏크리트의 성능을 평가하기 위하여 현재 국내에서 상용중인 alkali-free계 및 aluminate계 급결제를 선정하여 숏크리트 모르타르를 제조하였으며, 응결특성, 강도특성, 전기저항성 및 염소이온 침투저항성을 실험적으로 고찰하였다. 또, 숏크리트 모르타르에 대한 고로슬래그 미분말의 영향을 평가하기 위하여 고로슬래그 미분말을 시멘트에 대하여 4단

1) 정회원, 군산대학교 토목공학과 부교수, 교신저자  
2) 정회원, 대전대학교 건설시스템공학과 교수  
3) 정회원, 한국건설기술연구원 Geo 인프라연구실 연구위원  
4) 정회원, 한국건설기술연구원 Geo 인프라연구실 수석연구원

\* Corresponding author : stlee@kunsan.ac.kr 063-469-4877

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2013년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

계로 대체한 모르타르의 성능도 아울러 검토하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

본 연구에서 사용한 시멘트는 KS L 5201에 준하는 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC)이며, 고로슬래그 미분말(이하 GGBFS)을 시멘트에 적절한 비율로 대체하여 사용하였다. OPC 및 GGBFS의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다. 또, 숏크리트 모르타르 제조를 위한 잔골재는 규사를 사용하였으며, 물리적 성질을 Table 2에 나타내었다. 본 연구에서 사용한 급결제는 국내 S사의 alkali-free계 및 aluminate계로써 제조사의 추천량인 결합재 중량의 약 7% 및 5%로 각각 첨가하여 모르타르를 제조하였다. 또, 급결제를 첨가하지 않은 모르타르를 제조하여 급결제 사용에 따른 모르타르의 성능과 상호 비교하였다.

### 2.2 숏크리트 모르타르의 배합조건

숏크리트 모르타르의 물-결합재비는 0.45, 결합재:잔골재비는 1:2로 하여 모르타르를 제조하였다. GGBFS를 OPC에 대하여 0, 35, 50 및 65% 대체하여 사용하였으며, 각각 OPC, G35, G50 및 G65 모르타르로 명명하였다.

Table 1 Chemical composition and physical properties of OPC and GGBFS

Chemical composition [%]		
	OPC	GGBFS
SiO <sub>2</sub>	21.7	32.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.7	14.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.2	0.4
CaO	63.1	44.0
MgO	2.8	5.6
SO <sub>3</sub>	2.2	1.1
L.O.I	1.3	1.2
Physical properties		
Blaine [cm <sup>2</sup> /g]	3150	4500
Passing 45 μm mesh [%]	90.7	-

Table 2 Physical properties of fine aggregate

Density [g/cm <sup>3</sup> ]	Size [mm]	Absorption [%]
2.61	0.67≤	0.91

Table 3 Mortar mixtures

Symbol	Water, g	OPC, g	GGBFS, g	Sand, g	Accelerators
OPC	450	1000	0	2000	-non-acc.
G35	450	650	350	2000	-alkali-free accelerator*
G50	450	500	500	2000	-aluminate accelerator**
G65	450	350	650	2000	

\* 7% of binder content

\*\* 5% of binder content

다. 모르타르 제조는 KS L 5109에 준하는 모르타르 혼합용기를 이용하여 숏크리트 모르타르를 제조하였으며, Table 3에 모르타르 배합비를 나타내었다.

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 응결시간

숏크리트 모르타르의 응결시간은 KS F 2763에 준하여 측정하였으며, 초결 및 종결시간은 관입저항치가 각각 3.5MPa 및 28.0MPa일 때의 시간으로 결정하였다.

#### 2.3.2 강도

포화 석회수용액(sat. Ca(OH)<sub>2</sub> solution)에 양생한 50 mm 큐브 모르타르 공시체의 재령별 압축강도를 KS L 5105에 의하여 측정하였다. 또, 압축강도가 약 50MPa인 바탕콘크리트(600×600×100mm) 시험체를 제작한 후 숏크리트 모르타르를 5mm 두께로 도포하여 재령별로 40×40mm 크기의 어태치먼트(attachment)를 각각 3개씩 부착하여 부착강도를 측정하였으며, 그 평균값을 취하였다. Fig. 1은 부착강도 실험장치를 나타낸 것이다.

#### 2.3.3 전기저항성

숏크리트 모르타르의 전기저항성은 Ohm의 법칙을 근간으로 하여 Monfore(1968)가 제안한 실험방법을 사용하여 Fig. 2와 같이 모르타르 표면 양단에 교류전류를 구동시키므로써 측정하였으며, 관련 식은 다음과 같다.

$$R = \frac{E_{a2} - E_{a1}}{I_2 - I_1} \quad (1)$$

$$ER(\text{ohm} \cdot \text{cm}) = \frac{RA}{L} \quad (2)$$

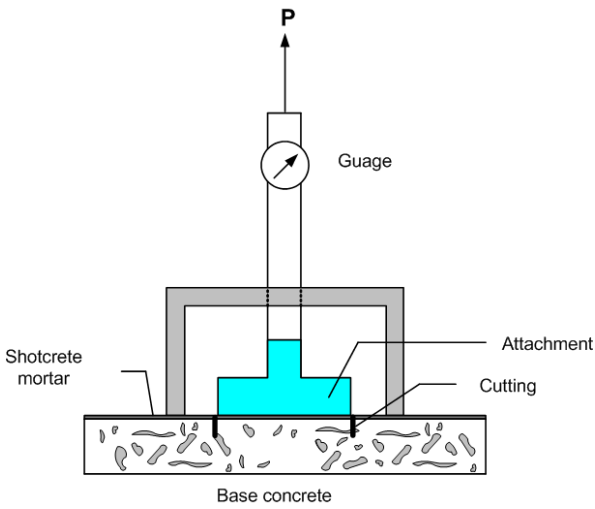


Fig. 1 Set-up for bond strength test

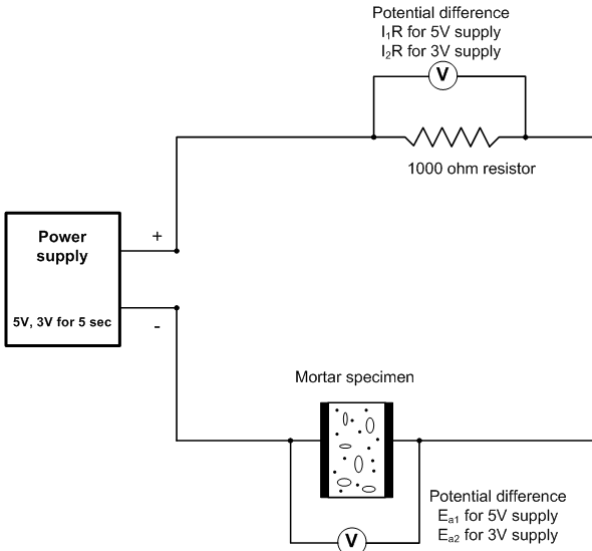


Fig. 2 Electric resistivity apparatus

여기서,  $E_R$  : Electric resistivity( $\text{ohm} \cdot \text{cm}$ ),  $R$  : resistance( $\text{ohm}$ ),  $E_{a1, a2}$  : 인가전압(V),  $I_{1,2}$  : 전류(A),  $A$  : 모르타르의 cross-section 면적( $\text{cm}^2$ ) 및  $L$  : 전극의 간격(cm)이다.

### 2.3.4 염소이온 침투저항성

모르타르의 통과전하량은 ASTM C 1202에 준하여 두께 50mm의 재령 28일 시험체를 대상으로 측정하였다. 시험체 양단에 60V의 직류전압을 6시간 동안 통전시키면서 시험체에 흐르는 전류를 데이터 로거를 이용하여 30분 간격으로 측정하였으며 측정된 전류로부터 시간에

대한 전류의 적분값을 취하여 식 (3)에 의하여 총통과전하량을 산정하였다.

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (3)$$

여기서,  $Q$  : 총통과전하량(Coulomb),  $I_x$  : x분에서의 전류값(A)이다.

또, 모르타르의 염소이온 확산계수는 전기화학적 촉진법 중 Nordiest 방법인 NT BUILD 492법(1999)에 준하여 다음 식 (4)로 산정하였다.

$$D = \frac{RT}{zFE} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \quad (4)$$

여기서,

$$E = \frac{U - 2}{L}, \quad \alpha = 2 \sqrt{\frac{RT}{zFE}} \cdot \text{erf}^{-1}\left(1 - \frac{2c_d}{c_0}\right)$$

$D$  : 비정상상태에서 염소이온 확산계수 ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $z$  : 이온의 원자가( $z=1$ ),  $F$  : 패러데이 상수,  $U$  : 전압차(V),  $R$  : 기체상수,  $T$  : 용액의 온도(K),  $L$  : 시편의 두께(m),  $x_d$  : 염소이온의 침투깊이(m),  $t$  : 실험기간(s),  $\text{erf}$  : error function,  $c_d$  : 비색법에 의한 반응 농도 및  $c_0$  : 음극셀의 염소이온 농도이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 응결특성

급결제를 사용하지 않은 모르타르의 응결특성을 나타낸 것이 Fig. 3이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 OPC 모르타르는 GGBFS 모르타르에 비하여 응결시간이 빠르게 나타났으며, GGBFS의 대체율이 증가함에 따라 응결시간이 지연됨을 알 수 있었다. 이러한 현상이 나타난 이유는 GGBFS의 대체에 따른 시멘트 중  $C_3A$ 의 희석작용에 의한 것으로 판단된다(Myrdal, 1999). 특히, G65 모르타르의 초결 및 종결시간은 각각 469분 및 641분으로 나타나므로써, OPC 모르타르의 288분 및 380분의 약 1.6배로 조사되었다.

한편, 급결제를 사용한 모르타르의 응결특성을 나타낸 것이 각각 Fig. 4 및 Fig. 5이다. Alkali-free 급결제를 사

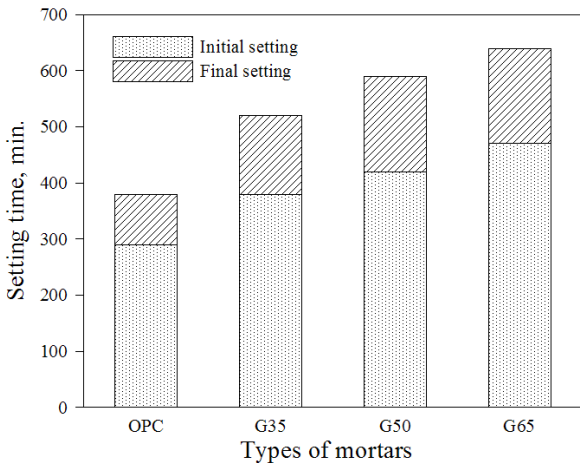


Fig. 3 Setting time of mortars without accelerator

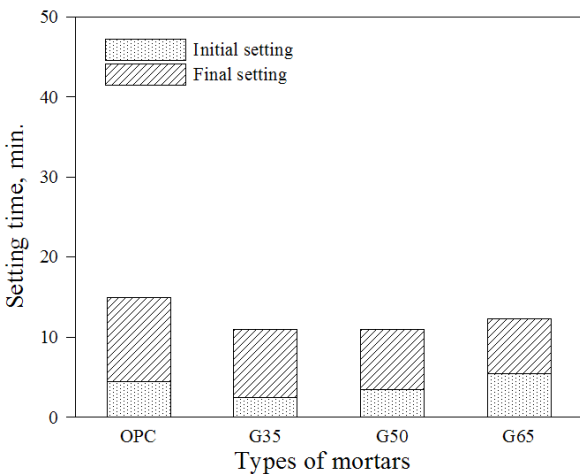


Fig. 4 Setting time of mortars with alkali-free accelerator (7% of binder content)

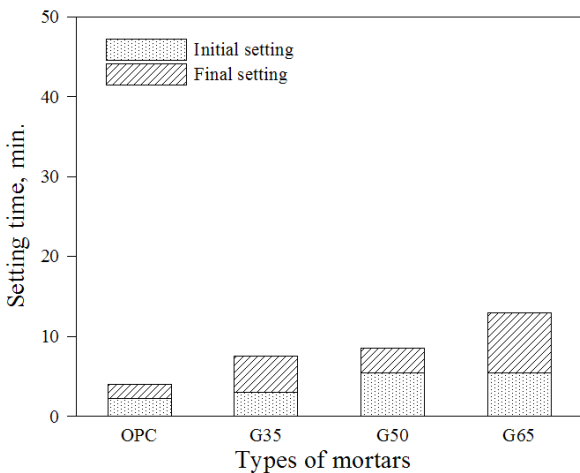


Fig. 5 Setting time of mortars with aluminate accelerator (5% of binder content)

용한 샘플의 응결시간을 나타낸 것이 Fig. 4로써, GGBFS의 대체율과 응결시간과는 그다지 큰 상관관계를 나타내지 않았다. 다시 말해서, GGBFS 대체율에 관계없이 초결은 2.5분 ~ 5.5분, 종결은 11분 ~ 14분인 것으로 조사되었다. Aluminate 급결제를 사용한 모르타르의 응결시간을 실험적으로 고찰한 것이 Fig. 5로써, GGBFS의 대체율이 증가함에 따라 응결시간이 다소 크게 나타났으나, 대체적으로 초결은 5분 내외 종결은 4 ~ 13분 정도의 값을 나타내었다. OPC 모르타르의 응결시간의 경우, aluminate 급결제를 사용한 모르타르가 alkali-free 급결제를 사용한 모르타르의 응결시간이 빠르게 나타났으며, 이는 aluminate 급결제를 사용함에 따라 세공용액 중에 through-solution 반응에 의한 ettringite의 생성이 촉진되었기 때문으로 판단된다(Lea, 1998).

### 3.2 강도특성

Fig. 6 ~ Fig. 8은 급결제를 사용유무에 따른 숏크리트 모르타르의 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 급결제를 사용하지 않은 모르타르의 재령별 압축강도를 나타낸 것이 Fig. 6으로써, 초기재령에서 OPC 모르타르의 압축강도가 GGBFS를 대체한 모르타르의 압축강도보다 다소 크게 나타났으나, 재령 28일에서는 반대의 압축강도 경향이 나타났다. 반면, Fig. 7에서 알 수 있듯이 alkali-free 급결제를 사용한 모르타르의 압축강도는 G65 모르타르를 제외한 3종류 모르타르가 재령에 관계없이 유사한 압축강도 발현을 나타내었다. 한편, G65 모르타르는 고함량

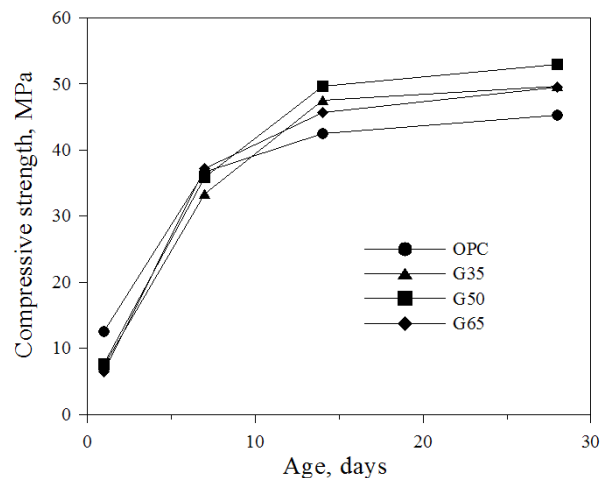


Fig. 6 Compressive strength development of mortars without accelerator

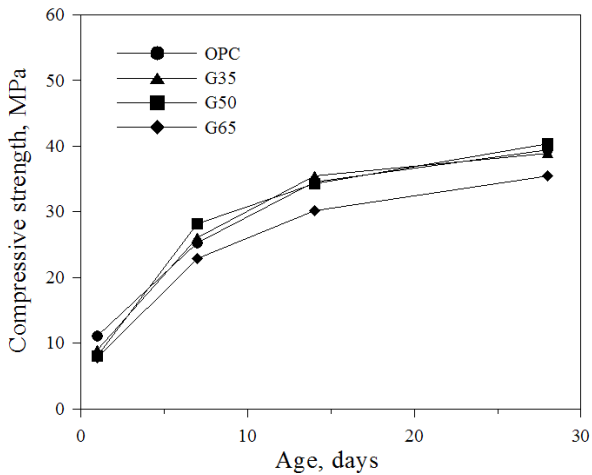


Fig. 7 Compressive strength development of mortars with alkali-free accelerator

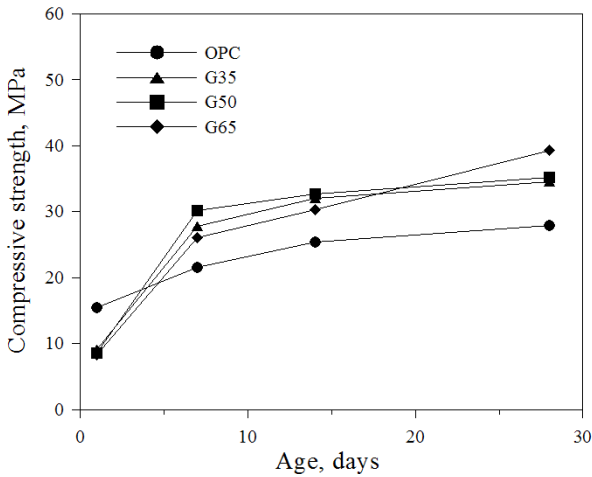


Fig. 8 Compressive strength development of mortars with aluminate accelerator

GGBFS 대체로 인하여 초기재령의 압축강도가 다소 작게 나타난 반면, 재령 28일에서는 압축강도 발현이 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있다.

한편, aluminate 급결제를 사용한 숯크리트 모르타르의 압축강도 발현 경향을 나타낸 것이 Fig. 8로써, 재령 1일에서 OPC 모르타르의 압축강도가 약 15.4 MPa로써 GGBFS를 대체한 모르타르의 압축강도에 비하여 다소 큰 값을 나타내었다. 그러나, 이후의 재령에서는 GGBFS 모르타르의 압축강도 발현이 크게 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 재령이 증가함에 따라 aluminate 급결제를 사용한 OPC 모르타르의 압축강도 발현이 작게 나타나는 이유는 알칼리성분이 모르타르 중  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응하여 시멘트 경화체 중에서  $\text{NaOH}$ 의 양이 증가되며, 알루미늄이

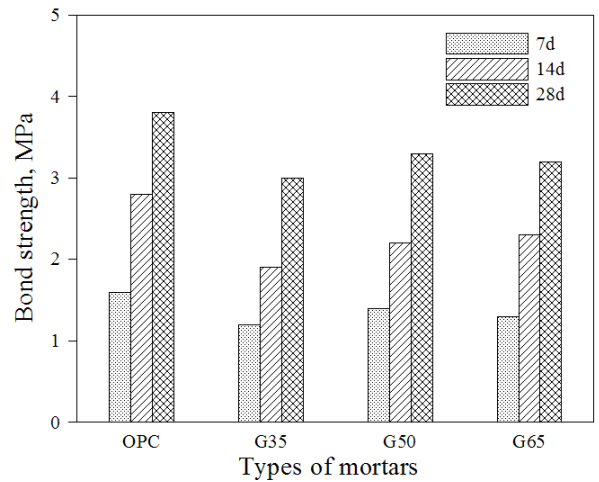


Fig. 9 Bond strength development of mortars without accelerator

수화물인 알루미늄-실리카 겔의 침전을 촉진하므로써 결과적으로 시멘트의 정상적인 수화를 방해하기 때문으로 판단된다(Gebler 등, 1992).

한편, aluminate 급결제를 첨가한 GGBFS 사용 모르타르는  $\text{Al}^{2+}$  및  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 상호활성화 작용으로 인하여 ettringite의 생성이 촉진되며, 수화반응으로 생성된 C-S-H가 고밀도의 상으로 전이되므로써 OPC 모르타르보다 강도발현이 우수한 것으로 판단된다. 이러한 경향은 Paglia 등 (2001)의 연구와도 대체적으로 일치하는 결과인 것으로 판단된다.

일반적으로 숯크리트는 암반 및 타 구조물과의 일체성 및 박락에 대한 저항성을 확보하기 위하여 소요 부착강도가 만족되어야 한다(한국콘크리트학회, 2009). 따라서, 급결제를 사용유무에 따른 4종류 숯크리트 모르타르의 부착강도를 재령별로 측정된 실험결과를 도식화하여 나타낸 것이 Fig. 9 ~ Fig. 11이다.

Fig. 9는 급결제를 사용하지 않은 4종류 모르타르의 부착강도를 나타낸 것으로써, OPC 모르타르의 부착강도가 GGBFS를 대체한 모르타르의 부착강도보다 다소 우수한 부착강도 발현을 나타냄을 알 수 있다. 한편, alkali-free 급결제를 사용한 모르타르의 부착강도 발현 특성을 나타낸 것이 Fig. 10으로써, 급결제를 사용하지 않은 모르타르의 부착강도보다는 재령에 관계없이 다소 작은 값을 나타내었다.

또, Fig. 11과 같이 aluminate 급결제를 사용한 OPC 모르타르의 부착강도는 재령 7일에서 GGBFS 모르타르보다 크게 나타났으나, 재령의 증가에 따라 GGBFS 모르타르의 부착강도 증가량이 OPC 모르타르보다 오히려 크

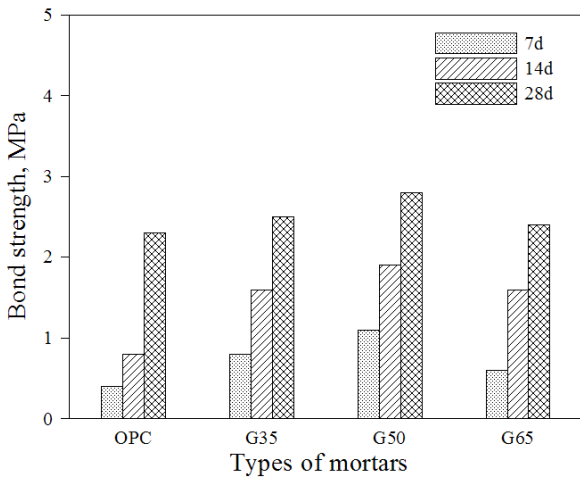


Fig. 10 Bond strength development of mortars with alkali-free accelerator

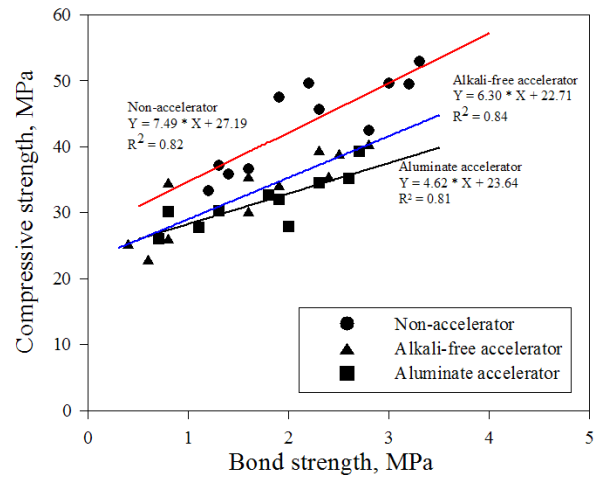


Fig. 12 Relationship between compressive strength and bond strength of mortars

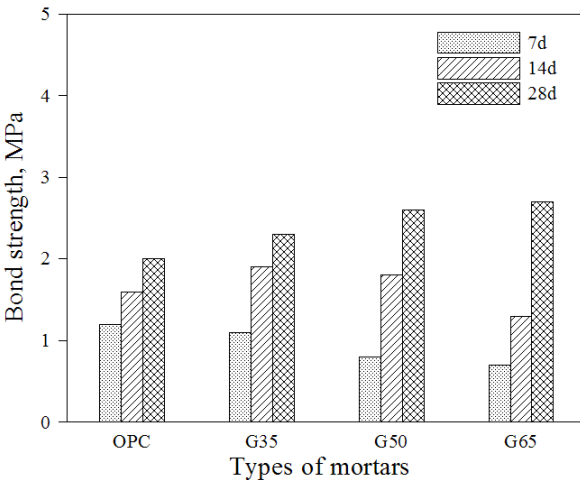


Fig. 11 Bond strength development of mortars with aluminate accelerator

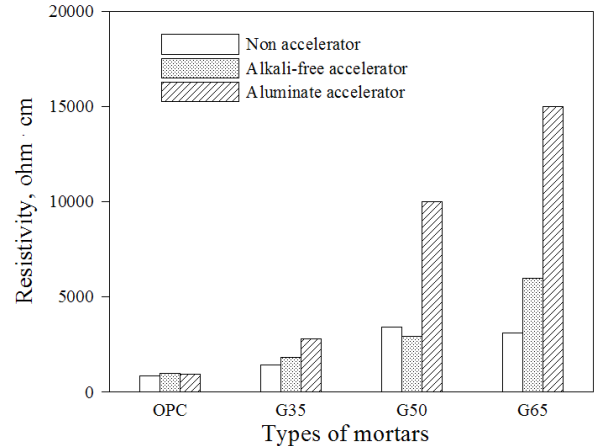


Fig. 13 Electrical resistivity of mortars

게 나타남을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 숯크리트 모르타르의 재령 28일 부착강도는 1 MPa를 초과함으로써 콘크리트표준시방서의 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 12는 모르타르의 압축강도와 부착강도의 관계를 나타낸 것으로서 대체적으로 압축강도의 증가에 따라 부착강도도 증가함을 알 수 있으며, 상관관계도 비교적 높게 나타났다. 특히, 모르타르 종류에 관계없이 압축강도가 유사한 범위에서 부착강도는 aluminate 급결제를 사용한 모르타르의 부착강도가 다소 크게 나타나는 경향을 보였다.

### 3.3 전기저항성

Fig. 13은 재령 28일에서 4종류 모르타르의 전기저항

성을 나타낸 것이다. 이 그림에서 나타나듯이 OPC 모르타르의 전기저항성은 급결제 사용유무에 관계없이 매우 낮은 값을 나타내었으나, GGBFS를 사용한 모르타르는 OPC에 대한 대체율이 증가할수록 전기저항성이 우수한 결과를 나타내었다. 한편, 고탄량 GGBFS 모르타르(G50 및 G65)의 경우, aluminate 급결제를 첨가한 모르타르가 alkali-free 급결제를 첨가한 모르타르에 비하여 전기저항성이 월등하게 우수한 경향을 나타내었다.

급결제를 사용한 G65 모르타르의 전기저항성 결과는 앞서 서술한 강도특성과는 다소 상이한 결과가 나타남으로써, 숯크리트 모르타르의 전기저항성은 강도에 의한 영향보다 모르타르 표면 밀실도의 의하여 크게 영향을 받는 것으로 판단된다(Saleem et al., 1996).

### 3.4 염소이온 침투저항성

해안가 터널시공, 해안 사면안정용 슛크리트 타설 등과 같이 라이닝 콘크리트 및 슛크리트가 해양환경에 노출될 경우, 내구성능 확보를 위하여 외부 염소이온의 침투저항성이 우수한 재료 및 배합의 선정이 무엇보다도 중요하다 (Mohr et al., 2000).

Fig. 14는 ASTM C 1202 실험법에 준하여 측정한 재령 28일 모르타르의 총통과전하량을 나타낸 것이다. 실험 결과, 총통과전하량은 GGBFS 대체율 및 급결제 종류에 따라 상이하게 나타났으며, GGBFS를 대체한 모르타르의 총통과전하량이 OPC 모르타르에 비하여 상대적으로 작은 총통과전하량 값을 나타내었다. OPC 모르타르의 경우, alkali-free 급결제를 사용한 모르타르의 총통과전하량이 'High'영역의 값인 5345 coulomb으로 나타난 반면, 급결제 무사용 및 aluminate 급결제를 사용한 모르타르는 'Moderate'영역인 약 3000 coulomb의 총통과전하량 값을 나타내었다. 한편, G50 및 G65 모르타르의 총통과전하량은 'Very low'영역의 매우 낮은 값을 보이므로써 염소이온 침투저항성이 우수한 결과를 나타내었다.

한편, NT BUILD 492법에 의한 콘크리트의 염소이온 확산계수(D)를 재령 28일에서 측정하여 나타낸 것이 Fig. 15이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 염소이온 확산계수는 총통과전하량 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 특히, GGBFS 사용 모르타르는 급결제 사용유무에 관계없이 OPC 모르타르보다 약 1 order 정도 작은 확산계수 값을 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 16 및 Fig. 17은 재령 28일 슛크리트 모르타르의

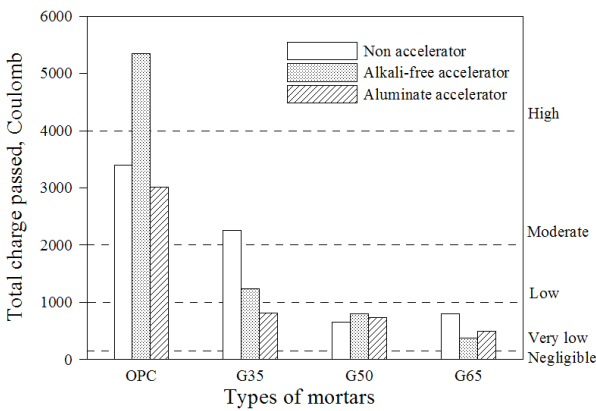


Fig. 14 ASTM C 1202 test results of mortars

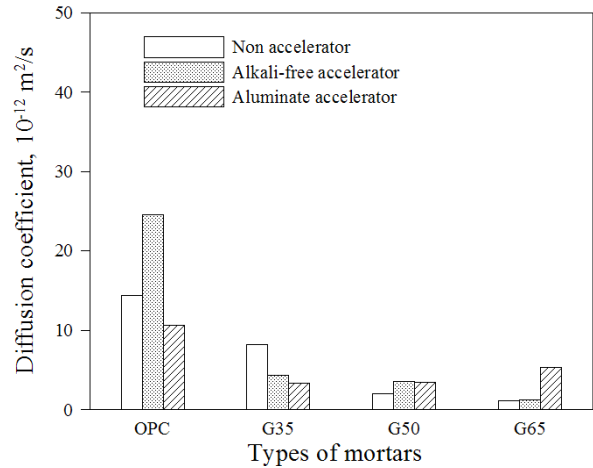


Fig. 15 Chloride ions diffusion coefficient of mortars

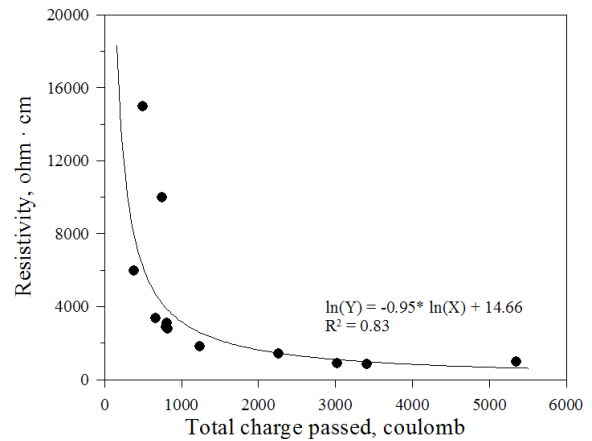


Fig. 16 Relationship between total charge passed and resistivity of mortars

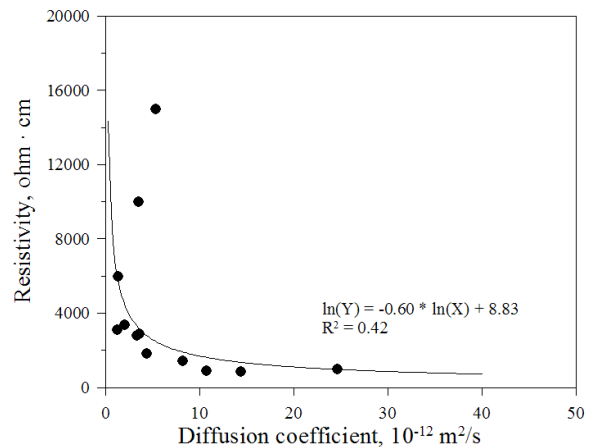


Fig. 17 Relationship between diffusion coefficient and resistivity of mortars



전기저항성과 염소이온 침투저항성과의 관계를 도식적으로 나타낸 것이다. 숏크리트 모르타르의 전기저항성은 염소이온 확산계수보다 총통과전하량과의 관계가 더욱 밀접한 연관성을 나타내는 것으로 조사되었다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 숏크리트 모르타르의 응결특성을 고찰한 결과, alkali-free 급결제를 사용한 샘플의 응결시간은 GGBFS의 대체율이 증가함에 따라 큰 변화가 없는 반면, aluminate 급결제를 사용한 모르타르는 GGBFS의 대체율이 증가함에 따라 응결시간이 증가하였다.
- (2) 숏크리트 모르타르의 압축강도 및 부착강도를 측정한 결과, aluminate 급결제를 첨가한 GGBFS 모르타르는  $Al^{2+}$  및  $SO_4^{2-}$ 의 상호활성화 작용으로 인한 ettringite 생성 및 C-S-H의 상전이로 인하여 강도발현이 상대적으로 크게 나타났다.
- (3) 급결제 사용유무에 관계없이 모르타르의 전기저항성은 GGBFS 대체율이 증가함에 따라 크게 나타나는 경향을 보였으며, aluminate 급결제를 첨가한 모르타르가 alkali-free 급결제를 첨가한 모르타르에 비하여 대체적으로 전기저항성이 우수한 경향을 나타내었다. 또, 숏크리트 모르타르의 염소이온 침투저항성은 전기저항성 결과와 유사하게 나타났다.
- (4) 종합적으로, 본 연구범위 내에서 alkali-free 및 aluminate 급결제를 사용한 숏크리트 모르타르의 응결 및 강도특성은 GGBFS 대체율에 따라 상이한 결과를 나타내었으나, 전기저항성 및 염소이온 침투저항성은 고함량 GGBFS 모르타르(G50 및 G65)가 대체적으로 우수한 결과를 나타내었다. 따라서, 극한 환경에 숏크리트가 노출될 경우 적절한 대체율의 GGBFS를 숏크리트용 재료로 적용하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2012학년도 군산대학교 대학자체 학술공모 과제 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

#### 참고문헌

1. Gebler, S. H., Litvin, A. and Mclean, W. S., "Durability of dry-mix shotcrete containing rapid-set accelerators", ACI Journal, vol. 89, No. 3, 1992, pp.259-262.
2. Heo, G., Choi, H. S. and Yi, S. T., "Experimental study on setting time of cement paste mixed accelerating admixtures", Journal of Korea Concrete Institute, vol. 17, No. 6, 2005, pp.879-884. (in Korean)
3. Kim, D. G., Lee, G. P. and Bae, G. J., "Compressive and adhesive strengths of shotcrete deteriorated by hazardous components in the groundwater", Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 21, No. 3, 2006, pp.323.
4. Kim, J. C. and Ryu, J. H., "Setting time and strength characteristics of cement mixtures with set accelerating agent for shotcrete", Journal of Korea Concrete Institute, vol. 16, No. 1, 2004, pp.70-78. (in Korean)
5. Korea Concrete Institute, "Concrete Standard Code", 2009. (in Korean)
6. Lea, F. W., Chemistry of Cement and Concrete, P. C. Hewlett (Ed.), London, UK, 1998.
7. Mohr, P., Hansen, W., Jensen, E. and Pane, I., "Transport properties of concrete pavements with excellent long-term in-service performance", Cement and Concrete Research, vol. 30, No. 12, 2000, pp.1903-1910.
8. Monfore, G. E., "The electrical resistivity of concrete", Journal of the PCA Research and Development Laboratories, vol. 10, No. 2, 1968, pp.35-48.
9. Myrdal, R., "Modern chemical admixtures for shotcrete", Proceedings of the 3rd Symposium on Sprayed Concrete, Norway, 1999, pp.375-382.
10. Nakagawa, A. and Hirana, K., "Accelerators", Cement · Concrete, No. 427, 1982, pp.95-100. (in Japanese)
11. NT BUILD 492, "Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments", Espoo Finland: Nordiest, 1999.
12. Paglia, C., Wombacher, F. and Bohni, H., "The influence of alkali-free and alkaline shotcrete accelerator within cement systems", Cement and Concrete Research, vol. 31, No. 6, 2001, pp.913-918.
13. Paglia, C., Wombacher, F. and Bophni, H., "The influence of alkali-free and alkaline shotcrete accelerators within cement systems: Influence of the temperature on the sulfate attack mechanisms and damage", Cement and Concrete Research, vol. 33, No. 3, 2003, pp.387-395.
14. Prudencio, L. R., "Accelerating admixtures for shotcrete", Cement and Concrete Research, vol. 20, No. 2, 1998, pp.213-219.
15. Saleem, M., Shameem, M., Hussain, S. E. and Maslehuddin, M., "Effect of moisture, chloride and sulphate contamination on the electrical resistivity of portland cement concrete", Construction and Building Materials, vol. 10, No. 3, 1996, pp.209-214.



---

Received : 07/06/2012  
Revised : 10/18/2012  
Accepted : 11/26/2012

---

## 요 지

본 연구에서는 alkali-free 및 aluminat 급결제를 사용한 OPC 및 GGBFS 숏크리트 모르타르의 응결특성, 강도특성, 전기저항성 및 염소이온 침투저항성을 실험적으로 고찰하였다. 실험결과에 따르면, alkali-free 급결제를 첨가한 GGBFS 모르타르는 응결시간 및 압축강도가 GGBFS 대체율에 관계없이 OPC 모르타르와 유사하게 나타났으나, aluminat 급결제를 첨가한 모르타르의 경우, GGBFS 대체율이 증가할수록 응결시간 및 압축강도가 크게 나타나는 경향을 보였다. 한편, 숏크리트 모르타르의 전기저항성 및 염소이온 침투저항성은 GGBFS를 50% 이상 대체한 모르타르가 우수한 경향을 나타내므로써, 적절한 대체율의 GGBFS를 사용한 모르타르가 숏크리트용 재료로써 우수한 성능을 나타낼 것으로 판단된다.

**핵심 용어** : 숏크리트 모르타르, 급결제, 고로슬래그 미분말, 응결시간, 전기저항성, 염소이온 침투저항성

---