

# 고로슬래그를 사용한 무시멘트 알칼리 활성화 모르타르의 유동성과 압축강도

## Flowability and Compressive Strength of Cementless Alkali-Activated Mortar Using Blast Furnace Slag

(Received March 7, 2011 / Revised March 30, 2011 / Accepted March 31, 2011)

고경택<sup>1)\*</sup> 류금성<sup>1)</sup> 이장화<sup>1)</sup> 강현진<sup>2)</sup> 진용수<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 구조교량연구실 <sup>2)</sup> (주)삼표 혼화제 사업부

Kyung-Taek Koh<sup>1)\*</sup> Gum-Sung Ryu<sup>1)</sup> Jang-Hwa Lee<sup>1)</sup> Hyun-Jin Kang<sup>1)</sup> Yong-Su Jeon<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Structural Engineering & Bridge Research Division, Korea Institute of Construction Technology,

Goyang, 411-712, Korea

<sup>2)</sup>Admixture Division, SAMPYO Corporation, Anyang, 430-817, Korea

### Abstract

Portland cement production is under critical review due to high amount of CO<sub>2</sub> gas released to the atmosphere. Attempts to increase the utilization of a by-products such as fly ash and ground granulated blast-furnace slag to partially replace the cement in concrete are gathering momentum. But most of by-products is currently dumped in landfills, thus creating a threat to the environment. Many researches on alkali-activated concrete that does not need the presence of cement as a binder have been carried out recently. In this study, we investigated the influence of alkali activator and superplasticizer on the flowability and compressive strength of the alkali-activated mortar in order to develop cementless alkali-activated concrete using blast furnace slag. In view of the results, we found out that the type and mixture ratio of alkali activator, the type and adding order of superplasticizer results to be significant factors. When cementless alkali-activated mortar using blast furnace slag manufactured with 1:1 the mass ratio of 9M NaOH and sodium silicate, and added superplasticizer before alkali activator in the mixer, we can be secured workability with 180 mm of flow during 1 hours and compressive strength of about 50 MPa under 20°C curing condition at age of 28days.

**키워드 :** 고로슬래그, 무시멘트 알칼리 활성화 모르타르, 유동성, 압축강도

**Keywords :** Blast Furnace Slag, Cementless Alkali-Activated Mortar, Flowability, Compressive Strength

## 1. 서론

국내의 제철소에서 발생하는 고로슬래그 미분말은 연간 약 800만 톤 이상으로 2000년대 초까지도 재활용이 낮아 상당한 양의 재고가 쌓여 있었으나, 최근 보통포틀랜드 시멘트 생산 시 중량재, 혼합시멘트 및 레미콘 혼화제 등으

로 사용량이 급증함에 따라 재활용율이 100%에 근접하게 되었다<sup>5)</sup>. 그러나 2010년부터 제철소가 추가로 가동되면서 향후 고로슬래그 미분말의 발생 양은 1,000만 톤 이상이 될 것으로 예측되고 있다.

한편, 최근 환경문제가 사회적으로 이슈화됨에 따라 콘크리트 제조 할 때 시멘트를 전혀 사용하지 않은 시멘트 ZERO 콘크리트 개발에 관한 연구가 주목을 받고 있다. 무시멘트 콘크리트는 1978년 프랑스의 Davidovits<sup>15)</sup>가 카

\* Corresponding author  
E-mail: ktgo@kict.re.kr

올리나이트(Kaolinite :  $Al_2Si_2O_5(OH)$ )와 알칼리 활성화제를 사용하여 중합반응(polymerization)을 유도하는 방법을 세계 최초로 이론을 정립하였고, 그 후 여러 연구자들에 의해 연구가 수행되었다. 특히, 1983년에는 핀란드에서 알칼리 활성화 슬래그 시멘트를 일부 판매되기도 하였고, 1980년대 중반에서 1990년 중반까지 러시아, 우크라이나 등 동유럽에서 20층 이상의 고층빌딩에 무시멘트 알칼리 활성화 콘크리트를 적용한 사례가 있다. 최근 진단결과에 의하면 압축강도가 30 MPa 이상, 탄산화 깊이가 3-5 mm 정도로 상당히 낮고 균열도 발생하지 않는 등 성능이 우수한 것으로 나타났다<sup>20)</sup>.

고로슬래그 무시멘트 알칼리 활성화 콘크리트는 상온에서도 강도발현이 우수하여 압축강도 40~70 MPa 범위의 고강도 콘크리트가 제조가 가능하고, 황산염 등 화학 저항성이 강한 것으로 보고되고 있다<sup>3),4),11)</sup>. 그러나 고로슬래그 무시멘트 알칼리 활성화 콘크리트는 시공성, 그리고 수축과 탄산화에 대한 저항성이 저하되는 것으로 알려져 있다<sup>7-12),17)</sup>.

따라서 본 연구에서는 고로 슬래그 무시멘트 알칼리 활성화 콘크리트의 성능 향상 기술을 개발할 목적으로 특히 시공성 및 강도 측면에서 알칼리 활성화제, 고성능 감수제의 종류 및 투입방법 등에 대해서 검토하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

본 연구에서 사용된 고로슬래그의 특성은 Table 1에 나타내었으며, 비표면적은  $4,160 \text{ cm}^2/\text{g}$ , 염기도 ( $(CaO+MgO+Al_2O_3)/SiO_2$ )는 1.90이다. 그리고 CaO 성분이 42.1%로 풍부하여 일반 시멘트와 마찬가지로 수화반응과 또한  $SiO_2$ 와  $Al_2O_3$ 의 함유량이 48.6%로 비교적 높아 중합반응도 기대할 수 있다. Fig.1은 고로슬래그의 SEM 사진으로, 입자 표면에는 치밀한 불투수성 피막인 유리질 피막으로 쌓여있는 것으로 알려져 있다. 고로슬래그는 그 자체적으로 반응성이 없기 때문에 이 유리질 피막을 깨고 내부의 반응 물질을 활성화시킬 필요가 있는데, 이 때 가장 유효한 방법은 강알칼리성을 가진 알칼리 활성화제를 사용하고, 경우에 따라 고온양생을 실시할 필요가 있다<sup>1),18)</sup>.

Table 1 Properties of blast furnace slag

Items Types	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> (%)	L.O.I	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Blast furnace slag(BS)	33.33	15.34	0.44	42.12	5.70	2.08	0.03	4,159	2.90

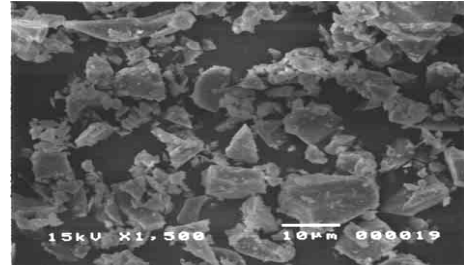


Fig. 1 Microstructure of blast furnace slag by SEM

무시멘트 알칼리 활성화 콘크리트의 알칼리 활성화제는 NaOH, KOH, 쇼둡실리케이트 등이 사용되고 있는데, 이 연구에서는 주로 NaOH와 쇼둡실리케이트를 혼합하여 사용하였다. 그리고 고로슬래그는 고온양생을 실시하지 않더라도 충분히 고강도 무시멘트 콘크리트 제조가 가능한 것으로 보고되고 있다<sup>16)</sup>.

실험에 사용된 NaOH, KOH는 시약용으로 순도 98% 이상인 것을 사용하였으며, 쇼둡실리케이트는  $Na_2O=10\%$ ,  $SiO_2=30\%$ , 고형분=38.5%를 사용하였다. 잔골재는 6호 규사 ( $SiO_2=95\%$ , 밀도=2.62 g/cm<sup>3</sup>)를 사용하였다.

### 2.2 배합비 및 제조방법

Table 2는 본 연구에서 검토된 주요 실험계획이다. 본 연구에서는 알칼리 활성화제, 고성능 감수제의 영향에 대해 검토하였다. 알칼리 활성화제에 대해서 알칼리 자극제의 종류와 농도, 쇼둡실리케이트의 종류 그리고 알칼리 자극제와 쇼둡실리케이트의 혼합비율을 검토하였고, 고성능 감수제에 대해서 종류 및 사용량 그리고 고성능 감수제의 투입순서를 검토하였으며, 또한 고로슬래그와의 비교를 위해 플라이애쉬, 플라이애쉬와 고로슬래그를 혼합한 분체에 대해 검토하였다.

본 연구에서 사용한 고로슬래그 사용 무시멘트 알칼리 활성화 모르타르의 배합비는 Table 3과 같다. 본 연구에서 사용된 배합은 콘크리트 배합에서 굵은골재를 제외시킨 모르타르 배합을 대상으로 하였는데, 모르타르와 콘크리트의 성능은 일반적으로 상당히 밀접한 관계가 있기 때문에 무시멘트 콘크리트 개발하기 위한 기초연구로서 모르타르를 대상으로 하였다.

Table 2 Experimental design

Factors			Variables
Alkali Activators (AAS)	Type	2	KOH, NaOH
	Concentration of NaOH (M)	7	2, 3, 4, 5, 6, 9, 12
	Type of SS	2	Liquid, Powder
	Mixture ratio (SS:SH)	5	0:100, 25:75, 50:50, 75:25, 100:0
Super-plasticizers	Type	4	Naphtalene(NP) Malamine(ML) Lignosulphonate(LG) Polycarbonate(PC)
	Dosage (B×wt.%)	5	0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0
	Adding order	2	First SP(SP→AAS) At the same time (SP+AAS)
Type of Binder		3	BS, Fly ash, BS+FA

SH : Sodium Hydroxide(NaOH)  
SS : Sodium Silicate

Table 3 Mixture proportions

Mixture	Unit mass(kg/m <sup>3</sup> )			
	W	BS	Alkaline activator	S
BS	104	500	184	581

본 실험에 사용된 알칼리 활성 모르타르는 10리터 믹서에 먼저 고로슬래그와 잔골재를 넣어 30~40 rpm 속도로 2분 동안 건비빔을 실시한 다음, 1일 전에 제조된 알칼리 활성화제 및 배합수를 넣어 다시 70~80 rpm 속도로 3분 동안 믹싱하여 제조하였다.

### 2.3 실험방법

제작된 모르타르에 대해 유동성을 평가하기 위해 KS L 5105에 준하여 시간이 경과함에 따른 플로우의 변화를 측정하였다. 그리고 50×50×50 mm의 모르타르 공시체를 제작하여 23±2°C의 상온에서 기건양생(습도 65±10% R.H.)을 28일 동안 실시한 후 압축강도를 측정하였으며, 압축강도 값은 공시체 5개의 평균값이다.

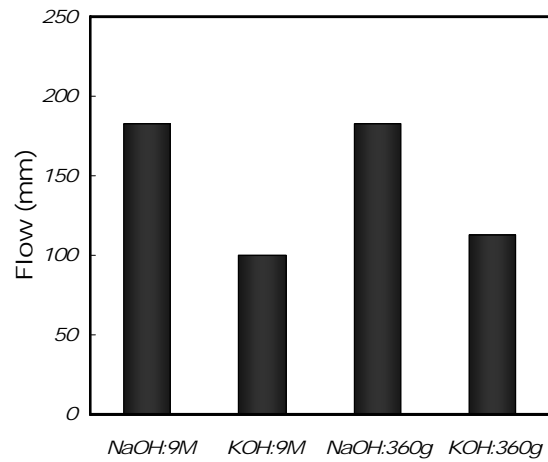


Fig. 2 Influence of the type of alkaline activators on flowability

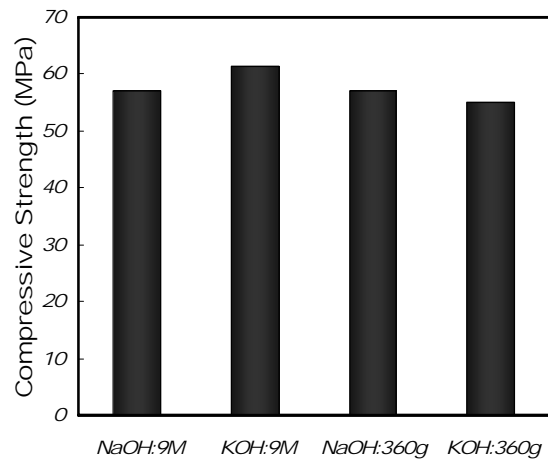


Fig. 3 Influence of the type of alkaline activators on strength

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 알칼리 활성화제의 영향

#### 3.1.1 알칼리 자극제의 종류

Fig. 2는 알칼리 자극제의 종류가 시공성에 미치는 영향이다. 알칼리 자극제로 NaOH와 KOH의 사용을 검토하였다. 동일한 9M에 대해서 비교하면, KOH를 사용한 경우에는 믹싱이 되지 않을 정도로 플로우가 거의 없었고 NaOH를 사용한 경우, 플로우가 180 mm 정도로 나타났다. 그리고 동일한 질량에서 비교한 경우에도 NaOH는 KOH에 비해 유동성 확보에 유리한 것으로 나타났다. Fig.3은 압축강도를 비교한 것인데, 동일한 9M에서 사용한 경우에는

KOH가 NaOH보다 강도가 약간 높으나, 동일한 질량에서는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. KOH를 수용액으로 제조할 경우에는 급격한 반응으로 끓는 현상이 발생하는 등 제조하는데 어려움이 있으며, 경제성 측면에서도 KOH가 불리하므로 알칼리 자극제로 NaOH를 사용하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 따라서 이후 실험에서 알칼리 자극제로 NaOH를 사용하였다.

### 3.1.2 알칼리 자극제의 농도

Fig.4는 알칼리 자극제의 몰 농도에 따른 유동성 결과이다. 알칼리 자극제로 NaOH의 몰 농도가 증가함에 따라 유동성이 크게 감소하고 있는데, 이것은 고로슬래그의 CaO와 급격히 반응하기 때문으로 판단된다.

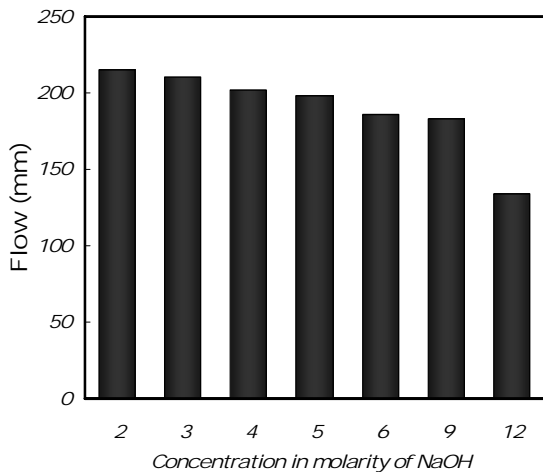


Fig. 4 Influence of concentration of NaOH liquid in molarity[M] on flowability

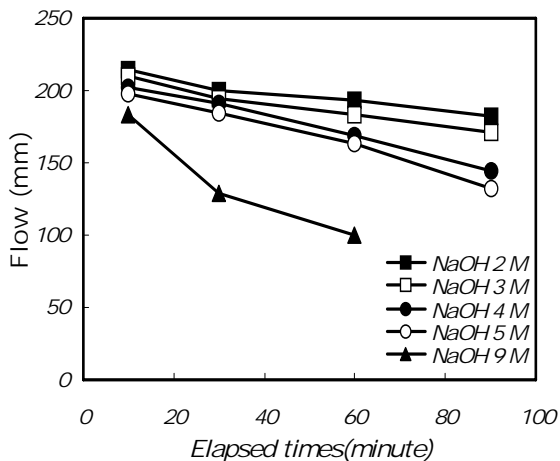


Fig. 5 Flowability changes according to concentration of NaOH

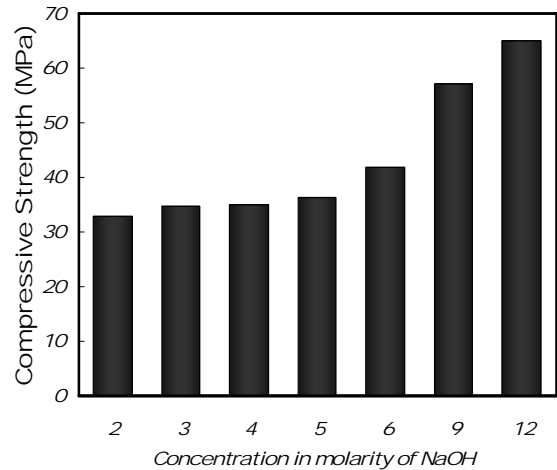


Fig. 6 Compressive strength according to concentration of NaOH

Fig.5는 알칼리 자극제의 몰 농도에 따른 유동성의 경시변화이다. 그 결과, NaOH의 몰 농도가 증가함에 따라 유동성 손실이 증가하며, 9M 이상부터는 제조초기부터 급격히 유동성 손실이 발생하여 30분이 경과되는 시점에서 워커빌리티가 거의 없는 것으로 나타났으나, NaOH 2M과 3M은 유동성 손실이 매우 작아 90분이 경과되더라도 플로우가 180 mm 정도의 유동성을 가지고 나타났다. 즉 고로슬래그 무시멘트 알칼리 활성 콘크리트의 시공성 측면에서 NaOH 3M 이하가 적절한 것으로 판단된다.

Fig. 6은 알칼리 자극제 NaOH의 몰 농도에 따른 압축강도 결과이다. NaOH의 몰 농도가 낮을수록 강도는 감소되는 경향이 있으며, 특히 9M 이상과 6M 이하를 경계로 크게 차이가 있는 것으로 나타났다. 이처럼 NaOH의 몰 농도가 감소함에 따라 강도가 저하되는 것은 중합반응에 필요한 Na<sup>+</sup> 이온이 상대적으로 감소하기 때문으로 판단된다.

이상과 같이 고로슬래그 무시멘트 알칼리 활성 콘크리트의 시공성 측면에서 NaOH의 몰 농도가 3M이 유리한 것으로 나타났으나, 강도측면에서 9 M과 비교하여 40% 정도의 강도가 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.1.2 알칼리 활성화제의 혼합비율

Fig.7은 NaOH(SH)와 쇼둠실리케이트(SS)의 혼합비율이 시공성에 미치는 영향이다. 쇼둠실리케이트의 혼합비율이 증가함에 따라 유동성이 감소하는 경향을 나타냈다. 이처럼 쇼둠실리케이트가 시공성에 나쁘게 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이것은 쇼둠실리케이트 자체의 점성이 높고, 액상으로 존재하는 Si, Al 성분이 고로슬래그와 급격

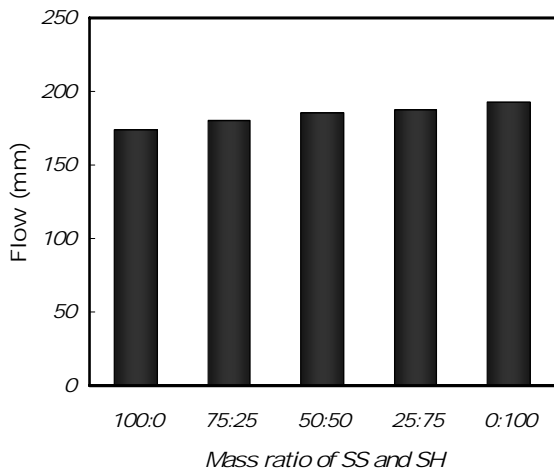


Fig. 7 Flowability according to sodium silicate(SS) to NaOH(SH) liquid ratio by mass

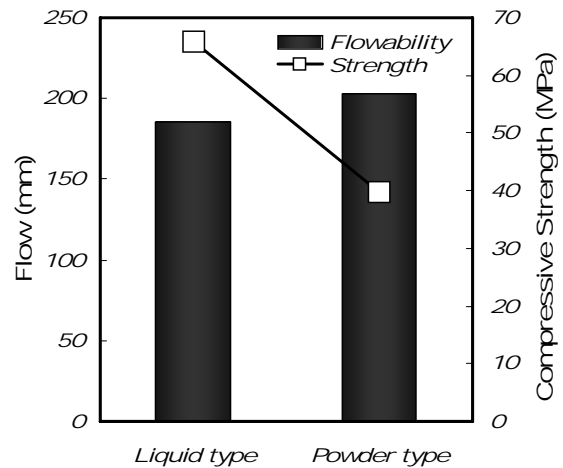


Fig. 9 Influence of the type of sodium silicate on flowability and compressive strength

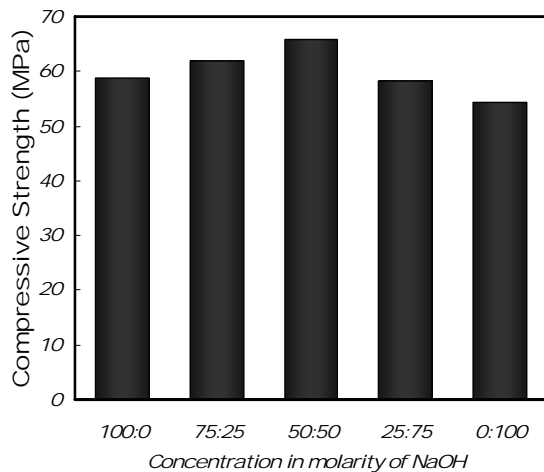


Fig. 8 Compressive strength according to sodium silicate(SS) to NaOH (SH) liquid ratio by mass

히 반응하기 때문으로 판단된다.

Fig. 8은 NaOH와 쇼둠실리케이트의 혼합비율이 강도에 미치는 영향이다. NaOH와 쇼둠실리케이트의 혼합비율이 50:50인 경우가 가장 높은 강도가 발현되고 있다.

이상과 같이 NaOH와 쇼둠실리케이트의 혼합비율도 시공성 및 강도에 미치는 영향이 다르고, 종합적으로 고려할 경우에는 50:50으로 혼합하여 사용하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

### 3.1.3 쇼둠실리케이트의 종류

Fig. 9는 액상형 쇼둠실리케이트와 분말형 쇼둠실리케이트가 시공성과 압축강도에 미치는 영향이다. 고로슬래그

무시멘트 알칼리 활성 콘크리트의 시공성 측면에서 액상형 쇼둠실리케이트 보다는 분말형 쇼둠실리케이트를 사용한 것이 유리한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 분말형 쇼둠실리케이트가 반응성이 작아 분말이 용해되기 전까지 충분한 시공성 확보가 가능한 것으로 분석된다. 그러나 압축강도는 분말형 쇼둠실리케이트를 사용한 경우 40% 정도의 강도가 감소되기 때문에 주의할 필요가 있다. 알칼리 활성화제 종류가 고로슬래그 알칼리 활성 콘크리트의 시공성에 미치는 영향을 검토한 Coolins와 Sanjayan의 연구에 의하면<sup>13-14)</sup>, 본 연구결과와 마찬가지로 분말형 쇼둠실리케이트는 일반 시멘트 콘크리트에 비해 슬럼프가 높고 슬럼프 경시변화도 작은 것으로 나타났으나, 액상형 쇼둠실리케이트, NaOH와  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 를 조합사용한 경우에는 시공성이 저하되는 것으로 나타났다.

## 3.2 고성능 감수제의 영향

### 3.2.1 고성능 감수제의 종류와 사용량

Fig.10은 고성능 감수제의 종류와 사용량이 유동성에 미치는 영향이다. 나프탈렌계(NP)와 폴리칼본산계(PC)를 사용한 경우에는 약간의 유동성 증진 효과가 있었으며, 멜라민계(ML)는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 그리고 리그닌산계(LG) 감수제는 오히려 유동성이 저하되는 것으로 나타났다.

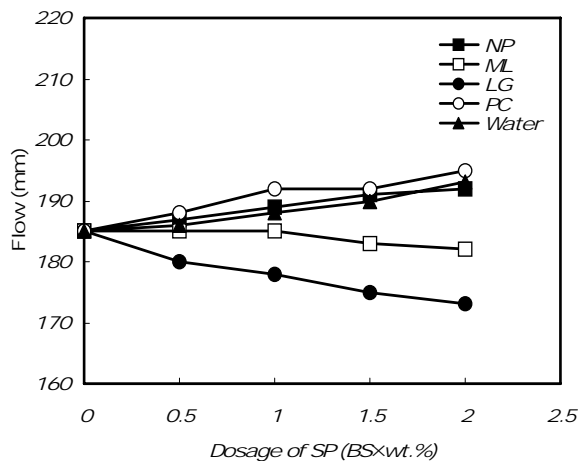


Fig. 10 Effect of the type and dosage of superplasticizer on flowability

본 연구에 사용된 감수제의 감수효과는 정전기적인 반발력과 고분자 흡착층의 상호작용에 의한 입체반발력(입체장해 작용)에 단독 또는 종합적으로 발휘되어 나타난다. 본 연구에 사용된 고로슬래그 기반 무시멘트 알칼리 활성화 모르타르에서 알칼리 활성화제의 사용으로 인한 높은 알칼리 환경이 조성되어 감수제의 이런 작용이 발휘되지 않거나 방해받거나 감수제 종류 및 양에 상관없이 유동성 증진에 효과가 없거나 오히려 저하되는 것으로 분석된다. 물을 추가로 사용한 경우에는 감수제를 사용하는 것보다 유동성이 증진되고 있는 데 물은 알칼리 환경에서도 유동성 증진 효과가 기여한 것으로 판단된다. 한편, 화학혼화제가 고로슬래그 알칼리 활성화 콘크리트의 시공성에 미치는 영향을 검토한 Barkharev et al.의 연구에 의하면<sup>9)</sup>, 리그노설폰네이트 감수제는 알칼리 활성화제 종류에 관계없이 시공성을 향상시키고, 나프탈렌계 감수제는 초기 유동성은 증가시키나, 급격히 유동성이 손실되는 것으로 보고하고 있다.

이상과 같이 포틀랜드 시멘트에 사용되는 기존 감수제는 고로슬래그 기반 무시멘트 알칼리 활성화 콘크리트에서 높은 알칼리 환경 등으로 인해 감수효과가 제대로 발휘되지 못하고 있다. 따라서 무시멘트 콘크리트의 시공성을 제어하기 위해서는 새로운 고성능 감수제 개발이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.2.2 고성능 감수제의 투입순서

Fig.11은 고성능 감수제의 투입 순서에 따른 플로우의 경시변화를 나타낸 것이다. 시험결과 고성능 감수제를 먼저 투입하는 것이 동시에 투입하는 경우보다 유동성이 향

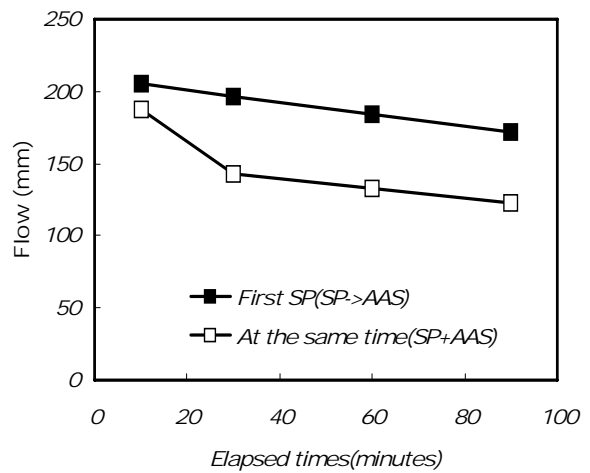


Fig. 11 Effect of the adding order of SP on flowability

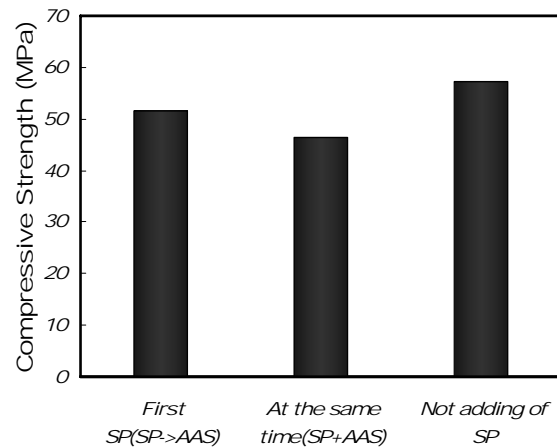


Fig. 12 Effect of the adding order of SP on compressive strength

상되는 것으로 나타났다. 고성능 감수제를 먼저 투입한 경우에는 고로슬래그 입자표면에 감수제가 부착되어 코팅되어 어느 정도의 감수효과가 발휘되는 것으로 분석된다. 그리고 도 동시에 투입한 경우에는 알칼리 활성화제가 고로슬래그와 급격히 반응하면서 고성능 감수제의 분산효과를 저하시키는 것으로 판단된다.

Fig.12는 고성능 감수제 투입 순서에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 고성능 감수제를 사용한 경우에는 투입순서에 관계없이 압축강도가 감소하고 있으며, 특히 고성능 감수제와 알칼리 활성화제를 동시에 투입한 경우가 더욱 강도 저하가 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 고성능 감수제의 추가로 강도가 저하되는 것은 유동성 부족으로 다짐 등에 문제가 발생할 수 있을 것으로 분석된다.

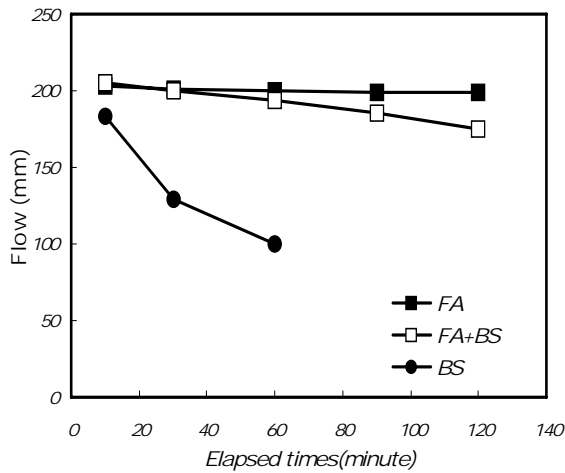


Fig. 13 Effect of the type of binders on flowability

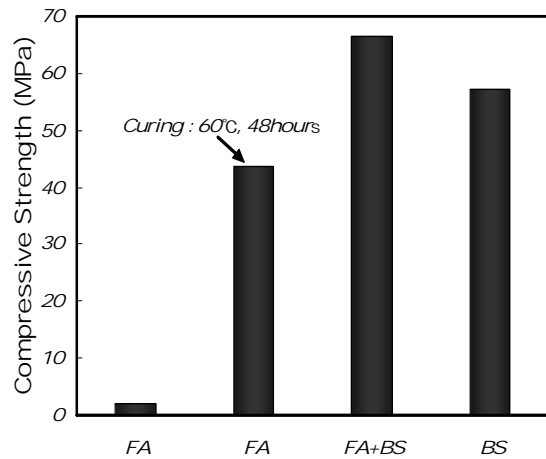


Fig. 14 Effect of the type of binders on compressive strength

### 3.3 분체 종류의 영향

Fig. 13과 Fig.14는 각각 분체의 종류가 무시멘트 알칼리 활성화 모르타르의 유동성 및 압축강도에 미치는 영향이다. 배합은 Table 3의 고로 슬래그 대신에 분체를 플라이애쉬, 플라이애쉬와 고로슬래그를 각각 50%씩 혼합한 것을 제외하고 동일한 것을 사용하였다. 그리고 분체로 플라이애쉬를 사용한 무시멘트 콘크리트에서 상온에서 강도가 발휘되지 않기 때문에 60°C에서 48시간 동안 고온양생을 실시한 압축강도의 결과를 추가하여 비교하였다.

분체로 플라이애쉬, 플라이애쉬와 고로슬래그를 혼합한 경우에는 초기에 플로우가 200 mm 이상이고, 2시간이 경

과하더라도 플로우의 변화가 거의 없이 190 mm 이상을 나타내고 있다. 이에 비해 고로슬래그 무시멘트 알칼리 활성화 모르타르는 초기에 180 mm 정도이었으나, 30분이 경과되면서 유동성을 거의 잃어버리는 것으로 나타났다. 이처럼 플라이애쉬를 사용한 경우가 고로슬래그보다 유동성이 향상되는 것은 플라이애쉬 표면에 유리질 피막이 형성되어 있어 중합반응이 발생하기 전까지 시간이 걸려 유동성 저하가 거의 발생하지 않은 것으로 판단된다. 이에 반해 고로슬래그를 사용한 경우에는 중합반응에 필요한 Al-Si 성분이 표면에 있어 알칼리 활성화제와 직접적으로 반응하여 알칼리 활성화제의 몰 농도가 증가할수록 유동성이 급격히 저하되는 것으로 분석된다.

압축강도는 앞에서 설명한 바와 같이 상온양생 조건에서 플라이애쉬를 사용한 경우에는 압축강도가 거의 발현되지 않고 있으나, 고로슬래그 또는 플라이애쉬와 고로슬래그를 사용한 경우에는 압축강도가 50 MPa 이상으로 고강도를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

## 4. 결론

본 연구에서는 고로슬래그 무시멘트 알칼리 활성화 콘크리트의 성능 향상 기술을 개발할 목적으로 특히 유동성 및 강도 측면에서 알칼리 활성화제, 고성능 감수제의 종류 및 투입방법 등에 대해 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 알칼리 자극제로는 시공성, 제조상의 안정성 및 경제성을 고려한 경우, KOH를 사용하는 것보다는 NaOH를 사용한 것이 유리하다. NaOH의 몰 농도가 증가할수록 유동성은 저하되며, 유동성 측면에서 NaOH의 몰 농도가 3M이 유리하나, 강도 측면에서 9M과 비교하여 40% 정도의 강도가 저하되는 것으로 나타났다.

2) 유동성과 강도를 종합적으로 고려한 경우, NaOH와 쇼튬실리케이트의 혼합비율은 50:50이 적절한 것으로 판단된다. 그리고 쇼튬실리케이트는 유동성 측면에서 액상형보다는 분말형이 유리하나, 강도가 40% 정도 저하되기 때문에 주의할 필요가 있다.

3) 포틀랜드 시멘트에 사용되는 기존 감수제를 고로슬래그 기반 무시멘트 알칼리 활성화 콘크리트에 사용할 경우, 감수효과가 제대로 발휘되지 못하는 것으로 분석되며, 무시멘트 콘크리트용 고성능 감수제 개발이 필요할 것으로 판단된다.

4) 고성능 감수제를 믹서에 투입하는 순서에 따라 유동

성에 미치는 영향이 다르고, 고성능 감수제를 먼저 투입하고 나중에 알칼리 활성화제를 투입하는 경우가 유동성 향상에 유리하다.

5) 무시멘트 알칼리 활성화 콘크리트에서 고로슬래그는 플라이애쉬에 비해 강도 발현 측면에서 유리하나, 유동성은 크게 저하되는 것으로 나타났다.

### 감사의 글

이 연구는 지식경제부, 한국에너지기술평가원의 전력산업원천기술개발사업 지원으로 이루어졌으며, 이에 대해 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

- 1) 강현진, 고경택외 5인, 시멘트를 사용하지 않은 플라이애시 알칼리 활성화 모르타르의 압축강도에 미치는 알칼리 활성화제 및 양생조건의 영향, 자원리싸이클 제18권 제2호, pp.39~50, 2009
- 2) 고경택, 류금성, 이장화, 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 혼합 사용한 무시멘트 알칼리 활성화 모르타르의 유동성 및 강도특성, 한국건설순환자원학회 논문집, 제5권 제4호, pp.114~ 121, 2010
- 3) 문영범, 이승현, 알칼리 활성화 슬래그 시멘트 모르타르의 내황산성, 한국세라믹학회지, Vol. 44, No.11, pp.633~638, 2007
- 4) 양근혁, 송진규, 알칼리 활성화를 이용한 무시멘트 콘크리트의 구조 성능 및 적용, 한국콘크리트학회, 제 19 권 2호, pp.42~48, 2007.
- 5) POSCO 홈페이지(www.posco.co.kr)
- 6) 한천구, 손석현, 박경택, 순환잔골재를 사용한 무 시멘트 고로슬래그 모르타르의 배합요인에 따른 품질특성, 한국건설순환자원학회 논문집, 제5권, 제3호, pp.69~76, 2010
- 7) Antonio A. Meolo Neto, et al., Drying and autogenous shrinkage of pastes and mortars with activated slag cement, Cement and Concrete Research, 38, pp.565~574, 2008
- 8) Bakharev T., Sanjayan J.G, and Cheng Y.B, Alkali activation of Australian slag cements, Cement and Concrete Research 29, pp.113~120, 1999
- 9) Bakhrev T., Sanjayan J.G., Cheng Y.B, Effect of admixtures on properties of alkali-activated slag concrete, Cement and Concrete Research, 30, pp.1367~1374, 2000
- 10) Bakhrev T., Sanjayan J.G., Cheng Y.B, Resistance of alkali-activated slag concrete to carbonation, Cement and Concrete Research, 31, pp.1277~1283, 2001
- 11) Bakhrev T., Sanjayan J.G., Cheng Y.B, Sulfate attack on alkali-activated slag concrete, Cement and Concrete Research, 32, pp.211~216, 2002
- 12) Cengiz Duran Atis et al., Influence of activator on the strength and drying shrinkage of alkali-activated slag mortar, Construction and Building Materials, 2007
- 13) Collins F., Sanjayan J.G., Early ages strength and workability of slag pastes activated by NaOH and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Cement and Concrete Research, Vol.28, pp.655~664, 1998
- 14) Collins F., Sanjayan J.G., Workability and mechanical properties of alkali activated slag concrete, Cement and Concrete Research, Vol.28, pp.455~ 458, 1999
- 15) Davidovits J., Geopolymers and geopolymeric materials, Thermal Analysis and Calorimetry, 35(2), 1989
- 16) Koh K.T. et. al., Properties of Cement Zero Concrete, PICLS 2010, pp.113~ 122, 2010
- 17) Jolicoeur C. et al., Chemical activation of blast-furnace slag, An overview and systematic experimental investigation, Advances in Concrete Technology, pp.471~502, 1992
- 18) Palacios, M., Puertas F., Effect of shrinkage-reducing admixtures on the properties of alkali-activated slag mortars and pastes, Cement and Concrete Research, 37, pp.691~702, 2007
- 19) Sanjayan K. et al. Influence of granulated blast furnace slag on the reaction, structure and properties of fly ash based geopolymer, J Mater Sci, 45, pp.607~615, 2010
- 20) Shi C. et al., Alkali-Activated Cements and Concretes, Taylor & Francis, 2006
- 21) Wang S.D. et al., Alkali-activated cement and concrete, A review of properties and problems, Advanced Cement Research, 27, pp.93~102, 1995



### 고로슬래그를 사용한 무시멘트 알칼리 활성 모르타르의 유동성과 압축강도

포틀랜드 시멘트 제조 시 다량의 이산화탄소를 배출함으로써 많은 문제가 발생하고 있다. 그리고 화력발전소 및 제철소의 산업부산물인 플라이애쉬 및 고로슬래그는 시멘트와 일부 대체하여 콘크리트로 일부 재활용되고 있으나, 42% 정도를 해안 및 육상에 매립함으로써 환경적인 문제를 유발하고 있다. 최근 결합재로 시멘트를 사용하지 않은 알칼리 활성 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 시멘트를 전혀 사용하지 않고 결합재로서 고로슬래그 미분말을 사용한 무시멘트 알칼리 활성 콘크리트를 개발할 목적으로 유동성과 압축강도 측면에서 알칼리 활성화제와 고성능 감수제에 대해 검토에 대해 검토하였다. 그 결과, 알칼리 활성화제의 종류 및 혼합비율, 고성능 감수제의 종류, 투입순서 등은 고로슬래그를 사용한 알칼리 활성 모르타르의 유동성과 압축강도에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 고로슬래그 무시멘트 알칼리 활성 모르타르를 제조하는데, 9M NaOH와 분말형 쇼둠실리케이트를 1:1의 비율로 제조한 알칼리 활성화제를 사용하고, 고성능 감수제를 먼저 투입한 경우에는 1시간 동안 플로우 180 mm의 유동성과 20℃의 상온양생조건에서 재령 28일에서 압축강도 50 MPa를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.