

# 저열 시멘트의 유동성에 미치는 고로 슬래그 분말도의 영향

조현대, 황인수, 조계홍\*, 박춘근\*, 송종택  
<단국대학교, 쌍용양회 중앙연구소\*>

## 1. 서 론

최근 산업의 발달과 더불어 토목 건축 기술의 발달로 인해 콘크리트 구조물의 고층화·대형화가 이루어지고 있으며, 또한 노동인력의 감소현상등을 초래하고 있다. 이러한 대형 구조물의 시공에 있어서 보통 포틀랜드 시멘트는 높은 수화열로 인해 구조물의 내구성을 저하하는 것은 물론 낮은 유동특성으로 여러 가지 시공상 장애요인을 갖게되며, 시공단가를 높이는 요인으로 작용하게 된다. 이에 따라 시멘트 콘크리트 재료분야에서는 고유동·저발열·고강도등을 갖는 고기능성 시멘트와 새로운 혼화재료의 개발 필요성이 점차 대두되고 있다.

본 연구에서는 최근 많이 사용되고 있는 폴리카르본산계 유기 혼화제를 첨가한 Belite Rich Cement(이하 BRC)에서 분말도가 각각 다른 고로슬래그(이하 슬

래그)를 첨가하였을 때 그 유동특성의 변화에 대해 검토해 보았다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 실험재료

본 연구에서 사용한 시멘트재료로는 고유동, 장기강도가 우수한 BRC를 사용하였으며 Blaine은  $4000\text{cm}^2/\text{g}$ 으로 고정하였다. 또한 첨가된 슬래그는 Blaine 4500, 6000,  $8000\text{cm}^2/\text{g}$ 이며 각각 0, 15, 30, 50%를 첨가하여 유동특성을 보았다. Table 1과 Table 2는 BRC와 슬래그의 화학조성 및 광물상조성을 나타내고 있다.

유기 혼화제로는 폴리카르본산계 유기 혼화제를 사용하였으며, 이를  $105^\circ\text{C}$ 에서 24시간동안 증발건조하여 산출된 고형분은 약 15.1%였다.

Table 1. Chemical Compositions of BRC and Slag

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI	f-CaO
BRC	24.61	3.36	3.88	62.46	2.10	0.41	0.03	1.93	1.22	0.47
Slag 4500										
Slag 6000	31.85	14.15	0.41	44.47	5.44	0.24	0.45	2.42	-	0.57
Slag 8000										

Table 2. Compound Compositions of BRC

	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
BRC	33.56	45.26	2.33	11.80

## 2.2. 실험방법

페이스트의 유동특성과 슬래그 및 폴리카르본산계 유기 혼화제에 의한 영향성을 규명하기 위해서 minislump, viscosity, pH, 경시변화를 측정하였다. 이때 유기 혼화제의 함량은 시멘트양에 대하여 0.5, 0.7, 1.0, 1.3%가 되도록 하였으며, 시멘트/물비는 0.35가 되도록 하였다. 모든 실험에 있어서 90분까지 30분 단위로 경시변화를 측정하였으며, 측정 전 1분간 재교반을 시켜주었다.

Fig. 1은 본 실험의 Flow chart이다.

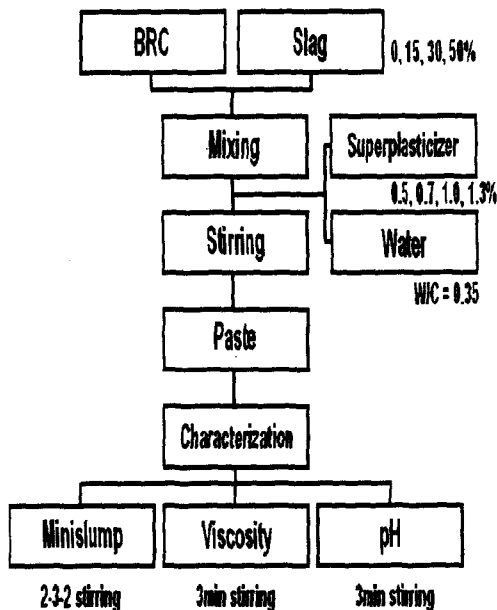


Fig. 1 Flow chart of experimental procedure

### 1) Minislump<sup>1,3)</sup>

시멘트 페이스트의 유동특성을 알기 위해 minislump를 측정하였다. 2-3-2교반에 의해 교반을 하였으며 minislump cone을 제거한 후 페이스트의 유동이 멈추었을 때 중심을 지나는 대각선 4방향의 평균직경으로 그 결과를 표시하였다.

### 2) Viscosity

시멘트 페이스트의 점도는 페이스트를 3분간 교반후 점도계(Brookfield RVDV II+, spindle No.6)를 사용하여 점도가 비교적 안정화되는 20초후에 측정을 수행하였다.

### 3) pH측정

각 시료의 유동특성에 pH가 미치는 영향을 알아보기 위해서 분체에 대해 10배 희석을 하여 pH(Orion model, 420A)를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. Minislump

Fig. 2는 각각의 슬래그 첨가하였을 경우 초기 minislump 결과이다. 그림에 나타낸 바와 같이 유기혼화제의 유동특성 발현은 물과 혼화제 첨가직후부터 발현을 나타내고 있으며, 슬래그 4500의 첨가량이 많아질수록 페이스트의 유동특성이 증가함을 보여주고 있다. 또한 경시변화 측정결과를 Fig. 3에 나타냈다.

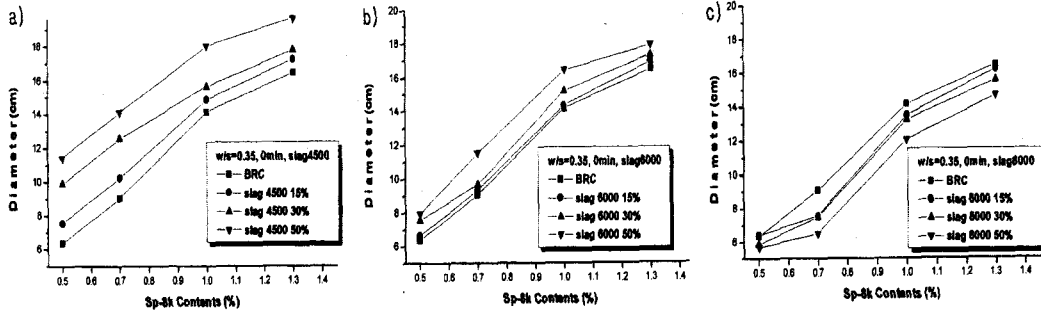


Fig. 2 Initial minislump as a function of sp-8k dosage in BRC contained slag  
 a) slag 4500      b) slag 6000      c) slag 8000

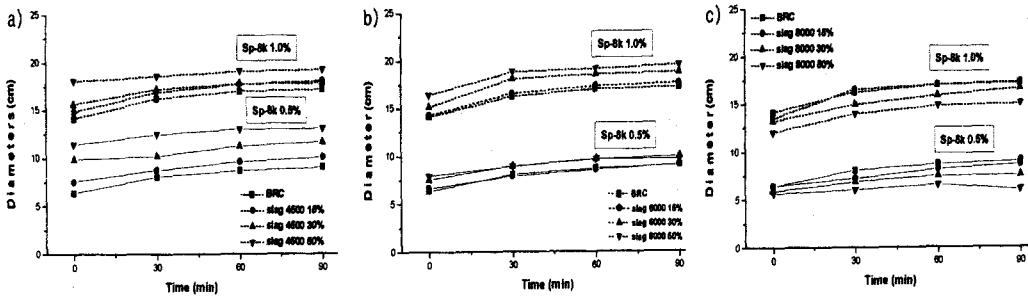


Fig. 3 Change of minislump with time as a function of sp-8k dosage in BRC contained slag  
 a) slag 4500      b) slag 6000      c) slag 8000

90분까지 슬럼프 손실은 거의 발생하지 않았으며, 시간이 경과함에도 불구하고 높은 유동특성을 유지하고 있다. 이것은 폴리카르본산계 유기 혼화제의 고분자 사슬이 시멘트입자의 2차 응집을 입체적으로 방해하고 있기 때문이다.

슬래그 분말도가 높아짐에 따라 점차 minislump 측정값이 높아지고 있으며 슬래그 8000을 첨가하였을 경우, 유기 혼화제의 함량이 작을수록, 첨가된 슬래그 함량이 많아질수록 슬럼프 손실이 서서히 발생하는 경향을 보이고 있다. 이것은 비표면적이 증가함에 따라 단분자 흡착에 필요한 유기 혼화제 함량이 증가하

기 때문에 유동특성 저하 현상이 발생할 수 있다.

### 3.2. Viscosity

Fig. 4와 5는 시멘트 페이스트의 초기 점도값과 경시변화에 대한 결과를 나타내고 있다. 슬래그 4500을 첨가한 경우, 첨가량이 증가할수록 대체적으로 점도값이 저하함을 보여주고 있으나, 슬래그 8000을 첨가한 경우는 첨가량이 증가할수록 점도값이 큰 폭으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한, 슬래그의 분말도가 증가함에 따라 점도값이 증가하는 경

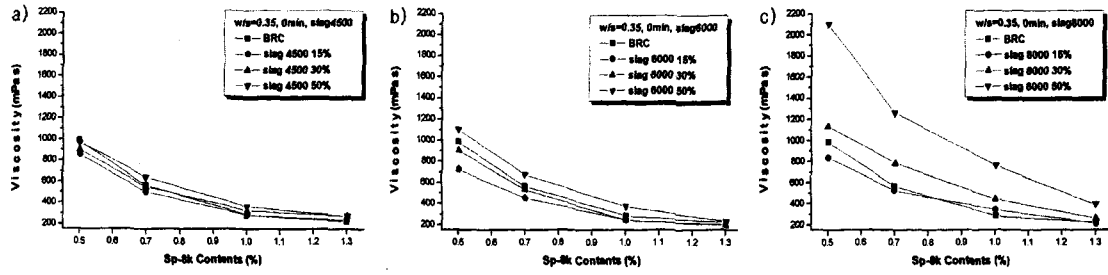


Fig. 4 Initial viscosity as a function of sp-8k dosage in BRC contained slag  
a) slag 4500      b) slag 6000      c) slag 8000

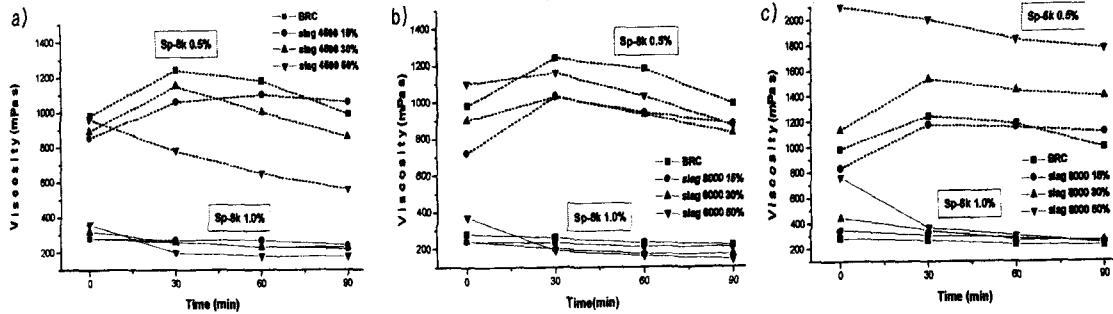


Fig. 5 Change of viscosity with time as a function of sp-8k dosage  
in BRC contained slag  
a) slag 4500      b) slag 6000      c) slag 8000

향을 나타낸다. 이런 결과는 minislump 결과와 잘 일치하고 있으며, 비표면적이 증가함에 따라 유동특성을 발현하게 하는 유기 혼화제의 필요량을 증가시키고 있음을 보여주고 있다.

경시변화 측정결과를 보면, 슬래그 함량이 증가할수록 시간에 따른 유동화제의 특성이 나타나는 시기가 빨라지고 있음을 보여주고 있다. 이러한 이유는 상대적으로 수화활성이 작은 슬래그 함량이 증가하면 시멘트량이 감소하여 유동성 발현시기가 빨라지는 것으로 보여진다.

### 3.3. pH 측정

수화의 정도가 유동성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 pH를 측정된 결과를 Fig. 6에서 보여주고 있다. 모든 경우에 있어서 시간이 지남에 따라 pH측정값이 증가하였으며, 슬래그 함량이 증가할수록 pH측정치는 작아지는 경향성을 보여주고 있다. 이것은 슬래그 함량이 증가할수록 물과 접촉시 빠르게  $Ca^{2+}$  이온등의 용출을 일으키는 시멘트 함량이 감소하기 때문이다.

비표면적이 작은 슬래그 4500을 첨가한 경우를 비표면적이 큰 슬래그를 첨가

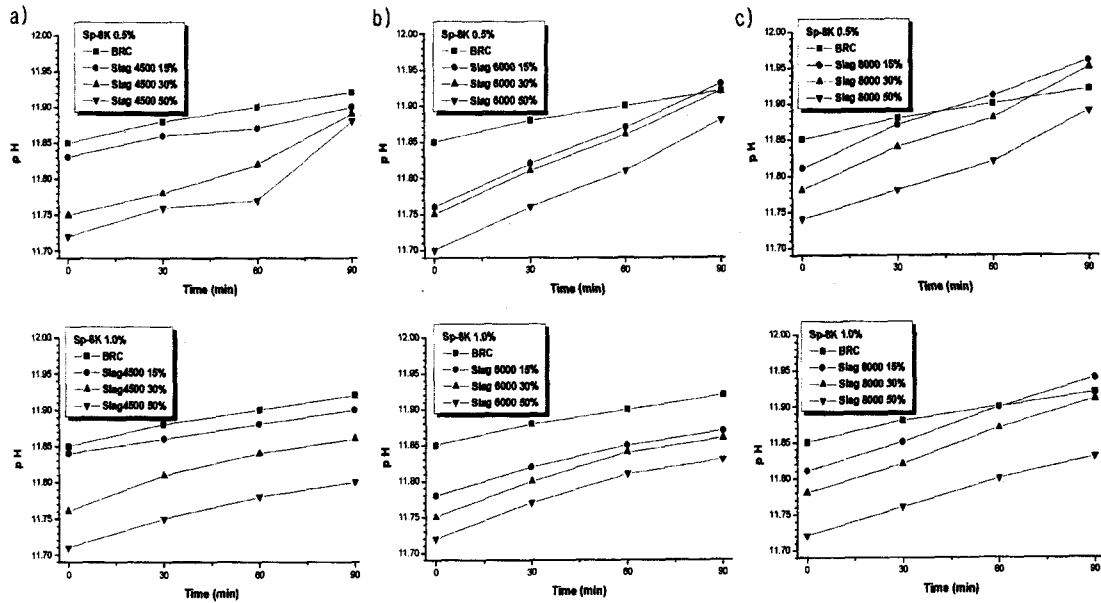


Fig. 6 Change of pH value with time as a function of sp-8k dosage in BRC contained slag  
 a) slag 4500      b) slag 6000      c) slag 8000

한 경우와 비교하여 보면 pH의 증가속도가 슬래그 분말도가 높아질수록 증가하는 경향을 보이고 있으며 슬래그 8000을 첨가한 경우는 초기뿐만 아니라 90분 후에도 높은 pH측정치를 보이고 있다. 슬래그 분말도의 증가는 물과 반응을 일으키는 비표면적이 커지게 되므로  $Ca^{2+}$  이온등의 용출량이 시간에 따라 빠른 속도로 증가하기 때문이다. 또한 이러한 결과는 시료의 수화속도의 증가를 초래하기 때문에 유동성을 감소시키게 되는 한 원인이 될것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

폴리카르본산계 유기혼화제를 첨가한 Belite Rich Cement에서 분말도가 다른 슬래그첨가시 그 영향성을 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Blaine 4500, 6000 $cm^2/g$  슬래그를 첨가한 경우 첨가량이 증가할수록 유동특성이 대체로 우수하였으나, 8000 $cm^2/g$  슬래그를 첨가한 경우는 시간에 따라 빠른 속도로  $Ca^{2+}$  이온등의 용출량이 많아지고 비표면적에 대한 혼화제의 흡착량이 많아져 유동특성이 저하하였다.
2. 폴리카르본산계 유기혼화제에 의한 시멘트 입자의 분산력으로 시멘트 입자의 응집이 장시간 발생하지 않아 슬럼프 손실은 거의 발생하지 않았다.

#### < 참고문헌 >

1. 노재성, 이범재, 김도수, 이병기, “포졸란계 미분말과 II형 무수석고 치환 시멘트 페이스트 유동성과 시멘트 모르타르의 유동성 및 압축강도”, 콘크리트학

- 회지, 9(3), 149-156 (1997)
2. 정연식, “<기술논총> 시멘트·콘크리트의 유동성”, 한국레미콘공업협회, 59, 24-35 (1999)
  3. H. Uchikawa, S. Henehara and D. Sawaki, “The Role of Steric Repulsive Force in the Dispersion of Cement Particles in Fresh Paste prepared with Organic Admixture”, *Cem. Concr. Res.*, 27(1), 37-50 (1997)
  4. 김재영, “저분말도 포틀랜드시멘트 및 고로슬래그 혼합시멘트의 수화특성”, 석사학위 논문집 (1998)
  5. A. Ohno and M. Nakamura, “Adsorption Behavior of Polycarboxylic Acid Type Admixture on Belite-Rich Cement”, *Cem. Scie. and Concr. Tech.*, 50, 892-897 (1996)
  6. T. Okamura, M. Takehiro, S. Uchida, H. Uchigawa and M. Daimon, “Influence of Compacting-Ability of Cement Particles and Its Initial Hydration on the Fluidity of Fresh Cement Paste and Mortar”, *Inorganic Materials*, 6, Jan. 22-32 (1999)
  7. A. Ohta and T. Umoto, “Study on the Dispersing Mechanism of Polycarboxylate-based Dispersant”, *Cem. Scie. and Concr. Tech.*, 52, 138-143 (1998)
  8. 김은영, 홍성수, 김도수, 노재성, “시멘트에 함유된 석고가 분산제의 분산특성에 미치는 영향”, 23회 시멘트 심포지엄, 232-238 (1995)