

# 고로슬래그 분말도가 시멘트 페이스트의 유동특성에 미치는 영향

유창달\* · 송종택

<단국대학교 신소재공학과>

## 1. 서 론

최근 콘크리트의 품질을 향상시키기 위하여 고로슬래그(이하 슬래그라 함), 플라이 애쉬, 실리카 흙 등 혼합재에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 슬래그는 선철의 제조 시 부산물로서 얻어지는 잠재수경성 물질로써 미분말의 형태로 시멘트에 혼합되어 사용되어지고 있다. 시멘트 혼합재로써 슬래그 미분말을 사용할 경우, 시멘트 제조 시에 소요되는 막대한 에너지를 절약할 수 있기 때문에 에너지 절약형 시멘트로써 큰 장점을 가지고 있다. 또한 고로슬래그 미분말을 혼합한 시멘트는 일반포틀랜드시멘트(OPC)와 비교하였을 때 장기 재령에서의 강도가 높으며, 초기수화열이 낮고, 내구성 증진, 화학적 안정이 되는 등의 시멘트 경화체의 물성을 개선시켜주는 장점이 있다<sup>1-2)</sup> 이러한 이유로 최근 슬래그의 특성을 살려 주로 슬래그의 치환량과 분말도에 따른 기초물성에 관한 연구가 대부분이었다.<sup>3-4)</sup>

특히, 일정량의 슬래그 치환은 유동성 향상에 기여하는 것으로 알려져 있으나, 오히려 4000~8000cm<sup>2</sup>/g인 분말도에서 주로 검토되어 왔다.

그러나 초미분슬래그의 유동특성에 관한 연구들은 미비한 실정이다.<sup>6-8)</sup> 따라서 본 실험에서는 분말도가 3500~9600cm<sup>2</sup>/g인 슬래그에 대하여 첨가량을 달리하여 유동특성을 조사하였다. 또한 고유동성을 발현하는 PC의 영향성도 검토하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 실험재료

본 실험에 사용된 재료는 H사의 보통 포틀랜드 시멘트(OPC), S사의 슬래그를 사용하였으며, 화학조성은 Table 1에 나타내었다. 이들 원료 중에서 슬래그는 Blaine을 각각 3500, 6600, 9600cm<sup>2</sup>/g(이하 S1, S2, S3라 함)으로 구분을 하였으며, 모든 슬래그의 조성은 같은 것을 사용하였다. 고성능 유동화제로서는 국내 L사의 폴리카르복산계 유동화제(이하, PC라 함)를 사용하였으며, 슬래그에 천연무수석고를 각각 첨가하여 모두 SO<sub>3</sub>함량을 약 2.5%로 고정을 하였다.

Table 1. Chemical Compositions of Materials.

(wt%)

	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>	F/CaO	K <sub>2</sub> O/ Na <sub>2</sub> O	IL
OPC	21.62	5.20	3.28	62.80	2.39	0.02	1.61	-	1.00
Slag 3500	35.06	15.09	0.73	43.84	4.27	2.5	-	-	0.01
Slag 6600									
Slag 9600									

## 2.2. 유동특성 시험

미니슬럼프 시험은 슬래그 분말도와 치환량에 따른 유동성을 알아보기 위하여 PC 첨가량을 달리하여 측정하였다. 실험은 2-3-2교반 법에 의해 교반을 하였으며 미니슬럼프 콘에 시멘트 페이스트를 채운 다음 1분간 정제한 후, 미니슬럼프 콘을 들어올려 페이스트의 퍼짐이 멈추었을 때 중심을 지나는 대각선 4방향의 평균직경을 재어 넓이를 구하여 그 결과를 표시하였다.<sup>9)</sup>

시멘트 페이스트의 점도측정은 3분간 교반 후 점도계(Brookfield RVDV II+, 100rpm, Spindle No. 6)를 사용하여 점도가 비교적 안정화되는 30초 후에 측정을 수행하였다. 점도의 경시변화는 미니슬럼프 측정방법과 동일하게 하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

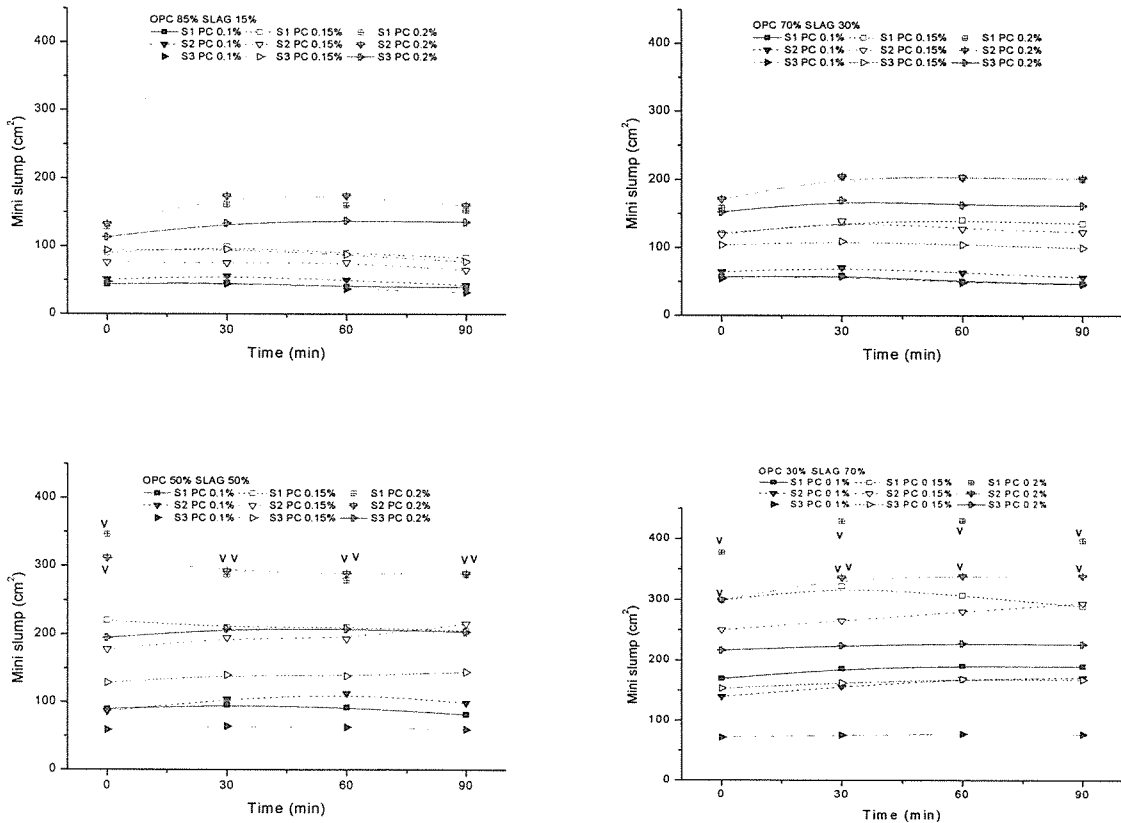


Fig. 1 Change of minislump with time in cement pastes

containing different fineness of blast furnace slags (√ : segregation)

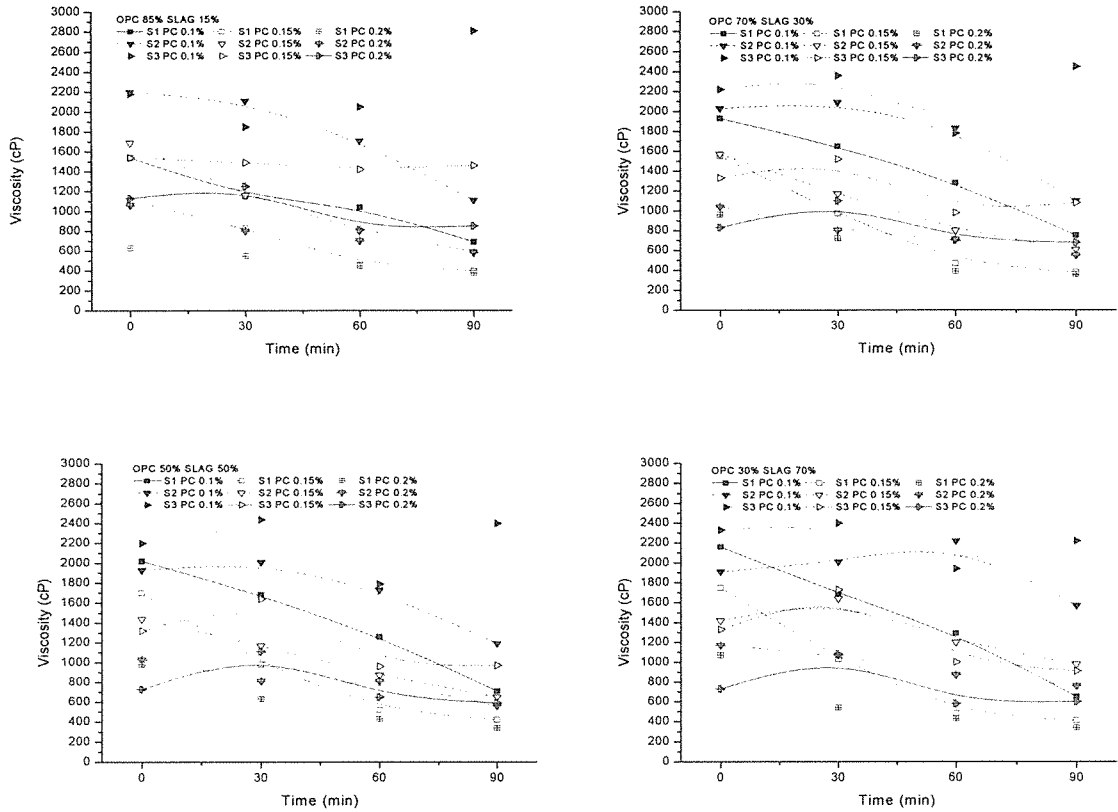


Fig. 2 Change of viscosity with time in cement pastes containing different fineness of blast furnace slags

슬래그의 치환량, 분말도, PC와을 변화하였을 때 페이스트의 미니슬럼프 및 경시변화 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 이들 실험결과로부터 PC에 의한 유동성은 물과 혼화제의 첨가직후부터 발생함을 보여주고 있으며, 그 함량이 증가할수록 페이스트의 유동특성이 증가함을 보여주고 있다. 또한 분말도가 작은 슬래그의 치환량이 증가할수록 같은 경향성을 보여주고 있다.

슬래그 S1과 S2는 치환량 또는 PC의 첨가량이 많아질수록 미니슬럼프 측정값이 증가를 하였으나, 슬래그 S3의 경우에는 전자의 경우만큼의 증가는 적은 것으로 관찰되었다. 이것은 분말도 또는 비표면적이 증가함에 따라서 단분자 흡착에 필요한 PC의 첨가량이 증가하고 수화활성이 증가하기 때문에 유동성 저하현상이 발생하기 때문이다.

또한 PC는 시멘트에 함유된 간극상과  $SO_3$ 성분에 우선 흡착을 하므로 비교적 슬래그 치환량이 많아질수록 시멘트 함량이 감소하므로 슬래그 입자에 대한 PC의 영향성이 증가하기 때문이라고 사료된다.

측정된 경시변화 결과를 살펴보면, 90분까지 slump loss는 거의 발생하지 않았고, 시간이 경과함에도 불구하고 높은 유동성을 유지하고 있다. 이것은 PC의 고분자 사슬이 시멘트 입자의 응집을 입체적으로 방해하기 때문에 오랜 시간동안 유동특성을 유지할 수 있기 때문이다.<sup>10)</sup>

Fig. 2는 시멘트 페이스트의 초기 점도값 및 90분까지의 경시변화에 대한 결과를 나타내고 있다. 측정된 점도값은 PC의 함량이 많아질수록, 그리고

치환된 슬래그의 분말도가 감소할수록 감소하는 경향성을 보여주고 있다. 이는 미니슬럼프의 결과와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

슬래그 S1, S2를 치환한 경우, 치환량과 유기혼화제의 첨가량이 증가할수록 대체적으로 점도값이 저하함을 보여주고 있지만, 슬래그 S3를 치환한 경우는 치환량이 증가할수록 점도값이 증가 또는 유지되는 경향성을 볼 수 있다. 이러한 결과로 보아서, 슬래그 분말도 및 비표면적의 증가는 동일한 유동특성을 나타내기 위한 유기혼화제의 필요량을 증가 시키고 있음을 보여주며 유동특성에 큰 영향을 미치고 있음을 확인 할 수 있었다.

경시변화 측정 결과에 있어서 슬래그의 치환량이 증가할수록 시간에 따른 PC의 특성이 나타나는 시기가 빨라지고 있다. 이러한 이유는 상대적으로 수화활성이 적은 슬래그 함량이 증가하면 상대적으로 시멘트량이 감소하여 유동성을 나타내는 시기가 빨라지는 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

고로슬래그의 분말도를 각각 3500, 6600, 9600cm<sup>2</sup>/g으로 달리한 슬래그 시멘트 페이스트에 치환량과 PC의 첨가량을 변화시켜 유동특성을 관찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 슬래그의 Blaine값이 낮을수록(S1>S2>S3) 또는 치환량이 증가 할수록 유동성이 향상되었다. S1 및 S2를 70%치환했을 경우, 0.15%에서 가장 안정적이고 우수한 유동특성을 관찰 할 수 있었다.
2. 슬래그 치환량 50%, 70%에서 교반직후부터 유동성을 보였으며 90분까지도 미니슬럼프 손실이 거의 발생하지 않고 유지되는 것을 관찰하였다. PC 0.1%의 경우에서는 슬럼프 손실은 없었으나 낮은 슬럼프값을 보였고 PC 0.15%이상에서부터 높은 미니슬럼프값을 관찰하였다.
3. 점도측정에서는 시간의 변화에 따라 점도가 낮아지고 있는데, 이는 미니슬럼프 결과와 일치하는 경향을 나타냈다. 그러나 S3의 경우에는 30분과

90분의 점도값이 약간의 상승을 관찰되었는데 이는 시간에 따라 빠른 속도로 Ca<sup>2+</sup>이온 등의 용출량이 많아지고 혼화제의 흡착량이 많아져 유동성이 저하한 것으로 생각된다.

#### 5. 참고문헌

1. 김재영, “저 분말도 포틀랜드 시멘트 및 고로슬래그 혼합시멘트의 수화특성”, 석사학위논문, (1998).
2. 한국콘크리트학회, 콘크리트 혼화재료 159-233 (1997).
3. 김승진. “고로슬래그 이용에 관한 국내 동향 및 고로슬래그콘크리트 기초물성”, 한국콘크리트 학회 PSCO Forum 발표집 59-114 (2000)
4. 최영준 외 3인, “플라이애쉬 및 고로슬래그를 사용한 시멘트페이스트의 레올로지 특성에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집 14(6) 105~115 (1998)
5. 박춘근, “광물혼화제가 혼합된 다성분 페이스트 시스템의 레올로지 특성평가” 한국콘크리트 학회 16(2) 241~248 (2004)
6. 구자술 외 3인, “고로슬래그 미분말의 치환율에 따른 콘크리트의 동결 용해 저항성에 관한 연구”, 콘크리트학회지 9(5) 149-155 (1997)
7. 김원준. “결합재의 입도분포가 슬래그 시멘트 페이스트의 유동 특성에 미치는 영향”, 석사학위 논문 (2005)
8. 변승호, “저 분말도 고로슬래그 분말을 사용한 혼합시멘트의 물성”, 한국세라믹학회, 37(1) 70~76 (2000)
9. 유호석, “폴리카복실레이트계 고유동화제의 합성 및 이를 첨가한 시멘트 페이스트와 모르타르의 특성”, 박사학위논문 (2004).
10. Shigemi Matsuo et al. “Slump Retention of a Polycarboxylate-based AE High-range Water-reducing Agent”, Cem. Scie. and Concr. Tech 52 42-247 (1998).