

# 미세 고로슬래그 분말을 혼합한 시멘트의 레올로지 특성

## Rheological Properties of Cement Mixed with Fine Blast Furnace Slag Powder Blended Cement

박 춘 근<sup>\*</sup>      김 남 호<sup>\*\*</sup>      김 학 연<sup>\*\*\*</sup>  
Park, Choon Gun   Kim, Nam Ho      Kim, Hag Youn

### ABSTRACT

High-Flowability Concrete has many advanced properties and been focused on their workability. Because of the difficulty in understanding of the quality of High-Flowability Concrete just using slump properties, many studies have been carried out rheological properties influenced on concrete fluidity . In this paper, for the purpose of expecting some level of rheological properties, the change of rheological properties of High-Flowability Concrete with dosages and types of superplasticizer, and various addition amounts additives were investigated.

#### 1. 서론

고유동콘크리트는 굳지 않은 상태의 재료분리저항성에 손실이 없이 유동성을 현저하게 개선한 콘크리트를 말한다. 그러나 고유동콘크리트는 유동성과 재료분리저항성이라는 서로 상반되는 성질을 갖고 있기 때문에 최적의 유동성을 확보하기는 많은 실험과 지식이 필요하다. 고유동콘크리트의 유동성을 확보하기 위해서는 fresh state에서 높은 유동성과 적정의 재료분리저항성이 필요하며, 이를 얻기 위한 방법으로는 레올로지 특성 측면의 관점에서 플로우 값을 크게 하고, 적당한 소성점도를 가질 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 물/결합재(W/B), 분체(BFS)의 배합을 고정 시키고, 그에 따른 혼화제 종류와 첨가량 및 증점제를 변수로 하여 페이스트의 점성을 크게 하여 재료분리를 방지하면서도 고성능 AE감수제의 큰 분산효과로 고유동콘크리트의 유동성상을 예측하기 위한 기초 실험을 수행하였다.

\* 정회원, 한국생산기술연구원 수석 연구원, 공학박사

\*\* 정회원, 한국기술교육대학교 조교수, 공학박사

\*\*\* 한국기술교육대학교 석사과정

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료의 종류 및 특성

본 실험에서 사용된 재료로 S사의 1종 포틀랜드 시멘트와 S사의 분말도 6000 cm<sup>2</sup>/g(Blaine Specific Surface Area)의 BFS를 사용하였다. 또한 혼화제는 G사의 40%수용액 나프탈렌계, 50% 폴리카르본산계, 40% 멜라민계 혼화제를 사용하였다. 증점제는 A사의 Polysac charide성분의 입자 크기가 약 <1000mg/g on 2mm의 증점제를 사용하였다.

### 2.2 실험인자 및 수준

분체(BFS)의 바인더 비율, 혼화제의 종류와 치환량, 증점제의 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 유동성 특성을 파악하기 위하여 본 실험의 인자 및 수준을 표1과 같이 결정 하였다.

표1 실험인자 및 수준

실험인자	수준
물결합재비	30, 35, 40(%)
혼화제 종류	나프탈렌, 폴리카르본산, 멜라민
혼화제 첨가량	0, 0.5, 1.0, 1.5(%)
증점제 첨가량	1, 2, 3, 4(%)
경시 변화	0, 30, 60, 90(분)

### 2.3 시멘트페이스트 배합

본 실험에서 사용된 배합을 표2에 나타내었다.

### 2.4 측정 방법

#### 1) 플로우 값

시멘트페이스트의 유동성은 KS L 5111에 규정되어 있는 소형 플로우콘과 45cm×45cm의 철재 수평 테이블을 이용하여 플로우 몰드를 사용하여 낙하운동을 주지 않은 상태에서 흐름이 멈추었을 때까지의 플로우 직경을 직교 방향으로 측정 하였다.

표2 시멘트페이스트 배합

실험인자	결합재의 종류	바인더비 (%)	BFS (%)	혼화제의 종류	혼화제 (%)	증점제 (%)	경시 변화 (분)	
물결합재비	OPC	40	0	0	0	0		실험 1
		50			0	0		
		60			0	0		
	OPC+BFS	30	20	0	0	0		실험 2
		35			0	0		
		40			0	0		
혼화제의 종류 및 첨가량	OPC+BFS	40	20	나프탈렌계	0			실험 3
					0.5			
					1.0			
					1.5			
					2.0			
					0			
				폴리카르본산계	0.5			
					1.0			
					1.5			
					2.0			
				멜라민계	0		실험 5	
					0.5			
					1.0			
					1.5			
					2.0			
증점제 첨가량	OPC	40	0		1.5	1		실험 6
						2		
						3		
	OPC+BFS+SP+증점제	40	20	폴리카르본산계	1.5	1		실험 7
						2		
						3		

## 2) 시멘트페이스트 소성점도

시멘트페이스트의 소성점도 측정은 회전점도계(BROOKFIELD RVT형 점도계)를 사용하였다. 시멘트페이스트를 이상적인 빙합유체라 가정 했을 때, 유동곡선의 기울기가 소성점도 값이다. 점도계의 전단속도는 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 20, 50, 100RPM에 대하여 각각 30초씩, 점도계의 눈금 값을 직접측정법으로 측정하여 평균값을 소성점도로 하였다.

## 3. 실험결과 분석

### 3.1 물/결합재 비율

물/시멘트를 변화시킨 실험에서는 그림1에서 보듯이 물/시멘트의 증가에 따라 소성점도는 저하되고, 플로우 값이 증가하는 경향을 보이고 있다. 일반적으로 단위수량을 증대하는 것은 소성점도가 낮고 플로우 값을 증대시킴으로서, 시멘트 페이스트의 항복치가 낮아져 재료분리가 생길 우려가 있다.

그림2 에서는 BFS의 치환량을 고정시키고 바인더 비를 변화시키며 실험한 결과를 나타내고 있는데 바인더 비 증가에 따라 소성점도가 저하되고 플로우 값이 증가하나, BFS의 치환으로 시멘트페이스트 중의 물의 용적비가 감소하여 플로우 값의 변화가 크지 않음을 보여주고 있다.

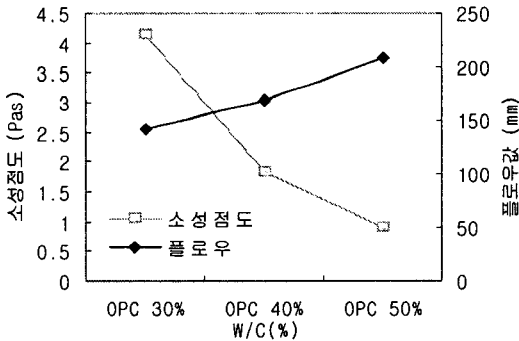


그림 1 W/C에 따른 소성점도와 플로우

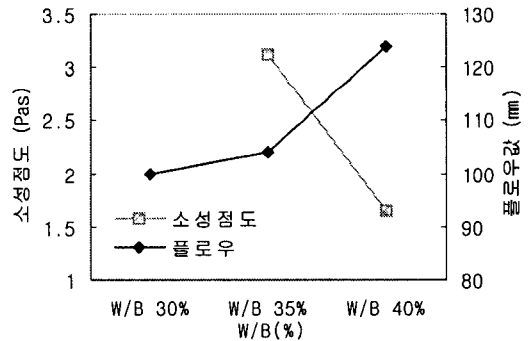


그림 2 W/B에 따른 소성점도와 플로우

### 3.2 혼화제 종류 및 첨가량

그림 3, 4는 바인더비 35%조건에서 BFS의 치환량을 고정시킨 시멘트페이스트의 혼화제 및 치환량에 따른 소성점도 및 플로우 값을 나타낸 것이다. 혼화제 종류에 따른 영향을 살펴보면 그림 3, 4에서 보듯이 일반적으로 혼화제 첨가량이 증가할수록 소성점도는 저하되고, 플로우 값이 증가하는 경향을 보이고 있다. 폴리카르본산계 혼화제의 경우 다른 계열의 혼화제보다 그 성능이 우수하였다.

본 실험에서 혼화제의 종류와 상관없이 고성능 AE감수제 첨가율에 따른 플로우 값이 증가하는 경향이 뚜렷이 나타나고 있다. 또한 시멘트페이스트의 유동성 증가를 위한 최대 고성능 AE감수제 첨가량은 1.5%가 가장 적당하다고 사료된다. 고성능 AE감수제 첨가율이 1.5%를 초과하는 경우에는 감수

제첨가율 증가에 따른 소성점도값이 낮아 재료분리가 생길 우려가 있다.

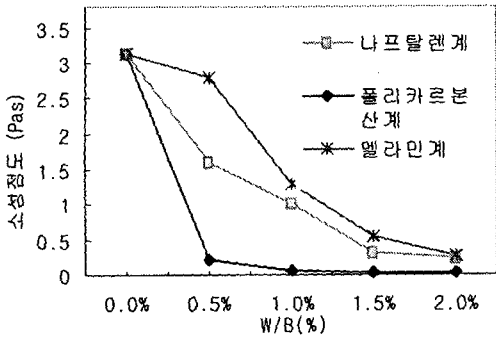


그림 5 혼화제 종류와 치환량에 따른 소성점도

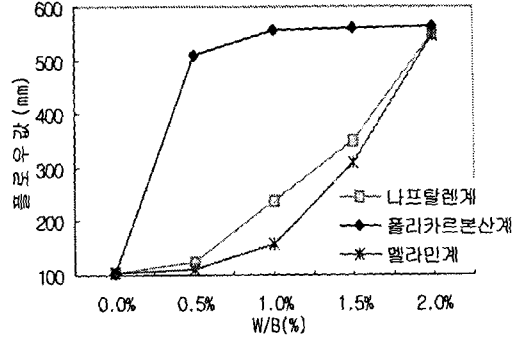


그림 6 혼화제 종류와 치환량에 따른 플로우

### 3.3 증점제 첨가율 변화

OPC에 증점제 첨가율을 변화시킨 실험 6과 바인더비 35%조건에서 BFS의 치환량을 고정시키고 폴리카르복산계 혼화제 1.5%를 첨가한 시멘트페이스트에 증점제를 첨가한 실험 7의 결과를 각각 그림 5와 그림 6에 나타내었다. OPC의 경우 증점제 첨가에 따른 시멘트페이스트의 소성점도가 높아져 플로우 값이 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 바인더비 35%조건에서도 OPC와 마찬가지로 증점제의 첨가율이 증가 할수록 시멘트페이스트의 소성점도가 높아져 플로우 값이 낮아지는 경향을 보이고 있다.

증점제는 시멘트, BFS, 골재보다는 물과 결합되어 재료분리 저항성을 증대시키고, 소정의 점도 확보로 인한 유동성 증대 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다. 증점제의 첨가율이 2%를 초과 할 경우 높은 소성점도로 인한 플로우 값의 감소로 시멘트페이스트의 유동성을 저하 시킨다.

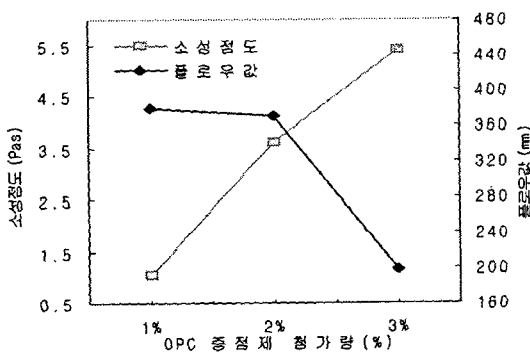


그림 7 OPC 증점제 첨가율에 따른 특성

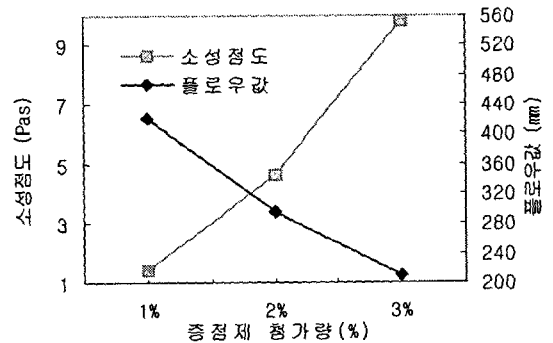


그림 8 W/B 증점제 첨가율에 따른 특성  
3.4 소성점도와 플로우 값의 관계

본 실험에서 소성점도 값의 변화에 따라 플로우 값도 변화하는 경향을 보이고 있어 소성점도와 플로우 값은 서로 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 소성점도 값이 낮으면 일반적으로 플로우 값이 높아지는 경향을 알 수 있다.

바인더비 35%조건에서 BFS의 치환량을 20%로 고정시킨 결과 재료 분리의 영향이 적고 유동성이 양호한 플로우 값을 고유동페이스트의 범위로 가정한 소성점도는 0.3~0.5 Pa.s로 나타났고, 플로우 값이 300~350mm 정도일 때 적당한 소성점도를 가져 재료분리 저항성이 낮아진다. 또한 고성능 AE감수제의 첨가량이 1.5%를 넘을 경우 증점제를 첨가해 소성의 점도를 확보하면서 플로우 값을 증가시키는 것이 필요하다.

#### 4. 결론

본 연구에서, W/B, BFS의 배합을 고정 시키고, 그에 따른 혼화제 종류와 첨가량 및 증점제 첨가에 따른 유동성상에 미치는 영향을 고찰 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 일반적으로 시멘트페이스트의 단위수량을 증대하는 것은 플로우 값이 증대하는 것으로 소성점도가 감소하여 재료분리 저항성이 낮아진다.
- 2) 바인더비 증가에 따라 소성점도가 저하되고 플로우 값이 증가하나, BFS의 치환으로 시멘트페이스트 중의 물용적비가 감소하여 플로우 값의 변화는 크지 않다.
- 3) 폴리카르본산계 혼화제의 성능이 가장 우수하고, AE감수제 첨가율이 1.5%를 초과하는 경우 소성점도값이 낮아 재료분리가 생길 우려가 있다.
- 4) 고성능 AE감수제의 첨가량이 1.5%를 넘을 경우 증점제를 첨가해 소성의 점도를 확보하면서 플로우 값을 증가시키는 것이 필요하다.
- 5) 시멘트페이스트의 레올로지 정수 중 소성점도가 감소할수록 플로우 값은 증가하는 반비례 관계가 있다.

#### 참고 문헌

1. 쌍용시멘트 중앙연구소, 초립자 시멘트의 특성과 이용.
2. 김정길 외 1인, 高流動콘크리트용 페이스트의 레올로지, 대한건축학회논문집 제16권 6호, 2000.06.
3. 윤재환, "고유동 콘크리트의 레올로지 특성에 관한 실험적 연구," J. of Inst. of Industrial Technology The Univ. of Suwon, Vol. 12, 1997.
4. C. F. Ferraris, "Measurement of the rheological properties of high performance concrete," State of the art report, J. Res. Nist 104(5), 1999, pp.461~478.
5. P. F. G. BANFILL, "Rheology of Fresh Cement and Concrete," E.&F.N.SPON, 1991, pp.13~26.