

# 혼화 재료가 첨가된 초미립자 시멘트의 레올로지 특성 연구

## Rheological Properties of Ultra Fine Cement Using Admixtures

양 승 규\*    이 용 중\*\*    정 연 식\*\*\*    이 순 기\*\*\*\*    이 종 열\*\*\*\*\*  
Yang, Seung-Kyu    Lee, Woong-Jong    Chung, Youn-Shik    Lee, Soon-Ki    Lee, Jong-Ryul

### ABSTRACT

This study was performed of rheological properties for slurry of ultra fine cement using admixtures. An experimental parameter is W/B and superplasticizer ratio and different water-soluble polymers. As a results, it's strongly appeared to rheological properties of slurry as particles ratio, it's know that rheological properties affected by admixtures.

### 1. 서론

시멘트의 제조 공정은 크게 원료 조합 공정, 소성 공정, 분쇄 공정으로 나눌 수 있다. 이 중 원료 조합 공정 및 소성 공정은 무기 물질의 화학적인 취급이라는 개념으로 출발하는 반면, 분쇄 공정은 무기 물질의 기계적인 취급이라는 개념에서 출발하여, 화학적인 기반을 둔 시멘트 공정에서는 분쇄 공정에 비해 상대적으로 중요한 위치를 차지하는 부분으로 생각해 많은 연구 결과로 공정 개선이 이루어져왔다. 그러나 최근 시멘트 공정에서는 제트밀을 이용한 구형 입자의 시멘트 제조 등 분쇄 및 분급 공정 기술의 개발 및 발전이 이루어지고 있는 실정이며, 시멘트 공정내에 이러한 최근의 분쇄 기술을 도입함으로써 기존의 공정으로 제조된 시멘트 입자와는 크기 및 분포가 다른 시멘트가 제조되고 있다.

본 연구는 시멘트 공정내의 분쇄 및 분급 공정의 최근 기술로 제조된 초미립자 시멘트의 유동 특성을 조사하여 기존 시멘트 입자와의 비교 및 그 이용 기술의 기초가 되는 레올로지 특성을 파악하고자 한다.

- \* 정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 연구원
- \*\* 정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 주임연구원
- \*\*\* 정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 선임연구원
- \*\*\*\* 정회원, 쌍용양회주식회사 특수시멘트팀 부장
- \*\*\*\*\* 정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 수석연구원, 실장

## 2. 실험 방법

### 2.1 사용 재료 및 기기

본 실험에 사용된 초미립자 시멘트는 1종 포틀랜드 시멘트, 혼합재로 고로 슬래그를 분쇄 및 분급하여 사용하였다. 사용한 시멘트와 고로 슬래그의 화학 성분은 표 1에, 물성을 1종 시멘트와 비교하여 표 2에 나타내었다. 또한 각각 분체의 입도 분포는 그림 1에 나타내었다. 또한 고성능감수제는 나프탈렌계, 그 외 유기 혼화제로는 SBR계 및 아크릴계 수지를 이용하였다.

표 1 사용 분체의 화학 성분

종 류	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
시멘트	21.04	5.90	3.12	61.91	2.90	0.3	1.01	2.22
슬래그	18.05	15.8	43.6	15.3	9.6	0.20	0.05	-

표 2 초미립자 시멘트의 물성 비교

구 분	비중(g/cm <sup>3</sup> )	분말도(cm <sup>2</sup> /g)	평균 입경(μm)	최대 입경(μm)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )
초립자 시멘트	2.95	9500	4	30	560
보 통 시멘트	3.15	3200	20	100	360

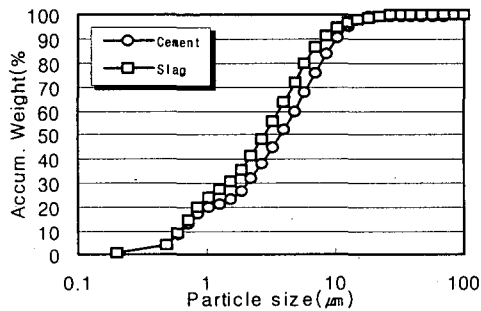


그림 1 사용한 시료의 입도 분포

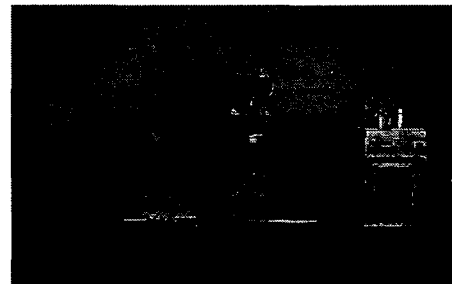


그림 2. 본 실험에 이용한 레오메타

본 실험에 사용한 레오메타는 HAAKE사 Rotovisco RT20(모델명)를 이용하였고 그림 2에 나타내었다.

### 2.2 슬러리 제조 및 측정 방법

페이스트의 제조 및 레오메타 측정은 소정의 분체 및 물, 고성능 감수제, 수지를 넣고, 500rpm의 속도로 2분간 혼합하고 슬러리를 용기에 넣고 20±1℃에서 회전 속도의 범위를 0rpm에서 150rpm까지로 정하고 상승 및 하강시켜 유동 곡선을 측정하였다. 이 때 상승 및 하강에 걸리는 시간은 60초로 하였고 30분간의 정지 시간을 두어 유동성의 유지도 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 각 분체 슬러리의 유동 특성

초미립자 시멘트 및 슬래그를 각 물 시멘트비(W/B=0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7) 및 고성능 감수제(나프탈렌계) 첨가량별(C×1.5, 2.0%) 유동 특성을 조사하였다. 또한 경시 변화(30분)도 함께 측정하였다. 초미립자 시멘트 및 슬래그 물 분체비 및 고성능 감수제(C×1.5%)의 유동 특성은 그림 3, 4에 초미립자 시멘트 및 슬래그 물 분체비 및 고성능 감수제(C×2.0%)의 유동 특성은 그림 5, 6에 나타내었다.

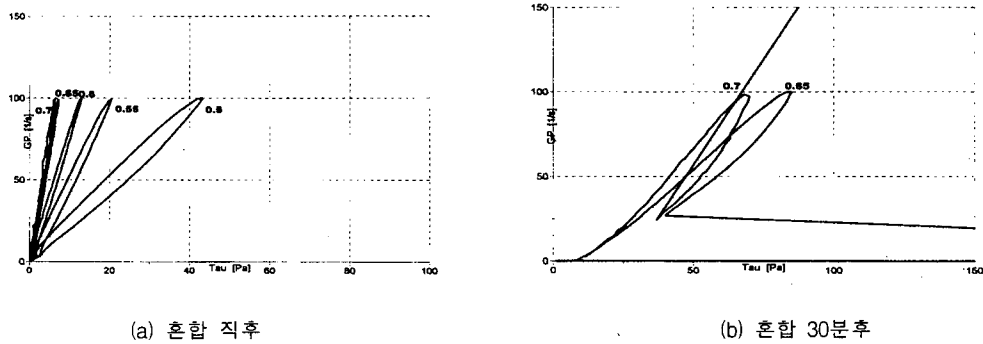


그림 3 초미립자 시멘트의 유동 특성(SP=1.5%)

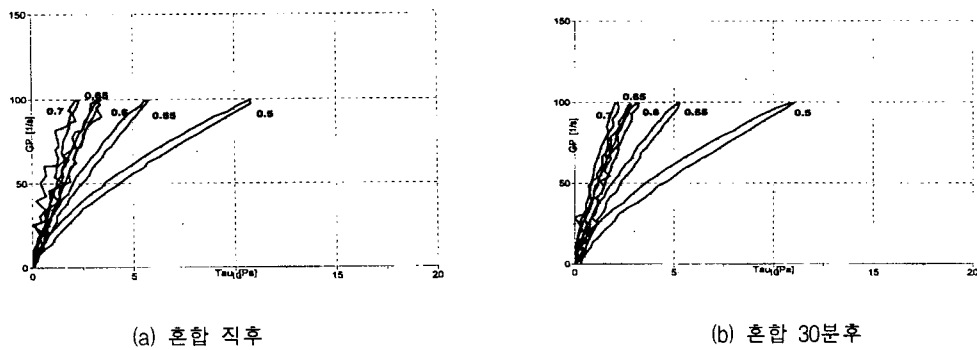
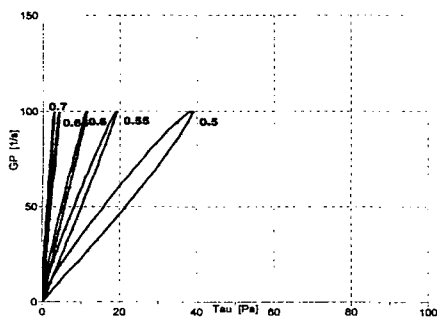


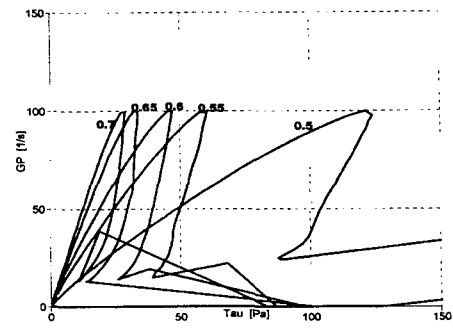
그림 4 초미립자 슬래그의 유동 특성(SP=1.5%)

고성능 감수제 1.5%의 첨가 경우 초미립자 시멘트는 전형적인 칙소트록피 성질과 함께 물분체비가 감소할수록 유동성이 떨어지고 30분후 특징에서 W/B=0.65 이하에서는 측정 불가능할 정도로 유동성이 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 초미립자 슬래그의 경우 초미립자 시멘트와는 달리 30분후 특성에서의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있었고 전형적인 다일러텐시 특성이 나타났다.

고성능 감수제의 첨가량을 2.0%로 한 경우 전체적으로 유동성은 향상되었고 1.5% 첨가의 경우보다

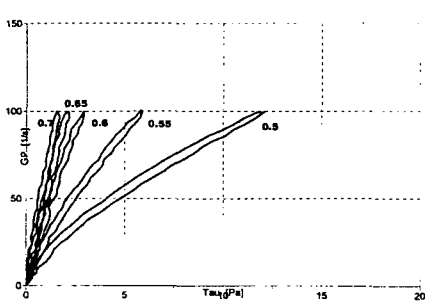


(a) 혼합 직후

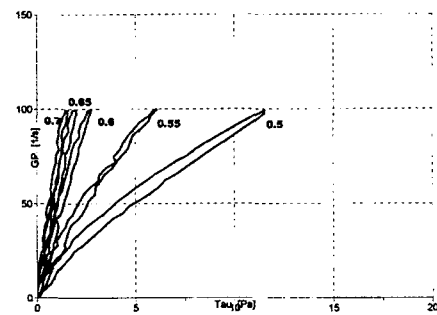


(b) 혼합 30분후

그림 5 초미립자 시멘트의 유동 특성(SP=2.0%)



(a) 혼합 직후



(b) 혼합 30분후

그림 6 초미립자 슬래그의 유동 특성(SP=2.0%)

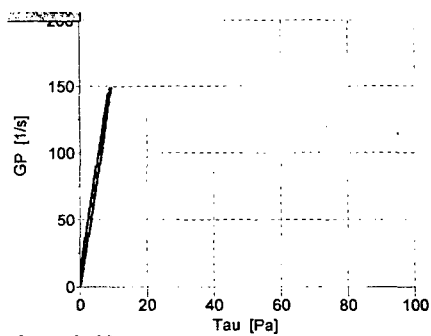
2.0% 첨가한 경유가 30분 후 경시 변화에 따른 유동성이 안정된다는 것을 알 수 있었다 이는 고성능 감수제의 첨가량이 증가함에 따른 지연 효과라고 생각된다.

각 분체 재료의 레올로지 특성을 측정된 결과 블리딩 및 유동 특성에 따른 항복값과 점도를 비교하여 볼 때 물분체비는 0.65 전후, 고성능 감수제는 1.5~2.0%의 경우가 가장 최적의 상태라고 판단된다.

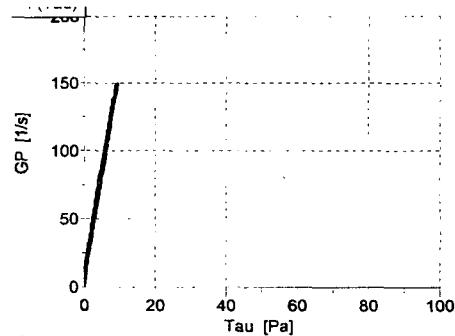
### 3.2 각 분체 함량별 유동 특성

그림 7은 각 분체의 함량별의 유동 특성을 고성능 감수제 및 물분체비를 고정시켜(W/B = 0.65, SP = C × 2.0%) 측정된 결과를 나타내었다.

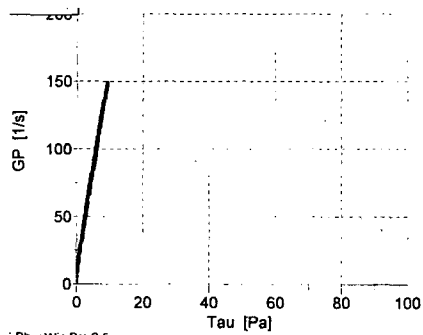
초미립자 시멘트 함량이 높을수록 뉴턴 유체에서 히스테리시스를 갖는 칙소트룩피의 유동 특성으로 변화하는 것을 알 수 있었고 반면 슬래그의 함량이 높을수록 경시 변화에 따른 유동 특성은 안정하지만 초미립자 슬래그의 특성인 다일러텐시 현상이 나타나는 것을 알 수 있었다.



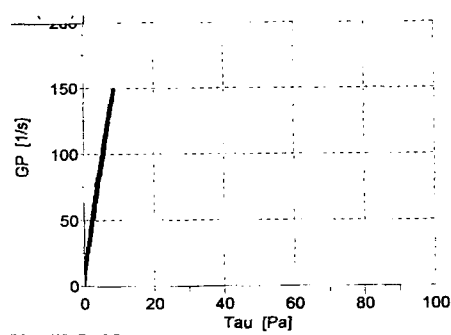
(a) 8:2



(b) 6:4



(c) 4:6



(d) 2:8

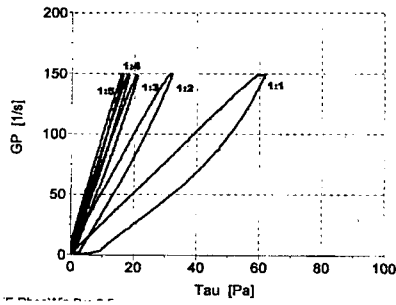
그림 7 각 분체 함량별 유동 특성

초미립자 분체 슬러리는 각 함량별에 따라 그 분체 고유 특성의 레올로지 특성이 나타나는 경향이 강한 것을 알 수 있었다.

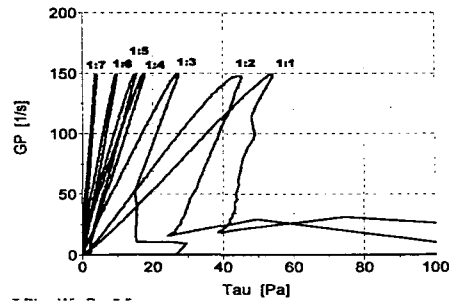
### 3.3 수지액이 첨가된 유동 특성

초미립자 분체의 경우 자체 수화 속도가 빠르고 흡수를 및 건조 수축이 클 것으로 예상하여 수지액을 사용하여 현상을 방지할 필요가 있다고 판단하여 수지액 종류별 유동 특성 조사하였다. 그림 8은 같은 종류의 수지액 두제품(S-1, S-2)을 수지액 비율별 유동 특성의 결과이다. 그림 9는 서로 다른 수지액(A-1, A-2)의 결과이다.

같은 계의 수지액이라도 초미립자 분체의 경우 유동 특성이 다르게 나타났고 또한 서로 다른 계의 수지액 첨가계 내에서도 레올로지 특성이 상이하게 나타났다. 이는 수지액과 시멘트와의 적합성 내지는 수지액 자체의 특성에 따라 다른 레올로지 특성이 발생한다고 생각한다.

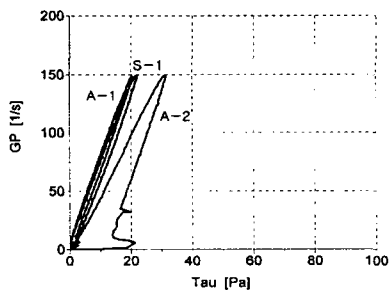


(a) S-1

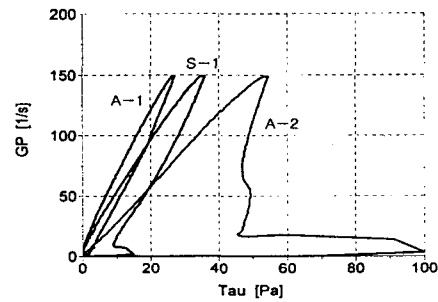


(b) S-2

그림 8 수지액 비율별 유동 특성



(a) 혼합 직후



(b) 혼합 30분 후

그림 9 서로 다른 수지액의 유동 특성

#### 4. 결론

혼화 재료가 첨가된 초미립자 시멘트 및 슬래그의 레올로지 특성 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 초미립자 시멘트는 소정의 유동 특성을 얻기 위해서는 물시멘트비 및 고성능 감수제 첨가량이 높아지고 경시 변화가 크며 본 실험의 범위에서는 칩소트픽의 유동 특성이 나타났다.
- (2) 초미립자 슬래그는 물분체비 및 고성능 감수제의 양에 관계없이 경시 변화가 작으며 전형적인 다일러텐시 현상이 나타났다.
- (3) 각 분체의 함량별 특성에서는 시멘트의 함량이 높을수록 시멘트의 레올로지 특성이, 슬래그의 함량이 높을수록 슬래그의 유동 특성이 나타나는 것을 알 수 있었다.
- (4) 초미립자 분체에 수지액을 첨가할 경우의 유동 특성은 수지액의 종류 및 자체의 특성에 따라 레올로지 특성 및 경시변화가 상이하게 나타나는 것을 알 수 있었다.