

# 초미립자 시멘트의 특성과 이용

이종열 · 정연식\* · 이용종 · 양승규

〈쌍용양회 기술연구소〉

## 1. 서 론

콘크리트 구조물은 타설후 건조수축, 수화열, 반복하중, 지반침하 혹은 용기 등 다양한 원인에 균열이 발생하고 있다. 이러한 균열을 보수하기 위하여 에폭시 주입재를 사용하는 것이 보편적이다. 그러나 에폭시와 콘크리트의 열팽창을 차이에 의한 2차 균열이 발생하고 화재와 같은 고온 환경에 노출될 경우 에폭시 재료의 낮은 융점으로 인하여 재료가 녹는 등 내화성능의 문제를 가지고 있다. 따라서 콘크리트 구조물과 동질 재료이며 콘크리트 구조물에 대한 침투성, 작업성, 내화성, 인체 무해성 등의 특성을 갖는 재료에 대한 요구가 점차 확대, 증가되고 있다.

또한 미세한 균열에 주입되기 위한 시멘트계 재료는 필수 불가결하게 초미립자의 무기질 재료가 필요하고 이에 부응하는 분쇄공정의 개선으로 초미립자 시멘트의 제도가 가능하게 되었다.

본 연구는 시멘트 공정내의 분쇄 및 분급공정의 최근 기술로 제조된 초미립자 시멘트의 유동

특성을 조사하여 기존 시멘트 입자와의 비교 및 그 이용기술의 기초가 되는 레올로지 특성을 파악하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 사용재료 및 기기

본 실험에 사용된 초미립자 시멘트는 1종 포틀랜드 시멘트, 혼합재료 고로 슬래그를 분쇄 및 분급하여 사용하였다. 사용한 시멘트와 고로 슬래그의 화학성분은 <표 1>에, 물성을 1종 시멘트와 비교하여 <표 2>에 나타내었다.

각각 분체의 입도분포는 <그림 1>에 나타내었다. 또한 고성능 감수제는 나프탈렌계, 그외 유기 혼화제는 SBR계 및 아크릴계 수지를 이용하였다.

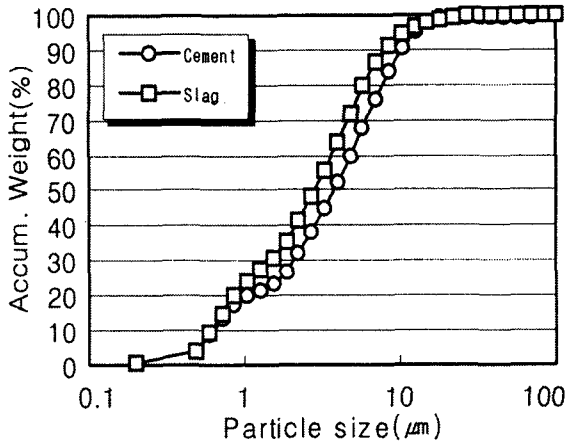
본 실험에 사용한 레오메타는 HAAKE사 Rotovisco RT20(모델명)을 이용하였고 <그림 2>에 나타내었다.

<표 1> 사용분체의 화학성분

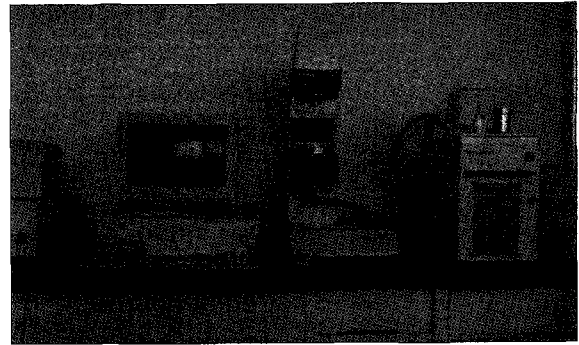
종 류	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
시 멘 트	21.04	5.90	3.12	61.91	2.90	0.3	1.01	2.22
슬 래 그	18.05	15.8	43.6	15.3	9.6	0.20	0.05	-

<표 2> 초미립자 시멘트의 물성 비교

구 분	비 중(g/cm <sup>3</sup> )	분 말 도(cm <sup>3</sup> /g)	평균입경(μm)	최대입경(μm)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )
초립자시멘트	2.95	9,500	4	30	560
보통 시멘트	3.15	3,200	20	100	360



〈그림 1〉 사용한 시료의 입도분포



〈그림 2〉 본 실험에 이용한 레오메타

2.2 슬러리 제조 및 측정방법

페이스트의 제조 및 레오메타 측정은 소정의 분체 및 물, 고성능 감수제, 수지를 넣고, 500 rpm의 속도로 2분간 혼합하고 슬러리를 용기에 넣고  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 회전속도의 범위를 0rpm에서 150rpm까지로 정하고 상승 및 하강시켜 유동곡선을 측정하였다. 이때 상승 및 하강에 걸리는 시간은 60초로 하였고 30분간의 정치 시간을 두어 유동성의 유지도 관찰하였다.

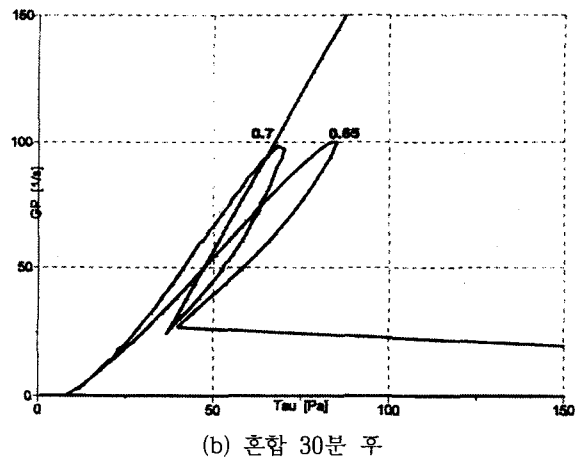
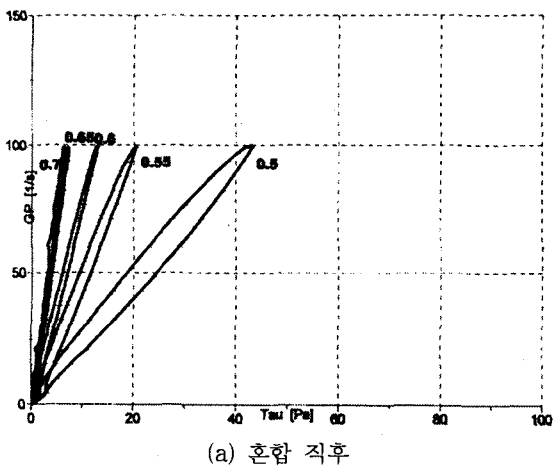
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 각 분체 슬러리의 유동특성

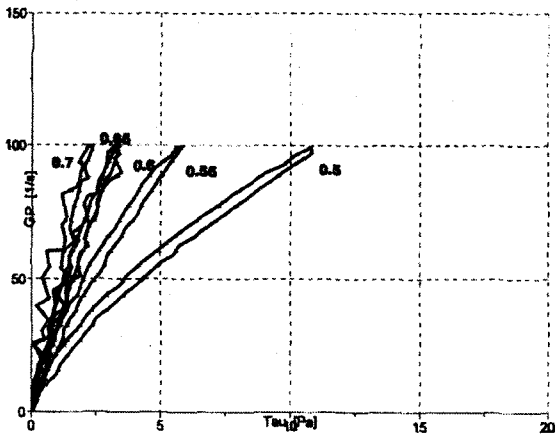
초미립자 시멘트 및 슬래그를 각 물 시멘트(W

/B=0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7) 및 고성능 감수제(나프탈렌계) 첨가량별(C×1.5, 2.0%) 유동특성을 조사하였다. 또한 경시변화(30분)도 함께 측정하였다. 초미립자 시멘트 및 슬래그 물 분체비 및 고성능 감수제(C×1.5%)의 유동특성은 〈그림 3, 4〉에 초미립자 시멘트 및 슬래그 물 분체비 및 고성능 감수제(C×2.0%)의 유동특성은 〈그림 5, 6〉에 나타내었다.

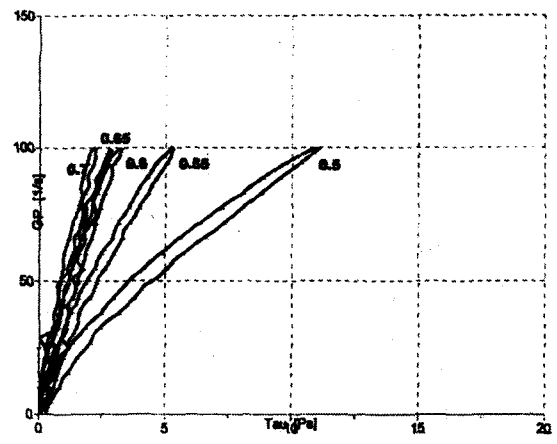
고성능 감수제 1.5%의 첨가 경우 초미립자 시멘트는 전형적인 칩소트룩피 성질과 함께 물 분체비가 감소할수록 유동성이 떨어지고 30분 후 경시변화의 경우, W/B=0.65 이하에서는 측정 불가능할 정도로 유동성이 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 초미립자 슬래그의 경우 초미립자 시멘트와는 달리 혼합 직후의 경우 전형적인 다일러텐시 특성이 나타났고, 30분 후 경시변화는 유동특성에서의 변화가 거의 없는 것을



〈그림 3〉 초미립자 시멘트의 유동특성 (SP=1.5%)

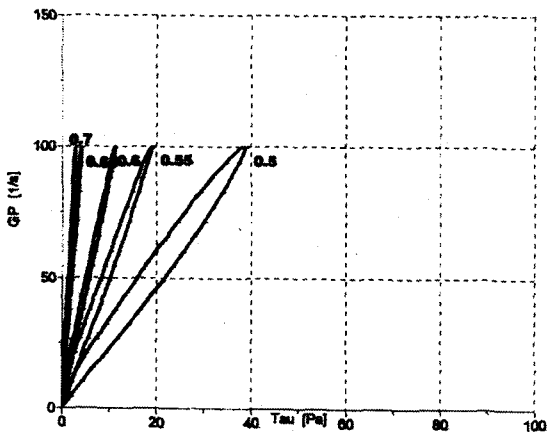


(a) 혼합 직후

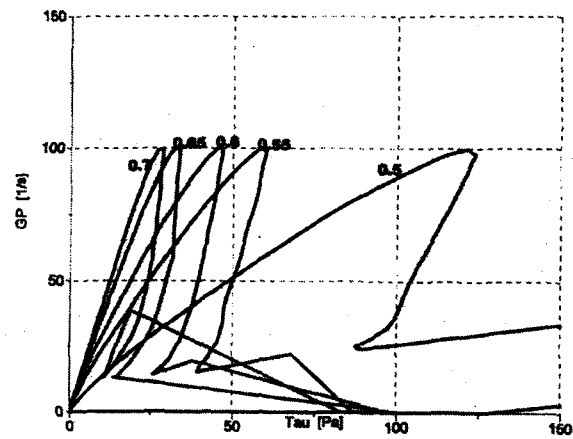


(b) 혼합 30분 후

<그림 4> 초미립자 슬래그의 유동특성 (SP=1.5%)

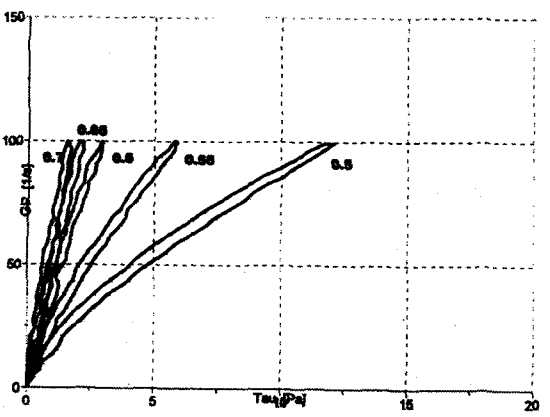


(a) 혼합 직후

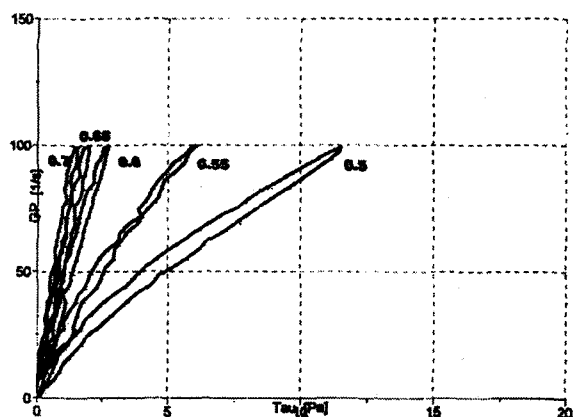


(b) 혼합 30분 후

<그림 5> 초미립자 시멘트의 유동특성 (SP=2.0%)



(a) 혼합 직후



(b) 혼합 30분 후

<그림 6> 초미립자 슬래그의 유동특성 (SP=2.0%)

알 수 있었다.

고성능 감수제의 첨가량을 2.0%로 한 경우 전체적으로 유동성은 향상되었고 1.5% 첨가의 경우보다 2.0% 첨가한 경우가 20분 후 경시변화에 따른 유동성이 안정된다는 것을 알 수 있었다. 이는 고성능 감수제의 첨가량이 증가함에 따른 지연 효과라고 생각된다.

각 분체 재료의 레올로지 특성을 측정한 결과 블리딩 및 유동특성에 따른 항복값과 점도를 비교하여 볼 때 분체비는 0.65 전후, 고성능 감수제는 1.5%~2.0%의 경우가 가장 최적의 유동특성상 양호한 상태라고 판단된다.

### 3.2 각 분체 함량별 유동특성

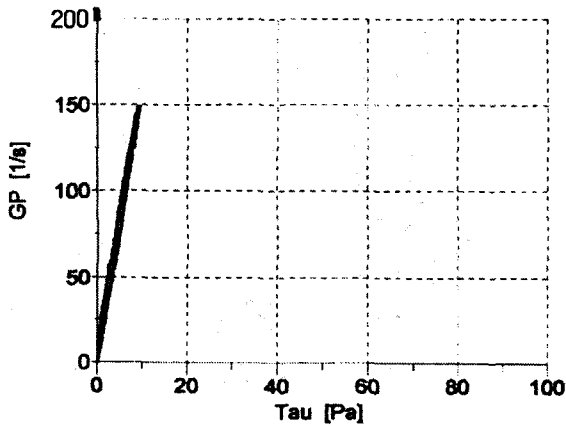
〈그림 7〉은 각 분체의 함량별의 유동특성을 고성능 감수제 및 물 분체비를 고정시켜 ( $W/B=$

0.65,  $SP=C \times 2.0\%$ ) 측정한 결과를 나타내었다.

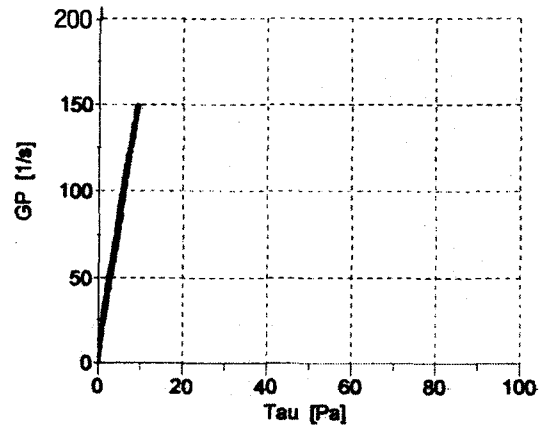
초미립자 시멘트 함량이 높을수록 뉴톤 유체에서 히스테리시스를 갖는 칙소트록피의 유동특성으로 변화하는 것을 알 수 있었고 반면 슬래그의 함량이 높을수록 경시변화에 따른 유동특성은 안정되지만 초미립자 슬래그의 특성인 다일러텐시 현상이 나타나는 것을 알 수 있었다.

또한 초미립자 슬래그의 함량이 높아질수록 항복값이 작아지는 것을 알 수 있었다. 이는 슬래그의 함량 변화에 따라 초기 유동특성에 큰 영향을 미친다는 것을 의미하는 것이므로 사용 용도의 특성에 맞게 조정할 필요가 있다고 생각한다.

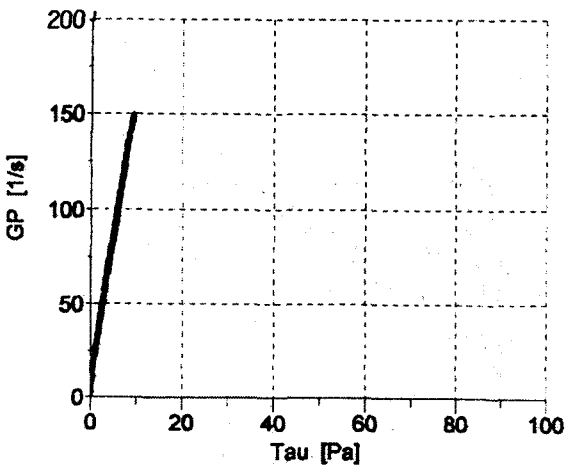
초미립자 분체 슬러리는 각 함량별에 따라 그 분체 고유특성의 레올로지 특성이 나타나는 경향이 강한 것을 알 수 있었다.



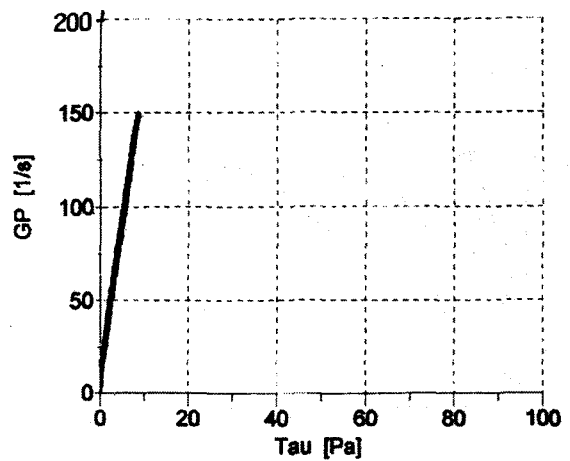
(a) 8 : 2



(b) 6 : 4

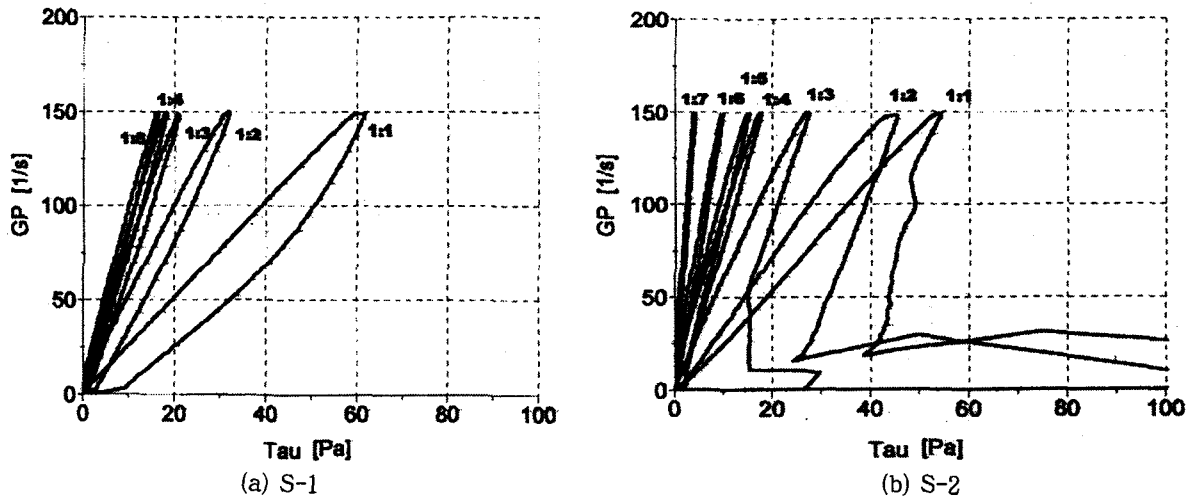


(c) 4 : 6

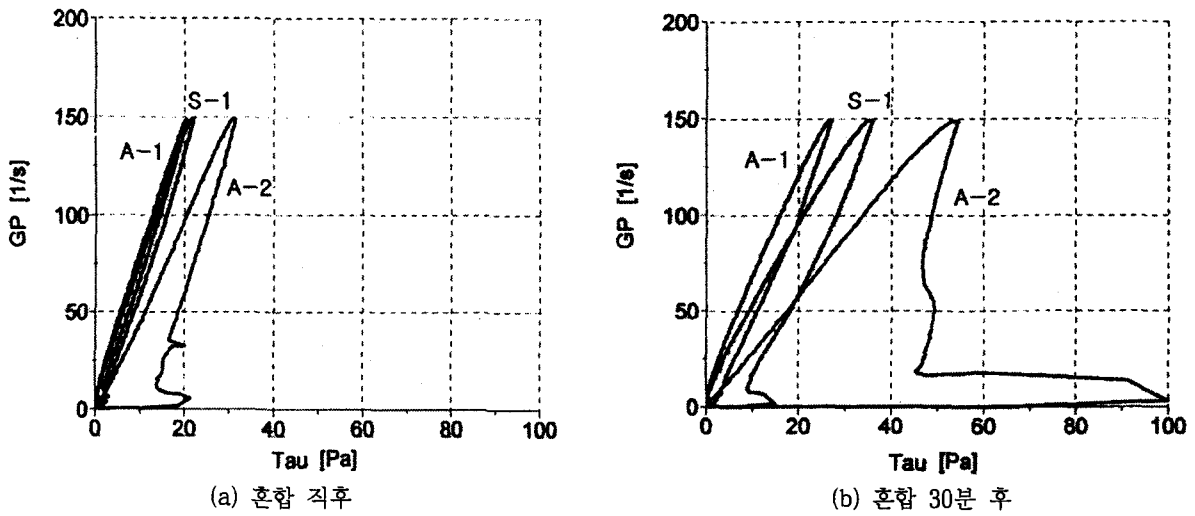


(d) 2 : 8

〈그림 7〉 각 분체 함량별 유동특성



<그림 8> 수지액 비율별 유동특성



<그림 9> 서로 다른 수지액의 유동특성

### 3.3 수지액이 첨가된 유동특성

초미립자 분체의 경우 자체 수화속도가 빠르고 흡수율 및 건조수축이 클 것으로 예상하여 수지액을 사용하여 앞과 같은 현상을 방지할 필요가 있다고 판단하여 수지액 종류별 유동특성을 조사하였다.

<그림 8>은 같은 종류의 수지액 두 제품(S-1, S-2)을 수지액 비율별 유동특성의 결과이다.

<그림 9>는 서로 다른 수지액(A-1, A-2)의 결과이다.

같은 계의 수지액이라도 초미립자 분체의 경우 유동특성이 다르게 나타났고 또한 서로 다른 계의 수지액 첨가계내에서도 레올로지 특성이 상이하게 나타났다. 이는 수지액과 시멘트와의 적합성, 시멘트와 고성능 감수제의 상관관계에 따른 수지액의 유동특성의 변화 내지는 수지액 자체의 특성에 따라 다른 레올로지 특성이 발생한다고 생각한다.

따라서 초미립자의 이용한 용도의 특성에 맞게 시공상, 품질상, 경제적인 것을 잘 판단하여 선택할 필요가 있다고 생각한다.

#### 4. 결 론

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

- 1) 초미립자 시멘트는 소정의 유동특성을 얻기 위해서는 물 시멘트비 및 고성능 감수제 첨가량이 높아지고 경시변화가 크며 본 실험의 범위에서는 칩소트픽의 유동특성이 나타났다.
- 2) 초미립자 슬래그는 물 분체비 및 고성능 감수

제의 양에 관계없이 경시변화가 작으며 전형적인 다일터텐시 현상이 나타났다.

- 3) 각 분체의 함량별 특성에서는 시멘트의 함량이 높을수록 시멘트의 레올로지 특성이, 슬래그의 함량이 높을수록 슬래그의 유동특성이 나타나는 것을 알 수 있었다.
- 4) 초미립자 분체에 수지액을 첨가할 경우의 유동특성을 수지액의 종류 및 자체의 특성에 따라 레올로지 특성 및 경시변화가 상이하게 나타나는 것을 알 수 있었다.