

# 무수축 그라우트재의 레올로지 특성 검토

## Investigation on the Rheological Properties of Non Shrink Grouting Mortar

이 건 철\*      김 영 근\*\*      조 병 영\*\*\*      이 정 윤\*\*\*\*      김 우 재\*\*\*\*\*  
Lee, Gun-Cheol   Kim, Young-Geun   Cho, Byoung-Young   Lee, Jeoung-Yun   Kim, Woo-Jae

### ABSTRACT

This paper discussed the relationship between existing flowability test method and rheology test, and rheological flowable behaviour of Non Shrinkage Grouting Mortar(NSGM) based on rheological aspect. Five different grouting products are chosen and W/P are conformed to recommendation proposed by product company to meet KS F 4044. For rheological properties of NSGM, flowable behaviour can be explained by the assumption of Bingham model. Also, relationship between flowability test and rheology index of NSGM is confirmed based on this test. Increase of funneling time and decrease of flow led to increase rheology index.

### 1. 서 론

무수축 그라우트재는 일반적으로 토목, 건축, 기계분야 등의 중요 구조물을 지지하거나 충전하기 위한 목적으로 사용되는 건설재료로서 주로 시멘트계를 의미한다. 이러한 그라우트재는 요구 목적상 협소한 공간에 치밀하게 충전될 수 있도록 우수한 유동성과 적절한 점성을 확보하여야 한다.

일반적으로 그라우트재의 유동성 평가는 로트에서 유출되는 유하시간을 측정하는 유하시험과 플로우 테이블에서 그라우트재가 퍼지는 정도를 측정하는 플로시험 등에 의해 유동성 확보 여부를 판단하고 있다. 즉, 유하시간의 측정은 일정량의 그라우트재가 간극을 통과하는 유하속도를 측정하여 유동성을 평가하는 것이고, 플로치의 측정 의미는 수평변형에 대한 최종변형저항성을 측정하기 위한 것이라고 할 수 있다.

한편, 이러한 기존의 유하시험 및 플로시험은 공학량에 의한 유동성 평가로서 정량적 유동 거동의 파악에는 한계가 있어왔다.

따라서, 본 연구에서는 무수축 그라우트재(이하 NSGM)의 유동거동에 대한 정량적인 파악 및 기존 유동성 시험 방법과 레올로지 시험과의 상호관계를 분석함으로써 무수축 그라우트재의 컨시스턴시 평가 방법을 레올로지 측면에서 검토하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 대상재료는 국내 시판되는 5개 제품의 단면 충전용 그라우

\* 정회원, 한국건자재시험연구원 방수보수보강센터 주임연구원, 공학박사

\*\* 정회원, 한국건자재시험연구원 방수보수보강센터 센터장, 공학박사

\*\*\* 정회원, 한국건자재시험연구원 방수보수보강센터 책임연구원, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 한국건자재시험연구원 방수보수보강센터 연구원

\*\*\*\*\* 정회원, 포스코건설 기술연구소 과장, 공학박사

트재를 사용하였다. 이때의 W/P는 KS F 4044를 만족하기 위해 각 사가 제시하는 표준적인 배합비를 기준으로 하였는데, 각 시료별 W/P의 범위는 16~18.8%인 것으로 확인되었다.

실험사항으로는 굳지않은 상태의 실험으로 레올로지시험은 회전점도시험을 실시하였으며, 컨시스턴시 실험은 KS F 4044의 유하시험 및 테이블 플로시험과 KS F 2432에서 규정하는 유하시험을 실시하였는데, 각 시험별 경시변화특성은 비빔직후와 비빔 30분후의 특성을 측정하는 것으로 하였다.

## 2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 재료는 국내에서 일반적으로 생산되는 5개의 제품을 사용하였으며 그 특성은 표 2와 같다.

## 2.3 실험방법

실험방법으로 모르타르의 혼합은 수동 혼합용 혼합기를 사용하여 KS F 4044의 기준에 준하여 실시하였다.

또한, 레올로지 시험은 Brookfield SST 2000의 내통 정속방식의 레오메타를 이용하였고, 스피ن들은 가로×세로의 비가 30×60mm의 베인스핀들을 사용하였으며, 레올로지정수를 측정하기 위한 전단변형속도는 0.1~7.0/s범위로 설정하였다. 유동성 시험으로 유하시험은 KS F 4044 및 KS F 2432의 기준에 준하여 실시하였고, 플로시험은 KS F 4044 기준에 따라 실시 하였다. 이때, NSGM의 경시변화 특성은 비빔직후와 비빔후 30분후의 특성을 검토하는 것으로 하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 컨시스턴시 곡선

그림 3은 회전점도시험에 의해 얻어진 전단응력과 전단변형속도의 관계로서 컨시스턴시 곡선의 일례를 나타낸

표 1. 실험계획

실험요인	실험수준	
시료명	5	A, B, C, D, E
W/P <sup>1)</sup>	1	KS F 4044를 만족하기 위한 각사의 표준적인 배합비 기준 (16~18.8%)
실험사항	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 레올로지시험(회전점도계)</li> <li>· 유하시험(KS F 4044)</li> <li>· 유하시험(KS F 2432)</li> <li>· 테이블 플로시험(KS F 4044)</li> </ul> ※ 각 시험별 경시변화는 비빔직후 및 30분후에 측정

1) 시멘트 및 잔골재를 포함한 분말

표 2. 사용재료

시료명	사용재료 특성
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 성상: 프리믹스형 그라우트재, · 밀도: 2.15g/cm<sup>3</sup></li> <li>· 표준사용량: 1,800~2,000kg/cm<sup>3</sup>, · W/P: 17%</li> <li>· 초결: 370분, · 종결: 460분</li> </ul>
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 성상: 프리믹스형 그라우트재, · 밀도: 2.1g/cm<sup>3</sup></li> <li>· 표준사용량: 1,900kg/cm<sup>3</sup>, · W/P: 18%</li> <li>· 초결: 270분, · 종결: 460분</li> </ul>
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 성상: 프리믹스형 그라우트재, · 밀도: 2.25g/cm<sup>3</sup></li> <li>· 표준사용량: 1,900~1,950kg/cm<sup>3</sup>, · W/P: 16%</li> <li>· 초결: 420분, · 종결: 600분</li> </ul>
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 성상: 프리믹스형 그라우트재, · 밀도: 2.12g/cm<sup>3</sup></li> <li>· 표준사용량: 1,900kg/cm<sup>3</sup>, · W/P: 18%</li> <li>· 초결: 180분이상, · 종결: 480분이내</li> </ul>
E	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 성상: 프리믹스형 그라우트재, · 밀도: 2.1~2.3g/cm<sup>3</sup></li> <li>· 표준사용량: 1,900kg/cm<sup>3</sup>, · W/P: 18.8%</li> <li>· 초결: 60분이상, · 종결: 120분이내</li> </ul>

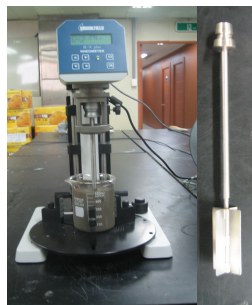


그림 1. 레올로지시험



a) KS F 4044



b) KS F 2432

그림 2. 유하시험

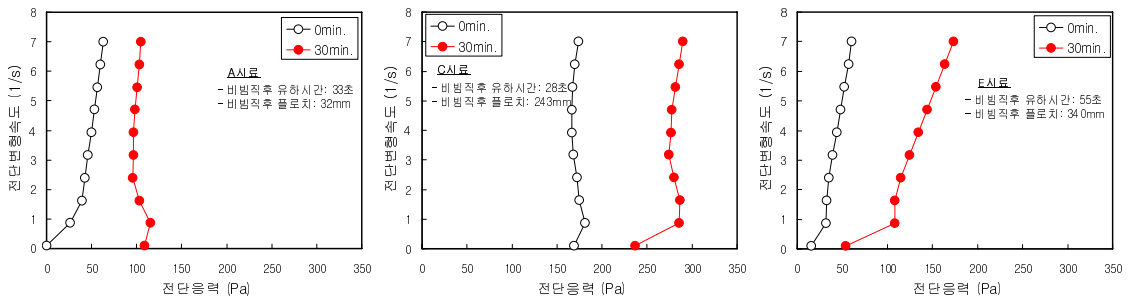


그림 3. 컨시스턴시 곡선의 일례

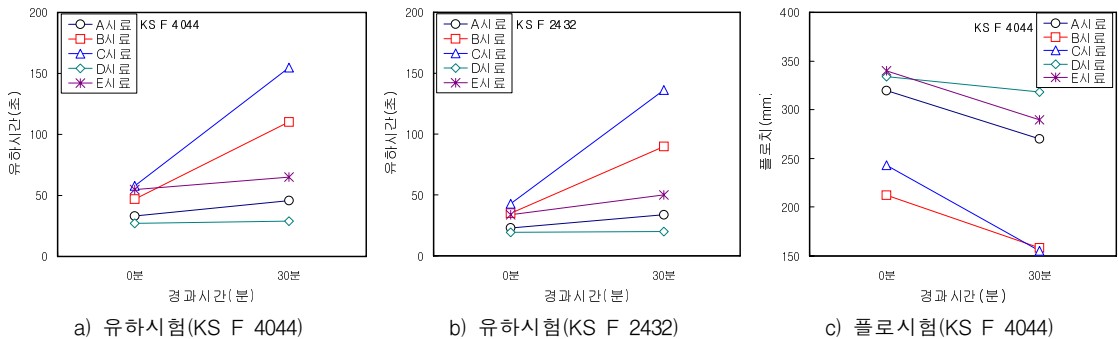


그림 4. 경시변화에 따른 유동특성

것이다.

전반적으로 전단변형속도가 증가할수록 전단응력이 증가하는 점소성체의 특성을 나타냈으며, 경과시간이 증가함에 따라 전단응력이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 유하시간이 증가할수록 또는 플로치가 작을수록 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 초기 전단변형 단계에서 전단응력이 약간 불안정한 형태를 나타내고 있다. 이것은 고체와 액체가 혼합된 고농도서스펜션 고유의 특성으로 항복치가 비교적 큰 서스펜션상의 경우 전단변형시간 극수압의 이동에 의해 전단이 시작되는 범위에서 순간적으로 전단응력이 증가할 수 있는데, 이는 이러한 메커니즘에 기인된 현상으로 판단된다.

### 3.2 유하시험 및 플로시험 결과

그림 4는 그라우트재 종류별 경시변화 따른 유하시험 및 플로시험 결과를 나타낸 것이다. 전반적으로 A, D시료의 경우 비빔직후 유하시간이 비교적 짧은 것으로 나타났고, 나머지 B, C, E시료는 비교적 유하시간이 긴 것으로 나타났다. 또한, 이러한 경향은 비빔직후의 유하시간이 긴 경우가 경시변화에 따른 유하시간도 현저히 길어지는 것으로 나타났다. 단, E시료의 경우 시간경과에 따른 유하시간의 증가가 작은 것으로 나타났다. 한편, 플로시험은 B, C의 시료가 비교적 작은 플로치를 나타냈으며, A, D, E시료의 경우가 300mm이상의 높은 값을 나타내었다. 마찬가지로 플로시험의 경우도 비빔직후 측정치의 대소에 따라 경시변화에 따른 값도 큰 차이를 나타내었다.

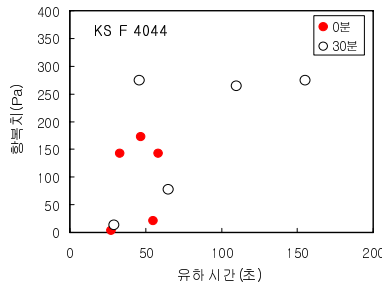
### 3.3 유동성시험과 레올로지정수의 관계

그림 5는 유동성시험과 레올로지 정수인 항복치와의 관계를 나타낸 것이고, 그림 6은 같은 방법으로 소성점도를 나타낸 것이다. 여기서 레올로지 정수는 회전점도시험에 의해 얻어진 그림 3의 결과를

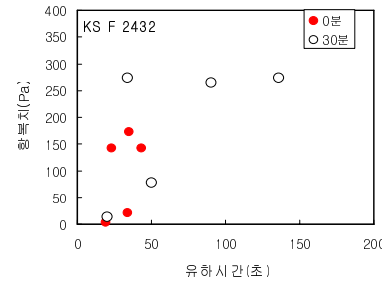
빙행모델로 가정할 경우 구할 수 있는 파라미터이다.

전반적으로 항복치가 클수록 유하시간은 증가하고, 플로치는 작아지는 것으로 나타났는데, 시험방법에 따른 상호관계의 경우 항복치가 유하시험보다 플로시험과의 상관성이 높은 것을 알 수 있다. 이것은 플로시험이 자중에 의해 항복되는 시료의 특성을 표현하는 시험장치이기 때문에 나타난 결과로서, 본 결과를 통해 플로시험에 의한 측정치가 주로 연도의 특성을 나타냄을 시사하고 있다.

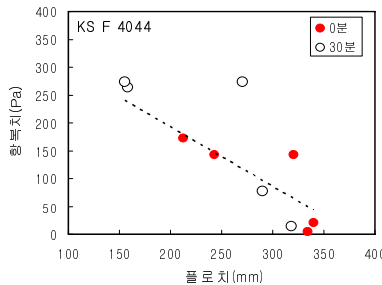
한편, 소성점도의 경우 유하시간이 증가수록 증가하는 것으로 나타났고, 플로치와는 다소 낮은 상관성을 나타내었다. 이는 항복치와 반대의 결과로 플로의 속도를 나타내는 유하시험의 경우는 소성점도와 어느 정도의 상관성을 나타내지만, 항복치의 특성을 주로 표현하는 플로시험과는 낮은 상관관계를 갖기 때문으로 사료된다.



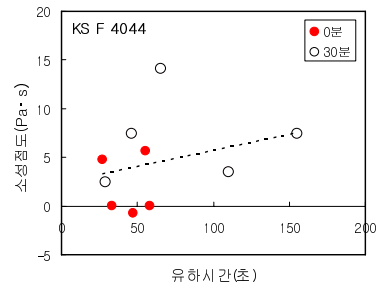
a) 유하시험(KS F 4044)



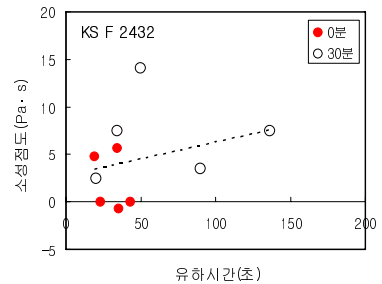
b) 유하시험(KS F 2432)



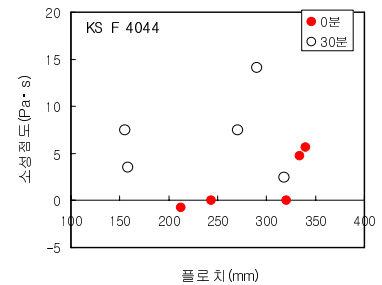
c) 플로시험(KS F 4044)



a) 유하시험(KS F 4044)



b) 유하시험(KS F 2432)



c) 플로시험(KS F 4044)

그림 5. 유동성시험과 항복치의 관계      그림 6. 유동성시험과 소성점도의 관계

#### 4. 결론

본 연구에서는 무수축 그라우트재에 대한 기존 유동성 시험방법과 레올로지 시험과의 상호관계를 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 무수축 그라우트재의 성질은 거시적인 시점에서 본다면 빙행유체로서 레올로지적 평가가 가능할 것으로 판단된다.

2) 무수축 그라우트재의 유동성시험은 항복치 및 소성점도로서 표현이 가능하며, 플로우시험의 경우 항복치와 상관이 높고, 유하시험의 경우 소성점도와 약간의 상관성을 나타내고 있다. 단, 유하시험은 간극을 통과하는 항복치의 영향도 무시할 수 없기 때문에 소성점도와 유하시험을 직접적으로 연계시키기에는 다소 무리가 있을 수 있다.

#### 참고문헌

1. 田中一彦, 田沢栄一, 橋本博和 : PC用グラウトの流動性についての実験的研究, The Society of Materials Science, pp.21~27, 1963. 5.
2. 허영선, 황인성, 신현섭, 윤섭, 이건철, 한천구 : 시멘트 페이스트의 레올로지 특성에 미치는 혼화재 변수의 영향, 한국건축시공학회 학술 기술발표회 논문집, 제5권 제2호, pp.57~61, 2005. 11.