

진동필터가 설치된 그라우트 믹서의 시멘트 응집 저감 효과에 대한 실험적 연구

황성필^{1*} · 정재형¹ · 김창용¹ · 이우제²

¹한국건설기술연구원, ²부산대학교

Experimental Study on Cement Cohesion Reduction Effect of Grout Mixer with Vibration Filter

Sung-Pil Hwang^{1*} · Jae-Hyeung Jeoung¹ · Chang-Yong Kim¹ · Woo-Je Lee²

¹Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

²Graduate Student, Department of Civil Engineering, Pusan National University

Abstract

Grouting is reinforcement or cutoff method which uses the hardening agent which is typically represented by portland cement and injected into the ground or the structure. When mixing the cement in powder form with water, the particles tend to cohere each other. Once they cohered, the particle size tends to become larger while injection efficiency becomes lower. This study, in a bid to reduce the cohesion of cement, the screen was set inside the grout mixer so that the cement particles are separated while vibrating them. To validate the effect of vibration screen, comparison test was conducted by using ordinary portland cement, slag cement and micro cement. Viscosity test, bleeding test and grain-size analysis indicated that the characteristics varied significantly after passing through the vibration filter. It is expected that the vibration filter installed inside the grout mixer will reduce the cement cohesion when mixing with water.

Keywords: grouting, vibration filter, cohesion, cement, mixer

초 록

그라우팅 공법은 보통 포틀랜드 시멘트로 대표되는 경화재를 사용하여 지반 또는 구조물에 주입하여 보강 및 차수 등에 이용하는 공법이다. 분말 상태의 시멘트에 물을 혼합하여 교반 시키면 입자들이 응집하게 된다. 시멘트 입자들이 응집하게 되면 입자의 크기가 커져 미세한 균열에서 주입성이 낮아진다. 본 연구에서는 이러한 시멘트 입자의 응집성을 저감시키기 위해 그라우트 믹서 내부에 거름망을 설치하고 진동 발생시켜 통과하는 시멘트 입자가 분리되도록 하였다. 설치된 진동필터의 효과를 확인하기 위하여 보통 포틀랜드 시멘트, 슬래그 시멘트, 마이크로 시멘트를 각각 사용하여 비교시험을 수행하였다. 점도, 블리딩, 입도분석, 압축강도 시험을 통해 진동망을 통과하는 경우 그 특성이 현저하게 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 그라우트 믹서 내부에 진동필터를 설치하면 물과 교반 시 발생하는 응집현상을 감소시켜 줄 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 그라우팅, 진동필터, 응집성, 시멘트, 믹서

OPEN ACCESS

*Corresponding author: Sung-Pil Hwang
E-mail: hsp@kict.re.kr

Received: 24 January, 2018
Revised: 6 February, 2018
Accepted: 10 February, 2018

© 2018 The Korean Society of Engineering Geology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

그라우팅 공법은 지반 및 건물에 주입하여 보강, 차수 등의 목적으로 많이 사용되고 있다. 특히 급경사지 방재 등의 목적으로 절리 등 불연속면이 발달된 암반층에 적용되고 있으며, 구조물의 균열부에 주입하여 보수용으로 사용되고 있다. 터널 분야에서는 굴착전 굴착면 주변의 보강을 위해 사용되거나 기계식 굴착에서 세그먼트와 지반의 사이를 채우는 용도로 활용되고 있다.

그라우팅 공법은 1802년 프랑스에서 점토와 석회현탁액을 사용하여 수문하부 공동 채움 및 주변 층적층에 대한 보강을 시초로, 1887년 독일의 규산소다와 염화칼슘을 이용한 액상형 주입제의 사용이후 적용범위가 확대되었다. 1900년대 이후 그라우팅에 필요한 펌프 등의 장비 발전으로 그라우팅 기술의 향상이 이루어 졌으며, 우리나라의 경우 1960년대 외국 기술진이 다목적댐 기초 처리를 위해 활용하기 시작하여, 지하철공사 등 지하구조물 시공에 적용범위를 확대하며 활용되고 있다(Lee, 2015). 최근에는 국민적인 관심사로 부각된 도시부 지반함몰의 복구 및 보강공사에 사용되는 등 적용 범위가 확대되고 있다.

그라우팅에 사용되는 주입재료는 시멘트를 주재료로 하는 현탁액형과 고분자재료 등을 이용하는 콜로이드형, 용액형 등으로 나눌 수 있다. 주입 방법은 재료의 종류와 보강대상의 상태에 따라서 저압주입 및 고압주입의 방법을 현장에서 선택하여 사용되고 있다. 현장의 목적에 맞게 배합된 고화재를 보강 대상의 특정 지점까지 적정량을 도달하게 하는 것이 그라우팅 공법의 핵심이다. 현장에서 그라우팅 공법의 주입성능을 개선하기 위하여 다양한 기초 연구가 수행되고 있다. Kim et al. (2009)은 간극 및 균열에 대한 주입특성을 평가하기 위하여, 평행평판주입시험을 수행하여 시멘트의 주입특성을 평가하였으며, Lee et al. (2009)은 그라우트 재료 주입관에 진동을 가하여 주입방법을 개선함으로써 침투 특성을 개선하고자 하는 시도를 하였다. 또한 Jeoung et al. (2016)은 0.25 mm 이하의 미세균열에 대해 평가하기 위하여 국내에서 미세균열에 많이 사용되는 분말형 주입재료의 점도에 따른 주입특성을 제시하였다.

기존 연구들에서 주입에 대한 문제를 제시하였으나, 그에 대한 해결책의 명확한 제시가 부족하였다. 이에 본 연구에서는 시멘트의 응집성을 저감시키는 방법을 제시하고자 하였다. 이를 위해 교반장치 내부에 그라우트 입자의 응집현상을 저감시킬 수 있는 진동필터를 부착하여 교반을 수행하고, 3종류의 시멘트를 이용하여 교반된 현탁액을 점도, 블리딩, 유하시간, 입도분석, 압축강도 시험을 수행하여 그 효과를 확인하였다.

시험개요

진동필터가 부착된 그라우트 믹서

그라우트 믹서는 그라우팅 공법의 시공시 가장 흔하게 사용되는 장비로 시멘트를 물과 섞어주는 역할을 하는 장치이다. 교반시 시멘트 입자는 서로 결합하는 응집현상이 발생하게 되어 미세한 균열 등에 주입에 불리해 진다. 본 연구에서는 일반적인 그라우트 믹서 장치 내부에 거름망을 부착하여 시멘트 입자의 응집현상을 해결하고자 하였다(Fig. 1). 체거름 시험의 방법을 응용하여, 내부 거름망에 진동장치를 부착하여 거름망에 입자가 걸리는 경우 진동에 의해 분리될 수 있도록 하였다. 방수를 위해 진동장치는 외부에 설치하고 연결장치를 이용하여 진동을 전달하였다. 믹싱용 모터의 회전수(rpm)를 조절 가능하도록 설치하였고, 최대 회전수 1,600 rpm인 모터를 사용하였다. 시험의 정확도를 높이기 위해 모터의 회전수는 타코메타를 이용하여 시험 시 마다 측정하여 일정하게 유지하였다.

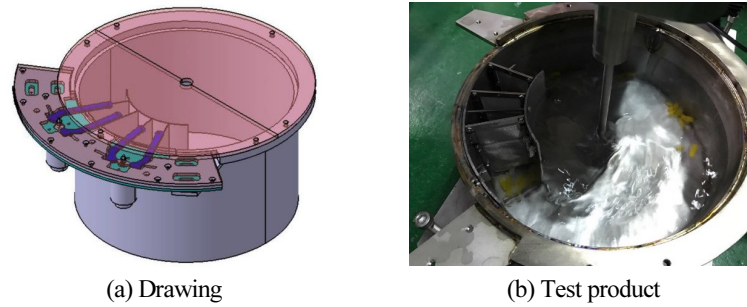


Fig. 1. Grout mixer.

시험 재료

본 연구에서는 응집현상을 저감하여 침투성능을 높이고자 하여 현장에서 많이 사용되는 보통 포틀랜드 시멘트, 슬래그 시멘트 및 마이크로 시멘트를 사용하여 각각의 응집성 저감에 대해 평가하였다.

보통 포틀랜드 시멘트(ordinary portland cement)는 건설공사에서 약액주입 공법이 본격적으로 도입되면서 많이 사용되어 지고 있지만, 평균입경 15~20 μm , 최대입경 80~100 μm 로 입자가 굵기 때문에 침투 주입의 영역이 제한적이었으며, 시멘트계 주입에서 침투성 저하의 주요 원인이 되어왔다(Kim, 1999).

슬래그 시멘트(slag cement, 이하 slag)는 철광석 등을 정제하고 남은 슬래그를 시멘트와 일정 비율로 섞은 제품으로 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 저렴한 편이다. 장기강도가 우수하고, 수화열이 낮으며, 화학적 저항성, 내해수성, 내열성, 방수성 등이 장점으로 제시되고 있다.

마이크로 시멘트(micro cement, 이하 micro)는 입자의 크기를 초미립화하고 초기 수화반응의 속도를 조절하는 성분이 포함된 시멘트로 일반 포틀랜드 시멘트와 비교하면 입자의 크기가 매우 작은 시멘트이다. 마이크로 시멘트는 침투성이 우수하고, 고강도 발현 및 내구성이 우수하며, 지하수 토질에 무해한 무기계 주입재로 댐, 저수지 등의 그라우팅, 터널 파쇄 대의 차수 및 보강 그라우팅 등으로 활용되고 있다. 시험에 사용된 마이크로시멘트는 분말도 8,000을 사용하였으며, 평균 입경은 5 μm , 최대입경 25 μm 으로 제시되어 있다.

시험종류

본 연구에서는 시험의 실험실 조건에 따른 불확실성을 제거하기 위해서 실험실의 온도는 20°C, 상대습도는 40~60%를 유지하였다. 교반기의 교반속도는 저속 600 rpm, 고속 1,100 rpm으로 유지시켰으며, 교반시간은 3분으로 일정하게 하였다. 교반된 그라우트를 이용하여 점도, 블리딩율 및 습식 입도분석을 수행하였다. 습식 입도분석은 일반 포틀랜드 시멘트에 대해서만 수행하였다. 시험의 종류는 Table 1과 같다.

Table 1. Types of test

Classification	Speed (rpm)	Filter	Test
OPC	600	○	① Bleeding
		×	② Viscosity
	1,100	○	③ Uniaxial compressive strength
		×	④ Grain size analysis (OPC 600 rpm only)
Slag	600	○ ×	
Micro	600	×	

점도

유체의 점성의 정도를 나타내는 것으로 각 시험의 교반 결과인 그라우트의 점성을 측정하기 위하여 미국 B사의 LVDV- II 점도계(Fig. 2)를 사용하여 2 sp로 100 rpm에서의 점도를 측정하였다.



Fig. 2. LVDV- II viscometer.

블리딩율

블리딩은 굳지않은 모르타르 상태의 물-시멘트가 물과 시멘트로 각각 분리되는 현상으로 현장에서 타설시 계획된 콘크리트 두께 보다 얇아지는 현상이 발생하게 된다. Table 2는 나라별 블리딩 시험규정이다. 국내의 경우 KS F 2433 “주입 모르타르의 블리딩률 및 팽창률 시험방법”으로 하도록 규정하고 있어 본 연구에서는 KS F 2433에 따라 각 시험의 교반 결과인 그라우트에 대한 블리딩율을 측정하였다. 시험은 1,000 mL 실린더에 일정량의 그라우트 800 mL를 채우고 시간이 경과함에 따라 변화하는 블리딩양을 측정하였다.

Table 2. Bleeding test standards

Test standard	Height	Quality requirement	Country
KS F 2433	20 cm	0%@20 Hr	Korea
JHS 420	150 cm	0.3% or less @3 Hr	Japan
ASTM C 940	50 cm	0%@3 Hr	USA
BS 445	500 cm	0%@24 Hr	UK

압축강도

압축강도 시험은 KS F 2314의 시험법에 따라 수행하였고, 5 × 5 × 5 cm의 정사각형 몰드를 사용하여 공시체를 제작하고 3일, 7일, 28일에 각각 강도를 측정하였으며, 1.0 mm/min의 속도로 압축강도시험을 진행하였다.

입도분석

시멘트 입자의 응집 저감 효과를 보다 직접적으로 확인하기 위해 습식 입도분석을 수행하였다. 보통 포틀랜드 시멘트의 교반속도 600 rpm, 진동 거름망 사용 유무에 대한 2종류의 시험의 결과인 그라우트를 이용하여 입도분석을 수행하였다. 습식 입도분석은 레이저회절 및 산란에 의한 방법, 전기저항법에 의한 방법 및 원심분리법에 의한 방법으로 크게 나눌 수 있다. 본 연구에서는 국내 표준인 KS A ISO 13320에 의한 레이저 회절법을 이용하여 시험을 수행하였다.

실험결과

유체의 점성의 정도를 나타내는 점도와 재료의 분리유무를 확인 할 수 있는 블리딩을 시험의 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Viscosity and bleeding ratio test result

Classification	Mixing speed (rpm)	Filter	Bleeding ratio (%)	Viscosity (cPs)
OPC	600	○	27.2	55
		×	29.6	52
	1,100	○	21.8	61
		×	25.4	56
Slag	600	○	15.6	84
		×	17.8	78
Micro	600	×	0.8	198

점도

LV DV- II 점도계를 이용하여 각 시험종류에 따른 그라우트의 점도를 측정된 결과는 Table 4와 같다. 마이크로 시멘트가 198 cPs로 가장 크게 나타났고, 슬래그시멘트, 고회전 일반 포틀랜드시멘트, 저회전 일반포틀랜드 시멘트 순으로 점도가 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 입자의 크기가 작을수록, 입자의 크기가 고르게 잘 분포되어 점도계의 회전에 따른 전단저항력이 감소하기 때문으로 판단된다. 진동필터를 설치하는 경우 입자의 크기가 비교적 고르게 분포되어 전단저항력이 감소하고, 이로 인해 점도가 커지는 것으로 확인되었다.

블리딩률

각각의 배합비에 대해 블리딩량을 측정하여 180분 후 블리딩률을 비교하였다. Table 4에서 확인할 수 있듯이 진동필터를 통과한 시험에서 블리딩률이 적어지는 것을 알 수 있다. 마이크로시멘트의 경우 180분 후에도 블리딩이 거의 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 이는 시멘트 입자의 크기가 작아 물과의 접촉면적이 가장 크기 때문에 다른 시료보다 빠르게 고화되기 때문으로 판단된다. 슬래그 시멘트의 경우 거름망을 통과하는 경우 블리딩률이 2.2% 감소하였고, 일반 포틀랜드 시멘트는 각각 3.6%와 2.4% 감소하는 것으로 나타났다. 교반속도의 차이에 의해서는 블리딩률이 5.4%, 4.2% 감소하는 것으로 나타나 교반속도 및 필터의 유무가 블리딩률에 영향을 주는 것으로 확인되었다.

압축강도

각각의 배합비에 대해 3개의 공시체를 제작하여 3일, 7일, 28일 압축강도를 측정하였다. Table 4에서 확인할 수 있듯이 진동필터를 사용한 공시체의 압축강도가 크게 측정되었다. 일반포틀랜드 시멘트의 경우 저속에서 약 12%, 고속에서 7%의 강도 증가가 있는 것으로 측정되었다. 슬래그 시멘트의 경우 약 7%의 강도증가가 확인되었다. 특히 보통포틀랜드시멘트의 진동필터를 사용한 고속회전 시 마이크로 시멘트와 거의 동일한 수준의 28일 압축강도를 구현하는 것으로 확인되었다.

Table 4. Test result of uniaxial compressive strength

Classification	Mixing speed (rpm)	Filter	Uniaxial compressive strength (MPa)		
			3d	7d	28d
OPC	1,100	○	2.7	20.2	44.1
		×	2.6	18.4	42.2
	600	○	1.8	17.0	34.6
		×	1.4	16.0	33.7
Slag	600	○	1.8	17.5	38.1
		×	1.6	16.6	37.0
Micro	600	×	10.6	31.4	46.7

입도분석

입도분석은 보통 포틀랜드 시멘트의 교반 결과물인 그라우트를 이용하여 습식으로 진행하였고, 습식 입도분석 방법 중 레이저 회절법을 이용하였다. 진동필터를 통과한 그라우트의 평균입도는 21.2 μm이고, 통과하지 않은 그라우트의 평균입도는 22.8 μm로 분석되었다. 진동필터를 통과한 그라우트의 10%통과 입도는 6.3 μm, 50%통과 입도는 15.7 μm, 90%통과 입도는 42.4 μm로 나타났다. 진동필터를 통과하지 않은 그라우트의 10%통과 입도는 6.8 μm, 50%통과 입도는 16.9 μm, 90%통과 입도는 46.4 μm였다. 입도분석 결과는 Fig. 3과 같다.

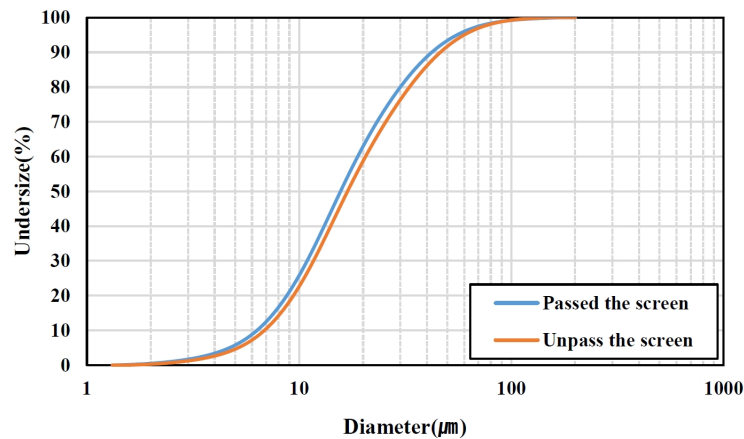


Fig. 3. Grain size analysis of the grout.

결론

시멘트 교반시 입자의 응집현상을 저감시키기 위하여 그라우트 믹서 내부에 진동필터를 설치하여 그 효과를 확인하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 진동필터를 설치하는 경우 입자의 크기가 비교적 고르게 분포되어 전당저항력이 감소하고, 이로 인해 점도가 커지는 것으로 확인되었다.
2. 블리딩율을 측정한 결과 마이크로 시멘트는 블리딩이 거의 일어나지 않는 것으로 나타났고, 진동필터를 통과한 경우, 고속으로 회전한 경우 블리딩이 적게 발생하여 교반속도 및 필터의 유무가 블리딩률에 영향을 주는 것으로 확인되었다.
3. 재령에 따른 압축강도는 진동필터를 사용한 경우 약 7% 이상 증가하는 것으로 나타났다. 또한 고속회전의 진동필터를 사용한 일반포틀랜드 시멘트의 28일 압축강도는 마이크로시멘트의 28일 압축강도를 구현할 수 있는 것으로 확인되었다.
4. 일반 포틀랜드 시멘트로 교반된 그라우트를 이용하여 습식 입도분석을 진행한 결과 입도가 적게 나타나, 진동필터에 의해 교반된 그라우트 내부의 응집현상이 저감되는 것으로 확인되었다.

사사

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 2014년 건설기술연구사업의 ‘대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발(14SCIP-B088624-01)’ 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

- Jeoung, J.H., Hwang, S.P., Lee, J.H., Lee, T.H., 2016, The study on evaluation of injection performance in micro crack depending on viscosity of grouting material, J. Korean Soc. Hazard Mitig., 16(5), 239-245 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.C., 1999, A Study on the Injection Properties of Ultrafine Cement Materials, Ph.D. dissertation, University of Hanyang, 10-12 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.S., Lee, I.M., Lee, M.S., Choi, H.S., 2009, A New Groutability Criterion of Cement-based Grout with Consideration of Viscosity and Filtration Phenomenon, KGS Spring '09 National Conference, 154-163.
- Lee, E.K., 2015, A Study on Improvement of Rock Grouting Design Guid, Ph.D. dissertation, University of Sejong, 5-7 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.S., 2009, Effect of Vibration on Grout Permeation Characteristics, Master's thesis, University of Korea, 3-15 (in Korean with English abstract).