

방사성폐기물 처분장 내 Low-pH grout의 물성 측정항목 분석

김규원, 김진섭, 권상기, 조원진

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150-1

romvvykim@gmail.com

1. 서론

고준위폐기물의 심지층 처분을 위해 처분장의 구조적 안정성과 차수능력 등을 고려하여 시멘트 물질의 사용이 불가피한 상황이며, 현재 처분장의 대부분의 건설 재료들은 시멘트 계열의 물질을 주재료로 사용하고 있다. 하지만 일반적으로 10만년 이상의 초장기 노출가능 시간확률을 설정하여 계획하는 처분장의 건설에 있어서 시멘트 물질의 사용은 신중을 기해야 하는 딜레마에 처해있는데, 이는 대부분의 시멘트 물질이 pH 12.5 이상의 초염기성 상태를 유발하여 완충재 역할을 하는 벤토나이트의 거동은 물론 주변 암반의 물리·화학적 거동에 많은 영향을 미치기 때문이다. 이와 같이 시멘트 재료를 사용할 때는 pH가 중요한 역할을 하기 때문에 low-pH 시멘트의 중요성이 부각되고 있다. 물론 시멘트 물질을 대체할 수 있는 물질의 개발도 중요하지만, 이를 개발하더라도 처분장에 적용하기 위해서는 시멘트 물질 만큼의 충분한 재료적 이해와 장기거동 특성에 관한 상당 기간의 실증이 필요하다. 따라서 현 시점에서 고준위폐기물의 심지층 처분을 위해 가장 적합한 것은 처분장 환경 조건에 최소한의 영향을 미칠 수 있는 low-pH 시멘트의 개발이다. 현재 스웨덴, 핀란드와 같은 북유럽 국가들과 일본, 미국 캐나다 등 많은 국가들에서 low-pH 개발과 관련되어 수많은 연구들이 진행되고 있고 상호 국가 간의 연구 성과 효율증대를 위해 국제 공동연구들도 활발하게 진행되고 있다. 본 연구는 이와 같은 low-pH 시멘트의 연구 동향에 대하여 분석하고, 현장 적용을 위한 pH 측정 및 기초실험들을 수행하여, 장기거동 특성과 구조적 안정성과 관련되어 많은 기준들을 충족시키는지 확인하는 것이 목적이다.

2. 실험방법

Low-pH 시멘트 그라우트에 관한 연구는 국내·외적으로 특히 핀란드나 스웨덴 같은 북유럽 국가들에서 활발하게 수행되고 있다. 이의 현장 적용을 검증하기 위해서는 여러 가지 요건들을 충족 시켜야 하는데, 이를 위해서 Kronlöf(2004)와 Sievänen 등(2006)이 정리한 여러 가지 실내실험 방법 및 기준들이 표 1에 요약되어 있다 [1], [2].

표 1. 현장 적용 검증을 위한 실내측정방법 및 기준

Property	Requirement	Measuring method
pH	≤ 11.0	pH direct measurement in powder cement paste-water slurries ^[2]
Density	현장 조건에 따라 ± 20kg/m ³	Densimeter ^[3]
Penetrability b _{min}	≤ 80 μm	Penetrability meter at 30 min ^{[2],[3]}
Penetrability b _{crit}	≤ 120 μm	
Penetrability	≥ 300 mL	Filter pump (Mesh size ≤ 100 μm at 30 min ^{[2],[3]})
Penetrability	≤ 100 μm	NES test at 30 min ^[2]
Viscosity	≤ 50 mPas	Rheometry at 30 min ^[3]
Fluidity	≤ 45 s	Marsh funnel at 30 min ^{[2],[3]}
Shear strength at 6h	≥ 500 Pa	Fall cone at 6 h ^{[2],[3]}
Workability time	30 min	Penetrability와 Rheology를 고려하여 결정 ^{[1],[2],[3]}
Shear strength at 8h	2 kPa	Fall cone at 8 h ^{[2],[3]}
Bleed	≤ 2 %	Measuring tin at 2 h ^{[2],[3]}
Yield value	≤ 5 Pa	Rheometry at 30 min ^{[1],[2]}
Compressive strength	≥ 4 MPa	Uniaxial compressive strength at 28 days ^{[2],[3]}

PH측정은 [2]를 참고하여 수행하였다. 주형된 시편은 75 μm 보다 작은 분말로 갈아서 10g 를 증류수 10g 에 넣은 후 그 혼합물을 계속 저어주면서 pH-meter로 측정하였다. Penetrability는 Filter mesh 직경이 100 μm 이하인 것으로 걸러주면서 측정중이고 NES test 또한 수행할 예정이다. Viscosity와 Fluidity는 혼합한지 30분 후 각각 Rheometry와 Marsh funnel을 이용하여 측정중이다. Workability time은 Penetrability와 Rheology를 고려하여 결정하였으며, 전단강도와 압축강도는 각각 Fallcone test와 일축압축기를 사용하여 측정중이다.

비교를 위해 low-pH 시멘트 그라우트와 일반적인 high-pH 시멘트 그라우트로 나누어서 시편을 제작하였다. 시멘트 그라우트의 배합비율은 표 2와 같다. 이는 참고문헌 [4]와 같다. 배합은 HJ-1150 몰탈 혼합기를 이용하였고 50×50×50 (mm)의 큐빅형 몰드로 주형한 후 20°C의 온도에서 양생중에 있다. 실험에 이용된 도구들은 그림 1 과 같다.

표 2. 그라우트의 배합비율 [4] (단위: kg/m³)

	High pH grout(Standard)	Low pH grout
Water(Water, Superplasticizer, silica slurry water등을 포함한 양)	716	709
Cement (한일 1종 시멘트)	882	455
Silica fume	0	313
Superplasticizer (PNS ROADCON - SP)	7	9
Water binder ratio	0.81	0.92

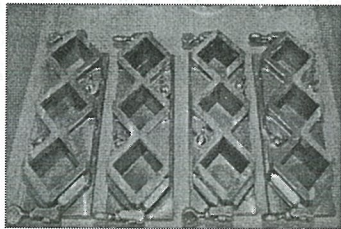


그림 1. (a)
큐브형 몰드



그림 1. (b)
HJ-1150 몰탈 혼합기

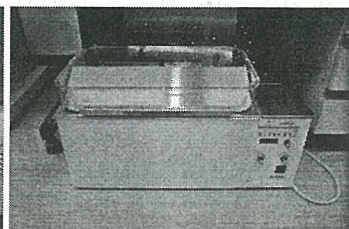


그림 1. (c)
양생수조

3. 결론

본 연구에서는 low-pH 시멘트를 고준위폐기물 심지층 처분에 현장 적용하기 위해 필요한 검증 방법들과 기준들에 대해서 알아보고 실제 다른 문헌들에 나와있는 그라우트의 배합비율로 시편을 제작하여 각각 기준들에 대해서 측정중이다. 비교를 위해 시편은 High-pH 그라우트와 Low-pH 그라우트로 대표되는 두가지 배합비율로 제작되었다. 배합비율은 Orantie와 Kuosa가 2008년에 한 배합비와 흡사하다. 본 연구에서 사용된 기준들과 측정방법들은 외국 문헌에 많이 의존하는 경향이 있어 국내 현장 도입을 위해서는 새로운 기준들과 측정방법들에 대해 추후적으로 연구를 할 필요성이 있다.

사 사

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

참고문헌

[1] Kronlöf, Injection Grout for Deep Repositories - Low pH Cementitious Grout for Larger Fractures: Testing Effect of Superplasticizer on Technical Performance, (2005).
 [2] Sievänen et al., Injection Grout for Deep Repositories. Low pH Cementitious Grout for Larger Fractures, (2005).
 [3] Vuorinen et al., Low-pH cementitious grout for larger fractures. Leach testing of grout mixes and evaluation of the long term safety, (2005).
 [4] Orantie and Kuosa, Durability 2007 Injection grout investigations: Background description, (2008).