

고준위폐기물처분장의 완충재와 후보물질 선정

이재완*, 최영철, 이민수, 최희주

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*jolee@kaeri.re.kr

1. 서론

고준위폐기물처분장에서 완충재는 공학적방벽의 핵심 구성요소이다. 처분장으로의 지하수 유입을 억제하고, 방사성핵종의 유출을 저지하며, 외부응력으로 부터의 처분용기를 보호하고, 또한 폐기물로부터 발생하는 붕괴열을 밖으로 분산시키는 역할을 한다. 완충재 물질로는 벤토나이트가 선호되고 있다. 이것은 벤토나이트의 높은 팽윤성, 양호한 흡착능 및 처분환경에서의 내구성이 완충재 요건을 가장 잘 만족하기 때문이다. 일반적으로 완충재 물질은 예비 후보물질 선정(potentially candidate material-screening)과 선정된 물질의 방벽성능 평가(barrier performance evaluation) 등 2단계 과정을 거쳐서 선정된다. 그러나 벤토나이트는 산출지역에 따라 서로 다른 물성을 가지고 있고, 완충재의 소재로서의 품질도 저품위에서부터 고품위에 이르기까지 다양한 스펙트럼을 가지는 것으로 알려져 있다. 이 때문에, 완충재로 사용 가능한 모든 물질을 대상으로 동일한 선정절차를 적용할 경우, 많은 시간과 비용이 소요된다. 이와 관련하여, 본 연구에서는 고준위폐기물처분장 완충재 물질의 효과적인 선정을 위한 예비 후보물질 선정단계에서의 선별지침(screening guideline)과 시험항목 및 물성 비교에 적용할 수 있는 기준물질(reference materials)을 검토하였다.

2. 완충재 요건

완충재는 방벽재로서의 기능을 효과적으로 수행하기 위해, 낮은 수리전도도, 높은 핵종 저지능, 높은 팽윤성과 적절한 팽윤압, 양호한 역학적 특성, 높은 열전도도, 장기건전성 유지, 낮은 유기물 함량을 가져야 한다. 또 실제 처분장 적용에 있어서, 소재의 수급성, 제작 용이성, 경제성 등에 대해서도 검토를 하여야 한다. 처분장 완충재로 사용할 재료의 물량이 충분한지, 완충재의 제작과 현장 설치가 용이한지, 소재의 구입에 따른 재료비, 운송비 및 부대비용이 얼마나 소요되는지를 따져 보아야 한다.

3. 선별 지침 및 시험항목

IAEA는 완충재 물질 고려 대상 벤토나이트로부터 예비 후보물질 선정 시 적용할 수 있는 선별지침을 제안한 바 있다[1]. 대상 벤토나이트의 광물학적 특성치, 화학적 특성치, 물리적 특성치를 측정하고, 그 결과를 기준물질(MX-80 bentonite, USA; Saskatchewan bentonite, Canada; Kunigel V1, Japan)과 비교하여, 완충재 요건에 가장 부합되는 벤토나이트를 예비 후보물질로 선정하도록 하였다. 선정된 후보물질 벤토나이트의 매장량은 처분장에 필요한 소요량의 2배 이상이 되어야 하고, 표본 샘플 벤토나이트 간의 광물조성 변화는 10%를 넘지 않도록 제안하였다. 광물학적 특성치로는 XRD(X-Ray Diffraction)와 광물조성을 측정하도록 하였다. XRD는 구성광물을 확인하는데 사용되며, 광물조성 중에는 몬모릴로나이트의 함량이 중요하다. 이것은 완충재의 방벽성능이 몬모릴로나이트의 함량에 좌우되기 때문이다. 화학적 특성치로는 화학조성(chemical composition), CEC(Cation Exchange Capacity), EC(Exchangeable Capacity)를 포함하였다. 화학조성은 구성광물의 확인을 위해서 필요하며, CEC는 유출 핵종에 대한 이온교환능을, EC는 몬모릴로나이트 입자의 층간이온 양과 수화 시 완충재의 팽윤이 어느 정도 일어날지를 가늠할 수 있다. 물리학적 특성치로는 입자밀도(particle density), 입도분포(grain size distribution), 표면적(specific surface area), 애터버그 한계(Atterberg limit), 자유팽윤지수(free swell index)를 측정하도록 하였다. 밀도와 입도분포는 완충재 블록의 공극율, 구조와 밀접한 관계가 있으며, 표면적은 몬모릴로나이트의 함량과 반응면적 계산에 필요하다. 애터버그 한계와 자유팽윤지수는 각각 완충재 물질의 점성학적 거동(rheological behavior)과 수화 시 팽윤능을 확인하는데 중요한 물리학적 특성치이다.

4. 물성 비교 기준물질

MX-80, Saskatchewan bentonite, Kunigel V1은 처분장 완충재 물질로서 체계적인 물성조사가 이루어진 벤토나이트이다. 이 벤토나이트는 완충재 고려 대상물질의 적합성 평가를 위한 기준물질로 사용되고 있다. MX-80은 미국 Wyoming 산 벤토나이트. 화산재로부터 생성된 것으로 Na-벤토나이트이다. 처분장 방벽재로서 가장 광범위하게 물성조사가 이루어져 있고, 스웨덴, 핀란드, 스위스에서는 완충재 기준물질로 사용하고 있다. Saskatchewan 벤토나이트는 Manitoba, Saskatchewan, Alberta 주가 인접한 Prairie 지역에서 산출되고 있다. 성인(origin)과 구조는 MX-80과 비슷하며, 위치에 따라 Na-, mixed Na/Ca- 또는 Ca/Na-, Ca-벤토나이트로 존재하였다. 캐나다는 완충재와 뒷채움재의 후보물질로 이 벤토나이트에 대해 광범위한 물성조사를 한 바 있다. 일본의 Kunigel V1은 화산재와 응회암의 열수반응에 의해 생성, Yamaga Tsukinuno 지역에서 산출되는 벤토나이트이다. 대부분 Na- 벤토나이트의 분포를 가지며, 완충재와 뒷채움재 개발연구를 위한 기준물질로 사용하고 있다. MX-80, Saskatchewan bentonite, Kunigel V1의 주요 물성을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Major properties of proposed reference bentonites

Properties	MX-80	Saskatchewan	Kungel V1
Montmorillonite(%)	75-92	~80	46-49
CEC(meq/100g)	55-90	50-85	52
Free swell index(cc/2g)	12-26	>9	7-16
Surface area(m ² /g)	562	500-650	-
Liquid limit(%)	400	150-385	>280
Plastic limit(%)	70	33-64	<50
Plastic index(%)	330	115-321	>230

5. 결론

본 연구에서는 완충재 예비 후보물질 선정단계에서 적용할 수 있는 선별지침, 시험항목 및 물성 비교를 위한 기준물질을 제시하였다. 제시된 연구결과는 완충재 고려 대상물질 선정에 적용할 경우 후보물질 선정에 소요되는 시간과 비용을 절약할 수 있으며, 또한 선정결과에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 그러나 최종적인 완충재 후보물질은 성능기준(functional criteria)을 바탕으로 실제 처분장 환경에서의 방벽성능을 분석·평가하여 선정하여야 할 것이다.

6. 참고문헌

- [1] IAEA, "Characterization of swelling clays as components of the engineered barrier system for geological system or geological repositories," IAEA-TECDOC-1718(2013).