

심부시추공 처분기술에 대한 인식변화 고찰

이종열*, 이민수, 배대석, 김건영, 최희주

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*njylee@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력발전소에서 전기 생산 후 발생하는 사용후 핵연료 또는 사용후핵연료 재처리/재활용 공정에서 발생하는 고준위폐기물은 고독성으로 인하여 인간 생태계로부터 장기간 격리시켜야 한다. 현재 기술 수준으로 고준위폐기물의 가장 안전한 관리방법으로 심지층 동굴처분방식(DGD : Deep Geological Disposal)이 고려되고 있으며, 핀란드, 스웨덴 등에서는 상용화 단계에 있다. 하지만, 지질학적 조건이 더 안정적인 지하 3~5 km의 심도에 고준위폐기물을 처분하게 된다면, 처분심도로 인하여 방사선적 안전성, 인간침입, 핵물질 보장조치 및 경제성 측면에서 장점이 있을 것으로 평가되고 있어, 이 심부시추공 처분(DBD : Deep Borehole Disposal) 개념이 이상적인 처분 대안기술로 평가되고 있다.

본 논문에서는 심부시추공처분 개념을 개괄적으로 검토하고 이 기술에 대한 초기부터 현재까지의 기술개발 현황 및 인식변화 과정을 살펴봄으로써 향후 방향을 가늠해보고자 하였다.

2. 심부시추공 처분개념

2.1 심부시추공 처분개념

심부시추공 처분은 지표에서 지하 5 km 심도까지 시추공을 뚫어 3 ~ 5 km 구간에 사용후핵연료 또는 고준위폐기물을 처분하고, 그 상부에서 지표까지 구간은 벤토나이트, 아스팔트 등으로 밀봉하여 생태계와 격리시키는 개념이다(Fig. 1).

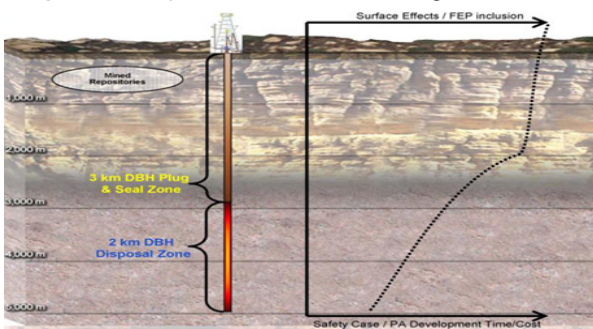


Fig. 1. A concept of deep borehole disposal [1].

2.2 심부시추공 처분 특성

지질학적 조건이 심지층 동굴처분 방식보다 안정적인 지하 3~5 km의 심도에 고준위폐기물을 처분할 수 있다면, 생태계와의 이격거리 확보에 유리하고, 암반의 수리전도도가 매우 낮아 지하수의 생태

계 도달 속도가 현저히 감소하고, 지하수가 환원상태여서 핵종의 용해도가 매우 낮으며, 연령이 오래된 지하수에서는 핵종이 흡착된 콜로이드의 생성과 이동이 극히 제한될 뿐만 아니라, 처분심도로 인하여 인간침입과 핵물질 보장조치에도 장점이 있을 것으로 평가되고 있다. 그러나 심부시추공 처분기술은 아직 실증 초기단계이며, 처분된 폐기물의 회수성이 매우 낮은 단점이 있다.

근래 석유탐사 및 지열이용 산업에서 심부시추공 굴착기술의 비약적인 발전에 따라 심부시추공 처분기술이 재조명되었으며, 장점에 대한 불확실성 및 필요기술 개발을 위하여 미국과 유럽국가에서 연구를 활발하게 진행하고 있다.

3. 시추공 처분개념 인식 변화

3.1 초기 단계 (1950 말 - 1980 초)

심부시추공 처분개념은 방사성폐기물의 처분개념 개발 초기단계부터 고려되었으며, 초기 단계에는 다양한 처분방안 중의 하나로서 주로 개념도출 자체에 중점을 두었다. 미국에서 처음의 심부시추공 처분에 대한 제안은 1957년 액체형태의 폐기물에 대하여 심부시추공 처분 또는 지층처분을 고려할 것을 권고한 미국 NAS(National Academy of Science)의 평가에 의해 제기되었다. 또한, 1974년에 고준위폐기물 처분프로그램의 초기 시절에는 심지층 동굴처분, 해저처분, 대륙빙하 처분 등 지층처분과 우주처분 등 다양한 처분 방안의 하나로 고려되었다. 고체와 액체폐기물 모두 처분하는 것이 고려되었는데 모암을 용융시키는 방안을 포함하였으며, 폐기물을 동굴에 있는 심부시추공의 바닥에 처분하는 것과 심부시추공 처분 및 16,000 미터의 초 장심도 처분공에 처분하는 것을 고려하였다. 또한, 1979년에는 2000년까지 개발될 기술을 예상하여 심부시추공 처분개념을 도출하고 분석하였다.

영국에서는 2000년까지 발생이 예상되는 장반감기 방사성폐기물을 처분하기 위하여 적용될 수 있는 다양한 방안 중의 하나로 심부시추공 처분에 대한 초기 평가가 수행되었다. 또한 스위스에서는 화강암 또는 결정질 기반암, 덴마크와 네덜란드에서는 암염동에 심부시추공 처분하는 개념을 설정하고 안전성 해석을 위한 모델 등을 개발하였다.

3.2 중기 단계 (1980 중반 - 2000 초)

미국에서는 1983년 DOE ONWI(Office of Nuclear

Waste Isolation)는 Woodward -clyde Consultant 를 통하여 심부시추공 처분기술에 대한 검토를 수행하였다. 해당 연구보고서에 따르면 심부시추공 처분은 소요 규모(직경) 및 심도 달성이 어려워 실현가능성이 낮은 것으로 평가되었다. 하지만 지속적인 개념연구를 수행해 왔으며, 1995년 잉여 무기급 플루토늄 처분을 위하여 심부시추공 처분개념을 설정하는 등 관심은 증대되었다.

스웨덴에서는 1983년 현재 기준개념인 다중방벽 개념의 심도 500 m 정도에 동굴처분 형식의 KBS-3 Concept을 개발하고 타 개념들과 비교분석을 수행하였다. 심부시추공처분개념은 구소련과 자국에서의 기존 심부시추공 자료를 바탕으로 도출하였으며, 이는 PASS 프로젝트를 통해 타 처분방안들인 KBS-3, MLH(Medium Long Holes), VLH(Very Long Holes)과 비교. 분석되었다. Table 1은 기술성, 안전성 및 비용 측면에서의 비교결과를 보여주며, 심부시추공처분방안이 가장 낮게 평가되었다.

Table 1. Results of the SKB PASS study [11]

Repository concept	Technology	Long-term performance and safety	Costs
KBS-3 (copper-steel canister)	1	1	2
MLH (copper-steel canister)	2	1	1
VLH (copper-steel canister)	3	1	2
VDH (concrete-filled Ti canister)	4	4	4

중기단계에는 초기단계에서 개발된 다양한 처분 방안들에 대한 평가가 수행되었으며, 심부시추공 처분은 실현 가능성이 낮게 평가되었음에도 지속적으로 연구가 수행되었으나 실증된 적은 없었다.

3.3 최근 단계 (2000 초 이후)

2000년대 초 이후에도 심부시추공 처분방안에 대한 관심은 세계 각국에서 지속적으로 이루어졌다. 영국에서는 2004년에 Nirex에서 2008년에는 NDA에서 심부시추공 처분기술 현황을 검토하여 이 기술의 실행가능성에 대한 분석을 수행하였다.

미국에서는 2008년부터 샌디아국립연구소에서 이 개념에 대한 심층연구를 수행하여 사용후핵연료 처분을 위한 기준설계안을 제시하였다. 또한, 현재는 미국 심지층처분 프로젝트인 유카마운틴프로젝트의 중지와 블루리본위원회의 권고에 따라 회수가 고려되지 않는 폐기물에 대한 심부시추공 처분을 위한 현장실증시험단계에 있다.

스웨덴은 2001년 심지층 동굴개념인 KBS-3 개념이 정부에 의해 결정되어 실증시험을 통하여 현재 처분장 건설인허가 완료단계에 있다. 하지만, NGO로부터 심부시추공 처분방안이 KBS-3 방안과

비교되어야할 주요 대안으로서 연구하도록 요구받는 등 대중적인 논쟁에서 최근 주목을 받아왔다.

3.4 국내 인식 동향

국내에서는 1997년부터 착수한 고준위방사성폐기물 처분연구를 통하여 심도 500 m의 심지층 처분개념을 개발하고 초기단계의 기술 검증시험을 수행하고 있다. 최근 사용후핵연료 관리 공론화 위원회에서 수행한 국민인식에 대한 조사 결과에 따르면 Fig. 2에서 보여주고 있는 바와 같이 DBD에 대한 인식이 적지 않게 나타나고 있다. 스웨덴 SKB가 사용후핵연료 심지층처분시설의 상용화 단계에서도 비정부 단체 등의 요구에 따라 지속적으로 DBD 연구개발을 수행해 오고 있는 바와 같이, 이는 향후 DBD에 대한 연구개발 요구로 이어질 가능성이 높다.

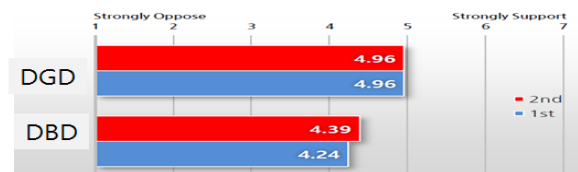


Fig. 2. Perceptions on DGD and DBD

[The source : PECOS].

4. 결론

심부시추공 처분기술은 1950년대부터 고려된 개념으로 근래 석유시추/이산화탄소 저장/지열발전 사업 및 과학목적 시추공 굴착기술이 획기적으로 발전함에 따라 미국과 스웨덴 등을 중심으로 의미 있는 연구개발을 수행하고 있다. 개념 개발초기 및 중기 단계에는 소요 구경으로 처분심도까지 굴착하는 기술부재, 과도한 비용, 운영시 문제점 및 실증경험이 없어 부정적이었으나, 근래 관련기술의 진보 또는 대중적인 관심으로 이 기술은 재조명되어 현장실증 단계에 있다.

국내에서도 현재 지열산업분야의 활발한 활동으로 심부시추공 처분에 적용 가능한 기술이 진보하고 있고, 이 개념에 대한 인식이 적지 않으므로 심지층 처분개념에 대한 대안기술로서 심부시추공 처분기술 개발 착수가 필요한 시점으로 판단된다.

5. 참고문헌

- [1] Brady, P., Arnold, B., "Deep Borehole Disposal of High-Level Radioactive Waste", SAND 2009-4401, Albuquerque, NM, 2009.
- [2] Nirex, "A Review of the Deep Borehole Disposal Concept for Radioactive Waste", Nirex no. N/108, Oxfordshire, UK, 2004.