

국내 방사성폐기물 처분연구와 연관성 높은 자연유사연구 정리

박태진*, 백민훈

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*etjpark@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성폐기물 처분과 관련한 연구개발 분야에서 방사성폐기물은 오랜 시간이 경과하면 결국 처분장에 유입된 지하수와 접촉하고, 용해된 방사성 핵종들은 지하수 흐름을 따라 주위 매질과의 상호반응을 하며 유출될 것으로 예상된다. 지하수에 용해된 방사성 핵종들의 이동은 주어진 조건에 따른 핵종의 용해도 및 핵종과 다양한 매질과의 반응에 의해 영향을 받게 된다[1]. 이러한 방사성 핵종들의 이동 특성 및 장기적인 거동을 이해/해석하고 평가하는 것은 방사성 핵종의 유출에 대해 그 처분장 시스템의 장기적인 안전성을 평가하고 그 평가의 신뢰도를 높이는 데 반드시 필요하다.

방사성물질 중 우라늄은 가장 대표적인 관심 고준위 핵종들 중 하나이며, 수용액에서 다양한 화학종으로, 그리고 고체상에서 다양한 광물상으로 존재한다. 따라서 우라늄의 장기거동을 예측하고 평가하기 위해선, 우라늄이 어떠한 화학종 및 광물상으로 존재하는지 아는 것과 주어진 조건에서 이들이 얼마나 상대적으로 안정한 지를 평가하는 것이 매우 중요하다. 아울러 우라늄의 장기거동을 예측하기 위하여(즉, 우라늄의 미래를 알기 위하여) 우라늄의 과거를 돌아보는 것은 매우 현실적이고 논리적이다. 처분장 개념의 환경과 매우 유사한 환경이 있고, 방사성물질이 과거부터 오랜 기간 그 환경에서 격리되어 안전하게 유지되고 있다면 이는 방사성물질이 안전하게 격리될 것이라는 근거를 제공할 것이다. 한국원자력연구원에서는 이러한 자연유사적 접근방법을 통해 우라늄의 장기거동을 이해하고 해석하기 위한 연구를 준비하고 있다[2].

본 연구에서는 국내 처분 환경과 연관성이 매우 높은 자연유사부지들에 대한 대표적인 연구와 이들을 바탕으로 국내 한국원자력연구원에서 수행한 관련 연구에 대해 살펴보았다. 이는 자연발생한 핵분열 원자로로 알려진 OKLO 부지, 실제 처분장 다중방벽 개념과 매우 유사한 Cigar Lake 부지, 그리고 국내 화강암과 그 지하수 조건과 매우 유사한 Palmottu 부지를 포함한다(Fig. 1). 한국원자력연

구원 수행내용으로 자연유사연구 결과의 정보자료 구축과 그 적용방안에 대한 연구 및 국내 벤토나이트 광상에 대한 자연유사 기초조사에 대한 내용을 포함하였다.

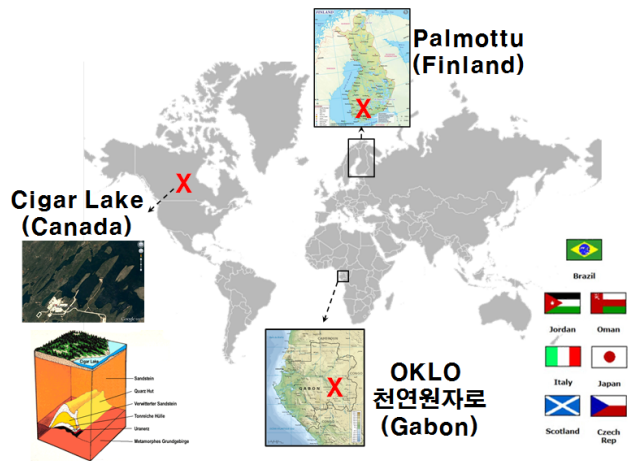


Fig. 1. (a) A world map showing where the OKLO (Gabon), Cigar Lake (Canada), and Palmottu (Finland) sites located. Other national flags represent the countries possessing the natural analogues (NA) sites and performing NA studies.

2. 본론

2.1 OKLO 부지

“OKLO, Natural Analogue for a Radioactive Waste Repository” 라는 프로젝트는 EU의 재정지원과 프랑스 CEA 관리 하에 시작되었다. Oklo 부지는 전세계 유일한 자연적으로 발생한 핵분열 원자로로 약 17억 년 전 핵분열이 시작되어 현재까지 진행되고 있다. 처분연구 관점에서 Oklo 자연유사연구의 핵심 중 하나는 방사성폐기물의 거동이 해당 부지 내에 국한되었다는 점이다. 이는 핵분열이 발생하는 지역이 사암층으로 둘러싸여 있고 (Fig. 2) 보다 바닥 지역에 화강암으로 존재하는 것과 물의 방사선 분해에도 불구하고 전체적인 환경이 환원 환경인 것이 중요한 역할을 한다고 알려져 있다.

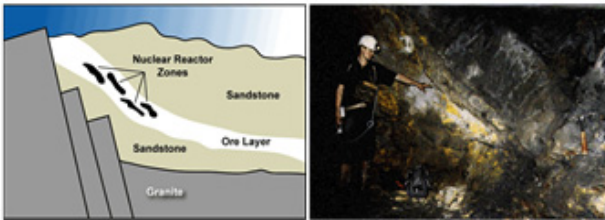


Fig. 2. (a) Schematics of high-temperature oxide melt solution calorimetry, (b) image of a commercial high-temperature oxide melt solution calorimeter.

2.2 Cigar Lake 부지

고준위폐기물 처분에 있어서 가장 핵심적인 개념 중 하나는 다중방벽 개념이다. 이는 방사성물질의 누출을 최대한 억제하고 처분 안전성을 높이기 위해 고화체, 공학적방벽, 자연방벽의 다중방벽 개념을 적용하는 것이다. 이런 개념을 자연을 통해 확인할 수 있는 곳(즉 자연유사부지)이 바로 Cigar Lake 부지이다. Fig. 3에 나타냈듯이 실제 처분장 개념과 매우 유사하며 우라늄의 누출이 억제된 것은 i) 우라늄이 점토광물로 둘러싸여있고, ii) 주변 지하수의 용존 산소가 희박하기 때문이라 알려져 있다.

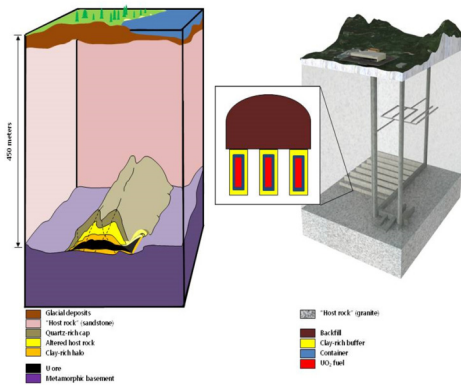


Fig. 3. A comparison between the natural Cigar Lake structure and the engineered barrier system (EBS) concept.

2.3 Palmottu 부지

핀란드 남서부에 있는 Palmottu Lake 부지는 한국원자력연구원 내 KURT(KAERI Underground Research Tunnel) 환경과 가장 유사한 화강암 기반이다. Palmottu 부지는 우라늄 광화작용으로 조성된 두께 1-15 m, 길이 400 m, 지하 300 m에 이르는 수직 광화대 지역으로, 우라늄의 경우 우라늄 나이트와 변형생성물(코핀석) 및 저어콘 등이 확인되었다.

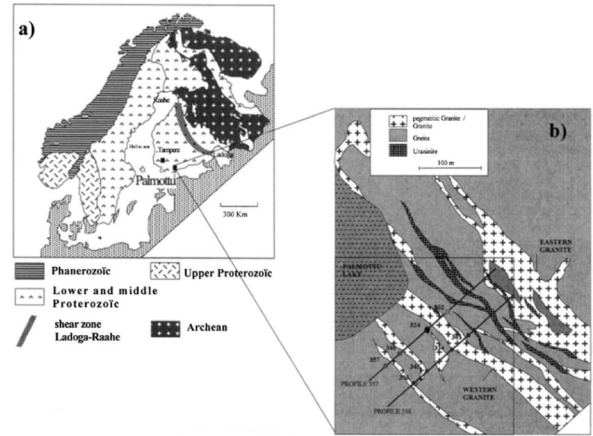


Fig. 4. Geological map of Palmottu Natural Analogue study site.

3. 결론

자연유사연구는 제안된 지질학적 처분장에 대해 예상되는 거동, 현상 또는 물질들과 유사한 자연 및 생태를 조사하는 것이다. 국내 처분개념 및 환경과 밀접한 자연유사연구를 통해 처분장 거동에 대한 이해를 높이고 안전성 평가 모델링에 대한 신뢰도를 향상하는데 매우 중요한 교훈을 얻을 수 있으며, 여기서는 아프리카 가봉의 Oklo, 캐나다 Cigar Lake, 핀란드 Palmottu 자연유사연구를 살펴보았다. 정량적인 접근에 더불어 이런 자연유사연구는 대중수용성 확보에도 매우 효과적으로 활용될 것으로 예상된다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 원자력연구개발사업(No. 2012M2A8A5025589)의 일환으로 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] Kim, J.-I., *Nucl. Eng. Technol.* 38(6), 459-82 (2006).
- [2] M.H. Baik and T.J. Park, et al., *Swiss J. Geosci.* 108, 139-46 (2015).