

다층 심지층처분장에서 층간 거리가 처분장 온도 분포에 미치는 영향

조원진*, 김건영

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*wjcho@kaeri.re.kr

1. 서론

현재 제안된 사용후핵연료 심지층처분장 개념은 지하 수백 m 깊이에 위치한 안정된 암반층 내에 터널망(tunnel network)으로 구성된 처분터널을 건설하고, 그 처분터널 바닥에 굴착된 원통형 처분공 내에 처분용기를 정치시키는 단일층 심지층처분장 개념 (single-layer repository concept)이다.

단일층 심지층처분장 개념은 처분장의 구조가 단순하여, 건설과 운영이 용이하고, 열 및 방사선의 부하가 적어 처분 안전성 측면에서 유리하기 때문에 일찍부터 캐나다, 스웨덴, 핀란드 등을 중심으로 개발되어 왔다. 그러나 이 개념은 처분밀도가 낮아 주어진 양의 사용후핵연료를 처분하기 위해 필요한 부지의 면적이 크다는 문제점이 있다. 따라서 국토가 넓고, 인구밀도가 적은 국가에서는 적용 가능할지 모르나, 국토가 협소하고 인구밀도가 상대적으로 높은 국가에서는 채택하기 어려운 측면이 있다. 우리나라는 국토가 협소할 뿐 아니라 특히 인구밀도가 높기 때문에, 민간 거주 지역으로부터 멀리 떨어지고, 양질의 심부암반을 가진 넓은 부지를 확보하는 것이 현실적으로 쉽지 않다. 따라서 사용후핵연료 처분밀도를 높여, 부지 소요 면적을 줄일 수 있는 새로운 심지층처분장 개념을 개발하여야 한다. 이를 위해 기존 단일층 심지층처분장 개념의 대안으로 동일 부지에 심도가 다른 다수의 처분터널 망(network)을 건설하는 다층 심지층처분장 (multi-layer repository) 개념의 설계 특성을 분석하였다.

다층 심지층처분 개념에서 중요한 설계인자 중의 하나가 각 층 사이의 간격이다. 이 층간 간격에 따라, 심지층처분장 첨두온도 (peak temperature)의 최고치와 장기적 변이 경향도 달라진다. 이 연구에서는 다층 심지층처분장에 대해 층간 거리를 변화시키면서, 처분공 주변의 온도 분포를 해석하여, 층간 간격이 처분장 첨두온도 분포에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 모델링

다층 심지층처분장의 열해석에는 TOUGH2 컴퓨터 코드 [1]가 사용되었다. 열해석은 복층 처분장 (double-layer repository)인 경우와 삼층 처분장 (triple-layer repository)인 경우로 나누어 수행하였다. 다층 처분장 (multi-layer repository)의 열해석을 위한 도메인들을 Fig. 1에 나타내었다. 이 Fig에서 보는 바와 같이, 해석 도메인은 심지층처분장의 중심부에 위치하고 있으며, 심지층처분장 내에 처분되는 모든 처분용기들이 동시에 처분공 내에 정치된다고 가정하였다.

복층 처분장은 상층 처분터널이 지하 400 m에 위치하고, 상층 처분터널과 동일한 구조인 하층 처분터널은 상층 처분터널 아래에 각각 100 m, 200 m 및 300 m 간격을 두고 겹쳐서 설치된 구조이다. 삼층 처분장에서도 상층 처분터널은 지하 400 m에 위치하고, 상층 처분터널과 동일한 구조인 중간 층 및 하층 처분터널이 각각 상층 및 중간층 처분터널 아래로 각각 100 m, 200 m 및 300 m 간격을 두고 겹쳐서 설치된다고 가정한다. 해석 도메인의 상부 경계면은 지표면이고, 하부는 하층 처분터널 바닥 아래로 200 m 깊이까지 연장된다. 경계조건은 모델의 대칭 구조를 고려하여, 해석 도메인의 측면은 단열 경계면이고, 지표면은 10 °C의 온도로 일정하게 유지되고 있다. 도메인의 바닥은 지열구배 3°C/100 m에 의해 결정되는 일정한 온도 경계면이 유지된다고 가정한다. 처분공 중심과 인접 처분공 중심 사이의 간격은 8 m이고, 인접 처분 터널 사이의 거리는 40 m이다.

3. 결과 및 토의

하나의 처분공에 한 개의 처분용기를 정치시키는 단일 처분용기 개념의 복층 처분장에서 층간 거리가 100 m 일 때, 처분장 폐쇄 후 처분용기 외벽과 완충재의 계면에서의 첨두온도의 최고치가 100°C 이하로 나타났다. 처분장 폐쇄 초기에는 지열구배로 인해, 하층 처분터널의 첨두온도가 높게 나타났

으나, 약 500 년 경과한 후에는 상층 처분터널의 침투온도가 높아졌다. 삼층 처분장에서는 층간 거리에 무관하게 중간층 처분터널의 침투온도가 항상 가장 높게 나타났다. 이는 상층 처분터널에서 발생된 열은 지표 쪽으로, 하층 처분터널에서 발생된 열은 아래쪽 심부암반으로 주로 발산되는 데 반해 중간층에서 발생된 열은 상층과 하층의 처분터널에 가로 막혀 주위로 배출되기 어렵기 때문이다. 층간 거리가 100 m 인 삼층 처분장에서는, 중간 처분터널의 침투온도가 처분장 폐쇄 후 약 1000 년 경과한 후에도 100°C 이상을 유지하였다. 침투온도가 100°C 이상을 유지하는 기간은 층간 거리를 증가 시킬수록 줄어들어, 층간 거리가 300 m인 경우에는 처분장 폐쇄 후 100 년이 경과하면 침투온도가 100°C 이하로 떨어진다. 현재에는 침투온도 제한이 100°C이나, 다층 처분장 개념을 도입하기 위해서는 제한 온도의 상승이 필요하다. 최근 침투온도 제한을 125°C까지 상승시켜도 큰 영향이 없다고 보고되었다 [2].

4. 결론

사용후핵연료 다층 심지층처분장의 열해석 결과, 복층 처분장의 경우는 층간 거리가 100 m 일 때, 침투온도가 100°C 이하로 유지되었으며, 삼층 처분장의 경우는 층간 거리가 300 m일 때, 처분장 폐쇄 후 100 년이 경과하면 침투온도가 100°C 이하로 떨어진다.

5. 감사의 글

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

6. 참고문헌

- [1] K. Pruess, C. Oldenburg, and G. Moridis, "TOUGH2 User's Guide, Version 2.0", LBNL 43134, Lawrence Berkeley National Laboratory (1990).
- [2] W. J. Cho and G. Y. Kim, "Reconsideration of thermal criteria for Korean spent fuel repository", *Annals of Nuclear Energy*, 88, 73-82 (2016).

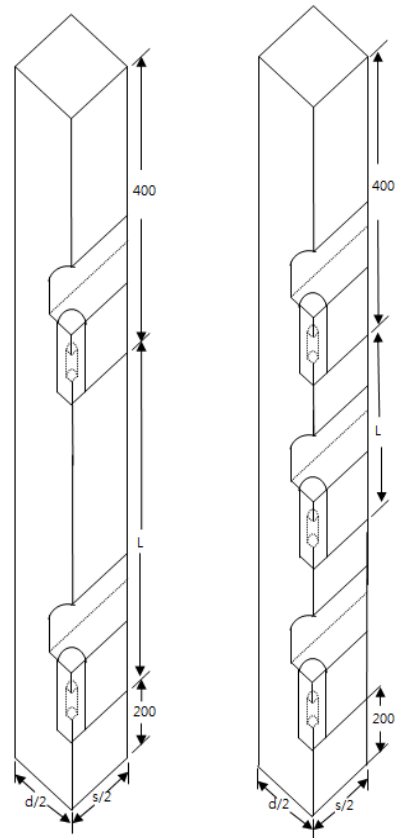


Fig. 1. Analysis domain representing a quarter of the unit multi-layer geological repository (unit: m, not to scale).

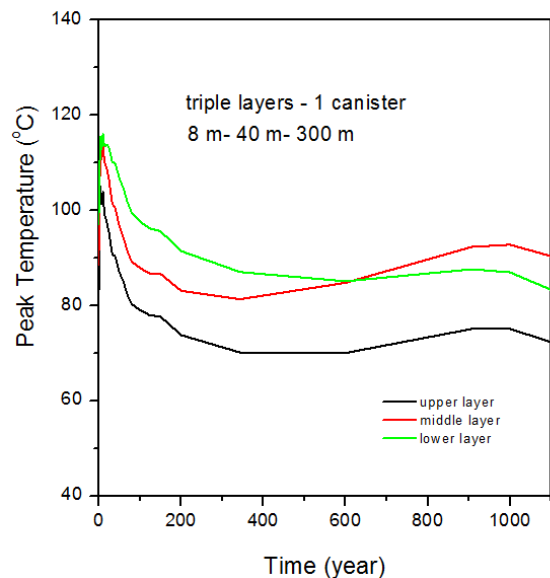


Fig. 2. Peak temperature history at the mid-height of the canister in the triple-layer repository after the closure of the repository.