

단일 처분공 내 복수 처분용기 정치 심지층처분장의 열 해석

조원진*, 김건영

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*wjcho@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료 심지층처분장은 지하 수백 m 깊이에 위치한 안정된 암반층 내에 건설된다. 처분동굴 바닥에 수직으로 원통형 처분공을 굴착한 후, 처분공 내에 사용후핵연료를 포장한 처분용기를 정치시키고 처분공 내벽과 처분용기 사이의 공간은 완충재를 충전시킨다.

현재 제안되어 있는 사용후핵연료 심지층처분장 개념은 모두 하나의 처분공에 하나의 처분용기를 정치시키는 단일 처분공 - 단일 처분용기 (single deposition hole - single canister) 개념이다. 이 개념은 처분공의 구조가 단순하여, 처분용기의 정치 작업이 용이하고, 열 및 방사선 부하가 작은 장점이 있으나, 처분밀도가 낮아 주어진 양의 사용후핵연료를 처분하기 위해 필요한 부지의 면적이 큰 단점이 있다. 우리나라와 같이 국토가 협소하고, 인구밀도가 높은 국가에서, 민간 거주 지역으로부터 멀리 떨어진 양질의 심부암반을 갖춘 대규모 부지를 확보하는 것은 현실적으로 쉽지 않은 실정이다. 따라서 처분밀도를 높여, 사용후핵연료 처분장 부지의 면적을 줄이기 위해 하나의 처분공에 복수의 처분용기를 정치시키는 단일 처분공 - 복수 처분용기 (single deposition hole - multi canister) 개념을 고려할 필요가 있다.

단일 처분공 - 복수 처분용기 개념을 심지층처분장에 적용하는 데, 가장 큰 제약 조건은 심지층처분장의 첨두 온도(peak temperature) 제한이다. 현재 포화 경암층에 건설되는 심지층처분장의 경우, 완충재의 열적 변성(thermal alteration)과 처분용기의 부식 가속화를 방지하기 위해 처분용기와 완충재의 사이 계면에서의 첨두온도가 100°C를 초과하지 않도록 하고 있다[1]. 그러나 이러한 온도 제한은 지나치게 보수적인 면이 있기 때문에, 제한 온도의 상승에 관한 논의가 이루어지고 있다. 최근에 심지층처분장의 첨두온도를 125°C까지 증가시켜도 완충재와 처분용기의 성능에는 큰 영향이 없다고 보고되었다[2].

이 연구에서는 복수의 처분용기를 정치시킨 처분공 주변의 온도 분포를 해석하여, 단일 처분공-복수 처분용기 개념의 적용 가능성을 분석하였다.

2. 모델링

단일 처분공 - 복수 처분용기 개념을 채택한 심지층처분장의 열해석에는 TOUGH2 컴퓨터코드[3]가 사용되었다. 열해석은 단층 처분장 (single-layer repository)인 경우와 복층 처분장 (double-layer repository)인 경우로 나누어 수행하였다. 단층 처분장 (double-layer repository)의 열 해석을 위한 도메인을 Fig. 1에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 해석 도메인은 심지층처분장의 중심부에 위치하고 있으며, 심지층처분장 내에 처분되는 모든 처분용기들이 동시에 처분공 내에 정치된다고 가정하였다.

단층 처분장은 지하 500 m에 위치하고 있으며, 복층 처분장은 단층 처분장과 동일한 상층 처분장이 동일한 구조의 하층 처분장 위에 200 m 간격을 두고 겹쳐서 쌓여 있는 구조이다. 상층 처분장과 하층 처분장은 각각 지하 400 m와 600 m에 위치하고 있다고 가정한다. 해석 도메인의 상부 경계면은 지표면이고, 하부는 하층 처분장 바닥 아래로 200 m 깊이까지 연장된다. 경계조건은 모델의 대칭 구조를 고려하여, 해석 도메인의 측면은 단열 경계면이고, 지표면은 10°C의 온도로 일정하게 유지되고 있으며, 도메인의 바닥은 지열구배 3°C/100 m에 의해 일정한 온도 경계면이 유지된다고 가정한다. 처분공 중심과 인접 처분공 중심 사이의 간격은 10 m이고, 인접 처분 터널 사이의 거리는 40 m이다.

3. 결과 및 토의

단층 처분장에서 하나의 처분공에 두 개의 처분용기를 정치시킨 경우, 처분장 폐쇄 후 시간 경과에 따른 처분용기 외벽과 완충재의 계면 (A 점)에

서의 온도 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 이 온도 분포는 심지층처분장 내에서 온도가 가장 높게 나타나는 사용후핵연료 처분용기 중간 높이 지점의 온도이다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 시간 경과에 따른 첨두온도 변화는 상부 처분용기와 하부 처분용기에서 차이가 없다. 첨두온도는 처분장 폐쇄 직후에 약 110°C까지 증가하였다가, 사용후핵연료 붕괴열의 감소에 따라 서서히 감소한다. 처분장 폐쇄 후 초기 약 200 년간은 100°C 이상을 유지하나, 그 이후에는 100°C 이하로 떨어진다. 복층 처분장의 경우는 단층처분장에 비해 첨두온도가 높아, 처분장 폐쇄 직후에 약 120°C 까지 증가했다가 감소하지만, 1000 년까지는 100°C 이상의 온도가 유지된다. 또 하층 처분장의 첨두 온도는 상층처분장의 첨두 온도보다 약간 높게 나타났다.

4. 결론

하나의 처분공에 두 개의 처분용기를 정치시키는 단일 처분공-복수 처분용기 개념의 사용후핵연료 심지층처분장의 열해석 결과, 단층 처분장의 경우는 첨두온도가 약 110°C 이하, 복층 처분장의 경우 약 120°C 이하였다.

5. 감사의 글

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

6. 참고문헌

- [1] SKB, "Design premises for a KBS-3V repository based on results from the safety assessment SR-Can and some subsequent analyses", SKB TR-09-22 (2009).
- [2] W. J. Cho, G. Y. Kim, "Reconsideration of thermal criteria for Korean spent fuel repository", Annals of Nuclear Energy, 88, 73-82 (2016).
- [3] K. Pruess, C. Oldenburg, G. Moridis, "TOUGH2 User's Guide, Version 2.0", LBNL 43134, Lawrence Berkeley National Laboratory (1990).

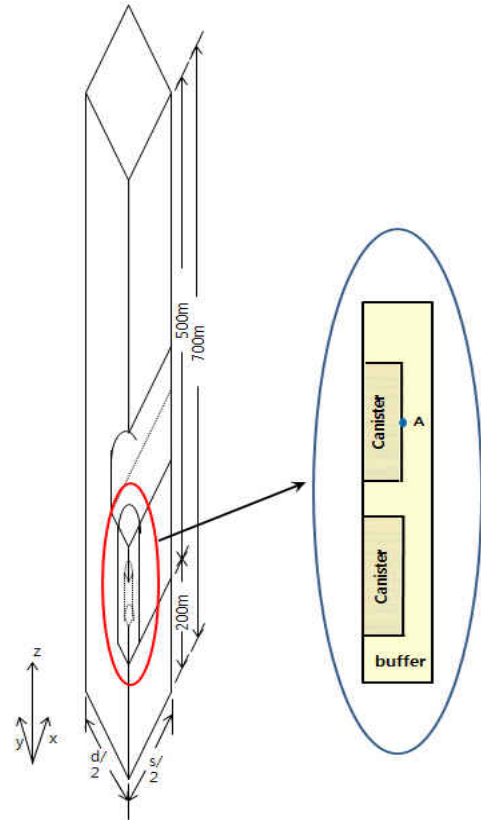


Fig. 1. Analysis domain representing a quarter of the unit geological repository (unit: m, not to scale).

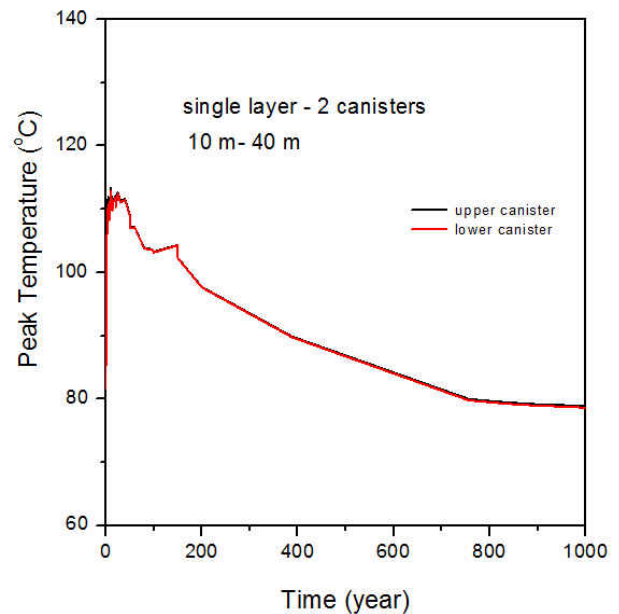


Fig. 2. Peak temperature history at the mid-height of the canister in the single layer repository after the closure of the repository.