

고준위폐기물 처분시스템의 처분효율 향상 방안 예비 평가

최희주*, 이종열, 김인영, 김경수, 김현아

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*hjchoi@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료 관리를 위한 권고안이 지난 2015년 6월 발표되었다. 이 권고안의 핵심은 사용후핵연료 관리를 위한(처분전 보관과 영구처분) 단일 부지 확보와 2051년부터 CANDU 사용후핵연료의 영구 처분을 착수할 것을 권고한 것이다.

사용후핵연료 혹은 고준위폐기물을 영구처분하는 방식으로서 현재 상용화 수준에 이른 방식은 크게 3가지이다. 즉, 미국 야카산(Yucca Mountain) 처분장 방식으로 불포화 암반(응회암) 내에 터널을 굴착하여 처분하는 방식, 프랑스 ANDRA가 지하수로 포화된 퇴적암 내에 처분터널을 굴착하여 처분하는 방식, 스웨덴 SKB와 핀란드 POSIVA가 지하수로 포화된 화강암 내에 처분터널을 굴착하고 처분공을 설치하여 처분하는 방식으로 구분된다. 국내 지질 조건을 고려할 경우 가장 유력한 처분방식은 스웨덴/핀란드와 같이 결정질 암반(화강암) 내에 처분장을 건설하는 것이다.

저자들은 지난 연구[1]를 통해, 스웨덴 KBS-3 처분개념을 국내에 직접 적용할 경우 예상되는 다양한 문제점을 지적하였다. 특히, 우리나라의 경우 예상되는 사용후핵연료 발생량은 스웨덴보다 훨씬 방대하며, 원자력 이용과 함께 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 이 경우 영구처분을 위한 처분 소요면적은 사용후핵연료의 직접 처분에 커다란 걸림돌이 될 수 있다. 본 논문에서는 개략적 분석을 통해 처분 효율을 향상시켜 처분 소요면적을 줄일 수 있는 다양한 방안을 제안하고자 하였다.

2. 본론

2.1 심층 처분시스템

심층 처분시스템의 안전은 일정기간 (예를 들면, 1만 년) 이상 동안 방사성 물질의 누출을 방지(containment)하는 것이다. 이를 위하여 처분시스템은 처분용기, 완충재, 뒤채움재와 같은 공학적방벽시스템과 암반, 생태계 등과 같은 자연방벽시스템의 다중방벽으로 구성되며 안전성을 보장한다.

본 논문에서 고려한 처분시스템은 지하 500미터의 암반 내에 건설된 처분터널 바닥에 처분공을 굴착한 후, 처분용기를 넣고 주위는 완충재로 채운다. 처분용기는 1만년 이상의 수명을 위하여 구리-주철 이중구조 용기로 제작하며, 완충재는 국내산 벤토나이트 블록을 이용하였다. 처분시스템의 열적 성능요건으로서 완충재의 최고 온도가 100°C를 초과하지 않도록 한다. 본 연구에서는 설계 한도를 스웨덴 SKB와 동일하게 92°C로 설정하였다. 이 경우 처분공에 1,700 W의 붕괴열의 사용후핵연료를 넣을 경우 예상되는 처분터널 간격은 40 m, 처분공 간격은 8 m이다.

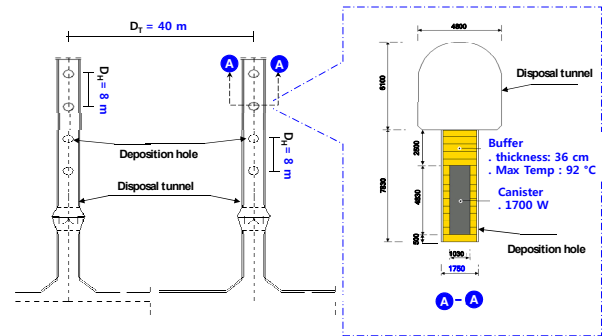


Fig. 1. Schematic of a disposal system.

2.2 처분효율 향상 방안 분석

2.2.1 장기 저장

현재 처분개념은 사용후핵연료를 40 년 혹은 50 년 정도 저장 후, 붕괴열이 감소하면, 처분하게 된다. Fig. 2의 붕괴열 결과에 의하면, 4개의 PWR 사용후핵연료를 처분하기 위해서는(1,700 W 이하) 약 50 년정도의 저장기간이 필요하다(80 m^2/ass). 저장기간을 80 년으로 늘리면, 6개까지 늘릴 수 있으며, 다발당 처분면적은 53.3 m^2/ass 로 감소한다. 비슷하게 저장기간을 110 년까지 늘리면, 8개까지 가능하며, 다발당 처분면적은 40 m^2/ass 가 된다. 300 년까지 장기저장을 할 경우 20개까지 가능하며, 다발당 처분면적은 16 m^2/ass 로 대폭 감소한다. 그러나 장기저장의 경우, 세대간 마찰과 장기저장에 따른 관리비용의 증가 등의 해결할 사항도

다양하다. 따라서, 처분장을 적기에 확보하고, 처분 터널을 이용하여 사용후핵연료를 장기저장을 하여 붕괴열을 충분히 감소시킨 후, 영구처분하는 방안을 개발하는 것이 필요하다.

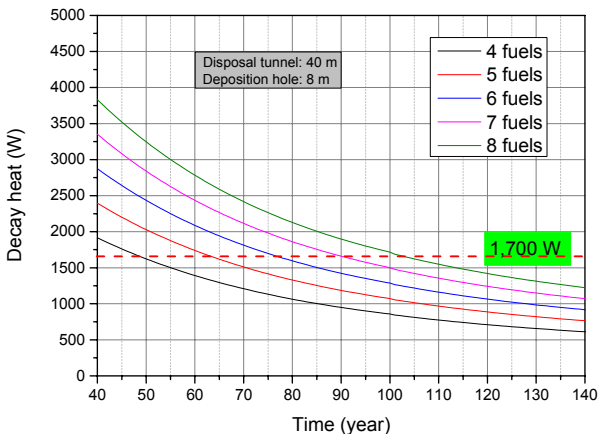


Fig. 2. Change of decay heat.

2.2.2 다층 구조 처분시스템

현재 스웨덴과 핀란드에서 제안하고 있는 처분시스템은 단층 구조이나 복층 개념에 대해서는 꾸준히 검토되고 있다. 이종열 등[2]의 열 해석에 결과에 의하면, 복층 처분(지하 400 m와 500 m)의 경우 시차를 두고 처분하게 되면 각각의 층에 동일한 양의 사용후핵연료를 처분할 수 있었다. 즉, 복층 처분의 경우 처분면적을 2배로 줄일 수 있으며, 다층 처분의 경우 그 효과는 더욱 클 것으로 예상된다.

우리나라의 지온경사는 대략 30°C/km이며, 지표 평균온도는 약 10°C이다. 즉, 지하 500 m의 온도는 약 25°C로 추정된다. 이를 바탕으로 핀란드의 처분장이 420 m임을 반영하면, 약 720 m 깊이(약 32°C 예상)까지 100 m 간격의 4층 처분시스템을 건설도 가능하다.

2.2.3 완충재 설계요건 완화

본 연구에서 제안한 처분시스템의 열적 기준은 스웨덴 SKB와 동일하게 92°C를 설계기준으로 하였으며, 성능기준은 100°C를 넘지 않도록 하였다. 조원진 등[3]의 분석결과에 의하면, 벤토나이트 완충재 내의 최고온도를 125°C로 변화시키면 2배까지 처분밀도를 올릴 수 있었다. 이와 같이 완충재 내의 최고온도를 변화시킬 때, 본 논문에서 제안한 처분시스템을 대상으로 처분공 내에 수용할 수 있는 최대 붕괴열을 계산하였다. 완충재의 열적 성능요건의 변경은 향후 인허가를 위하여 완충재 성능

에 대해 많은 부수적인 추가 연구가 필요하다.

2.2.4 기타 방안

사용후핵연료의 심층 처분외에 처분밀도를 향상시킬 수 있는 대표적인 것으로 한국원자력연구원이 개발 중인 파이로 공정을 이용한 TRU 핵종의 재활용이 있다. 이 방식이 성공적으로 개발될 경우 약 1/100까지의 처분면적 감소도 가능하다. 또한, 미국을 중심으로 연구 중인 심부 시추공 처분(Very Deep Borehole Deposition) 방법도 처분밀도 향상이 가능한 방안의 하나이다.

3. 결론

사용후핵연료의 최종 관리방안으로서 직접 처분 방식을 국내에 적용할 경우 예상되는 처분소요면적을 보다 효과적으로 줄일 수 있는 방안에 대해 몇 가지 예비 평가를 수행하였다. 현실적 방안으로서 장기저장 및 다층 구조 처분시스템의 적용은 상당한 효율 증대가 가능하였으며, 처분장 설계조건 완화에 대해 충분한 연구가 이루어져 완충재 내 최고 온도를 올릴 수 있으면, 효과가 극대화될 것으로 추정되었다. 그 외 처분효율을 향상시킬 수 있는 다양한 방안에 대해 소개하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 원자력기술개발사업(NRF-2012M2A8A5025577)의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 최희주, 김인영, 이종열, 이민수, "KBS-3 처분 개념의 국내 적용 경험과 전망," 한국방사성폐기물학회 2015 춘계학술발표회 논문요약집, 13(1), 169-170, 5.27-28, 2015, 인천.
- [2] 이종열, 이민수, 최희주, 김경수, 고준위폐기물 심지층처분 복층개념분석, 한국방사성폐기물학회 2016 춘계학술발표회 논문요약집, 16(1), 2016, 목포.
- [3] 조원진, 최희주, "심지층처분장 열전 기준 평가," KAERI/TR-5645/2014, 36, (2015).