

파이로 공정 세라믹폐기물 수직 처분공 주변 열 해석

최희주, 이종열, 김현아

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

hicho@kaeri.re.kr

1. 서론

지난 연구를 통하여 저자들은 가압경수로 사용후 핵연료의 파이로 공정 처리로부터 예상되는 세라믹 폐기물에 대한 처분 단위 모듈을 개발하고, 이에 대한 열 해석을 통하여 폐기물 사이의 간격을 결정하였다[1, 2]. 이와 같은 과정을 통해 열 발생 세라믹 폐기물 처분시스템 예비 개념설계를 수행하고 이를 바탕으로 처분시스템 배치를 결정하였다.

세라믹폐기물 처분시스템에 대한 예비 개념설계 결과에 따르면, 20,000 MtU 가압경수로 사용후핵연료로부터 1,000여개의 처분용기가 발생되며, 수직공 처분방식에는 1개의 처분공에 4개의 처분용기를 처분하고 처분공 간격을 8 m 유지하는 터널 8개가 필요하다. 수평터널의 경우 2개씩 묶은 처분용기 사이의 간격은 2 m로 유지하고 터널간격 25 m을 유지하는 방식이 처분밀도가 가장 유리하였다.

본 논문에서는 예비 개념설계 결과를 바탕으로 세라믹폐기물 수직 처분공 주변에 대한 열 해석을 다양하게 수행하였다. 처분장 설계 측면에서는 완충재 내의 최고 온도가 100°C를 넘지 않도록 하는 반면, 본 열 해석에서는 장기간 동안 처분장 주변에서의 온도 변화를 다양한 조건에서 구하고자 하였다.

2. 본론

2.1 세라믹폐기물 수직공 처분

본 논문에서 고려한 파이로 공정 폐기물은 PWR 사용후핵연료에 국한하였다. PWR 사용후핵연료 특성은 기준 사용후핵연료로서 초기 농축도 4.5 wt%, 연소도 55 GWD/MtU, 방출 후 10년 냉각 된 것이다. 파이로 공정으로부터의 물질수지를 분석하여 10 톤의 PWR 기준 사용후핵연료로부터 예상되는 세라믹폐기물량은 665 kg이며, 방출 후 40년 경과했을 경우, 이 폐기물로부터 발생하는 발열량은 약 300 W이다[1]. 이와 같은 세라믹폐기물을 직경 26 cm, 높이 25 cm로 제작할 경우 예상되는 고화체는 14개 정도이며, 2개의

고화체를 1개의 캐니스터에 넣으면 7개의 캐니스터가 발생된다. 발열량을 고려하여 14개의 캐니스터를 처분용기에 넣을 경우, 처분용기 당 약 600 W의 발열량이 예상된다. 지난 연구결과[2]에 따르면, 최적의 처분밀도를 위해서는 처분용기 4개를 1개의 처분공에 넣으며, 처분용기 주변은 국내산 칼슘 벤토나이트로 구성된 완충재로 채운다(Fig. 1). 이 경우 처분터널 사이의 간격은 40 m이며, 처분공 사이의 간격은 8 m이다. 처분터널 1개에는 32개의 처분공이 설치되며, PWR 사용후핵연료 20,000 tU의 파이로 공정으로부터 예상되는 세라믹폐기물의 처분을 위해서는 이와 같은 처분터널 8개가 필요하다.

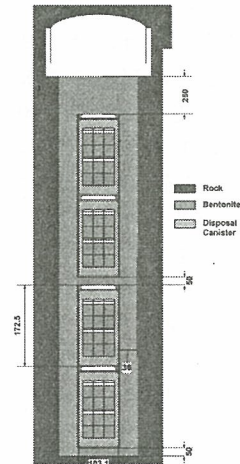


Fig. 1. Schematic of a borehole with 4 canisters

2.2 수직 처분공 주변 열 해석

Fig. 1의 처분시스템에 대한 성능평가를 위해서 처분공 주변에 대한 열 해석을 수행하였다. 열원은 ORIGEN-ARP 프로그램을 이용하여 구한 결과를 이용하였다. 처분장 설계를 위해서는 최고 온도를 구하기 위하여 주로 Fig. 2에 주어진 바와 같이 처분장 내부(구역-A로 표시)에 대해 열 해석을 수행하였으나, 성능평가를 위해서는 보다 다양한 부분을 대상으로 열 해석을 수행하였

다. Fig. 2에 대표적으로 고려할 수 있는 2 곳을 나타내었다. 구역-B의 경우 대칭 경계조건을 적용할 수 없는 곳으로 선정하였다.

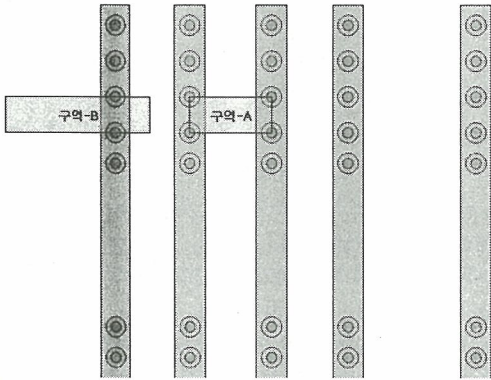


Fig. 2. Domains for the thermal analysis

Fig.2에 주어진 구역을 대상으로 수직 처분공 주변에 열해석을 ABAQUS 프로그램[3]을 이용하여 해석하였다. 암반 특성으로는 열전도도 3.0 W/mK, 비열 900 J/kg°C, 밀도 2,600 kg/m³을 이용하였다. 지열구배는 3°C/100 m를 적용하였다. 열 해석 결과 완충재 내에서 최고 온도는 처분 후 5년이 지나서 발생하였으며, 구역-A의 경우에는 96.5°C, 구역-B의 경우에는 20 m 방향 처분용기와 완충재 경계지점에서 약 92.8°C로 구역-A의 최고 온도보다 약 3°C 정도 낮게 나타났다. 이것은 처분공으로부터 주변 암반으로 열이 빠져나가기 때문이었다. 2 곳에서의 최고 온도는 설계기준인 100°C 미만으로 나타났다.

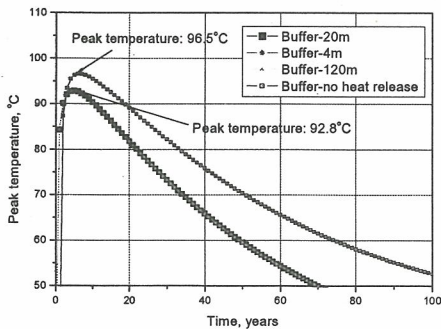


Fig. 3. Peak temperature in buffer

3. 결론

파이로 공정으로부터 예상되는 세라믹폐기물을 대상으로 개발한 수직공 처분시스템 주변에 대한 열해석을 수행하였다. 수직공 1개에 4개의 처분용기를 넣는 경우에 대하여 처분공 위치에 따라 예상되는 열 해석을 처분공 폐쇄 후 1,000년간 수행하여 온도 변화를 비교하였다. 처분터널 간격 40 m, 처분공 간격 8 m일 경우 처분장 주변에서 예상되는 최고 온도는 100°C 미만으로 유지되는 것을 확인하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 최희주, 이종열, 이민수, 조동건, 국동학, 한국방사성폐기물학회 2010년 춘계 학술발표회 논문집, p.153, 2010.
- [2] 최희주, 이민수, 국동학, 김현아, 한국방사성폐기물학회 2010년 추계 학술발표회 논문집, p.177, 2010.
- [3] ABAQUS Ver.6.8, Dassault Systems, (2008).