

열 해석을 통한 파이로 공정 세라믹폐기물 처분 모듈 간격 결정

최희주, 이민수, 국동학, 김현아

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

hjchoi@kaeri.re.kr

1. 서론

저자들은 가압경수로 사용후핵연료의 부피를 줄이고 일부 핵분열성 물질을 재활용하기 위해 개발 중인 파이로 공정 처리로부터 예상되는 세라믹폐기물에 대한 처분 단위 모듈을 개발하였다[1]. 파이로 공정으로부터 다양한 종류의 방사성 폐기물의 발생이 예상되나, 발열량과 장반감기 핵종을 고려할 경우 본 연구에서 고려한 세라믹 폐기물이 가장 중요할 것으로 판단되었다. 개발된 처분시스템에 대한 성능평가가 수행되어야 하며, 이를 위하여 처분시스템이 위치할 지하 환경의 설정이 중요하다.

본 연구를 위해서 국내에서 고준위폐기물 처분부지에 대한 어떤 자료도 축적되어 있지 않아, 한국원자력연구원 주변 암반을 대상으로 처분시스템에 대한 열적 성능평가를 수행하였다. 처분시스템 설계에 있어 열적 성능평가는 완충재 내의 최고 온도가 10°C가 초과하지 않도록 설계하는 것이다.

본 논문에서는 파이로 공정 폐기물 특성 분석을 통해 구한 열 원을 바탕으로, 기존의 처분 단위모듈을 대상으로 상기의 지하조건에서 처분모듈 주변의 열 해석을 통하여 열적 성능을 해석하였다. 열 해석에는 완충재 내에서 지하수의 흐름이 거의 없음을 고려하여 진도에 의해서만 열이 이동하는 것으로 가정하고 해석하였다. 해석에는 ABAQUS 프로그램을 이용하였다. 열 해석 결과를 반영하여 처분공 사이의 간격을 결정하였다.

2. 본론

2.1 세라믹폐기물 처분모듈

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 발

생되는 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. 처분용기(overpack) 1개에 발열량을 고려하여 14개의 캐니스터를 넣을 경우, 처분용기 당 약 600 W의 발열량이 예상된다. 20,000 tU의 PWR 사용후핵연료를 대상으로 고려하면, 세라믹 폐기물 처분용기의 사양 및 개수를 표 1에 나타내었다. 처분용기 2개를 1개의 처분공에 넣으며, 처분용기 주변은 국내산 칼슘 벤토나이트로 구성된 완충재로 채워진다(그림 1).

Table 1. Number and specifications of disposal overpacks for ceramic wastes

OD x Height	103.1 x 172.5	cm
Inner diameter	82.1	cm
Copper thickness	1	cm
Iron thickness	9.5	cm
Heat per overpack	593.6	W
Number of canisters	14	개
Number of overpacks	1,007	개

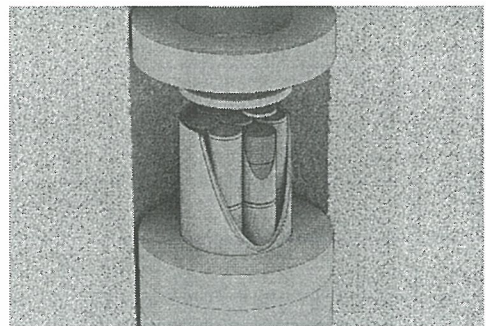


Fig. 1. Schematic of a disposal module for ceramic wastes

2.2 처분모듈 주변 열 해석

처분시스템 설계를 위해서는 열 해석을 통하여 처분모듈 사이의 간격을 결정하여야 한다. 열 원은 ORIGEN-ARP 프로그램을 이용하여 구하였으며, 10 tU PWR 사용후핵연료를 파이로 공정 처리하였을 경우 발생하는 세라믹폐기물로부터 방출되는 붕괴열을 Fig.2에 나타내었다[2].

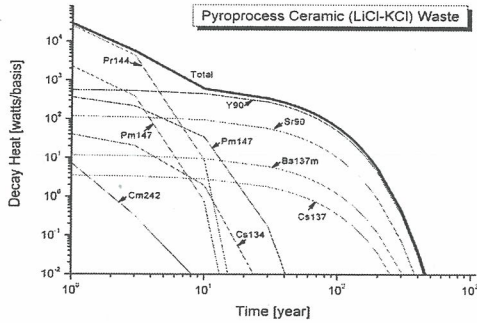


Fig. 2. Decay heat from ceramic wastes

Fig.2에 주어진 열원을 바탕으로 처분단위 모듈에 대한 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. 처분터널 간격은 40 m로 유지한 채, 처분공 사이의 간격을 4 m에서 8 m까지 변화시키면서 완충재 내부에서 최고 온도를 계산하였다. 지열구배는 3°C/100 m를 적용하였다.

열 해석 결과 완충재 내에서 최고 온도는 처분 후 4년이 지나서 발생하였으며, 처분공 간격이 4 m일 경우 최고 온도는 약 78°C로 성능목표값인 100°C보다 훨씬 낮았다. Fig. 3에는 처분공 간격에 따른 최고 온도를 나타내었다.

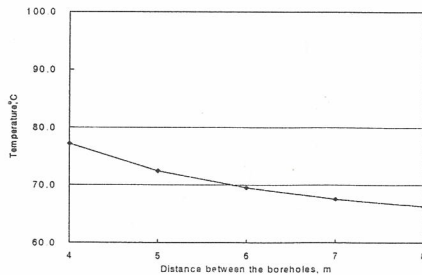


Fig. 3. Peak temperature in buffer depending on the borehole spacing

3. 결론

파이로 공정으로부터 예상되는 세라믹폐기물을 대상으로 개발한 처분 모듈 간격을 결정하기 위하여 열 해석을 수행하였다. PWR 사용후핵연료 20,000 tU을 대상으로 예상되는 세라믹폐기물의 물량을 대상으로 열원을 평가하고, 설계된 단위 처분모듈을 한국원자력연구원 주변 암반 특성을 반영하여 열 해석을 수행하였다. 처분공 1개에 처분용기를 2개 넣은 결과 완충재에서의 최고 온도는 처분공 간격이 4 m일 경우 78°C로서 성능목표값이 100°C보다 훨씬 낮았다. 따라서 현재까지의 연구결과를 바탕으로 처분터널 간격 40 m, 처분공 간격 4 m를 제안하였으며, 추가 연구를 통해 보다 처분밀도를 향상시킬 수 있는 방안을 제안할 계획이다.

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 외, KAERI/RR-3100/2009, p.407, (2010).
- [3] ABAQUS Ver.6.8, Dassault Systems, (2008).