

사용후핵연료 배열을 개선한 고준위폐기물 처분용기 개발

최희주, 이종열, 조동건, 이양, 김성기, 최종원

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

한국원자력연구소에서는 고준위폐기물 한국형처분시스템의 주요한 인공방벽의 하나인 처분용기를 개발 중이다. 처분용기의 설계에 영향을 미치는 가장 중요한 인자는 용기 수명이나 이와 관련된 국내 법규는 결정되어 있지 않다. 처분시설을 준비 중인 국가들 중 일본의 경우 용기수명 1,000년을 스웨덴과 핀란드의 경우 10만년을 고려하고 있다. 국내의 경우 2가지 경우를 모두 고려하여 처분용기를 개발 중이다. 2단계 연구결과 개발된 처분용기는 2중 구조로 되어 있으며, 그 직경은 122 cm 이다. 사용후핵연료를 포함한 중량은 대략 39톤에 이르며, 이와 같은 과도한 중량은 처분시설을 구성하는 취급 시스템의 설계를 매우 어렵게 하였다.

최근 연구를 통하여 고준위폐기물 처분용기 경량화를 위하여 용기 무게의 대부분을 차지하는 내부 구조물(insert)에 대한 설계를 검토하여 그 크기를 최적화하였다. 기존의 처분용기의 사용후핵연료 배열 방식(KDC-1)은 그 구조상 사용후핵연료와 내부 구조물의 외경의 거리가 너무 작아 이를 개선한 새로운 내부 구조물(KDC-2)을 본 연구에서 제시하였다. 본 연구에서는 개선된 내부 구조물의 건전성을 평가하기 위하여 구조 및 열 해석을 통하여 기존의 사용후핵연료 배열과 비교하였다.

최적화 연구를 통하여 개선된 처분용기(KDC-1)의 외경은 102 cm이며, 높이는 483 cm이다. Fig. 1에 KDC-1과 KDC-2의 단면을 나타내었다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 동일한 외경을 가졌을 경우 KDC-1은 사용후핵연료와 내부 구조물 외경과의 거리가 5cm밖에 되지 않아 더 이상 용기 크기를 줄이기에 어려움이 많았다. 사용후핵연료 배열을 KDC-2와 같이 45도 회전시킬 경우 사용후핵연료와 내부 구조물 사이의 거리가 약 8.4 cm가 되어 용기 크기를 더욱 줄일 수 있다.

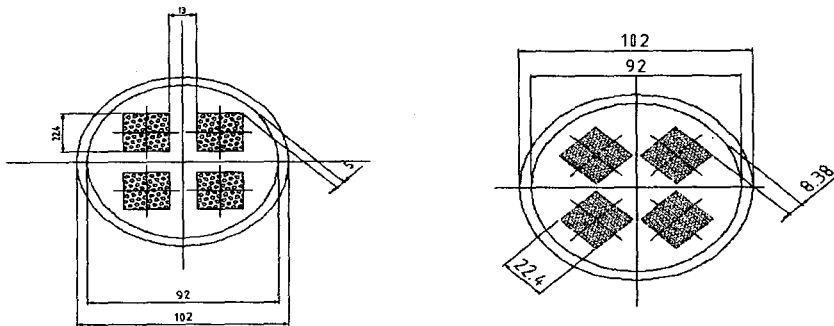


Fig. 1. Schematic of KDC-1 and KDC-2.

새로이 제안된 고준위폐기물 처분용기 내부구조물에 대한 구조 해석 및 열 해석을 수행하여 기존의 배열과 비교하였다. 용기의 구조 해석에는 유한 요소법을 이용하고 있는 NISA 프로그램을 이용하였으며, 계산에 이용된 하중 조건은 KDC-1 설계에 이용하였던 극한 조건과 정상 조건 2가지를 이용하였다. 계산 결과를 비교하기 위하여 극한 조건의 경우 안전계수 1.5와 정상 조건의 경우 안전계수 2.0과 비교하였다(Table 1 참조). 열 해석을 위하여 PWR 사용후핵연료에 관한 열원을 ORIGEN-ARP 코드를 이용하여 새로이 계산하였다(Fig. 2 참고). 열 해석 결과는 처분용기와 완충재 사이의 온도가 100 °C 이하가 되도록 하는 조건과 비교하였다. 열 해석은 구조물에 대한 3차원 해석을 이용하였다. 지열구배(thermal gradient)는 30 °C/km를 적용하였으며, 지표면에서의

경계 조건은 15°C가 유지된다고 가정하였으며, 옆 단면에 대해서는 대칭 조건을 이용하였다.

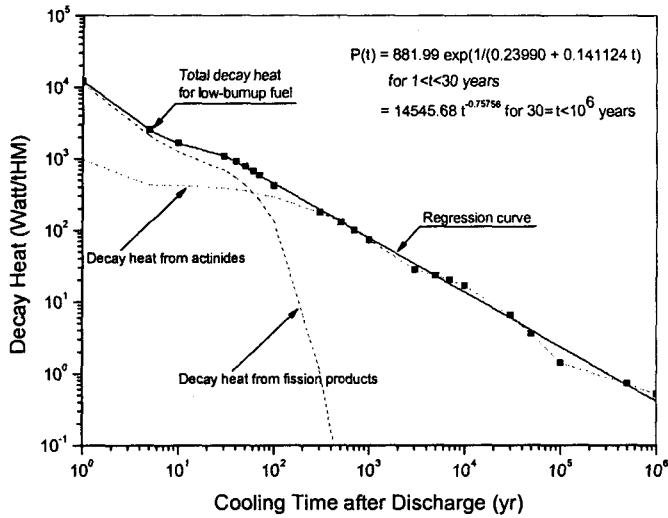


Fig. 2. Decay heat of spent PWR and CANDU fuels and the approximation formula for decay heat estimation.

Table 1. Comparison of von-Mises stresses under the extreme load conditions(case-1)

pressure direction (7 MPa)	von-Mises stress (cast insert)	Max von-Mises stress (FS)	max. deform
		111.9 MPa (1.79)	2.64mm
		121.4 MPa (1.65)	2.64mm