

파이로공정 세라믹폐기물 처분시스템의 예비선량평가

국동학, 조동건, 이민수, 최희주
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
syskook@kaeri.re.kr

1. 서론

16기의 PWR 사용후핵연료를 Pyroprocess를 통한 건식재활용을 할 경우, 다양한 종류의 방사성 폐기물들이 필연적으로 발생하게 되고 이러한 방사성폐기물은 온전한 사용후핵연료도 아니면서 동시에 독특한 특징의 고준위폐기물로 구분되어 진다. 본 연구에서는 이 공정에서 발생하는 세라믹폐기물을 처분하기 위한 시스템의 방사선량을 예비적으로 평가함으로써 방사선 안전성을 확인하고자 하였다.

2. 본론

2.1 공정 폐기물 분류

파이로 공정으로부터 발생할 것으로 예상되는 방사성폐기물은 크게 장반감기 폐기물과 단반감기 고방열폐기물로 분류할 수 있으며, 장반감기를 가지는 폐기물에는 TRU를 함유하고 있는 Metal 폐기물과 LiCl-KCl 공용용염에서 나온 Ceramic Waste, Off-gas에서 나온 (I, Tc) 고화체가 해당된다. 장반감기 폐기물 중 앞의 두가지 폐기물은 비교적 낮은 열량을 지니고 있다는 장점에 나중에 지하 처분장을 설계할 경우에 열부하를 상당히 줄일 수 있는 장점이 있다. 따라서 금속폐기물과 Ceramic waste는 처분대상으로 분류된다.

2.2 세라믹폐기물

사용후핵연료를 환원공정에서 금속체로 전환한 후, LiCl-KCl 공용용염에서 U와 TRU를 회수하고 나면, 폐 용융염이 발생된다. 폐 용융염 내부에는 주로 회수되지 못한 TRU와 환원공정에서 잔존하는 Cs, Sr, Ba 등의 핵종들이 남아 있게 된다. 그리고 희토류는 환원공정, 정련공정, 제련공정 등에서 별도로 제거되지 않았기 때문에 주요 핵종이 된다. 고화체의 주핵종은 RE이지만, 기타 다양한 장반감기 핵종들이 있으므로 처분대상이 된다. 사용후핵연료 10MTHM 기준으로 핵종의

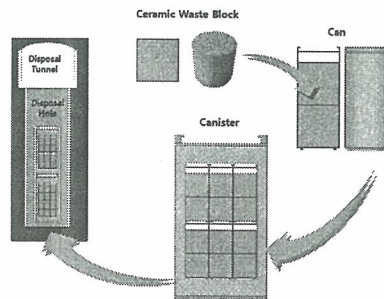
총량은 약 117.82kg이지만, 실제 산화물 형태로 채집되는 양은 137.26kg이다. 이들 공용용염 중의 핵종은 KAERI에서 개발한 산화-증류-세라믹고화 과정을 통해 산화되어 고화체(Monazite Ceramic)로 만들어지게 되는데, 이때 들어가는 세라믹 결합제의 양은 산화물의 4배 정도인 549.04kg이다. 따라서 고화체의 총량은 686.3kg이 된다. 이 폐기물의 밀도는 3,571 kg/m³이며 부피는 0.1922 m³이다.

2.3 기준 핵연료

세라믹폐기물의 방사능 계산을 수행하기 위하여 Pyroprocess를 수행하는 사용후핵연료는 초기 농축도 4.5%, 방출연소도 55,000MWd/tU, 냉각기간 10년 연료를 기준으로 사용하였으며, 핵반응단면적 라이브러리는 17×17 KOFA XS Library와 구조물 각 구성품별로 생성한 Activation Library를 사용하였다.

2.4 세라믹폐기물 처분시스템

아래 그림은 세라믹폐기물 처분시스템의 전체적인 개념을 나타내고 있다.



세라믹 정련폐기물 고화체 블럭크기는 고화체의 발열량(2.10x 10⁴W/m³)을 고려하여 직경 26 cm, 높이 25 cm로 결정하였다. 고화체 블럭의 밀도는 3,571 kg/m³으로 계산되었으며, 10MTHM 사용후핵연료에 대하여 약 12개의 블럭이 발생하는 것으로 계산되었다. 세라믹폐기물 저장용기에는 2개의 세라믹폐기물 블럭을 저장하도록 하였

다. 고화체가 용기 전체 부피의 87.2%의 부피를 차지하도록 용기의 외경은 26.7 cm, 높이는 60.8 cm로 설계하여 폐기물에서 발생할 수 있는 가스에 대비하였다. 폐기물용기의 재질은 스테인리스 304L이며, 상부 두께는 5 mm, 하부는 5 mm, 측면은 3.4 mm이다. 세라믹폐기물 처분용기의 기본적인 개념은 폐기물 용기 7개를 2단으로 적재하도록 하여 처분용기 1개당 14개의 폐기물용기를 수용하는 것이다. 처분용기의 내측에는 방사선 및 열차폐 목적의 주철이 놓이게 되며, 상부 18 cm, 하부 18 cm, 측면 9.5 cm의 두께를 갖는다. 처분용기의 외측에는 처분환경에서의 부식방지 목적의 구리코팅이 입혀지게 되며 상부 3 cm, 하부 3cm, 측면 1 cm 두께를 갖는다. 공학적 방벽은 크게 두 가지 역할을 하게 되는데, 첫번째는 처분용기 수명에 커다란 악영향을 미칠 수 있는 지하수의 유입을 방지하고, 두번째는 처분용기에 문제가 발생하여서 처분용기내 폐기물로부터 방사능물질이 누출될 경우 인간환경으로 노출되는 것을 막아주는 것이다. 이러한 공학적 방벽 역할을 수행하는 것이 완충재이며, 세라믹폐기물 처분시스템의 완충재는 한국의 사용후핵연료 처분시스템 개념과 동일한 개념을 적용한다. 즉, 수직공 형태의 처분공에 처분용기와 더불어 환형 벤토나이트 및 디스크 벤토나이트를 이용하여 처분용기의 측면 및 상, 하부를 메워서 완충재 역할을 수행하는 것이다.

2.5 선량평가

방사선량을 계산하기 위해서 먼저 전체 에너지 영역에 대한 광자 생성율과 중성자 생성율을 ORIGEN-ARP 5.0을 이용하여 계산하였으며, 1개의 폐기물용기(94.8 kg: 2개의 폐기물 블록)에 대한 광자 생성율은 1.51×10^{13} (photons/sec), 중성자 생성율은 1.079×10^3 (neutrons/sec)과 같이 구하였다. 광자 및 중성자의 선량산인자는 앞의 경우처럼 ICRP-74를 사용하였다. MCNP를 이용하여 1개의 폐기물용기에 대한 유효선량을 표와 같이 구하였다. 이 때 tally 영역은 용기의 측면, 상부, 하부에 대하여 수행하였으며, 각각의 거리는 10 cm로 설정하였다.

단일 처분공에는 그림과 같이 세라믹 처분용기 2개가 수직으로 적재되게 되는 데 이때 처분용기로부터 방출되는 방사선에 의해서 용기 주변의 벤토나이트 완충재가 받는 흡수선량을 계산하였

다. 총 28개의 폐기물 용기의 광자 선량율과 중성자 선량율을 이용하여 벤토나이트 전체 두께 중 최내각의 두께 1cm 이내에 흡수되는 흡수선량을 계산한 결과를 아래 표에 나타내었다. 이 값은 선진국들의 처분개념에서 벤토나이트 내의 물질들을 방사화시켜 산화인자들을 생성해 낼 수 있는 기준인 1 Gy/hr 보다 낮은 값으로써 본 연구에서 설계한 세라믹 처분시스템이 완충재의 흡수선량 측면에서는 안전성이 높다는 결론에 이를 수 있다.

Table 1. Dose evaluation result

대상	위치	감마선량	중성자 선량	합계	단위
폐기물 용기	상부	2.4049E+01	5.9679E-06	2.4049E+01	rem/hr
	측면	5.4509E+01	1.4535E-05	5.4509E+01	
	하부	4.3233E+01	1.1276E-05	4.3233E+01	
처분 용기	상부	8.7206E-03	4.1045E-06	8.7247E-03	rem/hr
	측면	8.5268E-01	1.6102E-05	8.5269E-01	
	하부	1.2643E-02	6.1649E-06	1.2649E-02	
완충재	측면	1.15E-2	6.17E-9	1.15E-2	Gy/hr

3. 결론

파이로공정에서 발생된 세라믹폐기물을 처분하기 위하여 새롭게 설계된 처분시스템에 대한 예비선량평가를 수행하였으며, 평가결과 공학적방벽인 완충재가 흡수하는 방사선량이 안전성 기준보다 훨씬 낮은 값을 나타내었으므로 이 시스템은 처분의 방사선적 안전성을 확보하고 있음을 알 수 있었다.

4. 참고문헌

- [1] SKB TR-99-06, 1999, Deep repository for spent nuclear fuel.