

파이로공정 금속폐기물 처분시스템의 예비선량평가

국동학, 조동건, 이민수, 이종열, 최희주
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
svskook@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 구분되어진다. 본 연구에서는 이 공정에서 발생하는 금속 폐기물을 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 장점 때문에 나중에 지하 처분장을 설계할 경우에 열부하를 상당히 줄일 수 있는 장점이 있다. 따라서 금속폐기물과 Ceramic waste는 처분대상으로 분류된다.

2.2 금속폐기물

금속폐기물은 공정 초기에 Chopping /Decladding 단계에서 핵연료에서 벗겨낸 피복관(hull)이 금속폐기물의 대부분을 차지한다. Electrorefining 공정에서도 금속 폐기물이 발생된다. Uranium을 회수하기 위한 정련공정에서 용융염에 녹지 않는 불순물 (주로 Noble Metal)이 발생되며, 폐기불순물 (Anode sludge)은 Hull 폐기물과 마찬가지로 용융염 세척을 거친 후에 금속폐기물에 포함된다. 또한 최종 Metal waste에는 피복관 및 사용후핵

연료 해체시에 발생된 Stainless steel 격자 등이 포함된다. 최종 Metal waste에는 소량이지만 U, TRU 및 FP 등이 함유되어 있으므로 방사성폐기물로 분류된다. 금속 폐기물은 열발생은 적지만, TRU와 같은 장반감기 핵종이 있으므로 처분대상으로 분류된다.

2.3 기준 핵연료

금속폐기물의 방사능 계산을 수행하기 위하여 Pyroprocess를 수행하는 사용후핵연료는 초기농축도 4.5%, 방출열소도 55,000MWd/tU, 냉각기간 10년 연료를 기준으로 사용하였으며, 핵반응단면적 라이브러리는 17x17 KOFA XS Library와 구조물 각 구성품별로 생성한 Activation Library를 사용하였다.

2.4 금속폐기물 처분시스템

금속폐기물 처분시스템은 압축된 폐기물 블록, 폐기물을 직접 저장할 폐기물용기와 차폐 목적으로 폐기물용기를 저장할 처분용기, 그리고 처분용기 주변에 위치할 공학적 방벽으로 구성된다.

파이로 공정에서 발생한 금속폐기물은 압착된 디스크 형태(블록)로 만들어지며 스테인리스 재질로 제작되는 1개의 폐기물용기에는 7개의 금속폐기물 블록이 적재된다. 이후 콘크리트로 제작되는 MDP(Metal waste Disposal Package) 처분용기내에는 총 9개의 폐기물용기가 동일한 간격으로 저장되며, 9개의 폐기물용기를 저장하고 있는 MDP는 MDT(Metal waste Disposal Tunnel)에 3단으로 적재되게 된다.

2.5 선량평가

금속폐기물의 핵종별 구성을 결정하기 위하여 원자로로부터 방출된지 40년이 지난 시점에서의 금속폐기물 종류별 질량 및 전체 비율을 구하였다. 7개의 금속폐기물 블록(40.3 kg)을 담고 있는 1개의 폐기물용기(282.1 kg)에 대한 금속폐기물의 44개 에너지그룹별 총 광자생성률 및 중성자생성

율은 ORIGEN-ARP 5.0을 이용하여 계산 각각 5.11×10^{11} (photons/sec), 7.77×10^2 (neutrons/sec)값을 구하였다. 선량환산인자는 ICRP-74에서 권고하는 값을 사용하였다. 위에서 구한 금속폐기물의 핵종조성 및 방사선의 생성율을 바탕으로 MCNP를 이용하여 폐기물용기의 상·하부 및 측면에서의 선량평가를 수행하여 아래 표1에 나타내었다.

선량평가 결과 모든 방향에서 피폭선량이 10 rem/hr정도 계산되었다. 중성자의 경우에는 중성자를 방출할 수 있는 핵종인 우라늄 및 TRU들의 양이 전체 파이로 공정 중에서 금속폐기물쪽으로 묻어나오는 양이 매우 적기 때문에 상대적으로 아주 작은 선량으로 계산되었다. 감마선의 경우에는 인코넬 718 그리드에 의한 선량이 지배적인 것으로 나타났다.

9개의 폐기물용기를 포함하고 있는 처분용기(MDP)에 대한 선량평가를 수행하여 역시 표1에 나타내었다. 평가결과 총 9개의 폐기물용기로부터 발생하는 방사선에 의해서 처분용기 콘크리트 표면 밖으로 방출되는 방사선은 1개의 폐기물용기 표면 선량과 비슷하며, 이는 콘크리트의 반가층(half value layer)이 약 4.5~6.0 cm 임을 감안하면 10 cm 두께를 갖는 처분용기에 대해서 납득할 만한 수치이다. 방사선 차폐 측면에서 처분용기에 대한 차폐를 더욱 보강하면 좋겠지만, 처분터널 내에서 처분용기를 3단으로 적재할 경우 작업장비가 견겨될 무게 증가를 고려하여 추가적인 차폐는 곤란할 것으로 판단된다.

마지막으로 처분용기를 3열 3단으로 적재한 후 주위를 벤토나이트와 콘크리트로 덮는 형태의 공학적 방벽에 대한 흡수선량평가를 수행하였다. 이 경우에 처분용기와 가장 가까운 위치에 있는 최내각 벤토나이트 1 cm 층이 받는 흡수선량을 계산하였으며 결과를 표1에 나타내었다. 계산결과 이 값은 벤토나이트의 방사화분해를 야기시킬 수 있는 1 Gy/hr [1]보다 훨씬 낮은 값이므로, 전체적인 금속폐기물 처분시스템이 방사선적 안전성을 갖고 있다고 판단된다.

Table 1. Dose evaluation result

대상	위치	감마선량	중성자 선량	합계	단위
폐기물 용기	상부	8.08E+00	3.67E-06	8.08E+00	rem/hr
	측면	1.11E+01	6.07E-06	1.11E+01	
	하부	9.39E+00	4.36E-06	9.39E+00	
처분 용기	상부	1.30E+01	3.04E-6	1.30E+01	rem/hr
	측면	2.20E+01	4.41E-6	2.20E+01	
	하부	1.62E+01	4.34E-6	1.62E+01	
완충재	측면	2.21E-02	5.09E-10	2.21E-02	Gy/hr

3. 결론

파이로공정에서 발생된 금속폐기물을 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