

## 선진핵주기 고준위폐기물 처분 모듈 개발

최희주, 이종열, 이민수, 조동건, 국동학  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
 hicho@kaeri.re.kr

### 1. 서론

원자력으로부터 발생하는 사용후핵연료에 포함된 핵분열성 물질을 재활용하며, 고준위폐기물 부피를 줄이기 위한 방안이 연구 중이다. 국내에서 유력한 방안으로서 개발 중인 파이로 공정을 통해서도 다양한 종류의 고준위폐기물이 발생될 것으로 예상된다. 저자들은 과거 국내에서 발생하는 사용후핵연료의 직접 처분을 대상으로 처분시스템을 개발하였으며[1], 이를 바탕으로 파이로 공정을 통해 예상되는 고준위폐기물을 대상으로 처분시스템을 개발하고 있다. 사용후핵연료의 직접 처분과는 달리 파이로 공정 폐기물의 경우, 그 특성조차 충분히 규명되지 않은 상태이며 따라서 처분시스템을 설계하는 것에는 많은 어려움이 있다. 본 논문에서는 파이로 공정 폐기물 특성 분석, 폐기물 저장 용기 및 처분용기 설계, 완충재 설계, 지하 처분시스템 단위 모듈 설계 결과를 소개하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 파이로 공정 고준위폐기물

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 냉각을 고려하였다. 파이로 공정으로부터의 물질수지를 분석하여 10 톤의 PWR 기준 사용후핵연료로부터 예상되는 폐기물량을 평가하였으며, 그 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Amount of waste from pyro-processing of 10 tU PWR spent fuels.

Items	Long-Lived Waste			Interim decay Waste	
	Metal	Marxide LiCl + KCl	Pfizer OH-Gas	SAP Li, Cl	Flyash Off-Gas
Major Nuclides	U, TRU	RE, TRU	I, Tc	Sr, Cs	Cs
Mass (kg)	3,136.4	664.9	455.5	2,845.7	318.7
Heat (W) 40 years after disposal	-	297	0.06	2,597	3,253
Density (g/cm <sup>3</sup> )	6.71	3.57	1.65	2.37	2.74
Volume (L)	487.4	188.2	276.0	1,200.7	116.3
Heat density (W/L)	-	1.59	0.0002	2.16	27.97
Classification	①	②	③	④	⑤

#### 2.2 금속폐기물 처분 모듈

Table 1에 주어진 바와 같이 10 tU PWR 사용후핵연료를 처리하면, 약 3.14톤의 금속폐기물이 발생한다. ORIGIN-ARP 계산 결과에 의하면, 금속폐기물로부터의 열 발생은 거의 무시할 수준이다. 금속폐기물의 감용 방법으로서 용융과 압축을 고려할 수 있는데, 본 연구에서는 압축을 고려하였다. Table 1에 나타난 금속폐기물을 압축할 경우 직경 30 cm, 높이 10 cm의 금속폐기물이 약 77.8개 발생할 것으로 추정되었다. 압축된 폐기물은 직경 약 32 cm 높이 76 cm의 STS304L 용기(can)에 넣어 보관된다. 20,000 tU의 PWR 사용후핵연료로부터 약 22,200개의 용기가 발생될 것으로 예상된다.

2만 여개의 용기를 직접 처분하는 것은 매우 비효율적이다. 따라서 보다 효율적인 처분을 위하여 Metal Waste Disposal Package(MWDP)를 설계하였으며, 9개의 용기를 1개의 MWDP에 넣어 처분할 수 있도록 하였다. MWDP의 한 변의 크기는 대략 1.3 m 이다. 금속폐기물은 발생열이 무시될 수 있어, 일반 중저준위폐기물과 동일한 개념의 처분을 고려하였으며, 처분심도는 지하 200미터로 설정하였다. Fig. 1에 처분터널의 단면을 나타내었다. 이와 같은 터널 2개가 필요할 것으로 추정되었다.

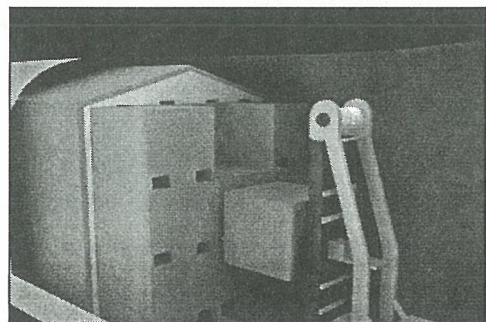


Fig. 1. Disposal tunnel for metal wastes.

### 2.3 세라믹 폐기물 처분 모듈

사용후핵연료의 파이로 공정으로부터 다양한 폐기물이 발생하나, 고준위폐기물로서 심지층 처분의 대상이 될 것으로 예상되는 폐기물은 전해제련 과정에서 발생하는 세라믹 폐기물이다. Table 1에 monozite로 표시되어 있으며, 10 tU의 사용후핵연료 처리에서 발생될 것으로 예상되는 폐기물 양은 약 665 kg이다. 본 논문에서는 세라믹 폐기물 고화체의 크기를 직경 26 cm, 높이 25 cm로 추정하였으며, 이와 같은 크기의 세라믹 고화체가 약 14.1개 발생할 것으로 예상되었다. 세라믹 고화체 2개를 1개의 캐니스터(canister)에 넣을 경우 20,000 tU PWR 사용후핵연료의 파이로 공정 처리로부터 약 14,100개의 캐니스터가 예상되었다.

세라믹 폐기물에는 장반감기 악티나이드 핵종들이 포함되어 있으며, 붕괴열이 발생하고 있어 심지층 처분을 하여야 한다. 즉, 이 폐기물의 처분을 위해서는 수명이 1,000년 이상인 처분용기[2]에 넣어 지하 500미터 심도에 처분하여야 한다. 처분용기 1개에 14개의 캐니스터를 넣을 수 있는 처분용기를 제안하였다. 처분공 1개에 이와 같은 처분용기 2개를 넣을 경우 예상되는 발열량이 PWR 사용후핵연료 4다발과 유사하다. 20,000 tU의 PWR 사용후핵연료 파이로 공정 처리로부터 약 1,000개의 처분용기가 예상되었다. 처분 개념으로서 수직공 처분과 수평 터널 처분 2가지를 개발하였으며, Fig. 2에 수평 처분 개념을 나타내었다.

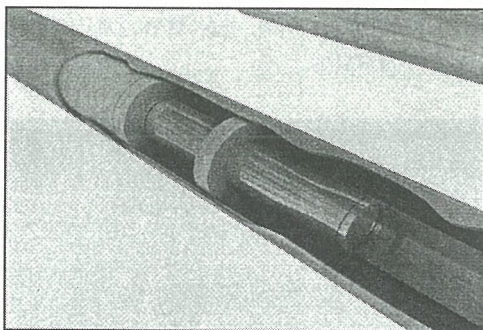


Fig. 2. Horizontal disposal of ceramic wastes.

완충재는 국내산 칼슘-벤토나이트를 대상으로

설계하였으며, 건조밀도 1.6 g/cm<sup>3</sup>로서 완충재 두께는 40 cm를 Fig. 2에 나타난 바와 같이 수평터널 처분을 할 경우 터널 직경은 190 cm 정도이며, 1개의 터널 내에 64개의 처분용기를 처분할 경우 예상되는 터널 길이는 약 320 m이다. 이와 같은 터널이 16개 소요되는 것으로 평가되었다.

### 3. 결론

PWR 사용후핵연료에 포함되어 있는 핵분열성 물질의 재활용을 위해 기술개발 중인 파이로 공정으로부터 예상되는 고준위폐기물을 대상으로 처분 모듈을 개발하였다. 대표적인 폐기물로서 금속폐기물과 세라믹 폐기물이 예상되며, 이들에 대한 물량 및 방사선원항 분석을 통해 저장용기, 처분용기를 설계하였다. 설계된 처분용기의 특성에 맞추어 각각의 단위 처분모듈을 개발하였다. 연구결과에 대한 성능평가, 안전성평가, 비용평가가 수행될 예정이며, 이를 바탕으로 처분시스템에 대한 종합 평가를 수행할 계획이다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

### 5. 참고문헌

- [1] Jong youl Lee, Dong keun Cho, Heui-Joo Choi, and Jongwon Choi, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 44(12), pp. 1565-1573 (2007).
- [2] Choi, Heui-Joo, Yang Lee, Jongwon Choi, and Young Joo Kwon, J. of the Korean Radioactive Waste Society, Vol. 4(3), pp.301 - 309 (2006).