

선진 핵연료 주기 고준위폐기물 처분시스템의 처분밀도 및 향상 방안

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

1. 서론

지난 5년간의 연구를 통하여 가압경수로 사용후핵연료의 파이로 공정 처리로부터 예상되는 세라믹폐기물에 대한 처분시스템을 개발하였다[1, 2]. 파이로 공정으로부터 예상되는 고준위폐기물 물량과 방사선원을 평가하고, 이를 바탕으로 처분용기와 완충재 등을 설계하였다.

세라믹폐기물 처분시스템에 대한 예비 개념설계 결과에 따르면, 20,000 MtU 가압경수로 사용후핵연료로부터 14개의 세라믹고화체가 포함된 1,000여개의 처분용기가 발생된다. 지하 500 미터 깊이에 수평 처분터널 방식과 수직공 처분 방식 2가지에 대해 처분시스템을 설계하였다. 처분부지에 대해 국내에서 전혀 언급된 바가 없어, 한국원자력연구원 지하처분 연구시설(KURT) 지질 자료를 바탕으로 설계를 수행하였다. 지하 암반 단열대를 반영한 처분터널 배치를 결정하였다.

본 논문에서는 고준위폐기물인 세라믹폐기물 수평터널 및 수직 처분공 처분시스템에 대한 설계 결과와 사용후핵연료 직접 처분과 처분밀도 관점에서 비교한 결과를 소개하고자 하였다. 또한 처분밀도 향상을 위한 다양한 접근 방법을 제시하고, 향후 계획을 언급하였다.

2. 본론

2.1 고준위폐기물

본 논문에서 고려한 파이로 공정 대상 사용후핵연료는 PWR 사용후핵연료에 국한하였다. PWR 사용후핵연료 특성은 기준 사용후핵연료로서 초기 농축도 4.5 wt%, 연소도 55 GWD/MtU, 방출 후 10년 냉각된 것이다. 파이로 공정으로부터의 물질수지를 분석하여 10 톤의 PWR 기준 사용후핵연료로부터 예상되는 세라믹폐기물량과 발열량은 Table 1에 나타내었다[1]. 고준위폐기물의 핵종별 방사능과 발열량을 쉽게 계산하기 위하여 자체적으로 전산 프로그램(A-SOURCE)을 개발하였다.

Table 1. Amount of ceramic wastes.

Items	Long-Lived Waste
	Monazite, LiCl + KCl
Major Nuclides	RE, TRU
Mass (kg)	664.9
Heat (W) 40 years after discharge of spent fuels	297
Density (g/cm ³)	3.57
Volume (L)	186.2

2.2 공학적방법

고준위폐기물 처분시스템의 주요 공학적방법은 처분용기와 완충재이다. 세라믹폐기물을 직경 26 cm, 높이 25 cm로 제작할 경우 예상되는 고화체는 14개 정도이며, 2개의 고화체를 저장용기(Fig.1 왼쪽)에 넣으면 7개의 저장용기가 필요하다. 처분용기는 구리-주철 이중용기를 고려하였으며, 구리용기 제작을 위하여 저온분사법을 적용하여 구리 소요량을 크게 절감하였다. 발열량을 고려하여 14개의 저장용기를 처분용기(Fig. 1 오른쪽)에 넣을 경우, 처분용기 당 약 600 W의 발열량이 예상된다. 처분용기 주변은 국내산 칼슘 벤토나이트로 구성된 완충재로 채운다. 완충재의 건조밀도는 1.6 g/cm³이다.

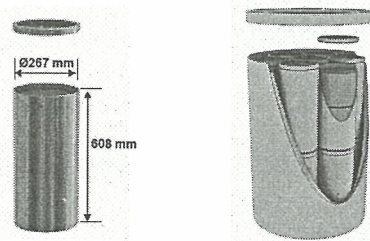


Fig. 1. Storage can and disposal canister.

2.3 지층 처분시스템

연구결과[2]에 따르면, 수직 처분공의 경우 최적의 처분밀도를 위해서는 처분용기 4개를 1개의

처분공에 넣으며, 처분터널 사이의 간격은 40 m이며, 처분공 사이의 간격은 8 m이다. 처분터널 1개에는 32개의 처분공이 설치되며, PWR 사용후핵연료 20,000 tU의 파이로 공정으로부터 예상되는 세라믹폐기물의 처분을 위해서는 이와 같은 처분터널 8개가 필요하다. 수평처분터널(Fig. 2)의 경우, 터널 간격은 25 m, 처분용기 간격은 2 m로 결정되었으며, 이와 같은 터널 16개가 필요하였다.

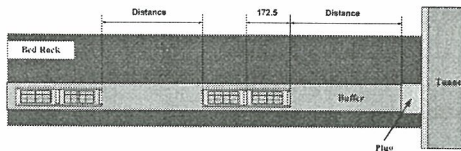


Fig. 2. Schematic of horizontal disposal.

2.4 처분밀도 분석 및 향상 방안

사용후핵연료를 파이로 처리하는 주요한 목적의 하나는 고준위폐기물의 양을 줄여 처분면적을 줄이고자 하는 것이다. 설계안을 바탕으로 사용후핵연료 직접 처분면적과의 비교를 Table 2에 나타내었다. 본 연구에서 고려한 지열구배, 지하조건, 완충재 열전달 특성을 고려할 경우 처분면적은 크게 줄었다.

Table 2. Comparison of disposal density.

Items	20,000 MtU basis
Number of waste blocks	28,200
Number of storage cans	14,100
Number of disposal canisters	1,007
Vertical deposition: 4 canisters	
- Number of deposition holes	252
- Number of disposal tunnels	8
- Deposition hole distance	8 m
- Length of a tunnel	280 m
- Tunnel spacing	40 m
- Disposal area	78,400 m ²
Horizontal deposition: 25 m tunnel spacing	
- Number of disposal tunnels	16
- Length of a tunnel	200 m
- Module spacing	2 m
- Disposal area	75,000 m ²

열 해석 경험에 의하면, 처분밀도를 향상시키기 위한 가장 쉬운 방안은 완충재의 열 전달 능력을 향상시키는 것이다. 다양한 첨가제를 이용하여 열 전도도를 향상시킬 수 있다. 저자들은 기존

완충재와 열 전도도가 향상된 완충재를 이용한 이중구조 완충재를 개발한 바 있다[3]. 열 해석 결과에 따르면, 처분공 내에 처분용기를 많이 넣는 것은 효과가 거의 없었다. 완충재와 처분용기 사이에 새로운 방법을 추가하는 방안도 가능하다. 또한, 처분용기의 반경을 늘려 폐기물의 열 확산을 향상시키는 방안도 효과가 있었으며, 처분장 설계를 개선하여 모든 처분터널을 외곽에 위치하도록 설계하는 것도 어느 정도 효과가 있었다. 다음 단계 연구에서는 이와 같은 것들을 종합하여, 처분밀도를 20% 이상 향상시키고자 한다.

3. 결론

파이로 공정으로부터 예상되는 세라믹폐기물을 대상으로 물량과 선원향을 해석하고, 처분용기와 완충재를 개발하였다. KURT 주변 암반 특성을 반영하여, 수직공 처분방식과 수평처분터널 방식의 처분시스템을 열 해석을 기반으로 개발하였다. 처분밀도 관점에서 사용후핵연료 직접 처분방식과 비교한 결과, 수평처분 방식과 수직공 처분방식이 거의 유사하였으며, 2가지 방식 모두 처분밀도를 크게 향상시켰다. 처분시스템 설계 경험을 바탕으로 다양한 방법으로 처분밀도를 향상시킬 수 있는 방안을 제안하였으며, 향후 추가 연구를 통해 이를 실현시킬 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, 이민수, 국동학, 김현아, 한국방사성폐기물학회 2010년 추계 학술발표회 논문집, p.177, 2010.
- [3] Heui-Joo Choi and Jongwon Choi, Nuclear Engineering and Design, Vol. 238, p.2815, 2008.