

# 사용후핵연료 다층 처분시스템 열적안정성 분석

이종열\*, 최희주, 이민수, 김경수, 김현아

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*njylee@kaeri.re.kr

## 1. 서론

원자력발전으로 국내에서 소요되는 총 전력량의 약 30%를 생산하고 있으며, 1978년 원자력발전소 고리 1호기가 상업운전을 시작한 이래로 원자력발전소에는 전기를 생산하고 난 후 발생된 사용후핵연료가 지속적으로 누적되고 있으며, 이를 처분하기 위한 처분면적도 증대될 것으로 예상하고 있다. 이는 국토의 활용효율 측면에서나 고준위폐기물 처분장에 대한 주민 수용성 측면에서도 불리하게 작용할 것으로 예상되므로, 처분면적을 감소시켜 처분효율을 극대화하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

사용후핵연료 등 고준위폐기물은 처분심도 500 m 정도의 깊이에 공학적 방벽과 천연방벽으로 이루어진 다중방벽 시스템을 도입한 KBS-3 형 처분 개념이 현재 기술로 생태계로부터 장기간 안전하게 처분하는 기준개념으로 고려하고 있다. 이 개념은 공학적방벽을 구성하는 완충재인 벤토나이트의 온도가 100°C가 넘지 않게 시스템을 구성하도록 요건을 규정하고 있다. 따라서 처분면적을 최소화하기 위하여 공학적 방벽의 효율을 향상시키는 등 다양한 연구들이 수행되고 있다.

본 논문에서는 처분면적 효율화 방안의 하나로 사용후핵연료를 다수 층으로 처분하는 개념에 대하여 열적인 안정성 측면에서 분석하였다. 본 분석은 향후 실제 부지에 대한 지질 특성자료를 상세 분석이 필요하며, 연구결과는 처분효율분석을 위한 입력자료로 활용이 가능하다.

## 2. 기준 고준위폐기물 심지층 처분시스템

사용후핵연료를 처분대상으로 한 고준위폐기물 처분연구를 착수한 이래로 기준사용후핵연료 처분시스템 개념이 도출되었다. Fig. 1은 최근 기준사용후핵연료로 설정한 평균연소도는 55 GWd/MtU의 Plus-7 형 사용후핵연료를 처분대상으로 한 기준 사용후핵연료 처분개념이다. 이 시스템의 열적안정성 분석결과, 처분 터널간격 40 m, 처분공 간격 9 m로 설정되었다[1]. 이 기준시스템을 바탕으로 처분효율 향상방안으로 다양한 다수층 처분개념을 설정하여 열적안정성 분석을 수행하였다.

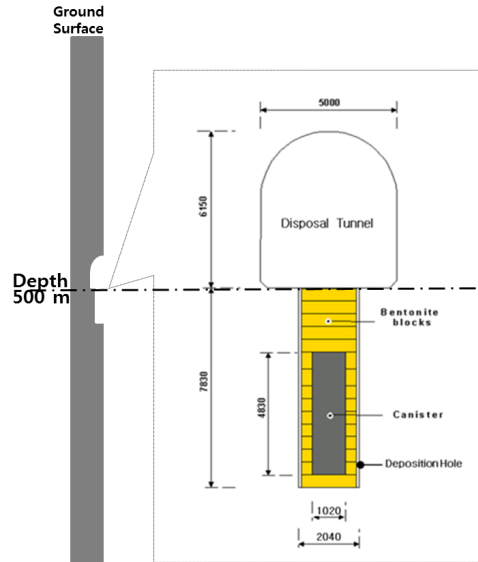


Fig. 1. Reference disposal system.

## 3. 사용후핵연료 다수층 처분시스템 개념

### 3.1 다수층 처분시스템 개념 도출

본 연구에서는 기존에 수행한 복층 처분 시스템 개념에 대한 열적 안정성 분석 결과 [2]를 바탕으로 기준 고준위폐기물 심지층 처분시스템 개념에 대하여 처분면적 감소 등 처분효율 향상을 위하여 고려할 수 있는 다수층 처분시스템 개념을 도출하였다. Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 기준개념으로부터 상부와 하부에 일정 간격(75 m, 100 m)을 유지하여 처분시스템이 위치하는 개념을 도출하였다.

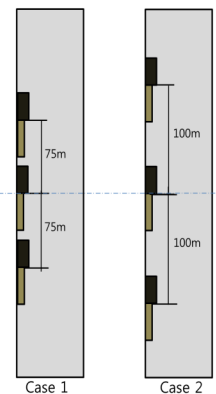


Fig. 2. Disposal systems for multi-layers.

### 3.2 다수층 처분시스템 개념 열해석

다수층 처분개념으로 설정된 시스템들은 심지층 처분시스템의 온도 제한요건인 공학적 방벽의 완충재의 온도가 100°C를 넘지 않도록 하는 열적요건 만족하여야 한다. 이러한 열적 안정성 성능평가를 위하여 여부를 평가하기 위하여 열해석을 수행하였다.

본 연구에 있어서의 열해석 수행을 위한 초기 및 경계조건은 처분시스템에서의 열해석 수행과 동일한 재료 물성과 사용후핵연료 붕괴열 및 초기-경계조건을 활용하였다[2].

- 초기조건 및 경계조건

초기조건 : 심도에 따른 온도구배 3°C/ 100m

경계조건 : 지표온도 10°C, 하부온도 40°C로 고정  
양측면은 단열

Table 1. Material Properties

	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Thermal Conductivity (W/m°C)	Specific Heat (J/kg°C)
Copper shell	8,900	386	383
Cast insert	7,200	52	504
Buffer	1,970	0.8	1,380
Backfill	2,270	2	1,190
Rock	2,650	3.2	815

- 사용후핵연료 PWR Plus7 감소식 : 1ton 사용후 핵연료, 4.5wt.% 55GWd, plus7 16\*16

$$y = y_0 + A1 \cdot \exp(-(x-x_0)/t_1) + \quad (1)$$

$$A2 \cdot \exp(-(x-x_0)/t_2) + \quad (2)$$

$$A3 \cdot \exp(-(x-x_0)/t_3) \quad (3)$$

Table 2. Coefficients of the regression equation

	y0	x0	A1	t1
10 < t ≤ 100	297.9526	0.7805	3218.3828	2.9441
	A2	t2	A3	t3
	10394.938	1.0966	2036.4309	42.7499

### 3.3 다수층 처분시스템 개념 열해석 결과

Fig. 3은 기준 처분시스템인 500 m 심도를 기준으로 상부와 하부에 75 m 간격과 100 m 간격으로 처분시스템을 구성한 3층 처분시스템에 대한 열적 안정성 해석 결과를 보여주고 있다. Fig에서 기준 처분시스템에서 각각 75 m 간격으로 3개층 처분시스템을 구성하는 경우 열적안정성 요건을 만족하는 것으로 나타났으며, 상하부로 100 m 간격으로 처분시스템을 구성한 3층 처분시스템의 경우 처분시스템 열적 요건인 완충재의 온도 100도를 초과하는 것으로 나타났다. 이는 지하심도에 따른 온도 상승의 영향이 큰 것으로 판단된다.

Table 3. The results of Casw 1 and 2

Max. T. of Case 1	Max. T. of Case 2
99.75 °C	100.44 °C

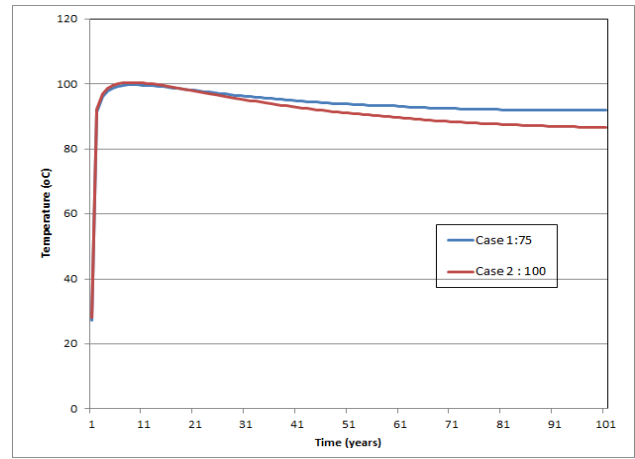


Fig. 3. Results of multi-layers Disposal systems.

## 4. 결론

본 연구에서는 현재 가장 안전한 사용후핵연료 또는 고준위폐기물 처분방안으로 고려되고 있는 심지층 처분시스템에 있어서 처분면적 감소 등 처분효율을 향상시키는 방안으로서 다수층 처분개념에 대하여 열적 안정성 측면에서 분석을 수행하였다. 분석결과 처분시스템 요건을 만족시키기 위한 상하층 간의 이격거리 및 처분 시점 설정 등으로 처분효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단하였다.

본 분석은 기준 처분시스템을 바탕으로 수행한 것으로, 냉각기간의 증대, 열효율이 향상된 공학적벽의 활용 등을 통하여 보다 처분효율을 향상시킬 수 있을 것이다.

향후, 보다 구체적인 효율 분석을 위하여 실제 부지특성자료 입력 및 암석역학적 분석이 필요하다.

## 5. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 원자력기술개발사업 (NRF-2012M2A8A5025577)의 일환으로 수행되었습니다.

## 6. 참고문헌

- [1] H. J. Choi, J. Y. Lee, and J. W. Choi, Korean Reference HLW Disposal System, Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI/ TR-3563/2008, pp. 23-35 (2008).
- [2] 이종열, 최희주, 이민수, 김경수, 김현아, "열적 안정성 측면에서의 고준위폐기물 복층처분개념 분석", 2016 춘계 방사성폐기물 학회 학술발표 발표논문집(2016).