

열적안정성 측면에서의 고준위폐기물 복층처분개념 분석

이종열*, 최희주, 이민수, 김경수, 김현아

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*njylee@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력발전에 의한 전력의존도가 높아짐에 따라 사용후핵연료 등 고준위 방사성폐기물 발생량이 증가하고 이를 처분하기 위한 처분면적도 증대될 것으로 예상하고 있다. 이러한 처분면적의 증대는 국토의 활용효율 측면에서나 고준위폐기물 처분장에 대한 주민 수용성 측면에서도 불리하게 작용할 것으로 판단하고 있다. 고준위폐기물은 처분심도 500 m 정도의 깊이에 공학적방법과 천연방법으로 이루어진 다중방벽 시스템을 도입한 KBS-3 형 처분을 생태계로부터 장기간 안전하게 처분하는 기준개념으로 고려하고 있다. 이 개념은 공학적방법을 구성하는 완충재인 벤토나이트의 온도가 100°C가 넘지 않게 시스템을 구성하도록 요건을 규정하고 있다. 따라서 처분면적을 최소화하기 위하여 공학적방법의 효율을 향상시키는 등 다양한 연구들이 수행되고 있다. 본 논문에서는 처분면적 효율화 방안의 하나로 고준위폐기물을 복층으로 처분하는 개념에 대하여 열적인 안정성 측면에서 분석하였다. 본 분석은 향후 실제 부지에 대한 지질자료 및 암석역학 자료를 통한 상세 분석이 필요하며, 연구결과는 처분효율분석을 위한 입력자료로 활용이 가능하다.

2. 기준 고준위폐기물 심지층 처분시스템

본 연구에서 수행한 복층 처분시스템에 대한 분석은 기준 처분시스템을 바탕으로 그 상부 또는 하부에 추가로 처분시스템을 위치시키는 방안에 대하여 분석하였으며, 추후 이를 바탕으로 상하부 모두에 추가하는 경우에 있어서의 처분시스템에 대한 분석도 가능하다. 따라서 고준위폐기물의 처분효율 향상을 위한 복층 처분시스템 개념분석을 위하여 기준 사용후핵연료 심지층 처분시스템 개념을 검토하였다. 국내에서 발생하는 사용후핵연료에 대한 분석을 통하여 기준 사용후핵연료로서 Plus-7 사용후핵연료를 설정하고, 이를 처분대상으로 처분시스템 설계를 위한 열해석을 수행하여 처분시스템에 대한 열적요건을 만족하도록 처분 터널간격 40 m, 처분공 간격 9 m를 설정한 기준처분시스템 개념은 Fig. 1에서 보여주는 바와 같다[1].

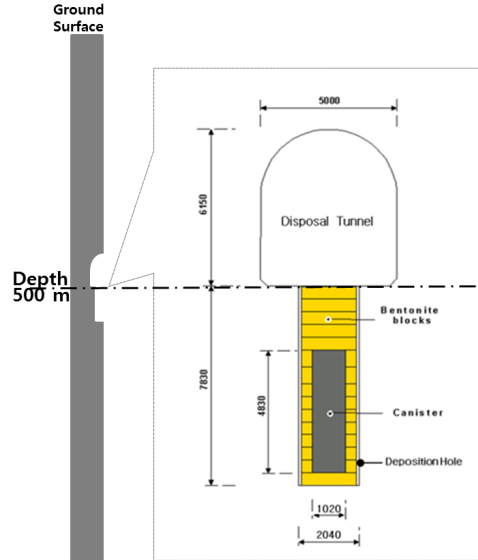


Fig. 1. Reference disposal system.

3. 고준위폐기물 복층 처분시스템 개념

3.1 복층 처분시스템 개념 도출

기준 고준위폐기물 심지층 처분시스템 개념을 바탕으로 처분면적 감소 등 처분효율 향상을 위하여 고려할 수 있는 복층 처분시스템 개념을 도출하였다. Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 기준개념으로부터 상부 또는 하부에 일정 간격을 유지하여 처분시스템이 위치하는 개념을 도출하였다.

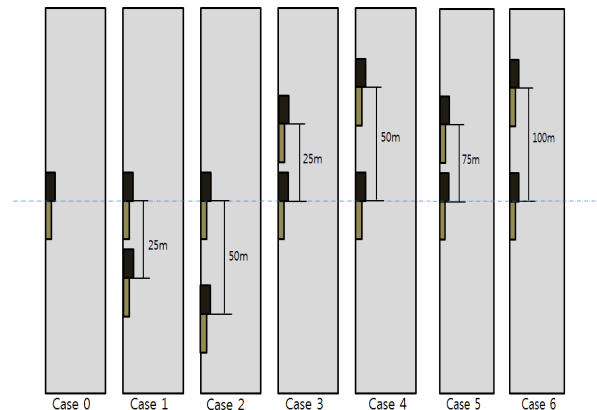


Fig. 2. Disposal systems for Double layer.

3.2 복층 처분시스템 개념 열해석

제안된 개념들이 처분시스템으로서 적용되기 위해서는 심지층 처분시스템 공학적방법에 대한 열적

요건을 만족하여야 한다. 따라서 사용후핵연료로부터 발생하는 열로 인하여 공학적방벽을 이루고 있는 완충재의 온도가 100°C를 넘지 않도록 하는 처분시스템 열적요건 만족여부를 평가하기 위하여 열해석을 수행하였다. 열해석 수행을 위한 초기 및 경계조건은 아래와 같으며, 해석에 사용된 처분시스템 구성 재료의 물성 및 사용후핵연료 붕괴열 감소식은 Table 1, 2에 나타낸 바와 같다[2].

- 초기조건 및 경계조건

- 초기조건 : 심도에 따른 온도구배 3°C/ 100m
- 경계조건 : 지온도 10°C, 하부온도 40°C로 고정
양측면은 단열

Table 1. Material Properties

	Density (kg/m ³)	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 Plus 7 감소식 : 1ton 사용후 핵연료, 4.5wt.% 55GWd, plus7 16*16

$$y = y_0 + A_1 \cdot \exp(-(x-x_0)/t_1) + A_2 \cdot \exp(-(x-x_0)/t_2) + A_3 \cdot \exp(-(x-x_0)/t_3)$$

Table 2. Coefficients of the regression equation

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

3.3 복층 처분시스템 개념 열해석 결과

3.3.1 동시처분

고준위폐기물 복층 처분시스템개념으로서 도출된 각 경우들에 대하여 상부와 하부시스템에서 동시에 처분하는 경우를 가정한 열해석 수행결과는 아래 Table 3에 나타내었다. 표에서 보여주는 바와 같이 열적 요건을 만족하기 위해서는 기존 시스템을 중심으로 상부로 50 m 이상 격리가 필요하다.

3.3.2 시간차 처분

고준위폐기물 처분을 위한 복층 처분시스템에 있어서 상부층 시스템과 하부층 시스템의 처분시점에 차이에 따른 열적 거동특성을 분석하였다. Table 4는 30년 차이를 두고 상부 우선처분하는 경우와 하부 우선처분하는 경우에 대한 결과를 나타낸다. 표에서 보이는 것처럼 상부시스템과 하부시스템에

Table 3. Results of the thermal analyses

	Max. Temp.	Requirement
Ref. System(Case 0)	98.7°C	O
Case 1(L 25 m)	106.4°C	X
Case 2(L 50 m)	100.7°C	X
Case 3(U 25 m)	105.8°C	X
Case 4(U 50 m)	99.4°C	O
Case 5(U 75 m)	97.4°C	O
Case 6(U 100 m)	97.3°C	O

Table 4. The results in the case of disposal time differency for double layered disposal system.

	Max. T. of upper sys.	Max. T. of lower sys.
Upper system priority	94.6°C	99.2°C
Lower system priority	96.3°C	97.5°C

대하여 처분시점에 차이를 둘 경우 하부시스템을 우선 처분하는 경우가 유리할 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구에서는 현재 가장 안전한 사용후핵연료 또는 고준위폐기물 처분방안으로 고려되고 있는 심지층 처분시스템에 있어서 처분면적 감소 등 처분 효율을 향상시키는 방안으로서 복층처분개념에 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. 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, J. W. Choi, Korean Reference HLW Disposal System, Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI/TR-3563/2008, pp. 23-35 (2008).
- [2] 이종열, 김현아, 이민수, 김건영, 최희주, "사용후핵연료봉 밀집을 고려한 심지층처분 개념 분석", 방사성폐기물학회지, 12(4), 287-297 (2014).