

처분용기 개선에 따른 CANDU 사용후핵연료 처분효율 향상

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

1. 서론

우리나라에서의 사용후핵연료를 포함하는 고준위폐기물 처분을 위한 연구는 1997년부터 시작하여 한국형 사용후핵연료 기준 처분시스템 개발을 완료하였으며, 현재는 개발된 기술에 대한 실험실 및 현장 실증 그리고 처분시스템의 효율을 향상시키기 위한 다양한 연구를 진행하고 있다. 또한, PWR 사용후핵연료는 농축 우라늄을 사용하는 핵연료로 적절한 처리공정으로부터 재활용 가능물질을 회수하는 재순환주기를 고려하여 재활용을 위한 공정연구를 수행하고 있어 이 공정으로부터 발생하는 고준위폐기물에 대한 처분연구를 수행하고 있다. 그러나, CANDU 사용후핵연료는 농축하지 않은 천연우라늄을 사용한 핵연료로 여러 측면에서 재활용 가능성이 낮은 것으로 판단하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 직접처분이 예상되는 CANDU 사용후핵연료에 대해서 기존의 한국형 처분시스템인 KRS를 바탕으로 처분효율을 분석하고 그 향상방안 도출하였다. 이를 위하여 기존에 개발한 한국형 사용후핵연료 처분시스템의 처분용기 개념에 대한 개선방안을 도출하고 이에 대하여 처분시스템의 열적요건을 만족시키는 처분개념을 설정하여, 처분면적, 열용량, 처분용기 재료량, 굴착량, 완충재량 등 기술적 효율성 측면에서 비교·분석하여 최적의 방안을 제시하였다.

2. 대안개념 도출

2.1 CANDU 처분용기 개선

기 개발된 한국형 사용후핵연료 처분시스템에서는 CANDU 사용후핵연료 처분용기와 PWR 사용후핵연료 처분용기의 외관제원을 동일하게 설정하였는데, 이는 포장/처분 공정의 효율성 및 취급 용이성을 위함이었다. 이때 CANDU 처분용기의 경우는 사용후핵연료 33다발을 9단으로 적재하여 총 297 다발 용량이었다. 한국형 사용후핵연료 처분시스템 개발 이후 현재는 PWR 사용후핵연료의 경우 유용한 자원 재활용 공정에 대한 연

구를 진행하고 있으므로, 이에 맞추어 이 공정으로부터 발생하는 고준위폐기물을 처분하는 방법에 대한 고려가 필요하다. 그리고 재활용 가능성이 희박하여 직접 처분을 고려하고 있는 CANDU 사용후핵연료에 대해서는, 처분효율 향상을 위한 연구를 수행하고 있으며, 이의 일환으로 원자력발전소에서 사용 중인 60 다발용 저장 바스켓을 그대로 처분용기에 포장하는 개선된 처분용기 개념을 도출하였다. 이로부터 바스켓 적재 용량에 따라 4종류의 개선된 처분용기 개념을 도출하였다.

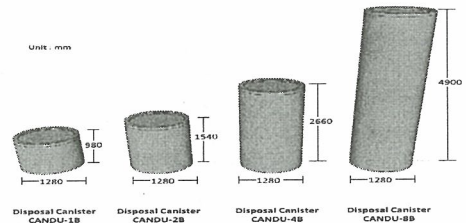


Fig. 1. 개선된 처분용기 개념

2.2 대안 처분개념

CANDU 사용후핵연료 처분효율 향상을 위한 대안 처분개념은 현재 원자력발전소에서 사용하고 있는 저장 바스켓을 그대로 적재하도록 개선한 처분용기를 바탕으로 도출하였다. 즉 저장바스켓 적재용량에 따른 처분용기의 종류에 따라 4개의 대안개념을 도출하였으며, 각 개념에 있어서 처분공에 처분되는 처분용기의 수는 각각 1, 2, 4, 8개로 동일한 처분용량인 CANDU 사용후핵연료 480번들을 처분할 수 있도록 하였다.

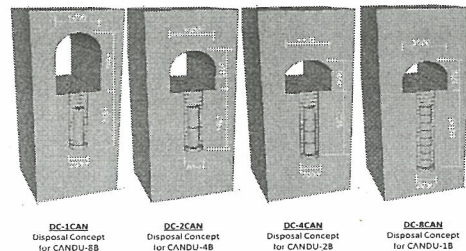


Fig. 2. 개선된 처분용기에 따른 처분개념

이들에 대한 열해석을 통하여 열적 요건을 만족하는 처분터널 간격과 처분공 간격을 결정하여 처분개념을 도출하고, 각 처분개념에 대한 비교 분석 결과를 토대로 최적의 대안개념을 제시하였다.

2.3 열해석 및 결과

처분효율 향상을 위하여 도출된 각 처분개념에 있어서 완충재의 온도에 대한 설계요건을 만족하는 처분터널간격 및 처분공 간격을 도출하기 위하여 열해석을 수행한 결과로서 그림 3에 처분공에 2개의 처분용기가 처분되는 개념에서의 완충재 블록에 대한 온도이력 보여주고 있다. 처분터널 간격을 40 m로 최고온도를 95 °C도로 고정하였을 경우 각 처분개념의 처분공 간격은 5.3, 4.9, 4.3 및 4.3 m로 결정되었다.

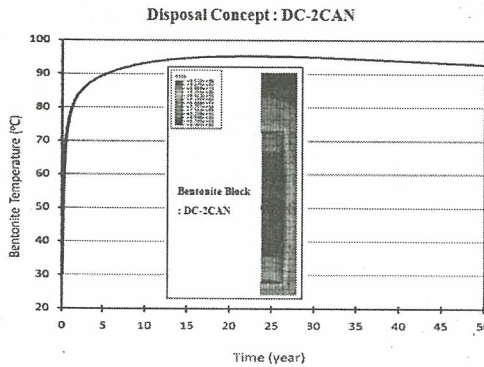


Fig. 3. 처분개념에 대한 열해석 결과

2.4 대안별 효율분석

사용후핵연료 심지층 처분시스템의 효율성을 판단하는데 있어 처분구역 단위면적당 수용할 수 있는 U-density에 대한 분석은 중요한 인자이다. 따라서, 경제적인 관점에서 볼 때, 처분시스템의 열적요건을 만족하는 범위에서 단위처분면적을 최소화하는 것이 바람직하고(표 1), 처분시스템의 주요 제한요소인 사용후핵연료에 포함되어 있는 우라늄을 단위면적에 수용할 수 있는 양을 극대화하는 방안으로 설계하는 것이 필요하다.

Table 1. 대안별 처분효율 분석

Disposal concepts	KRS-1	DC-1C	DC-2C	DC-4C	DC-8C
Capacity (bundles)	298	480	480	480	480
Unit Disposal Area	160	212.0	196.0	184.0	172.0
U-Density(kU/m ²)	35.26	43.0	46.5	49.6	53.023
Disposal efficiency	1	1.22	1.32	1.40	1.49

또한, 처분용기에 소요되는 구리 및 주철 재료와 완충재 및 뒷채움재의 소요량을 최소화하는 방향으로 설계하는 것이 바람직하다.

CANDU 사용후핵연료 처분을 위한 대안 개념은 처분공에 동일한 용량의 사용후핵연료를 처분하되 처분용기 용량에 따라 그 수를 달리하여 처분하는 개념으로 설정하였다. 따라서 본 분석에서는 각 개념별 처분효율과 그에 따른 처분용기 재료 및 완충재/뒷채움재의 증감을 고려하여 가장 효율적인 방안은 처분공에 2개의 처분용기를 처분하는 개념으로 나타났다.

3. 결론

본 연구에서는 CANDU 사용후핵연료 처분시스템의 효율성 향상을 위하여 기존 처분용기를 개선하여 1개 처분공에 동일한 용량의 사용후핵연료를 처분하는 4개의 처분개념을 설정하였다. 각 개념에 대하여 열적요건을 만족하는 처분공/처분공 간격을 설정하고, 그 결과에 따라 단위처분구역, 단위우라늄 용량, 처분용기 재료량 증가량, 완충재 증가량 및 굴착량 감소량 등을 분석하였다.

분석한 결과는 처분용기를 2단으로 처분하는 개념이 가장 바람직한 방안으로 나타났으며, 이때 처분효율은 기존 한국형 처분시스템 개념에 비하여 약 30 %정도 향상되었음을 확인하였다.

향후 상기 향상된 개념을 보다 구체화하고 실제 처분장 지역 자료를 활용한 열적/구조적 거동 등에 대한 상세분석이 필요하다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행하였습니다.

5. 참고문헌

- [1] 최희주, 이종열, 최종원 외, “고준위폐기물 한국형 처분시스템 개념설계 요건,” 한국원자력연구소, KAERI/TR-3003/2005, 2005.
- [2] 이종열 외, CANDU 처분용기 열적-구조적 안정성평가, 방폐학회지, V.6, No.3, 2008.
- [3] 최희주 외, “처분시스템 개발,” 한국원자력연구원, KAERI/RR-3100/2009, 2010.