

Development of CANDU Spent Fuel Disposal Concepts for the Improvement of Disposal Efficiency

처분효율 향상을 위한 CANDU 사용후핵연료 처분개념 도출

Jong-Youl Lee¹⁾, Dong-Geun Cho, Dong-Hak Kook, Min-Soo Lee, Heui-Joo Choi and Yang Lee
Korea Atomic Energy Research Institute, Daedeokdaero 1045, Yuseong-gu, Daejeon

이종열¹⁾, 조동건, 국동학, 이민수, 최희주, 이양*

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

* SK 건설(주) 연구소, 서울 중구 순화동 66 번지

(Received September 18, 2009 / Revised October 7, 2009 / Approved October 19, 2009)

Abstract

There are two types of spent fuels generated from nuclear power plants, CANDU type and PWR type. PWR spent fuels which include a lot of reusable material can be considered to be recycled. CANDU spent fuels are considered to directly disposed in deep geological formation, since they have little reusable material. In this study, based on the Korean Reference spent fuel disposal System(KRS) which is to dispose both PWR and CANDU spent fuels, the more effective CANDU spent fuel disposal systems have been developed. To do this, the disposal canister has been modified to hold the storage basket which can load 60 spent fuel bundles. From these modified disposal canisters, the disposal systems to meet the thermal requirement for which the temperature of the buffer materials should not be over 100 °C have been proposed. These new disposals have made it possible to introduce the concept of long term storage and retrievability and that of the two-layered disposal canister emplacement in one disposal hole. These disposal concepts have been compared and analyzed with the KRS CANDU spent fuel disposal system in terms of disposal effectiveness. New CANDU spent fuel disposal concepts obtained in this study seem to improve thermal effectiveness, U-density, disposal area, excavation volume, and closure material volume up to 30 - 40 %.

Key words : CANDU spent fuel, Geological disposal, Thermal requirement, Multi barrier, Buffer, Disposal canister, Long term storage

요 약

우리나라에서 발생하는 사용후핵연료를 CANDU형과 PWR형 2종류로 구분한다. PWR형 사용후핵연료의 경우 적절한 공정을 거쳐 원료물질로 다시 사용할 수 있는 물질을 많이 포함하고 있어 재활용 공정을 고려할 수 있다. CANDU형 사용후핵연료는 천연 우라늄을 원료물질로 사용하고 있어 재활용 가능성이 거의 없으며

1) Corresponding Author. E-mail : njylee@kaeri.re.kr

로 직접 처분을 고려하고 있다. 본 논문에서는 PWR형과 CANDU형 사용후핵연료 모두를 직접 처분하는 개념으로 개발한 한국형 사용후핵연료 처분시스템을 바탕으로 CANDU형 사용후핵연료 처분 시스템을 향상시키는 방안을 도출하고자 하였다. 이를 위하여, 현재 원자력발전소에서 사용하고 있는 사용후핵연료 60 다발(Bundle) 용량의 저장바스켓을 포장·활용하는 방안으로 처분용기 개념을 개선하였다. 이들 개선한 처분용기를 기반으로 하여 사용후핵연료의 심지층 처분시스템에 있어서 주요한 제한요건인 폐기물로부터 발생된 열로 인하여 완충재의 온도가 100 ℃를 넘지 않도록 하는 요건을 만족시키면서 효율을 향상시킨 처분시스템 개념을 제시하였다. 제시한 처분 시스템 개념들은 장기저장 및 회수성이 용이한 방안을 도입한 개념과 개선한 처분용기를 1개 처분공에 2단으로 처분하는 것으로서 이들 개념을 기존 한국형 처분시스템과 효율성 측면에서 비교·분석하였다. 본 연구를 통하여 얻은 CANDU 사용후핵연료 처분개념은 단위면적당 열효율, U-density, 처분면적, 굴착량, 완충재 및 폐쇄 물질량을 30~40 % 까지 효율을 향상시킬 수 있었다.

중심단어 : CANDU 사용후핵연료, 심지층 처분시스템, 열적 요건, 다중방벽, 완충재, 처분용기, 장기저장

I. 서론

원자력발전소에서 전기를 생산하고 난 후 배출하는 방사성폐기물을 크게 중·저준위 폐기물과 사용후핵연료를 포함하는 고준위폐기물로 분류하며, 이들의 안전한 관리는 원자력에 의한 지속적인 에너지 생산을 위한 필수사항이다. 중·저준위 방사성폐기물을 처분하기 위하여 장기간 동안의 부지확보 노력을 통하여 선정된 월성지역에 처분시설인 원자력환경관리센터를 건설하고 있으며, 이와 더불어, 고준위폐기물인 사용후핵연료 관리에 대한 관심이 높아지고 있어 원자력위원회의 결정에 따라 공론화 수행을 위한 준비 단계에 있다.

사용후핵연료를 관리하기 위한 후행핵연료주기는 사용후핵연료가 가지고 있는 특성 상 유용한 물질을 적절한 처리공정을 거쳐 회수하여 재활용하고자 하는 순환주기와 사용후핵연료를 영구적으로 완전 격리하기 위하여 최종 처분하는 비순환주기로 구분할 수 있으며, 원자력을 활용하는 국가들은 자국의 사회, 경제, 기술 환경에 따라 그 관리정책을 결정하거나, 결정에 필요한 다양한 분석을 수행하고 있다.

고준위폐기물을 심지층에 처분하는데 있어서 처분효율을 향상시키기 위하여 다양한 연구를 수행해오고 있다. 고준위폐기물을 유리화시켜 처분할 계획인 일본은 경암과 연암으로 구분하여 구조적 건전성 및 완충재 최고온도 요건에 따른 다양한 처분개념을 도출하여 굴착량 등 분석에 의한 최적 배치방안을 제안하고, 보다 처분효율을 높일 수 있는 CARE 개념의 처분방안을 대안 개념으로 설정하고 있다[1]. 또한, 스웨덴, 핀란드에서도 일본과 유사한 연구를 수행하여 가장 처분효율이

높은 방안으로 배치개념을 설정하고 있으며[2, 3], 수평처분개념을 설정한 캐나다의 경우 CANDU 사용후핵연료의 냉각 기간에 따라 처분장 온도요건을 만족시키는 처분터널과 처분용기 간격을 설정하고 처분장에서의 열하중, 우라늄 밀도 등 단위 면적당 처분효율을 분석하여 최적의 조건을 도출하기 위한 연구를 수행하였다[4].

국내에서는 가압 경수로형(PWR) 사용후핵연료와 가압 중수로형(PHWR:CANDU) 사용후핵연료가 발생하고 있다. PWR 사용후핵연료는 농축 우라늄을 사용하는 핵연료로 적절한 처리공정으로부터 재활용 가능물질을 회수하는 재순환주기에 대한 고려가 가능하지만, CANDU 사용후핵연료는 농축하지 않은 천연우라늄을 사용한 핵연료로 여러 측면에서 재활용 가능성이 낮은 것으로 판단하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 CANDU 사용후핵연료의 가장 안전한 심지층 직접 처분방법을 고려하여, 기존의 한국형 처분시스템인 KRS를 바탕으로 처분효율을 분석하고 그 향상방안도 도출하였다. 이를 위하여 우선 기존에 개발한 한국형 사용후핵연료 처분시스템의 처분용기 개념에 대한 개선 방안을 도출하고 이에 대한 처분방안을 설정하여 처분면적, 열용량, 굴착량, 완충재량 등 기술적 효율성 측면에서 비교·분석하였다.

II. 한국형 CANDU 사용후핵연료 기준처분시스템 개념

가. 다중방벽 개념

사용후핵연료를 심부 지층 암반에 처분하여 그 독성으로 인한 생태계의 영향이 미치지 않는 수준까지 낮아지도록 장

기간동안 안전하게 격리시키기 위하여, 처분시스템에서는 지하암반인 자연방벽과 공학적 방벽으로 구성된 다중방벽 시스템을 고려하고 있다. 한국형 기준처분시스템에서는 자연방벽으로서 국내에 가장 많은 분포를 보이고 있는 결정질 암반인 화강암반을 설정하였다. 이 방벽은 방사성물질을 영구히 생태계로부터 격리시켜 심부지하에 처분한 방사성물질에서 나오는 독성으로부터 생태계의 안전성을 유지시킬 수 있어야 하겠지만, 자연계가 지니고 있는 비균질성과 불확실성으로 인하여 안전성을 신뢰할 수 없는 단점이 있다. 따라서 안전성에 대한 확고한 신뢰를 확보하기 위하여 공학적 방벽 개념을 도입하고 있으며, 처분대상인 사용후핵연료 또는 고준위폐기물 구조체, 처분용기, 완충재, 뒷채움재 등으로 이를 구성하며, 그림 1은 한국형 기준처분시스템에 있어서의 자연방벽과 공학적 방벽 구성요소들을 조합한 방벽개념을 나타내고 있다[5].

① 처분용기

처분장의 지상시설에서 사용후핵연료를 포장하여[6] 지하 처분터널 내 처분공에 매설시키는 처분용기를 일반적으로 심지층에서의 수압과 완충재 팽윤압에 견디도록 하는 구조재와 심지층 처분환경에서 장기간 부식에 견디도록 하는 내부식성 재료의 이중구조로 구성한다. 처분용기 형상은 그림 1에서 보여주는 바와 같고, 처분시스템의 구조적 안정성과 열적 요건 및 PWR 사용후핵연료 처분용기 등을 고려하여 CANDU 사용후핵연료 297 다발을 수용하도록 하였으며, 이때의 총무게는 약 25톤에 이른다[7, 8].

② 완충재

처분시스템 공학적 방벽 구성요소인 완충재는 처분용기를 보호하고 방사성 핵종을 격리하며 이들의 이동을 지연시키는

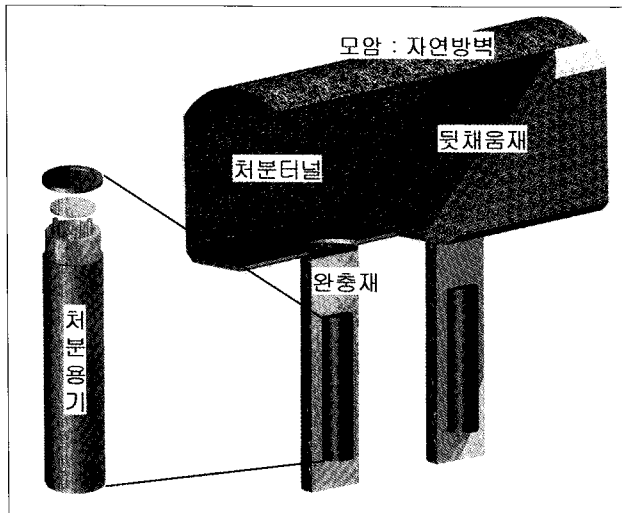


Fig. 1. Concept of Multi-barrier.

기능을 유지하여야한다. 이를 위해 완충재는 수리전도도와 핵종의 이동성이 암반보다 작아야 하며, 물성변화로 인한 공학적 방벽으로서의 성능저하 방지를 위하여 완충재 온도는 100 ℃ 이하로 유지되도록 열전도도가 커야 한다. 이러한 완충재의 온도요건은 지하 처분시스템 설계에 있어 매우 중요한 인자가 된다[9, 10].

③ 뒷채움재

처분터널은 처분용기를 매설하고 난 후 즉시 뒷채움재로 폐쇄한다. 뒷채움재의 주요 기능은 지하수 유입억제, 방사성 핵종 누출 제한, 열전달 및 구조적 건전성 유지로, 이러한 기능 요건을 만족시키기 위하여 낮은 수리전도도, 방사성 핵종 저지능, 팽윤성과 적절한 기계적 강도를 가져야 한다[9, 10]. 뒷채움재로는 굴착암을 파쇄한 골재와 칼슘벤토나이트를 혼합하여 사용하며, 혼합재의 조성은 입자크기 20 mm 정도의 파쇄암반 골재 70 %와 칼슘 벤토나이트 30 %로 구성한다.

나. 배치 개념

한국형 사용후핵연료 기준처분시스템은 지하 암반의 처분터널 바닥에 처분공을 굴착하여 처분용기와 완충재를 설치하는 수직형 KBS-3 개념[11]을 바탕으로 하고 있다. 사용후핵연료를 심부 지하에 처분하기 위한 지하 처분구역 배치에 있어서 중요한 제한 요건은 사용후핵연료로부터 발생하는 열로 인하여 공학적 방벽을 이루고 있는 완충재의 온도가 100 ℃를 넘지 않도록 설계하여야 한다는 것이다[12, 13]. 이는 처분용기로의 지하수 침수 및 처분한 방사성물질이 처분용기 외부로 누출되는 것을 억제하는 완충재인 벤토나이트의 성분을 변화시키지 않고 그 기능을 수행할 수 있도록 하기 위해서이다. 국내에서 발생하는 CANDU 사용후핵연료를 포함한 처분용기의 경우 이러한 요건을 만족하기 위해서는 처분터널 간격을 40 m, 처분공 간격을 4 m로 하는 것이 적합한 것으로 분석하였으며, 이에 대한 배치개념을 그림 2에 나타내었다. 이와 같은 배치개념을 적용하면, 국내의 4기에서 발생할 것으로 예상되는 총 CANDU 사용후핵연료 발생량인 16,000 tU을 기준으로 할 경우 배치면적은 약 0.55 km²(1.1 km x 0.5 km, 그림 2)가 된다.

III. CANDU 사용후핵연료 처분효율 개선 개념

가. 장기저장 방안 적용 개념

① CANDU 처분용기 개선

기존 한국형 사용후핵연료 처분시스템에 있어서 CANDU 사용후핵연료 처분용기는 포장공정의 효율성 및 취급 용이성

을 위하여 PWR 사용후핵연료 처분용기와 규모를 동일하게 하여, 33다발을 9단으로 적재하여 총 297 다발 용량이었다 [14, 15]. 현재는 PWR 사용후핵연료의 경우 직접처분 방안과 재활용을 고려하여 이로부터 발생하는 고준위폐기물을 처분하는 방안 모두를 고려할 수 있으므로, 우선 CANDU 사용후핵연료를 직접 처분하는 것으로 가정하여, 개선된 처분용기 개념을 도출하였다. 즉, 원자력발전소에서 사용 중인 60 다발용 저장 바스켓을 그대로 처분용기에 포장하는 것으로 하고 용기의 규모, 열적 조건 및 취급 등을 고려하여 용기개념을 설정한 후, 이를 바탕으로 장기저장개념을 도입한 처분개념을 도출하였다. 개선된 처분용기 개념은 그림 3에 나타난 바와 같다.

② 장기저장 개념 적용 처분 방안

심지층 처분효율을 향상시키기 위하여 개선한 CANDU 사용후핵연료 처분용기를 처분터널에서 폐쇄하지 않고 장기간 저장하여 붕괴열을 상당부분 감소시킨 후 최종 폐쇄하여 처분하는 개념을 적용하였다. 이를 위하여 처분동굴 개념은 처분용기를 동굴 단면 방향으로 간격 3 m로 하여 4열, 동굴 길이 방향으로 간격 6 m로 적재하도록 하고 장기저장 후 폐기물로부터 발생하는 열이 감소되면 타 장소로의 수송이 없이

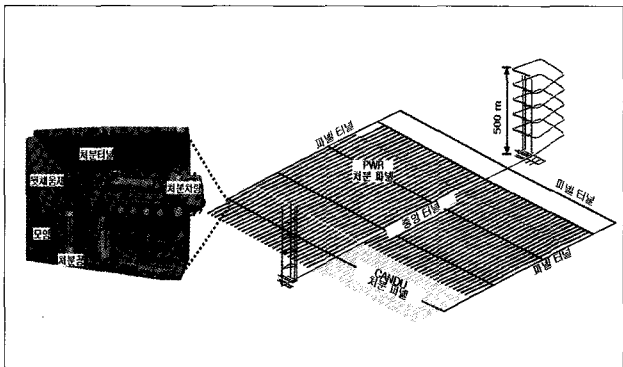


Fig. 2. Layout Concept of the Deep Geological Disposal System for Spent Fuels.

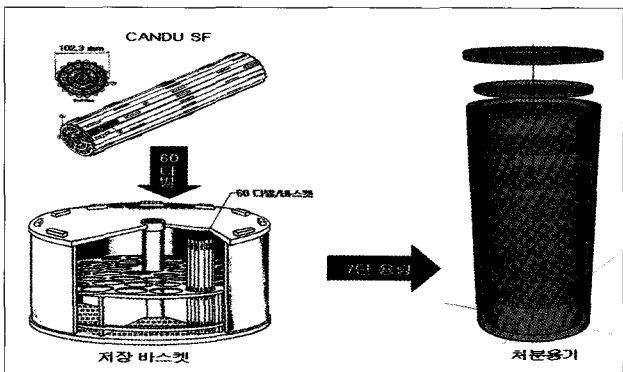


Fig. 3. New Concept for CANDU Spent Fuels Disposal Container.

제 위치에서 폐쇄가 가능한 개념을 설정하였다. 그림 4(가)는 이에 대한 개괄적인 개념을 나타내며, 이 개념에서는 사용후핵연료 처분용기와 완충재를 일체화한 K-PEM(Korea Prefabricated EBS Module) 개념을 적용하였다.

처분동굴 운영은 방사선 방호관점에서 레일 또는 크레인 수송시스템을 이용한 원격 조작으로 수행하며, 50 - 300년 동안 장기저장을 위하여 정기적으로 유지보수를 수행하고 이를 위하여 추가적인 보조 저장동굴을 설치할 수 있다. 그림 4의 (나)는 처분용기와 완충재를 일체화 시킨 처분 컨테이너와 뒷채움재를 이용한 처분동굴 폐쇄의 예를 보여주고 있으며, 그림 5는 장기저장 후 처분동굴을 폐쇄한 상태에서의 열적거동을 나타내고 있다[16].

이와 같은 배치개념을 적용하면, 국내 CANDU형 원전 4기 기준 총 CANDU 사용후핵연료 발생량인 16,000 tU를 위한 배치면적은 약 0.28 km²(0.5 km × 0.56 km)가 된다.

나. 처분공내 처분용기 2단 적치 개념

① 처분용기 개선 개념

CANDU 사용후핵연료 수송시 원자력발전소에서 사용하는 60 다발용 사용후핵연료 바스켓 형상 및 사용후핵연료 적재

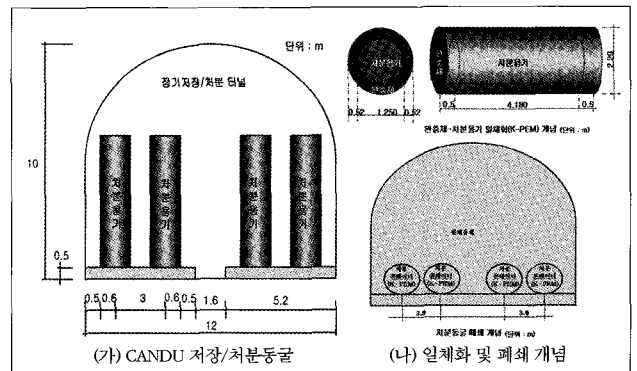


Fig. 4. Concept of Disposal Containers & Disposal Tunnels for CANDU Spent Fuels.

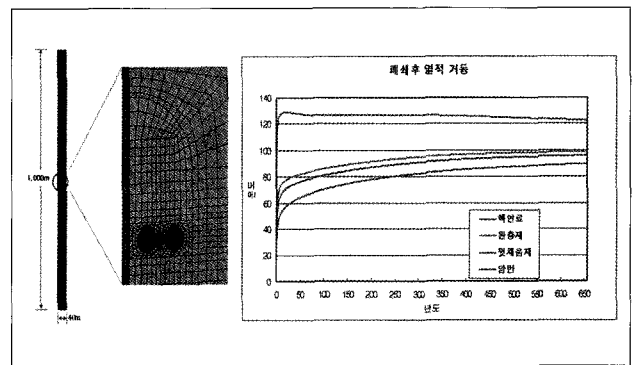


Fig. 5. Concept of A-KRS-1 System Closure and Thermal Behavior.

특성상 수송용기를 수직방향으로 수송하여야 한다. 따라서, 전체 높이 제한으로 인하여 수송용기에 바스켓을 4단 이상 적재하여 운반하기 어려운 수송조건과 이를 처분용기에 포장하여 처분터널에서의 취급용이성 및 운영 효율성 등을 고려하여 바스켓을 4단씩 수용할 수 있는 처분용기 개념을 도출하였다. 이 개념의 처분용기에는 CANDU 사용후핵연료 240 다발을 수용할 수 있고, 처분공에 처분시에는 2단 적치를 고려하였으며, 개선한 처분용기 개념도를 그림 6에 나타 내었다.

② 2단 적치 배치개념

원전에서 사용하고 있는 사용후핵연료 60다발용 저장바스켓 4단을 수용하도록 개선한 처분용기는 심지층 처분터널 바닥에 처분공을 굴착하여 처분용기를 2단으로 수직 처분하는 방안을 도출하였다. 그림 7은 이에 대한 처분개념을 나타내고 있다. 처분용기내 사용후핵연료에서 발생하는 방사성붕괴열에 대한 열해석 결과 처분시스템 열적요건을 만족하는 처분터널 및 처분공간격은 각각 40 m와 5 m로 나타났으며 이때 열적 거동을 그림 8에 제시하였다. CANDU 사용후핵연료 총 예상 발생량 16,000톤을 고려할 경우 배치면적은 약 0.38

km²(0.76 m x 0.5 m)가 된다.

IV. 처분방안별 비교 분석

가. 처분용기 및 처분개념 비교

CANDU형 및 PWR형 사용후핵연료를 국내 환경에 적합한 심지층에 직접 처분하는 개념으로 개발한 한국형 사용후핵연료 기준 처분시스템(KRS)과 PWR 사용후핵연료를 재활용하는 것으로 고려한 CANDU 사용후핵연료 처분시스템 고도화를 위하여 개선한 사용후핵연료 처분용기 개념은 아래에 나타낸 표 1과 같다. 표에서 보여주는 바와 같이 개선한 처분용기 개념은 기존 CANDU형 원자력발전소에서 사용하는 60다

Table 1. Comparison of the Disposal Concepts.

처분용기	규 모(cm)	KRS D 102 x H 483	A-KRS-1 D 124 x H 418	A-KRS-2 D 128 x H 274 x 2층
	용 량		297 다발	420 다발
바스켓		33 다발 x 9단	60 다발 x 7단	60 다발 x 4단 x 2층
	붕괴열	760 W	1,075 W	1,228 W
처분 개념		터널내 처분공 수직처분	처분터널내 수평처분	터널내 처분공 수직처분
비고		KBS-3 V	장기저장 고려	KBS-3 V(2단 적제)

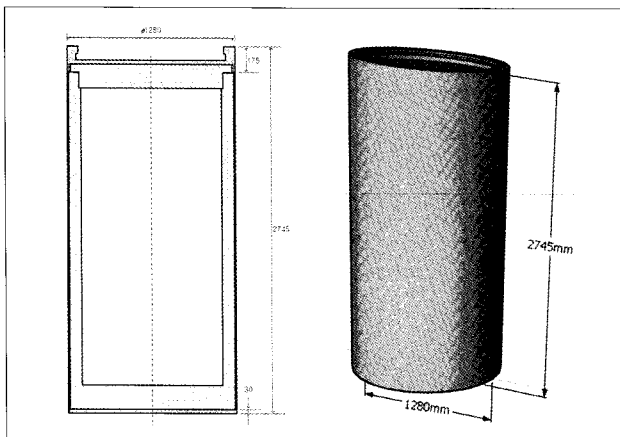


Fig. 6. Disposal Container Concept for 4-CANDU Spent Fuel Baskets

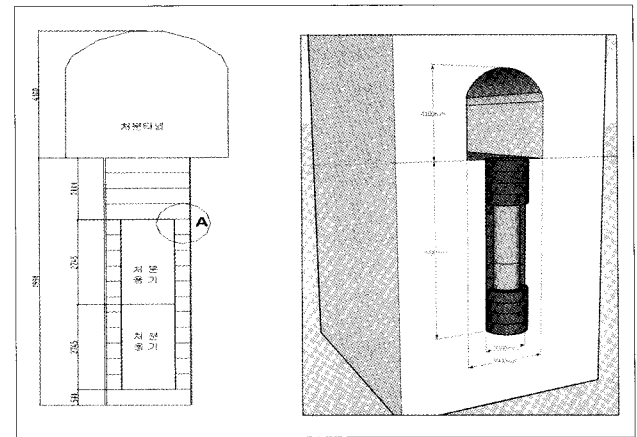


Fig. 7. Concept of A-KRS-2

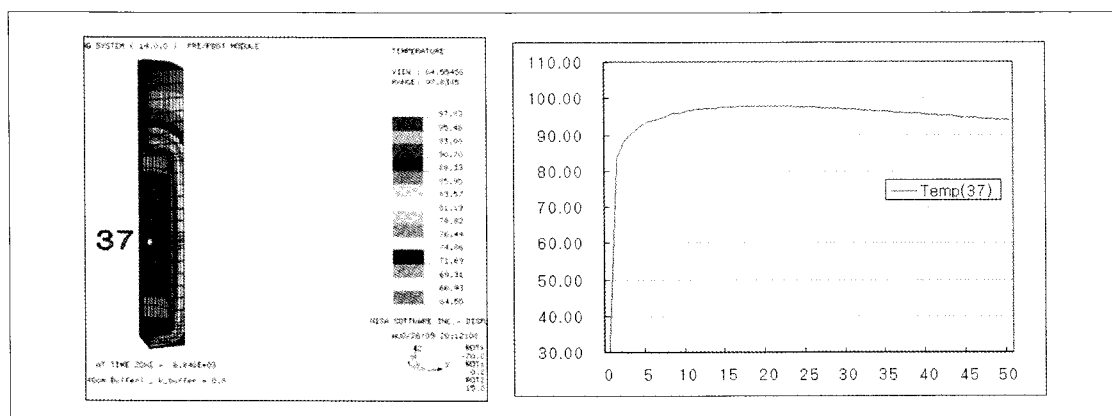


Fig. 8. Thermal Behavior of CANDU Spent Fuel Disposal System.

발용 저장 바스켓을 그대로 활용하여 처분시스템 요건에 적합하도록 설계한 것이다.

이들 개선시킨 처분용기를 이용하여 도출한 각 방안별 처분시스템개념은 아래 그림 9에 나타낸 바와 같이, 기존 KRS 개념과 A-KRS-2 개념에 있어서는 KBS-3 수직형 처분개념을 적용하였으며, A-KRS-1의 경우는 장기저장 및 회수용이성을 고려한 개념을 적용하였다. 즉, A-KRS-1 개념은 사용후핵연료를 적재한 처분용기를 처분터널에 장기간동안 개방된 상태로 저장한 후 방사성붕괴열이 상당부분 감소되면 처분시스템 열적 요건에 만족하도록 배치(17, 18)하여 최종 폐쇄하는 개념이다. 또한, A-KRS-2 개념은 KRS 개념의 처분공에 처분용기 1 개를 처분하고 완충재를 설치하는 개념과 달리 처분공에 개선된 처분용기를 2단으로 처분하고 완충재를 설치하는 개념이다.

나. 효율 분석

① 열용량 및 U-density 분석

사용후핵연료 심지층 처분시스템의 효율성을 판단하는데 있어 처분구역 단위면적당 수용할 수 있는 열용량 또는 U-density에 대한 분석은 중요한 인자이다. 따라서, 처분시스템의 주요 제한요소인 방사성붕괴열 또는 사용후핵연료에 포함되어 있는 우라늄을 단위면적에 수용할 수 있는 양을 극대화하는 방안으로 설계하는 것이 필요하다. 본 연구에서 도출한 CANDU 사용후핵연료 처분을 위한 개념들에 대한 열용량/U-density 효율은 각각 4.75/35.26, 6.72/49.88, 6.14/45.6으로 기존 KRS 개념대비 개선된 개념의 처분효율은 약 30% 정도 향상되었으며, 아래 표 2에 나타낸 바와 같다.

② 굴착량 및 완충재/뒷채움재 분석

CANDU 사용후핵연료 처분 효율 향상을 위하여 본 연구에

서 도출한 처분방안에 따른 처분 소요면적, 굴착량 및 폐쇄를 위한 완충재와 뒷채움재량을 산출하여 기존 개념과 비교분석을 수행하였다. 처분 방안별 분석 결과 및 KRS 개념 대비 비율은 표 3에 나타낸 바와 같다. 표 3에 나타낸 바와 같이 개선된 개념은 소요면적에 있어서는 기존개념에 비하여 약 30~50%, 굴착량 측면에서는 15~60%, 폐쇄물질 양에 있어서 완충재는 약 50%, 뒷채움재는 약 60% 까지 효율이 향상되었음을 확인하였다.

V. 결론

본 연구에서는 PWR 사용후핵연료는 재활용 핵연료주기를 수행하고, 재활용 가능성이 희박한 천연 우라늄을 연료로 사용하는 CANDU형 사용후핵연료는 직접 처분하는 것으로 가정하여, 기존 PWR형 및 CANDU형 사용후핵연료를 같이 처분하는 개념인 한국형 기준처분시스템을 바탕으로 이를 개선하기 위하여 처분용기개념을 수정/보완하고 처분효율을 향상

Table 2. Disposal Efficiency : Thermal Capacity & U-density

구 분	KRS	A-KRS-1	A-KRS-2	비 고
처분용량 (다발/홀)	297 (33 다발 x 9 단)	420 (60 다발 x 7 단)	480 (60 다발x4단x2층)	. 2.56 W/다발 . 19 kgU/다발
처분용기당 소요 처분면적	160 m ²	160 m ²	200 m ²	
열용량	4.75 W/m ²	6.72 W/m ²	6.14 W/m ²	
U-Density	35.26 kgU/m ²	49.88 kgU/m ²	45.6 kgU/m ²	

Table 3. Disposal Efficiency : Disposal Area/Excavation Volume/ Backfill Material

구 분	KRS		KRS		KRS		비 고	
	수량	%	수량	%	수량	%		
처분면적	0.55 km ²	100	0.28 km ²	50	0.38 km ²	73	* 처분터널 규모 (m)	
굴착량	0.46 Mm ³	100	0.39 Mm ³	85	0.19 Mm ³	41	- KRS : 5 x 6, 15	
폐쇄	완충재량	0.063Mm ³	100	0.031Mm ³	49	0.037Mm ³	59	- A-KRS-1 : 12 x 10
	뒷채움재량	0.38 Mm ³	100	0.35 Mm ³	92	0.14 Mm ³	37	- A-KRS-2 : 3.9 x 4.1

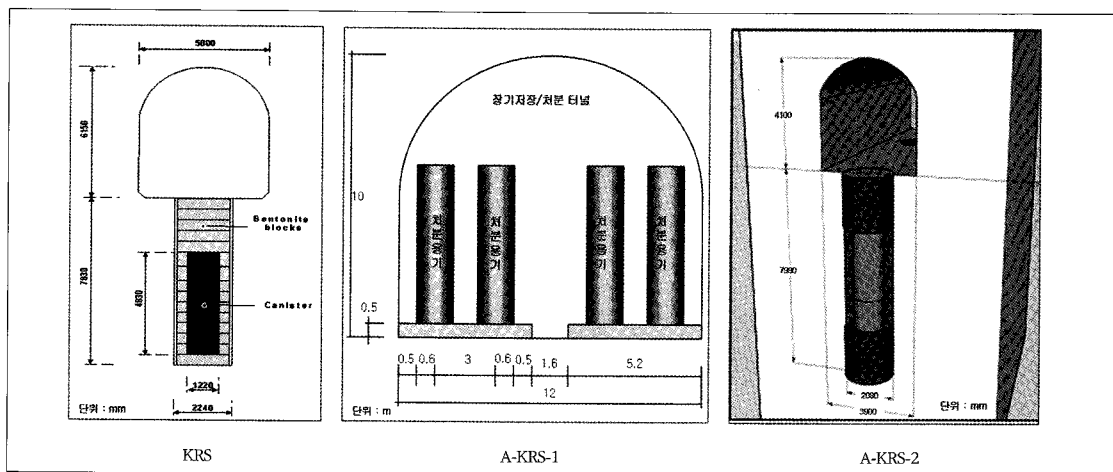


Fig. 9. Concepts of CANDU Spent Fuels Disposal System.

시킨 개념을 도출하였다. 또한, 개선시킨 처분개념들에 대한 효율성분석을 수행하였으며, 결론은 다음과 같다.

- CANDU 사용후핵연료 처분시스템의 효율성 향상을 위하여 현재 발전소에서 사용하고 있는 60다발용 저장바스켓을 포장하는 처분용기 개념으로 개선하였다.

- 개선시킨 처분용기를 바탕으로 심부지층에서의 장기저장 후 처분방안 또는 취급용이성을 고려한 처분용기 2단 처분방안을 도입한 처분개념을 도출하였다.

- 도출한 처분개념들에 대하여 열용량, U-density, 처분면적, 굴착량 및 폐쇄물질 양에 대하여 비교·분석하였으며, 분석결과 개선된 개념의 효율이 약 30 - 40 % 향상됨을 확인하였다.

향후 상기 향상된 개념을 보다 구체화하고 저장기간, 회수방안 및 열적/구조적 거동 등에 대한 상세분석과 장기저장에 따른 저장바스켓의 장기 건전성 및 기술적 효율성에 따른 경제성 분석이 필요하다. 본 연구 결과는 현재 고려중인 PWR 사용후핵연료 재활용 공정으로부터 발생할 것으로 예상되는 고준위폐기물 및 장반감기 폐기물 처분시스템 개념과 함께 국내 환경에 적합한 복합 폐기물 처분시스템 개발의 기초자료로 활용할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행하였습니다.

참고문헌

[1] JNC, "H12 Project to Establish Technical Basis for HLW Disposal in Japan, Supporting Report 2-Repository Design & Engineering Technology," Japan Nuclear Cycle Development Institute, (1999).

[2] H. Hokmark and J. Claesson, "Use of an Analytical Solution for Calculating Temperatures in Repository Host Rock," Engineering Geology Vol. 81, Elsevier Science, (2005).

[3] Kari Ikonen, "Thermal Analyses of Spent Nuclear Fuel Repository," Posiva Oy, POSIVA 2003-4, (2003).

[4] P. Baumgartner, "Technical Implication of Aging Used Fuel Prior to Disposal within a Deep Geologic Repository," Canadian Nuclear Society,

Waste Management, Decommissioning and Environmental Restoration for Canada's Nuclear Activities : Current Practices and Future Needs, Ottawa, Ontario, Canada, May 8-11, (2005).

- [5] T. Saanio, Matti Kalliomaki, Paula Keto, "KRS-1, Pre-Conceptual Design of Korean Reference HLW Disposal System," Volume 1, Posiva Oy, R&D Report 2005-04, (2005).
- [6] Tapani Kukkola, "Final Disposal Plant in Korea Description of Above Ground Facilities," Posiva Oy, R&D Report 2005-03, (2005).
- [7] 최종원, 최희주, 이종열, 정종태, 조동건, 이민수, 김성기, 차정훈, "처분시스템 개발," 한국원자력연구소, KAERI/RR-2765/2006, (2007).
- [8] 이종열, 최희주, 김성기, 조동건, 최종원, "고준위폐기물 심지층 수직처분(KRS-V1) 지하시설 예비개념설계," 한국원자력연구소, KAERI/TR-3012/2005, (2005).
- [9] 최희주, 이종열, 김성기, 조동건, 최종원, "고준위폐기물 한국형 처분시스템 개념설계 요건," 한국원자력연구소, KAERI/TR-3003/2005, (2005).
- [10] S. S. Kim, J. W. Choi, K.S. Chun, "Requirements Performance and Design of Container, Buffer and Backfill Materials for the Disposal of Spent Nuclear Fuel," Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI/TR-2628/2003, (2003).
- [11] SKB, "Deep repository. Underground Design Premises, Edition D1/1," SKB R-04-60, Svensk Karnbranslehantering AB., (2004).
- [12] 이종열, 김성기, 김진웅, 최종원, 한필수, "심지층 처분 시설 설계를 위한 처분터널 및 처분공 간격 분석," 방사성폐기물학회지, V. 3, No. 4, pp.349-358, (2005).
- [13] 이종열, 이양, 조동건, 최희주, 최종원, "심지층 처분을 위한 사용후핵연료 냉각기간 분석," 방사성폐기물학회지, V. 6, No. 1, pp.65-72, (2008).
- [14] J. Y. Lee, D. K. Cho, H. J. Choi, J. W. Choi, "Concept of a Korean Reference Disposal System for Spent Fuels," JNST, Vol. 44, No. 12, (2007).
- [15] D. Cho, J. Lee, H. Choi, J. Choi, "Characteristics of a Geological Disposal System for the Increasing Burn-up of Spent Nuclear Fuel in Korea," JNST, Vol. 44, No. 10, (2007).

- [16] 이양, 최종원, 최희주, 이종열, "NISA 프로그램을 활용한 열전달 해석과 처분장 설계에 적용," 한국원자력연구소, KAERI/TR-3228/2006, (2006).
- [17] 지장을 고려한 CANDU 사용후핵연료 처분 개념," '08년 춘계 방사성폐기물학회 학술발표회, 2008. 6. (2008).
- [18] 이종열, 조동건, 김성기, 최희주, 이양, "CANDU 처분 용기의 열적-구조적 안정성 평가," 방사성폐기물학회지, V.6, No. 3, pp.217-224, (2008).