

지하처분장에서의 고준위폐기물 처분공정 개념

이종열*(한국원자력연구소), 김성기(*), 조동건(*), 최희주(*), 최종원(*)

Emplacement Process of the HLW in the Deep Geological Repository

J. Y. Lee (KAERI), S. K. Kim (*), D. K. Cho (*), H. J. Choi (*), J. W. Choi (*)

ABSTRACT

High level radioactive wastes, such as spent fuels generated from nuclear power plant, will be disposed in a deep geological repository. To maintain the integrity of the disposal canister and to carry out the process effectively, the emplacement process for the canister system in borehole of disposal tunnel should be well defined. In this study, the concept of the disposal canister emplacement process for deep geological disposal was established. To do this, the spent fuel arisings and disposal rate were reviewed. Also, not only design requirements, such canister and disposal depth but also preliminary repository layout concept were reviewed. Based on the requirements and the other bases, the canister emplacement process in the borehole of the disposal tunnel was established. The established concept of the disposal canister emplacement process will be improved continuously with the future studies. And this concept can be effectively used in implementing the reference repository system of our own case.

Key Words : Spent fuel (사용후핵연료), Deep geological disposal (심지층 처분), Disposal Tunnel(처분터널), Disposal canister (처분용기), Canister emplacement(처분용기 정치),

1. 서 론

우리나라 전체 전력량의 40 % 정도를 점유하고 있는 원자력 발전은 장기 전력수급계획에 의하면, 2015년까지 28기의 원자력발전소를 운영할 예정이며, 이들의 운전이 완료되는 시점까지 발생하여 누적될 것으로 예상되는 사용후핵연료는 총 36,000 tHM에 이를 것으로 전망된다. 이러한 사용후핵연료는 특성상 고준위폐기물로 분류하며, 이를 일정한 냉각기간이 지난 후 지하 수백 미터에 위치한 암반에 처분하는 개념에 대한 연구를 수행하고 있다. 고준위 방사성폐기물 처분의 목표는 일정 기간동안 인간 생활권으로부터 고준위 방사성폐기물을 완전 격리시키는 것이며, 이러한 목표를 달성하기 위하여 우리나라를 비롯한 세계 각국에서 심지층 처분시스템 개발 연구를 활발하게 진행하고 있다.

원자력발전소 저장 풀 또는 임시 저장고에서 일정기간 동안 냉각시킨 후 처분장의 지상시설로 수송되어온 사용후핵연료는 포장시설에서 인수하여 사용후핵연료 하역 및 집합체 검사, 사용후핵연료 집합

체 임시저장, 처분용기 내 사용후핵연료 포장, 처분용기 용접 및 검사, 처분용기 유지/보수의 포장공정을 거쳐 지하 처분장으로 이송하게 된다. 지하에 이송된 처분용기는 각 지하터널의 수직공에 완충재 물질과 함께 처분하게 되며, 이때 작업자의 방사선적 안전성, 작업 효율 및 원격취급 등을 고려하여 처분공정을 설정하여야 한다.

본 연구에서는 지상시설에서 포장공정을 거쳐 지하 처분장으로 수송된 처분용기를 처분터널 내 처분공에 정치시키는 공정개념을 설정하였다. 이를 위하여 지하처분장의 layout 및 기하학적 구조를 검토하고, 공학적 방법 중의 하나로서 완충재 물질인 벤토나이트 블록의 취급방안을 분석하였다. 또한 사용후핵연료를 적재한 처분용기를 취급하기 위한 인양구조에 대한 분석과 중량물을 정확한 지점에 위치시키기 위한 원격취급방안 및 취급장비를 검토하였으며, 이를 바탕으로 처분터널의 수직공에 처분용기를 처분시키는 공정개념을 설정하였다.

2. 사용후핵연료 예상 발생량 및 용량 설정

현재 우리나라는 19기의 원자력발전소가 운영중이며, 장기전력 수급계획에 의하면 2015년까지 28기 (PWR 24기 + CANDU 4기)의 원자력발전소를 운영할 예정이다. 이렇게 원자력 연료를 이용하여 전기를 생산한 후에 배출시키는 사용후핵연료의 양은 지속적으로 증가하고 있다. 1978년 우리나라 최초의 상업용 원자로인 고리 1호기 원자력발전소 운전 이후 운영중인 18기의 원자력발전소에서 발생하여 2003년말 까지 누적된 사용후핵연료의 양은 약 6,600 tHM이며, 이들의 운전이 완료되는 시점까지 발생하여 누적될 것으로 예상되는 사용후핵연료는 총 36,000 tHM (PWR 20,000tHM + CANDU 16,000tHM)에 이를 것으로 전망된다. 이러한 사용후핵연료 발생 및 누적량 추이에 따라 처분시설의 운영을 50년으로 가정하였으며, Fig.1은 원자로형별 처분시의 냉각기간을 고려한 누적량 추이 및 처분 누적량 추이를 나타내고 있다.

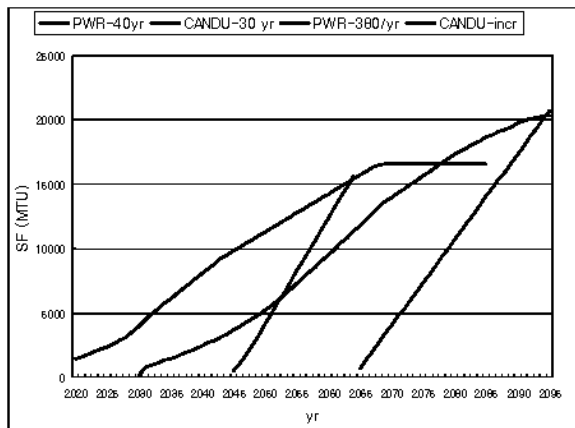


Fig. 1. Spent fuel arisings & Disposal rate.

사용후핵연료 발생량 추이, 사용후핵연료 특성 및 처분기간 50년을 고려하여, 초기 20년 동안 CANDU 사용후핵연료를 우선 처분하고, 그 후 30년 동안 PWR형 사용후핵연료를 처분하는 시나리오를 설정하여 처분용량을 고려하였다. 이에 따라, CANDU 사용후핵연료는 2040년 운영개시 후 20년 동안 2,926 처분용기를 생산하게 되므로, 처분율은 146 처분용기/년이며, 이는 매주 3 개의 처분용기를 생산하여야 한다. 또한, CANDU형 사용후핵연료 처분 후 30년 동안 11,375 처분용기를 처분하여야 하는 PWR 사용후핵연료의 경우 처분율은 379 처분용기/년이며, 이는 매주 8 개 처분용기를 처분해야 한다.

3. 지하 처분시설 설계요건 및 개념

3.1. 주요 설계 요건

3.1.1 처분 용기

심지층 처분을 위한 사용후핵연료 처분용기는 지하 수백 미터의 환경조건에서 사용후핵연료가 수십만 년 이상 안전성을 유지하는데 필수적인 구조적 건전성과 부식 저항성을 가져야 한다. PWR용과 CANDU용 처분 용기는 동일한 규모가 되도록 하며, 규모는 외경 1.22 m, 총길이 4.83 m, 연료적재시 총 무게 약 40톤으로 하며, Fig. 2는 PWR 처분용기의 제원 및 개념도를 나타내고 있다. 또한, 처분용기의 재질은 내부는 심지층에서의 구조적 건전성을 유지할 수 있도록 탄소강을 사용하며, 외부셀은 수십만 년 이상동안 부식에 저항할 수 있는 구리 또는 니켈합금을 사용한다.

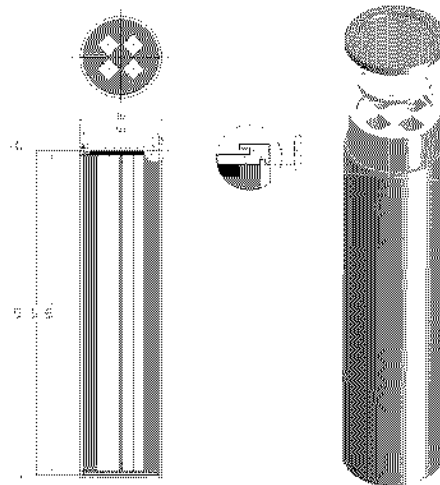


Fig. 2. PWR type Disposal Canister.

3.1.2 지질 요건 등 주요 요건

처분장 깊이 설정시 주요 고려사항은 장기 안전성과 관련된 용기/침하/침식 등의 자연현상, 향후 이용 가능한 지하 깊이, 및 자연방벽으로서의 기능인자와 지질 환경의 특성인 지하수의 지화학적 특성인자가 있다. 향후 예상 후보부지의 상세조사를 통하여 설정하여야 하지만, 개념단계에서는 Fig. 3에서 보여주는 바와같이 지하 500 m로 설정하였다. 또한, 사용후핵연료에서 발생하는 열 특성을 고려하여 완충재가 100°C를 넘지 않도록 산출한 터널간격은 40 m, 처분공의 간격은 PWR인 경우 6 m, CANDU의 경우 4 m로 하였다.

처분공에 캐니스터의 완충재 기능을 수행하는 벤토나이트 블록은 디스크형과 파인애플 고리형을 사용하며, 되메움 물질로는 파쇄암 70 % + 벤토나이트 30의 혼합물질을 사용한다.

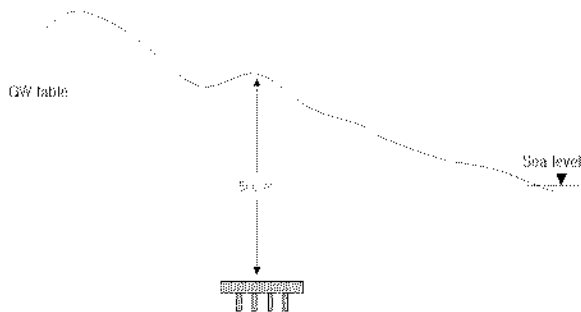


Fig. 3. Concept of the Disposal Depth.

설계 기준지진은 발전소 및 원자력 시설에 적용하는 수평가속도 0.2 g 및 수직 가속도 0.13g를 적용하며, 시설내 환기는 평균 2시간마다 1회씩 수행하는 것으로 하였다.

지하시설내 누출수는 터널의 경우는 2 L/min/100 m, 접근터널의 경우는 5 L/min/100 m로 설정하여 누출수 수집조는 배출펌프의 고장 및 보수시간을 고려하여 최소 48시간 용량이여야 한다.

지하시설내 긴급대피를 위하여 최소 2개의 대피로를 확보할 수 있도록 구성하여, 어느 작업위치에서도 30분 내에 대피시설로 도달이 가능하도록 하여야 한다.

3.2 처분 개념

심지층 처분시설의 배치는 처분 터널 간격과 폐기를 포장물 거치 간격에 따라 결정된다.

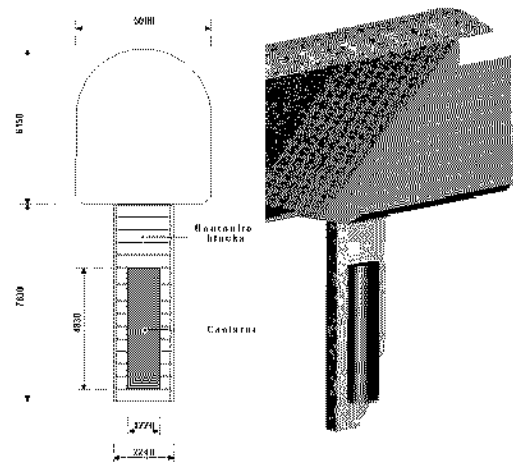


Fig. 4. Concept of Engineered Barrier.

처분터널 및 거치 간격은 처분 터널과 처분공의 단면을 근거로 설정되며, 형상과 규모는 Fig. 4에서 보여주는 바와 같이 처분용기, 완충재물질, 되메움 물질 등으로 구성되는 공학적 방벽 개념을 고

려하여야 한다.

Fig.5는 현재의 개념단계에서 지질특성을 고려하지 않은 사용후핵연료 심지층 처분을 위한 기존 처분 개념을 나타내고 있으며, 이는 진입 샤프트, 접근 터널, 파넬 터널, 및 처분 파넬로 구성된다[2,3]. 또한, 처분 파넬은 처분터널과 처분공으로 이루어진다.

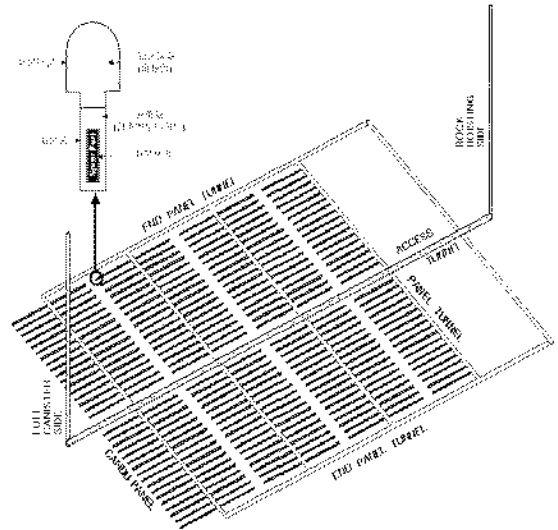


Fig. 5. Preliminary Layout of the Deep Geological Repository.

4. 처분공정 개념

4.1 처분용기 취급개념

사용후핵연료가 적재된 처분용기의 각 단계 운반 기구로부터의 적재/하역 및 처분터널의 처분공에의 정치작업 등과 같은 취급작업을 위해서는 방사능으로 인하여 원격으로 수행하여야 한다. 이를 위하여 전자석 방식이나 진공을 이용한 취급이 고려되고 있으나, 예상치 못한 사고에 대한 대비가 필요하며, 처분용기를 파지했을 때의 안전성을 고려하여 현재는 기계적인 방식에 의한 취급기술이 신뢰가 높은 편이다.

Fig. 6은 다양한 인양방법을 고려한 처분용기의 인양장치개념을 보여주고 있으며, (a),(b) 방법이 가장 유망한 방안으로 고려되고 있다. 그 이유는 처분터널에 처분용기를 수평으로 정치하는 경우 처분용기를 인양하여 터널에 이미 설치된 버퍼블럭 상부에 위치시키기가 매우 어렵다. 따라서, 터널 길이 방향으로 피스톤을 이용하여 처분용기를 밀어넣는 방법이 유리하며, 만일 정치시 예기치 않은 문제가 발생하여 회수할 필요가 있게 되며 이때 처분용기 상부를 파지하는 부분이 필요하기 때문이다. 또한, 처분용기를 수직으로 정치하는 경우에도, 수

직공 바닥에 이미 설치된 버퍼블럭 상부에 하강시키게 된다. 이때, 인양부품을 처분용기 측면이나 상부에 설치한 것을 비교한다면, 전자는 처분용기 외부보다 큰 규모의 취급장치가 필요하며 운전을 위한 추가적인 공간이 필요하므로 후자보다는 불리한 것으로 판단된다.

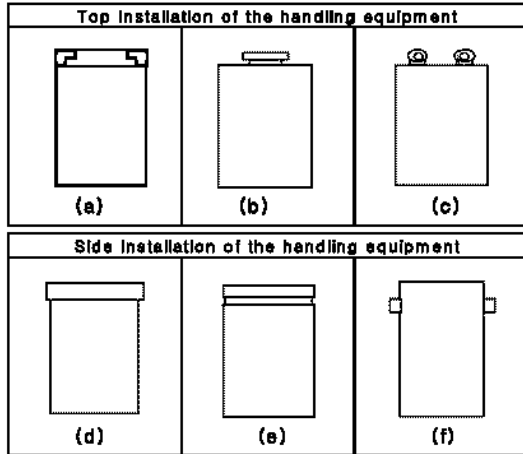


Fig. 6. Canister handling Concept.

4.2 지하시설 처분공정

지상시설과 지하시설을 연결하는 처분용기 샤프트에 의해 이송된 사용후핵연료를 적재한 처분용기는 지하터널 내 차폐시설이 구비된 특수차량으로 인수하여 처분터널로 이송된다. 이송차량이 처분공에 도착하기 전에 처분공에는 바닥과 측면의 일부에 벤토나이트 블록을 설치한다. 처분터널의 처분공까지 후진으로 진입한 차량은 Fig. 7에서 보이는

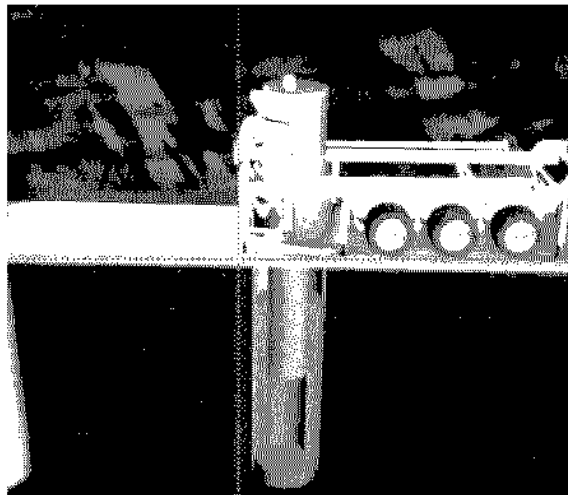


Fig. 7. Concept of the HLW Canister Emplacement in the Bore Hole of the Disposal tunnel.

바와같이 차폐된 수송차량 이송용기를 구동하여 처분공의 정확한 위치에 정치시킨다. 처분용기 정치가 완료되면 처분공 나머지 부분에 벤토나이트 블록을 채움으로써 처분용기의 정치를 완료한다.

4. 결 론

본 연구에서는 원자력 발전소에서 배출되어 일정한 냉각기간을 거친 사용후핵연료를 처분장의 지상 시설에서 처분용기에 포장하여 심지층 지하 처분장으로 이송된 고준위폐기물을 지하 처분터널의 처분공에 정치시키는 공정 개념을 설정하였다. 이를 위하여 심지층 처분에 필요한 사용후핵연료 발생량 추이 및 처분을 및 주요 설계요건을 검토하고, 지하처분시설의 공학적 방벽 개념 및 layout을 분석하였다. 또한, 지하에서의 공정을 위한 처분용기 취급방안을 분석/설정하였으며, 처분공에 처분용기를 정치시키는 공정개념을 도출하였다. 이 결과는 처분용기 및 지질특성 등 관련 기술의 개발과 함께 지속적인 보완을 통하여, 우리나라 환경에 적합한 사용후핵연료 심지층 처분시스템 개념을 확립하는데 기여할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 원자력증강기 계획사업의 일환으로 수행하였습니다.

참고문헌

1. 최종원, "Reference S/F and Its Characteristics for Deep Geological Repository Concept Development," J. KNS, Vol.31. No.6 (Dec. 1999).
2. 강철형 등, "심지층 처분 시스템 개발," 한국원자력연구소, KAERI/RR-2336/2002, 2003
3. Choi, J., Kang, C-H., Kukkola, T., Saanio T., 2003. KAERI's spent fuel repository. Design evaluation and cost estimation. R&D Report 2003-02. Posiva Oy, Olkiluoto.
4. KAERI 2002. Progress Report on the R&D Program for the Disposal of HLW in Korea. Korea Atomic Energy Research Institute. August 20, 2002.
5. Riekkola, R., Saanio, T., Autio, J., Kukkola, T. 1999. Description of the final repository for spent nuclear fuel Posiva Oy, Helsinki. Working report 99-46.