

# 고준위방사성폐기물의 효율적 관리를 위한 전략적 접근방법

최희주\*, 김인영, 김경수

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*hjchoi@kaeri.re.kr

## 1. 서론

고준위방사성폐기물(이하 고준위폐기물)의 관리를 위한 기본계획이 지난 2016년 7월 25일 확정되었다. 본 기본계획의 핵심은 심층처분방식을 우선 고려하되, 심부시추공처분 등 대안연구도 병행하는 것이다. 처분방식으로는 핀란드식 심층처분과 다중방벽시스템을 우선 고려하고, 운영 중 회수가가능성도 함께 고려할 것을 명시하였다. 저자들은 지난 연구[1]를 통해, 핀란드가 채택한 스웨덴 KBS-3 처분개념을 국내에 직접 적용할 경우 예상되는 문제점을 지적하였다. 특히, 국내에서 예상되는 사용후핵연료 발생량은 스웨덴보다 훨씬 방대하며, 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 이 경우 처분 소요면적은 사용후핵연료의 직접 처분에 커다란 걸림돌이 될 수 있다.

국내에서 발생하는 고준위폐기물로는 CANDU와 PWR 사용후핵연료가 있으며, 향후 예상되는 폐기물로는 파이로 공정 발생 고준위폐기물 등이 있다. 또한 기본계획에도 언급된 바와 같이 심부시추공처분과 같은 방법을 포함하여 장기저장을 통한 효율적 관리, 파이로-SFR 연계 핵연료 주기를 통한 관리 방법 등 다양한 관리 방법이 있다.

본 논문에서는 고준위폐기물 관리 방안으로서 단일 방안을 획일적으로 적용하는 것보다는 다양한 관리 방안을 기술 성숙도에 맞추어 적절하게 적용하는 것이 필요함을 지적하였고, 이것을 효율적으로 적용하기 위한 전략을 제안하였다.

## 2. 본론

### 2.1 핀란드 심층처분시스템

KBS-3 처분개념이라고 알려진 핀란드의 심층 처분시스템은 구리-주철 이중구조 처분용기와 벤토나이트 완충재를 이용하여 장기간 방사성핵종의 누출을 억제하도록 설계되었다. 지하 420미터에 처분터널을 굴착하고 처분터널 바닥에 처분공을 뚫어 사용후핵연료를 담은 처분용기를 넣고 주변을 완충재로 채운다. Fig. 1은 처분장의 단면을 나타내고 있다. 이 처분개념의 큰 단점은 넓은 처분면적이다.

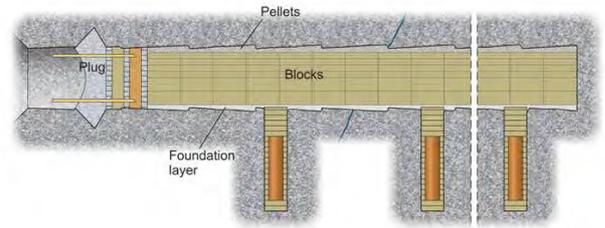


Fig. 1. Schematic of Finnish Repository.

### 2.2 관리 대안

KBS-3 처분개념 외에도 사용후핵연료를 관리하기 위한 방안은 다양하다. 본 연구에서는 국내에 적용할 수 있는 방안을 선정하였으며, 이를 바탕으로 전략을 제안하고자 하였다.

#### 2.2.1 고효율 심층처분 방식

저자들은 KBS-3 처분개념의 비효율성을 개선하기 위한 다양한 방안을 제시한 바 있다[1]. 장기저장, 다층 처분시스템, 완충재 최고 온도 설정 변경과 같은 다양한 방안을 도입하면 5배 이상 처분 효율이 향상시킬 수 있다.

#### 2.2.2 심부시추공 처분 방식(DBD)

지하에 수 km 시추공을 굴착하고 고준위폐기물을 처분하는 방안이 제안되었으며, 최근 시추기술의 발달과 함께 미국 샌디아국립연구소를 중심으로 현실적 방안이 개발 중이다[2]. 한국원자력연구원에서도 자체 예산으로 이 기술의 타당성을 검토하기 위한 연구가 진행 중이다.

#### 2.2.3 파이로-SFR 핵주기 도입

사용후핵연료에 남아 있는 TRU 핵종을 고속증식로의 연료로 활용하며, 단반감기 고발열 핵종은 별도로 군분리하여 저장하면, 고준위폐기물의 발생을 최소화할 수 있어, 한국원자력연구원에서 개발 중인 기술이다.

#### 2.2.4 전처리 및 전해환원 도입

파이로 공정의 전처리 공정만 수행하여, 사용후핵연료 중 휘발성 핵종들을 분리한 후 저장 및 처분

에 편리하도록 처리하는 방법이다. 손상 핵연료와 같이 저장 및 처분에 어려운 사용후핵연료를 대상으로 도입할 필요가 있다. 또한, 전처리 후 전해환원 공정까지 처리하여 금속전환체로 변환하는 방법도 있다. 이와 같이 발생된 고준위폐기물은 DBD 방식을 이용할 경우 보다 효율적 관리가 가능하다.

### 2.2.5 국제처분장 활용

국내에서의 부지 확보의 불확실성에 대비할 수 있도록 기본계획에서는 국제공동저장·처분시설 활용성에 대해서도 가능성을 열어놓았다.

## 2.3 관리 전략

### 2.3.1 고준위폐기물 발생

국내에서 발생하는 고준위폐기물은 ①PWR과 ②CANDU 사용후핵연료이며, ③손상 핵연료의 경우 저장과 처분에 어려움이 예상되어 별도로 구분하였다. 또한, 미래에 ④SFR 핵연료 혹은 파이로 공정으로부터의 ⑤고준위폐기물 발생이 예상된다.

### 2.3.2 효율적 관리 전략

현재 국내 논의되고 있는 관리 방안은 모든 사용후핵연료를 직접처분 혹은 파이로-SFR 핵연료 주기 이용과 같이 획일적 방안이다. 본 논문에서는 보다 효율적으로 관리하기 위하여 다양한 관리 대안을 기술 성숙도(readiness)를 바탕으로 단계적으로 도입하는 것을 제안하고자 하였다.

관리 방안을 실제 적용하기 위해서는 인허가가 필요하며, 이를 위해서는 기술 성숙도가 완성 단계에 이르러야만 가능하다. 본 논문에서 언급한 6가지 방안 중 인허가 단계를 기준으로 완성 단계에 다다른 국내 기술은 아직 없다. 저자들이 추정한 기술 수준을 Table 1에 나타내었다.

기본계획의 관리 일정에 맞춰 2053년 영구처분 시행을 위해서는 늦어도 2030년대 후반까지는 기술 성숙도가 100%인 완성 단계에 도달하여야 한다. 따라서 다양한 관리방안을 효과적으로 적용하기 위해서는 PWR, CANDU 사용후핵연료의 처분을 동시에 시행하는 것보다는 CANDU 사용후핵연료를 먼저 처분하고 PWR 사용후핵연료 처분은 늦추는 것이 훨씬 바람직하다. 이 경우 예상되는 PWR 사용후핵연료 처분시점은 2080년대 초반이며, 이 경우 보다 다양한 관리 방안의 기술 성숙도가 완성 단계로 개발될 것이다. 기본계획에 의하면

최종 사용후핵연료 발생은 2089년이다. 또한 사용후핵연료 중간저장 시점이 2030년대 중반이며, 수명을 60년 고려하면 2090년대 후반까지 가능하다. 즉, 2080년까지 나머지 관리 대안의 기술 성숙도가 완성단계로 되면, PWR 사용후핵연료는 훨씬 효율적으로 관리할 수 있다.

Table 1. Readiness of alternative methods

Alternative method	Readiness	HLW
KBS-3 처분개념	중-상	①②④⑤
고효율 처분개념	중	①②④⑤
심부시추공 처분	중-하	②④⑤
파이로-SFR 주기	중	①②③④⑤
전처리-전해환원	중	①②③④⑤
국제처분장	중-하	①②

## 3. 결론

사용후핵연료의 관리방안으로서 직접처분을 포함한 다양한 대안이 있다. 기본계획은 핀란드식 직접처분을 바탕으로 관리계획을 수립하고 있으나 이 방식은 처분면적 측면에서는 효과적이지 않다. 본 논문에서는 다양한 관리방안을 효과적으로 적용하는 것의 필요성과 방안을 제안하였다. 즉 보다 효율적 관리를 위하여 불완전한 현재의 기술에만 의존하지 말고, 미래의 기술을 수용할 수 있는 길을 열어 놓는 것이 필요하다.

## 4. 감사의 글

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

## 5. 참고문헌

- [1] 최희주, 이종열, 김인영, 김경수, 김현아, 한국방사성폐기물학회 2016 춘계학술발표회 논문요약집, 16(1), 153-154, 5.25-27, 2016, 목포.
- [2] SNL, Deep Borehole Disposal Research, SAND2013-9490P, 2013.