

# 사용후핵연료 건식저장시대로의 원활한 전환을 위한 준비사항 고찰

임석남\*, 김민수, 장동규, 정철영

(주)액트알엠티, 대전광역시 유성구 테크노 1로 11-3

\*limsn53@hanmail.net

## 1. 서론

고준위방사성폐기물 관리 기본계획이 2016년 7월 원자력진흥위원회에서 의결 되었으며 고준위방사성폐기물 관리절차에 관한 법률이 2016년 8월 입법예고 되었다. 고준위방사성폐기물 중간저장시설은 2035년에 운영될 예정이며 이때까지 발생하는 사용후핵연료는 원전 내의 사용후핵연료 건식저장 시설에서 관리할 계획이다.

사용후핵연료 건식저장시설은 1986년 썬더 원전에서 미국 최초로 운영된 이래 후쿠시마 원전 사고를 교훈으로 그 운영이 증가하고 있다.

경수로 사용후핵연료의 경우 습식저장에서 건식저장으로의 관리전환은 여러 가지 준비를 요구 한다. 사용후핵연료 건식저장시설 운영측면에서의 주요 준비사항은 결함핵연료의 관리, 사용후핵연료의 건조와 건식저장시설의 경년열화 관리가 포함될 것이다. 이 세 가지 주요사항에 대하여 국내외 현황과 우리의 준비사항을 짚어 본다.

## 2. 본론

### 2.1 결함핵연료의 관리

#### 2.1.1 국내 관리기준

결함핵연료는 취급·운반 및 저장에 특별한 관리를 요하는 사용후핵연료를 말한다. 폐기시설운영자는 결함핵연료를 원칙적으로 인도 받을 수 있어야 함은 물론 저장관리 할 수 있는 능력을 갖추어야 하고 결함핵연료 운반용기의 세부규격을 위탁자에게 제공하여야 한다.

결함핵연료의 정의는 미국의 현행 정의 개념과 같이 관련시스템의 기능 수행여부에 기초하고 있다고 사료된다.

#### 2.1.2 국외 관리기준

미국은 사용후핵연료 건식저장시스템 표준검토계획(NUREG-1536)에서 결함핵연료의 정의 및 분류 기준을 제시하고 있다. 결함핵연료는 핵연료 규격 또는 관련계통 기능을 충족할 수 없는 연료봉 또는

연료다발로 정의하며 손상핵연료다발, 파손연료봉, 큰 파손연료봉 등으로 분류하고 이에 대한 기준을 제시하고 있다. 결함핵연료의 정의는 과거의 경우 핵연료특성으로만 평가하였으나 현재는 핵연료특성과 관련계통 기능을 수행하는데 필요한 특성에 기초하여 정의하고 있다.

### 2.2 사용후핵연료 건조

#### 2.2.1 사용후핵연료 열화 개요

UO<sub>2</sub>가 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>로 산화되면 그 부피가 38% 증가되기 때문에 피복관의 원주방향 응력을 증가시키고 미소결함(Crack)은 피로를 촉진하기 때문에 피복관 균열이 올 수 있다. 또한 피복관 온도가 상승하면 수소의 용해가 일어나고 다시 냉각될 때 수소화물로서 석출하게 된다. 이때 한계응력이 제한치를 초과하는 경우 바람직하지 않은 반경방향으로 수소화물 석출이 일어난다. 원주응력은 조건에 따라 한계응력을 초과할 수 있고 피복관 열화를 초래할 수 있다. 국내 원전은 장주기 운전에 따라 고연소도 사용후핵연료의 발생량이 증가할 것이며 이미 최고 연소도는 1990년대 말부터 고연소도 기준 (45GWd/MTU)을 넘고 있다.

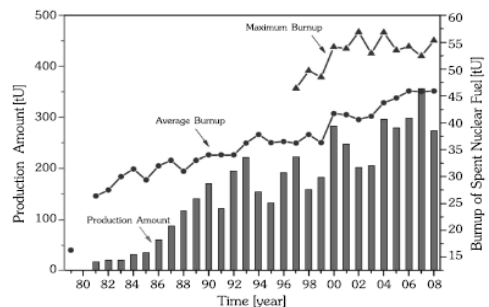


Fig. 1. Production Amount and Burn up of SNF in Domestic NPPs.

핵연료의 연소도가 증가함에 따라 붕괴열이 높을 것이며 또한 원자로에서 일을 더 많이 하였을 것이기 때문에 피복관 열화도 저연소도 핵연료에 비하여 더 진행되었을 수도 있다. 따라서 고연소도 핵연료는 건조과정에 더욱 유의하여야 한다.

## 2.2.2 사용후핵연료 건조

사용후핵연료의 건식저장을 위한 필수 요건인 건조공정은 피복관의 최고온도, 열주기, 잔존 수분량, 불활성 환경 등 피복관 열화와 관련된 인자들과 밀접한 관계가 있기 때문에 건전한 건조가 장기건식 저장 안전에 매우 중요하다. 건식저장 중인 고연소도 핵연료의 건전성은 피복관 최대온도, 열주기, 내부기체 불순물 등에 의하여 판단되는 것을 보면 건조의 중요성을 더욱 인식할 수 있다.

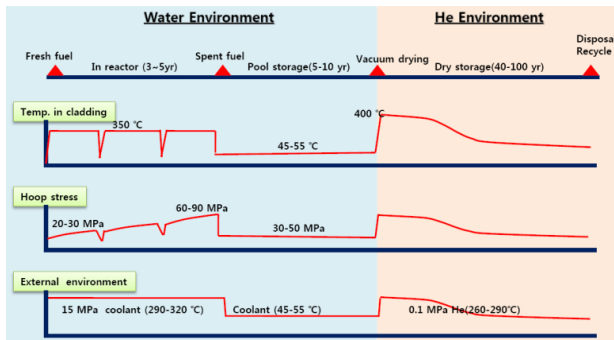


Fig. 2. SNF Environmental Variation in Management Steps.

미국 사용후핵연료 건식저장시스템 표준검토계획 (NUREG-1536)은 사용후핵연료 건조기준으로서 피복관의 최대 온도 (Maximum Temperature)와 반경응력 (Hoop Stress), 온도변화 (Temperature Variation), 열주기(Thermal Cycle) 발생 횟수, 건조 공정 후의 잔존 수분량(Residual Moisture)에 대하여 아래 Table 1과 같이 제한을 두고 있다. 또한 장기저장에 의한 피복관 열화를 방지하기 위하여 케니스터 내부를 불활성 환경으로 만들 것을 요구하고 있다.

Table 1. SNF Drying Criteria

Item	MT	HS	TV	TC	RM
Limit (↓)	400°C	90MPa	65°C	10times	3TorrE

국내 경수로형 원전의 경우 사용후핵연료 건식저장시설은 운영하고 있지 않기 때문에 사용후핵연료 건조기준은 마련되어 있지 않다.

## 2.3 사용후핵연료 건식저장시설 관리

### 2.3.1 국내 관리기준

사용후핵연료 중간저장시설의 구조 및 설비에 관한 세부기술기준은 정상운전이란 운전제한조건 범위 안에서 수행되는 중간저장시설의 운전으로서 사

용후핵연료의 인수·취급·저장 및 회수, 그리고 관련 설비 등에 대한 감시·유지보수 및 시험 등을 말하는 것으로 기술하고 있다. 정상운전의 정의 내용에 사용후핵연료 건식저장시설의 경년열화기준이 포함되어 있다고 사료되나, 동 시설에 대한 경년열화 관리 기준이 구체적으로 제시될 필요가 있다.

### 2.3.2 국외 관리기준

미국 10 CFR 72.42, 240은 사용후핵연료 건식저장 면허갱신을 위한 주요 요구사항을 제시하고, 사용후핵연료 건식저장 면허갱신을 위한 표준검토계획(NUREG-1927)은 재질, 주변 환경, 경년열화 기구와 영향, 경년열화 관리활동에 대한 검토방법과 면허갱신 승인기준 등 건식저장시설의 경년열화 관리에 대하여 기술하고 있다. ASME Section XI IWA-4462와 4340은 기계적 공정에 의한 결함 제거 등과 개량에 의한 결함 완화에 적용되는 기준을 제시하고 있다.

미국 HOLTEC, 프랑스의 AREVA TN 등은 저장용기 표면의 침적물 시료채취·분석, 재질표면의 균열 정비 등 경년열화관리프로그램을 운영하고 있다.

## 3. 결론

국내 경수로형 사용후핵연료 건식저장시설의 운영과 관련하여 아래와 같은 준비사항이 적절한 시기에 확립되어야 할 것이다.

- 결함핵연료의 운반용기 및 저장시설의 설계, 운영과 취급·운반 및 저장에 대한 결함핵연료의 특별 관리범위 결정을 위한 결함핵연료의 분류기준과 관리기술
- 사용후핵연료 장기건식저장의 건전성을 확보하기 위한 사용후핵연료의 건조기준과 케니스터 불활성 환경기준 그리고 연소도를 고려한 건조기술
- 사용후핵연료 건식저장시설의 경년열화 관리 기준, 주기적 평가기준과 열화 복구 기술

## 4. 참고문헌

- [1] 김주성, 국동학, 심지형, 김용수 "사용후핵연료의 장기 건식 건전성 성능과 주요 열화기구에 관한 고찰", 한양대(2013).
- [2] "사용후핵연료 장기관리를 위한 동계강좌", 경희대(2015).