

## 사용후핵연료 건식저장 설계기준 설정을 위한 주요입력인자에 대한 고찰

윤정현, 이경구, 우상인

한국방사성폐기물관리공단, 대전광역시 유성구 덕진동 150-1번지

[ihyoon@krmc.or.kr](mailto:ihyoon@krmc.or.kr)

### 1. 서론

사용후핵연료 건식저장시설은 사용후핵연료를 원자로 저장조에서 인출한 후 방사성폐기물로 처분되는 자원으로 재활용하기전 안정되고 안전하며 확실한 저장을 위한 설계기준을 요구한다. 건식저장시설은 다양한 방식에 따라 설계가 다르더라도, 수십 년 또는 그이상에 걸쳐 적절한 안전성을 제공할 목적이며 일반적으로 단순한 설계를 선호한다고 할 수 있다. 하지만 다른 공학적 계통과 마찬가지로 사용후핵연료 저장시설의 안전한 운전과 유지보수는 적합한 설계와 건설에 상당부분 의존한다. 그러한 시설의 가장 중요한 설계특징은 대중의 보건과 안전 혹은 환경에 과도한 위험 없이 사용후핵연료의 인수, 취급, 저장 및 회수를 할 수 있도록 반드시 보장하는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 사용후핵연료 저장시설의 설계는 설계기준을 적절하게 설정해야하는데 여기에는 사용후핵연료 미입계 유지, 사용후핵연료 봉괴열 제거, 방사선 방어 및 예상된 시설 수명기간동안 격납을 유지하는 특성 등이 포함되어야 한다. 규제요건을 포함하는 설계기준에 따라 모든 예상운전사건과 설계기준사고에서 이러한 목적을 만족시켜야 한다. 모든 저장시설의 안전성분석보고서(SAR)의 가장 중요한 목적은 이러한 요건을 이행한다는 것을 보여주는 것이다. 본 논문에서는 이러한 설계기준을 설정하는데 주요한 인자들을 결정하는데 주요한 요건들에 대한 고찰을 하였다.

### 2. 일반요건

#### 2.1 회수성 측면

회수란 밀폐 혹은 정치상태에서 캐스크, 용기(Container), 캐니스터(Canister) 혹은 사용후핵연료를 제거하는 능력으로 정의한다. 저장이란 처분과는 달리 언젠가는 핵연료가 안전하게 다른 장소로 이동한다는 전제가 수반된다. 저장에서 회수는 저장방식에 따라서 어렵지 않을 수도 있지만 회수의 용이함은 저장방법과 저장계통의 설계에 따라 다를 수 있다. 따라서 저장에서는 회수성에 대한 고려가 방식설계를 포함한 정책측면에서도 중요한 인자로 구분할 수 있다.

#### 2.2 건설과 운영

저장시설의 건설과 운영에 관련한 측면에서 고려되어야 할 사항은 건설비용과 유지보수비용 그리고 운영의 복잡성이다. 다양한 연료형태를 다루어야 하는 사용후핵연료 관리계통에서는 표준화된 장비를 사용하여 운영할 수 있도록 하는 것도 중요하게 고려할 인자이다.

#### 2.3 저장시설의 해체

저장시설을 운영하면 캐스크, 용기구조물 혹은 캐니스터는 모든 사용후핵연료가 부지밖(off-site)으로 선적된(shipped) 후에 제염하거나 저준위 폐기물로서 다루어져야 한다. 중간저장시설에서 해체시 노출 사용후핵연료를 취급하는 것과 관련한 방사성입자의 잠재적 누출과 공기를 통한 오염을 감시될 수 있는 용이성을 고려하여야 한다.

#### 2.4 대중수용성

원자력분야에서 대중의 수용성을 예측하거나 심지어 정량화하는 것은 매우 어렵다 하지만 대중수용성은 저장시스템 확보에는 반드시 고려해야 할 인자로 구분할 수 있다.

### 3. 설계관련요건

사용후핵연료의 저장의 설계적인 특성은 저장이란 일반적으로 상대적으로 정적조건 및 그 계통이 사용될 위치에 규정된 자연적 외부조건에서 수 십년동안 운영하도록 설계된다는 점이다. 저장시설의 궁극적인 설계목표는 부지에 있을 수 있는 어떤 운영상 및 사고조건에 견디도록 설계한다. 이러한 설계목표를 달성하기 위하여는 다음과 같은 설계요건들이 고려되어야 한다.

#### 3.1 저장시스템 설계목표

저장시스템 확보에 대하여 고려할 주요 설계목표는 방사선학적 안전성/운영의 안전성/IAEA 안전보장조치/품질, 신뢰성, 유지보수 및 수리/경제성 등이다.

### 3.2 방사선학적 안전성(Radiological safety)

방사능학적 안전성은 저장중인 사용후핵연료의 잠재적인 영향으로부터 대중을 보호하는 목적이다. 따라서 안전성에 관한 항목은 대중, 환경 및 작업자에게 가능한 범위에서 실질적인 방사선위험을 최소화하도록 한다. 화재, 홍수, 작업자 실수, 장비결합과 같은 정상운전과 사건에 기인한 일반적인 위험을 분석하며 실제적인 방사선 위험을 방지하거나 혹은 완화하도록 할 것이다. 방사선 위험은 기본적으로 다음에 의하여 야기될 수 있으며 이를 최소화 하도록 설계요건이 구성되어야 한다. 여기에는 미립자의 누출 혹은 공기 중으로 방사성물질의 누출, 저장시설의 표면으로부터 직접 방사선과 Skyshine 및 표면 오염 등이 있다. 기술적 이러한 사용후핵연료로부터의 위험을 최소화하기 위하여 입계도, 방사성물질의 누설 및 방사선피폭등이 위험 범주에 포함되어야 한다.

### 3.3 입계도 및 연소도효과

입계도 및 연소도효과는 주로 저장시설을 구성하는 용기내부 바스켓에 의해 제공될 것이다. 수송저장을 포함하는 사용후핵연료에서 연소도 효과적용은 저장시설의 중요한 설계변수의 하나라고 할 수 있다.

### 3.4 격납

격납은 장기저장측면을 반드시 충족하여야 한다. 이 충족을 위해서는 밀봉에 대한 적합한 재질 선정이다. 격납을 위한 재질과정은 용기의 내외부에 부식작용을 고려하여야 한다.

### 3.5 차폐

저장환경에 대하여 방사성방어에 대한 표준은 저장시설의 부지경계에서 허용할 수 있는 전체 부지 외부 선량률에 적용한다. 또한 시설에 작업자에 대한 직업선량(occupational dose) 한계치를 고려하여야 한다. 저장시설 자체는 일반적으로 취급을 용이하게 하기 위하여 시설상하부 구조물에 충분한 감마선 차폐를 필요로 한다.

### 3.6 구조

저장에서의 구조설계의 목표는 방사선학적 안전에 관한 구조물이나 기둥이 운영환경에서 발생한 기계적 힘을 받을 때 의도된 것처럼 기능을 수행함을 보장하는 것이다. 저장에 있어서 특정부지(site-specific)설계기준사건을 설계조건(예, 내진조건, 비행체)으로써 제정하고 적용하여야 한다.

### 3.7 열

열설계의 경우에는 저장시설에 위험을 주는 요인은 내부 열원 즉 사용후핵연료에서 나온다. 내부열원은 근원은 방사성 동위원소의 붕괴로 인한 열을 발생하는 사용후핵연료이다. 많은 열적 고려사항들이 제안되어야한다. 그중 중요한 것은 온도의 구배차에 의한 구조적 강도에 대한 영향이다. 또한 저용융점을 갖는 차폐물질(예, 납)에 상당한 영향을 준다. 열조건은 또한 격납계통(예, 밀봉의 분해와 퇴화)에 영향을 주며 사용후핵연료 피복재의 성능(예, 크리프 파괴와 파열)에 영향을 준다.

### 3.8 운영

저장에서의 여러 가지 설계요건은 운영요건에서 유래한다(예, 용기의 수송과 저장뿐만 아니라 연료를 담은 용기 장전). 기술에 있어서 운영절차서(예, 장전과 취급에 대한)는 설계 초기단계에 제정되어야 한다. 이것은 필요한 장비의 초기확인을 할 수 있으며(예, 배수, 건조, 삽입 및 누출시험에 대한 장비), 장비의 분해능과 절차상의 인터페이스의 확인을 할 수 있게 한다. 저장에 있어서 설계는 누출감시계통에 연료를 고려하여야 한다. 저장 중에 계통은 용기밀봉 건전성을 감시 가능하도록 한다.

### 3.9 안전보장조치(Safeguards)

물리적 방어 혹은 안전보장조치는 모든 사용후핵연료관련 시설에서 취해진다.

## 4. 결론

사용후핵연료 건식저장 설계기준 설정을 위한 주요입력인자에 대한 고찰하였다. 이러한 고려사항들은 기술된 내용에만 국한되지 않는다. 하지만 향후 확보해야할 저장시스템의 설계에서 최소한으로 고려해야 할 필요가 있는 사항들로 최적화 설계와도 연관하여 설계기준을 구성하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] IAEA Safety Series No.116-1994 Design of Spent Fuel Storage Facilities, IAEA 2000
- [2] 10CFR72, Licensing Requirements for the Independent Storage of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste.