



## 사용후핵연료 특성 및 관리 방안

이찬복

한국원자력연구원 책임연구원



- 서울대 원자핵공학 학사, 석사
- 미국 MIT 원자핵공학 박사
- 경수로핵연료설계팀장
- 핵연료(경수로, 고속로, 토륨핵연료) 개발과제책임자
- GIF SFR 선진핵연료기술위원회 위원장
- NEA Nuclear Innovation-2050 핵연료 및 핵연료주기 분과 공동위원장
- 한국원자력학회 핵연료 및 원자력 재료 연구부회장
- 차세대핵연료개발부장 역임

### 개요

원자력 발전은 원자로에 장전된 핵연료에서 우라늄 원소의 핵분열 반응을 통해 생성된 열에너지를 이용하여 높은 압력의 수증기를 발생시키고, 이 수증기가 터빈을 회전시켜서 전기를 생산하는 것이다.

원자로에 장전된 핵연료는 4~5년 동안 핵분열 반응을 일으킨 후에 새로운 핵연료로 교체되는데, 이때 방출된 핵연료를 사용후핵연료라 한다.

사용후핵연료에는 우라늄의 핵분열 반응으로 인해 생성된 핵분열 생성물과 아직 사용되지 않은 우라늄 등의 핵물질이 포함되어 있다. 사용되기 전의 핵연료에 포함된 초기의 우라늄 핵물질 중에서 단지 4~5%만 핵분열 반응을 통해 소비되고, 나머지 95~96%의 핵물질은 사용후핵연료에 그대로 남아 있다.

사용후핵연료의 처리 방안으로는 지하에 직접 처분하는 방안, 재처리한 후 방사성 폐기물만 지하에 처분하는 방안, 그리고 장기 저장을 한 후에 재처리 혹은 직접 처분을 하는 방안 등이 있다.

원자력 발전을 하는 각 국가는 안전성, 경제성 및 핵비확산성 등을 종합적으로 고려하여 사용후핵연료 처리 방안을 결정하고 있다. 미국과 우리나라를 제외하고 프랑스, 일본, 러시아, 영국, 중국, 인도 등 원자력 발전을 대규모로 수행하거나 추진하는 국가들은 사용후핵연료를 재처리하는 정책을 추진하고 있다. 이들 국가들은 사용후핵연료에 있는 유용한 핵물질을 회수하여 원자력 발전에 다시 사용함으로써 처분해야할 고준위 방사성폐

기물의 양을 감소시키는 정책을 시행하고 있다.

사용후핵연료를 지하에 직접 처분하는 것을 추진하는 국가로는 스웨덴과 핀란드 등이 있는데, 인구가 각각 990 만명, 550 만명으로 적고, 인구 밀도가 낮으며, 원자력 발전 규모가 크지 않는 나라들이다.

여기서는 사용후핵연료의 특성과 관리 현황 및 현안을 분석하고, 국내 사용후핵연료의 최적의 관리 계획과 정부 및 산학연의 협력 체계를 제안해 보고자 한다.

## 사용후핵연료 관리

### 1. 사용후핵연료 특성

사용후핵연료에 있는 핵분열 생성물과 핵물질은 방사능이 있으며, 방사능 붕괴 시 열에너지가 발생한다. 따라서 원자로에서 방출된 사용후핵연료는 물로 채워진 저장수조에 대개 5년 이상 보관하여 냉각한다.

사용후핵연료는 방출 후 5년 정도 경과하면 방출하는 방사성 붕괴열이 크게 감소하기 때문에 저장수조에서 별도의 장소로 이동하여 건식의 중간 저장을 하거나, 재순환을 위해 핵연료 재순환시설로 이송할 수 있다.

한 예로, 1,000 MWe급 경수로 원자력발전소(이하 원전)의 원자로에는 157개의 핵연료집합체(Fuel Assembly, FA)가 장전되며, 매년 약 30개, 무게로는 약 20톤인 핵연료집합체가 교체되면서 방출된다.

원전의 수명이 40년인 경우 수명 기간 동안 총 1,200개의 핵연료집합체, 수명이 60년인 경우 총 1,800개의 핵연료집합체가 방출된다. 핵연료집합체의 크기는  $0.215\text{m} \times 0.215\text{m} \times 4.06\text{m}$ 이며, 부피는  $0.188\text{m}^3/\text{FA}$ 이다. 제조된 핵연료집합체의 무게는  $660\text{kg}/\text{FA}$ 이며, 이중 우라늄 핵물질 무게는  $440\text{kg-U}/\text{FA}$ 이다.

사용후핵연료에서 방사성 붕괴로 인해 발생하는 붕괴열의 크기는 사용후핵연료 내에 있는 핵분열 생성물 등의 방사성물질의 양 혹은 사용후핵연료의 연소도에 비례한다.

사용후핵연료집합체(연소도 50 MWD/kgU 기준)의 방사성 붕괴에 의한 방출열의 크기는 시간에 따라 감소하는데, 원자로가 정지되고 수 일 후에 방출되면  $\sim 4.8\text{ kW}/\text{FA}$  정도이며, 5년 후에는  $\sim 1.3\text{ kW}/\text{FA}$ , 10년 후에는  $\sim 880\text{ W}/\text{FA}$ , 100년 후에는  $\sim 190\text{ W}/\text{FA}$ , 1,000년 후에는  $\sim 30\text{ W}/\text{FA}$  로 감소한다.

사용후핵연료의 붕괴열은 방출 5년 후에는 핵분열 생성물이 79%, 마이너악티나이드(Np, Am, Cm 등의 핵물질 원소)가 21%를 기여하지만, 방출 300년 후에는 핵분열 생성물들이 대부분 소멸되어 0.7%만 기여하고, 마이너악티나이드가 99.3%로 대부분을 기여한다.

높은 열을 내는 주요 방사성 핵분열 생성물인 스트론튬-90(Sr-90)의 반감기는 28.8년, 세슘-137(Cs-137)의 반감기는 30.1년으로서 300년 후에는 대부분 소멸된다. 마이너악티나이드 중 방사능이 높은 큐륨-244(Cm-244)도 반감기가 18.1년으로 짧아서 300년 후에는 대부분 소멸된다.

반감기가 매우 긴 I-129( $1.6 \times 10^7$ 년), Tc-99( $2.1 \times 10^5$ 년) 등의 핵분열 생성물은 방사능 붕괴율이 작기 때문에, 전체 붕괴열에서 차지하는 비중이 매우 낮으며, 아울러 이들이 인체에 주는 방사능 위험도 혹은 위험도도 낮다.

### 2. 사용후핵연료 관리 현황

1978년 고리 1호기가 운전을 시작한 이후 국내에 가동중인 원자력발전소는 2017년 7월 기준으로 경수로 원전 20기, 중수로 원전 4기이다. 그 동안 방출된



사용후핵연료는 총 ~15,000톤으로, 경수로 사용후핵연료 ~7,000톤, 중수로 사용후핵연료 ~8,000톤이다<sup>11)</sup>. 이를 부피로 환산하면 약 4,000m<sup>3</sup>로서, 30m(가로)×30m(세로)×4.5m(높이)의 공간을 차지한다.

사용후핵연료의 관리 방안을 수립하기 위해서는 원자력 발전의 미래 계획에 따른 사용후핵연료의 미래 생성량도 함께 고려하여야 한다. 정부의 에너지 전환 정책이 충실히 이행되는 경우, 관리해야 할 사용후핵연료 총량은 약 40,000톤 정도 예상되며, 추후 원자력 발전의 수요가 크게 증가하게 될 경우에는 2,100년까지 최대 120,000톤까지로 추정할 수 있다.

원자력 발전은 화력 발전을 대체하여 온실가스를 줄이는 데도 기여할 수 있다. OECD 산하의 NEA(Nuclear Energy Agency) 및 IEA(International Energy Agency)는 온실가스 방출에 따른 지구의 기후 변화에 대응하기 위한 방안으로 원자력 발전을 증가시킬 필요성이 있다고 제안하고 있다<sup>12)</sup>.

현재 국내 원자력법 시행령의 규정에 따르면, 고준위 방사성폐기물은 반감기가 20년 이상인 알파선을 방출하는 핵종의 방사능이 4,000 Bq/g 이상이고, 열 발생률이 2kW/m<sup>3</sup> 이상인 방사성폐기물이며, 이 범위를 벗어난 방사성폐기물은 중준위, 저준위, 극저준위 및 규제 면제 방사성폐기물로 분류된다.

따라서 법적 규정으로 판단하면, 사용후핵연료는 원전에서 방출된 후 방사성 붕괴열이 지속적으로 감소하여 50여년이 지나면 열 발생률이 2 kW/m<sup>3</sup> 이하로 감소하기 때문에, 고준위 방사성폐기물에서 중준위 방사성폐기물로 전환된다. 그러나 50년 이후에도 상당량의 방사성 핵종이 사용후핵연료에 남아 있기 때문에 안전하게 격리하여 관리하는 것이 필요하다.

사용후핵연료 중간 저장의 필요성은 사용후핵연료의 최종 관리 방법과 시행 시기에 따라 결정된다. 국내

최종 처분장의 가동 시기가 지연됨에 따라 사용후핵연료의 중간 저장이 필요하다. 현재 독일, 일본, 미국, 영국, 캐나다, 체코 등은 건식, 프랑스와 스웨덴은 습식의 중간 저장을 시행하고 있다.

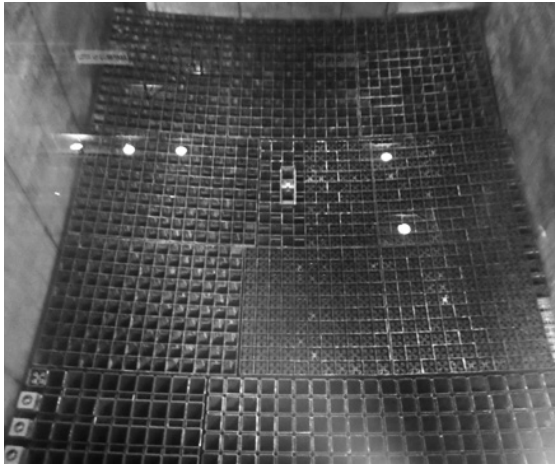
사용후핵연료를 지하에 직접 처분할 경우 방사능이 원래의 수준으로, 즉 원자력 발전을 위해 채굴한 천연 우라늄의 채굴 이전 수준의 독성도(방사능이 인체에 주는 위해 정도를 나타내는 지표)로 감소하기까지는 약 30만년(중수로 사용후핵연료의 경우, 연소도(~7.5 MWD/kgHM)가 경수로 사용후핵연료의 연소도(~45 MWD/kgHM) 보다 매우 낮기 때문에 6,000~10,000년에서 방사능 독성도가 채굴 전 천연우라늄의 독성도 수준으로 감소함)의 장시간이 소요된다. 이는 주로 원자로에서 우라늄이 중성자를 흡수하여 변환된 Pu 및 마이너악티나이드 등 반감기가 매우 긴 방사성 원소들 때문이다.

사용후핵연료의 지하 처분은 사용후핵연료를 지구의 생태계와 격리하기 위하여 300~1,000m 깊이의 지하에 보관하는 것이다. 지하 깊은 곳, 즉 심지층은 생태계와 수십 혹은 백만년 동안 격리할 수 있는 것으로 평가된다.

심지층은 지역에 따라 암층, 점토층, 암염층 등의 지질로 구성되어 있으며, 사용후핵연료의 처분을 위해서는 안정적이고 균질한 지질과 지하수의 이동이 최소화된 곳을 처분장으로 선정하는 것이 바람직하다.

핀란드는 사용후핵연료를 직접 처분할 부지를 선정한 후 처분장 건설이 진행 중이며, 스웨덴은 직접 처분 부지를 선정하고 건설 인허가 절차가 진행 중이다.

사용후핵연료를 재처리한 후 고준위 방사성폐기물을 처분하는 프랑스도 수십 년의 연구 및 조사를 통해 후보 부지를 선정하였으며, 2018년에 처분장 건설 허가 신청을 할 예정이다.



습식 저장



건식 저장

〈그림 1〉 사용후핵연료 저장 방식

원자력 발전을 가장 적극적으로 시행하고 있는 프랑스는 사용후핵연료 재처리를 통해 플루토늄을 회수하여 경수로 핵연료로 재활용하고 있으며, 반감기가 수십만년 이상으로 긴 마이너악티나이드 원소들을 회수하여 원자로에서 소각하며 전기를 생산하는 기술을 개발하고 있다. 이를 통해 처분해야할 고준위 방사성폐기물의 양을 크게 감소시킬 수 있어서 지하 처분 부지의 선정이 보다 용이하였다고 할 수 있다.

사용후핵연료에서 이러한 장반감기의 핵물질은 모두 회수하여 원자로에서 소각시키고 핵분열 생성물만을 지하에 처분할 경우, 처분되는 폐기물의 방사능 독성도가 채굴 전의 천연우라늄의 방사능 독성도 수준까지 감소하는 데 소요되는 시간, 즉 위해 기간은 약 300년으로 평가된다.

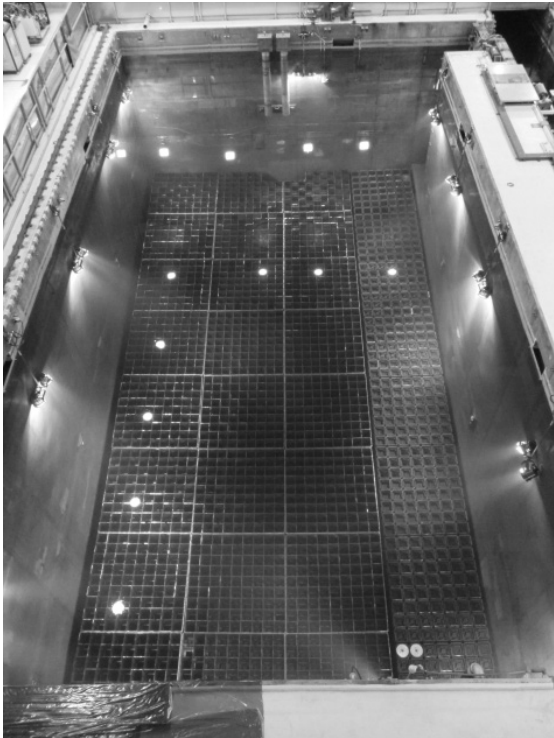
사용후핵연료에서 핵물질을 분리하여 재순환 혹은 소각하는 공정에서 미량의 방사성 핵물질이 공정 폐기물에 포함되어 처분되어야하는 것을 고려하면 방사선

독성도의 감소 기간은 1,000년 이하로 평가된다. 따라서 이는 지하에 처분되는 방사성폐기물의 위해 기간이 직접 처분 시의 수 십만년에서 1,000년 이하로 크게 단축됨을 의미한다.

이는 사용후핵연료 관리와 관련하여 국민을 보다 안심시킬 수 있기 때문에 처분 부지의 선정이 보다 용이할 수 있을 것이다. 처분장의 지질 안전성 등에 대해 수십만 년까지 평가하는 데는 불확실성이 고려되어야 하며, 분석, 예측 및 평가를 통해 안전성을 입증할 수 있으나, 현재까지의 다른 나라들의 경험에 의하면 일반인들이 쉽게 수용하는 데 어려움을 야기하는 주요 요소들 중의 하나이다.

따라서 처분되는 방사성폐기물의 방사능 독성이 조기에 감소되면, 처분장의 안전성 입증 시 고려되어야 하는 불확실성이 감소되어 신뢰성이 높아질 수 있을 것이다.

미국의 처분장 진행 상황을 보면 처분 부지 선정이



〈그림 2〉 조밀저장대 설치 후의 모습

얼마나 어려운지 알 수 있다<sup>3)</sup>. 수십년 동안 연구를 수행하여 처분장 부지의 안전성이 기술적으로 충분하게 평가되었음에도 불구하고, 부지가 아직 확정되지 못하였다.

직접 처분 시 수십만 년이 경과한 후에야 사용후핵연료의 방사능 독성도가 채굴 전의 천연우라늄의 독성도 수준으로 감소하기 때문에, 이러한 장기간 동안의 처분장의 안전성 입증과 관련하여 지역 주민을 납득시키는 것은 쉬운 일은 아니다.

사용후핵연료를 재처리하는 일본은 우리나라보다 원자력 발전을 일찍 시작하고 누적된 사용후핵연료의 양이 많지만, 처분 부지의 선정에 어려움이 있어서 처

분장 건설 일정을 장기적으로 설정하고 있다.

따라서, 지하 처분장의 안전성 향상, 처분장 관리 기간의 단축, 그리고 고준위 방사성폐기물의 양(부피 및 무게)과 처분 면적의 감소 등을 이룰 수 있는 사용후핵연료의 재순환은 기대되는 효과가 크기 때문에 기술 개발의 필요성이 높다고 할 수 있다. 기술의 실용화를 위해서는 경제적 타당성 입증이 필수적이기 때문에 기술 개발 단계별로 기술성과 경제성을 정기적으로 평가하는 것 또한 필요하다.

정부는 2013~2015년 기간에 사용후핵연료 공론화 위원회를 운영하였으며, 위원회는 사용후핵연료의 관리 방안을 정부에 권고하였다. 이에 근거하여 「고준위 방사성폐물관리기본계획」이 원자력진흥위원회에서 2016년 수립되었다.

단기적으로는 원전 부지 내에서 소내 저장을 하며, 소내 저장 시설의 수용 용량이 제한적인 것을 고려하여, 최종 처분 전까지 사용후핵연료를 관리하기 위한 중간 저장 시설을 건설 운영한다. 그리고 고준위 방사성폐기물은 지하에 최종 처분한다.

이와 더불어 사용후핵연료의 독성과 처분 면적을 획기적으로 감소시키기 위해 파이로(고온을 의미함) 전기화학 공정을 통해 사용후핵연료에서 핵물질을 회수하여 고속로의 핵연료로 재활용하는 순환형 미래 원자력시스템의 기술 개발을 수행하여, 실효성이 확인되면 이 기술을 활용할 수 있다는 것을 고려하고 있다.

이러한 국가 사용후핵연료 관리 추진 방침에 근거하여, 이제는 구체적인 실천 방안이 수립되고 체계적으로 실행되어야 할 단계이다.

현재 원자력발전소 부지 내에서 발전소 간의 사용후핵연료 이동을 위해 KN-12 및 KN-18 등의 경수로 사용후핵연료 이송 용기(각각 12개 및 18개의 사용후핵연료집합체를 수용하는 용량)를 설계 제작하여 운영

중이며, 중수로 사용후핵연료는 발전소 부지에 건식 저장하고 있다.

사용후핵연료의 중간 저장 및 최종 처분의 비용은 사용후핵연료의 총량에 의존적인데, 중간 저장의 건설 및 운영에 약 20~25조원, 최종 지하 처분장 건설 및 운영에 30~35조원으로 추정되며, 원자력 발전 시 적립되는 사용후핵연료 관리부담금이 사용된다.

사용후핵연료의 운반, 중간 저장 및 지하 처분 등의 관리와 관련된 산업으로는 사용후핵연료 건식 저장 용기 설계와 제작, 중간 저장 시설 설계, 건설과 운영, 트레일러와 선박 등의 사용후핵연료 운송 장비, 지하 처분장 건설 장비, 사용후핵연료 처분 용기 설계와 제작, 지하 처분 시설 설계, 건설과 운영, 사용후핵연료 관리에 필요한 측정과 모니터링 기술 등이 있다.

### 국내 사용후핵연료 관리 방안

국내 사용후핵연료 혹은 고준위 방사성폐기물의 관리 주체는 정부이며, 원자력환경공단이 정부의 위임을 받아서 관리를 책임지는 체계이다. 이는 현재 중저준위 방사성폐기물의 관리에 적용되고 있는 체계와 동일하다.

국내 중저준위 방사성폐기물 관리는 오랜 기간 많은 시행착오를 경험한 후, 마침내 지역 주민의 동의하에 관리 시설 장소로 경주를 선정하였으며, 2015년 시설을 건설하여 현재 성공적으로 운영하고 있다. 중저준위 방사성폐기물 처분을 위한 부지 선정, 설계, 건설, 운영, 그리고 인허가 경험은 고준위 방사성폐기물 처분장의 건설과 운영에 귀중한 참고자료이다.

원자력안전위원회는 사용후핵연료의 중간 저장 및 최종 처분장의 승인 절차를 통해 안전성을 확보하여 국민을 보호한다. 이를 위해 안전 기준을 설정하고, 시



KN-12



KN-18



HI-STAR 63

〈그림 3〉 사용후핵연료 운반 용기



설의 안전성 확보 및 유지를 위한 규제를 실시한다.

사용후핵연료의 중간 저장과 처분은 국내 원자력 발전 규모를 고려하면, 각각 일 회만 수행하는 것이 타당한 사업으로 판단되며, 사전 경험이 없기 때문에 연구·기술 개발, 시설 설계와 건설·운영, 그리고 안전성 입증 등이 필요하다.

연구를 통해 생산된 데이터베이스에 근거하여 시설을 설계 건설하여야 한다. 가상 사고 시 시설의 안전성을 입증하기 위해서는 사고 조건에서의 모의 실험을 통해 안전성을 입증하여야 하며, 실험 자료에 근거하여 시설의 안전성 기준을 설정한다.

이를 위해서는 종합적이고 체계적인 추진 계획이 수립되어야 하며, 사전 경험이 없기 때문에 사업 단계별로 평가를 통해 필요 시 지속적으로 사업 추진 계획을 갱신하여야 한다.

연구 및 기술 개발 결과가 시설 설계, 건설·운영과 시설의 안전성 입증에 효과적으로 활용되기 위해서 각 담당 주체들은 체계적이고 주기적으로 상호 협의하여야 한다.

1980~1990년대 수행된 국내 원자력 발전 사업의 국산화 성공은 좋은 선례로 참고할 만하다. 1980년대에 정부는 원자력 발전 사업의 확대와 경제적 효과를 인식하여 명확한 목표를 설정하고 강한 의지로 국산화를 추진하여, 1990년대에 원자력 발전 사업의 국산화를 성공하였다.

국내 원전 산업의 중심인 한국전력은 사업의 전체적인 컨트롤타워 역할을 수행하였으며, 국내 산학연이 역할 분담을 통해 적극적으로 참여하였다.

원자력연구원은 핵연료 설계, 원전의 핵주기 공급 계통 설계, 안전성 실험 등 기술 집약적인 분야를 담당하였다. 한국전력기술은 원전의 계통(Balance of Plant, BOP) 설계를 수행하였으며, 두산중공업은 원

전의 주요 부품 및 장치를 제작하였고, 핵연료주식회사는 핵연료 제조를 담당하였다.

원자력안전기술원은 기존의 경수로 원전의 인허가 기준을 적용하여 신규 원전의 안전성을 평가하고 승인하였으며, 대학교는 독립적인 평가와 인력 양성을 담당하였다.

이러한 원자력 발전 사업의 국산화 성공 경험은 사용후핵연료의 관리에도 적용할 수 있을 것이다.

사용후핵연료 관리와 관련하여 정부는 사업 목표와 사업 일정을 확정하고 재정적 지원을 책임지며, 정부로부터 사업 수행을 위임을 받은 원자력환경공단은 중간 저장과 처분장의 건설, 인허가와 운영을 책임지고 수행하여야 한다.

원자력환경공단은 컨트롤타워가 되어 사업의 체계적인 추진 계획을 수립한다. 국내 산학연은 명확한 업무 분담과 책임감을 가지고 각 담당 업무를 수행하며, 원자력환경공단은 사업 진도를 엄격하게 점검 관리하여 임무를 완수하여야 한다.

국내 산업체는 고준위 방사성폐기물의 사전 경험과 독자적인 기술 개발 재원이 없기 때문에 정부의 지원이 필요하다.

방사능이 높은 사용후핵연료를 취급할 수 있는 시설에서 수행해야 하는 업무는 전문 인력과 시설 등이 갖추어진 원자력연구원에서 수행하는 것이 바람직하다.

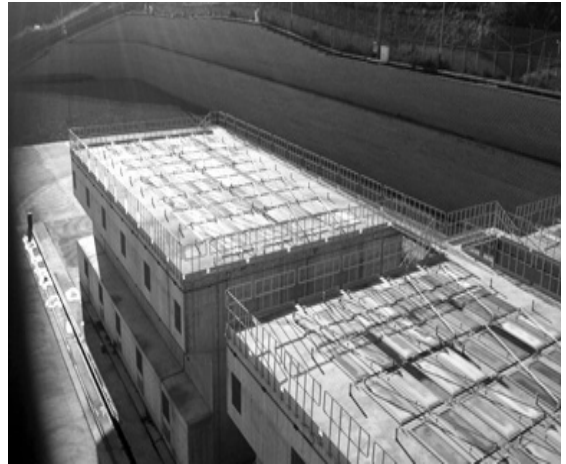
산업체는 이러한 연구 결과를 활용하여 실제 적용할 장치들의 개발과 제작, 시설 설계와 건설을 담당한다.

사용후핵연료의 운반, 중간 저장, 처분의 안전성을 확인하고 승인하는 원자력안전위원회도 객관적 검증 평가를 위해 이러한 연구 결과가 필요하다.

대학교는 기반 연구와 사용후핵연료 관리에 필요한



사일로 방식



맥스터

〈그림 4〉 중수로 원전 사용후핵연료 건식 저장 시설

다양한 전문 인력을 양성하는 역할을 담당한다.

IAEA 및 NEA 등의 국제기구를 통한 국제 협력을 통해 국외 전문가의 독립적이고 객관적인 평가 참여 등을 통해 안전성 입증의 신뢰성을 제고하는 것이 필요하다. 처분장의 선정, 시험 자료, 인허가, 지역주민과의 협의 등과 관련된 국외 경험도 최대한 활용하는 것이 필요하다. 국제 협력을 통해 기술개발과 사업 수행의 효율성을 제고할 수 있다.

그러나 국제 협력은 규제 등 안전성 확보를 위한 분야는 비교적 추진이 용이할 것이나, 중간 저장과 처분장의 설계, 건설, 운영과 관련하여 산업체가 담당해야 하는 영역은 산업 경쟁력과 시장 특성으로 인해 국제 협력이 제한될 수 있음을 인식할 필요가 있다.

그리고 사용후핵연료 관리와 관련하여 국내 기술과 경험이 확보되면, 원자력발전소의 해외 수출과 함께 사용후핵연료 관리 사업의 해외 수출도 가능할 것이다.

사용후핵연료의 중간 저장 시설이 준비되기 전에는 한수원이 주관하여 원전 부지 내의 건식 저장 시설을 설계, 건설 및 운영한다.

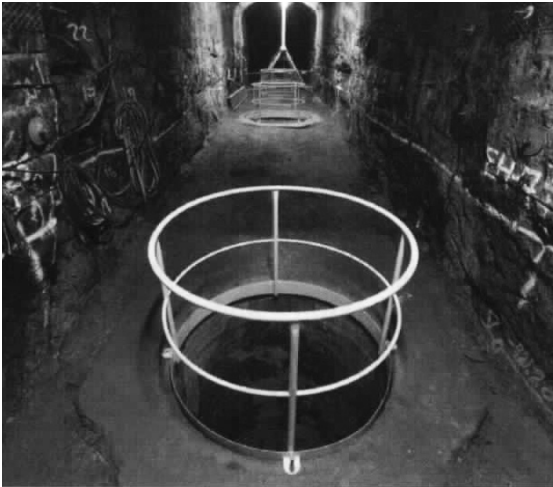
그 후 사용후핵연료를 중간 저장 시설로 운반하여 관리하는 것은 원자력환경공단이 주관하여 추진하게 된다.

이를 위해서는 2030년까지 사용후핵연료의 운반 기술을 확보하고, 중간 저장 시설의 설계, 건설, 인허가, 그리고 운영을 위한 기술이 확보되어야 할 것이다.

고준위 방사성폐기물의 심지층 처분을 위해서는 후보 부지를 선정하고, 지하 연구 시설의 건설과 운영을 통해 심부 지질의 특성 자료를 확보하여야 한다.

사용후핵연료를 심지층 처분하는 경우, 사용후핵연료의 방사능이 원래의 자연 수준으로 감소하는 데 수십만 년(중수로 사용후핵연료의 연소도가 매우 낮기 때문에 6,000~10,000년)이 소요되기에 이러한 초장기간 동안 공학적으로 건설된 처분장이 안전하다는 것





〈그림 5〉 핀란드 Olkiluoto 처분장의 사일로 굴착 실증 시험

을 입증하기 위해서는 많은 가정과 불확실성을 포함한 예측 평가가 필요하다.

지질 조사를 통해서 지하 지질이 과거 수십만 년 이상의 기간 동안 안정적이었다는 것을 확인할 수 있지만, 미래에도 안정적일 것이라고 예측하기 위해서는 지질 특성 자료가 필요하다.

지하 수백 미터의 처분 시설에 대해 미래의 수십만 년 기간 동안의 안전성 평가와 입증은 위해서는 장기간 동안 지하 지질 특성을 실험, 측정 및 분석하여야 한다.

이러한 지하 연구 시설에서의 연구는 원자력연구원이 수행하여 객관적이고 독립적인 자료를 안정적으로 생산하는 것이 바람직하며, 산업체와 원자력안전위원회는 여기서 생산된 자료를 활용하여 시설 설계, 건설과 시설 인허가를 각각 수행하여야 한다.

한편, 사용후핵연료 내에 있는 장수명의 방사성 핵물질들은 회수하여 원전에서 소각하면서 전기를 생산하는 기술 개발도 지속적으로 수행될 필요가 있다.

이는 지하에 처분되는 고준위 방사성폐기물의 방사능 위해 기간이 천 년 이하이기 때문에, 사용후핵연료를 직접 처분하는 것과 비교하여 처분장의 안전성 입증에 보다 용이하다고 할 수 있다.

### 요약

지구 온난화를 야기하는 이산화탄소를 방출하지 않는 전기 에너지원으로서 원자력 발전은 현재 세계적으로 활발하게 이용되고 있다.

원자력 발전에서 나오는 사용후핵연료는 부피가 크지 않고, 방사능이 시간에 따라 감소하는 특성이 있기 때문에 안전하게 관리될 수 있다.

그러나 원자력 발전에 대해 국민이 보다 안심하기 위해서는 이제 국가 책임 하에 사용후핵연료 관리를 위한 구체적인 추진 일정과 계획을 수립하고 시행하여야 한다.

정부로부터 사용후핵연료 관리를 위임받은 원자력 환경공단의 주관 하에 사용후핵연료의 운반, 저장, 처분과 관련한 사업 추진 일정과 사업에 필요한 연구와 기술 개발 계획을 수립하여야 한다.

사용후핵연료 관리 사업은 국내에서 사전 경험이 없이 일회성으로 장기간 수행되어야 하기에, 국내 산학연이 모두 체계적으로 참여하여 수행하는 체계가 구축되고 수행되어야 할 것이다.

정부 산업자원부의 확고한 의지와 지원에 근거하여, 원자력환경공단, 한수원, 원자력연구원, 국내 산업체, 대학교, 그리고 원자력안전위원회, 원자력안전기술원 등 국내의 관련 정부 기관 및 산학연이 체계적으로 역할을 분담하고, 모든 참여 기관 및 구성원은 사업의 임무 완수에 대한 확고한 의지를 가져야 한다.

정부와 원자력환경공단은 기술 개발과 연구를 수행하는 국내 산업체와 연구기관에 대하여 안정적인 재정 지원을 보장하여야 한다. 이를 통해 국민들로부터 기술의 신뢰성을 인정받아 사용후핵연료의 중간 저장과 처분장 부지의 선정이 용이할 수 있을 것이다.

그리고 사용후핵연료에서 유용한 방사성 핵물질을 회수하여 원자력 발전에 다시 사용하여 지하 처분해야 하는 방사성폐기물의 양과 처분 부하를 감소시키는 방안에 대한 기술이 개발될 필요가 있다.

이를 통해 지하 처분되는 방사성폐기물의 방사능이 감소하는 기간, 즉 위해 기간을 문명 인간의 역사보다 훨씬 긴 수십만 년에서 천 년 이하로 크게 단축할 수 있어서, 원자력 발전에서 발생된 사용후핵연료 관리에 대해 국민이 정부를 보다 신뢰하고 안심할 수 있을 것이다.

추후 국내의 사용후핵연료 관리 기술과 경험이 확보되면, 원자력발전소의 해외 수출과 함께 하여 사용후핵연료 관리 사업의 해외 수출도 가능할 것이다. 🌐

#### 〈참고 문헌〉

- (1) 김종걸, "국내 고준위 방사성폐기물 관리 현황과 향후 전망", 원자력산업, 2016.6월호, 한국원자력산업회의 (2016)
- (2) Technology Roadmap Nuclear Energy, OECD/IEA, OECD/NEA (2015)
- (3) Strategy for the Management and Disposal of Used Nuclear Fuel and High-level Radioactive Waste, US DOE (2013)