



미국의 사용후핵연료 저장 관리 현황

Status of Commercial Spent Nuclear Fuel Storage in the United States

Kevin A. McMahon
미 샌디아국립연구소(SNL)

미국은 세계에서 가장 많은 원전을 운영하고 있는 국가이다. 전 세계 원자력 발전량의 30% 이상을 차지하고 있다. 미국은 현재 62개의 원전 부지에서 100기의 원전을 운영하면서 전체 전력의 약 19%를 원자력이 담당하고 있다. 12개 원전 부지의 15기 원전이 인허가 기간 만료로 폐쇄된 상태이다.

미국은 지금까지 상용 원전에서 약 72,000톤의 사용후핵연료가 발생되어 원전 부지 내에서 저장 관리되고 있다. 지금도 매년 2,200톤의 사용후핵연료가 발생되고 있다.

미국은 1987년 수정 핵폐기물정책법에 따라 네바다주 유카마운틴을 사용후핵연료/고준위폐기물 처분장 부지로 선정하여 건설을 추진하였으나, 2009년 오바마 정권이 들어서면서 백지화된 상태이다.

오바마 정권은 유카마운틴 처분장 건설 프로젝트를 철회하는 대신에 「블루리본위원회(BRC)」를 구성하여 새로운 대안 모색을 위한 공론화를 추진하였다.

미 행정부는 2년에 걸쳐 작성된 권고안에 근거하여 2013년에 미국의 사용후핵연료 및 고준위폐기물 관리 전략을 수립하여 발표했다. 그 주요 내용은 2021년부터 파일럿 규모의 중앙집중 중간저장시설을 운영, 대용량

의 중앙집중 중간저장시설을 2025년부터 운영, 심지층 처분장을 2048년부터 운영한다는 것 등으로 요약할 수 있다. 미국은 현재 이러한 전략에 따라 관련 연구 개발 및 사업을 추진하고 있다.

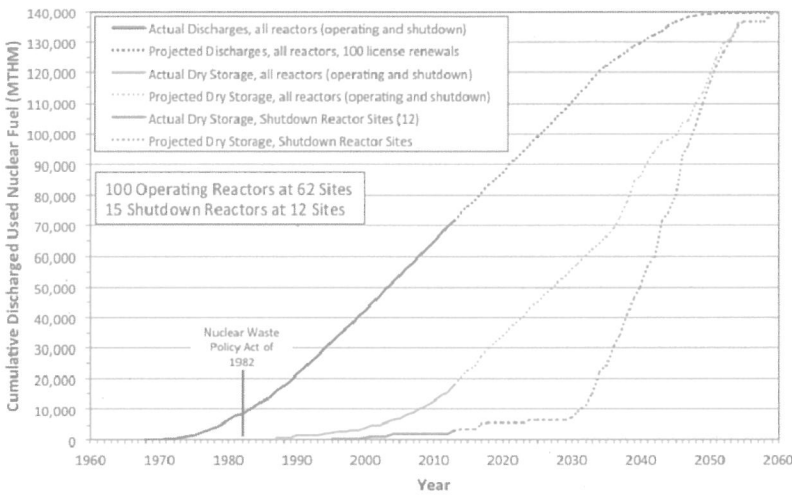
UFD R&D Campaign

미국의 사용후핵연료 관리 정책 및 기술 개발을 담당하고 있는 에너지부(DOE)는 2013년도에 발표된 사용후핵연료 관리전략에 따라 Used Fuel Disposition R&D Campaign(이하 UFD)을 수행하고 있다.

UFD는 미국의 핵연료주기 시설에서 발생하는 사용후핵연료 및 고준위폐기물의 저장, 운반, 처분과 관련된 과학적 연구 및 기술 개발을 수행하고, 아울러 대안을 발굴하기 위한 연구 개발 프로그램으로 DOE 산하 9개 국립연구소가 참여하고 있다.

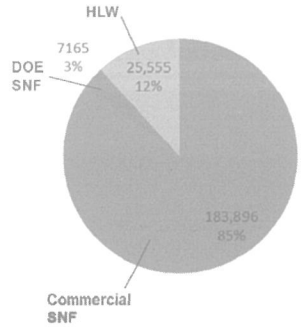
1. 처분 관련 R&D

처분과 관련된 UFD는 미국의 환경에서 실행 가능한 여러 가지 처분 방법을 찾아내고 그에 대한 기술적 타당성을 검토하기 위해 수행되고 있다. 이를 통해 일반



Historical and Projected Commercial SNF Discharges

Projected Volumes of SNF and HLW in 2048



Volumes shown in m³, assuming constant rate of nuclear power generation and packaging of future designs of dual-purpose canisters

〈그림 1〉 미국의 사용후핵연료 발생 추이

적인 처분 개념에 대한 신뢰성을 높이고, 처분 개념을 실행하는 데 필요한 과학적 및 공학적 툴을 개발하는데 그 목표를 두고 있다.

2. 저장 및 운반 관련 R&D

저장 및 운반 관련 UFD는 사용후핵연료 및 고준위 폐기물의 장기 저장 및 대규모 운반을 위한 기술을 개발하는데 그 목적을 두고 있다. 이를 통해 다음과 같은 분야에 있어서 기술 능력을 제고하고자 하고 있다.

- 사용후핵연료의 장기 저장
- 장기 저장 후의 사용후핵연료 회수성(Retrievability) 및 대용량 운반
- 고연소도 연료의 운반

운반 및 저장 관련 UFD는 2025년부터 대용량의 중앙집중식 중간저장시설을 건설하여 운영한다는 DOE의

사용후핵연료 관리 전략을 성공적으로 뒷받침하기 위한 목표에 초점을 맞추고 있다. 이를 위해 DOE는 다음과 같은 분야에 우선 순위를 두고 있다.

- 고연소도 연료의 건식 저장의 안전성 실증을 위한 산업계와의 협력
- 저장 기술의 실증 테스트를 지원하기 위한 R&D
- 저장 및 운반 환경에서 핵연료, 피복관, 캐니스터, 캐니스터 내부의 성능 실증을 위한 데이터 및 모델의 개발
- 또한, 사용후핵연료의 저장 과정에서 발생할 수 있는 열화 메커니즘에 대한 이해의 폭을 넓히기 위하여 특히 다음과 같은 분야에 기술 개발을 집중할 계획이다.
- 20년 이상 장기 저장 후의 운반 가능성
- 건식 저장 및 그 후 다른 장소로 운반하는 과정에서 발생하는 고연소도 연료의 거동에 관한 자료의 확보
- 건식 저장 시의 고연소도 연료 피복관의 물리적 상태



〈그림 2〉 운반, 저장 관련 UFD 계획도

<p>■ Industry: contract was awarded to EPRI on April 16, 2013</p> <p>EPRI ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE</p> <p>Dominion</p> <p>AREVA Federal Services AREVA Transnuclear AREVA Fuels</p> <p>Westinghouse</p>	<p>■ National Labs</p> <p>Sandia National Laboratories</p> <p>INL Idaho National Laboratory</p> <p>Pacific Northwest National Laboratory</p> <p>Argonne National Laboratory</p> <p>OAK RIDGE National Laboratory</p> <p>Savannah River National Laboratory</p>
--	--

〈그림 3〉 운반 및 저장 관련 UFD에 참여하고 있는 기관들

- 피복관-열화 메커니즘, 피복관과 핵연료 펠릿 간의 상호 작용, 그리고 피복관의 예상 거동

- 시간 경과에 따른 핵연료 온도의 변화, 건조 후에 남아 있는 용기 내의 물의 양 등 열화 메커니즘에 영향을 미칠 수 있는 여러 가지 조건들

한편, 고연소도 사용후핵연료의 운반 및 저장 관련 기술 개발에는 SNL, INL, ANL, Pacific Northwest, Oak Ridge, Savannah River 등 국립연구소 외에 EPRI, Dominion, Areva, Westinghouse 등 산업계도 참여하고 있다.

민간기관에 의해 추진되고 있는
사용후핵연료 중간저장시설

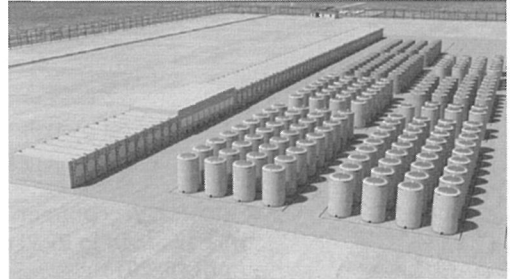
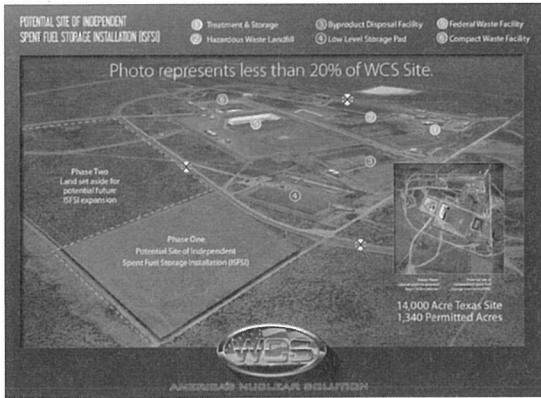
현재 미국에서는 민간 기관에 의해 사용후핵연료 중

양집중식 중간저장시설 건설이 추진되고 있는데, 하나는 WCS/NAC International/Areva가 공동으로 추진하고 있고, 다른 하나는 ELEA/Holtec International이 공동으로 추진하고 있다.

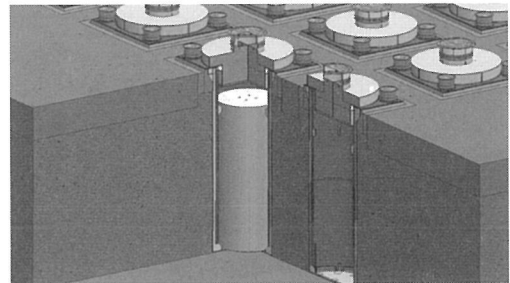
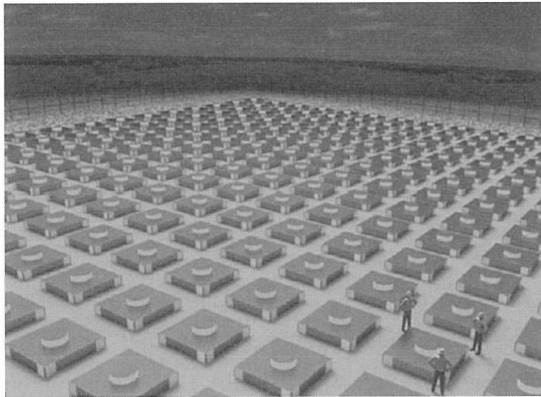
WCS가 추진하고 있는 시설은 Carlsbad에서 100km 정도 떨어진 곳이고, ELEA에서 추진하고 있는 시설은 Carlsbad에서 50km 정도 떨어진 곳이다.

먼저, WCS/NAC International/Areva는 중앙집중식 중간저장시설을 건설하겠다는 의향서를 2015년 2월 15일에 NRC에 제출했다. 제안서의 주요 내용은 다음과 같다.

- 인허가 신청서 제출 목표는 2016년 4월
- 최초 저장 용량은 5,000톤이며, 8차례에 걸쳐 용량 확장을 하여 총 40,000톤의 저장 용량을 갖는 저장 시설을 건설할 계획
- 위치는 텍사스 서쪽 끝의 Andrews



〈그림 4〉 WCS/NAC International/Areva이 추진하고 있는 사용후핵연료 중앙집중식 중간저장시설 건설 개념도



〈그림 5〉 ELEA/Holtec International이 추진하고 있는 사용후핵연료 중앙집중식 중간저장시설 건설 개념도

- 저장 시설의 운영 기간은 60~100년
- 저장 방식은 Areva의 NUHOMS(수평식) 및 NAC International의 수직형 저장시스템
- 운영 개시 목표는 2020년 12월

그 다음으로 ELEA(Eddy Lea Energy Alliance)와 Holtec International도 공동으로 중앙집중식 중간저장 시설을 건설하겠다는 의향서를 2015년 8월에 NRC에 제출했다. 제안서의 주요 내용은 다음과 같다.

- 뉴멕시코 주 북동쪽 32에이커 규모의 부지에 75,000톤 용량의 저장 시설을 건설
- 저장 시설의 운영 기간은 100년
- 인허가 신청서는 2015년 5월 7일부터 1년 이내에 제출 목표
- 운영 개시 목표는 4~5년 후
- 저장 방식은 HI-STORM UMAX 및 Holtec Intl. Storage Module