

## EPRI의 사용후연료 저장방안

연방정부의 사용후연료저장소 건설이 지연됨에 따라 미국 전력회사들은 발전소의 사용후연료저장 용량을 늘리기 위한 방안을 모색중이다. 미전력연구소(EPRI)는 그동안 이 분야의 실증계획을 주관해 왔는데 그 결과 몇가지 저장방식이 개발되었다.

R. F. Williams  
R. W. Lambert  
K. E. Stahlkopf

美國電力研究所(EPRI)

1982년에 제정된 방사성폐기물정책법에 따라 미에너지성(DOE)은 고준위폐기물저장소의 개발과 1998년부터 시작되는 원자력발전소폐기물의 수송문제를 맡게 되었고 전력회사들도 DOE의 사용후연료수집이 시작되는 1998년까지 발전소구내에 사용후연료를 저장하는 일을 책임지게 되었다. 전력회사들의 출연금으로 운영되는 EPRI가 이 계획의 다음 2가지 주요업무를 맡게된 것은 당연한 일이다.

1. 전력회사에서 필요로 하는 선진적이고 인가취득이 가능한 발전소구내 사용후연료저장시설의 개발지원
2. 전력회사에서 주관하는 고준위폐기물의 저장과 수송업무에 대한 기술지원

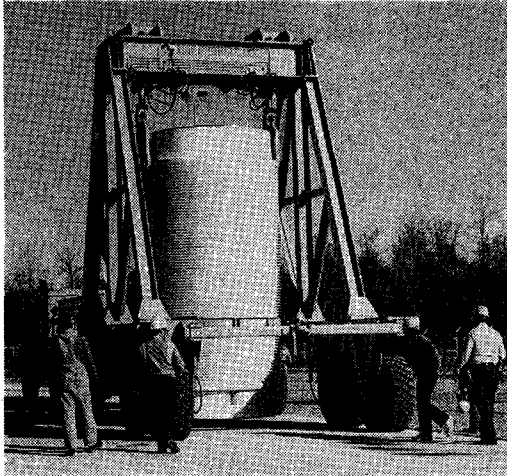
첫번째 업무를 수행하기 위해 EPRI는 주요 전력회사와 함께 사용후연료저장기술을 개발, 이를 실증하는 일에 깊이 관여했다. 풀(고밀도 rack사용 포함) 용량에는 한계가 있기 때문에 새로운 사용후연료저장기술을 개발하지 않으면

안되었다. 따라서 이러한 기술개발과 실증이 EPRI의 고준위폐기물계획의 중심과제가 되었고 1982~1989년 사이에 이 분야에 투입된 연구 및 개발비용만도 이 계획의 전체예산의 3분의 2를 차지했다.

EPRI와 일부 전력회사들에 의해 채택된 개발계획은 Northeast Utilities社, EPRI, DOE 간의 공동개발계약체결로 발전했다. DOE는 방사성폐기물정책법(NWPA) 제218에 따라 이 계획에 참여하게 되었지만 비용부담은 실증비용의 25%를 넘지 못하게 되어 있었다. 공급업자들도 실증비용의 일부를 부담했다. EPRI는 실증계획을 지원하기 위한 각종 프로젝트에 자금지원을 했다.

### 사용후연료 Consolidation

EPRI에서 공동으로 실시한 첫 실증계획 중의 하나는 사용후연료 consolidation(사용후연



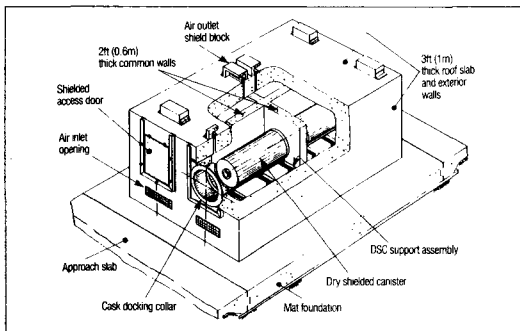
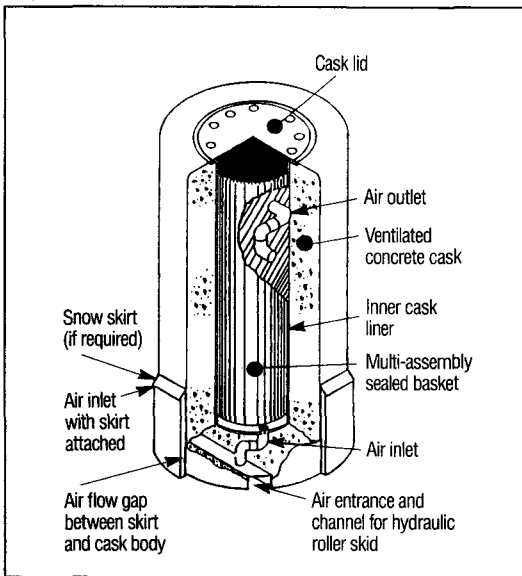
료뿐만 해체저장)의 인가취득가능성과 이의 적용을 실증하는 것이었다. 전력회사는 North east Utilities社가 대표했고 기기공급업체로는 Combustion Engineering社(CE)가 선정되었다. CE社는 DOE와 함께 이 계획에 상당한 재정적인 지원을 했다.

이 프로젝트는 포괄적인 것으로 NRC의 일괄승인을 위해 많은 분석과 시험이 이루어졌다. 여기에는 consolidate된 사용후연료의 늘어난 무게를 안전하게 지탱할 수 있는 사용후연료저장폴의 능력을 증명하기 위한 많은 작업이 포함되었다. 또 이 프로젝트에서는 原理 증명시험, 실물규모의 冷態실증시험, 최종적인 温態시험과 같은 철저한 설비개발노력이 이루어졌다. 温態시험은 1987년 가을에 Millstone 2호기의 사용후연료풀에서 PWR 사용후연료에 대해 실시되었다. 전체적인 실증계획의 일환으로 Millstone 2호기의 사용후연료의 consolidation 과정에 대한 NRC 인가를 취득했다.

Consolidation 프로젝트에서 얻은 성과와 교훈은 다음과 같다.

1. 사용후연료봉의 2:1 consolidation 비율을 달성했다.
2. 최대 consolidation 비율을 달성하기 위해 consolidation 과정중에 전체사용후연료봉에 대해 처리를 철저히 할 필요가 있다.
3. 연료다발 scrap hardware의 처리와 포장은 전체적인 consolidation의 전체적인 효율에 결정적인 영향을 미친다.
4. Scrap 처리는 당초 예상했던 것보다 어려웠다.
5. Consolidation 과정은 처리능률을 높이고 발전소운전에 지장을 주지 않도록 개선되어야 한다. 이렇게 함으로써 consolidation은 매력적인 기술이 될 수 있을 것이다.
6. consolidation 기술은 앞으로도 계속 경제적인 사용후연료저장기술로 발전해 나갈 것이다.

현재 EPRI는 개선된 scrap hardware의 처리와 포장기술을 개발하는 한편 보다 더 자동적이고 단순화된 consolidation 장비의 개발을



EPRI에서 실증시험한 3가지 사용후연료 저장방식 : metal cask, vertical ventilated concrete cask, NUHOMS

지원하고 있다. BWR 사용후연료를 통해 이러한 새로운 장비를 실험해 보는 것이 매우 바람직한 것으로 생각된다.

## 금속제 캐스크 저장방식

금속제캐스크(cask)저장방식은 EPRI의 2번째 실증계획이었다. 이 금속제캐스크저장방식은 이미 유럽에서 진전을 보이고 있었기 때문에 Virginia 전력회사에서는 1984년에 습식풀 저장방식, 금속제캐스크저장방식 및 기타 저장방식을 비교평가했다. 그 결과 이 중에서 캐스크저장방식이 급증하고 있는 사용후연료저장방식을 수용할 수 있는 가장 좋은 방법이라는 결론을 얻었다.

이 작업은 Virginia 전력회사, DOE, EPRI의 3개 기관이 공동으로 실시했는데 3개 메이커에서 각 2개씩 공급한 캐스크를 Idaho 국립 공학연구소(INCI)에서 耐熱설계치에 가까운 상태에서 실험하는 것이었다. 이 작업의 제2단계는 Virginia 전력회사에서 동사의 Surry 발전소의 사용후연료를 금속제캐스크에 저장하기 위한 인가를 받고 이러한 상업용 발전소구내저장방식을 실증해 보이는 것이었다. 이 이종의 목적을 가진 작업은 큰 성공을 거두었는데 그 경위는 다음과 같다.

1. 1984년 3월 계약체결
2. 1985년과 1986년에 사용후연료와 3개 메이커의 캐스크가 INEL 연구소로 보내져 이곳에서 시험했다.
3. 1986년 7월 Surry 발전소에 대한 NRC의 저장인가가 났다.
4. 1986년 10월 Surry 발전소에서 처음으로 사용후연료를 캐스크에 저장했다.

금속제캐스크실증시험에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 금속제저장캐스크의 사용방법은 비교적 간단해 발전소운전에 별로 부담을 주지 않는다.
2. 캐스크저장으로 인한 종사원피폭선량은 매우 낮다.

3. 캐스크시설건설비는 비교적 낮으나 금속제 캐스크가격은 비교적 높다.

4. 용량증가와 원가절감을 위한 캐스크설계 개선으로 금속제캐스크는 다른 저장방식에 비해 자본비면에서 유리하다.

NRC는 전력회사가 발전소별로 캐스크사용인가를 받지 않고 일괄인가를 받도록 하는 인가규정試案을 마련했다. 이러한 절차에 따르면 캐스크저장에 소요되는 리드타임을 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라 인가과정에서의 비용과 시간을 절약할 수 있다.

저장용 캐스크에 관해 EPRI는 지금까지 2가지 문제를 중점으로 다루어 왔다. 그 하나는 캐스크저장인가과정에서 적용될 연소율기준을 마련함으로써 캐스크저장용량을 약 25% 늘리려는 것으로 이는 결과적으로 비용절약도 된다. 또 하나는 저장용 캐스크사용인가를 제한된 범위내에서 수송용으로 확대적용하는 문제를 Virginia 전력회사와 함께 검토해 왔다.

「兼用 캐스크」로 알려진 이 캐스크를 사용하면 저장중인 사용후연료를 다시 절차를 밟거나 재포장하지 않고 직접 DOE의 처분장으로 보낼 수 있게 되는 것이다. 이같은 예상은 DOE의 처분장이 조기에 이러한 캐스크를 수용할 수 있는 능력을 갖춘다면 실현될 가능성이 많다. 그러나 산업계에서는 兼用 캐스크의 가격이 높아지는 것을 우려하고 있다.

## NUHOMS 저장방식

이 프로젝트의 3번째 공동작업은 콘크리트제 저장 module을 개발해 인가를 받고 실증하는 것이었다. NUHOMS라고 하는 이 기술은 비용이 적게 드는 사용후연료 저장방식으로 NU TECH社에서 개발한 것이다.

그 특징은 수평형 콘크리트차폐 silo 안에 밀폐된 금속제 canister를 설치하는 것이다. 1차 차폐재료로 열가의 콘크리트를 사용하기 때문에 경제적이다. 이 저장방식의 실증시험이 Carolina Power & Light社(CP & L)의 Robinson 발전소에서 CP & L社, DOE, EPRI,

NUTECH社의 공동작업으로 이루어졌다.

이전에 실시된 다른 실증프로젝트와 같이 이 프로젝트도 이 기술사용에 대한 NRC의 인가를 받는데 그 목적이 있었는데 1987년 4월에 이것이 이루어졌다. 전기히터에 의한 시험과 冷態시험 등의 일련의 시험을 거친 후 NUHOMS 저장방식의 溫態실증시험이 CP & L社의 Robinson 발전소에서 실시되었다. 이 시험에서는 각각 7개의 PWR 연료요소를 봉입한 canister가 들어있는 3개의 module이 사용되었다. 시험결과 耐熱性 및 차폐성이 모두 좋은 것으로 나타났다.

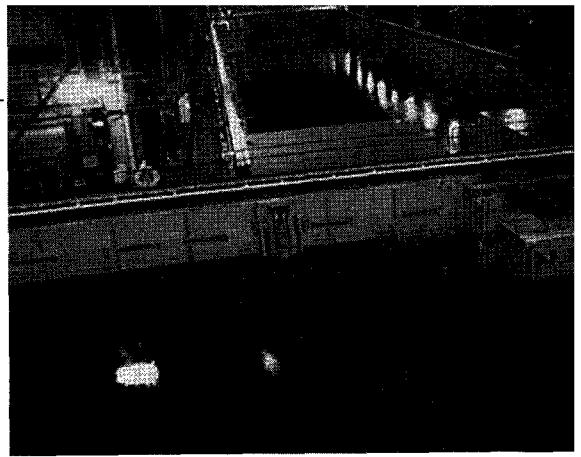
앞으로 이 NUHOMS 저장방식은 Duke Power社와 Baltimore Gas & Electric社에서 선택한 방식을 따를 것으로 예상되는데 이 두회사에서는 NUHOMS 저장 module로 보다 큰 24개의 PWR 연료요소를 봉입한 canister를 사용하고 있다. 이렇게 대형화함으로써 NUHOMS module의 경제성이 높아진다. 이같은 대형 module 약 12개가 이미 Duke Power社의 Oconee 발전소에서 채워졌고 Baltimore Gas & Electric社에서도 현재 이를 위한 시설을 건설중이다.

NUHOMS module 실증시험결과는 다음과 같다.

1. NUHOMS 방식은 실용적이고 경제적이다.
2. 밀폐된 canister에 마개를 용접하는 일이 좀 문제가 되는데 이 작업에서 작업원들이 가장 많은 선량을 받게 된다.
3. 금속제 캐스크저장방식보다 자본비는 좀 낮지만 원자로계통운전에 주는 영향은 금속 캐스크방식보다 크다.

## 장래계획

위와 같은 실증시험이 끝남으로써 EPRI는 전력회사에게 그들의 다양한 저장수요에 맞추어 저장방식을 선택할 수 있는 인가취득가능하고 경제적인 몇가지 저장방식을 제시하려던 일차적인 목적은 달성한 셈이다. 현재 EPRI는



이러한 발전된 저장방식의 경제성, 인가취득가능성, 실용성 등을 더욱 개선하려고 노력하고 있다.

이러한 노력의 일환으로 Wisconsin Power社, DOE, Pacific Sierra Nuclear社와 공동으로 수직형 換氣式 콘크리트저장캐스크의 실증 프로젝트에 참여하고 있다. 이 실증용 캐스크는 17개의 PWR 연료요소가 들어있는 밀폐된 canister를 수용하고 있는데 1990년에 이미 INEL에서 시험을 끝냈다. 이 시험에서 얻은 데이터는 현재 검토중이며 가까운 시일내에 최종보고서가 나올 예정이다. 이 시험용 캐스크는 현재 상업용으로 제시되고 있는 24개 연료요소캐스크의 원형이다. 이 대형 콘크리트캐스크는 완전히 충전되는 경우 무게가 약 135톤이 된다. 지나치게 단순화하는 것은 위험한 일이지만 이 콘크리트캐스크에서 NUHOMS 방식의 높은 경제성과 금속제 캐스크의 취급상의 장점을 살려보는 것도 생각해 볼 수 있는 일이다.

실증시험이 끝남에 따라 EPRI의 사용후연료저장에 관한 연구는 다음 과제로 옮겨가게 되었다.

1. 사용후연료를 전력회사에서 DOE로 이전하는데 필요한 기술적인 기준 마련
2. 각종 저장기술의 비교검토 및 이러한 저장방식을 DOE의 수송계통과 가장 효율적으로 맞출 수 있는 방법 연구
3. 습식 및 건식저장방식의 지속적인 안전성을 보장하기 위한 작업

현재는 자금지원의 중심이 사용후연료저장에서 고준위폐기물처분 쪽으로 옮겨가고 있다 (NEI 91년 10月號).