

## Technology for AR Dry Storage of Spent Fuel

Heung-Young Lee, Suk-Jung Yoon, Ik-Hwan Lee and Ki-Seog Seo\*

Nuclear Environment Technology Institute, Korea Electric Power Corporation,

\*Korea Atomic Energy Research Institute

### 원전부지내 사용후핵연료 건식저장기술 분석

이흥영 · 윤석중 · 이익환 · 서기석\*

한국전력공사 원자력환경기술원, \*한국원자력연구소

**Abstract** - As an at-reactor(AR) storage method of spent fuel, there are horizontal concrete module type, metal storage cask type, concrete storage cask type, dual purpose (transportation and storage) cask type and multi-purpose (transportation, storage and disposal) cask type. All other types except multi-purpose one have been already used for AR dry storage of spent fuels after obtaining operation license in various foreign countries. Also the development of multi-purpose type has been continued for operation license.

In America, Japan, Germany, Canada, Spain, Switzerland, and Czech Republic, etc., AR dry storage facilities are under operation or on propulsion, and spent fuels are transported to interim storage facility or reprocessing plant after dry storage at reactor temporarily.

At Wolsung site, in case of Korea, concrete silo type has already been introduced, and it is believed to be inevitable to store spent fuels at reactor temporarily, considering the reality that storage capacity of spent fuel is approaching to the limit in some nuclear power plants.

In this report, the system characteristics, design requirements, technical standards and status of AR storage system, which is suitable for domestic site such as Kori, have been studied. In most cases, the licensed period of storage cask is limited up to 20 years and the integrity of material and maintenance of leaktightness are required during the whole service life.

**Key Words** : AR Storage, Storage Cask, Dual-purpose Cask, Multi-purpose Cask

**요약** - 원전부지내(AR) 사용후핵연료 건식저장방식으로 횡형콘크리트 모듈방식, 금속 저장용기 방식, 콘크리트 저장용기 방식, 수송저장 겸용용기 방식 및 다목적용기 방식 등이 있다. 이중 다목적용기 방식을 제외한 다른 방식들은 각각 운영인허가를 받아 이미 세계 각국에서 사용후핵연료 AR 건식저장에 사용되고 있으며 다목적용기 방식도 최근 개발을 활발히 진행하고 있는 상태이다.

AR 건식저장 시설을 운영하고 있거나 추진중인 나라는 미국, 일본, 독일, 캐나다, 스페인, 체코, 스위스 등으로 AR 건식저장을 거쳐 중간저장이나 재처리시설로 수송하는 방식을 채택하고 있다.

우리나라의 경우 월성에서 콘크리트 Silo 건식저장을 이미 사용하고 있으며 일부 다른 원자로도

사용후핵연료 저장능력이 한계에 도달하고 있는 현실을 감안할 때 AR 임시 저장은 불가피한 것으로 여겨진다.

본 보고서에서는 고리를 비롯한 국내원전에 적용 가능한 외국의 AR 저장 시스템 각각에 대하여 설계특성, 설계요건, 기술기준 및 현황 등을 논의하였다. 대부분의 경우 저장용기 인허가 기간은 20년으로 제한하고 있으며 전 수명기간동안 재질의 건전성, 밀봉유지 등이 중요하게 요구되고 있다.

중심단어 : AR저장, 저장용기, 겸용용기, 다목적용기

## 서 론

사용후핵연료는 고준위폐기물로 처분을 하든 미래의 에너지원으로 재처리를 하든 국가적 차원에서 적절하게 저장·관리되어야 한다. 1996년말 현재 우리나라 원자로 저장수조 전체에 누적되어 있는 사용후핵연료는 약 2,900여톤으로서, 사용후핵연료 조밀저장대를 설치하여 저장능력을 약 5,600톤까지 확장하고는 있으나 고리등 일부 원전의 경우에는 조밀저장대를 설치하더라도 2000년대 초부터는 호기간 공동저장 또는 부지내 건식저장이 불가피한 실정이다.

미국과 유럽 각국들도 우리나라와 비슷한 문제점을 안고 있으며, 이에 대한 대책으로서 이미 1980년대 후반부터 원전부지내에서 독립적으로 사용후핵연료를 저장하는 방식(ISFSI : Independent Spent Fuel Storage Installation)을 채택 운영하고 있다. AR 또는 AFR 건식저장에 적용할 수 있는 방식으로는 금속저장용기, 콘크리트 저장용기, 수송저장겸용용기, 황형콘크리트 모듈방식 및 볼트저장방식 등이 있으며 이에 관한 여러가지 기술들을 오래전부터 개발하여 현재는 실용화 단계에 이르고 있다.

최근에는 미국, 일본, 체코, 스페인 등에서 단순히 저장목적의 용기보다도 수송저장을 겸하는 겸용용기 또는 수송 저장 처분을 겸하는 다목적용기 등의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이 방식은 AR에서 사용후핵연료를 일정기간 저장한 후 필요시 AFR 시설로 직접 옮길 수 있으며 이때 사용후핵연료를 별도로 취급할 필요가 없으므로 작업의 안전성이나 경제성 등 장기적 측면에서 작업공정을 단순화시킬 수 있다는 장점이 있다.

여러가지 방식을 사용하고 있는 미국의 경우 원전 부지내 사용후핵연료 저장은 1993년도 기

준으로 이미 6개 원전에 540MTU를 저장하였고, 2000년에는 32개 원전에 3,650MTU, 2010년에는 59개 원전에 12,100 MTU등 상당량의 사용후핵연료를 원전부지내에 단계적으로 저장하여야 할 것으로 예상하고 있다.[1]

따라서 선택이 없는 우리나라에서도 어느 방식이든 원전부지내 사용후핵연료 저장에 대한 규모와 방식의 결정이 시급하며 이에 따른 인허가 업무를 조속히 추진하여야 할 것이다. 이를 위해 외국의 원전부지내 각 저장기술에 대한 기술성, 안전성, 경제성 등을 분석하여 국내 여건에 적합한 방식을 채택 운영하여야 할 것이며, 경우에 따라서는 외국과 겸용 또는 다목적용기 설계기술등 건식저장시스템 개발에 대한 공동연구를 수행하여 외국의 선진기술을 가능한 빠른 시일 내에 확보하여야 할 것으로 여겨진다.

## 저장시스템 설계기준

수송의 경우에는 수송용기 자체만 법적인 요구조건을 만족시키면 어느 곳에서나 사용이 가능하다. 하지만 저장용기/시설에 대해서는 저장되는 부지의 위치나 특성에 따라 설계요건이 달라져야 할 것이며 자연현상에 의한 사고를 포함한 인위적 사고에 대해서 저장용기/설비의 안전운영에 영향이 없도록 설계되어야 한다.

원전부지내에 임시저장을 하는 경우에는 원전 건설시 부지 특성을 평가하여 이미 인허가를 받았기 때문에 저장시스템 자체에 대한 인허가만 받으면 될 것인지와 원자로 격납건물을 설계할 때 고려한 부지특성 및 인위적, 자연적 사고에 대한 평가항목을 저장용기/시설에도 그대로 적용하여야 할 것인가를 결정하여야 한다. 예를들어 항공기 추락사고 확률에 따른 영향을 평가하여

이를 저장용기 설계에 반영할지 여부를 결정하여야 한다.

유럽 각국에서는 부지에 저장중인 저장용기에 항공기가 추락하는 기준으로 설계를 하나, 미국은 현재 이를 고려치 않고 있는 것으로 알려져 있다.

저장시설에 대한 위치기준 및 부지특성평가등 설계기준이 국내에도 이미 일부가 과기처 고시로 규정되어 있으나 현재까지는 저장시설/용기의 구조기술기준 및 성능기준등은 아직 제정되어 있지 않은 상태에 있다. 또한 원전부지내 건식저장의 경우에도 부지특성 기준이 준비되어야 할 것이다. 이와같은 기술기준이 결정된 후라야만 사용후핵연료 건식저장에 대한 인허가가 가능하므로 적용시킬 법규제정이 조속히 이루어져야 한다.

건식저장 시스템을 외국에서 도입하는 경우에는 우리나라 부지여건, 국내 인허가 기준 등에 적합한 시스템을 선정하여야 할 것이다. 그렇지 않은 경우 국내 저장부지 조건에 맞도록 시스템의 설계를 변경한 후 다시 인허가를 받아야 할 것이며 이 경우 인허가에 소요되는 비용이나 인허가 소요기간 등을 고려하여야 한다.

저장용기/시설의 설계기준은 IAEA Safety Series No. 116[2], No. 117[3], No. 118[4] 등에서 저장시설의 설계, 운영, 안전성 평가등에 대해 규정하고 있으며, 미국의 NRC 10 CFR Part 72 에서도 ISFSI의 인허가 요구조건 등에 대해 규정하고 있다. 수송용기에 비해 이들은 장기저장에 따른 재질의 건전성 입증 및 용기내부의 밀봉유지가 중요한 설계인자가 되며 저장시설 부지의 안전성을 평가하는 것이 요구된다. 이 법규들은 국내 저장용기/시설 설계에도 적용기준이 되어야 할 것이다. 표 1에 수송용기와 저장용기의 설계기준 차이점을 비교 요약하였다.

### 세계각국의 기술현황

세계 각국에서 약 3억 3,000만kW 출력의 원자로가 운전중에 있으며, 운전기간이 오래됨에 따라 연간 약 8,000다발의 사용후핵연료가 발생되어 계속 누적되고 있으므로[5] 이들의 수송과 저장에 관한 노력은 필연적이라 할 수 있다. 사용후핵연료에 대한 관리정책은 각 나라마다 달라서

재처리를 지연시키는 나라도 있고, 재처리를 완전히 포기하고 최종처분을 고려하거나, 영구처분이나 중간저장 등 처리정책을 결정하지 못하고 당분간 유보하고 있는 나라들도 있다. 그러나 원자로 저장수조의 저장능력 한계를 맞고 있다는 현실을 감안하여 대부분의 나라들은 습식, 건식 또는 AR(At Reactor), AFR(Away From Reactor) 등 어떠한 방식이든 적절한 임시저장시설을 구비하여야만 현재 발생하고 있는 사용후핵연료의 누적문제를 해결할 수 있다.

표 1. 수송 및 저장용기의 설계기준 비교

구분	수송용기	저장용기	비고
일반사항	- 설계 일반사항	- S/F를 최소 20년간 저장	
구조 설계	- 내부압력, 외부압력 - 자유낙하, 파열 - 침수 - 진동조건 - 압축조건	- 내부압력, 외부압력 - 미사일 충돌 - 폭풍우 및 압력강하 - 지진하중 - 폭발압력	
	중 열 설계	- 고온조건 - 저온조건 - 화재사고조건	- 운전중 냉각 - 화재사고 - 눈 및 홍수
차폐 설계	- 용기표면→2mSv/h - 용기표면 1m→ 0.1 mSv/h	- 연간집적선량 (전신 0.25 mSv, 갑상선 0.75 mSv)	
	임계 설계	- 미임계 조건	- 미임계 조건
격납 설계	- 격납계통의 확보 및 보호	- 격납계통의 밀봉장 치의 감시장치	
설계기준	- 과기처고시 제96-38호 - NRC 10 CFR 71 - IAEA Safety Series No. 6	- IAEA Safety Series No. 116, 117, 118 - NRC 10 CFR 72	저장용기 관련 국내법규 없음
기 타	- 자유낙하, 파열, 화재시험 등의 안전성시험	- 격납계통, 미임계, 방사선 등의 감시장치	

지금까지 습식저장은 그 안전성과 효율성은 충분히 입증되었으나 원전부지내에 저장시설을 증설하는 경우에는 건식을 택하려는 경향이 두드러지고 있으며 현재에도 외국 여러 발전소에

표 2. 승인된 원전부지내 건식저장방식과 개발중인 기술현황

	Vendor	적용원전	모 델 명	저장용량	방 식
승 인 된 건 식 저 장 방 식	Pacific Nuclear (VECTRA)	H.B. Robinson	NUHOMS-7P	7 PWR	횡형 콘크리트
	Pacific Nuclear (VECTRA)	Oconee, Calvert Cliffs등 7개 원전	NUHOMS-24P	24 PWR	횡형 콘크리트
	Foster Wheeler	Ft. St. Vrain	MVDS		볼트 시설
	Sierra Nuclear Corperation	Palisades	VSC-24	24 PWR	수직콘크리트
	General Nuclear Systems	Surry	CASTOR V/21	21 PWR, 52 BWR	금속저장용기
	General Nuclear Systems	Gorleben, Germany	CASTOR V/19	19 PWR	수송저장겸용
	Westinghouse	Surry	MC-10	24 PWR	금속저장용기
	NAC	Surry	NAC-S/T-I28	28 PWR	금속저장용기
	NAC	PWR	NAC-STC	26 PWR	수송저장겸용
	NAC	VVER-440	NAC-STC(V)	85 VVER	수송저장겸용
	Transnuclear	Surry	TN-32	32 PWR	금속저장용기
	Transnuclear	Surry	TN-24P	24 PWR	금속저장용기
	Transnuclear	Prairie Island	TN-40	40 PWR	금속저장용기
	Transnuclear	Doel, Belgium	TN-24D	28 PWR	수송저장겸용
	Transnuclear	Gorleben, Germany	TS-28V	28 Vitrified Waste	수송저장겸용
	AECL	Wolsung, etc.	CCs	540 CANDU	수직콘크리트
	Ontario Hydro	Pickering	CIC	384 CANDU	수송저장겸용
	AECL	Gentilly	MACSTOR		수직콘크리트
ENSA	Trillo, Spain	ENSA-DPT		금속저장용기	
개 발 중 인 건 식 저 장 방 식	AECL	CANDU	CANSTOR	1,200 CANDU	수직콘크리트
	Foster Wheeler	LWR	MVDS		볼트시설
	VECTRA	PWR, LWR, BWR, VVER	NUHOMS MPC-187	12~21 PWR24~40 BWR	수송저장처분
	SNC, BNFL	PWR, BWR	TranStor™	24PWR, 61BWR	수송저장처분
	Mitsubishi	PWR, BWR	MSF-V-26P	26PWR, 52BWR	수송저장겸용
	Kobe Steel	PWR, BWR	KTC	32PWR, 76BWR	수송저장겸용
	Hitachi Zosen	BWR	-	61 BWR	금속저장용기
	Transnuclear	Doel, Belgium	TN-24XL	24 BWR	수송저장겸용
	Transnuclear	VVER-440, Czech Republic	SKODA VVER-440/84	84 VVER	수송저장겸용
	Transnuclear	VVER-440	TN-84	91 VVER	수송저장겸용

서는 원전부지내 건식저장을 거쳐 중간저장, 재처리 또는 영구처분시설로 수송하는 방식을 채

택하고 있다.

현재 적용되고 있는 AR 건식저장방식은 다양

하나 주로 횡형 콘크리트 모듈식, 콘크리트 저장용기식, 금속 저장용기식, 수송저장 겸용용기식, 다목적용기식 등 용기에 의한 방식등[6]으로 집약된다고 볼 수 있다. 스페인, 러시아, 스위스, 체코, 일본 등과 같은 나라는 금속저장용기방식을 채택하고 있고, 미국에서는 금속저장용기 방식뿐만 아니라 콘크리트 저장용기 방식 및 횡형콘크리트 모듈식 등을 다양하게 사용하고 있으며, 캐나다에서는 수직 콘크리트 Silo 저장방식과 수송저장겸용 콘크리트 방식을 적용하고 있다. 표 2는 이미 승인된 세계 각국의 건식저장기술과 개발 중인 건식저장 기술의 현황을 나타내고 있다.

그러나 최근들어 이들 각국들은 저장에만 국한되었던 기술을 수송저장을 겸하는 DP(Dual Purpose)나 수송저장처분을 겸하는 MP(Multi-Purpose)에 맞도록 연구개발을 활발히 추진하고 있다.

미 국

미국은 여러 발전소에서 원전부지내 건식저장을 수행하여 오고 있으며 그 방식도 다양하다. 지금까지는 횡형콘크리트 저장모듈방식(NU-

HOMS : Nutec Horizontal Modular Storage), 콘크리트 저장용기방식, 금속 저장용기방식 등 주로 저장 전용방식을 적용하여 왔다. 그러나 최근에는 NAC(Nuclear Assurance Corporation)사에서 NAC-STC 라는 수송저장 겸용용기[7]를 개발하여 NRC로부터 인허가를 취득했으며, 또한 NUHOMS 방식[8]의 MPC(Multi-Purpose Canister) 개발에도 착수하였다. MPC는 그림 1에서 보는 바와 같이 한 개의 캐니스터가 저장, 수송 및 처분능력을 모두 갖추고 있는 다목적용기이다. 이것은 대용량과 소용량의 두가지로 구분되는데 대용량의 경우는 적어도 PWR(Pressurized Water Reactor) 사용후핵연료 21개 이상, BWR(Boiling Water Reactor)은 40개 이상을 수용할 수 있는 규모이고 소용량의 경우는 12 PWR 또는 21 BWR을 저장할 수 있는 기준으로 설계한다. MPC 캐니스터는 개념설계에서부터 기존의 수직형 콘크리트 용기, 횡형 콘크리트 모듈 및 금속 저장용기 기술등을 포함한 다양한 저장기술을 기초로 적용하고 있다. MPC는 저장에 10 CFR 72[9], 수송에는 10 CFR 71[10], 처분에 있어서는 10 CFR 60[11] 등의 규정에서 정하고 있는 설계조건을 만족하도록

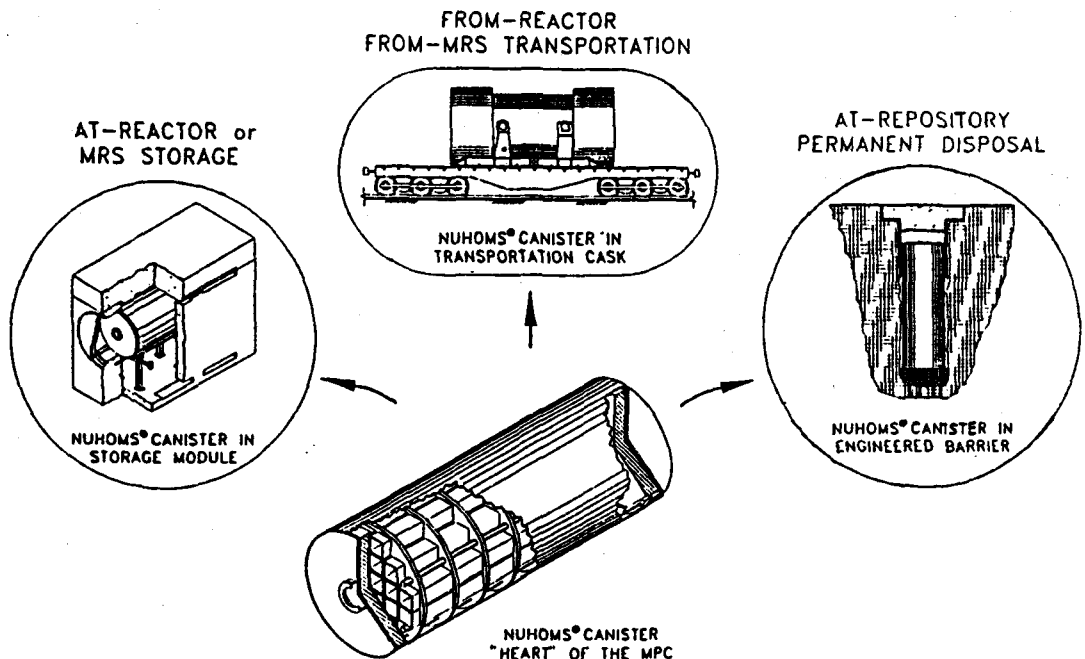


Fig. 1. NUHOMS Multi-Purpose Canister System.

설계되며, 또한 장기저장 건전성 확보를 위한 구조적 건전성, 부식, 기밀 등에 대한 재질기준을 만족할 수 있도록 설계하게 된다.

현재 미국 웨스팅하우스사에서 개발하고 있는 MPC는 NUHOMS 방식으로 DOE(Department of Energy)가 주관하여 개념설계를 마치고, 1994년에는 상세설계, 1995년에는 인허가 신청서를 NRC(Nuclear Regulatory Commission)에 제출하여 1997년까지는 개발을 완료할 것으로 계획하였다. 그러나 1996년초에 DOE가 예산적자로 인해 MPC 개발계획을 포기함에 따라 1,400만달러의 1단계 프로젝트가 완료되는 1996년 3월부터는 민간 원자력산업체로 이관시켜 모델시험 등 실증시험을 수행할 예정[12]이며 따라서 개발은 다소 늦어질 전망이다.

한편 미국은 1982년부터 방사성폐기물 처분장 및 MRS(Monitored Retrieval Storage Facility)의 부지선정, 건설, 운영 등에 대한 폐기물 정책을 수립하였으나 별 진전이 없었다. 따라서 원자력 산업계는 최근에 영구처분장이 건설될 Yucca Mountain에서 그리 멀지 않은 네바다주내 연방 소유 부지에 중간저장시설 건설을 추진하고 있으나 부지특성 연구, 시험, 평가 등에 상당한 시간이 소요될 것으로 전망되며 현재로서는 AR 건식저장을 하지 않으면 안될 상황이다. 따라서 중간저장시설이 건설되지 않을 경우 장기적으로 2010년까지 32개주의 59개 원전부지에 건식저장이 필요하게 되며, 이들에 적용할 방식은 수송저장 겸용용기로 NUHOMS, TN-24, CASTOR, NACSTC 및 VAULT 방식 등이 제시되고 있다.

DOE의 연구결과는 MPC 시스템이 경제적인 면과 기술적인 면에서 저장전용이나 수송저장겸용 시스템보다 훨씬 유리하다고 보고 있다.

## 일 본

일본의 핵주기 기본정책은 재처리를 통해서 얻은 플루토늄을 핵연료로 다시 활용하는 계획이며, 실증시설 규모인 Tokai의 재처리시설과 2000년초 가동목표로 현재건설중인 Rokkasho 시설에서는 사용후핵연료를 재처리하여 미래의 에너지원으로 확보하게 될 것이다. 그러나 기존의 재처리시설 용량을 초과하여 발생하는 사용후핵

연료는 새로운 시설이 가동될 때까지 적절히 저장관리한다는 정책을 1987년에 결정하였다.

따라서 전력중앙연구소(CRIEPI)에서는 80년대 후반에 사용후핵연료를 저장하는 방법으로 저장 수조방식, 건식용기방식, 볼트방식 등에 대하여 연구를 수행하였으며 연구결과 500톤 정도의 비교적 소규모의 사용후핵연료를 원전부지내에 저장할 경우 건식용기 방식이 가장 경제적이라는 결과를 얻었다.[13] 그리고 원자력 안전위원회는 1992년에 원전부지내에서 수행한 용기방식의 저장기술에 대한 확증시험결과등을 토대로 건식 금속용기 저장방식을 결정하였으며 여기에는 고연소도 연료나 MOX 연료도 저장의 대상이 된다.

이러한 건식저장을 위해 1994년도 초반부터 Mitsubishi에서는 농축도 4.1%, 평균연소도 48,000 MWD/MTU인 PWR 고연소도 연료 26개를 저장할 수 있는 수송저장 겸용용기 MSF-V-26P[14]의 설계에 착수하여 인허가 준비중이며, Hitachi Zosen에서는 61개의 BWR 연료 저장용기[15]를 미국의 NAC사의 기술지원을 받아 개발중에 있는 것으로 알려져 있다. 그리고 Kobe Steel에서도 고연소도 연료(농축도 4.2%, 평균연소도 44,000 MWD/MTU) 수송저장 겸용용기 KTC[16]를 개발하고 있으며, 이 용기는 32 PWR 및 76 BWR 용량으로 TN-24보다 용량은 크게 하면서 가격은 저렴하게 한다는 방침이다.

또한 건식저장 비용절감을 위해 저장밀도를 높이는 기술로 연료봉밀집화(rod consolidation) 방식과 연소도크레딧을 사용하여 비용절감 효과를 기대하고 있다. 현재는 보수적으로 임계해석을 하기 때문에 신연료의 초기농축도에 의거하여 해석하고 있으나, 원자로에서 연소한 사용후핵연료는 핵분열성 핵종이 감소하고 반응도가 낮아지는 이점을 고려하여 해석하는 연소도크레딧 방식을 이용할 계획이다. CRIEPI에서는 연소도 크레딧을 사용했을 경우(5년이상 냉각 연료기준) 30% 정도의 용기수를 감소시킬 수 있다는 시험 계산 결과를 얻었으며 이때 문제가 되는 연소도 보증방법으로서 용기내에 증성자 카운터를 넣어서 계측하는 방법에 대한 적용 가능성을 확인하였다.

이들은 연료봉 밀집화 방식에 의한 경우에도

최대 30%의 비용절감을 할 수 있다고 한다. 또한 고연소도 연료나 MOX 연료의 저장용기에는 임계방지성능, 증성자 차단성능 및 전열성능 등이 뛰어난 고성능 바스켓의 개발이 필요하므로 고농도 보론 또는 농축보론을 첨가한 스테인레스강, Al합금, 복합재료 등 3개를 대상으로 특성시험을 진행하고 있는 것으로 알려져 있다.

## 체 코

체코는 NPP Jaslovske Bohurice에 습식 중간저장시설을 건설해 현재 1,176개의 VVER-440 사용후핵연료를 저장하고 있으며, 1994년초까지 NPP Dukovany의 소내 저장수조에는 총 1,893개의 사용후핵연료가 저장되어 있다. Dukovany에 600톤 규모의 중간저장시설을 건설할 예정이나 2005년 이상을 건디지 못할 것으로 여겨진다.

현재 체코는 건식이나 습식저장중 어느 것을 선택한다고 결정한 것은 없으나 사용후핵연료 관리정책에 관한 연구는 계속 진행하고 있다. 그리고 미국, 캐나다, 영국, 스웨덴 등과의 공동연구로 사용후핵연료 관리와 처분계획을 수행한 바 있으며 여기에서 건식용기 방식, 볼트 방식, 습식저장수조 방식 등 3가지가 검토되었는데 그중 건식용기 방식이 가장 유력한 것으로 보고 있다. 이는 경제성, 기술성 및 환경 안전성에 대한 기준에 맞추어 보았을 때 가장 유리한 것으로 나타났다기 때문이다.

최근에는 SKODA VVER-440/84라는 수송저장겸용용기[17]를 개발하고 있으며 이 용기는 VVER-440연료 84개를 저장할 수 있는 용량이다. SKODA 용기는 체코의 국내규정에 만족하도록 설계되고 있으며 수송목적일 때는 증성자차폐재로 BISCO(레진계열) 재질을 쓰고 저장목적인 경우에는 50cm 두께의 콘크리트로 대체될 것이다. 바스켓 재질은 1.2% 붕산을 함유한 스테인레스강으로 감싸인 Al-tube를 사용한다.

지금까지 여러개의 SKODA 용기가 연구개발되었으며 1992년에는 특수용기를 생산하여 VR 실험로에서 생산된 사용후핵연료 수송에 활용하고 있다.

장기저장 방안으로는 용기에 조밀하게 저장하는 방식이나 볼트 시설에 조밀하게 저장하는 방

식등 조밀저장에 대한 방안을 검토하고 있다.

## 스 페 인

스페인인 9개의 원자력 발전소에서 7.4 GWe 전력을 공급하고 있어 전체 전력생산의 약 38%를 원자력이 점유하고 있다.[18] 1981년까지는 가장 오래된 2기의 발전소에서 발생한 사용후핵연료를 영국의 BNFL에 위탁 재처리하였으나 1982년 국가 에너지정책이 변경되면서 재처리는 선택사항으로 바뀌었다.

따라서, 스페인은 수송저장을 겸하는 DP(Dual Purpose)에 기초를 두고 금속용기 개발을 추진중이다.

현재 최종처분해야 할 사용후핵연료는 5,200톤이며 이중 1,000톤 정도는 2010년까지는 수조밖으로 옮겨 저장해야 할 형편이므로 AFR 저장시설이 실현되기 전까지는 AR 저장방식에 의해 해결할 수 밖에 없다. 따라서 ENRESA(국영 방사성폐기물관리 전문회사)는 AR 저장방식으로 금속겸용용기 개발을 결정하였으며, 이 방식은 소규모인 경우 초기투자비를 최소화할 수 있고 장차 중앙집중식 AFR 저장시설에 옮겨졌을 때 시설계통에 적응성도 높일 수 있을 뿐만 아니라 저장단위별로 MRS로 운반하는데 사용후핵연료를 별도로 취급할 필요가 없는 장점이 있다. 즉 겸용용기는 AR에서 저장한 저장단위별로 필요시 AFR 시설로 직접 옮길 수 있다는 것이다. 따라서 VEPCO, EPRI, ENRESA는 이러한 개념의 용기설계에 자금을 공동지원한다는 조건으로 NAC사와 계약을 체결하였으며, PWR 사용후핵연료 26개를 수용할 수 있는 용량의 NAC-STC라는 겸용용기를 개발하여 1995년 중반경에 미국의 NRC로부터 인허가를 획득하였다. 또한 NAC사의 NAC-STC 개발 기술을 전수받아 ENSA는 독일이 설계한 Trillo 발전소 연료를 저장할 수 있는 ENSA-DPT 용기를 1994년도에 개발하였다.

스페인에서 이러한 겸용용기 방식을 채택할 경우 AFR 시설운영 예정인 2012년 이전까지 Trillo, Garona, Zorita, Cofrentes 등 4개의 원자력발전소에서 소요될 총 용기수는 114개로 추정하고 있다. PWR인 경우 용기 용량은 사용후핵연료 21개 또는 26개 기준이며 BWR인 경우는 52개 기

준다.

## 인도

인도에서는 BWR 2기, PHWR 7기 등이 운영되고 있으며 이들 각각 원전에서 발생하는 연료중 일부는 콘크리트 저장용기를 사용하여 원전부지내에서 임시 관리하고 있다.[19]

BWR에서 지난 20년간 발생한 사용후핵연료는 소내 저장수조에서 보관하고 있으나, 지금은 저장용량이 부족하여 납용기에 약 1년간 일시적으로 보관하였다가 Tarapur의 AFR 중간저장시설로 운반하여 보관 관리하고 있다.

PHWR 사용후핵연료 역시 재처리하기 전까지 소내 저장수조에서 보관하고 있으며 일부 연료는 Tarapur 저장시설에서 중간저장하고 있다. 그리고 Kota의 RAPP(중수로형 원전)에서 발생하는 사용후핵연료중 일부는 콘크리트용기에 저장할 계획이다.

BWR 콘크리트 저장용기는 사용후핵연료를 AFR 저장시설로 운반하기 전에 원전부지내에서 임시저장한 후 운반하는 수송저장 겸용방식으로 Type B(U) 및 저장기준에 만족하도록 설계되어 있다. 이 용기의 무게는 약 55톤으로 BWR 사용후핵연료 37개를 건식으로 저장 수송할 수 있다. 또한 PHWR 콘크리트 저장용기는 원래는 수송 목적이나 RAPP의 PHWR 연료를 일시적으로 건식저장하는 용도로 이용되고 있다. 이 용기에는 10년 이상 냉각된 연료만을 저장할 수 있으며, 용기에 임시로 저장했던 연료를 최근에 와서 AFR 저장시설로 운반하였다.

또한 RAPP의 사용후핵연료를 건식저장하기 위한 콘크리트 용기가 계획되고 있는데 176개의 PHWR 연료를 저장할 수 있는 용량이나 트레이를 개조하여 240개의 연료를 수용할 수 있도록 하고 있다. 인도는 AFR 저장전에 AR에서 건식저장을 일시 채택하고 있으나 수송저장 겸용을 목적으로 용기를 개발하고 있지는 않다.

## 러시아

러시아의 에너지성은 3년 냉각기준으로 설계된 수송용기 TK-13에 사용후핵연료를 1년까지는 AR에 보관할 수 있도록 결정하였으며, 따라서

VVER-1000 연료는 TK-13 용기에 저장한 후 1년쯤 되면 재처리 시설로 운반하게 된다. 이는 재처리 시설의 수납용량등의 문제로 수송용기를 한시적 기간동안만 대기시키면서 저장용기 역할을 할 수 있도록 결정한 경우이다.

따라서 발전소 부지에 특별히 설계한 저장시설을 건설하여 28개의 TK-13 용기를 수용할 수 있도록 하였으며,[20] 이 시설은 자연순환 또는 강제순환에 의해 시설의 열을 제거할 수 있도록 설계되었다.

또한 Ukrainian NPP VVER-1000의 사용후핵연료 수송의 지연으로 발전소 부지내에 용기 저장시설을 추가로 건설하여 50개의 TK-13 용기를 약 5년간 저장할 수 있도록 하고 있다. 이 시설은 콘크리트 슬라브로  $-33\sim 36^{\circ}\text{C}$  온도를 설계조건으로 하고 있으며 Seismic(MSK-64 scale) 조건으로 진도 5도로 설계되었다.

러시아의 경우 현재까지는 저장을 위한 용기를 특별히 개발하지는 않고 있다.

## 프랑스

TN(Transnuclear)에서는 여러 종류의 용기들을 개발하여 세계 각국의 원전에 사용중에 있으며 TN 계열의 용기현황은 다음 장에서 설명된다. TN-24P는  $17\times 17$  PWR 연료 24개를 저장할 수 있는 저장용기이며, TN-40은  $14\times 14$  PWR 연료 40개를 저장할 수 있는 저장용기이다. TN-24P는 1986년도에 TN-40은 1995년도에 NRC로부터 각각 인허가를 받아 미국원전 Prairie 등에서 사용중에 있다. 한편 TN-24D 및 TN-24XL은 농축도 3.4%, 평균연소도 36,000 MWD/MTU 연료를 장전할 수 있는 수송저장 겸용용기로 설계되었으며 TN-24D는 이미 인허가를 받아 1995년 12월부터 벨기에의 Doel 발전소에 적용하고 있는 것으로 알려져 있다. 특히 TN-24D 용기는 F-16 전투기가 540 km/h의 속도로 충돌하는 시험을 수행하여 안전성을 입증한 바 있다.[21] 또한 최근에는 VVER-440 연료 91개를 수송저장 할 수 있는 TN-84 겸용용기를 설계중에 있다.[22] 프랑스에서 개발되고 있는 용기들은 대부분 탄소강을 사용하며 격납은 2중 방벽개념을 적용하여 Zero-release가 보장되도록 설계제작된다.



한 국

한국은 1986년에 KSC-1 수송용기, 1991년에 KSC-4 수송용기를 개발하였으며 KSC-4 수송용기를 사용하여 고리원전 1호기에서 3호기 및 4호기로 사용후핵연료를 소내 이송 저장한 경험이 있다.

현재 가동중인 10기의 원전에서 발생하는 사용후핵연료의 누적을 감당하려면 중앙집중식 중간저장시설이 요구되고 있으나 아직도 부지를 확보하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 저장수조의 저장용량을 확장하기 위하여 조밀저장대를 설치하여 문제점을 일부 해결하고 있으며, 또한 PHWR 사용후핵연료는 원전부지내 건식 콘크리트 silo에 저장중에 있다. PWR 사용후핵연료도 원전부지내 임시저장을 목적으로 설계를 추진중에 있다.

저장용기 방식에 따른  
건식저장기술 종류 및 특성

횡형콘크리트 저장모듈(NUHOMS) 방식

NUHOMS 건식저장기술은 주로 미국에서 이용되고 있는 방식으로 1983년도에 개발을 착수하여 1986년도에 최초로 NUHOMS-7P를 H.B. Robinson 발전소에 적용하는 인허가를 NRC로부터 받았다. 1989년 3월부터는 NUHOMS-7P가 실제 운영에 들어 갔으며, 그 이후 계속 기술을 발전시켜 1990년에는 NUHOMS-24P를 Duke 전력의 Oconee 발전소에 운영할 수 있는 인허가를 받았다. 또한 Baltimore Gas and Electric 회사의 Calvert Cliffs 발전소에서도 1992년도에 이 방식에 대한 인허가를 받았다. 이 외에 이 방식은 또한 표 3에서 보는 바와 같이 Rancoho Seco 원전 등

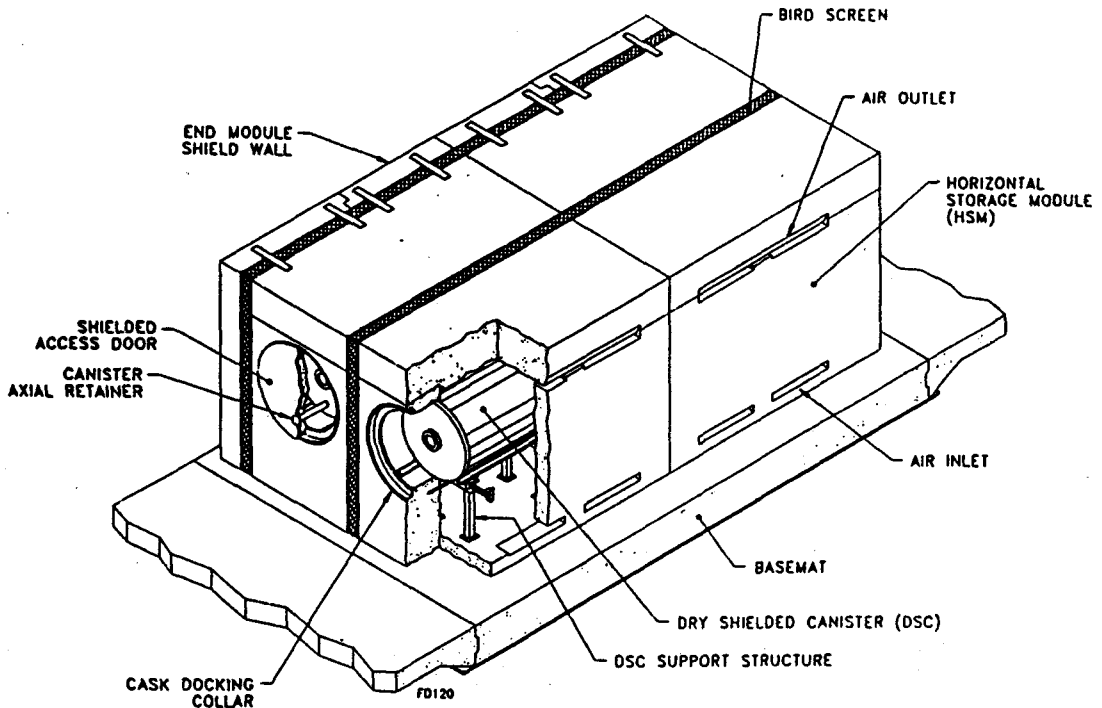


Fig. 2. NUHOMS Prefabricated Module-Double Module Row Arrangement.

미국내 8개 발전소에서 적용을 추진하고 있으며, 우리나라에서도 현대가 한국내 NUHOMS 공급에 관한 기술도입계약을 체결해 놓은 상태에 있다.

표 3. NUHOMS 방식을 적용하는 주요 발전소별 현황

적용 발전소	연료 타입	허가된 캐니스터수	최초 저장	NRC 승인
H.B. Robinson	PWR	8	'89. 3	'86. 8
Oconee	PWR	88	'90. 7	'90. 1
Calvert Cliffs	PWR	120	'93.11	'92.11
Rancho Seco	PWR	21	'97. 9	'94. 8
Davis-Besse	PWR	30	'95.12	'94. 5
Fitz Patrick	BWR	34	'97. 6	
Oyster Creek	BWR	820	'98. 1	
Susquehanna	BWR	105	'97. 8	

이 시스템은 그림 2에서 보는 바와 같이 site에 설치된 배기 콘크리트 횡형저장 모듈(HSM: Horizontal Storage Module)을 이용하는 방식으로 이 모듈 안에 격납용기인 사용후핵연료가 장전된 건식차폐 캐니스터(DSC: Dry Shield Canister)를 수평상태로 저장하는 것이다. DSC는 방사성물질이 외부로 누설되지 않도록 압력경계 역할은 물론이고 on-site 이송용기에 의해 HSM으로 운반되는데 내부구조는 연료저장랙과 비슷하며 운반 및 저장기간중에 사용후핵연료 각각을 지지 보호해 주는 역할을 한다.

처음 개발된 NUHOMS-7P 시스템은 7개의 PWR 사용후핵연료를 저장하는 방식으로 GE(General Electric)의 IF-300 용기를 사용할 수 있도록 제원을 설계하였다. 또한 NUHOMS-24P와 52B는 24개의 PWR 연료와 52개의 BWR 연료를 각각 저장하는 시스템으로 별도의 이송용기를 이용하여 DSC를 운반하며, 현재 개발이 진행중인 MPC 시스템에도 직접 적용할 수 있도록 설계하였다.

이 시스템은 일반적으로 옥외 저장소에 설치하며 필요에 따라서 건축물을 이용하여 보호할 수도 있으며, 또한 항공기 추락사고에 대비해 항공기 충격보호벽을 설치할 수 있도록 설계하였다.

특히 이 시스템은 초기농축도 5.0 w/oU<sup>235</sup>, 연

소도 50,000 MWD/MTU 이상의 고연소도 연료를 저장할 수 있으며 정상조건하에서 핵임계도  $k_{eff} \leq 0.95$ 의 미임계 조건을 만족시킨다. 그리고 5년 냉각시킨 연료봉의 온도를 340°C(PWR)~420°C(BWR) 범위로 분포하도록 연료봉 온도를 보수적인 한계치(제한온도 570°C)가 되도록 설계하였다.

NUHOMS 건식저장 시스템은 겸용용기 방식에 비해 작업공정이 다소 불편하지만 안전성, 경제성 등이 다른 방식에 비해 우수하며 여러 종류의 연료에 적용이 가능한 장점을 갖고 있으며 또한 인허가, 설계, 건설 및 운영에 소요되는 총 기간이 약 2년정도로 비교적 단기간에 시행될 수 있는 장점도 갖고 있다. 그리고 이 방식의 설계수명은 50년이나 현재 승인된 수명은 20년이다. 이 시스템은 또한 10 CFR part 72 기준에 만족하도록 설계 제작되었으며 NUHOMS 방식의 적용발전소별 저장 및 저장예정 현황은 표 2와 같다.

#### 콘크리트 저장용기 방식

PWR 및 BWR 연료를 콘크리트제 용기에 저장하는 방식으로 미국 Sierra Nuclear(SNC)사가 1990년에 개발하여 콘스마전력의 Palisades 발전소에서는 1993년도부터 저장에 들어 갔으며, 위스콘신전력의 Point Beach 발전소 및 Arkansa 발전소에서도 인허가를 받아 사용중인 것으로 알려져 있다.

이 방식은 사용후핵연료에서 발생한 열이 콘크리트제 용기와 탄소강재의 밀봉 바스켓으로 형성된 도너츠 형태의 공간에 흐르는 공기에 의해 냉각되도록 설계되었다. 이 시스템 모델은 VSC-17과 VSC-24형 등 두 종류가 있으며 VSC-17형은 PWR 17다발 저장용기이며 VSC-24형은 PWR 24다발 또는 BWR 61다발 저장용으로 설계되어 있다.

그러나 1994년 7월초 Palisade 발전소에서 사용중인 VSC-24 용기의 연료바스켓 용접부위에서 결함이 발견되었으며, 1996년 5월에는 Point Beach 발전소의 VSC-24 용기재질의 화학적 문제로 인하여 수소폭발 사건이 발생되어 이에 대한 문제가 해결되기전까지는 작업을 중단하도록 1996년 6월 NRC가 지시를 내린 상태에 있다. 현재까지 VSC-24를 사용하는 건식저장방식은 운영

이 중단된 상태이나 Arkansa 발전소의 경우에는 1996년 12월 NRC가 사용재개를 허용한 것으로 알려져 있다.

NRC의 요구요건을 만족할때까지 VSC-24 용기 자체 및 작업공정에 대한 검토 및 보완작업을 진행중에 있으며 문제점이 곧 해결될 것으로 관망하고 있다. 향후 이 방식에 사용될 사용후핵연료 바스켓은 수송, 저장, 처분의 다목적용으로까지 계획하고 있으며 미국의 SNC와 영국의 BNFL이 공동 설계하여 현재 NRC에 승인을 요구하고 있는 상태로서 이러한 다목적 바스켓은 경제성, 작업 효율성, 안전성 측면에서 유리할 것으로 관망하고 있다.

우리나라에서는 한국중공업이 영국 BNFL사와 이 방식에 대한 사업협력계약을 체결하였으며 BNFL사는 미국 SNC로부터 이 방식에 대한 마케팅을 인수한 것으로 알려져 있다.

이 시스템은 또한 다른 방식에 비해 단순하면서도 경제적이고 표준화되어 있으며, 원형 실린더 형태로서 콘크리트 Cavity 내부의 바스켓은 격자형구조로 24개의 PWR 사용후핵연료를 지지 보호해 준다. 용기의 하단부와 상단부에 공기 인입덕트 및 배출구가 있어 공기는 하단부로 인입되어 자연대류 방식에 의해 바스켓 주위를 냉각시키면서 상단부 출구로 배출되며, 콘크리트 외면에서의 방사선량은 15mR/hr 정도이다. 이 시스템은 배기형 콘크리트 저장용기(VSC), 사용후핵연료 밀봉 바스켓(MSB), MSB 이송용기(MTC),

운반차량 및 진공설비, 크레인 등으로 구성되며 압력경계 역할을 하는 밀봉바스켓(MSB)의 설계 기준은 표 4와 같다. 이 용기는 NRC로부터 2013년까지 승인되어 있다.

표 4. VSC-24 MSB 설계기준

구 분	PWR 연료	BWR 연료
열량	26kW	26 kW
최대 연소도	40,000 MWD/MTU(5년) 45,000 MWD/MTU(6년)	35,000 MWD/MTU(5년) 40,000 MWD/MTU(7년)
초기 농축도	4.2 w/o	3.7w/o, 4.1w/o
충전가스	He	He
핵연료 온도	330~400℃	380~460℃
핵임계	0.95	0.85

금속저장용기 방식

사용후핵연료를 금속저장용기에 담아 저장하는 방식으로 독일, 스위스, 러시아, 미국 등에서 이 방식을 개발하여 원전부지내에서 독립적으로 소내저장을 하고 있다. 미국에서는 이 방식에 대한 기술개발에 착수하여 1984년부터 실증시험을 거쳐 NRC로부터 인허가를 받았으며, 1987년초에 Surry 발전소 부지내에서 Castor V/21에 사용후핵연료를 최초로 저장하였다. 미국에서는 저장방식중 금속저장용기 방식이 가장 진보되어 있다. 한편 일본에서는 1994년도부터 이 방식의 개발에 착수하였는데 Mitsubishi사에서 MSF-V-26P 수송 저장겸용 용기의 상세설계를 완료하여 인허가

표 5. 주요 금속저장용기의 제원 및 설계기준

구분/용기종류	CASTOR-V21	MC-10	NAC S/T	NAC-C28 S/T	TN-24P
차폐재료	주철, 폴리에틸렌	단조강, 레진	SUS, 레진, 납	SUS, 레진, 납	단조강, 레진
저장연료수	21 PWR	24 PWR	26 PWR	56 PWR (Consolidated)	24 PWR, 48 (Consolidated)
총중량	107.6 톤	122.7 톤	105 톤	125 톤	100 톤
연료연소도	35,000 MWD/MTU	35,000 MWD/MTU	35,000 MWD/MTU	35,000 MWD/MTU	35,000 MWD/MTU
연료냉각기간	5 년	10 년	5 년	10 년	5 년
초기농축도	2.2 %	3.7 %	3.3 %	3.5 %	3.2 %
붕괴열(연료1개)	1 kW	0.5625 kW	1 kW	0.714 kW	1 kW
인허가현황	소내 건식저장	소내 건식저장	소내 건식저장	소내 건식저장	소내 건식저장
적용발전소	Surry(미)	Surry(미)			Surry(미)

준비중이며, Hitachi Zosen에서는 61개의 BWR 연료 저장용기를 NAC와 공동으로 개발중에 있다.

이 방식을 이용하는 주요 저장용기는 표 5에서 보는 바와 같이 CASTOR V/21, TN-24P, MC-10, NAC S/T, NAC-C28 S/T 등이 있으며 대부분 인허가를 취득하여 사용후핵연료 저장에 사용하고 있다.[23] 또한 밀집화시킨 연료(rod consolidation)도 저장할 수 있으며 연료바스켓은 격자구조형으로 봉산 또는 봉산첨가 스테인레스강, 봉산첨가 알루미늄 등으로 제작하여 핵임계 조건을 만족시킬 수 있도록 설계하였다. 또한 미국의 DOE등은 같은 용량의 저장용기에 보다 많은 사용후핵연료를 저장하여 경제성을 높이기 위한 방법으로 연소도 크레딧을 사용하는 방안을 추진하고 있다.

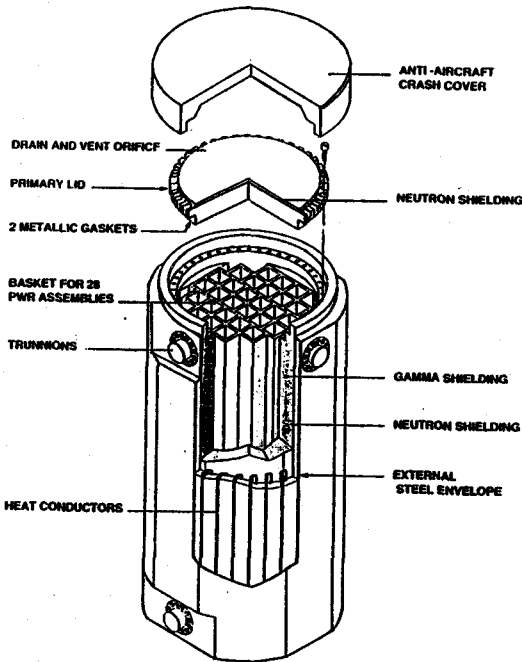


Fig. 3. TN-24 D Transport/Storage Cask.

특히, TN 계열의 금속저장용기는 표 6에 나타난 바와 같이, TN-24P, TN-24B, TN-24D, TN-24XL, TN-32, TN-40 용기로 다양하다. TN-24P, TN-32 및 TN-40은 미국 NRC로부터 저장용기로서 인허가를 받았으며, TN-24D는 그림 3에서 보는 바와 같이 PWR 28개 용량으로 프랑스에서 수송용으로, 벨기에에서 수송저장 겸용용기로서 인허

가를 취득하였다. TN-24XL은 겸용용기로서 벨기에에서 승인검토중이다.

표 6. TN 계열 저장용기 및 수송저장 겸용용기 현황

모델명	용량	중량(톤)	적용발전소	인허가현황	적용년도
TN-24P	24 PWR (17×17)	93	INEL, Virginia	저장(NRC)	1986
TN-24D	28 PWR (17×17)	114	Doel 3, Belgium	수송(프랑스) 수송저장(벨기에)	1995
TN-24XL	24 PWR (17×17)	95	Doel 4, Belgium	수송(프랑스) 수송저장(벨기에) 검토중	1996
TN-32	32 PWR (17×17)	115	Surry, Virginia	저장(NRC) 검토중	1996
TN-40	40 PWR (14×14)	115	Prairie NSP	저장(NRC)	1995
TN-84	91 VVER	110	Russia	설계중	
TS-28V	Vitrified Waste	-	Gorleben, Germany	수송저장	1995

또한 TN은 Vitrified Waste 용기로서 TS-28 용기와 TN-28VT 용기를 개발하였으며 TS-28V는 수송저장 겸용용기로 독일의 Gorleben 중간저장 시설에 사용중이다. TN-28VT는 수송목적으로 사용되는 용기로 COGEMA에서 소유하고 있으며 이 용기를 사용하여 1996년 5월 La Hague 재처리 공장에서부터 Gorleben까지 Vitrified Waste를 수송하였다. TN용기의 각 모델에 대한 용량, 적용발전소 및 인허가현황은 표 6과 같다.

수송 저장 겸용용기 방식

이 방식은 수송용기가 저장기능을 겸할 수 있도록 하여 사용후핵연료를 담은 용기를 장기간 저장하거나 어느때든지 필요하면 수송용기로서의 기능을 발휘할 수 있도록 한 방식으로 겸용(Dual-Purpose)용기라 한다. 미국, 독일 등에서는 겸용용기의 개발을 완료하여 이미 인허가를 받았으며 최근에는 일본이 개발중에 있는 것으로 알려져 있다.

지금까지 승인된 겸용용기는 미국의 26 PWR 용량의 NAC-STC, 85 VVER-440 용량의 NAC-STC (V), 독일의 TN-24D, TS-28V, CASTOR V/19 등

이다. 그리고 독일의 TN-24XL, 미국 영국의 TranStor™, 일본 미쓰비시사의 MSF-V-26P 및 고베 스틸의 KTC는 현재 개발단계에 있으며 MSF-V-26P는 설계가 완료되어 있는 상태이다. 이들은 모두 금속 겸용용기이나 TranStor™은 콘크리트를 사용한 다목적 용기로서 기존의 VSC 용기의 캐니스터를 다목적화 시키는 것으로 미국의 SNC와 영국의 BNFL이 공동으로 참여하여 개발중에 있으며 1996년초에 인허가를 위한 서류를 NRC에 제출한 상태이다.

우리나라에서는 삼성이 미국의 NAC사와 NAC-STC에 대한 국내판매권 계약을 체결한 바 있다.

NAC-STC는 26개의 PWR 사용후핵연료를 저장 및 수송할 수 있게 설계되어 있다. NAC-STC의 설계기준 사용후핵연료는 웨스팅하우스 15×15 및 17×17 PWR이며, Babcock & Wilcox 혹은 Combustion Engineering의 사용후핵연료의 저장도 평가되었다. 저장설계에 대해서는 10 CFR 72와 수송설계는 10 CFR 71의 인허가 항목을 만족하고 있으며 저장용기 간의 이격거리는 최소 3.6m 이상이 유지되어야 하며 관리구역 경계가 최소 240 m 정도 필요하다.

NAC-STC는 현재 미국에서 유일하게 수송과 저장의 겸용화된 용기로서 인허가를 받았다. 미국 인허가 기관인 NRC로부터 수송분야는 1994년 9월에, 저장분야는 1995년 7월에 각각 인허가를 취득하였다. 이 겸용 용기는 추가적인 이송계통(transfer system)이 필요하지 않으며 인허가 만료기간은 수송분야는 5년, 저장분야는 20년으로 받았다. 현재 NAC-STC를 제작하여 사용중에 있지 않지만, 미국 정부 DOE 재원으로 진행된 웨스팅하우스사의 Multi-Purpose Canister System이 설계단계 완료후 중단됨에 따라, NAC는 UMS(Universal MPC System)라는 program을 프랑스의 Transnuclear와 미국 CE와 연계하여 1996년에 SAR(Safety Analysis Report)을 제출하였고, 1998년에 인허가를 취득하는 계획으로, NAC-STC를 기본으로 한 MPC를 개발하고 있다.

이 MPC의 최대길이는 5.4m로서 금속저장용기, 콘크리트용기 및 수평저장모듈 등의 어떠한 저장방식에도 적재가능하다. 이 MPC는 NAC-STC 용기를 이용하여 수송을 하고, 중간저장시설이

설치될 Yucca Mountain에 처분용기로도 활용할 계획으로 추진하고 있다. 용량은 초기 26 PWR 집합체로 설계하였으나 현재는 밀집화된 38 PWR 집합체도 고려하고 있다.

## 결 론

콘크리트 횡형모듈(NUHOMS) 방식은 미국 Duke 전력의 Oconee 발전소등 8개의 원전에서 사용되고 있으며 경제성에서 어느 다른 방식보다 유리한 것으로 알려져 있다. 특히 항공기 추락등 내충격성의 단점을 보완하기 위해 부지 특성에 따라 필요시 충격보호벽을 설치할 수 있도록 설계되어 있다. 그리고 사용후핵연료를 장전하는 캐니스터는 단순한 저장기능뿐만 아니라 수송저장처분등 다목적으로 사용할 수 있게 개발중에 있다.

콘크리트 수직저장용기(VSC) 방식은 미국 콘스마전력의 Palisades 발전소, 중수로형 원전의 경우는 캐나다 Gently-1 발전소, 월성원전 등에서 사용중에 있으며 미국의 Point Beach 발전소 및 Arkansa 발전소 등에서도 인허가를 받아 사용중에 있다. 이 방식도 금속용기 방식에 비해 경제성에서 유리한 것으로 알려져 있으나 콘크리트 재질로 인한 내충격성 및 내열성이 약한 단점을 갖고 있다. 이 방식 또한 캐니스터를 수송저장 겸용으로 사용할 수 있도록 개발중에 있다.

금속저장용기 방식은 미국의 Surry 발전소등 2개 원전, 스페인 Trillo 발전소등에서 사용중에 있으며 일본에서도 인허가를 받아 사용할 예정이다. 이 방식은 콘크리트 방식에 비해 경제성에서 불리하지만 내열성, 내충격성 등 안전성면에서 유리한 것으로 알려져 있다.

수송저장 겸용용기(Dual-purpose) 방식은 사용후핵연료를 장기간 저장하다가 필요하면 어느때든지 수송용기로서의 기능을 발휘할 수 있는 방식이므로 취급이나 운영이 간편하고 내열성, 내충격성에 강하므로 안전성면에서 장점이 있으나 경제성에서 다른 방식들에 비해 불리한 것으로 알려져 있다. 독일의 Gorleben 발전소, 벨기에의 Doel 발전소 등에서 이 방식을 사용하고 있으며 일본, 체코 등에서 인허가를 받아 사용할 예정이

다.

지금까지 검토된 4가지 방식 모두 설계수명은 40~50년이나 20년간 사용할 수 있는 인허가를 받아 놓았기 때문에 어느 방식이든 국내에서 사용후핵연료 AR 건식저장에 활용할 수 있는 것들이다. 방식 선정은 증설계획등 저장대상 물량과도 밀접한 관계가 있으며, 국내 인허가기관의 법적 요구조건 및 국내 사용후핵연료 관리정책과도 연관이 될 것이므로 장기적 측면에서 면밀한 검토가 요구된다.

한편 최근의 기술개발 경향으로 보면 겸용용기 방식이나 다목적용기 방식을 개발하는 국가들이 늘어나고 있는 추세이며 스페인, 일본 등 일부 국가에서는 겸용방식에 대한 자체개발을 위해 꾸준히 노력하고 있다. 우리나라에서도 원자로가 계속 증가되고 있는 현실을 감안할 때, 장기적인 측면을 고려하여 수송기술개발을 통하여 축적된 기반기술을 바탕으로 겸용용기 방식이나 다목적용기 개발에 대한 관심을 갖고 외국과의 기술협력 등을 통하여 이 분야에 대한 기술자립화를 달성할 수 있도록 노력하여야 할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

1. Jeff Williams, "Multi-purpose Cask/Canister Technologies in the United States", *IAEA Advisory Group Meeting for Dual-purpose Cask Development*, Vienna (1994).
2. IAEA, *Design of Spent Fuel Storage Facilities*, IAEA Safety Series No. 116, IAEA, Vienna (1994).
3. IAEA, *Operation of Spent Fuel Storage Facilities*, IAEA Safety Series No. 117, IAEA, Vienna (1994).
4. IAEA, *Safety Assessment for Spent Fuel Storage Facilities*, IAEA Safety Series No. 118, IAEA, Vienna (1994).
5. KAERI, "사용후핵연료의 건식저장기술의 동향", 원자력 동향 제13권 제11호, pp. 133~139 (1995).
6. DOE, *Final Version : Dry Cask Storage Study*, DOE/RW-0220 (1989).
7. NAC, *Safety Analysis Report for the NAC Storable Transport Cask*, NAC Service Industry (1994).
8. PNS, *NUHOMS Spent Fuel Storage and Transportation System Planning Guide*, Pacific Nuclear Fuel Services, MKT 93-01H (1992).
9. NRC, *Independent Storage of Spent Nuclear Fuel*, USNRC 10 CFR Part 72 (1992).
10. NRC, *Packaging and Transportation of Radioactive Material*, USNRC 10 CFR Part 71 (1992).
11. NRC, *Disposal of Radioactive Material*, USNRC 10 CFR Part 60 (1992).
12. KAERI, "DOE, MPC 프로그램 중단", 원자력 동향 제14권 제3호, pp. 83~84 (1996).
13. K. Yamaji, K. Nagano and T. Saegusa, *Comparative Economic Evaluation of Spent Fuel Storage Technology*, CRIEPI, L-87001 (1987).
14. K.Maruoka and H.Tamaki, "Development of Spent-Fuel Transport and Storage Dry Casks", in : '95 PATRAM, pp. 1190~1196, Vol. 1, Las Vegas (1995).
15. M. Mikata and K. Iwasa, "Design of Spent-Fuel Storage Cask", in : '95PATRAM, pp. 1077~1080, Vol. 1, Las Vegas (1995).
16. H. Taniuchi and H. Yasuda, "Design of High-Capacity Transport/Storage Cask for High Burnup Fuels", in : '95 PATRAM, pp. 1430~1435, Vol. 1, Las Vegas (1995).
17. Vaclav Valenta, "Development of Transport and Storage Cask SKODA VVER-440/84", Czech Republic (1994).
18. Jose A. Gago and Jose M. Gravalos, "Development of Dual Purpose (storage and transport) Metal Casks in Spain", ENRESA, Spain (1994).
19. P. Seetharamaiah, "Development of Transport and Storage Cask for Spent Fuel from Nuclear Power Reactors-Indian Experience", *IAEA Advisory Group Meeting for Dual-Purpose Cask Development*, Vienna (1994).
20. Yu. I. Arkhipovski els. "Storing VVER-1000 Spent Fuel in Transportation Casks", *IAEA Advisory Group Meeting for Dual-purpose Cask*

- Development*, Vienna (1994).
21. P. Malesys and J.L. Catoire, "Behavior of Spent-Fuel Transport/Storage Cask When Impacted by an Airplane", in : '95 *PATRAM*, pp. 439~448, Vol. 1, Las Vegas (1995).
  22. B. Kirchner, "The TN-84 : A Dual-purpose Cask for VVER-440 Nuclear Power Plants", in : '95 *PATRAM*, pp. 373~380, Vol. 1, Las Vegas (1995).
  23. NRC, *Directory of Certificates of Compliance for Dry Spent Fuel Storage Cask*, NUREG-1419, USNRC, Washington (1992).