

使用後核燃料中間貯藏技術

西
獨

鑄鐵製 캐스크貯藏 再處理計劃과 並行

西獨에서는 지금까지 使用後核燃料의 일부를 칼스루에 再處理實驗플랜트 WAK工場 (35tU/年)에서 재처리하는 외에 상당량을 영국·프랑스 등에 再處理委託하고 있으며 1992년에는 處理能力 350tU/年의 재처리공장이 操業을 시작할 예정이다. 또한 이들 재처리계획과 병행해서 3,360tU의 使用後核燃料중간저장계획이 있으며 이 兩計劃으로 西獨은 2000년까지의 使用後核燃料 대책에 대비하고 있다.

1. 캐스크에 의한 中間貯藏

(1) 經 緯

1974년에 서독연방정부는 原子力發電所運轉者가 使用後核燃料의 재처리 및 리사이클에 대한 責務를 맡으며, 政府는 방사성폐기물의 最終貯藏에 대한 책임을 맡을 것을 결정했다. 이로 인해 원자력발전소를 운전하는 전력회사는 1977년에 西獨 核燃料物質再處理會社 (DWK)를 설립하기에 이르렀다. DWK는 再處理 및 廢棄物處理處分센터 (核燃料사이클센터)의 설치장소를 고아레벤으로 정하고 1977년 州政府에 許可申請을 제출했다.

그러나 州政府는 주민의 반대와 정책상의 이유로 處理施設의 필요성을 否認하고 연방정부에 대해 당분간 재처리를 단념토록 권고하는 대신

원자력발전소의 使用後核燃料에 대한 中間貯藏施設의 건설을 제안했다. 한편, 연방정부와 각 주정부는 使用後核燃料을 재처리할 것인가, 직접 처분할 것인가에 대한 결정을 1985년경에 하기로 하고 1979년에 중간저장의 추진이 결정됐다.

DWK와 STEAG原子力會社는 使用後核燃料中間貯藏施設을 우선 아어하우스에 건설할 계획인데 당초는 水貯藏方式을 고려하여 개념설계와 안전심사 준비를 하였다. 그러나, 저장시설을 항공기 추락에 견디도록 하는 설계요건을 만족시키면 經濟性이 나빠지는 외에 연방정부가 自然冷却方式을 課해옴으로서 결국 乾式캐스크貯藏方式으로 바뀌어서 1979년에 저장능력 1,500tU의 캐스크저장시설의 건설허가를 신청했다.

한편, 고아레벤에 대해서는 再處理施設計劃을 중간저장시설로 변경하여 DWK는 저장능력 1,500tU의 캐스크저장시설의 허가신청을 하였다.

또 원자력발전소내에서의 중간저장계획으로 프로이센電力會社가 빌가센 原子力實証試驗施設의 허가신청을 1980년에 하였으며 북서독일전력회사는 Stade原子力發電所사이트內 中間貯藏施設의 건설허가를 신청하고 있다.

(2) 開發狀況

1) 캐스크貯藏施設

① 原子力發電所사이트外 (AFR)貯藏施設

● 고아레벤貯藏施設: 1981년 7월에 建設許可가 발행되어 1982년 2월부터 1983년말까지 동안에 저장건물이 건설되었다. 1983년 9월에 1,500tU의 40年間 저장허가를 취득하여 1984년 중반

부터 저장을 시작하려고 한다.

● 아이하우스貯藏施設：당초 풀저장방식을 1,500tU의 乾式캐스크저장방식으로 변경해서 1979년 10월 州政府에 건설허가신청을 提出했다. 그 후 1983년 8월에 공청회가 열려 10월에 건설허가가 발행되었다. 저장허가도 현재 신청중이며 건설기간 약18개월후인 1985년에 運開된다.

② 原子力發電所사이트内 (AR)貯藏施設

● 빌가센貯藏施設：저장시설 (120tU)을 계획함과 함께 풀의 除染室에서 1982년 3월부터 長期實証試驗을 시작했다.

● Stade貯藏施設：1982년부터 Stade원자력발전소 (PWR)의 사용후핵연료를 칼스루에의 재처리시설 WAK로 수송하고, 거기서 長期캐스크저장 실증시험을 시작함과 함께 발전소사이트내에서의 저장 (240tU) 허가를 신청중에 있다.

2) 輸送・貯藏兼用캐스크

다음은 球狀黑鉛鑄鉄에 의한 사용후핵연료 저장캐스크로 서독에서 개발된 CASTOR型캐스크와 TN型캐스크이다.

① CASTOR型캐스크

CASTOR型캐스크는 서독 GNS社에 의해서 1977년경부터 개발된 사용후핵연료 수송・저장 겸용캐스크로서 현재 약10종류의 캐스크가 개발되고 있다. 이들 캐스크는 輸送規則과 관련된 여러가지의 시험을 거쳐서 B(U)型輸送容器로 설계승인을 취득하고 있다. 또 빌가센원자력발전소사이트내 저장시설에서 CASTOR-Ic가, 칼스루에 재처리시설사이트내에서 CASTOR-Ib가 長期實証試驗에 사용되며, CASTOR-Ia, Ib, Ic, IIa는 고아레벤貯藏施設에서의 저장허가를 취득하고 있다. 현재, 서독을 포함한 4個國에서 CASTOR型캐스크의 實証試驗이 계획되고 있는데 이것을 表2에 나타내었다.

② TN型캐스크

TNH社 (西獨)는 코스트 다운을 목적으로 輸送・貯藏兼用캐스크의 本體에 球狀黑鉛鑄鉄을

〈表1〉貯藏方式의 開發現況

立地型式	施設	貯藏容量	許可申請		建設		運轉		備考
			許可	申請	許可	建設	許可	運轉	
A FR	고아레벤	1,500tU	○	○	○	○			'84. 夏運開決定展望 '85. 運開展望
	아이하우스	1,500tU	○	○					
A R	빌가센	120tU	○						
	Stade	240tU	○						

〈表2〉各國에서의 實証試驗計劃

實施場所	CASTOR 型式	爐形式	實施期間
WuerGassen 西獨	CASTOR Ic	BWR	82/02~84/06
WAK (Karlsruhe) 西獨	CASTOR Ib	PWR	83/09~85/06
KfA (Juelich) 西獨	CASTOR Ia	PWR	83/09~85/12
EIR (Wuerenlingen) 스위스	CASTOR Ic Diorit	HWR	83/04~
Cadarache 佛	CASTOR SPX	FBR	83/01~
TVA (Browns Ferry) 美國	CASTOR Ic	BWR	84/05~86/06

〈表3〉캐스크貯藏施設의 主仕樣

貯藏施設	빌가센	고아레벤	아이하우스
項目			
貯藏容量			
캐스크數 (基)	40	420	420
우라늄重能 (MTU)	120	1,500	1,500
建物構造	鉄筋콘크리트	鉄筋콘크리트	鉄筋콘크리트
길이 (m)	36	182	200
寬度 (m)	19.4	38	고아레벤과 거의같음
높이 (m)	9	20	"
벽두께 (mm)	500~600	50	"
天井두께 (mm)	250	200	"
冷却方式	自然空冷	自然空冷	自然空冷
主併設施	原子力發電施設	低레엔廢棄物貯藏施設	특별한것 없음

適用한 TN-1300型캐스크를 개발하여, 1983년에 B(U)型輸送物로 설계승인을 취득하고 있다. 허인가의 취득에 있어서는 1980년에 1/3 규모 축소에 의한 -40°C에서의 9m落下試驗, 또 1983년에는 실물크기 모델에 의한 航空機墜落을 模擬한 衝突試驗 등을 실시하여 캐스크의 健全性을 확인하고 있다.

2. 캐스크貯藏施設

(1) 概要

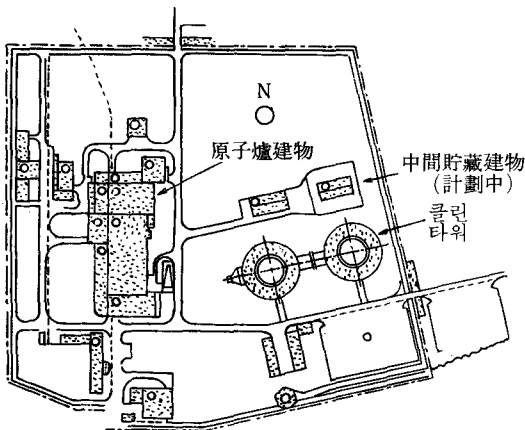
서독에서의 캐스크저장시설은 빌가센, Stade (이상 原子爐사이트内) 및 고아레벤, 아이하우스 (이상 原子爐사이트外) 등 네군데에서 각각 計劃・建設되고 있다. 이 중에서 주된 사양을 表3에 정리했다. 또 그림 1에 빌가센원자력발전소 사이트의 평면도, 캐스크貯藏建物の 평면도 및 단면도를 나타내었다. 캐스크저장건물이 원자로 건물에서 100미터 이내에 위치하고 있는 것이 특징적이다.

그림 2에 고아레벤사이트의 조감도를 나타내었다. 여기서는 캐스크저장건물과 低레벨폐기물저장건물이 併設되어 있으며, 輸送은 가까운 단넨베르그驛까지 철도로, 거기서 고아레벤까지 20km는 트레일러가 사용된다. 그림 3에 아이하우스에서의 캐스크저장건물의 평면도를 나타내었다. 建物中央에 철도의 引込線을 부설하고 있는 것이 특징이다.

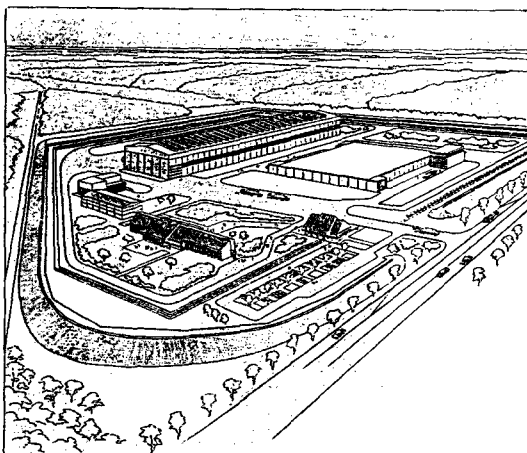
(2) 앞으로의 檢討課題

서독에서는 乾式貯藏캐스크에 의한 사용후핵연료의 中間貯藏方式에 대한 規章 및 許可가수속(그림 4)이 거의 확립되어 있으며 고아레벤저

〈그림 1〉 빌가센原子力發電所사이트平面圖



〈그림 2〉 고아레벤사이트鳥瞰圖



장시설에서는 저장이 시작되려 하고 있다. 또 미국, 스위스, 프랑스 등에서도 乾式캐스크저장방식에 의한 저장이 검토되어 이미 實証試驗段階에 들어가 있다.

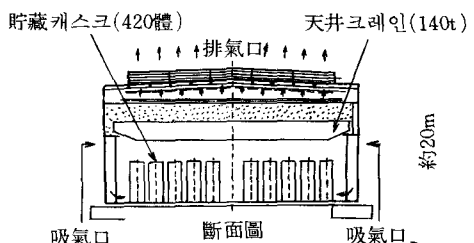
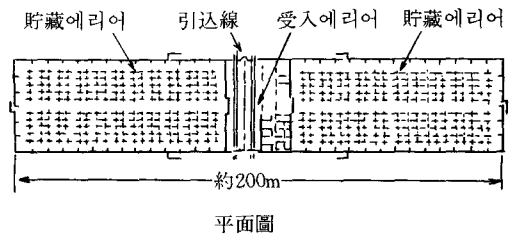
1) 認許可上的 檢討課題

서독에서 施設의 건설상 및 운용상 準拠法規는 原子力法, 各州建築基準法 등 10개가 넘으며 認許可手續은 그림 4에 표시한 것과 같다. 일본은 中間貯藏시설의 설치에 있어서 「原子爐等 規制法」에 따른 원자로 및 재처리에 관한 規章, 核燃料物質의 수송에 관한 規章 등이 適宜運用 解釋되리라 생각되나 사용후핵연료의 中間貯藏 시설에 대한 명확한 정의는 없으며 法整備가 요망된다고 한다.

2) 技術上 檢討課題

서독에서는 평상시 一般公衆의 全身被曝線량이 150mrem/年으로 규정되어 있으며 사용후핵연료의 저장시설에 대해서도 이 기준에 따라 설계되어 있다. 일본은 원자로시설 주변의 방사선량목표치로 ALAP(As Low As Practicable)의 개념에 따라 年間 5mrem/年이라고 指針에 나와 있으며 시설의 遮蔽設計에 있어서는 캐스크 자신의 차폐성능을 감안한 검토가 필요하다.

〈그림 3〉 아이하우스 中間貯藏建物



또, 시설의 내진基準에 대해서 서독은 다른 자연조건과 동등한 취급이나 일본은 지진이 많은 나라이므로 캐스크저장시설에 적용하는 내진基準에 대해서 캐스크 자신의 내진성을 기반으로 한 검토가 중요한 과제로 되어 있다.

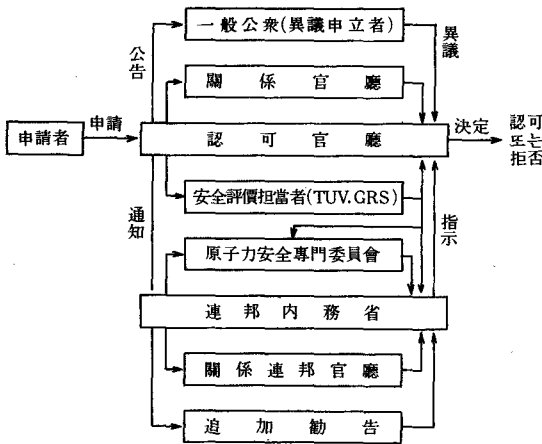
3. 輸送·貯藏兼用乾式캐스크

서독에서 개발된 사용후핵연료 수송·저장겸용 乾式캐스크인 CASTOR型캐스크 및 TN型캐스크의 概要는 다음과 같다.

(1) CASTOR型캐스크

CASTOR型캐스크는 사용후핵연료 수송·저장

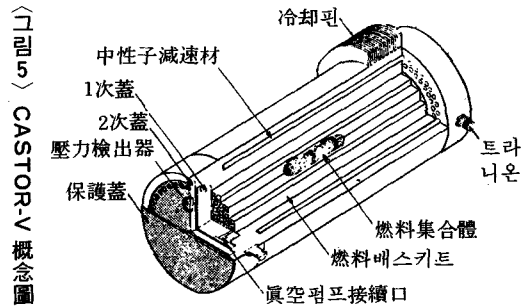
〈그림 4〉 西獨에서의 使用後核燃料貯藏施設認可手續



겸용 캐스크로서 輕水爐燃料, MOX燃料, FBR燃料 등 연료사양에 따라 10종류가 개발되어 있다. 그림 5에 CASTOR-V의 概念圖를 나타내었다. 또 경수로연료용 CASTOR-I, CASTOR-II 및 CASTOR-V의 주된 사양을 表 4에 정리하였다. 이들 캐스크는 IAEA수송규칙에서 규정되어 있는 B(U)型 第 1種核分裂性輸送物로 인가되어 있으며 또한 저장캐스크로서 다음의 要件을 만족시키도록 설계되어 있다.

- 長期貯藏期間(40年間)의 密封性能保證.
- 연료의 온도가 390~410℃ 이하일 것.
- 지진, 홍수, 건물붕괴, 가스폭발, 항공기추락 등의 사고에 대해서도 健全할 것.
- 캐스크의 평균표면선량률이 20mrem/hr이하일 것.

CASTOR型캐스크의 구조상 특징은 本體 및 放熱핀이 球狀化된 黑鉛이 고르게 분포된 球



〈表 4〉 CASTOR型輸送·貯藏兼用캐스크 (輕水爐用)의 主仕様

캐스크의 種類 項目	CASTOR-I		CASTOR-II		CASTOR-V	
	PWR	BWR	PWR	BWR	PWR	BWR
收納하는 使用後核燃料						
爐型	PWR	BWR	PWR	BWR	PWR	BWR
集合體數(體)	4	16	9	25	17~26	50~52
燃焼度(MWD/MTU)	35,000	27,000	35,000	27,000	3,500~4,500	不明
冷却期間(年)	1	1	1.5	1.5	5	5
寸 모(mm) 外徑×길이	1,710□×5,980	1,780□×5,510	2,050□×6,010	1,920□×5,510	2,390φ×4,920	3,000φ×6,370
貯藏時重量(t)	60~79	80	91~117	101	100~125	100~125
主 材 質	本體 (선차체)	球狀黑鉛鑄鐵	同 左	同 左	同 左	同 左
	中 性 子 (차체)	폴리에틸렌 또는 에폭시	同 左	同 左	同 左	同 左
乾式·濕式別	乾 式	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左

狀黑鉛(module)鑄鐵의一體構造로서 이材質은 일반 주철에 비해 局所의應力集中이 생기기 어렵고 높은 강도와 延性을 가지고 있다. 中性子遮蔽材로는 直徑數 10mm, 길이 약 4m의 폴리에틸렌 또는 에폭시 수지가 본체벽의 거의 중앙에 全周에 걸쳐서 2列로 삽입되어 있다.

放熱핀의 방향은 軸方向(CASTOR-I, II型) 또는 圓周方向(CASTOR-V)이다. 또 뚜껑부분은 長期貯藏을 고려하여 1차뚜껑, 2차뚜껑의 2重시일시스템으로 메탈시일(helicoflex)을 사용하여 密封性を 보증하고 있다.

(2) TN型캐스크

경수로의 사용후핵연료수송·저장검용캐스크로는 대형의 TN-1300과 중형의 TN-900이 개발되고 있으며 TN-1300의 概念圖를 그림 6에 나타내었다. TN-900도 같은 개념이며 이 두 캐스크의 주된 사양을 表 5에 정리하였다.

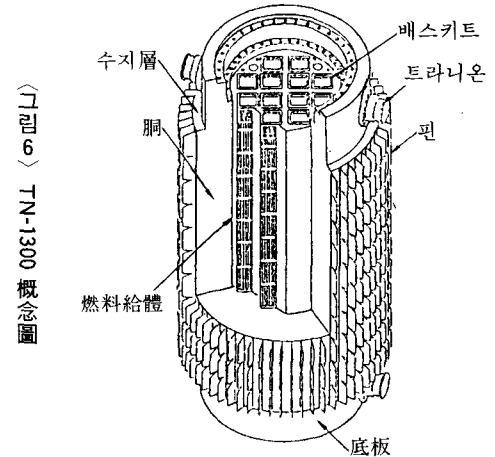
이들 TN型캐스크도 IAEA 수송규칙에 정해진 B(U)型 第2種核分裂性輸送物에 적합하며 또 저장캐스크로 앞의 저장캐스크 요건을 만족하도록 설계되어 있다.

TN-1300의 구조상의 특징은 CASTOR型캐스크와 같이 本體 및 放熱핀이 球狀黑鉛鑄鐵에 의해一體鑄造되어 있다는 것, 放熱핀의 방향이 軸方向이나, 연속되어 있지 않고 수십cm씩 갈려 있다는 것, 중성자차폐재는 핀基底部 및 本體底部外面에 鋼板으로 덮혀어진 수지층과 鑄造스테인레스鋼 遮蔽뚜껑에 充填된 수지로 구성되어 있다는 것, 시일材에는 2重 金屬가스켓트가 사용되고 있다는 것 등이다.

(3) 앞으로의 檢討課題

1) 認許可上 檢討課題

서독에서는 저장용캐스크의 인허가기준이 설정되어 있어서 이에 따라 캐스크에 저장허가가 주어지고 있다. 일본의 경우는 현행법규로 등록이 3년마다 更新되고 있으며 저장캐스크의 인가에 관한 기준이 없다. 따라서, 저장캐스크의



(表 5) TN型輸送 / 貯藏兼用캐스크의 主仕様

캐스크의種類		TN-1300		TN-900	
項目		PWR	BWR	PWR	BWR
收納하는使用後核燃料	爐型	PWR	BWR	PWR	BWR
	集合體數(體)	11	33	7	17
	燃 燒 度 (MWD/MTU)	36,000	30,000	不 明	
	冷 却 期 間 (年)	2.5	2	不 明	
寸 法 外徑×길이 (mm) (mm)		2,500φ × 6,900	2,500φ × 6,500	2,000φ × 5,800	
貯藏時重量(t)		105~115		70~80	
主 材 質	本 體 (r선차폐체)	球狀黑鉛鑄鐵			
	中 性 子 差 蔽 材	수 지			
乾式·濕式別		乾 式			

인가기준, 저장기간이 경과했을때 貯藏用에서 輸送用으로의 캐스크 자격변경 등에 관한 검토가 필요하다.

2) 技術上 檢討課題

수송·저장검용 캐스크에 관한 기술적 요건으로는 수송시의 安全性외에 長期貯藏時的 안전성이 요구된다. 서독에서는 수송·저장검용캐스크에 대해서 IAEA의 수송규칙에 적합시키는 외에 장기저장을 고려한 안전기준이 과해지고 있다. CASTOR型캐스크 및 TN型캐스크에서는 이들을 고려하여, 특히 종래의 輸送專用캐스

크에 비해 密封裝置에 金屬시일을 사용한다는 것, 저장코스트를 고려하여 本體材料로 球狀黑鉛鑄鐵이 사용되고 있다는 것들이 특징이다. 일본에서는 금속시일이나 球狀黑鉛鑄鐵 캐스크의 사용 실적은 없으며 長期저장시의 안전성을 고려한 이들의 기술검토를 고려하고 있다.

4. 結 論

캐스크에 의한 사용후핵연료저장은 西獨에서 개발된 것이나 美國이나 스위스, 기타 소련에서도 그 사용이 고려되고 있다. 그 매력은 사용후핵연료를 小額의 초기투자로 緊急避難의으로 중간저장할 수 있다는 점, 수송캐스크와 겸용할 수 있기 때문에 저장을 위해 사용후핵연료의 재교환이 必要없으며 hot施設이 不必要하다는 것, 鑄鐵製캐스크의 경우는 그 경제성이 좋다는 것 등이다.

한편 저장용량이 대량이 되었을시 저장단가가 비싸진다는 결점이 있기는 하나 그 나라의 특수사정이나 중간저장의 여러 조건에 좌우되는 것임을 주의해서 그 적용을 고려할 필요가 있다.

英
스
위
스
國

Vault 貯藏方式

高密度貯藏으로 經濟的

英國 및 스위스에서 實用化 또는 概念設計가 행해지고 있는 vault貯藏方式에 대해서 소개한다. 이 방식은 기본적으로 사용후핵연료를 구조물내에 배열한 貯藏管(캐니스터)속에 수납하고 그 주위를 공기의 자연대류로 냉각시키는 것이다. vault저장은 機器保守의 필요성이 적다는 것, 2次廢棄物의 발생이 적다는 것 등 乾式 저장방식의 일반특성 외에 高密度貯藏으로 저장단가가 싸다는 것이 큰 특징이다.

英國에서는 이미 Wylfa 원자력발전소에서 이 vault저장방식이 채택되어 1979년부터 가동되고 있으며, 새로운 설계의 시설도 제안되고 있다.

또 스위스에서도 module式 vault저장시설의 개념이 개발되어 이미 스위스, 미국, 핀란드에서 概念設計가 추진되고 있다. 다음은 英國 및 스위스의 vault저장방식 概要이다.

1. 英國에서의 vault貯藏

(1) 開發經緯와 現況

英國은 商業베이스로 가동되는 再處理施設을 보유하고 있으며, 연료제조에서 폐기물처리에 이르는 核燃料사이클이 거의 확립되어 있으므로 自律的으로 각 단계間的 밸런스를 조정할 수 있는 상황이나, 이중 원자력발전소와 재처리시설間에 사용후핵연료의 buffer저장능력을 갖도록 하기 위해 中間貯藏施設을 설치하기로 하고 英國의 原子爐燃料(가스冷却爐用 magnox 연료)의 특수성에 맞추어서 乾式 vault 저장방식이 채택되었다.

vault 저장시설이 있는 Wylfa 원자력 발전소는 590MW×2기의 magnox爐를 가지고 있으며 1971년에 운전개시되었다. 여기서는 다른 magnox爐가 사용후 핵연료를 풀저장으로 初期冷却하고 있는 것에 대해 建設當初부터 乾式저장을 계획하고 原子爐建物內에 3基의 CO₂環境乾式貯藏셀 1, 2, 3을 설치하여 거기서 100~150일간 초기냉각을 행하기로 하였다. 乾式저장방식을 채택한 이유는 이미 記述한 利點이외에도 magnox爐가 가스냉각이기 때문에 건식저장으로 하면 연료취급기기 등의 기술을 그대로 응용할 수 있다는 점도 큰 要因이 되었다고 보여진다.

셀 1~3의 구조도를 그림 7에 나타내었는데 이것들은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

●貯藏量은 셀當 83MTU.

●貯藏管内는 압력 0.21bar, 純度 99.8%의 CO₂로 채워져 있다.

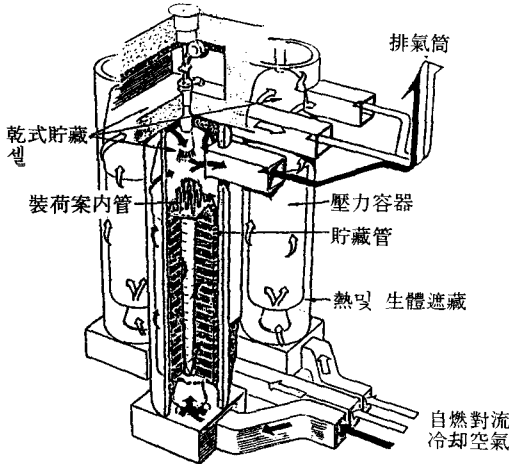
●연료의 붕괴열은 저장관 바깥을 자연대류로 움직이는 공기에 의해 간접적으로 냉각된다.

이들 셀은 이미 십년이상 큰 문제없이 연속가

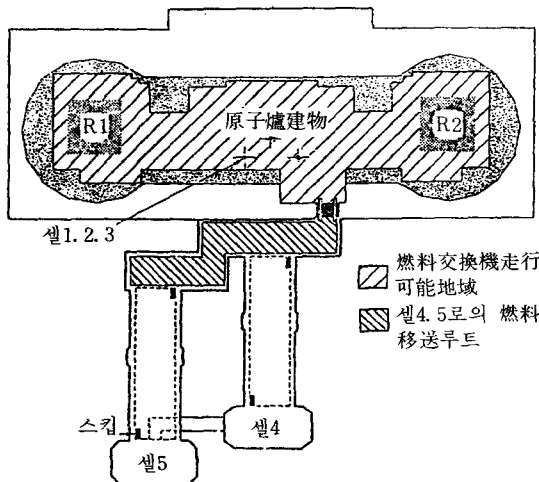
동되고 있는데, 저장능력이 부족하게 되어, 그 경험을 토대로 공기순환의 건식중간저장시설로 셀 4,5를 증설했다. 즉, 셀 1~3이 初期冷却을 위한 것이라면 셀 4,5는 再處理를 위한 抽出까지의 일시저장을 고려한 것이다. 각 셀의 배치를 그림 8에 표시하였다.

新設된 2基의 셀은 연료의 저장환경으로 셀 1~3이 CO₂임에 대해 공기를 선정했다. 그 이유는 다른 기체를 선정했을 경우, 無漏洩의 貯藏庫内部 liner가 필요하며, 건설시에 無漏洩이 되었다고 하더라도 長期間 그것을 보증할 수 없다

〈그림 7〉 셀 1, 2, 3 構造圖



〈그림 8〉 Wyifa 原子力發電所 乾式貯藏 셀 配置圖



고 생각했기 때문이다.

셀 4는 1979년 4월에 燃料裝荷를 시작하여 1981년 9월에 滿載가 되었다. 셀 5는 1980년 12월에 裝荷開始가 되어 1983년에 容量의 20%가 저장되고 있다. 지금까지의 運轉實績에 관해서는 다음과 같은 보고가 있다.

- 4년이상 연속 운전되고 있다.
- 1982년 5월까지 생긴 고장은 연료의 移送, 裝荷關聯 裝置에 관한 것 5건 뿐이다.
- 냉각계통의 線量은 백그라운드 수준이다.
- 廢棄物의 발생은 無視되며 排氣필터의 교환도 하고 있지 않다.
- vault 구조물 (建物)은 健全하다.

셀 4,5에서 冷却空氣는 대기중에 방출되지 않고 루프內를 循環 (閉사이클)하고 있는데 이 시설의 개요는 다음과 같다.

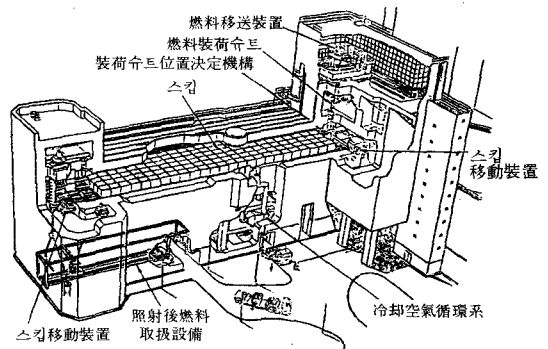
(2) 閉사이클 vault貯藏方式 (가스冷却爐使用後核燃料貯藏)

1) 貯藏施設의 構造

셀 4의 구조도를 그림 9에 나타내었다. 貯藏庫內의 크기는 길이 약 60m, 폭 약 11m, 높이 4.5m의 철근콘크리트製로서 벽두께는 2m이다. 바닥면은 지상 13.6m의 높이에 있으며 바닥면에 냉각공기순환계, 배기용팬과 필터 등이 배치된다.

貯藏庫兩側 바깥에는 스킵 驅動 裝置가 있다. 원자로 건물측 상부는 파일 캡 레벨에 燃料裝荷床面이 있어 원자로 건물에서 부터 燃料移送裝置가

〈그림 9〉 셀 4 構造圖



운용되며, 반대측에는 燃料拂出設備가 설치될 예정이다.

magnox연료는 그림10과 같이 炭素鋼製의 上端開인 貯藏管에 1개씩 收納된다. 저장관은 12×16의 배열로 스킵이라고 불리는 하나의 유니트로 묶어서, 이 스킵을 그림11과 같이 25×6 列로 저장고내에 배치한다.

스킵은 貯藏庫兩端의 縱行·橫行장치에 의해 燃料裝荷位置와 貯藏位置로 이동시킬 수 있으며 貯藏容量은 尙當 350MTU(燃料要素 28,992個)이다.

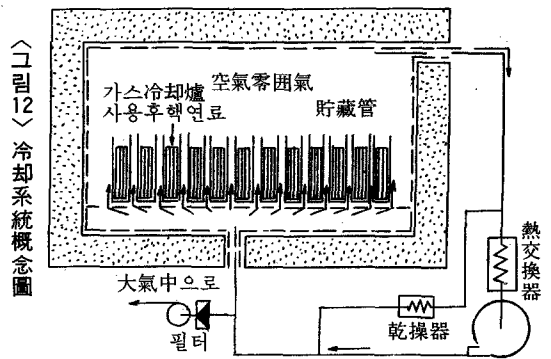
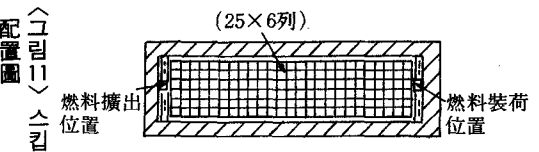
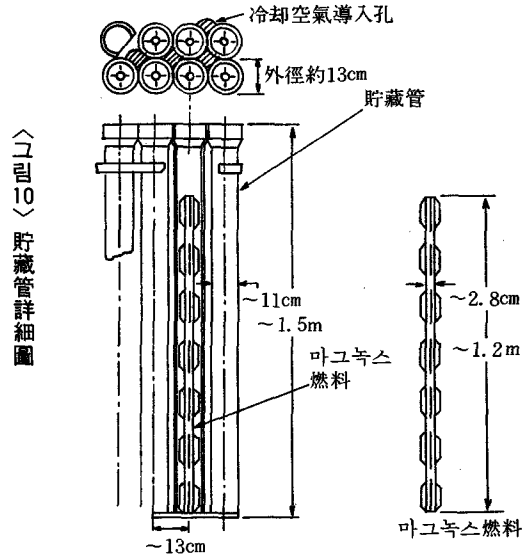
2) 冷却空氣循環系

셀당의 熱出力은 577kW(設計值)이나 연료의 붕괴열제거는 貯藏庫內 空氣의 자연대류에 의한 受動冷却으로 행해진다. 그림12에서와 같이 저장고 전체의 공기를 팬/熱交換器에 의한 냉각 공기순환계 5계통에 의해 순환시키고 있다(통상시는 4계통운전). 熱交換器冷却水는 원자로보조냉각수계통으로 放熱하고 있다.

許容燃料溫度는 공기중에서의 尿酸着火溫度를 고려하여 통상운전시 150℃,가상사고시 200℃로 되어 있다. 냉각능력에 관해서는 電氣加熱模擬燃料를 裝荷해서 여러가지의 조건으로 실증시험을 행하여 安全性을 확인하고 있다. 순환계통중 2계통은 非常用電源으로 운전이 가능하게 되어 있으나, 2계통만으로는 운전시 연료온도가 실험에서 160℃가 되어 事故時制限値以下로 유지된다.

貯藏庫는 밀봉구조로 하지 않고, 그 내부를 12~25mbar의 負壓으로 하여 방사성물질의 방출을 막도록 되어 있다. 그로 인해, 리크時的 負壓維持를 위해서 冷却空氣循環系의 일부에 排氣팬과 필터가 接續되어 있다.

또 물과 尿酸이 반응해서 自然着火의 원인이 되는 수소화尿酸의 생성을 막기 위해 셀내에서는 수분의 응축을 막아야 한다. 이를 위해서 除湿裝置도 설치되어 있다.



冷却空氣循環系에 關한 여러가지 항목의 設計値와 實測値를 表6에 나타내었다.

3) 運用시스템

그림7에서와 같이 原子爐建物과 셀은 接續되어 있으며 셀 1~3에서 초기 냉각된 사용후핵연료는 연료이송장치에 의해 4,5로 이송된다. 移送裝置는 연료요소를 꺼내는 기구와 호이스트를 內藏한 차폐매가진 및 볼밸브를 내장한 nose unit로 된 移送機, 이것을 싣고 이동하는 장치로 구성되어 있다. nose unit는 燃料裝荷/拂出時

에 바닥면과 결합해서 密封境界를 형성해서 바닥면의 차폐플러그를 개폐하는 기능을 갖고 있다.

運轉中은 셀압력, 순환공기의 온도, 습도, 貯藏庫內的 방사성물질농도 등을 감시한다. 또한 安全對策에 관해서는 사고를 그 중대성에 따라서 세계의 카테고리로 분류하여 그 카테고리에 속하는 사고와 관련한 기기에 대한 제어방법의 기준을 정해두고 있다.

4) 이 방식에 관한 檢討課題

Wylfa原電에 설치된 vault方式乾式貯藏庫는 가스冷却爐用 magnox燃料(길이 약1.2m)의 저장에 위해 설계된 것인데 輕水爐燃料의 저장에 있어서는 다음과 같은 문제점이 있다.

- 경수로연료는 magnox연료보다 길기(약 4m) 때문에 저장관을 裝荷位置로 이동시키는 스킵 방식은 부적당하다고 생각된다.

- 저장관을 고정시키면 저장고 상면 모두가 裝荷스페이스가 되어, 저장고의 구조가 변경되므로 구조설계, 차폐설계 등의 재검토가 필요하다.

- 저장관은 上端開이며, 저장고벽이 1次 콘테

인먼트를 형성하기 때문에 耐震性 등을 고려하면 건물에 상당한 強度와 健全성이 요구된다.

- 냉각공기순환계가 閉사이클이기 때문에 循環系機器의 점검, 보수가 필요하다.

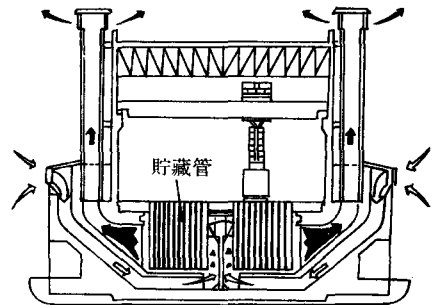
이와 같은 점에 對應하기 위해 이 시설을 설계한 GEC-ESL社는 그 경험을 기초로 하여 英國의 AGR사용후핵연료건식저장시설의 설계에 참가하는 외에 미국 TVA 및 핀란드 TVO의 건식저장시스템 평가에 참가하는 등 연구를 거듭하여 다음과 같은 輕水爐使用後核燃料의 vault저장시설개념을 제안하고 있다.

(3) 開사이클 vault 貯藏方式(輕水爐使用後核燃料貯藏)

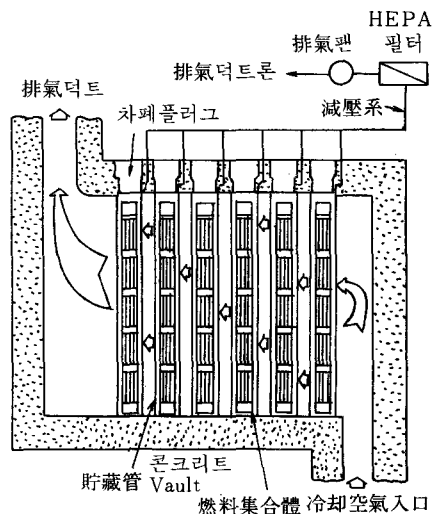
1) 貯藏施設의 概要

제안된 vault저장시설은 그림13 및 그림14와 같은 개념으로 사용후핵연료를 저장관에 밀봉

〈그림 13〉 輕水爐燃料開 Cycle Vault 貯藏施設의 概念圖



〈그림 14〉 輕水爐燃料乾式 Vault 貯藏施設冷却機能圖



〈表 6〉 乾式貯藏 實運轉條件

項 目	設 計 值	實 測 值
熱 負 荷	577kW	277kW
熱交入口空氣溫度	46.1℃	38℃
熱交出口空氣溫度	27.5℃	33℃
熱交冷却水流量	23l/s	4.5l/s
셀 負 壓	-25mbar	-25mbar
셀 濕 度	<50%RH	30%RH
消 費 電 力	-	90kW
		循環팬 73kW
		排氣팬 4.5kW
		內譯 乾燥機 4.5kW
		프로그
		램된콘 8kW
		트롤러

* 實測値는 4燃料滿載時的 것(1981년 9月)

수납하여, 貯藏管列을 vault구조내에 배치 하는데 冷却은 外氣에 의한 저장관 주위의 자연대류공냉이라는 受動的的方法(開사이클)으로 행해진다. 이 제안은 개념의 제시뿐으로서 안전 기준 등을 포함한 상세한 설계검토는 이루어지고 있지 못하다.

施設은 PWR 또는 BWR 연료집합체로 초기 냉각기간 5년 이상의 것을 받아들인다. 集合體當 열출력은 1kW, 연료 피크온도는 150°C 이하를 상정하고 있다.

vault구조는 module化 되어 있으며 module당 400MTU(PWR 燃料) 또는 660MTU(BWR 燃料)의 貯藏容量을 기본단위로 하고 있다. 需要에 따라 저장시설의 증설이 가능하다.

貯藏 module은 철근콘크리트製로 生物遮蔽와 冷却空氣流路를 형성한다. 貯藏管下端은 vault 基底로 지지되며, 上端은 燃料裝荷面을 관통하고 있고 密封·遮蔽플러그로 閉塞된다. 燃料裝荷裝置는 裝荷床面上을 이동한다. 저장관내 분위기는 공기를 원칙으로 하는데 다른 기체도 사용할 수 있으며 또 저장관에 排氣系統이 접속되어 내부를 負壓으로 유지하며 리크가 있으면 리크분은 필터를 통해서 대기중에 방출된다. 즉, 放射性物質에 대해서는 貯藏管과 負壓維持의 2重 배리어로 되어 있다.

연료의 냉각은 연료에서 저장관으로의 輻射와 저장관 표면의 自然對流空冷으로 행해진다. 냉각공기는 그림14에서와 같이 건물측면의 吸氣孔에서 vault측면하부를 통해서 들어오며 貯藏管列을 가로로 통과하여 上部 排氣덕트로 배출되는데 그 驅動力은 더워진 공기의 浮力과 배기덕트의 굴뚝효과에 의해서 얻어진다. 이 시스템의 冷却特性에 관해서는 여러가지 실험에 의해 vault의 냉각설계에 관한 주요 파라미터(배기덕트의 높이, 저장관의 數와 배열, 열출력 등)를 명백히 하고 이들 인자의 조합에 의해 柔軟한 설계가 가능해지고 있다.

2) 이 방식에 관한 檢討課題

- 큰 vault구조물의 耐震性.
- 저장관의 뚜껑은 시일에 의한 밀봉뿐인데, 이 경우 長期密封性의 확인.
- 自然循環冷却시스템의 確証.

2. 스위스의 vault貯藏方式

(1) 開發狀況

스위스의 EWE社에서는 사용후핵연료 또는 高레벨廢棄物글래스固化體의 건식vault 저장방식의 기본개념을 1979년에 개발했다. 이 저장방식은 MODREX시스템(Modular Dry Expandable Storage System)이라 불리는데 그후 스위스, 핀란드 및 미국에서 사용후핵연료 중간저장을 대상으로 한 개념설계가 행해지고 있다. 특히, 미국에서는 TVA에서 개념설계의 단계에 있는 외에 DOE가 추진하고 있는 MRS(Monitored Retrievable Storage)計劃의 調査對象 시스템의 후보로 취급되고 있다. MRS計劃이란 미국에서 1982년에 결정된 廢棄物法을 기반으로 1983~1985년 예정으로 추진되고 있는 것으로서 사용후핵연료와 高레벨폐기물을 연속감시하에서 저장하며 또한 회수 가능한 시스템의 조사·개발을 목적으로 한 것이다.

(2) MODREX型 vault貯藏方式

MODREX시스템의 기능은 사용후핵연료를 收納·密封한 캐니스터를 저장 module內的 사일로에 裝荷하고 자연공냉에 의해 안전하게 長期間 건식저장을 행하는 것이다.

1) 캐니스터

사용후핵연료는 원자로사이트에서 輸送캐니스터內에 미리 설치된 캐니스터에 裝荷되어 저장시설로 반입된다. 캐니스터는 사용후핵연료의 밀봉을 목적으로 하여 스텐레스鋼으로 만들어지고 있으며 충분한 차폐력을 가지고 있지 못하다. 캐니스터內에는 배스킷이 설치되며, 연료집합체는 中性子吸收材로 1%의 보론을 포함

한 스텐레스鋼으로 만들어진 연료채널에 유지된다. 현재의 설계에서는 캐니스터當 5년정도 초기냉각한 PWR연료집합체 12體의 收納이 고려되고 있는데 이것은 배스킷의 설계에 의해서 변경이 가능하다(BWR用集合體의 경우 최고 32體).

연료수납후에는 캐니스터內를 不活性가스(헬륨)분위기로 하고 2重 뚜껑에 의해 용접밀봉된다.

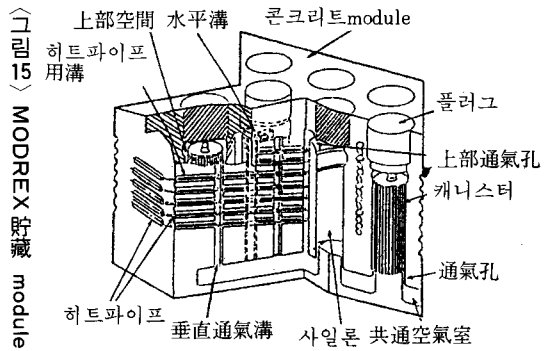
2) 貯藏 module

MODREX시스템의 中核을 이루는 것은 그림 15에서와 같이 山型의 콘크리트블록製 저장 module이다. module은 그 내부에 스텐레스鋼으로 內裝된 9筒의 저장사일로와 空冷루프가 있다. 또 붕괴열을 module의 안에서 밖으로 전달하기 위한 히트파이프도 설치되어 있다. 저장사일로는 높이 6m, 직경 1.5m이다. 각 사일로는 차폐뚜껑으로 密封되며 캐니스터와 함께 2重 배리어를 구성한다.

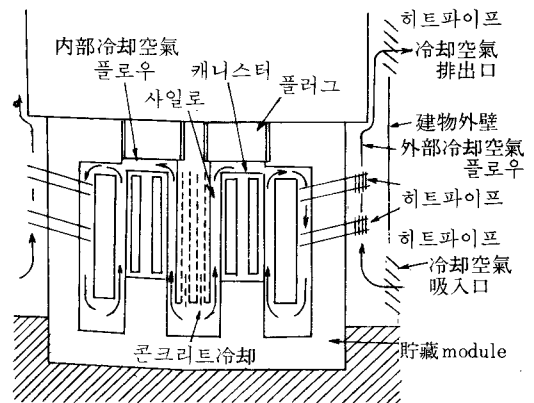
냉각은 module 内部와 外部 空氣의 自然對流에 의해서 행해진다. 즉, 그림16에서와 같이 module內的 내부공냉루프를 자연대류에 의해서 循環하는 공기가 붕괴열을 캐니스터 및 콘크리트에서 제거하고, 이 空氣는 히트파이프에 의해 열을 module外側에서 대기로 방출하는 시스템이다. 내부공냉루프는 시스템내의 방사성물질이 외부로 방출되지 않도록 약간의 負壓으로 운전되게 설계되어 있다.

冷却能力에 관해서는 解析結果에서 1캐니스터當 PWR燃料集合體 12體(12kW)貯藏時 燃料被覆管最高温度는 268°C이며 또 1캐니스터當 發熱量이 22kW까지 올라가더라도 380°C 이하로 유지됨이 나타나고 있다. 이보다 더욱 낮은 온도가 요구되는 경우에는 캐니스터나 히트파이프 등의 材質 또는 설계변경에 의해 對處할 수 있다고 한다.

單一module의 저장용량은 PWR用이 49.8MTU BWR用이 52.5MTU로서 각 module은 그 상부와



〈그림16〉 MODREX 冷却空氣플로우(模式圖)



하부에 있는 公同의 空氣溝部分으로 플렉시블시일을 통하여 접속할 수 있으며, module의 증설에 의해서 저장용량의 증가를 도모할 수 있다. 그리고 저장중에 사일로內的 공기온도와 방사능레벨, 캐니스터內 헬륨압력을 감시할 수 있도록 되어 있다.

3) 이 방식에 관한 檢討課題

이 시스템은 이미 概念設計가 추진되고 있는 단계에 있으며, 기본적으로는 研究開發이 불필요하다고 생각되는데 그 건설에 있어서는 英國에서 제안된 開cycle vault貯藏方式의 경우처럼

- 耐震性を 위시한 安全解析,
 - 貯藏 module의 증설과 냉각시스템에 관한 實証試驗,
 - 燃料裝荷裝置를 중심으로 하는 캐니스터취급시스템 기능의 實証
- 등의 문제를 해결하는 것이 필요하게 될 것이다.