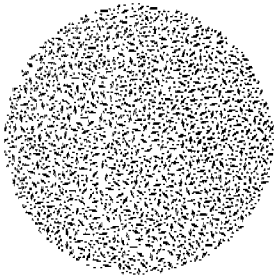


使用後核燃料 管理 技術

Spent Fuel Management Technology



徐 引 錫

韓國에너지研究所 核化工部

1. 序 論

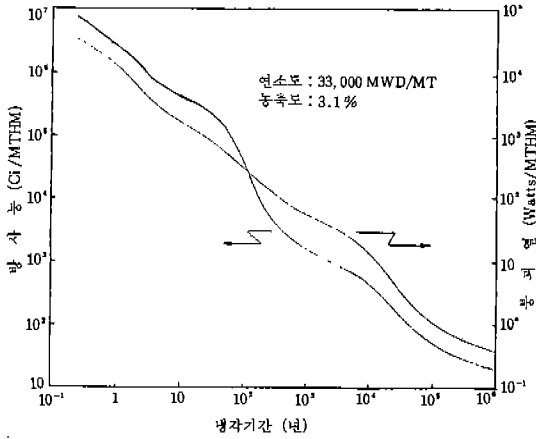
放射性廢棄物의 종류는 取扱·輸送·處理·處分의 편의상 狀態別 또는 放射性 濃度別로 분류하는 것이 통례이다. 이 가운데서 放射性濃度別로는 低·中·高準位 放射性廢棄物로 大別할 수 있는데, 高準位放射性廢棄物이란 보편적으로 使用後核燃料, 이 燃料중 유효 核分裂性 物質인 우라늄·플루토늄 등의 회수를 위한 일차溶媒抽出과정으로 부터 배출되는 放射性廢液, 이 폐액을 變換시킨 固体廢棄物 또는 이에 상응하는 廢棄物을 일컫는다. 그러나 우리나라는 核擴散禁止條約을 준수하여 使用後核燃料의 再處理는 고려하고 있지 않기 때문에 현재 使用後核燃料만 이 범주에 속하고 있다. 따라서 本稿에서는 이러한 使用後核燃料의 管理技術開發과 관련한 國·내의 現況을 概괄적으로 살펴 보고자 한다.

2. 使用後核燃料의 特性

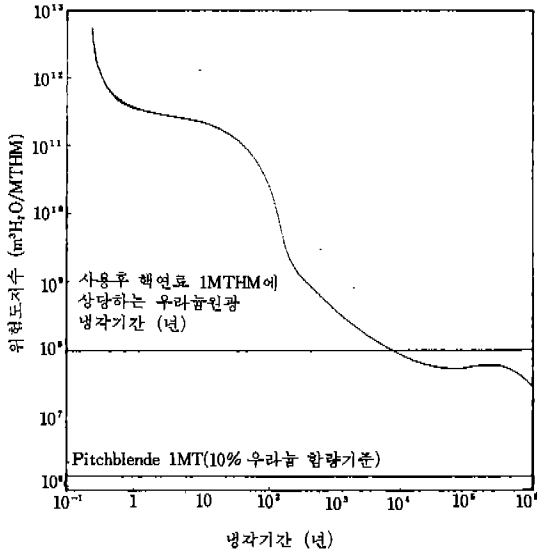
代替 에너지원으로서 현재 3基의 原子力發電所가 加동중에 있으며, 6基가 추가 建設되고 있다. 原子力3號機(PHWR)를 제외한 8基는 모두 加壓輕水爐이다. 그래서 加壓輕水爐에 裝填·燃燒후 배출되는 使用後核燃料의 特性을 살펴보기로 한다.

原子爐로 부터 배출된 使用後核燃料 1톤당 初期放射能과 崩壞熱은 각각 수백만큐리와 수십킬로와트에 달하여 그대로 방치해 둘 수가 없다. 그러나 시간이 경과함에 따라서 放射能과 崩壞熱이 점차적으로 감소하는 傾向을 갖고 있기 때문에 (그림 1) 이 特性을 활용한 적절한 安全管理技術이 필요하게 된다. 500년 경과시 放射能은 초기 값에 비하여 80,000분의 1정도로 감소되는 반면, 崩괴열은 23,000분의 1정도로 감소되더라도 그 값들은 각각 2.75×10^3 큐리와 87.3와트정도에 달하고 있다. 특히 放射性準位를 水中最大許容濃度이하로 만드는데 소요되는 물의 量으로 표시한 危險度指數를 살펴보면 (그림 2) 10,000년 정도 경과되어야 자연계에 존재하는 우라늄원광과 같은 정도의 값을 나타낸다. 이것은 그만큼 오랜 세월동안 安全管理가 필수적으로 가미되어야 한다는 것을 암시하는 것이다.

한편, 1년 冷却된 加壓輕水爐型 使用後核燃料의 조성은 核分裂性物質인 우라늄·플루토늄이 1.3 %



〈그림-1〉 사용후 핵연료의 방사능과 붕괴열 곡선



〈그림-2〉 사용후 핵연료의 위험도지수 곡선

정도, 핵분열물질이 3.5% 정도이고 기타는 악티나이드계 원소들로 되어 있다. 이와 같이 유요 핵분열성물질의 함유는 자원으로서의 再活用性을 고려할 수 있으며 관리상 臨界度制御가 필요하다.

3. 貯藏技術

使用後核燃料의 저장기간은 일반적으로 30~50년 정도를 고려하고 있으며, 이 기간동안 안전하게 관리하기 위한 주요 設計要件은 燃料被服管의 健全性維持, 放射線遮蔽와 環境保全, 잔여 핵분열성물질의 핵분열에 의한 사고 방지 및 放射性廢棄物 管理

등을 들 수 있다. 이러한 요건들을 고려한 기술적·경제적 및 정책적인 차원에서 타당성있는 기술이 선택되어야 할 것이다. 貯藏技術은 貯藏位置에 따라서 발전소 내·외로 대별할 수 있고, 방법으로는 乾式과 濕式으로 세분할 수 있다. 이들 방법에 관하여 살펴 보기로 하자.

가. 濕式貯藏

使用後核燃料를 水槽(Water basin, 또는 Water Pool)에 넣어 저장하는 방법으로서 본래 발전소에서 일시 저장하는 개념으로 시작되어 40여년의 運轉經驗을 갖고 있다. 그러나 使用後核燃料의 급진적인 累積에 대처하고자 기존 貯藏槽의 Rack을 稠密化시킬 수 있는 Rack으로 교체하여 용량을 확장하고자 하는 Reraking, 기존 貯藏槽의 상부에 새로운 Rack을 한층 더 올려 용량을 확장하는 Double Stacking, 또는 使用後核燃料 集合體를 해체하여 핵燃料만 용기에 넣어 Rack에 저장하는 Rod Consolidation 방식을 들 수 있으며, 이들의 용량비교가 표 1에 수록되어 있다.

〈표-1〉 습식저장방법별 가압경수로형 사용후 핵연료의 저장용량비교

저장법	저장밀도(MTHM/?)	비교
기존 Rack	0.39	상용화
중성자속 Rack	0.52	"
2단 Rack	0.78	개발중
Rod Consolidation	1.04	"

우리나라도 기존 rack에 의한 使用後核燃料의 濕式貯藏에 관해서는 6여년의 경험을 지니고 있다.

나. 乾式貯藏

使用後核燃料로부터 유요 핵분열성물질의 회수가 요구될 때 까지 또는 永久處분이 가능할 때까지 잠정적으로 안전하게 회수가 가능한 상태로 저장할 수 있는 방법으로서 제안된 것이 특징이며, 적어도 5년 정도는 발전소내 또는 외의 貯藏水槽에서 냉각된 使用後核燃料를 대상으로 하는 것이 통례이다.

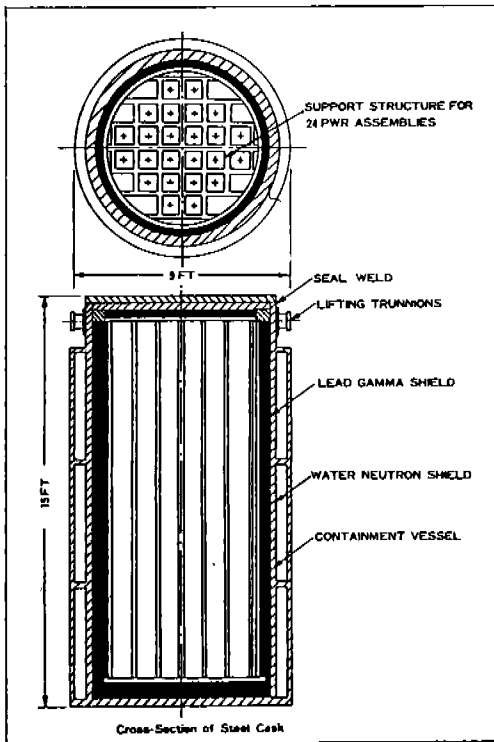
地上에 圓筒型 철제 콘크리트 silo를 세우고 그 내부에 使用後核燃料를 저장하는 콘크리트 silo, 使用後核燃料를 탄소강 용기에 넣어 지하에 설치된 콘

크리트 또는 강철로 만든 圓筒型 構造物내에 저장하는 Dry-Well 또는 地上에 설치된 대형 遮蔽建物내에 저장하는 空冷Vault, 대형 금속재로 만든

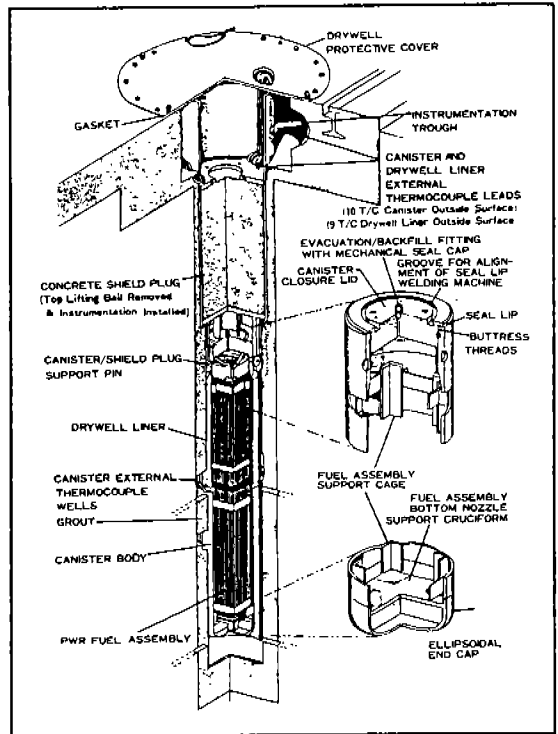
Cask내에 使用後核燃料를 充填 封入하여 저장하는 Metal Cask저장법등이 시도되고 있으며, 이들 각각의 特性을 살펴보면 표2와 같다.

〈표-2〉 건식저장 방법 비교

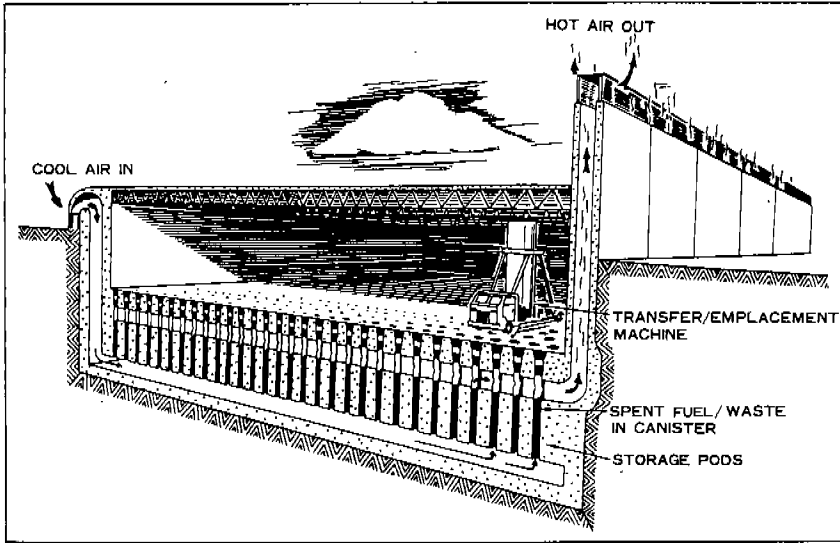
방 법	장 점	단 점	비 고
Cask 저 장 (그림 3)	수송/저장 겸용 저장시설 건물은 간단 수요에 따라 저장중대 용이 2차 폐기물의 발생량 극소, 저장시설의 폐쇄용이 자연 냉각 가능	대용량시 저장단가가 높음 저장시설 건물의 설계기준 미 설정 감시가 용이치 않음	REA (미) GNS (서독) TN (서독, 미, 불)
Vault 저 장 (그림 4)	고밀도 저장으로 저장단가가 낮음. 환경감시 및 연료의 검사용이 자연냉각 가능	대형설비 투자가 필요 필 요 2차폐기물 발생	ELD (스위스) GEC (영) E-MAD (미)
Concrete Silo (그림 5)	자연대류에 의한 냉각 제작용이, 가격저렴	단위저장용량이 적어 소요면적이 많이 필요 감시가 용이치 않음	AECL (카)
Dry-Well (그림 6)	자연전도에 의한 냉각	소요면적이 많이 필요 감시가 용이치 않음	E-MAD (미) CLIMAX



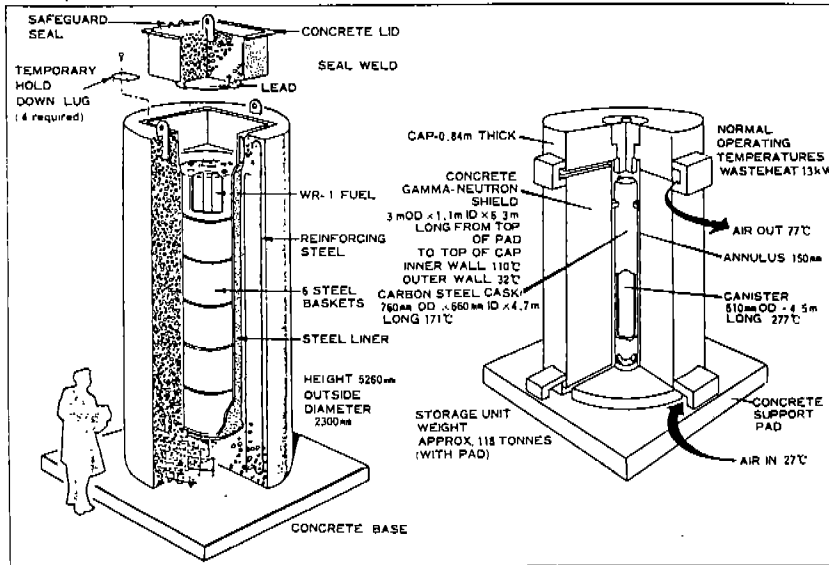
〈그림-3〉 Metal Cask



〈그림-6〉 Dry Well



〈그림 - 4〉 공냉 Valut



〈그림 - 5〉 콘크리트 Silo

4. 永久處分技術

處分に 적합한 상태로 될 때까지 적어도 30~50년간 냉각 저장한 使用後核燃料은 함유하고 있는 放射性核種의 放射崩壞에 의한 減衰로서 環境汚染 또는 放射線에 의한 영향을 충분히 輕減시킬 수 있을 정도로 장기간 동안 人間環境으로 부터 격리시킬 수 있는 장소에 처분하여야 한다.

그림 1과 2에서 보는 바와 같이 數萬내지 數百萬年동안 이 廢棄物을 안전하게 隔離·保管할 수 있는 기술을 확립하기 위하여 부단한 노력이 경주되

고 있다. 현재 개발되고 있는 處分技術은 地質特性에 따라 구분할 수 있는데, 크게 地層處分과 深海底 堆積層處分을 들 수 있다.

일반적으로 地層處分을 우선적으로 개발하고 있으며, 각국마다 地質特性이 상이하기 때문에 그 特性에 부합되는 處分技術에 관한 연구가 진행되고 있다. 이에 대한 각국별 處分對策을 살펴보면 표 3과 같다. 한편 우리나라의 地質構造는 岩石層으로 구성되어 있는데 이는 花成岩의 일종인 花崗岩과 變成岩의 일종인 片磨岩으로 구성되어 있으므로 硬岩層에의 처분이 타당할 것으로 생각된다.

〈표-3〉 각국의 처분대책

	영 국	서 독	스 위 스	스 웨 덴	불 란 서	벨 지 음	미 국
사용후핵연료의 처리	처 리	처 리 직접처분	처 리 직접처분	처 리 직접처분	처 리	처 리	처 리 직접처분
용 기	스텐레스강 Pb 금속	스텐레스강 주철주강	스텐레스강 Pb, Ti, Cu, Ni 합금 Al ₂ O ₃ 등	Cr-Ni 강 Pb, Ti, Cu	스텐레스강 세라믹 (Al ₂ O ₃ , Zr, O ₂ 등)	스텐레스강	스텐레스강 Ti, Ti 합금
저 장	50년	공냉중간저장	50년	40년			
심층실험 시설		Asse 암염 폐광	Grimsel Rock Lab.	Stripe 철폐광		Mol. 점토층	암염, 화강암 현무암, 응회암
지층처분	화강암층조사 해저피적층도 고려	암염층	화강암 편마암조사중	결정질암		Boom clay 예정	해저퇴적층 도 고려

1974년 미국에서 시작된 深海底堆積層(Sea-bed) 처분은 人間環境으로부터 충분히 격리된 장소가 될 수 있고 처분된 폐기물중의 有害核種과 인간과의 접촉이 거의 없으며 처분된 使用後核燃料로부터 有害核種이 누출되더라도 深海底面까지 핵종이 확산되어 대량의 海水중으로 분산되는데 오랜 시간을 요할 뿐 아니라 稀析效果도 커서 人間生活圈에 도달하기 전에 有害核種은 충분히 감소될 수 있다는 特徵을 지니고 있다. 따라서 地層處分의 대안으로서 國際處分場化의 가능성을 지니고 있기 때문에 그 가능성 추구하고 適應性 검토를 위한 연구를 國際規模로 수행하고자 1975년 歐州共同体산하에 Seabed Working Group(SWG)이 설치되었다. 이 Group에서는 科學的, 工學的, 法制的 견지에서 深海底堆積層處分의 妥當性을 검토하고 있으며, 가입회원은 캐나다, 서독, 불란서, 일본, 화란, 스위스, 영국, 미국등이다.

5. 國內技術開發內容

지금까지 정부관련부처와 韓國電力公社의 지원하에 韓國에너지연구소가 수행하여온 使用後核燃料管理와 관련된 연구내용을 간략히 소개하면 다음과 같다.

제 1 단계는 한국에너지연구소의 기술지원하에 原子力1號機의 使用後核燃料貯藏容量擴張事業으로서

4/3 爐心분을 14/3 爐心분으로 확장함에 따르는 安全性分析 및 rack의 製作·設置를 위한 設計圖를 작성 제시한 바 있으며, 이를 근거로 韓國電力公社는 原子力1號機의 使用後核燃料貯藏槽容量을 확장하였다.

제 2 단계사업에서는 使用後核燃料의 貯藏 및 永久處分技術에 관한 局地的 여건을 豫備分析하였으며 그 결과로서 국가적인 차원에서 貯藏方法에 대한 정책적인 검토와 경제성 검토에 신중을 기하여 이에 대처하는 것이 바람직하고 硬岩層에의 處分 妥當性을 예시한 바있다.

제 3 단계는 韓·美共同研究사업으로 추진된 使用後核燃料管理對策에서는 核燃料週期 전반에 걸친 技術性·경제성이 면밀히 검토되었으며, 그 결과로서 점차 누적되고 있는 使用後核燃料의 발전소내 저장용량 부족문제를 해결하기 위한 단기적인 방안으로서 reracking 및 Rod Consolidation에 의한 발전소내의 저장용량확장을 권고하였는데, 構造 및 耐震解釋등 安全性이 검토되어야 한다고 하였다. 또한 중·장기적인 管理方案으로서 MRS(Monitored Retrieval Storage)의 건설 또는 국제적인 추세를 계속적으로 分析·評價하여 國內戰略을 적절히 수행해 나가야 한다고 지적하였다.

제 4 단계는 제 3 단계에서 제시한 기존 발전소내 貯藏容量擴張에 대한 臨界度, 冷却/淨化, 構造, 放射線 安全등 安全性이 현재 검토되고 있다. *