

放射性廢棄物 管理現況과 展望*

韓 弼 淳

韓國에너지研究所長
(1984. 11. 20 접수)

I. 序 論

現代에 있어 에너지는 技術 및 資本과 함께 국민경제를 향상시키는 原動力의 하나로서 石油波動 이후 에너지가 경제에 미치는 영향은 더욱 커졌다. 따라서 自主國防, 經濟自立, 自主精神으로 이루어질 自主國家建設은 애국심에 바탕을 둔 에너지自立, 技術自立, 그리고 民族資本의 形成으로서만 이룩될 수 있는 것이다 (그림 1). 특히 賦存資源이 거의 없는 우리나라로서는 에너지를 어떻게 자립시키는가 가 자주국가 건설의 關

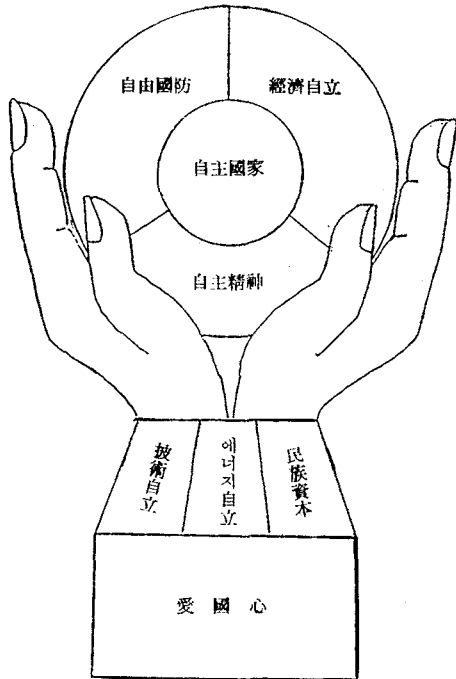


그림 1. 에너지自立의 重要性

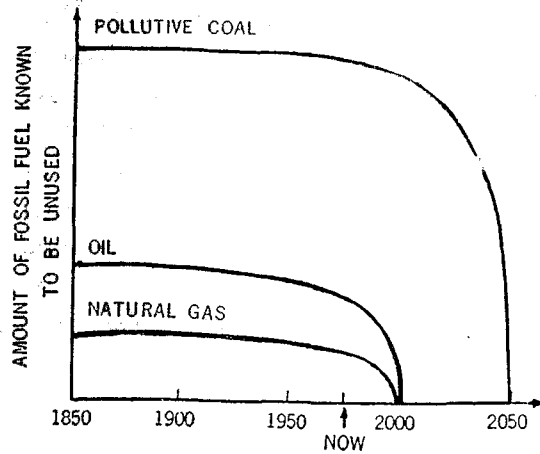


그림 2. 化石에너지資源의 限界性

鍵이 된다고 할 수 있다. 그러면 이와 같이 중요한 에너지資源의 現況은 어떠한가 살펴보기로 한다.

現在 全世界的으로 石油은 6천 7백억배럴, 천연가스는 82조 m^3 , 石炭은 4천 9백억톤, 우리나라는 5백만톤이 埋藏되어 있는 것으로 推定되고 있다. 이를 현재의 에너지消費基準으로 볼 때 그림 2에서 보는 바와 같이 2000년대 初半에 枯渴될 것으로 展望되며, 石炭도 2000년대末 부터는 供給이 어려울 것으로 분석되고 있다. 우리나라의 경우는 현재와 같이 輕水爐에만 활용한다면 50년 정도 쓸 수 있으나 앞으로 高速爐가 實用化되면 그 活用性은 60배 이상 증가되어 未來 에너지源으로서 中대한 역할을 할 수 있을 것이다.

다음에는 國內 에너지資源의 現況에 대해 살펴보기로 한다. 主知하는 바와 같이 아직까지 우리나라에는 石油과 天然가스가 발견되지 않고 있으며, 國內 에너지資源은 表 1과 같이 無煙炭, 水力, 우리나라 및 潮力으로 構成된다. 이 중 無煙炭은 15億톤이 埋藏되어 있

* 韓國原子力學會 1984年 秋季學術發表會 特別講演

표 1. 國內 에너지資源 開發의 限界

| 區 分 | 單 位 | 埋 藏 量 | 可 採 量 | 可 採 年 數 | 年 生 產 及 既 開 發 | 備 考 |
|-------------|-------|-------|-------|---------|---------------|-----------------|
| 無 煙 炭 | 百 萬 屯 | 1,500 | 636 | 34 | 18.6 | 經 濟 水 力 2,000MW |
| 水 力 | MW | 3,012 | — | — | 712 | |
| 우 라 늄 (精 鍊) | 千 屯 | 49 | — | — | | |
| 潮 力 | MW | 1,740 | — | — | | |

| | | | | |
|------|----------|----------|----------|-------|
| 石 油 | 中東(58.7) | 소련(10.3) | 멕시코(5.0) | 74.0% |
| 天然가스 | 소련(39.9) | 이란(15.5) | 美國(8.3) | 63.7% |
| 石 炭 | 美國(25.6) | 中共(21.2) | 소련(19.3) | 66.1% |

그림 3. 全世界 化石燃料의 分布現況

으나 可採量은 6億톤 정도에 불과하고, 水力資源은 300萬kw까지 開發이 可能한 것으로 조사되었으며 이 중 70萬kw가 이미 開發된 實情이다. 西海岸 地域에 위치한 가로림灣 또는 천수灣 地域을 비롯한 몇 곳이 潮力發電所를 建設할 수 있는 곳으로 분석되고 있으나 아직 經濟性은 稀薄한 것으로 판단되고 있다. 이외에 우라늄資源은 0.04%의 낮은 品位로서 아직 經濟적으로 개발되기 어려운 실정이다.

또한 世界의 化石에너지資源은 위와 같은 埋藏量의 限界性 이외에 地域的으로 偏在되어 있다는 점을 看過해서는 안 될 것이다. 그림 3에 나타난 바와 같이 石炭, 石油 및 天然가스 모두 불과 數個國 또는 數個地域에 集中的으로 埋藏되어 있는 실정이며, 특히 中東地域에 偏在되어 있는 石油供給을 둘러싸고 世界는 戰爭의 위협 속에 놓여 있다. 현재도 계속 중인 이란—이라크 間의 戰爭이 언제 擴戰될지 아무도 모르며, 이렇게 되면 또 다른 石油波動이 몰아닥칠 것이므로, 石油에너지資源이 없는 우리나라로서는 石油資源을 대체할 수 있는 에너지開發이 必須的이라고 할 수 있다. 그러면 이러한 石油資源을 代替할 것으로 가장 有望視되고 있는 原子力에너지에 대해 알아 보기로 한다.

原子力에너지의 特徵은 高密度에너지라는 점이다(그림 4). 100萬kw의 電氣를 1年間 생산하기 위하여 石炭의 경우 200萬톤, 石油는 140萬kl, LNG는 100萬톤이 필요하다. 輕水型 原子力發電所의 경우 3% 濃縮된 우라늄 約 20餘톤 정도면 되므로, 化石燃料에 비하여 約 10萬分の 1 밖에 필요하지 않은 것이다. 즉 우리나라

100萬KW 發電所를 1年間 稼動하는데 必要한 燃料比較

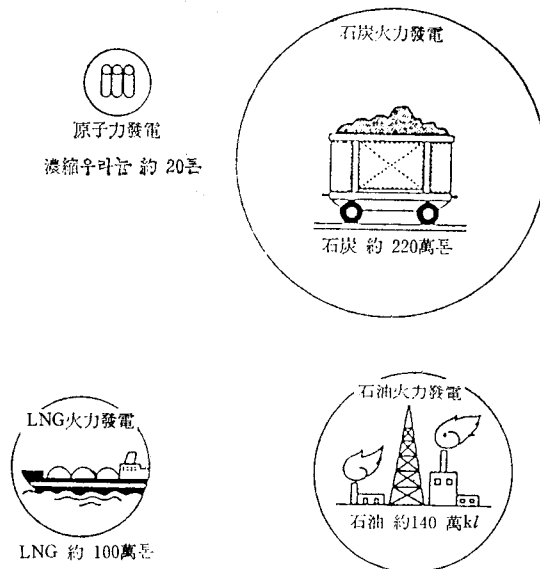


그림 4. 原子力의 高密度性

라 한 家庭에서 1년에 쓰는 전기를 供給하기 위해서는 손가락 매듭하나 정도의 우라늄만 있으면 된다고 할 수 있다.

이와 같은 觀點에서 앞으로 에너지資源을 效率的으로 活用하기 위해서는 石油는 石油化學製品的의 原料나 輸送用으로 쓰고, 炊事用은 가스 또는 石炭으로, 發電用은 우라늄 및 석탄을 사용하는 것이 타당할 것이다. 따라서 정부에서는 電源開發計劃을 原子力과 石炭火力을 중심으로 推進하고 있다(그림 5).

長期的 에너지開發計劃 樹立에 있어서는 이와 같은 에너지의 供給側面 외에 에너지사용에 따라 派生적으

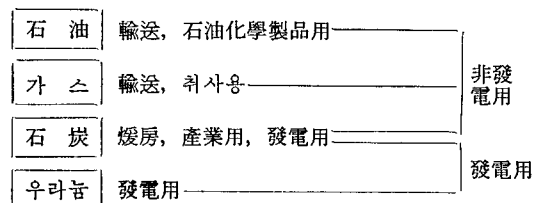
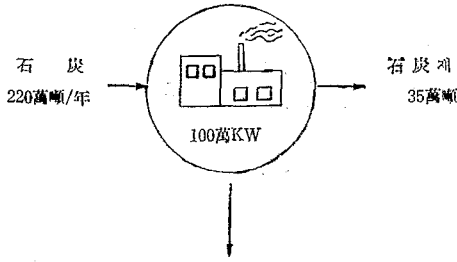


그림 5. 韓國의 에너지資源 供給戰略



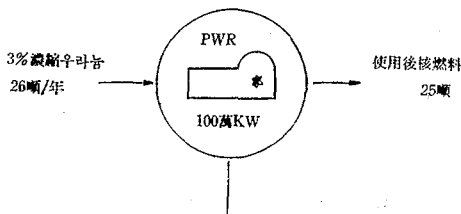
| 運轉中 廢棄物 發生量 | | 除染施設無 | 除染施設有* |
|----------------|-----------------|---------------------------|--------|
| 固體(粉塵) | | 3~4萬噸 | ~2千噸 |
| 氣體 | SO _x | 700萬m ³ (~2萬噸) | ~2千噸 |
| | NO _x | 600萬m ³ (~6千噸) | ~1千噸 |
| 液體(Wet Sludge) | | | ~20萬噸 |

* 除染施設 投資費=建設費의 20%

그림 6. 石炭發電과 廢棄物

로 隨伴되는 廢棄物의 放出에 關係서도 考慮하지 않으면 안된다.

그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 100萬kw 石炭火力發電所를 1年間 稼動하기 위해서는 年間 220萬噸의 石炭이 필요하며 35萬噸의 石炭灰가 쌓이게 될 뿐 아니라 運轉廢棄物로 粉塵 3~4萬噸이 發生되며, 集塵設備을 설치해도 2천噸이 방출되게 된다. 또 環境汚染에서 가장 問題視되는 SO_x와 NO_x는 2萬 6千噸이 放出되고 脫黃施設을 해도 3千噸이 방출되어 生態界에 莫大한 影響을 준다. 뿐만 아니라 脫黃設備을 할 경우 毒性이 강한 硫黃成分이 含有된 Lime Stone 廢液이 20萬噸이 방출되게 되어 또 다른 環境汚染을 誘發하게 된다. 이러한 粉塵, SO_x, NO_x 등 외에도 수백만 噸의 CO₂가 發生된다는 事實을 看過해서는 안 될 것이다. 이상과 같은 環境汚染的 側面 이외에 脫黃設備나 集塵設備을 위해서는 建設費의 20%에 해당하는 追加 投資가 필요하게 되어 經濟性이 低下된다는 점도 考慮 해야 한다.



| 運轉中 廢棄物 發生量 | | |
|-------------|-------|--------------------|
| 固體 | 高單位 | 3m ³ |
| | 中·低單位 | 550m ³ |
| 液體 | | 140m ³ |
| 氣體 | | ~0.1m ³ |

그림 7. 原子力發電과 放射性廢棄物

그러면 이번에는 原子力發電의 경우에 대해 알아보기로 한다. 100萬kw 原電을 1年間 運營하기 위해서는 그림 7에서 보는 바와 같이 3% 濃縮우라늄이 단지 26 噸 필요하며, 25噸의 使用後核燃料가 發生된다. 또 發電所 運營에 따른 放射性廢棄物의 放出量을 살펴보면 固體廢棄物은 550m³으로 石炭火力에 比하여 1/20 程度 이고, 氣體廢棄物은 0.1m³으로 石炭火力에 比하여 1/1 億 3千萬에 불과하며, 液體廢棄物도 140m³으로서, 脫黃設備을 설치한 石炭火力發電所에 比하여 1/1,400에 불과한 실정이다. 즉 原子力發電所의 경우 高密度에 너지인 우라늄이 少量만 필요하므로 在來式 火力發電에 比하여 무시할 정도로 적은 量의 廢棄物이 放出된다고 할 수 있다. 그러나 이 少量의 廢棄物에는 有害한 放射性物質이 包含되어 있어 先進國에서는 이를 安全하게 處理, 運營, 管理하기 위한 研究開發이 활발하게 進行되고 있으며 그 成果는 成功의 이라 할 수 있다.

따라서 여기서는 原子力에너지의 效率적이고 안전한 이용에 극히 重要한 放射性廢棄物의 管理에 關係 살펴 보기로 한다. 먼저 放射性廢棄物의 管理概要와 현재 開發되어 있는 放射性廢棄物 處理·處分 技術現況을 考察함과 아울러 海外 各國의 放射性廢棄物 管理現況을 살펴보고 마지막으로 우리나라의 放射性廢棄物 管理現況 및 앞으로의 展望에 대해 言及하고자 한다.

II. 本 論

1. 放射性廢棄物 管理概要

放射性廢棄物의 分類, 發生源, 處理 및 處分 등 放射性廢棄物 管理 概念圖

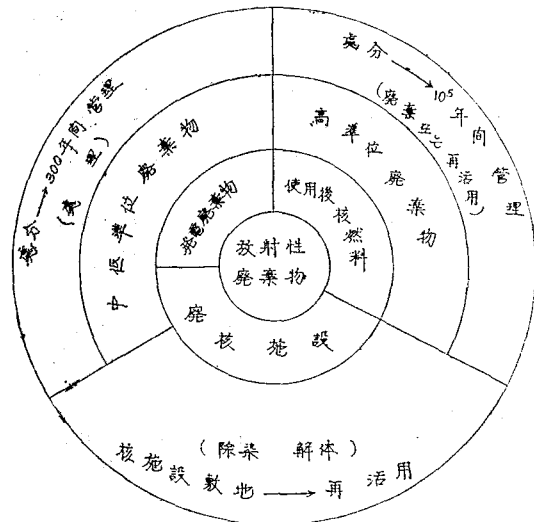


그림 8. 放射性廢棄物 管理 概念圖

放射性廢棄物의 管理에 관한 基本概念을 그림 8에 나타내었다. 여기서 볼 수 있는 바와 같이 放射性廢棄物은 放射性準位에 따라 中·低準位 및 高準位로 分類할 수 있으며, 또한 廢棄物의 發生源에 따라 核施設運轉廢棄物, 使用後核燃料 그리고 壽命이 다한 廢核施設로 分類할 수 있다. 이러한 방사성폐기물은 그 폐기물의 種類 및 使用目的에 따라 貯藏, 處理, 再活用, 除染 및 解體를 하여 生態界에 放出이 가능한 물질은 環境으로 방출하고, 長期管理를 요하는 폐기물은 固化處理하여 處分, 管理하게 된다. 이 때 中·低準位廢棄物은 300年以上, 高準位廢棄物은 10萬年 이상 生態界로 부터 隔離되어야 한다. 이상과 같은 放射性廢棄物의 管理係統을 國內現況에 비추어 좀 더 자세히 살펴 보기로 한다.

현재 우리나라에서 발생되는 放射性廢棄物은 그림 9에 나타난 바와 같이 病院, 産業體 등 350個 機關에서 나오는 極低準位廢棄物과 研究所와 原子力發電所 등 核施設 運轉時 발생되는 中·低準位廢棄物, 그리고 高準位廢棄物에 해당되는 使用後核燃料 등으로 구분할 수 있다. 여기서 中·低準位廢棄物이라 함은 앞에서 말한 바와 같이 안전하게 處理, 固化 및 包裝 後 生態界로 부터 300年 以上 隔離, 處分되어야 하는 것으로 2010년까지 약 100萬드럼(容量 200L)이 累積될 것으로 推算된다. 高準位廢棄物인 使用後核燃料은 2000년까지 약 2,000톤이 累積될 展望이며, 1995년까지는 發電所內 一時貯藏이 可能하다. 그러나 이 使用後核燃料은

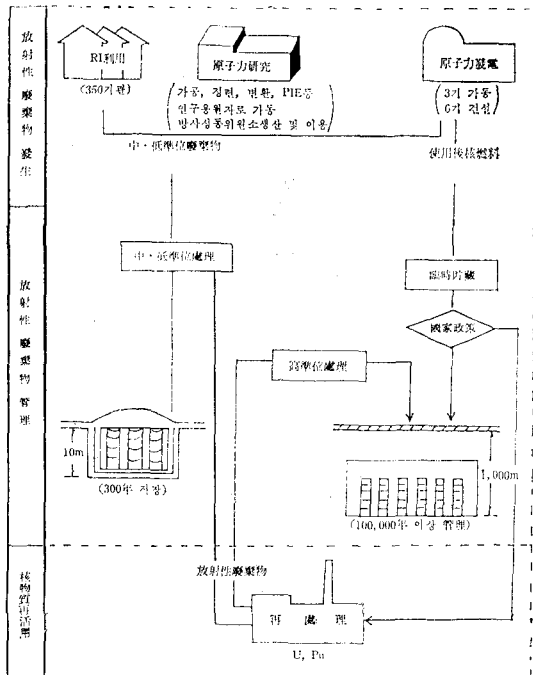


그림 9. 放射性廢棄物 管理

10萬年 以上 安全管理가 필요하므로, 永久處分하거나, 再處理하는 方案이 國家的 次元에서 研究, 檢討되어야 할 것이다.

2. 放射性廢棄物 處理, 處分技術 考察

여기서는 放射性廢棄物 管理의 原則과 處理, 處分技術을 廢棄物의 種類별로 나누어 重要技術現況 및 利用事例을 紹介하고자 한다.

放射性廢棄物管理 즉 處理, 處分の 4대원칙은 다음과 같다.

- ① 有用한 물질은 가능한 한 再活用하여 廢棄物의 發生量을 減少시킨다.
- ② 半減期가 짧은 放射性核種을 含有한 廢棄物은 일단 貯藏하여 放射能 및 崩壞熱의 發生을 減少시킨다.
- ③ 液體나 氣體廢棄物은 國際原子力機構가 設定한 基準値 이하로 處理하여 放出시킨다.
- ④ 長期管理를 요하는 廢棄物은 減容 後 固化시켜 處分 및 管理에 容易한 형태로 轉換시켜 生態界로 부터 隔離시킨다.

이러한 放射性廢棄物 處理·處分原則을 그림 10에 要約하여 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 發生된 放射性廢棄物은 周圍環境 汚染可能性을 排除하고 그 부피가 最少가 되도록 處理한 후 廢棄物 內에 含有된 放射性核種의 移動을 防止하기 위하여 固化하여 隔離, 處分하게 된다.

2.1. 放射性廢棄物 處理技術

放射性廢棄物 處理技術은 廢棄物의 種類에 따라 核施設運轉廢棄物 處理技術과 使用後核燃料 管理技術로 구분할 수 있다. 核施設運轉廢棄物은 그 放射性準位가

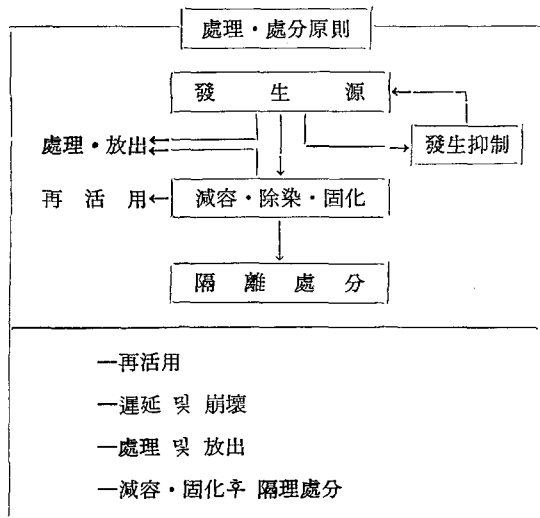


그림 10. 放射性廢棄物의 處理, 處分原則

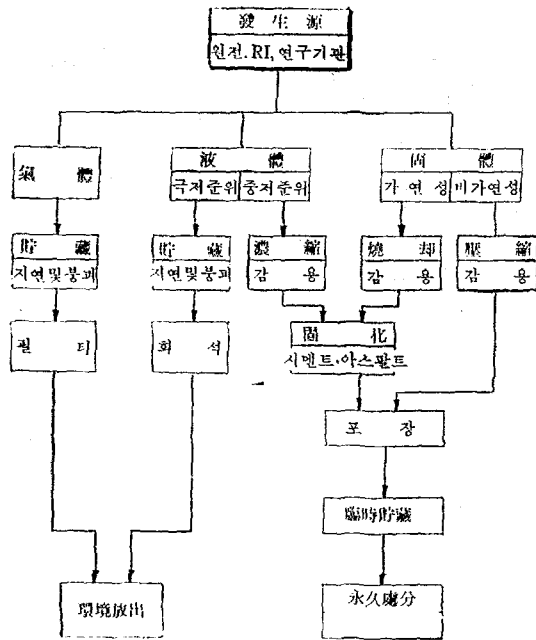


그림 11. 核施設運轉廢棄物 處理經路

中·低準位에 속하는 폐기물로서 氣體, 液體 및 固體로 나누어 각기 다른 處理經路를 거치게 된다(그림 11). 즉 氣體廢棄物은 減衰탱크에 일단 貯藏하여 放射能이 減衰된 후 Charcoal Filter, HEPA Filter 등을 通過시켜 含有放射能을 國際原子力機構 基準值 이하로 低下시켜 環境으로 방출한다. 液體廢棄物은 極低準位의 경우 貯藏탱크에서 일정시간 貯藏하여 방사능이 基準值 이하로 減衰된 후 稀釋 放出하고, 中·低準位 液體廢棄物은 蒸發器로 濃縮하여 廢棄物의 量을 減少시킨 후 固化處理 한다. 固體廢棄物은 可燃性廢棄物인 경우 燒却處理하여 부피를 減少시킨 후 시멘트나 아스팔트로 固化化시키고, 非可燃性廢棄物은 壓縮處理하여 부피를

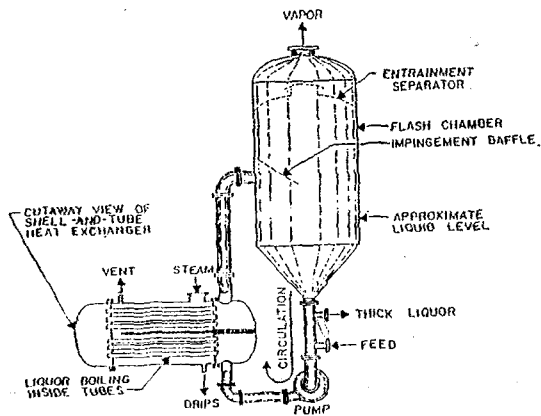


그림 12. 放射性廢液蒸發濃縮處理裝置

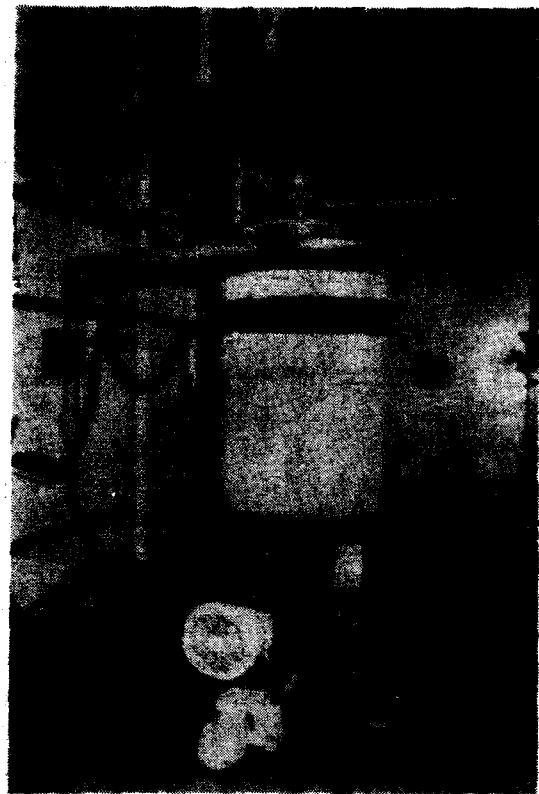


그림 13. 放射性廢棄物 시멘트固化處理裝置

減少시킨 후 드럼에 包裝한다. 이와 같이 固化, 固化 및 包裝된 廢棄物은 發電所 內에 臨時貯藏 하였다가 追後에 永久處分하게 되며, 處分된 廢棄物은 最少 300年間 生態界로 부터 隔離되어야 한다.

이와 같은 處理技術 中 代表的인 몇가지를 살펴보면 다음과 같다. 그림 12의 蒸發濃縮裝置는 大量의 中·低準位液體廢棄物을 處理하기 위한 것으로서 減容比가 100 내지 200에 이르고 있으며, 이 증발기로 부터 발생된 凝縮液은 放射能監視 후 稀釋放出하고, 濃縮液은 固化處理裝置로 보내어 진다. 廢棄物 內의 放射性核種의 移動을 방지하기 위한 固化方法은 여러가지가 있으나 가장 代表的인 것은 그림 13에 나타난 시멘트固化法으로 현재 우리나라 發電所에서도 이 방법이 사용되고 있다. 그림 14는 이러한 시멘트固化法 보다 減容效率가 100배 높고 또 浸水性이 작아 장차 시멘트固化法을 代替할 것으로 예상되는 아스팔트固化裝置를 나타낸 것으로 韓國에너지研究所에 建設된 放射性廢棄物綜合處理施設(RWTF)에도 이 固化處理裝置가 설치되어 있다. 固體廢棄物의 처리법으로는 壓縮處理法과 可燃性廢棄物의 燒却處理法이 가장 代表的이라 할 수 있으며 그림 15와 16은 각각 壓縮處理裝置와 燒却處理裝置를 보여주고 있다. 原子力發電所 全體廢棄物 중 可燃



그림 14. 放射性廢棄物 아스팔트固化處理裝置

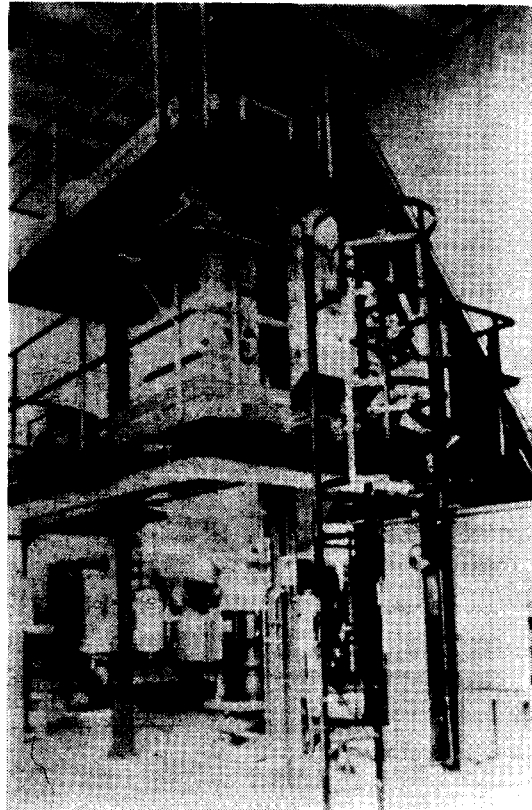


그림 15. 可燃性固體廢棄物 燒却處理裝置

性廢棄物의 비율은 약 30% 정도이므로 燒却處理工程을 導入하면 處分에 필요한 施設容量을 30% 縮少시킬 수 있을 것으로 豫상된다. 그러나 可燃性廢棄物의 燒却處理에는 排氣體處理 및 燒却爐의 腐蝕防止 等に 관

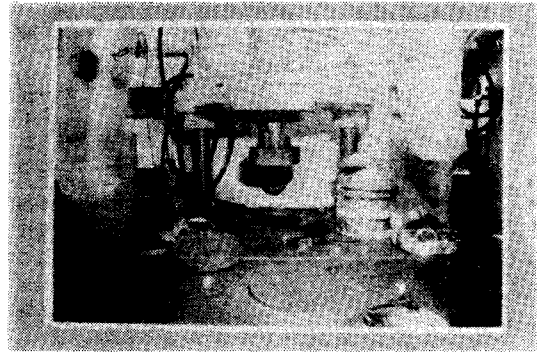


그림 16. 放射性固體廢棄物 壓縮處理裝置

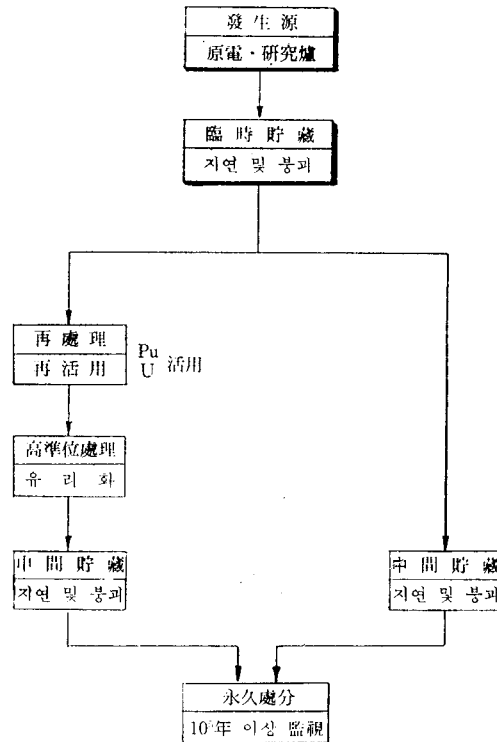


그림 17. 使用後 核燃料 管理方案

한 연구가 계속되어야 할 것이다.

使用後核燃料은 核施設運轉廢棄物과는 달리 장차 에너지源으로 再活用이 가능한 資源이며 放射能과 崩壞熱이 높은 高準位 放射性物質이므로 이의 安全管理은 국제적인 관심이 되고 있다. 발생된 使用後核燃料은 우선 發電所내의 臨時貯藏槽에 貯藏하여 放射能 및 崩壞熱을 減衰시킨 후, 各國의 政策에 따라, 再處理하여 우라늄이나 플루토늄을 發電용으로 재활용하고 남은 高準位廢棄物은 永久處分하거나, 使用後核燃料을 再處理하지 않고 高準位廢棄物로 간주하여 永久處分하는 방안을 채택하고 있다(그림 17). 그러나 使用後核燃料

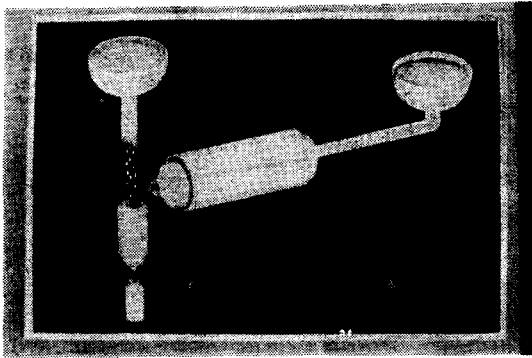


그림 18. 高準位放射性廢棄物 琉璃化工程(I)

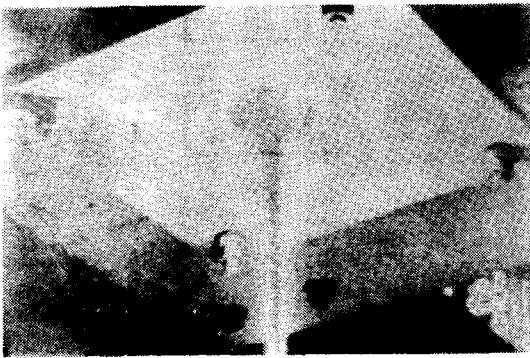


그림 19. 高準位放射性廢棄物 琉璃化工程(II)



그림 20. 高準位放射性廢棄物 固化體 貯藏

의 永久處分 方式은 미국, 프랑스, 일본 등 선진국에서도 아직 연구개발 단계로서 현재로서는 臨時貯藏容量을 증설하거나 敷地外 集中貯藏方式을 시험하고 있는 실정이다. 使用後核燃料을 再處理하는 경우에는 高準位廢棄物이 따로 분리되며 이것을 濃縮한 후 유리와 함께 混合, 熔融시켜 固化廢棄物로 만드는 데, 이 공정을 琉璃化工程이라 한다(그림 18). 그림 19는 高準位放射性廢棄物이 유리화되어 용기내로 떨어지는 장면을 나타낸 것이며, 포장된 高準位廢棄物은 그림 20에서와 같이 一時貯藏하여 崩壞熱 및 放射能을 減衰시킨

후 永久處分하게 된다.

2.2. 放射性廢棄物 處分技術

放射性廢棄物 處分技術도 處理技術과 마찬가지로 中·低準位廢棄物 處分技術과 使用後核燃料 處分技術로 나눌 수 있다. 中·低準位廢棄物 處分技術은 표 2와 같이 크게 陸地處分과 海洋處分으로 나눌 수 있으며, 陸地處分은 處分地層의 종류 및 처분위치에 따라서 다시 地中埋沒, 構造物處分, 空洞處分, 岩鹽層處分, 頁岩層處分 및 島嶼處分으로 나누어 진다. 이러한 여러 처분

표 2. 中·低準位廢棄物 處分技術

| 處 分 方 法 | 特 徵 | 主 要 開 發 國 |
|--|---|---|
| 陸地處分 地中埋沒 { 單純 Trench 改良 Trench 構造物處分 空洞處分 岩鹽層處分 頁岩層處分 島嶼處分 | Clay Trench利用 (一般 Trench) 콘크리트補強 콘크리트構造物內 保管 廢鏟 또는 自然空洞利用 岩鹽層에 貯藏 頁岩層에 廢棄物과 시멘트를 混合해 高壓으로 注入 島嶼利用, 地中埋沒 | 美, 英, 佛 美, 佛 캐나다, 日, 佛, 東獨 스페인 西獨, 東獨 美國 臺灣 |
| 海 洋 處 分 | 深海(수심 4,000m 以上)에 處分 | 美國, OECD/NEA 會員國, 日本 |

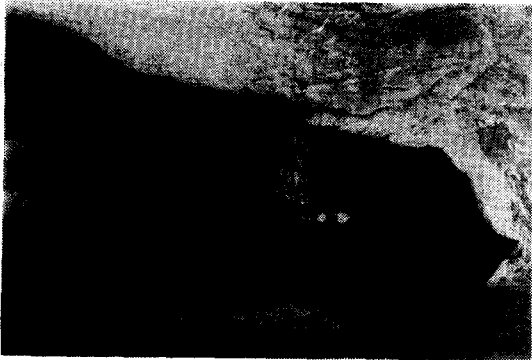


그림 21. 西獨 Asse Salt Mine의 廢棄物處分

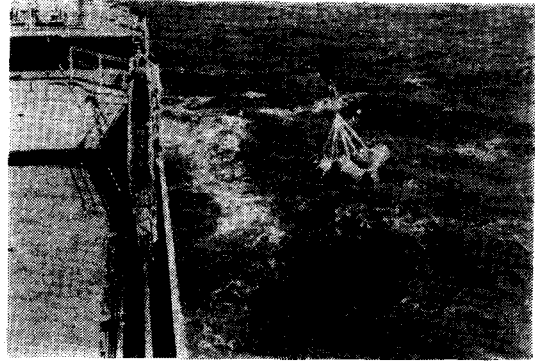


그림 22. 海洋處分實施光景

기술 중 어떤 방식을 택하느냐는 각국의 地質特性 및 國家政策에 따라 결정된다. 여기서는 현재 세계적으로 많이 이용되고 있는 대표적인 處分에 대해 살펴보기로 한다.

여러가지 處分方法중 가장 간단한 것은 粘土層이 잘 발달한 곳에 직접 Trench를 건설하여 廢棄物을 處分하는 單純 Trench法이다. 이러한 粘土層處分에 의해 300년이란 長時間동안 地下水의 浸透이 완전히 차단될 수 있는가에 대한 연구가 현재 미국에서 진행중에 있다. 이에 반해 廢棄物處分場에 적합한 粘土層이 없는 나라에서는 Trench에 粘土 또는 concrete로 보강한 改良 Trench法이 사용되고 있으며, 이 방법은 地下水의

浸透을 인공적으로 차단하는 효과가 있다. 이외에 서독에서는 그림 21에서와 같이 岩鹽鑛에 中·低準位廢棄物을 處分하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 放射性廢棄物 處分에 적합한 粘土層이나 岩鹽鑛이 없는 나라에서는 이와는 다른 廢棄物 處分方法을 택하고 있다. 대표적인 예로서 스웨덴은 花崗岩層의 지하 25m지점에 약 2,000평의 試驗 洞窟處分場을 건설하여 현재 安全性 評價를 하고 있으며 동시에 지하 50m 깊이의 永久處分場을 건설하고 있다.

海洋處分은 수심 4,000m 이상의 深海에 低準位廢棄物을 처분하는 方式으로 과거에 OECD會員國을 중심으로 행하여져 왔으나 海洋汚染의 문제가 제기되어

표 3. OECD國家의 海洋處分事例

| Year | Gross weight, t | Number of Packages | Approximate radioactivity, Ci | | |
|-------|-----------------|--------------------|-------------------------------|------------|---------|
| | | | Alpha | Beta/gamma | Tritium |
| 1967 | 10,900 | 35,790 | 250 | 7,600* | |
| 1969 | 9,180 | 23,205 | 500 | 22,000* | |
| 1971 | 3,970 | 8,331 | 630 | 11,200 | |
| 1972 | 4,130 | 8,444 | 680 | 21,600* | |
| 1973 | 4,350 | 9,803 | 740 | 12,600* | |
| 1974 | 2,270 | 4,001 | 420 | 100,400* | |
| 1975 | 4,460 | 10,633 | 780 | 30,500 | 30,000 |
| 1976 | 6,770 | 13,663 | 880 | 32,500 | 21,000 |
| 1977 | 5,600 | 7,427 | 950 | 36,300 | 31,900 |
| 1978 | 8,040 | 12,692 | 1,100 | 43,000 | 36,600 |
| 1979 | 5,415 | 8,687 | 1,415 | 40,925 | 42,250 |
| 1980 | 8,391 | 12,014 | 1,853 | 83,092 | 98,135 |
| Total | 73,476 | 154,690 | 10,198 | 441,717 | 259,885 |

* Includes tritium

* 1972年 海洋投機規制條約(London Convention)

1979年 海洋投機 完全 禁止 合議

1981년부터 海洋投機中止

표 4. 高準位廢棄物 處分技術

| 管 理 方 法 | 特 徵 | 主 要 開 發 國 | |
|---------|--------------------------------|--|----------------------|
| 中間貯藏 | Pool Water 貯藏 Concrete Silo | 長期貯藏時 腐蝕, 維持管理費用 高價 Silo 하나에 核燃料集合體 하나씩 貯藏, 貯藏費用 高價, 設置面積이 크다 | 대부분의 核發電國 캐나다, 美國 |
| | Metal Cask | 輸送과 貯藏兼用, 單純貯藏費用 高價, 小量貯藏에 適當 | 西獨 等, 유럽 國家 |
| | Dry Well | 放射能滲出量이 적다. 밀집貯藏 所需面積이 작다 | 美國, 캐나다 |
| | Air Cooled Vault | 初期投資費用 高價, 大規模貯藏에 적당 | 英國, 西獨, 프랑스, 美國, 캐나다 |
| 永久處分 | 深層處分 | 地下 500m 以下에 處分 | 技術開發中 |

1981년 이후 海洋處分을 잠정적으로 중지하고 이미 실시된 海洋處分에 대한 安全性 評價 및 環境影響評價 作業이 進行중에 있다. 현재까지 OECD會員國에 의해 실시된 海洋處分の 實績은 표 3과 같으며 그림 22는 이러한 海洋處分の 실시광경을 나타낸 것이다.

다음에는 高準位 廢棄物 및 使用後核燃料의 處分技術에 대해 살펴보기로 한다. 使用後核燃料의 處分技術은 표 4에 나타낸 바와 같이 크게 나누어 中間貯藏과 永久處分으로 나눌 수 있다. 中間貯藏方式은 장차 回

收를 목적으로 하는 반면 永久處分은 使用後核燃料을 高準位廢棄物로 간주하여 地下에 처분하는 방식이다. 여기서는 먼저 中間貯藏方式중 중요한 기술에 대해 알아 보기로 한다. 그림 23는 中間貯藏方式중 가장 널리 쓰이고 있는 Pool water 貯藏 장면이다. 이 저장방식은 冷却效果가 우수하고 기술이 확립되어 있어 널리 실용화 되고 있다. 그림 24의 Concrete silo貯藏方式은 原子爐에서 나온 使用後核燃料을 發電所내 水槽에서 冷却시킨 후 원통형 콘크리트 구조물에 넣어 저장하는 방식으로 使用後 核燃料에서 발생하는 崩壞熱은 콘크리트 벽을 통해 外表面에서 大氣에 의해 冷却된다. 이



그림 23. 使用後 核燃料의 Pool Water貯藏

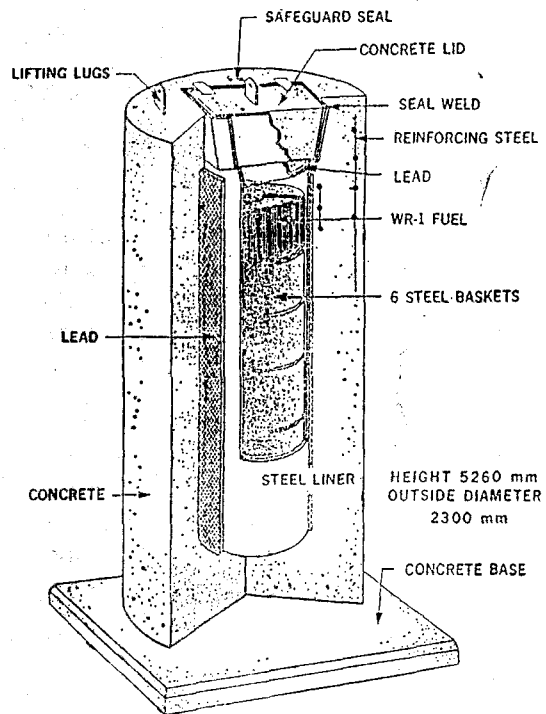


그림 24. 使用後 核燃料 貯藏用 Concrete Silo

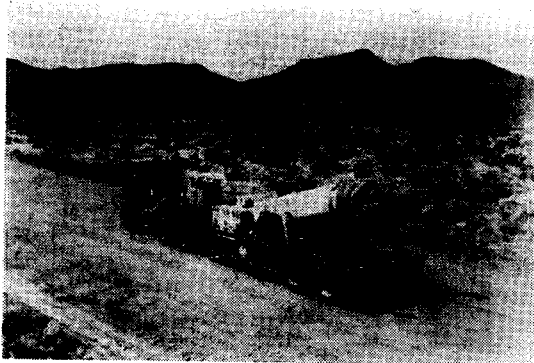


그림 25. 使用後 核燃料 輸送用 Cask

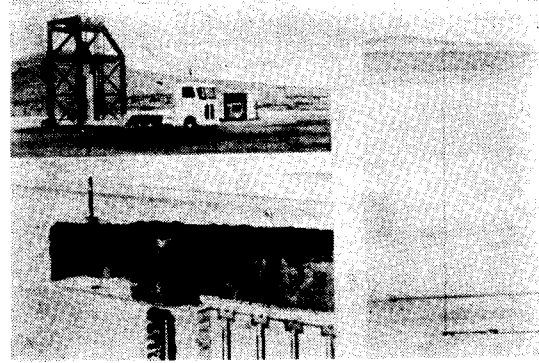


그림 26. 使用後 核燃料 永久處分

표 5. 海外放射性廢棄物 管理現況

| 國 家 | 基 本 政 策 | 專擔管理機構 | 管理費用負擔 | 管 理 現 現 |
|-----|--------------------------------------|--------------------|----------|--|
| 프랑스 | 國家主導管理 中·低準位：中央集中處分 使用後核燃料：再處理 | ANDRA | 發 生 者 | 中·低準位：La Manche 高準位：Monolith (Marcoule) |
| 스웨덴 | 國家主導管理 使用後核燃料：中央集中貯藏 | SKBF | 發 生 者 | 中·低準位：SFR 高準位：CLAB(中間貯藏) SPL(最終處分) |
| 獨 逸 | 國家主導管理 使用後核燃料：再處理計劃 | PTB | 發 生 者 | 中·低準位：ASSE II. (試驗處分) |
| 美 國 | 中·低準位：事業者 및 主政府管理 使用後核燃料：國家管理·再處理 | 에너지省(DOE) 主 政 府 | 發生者 및 政府 | 中·低準位：Barnwell West Valley 等 高準位：發電所內 臨時貯藏 |
| 臺 灣 | 中·低準位：島嶼處分 國家主導管理 | 放射性廢棄物 管 理 處 | 發 生 者 | 中·低準位：난류도(臨時貯藏) 高準位：發電所內(臨時貯藏) |

외에 그림 25와 같은 核燃料 輸送용容器인 Cask에 使用後 核燃料을 貯藏하는 方式도 있으나 貯藏費用이 높아 가격이 저렴한 貯藏용 Cask를 개발중에 있다.

使用後核燃料의 永久處分을 위해서는 그림 26과 같이 지하 수백m 깊이에 터널로 된 貯藏所를 만들고 터널바닥에 Hole을 파서 使用後核燃料을 貯藏하는 深層處分 方式이 연구되고 있다.

3. 海外 放射性廢棄物 管理現況

각국의 放射性廢棄物의 管理는 국가마다 管理政策 및 方法이 상이하므로 여기서는 대표적인 5개 국가를 중심으로 그 管理現況을 살펴보고자 한다. 각국의 放射性廢棄物 管理現況은 표 5에 요약하여 나타내었다. 이 표에서 볼 수 있는 바와 같이 5개국중 美國을 제외하고는 모두 國家 主導하에 專擔機構를 두어 放射性廢棄物을 관리하고 있으며, 廢棄物 管理費用은 모두 發

生者 負擔 형태를 취하고 있다. 美國이 다른 나라들과 管理體制가 다른 것은 국토가 넓고 地方自治制度가 발달한 특성에 기인하는 것이며 美國에서도 高準位廢棄物의 경우는 國家에서 管理하고 있는 실정이다. 그러면 각국의 廢棄物 管理施設중 대표적인 예를 살펴보자.

프랑스는 國家主導하에 CEA산하에 管理專擔機構인 ANDRA에서 廢棄物 管理를 맡고 있으며 中·低準位廢棄物은 La Manche 處分場에 처분하고 있으며(그림 27) 高準位廢棄物은 Marcoule에 臨時貯藏하고 있다. 장차 所要電力의 50%를 原子力으로 충당할 것을 강력히 추진하고 있는 프랑스는 현재 原子力發電所에서 나오는 中·低準位廢棄物이 전체 放射性廢棄物 發生量의 60%를 차지하고 있으며 기타 기관에서 나온 것까지 합쳐서 불과 4萬坪의 第1綜合處分場에서 1986년까지 處分할 수 있는 것으로 추정하고 있다. 또 이러한 綜

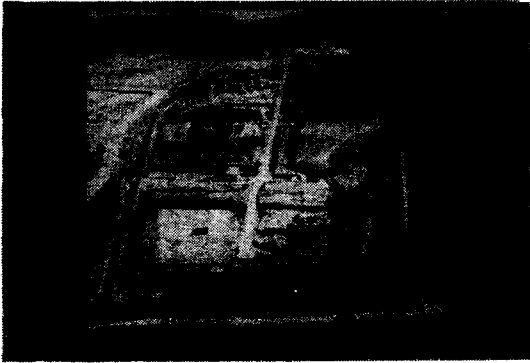


그림 27. 프랑스 La Manche 處分場

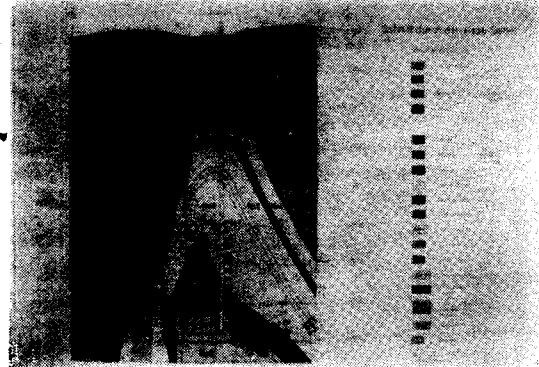


그림 28. 獨逸 Asse Salt Mine

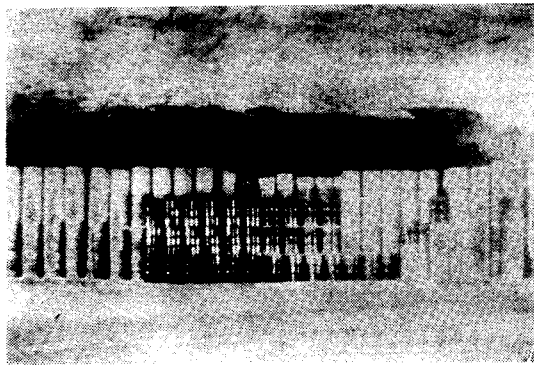


그림 29. Asse Salt Mine의 放射性廢棄物 드럼積載光景

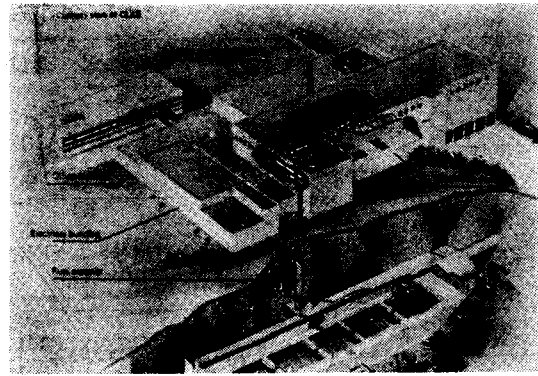


그림 30. 스웨덴 使用後核燃料 中央集中貯藏施設(CLAB)

舍處分場을 경작지 옆에 안전하게 설치하여 운영하고 있는 것도 특기할만 하다. 독일은 中·低準位廢棄物을 岩鹽鑛인 Asse Salt Mine에 試驗處分하고 있다(그림 28). 이 鑛山은 본래 岩鹽 채취를 위해 개설된 광산이나 1964년 경제적인 이유로 폐쇄된 이래 獨逸 環境放射線研究所(GSF)에서 購入하여 地下 490~750m 위치에 中·低準位廢棄物 處分場으로 활용하고 있다. 이러한 岩鹽層은 水分이 없으므로 放射性廢棄物의 長期貯藏에 매우 적합한 것으로 알려져 있다. 그림 29은 岩鹽鑛내에서 철제드럼을 4단으로 積載하고 있는 광경을 나타낸 것이다. 스웨덴에서는 國營會社인 스웨덴 核燃料供給會社의 주도하에 사용후핵연료를 中央集中施設인 CLAB에 貯藏할 계획이다. CLAB은 현재 건설이 완료되어 試驗稼動 中에 있으며 그 鳥瞰圖는 그림 30과 같다.

著者は 지금까지 언급한 여러 나라의 시설을 시찰한 바 있으며, 이들 국가들이 自國에서 발생된 廢棄物을 自國技術로 處理·處分하면서 原子力發電을 에너지源의 主宗으로 채택하고 있는 것을 보고 감명깊게 느낀

바 있다.

4. 國內 放射性廢棄物 管理現況 및 展望

국내의 放射性廢棄物 管理現況 및 展望을 크게 放射性廢棄物 處理現況, 處分現況과 韓國에너지研究所 主要 研究開發 現況으로 나누어 살펴보기로 한다(표 6). 먼저 處理現況을 살펴보면 原子力發電所는 中·低準位廢棄物의 自體 處理施設을 보유하고 있으며 에너지연구소에서도 綜合處理施設을 갖추고 있어 中·低準位廢棄物의 安全處理가 가능한 반면, 放射性同位元素 利用機關에서 발생되는 廢棄物은 비록 極低準位라 하더라도 自體處理施設이 全無한 실정이므로 이에 대한 對策이 시급히 요구되고 있다.

處分現況으로는 發電所에서 발생된 廢棄物은 처리후 발전소별로 臨時貯藏하고 있어 그 果積量이 해마다 급증하고 있으며, 使用後核燃料은 發電所 Spent Fuel Pool에 貯藏하고 있으나 1995년 경에는 貯藏能力의 한계에 도달될 것이 예상되므로 이에 대한 대책이 필요한 시점에 와 있다.

다음으로 韓國에너지研究所에서 研究開發 中에 있는

표 6. 國內 放射性廢棄物 管理現況

| |
|---|
| 處理現況 |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ 原子力發電所 <ul style="list-style-type: none"> 中·低準位：自體處理施設 保有 (濃縮, 시멘트固化, 이온交換) ○ RI利用機關 <ul style="list-style-type: none"> 極低準位：處理施設 全無 ○ 研究所 <ul style="list-style-type: none"> 中·低準位：中央集中綜合處理施設 確保 (濃縮, 시멘트固化, 아스팔트固化, 除染, 이온交換) |
| 處分現況 |
| 中·低準位：發電所別 臨時貯藏 使用後核燃料：發電所 S/F Pool에 貯藏 (1995年 貯藏限界에 到達) |

放射性廢棄物 處理技術중 중요한 분야에 대해 살펴보기로 한다. 에너지연구소에서는 1987년까지 中·低準位 放射性廢棄物의 處理 및 處分에 필요한 基本技術의 확립을 목표로 하고 있으며 이를 위한 각종 연구가 진행중이다. 液體廢棄物 處理技術에 관한 연구로는 蒸發濃縮處理, 시멘트固化處理 및 플라스틱固化處理 등의 研究를 綜合적으로 수행할 수 있는 模擬 廢棄物 處理工程(simulator)을 설계·제작중이며, 中·低準位 液體廢棄物과 廢樹脂의 아스팔트固化處理研究를 위해 蒸發處理容量이 시간당 7l인 薄膜蒸發管型 아스팔트固化處理裝置(그림 31)를 제작하여 固化實驗과 固化體의 永久處分에 대한 安全性評價研究를 진행중이다. 固體廢棄物 處理技術로는 可燃性 固體廢棄物의 燒却處理裝置 設計, 실증에 관한 연구도 수행되고 있다. 이외에 放射性汚染 機器의 單位除染 研究가 진행중이며 發電所의 운전효과를 증대시킬 수 있는

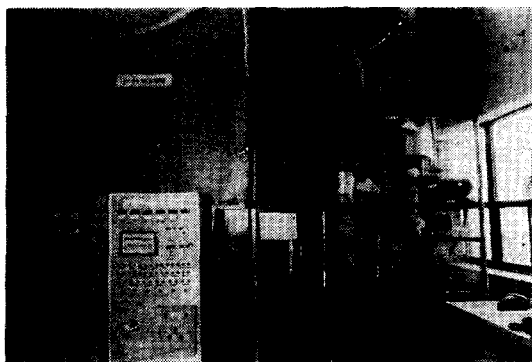


그림 31. 薄膜蒸發管型 아스팔트固化處理裝置

1차 冷却系統의 除染技術을 연구하기 위한 Test-Loop 除染裝置를 설계·제작하여 연구중에 있다(그림 32). 이 研究의 結果는 1986년에 실용화 될 것으로 예상된다. 이상과 같은 單位處理工程 研究結果를 綜合적으로 평가하고 原子力發電所에서 필연적으로 발생되는 中·低準位 放射性廢棄物과 여러 同位元素 利用機關에서 나오는 極低準位廢棄物 등을 안전하게 처리할 수 있는 技術의 確립을 위하여 에너지연구소내에 放射性廢棄物 綜合處理施設을 建設중에 있다(그림 33). 이 施設에는 液體廢棄物과 廢樹脂의 處理와 固體廢棄物의 處理는 물론 장비의 재활용을 위한 除染施設 등을 갖추고 있으며 특히 현재의 原子力發電所에서 나오는 廢樹脂는 전부 처리할 수 있는 아스팔트固化處理 施設도 포함되어 있다. 放射性廢棄物 處分技術에 관한 研究로는 각종 固化體의 沈出特性 등 安全性 評價에 관한 연구와 放射性廢棄物의 地下處分時 放射性 核種의 地下移動 예측에 관한 연구가 진행중에 있다. 1988년으로 예정된 商用 放射性廢棄物處分場의 운영에 필요한 處分 安全性 綜合評價에 관한 연구가 장차 수행될 것이다.

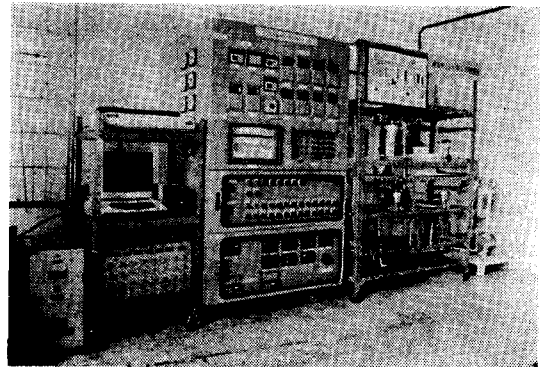


그림 32. Test-loop 除染裝置

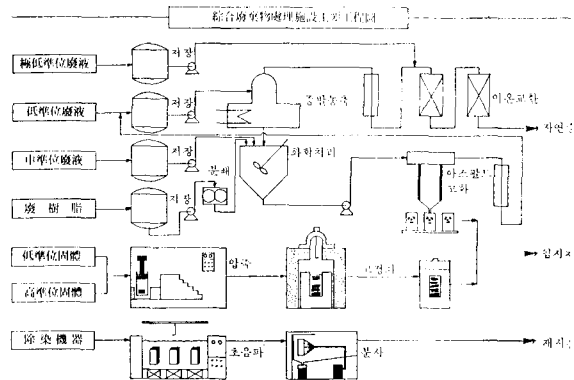


그림 33. 韓國에너지研究所 放射性廢棄物 綜合處理施設 主要 工程圖

III. 結 論

우리나라 에너지의 안정공급과 環境汚染 擴大를 방지하기 위해 原子力 에너지의 도입이 요구되며, 이러한 원자력 에너지의 효율적이고 안전한 이용을 위해 放射性廢棄物 管理는 매우 중요하다. 放射性廢棄物의 管理는 장구한 시일에 걸쳐 國土環境 保存 및 국민 보건에 막대한 영향을 미칠 수 있으므로 철저한 廢棄物 管理基準와 管理體制 確立이 필요하며 이를 위한 지속적인 연구개발이 요망된다. 이와 같은 放射性廢棄物 處理·處分技術의 自立化가 이룩될 때 비로소 原子力 發電이 경제적이고 公害없는 에너지원으로서의 역할을 다할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 動資部, “第5次 經濟社會發展 5 個年計劃, 에너지 및 資源部門 修正計劃”(1983).
2. “에너지-레포트 '82”, 教育社 編(1982).
3. “에너지-轉換期の 環境政策”, 石炭轉換に伴う 環境影響檢討會(昭和 56年).
4. 韓國에너지研究所 “放射性廢棄物 處理處分技術에 관한 研究”, KAERI/RR-403/83 (1984).
5. IAEA, “Air Filter for Use at Nuclear Facilities”, IAEA Tech. Report Series No. 122, IAEA, Vinna (1970).
6. IAEA, “The Control of Iodine in the Nuclear Industries”, IAEA Tech. Report Series No. 148 (1973).
7. A.A. Moghissi et al., “Nuclear Power Waste Technology”, ASME New York, 1979.
8. G. Trigilo, “Volume Reduction Technique in LLW Management”, NUREG/CR/2206, U.S. NRC, Washington, 1981.
9. IAEA, “Conditioning of Low and Intermediate Level Radioactive Waste”, IAEA Tech. Report Series No. 223, IAEA Vinna (1983).
10. M.A. Barthoux, “Disposal of Low Level Waste”, French Industrial Experience in Radioactive Waste Management and Spent Fuel Storage, p. 172 (1983).
11. M.A. Barthoux, “Deep Geological Disposal”, *ibid.*, p. 191 (1983).
12. Claude Jaohen, “HLW and TRU Design”, *ibid.*, p. 201 (1983).
13. IAEA, “Shallow Ground Disposal of Radioactive Wastes”, IAEA Safety Series No. 53, IAEA (1982).
14. Tore Waltersten, “Final Disposal of Low and Medium Level Operational Wastes”, Waste Management Symposium Oct. 20, 1983, Seoul, Korea(1983).
15. Tore Waltersten, “Spent Fuel Storage Facility—AFR”, *ibid.*(1983).
16. 韓國原子力研究所, “固體廢棄物永久廢棄方案”(1980).
17. ANDRA, “ANDRA, A Government Agency for Safe Radioactive Waste Management”, France.
18. 日本原子力産業會議, “世界の放射性廢棄物の現狀”, 放射性廢棄物管理調査團報告書, (1983).
19. R.O. Chester and C.T. Garten, Jr. “A History of Ocean Disposal of Packaged Low-Level Radioactive Waste”, Nucl. Safety, Vol. 23, pp.183-197 (1982).
20. IAEA, “Radioactive Waste”, IAEA Vienna(1983).
21. 韓國에너지研究所, “遠隔除染技術開發”, 中間報告書(1983).
22. 韓國에너지研究所, “使用後核燃料管理對策研究”, KAERI/RR-390/82 (1983).