

低레벨廢棄物의 減容技術

原子力發電所에서는 운전 및 보수에 수반하여 여러가지 형태의 放射性廢棄物이 발생한다. 이들 방사성폐기물의 處分을 고려할 때, 發生量을 되도록 減少시키고 또 어떻게 減容시키는가가 原子力推進上 중요한 課題이다. 다음은 近年에 減容處理를 目的으로 開發된 또는 開發中인 技術의 紹介이다.

1. 플라스틱固化技術

농축폐액이나 廢樹脂의 處理技術은 현재 시멘트 또는 아스팔트에 의한 固化方法이 채택되고 있다. 이와같은 在來의 固化體와 비교하여 減容性, 物性의 면에서 더 우수한 고화체개발을 목표로 研究를 수행한 결과 熱硬化性樹脂를 사용한 플라스틱고화체가 여러가지의 점에서 좋음에 확인되었다.

다음은 플라스틱固化시스템의 특징, 시스템의 概要이다.

(1) 시스템의 特徵

플라스틱固化시스템의 특징은

① 原子力發電所에서 發生하는 각종의 방사성 폐기물을 固化處理할 수 있다.

② 건조처리에 의해 방사성폐기물을 일단 乾燥粉體化한 후에 플라스틱固化處理를 하기 때문에 대폭적인 減容을 도모할 수 있다. 表1에 종래의 시멘트固化法과의 드럼數 比較를 나타내었다. 플라스틱固化法은 시멘트固化法에 비해 1/4~1/6의 減容性이 있다.

③ 製作된 플라스틱固化體는 在來의 固化體와 비교하여 훌륭한 物性을 갖고 있다. 지금까지 실시된 物性試驗에서 확인된 플라스틱固化體의 物性을 表2에 表示하였다.

固化體比重 및 強度: 시멘트固化體에서 要求되는 기준치(比重 1.2이상, 압축강도 150kg/cm²)

를 충분히 만족시킨다.

耐水性: 시멘트固化體와 비교하여 100배 이상 양호하다(放射性物質의 浸出擴散係數로 비교).

耐火性: 800℃, 30分間の 조건에서 表面이 약간 炭化할뿐 固化體内部는 健全하다. 熱硬化性樹脂를 사용하고 있기때문에 高温下에서 形狀의 변화도 없고 충분히 耐火性을 갖고 있다.

耐放射線性: Co-60 γ線의 照射結果 10⁸rad照射까지는 形狀, 重量, 강도의 변화가 없었다. 原子力發電所에서 發生하는 放射性廢棄物을 대상으로 할 경우 固化體가 10⁸rad의 조사를 받을 우려가 없으므로 放射線劣化의 염려가 없다.

(2) 시스템의 概要

플라스틱固化시스템의 기본개념도를 그림2에 나타내었다. 이 시스템은 다음의 세개의 시스템으로 구성되어 있다.

○ 乾燥處理系

○ 粉體貯藏供給系

〔表1〕 減容性比較

	플라스틱固化	시멘트固化
濃縮廢液의 경우	3개	12개
使用된 이온交換樹脂의 경우	3개	12개

○ 플라스틱固化系

방사성폐기물은 건조처리계에서 乾燥粉體化 된 후 粉體貯藏供給系를 거쳐 플라스틱固化系로 공급된다. 여기서 固化劑 및 기타의 용매와 혼합되어 均一化된 후 重合反應에 의해 強固한 플라스틱固化體가 된다.

다음은 각 시스템의 概要이다.

① 乾燥處理系

乾燥機給液탱크에서 혼합된 농축폐액 또는 廢수지슬러리는 給液펌프에 의해 건조기의 上部에 定量供給된다. 건조기는 豎型 薄膜式으로서 垂直圓筒狀傳熱面에 공급된 폐액은 圓筒內에서 회전하는 Blade에 의해 薄膜이 되어 傳熱面을 흘러내리면서 농축폐액 1%이하, 폐수지 10%이하의 含水率인 粉體가 된다.

한편 건조기內에서 증발된 수분은 건조기복수기에 의해 응축된 후 液體處理系에서 處理된다. 건조기는 170°~180°C의 증기로 가열되며

건조기內의 압력을 數mm 水柱負壓으로 유지시키기 위하여 抽氣이젝터 또는 抽氣블로우어를 설치하고 있다. 抽氣장치에 의해 吸引된 공기는 벤트處理系에서 處理된다.

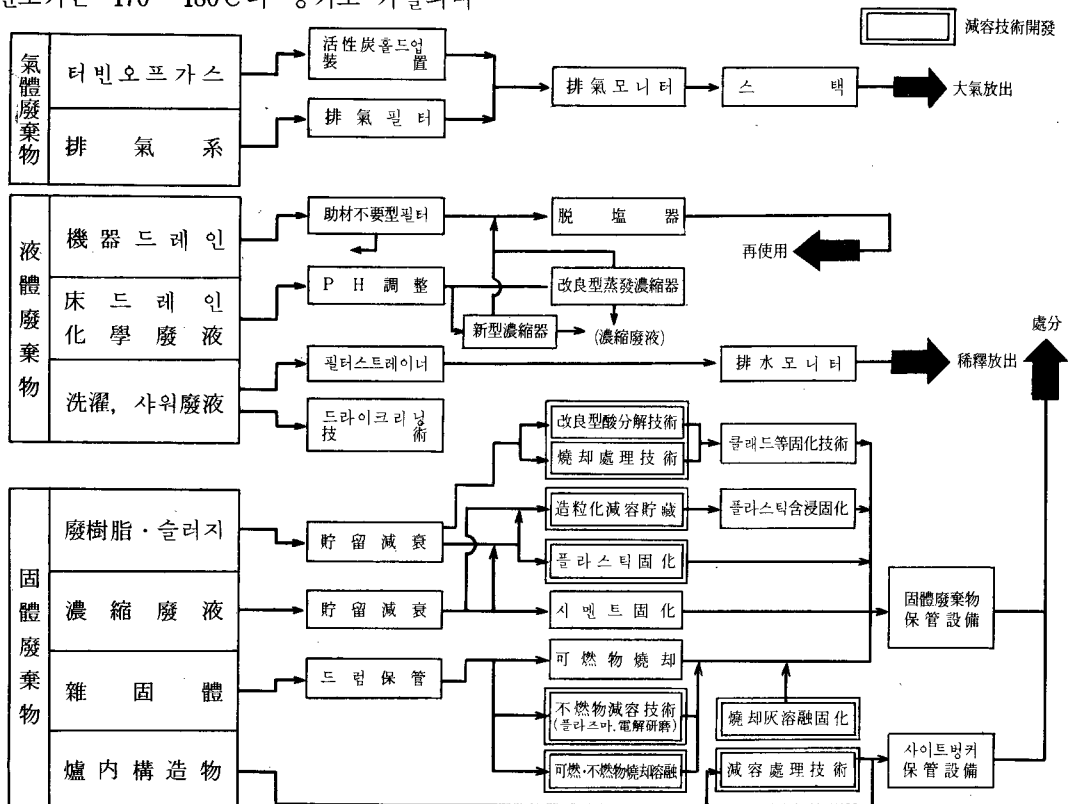
② 粉體貯藏供給系

乾燥粉體化된 방사성폐기물을 플라스틱固化系로 공급하기 위한 系로서 粉體Hopper를 중심으로 그 上流側(건조기-粉體 Hopper 사이)과의 接續에 粉體移送裝置가, 下流側(粉體Hopper-混合槽 사이)과의 接續에 粉體공급장치가 배치된다.

表 2
比較
固化體物性의

項 目	플라스틱	시멘트
壓縮強度	600kg/cm以上	約200kg/cm以上
比重	1.2~1.7	1.7~1.8
耐水性浸出率 (cm/日)	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁸	10 ⁻¹ ~10 ⁻²
耐火性	難燃性	不燃性
耐放射線性	5×10 ⁸ RAD	10 ⁸ RAD以上

그림 1
放射性廢棄物處理系의 技術開發狀況



粉體Hopper는 下流側の 플라스틱固化系가 Batch운전系이기 때문에 건조기에서 연속적으로 들어오는 폐기물의 乾燥粉體를 일시적으로 저장하여 1 Batch分の 粉體를 혼합조에 주기적으로 배출하기 위한 것이다.

③ 플라스틱固化系

건조처리계에서 乾燥粉體화된 방사성폐기물을 플라스틱固化劑와 一體化하여 고화처리하는 系로서 混合槽, 固化劑, 重合開始劑 등의 各 탱크 및 그 移送펌프로 구성되어 있다.

粉體와 여러가지 藥劑와의 혼합방식에는 그림 2에서와 같이 Out-Drum方式과 In-Drum方式 두가지가 있다. 前者는 混合槽內에서 粉體와 固化劑, 開始劑, 促進劑를 균일하게 혼합한후 200ℓ 드럼에 배출하는 방식이고, 後者는 일단 혼합조내에서 粉體와 固化劑를 혼합한후 드럼에 배출하여서 거기서 開始劑와 촉진제를 加해 다시 攪拌하는 方式이다.

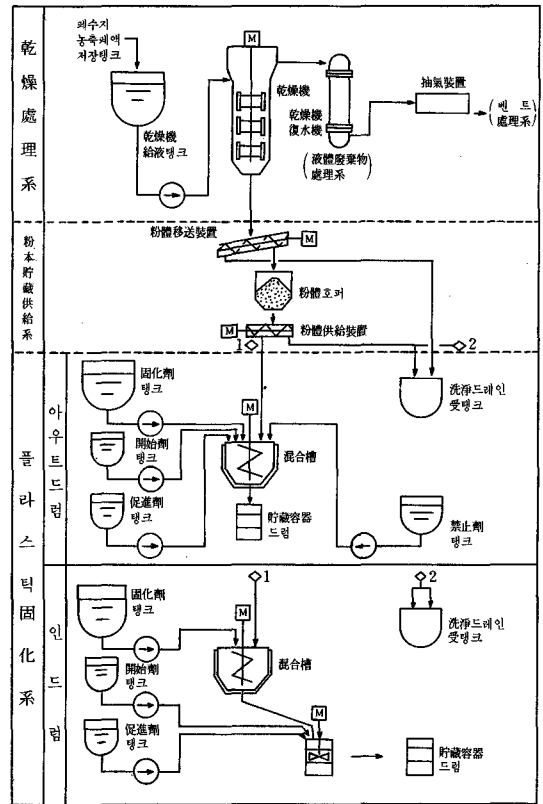
이 두 方式 모두 常溫에서 드럼內에서 重合反應이 進行되기 시작하여 數時間後에 겔(Gel)化하고 십수시간후에는 거의 完全하게 固化된 強固한 固化體가 된다(所定の 압축강도에 도달하는 데는 數日間 養生하면 충분하다). 또 이 系에서는 開始劑를 주입한후에 어떤 이유로 중합반응의 進行을 正지시킬 必要가 生겼을 때를 위해서 重合禁止劑의 注入라인을 설치하고 있다.

건조처리系 및 粉體 저장공급系의 洗淨은 물론 行하며 이를 위한 洗淨라인 및 洗淨液受탱크가 설치되어 있고 混合槽의 洗淨은 固化劑 自身으로 行하며 洗淨後의 固化劑는 드럼에 排出되어 固化된다.

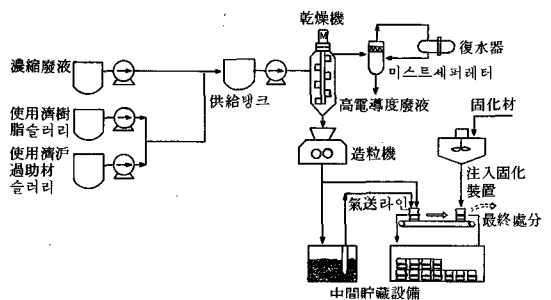
2. 造粒固化技術

造粒固化技術은 原子力發電所에서 나오는 농축폐액, 폐수지 및 廢슬러지 등 슬러리狀의 폐기물을 乾燥粉體화한후 造粒(펠릿狀)하는 것이다. 이 펠릿은 드럼과 같은 容器에 넣어 다시

〈그림 2〉 플라스틱固化시스템基本系統圖



〈그림 3〉 造粒固化處理흐름圖



各種 固化劑로 固化시키거나 또는 펠릿상태로 중간저장보관하여 최종처분에 대비할 수도 있으므로 장래의 최종처분법에 유연하게 대응할 수 있는 방식으로 고려되고 있다.

(1) 造粒固化技術의 概要

농축폐액이나 폐수지 등 슬러리狀의 폐기물을 單一裝置에 의해 一括造粒固化하는 造粒固化處

理시스템의 플로우시트를 그림3에 表示하였다.

이 시스템은 폐기물을 乾燥粉體化시키는 건조기와 粉體를 펠릿으로 造粒하는 造粒機를 주축으로 하는 것으로서 그 구조와 원리는 다음과 같다.

① 乾燥機

여기서의 건조기는 遠心薄膜乾燥機로서 圓筒形의 傳熱面은 外部로 부터 증기가 열되고 있고 可動式의 Blade가 원심력에 의해 傳熱面을 누르면서 효율적인 열교환이 행하여지면서 降下함에 따라 농축되어 최종적으로 乾燥粉體化시켜 下部에서 꺼낸다.

② 造粒機

조립기의 개략적인 구조를 그림4에 나타내었다. Hopper中的 乾燥粉體는 Screw Feeder에 의해 壓密化되어 롤러의 回転속으로 밀려들어가서 강력하게 압축되어 아몬드모양의 強固한 펠릿이 형성된다.

(2) 시스템의 概要

① 乾燥프로세스

各 폐기물은 저장탱크에서 必要에 따라 방사능감쇠를 기다린후 공급탱크에서 혼합하여 건조기로 폐기물의 水分을 증발시켜 乾燥粉體로 한다. 증발증기는 Mist Separator로 除染한후 복수기에서 응축하고 응축水는 高電導度廢液으로 처리된다.

그리고 건조기의 粉體化處理에 앞서 有機廢棄物인 페수지슬러리 등은 酸分解燒却 등에 의해서 無機物로 전환시킴으로서 減容效果를 더욱 높일 수 있다.

② 造粒프로세스

乾燥機生成粉體는 그림4에 표시된 버리케팅형 造粒機에 의해 아몬드모양의 펠릿으로 成型된다.

③ 輸送·貯藏保管·固化프로세스

成型된 펠릿은 移送콘베이어 등에 의해 貯藏槽로 수송되어 펠릿상태로 방사능의 감쇠를 기다리는 동안 저장보관된다. 그리고 貯藏槽에 보관된 펠릿은 氣送라인에 의해 드럼 등의 容器에 넣은후 固化劑를 注入하여 固化된 상태로 할 수도 있다.

(3) 試驗結果

造粒固化處理시스템의 주요한 개발과제는 複數의 폐기물을 처리하기 위해 廢棄物의 物性에 따른 粉體化條件의 검토와 펠릿化에 있으며 이들 課題는 各種의 기초적실험과 파일로트플랜트시험 (處理量: 50kg/h, 200kg/h)에 의해 해결되었다.

또한 실제의 廢棄物을 사용해서 本시스템기능의 확인을 수행함과 동시에 海洋處分을 전제로 한 펠릿固化體의 각종 평가시험을 하여 그 健全性を 實證하였다.

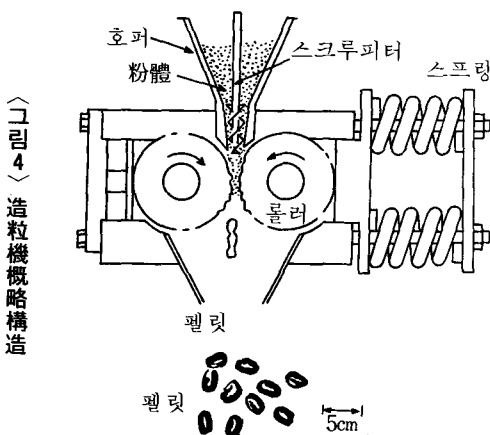
실제의 적용기술확립을 위하여 실시된 研究開發概要는 다음과 같다.

① 實機適用化試驗

○ 粉體化技術

건조기는 豎形의 圓筒傳熱面과 回傳하는 Blade를 가지며 슬러리를 傳熱面에 따라 落下시키고 회전 Blade에 의해서 傳熱面에 均일하게 분산시킴으로서 높은 熱傳達率을 달성시킬 수 있다는 것과 이와같은 종류의 장치에 흔히 있는 스케일을 방지할 수 있다는 것이 특징이다.

廢棄物處理에서는 處理液性狀이 多岐로 변동하기 때문에 그 변동을 충분히 고려하여 건조기의 특성과약을 실시했다. 그림5에 單獨廢棄



物の粉體化性能을 표시하였다.

○造粒技術

各種壓縮造粒法에 대해 비교실험을 하여 最適인 버리캐팅形을 채택하고 있다.

粉體組成은 造粒性에 특히 중요한 因子이며 組成을 광범위하게 변동시키는 造粒試驗에 의해 強度가 安定된 健全한 펠릿을 제조할 수 있는 技術을 확립하였다.

○貯藏技術

펠릿의 중간저장에 대비하여 펠릿의 長期健全性을 實證하였다. 영향인자는 습도, 온도, 방사선 등인데 이들 항목에 대한 確定試驗結果는 다음과 같다.

— 습도는 주위의 분위기를 低溫으로 유지시킴으로서 長期貯藏에 문제가 없다.

— 溫度는 耐候促進溫度사이클試驗結果 室溫범위의 변동은 문제가 안된다.

— 放射線은 γ 線照射試驗結果 아무런 영향도 주지 않는다.

그림6은 약5년동안 室內에 방치한 펠릿의 物性經過變化의 一例인데 훌륭한 物性安定性을 나타내고 있다.

○펠릿注入固化技術

펠릿處分用固化體는 드럼內에 收納된 內부의 容器에 펠릿을 充填시킨후 固化材를 注入하여 固化시킨다. 이 固化體는 펠릿과 용기사이에서 固化材層을 형성하기 때문에 放射能浸出率低減, 膨潤防止의 観点에서 유리하다.

② 實際廢棄物에 의한 實證試驗

이 試驗에서의 처리대상폐기물(8m³)은 농축 폐액, 폐수지 및 廢슬러지이며 延160시간에 걸쳐 시험설비를 運轉하여 다음과 같은 항목을 確認實證하였다.

粉體化·造粒特性: 실제의 폐기물에 대해서도 安定된 處理特性을 갖고 있음을 확인했다.

減容效果: 廢棄物充填드럼發生量을 在來의 시멘트고화법과 비교할 때 약 1/7~1/9로 감소시

킬 수 있으며 중간저장, 최종처분 모두에 매우 유리함을 확인했다.

機器表面線量 및 洗淨效果: 주요한 機器의 洗淨에 의해 보다 충분한 放射能低減效果(低減率: 80%以上/回)가 얻어짐을 확인했다.

保守·作業性: 空間線量率 및 각 기기의 表面汚染密度를 측정하여 오염이 없음을 확인하고 裝置의 氣密性, 設備設置地域의 健全性을 확인했다

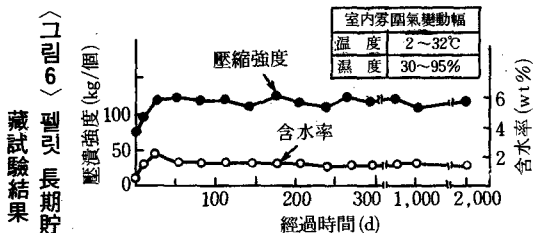
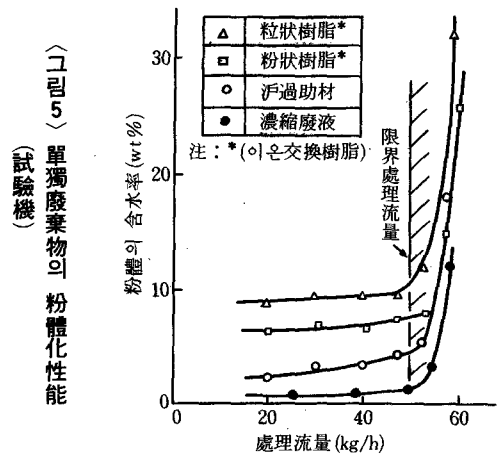
3. 改良型酸分解技術

酸分解法은 美國의 한포오드研究所가 開發한 α 放射體로 오염된 有機폐기물을 混酸으로 산화분해하는 技術을 기초로 하여 原子力發電所에서 發生하는 방사성폐기물중 폐수지 및 廢슬러지의 處理에 응용하기 위해서 개발된 減容·無機化技術이다.

이 技術의 反應系는 ① 황산-질산系, ② 황산-과산화수소系, ③ 水-과산화수소系이다.

(1) 酸分解法의 概要

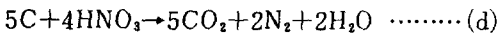
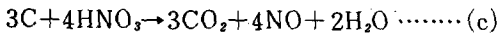
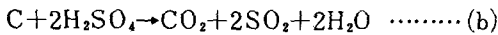
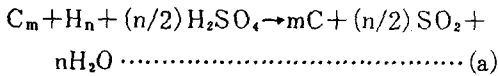
세가지 系의 反應은 다음의 化學式으로 진행



된다고 생각되고 있다.

① 황산-질산系

진한 황산과 질산의 混酸은 강한 산화작용을 가지며 200°~700℃의 高温에서 쉽게 有機物을 분해함이 알려져 있다.

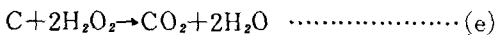


황산은 (a)式에서 폐기물을 脱水炭化, (b)式에서 산화하는데 이 反應은 늦으며, (c) 및 (d)式에 따라 질산에 의해 산화되어 분해된다.

이와같이 廢棄物中の 有機物은 CO₂와 H₂O로 분해되며, 폐기물에 吸着同伴되어 있는 無機物은 이온, 鹽類, 방사성핵종, 주로 황산염이 되어 反應液에 殘在한다.

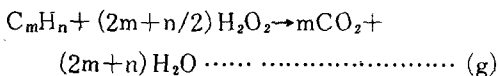
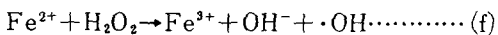
② 황산-과산화수소系

황산-질산系와 마찬가지로 황산에 의한 脱水炭化 및 산화는 (a) 및 (b)式에 의해 진행된다. 이 과정에서 생성된 탄소는 과산화수소와 다음과 같이 反應한다.



③ 水-과산화수소系

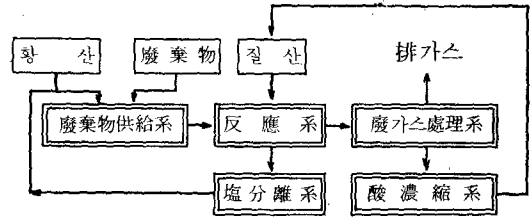
이 系에서는 철이온 등의 촉매를 必要로 하며 鐵이온은 과산화수소와 (f)式에 의해 OH라디칼을 生成시키며 이 라디칼이 有機物과 반응하여 분해한다고 생각된다.



(2) 시스템의 概要

5kg/h의 處理能力을 갖는 改良型酸分解處理 시스템의 플로우시트를 그림7에 表示하였다. 酸分解프로세스의 주요한 공정은 폐기물공급系, 反應系, 鹽分離系, 排가스處理系 및 酸濃縮系로 나누어진다. 황산-과산화수소系에서는 酸

〈그림 7〉 改良型酸分解處理 흐름圖 (황산-질산系)



濃縮系가, 水-과산화수소系에서는 鹽分離系 및 酸濃縮系가 不要하다.

① 廢棄物供給系

황산-질산系 및 황산-과산화수소系에서는 기존의 기술, 예를 들면 벨트콘베이어式의 脱水供給機를 使用해서 脱水한후 Hopper에 공급하여 Screw Feeder에 의해 混合槽로 흘러내리게 한다. 이 混合槽에는 鹽이 분리된 황산도 流入하며 廢棄物을 슬러리상태로 反應系로 공급할 수 있어 촉매로 鉄이온의 첨가가 必要하나 脱水 등의 前處理는 不要하다.

② 反應系

슬러리狀의 폐기물은 탄탈製 반응기(200φ × 2,000^H × 1.5t) 2段으로된 反應系에 공급된다. 反應器의 形式은 攪拌槽形式이 아닌, 기계적 혼합방식을 필요로 하지 않는 氣泡塔形式이며 혼합은 반응기의 底部에서 供給된다. 질산 또는 과산화수소가 증발하여 기포가 뭉치므로서 充分히 이루어진다.

반응액의 흐름은 Over Flow方式이며 각 반응기의 Hold-Up量은 약 42ℓ 이다. 반응온도는 황산-질산系, 황산-과산화수소系에서는 폐수지 및 廢슬러지에 따라 달라서 각각 230℃ 및 190℃ 이나 水-과산화수소系에서는 兩者 모두 100℃ 이다.

反應液中の 有機物은 이들 반응기에서 산화되어 탄산가스와 물이 되어 排가스系로 방출되며 廢棄物中の 無機物은 황산鹽이 되어 反應液에 남아 鹽分離系로 移送된다.

③ 塩分離系

反應殘渣中の無機物은 주로 鐵이라고 생각되는데 鐵황산염의 황산에 대한 溶解度는 작으므로 反應액중의 無機황산염은 析出된다. 塩分離系는 이들 析出塩을 황산중에서 分離하여 제거함과 동시에 황산을 혼합조로 되돌려보내 다시 사용할 수 있도록 處理하는 것을 目的으로 하고 있다.

析出塩의 分離에는 세라믹필터(孔徑 15 μ m)를 使用하며 反應液의 필터出入口 壓力차이가 所定値에 달하면 反應액의 공급을 중지하고 약 90 $^{\circ}$ C의 溫水를 逆方向으로 흐르게 하여 析出塩을 용해시켜서 여과면에서 제거한다. 塩을 제거한 필터는 다시 使用된다. 溫水는 여러번 逆洗에 使用되며 塩濃度가 所定値에 달하면 기존의 處理系, 예를 들면 플라스틱固化系로 移送되어 處理된다.

水-과산화수소系에서는 이 系가 必要없으며 反應殘渣는 그대로 또는 증발농축후 固化系 등의 處理系로 移送된다.

④ 排가스處理系

反應系에서 발생하는 가스중의 방사성물질을 제거하는 것이 이 系의 目的인데 황산-질산系에서는 NO_x를 회수하는 것도 目的이 된다. 酸回收塔은 2段으로 설치하며 2段은 1段的 Back-

Up으로서 양쪽 모두 充填塔이다.

또 排가스處理系의 排氣에는 이젝터방식을 使用하며 그 순환액으로는 알칼리液을 使用하고 酸回收塔의 Back-Up도 겸한다.

그리고 황산-과산화수소系에서는 酸回收塔을 1段으로할 수가 있으며 水-과산화수소系에서는 酸回收塔을 통상의 콘덴서로 바꾸는 것도 가능하다.

⑤ 酸濃縮系

排가스回收系에서 NO_x를 회수하여 얻어지는 물은 質산을 농축해서 濃한 質산을 얻어 反應系에서 다시 使用하도록 하는 것이 이 系의 目的이며 통상의 精留塔을 使用하는데 이 系는 황산-질산系에서만 必要하다.

(3) 試驗結果

파일로트裝置를 使用하여 RI를 첨가한 模擬 폐기물의 試料로 해서 시험한 결과를 정리하면 表3과 같다.

또한 JPRD의 實際樹脂 약 500kg(濕潤)을 水-과산화수소系로 處理하여 處理速度 4kg-wet/h, 減容效果 약 1/4(실제의 수지를 직접 固化하는 경우와 分解固化하는 경우를 비교)이 얻어졌다.

(4) 정 리

파일로트裝置에 의한 시험에서 모든 系의 實用化 가능성이 얻어졌다. 그러나 β, γ 放射體인 原子力發電所의 폐수지·廢슬러지를 대상으로 할때는 水-과산화수소系가 表3보다 더욱 實用에 제공될 수 있음이 판명되었다.

4. 燒却재의 마이크로波溶融固化技術

原子力施設에서 발생하는 雜固體廢棄物의 대부분은 종이, 형겁, 고무장갑, 기타의 可燃性廢棄物이다. 이들 폐기물의 處理技術에 관해서는 減容效果가 큰 소각처리가 검토되며 이미 몇몇 원자력발전소에서는 소각설비를 가동시켜서 效果를 보고 있다.

〈表 3〉 改良型酸分解法の 比較

分 解 法	황산- 질산	황산- 過酸化水素	水- 過酸化水素
觸 媒	不 要	不 要	Fe ²⁺
反 應 溫 度	190~230 $^{\circ}$ C	190~230 $^{\circ}$ C	100 $^{\circ}$ C
反 應 材 料	탄 탈	탄 탈	티 탄
排 가 스 處 理	酸回收系必要	酸回收系必要	基本的으로不要
前 處 理	必 要	必 要	不 要
排가스系로 RI移動率	10 ⁻⁴	2 \times 10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁵
酸化劑必要量 ¹⁾	6l-62% HNO ₃	12l-35% H ₂ O ₂	10l-35% H ₂ O ₂
減 容 性 ²⁾	anion/cation (0.5) 1/3~1/4(플라스틱固化) anion/cation (1.0) 1/4~1/6(플라스틱固化)		

1) 乾燥樹脂 1kg 當

2) 對象廢棄物(Dry)을 直接固化하여, 200l 드럼에 充填하였을 경우와 비교

이들 소각설비에서 발생하는 소각재는 현재 드럼에 封入하여 보관하고 있는데, 長期安定貯藏이나 앞으로의 處分을 고려할때 더욱 減容을 도모하고 粉體를 안정한 형태로 處理할 것이 요망된다. 이와같은 관점에서 소각재 減容安定化의 유용한 방법의 하나로 마이크로波容融固化法에 대한 연구개발이 추진되었다.

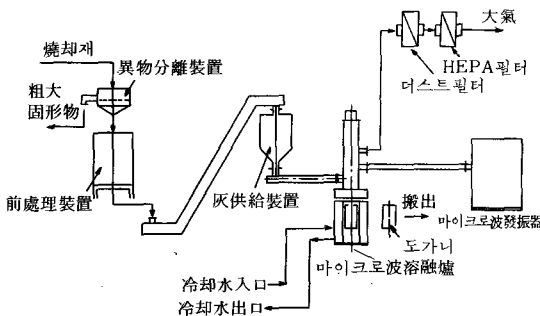
마이크로波容融固化法은 이미 下水污泥나 도시쓰레기 등 일반폐기물의 소각재에 대한 용융고화처리기술로 實用化되어 있으며 방사성폐기물체로의 응용도 충분히 유효하다고 생각되어 제1단계로 우선 기초연구를 실시하여 기본적 성능에 대해 實用化의 전망이 얻어졌기 때문에 계속해서 제2단계로 實規模의 實證裝置를 제작하여 방사성핵종을 포함한 소각재를 용융고화처리한후 핵종의 거동, 排가스性狀 및 固化體의 性狀 등을 조사연구하기 위한 Hot實證試驗을 실시중이다.

(1) 마이크로波溶融固化處理裝置의 概要

용융의 원리는 가정용 電子렌지와 같으며 소각재(被處理物)에 마이크로波를 照射하면 소각재 자신이 發熱하여 融點에 달해 용융한다. 마이크로波加熱에 使用되는 周波數는 2,450MHz와 915MHz이다.

주파수는 處理條件에 따라서 선택되는데 일반적으로 915MHz는 大容量, 2,450MHz는 小容量의 處理에 적당하다. 그림8에 소각재의 마이

〈그림 8〉 燒却재의 마이크로 波溶融固化處理



크로波용융고화처리 플로우를 나타내었다.

용융처리는 드럼内の 소각재를 異物分離裝置, 前處理裝置를 거쳐 재(Ash)공급장치에 보내서 용융爐內에 연속적으로 定量供給하며 마이크로波發振器에서 마이크로波를 照射함으로써 행하여진다. 재는 바닥에서 부터 점점 용융고화하여 固化體가 된다. 여기서 異物分離裝置 및 前處理裝置는 소각재의 性狀에 따라 사양이 결정되는 부대설비이다.

(2) 燒却재의 마이크로波溶融固化處理

소각재는 그 性狀에서 마이크로波를 사용해서 쉽게 용융하나 燒却爐의 성능이나 운전상태에 따라서 未燃炭化物이나 금속 등의 불순물이 소각재에 포함될 경우가 있는데 이것들은 마이크로波용융처리를 안전하게 행하는데 障礙인자가 된다.

① 燒却재의 性狀

원자력시설에서 발생하는 可燃性폐기물에는 廢紙, 헝겍, 폴리에틸렌시트, 카톤박스, 나무조각, 고무신, 장갑 등이 있다.

소각시설에서는 이들을 區分한후 投入物의 조성이나 중량을 관리하여 소각한다. 이들 可燃物 個個의 소각재 화학조성은 상당히 다르나 燒却爐에서 排出되는 소각재의 화학조성은 변동이 적으며 소각재의 融點은 1,100~1,250℃의 범위에 있다.

② 未燃炭化物의 影響

소각로에서 배출되는 소각재중에는 폐기물이 불완전연소한 未燃炭化物이 포함되어 있다. 未燃炭化物에 마이크로波가 照射되면 방전현상이 일어난다. 소각재의 加熱効率が 순간적으로 低下되어 固化體에 氣孔을 형성하는 등 마이크로波용융을 阻害한다.

未燃炭化物의 함유량이 4~5%이하이면 運轉上 특별한 문제는 없으나 그 이상인 경우에는 적당한 前處理를 하여 放電의 發生을 억제할 必要가 있다.

③ 金屬類의 處理

소각재에는 못 등의 금속류가 혼입되어 있을 경우가 있다. 금속류는 마이크로波를 반사하므로 재처럼 용융하지 않으며 또 放電誘發의 원인이 되기도 한다.

따라서 건전한 固化體를 얻기 위해서는 異物分離裝置에 의해 금속류를 분리제거하는 것이 보다 安定된 固化體를 얻을 수가 있다. 재의 용융점이하의 금속류는 재의 용융열로 용융할 수 있으며 또 운전조작조건을 研究하면 용융된 재중의 금속류를 封込시키는 것도 가능하다.

(3) 溶融固化體의 性狀

固化體中의 크랙은 기계적충격과 냉각시의 熱비틀림에 의한 것이다. 固化體는 微細한 결정이 析出된 岩石狀으로 되어 있으며 그 밀도는 2.5~3g/cm³이다. 固化體의 압축강도는 天然의 岩石(1,340kg/cm²)보다 상당히 높는데, 예를 들면 2,970kg/cm²정도이다. 또한 100℃의 熱水中에서의 固化體 溶出性은 소각재의 1/40이하, 보통 玻璃의 1/16이하이다.

이와같이 마이크로波용융고화처리에 의해 얻어지는 固化體는 기계적강도나 耐溶出性에서 우수한 性狀을 갖고 있다.

可燃性廢棄物燒却재의 마이크로波용융고화처리기술은 종래의 研究開發에서 기본적 성능에 대해 實用化의 전망이 얻어졌으며 또 앞으로 Hot

〈表 4〉 不燃性雜固體廢棄物의 溶融特性

區分	種類	組 成	比 重 g/cc	溶 融 點 ℃	熱傳導率 Kcal/m.h.℃
金 屬	炭素鋼스테인레스鋼	Fe, C, Si, Mn, P, S	7.8	1,420~1,500	47~29
	非 鐵	Pb, Cu, Al	2.7~11.34	327~1,080	30~340
	콘크리트 벽 돌 土 砂	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , CaO, Na ₂ O, MgO, B ₂ O ₃	2.0~3.2	1,300~2,700	0.5~1.0
無機物	玻璃	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, Na ₂ O, MgO	2.7	550~1,400	0.68
	保溫材	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , CuO, Na ₂ O, MgO, H ₂ O	0.06~0.22	550~1,540	0.035~0.070
有機物	고 목 초산비닐 염화비닐	C, O, H의 化合物	0.92~1.40	(空氣中에서) 燃 燒	0.12~0.20
	木 材 형 積	C ₆ H ₁₀ O ₄ , C ₆ H ₁₂ O ₄		燃 燒	
필 터	블	C ₆ H ₁₀ O ₄	0.3~0.5	燃 燒	0.1
	스티인레스鋼	Fe-18Cr-8Ni	7.84	1,500	29~38
	알루미늄	섬유 玻璃스 또는 合成	0.06~1.14	215~550	0.035~0.042

實證試驗으로 實機導入時에 必要한 여러가지 데이터가 얻어질 展望이다.

5. 플라즈마溶融技術

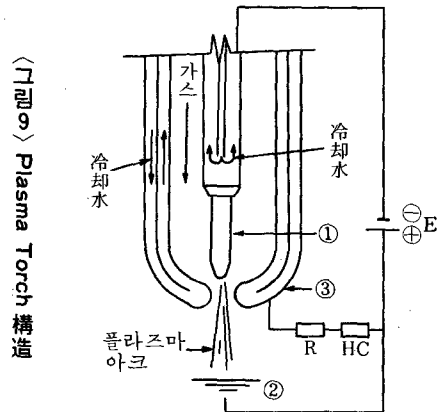
不燃性잡고체폐기물에는 각종의 잡다한 폐기물이 포함되어 있으며 이들의 性質을 분류하면 表4와 같다. 形, 크기, 材質이 다른 이들 폐기물을 減容하는 방법으로 플라즈마를 사용하는 용융처리의 研究를 수행하여 왔다.

이 용융처리기술은 工業的으로는 오래전부터 溶斷, 溶接, 金屬의 용융열원으로 이용되고 있으며 폐기물의 용융에서는 구성재료의 眞比重에 가까운 固化體가 얻어졌고 또 폐기물의 표면에 부착되어 있던 오염물질이 용융에 의해서 생긴 固化體内部에 均일하게 확산되어 内部에 안정하게 封込되는 利點이 있다.

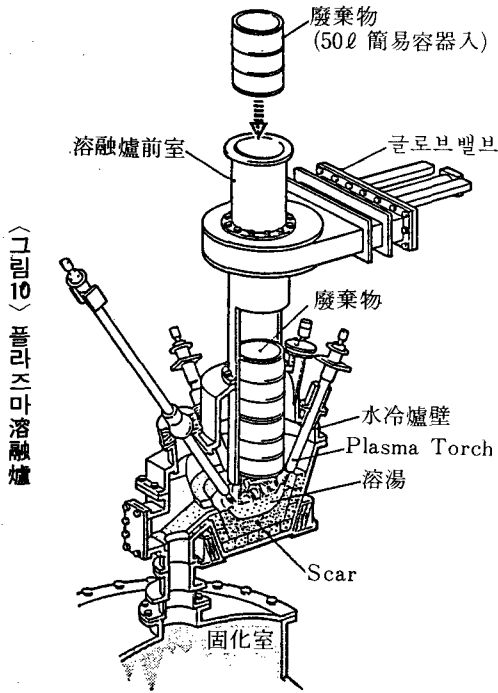
(1) 플라즈마溶融技術

이 研究에 사용된 플라즈마아크發生裝置(Plasma Torch)를 그림9에 표시하였다. Plasma Torch는 内部棒狀電極(陰極)과 노즐로 구성되어 있다.

먼저 가스를 공급하면서 内部棒狀電極과 노즐 사이에 小電流의 파일로트아크를 만든 다음 이 아크를 内部棒狀電極과 被溶融物(陽極) 사이로 移行시켜 主電流를 흐르게 한다. 水冷却式노



① 内部棒狀電極(陰極), ② 被溶融物(陽極), ③ 노즐(陽極) R 振抗 E 直流電源 HC 高周波 電壓發生裝置



즐벽으로 구속된 가스흐름에 의해 橫方向으로 壓縮되어 플라즈마化 한다.

이 研究에서 使用된 플라즈마아크는 5,000℃ 이상의 온도를 갖으므로 높은 용접의 被용융물도 용융할 수 있으며 또 플라즈마아크는 다른 熱源과 비교해서 다음과 같은 장점을 갖고 있기 때문에 이 研究의 용융열원으로 선정했다.

○플라즈마아크의 온도는 대단히 高溫이기 때문에 廢棄物을 단시간에 용융시킬 수 있다.

○Base Metal(불연성잡고체폐기물을 용융하기 전에 미리 용융시켜서 爐內에 유지하여 두는 鐵)에 의해 Scar層(Base Metal의 外固圍層에 응고상태로 있는 層)을 형성시켜서 斷熱벽물 등의 손상을 방지하여 爐體의 長수명화를 도모하는 것이 가능하다.

○Plasma Torch는 非소모형 전극이기 때문에 전극의 보충 등에 의한 작업의 번잡성이 없다.

○溶融爐는 水冷구조를 채택하고 있으므로 爐本體를 氣密구조로 콤팩트하게 할 수 있다.

(表 5) 溶融固化體의 減容比

項 目	廢棄物의 區分	炭素鋼	스테인레스	실 리 카	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼
		스틸	보 드	콘 크리트	실리카보드	콘 크리트	비
模 擬 (W _A) 重量(kg)		100	113.2	33.2	80	89.8	89.8
廢棄物 (V _A) 容積(ℓ)		224*	224	224	224	224	224
固化體 (W _B) 重量(kg)		105	113.2	35	80	88	92
固化體 (V _B) 容積(ℓ)		15.7	17.5	11.7	27.2	19.7	18.4
減 容 比**		14.9	12.8	20.4	8.2	11.1	12.4

*1 : 減容比 = (W_B/V_B) / (W_A/V_A)

*2 : 容積 224ℓ 는 50ℓ 간이용기 4드럼의 淨容積

(2) 시스템의 概要

각종 기초실험결과에 따라 實際規模콜드레스 트플랜트를 設計·製作하여 용융시험을 하였다. 그림10에 爐本體의 概略을 나타내었다.

시스템의 概要는 다음과 같다.

① 플라즈마 용융爐

폐기물을 적당한 크기로 裁斷 또는 압축하여 50ℓ 간이용기에 넣어서 把持器로 溶融爐前室로 裝入한다. 용융로前室은 글로브밸브와 N₂ 가스置換에 의해 용융爐 전체의 氣密, 더스트의 누설이 방지된다. 處理量은 100kg/h(200ℓ 드럼 2,400~2,750드럼/年 상당)이다.

② 排가스處理

용융爐에서 배출되는 고온의 排ガス는 공기 회석에 의해 減溫되며 集塵機·高性能필터유니 트로 더스트處理를 한다.

(3) 試驗結果

① 減容比

각종의 模擬폐기물을 용융고화했을때 減容比를 表5에 표시하였다. 대부분의 폐기물 減容比는 1/8~1/20이었다.

② 固化體

被용융물을 注入하는 鑄型에는 銅製의 水冷鑄型과 水冷鑄型內에 세트한 容器를 使用해서 시험하였다. 兩者를 비교하면 容器內에 固化시키는 편이 다음의 취급이 간단하였다.

廢棄物의 表面에 부착되어 있는 오염물질을 想定해서 模擬 폐기물에 化學트레이서(CoO, MnO₂, Cr₂O₃, ZnO, SrO)를 혼입시켜 용융

한 결과 대부분은 금속고화체 또는 鑛滓內에 均 일하게 분산되었다. 일부는 더스트에 포함되어 排가스系에서 捕捉되었다.

③ 더스트

발생하는 더스트의 量은 폐기물의 組成에 따라 크게 다르다. 일반적으로 有機物 > 無機物 > 金屬의 순서로 많다. 용융은 밀폐상태로 이루어지기 때문에 爐內로 부터의 排ガス는 Plasma Torch에 사용되는 약간의 Ar 또는 N₂ 가스이다.

폐기물중의 有機物은 熱分解되어 일단 氣化하나 냉각되어서 더스트가 된다. 더스트의 量은 有機物을 1%(重量比) 혼입하였을때 폐기물 1kg 당 10g이었다.

각 트레이서元素의 더스트로의 移行率은 Zn > Mn > Cr > Co > Sr 순서이며 핵종의 物性 및 熱力學的 安定性에 對應하여 변화하는 것이 확인되었다. 현재 이 성과를 기초로 하여 實用化에 필요한 여러가지 데이터를 얻기 위한 Hot實證試驗을 實施中에 있다.

6. 電解研磨除染

電解研磨除染技術은 工業界에서는 자동차 부품, 스테인레스製品 등의 마무리단계에 많이 사용되고 있는 기술이다.

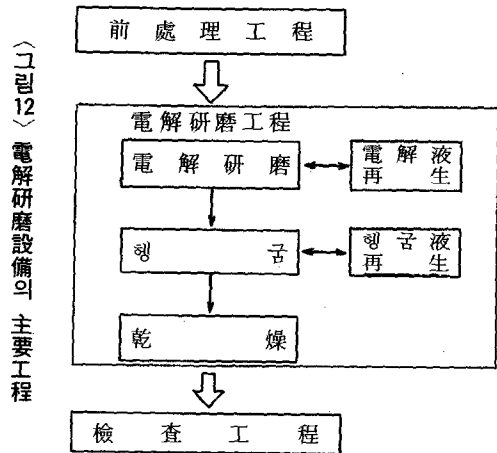
原子力分野에서 방사능제염기술로 받아들여 지된 것은 美國의 Battele Pacific Northwest Laboratories가 原子力施設에서 발생하는 금속 폐기물의 제염법으로 기초연구를 행함으로써 인 데 美國에서는 이미 이 除染法을 實機에 적용한 例가 報告되고 있다.

電解研磨除染에는 ① 제염효율이 높다, ② 작

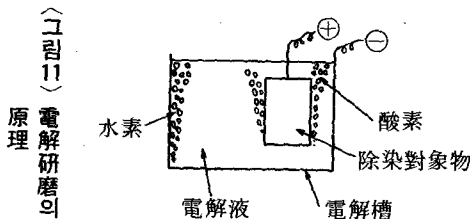
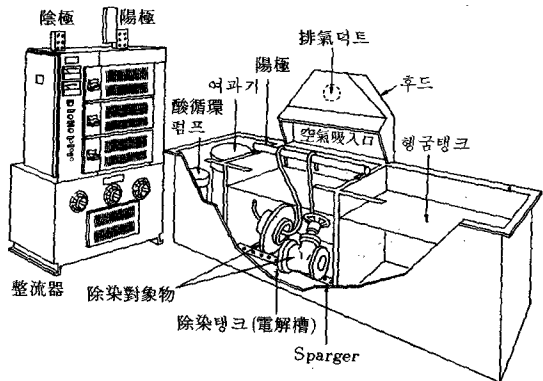
업은 간단하고 안전하며 작업시간이 짧다, ③ 제염후의 금속표면이 평탄하기 때문에 再汚染되기 어렵다 등의 특징이 있어 이와같은 技術이 原子力發電所에 적용이 된다면 방사능오염으로 인해 현재 폐기되고 있는 공구류의 再使用이 가능해지며 장래에 방사성폐기물과 非방사성폐기물의 區分境界值가 설정되면 보다 더 폐기물의 低減化가 달성될 것이다.

(1) 電解研磨技術

電解研磨에서는 연마하는 對象物을 陽極으로 하여 그 금속표면에 일정한 전압, 전류를 줌으로서 금속표면의 일부가 電解液中에 용해됨과 동시에 陽極에서는 산소가, 陰極에서는 수소가 발생한다. 이것을 방사성금속폐기물의 除染에 적용하였을때 제염은 전해연마시의 금속溶出과



〈그림 13〉 電解研磨除染裝置概略圖



〈그림 11〉 電解研磨의 原理

산소기포에 의해 表面에 부착된 방사성물질이 떨어짐으로서 진행된다(그림11).

電解液으로는 일반적으로 인산, 황산 등의 酸 또는 中性鹽의 용액이 사용되는데 ① 제염후의 금속표면이 보다 平滑해져서 再汚染의 진행을 억제할 수 있다, ② 電解液이 금속표면에 남아있더라도 부식의 영향이 적다 등의 이유에 의해 이 研究所에서는 인산(75w/o농도)을 선정했다. 또 연마조건으로는 전압 10~20V, 液温 常温~60℃ 범위에서 試驗을 하고 있다.

(2) 電解研磨시스템의 概要

그림12에 이 연구에서 시험하고 있는 시스템의 기본적인 플로우를, 그림13에 장치의 概略을 나타내었다.

먼저 받아들인 금속폐기물을 脫脂, 脫페인트 등의 前處理를 실시한후 電解槽에서 연마한 다음 珪輪槽에서 電解液을 제거한후 건조시켜 오염검사를 하고 再使用으로 제공된다.

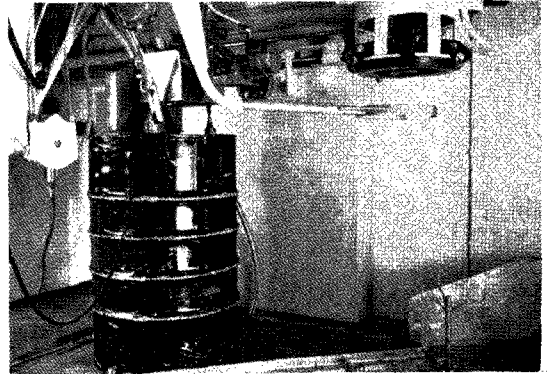
전해조에는 떨어진 不溶解性物質을 제거하기 위한 여과기가 설치되어 있으며 전해액을 항상 순환시켜 淸淨化하는 시스템으로 되어 있다. 전해액은 비중, 용해한 금속量, 방사능농도 등으로 그 연마능력을 감시하며 연마능력이 劣化되었을 경우 또는 방사능농도가 높아졌을 경우에는 再生處理한다.

또한 珪輪液은 한계여과 및 逆浸透膜에 의해 處理되고 가능한한 再使用하려고 한다.

(3) 試驗結果

2년동안에 걸친 실험실규모의 콜드시험 및 原子力發電所內 Hot시험을 실시하여 다음과 같은 결과가 얻어졌다.

○모든 제염시스템은 양호하게 작동하였으며 無作爲로 抽出한 오염공구의 제염시험결과 前處理工程(제염대상물표면의 塗裝 등을 제거하는 工程)과 전해연마공정의 組合에 의해서 오염공구의 약 95%가 표면오염밀도 $10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ 미만으로 제염됨을 알게 되었다.



○電解研磨除染法을 중심으로한 오염물품 제염시스템의 개념검토 및 경제성의 예비평가 결과 그 적응성에 대해 대체로의 展望을 얻었다.

本 研究에 의해 電解研磨除染法의 有効性은 충분히 확인되었다고 생각되는데, 전해연마제염법의 對象은 금속물품에 한정된다는 원리적인 결점을 갖고 있으며 앞으로 原子力發電所의 모든 오염물품제염에 대해서 적용할 수 있는 테이블시스템을 확립하는 것이 중요하다.

7. 結 論

이상에서 소개한 減容處理技術의 연구개발은 현재 거의 완료되었거나 또는 Hot 實證試驗의 단계에 이른 것들이다. 이들중 플라스틱固化 및 造粒固化技術은 日本에서는 이미 發電所에 설치가 결정된 것들이다.

폐수지·廢슬러지의 減容處理技術인 酸分解處理技術은 이미 研究가 완료되어 현재 燒却技術 등 다른 기술과의 비교, 발전소에서의 적응성, 경제성에 대해 검토를 하고 있는 단계이다.

한편 마이크로波溶融, 플라즈마용융, 전해연마기술에 대해서는 각각의 實證試驗으로 세부 기술을 개발하고 있다.

앞으로 이와같은 低레벨방사성폐기물에 관한 處理技術이 모두 적용된다면 현재 原子力發電所에서 발생되고 있는 방사성폐기물의 量은 약 1/10 정도로 저감시킬 수 있어서 이들의 저장보관이나 최종처분면에서 큰 메리트가 기대된다.