

# 放射能汚染 除去技術과 經驗(Ⅱ)

Decontamination Techniques and Experiences(Ⅱ)



梁 慶 麟(韓國에너지研·原子爐化學研究室長)

## 3. 放射能汚染 除去技術과 經驗

### 3.4. 高压 FREON 洗滌

原子力發電所에서 발생하는 대부분의 放射性汚染은 文질러서 닦아낼 수 있는 형태로서 放射性物質이 化學的으로 汚染物體에 고정된 것이 아니다.

문질러서 닦아낼 수 있는 汚染의 대부분은 機械的인 方法으로 제거할 수 있다. 除染의 機械的인 方法중에서 가장 效果의이고 가장 용도가 넓은 것중의 하나는 FREON113에 의한 洗滌이다.

FREON113의 物理的/化學的 性質은 表面 汚染物의 빠르고 효과적인 제거를 가져다 주며, 이들 汚染物의 粒子는 濾過에 의해서 격리된다. 낮은 蒸發潛熱과 낮은 沸騰點은 可溶性 汚染物이 축적되었을때 FREON을 제자리에서 신속하게 再蒸溜하여 정제할 수가 있어서 永久的으로 사용할 수 있다.

FREON113은 Dupont Chemical Company에서 개발한 一般 工業用 溶劑로서 과거 20년에 가까운 세월에 걸쳐 洗滌과 除油劑로 사용되어 왔다. FREON TF로도 알려진 FREON113은 하나의 chlorinated fluorocarbon 으로서 그의 化學的 명칭은 trichlorotrifluoroethane,  $CCl_2F_2$

이다. 純粹, 透明, 高密度, 無色の 液體로서 化學的으로 安定하며 非可燃性, 非毒性 그리고 非發癌性이다.

비교적 揮發性이기 때문에 FREON113 증기는 洗滌劑에 대한 OSHA에 의해서 허용되는 가장 높은 시간-가중-평균(TWA) 노출농도(1000mg/l)를 즐길 수 있다. FREON 113은 35.07cal/gm의 낮은 蒸發潛熱을 갖고 있으며, 47.6°C의 낮은 沸騰點을 갖고 있다. 密度는 물의 약 150倍인 1.565gr/cm<sup>3</sup>, 粘性은 물의 69%인 0.694 centipoise 그리고 表面張力은 물의 23%인 17.3 dynes/cm이다.

이들 성질은 放射性物質의 表面除染을 수행함에 있어 대단히 有效하게 작용한다. FREON 113의 낮은 表面張力은 테푸론을 포함한 모든 表面을 적실 수 있고, 汚染物과 그들이 堆積되어 있는 表面 사이에도 들어갈 수 있다. 낮은 表面張力은 그의 낮은 粘性和 함께 아주 좁은 틈새, 다공성 물질 그리고 접근하기 힘든 영역 까지도 들어갈 수 있게 하며 따라서 복잡하거나 또는 뒤엎힌 表面의 除染을 할 수 있다. 이러한 性質의 結合은 또한 濾過에 의한 汚染粒子들의 分離를 용이하게 한다.

FREON의 낮은 化學的 反應性和 높은 化學

的 純度는 예민하거나 정밀한 公差品目を 포함한 모든 構成材料의 除染을 할 수 있으며, 蒸發後에는 殘留物이 없는 表面을 남겨준다. 그의 非電氣性 性質, 電流의 흐름에 대한 높은 抵抗과 電氣體 材料와의 양립성은 電氣的-電子의 機器를 그들이 작동중이라 하더라도 신속하게 洗滌할 수 있도록 허용한다.

FREON 113의 낮은 蒸發潛熱과 낮은 沸騰點은 높은 沸騰點을 갖는 汚染物에서 부더의 신속한 분리를 낮은 에너지의 공급과 최소의 소요공간 내에서의 蒸留를 통하여 할 수 있게 한다.(現場의 冷却系統을 사용하는) 蒸留와 凝縮의 結合은 溶劑를 無期限의 再使用을 위하여 回收할 수 있게 하는 한편 放射性廢棄物의 容積을 최소로 감축할 수 있다.

FREON洗滌은 衣類, 플라스틱, 고무로 된 품목, 즉 호스, 전기케이블, 防護用 裝備(衣類)와 같은 것의 洗滌에 가장 효과적이라는 것이 증명되고 있다. FREON洗滌은 또한 손으로 사용하는 工具, 電氣모터, 通信裝備와 같은 품목을 만족스럽게 除染하는데 사용되었다.

FREON洗滌은 高壓(1.38MPa 또는 2,000psi)의 液體를 洗滌할 表面에 유도함으로써 이루어진다. 洗滌은 보통 원격조작을 할 수 있는 큰 방에 있는 除染器 内部에서 분리된 품목으로서 또는 벽이나 바닥을 洗滌하기 위한 現場 洗滌裝備를 갖고 수행된다. 除染裝置 内部에서의 除染은 보통 두가지 방법으로 이루어진다. 손으로 잡은 노즐이 FREON 113 液體의 噴射流를 洗滌하려는 물체 표면에 유도하는 방법 또는 高壓의 FREON 113의 분무장치가 고정되어 있고, 部品들이 원격조작에 의해서 분무의 밑을 통과하도록 하는 방법이다.

FREON 113 高壓洗滌은 The Palisades Nuclear Power Plant(Consumers Power Company, Covert, MI), Calvert Cliffs(Baltimore Gas and Electric Company, Lusby, MO) 그리고 美國,

西獨, 日本, 台灣 等に 있는 많은 다른 核施設에서 성공적으로 사용되고 있다. 대단히 많은 수의 品目들이 이들 施設에서 성공적으로 除染되고 있다. 이들 品目에는 다음과 같은 것이 포함되어 있다. 알루미늄제 발전기 dams, 스텐레스 스틸 샤프트, 용접케이블, 호스, 전기모터, 잡다한 가지 각색의 작은 工具 等.

除染은 아주 효과적이어서 대부분의 品目은 제한되지 않는 재사용을 위해서 洗滌後에 방출되었다. FREON 113 洗滌後에 필요할 경우에는 요구되는 除染係數를 얻기 위하여 電氣研磨技術이 뒷받침 技術로 적용되었다. 洗滌에 소요되는 時間은 品目の 크기, 복잡성에 따라 다르다. 一般的인 推定은 1,500,000 \$ 가격의 6,000 개의 여러가지 종류 및 크기의 工具와 裝備를 3週日에 除染한 한 發電所의 經驗에서 부터 내릴 수 있을 것이다. 사람-時間으로서 1,007이 소요되었다.

### 3.5.超音波 除染(Ultrasonics)

超音波(振動性 最終處理)는 1957년부터 조잡하게 각은 자리의 정제 曲面의 생산, 表面處理의 향상, 油性物質의 제거 및 각종 金屬 및 非金屬 物體의 洗滌을 위하여 商業的으로 사용되어 온 最終 表面處理 技術이다.

超音波工程은 液體인 化學的 化合物이 흐르고 있는 느슨한 媒體로 차있는 振動槽에서 이루어진다. 振動槽의 發振은 洗滌媒體인 작은 조각(여러가지 모양의 金屬片)의 振動을 일으켜서 洗滌하려는 物體의 表面을 긁어주게 된다. 循環하고 있는 液體가 긁어주는 작용에 의하여 분리된 物體를 씻어낸다. 따라서 이 工程은 化學的 洗滌作用이 수반되어 있는 機械的으로 긁어주는 작용이다.

이 工程은 外部와 内部表面 洗滌에 효과적이며 아주 적은 구멍을 제외한 구멍의 내부 및 실모양의 것을 세척하는데 아주 효과적이다. 商業-工業界에서 振動性 最終處理가 보여준

매력적인 大量-最終處理 技術은 최소의 작업자의 노동력을 필요로 하면서 大量的 물체에 대하여 再現性있는 결과를 성취하게 하는 능력이다. 이와 같은 能力은 振動性 最終處理를 原子力産業界에서도 매력적인 除染技術로 만든 것이다.

振動性 最終處理는 대단히 적용성이 많은 工程이다. 이 工程은 모든 放射性汚染, 塗裝, 기름, 녹, 물때 그리고 기타 형태의 汚物을 제거할 수 있다. 이 工程은 평탄한 表面을 갖는 部品, 管의 内部表面, 複雑한 모양의 물체, 실모양의 것을 갖는 물건, 구멍이 있는 장비에서 효과적이다. 振動性 最終處理는 또한 여러가지 材料에 대하여 효과적이다. 스텐레스 스틸, 탄소강, 유리, 고무, 방풍용 플렉시유리, Hypalon 과 기타 잡다한 플라스틱에 대하여 효과적이다.

그러나 2.에서 언급한 바와 같이 超音波를 除染技術로 사용하여 얻어진 결과는 성공과 실패의 상반된 것이었다. 그 이유는 사용방법에 달려있는 것 같다. 超音波 除染은 여러가지 要因에 의존하고 있다. 가장 민감한 것은 周波數, 出力, 壓力, 溶液의 流量과 流速, 媒體의 構成 溫度 그리고 粒子의 濃度 等이다.

除染效果는 이들 要因들의 적절하지 못한 조작에 의하여 강등된다. 만족스럽지 못한 除染係數를 얻은 사람들은 다음과 같은 共通點을 갖고 있다. 이들은 純水를 超音波 溶劑로 사용하고 있다. 그러나 몇 사람은 Radiac Wash와 같은 洗滌을 첨가하고 있다. 이들은 超音波 振動槽를 室溫에서 작동하고 있으며 除染하려는 表面과 變換器의 位置關係, 超音波의 source 등이 洗滌을 최적화 할 수 있도록 선정되어 있지 않았거나, 除染期間中에 粒子의 濃度를 감시하고 있지 않았다.

조사된 바에 의하면 超音波 振動槽 洗滌技術은 다음과 같은 조건하에서 최대의 除染係數를 성공적으로 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

1. 물을 溶劑로 하고 2~5%의 洗劑와 保濕劑 두가지를 첨가하거나 또는 그중 한가지만을 첨가한다.

2. 溶劑의 溫度는 반드시 65~75°C 로 조절한다. 이 溫度 범위는 眞空強度를 최적화하여 준다.

3. 溶劑는 汚染粒子의 濃度를 감축하기 위하여 濾過裝置가 있는 淨化系를 거쳐서 循環시켜야 한다. 어떤 현장에서는 溶劑中의 粒子濃度를 감축하기 위하여 超音波에 의해서 세척될 모든 部品를 사전에 닦아내고 있다.

4. 濾過 淨化系統은 放射能이 모이게 되도록 조작자에 대한 放射線 被曝을 조절하기 위하여 차폐하여야 한다.

5. 溶劑의 循環流量은 分當 全體 溶劑의 2% 이내로 하여야 한다. 높은 流量은 溶劑의 攪亂을 초래하여 超音波와 간섭하여 除染效果를 감축할 수 있다.

6. 超音波 振動槽內에서의 洗滌할 부품의 배치는 부품의 수와 마찬가지로 洗滌工程마다 주의깊게 고려되어야 한다.

7. 洗滌하고자 하는 모든 表面은 除染工程中에 적어도 한때는 최대 용액진공 領域內에 있어야 한다.

8. 많은 수의 部品는 최대 용액진공으로부터 洗滌해야 하는 表面을 가로막을 수 있다.

9. 모든 表面이 最大 溶液眞空 領域內에 노출될 수 있는 가능성은 部品를 振動槽 안에서 회전시킴으로서 향상시킬 수 있다.

10. 超音波 洗滌을 시작할 때의 효과적인 周波數와 出力強度는 20~25KHz와 0.75W/cm<sup>2</sup>이다.

이와 같은 超音波 技術에 의한 除染係數는 10에서 100까지의 범위로 보고되고 있다. 낮은 除染係數는 超音波 技術을 적절하게 사용하지 못한데에 그 원인이 있는 것 같다. 超音波 除染은 商業的으로 공급이 가능한 탱크의 크기에

제한이 있어 보다 큰 탱크는 특별주문이나 자체설계 및 제작에 의존하고 있다.

폭넓은 다양한 부품과 작은 금속편이 振動性 最終處理 技術을 사용해서 除染되고 있다. 한 原子力施設에서 수행한 除染에서는 136kg의 렌치, 햄머, 나사 돌리개 및 다른 工具를 한사람의 작업자에 의해서 한시간만에 除染할 수 있었다. 스텐레스 스틸로 된 Ball Channel Inspection 工具는 길이의 약 2/3가 고무관으로 싸여져 있는데 振動性 最終處理를 사용해서 除染되어 放射線의 準位가 1,500mR/hr에서 70mR/hr로 감축되었다.

또 다른 예에서는 약 15,000kg의 우라늄으로 汚染된 폴리브덴이 除染되었다. 폴리브덴은 500,000dpm/100cm<sup>2</sup>에서 부터 최소 100dpm/100cm<sup>2</sup> 보다도 낮게 除染되었다. 除染後의 平均 固定 汚染準位는 500dpm/100cm<sup>2</sup>이었다. 그리고 工程 進行率은 136kg/hr이었다. 除染工程은 2段階로 진행되어 총체적인 除染에서 超音波 技術이 1段階로 사용되고 계속해서 2段階인 化學藥品에 의한 洗滌이 적용되었다. 除染된 폴리브덴은 재사용을 위하여 제자리에 되돌려졌다. 부가적인 除染의 이익은 약 900g의 <sup>235</sup>U의 회수이었다.

Oyster Creek와 San Onofre에서는 制御棒의 조작장치를 超音波를 써서 除染하고 있다. Oyster Creek에서는 化學藥品의 도움을 안받은 반면에 San Onofre에서는 citric acid 용액을 사용하고 있다. San Onofre에서는 除染係數 30을 얻고 있으나, Oyster Creek에서는 알려지지 않았다.

超音波 技術에 의해서 효과적으로 除染된 기타 部品으로는 다음과 같은 것이 있다. 펌프 실, 작은 밸브, 펌프 케이싱, 原子爐 冷却材 펌프 冷却器, 실 인젝션 濾過器 等.

### 3.6. 電氣研磨(Electropolishing)

電氣研磨는 하나의 電氣化學的 工程으로서

50年 이상에 걸쳐 商業的인 非原子力産業에서 높은 需要者의 매력을 끌기위하여 또는 化學的 生産工程에서 뛰어난 技術的 性能을 갖게 하기 위한 매끈하게 研磨된 表面을 얻기 위하여 사용되어 왔다.

原子力産業에서는 이 技術은 1940~1960年代에 걸쳐서는 그 사용이 한정되어 있었으며, 증가된 사용은 1978년에 R. R. Allen과 H.W.Arrowsmith가 플루토늄으로 汚染된 스텐레스 스틸을 自然放射線準位로 除染하는데 電氣研磨技術을 사용한 것을 기술하고 있는 論文을 발표하고 난 뒤에 본격화되었다.

電氣研磨는 放射性 金屬表面에 대한 용통성이 있고 신속하고 효과적인 除染技術이다. 그의 용통성은 銲, 銅, 알루미늄을 위시하여 高準位 合金인 腐蝕과 熱 抵抗性 物質(材料)에 이르기 까지 除染할 수 있는 것으로 설명된다. 電氣研磨는 사전에 해체하지 않고 상당히 복잡한 裝備를 除染할 수 있으며 움직이는 부분이 있는 장비를 포함해서 管의 내부, 가느다란 부위 등을 除染할 수 있다.

電解槽에 넣을 수 없는 장비에 대하여서는 現場에서의 電氣研磨의 目的에 따라 특수한 電極이 사용된다. 또한 電氣研磨는 여러가지 放射性核種에 대하여 효과적이다. Pu, U, Ra, Co, Sr, Am 또는 기타 在來式 除染方法으로는 제거가 곤란한 것에 대하여 효과적이다.

모든 형태의 表面汚染을 완전히 제거하는데 단지 2~3分の 電氣研磨가 필요하다. 따라서 電氣研磨의 사용은 문질러 닦아내는 방법 또는 보다 노동력이 많이 드는 방법을 적용하였을때 받게 되는 것 보다 사람-시간과 人體被曝을 감축할 수 있다.

電氣研磨는 효과적인 除染技術로서 高準位 汚染表面을 自然放射線準位로 신속하게 세척할 수 있는 能力은 環境保全 및 경제적 견지 양면에서 볼때 대단히 중요하다. 완전 무결한 除染

은 최소의 시간과 人體被曝으로서 정밀한 장비의 수리와 再使用을 위한 복구를 허용하게 한다. 除染된 품목은 非放射性分野에 적용시켜 재사용할 수 있을 것이고, 金屬과 合金은 매장하느니 보다는 재순환 사용할 수 있게 된다.

電氣研磨는 電解溶液의 순환과 유동을 제외하고는 움직이는 부분이 없는 본질적으로 단순한 工程이다. 따라서 人體被曝을 더 한층 최소화 하기 위한 원적조작과 기계적 자동화가 받아들여 질 수 있다. 또한 電氣研磨에 의해서 형성된 매끈한 表面은 본래 받아들였을 때의 處理狀態로 있는 金屬表面보다 標準除染技術을 적용시켰을때 아주 쉽게 세척할 수 있다는 것을 실험결과를 보여주고 있다.

따라서 일상적인 除染이 필요한 스테인레스 스틸로된 放射性 實驗室 用具 또는 放射性物質의 발송이나 운반용 용기와 기타 품목을 電氣研磨로서 사전연마하여 사용한다는 것은 대단히 중요한 흥미를 갖게 한다.

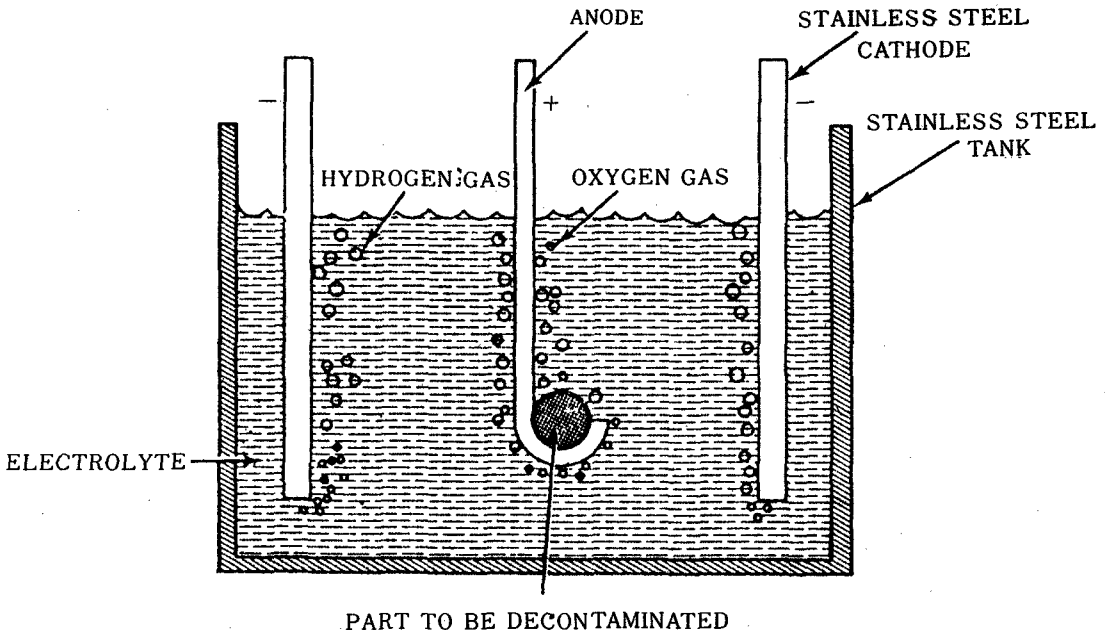
電氣的 除染에서는 除染하려는 물체는 電氣

分解槽에서 陽極으로 된다(그림 1). 電流가 통과하게 되면 陽極에서는 表面物質의 溶解를 초래하게 된다. 적절한 작동상태에서 表面은 점진적으로 매끄러워진다. 表面上의 또는 表面欠陥속에 들어있는 모든 放射性 汚染은 表面溶解過程에 의하여 제거되어 電解液으로 방출된다.

효과적인 除染에서 장비의 表面에서 부터 제거되는 金屬의 양은 두께로 볼때 보통 0.051 mm(0.002in)보다 적다. 그리고 結晶領域 또는 微細構造上的 특징에 대한 선택적인 공격없이 金屬은 균일하게 제거된다. 실제로 있어서 電氣研磨에 의해서 얻어지는 表面은 보통 본래의 表面이 갖고 있었던 것 보다 향상된 腐蝕抵抗과 기타 성질을 갖게 된다.

電氣分解 溶液으로는 磷酸을 사용하게 되는데, 그 이유는 磷酸의 安定性, 安全性 그리고 모든 金屬에 대한 적합성이다. 그외에 磷酸의 濕氣를 빨아들이는 성질은 空氣中에 떠있는 汚染을 최소로 줄이는데 도움을 준다. 또한 磷酸의 金屬이온에 대한 錯化物 形成 특성은 아마

(그림 1) Schematic Drawing of the Type of Electropolishing Cell Used to Decontaminate Metal Surfaces



도 電解液으로 부터 再汚染되는 것을 최소로 줄이는데 있어서 중대한 요인이 될 것이다. 다른 酸이나 化學藥品들은 表面의 不動態性的 向上, 光度의 增加 또는 沈澱을 촉진시키기 위하여 필요한 만큼을 磷酸에 첨가할 수도 있다.

磷酸 電解液을 사용하여 除染을 할때의 전형적인 조작조건들은 溶液溫度 40~80°C, 磷酸濃度 40~80%, 電極電位 8~12V DC 그리고 電流密度 50~250A/ft<sup>2</sup>이다. 낮은 電壓과 電流密度에서는 金屬의 제거는 균일하지 않고 研磨라기 보다는 蝕刻現象이 일어난다. 반대로 높은 電壓에서는 溶解過程은 대량의 酸素發生을 동반하게 되어 表面의 심한 點蝕을 가져오게 된다.

전형적인 除染의 所要時間은 5~30分 범위로 電流密度 150A/ft<sup>2</sup>에서 0.3~2mils의 表面金屬을 제거하는데 걸리는 시간이다. 陽極과 접촉하고 있는 부분의 除染을 확실하게 하기 위해서 電氣研磨 工程中 한번은 陽極과의 접촉으로부터 이동시켜야 한다.

除染工程을 적용시킴에 있어 電解槽는 스텐레스 스틸제가 바람직하다. 그 이유는 電氣研磨系統 자체를 필요한 때에 電解槽벽을 陽極으로 하여 除染할 수 있기 때문이다. 또한 金屬 電解槽壁 자체가 除染된 장비에서의 公差의 유지가 중요하지 않은 경우, 즉 廢棄物 處理에 적용시킬 때에는 陰極으로 사용될 수도 있다.

기타의 경우에는 分離된 陰極이 사용된다. 전장비의 균일한 研磨를 확실하게 하고 가느다란 부위 또는 기타 정밀한 장비에서의 금속의 제거를 최소로 하기 위하여서는 여러가지로 고안된 특수한 모양의 陰極을 적절한 위치에 놓고 사용한다.

電氣研磨系統의 다른 裝備로서는 直流電源 供給系統, 하나 또는 그 이상의 淨化槽, 換氣施設, 電解液과 淨化液의 加熱과 유동을 시키기 위한 설비가 있다.

現場에서의 電氣研磨 技術은 수송할 수 없거

나 재래식 電氣研磨槽에 잠글 수 없는 큰 탱크, 긴 配管의 内部, 水槽의 壁 그리고 기타 汚染된 表面을 除染하기 위하여 개발되었다. 이 現場에서의 除染은 특히 퇴역하는 施設에서 탱크, 장비, 배관내부 그리고 기타 크거나 움직일 수 없는 金屬表面을 철거하는 作業에서 해체하기 전에 除染하는데 쓸모가 있다.

除染할 대상물에 따라 세가지 형태의 現場 裝備가 많이 사용되고 있다.

#### ● 内部陰極裝備(Internal Cathode Device)

이 裝備는 구멍이 많이 뚫린 관으로 된 구리 또는 스텐레스 스틸 陰極으로 되어있다. 陰極管은 양쪽 끝에 絶緣體가 끼워져있어 陽極인 除染될 물체와 접하게 된다. 한쪽 끝에 있는 絶緣體를 거쳐서 電解質의 주입과 전력을 공급하는 장치가 되어있다. 陰極管에 뚫린 구멍을 통하여 電氣研磨作用을 수행하기 위한 電解質이 除染될 配管表面으로 흘러가게 된다.

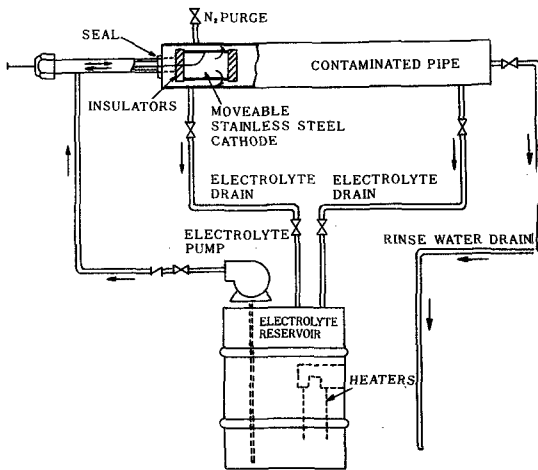
이 裝備는 配管의 内部表面을 除染 또는 電氣研磨하기 위하여 사용된다. 이 裝備는 느슨한 公差의 絶緣體로 사용할 수 있다. 이때에는 電解質은 配管내에 꽂차있게 된다. 또는 電解質을 장치의 陰極部位에만 제한하는 엄격한 公差의 絶緣體로 사용하기도 한다. 76~152 mm (3~6in)内徑 管에서 除染率은 最高 1.83m(6ft)/hr가 실증되고 있다(그림 2).

#### ● 噴射流裝備(Pumped Stream Device)

이 裝備는 除染될 表面과 마주보는 구멍이 뚫린 平圓板 모양의 구리 또는 스텐레스 스틸 陰極과 電解質의 흐름과 電力의 공급을 위한 손잡이로 되어있다. 사용에 있어서는 電解質은 장비의 끝에서 분사되어 나와서 除染하고자 하는 表面에 충돌하여 除染이 이루어진다.

이 장비는 얼룩진 반점, 모서리, 모진각을 이룬 부분, 불규칙한 면을 장비와 表面을 접촉시키지 않고 사용된다. 噴射된 電解質의 직경이 25mm까지의 장비가 사용되어 시간당 0.56m<sup>2</sup>

〈그림 2〉 Schematic of the N-Reactor Corrosion Test Loop with Electropolishing Equipment Installed



(6ft<sup>2</sup>)까지의 率로 除染에 성공하고 있다.

● 솔질장대장備(Brush Wand Device)

이 장비는 구리 또는 스텐레스 스틸로된 구멍이 뚫린 陰極板과 電解質 및 電力의 공급을 위한 절연된 손잡이로 되어있다. 陰極板은 除染할 물체와 마주보게 된다. 게다가 유연성이 있는 다공성의 절연성 물체로 구멍이 뚫린 陰極板을 싸주고 있다. 따라서 除染하고자 하는 表面과 스폰지형태의 접촉을 할 수 있으며 電解質의 흐름을 조절할 수 있다.

이 장비는 좁은 넓이의 平面이나 약간 구부러진 表面의 除染에 사용되고 있다. 따라서 半自動處理보다는 手動處理가 필요한 表面에서 사용되고 있다. 이 장비는 103cm<sup>2</sup>(16in<sup>2</sup>)의 크기의 表面에서 사용하여 시간당 2.79m<sup>2</sup>(30ft<sup>2</sup>)까지의 率로서 除染에 성공하고 있다.

電氣化學的 除染은 근래에 金屬과외 조각의 제한되지 않는 사용에 의한 재순환과 재사용이 가능한 장비의 복원을 위하여 대규모로 사용된다.

대규모의 교체 또는 개량계획이 미국의 原子力 公共事業體에서 수행되고 있다. 한 예를 들면, NRC의 규약을 지키기 위하여 MARK I BWR 原子爐의 소유주들은 외부 및 내부의 Torus Su-

ports를 강화하고 있다. 그리고 스나바와 외부관에 대한 받침대의 수를 증가시키고 있다. 이 개량작업을 수행함에 있어 줄잡아 68메트릭톤의 汚染된(100,000dpm/100cm<sup>2</sup>) 塗裝된 강철이 제거되고 교체되어야 했다.

美國의 Quadrex社는 汚染된 강철을 상자에 넣어 운반하여 매장하느니 보다는 매장하는 방법과 경쟁할 수 있는 비용으로 물체의 제한받지 않는 방출을 할 수 있는 塗裝의 제거와 電氣的 除染을 시도하였다. 1981년에 도합 154.5메트릭톤의 강철편이 처리되어 그중에서 83%인 128.6메트릭톤이 제한받지 않는 재사용을 위하여 방출되었다.

서독에서는 1,500,000 \$가격의 주흐름 교체 밸브가 그들의 교체비용의 10%보다도 낮은 비용으로 除染되었다. 이것은 西獨 原子力産業에서 관계당국의 승인하에 電氣化學的 除染技術을 Class I 安全장備의 除染에 사용한 첫번째 기록이 된다.

이 외에 美國에서는 原子爐에서 蒸氣發生器에 이르는 6.1m 길이의 711mm 직경의 主配管을 除染하는데 電氣化學的 除染技術이 사용되었다. 低放射線準位로 除染된 후에 配管은 재생되어 NRC의 승인하에 Surrey發電所에 다시 설치되었다. 이 除染技術의 사용은 실질적으로 配管을 再生하는데 받는 職業的被曝을 감축했다.

現場에서의 電氣化學的 除染技術은 다양한 除染作業에서 사용되고 있다. 한 예로서는, Hanford의 N Reactor에서의 腐蝕試驗環路의 除染에서 볼 수 있다. 腐蝕試驗環路에 있는 炭素鋼配管이 内部陰極장備를 사용하여 除染되었다. 69mm 內徑의 管의 내부가 한번에 610mm씩 길이 610mm, 48mm 內徑의 스텐레스 스틸 管 양쪽끝에 나이론 絶緣體가 부착된 内部陰極장備를 사용하여 電氣的으로 研磨되었다. 電解質은 陰極을 통하여 밸브에 의하여 1次冷却系統에서 부터 격리된 配管內에 주입되었으며, 配管의 양

쪽끝에 있는排水管을 통하여 외부에 있는電解質貯藏槽로 흘러나갔다. 610mm 길이의配管은電流密度  $0.11\text{amp}/\text{cm}^2$ 로 20分만에電氣研磨되었다. 電氣研磨 전후의配管内의放射線準位는 305mm 간격으로 G-M Tube를 사용하여 측정되었다.

電氣研磨處理는 平均放射線準位를 낮게汚染된配管部位에서 약  $4\text{R}/\text{hr}$ 씩 감축시켰으며, 汚染이濃縮되어 있는配管結合部位에서는  $40\text{R}/\text{hr}$  이상이 감축되었다.

磷酸에 의한配管的腐蝕을極小化하기 위하여腐蝕抑制劑가 함유된電解質이 사용되었다. 除染工程의最終段階에서 실시된超音波에 의한 관벽 두께측정과 가압시험은配管的진실성을 확인하였으며 재사용이 허용되었다.

또 다른 적용의 예는  $1,900\text{l}$ 의  $^{60}\text{Co}$  腐蝕生成物로汚染된液體放射性廢棄物탱크의除染에서 볼 수 있다. 이 탱크는  $20\text{mR}/\text{hr}$ 에서 부터 스메어테스트로서 汚染이 검출되지 않는自然放射線準位로 제염되었다. 이 除染作業에서는  $208\text{l}$ 의電解液을 사용하였으며 内部탱크表面의 85%는 외부로부터 除染되었다. 이 除染은現場에서 内部陰極裝備, 電解質放出裝備 및 슬질장대장비를 사용하여 수행되었다.

美國에서의 原子力産業의 경험은 排水한 후의 燃料再裝填通路의 汚染準位는 燃料再裝填通路 內裝材의 表面處理에 직접 관련이 있음을 보여주고 있다. 즉, 電氣研磨된 表面은 상대적으로 낮은 放射性 汚染의 가능성을 갖고 있으며 높은 除染係數를 나타내고 있음이 확인됐다.

또 다른 試驗과 分析은 電氣研磨工程에 의하여 매끄럽게 고도로 研磨된 表面은 실질적으로 후에 실시되는 재래식 洗滌技術을 사용하는 除染作業에서 소요되는 시간과 人體放射線被曝을 감축함을 보여주고 있다. 內裝材 表面을 사전에 電氣研磨技術로 처리하였을 경우, 강철의 表面을 高溫壓延, 아닝 또는 묽은 酸性溶

液洗滌으로 最終處理하였을때와 비교하여 年間 26萬 $\text{\$}$ 의 절약이 예상되고 있으며 年間 83man-hour 및 1.6man-rem의 被曝節減이 성취된다.

어떤 實務者는 電氣研磨는 表面이 多孔性이거나 흠이 있으면 잘 되지 않는다고 말하고 있다. 그러나 電氣研磨의 專門家들은 이와 같은 형태의 表面도 쉽게 電氣研磨할 수 있다고 주장하고 있다. 電氣研磨에 실패한 사람들은 電極들을 이상적인 위치에 놓는 방법을 몰랐거나 기타 작동상태의 불합리성이 원인일 것이라고 한다.

어떤 實務者는 엄격한 公差를 갖는 部品이 電氣研磨에 의해서 파괴되었다고 보고하고 있다. 또한 엄밀한 公差部位는 사전에 절연테프나 절연체의 분무에 의해서 보호되었다고 말하고 있다. 어떤 實務者는 엄격한 公差가 있는 部品에 대해서는 高濃度의 化學劑를 사용하는 한이 있더라도 電氣研磨는 사용하지 않는다고 말한다.

많은 原子力施設에서 엄격한 公差가 없는 部品에 대하여 電氣研磨技術을 사용하고 있다. 많은 수의 原子力發電所 職員들이 電氣研磨를 雜多한 部品과 工具를 除染하는데 하나의 가능한 除染技術로서 평가하고 있다. 많은 數의 業者들이 電氣研磨技術을 장사속으로 제외하고 있다.

만일에 한 原子力施設이 除染해야 할 많은 수의 적은 部品이나 工具를 갖고 있으면 이 방법은 아주 매력적일 것이다. 그러나 가동을 시작한 초기에 단 몇개의 工具나 裝備의 部品の 除染만이 필요한 경우에는 다른 방법이 반드시 검토되어야 한다. 많은 수의 사람들이 엄격한 公差를 갖는 裝備에 대한 파손에 관심을 두고 말하고 있다. 적절하게 적용한다면 엄격한 公差를 갖는 部品도 除染할 수 있겠으나, 거기에는 公差과피에 대한 위험이 있으며 部品을 사용할 수 없게 할 염려가 있다.

따라서 이 가능성있는 과피의 위험성은 반드시 除染을 수행하는 業者와 신중하게 검토되어야 하며 發電所 職員에 의해서 평가되어야 한다.