

방사성금속폐기물의 전해제염에 대한 연구

김광득, 안정석, 이경호, 김영주

(주)데콘엔지니어링, 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5번지 아주대학교 산학협력원 213호

nirvanabuda77@hotmail.com

국내의 원자력관련시설에서 계통 pipe 또는 장비, 장치는 대부분 부식저항성을 갖는 stainless steel로 구성되어 있고, 수 μm 를 제거하기 위해서는 강력한 제염공정이 요구되며, carbon steel의 경우, porous 하고 stainless steel에 비해 낮은 부식저항성을 갖고 있지만 대부분의 경우, 제염을 위해 수천 μm 를 제거하여야 한다. 원자력발전소에서 발생하는 방사성금속폐기물은 냉각수내의 방사성부식물질의 표면증착(deposition)에 의해 오염되며, 대부분의 방사성물질은 약 $10\mu\text{m}$ 두께의 오염층으로 구성되어 있을 것으로 판단되고 있다. 이러한 실정에 비추어볼 때, 가장 높은 corrosion rate, volume reduction factor를 가지며, 가장 빠른시간 내에 제염이 가능하면서도 2차폐기물의 양이 가장 적게 생산되는 전해제염이야말로 가장 강력한 제염 방법이라 할 수 있겠다. 전해제염은 다른 공정에 비해 경제적으로도 저비용으로 공정을 수행할 수 있으며, steam generator의 water box, tank등과 같은 대규모의 panel의 처리에 용이하고, 최대한의 재사용효과를 갖는다는 점의 장점이 있다. 그러나 제염공정 전에 제염대상물의 표면의 비전도성물질에 대한 제거문제와 복잡한 구조를 갖는 대상물에 대한 제염의 어려움이 단점으로 지적되고 있다. 이러한 기술적 특징을 가지고 있는 전해제염공정의 개발을 위해 sodium nitrate 수용액을 전해액으로 사용하는 전해제염공정을 설계 제작하고, 최적의 제염조건을 확립하기 위한 연구를 수행하였다.

여러 종류의 전해액 중, 당사에서는 2차 폐기물을 최소화 할 수 있으며, 발생하는 2차 폐기물을 metal hydroxide로 침전시켜 제거가 용이한 sodium nitrate를 전해액으로 선정하였으며, 선정된 전해액을 기준으로 하여, 전해제염을 통한 제염의 여부를 판단하는 연구를 진행하였다.

개발 제작한 pipe용 전해제염장치는 현재 한국원자력연구소 변환시설에 설치준비 중에 있으며, 변환시설 해체 후 발생하는 stainless steel pipe를 제염할 예정이다.

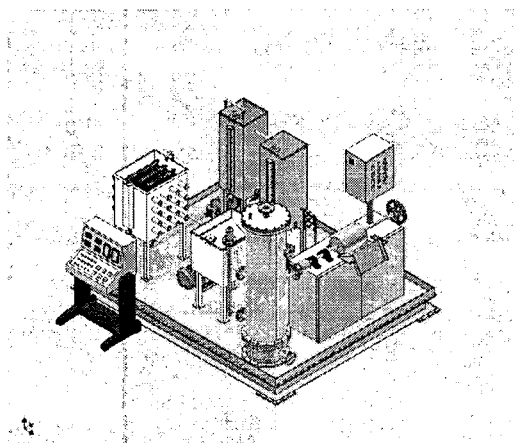


그림 1. Pipe 전해제염 시스템

한국원자력연구소의 변환시설과 한전원자력연료(주)의 방사성금속폐기물을 대상으로 실험용 모의시편을 제작하여 전해제염을 실시하였다. 변환시설의 시편의 경우 stainless steel 304의 재질의 3/4" pipe를 대상으로 하였으며, 초기 오염율이 4.96 Bq/cm^2 의 제염대상물이 500 mA/cm^2 의 전류밀

도를 사용하여, 10분 동안 전해제염한 결과, 0.045 Bq/cm^2 (α 의 경우) 이하로 제염되는 결과를 나타내었다.

또한 발생하는 2차폐기물 역시 전량 슬러지로 침전되어, 오염물질이 제염대상물로부터 완전 용출되어, 전해액상에서 이온으로 존재하지 않고, 금속수화물 형태로 침전됨을 확인할 수 있었다.

표 1. 전해제염 후 전해액내에 존재하는
우라늄이온의 양; ICP-MS

sample name	content of U
over flow	0.8
sludge	746.1

다만 전해제염과정 중, +6가의 형태로 용출되는 Cr의 경우(stainless steel의 주성분), +6가, +3가의 형태로 용출되며, 이중 +6가형태로 용출되는 Cr은 전해액상에 이온상태로 다수 존재함을 확인할 수 있었다. Cr^{+6} 이 전해액에 지속적으로 축적될 경우, 전기도 저하 및 용출성의 감소 등 전해제염을 수행하기 위한 악조건으로 작용하며, 현재, Cr^{+6} 을 Cr^{+3} 으로 환원시키기 위한 연구가 진행 중에 있다.

표 2 전해제염 후 전해액내에 존재하는 금속이온의
양; IC

element	ver flow(ppm)	sludge(ppm)
Si	8.03×10^{-3}	1.5×10^{-2}
Cr	4.5	1.7
Mn	1.6×10^{-4}	0.97
Fe	0.14	17
Ni	1.4×10^{-3}	6.1
Mo	3.6×10^{-2}	7.3×10^{-2}

한전원자력연료(주)의 모의시편은, HEPA필터의 케이싱으로 사용되는 갈바나이즈 스틸이었으며, 300 mA/cm^2 의 전류밀도로 5분간 전해제염을 수행한 결과 방사능량이 초기 2 ~ 3 CPM의 시편이 전해제염 후, 0.5 CMP이하로 제염됨을 확인할 수 있었고, 전해제염 후, α , β counter를 사용하여 측정된 결과, 0.004 Bq/cm^2 (α 의 경우) 이하로 제염됨을 확인하였다.

한국원자력연구소의 변환시설과 한전원자력연료(주)의 모의시편을 대상으로 각각 $300 \sim 500 \text{ mA/cm}^2$ 의 전류밀도로 5 ~ 10분간 전해제염을 수행한 결과 모두 자체처분이 가능한 준위 이하로 제염이 가능하였으며, stainless steel이 제염대상물인 경우, Cr^{+6} 을 Cr^{+3} 으로 환원시킬 수 있는 환원법의 개발이 요구되며, 전해제염 후, 발생하는 2차 폐기물을 처리 할 수 있는 처리장치의 개발이 시급할 것이라고 판단된다.