

## 저준위 방사성 표면 오염 금속의 플라즈마 제염 연구

전상환, 김용수, 진동식\*, 최왕규\*\*, 정종현\*\*, 오원진\*\*

한양대학교, 서울시 성동구 행당동 17번지

\*(주)한빛파워서비스, 서울시 구로구 구로동 235번지 한신IT타워 413호

\*\*한국원자력연구소, 대전시 유성구 덕진동 150번지

[shjeon@hanyang.ac.kr](mailto:shjeon@hanyang.ac.kr)

금속 표면의 고착성 오염물의 건식제염 방법으로 플라즈마 기술이 꾸준히 연구되었다.  $CF_4/O_2$ ,  $SF_6/O_2$ ,  $NF_3$  등 다양한 플라즈마 기체에 대한 제염 효율이 평가되었고 플라즈마 출력, 반응 온도 등의 공정변수를 조절하며 이온 보조 식각 반응을 도입하여 최적 조건 도출을 위한 연구가 수행되어왔다. 하지만 방사성 금속 시편은 관리가 엄격하고 사용이 제한적이므로 이러한 실험에서는 비방사성 핵종을 이용한 공정조건이 도출되었다.

그러나 이 연구에서는 그간의 공정 연구 결과를 바탕으로 상용 규모의 제염 설비를 설계 제작하였으며 선행연구에서 확보한 플라즈마 제염 기술을 실제 방사성 오염 금속에 적용하는 실험을 수행하였다. 이 설비는 실제 오염물 제염을 염두에 두고 최대  $\varnothing 300 \times 800L$  크기까지 수용할 수 있는 수평 사각 chamber에 제염물의 장입과 인출을 위한 별도의 glove box와 chamber 오염 방지를 위한 내피가 부착되었고 효과적인 이온 보조 식각 반응을 유도하기 위하여 1C kW 사양의 DC power supply를 사용하였다. 제염 후 공정기체에 잔류하는 오염물질은 배기 장치에 filtering system을 설치하여 회수하였다.

실험에 사용된 방사성 시편으로는 연구로 1호기 해체 과정에서 발생한 오염 금속을 소량 채취하였다. 다양한 형태와 재질에 대한 성능 시험을 위하여 pipe, plate, 그리고 cup 등 3가지 모양과 SUS, Aluminium, 그리고 steel의 3가지 재질의 시편을 준비하였다. 각 시편의  $\gamma$ -spectroscopy 분석 결과 Co-60과 Cs-137이 검출되었으며 최대 수십 Bq/g으로 매우 낮은 방사능 농도를 나타내었다. 방사능 농도가 낮기 때문에 높은 제염 계수(DF, Decon Factor)를 기대하기가 어렵지만 제염 성능을 시험하기에는 무리가 없을 것으로 사료되었다. 시편 표면의 이물질에 대해서는 아무런 전처리를 하지 않고 채취 상태 그대로 플라즈마 건식 제염 설비의 processing chamber에 장입하여 실험을 수행하였다. 운전조건은 여러 차례의 시운전을 통해서 얻어진 압력인 30 Pa로 유지하였으며, DC 전원의 출력은 시편 장입 시 아크가 발생하지 않는 조건에서 DC 전원 공급 장치의 최대 출력(약 3kW)을 결정하여 제염 실험을 수행하였다.

우선 제염도의 평가는 플라즈마 건식 제염 설비에서 10분간 제염 실험을 수행한 후 각각의 시편에 대하여  $\gamma$ -spectroscopy 분석하여 반응 전후의 Co-60과 Cs-137의 방사능 농도의 증감으로서 시편에 대한 제염도를 평가하였다. 표 1은 SUS pipe, SUS plate, Aluminium plate, Steel pipe 시편의 제염 전후 Co-60과 Cs-137에 대한 방사능농도 변화와 제염효율을 측정된 결과이다. 방사능 농도가 대체로 낮은 시편이 사용되어 제염계수(DF, Decon Factor)는 낮은 수준이었지만 제염 후 농도가 확연히 떨어지는 사실을 확인할 수 있었다.

그림 1은 SUS pipe, SUS plate 및 Steel pipe 등 5개 시편에 대하여 제염시간에 따라 서베이메터로 측정된 오염도 평가 결과이다. SUS pipe-2와 Cutting된 SUS pipe의 경우 자연 방사선준위인 5 cps로 떨어졌고, SUS plate-2와 Steel pipe는 10 cps로 떨어졌다. 초기 방사능 농도가 매우 적어서 측정상의 오차가 있었지만 시편의 오염도가 제염시간에 따라 낮아지는 경향을 확인할 수 있었다.

1 Bq/g 가량의 낮은 방사능농도를 가지는 SUS pipe-1,2 시편에 대하여 보다 정확한 제염 성능 측정을 위하여  $\gamma$ -spectroscopy를 이용한 분석을 수행하였다. 그림 2에 도시한과와 같이 제염 전후 Co-60의 방사능농도는 SUS pipe-1에서 각각 1.065 Bq/g 및 0.177 Bq/g, SUS pipe-2는 각각 1.248 Bq/g 및 0.430 Bq/g으로 나타났다. 또한 Cs-137의 방사능농도는 SUS pipe-1에서 각각

0.351 Bq/g 및 0.177 Bq/g, SUS pipe-2는 0.200 Bq/g 및 0.125 Bq/g으로 나타났다.

플라즈마 제염 공정 기술 개발 결과를 실제 오염 물질에 적용함에 있어 본 연구가 미량의 방사능 농도를 지니는 시편을 사용하였으며 시편 형태에 따라 모두 동일한 평판형 전극을 사용하는 등 제한적인 여건에서 수행되었지만 서베이미터를 이용한 측정 결과 오염도가 감소하는 것으로 나타났다. 특히  $\gamma$ -spectroscopy 분석에서는 Co-60과 Cs-137 핵종의 규제 해제 방사능 농도인 0.1 Bq/g 수준에 해당하는 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구 결과에서 비방사성 핵종에서 확보한 공정조건이 실제 방사성 오염 금속에 직접 적용되고 있음을 확인하였으며 상용 규모의 플라즈마 제염 설비를 개발하는 과정에서 장치 설계와 제작에 관련된 기술 경험을 축적할 수 있었다. 다양한 형태를 지니는 금속 폐기물에 대한 적절한 플라즈마 전극 설계 및 오염물의 장입과 인출시 전·후 처리 연계 공정 등에 대한 연구를 통해 플라즈마 제염 기술을 한층 향상 시킬 수 있을 것으로 사료되며 이 기술을 이용하여 금속 폐기물 표면 고착성 오염을 효과적으로 제거할 수 있는 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한전전력연구원에서 시행한 전력사업연구개발 사업에 한일원자력주식회사와 참여하여 수행한 논문입니다.

표 1 플라즈마 제염 실험 전후 금속 표면  $\gamma$ -spectroscopy 분석 결과

시편명	검출핵종	방사능농도 (Bq/g)		DF
		제염전	제염후	
SUS pipe-1	Co-60	8.422	2.231	3.77
	Cs-137	1.203	1.072	1.12
SUS plate-1	Co-60	93.270	89.520	1.04
	Cs-137	0.075	N/D	$\infty$
Aluminum plate	Co-60	14.100	5.484	2.57
	Cs-137	0.557	0.465	1.20
Steel pipe	Co-60	20.580	3.383	6.08
	Cs-137	3.347	5.000	0.67
SUS pipe-2	Co-60	12.170	1.452	8.38
	Cs-137	0.354	0.376	0.94

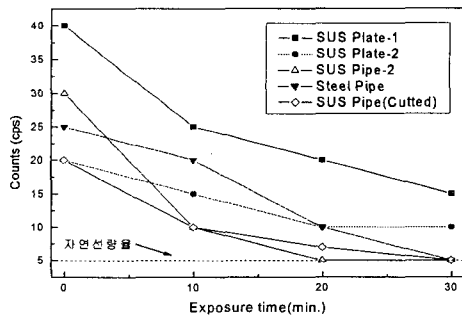


그림 1 플라즈마 제염 시간에 대한 금속 표면 오염도 측정 결과

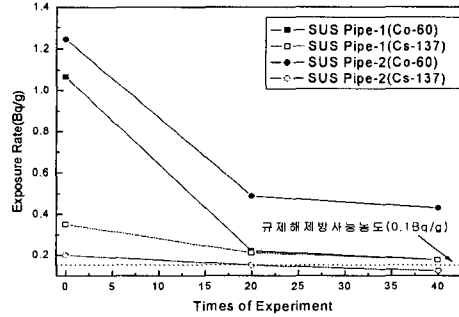


그림 2 플라즈마 제염 시간에 대한 금속 표면  $\gamma$ -spectroscopy 분석 결과