

방사성 금속 폐기물의 전해제염 실험 비교 분석

The Analysis and Comparison of the Experiments for Electro-Decontamination about Radioactive Metal Wastes

강동우, 박광수, 문길호, 엄달선*

두산중공업

요 약

제염이란 방사능에 오염된 물체로부터 방사능을 어느 수준 이하로 떨어뜨리는 모든 종류의 작업을 말한다. 본 논문에서는 제염 방법 중의 한가지인 전해 연마 제염법을 이용한 방사선 오염 제거에 대하여 실험을 통하여 기술하였다. 알파선과 베타선에 오염된 각각의 SUS 시편을 사용하여 두 가지 방사선에 대한 제염도를 비교해 보았고, 베타선에 오염된 SUS 및 Carbon steel 시편을 사용한 각 전해액에 대한 제염 실험이 수행되었다. 전해액으로는 황산, 인산, 질산, 구연산 및 옥살산 등을 사용되었다. 전해액의 종류, 통과하는 전류의 세기 및 시간에 따라 각 시편에 대한 제염도의 차이를 비교, 분석 할 수 있었다.

Abstract

Decontamination means every method that can drop the level of the radioactivities from the materials contaminated with them to the allowable one. In this paper, one of the decontamination methods, the electro-decontamination was described with lots of experiments. Two test specimens contaminated with alpha ray and beta ray respectively were used to compare the decontamination factors between two rays and many experiments were performed in every electrolyte with SUS and Carbon steel test specimens. Sulphuric acid, phosphoric acid, nitric acid, citric acid and oxalic acid were used as the electrolyte. Decontamination Factors(DF) could be compared and analyzed with different electrolyte, current intensities and time

1. 서 론

원자력을 이용하기 위한 원자로가 설립되고 가동되기 시작한지 수 십년이 경과 하였다. 따라서 이제는 새로운 원자로를 설치 및 가동하는 일 못지않게, 이미 수 십년 간 가동이 계속 되어온 노후한 원자로와 그 주변 시설물을 어떻게 처리하느냐가 중요한 과제로 부상하고 있다. 노후한

원자력 시설물의 처리에는 두 가지의 해결 방안을 생각해 볼 수 있다. 첫번째는 그 시설물 모두를 해체하는 것이고, 둘째는 적절한 보수 공사를 통한 수명 연장이다. 원자로를 비롯한 원자력시설물의 유지 보수 및 수명 연장 또는 동 시설물의 전면 해체 시에는 방사능에 오염된 설비나 부품의 취급은 필연적인 일이다. 현재 또는 장래에 모든 원자력 관련 시설의 유지 보수 및 수명 연장 또는 폐기 시에 발생하게 될 방사성 오염물질의 제염에 대한 폭 넓은 정보가 필요하다. 방사능에 오염된 물체로부터 오염된 방사성을 제거하는 방법은 두 가지의 대표적 방법, 즉 물리적 제염 방법과 화학적 제염 방법으로 분류 해 볼 수 있다. 대표적인 물리적 방법으로는, 고압수 분사제염, 도막박리제염, 거품제염, 초음파제염, 분진제염, 이산화탄소분사 제염 등 다수가 있으며 화학제염은 다시 희박화학제염과 농후화학제염으로 분리 되는데 희박화학 제염으로는 LOMI, CAN-DEREM, NITROX, CORD/UV 등이 있고, 농후화학제염으로는 CITROX, APAC, CONAP 등의 제염방법이 사용되고 있다. 전해연마 제염은 일종의 화학제염에 속한다.

2. 금속의 전해 연마 제염 기술

2.1. 전해 연마 제염

전해 연마 제염 기술은 무기산, 유기산 또는 중성염 등을 물에 적절히 희석하여 전해액을 만든 후 제염하고자 하는 금속 물체를 양극으로 하고 보통 도체를 음극으로 하여 두 전극간에 전류를 통하여 줌으로서 금속의 전기적 연마가 이루어지게 한다. 즉, 방사선에 오염된 금속 표면에 존재하는 부식 산화막 층이나 기판 금속표면의 얇은 층이 전해액 속에서 양극 산화 반응에 의해서 녹아 제거 됨으로 표면에 묻은 방사성 오염물질이 제거되는 것이다. 전해연마 제염 시 금속의 연마 정도는 금속을 통하여 흘러가는 전류의 밀도와 시간, 전해액으로 사용하는 화학 물질의 농도와 온도에도 관계가 있다. 전해액의 종류는 무기산의 인산, 질산, 황산 등이 있고 유기산의 구연산, 옥살산 및 이들 혼합물 그리고 중성염의 황산 나트륨, 질산 나트륨 등이 있다.

2.2. 전해 연마 제염의 특징

전해 연마 제염법의 장단점은 다음과 같다.

1) 장점

- 제염 시간이 상대적으로 짧고 비교적 높은 제염 계수를 얻을 수 있다.
- 2차 폐기물 발생량이 비교적 적고 제염 후의 제염물체의 표면이 부드럽다.
- 공정의 자동화 및 원격조정으로 높은 방사선 구역에도 적용 가능하다.

2) 문제점

- 형상이 복잡한 물체의 제염에는 적합하지 않다.
- 제염의 실시 동안 유독 기체가 발생할 수 있다.

3. 시편의 제작

본 실험을 위한 시편은 실험 1 용의 SUS 를 방사성 폐액(Cs-137)에 12 시간 담가 오염시킨 후 24 시간 건조 시킨 것과 실험 2 용의 TRIGA 연구로 2 호기 해체 과정 중 발생된 방사성 금속 폐기물의 SUS 와 Carbon Steel 을 적당한 크기로 절취하여 만든 두 가지이다. 각 시편은 두께 1.5mm 에 넓이 2.5cm×3cm 의 크기이고, 제염 실험 전후의 오염된 방사선의 양을 측정했다.

4. 방사능 측정설비

방사선 측정 장비(S5XLD)는 유리성 오염도를 측정할 수 있는 기계로 α 및 β 선원을 측정할 수 있다. 측정 방법은 시편을 측정장비에 직접 올려 측정하였으며 1 분 동안 측정하였다.

5. 실험 1: 방사선 알파선과 베타선에 대한 제염계수 차이 분석

동일 종류의 시편(SUS)에 대한 알파선과 베타선의 제염 계수를 비교해 보기 위하여 2 차례의 조건을 달리한 실험을 수행하였다. 실험 결과는 표 1, 2, 3 에 각각 나타나 있다.

5-1 실험 조건 1 및 결과(표 1)

표 1. SUS 시편의 알파와 베타선의 제염도 비교

No.	전해액	농도 (% orN)	시간 (sec)	전류 밀도 (A/cm ²)	alpha			beta		
					제염전	제염후	DF	제염전	제염후	DF
1	황산	5%	150	0.11	1.05E+02	7.68E+01	1.4	2.50E+03	5.99E+01	41.7
2	황산	5	150	0.33	6.02E+03	1.42E+03	4.2	7.93E+04	1.65E+04	4.8
3	황산	5	150	0.55	1.90E+02	7.68E+01	2.5	1.93E+03	5.99E+01	32.2
4	황산	10	300	0.11	7.68E+01	7.68E+01	1.0	1.56E+02	6.80E+01	2.3
5	황산	10	300	0.33	7.68E+01	7.68E+01	1.0	2.72E+02	5.99E+01	4.5
6	황산	10	300	0.55	1.05E+02	7.68E+01	1.4	1.88E+03	5.99E+01	31.4
7	황산	15	450	0.11	1.21E+03	7.68E+01	15.8	1.63E+04	1.56E+02	104.5
8	황산	15	450	0.33	1.05E+02	7.68E+01	1.4	1.33E+03	5.99E+01	22.2
9	황산	15	450	0.55	7.68E+01	7.68E+01	1.0	9.72E+02	5.99E+01	16.2
10	인산	60%	450	0.11	5.94E+02	7.68E+01	7.7	7.60E+03	7.78E+01	97.7

11	인산	60	450	0.33	1.26E+02	7.68E+01	1.6	2.02E+03	5.99E+01	33.7
12	인산	60	450	0.55	1.42E+02	7.68E+01	1.8	1.74E+04	3.40E+02	51.2
13	인산	80	150	0.11	1.05E+02	5.73E+02	0.2	1.89E+03	5.30E+03	0.4
14	인산	80	150	0.33	8.36E+01	7.68E+01	1.1	2.41E+03	9.72E+01	24.8
15	인산	80	150	0.55	8.36E+01	7.68E+01	1.1	1.13E+03	7.78E+01	14.5
16	인산	40	300	0.11	2.11E+02	7.68E+01	2.7	1.55E+03	2.14E+02	7.2
17	인산	40	300	0.33	2.54E+02	1.05E+02	2.4	3.92E+03	1.04E+03	3.8
31	인산	40	300	0.55	1.26E+02	7.68E+01	1.6	3.89E+02	5.99E+01	6.5
19	질산	0.5N	300	0.11	7.68E+01	8.36E+01	0.9	9.82E+02	1.85E+02	5.3
20	질산	0.5	300	0.33	8.36E+01	7.68E+01	1.1	8.27E+02	1.65E+02	5.0
21	질산	0.5	300	0.55	8.28E+02	3.81E+02	2.2	1.08E+04	4.53E+03	2.4
22	질산	0.1	450	0.11	7.68E+01	7.68E+01	1.0	1.16E+03	1.17E+02	9.9
23	질산	0.1	450	0.33	7.68E+01	7.68E+01	1.0	2.33E+02	7.78E+01	3.0
24	질산	0.1	450	0.55	3.17E+02	2.11E+02	1.5	4.65E+03	1.55E+03	3.0
25	질산	0.3	150	0.11	8.36E+01	7.68E+01	1.1	5.74E+02	5.99E+01	9.6
26	질산	0.3	150	0.33	1.26E+02	7.68E+01	1.6	2.41E+03	8.56E+02	2.8
27	질산	0.3	150	0.55	7.68E+01	7.68E+01	1.0	1.01E+03	2.53E+02	4.0

* α MDA = 7.68×10^1 , β MDA = 5.99×10^1

5-2 실험 조건 2(표 2) 및 결과(표 3)

표 2. 실험 2의 조건

No.	전해액	농도 (%)	시간 (sec)	전압 (V)	전류 (A)	전류밀도 (A/cm ²)
1	황산	5	60	1.0	0.6	0.05
2	황산	5	120	1.4	1.2	0.10
3	황산	5	180	2.6	1.8	0.15
4	황산	10	60	1.0	1.2	0.10
5	황산	10	120	1.9	1.8	0.15
6	황산	10	180	0.7	0.6	0.05
7	황산	15	60	1.0	1.8	0.15
8	황산	15	120	0.6	0.6	0.05
9	황산	15	180	0.8	1.2	0.10

표 3. 실험 2 의 결과

No.	alpha			beta		
	제염전	후	DF	제염전	후	DF
1	9.76E+02	2.96E+02	3.297	2.15E+04	3.94E+03	5.457
2	3.08E+03	6.15E+02	5.008	7.18E+04	1.06E+04	6.774
3	4.02E+02	7.68E+01	5.234	5.36E+03	1.94E+02	27.629
4	2.75E+02	1.69E+02	1.627	7.48E+03	3.03E+03	2.469
5	9.34E+02	1.90E+02	4.916	2.32E+04	1.89E+03	12.275
6	5.09E+02	2.75E+02	1.851	1.34E+04	2.65E+03	5.057
7	3.81E+02	1.05E+02	3.629	7.88E+03	3.19E+03	2.470
8	2.54E+02	1.26E+02	2.016	6.13E+03	2.27E+03	2.700
9	4.45E+02	2.54E+02	1.752	7.97E+03	3.40E+03	2.344

* α MDA = 7.68×10^1

6. 실험 2 : 제염액 별 Carbon Steel 전해제염 실험 및 분석

Carbon Steel 시편에 대해 제염액별로 제염효과를 비교하기 위한 실험을 수행하였다. 전해액 중 옥살산과 구연산에서의 전해액 온도는 80 °C 이고 나머지는 상온에서 실험하였다. 실험 결과는 그림 1 과 같다.

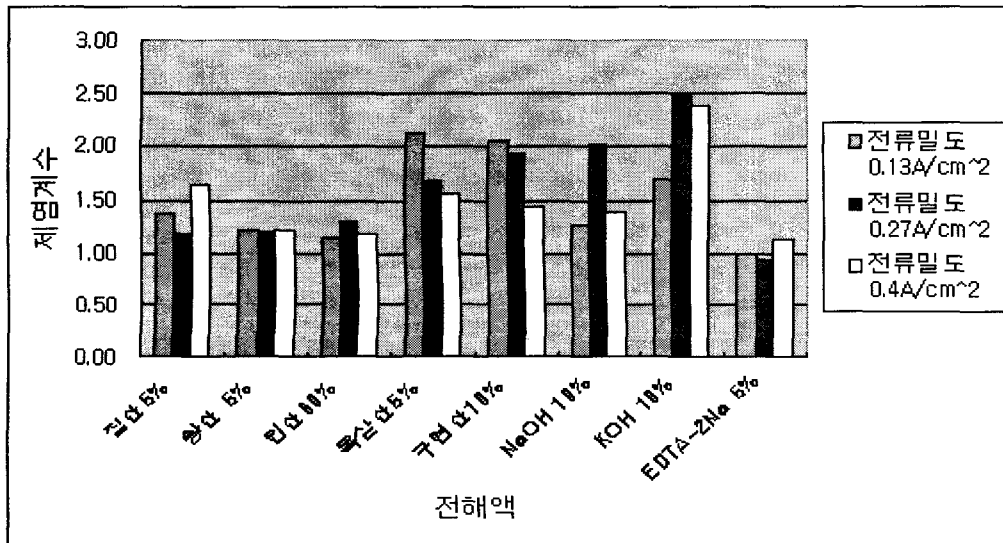


그림 1. 전해액별 제염효과 비교(실험시간 5분)

7. 실험 3 : 제염 액 별 Stainless Steel 전해제염

Stainless Steel 시편에 대해 전해액 별로의 제염효과를 비교하기 위한 실험을 수행하였다. 실험 온도는 상온이다. 조건은 아래와 같다.

실험 결과는 그림 2 에 나타나 있다.

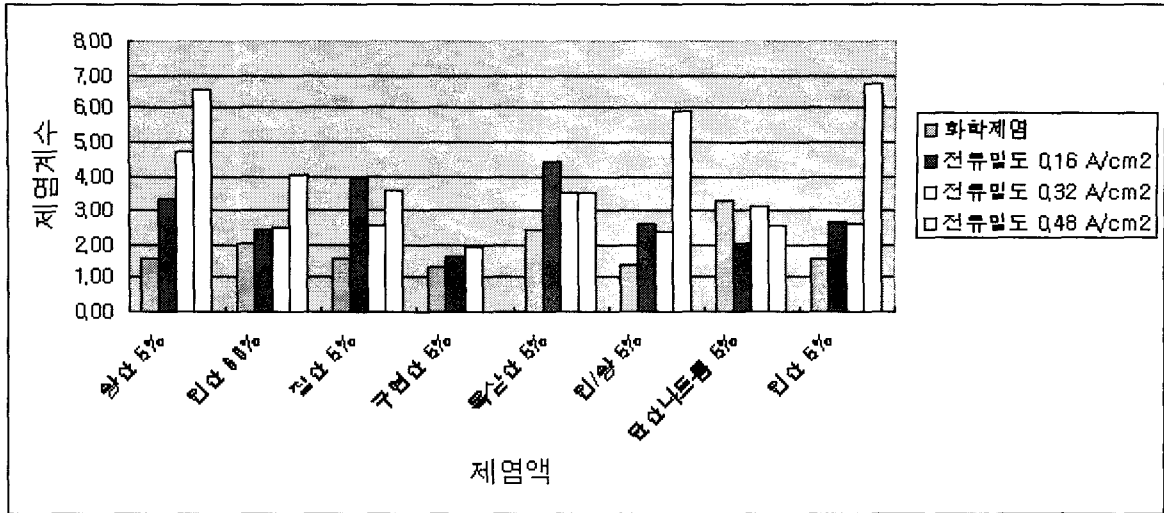


그림 2. 제염 액별 제염계수 비교(실험 시간 20분)

8. 결론 및 분석

실험 1 의 결과로부터 동일 조건에서의 두 방사선, 알파선과 베타선 간의 제염정도를 비교해 본 결과 베타선 쪽이 전반적으로 더 높은 제염도를 나타내고 있다.

방사성 금속 폐기물인 Carbon Steel 및 SUS 폐기물에 대한 제염 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Carbon Steel의 경우 옥살산 제염이 가장 효과가 뛰어나게 나타났다.
- 2) SUS는 황산에서 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

Reference

1. E. L. Childs and J. L. Long, "Electrolytic Decontamination of Stainless Steel Using a Basic Electrolyte", Nuclear Technology, Vol.54, p208, 1981.
2. T. Izumida et al., " Electrolytic Decontamination of Surface Contaminated Metal by Alternating Electrolysis Using Square-Wave Current in a Neutral Salt Electrolyte", Nuclear Technology, Vol.70, pp249-253, Aug, 1985.
3. Allen, R. P. et al., "Electropolishing as a Decontamination Process : Progress and Applications", PNL-SA-6858, 1978.
4. 한원진, 박광수 등, "The development of the electropolishing process for interior surface of the Nuclear Steam Generator channel head", 2002, 두산중공업
5. 강덕원, 성기방 등, "A Feasibility Study on the Decontamination Technology for the RCP and the SG", Technical Report, 1999, 전력연구원
6. 오원진 등, "Decontamination and Decommissioning Technology Tree and the Current Status of the Technologies", 2001, 한국원자력연구소
7. 오원진 등, "방사성 금속 폐기물 재활용 기술 개발", 1998, 한국원자력연구소