

제염폐액 처리를 위한 플라즈마 장치 설계 및 배기체 정화기술

강덕원*, 김승일, 고혁준, 김을기

(주)금화피에스시, 서울특별시 강남구 테헤란로 25길 15-4

*world2is@naver.com

1. 서론

화학공정 산업, 일반 산업뿐만이 아니라 원자력 산업을 포함한 전력산업 전반에 걸쳐 유해성 폐기물의 배출로 인한 환경문제가 심각하게 대두되고 있는 실정이다. 2017년 고리 1호기 해체를 앞두고 원자로 계통 및 주요기기 제염 시 발생하는 제염폐액은 방사능을 함유하고 있는 여러 가지 고형 폐기물과 유기용매를 함유한 제염폐액이 발생하게 형태로 발생된다. 이러한 폐기물은 고도의 처리 기술에 의한 폐기물의 관리기술이 필요하다. 본 논문은 주요 기기 및 계통 제염 시 발생하는 방사성 폐액을 플라즈마를 이용하여 분해 처리하는 장치와 처리 시 발생하는 배기체 정화 실험결과를 소개하고자 한다. 원전에서 발생하는 제염폐액의 주성분은 유기산으로서, 옥살산 (Oxalic acid), 구연산 (Citric acid), EDTA (Ethylene Diamine Tetra Acetic acid) 등을 함유하고 있으며 킬레이트 물질은 처분장에서 엄격히 제한되기 때문에 이러한 유기산 폐액의 완전 분해를 위한 처리기술이 요구된다. 본 논문에서 소개하는 플라즈마 이용 처리기술은 완벽한 분해 처리 및 제거가 용이하며 고온 환경에서 운전되기 때문에 독성 오염물질로 인한 환경오염 최소화와 뛰어난 감용 효과를 얻을 수 있는 장점을 지니고 있다. 이러한 플라즈마 처리공정은 향후 해체 제염 시 발생하는 방사성유기 제염폐액 및 난분해성 폐기물의 처리 시 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 본다.

2. 본론

2.1 플라즈마 시스템

2.1.1 개요

고온 플라즈마(Thermal plasma)는 주로 아크 방전에 의해 발생시킨 전자, 이온, 중성입자(원자 및 분자)로 구성된 부분 이온화된 기체로, 국소열평형(local thermodynamic equilibrium) 상태를 유지하여 구성입자가 모두 수천에서 수만 도에 이르는 온도를 갖는 고속의 제트 불꽃형태를 이루고 있다. 고온, 고열용량, 고속, 다량의 활성입자를 갖는 고온 플라즈마의 특성을 이용하기 때문에 효율적이며 환경면에서 깨끗한 처리기술이다.

2.1.2 플라즈마 토치설계

플라즈마 처리시스템은 플라즈마 토치, 전원공급계통, 압축공기 계통, 냉각수 계통, 폐액공급 계통 및 기타 설비 등으로 구성된다(Fig. 1 참조). 플라즈마 토치는 폐액 분해 처리속도를 6 l/hr를 목표로 30 KW의 전력규모로 설계하였고 플라즈마로 부터 받는 열을 신속하게 제거하기 위하여 전도율이 뛰어난 구리로 제작하였다. 토치의 외벽은 냉각수가 순환하는 구조이며, 전체 토치 외부는 SUS재질로 만들었다. 플라즈마의 중심부 온도는 10,000°C 이상이다.

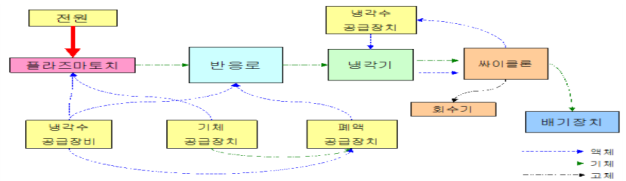


Fig. 1. Flow-Sheet of Plasma Torch System.

2.1.3 전원 공급장치

30 KW급 플라즈마 토치를 위한 전원을 설계 제작하였다(Fig. 2 참조). 입력은 3상 380 V를 사용하도록 하였으며, 토치의 정상 작동전압은 400-500 V에서 최고의 효율을 낼 수 있도록 설계하였다. 고전압과 고전류를 사용하기 위하여 안전 잠금 장치를 설치하였으며, 전원을 외부에서 원격 조절이 가능하도록 별도의 switch box를 제공하도록 하였다.

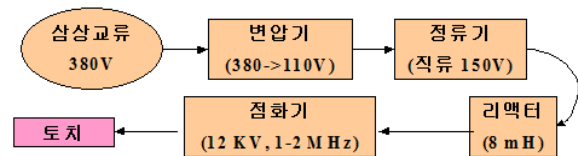


Fig. 2. Power Supply System.

2.1.4 냉각수 공급계통

열교환기에서는 토치의 용량의 대부분인 30 KW 용량의 냉각능력이 필요하며 플라즈마 열교환기의 냉각은 수돗물을 직접 사용할 수 있도록 설계하였다.

2.1.5 압축공기 공급계통

Oiless 방식의 공기압축기를 채택하였고, 압축기

후단에 냉각 건조기와 molecular sieve를 추가하여 완벽한 건조가 이루어지도록 하였다(Fig. 3 참조).

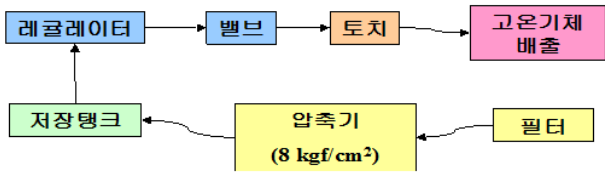


Fig. 3. Compressed Air Supply System.

2.1.6 폐액공급 장치

제염폐액 공급 장치는 폐액 보관용기와 물펌프 및 노즐로 이루어져 있다. 노즐의 손상을 방지하기 위해 노즐의 직경은 1 mm로 설계하였다(Fig. 4 참조).

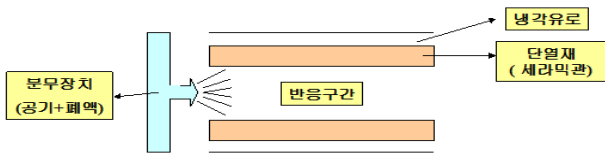


Fig. 4. Waste Water Supply System.

2.1.7 기타

EDTA, Oxalic acid 등이 포함되어 있는 제염폐액이 완전히 분해될 수 있도록 반응 시간을 충분히 늘릴 수 있는 구조로 설계하였다. 반응로 내부는 내화재를 사용해 2,200°C까지 견딜 수 있도록 냉각수 순환구조로 제작하였다(Fig. 5 참조).

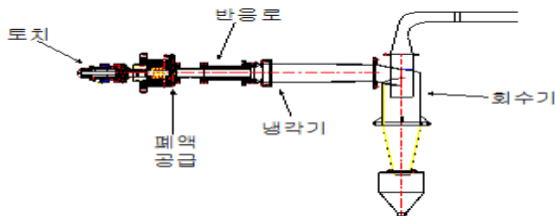


Fig. 5. Lay-out of Plasma Torch System.

2.2 제염폐액의 분해처리 및 배기체 정화

2.2.1 플라즈마 방전

토치의 정상적인 작동전압은 400-450 V 이지만, 이 값은 토치의 운전시간과 실험조건에 따라 약간씩 변할 수 있다. 반드시 확인되어야 할 것은 냉각수의 순환과 압축공기의 공급이다.

2.2.2 폐액의 분해

플라즈마 외부 온도는 2,000-3000°C이며 30 KW 급 토치의 경우, 불꽃의 길이는 30 cm 정도이다. 플라즈마의 내부로 분사된 폐액은 플라즈마 내에서 급속히 온도가 올라가면서 기화하고 화학적 분해가 진행된다. 노즐에서 미세한 방울의 형태로 분사시켜 빠른 속도로 분해할 수 있도록 하였다.

2.2.3 배기체 여과시험

2.2.3.1 정화장치 구성

전 계통제염, 원전 주요기기 및 SG 수실 제염 시 발생하는 유기산 방사성폐액을 플라즈마를 이용하여 분해 처리 시 발생하는 방사성입자를 제거하기 위해 정화설비를 Medium Filter, HEPA Filter 및 Charcoal Filter와 배출팬으로 구성하였다.

2.2.3.2 제염폐액의 특성

Na₂EDTA 0.5%, Oxalic Acid 0.2%, C-5 유기산 0.1%의 모의폐액에 방사성동위원소인 0.313mCi의 Co-60과 0.956mCi의 Cs-137을 첨가해 제조하여 실험을 수행하였다.

2.2.3.3 제염효과

Co의 농도가 Cs 보다는 다소 낮게 나타났으나 필터를 거치고 난 후단에서는 두 핵종 모두 거의 완벽하게 제거되어 환경방출 최대 허용농도 값을 만족시킬 수 있을 정도로 매우 낮게 나타났다.

Table 1. Decontamination Factor of Exhaust Gas Purification System

Nuclide	Activity of Mixed Waste Water (mCi)	Activity of Before Treatment (μCi/cc)	Activity of After Treatment (μCi/cc)	DF	MPCi (mCj/N m ³)
Co-60	0.313mCi	1.76E-1	4.0E-7	>4.4×10 ⁵	3.0E-6
Cs-137	0.965mCi	2.56E-2	8.0E-8	>3.2×10 ⁵	5.0E-7

3. 결론

가동 중인 원전 및 고리1호기 해체를 위한 제염 시 다량의 방사성유기제염 폐액이 발생할 것으로 본다. 발생 폐기물량은 처분비와 직결되기 때문에 환경에 영향을 주지 않으면서 처분 대상 물량을 대폭적으로 감용시키기 위한 신 감용기술이 개발되어야 한다. 최근 들어, 발생 배기체 중에 함유되어 있는 ³H, ¹⁴C 등도 선택적으로 제거할 수 있는 기술이 개발되고 있기 때문에 유기제염폐액의 완전 분해, 처리가 가능한 플라즈마 처리기술은 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

- [1] 강덕원 외 5명 "원전 주요기기 화학제염 및 장치개발" 01NR06.2003.08.
- [2] 니시무라 외 3명 "원자력시설의 제염기술".