

대기압 플라즈마 공정 기술을 이용한 제염설비 개발

진동식, 조천휘, 김종화, 전상환*, 김용수*

(주)액트, (305-509)대전시 유성구 관평동 705 한밭대학교 기술상용화센터 3층

*한양대학교, (133-791)서울시 성동구 행당동 17번지

ids@actbest.com

1. 서론

현재 국내에는 원자력발전소 등 원자력관계시설의 운영 중에 발생된 많은 양의 방사성 금속폐기물이 저장되어 있으며, 향후 원자력관계시설 등의 해체 시 막대한 양의 방사성 금속폐기물이 발생될 것으로 예상된다. 방사성 금속폐기물의 제염은 주로 전해제염과 같은 습식제염기술을 사용하고 있으나, 작업자의 안전 위험성과 다량의 2차 방사성폐기물이 발생하는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 전 세계적으로 플라즈마 제염공정 기술을 포함한 다양한 건식제염기술의 개발이 현재 진행 중에 있다. 본 연구에서는 건식제염기술로서 현재 상용화를 준비하고 있는 저온·저진공 플라즈마 제염공정 기술과 상호 보완적으로 활용될 수 있는 대기압 플라즈마 공정 기술을 적용한 제염설비를 개발하여 그 특성과 활용 가능성을 분석하였다.

2. 본론

건식제염기술로서 현재 상용화를 준비 중인 저온·저진공 플라즈마 제염공정 기술은 매우 높은 제염 효율성으로 그 기술성을 인정받고 있지만, 플라즈마 조건을 유지하기 위해서는 지속적인 진공상태와 이에 필요한 진공시스템 설비가 요구됨으로 현장 적용성(이동성)에 다소 제한적인 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점은 진공시스템이 요구되지 않는 대기압 플라즈마 공정 기술을 제염공정 기술에 적용할 경우 해결될 수 있으며 상호 보완적으로 활용될 수 있을 것이다.

현재 산업적 및 연구용으로 사용되고 있는 대기압 플라즈마 공정 기술을 제염공정 기술에 적용하기 위해서는 현장 적용성이 우수해야 하며, 필요시 방사성 금속폐기물의 모재를 회수 및 재사용하기 위해서는 300 ℃ 이하의 낮은 온도의 플라즈마 조건을 형성해야 한다. 이러한 조건을 만

족하고 경제성 및 효율성 등을 감안하면 Fig. 1과 같은 저온 플라즈마 토치 방식이 제염공정 기술에 적용될 수 있는 최적의 조건을 가지는 것으로 평가되었다.

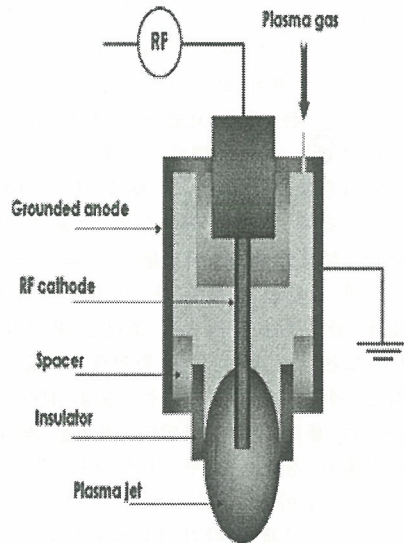


Fig. 1. The Cold Plasma Torch Mode

제염공정 연구를 위해 선정된 저온 플라즈마 토치 방식의 제염설비는 Table 1과 같이 입체면 처리를 위한 원통형 형식과 평탄한 대면적 처리를 위한 직육면체 형식의 두 가지 형식으로 제작되었다. 두 형식 모두 전원은 13.56 MHz의 RF 출력을 사용하였으며, 전극은 열 및 전도성이 우수한 알루미늄을 사용하였다. 또한 안정적이고 균일한 플라즈마의 발생을 위하여 두 전극 사이에 1 mm 두께의 석영관을 위치시켰다. 제작된 제염설비의 전극 형태별 최적의 공정조건을 도출하기 위해 플라즈마 기체로 사용된 헬륨 및 아르곤의 유량을 변화, 기체 조성비의 변화 그리고 인가되

는 RF 출력 변화에 따른 라디칼 강도 변화, 플라즈마 온도 분포 및 플레임 크기를 분석하였다.

Table 1. The Structural Characteristics of Electrode Types

구분	원통형	직육면체형
플라즈마 기체 방출 유효 면적	$4.78 \times 10^{-5} \text{m}^2$	$1.23 \times 10^{-4} \text{m}^2$
플라즈마 기체 유효 체적	$1.147 \times 10^{-6} \text{m}^3$	$5.852 \times 10^{-6} \text{m}^3$
중심 전극 표면의 면적	$1.206 \times 10^{-3} \text{m}^2$	$7.315 \times 10^{-3} \text{m}^2$

먼저 플라즈마 기체로 사용된 헬륨 및 아르곤 기체 각각의 유량률 변화에 따른 라디칼 강도 변화 실험에서 주어진 출력 조건에서 헬륨 유량율이 1 slm에서 10 slm까지 증가함에 따른 라디칼 강도 변화가 두 형식 모두 헬륨 유량율이 5 slm 정도에서 가장 큰 값을 보였으며 가장 안정적인 플라즈마 조건을 형성하였다. 이에 반해 아르곤 기체만을 사용할 경우에는 두 형식 모두 매우 불안정한 플라즈마 조건을 형성하는 것을 발견할 수 있었다. 하지만 헬륨 기체를 사용하여 안정적인 플라즈마 조건을 형성한 후 아르곤 기체를 혼합할 경우 안정적인 플라즈마 조건은 유지되지만 라디칼 강도는 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

효율적인 제염공정을 위해서는 일정 길이 이상의 플라즈마 플레임이 요구된다. 가벼운 헬륨 기체만을 사용할 경우에는 두 형식 모두 수 mm의 짧은 플레임 길이가 형성되었지만, 헬륨 기체에 무거운 아르곤 기체를 각각 10 slm 단위로 혼합할 경우에는 플라즈마 플레임 길이가 1.5 cm까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

플라즈마 조건에서 발생하는 라디칼과의 화학반응을 증대시키기 위해서는 일정 이상의 온도조건이 요구된다. 원통형 형식의 제염설비의 경우에는 헬륨 기체만을 사용할 경우가 더 높은 온도 조건을 형성하는 반면, 직육면체 형식의 제염설비의 경우에는 헬륨과 아르곤 기체를 혼합하는 것이 더 높은 온도조건을 형성하는 것을 확인하였다. 플라즈마 플레임이 형성되는 전극으로부터 거리에 따른 온도 분포는 두 형식 모두 비슷한 특성을 보였으며 5 cm 부근에서 대기 온도로 떨어지는 것을 확인하였다.

3. 결론

대기압 플라즈마 공정 기술을 제염공정 기술에 적용하기 위해 제작된 제염설비의 전극 형태별 특성분석을 통해서 최적화된 공정도출 및 현장 적용 가능성을 확인하였다. 따라서 지금까지 확보된 저온·저진공 플라즈마 제염공정 기술을 기반으로 현장 적용성이 뛰어난 대기압 플라즈마 제염공정 기술을 상호 보완적으로 접목한다면 방사성 금속폐기물 제염에 플라즈마 제염공정 기술의 우수성이 더욱 더 드러날 것으로 기대된다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력 연구개발 중장기 계획 사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] J. Park, I. Henins, H.W. Herrmann, G.S. Selwyn, J.Y. Jeong, R.F. Hicks, D. Shim, C.S. Chang, An atmospheric plasma source, Appl. Phys. Lett.76 (3) p.288-290, 2000
- [2] O. Goossens, E. Dekempeneer, C. Leys, D. Vangeneugden, R. Van De Leest, Application of atmospheric pressure dielectric barrier discharge in deposition, cleaning and activation, Surf. Coat. Technol. 142. 144 p.474-481, 2001
- [3] K. Niemi1, St. Reuter2, L. Schaper1, N. Knake1, V. Schulz-von der Gathen1, T. Gans3, Diagnostics on an atmospheric pressure plasma jet, Journal of Physics: Conference Series 71, 2007