

삼상 교류 플라즈마 토치를 이용한 CF₄분해기술

이 경호, 김 광수, 이 홍식, 임 근희
한국전기연구원

CF₄ abatement technique with 3 phase AC plasma torch

K. H. Lee, K. S. Kim, H. S. Lee, G. H. Lim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 본 논문에서는 반도체 제조공정에서 발생하는 CF₄의 분해와 제거를 위하여 3상 교류 플라즈마 토치를 제작하고, 플라즈마를 발생시켜 CF₄제거 가능성과 이에 따른 문제점에 대해 알아보았다. 매우 강하고 안정한 C-F결합을 깨고 CF₄가스를 분해하기 위해서는 1100(°C)정도의 고온이 필요한데, 본 실험의 플라즈마 플레임의 경우 CF₄가스를 열분해·광분해 시키기에는 충분한 온도와 에너지를 가지고 있다고 사료된다. 하지만 고온의 플라즈마와 토치 내부의 복잡한 유동과 고온의 플라즈마에 의한 전극의 용삭문제는 플라즈마를 연속적으로 발생시켜 CF₄가스의 제거효율을 높이기 위해서는 필히 개선해야 할 문제점인 것으로 사료된다.

1. 서 론

18세기말 영국에서 시작된 산업혁명 이후, 인류는 눈부신 과학기술의 발전과 산업화의 결과로 풍요로운 물질문명의 혜택을 누리게 되었지만, 도시가 비대해지고, 화석 에너지 및 공업용수의 사용이 급속히 늘어나, 대기오염, 수질오염 및 토양오염 등의 환경문제를 초래하게 되었다.

인류가 발명한 여러 가지의 신물질 중에서 PFC는 열과 화학약품에 극히 안정하며 비활성이고 무취·무취·무독성의 물질로 다른 화합물과 쉽게 반응하지 않는 우수한 물질로 인하여 금세기 최고의 화합물질 여겨졌으며, 자동차 에어컨, 냉동기의 냉매, 전자제품의 세정제, 폴리우레탄의 발포제, 스프레이 제품, 스티로폼 등 많은 제품에 쓰여왔다. 하지만 20세기 후반에 와서는 측정기술의 발달에 힘입어, 대기중의 오존층이 인류가 발명한 CFC라는 합성물질에 의하여 파괴되고 있고, 대기중에 탄산가스와 메탄 등의 온실효과가 꾸준히 증가하고 있다는 사실이 밝혀짐에 따라 Montreal protocol에 의해 전세계적으로 그 생산과 사용이 규제되기에 이르렀으며, 우리나라는 개도국으로 분류되어 단계적인 감축을 거쳐 2010년에 CFC의 사용이 전면금지 될 예정으로 있다. 이로 인하여 여러나라에서 그 제거방법이 연구되고 있고, 현재 알려져 있는 CFC의 분해 방법이나 회수방법으로는 연소(직접·간접)법, 열분해법, 촉매법, 시약법, 초임계수법, 플라즈마법 등이 있다.^{1),2),3)}

플라즈마는 제 4의 물질로 알려져 있으며 우리주변에서도 플라즈마 상태를 쉽게 찾아볼 수가 있다. 플라즈마는 크게 열플라즈마와 비열플라즈마로 나뉘는데 열플라즈마의 생성은 대부분 직류 아크방전이나 고주파 유도결합 방전에 의해 이루어진다. 플라즈마 기술의 발달에 따라 반도체 공정, 금속의 표면처리, 신물질의 합성, 의학분야, 환경분야 등 플라즈마가 제공할 수 있는 물질이나 환경의 영역이 확대되고 있으며, 그 응용분야가 넓어지고 있다.

본 논문에서는 이들 방법 중 열플라즈마를 이용하여 CFC가스 중의 하나인 CF₄의 제거 가능성을 알아보고자 한다.⁴⁾

2. 본 론

2.1 실험장치의 구성

본 논문에서 고안한 방식은 삼상 교류 글라이딩 아크에 의한 플라즈마 발생방식이다. 삼상 교류 플라즈마 토치를 가동시키기 위해서는 전원장치와 고온의 플라즈마에 노출되는 전극, 노즐, 토치를 빠른 시간에 냉각시켜줄 수 있는 냉각수 공급 장치, 그리고 플라즈마의 매질역할과 플라즈마를 제어 및 유도 할 수 있는 동작가스를 적절하게 공급해 줄 수 있는 가스공급시스템이 아주 중요하다.

플라즈마 발생 시스템의 구성은 그림 1에 나타난 바와 같이 플라즈마 토치, 전원장치, 수냉각장치, 가스공급장치로 구성되어 있다. 전원은 3상 교류전원을 사용하였으며, 380[V]나 440[V]에서 최상의 운전을 할 수 있도록 설계되었다. 그리고 가스공급 시스템에는 원활한 가스공급을 위해 50마력의 압축기가 사용되었으며, 분당 200리터 정도의 냉각수를 공급하기 위해 10마력의 가압펌프가 사용되었다.

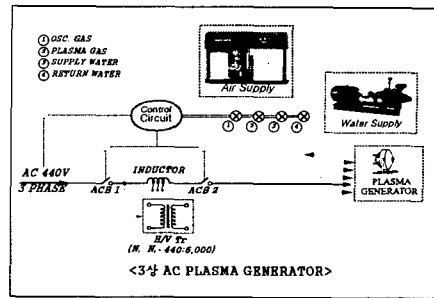


그림 1 플라즈마 발생장치의 구성
Fig. 1 diagram of plasma generator

2.2 삼상 교류 플라즈마 토치

그림 2, 3은 본 실험에 사용된 삼상 교류 비이행형 플라즈마 토치의 내부구성과 외형을 나타낸 그림으로써 토치는 인젝터(injector), 삼상구리투브전극, 노즐(nozzle), 그리고 챔버(chamber)로 구성되어 있었다. 토치의 재질은 스테인레스 스틸을 사용하였으며, 챔버내부의 전 부위에 냉각수를 형성하여 물로 냉각이 가능하게 하였다. 또한 챔버 벽면에 접선방향으로 고속의 플라즈마 반응기체용 냉가스를 주입하여 전극 사이에 와류를 형성시킴으로써 원심력 차이에 의해 상대적으로 차가운 기체는 벽쪽으로, 뜨거운 기체는 아크 축으로 몰려 열적으로 잘 보호된 상태에서 아크 방전을 축을 따라 수축된 형태로 안정되게 하여 챔버 벽면이 고온의 플라즈마와 직접 접촉하는 것을 방지했다.

인젝터는 단상 교류를 이용한 소형 플라즈마 토치로서 단상 교류방전의 특성상 다소 불안정한 방전을 일으키지만 사용전압이 5[kV] 정도의 고전압이어서 초기방전이

유리할 뿐 아니라 상대적으로 방전에 의한 전기기체의 밀도가 높아지므로 주전극간의 방전을 유도하는데 유리하다는 장점이 있다.⁵⁾

전극은 고온의 플라즈마와 직접적으로 접촉을 하므로 다른 부품에 비해 수명이 짧아 전체 플라즈마 발생시스템의 연속적 사용능력을 저하시키므로, 전극의 마모나 손실을 줄이기 위한 전극의 생각은 매우 중요하다. 따라서 전극은 내부에 수냉각이 잘 되도록 냉각수로를 형성한 구리튜브를 사용하여 제작하였으며, 발생된 아크가 전극 위를 어느 정도 클라이밍하면 아크가 쉽게 소멸될 수 있도록 설계되었다.⁶⁾

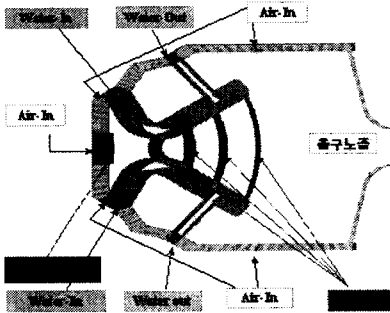


그림 2 플라즈마 토치의 내부구성
Fig. 2 Inside of plasma torch

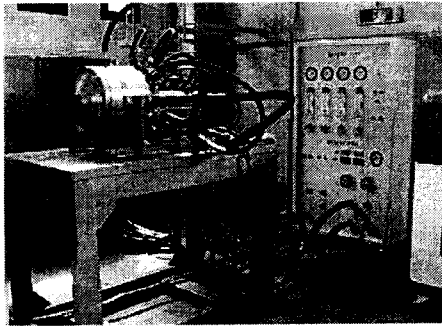


그림 3 플라즈마 토치
Fig. 3 Plasma torch

2.3 플라즈마의 발생

그림 4는 본 실험에 사용된 토치에서 발생된 플라즈마를 나타낸 그림이다. 단상교류의 고전압에 의해 인젝터에서 발생한 고밀도의 전기기체는 삼상전극의 절연과피를 유도하여 주 아크방전을 개시하고, 주입되는 동작가스에 의해 플라즈마 플레임을 형성하여 노즐 바깥으로 분출된다. 토치내부 공기의 밀도와 압력은 토치 내부의 전극 사이가 최단 거리가 되는 영역에서 최소가 되고, 이후 점차 밀도와 압력이 증가하여 전극을 지나 토치 중간 부분에서는 거의 일정한 값을 유지하면서 노즐을 통하여 분출된다. 이때 노즐을 통하여 분출되는 플라즈마 플레임의 속도는 30(m/s)정도이고 온도는 5000[°C]정도의 고온이다.

하지만 이로 인한 전극부위의 용삭이 예상되었고, 실험 결과 그림 5와 같이 전극 끝 부분의 용삭이 발견되었다. 전극의 끝 부분은 냉각수가 닿지 않아 전극 다른 부분보다 냉각이 느리다. 또한 전극의 용삭이 일어나는 영역은 토치에서 유입된 공기와 출구노즐 사이에서 유입된 공기의 유동이 서로 엇갈리며 혼합되는 곳이기 때문에 매우 복잡한 유동을 보이는 영역이다. 이로 인한 전극의 용삭은 연속적인 플라즈마의 발생을 위해서 앞으로 해결

해야 할 과제중의 하나이다. 또한 AC플라즈마 토치의 단점중의 하나인 플리커 현상도 발견이 되었으며, 이 또한 플라즈마의 안정화를 위해 해결해야 할 과제중의 하나이다.

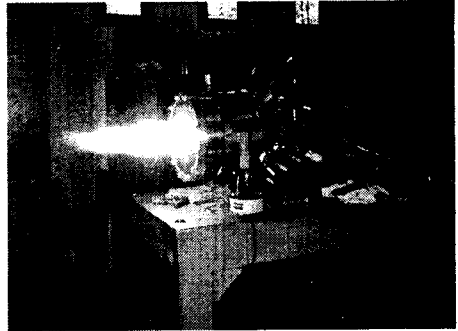


그림 4 플라즈마 발생
Fig. 4 Generation of plasma

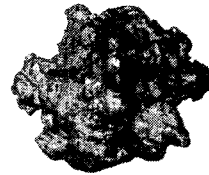


그림 5 플라즈마에 의한 전극의 용삭된 덩어리
Fig. 5 Melting lump of electrode by plasma

2.4 CF₄제거 가능성

C-F결합은 매우 강하며 안정화된 결합이다. 그러므로 이들 물질은 분해되지 않고 성충권까지 이동해 오존층에서 강한 자외선에 의해 염소기와 불소기로 광해리 되고, 오존과 반응해 오존노출을 저감시킨다. 통상 CF₄가스의 분해에는 1100[°C]정도의 고온이 필요하고, 이 정도 고온의 분위기를 만들기 위해서는 기계적인 장치가 따로 필요하다.

본 실험에서 사용된 플라즈마 토치의 경우 인젝터에 의한 아크의 온도가 2000[°C], 삼상 전극에서 플라즈마 플레임이 발생하는 부분의 온도는 10000[°C], 노즐을 통해 뿜어져 나오는 플라즈마 플레임의 온도는 5000[°C]정도이다. 이 플라즈마 영역으로 CF₄가스를 통과시키면 플라즈마에 의한 열분해와 광분해에 의해 대용량의 CF를 높은 분해율로 분해할 수 있으리라 사료된다. 하지만 토치에 유입되는 반응가스와 노즐을 통해 뿜어져 나오는 플라즈마 플레임의 속도가 워낙 빠르기 때문에 유입되는 CF₄의 효율적인 분해를 위해서는 노즐의 크기라든지, 유량의 변화 등이 필요하리라 사료된다.

3. 결 론

본 논문은 지구 온난화 가스로 분류되어 규제 대상이 된 CF₄가스를 분해·제거하기 위해 삼상교류를 이용한 플라즈마 토치를 제작하여 플라즈마를 발생시키고, 이때 발생하는 문제점과 해결방안, 그리고 CF₄제거 가능성에 대해 알아보았다.

1) 플라즈마 발생시 AC플라즈마 토치의 문제점인 플리

커 현상이 발견되었고, 고온의 플라즈마와 토치내부의 유동에 의한 전극의 용삭현상도 나타났다.

2) 토치에서 발생된 플라즈마 자체의 높은 온도는 CF_4 가스를 분해하기에는 충분한 에너지를 가지고 있다고 사료되나 노즐을 통해 분출되는 속도가 매우 빠르기 때문에 CF_4 가스의 효율적인 분해를 위해서 노즐의 크기, 유량의 조절 등이 필요하다고 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Victor Vartanian et al, "Plasma Abatement Reduces PFC Emission", SI, June 2000
- [2] Victor Vartanian et al, "Litmas plasma abatement long-term reliability test", Electrochemical Society Proceeding Volume, 2000-7
- [3] Xing Chen, William Holber, Max peter, " AN EFFICIENT-RELIABLE PLASMA TOOL FOR PFC ABATEMENT", Electrochemical Society Proceeding Volume, 2000-7
- [4] P. Fauchais and A. Vardelle, "Thermal Plasmas", IEEE Trans. PS vol.25 no.6, pp1258-, 1997
- [5] P.G. Rutberg et al, "Strong-current arc discharges of alternating current", IEEE Trans. PS vol.26 no.4, pp1297-, 1998
- [6] F. Richard, et al, "Physical study of a gliding arc discharge", J. Appl. Phys. 79(5), pp2245-, 1996