

오존발생을 위한 알루미나 방전관의 전하수송 특성

김병섭, 이성욱, 박강일, 이수호, 곽동주

경성대학교

Charge Transportation Characteristics of Alumina Discharge Chamber for Ozone Generation

Byung-Sub Kim, Sung-Wook Lee, Gang-Il Park, Soo-Ho Lee, Dong-Joo Kwak

KyungSung Uni

Abstract

In this paper, the discharge characteristics of silent discharge chamber with 2mm and 3mm gap spacings were investigated. Dielectric of Al_2O_3 was embedded in the cylindrical type of discharge chamber. It was known that V-I and P-V characteristics depend strongly on the charge transportation characteristics, and in the low frequency silent discharge mode of operation, discharge voltage was always sustained to V_d , irrespective of applied voltage.

Key Words : silent discharge, discharge current, charge transportation, lissajous figure, power consumption.

1. 서론

전극의 한쪽 또는 양쪽 표면을 유전체로 감싸고 교류전압을 인가하면, 전극간에 발생된 전하가 전극으로 바로 유입되지 않고 유전체에 축적하게 되는데 이 벽전하를 이용하여 방전의 효율을 높이고자 한 것이 무성방전(silent discharge)이다. 특히 무성방전은 오존발생을 위한 오존나이저(Ozonizer)를 비롯하여 PDP(Plasma Display Pane), CO_2 레이저 및 평면광원 등에 활발히 적용되고 있으나, 방전이 전극의 전면에 배치되어 있는 유전체를 통하여 발생하게 때문에 방전시 전극사이의 전압의 변화를 직접 측정하기 어려우며, 방전 전극사이에 발생하는 전위차 역시 외부 인가전압과 큰 차이가 있어 방전의 해석이 매우 어려운 방전양식이다. 또한 무성방전시 유전체 표면에 축적되는 벽전하(wall charge)는 시간적으로나 공간적으로 매우 불

규칙하게 분포하는 수 ns~ μ s 의 많은 미소방전(microdischarge)을 동반하므로, 무성방전에 대한 정확한 이해 및 방전의 제어를 위해서는 벽전하의 축적현상을 비롯하여 전하수송특성, 그리고 벽전압 및 방전시의 소모전력등에 대한 정확한 측정 및 계산이 이루어져야 한다. 이에 본 연구에서는 높은 유전율로 전하축적효과가 우수한 알루미나(Al_2O_3) 방전관을 제작하여, V-Q 리샤주도형을 이용하여 무성방전시의 제 특성을 논하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

무성방전의 특성을 조사하기 위해 실험장치의 구성은 그림 1과 같다. 방전관에 공급되는 원료가스는 순수산소(99.99%)를 사용하였으며, 이 원료가스의 유량을 조절하기 위해 MFC(Mass Flow

Controller)를 사용하였다.

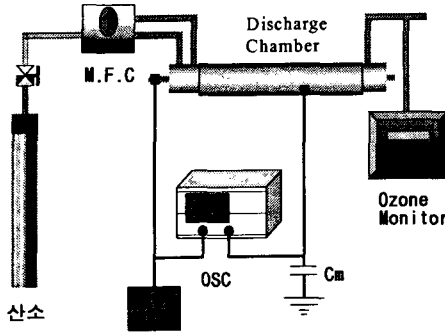


그림 1. 실험장치의 개략도

무성방전 시 전압, 전류를 비롯한 각종 방전 파라미터의 측정에는 오실로스코프 (HP 54540A)와 전류루부시스템(Tekronix TM502A) 그리고, Power Analysis(PM3300)를 이용하였다.

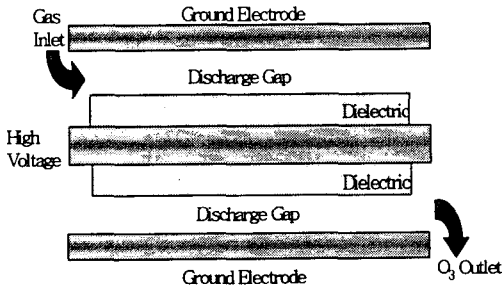


그림 2. 오존발생기의 구조도

그림 2은 오존발생기의 구조도를 나타낸다. 고전압 전극 측에 높은 유전율로 인하여 많은 벽전하의 축적이 기대되는 알루미늄(Al_2O_3)유전체를 삽입하였고, 인가된 전압주파수의 영향을 배제하기 위하여 상용주파수인 60Hz로 하였다. 무성방전의 전하수송특성에 전극간격의 효과를 검토하기 위해 갭간격을 2mm와 3mm로 하였고 방전관에 주입되는 원료 가스의 유량은 0.5 L/min으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 외부인가전압(V_p)과 전하파형을 나타낸다. 전하는 전극로 부터 힘을 받아 각각 반대극성의 전극으로 이동하게 되나, 고전극의 전면에 유전체가 존재하므로 전하는 전극에 유입되지 않고, 벽

전하로 남게되어 이 벽 전하가 다음 반 사이클에는 전극의 전계와 벽 전하의 전계 방향이 일치하므로 방전이 용이하게된다. 즉 한 번 방전을 일으키면 그 후에는 낮은 전압에서도 방전을 유지할 수 있게된다,

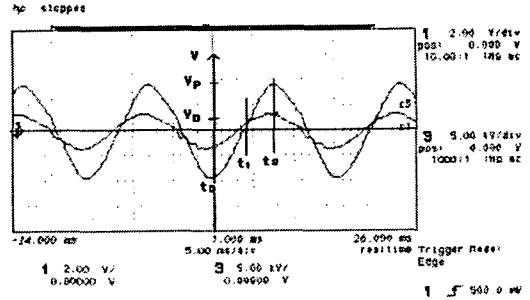


그림 3. 외부인가전압과 전하파형

한편, 본 연구의 경우 Al_2O_3 에 축적되는 전하량을 그림 3에서 추정해보면,

$$\Delta Q = C \Delta V \quad (1)$$

이다. t_0 에서 t_2 사이에 전송되는 총 전하량은

$$Q_{02} = C_d 2 (V_p - V_d) \quad (2)$$

$$Q_{01} = C_g 2 V_d \quad (3)$$

이므로 방전시 하전입자의 이동은

$$\begin{aligned} \Delta Q &= Q_{02} - Q_{01} \\ &= 2 (C_d (V_p - V_d) - C_g V_d) \quad (4) \end{aligned}$$

로 된다. 단, 여기서 V_p 는 외부인가전압의 피크치, V_d 는 방전유지전압을 나타낸다.

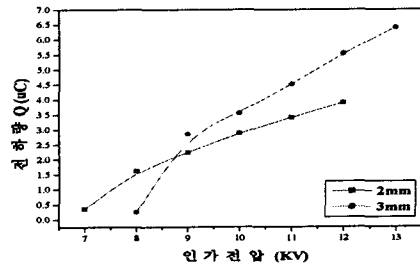


그림 4. 인가전압에 대한 전하량

그림 4는 알루미나 방전관의 축적전하량 특성을 나타낸다. 그림으로부터 방전이 개시되면 전하량은 전극간격에 관계없이 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

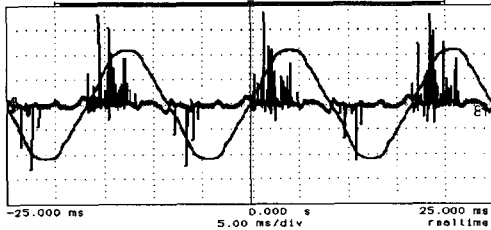


그림 5. 인가전압에 대한 방전전류

그림 5는 전형적인 무성방전의 방전전류와 방전 전압과형을 나타내고 있다. 인가전압의 반주기 동안에는 전압이 증가하여 최대치에 이를 때까지 전류가 발생하며 전하가 수송되어 유전체에 축적되기 시작하여 외부전계와 역방향의 내부전계가 힘이 같아질 때 방전은 멈추고 전류는 흐르지 않게 되는 과정을 반복하여 무성방전의 발생 및 유지를 할 수 있게 된다.

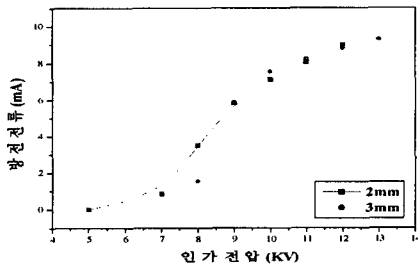


그림 6. 인가전압에 대한 방전 전류

그림 6에 인가전압의 변화에 대한 방전전류를 나타내었다. 방전전류는 방전이 발생되어 오존이 생성될때 측정된 전압치 및 전류치를 6주기동안 10회 측정하여 산술평균으로 1주기당의 전류치를 나타내었다. 인가전압이 상승함에 따라 방전전류도 증가함을 알 수 있다. 한편 그림 5 및 6 으로부터 인가전압의 정의 구간과 부의 구간에서 형성되는 전류가 다름을 알 수 있다. 이는 고전압측 전극이 유전체로 보호되고 있는 반면, 접지측 전극에는 많은 하전입자의 충격으로 갭내에 불평등 전계가 형성

됨으로써 생기는 극성효과에 기인한 것으로 생각 된다.

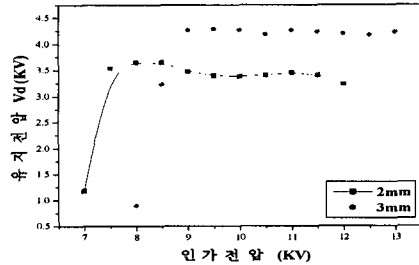


그림 7. 인가전압에 대한 방전유지전압

축적전하 및 소비전력등 무성방전의 제 특성을 논의함에 있어, V-Q Lissajous 도형을 이용한다. 일반적으로 V-Q Lissajous 도형은 인가전압의 전압상승 속도 및 주파수에 따라 그 모양이 크게 변화하는데 본 연구에서와 같이 전압상승시간이 구형파 등에 비해 비교적 완만한 60Hz의 정현파 전압의 경우, V-Q Lissajous도는 그림에서 보는 바와 같이 전형적인 저주파 무성방전의 형을 취하고 있다.

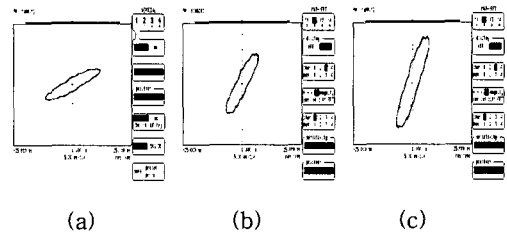


그림 8. (a) quartz, (b) pyrex, (c) Al_2O_3

즉 1주기의 정현파 전압을 인가할 때 각각 2번씩의 방전구간과 비방전구간이 존재하며 방전기간 중의 방전전압은 방전유지전압 V_d 로 일정하게 유지되어, 전극간에는 균일한 미소방전이 간헐적으로 발생한다. 방전시 방전 유지전압이 일정함은 인가전압을 상승하여도 V_d 가 변화하지 않는다는 사실로부터 확인할 수 있었다. 또한 방전구간에는 방전에 의한 벽전하가 서서히 축적되며, 동일한 인가전압하에서 축적된 전하량은 사용한 유전체의 종류에 따라 다름을 알 수 있다. 즉 Al_2O_3 의 경우가

타 유전체에 비해 다량의 전하를 축적하여 1회 방전시의 이동전하량도 가장 많음을 그림의 도형과 종축이 만나는 폭의 차이로부터 알 수 있다. 한편 방전관에 전압을 인가하여 절연파괴전압에 이르면 방전개시와 전류가 형성되며, 전하수송이 시작되어 유전체에 벽 전하를 축적하며 방전개시전압은 방전유지전압레벨로 감소하게 된다. 이 방전유지전압이 오존발생에 기여를 하는 영역이 된다.

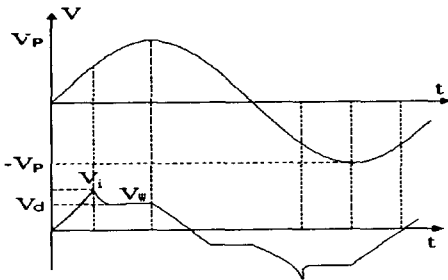


그림 9. 방전시의 유지전압과 벽전압.

본 실험에서의 절연파괴전압(Vi)은 2mm와 3mm에서 각각 6.7KV 와 7.8KV 였다. 그림에서 보는 바와 같이 방전유지전압은 유전체에 축적되는 벽전압(Vw)에 의하여 일정함을 알 수 있다.

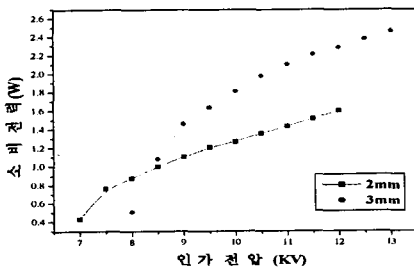


그림 10. 인가전압에 따른 소비전력

본 연구에서 방전공간의 정전용량 $C_g = 4.2408 \times 10^{-11} [C]$, 삽입된 유전체의 정전용량 $C_d = 3.4034 \times 10^{-10} [C]$ 임을 고려하여 인가전압에 대한 방전유지전압을 이용하여 방전관에 소비되는 전력을 계산하여 그림에 나타내었다. 그림으로부터 인가

전압이 증가함에 따라 소비전력도 선형적인 증가 경향을 보이고 있음을 알 수 있으며, 이는 그림 6의 인가전압에 대한 전류 특성에서와 마찬가지로 인가전압의 증가에 대한 수송전하량의 증가경향과 매우 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 오존 생성을 위한 원통형 무성방전관을 제작하여 방전특성에 미치는 영향을 순수 산소를 원료가스로 사용하여 무성방전의 전하수송 특성을 연구하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 방전관의 전압과 삽입캐패시터의 비로 형성된 리사쥬도형을 통하여 소비전력 및 전하량 그리고 방전시의 유지전압을 알 수 있었다.
- (2) 전압상승 시간이 완전한 60Hz의 정현파 전압의 경우, 방전유지전압은 인가전압에 관계없이 일정하였다.
- (3) 인가전압에 대한 방전전류 및 소비전력의 증가 경향은 방전시 수송전하량의 증가추세와 일치하였다.

참고 문헌

- [1]. 조성호, 이주봉, “오존발생장치 및 오·폐수처리 적용 현황(I)”, 첨단 환경기술, 1월호, pp.16~25, 1994
- [2]. Bernie M. Penetrante, “Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution control”, Part B, pp.212~221, 1993
- [3]. Rachel Feng, “Automated System for Power Measurement in the Silent Discharge”, IEEE Transactions on Industry Applications, V.34 N.3 pp.563~570, 1998
- [4]. Shengpei wang, “A Novel Silent Discharge Type Ozonizer using Pulse Density Modulated High Frequency Inverter” Proceedings of The 1999 IEEE Industry Applications Meeting - Volume 2, pp.764~722, 1999