

직·교류 중첩방전을 이용한 오존발생 특성 연구

위 상 봉, 홍 성 기
한국기술교육대학교

안 희 성
일본사가(佐賀)대학교

Studies on Characteristics of a Superposition Type of Ozonizer with DC and AC Discharges

Hong-Sung Hong, Sang-Bong Wee Hee-Sung Ahn
Korea University of Technology and Education, Sa-Ga University (in Japan)

Abstract - 본 연구는 AC 전원을 인가하여 좁은 전극간격에서 고수율을 얻을 수 있는 연면방전방식(Surface Discharge type)과 DC 전원을 인가하여 넓은 전극간격에서 저수율을 가지는 DC방전방식(DC Discharge type)을 중첩방전 할 수 있도록 중첩방전관을 설계·제작하여 각각 독립적인 방전방식을 적용하였을 때의 방전전압, 방전전류, 방전전력 및 오존생성농도를 실험적으로 조사하고, 두 방전방식을 동일공간에 중첩방전하여, 위 실험을 반복하고 중첩방전이 동일방전공간에 투입에너지 밀도를 높임으로써 방전특성 및 오존생성특성을 비교·분석하였다.

1. 서 론

1785년 방전이 일어날 때의 특유한 냄새가 나는 기체가 발생된다는 것이 Van Marum에 의해 최초로 기록되었지만, 그것이 오존이라고 확인된 것은 1840년에 Schonbein에 의해 새로운 물질로 발표된 이후 1867년 Soret에 의해 오존이 산소의 동소체(同素體)인 O_3 라는 사실이 확정되었다.

이러한 오존은 음용수 정수처리, 폐수처리, 공장굴뚝 매연과 자동차 배기가스의 주성분인 NO_x 처리, 발전소 굴뚝매연 주성분인 SO_x 처리, 펄프지의 표백처리, 반도체 기관 세정용 유기용매제(폐놀 등) 처리 등등 수 많은 분야에서 이용되고 있다.

또한 오존의 발생은 두 개의 전극간에 유리를 삽입하여 기체방전을 시키면 이른바 무성(Barrier or Silent)방전이 일어나는데 이것을 이용하여 오존의 대량생산을 가능하게 한 것은 유명한 전기공학자 Wener Von Siemens(1857년)이며 그 이후 지금까지 오존발생기의 대부분이 이 구조를 가지고 있다. 그러나 이 무성방전형 오존발생기는 오존생성수율이 열화학반응식을 고려한 이론치에 비하여 대단히 낮기 때문에 방전 및 오존생성에 영향을 미치는 원료가스의 종류, 온도, 습도, 인가전압, 전류 및 전력 등의 제인자에 관한 연구를 통한 오존생성수율의 향상이 필연적이라 할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 오존생성수율 및 농도의 향상을 목적으로 두 가지의 전원을 이용한 직·교류중첩방전형 오존발생기를 제안하고, 실험을 통해 직·교류중첩방전형 오존발생기의 특성을 조사하였다.

2. 실험장치와 측정시스템

연면(AC)방전과 DC방전의 중첩을 위해 그림1과 같은 오존발생기를 제작하였다. 먼저 대기압에서 2차(전자)방출계수(γ : secondary emission coefficient)가 비교적 큰 직경 0.1mm의 텅스텐선을 DC 인가전극(stressed electrode)으로 하였다. 그리고 세라믹(Al_2O_3 : Alumina, 순도: 96%, 비유전율 $\epsilon_r = 9$) 평판 위에 폭 0.3 mm의 산화루테니움(RuO_3 : Ruthenium Oxide) 1개의 띠(strip)과 평판 하부에

110×10 mm의 동테이프로 구성된 전극을 연면방전(AC)용 고전압 인가전극으로 이용하였다. 중첩방전의 효과를 측정하기 위해 AC 인가전극의 경계선부를 세라믹 접착제로 처리해 방전이 발생하지 않도록 하였다. 이러한 전극은 그림 2에서 보는 바와 같다. AC와 DC 전극 전체의 공통접지는 평판전극 상부의 산화루테니움 띠선으로 하였다. 두 전극간의 간극은 4.5mm이며 산소가스를 분당 1.5 l/min 이 공간에 흘려주었다.

투입전력을 측정하기 위해 전력량계 (Portable Single Phase Low Power Factor Wattmeter, Yokogawa Electric Works, Ltd, Type 2041)를 인가전압 입력단인 전압 조정용 slidax와 승압용 네온변압기 사이에 두었다. 또한 투입전력측정과 동시에 방전전류를 측정하기 위해 AC와 DC용 아날로그 mA 전류계(Yokogawa Electric Works, Ltd)를 접지전극과 시스템 공통접지점 사이에 직렬로 삽입하였다. 방전전류 파형을 측정하는 경우에는 이 전류계 대신에 50 Ω 일 반저항을 삽입하여 사용하였다. 인가전압은 TDS 380P Oscilloscope(Tektronix사)와 고전압용 프로브(TEK P6015A)를 이용해 측정하였다. AC 인가전압은 4.1, 4.9 kVrms, 정극성 DC 인가전압은 7.4, 7.8 kVrms 로 고정하고 이 4가지 인가전압을 조합하여 오존발생량과 방전전력과 방전전류 등을 측정하였다.

오존발생량은 자외선 흡수방식(ultraviolet absorption)을 이용하는 Ozone Monitor(Ebara Jitsugyo, 일본)를 사용하여 30초 간격으로 10분간 측정하였다. 이 측정을 적게는 3번 많게는 10번 정도 반복하여 재현성(reproducibility)을 확인하였다.

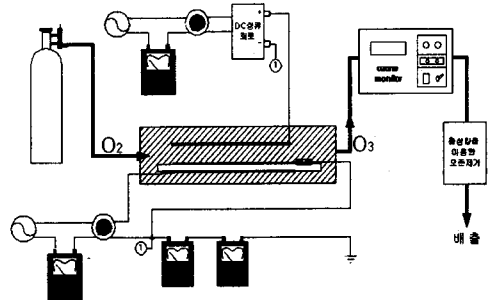


그림 1. 오존발생기와 측정시스템 개요도

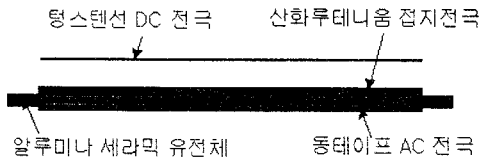


그림 2. 방전관 상세도

2. 측정결과

2.1 오존농도와 중첩효과

중첩방전에서 측정된 오존농도(CM)와 각각의 방전에서 측정된 오존농도의 합(CS)과의 차이가 0이상($CM - CS > 0$)이 되면 이를 중첩방전효과(synergistic effect)라고 정의할 수 있다. 중첩방전에서 실제로 중첩방전효과가 나타나는지를 알아보기 위하여 중첩방전에서 측정된 오존농도와 개별방전(individual discharge)에서 측정된 오존농도 합의 비교 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 2개씩의 막대그래프가 4개의 그룹으로 나뉘어져 있다. 각 그룹에서 좌측의 막대그래프는 중첩방전에서의 오존농도 심측치를 나타내고 우측의 막대 그래프는 개별 방전에서 측정한 오존농도의 계산합을 나타내고 있다. 이 그림에서 x축에 나타난 수치는 인가전압조절용 Slidax의 수치이다. 즉 AC 25와 30은 각각 4.1, 4.9 kVrms의 AC 인가전압, PDC 37과 40은 각각 7.4, 7.8 kV의 정극성 DC 인가전압을 나타낸다. 이러한 AC와 DC전압을 조합해 인가하여 중첩방전을 발생시킨다. 이 그림에서 알 수 있듯이 중첩방전효과는 저 정극성 DC 전압이 인가된 경우, 즉 약한 정극성 DC 방전이 일어나는 상태에 AC방전이 중첩되는 경우에만 일어난다는 것을 알 수 있다. 이로부터 중첩의 효과는 DC방전영역에서 발생하며 연면방전에 의해 발생한 전자들이 DC방전영역으로 이동한 결과 나타난다고 추정할 수 있다. 이는 그림 4로부터 쉽게 추측할 수 있다. 즉 연면방전의 경우 방전의 방향이 수평방향(그림 3. (a))인데 비해 중첩방전에서의 연면방전의 방전방향은 대부분 DC방전의 방향인 수직방향(그림 3. (b))인 것을 쉽게 알 수 있다. 따라서 DC방전에 연면방전에 의해 생성된 전자들이 첨가되면 증가된 전자에 의해 DC 방전이 강화되며, 또한 이로 인해 산소 분자의 해리와 오존생성이 증가된다고 보여진다. 하지만 강 DC방전에서는 DC방전의 강화정도가 아크발생이 발생하기 직전까지의 상태로 되어 전자에 의한 오존생성보다 전체적인 가스 온도 상승으로 인한- 상호간의 충돌현상이 증가 - 오존해리가 더욱 더 활발하게 발생하여 중첩 효과가 감소되는 것으로 추정된다.

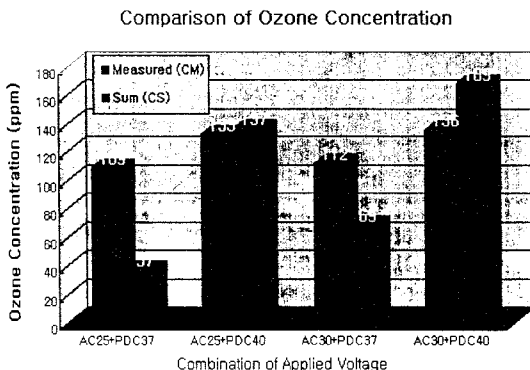
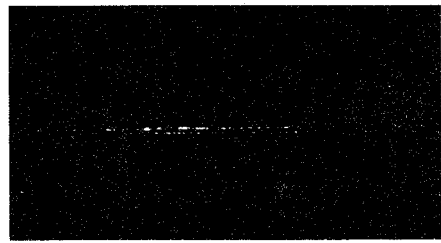
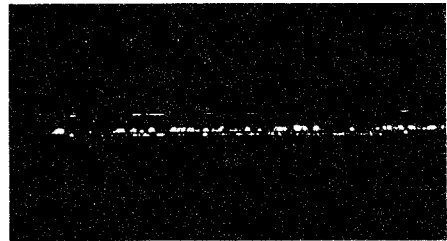


그림 3. 중첩방전에서의 오존농도와 개별방전에서의 오존농도 합의 비교



(a) 연면방전 단독 방전시의 방전형태



(b) 중첩방전에서의 방전형태

2.2 투입전력 측정과 수율

전류계를 이용해 얻은 연면방전 단독 방전전력이 V-Q Lissajous 도형에서 얻은 연면방전 단독 방전전력과 큰 차이를 보이므로 전류계를 이용한 방전전력의 측정은 정확하다고 할 수 없다. 그러나 측정용 capacitor로는 중첩방전에서의 방전전류의 변화를 측정할 수 없으므로 전류계로 중첩방전에서의 방전전류 변화를 측정하였다.

또한 전력계를 이용해 얻은 투입전력으로 측정 오존농도를 나눈 수율 계산 결과는 그림 4과 같다. 그림 5에서 3개씩의 막대그래프가 4개의 그룹으로 나뉘어져 있다. 각 그룹에서의 좌측 막대그래프는 중첩방전의 수율, 중앙의 막대그래프는 단독 연면방전의 수율, 그리고 우측의 막대그래프는 단독 DC방전의 수율을 나타낸다. 즉 그림에서와 같이 투입전력을 이용하여 계산한 오존생성수율을 각각의 방전시 수율들과 비교해 보면, 중첩방전의 수율은 단독 연면방전과 단독 DC방전 수율의 중간이거나 단독 DC방전의 수율과 거의 동일하다는 사실을 확인할 수 있다.

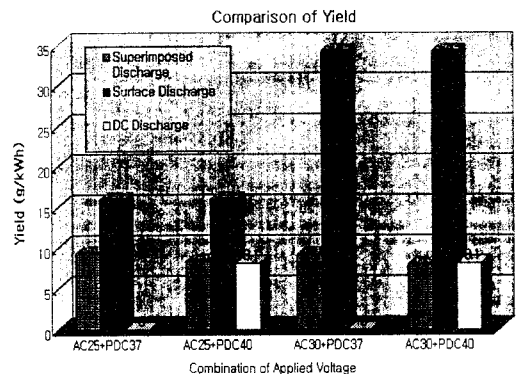


그림 4. 중첩방전에서의 오존수율과 개별방전에서의 오존수율 비교

3. 결 론

이 논문에서는 중첩방전에서 발생하는 중첩효과와 발생원인을 규명하기 위해 방전전력과 방전전류에 대한 기초적인 분석을 시도하였다. 방전전력의 경우 기존의 V-Q Lissajous 도형 대신에 아날로그 전류계와 Oscilloscope를 이용한 결과 두 방전전력간 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 중첩방전 내에서의 방전전류 변화를 조사하기 위해 전류계를 사용하였다. 그 결과 연면방전과 DC방전 모두가 상호간에 큰 영향을 미치며, 특히 연면방전이 중첩방전에서 DC방전에 큰 영향을 미치고 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 이러한 사실에 대한 분석 결과를 구체적으로 요약해보면 다음과 같다.

(1) 중첩효과는 강 정극성 DC방전보다는 약 정극성 DC방전을 연면방전에 중첩한 경우에만 발생하였다. 그 이유는 연면방전에서 발생한 전자들이 DC방전에 첨가되어 DC방전을 강화시키지만 강 정극성 DC방전의 경우 아크로 이행되기 직전 상태에 도달해 첨가된 전자에 의한 오존 생성보다 전체적인 가스온도 상승으로 인한 오존해리가 더 많이 일어나기 때문인 것으로 추정된다.

(2) 따라서 이렇게 증가된 전자들에 의해 중첩방전내에서의 연면방전전력과 정극성 DC방전전력은 단독 방전시의 방전전력보다 증가하였다. 물론 중첩방전내에서의 각각의 방전전류도 증가한다는 사실을 확인하였다.

(3) 중첩방전의 투입전력 중에서 연면방전의 투입전력은 단독 방전시의 투입전력과 변화가 없으나 정극성 DC방전의 투입전력은 단독 방전시 투입전력에 비해 약 1 W 정도 증가하였다.

(4) 정극성 DC방전전류는 연면방전 방전전류에 비해 크기가 매우 작고 발생횟수도 매우 적다. 이로부터 중첩방전에서의 방전전류는 연면방전의 방전전류의 특성에 크게 좌우된다는 것을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Changjun Liu, Abdulathim Marafee, Bobby Hill, Genhui Xu, Richard Mallinson, and Lance Lobban, "Oxidative coupling of methane with ac and dc corona discharge", Transaction on Industrial & Engineering Chemistry Research, 1996, 35, pp3295
- [2] T.Murata, S.Moniwa, Y.Okita, Kanemura, K.Terai, "High concentration ozone generation in surface discharge", Proceedings of 13th Ozone World Congress Kyoto, Japan, Vol.2, Oral Presentation, 1997
- [3] F. Hegeler, H.Akiyama, "Ozone generation by positive and negative wire-to-plate streamer discharge", Japan Journal of Physics, Vol.36, 1997, pp.535-539
- [4] C.Yamabe, N.Katsuki, S.Ihara, "A positive streamer generation with a wire-to-plane electrode and an effect of a superposition of positive streamer and surface discharge on ozone generation", Report of the Faculty of Science and Engineering, Saga University, Vol.24, 1996
- [5] R. Peyroux, "The effect of relative humidity on ozone production by corona discharge in oxygen or air - a numerical simulation - part I: oxygen", Ozone Science & Engineering Vol. 12, No. 1, 1990, pp.23

투입전력은 전원인가부에서 측정하므로 중첩방전과 상관 없이 언제나 일정할 것으로 예상하고 측정을 하였으나 DC방전의 경우 중첩방전에서 투입전력이 단독 DC방전에서의 투입전력보다 증가되는 현상을 나타내었다. 즉 연면방전전력의 경우 중첩방전내에서 DC인가전압과 관계없이 투입전력은 AC인가전압에 의해 틀러지며 단독 연면방전시 투입전력과 비교해 보아도 중첩방전시 투입전력은 변화가 없다. 그러나 DC방전의 경우 중첩방전시 투입전력은 AC 인가전압과 무관하게 DC인가전압에 의해 변하는 것은 연면방전전력의 경우와 동일하나 중첩방전의 투입전력이 단독 DC방전시의 투입전력보다 약 1 W 정도 증가 되는 현상을 보여준다. 이는 DC방전이 중첩방전에서 연면방전의 영향으로 인해 아크로 이행되는 과정 중에 나타나는 변화로 추정된다.

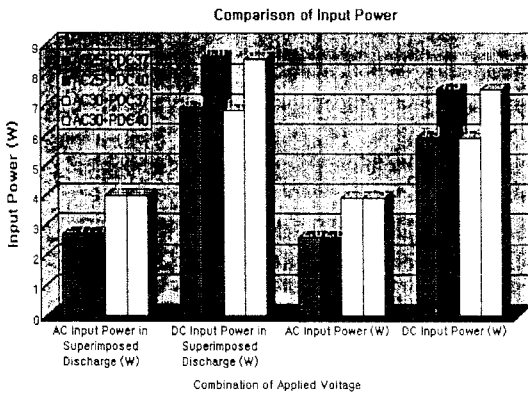


그림 5. 중첩방전전력과 개별방전전력 비교

2.3 방전전류파형의 측정

각 방전에서 방전전류파형을 측정하기 위해 아날로그 mA 전류계 대신 50 Ω 저항을 접지측에 직렬로 연결하고 그 양단에 걸리는 전압을 1:1 프로브를 사용하여 측정하였다. 중첩방전시 AC 인가전압과 방전전류파형을 측정한 결과는 그림 6와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 중첩방전의 경우 무성방전과 마찬가지로 인가전압의 반주기동안만 방전전류가 발생한다. 즉 인가전압이 증가하는 부분에서 방전전류가 흐른다는 것을 알 수 있다.

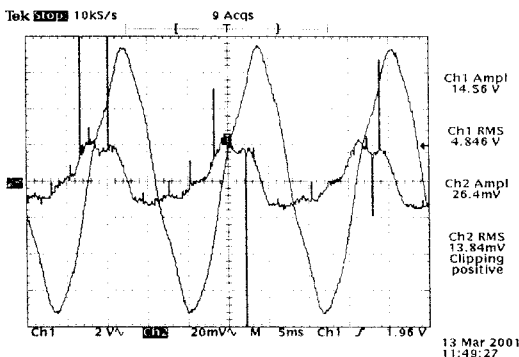


그림 6. 중첩방전시 방전전류와 AC 인가전압파형
($V_{ac} = 4.9 \text{ kVrms}$, $V_{dc} = 7.4 \text{ kV}$)