

V-Q Lissajous법을 이용한 고주파 오존발생기의 오존생성 및 방전전력 특성

(The Ozone Generation and Discharge Power Characteristics for High Frequency Ozonizer by V-Q Lissajous Method)

이창호* · 전병준 · 송현직 · 임창호 · 최상태 · 윤병한 · 박원주 · 이광식

(Chang-Ho Lee, Byung-Joon Chun, Hyun-Jig Song, Chang-Ho Lim, Sang-Tae Choi, Byung-Han Yoon, Won-Joo Park, Kang-Sik Lee)

Abstract

In this paper, a silent discharge type ozonizer has been designed and fabricated for environment improvement. After that discharge and ozone generation characteristics in accordance with frequency of power supply and input voltage were investigated. Consumed discharge power of silent discharge type ozonizer was calculated by computer program designed in "Sigma Plot 2000" program. The data needed for calculation was stored as ASCII file type from oscilloscope.

1. 서 론

대기 및 수질 등의 생활 환경오염이 심화되고 있는 가운데 선진각국을 중심으로 그 오염대책이 마련되고 있으며, 그 중 오존의 이용에 관심이 모이고 있다.

오존은 산소보다 물에 녹기 쉬우며, 물에 녹은 오존이나 상온의 기체 중에 존재하는 오존은 서서히 분해하여 산소로 환원하므로 2차 오염을 유발하지 않는다는 장점을 갖는다.

오존분자는 불안정한 기체로서 일정 시간이 지난 후에는 하나의 산소원자와 산소분자로 해리되어 안정한 상태로 되고자 하는 성향을 지니고 있으며, 이 때 활성산소원자를 방출하므로 강한 산화력을 발휘한다. 또한 최종적으로 산소분자로 환원되므로 2차공해가 없는 특징이 있다.^{[1][2][3][4]}

본 논문에서는 환경개선용으로 적용 가능한 무성방전형 오존발생기를 제작한 후 고주파 전원을 인가하였을 때의 오존발생기의 오존생성특성 및 방전특성을 연구하고, 방전 공간 내부에서 소비되는 정확한 에너지량을 측정하기 위하여 Lissajous 법을 이용하여 방전 공간 내부에서 소비되는 전력을 측정하여 입력유량과 인가전압 및 입력주파수의 변화에 따른 오존생성농도, 오존발생량 및 오존생성수율을 연구하였다. 또한 오존발생기의 주요 파라메타 중의 하나인 소비전력을 측정하기 위하여 오실로스코프에서 Lissajous 도형의 데이터를

ASCII 파일로 저장한 후 제작된 프로그램을 이용하여 전력을 계산하였다.

2. 본 론

2.1. 실험장치

그림 1의 무성방전형 오존발생기, 원료가스 공급장치, 고주파 전원장치 및 계측장치 등으로 오존발생 시스템을 구성하여 무성방전형 오존발생기의 고주파 방전특성 및 오존생성특성을 연구하기 위한 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다.

그림에서 실선은 방전특성을 조사하기 위한 고주파 전원장치와 계측장치들을 연결한 회로이며, 점선은 오존생성특성을 연구하기 위한 가스 흐름선도로 원료가스 공급장치 및 계측장치들을 통과하는 산소 및 오존화 가스의 흐름을 나타낸 것이다.

본 연구에서 사용하는 오존발생기의 중심전극(직경 : 6[mm], 길이 : 170[mm])의 재질은 SUS 304 이고, 무성방전의 활성화를 위하여 중심전극의 표면을 피치 1 mm, 예각 60°로 나사산을 만들었고, 고전압 전극으로 사용하였다.

외부전극으로 사용된 전극은 두께 0.1 mm이고, 재질이 Cu (purity : 97[%])인 tape(銅薄)을 유전체의 외부에 붙여서 사용하였다. 외부전극은 접지 전극으로 사용되었다.

유전체로서는 외부전극 내측에 석영 유리관 (의경: 10 mm, 두께: 1.5 mm, 길이: 170 mm)을 사용하여 중심전극과 외부전극 사이에 교류고전압을 인가하면 무성방전의 방전공간에서 미소방전주에 의한 무성방전이 발생하여 오존이 생성되는 구조이다.

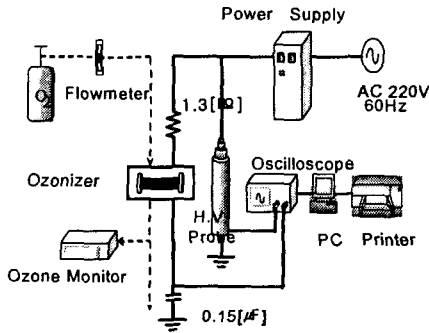


그림 1. 무성방전형 오존발생 시스템의 배치도
Fig. 1. Arrangement diagram of silent discharge type ozonizer system

2.2. 실험방법

무성방전을 이용한 무성방전형 오존발생장치의 고주파 방전특성 및 오존생성특성을 연구·검토하기 위하여 주파수의 변화 (0.5~2.0 [kHz])에 따라서 고주파 전원장치의 입력전압을 변화시키면서 무부하시 고주파 전원장치의 방전전압과 방전전류를 측정하였다. 그리고 설계·제작된 무성방전형 오존발생기의 오존생성특성을 연구하기 위하여 각 주파수의 변화에 따라서 유량 (0.5~3.0 [ℓ/min])을 변수로 두고 각각의 경우에 대한 오존생성농도를 측정하였고, 오존생성량과 오존생성수율은 계산법에 의하여 계산하였다.

무성방전형 오존발생기에서 소모되는 정확한 방전전력을 측정하기 위하여 상용 프로그램인 Sigma Plot에서 전력계산을 할 수 있는 전력계산 프로그램을 제작하였다. 이때, 방전전압, 방전전류, 방전전력 및 오존생성농도는 각각 5회 측정하여 그 평균치를 채택하였으며, 무성방전형 오존발생기의 방전 공간 내에 존재할 수 있는 불순물을 제거하고, 방전환경을 일정하게 하기 위하여 전압을 인가하지 않고 매 실험마다 유량을 일정하게 하여 3분 정도 강제 배기 시킨 후 측정을 하였다.

2.3. Lissajous법에 의한 방전전력 측정

무성방전 방전기수에 대한 중요한 파라메타 중의 하나는 전력의 소비량이다. 무성방전시의 방전전력은 그림 2와 같이 오존발생기에 인가된 전압과 그에 따른 전하량을 이용 Lissajous 도형으로부터 구할 수 있다.

교류전압을 인가할 때의 순시전력을 p 라고 정의하면, 이 순시전력 p 는 부하에 가해진 전압 $v_g(t)$ 와 콘덴서에 흐르는 전류 $i(t)$ 의 곱이 되므로 이 때, 1주기의 전력 (W)은 다음 식 (1)과 같다.

$$W = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} p dt = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} v_g(t) \cdot i(t) dt \quad (1)$$

1주기 에너지 (w)는 다음 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} w &= \int_{t=0}^{t=T} v_g(t) \cdot C_s dv_c \\ &= \int_{t=0}^{t=T} v_g(t) \cdot dq(t) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 $C_s dv_c = dq(t)$ 이므로 1주기에서 소비된 에너지는 Lissajous 도형의 V-q 궤적의 면적과 동일함을 알 수 있다. 이렇게 1주기 동안에 소비된 에너지가 계산되면 1주기 동안 소비된 전력[W]은

$$W = \frac{w}{T} = w \times f \quad (3)$$

같이 구할 수 있다.

여기에서 f : 인가된 전압의 주파수이다.

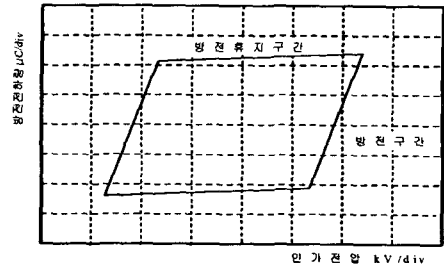


그림 2. 무성방전시의 Lissajous 도형
Fig. 2. Lissajous figure of silent discharge

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 무성방전형 오존발생기의 방전전압 및 방전전류 특성

그림 3은 무성방전형 오존발생기의 방전특성을 연구검토하기 위하여 나사형의 중심전극과 외부전극 사이에 고주파 고전압을 인가한 경우, 매개변수인 유량이 각각 0.5, 1.0, 2.0 및 3.0 [ℓ/min]일 때 전원장치의 출력전압의 변화에 따른 방전전압 및 방전전류 특성을 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 방전전압 및 방전전류는 전원장치의 출력전압이 증가함에 따라서 오존발생기의 방전 공간 내부의 전력밀도도 동시에 증가하므로

거의 선형적으로 상승됨을 볼 수 있다.

그림 3에서 볼 수 있듯이 방전전류는 유량의 변화에 따라 큰 차이가 없었으나 방전전압은 유량이 적은 경우가 유량이 많은 경우에 비하여 미소하게 높은 것으로 나타났다.

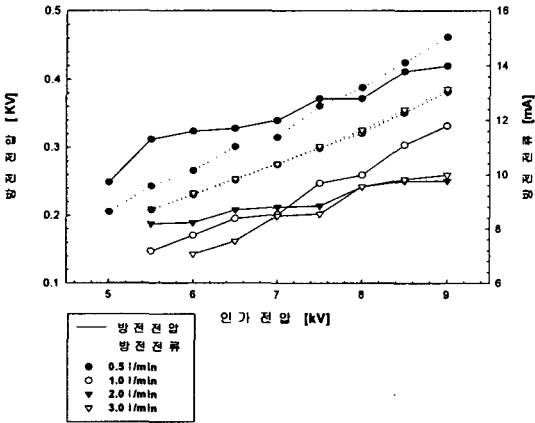


그림 3. 주파수 0.5 [kHz]의 경우, 유량을 매개변수로 한 인가전압-방전전압, 방전전류 특성

Fig. 3. Characteristics of applied voltage - discharge voltage, discharge current in case of frequency 0.5 [kHz]

3.2 무성방전형 오존발생기의 오존생성 특성

3.2.1 오존생성농도 특성

그림 4와 그림5는 무성방전형 오존발생기에 중심전극에 0.5 및 2.0 [kHz]의 고주파 교류 고전압을 각각 인가할 때 형성되는 무성방전에 의하여 생성된 오존생성농도 특성을 연구·검토하기 위하여 유량을 매개변수로 한 경우, 방전전력의 변화에 따른 오존생성농도 특성을 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 각각의 유량에서 방전전력이 증가할수록 오존생성농도가 상승하였다. 이것은 오존발생기에 공급되는 입력에너지(전력)가 상승함에 따라서 중심전극-외부전극 사이의 무성방전이 발생된 결과 방전밀도가 증대되어 미소방전주에 의하여 가속된 전자가 산소분자와 충돌하여 해리를 촉진시킨 결과이다.

이것은 방전전력이 상승함에 따라서 방전 공간 내에서의 무성방전의 발생이 더욱 활발해지면서 전류 pulse의 수 (미소방전주의 수)가 증가하게 된다. 따라서 무성방전의 방전구간에서는 pulse 각각

의 방전전하량은 감소하면서 미소방전이 많이 발생하게 된다. 이 때, 방전 공간 내에서는 미소방전이 방전 공간 전반에 걸쳐 균일하게 분포됨으로써 방전공간을 횡단하는 산소분자가 무성방전에 의하여 해리 될 확률이 증가하게 되므로 방전 간극에 존재하는 산소원자의 수가 그만큼 많아지게 된다.

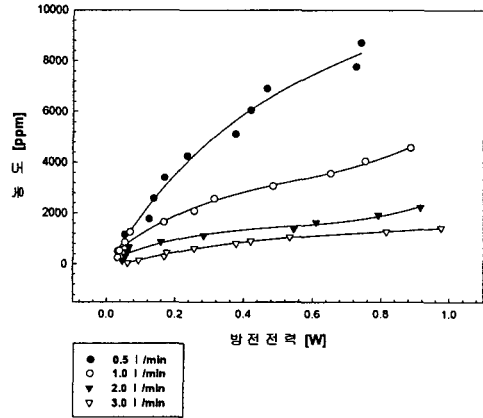


그림 4. 주파수 0.5[kHz]의 경우, 유량을 매개변수로 한 방전전력-오존생성농도 특성

Fig. 4. Characteristics of discharge power - ozone concentration in case of frequency 0.5 [kHz]

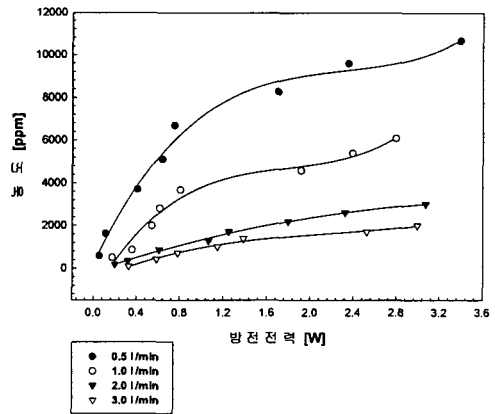


그림 5. 주파수 2.0 kHz의 경우, 유량을 매개변수로 한 방전전력-오존생성농도 특성

Fig. 5. Characteristics of discharge power - ozone concentration in case of frequency 2.0 kHz

3.2.2 오존생성수율 특성

그림 6은 무성방전형 오존발생기에 중심전극에 0.5 [kHz]의 고주파 교류 고전압을 각각 인가할 때 형성되는 무성방전에 의하여 생성된 오존생성수율

특성을 연구·검토하기 위하여 유량을 매개변수로 한 경우, 방전전력의 변화에 따른 오존생성수율 특성을 나타낸 것이다.

그림에서 볼 수 있듯이 동일한 유량에 대하여 방전전력이 증가함에 따라 오존생성수율이 증가하다가 방전전력이 약 0.1 ~ 0.2 [W] 이상이 되면 오존생성수율이 최대 값을 가진 후 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 동일한 방전전력에서 유량이 감소할수록 오존생성수율이 하강하는 것으로 나타났다.

오존생성수율은 무성방전에 의하여 생성되는 오존생성량과 방전전력 밀도에 의한 오존의 열분해에 의존하게 된다. 따라서 방전전력이 약 0.1 ~ 0.2 [W]까지는 생성된 오존발생량의 상승비율이 방전공간 내의 전력밀도에 의한 오존의 열분해 비율보다 상대적으로 높게 되어 오존생성수율이 상승하게 되지만, 방전전력이 그 이상이 되면 방전전력이 증가하는 비율과 오존생성량이 상승하는 비율이 일정해지므로 오존생성수율의 상승률이 둔화되는 것이라고 생각된다.

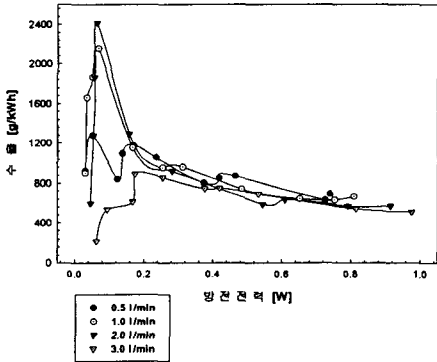


그림 6. 주파수 0.5 [kHz]의 경우, 유량을 매개변수로 한 방전전력-오존생성수율 특성

Fig. 6. Characteristics of discharge power-ozone yield in case of frequency 0.5 [kHz]

3.3 Lissajous 도형에 의한 전력파형 측정 및 방전특성

그림 7과 그림 8은 전원장치의 주파수가 0.5 및 2.0 [kHz]이고, 유량이 3.0 [l/min]일 때, 방전전압의 변화에 따른 방전전력을 Lissajous 도형으로 조사한 것이다. 그림에서 X축 Ch1은 방전전압 파형이며, Y축 Ch2는 콘덴서의 전하량 파형을 나타낸 것이다.

그림에서 볼 수 있듯이 방전전압이 상승 될수록 Lissajous 도형의 면적이 비례적으로 증가하였다.

이는 방전 공간 내부에 인가된 전압이 증가 할수록 무성방전이 더욱 활성화 되어 1 cycle 내의 전류 pulse의 수가 증가되면서 방전전력이 상승되는 것이다.

원료가스의 유량이 증가 할수록 원료가스의 유속이 빨라지게 된다. 따라서 원료가스 내에 포함된 산소분자가 방전 공간 내부에서 발생된 미소방전주에 의하여 가속된 전자와 충돌할 수 있는 충돌 확률이 저하하게 되고, 이는 방전이 개시될 수 있는 조건이 충족되지 않았다는 것이며, 이 조건을 충족시키기 위하여 방전공간에 인가되는 전압을 더욱 높여주어야 하는 것이다.

전원의 주파수가 상대적으로 낮은 경우는 유량의 증가에 반비례하여 방전전력이 낮아졌지만, 주파수가 높은 경우는 오히려 유량의 증가에 비례하여 방전전력이 높아진다.

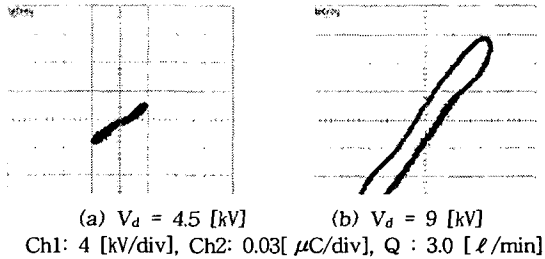


그림 7. 주파수 0.5 [kHz]일 때, Q와 Vd의 변화에 따른 Lissajous 도형

Fig. 7. Lissajous figures in accordance with variation of Q and Vd at frequency 0.5 [kHz]

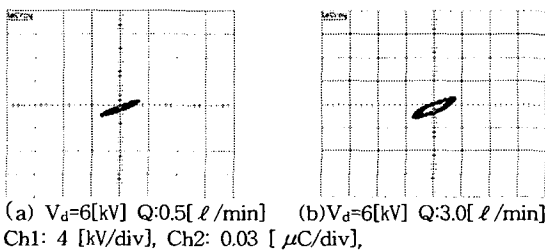


그림 8. 주파수 2.0 [kHz]일 때, Q와 Vd의 변화에 따른 Lissajous 도형

Fig. 8. Lissajous figures in accordance with variation of Q and Vd at frequency 2.0 [kHz]

그림 9는 전력계산용 프로그램의 flow-chart를 나타내었다. 프로그램을 실행시키면 우선 data acquisition이 실행되고, Lissajous 도형에서 최대, 최소값의 기준점 a와 b를 자동으로 지정한다. 이후 정해진 프로그램에 의하여 Lissajous 도형의

면적을 계산하게 되고, 이것을 이용하여 방전전력을 계산하게 된다. 마지막 단계로서 면적계산 과정에서 error가 검출되면 자동적으로 최대, 최소값을 지정하는 단계로 feedback된다.

만약 Error가 없이 방전전력이 자동으로 계산 완료되면 "Sigma Plot 2000"의 Sheet상에 계산 결과가 나타나게 프로그램 되어있다.

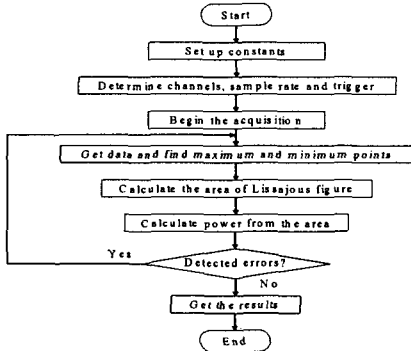


그림 9. 전력계산용 프로그램의 Flow-chart
Fig. 9. Flow-chart of power calculation program

4. 결론

본 논문에서는 무성방전을 이용하여 환경개선분야로의 적용이 가능한 무성방전형 오존발생기를 설계·제작한 후 고주파 전원장치의 전원 주파수와 인가전압에 따른 방전특성 및 오존생성특성을 연구·검토하였으며, 오존발생기 내부에서 소비되는 방전전력을 정확히 측정하고자 oscilloscope의 Lissajous 도형으로부터 data를 받아 컴퓨터 프로그램에 의하여 무성방전형 오존발생기 자체에서 소비된 전력을 계산하였다.

4. 1. 무성방전형 오존발생기의 방전특성

(1) 방전전압 및 방전전류는 전원장치의 출력전압이 증가함에 따라서 오존발생기의 방전 공간 내부의 전력밀도도 동시에 증가하므로 거의 선형적으로 상승됨을 볼 수 있다.

(2) 방전전류는 유량의 변화에 따라 큰 차이가 없었으나 방전전압은 유량이 적은 경우가 유량이 많은 경우에 비하여 미소하게 높은 것으로 나타났다.

4. 2. 무성방전형 오존발생기의 오존생성특성

(1) 방전밀도가 증대되어 미소방전주에 의하여

가속된 전자가 산소분자와 충돌하여 해리를 촉진시킨 결과 각각의 유량에서 방전전력이 증가할수록 오존생성능도가 상승하였다.

(2) 각각의 유량에서 방전전력이 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 동시에 동일한 방전전력에 대하여 유량이 증가함에 따라 오존생성량은 비례하는 것으로 나타났다.

(3) 동일한 유량에 대하여 방전전력이 증가함에 따라 오존생성수율이 증가하다가 방전전력이 약 0.1 ~ 0.2 [W] 이상이 되면 오존생성수율이 최대값을 가진 후 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 동일한 방전전력에서 유량이 감소할수록 오존생성수율이 하강하는 것으로 나타났다.

4.3. Lissajous 도형에 의한 전력파형 측정

(1) 방전전압이 상승 될수록 Lissajous 도형의 면적이 비례적으로 증가하였다.

(2) 전원의 주파수가 상대적으로 낮은 경우 ($f = 0.5$ 및 1.0 [kHz])는 유량의 증가에 반비례하여 방전전력이 낮아졌지만, 주파수가 높은 경우 ($f = 1.5$ 및 2.0 [kHz])는 오히려 유량의 증가에 비례하여 방전전력이 높아지는 것을 알 수 있었다.

위의 결과와 같이 본 논문에서 연구된 고주파 오존발생 시스템은 고농도·고수율의 특성이 있으며, 또한 Lissajous법에 의한 오존발생기 방전부의 소비 전력량을 프로그램을 이용하여 정확히 측정할 수 있으므로, 향후 산업용 대용량의 오존발생 시스템으로의 적용 가능성이 충분하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 杉光英後 “오존의基礎と應用”, 光琳, 1996年
- [2] 米内伸一, “新版오존利用의新技術”, 三秀書房, pp.3 ~ 50, pp.152 ~ 153, 平成5年
- [3] 石井啓夫, “오존利用의新技術”, 三秀書房, pp.152 ~ 153, 昭和61年
- [4] 出口富雄, “오존を中心とした高度淨水處理技術”, 三秀書房, pp.32 ~ 43, pp.87 ~ 99, 1990
- [5] 宋 炫直, “중첩방전형 오존발생기의 특성과 환경개선에 관한 연구”, 博士學位論文, 1997
- [6] 全 炳俊, “環境改善을 위한 新 오존발생기에 관한 연구”, 碩士學位論文, 1999
- [7] Sang-Keun Lee, Hyun-Jig Song, Byung-Joon Chun, “The Characteristics of Ozone Generation in Superposed Discharge type Ozonizer”, Proceedings of 1998 Korea-Japan joint symposium on ED andHVE, pp.99 ~ 102, 1998
- [8] H.J.Song, K.S.Lee, D.I.Lee, “A study on the high voltage nozzle type ozonizer”, Proceedings of the 11th International Conference on Gas Discharges and Their Applications, Vol.2, pp.320~ 323, 1995