

Lissajous법을 이용한 고주파 오존발생기의 특성

이창호, 전병준, 박용권, 송현직, 이광식
 영남대학교, 영남대학교, 대구광역시청, 구미1대학, 영남대학교

A Characteristics of High Frequency Ozonizer by Lissajous Method

C.H Lee, B.J Chun, Y.K Park, H.J Song, K.S Lee
 Yeungnam Univ, Daegu City Hall, Kumi 1 College

Abstract - 이 논문은 무성방전을 이용하여 환경개선 분야로의 적용이 가능한 무성방전형 오존발생기를 설계, 제작후 고주파 전원장치의 전원주파수와 인가전압에 따른 방전특성 및 오존생성특성을 연구·검토하였으며, 오존발생기 내부에서 소비되는 방전전력을 정확히 측정하고자 Lissajous 도형을 이용해 오존발생기의 방전부에서 소비전력을 계산하였다.

1. 서 론

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

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

오존분자 (O₃)는 불안정한 기체로서 일정 시간이 지난 후에는 하나의 산소원자 (O)와 산소분자 (O₂)로 해리되어 안정한 상태로 되고자 하는 성향을 지니고 있으며, 이 때 활성산소원자를 방출하므로 강한 산화력을 발휘한다. 또한 최종적으로 산소분자 (O₂)로 환원되므로 2차공해가 없는 특징이 있다.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

본 논문에서는 환경개선용으로 적용가능한 무성방전형 오존발생기 (Superposed Discharge type Ozonizer: SDO)를 제작한 후 고주파 전원을 인가하였을 때의 오존발생기의 오존생성특성 및 방전특성을 연구하고, 방전공간 내부에서 소비되는 정확한 에너지양을 측정하기 위하여 Lissajous법을 이용하여 방전공간 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. 실험장치 및 결론

2.1 실험장치

그림 2-1에서 오존발생기의 길이는 170 [mm]이고, 오존발생기를 지지하는 부분 (양쪽 가장자리)에는 내오존성, 내부식성, 고전압 절연재료인 teflon을 사용하여 제작하였다. 무성방전형 오존발생기, 원료가스 공급장치, 고주파 전원장치 및 계측장치 등으로 오존발생 시스템을 구성하여 무성방전형 오존발생기의 고주파 방전특성 및 오존생성특성을 연구하기 위한 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다.

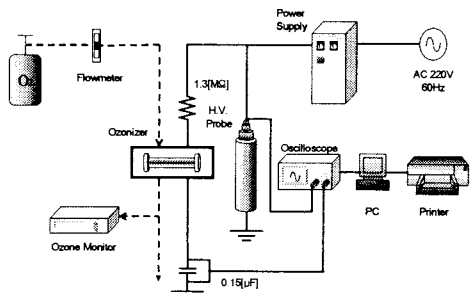


그림2-1. 무성방전형 오존발생 시스템의 배치도

2.2 실험방법

무성방전을 이용한 무성방전형 오존발생장치의 고주파 방전특성 및 오존생성특성을 연구·검토하기 위하여 주파수의 변화 (0.5~2.0 [MHz])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. 그리고 프로그램의 신뢰성을 확보하고자 Lissajous 도형을 프린터하여 수작업으로 전력을 계산한 후, 이 두 가지 결과를 비교·분석하였다.

2.3 Lissajous법에 의한 방전전력 측정

무성방전 방전기수에 대한 중요한 파라메타 중의 하나는 전력의 소비량이다. 무성방전시의 방전전력은 그림 2-2와 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 (1.1)과 같다.

$$W = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} p dt = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} v_g(t) \cdot i(t) dt \quad (1.1)$$

그러므로 식 (1.2)는

$$\omega = \int_{t=0}^{t=T} v_g(t) \cdot C_s dv_c = \int_{t=0}^{t=T} v_g(t) \cdot dq(t) \quad (1.2)$$

와 같이 1주기 에너지로 나타낼 수 있다.

식 (1.2)에서 $C_s dv_c = dq(t)$ 이므로 1주기에서 소비된 에너지

지는 Lissajous 도형의 V-q 궤적의 면적과 동일함을 알 수 있다. 이렇게 1주기 동안에 소비된 에너지가 계산되면 1주기 동안 소비된 전력 W은

$$W = \frac{\omega}{T} = \omega \times f \quad (1.3) \text{ 같}$$

이 구할 수 있다.

여기에서 f :인가된 전압의 주파수이다.

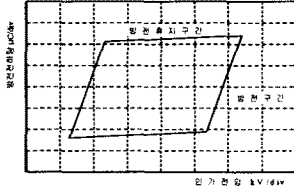


그림2-2. 무성방전시의 Lissajous 도형

3. 실험결과 및 고찰

3.1 무성방전형 오존발생기의 오존생성 특성

방전밀도가 증가되어 미소방전주에 의하여 가속된 전자가 산소분자와 충돌하여 해리를 촉진시킨 결과 각각의 유량에서 방전전력이 증가할수록 오존생성농도가 상승하였다. 무성방전형 오존발생기에서의 최대 오존생성농도는 유량이 0.5 [l/min]이고, 전원 주파수가 각각 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0 [kHz] 일 때 8707, 8887, 10279 및 10624 [ppm]을 얻을 수 있었다. 여기에서 주파수가 상승함에 따라 오존생성농도가 증가함을 알 수 있었다.

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

전원장치의 주파수가 0.5 [kHz]이고, 유량이 2.0[l/min]일 때 2415 [g/Wh]의 최대 오존생성수율을 얻을 수 있었다. 또한 주파수가 1.0, 1.5 및 2.0 [kHz] 일 경우에 유량이 각각 1 [l/min], 1 [l/min] 및 0.5 [l/min]에서 912 [g/Wh], 2395 [g/Wh] 및 854 [g/Wh]의 최대 오존생성수율을 각각 얻을 수 있었다.

3.2 Lissajous 도형에 의한 전력파형 측정 및 방전 특성

그림 3-1과 그림 3-2는 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 유량이 증가 할수록 방전전압이 상승하는 것으로 나타났다. 원료가스의 유량이 증가 할수록 원료가스의 유속이 빨라지게 된다. 따라서 원료가스 내에 포함된 산소분자가 방전 공간 내부에서 발생된 미소방전주에 의하여 가속된 전자와 충돌할 수 있는 충돌확률이 저하하게 되고, 이는 방전이 개시될 수 있는 조건이 충족되지 않았다는 것이며, 이 조건을 충족시키기 위하여 방전공간에 인가되는 전압을 더욱 높여주어야 하는 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.

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

지는 것을 알 수 있었다.

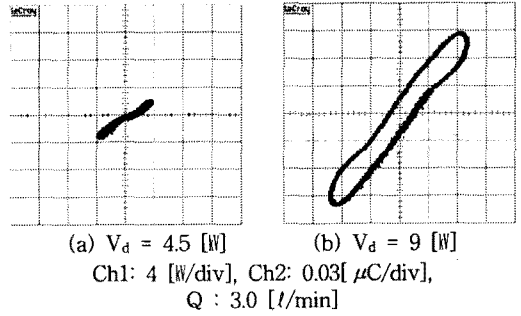


그림 3-1. 주파수 0.5 [kHz] 일 때, Q와 Vd의 변화에 따른 Lissajous 도형

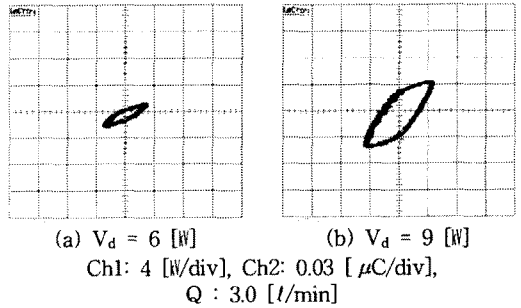


그림 3-2 주파수 2.0 [kHz] 일 때, Q와 Vd의 변화에 따른 Lissajous 도형

3.3 Lissajous 도형에 의한 방전전력값의 계산치 A와 계산치 B의 비교

그림 3-3은 프로그램의 flow-chart를 나타낸 것으로서 프로그램을 실행시키면 우선 data acquisition이 실행되고, Lissajous 도형에서 최대, 최소값인 기준점 a와 b를 자동으로 지정한다. 이 후 정해진 프로그램에 의하여 Lissajous 도형의 면적을 계산하게 되고, 이것을 이용하여 방전전력을 계산하게 된다. 마지막 단계로서 면적계산 과정 중에서 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.

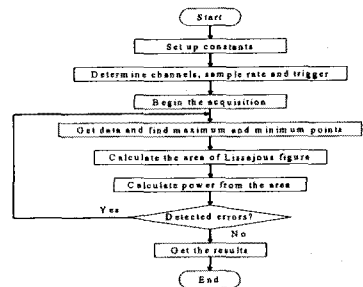


그림 3-3. 전력계산용 프로그램의 Flow-chart

그림 3-4는 전원장치의 주파수가 0.5 [kHz]일 때, 유량이 0.5 및 3.0 [l/min]로 변화한 경우의 인가전압에 따른 방전전력의 프로그램에 의한 계산치 A와 계산치 B를 비교한 그래프이다.

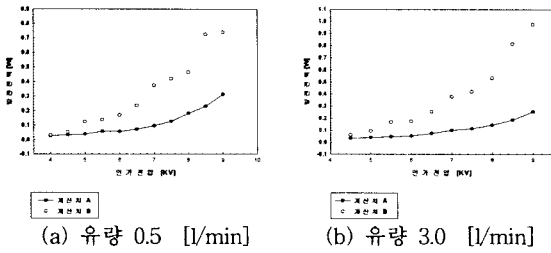


그림 3-4. 주파수 0.5 [kHz] 일 때, 방전전력의 계산치 A와 계산치 B의 비교

그림 3-4의 경우 각 그림에서 프로그램에 의한 계산치 A 방전전력값과 Lissajous 도형의 면적을 직접 계산한 방전전력의 계산치 B를 비교한 그래프인데, 그림과 같이 인가전압이 낮을 경우에는 계산치 A와 계산치 B의 값이 거의 일치하는데 비하여 방전전압이 높아 질수록 두 값의 오차가 커지는 것을 알 수 있다.

위의 결과에서 유량이 증가 할수록 방전전력값은 계산치 A와 계산치 B 모두 감소하는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 설계·제작된 오존발생기의 방전 간극은 0.5 [mm]로 작기 때문에 주파수가 낮은 경우는 유량이 증가하면 비례적으로 유속도 빨라지기 때문에 유량에 의한 방전공간 내부의 냉각효과가 그만큼 커지게 된다. 따라서 방전공간 내부에서 인가된 전계에 의하여 생성된 미소 방전주의 수가 감소하게 되므로 방전전력이 감소하게 되는 것이라 생각된다.

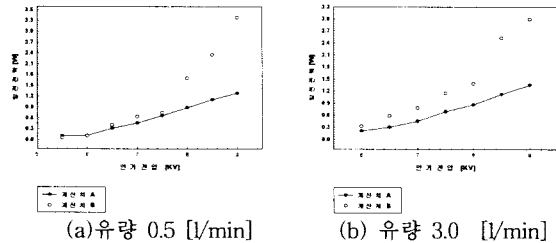


그림 3-5. 주파수 2.0 [kHz] 일 때, 방전전력의 계산치 A와 계산치 B의 비교

그림 3-5는 전원장치의 주파수가 2.0 [kHz]일 때, 유량이 0.5 및 3.0 [l/min]로 변화한 경우의 인가전압에 따른 방전전력의 프로그램에 의한 계산치 A와 계산치 B를 비교한 그래프이다.

그림에서 인가전압이 증가 할수록 이에 비례하여 방전전력의 계산치 A가 증가하는 것을 알 수 있다.

이것은 중심전극에 인가된 전원의 주파수가 높아 질수록 일정한 방전공간에서 주파수가 낮을 때에 비하여 생성된 미소 방전주의 밀도 (전류 pulse의 밀도)가 높아지게 된다. 전원 주파수가 높을 때와 주파수가 낮을 때 동일한 방전전압이 인가되었기 때문에 방전전력은 방전전류에 의존하게 되고, 미소 방전주의 밀도가 높다는 것은 방전전류가 크다는 의미이므로 주파수가 높아짐에 따라 방전전력도 커지게 되는 것이라 생각된다.

4. 결 론

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. Lissajous 도형에 의한 전력파형 측정

(1) 방전전압이 상승될 수록 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.

4.2. Lissajous 도형에 의한 계산치 A와 계산치 B 방전전력값의 비교

(1) 프로그램에 의한 방전전력값의 계산을 검증한 결과 그 신뢰도 측면에서 상당히 정확하다고 판단되며, 향후 오존발생기의 전력계산에 있어서 정확하고 신속한 방법으로 기타의 오존발생기에도 적용 가능하다고 생각된다.

(2) 전원 주파수가 2.0 [kHz]이고, 유량이 0.5, 1.0, 2.0 및 3.0 [l/min]일 때 각각 1.29, 1.29, 1.26 및 1.35 [W]의 최대 방전전력 계산치 A를 얻을 수 있었으며, 계산치 B의 경우에는 같은 유량에서 각각 3.39, 2.79, 3.07 및 2.99 [W]의 최대 방전전력을 얻을 수 있었다.

위의 결과와 같이 본 논문에서 연구된 고주파 오존발생 시스템은 고농도·고수율의 특성이 있으며, 또한 Lissajous법에 의한 오존발생기 방전부의 소비 전력량을 프로그램에 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, 1996년
 [2] 米内伸一, “新版오존利用の新技術”, 三秀書房, pp.3 ~ 50, pp.152 ~ 153, 平成5년
 [3] 石井啓夫, “오존利用の新技術”, 三秀書房, pp.152 ~ 153, 昭和61년
 [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