

중심전극의 진공도에 따른 고주파 오존발생기에 관한 연구

이창호*, 진병준**, 이상근*, 우성훈***, 송현직°, 최상태°, 이광식*
 영남대학교*, Leewoo Smartech**, 아시아대학교***, 구미1대학°, 경주대학교°°

A Study on the high frequency ozonizer according to vacuum of central electrode

C.H Lee*, S.K Lee*, B.J Chun**, S.H Woo***, H.J Song°, S.T Choi°, K.S Lee*
 Yeonnam Univ*, Leewoo Smartech**, Asia Univ ***, Kumi 1 College°, Kwonju Univ°°

Abstract - 본 논문에서는 2개의 유전체와 3개의 전극을 사용한 중첩방전형 오존발생기(Superposed Discharge Type Ozonizer, SDO)를 설계·제작한 후 중심전극 진공도 변화에 따른 고주파 오존발생기의 방전특성 및 오존생성특성을 연구하고, 방전 공간 내부에서 소비되는 에너지양을 측정하기 위하여 Lissajous법을 이용하였다.

등으로 오존발생장치를 구성하여 오존발생기의 방전특성 및 오존생성특성을 연구하기 위한 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다.

그림에서 실선은 방전특성을 조사하기 위한 전원장치와 계측장치들을 연결한 회로이며, 점선은 오존생성특성을 연구하기 위한 원료가스 공급 장치 및 계측장치들을 흐르는 산소 및 오존화 가스의 흐름을 나타내는 가스 흐름선도이다.

1. 서 론

현재 국제사회는 산업화와 공업화의 고도성장으로 인하여 대기 및 수질오염 등의 환경오염이 당면한 문제로 대두되고 있는 가운데 국내에서도 이에 대한 규제와 법규를 제정하여 행정지도와 더불어 그 대책을 수립하고 있다. 특히 날로 증가하고 있는 산성비, 온실효과 의한 지구온난화, 오존층 파괴, 대기오염 및 수질오염 등 생태계뿐만 아니라 인체에 대하여도 심각한 영향을 미치고 있으므로 사회적 경제적 규모의 확대와 함께 관심 및 환경오염방지대책 기술의 발전이 요구되고 있는 실정이다.

따라서 무성방전형 오존발생기의 방전 및 오존생성에 영향을 미치는 원료가스의 종류, 온도, 습도, 인가전압, 전류 및 소비전력 등의 제 인자에 관한 연구를 통한 오존생성수율의 향상이 필연적이라 할 수 있다.^[1] 이러한 관점에서 본 논문에서는 2개의 유전체와 3개의 전극을 사용한 중첩방전형 오존발생기를 설계·제작한 후 중심전극 진공도 변화에 따른 고주파 오존발생기의 방전특성 및 오존생성특성을 연구하고, 방전 공간 내부에서 소비되는 에너지양을 측정하기 위하여 Lissajous법을 이용하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 방법

2.1.1 실험장치

그림 1은 본 논문에서 설계·제작한 2개의 유전체와 3개의 전극으로 구성된 중첩방전형 오존발생기의 방전관 개략도이다. 방전관은 내부유전체로 사용된 원통형의 석영유리관(두께 :1.1[mm], 외경:12.9[mm]) 내부에 중심전극(재질:Tungsten, 두께:1.0[mm], 길이:160[mm])을 장착하였다. 이때 내부유전체인 석영유리관 외부에 감긴 내부전극은 두께가 0.5[mm]인 Tungsten을 3[mm]간격으로 나선형으로 감아 사용하였다. 또한, 외부유전체로는 pyrex glass관(외경 :18.0[mm], 두께:2.0[mm], 길이:160[mm])을 사용하였으며, 외부유전체의 외부에 접지측인 외부전극(재질:Cu tape)을 장착하여 오존발생기를 구성하였다.

그림 2는 오존발생기, 원료가스 공급 장치, 전원장치, 계측장치 및 내부유전체를 배기시킬 수 있는 진공펌프

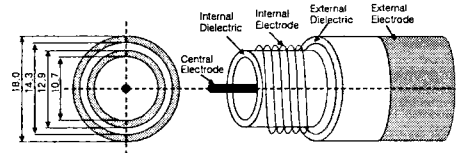


그림 1. 방전관의 단면도

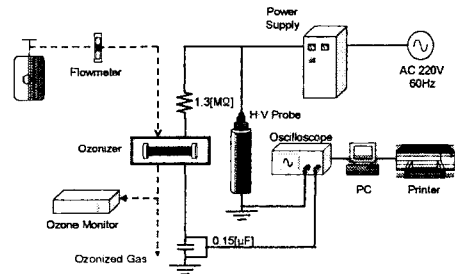


그림 2. 중첩방전형 오존발생 시스템의 배치도

2.1.2 실험방법

무성방전을 이용한 중첩 방전형 오존발생기의 방전특성을 연구·검토하기 위하여 전원장치의 출력전압(4~12[kV]), 진공도 0.1 및 760[Torr]에서 원료가스의 유량 변화(0.5~4[l/min])에 따른 오존발생기의 방전전압, 방전전류 및 방전파형을 digital storage oscilloscope와 컴퓨터 및 프린터를 이용하여 출력하였으며, 유량을 매개변수로 하였을 때, 진공도 및 주파수 변화에 대한 오존생성특성을 측정하였고, 중첩방전형 오존발생기에서 소모되는 정확한 방전전력을 측정하기 위하여 고전압 probe에 의하여 감쇄된 전압과 방전전하 측정용 콘덴서(0.15[μF])의 양단전압에 의한 Lissajous 도형을 이용해 오존발생기 방전부의 소비전력을 계산하였다.

2.2 Lissajous법에 의한 방전전력 측정

무성방전 방전기수에 대한 중요한 파라메타 중의 하나는 전력의 소비량이다. 방전전력(W_d)은 무성방전시의 Lissajous 도형의 방전전압(V_d)-전하량(q) 특성에 의하여

구할 수 있다.

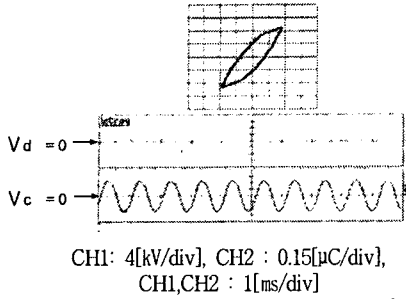


그림 3. 주파수 1[kHz], 유량이 1[ℓ/min]인 경우, Lissajous 도형

그림3은 주파수 1[kHz]일 때, 유량이 1[ℓ/min]인 경우, 고주파 전원장치의 출력전압에 따른 Lissajous 도형을 보여주고 있다.

그림에서 Lissajous 도형의 X축 CH1은 고전압 전극으로 사용된 중심전극-외부전극에 인가된 전압(V_d)이 고전압 프로브를 사용하여 감쇄되었을 대의 파형을 측정 한 것이며, Y축 CH2는 방전전하(q) 측정용 콘덴서(0.15[μF])의 양단전압(V_c)파형을 나타낸 것이다.

그림에서 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 (P_1)은 다음 식 (1.1)과 같다.

$$P_1 = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} p dt = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} v_g(t) \cdot i(t) dt \quad (1.1)$$

그러므로 1주기 에너지는 다음 식 (1.2)와 같다.

$$W_1 = \int_{t=0}^{t=T} v_g(t) \cdot C_s \cdot dv_c = \int_{t=0}^{t=T} v_g(t) \cdot dq(t) \quad (1.2)$$

식 (1.2)에서 $C_s \cdot dv_c = dq(t)$ 이므로 1주기에서 소비된 에너지는 Lissajous 도형의 V-q 궤적의 면적과 동일함을 알 수 있다. 이렇게 1주기 동안에 소비된 에너지가 계산되면 1주기 동안 소비된 전력 (P_1)은

$$P_1 = \frac{W_1}{T} = W_1 \times f \quad (1.3)$$

같이 구할 수 있다.

여기에서 f : 인가된 전압의 주파수이다.

3.1 중첩 방전형 오존발생기의 방전 특성

그림에서와 같이 방전전압 (V_d) 및 방전전류 (I_d)는 전원장치의 출력전압 (V_2)이 증가함에 따라서 오존발생기의 방전 공간 내부의 전력밀도도 동시에 증가하므로 거의 선형적으로 상승되는 것으로 나타났다.

이것은 중심전극과 내부전극 간에 인가되는 교류 고전압에 의하여 입력전압이 증가됨에 따라 중첩 무성방전이 발생하는 방전면적이 확대되어 방전전압의 상승과 함께 무성방전의 활성화로 방전전류가 상승되는 것으로 사료 된다.

또한, 그림 4와 그림 5에서 중심전극부의 진공도가 낮을수록(즉, 압력이 높을수록) 방전전류는 미소하게 감소하는 것을 알 수 있다.

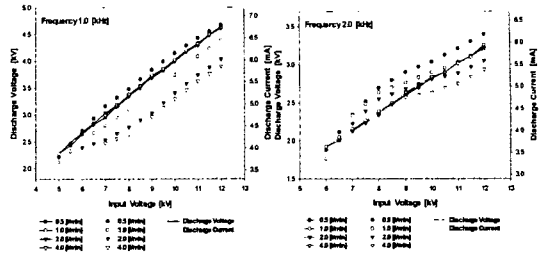
이것은 진공도가 낮을수록 내부유전체 내부에 가스입자가 증가하게 되어 전극에서 방출된 전자의 평균자유행정이 짧아지게 된다.

이에 의하여 중심전극과 내부전극 사이의 무성방전이 발생하기가 어렵게 된다.

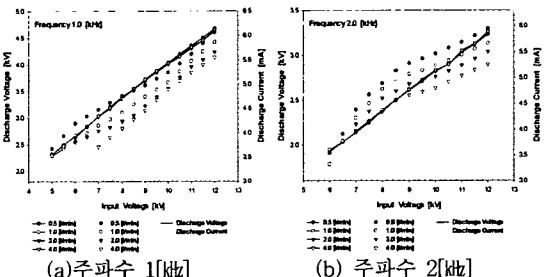
따라서 진공도 760[Torr]의 경우는 방전개시전압이 높고, 방전 전류값이 낮게 나타나게 된다.

그리고 유량이 작을수록 원료가스 중에 포함된 산소분

자가 방전 공간 내에서 체류하는 시간이 길어짐에 따라서 무성방전에 의하여 생성된 전자와 원료가스인 산소분자와의 접촉확률이 증가하게 되어 방전 공간 내의 산소분자의 전리확률이 높아지게 되므로 방전 전류 값이 미소하게 증가하게 되었다고 생각된다.



(a)주파수 1[kHz] (b) 주파수 2[kHz]
그림 4. 진공도 0.1[Torr], 주파수에 따른 유량을 매개변수로 한 인가전압-방전전압, 방전전류 특성



(a)주파수 1[kHz] (b) 주파수 2[kHz]
그림 5. 진공도 760[Torr], 주파수에 따른 유량을 매개변수로 한 인가전압-방전전압, 방전전류 특성

3.2 방전전력-오존생성농도 및 오존생성량 특성

그림에서 보는 바와 같이 진공도가 높고, 주파수가 낮을수록 각각의 유량에 대해서 방전전력이 증가할수록 오존생성농도 및 오존생성량이 상승하였다.

이것은 오존발생기에 공급되는 입력에너지가 상승함에 따라서 중심전극 및 내부전극 사이에서 중첩된 무성방전이 동일한 방전공간에서 발생된 결과 미소 방전 주에 의하여 가속된 전자가 산소분자와 충돌하여 산소분자의 해리를 촉진시킨 결과이다.

내부유전체의 진공도가 높아질수록 내부유전체 내부의 전자의 평균자유행정이 길어지게 되어 내부유전체 전체가 하나의 전극으로 대전되는 효과를 가지게 된다.

따라서 전극의 면적이 넓어지는 효과를 가지므로 방전 공간 내부에서 발생하는 무성방전이 상대적으로 활성화되어 방전 공간 내에서의 전리확률이 상승하게 되어 오존농도가 상승하게 된다.

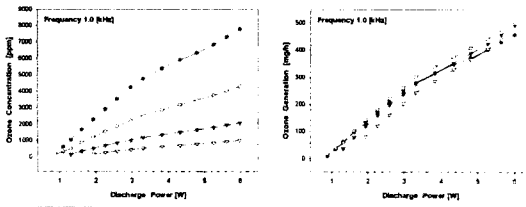
그리고 동일한 방전전력에 대하여 유량이 감소할수록 원료가스가 방전 공간 내에 체류하는 시간이 길어지면서 무성방전에 의해 가속된 전자와 원료가스 중에 포함된 산소분자와의 충돌횟수가 증대되므로 오존을 생성하는 확률이 증대되게 된다.

또한 원료가스의 유량이 적을수록 유속 또한 느리게 되므로 방전 공간 내부의 냉각효과가 저하된 결과, 미소 방전주의 수가 증가하게 된다.

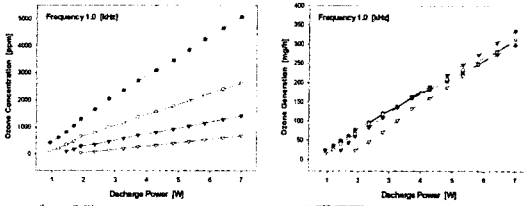
그 결과 방전전력이 일정할 때, 유량이 감소할수록 오존생성농도는 증가하게 된다.

그리고 오존생성량은 오존생성농도의 증가와 함께 동일한 추세로 증가하는 경향을 나타나게 된다.

이것은 오존발생량이 원료가스의 유량과 오존생성농도에만 관여하기 때문에 오존생성농도특성 그래프와 유사한 특성을 나타낸다.



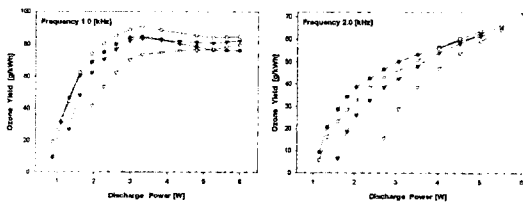
(a) 오존생성농도 (b) 오존발생량
 그림 6. 진공도 0.1[Torr], 주파수 1 [kHz]일 때, 방전전력-오존농도 및 생성량 특성



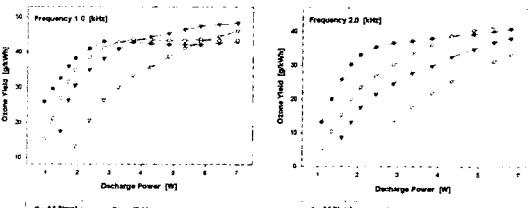
(a) 오존생성농도 (b) 오존발생량
 그림 7. 진공도 760 [Torr], 주파수 1 [kHz]일 때, 방전전력-오존농도 및 생성량 특성

3.3 방전전력-오존생성수율 특성

그림에서 보는 것과 같이 진공도가 높고, 주파수가 낮을수록 각각의 유량에 대해서 방전전력이 증가할수록 오존생성수율이 상승하는 것으로 나타났다. 이것은 내부유전체 내부가 저진공 (대기압) 이므로 앞서 언급한 바와 같이 중심전극에서 방출된 전자의 평균 자유행정이 짧아지게 되어 내부유전체가 고진공일 때보다 상대적으로 약하게 전리된다. 이에 방전 공간 내부의 무성방전이 고진공의 경우에 비하여 약하게 발생하므로 오존생성농도가 저하하게 된다. 이때 오존생성수율은 유량에 대한 의존성이 증가하게 된다.



(a) 주파수 1[kHz] (b) 주파수 2[kHz]
 그림 8. 진공도 0.1[Torr], 주파수 1 [kHz]일 때, 방전전력-오존생성수율특성



(a) 주파수 1[kHz] (b) 주파수 2[kHz]
 그림 9. 진공도 760[Torr], 주파수 1 [kHz]일 때, 방전전력-오존생성수율특성

그리고 동일한 주파수에 대하여 유량이 적을 때에는 방전전력이 증가함에 따라 오존생성수율이 상승하다가 최대값 이후 포화하는 것으로 나타났고, 유량이 많을 때에는 방전전력이 증가함에 따라 점차 상승률이 둔화되는 것으로 나타났다. 이것은 오존생성량을 방전전력에 의한 소비전력량으로 나누어짐으로 오존생성수율은 무성방전에 의하여 생성되는 오존생성량과 방전전력 밀도에 의한 오존의 열분해에 의존하게 된다. 그러므로 방전전력이 약 8.5 [W]까지는 생성된 오존발생량의 상승비율이 방전 공간 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 둔화될 것이라고 생각된다.

3. 결론

본 논문에서는 무성방전의 증첩을 이용하여 설계·제작된 증첩방전형 오존발생기의 중심전극 진공도 변화에 따른 방전특성 및 오존생성특성에 관하여 연구·검토하였다.

- 1) 방전전압 및 방전전류는 전원장치의 출력전압이 증가함에 따라서 오존발생기의 방전 공간 내부의 전력밀도가 같이 증가하므로 거의 선형적으로 상승됨을 볼 수 있다. 방전전압은 유량의 변화에 따라 큰 차이가 없었으나 방전전류는 유량이 적은 경우가 유량이 많은 경우에 비하여 미소하게 높은 것으로 나타났다.
- 2) 중심전극의 진공도가 높아질수록 내부유전체 내부의 전자의 평균자유행정이 길어지게 되어 내부유전체 전체가 하나의 전극으로 대전되어 전극의 면적이 넓어져 방전 공간 내부에서 발생하는 무성방전이 상대적으로 활성화되어 방전 공간 내에서 전리확률이 상승하게 되어 오존생성농도 및 오존생성량이 증가하는 것을 알 수 있었다.
- 3) 각각의 유량에서 방전전력이 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 동시에 동일한 방전전력에 대하여 유량이 증가함에 따라 오존생성량은 비례하는 것으로 나타났다.
- 4) 진공도가 일정한 할 때, 방전전력이 증가할수록 오존생성수율이 최대값을 가진 후 포화되었으며, 유량이 적은 경우에는 상대적으로 유량이 많은 경우 보다 방전전력의 변화에 따른 오존생성수율이 빨리 포화되거나 상승률이 둔화되는 것으로 나타났다.

참고 문헌

- [1] 杉光英後 “오존의基礎と應用”, 光琳, 1996年
- [2] 米内伸, “新版오존利用の新技術”, 三秀書房, pp.3 ~ 50, pp.152 ~ 153, 平成5年
- [3] 石井啓夫, “오존利用の新技術”, 三秀書房, pp.152 ~ 153, 昭和61年
- [4] 李 廣植, 李 東仁, “氣體放電에 의한 오존생성과 그 應用”, 大韓電氣學會 放電·高電壓(研), 學術發表會 論文集, pp.3 2 ~ 35, 1992
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 이상근, 전병준, 박용권, 박원주, 이광식, 권혁한, 송현직, 박중협, “고주파 전압인가에 의한 무성방전형 오존발생기의 원료가스 온도특성에 관한 연구”, 한국조명전기설비학회 논문지, Vol. 15, No. 5, pp. 46~54, 2001