

3상 전압을 사용한 중첩방전형 오존발생기의 오존생성 및 방전잡음특성

(The Ozone Generation and Discharge Noise Characteristics of
Superposed Discharge Type Ozonizer Using Three-Phase Voltage)

전병준* · 송현직** · 김영훈*** · 최상태**** · 이광식*****

(Byung-Joon Chun · Hyun-Jig Song · Yeong-Hun Kim · Sang-Tae Choi · Kwang-Sik Lee)

요 약

본 논문에서는 단독무성방전과 3상 전압을 사용한 중첩무성방전을 인가할 수 있는 오존발생기를 설계·제작하였다. 오존발생기는 3개의 전극(중심전극, 내부전극 및 외부전극)과 2개의 방전갭(중심전극과 내부전극 사이의 갭 및 내부전극과 외부전극 사이의 갭)으로 구성되어 있으며, 단독무성방전과 3상 중첩방전이 인가되는 방식에 따라 오존화 가스가 생성된다. 이때 방전전력과 원료가스(O₂)의 유량의 변화에 따른 오존생성특성을 연구한 결과, 단독무성방전의 경우, 최대 2300[ppm], 570[mg/h] 및 745[g/kWh]의 오존생성특성을 얻을 수 있었으며, 3상 전압을 인가한 경우에는 5039[ppm], 1773[mg/h] 및 851[g/kWh]을 각각 얻을 수 있었다. 따라서 3상 중첩무성방전이 단독무성방전에 비하여 오존생성특성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, an ozonizer, which can supply individual and superposed silent discharge using three-phase voltage has been designed and manufactured. The ozonizer consists of 3 electrodes(Central Electrode, Internal Electrode and External Electrode) and 2 gaps(gap between Central Electrode and Internal Electrode, gap between Internal Electrode and External Electrode). Ozone is generated according to voltage supplying method to each electrode by individual silent discharge and three-phase superposed discharge. The characteristics of ozone generation were investigated with variation of discharge power and the flow rate of supplied gas(O₂). In case of individual silent discharge, the maximum values of ozone concentration, ozone generation and ozone yield were obtained between internal electrode and external electrode, and its values were 2300[ppm], 570[mg/h] and 745[g/kWh] respectively. Each maximum value was 5039[ppm], 1773[mg/h] and 851[g/kWh] respectively, when three-phase superposed silent discharge was employed. Therefore, characteristics of ozone generation with three-phase voltage are improved compared with single-phase voltage because silent discharge is generated continuously.

*정회원 · 영남대 전기전자공학부 박사과정
**정회원 · 영남대 공업기술연구소 연구원 · 공박
***정회원 · 포항1대학 전기과 교수 · 공박

****정회원 : 경주대 컴퓨터전자공학부 교수 · 공박
*****정회원 : 영남대 전기전자공학부 교수 · 공박
접수일자 : 2000년 1월 12일

1. 서론

제 2차 세계대전과 냉전시대를 거치면서 세계적으로 國富를 위하여 급속한 산업화와 도시집중화를 추구하게 됨에 따라 자연친화적 환경이나 쾌적한 생활 환경은 자연히 2차 적인 문제로 남을 수밖에 없었다. 그러나 오랜 냉전시대의 종식과 더불어 산업화에 따른 편리한 생활의 뒤편에 우리에게서 환경파괴라는 또다른 첨예한 문제에 당면하게 되었다. 이에 선진국에서는 오랜 시간을 두어 産學研을 중심으로 환경보존과 개선을 위한 기술의 개발에 심혈을 기울임은 물론 연구·개발된 기술의 실용화 단계에까지 모든 물질·제도적 지원을 아끼지 않음은 물론이다. 이러한 국제사회의 行步에 맞추어 국내에서도 1970년대 중반이후 제창된 “몬트리올 의정서 협약” 및 “리우 환경선언”과 같이 세계 각국과의 국제환경협약을 지속적으로 진행하면서 대기, 수질, 상하수도, 폐기물 분야에 관한 “환경비전 21” 등의 정책을 수립하여 쾌적한 환경에서 국민이 건강한 삶을 누릴 수 있는 권리를 도모하고 있다.

이러한 측면에서 대기 및 수질환경오염을 사전에 근원적으로 예방함은 물론 이미 발생된 환경오염물질을 제거하는 방안으로써 강력한 산화력을 지닌 오존(O_3)을 활용하는 연구가 국내외적으로 진행되고 있다.

오존은 정수장에서 사용되고 있는 염소에 비하여 강한 산화력을 가지고 있기 때문에 다양한 유해화합물의 산화분해, 세균의 저감화, 불활성화의 작용을 가지고 있으면서 오염물질과 반응하여 최종적으로 산소로 자기분해 되므로 2차 오염의 우려가 없기 때문에 살균, 탈취, 탈미, 정화, 실내 공기정화, 식품보존, 오폐수 정수처리 및 의료분야 등의 광범위한 분야에 사용되고 있다.[1][2]

오존을 발생시키는 방법은 자외선 조사법, 전기분해법, 무성방전을 이용하는 방법 등이 있지만, 오염 정도에 따라 오존발생량의 제어가 용이하고 부가적인 불순물의 발생율이 작은 무성방전형 오존발생기가 실용으로써 많이 채용되고 있다.

최초로 제작된 무성방전형 오존발생기는 1857년 독일의 Werner Von Siemens 에 의하여 개발되었다. 이 오존발생기는 2개의 대향전극 사이에 1개의 방전 gap 이 존재하는 무성방전(silent discharge)형 오

존발생기로 현재까지 이러한 형태가 주를 이루고 있지만, 오존을 발생시키는 원료가스가 산소 및 공기인 경우 오존생성수율이 각각 220 및 90[g/kWh]정도로써 열화학반응식을 이용한 이른적 오존생성수율 1,200[g/kWh]보다 대단히 낮으므로 오존생성수율의 향상이 결실하게 요구되고 있다.[3][4]

이에 본 논문에서는 저전력, 고농도, 고수율의 오존발생기를 개발할 목적으로 3개의 전극을 장착한 중첩무성방전형 오존발생기(3-Phase Superposed Discharge Type Ozonizer, 이하 3PSDO)를 제작하였으며, 이들 전극은 중심전극(Central Electrode, 이하 CE), 내부전극(Internal Electrode, 이하 IE) 및 외부전극(External Electrode, 이하 EE)으로 구성하였으며, 이들 각각의 전극에 120° 의 위상차를 가진 3상전압을 인가하여 방전공간에서 무성방전이 연속적으로 발생할 수 있도록 하였다. 이들 연속된 무성방전이 발생할 경우의 방전특성 및 오존생성특성(오존생성농도, 오존발생량 및 오존생성수율)에 관하여 연구검토 하였다.

한편 이러한 오존발생기는 무성방전시 발생하는 pulse형 전류를 이용하기 때문에 이들 pulse가 시간적·공간적으로 급격히 변화하면 높은 주파수 성분을 포함한 전자파가 방사된다. 이러한 방사전자파를 방전잡음이라 하는데 이들은 현재 디지털화 되어있는 환경설비 등에 오동작을 유발할 우려가 있다. 따라서 본 논문에서는 잡음대책을 확립하고 환경전자적 측면에서 단상전압을 인가할 때 오존발생기의 인가전압 및 원료가스의 유량변화에 따른 방사전자파의 주파수스펙트럼 특성을 연구검토 하였다.[5][6]

2. 다중방전형 오존발생기의 방전기구 및 오존생성기구

2.1 방전기구

통상의 무성방전형 오존발생기는 2개의 대향전극을 두어 생성되는 1개의 방전 gap 사이에 평행평판전극의 한쪽 혹은 양쪽면에 유전체(glass 혹은 ceramic 등)를 삽입한 후, 오존발생기에 공기 혹은 산소를 대기압 하에서 공급하면서 양전극간에 교류고전압을 인가할 때, 플라즈마 화학작용으로 원료가스의 일부가 오존으로 되어 오존화 가스가 유출되는

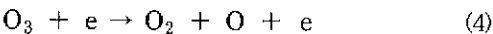
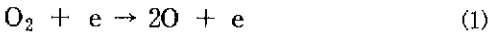
구조이다. 이러한 무성방전형 오존발생기의 방전기구
는 교류 正負교전압이 최대점에 이를 때까지 방전전
류가 형성되다가 전압이 正負의 최대점으로부터 강
하되면서 소멸된 결과, 교류 1주기에 방전구간과 방
전휴지구간이 각각 2회씩 존재하게 된다. 이러한 무
성방전은 방전구간에서는 미세한 pulse 방전의 집합
체로 전자가 전극면상의 다수점에서 발생되어 전자
와 원료가스 내 산소분자와의 충돌에 의해 발생하는
오존의 화학반응으로서 유용한 방전이다[2].

따라서 본 연구에서 설계·제작된 오존발생기에
장착된 3개의 전극(CE, IE 및 EE)에 120°의 위상
차를 가진 3상 전압을 모든 전극에 동시에 인가함으
로서 1주기 내의 방전휴지구간이 존재하지 않게 된
다. 그러므로 단독무성방전(1-Phase Discharge
Type Ozonizer, 이하 1PDO)時 보다 원료가스가 방
전시 발생하는 전자와 충돌할 확률이 높아지게 되므
로 오존의 생성에 유용한 방전이라고 볼 수 있다.

또한, 그림 1에서 3PSDO 3개의 전극 중 중심전극
(CE)은 저압(10⁻¹torr)방전을 유지 시키므로써
전리가스가 충전된 방전관으로 이루어져 3PSDO의
방전을 활성화시키며, 2개의 방전 gap 에서 일어나는
방전의 상호작용으로 중첩무성방전이 활성화되는 특
성이 있다[7][8].

2.2 오존생성기구

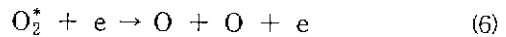
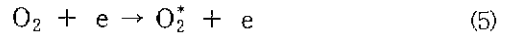
식 (1) ~ (4)는 산소를 원료가스로 사용한 경우,
무성방전에 의한 주된 오존생성·분해반응이다.[3][4]



여기서 e : 전자, O : 산소원자, O₂ : 기저상태의
산소분자, O₃ : 오존

식 (1) ~ (4)와 같이 무성방전형 오존발생기의 오
존생성기구는 ① 전자충돌에 의한 산소활성종의 생
성, ② 오존생성반응 및 ③ 오존분해반응에 의하여
이루어지는 것이다. 그러나, 무성방전형 오존발생기
는 생성된 오존의 농도가 높아질수록 방전공간 내의
전력밀도 또한 높아지게 되어 오존의 분해반응 역시

활발하게 진행되기 때문에 고농도·고수율 오존생성
을 저해하게 된다. 따라서 고농도·고수율 오존발생
기를 개발하기 위하여 본 논문에서는 식 (5) 및 (6)
과 같이 무성방전시 방전구간에 존재하는 勵起 산소
분자(O₂^{*})를 경유하는 오존생성기구의 유용성을 고
려하였다[9][10].



여기서 O₂^{*} : 여기상태의 산소분자

즉, O₂^{*} 는 O₂ 보다도 낮은 에너지의 전자에 의하
여 해리되므로 O₂^{*} 가 존재하면 식 (6)의 반응은
식 (1)의 반응보다 빠르고 더욱 활발하게 진행된다.
그러나, O₂^{*} 에 전자가 충돌하지 않으면 방전휴지구
간에서 O₂^{*} 가 해리 또는 전리되지 않고 脫勵起하여
기저상태로 되돌아가게 된다.

3PSDO는 120°의 위상차를 가진 3상 전압을 각
전극에 동시에 인가하므로 1PDO와는 다르게 여기산
소분자가 기저상태로 천이하기 전에 다른 방전에 의
하여 전자와 충돌하는 것이 가능하다. 이에 식 (4)
의 해리가 가능하게 되어 오존이 생성되는 방식이다.

그러므로 식 (1)에 의한 기저상태의 산소분자의
해리보다 낮은 에너지에서 해리가 발생되기 때문에
낮은 에너지의 전자 또한 효과적으로 이용할 수 있
으므로 3상 중첩무성방전법은 오존생성수율의 증대
효과 또한 기대할 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

그림 1은 3개의 전극(CE, IE 및 EE)과 2개의
방전 gap으로 구성된 3PSDO의 개략도이다. 여기에
서 내부 유전체는 납유리관으로 외부 유전체로는
pyrex 제질의 유리관으로 각각 구성시켜 각 gap 에
서 발생하는 무성방전을 중첩시키기 위한 이중 원통
형 구조로 구성되어 있다.

이때, 3개의 전극은 다음과 같이 구성되었다.

(1) 중심전극(이하 CE) : 두께 1[mm], 외경
12[mm]의 원통형 납유리관 내부에 원추형 산화철
전극을 장착한 방전관을 중심전극으로 사용하였다.

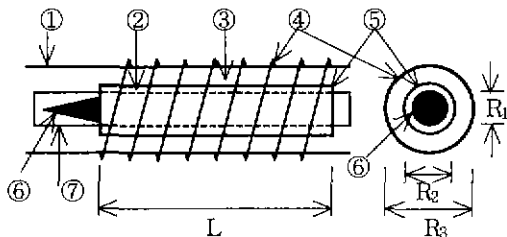
(2) 내부전극(이하 IE) : 두께 0.035[mm], 길

3상 전압을 사용한 중첩방전형 오존발생기의 오존생성 및 방전특성

이 130[mm]의 원통형 스테인레스 mesh 를 중심전극이 장착된 내측의 납유리관과 방전 gap d_1 을 0.4[mm]로 유지하면서 납유리관 주위를 둘러 내부전극으로 사용하였다.

(3) 외부전극(이하 EE) : 두께 1[mm]의 구리에 규석도금한 세선을 내부전극과 방전 gap d_2 가 1.9[mm]로 유지되면서 장착된 두께 1.2[mm], 외경 19[mm]인 원통형의 pyrex 유리관 외측 표면에 길이 130[mm], 피치 5[mm]간격의 나선형으로 감아 외부전극으로 사용하였다.

이들 3개의 전극에 전압인가 방식에 따라 단상전압을 인가하는 3가지의 1PDO와 3상 전압을 3개의 전극에 인가하는 3PSDO로 나누어 다음과 같이 실험을 행하였다.



① pyrex 유리 ② 방전 gap d_1 ③ 방전 gap d_2
 ④ 전극 EE ⑤ 전극 IE ⑥ 전극 CE ⑦ 납유리
 R_1 : 외경 12[mm], R_2 : 외경 12.8[mm]
 R_3 : 외경 19[mm], L : 길이 130[mm]

그림 1. 3PSDO 의 개략도
 Fig. 1. The schematic diagram of 3PSDO

(1) 단상전압의 인가방식에 따른

- ① IE(H.V) - CE(ground)의 1PICDO
- ② EE(H.V) - IE(ground)의 1PEIDO
- ③ CE(H.V) - EE(ground)의 1PCEDO 및

(2) 120°의 위상차를 가진 3상 전압을 각 전극에 동시에 인가하는 3PSDO가 있다.

그림 2는 본 연구에서 설계·제작한 오존발생기(3PSDO)를 이용하여 방전특성 및 오존생성 특성을 연구하기 위한 실험장치의 배치도이다. 3상 교류고전압의 전원으로로서 3개의 승압용 neon transformer(이하 NT)를 Δ 결선하여 이용하였으며, 오존발생기의 각 전극에 각상의 전압을 인가하여 2개의 방전공간(gap d_1 및 gap d_2)에서 무성방전이 발생하도록 하였

다. 이때 3개의 전극에 동시에 3상 전압을 인가한 경우(3PSDO)의 각 전극간 전위차와 방전범위는 그림 3과 같다. 그림에서와 같이 각 상에서의 무성방전이 연속 또는 중첩되므로 방전휴지구간이 존재하지 않게 되어 식(5) 및 식(6)과 같이 여기산소분자가 기저상태로 천이하기 전에 후속 방전에 의하여 해리 또는 전리하게 되므로 오존의 수율을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.[11]

그림 2와 같이 각 3PSDO 에 A.C HV 전원으로 부터 출력되는 고전압을 인가하고 원료가스인 상업용 산소를 flowmeter로 조절하면서 3PSDO 의 입구측에 유입시키면 무성방전의 중첩에 의하여 오존화 가스가 생성된다. 이때, 오존모니터를 사용하여 오존화 가스의 오존생성농도(이하 O_{3cm})를 측정 한 후, 오존생성량(이하 O_{3g}) 및 오존생성수율(이하 O_{3Y})은 계산하였다.

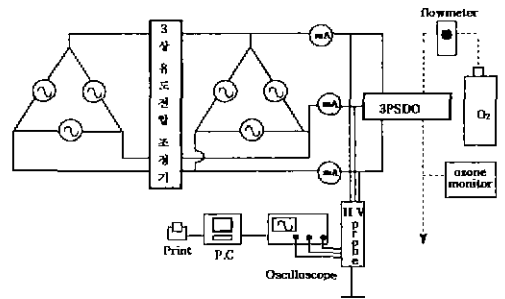


그림 2. 3PSDO 를 이용한 실험장치의 배치도
 Fig. 2. The arrangement diagram of experimental apparatus using 3PSDO

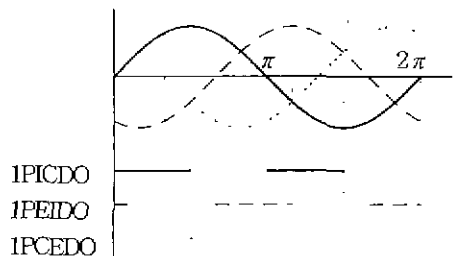


그림 3. 3상 교류고전압 인가시, 각 전극간의 전위차와 방전범위
 Fig. 3. The potential difference between each electrode and discharge period when three-phase voltage was applied

3.2 실험방법

오존발생기의 원료가스는 상업용 산소를 사용하였으며, 원료가스의 유량(Q)은 상온(18 ± 1[°C]), 대기압 상태에서 flowmeter로 2, 4, 8, 12 및 16[l/min]로 변화시켰을 때 방전전력(이하 W_d)에 따라서 발생된 오존은 자외선 흡수방식의 오존모니터를 사용하여 매 실험마다 0.3[l/min]로 표본 추출되어 오존생성농도(O_{3con}), 오존발생량(O_{3g}) 및 오존생성수율(O_{3Y})을 측정 계산하였다. 한편 3상 전압 인가시의 방전전력은 중첩무성방전이 불평형 상태이므로 전력을 직접 측정하는 것이 불가능하기 때문에 본 논문에서는 3상 무성방전 시 각상에 흐르는 전류를 측정하여 단독무성방전 시의 Lissajous 도형으로부터 구한 방전전류-방전전압특성을 이용하여 이들의 합으로부터 방전전력을 산출하였다.

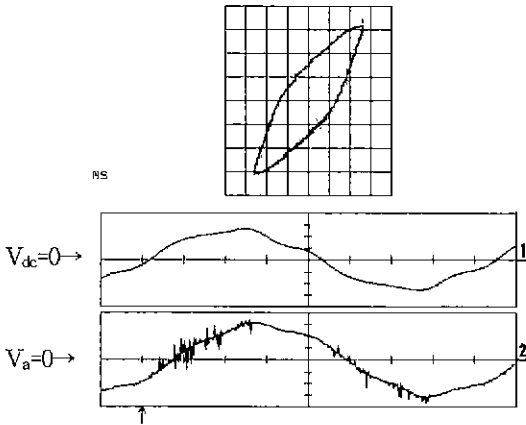


그림 4. Q가 2 [l/min]인 경우, V₂ 변화에 따른 Lissajous 도형
 Fig. 4. Lissajous figures with variation of V₂ for Q=2 [l/min]

그림 4는 1PCEDO일 때, Q가 2 [l/min]인 경우, NT의 출력전압(V₂) 변화에 따른 Lissajous 도형을 보여주고 있다. 단독무성방전(1PDO)시의 방전전력은 그림 4와 같이 오존발생기에 인가된 전압과 그에 따른 전하량을 이용한 Lissajous 도형으로부터 구할 수 있다. 무성방전과 같이 교류전압을 인가할 때의 순시전력 p는 부하에 가해진 전압 V_g와 흐르는 전류 I의 곱으로 계산된다. 따라서, 시간 t = 0에서 파형의 주기 t = T 사이에 소비된 에너지 ω는 식(7)

과 같이 주어진다.

$$\omega = C_s \int_{t=0}^{t=T} V_g(t) \times d(V_c(t)) \quad (7)$$

여기에서, ω : 1주기 에너지, C_s : 정전용량, V_g : 부하에 가해진 전압, V_c : 콘덴서 인가전압

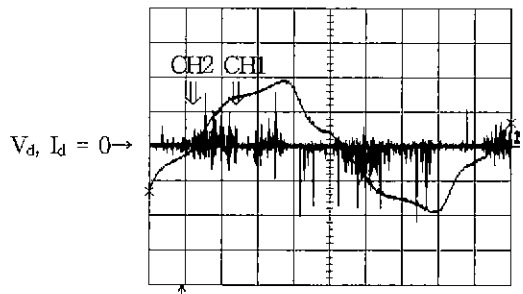
그러므로 Lissajous 도형의 면적계산에 의하여 1주기의 에너지가 얻어진다. 즉, 방전전력은 1주기 에너지 ω에 주파수 f를 곱하여 구할 수 있다.[12]

4. 실험결과 및 고찰

4.1 방전특성

그림 5는 단독무성방전(1PICDO, 1PEIDO 및 1PCEDO)에서 V₂가 220[V]이고 Q가 2[l/min]일 때, V_d·I_d 파형을 측정된 것이다. 그림 5의 (a), (b) 및 (c)에서 CH1의 V_d 파형은 단독무성방전에서 각 1PDO의 형태에 따라 고전압전극에 인가된 주파수 60[Hz]의 고전압 파형이다. 여기에서 각 1PDO에 인가된 단상교류고전압은 NT를 Δ결선한 전원장치에서 임의의 단상전원을 1PDO에 인가한 것이다. 또한, CH2는 각 1PDO에서 접지전극으로 사용된 전극 측에 50[Ω] 무유도 저항을 삽입하여 측정된 I_d 파형이다.

그림 6은 3상 중첩무성방전(3PSDO)에서 V₂가 220[V]이고 Q가 2[l/min]일 때, V_d 파형이다. 그림 6에서 CH1, CH2 및 CH3는 각각 CE, IE 및 EE의 방전전압 파형이다. 그림에서와 같이 3PSDO에서는 120°의 위상차를 가진 교류고전압이 연속적으로 발



CH1(IE):4[kV/div], CH2(CE):100[mA/div]
 CH1, CH2: 2[ms/div]
 (a) 1PICDO

3상 전압을 사용한 중첩방전형 오존발생기의 오존생성 및 방전잡음특성

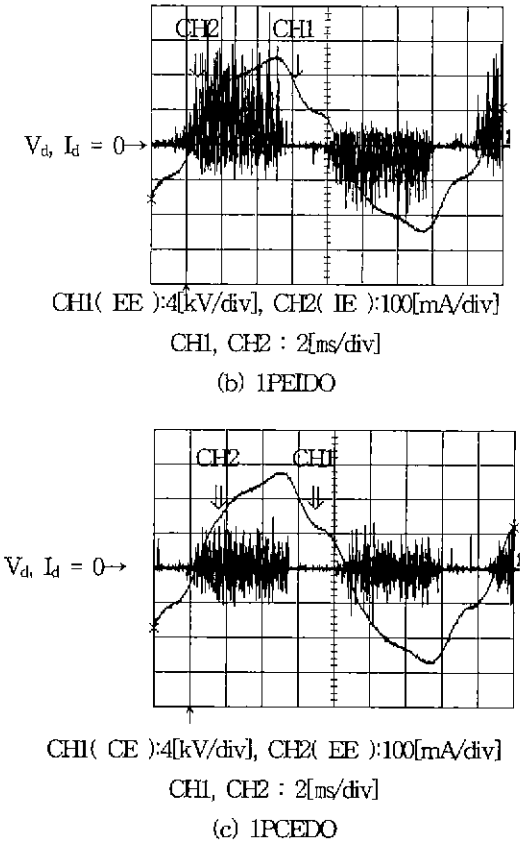


그림 5. $Q = 2 [l/min]$, $V_2 = 220 [V]$ 일 때, 각 1PDO 의 $V_d \cdot I_d$ 파형
Fig. 5. Waveforms of $V_d \cdot I_d$ of each 1PDO for $Q = 2 [l/min]$, $V_2 = 220 [V]$

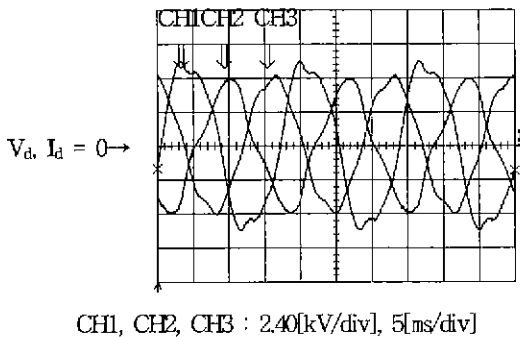


그림 6. $Q=2 [l/min]$, $V_2=220 (V)$ 일 때, 3PSDO의 V_d 파형
Fig. 6. Waveform of V_d of 3PSDO for $Q = 2 [l/min]$, $V_2 = 220 [V]$

생되기 때문에 방전후지구간이 존재하지 않으므로 인하여 전술한 바와 같이 식 (5) 및 (6)과 같은 여기산소분자의 활성이 극대화되어 결국 오존생성수율을 향상시킬 수 있는 구조이다.

4.2 오존생성특성

4.2.1 3PSDO의 오존생성특성

그림 7은 3상 교류교전압을 인가할 때 3PSDO의 오존생성농도 (O_{3con}) 특성을 나타낸 것이다. 3상 소비전력(W_{d3})이 증가할수록 방전공간에서는 전력밀도의 증가에 따른 미소방전이 활발하게 형성되므로 방전공간을 통과하는 산소분자가 전자와 충돌할 확률이 높아져 산소원자의 수가 많아지게 되며 이렇게 생성된 많은 수의 산소 원자가 식 (1) ~ (6)과 같이 다른 산소원자, 산소분자 및 여기산소분자와의 충돌확률 또한 높아지게 되어 O_{3con} 이 상승되는 것으로 사료된다.

또한, Q 가 감소될수록 원료가스 중에 포함된 산소분자가 방전공간에 체류하는 시간이 길어지게 되면서 3PSDO의 중첩무성방전에 의하여 생성된 전자와 산소분자와의 충돌횟수가 증가하게 되고 원료가스의 유량에 의한 방전공간의 냉각효과 또한 낮아지게 되어 중첩무성방전이 더욱 활성화 된 결과 O_{3con} 이 상승하게 되는 것이다. 이 결과 그림 7에서 Q 가 2 l/min이고 W_{d3} 가 3.16[W]일 때 5039[ppm]의 최대 O_{3con} 을 얻을 수 있었다.

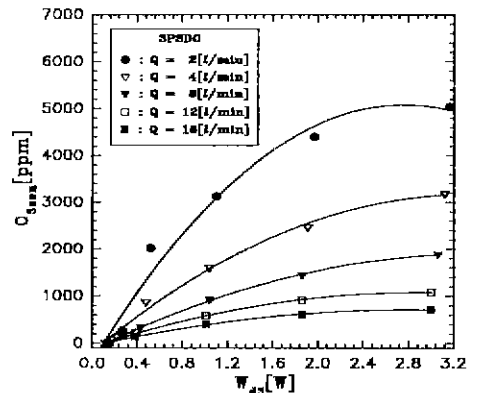


그림 7. Q 및 W_{d3} 의 변화에 따른 O_{3con} 특성
Fig. 7. The characteristics of O_{3con} with variation of Q and W_{d3}

그림 8은 W_{d3} 및 Q 의 변화에 따른 3PSDO의 오존생성량 (O_{3g}) 특성을 측정된 것이다. 그림에서와 같이 각 Q 에서 W_{d3} 가 증가됨에 따라서 거의 비례적으로 O_{3g} 가 상승되었으며, W_{d3} 가 일정할 때 Q 가 상승되다가 감소되었는데 즉, Q 가 8 [ℓ/min] 인 경우 최대 O_{3g} 가 나타나다가 그 이상의 Q 에서는 감소되는 것으로 나타났다. 이것은 Q 가 증가함에 따라서 산소 분자가 방전공간을 횡단하는 시간이 짧아지면서 3PSDO의 중첩무성방전에 의하여 발생된 전자와의 접촉확률이 낮아지므로 O_{3con} 이 저하되는 비에 따라서 O_{3g} 가 결정되기 때문이다. 이 결과, Q 가 8 [ℓ/min] 이고, W_{d3} 가 3.06[W]일 때 최대 1773[mg/h]의 O_{3g} 를 얻을 수 있었다.

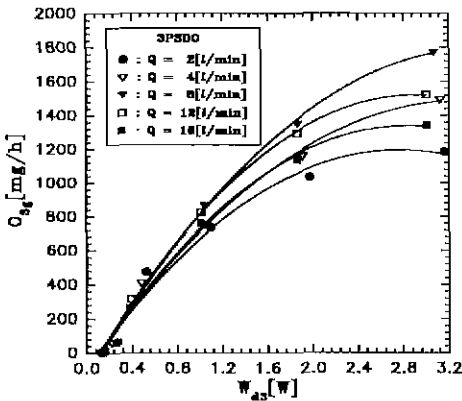


그림 8. Q 및 W_{d3} 의 변화에 따른 O_{3g} 특성
Fig. 8. The characteristics of O_{3g} with variation of Q and W_{d3}

W_{d3} 및 Q 의 변화에 따른 오존생성수율 (O_{3Y}) 측정 결과를 그림 9와 같이 나타냈다. 그림에서와 같이 동일한 Q 에서 W_{d3} 가 증가됨에 따라서 O_{3Y} 가 상승하다가 W_{d3} 가 약 0.6[W] 이상이 되면 서서히 저하되는 것으로 나타났다. 그리고 W_{d3} 가 일정할 때 Q 가 8 [ℓ/min]에서 W_{d3} 가 최대가 되었다가 그이상의 Q 가 되면 다시 저하되는 것으로 나타났다. 그 결과 Q 가 8 [ℓ/min]이고, W_{d3} 가 0.43[W]일 때 851[g/kWh]의 최대 O_{3Y} 를 얻을 수 있었다.

$1/W_{d3}$ 와 O_{3g} 의 곱으로 주어지는 O_{3Y} 는 W_{d3} 가 일정할 때, O_{3g} 특성에 의하여 결정된다. 이때, Q 의 변화에 따른 O_{3con} 과 오존으로 생성되는 산소 원료가스의 공급량으로 결정되는 O_{3g} 는 Q 가 낮을수록 전술한

바와 같이 O_{3con} 은 상승하지만, 원료가스 공급량은 Q 가 증가할수록 많아지므로 O_{3con} 과는 Q 의 증가에 따라서 서로 역의 관계라 할 수 있다.

그러므로 O_{3g} 는 Q 의 증가에 따른 O_{3con} 의 감소분과 산소원료가스 공급량 증대에 따른 O_{3g} 의 상승분이 서로 같게되는 유량영역에서 최대 O_{3g} 즉 O_{3Y} 가 나타나는 것이다. 따라서 필자들의 여러 연구결과를 토대로 하여 O_{3con} 이 상승할수록 Q 가 낮은 경우보다 Q 가 높은 경우에 Q 의 증가에 따른 감소분이 작아져서 Q 가 높은 경우 (8 [ℓ/min])에 최대 O_{3Y} 가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.[6][7][8]

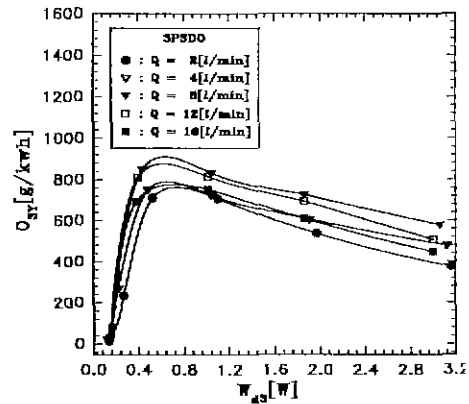


그림 9. Q 및 W_{d3} 의 변화에 따른 O_{3Y} 특성
Fig. 9. The characteristics of O_{3Y} with variation of Q and W_{d3}

4.2.2 오존생성수율의 상승효과

그림 10은 단독무성방전 (1PDO) 및 3상 중첩무성방전 (3PSDO)의 오존생성수율 특성을 비교·검토하기 위하여 Q 가 2 및 16 [ℓ/min]일 때 전압인가 방식에 따라 구분되는 오존발생기의 형태와 각 오존 발생기 방전전력의 변화에 따른 O_{3Y} 를 측정된 것이다. 이 경우 방전전력이 약 0.4[W] 이하에서는 1PDO 인 1PEIDO의 O_{3Y} 가 가장 높게 나타나서 1PEIDO > 1PCEDO > 1PICDO > 3PSDO의 순으로 나타났지만, 그 이상의 전력에서는 3PSDO > 1PEIDO > 1PCEDO > 1PICDO의 순으로 3상 전압인가에 따른 상승효과가 나타났다. 이러한 오존수율 비를 다음과 같은 식으로 정의할 수 있다.

$$\eta = T / S \quad (8)$$

여기에서 η : 오존수율 비, T : 3PSDO의 오존생성수율, S : 1PDO의 오존생성수율

즉, 식 (8)에서 오존수율 비 $\eta > 1$ 이면, 3PSDO에 의한 오존생성수율의 상승효과가 일어난 경우를 표시한다. 또한, 그림 10에서 보듯이 방전전력이 증가할수록 O_{3Y} 가 감소하는 것은 방전밀도가 증가함에 따라 높은 오존농도가 되면 오존과 산소원자에 의한 식 (3)과 같은 오존분해반응이 현저히 증가하게 되어 오존수율이 저하하는 것이라고 생각된다.

따라서 W_d 가 0.4[W] 이상인 경우, 단독무성방전에 비하여 3상 중첩무성방전의 경우가 방전전력의 증대가 가능하여 방전공간의 이용율이 높아져 높은 수율을 얻을 수 있었으며, 오존발생기의 소형화, 대용량화의 가능성을 확인할 수 있었다.

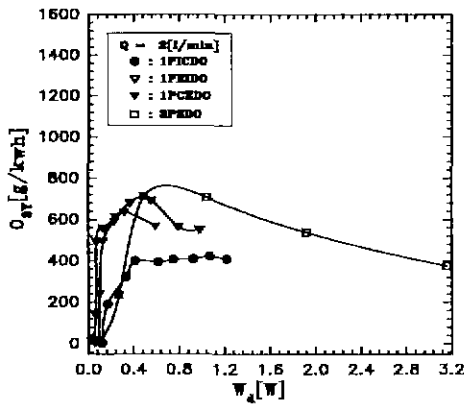


그림 10. Q가 2 [l/min]인 경우, 오존발생기의 형태 및 W_d 의 변화에 따른 O_{3Y} 특성
 Fig. 10. The characteristics of O_{3Y} with variation of ozonizer type and W_d for $Q = 2$ [l/min]

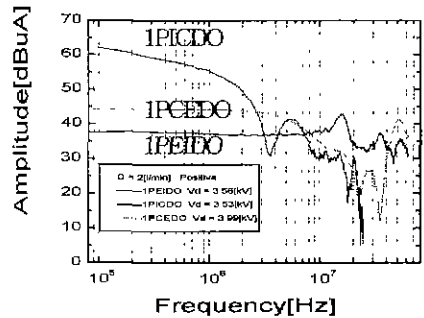
4.3 1PDO 전류펄스의 주파수 스펙트럼 특성

그림 11의 (a) 및 (b)는 Q가 2[l/min]일 때 전술한 세 가지 형태의 DO 즉, 1PICDO, 1PEIDO 및 1PCEDO에서 측정된 I_d 펄스를 FFT를 이용하여 구한 spectrum의 주파수특성을 나타낸 것이다. 그림 11의 (a)는 정극성의 경우이며, (b)는 負극성 일 때의 spectrum이다.

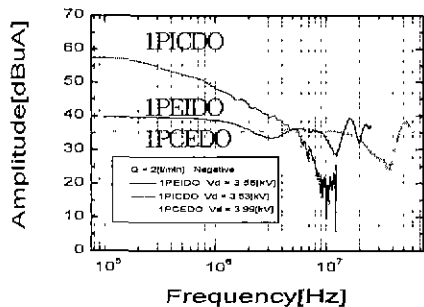
正극성에서는 이들 세 가지 형태의 DO에 의한 주파수스펙트럼의 분포는 3~5[MHz]이하에서는 레벨의 크기는 1PICDO가 가장 크게 나타나며, 그 다음으로 크게 나타나는 것이 1PCEDO이며, 1PEIDO가 가장 작게 나타났다.

負극성의 경우에는 주파수가 5[MHz]이하에서는 1PICDO가 레벨이 가장 높았으며, 그 다음으로 1PEIDO, 1PCEDO 순으로 나타났다.

따라서, 방전시 방사되는 전자파의 주파수 특성을 결정 지워주는 것은 각 주파수 대역별로 다르다. 즉, 저주파 영역에서는 주로 1PICDO에 의한 주파수스펙트럼의 레벨이 높게 나타나며, 고주파 영역으로 갈수록 1PEIDO와 1PCEDO의 주파수스펙트럼이 높게 나타났다. 따라서 방사전자파는 주로 1PEIDO와 1PCEDO 성분이 주를 이루는 것으로 추정할 수 있다.



(a) positive



(b) negative

그림 11. Q가 2 [l/min]인 경우, 1PDO의 변화에 따른 I_d pulse의 스펙트럼
 Fig. 11. Spectrum of I_d pulse with variation of 1PDO's type for $Q = 2$ [l/min]

5. 결론

본 연구에서는 3개의 전극(중심전극, 내부전극 및 외부전극), 2개의 방전 gap 이 장착된 중첩방전형 오존발생기를 설계·제작하여 전압인가 방법에 따라서 3가지 형태의 단독무성방전형 오존발생기와 3상 중첩무성방전형 오존발생기를 구성하여 방전특성과 오존생성특성을 연구검토하고, 단독무성방전형 오존발생기에 교류고전압 인가 시 방전전류의 변화에 따른 방사전자파 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 3상 중첩방전형 오존발생기는 3개의 전극에 120°의 위상차가 있는 교류고전압을 동시에 인가 하므로써 1 cycle 내에 방전휴지구간이 극소화되어 단독 무성방전형 오존발생기에 비하여 오존생성수율의 증대가 가능하였다.

2. 단독무성방전형 오존발생기의 경우, 1PEIDO가 외부전극과 내부전극 간의 gap에서 무성방전이 가장 강하게 발생되므로써 단독무성방전 시에 가장 효과적인 오존발생기임을 확인할 수 있었다.

3. 오존생성수율의 상승효과는 방전전력이 낮은 경우(0.4[W] 이하)에서는 1PEIDO > 1PCEDO > 1PICDO > 3PSDO의 순으로 나타났지만, 그 이상의 전력에서는 3PSDO > 1PEIDO > 1PCEDO > 1PICDO의 순으로 3상 전압인가에 따른 상승효과가 나타났다.

4. 방사전자파의 주파수 스펙트럼분포특성은 방전 시의 방전전류 파형과 밀접한 관계를 가지며, 단독무성방전형 오존발생기의 변화에 따른 주파수 스펙트럼분포는 저주파영역(5[MHz] 이하)에서는 1PICDO 가 가장 높게 나타났으며, 고주파영역에서는 1PEIDO 와 1PCEDO에서 방사되는 전자파가 주를 이루고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 전류파형에 진동성분이 많이 포함될수록 주파수영역이 고주파영역으로 확대되어 나타남을 알 수 있었다.

5. 이러한 결과에 따라 최대 오존생성농도, 오존생성량 및 오존생성수율은 5039[ppm], 1773[mg/h] 및 851[g/kWh]을 얻었다.

이 논문은 1999년 영남대학교 정보통신특성화 사업단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- (1) 이광식, 이동인, "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.32 ~ 35, 1992.
- (2) 杉光英俊, "オゾンの基礎と應用", 光琳, 1996.
- (3) B.Eliasson and U.Kogelschatz et al, "Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharges", JPhysD, Appl.Phys Phys, 20, pp.1421 ~ 1437, 1987.
- (4) B.Eliasson and U.Kogelschatz et al, "Modeling and applications of silent discharge plasma", IEEE translation on plasma science, Vol.19, No.2, pp.309 ~ 323, 1991.
- (5) William G. Duff, "Fundamentals of electromagnetic compatibility", Vol.1, pp.2.1 ~ 2.46, 1988.
- (6) 電子情報通信學會, "環境電磁工學の基礎", コロナ社, 平成3年.
- (7) 전병준, 이광식외, "3상전압을 이용한 중첩방전형 오존발생기의 특성", 대한전기학회 이계 학술대회 논문집, pp.2259 ~ 2261, 1999.
- (8) 전병준, 이광식의 "개선된 펄스형 오존발생기에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 논문집, pp.109 ~ 117, 1999.
- (9) 전병준, "環境改善을 위한 新 오존발생기에 관한 연구", 석사학위논문, 1998.
- (10) 전병준, 이광식외, "Mesh형 내부전극을 사용한 2중 원통형 오존발생기의 온도의존특성", 嶺南大 工業技術研究所 論文集, Vol.27, No.1, pp.51 ~ 56, 1999.
- (11) 岸田治夫 外, "三相交流電壓によるオゾン生成システム", 電學論A, 117卷, 6號, pp.565 ~ 570, 平成9年
- (12) R. Feng etc, "Automated system for power measurement in the silent discharge", IEEE Trans. Indus Appl, Vol.34, No.3, pp.563 ~ 570, 1998.

◇ 저자 소개 ◇

전 병 준(全兩俊)

1970년 10월 5일생. 1996년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

송 현 직(宋炫直)

1968년 7월 30일생. 1991년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 영남대학교 공업기술연구소 연구원

김 영 훈(金榮煥)

1963년 4월 12일생. 1984년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 포항1대학 전기과 부교수

최 상 태(崔相泰)

1957년 8월 8일생. 1984년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1992년 독일 Bochum Ruhr 대학교 전자공학부 석사과정 졸업. 동 대학원 박사과정 졸업(공학). 현재 경주대학교 컴퓨터 전자공학부 전임강사

이 광 식(李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 1995~1998년 당 학회 대구·경북 지회장. 현재 당 학회 부회장. 영남대 공대 전기전자공학부 교수, 영남대학교 산업기술대학원장.