

## Cascade형 평판전극 오존발생기의 특성

(The Characteristics of the Ozonizer with Cascade-Type Plate Electrode)

윤대희\* · 송현직 · 이상근 · 박광서 · 김종현 · 박원주 · 이광식\*\*

(Dae-Hee Yoon · Hyun-Jig Song · Sang-Keun Lee · Kwang-Seo Park ·  
Jong-Hyun Kim · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee)

### 요 약

최근 오존은 그 효율성을 인정받아 다양한 분야에서 사용되고 있으며, 그 수요 또한 계속 증가하는 추세이다. 이에 다양한 종류의 오존발생기가 연구되고 있다.

본 연구는 실내공기와 상·하수도의 수질개선을 위하여 cascade형 평판전극 오존발생기(plate-type ozonizer : PTO)를 개발하여 그 특성을 조사한 논문이다.

평판전극의 크기, 개수 및 배치에 따라 4가지 형태의 오존발생기를 설계하였다. 각 형태의 오존발생기의 방전 면적은 22,400[mm<sup>2</sup>]로 동일하며 방전전력은 최대 40[W]이다.

각 오존발생기의 오존생성량, 오존생성농도, 오존생성수율 특성을 연구한 결과, 8개의 평판전극이 cascade형으로 배치된 오존발생기(PTO-4)의 오존생성특성이 가장 우수하게 나타났다.

### Abstract

Recently, ozone has been utilized in various fields thanks to its effectiveness, and has been in ever-growing demand. Accordingly, various kinds of ozonizers have been examined among researchers.

This paper is concerned with developing the cascade-type plate electrode ozonizer(PTO) for improvements of indoor air, water supply and drainage, and investigating its characteristics.

Four types of ozonizers have been devised according to their size, numbers and arrangement. Electric discharge area of each type of ozonizer has the same size of 22,400[mm<sup>2</sup>], and its discharge power has the maximum 40[W].

As the result of having studied ozone generation, ozone concentration and ozone yield characteristics of each ozonizer, we found that the type of ozonizer in which eight plates were arranged into cascade type(PTO-4) was the most excellent one.

Key Words : Ozonizer, Cascade-type Ozonizer, Plate-type Ozonizer, Ozone Concentration, Ozone Yield

\* 주저자 : 영남대학교 전기공학과

\*\* 교신저자 : 영남대학교 전기공학과 교수

Tel : 053-810-2486, Fax : 053-810-4767, E-mail : kslee@yu.ac.kr

접수일자 : 2009년 3월 3일, 1차심사 : 2009년 3월 6일, 심사완료 : 2009년 3월 17일

## 1. 서 론

산업사회의 고도성장과 도시의 인구집중으로 상수도 수요량이 날로 증가하고 있다. 그러나 최근 하천 유지수의 감소로 자정 용량이 감소되어 수질오염은 점점 더 악화되어 가고 있다. 따라서 오염된 물이 다시 상수원으로 사용되는 결과를 초래하여 마시는 물의 안전성을 위하여 정수처리의 중요성이 크게 인식되고 있다[1, 6].

경제·산업의 발전으로 수질뿐만 아니라 대기환경 또한 심각한 문제로 제기되고 있으며, 환경오염은 생태계뿐만 아니라 인체에 대해서도 큰 영향을 미치고 있다. 이러한 환경오염 문제 해결 방법의 하나로 무색의 천연 물질로 불소(F) 다음으로 강한 산화력을 가진 강력한 산화제인 오존의 이용이 제시되어 폭넓게 이용되고 있다[1].

오존은 상온에서 산소로 환원되기 때문에 2차적인 오염이 없어 다른 산화제에 비해 큰 장점을 가지므로 산업용에서 가정용에 이르기까지 다양한 분야에서 응용되고 있다[2-5].

오존은 수송과 저장이 어려우므로 사용 장소에서 오존발생기를 설치하여 이용하는 것이 일반적이다. 따라서 오존발생기의 효율 향상과 소형, 경량화는 오존의 제조 및 사용을 위해 필요한 중요요소이다. 이러한 오존발생기의 성능을 향상시키기 위해서는 방전영역의 전극구조, 방전면적 특성에 관한 연구가 무엇보다 중요하다.

이러한 관점에서 본 논문에서는 무성방전을 이용한 전극의 면적이 동일하며 그 크기, 전극 수 및 배치를 다양하게 하여 각각 다른 오존생성특성을 가진 4종류의 평판전극 오존발생기를 고안하여 오존생성 농도, 오존생성수율 등의 특성을 연구하였다. 전극의 재질은 동(銅)이 사용되었으며 절연물은 유리가 이용되었다. 또한, 사용된 원료가스는 산소이다.

## 2. 관련 이론

### 2.1 오존생성 및 분해 이론

고농도, 고수율의 오존을 발생시키기 위해서 주로

사용되는 무성방전형 오존발생장치는 대향전극 사이에 유리나 세라믹 같은 유전체장벽을 설치하고 공기나 산소 등의 원료가스를 불어넣고 두 전극 간에 고전압을 인가하면 유전체장벽에 축적된 전하에 의한 마이크로방전을 유발하여 효과적으로 오존을 발생시키는 것이다. 이 때 방전영역에서 다음 식과 같은 반응에 의해 오존이 발생된다[1, 7-8].



여기서

e : 전자, O : 산소원자,  $O_2$  : 기저상태의 산소분자,  $O_3$  : 오존

식 (1)과 같이 전자충돌에 의해 산소분자가 해리되어 생성된 산소원자가 다른 산소분자와 결합하여 오존이 생성된다. 식 (2)에 의해 오존이 생성되는 시간은 매우 짧고(약 3[ $\mu$ s] 정도), 생성된 오존은 미소방전주의 주변으로 확산된다.

산소분자가 방전영역에서 체류시간이 길어지면 오존농도가 높아지지만, 농도가 높은 환경에서는 오존의 분해 또한 크게 되므로 높은 농도를 유지시키려면 유량과 투입 전력을 적당히 조절하여야 한다. 이때 유량이 증대될수록 높은 농도의 오존을 생성시키려면 방전공간 내에 더 많은 전기에너지를 투입하여 방전의 활성도를 더욱더 높일 수 있는 전극의 설계가 요구된다.

### 2.2 온도에 따른 오존생성

오존발생기에 공급되는 에너지는 유전체에 의해 방전영역에서 미소 방전주를 형성하고, 이 방전주에 의해 산소가 여기 및 해리되어 오존을 생성한다. 이 때 공급되는 에너지의 33[%]만이 오존생성에 기여하고 나머지 67[%]는 방전영역의 온도상승에 기여한다.

Cascade형 평판전극 오존발생기의 특성

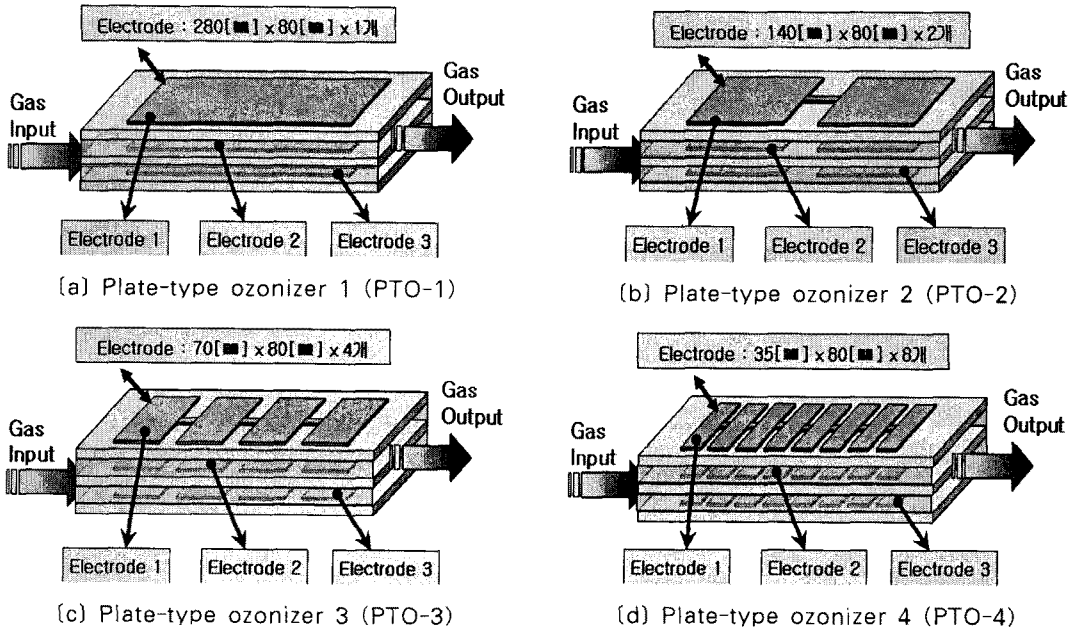


그림 1. 오존발생기의 개략도  
 Fig. 1. Schematic diagram of ozonizer

따라서 방전공간 내에 투입되는 에너지가 증가되면 방전의 활성화로 오존의 생성 농도가 증대되는 반면 방전공간 내의 온도 또한 상승되어 생성오존의 반감기가 짧아지게 되므로 생성오존의 소멸 또한 빠르게 진행되게 된다. 그러므로 방전공간 내의 냉각 효과에 크게 기여하는 유량과 냉각계통의 냉각성능을 투입에너지에 따라 최적의 상태로 설계할 필요가 있다.

3. 실험장치 및 방법

본 연구에서 설계·제작한 오존발생기는 그림 1과 같이 공기 및 상수의 수질을 개선하기 위하여 무성방전 원리를 이용한 cascade형 평판전극 오존발생기(Plate-Type Ozonizer : PTO)이다.

각 오존발생기의 유전체는 상용 유리판(두께 : 2 [mm], 가로 : 440[mm], 세로 : 110[mm])을 사용하였으며, 전극은 유전체에 밀착이 가능한 동태이프를 사용하였다. 그리고 방전전극의 형태는 그림 1 [a]~[d]와 같이 평판전극 형태로 모두 4종을 설계하였다. 각 오

존발생기의 총 방전면적은 22,400[mm<sup>2</sup>], 방전갭(G)은 3[mm]로 4종류 모두 동일하게 하여 상부와 하부 전극(1번, 3번 전극)에 고전압을 인가하고 중심전극(2번 전극)을 접지하여 무성방전이 발생되도록 하였다.

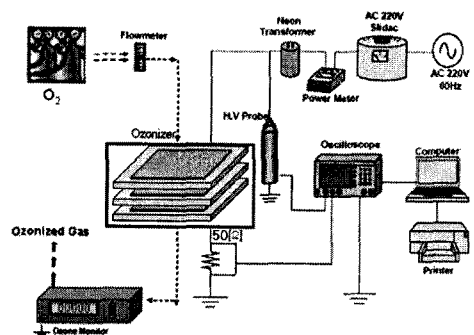


그림 2. 실험장치의 배치도  
 Fig. 2. Arrangement diagram of experimental setup

그림 2는 오존발생기의 오존생성특성을 연구하기 위해 오존발생기, 원료가스 공급장치, 전원장치, 계

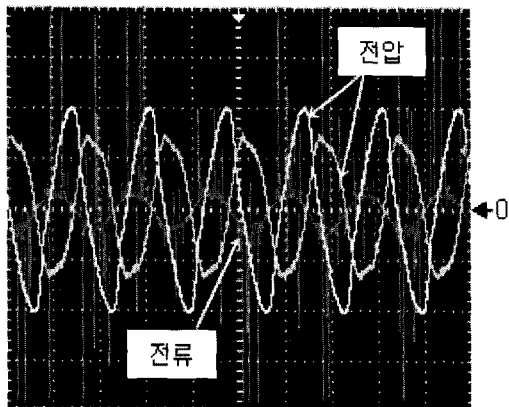
측장치 등으로 구성된 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다. 전원장치는 상용의 neon transformer(NT, 정격입력전압 : AC220[V], 정격출력전압 : 15[kV])에서 발생하는 교류전원을 사용하였다. 그림에서 실선 부분은 방전전력을 측정하기 위한 회로이며, 점선 부분은 원료가스( $O_2$ ) 및 오존화 가스의 흐름을 나타낸 것이다.

Ozone monitor(OZM-7000G)를 사용하여 오존생성농도( $O_{3con}$ )를 측정하였으며, 방전전력(W)은 디지털 전력계를 이용하여 측정하고 오존생성수율( $O_{3Y}$ )을 계산하였다. 또한, 방전전력 및 오존발생기로 유입되는 원료가스 유량(Q)의 변화에 대한 오존생성 특성을 측정 및 분석하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 전력변화에 따른 오존생성특성

그림 3은 본 연구에서 사용된 neon transformer의 전압, 전류 파형 및 방전펄스를 나타낸 것이다. 모든 오존발생기에서 유사한 형태의 파형이 나타났다.



전압 : 5(kV/div), 전류 : 4(mA/div), Time : 5(ms/div)

그림 3. 방전전압 및 전류 파형  
Fig. 3. Waveforms of discharge voltage and current

그림 4의 [a]~[d]는 오존발생기의 전극형태를 매개변수로 하였을 때 W의 변화에 따른 오존생성량

( $O_{3g}$ ) 및  $O_{3con}$ 의 특성을 나타낸 것이다. 동일한 Q에서 W가 증가할수록  $O_{3g}$ 와  $O_{3con}$ 은 모든 PTO에서 상승하고 있다. 이는 방전영역 내에 공급되는 에너지가 상승함으로써 각 전극 사이에서 무성방전이 활발하게 발생되어 산소를 여기, 해리시켜 보다 많은 오존( $O_3$ )을 생성하기 때문이다. Q의 증대에 따라  $O_{3con}$ 이 저하하는 특성을 보여주고 있는데 이는 Q가 증대에 따라 원료가스가 방전공간 내에 체류할 수 있는 시간이 짧아지게 되어 오존생성반응이 일어날 확률이 감소하기 때문이다.

Q의 증대에 따라  $O_{3g}$ 가 증대하는 특성을 보이지만 그 이유는 다음과 같다. 어떤 시간당 오존발생량은 방전공간 내에서  $O_3$ 의 농도와 Q의 곱으로 생각할 수 있는데 Q가 증대됨에 따른 발생량의 상승률보다 Q의 증대에 따른 농도의 저하율이 적기 때문으로 해석할 수 있다. 각 Q에서 PTO-4가 가장 우수한 특성을 보여주고 있는데 이는 다음과 같이 설명할 수 있다. PTO-4는 8개의 평판형 오존발생기가 전압은 병렬로 인가되어 있으며 원료가스의 유로는 직렬로 구성되어 있는 형태로 볼 수 있다. 원료가스 입구 쪽으로부터 첫 번째 전극이 첫 번째 오존발생기 역할을 하고 두 번째 전극이 두 번째 오존발생기 역할을 하게 되며 이렇게 순차적으로 하류 방향으로 8개의 오존발생기가 직렬 유로를 형성하고 있는 것과 등가적으로 볼 수 있다. 이 경우 첫 번째 오존발생기는 그 원료가 산소이나 두 번째 오존발생기의 원료는 첫 번째 전극에서 생성된 오존화 가스 즉, 오존을 내포한 가스가 유입하게 된다. 그러므로 두 번째 오존발생기에서는 더 높은 농도의 오존화 가스가 발생하게 되고 이렇게 하류 방향의 8개의 오존발생기를 통과할수록 원료가스는 더욱더 높은 농도의 오존화 가스가 투입되게 되는 것이다. 그 결과 마지막 8번째 전극의 출구 오존농도는 가장 높게 됨을 알 수 있다. 또한 동일 유량에서 농도가 높아지면 발생량도 더 커지게 되는 것이다.

그림 5의 [a]~[d]는 오존발생기의 전극형태를 매개변수로 하였을 때 W의 변화에 따른  $O_{3Y}$  특성을 나타낸 것이다. Q의 증대에 따라서  $O_{3Y}$ 가 증대되는 특성을 나타내고 있는데 이는 Q의 증대에 따라서  $O_3$ 의 발생량이 증가함에 기인하는 것으로 판단된다.

## Cascade형 평판전극 오존발생기의 특성

W의 증대에 따라 저유량(0.5~2.5[l/min])에서는 W-O<sub>3Y</sub> 특성이 일정전력(12[W])까지는 O<sub>3Y</sub>가 상승하며 그 이상 전력에서는 감소하는 특성을 보이고 있다. 전력의 증대에 따라 O<sub>3Y</sub>가 상승하는 특성은 전력 증대에 따라 전극 및 방전공간의 온도 상승에 의한 O<sub>3</sub>의 소멸률보다 생성률이 높기 때문이며 O<sub>3Y</sub>가 감소하는 특성은 소멸률이 생성률보다 더 높기 때문으로 설명된다. W-O<sub>3Y</sub> 특성 중에서 최대점에서 포화되는 특성은 소멸률과 생성률이 거의 일치하는 경우로 볼 수 있다.

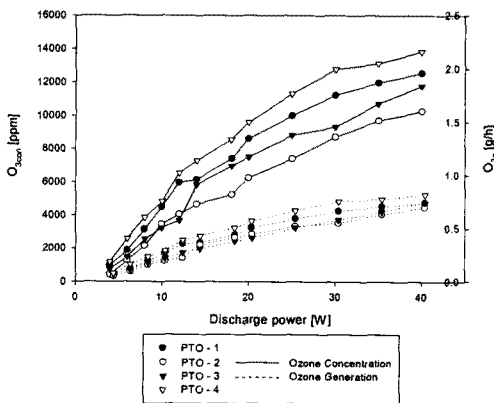
이 이론은 그림 5에서 낮은 Q에서 높은 Q로 이행함에 따라 O<sub>3Y</sub>의 최대점에서 낮아지는 비율이 감소

하는 특성을 보이며 Q가 5[l/min]일 경우는 감소율이 가장 낮으며 거의 포화되는 특성을 보이고 있는 것으로 더욱 명확하게 입증된다.

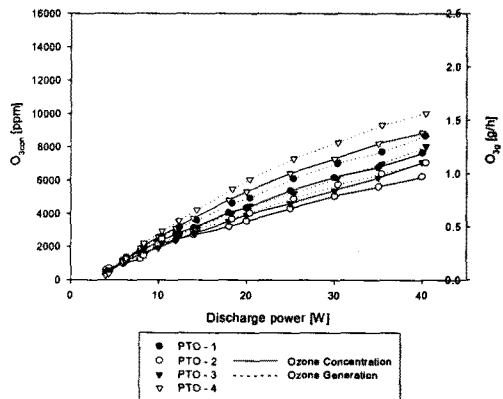
각 유량에서 O<sub>3Y</sub>도 PTO-4인 경우가 가장 우수하게 나타나는데 이것은 그림 3에서 설명한 O<sub>3con</sub> 및 O<sub>3g</sub> 특성이 PTO-4인 경우가 우수함에 기인하는 것으로 설명된다.

## 4.2 유량변화에 따른 오존 농도와 수율 변화 특성

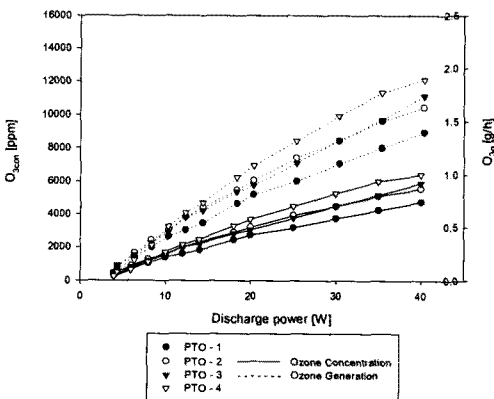
그림 6은 각 PTO 중 가장 우수한 특성을 가진



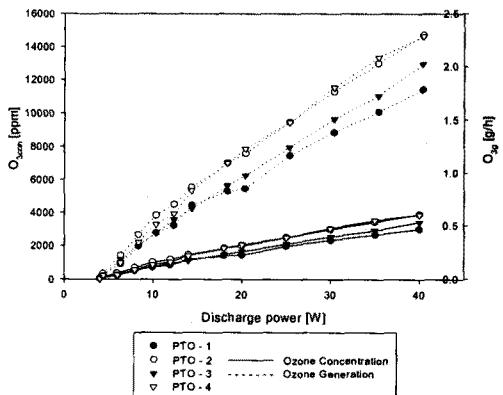
(a) Q=0.5 (l/min)



(b) Q=1.5 (l/min)



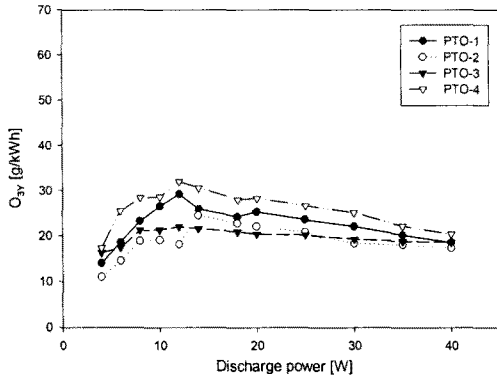
(c) Q=2.5 (l/min)



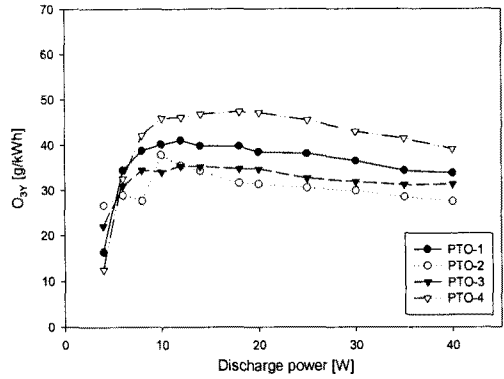
(d) Q=5 (l/min)

그림 4. W-O<sub>3con</sub> 및 W-O<sub>3g</sub> 특성

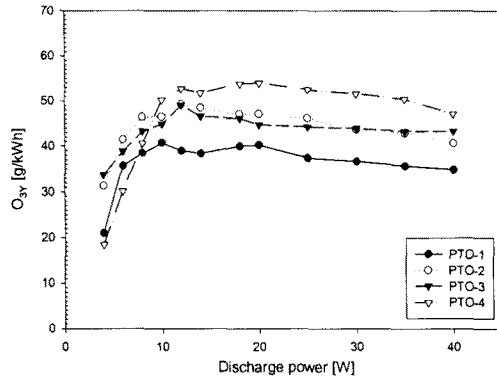
Fig. 4. The characteristics of W-O<sub>3con</sub>, and W-O<sub>3g</sub>



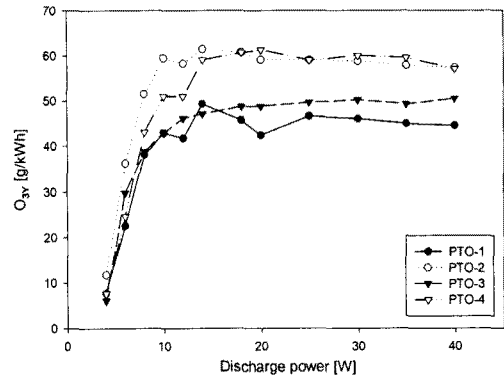
(a) Q=0.5 (l/min)



(b) Q=1.5 (l/min)



(c) Q=2.5 (l/min)



(d) Q=5 (l/min)

그림 5. W-O<sub>3Y</sub> 특성

Fig. 5. The characteristics of W-O<sub>3Y</sub>

PTO-4의 Q에 대한 O<sub>3cr</sub>(O<sub>3</sub> concentration rate, 오존 농도율) 특성을 나타낸다. 이때 투입된 전력은 40[W]이다.

여기서  $O_{3cr} = \frac{\text{각 } Q \text{에서의 } O_{3con}}{Q \text{가 } 0.5 [l/min] \text{ 일 때의 } O_{3con}} \times 100 [\%]$  을

의미한다. 그림에서 보면 Q가 0.5[l/min]인 경우의 농도(13,853[ppm])를 100[%]로 둘 때 Q가 1.5, 2.5 및 5[l/min]에서 각각 64, 46 및 28[%]로 각 유량에 대한 농도는 거의 반비례적인 특성을 보이고 있다.

이는 Q가 커질수록 일정 전력 40[W]인 경우 투입된 원료가스량이 증대되므로 방전공간 내에 원료가스가 체류할 시간이 짧게 되어 O<sub>3</sub> 생성반응을 충분히 일으키기 전에 방전공간 내를 지나가 버리기 때문인 것으로 설명된다.

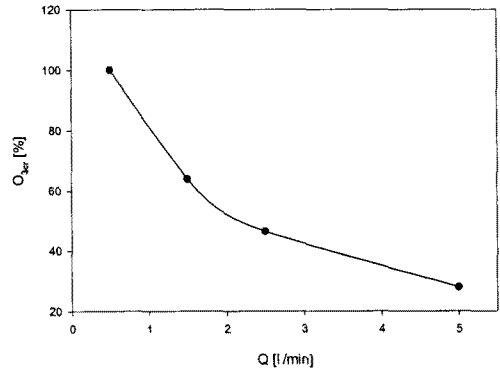


그림 6. Q-O<sub>3cr</sub> 특성

Fig. 6. The characteristics of Q-O<sub>3cr</sub>

## Cascade형 평판전극 오존발생기의 특성

그림 7은 본 연구에서 제안된 오존발생기 중 가장 우수한 특성을 지닌 PTO-4에 40[W]의 전력을 투입 하였을 때 Q에 대한  $O_{3Yr}$  증가율( $O_{3Yr}$  increase rate,  $O_{3Yr}$ ) 특성을 나타낸다.

여기서  $O_{3Yr} = \frac{\text{각 } Q \text{에서의 } O_{3Y}}{Q \text{가 } 0.5 [l/min] \text{일 때의 } O_{3Y}} \times 100 [\%]$  을 의미한다.

그림에서 나타난 바와 같이 0.5[l/min]일 경우에  $O_{3Yr}$ 을 100[%]로 하였을 때 1.5, 2.5 및 5[l/min]에서  $O_{3Yr}$ 은 각각 148, 169 및 192[%]로 크게 증가함을 보여준다. Q가 증가할수록  $O_{3Yr}$ 이 크게 상승하는 것은 다음과 같이 설명할 수 있다.

본 연구에서 제안된 PTO-4는 Q의 증대에 따라서  $O_3$  발생량의 상승률보다 농도의 저하율이 적기 때문에  $O_{3g}$ 가 Q의 증대에 따라 크게 됨에 기인하는 것으로 해석할 수 있다.

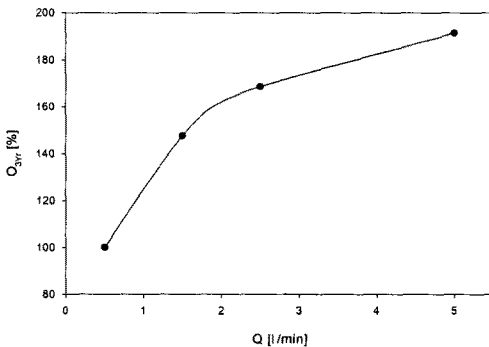


그림 7. Q- $O_{3Yr}$  특성  
Fig. 7. The characteristics of Q- $O_{3Yr}$

## 5. 결 론

본 연구에서는 cascade형 평판전극 오존발생기 (PTO)를 설계·제작하여 방전전력 및 유량의 변화에 따른 오존생성특성을 연구 검토하였다.

그 결과의 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 유량이 동일할 때 각 형태의 오존발생기에서는 공급전력이 증가함에 따라 오존생성농도 ( $O_{3con}$ ) 및 오존생성량( $O_{3g}$ )은 상승한다.
- (2) 동일한 방전면적일 때 전극을 8개의 평판전극

으로 하여 직렬유로 구조로 한 cascade형의 오존발생기(PTO-4)가 가장 우수하였다. 그 결과 유량 0.5[l/min]에서 오존생성농도( $O_{3con}$ ) 13,853[ppm], 유량 5[l/min]에서 오존생성수율 ( $O_{3Y}$ ) 61.3[g/kWh]로 가장 우수하게 나타났다.

- (3) 동일한 전력 투입에서 유량이 증가하면 생성수율은 증가하며, 동일한 유량에서 전력을 증가시켜 가면 수율은 일정전력 증대까지는 증대하여 가며 그 후는 포화 혹은 감소하는 특성을 나타낸다.
- (4) 동일한 투입전력에서 유량 증대에 따라 오존생성농도는 거의 반비례적으로 감소한다.
- (5) PTO-4에 40[W]의 전력을 투입하였을 때 수율은 0.5[l/min]에 대하여 5[l/min]일 경우는 192[%]로 획기적인 증대 효과를 가져왔다.
- (6) 본 연구에서 개발한 오존발생기의 제작 원리를 이용하면 적은 전력(40[W]이하)으로 음용수처리, 가정하수처리, 공기정화 및 식품·의료기 소독 등의 다양한 분야에 응용 가능할 것으로 판단된다.

## References

- (1) 이광식, 이동민, "기체방전에 의한 오존생성과 그 응용", 대한전기학회 방전·고전압(연) 학술발표회 논문집, pp.32~35, 1992.
- (2) 이광식 외 7인, "고주파 전압인가에 의한 무성방전형 오존발생기의 원료가스 온도특성에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 논문지 Vol.15, No.5, pp.46~54, 2001.
- (3) Byung-Joon Chun, Kwang-Sik Lee, Hyun-Jig Song, "Characteristics of Superposed Discharge type Ozonizer by Variation of Inner Dielectric Vacuum", KIEE International Transactions on EA, Vol.3C, No.6, pp.230~235, 2003.
- (4) Dong-Joo Kwak, "Development of Silent Discharge Chamber with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dielectric Pellet to Improve Ozone Generation Characteristics", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol.20, No.7, pp.58~64 August 2006.
- (5) Seung-Lok Park, Dae-Hee Lee, "High Concentration Ozone Generation Characteristics by Variation Cases and Flow Rates of Inlet Gas", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol.16 No.6, pp.95~101 November 2002.
- (6) Tae-Hee Kang, Byung Soo Oh, "A Study on the Ozone Consumption Rate for Drinking Water Treatment Process with Ozone Application", 大韓環境工學會誌·論文, pp.663~669, 2005.

- [7] 이광식 외 5인, “환경개선을 위한 형광방전등형 오존발생기의 특성”, Trans. KIEE, Vol. 51C, No. 10, pp.500-505, 2002.
- [8] 송현직, “중점방전형 오존발생기의 특성과 환경개선에 관한 연구”, 영남대학교 박사학위 논문, 1997.
- [9] Fukawa, F, Shimomura, N, Yano, T, Yamanaka, S, Teranishi, K, Akiyama, H, “Application of Nanosecond Pulsed Power to Ozone Production by Streamer Corona”, Plasma Science, IEEE Transactions on, Vol.36, pp. 2592-2597, 2008.
- [10] Teranishi, K, Shimomura, N, Suzuki, S, Itoh, H, “DBD-Type Ozone Generator using Piezoelectric Transformers: Effect of Barrier Electrode Material on Ozone Generation”, IEEE International Power Modulators and High Voltage Conference, Proceedings of the 2008, pp. 84, 2008.

◇ 저자소개 ◇

**윤대희** (尹大熙)

1971년 3월 1일생. 1997년 영남대 전기전자공학부 졸업. 2001년 동 대학원 졸업(석사). 2006년 동 대학원 졸업(박사). 현재 영남이공대학 겸임교수.

**송현직** (宋炫直)

1968년 7월 30일생. 1991년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 졸업(석사). 1997년 동 대학원 졸업(박사). 2001~2004년 구미1대학 컴퓨터응용전기과 교수 역임. 현재 영남이공대 전기자동차과 교수. 본 학회 편수이사.

**이상근** (李相根)

1971년 1월 19일생. 1996년 계명대 물리학과 졸업. 1998년 영남대학교 대학원 졸업(석사). 2001년 동 대학원 졸업(박사). 현재 (주)아쿠스 연구소장.

**박광서** (朴光緒)

1970년 3월 23일생. 1997년 영남대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사). 2003년 8월, 동 대학원 졸업(박사). 현재 경일대학교 컴퓨터제어전기공학부 전임강사.

**김종현** (金鍾賢)

1957년 2월 18일생. 1995년 영남대학교 대학원 졸업(석사). 2007년 동 대학원 박사수료. 현재 대구광역시 건설관리본부 배수운영과장. 영진전문대학 겸임교수.

**박원주** (朴元柱)

1954년 3월 14일생. 1978년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1992년 일본 큐우슈대학교 대학원 졸업(박사). 현재 영남대학교 전기공학과 교수. 본 학회 편수위원장.

**이광식** (李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 대한전기학회 방전고전압연구회 간사장 역임. 본 학회 편수위원장, 부회장 역임. 영남대학교 산업대학원 원장역임. 현재 영남대학교 전기공학과 교수. 본 학회 회장.