Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 22, No.12, pp. 176~182 December 2008 논문 22-12-22

새로운 형태의 평판형 오존발생기 특성과 응용

(The Characteristics and Application for the New Plate-Type Ozonizer)

이광식* · 방아위 · 김영훈 · 윤대희 · 이창호
(Kwang-Sik Lee · Ya-Wei Fang · Yeong-Hun Kim · Dae-Hee Yoon · Chang-Ho Lee)

요 약

본 연구는 실내공기와 상수의 수질개선을 위하여 소형 평판형 오존발생기(plate-type ozonizer : PTO)를 개발하여 그 특성을 규명한 논문이다.

평판전극의 크기, 개수 및 배치에 따라 다양한 형태의 오존발생기가 고안되었다. 각 형태의 오존발생기의 방전면적은 60[㎠]로 동일하며 방전전력은 최대 30[W]이다.

주요 연구 대상은 방전전력-오존생성농도 특성, 방전전력-오존생성수율 특성, 유량-오존생성농도 특성 및 유량-오존생성수율 특성이다. 오존생성특성은 PTOL-P가 가장 우수하게 나타났으며, 나머지 3종류의 오존발생기(PTO_{P-P}, PTO_{C-P}, PTO_{T-P})에서는 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

It is the paper that this study develops the small plate-type ozonizer(PTO) for improvements of indoor air and water, and investigated the characteristics.

Electric discharge area of ozonizer of each form is same to 60[㎠], and discharge power is the maximum 30[W].

Ozonizer of various forms was devised according to size, numbers and arrangement.

The main study object is discharge power-ozone concentration characteristics, discharge power-ozone yield characteristics, amount of gas flow-ozone concentration characteristics and amount of gas flow-ozone yield characteristics. PTOL-P appeared so as to be most excellent, and ozone generation characteristics were able to get the similar results at three kinds of remaining ozonizer (PTO_{P-P}, PTO_{C-P}, PTO_{T-P}).

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

1. 서 론

산업 사회의 고도성장으로 대기 및 수질 등의 생활 환경오염이 시급한 문제로 제기되고 있으며, 환경오염은 생태계뿐만 아니라 인체에 대해서도 큰 영향을 미치고 있다. 세계 각국에서는 환경복원 기술

* 주저자 : 영남대학교 전기공학과 교수
Tel : 053-810-3953, Fax : 053-810-4767
E-mail : kslee@yu.ac.kr
접수일자 : 2008년 11월 4일
1차심사 : 2008년 11월 4일
심사완료 : 2008년 11월 19일

에 관한 많은 연구를 진행하고 있다. 그 중에서도 오존은 천연 물질로 강한 산화력을 가지므로 오수 · 상수 · 폐수의 탈색, 탈취, BOD · COD 제거, Phenol · CN분해 등과 같이 산업용에서 가정용에 이르기까지 다양한 분야에서 응용되고 있다[1-5].

실생활에 사용되는 오존발생기는 효율성 및 소형화가 필요하다. 이러한 소형 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 오존 생성 특성을 가진 4종류의 오존발생기를 고안하여 그 특성을 연구하였다. 전극의 재질은 동(銅)이 사용되었으며 절연물은 유리가 이용되었다. 또한 사용된 원료가스는 산소이다.

각 오존발생기에 대한 연구의 주요대상은 다음과 같다.

① 방전전력-오존농도 특성(W-O_{3con})
② 방전전력-오존수율 특성(W-O_{3Y})
③ 유량-오존농도 특성(Q-O_{3con})
④ 유량-오존수율 특성(Q-O_{3Y})

2. 관련 이론

2.1 무성방전에 의한 오존생성(산소원료일 경우)

고농도, 고효율의 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 다음과 같은 반응에 의해 오존이 발생된다.

$$O_2 + e^- \rightarrow O + O + e^- \quad (2\text{-}1)$$

$$O_2 + e^- \rightarrow O^*_2 + e \quad (2\text{-}2)$$

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M \quad (2\text{-}3)$$

$$O^*_2 + O_2 \rightarrow O + O_3 \quad (2\text{-}4)$$

여기서

e : 전자, O : 산소원자, O_2 : 기저상태의 산소분자, O_3 : 오존, M : 제3물체(O, O_2, O_3), O^*_2 : 여기 산소분자[1,6].

2.2 물속에서의 오존의 분해

오존은 물속에서 산성인 경우는 몇 분간은 안정하지만 탁도가 상승하거나 [pH]가 높으면 급속히 분해된다. 그 반응속도는 복잡하며, 가수분해에 의해 HO_2를 생성하고, 이것이 개시제가 되어 다음과 같은 연쇄반응에 의해 분해된다.

$$O_3 + H_2O \rightarrow HO_3^+ + OH^- \quad (2\text{-}5)$$

$$HO_3^+ + OH^- \rightarrow 2HO_2 \quad (2\text{-}6)$$

$$O_3 + HO_2 \rightarrow OH^- + 2O_2 \quad (2\text{-}7)$$

$$O_3 + HO \rightarrow HO_2 + O_2 \quad (2\text{-}8)$$

$$HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2 \quad (2\text{-}9)$$

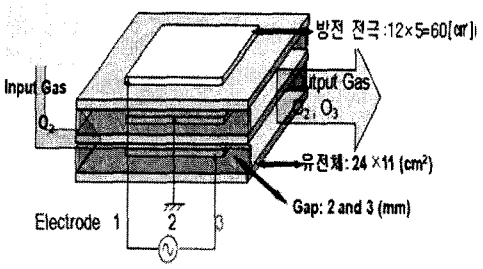
$$HO + HO_2 \rightarrow H_2O + O_2 \quad (2\text{-}10)$$

3. 실험장치 및 방법

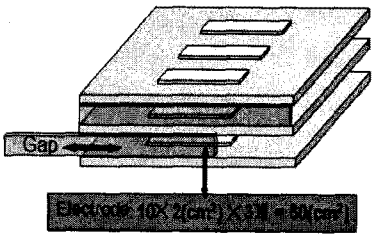
본 연구에서 설계 · 제작한 오존발생기는 무성방전 원리를 이용한 각 형태의 모자이크 평판형 오존발생기(Plate-Type Ozonizer : PTO)이다. 그림 1은 본 연구에서 기체방전을 이용하여 공기 및 상수의 수질을 개선하기 위하여 설계 · 제작한 오존발생기의 개략도이다.

본 연구에서 사용된 각 오존발생기의 유전체는 일반 유리판(두께 : 2[㎜], 가로 : 110[㎜], 세로 : 240[㎜])을 사용하였으며, 전극은 유전체에 밀착이 가능한 동테이프를 사용하였다. 그리고 방전전극의 형태는 그림 1과 같이 일반평판형((a))과 3가지 종류의 모자이크형으로((b)~(d)) 모두 4종을 설계하였다. 그림 1의 (a)와 같이 1번, 3번 두 전극에 고전압을 인가하고 중심전극(2번 전극)을 접지하여 무성방전이

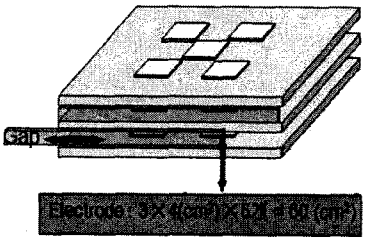
발생되도록 하였다. 본 연구에서 설계·제작한 모자이크형 오존발생기 전극의 주요 제원을 표 1에 나타냈다.



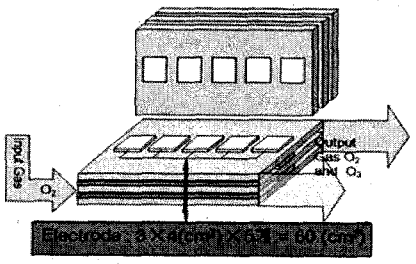
(a) Simple plate-type ozonizer(PTO_{P-P})



(b) Three plate-type ozonizer(PTO_{T-P})



(c) Cross plate-type ozonizer(PTO_{C-P})



(d) Linear plate-type ozonizer(PTO_{L-P})

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

표 1. 평판형 오존발생기의 전극
Table 1. The electrode of plate-type ozonizer

오존발생기 종류	전극크기	개수	방전면적	갭
(a) PTO_{P-P}	12[cm]*5[cm]	1	60[㎠]	2[㎜] & 3[㎜]
(b) PTO_{T-P}	10[cm]*2[cm]	3	60[㎠]	2[㎜] & 3[㎜]
(c) PTO_{C-P}	3[cm]*4[cm]	5	60[㎠]	2[㎜] & 3[㎜]
(d) PTO_{L-P}	3[cm]*4[cm]	5	60[㎠]	2[㎜] & 3[㎜]

그림 2는 오존발생기의 방전특성 및 오존생성특성을 연구하기 위한 오존발생기, 원료가스 공급장치, 전원장치, 계측장치 등으로 구성된 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다.

그림에서 실선부분은 방전특성을 조사하기 위한 전원장치와 각 종 계측장치들을 연결한 회로이며, 점선부분은 오존생성특성을 연구하기 위한 원료가스 공급장치, 오존발생기 및 계측장치들을 통과하는 원료가스 및 오존화 가스의 흐름을 나타낸 것이다. 전원장치는 상용의 neon transformer(NT, 정격입력전압 : AC220[V], 정격출력전압 : 15[kV])에서 발생되는 교류전원을 사용하였다. 오존생성량은 ozone monitor(OZM-7000G)를 사용하여 측정하였다.

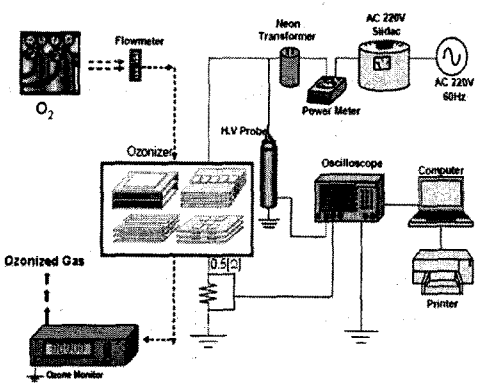


그림 2. 실험장치의 배치도
Fig. 2. Arrangement diagram of experimental setup

각각의 오존발생기의 방전갭(G)은 2[㎜] 및 3[㎜]로 고정하였고, 총 방전면적은 60[㎠]로 4종류 모두 동일하게 하였다. 오존생성특성은 digital power

meter를 이용하여 측정한 방전전력([W]) 및 오존발생기로 유입되는 원료가스의 유량(Q)의 변화에 대한 오존생성농도(O_{3con}) 및 오존생성수율(O_{3Y}) 등을 측정 · 계산하였다.

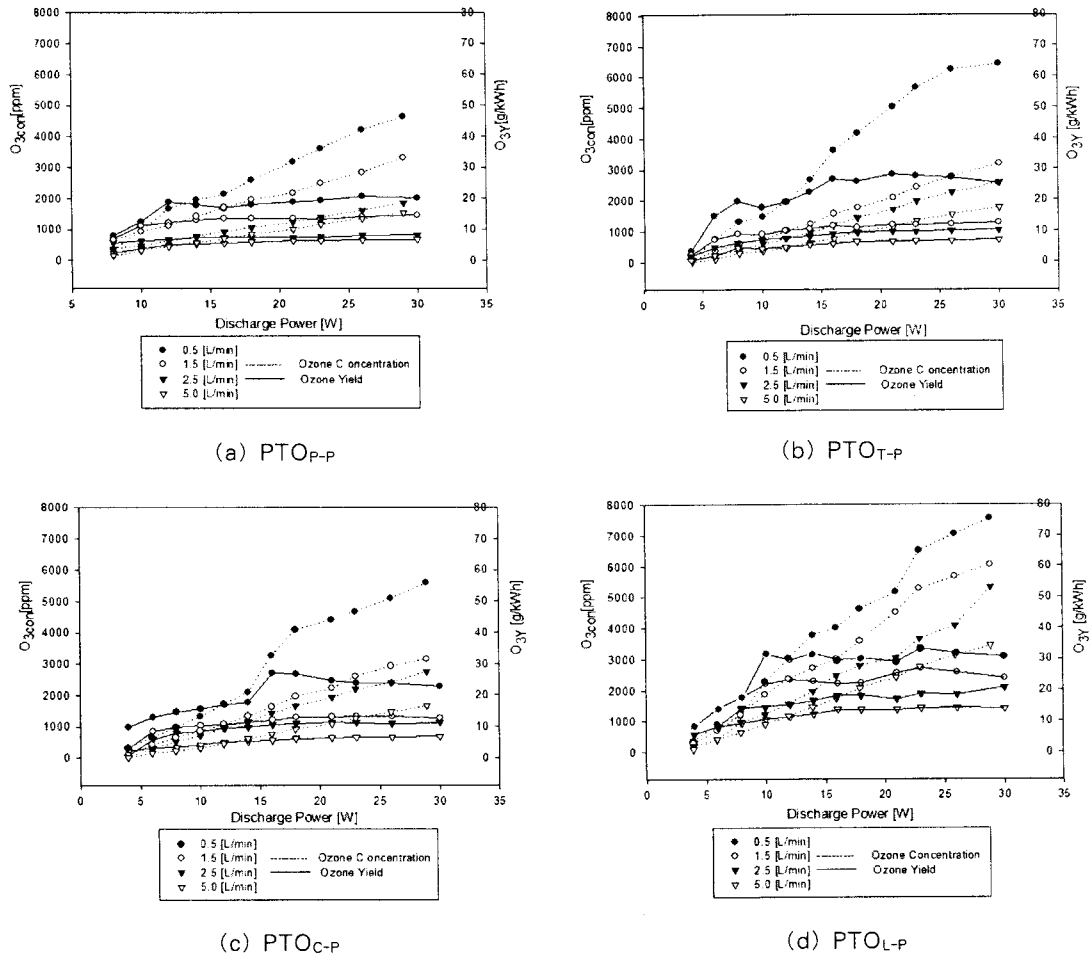
4. 실험결과 및 고찰

4.1 전력변화에 따른 오존생성특성

그림 3의 (a)~(d)는 유량(Q) 0.5, 1.5, 2.5 및 5.0 [ℓ/min]을 매개변수로 하였을 때 평판형(PTO_{P-P}) 및 모자이크형 오존발생기(PTO_{T-P}, PTO_{C-P} 및 PTO_{L-P})의 방전전력([W]) 변화에 따른 오존생성농도(O_{3con}) 및 오존생성수율(O_{3Y}) 특성을 나타낸 것이다.

그림과 같이 방전전력([W])이 증가할수록 오존생성농도(O_{3con})는 모든 오존발생기에서 상승하고 있고, 그 농도를 비교해보면 PTO_{L-P} > PTO_{T-P} > PTO_{C-P} > PTO_{P-P} 순으로 높게 나타났다.

이와 같이 나타나는 이유는 그림 1 (a)~(d)와 같이 PTO_{L-P}의 전체 방전전극 길이가 15[㎝]로 가장 길기 때문에 원료가스인 산소분자가 방전영역 내에 체류하는 시간이 길어져서 오존생성반응이 충분히 진행할 수 있기 때문이다. 또한 PTO_{P-P}가 오존생성



(a) PTO_{P-P} (b) PTO_{T-P}

(c) PTO_{C-P} (d) PTO_{L-P}

그림 3. 각 PTO의 전력에 대한 O_{3con}, 및 O_{3Y} 특성
Fig. 3. The characteristics of O_{3con}, and O_{3Y} with power of PTO

농도가 가장 낮은 것은 넓은 방전영역으로 인해 생성된 오존이 분해 될 확률이 높기 때문인 것으로 생각된다.

그러나 방전전력에 대한 오존생성정도를 나타내는 오존생성수율(O_{3Y})은 오존생성농도(O_{3con})가 방전전력에 비례하여 증가하므로 거의 일정한 값을 나타내고 있다.

4.2 유량변화에 따른 오존생성특성

그림 4와 그림 5는 동일한 전극면적 60[㎠]인 PTO의 전극에 교류고전압을 인가하여 방전전력을 30[W]로 고정하고 방전영역에 무성방전을 발생시킬 때, 각 오존발생기의 형태(PTO_{P-P}, PTO_{T-P}, PTO_{C-P} 및 PTO_{L-P})를 매개변수로 하여 유량(0.5, 1.5, 2.5 및 5.0[ℓ/min]) 변화에 따른 오존생성특성을 나타낸 것이다.

유량 0.5[ℓ/min] 일 때 오존생성농도(O_{3con}) 및 오존생성수율(O_{3Y})이 가장 높고 유량이 증가할수록 점점 감소한다. 그 이유는 유량이 적을수록 원료가스가 방전영역에 머무르는 시간이 길어지고 원료가스가 반응할 시간이 증가되어 방전영역에서 산소분자를 해리하여 오존을 생성할 확률이 증가되기 때문이라 생각된다.

그림에서 보는 바와 같이 PTO_{L-P}가 최고 오존생성농도(O_{3con}) 7,700[ppm], 최고 오존생성수율(O_{3Y}) 31[g/kWh]로 다른 발생기에 비해 우수한 성능을 나타내고 있다. 나머지 3종류(PTO_{P-P}, PTO_{T-P}, PTO_{C-P})의 오존발생기는 거의 유사한 성능을 나타내고 있다.

PTO_{L-P}가 오존생성농도(O_{3con})와 오존생성수율(O_{3Y})이 가장 우수하게 나타난 이유는 각각의 방전전극이 작아서 방전이 쉽게 발생할 수 있고, 원료가스가 통과하는 방전영역이 가장 길기 때문이다.

또한, 원료가스가 각각의 작은 방전전극을 차례로 통과하므로 첫 번째 전극에서 생성된 오존이 원료가스와 섞인 오존화 가스가 다음 전극의 원료가스로 유입된다. 따라서 2~5번째 방전전극에서는 오존화 가스가 원료가스로 유입되기 때문에 전극을 이동할수록 점점 더 많은 오존이 생성된다.

그러나 PTO_{P-P}는 넓은 하나의 전극을 사용하기 때문에 오존생성반응과 동시에 오존분해반응이 일어날 확률이 증가하므로 오존생성농도(O_{3con})와 오존생성수율(O_{3Y})이 낮아진다.

4.3 본 오존발생기의 응용 분야

본 연구에서 개발한 오존발생기는 유량이 0.5[ℓ/min]일 때 방전전력이 15[W]이상이면 표 2에서 보

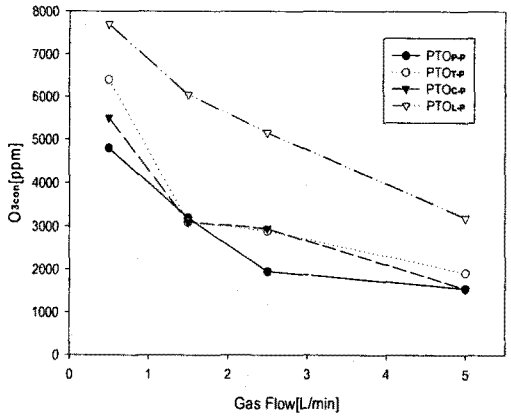


그림 4. PTO의 형태를 매개 변수로 한 유량-O_{3con} 특성
Fig. 4. The characteristics of gas flow(Q)-O_{3con} for multifarious PTO

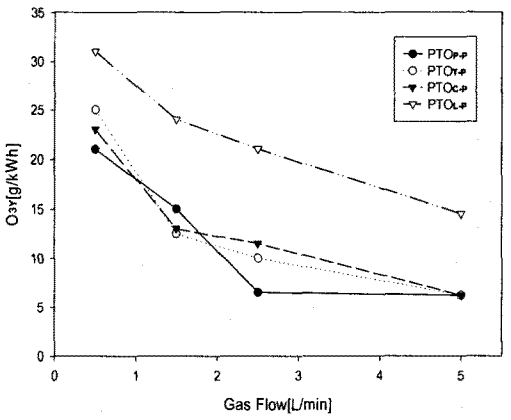


그림 5. PTO의 형태를 매개 변수로 한 유량-O_{3Y} 특성
Fig. 5. The characteristics of gas flow(Q)-O_{3Y} for multifarious PTO

는 바와 같이 오니처리, 산업폐수 처리를 제외한 거의 모든 분야에서 필요로 하는 오존주입률 이상의 오존을 생산하고 있다.

따라서 본 연구에서 개발한 오존발생기의 오존생성특성을 이용하면 상수처리, 하수처리, 공기정화 및 식품 · 의료기 소독 등의 분야에 응용 가능할 것이다.

특히, PTO_{L-P}의 경우 전극 수를 증가시켜 방전영역의 길이를 더 길게 하면 오니처리, 산업폐수 처리에도 응용가능 할 것으로 판단된다.

표 2. 오존의 응용
Table 2. Application of ozone

분류	분 야	목 적	오존주입률
수처리	상수처리	냄새제거, 철/망간의 산화, 유기물 제거, 생물분해성향상, 용존산소량 증대, 소독 등	500~2,000 [ppm]
	하수처리	탈색, 냄새제거, 유기물 안정화, 살균 등	2,500~25,000 [ppm]
	오니처리	탈색, 냄새제거, 유기물 안정화, NO2산화, 살균 등	5,000~50,000 [ppm]
	산업폐수	염색폐수탈색, 펄프탈색, 살균, 아민/페놀의 분해 등	5,000~50,000 [ppm]
	기타	수영장 물의 살균, 냉각수 살균, 무균수/순수 제조 등	50~1,000 [ppm]
공기정화	배기가스 처리	SOx, NOx, VOC 등의 제거	대상성분 몰비의 1~5배
	Clean Room	수술실, 의료기수, 공장내, 병원내 공기정화, 탈취	수 [ppm] (기중)
식품	가공식품, 생선식품	부패방지, 곰팡이 방지, 장기보존, 멸균	수 [ppm] (기중) 0.5~1.0 [ppm](수중)
의료	외과, 내과, 피부과, 안과 등에 이용	곰팡이, 바이러스, 세균제거	

5. 결 론

본 연구에서는 소형 평판형 오존발생기(PTO)를 설계 · 제작 하여 방전전력-오존생성농도 특성, 방전전력-오존생성수율 특성, 유량-오존생성농도 특성 및 유량-오존생성수율 특성을 검토하였다.

그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 동일한 형태의 오존발생기에서는 입력전력이 증가함에 따라 오존생성농도는 비례적으로 증가하고, 수율도 상승하는 특성을 얻을 수 있다.

(2) 동일한 방전면적 60[㎠]일 때 모자이크형 오존발생기가 평판형 오존발생기 보다 오존생성농도(O_{3con})와 오존생성수율(O_{3Y}) 특성이 우수하게 나타났다.

(3) 오존발생기의 전극 형태에 따른 오존생성농도(O_{3con})와 오존생성수율(O_{3Y})특성은 $PTO_{L\ P}$가 가장 우수하게 나타났으며(최고 오존생성농도(O_{3con}) 7,700[ppm], 최고 오존생성수율(O_{3Y}) 31[g/kWh]), 나머지 3종류의 오존발생기(PTO_{P-P}, PTO_{C-P}, PTO_{T-P})에서는 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

(4) 유량이 적을수록 원료가스가 방전영역 내에서 반응할 시간이 길어지므로 오존생성농도(O_{3con})와 오존생성수율(O_{3Y}) 특성이 우수하게 나타났다.

(5) 본 연구에서 개발한 오존발생기를 이용하면 상수처리, 하수처리, 공기정화 및 식품 · 의료기 소독 등 분야에 응용 가능할 것으로 판단된다.

이 연구는 2008년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임.

References

[1] 이광식, 이동인, "기체방전에 의한 오존생성과 그 응용", 대한전기학회 방전 · 고전압(연) 학술발표회 논문집, pp32~35, 1992.

[2] 이광식 외 7인, "고주파 전압인가에 의한 무성방전형 오존발생기의 원료가스 온도특성에 관한 연구", 한국조명

전기설비학회 논문지 Vol.15, No.5, pp.46~54, 2001.
[3] 이광식 외 5인, "환경개선을 위한 형광방전등형 오존발생기의 특성", 대한전기학회 논문지 Vol.51C, No.10, pp.500~505, 2002.
[4] Dong-Joo Kwak. "Development of Silent Discharge Chamber with Al_2O_3 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 Gases 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.

◇ 저자소개 ◇

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.

방아위 (方亞偉)
1983년 5월 14일생. 2004년 중국북화대학교 전기공학과 졸업. 2006년 영남대학교 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 졸업(석사).

김영훈 (金榮燻)
1963년 4월 12일생. 1986년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 졸업(석사). 1998년 동 대학원 졸업(박사). 현재 포항대학 부교수.

윤대희 (尹大熙)
1971년 3월 1일생. 1997년 영남대 전기전자공학부 졸업. 2001년 동 대학원 졸업(석사). 2006년 동 대학원 졸업(박사)

이창호 (李昌昊)
1974년 11월 11일생. 2002년 경주대학교 전자공학과 졸업. 2004년 영남대학교 대학원 졸업(석사). 현재 2008년 동 대학원 박사과정. (주)프로닉스 책임연구원.