

## Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 유전체를 이용한 산소/공기 원료에 따른 오존발생기의 특성

(A Characteristic Analysis of Ozone Generator Using the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramic Dielectric According to Gas Type(O<sub>2</sub>/Air))

박현미\* · 송현직 · 박원주 · 이광식\*\*

(Hyun-Mi Park · Hyun-Jig Song · Won-Joo Park · Kwang-Sik Lee)

### Abstract

The ozone generation is commonly made with silent discharge method using quartz glass dielectric. In this paper, using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dielectric to instead of the traditional quartz glass dielectric to improve the system efficiency is presented. The dielectric was manufactured as tube shape (Internal diameter × Outside diameter: 11 × 15mm) using 99% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic. The characteristics of dielectric discharge and ozone generation were studied of experiments with variation of discharge power, discharge electrode space and rate of flow for supplied gas (O<sub>2</sub>/Air). As the experimental results, in the same discharge space, the ozone concentration continuously increased with input power increasing, and ozone yield increased until saturation happened. Also, the expended power increased with discharge space extended due to discharge power increased. In additional, the ozone concentration of oxygen ozone was higher than air that was observed when using oxygen ozone in proposed experiments.

Key Words : Ozone, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramic Dielectric, Low Temperature Plasma, Silent Discharge

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

한국 산업 사회에 오존이 사용되어 온 지 25년 이상 되었다. 그동안 국내외의 오존연구는 산업사회의 고도성장으로 대기 및 수질 등의 생활환경오염방지 기술을 위주로 연구가 진행되어 왔다. 그러나 최근에 들어서는 생활과 밀접한 친환경적 생활 조성에 많은 연구를 진행하고 있다.

오존은 염소에 비하여 강한 산화력을 가지고 있으며 오존분자는 불안정한 기체로서 일정 시간이 지난 후

---

\* 주저자 : 영남대학교 전기공학과 박사과정  
\*\* 교신저자 : 영남대학교 전기공학과 교수  
\* Main author : Ph.D of Electrical Engineering at Yeungnam university  
\*\* Corresponding author : Professor of Electrical Engineering at Yeungnam university  
Tel : 053-810-2486, Fax : 053-810-4767  
E-mail : swinglove486@gmail.com  
접수일자 : 2014년 3월 3일  
1차심사 : 2014년 3월 6일  
심사완료 : 2014년 3월 31일

에는 하나의 산소원자와 산소분자로 해리되어 안정한 상태로 되고자 하는 성향을 지니고 있어 2차 공해가 없는 특징이 있다. 이러한 오존이 환경오염의 근본적 해결책으로 고도정수 처리시설로 주로 사용되어 왔으나 최근에는 공기청정기부터 싱크대, 냉장고 살균 등 산업에서 가정으로 이용범위가 확대되고 있다. 오존 발생기가 가정에서 쓰이기 위해서는 일정한 오존 농도 제어 및 소형화가 필수라고 할 수 있다.

부패를 방지하고, 식품의 장기보존, 멸균에 쓰이는 오존의 농도는 기중일 경우 수 ppm이고 수중일 경우는 0.5~1.0ppm이 적당하다[15-17].

이러한 오존을 발생시키는 방법으로는 무성방전법, 광화학법, 전해법, 고주파전계법, 방사선조사법 및 자외선 조사법 등 물리적·화학적 방법이 있으며 오존 발생량, 농도, 사용조건 및 용도 등에 따라서 적절한 방법을 선택하여 사용하고 있다. 특히 에너지 효율면, 성능의 안정성, 조작 및 제어의 간편성 등에서 가장 우수한 것으로 알려진 무성방전형 오존발생기가 널리 이용되고 있다[1-5].

## 1.2 연구의 목적 및 방법

무성방전형 오존발생기에서 오존발생량을 증가시키기 위해서는 일정한 유량에서 투입전력을 증가시켜야 하지만, 투입전력이 계속 증가할 경우 오존발생기의 방전공간에 축적되는 에너지는 오히려 방전공간 내부의 온도를 높이는 열에너지로 사용된다. 따라서 입력 에너지에 의한 방전공간 내부의 온도상승으로 인하여 생성된 오존의 열분해 반응은 더욱 촉진 되고 이에 의하여 오존생성수율은 오히려 저하하게 된다[11-14]. 여기에서 오존발생기의 오존생성효율은 방전 간극, 유전체의 재질, 유전체의 두께, 전극의 형상 및 재료, 입력가스의 유량, 방전공간의 온도, 오존발생기 내부의 수분 함유량 및 전원장치의 주파수 등에 의하여 결정되어 진다. 따라서 오존발생기의 설계에 앞서 이러한 제 인자에 관한 연구가 선행되어야 한다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 다양한 제 인자 중 기존에 주로 사용하였던 석영 유리 유전체 대신  $Al_2O_3$  세라믹 유전체를 사용하여 무성방전형 오존발

생기를 설계·제작하였으며 원료가스의 종류 및 유량변화에 따른 방전특성과 오존생성특성을 연구하였다.

## 2. 관련이론

무성방전형 오존발생기의 기본 구조는 1개 이상의 glass나 ceramic 등의 유전체를 삽입한 전극을 대향시켜 1~3mm 정도의 공극을 갖도록 설치한 후, 교류 고전압을 인가하면 인가전압의 반주기마다, 전극면상의 미소점에서 미세한 방전이 펄스적으로 발생하게 된다.

여기에 산소를 포함하고 있는 기체를 공급하면 기체 방전에 의하여 원료가스 중에 포함된 산소의 일부가 방전에 의한 화학작용으로 오존을 생성하게 된다.

이때 전자온도가 수만도로 높음에도 불구하고, 분위 기 온도가 거의 실온으로 유지되므로 이와 같은 방전을 저온 plasma라고 한다.

즉 무성방전은 교류고전압에 의해서 전극간에 전자온도가 104~105K로 높은 저온 plasma가 형성된 전계로부터 에너지를 얻은 전자가 streamer로 성장하여 전극간을 교락하고, streamer 내에 존재되어 있는 전하가 유전체 표면에 축적되어 형성된 전계로 인해 인가전계가 약화되어 streamer 가 소멸되는 과정을 되풀이하면서 오존을 발생시킨다.

그 결과 무성방전의 전압, 전류파형은 그림 1과 같이 나타나고 1주기에 방전기간과 비방전기간(방전 휴지기간)이 각각 2회씩 존재하게 되며, 방전전류는 正負전압이 최대점에 이를 때까지 흐르다가 전압이 正負의 최대점으로부터 강하되면서 전류는 흐르지 않게 된다[6-9].

즉 각각의 펄스 하나는 한주기를 하루로 늘려서 생각할 때, 1초간 방전이 발생하고, 그 후 수 분간 오존이 생성되고, 나머지 시간은 오존의 분해가 진행되는 것과 같은 독립된 형태이다. 이러한 펄스의 집합체로 방전의 주기가 구성되므로 오존농도의 증가는 방전의 회수를 늘려주는 것으로 설명된다. 그러므로 방전펄스가 존재하지 않는 비방전기간의 단축이 오존의 생성에 많은 영향을 끼치게 되는 것이다.

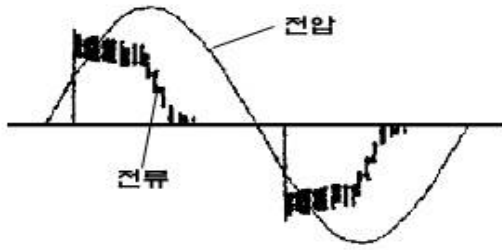


그림 1. 무성방전의 전압·전류파형  
Fig. 1. The voltage · current wave forms of silent discharge

### 3. 실험장치 및 결과

#### 3.1 실험장치 및 방법

그림 2는 본 연구를 위해 설계 제작한 동축원통형 소형오존발생기의 개략도이다.

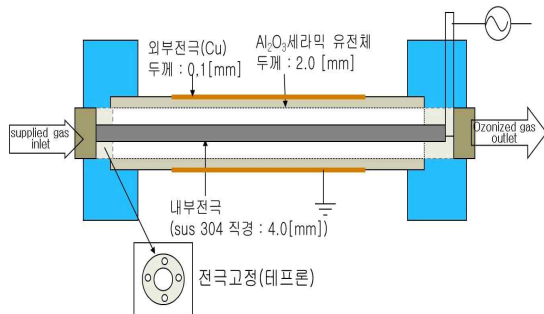


그림 2. 동축원통형 소형오존발생기의 개략도  
Fig. 2. Photograph of coaxial cylinder type ozonizer

유전특성과 내열성이 좋은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 유전체(유전율 9~11, 내경×외경 : 11×15mm)를 채용한 오존발생기는 그림 2와 같이 고전압 전극으로 SUS304(두께 : 4.0mm)을 사용하였으며, 유전체 외부에 Cu(두께 : 0.1mm)를 밀착하여 접지전극으로 사용하였다.

유전체로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 튜브를 사용하는 것은 대부분에 사용되는 유리 또는 석영관의 유전율은 4~9 정도이나 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 튜브는 유전율이 11~12 정도로 유리 또는 석영관보다 유전율이 높다[10]. 또한 오존 생성 효율은 유전체의 유전특성은 물론 방전 전극의

온도 특성도 매우 중요하기 때문에 내열성이 높은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 튜브를 사용하였다.

그림 3은 오존발생장치에서의 방전특성 및 오존생성특성을 연구하기 위한 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다. 그림에서 실선은 방전특성을 조사하기 위한 전원장치와 계측장치들을 연결한 회로이며, 점선은 오존생성특성을 연구하기 위한 가스 흐름선도로서 원료 가스 공급장치 및 계측장치들을 흐르는 오존화 가스의 흐름을 나타낸 것이다.

원료가스로는 상업용 산소와 모의공기를 사용하였으며, flow meter(0~5 l/min)를 통하여 일정 유량(Q)으로 오존발생기에 공급하였다.

교류 전원장치에서 출력되는 고전압을 오존발생기에 인가시, 오존발생기로부터 출력되는 방전전압, 전류 및 파형은 고전압 분압기(분압비 = 2000 : 1), Prove(10 : 1) 및 Digital Storage Oscilloscope로 측정 한 후, Personal Computer와 Printer 로 출력하였다. 방전전력(W<sub>d</sub>)은 AC watt meter(0~240V, 0~1A, 0~160W, accuracy : ±0.5%)를 이용하여 방전시의 전력, 전원장치의 전력손실, 선로손실 등을 포함한 전원 입력단에서 오존발생장치 전체회로에 소모되는 전력을 측정하였다.

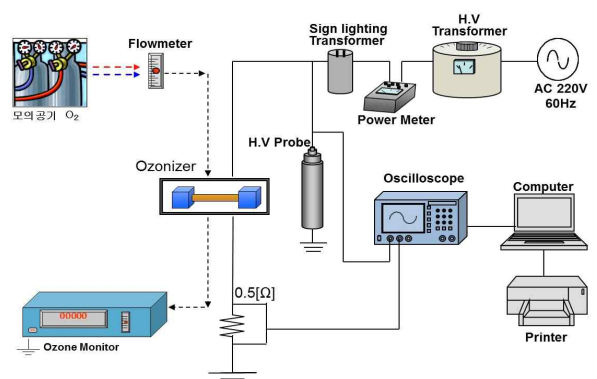


그림 3. 실험장치의 배치도  
Fig. 3. A schematic diagram of experimental setup

### 3.2 실험결과

#### 3.2.1 방전특성

그림 4의 (a), (b) 및 (c)는 원료가스가 산소이고 유

량(Q)이 0.5 l/min, 방전전력( $W_d$ )이 12W인 경우, 방전면적( $A_d$ )이 각각 75, 100, 125cm<sup>2</sup>일 때의 방전전압( $V_d$ )과 방전전류( $I_d$ )의 파형을 나타낸 것이다. 이때 CH1은 접지전극의 전류파형이며, CH2는 전압파형을 각각 나타낸 것이다.

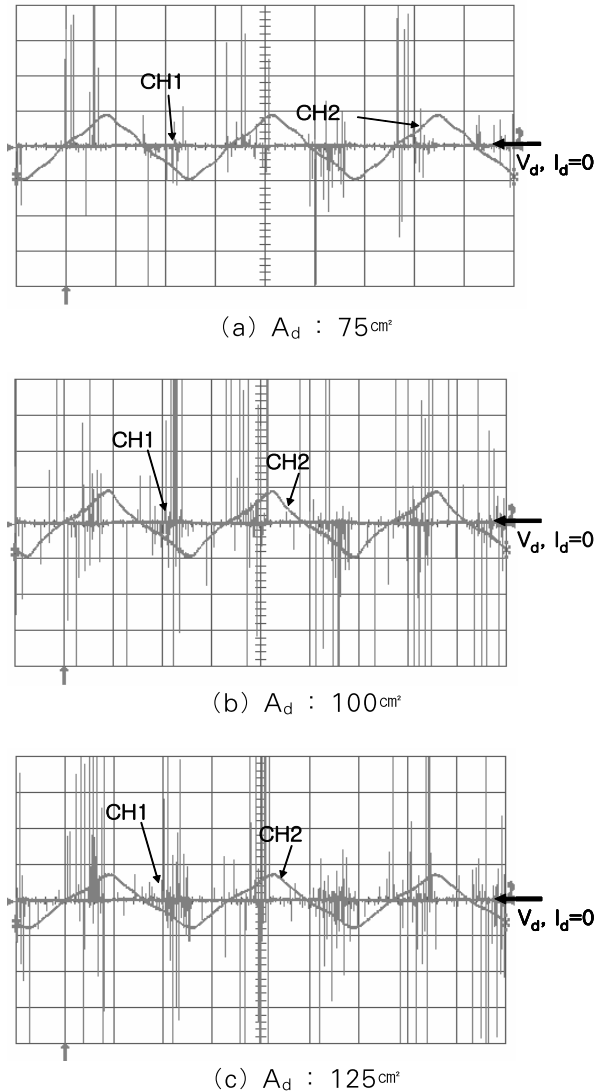


그림 4. 방전면적  $A_d$ 에 따른 방전특성  
 Fig. 4. Waveform of discharge voltage and current with variation of the  $A_d$

그림과 같이 방전전류 pulse 는 정부 방전전압의 최대치까지 형성되다가 방전전압이 강하하면서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 유전체 표면에 축적되어 있는 전하에 순간적

으로 역전계가 걸리면서 방전이 일시에 정지되어 방전휴지구간이 형성된다.

또한 그림 4의 (a), (b) 및 (c)를 비교하면 방전면적이 증가할수록 전류 pulse 가 증가하면서 방전전류가 상승하였다. 즉 외부전극면적이 증가함에 따라 원료 가스 중에 포함된 산소분자가 무성방전형 오존발생기의 방전공간에 체류하는 시간이 길어지게 되면서, 무성방전에 의하여 발생된 전자와의 접촉확률이 증가된 결과이다.

### 3.2.2 오존농도 및 수율 특성

그림 5의 (a), (b)는 Q이 0.5 l/min, 원료가스가 각각 산소 및 공기인 경우,  $W_d$ ,  $A_d$  변화에 따른 오존농도 ( $O_{3Gcon}$ ) 및 오존수율( $O_{3Y}$ ) 특성을 나타낸 것이다.

그림과 같이  $W_d$ 와  $A_d$ 가 증가할수록  $O_{3Gcon}$ 이 상승한다. 이는 무성방전형 오존발생기의 방전전력과 외부전극의 방전면적이 증가할수록 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 유전체에 축적된 전자가 산소분자와의 충돌확률이 증가되어 산소 활성화종에 의한 오존생성반응이 활발해지기 때문이다. 그리고  $W_d$ 이 일정한 경우,  $A_d$ 이 증가하면 원료가스중의 산소분자가 방전공간에 체류하는 시간이 길어지면서 동일한 전력을 상대적으로 넓은 방전면적에 공급함으로써 방전공간의 열 발생이 둔화되면서 오존의 분해반응이 억제되어  $O_{3Gcon}$ 가 상승하는 것이다.

$A_d$ 의 증가에 따라  $O_{3Y}$ 은 상승하나,  $W_d$ 가 증가함에 따라서 상승하다가 포화되는 것으로 나타났다. 이는 오존발생량과 방전전력의 비율로 주어지는  $O_{3Y}$ 은 방전형태와 방전영역에서의 온도에 의하여 결정되는데, 방전 전력이 8W정도 까지는 방전전력 상승에 따라  $O_{3Y}$ 이 증가되는 율이 크게 나타나며, 그 이후는 완만하게 상승한 후 포화하게 된다. 이것은 저 전력에서는 방전에 의한 분해되는 율이 낮으며 투입전력이 클 경우에는 상대적으로 발생열이 높으므로 분해되는 반응이 활발하게 진행되기 때문이다.

### 3.2.3 유량에 따른 오존생성특성

그림 6의 (a), (b)는 원료가스가 각각 산소 및 공기인 경우  $W_d$  : 8W,  $A_d$  : 100cm<sup>2</sup>일 때, Q의 증가에 따른

O<sub>3Gcon</sub>와 O<sub>3Y</sub>를 나타낸 것이다. 각각의 A<sub>d</sub>에서 Q이 증가할수록 O<sub>3Gcon</sub>는 반비례하여 감소하는 특성을 보이지만 O<sub>3Y</sub>는 유량의 증가와 함께 상승하는 특성을 보인다. 이것은 원료가스의 Q이 증가됨으로써 무성방전에 의하여 발생된 전자와 산소분자의 충돌확률이 낮아지면서 O<sub>3Gcon</sub>는 저하하게 되지만 O<sub>3Gcon</sub>가 저하되는 비율보다 원료가스의 Q증가에 따라 산소 분자의 수가 증가되면서 방전공간에서의 냉각효과의 상승에 의한 오존 분해반응의 저하비율이 크게 되면서 O<sub>3Y</sub>이 상승하는 것이다.

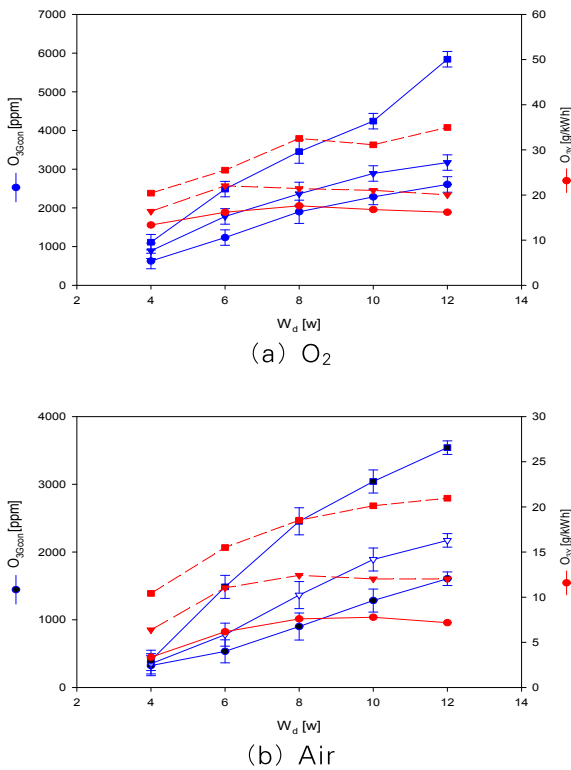


그림 5. W<sub>d</sub>와 A<sub>d</sub>의 변화에 따른 오존농도 및 수율 특성  
Fig. 5. The characteristics of O<sub>3Gcon</sub> and O<sub>3Y</sub> with variation of W<sub>d</sub> and A<sub>d</sub>(Q : 0.5 l/min)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 오존발생기에 주로 사용되어온 석영 유리 유전체 대신 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 유전체를 사용하여 오존발생기를 설계·제작하였다. 이때 오존발생기의 전

극부에 99% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 유전체를 사용하여 방전 전극의 면적, 원료가스의 종류 및 유량변화에 따른 방전 특성과 오존생성특성을 연구하였다.

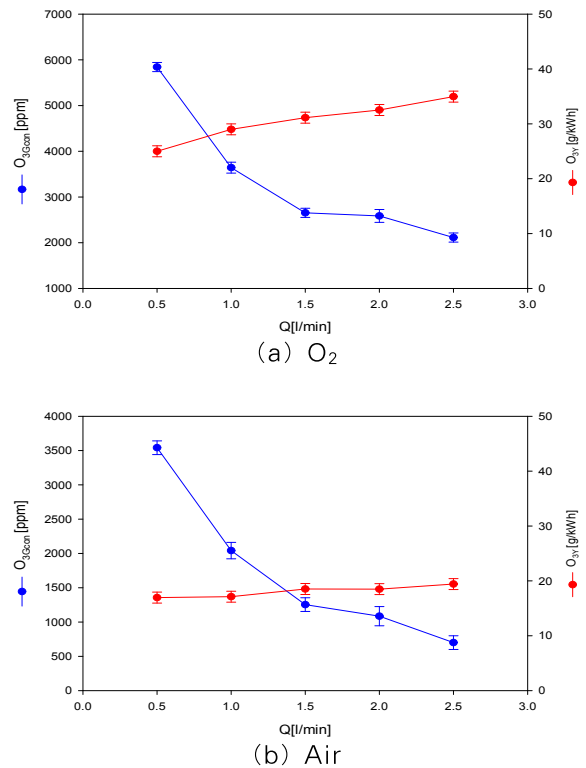


그림 6. 유량에 따른 오존농도 및 수율 특성  
Fig. 6. The characteristics of O<sub>3Gcon</sub> and O<sub>3Y</sub> with variation of Q(W<sub>d</sub> : 8W, A<sub>d</sub> : 100cm<sup>2</sup>)

동일조건의 방전공간에서는 입력전력이 증가함에 따라 농도는 계속해서 증가하였으며 수율의 경우 상승 후 점차 포화되는 특성을 보인다. 또한 방전부의 전극면적이 증가함에 따라 공급되는 전력의 상승으로 소비전력이 증가함을 알 수 있다. 원료가스의 유량이 증가할수록 오존농도는 반비례로 감소하였으며 오존 수율은 유속으로 인해 방전공간에 냉각효과를 가져와 미세하게 상승하였다. 원료가스가 산소일 경우가 공기보다 산소원자의 수가 많으므로 오존농도가 높게 나타난다. 본 논문에서 제안한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>유전체 오존발생기로 충분한 살균이 가능한 농도가 생성됨을 알 수 있었다. 이에 앞으로 더욱 더 효율을 증대시키는 방향으

로 오존발생기 제 인자에 관한 연구가 필요하다고 사  
료된다.

이 논문은 한국조명·전기설비학회 2013년도 추계학술  
대회에서 발표하고 우수추천논문으로 선정된 논문임.

## References

[1] Ozonization Manual for Water & Wastewater (1982) W.J.Masschelein [Jhon Wiley & Sons].

[2] Ozone(1985)/ M. Horvath [Elsevier].

[3] Handbook of Ozone Technology and Application/ Rip. G. Rice [Butter Worth Publishers].

[4] B.Eliasson, I.Kogelschatz, "Modeling and Applications of Silent Discharge Plasmas", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol 19, No.2, pp309~323, 1991.

[5] A Jawored, A Krupa and T Czech, "Back-corona generated plasmе for decomposition of hydrocarbon gaseous contaminants", J. Phys. D:Appl. Phys. Vol 29, pp.2439~2446, 1996.

[6] Muaffaq A. Jani, K. Takaki, and T. Fujiwara, "Low-voltage operation of a plasma reactor for exhaust gas treatment by dielectric barrier discharge", REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, Vol 69, No.4, pp. 1847~1849, 1998.

[7] R.H.Amirov, J. O. Chae, Y. N. Dessiaterik, E.A. Filimonova and MB. "Remmoval of NOx and SO2 from Air Excited by Streamer Corona : Experimental Results and Modeling", Jpn. J. Appt. Phys. Vol 37, No.6A, pp. 3521~3529, 1998.

[8] Kwang-Sik Lee, 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 and HVE, pp.99~102, 1998.

[9] Kwang-Sik Lee, Hyun-Jig Song, Byung-Joon Chun, Ozone generation characteristics of a piled plate-type ozonizer Vol.21C, No.1, pp.33~37, FEB 2002 KIEE.

[10] LEE, MOON-KEE, PARK INGL, RYU KIWON, LEE SUNGGAP, LEE YOUNGHIE "A Study on the Microwave Dielectric Properties of Al2O3 Ceramics Resonator added with Impurities", KIEEME pp.64~67, 1997.

[11] Fayzur Rahman, Byung-Joon Chun, Kwang-Sik Lee, Dong-In Lee "Effect of temperature on the performance characteristics of a pin-cylinder discharge type ozonizer Vol.2-C, No.4, pp.201~207, AUG 2002, KIEE.

[12] Byung-Joon Chun, Sang-Keun Lee, Kwang-Sik Lee, "Ozone Generation Characteristics of a Piled Plate-Type Ozonize", KIEE Intertional Trans. on EA, 12C, No.1, pp.33~37, 2002.

[13] Hyun-Jig Song, Byung-Joon Chun, Kwang-Sik Lee, Temperature Dependent Characteristics Combined Discharge Type Ozonizer(CDO) Vol.3-C, No.3, pp.106~

112, AUG 2003, KIEE.

[14] Dong-Hoon Lee, Hong-Jae Park, Jea-Youn Oark "A Study on Ozone Generation Characteristic using Ba-Ti-Si Ceramic Tube" Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol,16, No.7, P.634, July 2003.

[15] Kyung-Su Mun, "The Characteristics of Showering Discha Type Ozonizer System for NOx Remova" Youngnam Univ. 2000.

[16] R. Peyrous, "The Effect Of Relative Humidity On Ozone Production By Corona Discharge In Oxygen or Air" Ozone Science and Engineering, Vol.12 pp.19~40, 1990.

[17] Moo Been Chang, "Experimental Study on Ozone Synthesis via Dielectric Barrier Discharges", Ozone Science and Engineering, Vol.19, pp.241~254, 1997.

## ◆ 저자소개 ◆



### 박현미 (朴現美)

1982년 1월 6일생. 2003년 8월 경일대학교 전기공학과 졸업. 2005년 8월 영남대학교 전기공학과 졸업(석사). 현재 영남대학교 전기공학과 박사 재학. (주)메디스윙 대표.



### 송현직 (宋炫直)

1968년 7월 30일생. 1991년 2월 영남대학교 전기공학과 졸업. 1993년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 2006년~현재 영남이공대학 전자기동화과 부교수. 현재 한국조명·전기설비학회 대구경북지회.



### 박원주 (朴元住)

1954년 3월 14일생. 1978년 2월 영남대학교 전기공학과 졸업. 1980년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 3월 큐우슈대학 대학원 졸업(박사). 1994년~현재 영남대학교 전기공학과 교수. 현재 본 학회 감사.



### 이광식 (李廣植)

1948년 10월 25일생. 1971년 2월 영남대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙 교수. 대한전기학회 방전 고전압 연구회 간사장 역임. 현재 본 학회 명예회장. 영남대학교 전기공학과 교수.