

주사바늘 전극형 오존발생기 특성 연구

(Observation and Characteristics of Ozonizer using Injection Needle Electrode)

박현미* · 권영학 · 박원주**

(Hyun-Mi Park · Young-Hak Kwon · Won-Zoo Park)

Abstract

Ozone is a powerful disinfectant and oxidizing agent, and it is used in a wide range of applications, such as waste water treatment, food processing, etc.. There is also a great potential of using ozone in new emerging medical applications, such as ozone dentistry and ozone oxygen therapy. For these purposes, simple, small, compact and efficient sources of ozone are needed.

In this study, in order to increase the current-voltage range of the discharge and to avoid the overheating of the gas in the ozonizer we suggested ozonizer of injection needle and plate electrode type(INP Type) with the gas through the needle. A ozonizer of INP type have been investigated by focusing on ozone concentration and yield according to flow rates and Gap of two electrodes. The results of studies of ozone production for DC corona discharge in oxygen at atmospheric pressure about the ozonizer of INP type. The ozone concentration and the generation yield increased as the gap of two electrodes and gas flow were decreased. Also, when the gap of two electrodes and gas flow with no change, the ozone concentration and generation yield each have variation of direct proportion and inverse proportion with discharge voltage.

Key Words : Ozonizer, Ozone Oxygen Therapy, Injection Needle, Corona Discharge, Corona Plasma

1. 서 론

오존은 강력한 살균 및 산화제로 정수 및 폐수처리, 야채의 저장 시간 증대, 살균, 탈취 등 다양한 영역에

서 사용하고 있다. 뿐만 아니라 오존수를 이용한 치과 장비와 같은 새로운 의료분야에서 오존을 사용하는 것은 더욱 활발히 연구가 진행 중이다[1-3]. 이러한 목적을 위해 간편하고, 효율적인 소형 오존발생기가 필요하다. 오존은 일반적으로 무성방전법, 자외선조사법, 전해법 등 세 가지 방법 중 하나로 생성이 된다. 대부분의 오존발생기는 에너지 효율면, 성능의 안정성, 조작 및 제어의 간편성으로 인해 대기압에서 무성방전법으로 생성을 하고 있으며, 이러한 목적으로 사용되는 방전은 코로나방전 또는 유전체 장벽방전이

* Main author : Ph.D of Electrical Engineering at Yeungnam University

** Corresponding author : Professor of Electrical Engineering at Yeungnam University

Tel : 053-810-2581, Fax : 053-810-4767

E-mail : wzpark@ynu.ac.kr

Received : 2015. 9. 8.

Accepted : 2015. 10. 16.

있다[4-7].

대기압에서 무성방전에 의해 오존을 생산하기 위해서는 산소분자를 해리하여 기저상태의 산소원자를 만들기 위해 약 6eV의 에너지를 가진 전자들이 필요하다. 따라서 소정의 에너지를 갖는 전자의 수는 오존이 생성되는 것을 결정한다. 마찬가지로 오존 생산량을 증가시키기 위해서는 방전전류 및 방전전압을 크게 할 필요가 있다. 그러나 방전전류의 증가는 방전영역 내부의 온도를 상승시켜 에너지의 약 70%가 열 손실로 소모되기 때문에 오존 손실이 크게 증가하는 결과를 가져온다[8-10].

본 논문에서는 간편하고 효율적인 소형 오존발생기를 위해 시중에서 쉽게 구할 수 있는 스텐레스 스틸 주사바늘과 평판전극을 이용하여 주사바늘을 통해 원료가스를 흘려보내는 구조를 제안하였다. 고전압 전극에 직접 원료가스를 흐르게 함으로서 장비 구조 설계를 간단히 할 수 있다. 또한 방전전류-전압 범위를 증가시키고 오존발생기 내부에 주사바늘을 통한 유속으로 과열을 방지하여 오존발생기의 열 손실을 줄이고자 하였다. 또한 주사바늘의 곡률반경이 매우 작으므로 부극성 DC코로나 전원을 사용하여 낮은 인가전압에서 오존을 효율적으로 발생시켜 수 있을 것으로 기대하고 있다[11-13]. 주사바늘 대 평판전극의 갭 및 유속이 오존생성농도 및 오존생성수율, 코로나 형성에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다.

2. 관련이론

2.1 코로나 방전

코로나방전은 뾰족한 침전극의 주위에 불균일한 전계가 생김에 따라 일어나는 지속적인 방전의 총칭이다. 이때, 침 전극 주변에 보이는 발광부위를 코로나라고 부른다. 코로나방전에 의해 흐르는 전류는 매우 작고 수 μ A정도 이다. 방전로의 발광은 전계가 집중되는 침 전극 주위에 한정하여 나타나며 불꽃방전에 있어서도 주방전로 형성에 앞서서 나타난다.

코로나의 상태는 침전극의 전극과 전극 사이에 인가하는 전위차에 의해 상태가 변화 한다. 특히 양극측의

침 전극에 발생하는 것을 정극성 코로나, 음극측의 것을 부극성 코로나라고 부른다.

침 대 평판 갭의 경우에 있어서 코로나방전의 상태는 다음과 같다. 정극성 코로나는 전극 간에 걸리는 전압의 상승에 따라 전극 끝부분에 밀착된 글로우 코로나로부터 소리를 동반하는 브러시 코로나를 거쳐서 스트리머 코로나로 되었다가 전로파괴에 이른다. 글로우 코로나가 간헐적인 것에서 지속적인 것으로 변화하는 과정에서 짧은 스트리머의 방전을 동반 한다. 스트리머 코로나는 스트리머가 다수 모여 성장한 것이다. 스트리머 코로나가 맞은편 평판전극에 도달하면 전로파괴가 되어 불꽃방전이 일어난다. 브러시 코로나는 갭의 길이가 짧은(15cm이하) 경우는 형성되지 않고 스트리머 코로나로 옮겨간다.

부극성 코로나는 정극성 코로나에 비해서 낮은 전압에서 형성된다. 스트리머를 동반하는 글로우 코로나가 형성되지만, 정극성 코로나와 달리 크게 성장하는 일이 없이 글로우 코로나인 채로 전로파괴에 이른다. 전로파괴에 이르는 전압은 갭 길이가 긴(3cm이상) 경우, 정극성 코로나의 경우보다도 높다[14-17].

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

그림 1은 실험장치의 개략도이다. 본 실험 장치는 원통형 오존발생장치, 고전압 직류전원(DCHV), 유량계, 오존모니터, 전류 및 전압 측정 장치로 구성되어 있다. 오존발생장치의 주변온도는 항상 22 $^{\circ}$ C \pm 2 $^{\circ}$ C로 유지하였으며 산소 원료가스를 flow meter(0.4~1 l/min)를 통하여 일정한 유량으로 오존발생기에 공급하였다. 주사바늘에 인가되는 전압은 직류고전압으로 그 극성은 (-)이다. 고전압을 오존발생기에 인가시, 오존발생기로부터 출력되는 방전전압, 전류 및 파형은 고전압 분압기(분압비=2000:1, Probe(10:1))으로 Oscilloscope로 측정하였다. 그림에서 실선은 방전특성을 조사하기 위한 전원장치와 계측장치들을 연결한 회로이며, 점선은 오존생성특성을 연구하기 위한 가스 흐름선도로서 원료가스 공급 장치 및 계측장치

들을 흐르는 오존화 가스의 흐름을 나타낸 것이다.

그림 2와 3은 실험에 사용된 주사바늘 대 평판형 오존발생장치(INP type)와 주사바늘 측면도 사진이다. 오존발생기 기본 구조물은 오존에 강한 테프론으로 제작하였으며 전극으로 스텐레스 스틸 재질의 주사바늘(외경 1mm, 내경 0.9mm, 길이 30mm)과 원형 평판전극(지름 13mm 두께 3mm)으로 제작하였다. 주사바늘과 평판전극은 석영튜브(외경 22mm, 내경 20mm, 길이 40mm) 내부에 위치하였으며 바늘 끝과 평판전극 사이 간격은 마이크로미터를 이용하여 바늘과 평판 사이 간격을 조절할 수 있도록 제작하였다.

3.2 실험방법

코로나 방전의 무성방전형 오존발생기의 방전특성 및 주사바늘대 평판의 불평등전계에서 갭 및 유량에 따른 오존생성특성을 연구하기 위하여 먼저 부극성의 고전압 직류전원의 전압 및 전류를 변화시키면서 갭 및 유량(Q), 인가전압에 따른 오존발생기의 방전전압(V_d), 방전전류(I_d) 및 방전과형을 오실로스코프로 측정하였다.

오존생성농도(O_{3con})를 측정하기 위하여 오존발생기내에서 발생한 오존화 가스를 매 실험마다 0.3 l/min으로 샘플링하여 자외선흡수방식의 기상용 오존모니터로 측정하여 오존생성수율(O_{3Y})을 계산하였다.

매회 측정시 V_d , I_d 및 O_{3con} 을 각각 10회 측정하여 그 평균치를 채택하였으며 방전 공간 내에 존재하는 불순물을 제거하고, 방전환경을 일정하게 유지하기 위하여 전압을 인가하지 않고 매 실험마다 Q를 일정하게 3분정도 강제 배기시킨 후 측정을 하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 제안된 오존발생장치의 기본 특성

그림 4는 $Q = 0.4 \text{ l/min}$ 에서 INP type의 오존발생기에서 바늘과 평판사이의 갭에 따른 DC 부극성 I_d 및

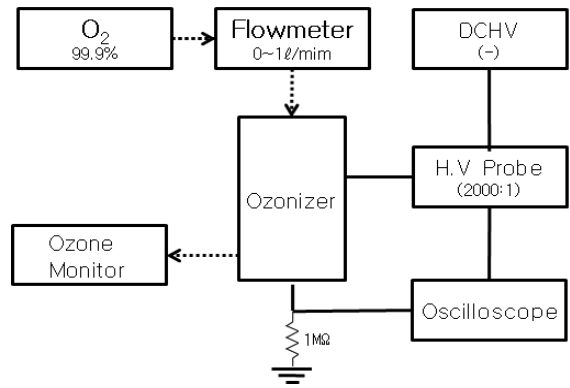


Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup

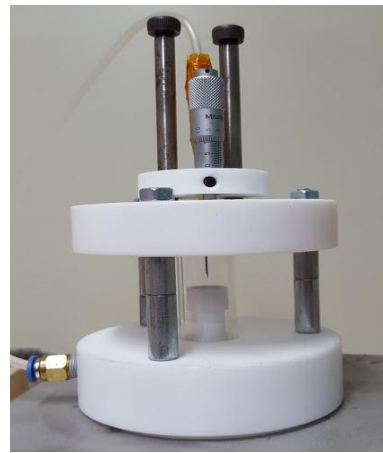


Fig. 2. Photograph of the Ozonizer of INP type



Fig. 3. Photograph of the needle tip-side view

V_d 특성을 나타낸 것이다. V_d 의 증가에 따라 I_d 는 코로나개시전압(Corona Inception Voltage, CIV)으로부터 발생하여 서서히 증가하다가 절연 파괴에 이르는 전형적인 침대 평판간의 부극성 방전특성을 보여준다 [13-14].

주사바늘과 평판사이의 갭이 넓어지면 CIV과 절연 파괴전압(Breakdown Voltage, BD)이 증가됨을 알 수 있다.

그림 5는 갭 4mm, V_d 8kV에서 Q의 변화에 따른 코로나 발광 현상을 INP type의 오존발생기 정면에서 촬영한 사진이다. 사진 (a)는 $Q = 0.2 \text{ l/min}$, (b)는 $Q = 0.4 \text{ l/min}$ 일 경우로써 Q가 작을수록 코로나가 더욱 크게 상승한다는 것을 확인하였다. 이는 주사바늘에서 나오는 원료가스의 유속에 의해 코로나 성장을 분산시키는 것으로 생각하다. 또한 부극성 코로나의 경우 점차 V_d 이 상승함에 따라서 코로나의 크기 및 광의 밝기는 미세하게 증가한 후 불꽃방전으로 바로 옮겨가는 특성이 있다. 본 실험에서 제작한 INP type의 오존발생기에서도 전형적인 부극성 코로나 특성을 확인할 수 있었다.

4.2 갭에 따른 O_{3con} 및 O_{3Y} 특성

그림 6과 7은 원료가스 $Q = 0.4 \text{ l/min}$ 로 일정하게 유지하고 주사바늘대 평판 사이의 갭(3~6mm)을 매 개변수로 하였을 경우 V_d 에 따른 O_{3con} 와 O_{3Y} 의 특성을 나타낸 그래프이다. O_{3con} 는 CIV에서부터 발생되어 V_d 의 상승에 따라 증가 후 BD 직전에 최대농도를 측정 할 수 있다.

그림 8은 동일한 조건하에 W_d 에 따른 오존발생량 (O_{3g}) 및 O_{3Y} 의 특성을 계산하여 그래프로 나타낸 것이다. 갭 3mm와 4~6mm의 값의 차이가 커 작은 그래프를 추가하여 나타내었다. O_{3Y} 은 O_{3g} 을 소모된 코로나 전력(kW)으로 나누어 계산할 수 있으며 O_{3con} (ppm) 및 Q (l/min)의 단위를 환산한 식 (1)에 따라 계산하였다[8].

$$\frac{0.00214 \times O_{3con} \times Q \times 0.06}{V_d \cdot I_d \cdot 10^{-3}} [g/kWh] \quad (1)$$

그 계산 결과 갭의 간격이 가장 좁은 3mm의 CIV에서 1,567g/kWh, BD에 근접할 경우 809g/kWh으로 최대 O_{3Y} 을 확인하였다. 그림 7에서 보는 것과 같이 O_{3Y} 은 갭이 좁고 코로나 전류가 가장 작은 CIV에서 가장 높은 O_{3Y} 을 얻을 수 있으며 BD에 근접할수록 O_{3Y} 은 감소하는 경향을 모든 갭에서 동일하게 나타나고 있다. 이는 O_{3Y} 계산식과 그림 4의 부극성 코로나 V_d - I_d

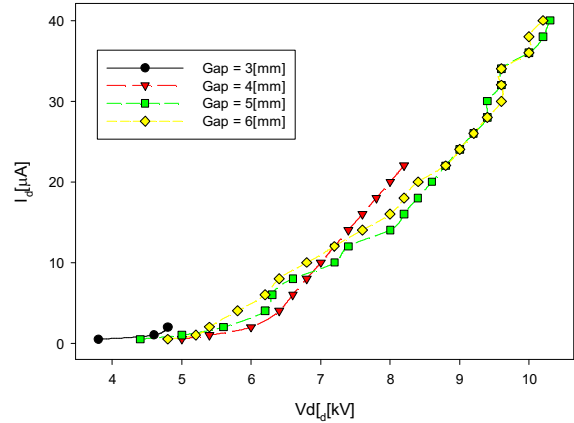
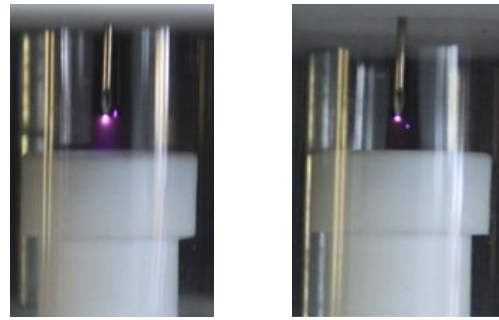


Fig. 4. The Characteristics of V_d - I_d according Gap



(a) 0.2 l/min (b) 0.4 l/min

Fig. 5. Photograph of corona discharge by Q

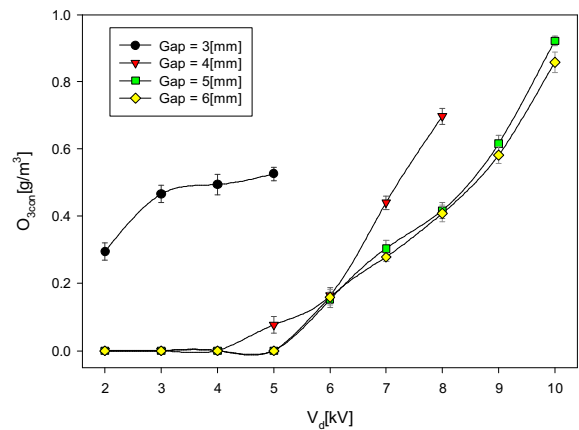


Fig. 6. The Characteristics of V_d - O_{3con} with variation of the Gap ($Q = 0.4 \text{ l/min}$)

특성에서 알 수 있듯이 BD에 가까워질수록 코로나전류가 지수 함수적으로 증가하여 코로나 전력을 증가시키기 때문이다.

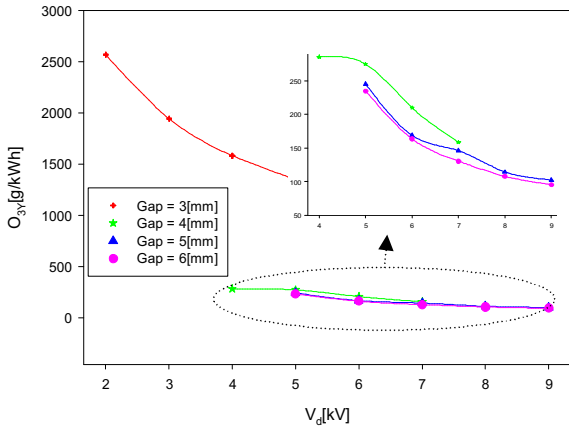


Fig. 7. The characteristics of V_d - O_{3Y} with variation of Gap($Q = 0.4 \text{ l/min}$)

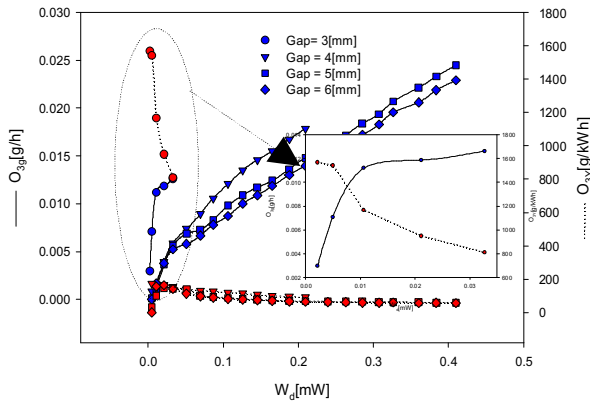


Fig. 8. The Characteristics of O_{3Y} and O_{3g} with variation of Gap($Q = 0.4 \text{ l/min}$)

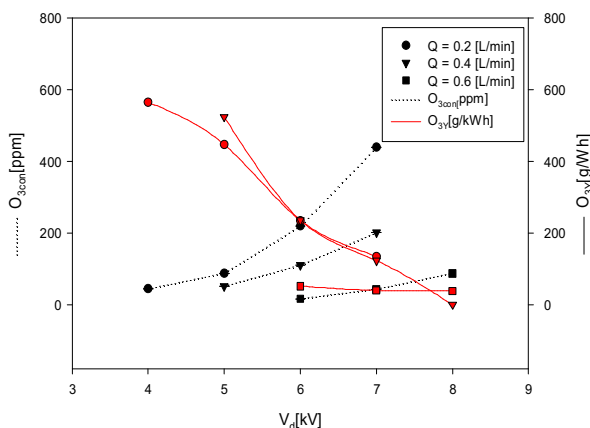


Fig. 9. The characteristics of O_{3con} and O_{3Y} with variation of Q (Gap = 4mm)

주사바늘 대 평판의 갭 차이는 O_{3con} 및 O_{3Y} 에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 그러나 갭이 작을 경우 낮은 전압에서 오존을 생성시킬 수 있으나, 또한 낮은 전압에서 절연파괴에 이르기 때문에 결국 저농도의 오존만 얻을 수 있게 된다. 한편 갭이 큰 경우 높은 전압에서 오존을 생성시키고 BD가 높기 때문에 고농도의 오존을 얻을 수 있다.

그러므로 사용목적에 따라 주사바늘 대 평판의 갭 제어를 통해 INP type의 오존발생기의 필요농도를 결정하는 것이 용이 할 것으로 생각한다.

4.3 Q에 따른 O_{3con} 및 O_{3Y} 특성

그림 9은 갭 4mm일 경우 $Q(0.2 \sim 0.6 \text{ l/min})$ V_d 에 따른 O_{3con} 및 O_{3Y} 특성을 나타낸 그래프로 점선은 O_{3con} 이고 실선은 O_{3Y} 을 나타내었다.

O_{3con} 의 경우 Q 가 가장 작은 0.2 l/min 에서 가장 높은 농도 값이 측정되었다. 이는 같은 단면적에서 Q 가 많아질수록 유속은 증가하게 된다. 유속이 빨라질수록 방전 공간 내에 머무는 전자밀도가 줄어들게 되며 또한 유속에 의해 코로나를 분산시키게 된다. 따라서 산소분자와 산소원자의 충돌횟수가 줄어들게 됨으로 O_{3con} 에 영향을 미치는 것이라 생각한다. 또한 같은 갭이라도 Q 가 상승함에 따라서 CIV 및 BD가 증가되는 것을 알 수 있다. 따라서 O_{3Y} 은 Q 가 높은 0.6 l/min 에서 가장 낮게 측정되었다. 더 정확한 Q 및 유속에 의한 O_{3con} 및 O_{3Y} 에 관하여서는 주사바늘의 단면적을 달리한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 주사바늘 대 평판형(INP Type) 오존 발생기를 제작하여 두 전극사이의 갭 및 Q 가 O_{3con} 과 O_{3Y} 에 미치는 영향을 실험적으로 검토한 결과는 다음과 같다.

O_{3con} 은 V_d 가 높을수록 그리고 전극사이의 간격이 좁을수록 높은 농도를 얻을 수 있고, Q 가 작을수록 높은 값을 얻을 수 있었다. 그러나 좁은 간격에서는 BD가 낮아 고농도의 오존 생성은 불가능하였다. O_{3Y} 은

CIV가 낮을수록 그리고 Q가 낮을수록 최대수율을 가지는 것을 실험으로 확인 할 수 있었다. 갭과 Q가 일정할 경우 O_{3con} 와 O_{3Y} 은 서로 반비례하는 특성을 보여주었다.

INP Type 오존발생기는 주사바늘을 통해 원료가스를 주입함으로 기존의 침대 평판형 오존발생기에 비해 내부 구조를 간단히 설계할 수 있어 소형 오존발생기 제작이 가능하였다. 또한 부가적인 장치가 필요하지 않기 때문에 상용화 하였을 경우 경제적인 효율이 있을 것으로 생각한다. 특히 저용량 고효율을 필요로 하는 의료기기 분야에 적용한다면 더욱 좋을 것이라 생각한다.

References

[1] Benita. P, "Ozone Therapy - A New Approach in Periodontal Management", IOSR Journal of Dental and Medical Sciences Volume 13, Issue 3 Ver. I. (Mar. 2014), PP 20-24.

[2] Jyoti P., Weeresh M. Nagathan, Subramaniam M. Rao, "Ozone in Dental Therapy: An Outlook" Int, Journal of Clinical Dental Science, (may, 2013), pp 4-8.

[3] Seidler V, Linetskiy I, Hubálková H, Staříková H, Šmucler R, Mazánek J. "Ozone and Its Usage in General Medicine and Dentistry A Review Article." Prague Medical Report 2008; 109(1): 5-13.

[4] Rip. G. Rice "Handbook of Ozone Technology and Application" (Butter Worth Publishers).

[5] A Jawored, A Krupa and T Czech, "Back-corona generated plasme 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] 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.

[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] 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.

[11] Junhong Chen, Jane H. Davidson "Ozone Production in the Positive DC Corona Discharge: Model and Comparison to Experiments" Plasma Chemistry and Plasma Processing, December 2002, Volume 22, Issue 4, pp 495-522.

[12] R. Morent and C. Leys, "Ozone Generation in Air by a DC-Excited Multi-Pin-to-Plane Plasma Source" Ozone: Science and Engineering, 27: 239-245, 03 Dec 2010.

[13] Junhong Chen, Jane H. Davidson "Ozone Production in the Negative DC Corona: The Dependence of Discharge Polarity" Plasma Chemistry and Plasma Processing, September 2003, Volume 23, Issue 3, pp 501-518.

[14] A Yehia[†], M Abdel-Salam[‡] and A Mizuno[†] "On assessment of ozone generation in dc coronas", J. Phys. D: Appl. Phys. 33 (2000) 831-835. Printed in the UK.

[15] Castle G S P, Incullet I I and Burgess K I 1969 "Ozone generation in positive corona electrostatic precipitators" IEEE Trans. Ind. Gen. Appl. 5 489-96.

[16] Awad M B and Castle G S P 1973 "Some parameters affecting the generation of ozone in positive and negative corona Proc." IEEE-IAS Annual Meeting 373-80.

[17] Gallo C F and Castle G S P 1978 "Parametric study of ozone generation by coronas" IEEE Trans. Ind. Appl. 10 84-6.

◆ 저자소개 ◆



박현미 (朴現美)

1982년 1월 6일생. 2003년 8월 경일대학교 전기공학과 졸업. 2005년 8월 영남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2014년 영남대학교 대학원 전기공학과 박사 수료. 현재 (주)메디스윙 대표.



권영학 (權泳學)

1962년 2월 13일생. 2011년 2월 숭실사이버대학교 소방방재학과 졸업. 2013년 8월 영남대학교 공학대학원 산업안전학과 졸업(석사). 2015년 영남대학교 대학원 스마트 산업안전학과 박사 수료. 현재 한국농어촌공사 재직 중.



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.