

Effective Ozone Generation Utilizing a Slit Barrier

文在德* · 鄭在勝*
(Jae-Duk Moon · Jae-Seung Jung)

Abstract - In this paper a new wire-wire discharge system with a slit dielectric barrier has been proposed, and, its corona discharge and ozone generation characteristics have been investigated experimentally. When the slit mica barrier is installed between corona wires, instead of the grounded plate electrode, a significant increase in the generation of ozone, about 2.2 times higher than that of the conventional ones without the slit barrier, could be obtained. Photographs show that this type of discharge system with a slit barrier was found to produce a corona discharge twice, once from the upper and bottom corona wires, and, again from both sides of surfaces and slits of the slit barrier. As a result, the proposed discharge system has the potential to increase significantly ozone production and it may be useful as an effective means for removing pollutant gases.

Key Words : Corona Discharge, Wire-Wire Type Discharge System, Slit Barrier, Ozone Generation

1. 서 론

대기오염은 오늘날 우리 모두가 직면하고 있는 가장 심각한 환경 문제중의 하나이다[1-4]. 코로나 방전은 가장 혁신적이고 효율적인 해결책의 하나로 알려져 있고[5], 현재 적용되고 있는 기술로서는 펄스코로나 방전[6], 무성방전[7], 표면방전[8], 강유전체 충전층 방전[9]등이 있다.

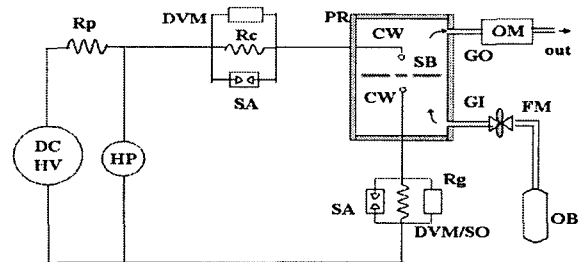
대기 중의 유해가스들은 코로나 방전의 전기물리화학적 작용에 의해 제거된다[5]. 전기물리적 작용은 코로나 방전에서 만들어진 고에너지 전자에 의해 발생되며[5,10], 전기화학적 작용은 코로나 방전으로 발생된 오존(ozone)에 의해 주로 일어난다[6]. 결국 대기오염 유해가스의 효과적 제거하기 위해서는 강력한 코로나 방전이 요구되며, 효과적인 오존 발생은 매우 중요한 기술이다[5].

본 논문에서는 틈새를 갖는 유전체 장벽을 설치한 선대선 방전장치를 제안하였다. 제안된 방전장치의 코로나 방전전류-전압특성과 오존발생특성을 장벽의 틈새간격, 방전선전극간의 방전간격을 변수로 하여 실험적으로 조사하여, 제안된 방전장치가 효과적으로 오존을 발생시키는지를 동일 구조 동일 규격의 종래형 방전장치와 특성을 비교하였다.

2. 실험 방법 및 장치

그림1은 제안한 방전장치 실험의 개략도로서, 원통형 방

전장치, 직류 고전압 발생장치, 산소가스 공급 장치, 유속계, 오존모니터, 전류 및 전압 측정 장치로 구성되어 있다.



DS : discharge system	CW : corona wire	SB : slit dielectric barrier
DCHV : DC HV supply	Rp : protection resistor	HP : high voltage probe
Rc, Rg : shunt resistors	SA : surge arrester	DVM : digital voltmeter
SO : storage oscilloscope	OM : ozone monitor	FM : flowmeter
OB : oxygen bombe	GI : gas inlet	GO : gas outlet

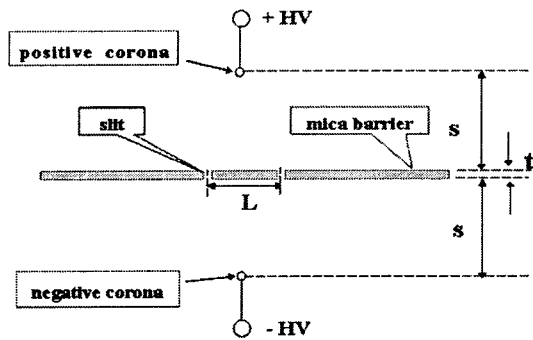
그림 1. 실험 장치 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of experiment setup.

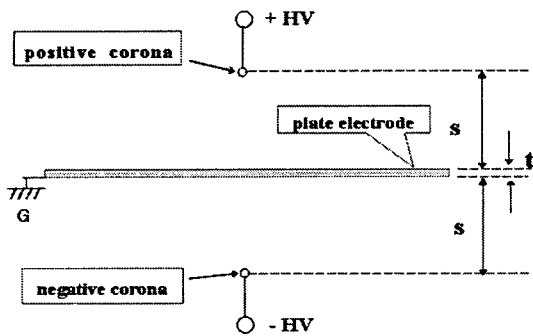
그림2는 제안된 방전장치와 종래형 방전장치는 구조를 나타낸 것이다. 제안된 방전장치와 종래형 방전장치의 동일 구조와 동일 규격을 가지며, 방전전극은 직경이 0.18mm, 길이가 8cm인 스테인레스선으로 하였다. 틈새 장벽(slit barrier)은 직경 9mm, 두께 0.5mm인 운모판을 사용하였고, 이 장벽상에는 너비가 0.3mm인 2개의 틈새를 장벽의 상하가 관통되게 형성하였다. 두 틈새간의 간격(length between slits, L)은 5.0mm~20.0mm로 가변시켰다. 두 틈새간의 간격을 가변시킴에 따라 장벽 표면상의 축적된 표면전하의 완화시정수를 가변시켜서, 장벽의 표면에서 연면 방전이 발생할 수 있게 하였다. 방전선전극과 장벽간의 방전간격(airgap spacing, s)은 5.0mm~20.0mm로 가변하였다. 인가전압으로는 0~40kV의 직류 고전압을 사용하였다.

* 교신저자, 正會員 : 慶北大 電子電氣컴퓨터學部 敎授 · 工博
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr

* 學生會員 : 慶北大 大學院 電氣工學科 碩士
接受日字 : 2006年 3月 21日
最終完了 : 2006年 4月 10日



(a) 제안한 방전장치의 개략도



(b) 종래형 방전장치의 개략도

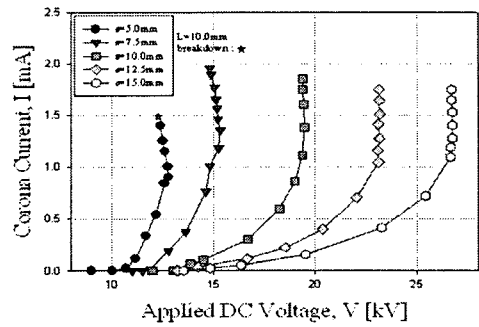
그림 2. 방전장치의 구조 비교도

Fig. 2. Configuration of the proposed discharge system.

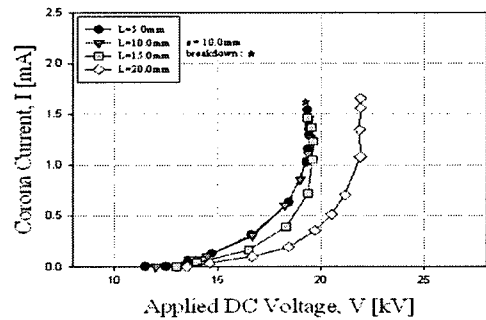
인가전압은 디지털 전압계(Fluke 75, DVM)와 고전압 프로브(Tektronix P6015A, 1000:1)로, 방전전류는 측정저항(Rc, shunt resistor)과 DVM으로, 전압과 전류의 파형은 축적형 오실로스코프(Tektronix TDS 340A)로 측정하였다. 인입 가스로는 산소가스(99.9% pure, 1.0 l/min fixed flow rate)를 방전장치의 가스 입력부에 인입하였다. 발생 오존량은 오존모니터(Dasibi DY 1500)로 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 제안된 방전장치의 s 와 L 의 변화에 따른 I-V 특성으로, 코로나 개시 전압과 절연과피 전압은 s 와 L 의 증가에 따라 증가하였다. 즉, s 가 각각 5.0, 7.5, 10.0, 12.5일 때, 절연과피전압은 각각 12.6, 14.9, 19.4, 23.4, 26.7 kV로 크게 증가되었다. 최대전류는 $s=7.5\text{mm}$ 이고 $V=14.9\text{kV}$ 일 때, 약 1.9mA에 이른다. L 변화에 따른 I-V 특성은 s 변화에 따른 I-V 특성과는 현저한 차이를 보인다. 즉, 코로나 개시전압과 절연과피 전압은 L 이 5.0mm에서 20.0mm로 증가해도 크게 변하지 않으며, 절연과피 전압의 폭도 19.2kV에서 22.0kV로 매우 좁았다. 최대전류는 $L=20\text{mm}$, $V=22\text{kV}$ 일 때, 약 1.6mA에 이르나, L 의 증가에 따라 변화가 적었다. 코로나 개시전압은 s 의 변화에 따라서는 10.5kV와 14.5kV 사이의 넓은 범위에 존재하지만, L 의 변화에 따라서는 12.5kV와 13.5kV 사이의 좁은 범위에 한정했다.



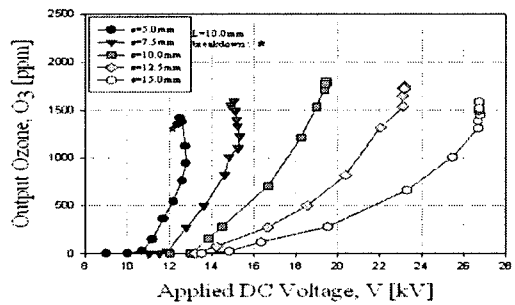
a) s 변화에 따른 I-V 특성



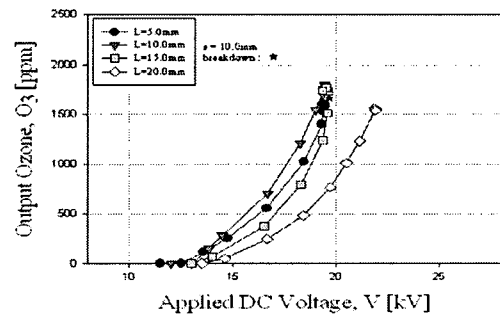
(b) L 변화에 따른 I-V 특성

그림 3. 방전간격 및 틈새간격 변화에 따른 I-V 특성

Fig. 3. I-V characteristics of the discharge system for different s and L .



(a) s 변화에 따른 O₃-V 특성

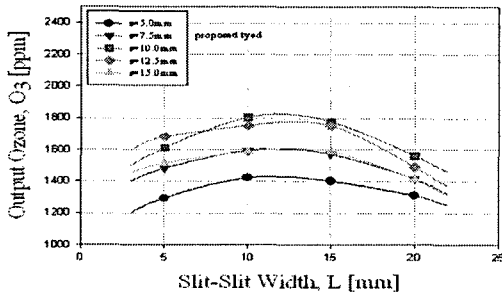


(b) L 변화에 따른 O₃-V 특성

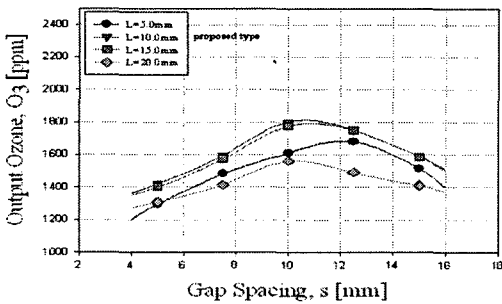
그림 4. 방전간격 및 틈새간격 변화에 따른 O₃-V 특성

Fig. 4. O₃-V characteristics of the discharge system for different s and L .

그림 4와 5는 제안된 방전장치의 s 와 L 의 변화에 따른 오존발생 특성을 나타낸 것이다. 오존은 코로나 개시전압에서부터 발생되기 시작하며, 인가전압의 증가에 따라서 증가하였고, 최대 오존 발생량은 절연과파 전압 부근에서 일어났다. 제안된 방전장치의 오존의 최대 발생량은 $s=10\text{mm}$, $L=10\text{mm}$ 에서 얻을 수 있으며, 그림 5에서 나타난 것처럼, 그 값은 약 1,800ppm이었다.



(a) s 변화에 따른 오존발생 특성

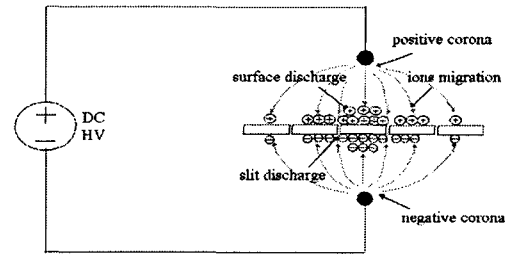


(b) L 변화에 따른 오존발생 특성

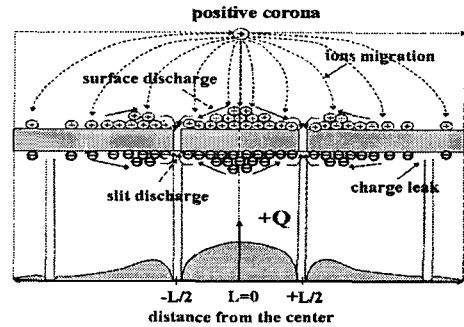
그림 5 방전간격과 틈새간격 변화에 따른 오존발생 특성
Fig. 5. Ozone generation characteristics of the discharge system for different s and L .

선대선 전극간의 틈새 장벽이 방전에 미치는 영향은 다음과 같이 설명할 수 있다. 그림 6(a)에서 나타내는 것과 같이 코로나 방전이 선전극에서 발생되면, 방전에 의해 생성된 이온들은 틈새 장벽으로 이동하여, 장벽상에 축적되게 된다. 즉, 유전체 장벽상의 표면전하 완화 시정수는 $\tau = \rho \epsilon_0 \epsilon_r = 153\text{s}$ (mica sheet $\epsilon_r = 5.0$, $\rho = 3.5\text{T}\Omega/\square$)로 계산되며, 이는 지속적인 방전시간과 비교하면 매우 긴 시간이다. 그러나 그림 6 (b)와 같이 틈새를 장벽상에 형성시키면, 상측 장벽에 축적된 전하들은 틈새를 통하여 하측편에 축적된 반대 극성의 전하들과 정전인력을 강하게 받게 된다. 이때 축적 전하는 $Q = CV$, 전계는 개념적으로 $E = V/L = Q/CL$ 이 되고, $E > 15\text{kV}$ 이 되면[11], 결국 표면전하들은 틈새를 통해 순식간에 이동되어 연면 방전을 일으키게 된다.

따라서, 제안된 방전장치의 장벽상에서는 강력한 마이크로 표면방전이 그림7과 같이 발생되고, 그림 4와 5같은 코로나 전류와 오존발생량을 얻을 수 있게 된다. 이 때 방전은, 사진 7이 보여주는 것처럼, 전하가 집중되는 장벽의 틈새에서 주로 강력한 마이크로 방전을 발생시키며, 많은 오존을 발생시킬 수 있게 되는 것으로 사료된다.



(a) 틈새 장벽상의 전하축적 개념도



(b) 틈새 장벽상의 방전 발생 개념도

그림 6 틈새 장벽상의 전하축적 및 방전발생 개념도
Fig. 6. Charge storage and discharge mechanism on the slit barrier.

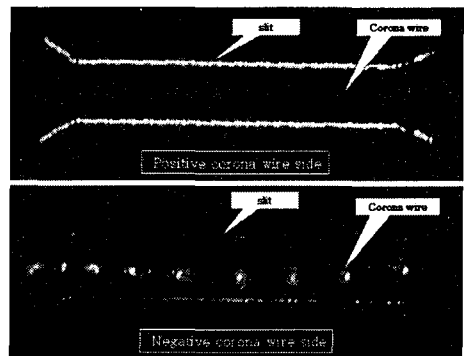


그림 7. 방전선과 틈새 장벽상의 코로나 방전 사진
Fig. 7. Photographs of the corona discharge on the wire and slit barrier.

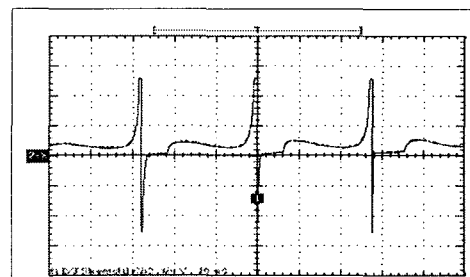


그림 8. 방전장치의 절연과파시의 전류파형
Fig. 8. Oscillogram of the breakdown current.

그림 8은 제안한 방전장치의 절연과괴시의 평판전극과 접지전극간에 직렬로 연결된 저항(1.00kΩ) 양단의 전류파형을 나타낸 것이다. 통상의 선형 방전장치라면 아-크 방전이 바로 방전선과 접지전극간에 발생된다. 그러나 본 틸새장벽을 갖는 방전장치의 경우, 절연과괴시의 방전전류파형은 일정한 간격으로 충전(평탄한 부분)과 방전(정 및 부극성 펄스 부분)을 거듭하는, 전혀 상이한 방전파형의 모양을 갖는 장벽방전 모드를 나타낸다.

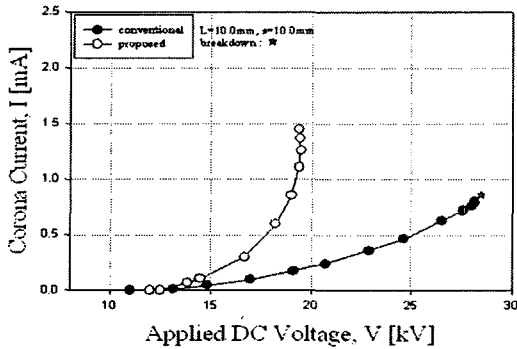


그림 9. 방전장치의 I-V 특성
Fig. 9. I-V characteristics of the discharge system.

그림 9와 10은 s와 L을 고정시켰을 때의 제안한 방전장치의 코로나 전류-전압 특성과 오존발생 특성을 동일 구조 및 동일 규격의 종래형 방전장치의 특성과 비교한 것이다. 코로나 방전전류와 발생오존량은 동일구조와 동일 크기의 종래형 방전장치에 비해 틸새 장벽을 갖는 제안한 방전장치 쪽이 매우 큼을 분명하게 보여준다.

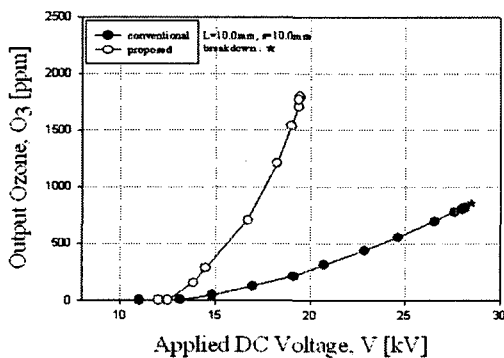


그림 10. 방전장치의 O₃-V 특성
Fig. 10. O₃-V characteristics of the discharge system.

표 1은 제안한 방전장치와 종래형 방전장치를 각각 최적의 방전조건(s=10mm, L=10mm)일 때의 상호 특성을 비교한 것이다. 종래형의 오존발생 최대량이 816ppm이고, 제안한 방전장치의 경우는 1,803ppm으로 종래형에 비해, 2.2배의 매우 높은 오존발생량을 얻을 수 있음을 보여준다. 제안형의 경우, 종래형에 비해, 절연과괴전압(V)은 0.7배로 매우 낮으나, 코로나 전류(I)는 2.0배로 매우 높았고, 소비전력(P=IV)도 1.6배로 많았다. 그러나, 단위전력당 오존발생량은

제안형과 종래형이 각각 36.2ppm/W와 58.0ppm/W로, 본 제안한 방전장치 쪽이 약 1.6배로 큼을 보여준다.

제안한 방전장치의 방전전류가 동일 구조와 규격의 종래형에 비해 약 2배로 많은 이유는, 장벽상에서 발생된 방전의 방전선과 역극성의 이온(逆電流, back current ion)들이 방전극을 향해 추가로 흐르기 때문이다[13]. 그리고, 제안한 방전장치의 방전 개시 전압은 서로 비슷하나, 절연과괴 전압이 0.7배로 낮은 이유는, 장벽상에서 코로나 방전이 한번 일어나면, 장벽상의 역전리 이온들이 방전지속 조건을 완화하기 때문으로 사료된다[13].

표 1. 방전장치와 종래형 장치와의 특성 비교

Table 1. Comparison of the proposed discharge system with the conventional discharge system.

Types	V [kV]	I [mA]	P [W]	O ₃ [ppm]	O ₃ /P [ppm/W]	O ₃ /O _{3P} [-]
종래형 장치	28.15	0.80	22.52	816	36.2	1.00
제안한 장치	19.43	1.60	31.09	1,803	58.0	2.21

본 제안한 방전장치로부터 매우 높은 오존발생량을 얻을 수 있는 이유는 다음과 같이 설명할 수 있겠다. 종래의 선대 평판형 방전장치의 경우, 코로나 방전은 상하의 두 방전선에서만 발생되고 오존도 이 방전선상에서만 발생된다. 그러나, 제안한 방전장치에서는, 그림7에서 보듯이, 코로나 방전선 뿐만 아니라 유전체 장벽의 틸새와 표면에서도 강력한 방전이 발생된다. 즉, 그림 7의 방전 사진은, 틸새를 갖는 장벽이 설치된 방전장치의 경우, 두 번의 코로나 방전이 발생함을 보여준다. 한번은 방전선 전극에서 발생하고, 더 이상 소용이 없는 이온들이 유전체 장벽상에서 다시 틸새와 표면의 양면의 넓은 면적에서 강력한 마이크로 방전을 발생시킨다. 그러므로 2.2배의 많은 오존이 발생되게 된다. 이 결과는 종래의 선대평판형 방전장치에서 평판전극 대신에 틸새를 갖는 유전체 장벽을 설치함으로써 효과적으로 오존을 발생시키는 방전장치로 이용될 수 있고, 따라서, 유래 가스 제거용 방전장치로서도 사용될 수 있음을 보여준다.

4. 결 론

본 논문에서는 선대평판형 방전장치에서 평판전극 대신에 틸새를 갖는 유전체 장벽을 설치한 새로운 형태의 방전장치를 제안하고, 코로나 방전 특성과 오존발생 특성을 실험적으로 연구한 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

제안한 틸새 유전체 장벽을 설치한 방전장치는 절연과괴 전압은 방전간격(s)과 틸새간격(L)에 크게 영향을 받으며, 틸새간격의 크기에 따라 절연과괴 전압과 최대 코로나 전류도 가변시킬 수 있음을 보여주었다. 틸새 장벽이 설치된 본 방전장치의 경우, 방전 사진으로부터 두 번의 코로나 방전이 발생함을 보여주었다. 한번은 방전선 전극에서 발생하고, 또 한 번은 장벽 양면의 틸새와 표면의 넓은 표면적에서 강력한 마이크로 방전이 발생하였다. 따라서, 동일 규격의 종래형에 비해 2.2배의 많은 오존이 얻어졌다. 이 결과는 종래의 선대평판형 방전장치에서 평판전극 대신에 틸새를

갖는 유전체 장벽을 설치함으로써 효과적으로 오존을 발생 시킬 수 있음을 보여준다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축 지원 사업으로 수행된 논문으로, 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] Keping Yan, Corona Plasma Generation, Eindhoven ISBN 90-386-1870-0 (2001).
 [2] M. L. Balmer, G. Fisher and J. Hoard, Non-thermal plasma for exhaust emission control: NOx, HC, and particulates, ISBN 0-7680-0490-X, USA (1999).
 [3] H. H. Kim, G. Prieto, K. Takashima, S. Katsura, A. Mizuno, Performance evaluation of discharge plasma process for gaseous pollutant removal, Journal of Electrostatics, 55 (2002) 25-41
 [4] U. Kogelschatz, Ozone generation and dust collection, in electrical discharge for environmental purposes: Fundamentals and Applications, edited by E. M. van Veldhuizen, Nova Science Publishers, Inc., New York 11743 (2000).
 [5] NATO Advanced Research Workshop on Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Cambridge Univ, England U.K. (Sept 21-25, 1992) 1-8.
 [6] G. Sathiamoorthy, S. Kalyana, W. C. Finney, R. J. Clark, B. R. Locke, Chemical reaction kinetics and reactor modeling of NOx removal in a pulsed streamer corona discharge reactor, Ind. Eng. Chem. Res. 38 (5) (1999) 1944-1855.
 [7] S. Han, T. Oda, R. Ono, Improvement of the Energy Efficiency in the Decomposition of Dilute Trichloroethylene by the Barrier Discharge Plasma Process, IEEE, Trans. on IA, 41, 5 (2005) 1343-1349
 [8] T. Oda, R. Yamashita, I. Haga, T. Takahashi and S. Masuda, Decomposition of gaseous organic contaminants by surface discharge induced plasma chemical processing-SPCP, IEEE Trans on IA, 32, 1 (1996) 118-123.
 [9] T. Hakoda, S. Hashimoto, and T. Kojima, Effect of water and oxygen contents on the decomposition of gaseous trichloroethylene in air under electron beam radiation, Bull. Chem. Soc. Japan, 75, (2002) 2177-2183

[10] Y. Uchida, K. Takaki, K. Urashima, and J.S. Chang, Atmospheric pressure of nitrogen plasmas in a ferroelectric packed-bed barrier discharge reactor, IEEE Trans on DEI 11, 3 (2004) 491-497
 [11] E. E. Kunhart and L. H. Luessen, Electrical Breakdown and Discharges in Gases, NATO ASI Series B: Physics, Vol. 89b (1981) 1-64.
 [12] D. Braun, U. Kuchler and G. Pietsch, Microdischarge in air-fed ozonizers, Journal of Physics, D: Appl. Phys, 24 (1991) 564-572.
 [13] S. Masuda, M. Washizu, A. Mizuno, K. Akutsu, Boxer Charger-A Novel Charging Device for High Resistivity Powders, Conference Record of IEEE IAS Annual Meeting, (1978) 16-21

저 자 소 개



문재덕(文在德)

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대 사대 과 학교육과(물리전공) 졸업. 1975년 동 대학원 전자공학과 졸업(공석). 1982년 일본 동경대학 대학원 전기공학과(공박). 현재 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수.

Tel : 053-950-5601
 Fax : 053-950-5508
 E-mail : jdmoon@knu.ac.kr



정재승(鄭在勝)

1978년 4월 14일생. 2004년 경북대 공대 전자전기공학부 졸업. 현재 경북대학교 대학원 전기공학과 석사과정 재학중

Tel : 053-940-8601
 Fax : 053-950-5508
 E-mail : bucstual@empal.com