Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2012) 26(5) : 85~90
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2012.26.5.085
논문 26-5-11

코로나 선전극의 직경과 극성변화에 따른 오존발생특성

(Characteristics of Ozone Generation by Diameter and Polarity Variation of Corona Wire Electrode)

정재승* · 김진규**
(Jae-Seung Jung · Jin-Gyu Kim)

Abstract

In this paper, it was investigated experimentally that diameter and polarity variation of corona wire electrode affected to ozone generation of the ozone generator using a wire-to-plate type electrode. The change in the diameter(D) of the corona wire electrode has a great effect upon ozone generation, higher influence appears in the positive corona discharge than the negative corona discharge. In the case of D=0.50[mm], maximum ozone generation and power efficiency could be obtained. However, in the case of smaller D than this, the ozone generation and efficiency decreases slowly and in the case of larger D, the ozone generation decreases rapidly. It means performance decline as an ozone generator. Therefore, ozone generation and power efficiency would increase through simple optimization of the corona electrode specification.

Key Words : Ozone Generator, Corona Discharge, Corona Wire Electrode

1. 서 론

산업의 고도화와 더불어 발생하는 다양한 종류의 산업폐기물에 의한 대기 및 수질의 오염은 우리가 직면하고 있는 심각한 환경문제를 유발하고 있다. 불평등 전계에 의한 코로나 방전을 통하여 발생하는 오존은 대기 및 수질 오염 물질을 효과적으로 제거할 수 있는 방법의 하나로 활용되고 있다. 오존은 강력한 산화력을 통하여 대기 오염 물질의 제거, 물의 소독, 살균 등에 우수한 특성을 가짐과 동시에 단시간 내에 산소로 환원되어 잔류 오염 물질을 발생시키지 않으므로 2차적인 환경오염을 일으키지 않는 장점이 있다[1-4].

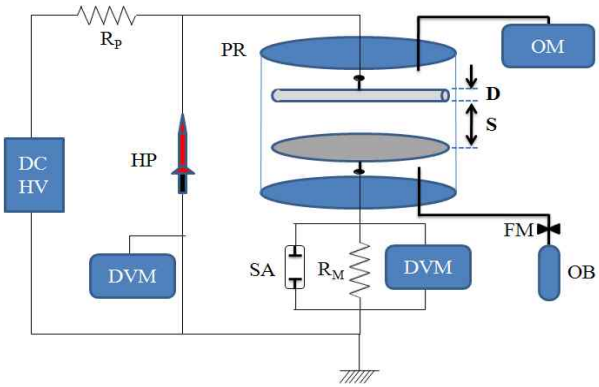
전기적 코로나 방전은 효율적인 오존 발생 방법 중 하나로 알려져 있으며, 현재 펄스코로나 방전, 무성방전, 표면방전, 강유전체 충진층 방전 등의 방전형태가 주로 이용되고 있다[5-7]. 이 중 코로나 방전 방식은 오존의 생성을 통한 오염물질 제거뿐만 아니라 방전으로 생성된 고에너지 전자나 충격파에 의한 물리적 제거효과도 부가적으로 얻을 수 있다. 그러므로 오염물질의 효과적인 제거를 위해서는 강력한 코로나 방전과 효과적인 오존 발생에 관한 연구는 매우 중요하다[8].

* 주저자 : 경북대학교 전기공학과 공학박사
** 교신저자 : 경북대학교 전기공학과 부교수
Tel : 054-530-1326, Fax : 054-530-1239
E-mail : kjg@knu.ac.kr
접수일자 : 2012년 4월 17일
1차심사 : 2012년 4월 20일
심사완료 : 2012년 5월 10일

오존 발생에 보다 효과적인 코로나 방전의 발생을 위해서는 방전 전극에 대한 연구가 필수적이다. 현재 평판형 전극에 대한 연구는 다수 수행되어 왔지만[9], 코로나 전극에 의한 오존발생에 대한 영향은 거의 수행되지 않은 실정이다. 본 논문은 효과적인 코로나 방전을 발생시키기 위한 코로나 전극과 유도전극의 구조에 대한 연구로서, 오존발생장치의 코로나 전극으로 사용된 선전극의 직경과 극성변화가 오존 발생에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다.

2. 실험방법 및 장치

그림 1은 오존발생을 위한 코로나 발생부와 전체적인 실험장치 개략도이다. 그림 1에서 나타낸 것처럼 실험장치는 원통형 방전장치, 직류 고전압 발생장치, 산소가스 공급 장치, 유속계, 오존모니터, 전류 및 전



DCHV : DC HV supply
DVM : digital voltmeter
FM : flowmeter
HP : high voltage probe
OB : oxygen bombe
OM : ozone monitor
PR : plasma reactor
RM : measurement resistors
RP : protection resistor
SA: surge arrestor
D : diameter of wire electrode
S : airgap spacing

그림 1. 실험 장치 개략도
Fig. 1. Schematics of the experimental setup.

압 측정 장치로 구성되어 있고, 실험에 사용된 코로나 방전전극의 구조는 일반적으로 사용되고 있는 선형코로나 전극과 평판형 접지전극으로 구성되어 있다.

방전전극인 선전극은 SUS 재질로 되어 있으며, 접지전극은 직경이 70.0[mm]인 원형으로 고정되어 있다. 코로나 선전극은 직경(D)이 0.08~0.65[mm]로 가변하며 실험을 수행하였다. 코로나 선전극과 접지전극간의 방전간격(airgap spacing, S)은 15.0[mm]로 하였으며, 전원으로는 0~40[kV]의 직류 고전압을 사용하였다.

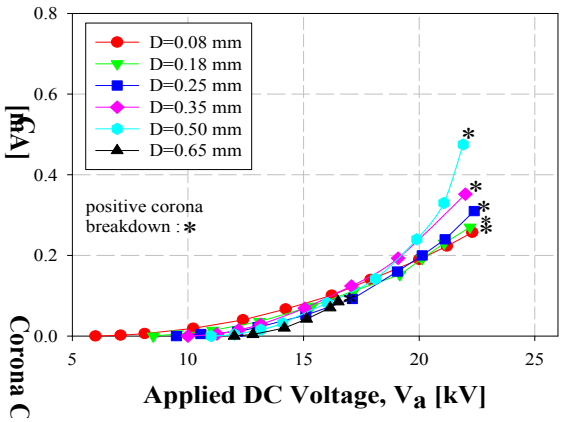
코로나 선전극에 인가된 직류고전압은 고전압 프로브(Tektronix P6015A, 1000 : 1)와 디지털 전압계(Fluke 75, DVM)로 측정하였으며, 방전 전류는 접지전극에 직렬 연결된 측정저항(RM, measurement resistor)과 DVM을 이용하여 측정하였다. 방전 공간의 인입기체로는 산소(99.9[%])를 1.0[ℓ/min]의 속도로 주입하여 사용하였으며, 발생 오존량은 오존모니터(Dasibi DY 1500)로 측정하였다.

2. 실험결과 및 고찰

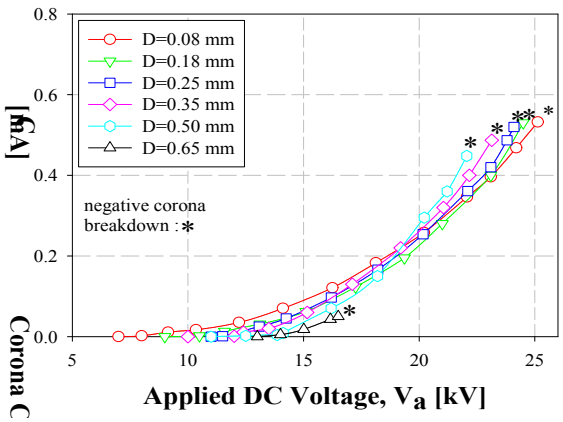
그림 2는 코로나 선전극 직경과 인가전압의 극성에 따른 I-V특성으로 코로나 선전극에 정극성 및 부극성 직류 고전압이 인가된 경우 모두 동일하게 코로나 개시 전압 이후로 인가전압의 증가에 따라 방전전류가 서서히 증가하여 절연파괴에 이르는 전형적인 방전특성을 보여준다.

그림 3은 코로나 선전극의 직경에 따른 코로나 개시전압(VC), 절연파괴전압(VB), 최대 코로나 전류(ICM)의 변화를 나타낸 것이다. 코로나 개시전압은 코로나 선전극의 직경이 증가함에 따라 증가하는 데 비하여 절연파괴전압은 D=0.08~0.50[mm]까지는 큰 변화를 보이지 않으나 직경이 더 증가함에 따라 급격히 감소하는 특성을 보인다. 이는 부극성 코로나 방전에서 보다 크게 나타나며, 코로나 선전극의 직경이 작은 구간에서는 부극성 코로나 방전의 절연파괴전압이 정극성 코로나 방전보다 더 크게 나타나지만, 직경이 증가할수록 절연파괴전압이 감소하여 D=0.50[mm]이상의 경우에는 극성에 따른 절연파괴전압의 차이가 명확하게 나타나지 않는다. 이는 방전간격 S=15[mm]인 경우, 선전극과 평판전극의 대면적의 비가 감소함에 따라 코로나 방전의 극성에 따른 특성이 상대적으로 크게 약화된 것을 보여준다. 코로나 방전 전류는 동일한 인가전압에서는 코로나 선전극의 직경이 증가

함에 따라 감소하는 특성을 나타내지만, 그 최대값의 변화는 인가전압의 극성에 따라 다르게 나타난다. 정극성 코로나 방전에서는 D=0.08~0.50[mm]까지는 증가하다가 그 이후 급격히 감소하였으며, 부극성 코로나 방전에서는 D=0.08~0.50[mm]에서는 일정한 값을 유지하지만 그 이후 정극성 코로나 방전에서 나타난 것처럼 급격히 감소하는 특성을 보인다. 따라서 선전극의 직경이 0.50[mm]보다 커진 경우에는 코로나 방전이 발생하는 전압 구간이 매우 작아 코로나 방전이 효과적으로 발생되지 못하고 아크방전으로 급속히 이행된다.

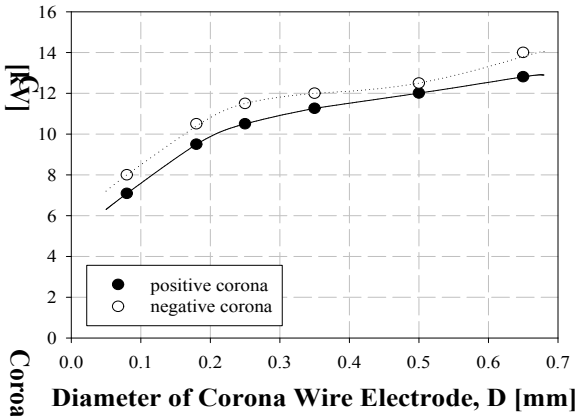


(a) 정극성 코로나 방전

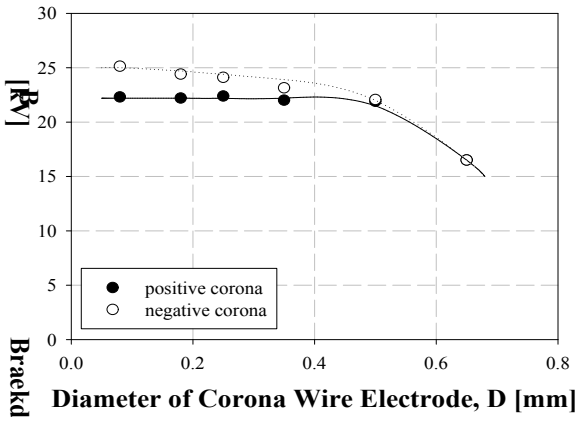


(b) 부극성 코로나 방전

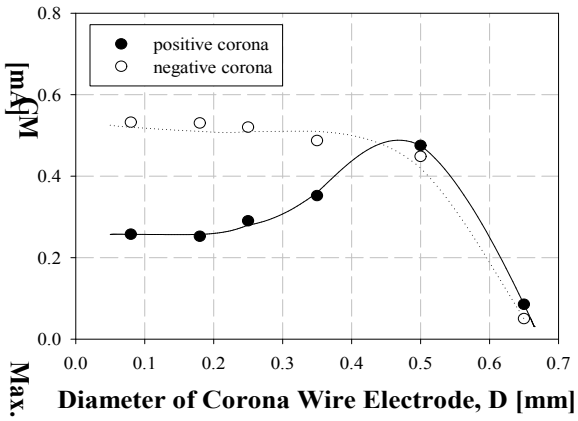
그림 2. 코로나 선전극 직경(D)에 따른 I-V 특성
Fig. 2. I-V characteristics of the discharge system for diameters of corona wire electrode



(a) D에 따른 코로나 개시 전압



(b) D에 따른 절연파괴전압 특성



(c) D에 따른 최대 코로나 전류 특성

그림 3. 코로나 선전극 직경(D)에 따른 전기적 방전 특성
Fig. 3. Electric discharge characteristics of the discharge system for diameters(D) of corona wire electrode

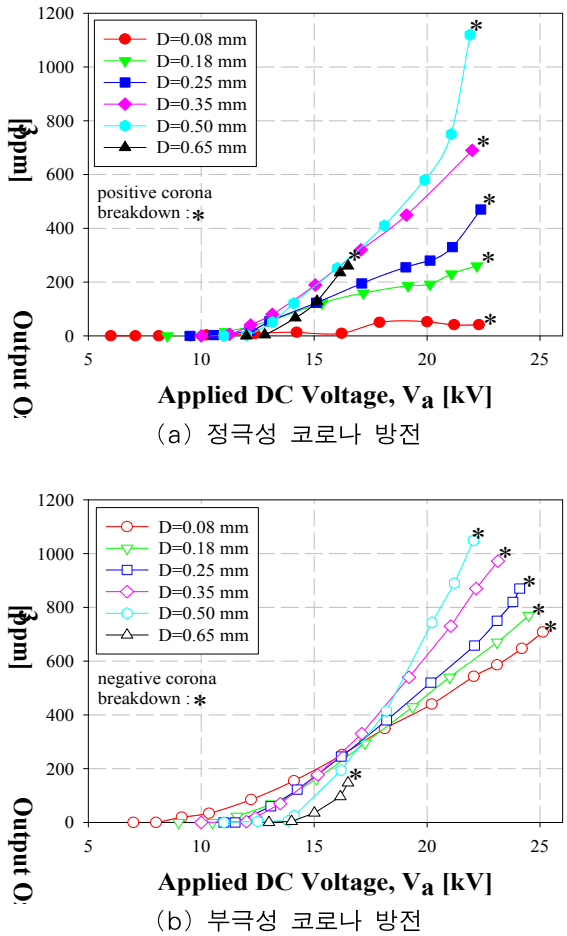


그림 4. 코로나 선전극 직경에 따른 O_3-V 특성
Fig. 4. O_3-V characteristics of the discharge system for diameters of corona wire electrode

그림 4는 코로나 선전극 직경의 변화에 따른 오존발생 특성을 나타낸 것이다. 오존은 코로나 개시전압에서부터 발생되기 시작하여 인가전압의 증가에 따라서 증가하며, 절연파괴 전압 직전에서 최대 오존 발생량이 얻어졌다. 그림 3에서 나타난 것처럼 코로나 선전극의 직경이 증가함에 따라 코로나 개시전압은 증가하고 절연파괴전압은 감소하여 인가할 수 있는 전압의 범위가 작아진다. 하지만 직경이 커질수록 인가전압의 증가에 따라 발생하는 오존량의 증가량이 더 크게 나타나므로 최대 오존 발생량은 직경이 커짐에 따라 증가하는 특성을 보인다. 코로나 선전극의 직경이 D=0.08~0.50[mm]로 증가할수록 정극성 코로나 방전시에는 52~1120[ppm], 부극성 코로나 방전시에는 708~1049[ppm]으로 오존의 최대 발생량이 증가하였다. 그러나 D=0.65[mm]에서는 정극성 코로나 방전 시에는 260[ppm], 부극성 코로나 방전 시에는 147[ppm]으로 오존발생량이 급격히 감소하였다.

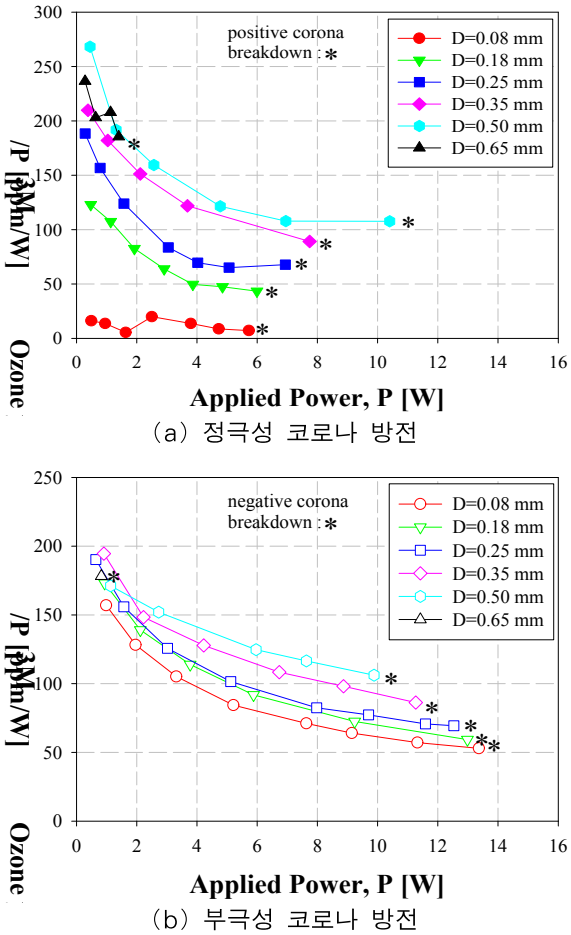


그림 5. 인가 전력에 따른 오존 발생 효율 특성
Fig. 5. Ozone generation yield characteristics for the applied power

그림 5와 6은 인가전력과 코로나 선전극 직경의 변화에 따른 오존 발생 효율을 나타낸 것이다. 코로나 선전극의 직경의 변화에 관계없이 인가전력이 증가함

에 따라 오존 발생 효율은 감소하는 특성을 보였지만, 동일전력에서는 그림 2와 4에 나타난 것처럼 코로나 선전극의 직경이 D=0.08~0.50[mm]으로 증가하는 구간에서는 선전극 직경이 증가함에 따른 코로나 방전 전류 증가분(△I/△D)보다 오존 발생량의 증가분(△O_3/△D)이 더 크게 나타났으며, 오존 발생효율 또한 더 크게 나타났다. 그러나 코로나 선전극 직경이 0.65[mm]인 경우에는 오존 발생 효율이 가장 크게 나타나지만 코로나 방전 전류와 오존 발생량이 크게 감소하였으므로 오존 발생 장치로서 효용성이 낮아진다.

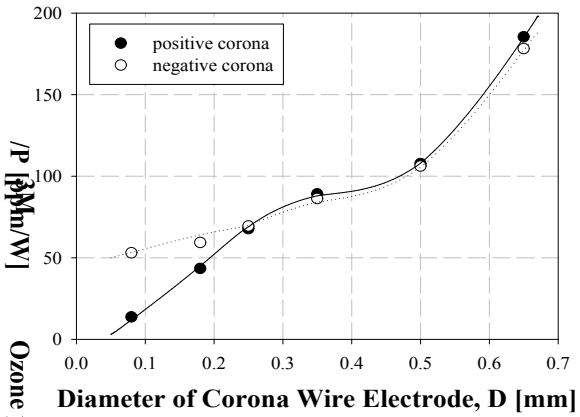


그림 6. 코로나 선전극 직경(D)에 따른 오존 발생 효율 특성

Fig. 6. Ozone generation yield characteristics for diameters of corona wire electrode

표 1은 코로나 선전극의 직경의 변화에 따른 코로나 방전 특성과 오존발생 특성을 나타낸 것이다. 정극성, 부극성 코로나 방전 모두 코로나 선전극의 증가에 따라 오존 발생량이 증가하는 것을 알 수 있으며, D=0.50[mm]의 경우에서 오존 최대 발생량이 가장 크게 나타났으며, 전력효율도 D=0.65[mm]인 경우를 제외하면 가장 크게 나타난다. 코로나 선전극의 직경이 D=0.65[mm]로 더 커지면 절연파괴전압, 코로나 전류, 오존 발생량 모두 급속히 감소하므로 비록 전력효율이 가장 높게 나타나지만 오존 발생장치로서의 효용성이 낮아지게 된다. 따라서 코로나 선전극의 직경이 D=0.50[mm]부근에서 오존 발생용 코로나 선전극의 가장 효과적인 규격이 나타남을 보여준다. 이는 그림 3에서 나타난 것처럼 D=0.50[mm] 이후 절연파괴전압과 코로나 전류가 모두 급격히 감소함에 따라 충분한 전계 세기와 전력이 감소하였기 때문이며, 또한 코로나 방전이 발생한 후, 짧은 시간 내에 절연파괴로 진전되어 오존이 발생할 충분한 전력과 시간을 얻지 못하기 때문으로 사료된다.

표 1. 코로나 선전극 직경(D)에 따른 방전 특성

Table 1. Discharge characteristics for the diameter of the corona electrode.

	D [mm]	V [kV]	I [mA]	P [W]	O_{3M} [ppm]	O_{3M}/P [ppm/W]
positive corona	0.08	21.2	0.22	4.73	41	7.15
	0.18	22.2	0.27	5.99	260	43.38
	0.25	22.4	0.31	6.94	470	67.74
	0.35	22.0	0.35	7.74	690	89.10
	0.50	21.9	0.48	10.40	1120	107.67
	0.65	16.5	0.09	1.40	260	185.38
negative corona	0.08	25.1	0.53	13.37	708	52.96
	0.18	24.5	0.53	12.99	770	59.30
	0.25	24.1	0.52	12.53	870	69.42
	0.35	23.1	0.49	11.27	972	86.25
	0.50	22.1	0.45	9.88	1049	106.14
	0.65	16.5	0.05	0.83	147	178.18

4. 결 론

본 논문에서는 선대 평판구조의 오존 발생장치에서 코로나 선전극의 직경과 극성변화가 오존발생 특성에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다.

코로나 선전극 직경의 변화에 따라 오존 발생량이 크게 변화하며 정극성 코로나 방전에서 그 변화가 더 크게 나타남을 실험적으로 확인할 수 있었다. 코로나 선전극의 직경, D=0.50[mm] 부근에서 최대 오존 발생량과 오존 발생 효율을 얻을 수 있었으며, 직경이 이보다 작은 경우에는 오존 발생량과 전력 효율이 서서히 감소하고, 큰 경우에는 전력 효율은 증가하지만 오존 발생량이 급격히 감소하므로 오존 발생장치로서의 성능이 크게 감소함을 확인할 수 있었다. 따라서

선대 평판형 방전장치에서 오존 발생량과 효율을 최적으로 할 수 있는 코로나 선전극의 규격이 있음을 확인할 수 있으며, 본 연구결과를 바탕으로 향후 연구에서 대향된 코로나 선전극의 간격과 직경의 최적화 및 오존 발생장치로서의 실적용화에 대한 연구를 수행함으로써. 부가적인 장치의 설치없이 방전전극의 최적화를 통한 오존 발생장치의 성능 향상이 가능할 것으로 사료된다.

이 논문은 2011학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

References

[1] K. Yan, Corona Plasma Generation, Eindhoven, 2001.

[2] M. L. Balmer, G. Fisher and J. Hoard, Non-thermal plasma for exhaust emission control: NOx, HC, and particulates, 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 pp. 25-41, 2002.

[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. pp. 1-8, 1992.

[6] 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) pp. 1343-1349, 2005.

[7] 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, pp. 2177-2183, 2002.

[8] 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) pp. 491-497, 2004.

[9] J.-S. Jung, J.-D. Moon, Corona discharge and ozone generation characteristics of a wire-plate discharge system with a glass-fiber layer, Journal of electrostatics 66 (5-6) pp. 335-341, 2008.

◇ 저자소개 ◇

정재승 (鄭在勝)
1979년 4월 14일생. 2004년 경북대학교 공대 전자전기공학부 졸업. 2007년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 졸업(박사).

김진규 (金振圭)
1967년 2월 24일생. 1990년 경일대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년 경북대학교 전자전기공학부 BK21조교수. 2001~2008년 상주대학교 전자전기공학부 부교수. 2008년~2012년 경북대학교 산업전자전기공학부 부교수. 2012년~현재 경북대학교 IT대학 전기공학과 부교수.