

금속관형 코로나 방전극을 적용한 효과적인 이온풍 발생

논 문
59-3-18

Effective Ionic Wind Generation Utilizing a Cylindrical Corona Discharge Electrode

정재승* · 문재덕†
(Jae-Seung Jung · Jae-Duk Moon)

Abstract - A point-mesh type corona system has been well used as a ionic wind blower. However this type corona system suffers from its lower ionic wind generation, because of its lower on-set and breakdown voltages of its very sharp needle point corona electrode. This means that the point corona electrode must act both as an effective ion-generator and a very higher electric field producer in the discharge airgap in order to generate higher ionic wind velocity. In this paper, a cylinder-mesh type discharge system as a ionic wind generator is proposed and investigated. The cylindrical corona electrode can produce many ions from its sharpened edge, and the corona on-set and breakdown voltages are very higher than those of the needle point corona electrode. As a result, this type cylindrical corona electrode might generate a higher ionic wind than the needle point corona electrode.

Key Words : Corona discharge, Cylinder-mesh type corona system, Cylinder and needle corona electrode, Ionic wind velocity.

1. 서 론

전자소자들의 고집적화는 필연적으로 전자소자의 높은 단위면적당 발열을 야기하게 되고, 따라서 고집적 전자소자의 효과적인 냉각은 매우 필요하다. 현재 주로 적용되고 있는 전기 송풍 팬은 냉각효율이 매우 낮고, 기계적인 회전에 의한 마모와 소음이 발생하며, 무엇보다도 초소형화가 매우 어려운 문제점이 있어서 실적용이 어렵다[1-3].

코로나 방전을 이용한 이온풍은 풍속의 발생과 제어가 용이하고, 기계적인 가동 부분이 없으므로 마모와 소음이 발생하지 않고 효율도 높은 장점이 있다[3-9].

코로나 방전을 이용한 송풍장치의 원리는 코로나 방전전극에서 발생된 이온들이 전극간의 전계(Coulomb force)에 의하여 침전극에서 접지전극으로 이동하며, 이 이동하는 이온들이 공기분자의 충돌을 통하여 공기분자들도 같은 방향으로 이동시키게 되는 것이고, 이러한 공기분자들의 운동을 송풍력으로 적용한 것이다. 그러므로 이온풍을 효과적으로 발생시키기 위해서는 코로나 방전에 의한 많은 이온들의 발생과, 이들 이온들을 강하게 가속시키기 위한 높은 인가전압(전계)의 생성이 필수적이다[6]. 현재 주로 연구되고 있는 침대 평판형 전극 구조[8], 침대 평판형 전극 구조에 3전극형[10], 등은 코로나 전극으로써 금속침을 사용하기 때문에 강한 코로나 방전의 발생에는 용이하지만, 절연파괴전압이

낮아져서, 높은 인가전압(전계)을 얻기가 어렵다. 그러므로 높은 이온풍속을 발생시키는 것 또한 용이하지 못하다 [2,6,9].

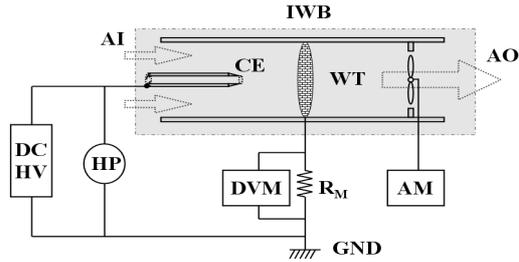
따라서 아크 방전으로의 전이전압이 상대적으로 높아서 높은 인가전압을 인가할 수 있으면서도 코로나 방전이 용이한 코로나 전극의 연구가 필수적이며, 이는 결국 이온풍속과 발생 효율을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 코로나 방전 전극으로써 전극선단이 매우 날카로우 방전이 용이하게 발생되지만 인가전압은 상대적으로 매우 높은 금속관을 적용함으로써, 방전전극 선단으로부터 이온들을 효과적으로 발생시키는 물론 전극간에 보다 높은 전압을 인가할 수 있게 함으로써, 보다 높은 이온풍속과 이온풍 발생 효율을 얻을 수 있음을 실험적으로 연구하였다.

2. 실험 장치 및 방법

그림 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것으로, 금속관을 적용한 코로나 전극과 접지된 그물형 전극으로 구성된 이온풍 발생장치, 직류 고전압 전원, 방전 전류 및 인가되는 고전압 측정장치, 그리고 이온풍속 측정장치로 구성되어 있다. 방전전류와 인가전압은 전압계(DVM, Fluke, 79), 고전압 분압기(HP, high-volt probe, 1,000:1, Tektronix, P6015A), 그리고, 측정저항(R_M, carbon film type)을 사용하여 측정하였다. 이온풍속은 풍속계(AM, anemometer, YK80AS, fan type probe)를 접지전극에서부터 30 mm 후방에 설치하여 이온풍 발생장치 내부에서 발생하는 이온풍의 평균풍속을 측정하였다. 모든 실험은 온습도가 제어된 실험장치내 공기중(25±3°C, 40±3%RH)에서 실시하였다.

* 정 회 원 : 경북대 대학원 전자전기컴퓨터학부 박사과정
† 교신저자, 펠로우회원 : 경북대 전자전기컴퓨터학부 교수 · 공박
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr
접수일자 : 2009년 12월 28일
최종완료 : 2010년 2월 4일



IWB: ionic wind blower
 WT: wind tunnel
 DVM: Digital voltmeter
 HP: High voltage probe
 AI: air inlet

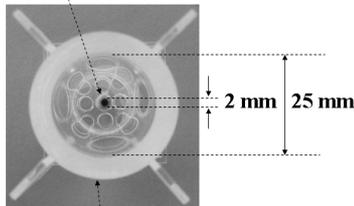
CE: cylindrical corona electrode
 DCHV: DC high voltage supply
 R_M : Measurement Resistor
 AM: Anemometer
 AO: ion wind outlet

그림 1 실험장치 개략도.

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup.

그림 2는 실험에 사용된 금속관형 코로나 방전 전극을 설치한 이온풍 발생장치의 사진이다. 코로나 전극으로는 내경이 2.0 mm, 두께가 0.6 mm인 스테인리스스틸 재질의 금속관의 끝면을 날카롭게 가공(곡률반경 0.052 mm)하여 적용하였으며, 접지 전극으로는 스테인리스스틸 재질의 그물형 전극(두께 0.7 mm, 직경 25.0 mm, 15 mesh)을 적용하였다. 이 두 전극은 내경 25 mm, 두께 5 mm인 아크릴판의 내부에 설치되었으며, 양 전극간 거리는 15.0 mm로 고정하였다. 실험결과는 금속 침(스테인리스스틸, 침끝의 곡률반경 0.094 mm)을 코로나 전극으로 적용한 경우와 비교하였다.

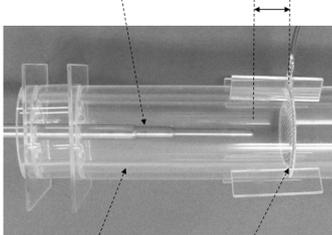
Cylindrical corona electrode



Acrylic cylinder

(a) a front view of the ionic wind blower

Cylindrical corona electrode 15 mm



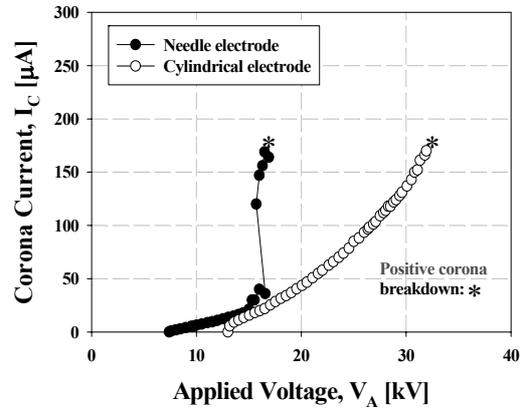
Acrylic cylinder Grounded mesh electrode

(b) a side view of the ionic wind blower

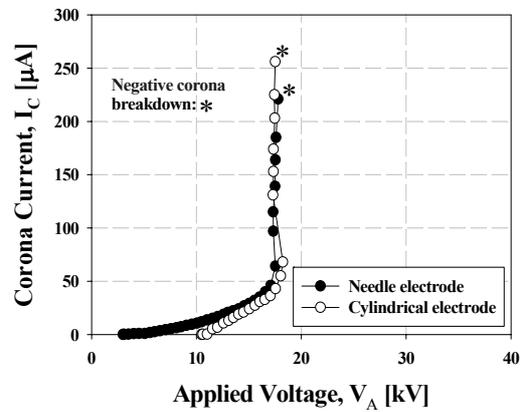
그림 2 이온풍 발생장치 및 금속관형 코로나 전극 사진

Fig. 2 Photographs of the ionic wind blower and cylindrical corona electrodes

3. 실험 결과 및 고찰



(a) positive corona



(b) negative corona

그림 3 코로나 방전 전류-전압 특성

Fig. 3 I-V characteristics

그림 3은 금속관형과 금속침형 코로나 전극을 이용하였을 경우의 전류-전압 특성을 비교하여 나타낸 것이다. 금속관형 코로나 전극을 적용하면, 코로나 전극 선단의 곡률반경이 침형 전극보다 상대적으로 크게 증가한다. 따라서 정극성 코로나 방전의 경우, 금속관형 코로나 전극을 적용할 경우는 기존의 금속침형 코로나 전극에 비하여 코로나 방전의 발생과 진전이 어렵다. 따라서 표 1에 나타난 것처럼, 코로나 개시전압이 13.2 kV로 금속침형의 7.6 kV에 비하여 높게 나타나며, 절연과피 전압도 31.9 kV로 금속침형의 16.9kV에 비하여 높게 나타나게 된다. 따라서 금속관형 전극을 적용한 경우에 양전극 사이에 금속침형보다 강한 전계를 형성할 수 있으며, 이는 이온에 대한 가속력을 증가시켜 이온풍속의 증가에 유리하다. 부극성 코로나 방전의 경우, 코로나 개시전압은 정극성 코로나 방전의 경우처럼, 코로나 개시전압이 금속침형의 3.1 kV보다 높은 10.6 kV에서 나타나지만, 절연과피 전압은 금속침형과 금속관형이 각각 17.9 kV, 18.2 kV로 비슷한 값이 나타난다.

표 1 코로나 개시전압 및 절연파괴 전압

Table 1 Corona onset voltage and breakdown voltage

	positive corona		negative corona	
	Needle electrode	Cylindrical electrode	Needle electrode	Cylindrical electrode
Corona onset voltage	7.6 kV	13.2 kV	3.1 kV	10.6 kV
Breakdown voltage	16.9 kV	31.9 kV	17.9 kV	18.2 kV

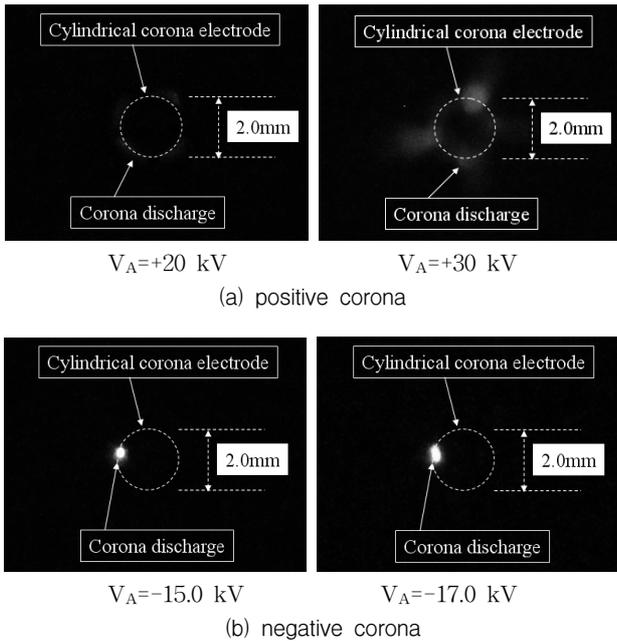


그림 4 금속관형 코로나 전극에서의 방전 사진
Fig. 4 Photographs of corona discharge on Cylindrical corona electrode

통상의 금속침대 평판형 전극의 경우, 정 및 부극성의 방전 특성이 차이가 존재하며, 이는 정 및 부극성 코로나 전극 선단의 방전영역(plasma 영역)의 이온들의 종류(정극성의 경우 대부분 정의 공기 입자이나, 부극성의 경우 다수의 전자와 소수의 부극성 공기 이온)와 이들 이온들의 물리적 특성 차이(부피/질량이 큰 공기이온과 상대적으로 매우 작은 전자의 크기에 따른 전계중의 이동속도의 차이)가 방전에 큰 영향을 미치기 때문이다. 즉, 정 및 부의 방전 극성에 따른 공간전하로서의 작용(정 극성은 크게 작용하나 부극성은 약한 작용)에 의해, 침선단의 방전 개시 특성과 방전 진전 특성을 결정하게 된다. 따라서 정극성의 경우, 큰 공기입자 이온에 의해 방전의 개시는 늦어지고, 공간전하 작용에 의해 방전 진전은 촉진시켜서 절연파괴전압이 부극성에 비해 낮게 나타난다[11]. 그러나 금속침형 전극 대신 금속관형 전극을 적용하는 경우, 그림 4의 방전사진에 나타나 있는 것처럼, 코로나 방전이 정극성의 경우에는 금속관형 전극의 끝면 전체에서 발생하지만, 부극성의 경우는 금속관형 전극의 끝선의 한 지점에서만 발생한다. 이는 부극성 코로나 방전의 경우, 금속관의 끝부분이 고리형태의 선이므로 선전극을 코

로나 전극으로 적용한 경우[12]와 같이 금속관의 끝선위에서 점형태의 코로나 방전이 발생하기 때문인 것으로 사료된다. 결국 부극성의 경우, 방전특성이 금속관형 전극의 한 부분에 점형태의 방전이 발생하여, 즉, 금속침형 전극의 경우처럼 작용하게 되므로 절연파괴전압이 낮게 나타나는 것으로 판단되며, 정극성의 금속관형 전극의 끝선 전체가 방전되는 경우의 절연파괴전압에 비교하여 매우 낮게 되어, 통상의 침대 평판방전 특성과는 차이가 나는 것으로 사료된다.

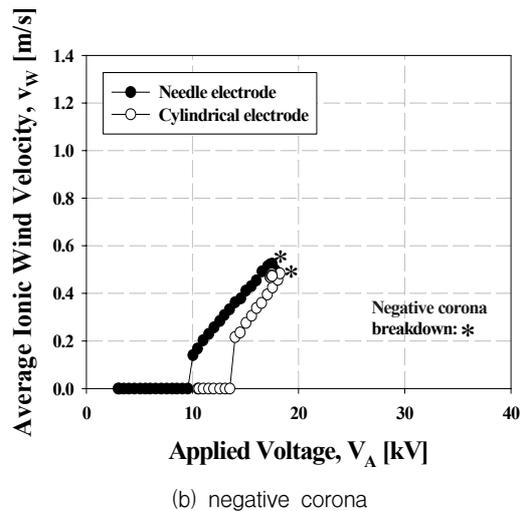
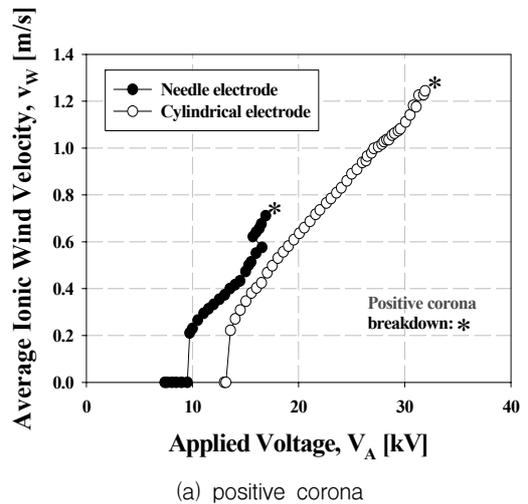


그림 5 이온풍-전압 특성
Fig. 5 Ionic wind-voltage characteristics

그림 5는 금속관형과 금속침형 코로나 전극을 이용하였을 경우의 이온풍 발생장치의 이온풍 발생 특성을 비교하여 나타낸 것이다. 금속관형 코로나 전극을 적용할 경우, 정극성 코로나 방전의 경우에는 동일한 전압에서는 금속침형보다 이온풍속이 작게 나타나지만, 코로나 전극과 그물형 접지전극 사이에 인가할 수 있는 전압이 기존의 금속침형 코로나 전극에 비하여 약 2배 정도 증가하게 된다. 이는 양전극 사이에 보다 강한 전계를 형성할 수 있게 하므로 이온풍속을 금속침형보다 증가시킬 수 있다. 또한 이온풍속이 발생하는 인가전압의 범위도 확대되므로 이온풍속 조절에도

유리하다. 반면에 부극성 코로나 방전의 경우에는 금속관형 코로나 전극에 인가할 수 있는 최대전압이 금속침형과 유사한데 반하여, 코로나개시전압은 금속관형이 더 높게 나타나므로 이온풍을 제어할 전압구간이 더 좁아지게 되고, 코로나전류 또한 동일전압에서는 금속관형이 더 낮게 흐르게 되며, 이는 이온풍속의 증가에 대하여 저해요인이 된다.

실험결과, 정극성 코로나 방전의 경우에서만 이온풍속이 증가하였으며, 이는 인가전압의 증가의 의한 것으로 사료된다. 정극성 코로나 방전의 경우, 금속관형 코로나 전극을 적용하는 경우에 평균 이온풍속이 최대 1.24 m/s로 금속침형의 0.71 m/s에 비하여 1.75배 증가하였다. 그러나 부극성 코로나 방전의 경우에는 금속침형과 금속관형 코로나 전극에서 각각 0.50 m/s, 0.47m/s로 유사한 이온풍속을 가진다.

m/s 이상의 이온풍속에서는 반대로 금속관형 전극의 경우가 높아진다. 이는 금속침형 코로나 전극의 경우에는 전압의 절연과피 전압에 가까워질수록 코로나 방전 전류의 증가량은 빠르게 늘어나지만 이온풍속은 오히려 일정한 이온풍속으로 포화되기 때문에 인가전력의 소비량에 비하여 이온풍속의 증가량이 감소하기 때문이다. 부극성 코로나 방전의 경우에는 금속관형 코로나 전극을 적용하였을 경우의 이온풍 발생 효율이 금속침형보다 전체적으로 낮게 나타난다.

이상의 결과로부터 정극성 코로나 방전의 경우에는 금속관형 코로나 전극을 적용하였을 경우, 금속침형 코로나 전극에 비하여 높은 이온풍속을 얻을 수 있음을 실험적으로 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 코로나 전극으로 적용되는 침전극 대신에 끝면이 날카로운 금속관형 전극을 적용함으로써 이온풍속을 증가시킬 수 있음을 실험적으로 확인하였으며 그 결과는 다음과 같다.

금속관형 코로나 전극을 적용하였을 경우, 전극간에 인가할 수 있는 전압이 정극성 코로나 방전의 경우에는 금속침형 전극을 적용하였을 경우의 16.9 kV에서 31.9 kV로 1.89 배 증가하였다. 따라서 양전극 사이에 더욱 강한 전계를 형성할 수 있으며, 이는 이온에 대한 가속력을 증가시켜 이온풍속을 증가시킬 수 있다. 그러나 부극성 코로나 방전의 경우에는 17.8 kV와 17.5 kV로 금속침형과 금속관형 코로나 전극의 차이가 나타나지 않았다. 이는 선형 전극을 적용한 부극성 코로나의 경우처럼 금속관의 끝부분에서 점의 형태로 코로나 방전이 발생하여 금속침형 코로나 전극에서의 방전과 유사하게 되기 때문으로 사료된다. 따라서 부극성 코로나 방전의 경우에는 금속관형 코로나 전극을 적용하여도 이온풍속을 증가시키기 어렵다.

금속관형 코로나 전극을 적용하였을 경우에 얻을 수 있는 평균 이온풍속은 정극성 코로나 방전에서 1.24 m/s로 기존의 금속침형 전극을 적용하였을 경우의 0.71 m/s보다 1.75배 증가하였다. 전력효율의 경우, 0.6 m/s이하의 이온풍속에서는 금속침형 전극을 적용한 경우가 금속관형 전극을 적용한 경우보다 높았으나, 0.6 m/s 이상의 이온풍속에서는 반대로 금속관형 전극의 경우가 높아진다. 이는 금속침형의 경우에는 0.6 m/s이상의 풍속을 얻기 위한 전압을 인가하였을 때, 방전이 침끝에서 아크방전으로 전이하기 시작하여, 전류는 급속히 증가하고, 이온풍속은 포화하기 시작하기 때문이다. 하지만 금속관형의 경우에는 더 높은 전압에서도 아크방전으로 전이되지 않고 코로나 방전이 안정적으로 발생되기 때문에 전류의 급격한 증가나 이온풍속의 빠른 포화가 나타나지 않으므로 높은 이온풍속에서는 금속관형의 경우에 이온풍 발생효율이 더 높게 나타나게 되는 것으로 사료된다.

이상의 결과로부터 금속관형 코로나 전극을 적용하였을 경우, 정극성 코로나 방전의 경우에서 평균 이온풍속은 증가시킬 수 있었으며, 높은 이온풍속일수록 전력효율은 금속침형 코로나 전극의 경우보다 높아진다. 그러므로 금속침형 코로나 전극을 이용하는 경우보다 높은 풍속을 얻기 위해

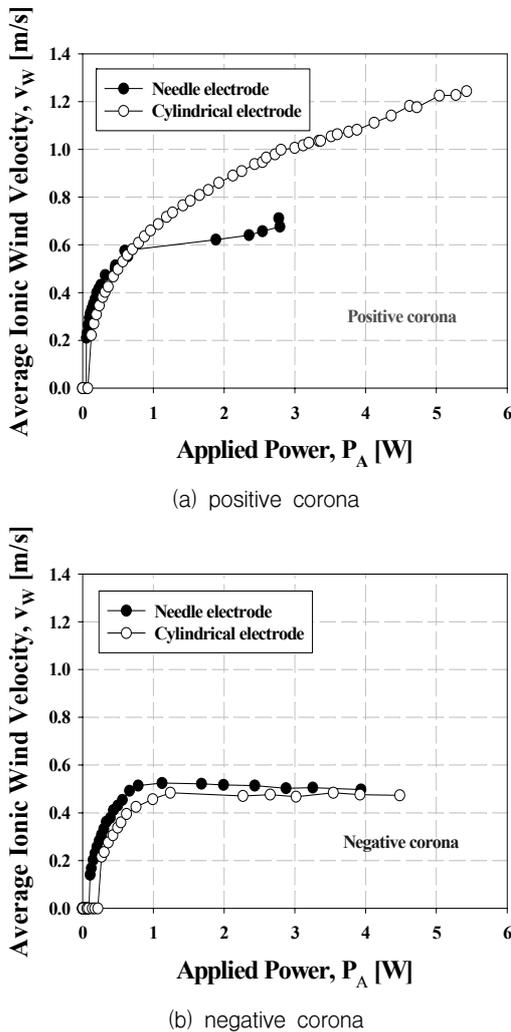


그림 6 공급전력-풍속발생 효율 특성.
Fig. 6 Ionic wind generation yield characteristics as a function of input corona power.

그림 6은 인가전력에 따른 풍속발생 효율을 나타낸 것이다. 정극성 코로나 방전의 경우, 이온풍 발생 효율은 0.6 m/s이하의 이온풍속에서는 금속침형 코로나 전극을 적용한 경우가 금속관형 전극을 적용한 경우보다 높았으나, 0.6

서는 이와 같은 방식이 유효함을 실험적으로 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2008-313-D00396)

참 고 문 헌

[1] B. Komeili, J.S. Chang, G.D. Harvel, C.Y. Ching, "Electrohydrodynamically Enhanced Capillary Evaporator", International Symposium on New Plasma and Electrical Discharge Applications and on Dielectric Materials, pp. 111-116, Aug, 2007.

[2] F. Yang, N.E. Jewell-Larsen, D.L. Brown, K. Pendergrass, D.A. Parker, I.A. Krichtafovitch, A.V. Mamishev, "Corona driven air propulsion for cooling of electronics", XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, pp. 1-4, 2003.

[3] PC Power and Cooling, Inc., "Rotary fan efficiency for Intel processor fan," January 2002.

[4] A. Rashkovan, et al, "Experimental optimization of an electric blower by corona wind", Applied Thermal Engineering, Vol. 22, pp. 1587-1599, 2002.

[5] M. Rickard, et al. "Maximizing ion-driven gas flows," Journal of Electrostatics, Vol. 64, 368-376, 2006.

[6] R. Mestiri, R. Hadaji, S.B. Nasrallah, "The electrical discharge as a source of a mechanical energy," Desalination, Vol. 220, pp. 468-475, 2008.

[7] H. Tsubone, et al, "Flow characteristics of dc wire-non-parallel plate electrohydrodynamic gas pump," Journal of Electrostatics, Vol. 66, pp. 115-121, 2008.

[8] E. Moreau, G. Touchard, "Enhancing the mechanical efficiency of electric wind in corona discharge," Journal of Electrostatics, Vol. 66, pp. 39-44, 2008.

[9] 정재승, 문재덕, "수침대 그물전극형 방전장치의 이온풍 발생특성," 전기학회 논문지. 4호, 58권, 99. 783-787, 2009.

[10] Jae-Duk Moon, Deok-hyun Hwang, Sang-Taek Geum, "An EHD Gas Pump Utilizing a Ring/Needle Electrode," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation , Vol. 16, pp. 352-358, 2009.

[11] 田春生, 放電・高電壓工學, 서울:동명사, 1980, pp. 109-112.

[12] Jae-Seung Jung, Jae-Duk Moon, "Effective ozone generation with a wire-wire-type nonthermal plasma reactor with a slit barrier," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 44, pp. 1391-1396, 2008.

저 자 소 개



정재승 (鄭在勝)

1978년 4월 14일생. 2004년 경북대학교 공대 전자전기공학부 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공석). 현재 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학과 박사과정.

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



문재덕 (文在德)

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대학교 사범대학 과학교육과(물리전공) 졸업(이학사). 1975년 동 대학원 전자공학과 졸업(공석). 1982년 日本 東京大學 대학원 전기공학전문과정 졸업(공박). 현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수.

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