

## 가속형 다침전극의 이온풍 특성 연구

(A Study on Ion Wind Characteristics of Acceleration Type Multipoint Electrode)

김진규\*

(Jin-Gyu Kim)

### Abstract

In this paper, after an acceleration typed ion wind generator which could format strong electric field in air was manufactured and installed, the effects of the electrode configuration and distance of acceleration type ion wind generator with triangle structure on the ion wind generation characteristics were investigated. As a result, the ion wind generator with curvature multipoint electrode could generate higher ion wind velocity and ion wind generation yield than others with multipoint electrode, curvature line electrode, line electrode structure. The ion wind generator with curvature multipoint electrode showed a peak ion wind velocity of 1.33[m/s] at 19.0[kV] and a ion wind generation yield of 0.12[m/Ws] at 15.0[kV].

Key Words : Ion Wind Generator, Acceleration Type Electrode, Curvature Multipoint Electrode, Ion Wind Velocity, Ion Wind Generation Yield

### 1. 서 론

최근 산업의 고도화가 급속히 진행됨에 따라 각종 전자장비의 고성능 및 고집적화가 가속화되어 전자소자에서 발생하는 발열문제가 전자기기의 성능 및 효율성을 저하시키는 문제를 수반하게 되었다. 고집적 및 초 소형화된 전자소자의 경우 표면 발열밀도는 매우 높은 것으로 알려져 있으며, 이러한 전자장비에 사용되는 소자에서 발생하는 열을 효율적으로 방열시키

는 연구가 필요한 실정이다. 종래의 경우 전자장비에 사용되는 소자의 방열문제를 해결하기 위해서 회전형 전기 송풍기를 설치하였으나 부피 문제, 회전부의 마찰로 인한 수명저하 문제, 그리고 저효율의 방열특성 등의 단점을 가지고 있었다[1-5].

방전간격 내에서 발생하는 코로나 방전에 의해 생성되는 이온의 경우 인가 전계에 의한 이온의 이동성과 제어가 용이해서 이온이동을 전자소자의 냉각작용에 이용하는 연구가 활발히 수행되고 있는 실정이다. 이러한 이온풍을 효율적으로 발생시키기 위해서는 방전간격 내에 안정된 코로나 형성과 강한 전계의 생성이 필수적이다. 그러나 기존의 이온풍 발생장치의 경우 강한 전계를 형성시키기 위해서 금속 침대평판전극 형태의 구조로 설치되어 있어서 코로나방전 형성은

\* 주저자 : 경북대학교 산업전자전기공학부 부교수  
Tel : 054-530-1326, Fax : 054-530-1329  
E-mail : kjg@knu.ac.kr  
접수일자 : 2011년 3월 28일  
1차심사 : 2011년 4월 1일  
심사완료 : 2011년 4월 13일

효율적이지만 인가전압이 증가할수록 아크 방전으로 천이 되어 강한 전계를 형성시키기에는 어려운 문제점을 가지고 있었다[6-8].

본 연구는 기존의 침대평판전극 구조에서의 비효율적인 문제를 해결하기 위해서 강한 전계가속이 가능한 삼각구조의 가속형 이온풍 발생장치를 제작 설치하고, 전극구조와 간격변화가 이온풍 발생과 이온풍 발생 이득에 미치는 영향을 실험적으로 조사 검토하였다[9-10].

## 2. 실험방법 및 장치

그림 1은 전계 가속형 다침전극 구조의 이온풍 발생 실험장치 개략도를 나타낸 것으로, 항온항습을 유지하기 위한 조절부가 설치된 차폐통(shielding box, 15×7×5[cm<sup>3</sup>], 22±2[°C], 25±3[%]RH) 내에 방전전극인 전계 가속형 다침(stainless 402, 직경 0.5[mm]×5[ea]×3[ea]) 전극 및 선전극(stainless 402, 0.2[mm]t)과 유도전극인 세라믹전극(5.0×2.0[cm<sup>2</sup>], 0.65[mm]t×3[ea])을 정삼각형 구조로 제작 설치하였다. 가속형 이온풍 발생장치는 연면방전이 가능한 형태로서 방전전극의 구조는 삼각형 구조이며 각 면에는 곡률 다침전극, 다침전극, 곡률 선전극 그리고 선전극 형태의 4 종류로 구성되어 있다. 곡률 다침전극의 경우 침전극 5개를 각각 4.0[mm]의 간격을 두고 평형으로 설치하였으며, 전체적인 곡률반경은 7.5[mm]로 구성하였다. 곡률 선전극의 경우 곡률 다침전극과 동일하게 전체 곡률반경을 7.5[mm]로 구성하였으며, 상대적인 비교를 위해서 항상 일정한 곡률반경에서 실험하였다. 전체적인 전극구조는 방전전극 우측단면부가 유도전극 좌측단면부에 수직 하에 설치하여 방전전극과 유도전극간의 간격을 1.0~5.0[mm]로 가변하였으며, 이온풍 발생장치에서 발생된 이온풍은 발생부에서 3.0[cm] 후단에 설치하여 측정하였다. 실험장치에 인가된 전원은 교류 고전압을 사용하였으며, 대향 전극간에 발생된 코로나 및 아크발생 전압과 전류측정은 고주파 고전압프로브(Textronix Model P6015A 1000:1 probe, USA)를 이용하여 축적형 오실로스코프(Oscilloscope, TDS3052B, USA)와 디지털볼트메타(DVM, Fluke

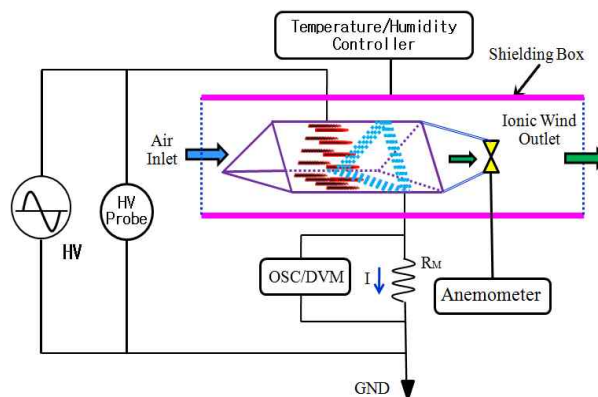
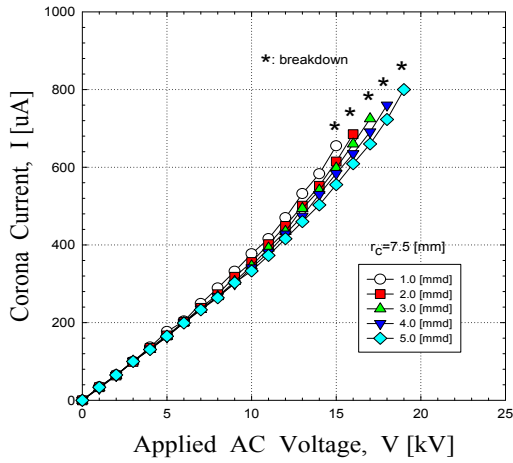


그림 1. 실험장치 개략도  
Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup

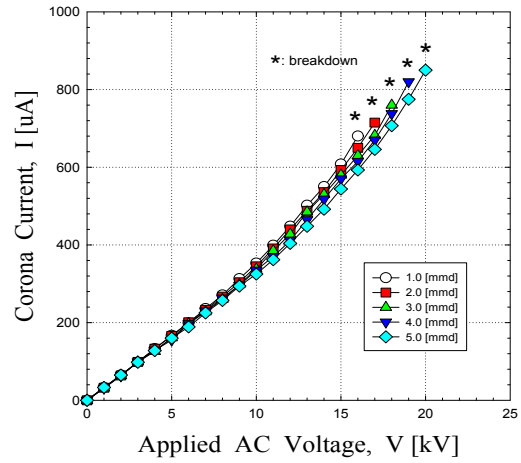
734, Japan)로 측정하였다. 그리고 발생된 이온풍은 열선식풍속계(Anemometer, Testo 425, Germany)와 (Anemometer, KIMO VT 200, France)를 사용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

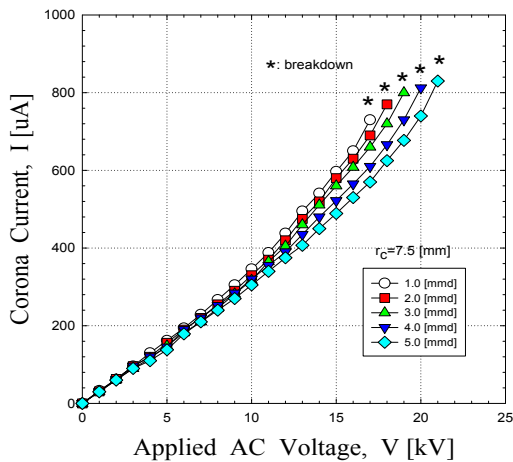
그림 2의 (a), (b), (c), (d)는 이온풍 발생장치에 사용된 전극구조 변화에 따른 전류-전압특성 곡선이며, (a)는 곡률 다침전극, (b)는 다침전극, (c)는 곡률 선전극 그리고 (d)는 선전극 구조이다. 그림 2의 (a), (b), (c), (d) 경우 방전전극과 유도전극사이의 전류증가분은 인가 전압의 증가와 더불어 서서히 흐르기 시작하여 마침내 전로과피에 이르는 전형적인 방전특성을 보여준다. 전기전도도( $1/\Delta R = \Delta I / \Delta V$ )를 나타내는 전압 상승분  $\Delta V$ 에 대한 전류 상승분  $\Delta I$  즉, 기울기 ( $\text{slope} = \Delta I / \Delta V$ )는 전압의 경우 약 7~8[kV]까지는  $\Delta I / \Delta V = 40[\mu A] / 1.0[kV]$  정도로 일정하다가 인가 전압이 증가함에 따라서 약 13[kV]부근에서 기울기가 변화하기 시작하여 이 이상의 전압에서는  $\Delta I / \Delta V = 80[\mu A] / 1.0[kV]$ 로 증가하여 변화하고 그 이상의 인가전압 증가분에서는 전로과피로 이행되었다. 또한 코로나 개시전압과 전로과피 전압의 크기는 방전전극과 유도전극간의 간격이 1.0~5.0[mm]로 변화함에 따라 증가되는 것으로 나타났으며, 동일 인가전압 하에서 코로나 전류는 높은 것으로 나타났다. 이는 코로나 개시와 전



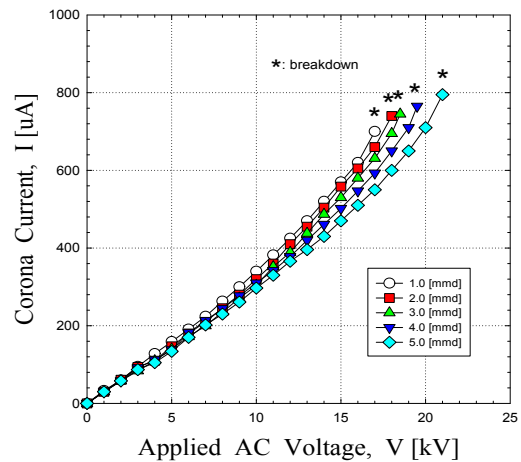
(a) curvature multipoint electrode



(b) multipoint electrode



(c) curvature line electrode



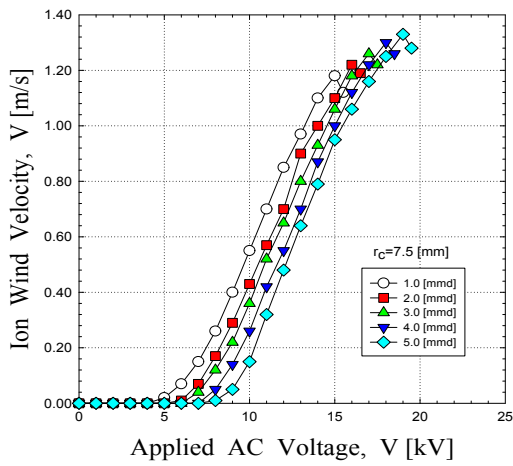
(d) line electrode

그림 2. 전극구조 변화에 따른 전류-전압특성  
Fig. 2. I-V characteristics as a function of electrode structure

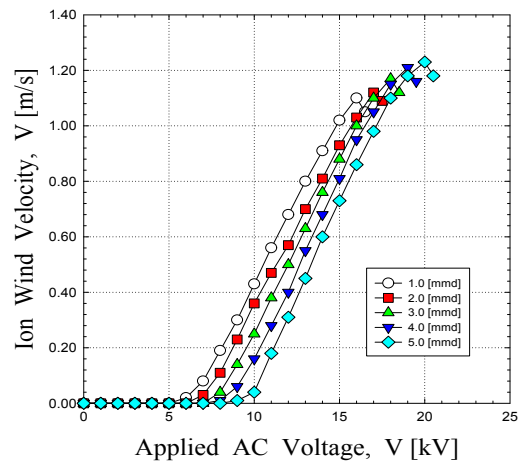
로과과 임계전계가 이론적으로  $E=V/D$ 로 주어져서 방전전극과 유도전극간의 간격에 반비례하기 때문인 것으로 사료된다. 그리고 전체적인 곡선의 기울기는 곡률 다침전극인 (a)의 경우가 가장 크게 나타났지만 (b), (c), (d)의 경우와 비교해서 큰 차이점은 나타내지 못했다.

그림 3의 (a), (b), (c), (d)는 이온풍 발생장치에 사용된 전극구조 변화에 따른 이온풍속-전압특성 곡선이다. 이온풍은 약 5[kV]이상에서 발생하기 시작하여

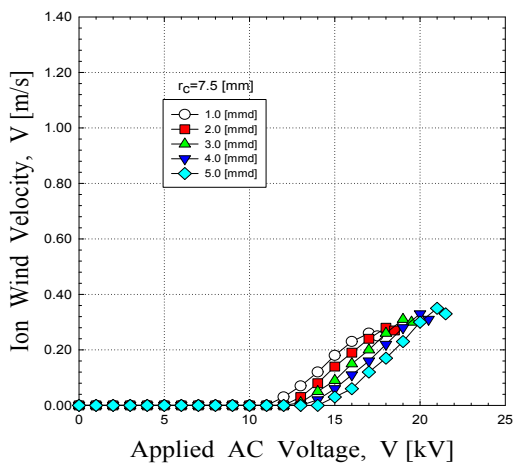
인가전압이 증가할수록 급격히 증가하고 전로과과전압 부근에서 포화된 후 감소하는 것으로 나타났다. 동일 인가전압에 대한 이온풍속은 곡률 다침전극의 경우가 다침전극의 경우보다 약 1.18배 높게 나타났지만, 그림 3의 (c), (d)의 경우 그림 2의 (c), (d)와 같이 동일 인가전압에 대한 이온풍 발생특성은 큰 차이를 나타내지 못했다. 그러나 그림 2의 전류-전압특성 곡선에서는 (a), (b), (c), (d) 전극 모두 유사한 기울기 특성이 나타났지만, 그림 3에서는 곡률 다침전극의 경우가



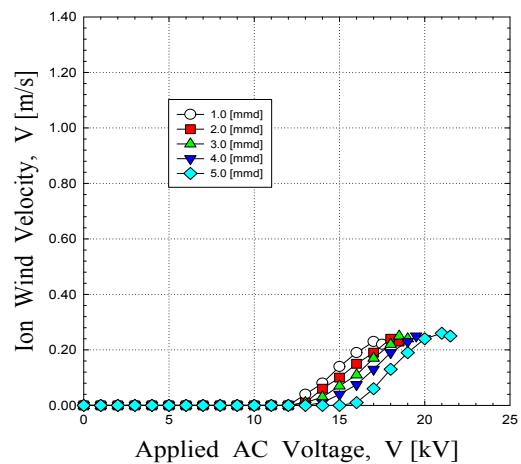
(a) curvature multipoint electrode



(b) multipoint electrode



(c) curvature line electrode



(d) line electrode

그림 3. 전극구조 변화에 따른 이온풍속-전압특성  
Fig. 3. V-V characteristics as a function of electrode structure

선전극의 경우와 비교 시 동일 인가전압인 15.0[kV]에서 약 8.4배 정도의 이온풍을 발생시켰다. 그리고 방전전극과 유도전극과의 방전간격이 1.0~5.0[mm]로 변화함에 따라 동일한 인가전압 하에서 이온풍 발생이 높은 것으로 나타났으며, 곡률 다침전극형 이온풍 발생장치인 경우 인가전압이 19.0[kV]일 때 최대 1.33[m/s]의 이온풍속을 나타내었다.

그림 4는 이온풍 발생장치에 사용된 전극구조 변화에 따른 최대 이온풍속-전극간격특성 곡선이다. 코로

나 개시와 전로과피 임계전계는 방전전극과 유도전극 간의 간격에 반비례하기 때문에 방전전극과 유도전극 간의 간격이 1.0~5.0[mm]로 변화함에 따라 인가된 고전계에 의해 최대 발생 이온풍속은 높게 나타났다. 전극구조의 형태에 따른 이온풍 발생 특성은 곡률 다침전극, 침전극, 곡률 선전극, 선전극 구조의 순으로 나타났으며, 방전전극이 선전극인 경우 침전극 구조보다 최대 발생 이온풍속은 낮게 나타났다. 이러한 현상은 곡률 다침전극의 경우가 곡률 선전극의 경우보다

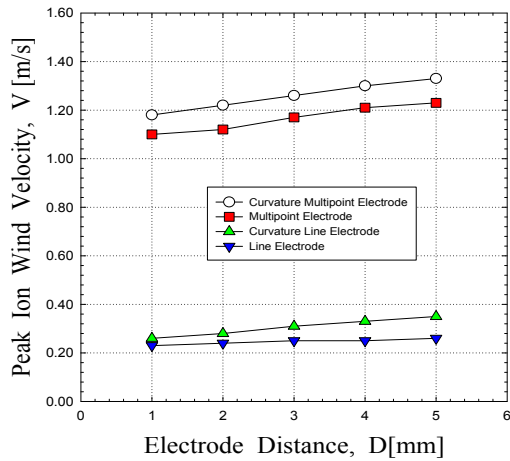


그림 4. 전극구조 변화에 따른 최대 이온풍속-전극간격특성  
Fig. 4. V-D characteristics as a function of electrode structure

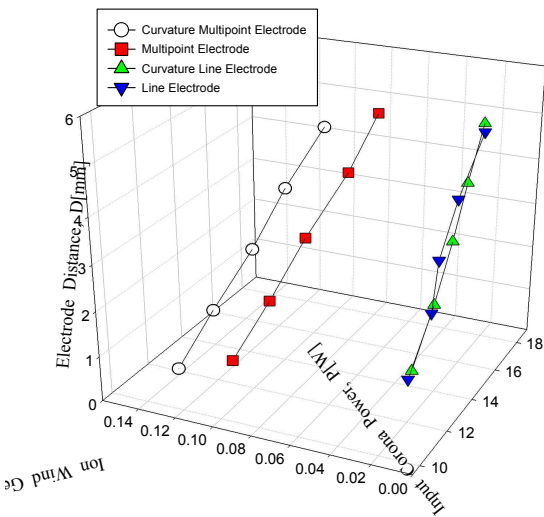


그림 5. 전극구조 변화에 따른 이온풍 발생 이득-입력 코로나전력-전극간격특성  
Fig. 5. Y-P-D characteristics as a function of electrode structure

대향 방전면적에서 효율적인 것으로 나타났다.

그림 5는 이온풍 발생장치에 사용된 전극구조 변화에 따른 이온풍 발생 이득-입력 코로나전력-전극간격 특성곡선이다. 방전전극 구조 변화에 따른 이온풍 발생 특성은 이온풍속을 입력 코로나 전력으로 나눈 값

인 이온풍 발생 이득으로 나타내었으며, 이온풍 발생 이득은 입력 코로나 전력의 변화에 따라 큰 영향을 받으며, 입력 코로나 전력이 증가할수록 이온풍 발생 이득은 감소함을 보여준다. 이는 방전전극과 유도전극 간에 전로파괴로의 이행전인 코로나 형성 시에 효율적인 이온풍을 발생시키는 것으로 나타났다. 곡률 다침전극형 이온풍 발생장치의 경우 인가 전압이 15.0[kV]에서 0.12[m/Ws]의 이온풍 발생 이득을 나타내었다. 이는 곡률 다침전극의 경우가 통상의 선전극보다 동일 인가전압인 15.0[kV]에서 약 8.4배로 이온풍속을 증가시켰으며, 이온풍 발생 이득은 약 7.8배로 매우 크게 증가하게 되는 것으로 나타났다. 이상의 결과로 기존의 선전극을 곡률 다침전극으로 형상 변형 시 곡률 구조의 다침전극 선단에 고전계 형성이 가능해져 이온풍 발생 효율향상에 효과적인 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 논문은 종래의 이온풍 발생장치에서의 비효율적인 전극구조를 보완하고 고 효율의 이온풍 발생장치로서의 최적 조건을 도출하기 위해 전극구조를 전계 가속이 가능한 곡률 다침전극, 다침전극, 곡률 선전극 그리고 선전극으로 제작 설치하여 전극구조와 간격변화가 이온풍 발생과 이온풍 발생 이득에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 이온풍 발생장치 내에서 전압 상승분  $\Delta V$ 에 대한 전류 상승분  $\Delta I$  즉, 기울기(slope= $\Delta I/\Delta V$ )는 전압의 경우 약 7~8[kV]까지는  $\Delta I/\Delta V=40[\mu A]/1.0[kV]$  정도로 일정하다가 인가전압이 증가함에 따라서 약 13[kV] 부근에서 기울기가 변곡하기 시작하여 이 이상의 전압에서는  $\Delta I/\Delta V=80[\mu A]/1.0[kV]$ 로 증가하여 변곡하고 그 이상의 인가전압 증가분에서는 전로파괴로 이행되었다.
- (2) 전극구조의 형태에 따른 이온풍 발생 특성은 곡률 다침전극, 침전극, 곡률 선전극, 선전극 구조의 순으로 나타났다. 곡률 다침전극의 경우 선전극과 비교 시 약 8.4배 정도의 이온풍을 발생시켰으며, 인가전압이 19.0[kV]일 때 최대 1.33[m/s]의 이온

풍속을 나타내었다.

- (3) 이온풍 발생 이득은 입력 코로나 전력의 변화에 따라 큰 영향을 받으며, 입력 코로나 전력이 증가할수록 이온풍 발생 이득은 감소함을 보여주었다. 그리고 곡률 다침전극의 경우가 통상의 선전극보다 동일 인가전압인 15.0[kV]에서 약 7.8배인 0.12[m/Ws]의 이온풍 발생 이득을 나타내었다.

본 연구결과를 바탕으로 향후 연구에서 곡률반경을 가진 전극구조의 최적화 및 이온풍 발생장치로서의 실적용화에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

이 논문은 2010년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

### References

[1] Eric Moreau and G. Touchard, "Enhancing the mechanical efficiency of electric wind in corona discharge", Journal of Electrostatics, Vol. 66, Issues 1-2, pp.39-44, 2008.

[2] F. Yang, N.E. Jewell-Larsen, D.L. Brown, K. Pendergrass, D.A. Parker, I.A. Krichtafovitch, and A.V. mamishev, "Corona driven air propulsion for cooling of electronics", VIIIth Intern. Sympos. High Voltage Engineering, pp.1-4, 2003.

[3] E. Moreau, C. Louste and G. Touchard, "Electric wind by sliding discharge in air at atmosphere pressure", Journal of Electrostatics, Vol. 66, Issues 1-2, pp.107-114, 2008.

[4] H. kalman, E. Sher, "Enhancement of heat transfer by means of a corona wind created by a wire electrode and confined wings assembly", Applied Thermal Engineering, Volume 21, No. 3, pp.265-282, 2001.

[5] N. Balcon, N. Benard, E. Moreau, "Formation process of the electric wind produced by a plasma actuator", IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 16, No. 2, pp.463-469, 2009.

[6] J.-D. Moon, D.-H. Hwang, J.-S. Jung, J.-G. Kim and S.-T. Geum, "A Sliding Discharge-type EHD gas Pump Utilizing a Saw-Toothed-plate discharge electrode", Journal of Electrostatics, Vol. 17, No. 3, pp.742-747, 2010.

[7] R. Sosa, E. Arnaud, E. Memin and G. Artana, "Study of the flow induced by a sliding discharge", IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 16, No. 2, pp.305-311, 2009.

[8] R. Sosa, H. Kelly, D. Grondona, A. Márquez, V. Lago and G. Artana, "Electrical and plasma characteristics of a quasi-steady sliding discharge", Journal of Physics D: Appl. Phys, Vol. 41, No. 3, pp.107-114, 2008.

[9] L. Zhao and K. Adamiak, "EHD flow in air produced by electric corona discharge in pin-plate configuration", Journal of Electrostatics, Vol. 63, Issues 3-4, pp.337-350, 2005.

[10] F. C. Lai and R. K. Sharma, "EHD-enhanced drying multiple needle electrode", Journal of Electrostatics, Vol. 63, Issues 3-4, pp.223-237, 2005.

### ◇ 저자소개 ◇



**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~현재 경북대학교 산업전자전기공학부 부교수.