

코로나 모터를 이용한 송풍장치의 특성 연구

(The Study of Wind Blower Characteristics Using a Blade Type Corona Motor)

정재승* · 김형표 · 김진규**

(Jae-Seung Jung · Hyung-Pyo Kim · Jin-Gyu Kim)

Abstract

In this paper, a corona motor with blade type electrodes has been employed as a wind blower. The rotation speed was influenced significantly by the polarity of applied voltage and the number of blades. Therefore the effect of polarity of applied voltage and the number of blades on the electrical and mechanical fundamental properties of corona motor were investigated experimentally. The rotation speed decreased for increasing of number of blades, because the mass of blades increased. But the amount of air blow increased despite decreasing of the rotation speed, because air volume is not only influenced by rotation speed but also the number of blades and ionic wind which generated between blade tips and a induction electrode. Although space occupied by blades of the corona motor is smaller than the whole area of the blast pipe, wind rises a whole range of a wind blower for such reasons.

Key Words : Corona Motor, Electrostatic Motor, Wind Blower, Corona Discharge

1. 서 론

최근 코로나 방전의 전기유체역학적 특성을 이용한 정전 에너지를 기계적 운동 에너지로 전환하여 송풍, 냉각, 운송 등에 이용하기 위한 연구가 지속적으로 수

행되고 있다[1-4]. 이 중 가장 대표적인 형태가 코로나 방전시 발생한 이온풍을 이용한 송풍, 냉각 장치이다. 이와 같은 코로나 방전을 이용한 장치의 경우 빠른 이온풍속을 얻을 수 있지만, 이는 코로나 전극의 연장선 상에서만 얻어지며 이로부터 멀어질수록 이온풍속이 급감하여 전체적인 풍량은 크지 않다[5-6].

상기의 이온풍 발생장치와 동일한 원리로 전기 에너지를 운동 에너지로 전환하는 장치로서 회전운동을 하는 코로나 모터가 있다. 코로나 모터는 회전자와 고정자의 역할을 가진 두 개의 전극만으로 구성되어 있기 때문에 일반적인 전기 모터에 비하여 매우 단순한 구조를 가지고 있다. 그리고 마찰 면적 또한 매우 작아 소음과 기계적 마모 그리고 고속 회전에 강한 특성을 가지고 있다. 코로나 모터는 이러한 단순한 구조로

* 주저자 : 경북대학교 전기공학과 공·박
** 교신저자 : 경북대학교 전기공학과 교수
* Main author : Ph D., Department of Electrical Engineering, Kyungpook National University
** Corresponding author : Professor, Department of Electrical Engineering, Kyungpook National University
Tel : 054-530-1326, Fax : 054-530-1239
E-mail : kjg@knu.ac.kr
접수일자 : 2013년 9월 11일
1차심사 : 2013년 9월 17일
심사완료 : 2013년 10월 10일

인하여 MEMS 공정을 통한 극소형의 크기로도 제작할 수 있어 이를 이용하고자 하는 연구가 지속적으로 수행되고 있다[7-10].

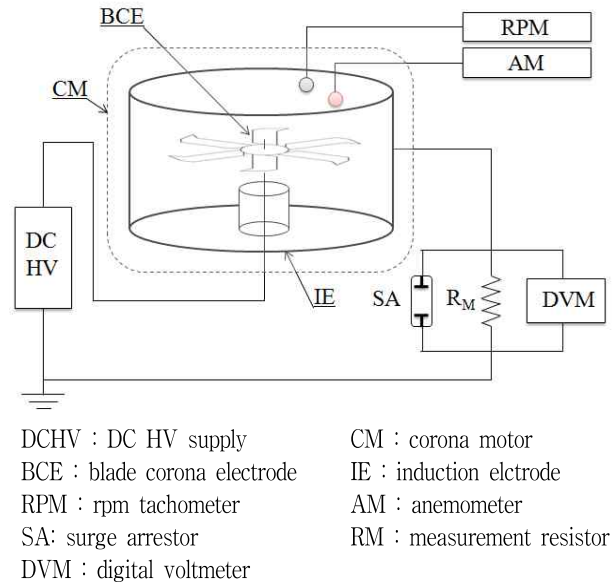
코로나 모터의 구동 원리는 회전자의 역할을 가진 코로나 전극과 코로나 방전으로 생성된 이온에 의한 공간전하(space charge, q_i)간의 반발력, $F=q_iE$ 를 이용하여 회전운동을 하는 것이다[11]. 이러한 원리를 이용한 코로나 모터는 빠른 회전속도는 얻을 수 있는 반면에 그 회전력은 강하지 않다. 송풍장치의 경우 강한 회전력보다는 빠른 회전속도를 더 크게 요구하므로 이와 같은 코로나 모터의 회전자를 날개형태로 제작하면 송풍장치로 용이하게 적용할 수 있다.

본 연구에서는 날개형 전극을 가진 코로나 모터를 송풍장치에 적용할 경우, 그 전기적 특성과 기계적 특성 즉 회전속도, 풍속, 풍량 등을 실험적으로 연구하였다.

2. 실험방법 및 장치

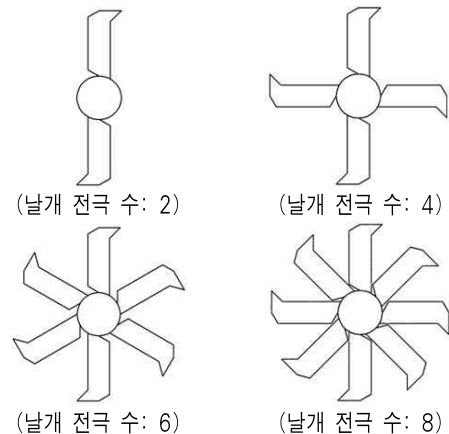
그림 1은 코로나 모터를 이용한 송풍장치의 실험 개략도이다. 실험에 사용된 코로나 모터는 2~8개의 날개형 코로나 전극으로 구성된 회전자와 이를 둘러싼 관형의 유도전극으로 구성되어 있다. 날개형 코로나 전극은 두께가 0.10mm인 알루미늄 판으로 제작되었으며, 길이가 20.0mm, 폭인 10.0mm인 날개형 전극이 중심축을 기준으로 상호 대칭이 되도록 배치되어 있다. 그리고 공기를 밀어내기 위하여 회전방향으로 30°의 기울기를 가지고 있다. 유도전극은 코로나 전극과 25.0mm의 방전간격(discharge gap spacing, s)을 유지하며 둘러싼 폭 40.0mm, 반지름 90.0mm인 링형의 알루미늄 판으로 구성되어 있다.

코로나 모터에 인가된 직류고전압은 고전압 프로브(Tektronix P6015A, 1000:1)와 디지털 전압계(DVM, Yokogawa digital multimeter 73401)로 측정하였으며, 방전 전류는 접지전극에 직렬 연결된 측정저항(R_M , 1.00k Ω)과 DVM을 이용하여 측정하였다. 회전속도는 rpm 측정기(digital hand tachometer ED Laboratory)를 이용하여 날개형 코로나 전극 상부 120.0mm인 지점에서 측정하였고, 발생 풍속은 60.0mm인 지점에서 열선식 풍속계(Anemometer, Testo 425, Germany)를 이용하여 측정하였다.



DCHV : DC HV supply
 BCE : blade corona electrode
 RPM : rpm tachometer
 SA: surge arrester
 DVM : digital voltmeter
 CM : corona motor
 IE : induction electrode
 AM : anemometer
 RM : measurement resistor

(a) Schematics of the experimental setup

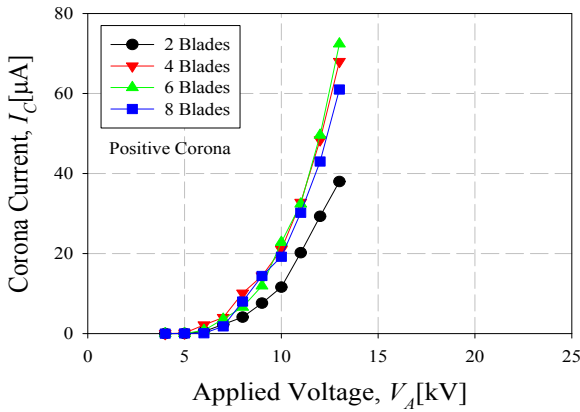


(b) Schematics of the blade type corona electrode

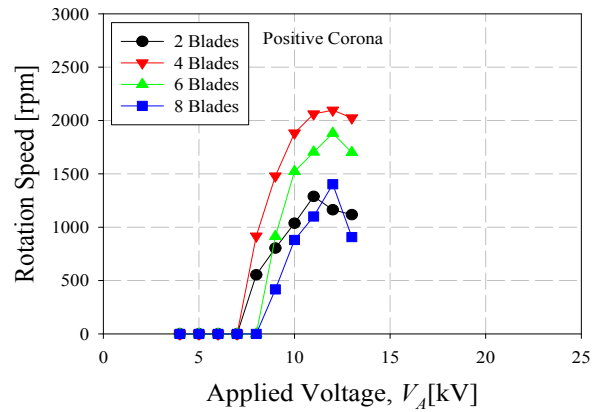
그림 1. 실험 장치 및 날개형 전극의 개략도
 Fig. 1. Schematics of the experimental setup and blade type corona electrode

3. 실험결과 및 고찰

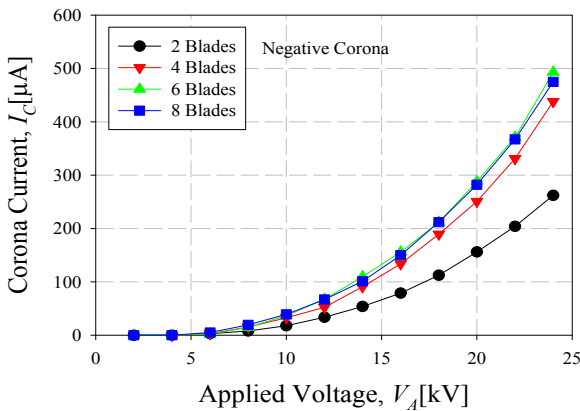
그림 2는 날개형 코로나 전극의 수와 인가전압에 따른 I-V 특성을 나타낸 것이다. 날개형 코로나 전극에 정극성 및 부극성 직류 고전압이 인가된 경우, 부극성 코로나 방전의 경우 코로나 개시전압이 4kV로 정극성 코로나 방전의 개시전압인 5kV보다 낮은 전압에서 코로나 방전이 발생하기 시작한다. 이후



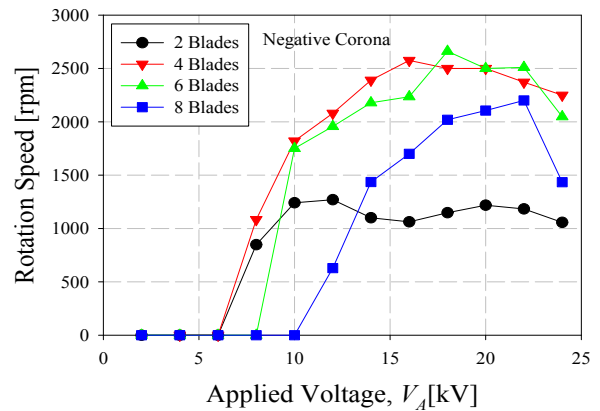
(a) positive corona discharge



(a) positive corona discharge



(b) negative corona discharge



(b) negative corona discharge

그림 2. 코로나 날개 전극 수에 따른 I-V 특성
Fig. 2. I-V characteristics of the discharge system for the blade type corona electrode number

인가전압의 증가에 따라 코로나 방전 전류가 서서히 증가하다 절연과괴에 이르는 전형적인 코로나 방전 특성을 보인다. 절연과괴전압은 부극성 코로나 방전의 경우 24kV 이상, 정극성 코로나 방전의 경우 13kV 이상으로 측정되었다. 날개형 코로나 전극 수의 증가에 따라 코로나 전류는 증가하지만 전극 수가 6개 이상일 때 전류가 포화되는 특성을 보인다. 이는 전극 개수에 의한 밀도 증가로 인해 전체의 불평등 정도가 감소하기 때문인 것으로 사료된다. 그리고 정부극성 동일하게 코로나 개시전압과 절연과괴전압은 코로나 전류와 달리 동일한 특성을 나타내었다.

그림 3. 코로나 모터의 회전 속도
Fig. 3. Rotation speed of the corona motor

그림 3은 날개형 코로나 전극의 수와 인가전압에 따른 회전속도 특성을 나타낸 것이다. 코로나 전극은 그 질량에 의해 코로나 개시와 동시에 기동을 하지는 않으며, 전극의 수가 증가할수록 질량의 증가로 인하여 회전 시작 전압과 전류가 증가하게 된다. 이후 코로나 전류의 증가에 따라 날개형 코로나 전극의 회전속도는 증가하다가 최대 회전 속도 이후 감소하는 특성을 나타내었다. 이는 회전속도가 증가함에 따라 회전축에서에서의 마찰력과 날개와 공기사이의 마찰력이 증가하기 때문으로 사료된다.

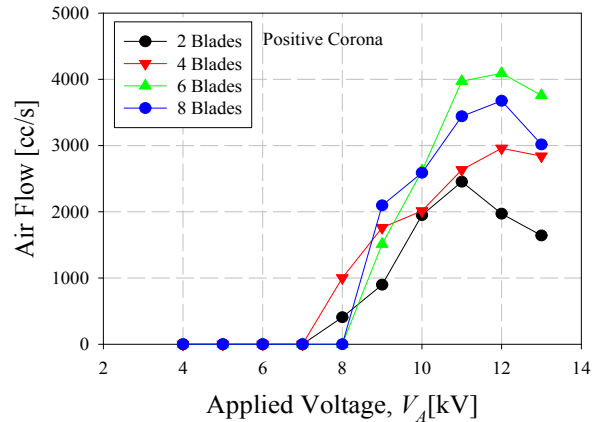
코로나 모터는 기본적으로 날개형 전극과 공간 전하간의 반발력으로 구동하는 것이므로 그 회전속도는

코로나 방전으로 형성되는 공간 전하의 양과 날개형 전극의 질량, 그리고 그 사이의 전계 강도에 의하여 결정되어진다. 회전자인 날개형 전극의 질량이 가벼울수록 작은 회전력으로도 회전이 가능하게 되므로 가장 가벼운 2개의 날개형 전극을 가진 회전자가 가장 낮은 전압에서 기동할 수 있다. 날개형 전극의 수가 증가함에 따라 공기와의 마찰력이 증가하게 되고, 전극의 질량이 증가하여 회전축에서의 마찰력 또한 증가한다. 하지만 코로나 방전에 의한 공간전하의 발생량도 증가하므로, 그림 3에서 나타난 것처럼 날개형 전극의 수가 4, 6개일 때 최대 회전속도가 나타나며 날개형 전극의 수가 8개인 경우에는 회전속도가 감소하였다.

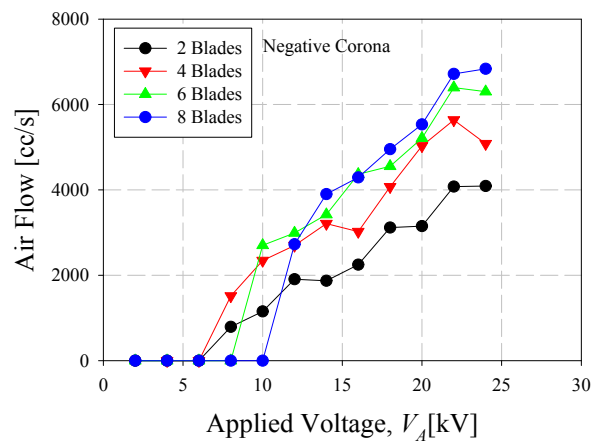
코로나 모터의 방전 간격에 공간전하로 작용하는 이온의 양은 코로나 전극의 수 뿐 아니라 인가전압의 극성에 따라서도 차이가 있다. 그림 3에서 나타난 것처럼 인가전압이 동일한 경우, 정극성 코로나 방전에서 더 빠른 회전속도를 얻을 수 있다. 음이온에 비하여 상대적으로 더 무거운 양이온은 이동도(mobility, μ_i)가 $1.32\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 로 음이온의 이동도인 $2.11\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 보다 더 작기 때문에 코로나 방전으로 생성된 이온들이 유도전극으로 이동하여 소멸할 때까지 소요되는 시간이 $t_{R-S} = s/\mu_i E$ 로 더 길다[12]. 따라서 공간전하의 양이 정극성 코로나 방전에서 더 많이 존재하기 때문에 동일한 전압에서는 더 빠른 회전속도를 얻을 수 있게 된다.

그러나 부극성 코로나 방전의 경우 정극성 코로나 방전의 경우보다 절연 파괴 전압이 25kV로 약 1.8배 더 크므로 보다 강한 전계를 형성할 수 있다. 따라서 그림 3에 나타난 것처럼 최대 회전 속도는 부극성 코로나 방전에서 얻을 수 있었다.

그림 4는 코로나 모터에 의한 풍량 발생 특성을 나타낸 것이다. 그림 3에서 나타난 것처럼 최대 회전 속도는 날개형 전극의 수가 4, 6개일 때 나타났지만, 발생 풍량은 날개형 전극의 수가 6, 8개일 때 얻을 수 있었다. 날개형 전극의 수가 8개인 경우 회전속도는 감소하였지만, 날개의 수가 많기 때문에 상대적으로 공기를 밀어내는 양이 많았기 때문으로 사료된다. 또한 코로나 방전으로 인한 이온 발생량도 가장 많으므로 이들 이온들이 풍량의 증가에 영향을 끼친 것으로 사



(a) positive corona discharge



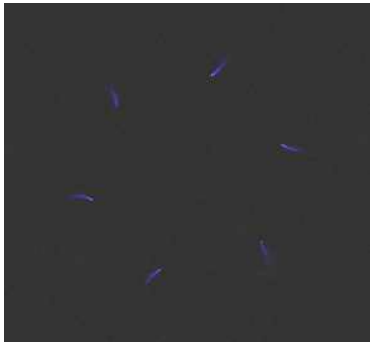
(b) negative corona discharge

그림 4. 코로나 모터의 풍량 발생 특성

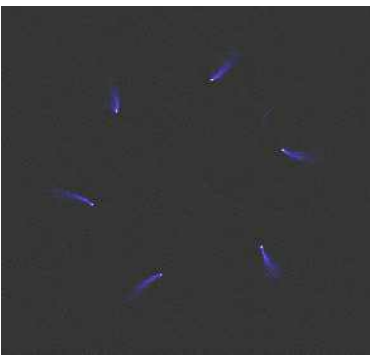
Fig. 4. Air flow characteristics of the corona motor

료된다.

날개형 코로나 전극 부근에서 생성된 이온들은 공간 전하로써 역할 뿐만 아니라 그 스스로 유도전극 방향으로 이동하며 이온풍을 발생시키게 된다. 그림 5에서 나타난 것처럼 날개형 코로나 전극에서 발생한 코로나 방전영역이 코로나 전극에서 유도전극 방향으로 신장되는 것을 확인할 수 있다. 본 실험에 사용된 날개형 코로나 전극의 날카로운 끝 부분이 공기를 밀어내는 방향인 상부 방향으로 휘어져 있어 이 부근에서 발생된 이온풍은 상향을 향하게 되어 풍량 증가에 영향을 주게 된다.



(VA = +10kV)



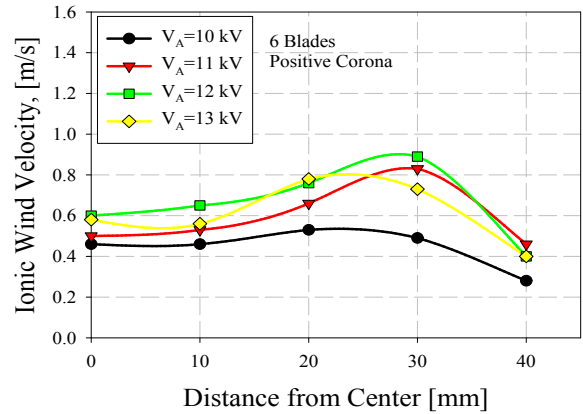
(VA = +12kV)

그림 5. 날개형 코로나 전극에서 발생하는 코로나 방전 사진
Fig. 5. Photographs of corona discharge on the tip of blade type corona electrode

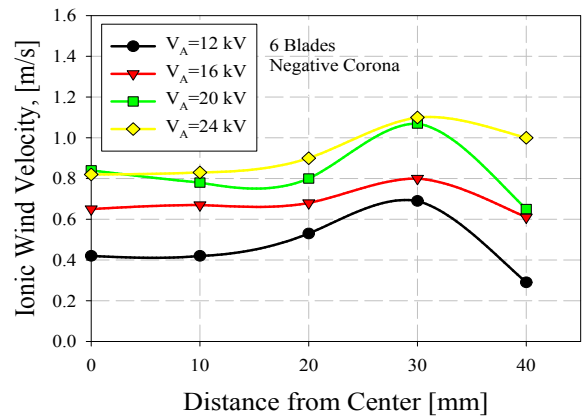
그림 6은 코로나 모터의 회전축을 기준으로 측정한 풍속 발생 분포를 나타낸 것으로 풍속의 세기가 날개형 코로나 전극의 길이인 20mm보다 외곽인 지점인 30mm 떨어진 지점에서 가장 빠른 이온풍속이 발생함을 알 수 있다. 이는 날개형 전극의 회전력 뿐 만 아니라 코로나 전극의 끝단에서 발생하는 이온풍도 풍량의 증가에 영향을 주기 때문으로 사료되며, 그 결과 날개형 전극의 수가 8개일 때 질량의 증가에 따른 회전속도가 감소하더라도 발생 풍량은 감소하지 않고 포화된 값을 가지게 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 날개형 코로나 전극을 회전자로 하는 코로나 모터의 전기적 특성과 송풍장치로의 적용을



(a) positive corona discharge



(b) negative corona discharge

그림 6. 코로나 모터의 풍속 분포(날개형 전극수:6)
Fig. 6. Distribution of wind velocities of the corona motor(6 blades)

위해 회전속도, 풍량, 풍속 발생 분포 특성 등을 실험적으로 연구하였다.

인가전압의 증가에 따라 회전속도는 증가하지만 절연과피전압에 이를수록 그 속도는 포화되거나 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 회전속도 증가에 따른 회전축에서에서의 마찰력과 공기와의 마찰력이 증가하기 때문으로 사료된다. 최대 회전속도는 부극성 코로나 방전에서 나타났으며 이는 절연과피전압이 부극성 코로나 방전에서 더 높기 때문에 더 강한 전계를 인가할 수 있기 때문이다. 날개형 코로나 전극의 수에 따른 회전속도는 전극의 수가 4~6개일 때 가장 빠르게 나타났으며, 발생 풍량은 전극의 수가 6~8개일 때에 가

장 크게 나타났다. 이는 날개의 수가 증가함에 따라 그 질량이 무거워져 회전 속도는 감소하지만, 날개의 수가 많아지므로 밀어내는 공기의 양은 증가하기 때문이다. 또한 코로나 모터의 경우 날개의 회전력뿐만 아니라 코로나 전극의 끝단에서 발생하는 이온에 의한 이온풍도 풍량의 증가에 영향을 주었기 때문으로 사료된다. 이 코로나 방전에 의한 이온풍의 경우 날개형 코로나 전극과 송풍장치의 외벽인 유도 전극의 사이에서 발생되므로 송풍장치 전체의 면적에 비하여 날개형 코로나 전극의 풍속 발생 면적이 작다 하더라도 전체 송풍 면적에 비교적 균일하게 풍속이 발생할 수 있도록 할 수 있다.

따라서 향후 날개형 코로나 전극의 면적과 이격거리에 따른 최적치를 통해 코로나 모터형 송풍장치의 실 적용화 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

References

[1] Matthew Rickard, Derek Dunn_Rankin, Felix Weinberg, Fred Carleton, Maximizing ion-driven gas flows, Journal of Electrostatics, 64, 368-376, 2006.
 [2] E. Moreau, G. Touchard, Enhancing the mechanical efficiency of electric wind in corona discharge, Journal of Electrostatics, 66, pp. 39-44, 2008.
 [3] Jae-Duk Moon, Jae-Seung Jung, Jin-Gyu Kim, Sang-Taek Geum, An EHD Gas Pump Utilizing a Wet Porous Point Electrode, IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, 16, 3, pp. 622-628, 2009.
 [4] Ing Youn Chen, Mei-Zuo Guo, Kai-Shing Yang, Chi-Chuan Wang, Enhanced cooling for LED lighting using ionic wind, International Journal of Heat and Mass Transfer, 57, 1, pp. 285-291, 2013.
 [5] E. Moreau, C. Louste, G. Touchard, Electric wind induced by sliding discharge in air at atmospheric pressure, Journal of Electrostatics, 66, pp. 107-114, 2008
 [6] J. S. Jung, J. D. Moon, An Maximization of Ionic Wind Utilizing a Cylindrical Coroan Electrode, Trans. KIEE, 59, 12, pp. 2256-2261, 2010.
 [7] O. Jefimenko, Electrostatic Motors, Electret Scientific Co, Star City, 1973.
 [8] S. Lee, D. Kim, M.D. Bryant, F.F. Ling, A micro corona motor, Sensors and Actuators, A 118, pp. 226 - 232, 2005.

[9] A. Gronskis, J. D. Adamo, G. Artana, A. Camillieri, J. H. Silvestrini, Coupling mechanical rotation and EHD actuation in flow past a cylinder, Journal of Electrostatics, 66 pp, 1-7, 2008.
 [10] M. Dadkhah, Y. Hojjat, M. Modabberifar, T. Higuchi, Experimental investigation of parameters influencing electrostatic motor's performance with air bearing operation, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 43, 3-4, pp. 211-216, 2009.
 [11] A. D. Moore Editor, Electrostatics and Its Applications, New York: John Willey & Sons, Inc., 1973, pp. 131-147.
 [12] Electrical discharge and high voltage, Dongmyungsa, 1980, pp 40-42.

◆ 저자소개 ◆



정재승 (鄭在勝)

1979년 4월 14일생. 2004년 경북대학교 공대 전자전기공학부 졸업. 2007년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 경북대학교 대학원 전자전기 컴퓨터학부 졸업(박사).



김형표 (金亨杓)

1967년 2월 5일생. 1992년 경북대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년 보국전기공업(주) 기술 연구소. 1998~2008년 상주대학교 전자 전기공학부 교수. 2008~2012년 경북대학교 산업전자 전기공학부 교수. 2012년~현재 경북대학교 IT대학 전기공학과 교수.



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 전자전기 공학부 BK21조교수. 2001~2008년 상주대학교 전자전기공학부 부교수. 2008~2012년 경북대학교 산업전자전기공학부 부교수. 2012년~현재 경북대학교 IT대학 전기공학과 교수. 현재 본 학회 대구·경북지회 재무이사.