

Effect of Radius of Curvature of a Corona Needle on Ionic Wind Generation

황 덕 현* · 문 재 덕†
(Deok-hyun Hwang · Jae-Duk Moon)

Abstract - An electric fan for cooling high density electronic devices is limited and operated in very low efficiency. The corona discharge is utilized as the driving mechanism for an ionic gas pump, which allows for air flow control and generation with low noise and no moving parts. These ideal characteristics of ionic pump give rise to variety applications. However, all of these applications would benefit from maximizing the flow velocities and yields of the ionic pump. In this study, a needle-mesh type ionic pump has been investigated by focusing on the radius of curvature of corona needle points elevating the ionic wind velocity and efficiency. It is found that the radius of curvature of the corona discharge needle point influences significantly to produce the ionic wind and efficiency. As a result, an elevated ionic wind velocity and increased ionic wind generation yield can be obtained by optimized the radius of curvature of the corona needle electrode.

Key Words : Ionic wind, Ionic gas pump, Radius of curvature, Corona discharge, Needle-mesh type electrode

1. 서 론

초소형 전자소자의 집적기술 발달에 따라 이들의 발열밀도는 매우 높아져서 태양표면 정도에 이르고 있다[1-2]. 따라서 초고집적 전자소자의 효과적인 냉각기술은 매우 필요하다. 기존의 전기 송풍장치(electric fan)는 냉각효율이 매우 낮고, 기계적 회전부분이 있어서 전자소자용으로의 초소형화도 매우 어려운 실정이다[3-4].

최근 코로나 방전에 의해 생성된 이온과 이들의 전기장 중의 이동력이 송풍장치로 적용될 수 있을 뿐만 아니라[5], 소음이 적고, 풍속의 발생과 제어가 용이하며, 기계적 회전부분이 없기 때문에[2]에 많이 연구되고 있다[6-7]. 코로나 방전을 이용한 이온풍 장치로는 침대 그물형[8]과 선대 선형[9] 등이 제안되어 있지만, 아직은 모두 이온풍속과 발생효율이 낮은 문제점이 있다[8-10].

이온풍 장치에서 이온풍을 효과적으로 발생시키기 위해서는 방전영역 내에서의 효율적인 코로나 방전발생과 이들 이온들을 강력하게 이동시키기 위해 강한 전기장의 생성이 필수적이다[1,5]. 한편 이온풍 장치의 방전 침전극의 반경이 작을수록 낮은 인가전압에서 방전을 효과적으로 발생시킬 수 있다. 그러나 뾰족한 침전극은 낮은 인가전압에서 절연과피 됨으로, 방전영역 내에서 높은 전기장을 생성시킬 수 없다[11-12]. 또한 반경이 큰 방전 침전극의 경우는 방전 영역 중에서 높은 전

계를 얻을 수는 있으나, 방전도 높은 인가전압에서 얻어지기 때문에 이온풍 발생 효율이 낮은 문제점이 있게 된다[9, 10, 13]. 따라서 이온풍속의 크기와 발생 효율은 방전 침전극의 곡률 반경에 크게 영향을 받게 되나, 아직까지 국내외에서 이에 대한 구체적 연구보고가 없는 실정이다[13].

본 연구는 침대 그물형 이온풍 발생장치에서 방전 침전극의 곡률반경이 이온풍속의 크기와 발생 효율에 미치는 영향을 실험적으로 검토한 연구결과이다.

2. 실험 장치 및 방법

그림 1은 실험장치 개략도를 나타낸 것으로, 방전 침전극과 접지된 그물전극으로 구성된 이온풍 발생장치, 고전압 인가전원, 방전 전류 및 고전압 측정장치, 그리고, 이온풍속 측정장치로 구성하였다. 인가 고전압은 정 및 부극성 직류 전원을 사용하였고, 방전전류와 전압은 전자전압계(DVM, Fluke, 179), 고전압 분압기(HP, high-volt probe, 1,000:1, Tektronix, P6015A), 그리고, 측정저항(R_M , carbon film type)을 사용하여 측정하였다. 열전 풍속계(AM, anemometer, Kanomax 6511, thermal flow probe type)로 풍속을 측정하였으며, 모든 실험은 실험장치(booth)내의 온습도가 제어된 공기중(20°C, 30±2%RH)에서 실시하였다.

침전극으로는 지름이 2.00mm인 스테인리스 봉을 6종류의 곡률반경(r_c : 0.01, 0.08, 0.14, 0.20, 0.42, 0.59mm)으로 가공하여 실험하였다. 접지전극은 그물(stainless mesh, 두께 0.7mm, 직경 25mm, 15mesh)을 사용하였고, 침전극과 그물전극간의 간격은 10.0mm로, 그리고 그물전극과 풍속 측정부와의 간격은 10.0mm로 각각 고정하여 실험하였다.

* 정 회 원 : 경북대 대학원 전자전기컴퓨터학부 박사과정
† 교신저자, 펠로우회원 : 경북대 전자전기컴퓨터학부 교수 · 공학
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr
접수일자 : 2010년 1월 13일
최종완료 : 2010년 2월 17일

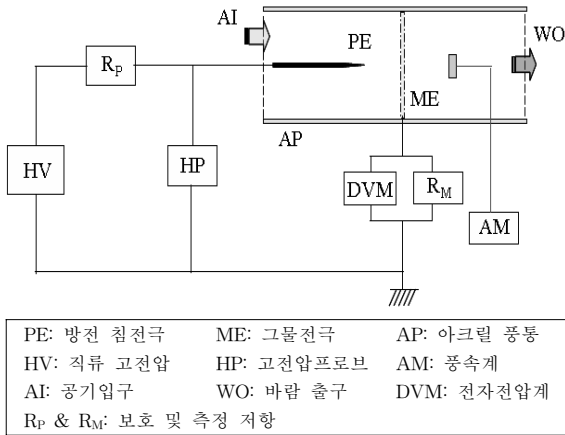


그림 1 실험장치 개략도.

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 2는 침대 평판형 이온풍 발생장치에서 침전극의 곡률반경 변화에 따른 직류 정 및 부극성 방전전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 인가 정 및 부극성의 고전압의 증가에 따라 방전전류는 방전개시전압으로부터 발생하여 서서히 증가하다가 절연 파괴에 이르는 전형적인 침대 평판간의 방전 특성을 보여준다[7, 11]. 방전 침전극의 곡률반경이 커질수록 동일한 전압에서의 방전전류는 작음을 보여준다[10]. 이상의 결과는 방전 침전극의 방전 전류는 침전극의 곡률반경과 인가전압의 극성에 따라 매우 크게 영향을 받는 것을 보여준다[11, 12].

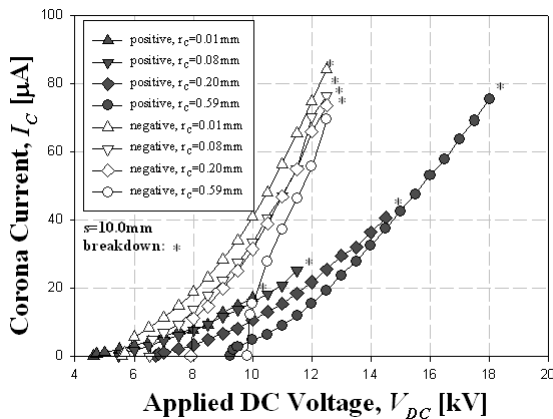


그림 2 침전극의 곡률반경의 변화에 따른 I-V 특성.

Fig. 2 I-V characteristics as a function of radius of curvature of corona needle point.

그림 3은 침전극의 곡률반경과 인가전압변화에 따른 코로나전류 특성을 곡률반경 인가전압별로 나타낸 것이다. 동일한 곡률반경에서 침전극에 부극성을 인가한 경우가 정극성을 인가한 경우보다 더 큰 방전전류가 얻어짐을 보여준다. 침전극의 곡률반경이 작을수록 동일한 인가전압에서는 더 많은 방전전류가 얻어짐을 보여준다.

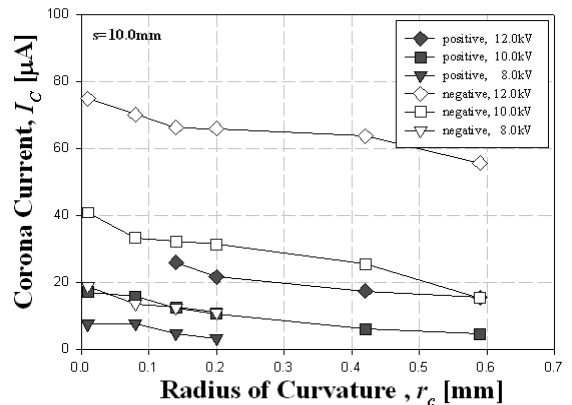


그림 3 침전극의 곡률반경과 직류 인가전압 변화에 따른 코로나 전류 특성 비교.

Fig. 3 Comparisons of corona currents as a function of radius of curvature and applied DC voltage.

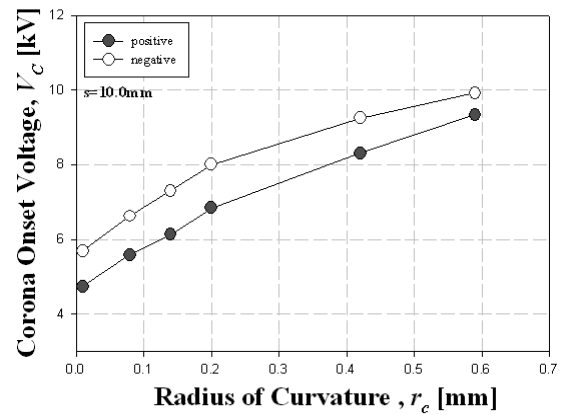


그림 4 방전 침전극 곡률반경의 변화에 따른 방전개시전압 특성.

Fig. 4 Corona onset voltage characteristics as a function of radius of curvature of corona needle point.

그림 4는 침전극의 곡률반경 변화에 따른 방전개시전압 특성을 인가 고전압의 극성별로 나타낸 것이다. 방전 침전극의 동일한 곡률반경에서 방전개시전압은 부극성의 경우가 정극성의 경우보다 높고, 방전 침전극의 곡률반경은 적을수록 낮았다[11, 12]. 이는 효과적인 이온풍 발생에는 침전극의 곡률반경이 작을수록 또한 정극성보다 부극성의 경우가 좋음을 보여주는 결과이다.

그림 5는 침전극의 곡률반경의 변화에 따른 절연파괴전압특성을 인가 직류전압의 극성별로 나타낸 것이다. 침전극의 절연파괴전압은 침의 곡률반경의 증가에 따라 증가하는 경향을 보여준다. 부극성의 경우는 침전극의 곡률반경의 영향이 상대적으로 적지만, 정극성 경우는 침전극의 곡률반경의 증가에 따라 절연파괴전압이 급격히 증가함을 보여준다. 이는 방전 침전극 선단에 생성된 공간전하의 영향으로 방전의 진전과 역제가 인가전압의 극성에 따라 차이가 있기 때문인 것으로 사료된다[11]. 한편 정 및 부의 인가 직류전압의 극성에 따라 절연파괴전압은 침전극의 곡률반경이 약

0.12mm부근에서 반전됨을 보여준다. 이는 침전극 선단의 공간 전하의 영향에 의한 것으로 사료되나[12], 이에 대한 구체적인 이유는 추후 연구 과제라고 생각된다.

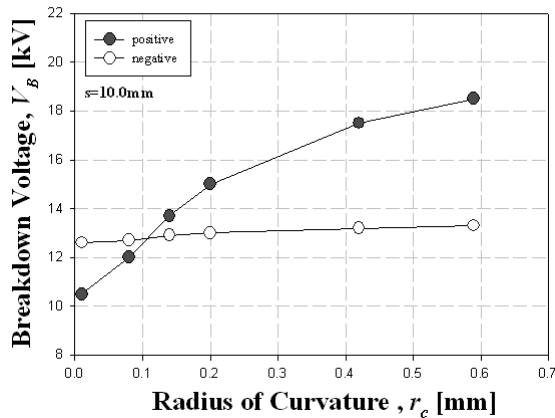


그림 5 침전극의 곡률반경의 변화에 따른 절연파괴전압 특성.
Fig. 5 Breakdown voltage characteristics as a function of Radius of curvature of corona needle point.

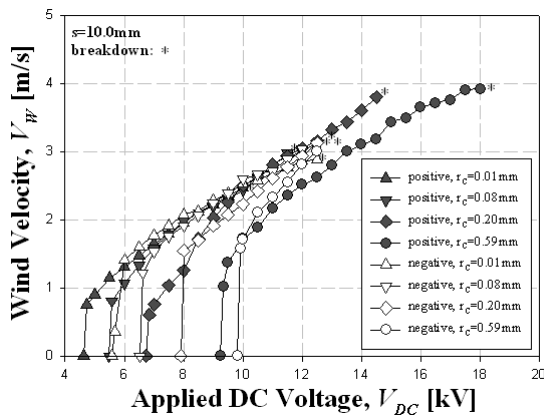


그림 6 침전극의 곡률반경의 변화에 따른 이온풍속-전압 특성.
Fig. 6 Ionic wind velocity characteristics as a function of radius of curvature of corona needle point .

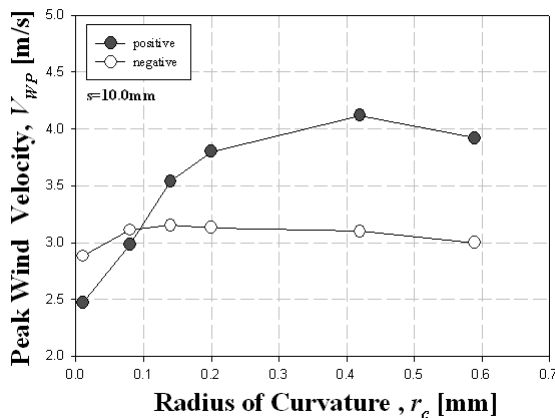


그림 7 침전극의 곡률반경의 변화에 따른 최대 이온풍속 특성.
Fig. 7 Peak ionic wind velocity characteristics as a function of radius of curvature of corona needle point.

그림 6은 침대 그물형 이온풍 발생장치의 방전 침전극의 곡률반경의 변화에 따른 직류 정 및 부극성의 이온풍속-인가전압 특성을 나타낸 것이다. 이온풍은 코로나 개시전압에서 발생하기 시작하여 인가전압이 증가함에 따라 증가하다가 절연파괴전압 직전에서 최댓값을 가짐을 보여준다. 그림 6에서 이온풍속은 곡률반경의 변화에 매우 크게 영향을 받는 것을 보여준다. 즉 침전극의 곡률반경이 작을수록 낮은 인가전압에서 풍속이 발생하여 낮은 인가전압에서 최대 풍속에 이르고, 곡률반경이 클수록 높은 인가전압에서 풍속이 발생되어 매우 높은 전압에서 최대 풍속이 얻어짐을 보여준다.

그림 7은 침전극의 곡률반경의 변화에 따른 이온풍속을 인가한 고전압의 극성별로 나타내었다. 여기서 최대 이온풍속은 절연파괴전압 직전에서 얻어지는 풍속으로, 최대 이온풍속이 방전 침전극의 곡률반경에 따라 크게 영향을 받으며, 침전극의 반경에 따라 정 및 부극성 방전 모두 피크 값을 가짐을 보여준다.

이는 침전극의 반경이 이온 발생으로서는 물론 이온의 이동(migration)에도 크게 영향을 미침을 보여주는 결과이다. 즉 곡률반경이 작은 경우 낮은 전압에서 이온풍을 발생시키나, 또한 낮은 전압에서 절연파괴에 이르기 때문에 결국 작은 이온풍속만을 얻게 된다. 한편 곡률반경이 큰 경우 높은 전압에서 이온풍이 시작되고 또 절연파괴 전압이 높기 때문에 결국 높은 이온풍을 얻을 수 있게 된다. 따라서 침전극의 곡률반경에 따라 피크 값을 갖는 특성을 갖게 된다. 결국 정 및 부극성 방전침의 경우 각각 부극성에서는 $r_c=0.14\text{mm}$ 부근에서 그리고 정극성에서는 $r_c=0.42\text{mm}$ 부근에서 각각 3.15m/s 그리고 4.12m/s 의 피크 이온풍속을 얻을 수 있음을 보여준다.

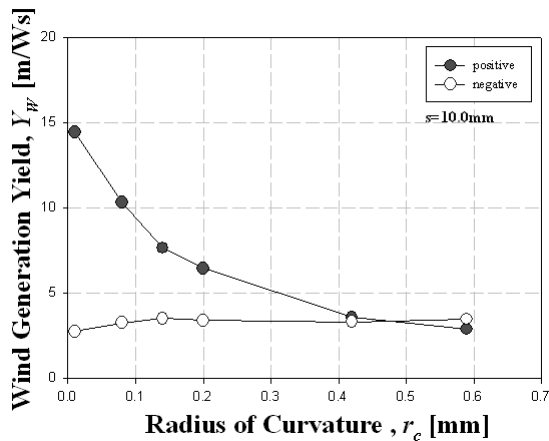
한편 이온풍속 발생의 전력효율(Y_w)은 최대 이온풍속(V_{wP})을 소모 코로나 전력($P_C=V_{DC} \cdot I_C$)으로 나눈 것으로 나타낼 수 있다[10].

그림 8은 침전극의 곡률반경의 변화에 따른 이온풍 발생 전력효율 특성곡선을 나타낸 것으로, (a)는 최대풍속지점에서 Y_w-r_c 를, (b)는 인가전압별 Y_w-r_c 를 나타낸 것이다. 최대 이온풍속 점에서의 전력효율은 곡률반경이 작을수록 그리고 정극성 경우가 부극성보다 크게 나타났으나, 부극성의 경우는 곡률반경의 증가에 따라 전력효율 변화는 거의 없었다. 정극성의 경우의 풍속 발생 전력효율은 침전극의 곡률반경의 증가에 따라 급격히 감소하고, 침전극의 곡률반경이 $r_c=0.40\text{mm}$ 부근에서는 정극성의 값이 부극성과 비슷한 값을 갖는 것을 보여준다. 또한 동일 인가전압에서는 곡률반경의 증가에 따라 효율이 증가하고, 부극성에 비해 정극성의 효율이 매우 좋으며, 동일한 극성에서는 인가전압이 낮을수록 높은 효율이 높게 나타났다.

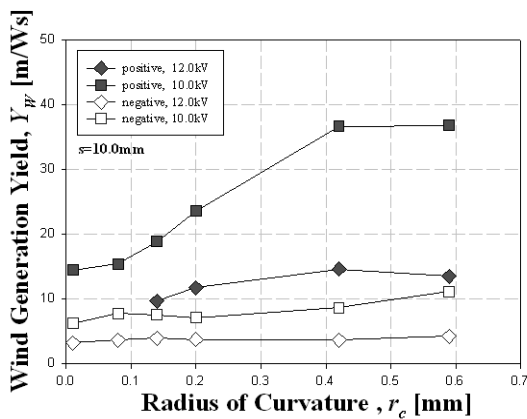
이온풍속 발생효율은 최대이온풍속 발생지점에서는 정 및 부극성인 경우 각각 14.45m/Ws 와 3.50m/Ws 로 정극성의 경우가 부극성의 경우보다 4.13배 더 높은 값을 얻을 수 있음을 보여주었다. 인가전압이 10.0kV 로 동일하면 곡률반경이 클수록 그리고 정극성이 부극성 경우보다 효율이 높았고, 곡률반경이 낮을수록 부극성의 경우가 효율이 낮았다. 즉, 정극성의 경우 $r_c=0.59\text{mm}$ 에 $Y_w=36.75\text{m/Ws}$ 로 효율이 가장 높으며, 부극성의 경우 $r_c=0.01\text{mm}$ 에 효율이 가장 낮

은 $Y_w=6.19m/Ws$ 로, 5.94배의 큰 차이가 있음을 보여주었다.

이온풍의 발생은 코로나 방전 영역에서 발생된 이온들이 인가된 전압(전계)에 의해 방전침전극에서 접지된 그물 전극으로 이동되게 되고, 이 이동하는 이온들이 공기입자(주로 질소와 산소 분자들)와 충돌하여 이온의 이동과 동일 방향으로 이동하게 되어, 이온풍이 발생하게 된다. 이때의 풍속은 충돌하는 이온의 이동속도, 이온들의 질량, 그리고 이온들의 수에 의해 결정되게 된다. 따라서 정극성의 경우는 이동하는 이온들이 주로 공기이온이 될 것이나, 부극성의 경우 전자들이 많고 상대적으로 음이온들의 수는 많지 않게 된다. 따라서 정극성의 이온풍 발생 효율이 부극성보다 더 높게 되는 것으로 사료된다[2, 7, 13].



(a) 최대 풍속 지점에서 Y_w-r_c

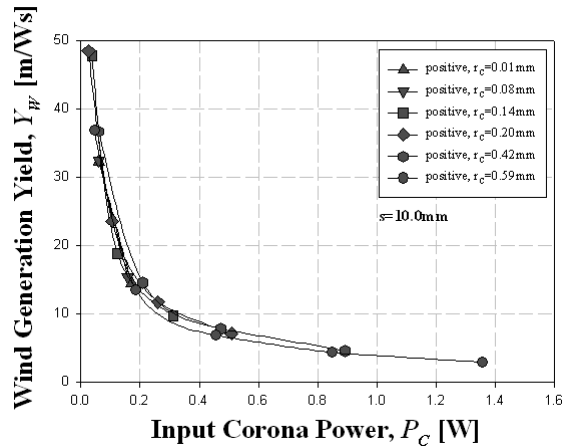


(b) 인가전압별 Y_w-r_c

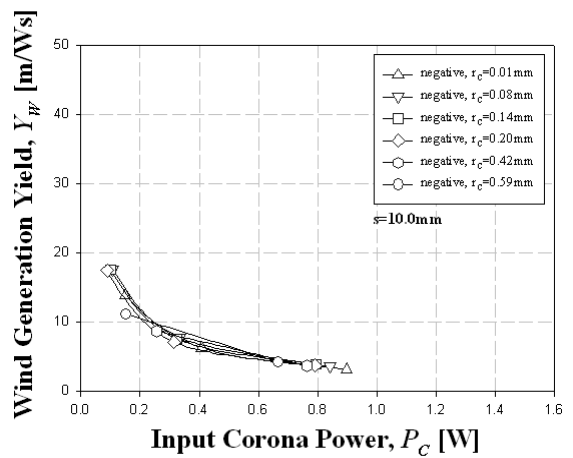
그림 8 정 및 부극성 방전 침전극의 곡률반경의 변화에 따른 최대 이온풍 발생률 특성.

Fig. 8 Peak ionic wind generation yield as a function of radius of curvature of positive and negative corona needle point.

그림 9는 정 및 부극성 방전 침전극의 곡률반경의 변화에 따른 Y_w-P_C 특성을 나타낸 것이다. 이온풍속 발생효율은 방전 침전극의 곡률반경이 낮을수록 또 입력코로나전력이 낮을수록, 부극성의 경우보다 정극성의 경우가 더 높은 이온풍 발생효율이 얻어지는 것을 보여준다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 9 침전극의 곡률반경의 변화에 따른 Y_w-P_C 특성곡선. Fig. 9 Y_w-P_C characteristics as a function of radius of curvature of corona needle point.

이상의 결과로부터 침대 그물전극구조에서 침전극의 곡률반경을 적절히 선택함으로써 최적 코로나방전 전류와 인가전압을 얻을 수 있고[14], 따라서 최대 이온 풍속이나, 최대 이온풍속 발생 효율 등을 적절히 얻을 수 있음을 실험적으로 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 침대 그물형 이온풍 발생장치에서 방전 침전극의 곡률반경이 이온풍속의 세기와 풍속발생 전력효율에 미치는 영향을 실험적으로 검토한 결과는 다음과 같다.

이온풍속의 세기는 인가전압이 높을수록 그리고 방전 침전극의 곡률반경이 클수록 큰 값을 얻을 수 있고, 정극성 방전 침전극의 경우가 부극성 방전 침의 경우보다 더 높은 이온 풍속을 얻을 수 있었다. 최대풍속 발생점에서의 전력효율은 곡률반경이 작을수록, 부극성보다 정극성이 매우 높았으며, 또한, 최대 이온 풍속 값과 최대효율을 나타내는 침전극의 적정 곡률반경이 있음을 실험적으로 확인되었다.

최대 발생 이온풍속은 정 및 부극성 방전 침전극의 경우,

곡률반경이 각각 0.42mm와 0.14mm일 때 각각 4.12m/s와 3.15m/s로서, 정극일 때가 부극성일 경우에 비해 각각 1.31 배로 높은 값을 보여 주었다. 이온풍속 발생효율은 최대이온풍속 발생지점에서는 정 및 부극성인 경우 각각 14.45m/Ws와 3.50m/Ws로 정극성의 경우가 부극성의 경우보다 4.13배 더 높은 값을 보여주었다.

이상의 결과는 침대 그물진극형 이온 풍속 발생장치의 방전 침전극이 효과적인 이온풍 발생에 매우 큰 영향을 미치며, 최대 풍속 및 고효율의 이온풍 발생장치는 각각 적정 곡률반경의 침전극이 있음을 실험적으로 확인되었다.

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, August 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] F. Pollak, "New Micro-architecture Challenges in the Coming Generation of CMOS Process Technologies," Micro 32, 1999.
- [5] R. Mestiri, R. Hadaji, S.B. Nasrallah, "The electrical discharge as a source of a mechanical energy," Desalination, Vol. 220, pp. 468-475, 2008.
- [6] H. Tsubone, B. Komeili, S. Minami, G.D. Harvel, K. Urashima, C.Y. Ching, J.S. Chang, "Flow characteristics of dc wire-non-parallel plate electrohydrodynamic gas pump," Journal of Electrostatics, Vol. 66, pp. 115-121, 2008.
- [7] M. Rickard, D. Dunn-Rankin, F. Weinberg, F. Carleton, "Maximizing ion-driven gas flows," Journal of Electrostatics, Vol. 64, 368-376, 2006.
- [8] E. Moreau, and G. Touchard, "Enhancing the mechanical efficiency of electric wind in corona discharge," Journal of Electrostatics, Vol. 66, pp. 39-44, 2008.
- [9] B. Komeili, J.S. Chang, G.D. Harvel, C.Y. Ching, D. Brocilo "Flow characteristics of wire-rod type electrohydrodynamic gas pump under negative corona operations," Journal of Electrostatics, Vol. 66, pp. 342-353, 2008.
- [10] J. Moon, J. Jung, S Gum, "The Effect of a Strip-type Third Electrode of a Wire-Plate Type Nonthermal Plasma Reactor on Corona Discharge and Ozone Generation Characteristics," International Journal of Plasma Environmental Science and Technology. Vol. 2, No. 1, pp. 26-33, 2008.
- [11] 田春生, 放電・高電壓工學, 서울:동명사, 1980, pp. 88-89.
- [12] 문재덕, 김창수 "펄스電壓을 인가한 円筒形 오존發生器의 特性研究," 전기학회논문지, 11호, 36권, pp. 806-812. 1987.
- [13] Rafika Mestiri, Ramzi Hadaji, Sassi Ben Nasrallah, "The electrical discharge as a source of a mechanical energy," Desalination 220, pp. 468-475, 2008.
- [14] H.J. White, Industrial Electrostatic Precipitation, Addison-Wesley Pub. Co. 1963, pp. 97-100,

저 자 소 개



황 덕 현 (黃 德 賢)

1978년 6월 30일생. 2002년 금오공대 제어계측과 졸업. 2007년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공석). 현재 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 박사과정.
Tel : 053-940-8601
Fax : 053-950-5508
E-mail : besthdh@hanmail.net



문 재 덕 (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 전기공학전문 과정 졸업(공박). 현재 경북대학교 IT대학 전기공학과 교수.
Tel : 053-950-5601
Fax : 053-950-5508
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr