

# 수침대 그물전극형 방전장치의 이온풍 발생특성

논문  
58-4-18

## Ionic Wind Generation Characteristics of a Water-Pen Point-to-Mesh Type Discharge System

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

**Abstract** – A point-to-mesh type discharge system, utilizing a water-pen point as a corona discharge electrode and a mesh as an ion induction electrode, has been proposed, and the effect of the water-pen point electrode of the discharge system to the ionic wind velocity and generation yield was investigated. It was observed that the proposed discharge system with the water-pen point electrode can generate a higher ionic wind velocity as compared with that of the metal point electrode. As a result, the peak ionic wind velocities of 2.61 and 4.05 m/s for the positive and negative corona discharges of the proposed discharge system can be obtained, which are 1.39 and 1.15 times higher than those of the metal point electrode with same design. The ionic wind generation yield of 4.72 m/s/W of the discharge system with the water-pen point electrode was obtained for the positive corona, which was 3.66 times higher than that of the metal point electrode. This enhancement may be due to the effect of the water-pen point electrode.

**Key Words** : Corona discharge, Ionic wind, Water-pen point, Metal point, Wind velocity, Wind generation yield.

### 1. 서 론

전자통신기기의 발달에 따라 초소형 전자소자의 발열밀도는 이미 태양표면 정도에 이르고 있어서 이를 전자소자들의 효과적인 냉각은 매우 필요한 설정이다[1-2]. 그러나 통상의 전기 송풍장치로는 이를 냉각을 위해 충분한 성능을 가지고 있지 못할 뿐만 아니라[3-4], 기계적 회전부분이 있기 때문에 전자소자용으로 소형화하기도 매우 어렵다[3-4].

최근 코로나 방전에 의해 유도되는 이온풍을 이를 전자소자용 냉각기구로 이용하고자 하는 연구가 수행되고 있다[3-9]. 이와 같은 이온풍 발생장치는 풍속의 발생과 제어가 쉽고, 특히 기계적 회전부분이 없어 마모와 소음이 없는 장점을 가지고 있다[6-8]. 그러나 아직은 발생풍속과 효율이 낮기 때문에 이에 대한 연구가 현재 수행되고 있다[6-8].

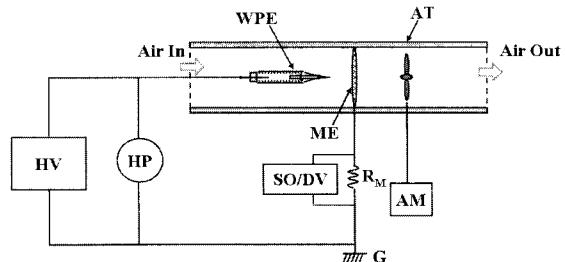
정극성 코로나 방전의 경우가 부극성보다 상대적으로 큰 이온풍속을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다[7]. 이는 정극성 이온(주로 공기분자들)이 부극성 이온(주로 전자들)보다 상대적으로 크고 무겁기 때문에, 이를 정극성 이온들이 중성 공기입자와 충돌할 때 더 큰 운동량(exchange momentum)이 전달되기 때문에, 이온풍 발생에도 더욱 효과적인 것으로 알려져 있다[9-11].

한편 침대 평판 구조의 코로나 방전장치의 금속 침전극

대신에 수성 펜을 코로나 방전전극으로 적용한 수침전극의 경우, 기존의 금속 침방전에서의 공기분자 이온에 의한 이온풍을 발생 시키지만, 수침으로부터는 공기분자 이온뿐만 아니라 하전된 미세한 수직(water droplet)도 동시에 발생하게 되어[12]. 이를 수직들은 기체분자 이온들보다 더욱 무겁고 크기 때문에 이온풍속 발생에 더욱 효과적일 수 있다.

본 논문에서는 수침을 코로나 방전전극으로 이용한 수침대 그물형 이온풍 발생장치를 제안하고, 이 수침전극이 이온풍속 발생과 그 발생 효율에 미치는 영향을 실험적으로 검토하고, 그 결과를 금속 침전극의 결과들과 비교하였다.

### 2. 실험 장치 및 방법



WPE: water-pen point electrode	ME: mesh plate electrode
HV: high-voltage power supply	HP: high voltage probe
AT: acrylic wind tube	AM: anemometer
$R_M$ : resistor for measurement	G: ground point
SO: storage oscilloscope	DV: digital voltmeter

그림 1 실험장치 개략도.

Fig. 1 Schematics of experimental setup.

\* 정희원 : 경북대 대학원 전자전기컴퓨터학부 박사과정  
† 교신저자, 편집인 : 경북대 전자전기컴퓨터학부

교수 · 공박

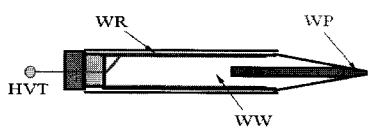
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr

접수일자 : 2009년 1월 23일

최종완료 : 2009년 2월 6일

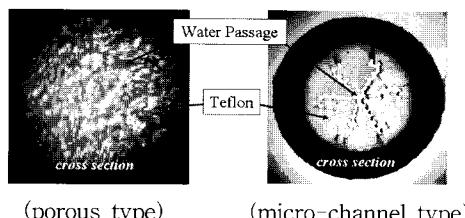
그림 1은 실험장치 개략도로서, 수침전극과 그물전극으로 구성된 이온풍 발생장치, 직류 고전압 전원, 방전 전류 및 고전압 측정장치, 그리고, 이온풍속 측정장치로 구성되었다.

이온 유도전극으로는 그물전극(stainless steel mesh, 두께 0.7 mm, 직경 25 mm, 그물눈금  $1.4 \times 1.4 \text{ mm}^2$ )이 사용되었다. 침전극과 그물전극 간의 거리는 15.0 mm로 고정되었으며, 풍속계는 그물전극 후방 35.0 mm에 설치되었다. 방전 전류와 전압은 전압계(DVM, Fluke, 75), 고전압 분압기(HP, high-volt probe, 1,000:1, Tektronix, P6015A), 그리고, 측정 저항( $R_M$ , film type resistor)을 사용하여 측정하였다. 이온풍 속은 기계식 풍속계(Mini Vane YK-80AS)를 사용하였다. 모든 실험은 온습도가 조절되는 밀폐된 챔버(acrylic,  $40 \times 50 \times 30 \text{ cc}$ ,  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $30 \pm 1\% \text{RH}$ ) 내에서 수행되었다.



HVT: high voltage terminal	WR: metal water reservoir
WW: working water	WP: water-pen point

(a) schematics of water-pen point electrode



(b) cross-section of two types of water-pen point

그림 2 수침전극 개략도 및 수로 형상.

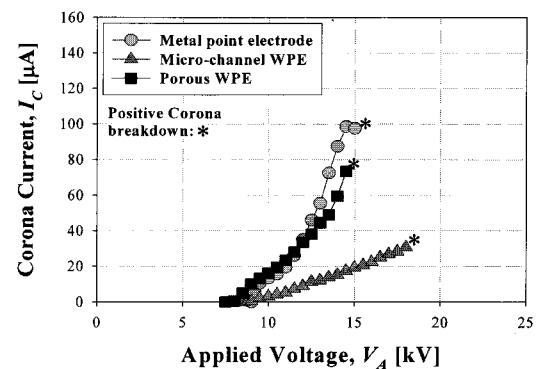
Fig. 2 Closeup configuration of water-pen point electrode.

그림 2는 본 실험에 사용된 수침전극의 개략도이며, 수침전극은 수침과 금속 수통 그리고 전원 연결단자로 구성되었다. 수침전극으로는 시판의 수성 펜촉, 즉, 실리콘 재질의 다공성 침(porous point)과 마이크로 채널 침(micro-channel point)의 2가지를 사용하였다. 그림 2(b)는 시판의 수성 펜촉 수침전극의 단면 사진으로, 다공성 수침은 35%의 기공률(porosity)을 가진 것이며, 마이크로 채널 수침은 내부에 방사상의 마이크로 채널의 수로(水路)를 가진 것으로, 곡률반경은 동일( $r=0.30 \text{ mm}$ )하게 제작하였다. 수침의 방전특성을 비교를 위해 동일 반경의 금속 침전극도 실험하였다. 수침전극에의 이온교환수(KCl)이 혼합된 전도도  $52 \text{ mS/cm}$ 가 공급액체로 사용되었다.

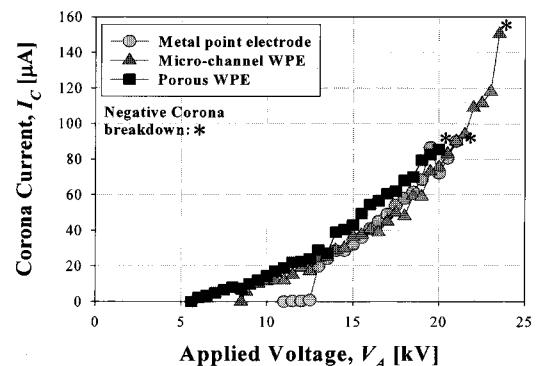
### 3. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 수침전극과 금속 침전극의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 방전전류는, 코로나 개시전압에서 흐르기 시작하여 서서히 증가하여 절연파괴에 이르는, 전형적인 침대

평판 방전특성을 나타내었다[7, 12]. 방전전류는 정극성에 비해 부극성의 경우가 더 높은 값을 얻을 수 있고, 동일 인가전압에서의 방전전류는 금속 침>다공성 수침>마이크로 채널 수침의 순서로, 금속 침의 경우가 수침에 비해 큰 방전전류가 얻어짐을 보여 주었다. 이와 같은 결과는, 수침전극의 경우 침선단이 절연체(실리콘 수지)이며 수막이 형성되어 있어서 금속 침전극에 비해 전기전도도가 낮고, 수적이 발생되기 때문인 것으로 사료된다[13-16].



(a) positive corona



(b) negative corona

그림 3 수침전극과 금속 침전극의 전류-전압 특성.

Fig. 3 I-V characteristics of water-pen point and metal point as a function of applied voltage.

한편 다공성 수침의 경우가 마이크로 채널 수침보다 더 큰 방전전류를 보여 주었다. 코로나 개시 전압은 금속 침전극에 비하여 수침전극이 낮게 나타났고, 절연파괴전압은 금속 침전극과 다공성 수침전극은 차이가 작으나, 마이크로 채널 수침의 경우는 매우 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 그림 2(b)에서 보여주는 것과 같이, 수침 선단의 수막분포와 면적의 차이, 즉, 동일한 수침이라도 다공성 수침과 마이크로 채널 수침이 전기전도도뿐만 아니라 침선단의 수 분자의 분포와 공급이 서로 상이하기 때문인 것으로 사료된다. 또한 수침의 경우는 금속 침과는 상이하게 수침 선단에서 수분자의 분사(atomization) 현상이 매우 복합적인 기구(현상)에 의해 발생되기 때문에, 방전 현상도 매우 복합적인 현상의 결과이며, 수침 선단에서의 구체적 방전 기구에 대한 연구결과는 아직 국내외에 보고된 바 없다[2, 13-16].

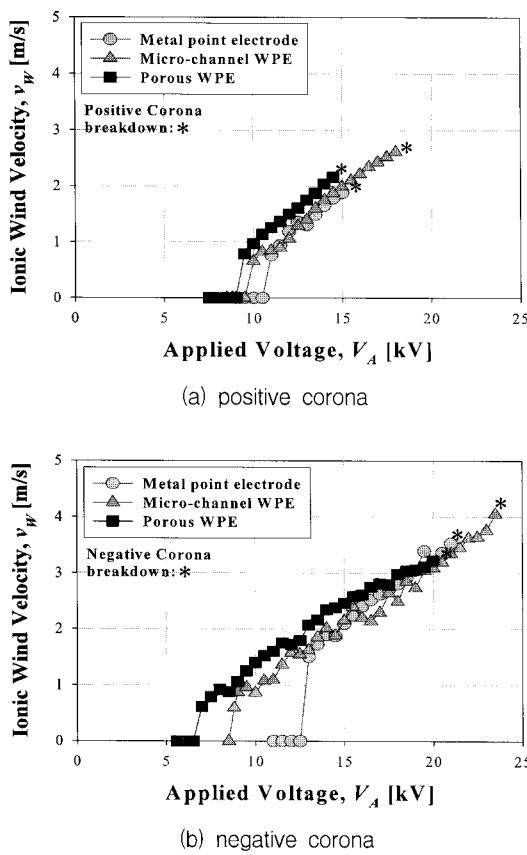


그림 4 수침전극과 금속 침전극의 이온풍 발생 특성.  
Fig. 4 Ionic wind velocity characteristics of water-pen point and metal point as a function of applied voltage.

그림 4는 수침전극과 금속 침전극의 이온풍속-인가전압 특성을 나타낸 것이다. 이온풍은 코로나 개시전압에서부터 발생하여 전압의 증가에 따라 서서히 증가하고, 절연파괴전압직전에서 최대풍속에 이르는 전형적인 침대 평판형 이온 풍 발생장치의 풍속 발생특성을 보여준다[7]. 이온풍속은 정극성에 비하여 방전전류가 더 큰 부극성의 경우 더 큰 값을 보여주며, 동일 인가전압에서의 풍속 크기는 다공성 수침>マイ크로 채널 수침>금속침의 순서로 나타났다. 수침의 경우, 동일전압에서는 다공성 수침이 마이크로 채널 수침보다 이온풍속이 높지만, 최대풍속은 절연파괴전압이 더 높은 마이크로 채널 수침이 더 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 그림 2(b)에서 보여주는 것과 같이, 동일한 수침이라도 다공성 수침과 마이크로 채널 수침이 구조적 차이, 침선단의 수막 분포와 공급의 상이 때문인 것으로 사료된다.

그림 5는 수침전극과 금속 침전극의 공급전력에 따른 이온풍속 발생이득 특성을 나타낸 것으로, 풍속 발생이득은 인가전력에 반비례하여 인가전력의 증가에 따라 급격히 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 방전의 진전에 따라 침선단에서 발생되는 이온량은 급속히 증가하나, 이들 이온들이 전달하는 운동량은 상대적으로 이온량에 1차 비례하여 증가되지 못함을 보여주는 결과라고 사료된다. 한편 부극성의 경우가 정극성의 경우보다 더 높고 넓은 범위의 풍속 발생이득을 얻을 수 있는 것은, 그림 4의 전류-전압특성에서 특성에서

유인 된 것임을 보여준다. 그리고 수침 방전전극의 경우가 금속 침전극에 비하여 보다 낮은 방전전력이나 높고 넓은 범위의 풍속 발생이득을 얻을 수 있어서 조절할 수 있는 범위도 보다 넓은 장점을 가진 것을 확인할 수 있다.

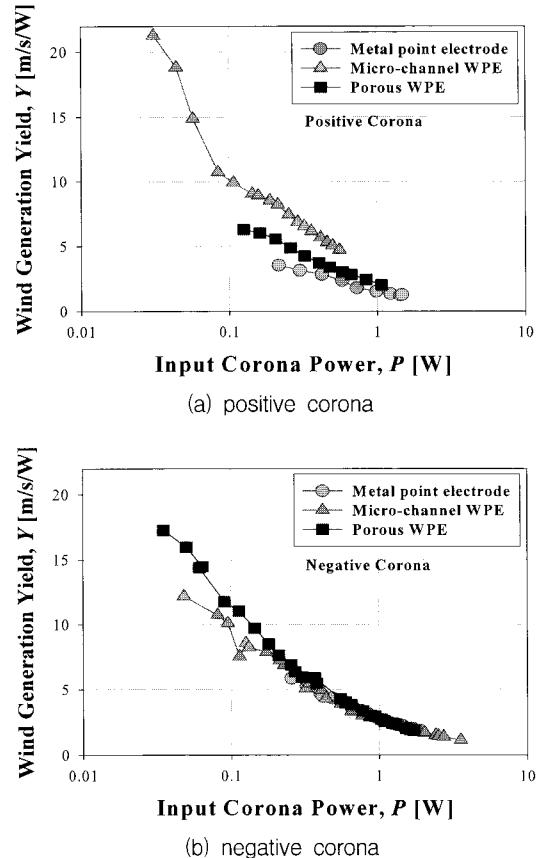


그림 5 수침전극과 금속 침전극의 공급전력- 풍속발생이득 특성.  
Fig. 5 Ionic wind generation yield characteristics of water-pen point and metal point as a function of input corona power.

이상과 같이 수침전극과 금속 침전극과의 특성 차이는 수침전극에서는 금속 침전극과는 다르게 수적이 발생되기 때문인 것으로 판단된다. 이를 확인하기 위하여, 적색 잉크를 공급용액으로 사용한 수침-평판전극간의 평판전극상에 절연지(tracing paper)를 부착하고, 방전 수침전극으로부터 발생된 수적들의 절연지상에 나타난 흔적을 확인하였다.

그림 6은 인가전압이 12.5 kV일 때의 절연지상의 수적의 흔적이다. 정극성 코로나방전일 때는 수적흔적은 매우 미세하게 나타났으며, 반대로 부극성 코로나방전의 경우는 상대적으로 큰 수적흔적을 나타내었다. 또 마이크로 채널 수침이 다공성 수침에 비하여 수적이 더 크게 나타났다.

이와 같이 극성에 따른 수적의 흔적 크기에 차이가 발생하는 이유는 코로나 방전의 극성에 따른 차이 때문으로 판단된다. 부극성 수침은 주로 정극성의 공기 이온들에 의해 충돌되어 상대적으로 큰 수적들이 방출되고, 주로 전자가 충돌하는 정극성 수침의 경우는 상대적으로 작은 수적들이 방출되기 때문인 것으로 사료된다.

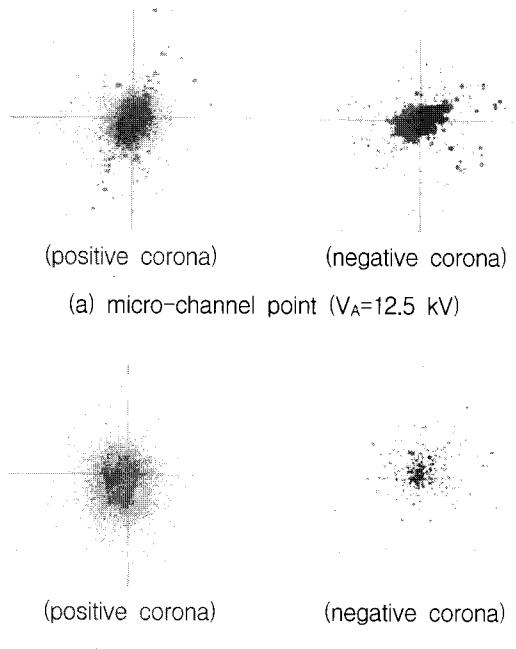


그림 6 방전 수침전극에서 분출된 수적의 흔적.  
Fig. 6 Water-droplet traces from discharge water-pen points on tracing paper.

한편 다공성 수침과 마이크로 채널 수침간의 차이는 수침 선단의 수막과 구성 실리콘 절연물의 분포 차이에 의해 발생되는 결과라고 사료된다. 즉, 다공성 수침은 넓은 면적에 수막이 형성될 수 있으나, 마이크로 채널 수침의 경우 선단이 방사상의 수막을 형성하여 수적 분사에도 영향을 주기 때문인 것으로 사료되며, 수적발생 기구[2, 13-16]의 영향도 상이하게 작용할 것으로 사료된다.

이 수적들은, 방전 수침에서 발생될 때에 전하( $Q=CV$ ,  $C=4\pi\epsilon_0a$ , 여기서,  $V$ 는 수침의 전압,  $C$ 는 수적의 정전용량,  $a$ 는 수적의 반경)를 갖기 때문에, 수침대 평판전극간의 전계에 따라 접지 평판상의 절연지에 흔적을 남기게 된다. 또한, 이들 수적들이 수침대 평판전극간의 전계에 따라 이동될 때에 이온풍 발생의 운동량 전달 매체가 되며, 수적의 크기와 분출 수가 또한 중요한 변수가 되고, 이들의 요소들이 방전 전류, 이온풍속, 그리고, 이온풍 발생이득에 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다.

표 1은 이들 침전극들의 실험결과를 비교하여 나타낸 것으로,  $V_A$ 는 인가전압,  $I_C$ 는 코로나 전류,  $P$ 는 코로나 전력,  $V_W$ 는 이온풍속, 그리고  $Y$ 는 이온풍 속 발생이득이다. 각 침전극에서 얻는 최대 이온풍속은, 정극성 방전인 경우 마이크로 채널 수침 > 다공성 수침 > 금속 침의 순서로 그 값은 각각 2.61, 2.16, 그리고 1.88 m/s로서, 마이크로 채널 수침이 금속 침전극보다 각각 1.39배와 배 다공성 수침보다는 1.21배와 배 더 높은 이온풍속을 얻을 수 있었다. 한편 부극성 방전의 경우, 각 침전극에서 얻는 최대 이온풍속은 마이크로 채널 수침 > 금속 침 > 다공성 수침의 순서이고, 그 값은 각각 4.05, 3.53, 그리고 3.22 m/s,로서, 마이크로 채널 수침이 금속 침전극보다 1.15 배, 다공성 수침보다는 1.25배 더 높은 이온풍속을 얻을 수 있음을 보여 주었다.

표 1 방전 침전극의 종류에 따른 이온풍속발생특성.

Table 1 Comparison of peak ionic wind velocity characteristics for different corona point electrodes.

Discharge Polarity	Electrode Type	$V_A$ [kV]	$I_C$ [ $\mu$ A]	$P$ [W]	$v_W$ [m/s]	$Y$ [m/Ws]
Positive Corona	Metal Point	15.0	97.5	1.46	1.88	1.29
	Micro Point	18.0	30.7	0.55	2.61	4.75
	Porous Point	14.5	73.5	1.07	2.16	2.02
Negative Corona	Metal Point	21.0	90.0	1.89	3.53	1.87
	Micro Point	23.5	150.5	3.54	4.05	1.14
	Porous Point	20.0	85.5	1.71	3.22	1.88

또한 각 침전극에서 얻는 최대 이온풍 발생이득은, 정극성 방전인 경우는 마이크로 채널 수침 > 다공성 수침 > 금속 침의 순서로 그 값은 각각 4.75, 2.02, 그리고 1.29 m/Ws로서, 마이크로 채널 수침이 금속 침전극보다 각각 3.68 배와 배 다공성 수침보다는 2.35 배와 배 더 높은 이온풍 발생이득을 얻을 수 있다. 한편 부극성 방전의 경우, 최대 이온풍 발생이득은 다공성 수침 > 금속 침 > 마이크로 채널 수침의 순서이고, 그 값은 각각 1.88, 1.87, 그리고 1.14 m/Ws로서, 마이크로 채널 수침보다 금속 침과 다공성 수침이 더 높은 이온풍 발생이득을 얻을 수 있음을 보여 주었다.

이와 같이 수침과 방전의 종류에 따라 상이한 이온풍속과 발생이득을 보여 주는 것은 수침 선단의 방전과 수적발생이 매우 복합적인 발생 기구에 의하기 때문인 것으로 사료된다 [2, 13-16].

이상의 결과는 수침의 경우, 금속 침에 비해 매우 높은 풍속을 얻을 수 있기 때문에 이온풍 발생장치로서 매우 유효한 방법 중의 하나임을 보여준다.

#### 4. 결 론

수침을 금속침 대신에 코로나 침전극으로 사용한 침대 평판형 이온풍 발생장치를 제안하고, 이온풍속 발생과 발생이득에 미치는 수침의 영향을 실험적으로 검토하고, 동일 규격의 금속 침전극과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

수침전극은 금속 침전극과 같이 전형적인 침대 평판전극간의 방전특성을 나타내었다. 금속 침에 비해 우수한 이온풍속과 풍속 발생이득을 얻을 수 있음이 실험 결과 확인되었다. 이와 같이 수침이 금속 침보다 효과적으로 이온풍을 발생시키는 이유는, 수침이 방전시에 이온풍 발생을 위한 전달 운동량이 큰 다량의 미세한 수적을 분사시키기 때문인 것으로 수적 흔적 실험 결과 확인되었다.

마이크로 채널 수침의 경우 동일 금속 침전극에 비해, 정극성 코로나의 경우에는 2.61 m/s로 1.39배, 부극성 코로나의 경우에는 4.05 m/s로, 1.15 배로 높은 풍속을 얻을 수 있었다. 마이크로 채널 수침의 경우 동일 금속 침전극에 비하여, 이온풍 발생이득도 정극성 코로나의 경우에는 4.72 m/s/W로 3.66 배로 큰 값을 얻을 수 있음을 보여주었다. 그러나 부극성 코로나의 경우, 방전전력의 증가에 따른 이온풍 속의 증가가 크지 못하기 때문에 동일한 이득이 얻어지지 못했다.

이상의 결과에서 수침이 금속 침에 비하여 매우 높은 풍속을 얻을 수 있기 때문에 이온풍 발생장치로서 매우 유효

한 방법임을 확인할 수 있다. 특히 정극성 코로나의 경우는 높은 이온풍 발생이득을 얻을 수 있고, 부극성 코로나의 경우 큰 이온풍속을 얻을 수 있음을 보여 주었다.

### 감사의 글

이 논문은 2008학년도 경북대학교 연구교수 연구비에 의하여 연구되었음.

### 참 고 문 헌

- [1] F. Yang, et al. "Corona driven air propulsion for cooling of electronics", XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, pp. 1-4, 2003.
- [2] B. Komeili, et al, "Electrohydrodynamically Enhanced Capillary Evaporator," International Symposium on New Plasma and Electrical Discharge Applications and on Dielectric Materials, pp. 111-116, August 2007.
- [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, et al, "Flow characteristics of dc wire-non-parallel plate electrohydrodynamic gas pump," Journal of Electrostatics, Vol. 66, pp. 115-121, 2008.
- [7] M. Rickard, et al. "Maximizing ion-driven gas flows," Journal of Electrostatics, Vol. 64, 368-376, 2006.
- [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] A. Rashkovian, et al, "Experimental optimization of an electric blower by corona wind", Applied Thermal Engineering, Vol. 22, pp. 1587-1599, 2002.
- [10] E. Sher, et al, "Extinction of pool flames by means of a DC electric field", Combustion and Flame, Vol. 94, pp. 244-252, 1993.
- [11] B. Komeili, J.S. Chang and G.D. Harvel, "Polarity Effect and Flow characteristics of Wire-Rod Type Electrohydrodynamic gas pump", 2006 Annual Conference Report on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 182-185, 2006.

- [12] J.-D. Moon, J.-G. Kim and D.-H. Lee, "Electro-physicochemical Characteristics of a Waterpen Point Corona Discharge", IEEE Trans on IA, Vol. 34, No. 6, pp. 1212-1217, 1998.
- [13] 정회원, 문재덕, "침식 노즐전극의 전기유체역학적 펌핑 특성", 전기학회 논문지, 10호, 57권, pp. 1812-1817, 2008.
- [14] J.-P. Borra, et al, "Electrohydrodynamic atomisation of water stabilised by glow discharge- operating range and droplet properties," Journal of Aerosol Science, Vol. 35, No. 11, pp. 1313-1332, 2004.
- [15] J.S. Eow, M. Ghadiri, "Motion, deformation and break-up of aqueous drops in oil under high electric field strengths," Chemical Engineering and Processing, Vol. 42, No. 4, pp. 259-272, 2003.
- [16] A. Jaworek, A. Krupa, "Studies of the corona discharge in ehd spraying," Journal of Electrostatics, Vol. 40-41, pp. 173-178, 1997.

### 저 자 소 개



#### 정재승 (鄭在勝)

1978년 4월 14일 생. 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 address : bucstual@empal.com



#### 문재덕 (文在德)

1946년 7월 25일 생. 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 address: jdmoon@knu.ac.kr