

날개전극형 코로나 모터의 기초 회전특성 및 에너지 효율

논문
59-10-24

Basic Rotation Characteristics and Energy Efficiencies of a Blade-Type Corona Motor

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

Abstract - A corona motor, as one of a powerful cooling means of microelectronic devices, has been employed because of its very simple structure of no coils and no brushes. In this paper, the effect of polarity of applied voltage and the number of blade corona electrodes on the fundamental properties of rotation of the motor was investigated. The I-V and rotation characteristics of the blade corona electrode were significantly different from the different polarities of applied voltages and the blade corona electrode numbers, due to the different space charge effect resulted by the different migration mobility of the positive and negative ions generated near the blade corona electrode tip of the rotor of the motor. The rotation speed of the motor was influenced significantly by the polarity of corona discharge, the number of blades, and mass of rotor. At the same corona current, an effective rotation can be obtained with the positive corona caused by the lower ion mobility. On the other hand, the higher rotation speed can be obtained with the negative corona resulted from its higher corona current. The highest rotation speed and energy efficiency can be obtained with the rotor having 4 blades.

Key Words : Corona motor, Blade corona electrode, Polarity of applied voltage, Rotational speed, Energy efficiency.

1. 서론

코로나 모터(corona motor)나 정전 모터(electrostatic motor)는 코일과 브러시(bush)가 필요한 일반 전기 모터에 비하여 회전자와 고정자의 역할을 하는 전극으로만 구성되어 그 구조가 매우 단순하다[1-4]. 그러므로 반도체 고집적 회로와 같은 극소형화 제작공정으로 전자 소자 상에 집적 제작도 가능하여 많은 소형화 연구가 수행되고 있다[2-4].

코로나 모터는 고정자를 구성하는 전극과 회전자를 구성하는 전극 중, 어느 한 전극에서 방전이 발생하여 다른 전극으로 전하가 이동되었을 때, 이 두 전극 사이에서 발생하는 정전 반발력으로 동작하게 된다[1-2, 5-6]. 그러나 이와 같은 기초 동작 원리만 문헌[1-7]에 기술되어 있는 정도이고 [1-7], 코로나 모터의 기초 동작 원리와 구체적 회전 특성 및 전력 효율에 대한 연구는 아직 보고된 것이 없어 매우 미흡한 형편이다[1, 6-7].

본 연구실에서는 초고집적용 냉각장치 연구로서, 코로나 방전에 의해 생성된 이온의 전계중의 이동을 기체의 구동력으로 적용한 전기유체역학적 가스 펌프(electrohydrodynamic(EHD) gas pump)에 관한 논문을 국내외에 발표한 바 있다[8-11]. 그러나 EHD력만으로는 충분한 효율의 가스

펌프를 구현할 수 없었다[8-9]. 따라서 코로나 방전을 이용한 좀 더 강력한 코로나 모터에 대한 연구를 수행하기 위하여, 코로나 모터에 대한 기초 구동 요소 및 회전특성에 대한 기초지식이 매우 필요하나, 이들에 대한 구체적 참고문헌을 찾을 수가 없었다[1-7]. 코로나 모터의 경우, 코로나 방전극과 방전시 생성되는 이온들(공간전하)은 코로나 방전극과 동일한 극성이므로 서로 반발하게 되고, 이것이 구동력과 회전력의 원리가 되기 때문에 인가 전원의 종류와 극성이 회전 특성에 미치는 중요 요인이 될 수 있으나, 공간전하의 극성효과 등에 대한 참고문헌도 찾을 수가 없었다[1, 2, 5-7].

본 연구는, 효과적인 고집적 전자소자 냉각장치의 연구를 위한 코로나 모터의 개발을 위한 기초연구로서, 인가전압의 극성(교류와 정 및 부 극성 직류)과 그에 따라 생성되는 이온 량(코로나 방전 전류 량)이 코로나 모터의 구동과 회전 특성에 미치는 영향과, 회전자를 형성하는 날개 전극의 수와 질량이 회전특성, 코로나 방전전력, 에너지 효율에 미치는 영향을 구체적 실험으로 연구 검토한 결과보고이다.

2. 실험 장치 및 방법

그림 1은 코로나 모터의 실험장치 개략도로서, 실험 장치는 코로나 모터부, 고전압 전원부, 전압 및 전류 측정부, 회전속도 측정부로 구성되어 있다. 코로나 모터는 그림 1에서와 같이 날개 모양의 회전자(rotor)와 접지된 원통형 그물전극(mesh electrode, stainless steel, 직경 143 mm, 길이 100 mm, 두께 0.2 mm)으로 만들어진 고정자(stator)로 구성되어 있다. 회전자는 4종류로서, 그림 1(b)과 같이 금속판(stainless steel)으로 모두 동일한 날개 모양으로 정밀 식각

* 정회원 : 경북대 대학원 전자전기컴퓨터학부 박사과정

† 교신저자, 펠로우회원 : 경북대 IT대학 전기공학과 교수 · 공박

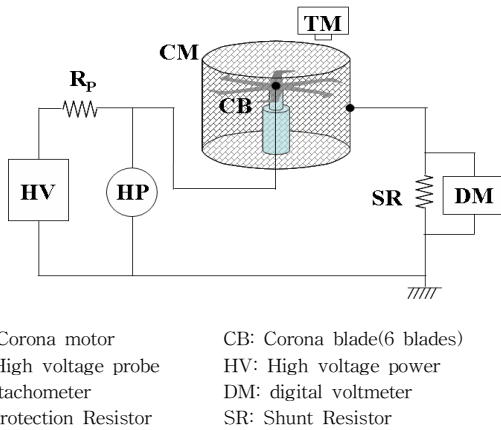
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr

접수일자 : 2010년 8월 26일

최종완료 : 2010년 9월 16일

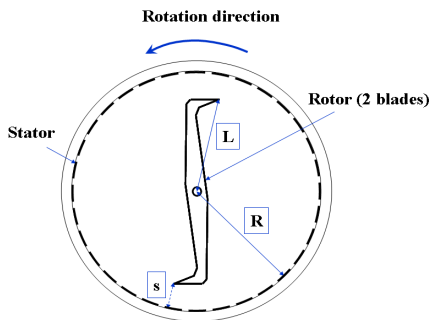
(etching)하여 만들었다. 1개의 회전자는 양쪽의 2개의 코로나 방전용 날개전극(corona blade electrode, 길이 121 mm, 두께 0.15mm)을 가지며, 4종류의 회전자의 날개전극의 수(N)는 각각 2, 4, 6, 8 개의 4종류를 실험에 사용하였다. 회전자의 질량은 전자저울(AB204, Mettler Toledo)로 측정하였고, 회전운동 에너지 및 전력 효율 계산을 위한 회전자의 관성 모멘트(Moment of inertia)는 실측 질량에서 계산 하였다. 이때 방전간격인 날개전극 선단(침전극)과 접지전극(원통전극)간의 거리(s)는 11.0 mm로 고정하여 실험하였다.

전원으로는 직류 및 교류 고전압(0~40 kV, 10 mA)을 사용하였으며, 인가전압은 고전압 분압기(HP, high-volt probe, 1,000:1, Tektronix, P6015A)와 전압계(DM, Fluke, 79)로, 방전전류는 측정저항(SR=1.00 kΩ)과 전압계(DM, Fluke, 79)를 이용하여 각각 측정하였다. 코로나 전극(회전자)의 회전속도는 회전속도 측정기(Digital Tachometer, EE-2, Shimpo)로 측정하였다. 모든 실험은 온습도가 조절되는 실험장치 내(23±2 °C, 35±2 %RH)에서 수행되었다.



CM: Corona motor CB: Corona blade(6 blades)
 HP: High voltage probe HV: High voltage power
 TM: tachometer DM: digital voltmeter
 Rp: Protection Resistor SR: Shunt Resistor

(a) 실험장치 개략도



(b) 코로나 모터의 개략도 (top view)

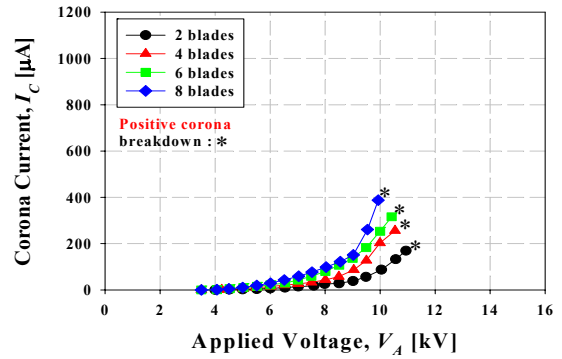
그림 1 실험장치 개략도.

Fig. 1 Schematics of experimental setup.

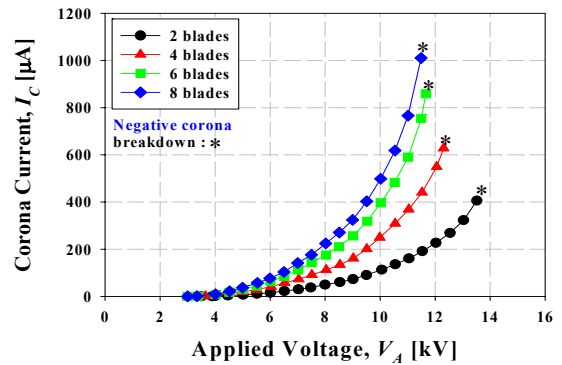
3. 실험 결과 및 고찰

그림 2는 코로나 모터의 전류-전압 특성을 인가전압의 종류와 날개전극의 수의 변화에 따라 나타낸 것으로, 코로나 전류는 코로나 개시전압에서 서서히 증가하여 절연파괴에 이르는 전형적인 침대 평판형 방전특성을 보여주었다[11,

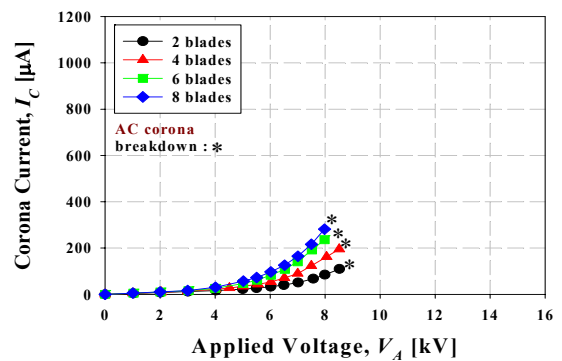
12]. 인가전압의 종류에 따라서 전류-전압 특성은 큰 차이를 나타내었고, 날개전극의 수가 동일한 경우, 방전전류의 크기는 직류 부극성>직류 정극성>교류의 순서로 나타났으며, 이는 전형적인 침대 평판형 코로나 방전특성과 동일함을 보여 주었다[8-12].



(a) 직류 정극성 방전의 경우



(b) 직류 부극성 방전의 경우



(c) 교류 방전의 경우

그림 2 날개전극의 수에 따른 코로나 모터의 I-V 특성.

Fig. 2 I-V characteristics of corona motor for different number of blade electrodes.

날개전극의 수가 증가할수록 인가전압의 종류에 무관하게 코로나 전류를 증가시키는 것은, 날개전극 수의 증가는 방전 침수의 증가로서, 방전 침수의 증가는 바로 코로나 방전전류의 증가로 이어지기 때문이다.

직류 정극성, 직류 부극성, 그리고 교류 코로나 방전시의

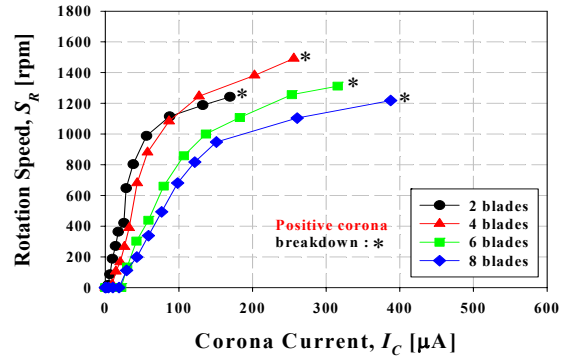
코로나 개시전압(V_C)은 각각 4.3 kV, 3.6 kV, 4.0 kV로 차이를 보여주었지만, 날개전극 수의 변화에 차이는 나타나지 않았다. 그러나 날개전극의 수(N)가 2, 4, 6, 8개로 증가할 때, 직류 정 및 부 극성 방전의 절연파괴전압(V_B)은 각각 10.94, 10.54, 10.42, 9.93 kV와, 13.51, 12.31, 11.66, 11.49 kV, 그리고 교류 방전의 경우는 각각 8.52, 8.51, 7.98, 7.97 kV로, 날개전극수의 증가는 절연파괴전압을 감소시키는 것을 보여주었다. 이는 일정 크기의 그물전극에 방전 날개전극 수(방전침 수)가 증가하게 되어 날개 당 대향하는 그물전극의 면적이 상대적으로 작아졌기 때문인 것으로 사료된다.

그림 3은 인가전압의 종류와 회전자 날개전극수의 변화에 따른 회전속도 특성을 코로나 전류를 변수로 나타낸 것이다. 회전자는 코로나 개시전압에서 회전을 시작하고, 코로나 전류의 증가에 따라 회전자의 회전속도는 증가하며, 절연파괴전압 부근에서 최대 회전속도를 보이다가, 절연파괴에 이르러 회전이 종료되는 전형적인 결과를 보여준다.

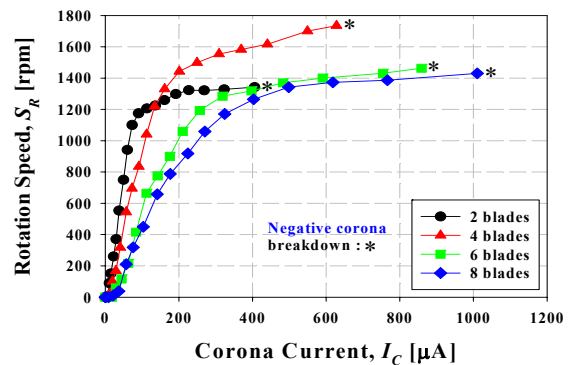
코로나 모터의 동작 소과정특성으로 볼 때, 코로나 전류의 크기는 생성 이온 수(전체 공간전하량)를, 그리고, 인가전압의 극성과 크기는 생성 이온의 극성과 이동 속도(migration ion)를 결정하게 되며, 이는 회전자(날개전극 선단)와 고정자(그물전극)간의 정전력(반발력)과 공간전하량을 결정하게 되어[12], 결국 회전자의 회전속도에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다. 따라서 그림 3을, 통상의 전압-회전수가 아닌, 코로나 전류의 크기와 극성을 변수로 하여 회전속도 특성을 나타낸 것이다.

코로나 모터의 기본 구동원리는 회전자와 공간전하(space charge)간의 반발력에 기인하여 회전하게 된다[1-2, 5-6]. 이때 이들 간의 정전 에너지(W_E)는 $W_E = Fx = qEx = qV/x$ 로 나타내어지며, 이 정전 에너지가 결국 이온들의 운동 에너지(W_K)= $mv^2/2$ 로 변하게 되므로, 결국 $W_E = W_K$ 로 주어지게 된다. 여기서 F , x , q , E , V , v , m 은 각각 정전력(Coulomb force), 공간전하와 날개전극 선단간의 간격, 공간전하량, 전계, 전압, 이온의 이동속도, 이온의 질량이다. 또 이온(공간전하)의 접지전극으로의 이동속도(v)는 $v = K_E = KV/x$ 로 주어지며, 여기서 K 는 이온의 이동도(mobility)이고, 동일한 V/x 의 조건에서는 K 는 작을수록 공간전하의 이동이 작아져서, 공간전하의 존재량이 상대적으로 많아지게 된다. 따라서 날개전극의 회전속도는 정전 에너지의 크기에 비례하게 되고 [12], 회전속도는, q 와 V 가 클수록, K 는 작을수록, 큰 값을 얻을 수 있음을 유추하여 알 수 있다.

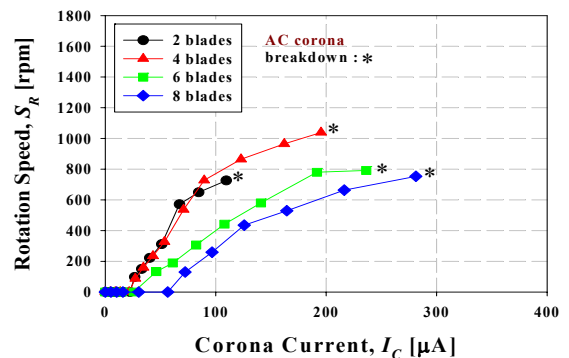
그림 3에서 회전자의 회전특성은 인가전원의 종류(즉 극성)에 따라 차이가 있으며, 동일 날개 수와 코로나 전류(즉, 이온량)에서의 회전속도는 정극성>부극성>교류 코로나 방전의 순으로 나타나며, 이는 코로나 방전의 극성에 따른 방전전류(즉 공간전하)의 극성의 차이에 의한 것이라고 사료된다. 이와 같이 동일한 코로나 방전 전류에서도 정극성의 경우가 부극성의 경우보다 회전속도가 큰 것은 공간 전하량(q)이 상대적으로 많기 때문인 것으로 사료된다. 왜냐하면, 정 및 부 이온의 이동도(mobility)는 각각 1.32와 2.11 $cm^2/V \cdot sec$ 이므로[12], 이동속도가 느린 정 이온이 동일 조건하(날개수와 코로나 전류)에서는 공간전하로 더 크게 작용하게 된다. 따라서 정극성 방전이 코로나 모터 구동 원리상으로는 부극성 코로나 방전에 비해 더욱 효과적이게 된다.



(a) 직류 정극성 방전의 경우



(b) 직류 부극성 방전의 경우

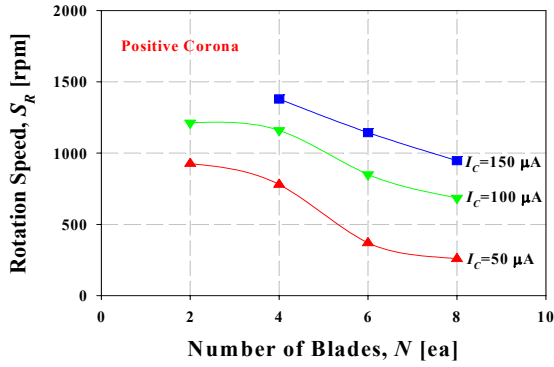


(c) 교류 방전의 경우

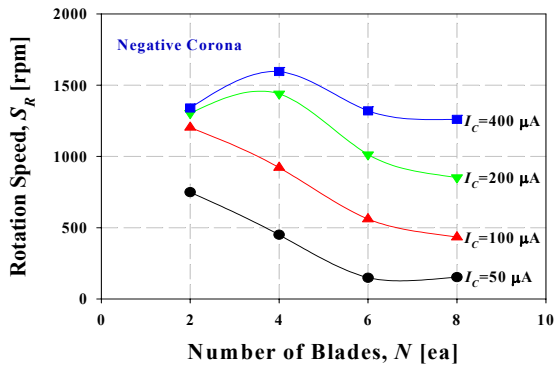
그림 3 방전전류와 날개전극의 수에 따른 코로나 모터의 회전속도 특성.

Fig. 3 Rotation speed characteristics of the corona motor as a function of corona current for different number of blade electrodes.

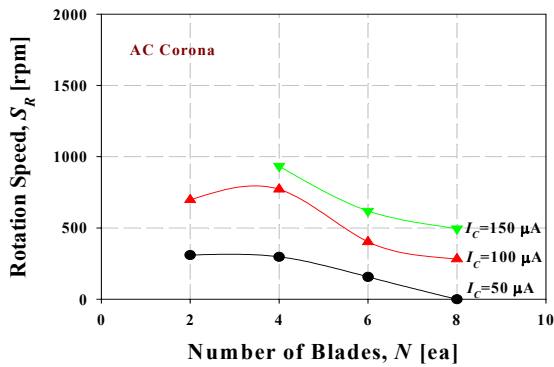
이상은 방전개시전압에서 정상 코로나 방전 영역에서는 잘 적용된다. 그러나 인가전압이 아주 높아지고 방전전류가 매우 증가된 이상 코로나 방전 영역 부근 즉, 절연파괴전압 직전에는 공간전하량과 회전속도 간의 편차가 크게 되어 회전속도가 지속적으로 증가되지 못한다. 정극성 코로나 방전의 경우 부극성 경우보다 낮은 전압(전류)에서 이상 코로나 방전 영역이 나타나는데 비하여, 정상 코로나 방전이 지속되는 부극성 코로나 방전에서는 지속적으로 회전속도가 증가하므로 회전속도의 역전이 일어나게 된다.



(a) 직류 정극성 방전의 경우



(b) 직류 부극성 방전의 경우



(c) 교류 방전의 경우

그림 4 날개전극 수 변화에 따른 코로나 모터의 회전속도 특성

Fig. 4 Rotation speed characteristics of the corona motor as a function of number of the blade electrodes.

부극성 코로나 방전의 경우, 절연과괴전압($V_B=11.49\sim 13.51$ kV)이 정극성의 경우($V_B=9.93\sim 10.94$ kV)보다 1.16~1.23 배 더 높기 때문에, 더 높은 전압의 인가가 가능하고 따라서 더 높은 코로나 전류를 얻을 수 있기 때문에, 부극성 코로나 방전에서의 최대 회전속도는 $S_R=1,734$ rpm으로 정극성 코로나 방전의 $S_R=1,492$ rpm보다 1.16 배 더 높은 회전속도를 얻을 수게 된다. 따라서 고속의 회전속도를 얻기 위해서는 직류 부극성 방전이 더욱 유효함을 보여준다.

한편 교류 코로나 방전의 경우는 절연과괴전압과 코로나

전류가 직류 정 및 부 극성 방전에 비해 매우 낮기 때문에, 결국 약한 구동력을 보이게 되므로 효과적이지 못함을 보여 주었다.

그림 3과 4는 인가전압의 극성과 코로나 전류의 크기뿐만 아니라, 날개전극의 수(즉, 회전자 수)도 회전속도에 큰 영향을 주는 것을 보여준다. 날개전극의 수가 적을수록 회전속도는 급격히 증가하고 바로 포화에 이르며, 날개전극수가 증가하면, 회전속도는 천천히 그러나 더 높게 증가하고 또 더 늦게 포화함을 보여준다. 이는, 그림 2에서 보여주는 것처럼, 날개전극의 수(즉, 방전 침전극의 수)의 증가가 코로나 전류의 증가를 가져오며, 이는 공간전하량(q)을 증가시켜 결국 회전속도를 증가하는 요인이 되기 때문이다. 그러나 날개전극의 수가 증가함에 따라 회전자의 질량(M)도 증가(표 1 참조)하게 되어, 결과적으로 날개전극수의 증가와 코로나 전류 증가사이에 적정 값이 존재하게 된다. 이는 그림 5에서 보여주듯이, 날개전극의 수가 4 개일 경우가 적정 조건으로 가장 빠른 회전속도를 얻을 수 있음을 보여준다.

표 1 코로나 모터용 날개전극의 수와 질량.

Table 1 Number and mass of the blade electrode of the corona motor.

날개 수(N)	회전자 질량(M)	날개 당 질량(M/N)
2 개	1.36 g	0.68 g
4 개	2.50 g	0.62 g
6 개	3.57 g	0.59 g
8 개	4.53 g	0.57 g

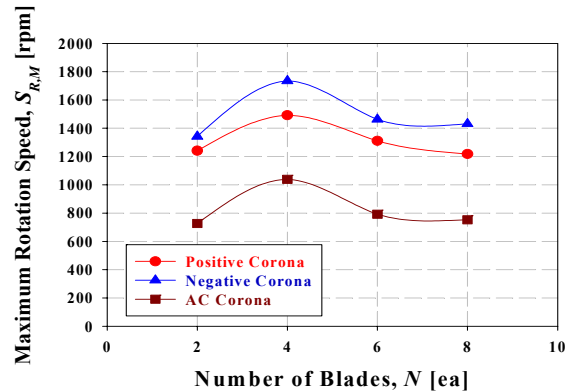


그림 5 코로나 모터의 전원종류(극성) 및 날개전극 수 변화에 따른 최대 회전속도

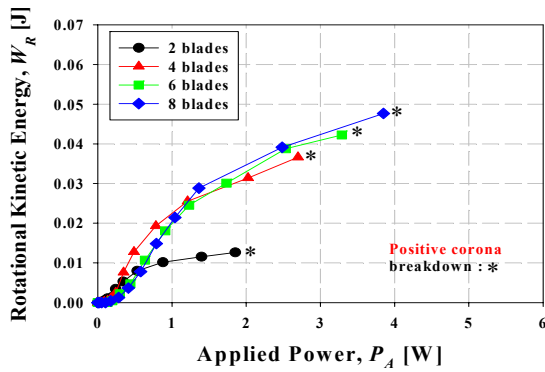
Fig. 5 Rotation speed characteristics of the corona motor as a function of number of the blade electrodes for the different applied voltages.

고정 축에서 회전하는 날개전극의 운동 에너지는, 날개전극의 각 부위의 운동 에너지의 집합으로 생각하고, 이 부위가 고정축에 대해 각속도 ω 로 회전한다고 가정할 수 있다. 고정 축으로부터 r_i 만큼 떨어져 위치한 개개 부위의 운동 에너지는 그 부위의 질량(m_i)과 접선 속도(v_i)에 의해 정해진다. 따라서 i 번째 부위의 운동 에너지 W_i 는 $W_i=m_i v_i^2/2$ 로 주어진다. 날개전극의 각 부위는 동일한 각속도(ω)를 갖지

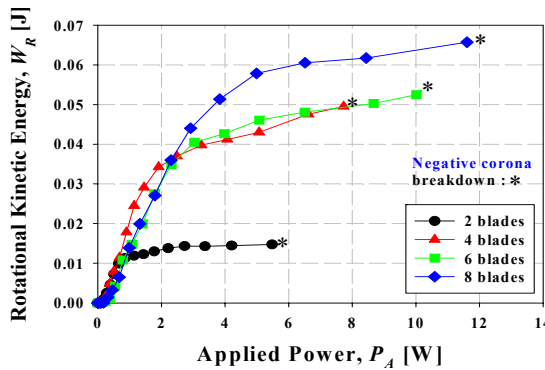
만, 그 부위들 각각의 접선속도는 $v_i=r_i\omega$ 처럼 회전축으로부터의 거리(r_i)에 의해 결정되고, 날개전극의 전체 운동에너지(W_B)는 각 부위의 운동 에너지의 합(W_B)은 다음의 식(1)과 같이 나타내어진다[13].

$$W_B = \sum_i W_i = \sum_i \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \frac{1}{2} \sum_i m_i r_i^2 \omega^2 = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (1)$$

여기서 I 는 관성모멘트(moment of inertia)로 $I = \sum_i m_i r_i^2$ 이다. 회전자의 전체 운동 에너지(W_R)는 각 날개전극 수의 운동 에너지(W_B)의 합($W_R = \sum_i W_B$)이다. 또한 코로나 방전 전력에 의한 방전 전력(P_A)는 $P_A = I_C V_A$ 에서 얻을 수 있고, 여기서 I_C 와 V_A 는 각각 코로나 전류와 코로나 전압이다.



(a) 직류 정극성 방전의 경우



(b) 직류 부극성 방전의 경우

그림 6 코로나 전력 변화에 따른 회전자의 회전운동 에너지.
Fig. 6 Rotational kinetic energy of rotor as a function of corona power.

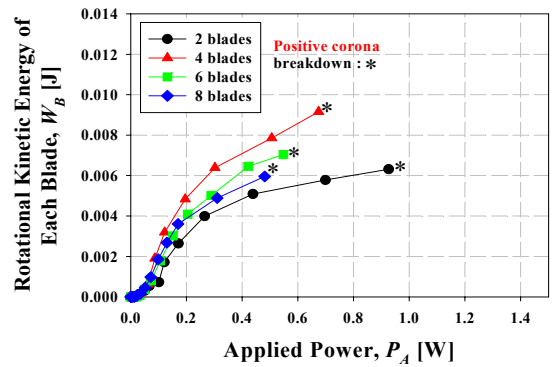
그림 6은 날개전극 1개당 및 회전자 전체의 회전운동 에너지를 인가 직류전압 극성과 소비전력($P_A = I_C V_A$)을 변수로 하여 나타낸 것이다. 이 때, 회전속도 특성이 좋지 않은 교류 전압의 경우는 생략하였다.

그림 6에서처럼, 정 및 부 극성 모두, 날개전극을 많이 갖는 회전자일수록 보다 큰 회전운동 에너지를 얻는데, 이는 날개전극의 수 증가가 코로나 방전전류의 증가로 나타나고,

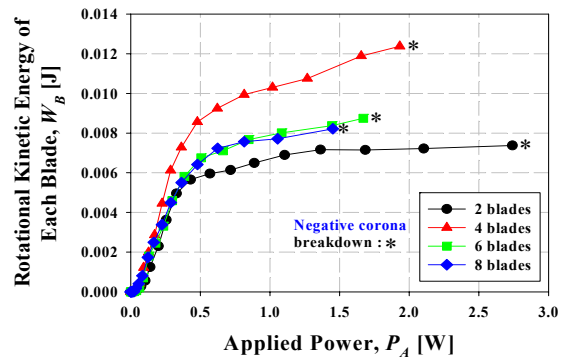
방전전류 증가는 공간전하 증가로, 결국 날개전극의 개수가 더 큰 운동에너지를 얻게 됨을 보여준다.

그림 3과 4에서 날개전극의 수가 증가가 코로나 전류를 증가시켜 회전속도도 증가시키나, 회전자의 질량도 같이 증가시킴으로, 회전자의 질량을 고려한(동일 질량화 한) 경우의 회전 특성을 구하여야 회전자별 특성(효율)을 서로 비교할 수 있다.

그림 7은 회전자를 구성하는 날개전극 1개당 회전운동 에너지를 인가 직류전압 극성별 및 소비전력을 변수로 하여 나타낸 것이다. 그림 6에서는 날개전극수가 많은 수록 큰 운동 에너지를 얻을 수 있었지만, 그림 7에서는 날개전극의 수가 4개일 때가 가장 큰 개별 회전운동 에너지를 가진다. 날개전극이 2 개일 경우에는 충분한 코로나 전류를 얻지 못하여 회전운동 에너지가 가장 작으며, 날개전극이 6, 8 개로 증가할 경우에는 표 1에 나타난 것처럼 회전자의 무게가 증가하게 되어, 코로나 방전에너지가 증가하더라도, 개별 운동 에너지는 증가되지 못함을 보여준다.



(a) 직류 정극성 방전의 경우



(b) 직류 부극성 방전의 경우

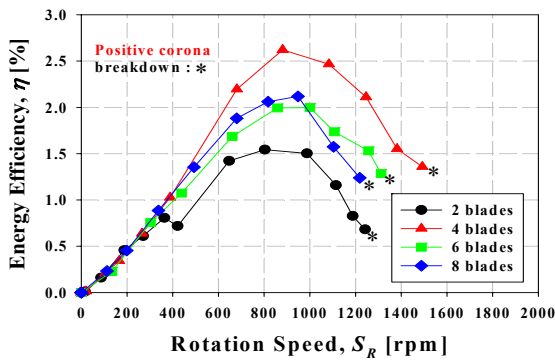
그림 7 코로나 전력 변화에 따른 날개전극당 회전 운동 에너지.

Fig. 7 Rotational kinetic energy per corona blade as a function of corona power.

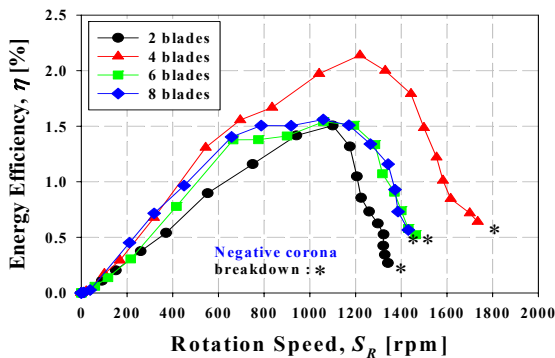
코로나 모터의 요구되는 특성 중 회전속도 특성과 에너지 효율이 높고, 소비 코로나 전력이 회전자의 회전운동 에너지로 충분히 변환되는 즉 높은 전력효율이 요구된다. 코로나 방전전력에 의한 방전 에너지(W_D)는 $W_D = P_A t = I_C V_A t$ 에서

얻을 수 있고, 여기서 P_A , t , I_C , V_A 는 각각 코로나 전력, 전력 인가시간, 코로나 전류, 그리고 코로나 전압이다. 회전 에너지(W_R)는 방전 전력 에너지(W_D)로부터 발생하기 때문에 결국 $W_R = \eta K_D$ 로 주어지며, 이들 식에서 회전 효율(η)은 $\eta = W_R/W_D$ 로 구할 수 있다.

그림 8은 코로나 모터의 회전속도 변화에 따른 에너지 효율을 나타낸 것이다. 회전속도 변화에 따른 에너지 효율은, 회전속도가 낮을 때는 날개수가 4개>8개>6개>2개 순으로 정 및 부극성 모두 날개전극 개수가 4개일 때 가장 높은 에너지 효율을 얻을 수 있음을 보여준다. 그러나 최대 운동 에너지 효율은, 정 및 부극성 코로나 방전의 경우 각각 880 rpm 일 때의 2.6 % 및 1200 rpm일 때의 2.2 %로 정극성의 경우가 부극성의 경우보다 더 높은 에너지 효율을 얻을 수 있음을 보여준다.



(a) 직류 정극성 방전의 경우



(b) 직류 부극성 방전의 경우

그림 8 코로나 모터의 회전속도별 에너지 효율.
Fig. 8 Energy efficiency of the corona motor as a function of rotation speed.

3. 결 론

본 연구는, 고집적 전자소자용 냉각장치용 코로나 모터의 개발을 위한 기초연구로서, 인가 전원의 극성이 코로나 모터의 기초 동작 및 회전 특성에 미치는 영향과, 회전자 날개전극의 수와 질량이 에너지 효율에 미치는 영향을 실험적으로 연구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

동일한 코로나 전류에서는 정극성>부극성>교류의 순서로

회전속도를 얻을 수 있었다. 이는 정 이온의 이동도가 부 이온의 것보다 매우 작기 때문에, 정 이온의 공간전하가 회전력에 더 큰 영향을 주기 때문인 것이라고 사료된다. 그러나 부극성 코로나 방전의 경우는 더 큰 코로나 전류를 얻을 수 있기 때문에, 최대 1,734 rpm의 회전속도를 얻을 수 있으며, 이는 정극성 코로나 방전에서의 최대 회전속도인 1,492 rpm보다 1.16 배 높다. 그러므로 최대 회전속도를 얻는 것은 부극성 코로나 방전이 더 유효한 것으로 나타났다.

코로나 전극과 공간전하간의 전기적 반발력을 이용한 코로나 모터는 날개전극의 개수에 회전이 크게 영향을 미치며, 날개전극의 수가 증가할수록 더 큰 운동에너지를 가지는 것을 보여주었다. 그러나 날개전극의 수의 증가는 회전자의 질량도 증가되어 동일한 전류(전력)에서의 회전속도는 증가하지 못하였고, 따라서 날개전극의 개별 운동에너지는 감소한다. 그러므로 최대 회전속도와 에너지 효율을 얻을 수 있는 적절한 날개전극의 수가 존재하게 되고, 본 실험에서는 정 및 부극성 모두 날개전극 개수가 4개일 때 가장 높은 에너지 효율, 즉, 정 및 부극성 코로나 방전의 경우 각각 880 rpm 일 때의 2.6 % 및 1200 rpm일 때의 2.2 %를 얻을 수 있었고, 이온 이동도가 느린 정극성의 경우가 부극성의 경우보다 약 1.18 배의 더 높은 에너지 효율을 얻을 수 있음을 보여주었다.

감사의 글

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2008-313-D00396)

참 고 문 헌

- [1] O. Jefimenko, Electrostatic Motors, Electret Scientific Co, Star City, 1973.
- [2] S. Lee, D. Kim, M.D. Bryant, F.F. Ling, "A micro corona motor," Sensors and Actuators, Vol. A 118, pp. 226 - 232, 2005.
- [3] 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, Vol. 43, No. 3-4, pp. 211-216, 2009.
- [4] A. Yamamotoa, T. Niino, T. Higuchi, "Modeling and identification of an electrostatic motor." Precision Engineering, Vol. 30, No. 1, pp. 104 - 113, 2006.
- [5] A.D. Moore Editor, Electrostatics and Its Applications, New York: John Willey & Sons, Inc., 1973, pp. 131-147.
- [6] S. Lee, D Kim, M Bryant, F. Ling, A micro corona motor, Sensors and Actuators, A 118, 2005, pp. 226-232.
- [7] 문제덕, 이동훈, "정전모터의 연구현황과 개발동향,"

Vol 40, No. 2, pp. 8-19, 1991.

- [8] J.-D. Moon, D.-H. Hwang, S.-T. Geum, "An EHD Gas Pump Utilizing a Ring/Needle Electrode," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 16, No. 2, pp. 352-358, 2009.
- [9] J.-D. Moon, J.-S. Jung, J.-G. Kim, S.-T. Geum, "An EHD Gas Pump Utilizing a Wet Porous Point Electrode," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 16, No. 3, pp. 622-628, 2009.
- [10] 정재승, 문재덕, "금속관형 코로나 방전극을 적용한 효과적인 이온풍 발생," 전기학회논문지, Vol. 59, No. 3, pp. 599-603, 2010.
- [11] 황덕현, 문재덕, "방전 침전극의 곡률반경이 이온풍 발생에 미치는 영향," 전기학회논문지, Vol. 59, No. 3, pp. 604-608, 2010.
- [12] 大木正路, 高電壓工學, pp 40-42 (1980) (日本語本)
- [13] R.A. Serway, 대학물리학I, 6th edition, 서울:북스힐, 2004, pp. 204-230

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, IT대학, 전기공학과 교수.

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