

초소형 정전유도형 전동기의 개발을 위한 기초 연구

(A Basic Study of Development of Miniature
Size Electrostatic Induction Motor)

李東勳*
(Dong-Hoon Lee)

요 약

초소형 정전유도형 정전전동기의 개발을 위한 기초연구로서 회전자 물질의 표면저항률, 비유전율 및 전하완화시정수의 변화에 따른 회전자의 회전속도특성을 조사하였다. 회전자표층물질의 비유전율 및 표면저항률은 클수록 회전자의 회전속도는 증가하였으며, 또한 이 두 요소를 곱한 회전자표면에 유도된 전하의 완화시정수가 클수록 회전속도는 증가하였다. 한편 회전자표층물질로서 도전성물질(Ti)을 폴리프로필렌 위에 불연속적으로, 즉 띠의 모양으로 증착한 시료를 사용하여 띠의 폭 및 경사각의 변화에 따른 회전자의 회전속도특성 및 토크 특성을 조사하였다. 이 경우 띠의 폭이 적어질수록 회전자의 회전수는 지수함수적으로 증가하였으며, 등간격으로 세분화한 것을 회전자의 축에 대해서 회전방향으로 경사각 θ 만큼 기울였을 때 $\theta=60^\circ$ 및 150° 일 때 회전자의 회전속도가 가장 큰 것으로 나타났으며, 특히 경사각 $\theta=0^\circ$ 일 때에 비해서 약 125[%]정도 높은 회전속도를 보였다. 최대토크 및 최대출력은 각각 25×10^{-6} [Nm] 및 11.5[mW]이었다.

Abstract

A miniature size electrostatic induction motor has been fabricated and studied parameters influencing dominantly to the motor speed, such as the surface resistivity and relative dielectric constant of the rotor surface materials and the concurrently calculated relaxation time constants. It is found that the higher resistivity and/or the higher relative dielectric constant, concurrently the longer relaxation time constant of the rotor surface materials make the motor speed get higher speed. In case of discrete coated rotor surface, it is found that the motor speed was increased logarithmically as narrow as width of the discrete coated Ti. When the degree of width of discrete coated Ti to the axial direction of the rotor was 60° and 150° , the motor has got a 125[%] higher than that at the degree of 0° . The maximum torque and output power was 25×10^{-6} Nm and 11.5×10^{-3} W at 625[rad/sec]

*正會員: 부경대학교 안전공학과 교수

接受日字: 1996年 2月 28日

1. 서 론

정전형전동기는 18~19세기에 걸쳐 많은 연구가 시도되었으나 현재까지 실용에 이르지 못하고 있는 실정이다.^{1~6)} 그러나, 1980년대에 들어 기계, 전기와 전자산업들의 기술향상과 반도체 소자 및 부품의 전반적인 초소형화 추세와 실리콘 고집적소자제품기술과 미세구조조작기술(micromachining technology)이 진전됨에 따라 초소형전동기의 개발이 크게 요구되고, 정전형마이크로 전동기가 대량생산성, 효율성, 소비전력의 극소성 등 종래의 자기형전동기가 갖지 못하는 우수한 특성과 재현성을 가짐이 확인 됨에 따라 많은 연구자들에 의해 폭넓은 연구가 수행되고 있는 실정이다.⁷⁾

정전유도형전동기는 자기유도형전동기의 원리와 유사하나 회전자는 약도전성 또는 유전성물질로 되어 있고, 회전자의 주위에 원주방향으로 고정자전극이 설치되어 있는 구조로 되어 있다. 회전자표면에는 인가 회전전계보다 지연된 유기쌍극자전하(time lag induction of charge)가 유도되는데, 이 지연된 유기전하와 고정자전하 사이에 쿨롱의 법칙에 의한 반발력이 전동기의 회전력으로 되므로 회전자표면에 유기된 전하의 밀도, 완화시간, 그리고 전하의 분포와 분산이 정전유도형전동기의 특성에 중요한 변수로서 작용하게 된다.

본 논문은 마이크로 정전유도형전동기의 개발을 위한 기초 연구로서, 비교적 제작이 용이한 센티미터 크기의 전동기를 제작하고, 1단계 연구로서 회전자의 전 표면을 도전성 및 강유전성 물질로 증착 또는 코팅하여 회전자재료의 표면저항률(surface resistivity), 비유전율(relative dielectric constant) 및 유기전하완화시정수(induced charge relaxation time constant)의 변화가 전동기의 회전속도에 미치는 영향을 검토하고, 2단계의 연구로서 회전자의 전표면을 도전성물질인 티타늄(titanium)을 불연속적(discrete)으로 진공 증착한 물질을 회전자표면물질로 사용하였을 때 불연속한 띠의 폭과 경사각의 변화가 전동기의 회전속도 및 토크에 미치는 영향을 검토하였

다.^{10~13)} 검토한 결과 회전자의 표면을 불연속적으로 도전성물질을 처리한 것이 회전자의 표면을 연속적으로 처리한 것보다 우수한 전기적특성을 가짐을 알 수 있었다. 따라서 본 논문은 향후 마이크로크기의 전동기를 제작하기 위한 기초연구 자료를 제공함으로써 충분한 가치를 가질 수 있다고 사료된다.

2. 실험방법 및 실험장치

그림 1은 본 실험을 위해 제작된 정전유도형 전동기의 외형개략도 및 사진이다. 전동기의 회전자는 내부가 빈 절연원통형(nylon-66)으로 외경은 25[mm], 내경은 23[mm], 길이는 50[mm]로서 직경 2[mm]의 스테인레스금속(stainless steel)봉을 축으로 하여 지지되어 있고, 질량은 10.00[g]이다. 전동기의 고정자(nylon-66)는 원통형으로 내경은 26[mm], 길이는 60[mm]로서 내부표면(회전자의 대향면)에는 도전성테이프(copper tape, 7[mm] width, 90[μ m] thick)로 된 6개의 고정자전극이 회전자표면과 대향하여 설치되어 있다.

고정자전극간의 간격(interelectrode spacing)은 좁게 하는 것이 전동기의 소형화 및 고정자전극수를 늘일 수 있는 장점이 있으나, 너무 좁으면 고정자전극 간에 스파크가 발생하기 때문에 인가 전압을 낮게 해야 하는 문제점이 있다. 본 실험에서는 고정자전극 간의 간격을 설정하기 위하여 기초실험으로서 고정자전극 간격을 7[mm]와 8[mm]인 경우에 대해 I-V 특성을 측정한 결과 인접 전극간의 부분방전개시전압이 간격이 8[mm]일때 약 5.1[kV]임을 확인하고, 고정자 전극간의 간격을 8[mm], 최대인가전압은 약 5[kV]로 결정하여 실험했다. 또한 회전자와 고정자사이의 공극(air gap)은 토크를 증가시키기 위해 가능한 한 적게 할 수록 좋으나 기계적인 제작의 정밀성을 고려하여 본실험에서는 0.5[mm]로 결정하여 실험했다.

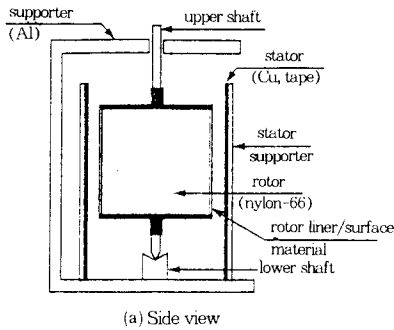
전동기구동을 위한 인가전원장치의 출력파형은 상용의 교류전원과 동일하며, 다만 전압은 최대 10[kV]까지, 주파수는 최대 1[kHz]까지 가

변되도록 되어있다. 표 1은 본 실험을 위하여 제작된 전동기의 사양을 나타낸 것이다. 표 2는 회전자내층물질(rotor liner materials)의 표면저항률의 변화를 위해서 polypropylene sheet(두께 85(μm) PP)를 기본물질로 하여 PP 위에 Ti(titanium, Rare Metal Co., Japan, 4N)을 5(\AA)에서 50(\AA), 그리고 Ni(nickel, Catayama Chemical Co., Japan, 4N)을 10(\AA)에서 20(\AA)까지 진공증착장치(Anelva Co., Japan, EVD-500A)를 이용하여 증착한 회전자내층물질의 전기적특성을 나타낸다. 표 3에서는 회전자표층물질(rotor surface materials)의 비유전율을 변화시키기 위하여 비유전율이 비교적 큰 BaTiO₃와 TiO₂(Aldrich Co., USA)을 10[%]에서 80[%]까지 함유량별로 절연성결합제(resin binder)와 혼합해서 교반기로 약 800[rpm]에서 12시간 이상 교반해서 Screen Printer법에 의해 두께 약 20

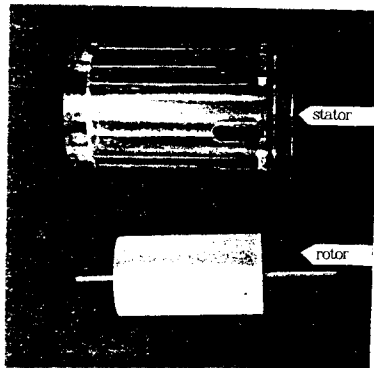
(μm)로 제작한 회전자표층물질의 전기적특성을 나타내었다.

Table 1. Specifications of fabricated motor

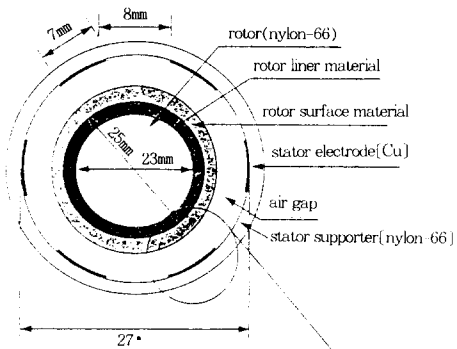
Specifications of tested motor	
air gap	0.5[mm]
outer diameter of rotor	25.0[mm]
inner diameter of rotor	23.0[mm]
length of rotor	50.0[mm]
weight of rotor	10.0[g]
surface area of rotor	$98.2 \times 10^3[\text{mm}^2]$
diameter of stator	26.0[mm]
width of stator electrode	7.0[mm]
interelectrode spacing between stator electrode	8.0[mm]
number of pole pair	2
applied voltage to the motor tested, V	0~5,000[V]
applied frequency to the motor tested, f	0~300[Hz]



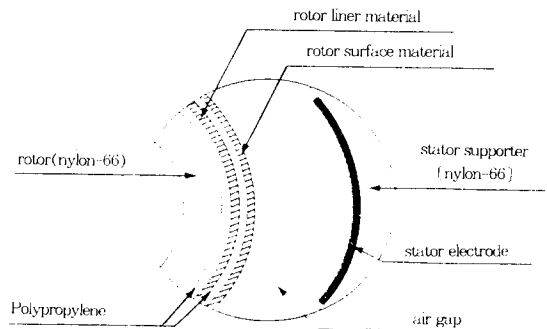
(a) Side view



(c) Top view and closed up



Detail



(b) Photograph

그림 1. 제작된 정전유도형 전동기의 외형도 및 사진

Fig. 1. Schematic diagram and photograph of electrostatic induction motor fabricated

Table 2. Electric characteristics of rotor liner materials

surface materials of the rotor	surface resistivity $\rho_s(\Omega/\square)$	symbol
polypropylene	8.5×10^{11}	PP
Ti 5Å vapour deposited on polypropylene	4.3×10^{11}	Ti 5Å
Ti 10Å vapour deposited on polypropylene	3.2×10^{11}	Ti 10Å
Ti 20Å vapour deposited on polypropylene	2.8×10^{11}	Ti 20Å
Ti 30Å vapour deposited on polypropylene	3.4×10^{10}	Ti 30Å
Ti 40Å vapour deposited on polypropylene	3.4×10^9	Ti 40Å
Ti 50Å vapour deposited on polypropylene	2.6×10^9	Ti 50Å
Ti 10Å vapour deposited on polypropylene	1.4×10^9	Ni 10Å
Ti 15Å vapour deposited on polypropylene	2×10^6	Ni 15Å
Ti 20Å vapour deposited on polypropylene	2×10^6	Ni 20Å
copper tape	0	Cu

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 연속형 표면전하 정전유도형 전동기의 특성

정전유도형전동기의 동작기구중 중요한 요인 중의 하나는 유기전하의 완화를 결정하는 회전자 물질의 전기저항이라고 할 수 있다. 따라서, 회전자 물질의 전기저항이 회전자의 회전자에 미치는 영향을 실험적으로 검토하였다.

그림 2는 회전자표층물질로서 표 2 및 표 3에 나타난 것과 같은 PP, Ti 5[Å], Ti 15[Å], Ti 60[Å] 및 BaTiO₃ 80[%]로 하고, 인가전압 및 주파수를 4.5[kV] 및 60[Hz]로 각각 고정하였을 때, 회전자내층물질의 표면저항률 ρ_s 의 변화에 따른 회전자의 회전수를 나타낸 것이다. 이때 회전자내층물질의 표면저항률의 변화는 회전자 물질이 내측표면에 Ni의 증착량을 적절히 조절함으로써 가능하였다. 그림 2에서 보듯이 회전자내층물질의 표면저항률이 증가할수록 회전자의 회

Table 3. Electric characteristics of rotor surface materials

rotor materials	dielectric constant(ϵ_r) at 120[Hz]	surface resistivity $\rho_s(\Omega/\square)$	relaxation time constant $\tau = \epsilon_r \epsilon_0 \rho_s$ ($\times 10^2 \text{sec}$)	symbol
Binder + 10% TiO ₂	10.5	0.6×10^{10}	55.8	TiO ₂ 10%
Binder + 20% TiO ₂	12.5	0.6×10^{10}	63.8	TiO ₂ 20%
Binder + 30% TiO ₂	14.3	0.6×10^{10}	76.0	TiO ₂ 30%
Binder + 50% TiO ₂	20.7	0.7×10^{10}	128.3	TiO ₂ 50%
Binder + 70% TiO ₂	38.6	0.8×10^{10}	273.4	TiO ₂ 70%
Binder + 10% BaTiO ₃	19.2	0.7×10^{10}	119.0	BaTiO ₃ 10%
Binder + 20% BaTiO ₃	27.6	0.8×10^{10}	195.5	BaTiO ₃ 20%
Binder + 30% BaTiO ₃	33.7	0.8×10^{10}	238.7	BaTiO ₃ 30%
Binder + 40% BaTiO ₃	45.9	0.8×10^{10}	325.2	BaTiO ₃ 40%
Binder + 50% BaTiO ₃	57.3	0.8×10^{10}	405.9	BaTiO ₃ 50%
Binder + 60% BaTiO ₃	63.9	0.9×10^{10}	509.3	BaTiO ₃ 60%
Binder + 70% BaTiO ₃	75.5	0.9×10^{10}	580.9	BaTiO ₃ 70%
Binder + 80% BaTiO ₃	85.4	1.1×10^{10}	831.8	BaTiO ₃ 80%

전수가 감소함을 보여준다. 이는 회전자내층물질의 표면 저항률이 적을수록 회전자표층상에 유기분극된 쌍극자의 밀집상태를 균일하게 함으로써 상대적으로 유기전하수를 증가시킨 것과 같은 효과를 갖기 때문이다.

그림 3은 회전자내층물질로서 Cu, Ni 10[Å] 및 Ti 50[Å]을 사용하고 회전자표층물질의 표면저항률 ρ_s 의 변화에 따른 회전자의 회전수를 나타낸 것이다. 이때 회전자표층물질의 표면저항률의 변화는 회전자의 내측표면에 Ti의 증착량을 조절함으로써 가능하였다. 회전자표층물질의 표면저항률이 증가할수록 회전수가 완만히 증가

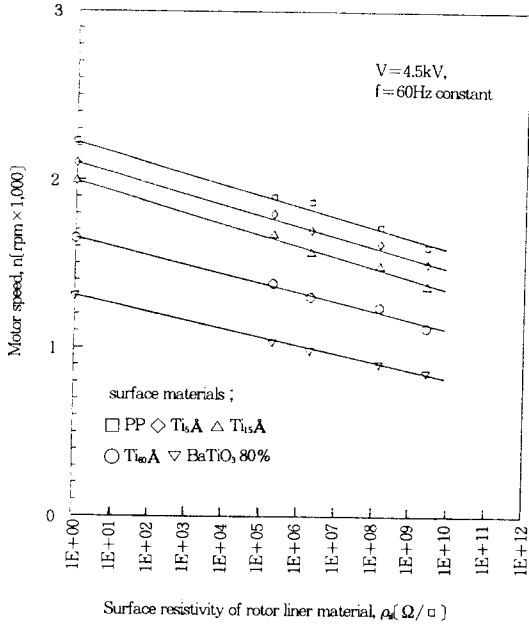


그림 2. 회전자내층물질의 표면저항을 변화에 따른 회전 속도
 Fig. 2. Motor speed as a function of surface resistivity of rotor liner material

하면서 어느 값 이상으로 되면 포화됨을 보여 주었다. 이는 회전자표층물질의 표면저항률이 적을수록 회전자표층물질의 표면에 유기된 전하의 완화시간이 짧아지고, 이로 인하여 상대적인 유기전하밀도가 작아지기 때문에 회전자의 회전수가 감소한다. 한편 표면저항률이 증가하면 회전자표층물질의 표면에 유기된 전하의 완화시간이 비교적 길어지기 때문에 유기전하의 殘存時間이 커짐에 따라 殘存유기전하밀도가 상대적으로 커져서 회전수가 증가한다. 그러나 표면저항률 ρ_s 가 $10^{12} \Omega/\square$ 이상되면 유기된 전하의 완화시간이 너무 길어져서 오히려 殘存유기전하밀도가 어느 값에서 포화되므로 인해 회전속도가 일정한 값으로 된다. 따라서, 실용적인 면에서는 회전자표층물질로서는 전기저항이 큰 물질을, 내층물질로서는 전기저항이 작은 물질을 사용함이 좋다.

그림 4는 회전자표층물질의 비유전율 ϵ_r 의 변화와 인가전압을 4.1[kV], 4.5[kV], 4.7[kV], 4.9[kV] 및 5.1[kV]로 변화시켰을 때의 회전자의 회전수특성을 나타낸 것으로 ϵ_r 이 증가함에 따라

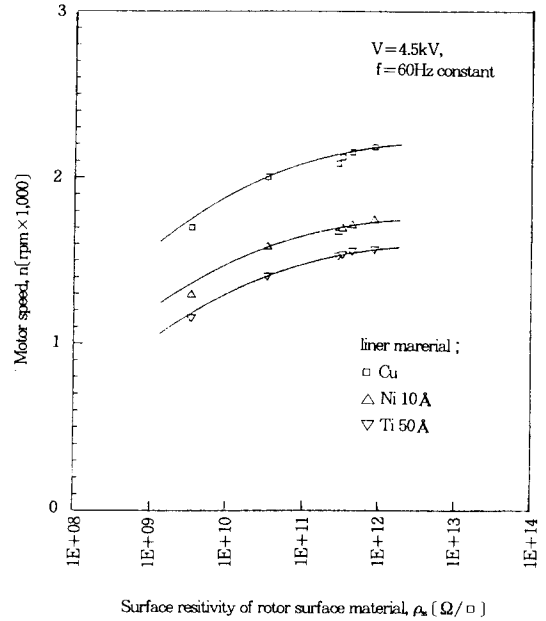


그림 3. 회전자표층물질의 표면저항을 변화에 따른 회전 속도
 Fig. 3. Motor speed as a function of surface resistivity of rotor surface material

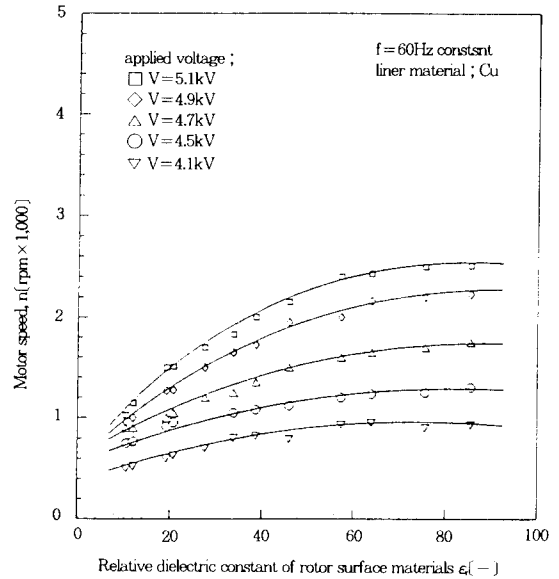


그림 4. 회전자표층물질의 비유전율 변화에 따른 회전속도
 Fig. 4. Motor speed as a function of relative dielectric constant of rotor surface material

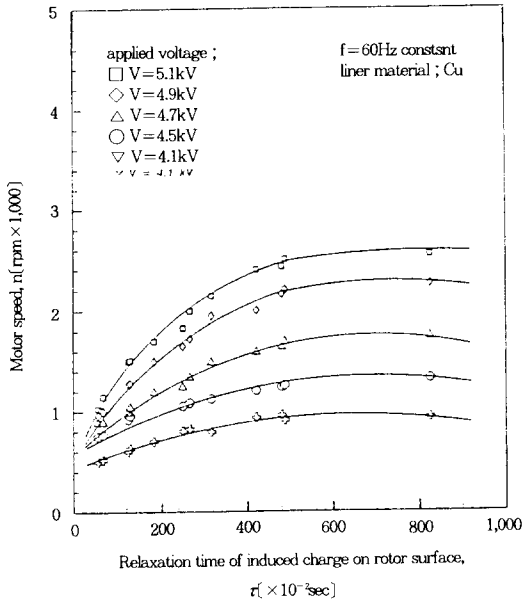


그림 5. 회전자표층물질의 전하완화시 정수 변화에 따른 회전속도

Fig. 5. Motor speed as a function of charge relaxation time constant of rotor surface material

회전수가 완만히 증가하다가 서서히 포화하는 경향을 보여준다. 이와 같이 회전자표층물질의 ϵ_r 이 클수록 회전자의 회전수가 증가하는 이유는 단위면적당 유기분극된 전하의 수가 ϵ_r 에 비례하여 증가하지만, ϵ_r 의 값이 50 또는 60이상이나 커지면 유기분극의 수가 포화하여 더이상 회전수를 상승시키지 못하고 어느 일정한 값으로 되기 때문이다.

한편, 그림 2, 3 및 4의 실험결과로부터 구한 회전자표층물질의 표면상의 유기전하의 전하완화시상수(charge relaxation time constant) τ 의 변화에 따른 회전자의 회전수특성을 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 보듯이 회전자표층물질의 종류에 관계없이 회전자표층물질의 전하완화시정수가 5초 이내에서는 τ 의 증가에 따라 회전수가 증가하나, τ 가 5초 이상으로 커지면 회전자의 회전수는 그림 3 및 4와 같이 어느 일정한 값으로 포화하였다.

3.2 불연속형 표면전하 정전유도형 전동기의 특성

앞에서 실험한 연속형의 회전자표면물질을 갖는 회전자의 회전 특성을 개선하기 위하여 PP위에 그림 6과 같이 Ti을 불연속적(discrete)으로 증착 처리하였다. 이와 같은 불연속형의 구조에 대하여 실험을 하게 된 이유는 정전유도형전동기의 동작기구상 중요한 요인으로 지적해왔던 회전자표층물질의 유기전하 및 전하완화 시상수를 회전자의 전표면에 걸쳐 일정하게 하지 않고 불연속적으로 분산시킴으로써 상대적으로 회전자의 회전수가 증가할 것이라고 생각할 수 있기 때문이다.

그림 7은 그림 6중에서 type A와 같이 등간

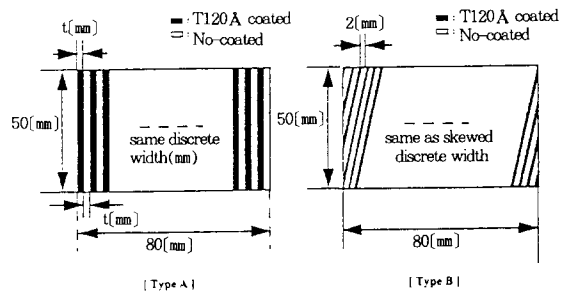


그림 6. 불연속형 회전자표층물질

Fig. 6. Discrete type for rotor surface materials

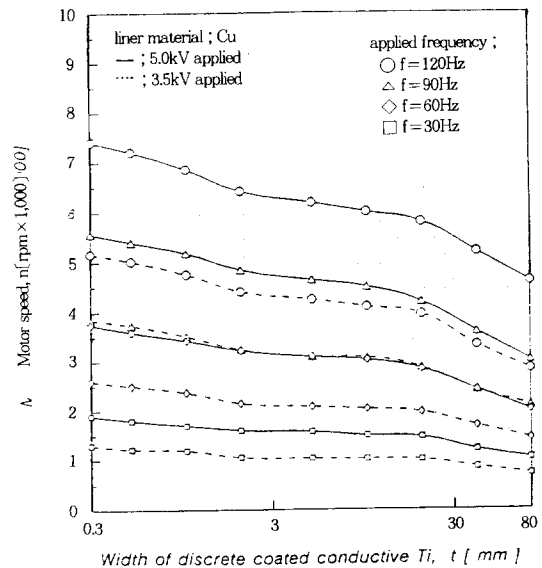


그림 7. A형 회전자표층물질 때의 폭 변화에 따른 회전속도

Fig. 7. Motor speed as a function of width of discrete type A

격(t)의 변화에 따른 회전자회전특성을 조사한 것이다. t가 적어질수록 回轉子의 회전수는 거의 지수함수적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 회전자표면상의 유기쌍극전하밀도 및 유기전하완화시정수가 세분된 등간격이 많을수록 커지게 되므로 고정자상의 회전전하와 회전자상의 유기전하와의 반발력이 커져서 회전자회전속도를 증가시키기 때문이다. 그림 7로부터 최소자승법에 의해 회전수특성을 회귀해 보면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$n = \frac{V}{5} [445.8 - 738.38 \log t + 51.641f] \text{ (rpm)}$$

여기서 n은 회전수 [rpm], V는 인가전압[V] (단, 3.5[kV]에서 5[kV]이내), t는 등간격의 폭 [mm], f는 인가주파수 [Hz]이다.

그림 8은 그림 6중에서 type B와 같이 등간격(t=2[mm])으로 세분화한 것을 회전자축에 대해서 경사각 θ만큼 기울인 시료를 회전자표층물질로 하고 인가주파수를 30[Hz]에서 120[Hz]까지 변화시켰을 때 θ의 변화에 따른 회전자회전수특성을 보여준 것이다. θ의 변화에 따른 회전자회전수는 경사각 θ=60° 및 150°일 때

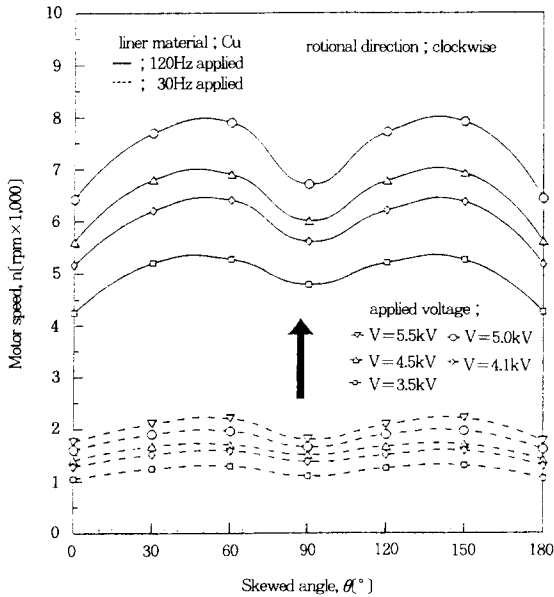


그림 8. B형 회전자표층물질 경사각 변화에 따른 회전속도
Fig. 8. Motor speed as a function of skewed angle of discrete type B

가 가장 큰 것으로 나타났으며, 이때 경사각 θ=0°일때에 비해서 약 125[%]정도 높은 회전수를 나타냈다. 만약 그림 8과는 달리 회전자회전방향이 반시계방향(anti-clockwise)이라면 그림 8로부터 미루어 볼때 회전자회전수는 경사각 θ=30° 및 120°일 때가 상대적으로 가장 크게 될 것이다. 이는 등간격의 띠가 회전방향으로 경사각을 가지므로 유기쌍극자의 밀도가 회전방향으로 부가해서 증가되어 회전자회전수를 상승시킨 요인으로 작용하기 때문이다.

3.3 정전유도형 전동기의 부하특성

3.1) 및 3.2)에서는 전동기 무부하시의 회전속도특성을 조사하였으나, 여기에서는 전동기 부하특성, 즉 토크 및 출력특성을 조사하였다. 회전자회전속도의 변화에 따른 회전자토크를 나타낸 것이 그림 9이다. 그림 9는 회전자회전속도를 410[rad/sec], 490[rad/sec], 545[rad/sec] 및 625[rad/sec]로 고정하고, 회전자축에 직결된 알루미늄 원판(무게 0.5[g]상)에 와류자속을 서서히 증가시켜 전동기에 부하를 걸었을때 회전자축에서 발생하는 토크

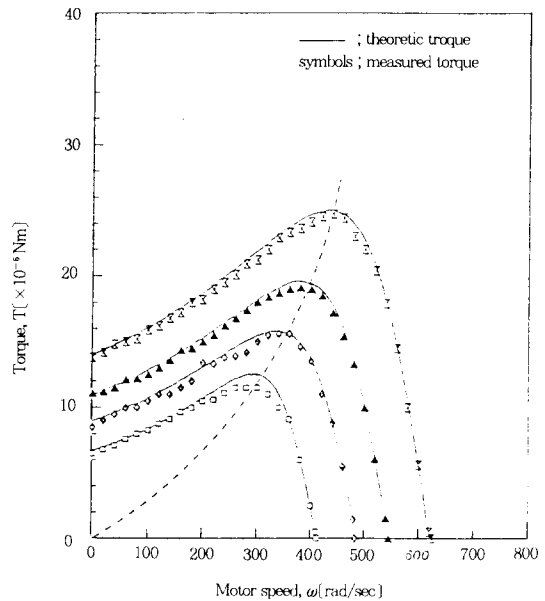


그림 9. 회전자회전속도 변화에 따른 토크 특성
Fig. 9. Torque as a function of motor speed

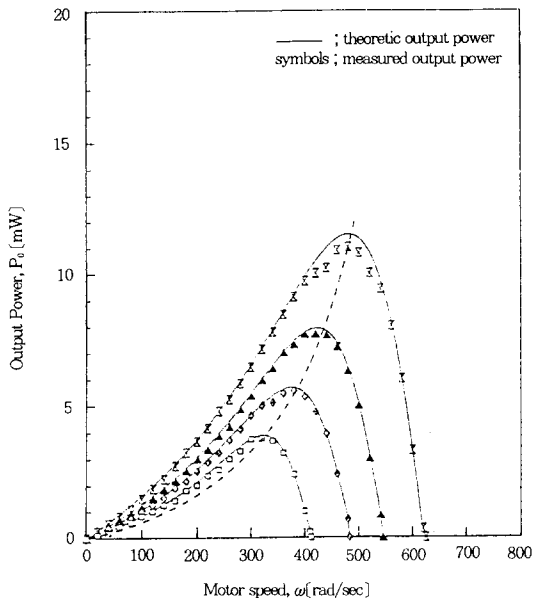


그림 10. 회전자의 회전속도 변화에 따른 출력 특성
Fig. 10. Output power as a function of motor speed

크를 측정하는 것이다. 그림 9에서 측정된 토크와 이론적인 토크 값이 거의 일치하였으나 실측값이 이론값에 비해서 다소 적은 값으로 나타나는 것은 회전자와 고정자 사이의 공극이 회전자의 전 표면에 걸쳐서 일정한 간격을 유지하지 않는다는 점과 회전자의 표면에 부착된 눈에 보이지 않는 미세한 먼지나 소량의 수분등이 토크를 저하시키기 때문인 것으로 생각된다. 한편 본 전동기의 경우 그림 9에서 보듯이 기동토크는 회전자의 회전속도 410[rad/sec]에서는 6.7×10^{-6} Nm, 625rad/sec에서는 14×10^{-6} Nm로 회전속도가 증가함에 따라 증가하였으며, 특히 최대토크는 최대회전속도의 약 75% 정도에서 각각 12.5×10^{-6} Nm, 15.8×10^{-6} Nm, 19.6×10^{-6} Nm 및 25×10^{-6} Nm로 나타났다. 최대토크는 그림 9의 점선과 같이 회전자의 회전속도의 제곱에 비례하여 증가하였고 이론값과 거의 일치함을 알 수 있었다.

그림 10은 회전자의 회전속도의 변화에 따른 전기적 출력 P_o 의 특성을 나타낸 곡선이다. 그림 9에서 전동기의 출력 P_o 는 이론값과 거의 일치하나 측정값의 최대값 부근에서 다소 적게 되는

이유는 그림 10에서 언급한 요인, 즉 공극의 불균일 및 회전자표면에 부착된 먼지, 수분 등이 있기 때문이다. 특히 최대출력은 최대회전속도의 약 78[%] 정도에서 각각 3.78[mW], 5.67[mW], 7.92[mW] 및 11.5[mW]로 나타났으며, 최대출력 $P_{o\max}$ 또한 토크특성과 같이 회전자의 회전속도의 제곱에 비례하여 증가하는 것을 알 수 있었다.

4. 토의 및 결론

초소형 정전유도형 정전전동기의 개발을 위한 기초연구로서, 우선 소형의 전동기를 제작하였다. 회전자표층물질로서 도전성 물질, 즉 titanium을 PP위의 전표면에서 수 Å 내지 수십 Å로 연속적으로 증착한 시료를 사용하였을 때, 회전자물질의 표면저항률, 비유전율 및 전하완화시정수의 변화에 따른 회전자의 회전속도특성을 조사하였다. 또한 회전자표층물질로서 도전성물질을 PP위에 불연속적으로, 즉 띠의 모양으로 증착한 시료를 사용하여 띠의 폭 및 경사각의 변화에 따른 회전자의 회전속도특성 및 토크 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 연속형 전동기 경우 ;

(1) 회전자표층물질의 비유전율과 표면저항률이 클수록 회전속도가 증가됨을 보여 주었다. 따라서 이 두 요소를 곱한 회전자표면에 유도된 전하의 완화시상수가 클수록 회전속도는 증가하나, 시정수 $\tau \geq 5$ 초에서는 회전수가 일정한 값으로 수렴하였다.

2. 불연속형 전동기의 경우 ;

(1) 도전성물질을 띠의 모양으로 증착한 경우, 띠의 폭이 적어질수록 다음 식과 같이 지수함수적으로 증가하였다.

$$n = \frac{V}{5} [445.8 - 738.38 \log t + 51.641f] [\text{rpm}]$$

(2) 등간격으로 세분화한 것을 회전자의 축에 대해서 회전방향으로 경사각 θ 만큼 기울였을 때 $\theta = 60^\circ$ 및 150° 일때 회전자의 회전속도가 가장 큰 것으로 나타났으며, 특히 경사각 $\theta = 0^\circ$ 일 때

에 비해서 약 125(%)정도 높은 회전속도를 보였다.

(3) 회전속도의 변화에 따른 최대토크는 회전자의 회전속도의 제곱에 비례하여 증가함을 알 수 있었고, 특히 실험 전동기의 경우 최대토크는 25×10^{-6} [Nm]로 나타났다.

(4) 회전속도 변화에 따른 최대 출력은 회전자의 회전속도의 제곱에 비례하여 증가하였고, 최대회전속도의 약 78(%)정도에서 나타났으며, 이때 최대출력은 11.5[mW]이었다.

3. 향후 연구과제

본 연구를 기초로 하여 마이크로머시닝기술을 이용하여 초소형전동기를 제작하는 경우 실리콘 웨이퍼 상에서 표면저항률 및 비유전율을 변화시키는 문제와 도전성물질을 어떤 방법으로 불연속적으로 처리하느냐가 향후 해결해야 할 문제점으로 생각된다. 또한 초소형화가 되면 전동기의 회전자의 무게가 현 실험전동기의 10[g]에서 수 [μ g]으로 적어지므로 인해 회전속도가 적어도 수만[rpm]정도가 되어 이를 지지해주는 축받이의 설계 및 재질의 선정이 선급히 해결해야 할 과제로 사료된다.

본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구비(951-0912-028-1) 지원으로 수행되었으며 지원에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) P. Benjamin, A History of Electricity, John Wiley & Sons, 1898, pp.506.
- 2) 日本靜電氣學會編, 靜電氣ハンドブック, オーム社, 1981, pp.664~672.

- 3) 日本高分子學會編, 靜電氣ハンドブック, 日本人書館, 1972, pp.494~514.
- 4) Oleg D. Jefimenko, Electrostatic Motors, Electret Science Company, Star City, 1973.
- 5) A. D. Moore, Electrostatics and Its Application, Department Electrical and Computer Engineeringt University of Michigan, 1972, pp. 131~147.
- 6) 安宅産三郎, 野村精一, "靜電界における誘電体の回転について", 日本電氣學會誌, 79, 846, pp.37~46, 1959.
- 7) W. S. N. Trimmer and K. J. Garbriel, "Design Considerations for a Practical Electrostatic Micromotor", Sensors and Actuators, 11, pp.189~206, 1987.
- 8) P. E. Secker and I. N. Scialom, "A Simple Liquid Immersed Dielectric Motor, Journal of Applied physics", 39, 6, pp.2957~2961, 1968.
- 9) Soon Dal Choi and Donald A. Dunn, "A Surface Charge Induction Motor", Proc. of the IEEE, 59, 5, pp.737~748, 1971.
- 10) 이동훈, 문재덕, "A Surface Charge Induction Electrostatic Motor", 日本靜電氣學會講演論文集, pp.153~156, 1994.
- 11) J. D. Moon, D. H. Lee, "A Miniature Size Electrostatic induction Motor", Proc. of Annual Meetings IEEE/IAS, pp. 1754~1759, 1993.
- 12) 문재덕, 이동훈, "정전유도형 모터의 기초연구", 대한전기학회 학술대회 논문집, pp.699~702, 1992.
- 13) 문재덕, 이동훈; 정전모터의 연구현황과 기술동향, 대한전기학회지, 40, 2, pp.8~19, 1991.

◇ 著 者 紹 介 ◇



이 동 훈(李東勳)

1955년 12월 11日生. 1981年 東亞大學校 電氣工學科 卒業. 1985年 東亞大學校 大學院 電氣工學科 卒業(碩士). 1994年 慶北大學校 大學院 電氣工學科 卒業(博士). 1996年 韓國産業安全學會 編輯委員(電氣安全分野), 1987年~現在 釜慶大學校 安全工學科 教授.