

靜電誘導型모터의 開發을 위한 基礎研究

A Basic Study of Development of Electrostatic Induction Motor

이 동 훈*

Dong-Hun Lee

ABSTRACT

A miniature size electrostatic induction motor has been fabricated and studied parameters influencing dominantly to the motor speed, such as a voltage and frequency of the 3 phase ac power source supplied to the stator of fabricated motor, 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. And 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°.

1. 序 論

靜電型電動機는 18-19세기에 걸쳐 많은 研究가 시도되었으나 현재까지 실용에 이르지 못하는 못하고 있는 실정이다^{1~6)}. 그러나, 1980年代에 들어 機械, 電氣와 電子産業들의 技術向上과 半導體素子 및 部品의 全般的인 超小型化 趨勢와 실리콘高集積素子製造技術과 微細構造操作技術(micromachining technology)이 진전됨에 따라 超小型電動機

의 開發이 크게 요구되고, 靜電마이크로전동기가 大量生産性, 效率性, 消費電力의 極小性 등 종래의 磁氣型電動機가 갖지 못하는 우수한 特性과 再現性을 가짐이 확인 됨에 따라 많은 研究者들에 의해 폭넓은 研究가 수행되고 있는 실정이다^{7~9)}.

한편, 靜電誘導型電動機의 回轉機構는 固定子에 인가되는 電源周波數의 변화에 따라서 回轉子表層에는 遲延된 誘起雙極子電荷(time lag induction of dipole charge)가 유도되어, 이로 인해서 회 전력이 발생하므로 回轉子表層에 誘起된 電荷의

* 부산공업대학교 산업안전공학과

密度, 誘起와 緩和時間, 그리고 電荷의 分布와 分散이 靜電誘導型電動機의 基本特性을 決定하기 때문에 이에 대한 實驗的 研究檢討는 매우 필요한 실정이나 아직 國內外로 크게 研究되지 못한 실정이며, 다만, 이에 대한 이론적인 간단한 검토는 일부 발표된 바 있다¹⁰⁾.

본 論文은 마이크로크기의 靜電誘導型電動機의 開發을 위한 基礎研究로서, 비교적 제작이 용이한 센티미터 크기의 전동기를 製作하고, 1단계 연구로서 回轉子의 全表面을 도전성 및 강유전성 물질로 連續的(continuous)으로 증착 또는 코팅하여 固定子에 인가되는 電源 및 周波數 變化, 回轉子材料內외의 表面抵抗率(surface resistivity), 比誘電率(relative dielectric constant) 및 誘起電荷緩和時定數(induced charge relaxation time constant)의 變化가 試作된 전동기의 回轉數에 미치는 影響을 검토하고, 2단계의 연구로서 回轉子의 전표면을 도전성물질인 티타늄(titanium)으로 不連續的(discrete)으로 진공 증착한 물질을 回轉子表面物質로 사용하였을 때 不連續한 띠의 폭과 경사각의 변화가 전동기의 回轉數에 미치는 影響을 검토하였다. 따라서 본 논문은 향후 마이크로크기의 電動機를 제작하기 위한 基礎研究資料를 제공하므로써, 충분한 가치를 가질수 있다고 사료된다.

2. 實驗方法 및 實驗裝置

본 장에서는 靜電誘導型電動機의 제작과 전동기 구동 및 특성을 조사하기 위한 실험장치에 대해서 서술한다. Fig. 1은 본 實驗을 위해 제작된 靜電誘導型電動機의 外形概略圖 및 사진이다. 전동기의 回轉子는 내부가 빈 絶緣圓筒型(nylon-66)으로 外徑은 24mm, 內徑은 23mm, 長이는 50mm로서 직경 2mm의 스테인레스金屬(stainless steel)樑을 軸으로하여 支持되어 있고, 質量은 10.00g, 慣性모우멘트(moment of inertia)는 계산식에 의해 구한 결과 約 14gcm²이었다. 또 전동기의 固定子(nylon-66)는 圓筒型으로 內徑은 26mm, 長이는 60mm로서 內部表面(回轉子の 對向面)에는 導電性테이프(copper tape, 7mm width, 90 μm thick)로 된 6개의 固定電極이 回轉子表面과 對向하여 설치되어 있다.

固定子電極 間의 間隔(interelectrode spacing)은

좁게 하는 것이 전동기의 小型化 및 固定電極數를 늘일 수 있는 長點이 있으나, 너무 좁으면 고정자 전극 間에 스파크가 발생하기 때문에 印加電壓을 낮게 해야 하는 문제점이 있다. 본 實驗에서는 固定子電極 間의 間隔을 設定하기 위하여 基礎實驗으로서 고정자전극 間隔을 7mm와 8mm인 경우에 대해 I-V 特性을 測定한 結果 인접 電極間의 部分放電開始電壓이 間격이 8mm일때 約 5.1 kV 임

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	98.2×10 ³ [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	0-5000[V]
applied frequency to the motor tested, f	0-300[Hz]

Table 2 Electric characteristics of rotor liner materials.

surface materials of the rotor	surface resistivity ρ _s [Ω/□]	symbol	surface materials of the rotor	surface resistivity ρ _s [Ω/□]	symbol
polypropylene	8.5×10 ¹¹	PP	Ti 50Å vapour deposited on polypropylene	2.6×10 ⁹	Ti 50Å
Ti 5Å vapour deposited on polypropylene	4.3×10 ¹¹	Ti 5Å	Ni 10Å vapour deposited on polypropylene	1.4×10 ⁹	Ni 10Å
Ti 10Å vapour deposited on polypropylene	3.2×10 ¹¹	Ti 10Å	Ni 15Å vapour deposited on polypropylene	2×10 ⁹	Ni 15Å
Ti 20Å vapour deposited on polypropylene	2.8×10 ¹¹	Ti 20Å	Ni 20Å vapour deposited on polypropylene	2×10 ⁹	Ni 20Å
Ti 30Å vapour deposited on polypropylene	3.4×10 ¹⁰	Ti 30Å	copper tape	0	Cu
Ti 40Å vapour deposited on polypropylene	3.4×10 ⁹	Ti 40Å			

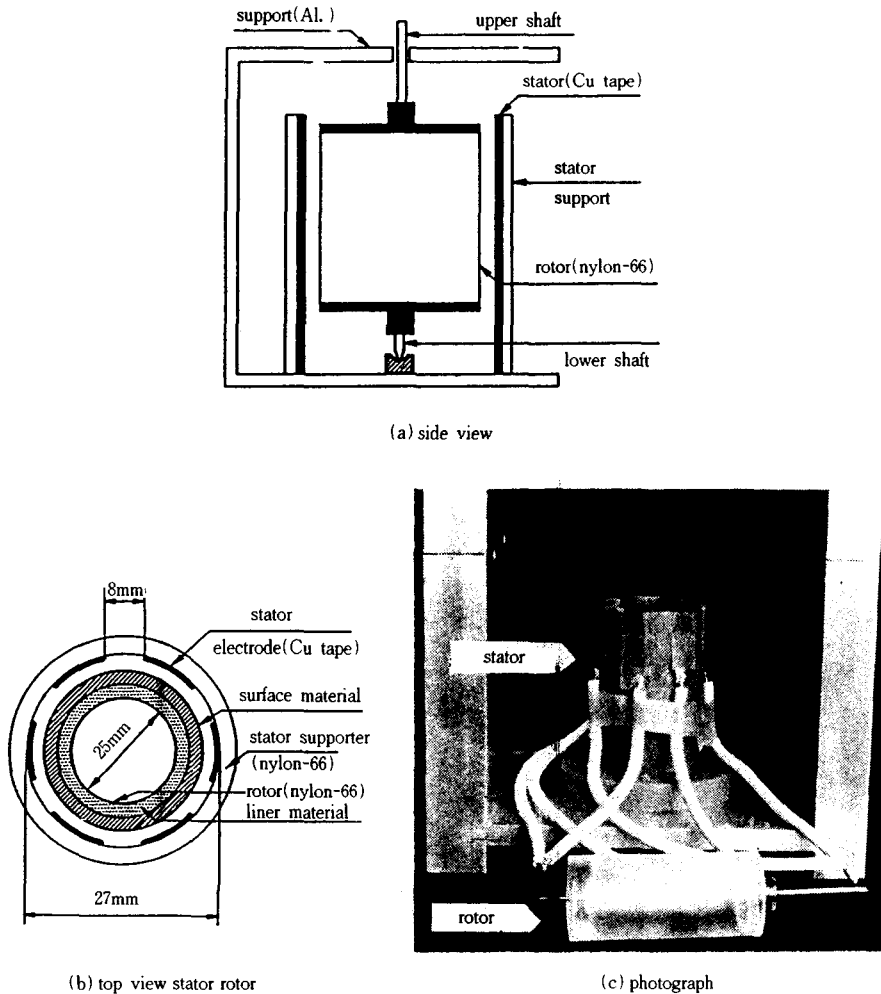


Fig. 1 Schematic diagram and photograph of surface charge electrostatic induction motor fabricated.

을 확인하고, 固定子 電極間의 間隔을 8mm, 最大 印加電壓은 약 5kV로 결정하여 실험했다. 또한 回轉子와 固定子사이의 空隙(air gap)은 토크를 증가시키기 위해 가능한 한 적게 할수록 좋으나 固定子和 回轉子사이의 放電特性, 機械的인 製作의 精密性を 고려하여 本實驗에서는 0.5mm로 決定하여 實驗했다.

전동기驅動을 위한 印加電源裝置의 출력과형은 상용의 교류전원과 동일하며, 다만 電壓은 최대 10kV까지, 周波數는 최대 1kHz까지 가변되도록

되어 있다. Table 1, Table 2 및 Table 3은 각각 本實驗을 위하여 제작된 전동기의 상세한 사양과 回轉子表面物質의 電氣의 特性을 나타낸 것으로, Table 2는 回轉子內層物質(rotor liner materials)의 表面抵抗率의 變化를 위해서 polypropylene sheet (두께 85[μ m] PP)를 基本物質로 하여 PP(polypropylene) 위에 Ti(titanium, Rare Metal Co., Japan, 4N)을 5Å에서 50Å, 그리고 Ni(nickel, Catayama Chemical Co., Japan, 4N)을 10Å에서 20Å 까지 眞空蒸差裝置(Anelva Co., Japan,

Table 3 Electric characteristics of rotor surface materials.

rotor materials	dielectric constant(ϵ_r) at 120Hz	surface resistivity ρ_s (Ω/\square)	relaxation time constant $\tau = \epsilon_r \epsilon_0 \rho_s$ ($\times 10^{-2}$ 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^{11}	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	0.8×10^{10}	534.8	BaTiO ₃ 70%
Binder+ 80% BaTiO ₃	85.4	1.1×10^{11}	831.8	BaTiO ₃ 80%

EVD-500A)를 이용하여 증착한 回轉子內層物質의 電氣的特性을 나타낸다. Table 3에 是 回轉子表層物質(rotor surface materials)의 比誘電率을 變化시키기 위하여 比誘電率이 比較적 큰 BaTiO₃와 TiO₂(Aldrich Co., USA)을 10%에서 80%까지 含量別로 絶緣性結合劑(resin binder)와 混合해서 攪拌器로 약 800rpm에서 12時間 以上 교반해서 Screen Printer法에 의해 두께 약 20 μ m로 제작한 回轉子表層物質의 電氣의 特性을 나타내었다.

本 實驗에 적용한 表面抵抗率(surface resistivity) ρ_s , 比誘電率(relative dielectric constant) ϵ_r 은 恒溫恒濕(20 $^{\circ}$ C, 35% RH)의 電磁遮蔽室(electromagnetic shield room)에서 表面抵抗測定裝置(Hewlett Packard Co., USA, 4329A) 및 digital

LCR meter(ED Engineering Co., Korea, EDC-1620)을 사용해서 直接 測定하였다. 또한 전동기의 回轉數는 digital tacho-meter(Ono Sokki Co., Japan, HT-431)로 測定하였으며, 印加電壓 및 周波數는 高電壓測定器(Keithley Co., England, 1600A), 디지털電壓計(Fluke 73) 및 오실로스코프(Gold Star Co., Korea, OS-8020R)을 이용하였다.

3. 實驗 結果 및 考察

本 장에서는 靜電誘導型電動機의 無負荷回轉數 特性을 실험적으로 고찰한다. 특히 모든 실험은 恒溫恒濕(20 $^{\circ}$ C, 35% RH)의 電磁遮蔽室(electromagnetic shield room)에서 하였으며, 再現性을 확인하기 위해서 평균 3회 이상 실험을 하였다. Fig. 2는 靜電誘導型電動機의 動作機構上 가장 중요한 요인중의 하나인 回轉子表層物質(rotor surface material)의 誘起電荷密度 및 誘起電荷緩和時定數를 결정짓는 比誘電率 및 表面抵抗率이 전동기의 特性에 미치는 영향을 검토한 것이다. 즉, 回轉子 表層 및 內層物質은 Table 2 및 Table 3에 나타난 것을 사용하였으며, 固定子電極에는 제작된 전원 장치로 부터 3相交流電壓 4.5[kV](실효값)을 固定 印加하고 인가전압의 周波數만 可變하였을 때 11 種類의 回轉子表層物質에 대한 回轉子の 回轉數 n 의 變化를 나타낸 것이다. 11種類의 回轉子表層物質 모두 回轉數는 一定 電壓에서 印加周波數가 증가할수록 直線의으로 증가였다. 한편 周波數가 낮은 15Hz 以下에서 불안정한 상태로 회전하고 周波數가 높아지면 전동기의 공극이 容量性負荷이기 때문에 容量임피던스가 적어져서 회전자와 고정자 사이에는 가시적으로는 코로나가 나타날 뿐만 아니라, 입력전류를 측정하기 위한 전류계의 指示值 가 급격히 상승하는 것으로 미루어 보아 공극에서는 部分放電이 발생하고, 이로 인해 공극에는 空間電荷雲이 생성된다. 이러한 空間電荷雲은 회전자의 표면에 유도된 電荷密度의 증가를 가져오는 쪽으로 작용해서 회전수를 급격히 증가시키는 비정상고속회전상태(abnormal high speed region)를 보인다. 回轉子表層物質로서 Ti를 眞空 증착한 경우는 印加周波數가 120Hz, BaTiO₃ 및 TiO₂ 粉末을 분산시킨 경우는 印加周波數가 200Hz를 넘으면

固定子和 回轉子 間隔사이에서 부분방전이 발생한다. 이는 도전성물질인 Ti을 증착한 회전자표층물질의 경우는 유전성물질인 TiO_2 나 $BaTiO_3$ 을 분산시킨 경우에 비해서 전하완화시정수가 적기 때문에 인가주파수의 변화에 따른 電荷의 誘起速度 및 誘起電荷密度的 증가가 전동기의 回轉速度變化率을 증가시키기 때문이다. 인가주파수의 변화에 따른 最大回轉數는 회전자표층물질 $BaTiO_3$ 80%인 시편에서 $V=4.5kV$, $f=220Hz$ 일때 약 4500rpm을 나타내었다. 이에 대한 자세한 것은 Fig. 5에서 다시 설명한다.

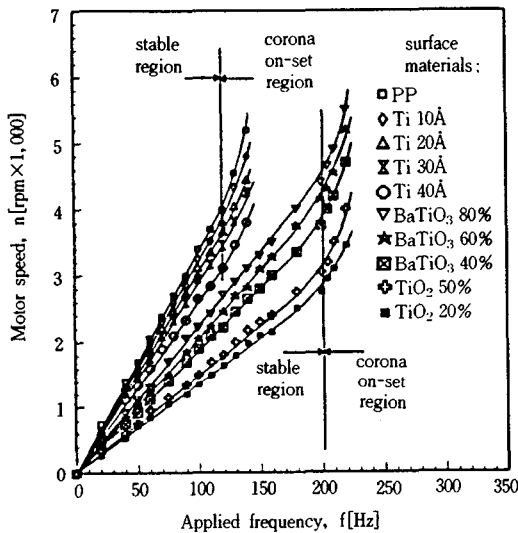


Fig. 2 Motor speed as a function of frequency of power source(liner material; Cu, $V=4.5[kV]$).

전술했듯이, 靜電誘導型電動機의 動作機構중 다른 중요한 요인 중의 하나는 誘起 및 誘起電荷의 緩和(charge relaxation)를 결정하는 回轉子表層 및 內層物質의 電氣抵抗이라고 할 수 있다. 따라서, 回轉子表層 및 內層物質의 電氣抵抗이 回轉子の 回轉數에 미치는 영향을 실험적으로 검토하였다. Fig. 3는 回轉子表層物質로서 Table 2 및 Table 3에 나타난 것과 같은 PP, Ti 5Å, Ti 15Å, Ti 60Å 및 $BaTiO_3$ 80%로 하고, 印加電壓 및 周波數를 4.5kV 및 60Hz로 각각 固定하였을때, 回轉子內層物質의 表面抵抗率 ρ_{sl} 의 변화에 따른 回轉子の 回轉數를 나타낸 것이다. 이때 回轉子內層物質의 表面

抵抗率의 변화는 回轉子物質의 內側表面에 Ni의 증착량을 적절히 조절함으로써 가능하였다. Fig. 3에서 보듯이 回轉子內層物質의 表面抵抗率이 증가할수록 回轉子の 回轉數가 減少함을 보여준다. 이는 回轉子內層物質의 表面抵抗率이 적을수록 回轉子表面上의 誘起分極된 雙極子の 밀집상태를 균일하게 함으로서 상대적으로 誘起電荷數를 증가시킨 것과 같은 효과를 갖기 때문이다.

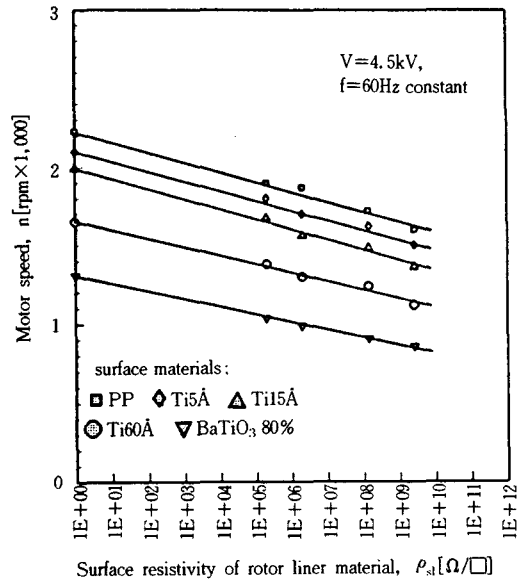


Fig. 3 Motor speed as a function of surface resistivity of rotor liner material.

Fig. 4는 回轉子內層物質로서 Cu, Ni 10Å 및 Ti 50Å를 사용하고 回轉子表層物質의 表面抵抗率 ρ_{ss} 의 변화에 따른 回轉子の 回轉數를 나타낸 것이다. 이때 回轉子表層物質의 表面抵抗率의 변화는 回轉子の 內측표면에 Ti의 증착량을 조절함으로써 가능하였다. 回轉子表層物質의 表面抵抗率이 증가할수록 回轉數가 완만히 증가하면서 어느 값 이상으로 되면 포화됨을 보여 주었다. 이는 回轉子表層物質의 表面抵抗率이 적을수록 回轉子表層物質의 表面上에 誘起된 電荷의 緩和時間이 짧아지고, 이로 인하여 상대적인 誘起電荷密度가 작아지기 때문에 回轉子の 回轉數가 감소한다. 또한 表面抵抗率이 증가 할수록 回轉子表層物質의 表面上에 誘起된 電荷의 緩和時間이 비교적 길어지기 때

문에 誘起電荷의 殘存時間이 커짐에 따라 殘存誘起電荷密度가 상대적으로 커져서 回轉數가 증가하기 때문이다. 그러나 表面抵抗率 ρ_{ss} 가 $10^{12}\Omega/\square$ 이상되면 유기된 電荷의 緩和時間이 너무 길어져서 오히려 殘存誘起電荷密度가 어느값에서 포화됨으로 인해 회전속도가 일정한 값으로 된다. 따라서, 실용적인 면에서는 回轉子表層物質로서는 電氣抵抗이 큰 물질을, 內層物質로서는 電氣抵抗이 작은 물질을 사용함이 좋다.

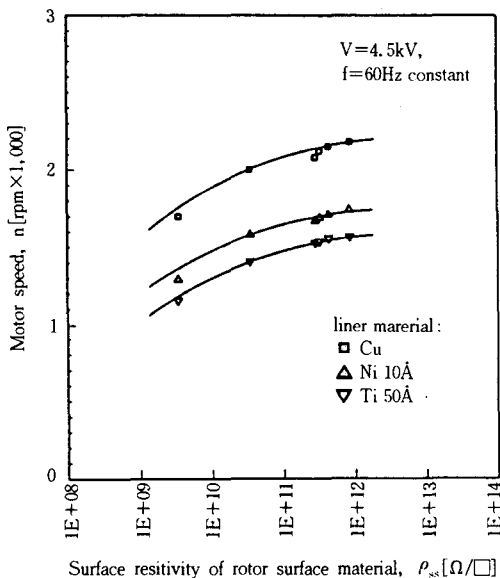


Fig. 4 Motor speed as a function of surface resistivity of rotor surface material.

Fig. 5는 回轉子表層物質의 比誘電率 ϵ_r 의 변화와 印加電壓을 4.1kV, 4.5kV, 4.7kV, 4.9kV 및 5.1kV로 변화시켰을 때의 回轉子의 回轉數特性을 나타낸 것으로 印加電壓이 낮은 4.1kV, 4.5kV, 4.7kV의 경우에는 ϵ_r 의 값이 50일 때까지는 回轉數가 완만히 증가하다가 ϵ_r 이 60 이상이 되면 回轉數가 서서히 飽和하는 경향을 보여준다. 한편 인가 전압이 높은 4.9kV 및 5.1kV에서는 ϵ_r 의 값이 50일 때까지는 回轉數가 급격히 증가하다가 그 이후에는 低電壓의 경우와 같이 서서히 飽和하는 경향을 나타냈다. 이와 같이 回轉子表層物質의 ϵ_r 이 클수록 回轉子의 回轉數가 增加하는 이유는 單位面積當 誘起分極된 電荷의 數가 ϵ_r 에 비례하여 증

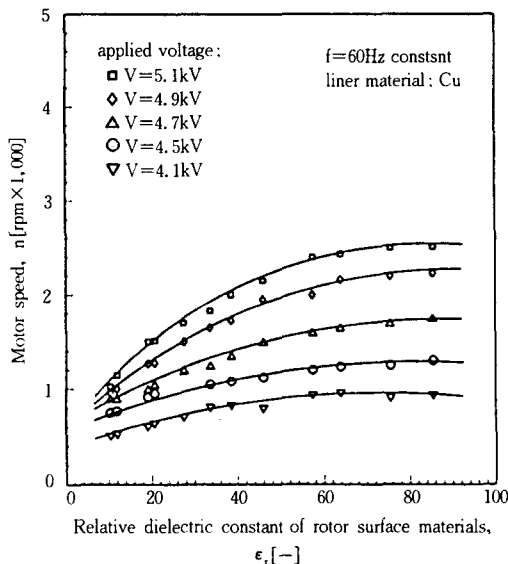


Fig. 5 Motor speed as a function of dielectric constant of rotor surface material.

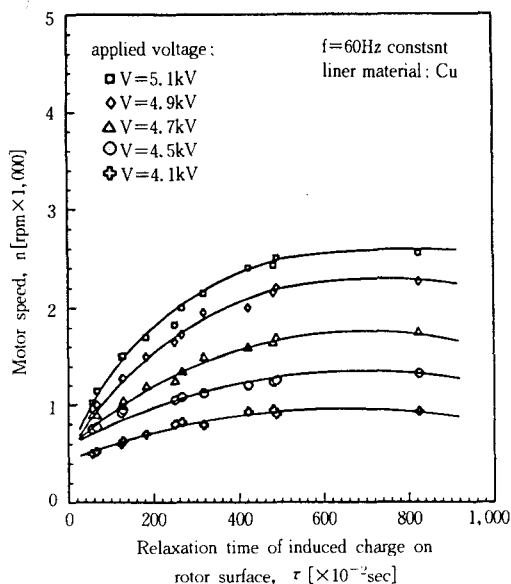


Fig. 6 Motor speed as a function of charge relaxation time constant of rotor surface material.

가하지만, ϵ_r 의 값이 50 또는 60 이상으로 커지면 誘起分極의 수가 포화하여 더 이상 회전수를 상승

시키지 못하고 어느 일정한 값으로 되기 때문이다.

한편, Fig. 2, 3, 4 및 5의 실험결과로부터 구한 회轉子表層物質의 表面上의 誘起電荷의 電荷緩和時定數(charge relaxation time constant) τ 의 변화

에 따른 회轉子の 회轉數特性을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 보듯이 회轉子表層物質의 종류에 관계없이 회轉子表層物質의 電荷緩和時定數가 5秒 이내에서는 電荷緩和時定數의 증가에 따라 회轉數가 증가하나, 電荷緩和時定數가 5秒 이상으로

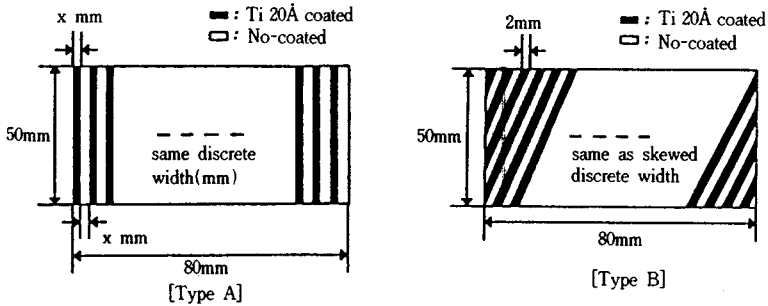


Fig. 7 Discrete type for rotor surface materials.

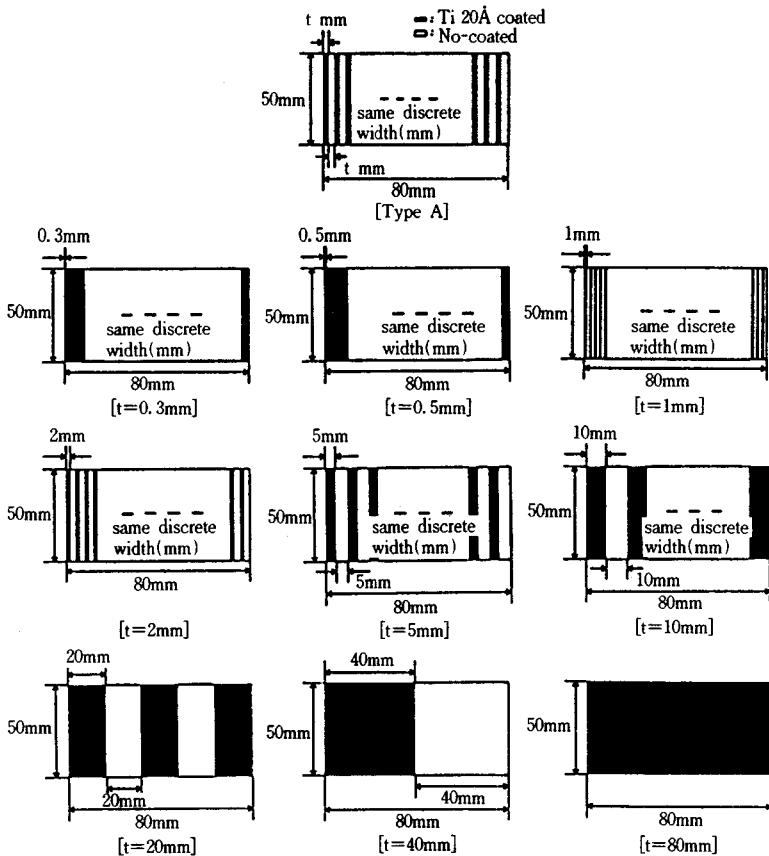


Fig. 8 Divisions of type A for rotor surface material.

커지면 回轉子의 回轉數는 Fig. 4 및 5와 같이 어느 일정한 값으로 飽和하였다.

앞에서 실험한 연속형의 回轉子表面物質을 갖는 回轉子의 回轉數特性을 개선하기 위하여 PP위에 Fig. 7과 같이 Ti을 不連續的(discrete)으로 증착 처리하였다. 이와 같은 不連續型의 구조에 대하여 실험을 하게 된 이유는 靜電誘導型電動機의 동작 기구상 중요한 요인으로 지적해왔던 回轉子表面物質의 誘起電荷 및 電荷緩和時定數를 回轉子의 全表面에 걸쳐 일정하게 하지 않고 不連續的으로 분산시킴으로서 상대적으로 回轉子의 回轉數가 증가할 것이라고 생각할 수 있기 때문이다. 不連續的인 回轉子表面物質을 갖는 電動機의 特性을 具體的이고 組織的으로 조사하기 위해서 Fig. 7중에서 A형(type A)를 다시 均등하게 세분화한 것을 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 9는 回轉子表面物質을 Fig. 8에서의 등간격(t)의 변화에 따른 回轉子의 回轉數特性을 조사한 것이다. 등간격(t)이 적어질수록 回轉子의 回轉數는 거의 지수함수적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 固定子에 인가한 3상 교류전압의 주파수 변화에 따른 回轉子表面上的 誘起雙極子電荷密度 및 誘起電荷緩和時定數가 세분된 등간격이 많을수록 커지게 되므로 固定子上的 回轉電荷와 回轉子上的

誘起電荷와의 반발력이 커져서 回轉子의 回轉速度를 증가시키기 때문이다. Fig. 9으로 부터 回轉數特性을 회귀해 보면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 n은 회전수 [rpm], V는 인가전압 [V], t는 등간격의 폭 [mm], f는 인가주파수 [Hz] 이다.

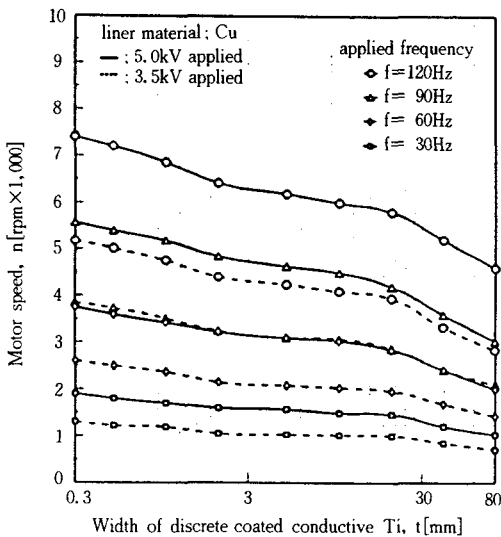
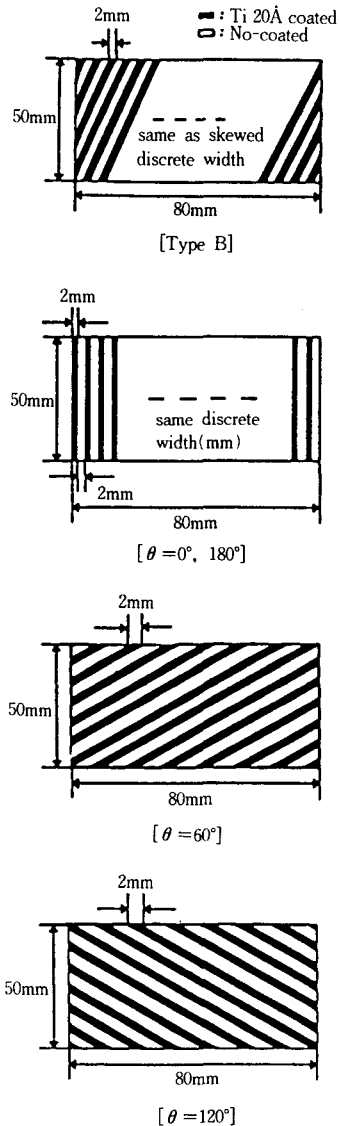


Fig. 9 Motor speed as a function of width of discrete in type A



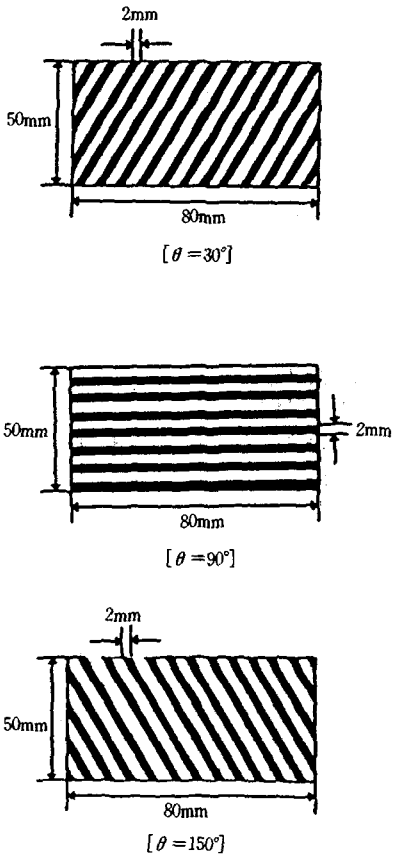


Fig. 10 Division of type B for rotor surface material.

Fig. 10은 Fig. 8에 부가해서 등간격($t=2\text{mm}$)으로 세분화한 것을 회轉자의 축에 대해서 경사각 θ 만큼 기울인 회전자표층물질의 구조를 나타낸 것이다. Fig. 11은 Fig. 10의 시료를 회轉자表層物質로 하고 회轉자內層物質로서는 Cu로 하여, 인가 주파수를 30Hz에서 120Hz까지 변화시켰을 때 경사각의 변화에 따른 회轉자의 회轉數特性을 보여준 것이다. 경사각 θ 의 변화에 따른 회轉자의 회轉數는 경사각 $\theta=60^\circ$ 및 150° 일 때가 가장 큰 것으로 나타났으며, 이때 경사각 $\theta=0^\circ$ 일 때에 비해서 약 125% 정도 높은 회轉數를 나타냈다. 만약 Fig. 11과 달리 회轉자의 회전방향이 반시계방향(anti-clockwise)이라면, Fig. 11로부터 미루어 볼 때 회轉자의 회轉數는 경사각 $\theta=30^\circ$ 및 120° 일 때가 상대적으로 가장 크게 될 것이다. 이는 등간격의 띠가 회전방향으로 경사각을 가지므로서,誘

起雙極子の 密度가 回轉方向으로 附加해서 增加되어 回轉子の 回轉數를 상승시킨 요인으로 작용하기 때문이다.

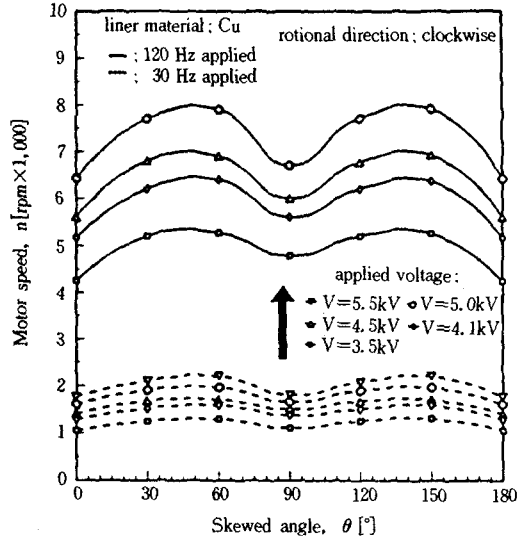


Fig. 11 Motor speed as a function of skewed degree in type B

4. 討議 및 結論

超小型 靜電誘導型電動機의 開發을 위한 基礎研究로서, 우선 소형의 전동기를 제작하고, 전동기의 固定子에 인가하는 電壓 및 周波數를 變化시켰을 때의 回轉子の 回轉數特性을 조사하였다. 回轉子表層物質 및 內層物質의 表面抵抗率, 比誘電率 및 電荷緩和時定數의 變化에 따른 回轉子の 回轉數 特性을 조사하였다. 또한 回轉子表層物質로서 도전성물질(titanium)을 PP위에 不連續的으로, 즉 띠의 모양으로 증착한 시료를 사용하여 띠의 폭 및 경사각의 변화에 따른 회轉자의 회轉數特性을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

4.1 連續型 電動機 경우

1) 印加電壓이 일정할 때는 印加周波數의 增加에 따라서 回轉子の 回轉數가 直線的으로 增加함을 보여 주었으나, 印加周波數가 크게 增加하여 臨界周波數(120Hz, 200Hz) 以上の 周波數에

서는 固定子와 回轉子사이 에 部分放電이 발생하여 전동기는 非正常的으로 급속히 증가하는 高速回轉現象을 보였다.

- 2) 本 전동기의 경우 回轉數가 印加周波數 變化에 따라 직선적으로 增加(또는 減少)하기 때문에 回轉數調節이 매우 간단함을 보여준다. 특히, 一定 電壓下에 印加周波數를 가변시킴으로 회전속도가 넓은 속도범위(1,000-5,000rpm)에 걸쳐 유효하게 가변될 수 있음을 보여주었다.
- 3) 回轉子表層物質의 比誘電率 및 表面抵抗率은 클수록 回轉子の 回轉數는 증가하였다. 따라서 이 두 요소를 곱한 回轉子表面에 유도된 電荷의 緩和時定數가 클수록 回轉數는 증가하나, 시정수 $\tau \geq 5$ 초에서는 回轉數가 일정한 값으로 수렴하였다.
- 4) 회전자표면에 유도된 電荷의 分布 및 回轉子와 固定子間의 電界調節을 위한 回轉子內層物質의 電氣抵抗率이 적을수록 回轉數를 증가시켰다.

4.2 不連續形 電動機의 경우

- 1) 도전성물질을 띠의 모양으로 증착한 경우, 띠의 폭이 적어질수록 다음 式과 같이 지수함수적으로 증가하였다.

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

- 2) 등간격으로 세분화한 것을 回轉子の 축에 대해서 회전방향으로 경사각 θ 만큼 기울였을 때 $\theta = 60^\circ$ 및 150° 일 때 회전자의 回轉數가 가장 큰 것으로 나타 났으며, 특히 경사각 $\theta = 0^\circ$ 일 때에 비해서 약 125%정도 높은 회전수를 보였다.

4.3 向後 研究課題

본 실험 전동기의 경우 인가주파수가 임계값 이상으로 커지면 공극에서 부분방전이 발생하여 비정상적으로 고속회전하는 현상이 나타나고 있다. 그러나 전동기의 크기를 마이크로머시닝기술을 이용하여 수 μm 또는 수십 μm 로 하면 Paschen의 법칙에 의하여 오히려 공극에서의 부분방전을 일으키는 전계강도가 증가하기 때문에 임계주파수가

본 실험전동기의 경우보다도 큰 값으로 될 수 있을 것이다.

그러나 마이크로머시닝기술을 이용하여 초소형 전동기를 제작하는 경우 실리콘웨이퍼 상에서 표면저항을 및 비유전율을 변화시키는 문제와 도전성물질을 어떤 방법으로 불연속적으로 처리하느냐가 향후 해결해야할 문제점으로 생각된다. 또한 초소형화가 되면 전동기의 회전자의 무게가 현실 실험전동기의 10g에서 수 μg 으로 적어지므로 인해 회전속도가 적어도 수만 rpm정도로 높아지게 되어 이를 지지해주는 축받이의 설계 및 재질의 선정이 선급히 해결해야 할 과제로 사료된다.

이 논문은 1993년 학술진흥재단의 공모과제연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- 1) P. Benjamin, A History of Electricity, John Wiley & Sons, p.506, 1898.
- 2) 日本靜電氣學會編, 靜電氣ハンドブック, オーム社, pp.664-672, 1981.
- 3) 日本高分子學會編, 靜電氣ハンドブック, 日本人書館, pp.494-514, 1972.
- 4) Oleg D. Jefimenko, Electrostatic Motors, Electret Science Company, Star City, 1973.
- 5) A. D. Moore, Electrostatics and Its Application, Department Electrical and Computer Engineering University of Michigan, pp.131-147, 1972.
- 6) 安宅産三郎, 野村精一, 靜電界における誘電体の回轉について, 日本電氣學會誌, 79, 846, pp.37-46, 1959.
- 7) W. S. N. Trimmer and K. J. Gabriel, 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) 양상식, 극소형 전자 기계 장치에 관한 연구진망, 대한전기학회지(ISSN 1013-0772), pp.

이동훈

14-19, 1970.
10) Soon Dal Choi and Donald A. Dunn; A

Surface Charge Induction Motor, Proc. of
the IEEE, 59, 5, pp.737-748, 1971.
