

# 靜電 誘導型모터의 基礎研究(Ⅱ)

文 在德\*

\*: 慶北大學校 電氣工學科

◦ 李 東勳\*\*

\*\* : 釜山工業大學 産業安全工學科

## A Basic Study on Electrostatic Induction Motor (II)

Jae - Duk Moon

Dept of Electric Engineering  
of Kyung-pook National Univ

Dong - Hoon Lee

Dept of Industrial Engineering  
Pusan Institute Technology

### abstract

A miniature size electrostatic induction motor have been constructed and studied by applying a three phase ac power source with a maximum voltage of 5 KV and a variable frequency ranged 0.0 - 150 Hz.

A maximum no load speed of the motor tested was about 7600 RPM at the applied voltage of 4330 volt and the frequency of 130 Hz for the case of the rotor surface material of polypropylene sheet screen-printed TiO<sub>2</sub> powder on it.

It is found that there are 3 different regions of the motor operation, a rotor stop region, a stable operation region and a high speed abnormal region. And it is also found that the motor speed is influenced greatly by the charge relaxation time constant of the rotor surface materials, which however was changed by the means of vapour-deposited Ti or Ni and screen-printed TiO<sub>2</sub> powder on the surface of the rotor material, polypropylene.

### 1. 序論

靜電型 모터는 18 - 19세기에 걸쳐서 연구실의 측면에서 많은 연구 와 노력이 시도되었으나 현재까지 실용에 이르지 못하고 있는 실정이다.(1-6) 그러나, 1980년 대 후반에 들어 기계, 전기 및 전자산업들의 기술 향상과 반도체소자와 전자부품의 전반적인 超小型化 추세에 따라 silicon 소자 제조기술과 微細構造操作技術(micromachining technology) 이 크게 진전된 이래 sub-milimeter 크기의 초소형 모터의 제작이 가능하게 되었다. 최근에 들어 靜電 모터는 大量生産이 용이하며 효율이 높고 특히 소모전력이 극히 적은 장점 때문에 應用靜電氣分野, 精密機械分野, 半導體素子分野, 精密制御分野, 醫療工學分野 등의 연구자들에 의해 많은 연구가 수행되고 있는 실정이다.(7-11)

본 논문은 小型 靜電 誘導型 모터의 개발을 위한 기초 연구로서, 수 cm 크기의 靜電 誘導型 모터와 可變 周波數 및 可變 電壓型의 3相 交流 電源裝置를 製作하여, 電源의 印加 電壓 및 周波數 變化, 回轉子 材料의 表面電荷緩和 時定數 變化가 靜電 誘導型 모터의 回轉速度에 미치는 영향을 연구 검토한 연구 결과의 일부이다.

### 2. 實驗 方法 및 實驗 裝置

본 實驗 裝置는 그림 1과 같이 3相 可變電壓 및 可變周波數 電源裝置와 靜電 誘導型 小型 모터로 구성되었다. 그림 1의 3相 可變周波數 및 可變電源裝置는 function generator 와 半導體 裝置를 사용하여 식(1)과 같은 3相電源을 만들고 이를 transformer로서 可變 昇壓할 수 있도록 되어 있으며 最大電壓 10kV, 最大可變周波數는 약 1kHz까지의 交流電源 裝置이다.(12)

$$D_a = 128 + 128 \sin[2\pi n/1024]$$

$$D_b = 128 + 128 \sin[2\pi(n-341)/1024] \quad \text{---(1)}$$

$$D_c = 128 + 128 \sin[2\pi(n+341)/1024]$$

실험에 사용한 靜電 誘導型 모터의 外形圖를 그림 2에 개략적으로 나타냈었다. 실험 모터의 回轉子는 내부가 빈 nylon 66의 원통형으로 직경 25mm, 길이 50mm로서 직경 2mm의 스테인레스 스틱의 軸으로 支持되어 있고, 質量은 10.00g, 관성모멘트(moment of inertia) I는 식(2)에 의거 I = 50gcm<sup>2</sup> 로 算했다.

$$I = m [ l_r^2 + 3( d_{or}^2 + d_{ir}^2 ) ] / 12 \quad \text{--(2)}$$

또 nylon-66으로 제작된 모터의 固定子는 원통형으로 내부직경은 27mm, 길이는 60mm로서 내부표면(回轉子の 對面)에는 導電性 테이프(copper tape, 7mm width, 90μm thick)로서 6개의 固定電極이 설정되어 있다. 특히 固定子 전극간의 間隔은 좁은 것이 기계적으로 소형화 및 고정 전

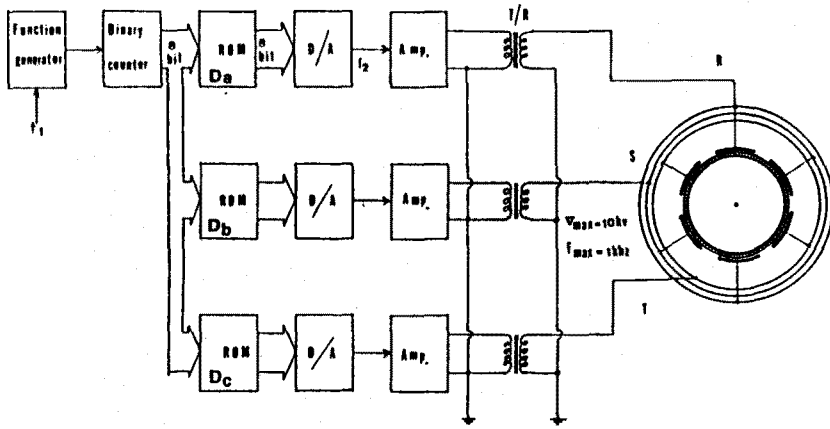


Fig.1 Block diagram of 3 phase variable frequency and voltage power source for the motor tested.

극수를 늘일 수 있는 장점이 있다. 따라서 그림 3과 같이 전극간의 간격 7mm 와 8mm간의 I-V 특성을 실험적으로 측정하여 전극간의 간격을 고정자와 회전자 사이의 corona 방전이 발생하지 않는 8mm로 결정하여 사용하였다. 또한 回轉子와 固定子 사이의 空隙은 토오크를 증가시키기 위해 가능한 한 적게 할수록 좋으나 고정 전극간의 방전특성, 기계적인 제작의 精密性 때문에 본 실험에서는 1.0mm로 결정하여 실험했다.

표 1과 표 2는 각각 본 실험에 사용한 모터의 상세한 계원과 回轉子 재료의 電氣的 物性を 나타낸 것으로, 표 1의 회전자 표면의 유전율의 변화는 polypropylene을 기본 물질로 하여 polypropylene상에 Ti ( Japan, Rare Metal Co., 4N) 및 Ni ( Japan, Catayama Chemical Co., 4N)를 각각 약 5Å으로 진공증착 ( Japan, Anelva Co., EVD-500A ) 하여 실험하였으며, 비유전율을 더욱 크게 하기 위하여 TiO<sub>2</sub> 粉末 ( TiO<sub>2</sub> powder, Japan, catayama chemical Co., 3N)을 인쇄가 가장 간단 용이한 두께 약 20μm로 스크린 인쇄 ( screen print ) 하여 실험하였다. 본 실험에 적용한  $\epsilon_r$ ,  $\rho_s$ ,  $\rho_v$ 는 恒溫恒濕원(온도:20°C, 습도:35% RH) 靜電遮蔽室에서 직접 측정하여 사용하였으며, (13-15) 電荷緩和時定數는 식 (3)를 사용하였다.

$$\tau = \epsilon_0 \epsilon_r \rho_s \text{ -----(3)}$$

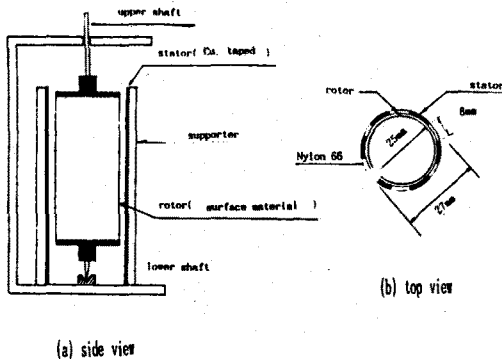


Fig.2 Schematic diagram of electrostatic induction motor tested.

Table 1 Electrical properties of the rotor materials used

Surface material of the rotor	Relative dielectric const. ( $\epsilon_r$ )	Surface resistivity ( $\rho_s \times 10^{10} \Omega/\square$ )	Bulk resistivity ( $\rho_v \times 10^9 \Omega m$ )	Relaxation time const. ( $\tau \times 10^{-2}$ sec)	Symbol
Polypropylene only	1.7	64.6	6.0	9.2	PP
polypropylene Ti 5Å vapour deposited on	5.1	1.1	2.8	12.7	PP-Ti
polypropylene Ni 5Å vapour deposited on	4.7	1.1x10 <sup>-2</sup>	1.1	4.6	PP-Ni
polypropylene TiO <sub>2</sub> 25μm screen-printed	15.1	93.0	4.4	59.2	PP-TiO <sub>2</sub>

Table 2 Specifications of the motor tested

Specification of the motor tested	
Air Gap, g	1.0 mm
Out - diameter of Rotor, $d_r$	25.0 mm
Infer - diameter of Rotor, $d_i$	23.0 mm
Length of Rotor, $l_r$	50.0 mm
Weight of Rotor, m	10.0 g
Surface Area of Rotor, S	98.2 x 10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup>
Diameter of Stator, $d_s$	27.0 mm
Width of Stator Electrode, W	7.0 mm
Inter-electrode spacing between stator electrode, t	7.0 mm
Number of Pole, p	3
Pole Pitch, $p_p$	2
Applied Voltage to the motor tested, V	4330 V
Applied Frequency to the motor tested, f	0-150 Hz

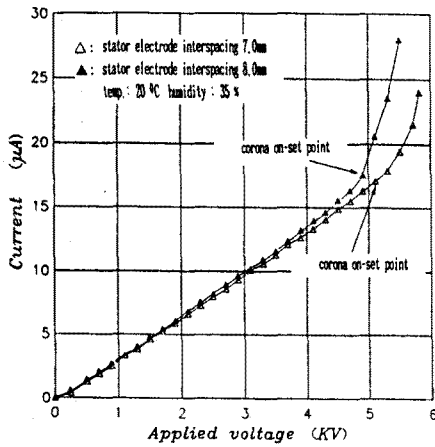


Fig. 3 I-V characteristics of stator interelectrode spacing

### 3. 實驗 結果 및 考察

그림 4는 표 1의 4種類의 回轉子 表面物質로 만들어진 固定子에 印加周波數를 60 Hz로 고정하고 3相 交流 電壓의 變化만에 따른 回轉子の 回轉速度의 關係를 보여준 것이다. 인가전압에 따른 실험모터의 特性은 3개의 領域 즉 모터의 회전자가 전혀 움직이지 않는 低電壓領域인 停止領域 I (motor stop region), 모터의 회전자가 매우 안정되고 정상적으로 회전하는 中電壓領域의 定常領域 II (normal stable region), 그리고 회전자의 회전은 강력하나 회전자와 고정자 間에 corona 방전이 발생하여 불안정한 회전을 하는 高電壓 非定常領域 III (abnormal corona on-set region)으로 구분되었으며, 이상의 결과로 보아 모터의 인가전압은 어떤 적정값이 존재함을 보여주며, 모터는 領域 II의 定常運轉領域에서 운전되어야 함을 보여준다.

그림 5는 固定子 電壓에 3相 交流 電壓 4330 V를 固定 印加하고 電源 周波數만 0 - 150 Hz로 可變하였을 때 回轉子 表面物質(電荷緩和時定數 표 1 참조)에 따른 4種의 回轉子の 回轉速度  $\omega$ 를 나타낸 것으로, 4種類의 物質 모두 印加周波數가 증가할수록 回轉速度는 거의 직선적으로 증가함을 보여주며, 특히 polypropylene에 TiO<sub>2</sub>를 20  $\mu$ m 정도 스크린 印刷한 시편의 경우  $V_p = 4330$  V,  $f = 130$  Hz에서 最大 回轉速度는 약 7,600 rpm 을 나타내고 있다. 그리고 그림 6에서와 같이 回轉子 表面物質의 電荷緩和時間에 따라서 모터의 回轉速度가 크게 影響을 받음을 보여주었으며, 특히 電荷緩和時定數가 클수록 回轉速度도 증가함을 보여주었다. 이는 固定子에 印加한 3相 交流 電壓의 周波數의 變化에 따른 誘電體 回轉子 表面上的 誘起 分極된 쌍극자의 誘起 速度가 비례해서 증가하기 때문이라 사료된다.

그림 6은 표 1의 4種類의 回轉子 表面物質로 만들어진 回轉子の 表面 誘電物質의 電荷緩和時定數의 變化와 印加電源의 周波數를 40 Hz, 60 Hz, 80 Hz 및 100 Hz로 변화시켰을 때의 回轉子の 回轉速度特性을 나타낸 것으로, 印加周波數가 낮은 60Hz의 경우에는 電荷緩和時定數가 증가함에 따라 직선적으로 증가하나, 인가주파수가 80 Hz로 높아지는 경우에는 電荷緩和時定數가 적을 때는 모터의 회전수는 급격히 증가하나 電荷緩和時定數가 증가할수록 모터의 回轉速度는 飽和하는 경향을 보여주었다. 이와 같이 電荷緩和時定數가 클수록 回轉速度가 커지는 이유는 정확히 알려 있지 않으나 回轉子 表面上的 電荷의 誘起 分極化時間과 滯留時間이 回轉速度에 크게 影響을 주는 것으로 사료된다.

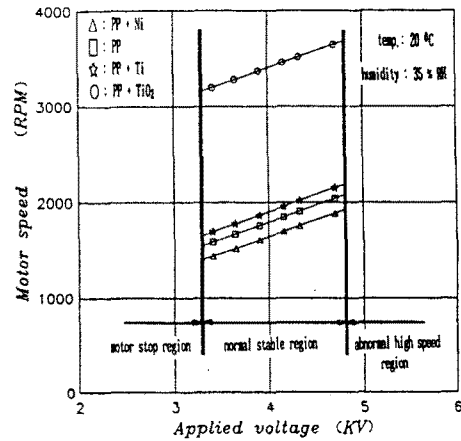


Fig. 4 Motor speed as a function of variable voltage applied

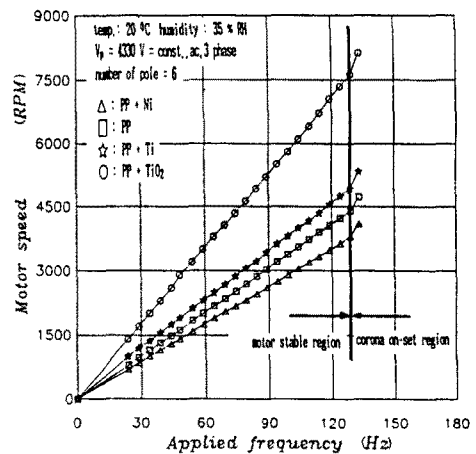


Fig. 5 Motor speed as a function of different frequencies and surface materials of the rotor

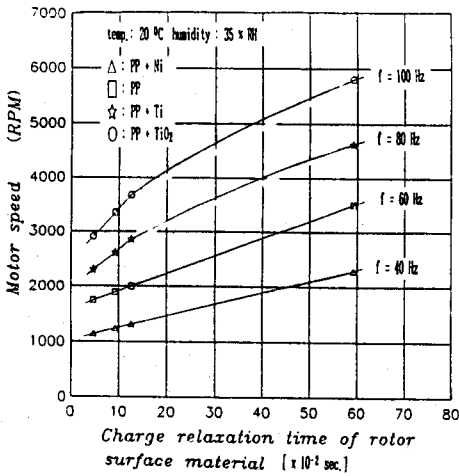


Fig. 6 Motor speed as a function of charge relaxation time of rotor surface materials

#### 4. 結論

小型 靜電 誘導型 모터의 개발을 위한 기초 연구로서 miniature 靜電誘導型모터를 제작하고, 回轉子의 表面抵抗率, 比誘電率 및 電源電壓의 크기와 周波數 變化에 따른 回轉子의 回轉速度特性을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 제작된 小型 모터는 印加電壓의 증가에 따라 非回轉 低電壓領域, 定常回轉 中電壓領域, 그리고 非定常 強力回轉 領域의 3 領域으로 구분되었으며,

2) 또한 電源의 印加周波數의 增加에 따라서도 약 130 Hz 까지는 回轉速度가 直線的으로 증가하나, 그 이상의 周波數에서는 固定子와 回轉子 間에 corona가 發生하며 振動을 수반한 非定常的 急速回轉現象을 보였다.

3) 본 실험의 경우 純粹金屬(Ni and Ti, 4N)과 金屬酸化物(TiO<sub>2</sub>, 4N)을 진공증착 또는 스크린 프린트하여 회전자 표면의 電荷緩和時定數를 변화시킨 경우, 電荷緩和時定數가 큰 쪽이 回轉速度가 증가함을 보여주었다.

4) 본 연구는 基礎研究로서 회전자 표면의 電荷緩和時定數 變化法 (진공증착이나 스크린 프린트), 回轉子 表面狀態와 測定方法 등 문제점이 있기 때문에 앞으로 좀더 조직적인 연구가 수행되어야 하겠다.

끝으로 실험적 조연과 진공증착을 위해 도와주신 대구대 물리학과 최 용준 교수님과 이 진호군에게 감사드립니다.

#### 참고문헌

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, オム社, pp 664-672 (1981)
3. 文 在德, 李 東勳 : 靜電모터의 研究現況과 開發動向, 大韓電氣學會誌, Vol. 40, No. 2, pp 7-15 (1991)
4. E. R. Mognaschi, J. H. Calderwood : Asynchronous Dielectric Motor, IEE Proceedings, Vol. 137, Pt. A, No. 6, Nov. 1990
5. Masayuki Hattory Kazutoshi Asano : A Study on Cylindrical Electrostatic Corona Motor, Proc of the institute of electrostatics, Japan, pp 81-89 (1981)
6. Oleg D. Jefimenko : Electrostatic Motors, Electret Science Company, Star city, 1973
7. W. S. N. Trimmer and K. J. Gabriel : Design Considerations for a Practical Electrostatic-Micro Motor, AT & T Bell Lab, (USA)
8. A. D. Moore : Electrostatics and Its Applications, Electric and Computer Engineering Department, University of Michigan, pp 131-147 (1972)
9. Soon Dal Choi : A Surface Charge Induction Motor, Institute of Plasma Research Stanford University, 1969
10. Sekwang Park : Constant Flow-rate Microactuator based on Silicon and Micromachining Technology, IEEE Electron devices ( Sensors and Actuators), 6, pp 136-139 (1988)
11. 양상식 : 舊小型 電子 機械 裝置에 관한 研究 展望, 大韓電氣學會誌, Vol 39, No. 6, pp 14-19 (1990)
12. 文 在德, 李 東勳 : 靜電 誘導型 모터의 基礎研究(1), 大韓電氣學會夏季學術大會論文集, pp 322-325 (1991)
13. 大橋朝夫 : "靜電氣工學", 朝倉書店, pp 62-72 (1985)
14. 日本工業規格 : 導電率測定法通則, JIS K0112
15. 日本工業規格 : 電氣絶緣材料의 誘電正接及 誘電率 試驗方法, JEC 150