

誘導型 靜電 모터의 基礎研究 (I)

문재덕*
* 경북대학교 전기공학과

이동훈**
** 부산공업대학 산업안전공학과

A basic study of induction type electrostatic motor(I)

Dept. Electric engineering
of kyungbuk national univ.

Dept. Industrial engineering
of pusan institute technology

abstract

An induction type small size electrostatic motor has been fabricated and tested using different rotor dielectric sheet type materials and 3 phase ac various frequencies and voltages.

It's maximum no-load speed was about 2800 rpm at the applied voltage of 3030V and frequency of 47Hz for the rotor material of polypropylene sheet. The motor speed was increased linearly by increasing with an applied voltage and frequency, and it also influenced greatly by the electrical properties of rotor dielectric material of relative dielectric constant, resistivity and relaxation time

1. 序論

靜電 모터는 現在 産業現場의 거의 모든 分野에서 動力源으로 使用되고 있는 磁氣形 모터에 비해 100년정도 앞서서 고안 製作 (1942년 工學者 Andrew Gordon (Scottish)⁽¹⁾) 되었으며, 이후 18-19 C에 걸쳐 實用적인 측면에서 많은 研究 努力이 試圖되었으나 실용에는 야르지 못했다.⁽²⁾ 왜냐하면 靜電形 모터는 磁氣形 모터에 비해 에너지 變換 效率이 매우 작아 出力에 制限이 있으며,⁽³⁾ 入力 임피던스가 매우 크기 때문에 印加 電壓이 매우 高度의 絶緣 技術을 必要로 하며, 모터의 高速 回轉에 견딜수 있는 베어링의 開發, 回轉軸의 dynamic unbalance 問題의 解決등 複合된 技術的 問題때문에 아직까지 産業의 應用에 適合한 水準의 靜電形 모터의 開發이 報告되고 있지 않다.⁽³⁻⁴⁾

그러나, 1980년대 후반에 들어 機械 産業, 電氣 및 電子 産業들의 技術 水準이 크게 向上되고 半導體 素子 및 電子機器 部品の 全般的인 超小型化 趨勢에 의해 半導體 silicon 製造技術과 微細構造 造作技術(micromachining technology)이 크게 進展되어 sub-millimeter 크기의 精密 超小型 모터가 크게 요구되어 이에 대한 研究가 활발히 研究되기 始作됨에 따라 많은 長點과 새로운 可能性들이 나

타서 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 많은 研究者들에 의해 큰 反響을 불러 일으키고 있다.⁽⁶⁻¹²⁾

本 研究 論文은 超小型 誘導型 靜電 모터 開發을 위한 基礎 研究로서, 수 cm크기의 小型 誘導型 靜電 모터 및 可變 周波數 交流 3相 電源 裝置를 製作하고, 印加 電壓의 크기, 印加 周波數, 회전자 材料의 유전율, 表面 抵抗率 및 緩和 時間이 모터의 回轉 速度에 미치는 影響을 調査하여 앞으로 수행할 超小型 靜電 모터 開發을 위한 基礎 研究 結果의 一部이다.

2. 實驗方法 및 實驗裝置

그림 1은 본 實驗에 사용한 誘導型 小型 靜電모터의 外形圖를 나타낸 것으로 回轉子의 材質로서는 誘電體 薄膜을 사용하였으며, 固定子는 圓形 銅版을 3等分한 것으로 구성하고 각 片에 그림 2의 3相 交流 電壓을 인가하였다. 표 1은 본 實驗에 사용한 모터의 諸元을 나타낸다. 표 2는 回轉子 材質의 電氣物性表를 나타낸다.

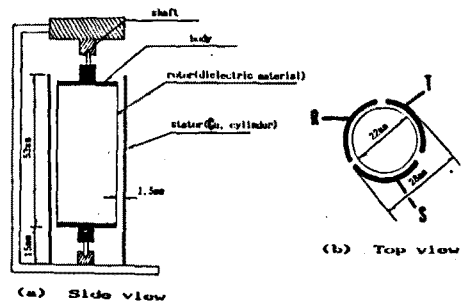


그림 1 모터의 外形圖

Fig.1 Induction type electrostatic motor tested

표2 回轉子 物質의 電氣物性表

Table 2 Electric characteristics of rotor materials

回轉子物質	比誘電率(ϵ_r)	表面抵抗率, ρ ($10^{12}\Omega\text{cm}$)
청색모조지	4.23	1.5
걸연지	3.83	1.8
황색모조지	2.82	2.5
아르지	2.77	3.5
트랄팔지	1.12	9

표 2는 본 실험을 위해 사용한 回轉子 物質로서 表面 抵抗率 및 比誘電率은 恒溫恒濕室內(23±3°C, RH=40±5%)에서 직접 測定한 값이다. (13-14)

그림 2는 본 실험에 사용한 3相 可變 周波數 및 電 源發生裝置의 概略圖로서 f_1 은 function generator의 出力 周波數이고, 10 bit 2진 counter는 ROM의 어드레스 (address)를 스위프(sweep)하며, 그 周波數는 $f_2=f_0/4 \times 2^{10}$ 가 된다. counter의 Dir F/R 신호에 따라 up counter 또는 down counter가 되는데 이렇게 하여 3相 出力의 相順을 바꾸어준다. 이때 카운터를 n 이라 하면, 이것은 ROM의 어드레스가 되고, ROM의 데이터는 각각 다음의 식 (1-1)(1-2)(1-3)으로 表現되어 write되어 있다.

$$D_a=128 + 128 \sin [2\pi n/1024] \quad (1-1)$$

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

$$D_c=128 + 128 \sin [2\pi(n+341)/1024] \quad (1-3)$$

amplifier를 거쳐서 나온 出力 電壓 (最大値는 5.5V 정도)는 다시 高電壓變壓器를 거쳐서 최대 10kv까지 昇壓시켜서 固定子의 각 3相 片에 인가하였다.

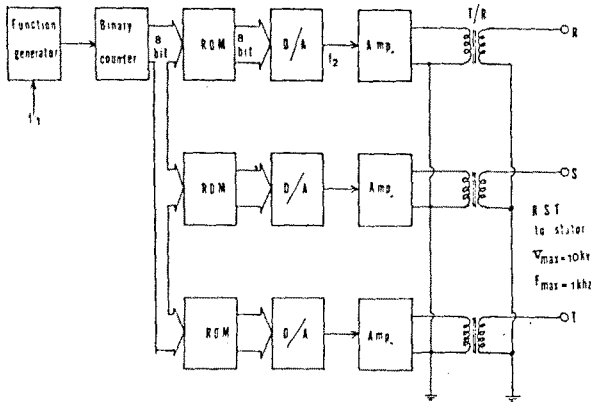


그림 2 3相 周波數 및 可變 電源 發生裝置의 概略圖
Fig.2 Block diagram of 3 phase frequency and voltage variable power source for the motor

표1 모터의 諸元

Table 1 Dimension of motor

空腔(air gap), g	1.5 mm
回轉子의 直徑(diameter), d_r	22 mm
回轉子의 길이(length), l_r	53 mm
回轉子의 두께, t	0.07-0.18 μm
回轉子의 총무게, m	8.5 gram
回轉子의 表面積, s	$3.7 \times 10^2 \text{ mm}^2$
固定子의 直徑(diameter), d_s	28 mm
固定子 사이의 間隔, t	8 mm
固定子의 길이(length), l_s	68 mm
極 數, p	3
印加電壓의 범위, V	0 - 4 kv 3 ϕ
印加周波數의 범위, f	0 - 100 Hz

3. 實驗 結果 및 考察

그림 3은 固定子에 3相 可變周波數 交流 電壓을 인가하였을때의 回轉子의 回轉速度, ω 를 나타낸 것으로 인가 周波數 및 電壓이 높을수록 ω 는 커지며, 대체로 12.5hz-25hz까지는 거의 직선적으로 상승을 해서 最大回轉數 (620-1250rpm)를 나타내고 그 후는 급격히 감소하려는 경향을 보여주었다. 이는 固定子에 인가한 3相 交流 電壓의 周波數의 變化에 따른 回轉子 材質表面의 誘起 分極된 雙極子 回轉이 이 정도 周波數의 범위에서는 직선적으로 상승하나, 그 이상의 周波數에서는 雙極子의 回轉이 인가 周波數의 變化에 따라가지 못하기 때문으로 사료된다. 따라서 誘導型 靜電 모터의 ω 는 回轉子材質의 誘起 分極의 特性, 즉 主 分極의 機構, 誘電率, 抵抗率, 또는 緩和 時間 등에 의해 결정된다고 사료된다.

그림 4는 그림 3으로 부터 얻어진 固定子에 인가하는 3相 交流電壓의 變化에 따른 回轉速度의 關係를 보여준 것으로 V의 增加에 따라 ω 는 거의 직선적으로 상승함을 보여준다. 본 실험에 사용한 回轉子는 $s=3.7 \times 10^2 \text{ mm}^2$, $m=8.5 \text{ g}$ 이나, S 나 m 을 더 줄여 小型化한다면 더 큰速度를 얻을 수 있으리라고 사료된다.

그림 5는 回轉子의 表面抵抗率 ρ 의 變化에 따른 ω 를 나타낸 것으로서 ρ 가 커짐에 따라 ω 는 거의 직선적으로 減少함을 알수있다. 이는 電荷의 τ 가 커짐에 따라 電荷 表面의 誘起 分極의 周波數 特性이 좋지 못해지는 現象에 의한 것으로 사료된다.

그림 6은 回轉子의 比誘電率 ϵ_r 의 變化에 따른 回轉子의 ω 를 나타낸 것으로서 ϵ_r 이 增加함에 따라 ω 는 거의 직선적으로 서서히 增加함을 보여준다. 이는 回轉子 材質중 誘起 分極數가 많아짐에 따른 결과라고 사료된다.

그림 7은 時定數($\tau = \rho e r$)의 變化에 따른 回轉子의 ω 를 나타낸 것으로 τ 가 커짐에 따라 ω 가 서서히 減少함을 나타낸다. 大橋(15)에 의하면 τ 의 增加에 따라 ω 는 增加하는 傾向을 보였으나, 본 實驗의 경우는 減少함을 보여주었는데, 이에 대해서는 앞으로 더 實驗 檢討이 되어야 하겠다.

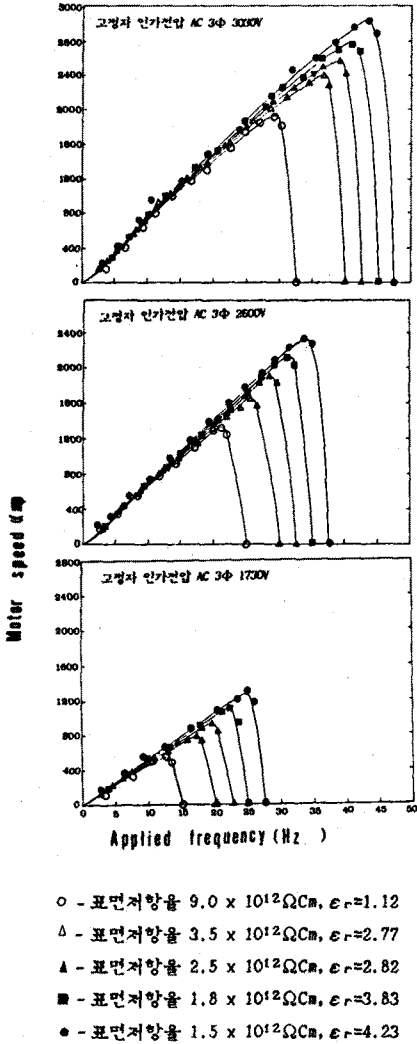


그림 3 印加 電源電壓의 周波數 變化에 따른 回轉 速度 特性
Fig.3 Motor speed as a fuction of variable frequency and voltage applied

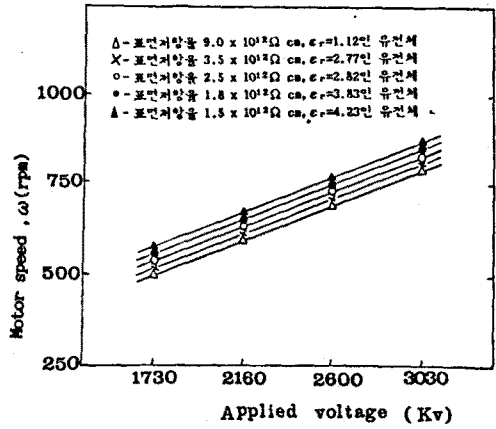


그림 4 回轉子의 材質 및 印加電壓의 變化에 따른 回轉 速度 特性
Fig.4 Motor speed of different rotor materials as a function of applied voltage

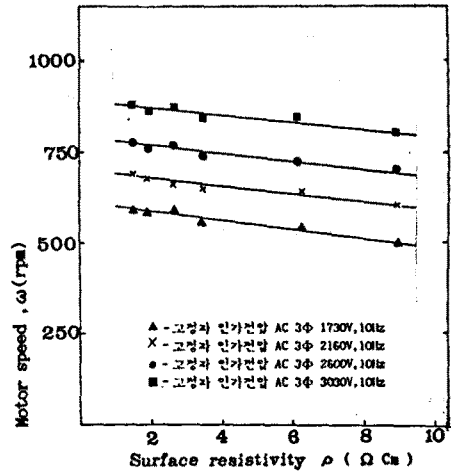


그림 5 回轉子材料의 表面抵抗率에 따른 回轉 速度 特性
Fig.5 Motor speed as a function of surface resistivity of the rotor materials

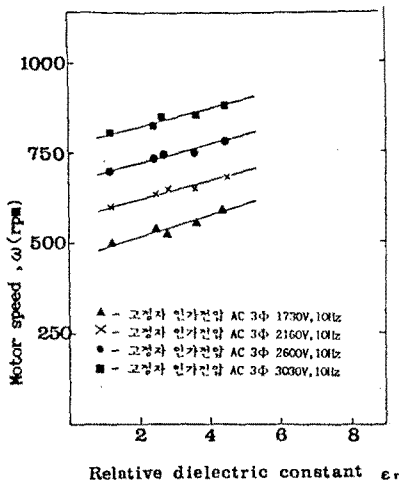


그림 6 회轉자의 比誘電率의 變化에 따른 回轉速度 特性

Fig.6 Motor speed as a function of relative dielectric constant of the rotor materials

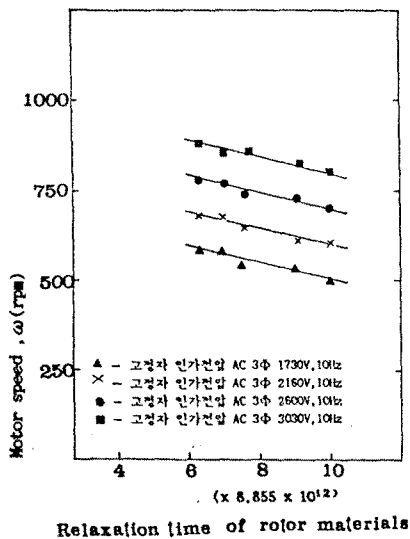


그림 7 時定數의 變化에 따른 回轉速度特性

Fig.7 Motor speed as a function of relaxation time of the rotor materials

4. 結論

誘導型 靜電모터에서 回轉자의 表面抵抗率, 比誘電率 및 인가 電壓의 變化에 따른 回轉數의 變化 特性을 조사한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 固定子の 回轉電界(周波數)의 變化에 따라 回轉數는 거의 직선적으로 上昇하나, 어느 臨界周波數에서는 급히 減少하였고,

2) 回轉자의 表面抵抗率이 클수록, 比誘電率이 적을수록 回轉자의 回轉速度는 감소하였으며, 緩和時間의 增加에 따라서는 약간 減少하였음을 보여주었다.

3) 固定子에 인가한 電壓이 클수록 回轉자의 回轉速度는 증가하였다.

현재까지 豫備 實驗 段階이나, 앞으로는 回轉자의 改良, 回轉자의 小型 및 輕量化, 回轉子 材質(ϵ_r, ρ, τ 등)이 回轉速度나 토크에 미치는 影響에 대해 組織的이고 具體的인 研究를 수행해 나가고져 한다.

參考文獻

1. P. Benjamin: A History of Electricity, John Wiley Sons (1898) 506
2. 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, 40, 2 (1991) 8-19
3. 日本靜電氣學會編: 靜電氣ハンドブック, オム社 (1981) 651-652
4. Oleg D. Jefimenko: Electrostatic Motors, Electret Scientific Company, Star city (1973)
5. W.S.N. Trimmer and J. Gabriel: Design Considerations for a Practical electrostatic Micro-motor, Sensors & Actuators, 11 (1987) 189-206
6. W.S.N. Trimmer: Microrobots and Micro Mechanical Systems, Sensors and Actuators, 19 (1989) 267-287
7. 編集室: 움안으로 들어가는 마이크로 로봇, 科學東亞, 4月號 (1990) 98-101, 細胞造作分野 旗幟製 期待, 電子新聞(1990.6.11)
8. M. Mehregany, K.J Gabriel and W.S.N Trimmer: Micro Gears and Turbines Etched from Silicon, Sensors and Actuators, 12 (1987) 341-348
9. M. Mehregany, K.J Gabriel and W.S.N Trimmer: Integrated Fabrication of Polysilicon Mechanisms, IEEE Trans on ED, 35, 6 (1988) 719-723
10. Long-Shen Fan, Yu-chang Tai and Richard S. Miller: Integrated Movable Micromechanical Structures for Sensors and Actuators, IEEE Trans on ED, 35, 6 (1988) 724-730
11. Hiroyuki Fujita and Akito Omodaka: The Fabrication of an Electrostatic Linear Actuator by Silicon Micromachining, IEEE Trans on ED, 35, 6 (1988) 731-734
12. Soon Dal Choi and Donald A. Dunn: A Surface-Charge Induction Motor, Proc of IEEE, 59, 5 (1971) 737-748
13. 日本工業規格, "導電率 測定法通則", JIS K 0112
14. 日本工業規格, "電氣絶緣材料의 誘電正接 및 誘電率 試驗方法", JEC 150
15. 大橋朝夫, "靜電氣工學", 朝倉書店, (1985) 62-72