

자기저항법을 이용한 외전형 BLDC 모터의 해석 및 설계

최명종^{*}, 김선대, 정태경
 중앙대학교 공과대학 전기공학과

Analysis and Design of Outer-Rotor Type BLDC Motor by Permeance Method

Myung Jong Choi, Sun Dai Kim, and Tae Kyung Chung
 Department of Electrical Engineering, Chung Ang University

ABSTRACT

Outer-rotor type brushless motor is designed to run at more constant speed because of large inertia comparing with inner-rotor type. The constant speed is acquired by increasing inertia. Also, the generating torque is proportional to the rotor volume, i.e. rotor diameter.

The main idea in this study is to design and analyze the outer-rotor type brushless motor by permeance method with given outer dimension.

1. 서론

외전형 BLDC 전동기는 기존의 BLDC 전동기와 마찬가지로 Brush에서 발생하는 마찰과 Spark를 줄일 수 있으므로 보수, 유지가 필요없기 때문에 FA, OA 기기 및 복사기 등에 사용되고 있다.

본 논문에서는 자기저항법에 의한 복사기 종이 이송용 외전형 BLDC 전동기를 설계, 해석하였다. 종이의 이동속도에 따라서 복사의 선명도와 질이 좌우되므로 본 전동기는 '정속도운전'에 중점을 두고 설계되었다.

외전형 BLDC 모터는 회전자와 고정자의 바깥부분에 위치하기 때문에 회전자와 반경이 커지게 된다. 따라서 관성이 커지므로 속도의 안정성을 얻을 수 있다. 또 자석체적의 증가에 따라 총자속이 커지므로 고토크를 얻을 수 있는 이점이 있다.

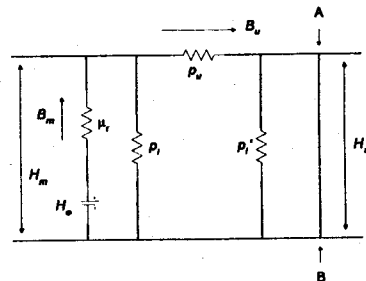
자속이 통과하는 공극, Yoke 부, 철심부의 퍼미언스를 구하였고 여러 가지 누설통로를 고려하여 각각의 누설퍼미언스를 구해 π 형등가회로로 해석하였다. 특성해석은 무부하시와 동작점에서의 관계를 고려한 파라미터를 설정하여 토오크에 따른 회전속도와 출력, 효율 등을 유도하였다.

II. π 형 4 단자회로에 의한 해석

본 논문에서는 영구자석자기회로를 등가전기회로로 환산해서 자속과 기자력을 구하는 π 형 4 단자회로에 의한 해석방법을 이용하였다 [1] [2].

자석기기의 자기회로는 공극을 포함한 여러가지 자로 구성되었다. 모든 수식은 mks 단위로 표시했다.

자석기자력원은 그림 1에서 전원으로 표시된다. 자석기자력원에 대해 역기전력이 존재한다. 이 자로의 경우 자석의 동작은 2가지로 자기상태에 따라 구별된다. 한 가지는 역기전력이 존재하지 않을 때의 정적자기회로(A-B 개방)이다. 다른 하나는 역기전력이 자석기전력과 반대 방향(A-B 단락)이고 이 때는 전기자속의 자속을 소멸시킬 때이다.



p_u : 유효퍼어미언스 계수 p_i, p_i' : 누설퍼어미언스 계수
 μ_r : 자석체적의 내부퍼어미언스, 자석체의 recoil 투자율
 B_u : 유효자속, B_m : 자석내 자속 (개방무부하시)
 H_u : 유효기자력, H_m : 자석기자력 (단락무부하시)

그림 1. 자속경로를 고려한 등가회로
 Fig. 1. Equivalent circuit of magnetic path of a PM motor

자석의 단면적 및 길이는 각각 a_m, l_m 이고 실제자속, 기자력, 퍼어미언스를 각각 Φ, F 및 p 로 하면 자석의 단위단면적 및 단위길이에 따라 환산해서 $B = \Phi/a_m, H = F/l_m, p = P \cdot l_m/a_m$ 의 값을 갖는다.

여기서 가상적기자력 H_e 는 자석의 초기동작점 recoil 투자율 μ_r 에 따라 결정된다. 초기동작점의 자기적조건은 단락시의 회로이다. 따라서 초기동작점결정의 퍼어미언스계수는 다음과 같다.

$$p_L = \frac{p_u(p_u + p_i') + p_i p_i'}{p_u + p_i} \quad (1)$$

유효퍼어미언스는 공극의 퍼어미언스에 유효자속은

I 극의 공극 및 전기자자속에 대응된다.

해석결과를 실제적인 누설계수 및 기자력손실계수로 구해 보자. 개방시의 회로에서는 자석으로부터의 자속은 누설자속만으로 유효한 자속의 감소가 생긴다. 유효자속 B_u 는 자석내 자속 B_m 보다 적고, 이 감소의 비율은 누설계수 $\sigma = B_m / B_u$ 가 된다.

개방시의 회로에서는 자석의 기자력은 누설회로만이고, 유효한 기자력의 감소를 보인다. 유효기자력 H_u 은 자석기자력보다 작게 되고 이 감소비율은 기자력손실계수 $\lambda = H_m / H_u$ 로 표시된다.

이 계수를 이용해 해석결과를 나타내면 다음과 같다.

$$\sigma = 1 + p_l / p_u, \quad \sigma p_u = p_u + p_l$$

$$\lambda = 1 + p_l' / p_u, \quad \lambda p_u = p_u + p_l'$$

$$B_u = \frac{H_e \mu_r p_u}{\mu_r + \sigma p_u}, \quad H_u = \frac{H_e \mu_r}{\lambda \mu_r + p_u (\lambda \sigma - 1)}$$

$$p_L = p_u \left(\sigma - \frac{1}{\lambda} \right) \quad (2)$$

자석의 초기동작점은 퍼어미언스계수 p_L 에 따라 결정할 수 있다. 페라이트자석의 경우 감자특성의 굴곡점이 2 상한에 있는 경우, p_n 을 굴곡점의 퍼어미언스계수라 하면 다음식이 성립한다.

$$p_L > p_n, \quad H_m = \frac{B_r}{\mu_r + p_L}, \quad B_m = \frac{B_r \sigma p_u}{\mu_r + \sigma p_u}$$

$$p_L < p_n, \quad H_m = \frac{\mu_t B H_c}{\mu_r + p_L}, \quad B_m = H_m \frac{\sigma p_u (\mu_r + p_L)}{\mu_r + \sigma p_u}$$

II-1. 전동기의 특성해석

$V_t = IR + E$ 의 관계에서 이상적인 무부하시상태를 가정하면 이때 상전류 $I = 0$ 이고, 공급전압은 전기자 1상의 유도기전력과 같다. 즉 $V_t = E$ 가 된다. 따라서 이상적무부하시의 회전속도를 N_t (rpm)이라 하면 다음과 같이 된다 [1].

$$V_t = K_E N_t : N_t = \frac{V_t}{K_E} = \frac{30\sqrt{2} \cdot V_t}{\pi p k_w w \Phi_g} \quad (\text{rpm}) \quad (3)$$

전동기구속시, 구속시전류를 I_s 라 하면 $V_t = I_s R$ 이 성립한다. 또 구속시 토오크를 τ_s 라 하면 다음과 같이 된다 [1].

$$\tau_s = K_T \cdot I_s : I_s = \frac{\tau_s}{K_T} = \frac{\sqrt{2} \cdot \tau_s}{\pi p k_w w \Phi_g} \quad (\text{A}) \quad (4)$$

임의의 회전속도를 N (rpm), 그 때의 전기자전류를 I (A)라 하면 위의 관계에서 I 를 구할 수 있다.

$$I = I_s \left(1 - \frac{N}{N_t} \right) \quad (5)$$

실제의 전동기는 동손, 철손 등이 존재한다. 이들 손실은 무부하시부터 구속시까지의 동작 전구간에 존재하므로 이것을 일정한 토오크손실 τ_o 로 표시한다. 따라서 임의의 회전속도에서의 동작시에 발생하는 실제토오크는 다음과 같다 [2] [3]. τ 는 전동기에서 실제로 발생하는 토오크이다.

$$\tau + \tau_o = K_T I \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad K_T = \text{토오크정수} \quad (6)$$

이상적무부하시의 관계식 (3) 을 이용하면 전동기의 실제토오크와 구속시의 토오크(τ_s)는 식 (7)과 (8)로 주어진다.

$$\tau + \tau_o = \frac{30 m V_t I_s}{\pi N_t} \left(1 - \frac{N}{N_t} \right) \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (7)$$

$$\tau_s + \tau_o = \frac{30 m V_t I_s}{\pi N_t} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (8)$$

전동기의 출력은 $P = \frac{\pi}{30} \tau N$ (W) 에서 다음과 같다.

$$P + P_o = m E I = \frac{m V_t I_s N}{N_t} \left(1 - \frac{N}{N_t} \right) \quad (\text{W}) \quad (9)$$

P_o 는 무부하손실 토오크에 대응하는 손실이다.

전동기 1상의 공급전압은 리액턴스 전압강하를 고려해 넣으면 $V = \sqrt{V_t^2 + I^2 X_1^2}$ (V) 가 된다. 여기서 X_1 은 1상의 동기리액턴스이다. 여기서 리액턴스정수는 아래식과 같이 된다.

$$X_1 = K_X N : K_X = \frac{\pi \cdot (k_w \cdot w)^2 \Phi_g}{30\sqrt{4-m} F_u} \quad (\Omega / \text{rpm}) \quad (10)$$

상전류와 공급전압과의 위상차는 $\tan \phi = IX_1 / V_t$ 가 된다. 따라서 전동기의 입력과 효율은 $W = m V_t I \cos \phi$ (W) $\eta = P / W$ (%) 로 주어진다.

전동기의 이상적무부하시부터 구속시까지의 영역에서 토오크, 회전속도, 전기자상전류, 공급전압, 입력, 출력 등을 해석했다. 전압 및 전류 등은 교류의 실효치로 주어졌다.

III. 시험 설계, 해석

여기서는 40W 급 복사기용 외전형 BLDC 전동기를 대상으로 해석하였다. 그림 2에 전동기의 외형을 나타내었다. 또 표 1에 전동기의 기본 치수를 나타내었다. 8 pole, 12 slot, 입력전압은 3상 24 (V)이다. 자석은 Ferrite, 0.37 T 를 사용하였다. 그림 3에 해석결과를 나타내었다.

표 1. 전동기의 기본 치수

Table 1. Measurement of motor

회전자석계자내경 (D)	73.9 (mm)
고정전자석외경 (Da)	72.7 (mm)
철심치폭 (tw)	5.1 (mm)
슬롯개구폭 (s)	2.4 (mm)
슬롯높이 (th)	13.8 (mm)
자석두께 (lm)	5.8 (mm)
자극각도 (ϕ)	45°
공극길이 (ag)	1.2 (mm)
자석축방향길이 (Lm)	28.15 (mm)
고정자축방향길이 (La)	19.7 (mm)

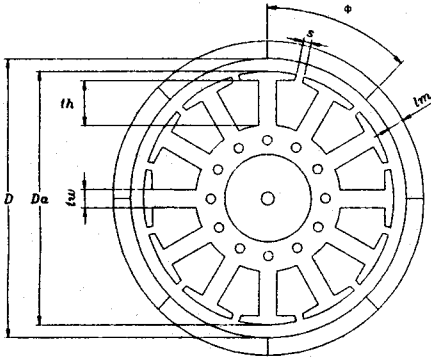
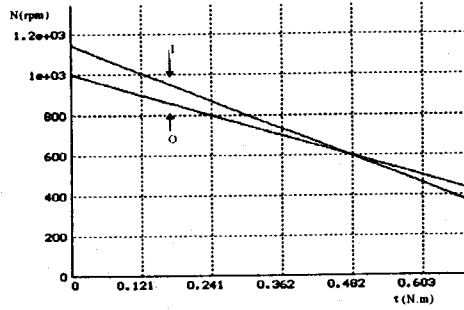


그림 2. 외전형 BLDC의 구조

Fig. 2. Structure of outer-rotor type BLDC motor



I : Inner-rotor type BLDC motor
O : Outer-rotor type BLDC motor

그림 4. 외전형과 내전형 BLDC 전동기의 속도비교
Fig. 4. Comparison of speed in outer-rotor type BLDC motor and inner-rotor type BLDC motor

V. 참고문헌

1. 大川 光吉, 영구자석자기회로의 설계 · 특성계산법, 磁氣應用
2. Yasuhiko Dote, Sakan Kinoshita, "Brushless Servomotors", CLARENDON PRESS, OXFORD 1990
3. T.Kenjo, S.Nagamori, "Permanent Magnet and Brushless DC Motors", Sogo Electronics Publishing Company, Tokyo

IV. 결론

본 논문에서는 복사기에 적합한 외전형 BLDC를 설계 해석하였다. 같은 외형치수에서 외전형과 내전형을 비교해 보면 외전형이 정격속도는 작지만 속도의 안정성을 갖는다는 것을 알 수 있다. 결과를 그림 4에 표시하였다.

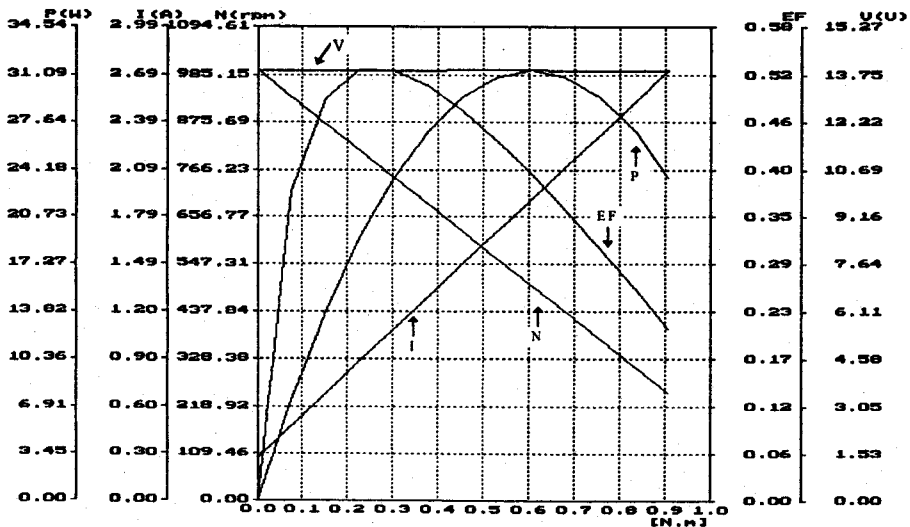


그림 3. 외전형 BLDC 전동기의 해석결과

Fig. 3. Analysis result of outer-rotor type BLDC motor