

자동차용 Brushless Disk Type Motor 개발연구

• 장 기찬 *, 박 장순 *, 박 순철 **
* 한국전기연구소, ** 동환산업(주) 기술연구소

The Development of Brushless Disk Type Motor for a Motorcar

• K. C. Chang *, C. S. Park *, S. C. Park **
* KERI, ** Dong Hwan Industry Co

ABSTRACT-Magnetic characteristics of a brushless disk type motor has been analyzed taking into account the magnetization distribution in the rotor magnet. This paper describes a method for calculating the 3D flux density in the air gap and calculates the induced voltage of the windings and the torque between the permanent magnet and the amateur current.

I. 서론

최근 자동차의 엔진룸, 에어컨의 송풍 FAN MOTOR가 장착되는 공간이 축소되는 경향에 따라 축방향의 길이가 기존 전동기 보다 짧은 Disk Type motor의 사용이 증가하는 추세이며, BRUSH로 인한 단점을 보완하기 위하여 BRUSHLESS화 하는 경향이다. 본 연구는 자동차 냉각 FAN으로 이용될 BL Disk Type Motor 개발연구에 있어 크기 및 특성 결정에 필요한 공극내 자속밀도, 유기전압 및 토크 결정에 대해 소개한다.

II. 본론

1. BL Disk Type Motor의 구조

BL(Brushless) Disk Type Motor의 자로는 축방향으로 형성되므로 Axial Field Motor 로도 칭하며, 축방향의 길이가 짧아 좁은공간에 장착이 유리하고 구조는 그림 1 과 같다.

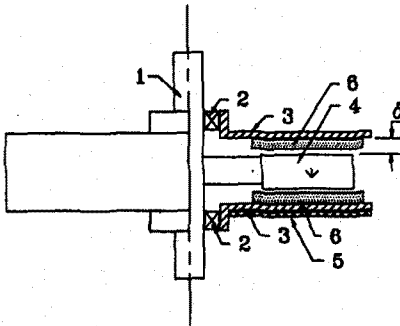
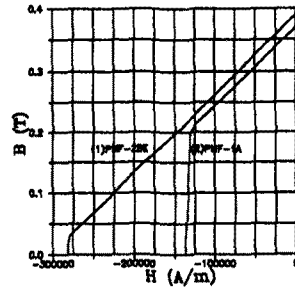


그림 1. BL Disk Type Motor의 구조

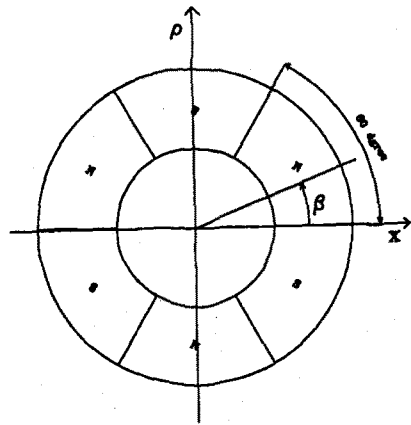
- 1: shaft, 2: bearing, 3: yoke
4: permanent magnet, 5: EC circuit board, 6: winding

그림 1. 의 주요부분의 재질은 shaft(1)가 SM55C, yoke(3)가 SM20C, 영구자석(4)이 wet strontium ferrite(PMF-2BE)이다. 그림 2(a)는 개발중인 motor의 회전자에 사용될 영

구자석의 감자특성곡선이고 그림 2(b)는 6극으로 착자된 회전자구조이다. Ferrite 계의 영구자석은 감자특성곡선상의 굽곡점위치에 따라 용도가 다르다. 즉 그림 2(a) 중 감자특성곡선상의 굽곡점이 비교적 높은 자속밀도에서 나타나는 것(2) 과 비교적 적은 자속밀도에서 나타나는 것(1)인데, 전자의 특성을 가진 영구자석은 주로 스피커에 많이 이용되고 후자는 주로 영구자석전동기에 많이 이용된다.



(a)



(b)

그림 2. 영구자석(PMF-2BE)의 감자특성 및 구조

2. BL Disk Type Motor의 수식화

BL Disk Type Motor의 자료가 축방향으로 형성되기 때문에 정확한 계산을 위해 3차원해석을 필요로 한다. Motor의 최적화설계를 위해서나 원하는 특성을 얻기위해서

는 공극의 자속밀도를 계산해야하며 자속계산을 위하여 magnetization M이 사용된다.

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \quad \vec{M} = f(\vec{H}) \quad \text{----- (1)}$$

M은 H의 변화에 대해 안정하며 M은 영구자석의 외면에 면전류가 흐르는 면도체로 대체할 수 있으며 Biot-Savart 법칙에 의하여 공극자속밀도를 계산할 수 있다. 그 계산용 위하여 자기형태를 나타내면 그림 3. 과같이 표시할 수 있다.

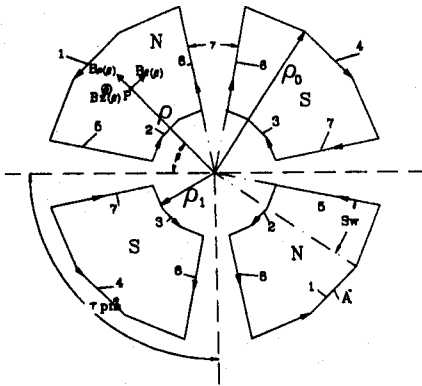


그림 3. 면전류와 점 P의 좌표

상기 원리에 의해 공극의 자속밀도가 원통좌표계로 환산된 각 성분의 공극자속밀도가 다음에 나타나 있다.[1]

$$B_z(p) = \frac{\mu_0 A}{4\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{v=0}^{P-1} \left\{ \sum_{u=0}^{n-1} \left[\sum_{i=1}^4 (-1)^{i+1} T_i(p) \right] + \sum_{i=5}^8 (-1)^{i+1} T_i(p) \right\} \quad \text{----- (2)}$$

$$B_{\rho}(p) = \frac{\mu_0 A}{4\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{v=0}^{P-1} \left\{ \sum_{u=0}^{n-1} \left[\sum_{i=1}^4 (-1)^{i+1} \cos\phi_i W_i(p) \right] + \sum_{i=5}^8 (-1)^{i+1} \sin\phi_i W_i(p) \right\} \quad \text{---- (3)}$$

$$B_{\theta}(p) = \frac{\mu_0 A}{4\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{v=0}^{P-1} \left\{ \sum_{u=0}^{n-1} \left[\sum_{i=1}^4 (-1)^{i+1} \sin\phi_i W_i(p) \right] + \sum_{i=5}^8 (-1)^{i+1} \cos\phi_i W_i(p) \right\} \quad \text{---- (4)}$$

$$\text{단, } T_i(p) = \tan^{-1}(F_1) - \tan^{-1}(F_2) + \tan^{-1}(F_3) - \tan^{-1}(F_4)$$

$$W_i(p) = \ln \frac{F_5 F_6}{F_7 F_8}$$

$$F_1 = \frac{(Z_{p,1} + d_m)(Y_{p,1} + L_1/2)}{X_{p,1} \sqrt{(Y_{p,1} + L_1/2)^2 + X_{p,1}^2} + (Z_{p,1} + d_m)^2}$$

$$F_2 = \frac{(Z_{p,1} + d_m)(Y_{p,1} - L_1/2)}{X_{p,1} \sqrt{(Y_{p,1} - L_1/2)^2 + X_{p,1}^2} + (Z_{p,1} + d_m)^2}$$

$$F_3 = \frac{Z_{p,1}(Y_{p,1} - L_1/2)}{X_{p,1} \sqrt{(Y_{p,1} - L_1/2)^2 + X_{p,1}^2} + Z_{p,1}^2}$$

$$F_4 = \frac{Z_{p,1}(Y_{p,1} + L_1/2)}{X_{p,1} \sqrt{(Y_{p,1} + L_1/2)^2 + X_{p,1}^2} + Z_{p,1}^2}$$

$$F_5 = Y_{p,1} + L_1/2 + \sqrt{(Z_{p,1} + L_1/2)^2 + X_{p,1}^2} + (Z_{p,1} + d_m)^2}$$

$$F_6 = Y_{p,1} - L_1/2 + \sqrt{(Z_{p,1} - L_1/2)^2 + X_{p,1}^2} + (Z_{p,1} + d_m)^2}$$

$$F_7 = Y_{p,1} - L_1/2 + \sqrt{(Z_{p,1} - L_1/2)^2 + X_{p,1}^2} + Z_{p,1}^2}$$

$$F_8 = Y_{p,1} + L_1/2 + \sqrt{(Z_{p,1} + L_1/2)^2 + X_{p,1}^2} + Z_{p,1}^2$$

3. BL Disk Type Motor의 유기전압 및 토크

상기 식 (2), (3), (4)의 자속밀도 중 전류가 존재하는 미소체적 dv에 발생하는 힘밀도 F는 전류밀도 J와 자속밀도 B의 벡터곱으로 나타낼 수 있다.

$$\vec{F} = \vec{J} \times \vec{B} \quad \text{----- (5)}$$

공극의 자속밀도 B가 속도 v로 이동하면 전기자권선에 유기되는 전압 E는

$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B} \quad \text{----- (6)}$$

된다. 힘 F 중 ρ 방향으로 작용하는 힘이 토크성분으로 되므로 미소체적 dv에 작용하는 토크밀도 m은 원점으로부터 ρ 방향의 거리 ρ 과 ρ 방향으로 작용하는 힘밀도 F_{ρ} 의 곱이 된다. 또한, 시간에 따라 움직이는 회전자의 영구자석의 위치는 각 θ 에 따라 다르며 각 θ 는 각속도 ω 와 시간 t의 곱이다. 즉,

$$m = J_{\rho} B_z \rho \quad \text{----- (7)}$$

$$\theta = \omega t \quad \text{----- (8)}$$

토크와 권선의 유기전압을 계산하기 위하여 권선이 위치하는 단면을 고려해야 한다. 인가전압과 권선의 유기전압 차를 권선의 저항으로 나누면 권선에 흐르는 전류가 계산된다. 식(7)을 권선단면적의 제곱에 대해 적분을 하면 motor의 전체 토크가 구해진다. 그 토크식을 다음에 나타내었다.

$$M_t(\theta) = C_M i_A(\theta) \sqrt{2} \phi_m(\theta) \quad \text{----- (9)}$$

회전자 위치 θ 에서 전기자 권선과 쇄교하는 평균자속 $\phi_m(\theta)$ 과 유기전압 $V_i(\theta)$ 은 다음과같다.

$$\phi_m(\theta) = \frac{1}{h_w} \int_{z_1}^{z_2} \int_{\rho_1}^{\rho_2} B(\rho, \theta, z) \rho d\rho dz \quad \text{---- (10)}$$

$$V_i(\theta) = C_M \omega \sqrt{2} \phi_m(\theta) \quad \text{----- (11)}$$

단, $C_M = \frac{Z P}{\alpha 2a}$ 로 기계상수를 나타내고, h_w 는 권선의 높이이다.

3. 계산결과

자동치용으로 개발하고자하는 전동기에 대한 조건은

토크 : 25 [Ncm]
 전압 : 24 [V]
 회전수 : 2,600 [rpm]

이며 그림 2.에 주어진 Wet Strontium Ferrite(PMR-2BE)의 magnetization M 은 318 [kA/m], 잔류자석밀도 B_r 은 0.42 [T] 이다.

상기조건을 만족하기 위하여 Disc Type Motor 설계 프로그램을 반복 수행으로 다음과같은 결과를 얻었다.

영구자석	전기자권선
내경 : 45.0 [mm]	권선수 Z : 504 [turns]
외경 : 90.0 [mm]	권선저항 : 3.0 [Ω]
두께 : 10.0 [mm]	공극 : 3.0 [mm]
극수 : 6 극	

상기결과로부터 공극의 자속밀도분포(그림 4.), 권선의 유기전압 V_l (그림 5.), 권선과 영구자석간의 토크 M_l (그림 6.)을 계산하였다. 회전자(영구자석)가 반회전했을 때, 권선에 발생한 유기전압을 그림 5에, 권선과 회전자 사이에 발생한 토크를 그림 6.에 나타내었다.

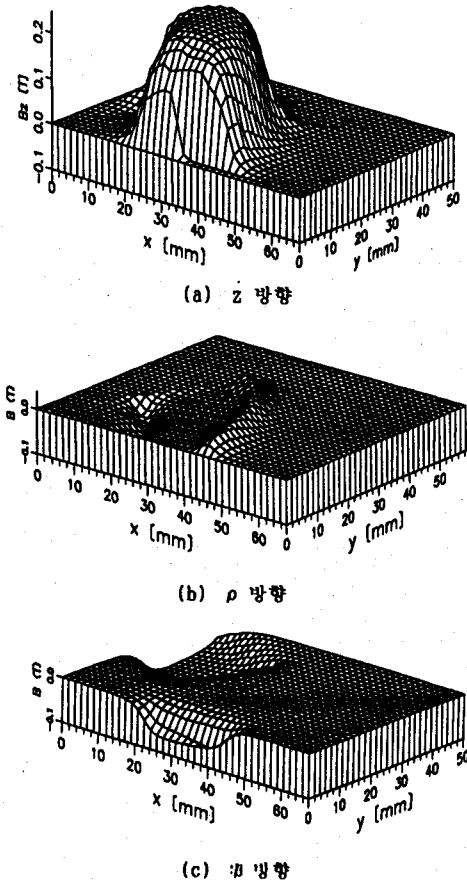


그림 4. 공극내의 자속밀도분포

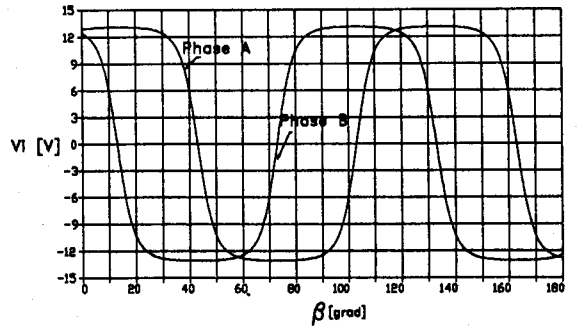


그림 5. 유기전압 V_l

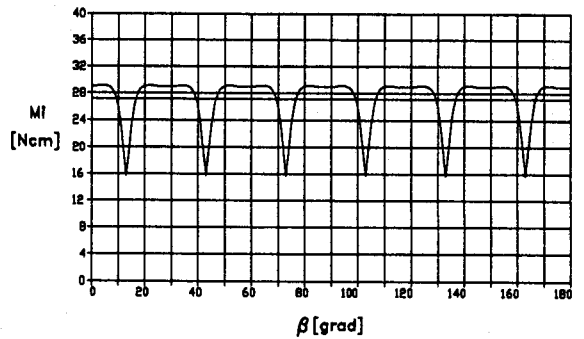


그림 6. 토크 M_l

II 결론

BL Disk Type 전동기의 크기와 토크 및 회전수 등의 요구조건을 만족시키는 전동기를 개발하기 위하여 본문에서 제시된 수식을 이용하여 개발한 프로그램으로 영구자석의 크기, 권선수, 권선저항, 공극 간격등의 설계변수를 구하였다. 실제 제작에 있어서 영구자석은 금형으로 제작되므로 소량의 시제품 제작이 어려워 기존의 금형 중 계산결과와 가장 근사한 금형을 사용하여 시제품을 제작하려 한다.

IV. 참고문헌

- [1].Chang Soon Park, Theoretische und Experimentelle Untersuchungen an Einem Elektronisch Kommutierten Scheibenlaufer - Kleinmotor, Thesis Technical University Berlin, 1989.
- [2].T.Nakota, N.Takahashi,K.Uehar,Analysis of Magnetic Characteristics of a brushless DC Motor taking into account the Distribution of Magnetization, IEEE tran. on Manetics, VOL. MAG-22, NO. 5, SEPT.,1986
- [3] T. Kenjo and S. Nagamori, "Permanent Magnet and Brushless DC Motor", Clarendon Press Oxford, 1985.
- [4] T. Kenjo, "Electric Motors and their Controls", Oxford University Press 1991.