

Outer Rotor 방식 BLDC 전동기 설계 및 특성 해석 모델링

* 박영일, 윤선기, 조유희, 장우교*, 이재호*, 신동식*
 동아대학교 전기공학과, 대우정밀(주)*

Design and Characteristics Analysis of Outer Rotor Type BLDC Motor

* Young-Il Park, Sun-Ky Youn, Yun-Hyun Cho, Woo-Kyo Jang*, Jae-Ho Lee*, Dong-Sik Shin*
 Dept. of Electrical Engineering, Dong-A Univ, Daewoo Precision Industries Ltd*

Abstract - This paper is proposed the design method of Outer Rotor BLDC by the magnetic equivalent method. In order to compute and estimate the performance parameter of Outer type BLDC. The dynamic model and characteristics analysis of BLDC is obtained by Matlab.

1. 서 론

최근 FA, OA, 자동차등의 고급화, 소형 경량화 추세에 따라 이들 기기에 사용되는 구동용 전동기의 특성도 더불어 고신뢰성, 소형 경량화가 요구되고 있다. 기존 시스템의 주 구동원은 일반적으로 직류전동기를 사용하고 있다. 그러나 이들의 기기는 브러시와 정류자를 사용함으로써 신뢰성과 보수·유지성이 낮으며, 특히 효율과 단위 용량당 체적비가 크므로 소형화하는데는 문제점을 갖고 있다. 따라서, 기존의 브러시와 정류자의 문제점을 해결한 BLDC 전동기를 사용함으로써 보수·유지와 신뢰성을 높일 수 있다. 그러나 BLDC 전동기의 크기에 제한이 있고 높은 토크를 요구하는 경우에는 Inner Rotor 방식보다 Outer Rotor 방식의 BLDC 전동기를 사용하는 것이 좋다.

본 논문에서는 자기동기회로법에 의하여 Outer Rotor 방식의 BLDC 전동기를 설계하였다. 설계된 BLDC 전동기를 FEM과 이론적 특성해석으로 구한 값들을 비교, 분석하여 최적상태의 특성과 파라미터를 추출하고 모터의 동특성 상태를 쉽게 표현 할 수 있는 Matlab을 사용하여 Outer Rotor 방식의 BLDC 전동기를 모델링하여 동특성을 해석하였다.

2. 본 론

2.1 외전형 BLDC 전동기의 설계

그림 1은 본 설계에서 선정된 모델의 형상이다.

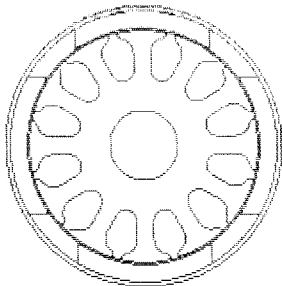


그림 1 BLDC 전동기의 설계모델

2.1.1 설계 특성식

1극의 자속의 평균 단면적 및 길이는 식(1)과 같다.

$$a_m = \frac{1}{2} \phi L_M(D + t_r) = \frac{\pi a_i}{2p} L_m(D + t_r), l_m = t_r \quad (1)$$

여기서, $a_i = p\phi/\pi$: 극호율, D : 자석계자의 내경,

t_r : 자석의 자화방향 길이, ϕ : 동자극 각도,

L_m : 동축방향 길이

구속시의 토크를 구하면

$$\tau_s = \frac{\tau N_0}{N_0 - N} \quad (2)$$

또한 이상적 무부하시의 회전속도와와의 관계로부터

$$\frac{N_i}{N_0} = \frac{\tau_s + \tau_0}{\tau_s} \quad \text{또는} \quad N_i = N_0 \frac{\tau_s + \tau_0}{\tau_s} \quad (3)$$

식(3)은 기전력상수를 사용해서 식(4)와 같이 나타낸다.

$$N_i = \frac{V_i}{K_E}, K_E = \frac{\pi p k_w w \Phi_g}{30\sqrt{2}} \quad (4)$$

전기자 1상의 유효 직렬권회수는 식(5)와 같이 계산되어진다.

$$k_w w = \frac{30\sqrt{2} V_i \tau_s}{\pi p N_0 \Phi_g (\tau_s + \tau_0)} \quad (5)$$

여기서 k_w : 권선계수

전기자 회로의 실효저항은 구속시의 회로저항으로 보아도 좋으므로,

$$R = \frac{V_i}{I_s} = \frac{V_i^2}{V_i I_s} \quad (6)$$

$$= \frac{m V_i^2}{1.027 N_i (\tau_s + \tau_0)} = \frac{m V_i^2 \tau_s}{1.027 N_0 (\tau_s + \tau_0)^2}$$

동선단면적은 권선의 저항으로부터 계산한다.

$$R_a = \frac{2\rho w(l_a + L_a)}{a q_a}, l_a = 4.2(D_a + h_s) \frac{S_c}{S_n} \quad (7)$$

여기서, l_a : 권선의 코일 평균길이의 반, a : 병렬회로 수,

a_a : 동선 단면적 [mm^2], h_s : 슬롯 높이,

S_c : 코일 피치, S_n : 슬롯 수, ρ : 동선의 비저항

여기서, 슬롯의 높이에 대해서 계수를 생각하여

$$D_a + h_s = k_s D_a, k_s = 1.1 \sim 1.2 \quad (8)$$

동선단면적은 식(9)과 같이 나타낸다.

$$a q_a = \frac{2\rho w}{R_a} (4.2 k_s D_a \frac{S_c}{S_n} + L_a) [mm^2] \quad (9)$$

2.1.2 설계과정

본 연구의 설계모델은 표 1의 요구사항과 그림 2의 설계순서와 같다. 설계 요구사항에 전동기의 외경이 포함된 것은 자동차에 사용되는 전동기이므로 크기가 제한되어 설계 요구사항에 포함된다.

표 1. 설계 요구사항

항목	Value	Unit
입력전압	12	V
정격속도	3000	rpm
무부하속도	4300	rpm
정격토크	4	kgcm
무부하손실토크	0.5	kgcm
회전자 반경	48.4	mm

전류가 17[A]이고, 토크가 4[kgcm]임을 알 수 있다. 이 값은 설계 요구사항과 일치한다.

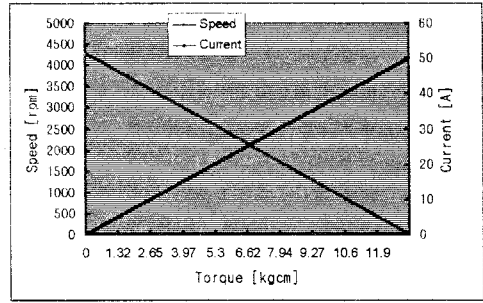


그림 3 설계된 BLDC 전동기의 속도-토크 곡선

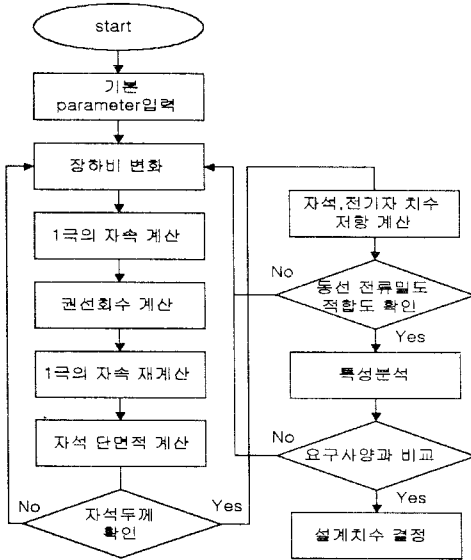


그림 2 BLDC 전동기의 설계 순서도

2.1.2 설계 결과

표 2는 요구사항과 그림 2의 설계순서에 따라 결정된 설계 파라미터이다.

표 2 설계 Parameter

항목	Value	Unit
고정자 반경	39.7	mm
공극	0.7	mm
고정자 축방향길이	14	mm
영구자석 축방향길이	20	mm
영구자석 두께	6	mm
치폭	6	mm
슬롯당 턴수	16	turn
축 반경	12	mm
영구자석의 전기자	140	°

표 2의 설계된 치수로 그림 3과 같이 BLDC전동기의 특성을 구하였다. 그림에서 정격속도 3000[rpm]에서

2.2 외전형 BLDC 전동기의 특성 해석

2.2.1 FEM에 의한 해석

그림 4와 그림 5는 설계된 BLDC전동기를 FEM으로 해석한 결과를 나타낸다.

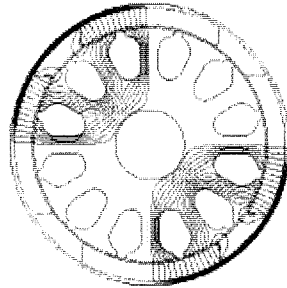


그림 4 설계된 BLDC 전동기 자속선도

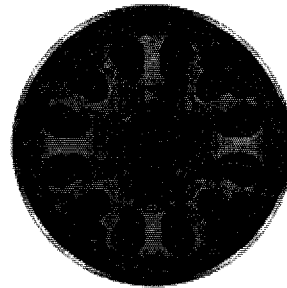


그림 5 설계된 BLDC 전동기 자속밀도 분포

2.2.2 동특성 해석

BLDC 전동기의 발생 토크는 기계적인 토크의 관계로 식(10)과 같이 표현될 수 있다.

$$T_e = \left(\frac{3}{2}\right)\left(\frac{P}{2}\right)[\lambda_m i_{as} + (L_d - L_q)i_{as}i_{ds}] \quad (10)$$

$$= J\left(\frac{2}{P}\right)\frac{d\omega_r}{dt} + B_m\left(\frac{2}{P}\right)\omega_r + T_L$$

여기서, J : 회전자 관성, B_m : 마찰계수, T_L : 부하토크,

P : 극수

식(10)의 첫 항은 여자토크이며, 둘째항은 릴럭턴스 토크이다.

BLDC 전동기의 상대방정식은 식(11)과 같이 표현되고, 그림 6은 BLDC전동기의 동특성을 알기위한 블록선도이다.

$$p \begin{bmatrix} i_{\omega}^r \\ i_{\delta}^r \\ \omega_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{r_s}{L_s} & 0 & -\frac{1-B(\phi)}{L_s} \lambda_m' \\ 0 & -\frac{r_s}{L_s} & \frac{D(\phi)}{L_s} \lambda_m' \\ \frac{3}{2} \left(\frac{P}{2}\right)^2 \frac{\lambda_m'}{J} & 0 & -\frac{B_m}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\omega}^r \\ i_{\delta}^r \\ \omega_r \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$+ \begin{bmatrix} -\omega_r i_{\delta}^r \\ \omega_r i_{\omega}^r \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{A(\phi)}{L_s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{C(\phi)}{L_s} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{P}{2} \frac{1}{J} \end{bmatrix}$$

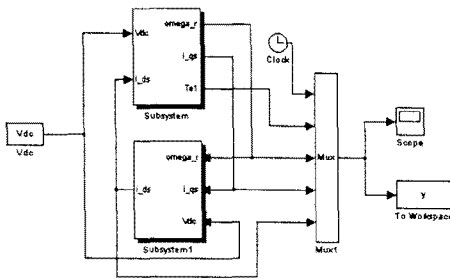
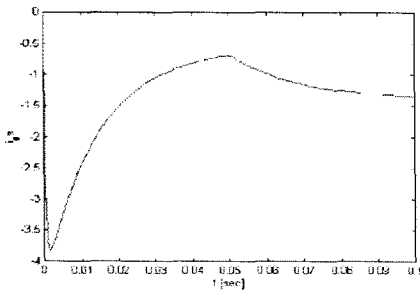
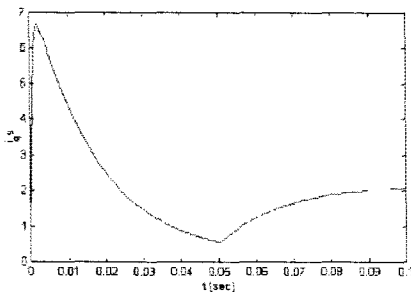


그림 6 동특성 블록선도

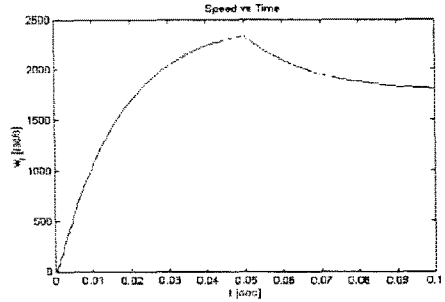
그림 7과 그림 8은 50[ms]에 2[kgcm]의 부하를 인가했을 때의 전류변화, 속도, 토오크 변화를 나타낸 것이다.



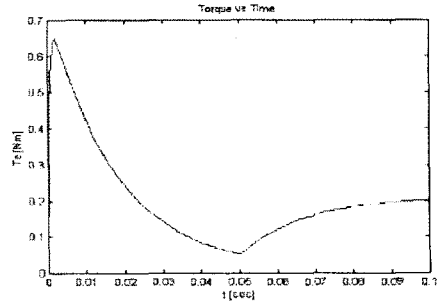
(a) 부하 인가시 i_d 전류변화



(b) 부하 인가시 i_d 전류 변화
그림 7 부하인가시 i_d, i_q 전류변화



(a) 부하 인가시 속도변화



(b) 부하 인가시 토오크 변화

그림 8 부하 인가시 속도-토오크 변화

3. 결 론

본 논문은 자기등가회로법에 의하여 Outer Rotor 방식의 BLDC전동기를 설계하였다. 설계된 BLDC전동기를 FEM과 이론적 특성해석으로 구한 값들을 비교하여 파라미터를 추출하고 전동기의 동특성을 해석하였다. 앞으로의 연구는 회전자 요크부분에 포화가 발생한 것을 최적설계를 통하여 설계하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 大川光吉, "フェライト磁石回轉機の設計", TDK, Co., pp 147-182, 1984
- [2] Paul C. Krause, "ANALYSIS OF ELECTRIC MACHINERY", IEEE PRESS, pp499-534, 1995
- [3] Duane C. Hanselman, "Brushless Permanent-Magnet Motor Design", McGraw-Hill, Inc., pp125-137, 1994