

Permanent Magnet형상과 입력전압 파형에 따른 BLDC 전동기의 동특성해석

김경호*, 최거승*, 김명수*, 정근석*, 조윤현*
 동아대학교 전기공학과*

Characteristics Analysis of Outer Rotor Type BLDC Motor according to Permanent Magnet Shape and Input Voltage Waveform

Kim Kyung Ho*, Choi Geo Seung*, Kim Myoung Su*, Koon Seok Chung*, Cho Yun Hyun*
 Dept. of Electrical Engineering, Dong-A University*

Abstract - This paper presents the characteristics of current harmonics and torque ripple of Brushless DC motor, which is developed the fan blower of vehicles, according to permanent magnet shape input voltage wave form. To investigate the torque ripple and the phase current harmonics, these characteristics is analysed and compared the experimental results. In the process of analysis, FEM is introduced and computed a transient state torque of BLDC with a sinusoidal and a PWM wave voltage.

1. 서 론

BLDC 전동기는 토크제어와 속도제어가 용이하며 신뢰성이 높고, 브러시가 없으므로 소음 및 불꽃이 없어 수명이 길기 때문에 보수와 유지에 드는 비용을 저감할 수 있다. 또한 영구자석 회전자와 고정자 전류에 의해 토크가 발생하므로, 제어 전류를 필요로 하지 않아 효율이 높고, 구조가 간단하여 제작이 쉽다는 여러 가지 장점을 가지고 있다.

BLDC 전동기는 내전형 BLDC 전동기와 외전형 BLDC 전동기로 분류된다. 외전형 BLDC 전동기는 회전자가 바깥부분에 위치하기 때문에 회전자의 반경이 커지게 된다. 따라서, 관성이 커져 속도의 안정성을 얻을 수 있다. 또, 자석의 단면적이 증가하여 고토크를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 자동차 Blower fan용 BLDC 모터의 구동파형에 포함된 저차 고조파 성분을 저감에 대한 연구로서 구형과 전압 구동방식과 캐리어 신호를 비교하여 펄스 패턴을 얻은 PWM방식에 대해 동특성 및 토크 리플 현상등을 비교하였고, BLDC 전동기의 형상에 따른 토크리플, 전류파형등을 고찰하였다.

2. BLDC 전동기의 특성

2.1 BLDC 전동기의 특성방정식

그림 1은 BLDC 전동기의 벡터도를 그린 것이다. 전동기의 전압방정식은 (1)과 같다.

$$V_{abc} = r_s i_{abc} + p \lambda_{abc} \quad (1)$$

r_s 는 고정자 상권선의 저항이며 p 는 연산자 $\frac{d}{dt}$ 이다.

$$f_{abc} = (f_{as} \ f_{bs} \ f_{cs})^T \quad (2)$$

식 (2)에서 f 는 전압, 전류, 자속쇄교로 표현 가능하다. Park's 변환을 사용하여 고정자 변수들을 회전자 기준좌표로

변환하다.

$$f_{qd0s} = K_s^r f_{abc} \quad (3)$$

여기서,

$$K_s^r = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin \theta_r & \sin(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

기기방정식에 대한 변환을 하면 식 (5)와 식 (6)과 같다.

$$v_{qs}^r = (r_s + pL_s) i_{qs}^r + \omega_r L_s i_{ds}^r + \omega_r \lambda_m \quad (5)$$

$$v_{ds}^r = (r_s + pL_s) i_{ds}^r - \omega_r L_s i_{qs}^r \quad (6)$$

토크는 직교하는 전기자 권선 쇄교 자속속와 전기자 전류의 곱으로 표시할 수 있으며 식 (7)과 같다.

$$T_e = (\frac{3}{2})(\frac{P}{2})\lambda_m i_{qs}^r \quad (7)$$

식 (1)을 d-q좌표변환을 하면 식 (2)와 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

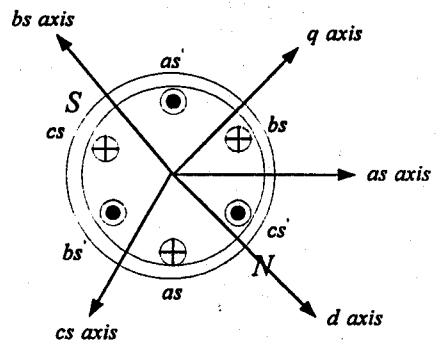
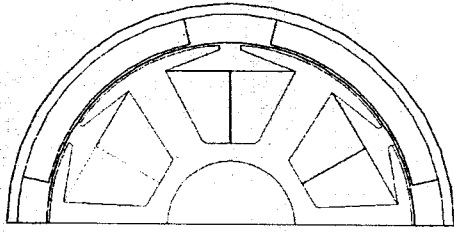


그림 1. BLDC전동기의 벡터도

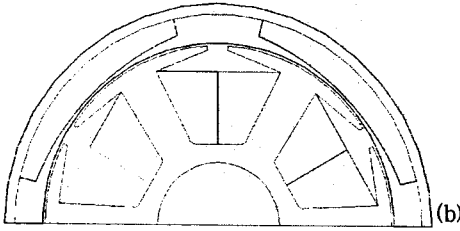
2.2 Magnet형상에 따른 최적의 영구자석 형상

그림 2의 BLDC 전동기의 형상에 따른 특성을 고찰하기 위하여 전동기의 모든 입력조건을 각상에 동일하게 인가했을 때 특성을 고찰하였으며, 이에 따른 최적의 영구자

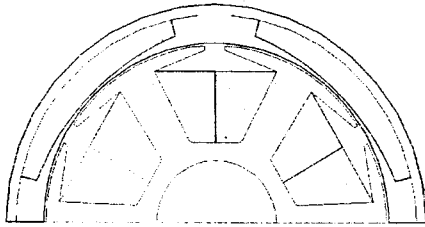
석의 형상을 선정하였다.



(a) 형상1 (Pole arc offset : 0 [mm]인 경우)



형상2 (Pole arc offset : 15 [mm]인 경우)



(c) 형상3 (Pole arc offset : 29 [mm]인 경우)

그림 2 영구자석 형상에 따른 BLDC전동기의 단면도

그림 3은 코깅 토크를 나타낸 것으로 '형상1'은 최대 0.025[N·m], '형상2'는 최대 0.0047[N·m]이고, '형상3'은 최대토 크는 0.0042[N·m]이다.

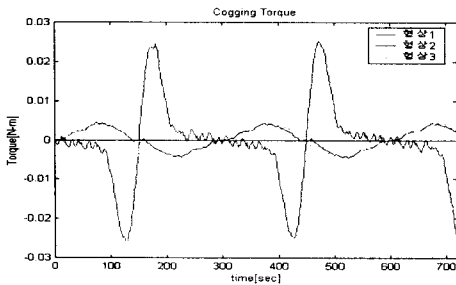


그림 3 형상에 따른 Cogging-Torque 곡선

그림 4는 정상상태에서의 토크리플영역이 0.2~0.5[N·m]까지 변화한다. '형상2'는 과도 상태에서 최대 토크 1.6[N·m]까지 상승하고 정상상태에서 토크 리플영역이 0.25~0.44[N·m]까지 변화한다. '형상3'은 과도 상태에서 최대토크 1.4[N·m]까지 상승하고 정상상태에서 토크 리플영역이 0.24~0.4[N·m]까지 변화한다. 형상3이 기동시 토크 크기도 작음을 알수 있으며 본 연

구에서는 형상3의 전동기를 선정하여 시작품을 제작 하였다.

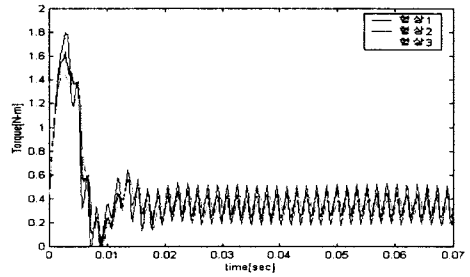


그림 4 형상에 따른 토크곡선

그림 5는 본 연구에서 설계, 제작된 모델은 형상3을 이고, BLDC 전동기의 단면도로 회전자의 외경은32[mm] 길이가 36.2[mm]이고, 고정자의 외경은 34[mm]이고 자 석은 페라이트를 사용하였다.

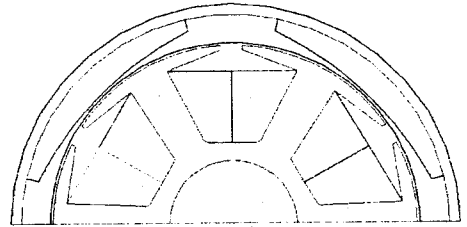


그림 5. BLDC 전동기의 단면도

2.3 BLDC 전동기의 시스템 구성

표1은 BLDC 전동기의 사양이다.

사양	단위
정격전압	24[V]
정격토크	3.4[kg·cm]
정격속도	2800[rpm]
극수	4[극]

그림6은 BLDC 전동기의 제어 블록 시스템이다.

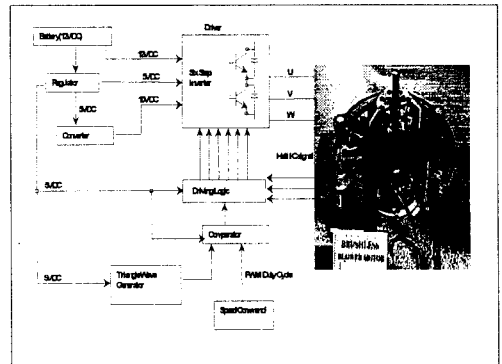
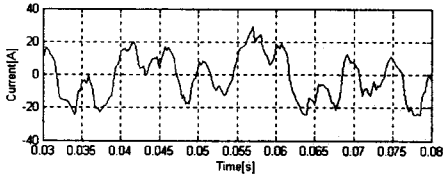
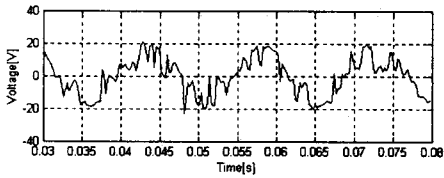


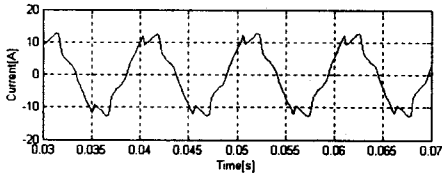
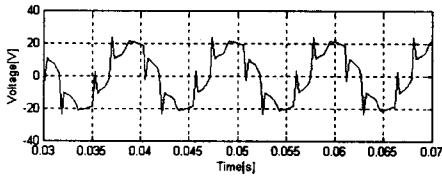
그림 6. BLDC 전동기의 제어 블록 시스템

3. 시뮬레이션 및 실험

그림 7은 듀티비의 변화에 따른 BLDC 전동기의 정상상태에서의 1상의 입력 전압 및 전류 파형 시뮬레이션 결과를 나타낸다.



(a) 듀티비가 50%인 경우



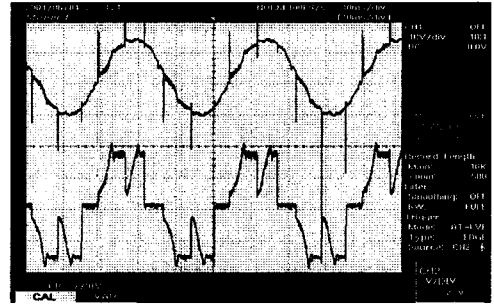
(b) 듀티비가 95%인 경우

그림 7. BLDC 전동기에 인가되는 전압 및 전류 (시뮬레이션 파형)

그림 8은 BLDC 전동기에 인가 전압을 변형하여 전압 및 전류의 파형을 측정하였다. (a)는 듀티비를 50%하였을 때 걸리는 전압 및 상전류 파형이고, (b)는 듀티비를 95%로 하였을 때 걸리는 전압 및 상전류의 파형을 측정 한 것이다.

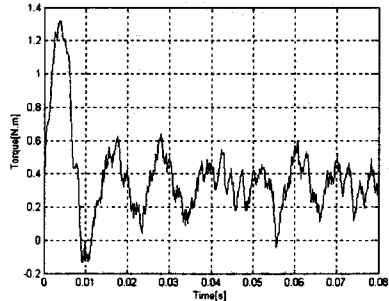
그림 9는 듀티비 변화에 따른 토크파형을 나타낸다

그림 9(a)는 듀티비 50%일 경우는 리플이 심하고, 그림 9(b)는 듀티비 95%일 경우는 정현파 전류에 가까운 것을 알 수 있다. 그림 9에서 정현파 전류에 가까울수록 진동이 적음을 볼 수 있다.

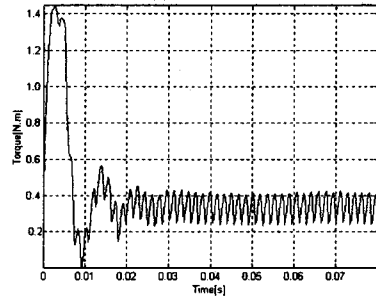


(b) 듀티비가 95%인 경우

그림 8. 듀티비의 변화에 따른 상전압 및 전류 파형 (실험 파형)



(a) 듀티비가 50%인 경우



(b) 듀티비가 95%인 경우

그림 9. 듀티비의 변화에 따른 토크파형

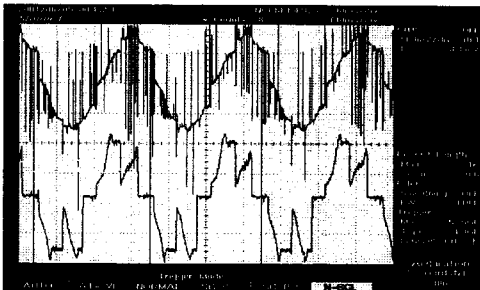
4. 결론

BLDC 전동기는 고효율, 고출력 그리고, 브러시를 제거함으로써 저유지비용의 이점으로 많은 응용분야에 사용되고 있다. 그러나 토크리플로 인한 많은 부분을 제약을 받아 왔다.

본 논문에서는 외전형 BLDC 전동기의 전압의 인가방식의 변화에 따라 토크 리플을 분석 하였다. 전류의 파형이 정현파에 가까울수록 토크 리플은 작아짐을 볼 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Vlado Ostovic, "Computer-aided Analysis of Electric Machines", Prentice-Hall, 1994
- [2] S.J.Salon, "Finite Element Analysis Of Electrical Machines", Kluser Academic Publishers, 1995
- [3] Tomy Sebastian, Gordon R.Slemom, "Transient Modeling and Performance of Variable-Speed Permanent-Magnet Motors", IEEE Trans. on I.A, pp. 101~106, 1989
- [4] 竹内壽太郎, "電氣機器 設計學", 오ーム社, 1937
- [5] V.B Honsinger, "Sizing Equations For Electrical Machinery", IEEE Trans. on Energy Conversion, pp. 116~121, 1987



a) 듀티비가 50%인 경우