

Axial flux BLDC 전동기의 토크특성개선에 관한 연구

유현오 공정식 오철수
경북대학교 전기공학과

Analysis of characteristics of Multi-layer AFPM Motor

Hyune-O Yoo Jeong-Sik Kong Chul-Soo Oh
Dept. of Electrical Eng. Kyungpook Nat. Univ.

Abstract

This paper deals with the torque characteristics of a AFPM motor excited by permanent magnets. According to relative angle difference of two rotor, torque characteristics are studied.

According to varied angle of two rotor, torque ripple and total torque of AFPM motor is different. For minimum torque ripple, angle of two rotor of AFPM motor are investigated. For this study, we used to Maxwell EM 3D program.

A prototype AFPM motor have been assembled and driving power supply are made. Characteristics of magnetical and electrical characteristic are investigated.

1. 서 론

축방향 공극형 전동기(Axial Flux Permanent Magnet Motor, AFPM motor)는 일반 전동기에 비하여 고에너지 밀도를 갖고 있으며, 구조적으로 짧은 축방향 길이를 가지는 Slim 형 구조를 가지고 있다. 따라서 관성이 작고, 소형 경량화가 가능해 컴퓨터용 주변기기, 사무용기기 등에 주로 사용되어 왔다.

그러나 현재는 영구자석 재질에 관한 연구가 많이 진행되어 Nd-Fe-B 와 같은 고에너지 영구자석이 개발되어 공극의 자속밀도를 증가시킬 수 있게 되고, 따라서 전동기의 출력 특성도 많이 향상되었다. 이러한 전동기는 단위체적당 고에너지 밀도를 가지므로 동력용으로 사용하기 위한 연구가 진행되어지고 있으며, 특히 AFPM 전동기를 전기자동차의 구동용 전동기로 사용하기 위한 연구가 많은 논문에서 제시되어 왔다. 이러한 BLDC 전동기의 용도는 출력 특성과 더불어 그 제어 특성이 전동기의 성능을 좌우하는 중요한 요인이 된다.

일반적으로 전동기의 제어 특성은 제어기의 성능과 전동기의 코강토크 특성 및 토크 리플 특성이 그 전동기의 제어 특성을 결정하는 중요한 요인이 된다. 일반적으로 유도전동기에서는 스큐를 설계하여 토크 특성을 개선하고 있으며, 영구자석 전동기에 대하여도 스큐를 이용한 토크 특성의 개선에 관한 연구가 진행되어지고 있다. 그러나 양측식 Axial 형 전동기의 경우 분리된 두개의 영구자석 회전자로 구성되어 있으므로 회전자 위치를 조정함으로써 각각의 영구자석 회전자의 토크 특성은 달라지게 된다.

따라서 각 권선에 발생하는 유기기전력 및 토크 위상이 달라지고 극 배치에 따른 토크 리플 특성의 개선이 가능할 것으로 생각되어진다. 본 논문에서는 3차원 유한요소법을 이용하여 그 배치에 따른 전동기의 토크 특성을 계산하고 샘플전동기를 제작하여 회전자 각 배치에

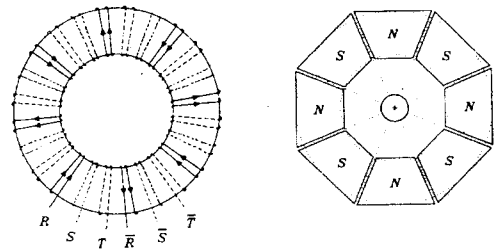
따른 전동기의 토크 리플특성을 측정함으로써 회전자 영구자석의 배치에 따른 토크 리플 특성을 개선하고자 한다.

2. 본 론

2.1 AFPM 전동기의 토크 특성

AFPM 전동기는 주로 브러시리스형의 구조를 가지며 직류입력을 스위칭하여 구동하게 된다. 이러한 전동기의 회전자는 주로 영구자석이 사용되고 있으며, 전기자 권선은 고정자측에 권선되며 고정자 권선에 순차적으로 입력을 인가함으로써 전동기를 구동시킬 수 있다.

그림 1에 AFPM 전동기의 개략적인 구조를 나타내었다.



(a) 고정자 형상

(b) 회전자 형상

그림 1. AFPM 전동기의 구조

그림 2 는 고정자 권선과 영구자석 회전자와의 배치를 나타내고 있다

일반적으로 고정자를 중심으로 영구자석 회전자가 마주보는 구조로 되어져 있다. 이러한 경우 양측의 영구자석이 대칭적 구조를 나타내므로 A 축 코일의 유기기전력 및 토크 특성과 B 축 코일의 유기기전력 및 토크 특성이 같게 된다. 즉 동위상의 출력특성을 나타내게 된다.

그러나 그림 2 b 와 같이 A 축 코일과 쇄교하는 영구자석의 자속과 B 축 코일과 쇄교하는 자속의 특성이 달라지므로 A 축 고정자 권선에 유기되는 유기기전력 및 발생 토크와 B 축 코일에 의해 유기되는 유기기전력 및 발생 토크의 순차적 위상이 달라지게 되어 전동기의 발생토크도 달라지게 된다.

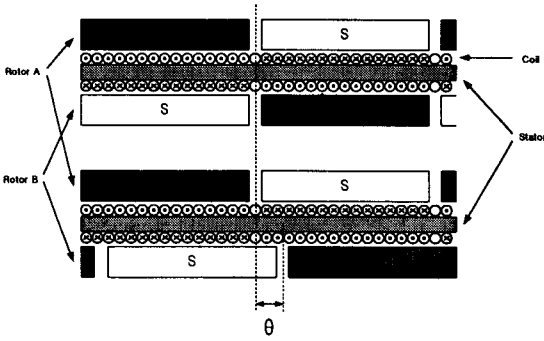


그림 2. AFPM 전동기의 고정자 권선 및 회전자 영구자석의 위치

이 전동기의 전체토크는 회전자 A 에 발생하는 토크와 회전자 B 에 의해 발생하는 토크의 합으로 나타낼 수 있다. 따라서 전체 토크 T_{total} 은 아래 식 (1) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{total} = T_A + T_B \quad (1)$$

또한 T_A 및 T_B 는 다음 식 (2) 및 (3) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_A = \frac{E_A I}{\omega} \sin \omega t \quad (2)$$

$$T_B = \frac{E_B I}{\omega} \sin(\omega t + \theta) \quad (3)$$

따라서 그림 a 의 경우 θ 가 0 으로 T_A 와 T_B 는 같다. 따라서 전체토크 T_{total} 는 식 (4) 와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} T_{total} &= 2 \frac{E_A I}{\omega} \sin \omega t \\ &= 2 \frac{E_B I}{\omega} \sin \omega t \end{aligned} \quad (4)$$

그러나 그림 b 의 경우 전체토크 T_{total} 는 식 (5) 와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{total} = \frac{E_A I}{\omega} \sin \omega t + \frac{E_B I}{\omega} \sin(\omega t + \theta) \quad (5)$$

2.2 FEM을 이용한 모델링

일반적으로 전동기의 해석 방법으로 많은 방법이 제시되어 있으나 본 논문에서는 가장 정확한 해석방법인 유한요소법을 이용하여 해석하였다.

그림 3은 토크해석에 적용한 샘플 전동기의 형상을 나타내고 있다. 이러한 AFPM 전동기를 유한요소법을 적용하여 토크를 계산하기 위해 그림 4와 같이 AFPM 전동기를 3차원적으로 모델링을 하였다. AFPM 전동기의 경우 일반적인 전동기와 달리 2차원적으로 해석할 경우 많은 오차가 포함되므로 3차원적으로 해석하였다. 사용된 프로그램은 Maxwell 3d 해석프로그램을 사용하였

다.

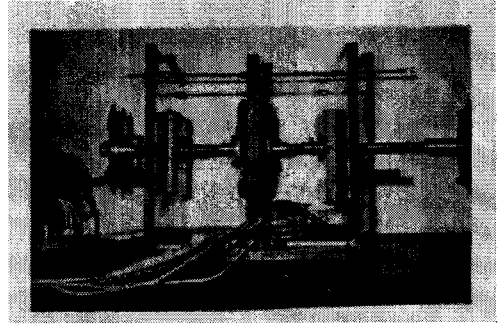


그림 3. Prototype 전동기

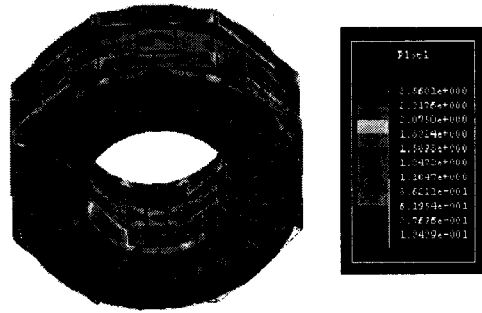


그림 4. 토크 계산을 위한 3D 모델링

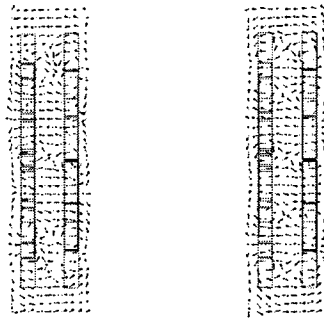


그림 5. 두 회전자 사이의 자속분포의 계산

위 그림 4와 같은 방법을 사용하여 AFPM 전동기를 해석하였을 때 두 자극 사이의 자속분포는 그림5와 같이 얻어졌다.

그림 6은 전동기의 공극에서의 자속 분포를 보여주고 있다. 이것은 전동기의 양쪽 회전자가 서로 정확하게 마주보고 있을 때의 공극자속 분포이다.

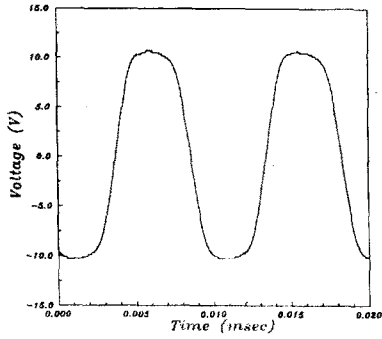
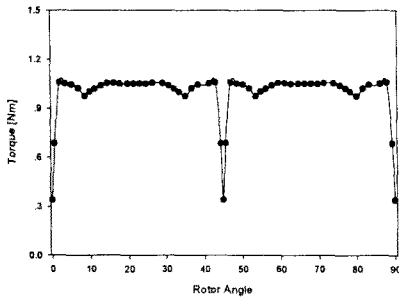
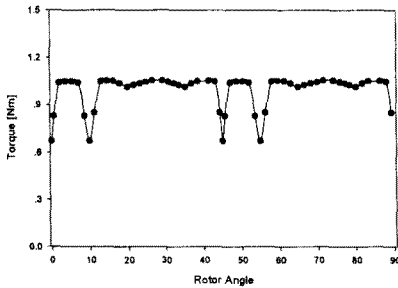


그림 6. 공극의 자속 분포



(a) $\theta = 0$



(b) $\theta = 45$

그림 7. 두 회전자 위치에 따른 토크 리플 특성

그림 7은 두 회전자 사이의 위치에 따른 토크 발생의 한 주기값을 나타낸다.

그림 a 는 두 회전자가 같은 극으로 마주보고 있을 때의 각에 따른 발생토크 값을 나타내고 있으며, 그림 b의 경우 두 회전자가 전기각으로 90 도 어긋나 있을 때의 토크 발생값을 표시하여 주고 있다. 그림 a 와 b를 비

교하였을 때 회전자 위치가 달라짐에 따라 전동기의 발생토크 리플의 값이 줄어드는 것을 보여준다.

3. 결 론

본 논문에서는 Prototype AFPM 전동기를 제작하였으며, 이 전동기의 토크 특성에 대하여 고찰하였다. 토크각을 변화시켜 (두 회전자 사이의 배치를 달리함) 각 변화에 따른 토크 특성 및 토크 리플특성을 감소시킬 수 있는 방법에 대하여 고찰하여 본 결과 전체적인 토크는 약간 감소하나 토크각 변화에 따라 전동기의 맥동 특성을 감소시킬 수 있음을 알았다. 이러한 특성은 AFPM 전동기가 주로 제어용으로 사용되므로 전동기의 전체 토크 보다는 전동기의 토크 맥동 감소는 매우 중요하다고 할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] E. Spooner, B.J.Chalmers, B. J., "Toroidally - Wound, Slotless, Axial-Flux, Permanent - magnet brushless-dc motors", Proceedings of the international Conference on Electrical Machines, 1988, Vol III, pp. 81-86
- [2] E. Spooner, B.J.Chalmers, "'TORUS': A slotless, toroidal - stator, permanent-magnet generator", IEE Proceeding-B, Vol. 139, No. 6, 1992.
- [3] Duane C. Hanselman, "Brushless Permanent Magnet Motor Design", McGraw-Hill, 1994
- [4] Chris C. Jensen, et. al. "A Low-Loss Permanent -Magnet Brushless dc Motor Utilizing Tape Wound Amorphous Iron", IEEE Trans. Vol. 28, NO. 3, 1992, pp. 646-651
- [5] Thomas M. Jahns, "Torque Production in Permanent Magnet Synchronous Motor Drives with Rectangular Current Excitation", IEEE. TRANS. on Industry applications, Vol IA-20, NO 4, 1984.