

다층구조 AFPM 전동기의 특성해석

공 정 식 오 철 수
 경북대학교 전기공학과

Analysis of characteristics of Multi-layer AFPM Motor

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

Abstract

This paper deals with the design of a disk-type motor excited by permanent magnets. The main flux is oriented in the axial direction, yielding a pan cake type arrangement. the outer diameter is about 65mm, inner diameter is about 30mm, the axial length about 15mm. For reduce axial length and high efficiency, motor winding have been etched copper plate. After the introduction, the motor design is explained and characteristic of axial flux permanent magnet motor have been investigated.

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

특성을 측정하여 봄으로써 효율적인 전동기 권선 설계 방법에 대하여 고찰하여 보고자 한다.

2. AFPM 전동기의 구조

2.1 AFPM 전동기의 형상

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.

1. 서 론

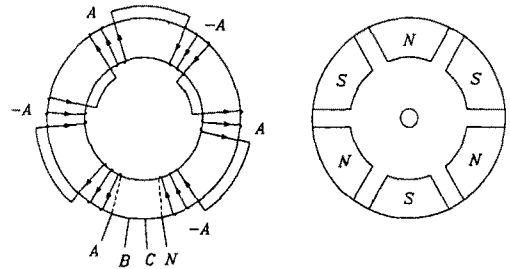
축방향 공극형 전동기(Axial Flux Permanent Magnet Motor, AFPM)는 일반전동기에 비하여 고에너지 밀도를 갖고 있으며, 구조적으로 짧은 축방향 길이를 가지는 Slim 형 구조를 가지므로, 관성이 작고, 소형 경량화가 쉬워 컴퓨터용 주변기기, 사무용기기, 기억장치와 같은 곳에 주로 사용되는 전동기이다.

현재 이러한 AFPM 전동기는 컴퓨터용기기에 특히 많이 사용되고 있는데 노트북과 같은 휴대용기기에 사용하기 위해서는 소형경량화, 저소비전력화 및 고효율화가 반드시 필요하다고 할 수 있다.

AFPM 전동기는 이러한 목적을 위하여 영구자석을 이용한 여자 방식이 채택되어지고 있으며, 영구자석 계자를 가지는 브러시리스형이므로 구동을 위하여 전자적 제어가 반드시 필요하다.

전동기의 효율을 향상시키기 위해서는 전동기에 사용되는 영구자석 및 철심의 재질에 관한 것과 전동기에서 생기는 손실을 줄이는 것으로 나눌 수 있으며, 영구자석 재질은 현재 Nd-Fe-B 와 같은 고에너지 영구자석의 개발로 인하여 공극의 자속밀도를 증가시킬 수 있게 되어 전동기의 출력도 많이 향상되었다. 또한 손실을 줄이는 방법은 AFPM 전동기 손실의 대부분을 차지하는 동손을 줄이는 것이 관건임을 알 수 있다. 전동기의 출력을 감소시키지 않고 효율을 향상시키기 위해서는 전동기의 권선의 형상에 관한 문제를 고려하여야 할 것으로 생각된다.

따라서 본 논문에서는 고정자 권선의 형상에 대하여 살펴보고, Prototype 전동기를 제작하여 전동기의 출력



(a) 고정자 형상 (b) 회전자 형상
 그림 1. AFPM 전동기의 구조

일반적으로 AFPM 전동기의 고정자 권선은 토러스형 코어에 트로이달형으로 권선을 감은 형태와 오렌지형 권선의 두가지 형태가 사용되어지고 있다. 전자는 회전자 영구자석을 기준으로 마주보는 고정자 권선이 동일한 극을 형성하는 구조로 되어 있으며, 후자의 경우는 마주보는 고정자 권선이 서로 다른 극을 형성할 수 있도록 권선되어있다.

2.2 AFPM 전동기의 특성

소형 AFPM 전동기의 고정자 형태는 슬롯리스형으로 AFPM 전동기의 자로는 회전자, 영구자석, 공극 그리고 고정자 철심을 통하여 형성된다. 따라서 이 전동기 공극의 자속밀도는 공극 크기와 영구자석의 길이 및 영구자석의 면적에 의해 결정된다고 할 수 있으며, 또한 공극은 도체의 직경(d)과 도체 절연물의 두께(c), 기계적 회전을 위해 필요한 공극의 합에 의해 결정된다. 따라서 AFPM 전동기에서 공극의 자속밀도 B_g 는 식 (1) 과 같이 나타낸다

$$B_g = \frac{B_r}{1 + \frac{\mu_r L_g}{L_m}} \quad (1)$$

B_r : 영구자석의 자류자속 밀도
 L_g : 공극의 길이
 L_m : 영구자석의 두께

또한 AFPM 전동기의 토크는 공극의 자속과 고정자 권선에 인가되는 electric loading J 의 상호작용에 의하여 생긴다. AFPM 전동기의 유기기전력 및 토크는 식(2) 및 식(3)와 같이 된다.

$$E = 2\pi \omega_s N_p P K_p B_{ave} (R_o^2 - R_i^2) \quad (2)$$

$$T = 2\pi K_p B_{ave} J R_i (R_o^2 - R_i^2) \quad (3)$$

p : 전동기 극수
 ω_s : 전동기 회전각속도
 N_p : 상당 극당 권선수
 K_p : 고정자 권선과 영구자석에 의한 쇄교자속비
 B_{ave} : 공극의 평균자속 밀도
 J : 고정자 내경에서 권선의 electric loading
 R_i : 고정자 내경
 R_o : 고정자 외경

위 식(3)에서 전동기의 출력토크는 공극 평균자속밀도, 고정자 전류에 의한 electric loading J , 고정자 코어의 외경 및 내경에 의해 결정됨을 보여준다.

2.3 Prototype AFPM 전동기의 설계

AFPM 전동기의 특성방정식은 식(1),(2),(3)과 같이 나타난다. 따라서 전동기의 출력을 향상시키기 위하여 공극의 자속밀도를 증가시키는 것이 필요하여 고정자 권선의 단면적을 증가시켜 권선의 저항을 줄이고 권선의 전류용량을 증가시키는 것이 중요하다.

본 논문에서는 이와 같은 목적으로 고정자 권선을 동판을 권선형태로 etching 하여 사용하였다. 이렇게 함으로써 공극의 간격을 줄여일 수 있고, 공극 자속 밀도를 증가시킬수 있었다.

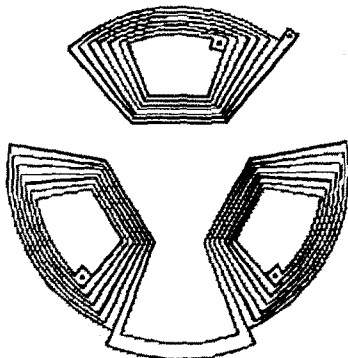


그림 2. 1층 권선의 형상

또한 전기자 권선의 저항을 줄여 전동기의 동손을 줄이고 전동기의 효율을 향상시킬수 있을 것으로 생각된다.

그림 2는 설계된 1상의 고정자 권선의 형상을 보여준다. 권선은 0.2mm 동판을 etching 하여 형성하였으며, 권선의 폭은 0.6mm - 1.2mm 정도이다. 전동기의 출력을 증가시키기 위하여 1상의 권선을 2층으로 구성하였으며, 따라서 고정자 권선은 3상으로 권선되어야 하기 때문에 전체적으로 6층의 권선으로 1개의 고정자 권선을 형성하게 된다..

표 1 은 prototype AFPM 전동기의 사양을 나타낸다.

표 1. Prototype 전동기 사양

고정자 외경	65mm
고정자 내경	30mm
권선의 층수	6 layer
권선의 두께	0.2mm
권선의 폭	0.6 ~ 1.2 mm
극수	6 pole
영구자석의 두께	6 mm
상수	3 phase

3. 실험 및 결과 고찰

3.1 구동 회로시스템

AFPM 전동기 구동특성실험을 위하여 전압형 3상 인버터시스템을 구성하였다. 전동기를 구동하기 위한 인버터는 그림 3과 같이 모두 6개의 스위칭 소자로 구성하였으며 사용된 스위칭 소자는 MOSFET IRFP 250을 사용하였다.

또한 본 실험에서 사용된 위치검출용 센서는 포토인터럽트를 이용하였으며, 소자는 TLP 800을 사용하였고 여기서 발생하는 신호를 스위칭에 피드백시켜 스위칭 신호로 사용하였다.

그림 3은 본 실험을 위하여 제작된 3상 인버터 시스템의 블록다이어그램을 보여준다.

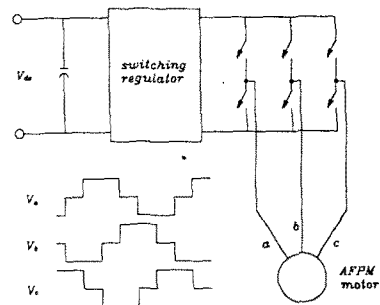


그림 3 AFPM 전동기 구동을 위한 인버터시스템

3.2 결과고찰

다층으로 제작된 AFPM 전동기를 이용하여 전동기 특성 시험을 수행하였다. 그림 4는 전동기 한상의 유기기전력의 파형을 나타내고 있다. 전동기가 60 rpm으로 회전하고 있을 때 전동기 한상의 유기기전력의 파형을

나타내고 있다. 유기기전력의 파형은 단층의 유기기전력의 파형과 같이 정현파에 가까운 파형을 얻을 수 있었다.

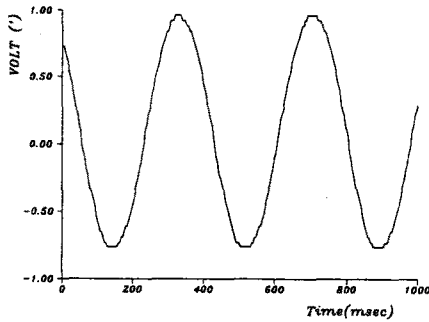


그림 4. AFPM 전동기 한상의 유기기전력의 파형

그림 5은 전동기의 입력 전압을 변화시켜가면서, 즉 전동기의 상전압을 0에서 6 V로 각각 변화시켜가면서 전동기의 속도 대 전압의 특성을 측정하여 나타내고 있다. 전동기의 속도는 인가전압의 크기에 직선적으로 비례하는 것을 알 수 있다.

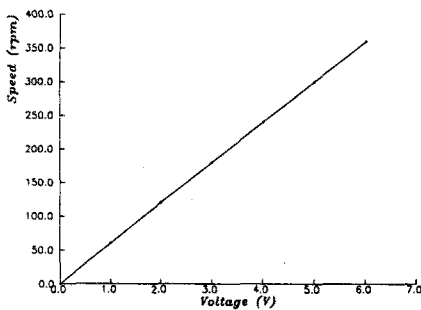
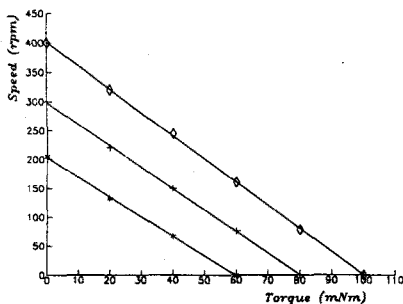


그림 5. AFPM 전동기의 전압-속도 특성

그림 6은 전동기에 부하를 인가하고 상전압을 2, 4, 6 V로 바꾸어 가면서 속도-토크 특성을 측정하여 보았을 때 전동기의 전압이 증가함에 따라 전동기의 속도-토크 특성도 비례하여 증가함을 보여주고 있다.



◇: 6 [V] +: 4 [V] ×: 2 [V]

그림 6. AFPM 전동기의 속도-토크 특성

3. 결 론

본 논문에서는 AFPM 전동기를 제작하기 위하여 0.2mm의 동판을 etching 하여 전동기 권선을 제작하였다. 각 상당 2층의 권선구조를 가지고 한쪽의 회전자 는 6층의 권선구조를 가지도록 전동기를 제작할 수 있었다. 이와 같은 방법으로 제작된 전동기를 이용하여 특성실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 전기자 권선을 동판을 이용하여 Etching 하여 사용함으로써 권선이 차지하는 공간의 길이를 줄여 전동기의 출력을 증가시킬 수 있었다.

둘째, 권선을 3상 구조로 배치하고 Y 결선하여 전동기를 구동함으로써 기존 브러시리스형 직류전동기에 비하여 토크맥동이 줄 것으로 생각된다.

셋째, 전동기의 권선의 저항을 줄임으로서 전동기의 효율을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

AFPM 전동기의 경우 slim 형의 구조가 필요한 곳에 현재 많이 사용되고 있으며, 이러한 다층구조의 권선을 사용함으로써 전동기의 효율을 높일 수 있을 것으로 생각되며, 권선의 형상을 다양하게 변화시켜 실험하여 봄으로써 효율적인 전동기의 형상을 설계할 수 있을 것으로 사료된다.

[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.