

Tread Mill용 BLDCM의 구동 특성 향상을 위한 제어시스템

이주현, 안영주*, 안진우
 경성대학교, 부경대학교*

Control System to Improve a Driving Characteristic of BLDCM for Tread Mill Application

Ju-Hyun Lee, Young-Joo An*, Jin-Woo Ahn
 Kyungshung University, Pukyong National University*

ABSTRACT

BLDCM(Brushless D.C. Motor) is widely used for industrial application because of high efficiency and high power density. Especially, in servo system and home appliance, BLDCM is very useful due to high control performance and low acoustic noise.

In this paper, 2.5HP rated BLDCM and its controller is developed for tread mill application. The prototype BLDCM has 4 poles rotor and 24 slots stator. Ferrite magnet was used as a rotor magnet because of the cost and temperature characteristic. For the stable operation of tread mill, current and temperature can be detected and treated by DSP. The designed BLDCM and its controller is verified by the experimental results.

1. 서 론

BLDCM은 높은 효율과 전력밀도로 인하여, 현재 많은 산업 응용 분야에 널리 사용되고 있으며, 특히 고성능 제어특성과 저소음 운전특성으로 인하여 가정용 전자 및 전기제품의 활용도가 높아지고 있다.

본 논문에서는 Tread Mill 구동용 BLDCM의 구동 특성 향상을 위한 제어시스템을 설계하고, 이에 적합한 제어를 제작한다. 시험을 위한 제어기는 다양한 특성실험을 위하여 마이크로프로세서를 사용하여 구성한다.

또한 안정적인 구동을 위하여 과전류 및 온도상승을 검출하는 보호회로를 장착하였으며, 제어기는 운전자의 무게와 회전속도에 따라 학습된 제어기의 변수가 적용되도록 구성한다. 제작한 Tread Mill 구동용 BLDCM 제어시스템은 실험을 통하여 그 적합성을 검증한다.

2. 전동기의 설계 제원 및 해석

2.1 전동기 설계 제원

본 연구에서 설계된 전동기는 Tread Mill 구동용 BLDCM으로 정격 2.5[HP]/220[V]용으로 설계되었다. 24슬롯 4극 구조의 BLDCM 설계 제원은 표 1과 같다.

표1. 설계 전동기의 제원

| | | | |
|-------|----------|-------|--------|
| 정격 출력 | 2.5HP | 상수 | 3 상 |
| 정격 전압 | AC 220V | 결선방식 | Y 결선 |
| 회전수 | 3000 rpm | 극수 | 4극 |
| 철심길이 | 140 mm | 공극 | 1.0 mm |
| 슬롯수 | 24 | 슬롯 깊이 | 12 mm |
| 자극각 | 180 | 자석두께 | 12 mm |
| 상당 턴수 | 25 | 외경 | 59 mm |

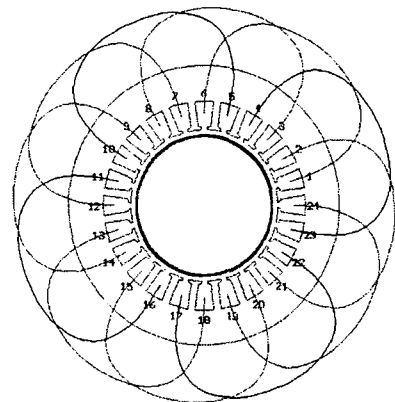


그림 1. 설계된 전체 상의 권선 배열
 Fig. 1 Winding array of 3-phase

BLDCM에서 내부 회전자의 영구자석은 surface mounted 타입이며, 재질은 온도특성 및 가격을 고려하여 잔류자속 밀도 0.405[T] 및 보자력 295[kA/m]의 페라이트 자석을 적용하였다. 그림 1

은 설계된 전동기의 권선 배열 및 권선 방식을 나타내고 있다.

설계된 전동기의 권선은 집중권으로 설계되었으며, 설계된 고정자 스택의 슬롯 면적에 대하여 정격출력을 만족하는 실제적인 권선은 권선의 전류밀도와 슬롯의 fill factor를 고려하여 선정되었으며, 4개의 0.7 ϕ 권선을 병렬배선 하였다.

2.2 설계 전동기의 해석

설계된 전동기의 해석은 일반적인 수치해석 방식이 적용되었다. Time step 방식에 의한 설계된 전동기의 일반적인 출력 특성은 표 2와 같다.

표 2. 설계된 전동기의 출력 특성

| | | | |
|-------|-----------------------|-------|---------|
| 출력 토크 | 7.532 Nm | 정격출력 | 2.366KW |
| 동손 | 304 W | 철 손 | 14W |
| 총 손실 | 318 W | 효율 | 88% |
| 전류밀도 | 8.1 A/mm ² | 실효치전류 | 10 A |

그림 2는 해석된 전동기를 120°스위칭 방식에 의한 전류 제어모드에서의 각 상의 전류 파형이다. 그림 3은 속도-토크 곡선을 나타내고 있다. 설계된 전동기의 해석결과는 설계 요구 조건인 정격속도 3000[rpm], 정격출력 2.5HP 및 최고속도 3500[rpm]을 만족하는 것으로 나타난다.

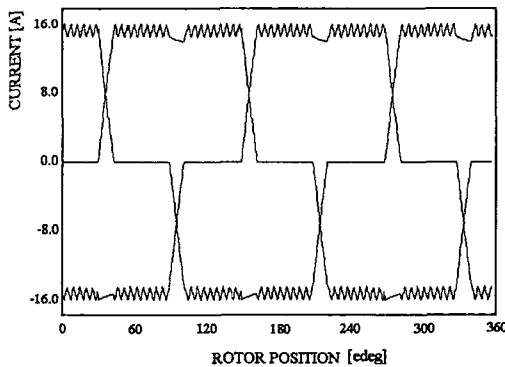


그림 2 설계된 전동기의 전류파형
Fig. 2 Phase current of the BLDCM

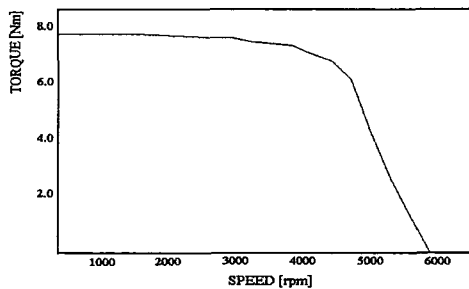


그림 3 속도-토크 곡선
Fig. 3 Speed-Torque curve

3. 제어기 설계

3.1 TMS320LF2406A DSP 제어기

제작된 Tread Mill용 BLDCM의 동작특성 검토 및 해석을 위한 제어기는 DSP인 TMS320F2406A를 사용하여 설계되었다.

BLDCM의 스위칭 패턴은 전동기에 치부된 디스크형 자석에 의한 홀 센서신호를 이용하여 발생하도록 하였다. 그림 4는 각 상의 홀 센서 신호와 기본적인 스위칭 패턴을 나타내고 있다.

전동기의 속도제어는 PWM 제어 방식이 적용되었으며, 전동기의 기본적인 스위칭 패턴과 속도 제어를 위한 PWM 제어 신호를 조합하여 게이트 신호로 사용되었다. 그림 5는 전동기와 전력 변환부를 포함한 전체 제어 시스템을 나타내고 있다.

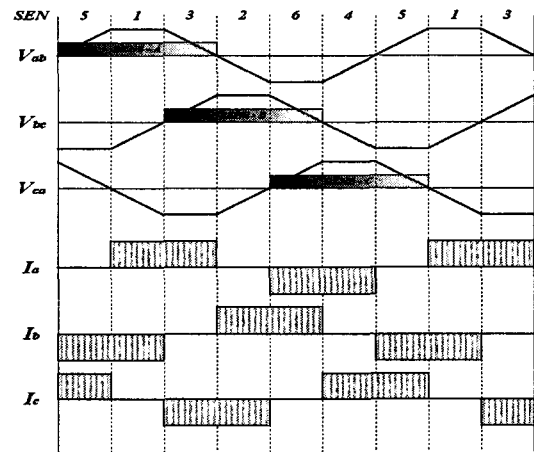


그림 4 홀센서 신호 및 상전류 파형
Fig. 4 Signals of hall sensor and waveform of phase current

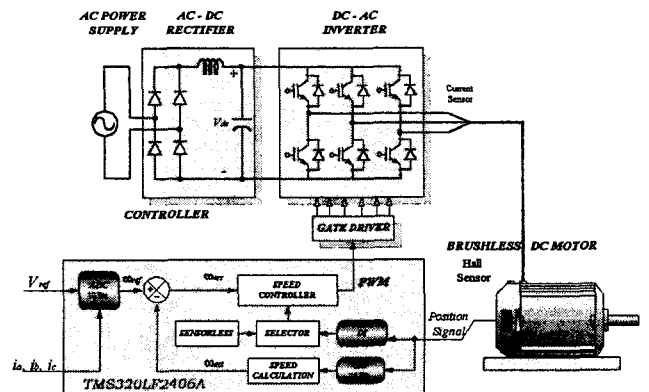


그림 5 TMS320LF2406A 제어기 블록도
Fig. 5 Block diagram of controller using TMS320LF2406A

전동기의 회전속도는 DSP의 캡처 기능을 사용하여 측정된다. TMS320LF2406A에 내장된 캡처 기

능은 16비트 레지스터로 3 상의 센서신호를 각각 캡처 할 수 있다. 과전류 검출을 위한 전류센서로는 TAMURA사의 L10P020 전류센서를 사용하였고, 센서의 출력단의 필터신호와 과전류 제한치의 비교에 의해 프로세서의 동작 및 게이트 앰프의 신호를 차단하도록 설계하였다.

4. 실험 결과 및 검토

그림 6과 7은 본 연구에서 제작된 프로토타입 전동기의 외형, 회전자, 고정자 및 홀 센서부를 나타내고 있다. 고정자 스택의 하우징은 열발산 및 자기차폐를 고려하여 알루미늄 하우징 구조로 설계되었다. 회전자는 홀 센서용의 링 마그네트가 장착되어 있고, 고속회전 시 마그네트의 파손방지를 위해 캔을 씌운 형태이다.

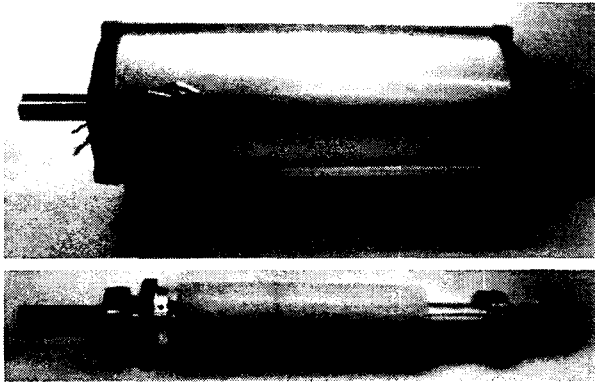
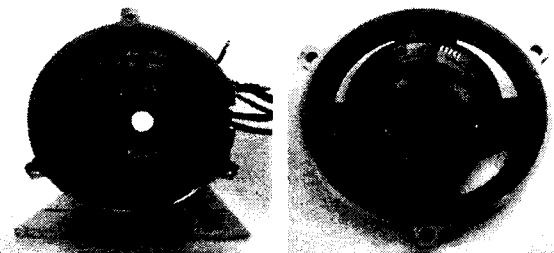


그림 6 전동기의 외형 및 링마그네트가 장착된 회전자
Fig. 6 Outward appearance of BLDCM and rotor with ring magnet



(a) Stator (b) Hall sensor

그림 7 고정자와 홀센서부
Fig. 7 Stator and hall sensor

그림 8은 구형 제어기의 외형을 보여준다. 600V/50A 파워 다이오드 정류기와 600V/50A IGBT를 장착한 인버터를 적용하였으며, 게이트앰프로는 IR2136을 사용하였다.

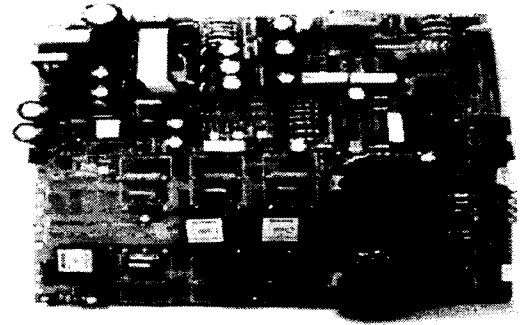
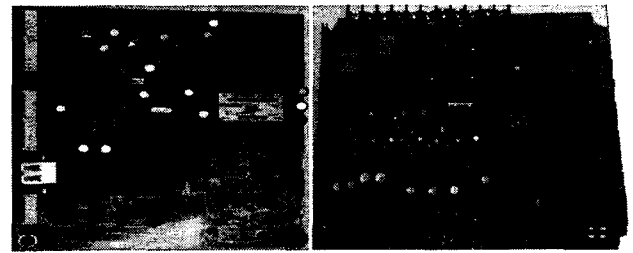


그림 8 제어기 및 파워부(구형)
Fig. 8 Controller and power system



(a) 제어기 (b) 파워부
그림 8-1 제어기 및 파워부(신형)
Fig. 8-1 Controller and power system

그림 8-1은 신형제어기의 외형을 보여준다. 구형 제어기의 노이즈 문제로 제어기와 파워부를 분리시켰다. 파워소자는 1200V/100A IPM를 사용했으며, 게이트 앰프는 TLP114A를 사용하였다.

제작된 시험용 전동기의 특성 실험을 위하여, 다이내모미터 부하에 연결하여 출력을 실험하였다. 실험에서 제어기의 샘플링 시간은 50 [μs]이며, 속도제어는 5[ms] 주기로 수행되었다.

그림 9와 10은 실측된 전동기의 효율과 속도-토크 곡선을 나타내고 있다. 실측된 전동기의 효율과 토크는 정격속도 3000[rpm]에서 설계치 보다 다소 낮은 87[%]와 7.3[Nm]이다. 이는 착자된 회전자의 영구자석이 설계치 보다 다소 낮게 착자되었기 때문으로 사료된다. 하지만, 실제 제작상의 오차를 고려하더라도 전동기의 출력토크는 설계 파라미터를 만족하는 출력특성을 보인다.

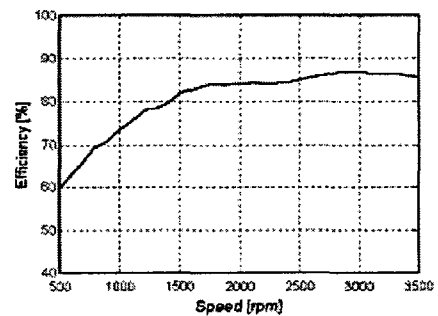


그림 9 효율 특성
Fig. 9 Measured efficiency characteristics

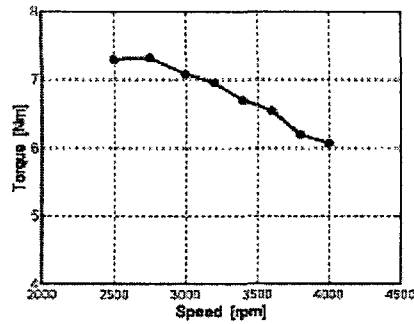


그림 10 속도-토크 특성
Fig. 10 Speed - torque characteristics

5. 결 론

본 연구에서는 정격 2.5[HP]급의 Tread Mill용 BLDCM을 제작하고 제어기를 개발하였다. 제작된 전동기의 해석을 통하여 초기의 설계자의 요구에 적합한 출력 특성을 만족함을 알 수 있으며, 상용 제작의 시행착오를 감소하기 위하여 전동기의 권선은 턴수를 변환하여 해석결과와 실험 결과를 비교하였다.

설계된 전동기의 안정적인 구동을 위하여 과전류 및 온도상승을 검출하는 보호회로가 장착되었다.

제작된 BLDCM 제어기는 실험을 통하여 가정용 및 상업용 Tread Mill에 적용 가능함을 검증하였다.

본 연구는 BB21의 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] P. Vas, Sensorless Vector and Direct Torque Control, Oxford Univ. Press, 1998.
- [2] K. Rajashekara, A. Kawamura and K. Matsuse, Sensorless Control of AC Motor Drives, IEEE Press, 1996.
- [3] Peter Vas, Vector Control of AC Machines, CLARENDON Press, 1990.
- [4] A. T. Morgan, General Theory of Electrical Machines, Heyden & Son Ltd. 1979.
- [5] S. A. Nasar, I. Bolder and L. E. Unnewehr, Permanent Magnet, Reluctance, and Self synchronous Motors, CRC Press, 1993.