

Tread Mill 구동용 BLDC 제어기 개발

이 동희, 송 현수, 박 한웅, 안 진우
 거제대학, 경성대학, 해군사관학교

A BLDC Controller Development for Tread Mill

Dong-Hee Lee, Hyun-Soo Song, Han-Woong Park, Jin-Woo Ahn
 Kojee College, KyungSung Univ, Navy Univ.

Abstract - BLDCM(Brushless D.C. Motor) is widely used 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 controller and drive was developed for tread mill application. The prototype BLDCM has 4 poles rotor and 24 slots stator. Ferrite was used as a rotor magnet due to the cost and temperature characteristic. For the stable operation of tread mill, over current and high temperature can be detected by the DSP controller. For the commutation signal, switching patterns from the sensorless circuit and hall sensor signal are used in the DSP controller.

1. 서 론

최근 달리기 인구증가와 더불어 적절한 훈련장소가 없는 도시인들에게 러닝머신(Tread Mill)에 대한 관심이 고조되고 있다. Tread Mill은 일반적으로 가변속제어에 용이한 DC전동기가 많이 사용되고 있다. 일반적으로 기기의 수명은 7년~12년 정도로, 업소용일 경우 거의 24시간 내내 운전하게 되므로 전동기의 수명 및 효율, 전동기의 열화 등의 문제를 고려하지 않을 수 없다. 그러나 알려진 대로 DC전동기는 제어기의 구조는 단순하지만 지속적인 유지보수가 필요하고, 브러시의 마모로 인한 분진의 문제가 발생한다. 이에 대한 요구로서 브러리스 리스 타입의 전동기의 채택이 필요성이 대두된다.

BLDCM(Brushless D.C. Motor)은 영구자석을 사용하는 전동기로 효율이 높고, 특히 가청 대역의 소음 및 진동이 적으며, 높은 전력밀도와 전류(commutation) 방식이 단순하여 광범위한 산업용분야에 널리 적용되고 있다. 특히 높은 토크 대 관성비의 특성 및 고성능 제어 특성을 만족하는 전동기 특성으로 인하여 서보용 전동분야뿐만 아니라, 가전기기분야에서도 그 활용도가 매우 크게 확대되고 있다[1-5].

본 연구에서는 정격 3[HP]급의 Tread Mill용 BLDCM을 설계하여 그 특성을 해석하고, 제작하여 그 특성을 실험하였다. 본 연구의 개발에 적용된 BLDCM은 4극 24슬롯 구조의 BLDCM으로 Tread Mill의 구동용으로 개발되었으며, 회전자 자석재료는 가격 및 온도특성을 고려하여 페라이트 재질로 설계되었다.

또한, 제작된 Tread Mill용 3[HP]급의 BLDCM을 위한 전용 제어기와 구동드라이브를 개발하여 그 특성을 실험하였다. 초기의 제어기는 다양한 특성실험을 위하여 DSP인 TMS320F421로 실험되었다. 안정적인 구동을 위하여 과전류 및 온도상승을 검출하는 보호회로를 장착하였으며, 센서의 고장을 감안하여 Hall 센서와 센서리스 방식이 병렬운전 되도록 설계되었다.

제작된 BLDC 제어기는 실험을 통하여 가정용 및 상업

용 Tread Mill에 적용 가능함을 검증하였다.

2. 전동기의 설계 자원 및 해석

2.1 전동기 설계 자원

본 연구에서 설계된 전동기는 Tread Mill 구동용 BLDCM으로 정격 3[HP]/220[V]용으로 설계되었다. 24슬롯 4극 구조의 BLDCM 설계 제원은 표 1과 같다. Interior rotor 타입의 BLDCM에서 내부 회전자 자석은 surface mounted 타입이며, 재질은 온도특성 및 가격을 고려하여 잔류자속 밀도 0.405[T] 및 보자력 295[kA/m]의 페라이트가 사용되었다.

표 1. 설계 전동기의 제원

정격 출력	3HP	상수	3 상
정격 전압	AC 220V	결선방식	Y 결선
회전수	3000 rpm	극수	4극
철심길이	140 mm	공극	0.5 mm
슬롯수	24	슬롯 깊이	12 mm
자극각	180	자석두께	12 mm
상당 턴수	25	외경	59 mm

그림 1은 설계된 전동기의 권선 배열 및 권선 방식을 나타내고 있다.

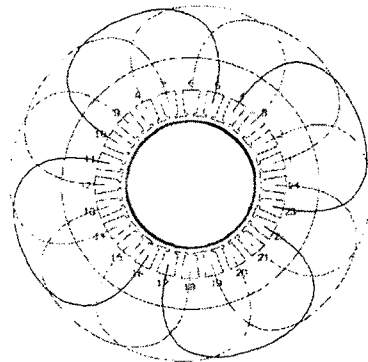


Fig. 1 Winding array of 3-phase
 그림 1. 설계된 전체 상의 권선 배열

설계된 전동기의 권선은 집중권으로 설계되었으며, 설계된 고정자 스택의 슬롯 면적에 대하여 정격출력을 만족하는 실제적인 권선은 권선의 전류밀도와 슬롯의 fill factor를 고려하여 선정되었으며, 4개의 0.7φ 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	철손	14W
총 손실	314 W	효율	88%
전류밀도	8.1 A/mm ²	실효치전류	10 A

그림 2는 해석된 전동기를 120° 스위칭 방식에 의한 전류 제어모드에서의 세 상의 전류 파형을 나타내고 있으며, 그림 3은 속도-토크 곡선을 나타내고 있다. 설계된 전동기의 해석결과는 설계 요구 조건인 정격속도 3000[rpm], 정격출력 3HP 및 최고속도 4000[rpm]을 만족하는 것으로 나타난다.

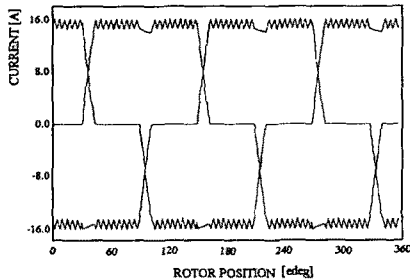


Fig. 2 Phase current of the BLDCM
그림 2 설계된 전동기의 전류파형

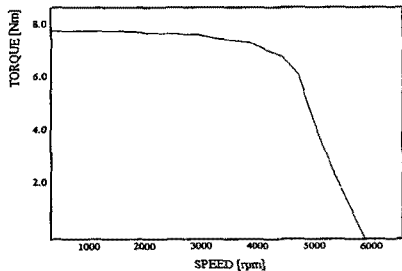


Fig. 3 Speed-Torque curve
그림 3 속도-토크 곡선

3. 제어기 설계

3.1 TMS320F241 DSP 제어기

제작된 Tread Mill용 BLDC의 동작특성 검토 및 해석을 위한 제어기는 DSP인 TMS320F241을 사용하여 설계되었다.

BLDC의 스위칭 패턴은 전동기에 취부된 디스크형 자석과 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.

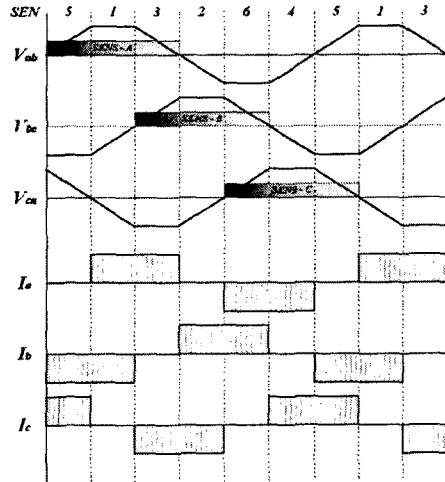


Fig. 4 Signals of hall sensor and waveform of phase current

그림 4 홀센서 신호 및 상전류 파형

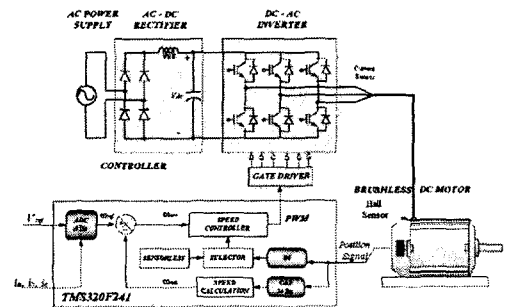


Fig. 5 Block diagram of controller

그림 5 제어기 블록도

안정적인 전동기 구동을 위하여 센서리스 방식의 병행 운전이 제안되었다. 상전압 비교에 의한 센서리스 신호는 제어기 내부에서 홀센서 신호와 비교되어 센서 신호가 발생하지 않는 경우에도 안정적인 구동을 위하여 스위칭 패턴을 발생할 수 있다.

4. 실험 결과 및 검토

그림 6과 7은 본 연구에서 제작된 프로토타입 전동기의 회전자 및 외부구조를 나타내고 있다. 고정자 스택의 하우징은 열발산 및 자기차폐를 고려하여 알루미늄 하우징 구조로 설계되었다. 회전자는 홀센서용의 링마그네트가 장착되어 있고, 고속회전시 마그네트의 파손방지를 위해 캔을 씌운 형태이다.



Fig. 6 Rotor with ring magnet
그림 6 링마그네트 장착된 고정자

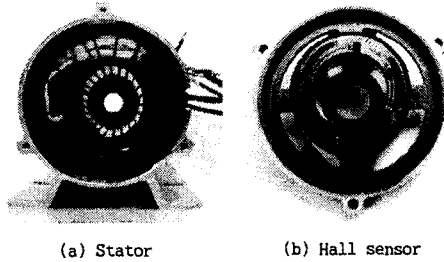


Fig. 7 Stator and hall sensor
그림 7 고정자와 홀센서부

그림 8은 개발된 제어기의 외형을 보여준다. 600V/25A 파워 다이오드 정류기와 600V/30A IGBT를 장착한 인버터를 적용하였으며, 게이트앰프로는 IR2136을 사용하였다.

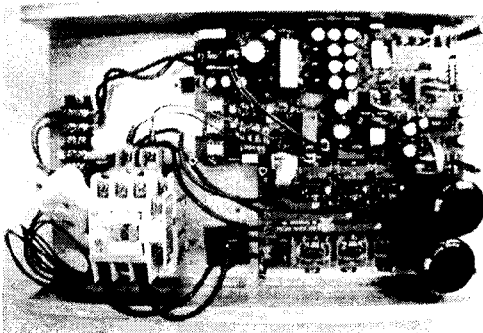


Fig. 8 Controller and power system
그림 8 제어기 및 파워부

그림 9와 10은 본 연구에서 설계된 제어기와 BLDCM의 실측결과이다. 각 상의 센서신호와 A상의 스위칭 패턴을 나타내고 있다. 각 상의 센서 신호는 마그넷 디스크와 홀센서에서 검출된다. 프로토타입의 마그넷 디스크의 착자오차에 의해 센서신호의 듀티비에 다소 오차를 보이고 있으며, 이는 차후 듀티비의 조절이 요구된다.

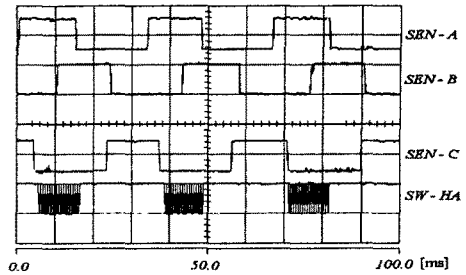


Fig. 9 Hall sensor and switching signals
그림 9 센서신호와 A상 스위칭 패턴

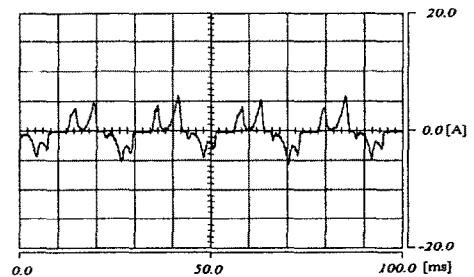


Fig. 10 Current waveform of phase A
그림 10 A상 전류 신호

5. 결 론

본 연구에서는 정격 3[HP]급의 Tread Mill용 BLDC를 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 장착되었으며, 센서의 고장을 감안하여 Hall 센서와 센서리스 방식이 병렬운전 되도록 설계되었다.

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

[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.