전기자전거용 BLDC 구동장치 개발

김영기*, 최승철*, 이진우**, 정교범***, 목형수*
*건국대, **두원공대, ***홍익대

Drive Control System of InWheel Type BLDC for Electric Bicycle

Y.K. KIM*, SC. Choi *, J.W. Lee**, G.B. Chung***, H.S. Mok*
*Konkuk Univ., **Doowon Technical College, ***HongIk Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자전거용 BLDC를 구동할 수 있는 구동 제어시스템을 설계하였으며, BLDC 전동기와 구동원리에 대해 특성을 파악하였다. 제어보드는 TI사의 TMS320F2808을 이용하여 6-스텝 인버터를 구동하였으며, PI제어를 적용하여 전류제어를 통해 전기자전거용 BLDC 구동장치를 구현 하였다.

1. 서론

친환경 기술은 미래 산업의 생존이 달린 핵심기술로서 선진국가들은 환경을 위한 기술 개발에 총력을 기울이고 있다. 현재 대표적인 친환경 기술은 하이브리드 자동차 및 연료전지 자동차등의 전기 자동차 기술과 가정에서 자주 사용하는 전기자전거나 전기스쿠터 등의 개발이 활발히 추진되고 있다.[1] 이러한 전기자동차나 전기자전거는 기존의 운송수단에 비하여 저소음, 저공해라는 장점과 이동거리 당 낮은 에너지 비용 등의 경제적인 이유로 전 세계적으로 개인용 근거리 운송수단으로서 큰 활성화를 보이고 있다. 따라서, 본 논문에서는 전기자전거용 모터를 제어하는 구동장치 개발에 대해 다루었다. 먼저 전기자전거용 모터는 감속기나 기구적인 동력전달장치가 필요 없는 In-Wheel 모터를 적용하였다.

In-Wheel 모터는 전기자동차, 전기자전거 및 전기스쿠터와 같이 전기 동력으로 주행하는 차량에서 차륜에 구동 모터를 내장하여 고성능의 전기 모터를 휠에 직접 장착하여 파워트레인 요소를 모두 제거함으로써 구동 시스템의 효율을 높일 수 있다. 또한 휠에 모터를 장착함으로써 충분한 구동력을 확보할 수 있고 제동 시 회생제동으로 인한 제동에너지 회수를 극대화함으로써 연비를 향상 시킬 수 있다.

본 논문에서는 In-Wheel type의 BLDC와 이를 제어하기 위한 구동장치에 대한 제어시스템을 설계 및 제작하였으며 TI사의 TMS320f2808를 이용하여 6-스텝 인버터를 구동하였으며, 홀센서의 신호를 감지하여 회전자의 위치를 측정하여 PI전류제어방법을 적용하여 실험하였다.

2. 전기자전거용 In-Wheel type BLDC

BLDC는 전동기 내부에 기구적인 브러시 장치를 가지고 있지 않은 전동기이다. 일반적으로 가격과 성능 면에서 우수한 홀센서를 이용하여 회전자의 위치를 파악하고, 그에 따른 회전자의 위치를 측정하여 전동기를 구동시킨다. 다른 전동기와 비교했을 때 수십에서 수만rpm에 달하는 광범위한 동작 속도 범위를 가지고 있어 전동기 자체의 응용이 용이하며, 속도-토크 특성이 우수하여 그 활용도 또한 높은 편이다. 회전자가 영구자석으로 되어 있어 뛰어난 동적 특성을 가지며, 낮은 소비전력을 가지면서도 우수한 효율을 가진다. 그리고 소음 적으며, 수명이 반영구적이다.[2]

In-Wheel Motor는 Outer Rotor Type으로 축이 고정되어 있고, 바퀴가 돌아가는 구조로 이루어져 있다.

표 1 BLDC의 파라미터와 정격
Table 1 Parameters and ratings of BLDC

항목	단위	Value	비 고
정격출력	W	170	
최대속도	rpm	750	약 25km
최대토크	Nm	50	
극수/슬롯 수		22/18	
상저항	Ω	0.1	
상인덕턴스	mH	0.22	
인버터입력전압	V_{DC}	36	
모터최대전류	A_{rms}	20	
위치센서		Hall Sensor	

(a) BLDC (b) 휠을 장착한 BLDC

그림 1 전기자전거용 BLDC의 외관 모습
Fig 1 Outward Appearance of BLDC for E-Bike

3. BLDC의 구동원리

BLDC전동기 구동원리는 회전자의 위치를 알 수 있는 위치센서를 이용하여 회전자 자극의 위치를 검출하여 전류를 각 상에 흘려주면, 이 전류와 계자자속의 상호작용으로 토크가 발생하게 된다. 위치센서로는 보통 홀센서나 광트랜지스터가 이용되며, 본 논문에서는 홀센서를 사용하였다. 그림2는 BLDC전동기의 이상적인 역기전력과 상전류 및 홀신호를 나타내고 있다.

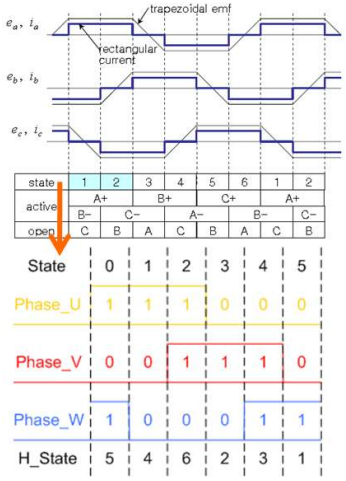


그림 2 BLDC전동기의 역기전력과 전류 및 Hall신호
Fig 2 Back EMF, Currents and Hall signal of BLDC Motor

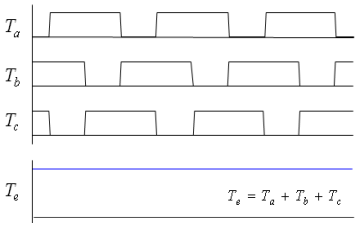


그림 3 BLDC전동기의 이상적인 토크
Fig 3 Ideal Torque of BLDC Motor

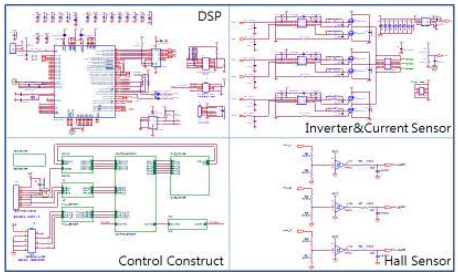
일반적으로 BLDC전동기는 계자자속의 위치에 따라 3상중 2상에 전류를 흘려주는 3상 2여자방식으로 구동된다. 그림 3과 같이 역기전력이 평탄한 120° 구간에서 이상적인 구형파 전류를 인가할 때 맥동없는 일정한 토크를 얻을 수 있다. 회전자의 전기적인 1회전시, 전류 도통구간은 6번 나타난다. 전류파형은 전기적으로 60°마다 반복되므로 임의의 한 구간을 해석하면 전 구간에 적용할 수 있다.

BLDC전동기의 일반적인 토크 식은 다음과 같다.

$$T_e = \frac{1}{\omega_m}(e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c) \quad (1)$$

4. 전기자전거용 BLDC의 구동장치

BLDC 전동기를 구동시키기 위해 TI사의 TMS320F2808을 사용하였고 Inverter는 IR사의 IRFR540Z(100V/35A)을 사용하였다. 다음 그림은 In-Wheel Motor를 구동시키기 위한 제어보드의 회로구성과 제작한 제어보드이다.



(a)주요 회로도

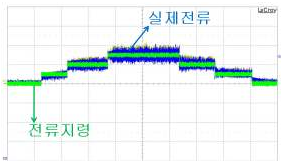
(b) 제작한 제어보드

그림 4 주요 회로도와 제작한 제어보드
Fig 4 Control board and Inverter stack

5. 실험 결과

BLDC 전동기의 전류제어 알고리즘은 먼저 기준 전류 레퍼런스가 주어지면 전동기의 DC링크 전류와 비교되어 Idc 기준 전류를 발생한다. 여기서 전류제어기 등의 오차 보상에는 PI 제어방식을 사용한다. 본 구동장치에서는 6-스텝 인버터에 MOSFET의 On/Off 구간을 총 6개로 구분하여 3개의 권선 중 2개의 권선에 전류를 흘려주는 2상 여자 방식을 이용하였다.

(a)홀신호와 PWM파형



(b) 전류파형

그림5 실험 결과
Fig 5 Experimental result

그림5(a)는 홀센서 신호에 맞혀서 PWM 제어가 됨을 보여주고 있고, 그림5(b)는 Idc전류지령에 맞혀서 실제Idc전류가 흐르고 있는 것을 보여주고 있다.

6. 결론

본 논문에서는 전기자전거용 BLDC 전동기를 구동할 수 있는 구동장치를 개발하였다. 구동장치에서 제어보드는 TI사의 TMS320F2808을 이용하여 회전자가 회전할 때 발생되는 홀센서의 신호와 전동기에서 발생되는 역기전력파형을 분석하고, 60° 간격으로 구간을 나누어 6-스텝 인버터를 구동하였으며, 전동기의 2개의 권선에 전류를 흘려주는 2상 여자 제어방법을 적용하여 BLDC를 구동하였다. 또한, PI제어를 적용하여 전류제어를 통해 전기자전거용 BLDC 구동장치를 구현 하였다.

참 고 문 헌

[1] 조성남, 손영대, 김철진, "전기자전거의 BLDC 구동제어시스템 설계 및 구현", 대한전기학회 2008년도 추계학술대회 논문집, 2008. 10, pp. 136-138
[2] 김영기 외 6명, "2상 SPMSM을 이용한 In-Wheel Motor의 신뢰성 평가", 전력전자학회 2009년도 하계학술대회 논문집, 2008. 7, pp. 561-563