

Development of Controller for MPB BLDC Motor

金 尚 郁* · 金 輔 烈**
(Sang-Uk Kim · Bo-Youl Kim)

Abstract -The aim of this paper is to develop a controller of multi-phase bipolar brushless DC (MPB BLDC) motors for an electric bicycle. A MPB BLDC motor has a permanent magnet rotor in which the magnetic arrangement is radial to the shaft and integral to the rotor laminations. This technique concentrates flux, giving a higher flux density than a surface-mounted PM motor and increases reluctance torque. The stator of MPB BLDC motor has parallel winding, allowing multi-phase separate independent controllability. It gets much more high power than wye-connection at same low voltage. The conventional techniques of exited with modulation(EWM), bidirection control, and partial square wave control are proposed with one H-bridge and two photo sensors per phase. The proposed controller is satisfied for the limited speed control and designed for system stability. Experimental results show the performance of the proposed controller of MPB BLDC motors for an electric bicycle.

Key Words : MPB BLDC Motor, electric bicycle, speed control, parallel winding

1. 서 론

공작기계, 전기수송용 등 고정도 속도제어가 요구되는 산업용기계의 구동을 위해 종래에는 직류전동기가 널리 사용되어 왔다. 직류전동기는 제어가 매우 용이하고 제어범위도 넓어서 제어성능이 뛰어나다. 그러나 직류전동기는 고속화·고압화·대용량화에 한계가 있고, 브러시 등의 보수 점검과 소음 발생의 단점을 가지고 있어 브러시가 없는(BLDC) 전동기로 전환되고 있다[1].

BLDC 전동기는 신뢰성이 높고, 회전자에는 동손에 의한 발열이 없으며 고정된 전기자 철심의 철손과 전기자 권선의 동손에 의한 발열뿐이어서 효율이 높고 역률이 뛰어나며 토오크 제어가 용이한 특징을 지니고 있다[2-5].

이와 같은 장점 때문에 전기자전거용으로 BLDC 전동기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존의 전기자전거로 사용되는 직류전동기나 BLDC 전동기의 경우 기어 및 체인을 이용하여 속도를 줄이는 방식이 채택되고 있다. 감속기 등에 의한 소음은 사용자에게 대한 거부감을 유발하고, 감속기 및 체인 등으로 인한 손실을 동반하여 한정된 충전지전원으로 구동되는 경우 사용시간을 단축시키는 단점이 있다.

본 논문에서는 이들의 단점을 극복하기 위하여 감속기를

사용하지 않고 고효율로 운전되는 다상 바이폴라(MPB, multi-phase bipolar) BLDC 전동기의 제어기를 설계하였다.

전기자전거용 전동기는 다상의 독립권선으로 구성된 고정자와 규소강판 적층내에 영구자석을 방사형으로 매입한 회전자 및 자속을 측정할 수 있는 센서로 구성한다. 기존 제어기에 종류는 여자폭 변조 제어(excited width modulation control), 양방향 제어(bidirection control), 부분 구형파 제어(partial square wave control) 등이 있다. 여기서는 토오크 리플과 발열 감소, 저전압 고 토오크, 초고속 및 저속 구동 등에 매우 우수한 특징을 가지고 있는 드라이버를 구성하였다[6]. 마지막으로 실험을 통하여 양호한 성능결과를 확인하였다.

2. MPB BLDC 전동기의 구조

BLDC 전동기는 회전자에 영구자석을 사용하는 동기전동기로 브러시를 없애기 위해 계자가 회전하도록 되어 있다. 계자의 구조에 따라 돌극형과 비돌극형(원통형)이 있으나 본 MPB BLDC 전동기는 비돌극형 BLDC 전동기 중에서 그림 1과 같이 매입형 BLDC 전동기를 사용하였다. 회전자내 영구자석은 자속의 집중으로 릴럭턴스 토오크 극대화가 가능하고, 기계적으로 견고하여 수송용 BLDC 전동기에 적합하다. 또한 자석이 막대자석 형상으로서 회전자의 극수, 크기, 모양을 제약 없이 구성할 수 있으므로 길이방향 전동기나 팬케이크형 전동기를 용도에 맞게 자유로이 설계 및 제작할 수 있다[1].

한편, 매입형 BLDC 전동기는 구조적으로 회전자에 얇은 링크부를 가지고 있기 때문에 영구자석의 자속이 고정자의 권선과 쇠교하지 못하고 링크부의 자로를 통해 누설된다. 이

* 正 會 員 : 仁 荷 工 業 專 門 大 學 電 氣 科 助 教 授

** 正 會 員 : 仁 荷 工 業 專 門 大 學 電 氣 科 教 授

接 受 日 字 : 2001年 8月 1日

最 終 完 了 : 2001年 9月 19日

누설을 작게 하기 위하여 링크부의 폭을 되도록 작게 하는 것이 바람직하지만 전동기 제작시의 제작상 어려움이 있고, 고속 회전시 기계적 취약성으로 영구자석의 비산을 일으킬 수도 있으며, 영구자석에 의한 가진력으로 진동과 소음을 일으킬 수 있는 원인이 될 수 있다. 이러한 점을 고려하여 기계적 신뢰성의 안정성과 누설을 줄이기 위한 적절한 폭의 링크부를 설정하여야 한다[2].

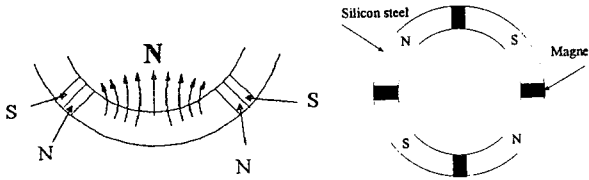


그림 1 외전형 회전자 구조
Fig. 1 Structure of the outer rotor

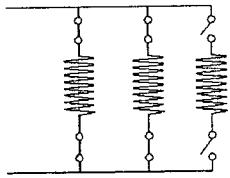


그림 2 고정자 권선의 구조
Fig. 2 Structure of the stator winding

그림 2은 MPB BLDC 전동기의 3상 고정자 권선 구조를 나타낸 것이다. 고정자는 일반적인 Y 및 Δ 권선과는 달리 상별, 극별로 병렬권선 구조로 저전압으로 고효율 운전이 가능하며, 병렬권선 구조로 저항손을 줄일 수 있다.

전자전거용으로 설계된 MPB BLDC 전동기의 구조는 다음과 같다.

- 3상의 병렬 독립권선으로 구성된 고정자
- 규소강판 적층내에 Nd계 희토류 막대자석을 방사형으로 매입한 16극의 회전자(그림 1 에서는 4개 뿐임)
- 각상 마다 2개의 광센서(총 6개 센서)
- 슬롯 코어형 고정자의 권선은 16극의 분포권 방식
- 허브(hub)형 외전형(outer) 회전자 구조

충전지(+24V)로 구동되는 전동기는 저전압으로 구동해야 하는 어려운 점이 있다. 따라서 본 MPB BLDC 전동기를 저전압 구동하기 위하여 회전자를 16극으로 하였으며, 고정자 권선은 그림 3과 같이 병렬로 구성하였다. 코일을 직렬로 구성할 경우 고투오르크를 얻기 위하여 많은 전류 인가 또는 코일의 지름이 커져야 하고, 상당 코일 턴수는 적어지게 되므로 고속회전이 불가피하다. 병렬로 권선을 구성할 경우 상당 코일을 직렬로 연결할 경우보다 코일의 저항 성분이 감소하기 때문에 코일에서 발생하는 저항손을 줄일 수 있고, 코일의 지름이 작아도 저전압을 인가할 수 있는 특징이 있다.

여자폭 변조 제어 및 부분 구형과 제어를 구현하기 위하여 각 상당 2개의 센서가 필요하므로 독립 병렬 3상인 본 전동기의 경우 6개 센서를 부착한다. 권선, 센서 및, 엔코더의 위치와 구조는 그림 4와 같으며 센서 각도는 다음과 같이 설계한다.

$$T1 = \frac{2\pi}{\text{극수}} \quad (1)$$

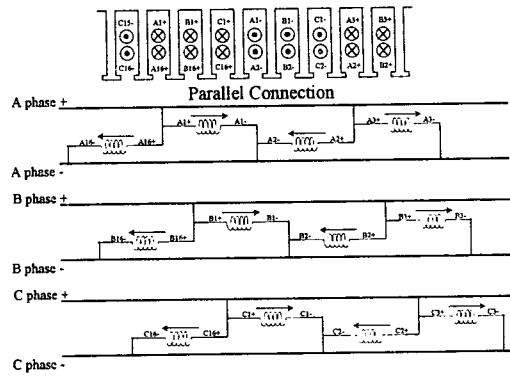


그림 3 병렬 권선의 구조
Fig. 3 The structure of parallel winding

$$T2 = \frac{2\pi}{\text{극수}} \times \frac{\text{여자상수}}{\text{총상수}} \quad (2)$$

$$\text{센서당간격} = \frac{2\pi}{\text{극수}} \times \frac{1}{\text{총상수}} \quad (3)$$

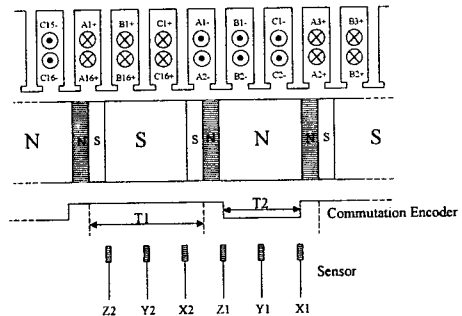


그림 4 회전자, 고정자, 엔코더 및 센서의 구조
Fig. 4 The structure of rotor, stator, encoder and sensor

3. MPB BLDC 전동기의 구동원리 및 토오르크 특성

그림 5는 여자방식에 따른 토오르크 특성을 나타낸 것으로서 여자폭 변조 및 부분 구형과 제어로 구현할 경우 토오르크 리플이 감소하는 특성을 얻을 수 있다. 회전자에 부착된 N극과 S극이 접촉된 부분에서 고정자의 코일 형태 및 위치가 회전자의 해당 극성과 정확히 일치하지 않을 경우 불필요한 토오르크분 전류가 인가되는 경우가 있다. 따라서 그 기간 동안에 부정확한 토오르크분 전류를 차단하고, 고 토오르크 및 토오르크 리플 감소를 위하여 여자폭 변조 제어 및 부분 구형과 제어를 적용한다. 본 연구에서는 H 브리지 형태의 제어기를 사용하여 다상 다여자 방식의 양방향제어를 구현하였다[7]. 그림 6은 H 브리지 방식의 3상 2여자 방식으로 편의상 6극만 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 만약 전동기의 회전자가 엔코더의 위치에 있다고 하면 센서 A1, B1은 신호를 받아 A상과 B상에 전류가 화살표 방향으로 흐르도록 스위치가 동작되며, 센서 C1, A2, B2, C2는 신호가 없으므로 나머지 스위치는 휴지기간이 된다. 즉, 그림 6에서의 동작은 그림 7에서의 a 구간에 해당되며, 회전자가 회전함에 따라 순차적으로 센서의 위치 및 신호는 b, c, d, e, f 구간 순으로 얻어지며,

이에 따라 각 스위칭 소자가 그림 7과 같이 동작된다. 따라서 그림 7과 같이 센서 각도로 구성된 엔코더 및 이를 측정하여 각 H 브리지의 스위칭 소자가 동작된다고 한다면 토오크의 함은 그림 7과 같이 토오크 리플을 최소화할 수 있다.

Classification	Input Electric Waveform	Torque Scheme and Copper Loss	Sum of Torque
Conventional Motor 1	Square Wave (full wave)	Trapezoidal Torque Scheme	
Conventional Motor 2	Sine Wave (full wave)	Sinusoidal Torque Scheme	
MPB BLDC Motor	Square Wave (Partial wave)	Square Torque Scheme	
Electric Angle	0 30 150 180	0 30 150 180	

그림 5 MPB BLDC 전동기의 토오크 특성
Fig. 5 Torque characteristics of MPB BLDC Motors

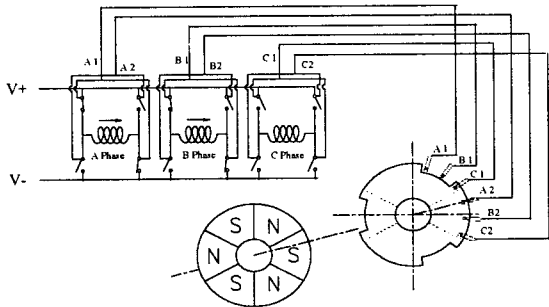


그림 6 MPB BLDC 전동기의 구동원리
Fig. 6 The principle of driver for MPB BLDC Motors

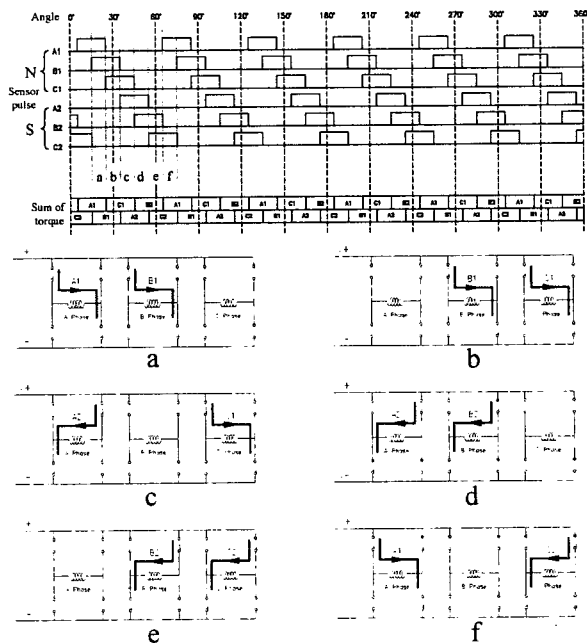


그림 7 MPB BLDC 전동기의 구동 시퀀스 도
Fig. 7 The sequence block diagram of driver for MPB BLDC motors

4. MPB BLDC 전동기용 제어기 설계

MPB BLDC 전동기를 구동하기 위한 제어 시스템은 그림 8과 같다. 고정자와 회전자 극수는 16극으로 하고 3상을 전원을 인가한다. 고정자 권선이 각 상별로 병렬 독립 권선되어 있고, 회전자의 위치를 검출하기 위한 광센서로 각 상을 여자시킨다. 이때, 고정자의 상은 2개의 여자상과 1개의 비여자상이 발생하도록 되어 토오크 왜곡이 발생하는 극전환 영역에서 반발 토오크를 차단하도록 한다. 그리고 전동기를 보호하기 위하여 일정 온도 이상에서 작동되는 온도센서신호 등을 출력한다.

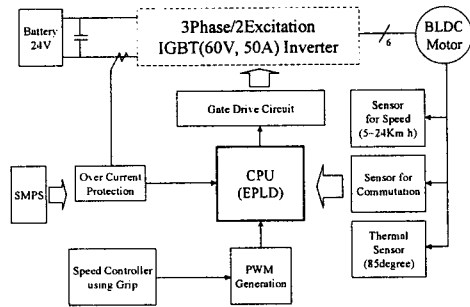


그림 8 제어시스템 블록도
Fig. 8 Block diagram of control system

스위칭모드 전원공급장치(SMPS)를 이용하여 시스템에서 필요하는 전원을 공급한다.

속도조절부는 운전자의 그림(grip)조작에 따라 속도조절신호를 발생하며, PWM 전류제어 발생부는 속도조절신호에 따라 PWM 신호를 발생한다. 즉, 전기자전거의 핸들에 장착된 그림의 조작에 따라 속도조절신호가 발생되고, 속도를 증가시키고자 할 경우에 상대적으로 폭이 넓은 PWM 신호가 발생된다.

제어부는 저가의 EPLD로 구현하였으며, 전동기로부터 광센서신호와 온도신호를, 과전류 검출부로부터 신호를 그리고 PWM 발생부로부터 속도에 따른 호를 입력받아 구동신호를 발생시켜 인버터의 스위칭소자를 제어한다.

인버터 및 게이트 구동회로는 그림9와 같이 하나의 상을 구동하기 위해서는 4개의 전력용 스위칭 소자를 필요로 한다.

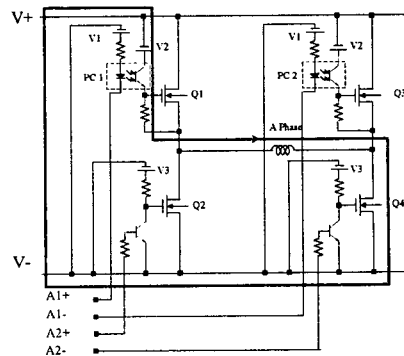


그림 9 게이트 구동 회로
Fig. 9 Gate drive circuits

그림 9에서와 같이 H 브리지의 하부 야암을 구성하는 스위칭소자들(Q2, Q4)은 광센서에 의해 구동되며, 상부 야암의 스위칭소자(Q1, Q3)에만 센서 신호 및 PWM신호를 인가하여 제어하므로 구동신호가 간단하다. 3상 2여자 방식의 경우 광센서 신호에 의해 A1+ 구동신호와 A1- 구동신호 혹은 A2+ 구동신호와 A2- 구동신호가 동시에 온(on)인 경우가 발생되지 않으므로, 그림 10과 같이 휴지기간(dead time)을 고려할 필요가 없어 게이트 구동회로 제어절차가 단순화되어 안전성을 향상시킬 수 있다.

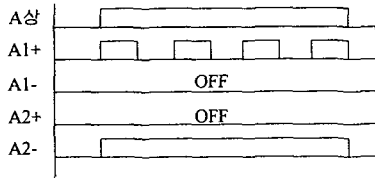


그림 10 휴지기간이 없는 파워 소자의 온, 오프 타이밍 도
Fig. 10 Timing table of on/off switching devices without dead time

그림 9에 나타낸 A상 H브리지의 상세 회로도에는 게이트 구동부에 사용되는 전원의 수를 개선한 것을 설명하기 위한 회로도이다. 즉, 종래에는 H 브리지를 구성하는 각 전력소자를 구동하기 위하여 요구되는 전원의 수가 적어도 상부 야암 스위칭소자의 수+1 만큼 각각 필요하나, 상부 야암의 구동에 포토 커플러를 이용하여 전원을 격리시킴과 동시에 단지 2개의 전원만으로 모든 H브리지를 구동할 수 있도록 함으로써 요구되는 전원의 수를 줄인 것이다.

MPB BLDC 전동기는 3상이므로 2개의 감지구간이 형성된 정류 엔코더와 6개의 광센서가 사용된다. 6개의 광센서는 X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2 순으로 설치하고, 각 센서에서 감지된 신호는 X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2라고 한다. 여기서 X1, X2는 A상을 Y1, Y2는 B상을 그리고 Z1, Z2는 C상을 각각 여자시키기 위한 센서이다. 6개의 광센서중 정류 엔코더의 감지구간에서 순차적으로 2개씩의 광센서가 출력하여 3상의 고정자 권선 중 2상만 순차적으로 여자된다.

표 1 PWM 게이트 신호

Table 1 PWM gate signal

센서신호 (입력)	구동신호 (출력)	제어상 (소자)	구동소자
X1,Y1,Z1, X2,Y2,Z2	A1+=X1pwm	A상(Q1)	상부야암
	A2+=X2pwm	A상(Q3)	
	B1+=Y1pwm	B상(Q1)	
	B2+=Y2pwm	B상(Q3)	
	C1+=Z1pwm	C상(Q1)	
	C2+=Z2pwm	C상(Q3)	
	A1-=X2	A상(Q2)	하부야암
	A2-=X1	A상(Q4)	
	B1-=Y2	B상(Q2)	
	B2-=Y1	B상(Q4)	
	C1-=Z2	C상(Q2)	
	C2-=Z1	C상(Q4)	

최종 출력은 표 1과 같이 PWM신호와 광센서신호 및 제어된 알고리즘에 따라 동작하도록 온/오프신호를 발생하는

제어부, 제어부의 출력 및 과전류신호나 온도신호 등을 결합하여 최종적으로 게이트를 구동하기 위한 구동신호를 출력하는 신호결합부로 구성된다. 그리고 구동신호 생성부는 광센서신호를 입력받아 그대로 구동신호를 발생하는 하부야암 구동신호 생성부와, 광센서신호와 PWM신호를 결합(AND)하여 상부 야암신호를 발생하는 상부야암 구동신호 생성부로 이루어진다.

그림 12는 센서를 이용하여 속도를 계산하는 신호파형도이다. MPB BLDC 전동기가 장착된 전기자전거의 속도는 바퀴에 부착한 속도센서를 이용하여 구할 수 있다. 즉, 속도센서는 1바퀴 회전시마다 구형펄스를 출력하고, 클럭펄스는 일정한 주기로 계속 발생되므로 그림 12와 같이 입력된 구형펄스 사이(즉, 1바퀴 회전시)에 클럭을 카운터하여 속도를 산출한다. 따라서 하한속도에 해당하는 카운터값을 '하한속도 카운터값(C 카운터)'으로 정의하고, 상한속도에 해당하는 카운터값을 '상한속도 카운터값(B카운터)'로 정의하면 카운터값을 측정하여 하한속도와 상한속도의 범위 내에서만 전동기가 구동되도록 할 수 있다. 전기자전거의 경우 속도범위는 3~24[km/H]로 설정하는 것이 바람직하다.

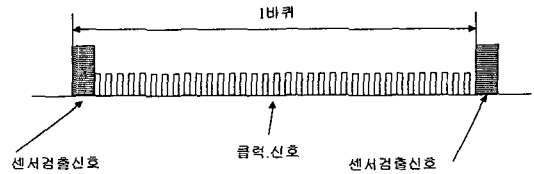


그림 11 속도 센서 신호 및 구형파 발생 신호
Fig. 11 Speed sensor signal and pulse generating signal

그림 13은 속도 제어부의 제어 알고리즘을 나타낸 것이다. 임의시간 t에 속도센서신호가 검출되었는지를 판단하여 속도센서신호가 검출되지 않으면 제어회로를 오픈한다. 제어회로가 오프되면 전기자전거일 경우에 전동기가 아닌 사람의 힘으로 움직인다.

속도센서신호가 검출되면 클럭을 카운터 시작한다. 이어 제1 카운터에 카운터값을 저장한 후 제1 카운터의 카운터값과 소정의 임계 A 카운터값을 비교한다. 이 때, 속도센서에 의해 회전 시작이 검출된 후 1회전이 되기 전에 정지할 경우에는 다음 속도센서신호가 입력되지 않으므로 카운터 값이 무한히 증가하게 된다. 따라서 임계 A 카운터값을 설정하여 카운터값이 일정한 값 이상이 되면 제어회로를 오픈한다. 이어 (t+1) 시간에 속도센서신호가 검출되면, 제1 카운터의 카운터값을 제2 카운터에 저장하고, 제2 카운터의 카운터값이 하한속도 카운터값과 상한속도 카운터값 사이에 있는지를 판단한다. 속도센서신호가 검출되지 않으면 제2 카운터값을 0으로 한다.

제2 카운터의 카운터값이 상, 하한 속도 카운터값을 벗어 나면, 규정된 속도범위를 벗어났으므로 제어회로를 오프(off) 하며, 범위안에 속하면 제어회로를 온(on)한 후 각 카운터의 저장값을 클리어하고, 다시 카운터를 시작한다. 만일, 전원이 오프하면 모든 제어과정을 종료한다. 이와 같이 전동기 제어부는 제어대상의 속도를 감시하여 일정한 범위내에 있을 때 만 PWM 신호에 따라 전동기를 구동하여 운전자가 원하는

속도로 달릴 수 있게 하고, 속도범위를 벗어나면 전동기의 구동을 오프하여 수동으로 구동한다. 그리고 정상 속도 범위에서 운전중일지라도 전동기가 과열되거나 과전류가 검출되면 즉시 전동기 구동을 차단하여 전동기나 회로소자가 파손되는 것을 방지한다.

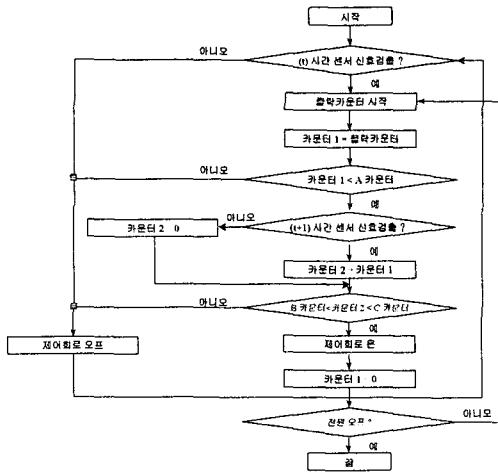


그림 12 제어블록선도
Fig. 12 Control block diagram

5. 실험결과

본 MPB BLDC 전동기의 파라메타 및 구조는 표 2 및 그림 14와 같다. 그림 15는 특성 해석을 측정하기 위한 실험세트를 나타낸 것이다. 본 측정을 위하여 다이내모메타는 스위스 바이프로메타사의 PB25를 사용하였으며 3상 전력분석기는 오스트리아 노르마사의 D6000을 사용하였다.

표 2 MPB BLDC 전동기의 정수
Table 2 The parameters of MPB BLDC Motor

정격전압	24 [V]
정격전류	7 [A]
극 수	16 [P]
출력	150 [W]
정격회전수	200 [rpm]
R_s	1.35 [Ω]
L_s	4 [mH]

그림 16은 전동기의 구조이고, 그림 17-18은 전동기 및 시스템(인버터)을 포함한 토크, 속도, 효율 곡선을 나타낸 것이다. 정지 토크는 19[N·M]이고, 속도 운전 범위는 30~270[rpm]이었으며, 최대 효율은 80[%]를 얻을 수 있었다. 제어를 구현하기 위하여 그림 18과 같이 회로를 구성하였으며, 속도제어 및 각각의 알고리즘을 구현하기 위한 EPLD의 VHDL 프로그램 및 Schematic 구조는 그림 19-20와 같다. 그림 21은 PWM 제어 구동을 하지 않은 경우 무부하시 A상 전압, A상 전류, 그림 22는 PWM 전류제어를 통한 속도 가변의 경우 무부하시 A상 전압, A상 전류 그리고 그림 23은

PWM 제어 구동을 하지 않은 경우 무 부하시 회전속도, A상 전압, A상 전류를 나타낸 것이다. 그림 24는 PWM 전류제어를 통한 속도 가변 지령을 하였을 경우 동작 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 전동기 구동 특성이 양호함을 확인할 수 있다. 그림 25는 5[N·M]가 인가된 상태에서의 회전속도 및 A상 전류 파형에서 보여주고 있다. 실험을 통하여 제안된 알고리즘과 같이 양호하게 구동되고 있음을 알 수 있었다.

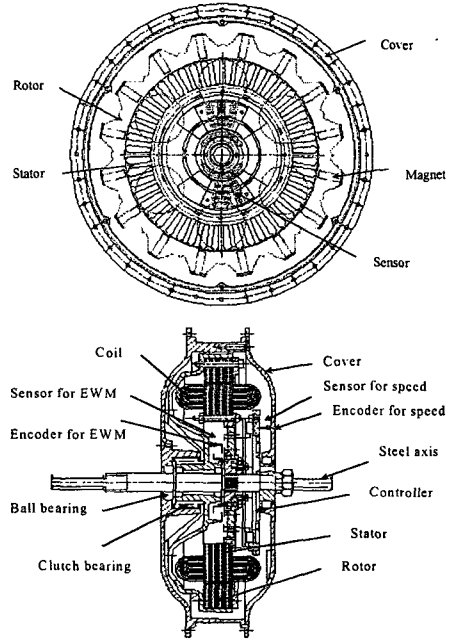


그림 13 전기자전거용 MPB BLDC전동기의 구조
Fig. 13 Structure of MPB BLDC motor for electric bicycle

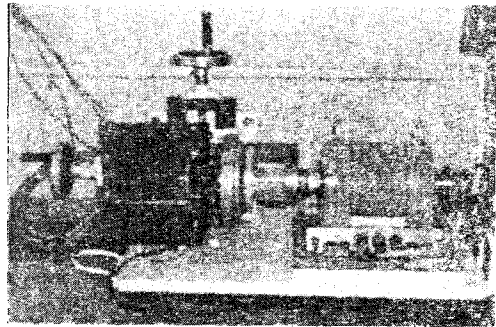


그림 14 전동기 및 다이내모메타 실험 세트
Fig. 14 Motor and dynamometer experimental set

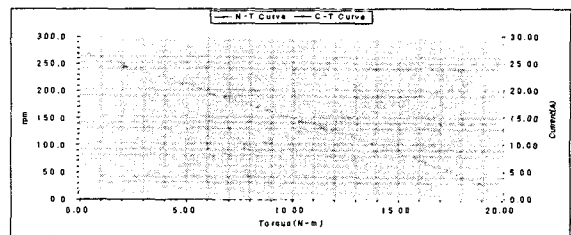


그림 15 속도, 토크, DC 입력 전류특성곡선
Fig. 15 Characteristics curve of speed, torque and DC input current

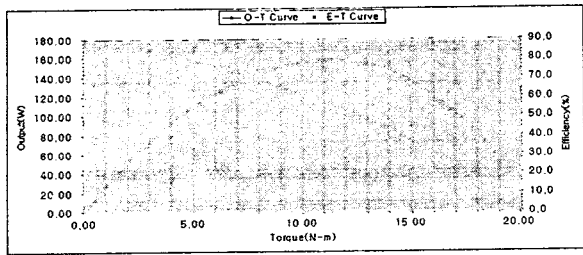
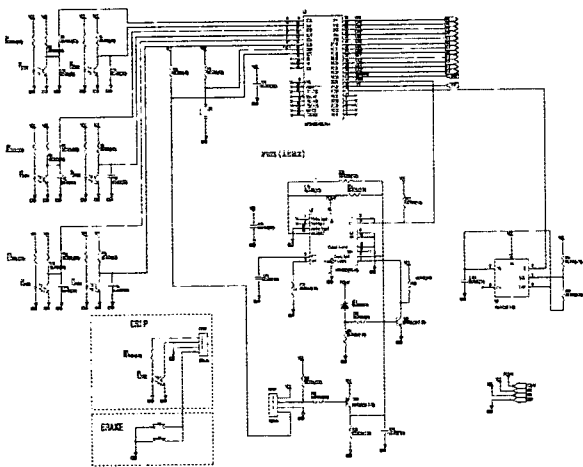
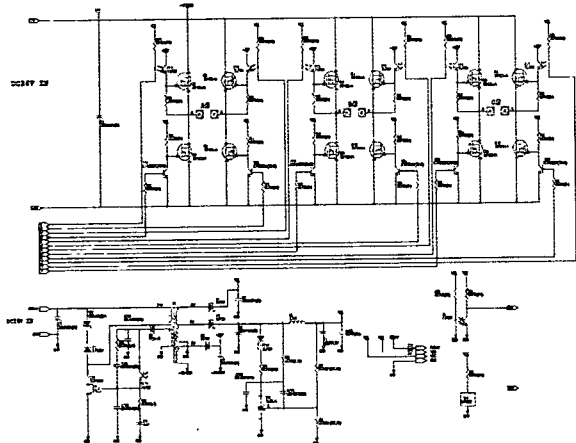


그림 16 토오크, 출력, 효율 특성곡선
 Fig. 16 Characteristics curve of torque, output power and efficiency



(a) 제어기 회로
 (a) Controller circuit



(b) 주회로 및 SMPS 회로
 (b) Main and SMPS circuits

그림 17 하드웨어
 Fig. 17 Hardware

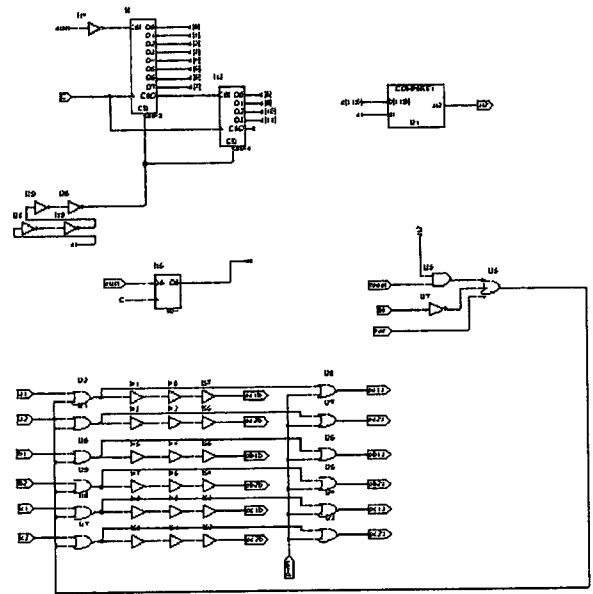


그림 18 EPLD의 Schematic 프로그램
 Fig. 18 Schematic program of EPLD

```

library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.std_logic_unsigned.all;
entity compare1 is
    port(
        b      : in std_logic_vector(11 downto 0);
        st     : in std_logic;
        at2    : out std_logic);
end;
architecture design of compare1 is
    signal comout      : std_logic := '1';
    signal at          : std_logic := '1';
begin
    at2 <= at ;
    process(b)
    begin
        if b >= 10#250# and b <= 10#1550# then
            comout <= '0';
        else
            comout <= '1';
        end if;
    end process;
    process (at)
    begin
        if(st'event and st = '1') then
            at <= comout;
        end if;
        if b >= 10#1600# then
            at <= '1';
        end if;
    end process;
end design;
    
```

그림 19 EPLD의 VHDL 프로그램
 Fig. 19 VHDL program of EPLD

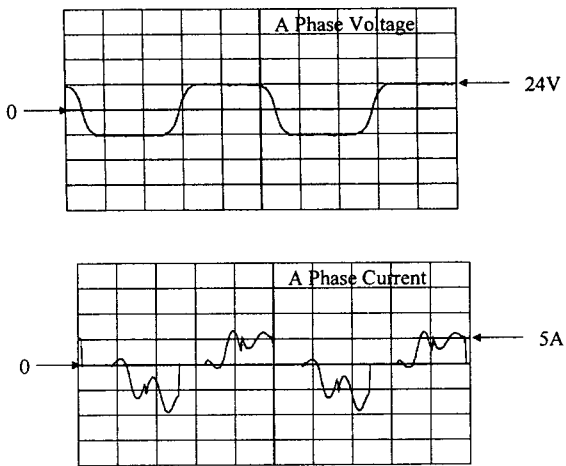


그림 20 A상 전압, A상 전류
(무부하시, 5[msec/div])
Fig. 20 A phase voltage and A phase current
(no load, 5[msec/div])

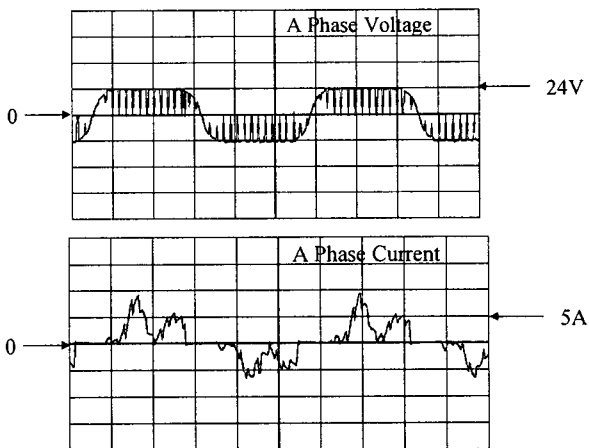


그림 21 A상 전압, A상 전류
(무부하시, PWM 전류제어를 한 경우, 5[msec/div])
Fig. 21 A phase voltage and A phase current
(no load and PWM current control, 5[msec/div])

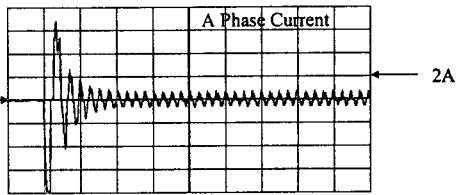
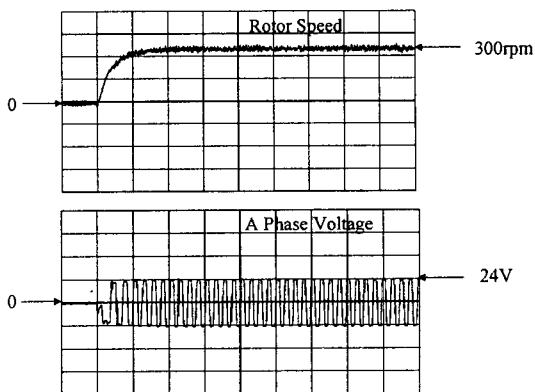


그림 22 회전속도, A상 전압, A상 전류
(무부하시, 0.1sec/div)
Fig. 22 Speed, A phase voltage and A phase current
(no load, 0.1sec/div)

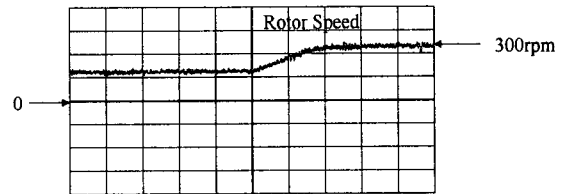


그림 23 회전속도, A상 전류
(무부하시, PWM 전류제어를 이용한 가변속 지령시, 0.1sec/div)
Fig. 23 Speed and A phase current
(no load and PWM current control, 0.1sec/div)

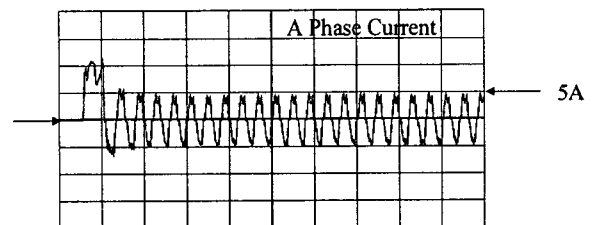
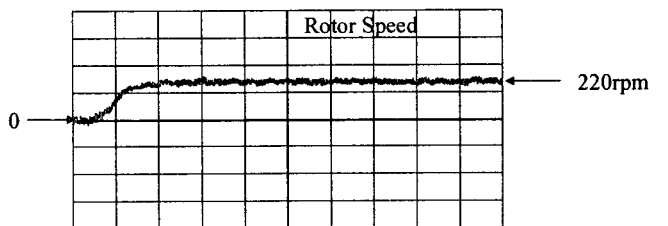


그림 24 회전속도, A상 전류
(5NM 부하시, 0.1[sec/div])
Fig. 24 Speed and A phase current
(5NM load, 0.1[sec/div])

6. 결 론

본 논문은 전기자전거 구동용 BLDC 전동기의 성능 특성을 개선하기 위하여 다상의 독립권선으로 구성된 고정자와

구소장관 적층내에 영구자석을 방사형으로 매입한 회전자 및 자속을 측정할 수 있는 센서로 설계하였다. 또한 고 효율 및 토오크 리플을 개선하기 위하여 기존의 여자폭 변조 제어, 양방향 제어, 부분 구형파 제어 등을 이용하였다. 이들 제어기의 특성을 바탕으로 새롭게 드라이버를 구성하였으며, 국외 법률에 따른 최고 및 최저속도로 운전되는 속도제어 시스템을 구현하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어를 설계 제작하였고, 속도제어 알고리즘을 구현하기 위하여 순수 디지털 CPU로서 EPLD를 사용하여 프로그램을 설계하였다. 제어기의 안정성을 확보하기 위하여, 전류 및 온도 보호회로를 장착하였으며, 휴지시간이 존재하지 않도록 설계하였다. 또한 게이트 드라이버 구동장치의 간략화를 구현하였다. 실험을 실시하여 전기자전거용 MPB BLDC 전동기는 저전압(DC) 구동에 매우 유리하며, 고 토오크, 저속 구동 등의 양호한 성능을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J.R. Hendershot Jr, Tje Miller, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors", Clarendon Press, 1994.
- [2] 박정우, 구대현, 김종무, 김홍근, "전기자동차용 매입형 영구자석 동기전동기 및 제어기 개발", 전력전자학술대회논문집, pp.305-308, 1998.
- [3] 강규홍, 홍정표, 김규탁, "파라메타 가변을 고려한 매입형 영구자석 동기모터의 특성 해석", 대한전기학회논문지, Vol.49B, No7, pp.468-474, 2000.
- [4] 윤신용, 김현수, 김용, 김일남, 백수현, "브러시리스 직류모터의 정속도 운전을 위한 디지털 PI제어", 대한전기학회논문지, Vol.49B, No6, pp.395-402, 2000.
- [5] 김현철, 공영경, 최태인, 송종환, "고출력 브러시리스 직류전동기 개발에 관한 연구", 대한전기학회논문지, Vol.49B, No5, pp.297-304, 2000.
- [6] "Brushless DC Motor Provides High Power Density and High Efficiency at Low Cost for Electric Transportation", PCIM, pp. 1-6, 1996.
- [7] 김도현, 한권상, "미세스텝 제어방식에 의한 PM 스텝 모터의 위치 및 속도제어에 관한 연구", 전자공학회논문지, 제 27권, 제6호, pp.871-878, 1990.
- [8] Motor Application Note, Ansoft, 2000.
- [9] VHDL Reference Manual, Synopsis, 1999.
- [10] 김상욱, 김보열, "전기자전거용 BLDC 전동기 설계 및 제어기 개발", 대한전기학회 교육위원회 학술대회논문집, pp.90-94, 2001.
- [11] 김상욱, 이용근, 김영봉, "새로운 MPB BLDC 전동기용 구동장치 개발", 대한전기학회 교육위원회 학술대회논문집, pp.95-99, 2001.

감사의 글

본 논문은 1999년도 인하공업전문대학 산업과학기술 연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

저 자 소 개



김 상 욱(金 尙 郁)

1967년 2월 12일생. 1992년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 인하공업전문 대학 전기과 조교수

Tel : 032-870-2196 Fax : 032-870-2507

E-mail : sanguk@inhac.ac.kr



김 보 열(金 輔 烈)

1943년 1월 8일생. 1970년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1977년 단국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하공업전문 대학 전기과 교수

Tel : 032-870-2194 Fax : 032-870-2507

E-mail : boyoulk@inhac.ac.kr