

An electric scooter development using BLDC motor

朴省昱* · 李得耆**
(Seong-Wook Park · Deuk-Kee Lee)

Abstract - This paper presents an electric scooter development using brushless DC motor. In recent scooters was to develop for sport leisure and short transportation. Most of scooter are used petroleum gas. This gas scooter has disadvantage to pollute the air. Some of scooters have developed by DC motor which require a brush. However brushless motors have higher maximum speed and greater capacity, save maintenance labour and produce less noise. There is also greater freedom in planning the usage of brushless motors. In this paper we develop an electric scooter driving BLDC motor for design smart system and control speed of scooter with current reference signal to apply voltage to motor by means of three phase inverter. Using accelerator device we generate current reference to control speed and send the current to a MICOM by A/D converter. This MICOM produces the voltage signal and hall sensors signal and PWM controller drive three phase inverter to minimize error between the reference and an actual current.

Key Words : BLDC Motor, Electric Scooter, Speed Control, Current Reference Signal

1. 서 론

킥보드가 어린이들의 놀이기구로 단시간에 시장을 장악한 후, 레저와 이동수단으로 최근 전기를 이용한 스쿠터와 전기 자전거 등 유사 제품이 연구 개발되고 있다[1]. 국내·외적으로 전기 스쿠터에 대한 연구분야는 소형 경량이며서 고효율을 낼 수 있는 전동기 개발과, 동력전달 장치를 소형화하면서 속도를 높일 수 있는 제어기 개발분야, 그리고 성능을 개선하기 위한 동력 전달장치와 축전지 개발에 있다. 브러시리스 전동기의 지능제어 방식은 BLDC 전동기 제어 전용 소자를 이용한 아날로그제어 방식과 마이컴을 이용한 디지털제어 방식의 두 가지 방법으로 각각 장단점을 가지고 있다[2]. 전용 소자를 사용한 아날로그 브러시리스 직류 전동기 제어방식은 유럽과 같은 외국에서 널리 연구되고 있는 방식으로 부족전압에 대한 보호와 센서에 공급되는 전압에 의한 아날로그 제어전압에 의해 MOSFET를 제어하여 원하는 전동기 속도를 얻는 것으로, BLDC 제어 전용 소자를 이용한 전동기 속도 제어 방식은 간단하고 회로 구성은 쉬우나 정확성이 떨어지고 안정장치에 대한 보호 기능이 충분하지 않아서 신뢰성 있는 제어를 하지 못한다는 단점이 있다. 디지털 제어기에 의한 전동기의 구동은 무게를 줄일 수 있고 제어성능을 향상시킬 수 있어 장시간 축전지 사용이 가

능하고 운전 중에 생기는 외란에 대한 안전장치를 프로그램화 할 수 있어 전동기 제어기에 널리 사용되고 있다. 그러나, 이 방식 역시 외부 환경의 변화에 쉽게 적응하지 못해 전동기의 과부하 유도과 전동기 속도 제어에 의한 축전지 사용시간 감소 등의 단점이 있다. 그래서, 본 연구에서는 브러시리스 전동기의 속도를 디지털 제어방식으로 제어하고 기존의 안전장치에 대한 문제점을 보완 개선하며, 사용자의 환경을 고려한 제어 프로그램을 개발함으로써 축전지의 손실을 보상하고 효율적인 속도운동을 통해 전기 스쿠터의 성능을 개선하고자 한다.

2. 브러시리스 직류 전동기

브러시리스 전동기는 직류 전동기의 문제점이었던 기계적 접점을 자기센서나 광센서로 치환하여 무접점화 한 것으로 브러시-정류자간의 마모가 없어지기 때문에 수명이 길고 전기적 노이즈나 소음이 줄어들었다[3]. 브러시리스 직류 전동기인 경우는 정류장치나 동기전동기의 슬립 링 같은 기계적인 장치없이 전자 스위치로 인가 전압의 극성을 바꿔주어 회전하게 되는데 회전자의 위치를 검출하여 그 신호를 일단 제어회로에 케환하고 구동전류의 극성을 변화시킬 필요가 있다. 이 회전자의 위치검출 센서로서 이용되는 것이 홀 소자이다. 홀 소자는 전기각 120°간격으로 3개가 배치되어 회전자에 자기로 덮여 씌운 정현파나 사다리꼴 파형의 자속 변화를 전압으로 변환하여 출력한다.

* 正 會 員 : 龜尾1大學 컴퓨터應用電氣專攻 副教授 · 工博
** 正 會 員 : 龜尾1大學 컴퓨터應用電氣專攻 전임강사 · 工博
接受日字 : 2002年 10月 30日
最終完了 : 2002年 12月 17日

2.1 BLDC의 토크와 역기전력 방정식

산업용 브러시리스 직류 전동기는 3상 권선을 가지고 있고 권선에 공급하는 전류 파형에 따라 구형과 전동기와 정현파 전동기로 나눌 수 있다. 구형과 브러시리스 전동기는 직사각형의 펄스의 전류가 권선에 공급되므로 공극내의 자속밀도는 극주위에 일정한 크기를 가진다[4].

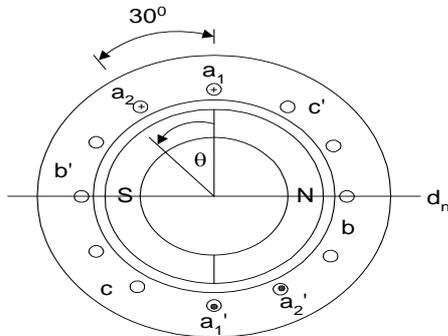


그림 1 한 상당 2개의 코일을 가진 전동기
Fig. 1 Motor showing two coils of one phase

그림 1은 3상 권선 a,b,c 당 2극 전동기로 두개의 코일이 직렬로 연결되어 권선을 이루고 있다. a상에 이상적인 구형파 전류파형을 코일에 공급하면 자속이 발생되고 브러시리스 전동기의 a상에 토크가 발생한다. 공극 주위에 생긴 자속밀도는 고정자 슬롯의 비틀림에 의해 자속의 방향이 바뀌는 지점에서 직선파형을 가지게 된다. 회전자의 위치가 0°일 때 첫 번째 코일의 윗쪽에 N극 자속이 발생하여 $\theta = 30^\circ$ 에서 두 번째 코일의 아래쪽에 동일한 자속이 발생되고 a' 코일의 아래쪽에 S극 자속이 동일하게 작용한다. 회전자가 180°에서 방향이 바뀌므로 자속파형의 120° 구간에서 같은 크기를 가지게 되며 이 구간에서 전류가 공급되도록 전원을 인가해야한다. 이때 발생한 양의 토크는 전류가 공급된 구간에서 존재하고 회전자가 180°- 360°사이에서도 동일하게 양의 토크가 발생한다. 그림 2는 BLDC 전동기가 회전할 때 회전자가 이동하는 전기각에 대한 a상의 자속밀도, 전류, 토크와 역기전력 파형이다. 회전자가 회전할 때, a1A1 코일에서 쇄교하는 자속을 ψ_1 이라하면 그림 2의 자속밀도로부터 고정자 비틀림이 없는 이상적인 경우에 180° 구간동안 일정한 크기를 가지고 있으므로 최대 쇄교 자속수는 회전각의 함수인 공극 자속밀도에 단위면적($A_1 = r_1 l$)을 곱한 값을 회전자 각도에 대해 적분하면 구할 수 있다.

$$\psi_{1\max} = N_1 \int B(\theta) d\theta r_1 l = N_1 B \pi r \quad (1)$$

여기서, N_1 은 a_1 코일단의 권선수, r 은 회전자의 반경, l 은 코일의 길이를 각각 나타낸다. 회전자의 위치에 따른 쇄교 자속수는 최대 쇄교 자속수의 함수로 나타낼 수 있다.

$$\psi_1(\theta) = \left[1 - \frac{\theta}{\pi/2} \right] \psi_{1\max} \quad (2)$$

$a_1 A_1$ 코일에 유도된 역기전력의 크기는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$e_1 = - \frac{d\psi_1}{dt} = - \frac{d\psi_1}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = - w \frac{d\psi_1}{d\theta} \quad (3)$$

여기서 w 는 기계 각속도를 나타내고 결국 e_1 은 다음과 같이 된다. 그림 2에서 같은 크기의 자속을 가지는 구간에서

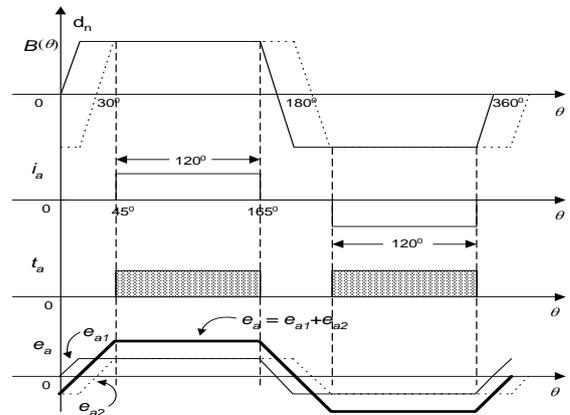


그림 2 a상에 대한 자속밀도, 전류, 토크 및 역기전력
Fig. 2 Flux density, current, torque and back emf for the 'a' phase

$$e_1 = 2 N_1 B l r w \quad (4)$$

의 역기전력 e_a 는 a상에 직렬 연결된 권선수로 나타내면 식 (5)와 같이 된다. 두개의 코일이 직렬 연결되어 있으므로

$$e_a = 2 N_{ph} B l r_1 w \quad (5)$$

N_{ph} 는 $2 N_1$ 이다. a 상의 토크는 기계적 출력 식으로부터 식 (6)같이 표현된다.

$$t_a = \frac{P}{w} = \frac{e_a i_a}{w} = 2 N_{ph} B l r i_a \quad (6)$$

3상 권선은 고정자와 회전자 자극에 대해 대칭이므로 상의 역기전력과 토크의 크기는 같다. 각상에 흐르는 전류가 회전자의 움직임에 따라 120° 간격으로 전류파형이 공급되면 전원선에 대해 직렬 연결된 Y 결선의 경우 회전자의 위치에 관계없이 모든 전류의 합은 0이 되고 단자간의 역기전력은 각 권선의 역기전력의 차가 된다. a-b상간의 역기전력은 다음과 같다.

$$e_{ab} = e_a - e_b \quad (7)$$

최대 역기전력은 $2e_a$ 가 되어 단자간의 역기전력은 다음 식과 같다.

$$e_{ab} = e_{bc} = e_{ca} = E = 4 N_{ph} B l r w = K_e w \quad (8)$$

여기서, K_e 는 전동기의 전압상수로 $4 N_{ph} B l r$ 이다. 두 상간에 발생한 토크는 어느 순간에서든지 $2t_a$ 가 되고 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$T = 4 N_{ph} B l r I \quad (9)$$

여기서, I 는 전동기의 선간 전류의 크기이다.

3. 전기 스쿠터의 전동기 제어 및 설계

속도를 검출하는 센서를 사용하여 실제 속도를 검출하고, 이들의 오차는 속도제어기를 사용하여 지정 속도에 도달할 수 있는 토크를 발생하도록 토크지령을 생성한다. 그리고

전동기의 실제 토크를 검출하여 다시 토크제어를 거치면 전압지령이 생성되며 PWM 제어기와 3상 인버터에 의해 전동기에 필요한 전압이 인가된다. 그러나 속도 가속속이 자주 이루어지고 장시간 등반을 해야하는 전기 스쿠터의 속도 제어를 수행할 경우 과전류에 의해 전력회로부나 전동기에 과도한 부하가 가해질 수 있고 초기 가속이 원활하지 않을 수 있다. 본 연구에서는 전기 스쿠터 제어 시스템은 그림 3 과 같이 전류 제어기로만 구성하였다.



그림 3 전류 제어기
Fig. 3 Current controller

전류 기준값은 그림 4과 같이 오토바이와 유사한 핸들형 액셀레이터를 사용하여 전기신호를 발생하면 노이즈필터와 증폭기를 거쳐 A/D 변환 후 마이컴에서 제어가 이루어진다.



그림 4 전류 기준값 발생부
Fig. 4 Generating current reference

BLDC 전동기는 3상 대칭 부하이므로 전류의 제환은 shunt 저항을 사용하여 직류링크 전류를 A/D 변환 후 마이컴에서 입력을 받도록 하였다. 마이컴에서는 이 전류 신호들을 사용하여 전류 제어를 동작시키고 전류 제어기의 출력인 전압 지령값에 대응하는 폭을 가지는 펄스열을 출력하며, 발생한 펄스열은 GAL(Gate Array Logic)과 전동기의 자속을 검출하는 홀신호를 사용하여 PWM 신호를 발생하게 된다. 전체 제어시스템을 나타내면 그림 5와 같다.

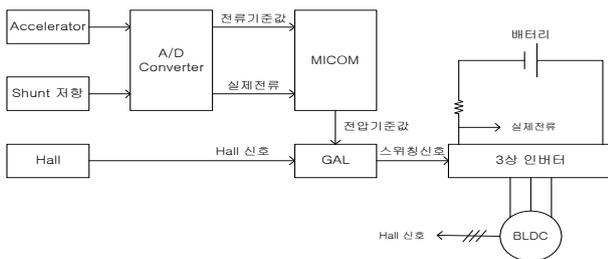


그림 5 전기 스쿠터 제어 보드 블록선도
Fig. 5 Block diagram for scooter control board

4. 전기 스쿠터 개발

전기 스쿠터는 어린이용과 성인용 두 종류로 개발하였다. 전지는 스쿠터가 2시간 사용할 수 있도록 설계하여 선정하였고 납 축전지 용량과 충전시간을 만족하는 충전전력 제어장치를 개발하였다. 충전 제어장치는 24V 1A로 충전시간이 8시간이고 정전류 충전을 하였고 과충전 방지 기능을 가지고 있다. 전동기의 속도제어는 토크를 이용한 속도제어를

하였다. 표 1에 개발한 전기 스쿠터의 용도와 규격을 나타내었다. 연구 개발된 스쿠터는 금호산업(주)에서 개발된 BLDC 전동기와 12V 19Ah의 납 축전지 두개를 사용하여 국내여건에 맞는 납 축전지와 동력전달 방법, 바퀴, 제어방식을 고려하여 그림 6과 같이 접이식 스쿠터를 최종적으로 개발하였다.

표 1 개발한 스쿠터의 용도와 규격

Table 1 Purpose and specification of developed scooter

규격 \ 용도	어린이 용	성인용
사용한 전동기	직류 (150W)	BLDC (200W)
속도	약18km/h	약25km/h
자중(무게)	약20kg	약25kg
제어보드	PWM 전용 소자	CPU PIC16F873
방식	chopper	3상 인버터
축전지	12Ah * 2개	18Ah * 2개



그림 6 BLDC 전동기를 사용한 2차 시제품 개발
Fig. 6 Development of prototype 2 using BLDC motor

5. 결 론

본 연구에서는 국내 제작된 BLDC 전동기를 사용하여 직접 제작하였고 디지털 속도 제어장치를 전류 기준 신호에 의해 제어할 수 있도록 마이컴을 이용하여 전동기 제어신호를 발생하였다. 이 신호를 안전장치와 전력용 스위칭 소자를 구동할 수 있는 장치에 연결하여 사용자가 요구하는 속도를 낼 수 있도록 전기적인 신호를 축전지를 통해 전원을 공급하여 제품을 개발하여 상품화하였다.

참 고 문 헌

- [1] Wedge TES160-2 electric scooter brochure, Beijing Xinri electric bicycle Co., Ltd., 2001.
- [2] MOTOROLA Analog IC Device data sheet of MC33035, pp, 1-23, Motorola, Inc., 1998.
- [3] P.Pilly and R.Krishnan, "Application Characteristics of Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motors for Servo Drives," IEEE IAS Annual Meeting, pp. 380-390, 1987.
- [4] T.J.E. Miller, 'Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives', Clarendon press Oxford 1990.