

# 장애인용 전동스쿠터를 위한 고효율 BLDC 모터 제어시스템

박형근<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>남서울대학교 전자공학과

## High Power BLDC Motor Control System of Electric Scooter for Disabled Person

Park Hyoung-Keun<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronic Engineering, Namseoul University

**요약** 전동스쿠터는 수명이 짧고 효율이 낮은 직류 모터를 사용하고 있으며, 모터를 제어하기 위한 시스템을 일률적으로 수입하여 장착하고 있어 제품의 차별화가 없고 다양한 특성을 갖는 장애인에 맞는 제품을 디자인 할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 장애인용 전동스쿠터에 특화시켜 가격은 저렴하면서도 반영구적인 수명 그리고 고효율의 특징을 갖는 BLDC 모터 제어시스템을 개발하였다. 특히, 국내·외 업체에서 생산되고 있는 전동스쿠터와는 차별화된 고효율, 고효율 전동스쿠터 제어시스템을 개발함으로써 국내산 전동스쿠터의 기술대비 가격 경쟁력을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 관련 산업의 활성화에도 기여할 수 있을 것이다.

**Abstract** Electric scooter has been using short-lived, low-efficiency DC motor. And motor control system is equipped with imported uniformly, so there is no product differentiation. Also, product design according to the characteristics of disability is difficult. In this study, BLDC motor control system to specialize in a electric scooter for disabled was developed with a semi-permanent features of life, low price, and high performance. This development will also contribute to the activation of the related industries, as well as be able to secure price competitiveness of domestic electric scooter.

**Key Words** : Electric scooter, BLDC, Motor control, Disabled person

### 1. 서론

최근 세계적으로 친환경 전기자동차에 대한 관심과 수요가 급격히 증가하고 있지만 사회적 소외계층인 장애인 특히, 보행 장애를 가진 장애인과 노약자의 이동을 위해 사용하는 보행보조 장치인 전동스쿠터를 중저가형으로 개발하고자 하는 투자 및 연구는 상대적으로 미약한 실정이다.

또한, 국내에서 판매되고 있는 전동스쿠터는 핵심 구동부에 수명이 짧고 효율이 낮은 직류(DC) 모터를 사용하고 있으며, 모터를 제어하기 위한 시스템을 미국의 Cutis사, 영국의 P&G사 등의 제품을 일률적으로 수입하여 장착하고 있어 제품의 차별화가 없고 다양한 특성을

갖는 장애인에 맞는 제품을 디자인 할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 이러한 직류모터의 문제점을 해결하기 위해 국내·외적으로 BLDC 모터 제어시스템이 개발되고 있지만 일부 고가형 골프카트 및 전기자동차에 국한되어 개발되고 있다.

따라서 본 연구에서는 장애인용 전동스쿠터에 특화시켜 저렴하면서도 반영구적인 수명 그리고 고효율의 특징을 갖는 BLDC 모터 제어시스템을 개발하였다. 특히, 국내·외 업체에서 생산되고 있는 전동스쿠터와는 차별화된 고효율, 고효율 전동스쿠터 제어시스템을 개발함으로써 국내산 전동스쿠터의 기술대비 가격 경쟁력을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 관련 산업의 활성화에도 기여할 수 있을 것이다.

본 논문은 2012년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding Author : Park Hyoung-Keun(Namseoul Univ.)

Tel: +82-10-3679-6740 email: phk315@nsu.ac.kr

Received January 7, 2013

Revised January 29, 2013

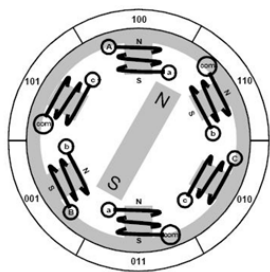
Accepted March 7, 2013

## 2. BLDC 모터 제어

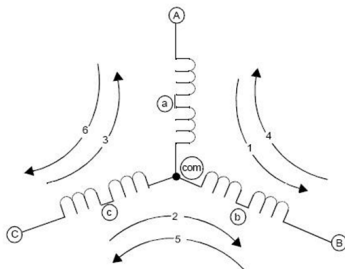
BLDC 모터는 속도의 용이성, 고효율성, 높은 기동 토크, 소형 경량인 DC 모터의 장점만을 가지면서, 기존의 DC 모터가 브러시와 정류자에 의한 기계적 기구를 가지고 있기 때문에 나타나는 단점 즉, 습동 마찰 토크의 발생, 마모와 부식에 의한 접촉 불량 및 기동불량, 기계적, 전기적 노이즈, 마모로 인한 수명의 단축성 등의 단점을 보완한 모터이다[1,2].

또한 브러시리스를 한 효과는 단순히 기계적 정류구조를 전자화해서, 그 결점을 없앤 것만이 아니고, 종래의 브러시와 정류자가 없다고 하는 것이 모터 구조에 대단히 큰 자유도를 갖게 해 종래의 브러시가 부착된 모터의 개념에서는 생각할 수 없는 구조도 가능해 졌으며, 용도에 적합한 여러 형태의 모터 개발이 가능하게 되었다. 그리고 DC 전원만 인가하면 구동되는 DC 모터와는 달리 BLDC 모터는 이 DC 전원을 각 코일에 적절히 분배해주는 스위칭 전자회로가 추가 되어야만 기동이 가능하다 [3,4].

Fig. 1은 BLDC 모터의 간단한 구조이다. BLDC 모터는 영구 자석으로 된 회전자와 권선으로 되어 있는 스테이터 폴들로 이루어져있다. 영구 자석 회전자와 전류가 인가된 권선으로부터 생성되는 자기장 사이의 관계에 의해 전기 에너지는 회전자를 회전시킴으로써 기계적인 에너지로 변환된다.



[Fig. 1] Internal structure of BLDC motor

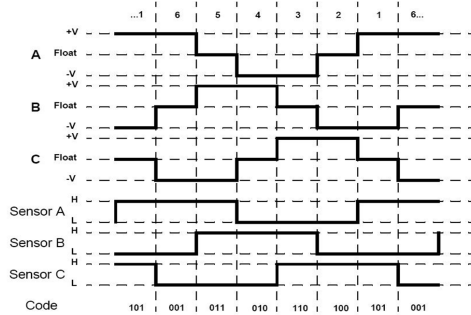


[Fig. 2] Electrical configuration

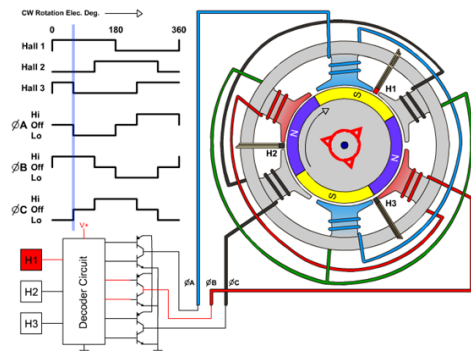
Fig. 2는 stator의 전기적인 구성을 나타내고 있다. Fig. 2에서 (A-a-com·b-B)의 순서로 전류가 흐르는 1번의 경우 Fig. 1에서처럼 해당 stator의 극성이 정해진다. 영구 자석으로 되어 있는 N극은 (A·a) stator와 (com·b) stator 사이에 위치하고, S극은 (b·B) stator와 (a·com) stator 사이에 위치하게 된다. 여기서 (A·a-com)으로 흐르는 전류량과 (com·b·B)로 흐르는 전류는 BLDC 모터에 연결되어 있는 MOSFET 소자에 의해 스위칭 되어 A, B, C에 공급된다.

Fig. 1의 구조는 내부 rotor가 하나의 N, S극 이루어진 단순한 형태의 BLDC 내부 구조이다. 만약, rotor가 2 pole이 아니라 4 pole이라면, 내부 둘레의 stator의 개수도 6개가 아닌 12개가 된다. 그렇게 되면, stator에 인가되는 전류의 상이 바뀔 때, 60도씩 움직이는 것이 아니라 30도씩 움직이게 된다[5-7].

Fig. 3은 BLDC 모터의 3상 드라이브에 대한 입력 순서이며, 홀센서는 상이 60도 시프트 되는 것과 120도 시프트 되는 두 가지 버전으로 나눌 수 있다. 홀센서는 파워 소스를 필요로 하는데, 대략 4~24V의 전압을 요구하며, 5~15mA의 전류를 소모한다. 모터 제어회로를 설계할 때 이 점을 유의해야 한다. 홀센서는 보통 Open-collector 타입으로 컨트롤러 쪽에 풀업 저항이 필요하다.



[Fig. 3] Drive timing sequence



[Fig. 4] Motor driving method sequence

브러쉬(Brush)는 모터에 전기를 제공하는 소모성 부품으로 브러쉬의 수명이 다할 경우 어느 순간 모터가 정지할 수 있다는 특성과 브러쉬의 소음 때문에 주행과 직접 관련이 없는 윈도우, 안테나 등에 제한적용을 사용되고 있는 실정이다. 소모성과 소음 때문에 기능과 안정성면에서 브러쉬모터 위주로는 전동스쿠터에 적용하기는 한계가 있다.

### 3. 장애인용 전동스쿠터를 위한 고효율 BLDC 모터 제어시스템

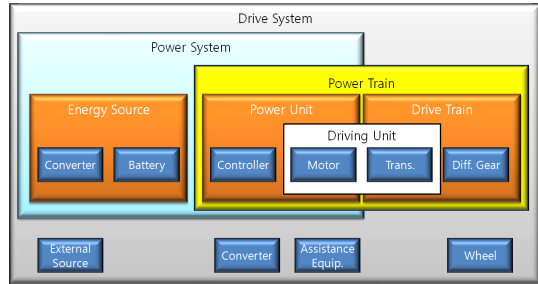
장애인용 전동스쿠터를 위한 고효율 BLDC 모터 제어 시스템 및 응용 개발을 위해 모터를 제어하는 컨트롤러와 운전제어장치, 운전상태 표시장치, 편의장치 등으로 구성된 메인컨트롤러와 모터의 회전속도 및 토크제어 기능은 물론 배터리 충/방전, 과전압 및 과전류 보호장치 등이 탑재된 모터 제어장치를 모듈로 개발하였다.

메인제어부에서 운전 제어장치는 운전자가 조작하는 방향과 원하는 속도 및 힘으로 운전할 수 있도록 제어하는 장치로 속도제어, 변속제어, 브레이크 제어, 충전제어, 전동 및 방향표시등 제어 등의 직접적인 차량 움직임을 제어할 수 있도록 하며, 운전상태 표시장치는 전동스쿠터의 계기판 제어와 전조등, 방향표시등의 점멸상태, 배터리 충전상태, 시스템 고장상태 등을 운전자에게 알릴 수 있는 기능을 포함하도록 개발하였다.

운전제어 기능으로는 핸들, 가속페달, 브레이크, 전조등 온/오프, 방향지시등 온/오프 등의 제어가 해당되며, 편의장치는 운전자의 운전편의를 위해 장착되는 장치로 시트조절, 라디오, 디지털 시동키, 경보기 등이 해당된다.

따라서 본 개발은 전동스쿠터의 운전에 필요한 모터컨트롤러와 메인컨트롤러(운전상태 표시장치, 운전제어장치)를 통합한 전기적인 제어장치를 개발하여 상품화하는 것을 목표로 하였다.

전동스쿠터의 추진시스템(Drive System)은 Fig. 5와 같이 전원 컨버터(Converter)와 에너지 저장장치인 배터리로 이루어진 에너지원(Energy Source)과 컨트롤러 및 모터, 변속기(Transmission), 차동장치(Differential Gear)로 이루어지는 파워트레인(Power Train), 그리고 보조장치(Assistance Equipment)와 바퀴(Wheel) 및 외부전원부(External Source)로 구성된다.

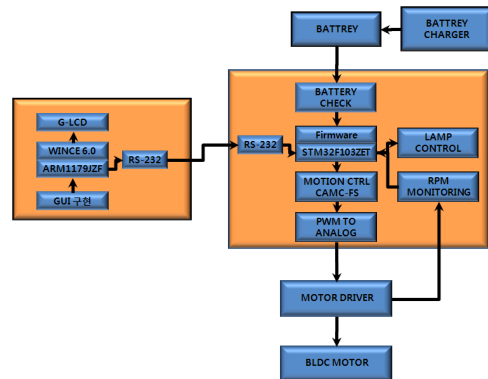


[Fig. 5] Drive system of electric scooter

전동스쿠터를 제어하는 컨트롤러의 모터 제어부는 전동스쿠터의 동력을 발생하는 컨트롤러로 모터 드라이버와 전원관리장치, 배터리 충전장치, 램프제어장치 및 통신장치 등을 포함하도록 개발하였다.

Fig. 6에서 메인컨트롤러는 전동스쿠터가 운전자가 조작하는 방향으로 움직이도록 제어명령을 발생하고 그에 따른 주행상태를 표시하는 기능을 담당하는 모듈로 개발하였으며, RS-232 직렬통신에 의해 최고속도, 변속단수, 소리크기 등의 시스템 운용관련 파라미터를 설정할 수 있도록 하며, 모터컨트롤러와 구동관련 제어신호를 교환할 수 있도록 한다. 또한, CAMC-FS모션칩을 사용하여 가속 및 감속시 S 커브를 구현함으로써 탑승자가 부드러운 출발과 안정된 운행이 가능하도록 하였다.

그리고 IEC667 LCD를 사용함으로써 사용자에게 더 편리한 GUI를 제공할 뿐만 아니라 시스템 업그레이드를 통해 현재 모든 전자제품의 화두가 되고 있는 스마트화 추세에 적극 대응할 수 있도록 하였다. 특히, 본 연구에서 개발된 전동 스쿠터 제어시스템을 사용자 개인의 스마트기기와 연동하여 운행정보(속도, 이동경로), 사용자 및 스쿠터 위치정보(GPS)등을 저장 및 표시함으로써 분실 및 사고예방을 위한 정보의 관리와 같은 다양한 부분에 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

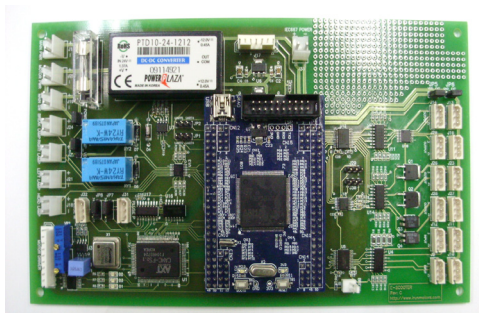


[Fig. 6] System block diagram

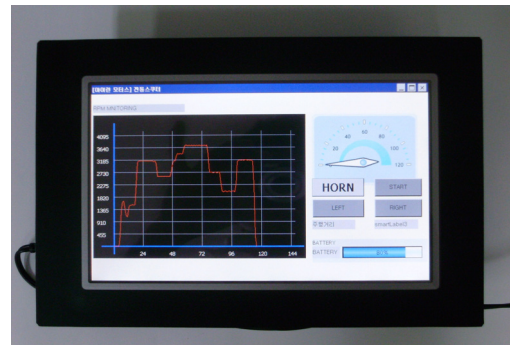
본 연구에서 개발된 장애인용 전동스쿠터를 위한 제어 시스템의 보드레벨 사진은 Fig. 7, GUI(Graphic User Interface)를 위한 LCD Unit은 Fig. 8과 같다. 또한 본 시스템을 장착하여 생산예정인 전동스쿠터 CG는 Fig. 9과 같다. Fig. 9에서 핸들 및 시트, 가속 및 감속장치와 같은 구성품들을 모듈화하여 개별 장애인의 장애등급 및 장애 유형에 따라 모듈의 구성 및 조립을 달리할 수 있도록 하였다. 따라서 일반 노약자 및 경증 장애인을 위한 중저가형 모델과는 별도로 개개인에 특화된 고가의 상품으로도 쉽게 변형 및 개발이 가능하도록 개발하였으며, 개발한 시스템의 사양은 Table 1과 같다.

[Table 1] Specification

ITEM	SPEC.
CPU	32Bit RISC CORTEX-M STM32F103ZET
RAM	64KB
FLASH	512KB
MOTION CHIP	CAMC-FS
Power	DC24V
Operation Temp.	-10 ~ 60℃
RS232	4CH
USB Device	1CH
ISP	1CH
I2C	1CH
Digital Input/Output	4CH / 8CH
ADC	1CH
SIze(mm)	1410(L)×630(W)×1120(H)
Handle	4 Degree Adjust
On Board Weight	150Kg
Max. Speed	13Km/hr(F), 4.8Km/hr(B)
Max. Drive Distance	25Km
Max. Gradeability	12°
Chager	IN-AC220V, OUT-DC24V/2A
Motor Capacity	800W
CPU(LCD)	32Bit RISC ARM1179JZF-667MHz



[Fig. 7] Control system(Board level)



[Fig. 8] LCD unit for GUI



[Fig. 9] Electric scooter CG

## 4. 결 론

본 연구에서는 장애인용 전동스쿠터에 특화시켜 가격은 저렴하면서도 반영구적인 수명 그리고 고효율의 특징을 갖는 BLDC 모터 제어시스템을 개발하였다. 특히, 모터를 제어하는 컨트롤러와 운전제어장치, 운전상태 표시장치, 편의장치 등으로 구성된 메인컨트롤러와 모터의 회전속도 및 토크제어 기능은 물론 배터리 충/방전, 과전압 및 과전류 보호장치 등이 탑재된 모터 제어장치를 모듈화함으로써 국내산 전동스쿠터의 기술대기 가격 경쟁력을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 관련 산업의 활성화에도 기여할 수 있을 것이다.

## References

- [1] Ki-Yong Nam, Woo-Taik Lee, Jung-Pyo Hong, "Reducing Torque Ripple of BLDC Motor by Varying Input Voltage", 15th COMPUMAG Conference on the

- Computation of Electromagnetic Fields, pp.176-177, June 2005
- [2] Jin Hur, Se-Hyun Rhyu, In-Soung Jung, Ha-Gyeong Sung, Byung-Il Kwon, "Three-Dimensional Characteristic Analysis of Micro BLDC Motor According to Slotless Winding Shape", IEEE Trans.on Magnetics, Vol.39, No.5, pp.2989-2991, Sep. 2003.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TMAG.2003.816716>
- [3] Young-Kyoun Kim, Jung-Pyo Hong, Jin Hur, "Application of Response Surface Methodology to Robust Design of BLDC Motor Performance", 13th COMPUMAG Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, pp.148-149, July 2001
- [4] G. H. Jang, M. G. Kim, "A bipolar-starting and unipolar-running method to drive a HDD spindle motor at high speed with large starting torque", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 41, No. 2, pp.750-755, Feb. 2005  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TMAG.2004.840314>
- [5] G. H. Jang, J. H. Chang, D. P. Hong, K. S. Kim, "Finite element analysis of electromechanical field of a BLCD motor considering speed control and mechanical flexibility", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 38, No. 2, pp.945-948, Mar. 2002  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/20.996243>
- [6] Alfredo M. Garcia, Thomas A. Lipo, Donald W. Novotny, "A New Induction Motor V/F Control Method Capable of High Performance Regulation at Low Speeds", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 34, No. 4, pp.813-821, July-Aug. 1998  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/28.703982>
- [7] Holly A. Yanco, "Shared User-Computer Control of a Robotic Wheelchair System", Computer Science Department, University of Massachusetts Lowell (<http://www.cs.uml.edu/~holly/>), Sep. 2000

**박형근(Hyoung-Keun Park)**

[정회원]



- 1995년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1998년 5월 ~ 2001년 9월 : (주) 미디어서브연구소 선임연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

마이크로프로세서응용, 임베디드시스템, SOC