

AFPM 전동기를 이용한 수/전동 휠체어 개발

김형길* 공정식** 서영택*** 오철수****
 (주)서영테크* 서라벌대학** 구미1대학*** 경북대 전자전기공학부****

Development of a hybrid wheelchairs by using AFPM motor

Hyoung-Gil Kim* Jeong-Sik Kong** Young-Taek Seo*** Chul-Soo Oh****
 *Seoyoung Tech **Sorabol College ***Kumi College ****Kyungpook National Univ.

Abstract - Disabled people have benefited greatly from the developments in technology over the last twenty years. Systems have been developed and refined to help them overcome, or cope with, difficulties they experience as a result of their disabilities. As technology has become cheaper, more powerful and easier to use, disabled people have taken to using them to an ever increasing degree. In this paper, we propose novel hybrid mobility devices which use a combination of human power and electric power. This paper deals with the design of a direct-drive wheel Axial-flux permanent magnet motor. This type motor prove to be the best candidate for application in electric vehicles, as in comparison with conventional motors they allow design with higher compactness, lightness. A prototype vehicle for an application as a hybrid wheelchair is designed, built, and tested.

1. 서 론

21세기 첨단산업사회의 발달과 더불어 장애인과 유사 장애인(환자, 노약자)의 지속적인 증가는 국가복지 차원의 대책이 요구되고 있다. 특히, 이들의 활동에 필수적인 휠체어는 단순 이동장치에 필요한 도구가 아닌 그들의 안락한 삶을 영유할 수 있는 필수적인 도구로 자리잡고 있다. 이러한 삶에 대한 욕구를 충족시키기 위해서는 휠체어의 활용 능력이 필수적이며, 이들이 사용하는 휠체어는 그 구동방식에 따라 크게 수동형과 전동형으로 분류되며 수동형의 경우 상지가 손상된 중복 장애인이나 근력이 현저히 저하된 노약자가 사용하기에는 부적절한 반면 가격이 저렴하고 유지 보수가 용이하며 접는 방식이 가능하여 보관과 운반 및 차량 등에 탑재가 편리한 이점과 운전하는 동안 상지를 운동할 수 있기 때문에 많이 사용되고 있다. 한편 전동휠체어는 매년 수요자의 소득증가에 따른 삶의 질의 개선에 대한 욕구가 증가되고, 세계와 보험 등 복지 정책의 선진화 추세에 부응하여 수동운전이 가능한 장애인 군에서도 수요가 꾸준히 증가하고 있는 현실이다. 일반적으로 전동휠체어에 적용되고 있는 고속 전동기는 축 방향 길이가 길고 전동기의 속도 제어가 용이하지 않아 감속용 Gear 혹은 Pulley 등을 이용하므로 부수적인 장치로 인한 설치 면적의 증가와 효율의 감소를 초래하여 에너지의 소비를 증가시키는 결과를 가져왔다. 특히, 전동휠체어, 전동자전거 등 소형, 경량을 요구하는 EVs용 전동기의 경우 차체중량의 증가가 상용화의 장애 요인으로 작용하고 있다. 본 연구에서 수/전동 휠체어에 적용된 Axial flux형 전동기는 공극 단면이 축과 직교하므로 축과 평행한 방향의 자속에 의하여 전동기의 토크가 형성되며, 축 방향 자속 영구자석 전동기(Axial Flux Permanent Magnet Motor)는 일반 전동기에

비하여 고 에너지 밀도를 갖고 있으며, 구조적으로 짧은 축 방향 길이를 가지는 슬림형 구조를 가지고 있다. 또한 바퀴 일체형으로 장착이 가능하므로 전동기 자체 중량을 현저히 줄일 수 있다. 본 논문은 수/전동 겸용 및 이송성이 강조된 휠체어로서 장애인과 유사 장애인, 잠재적 장애인들이 사용하는 기존 전동 휠체어의 문제점을 개선하기 위해 차량 탑재 및 운반, 유지보수가 편리하며 차체 무게의 최소화와 승차감의 최적화를 유지하기 위해 기어가 장착되지 않은 경량의 직접 구동형 BLDC 전동기를 적용한 수/전동 휠체어의 활용 가능성을 검증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 직접 구동형 AFPM 전동기

BLDC(Brushless Direct Current)전동기는 3상 동기전동기와 구조가 같으며 회전자는 영구 자석으로 구성 되어있다. 영구 자석형 동기 전동기(PMSM)라 부르기도 하며, 고정자, 회전자, 회전자의 위치 센서 등으로 구성되어 있다. 직접구동형 AFPM 전동기의 회전자는 디스크형의 원판에 영구자석이 부착된 두 개의 회전자 구성되며, 일반적으로 전동기는 고정자 권선을 부착하고, 자속의 통로를 형성하는 고정자 철심이 있는 것이 보편적이나, 코어를 사용함으로써 발생되어지는 철손, 코깁(Cogging) 토크를 줄일 수 있는 코어리스(Coreless)를 사용하였다. 코어리스를 사용함으로써 체적당 코일 턴 수와 단위 무게당 토크의 비를 증가시킬 수 있는 효과가 있다. 그림 1은 AFPM 전동기를 적용한 수/전동 휠체어의 개략적인 구조를 나타낸다.

표 1은 실험을 위해 제작된 Prototype 전동기의 사양을 나타낸다.

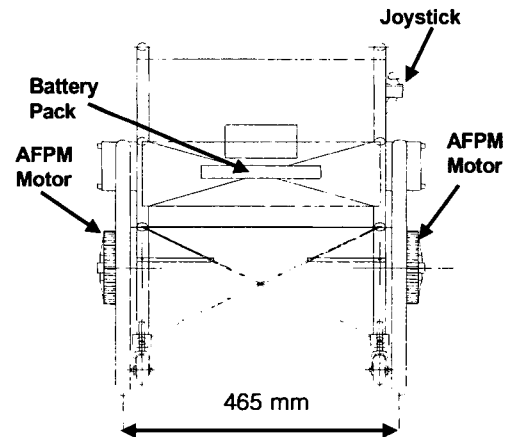


그림 1 직접 구동형 수/전동 휠체어

표 1 Prototype AFPM 전동기 사양

입력 전압	24 V
정격 출력	120 W
정격 토크	18.4 Nm
정격 속도	62 rpm
무부하 속도	158 rpm
정격 전류	10 A
토크/중량	2.6 Nm/kg
선 간 저항	0.507 Ω
회전자 외경	208 mm
축 방향 길이	36 mm

2.2 전동 휠체어용 제어기

수/전동휠체어는 기어를 사용하지 않고 직접구동 방식이므로 2대 전동기의 병렬운전을 원활히 하기 위해서는 일반적으로 BLDC 전동기에 사용하는 단순 로직에 의한 속도제어방식으로는 이를 수가 없다. 사용자 최적의 환경 및 조건을 충족 시키기 위해서 고속 마이크로프로세서를 채용하여 실시간 PWM 방식으로 입력 조정기의 방향 및 속도 지령 값에 의한 속도제어기를 설계하였다. 전동기의 회전자 위치를 검출하기 위한 센서로 포토 센서를 채용하였으며, 각 센서는 전동기의 고정자에 설치되어 120° 위상차를 가진 출력신호를 발생하게 된다. MCU(Micro Controller Unit)에서는 전동기의 위치에 따른 센서의 출력을 조합하여 60° 도통 주기로 인버터의 각각의 게이트 신호를 발생한다. 그림 2는 직접 구동형 전동휠체어의 제어 구성도로서 조정기의 출력, 양측 전동기 속도 및 내부 상태를 Master MCU가 처리하고, 하위의 각각의 전동기 구동은 Slave MCU가 처리한다.

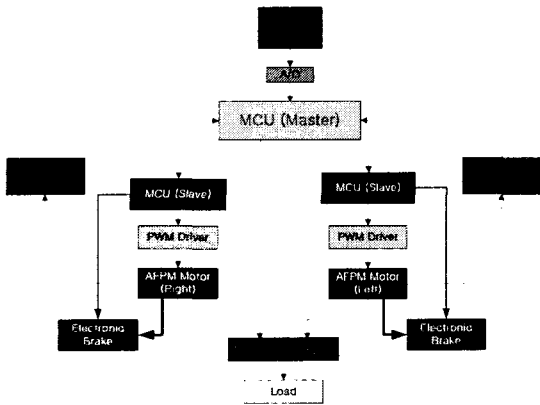


그림 2. 전동 휠체어 제어 구성도

입력 조정 변환 장치는 장애인인 전동 휠체어에 접근할 수 있도록 보조해 주는 장치로서 국내의 시장을 조사한 결과 아직까지는 높은 기술력보다는 아이디어와 편리성에 기반을 둔 보조 장치가 주종을 이루고 있다. 본 연구에서 사용한 입력 조정 장치로 Limiter plate가 원형의 Joystick을 사용하였다. 그림 3은 조이스틱 Limiter plate에 따른 출력 파형을 보여 주고있다. 그림 4는 2축(X-Y)좌표를 가지는 조이스틱의 출력 값(0~5V)을 나타낸다. 전동 휠체어의 사용자가 장애인 및 유사 장애

인이므로 속도는 지속적으로 운행하고 정확한 방향성을 확보 하여야한다. 입력 조정기로 사용한 Joystick의 좌표에 대해서 직진(Forward), 후진(Reverse), 좌회전(Left), 우회전(Right), 4가지 모드로 설정하였으며, 좌회전 및 우회전시 각각의 전동기 회전방향은 반대로 설정함으로써 부드러운 회전이 되도록 설계하였다. MCU에서 각각의 전동기의 센서신호의 속도를 측정 비교하여 방향성 및 PWM duty 비에 따라서 속도 제어를 하고, 전자 브레이크(Electronic Brake)와 연동하여 급제동 및 급발진을 최소화하였다. 그림 5는 입력 조정기의 좌표에 대한 전동기의 운전 영역 및 회전 방향을 나타낸다. 전동기 운전 영역 좌표에 대해서 전자 브레이크 동작 상태를 나타낸다.

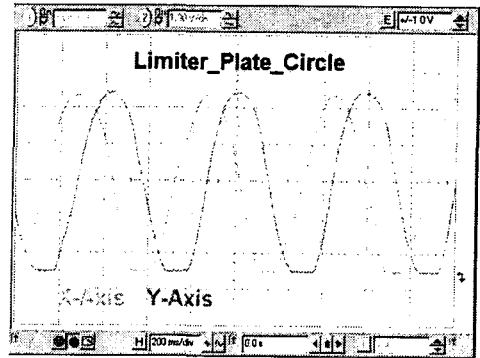


그림 3. 2축(X-Y) Joystick 출력

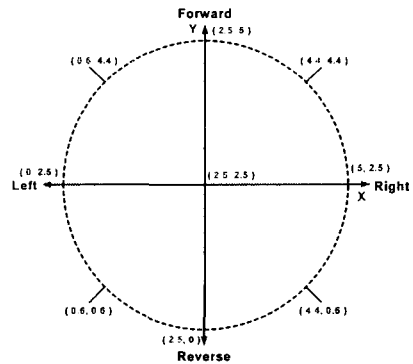


그림 4. 2축(X-Y) 입력 조정기의 좌표

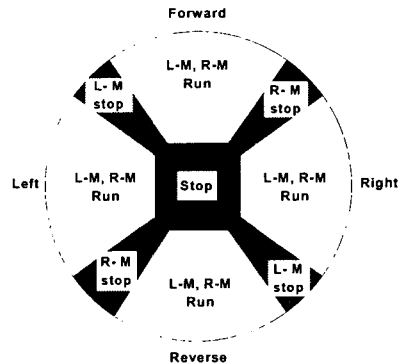


그림 5. 좌표에 대한 전동기 운전 영역 (R-M : 오른쪽, L-M : 왼쪽)

2.3 수/전동 휠체어 제작 및 특성 실험

본 연구에서는 120w 직접구동형 AFPM 전동기로 구성된 Prototype 수/전동 휠체어 시스템을 구성하였으며, 전동 휠체어의 전체 중량(차체+탑승자) 150 kg으로 경사각 10°에서 최대 구동 토크는 32Nm로 설계하였다. Prototype AFPM 전동기는 그 구조상 축 방향의 두께가 얇은 형태로 제작이 가능하기 때문에 이를 이용하여 휠체어에 바퀴 일체형으로 제작하였다. 전동기는 바퀴일체형으로 제작할 수 있는 구조적인 장점 외에 저속에서 큰 토크를 낼 수 있다는 전기기계적 장점과 축이 고정되어 있고, 바깥 부분이 회전하는 Outer Rotor 형이므로 바퀴를 구동하는데 적합하다. 그림 6은 바퀴일체형 AFPM 전동기를 나타내며, 전동기 구동제어 장치와 전원은 뒤쪽 바퀴 위에 위치를 하며 수동 및 이송이 편리하게 착탈이 가능하게 설치하였다. 그림 7은 배터리 분리 후 접이식으로 구성된 수동 휠체어를 나타내며, Battery가 부착된 경량의 Prototype 수/전동 전동휠체어를 나타낸다.



그림 6. 바퀴 일체형 전동기

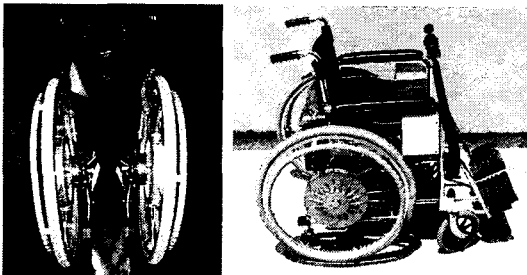


그림 7. 접이식 수/전동 휠체어(전원 공급 장치분리)

기존의 전동 휠체어의 단점을 개선한 수/전동 겸용 휠체어의 특성을 확인하기 위하여 실 부하 운전시험을 수행하였으며, 전동 휠체어에 적용된 직접 구동형 AFPM 전동기의 병렬 운전을 원활히 하기 위해서 반복적인 부하 실험을 통해 최적의 제어를 설계하였으며, 입력 조정치로 사용된 Joystick 좌표에 따라서 양쪽 바퀴의 회전 방향과 속도를 측정 비교하여 정확한 속도 제어가 MCU에서 처리되는지를 확인하였다. 그림 8은 전동 휠체어의 회전 속도가 저속에서 최적으로 운전되기 위한 실험 결과로서 전자브레이크와 전동기가 연동해서 운전 중에 발생 할 수 있는 급제동시 전자 브레이크의 미끄러짐 현상을 확인 할 수 있었다. 그림 9는 본 연구에서 개발하고자 하는 수/전동 휠체어의 운행 중 직진(Forward)모드에서 후진(Reverse) 모드로 전환시 전동기의 전류 파형 및 전자 브레이크의 on, off 상태를 보여주고 있다.

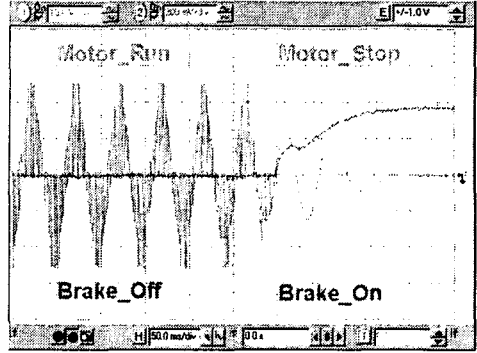


그림 8. 전동기 전류 및 전자브레이크(제동)

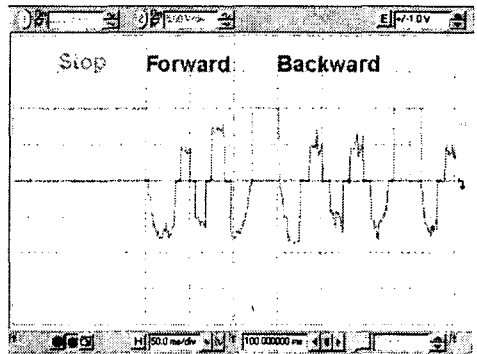


그림 9. 전동기 전류 및 전자브레이크(정-역)

3. 결 론

본 연구에서는 수동 과 전동운전이 모두 가능한 휠체어로서 기능적 측면에서 수요자의 폭을 확대하고, 장애인과 유사장애인, 잠재적 장애인들이 사용하는 기존 전동 휠체어의 문제점을 개선하기 위해 차량 탑재 및 운반, 유지보수가 편리하며 차체 무게의 최소화와 승차감의 최적화를 위해서 경량의 Gear-less 방식의 AFPM BLDC 전동기를 적용한 전동 휠체어를 제작하였다. 전원 공급 장치인 Battery를 탈착이 자유롭게 설계함으로써 접 이식으로 이송이 편리하고, 휠체어 시스템을 경량화 하여 수동 휠체어용으로 사용 가능하다는 장점이 있다.

전동기를 휠체어에 응용함에 있어서 병렬 운전 제어기에 대해서 앞으로 지속적인 연구를 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1]J.R. Hendershot Jr, TJE Miller, " Design of Brushless Permanent Magnet Motors", Clarendon press. Oxford, pp. 1 ~ 25, 1994.
- [2]E. Spooner, B. J. Chalmers, " TORUS: A slot less, toroidal stator, permanent magnet generator ", IEE Proceedings B, Vol. 139, No. 6, pp. 497 506, 1992.
- [3]Yurity N, Zhilichev, " Three Dimensional Analytic Model of Permanent Magnet Axial Flux Machine", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 34, No. 6, pp. 3897 ~ 3901, 1998.