

◆특집◆ 바이오메카트로닉스 II

수동/전동 전환형 휠체어 시스템

류제청*

The Convertible Wheelchair System

Jei Cheong Ryu*

Key Words : Wheelchair(휠체어), Electronic Wheelchair (전동휠체어), BLDC motor (브러쉬리스 직류전동기), Rehabilitation device (재활기기)

1. 서론

휠체어는 정상적인 보행이 불가능한 하지마비나 전신마비 환자들에게는 이동에 필수적인 재활 보조장치로 인식되어 왔다. 또한 최근에는 의료기술의 혁명적 발전과 생활의 편리화로 인간의 수명이 연장되면서 휠체어는 노인들의 보행을 대신할 이동수단의 필수적 도구로 점차 인식되고 있다.

그 동안 개발되어온 휠체어의 개발방향은 두 가지로 요약될 수 있다. 첫 번째는 단지 하반신 마비로서 다리의 이동기능만 손실되고 상지 근력이 살아 있어서 환자가 강한 상지 근력으로 자유로이 핸들링 하계끔 만들어진 수동휠체어가 있다. 최근의 수동휠체어는 복합 섬유 소재나 특수 알루미늄 합금, 티타늄 등을 이용한 첨단 초경량 소재를 바탕으로 제작되어 차체의 중량은 10Kg 내외로 개호인 없이 환자가 독립적으로 활동하게끔 만들어졌다. 이것은 자동차와 연계한 장거리 이동뿐만 아니라 농구, 스키, 마라톤과 같은 레저 스포츠도 즐길 수 있게 고안되어 있는 것이 주요 특징이다. 두 번째로는 바이오메카트로닉스 기술을 이용하여

전신 마비 환자나 노인들과 같이 상체나 상지근육의 근력이 부족하여 자신의 힘으로 휠체어를 이동시키기 곤란한 경우에 사용되는 전동휠체어가 있다. 전동 휠체어의 기본구조는 차체부, 구동부, 모터를 제어하는 컨트롤러, 배터리 등으로 구성되어 있다. 전동휠체어는 조이스틱과 같은 단순한 조작장치에 의해 이동이 가능하므로 몸을 스스로 움직이기 어려운 장애인들에게 각광을 받았으나 휠체어의 중량이 보통 80Kg 이상 되어 장거리 이동시 자동차에 휠체어를 싣거나 주택내의 계단을 극복하기가 매우 어렵다^[1].

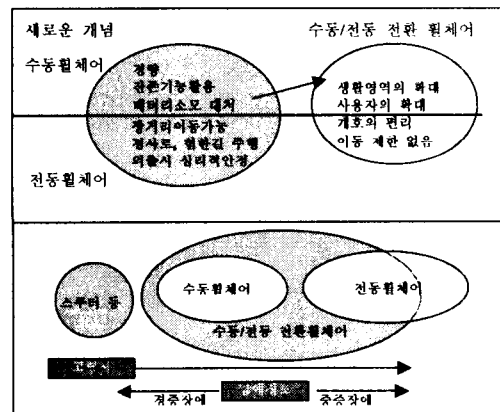


Fig. 1 Schematic Diagram of the new concept for convertible wheelchair^[2]

* 재활공학연구소 책임연구원

Tel. 032-5000-585, Fax. 032-512-9794

Email jeryu@iris.korec.re.kr

재활공학분야중 휠체어 지능화 및 생체신호를 이용한 동력보형 보조장치, 장애인 일상생활지원시스템 개발분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

이러한 단점을 극복하기위해서 최근에는 수동과 전동휠체어의 장점만을 살린 휠체어가 개발되고 있다.

바이오메카트로닉스 기술을 이용한 수동/전동 전환형 휠체어는 독일의 알버사에서 최초로 개발되었으며 일본의 야마하, 그리고 국내에서는 재할공학연구소에서 처음 개발되었다. 본 휠체어는 경량휠체어의 후레임과 후륜내에 허브형으로 삽입된 구동바퀴, 동력원인 배터리와 브러쉬리스 모터를 제어하는 제어부등 부품들을 여러 부분으로 모듈화시켜 조립하게 되어 있으며, 이러한 휠체어는 필요시 이용자 스스로 분해 결합이 가능하여 Fig. 1 에서 보듯이 다양한 사용자 층과 넓은 활동 반경을 가질 수 있어 차세대 휠체어로서 각광 받고 있다^[5].

본 휠체어 개발의 의의와 가치는 세계에서 가장 우수한 성능을 가진 수동/전동 전환형 휠체어로서 Table 1 에서 보듯이 독일제품에 비하여 경량이며 성능은 3 배에 달하고 있다. 우리는 국내에서 자체 개발된 휠체어의 특징과 구조를 살펴보고자 한다.

2. 수동/전동 전환형 휠체어 시스템

2.1 수동/전동 휠체어의 특징

Table 1 Comparison of the convertible wheelchair model (KOREC model vs. e-fix in German)^{[3],[4]}

항 목	국산개발품(KOREC)	(독일알버사,e-fix)
1) 구동방식	후륜 직접구동형	후륜 직접구동형
2) 제어방식	16Bit DSP 제어	
3) 배터리	24V, 10Ah	24V, 12Ah
충전시간	약 1 시간정도	약 4 시간정도
4) 구동모터	250 W x 2(SLBLDC)	74 W x 2(BLDC)
5) 주행속도	0-12Km/h	0-6.4 Km/h
6) 연속주행능력	20 Km	16 Km
턱	15 도 이하	10 도 이하
7) 등판능력	24" x 2(후륜)	24" x 2(후륜)
8) 차륜	본체 8Kg	본체 9.7 Kg,
9) 중량	차륜 13Kg	차륜 8 Kg
	배터리 1.7kg	배터리 9 kg
	총 중량 22.7kg	총 중량 26.7 kg

수동/전동 전환형 휠체어의 가장 큰 장점은 사용자의 요구에 따라 주위환경에 적합하게 수동휠체어와 전동휠체어의 기능을 모두 사용할 수 있다는 것이다. 예를 들면 사용자가 수동으로 휠체어를 주행하다가 사람의 힘으로 오르기 어려운 경사로나 험한 길을 만날 경우 전동기능으로 전환하여 손쉽게 주변상황을 극복할 수 있는 것이다. 또한 Fig. 1 에서 보듯이 보행이 어려운 고령자로부터 중증장애인까지 넓은 범위의 사용자 층을 확보할 수 있으며, 최근의 마이카시대에 접어들어 전동휠체어의 모듈화(분해,조립이 용이함)를 통하여 장애인이 독자적으로 휠체어로부터 구동륜(후륜)을 버튼을 통해 분리하여 자동차에 싣고 이동할 수 있으며 목적지에서 다시 휠체어를 조립하여 사용할 수 있다.

2.2 구성

2.2.1 후레임 재료

수동/전동 전환형 휠체어 후레임소재는 다음과 같은 기계적 성질을 갖추어야 한다. 1) 비중이 가벼워야 한다, 2) 비강도(비중대비 강도)가 커야한다, 3) 진동에 강한 소재여야 한다, 4) 용접성, 성형성이 우수해야한다. 5) 표면처리시 미려한 색상과 단단한 표면구조를 가져야 한다.

Table 2 에서 보듯이 7001 합금은 상용 알루미늄 합금으로서는 가장 높은 인장강도를 갖는 합금으로써, A6061-T6 와 A7003-T5 재료보다 2 배정도 기계적 성질(인장강도,항복강도 및 경도)이 우수하지만, 연신율이 매우 낮아 프레임의 벤딩 작업 시 공정이 복잡해진다. 최근 일본에서 개발된 휠체어를 보면, 이 합금을 이용하여 프레임 파이프를 제작하였는데, 파이프 외경의 지름이 19mm, 파이프의 두께를 1.2mm 로 하여, 총 중량이 9.6kg 정도 밖에 되지 않는 초경량 휠체어를 개발하였다. 그러나 이 합금은 용접성이 좋지 않기 때문에 연결부분 용접하지 않고 별도의 아답터를 사용해야 하는 단점이 있다. 본 휠체어에 사용된 A5056 합금은 인발상태에서 인장강도와 항복강도가 기존 국내에서 많이 사용하고 있는 A6061 과 A7001 합금보다 매우우수하다. 또한 이 합금은 용체화 처리와 시효처리를 하지 않고, 인발가공 중에 가공경화에 의해 재료의 강화가 일어나므로, 제조공정 단축을 가져올 수 있다.

그러나 A5056 합금은 인발시 인발비에 의해 최

중제품의 기계적성질이 크게 달라지므로 적절한 인발비의 설정이 매우 중요하다. 수동/전동 휠체어 후레임으로 A5056 합금의 인발 압출에 관한 제조 공정을 개발하여 Table 2 의 결과에서 나타낸 바와 같이 다른 재료에 비하여 30%정도의 강도를 향상 시키면서 우수한 용접성과 가공성을 나타내었다. 특히 아노다이징이나 페인팅 등 표면처리에도 매우 우수한 성능을 보였다.

Table 2 Comparison of KOREC model and e-fix in German

	A5056	A6061-T6	A7003-T5	A7001-T6
U.T.S(N/mm ²)	415	310	360	675
Y.S(N/mm ²)	345	275	325	325
E.L(%)	10	12	18	8
Hardness(HB)	100	95	120	160

2.2.2 구동장치

Fig. 2 에서 보듯이 수동/전동 전환형 휠체어 구동장치의 주요 구성부로는 모터부를 구성하는 회전자가 구동용 주축에 압입되어 장착되며 회전자의 상부에는 모터의 동력전달을 위한 1 단형 유성기어가 있어 원형의 기어부 자리가 설정된 상부 하우징에 조립되어 후륜에 동력을 전달하게 된다. 회전자의 하단부는 내측 모터 하우징을 사이에 두고 내면에 설치한다. 이때 브레이크는 모터 외형부 이상으로 돌출되지 않도록 구성되어 있다. 조

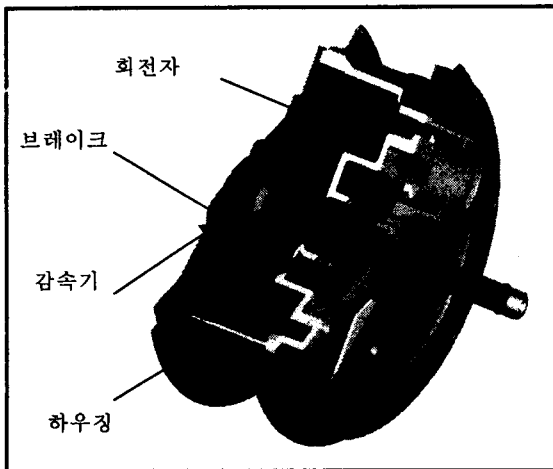


Fig. 2 Schematic of the driving unit in convertible wheelchair

립된 유성기어의 출력부는 휠체어 바퀴를 구성하는 허브(hub)에 직접 연결되어 바퀴를 회전시키게 된다. 모터 내측 하우징부에는 볼 베어링 또는 금속면 베어링이 설치되어 있어 허브의 회전시 구름 역할과 축 중심을 일치시키는 역할을 한다. 모터 하우징 커버부는 브레이크를 보호하고 조정기 및 배터리와 연결을 위한 단자부가 설치되어 있어 연결 커넥터 역할과 휠체어 고정을 위한 지지대 역할을 한다. 축 중심부에는 착탈을 위한 중공부와 축이 설치되어 있어 구동바퀴 일체를 휠체어에 착탈 할수 있도록 구성되어 있다.

본 구동장치의 특징은 감속기와 브러쉬리스 모터, 전자 브레이크를 동일 허브내에 단일 축으로 구성된 팬케이크형태로서 Fig. 3 에서 보듯이 구동장치의 출력은 동급 크기에서 세계 최고수준의 출력(250Wx2)을 낼 수 있는 고풍력 구동 장치로 구성되어 있으며, 또한 출력 대비 최소형, 경량형(6.8kg) 구동 시스템이다. 특히 수동 전환시 기존 개발된 여타의 구동장치에서 사용하고 있는 클러치 장치가 필요 없으며 수동으로 사용 중 필요에 따라 전동 전환시에는 조정부의 파워 스위치만 켜면 즉시 전동으로 전환하여 사용 할 수 있는 편리한 구동 장치 이다.

본 구동장치는 특별한 휠체어에만 사용되는 것이 아니라 일반 수동 휠체어에 구동륜과 전장 관련부품을 장착하고 후레임의 후륜 축 지지대에 삽입하면 사용이 가능하도록 되어 있어 차량 탑재시 분리운반이 가능하다. 구동륜의 분리시에는 걸림 버튼(수동휠체어와 동일)을 누르면 축을 분리할 수 있고 이때 전기커넥터는 동시에 분리된다.

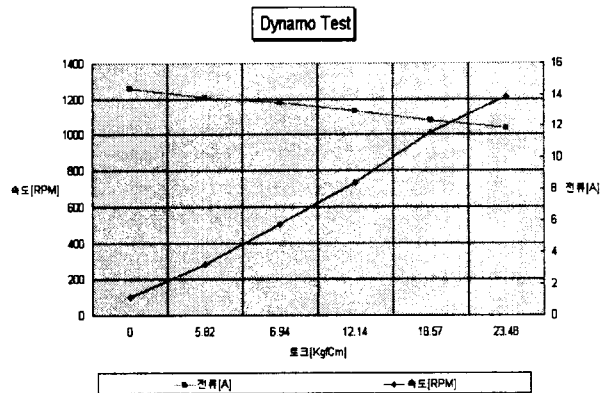


Fig. 3 Dynamo test of the BLDC motor

2.2.3 제어부

본 제어기는 TMS320LF2407A 은 고성능 DSP 로서 3.3V 저전력 설계가 가능하고 25-ns Instruction Cycle Time 을 가지고 있으며 초당 40 억 번(MIPS)의 연산 능력을 가지고 있다. 내부에는 32K FLASH EPROM 과 10BIT A/D 컨버터 16 채널 을 가지고 있으며 16 개의 PWM 채널을 보유하고 있어서 BLDC 전동기를 안정적이고 정밀하게 제어 할 수 있다.

● 제어부 S/W

제어기의 전원이 공급되면 조이스틱의 위치에 따라 구동륜의 회전 방향과 회전 속도가 결정되며, 주행 중 정지시에 급속한 감속으로 인한 충격을 없애고 탑승감을 높이기 위하여 먼저 구동장치의 전자 브레이크를 사용하여 일단 서서히 감속하고 속도가 거의 0 에 근접하면 기계식 마찰 브레이크를 동작시켜서 강제로 휠체어를 정지시키게 된다.

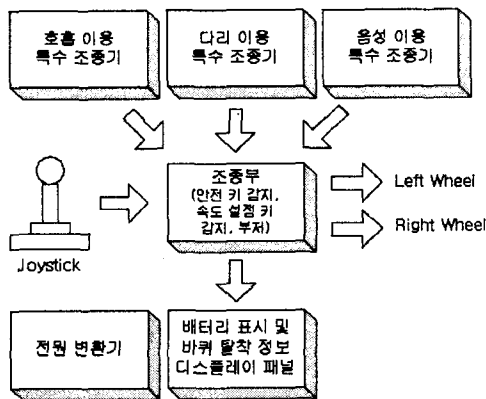


Fig. 4 Block diagram of the control unit

Fig. 4 에 나타난 것은 사용자로부터 입력된 조이스틱 신호를 가공하여 좌우 바퀴에 전달할 속도 명령으로 변환하는 것이 주 기능이며, 손·팔의 사용이 힘든 장애인이 손쉽게 휠체어 조종을 할 수 있도록 하는 호흡, 다리, 음성을 이용한 특수 조종기를 선택적으로 사용할 수 있도록 하는 기능을 갖는다. 또한 디스플레이 패널을 통해 배터리의 잔량을 표시하며, 고속 및 저속의 속도 설정 기능을 갖는다. 다음은 조종부와 관련한 블록도를 보인다. 좌우 바퀴로 전달되는 채널은 RS-485 통신을 사용하였다.

● 제어부 H/W

Fig. 5 는 구동 드라이버를 포함한 DSP 제어기의 전체 하드웨어 구성의 블록 다이어그램이다. 조이스틱 조종기로부터 입력된 지령신호에 따라 BLDC 모터를 구동하기 위한 PWM(pulse width modulation)은 DSP 제어기의 PWM 출력 포트를 통하여 3 상 FET 브릿지회로에 공급되고, 이에 따라 BLDC 모터가 작동한다. 모터의 회전에 의한 HALL IC 센서신호 출력은 제어기의 일반 캡처 포트와 일반 입출력 포트에 병렬로 연결되어 BLDC 모터의 회전속도와 회전자 위치 정보를 읽어 들인 다음 DSP 제어기로 되먹임하여 조이스틱에 의한 속도지령치와 비교하여 PWM 신호를 변환시켜 원하는 휠체어의 방향과 속도를 얻게된다.

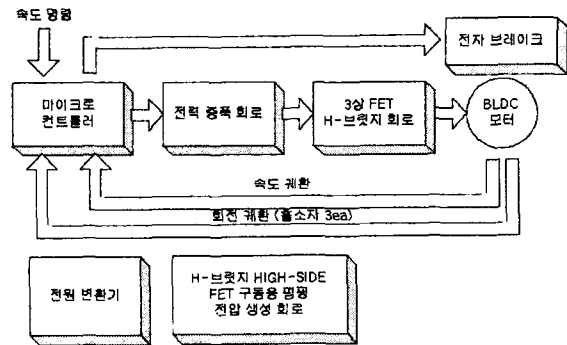


Fig. 5 Block diagram of the motor control of convertible wheelchair

3. 결론

본 연구의 수동/전동 전환형 휠체어(Fig. 6)는 바이오메카트로닉스 기술을 적용하여 중요한 핵심 기술들을 모두 국산화 하였으며 동일 기종에 대하여 가장 세계 경쟁력 있는 제품이라는 결론을 도출하였다.

- 1) 독일의 경쟁제품에 비하여 3 배 이상의 구동력을 가지고 있어, 경사로나 험로에 대한 극복능력이 매우 우수하다.
- 2) 구동장치를 단순화시켜 생산비용을 낮추었다.
- 3) DSP 제어기 기술을 도입하여 다양한 특수 조종기(음성, 머리, 다리, 흡기 등)를 구현할 수 있다.

- 4) 전동 휠체어로는 초경량이며 구동륜을 버튼에 의하여 간단히 착탈이 가능하므로 중증의 장애인들도 스스로 장거리이동이 가능하게 되었다.

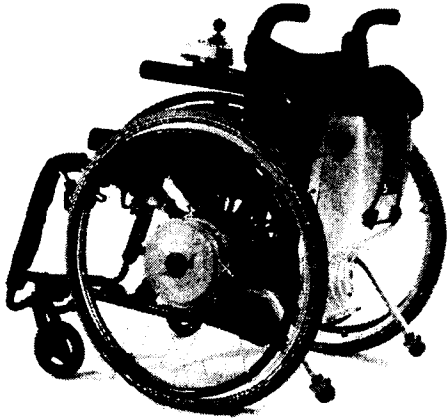


Fig. 6 The power convertible wheelchair (KOREC model)

참고문헌

1. Rory A Cooper, "Rehabilitation Engineering Applied to Mobility and Manipulation," Institute of Phys. Publishig B&P, pp. 291-336, 1995.
2. 후꾸이 타구, "휠체어용 전동보조유닛[JW-II]의 개발개념," Dedign News, Vol. 236, pp. 22-27, 1996.
3. "e-fix the power conversion for wheelchair catalog," Alber, 2002.
4. 류제청, "수동/전동 전환가능 휠체어 및 시험기기의 개발에 관한 최종보고서," 보건복지부, HMP-98-G-058, 2002.
5. Christian Buhler, Harry Kops, "Assistive Technology on the Threshold of the New Millennium," IOS Press, pp. 220-224, 1999.