

# 메카넘 바퀴를 적용한 전동 리프팅 휠체어의 설계 및 제작에 관한 연구

## The Study on Designing and Making Power Lifting Wheelchair using Mecanum Wheels

조장현<sup>1,✉</sup>, 황병준<sup>1</sup>  
Jang Hyen Jo<sup>1,✉</sup> and Byung Jun Hwang<sup>1</sup>

1 한라대학교 기계자동차공학부 (Department of Mechanical and Automotive Engineering, Halla Univ.)  
✉ Corresponding author: jhjo@hlla.ac.kr, Tel: 033-760-1216

Manuscript received: 2010.6.10 / Revised: 2010.10.1 / Accepted: 2010.11.18

*We reported the design, prototype, test drive, and mechanical & electrical engineering analyses of a power-lifting wheelchair using mecanum wheels. Mecanum wheels enable translational and rotational movement of the device in any direction on the ground. The power-lifting capability enables the seated individual to reach the standing height of a non-disabled individual. This mecanum wheelchair is fully controlled by the joystick attached to the armrest. The motion of the wheelchair and lifting action of the seat were studied using statics and dynamics. We believe this mecanum wheelchair is a prime candidate for commercial production.*

Key Words: Power Lifting Wheelchair (전동 리프트 휠체어), Mecanum Wheels (메카넘 바퀴)

### 기호설명

W = Weight  
N = Normal Force  
F = Force  
T = Frictional force on the wheel  
v = Linear Velocity  
 $\mu$  = Coefficient of Friction  
 $\omega$  = Angular Velocity  
 $\alpha$  = angular acceleration

### 1. 서론

현재 세계적으로 출시되어 판매중인 전동휠체어는 국제 동향 보고서<sup>1</sup>에 의하면 장애인의 구매강화에 따른 수요증가와 함께 다양한 전동 휠체어가 개발되어있으며 특히 수동/전동 전환형 휠체어

의 구동 및 제어 특성과 구성요소의 고찰<sup>2</sup>과 AFPM(axial flux permanent magnet) BLDC 전동기를 이용한 시제품 개발과 시험/평가에 대한 연구<sup>3</sup> 등 실용화의 다양한 접근이 이루어지고 있다. 현재 전동 휠체어는 장애인과 노약자에게 전기 동력을 이용하여 이동기능과 추가적으로 적립기능을 갖춘 것이 일반적이다. 이미 파워 스탠딩 방식의 휠체어에 대한 설계와 제작 관련한 연구<sup>4</sup>(Table 1 참조)에서 조사된 바와 같이 스탠딩 기능을 갖춘 전동 휠체어 상용제품의 경우 약 600 만원 증반에서 2000 만원에 이른다. 이에 스탠딩 휠체어의 설계 및 제작 연구<sup>4</sup>에서 경제적인 모델의 상용화 가능성을 검토하였다.

해당 연구에서 설계 사양의 이론적 검토와 실제 모델의 제작 및 시험주행을 통하여 상용화 가능성을 입증하였다. 한편 장애인 및 노약자의 실질적인 생활 활동 면에서 검토해 보면 단순 주행

Table 1 Various standing wheelchairs

Name	Chairman	G2	LCEV	RAPT
Comp. Nation	Permobil Sweden	Wassily Italy	Levo Swiss	Nita Taiwan
Content	*Front Wheel Drive *Tilting Seat *Drive in Standing position	*Small Volume *Drive in Standing Position	*Manual Diving and Power standing *Seat Level Control	*Thick Frame Structure *Foldable Armrest
Price (won)	19,000,000	6,800,000	6,800,000	6,500,000

과 일반적인 높이에 다다르는 기본적인 기능 외에도 주거 및 작업 환경에서 보다 다양한 활동영역의 확보 즉 운동 기능성의 확보가 필요한 것으로 조사되었고 이를 획득하기 위한 보다 나은 구성요소를 조사한 결과 메카넘 바퀴(mecanum wheel)의 적용성을 검토하였다. 메카넘 바퀴는 2 차원 평면에서의 물체의 병진 및 회전운동을 안정감 있게 구현하는 요소로 개발되었다.<sup>5,6</sup> 메카넘 바퀴는 Fig. 1<sup>7</sup> 에서 보는 바와 같이 전체 바퀴의 원주상에 롤러 형태의 작은 롤러가 회전축과 경사지도록 부착되어 실제 지면과 접촉하여 물체의 이동을 구현한다.

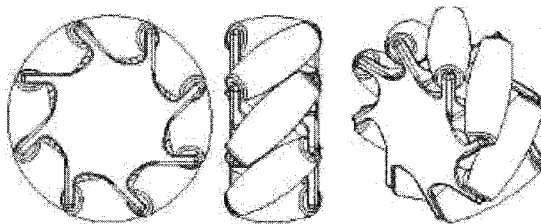


Fig. 1 Mecanum wheel based on Ilon's concept

특히 4 륜 구동을 통한 각각의 바퀴의 회전 방향을 조절하여 본체의 운동을 전후좌우 병진 및 경사진 방향 즉 임의의 각도 방향으로의 병진운동과 제자리 회전과 좌우 회전 등 다양한 운동을 구현할 수 있다. 한편 메카넘 바퀴에 부착한 롤러의 형상 유도와 기하학적 설계 방법이 제시된 연구<sup>8</sup> 와 이 바퀴를 적용하여 설계 제작한 전 방향 소형 로봇 개발에 대한 연구<sup>9</sup>도 이루어졌다.

본 연구에서는 메카넘 바퀴를 이용하여 실제 크기의 휠체어의 다양한 운동 모습을 구현하고 좌석은 슬라이딩 타입 선형 모터를 이용, 리프팅하여 정상 성인의 키 높이를 구현하는 휠체어를 설계, 제작 및 기능시험을 통하여 상용화 가능성을 검토하였다. 이러한 휠체어는 주로 실내에서의 장애인의 작업환경에 적절히 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 주요 설계 내용 검토

### 2.1 휠체어의 운동학 및 운동역학 설계

메카넘 바퀴는 Fig. 1 과 같이 바퀴의 원주상에 회전축과 45°경사진 방향으로 롤러를 부착한 것이다. 메카넘 바퀴를 장착한 휠체어의 평면도 모습과 지면과 접촉면에서의 구름현상이 일어나는 마찰력에 의한 구동력 벡터는 Fig. 2<sup>9</sup> 와 같음을 알 수 있다.

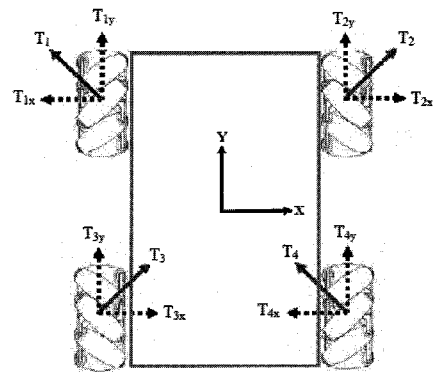


Fig. 2 Force vectors on mecanum wheels

Fig. 2 에서 위쪽의 앞 바퀴는 롤러 경사가 안쪽으로 향하며 그림 아래쪽의 뒷바퀴는 경사진 롤러의 경사 방향이 바깥쪽으로 벌어진 상태로 조립한다. 본 연구의 설계 및 제작 대상인 메카넘 휠체어의 운동은 결국 휠체어의 바퀴와 지면과의 구름 마찰과 이 마찰력에 의한 구동력으로 추진하게 된다. 이에 운동학 및 운동역학적 이론 검토에 부합되는 가정을 설정할 필요가 있다. 메카넘 휠의 특성상 본체형 바퀴의 원주상에 부착된 소형 롤러의 구름을 정지로부터 운동이 시작되는 시점을 기준으로 잡고 기동시의 운동은 구동모터에 연결된 바퀴를 일체형 강체의 구름운동으로 가정한다. 이렇게 하나의 강체로 간주된 휠체어는 평면상에서 세

가지 방향의 운동자유도를 갖게 된다. 즉 x 축 방향의 좌우 병진운동과 y 축 방향의 전후 병진운동 그리고 x, y 축의 수직인 z 축에 대한 회전운동이 가능하며 이 세가지 운동과 함께 복합적인 운동을 구현할 수 있게 된다. Fig. 1 에서의 상태는 네 개의 바퀴가 회전축으로부터 정회전 하는 경우이며 이 경우 바퀴에 부착된 롤러와 지면과의 접촉면에서 마찰력 T1, T2, T3, T4 가 발생하고 이에 대한 운동방정식을 고려하면 아래의 수식 (1), (2), (3)과 같은 휠체어의 전진 운동을 발생시킨다.

$$\sum F_x = T_{1x} + T_{2x} + T_{3x} + T_{4x} = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = T_{1y} + T_{2y} + T_{3y} + T_{4y} = T_y \quad (2)$$

$$\sum (Torque)_z = \sum_{i=1}^4 r_x T_{iy} + \sum_{i=1}^4 r_y T_{ix} = 0 \quad (3)$$

위의 운동방정식의 결과로부터 현재 Fig. 2 인 상황은 y 축 방향만의 구동력이 발생하는 상황이다.

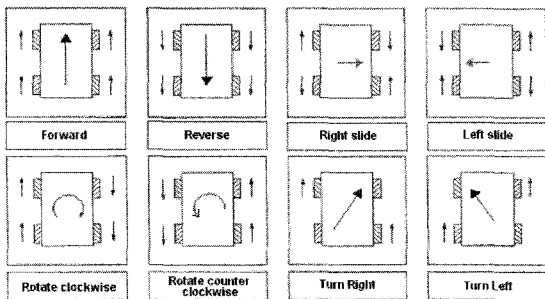


Fig. 3 Various motion patterns of mecanum wheels

이와 같이 네 개의 메카넘 휠의 회전방향을 전후진 등의 경우를 변경하게 되면 아래의 Fig. 3<sup>10</sup> 과 같은 다양한 운동을 구현할 수 있다. 한편 휠체어의 구동속도를 비장애인의 보행 속도를 기준으로 시속 4-6km 로 설정하고 일반적인 구동모터를 대상으로 검토한 결과 150watt-24volt 인 150rpm 의 정격 사양인 제품과 시판중인 엔터렉스사의 메카넘 바퀴는 반지름 0.1m 로 이를 대상으로 검토한 결과 식 (4)와 같이 1.57m/sec 이며 이는 시속 5.65 km 에 달한다. 하중부하 시 모터

에 의한 바퀴속도는 130rpm 으로 이 경우 시속 4.9km 로 역시 일반적인 보행자의 속도 구간에 만족한다.

$$v = \omega \times r = \frac{2\pi \times 150}{60} \times 0.1 = 1.57(m/sec) \quad (4)$$

한편 휠체어의 역학적인 설계내용 중 구동모터는 정격 사양 150Watt/150rpm 인 것으로 150rpm 은 15.7rad/sec 의 각속도  $\omega$  이며 이에 의한 동력과 토크(Torque)는 아래 식 (5)에 의하여 초기 구동 토크를 계산한 결과 식 (6)과 같은 38.2(Nm)를 4 개의 메카넘 바퀴로부터 얻게 된다.

$$Power = Torque \times \omega \quad (5)$$

$$Torque = \frac{Power}{\omega} = \frac{150}{15.7} \times 4 = 38.2(Nm) \quad (6)$$

한편 실내 바닥과 바퀴 사이의 마찰계수는 기본이론을 이용하여 실험을 통한 측정 결과 평균 마찰계수 0.3 을 얻었다. 이에 휠체어의 전체 무게는 사용자의 무게를 합하여 140kg 으로 설정하였다. 모터의 구동 토크로 지면과 메카넘 바퀴 사이의 충분한 마찰력으로 미끄러짐없이 순수한 구름 현상을 얻어 원활한 휠체어의 운동을 획득할 수 있는가를 강체의 운동역학적 이론을 참고자료<sup>11</sup> 를 근거로 검토하였다. 메카넘 휠 4 개로부터 4-wheel drive 구동방식이 채택되어야만 앞 절에서 검토한 운동의 다양성을 얻을 수 있으며 이를 바탕으로 140kg 의 전동 휠체어를 구동할 때 발생하는 토크와 휠체어의 운동역학적 관계를 살펴보면 Fig. 4 와 같은 자유물체도를 나타낼 수 있다. 이에 대한 운동방정식은 아래의 식 (7)과 같다.

$$F = m(a_G)_x, N - W = m(a_G)_y = 0 \quad (7)$$

$$a_G = r\alpha, T_n - Fr = I_G\alpha$$

한편 메카넘 바퀴와 바닥과의 마찰계수와 구동 모터의 기동 토크를 적용하여 휠체어가 마찰력으로 인하여 구를 것인가 미끄러질 것인가를 역학적으로 점검하였다.

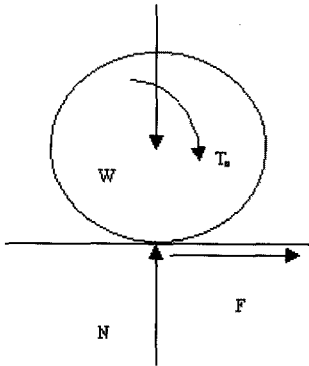


Fig. 4 Free body diagram of wheels

이때 적용한 휠체어의 질량관성 모멘트는 Inventor Ver.10 을 이용하여 도면과 실제 사용된 재료의 밀도를 고려하여 산출한 질량 관성모멘트를 적용하였다. 아래의 식 (8)은 메카넘 바퀴와 지면사이에서 미끄럼 현상이 먼저 일어난다고 가정할 경우 계산되는 최대정지마찰력이다.

$$F = \mu mg = 0.3 \times 140 \times 9.8 \cong 412(N) \quad (8)$$

한편 위의 운동방정식 (7)로 부터 계산된 결과는 Table 2 와 같고 이 중 마찰력 F는 최대 정지마찰력 412Newton 에 비하여 작은 값으로 참고자료 11 의 바퀴의 구름 및 미끄럼 현상의 발생 판정 기준에 의거하여 구름 현상의 발생 조건에 부합된다. 이는 제작품의 시험운행에서 메카넘 바퀴와 지면 사이에서 미끄럼 현상이 없이 구름현상으로 나타났다.

Table 2 Results of equations of motion

Variable	$I_G$ kg · m <sup>2</sup>	$T_n$ N · m	$\alpha$ rad/s <sup>2</sup>	$a_G(=\alpha r)$ m/s <sup>2</sup>	F Newton
value	13.5	38.2	2.56	0.256	35.9

에너지원으로 사용할 충전식 배터리의 사양을 조사하여 12V-35A 용 배터리 2 개를 직렬로 연결하여 사용할 경우 구동 모터에 필요한 동력을 충분히 지원할 수 있으며 한번 충전에 운용이 가능하다는 것을 구동실험으로 확인하였다. 또 휠체어 좌석의 상승 기능을 구현하기 위해서 선형 가이드 모터를 의자 등판 부에 부착되어있는 오토엘체어사의 AFC700 모델의 좌석 부분을 검토한

바 150kg 의 중량을 리프팅 할 수 있어 채택하였다. 이를 제작품의 시험을 통하여 70-80kg 인 성인을 0.7m/min 의 속도로 들어올리는 것을 확인하였다.

## 2.2 휠체어의 운전 및 리프트 제어 설계

4 개의 메카넘 휠을 장착한 휠체어는 위의 2.1 절에서 검토한 구동모터에 의하여 각각의 메카넘 휠의 회전 방향을 전후진으로 변경하므로써 Fig. 3 과 같은 기본적인 운동을 구현할 수 있게 된다. 이에 대한 제어 설계는 전방향 소형 로봇 개발 연구<sup>9</sup>의 12V(3Ampere)전원과 달리 본 연구에서는 24V(35ampere)가 활용되며 이 같이 수정한 도식은 아래 Fig. 5 와 같다. 이를 휠체어의 평면도로 간주하여 보면 모터 M1 과 M2 는 앞바퀴에 그리고 M3 와 M4 는 뒷바퀴에 해당한다.

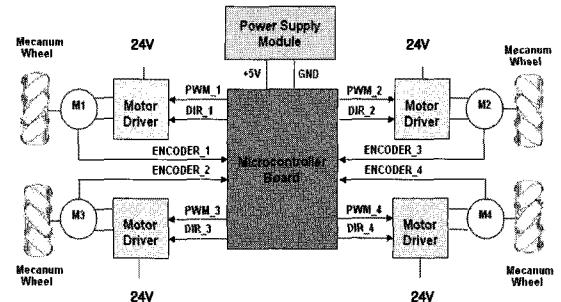


Fig. 5 Electrical diagram of wheelchair drive

휠체어의 운전제어는 CPU 8 bit 마이컴 IC 를 선정하고 이를 통한 모터의 정/역회전과 속도제어에 용이한 PWM (Pulse Width Modulation)제어 방법을 채택하였다. 이 방법은 일정한 주파수를 유지하는 고정된 펄스의 듀티비를 변화시킴으로써 평균전압을 조절하여 필요한 구동력을 획득하는 방법이다. 모터 드라이브는 두 개의 모터를 동시에 구동 가능한 NT-DMDSC-50A 모델을 선정하였다. 이 드라이버는 500W 이상에서도 사용가능하며 R/C, RS232, IC 등 다양한 입력 모드와 휠체어의 조이스틱 입력이 가능하다. 또한 급출발에 대한 문제 해결을 위해 SOFT START 기능을 삽입하여 안정성을 높였다. 아래 Fig. 6 은 마이컴 IC 를 이용한 SOFT START 기능이 포함된 PWM 제어방식의 구동 DRIVE 체계의 블록선도이다.<sup>4</sup>

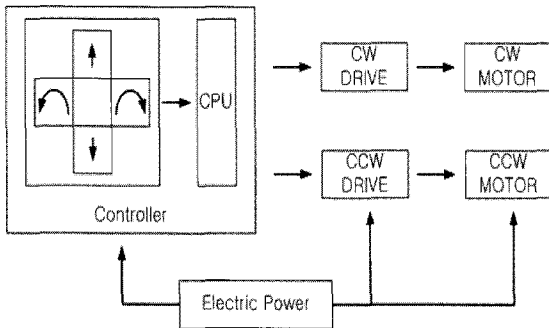


Fig. 6 Block diagram of wheelchair drive

Fig. 3 의 다양한 운동을 구현하기 위한 모터의 회전방향의 설정과 프로그래밍 입력에 의한 마이크로 콘트롤러의 출력은 Table 3 과 같다. Table 3 에서 보면 0-7 의 마이크로콘트롤러 8pin 은 Fig. 4 에서 보는 바와 같이 모터 드라이버에 회전속도와 정역회전 방향 등의 명령이 입력되어 M1, M2, M3, M4 모터의 구동 유형을 결정하여 출력한다.

Table 3 Output on microprocessor

Pin No.	Output Data
0	PWM input for Motor1(High:100%)
1	Direction input for Motor1 (High: CW, Low: CCW)
2	PWM input for Motor2(High:100%)
3	Direction input for Motor2 (High: CW, Low: CCW)
4	PWM input for Motor3(High:100%)
5	Direction input for Motor3 (High: CW, Low: CCW)
6	PWM input for Motor4(High:100%)
7	Direction input for Motor4 (High: CW, Low: CCW)

\*CW:Clockwise, CCW:Counter Clockwise

4 개의 모터드라이버로부터 PWM 이 High 이면 모터 구동이 일어나는 상황이며 이러한 상태하에 DIR 의 상태에 따라 휠체어의 운전 유형을 살펴보면 아래의 Table 4 와 같다. Table 4 를 살펴보면 휠체어의 전진인 경우 4 개의 모터회전방향이 Fig. 3 에서 보는 바와 같이 이루어지며 후진인 경우는 이와 달리 모든 모터의 회전방향이 반대임을 나타낸다.

Table 4 Wheelchair motions by motor control

M 1	M 2	M 3	M 4	Motion
PWM:HI DIR:HI	PWM:HI DIR:HI	PWM:HI DIR:HI	PWM:HI DIR:HI	Forward
PWM:HI DIR:LO	PWM:HI DIR:LO	PWM:HI DIR:LO	PWM:HI DIR:LO	Backward
PWM:HI DIR:LO	PWM:HI DIR:HI	PWM:HI DIR:HI	PWM:HI DIR:LO	Right slide
PWM:HI DIR:HI	PWM:HI DIR:LO	PWM:HI DIR:LO	PWM:HI DIR:HI	Left slide
PWM:HI DIR:HI	PWM:HI DIR:LO	PWM:HI DIR:HI	PWM:HI DIR:LO	Rotate Clockwise
PWM:HI DIR:LO	PWM:HI DIR:HI	PWM:HI DIR:LO	PWM:HI DIR:HI	Rotate CCW

특히 좌측 앞쪽 모터인 M1 은 앞방향 회전, 우측 앞쪽 모터 M2 는 뒷방향 회전, 좌측 뒤 모터 M3 는 뒷방향 회전, 뒷방향 우측 모터 M4 는 앞방향 회전인 경우에는 우측 병진운동(Right slide)이 일어나며 각각의 네개 모터의 회전방향이 이와 반대일 경우 좌측병진운동(Left slide)이 나타난다. 이와 같이 네개의 모터컨트롤에 의한 회전방향의 조합에 의하여 다양한 운전을 구현하게 된다. 휠체어 좌석 등판에 설치한 리프팅 시스템의 제어는 스탠딩 휠체어의 연구<sup>4</sup> 와 동일한 on/off switch 방식으로 제어 회로도는 Fig. 7 과 같다.

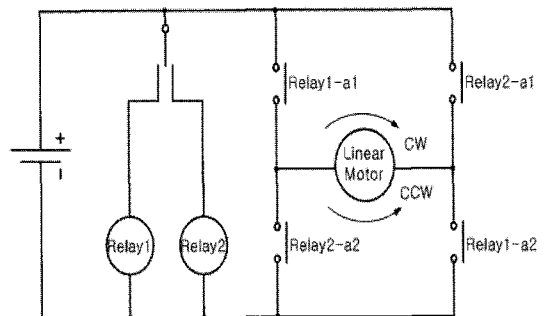


Fig. 7 Lifting circuit of the seat

리프팅 구동원은 12V-35A 충전용 배터리를 직렬 연결하며 소모전력은 약 100W 정도이다.

### 3. 주요 제작 내용

메카닉 바퀴를 이용한 리프팅 휠체어의 메카트로닉 설계 내용의 검토결과로 얻어진 각각의 세부

사양을 근거로 본 절에서는 부위별 제작 설계 사항과 실제 작업내용을 요약하였다. 실제 메카닉 바퀴를 적용한 리프팅 휠체어의 제작에 고려한 설계내용은 크게 4 분야로써 우선 메카닉 바퀴의 장착으로 전후좌우 및 임의의 방향으로의 병진운동, 제자리 회전운동 등의 정확성과 4 른구동에 의한 각 바퀴에 발생하는 구조역학적 하중을 견디기 위하여 바퀴와 본체 프레임 연결 부분의 적절한 가공 및 조립 안정성을 고려하였다. 이외에 휠체어 좌석과 휠체어의 운전 및 리프팅 제어시 설계 및 제작품에 적용된 내용을 Table 5 에 요약하였다.

Table 5 Design contents applied to the wheelchair

Contents Parts	Design Contents applied to mecanum wheelchair
Mecanum wheels	- forward/backward/left/right, translation, rotation - precisely stable motion with four mecanum wheels
Wheelchair Seat	- revolute joint in backrest, armrest, seatto adjust the angle - seat belt and support for upper body
Main Frame	- confirmation of the static/dynamic stability concerning with the center of gravity - footrest to control the height with user's foot length - to secure the room of battery, motor for the assembly convenience
Controller	- joystick to control the speed and directions - relay circuit for the seat up/down control - control circuit for the steady lifting speed of the seat

주요 메카트로닉 설계 이론과 규격 검토와 제작설계사항을 토대로 메카닉 리프팅 휠체어의 부품과 모듈별 가공 및 완성 조립 작업을 수행하여 시제 모델을 제작하였다. 이미 소개했던 오토엘체어사의 AFC700 모델을 기본 프레임으로 메카닉 바퀴의 가공 및 조립과 구동원인 배터리 설치, 운전 콘트롤 패널 부착과 회로결선 등의 작업이 적용되었다. 메카닉 바퀴의 설치는 기존 바퀴를 제거하

고 프레임에 모터와 메카닉 바퀴를 브라켓 형태로 가공하여 끼워 맞춤형 조립을 하였다. 이는 용접과 함께 기계가공작업이 수반되며 메카닉 바퀴 자체의 무게와 구동에 필요한 각각의 메카닉 바퀴의 작동 방향이 각각 다르며 이에 따른 하중이 기존의 전동 휠체어의 하중과는 상대적으로 클 것으로 예상되어 Fig. 8 에서와 같이 브라켓의 두께가 8mm 인 강을 사용하여 안정성을 향상시켰다. 이는 레이저 절단 가공을 하여 일반적인 절단에 비하여 가공면의 거칠기를 향상시켜 조립성을 확보하였다. 또한 4 개의 메카닉 바퀴와 지면과의 접촉이 평면적으로 일정하여야 다양한 운전 모드의 정확성을 유지할수 있으므로 조립 작업 공정 중 최대한의 수평 유지를 위한 받침대를 설치하여 수행하였다.



Fig. 8 Assemble of the mecanum wheel

배터리는 사용중의 무게중심을 고려하여 전체 휠체어의 2/3 지점에 위치하였고 모터 드라이버 역시 좌석 하부에 배터리와 구동 모터와의 결선과 무게 중심을 고려하여 좌우 대칭으로 설치하였다. 또 운전제어패널과 조이스틱, 상하 리프팅 스위치를 우측 팔걸이에 부착하였다. 모든 전기회로 관련 부품을 우측 팔걸이 내부에 장착하고 동력라인을 외부로 뽑아 운전 중 동작에 방해되는 외부 영향 요인을 최소한으로 줄였다. 발판의 경우 좌석 하단부에 알루미늄 봉을 볼트 작업으로 부착하고 발판을 좌우접이식으로 조립하였다. 이러한 제작 공정을 통하여 아래 Fig. 9 의 메카닉 바퀴를 적용한 리프팅 휠체어가 시제 모델을 개발하였다.

#### 4. 결론

일반적인 원형 바퀴의 원주상에 소형 롤러를 구르는 방향과 45°가 되도록 장착한 메카닉 바퀴를 사용하여 다양한 운전 모드를 구현하고 좌석의 상승 리프트를 장착한 전동 휠체어의 메카트로닉 측면의 설계와 제작을 통하여 실제 상용화를 검토해 보았다.



Fig. 9 Lifting wheelchair using mecanum wheels

이러한 휠체어는 강체의 평면적 운동 모습이 전후진과 회전에 의한 방향 전환의 세가지 운전 모드에서 전후좌우 및 임의의 방향으로의 병진운동과 제자리 회전 등 다양한 운동을 가능케 하고 좌석의 리프팅 기능을 더하여 실제 노동환경에서의 장애인의 활동영역을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

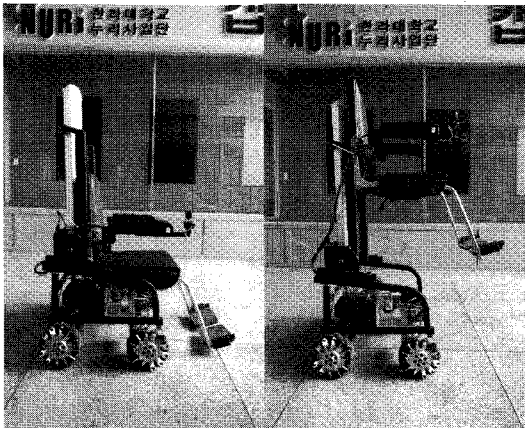


Fig. 10 Two positions of mecanum wheelchair

좌석의 상승은 위의 Fig. 10 과 같이 수직슬라이드 이동형 메커니즘을 채택하여 0.6m 의 최대 상승 효과를 얻어 175cm 의 성인 남성이 좌석에 앉은 상태에서 최고상승 시 머리 상단부가 지면으로부터 180cm 에 이르도록 설계 제작되었다. 최종 시험 주행에서 1 회 충전시 약 6-8 시간 운영이 가능했으며 각 모터는 조이스틱의 조절에 의하여 네 바퀴가 각각의 방향이 선정되고 이를 통한 휠체어

의 전후 좌우 및 45° 병진과 제자리 회전 운동을 바닥면에서 미끄럼 없이 유연하게 수행하였다. 또한 소프트 스타트 방식에 의한 정상속도 도달 시간은 약 1 초이며 또한 정지시에도 약 1 초 정도의 소요시간과 반응에서부터 정지시까지 미끄럼 없이 부드러운 정지 현상을 나타냈다. 제자리 회전은 8rpm(0.84rad/sec)으로 이는 한바퀴를 약 7-8 초에 회전한다. 10% 경사로에서의 상승속도는 평지에 비하여 70%에 달하는 1m/sec 의 속도를 낼 수 있었다. 또 전도안정성은 여러가지 운동 모드 중에서 전진운동 중 정지하는 경우에 가장 큰 가속도 1.36m/sec<sup>2</sup> 가 발생하므로 이때 전도모멘트  $M_r$  은 아래 Fig. 11 에서 보는 바와 같이 관성력( $ma_G$ ) 에 지면과 바퀴의 접촉지점 P 까지의 거리( $r_p$ )의 곱으로 나타낼 수 있으며 계산은 아래 식 (9)와 같다.

$$M_r = ma_G \times r_p$$

$$= 140kg \times 1.36m/s^2 \times 0.5m = 95.2(Nm) \tag{9}$$

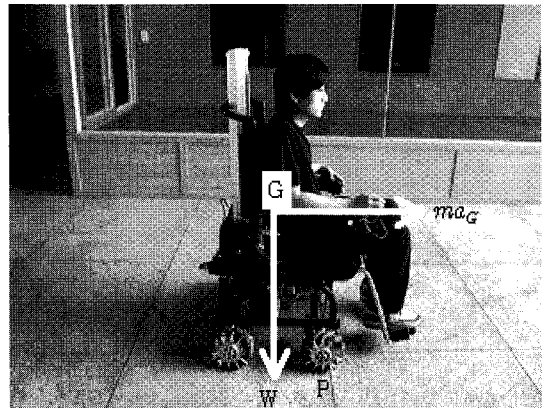


Fig. 11 Actual forces on wheelchair when stopping

한편 안정 모멘트  $M_s$  는 위 Fig. 11 에서 휠체어와 탑승자의 무게 W 와 역시 정지시 회전중심이 되는 p 점으로부터 무게까지의 거리( $d_p$ )의 곱으로 아래 식 (10)과 같이 계산된다.

$$M_s = W \times d_p$$

$$= 140kg \times 9.81m/s^2 \times 0.15m = 206(Nm) \tag{10}$$

식 (9)의 전도모멘트에 비하여 식 (10)의 안정 모멘트는 2 배 이상으로 안정한 것을 알 수 있다.

위의 각종 메카넘 휠체어의 사양과 특성을 정리하면 아래의 Table 6 과 같이 요약할 수 있다.

Table 6 Main Specifications and characteristics

Specifications	Characteristics
Height of seat	0.6m vertical height
Operation time	6-8hours/one time charge
Motion modes & directions	Forward/backward/left/right/diagonal translation/rotation, skid steering
Speed	5.65km/hour(1.57m/sec) :unloaded 4.9km/hour(1.36m/sec):loaded
Speed in slope road (10% slope road)	1 m/sec(70% of normal speed)
Time to reach the normal speed	1 sec
Rotating speed	8 rpm(0.84 rad/sec)
Stability of rollover	moment of stop during forward motion $SafetyFactor = \frac{M_s}{M_r} = \frac{206}{95.2} = 2.16$
Time to stop	within 1sec
Others	soft start and stop function

실험 과정에서 4 른 구동 시 각각의 바퀴에 균일한 부하가 적용되어 바닥 면과의 충분한 접촉에 의한 일정한 운동이 정확하게 발생되지 않아 조이스틱의 입력명령에 의한 방향으로의 정확한 운동을 획득하지 못하는 경우가 발생하였다. 이 문제의 해결책은 설계 시 보다 정밀한 하중 분석이 이루어져야 할 것이며 이는 사용자와 휠체어의 종합적인 하중 분포의 분석이 정밀하게 이루어져야 한다. 또한 메카넘 휠과 활동 영역에서의 바닥 면과의 상호 마찰 등을 고려하여 다양한 재질의 메카넘 휠의 물리가 개발될 필요가 있다. 본 연구에서 수행된 기계/전기 이론을 바탕으로 한 설계 검토와 시제 제작품의 실제 운용상의 문제 해결 과정은 보다 다양한 운전 모드와 정확한 운동 성능을 구현하는 전동 리프팅 휠체어의 상용화에 기여할 것으로 기대한다.

**참고문헌**

1. Winter Green Research Inc., "Worldwide Power Wheelchair, Scooter, and All Terrain Vehicle Market

Opportunities, Market forecasts, and Market Strategies, 2006-2012," 2006.

2. Ryu, J. C., "The Convertible Wheelchair System," Journal of the KSPE, Vol. 20, No. 2, pp. 14-18, 2003.

3. Choi, Y. C., Rhee, K. M., Choi, H. S. and Seo, Y. T., "Development of the Foldable Manual/Power Hybrid Wheelchair," Journal of the KSPE, Vol. 23, No. 2, pp. 172-179, 2006.

4. Jo, J. H. and Song, Y. C., "The Study on Designing and Making Power Standing Wheelchair," Journal of the KSPE, Vol. 25, No. 10, pp. 92-98, 2008.

5. Ilon, B., "Wheels for a Course Stable Selfpropelling Vehicle Movable in Any Desired Direction on The Ground or Some Other Base," United States Patent, No. 3876255, 1972.

6. Blurmish, J., "Omnidirectional Wheels," United States Patent, No. 3789947, 1974.

7. Diegel, O., Badve, A., Bright, G., Potgieter, J. and Tlale, S., "Improved Mecanum Wheel Design for Omni-directional Robots," Proc. Australasian Conf. on Robotics and Automation, pp. 117-121, 2002.

8. Shin, D. H. and Lee, I. T., "Geometry Design of Omni-direction Mecanum Wheel," Journal of the KSPE, Vol. 15, No. 3, pp. 11-17, 1998.

9. Salih, J. E. M., Rizon, M., Yaacob, S., Adom, A. H. and Mamat, M. R., "Designing Omni-directional Mobile Robot with Mecanum Wheel," American Journal of Applied Sciences, Vol. 15, No. 3, pp. 1831-1835, 2006.

10. Phillips, J. G., "Mechatronic design and construction of an intelligent mobile robot for education purposes," Master of Technology Thesis, Masey University, Palmerston North, New Zealand, p. 150, 2000.

11. Hibbeler, R. C., "Engineering Mechanics: Dynamics," Prentice Hall, pp. 443-449, 2007.