

파워 스탠딩 휠체어의 설계 및 제작에 관한 연구

The Study on Designing and Making Power Standing Wheelchair

✉ 조장현¹, 송요창¹

✉ Jang Hyen Jo¹ and Yo Chang Song¹

¹ 한라대학교 기계자동차공학부 (Department of Mechanical and Automotive Engineering, Halla Univ.)

✉ Corresponding author: jhjo@halla.ac.kr, Tel: 033-760-1216

Manuscript received: 2008.1.24 / Revised: 2008.7.16 / Accepted: 2008.8.7

This paper is concerned with the designing and making power standing wheelchair. This wheelchair is studied based on the mechanical and electrical engineering concepts and theories. The mechanical theories are composed of statics and dynamics knowledges that are related with moving and standing position. Basically the static and dynamic stability is the most important element in designing and making the real size model. The linear actuator is used in the standing mechanism and the joystick controlled by hand is attached on the arm rest. The real size model is made and also investigated through the design specifications by test drive. Finally, this paper proves the possibility of commercial production of power standing wheelchair.

Key Words: Standing Wheelchair (파워 스탠딩 휠체어), Linear Actuator (선형 구동 액츄에이터), Mechanism (메커니즘), Four Linkages(4 절 링크)

기호설명

W = Weight

N = Normal Force

F = Force

T = Torque

v = Linear Velocity

μ = Coefficient of Friction

ω = Angular Velocity

1. 서론

스탠딩 전동휠체어는 수동 및 전동휠체어를 기본으로 하여 현재 세계적으로 시장에 출시된 제품의 기본 상황을 조사/분석한 바대로 그 시장의

급속한 팽창이 예상되고 있다.¹ 한편 수동/전동 전환형 휠체어의 구동 및 제어 특성과 구성요소의 고찰² 과 실제 AFPM(axial flux permanent magnet) BLDC 전동기를 이용한 시제품 개발과 시험/평가에 대한 연구가 수행 되었다.³ 우리가 살아가는 동안에 실제적인 생활공간 에서 자율이동성은 필요한 부분이며 장애인과 노약자에게는 이러한 활동 자율성 확보가 매우 힘든 상황이다. 이에 휠체어 특히 전동 휠체어는 국가에서 재정적인 지원을 법적으로 공포한 바 있다. 전동 휠체어에 기본 이동뿐 아니라 다양한 활동성을 부여하여 수요자의 활동영역의 확보를 보장하는데 이중 가장 기본이 되는 직립기능이 대표적인 내용이다. 하지만 기존상용 제품들의 경우 전동 휠체어의 기본 가격이 국산의 경우 2~300 만원대를 호가하며 수입 제품의

경우엔 600 만원을 훨씬 상회하고 있다. 이에 직접 기능을 부가한 제품의 경우 아래 표 1 에 보는 바와 같이 매우 고가인 것으로 나타난다.

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

이에 본 연구에서 시제 제작에 소요 비용은 약 200 만원의 부품 및 가공비로 간접적인 비용과 향후 생산 단가의 수량에 따른 조정이 이루어지면 충분한 경쟁력을 갖출 것으로 사료된다. 또한 세계적인 업체와 비교되는 기술 분야로 소재경량화와 기능적인 면에서 고려한 운전 구동과 특히 직접 구동방식을 휠체어 시트 부분의 양측면을 수평 방향으로 슬라이딩하는 반면 본 시제품은 시트의 하부를 구동하되 링크방식을 택하여 작은 스트로크에 비하여 큰 변위를 얻을 수 있는 구조일 것이다. 기타 비교제품과의 다른 기능사항은 비교적 대등한 것으로 판단된다. 한편 노인 및 장애인의 자립형 이동기술지원에 대한 고찰⁴로부터 제시된 미래형 전동 휠체어 'iBOT' 가 지닌 기능적 특성은 본 연구의 설계 모델의 설정과 실제 제작에 고려할 설계 및 제작과정에 참고가 되었다. 또한 전반적으로 국내 재활의료기기 산업 활성화 방안 연구⁵ 를 토대로 산업화에 요구 사항을 설계사양에 참고하였으며 초고속 고효율 시대로 접어든 국내 실정을 감안한 실버산업 기술개발 동향 보고⁶ 에 따른 기본 외형 및 기능 설계 내용을 적용한 기본 작동 프로그래밍을 통하여 소형 전동식 휠체어모형을 선정하였다.

정동역학적 검토와 전동휠체어에서 의자 부분

의 상승에 의한 장애자의 앉은 위치보다 높은 목표지점에 도달하는 기구학적 설계를 토대로 제작하였다. 또 이후 전동휠체어의 동작에 소요되는 힘과 적정속도를 계산하여 모터 및 배터리를 선정하고 모든 기능은 유선 컨트롤러에 의한 구동 특성을 갖추어 실제 제품화의 가능성을 확인하였다.

2. 설계사항 및 이론적 검토

전동 파워 스탠딩 휠체어의 역학적 설계 내용은 크게 두 가지 분야로 나뉘는데 첫 번째는 기존 전동 휠체어의 기본요건인 일반 보행자의 운동성과 동일한 수준의 운동성을 확보하는 운동학과 역학적인 요소의 검토이며 두 번째는 앉아있는 상태에서 직립을 위한 의자 부분의 상방향의 운동성 확보에 대한 검토로써 이는 4 절 링크 설계를 방식을 이론적으로 검토하였다.⁷

2.1 휠체어의 운동학 및 운동역학 설계

휠체어의 구동에서 휠체어의 속도를 6~10 km/h 를 설정하고 생산비용의 경제성을 고려해 볼 때 기존의 상용화 부품을 사용하는 것이 가장 유리하므로 바퀴의 지름은 상용화된 제품 중 가장 일반적인 317.5mm 인 고무제품을 선정하였다. 역학적인 해석을 위하여 이를 바탕으로 구동 모터의 용량 검토는 속도와 이를 구동하기 위한 최대 힘 즉, 모터의 구동축으로부터 획득할 수 있는 최대 추력과 계산으로 설계되어진다. 보통 모터 축으로부터 실제 구동 바퀴는 킷을 사용하여 구동력으로 전달된다. 바퀴의 축과 베어링으로 부터의 추진 구동력은 모터의 토오크로 부터 획득된다. 이에 상용화 모터를 선정하였고 이는 정격 200Watt/140rpm 의 동력과 속도를 발생한다. 한편 초기 구동시에 측정된 결과 22Ampere 의 전류공급을 통하여 모터에 동력을 전달하는 것으로 밝혀졌으며 이를 아래 식(1)에 의하여 초기 구동 토오크를 계산한 결과 식(2)와 같은 36.01(Nm)를 얻게 된다.

$$Power = Torque \times \omega \tag{1}$$

$$Torque = \frac{Power}{\omega} = \frac{24 \times 22(watt)}{14.661(rad/sec)} = 36.01(Nm) \tag{2}$$

한편 실내 바닥과 바퀴 사이의 마찰계수는 기본이론과 뉴턴저울을 이용하여 측정한 결과를 Table 2 에 나타내었다. 이에 실험을 통한 평균 마찰계수 0.308 을 얻게 된다. 이에 휠체어의 설계 목표 값으로 무게 50kg 과 사용자의 무게를 합하여 140kg 으로 설정하여 구동 토오르크는 충분한 마찰력으로 인하여 미끄럼 없이 순수한 구름현상을 얻을 수 있게 된다.

$$v = \omega r = \frac{2\pi \times 140}{60} \times \frac{0.3175}{2} = 2.3274(m/sec) \quad (3)$$

Table 2 Test Results for Coefficient of Friction

No.	1	2	3	4	5	Average
Weight(kg)	2.4	2.35	2.35	2.35	2.4	2.37
Force(kg)	0.7	0.8	0.7	0.75	0.7	0.73

선정된 모터는 140 rpm 의 정격 속도를 발생하는데 이는 속도를 계산하면 위의 식(3)와 같은 2.3274 m/sec 로 이는 시속 8.4 km 로 기존의 설계 목표 값과 일치하게 된다. 한편 식(2)의 토오르크를 발생하는 모터를 좌우 대칭으로 전륜 구동방식을 장착하여 140kg 의 전동 휠체어를 구동할 때 발생하는 토오르크와 휠체어의 운동역학적 관계는 Fig.1 과 같고 이에 대한 운동방정식은 아래의 식 (4)와 같다.

$$F = m(a_G)_x, N - W = m(a_G)_y = 0, \quad (4)$$

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

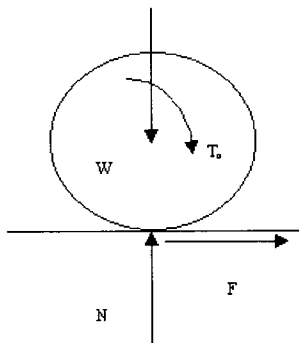


Fig. 1 Free Body Diagram of Wheelchair

한편 Table 1 의 바퀴와 바닥과의 마찰계수를 이용하여 구동모터의 기동 토오르크를 적용하여 휠체어의 바퀴가 마찰력으로 인하여 구를 것인가 미끄러질 것인가를 역학적으로 점검하였다. 이때 적용한 휠체어의 질량관성 모멘트는 Inventor Ver.10 을 이용하여 도면과 실제 사용된 스테인레스 강의 밀도를 적용하여 획득한 질량 관성모멘트를 적용하였다. 위의 운동방정식으로 부터 계산된 결과는 Table 3 과 같고 이를 살펴보면 먼저 바닥면과의 마찰력이 구른다고 가정한 식(4)의 조건을 적용한 결과로부터 마찰력 F 는 정지마찰력 보다 작은 값을 얻게 되어 미끄럼 현상 없이 구름 회전이 일어남을 이론적 검토와 실제상황에서 확인하였다. 또한 선정된 모터가 기동 시 측정된 토오르크로 부터 휠체어의 초기 구동현상이 구름 회전으로 나타날 것임을 가속도 값으로 확인하였다.

Table 3 Results of Equations of Motion

Variable	I_G kg · m ²	T_n N · m	α rad/s ²	$a_G(=r\alpha)$ m/s ²	F Newton
value	13.5	36.01	2.11	0.34	47.2

이에 필요한 동력을 발생시킬 수 있는 에너지원으로 충전식 배터리의 사양을 조사하여 24V-35A 용 배터리를 사용하면 구동 모터에 필요한 동력을 충분히 지원할 수 있으며 한번 충전에 약 6 시간 정도의 일반적인 운행조건하에서 운용할 수 있음을 실제 시험운동결과로 얻을 수 있었다.

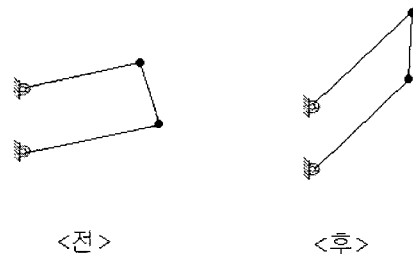


Fig. 2 Four Linkage Mechanism for Standing system

2.2 휠체어의 직립구조 설계

Fig. 2 의 4 절 링크 구조는 두 고정점을 중심으로 회전하는 경우 위쪽에 위치한 점의 위치가

상승하게 되어 있으므로 이 같은 4 절 링크 구조를 휠체어의 등판을 고정링크로 하는 스탠드업 기능의 메카니즘을 구성토록 설계하였다. 휠체어의 직립을 위한 각도는 Fig. 3 과 같이 설계 사양을 설정하고 이를 확보하기 위하여 Fig. 4 와 같은 위치에서의 리니어 액추에이터와 연결된 링크의 각을 조절하여 액추에이터의 스트로크(stroke)를 결정할 수 있다.

작동전과 후의 운동학적 다이어그램을 Fig. 3 에서 나타난 직각삼각형을 토대로 하여 스트로크를 계산하면 아래와 같은 식(5)의 결과를 얻는다.

$$stroke = \sqrt{109.12^2 + 127.07^2} = 167.5 \quad (5)$$

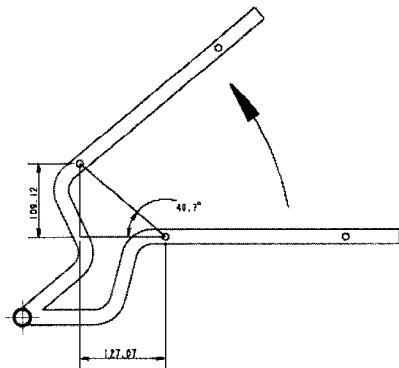


Fig. 3 Kinematic Diagram of Standing system

따라서 필요한 스트로크는 식(5)로부터 167.5mm 가 계산된다. 한편 Fig. 4 에서 의자의 직립 운동이 일어날 경우 무게중심은 등판 쪽에서부터 즉 우측으로부터 좌측으로 이동하게 되며 리니어 액추에이터의 장착 위치와 실제 힘의 작용점을 검토한 결과 액추에이터의 힘 방향과 하중의 수직 방향과 이루는 각도의 값이 40.7° 부터 80° 까지 변화하므로 초기 시작점에서 가장 큰 힘이 필요하게 됨을 Fig. 5 의 자유물체도와 수식(6)로부터 알 수 있다.

$$W = 90(kgf) = F \times \sin \theta, F = \frac{90}{\sin \theta} (kgf) \quad (6)$$

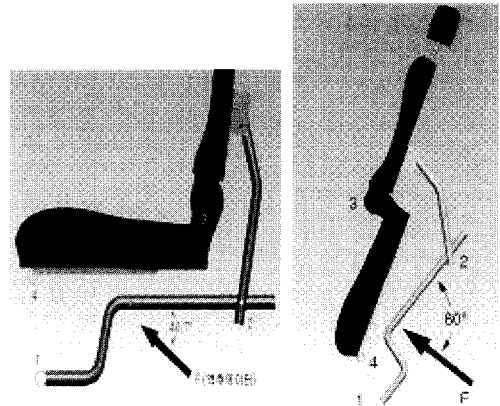


Fig. 4 Two Positions of Standing system

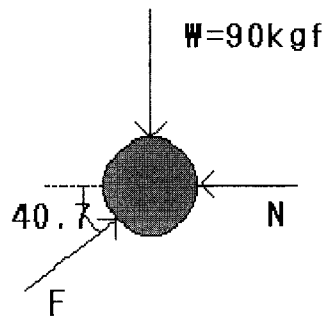


Fig. 5 Free Diagram of Chair and Person

한편 설정한 최대 무게 90kg 을 수직으로 들어 올릴 때 필요한 리니어 액추에이터의 힘을 계산하면

$$W = 90kgf = F \times \sin 40.7^\circ \quad (7)$$

$$F = \frac{90}{\sin 40.7^\circ} = 138kgf = 1532.5N$$

안전율을 3 으로 하여 계산하면 액추에이터에 작용할 힘 F=4057.5N 이 계산된다. 리니어 액추에이터(liner actuator)는 기술 및 경제성 측면과 안전성을 고려하여 국내의료기기의 자동화 구동 부품으로 전동 침대 및 각종 정밀 자동화 구동 장치에 가장 많이 사용되며 신뢰성을 인정받는 리낙(linac)사의 최대 스트로크 200mm, 추력(thrust) 6000 N 의 제품을 선정하였다. 사용되는 힘보다는 기구학적인 요소인 스트로크가 더욱 중요하기에 이에 맞는 제품을 선정하였다.

2.3 휠체어의 직립구조 설계

휠체어의 운전 제어는 CPU 8Bit 마이컴 IC 를 선정하여 정/역운전과 속도제어에 용이한 PWM (Pulse Width Modulation) 제어 방법을 채택 하였다. 이 제어방법은 일정한 주파수를 유지하는 고정된 펄스의 듀티비를 변화시킴으로써 평균전압 을 조절하여 필요한 구동력을 획득하는 방법이다. 또한 급출발에 대한 문제 해결을 위해 SOFT START 기능을 삽입함으로써 안정성을 확보 하였다. 아래 Fig. 6 은 마이컴 IC 를 이용한 구동 DRIVE 체계의 블록선도이다.

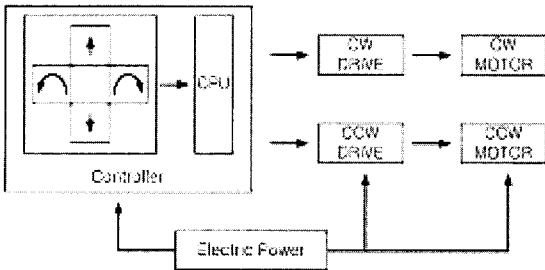


Fig. 6 Block Diagram of Wheelchair Drive

또한 휠체어 직립을 위한 구동은 아래 Fig. 7 에서와 같이 선택 S/W 로 Relay1 의 코일을 동작시키면 Relay1-a1 의 a 접점과 Relay1-a2 의 a 접점이 b 접점으로 변환되어 정회전을 하고 역회전은 Relay2 의 코일을 동작시키면 Relay2-a1 의 a 접점과 Relay2-a2 의 a 접점이 b 접점으로 변환되어 동작하도록 설계한 회로를 적용하였다.

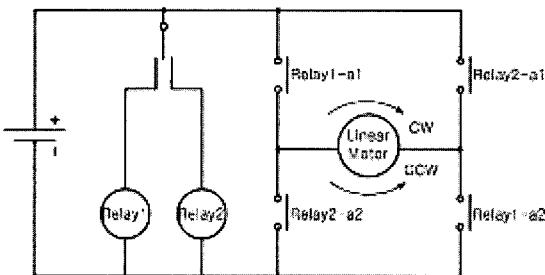


Fig. 7 Circuit for Standing Motion of Wheelchair

3. 스탠딩 휠체어의 제작

3.1 주요부 설계 개요

앞 절에서는 운동학 및 운동역학적 이론을 바탕으로 설계사양에 대한 검토와 그 결과로 얻어진 각각의 구동부 즉, 스탠딩 부와 휠체어 전체의 구동 설계부의 내용을 다루었다. 본 절에서는 이와 같은 기본적인 구동설계에 이어 각 부위별 제작시에 필요한 설계조건 및 검토사항을 간략히 요약 하였다. 아래의 Table 4 는 주요 부위의 설계 및 제작시의 주요 고려 사항을 기술한 것으로 이는 실제 운용상에 주안을 둔 검토 사항이다.

Table 4 Main Specifications of Wheel Chair

Parts	Contents	Design Contents
Wheelchair Seat		<ul style="list-style-type: none"> - 등판 및 안장 연결부를 회전조인트로 연결하여 각도조절 가능 - 안전을 위한 시트 벨트 및 상체 지지대 설치
Main Frame		<ul style="list-style-type: none"> - 무게 중심을 고려한 충분한 정적/동적 안정성 확보 - 사용자 하체 길이에 따라 조정 가능한 발판 설계 - 배터리 및 모터 등 기능품의 조립 안정성 고려한 공간 확보 - 전동 power 소진 시 수동 작동 가능 등판 손잡이 부착
Power and Controller		<ul style="list-style-type: none"> - 배터리 power 잔량 확인 - 경음기 기능 보유 - 전후좌우 움직임 가능 - joy stick 움직임 강약조절에 의한 속도 조절 가능
Standing Actuator		<ul style="list-style-type: none"> - 상/하향 움직임 가능한 릴레이 회로 장착 - 적절한 속도 제어 회로 장착

3.2 주요 제작 내용

위의 주요 설계 이론 검토 사항과 규격을 토대로 하여 전동 스탠딩 휠체어(Power stand-up wheelchair)의 외형 제작 및 기능품의 조립 작업 내용을 검토하여 용접기, 절단기, 그라인더, 파이프 벤딩기, 드릴링 머신, 선반 등을 이용하여 실제 시제 모델을 제작하였으며 내용을 부분별로 살펴

보고자 한다.

3.2.1 휠체어부

기본적인 수동 휠체어의 의자에 구동 모터, 배터리 및 운행을 위한 콘트롤 패널 등을 추가로 설치하였으며 무게가 증가한 부분에 대하여 기본 바퀴보다는 큰 하중을 견딜 수 있는 바퀴를 선정하였다. 대표적으로 수동 휠체어의 뒷바퀴를 전동식 바퀴로 수정 교체하였다.

3.2.2 의자의 직립구조

등판과 안장이 볼트로 연결되어 있는 의자를 사용하여 등판을 밀어 올리면 안장부분이 동시에 상승하도록 하는 메카니즘을 2장에서 제시한 4 절 링크 구조로 설계하였고 이는 Fig. 5 와 같다. 구동 전의 등판각도는 12~15 도로 앉았을 때 편리함을 느끼는 각도로 하였다. Fig. 5 에서 액추에이터로부터 힘을 받는 1 번 링크는 배터리 위치 공간을 위해 벤딩기를 이용하여 중간 부위를 그림과 같이 80 도로 굽힌 후 다시 -80 도로 굽혔다. 이때 80 도 이상으로 굽히면 리니어 액추에이터를 구동할 때 링크가 휘는 현상이 발생하여 “Z”모양으로 변화한다. 벤딩기를 이용한 작업 후 링크와 리니어 액추에이터를 연결하는 볼트 구멍을 가공한다. 구멍을 먼저 가공하면 굽힘 작업 시 구멍의 형상이 달라져 체결에 문제가 발생하게 된다. 또한 1 번 링크와 2 번 링크를 연결시켜주는 구멍은 1 번 링크의 고정부로 부터 480mm 의 수평거리에 드릴링 머신을 이용하여 가공하였다. 이 거리보다 가깝거나 먼 위치에 가공할 경우 의자의 등판이 뒤쪽으로 젖혀지게 된다. 2 번 링크는 굴곡 부위를 30 도로 하여 리니어 액추에이터 구동 시 굽힘 현상이 일어나지 않게 하였다. 2 번 링크와 등판과의 조인트 연결부는 두개의 구멍이 있는데 위의 구멍은 조인트 역할을 하고 아래 구멍은 볼트를 넣어 등판각도가 일정 각도로 유지하도록 하였다.

3.2.3 구동 모터 및 직립 리니어 액추에이터

전동 휠체어의 무게중심은 구동모터에 연결된 뒷바퀴의 마찰력을 확보하여 슬립(미끄럼) 현상을 줄이되 언덕이나 경사면의 등판 시 전복을 고려하였으며 정지 상태에서 직립을 고려하여 다양한 위치에서의 무게 중심을 고려하여 구동 모터와 이에 필요한 배터리의 위치를 선정하였다.



Fig. 8 Linear Actuator

이에 배터리의 위치는 의자 후면 즉 평상시 운행 시의 무게 중심은 전면에서 2/3 위치이며 직립 시에는 중앙에 무게 중심이 올 수 있도록 제작하였다. 리니어 액추에이터는 Fig. 3 에서의 설계 사양을 고려한 스트로크를 확보하고 제작시의 어려운 문제인 굽힘 부위의 과도한 굴곡 현상을 방지하고 과도한 힘을 발생하여야 하는 문제점을 해결하기 위하여 구동 모터의 기어박스 하단까지 V 자 형태의 파이프를 가공하여 Fig. 4 에서의 설계 사양 40.7 도를 맞추어 제작 하였으며 이는 Fig. 8 에서 보는 바와 같다.

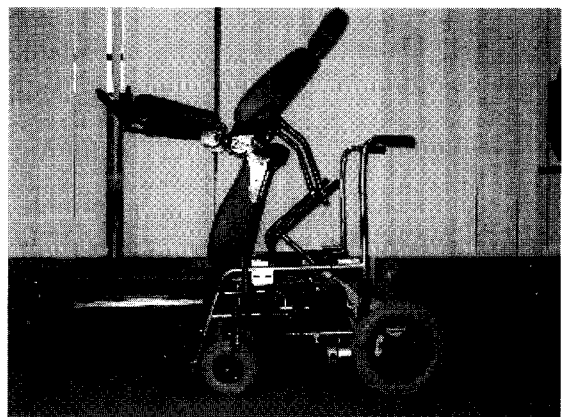


Fig. 9 Side View of Power Standing Wheelchair

위와 같은 주요 작업과정을 거쳐 2 장에서와 같이 설정된 설계요건을 만족하며 Fig. 9 와 Fig. 10 에서 보는 바와 같은 파워 스탠딩 휠체어를 제작 완성하였다.



Fig. 10 Rear View of Power Standing Wheelchair

4. 결론

전동 휠체어의 기본 구동방식에 스탠딩을 할 수 있는 파워 스탠딩 휠체어를 설계, 제작하는 과정에 대하여 역학 및 전기제어 측면에서의 이론적 검토와 이를 바탕으로 시제 모델을 제작 하였다. 이러한 실 모델의 선정과 이론적인 검토 및 실제 장비를 활용한 제작 수행 과정 등에서 나타난 이론 및 시제 제작의 문제발생과 해결과정을 통하여 신개념 파워 스탠딩 휠체어는 움직임과 스탠딩 현상을 일으키는 구동에 있어서 상용화된 제품화에 문제가 없을 것으로 사료된다.

향후 전동 스탠딩 휠체어의 운전 및 직립 구동 제어에 대한 상세한 내용 소개와 또 다른 방식의 개선된 직립 구동 메카니즘에 대한 연구를 수행할 예정이다. 이는 본 논문과 함께 활동 자율성의 확보를 통하여 폭넓은 사회생활을 영위할 수 있는 효율적인 스탠딩 타입의 전동 휠체어가 개발 및 상용화를 위한 실질적인 이론 및 제작 정보 제공이 될 것이다.

참고문헌

1. Winter Green Research Inc., "Worldwide Power Wheelchair, Scooter, and All Terrain Vehicle Market Opportunities, Market forecasts, and Market Strategies," Winter Green Research Inc., 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. Ryu, J. C. and Mun, M. S., "A Novel Mobility Aid for Independent Daily Living of Elderly People," Journal of the KSPE, Vol. 21, No. 1, pp. 26-31, 2004.
5. Korea Health Industry Development Institute, "Research of the Development Strategy of Rehabilitation Device Industry," KHIDI, pp. 1-25, 2001.
6. Korea Institute of Industrial Technology, "Research Plan for the Technology Development of Silver Industry," KITECH, pp. 55-93, 2002.
7. Myszka, D. H., "Machines and Mechanisms: Applied Kinematic Analysis," Prentice-Hall, pp. 4-76, 2002.