

대한기계학회 주선

제10회 전국학생설계경진대회(2020년)

설계 최종 보고서

참가부	고등부 () / 대학부 (V)				
참가분야	공모주제 (V) / 자유주제 ()				
참가팀명	마실(Myway Silver)				
설계제목	실내외 혼용이 가능한 멀티보행기				
지도교수/교사	(소속) 송실대학교 (성명) 김진오 (이메일) jokim@ssu.ac.kr				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	김연수	송실대학교 기계공학부			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	김연수	송실대학교 기계공학부 / 3학년	dustn9423@naver.com
2	정성준	송실대학교 기계공학부 / 3학년	iason04@naver.com
3	조준호	송실대학교 기계공학부 / 3학년	wkdalzhzhdk96@naver.com
4	최재원	송실대학교 기계공학부 / 3학년	cjo0529@naver.com
5			
6			

설계 요약문

참가분야	공모주제 (V) / 자유주제 ()
참가팀명	마실(Myway Silver)
설계제목	실내외 혼용이 가능한 멀티보행기
대표자명	김연수
요약문	<p>1) 설계 배경 및 목적 고령화가 진행되고, 만성질환 환자가 늘어남에 따라 보행기와 휠체어의 수요가 늘어나고 있다. 그에 따른 다양한 제품들이 상용화되고 있지만, 사용범위가 실내 혹은 실외에 국한되고 회전반경이 커 이동 보조가 비효율적이다. 그리고 대중교통 사용을 위해 휠체어 리프트 사용 시 고정이 확실하지 않아 전복사고가 발생할 수 있다.</p> <p>본 발명품은 탈부착 및 호환장치와 전복방지장치를 통해 사용자의 생활 반경을 넓히고, 원활하게 활동하도록 보조하는 것을 설계목적으로 한다.</p> <p>2) 주요 설계 멀티보행기는 실내용 보행기와 전동휠체어로 이루어진다. 전동휠체어에는 보행기를 탈부착할 수 있는 레일과 클립이 장착되어 있다. 전동휠체어의 호환장치와 보행기의 호환용 봉을 통해 현재 상용화되어 있는 보행기를 멀티보행기로 사용할 수 있다.</p> <p>전복방지장치의 경우 전동휠체어 프레임 하단에 전자석을 배치하고, 전동실린더와 4절 2원 링크를 활용하여 휠체어 리프트에 멀티보행기를 고정한다. 떨림이 잦은 리프트 바닥 면에 전자석이 부착되어 전복을 방지할 수 있다.</p> <p>추가로 조향장치와 현가장치를 설계했다. 조향의 경우 휠인 모터의 회전 속도 및 방향을 설정하여 간편한 조작과 제자리 회전이 가능하게 한다. 현가장치의 경우 차량 무게와 고령층의 평균 무게를 설계에 적용하여 거친 노면에서도 편안한 승차감을 가질 수 있도록 한다.</p> <p>3) 기대효과 본 발명품은 단순한 보행보조장치에 머무르는 것이 아니라 의료사업 및 장애우의 복지사업에 활용될 수 있다. 더 나아가 수입에 의존하는 국내 휠체어 시장에서 기반 기술로 활용되어 새로운 시장을 개척하길 기대한다.</p>

실내외 혼용이 가능한 멀티보행기 개발

김연수 · 정성준 · 조준호 · 최재원 · 김진오[†]
송실대학교 기계공학부

Development of a Multi-walker for Using Indoor and Outdoor

Yeon Su Kim, Seong Jun Jeong, Jun Ho Jo, Jae Won Choi, Jin Oh Kim[†]
Department of Mechanical Engineering, Soongsil University

(Received January 1, 2013 ; Revised January 2, 2013 ; Accepted January 3, 2013)

Key Words : aging population(고령화 인구), mobility(이동수단), Electric wheelchair(전동휠체어), compatible device(호환장치), overturning-prevention-device(전복방지장치)

초록: 대한민국이 고령사회에 접어들어 따라 실버 세대를 위한 제품이 많이 연구되고 개발되고 있으나, 상용화된 제품들에는 큰 회전반경, 흔들림, 활동 영역의 제약 등 다양한 문제가 존재한다. 본 발명에서는 여러 가지 기구학적인 설계와 기계적 요소를 통해 이 문제들을 해결하고자 한다. 호환장치와 현가장치가 갖춰진 전동휠체어를 통해 그들에게 편안하고 안정적인 이동을 보장한다. 또한, 전복방지장치를 설계하여 리프트 사용 시 발생할 수 있는 전복사고를 방지한다. 본 발명은 실버 세대의 활동 환경을 개선할 뿐만 아니라 추후 의료 등 다양한 분야에 활용할 수 있는 몇 가지 가능성을 제시한다.

Abstract: Recently, the aging population has been increasing, and many improvements like electric wheelchair have been made in mobility. However, there are many voices complaining of inconvenience such as large turning radius, shaking and moving space limitation. In this work, we tried to solve these problems through various mechanisms and machine elements. Electric wheelchair equipped with compatible device and shock-absorbing-system allow them to feel comfortable and stable. Also to prevent lift accident, overturning-prevention-device is designed. This invention not only improves mobility for senior, but also suggests reusable ideas that can be used in various fields like medical care.

1. 서 론

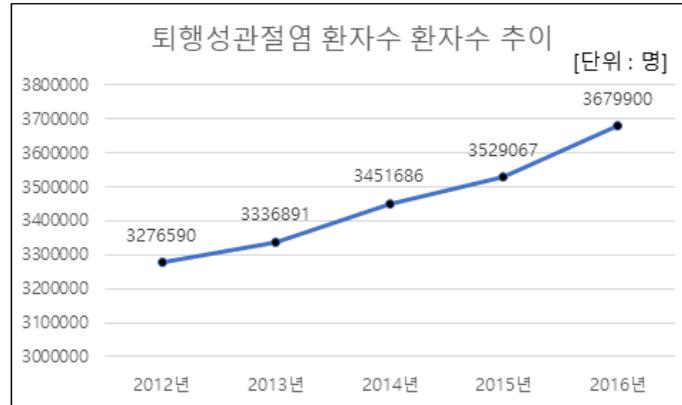
대한민국은 2018년 기준 65세 이상의 인구가 전체의 14%를 넘는 고령사회가 되었다. Fig. 1 (a)에서 볼 수 있듯이 퇴행성관절염과 같은 만성질환을 겪는 고령 환자들이 늘어나 보행에 어려움을 겪는 이가 늘어나는 추세이다. 이런 사회적 변화에 발맞추어 고령층들을 위한 다양한 보행기와 전동휠체어가 상용화되었고 앞으로도 수요가 증가할 것으로 판단된다.^(1~2)

현재 상용화된 제품들은 여러 기능과 함께 고령자들의 보행 및 이동을 도와주지만, 변화하는 장소 및 상황에서 거동이 쉽지 못할 뿐만 아니라 승차감 및 전복사고 등 다양한 문제에 노출되어 있다. Fig. 1 (b)와 같이 한국소비자원에서 조사한 휠체어 안전사고 실태조사에 따르면 휠체어 사고의 원인 중 추락사고는 21.6%, 뒤집힘은 3.4%로 전복사고가 약 25%를 차지한다. 휠체어 리프트는 지하철, 장애인 택시, 요양원 리프트 차량 등 우리 생활 곳곳에서 설치되어 있으나, 안전장치가 부족해 휠체어 낙상사고의 원인

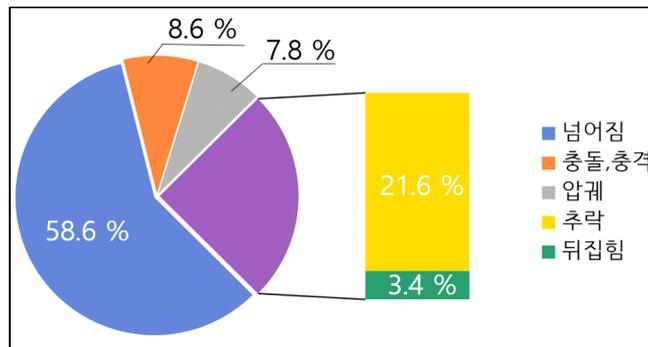
[†] Corresponding Author, jokim@ssu.ac.kr

이 된다.⁽³⁻⁴⁾

따라서 우리는 본 발명을 통해 거동이 불편한 실버 세대에게 자유롭고 안정적인 이동의 혁신을 주도하고자 한다. 실내외 구분 없이 원활한 이동을 가능케 하며 일상생활에서 이동 시 겪는 불편함을 해소하고자 실내외 혼용이 가능한 멀티보행기(이하 멀티보행기)의 설계를 진행하였다. 또한, 전복방지기능을 더해 휠체어 리프트와 휠체어 택시 등 전복사고가 자주 일어날 수 있는 장소에서 안정성을 개선했다.



(a)



(b)

Fig. 1 (a) The number of degenerative arthritis patients by age⁽¹⁾,
(b) Cause of a wheelchair accident⁽⁴⁾

2. 설계 핵심 내용

2.1 설계 문제 정의 및 해결방안

현재 상용화된 보행기와 전동휠체어의 경우 몇 가지 불편사항이 있다. 1) 이동반경이 실내 혹은 실외에 국한된다. 2) 대중교통 이동 시 휠체어와 리프트의 고정이 확실하지 않아 휠체어가 흔들리는 등 사용자는 불안함을 느끼고, 사고를 당할 위험이 있다. 3) 전동휠체어의 크기와 회전반경이 커 일반 보행자와 동행하기에 불편하다. 4) 울퉁불퉁한 노면을 지나가기에는 현가장치가 부족하여 탑승자에게 불편함을 준다. 이런 문제점들에 대한 해결방안은 다음과 같다.⁽⁵⁻⁸⁾

팀 마실에서 설계한 멀티보행기는 Fig. 2에 나타낸 개략도와 같이 실내용 보행기가 탈착이 가능한 실외용 전동휠체어로서 실내외 이동의 제한을 해소한다. 실내에서는 멀티보행기의 실내용 보행기를 사용하고, 실외에서는 보행기를 전동휠체어에 부착하여 사용할 수 있다. 탈부착하는 동안에도 보행자는 보행기의 보조를 받으며 이용할 수 있기에 안정적이다.

대중교통 이용 시 휠체어의 흔들림 및 전복사고를 방지하기 위해 전동휠체어 바닥 면에 전자석을 이용한 안전장치를 고안한다. 이는 지하철 리프트 이용 시에 멀티보행기와 리프트를 안정적으로 고정하여

흔들림을 방지한다. 100kg을 지탱할 수 있도록 설계 및 제작함으로써 전복사고 위험을 줄인다.

실외 주행 시 다른 보행자의 통행을 방해하지 않도록 일반 의자 정도의 작은 크기를 가지고, 뒷바퀴 구동과 앞바퀴의 자유로운 조향을 통해 제자리 회전을 가능하게 한다. 또한, 멀티보행기에 맞는 현가장치를 구성하여 노면의 상관 없이 편안한 이동을 가능하게 한다.

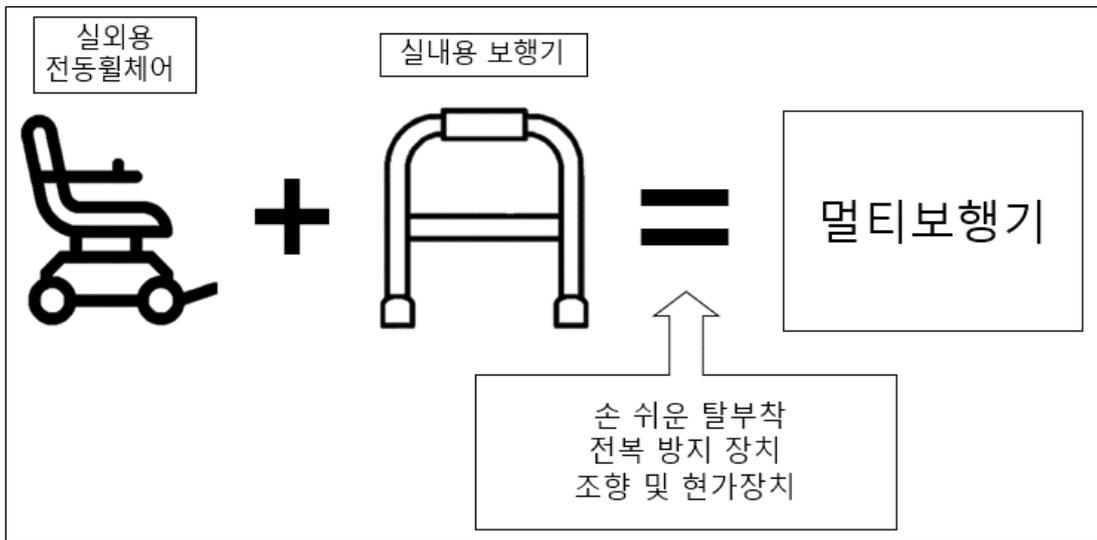


Fig. 2 Schematic diagram of Design direction

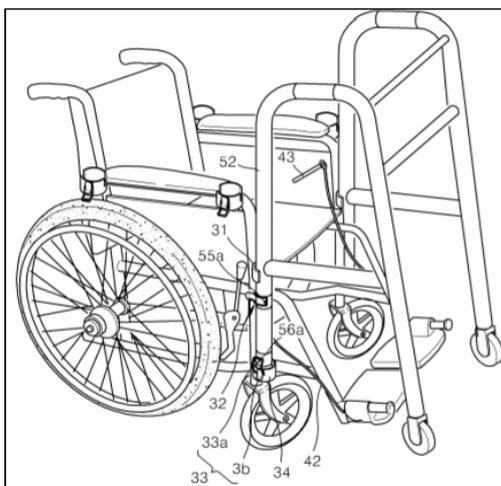


Fig. 3 Wheelchair for reinforcing ability of self-rehabilitation

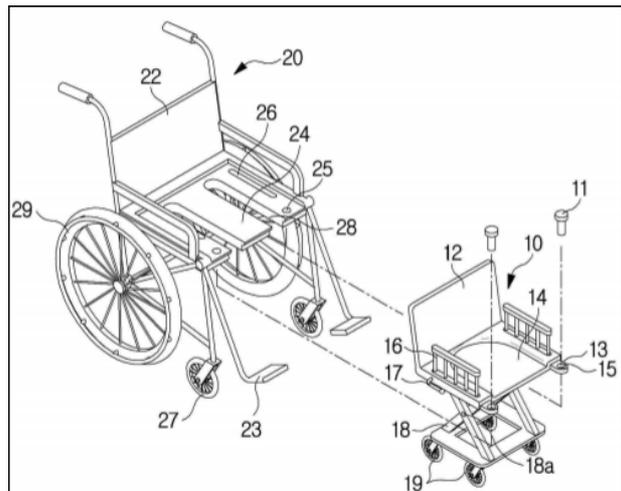


Fig. 4 Wheelchair for indoor-outdoor

2.2 종래 제품 및 특허 분석

2.2.1 사전기술 조사

전동휠체어에 보행기가 결합하는 특허로는 비슷한 유형의 제품이 있다. 하나는 Fig. 3과 같이 휠체어와 보행기가 탈부착 되는 특허로 ‘자활능력 강화용 휠체어’와 ‘보행보조기를 구비한 휠체어’가 있다. 또 다른 하나는 Fig. 4과 같이 실내용, 실외용 휠체어가 탈부착 되는 특허로 ‘실내외 겸용 휠체어’가 있다.⁽⁹⁻¹¹⁾

언급한 특허 경우 모두 장애우와 환자에 중점을 둔 제품으로 실버 세대를 위한 제품으로 보기 힘들고, 동력 시스템이 없어 장시간 이동에는 무리가 있다. Fig. 3의 경우 보행기와 휠체어의 연결부가 벨크

로 방식이라 탈부착 시 사용자가 허리를 숙여 벨크로를 떼어내는 번거로움이 발생한다. 상대적으로 허리를 숙이기 힘든 실버 세대에게 부적합한 제품이다. Fig. 4의 경우 실내와 실외 모두 동행자가 있어야 사용할 수 있기에 실버 세대가 독립적으로 사용하기에는 부담이 된다.⁽¹²⁾

지하철 내의 휠체어 리프트 사용 시 휠체어의 전복을 방지하는 특허로 손잡이 및 펜스와 관련된 특허가 존재한다. 경제적 측면에서는 각 보행기에 전복방지장치를 부착하는 것보다 승강기에 장치를 부착하는 것이 효율적일 수 있으나, 모든 휠체어 리프트에 그러한 장치가 설치되어 있지 않을 뿐만 아니라 리프트와 같은 보조장치가 어디에나 존재하는 것은 아니므로 활용하기 어렵다.⁽¹³⁻¹⁴⁾

2.2.2 차별성 및 회피전략

본 설계에서는 실버 세대를 위한 보행장치에 초점을 맞추어 설계한다. 호환과정이 번거롭고, 사용자의 독립적인 사용이 불가능한 사전기술들의 단점 보완과 차별화를 위해 다음과 같은 설계 지침을 세웠다.

- 1) 멀티보행기와 기존 사용자가 사용하던 타 보행기와 호환을 할 수 있게 한다.
- 2) 전동휠체어에서 보행기를 바로 사용할 수 있도록 탈부착 방식을 간편하게 한다.
- 3) 전자석을 이용한 전복방지장치를 설계하여 안정성을 지닌다.
- 4) 전동휠체어의 회전반경을 최소화하여 제자리 회전이 가능하게끔 한다.
- 5) 전동휠체어의 맞는 현가를 설계하여 불규칙한 노면에서도 편안한 승차감을 지니게끔 한다.



Fig. 5 Combined Multi-Walker

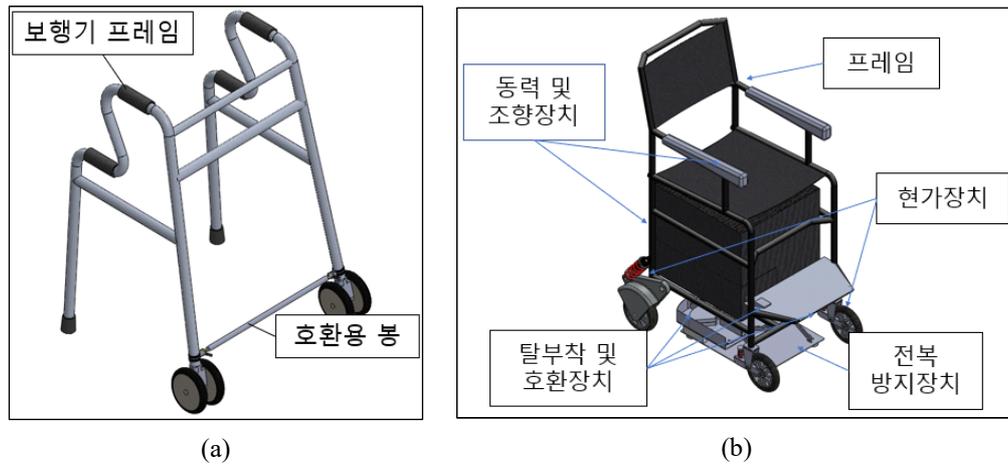


Fig. 6 Detached Multi-Walker's (a) Indoor walker, (b) Outdoor Wheelchair

2.3 설계방법

2.3.1 멀티보행기의 구성

멀티보행기는 Fig. 5와 같이 실내용 보행기와 전동휠체어로 구성된다. 실내용 보행기는 Fig. 6 (a)와 같이 보행기 프레임과 호환용 봉으로 구성된다. 전동휠체어는 Fig. 6 (b)와 같이 프레임, 탈부착 및 호환장치, 전복방지장치, 동력·조향장치, 그리고 현가장치로 구성된다.

2.3.2 실내용 보행기와 호환용 봉

실내용 보행기는 Fig. 5와 같이 전동휠체어에 부착되어 사용된다. 상용화된 보행기들은 치수가 동일하지 않아 Fig. 6 (a)과 같이 호환용 봉을 보행기 하단에 장착하여 멀티보행기로 사용할 수 있다.

호환용 봉의 구조는 Fig. 7 (a)과 같이 P 클립, 로드 앤드 베어링, 호환용 로드로 구성된다. P 클립은 스테인리스판과 덧대진 고무로 인해 압착되며, 체결 시 내경을 조절할 수 있으므로 보행기 다리 부재의 형상과 두께에 큰 제약을 받지 않는다. 더불어 로드 앤드 베어링으로 체결을 하여 보행기 다리 사이 각도에 큰 제약을 받지 않는다. 호환용 로드의 경우 양단을 각각 오른 나사산, 왼 나사산으로 다르게 내어 로드의 축 방향으로 회전 시 폭 조절을 가능하게 한다. 이와 같은 방법으로 Fig.7 (b)에 나타난 것과 같이 보행기에 맞는 크기로 호환용 봉의 길이를 결정하고, 고정한다.

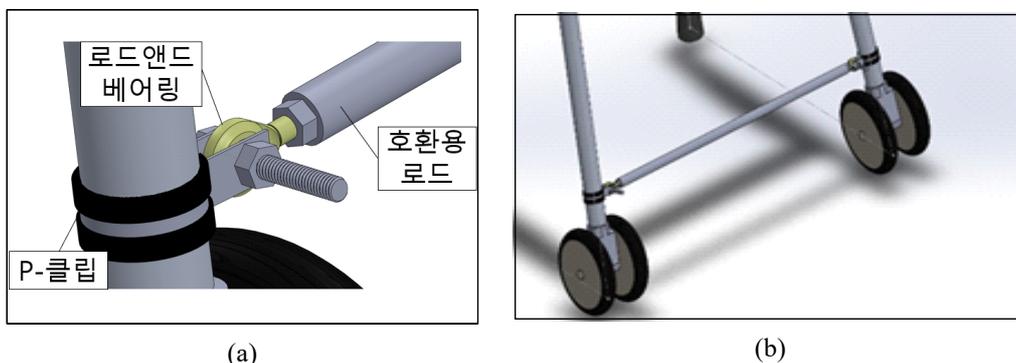


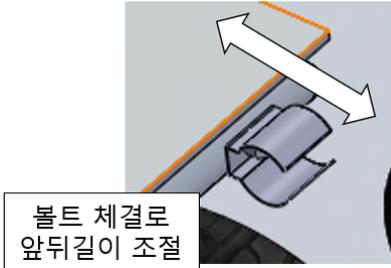
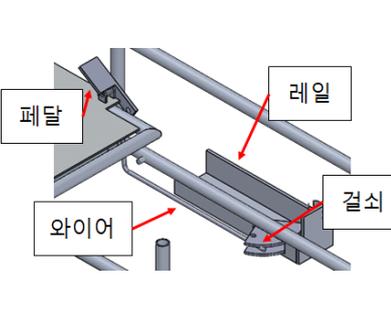
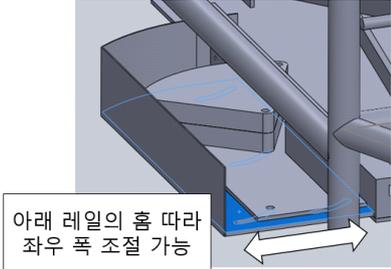
Fig. 7 (a) Schematic diagram, (b) Full diagram of compatibility stick

2.3.3 탈부착 및 호환장치

실내용 보행기를 전동휠체어에 장착하는 장치는 흔들림 없게 고정하는 동시에 탈착이 간편해야 한다. 따라서 Table 1과 같이 3가지 방법을 통해 탈부착과 길이의 호환이 가능하도록 설계했다. 추가로 기존설계의 문제점과 그에 따른 해결방안은 '2.4.1 기존설계의 제약조건 및 해결방안 - 탈부착 및 호환장치'에

서 서술한다.

Table 1 Detachable and compatible device

<p>발판 클립 및 확장</p>		<p>발판 하단에 부착된 클립이 보행기 하단 봉과 체결된다. 다른 보행기의 앞뒤 폭을 호환하기 위해 볼트형식으로 앞뒤로 조절할 수 있다. 클립의 과도한 돌출을 막기 위하여 발판이 프레임보다 살짝 나와 있다.</p>
<p>걸쇠 형식</p>		<p>레일에 부채꼴 모양의 걸쇠가 장착되어 있고, 걸쇠를 조절하는 페달이 전동휠체어 발판 오른쪽에 장착되게 된다. 보행기 결합 시 걸쇠의 빗면 모양에 의해 레일 끝까지 들어가게 되고, 눌러있던 걸쇠는 하단에 부착된 스프링의 복원력으로 인해 복원되어 보행기 다리를 고정하게 된다. 분리 시 걸쇠와 연결된 페달을 밟은 상태로 걸쇠의 잠금을 풀어 밀며 분리한다. 와이어를 통해 페달의 동력을 걸쇠에 전달한다.</p>
<p>레일 확장</p>		<p>전동휠체어 정면 기준으로 레일을 좌우 방향으로 기존 보행기의 폭에 맞춰 늘린 후 볼트로 고정하는 방식이다. 이를 이용하면 실내용 보행기와 기존 보행기 간의 폭 차이를 최대 60mm까지 수용할 수 있게 된다.</p>

2.3.4 전복방지장치

전복방지장치(Fig. 8)는 멀티보행기 사용자가 휠체어용 리프트를 이용할 경우 전자석을 이용해 보행기를 안정적으로 바닥에 고정해주는 장치이다. 전복방지장치의 구성요소는 크게 전동실린더, 암, 테이블과 전자석으로 구성되어 있다. 전동실린더를 바닥과 평행하게 프레임에 고정하고, 스트로크 끝은 환봉을 통해 첫 번째 암과 연결하였고 반대편 암에는 전자석이 달린 테이블에 고정하였다. 두 번째 암은 프레임과 환봉을 연결하였다. 환봉은 전동실린더의 행정 거리 만큼의 레일을 부착한 테이블 위에서 직선운동을 하도록 설계했다.

전복방지장치는 기구학적 설계를 통해 고안됐다. 이 장치는 아래 식 (1)과 같이 Gruebler의 식을 이용하여 전동실린더의 수평 이동으로 테이블의 수직 이동을 제어하는 1 자유도를 가진 장치이다. 이에 맞는 4개의 링크와 4개의 조인트로 이루어지도록 설계했다.⁽¹⁵⁾

$$J = \frac{3}{2}(L-1) - \frac{M}{2} \dots (1)$$

(*J*: 조인트개수, *L*: 링크개수, *M*: 자유도)

Fig. 9와 같이 Grashof slider-crank를 형상화한 4절 2원 링크를 기초로 하여 설계하였다. 구조적 안정

성을 위하여 대칭으로 두 개의 4절 2원 링크를 구축하였고, 프레임과 연결된 암의 길이를 연장하여 테이블에 부착된 레일 위에 놓이게 했다. 전복방지장치의 암 길이와 전동실린더의 위치를 조절하여 전동실린더의 가동행정 거리 50mm로 테이블 수직 이동 거리를 135mm만큼 이동시킬 수 있도록 설계하였다. 또한, 링크와 링크를 연결하는 조인트의 경우 니들 스러스트 베어링을 이용하였다. 설계 초안에 존재했던 문제점과 그에 따른 해결방안은 ‘2.4.2 기존설계의 제약조건 및 해결방안 - 전복방지장치’에서 서술한다.

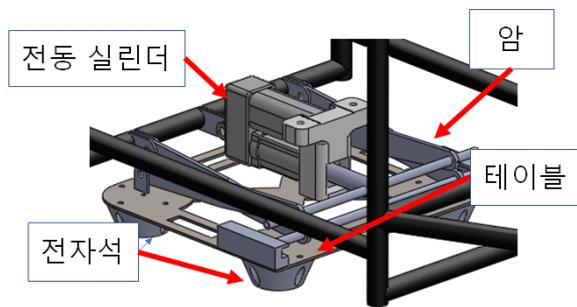


Fig. 8 Overturning prevention device

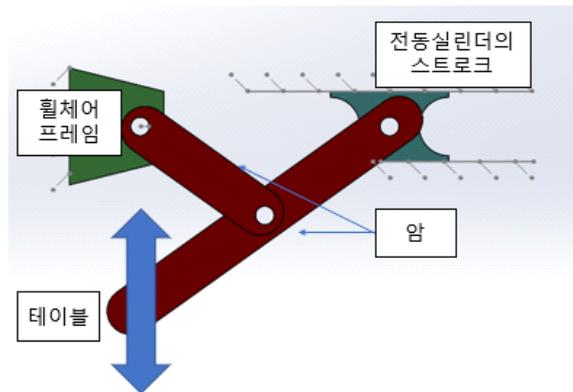


Fig. 9 Mechanism of overturning prevention device

2.3.5 현가장치

노면이 고르지 못한 곳에서의 승차감을 높이기 위해 전동휠체어 각 바퀴에 적절한 현가장치를 설계한다. 앞 캐스터 바퀴에는 스프링을 이용한 완충 캐스터 바퀴를, 뒷바퀴에는 벨 크랭크와 충격흡수기 (Shock absorber)를 이용한다. 벨 크랭크를 통해 현가 파라미터들을 조절하기 쉽게 하고, 뒷바퀴를 전동휠체어보다 뒤로 보내 무게 중심을 잡는 데 큰 도움을 준다. 벨 크랭크 형상 설계 및 현가장치 설계는 ‘2.5.5 재료 선정 및 경제성 분석 - 현가장치’에서 서술한다.

2.3.6 구동 방식

구동 시스템의 개략도는 Fig. 10과 같다. 신호 입력 장치 및 조이스틱을 사용자가 조작하여 연산 장치인 아두이노 모듈로 신호를 입력한다. 따라서 아두이노가 연산한 뒤 릴레이 및 컨트롤러로 출력 신호를 전송한다. 이때 릴레이와 컨트롤러는 아두이노의 저전압 신호를 받아 고전압인 부품을 제어할 수 있게 한다. Fig. 11은 전복방지장치와 주행 장치를 구분하여 나타낸 회로도이다. 버튼으로부터 입력된 신호는 릴레이를 통해 전동실린더와 전자석을 제어하며, 조이스틱으로부터 입력된 신호는 컨트롤러를 통해 모터를 제어하게 된다.

저전압의 전력으로 고전압을 제어하기 위해서 릴레이 및 컨트롤러를 사용한다. 전복방지장치의 부품인 전동실린더 및 전자석의 경우엔 Fig. 11의 나타난 바와 같이 릴레이 1~5를 연결한다. 전동실린더는 양극과 음극이 존재하여 정방향으로 연결하면 수축하고, 역방향으로 연결하면 이완한다. 전복방지작동 버튼을 누르면 릴레이 1, 2를 통해 전동실린더에 전력이 정방향으로 흘러 테이블의 하강이 끝난 뒤 릴레이 5를 통해 전자석에도 전력이 흐른다. 전복방지해제 버튼을 누르면 릴레이 5에서 전력이 차단된 뒤, 릴레이 3, 4를 통해 전동실린더에 전력이 역방향으로 흘러 테이블이 상승한다. 릴레이 1~4가 동시에 작동할 경우 Short-Circuit의 위험이 있으므로 아두이노 연산 장치에서 조건문, 릴레이를 이용하여 합선을 방지한다.⁽¹⁶⁾

주행 장치의 부품인 휠인 모터의 경우엔 Fig. 11에서 나타난 것과 같이 컨트롤러를 연결했다. 조이스틱에서 발생한 X축, Y축 아날로그 신호를 아두이노가 연산한 뒤 컨트롤러의 신호선으로 전달한다. 컨트

롤러는 입력된 신호에 따라 모터로 흐르는 전류를 제어한다. 즉, 사용자는 조이스틱을 통해 전동휠체어의 제자리 회전 및 주행 속도, 선회를 제어할 수 있다. 이와 같은 전체 회로는 KS 허용전류 표를 참고하여 부품들을 구성했으며 Electric Circuit Studio 소프트웨어를 통해 회로의 Short-Circuit 발생 여부를 확인하는 등 안정성을 검토했다. 휠인 모터와 배터리 선정은 '2.5.3 재료 선정 및 경제성 분석 -휠인 모터 선정'과 '2.5.4 배터리 선정'에서 서술한다.

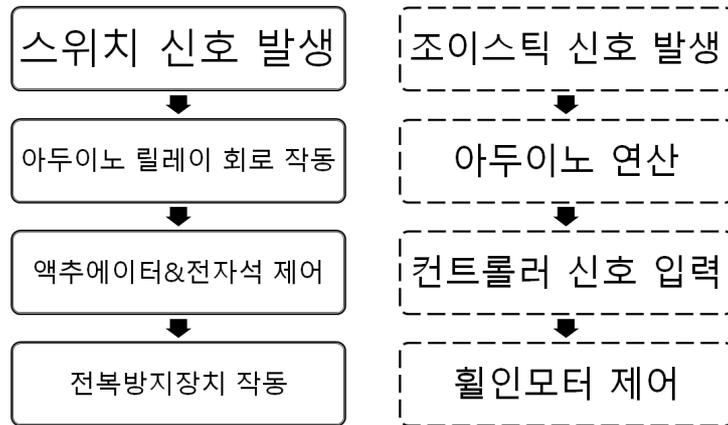


Fig. 10 Schematic diagram for drive system

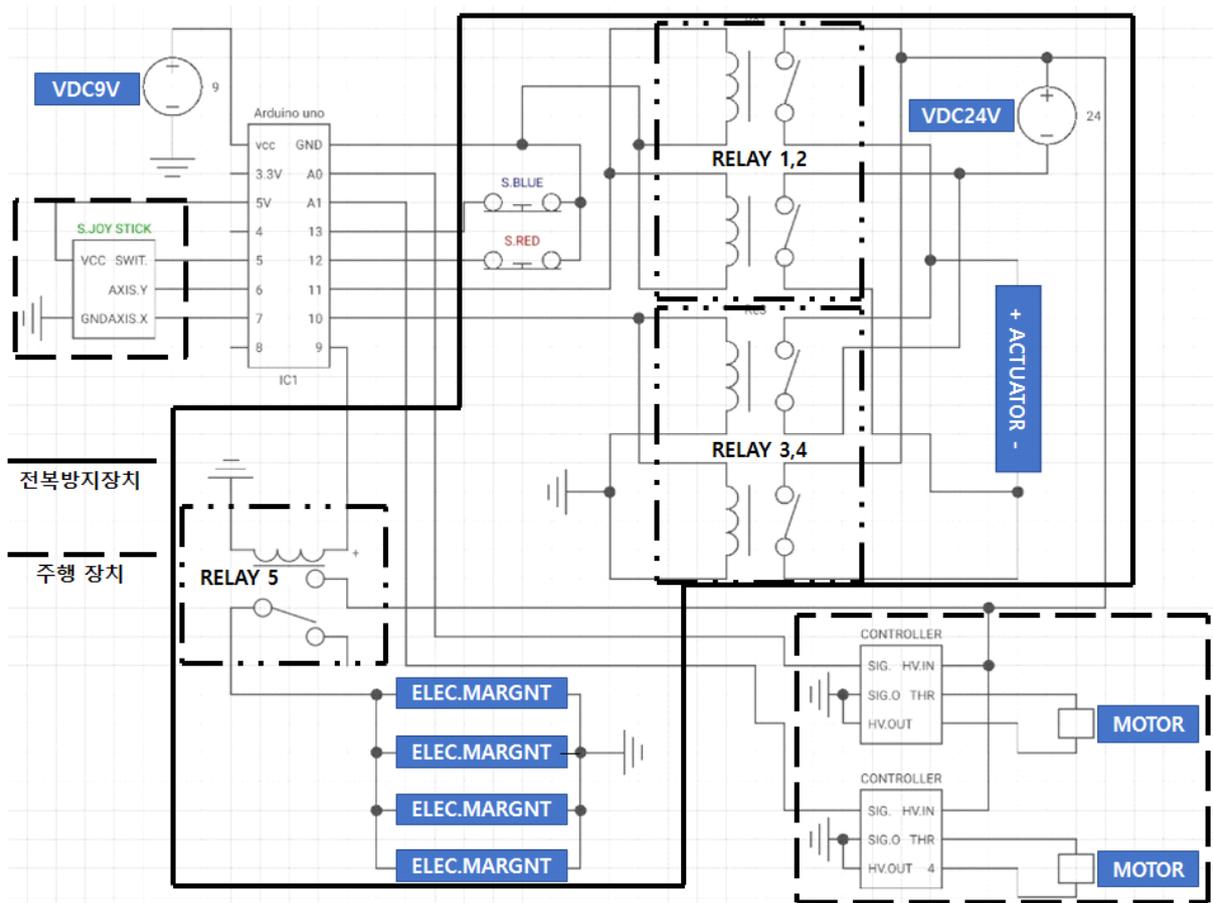


Fig. 11 Circuit diagram for drive system

2.4 기존설계의 제약조건 및 해결방안

2.4.1 탈부착 및 호환장치

기존에 고안한 레일 확장인 경우 Fig. 12(a)와 같이 호환 가능한 길이가 불연속적으로 설계되어 모든 보행기의 폭을 호환할 수 없었다. 이를 해결하기 위해 Fig. 12(b)와 같이 연속적인 호환이 가능하게 설계를 수정했다.

추가로 걸쇠 형식에 채택되었던 Fig. 13 (a)와 같은 링크형식은 연결 로드, 로드 엔드, 벨 크랭크 등 링크에 속해져 있는 부품들이 많고, 무거웠기에 스프링의 복원력으로 보행기를 고정하는 걸쇠 형식에 부적합했다. 이에 Fig. 13(b)와 같이 페달에는 비틀림 스프링을, 걸쇠에는 인장 스프링을 추가하여 빠른 복원이 가능하게 하고, 와이어를 통해 동력을 전달하는 방안으로 설계를 수정했다.

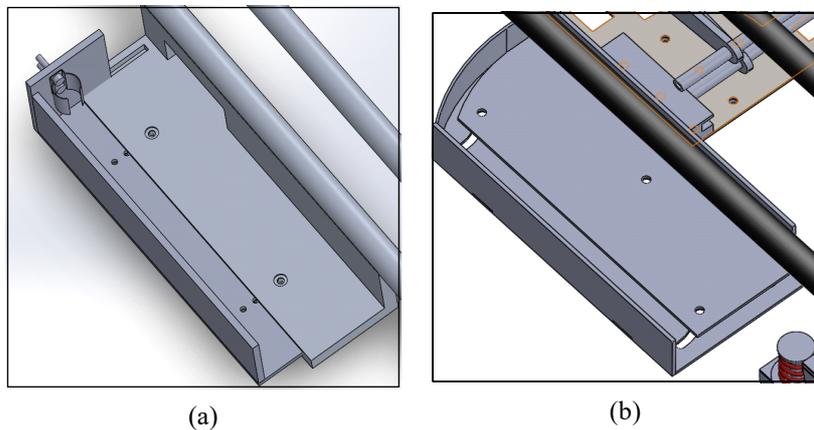


Fig. 12 Compatible rail (a) Before design, (b) After design

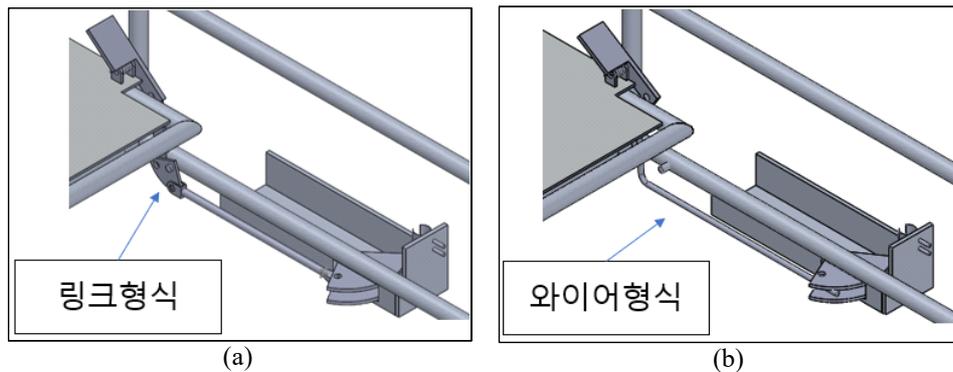


Fig. 13 (a) Link Format, (b) Wire Format

2.4.2 전복방지장치

전동휠체어에 장착된 4개의 서스펜션으로 인해 사용자의 무게와 트렁크에 담는 짐의 무게에 따라 지상고가 달라진다. 이로인해 고정된 행정 거리를 가진 전복방지장치의 오작동이 발생할 수 있다. 따라서 테이블 밑판에 전자석이 바로 부착되지 않고, Fig. 14와 같이 압축스프링과 전자석 하우징을 추가하여 상황에 따라 달라지는 지상고에 대해 전동실린더와 암에 부하를 주지 않고 제 기능이 가능하다.

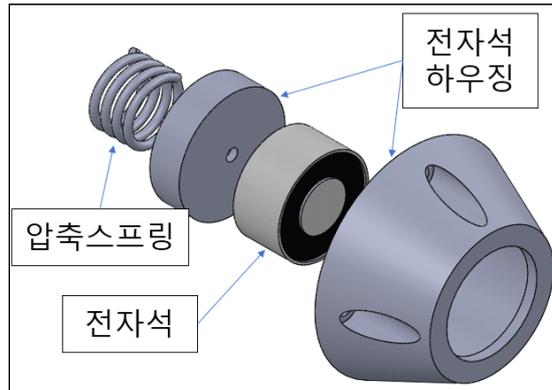


Fig. 14 Decomposition for electromagnet housing

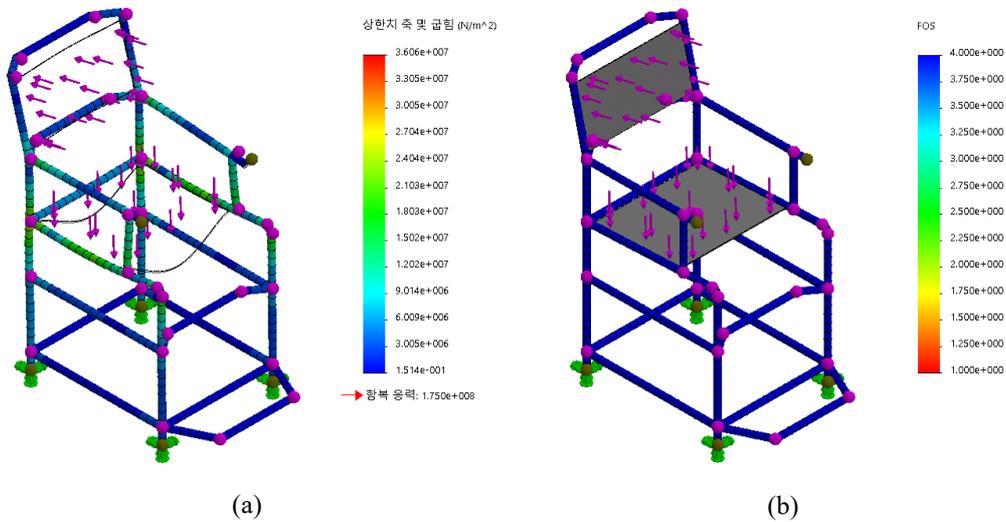


Fig. 15 Selected Pipe (a) Axial stress, (b) F.O.S.

2.5 재료 선정 및 경제성 분석

2.5.1 프레임

실질적인 기능 면으로 보았을 때 산화피막을 형성하는 알루미늄 합금 및 스테인리스강이 적합하지만, 가공이 쉽고, 경제적으로 이점이 있는 일반 구조용 탄소 강관(STK 290)을 전동휠체어의 주재료로 선정했다. 파이프를 선정하기 위해 SolidWorks의 정적해석을 이용하여 프레임 해석을 진행했다. 해석에 사용한 파이프는 외경 22.2mm에 두께가 1.8t와 1.2t인 STK 290이며, 해석을 진행한 후 적절한 파이프를 선정했다. 70kg의 성인이 1m/s^2 의 가속도로 운전하는 상황을 가정하여 해석했다. 사용자가 프레임에 가하는 수직 방향 하중과 수평 방향 하중은 다음과 같다.

$$\text{-수직 방향 하중 : } 9.81\text{m/s}^2 \times 60.0\text{kg} = 587\text{N}$$

$$\text{-수평 방향 하중 : } 1.00\text{m/s}^2 \times 60.0\text{kg} = 60.0\text{N}$$

프레임 다리 바닥 면을 고정 지오메트리로 설정했고, 시트 위치에 각각 수평 방향, 수직 방향 하중을 적용해 해석했다. 결과적으로 1.8t 와 1.2t 모두 응력과 안전계수 모두 허용치를 만족함을 알 수 있었다. F.O.S.(Factor of Safety)가 가장 취약한 프레임 바닥 면의 F.O.S.는 5, 전체적인 프레임의 F.O.S.는 10 이상임을 확인했다. 따라서 가격의 경제성 확보 및 경량화를 위해 22.2mm에 1.2t 일반 구조용 탄소 강관으로

선정하였다. 선정한 22.2에 1.2t 프레임 해석 결과는 Fig. 15이다.

2.5.2 복원 스프링 선정

2.4.1에서 언급한 것처럼 최종 호환장치에는 비틀림 스프링, 인장 스프링 총 2가지 스프링이 사용된다. 비틀림 스프링의 경우 다음과 같은 파라미터를 통해 스프링 상수를 선정한다. 페달에 가하는 하중은 0.25kg이라 가정하고, 스프링 강성을 다음과 같이 구할 수 있다.⁽¹⁷⁾

변형될 스프링 각도: $\theta' = 25^\circ = 0.436\text{rad}$ (예상 설계 각)

페달에 가하는 하중 $F = 0.25 \times 9.81 = 2.45\text{N}$

하중의 작용점과 용수철 간의 길이: $L = 0.08\text{m}$

스프링에 저장된 복원력: $FL \leq \theta' k_b$

$$\text{최소 스프링 상수: } k_b = \frac{FL}{\theta'} = \frac{2.45 \times 0.08}{0.436} = 0.450\text{N}\cdot\text{m}$$

이에 비틀림 스프링 상수의 공식을 사용하여 비틀림 스프링 상수가 0.450N·m 이상인 스프링을 사용해야 한다. 선정한 스프링은 다음과 같다.

스프링강의 종탄성계수 : $E = 206 \times 10^9 \text{N/m}^2$

선경 : $d = 1.600 \times 10^{-3}\text{m}$

중심경 : $D = 0.01\text{m}$

유효 감긴 수 : $N = 4.25$

$$\text{선정한 스프링 상수 : } k_b = \frac{Ed^4}{64DN} = \frac{206 \times 10^9 \times (1.600 \times 10^{-3})^4}{64 \times 0.01 \times 4.25} = 0.496\text{N/m}$$

2.5.3 회전 모터 선정

우선 조이스틱을 이용한 제어를 하기로 함에 있어 AC와 DC 중 기동 토크, 반응성이 우수하고 제어가 비교적 쉬운 DC 모터를 사용한다. 안정성 및 소음문제가 존재하는 DC 모터를 보완하기 위해 BLDC 모터를 사용한다.⁽¹⁸⁾

전동휠체어의 경우 경사가 있는 조건에서도 중력을 극복하여 가속할 수 있는 비교적 높은 기동 토크를 갖고 있어야 한다. 기동 토크는 전동휠체어의 국제 최고 보행속도인 1m/s, 도달시간은 2초로 가정하여 계산했다. 추가로 안정적인 구동 토크를 쉽게 고려하기 위해 총중량은 200kg, 각 모터에 인가되는 중량은 각각 100kg으로 적용했다. 기동 토크의 계산은 다음과 같다.

$$T_m = T_a + T_f \quad (T_m: \text{기동 토크}, T_a: \text{가속 토크}, T_f: \text{마찰 토크})$$

$$T_a = \frac{J}{g} \times \frac{2\pi f}{t} = \frac{WD^2}{8g} \times \frac{V_{\text{동속}}}{Dt} = \frac{100 \times 15.24^2}{8 \times 980} \times \frac{2 \times 100}{15.24 \times 2} = 19.4$$

$$T_f = \frac{\mu WD}{4} = 0.1 \times 100 \times \frac{15.24}{4} = 38.1$$

$$T_m = 19.4 + 38.1 = 57.5\text{kg} \cdot \text{cm}$$

(J : 부하관성모멘트, f : 등속회전속도, μ : 마찰계수(통상 0.1), D : 동륜직경, t : 가속시간, W : 총중량)

이에 기동 토크가 57.5kg·cm 이상인 회전 모터를 선정했다.

2.5.4 배터리 선정

동력원의 경우, 리튬이온 L18650 전지를 이용했다. 공칭전압은 3.7V이며, 전기용량은 2600mAh (=2.6Ah)인 제품을 사용할 예정이다. 모터의 경우 정격전압 24V, 180W의 모터를 사용할 경우 아래 식 (2)에 의해 동력원의 성능이 결정된다.⁽¹⁷⁾

$$W = V \times A \quad \dots (2)$$

배터리 공칭전압: $V = (\text{전지 공칭 전압}) \times (\text{직렬 수}) (A)$

전기용량: $Q = (\text{전지 전기 용량}) \times (\text{병렬수}) (Ah)$

모터 소비 전력: $P = \frac{\text{출력}}{\text{효율}} (W)$

방전시간: $T = \frac{Q}{P/24} (\text{Hour})$

정격전압보다 약 10% 높은 동력원의 공칭전압이 요구되기 때문에 동력원은 7 직렬 (7s)로 구성되어야 한다. 최소 4시간의 여유로운 항속시간을 보장하기 위해 $T = 4h$, $P = 180W$, 효율 90%로 계산했다.

$$Q = T \times \frac{P}{24} = 4 \times \frac{180/0.9}{24} = 33.3 (Ah)$$

즉 전기용량은 33.3Ah 이상 필요하므로, 13 병렬(13p)이 필요하게 된다. 물론, 4시간 동안 동력원의 동력을 모두 사용할 일은 없으나, 원하는 항속거리에 따라 동력원을 선정할 수 있다.

2.5.5 현가장치

설계 프로그램을 통해 전동휠체어의 부분 무게를 예측하고, 실제로 제작하며 각 부분의 무게를 측정했다. 이를 기반으로 앞뒤 현가장치를 설계했다. 실내용 보행기의 재질을 알루미늄(AL6061)으로 설정한 설계 무게는 2.30kg이다. 전동휠체어는 ‘일반 구조용 강관(STK 290)’의 재질로 설계하였고, 현가 상 질량은 20.9kg, 현가 하 질량은 14.89kg이다. 따라서 사용자를 포함하지 않은 무게는 총 35.8kg으로 설계되었다. 사용자의 몸무게는 실버 세대 평균 몸무게에 대한 통계자료를 근거로 60.0kg으로 설정했다. 따라서 사용자가 보행기를 부착한 후 탑승하면 총 무게는 95.8kg이 된다. 이중 현가 상 질량은 80.9kg이 된다.

현가장치의 경우 사람이 불편함을 느끼는 고유 진동수에 대해 회피 설계를 했다. 일반적으로 사람이 느끼는 편안하고 안정적인 승차감을 위해 현가 상 고유 진동수를 2~2.5Hz로 목표를 잡았다. 앞 캐스터 바퀴의 현가장치(Fig. 16 (a))와 뒤 전동 휠 바퀴(Fig. 16 (b))의 현가장치는 회전축과 바퀴 중심까지의 거리와 회전축과 현가장치의 작용점까지의 거리 비율로 설계했다. 앞 캐스터 바퀴는 5N/mm의 강성을 가지는 스프링을 사용하고 4번과 5번의 길이 비가 1:1.32로 설계했다. 뒤 전동 휠 바퀴는 7N/mm의 강성을 가지는 스프링을 사용하고 1번과 2번의 길이 비가 1:1.23로 설계하였다. 설계 검토를 통해 구한 앞바퀴와 뒷바퀴의 무게 배분은 대략 40 대 60이다. 이는 하나의 앞 캐스터 바퀴의 현가 상 질량은 16.18kg(158.7N)이며, 하나의 뒤 전동 휠 바퀴의 현가 상 질량은 24.3kg(238N)이다. 현가 상 고유 진동수는 아래 식(3)을 이용하여 앞 캐스터 바퀴와 뒤 전동 휠 바퀴의 고유 진동수를 계산했다.⁽¹⁹⁾

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_s}} \dots (3)$$

(f_s : 현가상고유진동수, k : 스프링상수, m_s : 현가상질량)

① 앞 캐스터 바퀴(f_{sf} : 전륜 현가 상 고유진동수)

$$k_t = \frac{1}{1.32}k = 0.758(5\text{N/mm}) = 3.79\text{N/mm}$$

$$f_{sf} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_t}{m_s}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3.79 \times 10^3 \text{N/m}}{16.18 \text{kg}}} = 2.44\text{Hz}$$

② 뒤 전동 휠 바퀴(f_{sr} : 후륜 현가 상 고유진동수)

$$k_t = \frac{1}{1.23}k = 0.813(7\text{N/mm}) = 5.69\text{N/mm}$$

$$f_{sr} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_t}{m_s}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{5.69 \times 10^3 \text{N/m}}{24.3 \text{kg}}} = 2.44\text{Hz}$$

앞 캐스터 바퀴의 경우 사람이 느끼게 되는 현가 상 고유 진동수는 2.44Hz가 된다. 뒤 전동 바퀴의 경우 사람이 탑승하여 238.0N이 가해지면 바퀴는 총 41.8mm 압축하게 되며, 사람이 느끼게 되는 현가 상 고유 진동수는 2.44Hz가 된다. 앞과 뒤의 현가 상 고유 진동수가 같으므로 바닥에서 충격이 있을 때 전동휠체어의 앞뒤 출렁임이 지속할 우려가 있지만, 뒤 현가에는 일체형 유압식 충격 완화기(damper)가 있으므로 이러한 지속적인 출렁임을 피할 수 있다.

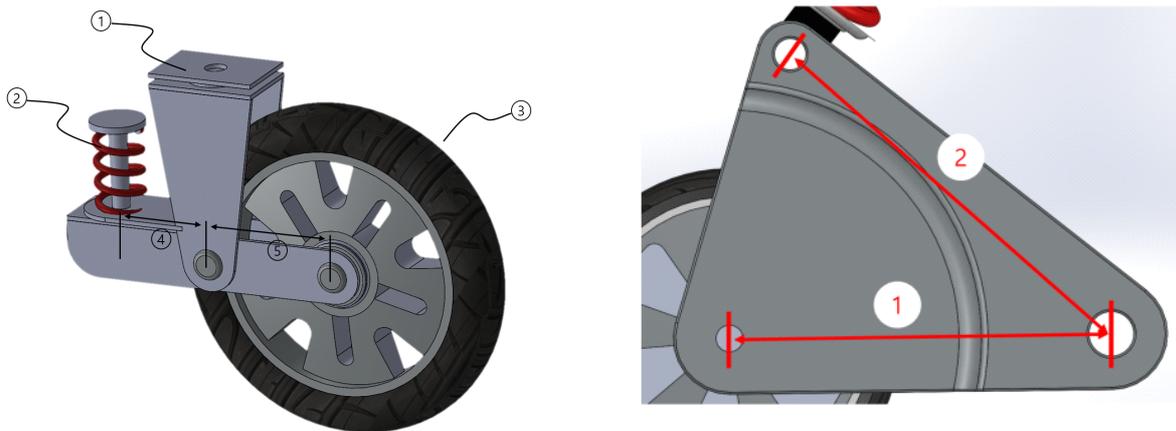


Fig. 16 Schematic diagram of (a) Front caster wheel, (b) Rear electric wheel

2.5.6 경제성 분석

멀티보행기의 주요 재료는 일반 구조용 탄소강관(STK 290), 기계구조용 탄소강(S45C), PLA이다. 사용자 및 전체적인 부품들이 장착되는 프레임의 재질로는 STK 290을 선정했다. 호환용 레일, 전복방지장치, 현가의 벨 크랭크의 재질로는 S45C를 선정하였고, 직접 사용자에게 닿는 나머지 부품들의 재질은 PLA로 선정했다. 멀티보행기 한 대를 제작하는데 필요한 재료의 가격을 아래 Table 2에 나타냈다.

Table 2 Cost of materials

Material	Weight (kg)	Amount per unit mass (₩/kg)	Cost (₩)	Notes
STK 290	5.0	4,400	22,000	
S45C	6.2	16,500	102,080	including Processing Cost
PLA	1.5	29,700	44,550	-
Shock absorber	2.3	14,960	34,402	-
Wheel-in-Motor	3.9	19,840	77,374	-
Caster Wheel	10.0	6,400	64,000	-
Electric System	5.0	34,300	171,548	Battery, Controller, BMS, Arduino, Relay
Actuator	1.1	58,500	64,350	-
			=508,304	

3. 결과 및 토의

3.1 최종 결과물

3.1.1 탈부착 및 호환장치

멀티보행기의 전동휠체어 제작에 앞서, 용접 열 변형을 최소화하는 지그를 제작해야 했다. 이에 Fig. 17과 같이 5t 강판, 알루미늄 프로파일과 C-클램프를 사용한 지그를 제작하여 프레임을 완성했다. Fig. 18 (a)는 탈부착 및 호환장치에 의해 보행기가 완성된 전동휠체어에 장착된 것을 보여준다. 클립 고정과 호환 레일에 의해 보행기는 안정적으로 고정된다. Fig. 18 (b)에 나타난 것처럼 걸쇠 자체에 인장 스프링을 설치하여 복원력을 높였다. 발판에 부착된 페달을 밟음으로써 와이어가 걸쇠를 당겨 보행기가 레일 위로 움직일 수 있게 되고, 이에 따라 보행기를 탈착할 수 있다.

3.1.2 전복방지장치

Fig. 19는 전복방지장치의 작동을 보여준다. Fig. 19 (a)와 같이 빨간색 버튼을 눌러 전복방지장치의 테이블이 지면을 향해 하강하고 전자석이 작동하여 휠체어의 흔들림 및 전복을 방지한다. Fig. 19 (b)와 같이 파란색 버튼을 눌러 전자석에 흐르는 전류가 먼저 차단되고 테이블이 본래의 위치로 상승한다. 테이블의 작동 거리보다 지상고가 낮아 전자석이 눌릴 때 본래의 설계대로 스프링이 압축되어 고정됨을 확인했다.

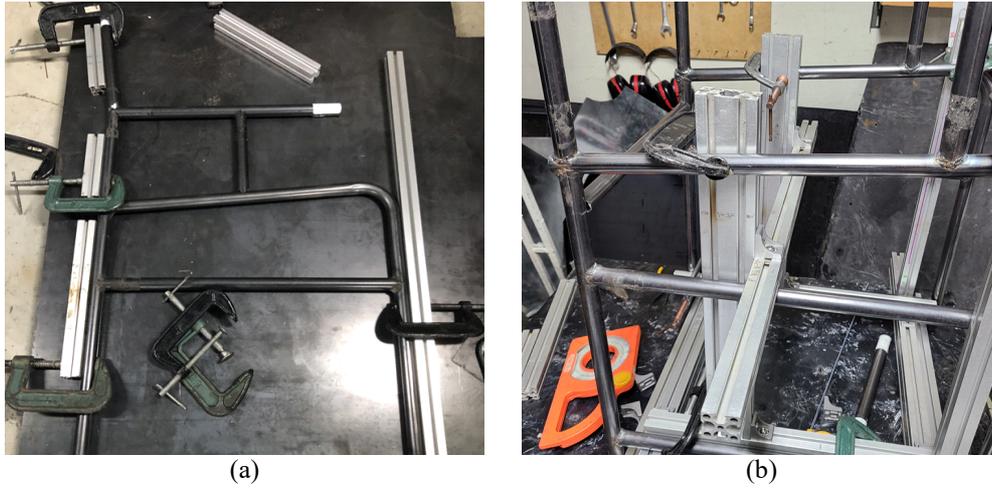


Fig. 17 Aluminium profile jig for pipe welding

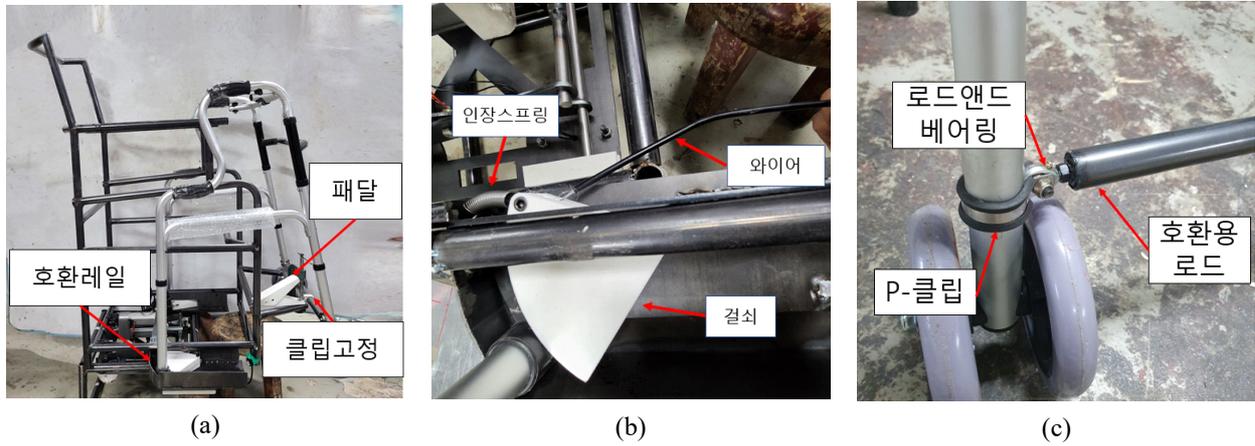


Fig. 18 Prototype of detachable and compatible device (a) full diagram, (b) detail, (c) compatibility rod

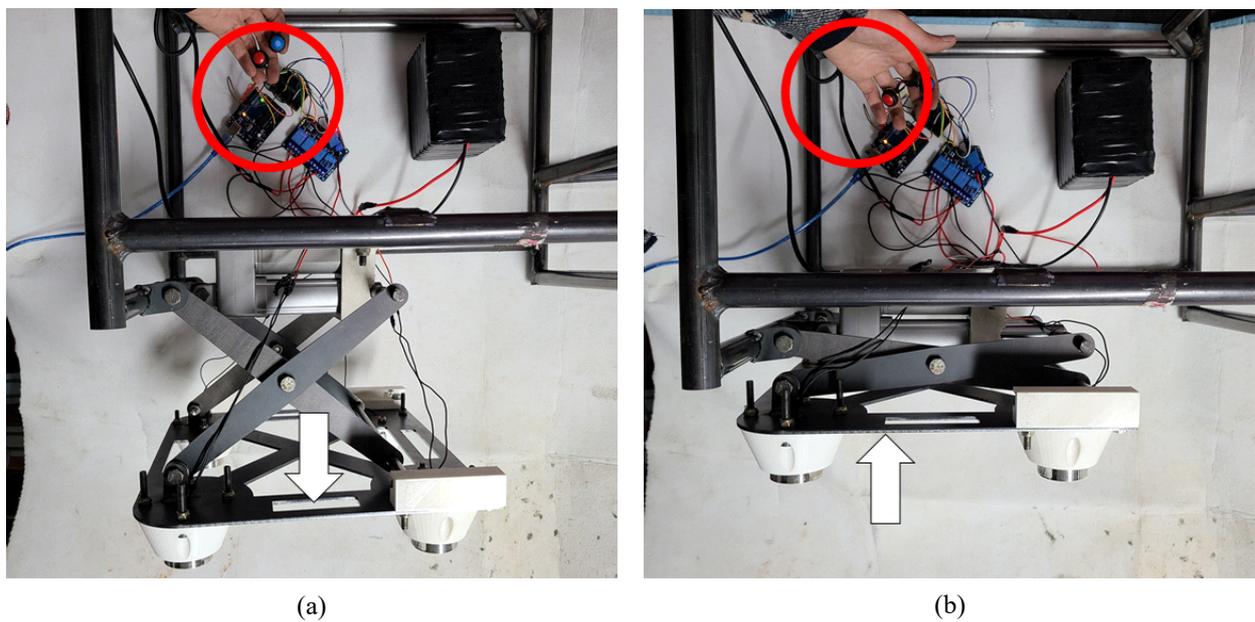


Fig. 19 Prototype of overturning prevention device (a) Down, (b) Up

3.1.3 배터리

배터리의 경우 점용접 및 납땀이 아닌 소켓의 기계적 체결로 안전하게 제작했다. 이때 L18650 리튬이온전지로 구성된 7s13p 배터리 팩을 구성해야 실제 전동휠체어의 항속거리를 가질 수 있지만, 본 발명품의 시연에서 최대 항속거리를 구현하는 것은 비효율적이라고 판단하여 정격전압 22.2V, 최대 배터리 용량 12.5Ah, 소켓의 최대전류 35A의 6s5p 배터리팩을 구성했다. 배터리의 용량표시기와 BMS의 작동을 확인해보았고, (fig. 11)회로도의 전원으로써 연결했을 때 정상적인 구동을 확인했다. 마지막으로, Fig. 20에서 보이는 것과 같이 Short-Circuit을 방지하기 위해 배터리 팩과 전극을 캡톤테이프와 전기테이프, 수축튜브를 통해 절연하였다.

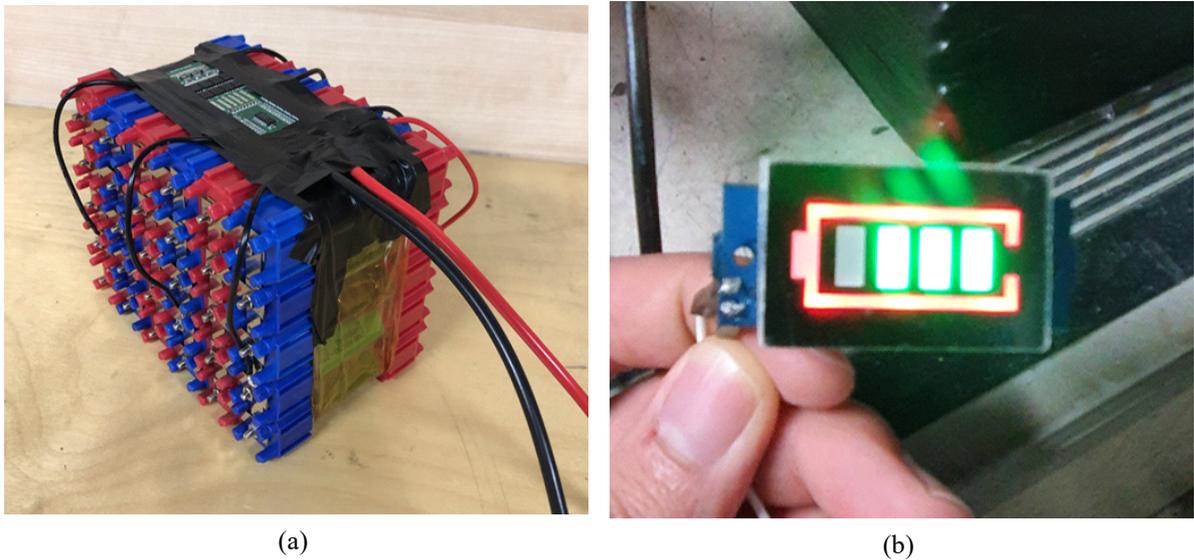
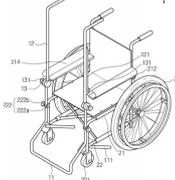
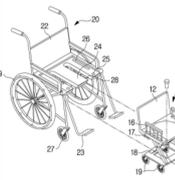


Fig. 20 (a) Battery, (b) Battery residual quantity

3.2 기존 기술과 멀티보행기 비교

실질적인 설계 제작 이후 기존 기술과 멀티보행기를 비교해보았다. 비교 결과는 Table 3과 같다.

Table 3 comparison of conventional technologies and multi-walkers

특허번호	2020060014130	1020120085274	1020180118698	멀티보행기
사진				
비교	실내외 호환이 가능한가?	O	X	O
	상용화된 보행기(휠체어)와 호환을 할 수 있는가?	X	X	X
	전복 방지장치가 있는가?	X	X	X
	현가장치가 있는가?	X	X	X
	접이식인가?	O	O	X

3.2 발명의 의의 및 장단점

멀티보행기는 사용자의 이동반경을 넓혀 독립적이고, 자유로운 이동을 보장하는 것에 의의를 지닌다. 멀티보행기의 장점은 다음과 같다.

- 1) 실내외 공간의 제약을 허물었다. 기존 휠체어와 보행기는 실내외 호환이 불가능해 이동에 제약이 있었다. 멀티보행기는 실내용 보행기의 간편한 탈부착 기능을 통해 두 공간을 호환할 수 있는 차별성을 지닌다.
- 2) 상용화된 보행기와 호환이 된다. 기존 특허의 경우 부착하는 보행기의 크기가 호환되지 않지만, 멀티보행기는 앞뒤, 좌우 폭의 길이를 조절할 수 있는 호환 설계를 통해 사용자가 기존에 사용하고 있던 보행기를 사용할 수 있는 편의성을 지닌다.
- 3) 사고 위험률 및 불안감을 감소시킨다. 떨림이 잦아 사고의 위험이 있고, 불안정한 지하철 휠체어 리프트의 단점을 보완하기 위해 리프트와 멀티보행기를 고정하는 전복방지장치를 설계하여 사용자의 안전을 보장한다.
- 4) 본 전동휠체어의 작은 크기와 좁은 조향 반경을 통해 일반 도보 보행자와의 동행을 가능하게 한다. 또한, 보행기가 가지는 현가장치를 통해 보도블록 등 불규칙한 노면에서의 편안함을 보장한다.

단점은 다음과 같다.

- 1) 실버 세대에게 경제적 부담을 줄이고 불필요한 소비를 방지하기 위해 시중에 출시한 대부분 보행기가 멀티보행기와 호환될 수 있게 제작하였다. 그 결과 사용자가 앉게 되는 실외용 전동휠체어의 폭이 좁아지는 단점이 발생한다. 이는 팔걸이에 대한 형상을 변경하면 해결할 수 있을 것으로 보인다.

2) 편안하고 안전한 이동을 위해 멀티보행기의 전체 무게를 기존의 전동휠체어보다 가볍게 설계하고 제작하였다. 가볍게 설계하기 위해 동력원으로 납축 배터리가 아닌 리튬이온 배터리를 사용했고, 경량화에 성공하였다. 그 결과 사용자 탑승 후 전체 무게에서 사용자의 무게 비율이 높아졌고, 현가를 설계하며 사용자의 무게가 크게 변하면 현가장치의 특성도 조금 달라질 수 있다.

3.3 발명의 기대효과

앞서 서론에서 언급한 것과 같이 사용자는 멀티보행기의 탈부착 및 호환장치, 전복방지장치를 통해 자유롭고, 안전한 이동이 가능하므로 기존 실버 제품보다 활용성이 높다. 발명품의 주요 기능에 대한 추가적인 활용 방향 및 기대 효과를 분석하고, 예측하였다.

우선 다른 의료기기와 함께 사용되어 의료산업에 활용될 수 있다. 전동휠체어의 탈부착 기능을 실내용 보행기에 국한하는 것이 아니라 기존 의료기관에서 사용하던 링거, 재활기구와 같은 의료기기 등 다른 분야에 호환하여 활용할 수 있다. 이를 통해 단순히 보행을 보조하는 장치가 아닌 재활을 돕는 기구로써 많은 사용자의 요구를 충족하며 의료사업에 사용될 수 있다.

또한, 리프트 택시, 저상버스 등 증가하고 있는 복지산업에 활용할 수 있다. 현재 사용에 불편함이 많은 지하철 리프트 대신 엘리베이터를 설치하고 저상버스를 도입하는 등 장애우들의 이동권을 보장하기 위해 대중교통이 변화하고 있다. 하지만 지하철 역사의 지반 상의 문제, 재정적인 문제로 인해 리프트를 사용해야 하는 역이 존재하고, 휠체어를 안정적으로 수용하는 장치가 구비된 교통수단은 여전히 대중적이지 않고, 구비된 경우라도 Fig 21처럼 벨트형식이기 때문에 다른사람의 도움없이 이용이 제한적이다. 제약이 있던 기존 휠체어 고정방식이 아닌 새로운 고정방식을 제안함으로써 안전한 대중교통 이용을 보장하고, 이를 통해 대중교통 발전에 시너지 효과를 기대할 수 있다.⁽²⁰⁾

마지막으로, 인터넷이 발달함에 따라 고령층의 온라인 쇼핑이 부상하며 휠체어와 같은 보조 보행기의 소비 또한 늘어나고 있다. 하지만 현재 유통되는 휠체어 대부분은 일본과 중국에서 제조되어 수입을 통해 판매된다. 멀티보행기의 독자적인 기능을 활용함으로써 경쟁성을 지니며, 최적 설계와 원가 절감을 통해 경제성을 가지고 시장에 진출 할 수 있다.^(21, 22)



Fig. 21 A method of actually fixing

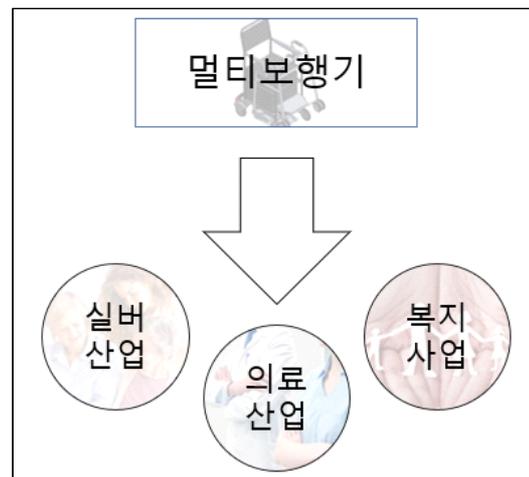


Fig. 22 Expectation effectiveness

4. 결 론

현재 상용화된 보행기와 휠체어는 변화하는 장소 및 상황에서 거동이 쉽지 못할 뿐만 아니라 흔들림 및 전복사고 등 다양한 문제에 노출되어 있다. 이를 해결하기 위해 마실은 실내외 호환이 가능하며 전복을 방지할 수 있는 멀티보행기를 발명했다. 본 발명품을 통해 휠체어 관련 기계에 활용할 수 있는 다양한 기구학적 요소 및 기구학적 설계를 기록하였다. 추후 이를 통해 관련 기계의 기반 기술이 되기를 기대한다.

멀티보행기 사용 시 실내외 공간 제약을 해소하기 위해서는 실외용 전동휠체어와 실내용 보행기의 탈부착이 원터치 방식으로 간편해야 한다. 따라서 전동휠체어 양쪽 하단에 인장 스프링과 걸쇠를 설치하고, 발판 하단에 클립을 설계하여 보행기 부착 시 단순히 밀어 넣는 것만으로도 고정할 수 있다. 탈착 시에는 발판에 부착된 페달을 밟아 걸쇠 잠금을 해제하고, 보행기를 밟으로써 분리된다. 추가로 설계 시 레일의 좌우 폭과 클립의 앞뒤 길이 조절이 가능하게 설계를 하고, 보행기 하단에 부착하는 호환용 봉을 설계함으로써 사용자가 기존에 사용 중이던 보행기를 사용할 수 있다. 이로써 상용화된 보행기를 사용하는 호환성을 지니며 기존의 제품과는 다른 독창성을 지닌다.

휠체어 리프트 사용 시에 전복사고를 방지하기 위해서 멀티보행기를 리프트와 확실히 고정해줄 장치가 필요하다. 이에 Fig. 8과 같은 전복방지장치를 설계했다. 보행기가 전복되는 상황을 가정하였을 때 테이블에 부착된 전자석과 넘어지는 방향의 두 개의 바퀴가 현가 상 질량 약 100kg을 견뎌야 안전하다. 따라서 개당 25kgf의 전기적 인력을 가지는 전자석 4개를 테이블 모서리에 부착하여 전복사고를 방지할 수 있도록 설계하였다.

결과적으로 마실은 거동이 불편한 실버 세대를 위해 실내외 경계를 허물고, 대중교통 사용 시 발생하는 위험요소를 제거하여 사용자의 이동범위를 확대하는 멀티보행기를 설계, 제작했다. 이는 실버산업용 목표로 설계하였으나, 활용에 따라 의료산업, 장애우 복지산업으로 활용될 수 있는 방향성이 다양할 것으로 기대한다. 단순히 ‘멀티보행기’가 실버 세대의 이동범위만 확대하는 것이 아닌 생활 반경 확대에 따른 경제생활 활성화, 실버 세대의 독립과 사회적 교류 활성화를 기대한다.

후 기

재료를 지원해준 숭실대학교 기계공학부와 장소 및 도구를 지원해준 자작 자동차 연구회 SSARA에게 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 건강보험심사평가원. 2016. 생활 속 질병통계 100선.
- 2) 유기상. 1997. 21세기 최대의 황금시장 실버산업을 잡아라.
- 3) 소비자안전국생활안전팀. 2011. 휠체어 안전사고 실태 조사.
- 4) 김형수. 1996. 장애노인의 현황과 정책 과제. 보건복지포럼 2호.
- 5) 이진현, 이수철, 김동욱, 이근민. 2009. 장애인의 차량 탑승시 휠체어 수납에 대한 만족도 조사. 한국 재활복지공학회 학술대회 논문집, P31-33.
- 6) D. J. Jang, Y. C. Kim, S. K. Kim, M. S. Mun, J. C. Park. 2016. Study on dynamic tip-over analysis of foldable electric wheelchair. *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, Vol.10, No.2, pp.133-139.
- 7) Y. P. Kim, H. J. Ham, S. H. Hong, S. C. Ko. 2019. “Design of indoor electric moving and lifting wheelchair with minimum rotation radius and obstacle overcoming”. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.20, No.10, pp.415-424.

- 8) Yasmin Garcia-Mendez, Jonathan L. Pearlman, Michael L. Boninger,³ and Rory A. Cooper³. 2013. Health risks of vibration exposure to wheelchair users in the community.
- 9) 강건희, 2006, 특허등록 제 20-0423562, the Korean Intellectual Property Office
- 10) 이은주, 2012, 특허출원 제 10-2012-0085274, the Korean Intellectual Property Office
- 11) 장성욱, 이성환, 2018, 특허출원 제 10-2018-0118698, the Korean Intellectual Property Office
- 12) 공익재단법인. 휠체어 사용자의 불편한 점. https://www.kyoyohin.org/kr/kyoyohin/unhandy_legs.php 2020.03.28.
- 13) 정한모, 2004, 특허등록 제 10-0638176, the Korean Intellectual Property Office
- 14) 김형수. 1996. 장애인노인의 현황과 정책 과제, 보건복지포럼 2호, pp.47~51.
- 15) Norton. 2015. Norton의 기구학. McGraw Hill.
- 16) DAVID E.JOHNSON. 1997. Basic Electric Circuit Analysis. 사이텍미디어.
- 17) Budynas, Richard G. 2013. 기계설계 : Shigley's Mechanical Engineering Design.
- 18) 김상훈. 2011. DC AC BLDC 모터제어.
- 19) D. J. Inman. 2014. Engineering Vibration. Pearson.
- 20) 천재영, 이상민, 이주희, 백종성, 박상욱. 2019. 휠체어를 넘어선 하나의 스마트 모빌리티, '다타'. 한국생산관리학회 학술대회 논문집, pp.46-47.
- 21) 옥션. 실버세대. 온라인 쇼핑 '큰손'으로 부상. <http://www.dt.co.kr>, 2020.05.09.
- 22) 김수봉, 이태범, 김경래, 이윤경, 김영아. 2009. 고령친화용품 소비 실태 및 만족도에 관한 연구.