

대한기계학회 주선

제10회 전국학생설계경진대회(2020년)

설계 최종 보고서

참가부	고등부 () / 대학부 (O)				
참가분야	공모주제 (O) / 자유주제 ()				
참가팀명	아름다리				
설계제목	휠체어-침대 간 이동 편의성 개선 기구의 메커니즘 설계 및 제작				
지도교수/교사	(소속) 홍익대학교 (성명) 임현준 (이메일) hjyim@hongik.ac.kr				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	최재호	홍익대학교 기계시스템디자인공학과			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	최재호	홍익대학교 기계시스템디자인공학과 / 4학년	0507cjh@naver.com
2	안석주	홍익대학교 기계시스템디자인공학과 / 4학년	ansj104@naver.com
3	엄동현	홍익대학교 기계시스템디자인공학과 / 4학년	rainfall39@naver.com
4	박지훈	홍익대학교 기계시스템디자인공학과 / 4학년	chad9349@naver.com
5	박진성	홍익대학교 기계시스템디자인공학과 / 4학년	wlstjd5245@naver.com

설계 요약문

참가분야	공모주제 (<input checked="" type="radio"/>) / 자유주제 (<input type="radio"/>)
참가팀명	아름다리
설계제목	휠체어-침대 간 이동 편의성 개선 기구의 메커니즘 설계 및 제작
대표자명	최재호
요약문	<p>우리나라는 2025년 이후 초고령사회에 진입하고 65세 이상 고령인구의 비율은 계속해서 증가한다. 또한, 50대부터 거동 불편을 호소하는 비율이 높아진다. 이러한 거동 불편 환자들은 휠체어를 사용하는데, '휠체어에서 침대 이동 시' 불편함을 느끼고 있다. 따라서 본 설계에서는 침대와 휠체어 간 이동 편의성을 개선하기 위한 이송 보조기구를 설계한다.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>휠체어-침대 간 이동에서 환자의 안전을 고려하여 프레임 강도설계를 통해 치수를 결정하였다. 그리고 편의성 향상을 위해 작동 범위에서 높이 조절 기능을 수행할 수 있는 높이조절 장치를 설계하였다. 제품의 작동 과정이 침대 위에서 진행되어 보다 안전하고, 높이조절 장치를 활용하여 보조자의 개입을 최소화한다.</p>

휠체어-침대 간 이동 편의성 개선 기구의 메커니즘 설계 및 제작

최재호 · 안석주 · 엄동현 · 박지훈 · 박진성 · 임현준[†]
홍익대학교 기계시스템디자인공학과

Mechanism design and development of a device for aid in patient's transfer between bed and wheelchair

Jaeho Choi, Seokju An, Donghyun Eom, Jihoon Park, Jinsung Park, Hyunjune Yim[†]
Department of Mechanical and System Design Engineering, Hongik University

(Received May 15, 2020 ; Revised July 10, 2020 ; Accepted September 15, 2020)

Key Words: Silver industry(실버 산업), Wheelchair(휠체어), Movement method(이동 방식), Linear static analysis(선형 정적 해석)

초록: 고령화가 진행됨에 따라 노인 거동 불편 문제가 심화되고 있다. 특히, 휠체어를 사용하는 노인들의 휠체어-침대 간 이동에서 많은 문제가 발견되고 있다. 본 연구에서는 현재 사용되고 있는 이송 보조기구인 이송 리프트와 이송 보드의 문제점에 착안하여, 노인의 안전을 우선시하면서 보조자의 개입을 최소화할 수 있는 기구를 개발한다. 안정적인 신체 회전과 이동을 위한 기구설계 뿐 아니라 유한요소 해석을 이용한 강도설계를 통해 노인의 침대-휠체어 간 이송 안전성을 확보했다. 아울러 보조자의 노력을 최소화할 수 있는 기구설계를 통해 사용 편의성을 극대화하였다.

Abstract: As aging of the society progresses, elderly people's impaired mobility is getting worse. In particular, many safety issues are found in the transfer of an elderly person between the wheelchair and the bed. This study examines problems of the currently used devices for the wheelchair-bed transfer and presents the design and development of a completely new device that can improve both the safety and usability in transferring. The structural design executed using FEM for sufficient strength to be guaranteed. The point is the mechanism design seeks to minimize the effort of the helper and maximize the usability of the device.

1. 서론

통계청에서 실시한 조사⁽¹⁾에 따르면 우리나라는 2025년 이후 초고령사회에 진입하고 65세 이상 고령 인구의 비율은 계속해서 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, 국민건강영양조사 제3기(2005)의 걷기 문제 유병률 조사⁽²⁾에 따르면 50대부터 걷기 문제에 다소 지장이 있다는 노인의 비율이 급증한다.

[†] Corresponding Author, hjyim@hongik.ac.kr
© 2020 The Korean Society of Mechanical Engineers

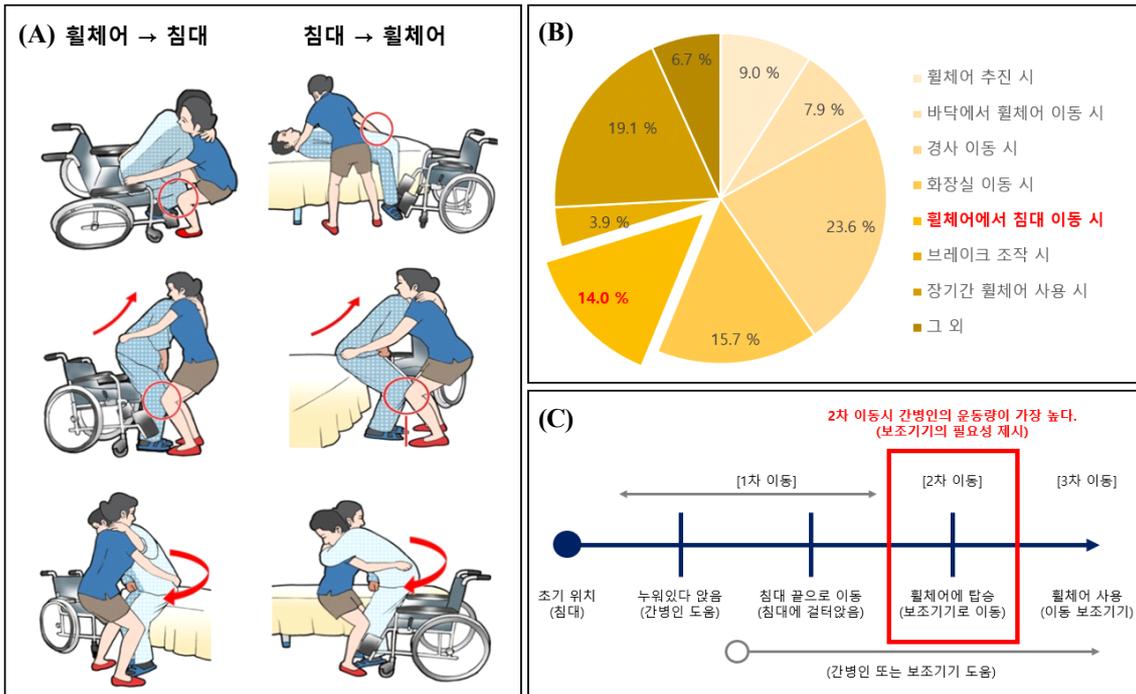


Fig. 1 (A) Transfer process between wheelchairs and beds⁽³⁾, (B) Inconveniences in using wheelchairs⁽⁴⁾, (C) Support of the assistant in transfer process between wheelchairs and beds⁽⁵⁾

거동 불편을 호소하는 노인들은 휠체어를 사용하거나 보조자의 도움을 받는다. 하지만 노인 환자들의 휠체어 사용 실태와 만족도 조사 연구⁽⁴⁾에 따르면, 휠체어 사용 시 가장 불편함을 느끼는 상황으로 ‘휠체어에서 침대 이동 시’가 많은 부분을 차지했다[Fig. 1 (B)]. 또한, 보조자는 50, 60대 여성이 대부분이었고 입소 노인을 이동시키는 작업에서 가장 큰 부담을 느끼고 있다⁽⁶⁾. 이를 해결하고자 이송 리프트나 이송 보드와 같은 이송 보조기구가 활용되고 있으나, 이 또한 각각 문제점을 가지고 있어 노인의 이송 문제를 해결하지 못하고 있다. 따라서 본 설계에서는 침대와 휠체어 간 이동 편의성을 개선하기 위한 이송 보조기구 개발을 설계 목표로 한다.

2. 설계 핵심 내용

2.1 설계 문제 정의 및 요구조건

2.1.1 설계 문제 정의

본 설계에서는 거동 불편을 호소하는 노인을 환자라고 칭한다. 환자의 휠체어 침대 이동 과정에서 환자와 보조자의 불편을 해소하기 위해 이송 보조기구가 사용될 수 있으며 대표적으로 이송 리프트와 이송 보드가 있다. 하지만 각 기구의 문제점으로 인해 이용률은 현저히 낮다.

Table 1 Problems of transport assistive devices

이송 보조기구	문제점
 <p data-bbox="264 685 411 714">이송 리프트</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 탑승 시 지속적인 압박으로 인한 신체적 부담 2) 탑승 후 이송 시 공간적인 제약이 있음 3) 상승 및 하강 동작 시 흔들림에 따른 탑승자의 충돌 위험
 <p data-bbox="277 987 400 1016">이송 보드</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 단차가 있는 경우 신체가 한쪽으로 기울게 되거나 미끄러짐 2) 휠체어, 침대의 고정이 확실하지 않으면 탑승자의 안전에 치명적 3) 보드 위에서 신체를 지지하는 부분이 적어 불안정

2.1.2 설계요구조건

본 설계에서 제안하는 새로운 메커니즘의 이송 보조기구는 ‘의료기기 기준규격’^(7,8)에 명시되어있는 침대와 휠체어의 규격에 맞춰 설계되어야 한다. 기존 이송 보조기구의 문제점을 보완하고, 다양한 신체 조건의 대상에게 적용이 가능해야 하므로 다음 조건을 만족해야 한다.

- ㉔ 다양한 신체조건의 환자가 사용할 수 있는 크기로 설계한다.
- ㉕ 기존의 휠체어와 침대에 적용이 가능하도록 휠체어, 침대 각각의 규격을 만족하는 치수가 되도록 한다.
- ㉖ 안전성을 위해 충분한 하중을 지지할 수 있어야 한다.
- ㉗ 휠체어-침대 간 이동이 원활해야 한다.
- ㉘ 작동 과정에서 환자의 안전이 우선시 되어야 한다.
- ㉙ 사용과정에서 환자가 불편함을 느끼지 않아야 한다.

2.2 특허 분석 및 회피 전략

본 설계와 관련된 특허로는 출원번호 10-2011-0036836(2012.06.19.)의 ‘환자 이송용 기능성 휠체어’가 있다. [Fig. 2]의 특허는 유압식과 수동식 높낮이 조절 기능과 레일을 이용하여 각기 높이가 다른 가정, 병원의 침구류 그리고 검사장비의 높이에 환자를 쉽게 올리거나 내리는 이송 과정을 수행할 수 있다.

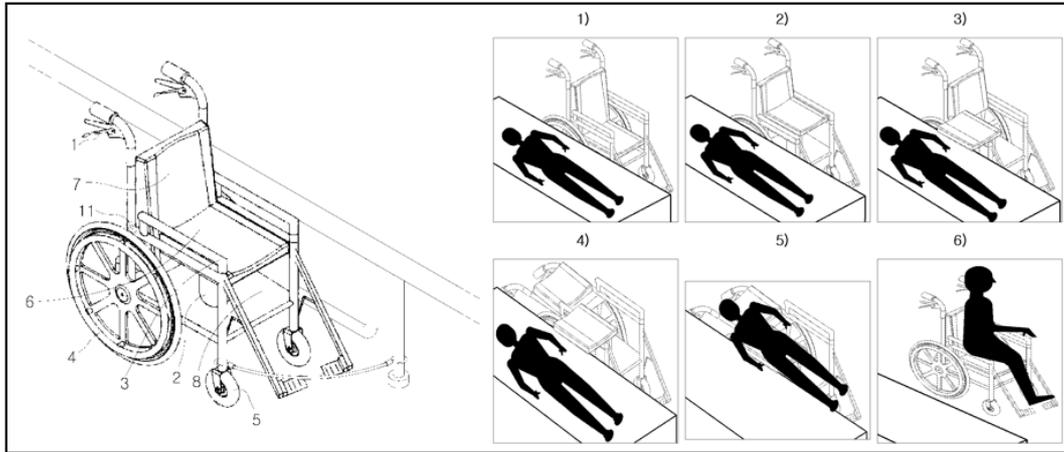


Fig. 2 Functional wheelchair for transferring patients

본 설계에서는 앞서 언급한 설계요구조건을 만족하면서 사전 특허와 차별성을 갖기 위해 다음과 같이 설계 방향을 세웠다.

- ㉔ 다양한 치수의 침대와 휠체어로의 이송이 가능하도록 한다.
- ㉕ 환자의 이송 과정이 보다 안정적인 곳에서 이루어지도록 한다.
- ㉖ 보조자의 개입을 최소화하기 위해 전동기구 등을 활용한다.

2.3 설계 제약조건

본 설계는 (1)신체조건, (2)휠체어, (3)침대에 대해 다음의 조건을 만족해야 한다.

2.3.1 신체조건

Table 2 Human body measurements of the elderly aged 60-69⁽⁹⁾

	평균	최소값	5분위	50분위	95분위	최대값
체중 [kg]	62.52	38	48.1	61.85	79.6	90.4
어깨너비 [mm]	363.99	304	328.5	363.5	410.5	425
앉은 키 [mm]	859.2	625	794	855.5	929	972
앉은 어깨높이 [mm]	561.93	416	510.5	562.5	619.5	655
키 [mm]	1576.7	1354	1459	1567.5	1707.5	1793

[Table 2]는 한국인 인체치수조사⁽⁹⁾에 따른 60-69세 노인 대상 인체치수 결과값이다. 본 설계에서는 다양한 신체조건을 노인이 사용할 수 있도록 95분위의 인체 치수를 기준으로 설계를 진행한다.

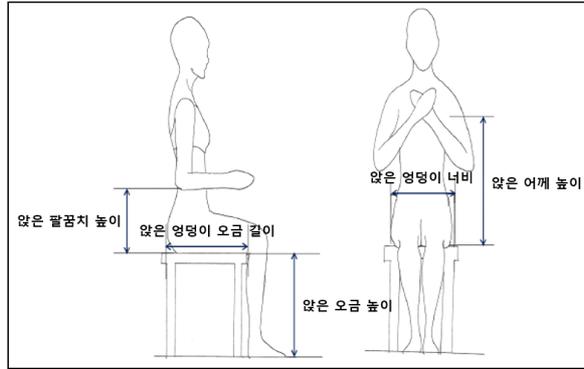


Fig. 3 Human measurement items required for wheelchair seat dimensions⁽¹⁰⁾

Table 3 Wheelchair-related human body measurements of men and women 65 years of age or older in Korea [mm]⁽¹⁰⁾

성별	측정항목	치수		
		5분위	50분위	95분위
남성	앞은 엉덩이 너비	303	337.5	366.5
	앞은 엉덩이 오금 수평 길이	409	453.5	498.5
	앞은 오금 높이	344.5	382.5	409.5
	앞은 팔꿈치 높이	199.5	249	285.5
	앞은 어깨 높이	529.5	579	620.5
여자	앞은 엉덩이 너비	300.5	334.5	367
	앞은 엉덩이 오금 수평 길이	398.5	443	481.5
	앞은 오금 높이	323.5	350.5	385
	앞은 팔꿈치 높이	179	219	261
	앞은 어깨 높이	480.5	523.5	563

[Table 3]은 휠체어에 탑승한 노인의 인체 치수를 나타낸다. 시트의 너비가 탑승자의 앞은 엉덩이 너비보다 넓어야 하므로 최대값인 여성 95분위의 값을 제약조건으로 설정한다.

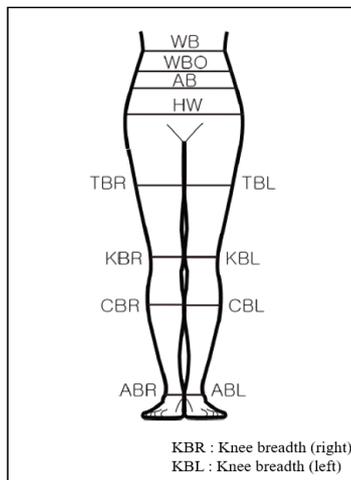


Fig. 4 Measurement item diagram⁽¹¹⁾

Table 4 Knee width dimensions by posture [cm]⁽¹¹⁾

Items	Posture	Mean value
Knee breadth(R)	Standing	11.23
	Walking	11.15
	Stair climbing	10.33
	Sitting on chair	10.61
Knee breadth(L)	Standing	11.16
	Walking	11.19
	Stair climbing	11.17
	Sitting on chair	10.57

[Table 4]는 측정 자세에 따른 무릎의 너비 치수를 나타낸다. 높이 조절기능을 수행할 경우, 높이조절 장치 간격이 탑승자의 무릎 너비보다 작아야 한다. 따라서 추가로 앉은 자세의 경우 무릎 너비 치수를 제약조건으로 설정한다.

2.3.2 휠체어

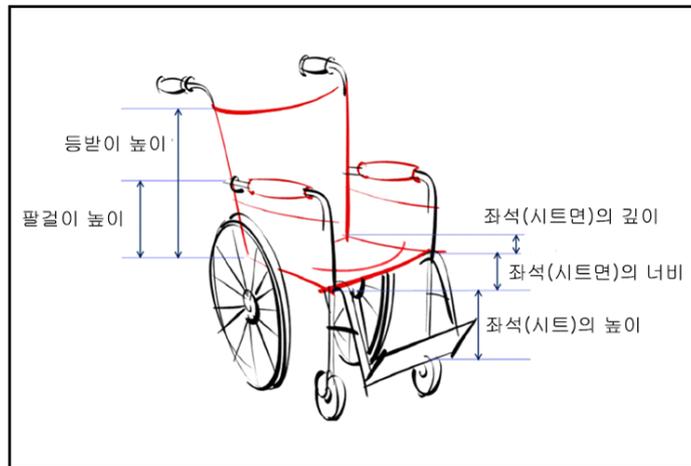


Fig. 5 Wheelchair seat part name⁽⁷⁾

Table 5 Wheelchair-related human body measurements of men and women 65 years of age or older in Korea [mm]⁽⁷⁾

품목	기준 셋업 값 (탑승자 무게 그룹)		
	I	II	III
	(<50kg)	(50~125kg)	(>125kg)
좌석(시트)의 높이	470	520	520
좌석(시트면)의 너비	340	450	450
좌석(시트면)의 깊이	320	450	500
팔걸이 높이	320	450	500
등받이 높이	160	200	200

위 신체조건에 따른 제약조건에 따르면 탑승자 무게 그룹 II에 해당하므로 [Table 5]의 기준 셋업 값 II을 사용한다. 제품의 특성상 휠체어 좌석의 너비, 좌석의 높이가 중요한 제약조건이므로 이에 맞추어 설계를 진행한다.

2.3.3 침대

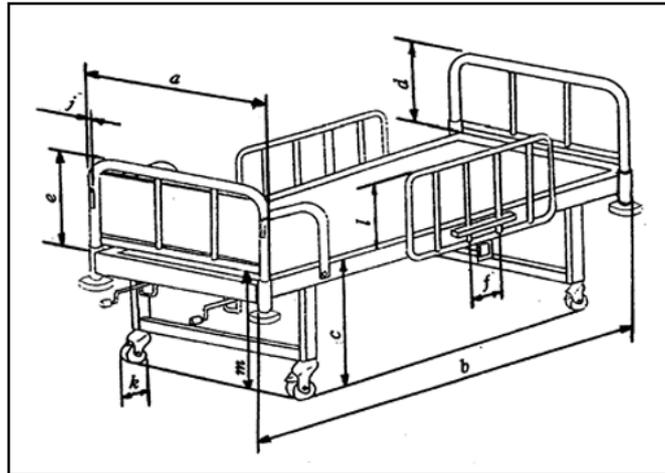


Fig. 6 Dimensions of each part of the medical functional bed (crank bed)

Table 6 Dimensions of main body and side rails [mm]⁽⁸⁾

항 목	호칭치수	실제치수와 허용범위	약 호	비 고	
몸체의 높이(바닥에서 몸체 윗면까지)	갑 형	300	300±20	3	그림 3의 c 그림 5의 c
		400	400±20	4	
		500	500±20	5	
		550	550±20	5.5	
		600	600±20	6	
	을 형	최저 400	0 -25	-	
		최고 600	+25 0	-	

Table 7 Dimensions of mattress [mm]⁽⁸⁾

항 목	호칭치수		실제치수 및 허용범위	약 호
매트리스의 두께	제1종	100 ~ 200(7)	100 ~ 200 +20 -15	-
	제2종	80 ~ 150(7)	80 ~ 150 +15 -10	-
	제3종			

[Table 6, 7]은 식품의약품안전처의 ‘의료기기 기준규격’^(7,8)에 따른 의료용 침대의 기준규격 중 몸체의 높이와 매트리스의 두께에 대한 자료이다. 갑 형 침대는 높이 조절이 불가능한 제품이고, 을 형 침대는 높이 조절이 가능한 제품을 의미한다. 또 매트리스는 스프링 구조의 제 1종과 매트 구조의 제 2종, 제 3종으로 구성된다. 시장조사 결과, 일반적으로 노인용 갑 형 의료 침대는 몸체의 높이가 400mm인 제품을 보편적으로 사용한다. 따라서 본 설계에서는 침대와 매트리스의 높이를 합해 높이 범위를 480~550mm로 설정한다.

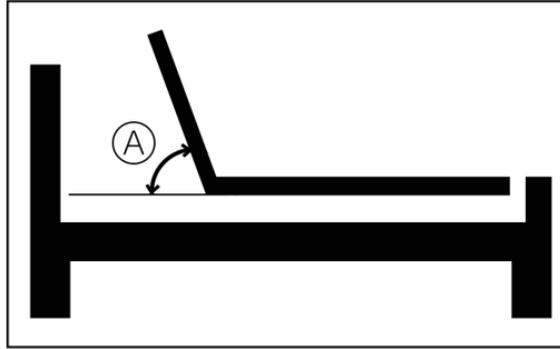


Fig. 7 Advisory adjustment range of the mattress support platform part⁽¹²⁾

본 설계에서 대상으로 하는 대부분의 환자는 식사와 같은 기본적인 일상생활에 있어 신체적 제약이 있기 때문에 각도 조절이 가능한 의료용 침대를 사용하고 있다.

‘1등급 의료기기’의 매트리스 지지 플랫폼 부분의 권고 조절 범위에 따르면, 의료용 침대의 등 부분과 수평 간의 각도[Fig. 7]의 ①는 0° 에서 70° (또는 그 이상)사이에서 조절이 가능하다. 따라서 본 설계에서 각도 조절범위를 70° ~90° 로 설정한다.

2.4 구조 및 메커니즘

설계 초기에 많은 아이디어들이 도출되었으나 이들을 검증하는 단계에서 상당수가 폐기되었고, 이후 구체 설계 단계에서 최종적으로 하나의 설계로 정리되었다. 본 보고서에서는 최종 채택되어 프로토타입 제작에 까지 이른 설계안에 대해 상세하게 설명한다.

2.4.1 전체 구조

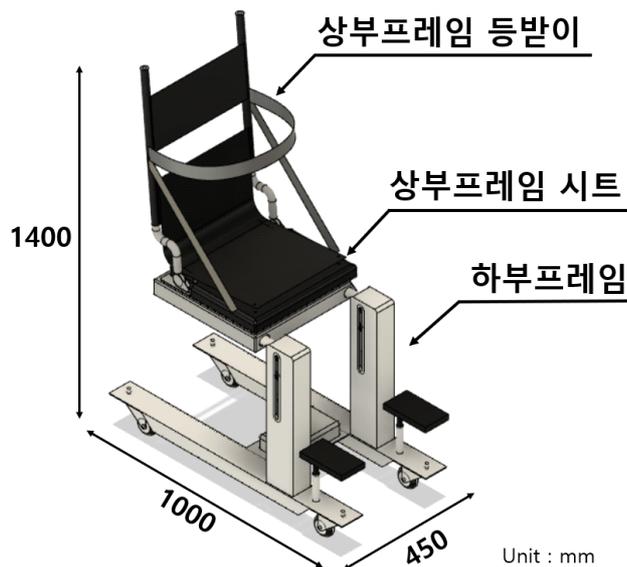


Fig. 8 Overall structure

[Fig. 8]은 제품의 전체 구조를 나타낸다. 구조는 크게 상부프레임과 하부프레임으로 이루어져 있으며 상부프레임은 시트와 등받이로 이루어진다.

2.4.2 작동 메커니즘

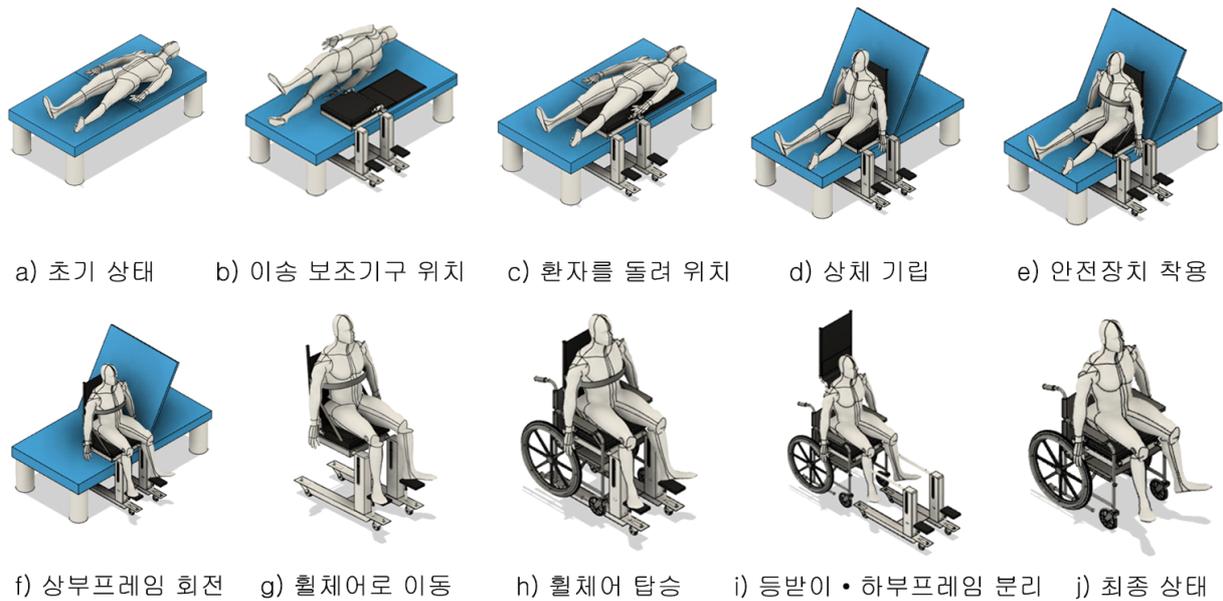


Fig. 9 Working process from a bed to wheelchair

Table 8 Tasks and operation of the device in sequential stages

침대→휠체어	내용
a) 초기 상태	침대에 누워있는 환자를 침대의 가장자리로 이동시킨다.
b) 이송 보조기구 위치	환자를 옆으로 돌려 눕힌 후, 환자의 옆에 제품을 위치시키고 캐스터 휠을 고정한다.
c) 환자를 돌려 위치	환자를 다시 돌려 눕혀 상부프레임 위에 위치시킨다.
d) 상체 기립	의료용 침대를 이용해 70° ~90° 의 각도까지 기립 과정을 수행하고, 보조자가 등받이를 잡고 당기는 방식으로 환자의 상체 기립 각도가 90° 가 되도록 한다.
e) 안전장치 착용	등받이 뒤에 있던 안전 벨트와 안전 밴드를 환자에게 착용시킨다.
f) 상부프레임 회전	환자의 두 다리를 들어 상부프레임과 함께 침대 바깥 방향으로 향하게 회전시킨다.
g) 휠체어로 이동	하부프레임의 높이 조절을 통해, 상부프레임을 침대 매트리스 높이 보다 높게 올린 후 캐스터 휠의 고정을 풀고 침대에서 분리하여 휠체어로 이동한다.
h) 휠체어 탑승	휠체어에 접근한 후 캐스터 휠을 고정한다. 이후 하부프레임의 높이 조절을 통해 시트를 휠체어의 좌석에 안착시킨다.
i) 등받이, 하부프레임 분리	환자의 안전장치를 제거한 후 상부프레임에서 등받이를 분리시킨다. 이후 캐스터 휠의 고정을 풀고 하부프레임을 분리시킨다.
j) 최종상태	휠체어 탑승 후 환자 아래에 위치한 시트는 방석으로 사용한다.

[Fig. 9]와 [Table 8]은 본 제품의 침대에서 휠체어로 이동하는 메커니즘 작동 과정과 그 내용을 나타낸다. 휠체어에서 침대로 이동하는 과정은 위 과정의 역순으로 진행된다.

2.5 구성요소 및 기능

2.5.1 상부프레임



Fig. 10 Upper frame

[Fig. 10]은 상부프레임의 구조를 나타낸다. 왼쪽의 그림은 환자의 기립 과정 시와 보관 시의 모습이고, 오른쪽의 그림은 이송 과정에서 환자의 흔들림을 방지하기 위해 안전장치를 사용하고 있는 모습이다. 상부프레임은 시트와 등받이로 구성된다.

(1) 시트

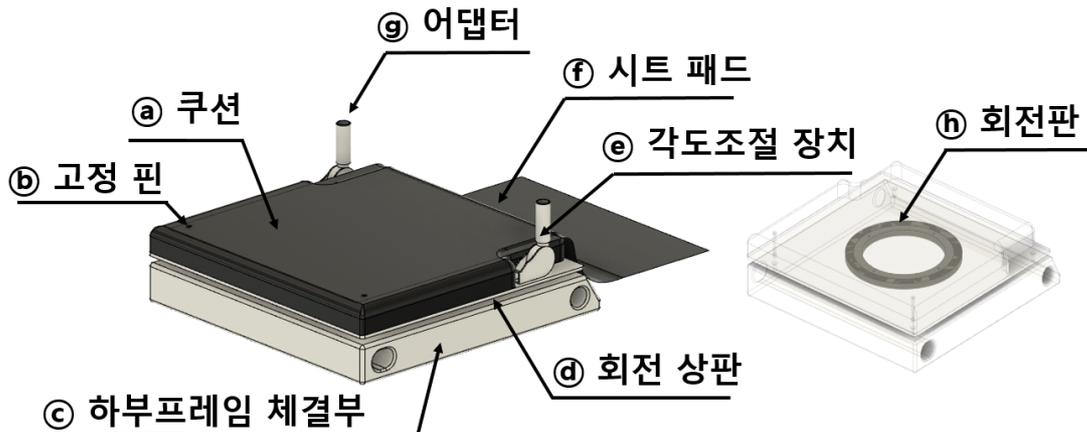


Fig. 11 Seat

시트는 (h)회전판을 기준으로 회전 상부와 하부로 구분된다. 먼저 회전 상부에는 설계 요구조건 (a)를 고려하여 (d)회전 상판 위로 환자의 신체가 닿는 부분에 (a)쿠션을 설치한다. 회전 상판의 양쪽에 환자의 기립 각도를 조절하는 (e)각도조절 장치를 설치하고 등받이와의 결합 용이성을 위해 (g)어댑터와 (f)시트 패드를 부착한다. 회전 하부에는 하부프레임과 시트의 조립을 위한 (c)하부프레임 체결부가 위치한다. 이송이나 기립 과정에서의 회전을 방지하기 위해 (b)고정핀을 통해 회전 상부와 하부를 고정한다.

(2) 등받이

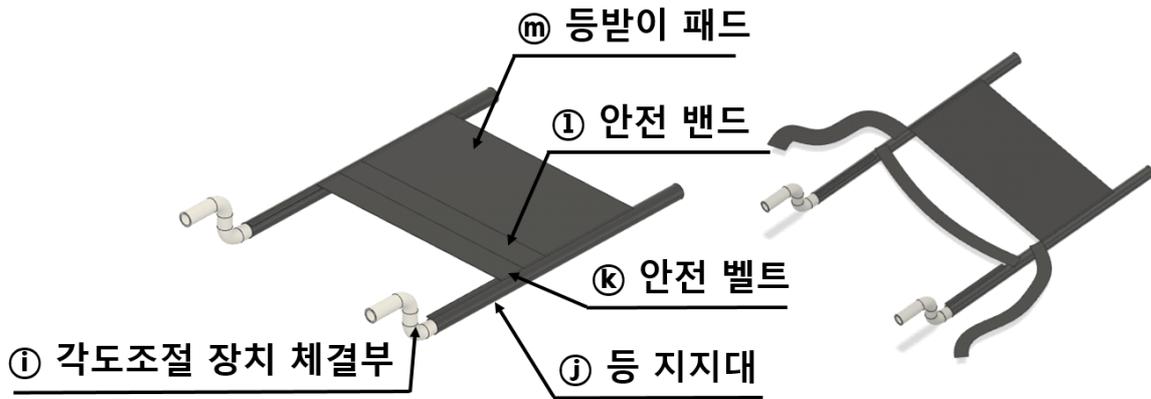


Fig. 12 Back frame

등받이는 (㉔)각도조절 장치 체결부를 통해 시트의 (㉓)어댑터와 결합하여 환자의 기립 각도를 유지하는 역할을 한다. 이때, (㉕)등 지지대 사이의 (㉓)등받이 패드를 이용해 환자의 상체를 지지한다. 이송 과정에서 환자의 전후, 좌우 흔들림을 방지하기 위해 각각 (㉒)안전 벨트, (㉑)안전 밴드를 사용한다. [Fig. 12]의 왼쪽의 그림은 환자 기립 과정에서의 등받이 모습을, 오른쪽은 이송 과정에서 (㉒)안전 벨트와 (㉑)안전 밴드를 사용할 때의 모습을 나타낸다.

2.5.2 하부프레임

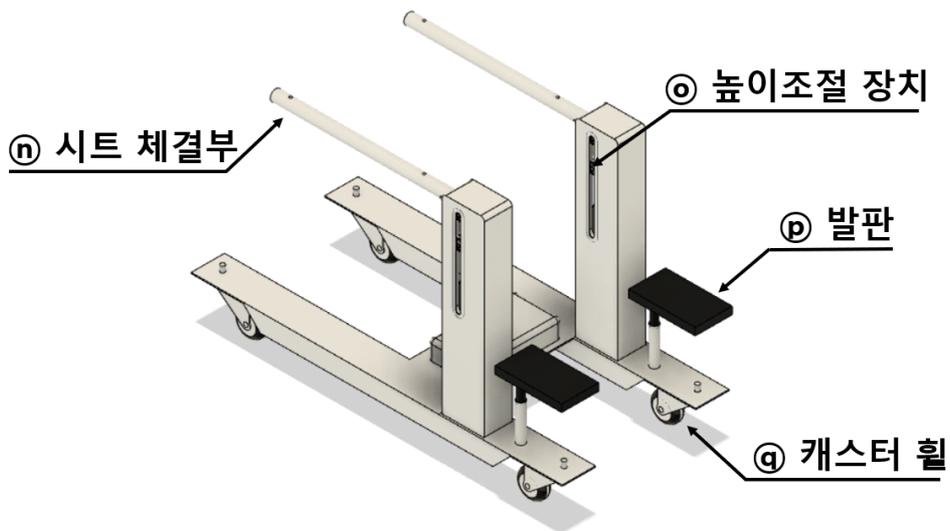


Fig. 13 Lower frame

하부프레임은 상부프레임과 체결되어 환자를 이송시키고, 하중을 지지하는 역할을 한다. 상부프레임의 시트와 체결될 (㉖)시트 체결부가 있고, 설계 요구조건 ㉔를 고려하여 (㉗)높이조절 장치를 설치한다. 설계 요구조건 ㉔, ㉓를 고려하여 높이 조절이 가능한 (㉘)발판을 설치한다. 설계 요구조건 ㉔와 ㉓를 고려하여 (㉙)캐스터 휠을 사용함으로써 편리한 이동과 동시에 작동 과정에서 하부프레임을 고정하여 환자의 안전성을 확보한다.

2.6 세부설계

2.6.1 시트 세부설계

설계 요구조건 ㉔, ㉕를 고려하여 시트의 치수는 다음과 같이 설계한다. 시트의 너비는 [Table 5]를 참고하여 휠체어 시트 너비인 450mm보다 작아야 하며, [Table 3]의 앉은 엉덩이 너비 최댓값인 367mm보다 커야 한다. 따라서 440mm를 시트 너비로 하며, 시트의 형상을 정사각형으로 하여 길이 또한 440mm로 설정한다.

상부프레임의 시트는 하부프레임 체결부를 통해 하부프레임과 결합 및 분리된다. 따라서 하부프레임 체결부의 높이는 하부프레임의 시트 체결부의 외경인 30mm보다 커야하며, 설계 요구조건 ㉖를 고려하여 시트 체결부의 외경에 여유를 둔 60mm로 설정한다.

본 제품은 시트와 하부프레임 간에 체결과 분리가 원활해야 한다. 하지만, 안전한 이송을 위해 시트의 흔들림이 최소화되어야 하므로, 하부프레임과의 체결부에서 유격이 최소화되어야 한다. 이러한 이유로 보조자가 하부프레임을 시트에 체결할 때 어려움을 겪을 수 있다. 체결과정에서의 안정성과 편의성을 모두 만족하기 위해 체결부에서 핀과 홈, 슬롯 원리를 활용한다.

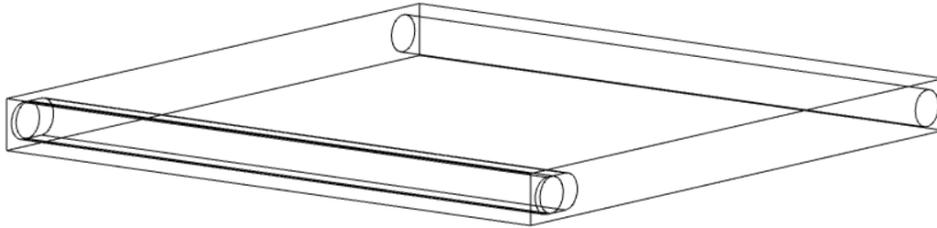


Fig. 14 A hole and slot in the seat for assembly to the lower frame

시트는 회전판을 통해 작동 과정에서 회전 역할을 수행한다. 회전판은 환자의 체중을 지지할 수 있으며 시트보다 작은 규격이어야 한다. 시트의 회전판으로는 다음과 같은 제품을 사용할 수 있다.

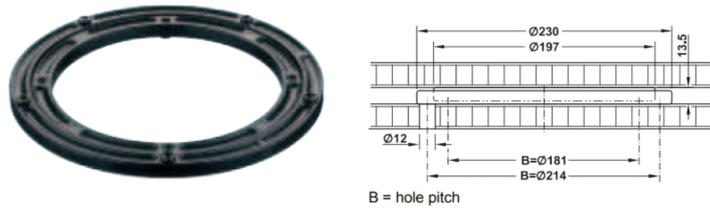


Fig. 15 Turn table

Table 9 Specification of the turn table

모델명	SV9318 턴테이블
외경 [mm]	230
내경 [mm]	197
두께 [mm]	13.5
회전각도 [°]	360
지지하중 [kg]	150

본 설계에서 대상으로 하는 환자의 최대 체중이 90.4kg이고 시트의 규격이 가로 440mm, 세로 440mm인 점으로 미루어보아 최대지지 하중이 150kg이고 외경이 230mm인 [Fig. 15]의 회전판을 사용한다.

상부프레임은 환자의 상체 기립시키고 기립 각도를 조절하는 기능을 수행한다. 따라서 시트에 [Fig. 16]의 각도조절 장치를 사용한다.

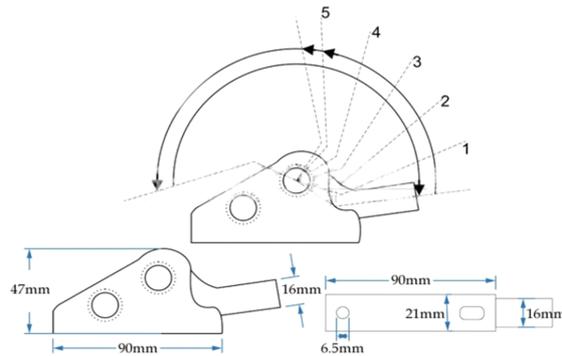


Fig. 16 Size of the angle adjustable device

2.6.2 등받이 세부설계

(1) 등 지지대 길이 조건

등받이는 환자의 상체 기립과 기립 각도를 고정하는 역할을 수행한다. 이 과정에서 보조자가 등 지지대를 손잡이로 사용하여 환자의 기립 각도를 70°에서 90°로 조절하기 위해 [Table 2]의 앉은 어깨높이 최대값인 655mm에 손잡이 길이 100mm를 더하여 755mm로 설정한다. 따라서 시트로부터 등받이의 총 길이가 755mm이 되도록 등 지지대의 길이를 560mm로 설정한다.

(2) 등받이 하중 조건

등받이는 70°에서 90°까지의 기립 과정에서 환자의 상체를 지지할 수 있어야 한다. 이때, 상체 무게에는 머리, 흉부, 복부, 골반이 포함되며 [Table 10]에 따라 체중 90.4kg의 환자의 상체 무게는 49kg이다. [Fig. 17]은 환자가 앉아있는 경우 등받이에 하중이 가해지는 주요 위치를 나타내며, 어깨 부위와 골반에서 가장 큰 하중이 가해짐을 알 수 있다.

Table 10 Percentage of total body segment [%]⁽¹³⁾

Segment	Male	Female	Average
Head	8.26	8.2	8.23
Thorax	20.1	17.02	18.56
Abdomen	13.06	12.24	12.65
Pelvis	13.66	15.96	14.81
Total Arm	11.4	9.94	10.67
Total Leg	33.36	36.86	35.11

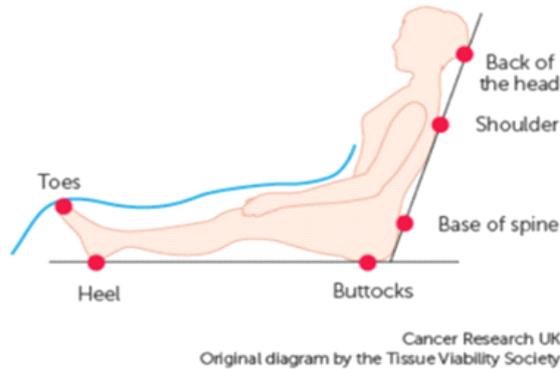


Fig. 17 The load points on a chair when a patient sits on it⁽¹⁴⁾

환자의 상체 무게는 등받이 패드와 시트 패드를 통해 등받이에 전해진다. 따라서 [Table 2]의 앉은 어깨높이 최대값인 655mm에서부터 시트 방향으로 100mm까지 환자의 머리, 흉부로 인한 하중이 가해지고, 시트 패드가 등받이와 결합되는 등 지지대의 가장 하단 100mm 부분에 복부와 골반으로 인한 하중이 가해진다고 가정한다. 따라서 각 위치에 119N, 122N의 분포하중이 작용한다. 70°에서 90°까지의 기립 과정 중 가장 큰 수직 하중이 가해지는 70°에서 해석을 수행한다.

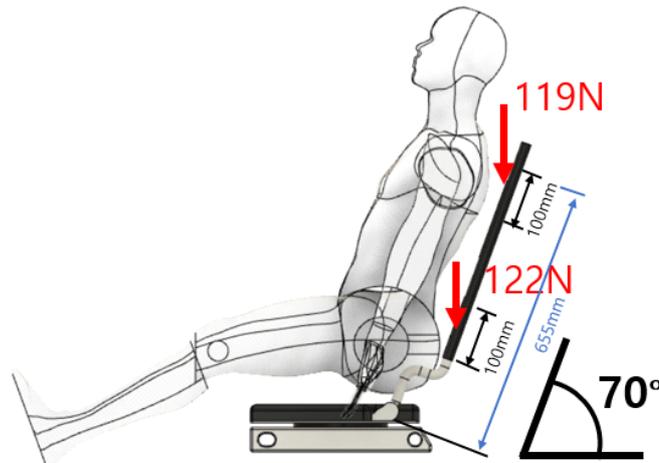


Fig. 18 Load points of the back frame

(3) 등받이 외경 설정

등받이의 외경을 결정하는 과정에서 설계 요구조건 ㉔를 고려하여 환자의 불편을 최소화하도록 치수가 가장 작은 구조가 되도록 설계함을 목표로 한다.

본 설계에 사용되는 시트의 각도조절 장치와 등받이의 각도조절 장치 체결부를 보다 안정적으로 결합하기 위해 각도조절 장치의 바깥에 길이가 60mm인 어댑터를 이용하여 결합되는 길이를 길게 하고 각도조절 장치를 보강한다. 어댑터의 내경은 각도 조절장치의 외경과 같은 16mm이고, 외경은 파이프 규격을 고려하여 20mm으로 설계한다. 또한, 각도 조절장치 체결부의 내경은 어댑터의 외경과 같고, 이것의 외경은 어댑터의 외경보다 큰 25mm으로 설계한다.

어댑터와 등받이의 재료를 KS D 3517 구조용 탄소강을 사용할 때, 해당 재료의 항복강도 $S_y = 209MPa$ 이다. 제약조건 ㉕를 고려해 목표 안전계수를 2 이상으로 하고, 앞서 설정한 하중 조건을 적용하여 가장 작은 외경을 갖는 구조를 결정한다. 이때, 등 지지대의 외경은 각도조절 장치 체결부의 내경과 같도록 한다.

[Fig. 19]와 [Fig. 20]은 각각 NX Nastran을 통해 치수 설정 과정에서 어댑터의 외경이 20mm이고, 각도조절 장치 체결부의 외경이 25mm일 때의 구속 조건 및 하중 조건, 해석 결과를 나타낸다.

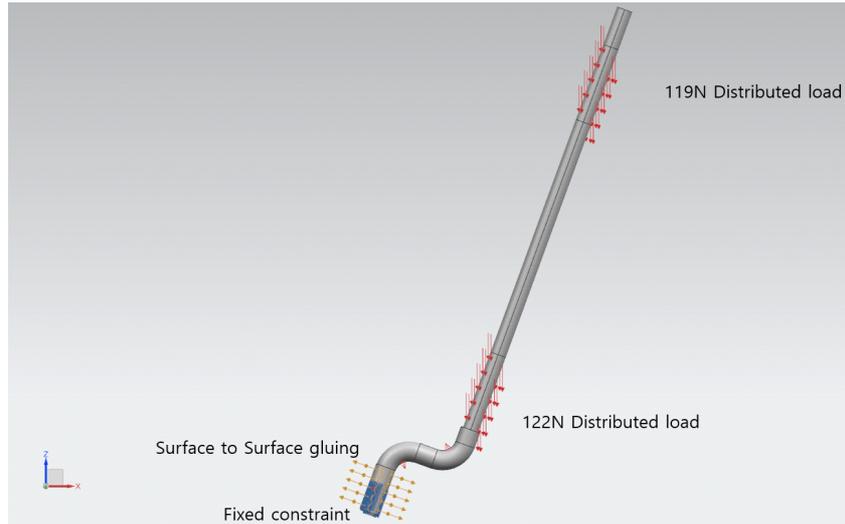


Fig. 19 Constraints and load conditions on the back frame

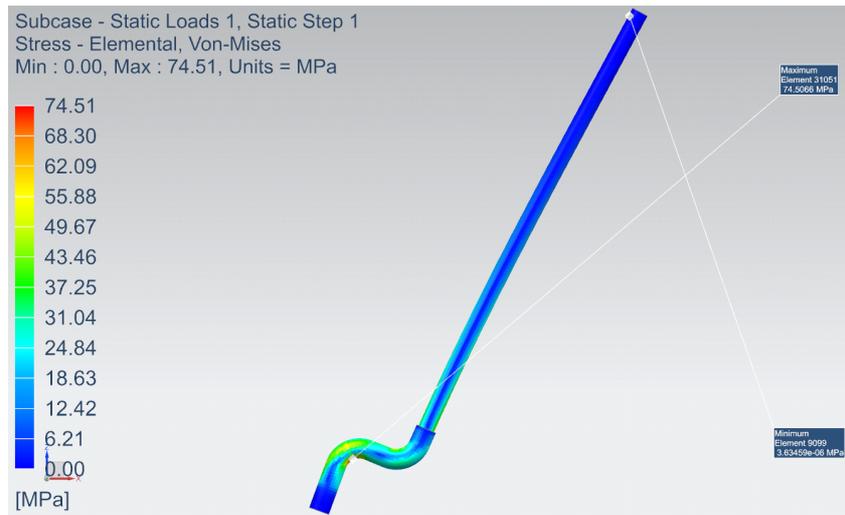


Fig. 20 Stress distribution of the back frame when angle adjustable device connector OD=25mm, adapter OD=20mm

[Fig. 20]을 통해 어댑터의 외경이 20mm, 각도조절 장치 체결부의 외경이 25mm인 경우에서 안전계수 2.805를 갖는 것을 알 수 있다. 등 지지대는 환자의 신체에 직접적으로 닿는 부분이기 때문에 설계 요구조건 ㉔를 고려해 외경을 최소화하여야 한다. 이 과정에서 중실축의 등 지지대를 사용하여 목표 안전계수 2를 만족하는 외경의 최소값을 등 지지대의 외경으로 설정한다.

어댑터의 외경과 각도조절 장치 체결부의 외경을 각각 20mm, 25mm로 고정하고 각 등 지지대 외경에 대해 다음과 같은 구속 조건과 하중 조건을 적용하여 해석을 진행한다.

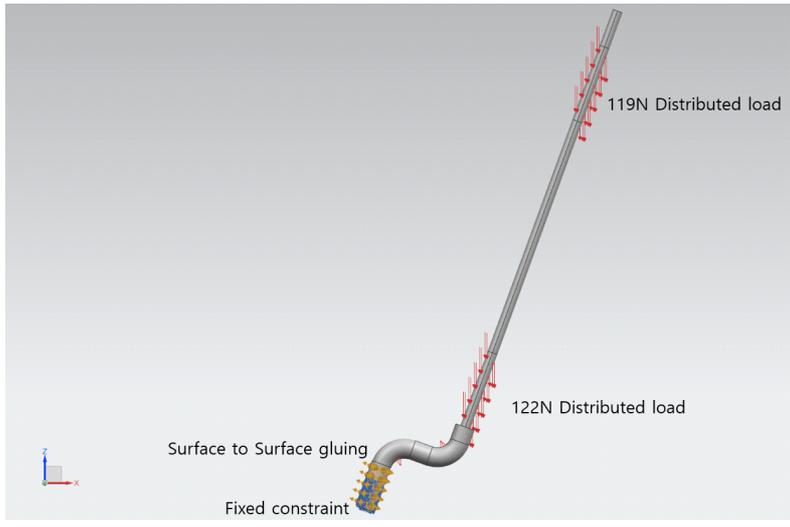


Fig. 21 Constraints and load conditions on the back frame

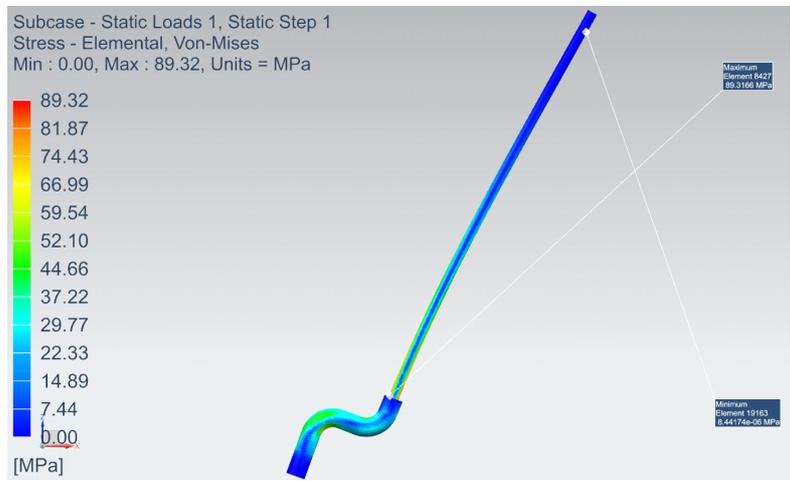


Fig. 22 Stress distribution of the back frame when back support OD=13mm

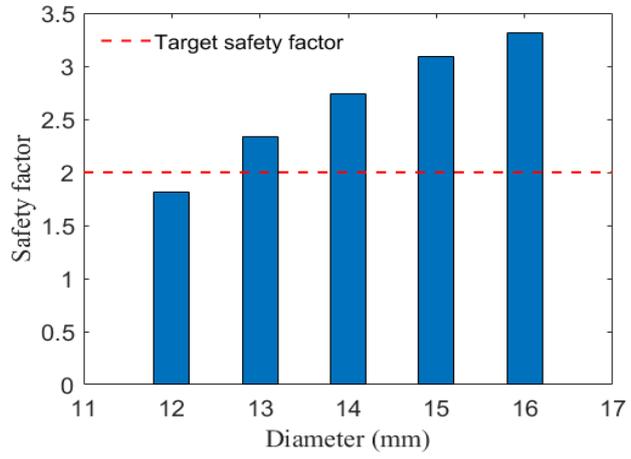


Fig. 23 Safety factors following back support's diameter

[Fig. 22]는 외경이 13mm인 등 지지대에 대한 해석 결과이다. [Fig. 23]은 각 등 지지대의 외경에 따른 안전계수를 나타내며, 이에 따라 외경이 13mm인 등 지지대의 경우 안전계수 2.34를 가져 설계 요

구조조건 ㉔와 ㉕를 모두 만족함을 알 수 있다. 따라서 등받이는 다음 [Table 11]과 같이 설계한다.

Table 11 Specification of the back frame [mm]

	어댑터	각도조절 장치 체결부		등받이
분류	외경	내경	외경	외경
직경	20	20	25	13

2.6.3 높이조절 장치 세부설계

(1) 구조

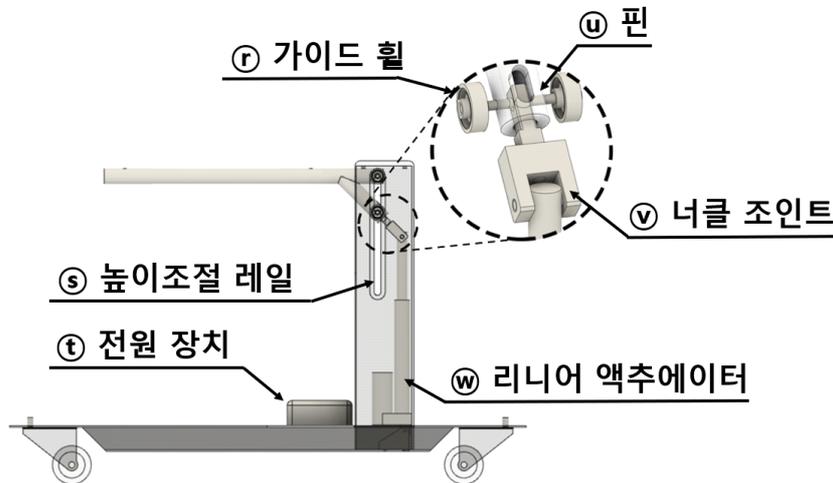


Fig. 24 Height adjustment device

(㉔)전원 장치는 (㉗)리니어 액추에이터에 전원을 공급하며 제어 장치의 역할을 한다. (㉔)가이드 휠은 (㉕)핀과 결합되어 (㉓)높이조절 레일을 따라 이동하며 높이 조절을 원활하게 한다. (㉓)높이조절 레일은 높이 조절 과정에서 (㉔)가이드 휠과 (㉕)시트 체결부가 이탈하지 않도록 한다. (㉕)핀과 체결된 (㉖)너클 조인트는 (㉕)시트 체결부와 (㉗)리니어 액추에이터를 연결하며, (㉕)시트 체결부에서 발생하는 모멘트를 (㉗)리니어 액추에이터로 전달하지 않도록 한다.

(2) 리니어 액추에이터

하부프레임은 환자의 신체와 상부프레임을 충분히 지지할 수 있는 치수로 설계한다. 하부프레임의 간격은 시트 하부의 너비 440mm에서 살 두께를 고려하여 시트 체결부의 간격을 360mm으로 설정한다. 높이 조절 장치의 가동 범위는 설계 요구조건 ㉔, ㉕에 따라 휠체어의 높이와 침대의 높이 범위를 포함한 480~550mm에 여유공간 20mm를 고려하여 460~570mm의 가동 범위를 갖도록 설계한다.

보수적인 설계를 위해 [Table 2]에서 체중의 최댓값과 상부프레임의 무게를 합하여 하부프레임에 가해지는 총 하중을 1100N으로 설정한다. 따라서 가동 범위가 110mm이고 각각 550N 이상의 하중을 지지할 수 있는 리니어 액추에이터를 이용하여 높이 조절을 수행한다.

따라서 다음 제품 중 필요 가동 범위와 하중을 지지할 수 있는 LM4075_B를 사용하여 설계한다.

Table 12 Specification of the linear actuator

리니어 액추에이터	Push load[N]	Pull load[N]	Static load [N]	Stroke length[mm]	Input [V]
LM4075_A	900	750	950	200	24
LM4075_B	750	600	750	150	24
LM4075_C	600	500	500	100	24

(3) 전원 장치

전원 장치는 배터리, 컨트롤러, 리모컨으로 구성된다. 배터리는 24V 리니어 액추에이터를 제어하기 위해 12V 배터리 2개를 직렬로 연결하여 24V 출력을 갖도록 한다. 컨트롤러와 리모컨을 이용하여 2개의 리니어 액추에이터를 동시 제어한다.

2.6.4 시트 체결부 세부설계

하부프레임의 재료는 KS D 3517 구조용 탄소강을 사용하며, 이때 해당 재료의 항복강도는 $S_y = 209MPa$ 이다. 하부프레임의 해석조건에 맞춰 시트 체결부의 직경을 조절하며, 그에 따른 한쪽 시트 체결부의 응력 해석을 진행한다.

NX Nastran을 통해 [Fig. 25]와 같이 시트 체결부와 높이조절 레일의 결합부에 구속조건을 다음과 같이 설정한다. 상부 결합부에는 Pinned Constraint로 설정하였고, 하부 결합부에는 Tx, Ty, Rx, Rz를 고정하는 구속조건으로 설정하였다. 하중 조건은 시트와 시트 체결부의 접촉 부위에서 하중이 작용한다고 가정하여, 시트 체결부의 끝단에서 440mm 지점까지 550N의 분포하중이 작용한다고 설정하였다.

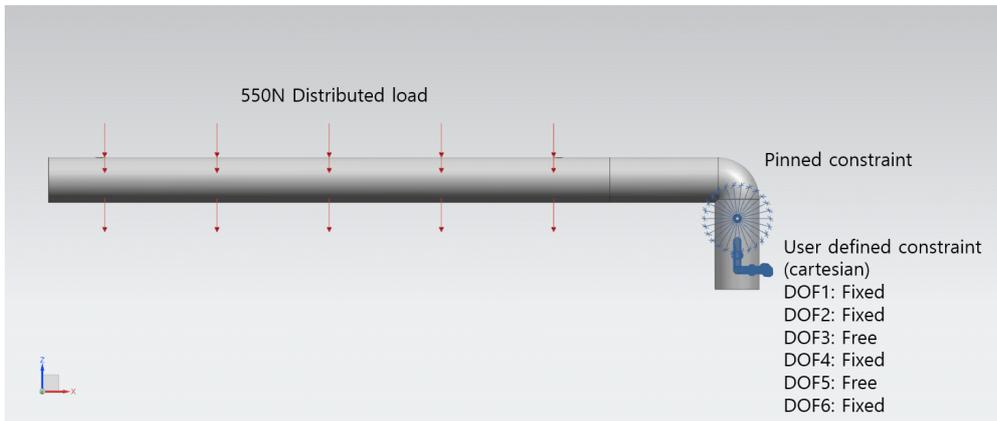


Fig. 25 Constraints and load conditions of the ‘ㄱ’ shaped connecting frame

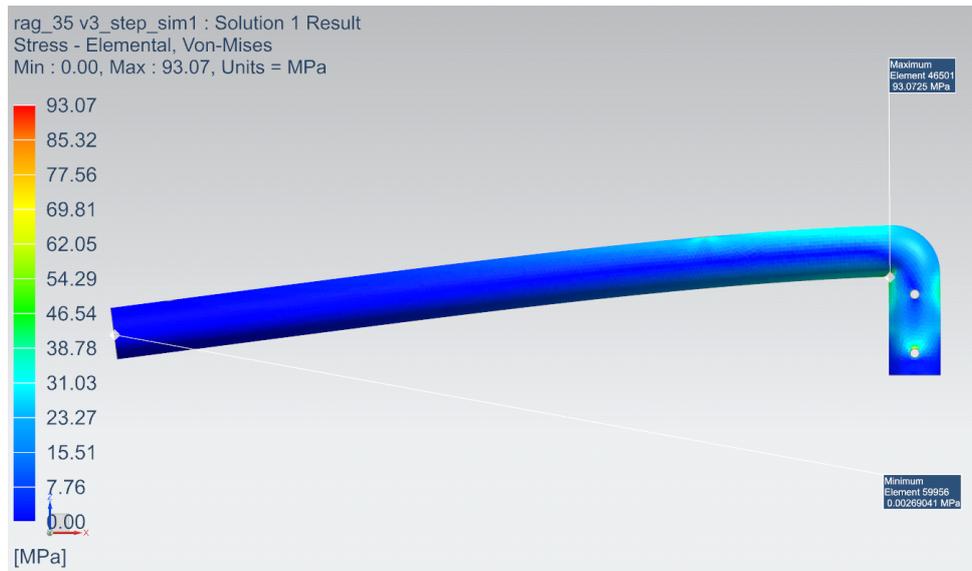


Fig. 26 Stress distribution of the 'ㄱ' shaped connecting frame

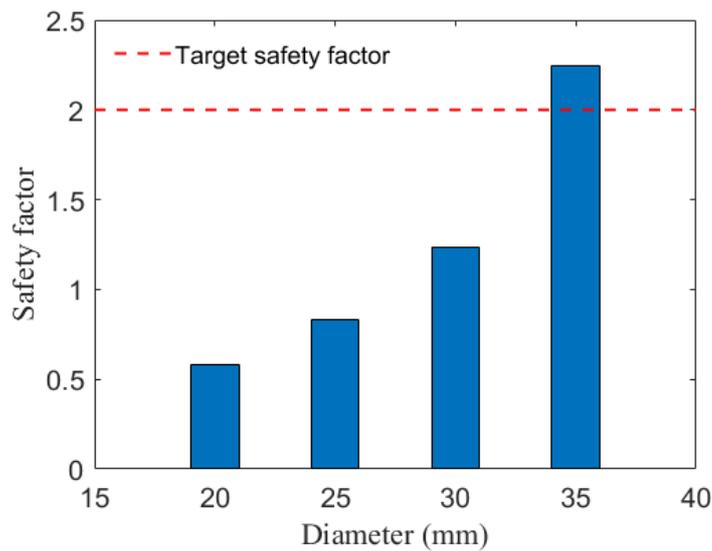


Fig. 27 Safety factors following the connecting frame's diameter

[Fig. 26]은 시트 체결부 직경 $d=35\text{mm}$ 에 해당하는 중실축 해석 결과이며, [Fig. 27]은 시트 체결부의 직경을 20~35mm 범위에서 5mm 간격으로 조절하여 해석을 진행한 결과를 그래프로 표현한 것이다. 시트 체결부의 직경 $d=35\text{mm}$ 의 경우 안전계수 2.25로 제약조건 ㉔를 만족한다. 단, 제약조건 ㉔에 따라 시트 높이를 최소화하고자 시트 체결부를 트러스 구조로 변형하여 다음과 같은 해석을 진행하였다.

[Fig. 28]은 앞선 방식과 동일한 트러스 구조 시트 체결부의 구속 조건이다.

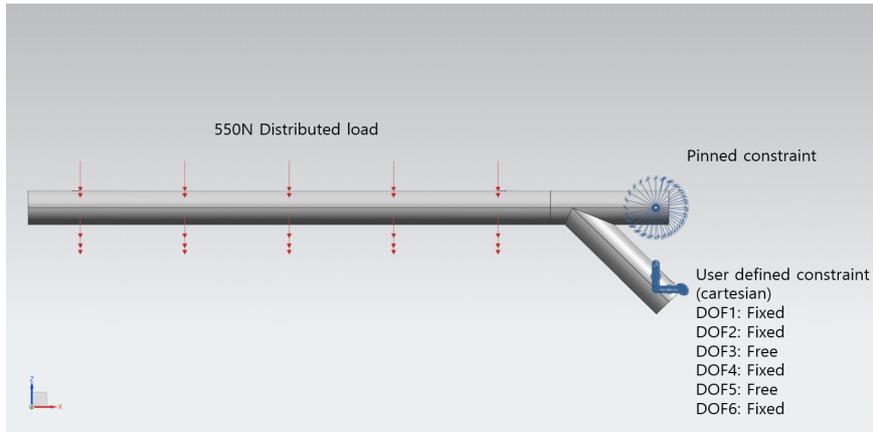


Fig. 28 Constraints and load conditions of the truss structured connecting frame

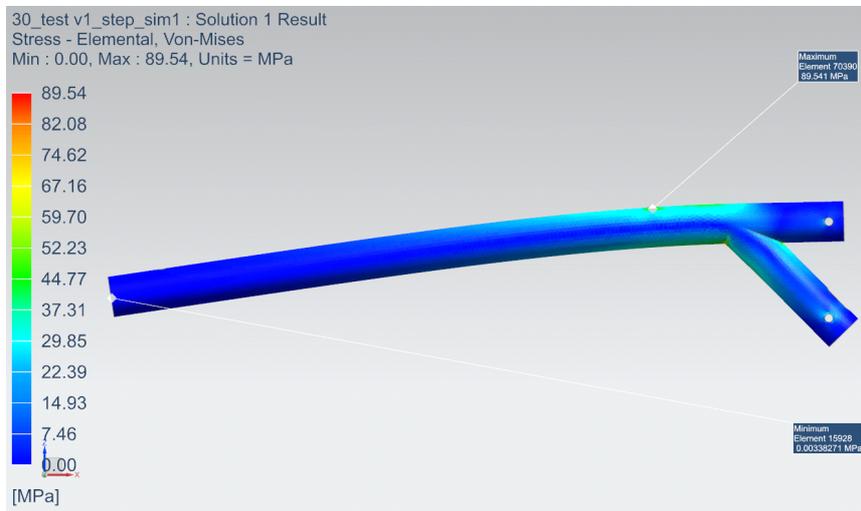


Fig. 29 Stress distribution of the truss structured connecting frame

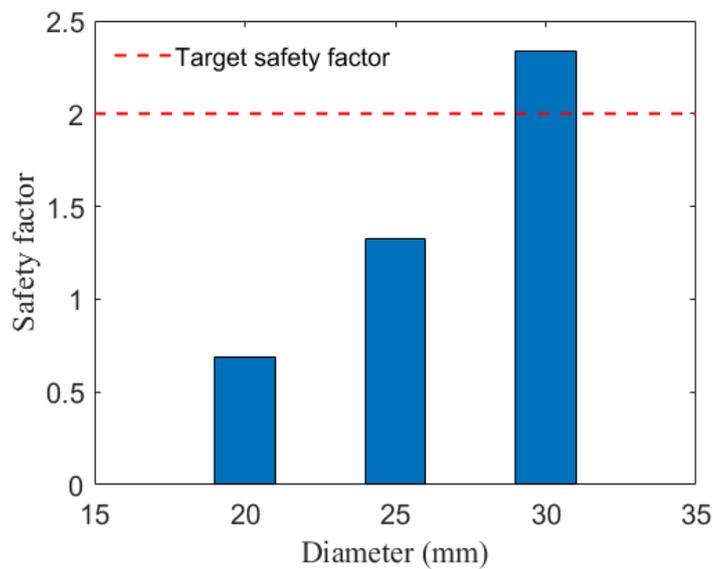


Fig. 30 Safety factors following the truss structured connecting frame's diameter

[Fig. 29]는 트러스 구조로 만든 시트 체결부의 중실축 해석 결과이며, [Fig. 30]은 해당 형상의 시

트 체결부의 직경을 20~30mm 범위에서 5mm 간격으로 조절하여 해석을 진행한 결과를 그래프로 표현한 것이다. 그 결과, 목표 안전계수를 만족하는 직경을 $d=30\text{mm}$ 로 줄일 수 있었으며, 이는 제약조건 ㉔와 ㉕를 모두 만족하므로 트러스 구조의 시트 체결부를 사용하는 것으로 결정하였다.

다음 [Fig. 31], [Fig. 32]는 제작의 용이성을 고려한 중공축에 대한 추가 설계이다.

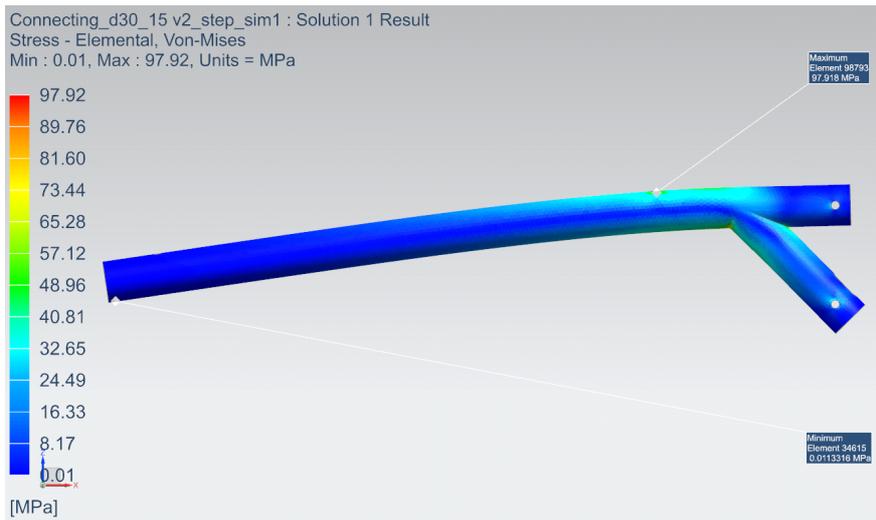


Fig. 31 Stress distribution of the hollow piped connecting frame

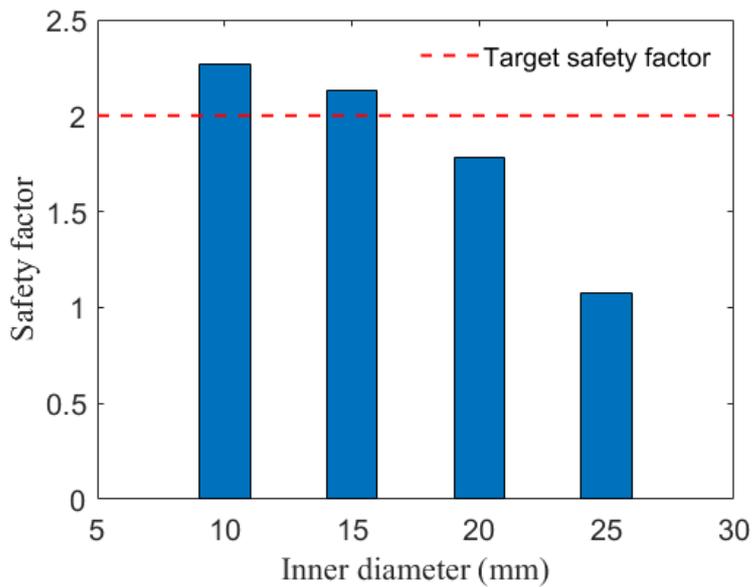


Fig. 32 Safety factors following the hollow piped connecting frame's inner diameter

[Fig. 31]은 시트 체결부 외경 30mm, 내경 15mm에 해당하는 중실축 해석 결과이며, [Fig. 32]는 내경을 10~25mm 범위에서 5mm 간격으로 조절하여 해석을 진행한 결과를 그래프로 표현한 것이다. 시트 체결부의 외경과 내경이 $od=30\text{mm}$, $id=15\text{mm}$ 일 경우 안전계수 2.13으로 제약조건 ㉔, ㉕ 그리고 제작의 용이성을 만족한다. 따라서 시트 체결부의 직경을 다음과 같이 결정하였다.

Table 13 Specification of connecting frame [mm]

시트 체결부	외경	내경
직경	30	15

2.6.5 높이조절 장치 케이스 세부설계

높이조절 장치 케이스의 크기는 다음과 너비, 높이, 폭순으로 3단계에 나누어 설계한다.

(1) 너비

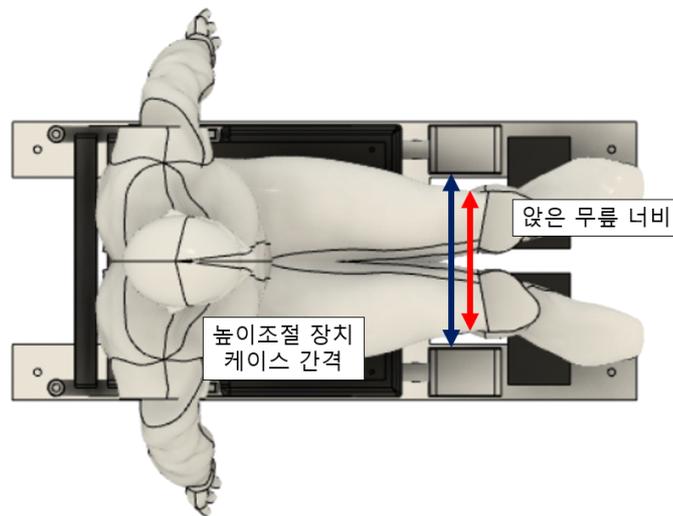


Fig. 33 The distance between the height adjustment devices and knee width

높이조절 장치 케이스의 너비는 내부 구성요소와 환자의 앞은 무릎 너비를 고려하여 설계한다. 내부 구성요소인 리니어 액추에이터의 너비는 40mm이고, 시트 체결부의 너비는 30mm이므로 살 두께를 고려하여 높이조절 장치 케이스의 최소 너비를 75mm로 설정한다. [Fig. 33]은 이송장치가 최소 높이에서 이용될 때, 환자의 무릎 부위가 높이조절 장치 사이에 위치하는 것을 나타낸다. 이를 고려했을 때, 높이조절 장치 케이스 사이 거리는 환자의 앞은 무릎 너비보다 넓어야 한다. 설계 요구조건 ㉔에 따라 [Table 4]를 고려했을 때, 높이조절 장치 케이스 사이 거리는 230mm 이상으로 설계해야 한다. 이를 토대로 높이조절 장치 케이스의 너비의 범위를 75mm이상, 200mm이하로 설정할 수 있다. 설계 요구조건 ㉕를 만족해야 하므로 높이조절 장치의 너비는 최솟값인 75mm로 설정한다.

(2) 높이

높이조절 장치 케이스의 높이는 내부 구성요소인 리니어 액추에이터와 시트 체결부를 고려하여 설계한다. 리니어 액추에이터의 최대 길이는 424mm이고, 시트 체결부의 높이는 110mm이므로 살 두께를 고려하여 케이스의 높이는 563mm로 설정한다.

(3) 폭

높이조절 장치 케이스의 폭은 내부 구성요소와 환자의 앞은 엉덩이 오금 수평 거리를 고려하여 설계한다. 내부 구성요소인 리니어 액추에이터, 너클 조인트와 시트 체결부의 폭을 고려했을 때, 높이조절

장치 케이스의 최소 폭을 114mm로 설정한다.

따라서 높이조절 장치 케이스는 [Fig. 34], [Table 14]와 같이 설계한다.

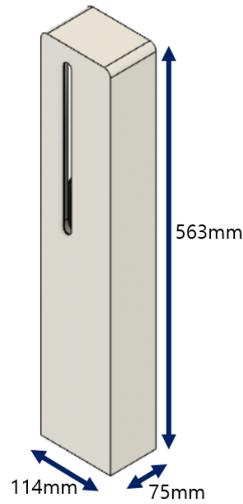


Fig. 34 Size of the height adjustment device case

Table 14 Specification of the height adjustment device case [mm]

높이조절 장치 케이스	너비	폭	높이
치수	75	114	563

2.6.6 발 받침 설계

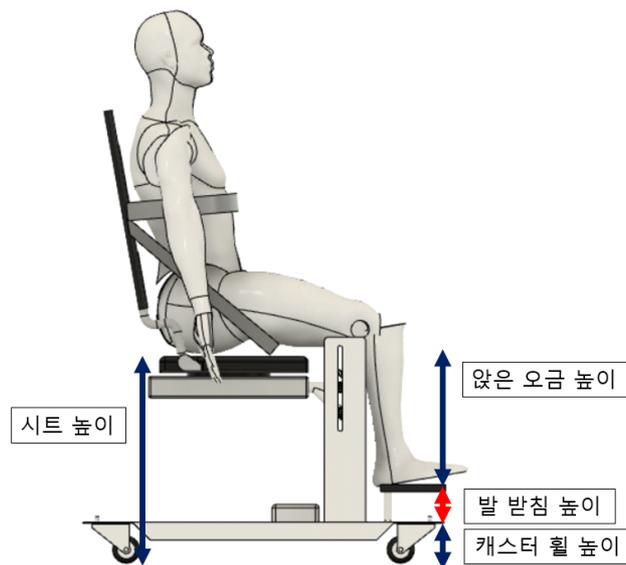


Fig. 35 Height of the foot rest

설계 요구조건 ㉔, ㉕를 고려하여, 환자의 앞은 오금 높이에 따라 높이 조절이 가능한 발 받침을 설계한다. [Table 3]에서 앞은 오금 높이의 범위는 323.5~409.5mm이므로 발 받침은 최소 86mm 이상의 가

동 범위를 가져야 한다. 그 결과 시트 높이 576mm, 캐스터 휠 높이 114mm 그리고 앉은 오금 높이를 고려하였을 때, 발 받침 높이의 범위는 52.5~138.5mm이므로 발 받침의 높이는 다음과 같이 설계한다.

Table 15 Specification of the foot rest [mm]

발 받침	최솟값	최댓값
높이	52.5	138.5

2.7 경제성 분석

Table 16 Bill of material

	명칭	개수	단위	가격
상부프레임 등받이	프레임(Steel)	-	-	₩7,000
	블랙타프 원단	2	마	₩19,200
	벨크로	4	EA	₩1,700
	지퍼	2	EA	₩1,200
합계				₩29,100
상부프레임 시트	프레임(PE)	-	-	₩6,400
	메모리폼	1	EA	₩9,800
	턴테이블	1	EA	₩7,000
	리클라이너	2	EA	₩1,200
합계				₩24,400
하부프레임	프레임(Steel)	-	-	₩34,000
	가이드 휠	8	EA	₩35,000
	6mm 핀	6	EA	₩5,000
	너클 조인트	2	EA	₩10,000
	리니어 액추에이터 (24V)	2	EA	₩176,000
	컨트롤러	1	EA	₩23,400
	리모컨	1	EA	₩24,000
	배터리 (12V,2.9A)	2	EA	₩26,000
캐스터휠	4	EA	₩19,600	
합계				₩353,000
총 합계				₩406,500

[Table 16]은 본 설계내용을 구현할 경우 예상되는 비용을 대략적으로 계산한 내용이며, 2,200,000 ~ 3,500,000원으로 가격이 구성되어있는 기존의 이송리프트 보다 저렴한 금액으로 사용이 가능함을 확인할 수 있다. 또한 전체 비용에 6%에 해당하는 상부프레임 시트를 여러 개 구비할 수 있다면, 다수의 환자가 휠체어-침대 간 이동이 가능하기 때문에 기존의 특허제품보다도 경제성에 경쟁력이 있음을 알 수 있다.

3. 결과 및 토의

3.1 최종 설계물 3.1.1 프로토타입

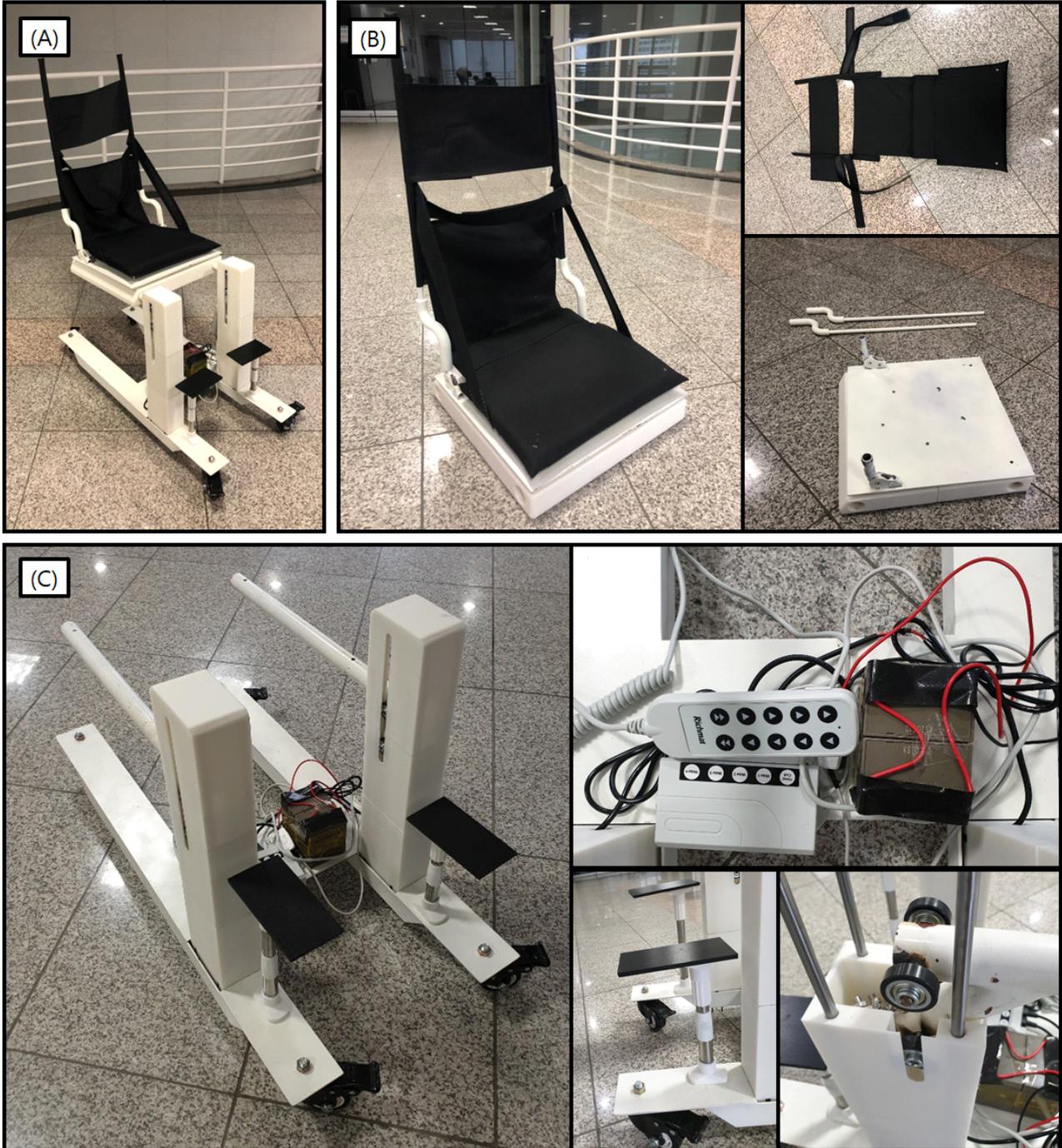
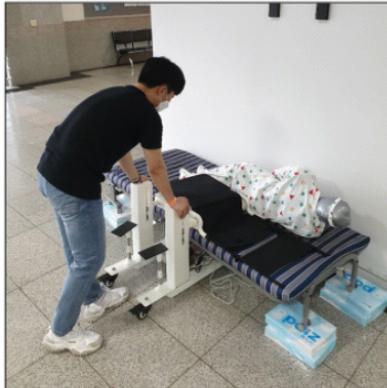


Fig. 36 (A) Prototype of the overall structure, (B) Prototype of the upper frame and the components, (C) Prototype of the lower frame and the components

3.1.2 제품 작동원리

Table 17 Tasks and operation of the device in sequential stages with prototype.

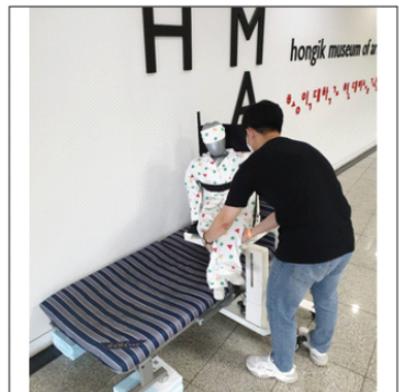
1. 환자 및 제품 위치



2. 기립 및 안전장치 착용



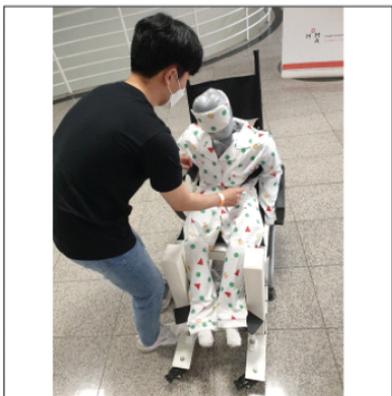
3. 시트 높이조절 및 상부프레임 회전



4. 이송 및 휠체어 탑승



5. 등받이 분리



6. 하부프레임 분리 및 최종 상태



3.2 최종 설계물 장단점

본 연구에서 개발된 제품의 장점을 크게 세 가지로 선정하였다.

첫째, 기존의 이송 보조기구는 신체를 지지하는 부분에서 환자에게 신체적 부담이 존재한다. 본 제품은 휠체어의 구조를 착안하여 환자의 신체를 넓은 범위에서 지지하여 불편을 최소화한다.

둘째, 이송리프트는 환자가 이송을 위해 슬링을 착용하고 공중으로 이동하여 환자의 이송 과정이 불안정적이다. 또한, 이송 보드는 환자가 휠체어로 이동하는 과정이 침대와 휠체어 사이의 틈에서 이루어지기 때문에 낙상사고의 위험이 있다. 이처럼 환자를 이송시키는 과정이 안정적인 곳에서 이루어지지 않는 기존 이송 보조기구의 단점을 보완하기 위해 제품은 환자를 이송시키는 과정이 휠체어와 같이 환

자가 제품에 앉은 채로 탑승하여 이루어지므로 안전성이 뛰어나다.

셋째, 보조자의 신체적인 부담이 큰 휠체어-침대 이송 과정에서 리니어 액추에이터와 같은 전동기구와 추가적인 메커니즘을 사용하도록 설계하여 보조자의 부담을 줄여준다.

단점으로 뽑은 사항은 다음과 같다.

환자용 전동침대로 조절 가능한 등받이 각도 범위가 70° 로 제품을 사용함에 있어 추가로 보조자가 90° 로 등받이를 올려주는 과정이 필요하다는 단점이 존재한다.

3.3 최종 설계물 활용 방안 및 기대효과

본 제품의 활용 방안을 범용성, 호환성, 시장성, 사용 편의성 네 가지 영역으로 분석하였다.

첫째, 범용성 영역이다. 최근 개발되고 있는 다수의 이송 보조기구와 달리, 본 제품은 간단한 이동을 수행함과 동시에 침대-휠체어 간 이동을 돕는 이송 보조기구로써 역할을 수행할 수 있다. 따라서 기존에 보급된 휠체어를 다른 제품으로 대체할 필요 없이 본 제품과 함께 사용할 수 있다.

둘째, 호환성 영역이다. 본 제품은 규격 내의 각종 크기의 침대와 휠체어에 적용이 가능하며, 다양한 신체 치수의 환자에게 사용이 가능하다. 따라서 휠체어, 침대가 다수 보급되어 있고, 많은 환자들이 존재하는 대형 병원이나 요양 시설에서 본 제품을 사용하면 더욱 효과적으로 사용할 수 있다.

셋째, 시장성 영역이다. 기존 휠체어 사용자들은 보다 편한 휠체어 사용을 위해 시트 외 별도의 방식을 구입하여 사용하고 있다. 본 제품의 메커니즘 특성상 상부프레임 시트 자체를 휠체어의 방식으로 사용할 수 있기 때문에 환자가 별도의 방식을 구매하지 않아도 된다. 나아가 시트의 구조를 더욱 간소화하고 가격을 낮추어 보급률을 높인다면, 여분의 상부프레임 시트를 구비함으로써 제품 하나로 여러 명의 환자를 휠체어 또는 침대로 이동시킬 수 있다.

넷째, 사용 편의성 영역이다. 보조자는 환자 밑에 침대 커버 및 슬링을 효율적으로 위치시키는 방법에 대해 교육을 받는다. 본 제품은 위와 같은 과정을 통해 환자를 제품에 위치시킨다. 따라서 보조자는 제품 사용 과정에서 추가적인 교육 없이 편리하게 사용할 수 있다.

4. 결론

본 제품의 설계와 실험을 통해 우리는 다음과 같은 결론을 낼 수 있었다.

(1) 설계의 목표는 휠체어-침대 이동 간의 안전성과 편리성을 최대화하는 것이다. 안전성을 최대화하는 방법은 제품의 작동 과정이 침대와 휠체어 시트 위에서 이루어지도록 하는 것이다. 따라서 침대와 휠체어로의 보다 가깝고 용이한 접근을 위해 하부프레임을 ‘ㄷ’ 자로 설계하였다. 추가로 상부프레임 시트와 하부프레임을 분리되게 설계하여 상부프레임 시트를 휠체어 탑승 시 방식으로 사용하게 되어 편리함을 향상시킬 수 있었다.

(2) 이송 보조기구로서의 역할을 원활히 수행하기 위해 기존에 보급되어 있는 다양한 규격의 휠체어와 침대에 적용이 가능하도록 제품을 설계했다. 그 결과 하부프레임에 높이 조절을 위한 리니어 액추에이터를 설계하여 제품을 실험해보았다. 높이의 가동 범위는 460mm부터 570mm로서 표준규격에 해당하는 휠체어와 침대에 호환 가능하여 그 범용성이 뛰어나다.

(3) 앞으로 진행되는 고령화에 따라 실버 산업이 중요해진다. 대표적으로, 노인을 위한 대형 병원과 요양 시설들이 증가할 것이다. 이와 같이 많은 인원의 노인들이 이용하는 곳에서 제품의 강점이 돋보인다. 다양한 신체 사이즈의 환자에도 불편함 없이 적용되며, 보조자의 개입을 최소화하여 환자와 보조자 모두에게 편리함을 주어 실버 산업을 발전시킨다.

후 기

후기 1. 프로토타입 제작에 많은 여건을 제공해준 JAC 튜닝 메이커스에게 감사드립니다.

후기 2. 본래 병원이나 요양시설과 협조하여 실제 사용되고 있는 휠체어와 의료용 침대를 대여하여

사용자 검증을 시행하려 했으나 코로나로 인해 사용자 검증을 할 수 없었던 점이 아쉽습니다.

참고문헌

- (1) “장애인구추계”, 2019, 통계청.
- (2) “국민건강영양조사 제 3기”, 2006, 한국보건사회연구원, pp. 66.
- (3) 분당서울대학병원, https://www.snubh.org/dh/main/index.do?DP_CD=BCD8&MENU_ID=006008013
- (4) Park, S. H. and Shin, J. I., 2015, “Wheelchair Usage and Satisfaction Survey of Elderly Patients,” pp. 260.
- (5) Kim S. T. and Sun S. H., 2019, “Study on the Roles of Mobility Assistive Device for the Disabled with the Lower Half of the Body,” Journal of Industrial Design, Vol. 13, No. 4, pp. 51~59.
- (6) Jung, A., 2018, 장기요양연구, Vol. 6, No. 1, “Physically Demanding of Care Worker in Elderly Care Facilities : in Seoul and Gyeonggi-do,” pp. 7~10
- (7) “KS P ISO7176-5 (휠체어- 제5부 : 치수, 무게, 조작 공간의 결정)”, 2016, 식품의약품안전처, pp. 26~29.
- (8) “의료기기 기준규격 제2017-16호”, 2017, 식품의약품안전처, pp. 1~9.
- (9) “제 7차 한국인 인체치수조사사업”, 2015, 국가기술표준원, pp. 126~263
- (10) .Kim, S. E. and Song, B. S., 2013, “A Study on the Standards of South Korea Type Manual Wheelchair in Accordance with the Human Body Size of Adult,” Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology, Vol. 7, pp 63~68.
- (11) Kim, J. M. and Lee, S. Y., 2019, “A Study on Changes in Breath and Depth Measurements of Low Bodies with Different Postures Using 3D Scan Data,” Journal of the Korean Society of Costume, Vol. 69, No. 3, pp. 61-76.
- (12) “의료기기 기준규격 [별표 3] 1등급 의료기기”, 2020, 식품의약품안전처, pp. 189.
- (13) Stanley P., 1983, “Anatomical data for analyzing human motion,” Journal of Research Quarterly for Exercise and Sport, Vol. 54, pp. 169~178.
- (14) <https://www.cancerresearchuk.org/about-cancer/coping/physically/skin-problems/pressure-sores/causes-and-prevention>