

차륜형 보행 보조 기기 설계
(1단계 보고서)

KAERI

2006. 3. 31

한국원자력연구소

제 출 문

고등기술원장 귀하

본 보고서를 “차륜형 보행 보조 기기 설계” 과제의 1단계 보고서로 제출합니다.

2006. 3 . 31.

연구기관명 : 한국원자력연구소
수행책임자 : 정승호(원자력로봇랩)

연 구 원 : 김승호(원자력로봇랩)
연 구 원 : 김창희(원자력로봇랩)
연 구 원 : 서용철(원자력로봇랩)
연 구 원 : 정경민(원자력로봇랩)
연 구 원 : 이성욱(원자력로봇랩)

핵심기술개발사업 보고서 초록

과 제 명	차륜형 보행 보조 기기 설계
키 워 드	차륜형/보행보조기기/계단 승하강 메커니즘/노인 보조
개발목표 및 내용	
<p>1. 단계최종목표</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 하지 근력이 저하된 노인의 보행, 부축 및 앉기/서기 보조가 가능하고 계단 승하강이 가능한 실외용 차륜형 보행보조기기를 개발 <p>2. 개발내용 및 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 경사면, 도로 요철 및 턱 적응형 이동 메커니즘 개념 설계 ○ 노인 지지부 개념 설계 ○ 실외용 보행 보조 장치 통합 개념 설계 ○ 계단적응형 차륜형 보행보조기기 개념설계 ○ 타당성 검증을 위한 테스트 시스템 구축 ○ 계단 및 장애물 감지 기술 개발 <p>3. 기대효과(기술적 및 경제적 효과)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 보행보조기기를 통한 노인의 사회/경제 활동 참여율 증가가 기대됨 ○ 실버산업의 기술취약성을 극복할 뿐만 아니라 나아가 초대형화 하는 세계시장에서 경쟁력을 확보하여 새로운 국가 산업 부문으로 발전이 가능함 <p>4. 적용분야</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 앞으로의 노인 생활에 큰 도움을 줄 수 있고 개발된 시스템을 응용하면 노인 대상 시스템과 쉽게 접목할 수 있으며, 이를 일반 가정에 적용하게 되면 가정용 로봇으로도 쉽게 적용이 가능할 것으로 생각된다. 또한 이 시스템은 IT, BT와의 융합을 통해 산업 현장에 적용하는 것도 가능하리라 생각된다. 	

목 차

제 1 장 서론	8
제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성	8
제 2 절 연구개발의 목표 및 내용	11
제 3 절 국내외 기술개발 현황	12
1. 국외 기술개발 현황	12
2. 국내 기술개발 현황	21
제 2 장 기술개발 내용 및 방법	23
제 1 절 환경 분석 및 보행 보조 기기의 요구 사항	23
1. 보행보조기기 개념 설계 시 고려 사항	23
2. 계단 승하강을 위한 보행보조기기 설계 시 고려 사항	24
제 2 절 보행 보조 기기 개념 설계	25
1. 보행보조기기의 기본 구조	25
2. 장치 제원 결정	26
3. 토크 계산	34
제 3 절 설계된 보행보조기기	41
제 4 절 계단 승하강 메커니즘 개념 설계	47
1. 계단 승하강을 위한 고려 사항	47
2. 계단 승하강 메커니즘 분석	48
3. 계단 승하강 메커니즘의 모의 실험	53
제 5 절 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 개념 설계	58
1. 계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 구조	58
2. 토크 계산	61
3. 계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 개념 설계	62
제 6 절 계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 테스트 시스템 구축	64
1. 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 테스트 시스템 설계	64
2. 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 테스트 시스템 제작	65
3. 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 테스트 시스템 실험	66
제 7 절 계단 장애물 감지 기술	68
1. 거리센서를 이용한 계단 장애물 감지 방법	68
2. 단일 카메라 영상을 이용한 계단 장애물 감지방법	74
제 8 절 테스트 시스템용 제어기 구축	85
제 3 장 결과 및 향후계획	87
참고문헌	88
부록 A. 국외 보행 보조 기기의 개발 현황	89
부록 B. 보행보조기기의 각 부품 제원	94

표 목 차

표 1 주요국가 인구구조 및 부양비	9
표 2 로봇 기술을 이용한 실버산업 관련 시장 전망	10
표 3 연차별 연구개발 목표 및 내용	11
표 4 국내 비산업용 로봇 연구현황	21
표 5 보행보조기기의 요구 조건과 제원	23
표 6 노년층의 주요 신체 치수	24
표 7 계단 치수	24
표 8 레이저 광막 평면식 추정 실험 결과	82
표 9 상승 계단에 대한 실험 결과	84
표 10 하강 계단에 대한 실험 결과	84

그 립 목 차

그림 1 우리나라의 고령인구(65세 이상) 비중 추이	8
그림 2 국외 실버케어 지능로봇 시스템	13
그림 3 독일 AAT사의 C-Max	14
그림 4 독일 AAT사의 S-Max	14
그림 5 C-MACX와 S-MAX의 계단 승하강 원리	14
그림 6 Scalamobil	15
그림 7 Scalamobil의 계단 승하강 원리	15
그림 8 SCOIATTOLO	16
그림 9 iBot의 계단 이동 모습	16
그림 10 iBot의 일어선 모습	16
그림 11 Explorer WheelChair	17
그림 12 CargoMaster	17
그림 13 CargoMaster의 계단 승하강 원리	18
그림 14 LIFTKAR SAL	18
그림 15 LIFTKAR SAL의 계단 승하강 원리	19
그림 16 Shrimp	19
그림 17 Shrimp의 계단 주행	19
그림 18 Octopus	20
그림 19 Octopus 차륜 구조	20
그림 20 Octopus의 계단 승하강 원리	20
그림 21 국내에서 개발된 실버케어 지능로봇	21
그림 22 계단 이동이 가능한 바퀴	22

그림 23 계단 이동이 가능한 바퀴의 작동 원리	22
그림 24 차륜형 보행보조기기의 개념도	26
그림 25 보행보조기기가 하강 경사면에 주차 경우	29
그림 26 보행보조기기가 상승 경사면에 주차 경우	31
그림 27 보행보조기기가 상승 경사면 정지 경우 (몸체 수평유지)	32
그림 28 보행보조기기의 좌우 경사면 주차 경우	33
그림 29 보행보조기기의 경사면 주행 시	34
그림 30 차륜과 턱의 관계	37
그림 31 보행보조기기의 턱 등판 시	37
그림 32 전륜구동 토크	39
그림 33 회전관절 토크	39
그림 34 지지대 구동 토크 계산	40
그림 35 개념 설계된 차륜형 보행보조기기 모양	41
그림 36 개념 설계된 보행보조기기의 각 명칭	42
그림 37 몸체부의 내부 모습	42
그림 38 보행보조기기에 부착된 의자 모양	43
그림 39 개념 설계된 보행보조기기의 제원	44
그림 40 보행보조기기의 최소 제원	45
그림 41 보행보조기기의 앞기 보조 모양	46
그림 42 승하강 메커니즘과 계단과의 자세	47
그림 43 전륜의 계단 승강시 몸체의 기울기	48
그림 44 wheeled lever를 이용한 계단 승하강	49
그림 45 wheeled lever를 이용한 계단 승하강시 지지계단에 따른 차이점	49
그림 46 지지대 끝단의 원운동과 타원운동의 차이	50
그림 47 승강 시와 하강 시의 보행보조기기의 자세	50
그림 48 5-bar 링크 메커니즘	51
그림 49 크랭크-슬라이드 메커니즘	51
그림 50 3륜/4륜 차륜부를 이용한 계단 승하강 방법	51
그림 51 휠이 부착된 실린더 및 후륜 지지 링크의 회전을	52
그림 52 wheeled lever를 이용한 계단 이동 모의실험	53
그림 53 크랭크-슬라이드 메커니즘을 이용한 타원 운동	54
그림 54 5-bar 링크 메커니즘을 이용한 계단 이동 과정	55
그림 55 휠이 부착된 실린더 및 후륜지지 링크의 회전을 이용한 계단 이동 과정	56
그림 56 계단 적응형 차륜형 보행보조기기	59
그림 57 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 측면	59
그림 58 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 정면도	60
그림 59 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 내부	60
그림 60 전방 실린더부	61

그림 61	후방 실린더부	61
그림 62	차륜형 보행 보조 기기 정면도	62
그림 63	차륜형 보행 보조 기기 측면도	62
그림 64	차륜형 보행 보조 기기 평면도	62
그림 65	전방 실린더부 조립도	63
그림 66	후방실린더부 조립도	63
그림 67	계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 테스트 시스템	64
그림 68	테스트 시스템의 전륜 도면	65
그림 69	테스트 시스템의 측면 모양	65
그림 70	테스트 시스템의 정면 모양	65
그림 71	테스트 시스템의 전륜 모양	66
그림 72	테스트 시스템의 후륜날개 구동 모양	66
그림 73	테스트 시스템의 전방 실린더부 모양	66
그림 74	테스트 시스템의 계단 이동 과정	67
그림 75	계단 장애물 감지 원리	68
그림 76	계단 장애물 감지 원리 (하강계단의 경우)	68
그림 77	계단 장애물 감지 원리 (일반적인 경사면의 경우)	69
그림 78	계단 장애물 정보 수집 원리	70
그림 79	계단 장애물 정보 수집	70
그림 80	장애물까지의 수직 및 수평 거리	70
그림 81	거리센서 신호 생성 원리	71
그림 82	거리센서 신호가 불연속한 경우	72
그림 83	$\theta_o=90^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 거리 변화	73
그림 84	$\theta_o=90^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 기울기 변화	73
그림 85	$\theta_o=40^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 거리 변화	73
그림 86	$\theta_o=40^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 기울기 변화	74
그림 87	$\theta_o=-30^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 거리 변화	74
그림 88	$\theta_o=-30^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 기울기 변화	74
그림 89	단일 카메라 영상을 이용한	75
그림 90	카메라 보정	76
그림 91	레이저 광막의 평면식 추정 원리	78
그림 92	하강계단의 영상으로부터 계단 정보 추출 원리	79
그림 93	카메라 보정용 지그 영상	80
그림 94	영상 왜곡 보정을 한 후의 카메라 보정용 지그 영상	80
그림 95	레이저 광막 평면식 추정을 위한 계단 영상	81
그림 96	왜곡 보정 후의 계단 영상	81
그림 97	상승계단의 배경 영상	82

그림 98 상승계단의 레이저 투사 영상	82
그림 99 하강계단의 배경 영상	83
그림 100 하강계단의 레이저 투사 영상	83
그림 101 하강계단의 이미지 처리 영상	83
그림 102 하강계단의 이미지 처리 영상	83
그림 103 제어기 구조	85
그림 104 제작된 DSP 보드	85
그림 105 제작된 FPGA 보드	85
그림 106 제작된 고풍력용 DC 모터 드라이버	86
그림 107 제작된 DC 모터 드라이버	86
그림 108 Robotic Walker	89
그림 109 Smart Walker	90
그림 110 Smart Cane	90
그림 111 Hitachi의 보행 도우미 로봇	91
그림 112 PAM-AID Smart Walker	92
그림 113 Guido	92
그림 114 CMU walker	93
그림 115 Harunobu	93
그림 116 전륜 제원	94
그림 117 회전 날개 제원	95
그림 118 지지대 제원	95

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

65세 이상 노인들이 전 국민의 7.2%를 상회함으로써(2000년 기준), 우리나라도 본격적으로 “고령화 사회”에 진입하였다(그림 1). 유엔에서는 65세 이상의 인구비중이 7%를 넘으면 고령화 사회(aging society), 14%를 초과하면 고령 사회(aged society), 20%를 넘으면 초고령 사회(post-aged society)라고 부른다. 2019년에는 노인 인구가 14% 이상이 되어 “고령화 사회”를 넘어 “고령 사회”로 접어들게 되고, 그것도 세계에서 가장 빠른 속도로 접어들고 있다 (대표적으로 미국, 영국, 일본의 경우 각각 71년, 47년, 그리고 24년에 걸쳐 고령 사회에 접어든 것에 비하여 국내의 경우 19년 소요). 그리고 2026년에는 노인 인구가 총 국민인구의 20%이상이 되어 “초고령 사회”가 될 것으로 전망되고 있다. 이러한 급격한 고령 인구의 증가는 국가의 경제사회적 부담을 급격히 증가시키므로, 국가적 차원의 대응책이 시급하다(표 1). 아울러, 기존의 가족제도가 붕괴됨으로써 노인들이 단독으로 생활하는 거주 형태가 증가하고 있는 추세인 데 반해, 젊은 생산 연령의 인구는 오히려 감소추세여서 이에 대한 대책이 시급히 요구되고 있다.

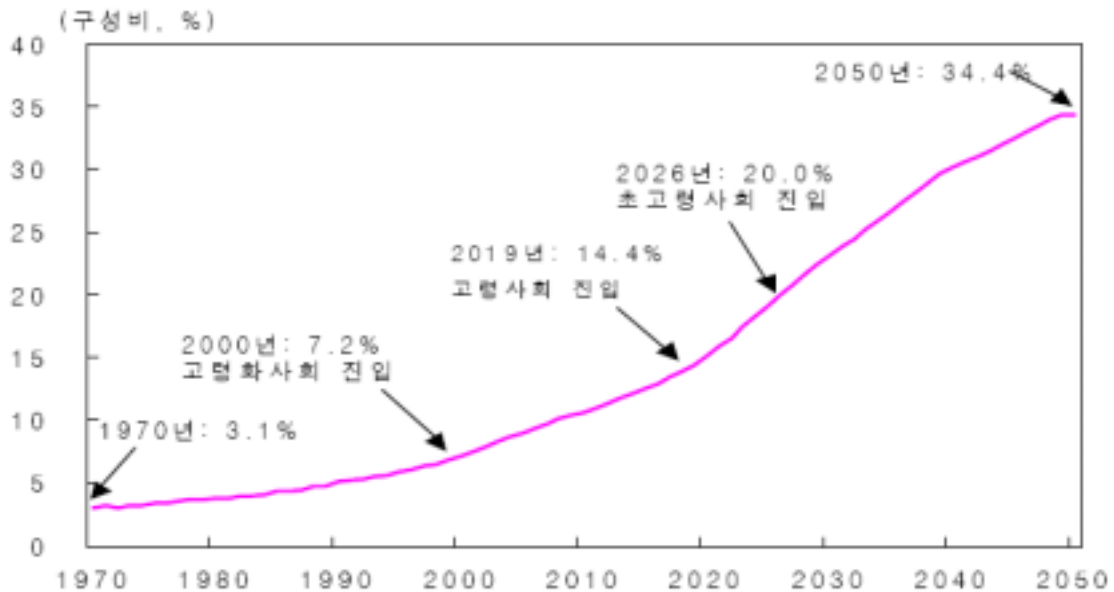


그림 1 우리나라의 고령인구(65세 이상) 비중 추이

표 1 주요국가 인구구조 및 부양비

국가	인구구조						총부양비	
	2000			2030			2000	2030
	0~14	15~64	65+	0~14	15~64	65+		
전 세계	29.7	63.4	6.9	22.4	65.8	11.8	57.7	52.0
선진국	18.2	67.4	14.4	15.4	62.0	22.6	48.4	61.3
개도국	32.5	62.4	5.1	23.6	66.5	9.9	60.3	50.4
한국	21.1	71.7	7.2	12.4	64.6	23.1	39.5	54.9
일본	14.7	68.1	17.2	12.7	59.3	28.0	46.8	68.6
미국	21.5	66.0	12.5	17.8	61.6	20.6	51.5	62.3
이탈리아	14.3	67.5	18.2	11.6	59.3	29.1	48.1	68.6
프랑스	18.7	65.4	15.9	16.9	59.9	23.2	52.9	66.9
중국	24.9	68.3	6.8	17.3	67.0	15.7	46.4	49.3
인도	33.3	61.7	5.0	22.3	68.0	9.7	62.1	47.1

이러한 문제를 직접적으로 다루게 될 실버산업분야는 현재 기술의 취약성으로 인하여 관련 제품이 80%에 이르는 높은 수입 의존도를 보이며 대외에 종속되어 있다. 아울러서, 노인 인구의 증가 및 사회·경제 활동 참여율의 증가로, 국내는 물론 세계적으로 매우 큰 실버 시장이 (일본의 경우 1,600조원 정도 예상됨) 형성될 것이 자명하다. 따라서 실버산업의 기술취약성을 극복할 뿐 아니라, 나아가 초대형화 하는 세계시장에서 경쟁력을 확보하여 새로운 국가 산업 부문으로 발전시키는 것이 매우 중요하다.

우리나라의 실버산업 시장규모는 2000년 17조원에서 2005년 약 27조원, 2010년 약 41조원에 달할 것으로 추정되는 데 특히 생활지원 시스템 전체의 시장 전망은 2009년에 1조원으로 성장할 전망이다. 세계 시장 규모는 인구 및 발전성향으로 판단될 수 있는 데, 일본의 인구가 1억 3천만명이고 세계 인구가 60억에 이르고 있으며, 특히 복지정책이 잘 되어 있는 선진국의 인구가 유럽 4억명, 북미주 3억명, 오세아니아 5천만명 등으로 10억명 정도이다. 일본의 2000년도 노인 생활지원 시스템의 내수시장이 11조원 정도이고, 이로 미루어 세계 시장 규모는 일본 시장의 7배 정도로 추측하면, 2000년도에 70조원 정도이며, 2009년에는 200조원 이상의 규모가 될 것이다. 이 수치는 좁은 의미의 생활 지원 기기의 시장 규모이며, 사회 간접 지원과 공동 이동 장치 등을 통합한 넓은 의미의 생활 지원 시장 규모는 이 수치의 3배 이상이 된다. 특히 노인 생활 보조 로봇 시스템은 앞으로의 노인 생활에 큰 도움을 줄 수 있고 이 시스템을 응용하면 노인 대상 시스템과 쉽게 접목할 수 있으며, 이를 일반 가정에 적용하게 되면 가정용 로봇으로도 쉽게 적용이 가능할 것으로 생각된다. 또한 이 시스템은 IT, BT와의 융합을 통해 동산업 현장에 적용하는 것도 가능하리라 생각된다. 현재의 시장규모는 산업용 로봇 위주로 약 2,000억원 규모이나 2020년경 국내 RT산업의 시장규모는 100조원에 이를 것으로 추정된다. (표2)

표 2 로봇 기술을 이용한 실버산업 관련 시장 전망

기술 종류	시장형성		시장규모			
	시기		국내(억원)		국외(억불)	
	국내	국외	2008	2013	2008	2013
노인 운동기능 증진/회복 증진 시스템	2008	2004	2,700	5,000	340	570
노인 생활지원 지능 시스템	2008	2006	4,000	7,000	550	850
실버케어 지능로봇	2008	2007	2,000	4,000	400	800
합계			8,700	16,000	1,290	2,220

우리나라가 세계에서 가장 빠른 속도로 초고령 사회로 접어들고 있는 실정에 비하여 노인의 생활을 보조하는 로봇, 특히 보행이 불편한 노인의 보행보조용 로봇의 개발은 미미한 실정이다. 따라서 본 연구의 최종 목표는 하지 근력이 저하된 노인의 보행, 부축 및 앉기/서기 보조, 그리고 계단 승/하강이 가능한 계단 적응형 보행 보조 기기를 설계하는 것이다.



제 2 절 연구개발의 목표 및 내용

본 연구는 하지 근력이 저하된 노인의 보행, 부축 및 앉기/서기 보조가 가능하고 계단 승/하강이 가능한 실외용 차륜형 보행 보조 기기를 설계하는 것이 최종 목표이다.

1단계에서는 실외 환경에서 하지 근력이 저하된 노인의 보행, 부축 및 앉기/서기 등의 활동을 지능적으로 도와주며 계단을 승하강할 수 있는 실외용 보행보조 기기의 기본 개념을 설계하는 것이다.

이를 위해 연차별 연구개발 목표 및 내용은 표3과 같다.

표 3 연차별 연구개발 목표 및 내용

구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
1차년도 (2003.10-2004.3)	차륜형 실외용 보행 보조 기기 개념 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 실외용 보행 보조 기기 자료 수집 및 분석 - 환경 분석 및 실외용 보행 보조 기기 제원 결정 - 경사면, 도로 요철 및 턱 적응형 이동 메커니즘 개념 설계 - 노인 지지부 개념 설계 - 실외용 보행 보조 장치 통합 개념 설계
2차년도 (2004.4-2005.3)	계단적응형 보행 보조 기기 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 계단적응형 차륜형 보행보조기기 제원결정 - 계단적응형 차륜형 보행보조기기 개념설계 - 계단적응형 차륜형 보행보조기기 해석 - 3차원 동작 모의실험
3차년도 (2005.4-2006.3)	계단적응형 보행 보조 기기 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 설계 수정/보완, 해석 및 구조 안정성/안전성 분석 - 타당성 검증을 위한 테스트 시스템 구축 - 계단 및 장애물 감지 기술 개발 - 계단 및 장애물 적응형 차륜 승하강 제어 기법 개발

제 3 절 국내외 기술개발 현황

국내 로봇 관련 기술은 주로 산업용 로봇 기술을 기반으로 개발되고 있다. 비산업용 로봇의 경우 최근 KAIST에서 ERC 사업으로 “Welfare Robotics” 연구가 진행되고 있으며, 한국과학기술연구원에서는 인간형 로봇에 대한 연구가 진행 중이다. 또한 포항공대 등 다양한 학계에서 로봇 관련 연구가 진행되고 있으나, 산업용 로봇 개발 및 연구와는 달리 인간생활 지원을 위한 지능 로봇의 첨단 로봇 기반 기술의 개발이 미약하다.

일본의 경우, 기존 개발된 산업용 로봇기술을 기반으로 “극한작업로봇 프로젝트”, “인간형 로봇 프로젝트”가 진행 중이며, 최근 인간형/애완용 로봇 개발이 활발히 진행되고 있다. 유럽은 EUREKA, ESPIRIT, BRITIC, TELEMAN 등 로봇 관련 산·학·연 연구가 대규모로 수행되고 있으며, 노약자 간호 및 재활 로봇을 중심으로 수술용 로봇이 실용화되고 있다. 미국은 우주 산업 및 국방용 로봇 개발에 중점적 연구가 수행되어 왔으며, 최근 장애인 및 생활보조 로봇 개발이 활발히 진행되고 있다. 하지만, 고령화사회에 대비하는 실버산업에 응용될 차세대 지능 로봇의 개발 실적은 세계적으로 미미한 실정이다.

특히 계단 승하강이 가능한 노인의 보행보조기기의 기술개발은 국내외적으로 전무한 상태이다.

1. 국외 기술개발 현황

가. 노인 보조용 로봇의 현황

고령인구가 많은 일본 및 서구의 선진국들은 이전부터 노인의 생활을 보조하는 로봇 시스템에 대한 많은 구체적인 연구들을 수행해왔다. 일본에서는 Matsushita 전자에서 노인 요양원에서 환자와 교류하며 환자의 반응을 체크하여 이상 시에 센터에 알리는 역할을 수행하는 Teddy-Bear 로봇을 개발하였다. 이 로봇은 오사카의 노인 요양원에서 간호사의 도우미 역할을 수행하고 있다. 또한 Mitsubishi중공업에서는 2003년 가까운 사람을 알아보고 일상적인 대화가 가능하며 도둑침입, 화재 발생 등의 응급상황을 외부로 알릴 수 있는 가정용 로봇 Wakamaru를 개발하였다.

미국에서는 2002년까지 Carnegie-Mellon, Pittsburgh, Michigan 대학에서 공동으로 ‘Nursebot Project’를 수행하였다. 이 결과 노인 보조를 위한 지능형 기억환기, 원격으로 의사와 노인 연결, 위험환경 감시 및 경보 기능을 수행하는 Pearl과 사회적 기능 보조, 표정을 통한 인간과의 교감 기능을 수행하는 Flo라는 로봇을 개발하였다. 또한 Pyxis 사에서는 2003년 자율주행 의료복지 로봇인 Helpmate를 개발한 것을 바탕으로 노인의 일상생활을 보조하고 투약시간을 알려주며 신체상태를 모니터링할 수 있는 ElderCare 로봇을 개발 중이다. 그리고 미국에서는 이 분야에 대한 학술 활동도 활발한 데 대표적으로는 ‘AAAI 2002 부속 노약자를 위한 지능기술의 역할 Workshop’이 개최된 것을 들 수 있다.

독일에서는 Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation (IPA)에서 1998년에 노인의 사회활동 지원, 음성 합성, 그래픽 인터페이싱을 제공하는 Care-O-Bot 을 개발하였고 이를 바탕으로 2000년에 6자유도 로봇팔과 자동인간인식 기능이 추가된 Care-O-Bot II를 개발하였다(그림 2).



그림 2 국외 실버케어 지능로봇 시스템

나. 계단 승하강 메커니즘 관련 기술 현황

노인이 실외를 보행하다보면 도로의 건널목을 건너기도 하고, 육교 및 지하도를 건너기도 한다. 따라서 노인의 보행을 보조하는 실외용 보행보조기기는 도로 턱 뿐만 아니라 계단을 승하강할 수 있어야 한다. 현재까지 국내외적으로 계단을 승하강할 수 있는 실외용 보행보조기기는 개발된 것이 없으며 단지 최근에 계단을 승하강할 수 있는 휠체어가 개발되었을 뿐이다. 그리고 노인의 보행을 보조하기 위한 보행보조기기는 아니지만 수하물 운반용으로 개발된 수하물 운반용 기기 중에서 계단을 승하강할 수 있도록 개발된 제품들이 있다.

본 연구에서는 계단을 승하강용 휠체어 및 계단 승하강이 가능한 수하물 운반용 기기들의 특징 및 승하강 메커니즘에 대하여 조사하였다.

1) C-MAX stair-climber and S-MAX

휠체어의 계단 이동을 위한 기기로서 독일 AAT (Alber Antriebstechnik) GmbH에서 개발된 C-MAX와 S-MAX가 있다. C-MAX는 계단 승하강이 가능한 휠체어이고(그림 3), S-MAX는 기존의 휠체어에 부착하여 휠체어를 계단 승하강시키는 탈부착이 가능한 휠체어용 계단 승하강기이다.(그림 4)

C-Max와 S-MAX의 계단 승하강 원리는 그림 5에서 보는 바와 같이 5-bar 메커니즘의 지지대 끝단이 타원 운동을 하여 지지대로 계단을 짚어 휠체어 몸체를 위로 밀어 올리는 방식이다. C-Max와 S-MAX는 휠체어 자체만으로 계단을 승하강하지 못하며, 휠체어 뒤에서 휠체어를 잡아주는 보조인이 필요하다는 단점이 있다.



그림 3 독일 AAT사의 C-Max



그림 4 독일 AAT사의 S-Max

C-Max와 S-MAX의 주요 사양은 다음과 같다.

- 들어 올리는 최대 중량 : 120kg
- 계단 상승 속도 : 8-23 steps/minute
- 계단 높이 : max. 21cm
- 무게 : 32kg

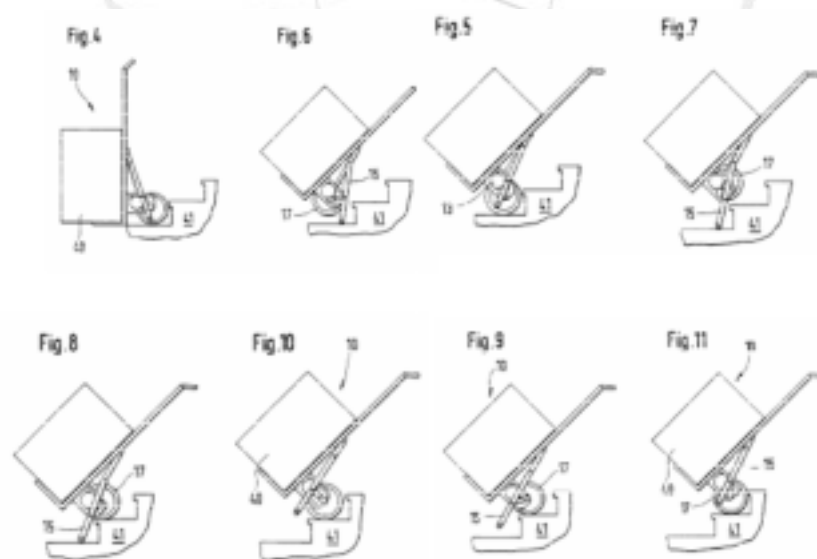


그림 5 C-MACX와 S-MAX의 계단 승하강 원리

2) Scalamobil

미국 Frank Mobility Systems, INC.에서 제작 판매하는 Scalamobil은 AAT사의 S-MAX와 마찬가지로 휠체어에 탈/부착형 휠체어용 계단 승하강기이다.(그림 6)

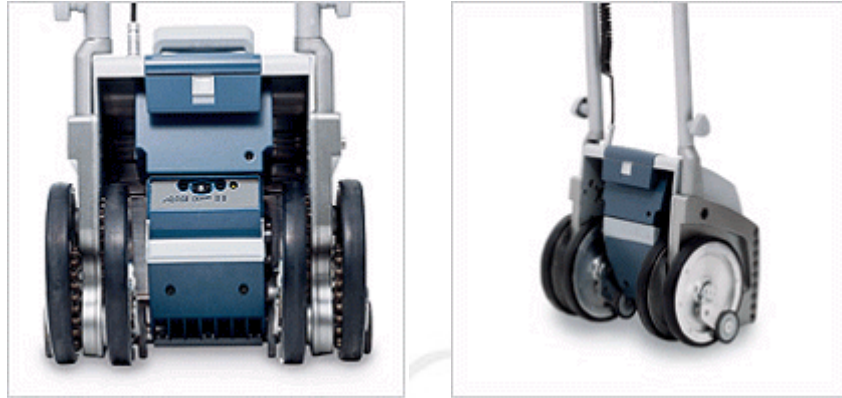


그림 6 Scalamobil

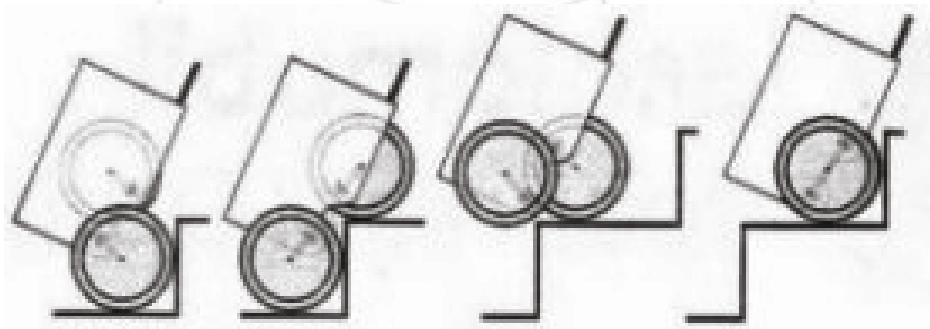


그림 7 Scalamobil의 계단 승하강 원리

Scalamobil은 그림 7에서 보는바와 같이 두 개의 차륜을 편심 회전시켜 계단을 승하강하도록 되어 있다. Scalamobil도 C-Max와 S-MAX와 마찬가지로 휠체어 자체만으로 계단을 승하강하지 못하며, 휠체어 뒤에서 휠체어를 잡아주는 보조인이 필요하다는 단점이 있다.

Scalamobil의 주요 사양은 다음과 같다.

- o 계단 승강 속도 : 6-16 steps/minute
- o 계단 높이 : max. 25cm
- o 무게 : 25kg
- o 4개의 휠에 자동 안전 브레이크가 장착

3) SCOIATTOLO

이태리의 TGR사에서 제작 판매하는 SCOIATTOLO-2000은 그림 8에서 보는 바와 같이 3개의 차륜으로 구성된 차륜부를 공전시켜 계단을 승하강할 수 있도록 고안된 휠체어로 휠체어를 잡아주는 보조인이 필요하다는 단점이 있다.



그림 8 SCOIATTOLO

SCOIATTOLO-2000의 주요 사양은 다음과 같다.

- o 들어 올리는 최대 중량 : 120kg
- o 계단 승강 속도 : 3 sec/step
- o 계단 최소 깊이 : 15 cm.
- o 계단 높이 : 4 - 20 cm.
- o 최소 계단 폭 : 65 cm

4) iBot

미국 Independence Technology사에서는 계단 이동이 가능한 휠체어인 iBOT를 개발하였다. iBOT는 무게 중심 제어 기능을 이용하여 계단을 이동할 수 있으며 평지에서도 일어 설 수 있다. 단 휠체어가 일어섰을 때나 계단을 이동할 때 좌우 두 개의 차륜 만이 지면과 접촉하므로 안전을 위해서는 탑승한 사람이 계단 난간을 잡아야 한다.(그림 9 ~ 10)



그림 9 iBot의 계단 이동 모습



그림 10 iBot의 일어선 모습

5) Explorer

그림 11에서 보는 Explorer는 이태리 TGR사에서 개발한 계단 이동형 전동 휠체어로 차륜 대신 트랙을 사용한다. 트랙을 이용하여 계단을 이동하는 메커니즘은 차륜을 이용한 방식보다 안정성 측면에서 뛰어나지만 외관이 좋지 않고 평지 주행의 경우 주행성 및 안락성이 떨어진다. 또한 Explorer는 계단 승강 시 역 주행을 하여야 한다.

Explorer의 주요 사양은 다음과 같다.

- o Load capacity: 80 kg
- o 등판 가능 최대 경사도 : 33도
- o 자체 중량 : 118 kg



그림 11 Explorer WheelChair

6) CargoMaster

화물의 계단 이동을 위한 기기로서 그림 12의 독일 AAT (Alber Antriebstechnik) GmbH에서 개발한 CargoMaster가 있다. CargoMaster는 기기의 몸체를 차륜의 중심에 위치한 링크의 타단에 부착시키고 이 링크를 회전 시켜 몸체가 계단을 이동할 수 있도록 한 것으로 몸체에 작은 자유륜이 부착되어 있다. CargoMaster의 계단 승하강 원리는 그림 13에 나와 있다. 이 방식은 원 운동 기구이므로 계단 승강시에 수화물 탑재하는 몸체가 상하방향(45°~135°구간)뿐만 아니라, 전후방향(270°~360°구간)으로 크게 움직이는 단점이 있다.



그림 12 CargoMaster

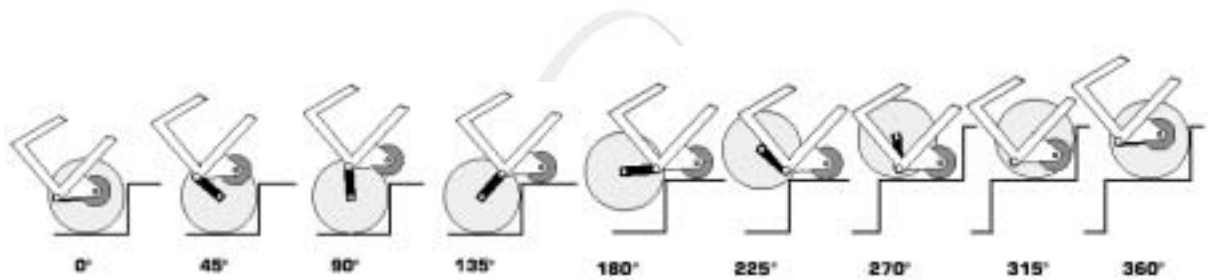


그림 13 CargoMaster의 계단 승하강 원리

CargoMaster의 주요 사양은 다음과 같다.

- 최대 들어올리는 중량 : 130 ~ 310kg
- 계단 승강 속도 : 8-30 steps/minute
- 무게 : 24 ~ 46 kg

7) LIFTKAR SAL

그림 14에서 보는 LIFTKAR SAL은 Sano UK Powered Stairclimbers Ltd에서 제작 판매하는 계단 이동이 가능한 수하물 운반기로 지지대 끝단에 작은 차륜이 부착되어 있으며 그림 15에서 보는 바와 같이 지지대가 변형된 타원 운동을 하도록 하여 계단 턱을 지지하고 수하물 운반기의 몸체를 들어 올리게 한다.

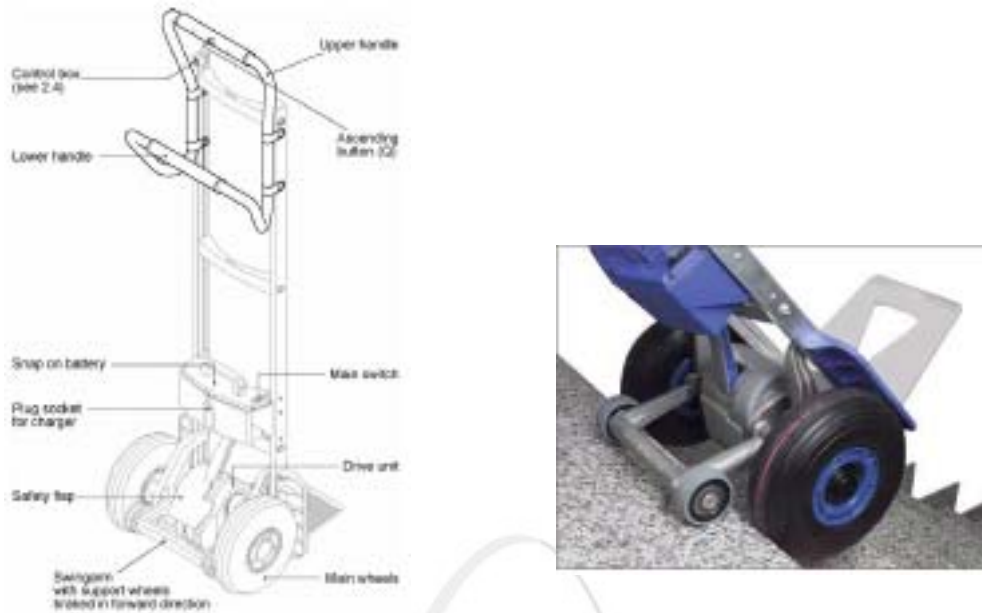


그림 14 LIFTKAR SAL



그림 15 LIFTKAR SAL의 계단 승하강 원리

LIFTKAR SAL의 주요 사양은 다음과 같다.

- o 최대 들어올리는 중량 : 90 ~ 140kg
- o 계단 승강 속도 : 35 ~ 48 steps/minute
- o 무게 : 20 kg

8) Shrimp

스위스 EPEL에서 개발하고 BlueBotics사에서 제작 판매하고 있고있는 6개의 휠로 구성되어 있는 Shrimp는 전방과 후방에 조향 휠이 있고, 양쪽에 각각 2개의 휠이 있어 총 6개의 휠로 구성되어 있다. 각 휠은 모터로 구동이 되고, 총 길이는 62cm, 넓이 42cm, 높이 22cm이다. Shrimp는 화물운반용이 아니며 계단 적응형 자율 주행 메커니즘으로 계단 이외에 험지 주행에 적합한 기구학을 갖도록 고안되었다.(그림 16 ~ 17)



그림 16 Shrimp



그림 17 Shrimp의 계단 주행

Shrimp의 주요 사양은 다음과 같다.

- o 등판 최대 높이 : 22cm
- o 최대 주행 속도 : 1.8 km/h
- o 자체 중량 : 5kg

9) Octopus

그림 18의 스위스 EPFL에서 개발한 Octopus는 8개의 휠, 6개의 모터로 구성되어 있고 총 15 자유도를 가지며 길이는 43cm, 넓이 42cm, 높이 23cm이다. Octopus도 Shrimp와 마찬가지로 화물 운반용이 아니며 계단 적응형 자율 주행 메커니즘으로 계단 이외에 험지 주행에 적합한 기구학을 갖도록 고안 되었다. 특히 Octopus는 차륜 내에 적외선 센서를 갖고 있어 차륜의 지면 및 벽면의 접촉을 감지할 수 있으며 이 정보를 이용하여 장애물을 극복한다. 그림 20은 Octopus의 계단 이동 과정을 도식적으로 나타난 그림이다.



그림 18 Octopus

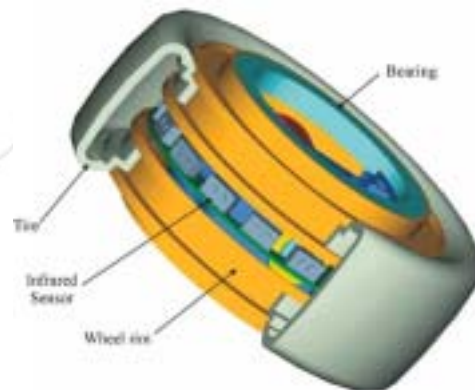


그림 19 Octopus 차륜 구조

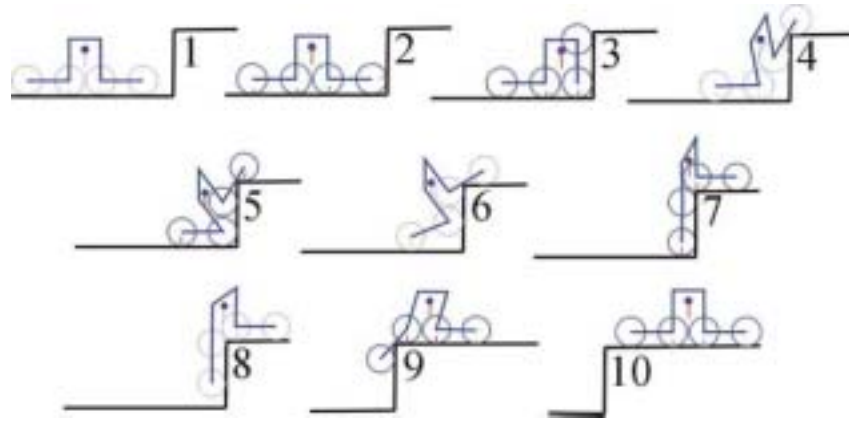
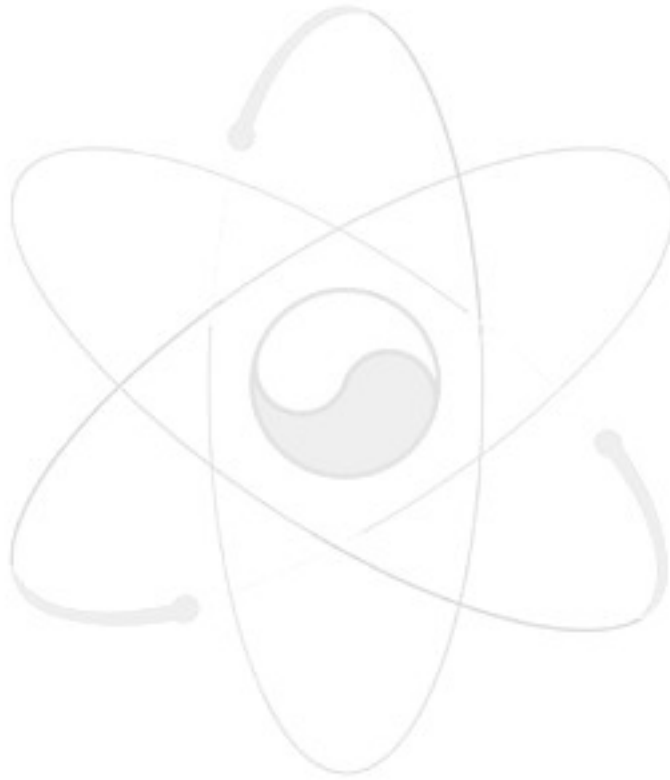


그림 20 Octopus의 계단 승하강 원리



2. 국내 기술개발 현황

국내에서는 아직까지 노인의 생활을 보조하는 로봇 시스템에 대한 구체화된 연구가 수행되지 않고 있는 실정이다. 국내의 비 산업용 로봇 연구 현황은 표 4와 같다.

표 4 국내 비산업용 로봇 연구현황

	주력로봇	내용	현황/특성
KAIST	- 로봇관련 기초기술 - 지능 알고리즘 - AMI, AMIET - CAIR_1, 2 - KARES I, II	인공지능 미디어, 상호작용 음성인식 및 합성 인공시각 시스템 감성표현	국내 최고의 연구 개발능력 보유
KIST	- 휴먼 로봇 - 서비스 로봇	Task 응용기술 leg, arm, hand 고도기술	신기술개발주력
한국원자력 연구소	- 원격 작업 로봇 - 계단승하강 전방향 이동형 로봇	전방향 이동 메카니즘 스테레오 비전 및 힘제어 추종조작기	국책/자체연구
로보틱스 연구조합	- 서비스 로봇 - 응용시스템	산업체의 공통애로기술 공동 개발 예정	국책/기업과제
한국로봇 추진협회	- 마이크로로봇	축구로봇을 중심, 로봇의 저변확대에 기여	POSCO를 비롯한 기업 후원



[KARES]

그림 21 국내에서 개발된 실버케어 지능로봇

인간 생활을 보조하기 위한 로봇 시스템 연구들은 국내 각 기관에서 이루어지고 있다. KAIST에서는 일상생활을 돕는 간호로봇, 이동을 돕는 이동 실버케어 로봇 등을 개발하였으며 수화인식 로봇, 자율주행 기능을 갖춘 실버케어 로봇 등을 연구하고 있다. 한국과학기술연구원에서는 서비스 로봇, 지능형 홈 로봇 등을 국가과제로 개발 중이다. 또한 장애인의 일상생활 보조를 목적으로

하는 시스템들이 개발되고 있는 데 국내에서는 KAIST의 KARES I, II 로봇 시스템이 대표적이다 (그림 21). 이 중 KARES II는 장애인들이 선정한 식사보조 등의 12가지 작업을 할 수 있으며, 로봇 팔에 부착된 스테레오 카메라를 통한 물체 인식, 사용자 의도 파악이 가능하고, 근전도와 같은 생체신호, 눈동자 추적을 통해 사용자의 의사를 로봇 팔에 전달할 수 있다.

현재까지 계단을 승하강할 수 있는 보행보조기기의 개발은 전무하다. 다만 국내에 특허로 등록된 차륜형 계단 승하강을 위한 메커니즘이 있다.

○ 계단 이동이 가능한 바퀴 (등록번호 20-0301466, 2003년도)

이 고안은 전방 상부에서 끄는 힘을 이용하여 전후의 바퀴 쌍이 회전하도록 하는 메커니즘으로 동력원이 없는 수동적인 형태이다. 그림 22에 그 기본 구성이 나와 있으며, 그림 23에 그 동작 원리가 나와 있다. 이 고안은 단지 아이디어 단계의 것으로 실제 적용하기 위해서는 여러 가지 문제점 및 제약이 따른다.

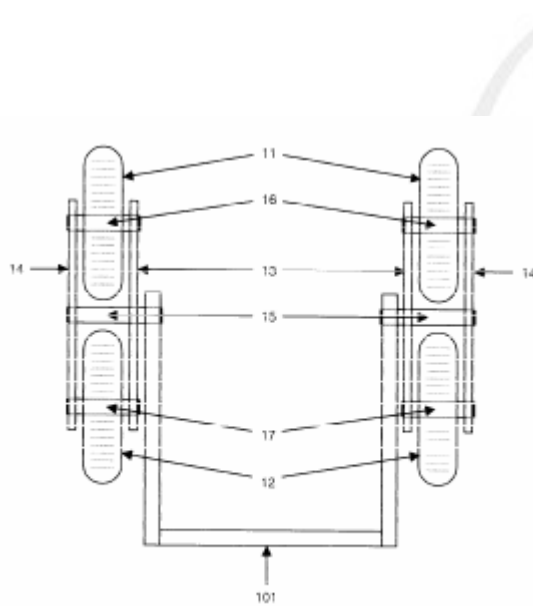


그림 22 계단 이동이 가능한 바퀴

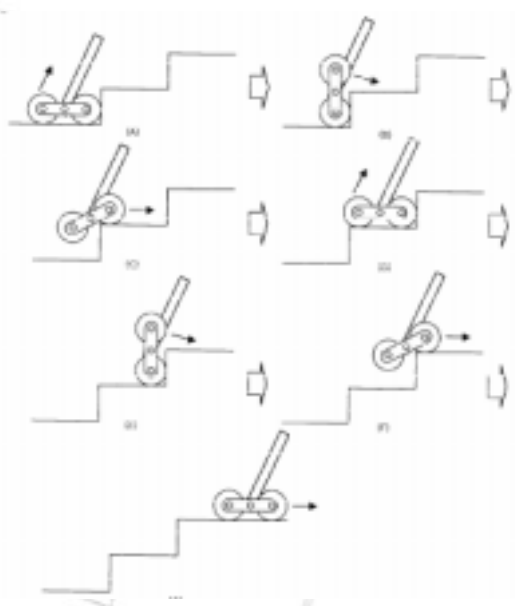


그림 23 계단 이동이 가능한 바퀴의 작동 원리

제 2 장 기술개발 내용 및 방법

제 1 절 환경 분석 및 보행 보조 기기의 요구 사항

1. 보행보조기기 개념 설계 시 고려 사항

개념 설계 시에 노인이 활동하는 영역을 비정형화된 실외 환경(아파트 단지, 병원 시설, 등)으로 정하였다. 그리고 노인이 개발된 보행보조기기를 사용하여 움직이는 영역 내에 환경을 조사해 본 결과, 경사면, 도로 요철 및 도로의 턱이 있는 것을 알 수 있었다.

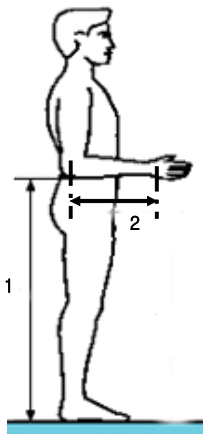
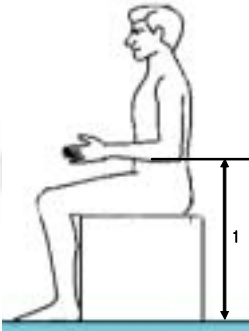
이에 따라 노인을 위하여 개발하고자 하는 차륜형 보행보조기기 개념 설계 시에 필요한 조건과 제원을 표5와 같이 정리해 보았다.

표 5 보행보조기기의 요구 조건과 제원

	조건	제원	
실외 환경	도로의 턱	10cm	
	경사면	±10도	
	엘리베이터 탑승 가능	폭 : 800mm 크기 : 1400mm × 850mm	
보행보조기기에 필요한 기능	최대 지지력	60kgf	
	최대 속도	3.6km/h	
	탑재 가능 최대 수하물 중량	5kg	
	연속 동작 시간	2시간	
	안정성		최대 10도 각도의 상승/하강 경사면에 정차 시 전복 방지
			경사면 주행 시 사용자 지지부의 수평 유지
			구조적 안정성
	노인 보조		앉기/서기 보조 기능
회전성		제자리 회전 가능	
노인 신체 치수 고려		산업자원부 국민표준체위조사	
휴대성을 위한 소형 경량화			

그리고, 필요한 노인 신체 치수는 1997년도에 산업자원부에 수행한 국민표준체위조사 결과 중에 노년층(60세 이상)의 자료를 참조하였다. 표6은 개념 설계 시에 고려한 노년층의 주요 신체 치수들이다.

표 6 노년층의 주요 신체 치수

	치수
	<p>1. 팔 굽힌 팔꿈치 높이 남자 : 95.6cm~108.9cm 여자 : 87.9cm~99.7cm 범위 : 86cm ~ 110cm</p> <p>2. 아래팔 길이 남자 : 28.5cm~29.1cm 여자 : 25.9cm~27.2cm 범위 : 25.5cm~29.5cm</p>
	<p>1. 앉은 팔꿈치 높이 남자 : 59.9cm~73cm 여자 : 53.3cm~68cm 전체 범위 : 53.0cm~73.5cm</p>

2. 계단 승하강을 위한 보행보조기기 설계 시 고려 사항

계단 승하강이 가능한 계단 적응형 차륜형 보행보조기기를 개념 설계하기 위해서는 먼저 계단의 단 높이, 단 너비 등을 고려하여야 한다. 표7은 주택건설촉진법 주택건설기준등에 관한 규정 16조(계단)에 따른 계단의 주요치수이다.

표 7 계단 치수 (단위 cm, 주택건설촉진법 주택건설기준등에 관한 규정 16조(계단))

계단의 종류	유효폭	단 높이	단 너비
공동으로 사용하는 계단	120 이상	18 이하	26 이상
세대내 계단 또는 건축물의 옥외계단	90 이상 (세대내 계단인 경우는 75 이상)	20 이하	24 이상

계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 개념 설계 시 계단 승하강을 위한 기능은 다음 사양을 만족하도록 하였다.

- 계단 승하강 최대 높이 : 20cm,
- 최대 계단승하강 속도 : 계단당 4초,
- 승하강 가능 계단 경사도 : 25도,

제 2 절 보행 보조 기기 개념 설계

1. 보행보조기기의 기본 구조

보행보조기기의 기본 구조를 앞 절의 고려사항들을 고려하여 다음과 같은 구조로 하였다.

가. 차륜 개수 : 구조적 안정성을 위하여 4륜 구조로 하였다.

나. 조향 및 구동 방식 : 기계적 간편성을 위해서는 별도의 조향장치가 필요치 않은 차동 구동 방식이 유리하며, 이 경우 전륜 차동구동-후륜 캐스터 방식과 전륜 캐스터-후륜 차동구동 방식이 있다. 전자의 경우 회전 중심을 사용자가 위치한 후륜 쪽에 위치시킬 수 없으며, 후자의 경우 회전 중심을 후륜 쪽에 위치시킬 수 있으나 야외에서 비평탄 지면 주행 시에 전륜 캐스터가 주행을 방해할 수 있다. 따라서 야외 비평탄 지면 주행 및 후륜 쪽에 회전 중심을 두기 위해서는 캐스터 방식이 아닌 조향장치가 필요하다. 이 경우는 일반적으로 전륜 조향-후륜 구동 방식을 채택하며, 전륜 조향을 위한 방안으로 하나의 모터와 기구적 미케니즘을 이용하는 방식이 있으나 기계 구조적 간편성을 위해 좌/우에 각각의 조향 모터를 부착하는 방식을 채택하였다. 조향 모터는 구동모터에 비해 토크가 작으므로 모터 1개가 더 늘어나는 단점이 크지 않다고 판단하였다. 또한, 본 장치는 사용자가 후륜 쪽 내부에 위치하므로 구동부를 후륜에 위치시키기에 제한이 많으므로 구동도 전륜으로 하였다. 따라서 전륜 조향-전륜 구동 및 자유회전 후륜 구조로 결정하였다.

다. 후륜 링크 : 경사면 주행 시에 사용자 지지부의 수평을 유지하기 위해서는 전륜과 후륜의 높이를 달리할 필요가 있으므로 후륜 링크를 몸체와 일체형이 아닌 회전 링크 구조로 하고 회전부에 링크 회전용 모터를 부착하도록 하였다. 이 모터는 몸통에 부착된 경사센서를 이용하여 본 장치가 경사면에서 수평이 되도록 제어된다. 이 구조의 다른 장점으로 본 장치를 차량에 탑재할 때에 회전 모터를 이용해 링크를 회전시킴으로 크기를 작게 할 수 있으며, 또한 링크 회전 기능을 이용함으로써 사용자의 앉기/서기 보조 시에 사용하는 지지대 높이가 조절부와 연동하여 사용자, 즉 노인의 앉기/서기를 보조할 수 있다.

라. 완충기부 : 4륜 구조이므로 구동 차륜의 지면 접촉을 보장하기 위해서는 완충 기능이 필요하며, 이를 위해 후륜 쪽 링크 중간에 수동형 회전 관절을 두고 이 관절에 토션 스프링을 부착하여 완충 기능을 구현하도록 하였다. 이 수동형 회전 관절의 장점으로 회전 관절을 이용하여 링크를 접을 수 있으며 따라서 본 장치의 차량 탑재 시에 장치의 크기를 작게 할 수 있다는 이점이 있다.

마. 지지대 높이 조절부 : 사용자의 앉기/서기 보조 기능을 수행할 뿐만 아니라 키 차이에 따른 지지대 높이의 조절을 위하여 모터 구동형 실린더 방식의 지지대 높이 조절 구조를 채택하였다. 지지대 높이 조절부의 다른 장점으로 본 장치의 차량 탑재 시에 높이를 최소로 하여 그 크기를 작게 할 수 있다.

바. 몸통부 : 몸통부에는 전원용 배터리, 구동 및 조향용 모터, 링크 회전용 모터, 모터 드라이버

및 제어부 등이 탑재된다.

사. 차륜 : 노면 요철에 의한 차체 진동 흡수를 위하여 각 차륜에 공기 주입식 타이어 채택하도록 하였다.

2. 장치 제원 결정

먼저 개념 설계 시에 필요한 보행보조기기의 기본적인 변수 값을 노인 신체 치수를 고려하여 결정하였으며, 장치의 구조적 안정성에 영향을 미치는 후륜의 위치와 관련된 변수, 즉 후륜링크의 길이는 장치의 구조적 안정성을 고려하여 결정하였다. 말하자면, 평지와 경사면에서 노인이 보행보조기기를 지지할 때 보행보조기기가 전복되지 않도록 링크의 길이를 결정하였다.

가. 기본 변수 값 지정

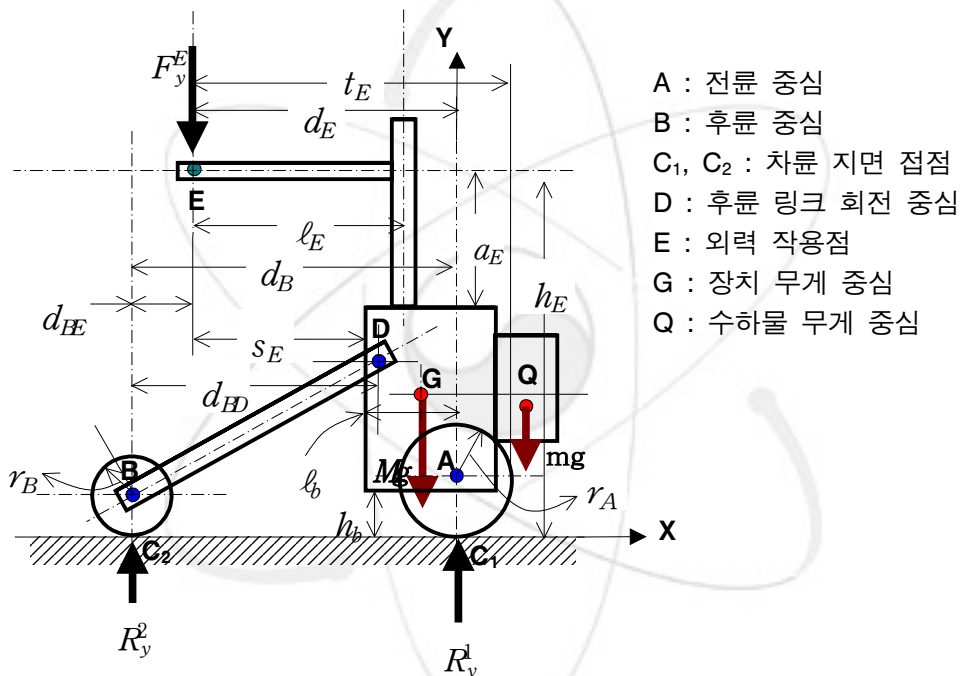


그림 24 차륜형 보행보조기기의 개념도

○ 전/후방 바퀴의 직경 : 250mm($d_A=250$ mm, $d_B=250$ mm)

고려한 도로의 턱이 10cm이므로 도로의 턱을 바퀴로 넘기 위해서는 최소한 바퀴의 직경은 200mm 이상이 되어야 한다. 따라서 도로의 턱을 쉽게 넘어가기 위해서 전/후방 바퀴의 직경은 250mm로 정하였다.

○ 보행보조기기의 전체 질량 : $M=50$ kg

보행보조기기의 전체 질량은 상세 설계가 완료된 후에 추정이 가능하나, 구조안정성을 검토하기 위해서는 보행보조기기의 전체 질량을 미리 알 필요가 있으므로 개념설계 단계에서는 보행보조기기에 부착되는 각 부품의 무게를 고려하여 보행보조기기의 전체 질량을 50kg으로 가정하였다.

○ 노인이 위치 (그림 24에서의 점 E 위치) : $s_E = 350 \text{ mm}$, $l_b = 205 \text{ mm}$

노인이 보행보조기기를 팔꿈치로 지지한다고 가정하고, 팔꿈치로 지지하는 점을 외력 작용점으로 놓았다. 점 E의 위치는 60세 노인의 최대 보폭 600mm를 고려하여 보행보조기기의 몸체 끝단에서 $s_E=350\text{mm}$ 정도 떨어진 곳으로 정하였다. 그리고 전륜 중심에서 몸체 끝단까지의 거리를 $l_b=205\text{mm}$ 로 정하였다. 이로서, 전륜 중심에서 점 E의 위치는 $d_E = l_b + s_E = 555 \text{ mm}$ 가 된다.

○ 보행보조기기의 몸체와 바닥사이의 거리 : $h_b=220 \text{ mm}$

차륜 구동 모터와 감속기가 차륜에 부착되므로 모터와 지면 장애물과의 충돌을 고려하여 지면에서 보행보조기기의 몸체 바닥의 높이를 200mm로 정하였다.

○ 보행보조기기의 무게 중심 위치 : $X_G = \frac{l_b}{2} = 102.5 \text{ mm}$, $Y_G = 320 \text{ mm}$

무게 중심이 낮을수록 구조적 안정성에 유리하므로 무게 중심이 낮은 위치가 되도록 하기 위해 보행보조기기에 들어가는 장치 중에 가장 무거운 것으로 예상되는 전원용 배터리를 몸체 바닥에 배치하는 것으로 하여 무게 중심의 높이를 보행보조기기 몸체 바닥에서 위로 $h_G=120\text{mm}$ 로 가정하였고($Y_G = h_b + h_G = 200 + 120 = 320 \text{ mm}$), 수평 위치는 전륜 바퀴 중심에서 몸체 끝단까지

의 거리(l_b)의 중앙에 위치한다고 가정하여 102.5mm로 정하였다($X_G = \frac{l_b}{2} = 102.5 \text{ mm}$).

○ 후륜 링크의 회전 중심점인 D의 위치 : $X_D = 120 \text{ mm}$, $Y_D = 475 \text{ mm}$

링크 회전용 모터의 토크 관점에서 수평위치(X_D)가 후륜 쪽에 위치할수록 유리하다. 수직위치가 낮을수록 링크의 굽힘 모우멘트가 커지고 압축력은 작아지는 반면 높을수록 그 반대임으로 굽힘 모우멘트가 적은 것이 유리하므로 높을수록 좋다고 판단되었다. 그래서 내부 구조를 고려하여 $X_D = 120 \text{ mm}$, $Y_D = 475 \text{ mm}$ 로 정하였다.

○ 노인이 보행보조기기에 힘을 주는 높이 : $h_E = 1100 \text{ mm}$, $a_E = 450 \text{ mm}$

한국 노인 중 남성의 최대 팔꿈치 높이가 108.9mm인 것을 고려하여 노인이 보행보조기기에 힘을 주는 높이(h_E)를 1100 mm로 결정하였다. 그리고 보행보조기기 상단에서 지지부 높이(a_E)를 450 mm로 결정하였다. 노인이 앉았을 때 지면에서 팔꿈치 높이의 최소치가 533mm이다. 따라서 섰을 때와 앉았을 때의 팔꿈치 높이 차는 최대 1100mm-533mm로 567mm이다. 지지대의 높이차를 실현시키기 위한 방법으로 파워 나사를 이용한 실린더 방식을 채택할 경우 스트로크는 567mm 이상이어야 한다. 그러나 1100mm의 최대 길이에서 567mm의 스트로크는 불가능하므로 내부의 기계적 구조등을 고려하여 가능한 최대 높이 차를 400mm로 결정하였다. 이로 인하여 지지부의 높이를 450mm로 결정하였다.

○ 보행보조기기의 폭 : $w=740 \text{ mm}$

소형 엘리베이터 문 폭이 800mm임을 고려하여 보행보조기기의 폭(w)을 740 mm로 하였고, 노인 엉덩이 폭을 고려하여 노인이 활용하는 공간의 폭(w_f)을 550 mm 이상이 되도록 하였다. 노인의 팔꿈치에서 손까지의 치수의 최대치 411mm를 고려하여 팔 지지부의 길이(l_E)를 420mm 이상이 되도록 하였다.

○ 수하물의 무게 중심 위치 : $X_m = 170 \text{ mm}$, $Y_m = 300 \text{ mm}$

수하물은 보행보조기기의 몸체 전면부에 위치한다고 가정하였고, 이때 무게 중심점은 전륜 바퀴 중심에서 수평으로 170mm, 지면에서 수직으로 300mm 지점에 위치한다고 가정하였다.

나. 구조 안정성 조건

보행보조기기가 평지 또는 경사면에 주차된 경우에 노인이 최대 하중으로 보행보조기기를 지지하여도 보행보조기기가 전복되지 않기 위한 후륜링크의 길이 조건을 구하였다.

1) 평지 주차 시

평지 주차 시에 노인이 보행보조기기를 지지할 경우에 전복되지 않을 정적 안정성 조건을 구해보자. 이때 노인이 보행보조기기에 60kgf의 힘으로 누르고 있다고 가정하였다(그림 24에서 $F_y^E = 60\text{kgf}$). 그림 24에서, 지면에서 전/후륜에 가해지는 반력을 R_x^1, R_y^2 이라고 하고, 그 작용점을 s 라 하면 R_x^1 와 R_y^2 의 합인 R_t 와 s 는 다음과 같다.

$$R_t = F_y^E + Mg + mg \quad (1)$$

$$s = \frac{X_G Mg + d_E F_y^E - X_m mg}{R_t} \quad (2)$$

여기서, Mg 는 보행보조기기의 무게에 해당하는 힘이고($Mg=50\text{kgf}$), mg 는 수하물의 무게에 해당하는 힘이다($mg=5\text{kgf}$).

보행보조기기가 평지 주차 시에 안정하기 위해서는 작용점 s 는 전/후륜 바퀴 사이에 존재하여야 한다. 즉,

$$0 < s < d_C = d_E + d_{BE} \quad (3)$$

또는

$$-d_E < s - d_E < d_{BE} \quad (4)$$

이다. d_{BE} 가 식(4)를 만족하면 평지 주차 시에 보행보조기기가 전복되지 않는다.

○ 수하물이 있는 경우

수하물의 무게를 $mg=5\text{kg}$ 으로 가정하면, 앞의 식으로부터 $R_t=115\text{kgf}$ 이고, $s=326.7\text{mm}$ 이다. $d_E=555\text{mm}$ 이므로 식(4)로부터 $-228.3 < d_{BE}$ 가 되며 따라서 $d_{BE} > 0$ 이면 항상 안정하다.

○ 수하물이 없는 경우

수하물이 없는 경우에는 R_t 가 110 kg이고, s 는 349.3mm이며 식 (4)로부터 $-205.7 < d_{BE}$ 가 되므로 $d_{BE} > 0$ 이면 항상 안정하다.

따라서 평지 주차 시에는 d_{BE} 가 0보다 크면 항상 안정한 것을 알 수 있다.

2) 하강 경사면 주차 시

하강 경사면에 보행보조기기가 주차 시에 보행보조기기가 앞 방향(하강하는 방향)으로 전복되지 않기 위한 안정성을 검토해보자. 수하물 무게의 작용점은 보행보조기기 무게 중심의 앞쪽에 위치하므로 안정성에 불리한 쪽으로 작용하고, 보행보조기기에 가해지는 노인의 지지력이 무게 중심의 뒤 쪽에 위치하므로 안정성에 유리한 쪽으로 작용한다. 따라서 가장 보수적인 조건식을 구하기 위해서는 수하물 무게는 안정성 해석에 포함시켜야 하며 노인이 보행보조기기에 지지하는 힘은 안정성 해석에서 배제하여야 한다.

그림 25에서 보듯 하강 경사면 주차 시에 장치가 앞쪽으로 전복되지 않기 위한 조건식은 식(5)와 같다.

$$Mg(-X_G \cos \theta_1 + Y_G \sin \theta_1) + mg(X_m \cos \theta_1 + Y_m \sin \theta_1) \leq 0 \quad (5)$$

이 조건은 그림 25에서 C_1 에서의 모우멘트 합이 음수이면 전복되지 않는다고 보고 얻은 식이다. 앞에서 결정된 설계 값들과 최대 경사도 $\theta_1 = 10^\circ$ 의 값을 식(5)에 대입하여 확인하면 식(5)를 만족하는 것을 알 수 있다 (계산 결과식은 $-1171.2 < 0$). 따라서 이 경우에도 후륜의 위치에 상관없이 항상 안정하다.

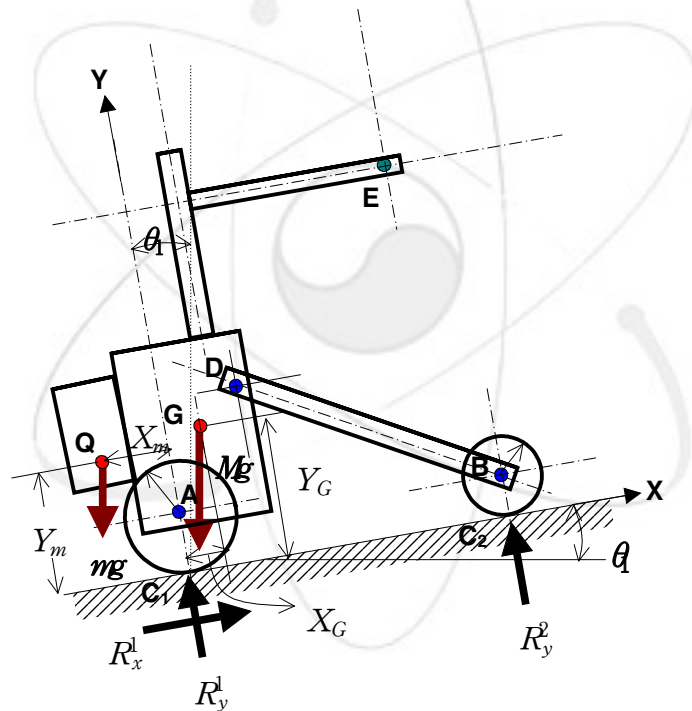


그림 25 보행보조기기가 하강 경사면에 주차 경우

3) 상승 경사면 주차 시

상승 경사면에 보행보조기기가 주차 시에 보행보조기기가 앞 방향(상승하는 방향)으로 전복되지 않도록 안정성을 고려하였다. 이 경우도 앞서와 마찬가지로 보수적인 조건식을 구하기 위하여 수하물의 무게는 고려하지 않았고 노인이 보행보조기기에 지지하는 힘만 고려하였다.

그림 26에서 보듯 상승 경사면 주차 시 큰 외력이 작용하는 경우에도 항상 장치가 뒤쪽으로 전복되지 않기 위해서는 그림 26에서 E점의 위치가 후륜 중심보다 뒤에 있으면 안 된다. 이로부터

터 얻어지는 조건은 식(6)과 같다.

$$\tan^{-1}\left(\frac{d_{EB}}{h_E}\right) \geq \theta_2 \quad \Rightarrow \quad d_{BE} \geq h_E \tan \theta_2 \quad (6)$$

여기서, $h_E = 1100 \text{ mm}$, $\theta_2 = 10^\circ$ 이므로 d_{BE} 는 194mm보다 큰 값을 가져야 한다. 그러나 $d_{BE} \geq 194 \text{ mm}$ 으로 할 경우 장치의 길이가 너무 길어지므로, 주어진 하중조건에서의 모우멘트 식을 이용하여 최대 하중이 작용 시에 구조 안정성을 판별하자.

C_2 에 대한 모우멘트 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sum M = & (d_{BE} - t_1) F_y^E \cos \theta_2 - (h_E - t_2) F_y^E \sin \theta_2 \\ & + (d_E + d_{BE} - t_1 - X_G) Mg \cos \theta_2 - (Y_G - t_2) Mg \sin \theta_2 \geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $t_1 = r_B \sin \theta_2$, $t_2 = r_B (1 - \cos \theta_2)$ 이다.

위 식을 이용하면, d_{BE} 는 다음과 같은 조건식을 갖는다.

$$d_{BE} \geq \frac{[F_y^E (h_E - t_2) + Mg (Y_G - t_2)] \sin \theta_2 + [F_y^E t_1 + Mg (X_G - d_E + t_1)] \cos \theta_2}{(F_y^E + Mg) \cos \theta_2} \quad (8)$$

이때 앞에서 설정된 설계치수 및 하중조건을 대입하여 계산하면 $d_{BE} \geq -52.9 \text{ mm}$ 가 되어 d_{BE} 가 0보다 크면 항상 안정한 것을 알 수 있다. 즉, 노인이 보행보조기에 지지하는 위치가 후륜 중심보다 앞 쪽에 존재하면 항상 안정하다는 것을 알 수 있다.

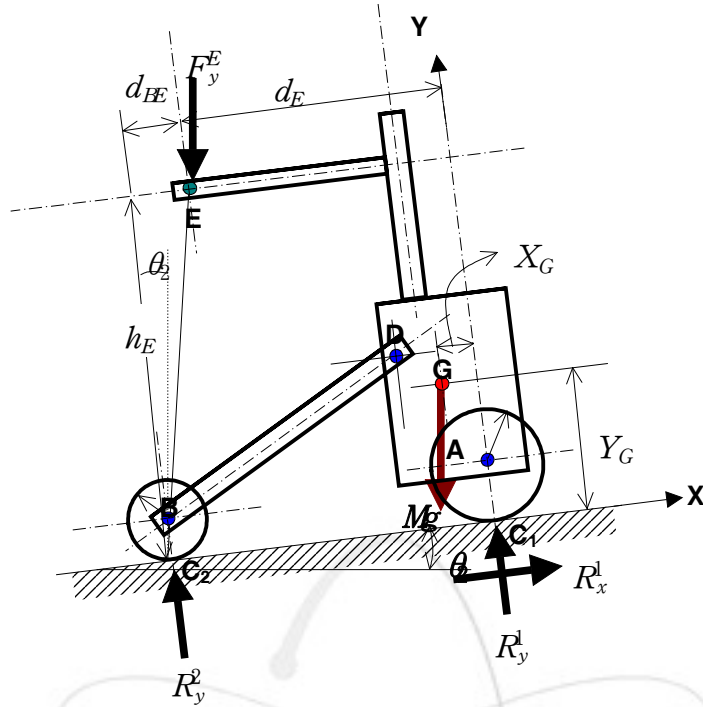


그림 26 보행보조기기가 상승 경사면에 주차 경우

4) 상승 경사면 정지시 (물체 수평유지의 경우)

상승 경사면 정지 시에 노인 지지부가 항상 수평으로 유지되어 있는 경우에 대하여 안정성을 검토해 보았다.

그림 27에서 보행보조기기가 수평을 유지하면서 전후 차륜이 모두 지면에 닿기 위한 조건은 다음과 같다.

$$r_A + a \cos \theta + X_d \sin \theta = \ell \sin(\alpha - \theta) + r_B \quad (9)$$

여기서 $a = Y_D - r_A$ 이다.

C2에 대한 모우멘트 식으로부터 얻어지는 조건은 다음과 같다.

$$d_{C_2E} F_y^E + d_{C_2G} Mg = 0 \quad (10)$$

여기서 C2G의 수평 거리 d_{C_2G} 와 C2E의 수평 거리 d_{C_2E} 는

$$d_{C_2G} = -r_B \sin \theta + \ell \cos \alpha + X_D - X_G$$

$$d_{C_2E} = -r_B \sin \theta + \ell \cos \alpha - (d_E - X_D)$$

이다. 최대 경사도 $\theta = 10^\circ$ 에 대해 설계치수를 대입하여 계산하면 식 (9), (10)은 다음과 같이 정리된다.

$$\ell \sin(\alpha - 10^\circ) = 365.52 \quad (11)$$

$$110 \ell \cos \alpha - 27612.66 = 0$$

(12)

식 (11), (12)를 연립하여 풀면 $\alpha = 58.85^\circ$, $\ell = 485.37 \text{ mm}$ 가 된다. 즉 $\ell \geq 482.8 \text{ mm}$ 이면 구조적으로 안정적이 된다. 여기서 후륜링크의 길이 ℓ 값이 클수록 구조안정성에 유리하지만 6인승 소형 엘리베이터에 탑재가 가능하기 위해서는 보행보조기기의 총 길이를 무한정 크게 할 수는 없다. 따라서 6인승 소형 엘리베이터에 탑재할 경우를 생각하여 링크의 길이를 $\ell = 570 \text{ mm}$ 로 결정하였다. 이때 보행보조기기의 총 길이를 다음 식에 의해 계산해 보면

$$\ell_t = r_a + r_b + X_d + \ell \cos \alpha = 819.9 \text{ mm}$$

가 되어 깊이가 850mm인 6인승 소형 엘리베이터 내에 탑재가 가능하다.

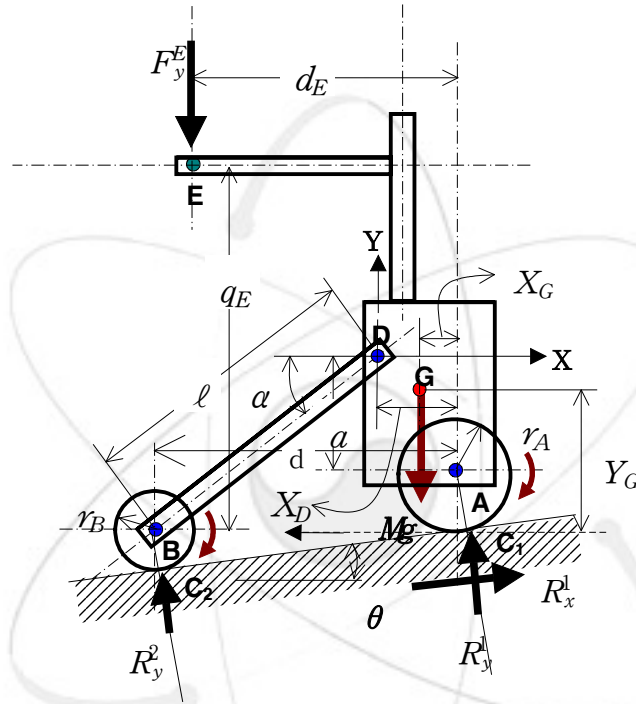


그림 27 보행보조기기가 상승 경사면 정지 경우
(몸체 수평유지)

5) 좌우 경사면 주차 시

좌우 경사면 주차 시에 보행보조기기가 전복되지 않을 조건을 구해 보았다.

그림 28를 참조하면, 좌우 경사면 주차 시 장치가 전복되지 않기 위해서는 다음과 같은 조건식을 만족하여야 한다.

$$\frac{w}{2} Mg \cos \theta + \frac{w}{2} F_y^E \cos \theta \geq Y_G Mg \sin \theta + h_E F_y^E \sin \theta$$

$$\Rightarrow \tan \theta \leq \frac{\frac{w}{2}(M_g + F_y^E)}{Y_G M_g + h_E F_y^E} \quad (13)$$

위 조건식에 설계된 치수를 대입하여 계산하면 $\theta \leq 26.4^\circ$ 이라는 조건이 나온다. 즉, 본 장치의 최대 좌우 경사도 26.4° 까지 안정함을 알 수 있다.

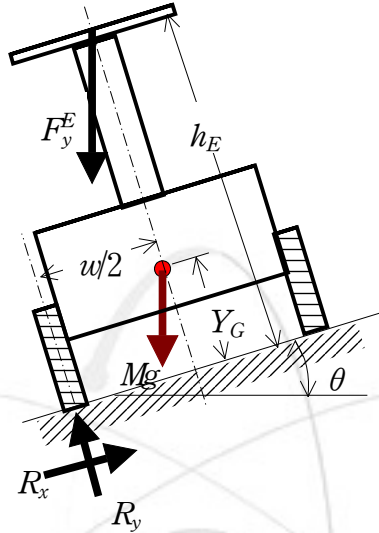


그림 28 보행보조기기의 좌우 경사면 주차 경우

다. 결정된 크기 제원

앞에서 결정된 보행보조기기의 기구적 제원은 정리하면 다음과 같다.

- 장치 무게 중심 위치 : $X_G = 102.5 \text{ mm}$, $Y_G = 320 \text{ mm}$
- 수하물 무게 중심 위치 : $X_m = 170 \text{ mm}$, $Y_m = 300 \text{ mm}$
- 전륜 직경 : $d_A = 250 \text{ mm}$
- 후륜 직경 : $d_B = 250 \text{ mm}$
- 몸체 끝단에서 외력 작용점까지의 거리 $s_E = 350 \text{ mm}$
- 외력 작용점 높이 $h_E = 1100 \text{ mm}$
- 장치 선단에서 외력 작용점까지의 거리 $t_E = 680 \text{ mm}$
- 장치 폭 $w = 740 \text{ mm}$
- 사용자 영역 폭 $w_i \geq 550 \text{ mm}$
- 지면에서 몸체 바닥의 높이 = 200 mm
- 팔 지지부 길이 $\ell_E > 420 \text{ mm}$
- 몸체 상단에서 지지부 높이 $a_E = 450 \text{ mm}$

- 후륜링크 회전 중심점 D의 위치 : $X_D=120$ mm, $Y_D= 475$ mm
- 후륜링크의 길이 $l=570$ mm
- 지지부 조절 가능 높이 차 = 400 mm

3. 토크 계산

앞에서 구한 보행보조기기의 각 설계 변수 값을 이용하여, 보행보조기기를 작동시키는데 필요한 모터의 구동 토크를 구하였다. 보행보조기기에 들어가는 모터는 총 4개이다. 2개의 전륜 모터, 후륜 링크를 회전 시키는 회전관절 모터와 지지부를 움직이는 모터이다.

가. 경사지 주행의 경우

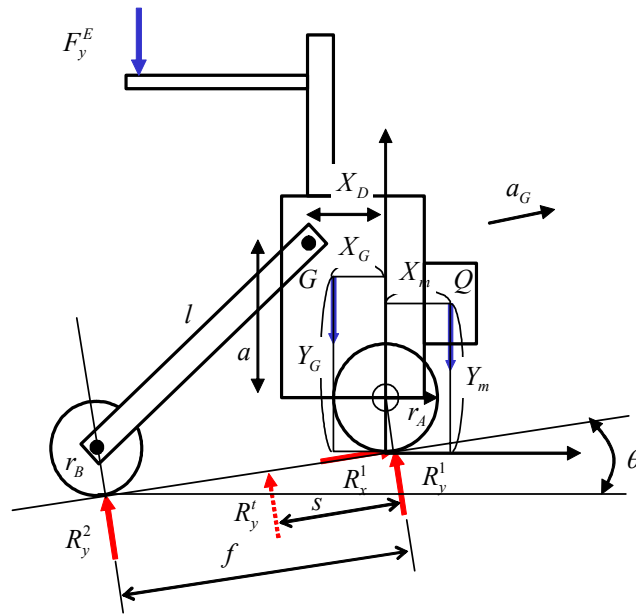


그림 29 보행보조기기의 경사면 주행 시

그림 29에서, 보행보조기기의 주행 가속도를 a_G 라 할 때, 임의 경사 θ 에서 보행보조기기가 중력에 대해 수평을 유지하면서 전륜/후륜 모두 지면에 닿기 위한 조건은 다음과 같다.

$$r_A + a \cos \theta + X_d \sin \theta - l \sin(\alpha - \theta) - r_B = 0 \quad (14)$$

따라서, α 는 다음과 같다.

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{r_A + a \cos \theta + b \sin \theta - r_B}{l} \right) + \theta \quad (15)$$

전륜/후륜 착지점간 거리 f 는 다음과 같다.

$$f = -a \sin \theta + X_d \cos \theta + l \cos(\alpha - \theta) \quad (16)$$

그리고 지면의 수직 반력의 합 R_y^t 은 다음과 같다.

$$R_y^t = (M+m)g \cos \theta + F_y^E \cos \theta \quad (17)$$

이때 지면 반력의 작용점과 전륜 착지점간의 거리 s 는 다음과 같다.

$$s = \frac{s_1}{R_y^t} \quad (18)$$

여기서 s_1 은 다음과 같다.

$$s_1 = Mg(X_G + t_1) + Ma_G(Y_G \cos \theta + X_G \sin \theta + t_2) - mg(X_m - t_1) + ma_G(Y_m \cos \theta - X_m \sin \theta + t_2) + F_Y^E(t_1 + d_E) \quad (19)$$

$$t_1 = r_A \sin \theta \quad t_2 = r_A(1 - \cos \theta) \quad (20)$$

앞에서 구한 지면 반력의 작용점과 전륜 착지점간의 거리 s 를 이용하면, 전륜에 가해지는 수직 반력 R_y^1 , 후륜에 가해지는 수직반력 R_y^2 , 전륜 바퀴에 가해지는 마찰력 R_x^1 은 다음과 같다.

$$R_y^1 = (1 - \frac{s}{f})R_y^t \quad (21)$$

$$R_y^2 = \frac{s}{f}R_y^t \quad (22)$$

$$R_x^1 = [(M+m)g + F_y^E] \sin \theta + (M+m) a_G \quad (23)$$

그리고 전륜 구동 바퀴에 필요한 토크 T_A 회전관절에 필요한 토크 T_D 는 다음과 같다.

$$T_A = r_A R_x^1 \quad (24)$$

$$T_D = R_y^2 l \cos(\alpha - \theta) \quad (25)$$

전륜이 미끄럼 없이 요구 토크를 발생하기 위하여 요구되는 바퀴의 마찰 계수 μ_r 는 다음 조건식을 만족하여야 한다.

$$\mu_r \geq \frac{R_x^1}{R_y^1} \quad (26)$$

상기 식들을 이용하면 보행보조기기가 $0.4m/s^2$ 으로 일정한 각속도를 가지고, 10° 상승 경사면 위로 주행할 경우, 전륜 구동 바퀴에 필요한 토크(T_A)는 27.4Nm, 회전관절에 필요한 토크(T_D)는 354.2Nm가 된다. 그리고 이때 필요한 바퀴의 마찰 계수(μ_r)는 0.72 이상이어야 한다. 일반적인 타이어와 아스팔트 도로에서의 마찰계수는 0.8이므로 일반적인 타이어를 사용하여도 미끄럼이 일어나지 않는다.

나. 턱 등판의 경우

다음 보행보조기기가 턱을 승월할 때 필요한 전륜 구동 토크를 구해보자.

그림 30에서, 보행보조기기의 전륜이 높이 h_s 의 턱을 올라갈 때 전륜과 턱이 접촉하는 각도 β 는 다음과 같은 조건식을 만족한다.

$$0 \leq \beta \leq \beta_{\max} = \cos^{-1}\left(1 - \frac{h_s}{r_A}\right) \quad (27)$$

위 조건을 만족하는 임의의 접촉각 β 에서 차량이 중력에 대해 수평을 유지하면서 전륜/후륜 모두 지면에 닿기 위한 조건은 다음과 같다.

$$h_s + r_A \cos \beta + a - l \sin \alpha - r_B = 0 \quad (28)$$

따라서

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{h_s + r_A \cos \beta + a - r_B}{l}\right) \quad (29)$$

이다.

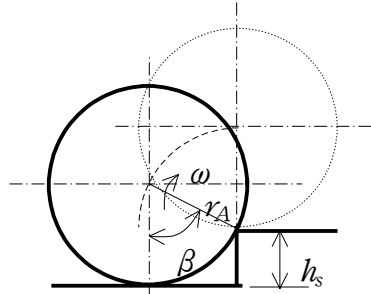


그림 30 차륜과 턱의 관계

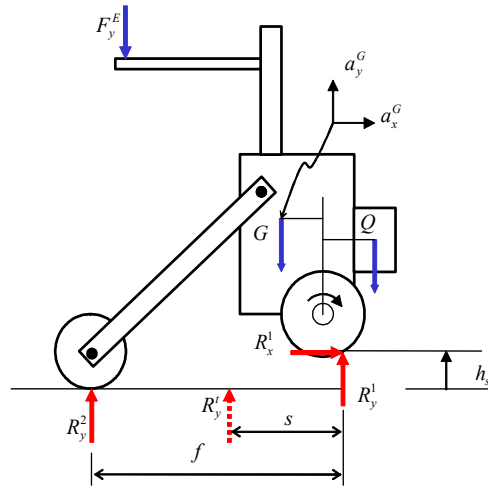


그림 31 보행보조기기의 턱 등판 시

그림 31에서 전륜/후륜 착지점간 거리 f , 지면의 수직 반력의 합 R_y^t , 지면 반력의 작용점과 전륜 착지점간의 거리 s 는 다음과 같다.

$$f = r_A \sin \beta + X_D + l \cos \alpha \quad (30)$$

$$R_y^t = (M+m)(g+a_y^G) + F_y^E \quad (31)$$

$$s = \frac{s_1}{R_y^t} \quad (32)$$

여기서 s_1 은 다음과 같다.

$$s_1 = M(g+a_y)(t_1 + X_D) + Ma_x^G(Y_G - t_2) - m(g+a_y)(-t_1 + X_m) + ma_x^G(Y_m - t_2) + F_y^E(t_1 + d_E) \quad (33)$$

$$t_1 = r_A \sin \beta \quad t_2 = r_A(1 - \cos \beta) \quad (34)$$

그리고 전륜에 가해지는 수직반력 R_y^1 , 후륜에 가해지는 수직반력 R_y^2 , 전륜에 가해지는 수평 반력 R_x^1 는 다음과 같다.

$$R_y^1 = \left(1 - \frac{s}{f}\right) R_y^t \quad (35)$$

$$R_y^2 = \frac{s}{f} R_y^t \quad (36)$$

$$R_x^1 = (M+m) a_x^G \quad (37)$$

이때 요구되는 바퀴 마찰계수 μ_r 는 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$\mu_r = \frac{R_x^1 \cos \beta + R_y^1 \sin \beta}{-R_x^1 \sin \beta + R_y^1 \cos \beta} \quad (38)$$

이때 전륜 구동 바퀴에 필요한 토크 T_A 회전관절에 필요한 토크 T_D 는 다음과 같이 계산된다.

$$T_A = r_A (R_y^1 \cos \beta + R_y^1 \sin \beta) \quad (39)$$

$$T_D = R_y^2 l \cos \alpha \quad (40)$$

전륜이 일정 속도 ω 로 회전하면서 이동할 때, 바퀴 중심 A의 가속도는 다음과 같다.

$$a_x^A = r_A \omega^2 \sin \beta, \quad a_y^A = -r_A \omega^2 \cos \beta \quad (41)$$

보행보조기기가 병진운동하기 때문에 $a_x^G = a_x^A$, $a_y^G = a_y^A$ 이 된다.

속도 1 km/h 로 턱을 승월할 때 전륜 속도(ω)는 2.22 rad/sec이 되고, 주어진 설계변수 값을 이용하면 전륜 구동에 필요한 토크 T_A 와 회전관절에 필요한 토크 T_D 는 회전각에 따라 그림 32와 그림 33와 같다. 그리고 $\beta = 77.3^\circ$ 에서 최대값이 $T_{A\max} = 48.5 Nm$, $T_{D\max} = 332.4 Nm$ 가 된다.

다. 턱 등판의 경우

평지 주행 시는 경사면 주행 시의 식에서 경사도 $\theta = 0$ 를 높으면 계산이 가능하며, 최대 수평 가속도 $a_y = 0.8 m/s^2$ 일 때의 필요 전륜 구동토크는 $T_{A\max} = 5.73 Nm$ (그림 32), 회전관절에 필요한 토크 $T_{D\max} = 302.5 Nm$ (그림 33)가 되며, 이 때 요구되는 바퀴 마찰계수 $\mu_r = 0.1$ 이 된다.

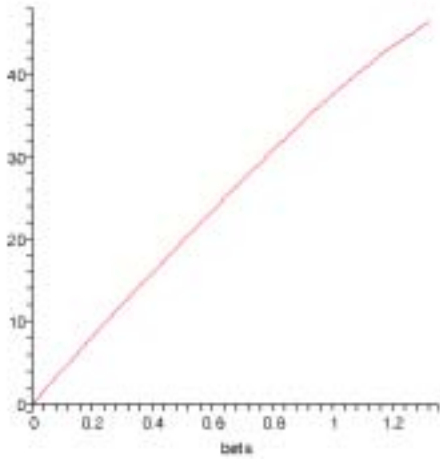


그림 32 전륜구동 토크 T_A

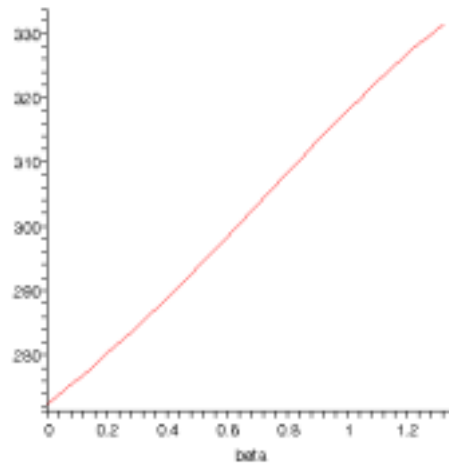


그림 33 회전관절 토크 T_D

라. 지지대 구동 토크

그림 34에서, 노인이 지지대에 F 힘으로 지지할 때, 모터에서 발생되는 동력은 지지력 수직 성분(F_y)을 움직일 때 소모되는 동력과 같아야하므로 screw의 효율 고려하면 조건식은 식(42)와 같다.

$$F_t v = \eta_s T_m \omega \quad (42)$$

여기서 $F_t = F \cos \theta$ 이고, T_m 은 모터 토크, ω 는 회전 속도, η_s 는 screw의 효율이다. 따라서 필요한 모터의 토크는 식(43)와 같다.

$$T_m = \frac{F_t v}{\eta_s \omega} = \frac{F_t L_s}{2\pi \eta_s} = \frac{F_y^E L_s \cos \theta}{2\pi \eta_s} \quad (43)$$

여기서 L_s 는 1회전 당 전진하는 거리인 screw의 리드이다.

보행보조기에서 지지대를 구동하는 모터와 screw를 다음과 같이 정하였다. 정격 회전수 $\omega = 3000 \text{ rpm}$ (=50 rps)인 모터와 리드 $L_s = 2.5 \text{ mm}$ 인 screw를 고려하였다. 이때 지지대의 속도는 $v = L_s \Omega = 250 \text{ mm/sec}$ 이다. 그래서 필요한 모터 토크는 식(26)과 같이 0.256Nm정도이다.

$$T_m = \frac{F_y^E L_s \cos \theta}{2\pi \eta_s} = 0.256 \text{ Nm} \quad (44)$$

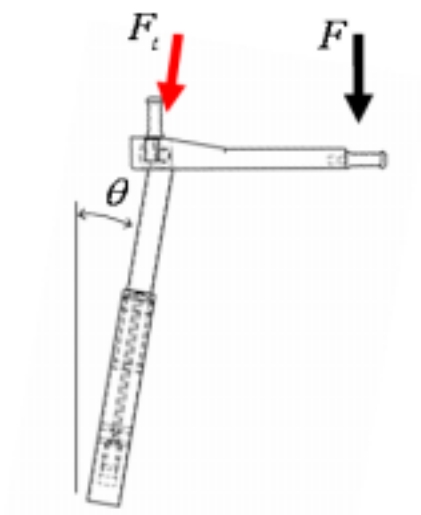
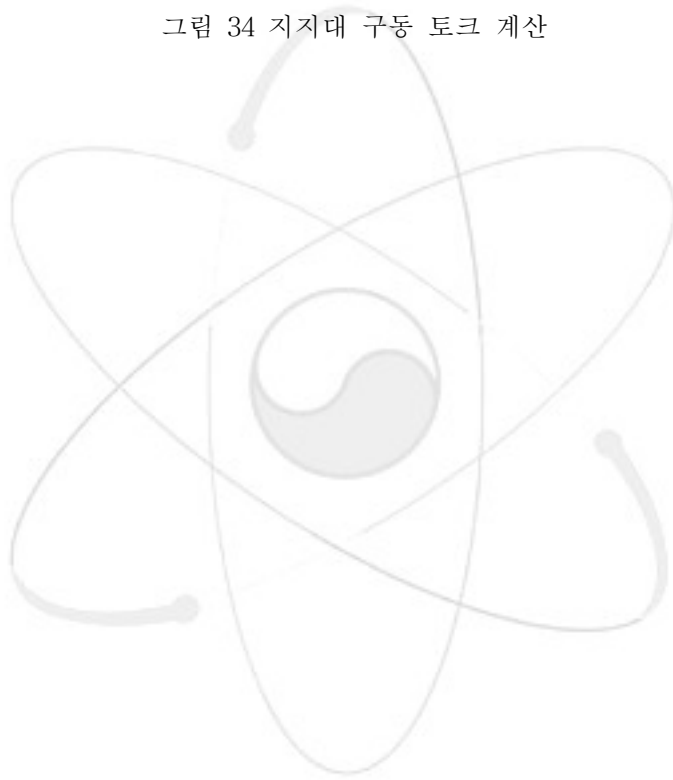


그림 34 지지대 구동 토크 계산



제 3 절 설계된 보행보조기기

앞 절에서 얻어진 보행보조기기의 기구학적 수치와 기본 구조를 이용하여 보행보조기기에 대한 개념 설계를 하였다. 개념 설계된 보행보조기기의 모양은 그림 35와 같다.

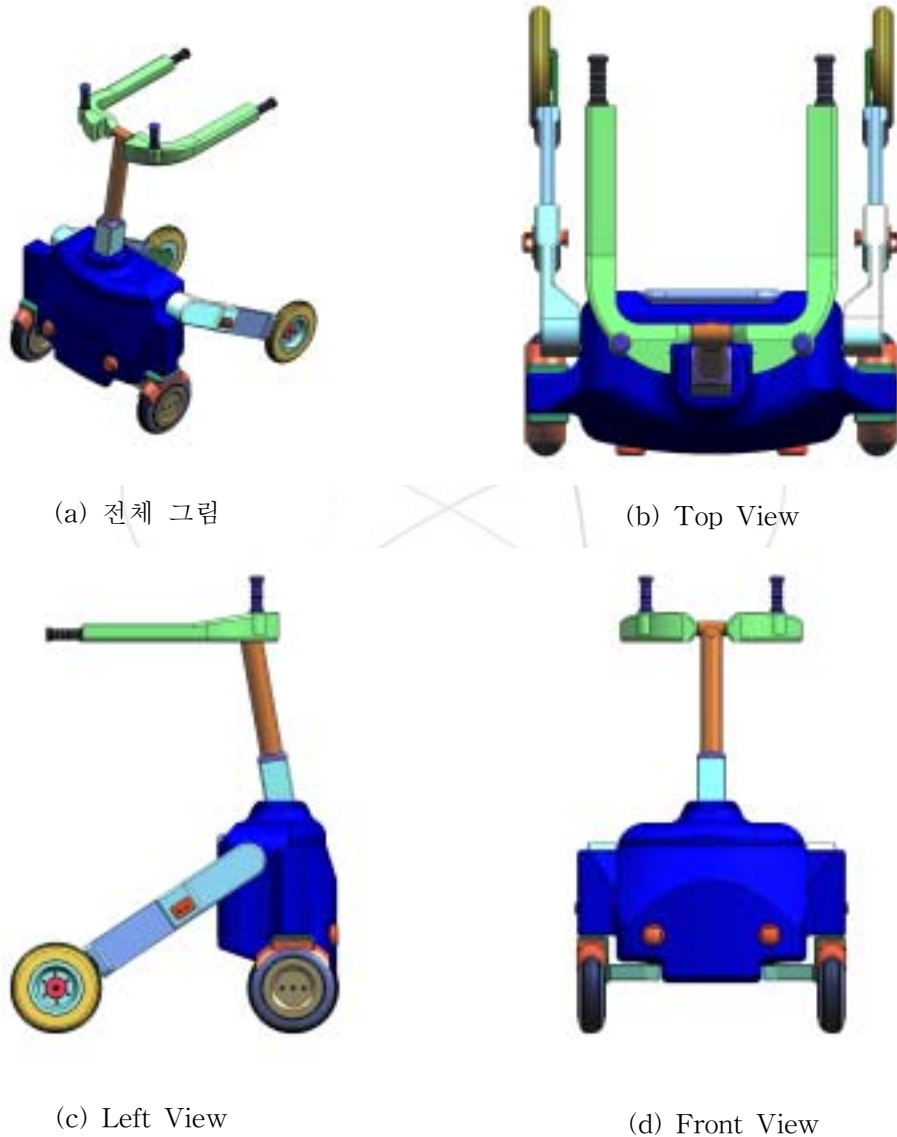


그림 35 개념 설계된 차륜형 보행보조기기 모양

그림 36은 개념 설계된 보행보조기기의 각 명칭을 나타내고 있다. 1절에서 고려한 보행보조기기의 기본 구조에 맞게 구성하였다. 구조 안정성을 고려하여 4륜 구조로 하였고, 조향 및 구동은 전륜 차동구동-후륜 캐스터 방식을 이용하였다. 노인이 주행 중이나 정차 시에 지지할 수 있는 지지대를 만들었고 지지대는 노인이 팔꿈치로 지지할 수 있도록 구성하였다. 노인의 키에 맞추거나 앉기/서기 보조에 도움이 될 수 있도록 지지대 높이 조절부를 부착하였다. 그리고 경사면 주행 시에 노인이 지지하는 지지부가 수평이 유지되도록 회전형 후륜 날개를 구성하였다. 이 후륜 날개는

지지대 높이 조절부와 함께 노인의 앉기/서기 보조를 할 수 있다. 이 보행보조기기는 4륜 구조이므로 구동 차륜의 지면 접촉을 보장하기 위하여 전륜에 완충 선형 스프링을 고려하였고, 추가로 후륜 날개에 완충용 토션널 스프링을 부착하여 완충 기능을 보완할 수 있도록 구성하였다. 노면 요철에 의한 진동 흡수를 위하여 각 차륜에 공기 주입식 타이어를 사용하는 것을 고려하였다. 보행보조기기가 차량에 탑재할 수 있도록, 후륜 날개를 접을 수 있는 기능과 지지대 회전부를 추가하였다.

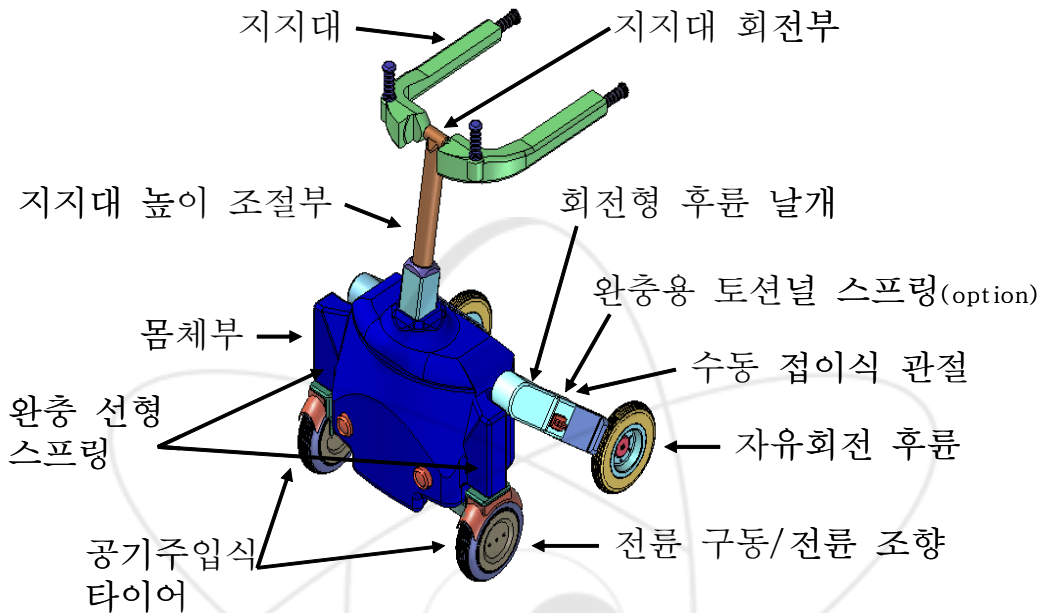


그림 36 개념 설계된 보행보조기기의 각 명칭

몸체부 내부 모양은 그림 37과 같다. 전원용 배터리, 구동 및 조향용 모터, 후륜 날개 회전 모터, 모터 드라이버 및 제어부등이 탑재되는 것을 고려하여 몸체부를 구성하였다.

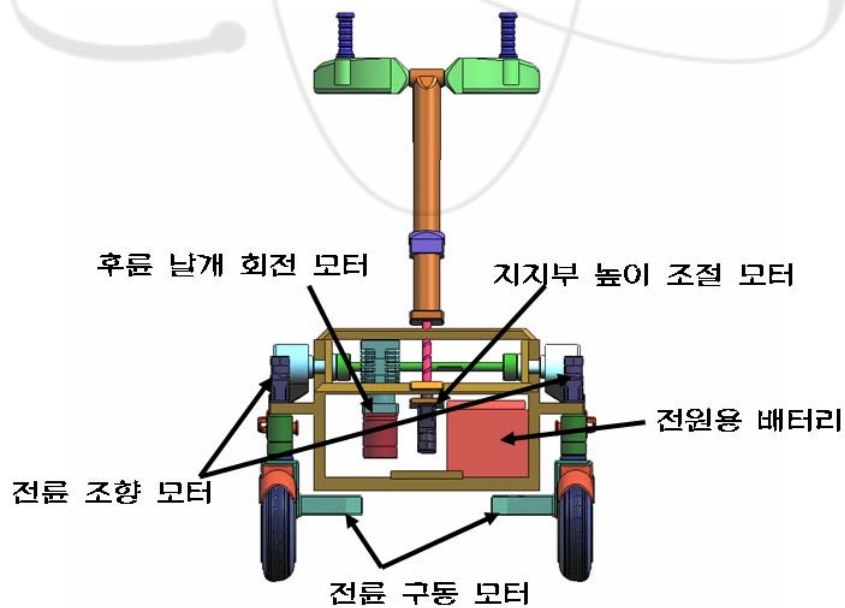


그림 37 몸체부의 내부 모습

노인이 야외 활동 시에 편의 될 수 있는 의자를 몸체부 뒤편에 부착하였다. 이 의자는 주행 중에는 접을 수 있도록 구성하였다(그림 38).

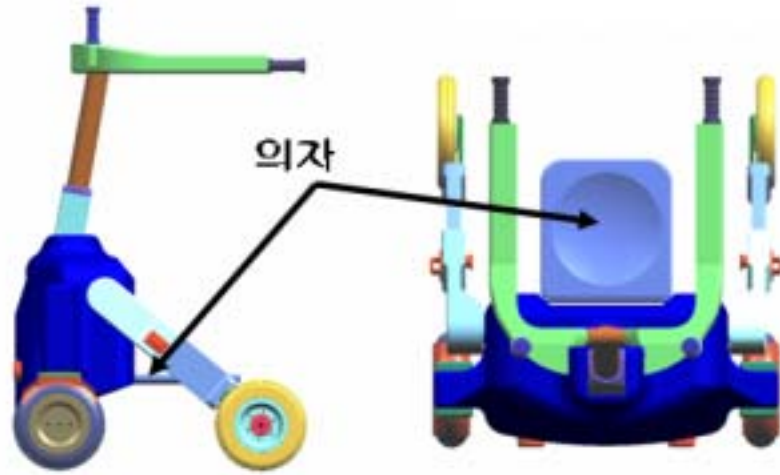


그림 38 보행보조기기에 부착된 의자 모양

그림 39은 개념 설계된 차륜형 보행 보조 기기의 설계도를 보여준다. 그림 39에서 보는 바와 같이 보행보조기기의 폭은 6인용 엘리베이터에 들어가기 위하여 740mm로 정하였다. 후륜 날개의 회전으로 인하여 보행보조기기의 깊이는 편하지만, 평지 주행 시에 보행보조기기의 깊이는 800mm이다. 이 길이는 6인용 엘리베이터에 충분히 들어갈 수 있는 길이이다.

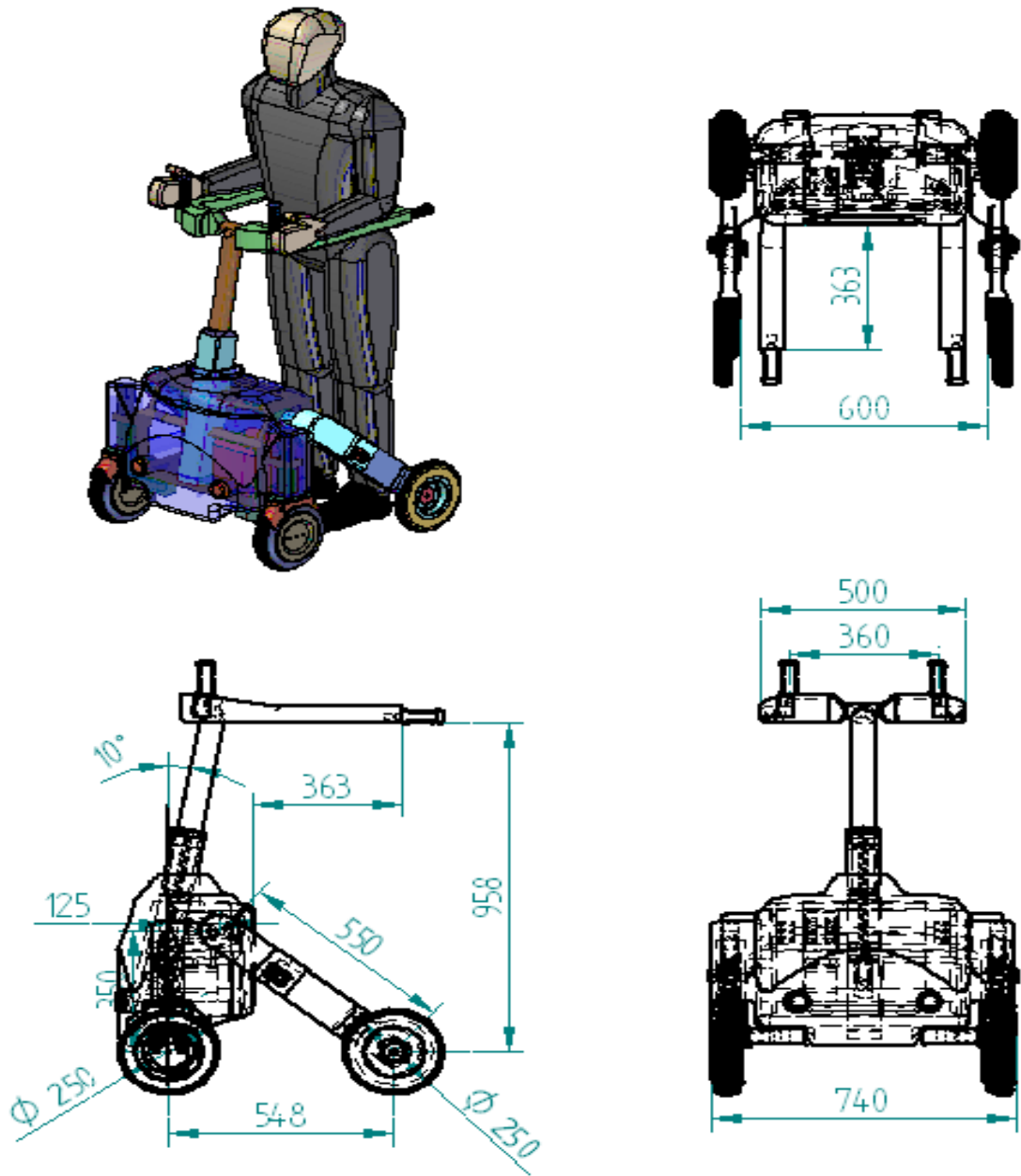


그림 39 개념 설계된 보행보조기기의 제원

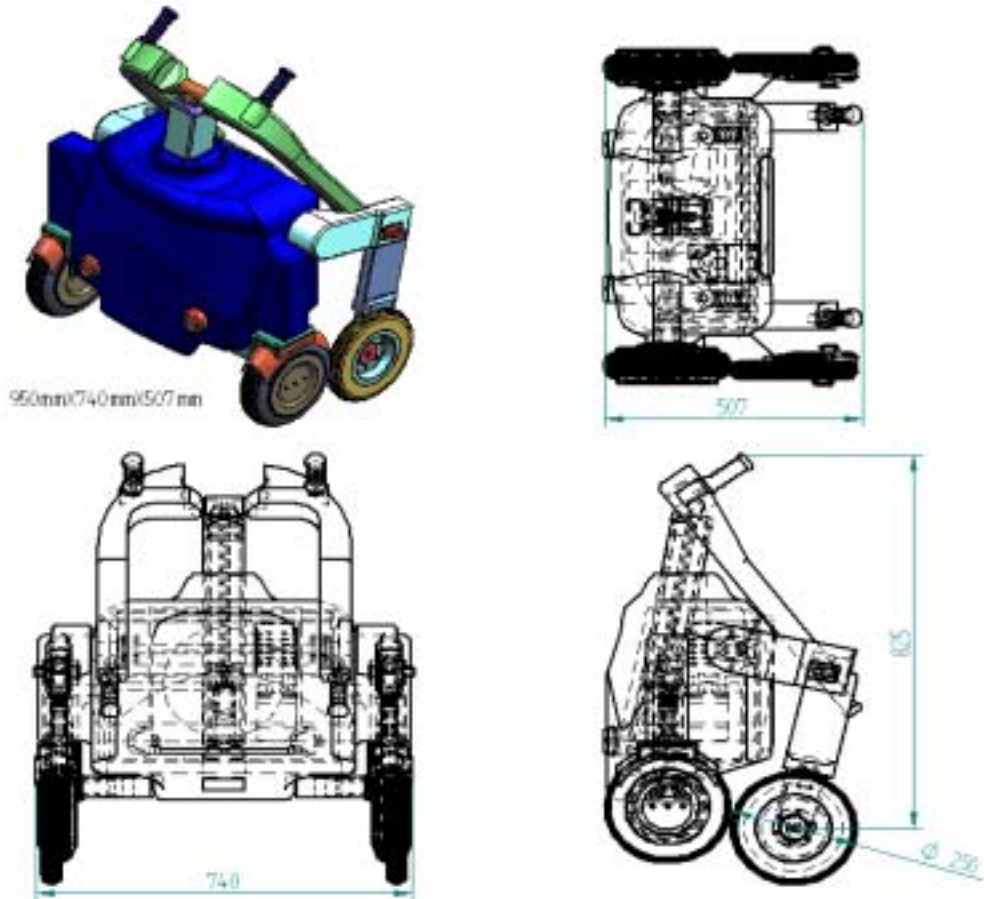


그림 40 보행보조기기의 최소 제원

개발된 보행보조기기는 야외용이므로 가능하면 차량에 휴대가 가능해야 한다. 그래서 보행보조기기는 차량에 탑재를 고려하여, 후륜 날개를 접을 수 있는 기능과 지지부를 회전할 수 있도록 하였다. 이 결과로 보행보조기기는 그림 40과 같이 형태를 최소화 할 수 있다. 그리고 이때 사이즈는 950mm x 740mm x 507mm이다.

그림 41는 보행보조기기가 노인의 앞기 보조 작업을 보여주는 그림이다. 이때 후륜 날개가 회전하면서도 가능하고, 지지대의 높이를 변화시켜도 가능하다.

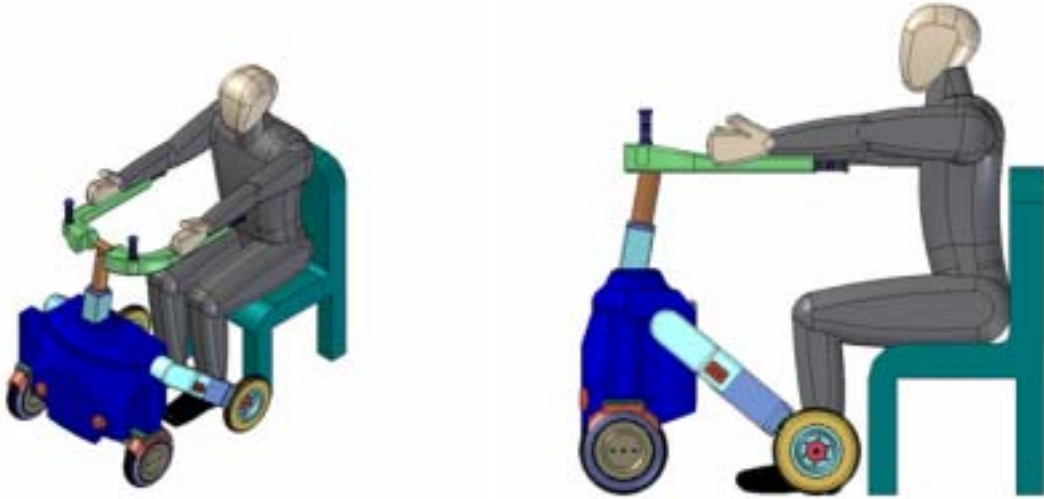
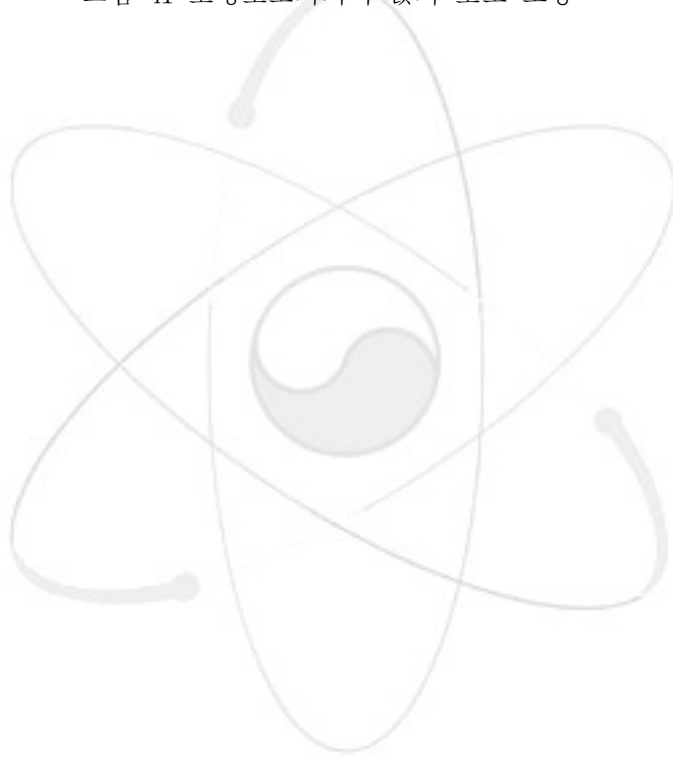


그림 41 보행보조기기의 앞기 보조 모양



제 4 절 계단 승하강 메커니즘 개념 설계

1. 계단 승하강을 위한 고려 사항

계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 계단 승하강을 위한 기능을 위한 개념 설계 시 다음 사항을 고려하였다.

- 전륜 및 후륜부의 승/하강 : 보행보조기기는 좌우 한 쌍의 차륜만 있는 계단 승하강용 화물 운반용 기기와는 달리 안정성을 위해 전후에 전륜 쌍과 후륜 쌍이 있어야 한다. 따라서 보행보조기기는 전륜부와 후륜부가 계단을 승하강할 수 있도록 하여야 하며 이 점이 보행보조기기의 계단 승하강을 어렵게 만든다.
- 역 주행의 필요성 : 전륜부와 후륜부가 계단을 승하강할 수 있도록 하기 위한 방법으로 전/후륜부가 동시에 계단을 승하강하는 방법과 각기 다른 시점에 계단을 승하강하도록 하는 방법, 다시 말해 전륜부가 먼저 한 계단을 올라가고, 그 후에 후륜부가 계단을 오르도록 하는 방법이 있다. 다른 시점에 계단을 승하강하도록 하는 경우에는 계단 승강 시나 하강 시에 보행보조기기의 승하강 메커니즘과 계단과의 자세가 그림 42에서와 같이 다르게 된다. 따라서 승하강 메커니즘의 복잡성을 피하기 위해서는 승하강 메커니즘의 계단과의 자세를 동일하도록 하여야 하며 이를 위해서는 보행보조기기의 역 주행이 필요하다.

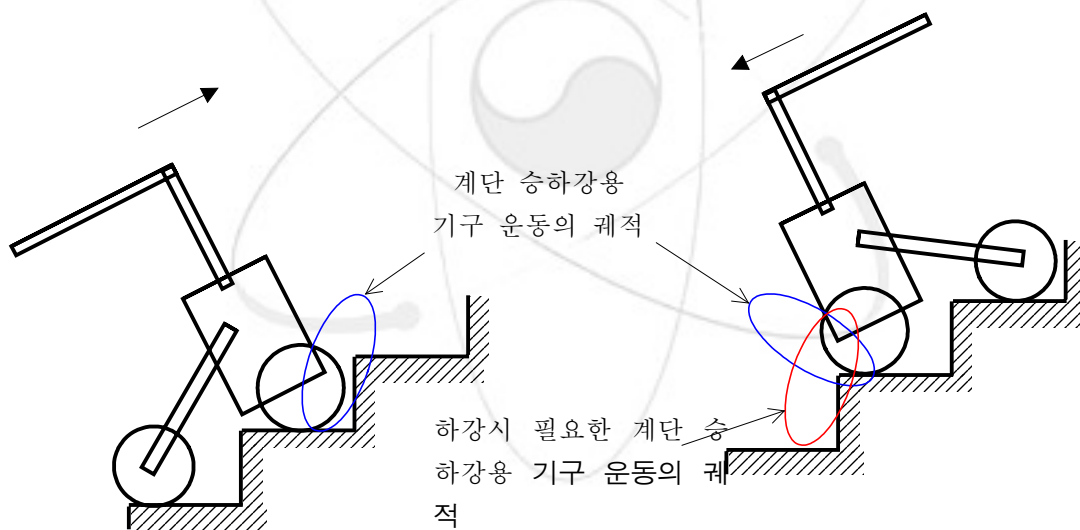


그림 42 승하강 메커니즘과 계단과의 자세

- 계단 승/하강시 후륜 날개 각도 조절용 모터의 이용 방안 : 1차년도에 개념 설계된 보행보조기기는 경사면 주행 시에 보행보조기기 몸체를 수평으로 유지하기 위해, 또한 노인의 앉기/서기를 보조하기 위해 후륜 날개에 모터를 장착하여 후륜 날개의 각도를 조절할 수 있도록 하였다. 따라서 이 후륜 날개 각도 조절용 모터를 이용하면 경사면 주행 시 뿐만 아니라 계단 승하강 시에도 보행보조기기의 몸체를 수평으로 유지하거나 후륜을 계단 승하강시킬 때에 이용할 수 있을 것이다.
- 계단 승하강 시 보행보조기기의 안정성 : 1차년도에서 설계된 차륜형 보행보조기기는 평탄면 및 경사면의 주차, 주행 시에 구조적으로 안정하도록 설계되었다. 2차년도에서는 1차년도에

서 설계된 차륜형 보행보조기기가 갖는 기능 외에 계단 승하강 기능이 더 추가되며, 계단 승하강 시에 보행보조기기가 전복되는 등의 안전사고는 평지에서의 안전사고보다 노인에게 더 큰 피해를 줄 수 있으므로 계단 승하강 시에 차륜형 보행보조기기의 안정성은 확보하는 것은 매우 중요하다. 특히 보행보조기기의 전륜부와 후륜부가 다른 시점에 계단을 승하강하도록 하는 방법을 채택할 경우에는 그림 43에서 보는 바와 같이 계단 기울기 보다 더 큰 기울기에서의 보행보조기기의 구조적 안정성이 요구된다. 따라서 구조적 안정성 측면에서 보면 차륜형 보행보조기기의 전/후륜부가 동시에 계단을 승하강하는 방법이 전/후륜부가 각기 다른 시점에 계단을 승하강하도록 하는 방법보다 더 유리하다.

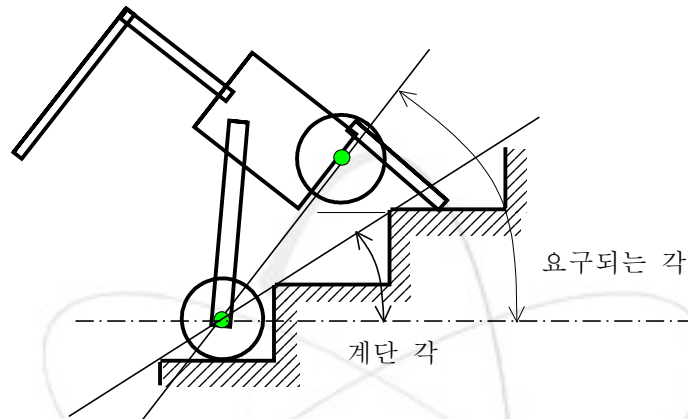


그림 43 전륜의 계단 승강시 몸체의 기울기

- 후륜부 승하강 메커니즘의 실현성 : 차륜형 보행보조기기의 후륜부는 그 좌우 차륜 사이에 보행자가 위치하기 때문에 전륜부와는 달리 후륜부의 좌우 차륜은 떨어져 있으며 따라서 후륜부에 승하강 메커니즘을 장착하려면 좌우에 별도로 설치해야 한다. 이 점은 후륜부에 승하강 메커니즘의 장착을 매우 어렵게 만들며 따라서 승하강 메커니즘은 가능한 한 전륜이 위치한 보행기기의 몸체에 위치하는 것이 유리하다.

2. 계단 승하강 메커니즘 분석

차륜형 보행보조기기의 계단 승하강 메커니즘의 설계 시에 가장 큰 난점은 전륜부와 후륜부가 보행자의 도움 없이 계단을 승하강하여야 한다는 점이다. 이에 반해 화물 운반기기는 후륜부가 없을 뿐 아니라 운반 작업자의 도움을 받기 때문에 차륜형 보행보조기기 보다는 계단 승하강 메커니즘이 간단해진다. 특히 차륜형 보행보조기기의 후륜부는 그 중간에 보행자가 위치하기 때문에 전륜부와는 달리 후륜부의 좌우 차륜이 떨어져 있으며 후륜부에 승하강 메커니즘을 장착하려면 좌우에 별도로 설치해야 한다. 따라서 승하강 메커니즘은 가능한 한 전륜이 위치한 보행기기의 몸체에 위치하는 것이 유리하다.

계단을 이동할 수 있는 여러 가지 메커니즘에 대하여 알아보자.

가. 원 운동을 하는 wheeled lever

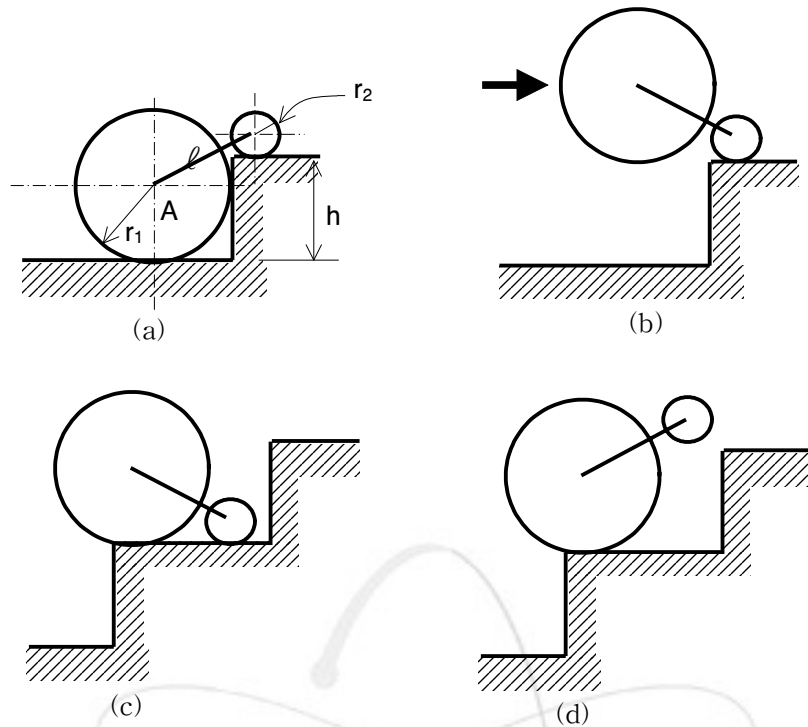


그림 44 wheeled lever를 이용한 계단 승하강

그림 44에서 보는 바와 같이 wheeled lever 방식은 작은 차륜이 부착된 지지대를 계단 턱에 걸고 이 지지대의 회전력을 이용하여 주 차륜을 계단 위로 들어 올리는 방식이다. 이 방식은 한 개의 모터를 이용한 가장 간단한 메커니즘이지만 주 차륜이 지면에서 떨어졌을 때 주 차륜을 앞으로 전진시키기 위해서는 외부 또는 후륜에서의 전진 구동력이 필요하다. 또 그림 45 (b)에서와 같이 레버를 후방 지지하는 경우 계단 하강 시에 보행보조기기의 무게중심의 위치에 따라 보행보조기기의 전복할 가능성 크며, 전방 지지하는 경우에는 전복의 위험성은 작지만 링크 길이가 길어져야 한다. 링크 길이가 길어질수록 필요한 계단 너비도 길어지므로 단점이 된다.

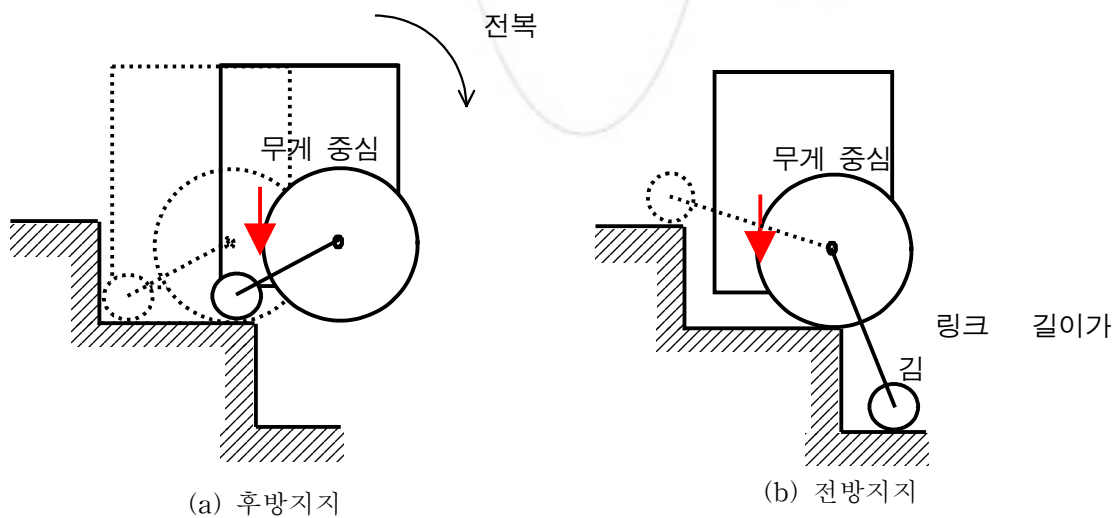


그림 45 wheeled lever를 이용한 계단 승하강시 지지계단에 따른 차이점

나. 타원운동을 하는 링크 메커니즘

지지대를 이용하여 계단을 승하강하는 메커니즘의 경우 지지대의 끝단이 원운동을 하는 것보다 타원 운동을 하는 것이 그림 46에서 보듯이 필요한 계단 너비가 작다는 점에서 유리하다.

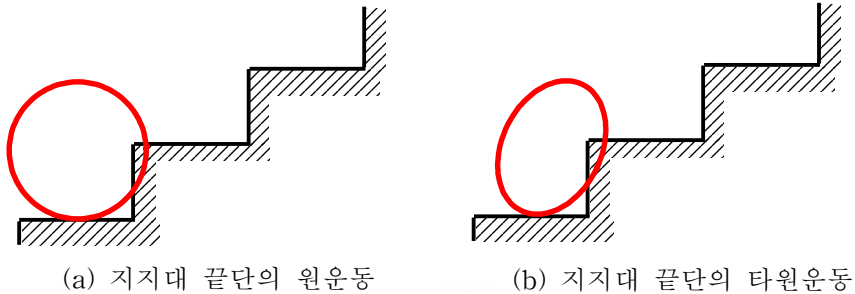


그림 46 지지대 끝단의 원운동과 타원운동의 차이

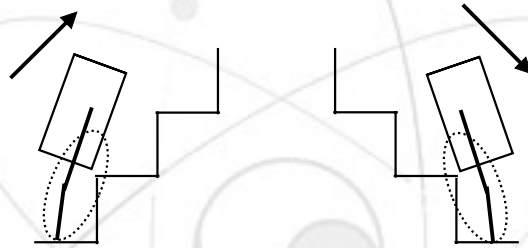


그림 47 승강 시와 하강 시의 보행보조기기의 자세

단 타원 운동의 경우 타원 궤적이 계단을 향해 기울어져야만 하며, 이 점으로 인하여 그림 47에서 보듯이 계단 승강시와 계단 하강 시에 보행보조기기의 자세를 달리할 필요성이 생긴다. 다시 말해 보행보조기기의 역주행이 필요하다.

지지대 끝단이 타원 운동을 하도록 하기 위해서는 단순히 한 개의 회전모터만으로는 불가능하며 2개의 모터를 이용하거나 또는 링크 기구학을 이용하여야 한다. 링크 기구학을 이용하여 타원 운동을 만드는 방법으로 그림 48, 49에서와 같이 5-bar 링크 메커니즘을 이용하는 방법과 크랭크-슬라이드 메커니즘을 이용하는 방법이 있다.

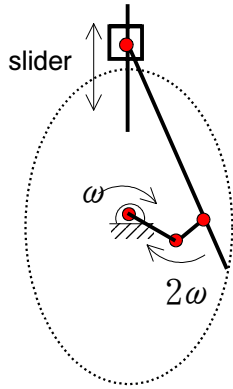


그림 48 5-bar 링크 메커니즘

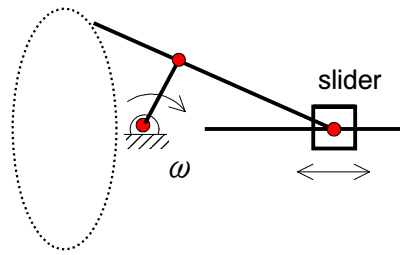


그림 49 크랭크-슬라이드 메커니즘

다. 3륜/4륜 차륜부

3륜/4륜 차륜부를 이용하여 계단을 승하강하는 방법은 평지 주행시에는 3륜/4륜 차륜부중에서 한 개의 차륜만이 지면에 닿도록 하여 주행하다가 계단 승하강 시에는 그림 50에서와 같이 3륜/4륜 차륜부 전체를 공전시켜 계단 턱에 하나의 차륜이 걸리도록 함으로써 공전하는 힘을 이용하여 3륜/4륜 차륜부를 승하강시키는 방법이다. 이 방법은 차륜의 개수가 많아짐으로 해서 외관상 좋지 않을 뿐만 아니라 계단의 높이 및 너비의 변화에 따른 적응성이 떨어진다는 단점이 있다.

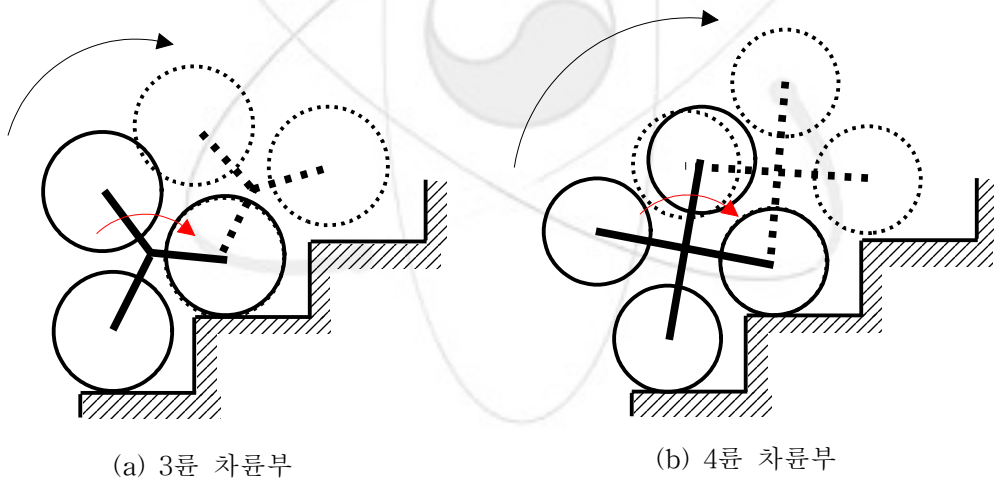


그림 50 3륜/4륜 차륜부를 이용한 계단 승하강 방법

라. 휠이 부착된 실린더 및 후륜 지지 링크의 회전 이용 방법

앞서 기술한 계단 승하강 방법을 채택할 경우 차륜형 보행보조기가 계단을 승하강하기 위해서는 계단 승하강 메커니즘이 전륜부와 후륜부에 모두 부착되어야 하며 이럴 경우 앞서 언급한 바와 같이 계단 승하강 메커니즘을 후륜부의 좌우 차륜에 별도로 설치해야 한다. 차륜형 보행보조기는 그 폭이 제한되어 있으며, 또한 후륜부 안쪽으로 보행자가 위치하기 때문에 후륜의 안쪽으로 돌출부가 있으면 보행자의 보행에 큰 지장을 준다. 따라서 계단 승하강 메커니즘은 가능한 한 보

보조기기의 몸체에 설치되는 것이 유리하다.

휠이 부착된 실린더 및 후륜 지지 링크의 회전 이용 방법은 그림 51에서 보는 바와 같이 보행 보조기기 몸체의 전/후방에 실린더를 부착하여 두 개의 실린더 사이에 보행보조기기의 무게 중심이 위치하도록 실린더를 배치하고 후륜 지지 링크의 회전을 이용하여 후륜 링크를 회전시킴으로써 후륜부를 승하강시키도록 한다. 후륜 링크가 지면에서 떨어졌을 때는 두 개의 실린더를 지면에 접촉하도록 하여 보행보조기기의 구조적 안정성을 확보하며 후륜 링크가 계단 지면에서 닿아 있을 때는 몸체의 후방 실린더를 지면에서 떨어질 수 있다. 또한 후륜에는 구동 모터가 없으므로 전륜이 지면에서 떨어졌을 때 보행보조기기의 전후진 구동력을 잃어버리므로 전방 실린더의 끝단에 부착된 작은 차륜에 구동 모터를 부착하여 전륜이 지면에서 떨어졌을 동안만 보행보조기기의 전후진 구동력을 발생시킨다.

이 방법은 실린더의 길이 및 후륜 지지 링크의 각도를 이용함으로써 계단 높이 및 너비 변화에 대한 대처능력이 좋으며 승하강시 몸체를 수평으로 유지할 수 있다는 장점이 있다.

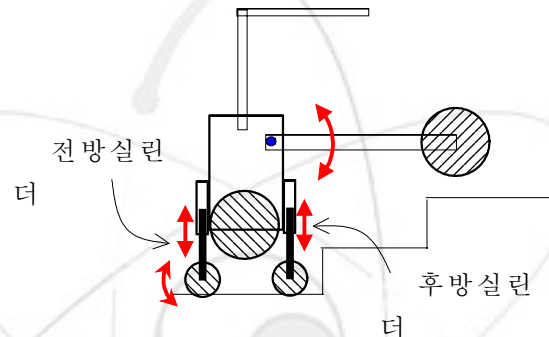


그림 51 휠이 부착된 실린더 및 후륜 지지 링크의 회전을 이용한 계단이동 메커니즘

3. 계단 승하강 메커니즘의 모의 실험

WorkingModel 2D 프로그램을 이용하여 계단 승하강 메커니즘에 대한 모의실험을 수행하였다. 모의실험에 사용된 보행보조기기의 주요 치수는 1차년도에 설계된 것과 동일하다.

가. wheeled lever를 이용한 계단 이동 모의실험

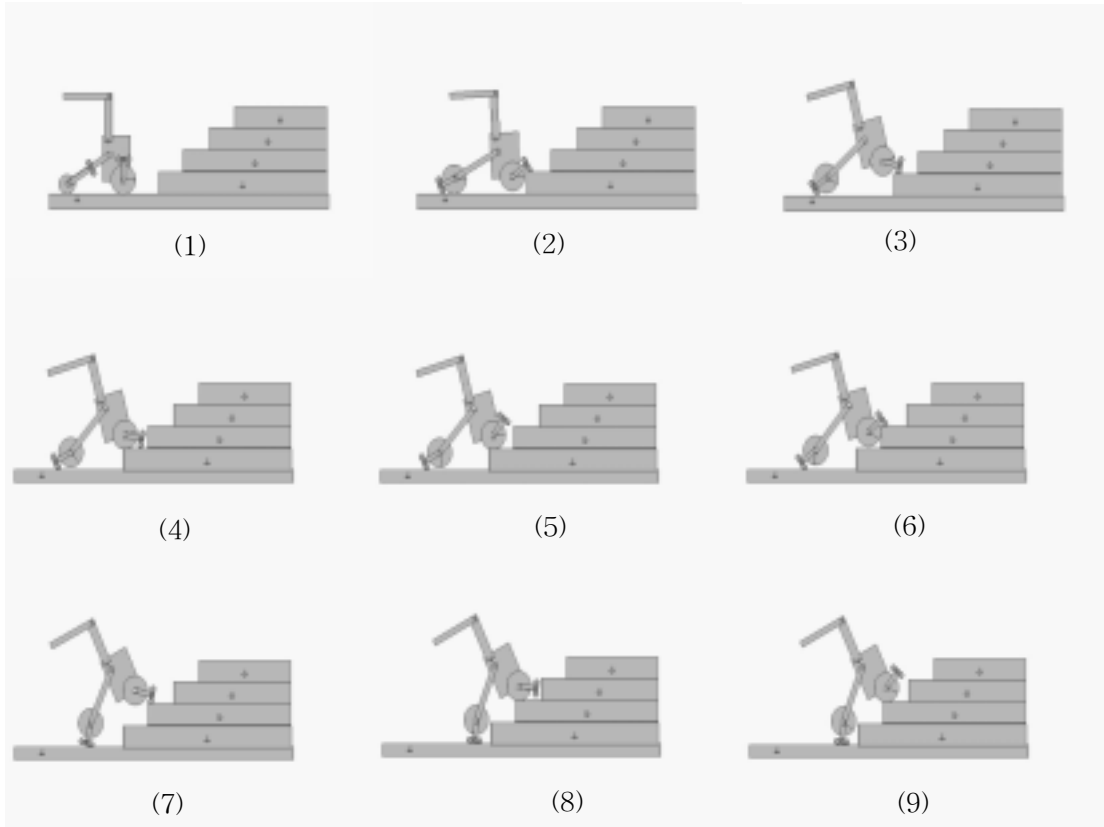


그림 52 wheeled lever를 이용한 계단 이동 모의실험

wheeled lever를 이용한 계단 승하강 방법을 알아보기 위해 전륜부와 후륜부에 wheeled lever를 부착한 보행보조기기의 계단 이동 모의 실험을 수행하였으며, 그 결과의 연속적인 모습이 그림 52에 나와 있다. 그림52에서 보듯이 전륜부가 처음 두 개의 계단을 올라갈 때 까지 후륜부는 평지면에 위치한다. 이러한 이유로 보행보조기기는 계단 경사도만큼 (모의실험에서는 25도) 기울어지며, 이러한 자세에서는 보행보조기기가 구조적으로 불안정하게 된다. 이를 방지하기 위한 방법으로 후륜부의 wheeled lever를 이용하여 후륜을 높여 줌으로 해서 보행보조기기의 기울어짐을 감소시키는 방법이 있다. 그러나 후륜부가 계단을 올라가기 위해서는 후륜부 wheeled lever를 사용하여야 하는데 그림 52의 (9)번에서 보듯이 후륜이 지면에서 떨어져 있고 후륜부 wheeled lever가 지면을 지탱하고 있는 자세로는 후륜부 wheeled lever의 사용이 불가하다. 따라서 후륜부 wheeled lever를 사용하기 위해서는 후륜이 지면에 접촉해 있고 후륜부 wheeled lever가 자유로이 회전 할 수 있어야만 한다. 그러나 이런 자세를 만들면 앞서 언급한 바와 같이 보행보조기기가 계단의 경

사도 또는 그 이상의 각도로 기울어지게 되어 구조적으로 불안정한 자세가 된다. 결국 전륜부와 후륜부에 wheeled lever를 부착하는 방법으로는 보행보조기기의 구조적 안정성을 유지하면서 계단을 올라갈 수가 없다.

나. 타원운동을 하는 링크 메커니즘을 이용한 계단 이동 모의실험

지지대를 이용하여 계단을 승하강하는 메커니즘은 앞서 언급한 바와 같이 지지대의 끝단이 원운동을 하는 것보다 타원 운동을 하는 것이 필요한 계단 너비가 작다는 점에서 유리하다. 링크 기구학을 이용하여 타원 운동을 만드는 방법으로 5-bar 링크 메커니즘을 이용하는 방법과 크랭크-슬라이드 메커니즘을 이용하는 방법이 있다. 그림 53은 크랭크-슬라이드 메커니즘을 이용하여 지지대 끝단이 타원 운동을 하는 과정을 도식적으로 보여주며, 그림 54에 5-bar 링크 메커니즘을 이용하여 계단을 이동하는 과정을 도식적으로 보여주고 있다.

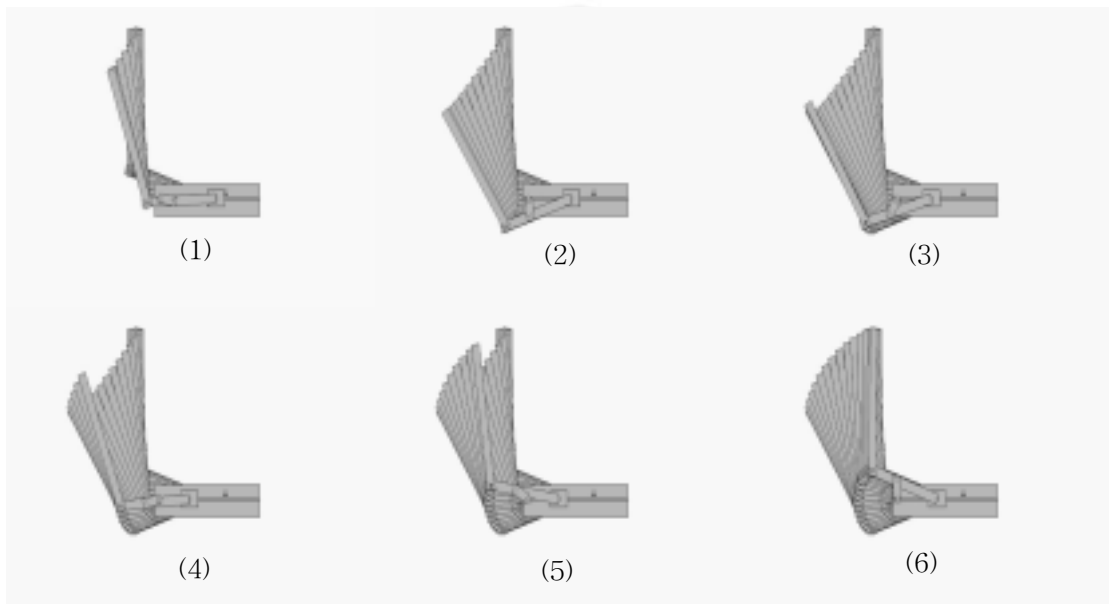


그림 53 크랭크-슬라이드 메커니즘을 이용한 타원 운동

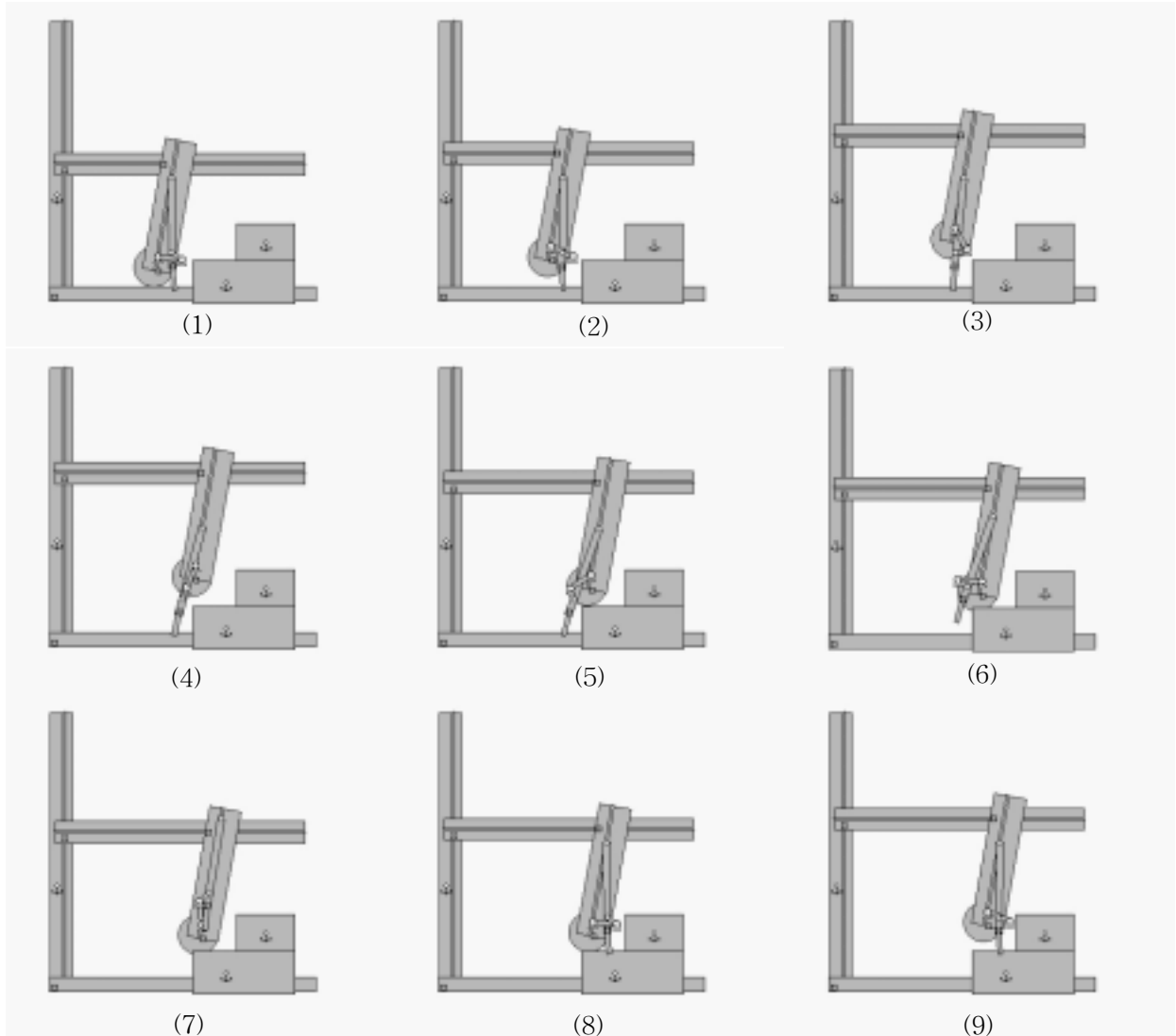


그림 54 5-bar 링크 메커니즘을 이용한 계단 이동 과정

지지대를 이용한 계단 승하강 메커니즘은 화물 운반용 기기에서 많이 사용되는 메커니즘이지만 차륜형 보행보조기기에 적용하려면 보행보조기기의 전륜부와 후륜부 모두에 부착하여야한다. 보행보조기기의 후륜부는 좌우의 차륜 사이에 보행자가 위치하므로 승하강 메커니즘을 좌우에 별도로 설치하여야 하며, 이 경우 설치 공간의 제약으로 말미암아 보행자의 보행에 방해가 될 우려가 매우 크다. 따라서 실현성이 떨어진다.

다. 휠이 부착된 실린더 및 후륜 지지 링크의 회전을 이용한 모의실험

휠이 부착된 실린더 및 후륜 지지 링크의 회전을 이용한 계단 이동 과정은 그림 55에 도식적으로 나와 있으며 그 과정을 요약하면 아래와 같다.

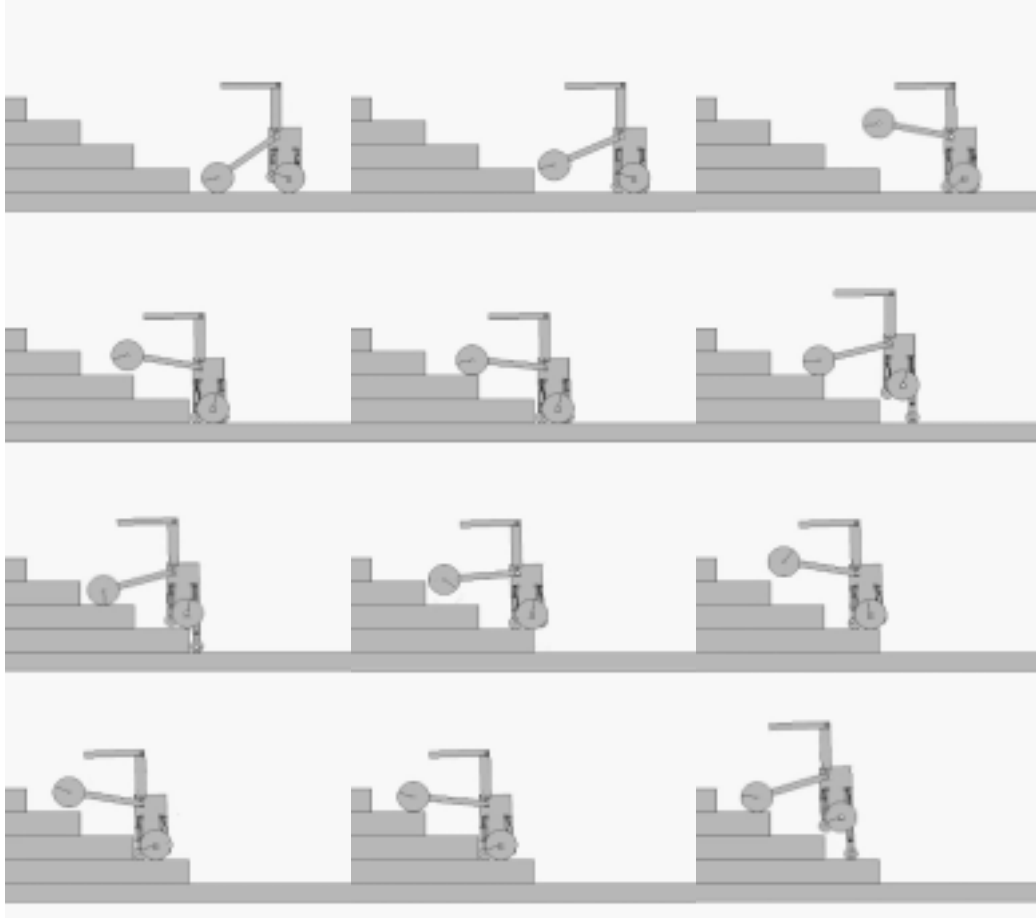
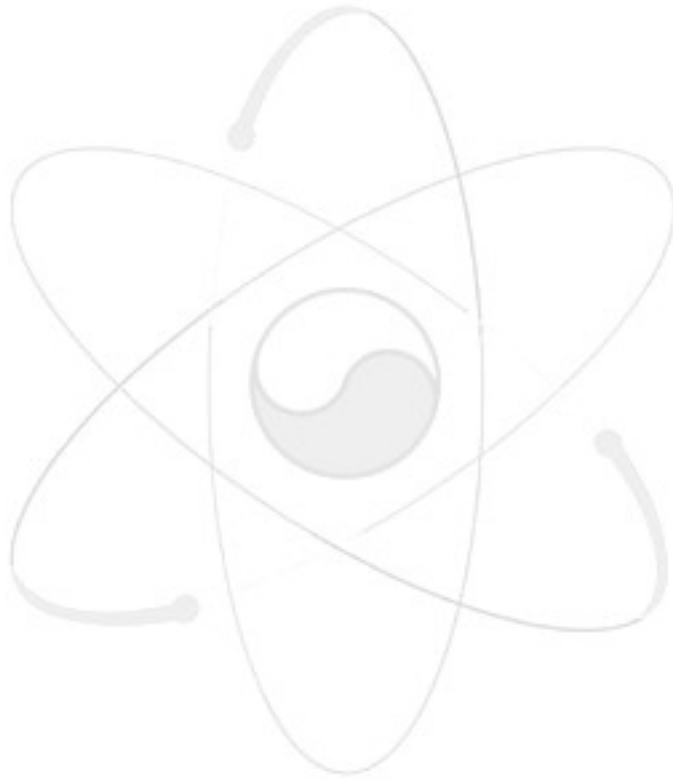


그림 55 휠이 부착된 실린더 및 후륜지지 링크의 회전을 이용한 계단 이동 과정
(좌에서 우로, 위에서 아래로의 순서)

- ① 후륜부가 계단을 향하도록 보행보조기기의 방향을 전환.
- ② 전후방 실린더를 아래로 뺀어 지면에 접촉시켜 몸체를 지지한 후, 후륜을 회전시켜 들어 올림.
- ③ 전륜을 구동시켜 보행보조기기를 계단에 근접시킴.
- ④ 후륜을 회전시켜 지면과 접촉시킴.
- ⑤ 전방실린더를 뺀어 내려 보행보조기기의 몸체를 들어 올림. 이 때 후륜날개를 함께 회전시켜 보행보조기기의 몸체가 수평을 이루도록 함. (몸체에 부착된 전륜도 지면에서 떨어짐)
- ⑥ 지면과 접촉된 전방 실린더의 끝단에 부착된 작은 차륜을 구동시켜 몸체를 계단 위로 위치시킨 후, 전륜이 계단면과 닿도록 전방실린더를 집어넣음.
- ⑦ 전륜을 구동하여 전방실린더를 포함하여 몸체 전체가 계단면 안쪽에 위치하도록 함.
- ⑧ 전륜이 계단면에 접촉한 상태에서 후륜 날개를 회전하여 들어 올림. 이 때 후방 실린더를 지면에 접촉시켜 몸체가 기울어지지 않도록 함.
- ⑨ 앞의 ③과정부터 다시 수행하여 다음 계단으로 이동.

이 방법은 앞서 언급한 바와 같이 실린더의 길이 및 후륜 지지 링크의 각도를 이용함으로써 계단 높이 및 너비 변화에 대한 대처능력이 좋으며 승하강시 몸체를 수평으로 유지할 수 있다는 장점이 있다. 다만 전륜(또는 전방 실린더)과 후방 실린더가 지면에 닿아 있고 후륜이 지면에서

떨어졌을 때 무게 중심이 전륜(또는 전방 실린더)과 후방 실린더 사이에 위치하지만 그 거리가 멀지 않은 이유로 구조적 안정성이 떨어진다. 이를 극복하는 방안으로 후방 실린더의 길이를 제어함으로써 보행보조기기의 전복이나 기울어짐을 방지 할 수 있다. 다시 말해, 외부의 힘에 의해 몸체가 후방 실린더 쪽으로 기울어지면 후방 실린더를 뺀 몸체의 기울어짐을 방지하고 반대 방향으로 기울어 질 경우는 후방 실린더를 집어넣음으로써 기울어짐을 방지한다. 더 근본적인 해결을 위해서는 보조 지지대가 하나 더 필요할 것으로 예상되지만 이럴 경우 보행보조기구가 기구적으로 복잡해 질 우려가 있다.



제 5 절 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 개념 설계

1. 계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 구조

보행보조기기의 기본 구조는 다음과 같은 구조로 하였다.

그림 56는 개년 설계된 계단 적응형 차륜형 보행보조기기, 그림 57는 적응형 차륜형 보행보조기기의 측면도이고, 그림 58은 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 정면도, 그림 59은 계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 내부 모습이다.

가. 차륜 개수 : 구조적 안정성을 위하여 4륜 구조로 하였다.

나. 조향 및 구동 방식 : 전륜 조향-전륜 구동 및 자유회전 후륜 구조로 결정하였다.

다. 후륜 링크 : 후륜 링크를 몸체와 일체형이 아닌 회전 링크 구조로 하고 회전부에 링크 회전용 모터를 부착하도록 하였다. 이 모터는 몸통에 부착된 경사센서를 이용하여 본 장치가 경사면에서 수평이 되도록 제어된다. 이 구조의 다른 장점으로 본 장치를 차량에 탑재할 때에 회전 모터를 이용해 링크를 회전시킴으로 크기를 작게 할 수 있으며, 또한 링크 회전 기능을 이용함으로써 사용자의 앉기/서기 보조 시에 사용하는 지지대 높이 조절부와 연동하여 사용자, 즉 노인의 앉기/서기를 보조할 수 있다.

라. 완충기부 : 4륜 구조이므로 구동 차륜의 지면 접촉을 보장하기 위해서는 완충 기능이 필요하며, 이를 위해 후륜 쪽 링크 중간에 수동형 회전 관절을 두고 이 관절에 토션 스프링을 부착하여 완충 기능을 구현하도록 하였다. 이 수동형 회전 관절의 장점으로는 회전 관절을 이용하여 링크를 접을 수 있으며 따라서 본 장치의 차량 탑재 시에 장치의 크기를 작게 할 수 있다는 이점이 있다.

마. 지지대 높이 조절부 : 사용자의 앉기/서기 보조 기능을 수행할 뿐만 아니라 키 차이에 따른 지지대 높이의 조절을 위하여 모터 구동형 실린더 방식의 지지대 높이 조절 구조를 채택하였다. 지지대 높이 조절부의 다른 장점으로 본 장치의 차량 탑재 시에 높이를 최소로 하여 그 크기를 작게 할 수 있다.

바. 몸통부 : 몸통부에는 전원용 배터리, 구동 및 조향용 모터, 링크 회전용 모터, 모터 드라이버 및 제어부 등이 탑재된다.

사. 차륜 : 노면 요철에 의한 차체 진동 흡수를 위하여 각 차륜에 공기 주입식 타이어 채택하도록 하였다.

아. 전방 실린더부(그림60) : 전방 실린더부는 몸체 앞쪽 내부에 위치하며 실린더 로드 끝단에 작은 차륜이 부착된다. 전방 실린더부에는 실린더용 모터와 전륜이 지면에서 떨어졌을 때 보행보조기기의 전후진 구동을 위한 구동용 모터가 작은 차륜에 장착된다.

차. 후방 실린더부(그림61) : 후방 실린더부는 몸체 뒤쪽 내부에 위치하며 실린더 로드 끝단에 작은 차륜이 부착된다. 후방 실린더부는 전후진 구동력이 필요 없으므로 실린더용 모터만이 장착된다.



그림 56 계단 적응형 차륜형 보행보조기기



그림 57 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 측면



그림 58 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 정면도

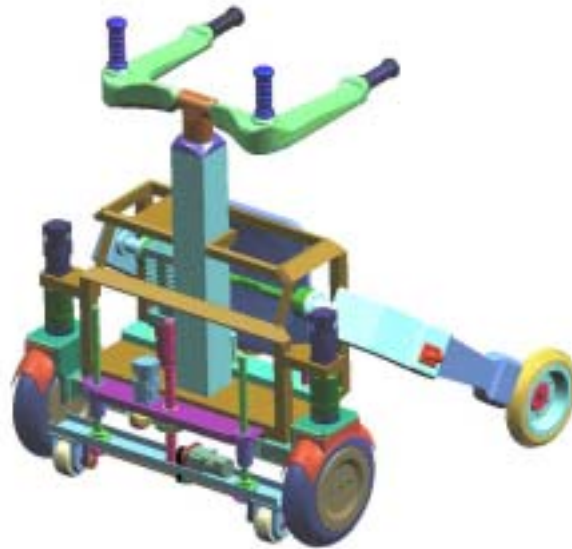


그림 59 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 내부

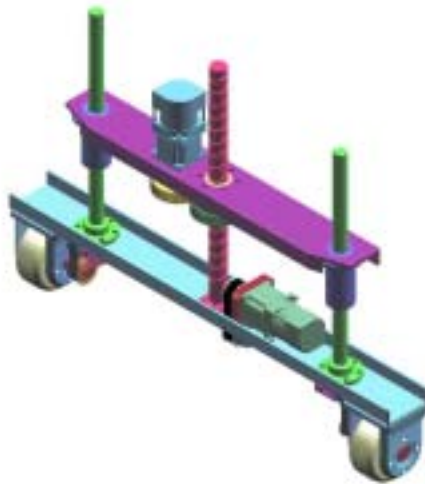


그림 60 전방 실린더부



그림 61 후방 실린더부

2. 토크 계산

2차원 동력학 해석 프로그램인 WorkingModel 2D를 이용하여 개년 설계된 계단적응형 차륜형 보행보조기기가 계단을 이동하는 중에 요구되는 전방 및 후방실린더의 최대 추력, 전방 구동륜의 최대 토크를 구하였으며 그 결과는 다음과 같다.

○ 전방 실린더

- 최대 필요 추력 : 335.4 N
- 최대 필요 구동 모터 토크 : 0.34 Nm (스크류 리드 5mm, 스크류 효율 0.8 인 경우)
- 정격 속도 : 250 mm/sec

○ 후방 실린더

- 최대 필요 추력 : 177 N
- 최대 필요 구동 모터 토크 : 0.176 Nm (스크류 리드 5mm, 스크류 효율 0.8 인 경우)
- 정격 속도 : 250 mm/sec

○ 전방 구동륜 필요 토크 : 0.4 Nm (차륜 직경 10cm인 경우)

○ 후륜 지지 날개의 필요 토크 : 32Nm

(1차년도 연구 결과 경사도 10도에서 필요한 후륜 지지 날개의 구동력은 354 Nm 이므로 계단 이동을 위한 필요 토크는 충분함)

3. 계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 개념 설계

그림 62~64는 개념 설계된 계단 이동이 가능한 차륜형 보행 보조 기기의 설계도를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 보행보조기기의 폭은 6인용 엘리베이터에 들어가기 위하여 740mm로 정하였다. 후륜 날개의 회전으로 인하여 보행보조기기의 길이는 변하지만, 평지 주행 시에 보행보조기기의 길이는 800mm이다. 이 길이는 6인용 엘리베이터에 충분히 들어갈 수 있는 길이이다. 그림 65은 전방 실린더부의 조립 설계도이고 그림 66은 후방 실린더부의 조립 설계도이다.

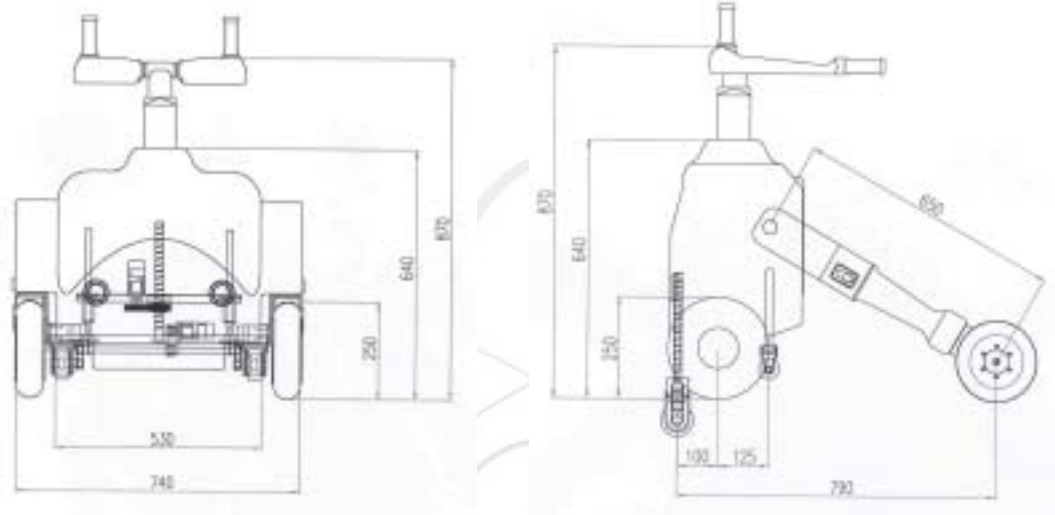


그림 62 차륜형 보행 보조 기기 정면도

그림 63 차륜형 보행 보조 기기 측면도

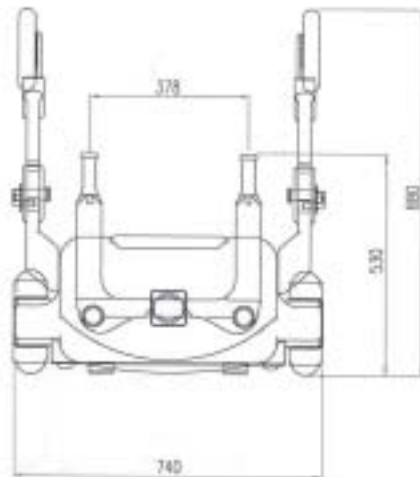


그림 64 차륜형 보행 보조 기기 평면도

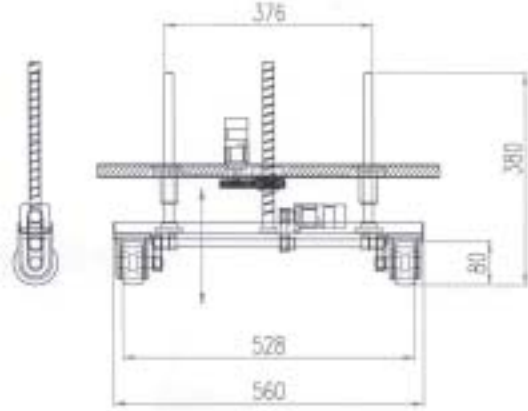


그림 65 전방 실린더부 조립도

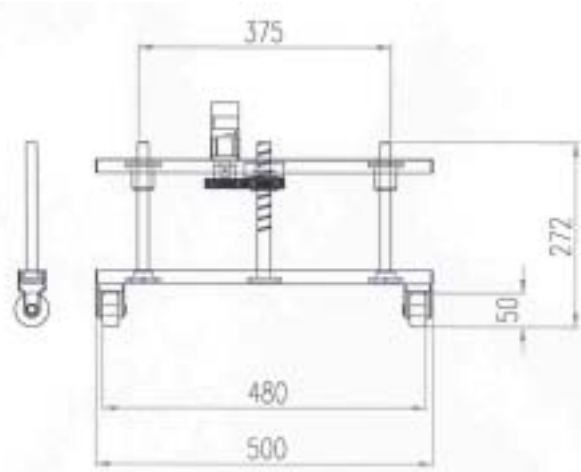
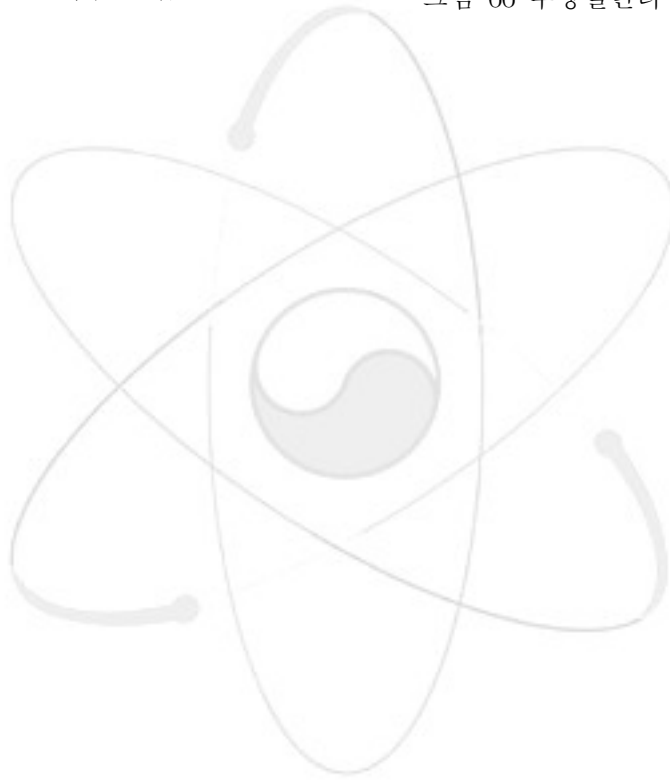


그림 66 후방실린더부 조립도



제 6 절 계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 테스트 시스템 구축

1. 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 테스트 시스템 설계

앞 절에서 얻어진 계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 개념 설계를 이용하여 보행보조기기의 테스트 시스템을 설계하였다. 기본적으로 계단 승하강 성능을 확인하기 위하여 휠이 부착된 실린더 및 후륜 지지 링크의 회전을 이용한 계단 승하강 메커니즘을 중심으로 설계하였다.

그림 67은 계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 테스트 시스템의 도면이다. 기본적으로 개념 설계된 각 치수를 기반으로 설계하였다.

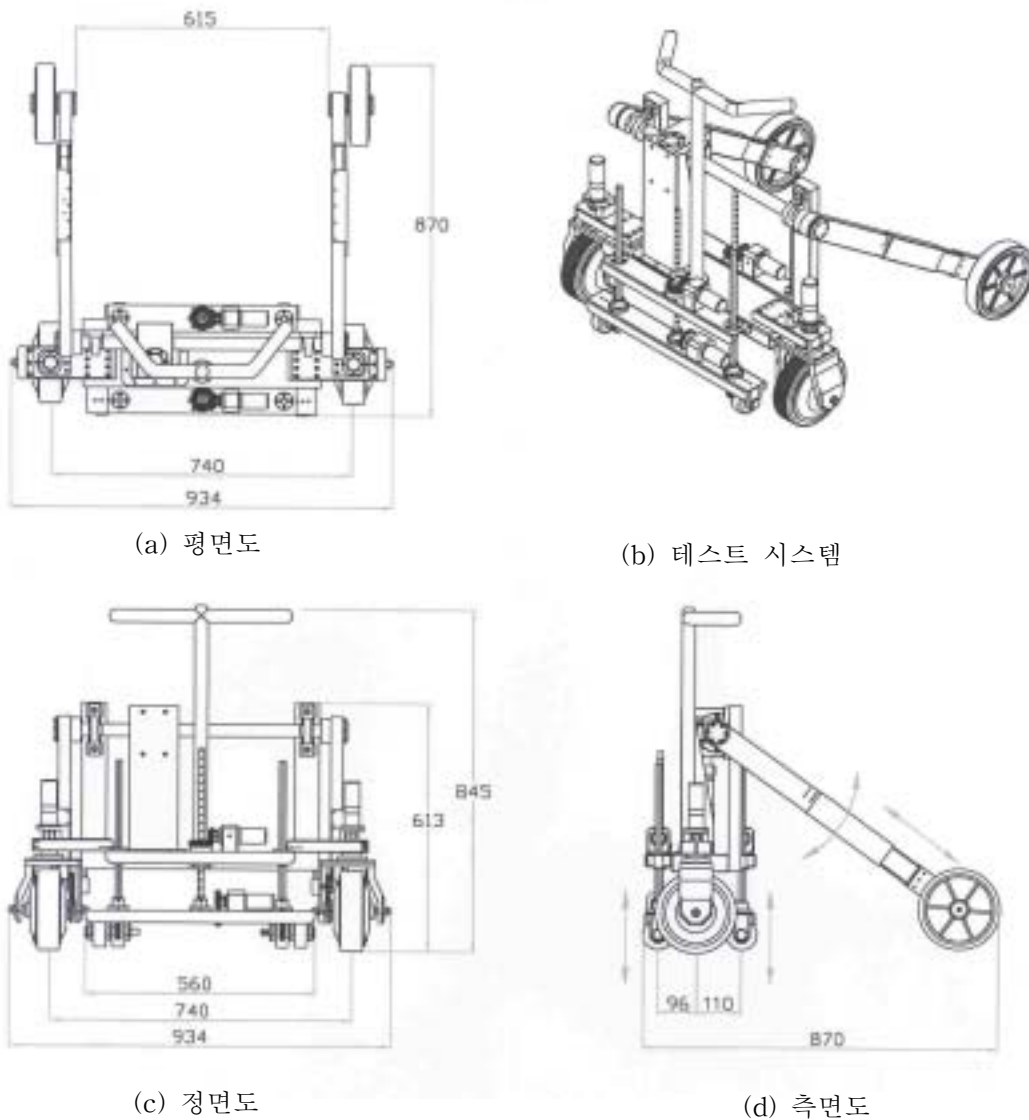


그림 67 계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 테스트 시스템

테스트 시스템에서 구동되는 부분은 다음과 같이 9군데이다.

- 전방 실린더
- 전방 실린더에 부착된 차륜
- 후방 실린더
- 후륜 날개
- 좌/우 전륜
- 좌/우 전륜 조향
- 후방 실린더 확장

그 외 나머지 부분은 계단 이송에 관계가 없어 구동 모터를 부착하지 않았다.

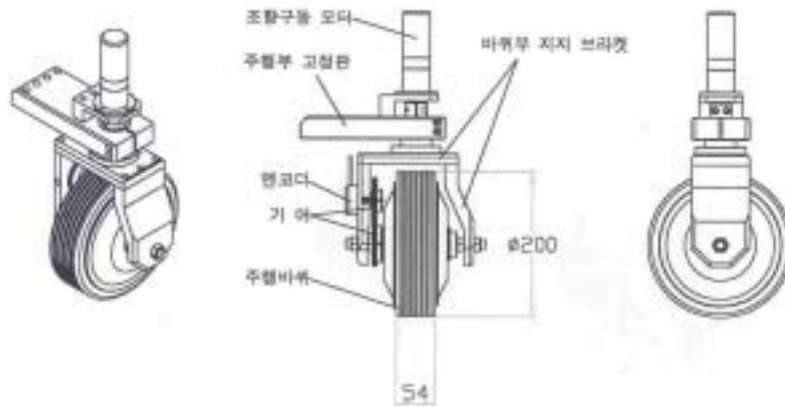


그림 68 테스트 시스템의 전륜 도면

그림 68는 테스트 시스템의 전륜 부분의 도면이다.

2. 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 테스트 시스템 제작

테스트 시스템의 설계 도면을 기초로 하여 그림 69, 70과 같이 제작하였다. 그림 69는 제작된 테스트 시스템의 측면 모양이고, 그림 70은 정면 모양이다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 기본적으로 계단 승하강 성능을 위하여 만들어져 있고, 외관은 무시하였다.

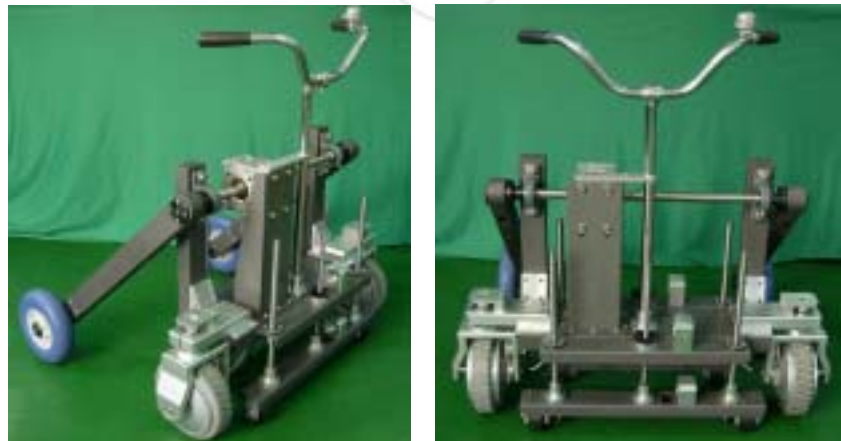


그림 69 테스트 시스템의 측면 모양 그림 70 테스트 시스템의 정면 모양

그림 71은 전륜 부분의 모양이고, 그림 72는 후륜날개를 구동하는 부분 모양이다. 그림 73은 전방 실린더부의 모양이다.



그림 71 테스트 시스템의 전륜 모양



그림 72 테스트 시스템의 후륜날개 구동 모양



그림 73 테스트 시스템의 전방 실린더부 모양

3. 계단 적응형 차륜형 보행보조기기 테스트 시스템 실험

휠이 부착된 실린더 및 후륜 지지 링크의 회전을 이용한 테스트 시스템의 계단 이송 과정은 그림 74와 같다. 이 과정을 요약하면 아래와 같다.

- ① 후륜부가 계단을 향한 상태에서 전후방 실린더를 아래로 뺀어 지면에 접촉시켜 몸체를 지지한 후, 후륜을 회전시켜 들어 올림 (그림 74의 (1))
- ② 전륜을 구동시켜 보행보조기기를 계단에 근접시키고, 후륜을 회전시켜 지면에 접촉시킨 후에, 전방 실린더를 뺀어 내려 보행보조기기의 몸체를 들어 올림(그림 74의 (2))
- ③ 지면에 접촉된 전방 실린더에 있는 작은 차륜을 구동시켜 몸체를 계단 위로 위치시킴(그림 74의 (3))
- ④ 전륜이 계단면에 닿도록 전방실린더를 집어넣고, 전륜을 구동하여 전방실린더를 포함하여 몸체 전체가 계단면 안쪽에 위치하도록 함(그림 74의(4))
- ⑤ 전륜이 계단면에 접촉한 상태에서 후륜 날개를 회전하여 들어 올림(그림 74의 (5))
- ⑥ 앞의 ②과정부터 다시 수행하여 다음 계단으로 이동

제작된 테스트 시스템이 계단 이동을 충분히 수행할 수 있음을 알 수 있다.



그림 74 테스트 시스템의 계단 이동 과정

제 7 절 계단 장애물 감지 기술

계단 장애물을 감지하기 위해서 두 가지 방법을 고안 하였다. 하나는 거리센서를 이용하는 방법이고, 다른 하나는 카메라 영상을 이용하는 방법이다. 거리센서를 이용하는 방법은 감지 알고리즘이 비교적 간단하나, 0.6m에서 2m 정도의 측정 범위를 측정하기에 적합한 초음파 센서는 초음파가 물체에 반사된 후의 반사각이 초음파 입사각의 반대 방향이 되므로 본 연구에서와 같이 수음과부가 발음과부와 인접한 위치에 위치하는 경우에는 측정이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 단일 카메라 영상을 이용한 계단 및 장애물 감지 방법을 채택하였다. 이 방법은 거리센서를 이용 방법보다 과정이 복잡하고 카메라 영상의 특성상 조명의 영향을 많이 받는다는 단점이 있다. 그리고 본 연구에서 채택하지는 않았지만 차후를 위해 거리센서를 이용한 장애물 감지 원리도 함께 설명하기로 한다.

1. 거리센서를 이용한 계단 장애물 감지 방법

가. 이동 중의 계단 장애물 감지 방법

보행보조기기의 이동 중에 계단 장애물 감지 방법으로 그림 75, 76에서 보는 바와 같이 거리센서를 지면에 대해 일정 각도로 기울이고 이동하는 중에 수집하는 거리 신호의 변화를 감지함으로써 계단 장애물을 감지할 수 있다.

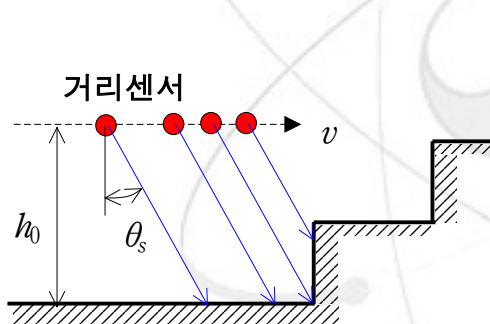


그림 75 계단 장애물 감지 원리
(상승계단의 경우)

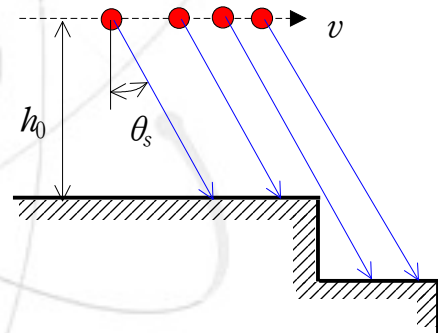
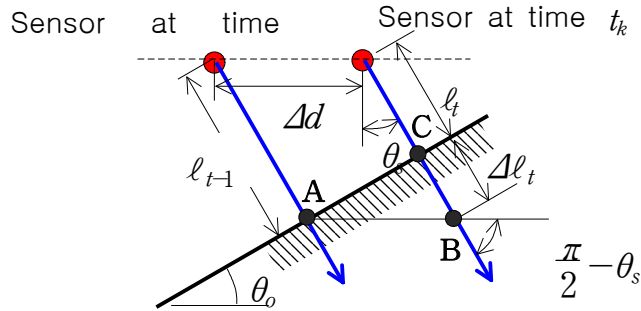


그림 76 계단 장애물 감지 원리
(하강계단의 경우)



θ_s : Sensor angle

Δd : Sensor moving distance

l_{t-1} : Obstacle distance at time

t_{k-1}

l_t : Obstacle distance at time t_k

그림 77 계단 장애물 감지 원리 (일반적인 경사면의 경우)

계단 장애물뿐만 아니라 일반적인 장애물을 감지할 수 있도록 그림 77에서의 경우와 같이 경사각 θ_o 의 장애물 감지 방법을 알아보자. 즉, t_{k-1} 시점에서의 측정된 장애물까지의 거리 l_{t-1} 와 t_k 시점에서 측정된 장애물까지의 거리 l_t 와 t_{k-1} 시점과 t_k 시점사이의 센서 이동거리 Δd 로부터 돌출 장애물 각도 θ_o 를 구해보자.

그림 77에서 그림의 삼각형 ABC에 대한 cosine 법칙에 의해

$$\begin{aligned} d_{AC} &= \sqrt{\Delta l_t^2 + \Delta d^2 - 2\Delta l_t \Delta d \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_s\right)} \\ &= \sqrt{\Delta l_t^2 + \Delta d^2 - 2\Delta l_t \Delta d \sin\theta_s} \end{aligned} \quad (45)$$

또한 삼각형 ABC에 대한 sine 법칙에 의해

$$\frac{\Delta l_t}{\sin\theta_o} = \frac{d_{AC}}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_s\right)} = \frac{d_{AC}}{\cos\theta_s} \quad (46)$$

$$\begin{aligned} \therefore d_{AC} &= \sqrt{\Delta l_t^2 + \Delta d^2 - 2\Delta l_t \Delta d \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_s\right)} \\ &= \sqrt{\Delta l_t^2 + \Delta d^2 - 2\Delta l_t \Delta d \sin\theta_s} \end{aligned} \quad (47)$$

또한 삼각형 ABC에 대한 sine 법칙에 의해

$$\frac{\Delta \ell_t}{\sin \theta_o} = \frac{d_{AC}}{\sin(\frac{\pi}{2} - \theta_s)} = \frac{d_{AC}}{\cos \theta_s} \quad (48)$$

따라서 다음 식이 성립된다.

$$\theta_o = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta \ell_t \cos \theta_s}{d_{AC}} \right) \quad (49)$$

계단 장애물을 감지하는 방법은 θ_o 의 각도가 90도 또는 -90도 일 경우에 해당된다,

나. 계단 장애물 정보 수집 방법

이동 중에 계단 장애물이 감지되면 다음 단계로 계단에 대한 정보들 즉, 계단의 단 높이 및 단 너비를 파악하여야 한다. 이를 위해서 보행보조기기가 정지된 상태에서 거리센서를 회전시켜 수집한 거리 정보를 이용하는 방법을 고안하였다. 그림 78, 79는 계단 장애물 정보 수집 방법의 원리를 도식적으로 보여주고 있다.

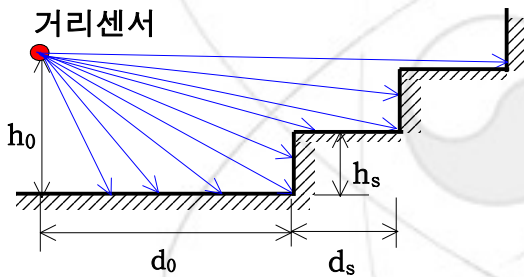


그림 78 계단 장애물 정보 수집 원리
(상승계단의 경우)

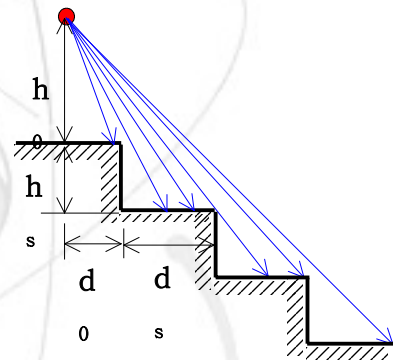


그림 79 계단 장애물 정보 수집 원리
(하강계단의 경우)

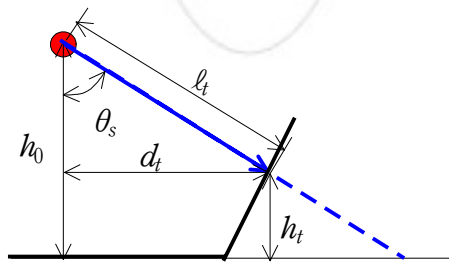


그림 80 장애물까지의 수직 및 수평 거리

일반화시키기 위해 그림 80에서처럼 경사진 장애물에 대하여 생각해 보자. 그림 80에서 h_0 는 거리센서의 지면에서의 높이 l_t 는 거리센서로부터 장애물까지의 거리, θ_s 는 거리센서의 지면과의 경사각이다. 그리고 h_t, d_t 는 각각 장애물까지의 수직 및 수평 거리를 나타낸다. 각 변수 사이에는 다음 관계식이 성립한다.

$$h_t = h_0 - \ell_t \cos \theta_s, \quad d_t = \ell_t \sin \theta_s \quad (50)$$

즉, h_0 , θ_s 를 알고 있으면 거리센서로 측정된 장애물까지의 거리 ℓ_t 로부터 장애물까지의 수직 및 수평 거리 h_t, d_t 를 계산 할 수 있다.

따라서 센서 회전각 θ_s 를 일정 각도로 변화시켜 가며 계산된 h_t, d_t 데이터부터 계단 정보를 알아 낼 수 있다.

다. 거리센서를 이용한 계단 장애물 감지 원리 모의실험

1) 거리신호 신호 생성 알고리즘

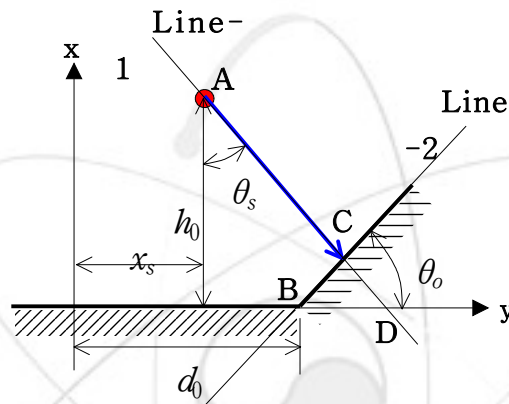


그림 81 거리센서 신호 생성 원리

거리 센서에 의한 계단 장애물의 감지 방법을 확인하기 위해 모의실험을 수행하였다. 모의실험을 위해서는 먼저 거리센서에서 나오는 거리 정보를 생성시켜야 한다. 위 그림 81에서 점 A의 좌표와 점 B의 좌표를 각각 (x_s, h_0) , $(d_0, 0)$ 라 놓자. 그러면 직선-1 식은 기울기

$m_1 = \tan(\frac{\pi}{2} + \theta_s)$ 이고 점 A (x_s, h_0) 를 지나는 직선으로 다음과 같이 기술된다.

$$y = m_1 x + (h_0 - m_1 x_s) \quad (51)$$

다음 직선-2 식은 기울기가 $m_2 = \tan \theta_o$ 이고 점 B $(d_0, 0)$ 를 지나는 직선으로 그 직선의 식은 다음과 같이 기술된다.

$$y = m_2 x - m_2 d_0 \quad (52)$$

직선-1과 직선-2의 교차점 C는 아래 식과 같이 구해지며

$$x_c = \frac{-m_2 d_0 - (h_0 - m_1 x_s)}{m_1 - m_2}, \quad y_c = m_2 x_c - m_2 d_0 \quad (53)$$

따라서 센서와 돌출 장애물과의 거리는

$$(54)$$

이다. 단 $\theta_o \approx \pi/2$ 인 경우 직선-2 식은

$$x=d_0 \quad (55)$$

따라서 직선-1과 직선-2의 교차점 C는

$$x=d_0, \quad y=m_1d_0+(h_0-m_1x_s) \quad (56)$$

가 된다.

만약 교차점 C의 y-좌표가 $x_c > d_0$ 이면 전면 돌출 장애물을 감지하지 못하는 상태로 직선-1과 지면의 직선 식인 $y=0$ 의 교차점 D가 센서에서 측정되는 거리가 된다. 이때의 교차점 D의 좌표는

$$x_D=x_s-\frac{h_0}{m_1}, \quad y_D=0 \quad (57)$$

따라서 센서와 지면과의 거리는

$$(58)$$

단, 이 알고리즘은 $\pi/2-\theta_s < \theta_o < \pi/2+\theta_s$ 의 범위에 있는 장애물만 적용 가능하다.

아래와 같이 상기 범위를 벗어나는 장애물의 경우에는 거리 신호에 불연속이 발생한다.

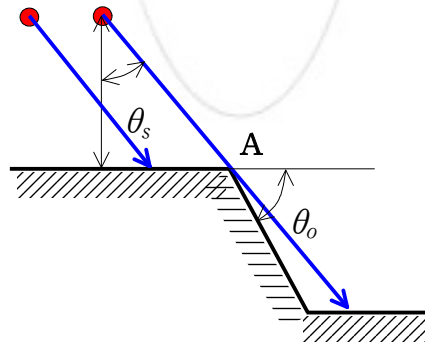


그림 82 거리센서 신호가 불연속한 경우

2) 이동 중의 계단 장애물 감지 모의실험 결과

모의실험은 다음의 경우에 대하여 수행하였다.

- Simulation-1 : $\theta_o=90^\circ$ 인 상승 장애물, 속도 20cm/sec, 샘플링 10개/sec
- Simulation-2 : $\theta_o=40^\circ$ 인 상승 장애물, 속도 20cm/sec, 샘플링 10개/sec
- Simulation-3 : $\theta_o=-30^\circ$ 인 하강 장애물, 속도 20cm/sec, 샘플링 10개/sec

각각의 경우에 대한 모의실험 결과가 그림 83~88에 나와 있다.

각각의 경우 첫 번째 그림은 거리신호 신호 생성 모의실험 결과이고, 두 번째 그림은 이동 중에 계단 장애물 감지 방법이 대한 모의실험 결과이다. 각각의 경우 모두 장애물의 지면과의 경사도를 잘 감지하고 있다.

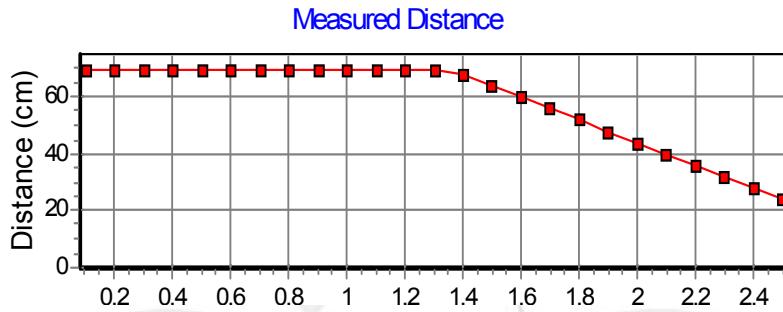


그림 83 $\theta_o=90^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 거리 변화

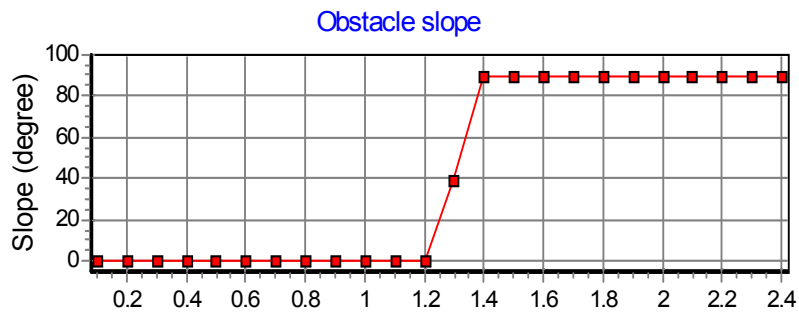


그림 84 $\theta_o=90^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 기울기 변화

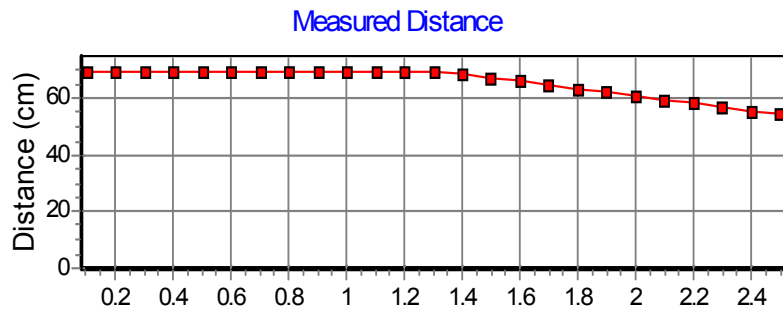


그림 85 $\theta_o=40^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 거리 변화

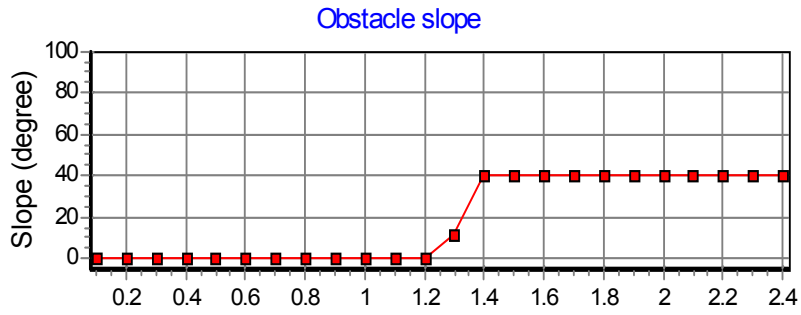


그림 86 $\theta_o=40^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 기울기 변화

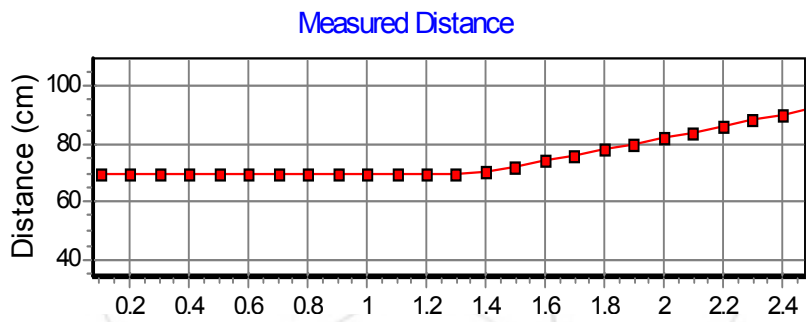


그림 87 $\theta_o=-35^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 거리 변화

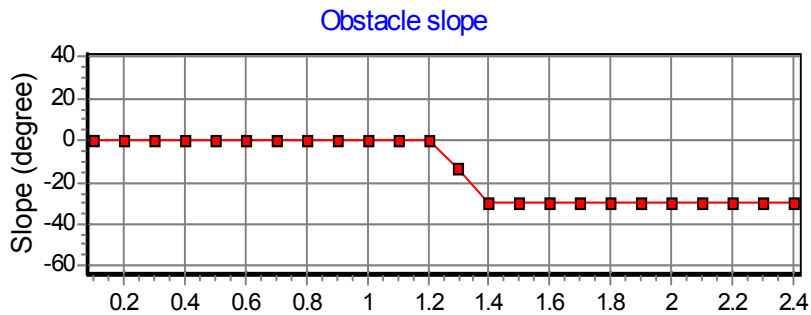


그림 88 $\theta_o=-35^\circ$ 인 상승 장애물의 경우 기울기 변화

2. 단일 카메라 영상을 이용한 계단 장애물 감지방법

가. 기본 원리

단일 카메라 영상을 이용한 계단 장애물 감지 방법은 그림 89에서 보는 바와 같이 레이저 광막 평면과 지면 및 장애물과 교차하여 생기는 레이저 선의 카메라 영상을 이용하는 방법이다.

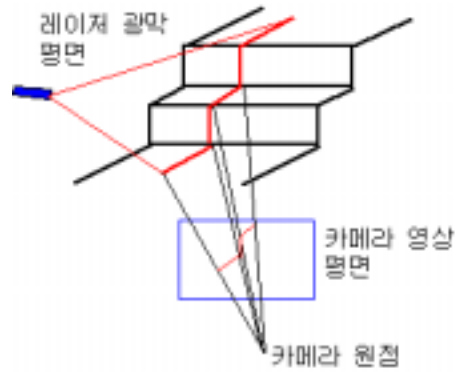


그림 89 단일 카메라 영상을 이용한 계단 장애물 감지 원리

즉, 만약 카메라 모델 식과 카메라 좌표계에 대한 레이저 광막의 식을 알고 있다면 카메라 영상에 나타난 레이저에 의한 선으로부터 계단 장애물에 대한 정보를 알아 낼 수 가 있다.

카메라 영상을 이용한 계단 장애물 감지 방법의 과정은 크게 Off-line과 On-line 단계로 구분되며 각 단계는 다시 다음과 같은 단계로 나누어진다.

- Off-line 단계 : 이 단계는 카메라 및 레이저 광막의 정보를 추출하는 단계로 한 번 수행된다.
 - 카메라 보정을 통한 카메라 모델식 추정
 - 카메라 좌표계에 대한 레이저 광막의 평면식 추정
- On-line 단계 : 이 단계는 보행보조기기에 부착된 카메라의 영상으로부터 계단 장애물에 대한 정보를 추출하는 과정으로 보행보조기기가 이동하는 중에 일정 시간 간격으로 연속하여 수행된다.
 - 배경영상 획득
 - 레이저 투사 영상 획득
 - 레이저 선 영상 추출
 - 레이저 선 상의 각 점에 대한 카메라 좌표계에 대한 위치 계산
 - 장애물 정보 추출

단 단일 카메라 영상을 이용한 계단 장애물 감지 방법은 카메라의 수평 방향과 레이저 광막 평면의 법선 방향이 일치하여야 하며, 카메라는 계단을 정면에서 바라보도록 하여야 한다.

나. 카메라 보정 (Camera Calibration)

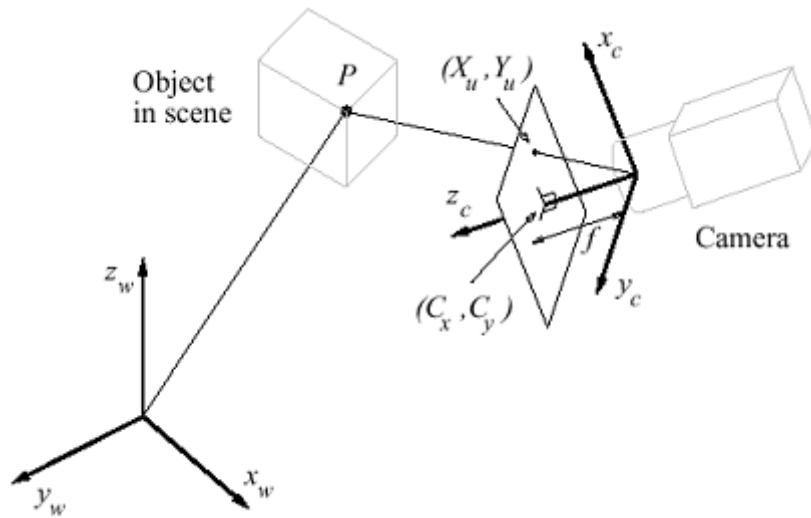


그림 90 카메라 보정

카메라 보정이란 3차원 공간에서의 물체의 위치, 방향 및 기하학적 관계 등의 정보와 카메라를 통해 얻은 2차원 영상에서의 물체의 위치, 방향 및 기하학적 관계 등을 이용해 카메라의 수학적 모델링에 필요한 변수들을 구하는 과정이다.

카메라 캘리브레이션을 위해 여러 가지 방법들이 제안 되었으며 여기서는 Tsai 방법[21] 사용하였다. Tsai 방법에 사용된 카메라 모델식은 핀홀(pinhole) 렌즈 모델로 다음과 같다.

○ 좌표 변환식

카메라좌표와 임의로 설정한 기준 좌표계와의 관계식은 다음과 같다.

$$X_c = R X_w + t \tag{59}$$

여기서 R 은 카메라좌표계로부터 기준 좌표계로의 회전행렬이며, t 는 카메라좌표계로부터 기준 좌표계로 translation 벡터이다.

○ 원근 투영식 (Perspective projection)

원근 투영은 다음 식과 같다.

$$x_u = f \frac{x_c}{z_c}, \quad y_u = f \frac{y_c}{z_c} \tag{60}$$

여기서 f 는 핀홀 렌즈의 초점거리이며, x_c, y_c, z_c 는 공간상의 한 점 X 의 카메라 좌표계에서의 좌표 값이다.

○ 렌즈 왜곡식 (Distortion)

일반적으로 렌즈 왜곡은 radial lens distortion이 큰 영향을 주므로, 여기서는 radial lens distortion만을 고려하기로 한다.

$$x_u = x_d(1 + \kappa \rho^2), \quad y_u = y_d(1 + \kappa \rho^2) \tag{61}$$

여기서

$$\rho = \sqrt{x_d^2 + y_d^2}, \quad \chi : \text{radial lens 왜곡 계수} \quad (62)$$

(x_d, y_d) : 왜곡 후의 카메라 영상 좌표

이다

○ 카메라 frame buffer 좌표

카메라의 영상은 frame grabber에 의해 수집되며 frame grabber에 의해 수집된 영상의 픽셀 좌표계는 다음 식과 같다.

$$x_f = x_d \frac{s_x}{d_{px}} + c_x, \quad y_f = \frac{y_d}{d_{py}} + c_y \quad (63)$$

여기서

c_x, c_y : camera's frame 좌표계로 기술되는 Optical axis 좌표. 즉, 카메라 좌표계 원점.

s_x : scale factor

d_{px}, d_{py} : x방향, y방향에 대한 각 픽셀의 피치로, 단위는 *mm/pixel* 이고, 사용된 카메라의 이미지 센서의 사양을 참조하거나 임의의 값을 선정.

(x_f, y_f) : 카메라 frame buffer 좌표

이다.

카메라 모델식의 각 변수들은 다음의 비용함수가 최소화 되도록 추정한다. 즉, 추정오차가 최소화 되도록 추정하는 것이다.

$$J = \sum_{i=1}^n \| \mathbf{X}_f^i - \widehat{\mathbf{X}}_f^i \|^2, \quad \text{where } \widehat{\mathbf{X}}_f^i = \widehat{\mathbf{X}}_f^i(\mathbf{X}_w^i, \mathbf{p}, \mathbf{R}, \mathbf{t}) \quad (64)$$

여기서 \mathbf{X}_f^i 는 보정점들의 영상좌표이며 $\widehat{\mathbf{X}}_f^i$ 는 카메라 모델식에 의한 영상 좌표 추정치로, 보정점들의 좌표 및 카메라 모델 변수들, 그리고 좌표변환정보 \mathbf{R}, \mathbf{t} 의 함수이다. 상세한 추정 알고리즘은 Tsai 방법을 참고 바란다.

다. 레이저 광막 평면식 추정

카메라 보정을 통해 구한 카메라 모델식 결과를 이용하여 레이저 광막의 평면식을 추정하자. 이를 위해 먼저 기준 좌표계와 카메라 좌표계의 관계식을 알아내야 한다.

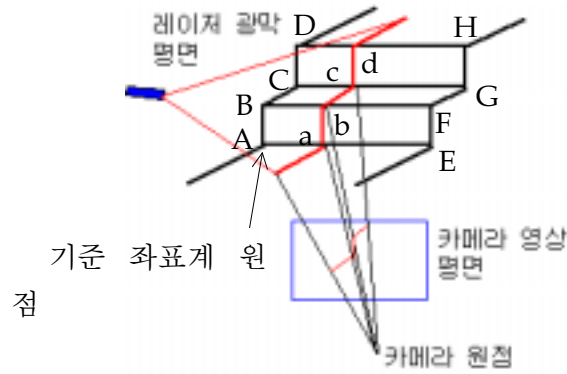


그림 91 레이저 광막의 평면식 추정 원리

본 연구에서는 광막의 평면식 추정에 간이 계단을 이용하였다. 계단의 임의의 꼭지점 (본 연구에서는 점 A)을 기준 좌표계의 원점으로 잡고 나머지 꼭지점 B, C, D, E, F, G, H와 레이저 광막이 계단과 교차하여 생긴 점 a, b, c, d 들의 위치를 기준 좌표계로 기술한다. 이 좌표값과 해당 점의 카메라 영상에서의 좌표값을 이용하여 기준 좌표계와 카메라 좌표계의 관계식을 추정한다. 추정 알고리즘은 카메라 보정 알고리즘과 동일하며 다만 카메라 모델 변수들 c_x, c_y, s_x, κ, f 은 알고 있으므로 추정 변수에서 제외되고 기준 좌표계와 카메라 좌표계의 좌표변환 변수인 회전행렬 R 과 이송벡터 t 만을 추정한다.

기준 좌표계와 카메라 좌표계의 관계식을 추정한 후 이 결과들 이용하여 카메라 좌표계로 기술된 레이저 광막의 평면식을 추정한다. 3차원 공간상에서의 평면의 식은 다음과 같다.

$$a_p x + b_p y + c_p z + d_p = 0 \quad (65)$$

레이저 광막이 계단과 교차하여 생긴 점 a, b, c, d 들은 레이저 광막 평면상에 위치하므로 상기 식을 만족하여야 한다. 따라서

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & z_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_p \\ b_p \\ c_p \\ d_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (66)$$

상기 연립 방정식을 최소자승법(Least squares method)으로 풀면 레이저 광막의 평면식을 구할 수 있다. 단, 카메라 좌표계로 기술된 평면식을 구할 목적이므로 점 a, b, c, d 들을 카메라 좌표계로 기술하여야 한다. 이것은 앞서 추정된 기준 좌표계와 카메라 좌표계의 좌표변환 변수인 회전행렬 R 과 이송벡터 t 을 이용한다.

라. 영상 정보로부터의 장애물 정보 추출 방법

영상 정보로부터 계단 정보 즉 계단의 존재 유무, 계단 높이 및 너비를 추출하기 위해서는 먼저 영상으로부터 레이저 광막이 지면 또는 계단과 교차하여 발생하는 선의 영상을 추출하여야 한다. 이를 위해 레이저가 투사된 영상과 레이저가 투사되지 않은 배경영상으로부터 차영상을 구한다. 차영상을 구할 때는 영상 노이즈의 제거를 위해 짧은 기산에 여러 장의 영상을 취득하고 이

들 영상들을 평균화 한다. 다음, 차영상에 나타난 레이저 선의 영상은 그 굵기가 있으므로 가는 선으로 만드는 Thinning 과정[24]을 거친다. 이 후 선 정보로부터 계단 정보를 추출하여야 하는데, 이 과정은 상승 계단과 하강 계단의 경우로 구분된다.

레이저 광막은 임의의 평면과 교차할 때 하나의 직선을 형성하며, 이 직선의 영상 또한 직선으로 보이게 된다. 만약 레이저 광막이 두 개의 면과 교차하게 되면 각 평면 마다 하나의 직선이 생성되며, 따라서 영상에도 두 개의 직선이 보이게 된다. 그리고 영상에 보이는 두 개 직선의 교차점은 두 평면의 교차선 상에 있는 점의 영상이다. 상승 계단의 경우에는 이 성질을 이용하여 영상에 보이는 직선의 교차점을 구하여 이 점의 공간 상에서의 위치, 즉 카메라 좌표계에서 본 위치를 계산하고 이 점 들간의 거리 정보로부터 계단의 높이 폭을 알 수 있다. 하강 계단의 경우는 계단의 하강 수직면이 영상에 보이지 않으므로 따라서 영상에 보이는 선이 불연속으로 보이게 된다. 즉, 상승 계단의 경우처럼 직선의 교차점이 나타나지 않는다. 이것을 그림으로 나타내면 그림 92와 같다. 이 경우에는 각 계단의 수평면이 서로 평행인 것을 이용하여 영상에서 각 직선의 방정식을 계산하고 이 직선을 역투영하여 생성된 평면(OAB 평면, DEO 평면)과 레이저 광막 평면과의 교차선을 계산하면 이 공간상의 직선(AB, DB)은 계단의 수평면 상에 위치하는 직선이 된다. 따라서 이렇게 구한 공간 상의 직선 사이의 최단거리(BC, 또는 EF의 거리)는 계단 높이가 되며, CE 사이의 거리는 계단 폭이 된다. 여기서 영상에 나타난 직선을 형성하는 점들로부터 직선 식을 구하는 과정은 hough 변환에 의한 직선 추출법을 사용한다.

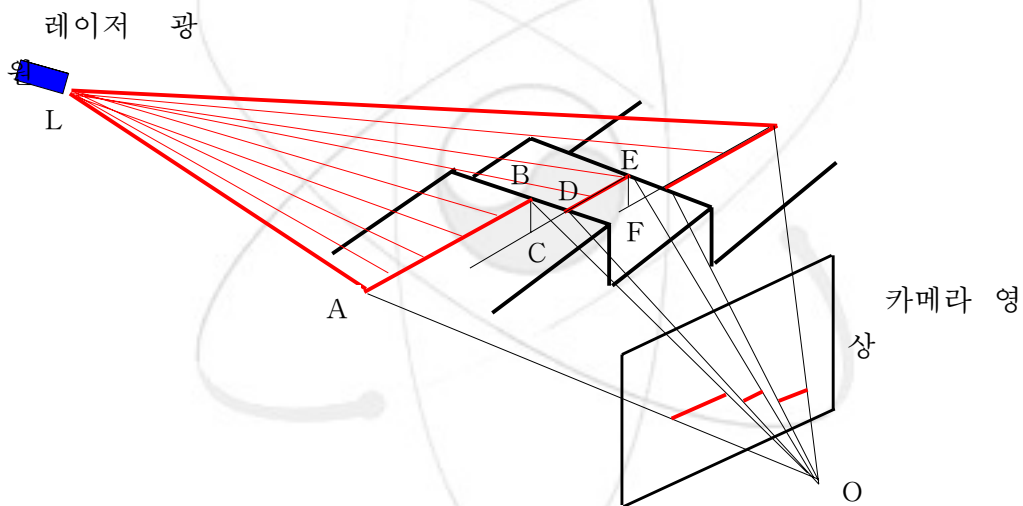


그림 92 하강계단의 영상으로부터 계단 정보 추출 원리

영상에서의 한 점 X_f 에서 카메라 좌표계로 기술한 3차원 공간상의 위치를 알아내는 과정은 다음과 같다. 먼저 X_f 에서 카메라 모델식을 이용하여 다음과 같이 왜곡이 보정된 규준화된 카메라 영상 좌표 X_u 를 구한다.

$$x_d = (x_f - c_x) \frac{d_{fx}}{s_x}, \quad y_d = (y_f - c_y) d_{fy} \quad (67)$$

$$x_u = x_d [1 + \kappa(x_d^2 + y_d^2)], \quad y_u = y_d [1 + \kappa(x_d^2 + y_d^2)] \quad (68)$$

X_u 로부터 역투영을 통해 카메라 좌표계에서의 위치 X_c 를 구한다. 단 단일 카메라의 경우 역투영으로 공간 상의 위치를 알 수 없으므로 z -좌표값 z_c 는 미지수로 둔다.

$$x_c = x_u \frac{z_c}{f}, \quad y_c = y_u \frac{z_c}{f} \quad (69)$$

X_c 는 레이저 광막 평면상의 점이므로 다음 식을 만족하여야 한다.

$$a_p x_c + b_p y_c + c_p z_c = 1 \quad (70)$$

따라서

$$z_c = \frac{1}{a_p \frac{x_u}{f} + b_p \frac{y_u}{f} + c_p} \quad (71)$$

x_c, y_c 는 식 70으로부터 구한다.

마. 단일 카메라 영상을 이용한 계단 장애물 감지 실험

1) 카메라 보정 실험 결과

카메라 보정용 3차원 지그를 이용하여 카메라 보정 실험을 수행한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} f &= 6.920544 \text{ mm} \\ \kappa &= 6.568486 \times 10^{-3} / \text{mm}^2 \\ c_x &= 350.094883 \text{ pixels}, \quad c_y = 227.996789 \text{ pixels} \\ s_x &= 1.132630 \end{aligned}$$

그림 93은 카메라 보정을 위해 취득된 영상이며 그림 94는 카메라 보정을 통해 계산된 렌즈 왜곡 계수를 이용하여 영상 왜곡 보정을 한 후의 영상이다.



그림 93 카메라 보정용 지그 영상



그림 94 영상 왜곡 보정을 한 후의
카메라 보정용 지그 영상

2) 카메라 좌표계에서의 레이저 광막 평면식 추정 결과

카메라 좌표계에서의 레이저 광막 평면식 추정을 위해서 먼저 카메라 좌표계와 기준 좌표계의 관계식을 추정하였다. 추정에 사용한 영상은 간이형 계단에 대한 영상이다.(그림 95) 실험에 사용된 계단의 제원은 다음과 같다.

첫 계단 높이 : 227 mm

첫 계단 너비 : 270 mm

두 계단 높이 : 193 mm

그리고 각 계단의 모서리 점을 실측하여 카메라 좌표계와 기준 좌표계의 관계식을 추정에 사용하였으며, 그 실측치는 영상 위에 나타나 있다.

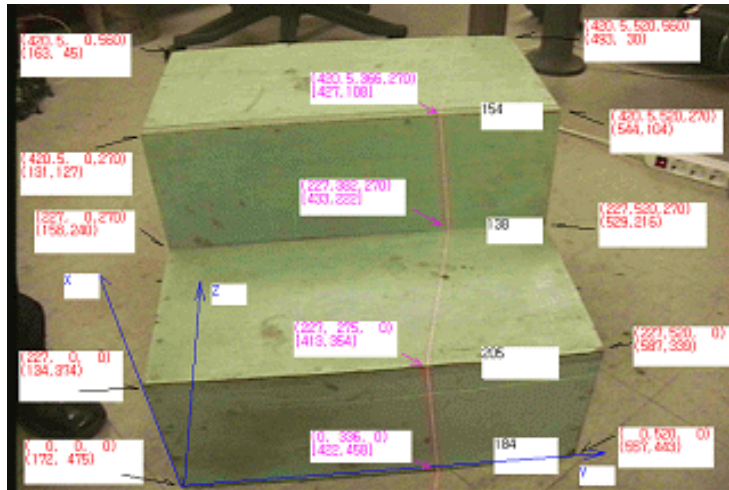


그림 95 레이저 광막 평면식 추정을 위한 계단 영상



그림 96 왜곡 보정 후의 계단 영상

카메라 좌표계와 기준 좌표계의 추정 결과는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = Trans(T_x, T_y, T_z)R_Z(\gamma)R_Y(\beta)R_X(\alpha) \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (72)$$

$$\begin{aligned}
T_x &= -237.150236 \text{ mm} \\
T_y &= 359.809236 \text{ mm} \\
T_z &= 978.747792 \text{ mm} \\
\alpha &= 3.514131 \text{ deg} \\
\text{where } \beta &= 37.345538 \text{ deg} \\
\gamma &= -91.920090 \text{ deg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{T} &= \text{Trans}(T_x, T_y, T_z)R_z(\gamma)R_y(\beta)R_x(\alpha) \\
&= \begin{bmatrix} -0.026637 & 0.996313 & -0.081547 & -237.150236 \\ -0.794545 & -0.070604 & -0.603086 & 359.809236 \\ -0.606620 & 0.048729 & 0.793497 & 978.747792 \end{bmatrix} \quad (73)
\end{aligned}$$

그리고 카메라 보정 결과를 이용하여 레이저 광막과 계단 모서리와의 교점에 대하여 카메라 좌표 값 (x_c, y_c, z_c) 및 영상 좌표 값 (x_f, y_f) 계산한 결과는 표8와 같다.

표 8 레이저 광막 평면식 추정 실험 결과

	실제값 (mm)					계산값(mm)				
	xw	yw	zw	xf	yf	xc	yc	zc	xf	yf
1	0	336	0	422	458	97.6	336.1	995.1	423.7	458.2
2	227	275	0	413	354	70.6	157.2	856.4	413.5	356.0
3	227	382	270	433	222	115.4	-10.4	1073.9	433.3	221.2
4	320.5	366	270	427	108	94.3	-163.0	955.7	425.9	109.0

상기 결과를 이용하면 레이저 광막 평면식은 최소자승법(Least squares method)에 의해 다음과 같이 구해진다.

$$a_p x_c + b_p y_c + c_p z_c = 1 \quad (74)$$

$$\text{where } a_p = -0.009774, \quad b_p = -0.000124, \quad c_p = 0.001695$$

3) 장애물 감지 실험 결과

단일 카메라 영상을 이용한 계단 장애물 감지방법의 타당성을 조사하기 위해 아래와 같이 취득된 영상에 대하여 실험을 수행하였다.

실험에 사용된 영상은 아래와 같다.



그림 97 상승계단의 배경 영상



그림 98 상승계단의 레이저 투사 영상



그림 99 하강계단의 배경 영상



그림 100 하강계단의 레이저 투사 영상

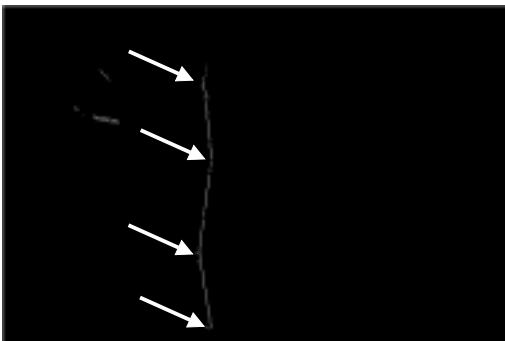


그림 101 하강계단의 이미지 처리 영상

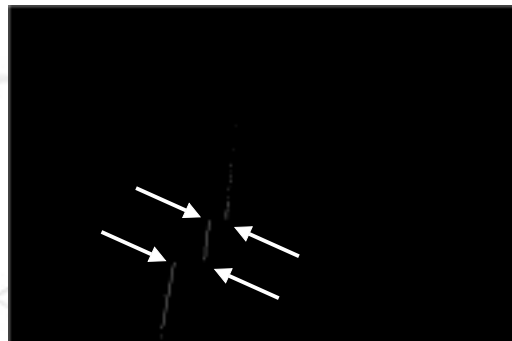


그림 102 하강계단의 이미지 처리 영상

그림 101과 102는 계단에 교차된 레이저 선 만의 영상을 취득하기 위해 레이저 투사 영상에서 배경 영상을 뺀 차영상이다. 상승 계단의 경우 차영상에서 직선의 기울기가 변하는 점 직 직선들의 교차점을 알아내기 위해 hough 변환[25]에 의한 직선 추출법을 사용하였으며 이렇게 하여 알아낸 교차점의 위치를 화살표로 차영상 위에 나타내었다.

좌표값 x_c, y_c, z_c 가 계산된 후에는 이들 계산된 값들을 이용하여 계단의 높이와 너비를 계산한다. 이 때 상승계단의 경우 계단의 모서리가 영상에 다 보이므로 그 점들 사이의 거리로 계단의 높이와 너비를 계산할 수 있다. 그러나 하강 계단의 경우 영상의 나타나는 직선상에 불연속이 일어나며 이것은 계단의 하강 수직면이 영상에 보이지 않기 때문이다. 따라서 점들 상의 거리를 통해 계단의 높이와 너비를 계산할 수가 없다. 그러나 직선의 식을 구한 후 이들 직선 사이의 거리를 계산함으로써 계단의 높이를 알 수가 있다.

상승 계단에 대해 계산된 좌표값과 각 점간의 이전 점과의 거리는 표 9에 나와 있으며, 하강 계단에 대한 계산된 좌표값과 계단 정보는 표 10에 나와 있다. 상승 계단의 경우 추정된 첫 번째 계단 높이가 20mm 정도의 오차를 보이며, 첫 번째 너비와 두 번째 높이는 잘 일치하고 있다. 하강 계단의 경우 상승 계단의 경우 보다 큰 오차를 보여주고 있다. 이것은 상승 계단의 경우처럼 직선의 교차점이 나타나지 않는 이유로 간접적인 방법을 통하여 계산하였기 때문으로 생각되며, 또한 최단 거리 위치 결과에서 보면 x-좌표 값이 동일하게 계산되어야 하는데 차이가 있는 것은 카메라의 수평 방향과 레이저 광막 평면의 법선 방향이 일치하여야 하며, 카메라는 계단을 정면에서 바라보도록 하여야 한다는 조건을 정확히 만족하지 않은 이유도 있다고 생각된다. 신뢰성을 향상 시키는 방안을 찾을 필요성이 있다.

또한 이전 직선과의 최단거리 위치 결과로부터 계단 폭을 계산하면 356.5 mm로 실제 계단 폭

270 mm와 오차를 보이고 있다.

표 9 상승 계단에 대한 실험 결과

픽셀 좌표	카메라 좌표계에서의 위치 (mm)	이전 데이터와의 거리 (mm)	실제 거리 (mm)
(296, 456)	(-75.28, 349.40, 1046.28)	-	-
(280, 356)	(-80.85, 162.58, 885.52)	246.53	227
(297, 215)	(-74.15, -19.98, 1084.28)	269.96	270
(286, 113)	(-78.88, -155.85, 947.17)	193.08	193

표 10 하강 계단에 대한 실험 결과

계산된 3차원 직선		이전 직선과의 최단 거리 위치 (mm)	이전 직선과의 최단 거리 (mm)	실제 계단 높이 (mm)
Base	Direction ($\times 10^{-2}$)			
(-93.2, 181.3, 521.8)	(2.68, -60.5, 79.5)	-	-	-
(-81.2, 172.3, 875.4)	(2.40, -70.4, 71.0)	(-85.0, 284.5, 762.3)	229.8	193
(-67.0, 143.5, 1292.7)	(2.47, -67.9, 73.3)	(-72.8, 305.6, 1118)	265.5	227

제 8 절 테스트 시스템용 제어기 구축

계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 테스트 시스템을 구동하기 위한 제어기를 구축하였다. 테스트 시스템에 부착된 구동 모터는 DC 모터로서 총 7개이다.

구동 모터를 제어하기 위한 제어기의 구조는 그림 103과 같다. 제어기는 DSP 보드, FPGA 보드와 모터 구동 보드로 되어 있다. 다른 모터에 비교하여 후륜 날개 구동 모터의 용량이 커서 모터 구동 보드는 고휘출용 DC 모터 드라이버와 DC 모터 드라이버로 구성되어 있다.

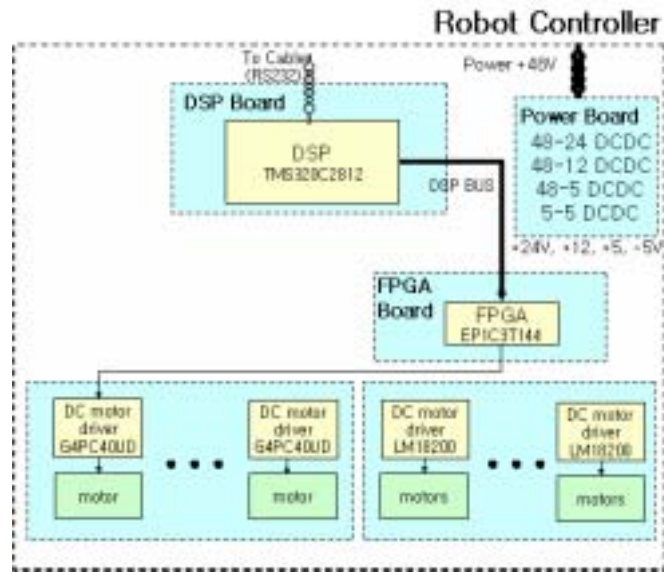


그림 103 제어기 구조

그림 104~107은 제작된 DSP 보드, FPGA 보드, 고휘출용 DC 모터 드라이버와 DC 모터 드라이버의 사진이다.



그림 104 제작된 DSP 보드



그림 105 제작된 FPGA 보드

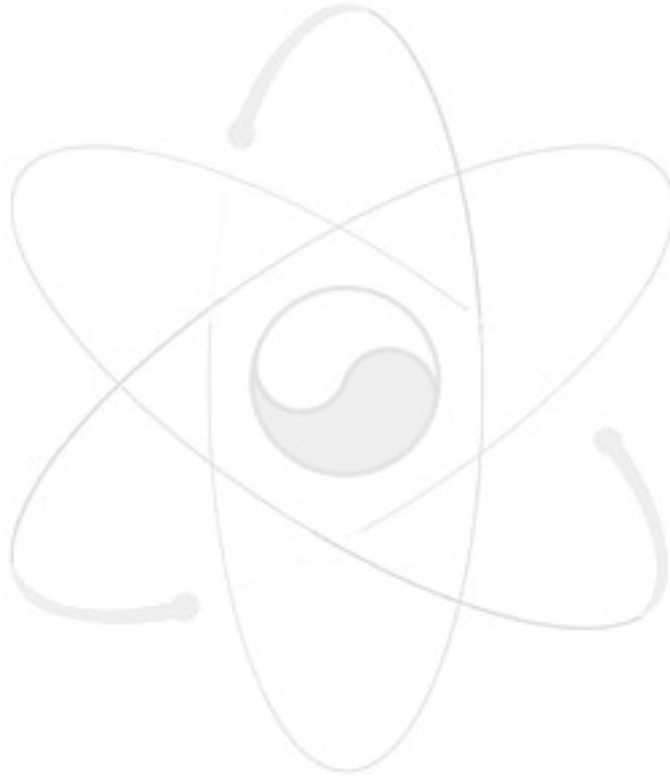


그림 106 제작된 고출력용 DC
모터 드라이버



그림 107 제작된 DC 모터
드라이버

이를 이용하여 계단 적응형 차륜형 보행보조기기의 테스트 시스템을 구동하였다.



제 3 장 결과 및 향후계획

2000년에 65세 이상 노인들이 전 국민의 7.2%를 상회함으로써 우리나라도 “고령화 사회”에 진입하였다. 2019년에는 14% 이상이 되어 “고령 사회”로 접어들게 되고, 2026년에는 20%이상이 되어 “초고령 사회”가 될 것이다. 이로 인하여 우리나라의 실버산업 시장규모는 2000년에 17조원에서 2005년 약 27조원, 2010년 약 41조원에 달할 것으로 추정된다.

노인 생활 보조 로봇 시스템은 앞으로의 노인 생활에 큰 도움을 줄 수 있다고 판단되어, 본 연구에서는 하지 근력이 저하된 노인의 보행, 부축 및 앉기/서기 보조가 가능한 실외용 차륜용 보행 보조기기를 설계하였다. 이를 위해 본 단계의 1차년도에서는 실외 환경에서 하지 근력이 저하된 노인의 보행, 부축 및 앉기/서기 등의 활동 및 실외 보행을 보조할 수 있는 실외용 보행보조 기기의 기본 개념을 설계하였으며, 2차년도에서는 1차년도에서의 설계를 기본으로 계단 승/하강이 가능한 계단 적응형 보행 보조 기기를 개념 설계하였다. 그리고 3차년도에서는 2차년도에 설계한 계단 적응형 보행보조기기의 테스트 시스템을 구축하여 계단 이송 성능을 확인하였을 뿐만 아니라 계단 이송시에 필요한 계단 및 장애물 감지 기술 및 승하강 제어 기법을 개발하였다.

본 연구에서 개발된 보행보조기기는 노인이 활동하는 실외 환경, 노인의 신체 치수 및 노인에게 필요한 기능을 고려하여 설계하였다. 개념 설계된 보행보조기기는 구조적 안정성을 위하여 4륜 구조로 하였고, 경사면 주행 시에 노인 지지부의 수평을 유지하기 위하여 후륜 날개를 고려하였다. 앉기/서기 보조 기능을 충분히 수행할 뿐만 아니라 키 차이에 따른 지지대 높이를 조정할 수 있도록 지지대 높이 조절부도 고려하였다. 뿐만 아니라, 6인승 엘리베이터에 보행보조기기를 이용하여 노인이 탑승할 수 있도록 설계된 보행보조기기는 6인승 엘리베이터에 들어갈 수 있도록 하였다. 그리고 차량에 탑재가 가능하도록 후륜 날개를 접을 수 있게 하였고 지지대를 회전할 수 있도록 하였다.

그리고 계단 적응형 차륜용 보행보조기기는 계단 승하강 최대높이 20cm, 최대 계단 승하강 속도 4 sec/계단, 승하강 가능 계단경사도 25도, 최대 평지 주행속도 60cm/sec의 특성을 갖도록 개발되었다.

개발된 보행보조기기는 노인의 야외 활동에 큰 도움이 될 수 있다고 생각되어지고, 이로 인하여 노인의 활동 반경을 확대 시킬 뿐만 아니라 노인의 삶의 질을 향상시킬 수 있다고 판단된다.

참고문헌

1. <http://www.tgr.it/>
2. <http://www.bluebotics.com>
3. UN, 「World Population Prospects」, 1998
4. 산업자원부, RT(로봇기술: Robot Technology)산업의 중장기 발전비전
5. 일본 국립사회보장·인구문제연구소, 「인구통계자료집」, 2000
6. 한국통계청의 표준통계수치자료(<http://www.nso.go.kr>)
7. 국내(2001 보건산업백서), 국외(2000 Sullivan Report)
8. <http://medicalautomation.org>
9. http://robots.mit.edu/projects/old_projects/pamm/
10. Nemoto, Yasuhiro; Egawa, Saku Koseki, Atsushi; Hattori, Shizuko; Fujie, Masakatsu: "Power Assist Control for Walking Support System." In: IEEE International Conference on Advanced Robotics, Tokyo, 1999, pp. 15-18.
11. MacNamara, Shane; Lacey, Gerard: "A Smart Walker for the Frail Visually Impaired." In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, 2000, pp. 1354-1359.
12. http://marc.med.virginia.edu/projects_eldercarerob.html
13. http://marc.med.virginia.edu/library_pcmag.html
14. <http://www.aat-gmbh.com/>
15. <http://www.frankmobility.com/scalamobil.htm>
16. http://www.tgr.it/it/prodotti/scoiattolo/scoiattolo_gu.html
17. <http://www.independencenow.com/ibot/index.html>
18. <http://www.liftkardirect.com/>
19. <http://www.bluebotics.com/solutions/Shrimp/>
20. <http://asl.epfl.ch/?content=research/systems/Octopus/octopus.php>
21. Roger Y. Tsai, "A Versatile camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Camera and Lenses," IEEE J. of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 4, pp. 323-344, 1987.
22. Richard Hartley, Multi View Geometry in Computer Vision, 2nd Ed., Cambridge University Press, 2003.
23. Yi Ma, An Invitation to 3-D Vision, Springer-Verlag, 2004.
24. J. R. Parker, Algorithms for Image Processing and Computer Vision, John Wiley & Sons, 1997.
25. E. R. Davies, Machine Vision, 2nd Ed., Academic Press, 1977.

부록 A. 국외 보행 보조 기기의 개발 현황

1. The MARC Robotic Walker

- Virginia 대학의 MARC(medical automation research center)에서 개발.
- 1개의 전륜과 2개의 후륜으로 구성되어 있고, 전륜은 caster type이지만, 충돌 회피를 위하여 조향 모터가 부착되어 있다. 그리고 후륜에 주행 모터는 장착되어 있지 않음.
- 보행방향의 의지를 파악하기 위하여 양쪽 손잡이에 힘 센서를 부착.
- 양쪽 손잡이에 가해지는 힘의 차이를 측정하여 조향이 되고, 만약 양쪽 손잡이의 힘이 동일하면 앞/뒤로 움직이게 되어 있음.
- 장애물 회피를 위하여 sonar와 infrared sensor를 이용.
- 자동 브레이크 시스템이 내장됨.



그림 108 Robotic Walker

2. PAMM (Personal Aid for Mobility and Health Monitoring)

- 2000년 MIT 개발
- 노약자를 위한 보행 보조 기구로서 smart walker와 smart cane 개발

2-1 Smart walker

- 현재 개발 중
- 전방향 바퀴를 이용한 4륜 구조
- 알려진 환경에서 장애물 회피 기능

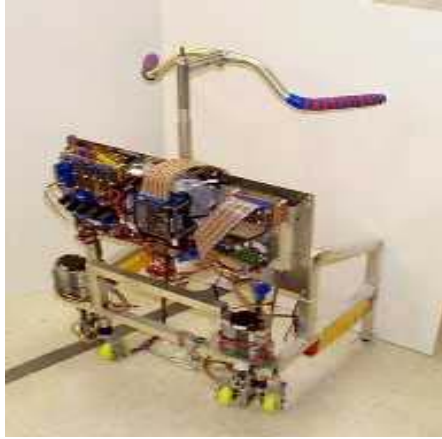


그림 109 Smart Walker

2-2 Smart Cane

- 테스트용으로 Smart Cane이 개발
 - 3휠 형태로 되어 있고, 2개의 전륜은 독립구동이고 1개의 후륜은 caster type이다.
- 회전반경 : almost 0
- 크기 : 305mm X 305mm
- weight : <15kg
- speed : 0~0.5m/s
- handle loads : maximum support force 50kg
maximum forces in X and Y dir. for stability and guidance 4kg
- 사용 가능한 시간 : 1시간
- 센서 : CCD camera, ultrasonic sensors
- 입력 : 조작 힘 또는 음성 입력



그림 110 Smart Cane

3. 보행도우미 로봇 (Hitachi Ltd)

- 1998년 Hitachi Ltd. 개발
- 서기/앉기 및 보행 보조 목적으로 개발.
- 청소기 내장
- 골판지 정도 크기의 물건 운반을 위한 보조 장치 내장
- 근력이 저하된 노약자가 쉴 수 있도록 원통형의 쿠션 의자 내장
- 4개의 휠로 구성되어 있고, 2개의 전륜은 caster이고 2개의 후륜은 독립구동
- 이동 속도 : 0.6km/hr
- 크기 : 715mmX760mmX1035mm (WxDxH)
- 무게 : 50kg
- 작동 시간 : 6시간
- gravity compensation on slopes (up to 5°, short time 10°)
- electrically power assisted arm supporter.
- Driving/steering is done by pushing/pulling/turning the supporter.
- driving speed is controlled through the applied force.



그림 111 Hitachi의 보행 도우미 로봇

4. PAM-AID Smart Walker

- 2000년 Trinity college 개발
- 맹인 또는 저시력인을 위한 보행 도우미
- metal walking frame with handrail
- several safety sensor
- motor controlled steering of both front wheels can be activated for secure obstacle avoidance.
- audio feedback



그림 112 PAM-AID
Smart Walker

5. Guido

- Haptica 회사에서 제작
- 실내용으로 개발됨
- 시각장애인 및 노인의 보행 보조
- 주변 환경/장애물/표지물 인식



그림 113 Guido

6. CMU walker (a robotically-augmented walker for older adults, the elderly users)

- walker가 작동 중일 때는 단지 노인의 보행보조 기능만 함. (노인이 사용 중에는 walker에 전원이 공급되지 않을 뿐만 아니라 navigation 기능도 되지 않는다)
- 사용자가 호출시 사용자로 오는 기능이 존재함.
- 안정성을 고려하여 4륜 구조이고, 2개의 전륜은 캐스터 타입이고 2개의 후륜은 독립구동 방식임.
- 수납공간이 존재함.
- 무게 : 16.4~17.3kg



그림 114 CMU walker

7. Harunobu

- 2002년에 일본 Yamanashi 대학에서 개발
- 주변 환경 인지를 위하여, 영상 센서, 초음파 센서, GPS 센서 내장
- 주변 지도 DB를 이용 및 주변 장애물/방향 정보를 인식 하여 시각 장애인의 보행 유도
- 경로정보, 장애물, 교통신호를 음성안내 기능
- 무게 : 50kg
- 주행시간 : 2시간



그림 115 Harunobu

부록 B. 보행보조기기의 각 부품 제원

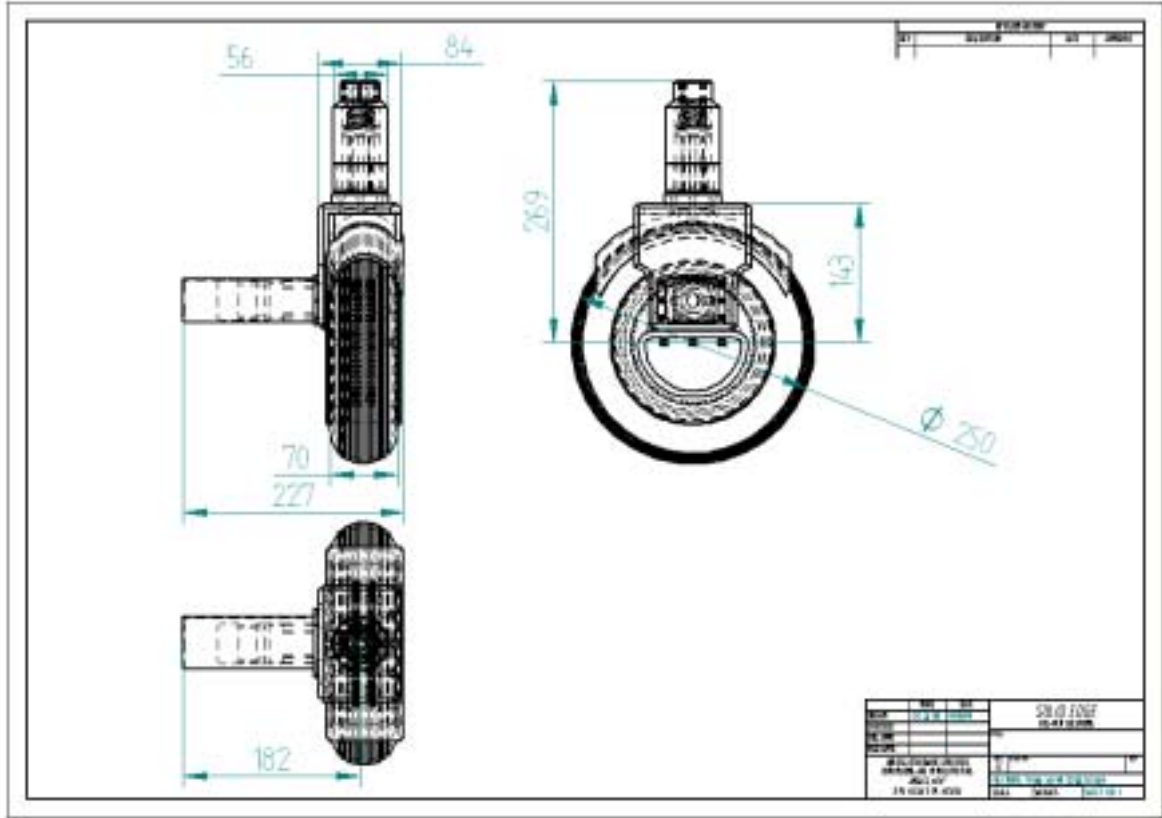


그림 116 전륜 제원

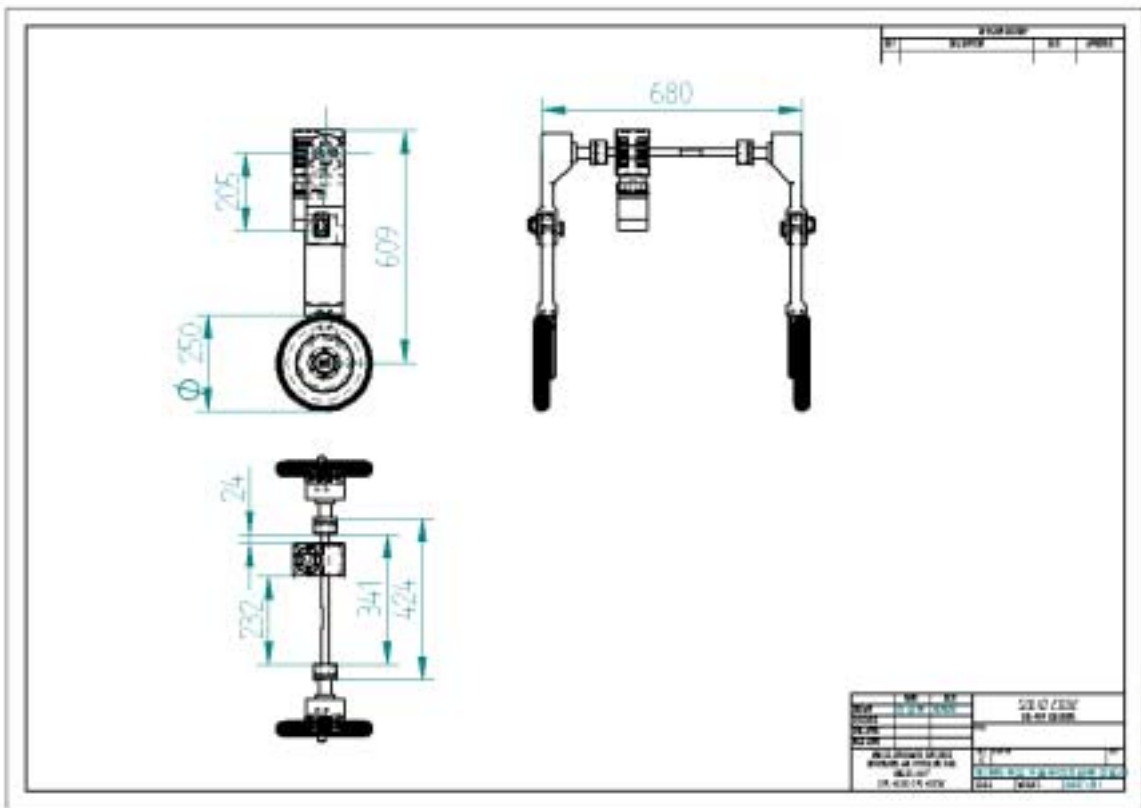


그림 117 회전 날개 제원

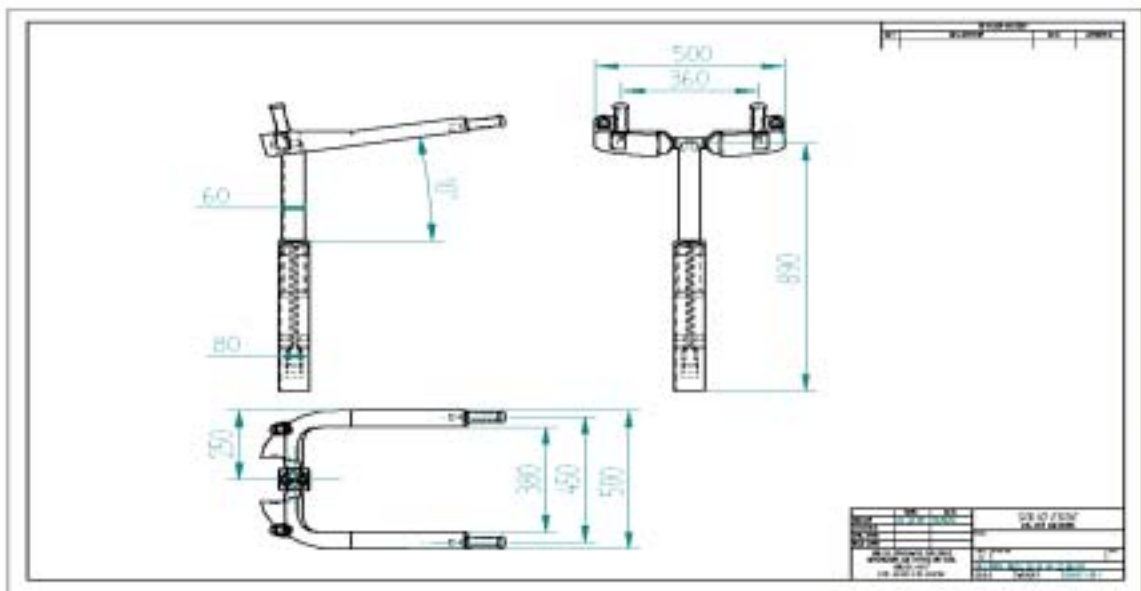


그림 118 지지대 제원

서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호		표준보고서번호	INIS 주제코드	
	KAERI/CR-241/2005				
제목 / 부제			차륜형 보행 보조 기기 설계		
연구책임자 및 부서명		정승호, 원자력로봇랩			
연구자 및 부서명		김승호(원자력로봇랩), 김창희(원자력로봇랩), 서용철(원자력로봇랩), 정경민(원자력로봇랩), 이성욱(원자력로봇랩)			
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	2006
페이지	97 p.	도표	있음(○), 없음()	크기	A4.
참고사항					
공개여부	공개(○), 비공개()		보고서종류	연구보고서	
비밀여부	대외비(), _ 급비밀				
연구수행기관	한국원자력연구소		계약번호		
초록 (15-20줄내외)					
<p>본 연구에서는 하지 근력이 저하된 노인의 보행, 부축 및 앉기/서기 보조가 가능하며 계단을 승하강할 수 있는 실외용 차륜형 보행보조기기를 설계하는 것이다.</p> <p>본 연구에서 개발된 보행보조기기는 노인이 활동하는 실외 환경, 노인의 신체 치수 및 노인에게 필요한 기능을 고려하여 설계하였다. 개념 설계된 보행보조기기는 구조적 안정성을 위하여 4륜 구조로 하였고, 경사면 주행 시에 노인 지지부의 수평을 유지하기 위하여 후륜 날개를 고려하였다. 앉기/서기 보조 기능을 충분히 수행할 뿐만 아니라 키 차이에 따른 지지대 높이를 조정할 수 있도록 지지대 높이 조절부도 고려하였다.</p> <p>그리고 계단을 승하강 할 수 있는 실외용 차륜용 보행보조기기를 개념 설계 및 제작하였다. 이를 위해 기존 관련 상품의 계단 승하강 메커니즘 및 특허를 조사하였으며, 최종적으로 노인이 활동하는 실외 환경, 노인의 신체 치수 및 노인에게 필요한 기능을 고려하여 개념 설계 결과를 기본으로 하여 계단 적응형 실외용 차륜용 보행보조기기를 개념 설계 및 제작하였다. 제안된 계단 적응형 보행보조기기는 계단 승하강 최대높이 20cm, 최대 계단 승하강 속도 4 sec/계단, 승하강 가능 계단경사도 25도, 최대 평지 주행속도 60cm/sec의 특성을 갖는다.</p>					
주제명키워드 (10단어내외)		차륜형, 보행보조기기, 노인, 앉기/서기 보조, 계단 승하강			

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	INIS Subject Code
		KAERI/CR-241/2005			
Title/ Subtitle		Design of wheel-type walking-assist device			
Project Manager and Department		Seungho Jung (Nuclear Robotics Lab.)			
Researcher and Department		Seungho Kim(Nuclear Robotics Lab.), Changhoi Kim(""), Yongchil Seo(""), Kyungmin Jung(""), Sung-Uk Lee("")			
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI	Publication Date	2006
Page	97 p.	Ill. & Tab.	Yes(<input type="radio"/>), No (<input type="radio"/>)	Size	A4
Note					
Open	Open(<input type="radio"/>), Closed (<input type="radio"/>)		Report Type	Research Report	
Classified	Restricted(), ___Class Document				
Performing Org.	KAERI		Contract No.		
Abstract (15-20 Lines)					
<p>In this research, a outdoor wheel-type walking-assist device is developed to help an elder having a poor muscular strength at legs for walking, sitting and standing up easily at outdoors, and also for going and downing stairs.</p> <p>In conceptually designing, the environments of an elder's activity, the size of an elder's body and a necessary function of helping an elder are considered. This device has 4 wheels for stability. When an elder walks in incline plane with the proposed device, a rear-wing is rotated to keep the supporting device horizontal, regardless of an angle of inclination. A height-controlling device, which can control the hieght of the supporting device for adjusting an elder's height, is varied vertically to help an elder to sit and stand-up easily.</p> <p>Moreover, a outdoor wheel-type walking-assist device is conceptually designed and is made. In order to design it, the preview research is investigated firstly. On the basis of the proposed walking-assist device, the outdoor walking-assist device is designed and made. The outdoor wheel-type walking-assist device can go and down stairs automatically. This device go up and down the stair of having maximum 20cm height and an angle of 25 degrees with maximum 4 sec/stairs speed, and move at flatland with 60cm/sec speed.</p>					
Subject Keywords (About 10 words)		wheel-type, walking-assist device, an elder, sit/stand-up assist go up and down stairs			