

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
첨단농기계산업화기술개발사업 2022년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004320-01

농작업 효율 향상을 위한 어시스트슈트 개발

2023.05.26.

주관연구기관 / 한국로봇융합연구원
공동연구기관 / 한국과학기술원
공동연구기관 / 에코팜

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

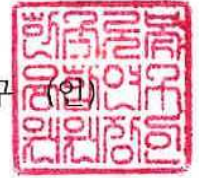
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농작업 효율 향상을 위한 어시스트슈트 개발”(개발기간 : 2020. 04.01 ~ 2022.12.31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 05. 26.

주관연구기관명 : 한국로봇융합연구원 (대표자) 여 준 구



공동연구기관명 : 한국과학기술원 (대표자) 이 광 형



공동연구기관명 : 에코팜 (대표자) 조 재 두



주관연구책임자 : 윤 해 룡

공동연구책임자 : 유 지 환

공동연구책임자 : 조 재 두

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서										보안등급 일반[<input checked="" type="checkbox"/> , 보안[<input type="checkbox"/>]	
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		사업명			농기계산업혁신기술	
전문기관명 (해당 시 작성)					사업명		내역사업명 (해당 시 작성)				
공고번호		320028-3 (2020300245)			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		연구개발과제번호			320028-03	
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	50%	EA0502	25%	EA0501	25%				
	농림식품과학기술분류	RO0103	60%	RO0101	30%	RO0199	10%				
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문									
		영문									
연구개발과제명		국문		농작업 효율 향상을 위한 어시스트슈트 개발							
		영문		Development of an assist suit to improve agricultural work efficiency							
주관연구개발기관		기관명		한국로봇융합연구원		사업자등록번호		506-82-10676			
		주소		(우)36728 경북 안동시 경동로 1486-20		법인등록번호		171771-0005283			
연구책임자		성명		윤해룡		직위		선임연구원			
		연락처		직장전화		휴대전화		010-4358-5804			
				전자우편		hyyun@kiro.re.kr		국가연구자번호		1111 6402	
연구개발기간		전체		2020. 04. 01 - 2022. 12. 31 (2년 9개월)							
		단계 (해당 시 작성)		1단계		2020. 04. 29 - 2022. 12. 31 (0년 9개월)					
				2단계		2021. 01. 01 - 2021. 12. 31 (1년 0개월)					
				3단계		2022. 01. 01 - 2022. 12. 31 (1년 0개월)					
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체 기타()				연구개발비 외 지원금	
		현금		현물		현금		현물		합계	
총계		1,100,000		14,000		354,000				1,114,000	
1년차		300,000		0		100,000				300,000	
2년차		400,000		0		134,000				400,000	
3년차		400,000		14,000		120,000				414,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편	
공동연구개발기관		한국과학기술원		유지환		교수		042-350-3638		jhryu@kaist.ac.kr	
		에코팜		조재두		대표		053-854-8533		jegro@naver.com	
연구개발담당자 실무담당자		성명		조용준		직위		선임연구원			
		연락처		직장전화		휴대전화		010-9111-5244			
				전자우편		cyj@kiro.re.kr		국가연구자번호		1068 3494	

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023년 2월 15일

연구책임자: 윤 해 룡

주관연구개발기관의 장: 여 준 구

공동연구개발기관의 장: 유 지 환

공동연구개발기관의 장: 조 재 두



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

사업명				총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)	농기계산업혁신기술			연구개발과제번호	320028-03		
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	50 %	EA0502	25 %	EA0501	25%
	농림식품 과학기술분류	RO0103	60 %	RO0101	30 %	RO0199	10%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명	농작업 효율 향상을 위한 어시스트슈트 개발						
전체 연구기간	2020. 04. 01 - 2022. 12. 31 (2년 9개월)						
해당 단계							
총 연구개발비	총 1,466,680 천원 (정부지원연구개발비: 1,100,000 천원, 기관부담연구개발비: 368,000 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)						
해당 단계	총 천원 (정부지원연구개발비: 천원, 기관부담연구개발비: 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)						
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도 (해당 시 작성)	착수시점 기준() 종료시점 목표(V)		
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)	제품화 단계						
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							

연구개발 목표 및 내용	최종 목표		<ul style="list-style-type: none"> ○ 고하중 운반 및 적재 작업 어시스트를 위한 TSA(Twist st assist) 기술 기반의 농업용 웨어러블 슈트를 개발 ○ 정량적 목표 <ul style="list-style-type: none"> - 기반하중 : $\geq 20\text{kg}$ - 웨어러블 슈트 가반하중: $\leq 5\text{kg}$ - 착용소요시간 : $\leq 30\text{sec}$ - 액추에이터 내구성 : $\geq 4\text{만회}$ - 슈트 연속작동 시간 : $\geq 4\text{시간}$ - 웨어러블 슈트 착용시 근육 활성화 감소율 : $\geq 20\%$
	전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> - 고령자, 여성 농업인도 쉽게 사용할 수 있고, 농작업 노동력 절감을 통한 작업 능률 극대화가 가능한 농작업 어시스트 슈트 개발 - 농작업 환경에 대응하여 작업인지가 가능하고, 농작업 효율 향상을 위한 상/하지 어시스트 기능을 가지는 슈트를 개발하고, 이를 기반으로 전주기 농작업 과정에 적용 및 실증테스트 - TSA(Twist st assist) 기술 기반의 농업용 어시스트 슈트를 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양한 농작업이 가능한 상황인지 어시스트 슈트 운영 알고리즘 개발 ▪ 작업자 요구사항 분석 및 착용조건/상황 등을 고려한 어시스트 슈트 개발 ▪ 사용자 특성 분석 및 기술 분석을 통한 어시스트슈트 디자인 개발 ▪ 어시스트 슈트에 적용되는 TSA 핵심 기술 및 모듈 개발 - 상/하지 구조 통합에 따른 TSA 기반 어시스트 슈트 설계 및 시제품 제작 - 어시스트 슈트 실증평가 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양한 농작업에 따른 시나리오에 근거한 성능 평가 ▪ 다양한 실험환경 실증 테스트
	1단계[]	목표	농업용 어시스트 슈트의 핵심기술 및 부품 개발
		내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 핵심부품 및 단위모듈 개발과 통합 어시스트 슈트 기술개발 ▪ 핵심알고리즘 개발
	2단계[]	목표	테스트/실증 환경 내 성능 및 사용성 평가, 신뢰성/안정성 확보
		내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 시스템 안정화, 시스템 통합 ▪ 신뢰성/안정성 검증기술 개발 및 사용성 평가
3단계[]	목표	개선을 통한 상용화 및 사업화 추진	
	내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 상용화를 통한 사업화 추진 	
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 학술발표 : 16건, 특허출원: 13건, 특허 등록 : 3건, 상표 등록 : 1건, 신규채용 : 5명, 홍보 : 4건 		

<p>연구개발성과 활용계획 및 기대 효과</p>	<p>○ 활용계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 표준화 된 어시스트 슈트를 개발하고 관련 기술을 고도화 하고, 한국형 어시스트 슈트 개발을 통한 관련 산업현장 등 시장의 확대를 유도 - 국내 농가 : 개인 농가를 중심으로 어시스트 슈트 판매를 추진하고, 농기계임대 사업소, 각 지자체 영농조합에 모듈보급 사업을 통해 개인 농가의 비용을 최소화 하면서도, 활용효과가 높은 방안으로 사업을 추진 - 해외 농가 : 먼저 가변형(작업별) 농업용 어시스트 슈트가 다방면의 농작업에 적용이 가능하도록 개발 하여 판매하고, 추가 기술수요 및 개솔 대해서는 각 기술 단위 별로 개발하여 세계 발 농업용 농기계 시장에 진출 <p>○ 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대다수 해외의존이 높은 어시스트 슈트의 국산화 및 미래 농업용 로봇관련 원천 기술의 확보 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 해외에 의존되는 농업 어시스트 슈트를 탈피하여 새로운 경량화 구동 방식의 어시스트 슈트 개발을 통해 국내 농기계 기술 경쟁력 확보 ▪ 농업용 어시스트 슈트 원천기술 확보를 통해 기술/가격 경쟁력 확보 ▪ 농업용 어시스트 슈트의 다양한 농작업 연구개발 및 산업화 과정의 기간의 단축 및 독창적인 서비스를 제공 - 농업용 어시스트 슈트의 실증을 통해 운용 안정성 향상 및 국제적 수준의 기술선점 가능 				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	어시스트	슈트	웨어러블	농작업효율	경량화
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	Assist	Suit	Wearable	Work efficiency	Lightweight

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	17
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	107
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다) (해당없음)	113
5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	113
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	114
※별첨 자료	116
(1) 공인기관평가 성적서	

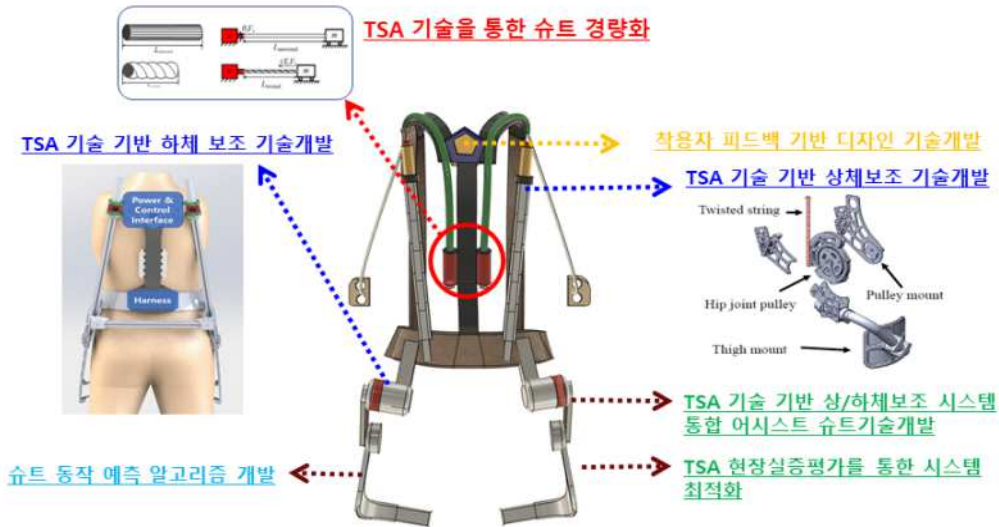
1. 연구개발과제의 개요

1) 개발기술 개요

가) 연구개발 개요

(1) 개발 개요

고하중 운반 및 적재 작업 어시스트를 위한 TSA(Twist st assist) 기술 기반의 농업용 웨어러블 슈트 개발



수요기업, 활용기업을 중심으로 상용화 모델 도출 및 상용화 전략 수립

< TSA 기반 농업용 웨어러블 슈트 컨셉도 >

- 본 과제에서는 농업분야에서 고하중 운반 및 적재 작업을 위한 **TSA(Twist st assist) 기술 기반의 농업용 웨어러블 슈트**를 개발하고자 함
- TSA기반 농업용 웨어러블 슈트는 와이어 신축에 의해 힘을 어시스트하는 방식이기 때문에 기존의 외골격 슈트 및 전동형 슈트에 비해 **착용성 용이하고 경량화**할 수 있어 비정형 작업과 반복 작업이 혼재되어 있는 농업 분야에서 적합한 구조임
- 개발하고자하는 농업용 웨어러블 슈트는 **20kg 이상의 고중량** 물건 취급 시 힘을 보조할 수 있는 제품이므로 농작물(박스 단위) 수확 및 적재에 활용이 용이함

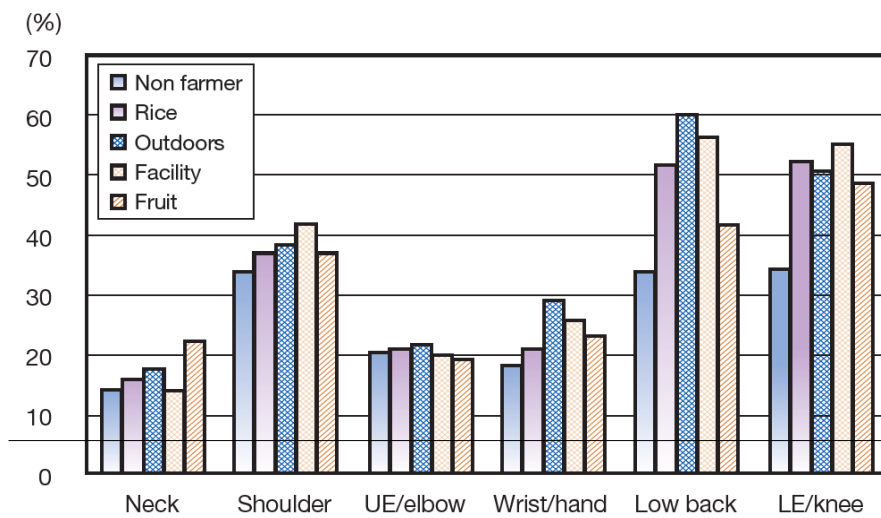


< 농업용 웨어러블 슈트 예시 >(*Source : Kubota, Tokyo university)

(2) 연구개발 중요성 및 필요성

- 농촌 진흥청에서 전국 각 도별 8개 지역, 18개 마을 주민 전체를 대상으로 농작업 재해 안전관리체계 구축사업의 일환으로 수행한 농업 관련 질환과 작업 환경에 대한 설문 조사 수행

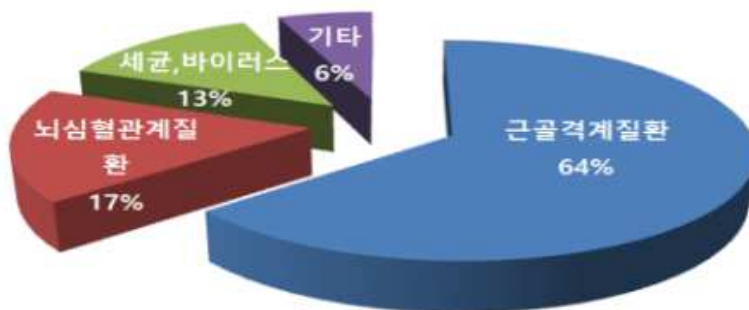
- 농업인 중 1주일 이상 지속되는 근골격계 통증을 경험한 비율이 약 80.5%로 조사됨
- 신체 부위별 비율은 허리가 51.8%, 무릎과 하지가 50.9%로 가장 많았고, 어깨 37.8%, 손과 손목 23.8%, 상지와 팔꿈치 20.4%, 목 17.6% 순으로 나타났음
- 비농업인의 근골격계 통증 경험률 60.2%이고 신체 부위별로는 허리가 33.8%, 무릎과 하지는 33.8%로 농업인 대비 25% 이상 낮게 나타남
- 농업 주작목별로는 노지나 시설재배 농업인들은 허리 및 무릎과 하지의 통증, 과수는 목부위 통증 호소가 많았음



< 농작업 형태 및 부위별 근골격계 통증 발생 비율 >

- 농업인 근골격계 질환 현황

- 농업의 업무 상 질병자 통계 분석 결과, 근골격계 질환이 전체의 64%로 가장 많은 비율을 차지하고 있음



< 농업의 업무상 질병자 통계 > (*Source : 안전보건공단 산업재해통계)

- 안전보건공단(2016 산업재해통계)의 연도별 농업 재해자 통계에 따르면, 최근 3년간 농업 재해자가 해마다 증가하며 60대 이상의 고령자의 비율이 높음을 확인할 수 있음. 이는 농업인의 안전과 보건부분에서 간과해서는 안 될 매우 중요한 부분임

연도	농업 재해자
2014년	621명
2015년	647명
2016년	729명

< 연도별 농업 재해자 통계 >

업종	25~29세	30~34세	35~39세	40~44세	45~49세	50~54세	55~59세	60세이상
농업	42	34	38	32	50	74	121	<u>293</u>

< 연령별 농업 재해자 비율 >

- 파나소닉, 구보다, 니카리 등과 같이 일본 선진업체의 경우 농업용 파워어시스트를 개발하여 실증화를 거쳐 일부 상품화까지 완료한데 반해, 국내에서는 대기업에서 산업 특수 목적으로 적용되는 웨어러블 슈트만을 출시한 상태임
- 농작업은 단순 반복 작업이 주를 이루는 산업용 작업과 달리, 비정형 작업과 반복작업이 혼재되어 있으므로 일정한 자세 및 동작에 대해 힘 보조뿐만 아니라, 일상 동작 및 여러 가지 모션에 대해서도 불편함이 없어야 함
- 현재 고령 및 여성 위주의 농업인들에게 보급, 적용될 수 있는 수준의 농업용 웨어러블 슈트 제품이 없어, 현장 농업인들이 편안함 착용감으로 근력보조효과를 체감하고 근골격계 질환을 예방할 수 있는 웨어러블 슈트 개발이 필요함

(3) 연구개발 방향 및 차별성

- 다양한 비정형 동작에 대한 편의성과 20kg 이상의 고중량물 취급 보조를 동시에 만족할 수 있는 TSA 방식의 웨어러블 슈트 개발

특징	외골격형 슈트	TSA기반 웨어러블 슈트	소프트 웨어러블 슈트
소재	알루미늄, 플라스틱 등	<u>와이어</u>	직물, 인공근육
무게/부피	무겁고 큼	<u>보통</u>	가볍고 작음
최대출력	근력의 1~10배	<u>근력의 1~3배</u>	0.1 이하
탈부착 용이성	어려움	<u>간편함</u>	간편함
주요 용도	근력증강	<u>근력증강/보조</u>	근력보조

< 웨어러블 슈트 형태별 장단점 >

- 개발아이템의 향후 성공적인 사업화를 위해 지역 농자재 공급기관(대구경북농협)과 Supply chain 구축관련 협력 진행

나) 연구개발 대상의 국내·외 현황

(1) 국내 기술 수준 및 시장 현황

- 기술현황

- 국내의 웨어러블 로봇 관련한 세계적인 기술력을 효과적으로 활용하기 위해서 기존 제조업이나 IT업체등과의 다양한 융합기술 추진전략이 시급함
- 의료/서비스 등의 일부 한정된 분야에서만 로봇산업이 창출되었으나, 웨어러블 로봇 개발 추세에 따라 급속도로 확대된 사업화 방향이 예견되고 있음
- 우리나라의 경우 로봇 관련한 기술력있는 중소기업들이 새로운 시장을 열지 못하여 매출실적이 매우 저조하며, 제조업이나 서비스업 등의 타 업종으로 이탈하려는 경우가 많음
- (현대자동차)는 2018년 로보틱스팀을 신설하고 웨어러블 로봇 사업 개척에 나섰다. 2018년 의자형 로봇 (H-CEX)를 시험 적용하였고, 같은해 말에는 목을 뒤로 젖히고 사용하는 윗보기 작업용 착용로봇(H-VEX)를 선보였음. 또한 2019년에는 의료용 로봇(H-MEX)를 출시하여 인간중심 미래 모빌리티 개발 철학을 전했다



< 현대자동차 웨어러블 슈트 >

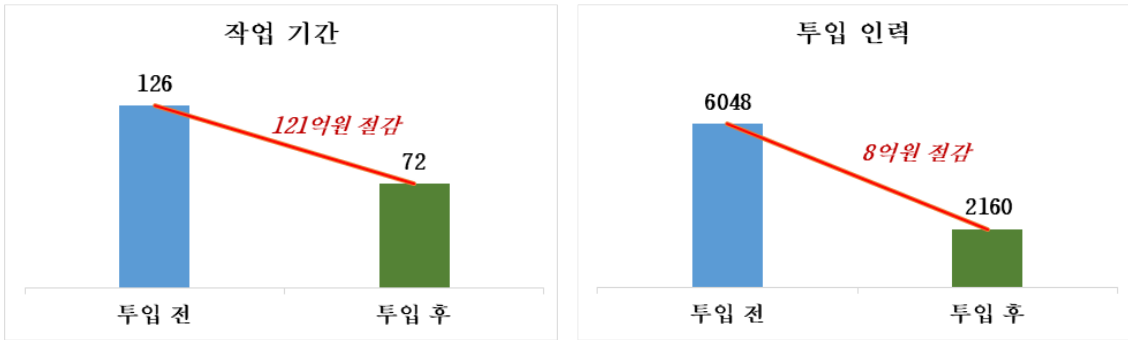
- (현대로템)은 2010년부터 국책사업으로 ‘산업용 근력증강 로봇’ 과제를 수행하며 얻은 노하우로 현대자동차와 공동 개발한 H-FRAME과 ALAD, HUMA의 3종을 2019년 로봇박람회회에서 출시하였음. 하체근력을 보조하는 HUMA와 허리 근력을 보조하는 ALAD, 무거운 물건을 들어올릴 때 팔 근력을 보조하는 H-FRAME은 가벼운 무게와 산업 현장에서의 유용성이 높음



< 현대로템 웨어러블 슈트 >

- (포스코)는 용광로 내화물을 쌓는 작업에 웨어러블 로봇을 도입해 연간 129억 원의 생산성 향상
 - 126일 걸리던 작업 기간을 72일로 43% 감축해 121억 원 절감

- 6,048명을 투입해야 했던 인력을 2160명으로 줄이며 8억 원을 절감



< 포스코 웨어러블 로봇 투입 전후 비용 절감 비교 >

- 시장현황

- 웨어러블 로봇이 주로 포함되는 전문서비스용 로봇 시장을 보면, 2016년 기준 약 7,000억원의 생산 규모를 보이고 있으며 2015년도 대비 약 20.8%의 성장률을 보이고 있음

(단위 : 억 원, %)

구분 (증감)	생산				매출				수출				수입			
	2014	2015	2016	비중	2014	2015	2016	비중	2014	2015	2016	비중	2014	2015	2016	비중
제조	23,061	24,293	26,688 (9.9)	59.4	24,671	25,831	27,009 (4.6)	58.8	6,694	6,751	6,916 (2.4)	72.9	2,834	4,391	3,990 (△9.1)	64.2
서비스	4,624	5,885	7,107 (20.8)	15.8	5,020	6,277	7,464 (18.9)	16.2	1,098	1,046	1,540 (47.2)	16.2	363	445	781 (75.5)	12.6
전문	1,377	2,629	3,733 (42.0)	8.3	1,615	2,830	4,055 (43.3)	8.8	154	320	734 (129.4)	7.7	182	213	690 (223.9)	11.1
개인	3,247	3,256	3,374 (3.6)	7.5	3,405	3,447	3,409 (△1.1)	7.4	944	726	806 (11.0)	8.5	181	232	91 (△60.8)	1.5
부품	6,135	9,397	11,108 (18.2)	24.7	7,983	10,060	11,499 (14.3)	25.0	312	362	1,027 (183.7)	10.8	1,780	1,558	1,442 (△7.4)	23.2
합계	33,820	39,575	44,903 (13.5)	100	37,674	42,168	45,972 (9.0)	100	8,104	8,159	9,483 (16.2)	100	4,977	6,394	6,213 (△2.8)	100

< 국내 분야별 로봇 시장 현황 > (*Source : 2017 로봇산업실태조사)

- 향후의 파워 어시스트 슈트 시장이 2020년도 이후에도 확대 기조라는 점은 틀림없지만, 수요가 본격화되는 것은 아니고 제품 평가가 진행되는 기간에 있을 것으로 전망되며, 파워 어시스트 슈트의 진가를 시험하는 기간이며, 그 과정 속에서 대량으로 채용되는 사례도 나올 가능성이 있음.

- 경쟁기관현황

업체명	현황
SG 로보틱스	<ul style="list-style-type: none"> • 완전마비 장애인용 일상생활 보조 로봇, 근력이 부족하거나 보행이 불편한 사람들이 사용하는 근력,보행,보조로봇 개발 • SG 로보틱스, 서강대학교, 세브란스재활병원과 완전마비 장애인용 일상생활 로봇 공동연구 수행
엑소아틀레트 아시아	<ul style="list-style-type: none"> • 2016년 설립된 국내 웨어러블 로봇 스타트업 기업으로 모스크바 국립대공학연구소에서 기술을 이전받아 한국에서 상용화 기술을 접목한 제품을 개발 및 생산. • 재활보행 로봇은 하반신 완전/불완전 손상 환자를 위한 재활훈련과 보행보조를 지원하는 제품으로 무게 23kg(배터리 포함)에 총 4개의 구동 드라이브로 구성
피엔에스 미캐틱스	<ul style="list-style-type: none"> • 발목 관절 구동 기능 및 관절 간 길이 자동 조절기능을 갖고 있는 보행재활로봇을 개발. 뇌졸중, 척수손상, 뇌성마비, 파킨슨병 등 보행장애를 가진 환자의 보행재활로봇으로 활용
(주)헥사시스템즈	<ul style="list-style-type: none"> • 착용형 외골격 로봇을 이용한 군사용근력증강, 산업지원기기 및 재활치료 및 근력보조용 의료기기를 개발. 약 30개 이상의 산업용 및 의료용 외골격 로봇 관련 특허의 출원 및 등록건수를 보유
엔티로봇	<ul style="list-style-type: none"> • 로봇본체, 병원용 로봇, 헬스케어 로봇 등을 생산하는 업체로 척추 손상 장애인용 웨어러블 보행 로봇, 물건의 운반 및 보행을 도와주는 웨어러블 근력증강 로봇, 헬스케어용 로봇 팔, 근력이 부족한 환자의 식사를 도와주는 식사보조 로봇 등 다양한 헬스케어 로봇 제품 생산
(주)에프알티	<ul style="list-style-type: none"> • 한국생산기술연구원에서 개발한 로봇 기술을 바탕으로 설립된 기업으로 유압식 웨어러블 원천 기술을 활용하여 재난, 화재 및 구난 현장에서 운용자의 임무 수행을 위한 근력 지원 웨어러블 로봇을 개발
한국과학 기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 개발된 컬렉스는 10-자유도 상지근력 보조 로봇시스템으로 스스로 팔조차 들어올릴 수 없을 정도로 근력이 부족한 노약자나 장애인이 칫솔질, 빗질, 식사 등의 일상생활을 할 수 있도록 어깨, 팔꿈치, 손목, 손가락의 근력을 보조함
현대자동차	<ul style="list-style-type: none"> • 고령자나 장애인들의 보행을 지원하는 H-LEX 개발 • 다리에 보다 큰 힘을 제공하는 증폭 모드, 넘어지는 것을 예방하는 부상 방지 모드, 스스로 걷기 힘든 사람을 걸을 수 있게 보조해주는 보행 모드 등의 기능 제공

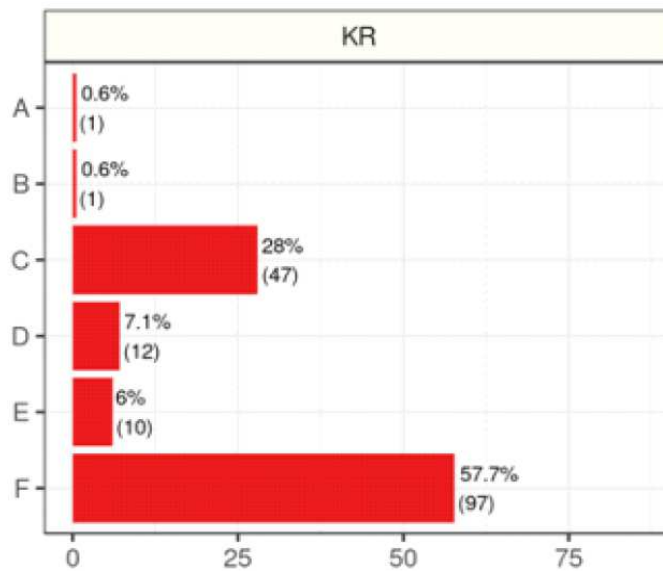
- 지식재산권현황

- 산업용 근력증강 웨어러블 로봇의 최근 10년 기준으로 요소 기술별 국내 특허 데이터는 아래와 같음

요소 기술	출원 건수
구동모듈 설계	1
수동, 능동 방식의 웨어러블 로봇 관절 강성 제어 기술	1
센서융합 기반 작업자 의도 파악 기술	49
모션 캡처 기술	13
인체동작 해석 시뮬레이션 기술	12
근력 증강을 위한 웨어러블 로봇 플랫폼 기술	109
합계	185

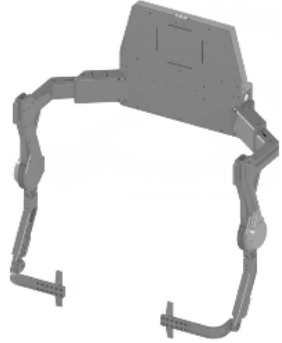
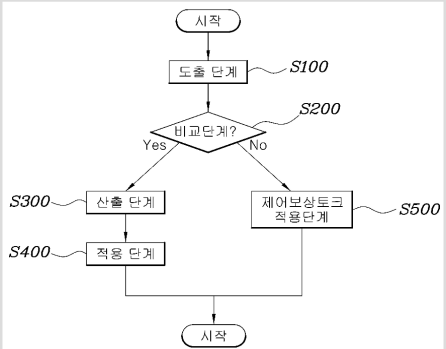
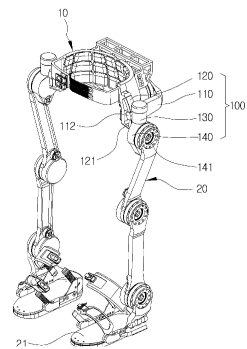
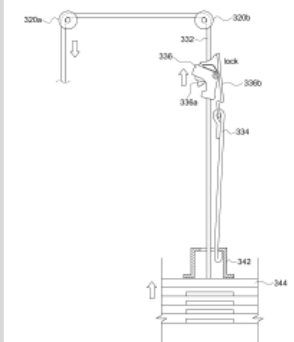
< 근력증강 웨어러블 로봇 국내 특허출원 현황 >

- 국내의 산업용 웨어러블 로봇 분야에서 여러 기관, 학교에서 연구개발이 활발이 이루어지면서 특허 또한 많은 건수가 출원이 되고 있음
- 다만, 인지 및 제어 기술에 비해 구동모듈 및 강성제어 기술 부문에서는 상대적으로 출원량이 매우 미미한 실정임



< 국내 요소 기술별 특허 출원 비중 >

■ 국내 주요 특허

출원기관	주요 내용	관련 이미지
현대자동차	<p>건강한 정상인이나 노령자의 보행 보조, 의료/간호/재활 현장 등에서의 보행 훈련이나 보행보조, 공장 내의 작업이나 배달/서비스업 등에서의 기립 상태 작업 또는 허리굽힘 상태 작업을 하는 사람의 보행보조 및 작업 보조 등에 있어서, 보행시나 작업시의 다리부로 체중에 의한 부담을 경감시킴으로써, 체중이 가벼워지는 것과 같은 효과를 생기게 하는 어시스트(부하 감쇠)를 행하는 장치임</p>	
현대자동차	<p>로봇 지지다리의 무릎관절 및 스윙다리의 고관절 각도와 각속도를 도출하는 도출단계, 도출한 지지다리와 스윙다리의 각도 및 각속도의 값을 미리 설정한 각도 및 각속도에 관한 기준값들과 비교하는 비교단계, 도출한 지지다리와 스윙다리의 각도 및 각속도가 미리 마련된 기준 조건을 만족하는 경우 지지다리의 도출한 각도 또는 각속도를 이용하여 보조 토크값을 산출하는 산출단계 및 산출한 보조 토크값을 로봇 지지다리의 무릎관절에 적용하는 적용단계를 포함</p>	
현대로템	<p>착용식 외골격로봇용 고관절 구조체는, 상기 골반 구조체의 배면에서 일측부에 걸쳐 구비되며, 수평인 제1축을 기준으로 그 일단이 회동 가능하게 상기 골반 구조체의 배면에 설치되는 회동부재; 상기 제1축 상에 중심을 가진 호 형상으로 구비되어 상기 골반 구조체의 일측부에 고정되는 가이드부재; 상기 회동부재의 타단부에 설치되는 회동체; 및 수직인 제2축을 기준으로 회동 가능하게 상기 회동체에 구비되고, 수평이며 상기 제1축에 대해 직각을 이루는 제3축을 기준으로 회동 가능하게 상기 다리 구조체의 상단부가 연결되는 연결체;를 포함하되, 상기 회동부재는, 그 타단부가 상기 가이드부재를 따라 왕복 이동되게 구비됨</p>	
피앤에스 미캐닉스	<p>보행 장애자의 보행 훈련을 위한 보행 훈련 장치에 관한 것으로서, 보행훈련자의 하체에 착용되는 보행보조로봇; 보행훈련자에게 지정 속도로 이동하는 바닥면을 제공하는 트레드밀; 보행훈련자의 몸체를 상향 지지하는 하중 견인기; 및 상기 보행보조로봇, 트레드밀 및 하중 견인기의 구동을 제어하는 컨트롤러를 포함</p>	

출원기관	주요 내용	관련 이미지
서울대학교 산학협력단	대상의 편마비측 신체를 치료하기 위한 편마비 치료 장치의 편마비측 신체에 착용되는 로봇, 모션 측정부, 제어부를 포함하며, 제어부는 모션 측정부에서 측정된 건측 신체의 움직임을 입력받아 로봇을 제어하며, 이를 통해 로봇이 착용된 편마비측 신체가 건측 신체의 움직임과 상응하게 움직이는 특징	
대구경북 과학기술원	센서와 카메라를 이용한 인체의 자세 측정 장치 및 이를 이용한 측정 방법 기 구비된 카메라로부터 인체의 영상 정보를 입력 받는 영상 입력부 및 인체의 자세 정보를 판단하는 통합 관리부를 포함하여 구성되며, 상기 통합 관리부는 기 구비된 센서로부터 상기 영상 입력부의 카메라의 기울임 정도를 판단하는 센서부를 포함하여 구성	

- 표준화현황

- 착용로봇의 성능 평가 방법에 대한 표준이 KOROS 단체 표준으로 등록되어 있으며 신규로 제안된 표준안이 검토 중에 있음
- 안전 요구 조건을 규정한 ISO 13482의 국내부합화 표준이 2014년 국가표준으로 제정
- (국가표준연구원 KS 로봇 및 로봇장치 전문위원회) 최초의 개인지원로봇 안전 요건 표준인 ISO 13482를 개발 단계별로 국내 부합화하였고, 현재 진행 중인 안전성 평가 방법 표준 개발 현황에 대한 국내 대응위원회를 통해 국내 제조사들의 현황을 반영

개발기구	표준(안)명	개발연도	관련 표준화 항목
KS	KS B ISO 13482, 로봇 및 로봇장치 - 개인지원로봇안전 요구사항	2014	인간과 로봇이 공존하는 개인지원로봇의 안전 및 성능평가
	KS W 9000, 무인 항공기 시스템 - 제 1부 : 분류 및 용어	2016	무인 비행 로봇의 안전성 시험방법
	KS B 7303, 건식 가정용 청소 로봇	2016	가정용 청소로봇 성능평가
	KS X 3223, 지능형 로봇 소프트웨어 품질 평가항목	2012	인간과 로봇이 공존하는 개인지원로봇의 안전 및 성능평가

< 국내 KS 표준화 현황 > (*Source : IRS Global)

(2) 국외 기술 수준 및 시장 현황

- 기술현황

- 국외 기술개발은 미국, 일본의 기술 개발이 주축이며 미국은 국방용과 하지 마비환자의 재활용으로 일본은 특수목적용, 산업용의 웨어러블 로봇 개발이 주축임
- 미국의 경우 10년전부터 DARPA 펀드를 통해 BLEEX, HULC 및 XO2와 같은 군사용 외 골격 로봇을 개발하고 있음.
- 일본의 경우에는 주로 민수용 웨어러블 로봇이 개발되고 있음. Cyberdyne에서 2003년에 하지 재활로봇을 개발하였고, HONDA에서는 착용자의 체중지지 및 보폭관리를 목적으로 보행보조장치 WAD를 개발하였으며, Panasonic 계열의 Activelink에서는 유압기반의 고가반하중 착용식 로봇 Power Loader를 개발하였음



< 일본 웨어러블 슈트 개발 현황 >(좌: Power loader, 우:WAD)

- 최근 일본의 경우 농업기계 제조업체인 Kubota, 니카리 등에서 농업용 파워어시스트 슈트를 개발하여 발매함
- 도쿄대학과 일본의 로봇 벤처기업인 '이노피스(Innophys)'가 공동으로 개발한 머슬슈트는 사용자가 마우스피스로 숨을 들이 마시고 내뿜는 작용으로 힘을 조절해 작동함



< 이노피스社 웨어러블 슈트 >

- 유럽은 하반신 마비 환자의 보행 보조도구로서 뇌-신경-컴퓨터 인터페이스 기술을 적용한 마인드워커 프로젝트를 진행하고 있음. 마인드워커 프로젝트는 뇌-신경-컴퓨터 인터페이스 기술에 기반하여 로봇 외골격 시스템을 적용하고, 가상현실 환경을 결합한 것임.

- 시장현황

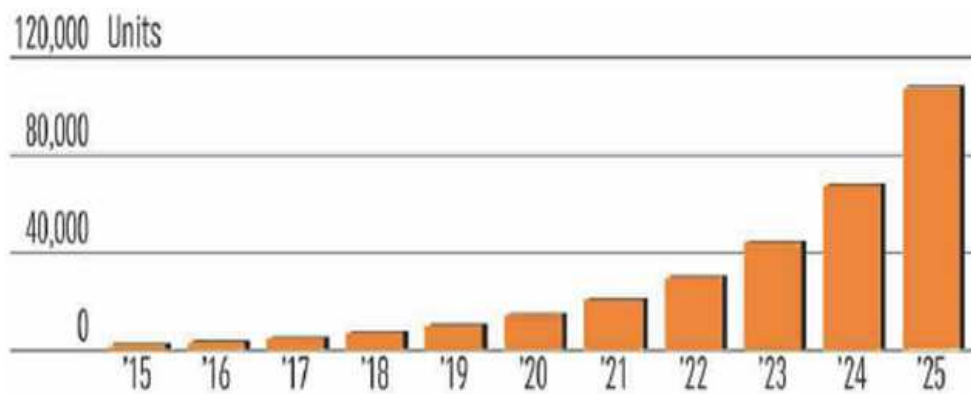
- 파워 어시스트 슈트는 웨어러블 로봇의 범주에 속하며, ABI 리서치(미국 뉴욕)에 따르면 웨어러블 로봇 시장은 2016년 8,940만 달러에서 2021년 4억 7,390억 달러로 연평균 39.6%의 성장을 할 것으로 분석

[웨어러블 로봇 분야의 세계 시장규모 및 전망]

(단위 : 백만 달러, %)

구분	'16	'17	'18	'19	'20	'21	CAGR
세계시장	89.4	124.8	174.2	243.2	339.5	473.9	39.6

< 웨어러블 로봇분야의 세계 시장 규모 > (*Source : 2017 기술로드맵 전략서)



< 웨어러블 로봇 세계 시장 예측 > (*Source : ABI Research, 2015)

- 착용형(근력보조용 웨어러블) 로봇은 직접적인 판매와 서비스를 포함해 시장의 지속적인 성장이 전망되며, '25년까지 19억 달러 규모로 성장이 전망됨
- 기술적 진보에 의해 뒷받침 된 사회적 과제, 군사적 요구 사항 및 비즈니스 요구로 인해 군사, 의료 분야뿐만 아니라 건설 및 농업 산업 분야 등 다양한 응용 분야에서의 시장 확대가 기대되어 급속한 시장 확대 전망
- 착용형 로봇 관련 산업생태계는 크게 군사분야, 산업분야, 의료분야, 상업분야로 나뉘고 있음
- ABI 리서치(미국 뉴욕)에 따르면, 웨어러블 로봇 시장은 2016년 8,940만 달러에서 2021년 4억 7,390억 달러로 연평균 39.6%의 성장을 할 것으로 분석
- WinterGreen Research는 2015년 보고서에서 2014년 근력보조로봇의 시장 가치를 1,650만 달러로 추정하여, 2021년도에 21억 달러까지 성장할 것으로 전망
- TechNavio는 전체 재활 로봇 시장이 2014년 4,300만 달러 산업으로 가정하면, 2019년까지 매년 72.51%의 GAGR(연평균 성장률)로 성장하여 2020년까지 약 11억 달러가 될 것으로 전망됨

- 경쟁기관현황

국가	회사명	이미지	가격	사양 및 특징
일본	INNOPHYS		-	<p>사이즈: 폭 50cm x 높이 90cm x 세로 22cm</p> <p>무게: 6.6kg (기본 시스템 구성 부만)</p> <p>McKibben 형 인공 근육 4 개</p> <p>어시스트 능력: 최대 35.7kgf (140Nm)</p>
일본	CYBERDYNE		10,000 엔 (60분 대여)	<p>사이즈 길이 292mm x 폭 451mm x 높이 522mm</p> <p>무게: 3.1kg (배터리 포함)</p> <p>전원: 특수 배터리(리튬 폴리머 배터리)</p> <p>운전 시간: ca. 3 시간</p> <p>충전 시간: 1.5 시간</p> <p>액체 유입 보호 기능: IEC 액체 흡입 보호 레벨 4 (IPX4)</p>
일본	KUBOTA		1,144,800엔	<p>프레임: 가볍고 강한 탄소 섬유</p> <p>다단 적재 작업: 트럭 화물칸에 2단 /</p> <p>자상 팔레트는 4단 까지 가능</p> <p>1회 충전(약 60분): 약 200회 쌓는 하역이 가능</p>
일본	ATOUN		-	<p>무게: 44kg (벨트 및 배터리 포함)</p> <p>지원군: 10kgf</p> <p>영업 시간: 4 시간</p> <p>방수 및 방진 기준: IP55</p> <p>안전 기준: ISO13482 (서비스 로봇의 글로벌 안전 표준) / CE 마크 (EU의 안전 규정)</p>
미국	하버드 대학		-	<p>Exosuit (soft wearable suit) 분야 선두기업으로, 공압형 액추에이터 적용하고 노인, 하지 장애인의 보행 보조를 목적으로 하는 소프트 웨어러블 슈트를 중점적으로 연구 개발</p>
미국	SRI international		-	<p>Exosuit (soft wearable suit) 분야 주력 기업으로, 최근 (6개월 전) 가장 완성도 높은 Exosuit 제품 (Powered Clothing™)을 선보이며 Seismic 이라는 제품 브랜드를 런칭</p> <p>노인의 보행 지원, 재활을 목적으로 한 제품이며, 기술적으로 쓰인 끈 장력 방식을 사용</p>

- 지식재산권현황

- 산업용 근력증강 웨어러블 로봇의 최근 10년 기준으로 요소 기술별 국내 특허 데이터는 아래와 같음

요소 기술	출원 건수			
	미국	일본	유럽	계
구동모듈 설계	3	0	0	3
수동, 능동 방식의 웨어러블 로봇 관절 강성 제어 기술	3	0	0	3
센서융합 기반 작업자 의도 파악 기술	9	2	4	15
모션 캡처 기술	5	2	1	8
인체동작 해석 시뮬레이션 기술	18	5	5	28
근력 증강을 위한 웨어러블 로봇 플랫폼 기술	111	36	23	70
합계	149	45	23	217

< 근력증강 웨어러블 로봇 해외 특허출원 현황 > (*Source : 중소기업로드맵 2018)

- 특허의 질적수준을 고려한 각국의 시장력 분석 결과, 시장력이 전체 평균 2.08을 상회하는 국가로는 영국, 러시아, 스페인, 멕시코, 네델란드 등이 있으나, 이는 적은 출원량에 의한 상대적인 지수의 상승효과로 큰 의미를 부여할 수 없다고 생각되며, 질적인 수준이 높은 특허 보유국은 미국과 독일임

국가	특허수	PFS (\sum 패밀리수/ \sum 특허수)	CPP (\sum 피인용수/ \sum 특허수)
CA	11	1.455	0
JP	28	1.893	0.222
US	136	2.081	2.389
CN	10	1.9	0
IT	8	1.25	0
전체 평균	38.6	8.58	0.522

< 각국 특허의 질적수준 고려한 PFS, CPP 분석 > (*Source : 중소기업로드맵 2018)

- 농업용 웨어러블 로봇의 경우 일본 농기계 업체 및 로봇 전문업체에서 특허 출원이 주로 이루어졌음

- KUBOTA

명칭		어시스트 슈트	
공개등록번호 (공개/등록일)	JP 2017-094427 A (2017.06.01)	출원번호	2015-227693 (2015.11.20)
출원인	KUBOTA LTD	법적상태	등록
요약 (일부)		주요도면	
<p>【과제】 조작부를 용이하게 인위 조작할 수 있는 어시스트 슈트가 요망되고 있다.【해결수단】 어시스트 슈트는 작업자의 뒤쪽에 장착되는 본체부와 본체부로부터 작업자의 횡방을 통해 앞쪽에 늘어남과 동시에, 작업자의 대퇴부에 작용하는 것으로써 작업자가 일어서는 동작을 어시스트 하는 다리 어시스트장치 5를 구비하고 있어 다리 어시스트장치 5에서 작업자의 횡방에 위치하는 부분에, 인위 조작식의 상하한치 변경 스위치 26, 전원 스위치 28, 및 구동 모드 변환 스위치 29가 배치되어 있다.【선택도】 도 3</p>			
대표 청구항			
<p>【청구항】 작업자의 뒤쪽에 장착되는 본체부와 상기 본체부로부터 상기 작업자의 횡방을 통해 앞쪽에 늘어남과 동시에, 상기 작업자의 대퇴부에 작용하는 것으로써 상기 작업자가 일어서는 동작을 어시스트 하는 다리 어시스트 장치를 구비하고 있어 상기 다리 어시스트 장치에서 상기 작업자의 횡방에 위치하는 부분에, 인위 조작식의 조작부가 배치되어 있는 어시스트 슈트.</p>			

- INNOPHYS

명칭		어시스트 슈트	
공개등록번호 (공개/등록일)	JP 2017-094427 A (2017.06.01)	출원번호	2015-227693 (2015.11.20)
출원인	KUBOTA LTD	법적상태	등록
요약 (일부)		주요도면	
<p>(과제) 사용자로의 장착감을 향상시킨다. 또 보다 한층 더 소형화를 도모한다.(해결수단)요부 보조 장치 10은 인체의 허리쪽에 대응하는 제1축 C1 회전에 회동가능하게 지지된 허리축틀리 28 및 인체의 각쪽에 대응하는 제2축 C2 회전에 회동가능하게 지지된 각축틀리 26 이 각각 설치되는 좌우 방향의 베이스부 12를 구비하고 있다. 또, 요부 보조 장치 10은 사용자의 상체에 장착될 때 동시에 허리축틀리 28에 연결될 수 있었던 상체측 프레임 16과 사용자의 좌측 및 우측의 각부에 각각 장착될 때 동시에 좌측의 각축틀리 26 및 우측의 각축틀리 26에 각각 연결될 수 있었던 좌우 방향의 대퇴암(arm) 14를 구비하고 있다.</p>			
대표 청구항			
<p>【청구항】 사용자의 좌측 및 우측으로 각각 배치되고 인체의 허리쪽에 대응하는 제1축회전에 회동가능하게 지지된 제1회동부 및 인체의 각쪽에 대응하는 제2축회전에 회동가능하게 지지된 제2회동부가 각각 설치되는 좌우 방향의 베이스부와 상기 사용자의 상체에 장착될 때 동시에 상기 제1회동부에 연결해지고 상기 사용자의 상체가 앞쪽으로부터 기울어질 때에 상기 사용자의 상체에 작용하는 상체 장착부와 상기 사용자의 좌측 및 우측의 각부에 각각 장착될 때 동시에 좌측의 상기 제2회동부 및 우측의 제2회동부에 각각 연결될 수 있었던 좌우 방향의 각부 장착부와 상기 상체 장착부와 우측의 상기 각부 장착부와와의 사이 및 상기 상체 장착부와 좌측의 상기 각부 장착부와와의 사이 각각 설치되고 상기 사용자의 상체가 앞쪽으로부터 기울어질 때에 상기 상체 장착부에 상기 사용자의 상체를 일으키는 방향으로의 부세력을 작용시키는 좌우 방향의 부세력 부재를 구비한 요부 보조 장치.</p>			

- Cyberdyne

명칭	장착식 동작 보조 장치		
공개/등록번호 (공개/등록일)	JP 6357627 B2 (2018.06.29)	출원번호	2014-015798 (2014.01.30)
출원인	UNIV OF TSUKUBA CYBERDYNE INC	법적상태	등록
요약 (일부)	주요도면		
<p>[과제] 적혈이나 지수가 다른 다양한 장착자에게 피트니스 장착할 수 있는 장착식 동작 보조 장치를 제공한다. [해결 수단] 장착식 동작 보조 장치 10은 장착자의 허리에 장착되는 허리 프레임 11과 장착자의 하지에 장착되는 하지 프레임 12와 장착자의 관절에 대응시켜 하지 프레임 12에 설치된 구동부 13 R, 13 L, 14 R, 14 L를 가진다. 하지 프레임 12는 구동부 13 R, 13 L, 14 R, 14 L의 구동 부품을 포함할 특수 개소들 좌우에 클램프 시커 그립 및 각도를 조절할 수 있는 형상 가변부 41 L, 41 R, 42 L, 42 R, 43 L, 43 R, 44 L, 44 R, 45 L, 45 R를 가진다. 하지 프레임 12의 특수 개소들 좌우에 클램프 시커를 가지는 것으로 X다리나 O다리의 장착자에 대해서도 그 다리 형상에 피트니스(특이) 하지 프레임 12의 형상을 조절할 수 있다. [선택도] 도 2</p>			
대표청구항	<p>[청구항 1] 장착자의 허리에 장착되는 허리 프레임과 상기 장착자의 좌우 어느 쪽이든 한 쪽 또는 양쪽의 하지에 장착되는 하지 프레임과 상기 장착자의 관절에 대응시키고 상기 하지 프레임에 설치된 특수 구동부와 상기 장착자의 운동에 기인하는 신호에 근거하고 상기 구동부를 제어하는 제어부를 구비하고 상기 하지 프레임은 상기 장착자의 대퇴 외측에 위치하도록 상기 허리 프레임의 선단부에 연결되는 대퇴 프레임과 상기 장착자의 종아리 외측에 위치하도록 상기 대퇴 프레임의 선단부에 연결되는 하퇴 프레임과 상기 대퇴 프레임 및 상기 하퇴 프레임의 상방향 및 중간 위치에 개재해서 설치되고 상기 장착자의 정면에 대해서 좌우에 회동하는 힌지 기구를 가지는 형상 가변부를 가지고 상기 대퇴 프레임 및 상기 하퇴 프레임은 상기 장착자의 하지에 맞추고 대응하는 각 상기 형상 가변부의 위치에서 상기 힌지 기구의 회동 방향을 변경하는 것을 특징으로 하는 장착식 동작 보조 장치.</p>		

- ATOUN

명칭	보행 지원 장치, 신발, 및, 보행 지원 시스템		
공개/등록번호	JP 2018-029843 A (2018.03.01)	출원번호	2016-165039 (2016.08.25)
출원인	ATOUN INC 외 3명	법적상태	공개
요약 (일부)	주요도면		
<p>[과제] 보행면의 경사를 산출할 수 있는 보행 지원 장치를 제공한다. [해결 수단] 보행 지원 장치는 검출부 30에 의해서 사용자의 하지가 보행면에 착지하고 있는 것이 검출되고 있을 때 계측부 40이 계측한 기울기에 근거하고 보행면의 경사를 산출하는 산출부와 산출부가 산출한 보행면의 경사를 나타내는 경사 정보 출력부를 구비한다. [선택도] 도 7A</p>			
대표청구항	<p>[청구항 1] 사용자의 요부 또는 등에 장착되는 본체부와 상기 사용자의 하지에 장착되는 지지부와 상기 지지 부재를 상기 본체부에 대해서 움직이는 것으로, 상기 사용자의 보행을 지원하는 구동부와 상기 지지 부재가 장착된 상기 사용자의 하지가 보행면에 착지하고 있는 것을 검출하는 검출부와 상기 본체부 또는 상기 지지 부재의 기울기를 계측하는 계측부와 상기 검출부에 의해서 상기 사용자의 하지가 상기 보행면에 착지하고 있는 것이 검출되고 있을 때 상기 계측부가 계측한 기울기에 근거하고 상기 보행면의 경사를 산출하는 산출부와 상기 산출부가 산출한 상기 보행면의 경사를 나타내는 경사 정보 출력부를 구비하는 보행 지원 장치.</p>		

- 표준화현황

- 착용형 로봇은 일본의 Cyberdyne, Honda, Toyota를 중심으로 한 **일본에서 착용형 로봇의 안전요구조건 및 안전성 평가 방법**을 규정하는 표준을 **매우 적극적으로 추진**하는 중임
- IEC JWG 9 WG 35에서 IEC 60601-1에 재활로봇의 기계적 특성에 의해 기인한 위험도 저감을 위한 안전요구 조건 표준을 개발하는 중임
 - (JIS) 저출력 장착형 신체보조 로봇에 대한 안전요구조건 표준과 평가방법을 규정한 표준을 개발하고, 이를 국제 표준화 진행 검토 中
 - (IEC TC62 SC62A WG35) 의료기기 안전 요구조건 표준인 IEC 60601-1에 로봇 관점에서 보강되어야 할 안전 요건들을 개발하는 작업 진행 中
 - (ISO TC 299 WG 4) ISO 13482에 규정된 착용형 로봇의 한 형태인 lumber support 로봇의 성능평가 방법에 대한 표준초안이 제안
 - (ISO TC 299 WG 2) ISO 13482에 규정된 개인지원로봇의 안전성 부합화 여부를 판단할 수 있는 평가 방법에 대한 ISO 13482의 활용과 관련된 지침을 제공하는 Application Guide를 개발 中

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 최종 목표

- 고하중 운반 및 적재 작업 어시스트를 위한 TSA(Twist st assist) 기술 기반의 농업용 웨어러블 슈트를 개발
 - 고령자, 여성 농업인도 쉽게 사용할 수 있고, 농작업 노동력 절감을 통한 작업 능률 극대화가 가능한 농작업 어시스트 슈트 개발
 - 농작업 환경에 대응하여 작업인지가 가능하고, 농작업 효율 향상을 위한 어시스트 기능을 가지는 슈트를 개발하고, 이를 기반으로 전주기 농작업 과정에 적용 및 실증테스트

2) 주관기관 : 한국로봇융합연구원

세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
착용성 및 강성을 고려한 웨어러블 슈트 기구부 설계	- 어시스트 슈트 해석 기반 시뮬레이션 분석 - 하지 보조 슈트 기구부 설계 - 웨어러블 슈트 착용자 어시스트 최적화 - 상지 근력보조를 위한 경량형 어시스트 슈트 설계 - 어시스트 슈트에 최적화 된 단일 구동기 개발	- 본문참조
어시스트용 구동기 제어부 설계	- 와이어를 이용한 힘 보조를 위한 TSA 기반 구동장치 개발 및 작업자 의도에 맞추어 동작이 가능한 실시간 구동기 제어부 개발	- 본문참조
슈트 작동 예측 및 안전 기능 고도화	- 작업 환경에 따른 작업 예측 기법 최적화 - 작업자 예측기법을 위한 모션 시뮬레이션 검증	- 본문참조
어시스트 슈트 시제품 통합 및 고도화	- 어시스트 슈트 시제품 적용을 위한 작업 예측 모듈 고도화 및 시제품 통합 - 어시스트 슈트 구현 및 착용 변수에 의한 오차 보정 - 어시스트 슈트 시제품에 작업 안전용 고속 지능형 SW 탑재 및 최적화, 성능 개선 - 기능의 고도화를 통한 어시스트 슈트의 안전성, 신뢰성 확보	- 본문참조
시스템 검증 및 설계 최적화	- 개발된 시스템을 이용하여 작업자 대상 작업 보조 실험 진행 - 시스템의 성능을 극대화 할 수 있도록 설계 변수 조절 - 어시스트 슈트 경량화를 위한 구조부 경량화 설계 및 적용 - 인지모듈, 허리/팔 TSA 구동부, 제어 시스템 통합 - 보조력 제공에 따른 작업특성 및 효율 변화와 에너지 소모량 측정하여 시스템 성능 검증	- 본문참조
어시스트 슈트 사용자의 근활성도 기반 효과 평가 및 분석	- 근 활성도 측정 실험 테스트 케이스 분석 및 환경 구축 - EMG 센서로 취득한 근활성도 데이터 분석 및 웨어러블 슈트 효용성 검증 - 작업 단계별 근 활성도 분석 및 실험 조건별 주요 인자 분석	- 본문참조

○ 착용성 및 강성을 고려한 웨어러블 슈트 기구부 설계

가) 어시스트 슈트 해석 기반 시뮬레이션 분석

- 어시스트 슈트 해석 기반 하중분석을 위해 논문 등의 참고문헌을 조사하고 시뮬레이션 환경에 필요한 데이터를 확보함

※ 참고 자료

- The University of Michigan, Center for Ergonomics, 2011, 3D Static Strength Prediction Program, Version 6.0.5. User's Manual
- Tae-Eun Chung, "Estimation Model of Energy Expenditure of Working in a Clean Room for Manufacturing Embedded Needles by Ergonomic Programs", Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 21, No. 1, pp. 69-77, 2016
- Y. S. Kang, H. K. Seong, H. S. Choi, K. H. Yi, "Anaysis of Men's Body Sizes for Garment Sizing System", Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, Vol. 30, No. 8, pp. 1199~1209, 2006.

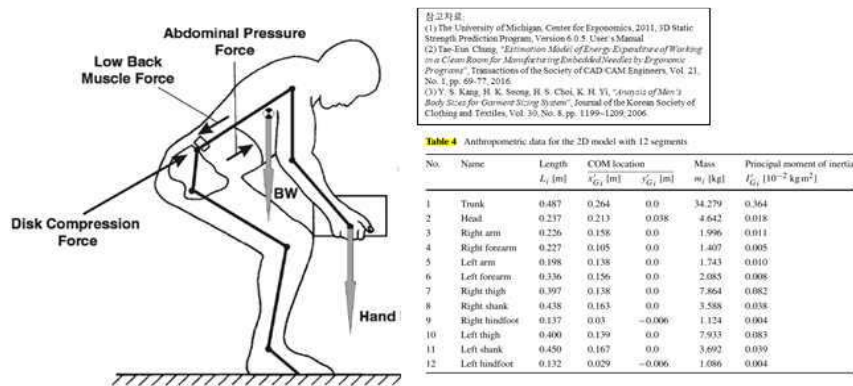
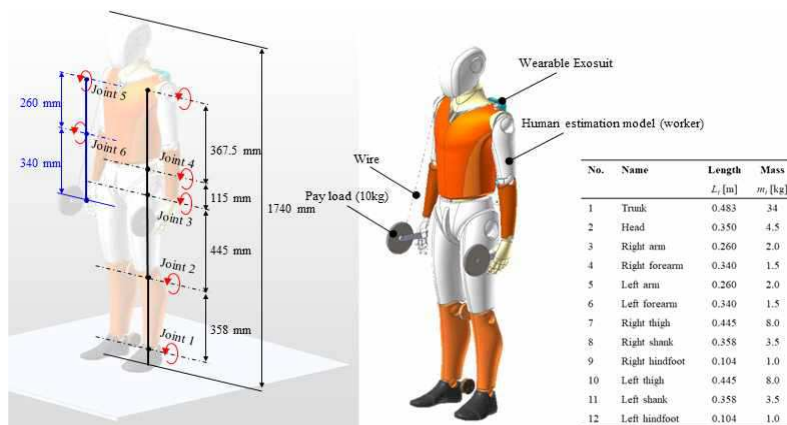


Fig. 2 Simplistic diagram of sagittal model^[9]

< 어시스트 슈트 하중 분석을 위한 자료 조사 필요 데이터 정리 >

- 농작업을 수행할 때 작업자의 관절에 요구되는 하중을 분석하기 위해 동역학 프로그램(RecurDyn) 상에서 피실험자, 바닥, 가반하중 등에 해당하는 3D 모델링을 구현하고 접촉면, 중력 등 물리학적 파라미터를 적용하여 시뮬레이션 환경을 구성함.
- 작업 종류를 고려한 실증 평가 및 데이터 취득에서 수집된 관절 각속도 데이터를 구축된 시뮬레이션 환경의 각 관절에 적용하여 하중 분석을 수행함.

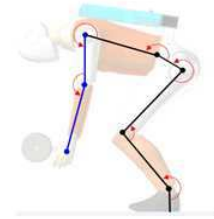


< 어시스트 슈트 하중 분석을 위한 시뮬레이션 환경 구축 >

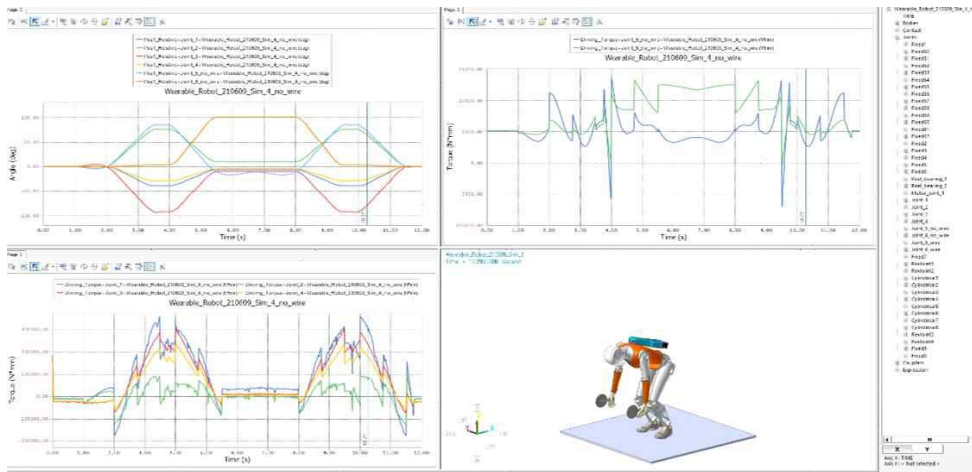
- 산출된 하중분석 결과 값 중 하지(관절2, 관절3)와 상지(관절5, 관절6)슈트 개발에 필요한 데이터를 분석하여 웨어러블 통합 슈트 시스템의 구동부, 전장부, 제어부에 필요한 사항을 파악하고 설계에 반영함.

- 하지(무릎, 고관절)과 상지(어깨, 팔꿈치) 각도, 각속도 분석
- 하지(무릎, 고관절)과 상지(어깨, 팔꿈치) 하중(지지토크, 최대토크) 분석
- TSA 와이어 요구 수축 길이 분석
- TSA 와이어 요구 장력 분석
- TSA 와이어 요구 힘 특성 분석

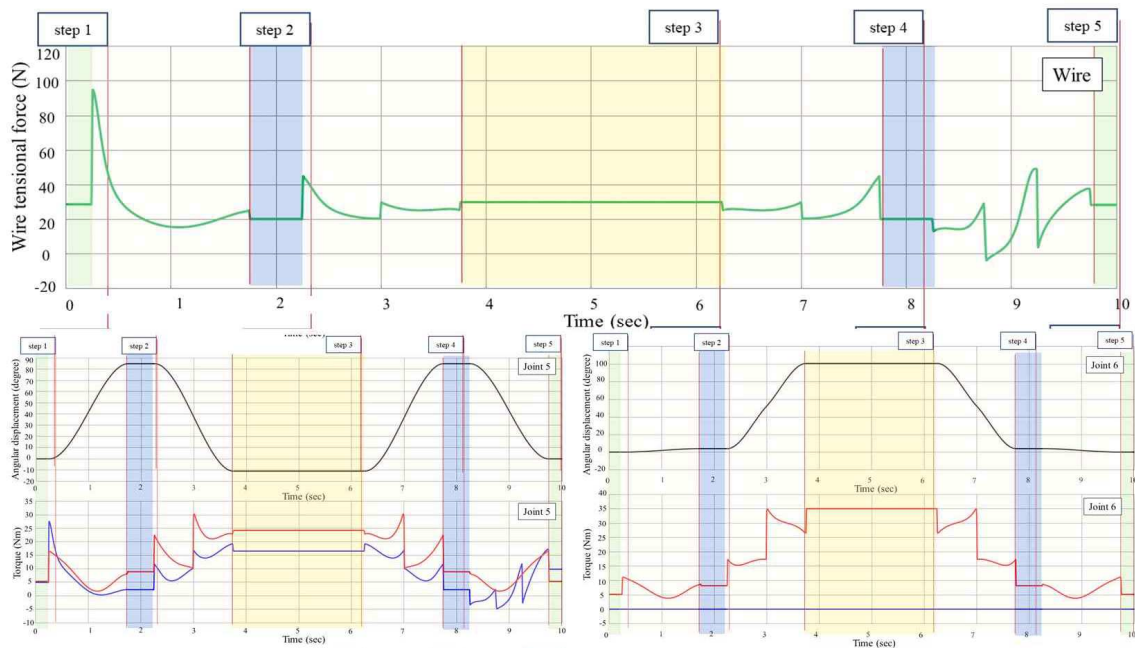
Process (step)	Angular displacement (degree)						Time (sec)
	Joint 1	Joint 2	Joint 3	Joint 4	Joint 5	Joint 6	
0	180	180	176	175	-7	172	2
1	219	104	268	204	-78	168	2
2	186	170	186	179	18	71	4
3	219	104	268	204	-78	168	2
4	180	180	176	175	7	172	2



< 실증 평가 취득 데이터 정리 및 시뮬레이션 환경 적용 >



< 동역학 시뮬레이션 결과 산출 예시 >



< 동역학 시뮬레이션 결과 분석(장력, 각속도, 관절토크 등) >


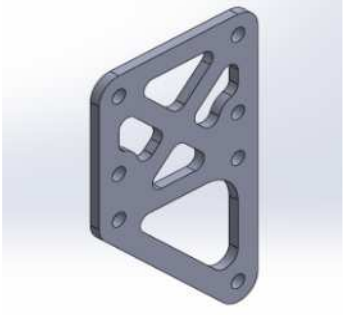


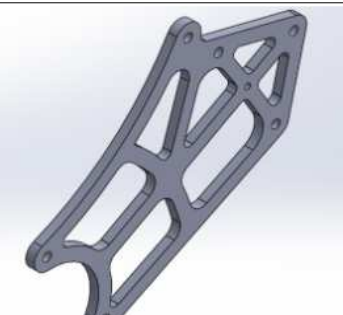
나) 하지 보조 슈트 기구부 설계

(1) 하지 보조 슈트 1차 설계

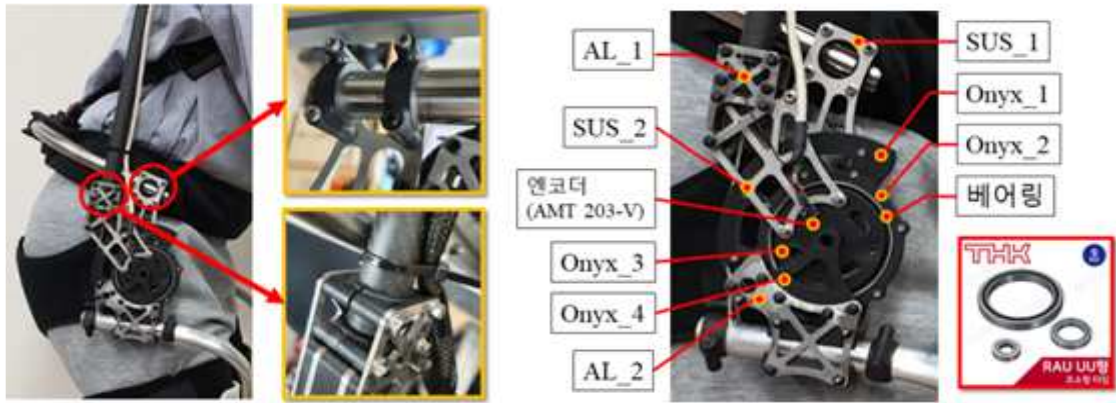
- 본 과제 1차년도에 하지 보조용 슈트 기구부 설계 및 시제품 제작을 수행하였으며, 노지 환경에서 상자의 운반 및 적재를 위한 관절의 자유도 확보, 상자를 운반함에 있어서 사용자를 도와줄 수 있는 근력 보조 기능, 장시간 착용에도 불편함이 없도록 착용성을 고려하여 설계를 진행함
- TSA 외골격 로봇의 링크(link)는 TSA 모듈과 힙 조인트 풀리를 연결하는 링크, 힙 조인트 풀리와 허벅지 보조 하네스를 연결하는 링크가 좌우로 각각 있으며 출력 전달 조인트(joint)는 좌우 힙 조인트 풀리로 TSA 구동 모듈의 출력이 와이어를 통해 전달되어 근력 보조를 수행함
- 힙 조인트 풀리와 연결된 허벅지 보조 하네스는 착용자의 고관절 움직임에 따라 착용성을 방해하지 않아야 함으로 2자유도를 가지도록 설계됨
- 하지 기구부는 구성으로는 크게 힙 조인트 풀리, 허리 마운트, 허벅지 보조 마운트, 둔부 하네스의 4가지 구성으로 나누어지며 각각의 기능은 다음과 같음
- 힙 조인트 풀리는 상지 TSA 모듈의 회전 마운트에 거치된 와이어와 풀리를 연결하여 TSA 구동시 발생된 수축력을 풀리의 회전으로 전환하여 착용자의 근력 어시스트에 요구되는 토크를 발생시킴
- 허리 마운트는 힙 조인트 풀리와 상체 하네스를 연결하여 풀리에서 토크 발생시 일어날 수 있는 프레임의 뒤틀림을 방지함
- 허벅지 마운트는 힙 조인트 풀리에서 발생된 토크를 착용자의 허벅지에 정확히 전달될 수 있도록 함
- 둔부 하네스는 TSA 구동 시 힙 조인트 회전 중심의 불일치에 의한 힙 조인트 토크 출력 저하를 방지하고 상체 하네스와 허벅지 마운트에 집중되는 힘을 분산시켜 착용성을 높임

이미지	부품명	비고
	<p>힙 조인트 플리 (Onyx)AMT203-V</p>	<p>엔코더 AMT203-V 마운트 및 베어링 연결</p>
	<p>힙 조인트 플리 (Onyx)limiter</p>	<p>힙 조인트 플리 회전 각도 제한</p>
	<p>힙 조인트 플리 (Onyx)side_frame_mount</p>	<p>(SUS_1)side_frame과 (SUS_2)side_frame_c over 연결</p>
	<p>힙 조인트 플리 (Onyx)side_frame_support</p>	<p>(SUS_1)side_frame과 (AL_1)pipe_support 연결</p>
	<p>힙 조인트 플리 (Onyx)side_leg_mount</p>	<p>힙 조인트 플리와 허벅지 마운트의 leg_pipe와 연결</p>

이미지	부품명	비고
	<p>힙 조인트 풀리 (Onyx)string_mount</p>	<p>TSA 와이어 마운트</p>
	<p>힙 조인트 풀리 (SUS)pulley_inside_frame</p>	<p>베어링 및 (Onyx_4)sensor_holder_side와 연결</p>
	<p>힙 조인트 풀리 (Onyx_1)pulley_outside</p>	<p>TSA 와이어 마운트</p>
	<p>힙 조인트 풀리 (Onyx_2)pulley_inside</p>	<p>베어링 및 (Onyx_4)sensor_holder_side와 연결</p>
	<p>힙 조인트 풀리 (Onyx_3)AMT203-V_cover</p>	<p>엔코더 AMT203-V 마운트 및 베어링 연결</p>

이미지	부품명	비고
	<p>힙 조인트 폴리 (Onyx_4)sensor_holder_side</p>	<p>엔코더 회전축 및 (AL_2)leg_holder와 연결</p>
	<p>힙 조인트 폴리 (AL_1)pipe_support</p>	<p>TSA 서포트와 힙 조인트 폴리 연결</p>
	<p>힙 조인트 폴리 (AL_2)leg_holder</p>	<p>힙 조인트 폴리 허벅지 마운트 연결</p>
	<p>힙 조인트 폴리 (SUS_1)side_frame</p>	<p>허리 마운트 & TSA 서포트를 힙 조인트 폴리 연결</p>
	<p>힙 조인트 폴리 (SUS_2)side_frame_cover</p>	<p>허리 마운트 & TSA 서포트를 힙 조인트 폴리 연결</p>

< 힙 조인트 폴리 부품별 모델링 이미지 >



< 힙 조인트 폴리 어셈블리 사진 >

이미지	부품명	비고
	허벅지 보조 마운트 (ABS 마운트)leg_mount	벨크로 접착 후 허벅지 하네스 고정
	허벅지 보조 마운트 (AL 파이프)leg_pipe	90°C 벤딩, 힙 조인트 모듈 및 ABS 마운트 연결

<허벅지 보조 마운트 부품별 모델링 이미지 >



< 허벅지 보조 마운트 어셈블리 사진 >

이미지	부품명	비고
	<p>둔부 하네스 (Onyx_1)pulley_outside</p>	<p>힙 조인트 풀리 & 둔부 하네스 연결</p>
	<p>둔부 하네스 (Onyx_2)strap_holder</p>	<p>힙 조인트 풀리 & 둔부 하네스 연결</p>

< 둔부 하네스 부품별 모델링 이미지 >



< 둔부 하네스 어셈블리 사진 >

이미지	부품명	비고
	<p>허리 마운트 (Onyx)exo_frame_mount_side</p>	<p>힙 조인트 폴리 & 둔부 하네스 연결</p>
	<p>허리 마운트 (AL_1)허리 마운트</p>	<p>상체 하네스 & 힙 조인트 폴리 연결</p>

< 허리 마운트 부품별 모델링 이미지 >



< 허리 마운트 어셈블리 사진 >

- 작업자가 행동할 움직임의 의도를 측정하기 위하여 로드셀과 엔코더를 좌우 각각 1개씩 배치하여 TSA 모듈의 장력과 하반신 관절의 각도, 각속도의 데이터를 측정함

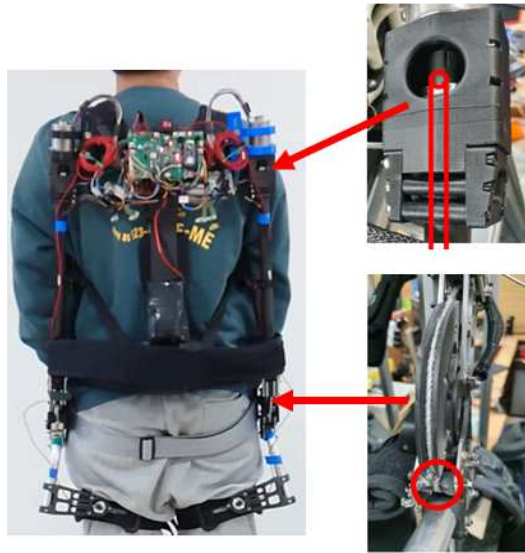
이미지	부품명	비고
	<p>장력 측정 로드셀 LTH300 - FSH00316 Donut Load Cell</p>	TSA 모듈 장력 측정 좌우
	<p>회전 각도 측정 엔코더 AMT203-V</p>	관절 각도 및 각속도 측정

< 착용자 의도 측정 센서 사진 >

- TSA 모듈 구동을 위한 모터와 와이어를 하네스 상지에 배치하는 것으로 TSA구동 시 필요한 와이어 수축길이를 확보하고 슈트 착용시 무게중심을 분산시킴

이미지	부품명	비고
<p>그림 67 EC-i 40</p>	<p>줄꼬임 모터 EC-i 40 Ø40 mm, 브러시리스, 100 Watt, 홀센서 버전</p>	TSA 모듈 구동 모터
<p>그림 68 D-Pro, 1 mm</p>	<p>줄 꼬임 용 와이어 D-Pro, 1mm</p>	TSA 모듈 장력 전달 와이어

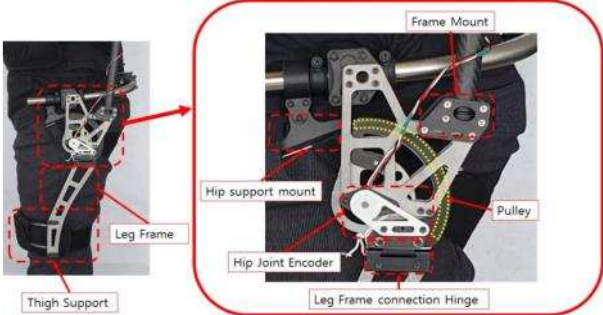
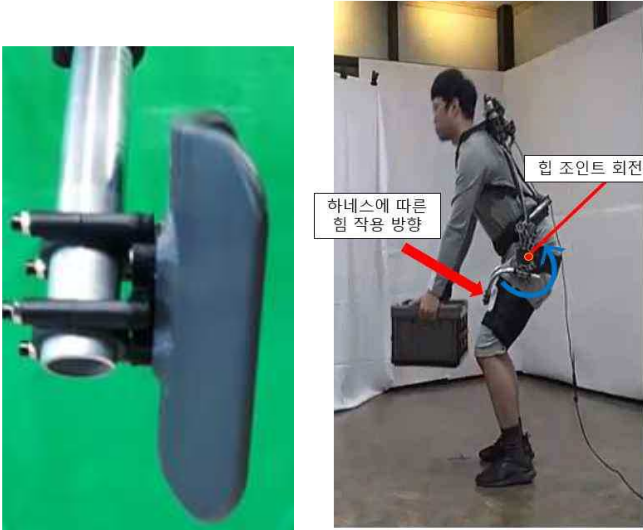
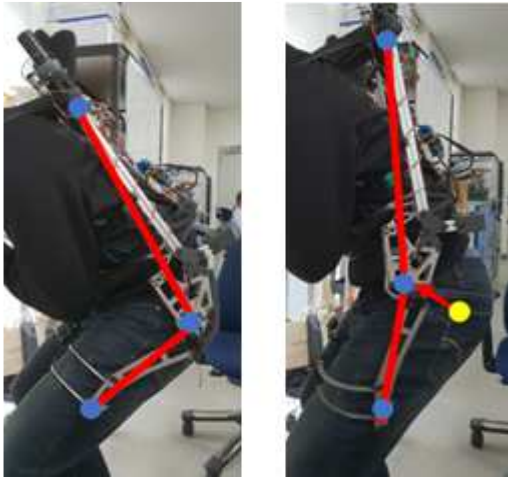
< TSA 모듈 구성 부품 >



< TSA 모듈 배치 사진 >

(2) 1차 시제품 하지 보조 슈트(1차 설계) 기구부 개선 개발

- 하지 보조 슈트의 기능 및 구동성 테스트를 지속적으로 수행하였으며, 이에 따른 문제점을 아래와 같이 분석함

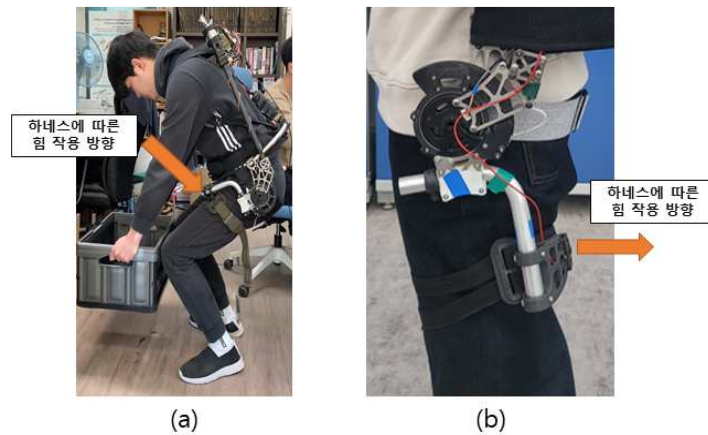
순	항목	내용
1	힙 조인트 풀리	<p>조인트 회전축의 뒤틀림에 의한 회전마찰 발생 및 센서 성능 감소</p> 
3	허벅지 보조 마운트	<p>ABS 마운트가 앞에서 뒤로 미는 방식으로 사용자의 허벅지 두께 및 모양에 따라 마운트의 뒤틀림 발생</p> 
4	둔부 하네스	<p>힙 조인트 회전중심이 이동하여 토크 출력 손실 발생</p> 

- 상기의 1차 설계에서 발생한 문제점을 개선한 2차 설계를 진행함
- 기존 힙조인트 풀리에서 크로스 롤러 베어링과 플라스틱 베어링 추가하여 회전마찰 저감을 방지하고 뒤틀림 방지와 축하중 분산을 수행



< 개선 후 힙조인트 풀리 사진 및 어셈블리 >

- 허벅지 보조 마운트의 힘 작용 방향을 앞에서 미는 방식 대신 뒤에서 당기는 방식으로 변경

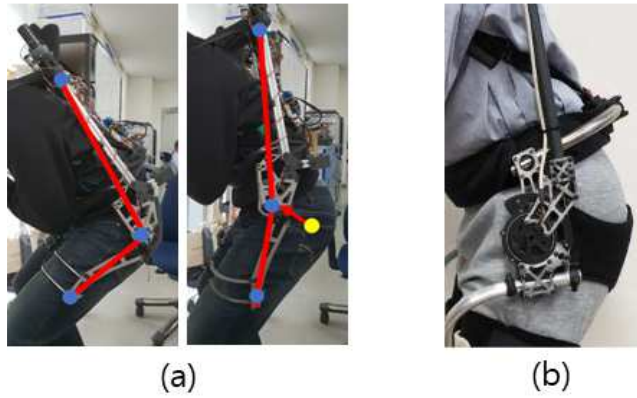


< 개선 (a)전 (b)후에 따른 허벅지 보조 마운트 사진 >



< 개선 후 둔부 보조 하네스 사진 및 어셈블리 >

- 둔부 하네스 둔부 보조 하네스를 추가하여 힙 조인트 회전 중심을 일정하게 유지

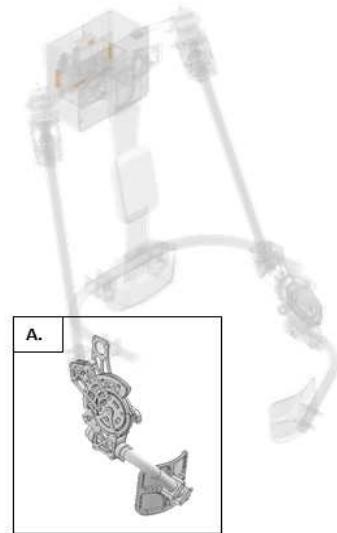
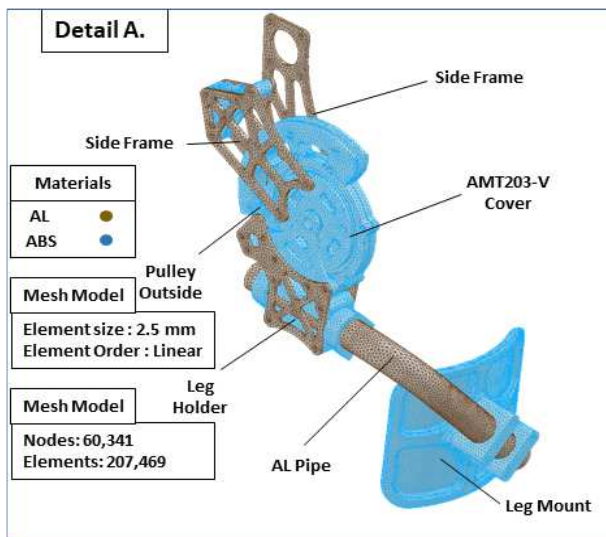


< 개선 (a)전 (b)후에 따른 둔부 하네스 사진 >

다) 웨어러블 슈트 착용자 어시스트 최적화

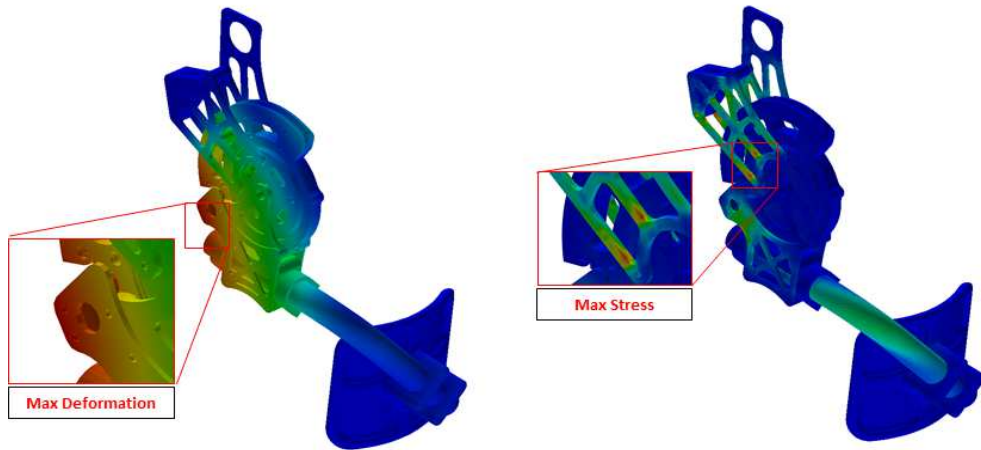
(1) 어시스트 슈트 해석 기반 하중 분석 및 기구부 설계

- 개발 시제품의 하중 분석을 통해 구동시 하중 집중 구역 및 변형 위험 부위 분석
- 현재 모터 출력된 동력은 힙 조인트를 통해 허벅지로 전달됨



< 힙 조인트 풀리 시뮬레이션 구조 구축 >

- 슈트 구동시 동력 전달로 인한 하중이 집중되는 힙 조인트를 분석하여 구조 취약점 확인
- 목표 하중(20kg) 인가 시 발생하는 토크와 이로 인해 발생하는 조인트 회전축의 뒤틀림과 파손 위험을 시뮬레이션을 통해 분석 수행함

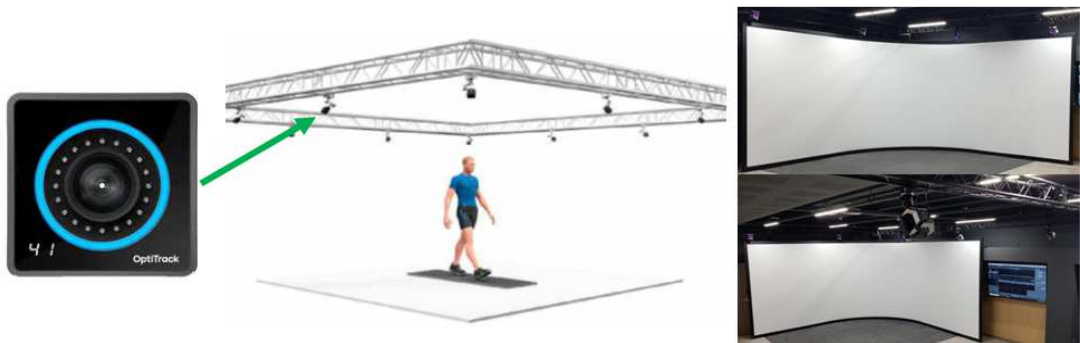


< 힙 조인트 폴리 시뮬레이션 분석 예시 >

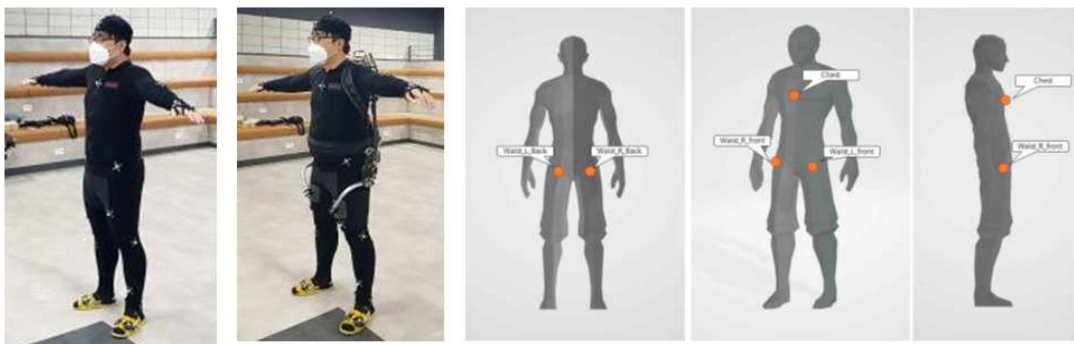
- 산출된 시뮬레이션 결과 값을 토대로 구조적 파손 위험이 없음을 확인
- 분석 결과 최고 변형 : 0.348mm, 최고 부하 : 37.9MPa로 변형 및 파손 위험 적음

(2) 3D 모션 시뮬레이션 분석

- 3차년도 개발 시제품의 작동모션 분석을 위하여 3D 모션 스캐너를 이용(한동대 협조)
- 3D 모션스캐너 이용하여 슈트 착용 후 작업 움직임 측정하여 무게중심 변화 및 자세 안전성 측정



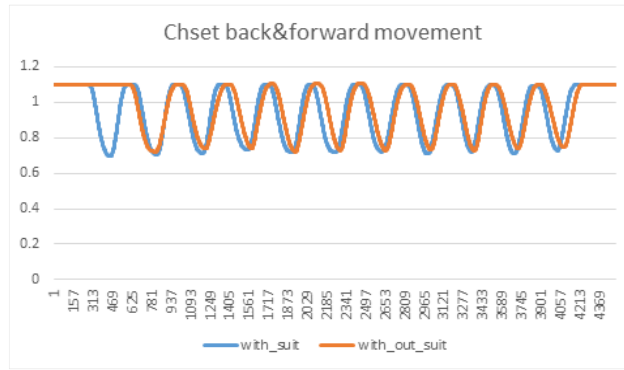
< Optitrack 광학식 모션 캡처 장비 및 환경 >



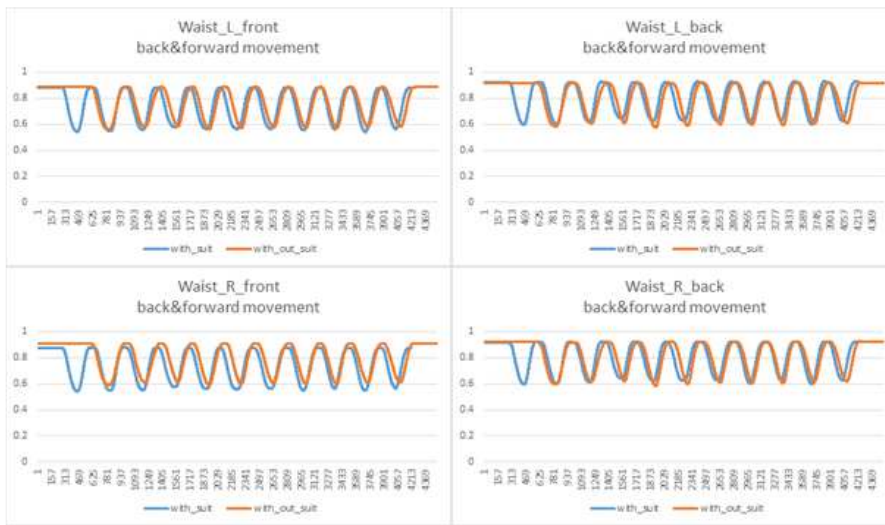
< 피 실험자 패시브 마커 위치 >

- 웨어러블 슈트 착용 및 미착용시 움직임 비교 분석
- 임의의 물체(크기 : 전장 40cm, 전폭 40cm, 전고 65cm, 무게 5kg)들기 작업 설정

- 35BPM으로 지면에서 60cm 높이로 들기 작업 반복
- 피실험자 모션 데이터 추출 후 Unity 소프트웨어로 골격 및 마커의 움직임 분석



< 피실험자 가슴 움직임 분석 >



< 피실험자 허리 움직임 분석 >

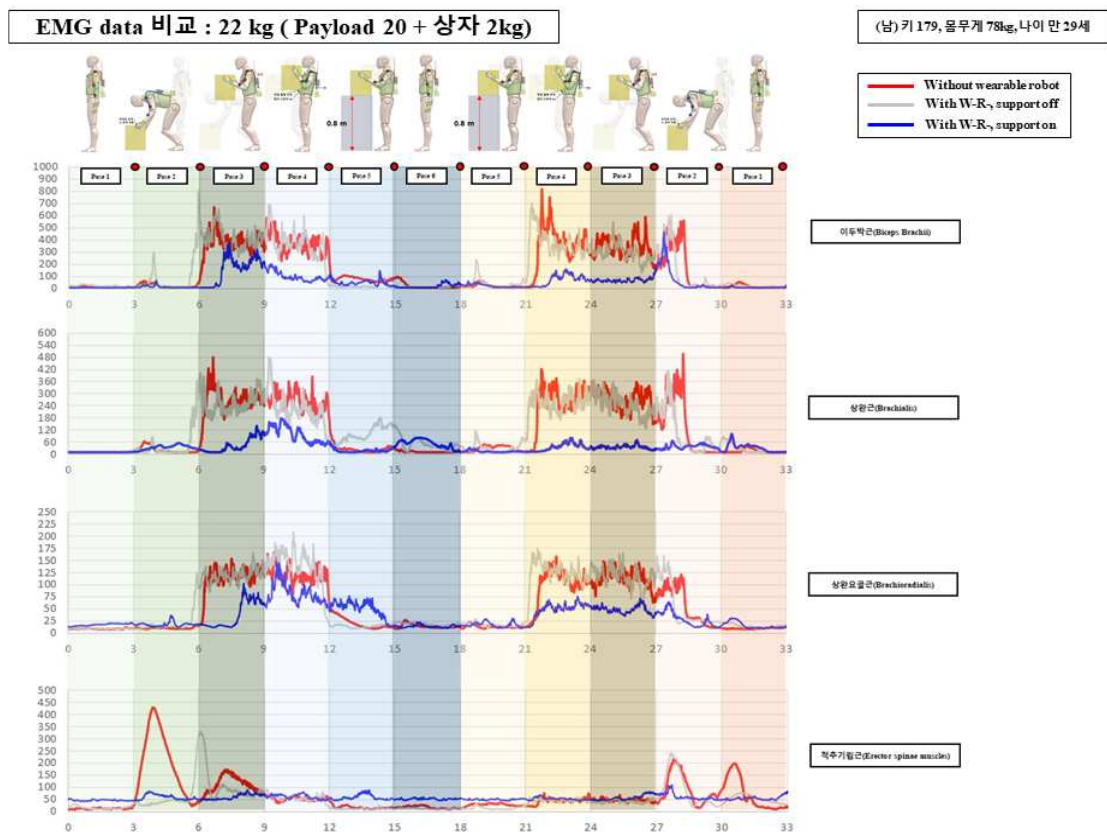


< 피실험자 가슴 및 허리 속도 분석 >

- 관측된 모션 데이터를 바탕으로 인체의 움직임 분석
- 이동 속도 비교 결과 초기 속도 이외에 슈트를 입은 상태와 입지 않은 상태의 속도차이가 크지 않음
- 모션 캡처로 얻은 각 마커의 움직임은 슈트를 착용하지 않았을 때의 가슴, 골반의 앞뒤움직임은 각각 최대 38cm, 32cm 이며 슈트를 착용하였을 때의 가슴, 골반의 움직임은 각각 최대 40cm, 33cm임
- 실험 데이터를 비교한 결과 슈트를 착용 전&후의 피실험자의 움직임에 큰 차이가 없으며 이는 슈트를 입은 상태에서 자세 안전성에 이상이 발생하지 않음으로 분석할 수 있음
- 비교 분석 결과 슈트 착용 전&후의 피실험자의 움직임 및 이동 속도에 큰 차이 없음 → 작업시 착용자의 움직임을 저해하지 않을 것으로 예상

(3) EMG센서를 이용한 근활성도 감소 측정

- 슈트의 착용 전&후의 이두박근, 상완근, 상완요골근 근활성도를 측정하여 작업효율 측정 수행
- 약 20kg 가량의 중량물의 적재하는 동작의 근활성도를 슈트 착용 후 보조력 발생시 결과에서 확실한 근 활성도 감소를 확인 할 수 있음



< 근활성도 비교 측정 데이터 >

- 측정한 근육별로 각각 이두박근 : 67% 감소, 상완근 : 67% 감소, 상완요골근 : 22% 감소를 확인 할 수 있음

(4) 사용자 작업시간 기반 배터리 용량 산정

- 농가 인터뷰를 통해 수확물 운반 작업시 연속 작업시간이 4시간을 초과하지 않음을 확인
- 슈트 착용후 작업시 소모되는 전류를 측정하여 예상되는 필요 배터리 용량을 산정

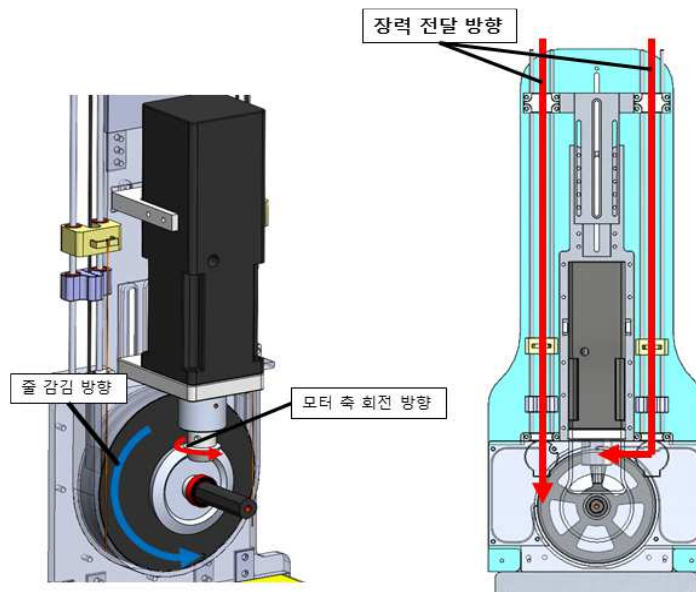


< 1주기 전류 소모량 측정 >

라) 상지 근력 보조를 위한 경량형 어시스트 슈트 설계

(1) 상지 보조 슈트 1차 설계

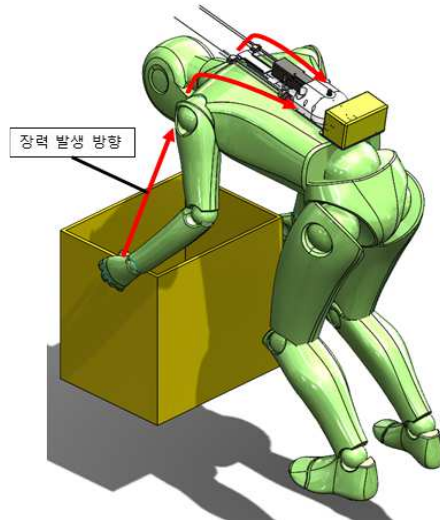
- 본 과제 1차년도에 상지 보조용 슈트 기구부 설계 및 시제품 제작을 수행하였음
- 상지 보조 슈트 1차 설계의 목적은 상자를 들어올리는 동작에서 작업자의 근피로도가 집중될 것으로 예상되는 척추기립근, 상완근, 이두박근, 상완요골근의 근력을 보조함으로 작업 피로도를 경감시키는데 있음
- 일반적인 웨어러블 슈트는 관절 자유도 1개 마다 구동기를 배치하는 구조를 가지고 있으며 이로인해 자유도 제한 및 배터리 용량 확보를 위한 슈트 전체 중량 증가의 문제점을 가지고 있음
- 위의 문제를 해결하기 위해 하나의 모터를 사용하여 양쪽 팔의 근력을 보조하는 외골격 슈트를 개발



< 상지 보조 1차 설계 디자인 >

- 1차 설계에서는 BLDC모터를 사용하여 장력발생 구동기를 설계함, 상자를 들어 올릴 때 양팔이 같은 높이에서 움직이는 점에 착안하여 단일 모터를 이용하여 양팔에

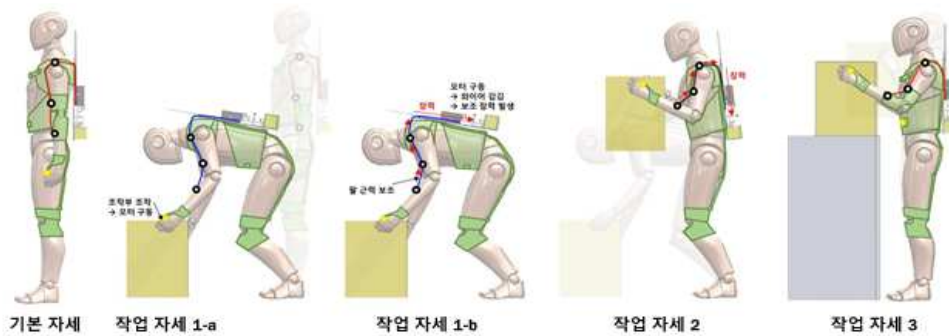
동일한 장력을 전달하는 것으로 근력보조를 수행함



< 장력 발생 시뮬레이션 >

- 모터 축에 연결된 기어가 모터가 회전함에 따라 와이어를 감을 때, 장력이 발생, 발생한 장력이 어깨를 지나 양쪽 팔에 전달, 전달된 장력이 양쪽 팔과 연결된 조작기를 상자와 어깨로 끌어올려지면서 하중을 들어 올리는 동작을 보조함

(2) 상지 보조용 슈트 1차 설계 성능 시험 결과 및 분석



< 상지 보조용 슈트 1차 설계 동작 시나리오 >



< 상지 보조 슈트 1차 설계 실험 >

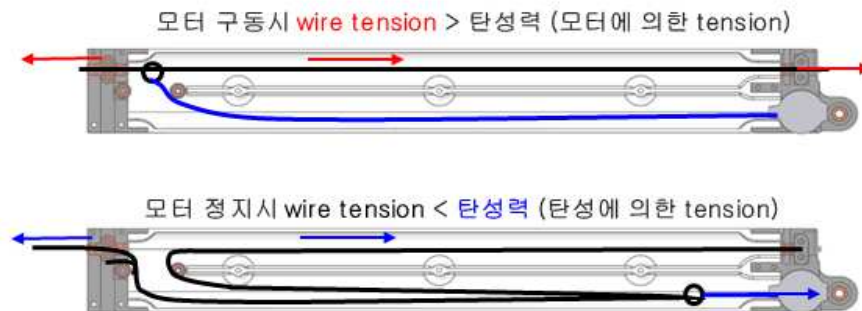
- 피험자의 손에 5kg, 10kg, 15kg, 20kg 부하 인계 후 반복 들기 동작 수행
- 성능 시험 분석 결과 58W급 모터로 20kg 상자를 동작 시나리오 수행이 가능
- 동작 테스트 과정에서 와이어 감김이 원활하지 않고 감김 릴에서 이탈하는 경우 발생하여 줄을 감을 때 감기는 줄의 보관방식을 개선할 필요가 있음
- 와이어에 의해 어깨에 인가되는 부하가 높아 착용자가 불편함을 호소함
- 하중 인가된 상황에서 구동기의 베벨 기어가 이탈하는 경우가 발생하여 작업안정성에 문제가 있음

(3) 상지 보조 슈트 2차 설계 및 개발

- 1차 설계의 경우 장력전달용 와이어의 감김 축 이탈, 하중 인가시 인체에 집중되는 부하 그리고 구동기에서 발생하는 기어축 이탈 등 문제점을 가지고 있으며 2차 설계에서 문제점을 해결하고자 설계 및 제작되었음
- 1차 설계에서 제안한 단일 모터를 이용한 제어를 유지하면서 기구 재설계를 통해 문제점을 개선하였음
- 2차 상지 보조용 슈트 개선점

→ 와이어 이탈 방지를 위한 와이어 텐서너 모듈 추가

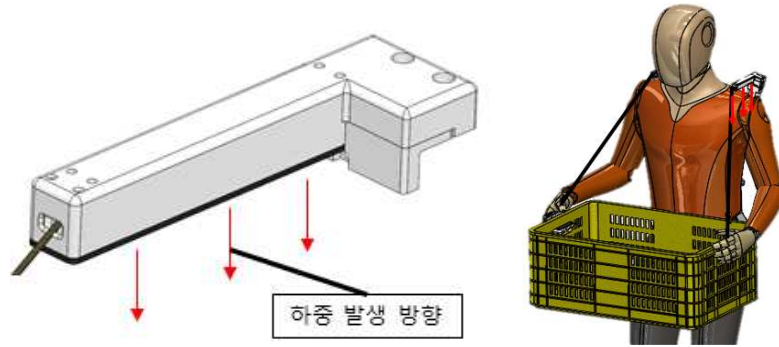
: 와이어 텐션을 일정하게 유지하는 텐션 모듈을 추가하여 모터가 동작하지 않을 때 와이어의 장력을 유지하여 텐션 모듈 밖에서 와이어가 이동하지 않도록 제한함, 또한 와이어 감김 릴에 모터 작동 여부와 상관없이 일정 이상의 장력을 유지할 수 있게 하여 감겨있지 않은 와이어를 보관하는 것으로 장력전달용 와이어가 기구부에서 이탈하는 것으로 방지



< 와이어 텐서너 모듈 메커니즘 >

→ 어깨에 인가되는 하중을 분산시키지 위해 부하 분산 부위 설계

: 기구부의 어깨에서 발생하는 하중을 인체와 접촉하는 부위를 넓힘으로 분산시킴

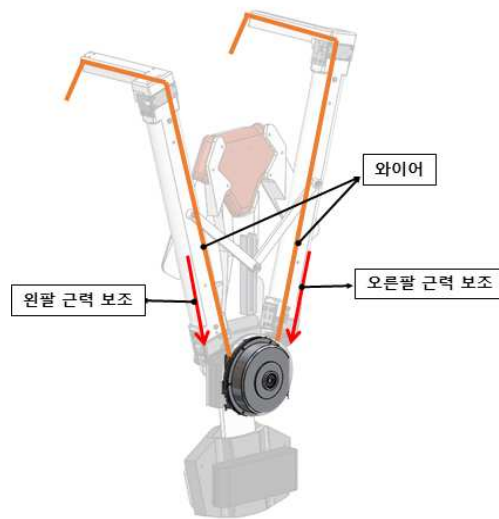


< 와이어 가이드 메커니즘 >

→ 양방향 구동기 설계

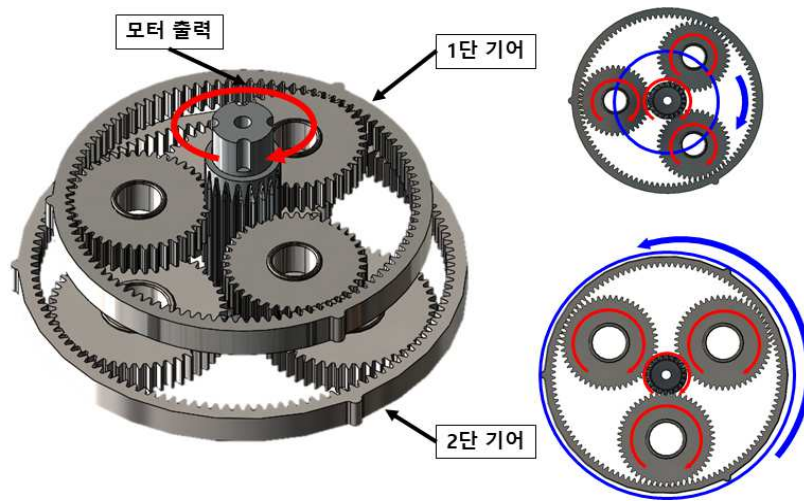
: 1차 설계에서 농업 작업에서는 좌우의 동작이 거의 유사한 점에 착안하여 1개의 모터로 2개의 와이어를 서로 다른 방향으로 구동하는 장치를 설계하였으나 한 방향으로 회전하는 릴에서 출력되는 2개의 와이어의 장력이 균일하지 않아 근력보조에 적합하지 않음, 또한 베벨기어를 통한 모터 출력 전달은 기어 축 간의 고정애 흔들림이 발생하면 기어 간의 맞물림이 풀려서 작업안전성에 문제가 되었음

: 위의 문제를 해결하기 위해 아우터 로터를 적용한 새로운 와이어 장력 전달 메커니즘을 설계하여 동일 장력 전달과 작업안전성 확보함



< 양방향 구동기 적용 모델링 >

→ 2단 유성기어를 적용하여 하나의 모터(동력발생원)에서 양방향으로 동일한 좌선 각도를 가지는 구동기를 설계하여 양방향에서 동일한 장력이 출력될 수 있도록 고안함



< 양방향 구동기 매커니즘 >

이미지	부품명	비고
	제 3 하우징 (AL 6061)Housing_base	베어링(6810zz) 조립 및 하반부 수용
	제 2 출력단 릴 (AL 6061)Ring_reel_1	동력 전달 및 와이어 감김
	제 1 출력단 릴 (AL 6061)Carrier_reel_1	동력 전달 및 와이어 감김
	스페이서 (AL 6061)Spacer_bottom	베어링(6810zz)와 링기어 사이 공간 확보
	유성기어커버 (AL 6061)Carrier_cover	제 1 출력단 릴과 베어링(6708) 연결
	제 2 하우징 (AL 6061)Housing_bottom	모터, 베어링(6708), 링기어 연결
	제 1 하우징 (AL 6061)Actuator_cover	베어링(6702zz) 조립 및 상반부 수용
	입력축모터결합부 (AL 6061)Rotor_end_1	베어링(6702zz) 조립 및 모터 축 연결

< 양방향 구동기 부품별 모델링 이미지 >

이미지	부품명	비고
	<p>1단 기어 (S45C)1단 기어</p>	<p>제 1 출력단 동력 전달</p>
	<p>입력기어 (S45C)Sun gear</p>	<p>모터 출력 전달</p>
	<p>제1 플래닛 기어 (S45C)Planetary gear_1</p>	<p>입력기어 동력 전달</p>
	<p>제 1 링 기어 (S45C)Ring gear_1</p>	<p>플래닛 기어 동력 전달 받아 출력단 전달</p>
	<p>제2 플래닛 기어 (S45C)Planetary gear_2</p>	<p>입력기어 동력 전달</p>
	<p>제 2 링 기어 (S45C)Ring gear_2</p>	<p>플래닛 기어 동력 전달 받아 출력단 전달</p>

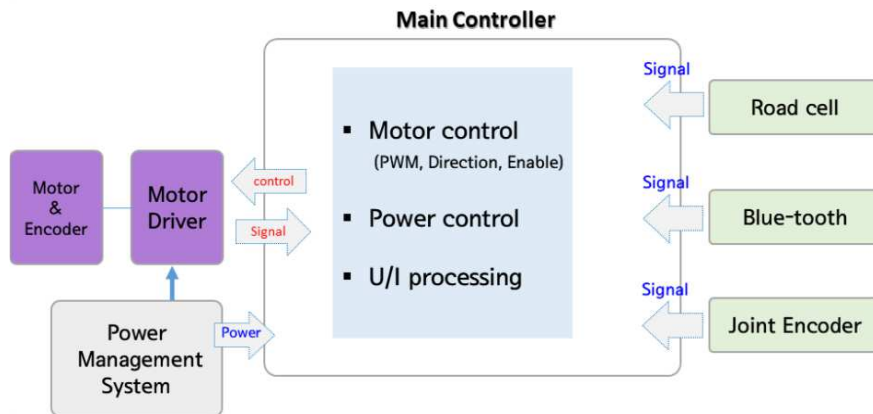
< 양방향 구동기 제 1기어, 제 2기어 모델링 이미지 >

○ 어시스트용 구동기 제어부 설계

가) 하지 보조 슈트(1차 시제품) 전장 및 제어부 개발

(1) 전장 구성도

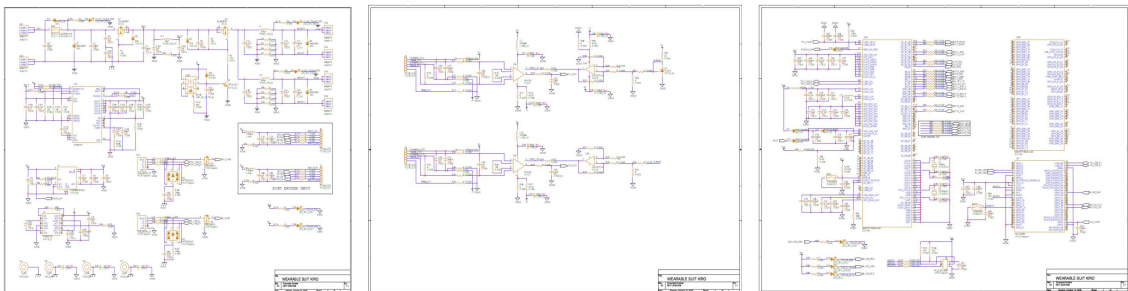
- 본 과제 1차년도에 하지 보조용 슈트 전장 제어보드 설계 및 시제품 제작을 수행하였음
- 메인 컨트롤러는 2개의 하위(Slave) 컨트롤러로부터 동작신호 및 조인트의 엔코더 신호를 입력받게 되며, 로드셀로부터 센서 신호를 입력받음
- 입력받은 신호를 이용하여 와이어 꼬임 구동을 위한 모터를 제어하게 됨
- 배터리는 소형 및 경량화를 위한 소형 리튬이온 배터리를 적용하였으며, 신호처리와 모터 구동 전원을 하나의 전원으로 사용함
- 메인컨트롤러와 로드셀 증폭기는 효율성을 고려하여 기존 출시되어 있는 개발키트 보드를 활용하였음



< 하지보조슈트용 전장부 구성도 >

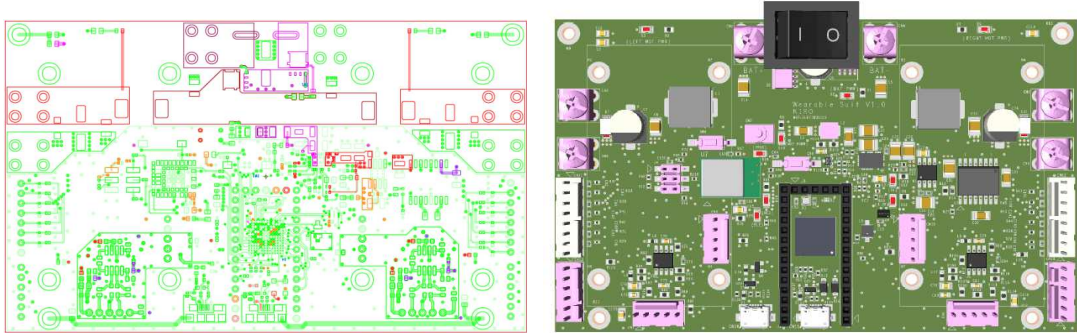
(2) 제어보드 회로설계 및 시제품 제작

- 메인컨트롤러(Teensy 4.0)은 슬레이브 제어기로부터 시리얼 통신을 통해 조인트엔코더의 회전각과 각속도를 입력받아 와이어 제어인자로 활용함
- 슬레이브 제어기는 조인트인코더와 SPI 통신 방식을 채용하여 회전각을 측정함
- 배터리 전원은 모터 구동와 제어 전원으로 구분되어 공급되며, 모터구동은 릴레이를 통해 모터로 전달되고, 제어 전원은 전원모듈 회로를 통해 MCU 및 모든 엔코더에 공급되게 됨



< 하지보조슈트용 제어보드 회로도 >

- 제작된 제어보드 시제품에 제어개발보드인 Teensy 보드, 블루투스 모듈, 로드셀 보드를 어셈블리하여 통합 전장 보드를 제작하였음
- 구동을 위한 소자들은 모두 SMD 소자를 적용하여 양산성을 선 고려하였으며, 소자들도 모두 자동차용 소자를 선정하여 온도 사양(-30~95도 이상) 및 부품 보증면에서 신뢰성을 확보하였음



< 하지보조슈트용 제어 PCB Art-work 모델링 >

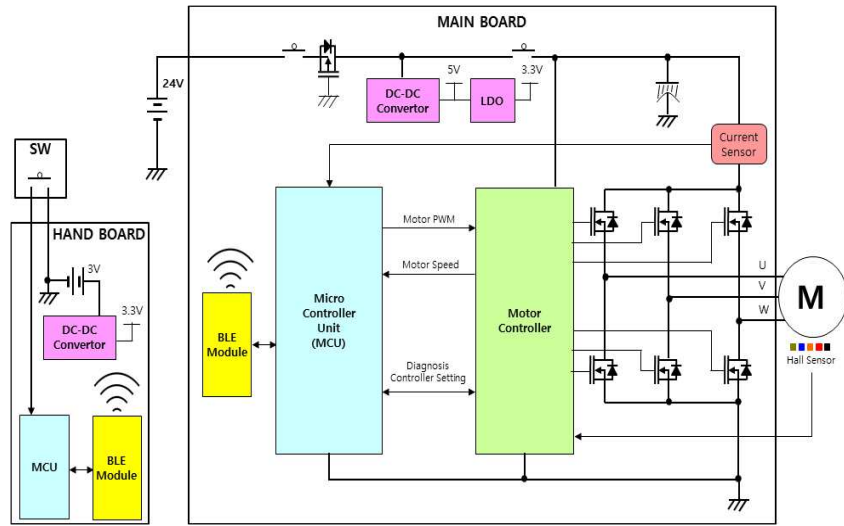


< 하지보조슈트용 제어보드 시제품 >

나) 상지 보조 슈트(2차 시제품) 전장 및 제어부 개발

(1) 전장 구성도

- 상지보조를 위해 사용자의 입력신호에 따라 와이어를 감고, 푸는 방식을 적용한 상지보조슈트 제어를 위해 2차 시제품 설계를 수행하였음
- 전장보드는 중량물을 리프팅 할 때 사용되는 손잡이에 별도로 구성된 사용자 입력부와 본체보드 2개로 구성되어 있음
- 사용자의 핸드 부분에 장착된 스위치보드와 통신보드는 사용자가 의도하는 와이어 동작(당김, 내림)을 수동 입력받아 블루투스 통신을 통해 메인제어보드로 송신하게 됨
- 제어부는 시스템 전원을 관장하는 전원부, MCU를 포함한 제어부, 제어명령에 따라 모터 구동을 수행하는 모터 구동부로 구성됨



< 상지보조슈트용 전장부 구성도 >

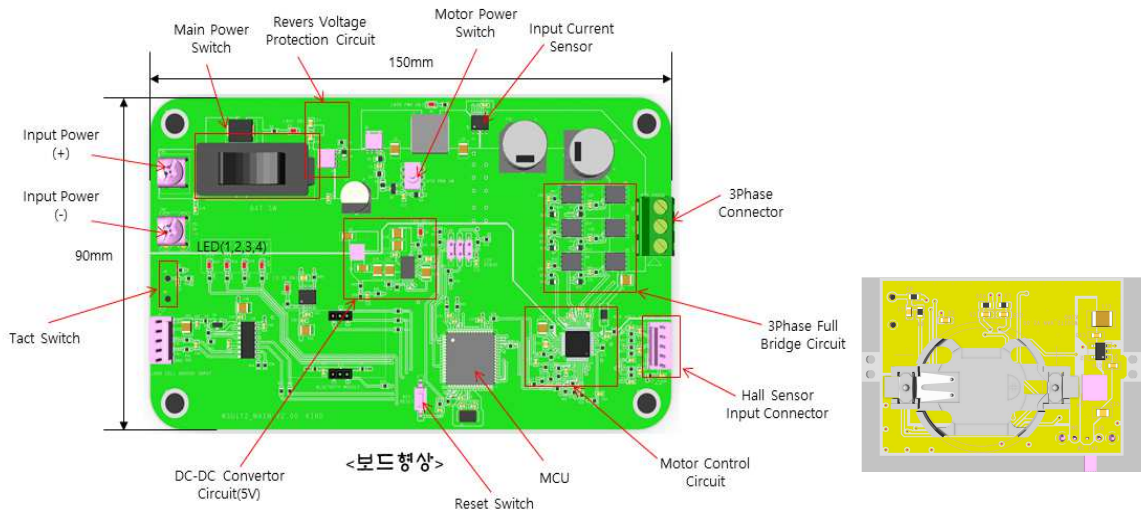
(2) 제어보드 회로설계 및 시제품 제작

- 전원부는 최대 42V까지 입력이 가능하며, 역전압 방지회로를 구성하여 외부 배터리 왜란에 의한 전원 안정화를 모색하였음
- DC-DC 컨버터를 통해 5V, 3.3V로 감압되는데 5V는 전류 센서, 모터 컨트롤러, 3.3V는 블루투스 모듈의 전원으로 사용됨
- 모터제어는 MCU와 모터컨트롤러로 구성되며 MCU에서 스위칭을 위한 PWM신호를 보내면 모터컨트롤러에서 3상 스위칭신호를 FET로 보냄
- 모터컨트롤러는 High Side FET의 on/off를 위해서 Charge pump방식으로 승압됨
- 모터의 홀센서 신호는 모터컨트롤러로 인가되어 스위칭 타이밍을 조절하고 로터의 위치측정을 위한 Tacho신호를 MCU로 보냄

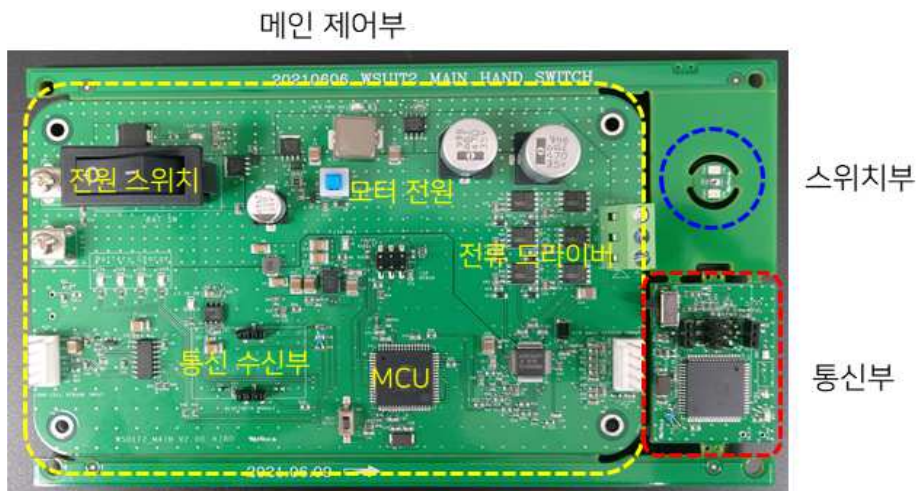


< 하지보조슈트용 제어보드 회로도 >

- 스위칭 패턴에서 발생하는 스위칭 노이즈가 최소화될 수 있도록 GND로 감싸고 다른 패턴과의 크로스를 최소화함
- 전류센서의 출력신호를 다른 신호노이즈로부터 보호하기 위해 크로스되는 신호가 없도록 함
- MCU의 크리스탈소저에서 발생하는 클럭신호를 보호하기 위해 베타그라운드를 구성하였음
- 3상 Full-Bridge 설계 : FET의 방열을 최적화하기 위해 VIA를 통해 TOP면과 BOTTOM면을 연결하고 동판의 면적을 넓혔음
- FET로의 적절한 전원공급을 위해 DC-LINK 캐패시터를 근접하여 구성하였음
- 시제품은 메인제어부, 통신부, 스위치부를 단일 기판에 어레이하여 제작한 후 커팅하여 분리하도록 설계하였음
- 블루투스 통신부는 제작된 메인제어부와 통신부에 상용 블루투스 모듈 (JMOD-BT-1)를 소켓핀을 통해 조립하도록 구성하였음



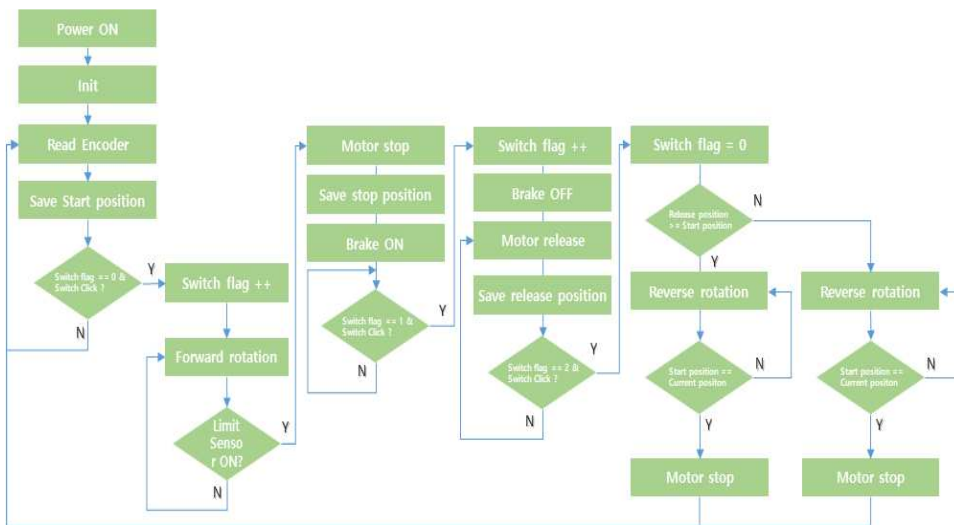
< 상지보조슈트용 제어 PCB Art-work 모델링 >



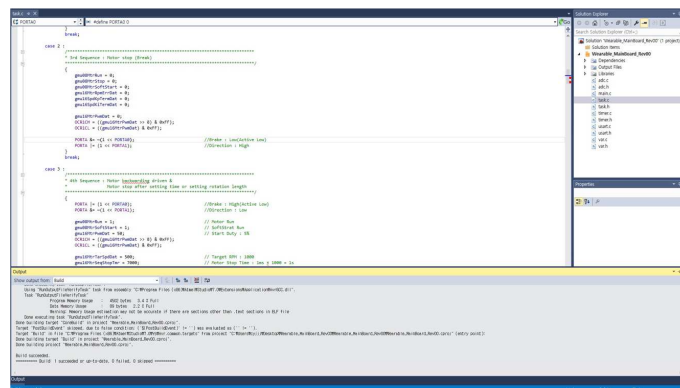
< 상지보조슈트용 제어보드 시제품 >

(3) 제어 로직

- 핸드 부분의 조작 및 통신부로부터 입력된 구동 명령에 따라 속도 프로파일을 추종하는 와이어 구동 구현
- 정지 후 동작버튼을 다시 누르면 와이어를 풀어 내리게 되며, 이때 와이어를 푸는 길이는 모터 엔코더를 통해 저장된 당김량을 연산하여 당긴 길이와 동일하게 풀 (초기 동작상태와 동일)
- 단일 버튼으로 동작하고, 하네스에 장착된 센서로 자동 정지되므로 사용이 용이함
- 모터 엔코더 신호 기반으로 와이어 당김, 푸는 양을 동일하게 자동 제어함
- 제어 코드 컴파일 및 디버깅을 위해 Micro-chip사에서 제공하는 펌웨어를 사용



< 상해보조슈트용 제어로직 순서도 >



< 제어코드 및 펌웨어 이미지 >

다) 하지 보조 슈트(1차 시제품) 개선 개발

(1) 1차 시제품 리뷰

- 하지보조슈트의 제어보드를 적용한 1차 시제품의 기능 및 구동성 테스트를 지속적으로 수행하였으며, 이에 따른 문제점을 아래와 같이 분석하였음

순	항목	내용
1	Hip joint encoder	<p>절대값 엔코더 AMT223B와 SPI 통신을 개발된 보드의 핀으로 연결하여 사용 시 신호 왜곡이 발생하여 엔코더 값이 제대로 읽히지 않는 문제가 발생</p> <p>절대값 엔코더 동작 점검 결과 (키본보드)</p>   <p>오실로스코프를 활용하여 각 신호 SCK, MOSI, MISO, L_CS를 확인하여 점검한 결과입니다.</p>  
2		<p>회로 노이즈로 추정되는 문제로 인하여 간헐적으로 우측 엔코더의 내부 메모리에 기록된 초기값이 변화되는 문제가 발생중임</p>  
3	Blue-tooth	<p>BLE 연결 시도 시 Fig1의 거리에서는 연결이 되나 Fig2와 같이 멀어질 경우 블루투스 신호가 끊김.</p>  

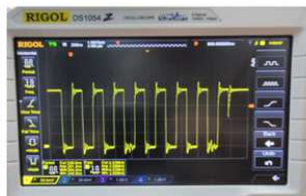
순	항목	내용
4	Road cell Amplifier	로드셀 제품의 특성으로 인해 기존의 차동신호 증폭기로는 사용이 불가능하여 로드셀패밀리 제품인 전용 보드를 상단부에 장착하여 사용 필요
		

(2) 개선 제어보드 회로 설계

- 상기의 1차 시제품에서의 문제점에 대한 개선사항을 반영하여 개선된 2차 시제품을 설계하였음
- 기존 힙 조인트 절대엔코더의 신호 왜곡 현상은 SPI 통신 라인에 적용되어 있던 노이즈 제거용 직렬 저항의 문제로 파악되어 제거 반영하였음
- 측정 결과, 정상 펄스파 형태의 SPI 통신 특성을 보였으며, 문제점은 보이지 않았음



SCK



MOSI



MISO

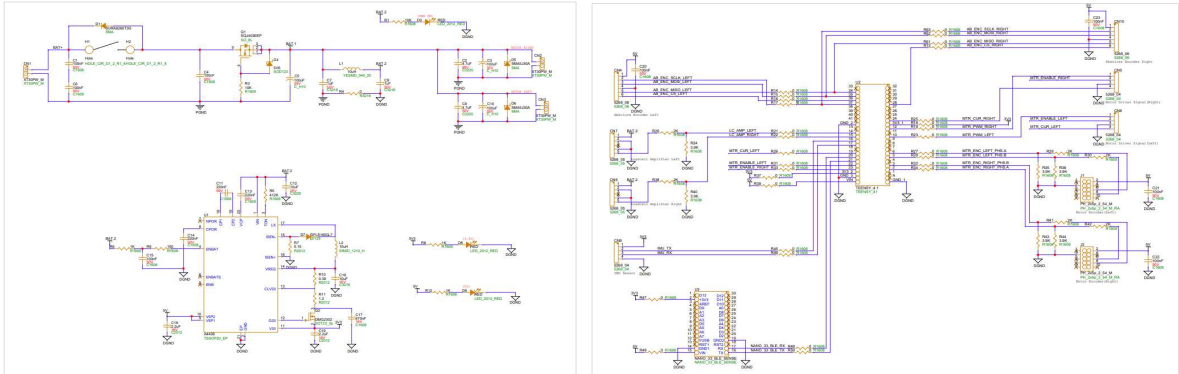


L_CS

< 절대엔코더 SPI 신호선 측정 >

- 엔코더 내부 메모리 간헐적 초기값 변화 문제는 전원 ON/OFF 발생하는 서지 노이즈에 의한 것으로 추정되나, 명확한 원인파악은 되지 않음
- 하지만 개선된 회로에서도 노이즈 영향을 최소화하기 위해서 최대한 짧게 신호선 길이를 설계하였고 측정 결과 초기값 변화 문제는 발생하지 않았음
- 블루투스 길이 문제는 소프트웨어적인 문제로 확인되었음. 블루투스 무선통신의 신호강도가 1차 시제품에서는 최소로 세팅이 되어있었으며, 개선 보드에서는 하드웨어 변경없이 신호강도를 최대로 설정하여 개선하였음

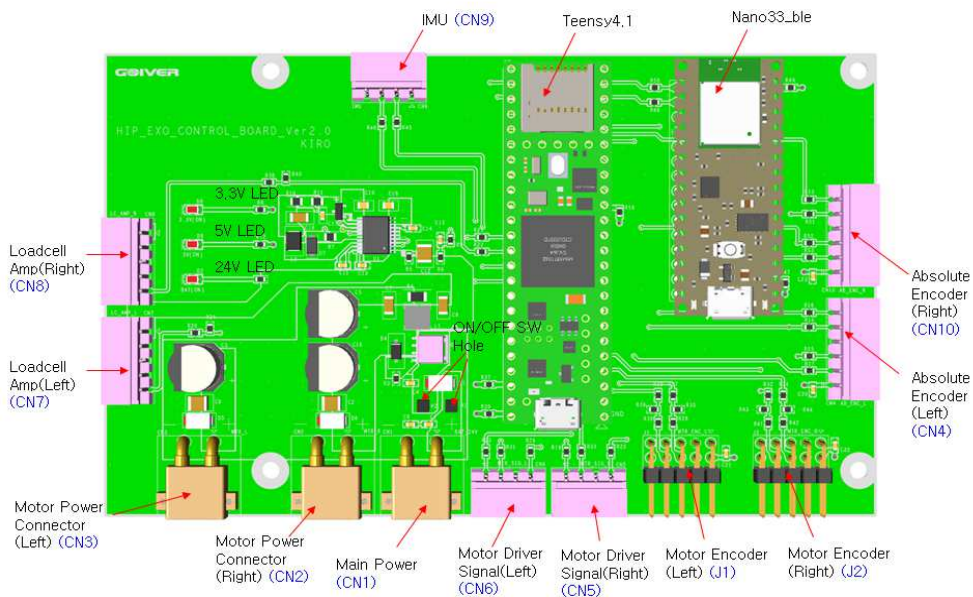
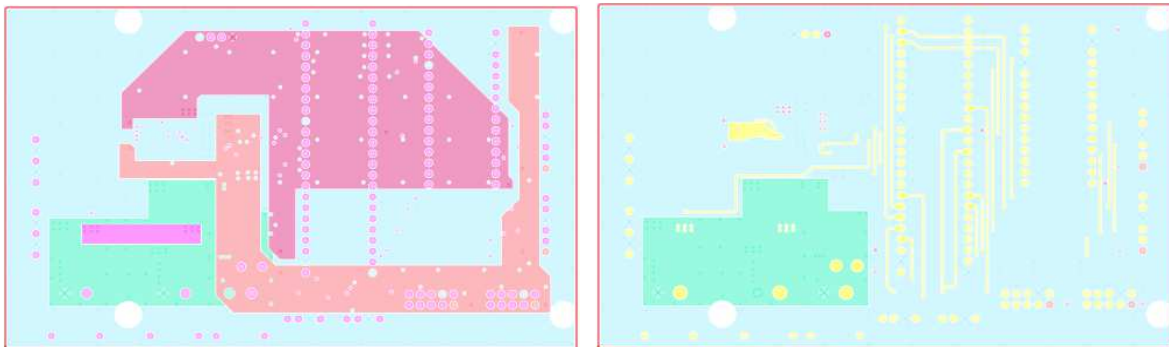
- 로드셀은 기존 로드셀 부품을 그대로 사용하면서, 제어보드 상단에 전용 신호처리 보드를 장착하고 커넥터로 연결하는 방식으로 설계하였음



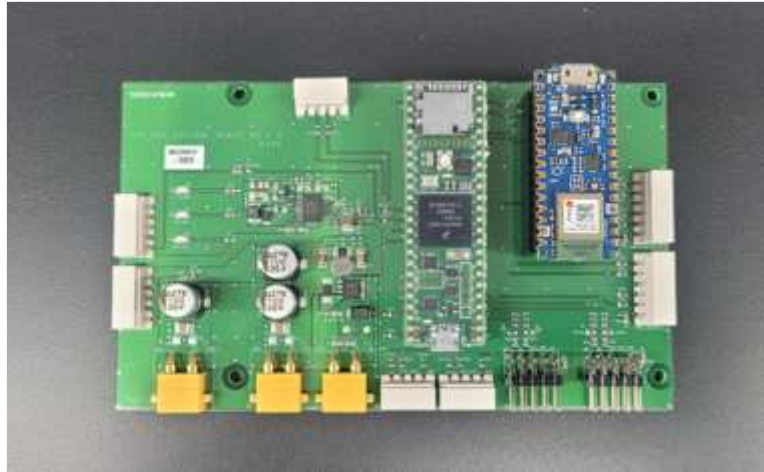
< 하지보조슈트용 개선 제어보드 회로도 >

(3) PCB 제작

- 2차 시제품은 외부에 장착되는 모터, 엔코더, 로드셀 제품의 배치 위치에 따라 연결이 용이하도록 PCB 외곽 부분에 커넥터로 연결할 수 있도록 하였음
 - : 좌우 양쪽에 대칭으로 부품이 배치되어 있고, 중앙 하단부에 배터리가 배치되어 커넥터도 좌우 대칭 구조에 전원부는 하단부로 구성
- 로드셀, 블루투스모듈, Teensy 보드는 보드 상단에 구성되도록 배치함



< 하지보조슈트용 개선 제어보드 Art-work 2D/3D 모델링 >

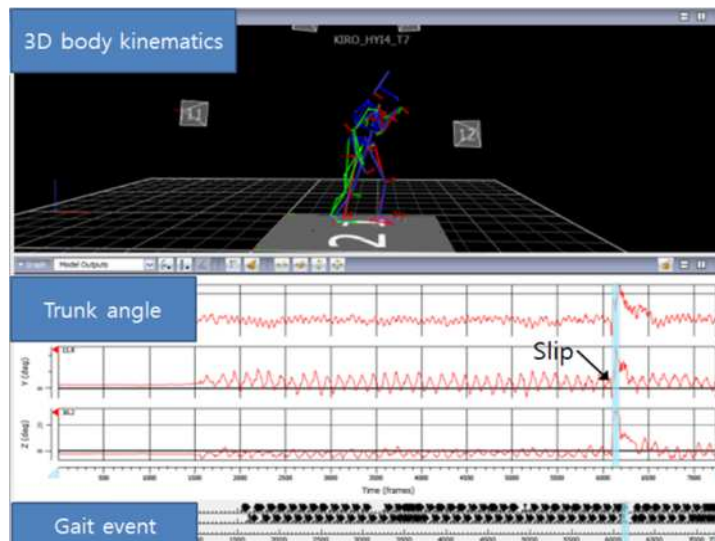


< 상지보조슈트용 제어보드 시제품 >

다) 슈트 작동 예측 및 안전 기능 고도화

(1) Kinematic, Kinetic, 근전도 (EMG), Brain activity 분석 방법론 및 알고리즘 개발

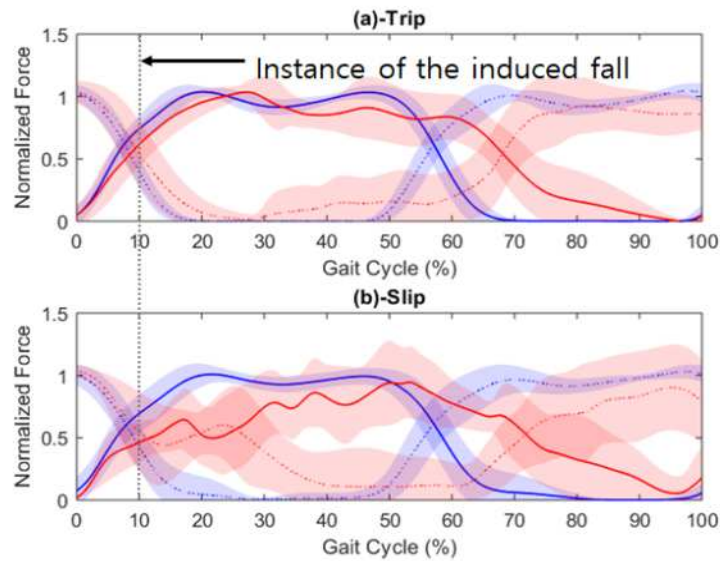
- Kinematics 분석 방법 및 알고리즘 개발 및 분석 완료
- Noise 제거 알고리즘 개발
- Body segment angle & angular dispersion
- Maximum body segment angle & velocity
- Center of Mass (COM) dynamics



< Kinematics 분석 >

- Kinetics 분석 방법 및 알고리즘 개발 및 분석 완료
- Noise 제거 알고리즘 개발
- Ground reaction force
- Joint force

- Joint moment
- First step response time



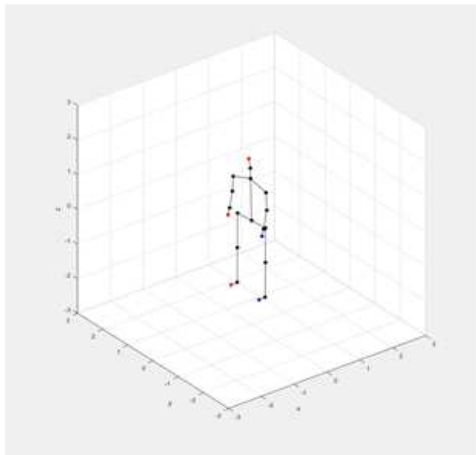
< Kinetics 분석 >

(2) 작업예측 추정 위한 학습기반 지능형 SW 개발

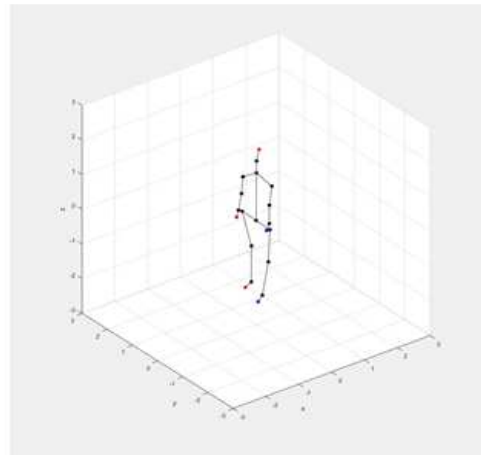
- 착용상태에 따른 오차보정을 위한 센서신호 전처리 기술 개발
- Global quaternion을 이용한 Pose 보정 기법에 의해 착용 조건(센서 부착 오차)/취득 위치(센서 축 정렬) 등의 변수 영향 최소화 가능
- 센서 착용시 Pose 보정을 하지 않더라도 학습기반 지능형 SW에서 착용 오차를 제거할 가능성이 있는 것으로 판단

※ 참고 자료

: 관절각 무게중심 추정 알고리즘 보고서



<Global quaternion을 활용한 자세 추정 결과(보정)>



<Global quaternion을 활용한 자세 추정 결과(무보정)>

< Global quaternion을 활용한 자세 추정 >

(3) 기계학습 기반의 예측 정확도 개선을 위한 특징 추출 전처리 기술 개발

- 무게중심 계산 알고리즘 구현 및 검증
- IMU센서기반의 분석기의 사실상의 표준으로 널리 쓰이는 Xsens사의 MVN

Awinda 시스템에서 제공하는 센서 데이터 및 CoG 데이터를 이용하여 무게중심 계산 알고리즘 검증

※ 참고 자료

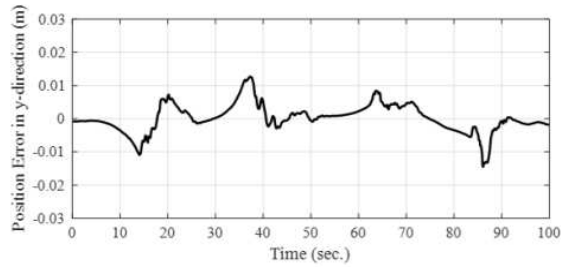
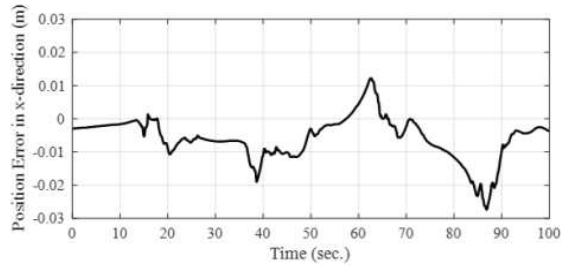
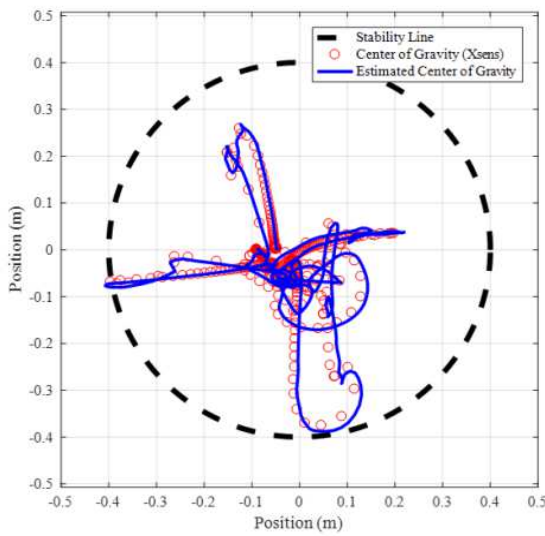
: 관절각 무게중심 추정 알고리즘 보고서

$$x_{GCOM} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{xi}}{\sum_{i=1}^n F_{xi}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_{ci}}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (2.1)$$

$$y_{GCOM} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{yi}}{\sum_{i=1}^n F_{yi}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_{ci}}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

where m_i is the mass of the i th body, x_{ci} , y_{ci} - location of the center of mass of the i th body.

< 무게중심 계산에 사용된 수식 >

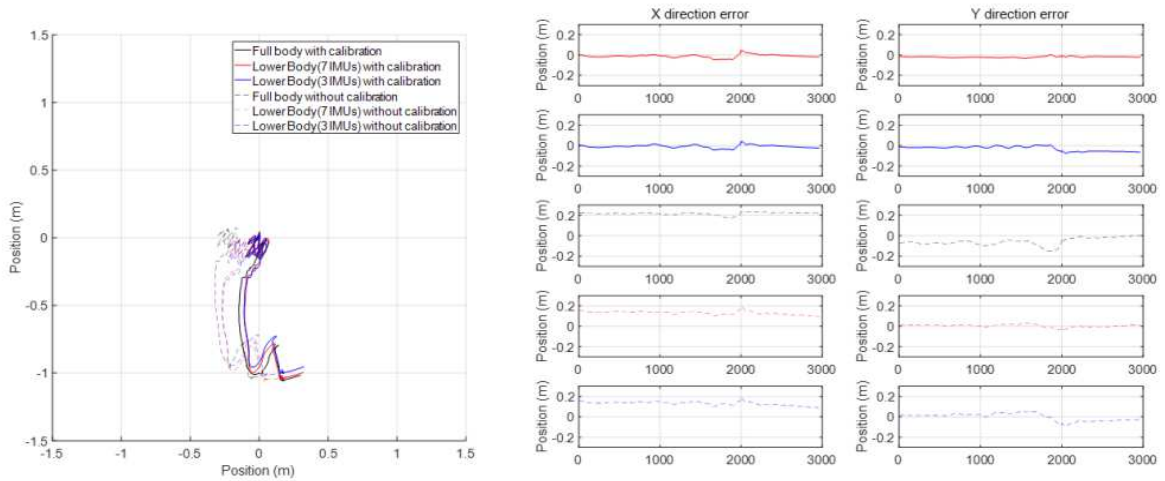


< Xsens의 CoG와 Xsens의 센서 데이터로부터 계산된 무게중심과의 비교 >

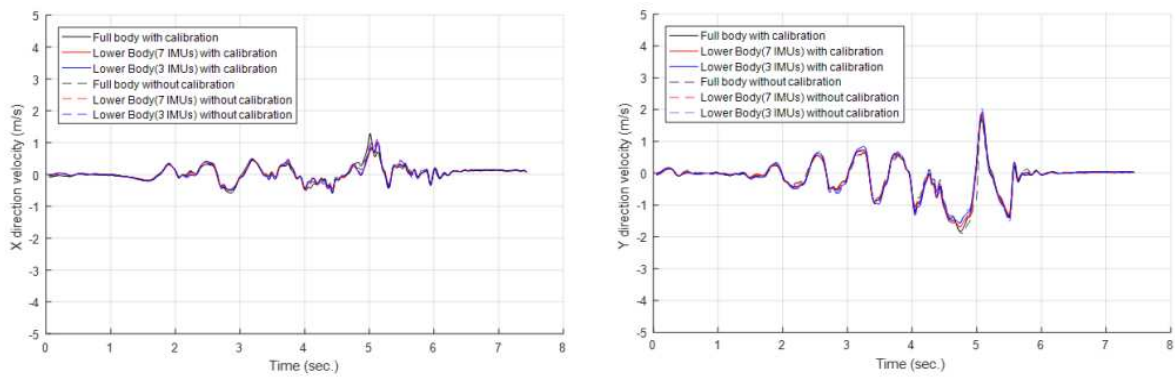
- 센서 개수, 보정과 무게간의 상관관계 분석
- IMU 기반 인체 모델링을 기준으로 각각 초기 보정 데이터를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우로 비교하여 총 6가지 경우에 대한 무게중심을 계산
- IMU 기반 인체 모델링과 관계없이 무게중심의 변화값은 동일한 것으로 추정 가능한 결과 보임
 - 센서의 개수, 보정과 관계없이 무게 중심의 변화만으로 행동 감지 및 예측이 가능

※ 참고 자료

: 행동 감지 데이터 특징 분석을 위한 IMU 기반 무게중심 특징점 추출 알고리즘 보고서



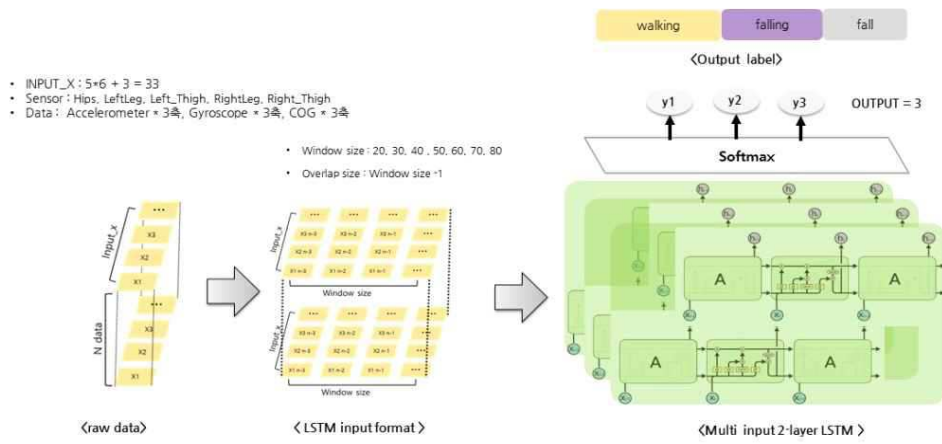
< IMU 기반 인체 모델링에 따른 무게중심 추정 결과 및 오차 >



< IMU 기반 인체 모델링에 따른 무게중심 변화율의 오차 >

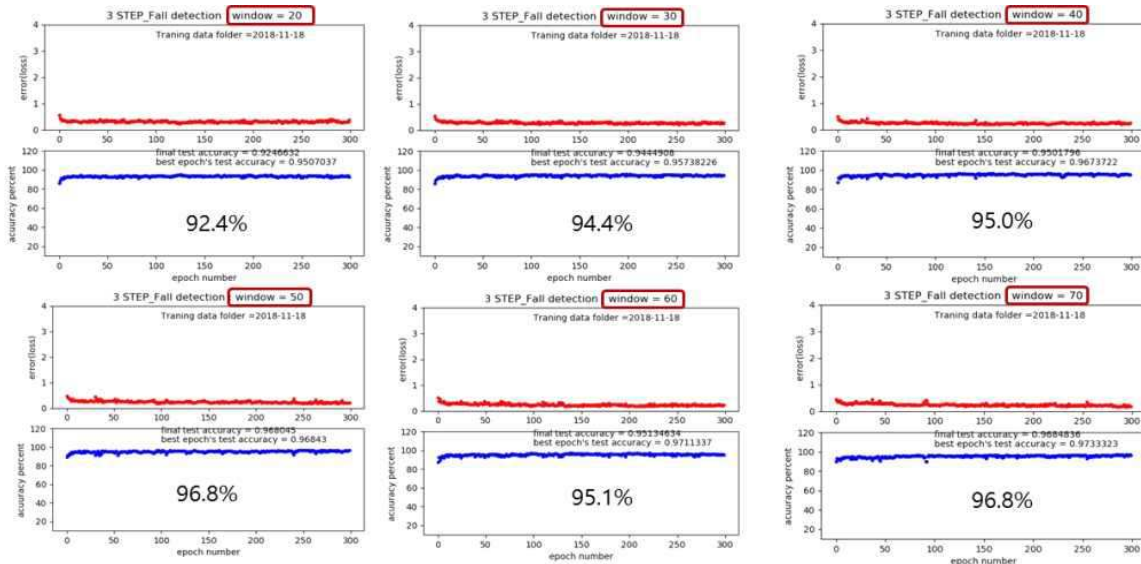
(4) 기계학습기반의 자세 추정 기법 설계 및 개발

- 시간상의 특징 처리에 RNN (Recurrent Neural Network) 계열의 LSTM (Long Short-Term Memory) 알고리즘을 사용
- 입력으로는 하반신에 해당하는 총 5개(hips , right upper leg, lower leg, left upper leg, lower leg)의 센서에서 출력되는 Accelerometer, Gyroscope 및 calibration COG data를 사용
- LSTM에 입력되는 센서 데이터 구조는 시계열의 특징을 반영하면서 Sample-by-Sample로 인식 결과를 얻을 수 있도록 1-Step으로 이동하는 sliding window를 사용



< LSTM을 이용한 자세 감지 SW의 구조 >

- 훈련된 모델을 이용하여 시험 데이터를 walking -falling- fall 의 3개의 state로 구분하는 예측 결과이다. Window size를 20에서 70까지 10씩 증가시키면서 학습 결과 추이를 관찰한 결과, Window size가 50 sample인 경우 좋은 결과가 나왔음.



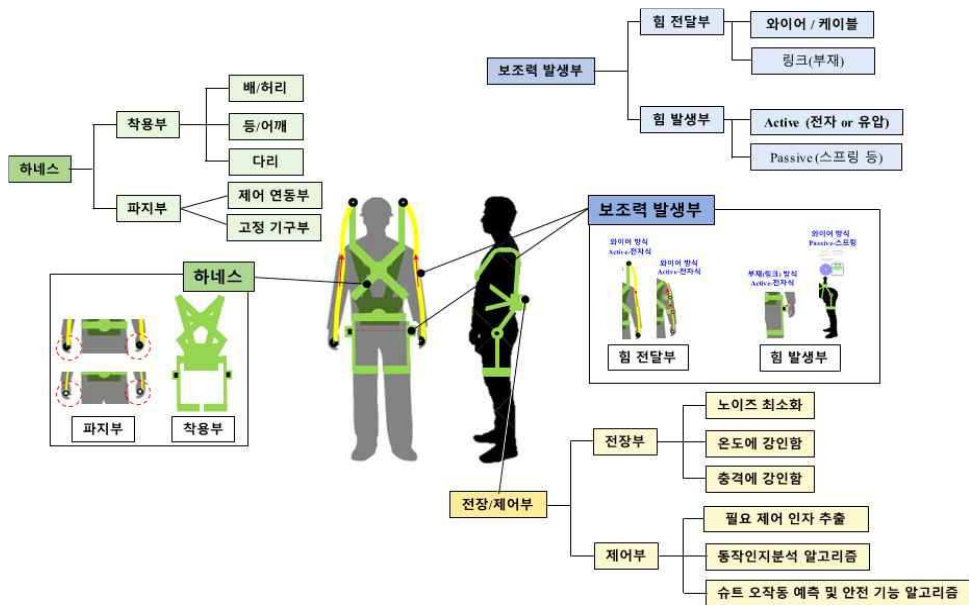
< LSTM을 이용한 행동 학습 인식 결과 >

라) 어시스트 슈트 시제품 통합 및 고도화

- 상지 하지 보조 시스템을 통합하여 전신의 근력에 대한 최적 보조를 수행하는 전신 보조 시스템을 설계함

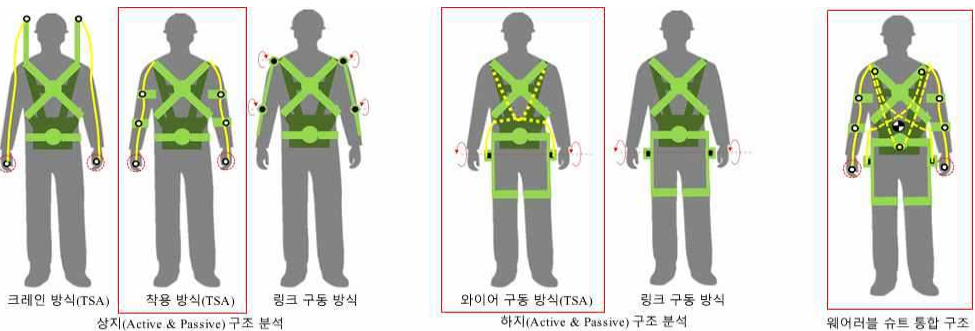
(1) 웨어러블 통합 슈트 최적 메커니즘 설계

- 웨어러블 슈트 통합 시스템의 기구 및 메커니즘 요소 기술을 분석함.
- 상지(Active) : 와이어(TSA) 구동(크레인식, 착용식), 링크 구동
- 상지(Passive) : 스프링 구동, 탄성 섬유 구동
- 하지(Active) : 와이어(TSA) 구동, 링크 구동
- 하지(Passive) : 스프링 구동, 탄성 섬유 구동



< 웨어러블 슈트 통합 시스템 기구 및 메커니즘의 요소 기술 분석 >

- 웨어러블 슈트 통합 시스템의 다양한 컨셉안에서 TSA 기술 적용에 효율적인 기구 및 메커니즘 특성을 분석함.
- TSA 기술을 적용하면 보조력을 발생시키고자 하는 관절부로부터 자유로운 기구(구동부)의 설계가 가능함.
- 링크 구조에 비해 신체 접촉면을 최소화 하여 착용성이 높은 슈트 구조로의 설계가 가능함.
- 결과적으로 상지와 하지 웨어러블 슈트를 통합 설계할 때 구성 부품중 무게 비중이 높은 구동부를 자유롭게 배치할 수 있기 때문에 착용시 하중부담이 적은 위치에 기구부 무게중심을 배치하는 설계를 적용할 수 있음.



< 웨어러블 슈트 통합 시스템 기구 및 메커니즘 특성 분석 >

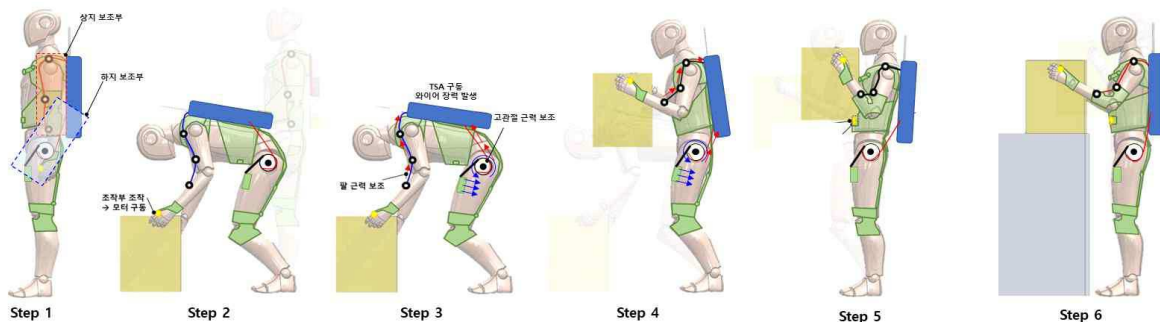
- 실증 평가 및 데이터 수집의 결과를 토대로 효율적인 작업이 가능한 웨어러블 슈트 통합 시스템의 메커니즘을 개발함.
- Step 1: 웨어러블 슈트를 착용하고 작업 준비를 함. 이 때 상지와 하지의 TSA 구동부는 초기 상태로서 와이어에 장력이 인가되지 않은채로 팔을 움직이거나 걸을 수 있는 상태임.
- Step 2: 지상의 작업물을 파지하고 조작부를 조작(첫 번째 조작)하여 모터를 구동시킴(wireless 통신).

- Step 3: 상지와 하지 슈트의 모터가 구동되며 상지와 하지의 TSA 구동부가 작동함. 이 때, 어깨와 팔꿈치(상지) 근력 보조와 고관절(하지) 근력 보조가 동시에 작용함.
- Step 4: 작업물을 들어올리는 동안 상지와 하지 근력에 대해 지속적으로 보조력이 발생하여 효율적인 작업 수행이 가능함.
- Step 5: 작업물을 들어올리는 과정이 끝나고 난 후 조작부를 조작(두 번째 조작)하면하지 보조부의 TSA 구동부는 초기 상태로 돌아가 걷는 동작이 가능해지며 상지 보조부에서는 물체의 무게를 버티는 정도의 보조력만 발생시킴.
- Step 6: 작업물을 내려놓는 곳까지 이동하여 조작부를 조작(세 번째 조작)하면 상지보조부의 TSA 구동부는 초기 상태로 돌아가며 물체를 내려놓을 수 있게 되고 최종적으로 웨어러블 슈트 시스템은 초기 상태로 돌아감.
- Step 1에서 step 6까지의 제어과정에서 슈트 작동 예측 및 안전 기능이 포함되어 안전한 슈트 운용이 가능함.
- 위의 동작을 1set로 가정할 때 착용자의 작업 상황(작업속도)에 따라 달라지므로, 4시간 작업시 다음과 같이 작업을 수행할 수 있음.

고속작업시(40bpm) : 600회/4h

평균작업시(30bpm) : 450회/4h

저속작업시(20bpm) : 300회/4h



< 웨어러블 슈트 통합 시스템 메커니즘 개발 >

○ 시스템 검증 및 설계 최적화

가) 작업자 대상 보조 성능 테스트

- 개발한 어시스트 슈트의 성능을 검증하기 위해 농업인의 업무환경을 조사하여 다양한 농작업에 따른 시나리오에 근거한 성능 평가 설계
- 개발된 시제품의 시스템 검증을 위해 아래 표와 같이 정량적 목표에 해당하는 가반하중, 웨어러블 슈트 가반하중, 착용 소요시간, 엑추에이터 내구성, 슈트 연속작동 시간, 웨어러블 슈트 착용시 근육 활성화도 감소율 총 5가지 항목에 대해 테스트를 수행

(1) 가반하중

- 외골격 슈트의 힙 조인트에서 발생하는 토크가 허벅지 마운트에서 지탱할 수 있는 최대 하중 평가

- 20kg 이상 중량의 박스를 웨어러블 슈트의 힙 조인트에서 들어 올릴 수 있는지를 테스트함

→ 시험 전경



→ 시험 결과

시험항목	정량목표	시험무게	리프트 여부	시험결과
가반하중	20kg 이상	22.49kg	가능	이상없음

(2) 웨어러블 슈트 중량

- 웨어러블 슈트의 중량을 전자저울로 측정하여 외골격 로봇(프레임, 제어기 등 전체)의 무게를 측정

→ 시험 전경



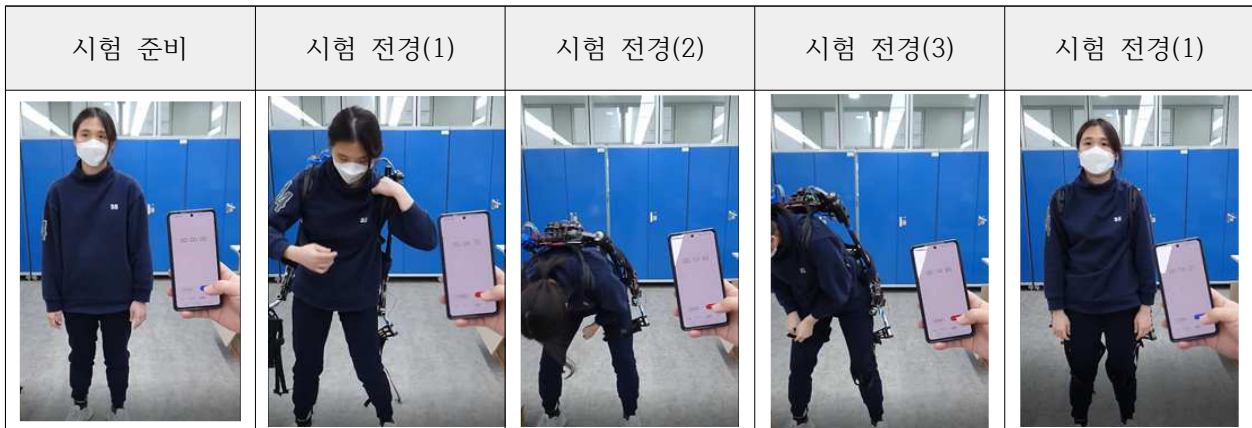
→ 시험 결과

시험항목	정량목표	시험무게	시험결과
웨어러블 슈트 가반하중	5kg 이하	4.91kg	이상없음

(3) 착용 소요시간

- 완전 탈착 상태에서 완전 착용상태까지 소요시간을 10회 반복 측정하여 평균 웨어러블 슈트 착용시간을 측정

→ 시험 전경



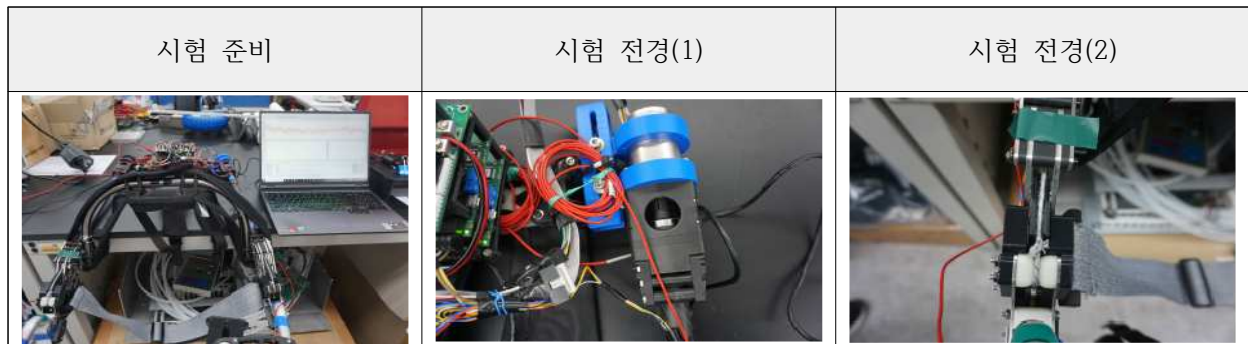
→ 시험 결과

시험항목	단위	소요시간										시험결과
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
착용소요시간	sec	21.1	22.8	22.5	22.4	23.8	23.9	22.9	23.0	22.9	21.2	이상없음

(4) 액추에이터 내구성

- 무부하 상태 액추에이터 4만회 반복 동작을 통한 내구성 평가

→ 시험 전경



→ 시험 결과

시험항목	정량목표	1회 소요시간	테스트 시간	이상유무
액추에이터 내구성	4만회 이상	약 2.7 sec	40 hour	이상없음

(5) 슈트 연속작동 시간

- 슈트 착용후 1회 동작 사이클 수행 시 소비전류를 측정하여 전체 사용가능 시간을 환산하여 검증함
- 1회 동작 사이클 : (1)직립대기 → (2)다리굽혀 상자 파지 → (3)다리 피며 상자들기 → (4)상자들고 적재장소 이동 → (5)적재장소 도착

→ (6)상자 적재 → (7)직립대기

→ 시험 전경



→ 시험 결과

시험항목	1주기 동작시간	1주기 전류	배터리 총 용량	예상 사용시간
연속 작동시간	16 sec	2.8 A	129.6 Wh	41.14 hour

○ 어시스트 슈트 사용자의 근 활성화도 기반 효과 평가 및 분석

가) 근 활성화도 테스트 케이스 설계

- 개발된 시제품의 성능을 평가하기 위해 EMG 센서를 이용한 근활성도 비교 평가를 수행함
- 실제 농가에서 수행할 것으로 예측되는 움직임을 분석하기 위해 농업인 청취 및 농가 환경 분석 수행



< 과수 수확 환경 분석 >

(1) 주요 움직임 타겟 분석 및 테스트 환경 구축

- 농작업 시 주로 수행하는 과수수확 상자 적재 움직임의 1회 동작 사이클을 분석하여 EMG 테스트 동작 선정
- 작업 동작 동안 웨어러블 슈트 착용전과 후의 근활성도를 측정

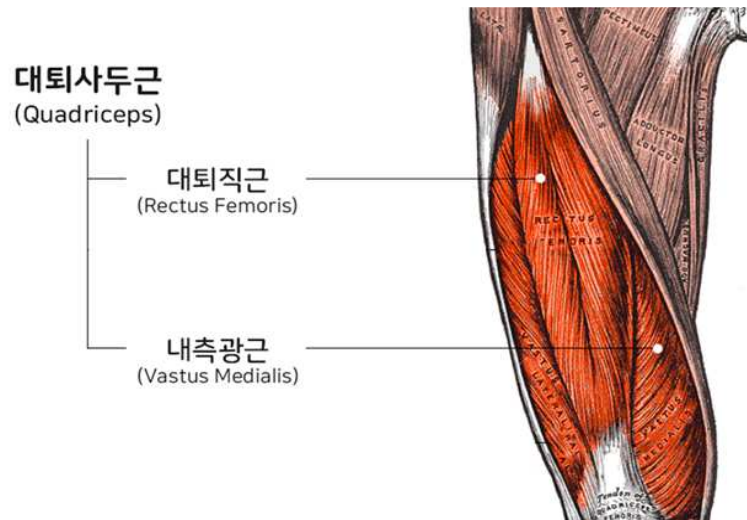
- 20kg의 상자를 0.75m의 높이의 책상에 적재하는 움직임의 근활성도를 EMG데이터로 분석함



< 상자 적재 및 운반 동작 사이클 >

(2) 측정 부위

- 양 손으로 상자의 손잡이를 잡고 상자를 올리는 동작에서 하지 근육인 대퇴사두근의 대퇴직근, 내측광근의 근육을 대상으로 측정



< EMG 측정근육 부위 >

나) 근활성도 측정

- 측정하고자 하는 근육(대퇴직근, 내측광근)의 EMG 신호를 3회 측정
- 상자를 적재하는 동작을 웨어러블 슈트를 착용하기 전과 착용한 후의 근활성도 측정



(a)



(b)

< 근활성도 측정 (a) 웨어러블 슈트 미착용, (b) 웨어러블 착용 >

다) 작업 단계별 근 활성화도 분석

→ 시험 전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(1)

→ 시험 결과

측정항목	대퇴직근	내측광근
착용 전 근육 활성화도	102	122
착용 후 근육 활성화도	36	72
근육활성도 감소율(%)	64.0	40.9

3) 공동연구기관 : 한국과학기술원

세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1차 시제품(하지보조 슈트) 개발	- 설계 요구사항 분석 및 설계 파라미터 선정 - 하지 보조 외골격 TSA모듈 및 제어 시스템 개발	-본문참조
1차 시제품(하지보조 슈트) 제어기 개선	- 단방향 어시스트 제어 알고리즘 개발 - Dynamic model 기반 힙조인트 토크 피드백 제어기법 개발. - Adaptive 힙조인트 토크 제어기법 개발	-본문참조
2차 시제품(상지 보조 슈트) 개발	- 설계 요구사항 분석 - 상지 보조 외골격 설계 - 1~4차 외골격 로봇 하드웨어 설계 및 개발 - 1~4차 외골격 로봇 평가 및 재설계 요구사항 도출 및 개선 모델 개발	-본문참조
2차 시제품(상지 보조 슈트) 평가 및 재설계 요구사항 도출	- 하중 들기 작업 수행 2차 시제품(상지보조 슈트) 평가를 위한 설계 개선 - 하중 들기 작업 수행 2차 시제품 평가 - 기능적 문제점에 대한 분석을 통한 재설계 요구사항 도출	-본문참조
2차 시제품(상지 보조 슈트) 개선 모델 개발	- 사용성 평가를 기반으로 개선 모델 개발 - 외골격 로봇 성능 시험 및 평가	-본문참조

○ 1차 시제품 (하지보조 슈트) 개발

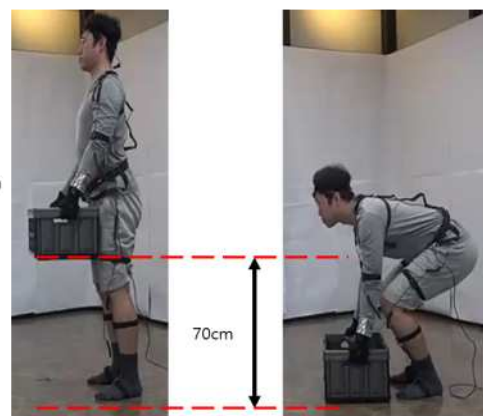
가) 설계 요구사항 분석 및 설계 파라미터 선정

(1) 1차 시제품(하지) 시제품 설계 요구사항 분석

- 하지 보조 슈트 개발을 위해 1차년도에 설계 요구사항 분석 수행
- 운반 상자(크기 : 전장 58cm, 전폭 39cm, 전고 32cm, 무게 : 10kg) 들기 작업 분석
- 운반 상자를 지면으로부터 70cm 높이로 들기 작업 시 각 자세 데이터 추출

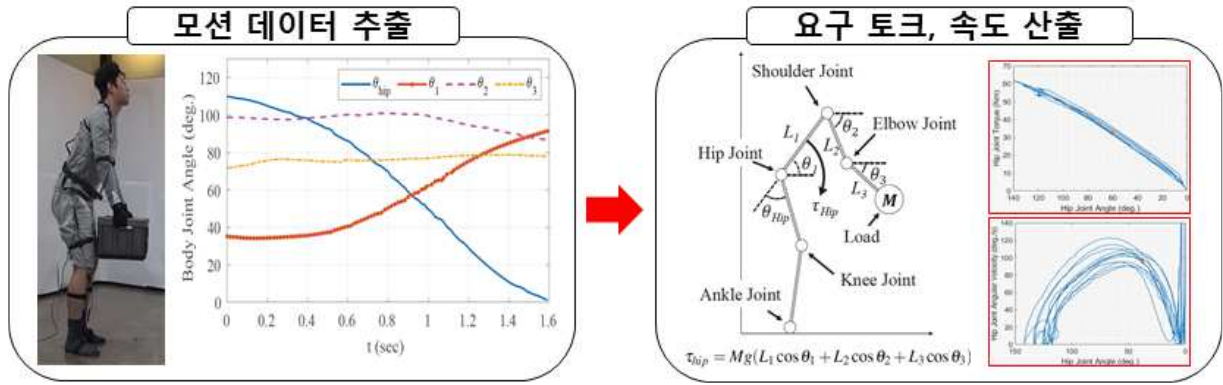


< 운반용 상자 >



< 요구 들기 작업 분석 >

- 동작 수행의 단계를 나누어 단계별 신체 각 조인트(손목, 팔꿈치, 어깨, 허리)의 각도 측정
- 움직임 데이터 기반으로 요구 토크 및 요구 수축 길이 계산

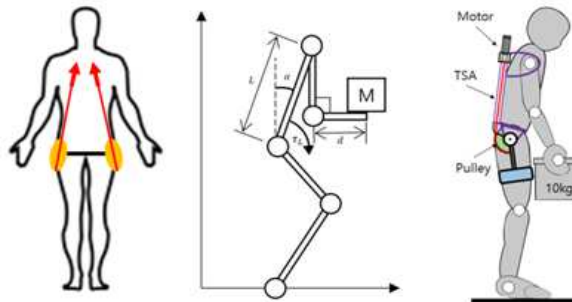


< 추출된 데이터를 통한 요구사항 도출 >

- 팔꿈치 조인트 각도를 통해 상완과 하완의 각 링크 길이를 고려하여 요구 수축 길이 산출
- 요구되는 동작을 수행하는 동안 요구되는 장력을 계산하여 요구되는 힘 특성 산출

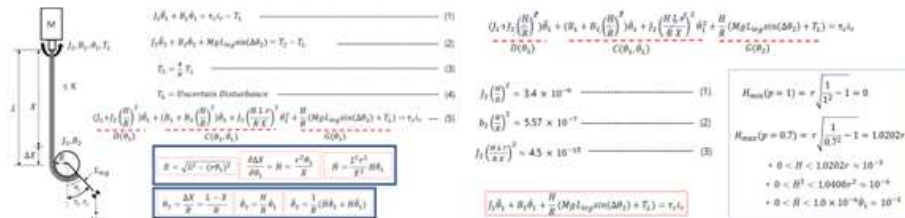
(2) 시스템 설계 파라미터 선정

- 등 상부에 위치한 TSA 모듈로부터 생성된 모터 축을 회전 시키는 토크가 상체 하네스 내부에 위치한 와이어 꼬임을 발생시켜 풀리를 회전시키는 TSA 기반 하지 외골격 동작 프로세스를 설계



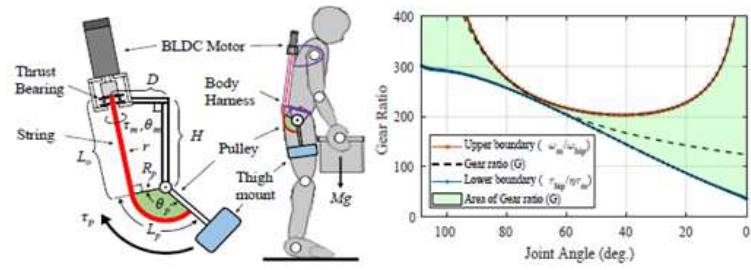
< TSA 기반 외골격 시스템 구성 >

- TSA의 로터 관성, 마찰, 와이어를 통해 전달되는 축력을 고려한 역학 모델 설계
- 역학모델로부터 주요 파라미터를 선정 및 단순화된 모델 수립



< TSA 기반 시스템의 역학 모델 설계 >

- 외골격 로봇 시스템 모델과 10kg 부하 들기 작업 시 요구되는 조인트의 토크와 각속도를 각각 비교 분석하여 초기 파라미터 선정
- 요구조건 달성을 위한 설계 프로세스를 진행하여 설계에 요구되는 줄 길이, 반경, 풀리 반경 등 최적 파라미터 선정

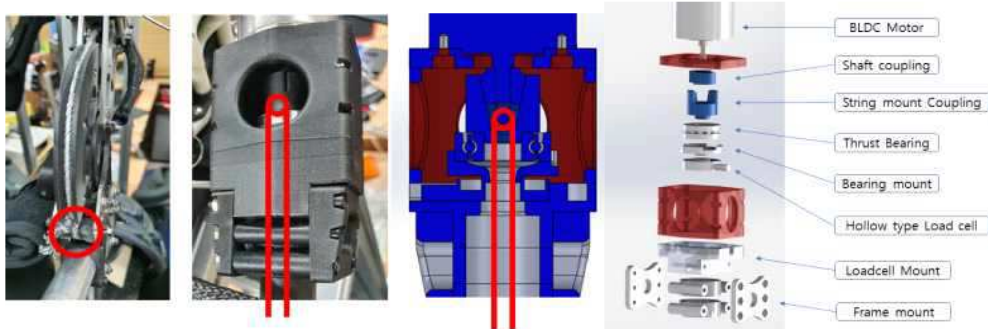


< 요구 기어비 만족을 위한 최적 파라미터 선정 >

나) 하지 보조 외골격 TSA 모듈 및 제어 시스템 개발

(1) TSA 구동기 모듈 개발

- 설계 요구사항 및 파라미터를 기초로 TSA 모듈 및 외골격 개발 수행
- TSA 구동기는 모터 동작시 모터 축과 연결된 와이어의 꼬임으로 수축력을 발생시키는 동력전달장치로 와이어를 통해 출력이 전달되는 특징을 가짐
- 설계한 TSA 구동기 모듈은 모터 축 연결용과 와이어 마운팅 용도로 분리된 커플러를 통해 과도한 축력에 의한 모터 손상을 방지할 수 있음
- 중공형 로드셀을 TSA 모듈 내부에 위치할 수 있도록 설계하여 힘 피드백 제어에 필요한 TSA의 수축력 측정 가능



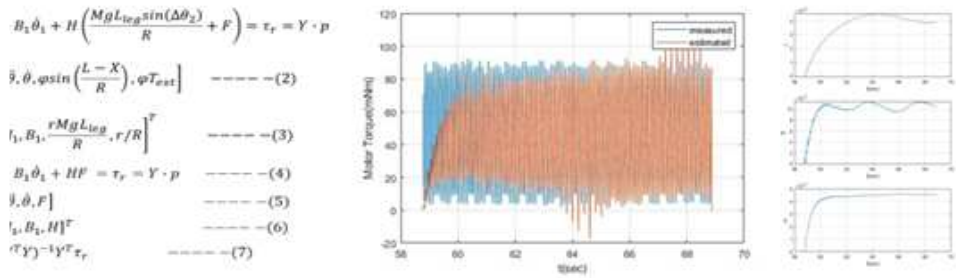
< TSA 구동기 모듈 개발 >

(2) 1차년도 시제품 제어 시스템 개발

- 외골격 로봇 제어를 위해 역학 모델 파라미터 추정
- Feed-Forward 제어기 파라미터 설계를 위해 시스템을 특정 부하에서 반복실험을 수행하고 측정된 토크로부터 제어기 모델의 각 파라미터 추정

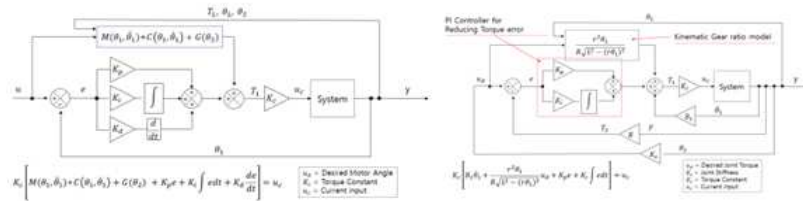


< 특정 부하 조건에서 반복 실험 >



< 시스템 파라미터 추정 >

- 제어용 장갑으로부터 설정된 보조 level에 따라 변화하는 토크 프로파일을 추종하는 모델 기반 피드포워드 + PID 제어기 개발



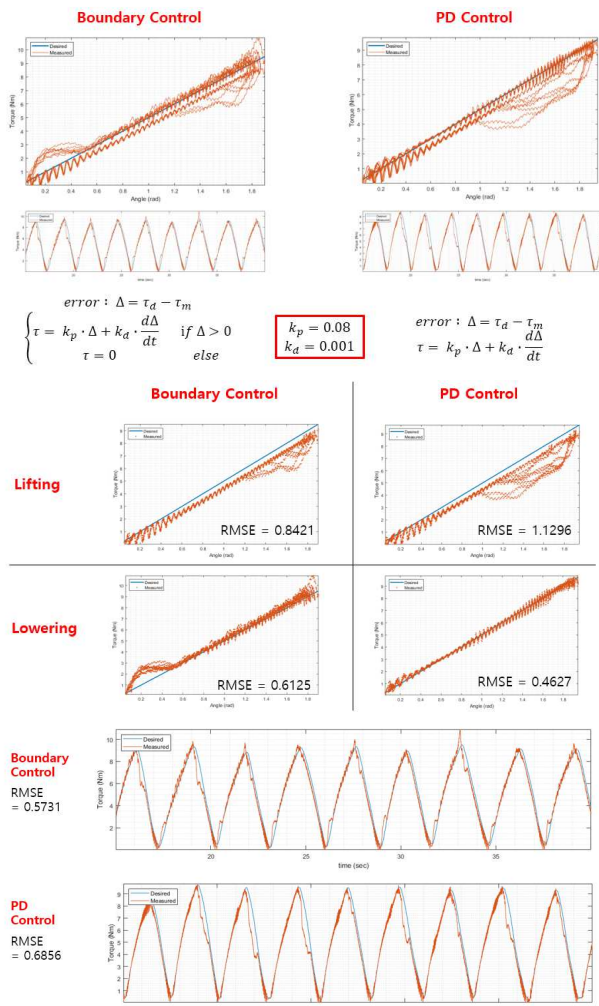
< 가반 하중 보상을 위한 제어기 개발 >

○ 1차 시제품 (하지보조 슈트) 제어기 개선

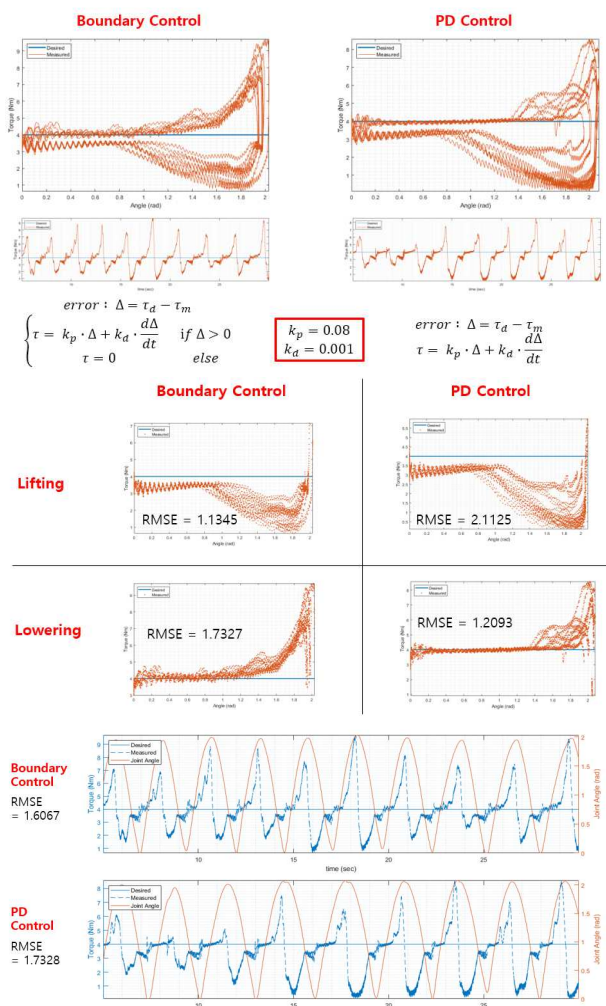
가) 단방향 어시스트 제어 알고리즘 개발

(1) Boundary Control 제어기법 개발 및 기존 PD 제어와의 비교분석

- 1차 시제품 성능 시험 데이터를 기반으로 제어 방식 개선을 위한 제어 알고리즘 개발



<Tracking 제어 결과 비교>

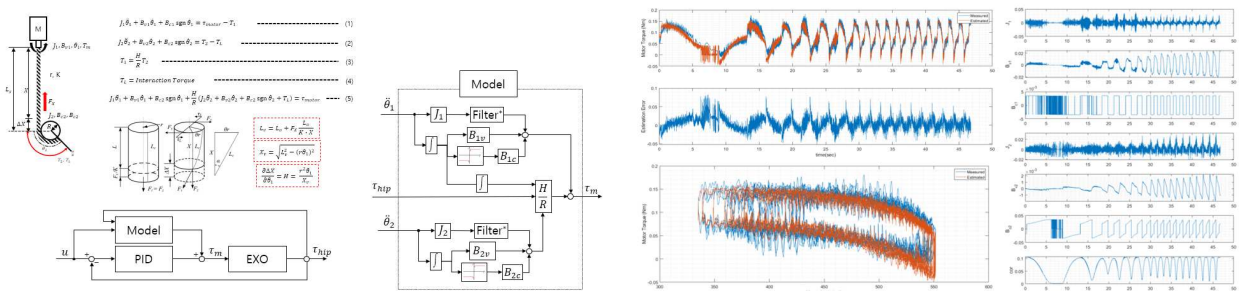


<Regulation 제어 결과 비교>

- TSA 기반의 단방향 구동 시스템의 경우 Lifting/Lowering motion의 제어를 동시에 시도하며 장력을 유지하기 어려워 불안정을 유발하는 경우가 발생.
- 기존 PD 제어기에 제어 조건을 도입하여, 요구 장력이 현재 장력보다 높은 경우에는 PD 제어를 조건에 만족하지 못한 경우는 제어 토크를 제거하여 불안정성을 낮추고 제어 오차를 낮추는 방법을 도입함.
- 실험결과 주 보조 동작인 Lifting 상황에서 불안정성과 오차가 줄어드는 장점을 Tracking과 Regulation 제어 상황에서 모두 확인할 수 있음을 확인하였음.

나) Dynamic model 기반 힙조인트 토크 피드백 제어기법 개발.

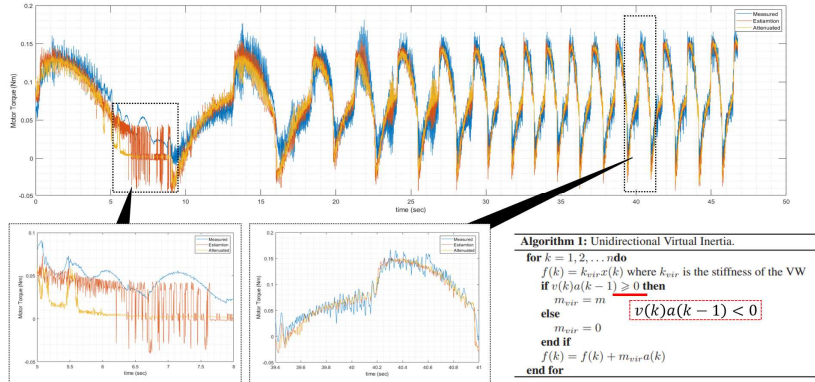
(1) Direct Hip Joint torque feedback 제어기법 개발



<Direct Hip Joint torque feedback 제어기법 개발>

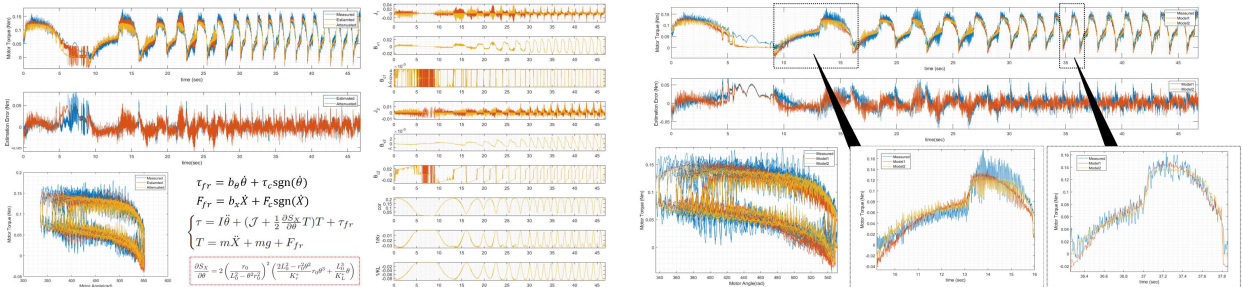
- 고속 구동 상태에서 원활한 장력 유지를 위해 힙 엑소의 동역학 파라미터를 고려한 Direct 힙 조인트 토크 피드백 제어기의 개발이 요구됨.
- 커플러와 힙 조인트 폴리의 관성 및 마찰을 고려하여 모터의 전류 측정값에서 산출된 토크의 추정된 모델 수립
- PID + Model 제어를 개발하여 고속 구동에서의 토크 모델이 실제 값에 수렴함을 검증함.

(2) 단방향 Virtual Inertia를 고려한 제어 입력 필터링.



<Virtual Inertia를 활용한 제어입력 필터링>

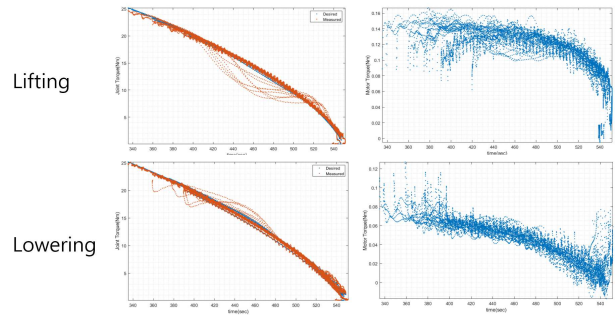
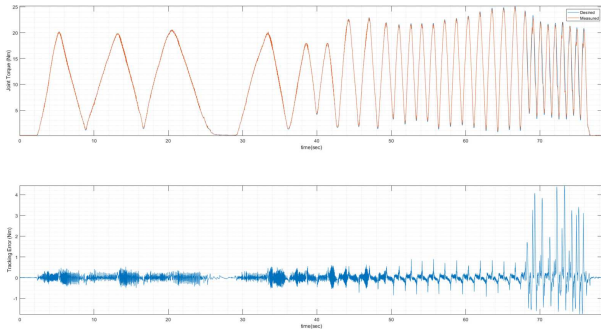
- 개발된 모델 기반 피드백 제어기의 경우, 저속 혹은 일부 구간에서 추정된 관성 값이 너무 크게 반영되어 엔코더 값으로 측정된 가속도에 의해 해당 항이 노이즈로 작용하는 경우가 발생함.
- 이를 극복하기 위해 단방향 구동인 TSA의 특성을 반영하여 관성항을 현재 속도와 가속도의 조건에 맞추어 일시적으로 제어 입력에서 제외함.



< Filtered Accurate Dynamic Model >

- TSA의 비선형 강성을 도입하여 개선된 Model에 저속 Deadzone 및 Virtual Inertia 조건을 적용한 노이즈가 적은 제어 입력을 도출하였으며, 기존 모델과 비교하여 좀 더 정확하고 안정된 제어 입력 값을 도출하였음을 상기 그래프를 통해 확인할 수 있다.

(3) 힙조인트 토크 Tracking 제어성능 검증.



<Direct Hip Joint torque feedback 제어기법 개발>

- 개발된 모델 기반 제어를 적용한 힙 조인트 토크 제어 결과를 분석하였으며, 각 Lifting과 Lowering 상태에서 모두 고속 구간까지 높은 토크 Tracking 성능을 보임을 검증함.

다) Adaptive 힙조인트 토크 제어기법 개발

(1) 다중 시스템 파라미터 Adaptation

- 1 Define objective function

$$F_{error} = F - K \cdot X \left(1 - \frac{L_0}{\sqrt{X^2 + r^2(\theta + \theta_0)^2}} \right)$$

$$P = [r \quad L_0 \quad K \quad \theta_0]^T$$
- 2 Calculate Jacobian matrix

$$J_{error} = \frac{dF_{error}}{dP}$$

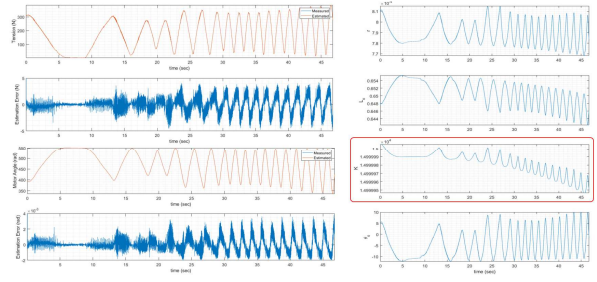
※ Jacobian matrix used as gradient to conduct numerical optimization

$$= \begin{bmatrix} -\frac{K \cdot L_0 \cdot X \cdot r(\theta + \theta_0)^2}{(X^2 + r^2(\theta + \theta_0)^2)^{3/2}} & \frac{K \cdot X}{\sqrt{X^2 + r^2(\theta + \theta_0)^2}} & X \left(\frac{L_0}{\sqrt{X^2 + r^2(\theta + \theta_0)^2}} - 1 \right) & -\frac{K \cdot L_0 \cdot X \cdot r(\theta + \theta_0)}{(X^2 + r^2(\theta + \theta_0)^2)^{3/2}} \end{bmatrix}$$
- 3 Parameter Update with Levenberg-Marquardt Optimization

$$P_{k+1} = P_k - (J_k^T J_k + \mu \cdot \text{diag}(J_k^T J_k))^{-1} \cdot J_k^T \cdot F_k$$

$$F_{error} \leq \epsilon \Rightarrow F = K \cdot X \left(1 - \frac{L_0}{\sqrt{X^2 + r^2(\theta + \theta_0)^2}} \right) \Rightarrow \theta_{d,f} = \sqrt{\frac{L_0^2}{\left(\frac{F}{K \cdot X} - 1 \right)^2} - X^2} - \theta_0$$

※ Reference motor angle to track desired force

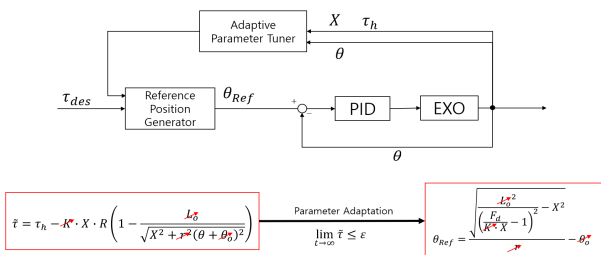


String Radius (r), Initial length of string (L₀), Pre-twisting (θ₀) are considered as adaptation parameter

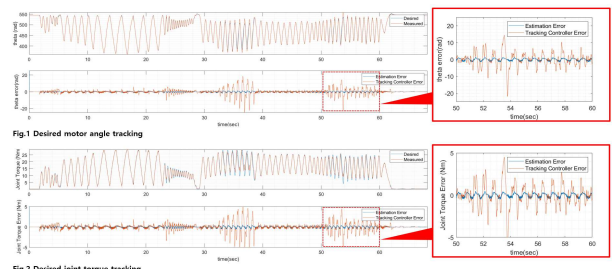
<Direct Hip Joint torque feedback 제어기법 개발>

- 기존 Direct 힙조인트 토크 피드백 제어기의 경우, 측정된 힙 조인트 토크 값의 노이즈에 민감하게 반응하여 불안정한 상황을 유발하는 경우가 관측됨. 또한 사전에 선정된 각 파라미터 기반의 모델이 작동 조건에 따라 점차 실제 거동과 달라지는 문제가 있음.
- 이를 극복하기 위해 TSA의 기구학적 모델의 각 파라미터(스트링의 두께, 길이, 강성 및 초기 꼬임 회전수)의 변동성을 고려한 적응 제어기법을 실제 시스템에 도입하였고 실험 결과 각 파라미터의 변동성이 확연하게 나타남을 확인하였음.

(2) Indirect 힙조인트 토크 제어기법 개발



※ Joint torque tracking can be indirectly controlled with motor angle tracking control



※ Joint torque tracking performance is depend on motor angle tracking performance

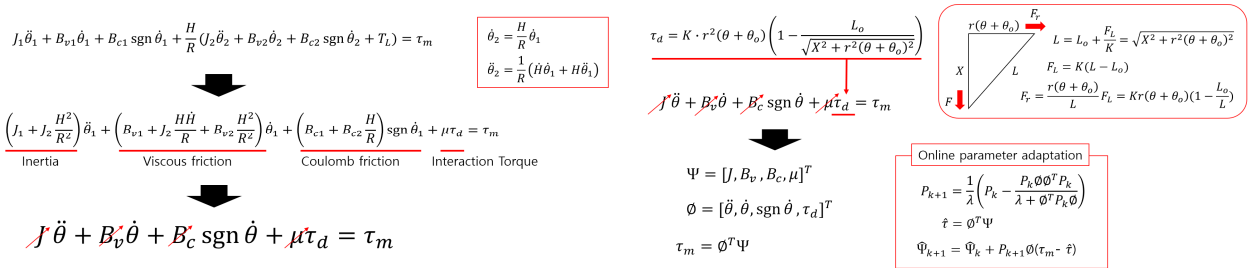
<Indirect Hip Joint torque feedback 제어기 및 성능 검증.>

- 직접적인 힘 피드백 제어 대신, 적응 파라미터 기반의 모델에서 추정된 힘 모델을

도출함으로써 간접적인 힘 피드백 제어를 개발함.

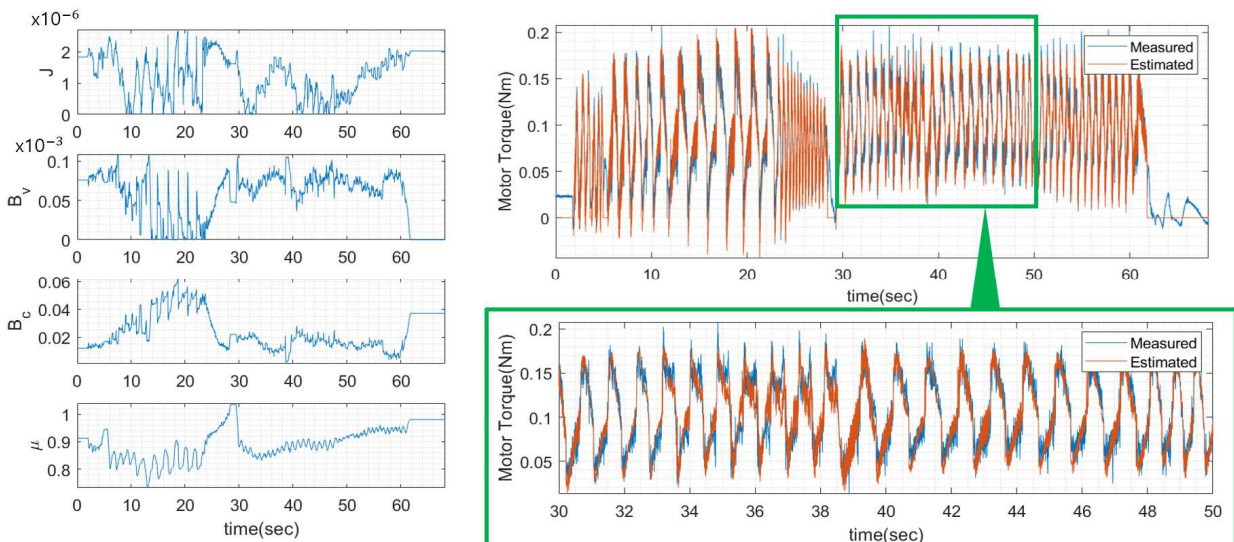
- 제어 입력은 모터 토크, 회전수, 조인트 회전 각도를 실시간으로 반영하여 추정된 힘 모델의 오차를 최소화하도록 각 파라미터를 업데이트함.
- 추정된 힘 모델은 요구 모터 회전량에 대한 모델로 재구성할 수 있으므로, 모터 회전량 제어를 통해 간접적으로 힘 피드백 제어가 가능하게 함.
- 따라서 새로운 토크 제어기법은 위치 제어기의 성능을 높일수록 높은 힘 피드백 제어 성능이 보장됨을 검증함.

(3) Dynamic model parameter adaptation 제어기법 개발



<Indirect Hip Joint torque feedback 제어기 및 성능 검증.>

- 속도 변화가 빈번한 상황에서 적응형 모델의 파라미터 변동성을 낮추고 위치 제어기의 성능을 높이기 위해 동역학 모델의 각 파라미터 또한 제어 환경에 맞추어 변화하도록 하는 적응형 제어기법을 도입함.
- TSA 기반의 힙 조인트 폴리 모델을 4개의 파라미터로 단순화하고 각 항을 실시간으로 업데이트함. 특히 직접적인 제어 입력인 τ_d 의 경우 파라미터 추정기로부터 구해진 각 요소로 구성되었으나, 효율이 지배적인 시스템의 특성을 고려하여 변동 효율로 조절할 수 있도록 하였음.



<Indirect Hip Joint torque feedback 제어기 및 성능 검증.>

- 실제 시스템에 개발된 알고리즘을 도입하여 적절한 범위내에서 각 파라미터가 조절되는 것을 확인하였으며, 여러 속도 조건에서 Lifting/Lowering 작업 시 힙 조인트 토크 tracking 성능 및 안정성을 보장됨을 검증하였음.

○ 2차 시제품 (상지보조 슈트) 개발

가) 설계 요구사항 분석

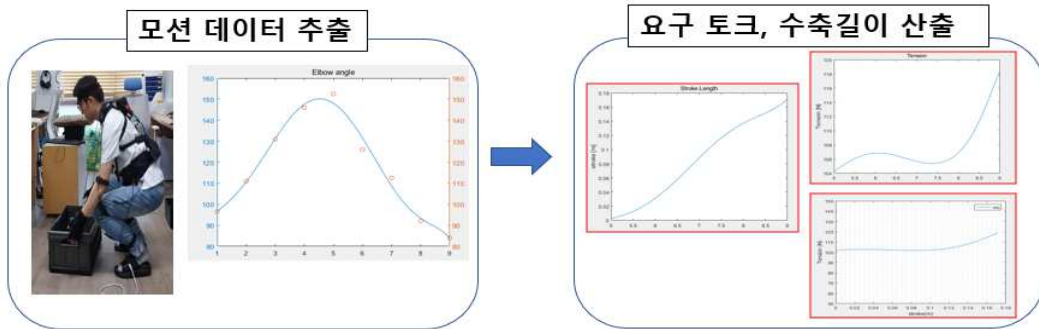
- 2차 시제품 (상지 보조 슈트) 설계 요구 사항 분석

- 2차년도 연구 목표로 상지 보조 슈트 설계를 위해 설계 파라미터 분석
- 운반 상자운반 상자(크기 : 전장 58cm, 전폭 39cm, 전고 32cm, 무게 : 10kg) 들기 작업 분석
- 운반 상자를 지면으로부터 100cm 높이로 들기 작업 시 각 자세 데이터 추출



< 들기 작업 수행 시 움직임 분석 >

- 동작 수행의 단계를 나누어 단계별 신체 각 조인트(손목, 팔꿈치, 어깨, 허리)의 각도 측정
- 움직임 데이터 기반으로 요구 토크 및 요구 수축 길이 계산



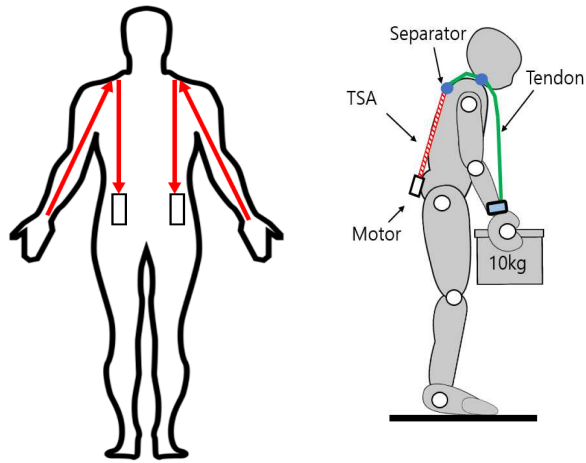
< 추출된 데이터를 통한 요구사항 도출 >

- 팔꿈치 조인트 각도를 통해 상완과 하완의 각 링크 길이를 고려하여 요구 수축 길이 산출
- 요구되는 동작을 수행하는 동안 요구되는 장력을 계산하여 요구되는 힘 특성 산출

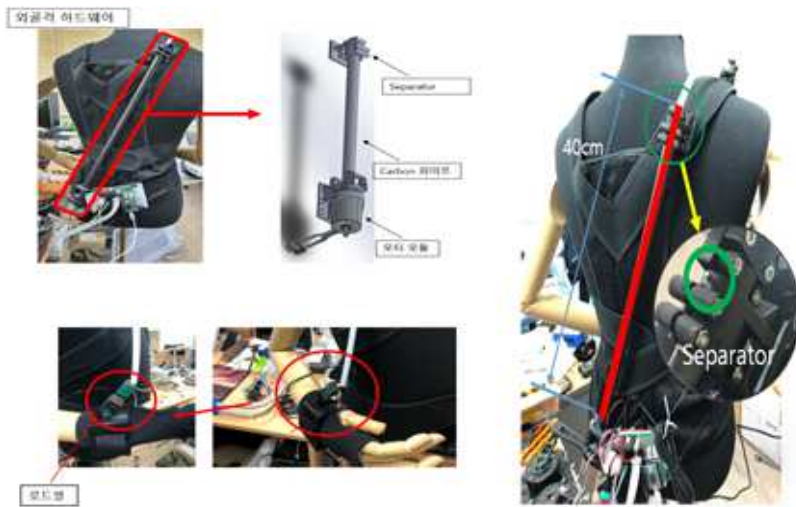
나) 상지 보조 외골격 설계

(1) 2차 시제품(상지 보조 슈트) 1차 설계 및 개발

- 분석한 설계 요구 사항을 기반으로 상지 보조 슈트 개발
- 허리에 있는 TSA 모듈로부터 생성된 모터 축을 회전시키는 토크가 상체 하네스에 의해 고정된 와이어의 꼬임을 발생시켜 와이어 축 방향 수축력 생성
- 모터 회전부와 손에 장착되는 장갑에 연결된 와이어가 TSA 구동 시 생성되는 수축력을 팔에 전달하여 하중을 들어 올리는 힘으로 작용



< 상지 보조 로봇 시스템 개념도 >



< 상지 외골격 로봇 1차 시제품 사진 >

이미지	부품명	비고
	<p>모터 마운트 (ABS) motor_mout</p>	<p>하네스 와 연결, 모터 고정</p>
	<p>모터 컨duit 마운트 (ABS_1) motor_pipe_mou nt</p>	<p>(Onyx_1) motor_c pipe_mount 고정</p>
	<p>모터 파이프 마운트 (Onyx) motor_pipe_moun t</p>	<p>모터 마운트와 (Onyx) motor_pipe _mount 연결</p>
	<p>파이프 컨duit 홀더 (Onyx_1) pipe_conduit_m ount</p>	<p>카본 파이프와 컨duit 연결</p>
	<p>어셈블리 파일</p>	<p>어셈블리 파일</p>

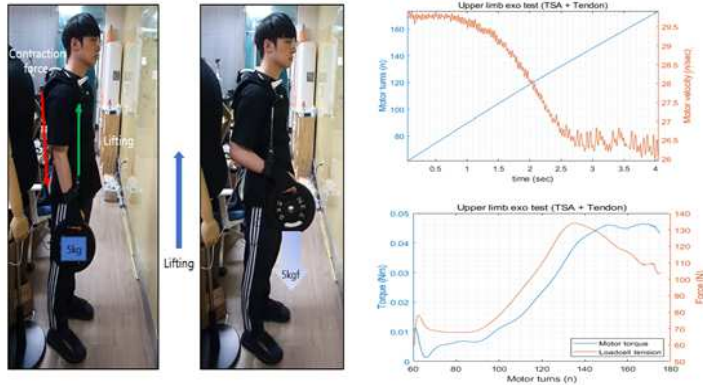
< 1차 설계 상지 외골격 부품별 모델링 이미지 >

이미지	부품명	비고
	<p>손목 마운트 (ABS)wrist_mount</p>	<p>손목하네스와 연결 상단부분</p>
	<p>손목 하네스 (ABS_1)wrist_mount</p>	<p>손목하네스와 연결 상단부분</p>
	<p>로드셀 마운트 (Onyx)loadcell_mount</p>	<p>(ABS)wrist_mount 와 로드셀 연결</p>
	<p>어셈블리 파일</p>	<p>어셈블리 파일</p>

< 손목 마운트 설계 부품별 모델링 이미지 >

- 제안된 개념도의 실현 가능성 파악을 위해 한쪽 팔에 대한 하중을 들어 올리는 동작을 보조해주는 외골격 로봇 하드웨어 제작
- 모터 축 연결용과 와이어 마운팅 용도로 분리된 커플러를 통해 과도한 축력에 의한 모터 손상 방지 가능
- 와이어 중간에 Separator를 장착하여 Separator 이후로는 꼬임이 전달되지 않도록 하여 도관의 굴곡에 따른 꼬임 전달 방해를 완화

(2) 외골격 로봇 1차 시제품 성능 시험 및 평가

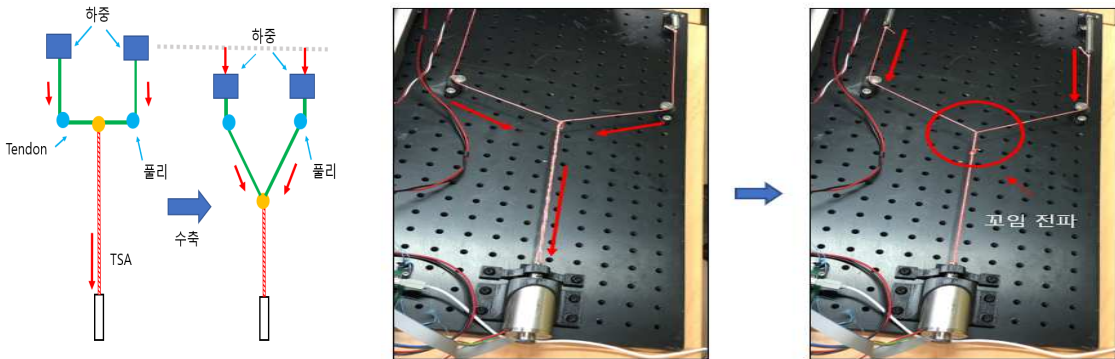


< 상지 외골격 로봇 1차 시제품 시스템 성능 시험 >

- 5kg 가반 하중을 팔로 들어 올릴 때 달성 가능한 요구 최대 출력 성능 시험 및 분석
- 피험자의 손에 5kg 부하가 인계된 조건 아래 반복 들기 동작 수행
- 성능 시험 분석 결과 100W급 모터를 사용할 경우 4초 안에 필요 동작 수행 가능 그러나 요구된 동작범위를 수행하기 위해서 570mm 이상의 줄 꼬임 길이가 확보되어야 함
- 양쪽 팔의 하중을 지지해 주기 위해서 모터를 2개 이상 사용 시 외골격 로봇의 하중이 증가함
- 양쪽 팔을 들어올리기 위해 한쪽 팔에 대한 하중을 들어 올리는 동작을 보조해주는 외골격 로봇 하드웨어를 양쪽 팔로 확장할 경우 요구되는 줄 꼬임 길이를 확보하기에 제한됨

(3) 2차 시제품(상지 보조 슈트) 1차 설계 성능 개선

- 하나의 모터를 이용해 양쪽 팔에 대한 작업 보조가 가능한 기구부 개발
- 양쪽 팔 작업 보조를 위한 외골격 로봇의 모터를 하나로 함으로써 외골격 슈트의 무게를 감소시킴
- 개선 설계를 위해 와이어 꼬임 방식을 설계 하고 각 꼬임 방식의 특성을 분석

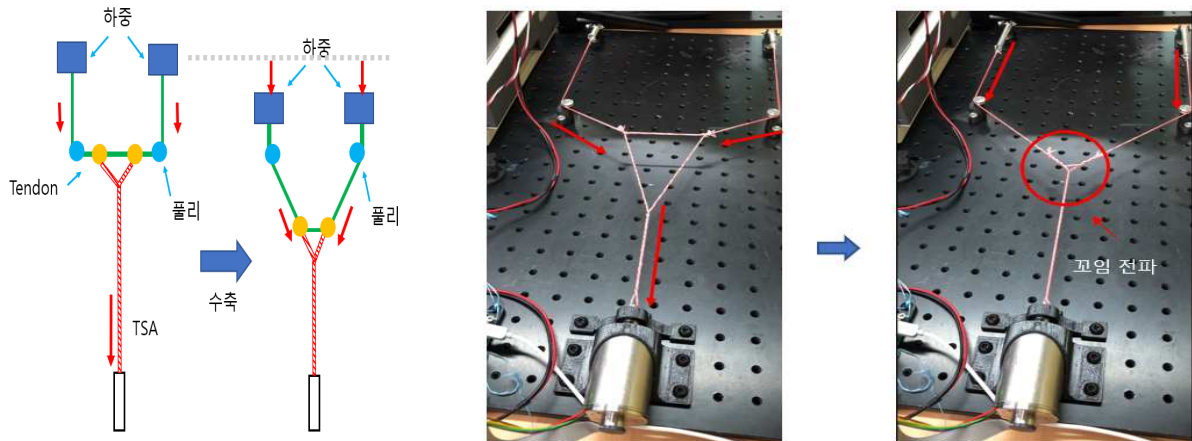


< 와이어 1점 고정 방식 >

- 모터 축과 연결된 와이어의 끝을 양쪽 팔의 손목에 연결된 다른 와이어의 중간에

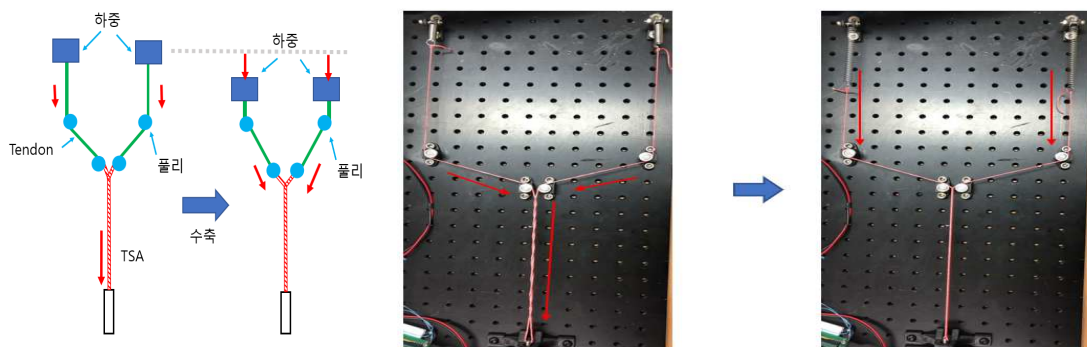
고정

- 모터 축과 연결된 와이어에 꼬임에 의한 수축력이 발생할 때, 발생한 수축력이 연결된 와이어에 전달되어 양방향으로 수축력이 전달되어 양쪽 팔 보조 가능
- 정반에서의 실험을 통해 와이어 꼬임 시 발생하는 수축력에 의해 양쪽 하중에 힘이 전달되는 것을 확인
- 모터 축에 연결된 와이어의 꼬임이 하중에 연결된 와이어에 전파되는 현상을 확인



< 와이어 2점 고정 방식 >

- 수축력을 전달하기 위한 고정 점을 이전 방식의 1점이 아닌 2점으로 하고 줄이 고정된 부분을 멀리하여 꼬임이 전파되는 것을 방지
- 정반에서의 실험을 통해 와이어 꼬임 시 발생하는 수축력에 의해 양쪽 하중에 힘이 전달되는 것을 확인
- 모터 축에 연결된 와이어의 꼬임이 하중에 연결된 와이어에 전파되는 현상을 확인



< 세퍼레이터를 이용한 방식 >

- 하나의 모터를 사용하여 수축력을 양쪽 팔에 전달하는 방식을 이용하되 두 개의 풀리를 추가로 사용하여 마치 분리기와 같은 역할을 하도록 하여 두 개의 줄이 꼬여질 때, 분리기 이후로는 꼬임이 전파되지 않도록 하는 방식 제안
- 정반에서의 실험을 통해 와이어 꼬임 시 발생하는 수축력에 의해 양쪽 하중에 힘이 전달되며 또한 꼬임이 전파되지 않는 것을 확인

(4) 2차 시제품(상지 보조 슈트) 2차 설계 및 개발



< 상지 외골격 슈트 2차 시제품 사진 >

- 하나의 모터를 사용하여 양쪽 팔의 하중을 들어 올리는 동작을 보조해주는 외골격 슈트 개발.
- 모터 축에 연결된 와이어가 모터 축이 회전함에 따라 꼬여질 때, 수축력이 발생, 발생한 수축력이 세퍼레이터역할을 하는 폴리를 통과할 때 양쪽 팔 방향으로 분배
- 분배된 수축력이 양쪽 팔의 손목에 연결된 마운트 전달되어 하중을 들어 올리는 동작을 보조
- 1차 시제품에서 사용했던 PTFE tube를 Brake housing으로 교체하여 Conduit의 좌굴 방지 및 좌굴 완화에 따른 내부 마찰 저감 효과를 통해 구동 효율 향상

(5) 외골격 로봇 2차 시제품 성능 시험 및 평가



< 시스템 성능 시험 >

- 5kg, 10kg 가반 하중을 적용하여 팔로 하중을 들어 올릴 때 달성 가능한 요구 최대 출력 성능 시험 및 분석

수축가능거리



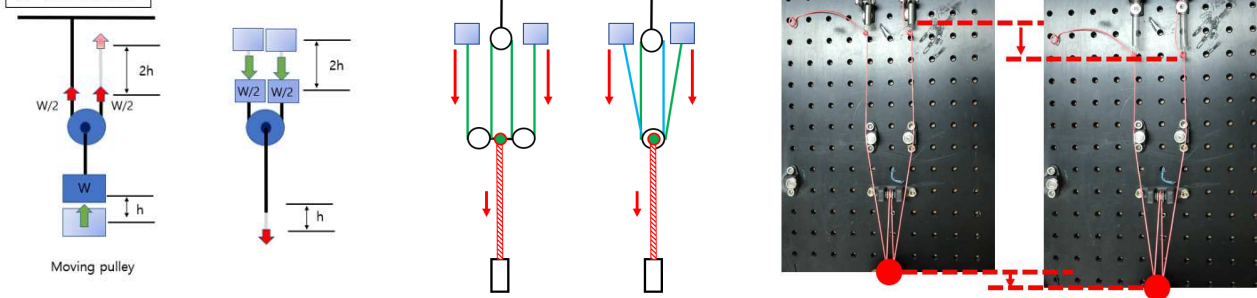
< 수축 가능 거리 분석 >

- 피험자의 손에 5kg, 10kg 부하가 인계된 조건 아래 반복 들기 동작 수행
- 하나의 모터를 사용해 하중을 들어 올리는 양쪽 팔에 보조력 작용
- 10kg 부하가 인계된 상태에서 요구 동작 범위를 달성하려면 TSA(Twisted String Actuator)의 과도꼬임 영역까지 사용해야함.
- 2차 외골격 로봇의 수축 가능거리는 30cm로 요구된 동작범위를 달성하기에 불충분함.

(6) 2차 시제품(상지 보조 슈트) 2차 설계 성능 개선

- 줄 꼬임 구동기의 과도 꼬임 영역을 사용하지 않고 요구되는 동작 범위를 달성하기 위해서 줄 꼬임에 필요한 와이어의 길이가 최소 57cm 이상이 필요
- 신체조건과 하네스의 특성상 줄 꼬임을 위한 57cm 이상의 와이어를 장착시키는데 한계가 있음
- 이러한 문제를 해결하기 위해 움직도르래 방식을 제안, 움직도르래의 특성을 이용하여 줄 꼬임 길이의 2배 이상을 가동 범위로 가짐
- 정반에서의 실험을 통해 움직도르래 방식으로 2배 이상의 가동범위를 가질 수 있음을 확인

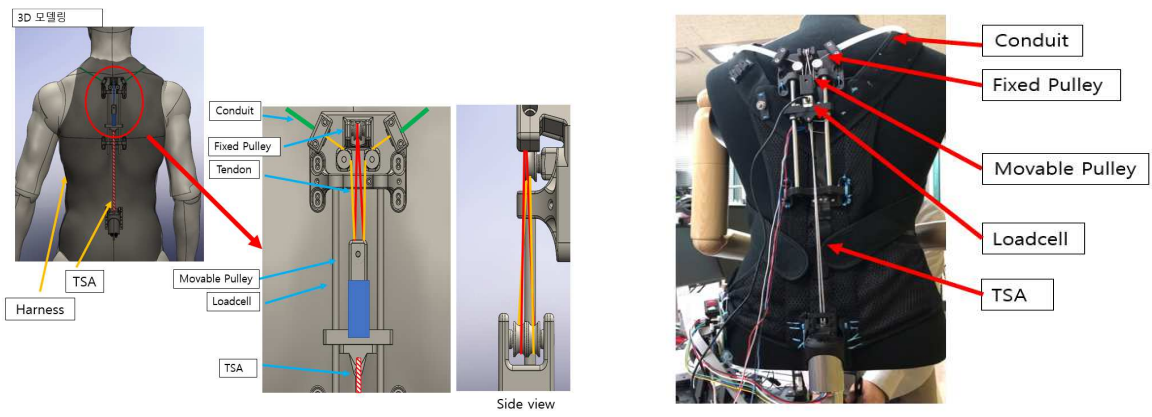
움직도르래원리



< 움직 도르래 방식 >

(7) 2차 시제품(상지 보조 슈트) 3차 설계 및 개발

- 움직 도르래 방식을 이용한 상지 외골격 로봇 개발



< TSA 기반 외골격 로봇 3D 모델링 및 시제품 사진 >

이미지	부품명	비고
	<p>모터 마운트 (ABS) motor_mout</p>	<p>하네스 와 연결, 모터 고정</p>
	<p>모터 컨duit 마운트 (ABS_1) motor_conduit_ mount</p>	<p>(Onyx_1) motor_c onduit_ mount 고정</p>
	<p>모터 컨duit 마운트 (Onyx) motor_conduit_m ount</p>	<p>모터 마운트와 (Onyx) motor_c onduit_ mount 연결</p>
	<p>모터 컨duit 마운트 (Onyx_1) motor_conduit_ mount</p>	<p>conduit 마운트</p>
	<p>어셈블리 파일</p>	<p>어셈블리 파일</p>

< 모터 마운트 부품별 모델링 이미지(3차 설계) >

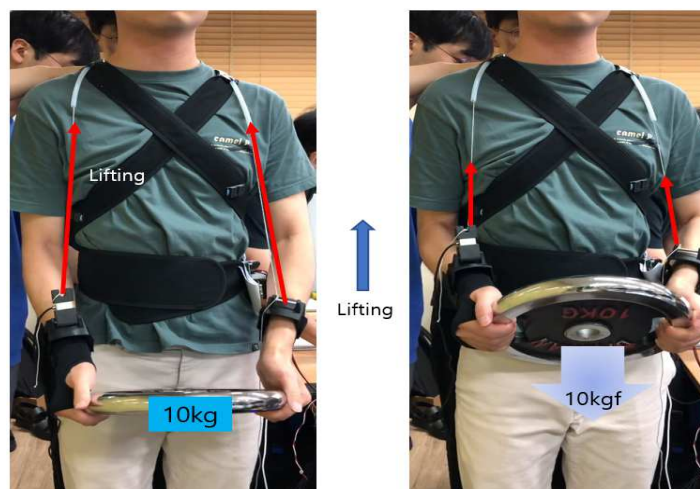
이미지	부품명	비고
	rod 홀더 (ABS) rod_holder	하네스 플레이트와 연결, 모터 고정
	스트링 마운트 (ABS_1)string_mount	(ABS_2)string_mo unt 와 rod 연결
	움직도르래 홀더 (Onyx)movable_pulley_h older	움직도르래 고정
	스트링 마운트 (ABS_2)string_mount	스트링 고정
	고정 풀리 마운트 (Onyx_1)fixed_pulley_hol der	고정 풀리 고정 rod와 연결

이미지	부품명	비고
	<p>테이프 마운트 (ABS_2)tape_mount</p>	<p>테이프 고정</p>
	<p>어셈블리 파일</p>	<p>어셈블리 파일</p>

< 움직 도르래 마운트 부품별 모델링 이미지(3차) >

- 움직도르래 방식을 상지 외골격 로봇에 적용
- 움직도르래 방식을 이용하여 와이어에 줄 꼬임이 발생할 때 꼬임에 의한 수축 길이의 2배에 해당하는 길이만큼 하중을 들어 올리는 동작을 보조해 줄 수 있음
- 리니어 슬라이더를 장착하여 움직도르래가 리니어 슬라이더를 통해 움직일 수 있도록 제한하여 꼬임에 의해 움직도르래가 회전하는 것을 방지
- 도르래를 통과한 와이어는 컨듀잇을 통해 손목 하네스와 연결시켜 외부 마찰을 줄임
- 손목 하네스에 연결된 와이어를 통해 수축력이 전달되어 목표 동작 보조가능

(8) 외골격 로봇 3차 시제품 성능 시험 및 평가

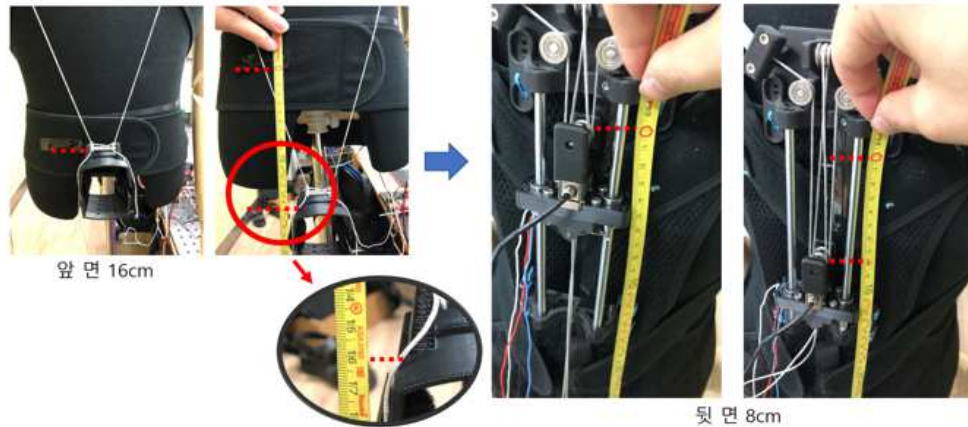


< 시스템 성능 시험 >

- 10kg 가반 하중을 적용하여 팔로 하중을 들어 올릴 때 달성 가능한 요구 최대 출력

성능 시험 및 분석

스트로크 거리 2배 이득



앞 면 16cm

뒷 면 8cm



하네스 움직임도르래 마찰



< 3차 시제품 성능 시험 결과 >

- 개발된 상지외골격 로봇의 배터리와 전장을 제외한 무게는 1.265kg
- 모터에 의한 와이어의 줄 꼬임 발생 시 수축거리가 8cm 일 때, 손목 하네스 부분의 이동거리가 16cm가 됨을 확인
- 개발에 사용된 하네스 특성상 추가적인 수축거리를 확보하기 어려움
- 개발에 사용된 하네스 특성상 움직임도르래와 하네스 사이의 불필요한 마찰 발생
- 하네스 특성상 모터 마운트를 단단히 고정시키기 어려워 외골격 로봇 동작시 모터 마운트에 모멘트가 작용하여 효율을 감소시킴

(9) 2차 시제품 (상지 보조 슈트) 3차 시제품 성능 시험 결과에 대한 개선

- 3차 시제품의 문제점을 개선하기 위해 하네스를 유연한 프레임을 가진 하네스로 변경
- 리니어 슬라이더의 비틀림 문제를 해결하기 위해 리니어 가이드를 사용



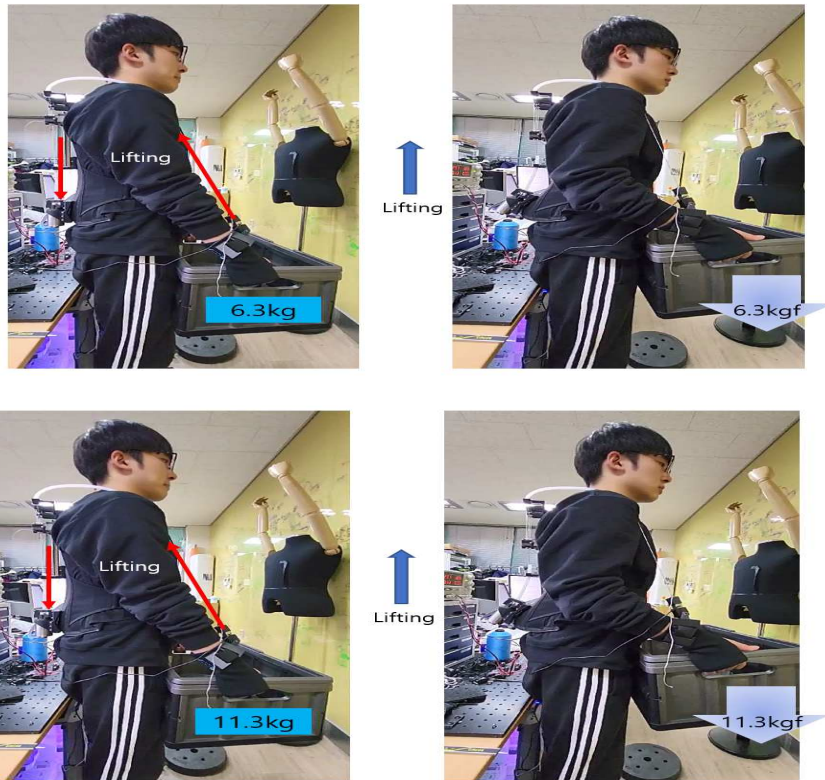
< 평가를 위한 상지 외골격 로봇 시제품 사진 >

- 안정적인 실험을 위해서 모터프레임과 리니어 가이드 사이의 카본파이프 설치
- 하중들기 작업 수행 평가를 위해 기존 시제품에서 데이터 측정을 위한 로드셀, 리니어 엔코더 등 센서를 추가

이미지	부품명	비고
	<p>모터 및 모터마운트 (ABS)motor_monut</p>	<p>모터마운트와 카본파이프를 연결</p>
	<p>카본파이프 마운트 (ABS_1)carbonpipe_mou nt</p>	<p>카본파이프와 리니어 가이드 사이를 연결</p>
	<p>로드셀 마운트 (ABS_2)roadcell_monut</p>	<p>리니어가이드의 레일와 로드셀을 연결</p>
	<p>리니어 엔코더 마운트 (ABS_3)linearEncoder_m ount</p>	<p>로드셀 마운트와 리니어 엔코더를 연결</p>
	<p>어셈블리 파일</p>	<p>어셈블리 파일</p>

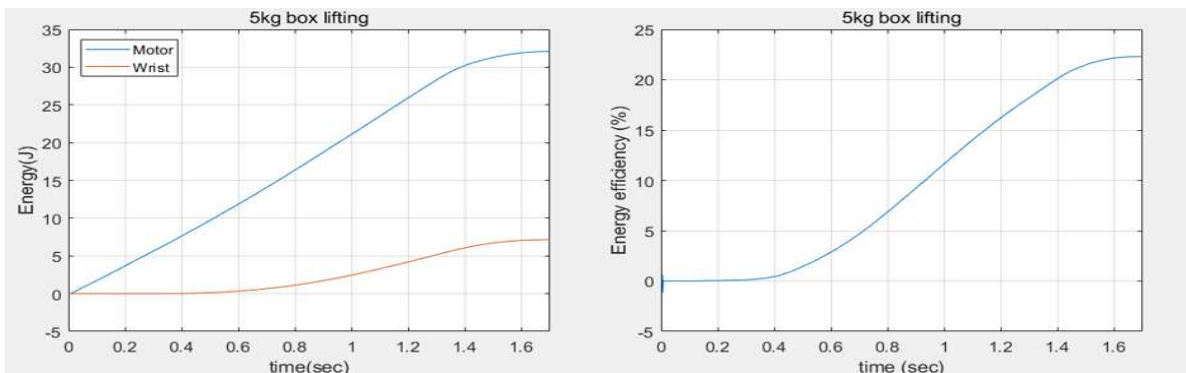
< 움직 도르래 마운트 부품별 모델링 이미지(4차 설계) >

(10) 외골격 로봇 4차 시제품 성능 시험 및 평가

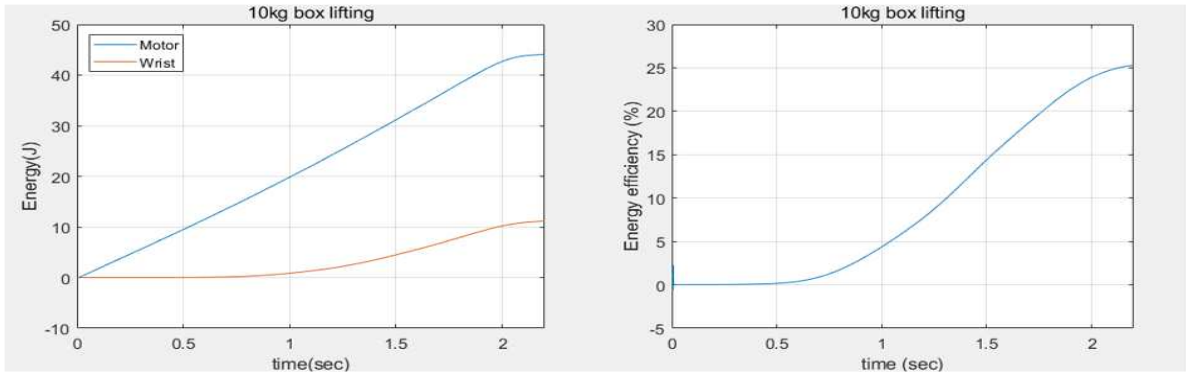


< 시스템 성능 평가 >

- 1.3kg의 빈 박스 안의 5kg, 10kg 하중을 가반하중으로 적용하여 팔로 하중을 들어 올릴 때 성능 시험 및 분석

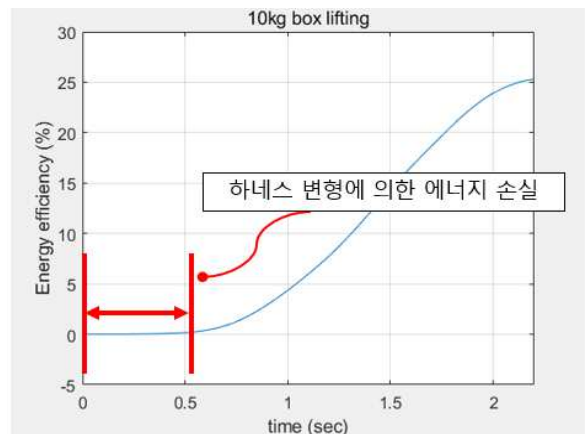


< 1.3kg 박스와 5kg 하중에 대한 시스템 성능 평가 결과 >



< 1.3kg 박스와 10kg 하중에 대한 시스템 성능 평가 결과 >

- 1.3kg의 빈 박스 안의 5kg하중을 들어올리기 위한 상지 외골격 로봇의 모터 출력 에너지는 32.08[J], 하중 단에서 사용된 에너지는 7.15[J]로 평균 효율은 22%
- 1.3kg의 빈 박스 안의 10kg하중을 들어올리기 위한 상지 외골격 로봇의 모터 출력 에너지는 44.07[J], 하중 단에서 사용된 에너지는 11.15[J]로 평균 효율은 25%



< 들어올리기 작업시 발생하는 하네스의 변형 >

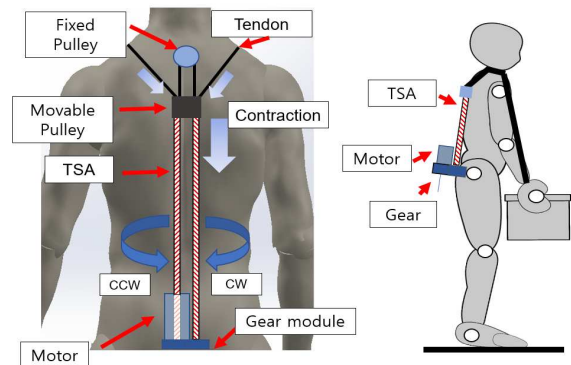
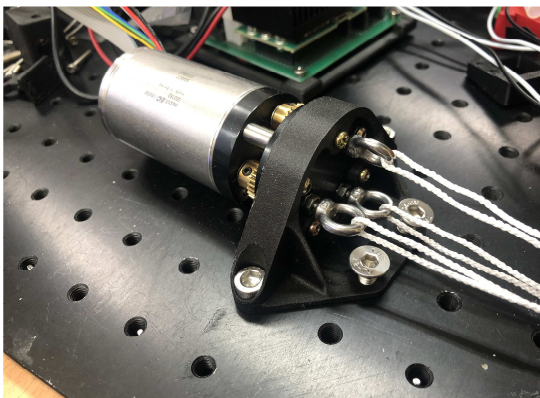
- 성능 평가 결과 개발된 상지 외골격 로봇의 에너지 효율이 낮음을 확인.
- 외골격 로봇의 동작 초기 발생하는 하네스의 변형이 동작 초기 에너지를 소비하여 외골격 로봇의 에너지 효율을 낮추는 원인으로 작용함을 확인
- 하네스 변형을 발생시키는 원인으로 TSA에 수축력이 발생함에 따라 모터와 이를 고정하고 있는 모터프레임에 반력이 발생
- 모터프레임에 발생한 반력이 하네스에 반력 토크로 작용하여 하네스의 변형을 발생시키는 원인으로 분석됨
- 추가적으로 허리와 등 부분에 장착된 큰 강성을 가진 카본파이프와 리니어 가이드가 착용자의 들어 올리는 동작 외에 다른 동작을 수행할 시에 큰 강성의 카본파이프가 이를 방해하여, 착용자에게 불편함을 초래함



< 재설계 요구사항 >

- 하네스의 변형을 초래하는 반력 토크는 TSA의 수축력과 힘의 작용점과 하네스 사이의 길이인 모멘트 팔의 곱으로 계산됨
- 4차 설계로 개발된 외골격로봇은 상대적으로 큰 모멘트 팔 길이를 가지고 있음
- 하네스의 변형을 줄이기 위해서 모멘트 팔의 길이를 감소시킬 수 있는 재설계가 요구됨
- 또한 허리와 등에 장착된 큰 강성의 리니어 가이드를 제거하기 위해서 TSA 동작 시 회전하는 움직도르래의 회전을 막아줄 메커니즘의 추가가 요구됨

(11) 2차 시제품 (상지 보조 슈트) 4차 시제품 성능 시험 결과에 대한 개선



< 병렬형태의 TSA 미케니즘을 활용한 상지 외골격 개념도 >

- 4차 성능 시험 결과 하네스의 변형과 유연하지 않은 외골격 로봇이 외골격 로봇의 기능적 문제를 초래함
- 이를 해결하기 위해 병렬형태의 TSA 미케니즘을 도입을 고려해 볼 수 있음
- 병렬형태의 TSA 미케니즘을 통해 기어모듈을 사용하여 TSA의 줄 꼬임 축을 최대한 하네스에 가깝게 배치하는 것이 가능함
- 줄 꼬임 축을 하네스에 가깝게 함으로써 반력 토크의 모멘트팔의 길이를 감소시킬

수 있고, 반력 토크가 감소함에 따라 하네스의 변형을 유발하는 반력토크의 크기를 감소시킬 수 있음

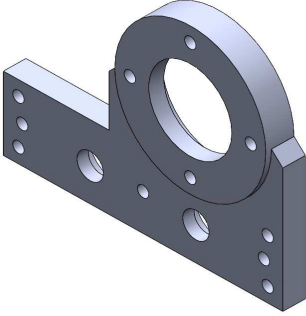
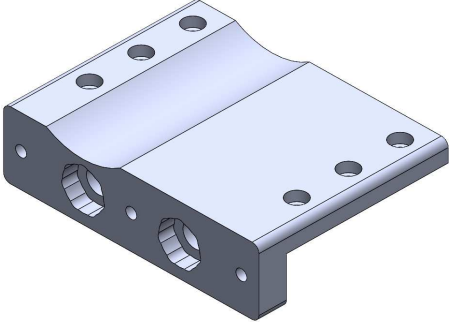
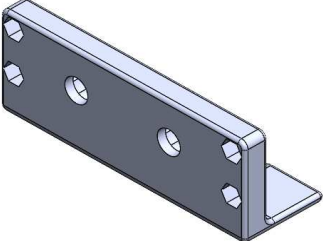
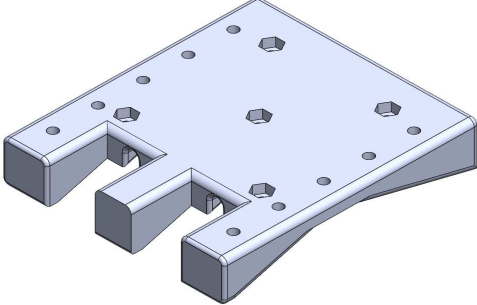
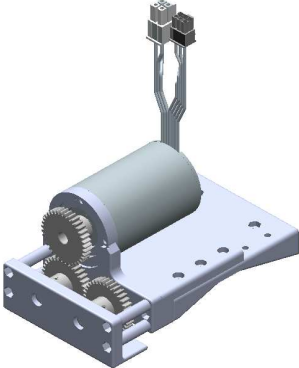
- 또한 병렬적으로 배치된 TSA를 통해 각각 반대 방향으로 회전하는 병렬 형태의 TSA가 움직임도르래의 회전을 초래하지 않아 움직임도르래 고정을 위해 사용했던 리니어 가이드를 제거할 수 있음
- 병렬형태의 TSA 미케니즘을 활용 시 모터를 기존과 달리 하단부를 방향으로 배치할 수 있으며 이를 통해 추가적인 줄 꼬임 길이를 확보해 동작 가능 범위를 증가시킬 수 있음.

(12) 2차 시제품 (상지 보조 슈트) 4차 설계 및 개발



< 병렬형태의 TSA 모터 모듈 및 시제품 사진 >

- 병렬형태의 TSA 미케니즘을 외골격 로봇에 적용하기 위한 모터모듈을 설계 및 제작
- 움직임도르래의 이동 범위를 확보하기 위한 풀리 마운트 설계 변경

이미지	부품명	비고
	<p>모터 홀더 (ABS)motor_holder</p>	<p>모터 고정</p>
	<p>베어링 마운트 (ABS_1)bearing_mount</p>	<p>베어링과 (ABS_3)모터마운트를 연결</p>
	<p>기어모듈 홀더 (ABS_2)gearmodule_holder</p>	<p>기어모듈을 고정</p>
	<p>모터 마운트 (ABS_3)motor_mount</p>	<p>기어모듈 홀더(ABS_2)과 모터홀더(ABS)를 고정</p>
	<p>어셈블리 파일</p>	<p>어셈블리 파일</p>

< 병렬 TSA 메커니즘 모터모듈 부품별 모델링 이미지(5차 설계) >

이미지	부품명	비고
	<p>마운트 홀더 (ABS) mount_holder</p>	<p>하네스와 폴리마운트(ABS_1) 를 연결</p>
	<p>폴리 마운트 (ABS_1)pulley_mount</p>	<p>고정 풀리를 고정</p>
	<p>컨duit 마운트 (ABS_2)conduit_mount</p>	<p>컨duit을 고정</p>
	<p>어셈블리 파일</p>	<p>어셈블리 파일</p>

< 병렬 TSA 미케니즘 고정 도르래 마운트 부품별 모델링 이미지(5차 설계) >

(13) 외골격 로봇 4차 시제품 성능 시험 및 평가

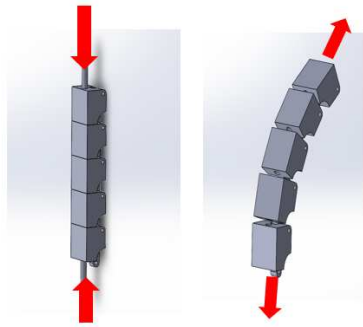


< 시스템 성능 시험 >

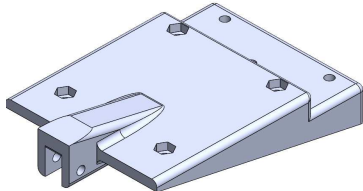
- 4차 설계와 비교하여 모멘트 팔이 감소함을 확인할 수 있음
- 모멘트 팔이 감소했음에도 고 하중 물체를 들어 올리기 큰 힘이 요구 될 때는 수축력의 크기가 커서 반력 토크가 하네스의 변형을 초래함
- 이를 방지하기 위한 수단으로 복부를 지나는 벨트를 추가로 고려
- 그러나 복부 벨트는 반력 토크를 인체의 복부에 전달하여 착용자의 통증을 초래할 수 있으며 반력 토크를 지지하여 하네스 변형을 방지하기에 충분하지 않음.
- 하네스의 변형을 방지하기 위해 새로운 미케니즘의 도입이 필요.

(13) 2차 시제품 (상지 보조 슈트) 4차 설계 성능 개선

- 압축력을 지지해 하네스의 변형을 방지해주면서 등의 굽힘을 허용하는 프레임을 상지 외골격 로봇에 적용



< 굽힘이 가능한 압축력지지 프레임 >

이미지	부품명	비고
	프레임 링크 (ABS)frame_link	
	모터 프레임 마운트 (ABS_1)motor_frame_mount	
	풀리 프레임 마운트 (ABS_2)pulley_frame_mount	
	어셈블리 파일	어셈블리 파일

< 굽힘 가능프레임 부품별 모델링 이미지 >

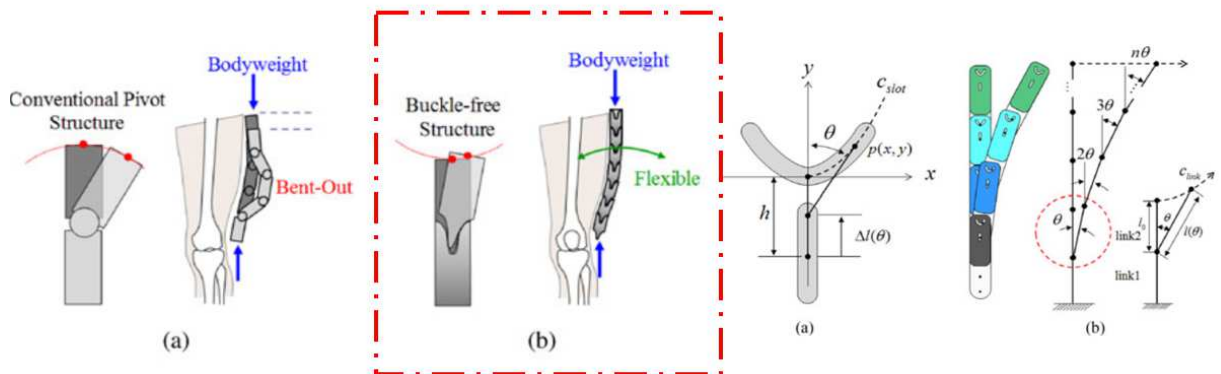


< 굽힘이 가능한 압축력지지 프레임을 도입한 외골격 로봇 시제품 사진 >

- 프레임 적용으로 하네스의 변형은 발생하지 않으나 하중이 증가함에 따라 프레임이 프레임에 작용하는 압축력을 견디지 못하고 좌굴이 발생
- 좌굴을 방지를 위해 추가로 좌굴 방지 프레임을 외골격 하네스에 추가

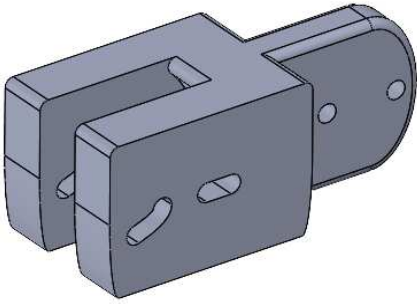

※ 참고 자료

→ Lee, Younbaek, et al. "Biomechanical design of a novel flexible exoskeleton for lower extremities." IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 22.5 (2017): 2058-2069.



< 좌굴 방지 프레임에 관한 참고자료 >

- 프레임의 조인트의 이동범위를 오목한 궤적을 따르도록 하여 압축력이 작용될 때 프레임이 좌굴되는 현상을 방지할 수 있음
- 이러한 프레임을 개발 중인 시제품에 적용하여 압축력이 작용하더라도 좌굴을 방지할 수 있는 프레임을 개발할 수 있음

이미지	부품명	비고
	좌굴 방지 프레임 링크 (ABS)frame_link	
	어셈블리 파일	어셈블리 파일

< 좌굴 방지 프레임 부품별 모델링 이미지 >



< 좌굴 방지 프레임에 관한 참고자료 >

- 좌굴 방지 프레임을 이용하여 상지 보조 외골격 로봇을 제작
- 5kg 하중에 대해서 좌굴 방지 프레임이 압축력을 지지하여 하네스의 변형을 방지하면서 프레임에 발생하는 좌굴도 발생하지 않음을 확인

4) 공동연구기관 : 에코팜

세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
사용자 특성 분석 및 기술 분석을 통한 디자인 방향 제시	- 기존 어시스트 슈트 디자인 비교 분석 및 방향성 도출 - 적용될 기술 파악을 통한 기본적인 기능구현이 가능한 방향 제시	
슈트 디자인 개발	- 디자인 전문인력을 활용한 슈트 디자인 조사 및 디자인 개발	
양산화 개발	- 하드웨어 및 제어 모듈 경량화 - 착용 편의성 개선 및 양산화를 위한 체형별 하드웨어 규격화	본문참조
어시스트 슈트 현장 실증평가	- 다양한 농작업에 따른 시나리오에 근거한 성능 평가 - 개발된 시스템을 이용하여 작업자 대상 작업 보조 실험 진행 - 사용성 평가를 기반으로 한 농업 로봇사의 상용화 모델 도출 및 홍보	본문참조

○ 사용자 특성 분석 및 기술 분석을 통한 디자인 방향 제시

가) 농업인의 작업 패턴 및 기본 활동을 조사하여 디자인 방향 제시

- 고령 작업자가 많아지는 현실을 반영해 고령자 혼자서도 쉽게 착용하도록 설계
- 슈트를 착용하지 않을 경우 보관이 용이하고 간편하도록 설계
- 슈트를 착용 후 야외에서 활동을 할 경우 강우등 자연 재해에 대해 사용자의 안전을 보호 할 수 있도록 설계

○ 슈트 디자인 개발

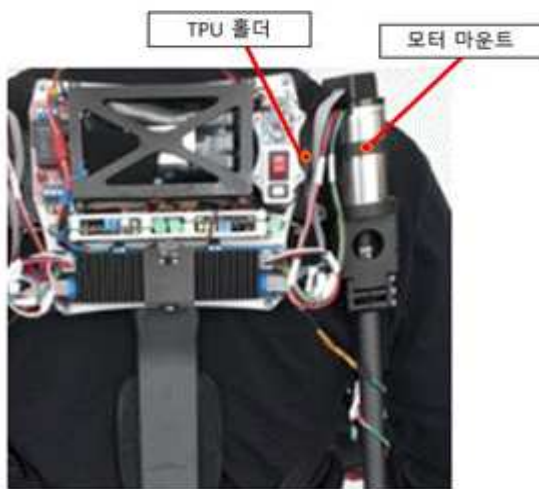
가) 디자인 전문 인력을 활용하여 슈트 디자인 조사 및 개발

- 슈트를 제일 많이 이용하는 사과과수원 농부 면담 및 의견을 반영하기위해 설문조사를 진행함
- 변형 가능하고 가벼운 소재인 합성 수지 사용
- 구부러도 등뼈에 움직임 방해하지 않고 등이나 허리에 부담을 경감하도록 설계
- 착용 후 움직임에 있어 슈트의 벗겨짐이나 헐거워짐을 방지한 디자인 적용
- 착용 후 상체의 움직임이나 팔의 움직임에 방해가 되지 않으며 팔에 무리가 가지 않도록 설계

○ 양산화 개발

가) 하드웨어 및 제어 모듈 경량화

- TSA 시스템 및 가변 구조 적용과 탈부착 및 관리가 용이한 디자인 설계
 - 슈트를 착용 후 작업 시간이 길어져도 신체에 부담을 주지 않도록 TSA 기반 구동 장치 경량화 설계
 - 1차 설계로 상체 하네스의 조절 가능 매커니즘의 홈 사이 간격에 맞춰 모터 마운트를 조절 가능한 매커니즘을 추가함
 - 기존엔 TPU홀더에 모터 마운트를 직접 연결 했다면 조절 가능한 매커니즘을 중간에 둠
 - 정해진 홈에 핀을 끼워 손쉽게 모터 마운트의 위치 즉, 어깨 끈의 높이를 조절 할 수 있도록 함



개선 전



개선 후

< 1차 모터 마운트 개선 전 후 사진 >

이미지	부품명	비고
	조절가능한 부분 (흙) (ABS) adjustable_v1	기존 TPU홀더에 연결 & 각 흙에 모터 마운트 결합
	핀 (ABS) adjustable_pin	모터 마운트와 조절가능한 부분(흙) 사이 결합체
	어셈블리 파일	어셈블리 파일

< 1차 모터 마운트 부품별 모델링 >

- 2차 설계로 볼트 조임 시 증가되는 마찰력으로 미끄러짐 없이 고정되도록 흙과 핀을 이용한 구조에서 슬라이더와 볼트를 이용한 구조로 변경
- 메카니즘 테스트 결과 모터와 TSA 구동으로 슬라이더가 밀리지 않고 안정적으로 고정되는 것을 검증

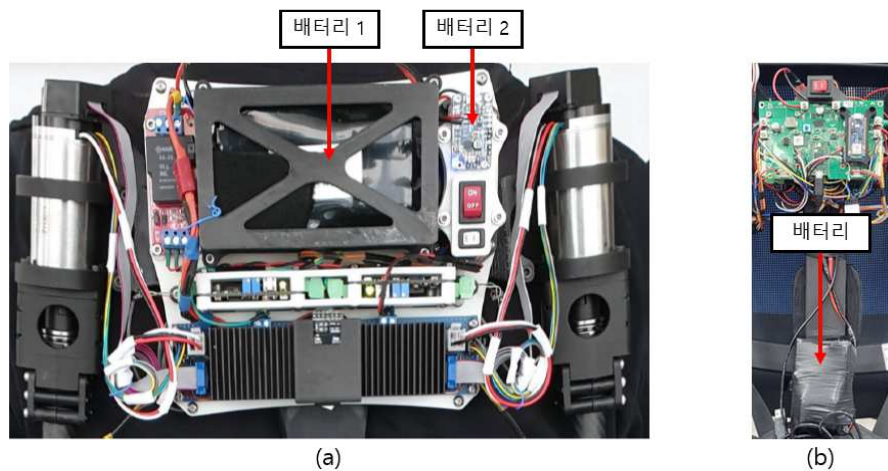


< 2차 모터 마운트 개선 전 후 사진 >

이미지	부품명	비고
	<p>조절가능한 부분 (슬라이더) (ABS) adjustable_v2</p>	<p>기존 TPU홀더에 연결 & 모터 마운트를 슬라이드 홈 사이에 끼워서 사용</p>
	<p>어셈블리 파일</p>	<p>어셈블리 파일</p>

< 2차 모터 마운트 부품별 모델링 >

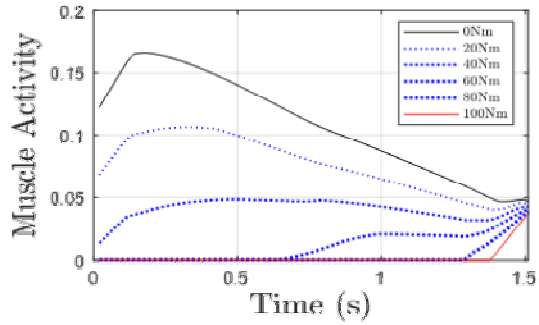
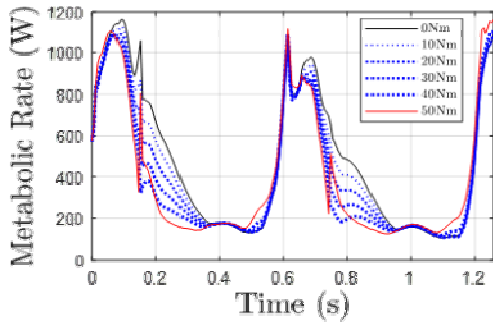
- 상&하지 웨어러블 슈트 하드웨어 경량화 설계(에코팜 - KAIST 협업)
 - 부하 집중 구역을 제외한 하드웨어 소재를 경량 소재로 대체하여 슈트 무게 경량화 수행(ABS → 탄소 섬유)
- 웨어러블 슈트 전장 및 제어부 경량화 설계(에코팜 - KIRO 협업)
 - 배터리 전원 공급 시스템을 개선하여 기존의 2개 배터리를 병용하던 시스템에서 단일 배터리로 작동할 수 있도록 개선



< 웨어러블 슈트 배터리 개선 (a)전, (b)후 사진 >

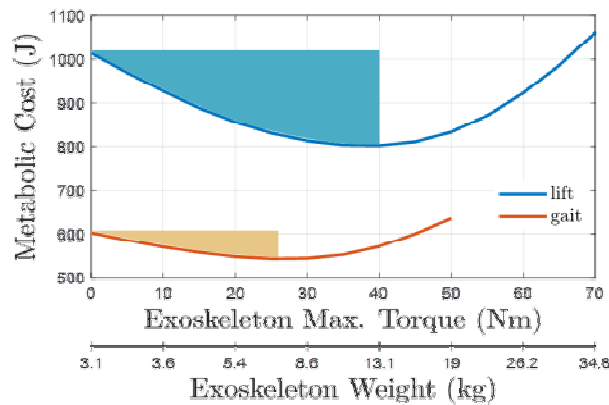
- 나) 착용 편의성 개선 및 양산화를 위한 체형별 하드웨어 규격화
- (1) 착용형 근력 보조 로봇 파라미터에 대한 인체 영향 분석

- 착용 편의성 개선을 위해 로봇의 파라미터에 대한 인체의 영향을 분석
- 로봇 보조력은 인체 전체의 신진대사량과 보조 관절 관련 근육의 근활성도를 감소시키는 것을 확인
- 하지만 동작 수행에 필요한 관절 토크 이상으로 보조력을 주게 되면 그 이상 보조되지 않고 오히려 방해됨을 관측
- 로봇 무게는 인체 전체의 신진대사량을 증가시키는 것을 확인
- 근활성도의 경우 로봇 무게중심점과 관절의 상대위치에 따라 보조 및 방해가 결정됨을 관측



< 보행 보조 시 고관절 근활성도 변화 >

< 짐들기 보조 시 고관절 근활성도 변화 >



< 보조력과 무게 관계에 따른 신진 대사량 >

- 경북 지역 40~70세의 남·여 농업인을 대상으로 실제 농작업 종사자들의 체형에 맞춰 설계하기 위해 KOSIS 국가 통계 포털의 자료를 참조하여 평균 신장을 고려하여 사용자 체형에 적합한 하드웨어 규격화 설계를 진행함
- 경북 지역의 40대 남성의 평균 신장은 172.7cm이며, 50대 남성의 평균 신장은 170.1cm이며, 60대 남성의 평균 신장은 167.5cm, 70대 남성의 평균 신장은 165.2cm로 확인되었으며 경북 지역의 40대 여성의 평균 신장은 159.8cm이며, 50대 여성의 평균 신장은 157.3cm이며, 60대 여성의 평균 신장은 154.7cm, 70대 여성의 평균 신장은 151.6cm로 확인되었음
- 사용자 신장에 따라 145cm~155cm, 155cm~165cm, 165cm~175cm의 체형에 맞게 하드웨어를 설계하여 착용 편의성을 개선하고 양산화 규격을 선정함

○ 어시스트 슈트 현장 실증평가

가) 근로자의 입장에서 디자인 개선점을 파악하기 위해 현장 농가를 방문하여 실증평가를 수행하고 농업인 VOC(Voice of Customer) 청취 및 인터뷰 실시

설문대상	고령 농업인 및 여성 농업인
일시/장소	2021년 10월 / 경북 의성 농업 현장
설문 목표	개발한 슈트의 실사용에 따른 개선 요구 사항 청취 및 피드백 분석
설문내용	(1) 제품을 사용하시면서 특별히 불편했던 점이 있으신가요? (2) 제품으로 기존의 동작들이 불편하시진 않았나요? (3) 제품 사용기간은 어느 정도 되시는지요? (4) 제품의 사용 시간은 어느정도 되시는지요? (5) 제품의 무게는 적당하실까요? (6) 근육사용에 보조 효과가 있다고 보시나요? (7) 제품의 가격은 얼마가 적당할까요? (8) 제품에 대한 만족도는 어느 정도인가요? (10점 만점)

< 인터뷰 매뉴얼 >



< 현장건설팅 인터뷰 현황 및 실착용 테스트에 대한 현장 조사 >



경북사과수출사업단 단장 강인규 교수

독농가 사과농원

사과사랑동호회 회장 홍성일

사과시험장 권순일 연구관

대구경북능금농협 지도상무 이현록

< 실착용 테스트(실증 평가) 모습 >

나) 인터뷰 및 시제품 분석 결과를 바탕으로 개선점 파악 및 개선 방향을 수립함.

시제품	개선 방향	기타
[개선점 파악] ■ 과수작업 시: 관절이 뻣뻣, 등이 베김, 사이즈가 맞지 않음, 조금 무겁 게 느껴짐	[농민 의견] ■ 관절의 유연성 ■ 허리 지지대 등쿠션 업그레이드 ■ 수동명령 반응속도 강화 ■ 슈트 무게 경량화	[추가 필요 기능] ■ 사이즈 조절 기능 ■ 벗어 놓을 때 거치할 수 있는 거 치대

다) 외골격 웨어러블슈트의 사용성 평가(EMG TEST)

- 안동스마트팜사업단 협력으로 웨어러블 슈트 사용성 평가수행
- 웨어러블 슈트의 동작범위, 기능, 스펙을 분석하여 실험실에서 효과적인 근피로도
 검증을위한 시뮬레이션 동작을 설정하고, 반복 동작을 통해 외골격 웨어러블슈트의
 EMG TEST를 실시하였음



(a)

(b)

< 테스트 작업 동작 박스 (a)올리고/내리는 동작, (b)들고 유지하는 동작 >



< 무선표면근전도 측정장치 >

< 실험대상자의 일반적 특징 >

키(cm)	몸무게(Kg)	나이 (세)	성별(남/여)	우세손(오른/왼)
171.83± 8.87	66.72± 14.75	23.9± 2.62	6/0	6/0

(1) 사용자기반 사용성 평가(설문조사)

- 웨어러블 슈트의 사용성 평가를 위해 안전성, 조작성, 만족도 3가지 영역에서 각각 항목과 세부문항을 설정
- 사용자에게 제품을 경험하게 하고, 설문 조사 수행
- 조작성 항목은 자가착용 간편성과 길이조절로 구분하고, 세부문항 3개 설정
- 만족도 항목은 부하감소, 착용 보행성, 장시간 착용성, 신체 활동성으로 구분하고, 세부문항 8개 설정
- 안전성 항목은 압박부하, 장비밀착성, 척추적합성으로 구분하고, 세부문항 7개 설정

외골격 웨어러블슈트 사용자기반평가 사용성평가

영역	항목	세부 문항	⑤ 매우그렇다 ④ 그렇다 ③ 보통이다 ② 아니다 ① 매우아니다				
			⑤	④	③	②	①
조작성 (3)	자가 착용 간편성		혼자서 장비를 착용하기 간편한가?				
	길이조절	끈 길이	스트랩 착용 후 가슴/허리/다리 끈 길이 조절은 간편한가?				
		팔 커프 길이	팔 커프의 길이 조절은 간편한가?				
만족도 (6)	부하감소	팔 들어 작업	팔 들어 작업 시, 어깨의 부하는 감소하는가?				
		팔 들 때	팔을 내린 상태에서 팔을 들 때 어깨의 부하는 감소하는가?				
		팔 내릴 때	팔을 내릴 때 장비의 탄성에 의해 불편하지는 않은가?				
	착용 보행성	착용 후 불편함 없이 보행이 가능한가?					
	장시간 착용성	장시간 착용하여도 불편함은 없는가?					
	신체 활동성	착용 후 움직여도 불편함은 없는가?					
안전성 (7)	압박부하	어깨끈 스트랩	작업시 어깨끈 스트랩으로 압박과 부하로 불편함은 없는가?				
		가슴끈 스트랩	작업시 가슴끈 스트랩으로 압박과 부하로 불편함은 없는가?				
		허리끈 스트랩	작업시 허리끈 스트랩으로 압박과 부하로 불편함은 없는가?				
		팔 커프	작업시 팔 커프의 압박에 의한 불편함은 없는가?				
	롤링 스프링 탄성	팔을 들어 올릴 때 장비의 롤링 스프링 탄성으로 어깨의 불편함은 없는가?					
	장비 밀착성	신체와 장비의 밀착부족으로 마찰이 생기는 부위는 없는가?					
	어깨 충돌성	팔을 돌리고 내릴 때 장비와 어깨가 충돌하지 않는가?					

< 사용자기반 사용성 평가 설문조사 >

< 사용자기반 사용성평가 결과 >

영역	세부 문항	실험군 (6)	비고
조작성 (3)	1. 혼자서 장비를 착용하기 간편한가?	4.07	
	2. 스트랩 착용 후 가슴/허리/다리 끈 길이 조절은 간편한가?	4.47	
	3. 팔 커프의 길이 조절은 간편한가?	4.37	
만족도 (6)	4. 팔 들어 작업 시, 어깨의 부하는 감소하는가?	4.7	
	5. 팔을 내린 상태에서 팔을 들 때 어깨의 부하는 감소하는가?	4.7	
	6. 팔을 내릴 때 장비의 탄성에 의해 불편하지는 않은가?	4.4	
	7. 착용 후 불편함 없이 보행이 가능한가?	4.57	
	8. 장시간 착용하여도 불편함은 없는가?	4.57	
	9. 착용 후 움직여도 불편함은 없는가?	4.43	
안전성	10. 작업시 어깨끈 스트랩으로 압박과 부하로 불편함은 없는가?	4.67	

(7)	11.작업시 가슴끈 스트랩으로 압박과 부하로 불편함은 없는가?	4.7	
	12.작업시 허리끈 스트랩으로 압박과 부하로 불편함은 없는가?	4.77	
	13.작업시 팔 커프의 압박에 의한 불편함은 없는가?	4.57	
	14.팔을 들어 올릴 때 장비의 올림 스프링 탄성으로 어깨의 불편함은 없는가?	4.47	
	15.신체와 장비의 밀착부족으로 마찰이 생기는 부위는 없는가?	4.43	
	16.팔을 올리고 내릴 때 장비와 어깨가 충돌하지 않는가?	4.37	

(2) 검사 기반 사용성 평가(근활성도 측정)

- 허리근력보조 웨어러블슈트의 동작범위, 기능, 스펙을 분석하여 실험실에서 효과적인 근피로도 검증을위한 시뮬레이션 동작을 설정하고, 반복 동작을 통해 외골격 웨어러블슈트의 EMG TEST를 실시하였음
- 웨어러블슈트 착용전과 후의 효능성을 역학적으로 평가하기 위해 표면근전도장비를 이용하여 관련된 근육부위에 근전도전극을 부착하고 작업 동작동안의 근활성도를 측정하여 전과 후의 근활성도를 비교함
- 특별한 동작시에 보조적 장치를 이용하여 근활성도가 낮아진다면, 해당 근육의 사용이 감소하였음을 의미함



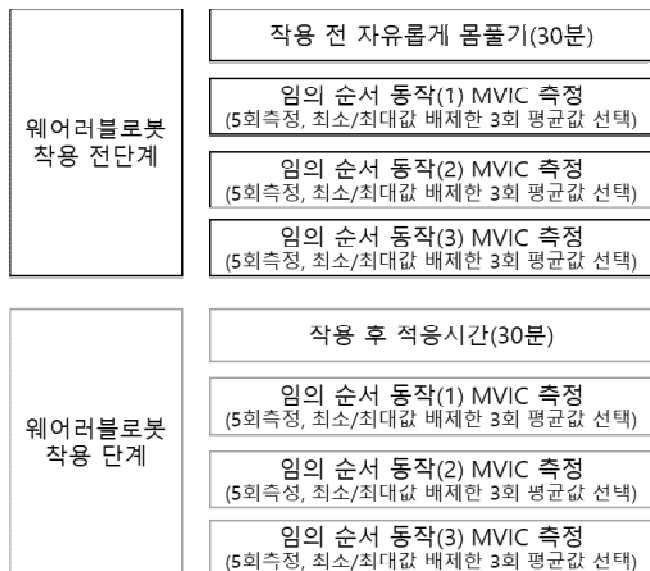
< 실험 동작 및 실험 자재 >



< 측정 센서 부착 위치 >

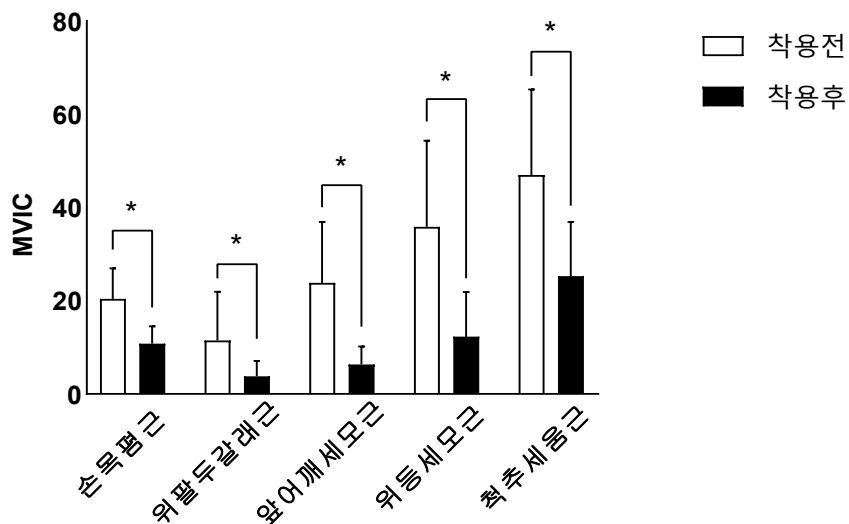
근육	사진	기능
손목폄근 wrist - extensor		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 물건을 잡아서 손목을 뒤로 젖힐 때 ✓ 주먹을 쥐면 굽힘근의 안정근으로 사용됨 ✓ 주어진 3가지 작업 모두 잡기 동작이 포함됨
위팔두갈래근 biceps brachii muscle		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 팔꿈관절을 구부릴 때 사용 ✓ 사과바구니와 사과박스를 들면 팔꿈관절을 구부려야 함
앞어깨세모근 anterior deltoid muscle		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 어깨관절을 앞쪽과 옆쪽으로 들 때 사용 ✓ 어깨세모근의 3가지 섬유 중 앞쪽 섬유는 특히 앞쪽으로 팔을 들 때 주 사용되는 근육
위등세모근 upper trapezius muscle		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 어깨뼈를 올림, 위쪽돌림과 모음 기능 ✓ 팔을 앞으로, 옆으로 들 때 사용 ✓ 물건을 잡고 들 때 필히 사용되는 근육
척추세움근 erector spinalis muscle		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 척추를 펴는 데 사용 ✓ 팔과 다리에 힘이 들어가는 동작 시 앞쪽의 복부근육과 함께 뒤쪽의 척추세움근이 작용 ✓ 특히 무거운 물건을 들면 척추세움근의 과활성이 유발됨

< 근활성도 측정 부위 >

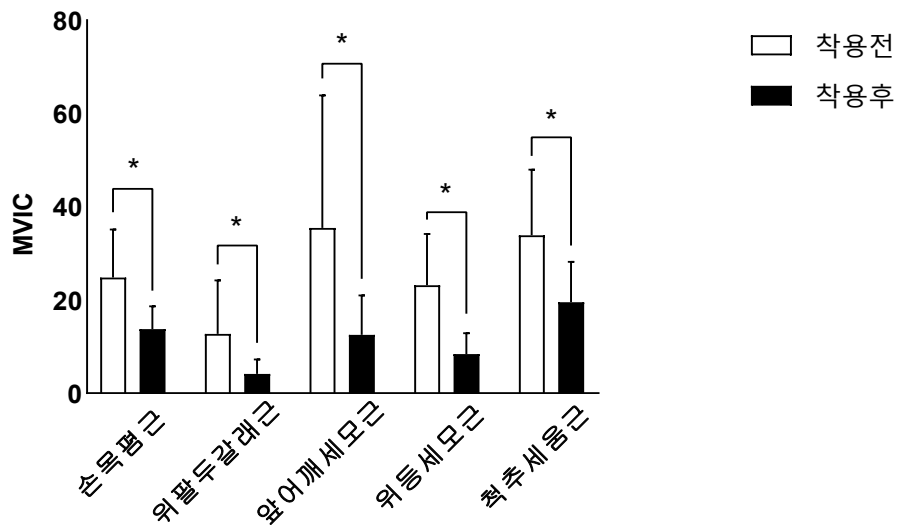


< 웨어러블 슈트 EMG 테스트 절차 >

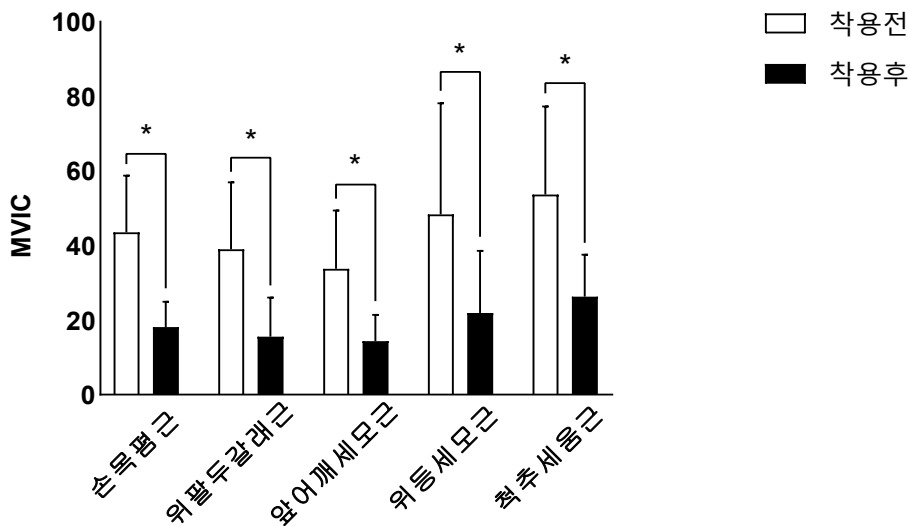
- 근활성도 측정을 위해 3가지 작업 동작을 선정(박스 들기, 박스 내리기, 박스 들고 유지하기) 20kg 박스를 선정한 동작을 수행



< 양손으로 손잡이를 잡고 박스 들기 구간 결과 >



< 양손으로 손잡이를 잡고 박스 내려놓기 구간 결과 >



< 양손으로 손잡이를 잡고 박스 유지하기 구간 결과 >

- 세 구간의 근 피로도 측정 결과
 - 손목평근 44.52%~58.38% 유의미하게 감소
 - 위팔두갈래근 60.1%~67.37% 유의미하게 감소
 - 위등세모근 54.79%~65.74% 유의미하게 감소
 - 앞어깨세모근 57.4%~73.27% 유의미하게 감소
 - 척추세움근 42.36%~50.96% 근활성도 감소 효과를 보여 줌
- 척추세움근의 근활성도를 최대 50.96%까지 감소시켜 줌으로 작업 중 허리디스크를 유발요인을 줄여줌으로, 허리 주변근육을 보조하는 역할을 웨어러블슈트가 할 수 있음을 확인함

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 어시스트 슈트 시제품 알고리즘 개발 및 최적화
- 시제품 개발을 위한 기구학 모델링 설계 해석 환경 구축 및 데이터 해석
- 어시스트 슈트 시제품 시스템 개념도 및 하드웨어 설계
- 어시스트 슈트 성능 시험 및 평가를 통한 정량적 목표 검증
- TSA 시스템 및 가변 구조의 요소를 적용한 디자인 개발
- 작업 종류를 고려하여 실증 평가를 통한 사용자 의견 취합 및 디자인 설계안 제시
- 디자인 전문 인력을 활용한 개발된 기술의 슈트 디자인 설계 및 디자인 제작

(2) 정량적 연구개발성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기 타 (타 연 구 활 용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SCI	비 SCI						
단위	건	건	건	건	백만 원	건	백만 원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	25	15				20			10	10			10					10	
최종목표	6	4				2			3	1				10				3	
1차 년 도	목 표	2												2					
	실 적	2							1					5				1	
2차 년 도	목 표	2	1						1					3				1	
	실 적	7	1						2					6				1	
3차 년 도	목 표	2	1			1			1	1				3				1	
	실 적	4	2	1	1	15			2		2	2		5				2	
소 계	목 표	6	2			1			2	1				8				2	
	실 적	13	3	1	1	15			5		2	2		16				4	
종료 1차년도		1				1			1					2				1	
종료 2차년도		1																	
종료 3차년도																			
종료 4차년도																			
소 계		2				1			1					2				1	
합 계	6	4				2			3	1				10				3	

평가 항목 (주요성능 Spec ¹⁾)	단위	전체 항목 에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	개발 목표치			개발 달성치			달성도 (%)
			1차년도	2차년도	3차년도	1차년도	2차년도	3차년도	
1. 기반하중	kg	20	5	10	20	5	10	22.49	100
2. 웨어러블 슈트 기반하중	kg	20	10	8	5	5.5	5.0	4.91	100
3. 착용소요시간	sec	15	60	45	30	51	31.5	22.7	100
4. 액추에이터 내구성	%	15	1만회	2만회	4만회	1만회	2만회	4만회	100
5. 슈트 연속작동 시간 (통합)	hr	15	2	3	4	2	3	34.2	100
6. 웨어러블 슈트 착용시 근육 활성도 감소율	%	15	-	-	20	-	-	64.0	100

(3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Development of the Power Assist Exosuit for Agricultural Work Field	한국기계 가공학회 지	박관형	21(12)	대한민국	한국기계가 공학회	비SCIE	2022.12	1598-6721	
2	Design for Additive Manufacturing of Agricultural Strength Assisting Exoskeleton on Suit	한국기계 가공학회 지	박관형	21(12)	대한민국	한국기계가 공학회	비SCIE	2022.12	1598-6721	
3	Active-Type Continuously Variable Transmission System Based on a Twisted String Actuator Chattering-Free Time Domain Passivity Approach	IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS	장재형	7(2)	미국	IEEE	SCIE	2022.01.25	2377-3766	33
4	Chattering-Free Time Domain Passivity Approach	IEEE TRANSACTIONS ON HAPTICS	최현석	15(3)	미국	IEEE	SCIE	2022.05.27	1939-1412	50

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국기계가공학회	박관형 외 3	2020.11.05	여수히든베이호텔	대한민국
2	한국기계가공학회	강민수 외 3	2020.11.05	여수히든베이호텔	대한민국
3	한국기계가공학회	홍형길 외 5	2020.11.05	여수히든베이호텔	대한민국
4	한국기계가공학회	조권승 외 3	2020.11.052020.11.05	여수히든베이호텔	대한민국
5	한국기계가공학회	조용준 외 4	2020.11.05	여수히든베이호텔	대한민국
6	한국정밀공학회 2021 춘계학술대회	윤해룡 외 5	2021.05.12	온라인개최	대한민국
7	한국기계가공학회 2021년도 춘계학술대회	박관형 외 6	2021.06.24	부산 웨스틴 조선 호텔	대한민국
8	한국기계가공학회 2021년도 춘계학술대회	박희창 외 6	2021.06.24	부산 웨스틴 조선 호텔	대한민국
9	International Symposium on PRrecision Engineering and Sustainable Manufacturing	박관형 외 4	2021.07.21	제주 라마다 플라자 호텔	대한민국
10	21st International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)	박희창 외 3	2021.10.12	제주 라마다 플라자 호텔	대한민국
11	21st International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)	박관형 외 3	2021.10.12	제주 라마다 플라자 호텔	대한민국
12	2022 한국정밀공학회 춘계학술대회	박희창 외 4명	2022.05.11.	제주 라마다 프라자 호텔	대한민국
13	19th International Conference on Ubiquitous Robots (UR 2022)	박희창 외 6명	2022.07.04	제주 라마다 프라자 호텔	대한민국
14	PRESM 2022	박관형 외 4명	2022.07.20	제주 부영 호텔	대한민국
15	ICCAS 2022	박관형 외 3명	2022.11.27	부산 벅스코	대한민국
16	ICRA2022	장재형	22.05.26	필라델피아(원격)	미국

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	농작물리프트 하지 근력보조시스템	대한민국	조재두	2020.11 .27	10-2020-016238 4				100		
2	농작물리프트 하지 근력보조시스템의 제조방법	대한민국	조재두	2020.11 .27	10-2020-016238 5				100		
3	스트링 액추에이터 기반 외골격 로봇	PCT	카이스트	2021.05 .26	PCT/KR 2021/09 5061				100		
4	양방향 고유감각 구동기	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2021.08 .17	10-2021-010810 6				100		
5	단일 모터로 구동되는 웨어러블 슈트	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2021.08 .23	10-2021-011093 3				100		
6	자세 보조 웨어러블 슈트	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2021.08 .23	10-2021-011093 4				100		
7	근력보조모듈 및 이를 포함하는 웨어러블 슈트	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2021.08 .23	10-2021-011093 5				100		
8	농작물 리프트 하지 근력 보조시스템의 제어방법	대한민국	조재두	2020.11 .27	10-2020-016238 5	10-2298 949	조재두	2021.09 .01	10-2298 949	100	
9	단일모터로 구동되는 웨어러블 슈트	PCT	한국로봇 융합연구 원	2021.09 .03	PCT/KR 2021/01 1919				100		
10	근력보조모듈 및 이를 포함하는 보조력 지원 웨어러블 슈트	PCT	한국로봇 융합연구 원	2021.09 .03	PCT/KR 2021/01 1920				100		
11	와이어 동작 기반 웨어러블 슈트 및 이의 제어방법	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2021.12 .30	10-2021-019336 1				100		
12	웨어러블 로봇용 그립	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2022.02 .22	10-2022-002303 4				100		
13	웨어러블 로봇	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2022.01 .26	10-2022-001131 8				100		
14	근력 보조 장치	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2022.03 .31	10-2022-004008 1				100		
15	스트링 액추에이터 기반 외골격 로봇	PCT	카이스트	2021.05 .26	1742692 0	US 2022/03 14429 A1	카이스트	2022.10 .06	US 2022/03 14429 A1	100	
16	특허-농작물리프트하 지근력보조시스템	대한민국	(주)에코팜	2020.11 .27	10-2020-016238 4		(주)에코팜	2022.04 .28	10-2393 519	100	
17	상표-NO파워 (상표등록)	대한민국					(주)에코팜	2022.07 .26	40-1892 718	100	

[경제적 성과]

□ 기술 실시(이전)


번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	특허	웨어블로봇	㈜에코팜	2023.01.01	15,000,000원(부가세별도)	

기술이전계약서

2023. 01. 01.

기술명 : 『웨어블 로봇 (10-2022-11318)』

실시기업 : 주식회사 에코팜



기술이전 계약서
(기술명 : 웨어러블 로봇 (10-2022-11318))

한국로봇융합연구원 (이하 "KIRO"이라 한다)와 (주)에코팜(이하 "실시권자"라 한다)는 KIRO가 보유하고 있는 아래 기술에 관하여 다음과 같이 합의하고 기술이전계약(이하 "본 계약"이라 한다)을 체결한다.

[계약 주요 조건]

1. 기술 명	웨어블 로봇 (10-2022-11318)	
2. 계약기간	2023.01.01. ~ 2027.12.31. (5년)	
3. 기술료	- 선급기술료	15,000,000원 (vat 별도)
	- 경상기술료	매년 이관기술 활용 총매출액의 5% (vat 별도)
4. 자료제공 및 기술지도 등	기술지도기간	계약 후 1개월 이내 (2023.01.01~2023.01.31)
	기술이전완료 확인서 제출	기술지도 완료 후 1개월 이내
5. 선급기술료 납부	- 계약일로부터 1개월 내, 15백만원(vat 별도)	
6. 공인된 실시료 산출근거 및 경상기술료 납부	매년 5월 말까지 이행	
7. 기술료 납부계좌	계좌은행 : 국민은행 계좌번호 : 619001-04-011511 예금주 : 한국로봇융합연구원	

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			2020년	2021년	2022년	
1	첨단농기계기술개발 사업	한국로봇융합연구원	1	1	1	3
2	첨단농기계기술개발 사업	에코팜		1	1	2
합계						5

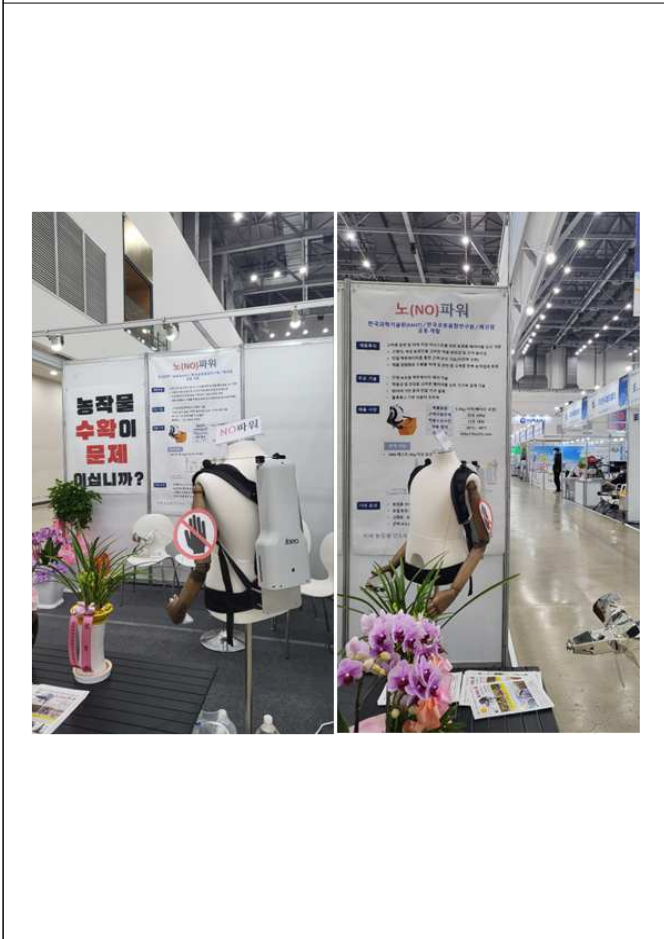
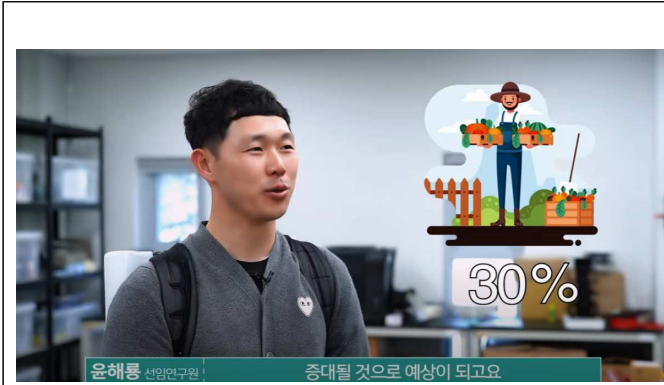
□ 고용 효과

		구분	고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

[사회적 성과]

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	TV 뉴스	안동 MBC	안동농업로봇실증센터 개소식	2020.10.27
2	농림식품기술기획평가원 홍보촬영	YouTube	IPET 성과발굴 현장을 가다, '농작업 향상을 위한 어시스트 슈트' 한국로봇융합연구원	2021.12.17
3	박람회	Kiemsta2022(국제농기계자재)	No파워 전시	2022.11.02.~ 2022.11.05
4	온라인 기사	농민신문	무거운 짐도 번쩍...에코팜, 어시스트 슈트 출시 앞뒀	2022.08.08



농민신문 경제

무거운 짐도 번쩍...에코팜, 어시스트 슈트 출시 앞뒀

2022-08-08 21:54 | 수평: 2022-08-08 21:54

에코팜(대표 조재두)이 농촌 고령화의 해결책으로 떠오르는 어시스트 슈트(농작업을 할 때 신체의 부담을 줄여주기 위한 목적의 착용 로봇) <노파워>를 개발해 공식 출시를 앞두고 있다.

<노파워>는 농림식품기술기획평가원의 연구개발과제로 선정돼 주관기관인 한국로봇융합연구원과 참여기관인 한국과학기술원 에코팜이 2020년부터 공동개발하고 있는 고하중 운반 작업 작업을 돕는 농업용 어시스트 슈트이다.

와이어 산속에 의해 짐을 주는 방식이기 때문에 20kg 이상 고중량의 물건을 들어 올리거나 구부린 자세를 반복해야 하는 농업 분야에 적합한 구조다.

또 기존의 외골격 슈트나 전동형 슈트에 비해 착용성이 용이하고 경량화할 수 있어 고령자와 여성들도 가령을 택도 쉽게 착용이 가능하다. 방수 기능을 갖춰 비가 올 때도 사용할 수 있고 간단한 세척도 된다.

농촌진흥청 조사 결과에 따르면 농민 가운데 1주일 이상 지속되는 근골격계 통증을 경험한 비율이 80.5%로 조사됐으며 그 중 허리가 51.8%다. 이에 고중량물 취급을 보조하는 <노파워>를 착용하면 허리에 가는 부담을 덜어줘 근골격계 질환 예방에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

연세 개발 역까지 단계인 <노파워>는 지역별 농산물산지유통센터, 농민단체 등을 대상으로 현장실증평가를 진행한 뒤 2023년 정식으로 출시될 예정이다.

조재두 에코팜 대표는 "농민들이 근골격계 질환을 예방할 수 있도록 슈트 생산일정을 앞당기기 위해 최선을 다할 것"이라고 밝혔다.

장재혁 기자

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 어시스트 슈트 시제품 제작 및 시스템 검증 (한국로봇융합연구원)	1. 어시스트 슈트 시제품 통합 및 고도화 2. 시스템 검증 및 설계 최적화 3. 어시스트 슈트 사용자의 근 활성화 기반 효과 평가 및 분석	○100% ○100% ○100%
○ 어시스트 슈트 제어 개선 및 알고리즘 최적화 (한국과학기술원)	1. 어시스트 슈트 제어 알고리즘 최적화 2. 어시스트 슈트 사용성 평가에 따른 개선모델 개발	○100% ○100%
○ 어시스트 슈트 실증 평가 및 최적 디자인 도출 (에코팜)	1. 양산화 개발 2. 어시스트 슈트 현장 실증평가	○100% ○100%

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다) (해당없음)

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 농업용 어시스트 슈트 국산화
 - 대다수 해외의존이 높은 어시스트 슈트의 국산화 및 미래 농업용 로봇관련 원천기술의 확보 및 PCT 등의 특허권 확보
 - 기존 해외에 의존되는 농업 어시스트 슈트를 탈피하여 새로운 경량화 구동 방식의 어시스트 슈트 개발을 통해 국내 농기계 기술 경쟁력 확보
 - 농업용 어시스트 슈트 원천기술 확보를 통해 기술/가격 경쟁력 확보
 - 농업용 어시스트 슈트의 다양한 농작업 연구개발 및 산업화 과정의 기간의 단축 및 독창적인 서비스를 제공
- 국내 농촌 지역의 고령, 여성화로 인한 노동력 감소 문제 해결
 - 농업용 어시스트 슈트의 활용으로 인해 농작물 생산성 확보

(단위 : 백만원, %)

총괄과제명	세부과제명	기관명	유형	총 연구개발비 (A)	정부지원 연구개발비 (B)	정부지원 연구개발비 비율 (C=B/A)	성과 유형	기술기여도	
								산정 근거	비율
농작업 효율 향상을 위한 어시스트슈트 개발	농작업 효율 향상을 위한 어시스트슈트 개발	한국로봇융합연구원	출연연 (비영리)	467.5	467.5	1.000	신규 기술개발	-	-
	농작업 효율 향상을 위한 어시스트슈트 개발	한국과학기술원	대학 (비영리)	412.5	412.5	1.000	신규 기술개발	-	-
	농작업 효율 향상을 위한 어시스트슈트 개발	에코팜	중소기업 (영리)	588	220	37.415	신규 기술개발	1-1	37.42 %
계				880	880	-	-		

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 어시스트 슈트에 대한 연구는 근로자 작업 환경 개선, 노동력 감소 문제를 해결하기 위해 지속적으로 수행 될 것으로 예측됨에 따라 본 연구를 통해서 얻어진 결과(TSA 구동기 설계 및 제작, 작업예측 SW 개발, 농작업 동작 파라미터 등)를 활용하여 참여기업 뿐만 아니라 농기계업체들과의 협업을 통해서 관련된 연구를 고도화 및 최적화 수행 예정

 - 개발된 농업용 어시스트 슈트 기술을 바탕으로 제품 양산 및 보급을 통해 국내 농산업 시장 활성화 및 국가 경쟁력에 기여
 - 표준화 된 어시스트 슈트를 개발하고 관련 기술을 고도화 하고, 한국형 어시스트 슈트 개발을 통한 관련 산업현장 등 시장의 확대를 유도
 - 국내 농가 : 개인 농가를 중심으로 어시스트 슈트 판매를 추진하고, 농기계임대사 업소, 각 지자체 영농조합에 모듈보급 사업을 통해 개인 농가의 비용을 최소화 하면 서도, 활용효과가 높은 방안으로 사업을 추진
 - 해외 농가 : 먼저 가변형(작업별) 농업용 어시스트 슈트가 다방면의 농작업에 적용 이 가능하도록 개발 하여 판매하고, 추가 기술수요 및 개솔 대해서는 각 기술 단위 별로 개발하여 세계 말농업용 농기계 시장에 진출

 - 농업용 어시스트 슈트 개발을 통해 고령 및 여성 농업인들의 농업 참여범위를 확대 하고, 작업효율을 향상시킴으로써 농업인의 부담을 절감
 - 중노동 중심의 농작업에서 노약자, 여성 등 다양한 인력이 관련 농업 산업에 지속적으로 참여가능

 - 독자적인 농업용 어시스트 슈트 개발을 통해 해외 수출을 높이고 판매용 제품의 양산을 통해 국내 농기계 시장의 활성화가 가능
 - 실제 환경 작업 테스트를 통해 성능을 검증한 농업용 어시스트 슈트 개발을 통해, 시장에서 즉각적으로 활용 가능한 제품을 보급
 - 제품 보급에 따른 판매단가의 하락과 더불어 모듈 보급이 확대됨에 따라 활용성이 높아져, 지속적인 사업 성장이 기대
-

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE					
	비SCIE					
국내논문	SCIE					
	비SCIE					
학술성과	학술발표	2				
특허출원	국내					
	국외					
특허등록	국내	1	1			
	국외					
인력양성	학사					
	석사					
	박사					
사업화	시제품개발					
	상품출시					
	기술이전					
	공정개발					
	제품화	1				
	고용창출	1				
	매출액(단위 : 천원)	500,000	1,000,000	1,500,000	2,000,000	2,500,000
	기술료(단위 : 천원)	4,400,000				
비임상시험 실시						
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상				
		2상				
		3상				
	의료기기					
진료지침개발						
신의료기술개발						
성과홍보		1				
포상 및 수상실적						
정성적 성과 주요 내용						

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	붙임(별첨) 자료
1. 공통요구자료	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
2. 부록	1)정량적 목표 시험성적서

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	320028-03		
사업구분	농기계산업혁신기술				
연구분야	첨단농기계		과제구분	단위	
사업명	농기계산업혁신기술			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	농작업 효율 향상을 위한 어시스트슈트 개발		과제유형	(기초,응용,개발)	
연구개발기관	한국로봇융합연구원		연구책임자	윤해룡	
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2020.04.01. ~ 2020.12.31.	300,000	100,000	400,000
	2차년도	2021.01.01. ~ 2021.12.31.	400,000	134,000	534,000
	3차년도	2022.01.01. ~ 2022.12.31.	400,000	134,000	534,000
	계	2020.04.01. ~ 2022.12.31.	1,100,000	368,000	1,468,000
참여기업	에코팜				
상대국			상대국연구개발기관		

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2023년 2월 21일

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
한국로봇융합연구원	선임연구원	윤해룡

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약	
-----	--

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (우수)

농작업 보조 목적의 웨어러블 슈트로서 TSA(Twist st assist)기술을 사용하여 웨어러블 슈트를 개발함. TSA기술은 와이어 신축에 의해 힘을 어시스트 하는 방식으로 기존의 외골격 슈트에 비해 착용성이 용이한 경량형 어시스트 슈드 개발이 가능함.
또한 단일 구동기를 적용한 웨어러블 슈트 구동 시스템을 개발하여 착용자 제어와 기구부 간소화 및 웨어러블 슈트 경량화 설계를 달성함.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (우수)

현재 상용화 시제품의 개발이 완료되어 고하중 운반 및 적재 작업의 농작업에 바로 적용 가능하며 상용화 가능 모델을 기반으로 추후 여러 농작업(전지, 방제, 재배 등)에 적용 가능한 제품개발이 가능함. 농촌인구의 감소에 따른 인력을 대체할 지능형 농업기계의 필요성이 대두되고 있는 실정에서 이에 적용될 수 있는 기술을 개발함에 따라 이를 적용한 다양한 제품들이 양산될 것으로 기대됨
또한 개발된 웨어러블 슈트의 기술을 농업뿐만 아니라 다른 산업(건축, 건설, 물류, 서비스 등)에서 고하중 이동에 적용 가능하여 다양한 산업군에서 사용 가능할 것으로 기대됨

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (우수)

본 과제 수행 과정에서 개발한 1차 시제품은 현재 농업에 상용화가 가능할 수 있는 완성도를 가지고 있어 1차 시제품을 기반으로 한 성과들의 활용가능성이 높을 것으로 예상됨.
현재 연구 수행 기관인 KIRO에서 원천기술을 확보하고 있기 때문에 사업화 가능성이 높고 이에 따라서 웨어러블 슈트의 기술 적용 및 활용 가능성이 높음

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (우수)

본 과제의 과제 기획 당시 선정했던 웨어러블 슈트의 정량적 목표(특허출원, 특허등록, 고용창출, 학술대회, 논문 등) 및 성능 목표보다 높은 실적을 수행함

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (우수)

과제기간 동안 논문 4건, 학술발표 16건, 특허출원 13건, 특허등록 3건, 기술이전 1건, 고용창출 5명, 홍보 4건 등의 실적을 거둠

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가	비고
기반하중	20	100	20kg	공인기관 평가 성적서 확보
웨어러블 슈트 중량	20	100	5kg	
착용소요시간	15	100	30sec	
액추에이터 내구성	15	100	4만회	
슈트 연속작동 시간(통합)	15	100	4hour	
웨어러블 슈트 착용시 근육 활성화도 감소율	15	100	20%	
합계	100점	100		

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

국내 농업인들의 작업 능률 극대화를 위한 웨어러블 슈트와 이를 제어하지 위한 자게세어 및 동작 예측 시스템을 개발함.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

국내에서 진행된 농작업 목적의 웨어러블 슈트임을 고려 요청드립니다

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

본 과제를 통해서 개발된 기술을 바탕으로 웨어러블 슈트 기구 및 전장, 자세제어 등의 기술을 최적화 및 고도화하여 다양한 제품에 적용되어 제품 출시가 될 수 있도록 지속적인 연구할 예정입니다

IV. 보안성 검토

해당사항 없음

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

해당사항 없음

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

해당사항 없음

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	첨단농기계	
연구과제명	농작업 효율 향상을 위한 어시스트슈트 개발			
주관연구개발기관	한국로봇융합연구원		주관연구책임자	윤해룡
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	1,100,000	368,000	-	1,468,000
연구개발기간	2020.04.01. ~ 2022.12.31.			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 농작업용 웨어러블 슈트 개발	- 와이어 기반 상지 보조 웨어러블 슈트 개발 - 실증 테스트 기반 어시스트 최적 설계
② TSA 기술 기반 농업용 어시스트 슈트 개발	- TSA 구동기 적용 상·하지 웨어러블 슈트 개발
③ 자세제어 및 착용자 의도 파악 시스템 개발	- 작업 예측 추정 및 안전기능 고도화

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구활용비)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논문				학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
													S C I	비 S C I						
단위	건	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	25	15					20		10	10			10				10			
최종 목표	6	4					2		3	1			10				3			
당해 년도	목표	2	1				1		1	1			3				1			
	실적	4	2	1		1	15	0	2	0	2	2	5				2			
달성률 (%)	200	200					0		200	0			167				200			

[별첨 2]

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	노지 작업용 웨어러블 슈트 기구 및 전장 설계 기술
②	TSA 구동기 시스템 개발
③	자세제어 및 착용자 의도 파악 시스템

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장으로 해결	정책 자료	기타
①의 기술					√	√				√
②의 기술		√				√				√
③의 기술					√	√				√

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	노지에서 수행하는 농작업(수확, 전지, 방제 등)에 적용 가능한 슈트 개발에 반영 예정
②의 기술	동력전달 메커니즘 개선을 통해 TSA 구동기 적용 플랫폼을 개발할 예정
③의 기술	야외 환경에 특화된 웨어러블 슈트에 적용 예정

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용비)
	특허출원	특허등록	품종등록	S M A R T	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출		투자유치	논문 SCI	논문 비SCI			논문 평균 I-F	학술발표	
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건		건	명	건	건	
가중치	25	15					20			10	10			10				10	
최종목표	6	4					2			3	1			10				3	
연구기간내 달성실적	13	3	1		1	15	0			5	0	2	2	16				4	
연구종료후 성과창출 계획		2					1			1				2				1	

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

<h1>시험 결과 (Test Results)</h1>	성적서번호 : TE-22-03259 (8) 쪽 중 (2) 쪽	
-------------------------------	--	---

1. 시험 개요

a. 시험품명 : 농업용 웨어러블 슈트



b. 시험일자 : 2023년 2월 21일

c. 시험항목

No	시험항목	시험방법	요구조건 (개발목표)
1	가반하중	세부항목 참조	20 kg 이상
2	웨어러블 슈트 가반하중	세부항목 참조	5 kg 이하
3	착용 소요시간	세부항목 참조	30 sec 이하
4	액추에이터 내구성	세부항목 참조	4만회 이상
5	슈트 연속작동시간	세부항목 참조	4 hour 이상
6	웨어러블 슈트 착용시 근육활성도 감소율	세부항목 참조	20 % 이상

※ 상기 시험항목에 대한 세부 시험방법은 로봇융합연구원에서 제시한 시험방법을 참조하였음

시험 결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-03259

(8) 쪽 중 (3) 쪽



2. 시험항목별 평가결과

2.1 가반하중

(1) 시험방법

- o 웨어러블 슈트의 힙 조인트에서 발생하는 토크를 측정하여 검증함
- o 22.49 kg의 박스를 웨어러블 슈트의 힙 조인트에서 들어 올릴 수 있는지를 테스트함

(2) 시험전경



(3) 시험결과

시험항목	정량목표	시험무게	리프트 여부	시험결과
가반하중	20 kg 이상	22.49 kg	가능	이상없음

- 이 하 여 백 -

시험 결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-03259
(8) 쪽 중 (4) 쪽



2.2 웨어러블 슈트 가반하중

(1) 시험방법

- 웨어러블 슈트의 중량을 전자저울로 측정하여 검증함
- 프레임, 제어기등을 포함한 전체 무게를 측정함

(2) 시험전경



(3) 시험결과

시험항목	정량목표	시험무게	시험결과
웨어러블 슈트 가반하중	5 kg 이하	4.91 kg	이상없음

- 이 하 여 백 -

시험 결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-03259
(8) 쪽 중 (5) 쪽



2.3 착용 소요시간

(1) 시험방법

- 웨어러블 슈트를 착용하는데 소요되는 시간을 측정하여 검증함
- 완전 탈착상태에서 완전 착용상태까지 소요되는 시간을 10회 측정하여 평균 착용시간을 계산함

(2) 시험전경



(3) 시험결과

시험항목	단위	소요시간										평균
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
착용소요시간	sec	21.1	22.8	22.5	22.4	23.8	23.9	22.9	23.0	22.9	21.2	22.7

- 이 하 여 백 -

시험 결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-03259

(8) 쪽 중 (6) 쪽

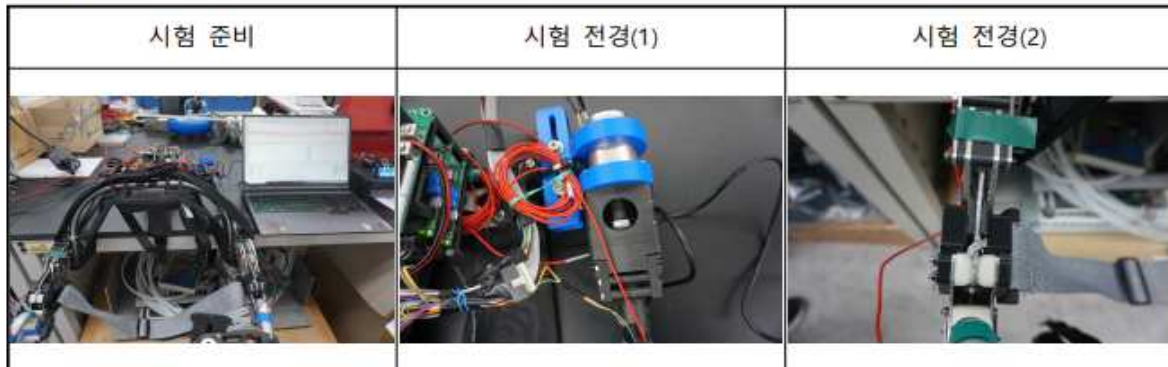


2.4 액추에이터 내구성

(1) 시험방법

- o 웨어러블 슈트 액추에이터의 내구성을 검증함
- o 무부하상태의 액추에이터를 40시간 작동(4만회)한 후 작동 이상유무를 확인함

(2) 시험전경



(3) 시험결과

시험항목	정량목표	1회 소요시간	테스트 시간	이상유무
액추에이터 내구성	4만회 이상	약 2.7 sec	40 hour	이상없음

- 이 하 여 백 -

시험 결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-03259

(8) 쪽 중 (7) 쪽



2.5 웨어러블 슈트 연속작동시간

(1) 시험방법

- 웨어러블 슈트의 연속작동시간을 검증함
- 웨어러블 슈트를 착용 후 1회 동작 사이클 수행 시 소비전류를 측정하여 전체 사용시간을 환산함
- 1회 동작 사이클 : 직립대기 -> 다리굽혀 상자파지 -> 다리피며 상자들기 -> 상자들고 상자적재 -> 직립대기

(2) 시험전경



(3) 시험결과

시험항목	1주기 동작시간	1주기 전류	배터리 총 용량	예상 사용시간
연속 작동시간	16 sec	2.8 A	21,600 A	34.2 hour

- 이 하 여 백 -

시험 결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-03259

(8) 쪽 중 (8) 쪽



2.6 웨어러블 슈트 착용기 근육활성도 감소율

(1) 시험방법

- o EMG센서를 이용하여 슈트 착용 전후의 근활성도를 비교평가함
- o 20 kg 상자를 들어올리는 동작에서 대퇴직근과 내측광근의 근활성도 최대치를 측정함

(2) 시험전경



(3) 시험결과

시험항목	대퇴직근		내측광근		시험결과	
	착용 전	착용 후	착용 전	착용 후	대퇴직근	내측광근
근육활성도 감소율	102	36	122	72	64.0 %	40.9 %

끝.

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단농기계산업화기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단농기계산업화기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.