

최종보고서(일반과제용)

보안등급

일반[✓], 보안[]

중정기관양행명	국토교통부						사업명	국토교통기술촉진연구사업			
전문기관명	국토교통과학기술진흥원						내역사업명	국토교통기술혁신연구 (기반연구 유형)			
공고번호	공고-제05호						연구개발과제번호	21CTAP-C158002-02			
국가과학기술 표준분류	EI0405	30%	EI0402	20%	EI0411	20%	EA0502	15%	EA0205	15%	
연구주제	(대분류)		(중분류)				(소분류)				
연구개발과제명	국문	인공지능 기반의 자율 구동 관절(Extra-Limb)을 갖는 건설 근로자 협업 로봇									
	영문	Artificial intelligence based autonomous cooperative extra-limb robot for construction site workers									
주관연구개발기관	기관명	금오공과대학교 산학협력단					사업자등록번호	513-82-07067			
	주소	(우) 39177 경북 구미시 대학로61					법인등록번호	176071-0002155			
연구책임자	성명	주백석				직위	교수				
	연락처	직장전화	054-478-7398				휴대전화	010-9065-3765			
		전자우편	bschu@kumoh.ac.kr				국가연구자번호	10151437			
연구개발기간	전체	2020. 04. 13. - 2021. 12. 31. (1년 9개월)									
	1년차	2020. 04. 13. - 2020. 12. 31. (9개월)									
	2년차	2021. 01. 01. - 2021. 12. 31. (1년)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발 비	기관부담 연구개발비		그외기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				자본채권채 기타()							
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	300,000	10,750	96,750	-	-	-	-	310,750	96,750	407,500	-
1년차	110,000	4,400	39,600	-	-	-	-	114,400	39,600	154,000	-
2년차	190,000	6,350	57,150	-	-	-	-	196,350	57,150	253,500	-
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고					
						역할	기관유형				
공동연구기관	뉴콘텍이앤씨	전종철	대표이사	031-790-4430	woojoone@naver.com	공동	중소기업				
위탁연구기관	고려대학교	홍대희	교수	02-3290-3369	dhhong@korea.ac.kr	위탁	대학				
연구개발담당자 실무담당자	성명	김진원				직위	연구원				
	연락처	직장전화	054-478-7403				휴대전화	010-4182-7082			
		전자우편	zwkim95@naver.com				국가연구자번호	12523306			

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

2022 년 03 월 15 일

연구책임자 :

주 백 석

주관연구개발기관의 장 : 금오공과대학교 산학협력단 허 장 욱 (직인)

공동연구개발기관의 장 : 뉴콘텍이앤씨

전 종 철 (직인)

위탁연구개발기관의 장 : 고려대학교 산학협력단

조 석 주 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업				연구개발과제번호		20CTAP-C158002-01			
내역사업명		국토교통기술혁신연구									
국가과학기술표준분류		EI0405	30%	EI0402	20%	EI0411	20%	EA0502	15%	EA0205	15%
연구주제		(대분류)				(중분류)			(소분류)		
연구개발과제명		인공지능 기반의 자율 구동 관절(Extra-Limb)을 갖는 건설 근로자 협업 로봇									
전체 연구개발기간		2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(1년 9개월)									
총 연구개발비		총 407,500 천원 (정부지원연구개발비 : 300,000 천원, 기관부담연구개발비 : 107,500 천원)									
연구개발단계		기초[√] 응용[] 개발[] 기타[]				기술성숙도		착수시점 기준(TRL 1) 종료시점 목표(TRL 5)			
연구개발과제 유형		지정공모 [] 자유공모 [✓]									
연구개발과제 특성		기반연구									
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표	■ 목표 : 인공지능 기반 자율 구동 관절을 갖는 건설 근로자 협업 로봇 ■ 금오공과대학교 - 건설 근로자 하지 자세 보조를 위한 수동형 보조 장비 개발 - 건설현장 적용을 위한 협동형 자율 구동 관절 로봇 설계 - 인체공학 기법을 통한 착용형 협동 로봇 시스템 설계 ■ 뉴콘텍이앤씨 - 협동형 자율 구동 관절 로봇의 협업 작업 도출 - 협동형 자율 구동 관절 로봇 시스템 적용이 가능한 건설 시공 기법 수립 - 기존 건설 근로 환경을 모사한 실험환경 구축 - 협동형 자율 구동 관절 로봇의 시험환경 내 사용성 검증 평가 수행 ■ 고려대학교 - 인공지능을 활용한 지능형 건설 작업 의도파악 알고리즘 개발									
	전체 내용	■ 금오공과대학교 - 건설 근로자 하지 자세 보조를 위한 수동형 보조 장비 : 인체공학 설계를 통해 착용성을 고려한 수동형 하지 보조 장비 개발 - 건설현장 적용을 위한 협동형 자율 구동 관절 로봇 : 작업 정밀도 향상을 위한 지능형 자율 구동 관절 개발 - 인체공학 기법을 통한 착용형 협동 로봇 시스템 : 착용성을 고려한 상·하지 복합 협동 로봇 시스템 개발 ■ 뉴콘텍이앤씨 - 협동형 자율 구동 관절 로봇의 협업 작업 도출 : 협동형 자율 구동 관절 로봇을 통해 효과적으로 보조가 가능한 작업 확인 - 협동형 자율 구동 관절 로봇 시스템 적용이 가능한 건설 시공 기법 수립 : 협동형 자율 구동 관절 로봇 적용을 통해 경제성, 효율성, 안전성 확보 가능한 기법 연구 - 기존 건설 근로 환경을 모사한 실험환경 구축 : 협동형 자율 구동 관절 로봇이 적용될 근로 환경을 모사한 실험환경 구축 - 협동형 자율 구동 관절 로봇의 시험환경 내 사용성 검증 평가 수행 : 근로 환경과 유사한 시험환경 내에서의 Robot 시스템 사용성 평가/분석 ■ 고려대학교 - 인공지능을 활용한 지능형 건설 작업 의도파악 알고리즘 : 센서 정보를 이용한 건설 근로자 작업 의도파악 인공지능 알고리즘 개발									

	1년차	목표	■ 목표 - 하지 자세 보조 시스템 프로토타입 필요 공정 도출 - 착용형(Wearable) 수동(Passive) 하지 자세 보조 장비 프로토타입 설계 - 하지 자세 보조 장비 인체공학 설계 기술 - 협업 로봇 적용을 위한 의도파악 최신기술 조사 ■ 금오공과대학교 - 하지 자세 보조 시스템 프로토타입 개발 ■ 뉴콘텍이앤씨 - 협업 로봇 사용을 위한 건설 환경 및 목표 작업 분석 ■ 고려대학교 - 인공지능 기반의 건설 근로자 의도파악 기술 개발											
		내용	■ 금오공과대학교 - 건설 근로자 하지 자세 보조를 위한 수동형 보조 장비 개발 - 건설현장 적용을 위한 협동형 자율 구동 관절 로봇 설계 - 인체공학 기법을 통한 착용형 협동 로봇 시스템 설계 ■ 뉴콘텍이앤씨 - 협동형 자율 구동 관절 로봇의 협업 작업 도출 - 협동형 자율 구동 관절 로봇 시스템 적용이 가능한 건설 시공 기법 수립 - 기존 건설 근로 환경을 모사한 실험환경 구축 - 협동형 자율 구동 관절 로봇의 시험환경 내 사용성 검증 평가 수행 ■ 고려대학교 - 인공지능을 활용한 지능형 건설 작업 의도파악 알고리즘 개발											
	2년차	목표	■ 목표 - 상지 보조/협업 자율 구동 관절 로봇 프로토타입 설계 - 인공지능을 활용한 지능형 건설 작업 의도파악 및 능동 협업 기술 - 인공지능 기반 자율 구동 관절 로봇 시스템 최적화 및 시험 평가 ■ 금오공과대학교 - 추가 자율 구동 관절 협동 로봇 시작품 개발 및 실험 ■ 뉴콘텍이앤씨 - 건설 환경 Test-bed 구축 및 사용성 평가 ■ 고려대학교 - 인공지능 기반 의도파악 알고리즘 고도화											
		내용	■ 금오공과대학교 - 하지 자세보조 시스템 최적 설계점 도출 - 상지 근력 보조 자율 구동 관절 설계 - 착용형 건설 근로자 협업 로봇 시작품 개발 ■ 뉴콘텍이앤씨 - 건설 근로 작업 유사환경 설계 - 유사환경 구축 - 유사환경 내 로봇 운용 평가 - 정량지표 평가 ■ 고려대학교 - 의도파악 알고리즘 응답성 및 인식을 개선											
연구개발성과			구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
			예상성과 (N/Y)	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N

		1차년도						2차년도						
	연구개발성과 활용방안 및 기대효과	금오공과대학교	■ 하지 보조 시스템 프로토타입 개발 ■ 협동형 자율 구동 관절 로봇 설계 및 운용						■ 지능형 자율 구동 관절 로봇 시작품 ■ 통합 시스템 제어/운용 알고리즘					
		뉴콘텍이앤씨	■ 협업 로봇용 건설 환경 및 목표 작업 분석 ■ 보조가 필요한 건설 시공 작업 도출						■ 건설 시공 현장 환경 모사 시험환경 ■ 시험환경 내 장비 실증/평가					
		고려대학교	■ 인공지능 기반 건설근로자 의도파악 알고리즘 개발						■ 의도파악 알고리즘 응답성 및 정확도 개선					
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	■ 활용 계획 - 사용자 의도판단 기술을 통한 건설 시공작업 협업에 활용 - 협업 기술을 통한 작업자의 근골격계질환 예방 및 중량물 취급에 활용 - 건설 근로자 보조를 활용한 근로자 근로 환경 개선에 이용 - 원천기술 개발을 통해 건설 근로 보조 기술 전문가 양성 - 근로자 의도파악 인공지능 알고리즘의 타 산업 분야 확대 적용 ■ 기대 효과 - 건설 공정에 인간-로봇 협동형 시스템 적용을 통한 기존의 근로 환경 개선 - 현 건설 산업에서 보조 역할 이외의 안전 장비로 사용 가능 - 협동형 자율 구동 관절 로봇 기반의 다양한 건설 공정 재정립 - 기존 4차 산업혁명에서 누락 된 건설 근로자 자동화 기술의 필요성 재조명 - 추후 건설기술 외의 군수 장비 및 다양한 산업 분야에 적용 가능													
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음													
연구개발성과의 등록 · 기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종			
	생명 정보	생물 자원	정보	실물										
	2	3	3			1								
연구시설 · 장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기 관	연구시 설·장 비명	규격 (모델 명)	수량	구입 연월일	구입가 격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장 소)	ZEUS 등록번 호					
국문핵심어 (5개 이내)	건설 근로자를 위한 착용형 협동 로봇			수동형 하지 자세 보조 장비		능동형 협동 관절 로봇		인공지능 의도파악 기술			협업 로봇 활용 건설 공정 재정립			
영문핵심어 (5개 이내)	Wearable type cooperative robot			Passive type lower limb support device		Active cooperative robot for construction site		Human intention detecting Deep Learning Algorithm			Rebuilding construction process with cooperative robot			

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	01
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	05
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	73
4. 목표 미달 시 원인분석	84
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	84
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	85
7. 참고 문헌	86

별첨자료(성과 증빙자료 등)

1. 연구개발과제의 개요

1.1. 연구개발과제의 최종 목표

○ 기술 개발의 최종 목표는 다음과 같음.

최종 목표

○ 기술 개발의 최종 목표 : 인공지능 기반의 자율 구동 관절을 갖는 건설 근로자 협업 로봇 개발

○ 최종 목표의 내용 : 인체공학 설계 기술, 인공지능 기반 지능형 의도파악 기술 및 로봇 시스템 제어기술을 통해 건설 현장에 적용 가능한 1) 착용 및 동작 편의성을 고려한 편리한 착용형 메커니즘, 2) 작업 환경에 따른 근골격계 부하 작업 자세 보조를 통한 피로/부상완화기술, 3) 건설 현장에 산재한 건설 자재, 건설공구 등의 중량물 조작성 향상을 통한 건설 근로자 단독 작업 능력 향상 기술을 포함하는 자율 구동 추가 관절을 포함한 착용형 복합 로봇 시스템을 구현.



[그림 1.1] 연구 개발 최종 목표 및 핵심 성과

1.2. 연구개발과제의 연차별 목표

1) 상세 총괄 연구 내용 및 목표

구분	핵심 연구 성과물 (CTE)	단위 성과물	질적 성과지표 (목표치)	양적 성과 목표치	가중치 (%)
1차연도 (2020. 04. 13. ~ 2020. 12. 31.)	건설 근로자 하지 자세 보조 기구 시작품	건설 근로자 보조 시스템 3D 설계안	3D 설계 기술 (자유도 4DOF)	특허 : 출원 2건 시작품 : 1건	10%
	건설 근로자 보조 제어 알고리즘	제어기 회로 설계안	회로 설계 (동작시간 3hr)	설계안 : 1건 시작품 : 1건	7.5%
	건설 근로자 분석 보고서	환경 분석 및 보조 프로세스 매뉴얼	보조 필요 작업 목록 검토	보고서 : 1건	10%
			보조 프로세스 검토	보고서 : 1건	10%
2차연도 (2021. 01. 01. ~ 2021. 12. 31.)	건설 근로자 보조 시스템	통합 시작품	통합 시스템 시작품 (무게 30kg)	시작품 : 1건	12.5%
	건설 근로자 상지 근력 보조 시작품	건설 근로자 보조 시스템 2차 설계안	3D 설계 기술 (작업거리 1000mm)	특허 : 출원 1건 특허 : 등록 2건	5%
		2차 시작품	시스템 시작품 (허용 하중 10kg)	시작품 : 1건 국외논문 : 1건	12.5%
	건설 근로자 환경 모사 시험 환경	환경 재현	건설 환경 재현 시험 환경 구축	시작품(환경) : 1건	10%
		검증 및 평가	시험환경 내 장비 실증 및 평가 (피로저감 30%)	보고서 : 1건 국외논문 : 1건	12.5%
	인공지능 기반 근로자 의도파악 알고리즘	통합 제어 알고리즘	제어 알고리즘	시작품 : 1건 SW 등록 : 1건	10%

[표 1.1] 연차별 핵심 연구 성과물 및 목표치

2) 1차 연도(2020. 04. 13. ~ 2020. 12. 31.) 세부 목표

• 1차연도 연구 개발 요약

건설현장 내에서 협동 로봇 시스템을 활용하여 작업 효율성 및 안정성 확보가 가능한 작업을 도출하고, 도출된 작업에 적합한 건설 근로자용 하지 자세 보조 시스템 형태의 로봇 시스템 컨셉 발굴 및 1차 프로토타입 개발을 본 연구 1차년도 주요 연구 개발 목표로 함.

• 개발 목표

- 하지 자세 보조 시스템 프로토타입 필요 공정 도출
- 착용형(Wearable) 수동(Passive) 하지 자세 보조 장비 프로토타입 설계
- 하지 자세 보조 장비 인체공학 설계 기술
- 협업 로봇 적용을 위한 의도파악 최신기술 조사

• 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(금오공과대학교) : 하지 자세 보조 시스템 프로토타입 개발
- 공동연구기관(뉴콘텍이앤씨) : 협업 로봇 사용을 위한 건설 환경 및 목표 작업 분석
- 위탁연구기관(고려대학교) : 인공지능 기반의 건설 근로자 의도파악 기술 개발

구분	세부 연구 목표	세부 연구개발 내용	평가목표 및 착안점
1 차 연 도	하지 자세 보조 시스템 프로토타입 개발	작업 환경 기반 컨셉 발굴	※최종결과물: 수동형 하지 자세 보조 장비 시제 ※주요결과물: 설계안, MockUp, SW 등
		사양 검토 및 메커니즘 설계	
		수동형 하지 자세 보조 장비 프로토타입 설계	
		자율 구동 관절 로봇 구동부 및 센서부 구축	
		건축 작업자 보조 알고리즘 구축	
	협업 로봇용 건설 환경 및 목표 작업 분석	국내외동향 및 사례조사	※최종 결과물: 신공정 프로세스 ※주요결과물: 보고서, 분석표 등
		협업 및 보조 로봇 적용 가능 공정 발굴	
		작업 프로세스 재정립	

[표 1.2] 1차연도 연구 개발 요약

3) 2차 연도(2021. 01. 01. ~ 2021. 12. 31.) 세부 목표

• 2차연도 연구 개발 요약

상지 근력 보조 시스템 및 의도파악 기술의 고도화이며, 1차연도 개발 결과물인 하지 자세 보조 장비와 통합하고자 함. 또한, 작업 공정 모사 시험 환경 구축하여 유사환경 내에서 로봇 시스템을 실제 운용하고 검증하는 것을 목적으로 함. 특히, 정량적/정성적 지표를 활용한 검증을 통해 해당 시스템의 유효성을 검증하고자 함.

• 개발목표

- 상지 보조/협업 자율 구동 관절 로봇 프로토타입 설계
- 인공지능을 활용한 지능형 건설 작업 의도파악 및 능동 협업 기술
- 인공지능 기반 자율 구동 관절 로봇 시스템 최적화 및 시험 평가

• 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(금오공과대학교) : 추가 자율 구동 관절 협동 로봇 시제품 개발 및 실험
- 공동연구기관(뉴콘텍이앤씨) : 건설 환경 Test-bed 구축 및 사용성 평가
- 위탁연구기관(고려대학교) : 인공지능 기반 의도파악 알고리즘 고도화

구분	세부 연구목표	세부 연구개발 내용	평가목표 및 착안점
2 차 년 도	추가 자율 구동 관절 협동 로봇 시제품 개발 및 운용 실험	하지 보조 시스템 설계 개선	※최종결과물: 건설 근로자용 착용형 자 율 구동 관절 협업 로봇 시제품 ※주요결과물: 설계도, 성능 분석표
		상지 근력 보조 시스템 및 자율 구동 관절 로봇 상세설계	
		착용형 건설 근로자 협업 로봇 시제품 가공 및 조립	
		의도파악 및 능/수동형 협업로봇 통합 구동	
	건설 환경 Test-bed 구축 및 사용성 평가	건설 근로 작업 유사환경 설계	※최종결과물: 공정 효율성 분석표 ※주요결과물: Testbed, 분석표 등
		사용성 평가용 시험 환경 구축	
		시험환경 내 자율 구동 관절 로봇 구동 시험	
		정량지표 평가	

[표 1.3] 2차연도 연구 개발 요약

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

2.1 1차연도 수행 내용

1) 1차연도 개발 목표 및 결과 요약

연구 목표	세부 연구개발 수행 내용	상세 내용	연구 결과
하지 자세 보조 시스템 프로토타입 개발	수행내용(1) : 작업 환경 기반 컨셉 발굴	- 건설 근로자의 근·골격계 부하 해소를 위한 보조 로봇 시스템 분석 - 보조 시스템 기구 분석 및 건설 근로자 보조 시스템 필요 메커니즘 컨셉 도출	- 건설 근로자 보조 시스템 필요 메커니즘 도출 - 건설 작업자 팔 움직임 분석 - 작업 보조 필요 메커니즘 : 평행 움직임 메커니즘, 충격 완화 가능 메커니즘 [건설 근로자 작업 환경 분석] - 보조 시스템 기구 분석 및 필요 메커니즘 컨셉 도출 [4절 링크 상지 보조 시스템] [상지 보조 시스템 컨셉 설계안] [하지 보조 메커니즘 컨셉 도출]

	수행내용(2) : 사양 검토 및 메커니즘 설계	장시간의 낮은 자세 작업 시, 하지 부담을 줄이기 위한 체어리스 체어 타입의 외골격 로봇 메커니즘 설계	- 가스 스프링을 사용한 하지 근력 보조 및 체어리스 체어 타입 외골격 로봇 메커니즘 설계 완료 - 무릎 회전 범위: 80~190° - 자유 구간: 130~190° - 근력 보조 구간: 80~130° [가스 스프링 선정 제품] - 사용자와 장비의 무게를 버틸 수 있고, 고정 기능이 탑재된 가스 스프링 선정 완료 - 인장 및 압축력: 250N - 허용 하중: 2,500N
		- 하지 근력 보조를 위한 직렬 탄성 액추에이터 설계 - 착용자의 무릎 회전을 직선 운동으로 변환할 수 있는 다양한 기구 메커니즘 연구 - 제한된 무릎 회전 운동 범위로 직선 운동 범위를 증폭 시킬 수 있는 메커니즘 적용	- 다양한 기구 메커니즘 연구 - 크랭크 및 슬롯형 레버 메커니즘을 적용한 직렬 탄성 액추에이터 기구 설계 및 사양 검토 [SEA 메커니즘 설계안] - 스프링 압축 발생 시, 항상 스프링을 최대 압축 상태 가능

	수행내용(3) : 수동형 하지 자세 보조 장비 프로토타입 설계	- 고정 기능이 탑재된 가스 스프링을 이용한 체어리스 체어 타입 외골격 로봇 프로토타입 설계 및 제작 - 하지 자세 보조 장비의 건설 근로자 착용 편의성을 위한 인체 접촉부 설계	하지 근력 보조 및 체어리스 체어 타입의 외골격 로봇 프로토타입 설계 및 제작 완료 [프로토타입 3D 모델링]
	수행내용(4) : 자율 구동 관절 로봇 구동부 및 센서부 구축	- 건설 근로자 상지 보조용 로봇 시스템 구동부 필요요소 분석 - 구동부 설계 및 센서부 구축 - 구동부 허용하중 계산	- 건설 근로자 보조 작업 분석을 통한 구동부 필요요소 도출 - 구동부 및 센서부 구축 [구동부 구축]
	수행내용(5) : 건설 작업자 보조 알고리즘 구축	- 건설 작업자 생체 신호 획득 제어 회로 구축 - 건설 작업자 의도 예측 알고리즘 구축 - 건설 근로자 보조 시스템 제어를 위한 회로 및 시스템 구성	[신호 획득 제어 회로 구성] [의도 예측 알고리즘 결과]

협업 로봇용 건설 환경 및 목표 작업 분석	수행내용(6) : 국내외 동향 및 사례조사	• 해외 사례를 통한 보조 시스템 기구 분석	• Lockheed martin Fortis 분석 - 상지 무게 분산용 수동형 하지 보조기구 - 상지 보조 시스템 자유도 : 4 DOF  [Lockheed Martin Fortis] • Noonee chairless chair 분석 - 하지 자세 보조를 위한 가스 스프링 사용 - 별도의 수동 조작 가능 - 다리 굽힘 보조  [Noonee 분석]																																
	수행내용(7) : 협업 및 보조 로봇 적용 가능 공정 발굴	• 건설 근로자 보조를 위한 협업 로봇 적용 가능 공정 발굴	• 건설현장 작업자의 작업 분석 - 3가지 작업 분류를 통한 작업자의 작업 분석 • 건설 근로자 보조가 필요한 작업 도출 <table><tr><th>분류</th><th>중장동 취급 작업</th><th>관통 공구 취급 작업</th><th>자세 불안정 작업</th></tr><tr><td>1</td><td>시멘트 운반 작업</td><td>벽대 드릴링 작업</td><td>서다리 작업</td></tr><tr><td>2</td><td>벽이름 운반 작업</td><td>그라운드 작업</td><td>천장 작업</td></tr><tr><td>3</td><td>관통 공구 작업</td><td>굴삭 절단기 작업</td><td>통로작업</td></tr><tr><td>4</td><td>물건 운반 작업</td><td>콘크리트 역상 드릴 작업</td><td>정보기 작업</td></tr><tr><td>5</td><td>합판에서 운반 작업</td><td>고압 펌프작업</td><td>건축물 내부 작업</td></tr><tr><td>6</td><td>발견기 운반 작업</td><td>보일러작업</td><td>돌아 올리는 작업</td></tr><tr><td>7</td><td>바퀴 압착기 작업</td><td>연방 작업</td><td>발 굴동 자세</td></tr></table> [건설현장 작업 분류]	분류	중장동 취급 작업	관통 공구 취급 작업	자세 불안정 작업	1	시멘트 운반 작업	벽대 드릴링 작업	서다리 작업	2	벽이름 운반 작업	그라운드 작업	천장 작업	3	관통 공구 작업	굴삭 절단기 작업	통로작업	4	물건 운반 작업	콘크리트 역상 드릴 작업	정보기 작업	5	합판에서 운반 작업	고압 펌프작업	건축물 내부 작업	6	발견기 운반 작업	보일러작업	돌아 올리는 작업	7	바퀴 압착기 작업	연방 작업	발 굴동 자세
	분류	중장동 취급 작업	관통 공구 취급 작업	자세 불안정 작업																															
1	시멘트 운반 작업	벽대 드릴링 작업	서다리 작업																																
2	벽이름 운반 작업	그라운드 작업	천장 작업																																
3	관통 공구 작업	굴삭 절단기 작업	통로작업																																
4	물건 운반 작업	콘크리트 역상 드릴 작업	정보기 작업																																
5	합판에서 운반 작업	고압 펌프작업	건축물 내부 작업																																
6	발견기 운반 작업	보일러작업	돌아 올리는 작업																																
7	바퀴 압착기 작업	연방 작업	발 굴동 자세																																
수행내용(8) : 작업 프로세스 재정립	• 건설 작업자 보조 필요 작업 프로세스 분석 • 건설 작업 프로세스 재정립	• 작업 프로세스 분석 및 재정립 - 건설 근로자 보조를 위한 시스템 운용 방식 분석 - 건설현장 근로자 보조를 위한 필요요소 도출 <table><tr><th>분류</th><th>필요요소</th></tr><tr><td>중장동 취급 작업</td><td>1) 작업 자재의 움직임 제한 필요 2) 불필요한 회전 방지 3) 다른 작업자와 충돌 방지 4) 작업 작업자의 부상 방지</td></tr><tr><td>관통 공구 취급 작업</td><td>1) 작업 작업자의 허리 및 보조 시스템 부착 2) 속도 조절 가능 3) 보조 시스템을 작업자가 움직일 수 있음 4) 관구로 인한 진동 감쇄가 필요</td></tr><tr><td>자세 불안정 작업</td><td>1) 근골격계 질환 예방에 필요 2) 작업의 무게를 지탱할 수 있는 보조 시스템 3) 작업 작업자가 일어나는 횟수, 추가의 보조 등 필요</td></tr></table> [건설현장 보조 필요요소 도출]	분류	필요요소	중장동 취급 작업	1) 작업 자재의 움직임 제한 필요 2) 불필요한 회전 방지 3) 다른 작업자와 충돌 방지 4) 작업 작업자의 부상 방지	관통 공구 취급 작업	1) 작업 작업자의 허리 및 보조 시스템 부착 2) 속도 조절 가능 3) 보조 시스템을 작업자가 움직일 수 있음 4) 관구로 인한 진동 감쇄가 필요	자세 불안정 작업	1) 근골격계 질환 예방에 필요 2) 작업의 무게를 지탱할 수 있는 보조 시스템 3) 작업 작업자가 일어나는 횟수, 추가의 보조 등 필요																									
분류	필요요소																																		
중장동 취급 작업	1) 작업 자재의 움직임 제한 필요 2) 불필요한 회전 방지 3) 다른 작업자와 충돌 방지 4) 작업 작업자의 부상 방지																																		
관통 공구 취급 작업	1) 작업 작업자의 허리 및 보조 시스템 부착 2) 속도 조절 가능 3) 보조 시스템을 작업자가 움직일 수 있음 4) 관구로 인한 진동 감쇄가 필요																																		
자세 불안정 작업	1) 근골격계 질환 예방에 필요 2) 작업의 무게를 지탱할 수 있는 보조 시스템 3) 작업 작업자가 일어나는 횟수, 추가의 보조 등 필요																																		

2) 1차연도 연구개발 내용

수행 내용 (1) : 작업 환경 기반 컨셉 발굴

① 건설 근로자의 근·골격계 부하 해소를 위한 보조 로봇 시스템 분석

- 건설 근로자 작업 환경 분석 수행을 통한 자율 구동 관절 로봇 및 하지 자세 보조 시스템 필요 작업 분석



[그림 2.1] 건설 근로자 작업 환경 분석을 통한 보조 시스템의 필요 작업 도출

② 보조 로봇 시스템용 기구 메커니즘 분석 및 컨셉 도출

- 건설 작업자의 팔 움직임 분석을 통한 기구 메커니즘 도출

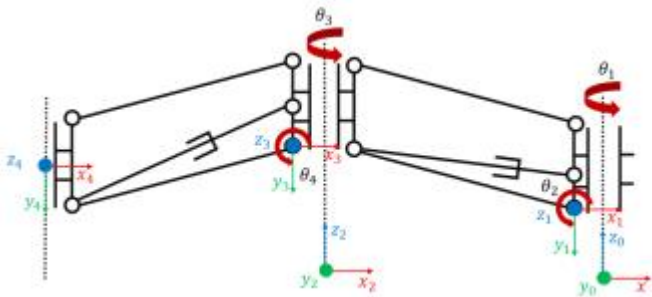


필요 메커니즘	• 작업자의 손과 평행한 움직임이 가능한 메커니즘 • 팔 보조를 위한 회전 및 전·후진 작업이 가능한 메커니즘 • 작업자가 적은 힘으로 로봇을 움직일 수 있는 구동 메커니즘 • 건설 환경과 충돌하여도 충격 완화가 가능한 메커니즘
---------	--

[그림 2.2] 건설 작업자 기구 메커니즘 도출

- 상지 보조를 위한 자율 구동 관절 로봇 시스템 컨셉 도출

상지 보조 필요 작업 분석		
		
드릴 작업	외벽 가설재 설치 작업	건설자재 운반 작업

상지 보조용 로봇 시스템 컨셉 도출		<table><tr><th>n</th><th>a</th><th>α</th><th>d</th><th>θ</th></tr><tr><td>1</td><td>a_1</td><td>$\pi/2$</td><td>0</td><td>θ_1</td></tr><tr><td>2</td><td>a_2</td><td>$-\pi/2$</td><td>0</td><td>θ_2</td></tr><tr><td>3</td><td>a_3</td><td>$\pi/2$</td><td>0</td><td>θ_3</td></tr><tr><td>4</td><td>a_4</td><td>0</td><td>0</td><td>θ_4</td></tr></table>	n	a	α	d	θ	1	a_1	$\pi/2$	0	θ_1	2	a_2	$-\pi/2$	0	θ_2	3	a_3	$\pi/2$	0	θ_3	4	a_4	0	0	θ_4
	n	a	α	d	θ																						
1	a_1	$\pi/2$	0	θ_1																							
2	a_2	$-\pi/2$	0	θ_2																							
3	a_3	$\pi/2$	0	θ_3																							
4	a_4	0	0	θ_4																							
자율 구동 관절 로봇 다이어그램	로봇 시스템 분석																										

[그림 2.3] 상지 보조를 위한 자율 구동 관절 로봇 시스템 컨셉

당해연도 목표 성능	자체 성능 평가	
자유도		• 2개의 평행 사변형 구조 메커니즘 • 4개의 회전 조인트
길이		• 당해연도 목표치 : 최대 800 mm • 컨셉 설계 안 : 기본자세 850 mm
무게		• 상지 보조용 시스템 무게 : 3.2 kg (구동기 제외/구동기 무게 2 kg) • 하지 보조 시스템 무게 : 21 kg • 전체 시스템 무게 : 약 30 kg

[그림 2.4] 상지 보조 시스템 컨셉 자체 성능 평가

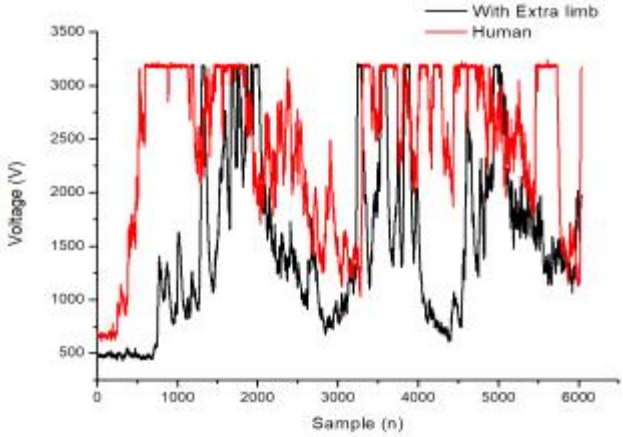
• 상지 보조 시스템 컨셉 모델 피로도 저감 실험

a. 실험 방법

- 상지 보조 시스템 컨셉 설계 안을 사용한 구동 피로도 저감 실험
- 2 kg의 무게를 들고 내리는 작업을 수행하여 피로도 특정
- 보조 시스템의 유무에 따른 피로도 비교
- EMG 센서를 통한 근육 활성화도 측정
- 근육의 활성화도에 따른 피로도 분석

b. 실험 결과

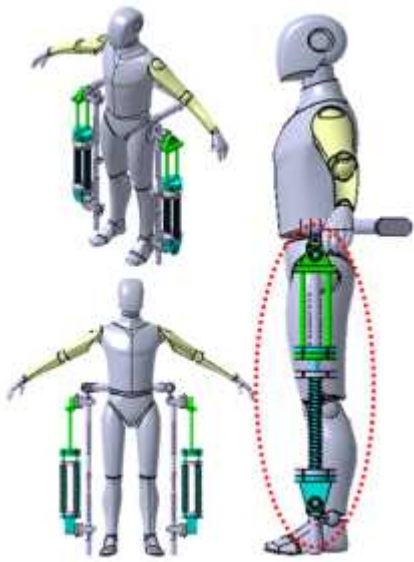
- 보조 시스템 유무에 따라 피로도 저감이 나타나는 것을 확인

보조 시스템 피로도 실험	
실험 방법	• 2 kg의 중량물 취급 상황 모사 • (중량물 들기 → 중량물 전진 → 중량물 후진) 4회 수행 • 보조 시스템 유무에 따른 근육 활성화도 측정
실험 모습	
실험 결과	
실험 결론	• 보조 시스템 착용으로 근육 활성화도가 평균값 기준 38 % 저감 됨을 확인 • 다양한 움직임과 다양한 자세에서 실험 필요 • 능동 시스템에 대한 피로도 분석 필요

[그림 2.5] 상지 보조 시스템 피로도 저감 실험

- 하지 보조를 위한 외골격 로봇 시스템 컨셉 도출

하지 자세 보조를 위한 외골격 로봇 시스템 컨셉 도출



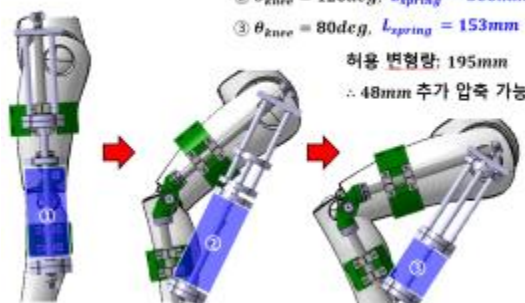
하지 보조 시스템 컨셉

① $\theta_{knee} = 180deg, L_{spring} = 300mm$

② $\theta_{knee} = 120deg, L_{spring} = 300mm$

③ $\theta_{knee} = 80deg, L_{spring} = 153mm$

허용 변형량: 195mm
△ 48mm 추가 압축 가능



- 작업자 걷는 자세 방해 금지
- 앉는 자세 보조 메커니즘 도출
- 다양한 구동 방식 적용이 가능한 메커니즘 도출
- 제한 사항 : 작업자와 장비 무게 약 100 kg

[그림 2.6] 하지 자세 외골격 로봇 컨셉

수행 내용 (2) : 사양 검토 및 메커니즘 설계

① 하지 자세 보조 시스템 사양 검토

- 가스 스프링 선정을 위한 건설 근로자 착용성 검토
 - 외골격 로봇에 하지 근력 및 자세 보조 장비로 사용할 가스 스프링을 선정하기 위한 사양 검토.
 - 착용자의 신체를 고려한 외골격 로봇 치수 선정.

	착용자	키	175[cm]
		몸무게	70[kg]
		장비 무게	40[kg]
		무게 중심점	101.5[cm]
외골격 로봇		발바닥-발목	15[cm]
		발목-무릎	36[cm]
		무릎-고관절	51[cm]
※ 로봇의 고관절 회전축과 착용자의 무게 중심점은 동일하다고 봄.			

[그림 2.7] 착용자의 신체 조건 외골격 로봇의 치수

- 외골격 로봇 시스템의 가스 스프링 작용 하중 계산

- 구동기(가스 스프링) 부착 위치: 건설 근로자의 허벅지와 종아리 회전부
- 낮은 앉은 자세 작업 보조가 가능한 위치 검토 및 계산을 통한 가스 스프링 선정
- 가스 스프링 부착 위치 결정

a. 외골격 로봇 무릎 회전 한계(범위): 80° ($\theta_{knee} : 80^\circ \sim 190^\circ$)

b. 착용자가 80° 까지 앉은 정적인 상태에서 가스 스프링의 위치(AB)를 바꿔가며, 작용 하중을 계산

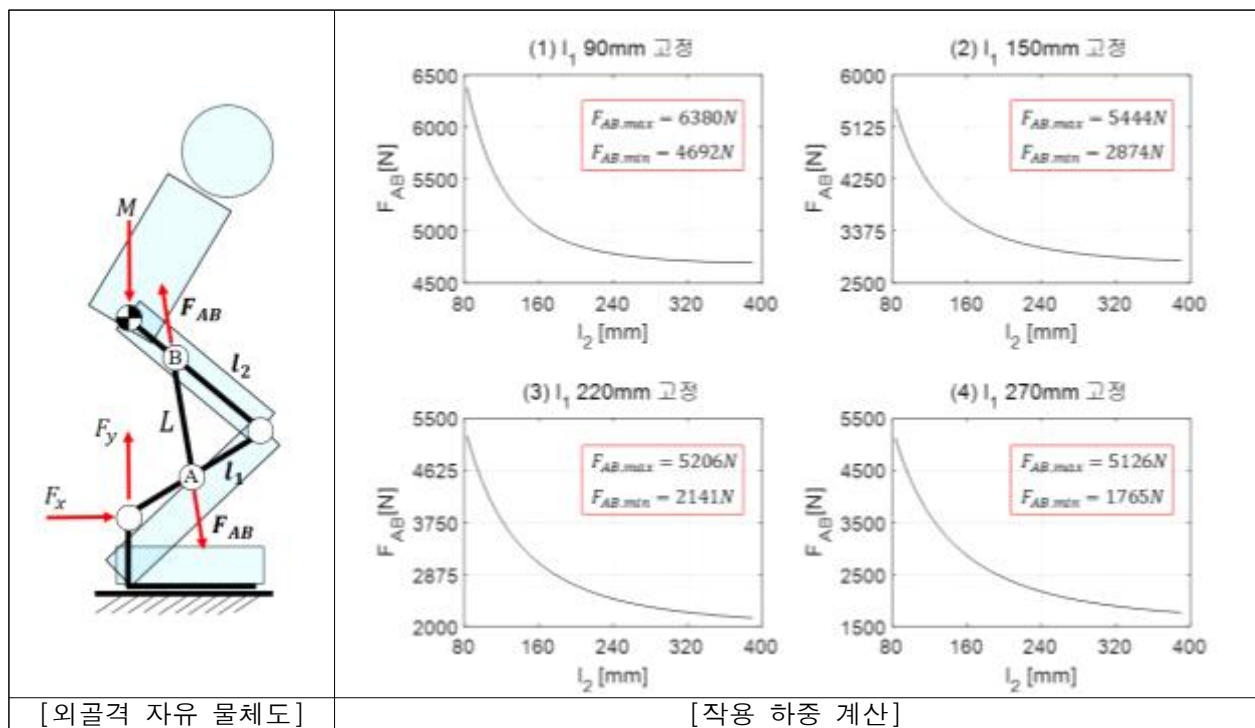
c. 외골격 회전축 연결부(고관절, 무릎, 발목) 설계를 고려한 가스 스프링 부착 위치 변수:

$$l_1 : 90 \sim 277[mm]$$

$$l_2 : 83 \sim 390[mm]$$

d. 외골격 로봇의 $l_1 = 277mm$, $l_2 = 390mm$ 지점에 가스 스프링을 장착

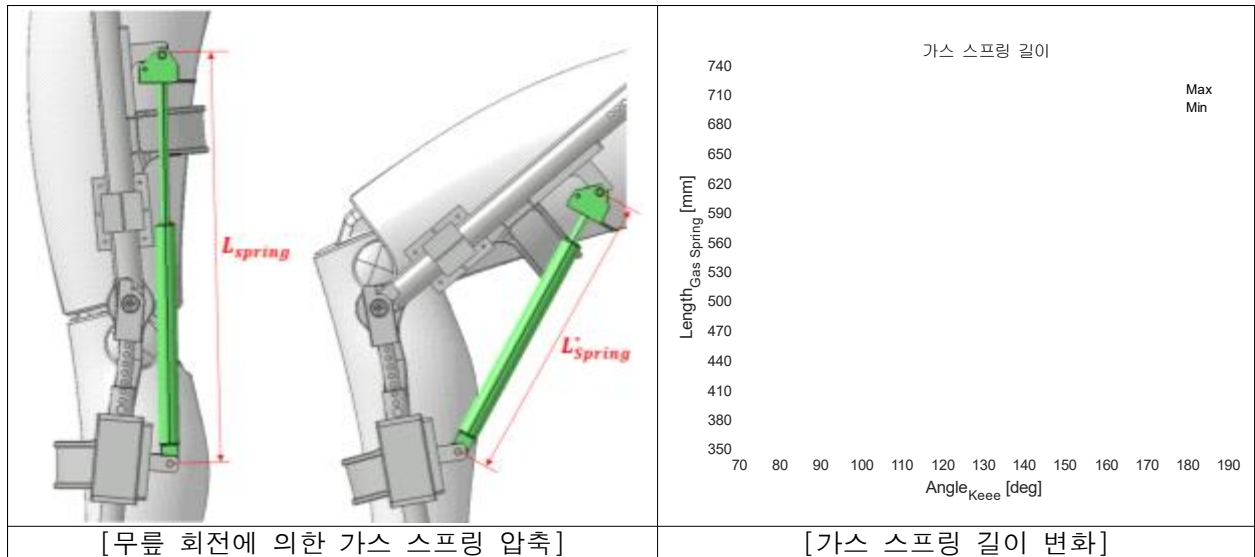
e. 가스 스프링 작용 하중: $F_{AB} = 1733N$



[그림 2.8] 가스 스프링 작용 하중 계산

• 가스 스프링 스트로크 계산

- 외골격 로봇의 $l_1 = 277mm$, $l_2 = 390mm$ 지점에 가스 스프링을 부착
- 착용자가 80° 까지 앉는 동안, 가스 스프링의 길이 변화를 시뮬레이션
- 선정할 가스 스프링의 길이는 최소 667mm이며, 이 가스 스프링은 437mm까지 압축 가능해야함.



[그림 2.9] 가스 스프링 스트로크 해석

• 가스 스프링 선정

- 가스 스프링은 외골격의 양쪽 다리에 설치되기 때문에 1733N의 하중을 양쪽으로 분산
- 체어리스 체어 시 가스 스프링 하나당 최소한으로 요구되는 잠금력은 866.5N이며, 안전율을 고려
- 최종적으로 LOUIE사의 KQL004 모델을 선정하였고, 각 모델들의 사양은 아래와 같음

모델명	L_{max} [mm]	L_{min} [mm]	L_{stroke} [mm]	Min. Force [N]	Locking Force [N]
KQL004	400	260	140	250	2500
KQL009	280	180	100	350	3500
KQL010	330	230	100	430	4300
KQL011	360	220	140	350	3500
KQL012	400	300	100	200~900	2000~9000
KQL013	500	380	120	200~900	2000~9000
KQL014	600	400	200	100~500	1000~5000
KQL015	800	500	300	200~900	2000~9000
KQL016	900	550	350	200~1000	2000~10000
KQL018	330	210	120	350	3500
KQL019	325	225	100	500	5000

[표 2.1] 가스 스프링 선정 리스트

② 가스 스프링을 설치한 수동형 하지 자세 보조 메커니즘 설계

• 자세 보조 메커니즘 설계 주요 사양

- 착용자의 걷는 자세 방해 방지를 위한 자유 구간을 구현함.
- 낮은 자세 시, 건설 장비 및 근로자의 무게를 가스 스프링이 지지함.
- 인간과 로봇의 협업을 위하여 사람의 움직임 범위가 적용된 메커니즘 구현

• 자세 보조 메커니즘

- 자유 구간 : $120^{\circ} \sim 190^{\circ}$ (작업자 보행 시, 최대 무릎 굽힘 각도 : 120°)
- 메커니즘 상세 설계



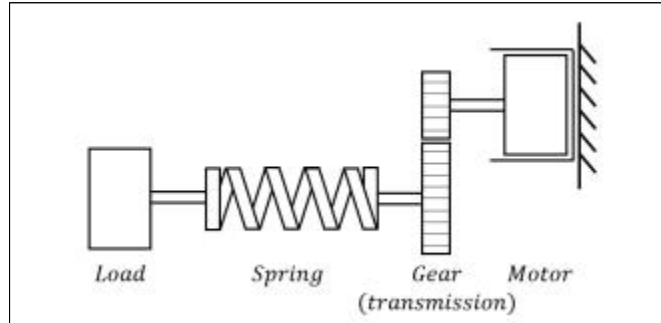
[그림 2.10] 하지 자세 보조 메커니즘(1) 상세 설계

- * [그림 2.10](a): 착용자 기립 상태
- * [그림 2.10](b): 걷는 정도의 무릎 각도이며, 가스 스프링의 연결부에 설치된 리니어 부시가 자유 구간에서 이동 중이므로 가스 스프링의 압축이 일어나지 않아 걷는 자세 유지 가능
- * [그림 2.10](c): 낮은 자세 작업으로 전환되어 가스 스프링의 압축이 시작되고, 스트로크 고정 기능으로 체어리스 체어 구현이 가능한 지점
- * [그림 2.10](d): 착용자가 가장 낮은 자세를 취하고 있는 상태이며, 가스 스프링 복원력 최대치 도달

③ 직렬 탄성 액추에이터를 적용한 능동형 하지 자세 보조 메커니즘 설계

- 직렬 탄성 액추에이터

- 하지 근력 보조의 두 번째 타입으로 직렬 탄성 액추에이터(Series Elastic Actuator, SEA)를 사용함.

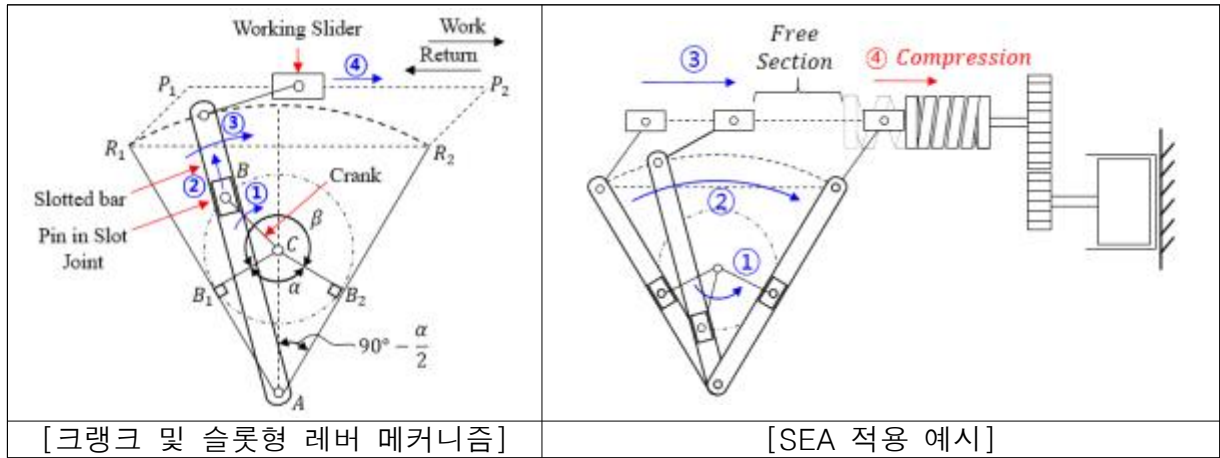


[그림 2.11] SEA 대표도

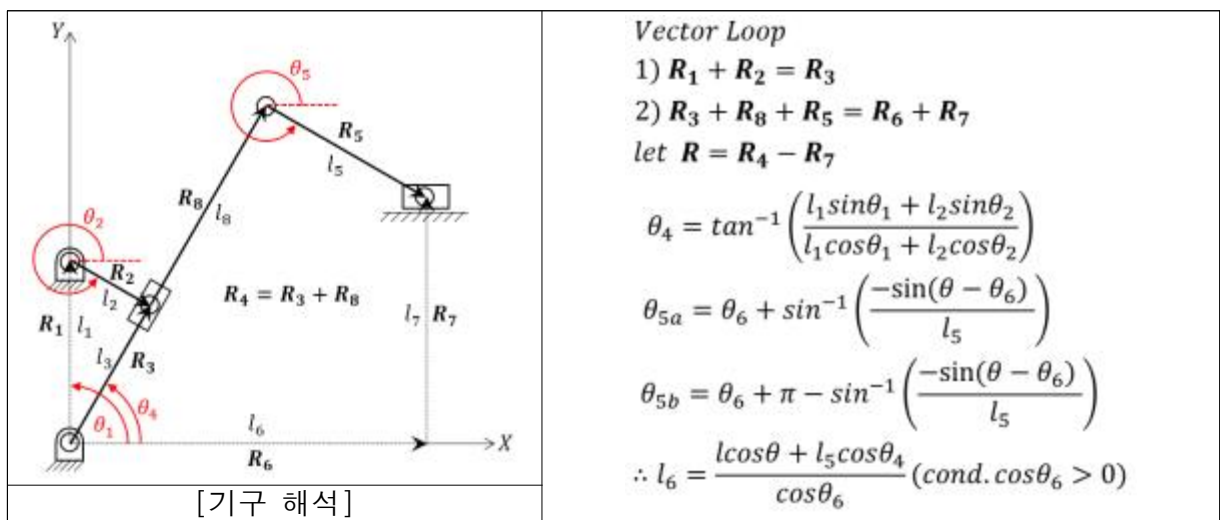
- 직렬 탄성 액추에이터의 설계를 다음과 같이 진행함.
 - a. 착용자가 제공받을 수 있는 보조력의 범위를 넓히기 위하여 길이가 긴 직선형 스프링을 사용.
 - b. 가스 스프링 외골격 로봇과 동일하게 착용자가 평상 보행 중에는 스프링의 압축이 발생하지 않도록 자유 구간에 대한 내용을 설계에 반영.
 - c. 착용자의 무릎 회전 운동을 직선 운동으로 변환하는 메커니즘 설계.
 - d. 외골격 로봇과의 결합부 설계

- 크랭크 및 슬롯형 레버 메커니즘

- 아래 그림과 같이 크랭크 및 슬롯형 레버 메커니즘은 크랭크와 슬롯형 바가 핀-슬롯 조인트로 연결되어 크랭크의 회전 시 슬롯형 바가 회전을 할 수 있음.
- 슬롯형 바와 작업 슬라이더가 링크로 연결되어 회전 운동과 직선 운동 사이 변환이 가능함.
- 급속 귀환 장치라고도 불리는 이 메커니즘은 동일한 거리를 직선 운동할 때, 크랭크의 회전 각도가 작기 때문에($\alpha < \beta$) 빠른 귀환 동작을 할 수 있음.
- 작은 회전 범위로 직선 운동의 범위를 증폭할 수 있다는 것을 의미하기 때문에 긴 직선형 스프링을 사용할 수 있음.



[그림 2.12] 하지 자세 보조 메커니즘(2) 개념 설계

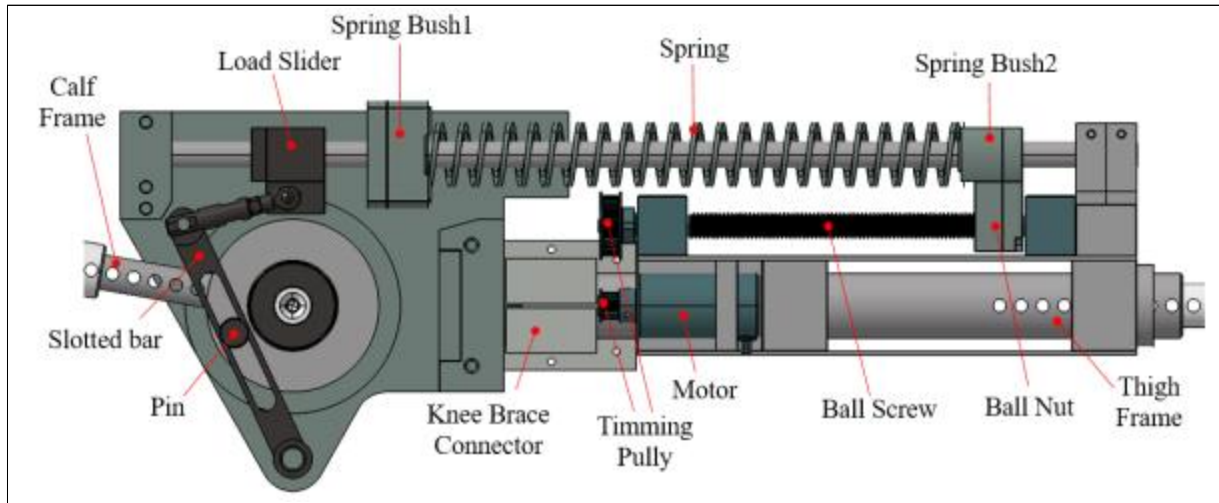


[그림 2.13] 크랭크 및 슬롯형 레버 메커니즘 기구학 해석

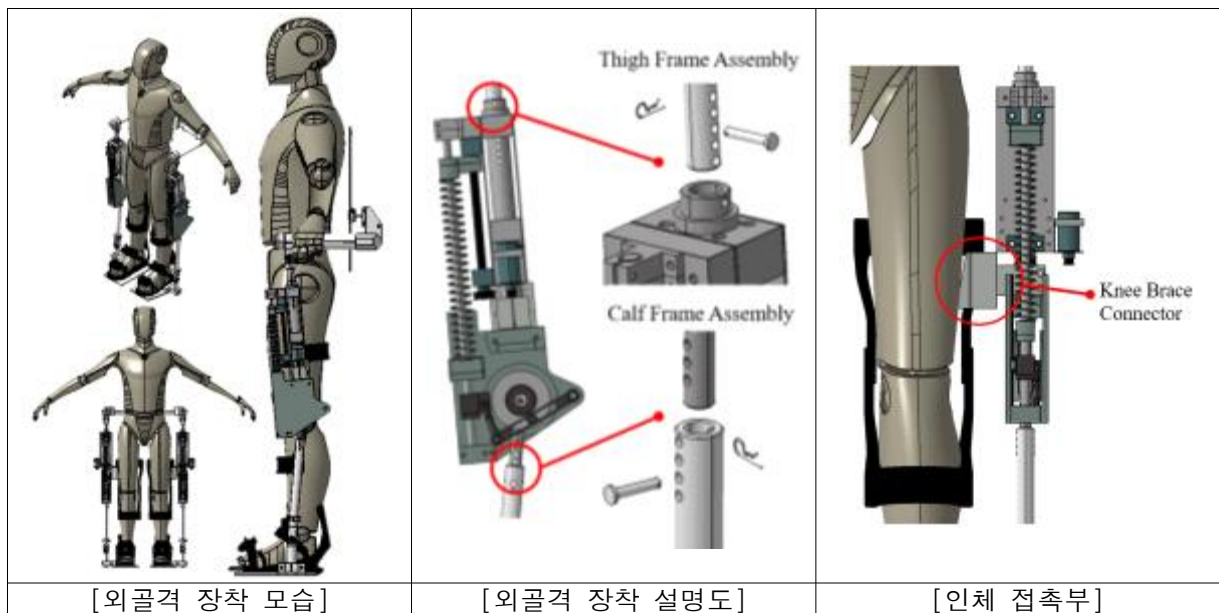
• SEA 개념 설계

- 운동 변환 장치의 역할을 할 수 있으며, 긴 직선 운동 범위를 설계할 수 있는 크랭크 및 슬롯형 레버 메커니즘을 적용한 직렬 탄성 액추에이터를 고안함.
- 아래 그림은 크랭크 및 슬롯형 레버 메커니즘을 적용한 직렬 탄성 액추에이터 설계안임.
 - a. 스프링 자유 길이: 250mm
 - b. 스프링 허용 변형량: 162.5mm (최대 압축 시, 스프링 길이 87.5mm)
 - c. 링크 상수: $l_2 = 30mm, l_4 = 120mm, l_5 = 50mm, \theta_1 = 90^\circ, \theta_2 : 205^\circ \sim 335^\circ$
 - d. 이동 거리: $d_{ini} = -0.7142mm, d_{fin} = 100.7mm$

- SEA 메커니즘 상세 설계

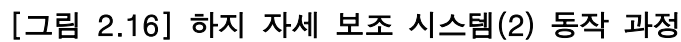


[그림 2.14] 하지 자세 보조 메커니즘(2) 상세 설계



[그림 2.15] 하지 자세 보조 시스템(2) 외골격 설계

- * [그림 2.16](a): 착용자 기립 상태
- * [그림 2.16](b): 걷는 정도의 무릎 각도이며, 스프링 캐리지와 부하 슬라이더가 만나는 순간부터 스프링 압축 시작
- * [그림 2.16](c): 무릎 회전 한계 지점이며, 이 때 스프링의 길이는 168.304mm(87.5mm까지 압축 가능)
- * [그림 2.16](d): 스프링의 최대 압축 상태를 만들기 위해 모터를 구동시켜 추가적인 압축 발생

[illegible]

[그림 2.17] 하지 자세 보조 시스템(2) 특허 출원

① 하중 전달을 위한 외골격 구조설계

- 작업자가 장비의 하중을 쉽게 지면으로 전달시키기 위한 설계 방안 적용



[그림 2.18] 하중 분산을 위한 외골격 구조설계]

② 인체 접촉부 설계

- 상지 접촉부 설계



[그림 2.19] 외골격 로봇 상체 접촉부 조립 설명도

- 착용자의 상체 접촉 장비로써 전신 하네스를 이용
- 전신 하네스의 허리끈을 외골격 로봇의 등판에 연결
- 하네스의 어깨 스트랩을 외골격 로봇의 등판과 핀으로 고정



[그림 2.20] 하네스 허리 접촉부 고정



[그림 2.21] 하네스 어깨 접촉부 고정



[그림 2.22] 전신 하네스 - 블랙야크 YB2001 제품

- 하지 접촉부 - 다리



[그림 2.23] 인체접촉부(허벅지) 설계



[그림 2.24] 무릎 보조기 제품

- 착용자의 다리 접촉 장비로 의료용 무릎 보조기 이용(무릎 사이각 $60^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 회전 운동 가능)
- 외골격과의 연결을 위한 부품 설계



[그림 2.25] 허벅지 접촉부 고정

- 하지 접촉부 - 발



[그림 2.26] 인체접촉부(발) 설계 설계



[그림 2.27] 바인딩 제품



[그림 2.28] 발 접촉 장비 외골격 로봇 장착

- 착용자의 발 접촉 장비로 나이트로 사의 바인딩 제품 이용
- 외골격과의 연결을 위한 부품 설계

③ 수동형 하지 자세 보조 장비 시작품

- 수동형 하지 자세 보조 장비 시작품 제작



[그림 2.29] 시작품 착용 사진

- 수동형 하지 자세 보조 장비 착용 작업 예시

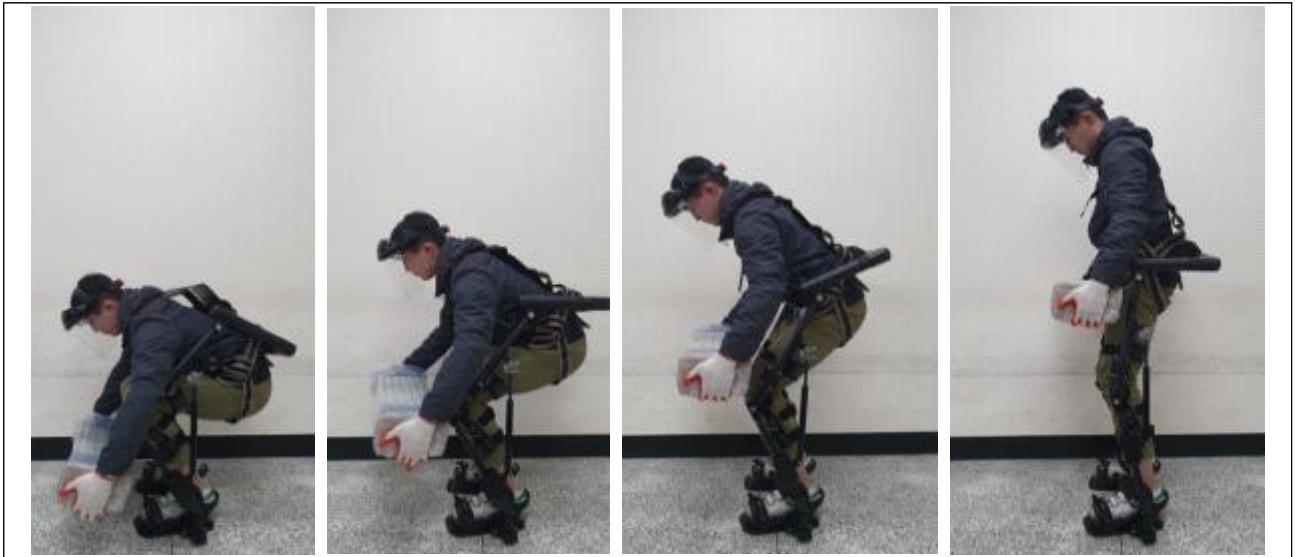


[그림 2.30] 드릴링 작업



[그림 2.31] 그라인딩 작업

- 착용자 드릴링 작업 가능
- 무릎을 꿇은 자세에서 그라인딩 작업 가능
- 중량물 운반 작업 가능
- 체어리스 제어 기능을 사용한 후 천장 드릴링 작업 가능



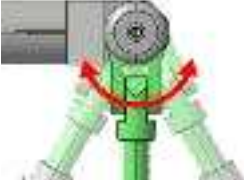
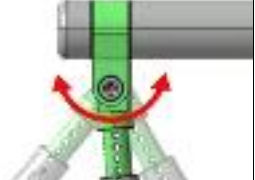
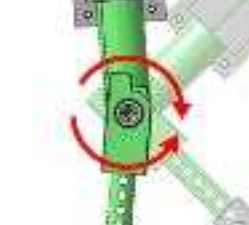
[그림 2.32] 중량물 운반 작업



[그림 2.33] 천장 드릴링 작업 - 체어리스 제어

④ 자체 평가 및 전문가 분석을 통한 성능 검증

- 자체 평가

목표 성능	성 능 자 체 평 가			
자유도				
	좌측면도	좌측 골반 조인트	좌측 무릎 조인트	좌측 발목 조인트
				
	우측면도	우측 골반 조인트	우측 무릎 조인트	우측 발목 조인트
				
	자유도[1] (좌측 골반)	자유도[2] (좌측 골반)	자유도[3] (좌측 무릎)	자유도[4] (좌측 발목)
				
	자유도[5] (우측 골반)	자유도[6] (우측 골반)	자유도[7] (우측 무릎)	자유도[8] (우측 발목)
무게		Properties Current selection : Final_ASSY Product Graphic Mechanical Drafting Characteristics Volume: 0.008m3 Mass: 18.315kg Surface: 2.049m2		
	3D 설계안	CATIA 프로그램 무게 측정		

	<table><tr><th></th><th>측정 결과 [kg]</th></tr><tr><td>시작품 착용 전</td><td>68.45</td></tr><tr><td>시작품 착용 후</td><td>91.05</td></tr><tr><td>장비 무게</td><td>22.6</td></tr></table>		측정 결과 [kg]	시작품 착용 전	68.45	시작품 착용 후	91.05	장비 무게	22.6
		측정 결과 [kg]							
시작품 착용 전		68.45							
시작품 착용 후		91.05							
장비 무게	22.6								
시작품 착용 전 몸무게 측정									
									
시작품 착용 후 몸무게 측정									
프로토 타입 시작품 무게 측정									

[그림 2.34] 자체 성능 평가 결과

- 전문가 분석

목표
성능

성 능 검 토 결 과

전문가 검토 의견서

성명	오경원	소속/직급	국방과학기술연구소 무인 방위산업기술지원센터 기동화력기술팀 선임연구원
작성일자	2020. 10. 27	전문분야	로봇 설계 및 제어
검토 주제	건설 근로자 보조 시스템 3D 설계안 - 자유도		

검토 의견

- 건설현장 근로자 보조를 위한 시스템의 필요성에 대한 형의와 범위를 명확하게 제시하고 있음. 또한, 두 가지의 주제로 하지 자세 보조 시스템과 팔 협업 시스템을 구분하여 기존의 기술들과의 특성을 비교하여 새로운 기술이 가져야 할 필요 기술을 도출하여 전반적인 연구내용에서 필요한 절차와 타당성 및 우수성을 확보한 것으로 판단됨.

- 건설 근로자 팔 보조를 위한 메커니즘은 총 4개의 자유도를 가지는 것을 확인하였으며, 각 자유도는 회전 관절로 이루어짐을 확인함. 특징으로는 회전 관절이 연속된 구조가 아닌 평행 사면형 링크 메커니즘을 구현한 보조 시스템으로 구현됨을 확인함. 수동형 컨셉으로 설계된 시스템으로 설계의 정확성이나 전문성에 대해 보완될 필요가 있으며 최적화가 필요할 것으로 판단됨.

- 건설 근로자 하지 보조 시스템은 보조 다리 당 4개의 자유도를 가지며 총 8개의 자유도가 확보됨을 검토함. 8개의 자유도 이외에도 착용자의 편의성을 위한 조절이 가능한 팔속부 설계가 잘 이루어짐. 국내·외에서 주로 연구되는 '엑스스켈레톤 로봇'의 경우, 사람의 모든 자유도를 보조해주는 시스템으로 구성되어 있으나, 본 기술은 건설 작업에 특화된 자세에 대한 보조를 위한 설계로 과도한 기술의 적용보다는 적절한 기술의 적용으로 판단됨.

총 평

- 건설현장 근로자 보조를 위한 상·하지 자세 보조 시스템에 대한 연구의 3D 설계 검토 의견으로 현재 상지 4 자유도, 하지 8 자유도로 구현되는데 12 자유도를 만족함.

- 현재 상지 시스템 설계 안은 컨셉에 가까운 설계로 주요 전문성이 있는 설계가 필요할 것으로 판단됨.

- 과제에서 제안된 달성지 4 자유도를 초과하여 만족한 것을 확인함.

검토 성과의 우수성	☐ 매우 우수	☒ 우수	☐ 보통	☐ 수준 이하
과제명	민간지능 기반의 자율 구동 관절(Extra Limb)을 갖는 건설 근로자 협업 로봇			

자유도

무게

전문가 검토 의견서

성명	모건원 	소속/직급	국립과학연구소 부설 생물산업기술지원센터 기동원력기술팀 선임연구원
작성일자	2020. 10. 08	검토분야	로봇 설계 및 제어
검토 주제	건설 근로자 보조 플랫폼 - 통합 시스템 - 무게		

검토 의견

- '엑소스켈레톤 로봇'과 같은 착용형 장비로서 건설 근로자에게 발해가 되지 않는 형태의 무게가 가장 중요한 부분으로 확인하여 성과목표로 착안한 것은 적절한 것으로 판단됨. 통합 시작물의 무게를 주주 연구 내용에서 전자 장비의 무게에 대한 추가 내용이 적용되어야 할 것으로 판단됨.
- 건설 근로자 보조를 위한 상지 보조 플랫폼은 컨셉 설계 안으로 4 자유도를 가지며 수동형인 스프링 구조가 적용되어 있음을 확인함. 또한, 보조 시스템의 무게는 3.2 kg으로 나타남을 확인함. 현재 설계 안으로 구동기의 추가된 무게를 고려해야 할 것으로 판단되며, 링크 기구 메커니즘 부분에서 무게 감소가 가능한 부분이 많은 것으로 판단됨.
- 하지 자세 보조 시스템은 현재 프로토타입 설계 안에 대한 무게 검토를 진행하였으며 그에 따라 20.5 kg이 나타나는 것을 확인함. 자세 보조를 위한 메커니즘의 적용을 보아 적절한 무게로 판단되며 무게 감소가 가능한 부분에 추가 검토가 필요할 것으로 판단됨.

총 평

- 건설 근로자 착용형 로봇 시스템으로 무게에 대한 고려가 필요함. 30 ~ 40 kg의 달성 목표는 적절한 것으로 판단됨.
- 상지 시스템의 무게 감소 부분이 많은 것으로 판단되며, 하지 보조 시스템은 최적화 작업 수행이 필요할 것으로 판단됨.
- 컨셉 설계 안과 프로토타입 설계 안을 통하여 차년도 달성 목표인 30 kg을 만족하는 것을 확인함.

검토 성과의 우수성

☐ 매우 우수

☒ 우수

☐ 보통

☐ 수준 이하

과제명

인공지능 기반의 자율 구동 플랫폼(Extra-Limb)을 갖는 건설 근로자 협업 로봇

[그림 2.35] 전문가 분석 결과

수행 내용 (4) : 자율 구동 관절 로봇 구동부 및 센서부 구축

① 자율 구동 관절 로봇 시스템 필요요소 분석

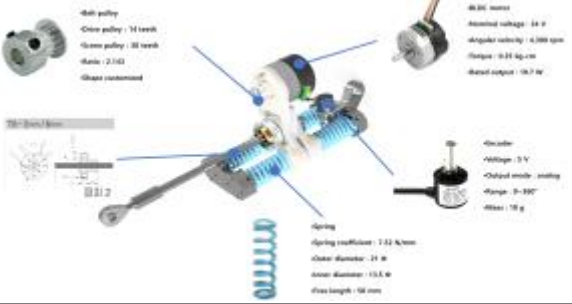
구동기 및 메커니즘 필요요소	
필요요소 분석	- 건설 근로자 충격 방지를 위한 구동 방식 - 근로자와 비슷한 움직임 구현이 가능한 구동 - 건설현장에서 나타나는 움직임을 모사한 구동 메커니즘 - 상지 보조 시스템의 무게 ↓ - 움직임 구현 시, 관성에 의한 불편함 감소 필요

[표 2.2] 자율 구동 로봇 시스템 필요요소 분석

② 자율 구동 관절 로봇 구동 시스템 컨셉 설계, 제작 및 센서부 구축

- Series elastic actuator type 구현

Series elastic actuator		특징
Type 1		- 회전 움직임이 가능한 구동기 - 빠른 응답성 구현 - 모터 선정을 통한 제어 가능성 증가 - 직접적인 센서 구현 X
Type 2		- 직선 움직임 구현 구동기 - 큰 출력을 통한 힘 구현 가능 - 상용품 사용 가능 - 직접적 센서를 통한 힘 측정 가능
Type 3		- 회전 움직임을 통한 직선 움직임 - BLDC 모터를 통한 빠른 움직임 가능 - 모터 배치 변경을 통한 작은 크기 - Ball-screw를 통한 큰 힘 구현 가능
[Series elastic actuator 구현]		

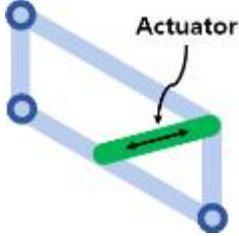
센서 구현	- SEA의 힘 측정을 위한 엔코더 사용 - 엔코더 회전 측정을 직선 움직임으로 변환 → Wire 움직임 - 아날로그 신호 또는 디지털 신호 측정이 가능 엔코더 테스트 진행 중
구동기 구조	 Ball pulley Drive pulley : 14 teeth Guide pulley : 38 teeth Ratio : 2.7143 Shape customized Motor Encoder Spring Spring coefficient : 7.52 N/mm Outer diameter : 24 mm Inner diameter : 13.5 mm Wire length : 180 mm Motor Rated voltage : 24 V Output voltage : 6.288 V Torque : 0.25 kg-cm Rated output : 18.7 W Encoder Voltage : 5 V Output mode : rotating Range : 0~360° Weight : 18 g
[센서부 구축]	

[그림 2.36] 자율 구동 로봇 시스템 프로토타입 제작 및 센서부 구축

③ 허용 하중 계산

- 계산 방법
 - Ball-screw를 사용한 구동기의 출력힘 계산
 - 컨셉 메커니즘의 구동력 식 도출

• 계산 결과

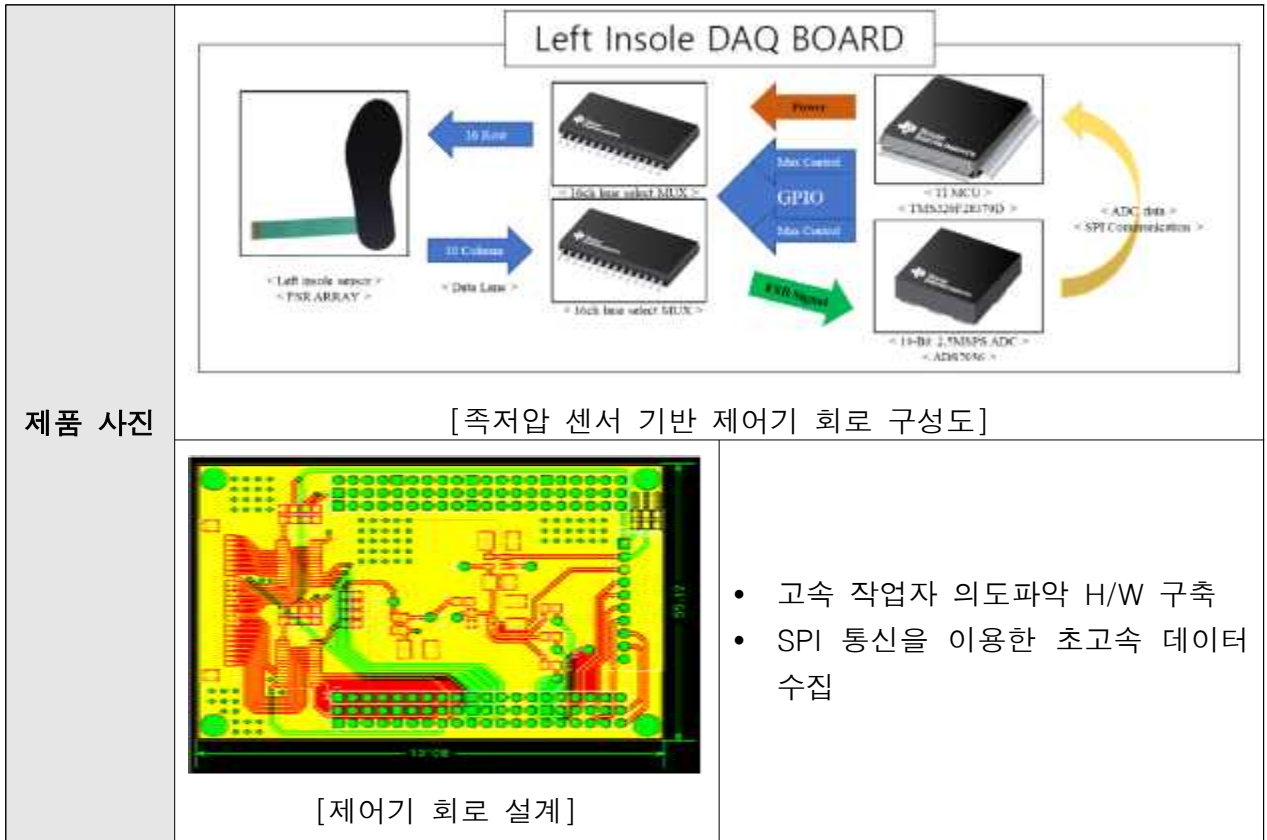
계산 방법	
$T_d = 180mN \cdot m = \frac{F_l \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta}$ $\therefore F_l = 800N$	 $\tau_A =$ $a \cdot F_l \cdot \sin\left(\cos^{-1}\left(\frac{2a^2 - 2ab \sin \theta}{2a \cdot \sqrt{(a^2 + b^2 - 2ab \sin \theta)}}\right)\right)$ $= \therefore 113.84N \cdot m$
구동기 출력 힘 계산	컨셉 메커니즘의 구동력 식
계산 결과	• 선정 모터의 구동 토크 : $180mN \cdot m$ • 13 kg의 작업물을 운용할 수 있음 • 허용하중 7 kg 초과 달성함을 확인 • 현재 설계 안에 대한 계산으로 시작품에 대한 실험 필요 • 구동기의 최적화 필요

[그림 2.37] 구동기 허용하중 계산

수행 내용 (5) : 건축 작업자 보조 알고리즘 구축

① 족저압 측정을 위한 생체신호 측정 시스템 구축

- 건설 근로자 작업 의도 파악을 위한 제어기 구축
- 건설 근로자 족저압 측정을 통한 보조 알고리즘 구현
- DAQ 시스템을 사용한 고속의 센서 데이터 수집 가능
- 임베디드 시스템을 통한 착용 가능한 시스템
- 초 고성능 임베디드 PC를 통한 실시간 ONLINE 의도파악 수행 가능



[그림 2.38] 건설 작업자 보조 시스템용 제어기 회로 설계

제품 사진

[시작품 구성]

[족저압 센서 데이터 수신]

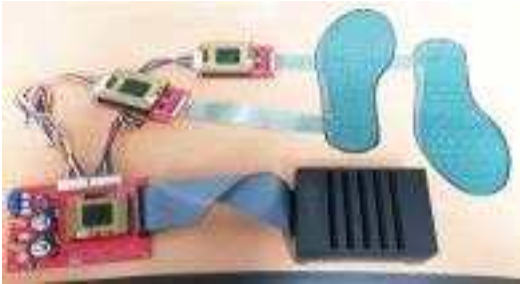
System information	
Supply Voltage	19 V – 42 V
Digital System Voltage	5V, 3.3V
Controller	TI MCU, TMS320F28379D
ADC	14-bit
SPI Baudrate	Up to 25Mhz
Pressure range(kg)	~ 180
Sensing points	236
Conversion speed	150uS

[DAQ 시스템 specification]

[그림 2.39] 건설 작업자 보조를 위한 고속 DAQ 시스템

② 사용시간 3시간 이상의 시스템 구축

- 시스템 사용 가능 시간 설계를 위해 22,000mAh Lipo 배터리를 기준으로 설계 함.
- 해당 배터리는 2,710g 으로 시스템 전체 목표 무게에 큰 영향을 끼치지 않음.
- Full Load 사용 시간: 시스템에 사용 될 것이라 예측되는 150 W 급 모터 3개를 Full Load 로 사용했을 때 시간당 소모 전류는 19,790mA 이며 $22,000 \text{ mAh} / 19,790 \text{ mA} = 1.11 \text{ Hours}$, 즉 1시간 6분의 사용이 가능
- Quater Load 사용 시간: 시스템에 사용 될 것이라 예측되는 150 W 급 모터 3개의 평균 사용을 감안하여 Full Load 대비 25%의 전력을 시간 당 사용했을 때 시간당 소모 전류는 6,290mA 이며 $22,000 \text{ mAh} / 6,290 \text{ mA} = 3.45 \text{ Hours}$, 즉, 3시간 30분의 사용이 가능

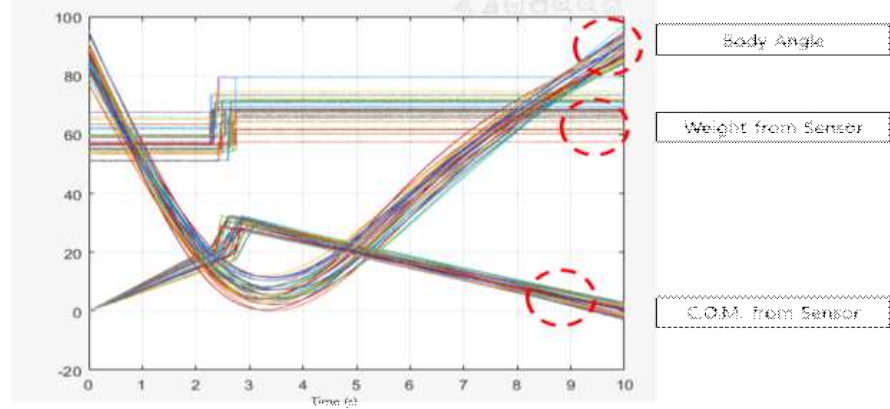
구축 데이터 사진	파트	전력소모(Full load)
		
	1.5 A (AI platform) + 0.29 A (Insole Sensor)	24 V, 150 W급(144W) 모터 3개 최대 소모전류 18 A

[그림 2.40] 시스템 소모전류

③ 생체 신호 분석을 통한 건축 작업자 보조 알고리즘 구축

- 1차연도 의도파악 알고리즘 구축을 위한 데이터 생성
 - 알고리즘 효용 확인을 위한 알고리즘 구축 검증용 데이터 제작
 - 작업자의 Lift 움직임을 모사한 허리 각도, 사용자 무게, 무게중심 3가지 데이터를 생성
 - 2000명 분의 Dataset 구축을 통한 의도파악 알고리즘 효용성 확인
 - 학습데이터:검증데이터:테스트데이터 = 7:2:1비율로 AI학습 데이터를 분할

구축
데이터
사진



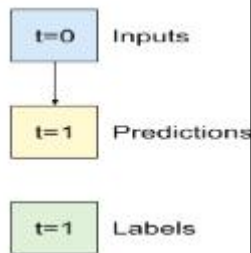
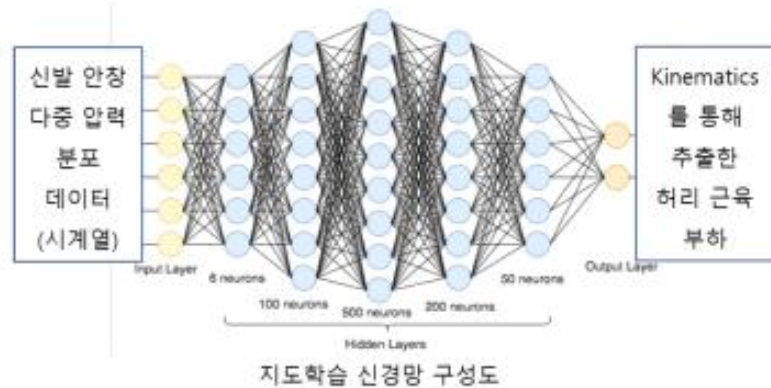
1명당 10초(1000 point)*3종 데이터 구축

[그림 2.41] 알고리즘 검증용 데이터 제작

• 의도 예측 작업자 보조 알고리즘 개발

- Baseline, CNN, Linear Regression 및 RNN 총 4종의 알고리즘 개발
- 각 알고리즘 및 데이터에 대한 최적화에 따라 다양한 성능 변화를 보임
- 해당 년도에는 의도 파악 및 보조가 가능한 알고리즘의 기초 연구를 진행.

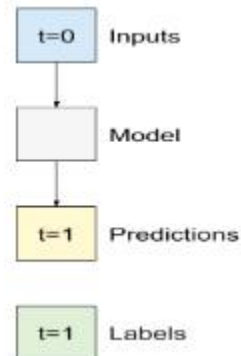
구축
알고리즘
개념



[Baseline]



[CNN]



[Linear
Regression]



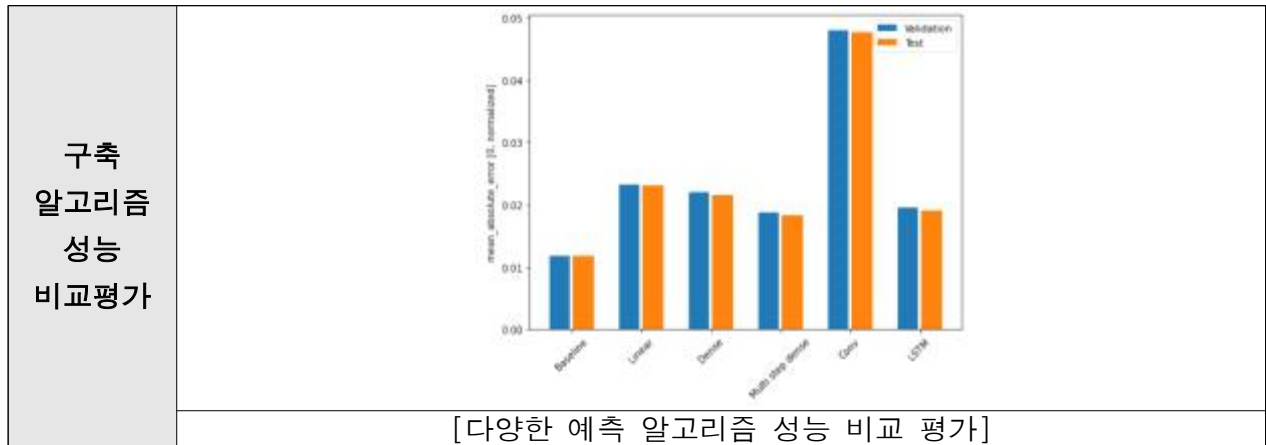
[RNN]

[그림 2.42] 의도 예측 알고리즘 구조 개념도

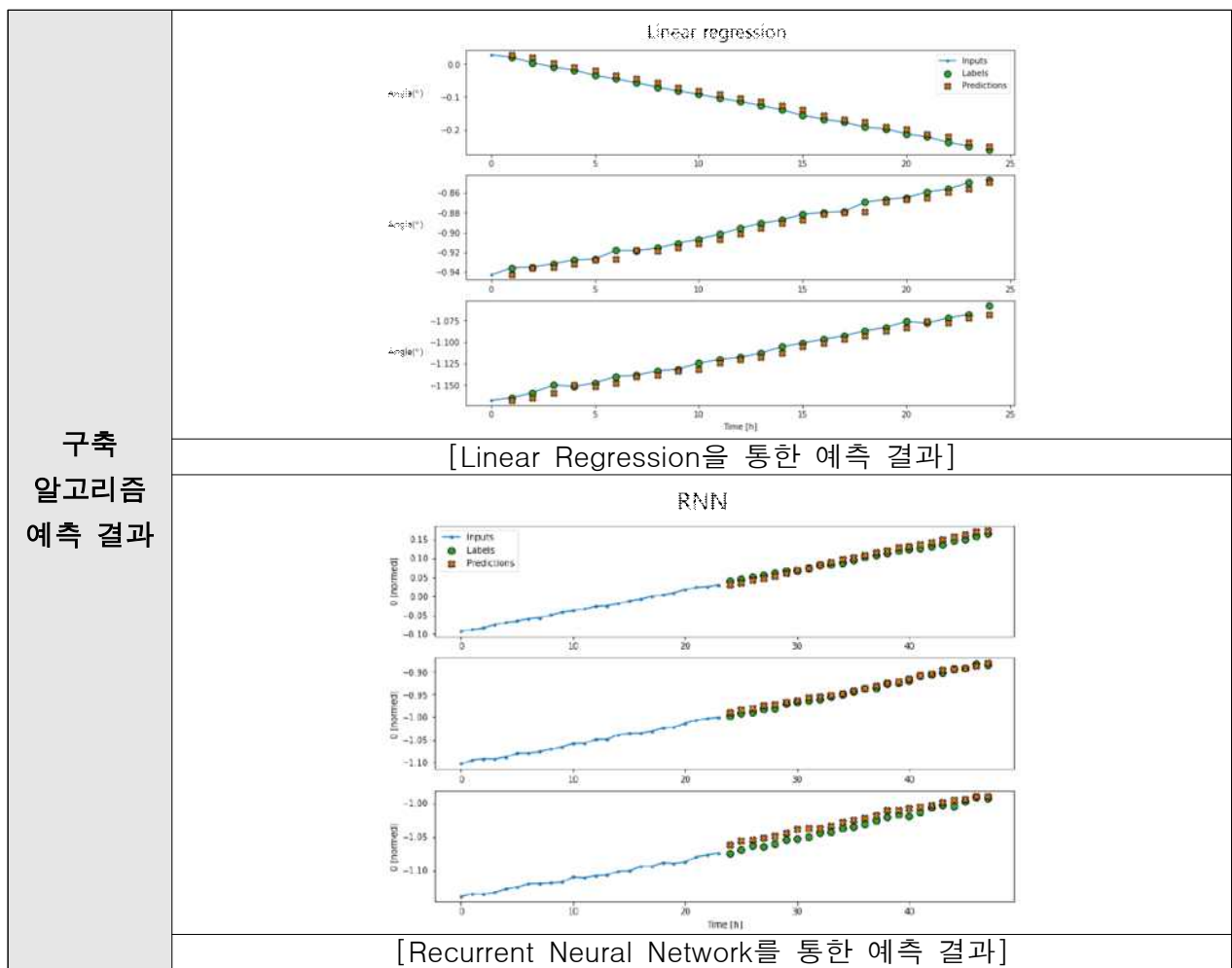
• 의도 예측 알고리즘 성능 평가

- 각 알고리즘을 비교하였을 때 Convolution Neural Network는 예측 성능이 떨어지는 것을 확인.

- 데이터 최적화에 따라 성능 개선의 여지는 있지만, 현재 사용되는 데이터 형식에는 CNN은 적합한 예측 성능을 보여주지 못함.
- Baseline 및 RNN(LSTM)등이 97% ~ 98%의 정확도로 사용자 의도를 예측할 수 있음을 확인.



[그림 2.43] 알고리즘 성능 비교평가



[그림 2.44] 알고리즘 성능 비교평가

수행 내용 (6) : 국내 외 동향 및 사례 조사

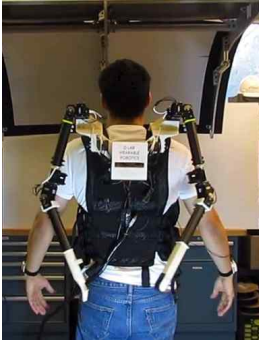
• 국내 기술 동향

엔젤 로보틱스	• Walkon suit와 Angelegs 2가지 재활 보조용 로봇을 개발함 • 로봇 착용시 불편함 최소화를 위해 경량 설계를 중점으로 설계됨 • 신체 구조의 상이함에 대응하기 위해 유연한 치수 조작이 가능 • 근력 및 재활 보조 시스템으로서 저속·고출력 구동기를 사용
삼성전자	• 근력이 부족한 일반인이나 노약자, 환자들의 보행을 보조하거나 재활을 돕는 등 보행의 질을 높여주는 목적의 웨어러블 로봇 GEMS 개발함 • 기존의 로봇 시스템보다 손쉽고 빠르게 착용할 수 있도록 제작함 • 최대 3.6 kg의 무게로 착용자 불편을 최소화함 • 허벅지·허리 보조, 허리 보조, 발목 보조 3가지 모듈형 구성
현대자동차	• 산업 현장 발생하는 부적절한 작업 자세로 인한 작업자 무릎 관절 부하 보조 H-CEX 시스템 개발 • 중량물 운반 시 작업자 허리 부하를 보조하는 H-WEX 개발 • 산업 현장적용 목적으로 작업자 보조 시스템 개발
한국생산기술 연구원	• 소방관용 하지 근력 지원 로봇 '하이퍼 R1' 개발 • 최대 가반하중 30 kg, 착용 시 불편함 없이 활동하는 것을 목표 • 고층 건물 화재 진압 시 신속한 고층 진입을 목적으로 함
 엔젤로보틱스  삼성전자  현대자동차  한국생산기술연구원	

[그림 2.45] 국내 기술 동향

• 국외 기술 동향

미국 메사추세츠 공과대학 (MIT)	• 일반 착용 로봇과 달리 로봇 팔 추가 관절을 제공하는 시스템 개발 • 윗 보기 작업 및 작업물 고정 시 사용하는 어깨에 부착형 로봇 개발 • 작업 시 작업자의 무게를 지지하는 허리 부착형 로봇 시스템 개발함 • 무게 지지 및 작업 보조의 수행이 가능한 유일한 로봇 시스템 개발
미국 록히드 마틴 (Lockheed Martin)	• 중량물 운반 시, 무게가 느껴지지 않도록 도와주는 Fortis 개발 • 구동부가 없는 패시브 보조방식을 사용함 • 추가 팔 관절을 사용, 작업자가 공구의 무게를 느끼지 않게 함 • 유사 시스템으로 군용 착용 로봇 시스템 HULC 개발
미국 사르코스 (Sarcos)	• 군용 및 산업용 착용형 로봇 개발함 • 상지 근력 보조를 통하여 완력 증강 시스템 Guardian XO 개발 • 상·하지를 모두 보조하는 군용 착용형 로봇 시스템 XOS2 개발
미국 포드(Ford)	• 소방관용 하지 근력 지원 로봇 '하이퍼 R1' 개발 • 최대 가반하중 30 kg으로 착용 시 불편함이 없는 것을 목표로 개발 • 고층 건물 화재 진압 시 신속한 고층 진입을 목적으로 함
미국 레비테이트 (Levitate)	• 제조현장 윗보기 작업의 팔과 허리, 등을 보조해주는 장치 개발 • 장치에 추가적인 구동부가 없이 경량화된 AIRFRAME 장치 개발함 • 착용자의 착용성 향상을 위해 착용자 치수 변화 대응 설계 적용
미국 US Bionics Suit-X	• Suit X는 산업용과 의료용 두 가지 목적의 착용형 로봇을 개발함 • 산업용 장치는 다리, 어깨, 등 근력 보조 모듈형으로 이루어짐 • 모듈형 시스템 외 전체 신체를 보조해주는 착용형 장비도 개발함
스위스 누니 (Noonee)	• 착용하고 앉을 수 있는 착용형 의자 Chairless Chair를 개발 • 현장에서 이동하며 앉은 자세로 일을 해야 하는 상황에 사용됨 • 피로도 개선과 하지 통증 및 요통의 개선을 목적으로 함
일본 사이버다인 (Cyberdyne)	• 착용형 하지 보조 로봇 시스템 HAL 개발 • 사람의 생체신호를 측정하여 구동하는 생체신호 기반 로봇 시스템 • 착용자 피부에 직접 센서를 접촉해야 하는 단점을 가지고 있음 • 의료용, 생활 보조형, 산업 현장용 3가지 제품군을 보유

			
MIT	Lockheed Martin	Sarcos	Ekso vest
			
Levitare	Suit X	Noonee	Cyberdyne

[그림 2.46] 국외 기술 동향

- 국내 외 동향 조사를 통한 보조 시스템 비교분석 및 경제성 분석

본 연구과제 통합 시작품		• 하지시스템 -무게: 13.6 kg -허용하중: 250 kg 이상 (수동형 기준 다리 각각 250kg 버팀) -자유도: 8DOF(수동형/능동형) -제작비용: 약 1000만원(수동형/능동형)
		• 상지시스템 -무게: 3.2 kg(구동기 제외/구동기 무게 2kg) -최대작업거리: 1000mm -허용하중: 12.5kg -자유도: 4DOF(능동형) -제작비용: 약 400만원 • 통합시스템 -무게: 16.8kg -가격: 약 1400만원

미국 Lockheed Martin		• 하지시스템 -자유도: 8 DOF(수동형) • 상지시스템 -자유도: 4 DOF(수동형) -최대 도달거리: 900 mm -허용하중: 16 kg -가격: \$7,149(약 858만원) • 통합시스템 -무게: 27파운드(약 12.2kg) -통합시스템 가격: \$24,750(약 2970만원) • 본 연구과제 통합 시작품과 비교 -장점 1) 하지 자세 보조 기능 2) 하지/상지시스템 능동형 보조가능 3) 약 1570만원 저렴함 -단점 1) 통합 시작품의 무게가 무거움(4.6kg 차이)
스위스 Noonee		• 하지시스템 -무게/자유도: 4.4파운드(약2kg)/2DOF(수동형) -허용하중: 100 kg -가격: \$2,890(약 347만원) • 본 연구과제 하지시스템과 비교 -장점 1) 하지 근력 보조가 능동적으로 가능함 2) 허용하중 150kg 더 버틸 수 있음 -단점 1) 무게가 가벼움(11.6kg 정도 차이남) 2) 약 653만원 저렴함

미국 Ekso biobics		• 상지시스템 -무게/보조방식: 9.5파운드(약 4.3kg) / 수동형 -허용하중: 6.8 kg -가격: \$7,000(약 840만원) • 본 연구과제 하지시스템과 비교 -장점 1) 허용하중이 큼(5.7kg 차이) 2) 상지 근력 보조가 능동적으로 가능함 3) 약 440만원 저렴함 4) 약 1.1kg 가벼움
-----------------------	---	---

[그림 2.47] 국내 외 기술 동향 조사를 통한 비교분석 및 경제성 분석

수행 내용 (7) : 협업 및 보조 로봇 적용 가능 공정 발굴

① 건설 근로자 보조를 위한 협업 로봇 적용 가능 공정 발굴

• 건설현장 작업자의 작업 분석

- 현재 건설 근로자 보조방식 : 사전 예방 대책, 교육
- 건설현장 작업 분류 : 중량물 취급, 전동공구 취급, 자세 불안정 작업

건설 근로자 작업 분석		
		
[중량물 취급 작업]	[전동공구 취급 작업]	[자세 불안정 작업]

[그림 2.48] 건설현장 작업자의 작업 분류

분류	중량물 취급 작업	전동 공구 취급 작업	자세 불안정 작업
1	시멘트 운반 작업	해머 드릴링 작업	사다리 작업
2	파이프 운반 작업	그라인딩 작업	천장 작업
3	판재 운반 작업	금속 절단기 작업	웅크린 작업
4	철근 운반 작업	콘크리트 믹싱 드릴 작업	윗보기 작업
5	컴프레서 운반 작업	고정 클램프 작업	건축물 외벽 작업
6	발전기 운반 작업	브레이커 작업	들어 올리는 작업
7	바닥 압착기 작업	샌딩 작업	발 굽힘 자세

[표 2.3] Noonee 제품 분석

• 건설 근로자 보조가 필요한 작업 도출

- 작업 보조 시, 필수 요소 도출 : 작업용 공구 지지 및 신체 일부 지지를 위한 구조 필요
- 건설 작업자 보조 필요 작업 분류
- 불안정한 자세 보조에 대한 필요성이 가장 크게 나타남.

건설 근로자 보조를 위한 작업 분석		
		
중량물 취급 작업 보조 예시	전동공구 취급 작업 보조 예시	자세 불안정 작업 보조 예시

[그림 2.49] 건설 근로자 보조 필요 작업 도출

	중량물 취급 작업	전동 공구 취급 작업	자세 불안정 작업
분류	• 파이프 운반 작업 • 판재 운반 작업	• 해머 드릴링 작업 • 고정 클램프 작업 • 브레이커 작업	• 사다리 작업 • 천장 작업 • 웅크린 작업 • 윗보기 작업 • 들어 올리는 작업 • 발 굽힘 자세

[표 2.4] 건설 근로자 보조 필요 작업 분류

수행 내용 (8) : 작업 프로세스 재정립

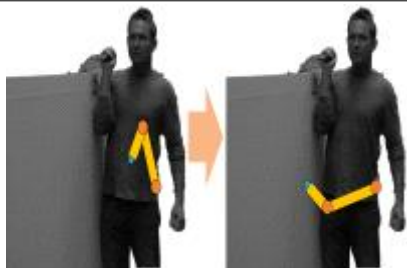
① 건설 작업자 보조 필요 작업 프로세스 분석

- 분류 별 작업 보조 가능 작업 분석
- 건설 근로자 보조 시스템 운용 방식 분석

② 건설 작업 프로세스 재정립

- 건설현장 근로자 보조를 위한 필요요소 도출
- 국내 외 기존 사례조사를 통한 필요요소 분석

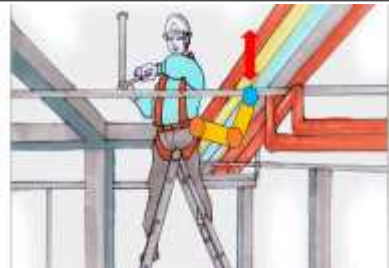
건설 작업자 보조 필요 작업 분석



판재 운반 작업 보조 예시



건설 자재 작업 보조 예시



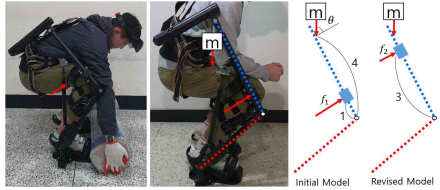
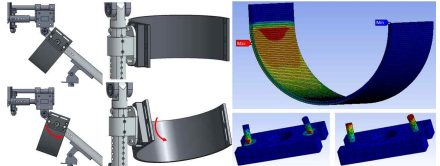
사다리 작업 보조 예시

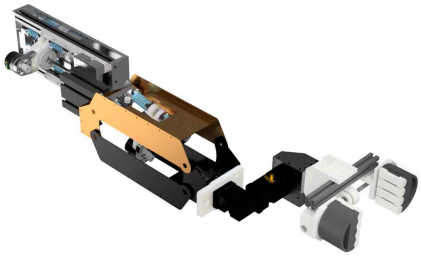
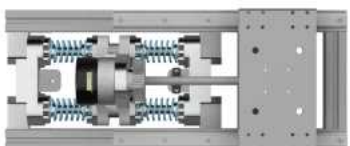
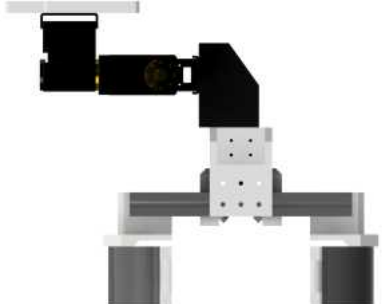
건설 작업 프로세스 재정립	분류	필요요소
	중량물 취급 작업	• 건설 자재의 움직임 제한 필요 • 불필요한 회전 방지 • 다른 작업자와 충돌 방지 • 운반 작업자의 부상 방지
	전동 공구 취급 작업	• 건설 작업자의 허리 쪽 보조 시스템 부착 • 공구 고정이 가능 • 보조 시스템을 작업자가 움직일 수 있음 • 공구로 인한 진동 감쇄가 필요
	자세 불안정 작업	• 근·골격계 질환 예방이 필요 • 사람의 무게를 지탱할 수 있는 보조 시스템 • 건설 작업자가 일어나는 경우, 추가의 보조 힘 필요

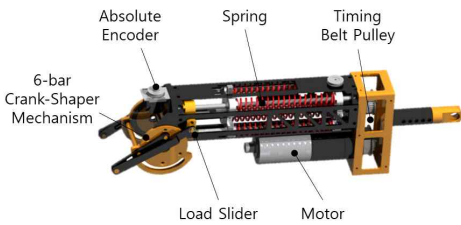
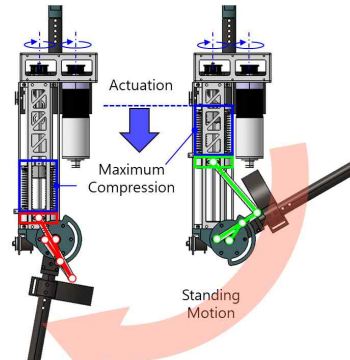
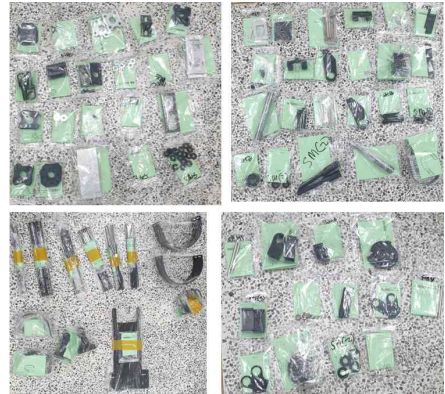
[그림 2.50] 건설 작업자 보조 프로세스 검토 결과

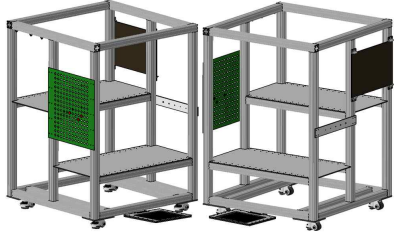
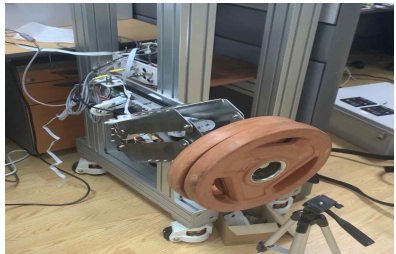
2.2 2차연도 수행 내용

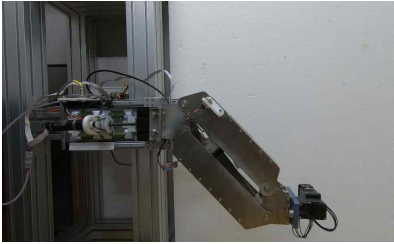
1) 2차연도 개발 목표 및 결과 요약

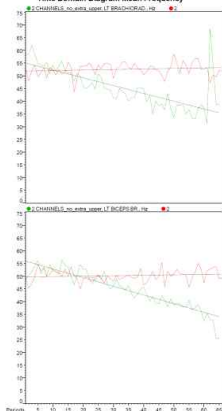
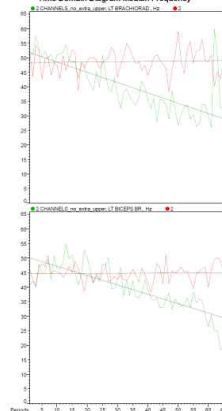
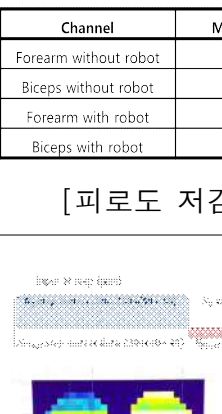
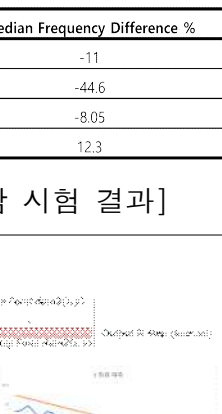
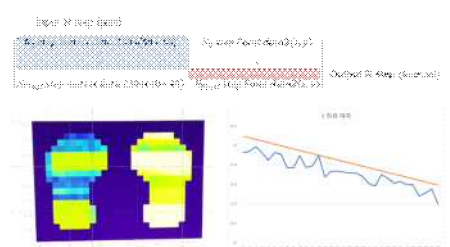
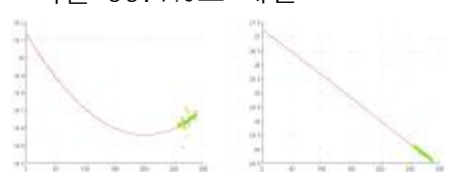
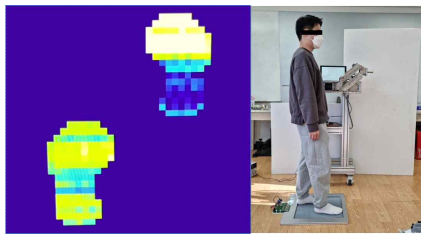
연구 목표	세부 연구개발 수행 내용	상세 내용	연구 결과
추가 자율 구동 관절 협동 로봇 시작품 개발 및 운용 실험	수행내용(1) : 하지 보조 시스템 설계 개선	- 외골격 로봇 경량화 보완설계 및 제작 - 허벅지 지지부의 하중 지지 구조 개선으로 허벅지 지지 부품이 받는 하중 줄임 - 허벅지 지지부를 회전가능한 형태로 설계하여 착용성 개선 - 안정적인 지면 지지를 위해 지면 지지부 구조개선 - 외골격 로봇의 하중을 지면으로 전달하기 위해서 허벅지 링크와 종아리 링크가 190°까지 회전이 가능하도록 설계	 [외골격 로봇 경량화 보완설계]  [허벅지 지지부 구조변경]  [인체접촉부 구조변경 보완설계]  [하중 지면 전달]

	수행내용(2) : 상지 근력 보조 시스템 및 자율 구동 관절 로봇 상세설계	• 건설 근로자 작업 최적화 로봇 시스템 설계 • 직렬탄성구동기가 적용된 자율 구동 관절 로봇 제작 • 2축의 평행 움직임이 가능한 로봇 시스템 상세 설계 • 그리퍼 포함 총 5자유도의 자율 구동 관절 로봇 시스템 설계	• 근로자 상지 근력 보조를 위한 자율 구동 관절 로봇 최종 설계안 도출  [최종 상세 설계안] • 2축의 4절 링크 구조 적용을 통한 작업 평면의 평행 움직임 적용  [4절 링크 적용 2자유도] • 1축의 선형 움직임 구현을 통한 전진 및 후진으로 공구를 사용하는 작업에 대한 최적화 설계 적용  [1축 선형 움직임] • 다양한 작업물을 파지할 수 있는 그리퍼 설계 및 제작  [그리퍼 설계도]
--	--	---	--

	수행내용(3) : 능동형 하지 근력 보조 메커니즘 및 시스템 상세 설계	- 수동형 근로자 하지 자세 보조 기술 이외에 추가적으로 진행한 연구로써 코일 스프링의 복원력을 이용하여 근로자의 하지 근력을 보조하기 위한 로봇 설계 - 직렬 탄성 액추에이터 (Series Elastic Actuator, SEA)를 적용하여 근로자의 동작으로 인해 스프링에 1차 변형이 일어났을 때, 모터를 구동시켜 추가적인 변형을 발생시킴으로써 스프링의 최대 복원력을 착용자에게 제공 - SEA에서 생성된 스프링의 복원력을 착용자에게 효율적으로 전달하기 위한 6절 크랭크-셰이퍼 메커니즘 설계	- 능동형 하지 근력 보조 시스템 최종 설계안 도출  [최종 상세 설계안] - SEA 적용을 통해 착용자에게 항상 스프링의 최대 복원력을 보조력으로써 제공 가능  [동작 프로세스]
	수행내용(4) : 착용형 건설 근로자 협업 로봇 시제품 가공 및 조립	- 하지 자세 보조 시스템 부품 가공 및 조립 - 상지 근력 보조 자율 구동 관절 가공 및 조립 - 하지 자세 보조 시스템과 상지 근력 보조 자율 구동 관절 통합 시제품 조립	 [하지 자세 보조 시스템 부품]  [근력 보조 자율 구동 시스템]  [조립된 통합 시작품]

	수행내용(5) : 의도파악 및 능/수동형 협업 로봇 통합 구동	• 카운터 밸런스를 이용하여 능동형 협업 로봇 조립 및 구동시 몸의 균형을 맞춤 • 통합 시작품을 이용한 그라인딩 및 드릴링 작업 • 자율 구동 관절에 작업 공구를 거치해둔 채로 작업 • 하지 자세 보조 시스템을 이용하여 앉은 자세작업	 [카운터 밸런스]  [통합 시작품 구동]
	수행내용(6) : 건설 근로 작업 유사환경 설계	• 다양한 건설 근로 작업(드릴링 작업, 탁상작업, 조립작업, 그라인딩작업 등)을 수행할 수 있도록 시험환경 구성 • 건설 근로 작업을 수행하며 인공지능을 이용한 학습을 위한 족저압 센서 거치	 [건설 근로 작업 유사환경 설계]
건설 환경 Test-bed 구축 및 사용성 평가	수행내용(7) : 사용성 평가용 시험 환경 구축	• 외골격 로봇의 사용성 평가를 위한 시험 환경 구축 • 다양한 건설환경을 고려하여 드릴링 작업, 볼팅작업, 조립작업 등을 고려하여 시험 환경 구축	 [사용성 평가용 시험 환경 구축]
	수행내용(8) : 시험 환경 내 자율 구동 관절 로봇 구동 시험	• 2축 4절 링크 구조 로봇의 허용하중 10kg 거치 실험 • 외력에 반대하여 자세를 유지할 수 있는 외력 저항을 통한 로봇 구동 시험 • 연속 동작시간 3시간 구동시험	• 4절 링크 시스템의 최대 허용하중 12.5kg으로 도출  [10kgf 허용하중 시험]

			1축 자유도의 외력에 반대하는 저항 힘 실험 측정 시, 17kgf 발생  [외력 저항 구동 시험] - 동작에 대한 시퀀스를 부여하여 3시간 동작 시험  [3시간 구동 시험]
	수행내용(9) : 정량지표 평가	자율 구동 관절 로봇이 적용된 환경에서의 근피로도 저감 최대 30% 정량 지표 평가	- 상지(이두근, 전완근)의 근피로도 측정을 위한 EMG 센서 부착  [EMG 센서 부착] - 자율 구동 로봇 시스템 유무에 따른 근피로도 측정     사람 상단위치 로봇 활용 상단위치 사람 하단위치 로봇 활용 하단위치 [근피로도 측정 시험]

		작업 공구 취급 작업 시, 근피로도 최대 32.3%의 저감 확인 Time Domain Diagram Mean Frequency  Time Domain Diagram Median Frequency  Time Domain Diagram Mean Frequency  Time Domain Diagram Median Frequency  <table><thead><tr><th>Channel</th><th>Median Frequency Difference %</th></tr></thead><tbody><tr><td>Forearm without robot</td><td>-11</td></tr><tr><td>Biceps without robot</td><td>-44.6</td></tr><tr><td>Forearm with robot</td><td>-8.05</td></tr><tr><td>Biceps with robot</td><td>12.3</td></tr></tbody></table> [피로도 저감 시험 결과]	Channel	Median Frequency Difference %	Forearm without robot	-11	Biceps without robot	-44.6	Forearm with robot	-8.05	Biceps with robot	12.3
Channel	Median Frequency Difference %											
Forearm without robot	-11											
Biceps without robot	-44.6											
Forearm with robot	-8.05											
Biceps with robot	12.3											
수행내용(10) : 의도파악 알고리즘 응답성 및 인식을 개선	- 족저압 단일 센서를 사용하여 사용자 의도 파악 신경망 구성 - 데이터에 따른 인식을 차이 분석 및 개선	신경망 구조도  [족저압 센서를 통한 신경망 구성] - 족저압 센서를 통한 데이터 인식을 99.4%로 개선 반복/데이터 추가로 인식을 개선  [반복/데이터 추가로 인식을 개선] - 자세별 족저압 활용 제어 예시 자세별 족저압 활용 제어 예시 										

2) 2차연도 연구개발 내용

수행 내용 (1) : 하지 보조 시스템 설계 개선

- 외골격 로봇 경량화 보완설계 및 제작

- [그림 2.51]의 1차연도 하지 보조 시스템 무게 22.6kg에서 대비 [그림 2.52]의 2차연도 하지 보조 시스템 무게 13.6kg으로 9kg 경량화 개선함.



[그림 2.51] 1차연도 하지 보조 시스템(22.6kg)



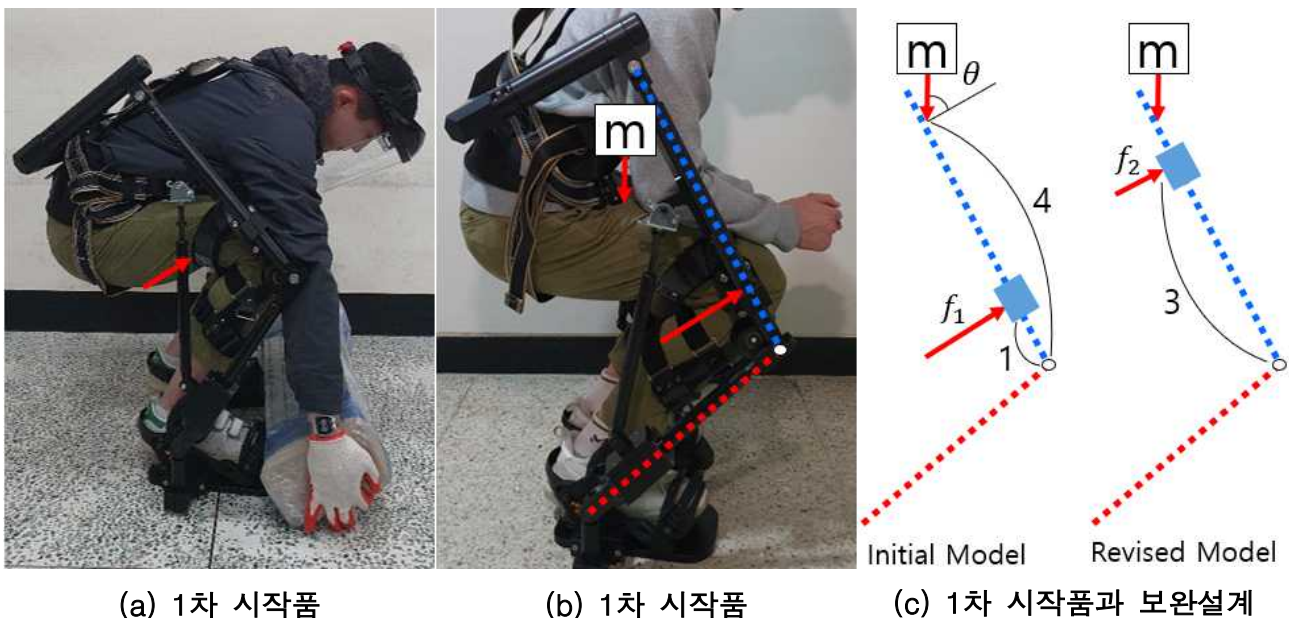
[그림 2.52] 2차연도 하지 보조 시스템(13.6kg)

- 허벅지 지지부의 하중 지지구조 개선을 통한 허벅지 지지부품 작용 하중 감소

- 하지 보조 시스템의 경우 외골격을 착용한 사람이 앉을 수 있는 기능을 제공함. 그러나 하지 보조 시스템 1차 시작품은 앉는 기능을 사용할 때, 허벅지 지지부의 부품에 하중이 크게 가해져서 [그림 2.53] (a)와 같이 허벅지 지지부품이 항복 변형되는 문제점이 있었음. 그래서 이러한 문제점을 해결하고자 보완설계 진행함. 1차 시작품을 착용한 채로 앉는 기능을 사용했을 때, 1차 시작품에 가해지는 사람의 하중과 허벅지 지지부에서 발생하는 반발력을 [그림 2.53] (b)와 같이 나타냄. 1차 시작품의 구조가 허벅지 지지부품에 하중을 많이 받는 불리한 구조임. 1차 시작품의 구조에서 [그림 2.53] (c)의 Revised Model과 같이 허벅지 지지부의 위치를 설계변경을 하면, 허벅지 지지부품이 받는 하중을 (무릎 회전 토크를 기준으로) 1/3배 정도 수준으로 감소시킬 수 있음. 이를 반영해서 보완설계를 진행한 결과 [그림 2.53] (a), (b)와 같이 [그림 2.53] (a)의 1차 시작품과 달리 [그림 2.54] (a), (b)에서는 허벅지 지지부의 항복이 발생하지 않음.

- 회전형 허벅지 지지부 설계를 통한 외골격 로봇의 착용성 개선

- [그림 2.54] (b)에 1차 시작품을 착용해서 앉는 기능을 사용한 착용자의 허벅지와 허벅지 지지부가 비스듬한 각도를 이루고 있어, 착용자의 허벅지를 찌르는 불편한 착용감을 제공함. 이러한 문제를 해결하고자, 하지 보조 시스템 2차 시작품에서는 [그림 2.55] (a)처럼 허벅지 지지부를 회전 가능한 형태로 설계하였음. 롱홀과 핀을 이용하여, 2차 시작품에서는 [그림 2.54] (c)와 같이 특정 구간에서 허벅지 지지부는 회전이 가능하고, 허벅지 지지부가 허벅지를 찌르는 문제가 해결되었음. 기존 1차 시작품의 항복변형이 발생하던 허벅지 지지부품의 문제도 [그림 2.55] (b)처럼 구조해석을 통해 항복변형이 발생하지 않도록 설계하였음.



[그림 2.53] 1차연도 하지 보조 시스템

- 외골격 로봇 하중 지면 분산 구조 설계

- [그림 2.54] (d), (e)와 같이 외골격을 착용한 사람이 다리를 폈을 때, 외골격의 허벅지링크와 종아리 링크는 190° 를 이루게 되는데, 외골격의 하중이 지면으로 전달되게끔 개선함.

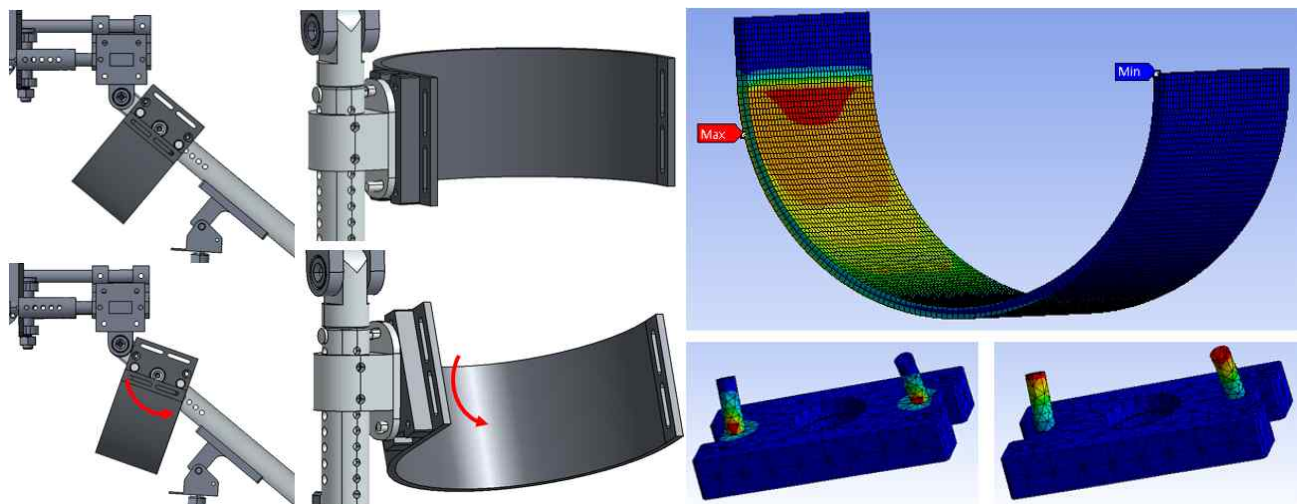
- 안정적인 지면 지지를 위해 지면 지지부 구조개선

- 안정적인 지면지지를 위해서, [그림 2.56] (a)의 기존 알루미늄 가공품으로 바닥을 지지하던 1차 시작품과 달리, [그림 2.56] (b)의 2차 시작품에서는 외골격 착용자의 신발이 바닥을 지지하는 구조로 안정성 개선 및 경량화.
- [그림 2.56] (b)의 2차 시작품 발접촉부는 경량화됐으며, 안정적으로 발과 외골격을 안정적으로 연결해주도록 3개의 알루미늄 가공품과 2개의 플라스틱 소재 스트랩, 2개의 천소재 스트랩으로 착용자 각각의 발을 감싸줌.



(a) 1차 시작품 (b) 1차 시작품 (c) 2차 시작품 (d) 2차 시작품 (e) 2차 시작품

[그림 2.54] 하지 보조 시스템 1차 시작품 보완 설계 2차 시작품



(a) 2차 시작품 설계

(b) 보완설계

[그림 2.55] 2차 시작품의 회전 가능한 허벅지 지지부 설계

- 카운터 벨런스 설치를 통한 자율 구동 관절 로봇의 토크 보상

- 하지 보조 시스템과 자율 구동 관절 로봇을 조립해서 구동할 경우, 자율 구동 관절 로봇이 무게중심을 앞으로 쏠리게 하기 때문에, 균형을 맞추기 위해 [그림 2.57] (a)와 같이 뒤쪽에 카운터 벨런스를 설치함.

- 조립 및 길이조절이 용이한 핀 구조의 결합부 설계

- 하지 보조 시스템의 허리부에 앞뒤, 좌우의 길이를 10cm 단위로 조절할 수 있도록 [그림 2.57] (b)와 같이 개선.
- [그림 2.51]의 1차연도 하지 보조 시스템과 달리 [그림 2.57] (b)의 2차연도 하지 보조 시스템에서는 허리부를 재설계하여 경량화함.

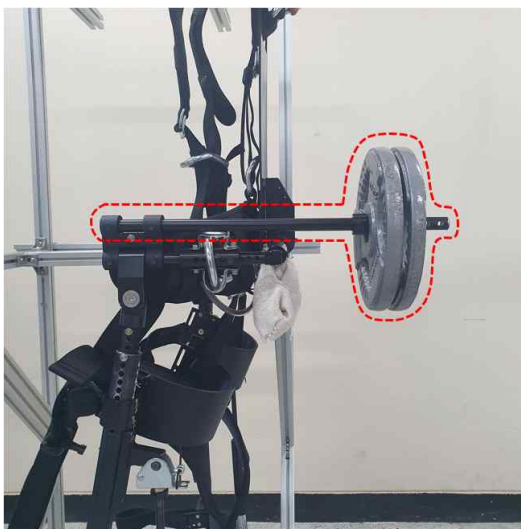


(a) 1차 시작품



(b) 2차 시작품

[그림 2.56] 지면 지지부 및 발 접촉부



(a) 카운터 벨런스



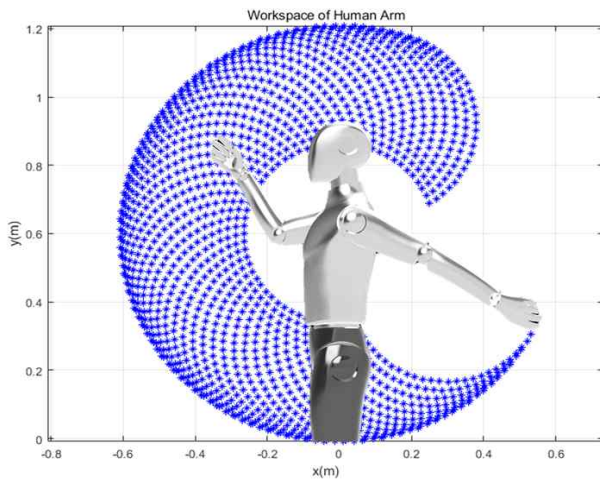
(b) 허리부 설계

[그림 2.57] 하지 보조 시스템의 허리부 설계

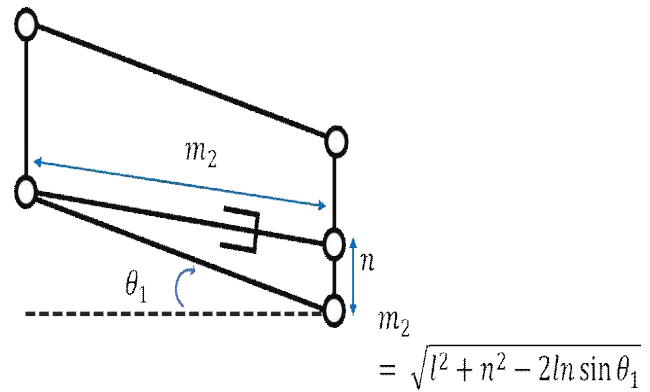
수행 내용 (2) : 상지 근력 보조 시스템 및 자율 구동 관절 로봇 상세 설계

• 건설 근로자 작업 자세 분석

- 상지 근력 보조 시스템의 설계를 위한 건축 작업자의 자세 분석을 수행하였음. 작업자의 팔에 센서를 부착하고 움직임을 측정하여 이에 따라 가장 많이 나타나는 움직임을 분석함. 이를 통하여 평행 움직임을 가장 많이 발생하는 것을 도출하였으며 작업 평면에 대해 평행 움직임을 할 수 있는 4절 링크 구조물과 전/후진이 가능한 시스템이 필요함을 도출함



건축 작업자 자세 분석



건설 근로자 보조 시스템 필요 요소 도출

[그림 2.58] 건설 근로자 작업 자세 분석

• 상지 보조 시스템의 구동기 개선 설계

- 자율구동 관절 로봇 시스템의 구동기에 대한 분석을 수행하였음. 기존에 사용되는 직렬탄성 구동기를 분석하고 개선점을 도출함. 이에 따라 경량화되었으며, 설계 수정이 용이함.



기존의 직렬탄성 구동기 1

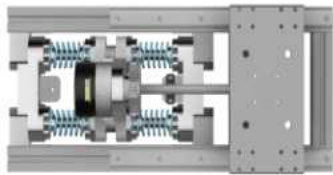
기존의 직렬탄성 구동기 2

개선된 직렬탄성 구동기

[그림 2.59] 상지 보조 시스템의 구동기 개선 설계

- 자율 구동 관절 로봇 시스템 상세설계

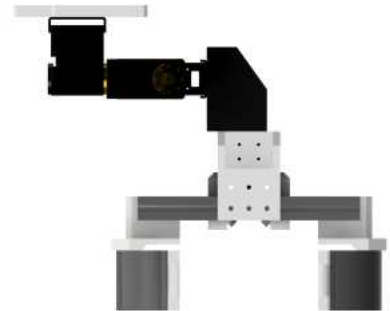
- 로봇 시스템은 총 5자유도를 가짐. 1축은 선형 움직임이고 2축은 4절 링크로 구성되어있음. 3, 4축은 작업물 또는 공구의 자유도를 추가하기 위한 손목 자유도로 구현되었으며, 마지막으로 다양한 물체를 잡을 수 있는 그리퍼로 구성됨. 또한, 각 자유도는 탈부착이 어렵지 않아 설치 각도를 변경하는 데 있어 용이함. 건설 근로자들의 움직임을 보조하기 위한 평행 및 선형 움직임을 적용함. 이를 토대로, 2개의 축 방향의 직선 움직임이 가능함. 직선 움직임이 가능한 시스템 중, 크기를 줄이고 구동기의 개 수를 줄일 수 있어 효과적인 설계가 가능함.



1축 선형 움직임

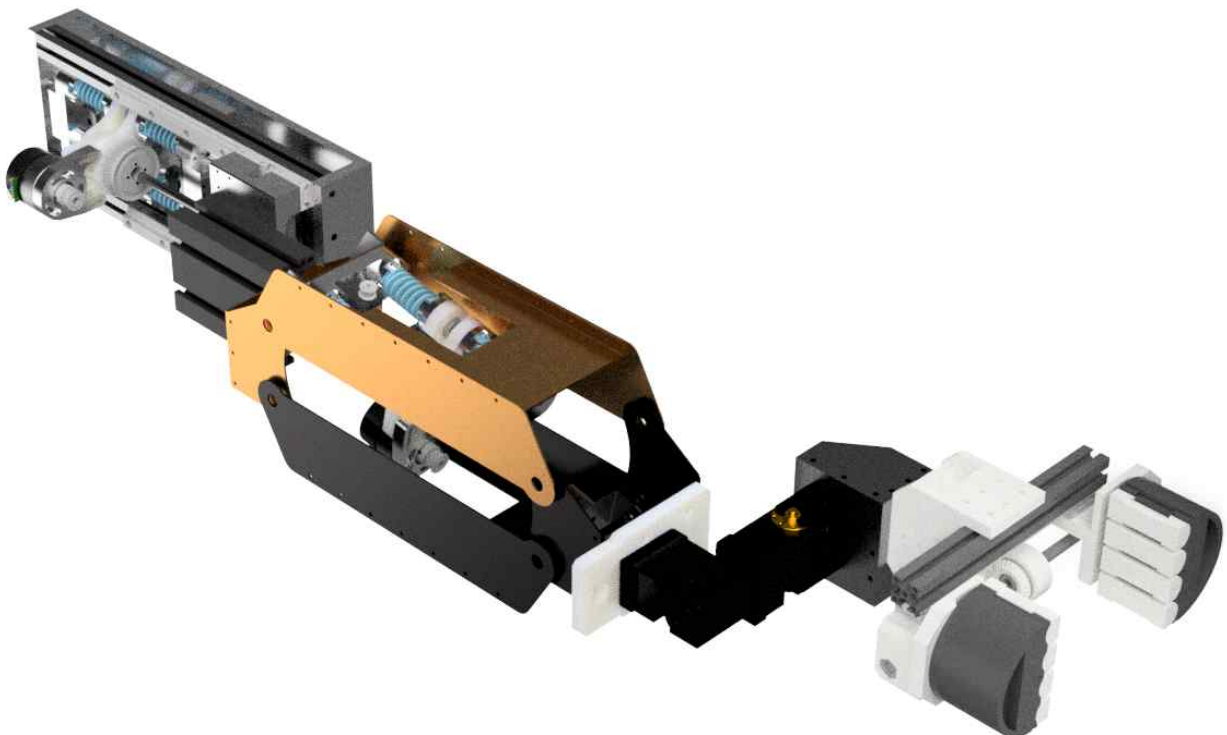


4절 링크 적용 2자유도



손목 및 그리퍼 자유도

[그림 2.60] 자율 구동 관절 로봇 시스템 상세설계

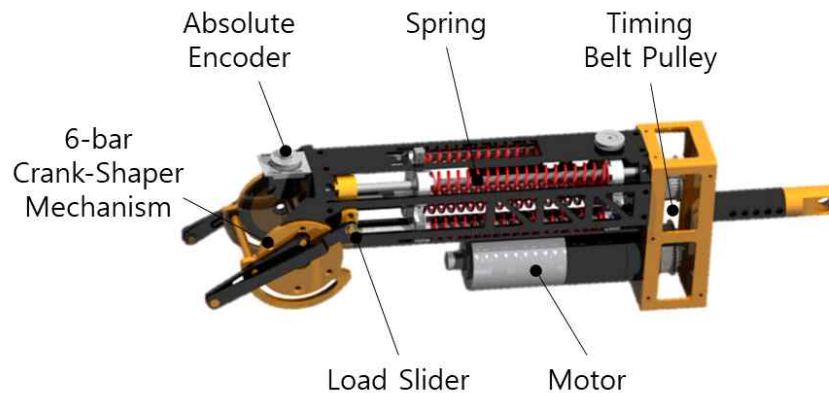


[그림 2.61] 자율 구동 관절 로봇 시스템 최종 상세 설계안

수행 내용 (3) : 능동형 하지 근력 보조 메커니즘 및 시스템 상세 설계

• 능동형 하지 근력 보조 메커니즘 상세 설계

- 건설 근로자 하지 보조 시스템의 두 번째 버전으로써 기계적 구동기를 가지는 능동형 하지 근력 보조 시스템에 대한 상세 설계를 진행함.
- (기어드)모터, 스프링, 부하가 직렬로 연결된 형태의 직렬 탄성 액추에이터(Series Elastic Actuator, SEA)를 적용.
- 외골격 로봇의 착용자가 작업 동작을 수행함에 따라 발생하는 스프링의 복원력을 착용자에게 보조력으로써 전달하기 위하여 스프링의 직선력을 무릎의 회전력으로 변환하기 위한 기구 메커니즘의 설계가 필요함.
- [그림 2.62]에 능동형 하지 근력 보조 시스템에 대한 최종 설계안을 나타내었고, 이를 6절 크랭크-셰이퍼 메커니즘을 적용한 직렬 탄성 액추에이터라고 정의함.

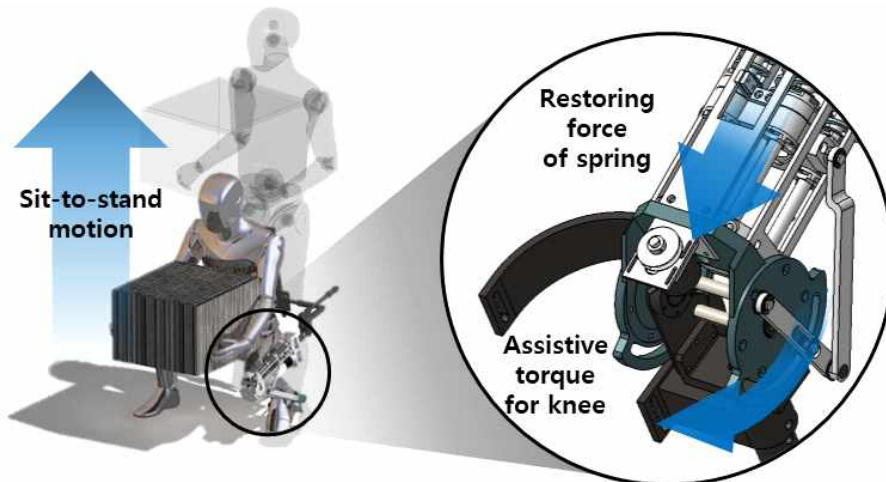


[그림 2.62] 6절 크랭크-셰이퍼 메커니즘을 적용한 직렬 탄성 액추에이터

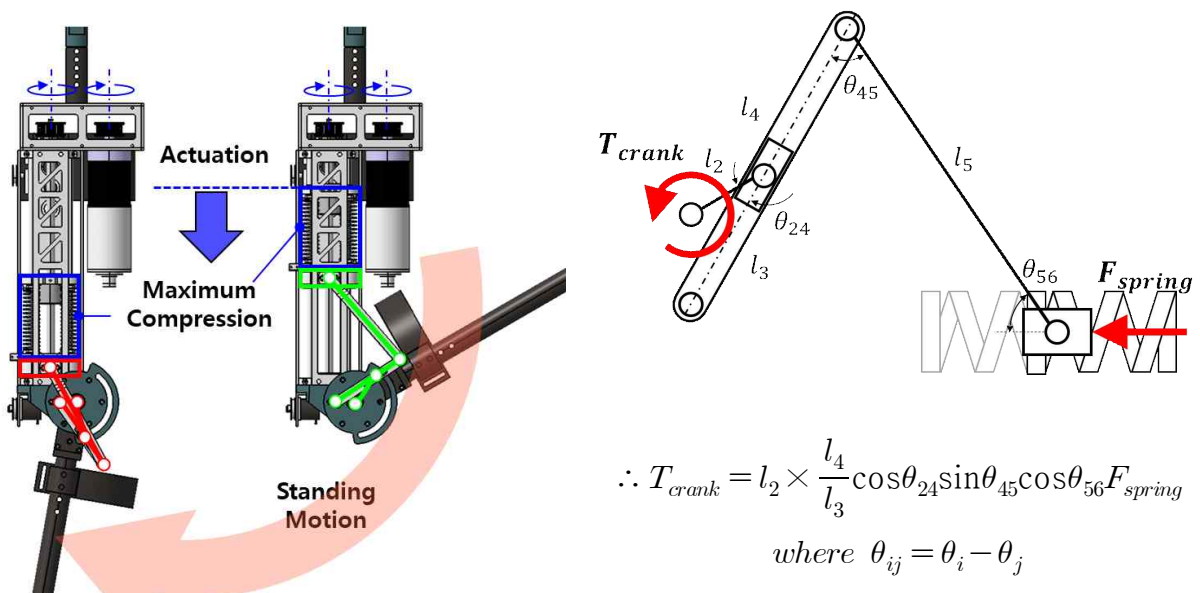
직렬 탄성 액추에이터 (Series Elastic Actuator, SEA)	6절 크랭크-셰이퍼 메커니즘 (6-bar Crank-Shaper Mechanism)
착용자의 움직임에 의해 발생하는 스프링의 변형과 더불어 모터 구동을 통한 스프링의 추가적인 변형을 발생시킴으로써 착용자에게 제공되는 보조력이 증가	직렬 탄성 액추에이터에서 생성된 스프링의 직선력을 착용자의 무릎 회전 운동을 보조하는 회전력으로 변환시키기 위한 기구 메커니즘

[표 2.5] 능동형 하지 근력 보조 시스템의 구성

- 능동형 하지 근력 보조 시스템은 [그림 2.64]과 같이 인력 운반 작업을 수행 중인 근로자가 앉았다가 일어서는 동작을 수행할 때 발생하는 스프링의 복원력을 이용하여 근로자 무릎의 회전력을 보조하는 형태임.
- 착용형 로봇의 사용자가 일어서는 동작을 수행하는 동안 능동형 하지 근력 보조 시스템의 동작 과정을 [그림 2.65](a)에 나타냄.
 - ① 착용자가 바닥에 놓인 무거운 물체를 파지하기 위해 가장 낮은 자세로 앉았을 때 무릎 메커니즘의 상태를 녹색으로 나타내었고 스프링에 변형이 발생한 것을 확인할 수 있음.
 - ② 스프링에 변형이 발생하였을 때 모터는 스프링을 최대 압축 상태로 만들기 위하여 구동을 시작하며 이를 파란색으로 나타내었음.
 - ③ 스프링을 최대로 압축시킨 상태에서 착용자는 일어서는 동작을 수행하고 이때 착용자에게 전달되는 무릎 회전력의 크기를 [그림 2.65](b)와 같이 유도함.



[그림 2.63] 능동형 하지 근력 보조 시스템 개요



(a) 착용자 일어서는 동작 수행

(b) 스프링 직선력에 대한 무릎 보조력 유도

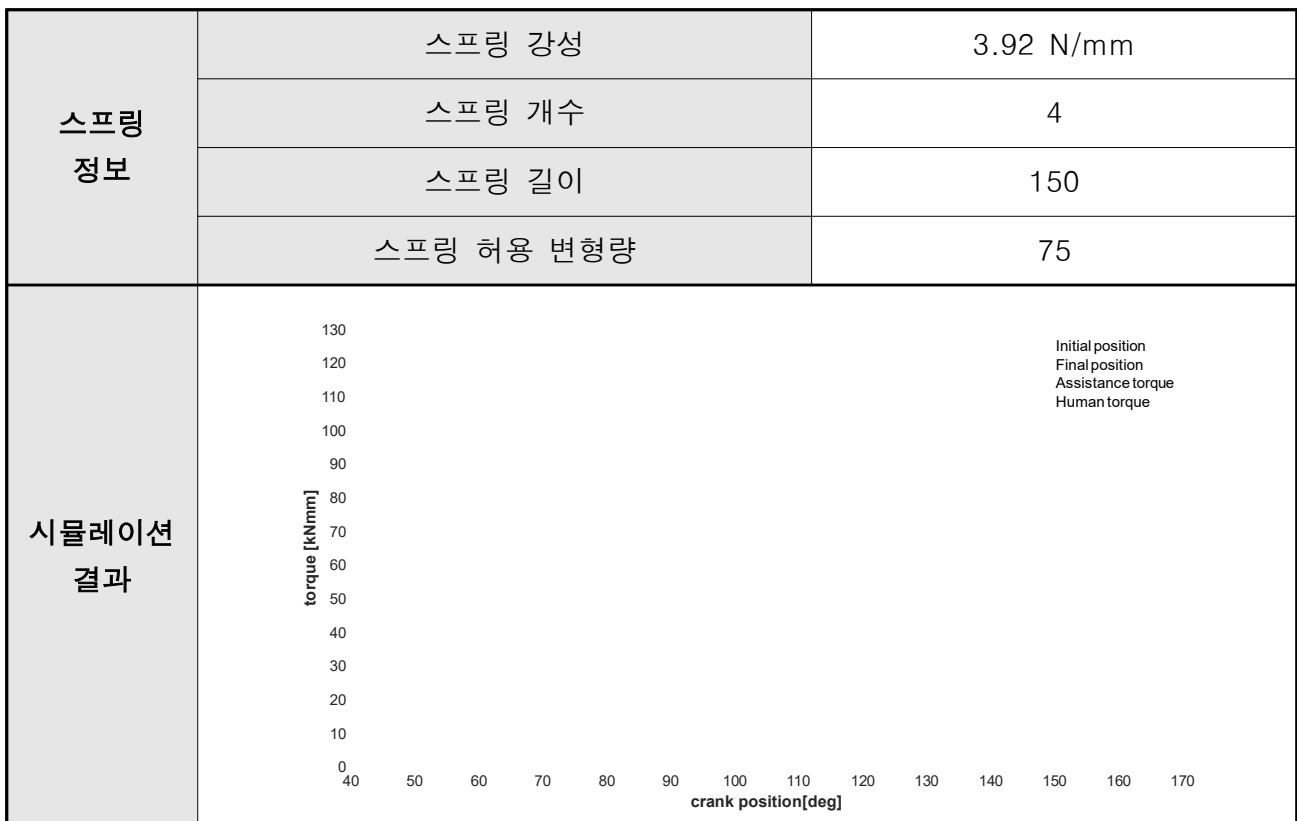
[그림 2.64] 능동형 하지 근력 보조 시스템 전달 보조력 수식 유도

- 능동형 하지 근력 보조 시스템 상세 설계

- 착용자가 앉았을 때는 큰 보조력, 완전 기립 자세 부근에서는 비교적 작은 보조력을 전달하기 위한 하지 근력 보조 시스템의 상세 설계 정보를 [표 2.5]에 정리함.
- 상세 설계 정보를 반영하여 인력 운반 작업 시 기구 메커니즘 동작에 대한 시뮬레이션을 진행하였고 그 결과를 [표 2.7]에 나타냄.

링크 파라미터 설계 정보	슬롯 바 피봇점 - 크랭크 회전축 거리(l_1)	20 mm
	크랭크 길이(l_2)	40 mm
	슬롯 바 길이(l_4)	90 mm
	로드 커넥터 길이(l_5)	130 mm
	로드 슬라이더 오프셋(l_7)	-10 mm
	크랭크 회전축 각도(θ_1)	90 mm
	로드 슬라이더 각도(θ_6)	0 deg
	로드 슬라이더 오프셋 각도(θ_7)	90 deg
	크랭크 회전 시작 위치($\theta_{2,ini}$)	40 deg
	크랭크 회전 종료 위치($\theta_{2,fin}$)	170 deg

[표 2.6] 능동형 하지 근력 보조 시스템 상세 설계 정보



[표 2.7] 능동형 하지 근력 보조 시스템 상세 설계 정보

- 상세 설계 정보를 기반으로 능동형 하지 근력 보조 시스템의 최종 시작품을 제작하였고 이를 [그림 2.65]에 나타냄.
- 능동형 하지 근력 보조 시스템은 수동형 하지 자세 보조 시스템과 동일하게 상지 근력 보조 시스템과 결합되어 [그림 2.66]과 같이 건설 근로자 협동 로봇 시스템으로 구현될 수 있음.

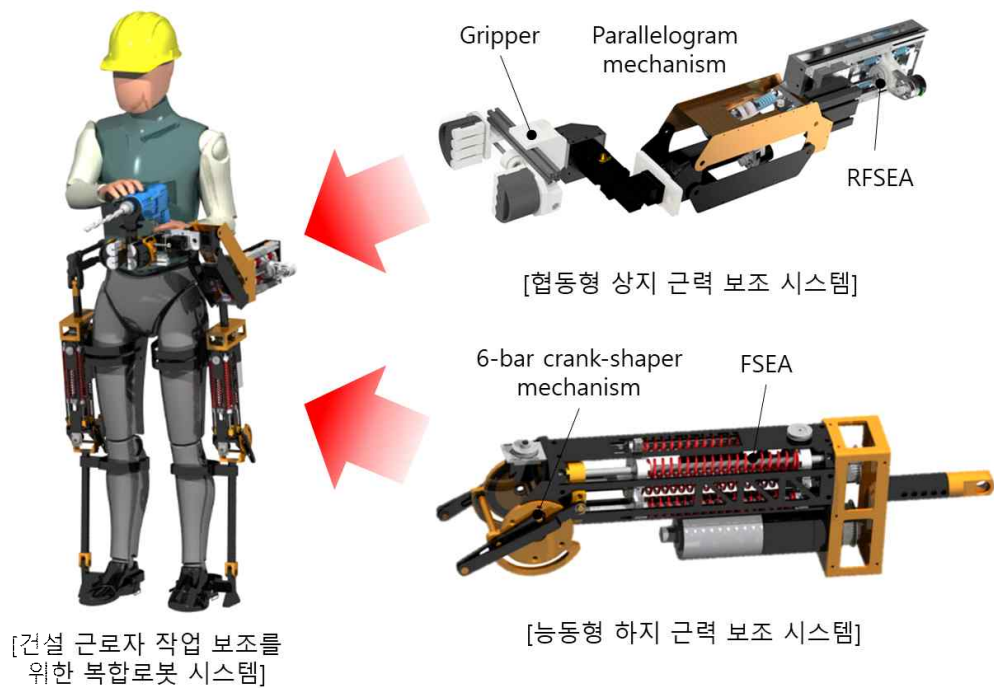


(a) 시작품 착용 사진

(b) 앉는 동작

(c) 기립 동작

[그림 2.65] 능동형 하지 근력 보조 시스템 최종 시작품



[건설 근로자 작업 보조를 위한 복합로봇 시스템]

[능동형 하지 근력 보조 시스템]

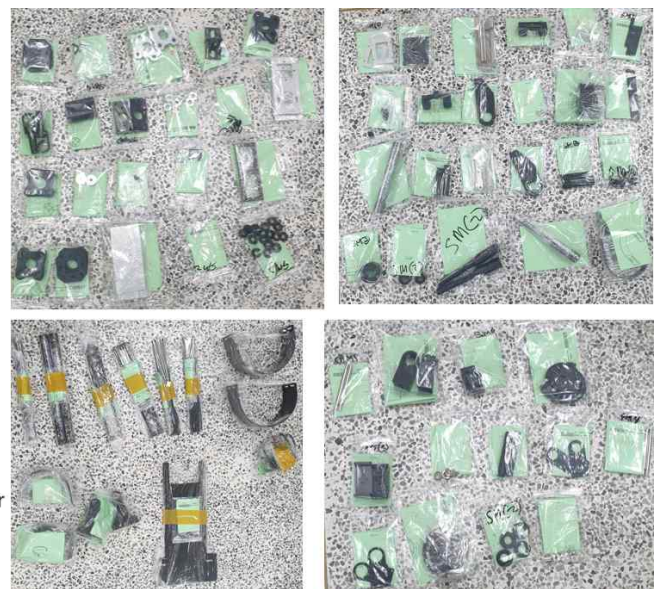
[그림 2.66] 능동형 하지 근력 보조 시스템 상지 자율 구동 관절 결합 예시

수행 내용 (4) : 착용형 건설 근로자 협업 로봇 시제품 가공 및 조립

- 하지 자세 보조 시스템 부품 가공 및 조립
 - [그림 2.67]와 같이 하지 자세 보조 시스템 부품 설계, 가공 및 조립작업
- 상지 근력 보조 자율 구동 관절 가공 및 조립
 - 상지 근력 보조 자율 구동 관절을 가공 및 조립
- 하지 자세 보조 시스템과 상지 근력 보조 자율 구동 관절 통합 시제품 조립
 - [그림 2.67]의 하지 보조 시스템과 [그림 2.68](a)의 상지 근력 보조 자율 구동 시스템을 결합하여 [그림 2.68](b)의 통합 시작품을 조립.

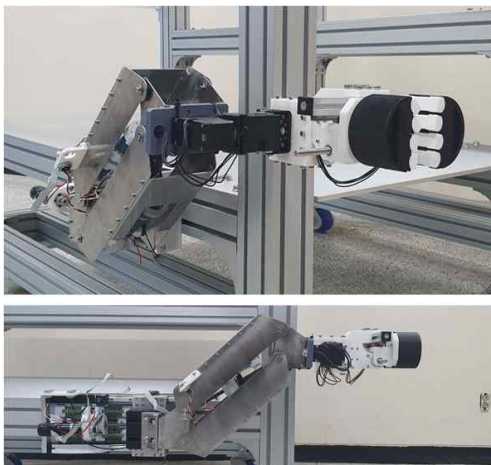


(a) 하지 보조 시스템 설계



(b) 하지 보조 시스템 가공품

[그림 2.67] 하지 보조 시스템의 허리부 설계



(a) 상지 근력 보조 자율 구동 관절



(b) 통합 시작품

[그림 2.68] 통합 시작품 조립

수행 내용 (5) : 의도파악 및 능/수동형 협업 로봇 통합 구동

- 카운터 밸런스를 이용하여 능동형 협업 로봇 조립 및 구동시 몸의 균형을 맞춤
 - 자율 구동 관절 로봇은 하지 보조 시스템에 [그림 2.69]처럼 결합이 되는데, 자율 구동 관절 로봇이 무게중심을 앞으로 쏠리게 하기 때문에 뒤쪽에 설치된 카운터 밸런스가 무게중심을 뒤쪽으로 옮겨줘서, 균형을 맞춰줌



[그림 2.69] 자율 구동 관절 로봇과 카운터 밸런스의 균형

- 통합 시작품을 이용한 그라인딩 및 드릴링 작업
 - [그림 2.70]와 같이 통합 시작품을 착용한 채로 그라인딩 작업 및 드릴링 작업 등을 수행할 수 있음
- 자율 구동 관절에 작업 공구를 거치해둔 채로 작업
 - [그림 2.70]와 같이 통합 시작품의 자율 구동 관절 로봇의 그리퍼에 작업 공구를 거치한 채 작업할 수 있음
- 하지 자세 보조 시스템을 이용하여 앉은 자세작업
 - [그림 2.70] (a)와 같이 통합 시작품의 하지 자세 보조 기능을 사용하여 앉은 자세에서 작업할 수 있음

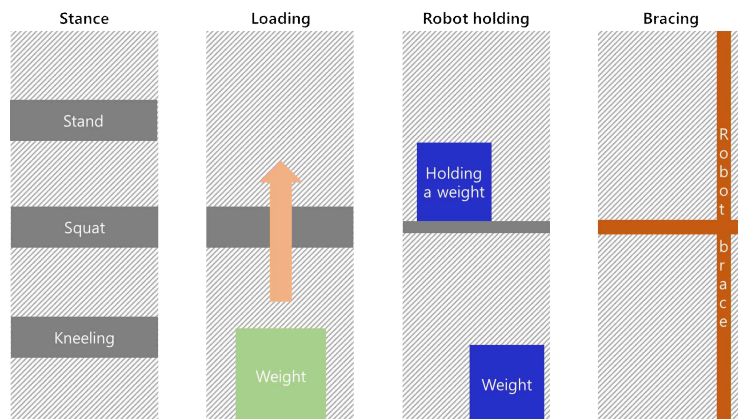


[그림 2.70] 통합 시작품을 이용한 그라인딩 및 드릴링 작업

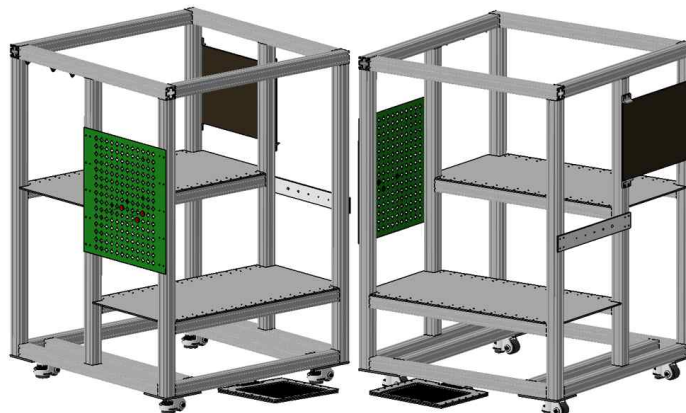
수행 내용 (6) : 건설 근로 작업 유사환경 설계

• 건설 근로자 작업 모사가 가능한 시험 환경 설계

- 건설 근로자가 직접 자율 구동 관절 로봇 시스템과 하지 자세 보조 시스템을 착용하고 건설 작업을 수행하였을 때, 실제 협업을 수행하여 근골격계 질환 유발을 감소시킬 수 있는지에 대한 시험을 위하여 유사환경 설계가 필요함.
- 유사환경에 적용된 작업 모사는 하지 자세 보조 시스템을 평가할 수 있는 자세에 대한 작업이 있으며 서 있는 자세, 기마자세, 무릎 꿇은 자세에서 작업을 수행할 수 있는 판넬이 부착됨. 중량물을 들고 내리는 작업에 대한 모사도 추가되어 하지 자세 보조 시스템을 평가할 수 있는 유사환경이 적용됨.
- 유사 환경 내, 건설 현장에서 사용되는 자재를 부착하여 작업 공구를 사용한 상지 근력 보조 로봇 시스템과의 협업을 시험할 수 있도록 구성됨. 또한, 자율 구동 관절 로봇의 사용성 평가를 위하여 탈부착이 가능한 설계를 수행함.
- 하지 자세 보조 및 상지 근력 보조 로봇 통합 시스템을 착용하고 그라인딩, 드릴링 및 공구 거치 등 다양한 작업을 모사할 수 있는 유사환경을 설계함.



(a) 유사환경 필요 작업 분석



(b) 건설 근로 작업 유사환경 설계안

[그림 2.71] 건설 근로 작업 유사환경 설계

수행 내용 (7) : 사용성 평가용 시험 환경 구축

- 자율 구동 관절 로봇의 실사용성 평가를 위한 시험환경 구축

- 건설 근로자 협업 사용성 평가를 위한 시험 환경을 구축함. 건설 현장 작업 유사 환경 시스템의 크기는 1.5m x 1.5m x 2m 크기를 가지고 있으며 다양한 작업 모사가 적용될 수 있도록 구축됨.
- 통합 시스템을 착용한 상태의 건설 근로자의 움직임 파악을 위한 고성능 카메라를 부착하였으며 인공지능 기법을 활용한 건설 근로자 의도파악을 위하여 족저압 센서를 거치하여 인공지능 기반의 자율 구동 관절 로봇 시스템 제어가 가능하도록 구축함



[그림 2.72] 사용성 평가용 시험 환경 구축

수행 내용 (8) : 시험 환경 내 자율 구동 관절 로봇 구동 시험

- 4절 링크 구조의 최대 허용하중 측정 시험

- 자율 구동 관절 로봇 시스템에서 가장 중요한 자유도를 가진 4절 링크 구조의 성능 평가를 위하여 최대 허용 하중에 대한 시험을 수행함. 4절 링크 구조물이 최대 위치에 있을 때, 로봇의 앞단에 덤벨을 추가하며 지지할 수 있는 하중을 측정하는 방식으로 시험을 진행함. 최대 125N의 무게를 지지할 수 있는 것으로 나타남. 기존에 주로 사용되는 회전 구동기로는 30 Nm 이상의 토크가 필요함. 이를 토대로 상대적으로 작은 구동기를 사용하여 큰 힘을 내는 것으로 분석되어 경량화가 가능함을 도출함.



[그림 2.73] 허용하중 10kg 시험 모습

- 외력 저항 자세 유지 로봇 구동 시험

- 자율 구동 관절 로봇이 건설 근로자와 함께 사용되기 위한 제어방식으로 외력 저항 자세 유지 방법을 적용함. 외력 저항 자세 유지는 로봇 시스템에 중량물 또는 공구를 거치하였을 때, 사용자가 설정한 위치를 그대로 유지하기 위하여 사용됨. 또한, 외부에서 반대되는 힘이 발생하더라도 로봇 시스템은 기존의 자세를 유지하도록 구동됨. 외력 저항 자세 유지 로봇 구동 시험은 선형 움직임을 가지는 1축에 대하여 시험을 진행하였으며 용수철 저울을 당겨가며 최대 허용 하중을 도출하는 방식으로 진행됨. 시험 결과 최대 외력 170N에 대하여 저항할 수 있음을 도출함.



외력 저항 자세 유지 구동 시험 모습

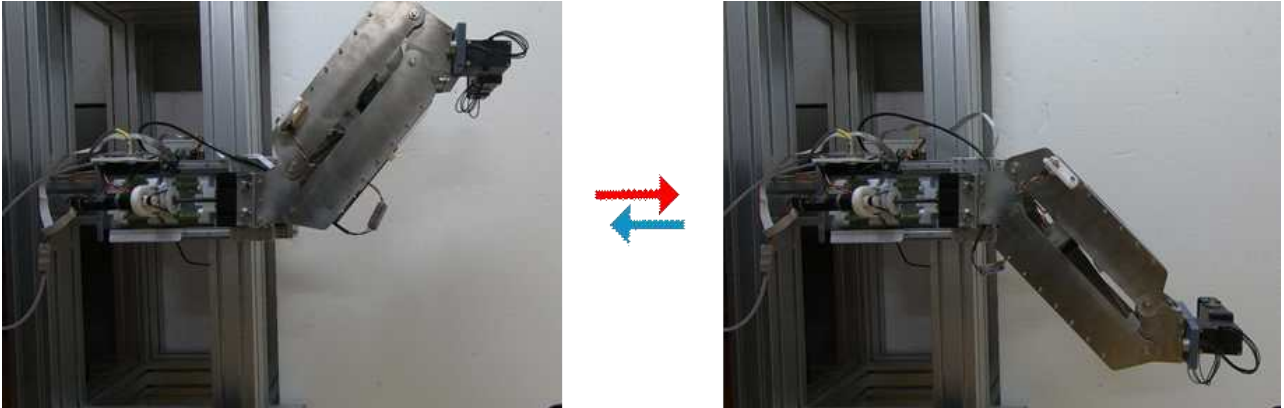


최대 170N 허용하중

[그림 2.74] 외력 저항 자세 유지 로봇 구동 시험

- 연속 동작 3시간 구동 시험

- 상지 근력 보조 로봇 시스템을 사용하기 위하여 무선 구동이 필요하고 그에 따라 건설 근로자와 함께 작업할 수 있는 최대의 시간을 확보하는 것이 필요함. 최대 연속 동작으로 건설 근로자의 작업을 보조하는 움직임을 모사하여 최대 구동 시간을 평가하는 시험을 수행함. 150Wh 보조 배터리를 부착하여 로봇 시스템을 무선으로 구현하였으며 3시간 동안 작업 보조 움직임 시퀀스를 반복하여 구동시간을 측정함. 3시간 구동 후, 보조 배터리의 잔량이 40%이므로 최대 작업 구동 시간은 4시간 이상임을 도출함.



[그림 2.75] 연속 동작 3시간 구동 시험 모습

수행 내용 (9) : 정량지표 평가

- 유사 건설현장 내, 자율 구동 관절 로봇의 실 사용성 평가를 위한 피로도 측정 시험

- 자율 구동 관절 로봇과 건설 근로자의 협업에 대한 실 사용성 평가를 위하여 건설현장에서 사용되는 유사 작업을 모사하였으며 이를 기반으로 상지 근육의 피로도 측정을 수행함. 건설현장에서 가장 빈번하게 나타나는 작업은 물건을 들고 내리는 작업이며, 이로 인하여 근골격계 질환을 유발함. 자율 구동 관절 로봇 시스템을 사용한 유무에 따라 건설 근로자의 피로도가 저감될 수 있는지에 대한 평가를 위하여 피로도 측정을 수행함.
- 피로도 측정은 근전도 신호를 측정하는 EMG 센서를 사용함. 물건을 들 때, 사용하는 이두근과 물건을 잡을 때 주로 사용하는 전완근의 근전도 신호를 측정하였으며 두 개의 근육의 피로도를 분석하여 자율 구동 관절 로봇 시스템의 실 사용성 평가를 수행함.
- 5kg의 중량물을 들고 상단 및 하단 위치에서 각 1분간 자세를 유지하고 있을 때, 발생하는 근육 신호를 측정하였으며 자율 구동 관절 로봇 시스템의 유무에 따라 1회 4개의 실험을 진행함.
- 작업 공구를 취급하는 건설현장 작업을 모사하였으며 자율 구동 관절 로봇 시스템의 사용하였을 때, 최대 근 피로도가 32.3% 저감을 확인함. 이를 통하여 자율 구동 관절 로봇 시스템의 실제 건설현장에 적용되어 건설 근로자의 피로도 감소가 가능함을 확인함.



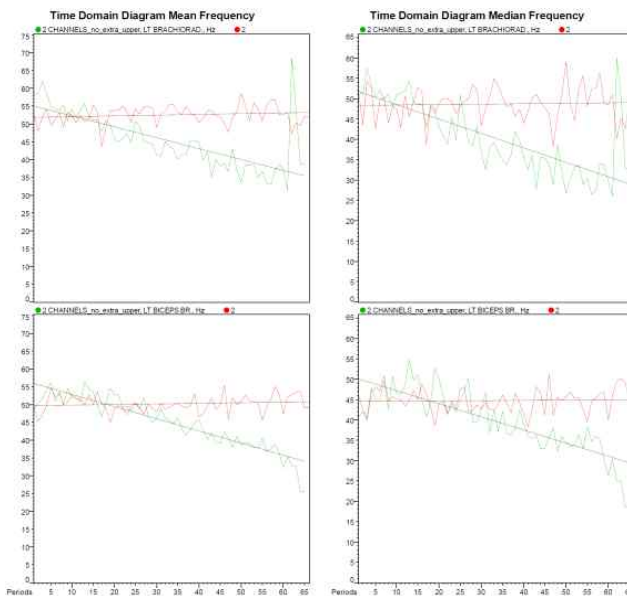
로봇 활용 하단위치



근전도 센서 부착 위치

자율 구동 관절 로봇 시스템 실 사용성 평가 시험

[그림 2.76] 정량지표 평가



EMG 실측 데이터

Channel	Median Frequency Difference %
Forearm without robot	-20
Biceps without robot	-23.8
Forearm with robot	-11.1
Biceps with robot	1.51

[상단 위치 근 피로도 측정 결과]

Channel	Median Frequency Difference %
Forearm without robot	-11
Biceps without robot	-44.6
Forearm with robot	-8.05
Biceps with robot	12.3

[하단 위치 근 피로도 측정 결과]

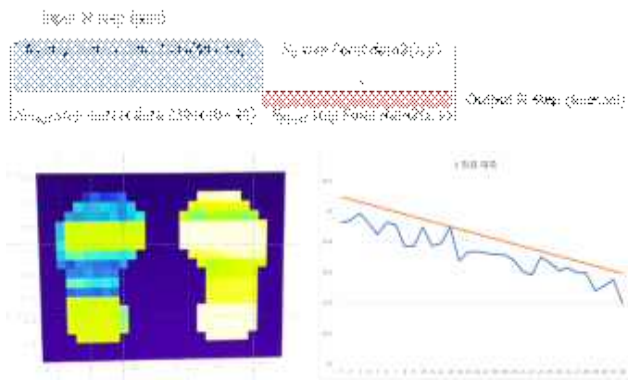
실 사용성 판단을 위한 피로도 시험 결과

[그림 2.77] 근전도 데이터 평가

수행 내용 (10) : 의도파악 알고리즘 응답성 및 인식을 개선

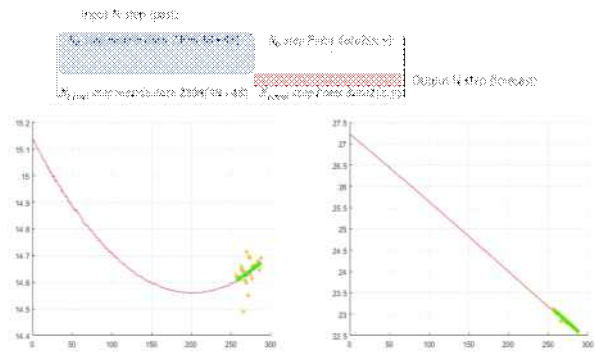
- 단일 센서 기반의 근로자 이동 의도 파악 알고리즘 개발
 - 건설 근로자의 행동 또는 의도를 파악하는 방법으로 다양한 센서를 부착하여 각도를 측정하거나 위치를 측정함. 또한, 동작 예측에 대한 어려움으로 인해 로봇의 동작 방향 전환 시, 사용자가 불편감을 느끼게 됨. 건설 근로자의 착용 불편감과 다양한 센서를 사용하여 경제적 비용이 증가하게 되는 한계가 발생함.

- 다관절 센서가 아닌 건설 근로자의 발 밑의 족저압을 측정하는 센서를 부착하여 사용자의 동작의도를 예측하는 알고리즘을 개발함. 알고리즘은 Google TensorFlowAPI 기반의 4계층을 가지는 AI 신경망으로 구현됨.
- 인공지능 기반의 근로자 의도파악을 위한 알고리즘은 검증을 위한 데이터와의 99.41%의 정확성을 가져 데이터의 인식율을 개선함.



족저압 센서를 통한 신경망 구성

AI 검증 결과 데이터



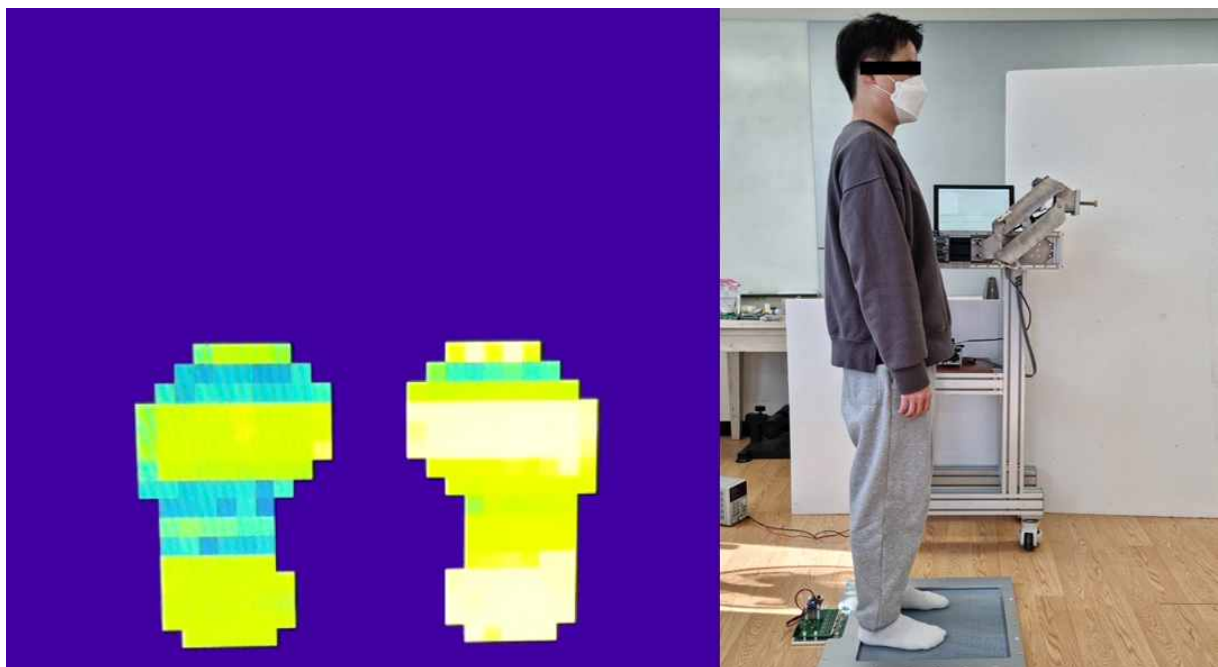
근로자 의도파악 알고리즘 정확성 검증

[그림 2.78] 의도파악 알고리즘 응답성 및 알고리즘 개발

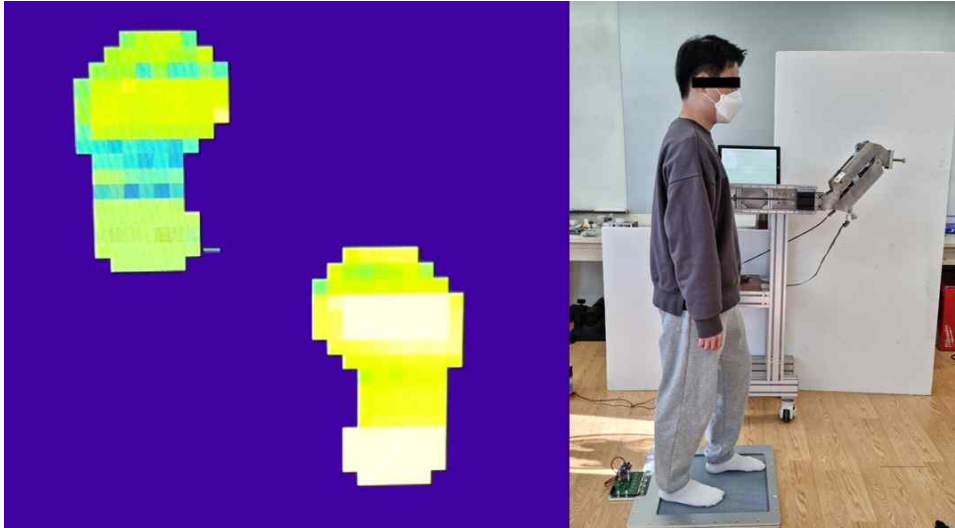
• 의도 파악 알고리즘을 통한 관절계 자율구동 제어

- 족저압 센서의 신호 분포 정보를 활용하여 5가지 시퀀스의 로봇팔 자동 제어 구성

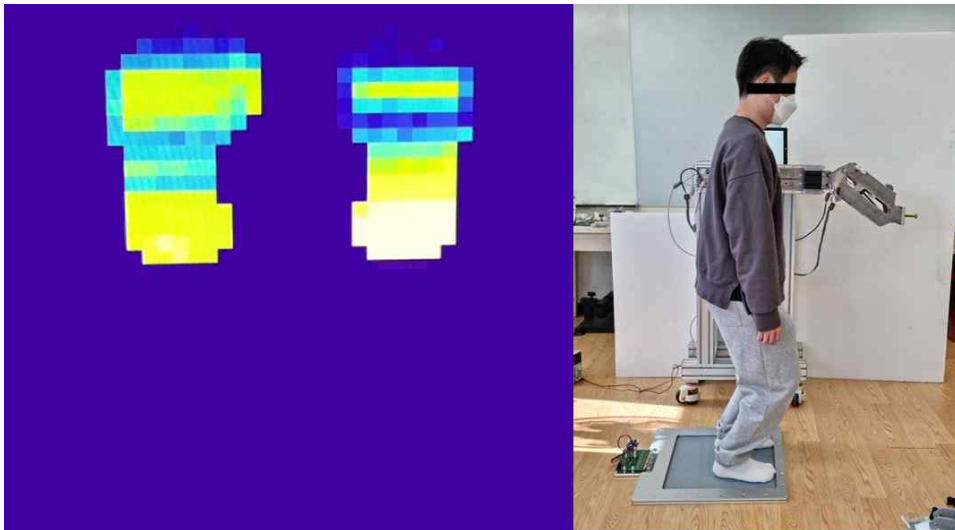
1) 초기 준비 자세



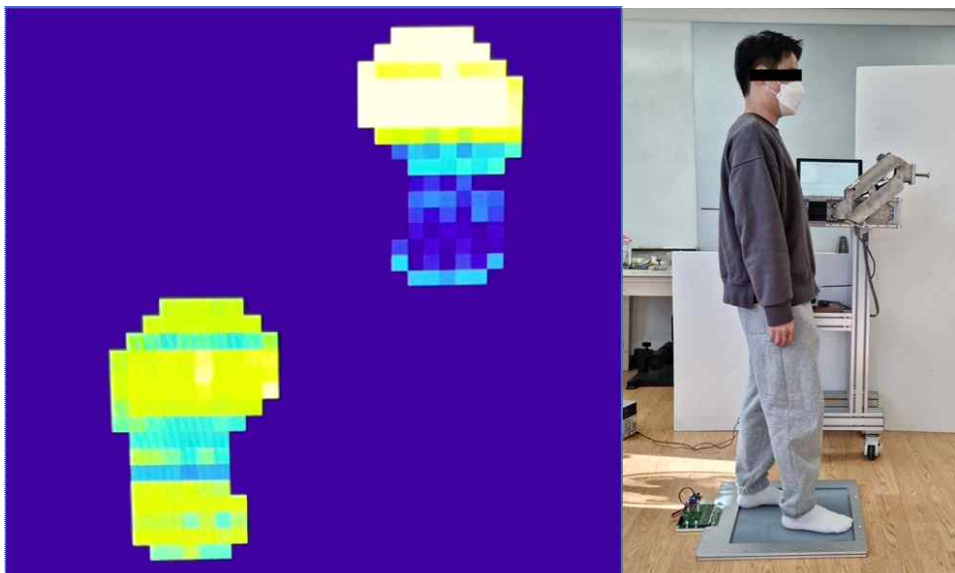
2) 왼발을 앞으로 이동하며 앞쪽 작업 평면으로 접근



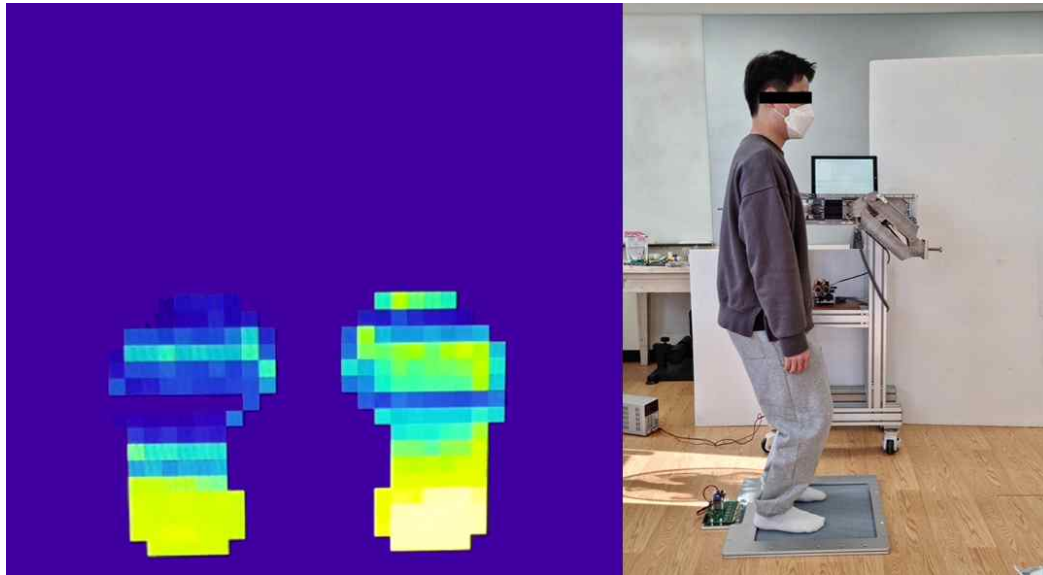
3) 앞으로 이동 후 무릎관절 쭉그림을 통한 관절 하부 이동



4) 왼발을 다시 뒤로 이동하여 작업 평면 반대 방향으로 이동



5) 뒷 방향으로 이동 후 무릎관절 쭉그림을 통한 관절 하부 이동



• 의도 파악 알고리즘의 한계성

- 본 연구과제는 기반 연구의 목적으로 최종성과물에 대한 기술성숙도를 연구착수 시 이론적 연구단계(TRL1), 연구 종료 시 유사환경 시험 단계(TRL5)까지로 설정하였으며 이에 따라 족저압 단일 센서를 활용한 인공지능 기반의 작업자 동작 의도 파악 알고리즘에 대한 가능성을 확인함.
- 인공지능 기반의 근로자 의도파악 알고리즘에 대한 성능 평가를 위하여 실제 작업현장을 모사한 Test bed를 구축하였지만 해당 Test bed는 바닥 자재, 지면의 고른 정도와 같은 실제 건설 환경의 비정형성과 불균질성을 100% 포함하고 있지 않기 때문에 검증 데이터는 실환경 데이터와 일부 상이한 결과를 보일 수 있다는 한계점이 존재함.
- 또한 실제 건설 현장의 경우 작업의 다양성 및 건축자재, 작업 장비 등과 같은 도구들의 조작 필요성이 존재하기 때문에 작업 환경과 근로자 개인에 따라 정형화되어있지 않은 데이터 양상을 보여줄 것으로 예상됨.
- 이러한 한계성을 극복하기 위해서는 본 과제에서 제시한 자율 구동 관절 로봇 시스템을 활용할 수 있는 건설 현장 작업들에 대하여 현장 수준 데이터를 수집하고 AI 네트워크에 적용/실험할 필요성이 있으며 나아가 해당 동작들과 기타 동작들을 모두 아우를 수 있는 AI 네트워크의 심층 분석이 필요할 것으로 판단됨.
- 따라서 실제 현장적용을 목표로 하는 후속 연구·개발을 추진하여 실환경 내에서의 검증 작업을 수행한다면 해당 기술에 대한 프로토타입의 한계성을 극복할 수 있을 것으로 판단됨.
- 그리고 건설 근로자의 상지 근력 보조를 위한 자율 구동 관절 로봇 시스템의 end-effector 및 제어 모드 추가 등을 통해 건설 장비, 중량물 취급 작업 등에 확장 활용이 가능하며, 더 나아가서는 건설현장 외의 다양한 작업 환경에서의 적용이 가능할 것으로 기대됨.

수행 내용 (11) : 국내 외 동향 및 사례 조사를 통한 보조 시스템 비교 분석 및 경제성 분석

• 국내 기술 동향

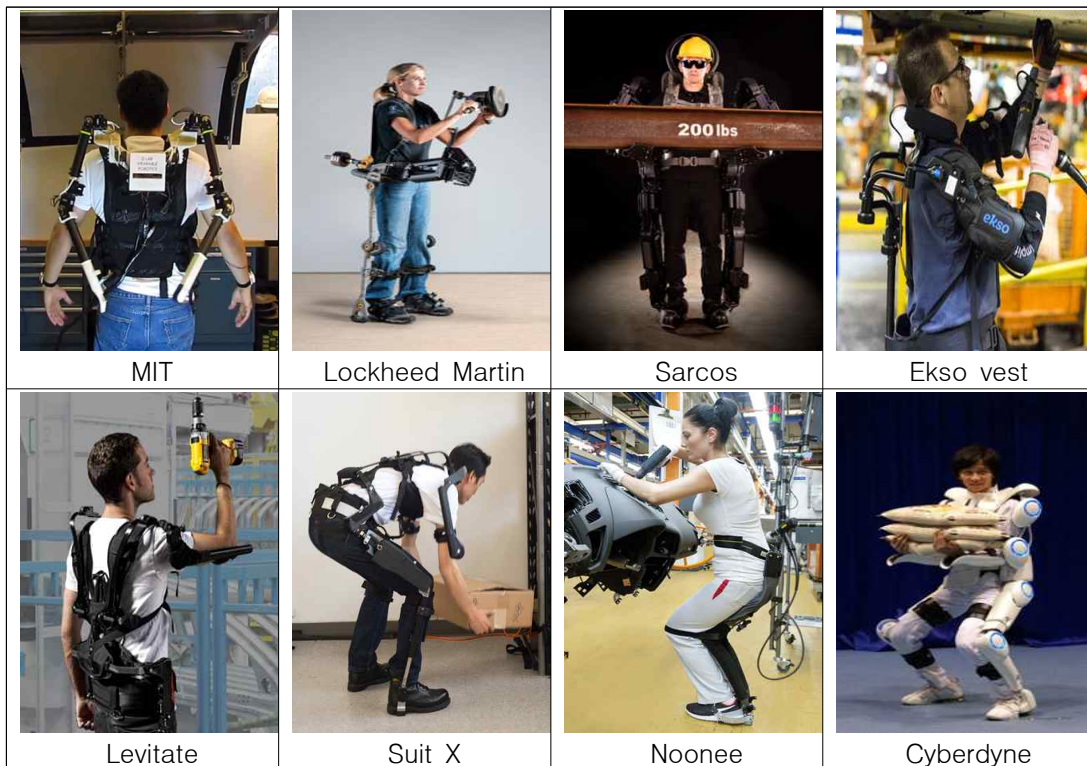
엔젤 로보틱스	• Walkon suit와 Angelegs 2가지 재활 보조용 로봇을 개발함 • 로봇 착용시 불편함 최소화를 위해 경량 설계를 중점으로 설계됨 • 신체 구조의 상이함에 대응하기 위해 유연한 치수 조작이 가능 • 근력 및 재활 보조 시스템으로서 저속·고출력 구동기를 사용
삼성전자	• 근력이 부족한 일반인이나 노약자, 환자들의 보행을 보조하거나 재활을 돕는 등 보행의 질을 높여주는 목적의 웨어러블 로봇 GEMS 개발함 • 기존의 로봇 시스템보다 손쉽고 빠르게 착용할 수 있도록 제작함 • 최대 3.6 kg의 무게로 착용자 불편을 최소화함 • 허벅지·허리 보조, 허리 보조, 발목 보조 3가지 모듈형 구성
현대자동차	• 산업 현장 발생하는 부적절한 작업 자세로 인한 작업자 무릎 관절 부하 보조 H-CEX 시스템 개발 • 중량물 운반 시 작업자 허리 부하를 보조하는 H-WEX 개발 • 산업 현장적용 목적으로 작업자 보조 시스템 개발
한국생산기술 연구원	• 소방관용 하지 근력 지원 로봇 '하이퍼 R1' 개발 • 최대 가반하중 30 kg, 착용 시 불편함 없이 활동하는 것을 목표 • 고층 건물 화재 진압 시 신속한 고층 진입을 목적으로 함
 엔젤로보틱스  삼성전자  현대자동차  한국생산기술연구원	

[그림 2.79] 국내 기술 동향

• 국외 기술 동향

미국 메사추세츠 공과대학 (MIT)	• 일반 착용 로봇과 달리 로봇 팔 추가 관절을 제공하는 시스템 개발 • 윗 보기 작업 및 작업물 고정 시 사용하는 어깨에 부착형 로봇 개발 • 작업 시 작업자의 무게를 지지하는 허리 부착형 로봇 시스템 개발함 • 무게 지지 및 작업 보조의 수행이 가능한 유일한 로봇 시스템 개발
미국 록히드 마틴 (Lockheed Martin)	• 중량물 운반 시, 무게가 느껴지지 않도록 도와주는 Fortis 개발 • 구동부가 없는 패시브 보조방식을 사용함 • 추가 팔 관절을 사용, 작업자가 공구의 무게를 느끼지 않게 함 • 유사 시스템으로 군용 착용 로봇 시스템 HULC 개발

미국 사르코스 (Sarcos)	• 군용 및 산업용 착용형 로봇 개발함 • 상지 근력 보조를 통하여 완력 증강 시스템 Guardian XO 개발 • 상·하지를 모두 보조하는 군용 착용형 로봇 시스템 XOS2 개발
미국 포드(Ford)	• 소방관용 하지 근력 지원 로봇 '하이퍼 R1' 개발 • 최대 가반하중 30 kg으로 착용 시 불편함이 없는 것을 목표로 개발 • 고층 건물 화재 진압 시 신속한 고층 진입을 목적으로 함
미국 레비테이트 (Levitte)	• 제조현장 윗보기 작업의 팔과 허리, 등을 보조해주는 장치 개발 • 장치에 추가적인 구동부가 없이 경량화된 AIRFRAME 장치 개발함 • 착용자의 착용성 향상을 위해 착용자 치수 변화 대응 설계 적용
미국 US Bionics Suit-X 스위스	• Suit X는 산업용과 의료용 두 가지 목적의 착용형 로봇을 개발함 • 산업용 장치는 다리, 어깨, 등 근력 보조 모듈형으로 이루어짐 • 모듈형 시스템 외 전체 신체를 보조해주는 착용형 장비도 개발함
누니 (Noonee)	• 착용하고 앉을 수 있는 착용형 의자 Chairless Chair를 개발 • 현장에서 이동하며 앉은 자세로 일을 해야 하는 상황에 사용됨 • 피로도 개선과 하지 통증 및 요통의 개선을 목적으로 함
일본 사이버다인 (Cyberdyne)	• 착용형 하지 보조 로봇 시스템 HAL 개발 • 사람의 생체신호를 측정하여 구동하는 생체신호 기반 로봇 시스템 • 착용자 피부에 직접 센서를 접촉해야 하는 단점을 가지고 있음 • 의료용, 생활 보조형, 산업 현장용 3가지 제품군을 보유



[그림 2.80] 국외 기술 동향

• 국내 외 동향 조사를 통한 보조 시스템 비교분석 및 경제성 분석

본 연구과제 통합 시작품	 	• 하지시스템 -무게: 13.6 kg -허용하중: 250 kg 이상 (수동형 기준 다리 각각 250kg 버팀) -자유도: 8DOF(수동형/능동형) -제작비용: 약 1000만원(수동형/능동형) • 상지시스템 -무게: 3.2 kg(구동기 제외/구동기 무게 2kg) -최대작업거리: 1000mm -허용하중: 12.5kg -자유도: 4DOF(능동형) -제작비용: 약 400만원 • 통합시스템 -무게: 16.8kg -가격: 약 1400만원
미국 Lockheed Martin		• 하지시스템 -자유도: 8 DOF(수동형) • 상지시스템 -자유도: 4 DOF(수동형) -최대 도달거리: 900 mm -허용하중: 16 kg -가격: \$7,149(약 858만원) • 통합시스템 -무게: 27파운드(약 12.2kg) -통합시스템 가격: \$24,750(약 2970만원) • 본 연구과제 통합 시작품과 비교 -장점 1) 하지 자세 보조 기능 2) 하지/상지시스템 능동형 보조가능 3) 약 1570만원 저렴함 -단점 1) 통합 시작품의 무게가 무거움(4.6kg 차이)

스위스 Noonee		• 하지시스템 -무게/자유도: 4.4파운드(약2kg)/2DOF(수동형) -허용하중: 100 kg -가격: \$2,890(약 347만원) • 본 연구과제 하지시스템과 비교 -장점 1) 하지 근력 보조가 능동적으로 가능함 2) 허용하중 150kg 더 버틸 수 있음 -단점 1) 무게가 가벼움(11.6kg 정도 차이남) 2) 약 653만원 저렴함
미국 Exo bionics		• 상지시스템 -무게/보조방식: 9.5파운드(약 4.3kg) / 수동형 -허용하중: 6.8 kg -가격: \$7,000(약 840만원) • 본 연구과제 하지시스템과 비교 -장점 1) 허용하중이 큼(5.7kg 차이) 2) 상지 근력 보조가 능동적으로 가능함 3) 약 440만원 저렴함 4) 약 1.1kg 가벼움

[그림 2.81] 국내 외 기술 동향 조사를 통한 비교분석 및 경제성 분석

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

[주관연구기관_금오공과대학교] 건설 근로자를 위한 인공지능 기반의 자율구동 관절 로봇 시스템 개발

○ 건설 근로자 하지 자세 보조 시스템 개발

- 건설 근로자의 근골격계 부해 해소를 위한 기존 보조 로봇 시스템 분석
- 장시간의 낮은 자세를 보조할 수 있는 체어리스체어 타입의 하지 자세 보조 시스템 개발
- 하지 자세 및 근력 보조를 위한 직렬 탄성 구동기 설계 및 제작
- 수동형 하지 자세 보조 시스템의 경량화 및 최적화 설계 및 제작

○ 상지 근력 보조를 위한 자율 구동 관절 로봇 시스템 개발

- 상지 보조 시스템 4절 링크 구조의 메커니즘 컨셉 도출
- 자율 구동 관절의 구동부 필요요소 도출 및 구축
- 건설 근로자 작업 최적화 자율 구동 관절 로봇 시스템 개발

○ 건설 근로자 협업 통합 로봇 시스템 구축

- 건설 근로자 착용성 개선을 위한 보완설계 및 지지부 개선
- 상/하지 근력 및 자세 보조가 가능한 건설 근로자 협업 통합 시스템 구축



하지 자세 보조 시스템

자율 구동 관절 로봇 시스템

건설 근로자 협업 로봇 시스템

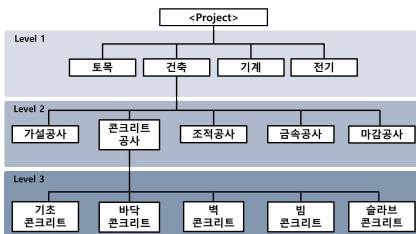
[그림 3.1] 통합 로봇 시스템

○ 자율 구동 로봇 시스템 적용 가능 공정 분석

- 국내외 동향 및 사례조사를 통한 보조 로봇 시스템 적용 공정 분석
- 건설 근로자 보조 시스템이 적용된 신공정 수립을 위한 협업 로봇 적용 가능 공정 발굴
- 건설 현장 근로자 보조를 위한 필요요소 도출 및 건설 프로세스 재정립

○ 유사 건설 현장 테스트베드 내의 사용성 평가

- 건설 현장에서 빈번히 사용되는 작업에 대한 유사 현장 테스트베드 구축
- 자율 구동 관절 로봇 시스템의 구동성 평가 시험
- 자율 구동 관절 로봇의 실 사용성 평가를 위한 피로도 저감 시험 수행



로봇시스템 적용 가능 공정 분석

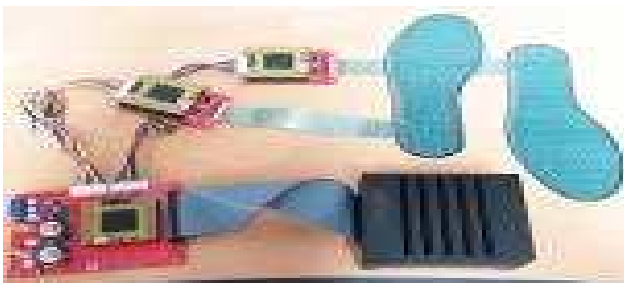
유사 건설 현장 환경 설계

사용성 평가를 위한 피로도 시험

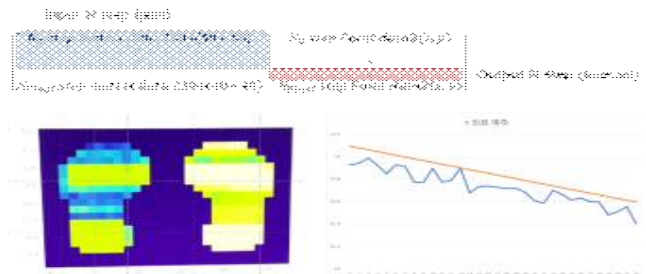
[그림 3.2] 자율 구동 관절 로봇 시스템 운용 건설 작업 신공정 수립

○ 작업자 의도 파악을 위한 알고리즘 개발

- 건설 근로자의 생체 신호 획득 방법에 대한 분석
- 건설 근로자 보조 시스템 제어를 위한 회로 설계 및 시스템 구성
- 의도파악 알고리즘 응답성 및 인식을 개선
- 건설 근로자 의도파악이 가능한 알고리즘 소프트웨어 개발



건설 근로자 보조 시스템 제어 회로 구성



건설 근로자 의도파악 알고리즘

[그림 3.3] 자율 구동 관절 로봇 시스템의 작업자 의도 파악 기술 개발

(2) 정량적 연구개발성과

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준			
					질적 성과지표		목표치	달성치
총괄	A	건설 근로자 보조 플랫폼	A-1	건설 근로자 보조 시스템 3D 설계안	①	3D 설계 기술	시작품 1건 특허 출원 2건	시작품 1건 특허 출원 2건
			A-2	제어기 회로 설계안	①	회로 설계	시작품 1건 설계안 1건	시작품 1건 설계안 1건
			A-3	통합 시작품	①	통합 시스템 시작품	시작품 1건	시작품 1건
			A-4	건설 근로자 보조 시스템 2차 설계안	①	3D설계 기술	특허 출원 1건 특허 등록 2건	특허 출원 1건 특허 등록 2건
			A-5	2차 시작품	①	시스템 시작품	시작품 1건 국외논문 1건	시작품 1건 국외논문 1건
	B	건설 근로 환경 분석 및 보조 기술	B-1	환경 분석 및 보조 프로세스 매뉴얼	①	보조 필요 작업 목록 검토	보고서 1건	보고서 1건
					②	보조 프로세스 검토	보고서 1건	보고서 1건
			B-2	환경 재현	①	건설 환경 재현 시험환경 구축	시작품(환경) 1건	시작품(환경) 1건
			B-3	검증 및 평가	①	시험환경 내 장비 실증 및 평가	보고서 1건 국외논문 1건	보고서 1건 국외논문 1건
	C	인공지능 의도파악 기술	C-1	통합 제어 알고리즘	①	제어 알고리즘	시작품 1건 S/W 등록 1건	시작품 1건 S/W 등록 1건

성과지표		목표	달성	달성률	대표 실적
논문	SCI급	2	2	100%	- Variable Admittance Control With Virtual Stiffness Guidance for Human-Robot Collaboration - Autonomous UAV Target Tracking and Safe Landing on a Leveling Mobile Platform
학술발표	국내	-	11	추가 달성	- 한국기계가공학회 추계학술대회(2021) - 한국기계가공학회 춘계학술대회(2021) - 한국정밀공학학회 춘계학술대회(2021) - PRESM(2020) - 한국기계가공학회 추계학술대회(2020) - 한국정밀공학학회 통합학술대회(2020)
특허	출원	3	3	100%	특허 제 10-2265666 호
	등록	2	2	100%	특허 제 10-2293693 호 출원번호 10-2021-0144237
기술홍보		-	1	추가 달성	대구 5+1 산업 Tech-Transfer Show(유망기술이전설명회)에서 대경권 11개 대학 추천 우수기술로써 하지 외골격 로봇의 근력 보조장치를 소개 (2021. 11. 11.)
설계안		1	1	100%	제어기 회로 설계(3시간 구동 공인인증기관 역학시험 평가)
시작품		6	6	100%	- 건설 근로자를 위한 착용형 협동 로봇 - 건설 환경 재현 시험환경 48*48 크기를 갖는 시계열 데이터를 이용한 미래 데이터 예측 프로그램
보고서		3	3	100%	- Extra Robotic Limb의 건설 작업자 보조 필요 작업 목록 검토 보고서(2020) - Extra Robotic Limb의 보조 작업 프로세스 검토 보고서 (2020) - 자율 구동 관절 로봇을 활용한 건설 근로자의 근피로도 측정 시험(2021)
소프트웨어		1	1	100%	48*48 크기를 갖는 시계열 데이터를 이용한 미래 데이터 예측 프로그램

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Variable Admittance Control With Virtual Stiffness Guidance for Human-Robot Collaboration	IEEE Access	배장호	8	미국	IEEE Access	SCI	2020.6.25.	2169-3536	100
2	Autonomous UAV Target Tracking and Safe Landing on a Leveling Mobile Platform	IJPEM	곽준영	3	한국	Springer Nature	SCI	2022.1.31.	2005-4602	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021년도 한국기계가공학회 추계학술대회	직렬 탄성 액추에이터의 기계적 이득을 고려한 급속 귀환 메커니즘 설계	김진원	2021. 12. 01	제주 신화호텔	대한민국
2	2021년도 한국기계가공학회 추계학술대회	근 수축력 비교를 통한 하지 외골격 로봇의 실험적 평가	여주호	2021. 12. 01	제주 신화호텔	대한민국
3	한국정밀공학회 2021년도 추계학술대회	Arterial line(A-line) 자동 채혈 장치 설계	원성현	2021. 11. 24.	부산 벅스코 BEXCO	대한민국
4	PRESM 2021	Calculation of Reduced Lower Back Moments with a Back Support Exoskeleton	문채림	2021. 07. 21.	제주 라마다 호텔	대한민국
5	2021년도 한국기계가공학회 춘계학술대회	급속 귀환 메커니즘을 적용한 직렬 탄성 액추에이터의 특이점 회피 방안	김진원	2021. 06. 24	부산 웨스턴 조선호텔	대한민국
6	한국정밀공학회 2021년도 춘계학술대회	착용형 하지 근력 보조 외골격 로봇 최적 설계	여주호	2021. 05. 12	온라인개최	대한민국
7	PRESM 2020	Biomechanical Design and Control of Supernumerary Robotic Arms for Enhancing the Ladder Work Safety	문채림	2020. 11. 18	서울 코엑스	대한민국
8	한국기계가공학회 2020 추계학술대회	건설근로자를 위한 Extra-Limbs 로봇의 생체역학적 설계 방법	김진원	2020. 11. 05.	여수 히든베이호텔	대한민국
9	한국기계가공학회 2020 추계학술대회	고정장치를 갖는 가스스프링을 사용한 하지 근력 보조 외골격 로봇	여주호	2020. 11. 05.	여수 히든베이호텔	대한민국
10	한국정밀공학회 2020 통합학술대회	Design Concepts of 3 DOF Wrist Assistance Robotic Device for Construction Worker Using Double Parallelogram Mechanism	고연호	2020. 09. 16.	제주 라마다호텔	대한민국
11	한국정밀공학회 2020 통합학술대회	건설근로자를 위한 Extra-Limbs 로봇의 생체역학적 설계 방법	문채림	2020. 09. 16.	제주 라마다호텔	대한민국

☐ 기술 요약 정보(해당사항 없음)

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

☐ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호
1	2020	Extra Robotic Limb의 건설 작업자 보조 필요 작업 목록 검토 보고서	2020.08.21	
2	2020	Extra Robotic Limb의 보조 작업 프로세스 검토 보고서	2020.10.21	
3	2021	자율 구동 관절 로봇을 활용한 건설 근로자의 근피로도 측정 시험	2021.12.15	

☐ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물(해당사항 없음)

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

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

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	하지 외골격 로봇의 보조아암에 설치되는 직렬 탄성 구동기	대한민국	금오공과대학교 산학협력단	2020.12.28	10-2020-0184716	금오공과대학교 산학협력단	2021.08.19	10-2293693	100	
2	특허	하지 외골격 로봇의 근력 보조장치	대한민국	금오공과대학교 산학협력단	2021.04.29	10-2021-0055758	금오공과대학교 산학협력단	2021.06.10	10-2265666	100	
3	특허	선형 움직임이 가능한 작업용 상지 보조 로봇 시스템	대한민국	금오공과대학교 산학협력단	2021.10.27	10-2021-0144237	-	-	-	100	

○ 지식재산권 활용 유형(해당사항 없음)

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	48*48 크기를 갖는 시계열 데이터를 이용한 미래 데이터 예측 프로그램	2021. 11. 15.	고려대학교 산학협력단	2021. 12. 24.	C-2021-057779	고려대학교 산학협력단	

☐ 신기술 지정(해당사항 없음)

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

☐ 기술 및 제품 인증(해당사항 없음)

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

☐ 표준화(해당사항 없음)

○ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	건설 근로자 하지 자세 보조기구 시작품	2020.10.31.	주식회사 에스엠테크코리아	금오공과대학교 산학협력단	건설 근로자 작업 보조			
2	건설 근로자 의도파악용 알고리즘 실행 플랫폼	2020.08.10.	한샘디지털	고려대학교 산학협력단	건설 근로자 의도파악			
3	건설 근로자 상지 근력 보조 시작품	2021.09.25.	금오공과대학교 산학협력단	금오공과대학교 산학협력단	건설 근로자 작업 보조			
4	건설 근로자 보조 시스템	2021.10.13.	금오공과대학교 산학협력단	금오공과대학교 산학협력단	건설 근로자 작업 보조			
5	건설 근로 환경 모사 시험 환경	2021.11.04	뉴콘텍이앤씨(주)	금오공과대학교 산학협력단	건설 근로자 보조 시스템 성능평가			
6	인공지능 기반 근로자 의도파악 알고리즘	2021.11.15	고려대학교 산학협력단	고려대학교 산학협력단	건설 근로자 의도파악			

☐ 현장적용(해당사항 없음)

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

☐ 기술 실시(이전) (해당사항 없음)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

□ 사업화 투자실적(해당사항 없음)

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황(해당사항 없음)

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적)(해당사항 없음)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과(해당사항 없음)

성과						
사업화 계획	사업화 소요기간(년)					
	소요예산(천원)					
	예상 매출규모(천원)			현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후	
		국내				
		국외				
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)			현재	3년 후	5년 후
	수 출					

☐ 고용 창출(해당사항 없음)

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			yyyy년	yyyy년	
합계					

☐ 고용 효과(해당사항 없음)

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

☐ 비용 절감(누적)(해당사항 없음)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

☐ 경제적 파급 효과 (해당사항 없음)

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

☐ 산업 지원(기술지도)(해당사항 없음)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

☐ 기술 무역 (해당사항 없음)

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

☐ 법령 반영(해당사항 없음)

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

☐ 정책활용 내용(해당사항 없음)

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영(해당사항 없음)

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

☐ 신진연구자 채용(해당사항 없음)

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

☐ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1		2020			1		○				○		
2		2021		2	2		○				○		

☐ 산업 기술 인력 양성 (해당사항 없음)

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용(해당사항 없음)

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

☐ 국제화 협력성과(해당사항 없음)

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	홍보 행사	Youtube	대구 5+1 산업 Tech-Transfer Show(유망기술이전설명회) - 하지 외골격 로봇의 근력 보조장치	2021.11.11

☐ 포상 및 수상 실적(해당사항 없음)

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비(해당사항 없음)

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당사항 없음)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당사항 없음)

2) 목표 달성 수준

연구개발목표	달성내용	달성도(%)
건설 근로자 하지 자세 보조기구 시제품	고정 기능이 있는 가스 스프링을 사용하여 체어리스 체어 타입의 외골격 메커니즘을 구현하였고, 가스 스프링 체결부에 슬라이딩 구조를 적용하여 착용성을 극대화 함. 개발된 시제품은 총 8 DOF 를 가지며 23 kg 의 무게를 가짐.	100
건설 근로자 보조 제어 알고리즘	착용자의 족저압 측정을 위한 생체 신호 측정 시스템, 고속 센서 데이터 수집이 가능한 DAQ 시스템, 초 고성능 임베디드 PC를 통한 착용 가능 시스템 구축하였음. 건설 근로자 보조 제어 알고리즘 실행 플랫폼 시제품은 22,000mAh 배터리 기준 3.45 hr 동작 가능.	100
건설 근로자 보조 시스템	능동/수동 관절을 모두 갖는 복합 구조의 착용형 로봇으로써 건설 현장에서 발생하는 부상을 방지하고 작업 능력 향상을 도모하는 기술이 적용된 협동 로봇을 개발함. 개발된 시스템의 전체 무게는 22.15kg이고 자유도는 13 DOF 를 가짐.	100
건설 근로자 상지 근력 보조 시제품	직렬 탄성 액추에이터를 기계적 구동기로써 채용하였고 평행사변형 구조의 4절 링크 메커니즘에 직접 적용하여 선형 움직임이 가능하도록 함. 개발된 자율 구동 관절은 작업 거리 1000 mm, 허용 하중 10 kg 만족함.	100
건설 근로자 분석 보고서	건설 근로자 보조 시스템 구성을 위하여 건설 작업 환경 분석을 분석하고 이에 따른 근·골격계질환을 예방할 수 있는 보조 시스템 적용 방안을 분석함.	100
건설 근로자 환경 모사 시험환경	건설 근로자 근·골격계 질환 예방을 위한 협동형 자율 구동 관절 로봇 기술 평가를 위하여 실제 건설 환경을 모사한 시험환경을 구현함. 시험환경 내에서 실제 로봇 구동 실험 진행하였고 그 결과 개발된 건설 근로자 보조 시스템이 근로자의 작업 피로를 32.3% 저감하는 효과가 있는 것을 확인함.	100
인공지능 기반 근로자 의도파악 알고리즘	관성 센서가 아닌 Insole 센서를 메인으로 활용하여 착용이 간편한 의도 예측 알고리즘을 구축하였고, 알고리즘은 Google TensorFlowAPI 기반의 4계층 신경망으로 구현됨. 근로자 의도파악 알고리즘은 검증을 위한 데이터와 99.41%의 정확성을 가져 데이터의 인식율을 개선함.	100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당사항 없음)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○

-

○

-

2) 자체 보완활동

○

-

○

-

3) 연구개발 과정의 성실성

○

-

○

-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

-
- 건설 공정에서 인간-로봇 협동형 시스템의 개발을 통해 자동화 및 로봇틱스 기술 적용에 대한 비중이 상대적으로 낮은 건설 시공 분야에서 기존의 기술적 한계를 극복하고 실적용 가능성을 높임
 - 본 연구개발성과는 인공지능 기반의 자율 구동 관절을 갖는 건설 근로자 협업 로봇으로 착용자의 근골격계의 피로가 생기지 않도록 힘을 보조해주는 시스템임. 상체에는 약 30%정도 근 피로도 저감이 가능하기에 근로자의 근골격계 질환 예방에 기여할 것으로 판단됨.
 - 모드 별 차별화된 제어 운용이 가능한 플랫폼의 구축을 통해 추가적인 공정 대응 및 높은 환경 적응성을 확보함
 - 지능형 의도 판단 기술과 산업 재해 예방을 위한 협동형 자율 구동 관절 로봇 시스템의 개발을 통해 건설시공작업의 효율성 및 안전성을 확보함
-

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

-
- 본 연구의 결과물은 인공지능 기반의 자율 구동 관절을 갖는 건설 근로자 협업 로봇을 개발하고 시스템의 유사 건설 환경을 모사하여 사용성 검증을 수행하고자 함
 - 건설 근로자의 근 골격계 질환 예방을 위한 하지 자세 보조 시스템
 - 본 연구의 결과물인 하지 자세 보조 장비는 건설 작업 현장에서 작업자가 불편한 자세로 작업을 할 경우, 근골격계의 피로가 생기지 않도록 힘을 보조해주는 시스템임
 - 낮은 자세의 작업에서 작업자의 목, 허리 등 근골격계질환을 예방하기 위한 목적으로 의자형 모드를 포함하고 있음.
 - 건설 근로자와 협업을 위한 인공지능 기반 자율 구동 관절 로봇 시스템
 - 본 연구의 결과물인 상지 근력 보조 및 AI 기반 자율 구동 관절 로봇 시스템은 건설 근로자의 작업 용이성 개선을 목표로 하는 시스템임
 - 해당 시스템은 추가적인 end-effector 및 제어 모드의 추가 등을 통해 건설현장 외의 다양한 작업 환경에서의 적용이 가능할 것으로 예측됨
 - 본 연구에서 개발된 의도 판단 기술과 근력 증강 기술은 모듈화를 통해 건설 장비, 중량물 취급 작업 등에 확장 활용이 가능함
 - 유사 건설 작업 현장 모사 Test bed
 - 실제 건설 작업 환경을 모사한 Test bed는 협동형 자율 구동 관절 로봇 시스템의 사용성 및 효율성에 대한 기술적 검증을 위한 실험 장비임
 - 해당 장비는 실제 건설 환경의 비정형성과 불균질성을 포함하고 있으며, 이를 활용하여 실 응용환경 개선을 위한 연구 및 다양한 건설 자동화 로봇 시스템의 실험환경으로의 활용이 가능
 - 사용자의 거동 분석 및 작업 수행 현황 분석 등이 가능하도록 구성된 환경을 이용하여 표준화된 프로세스의 제안 및 평가 가능
 - 후속 연구 및 기술이전 사업화
 - 본 연구는 협동형 자율 구동 관절 로봇 시스템의 최종 프로토타입을 개발하고 유사환경 내에서의 해당 시스템을 검증을 포함. 실환경 내에서의 검증 및 프로토타입의 완성도 확보를 통해 실제 현장적용을 목표로 하는 추가적인 연구·개발을 추진.
-

7. 참고 문헌

1. Delicia Elisheba D, Britto Y and Christina V.P.F, “Chair-Less Chair for Lumbar Pain Reduction,” International Journal of Mechanical Engineering and Technology Vol. 9, No. 11, pp. 500–507, 2018.
2. Cyril Varghese, Vedaksha Joshi, Vinayak Waghmare, Ajal Nair, Albey David, “Design and fabrication of exoskeleton based on hydraulic support,” International journal of advanced research, Vol. 4, No. 3, pp. 22–28, 2016.
3. Ashutosh Bijalwan, Anadi Misra, “Design and Structural Analysis of Flexible Wearable Chair Using Finite Element Method,” Open Journal of Applied Sciences, Vol. 6, No. 7, pp. 465–477, 2016.
4. P.S. Suhail et al., “Fabrication and Analysis of Chairless Chair,” International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology, Vol. 7, No. 4, pp. 3589–3597, 2018.
5. Mr. Ankush Borse, Mr. Shubham Sonawane 외, “Design Chairless Chair-Exoskeleton System,” International Journal of Scientific Research & Engineering Trends, Vol. 6, No. 1, pp. 440–443, 2020.
6. Keith Gunara(Nonsee), Fumiya Iida, Bryan Anastasiades, Wearable posture assisting device(ETH Zurich), patent WO 2015028373 A1.
7. NOONEE. <http://www.noonee.com>. Accessed 18 Apr 2020.
8. Magdum, Rushikesh M., and Sachin M. Jadhav. “Design and Implementation of Chair Less Seating Arrangement for Industrial Workers and Farmers.” GRD Journal for Engineering, Vol. 3, No. 8, 2018.
9. Shi, D., Zhang, W., Zhang, W., & Ding, X. “A review on lower limb rehabilitation exoskeleton robots,” Chinese Journal of Mechanical Engineering, Vol. 32, No. 1, pp. 1–11, 2019.
10. J. E. Pratt, B. T. Krupp, C. J. Morse and S. H. Collins, “The RoboKnee: an exoskeleton for enhancing strength and endurance during walking,” IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 3, pp. 2430–2435, 2004.
11. A. M. Dollar and H. Herr, “Design of a quasi-passive knee exoskeleton to assist running,” 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 747–754, 2008.

-
12. Vantilt, J., Tanghe, K., Afschrift, M. et al. "Model-based control for exoskeletons with series elastic actuators evaluated on sit-to-stand movements", J NeuroEngineering Rehabil 16, 65, 2019.
 13. M. K. Shepherd and E. J. Rouse, "Design and Validation of a Torque-Controllable Knee Exoskeleton for Sit-to-Stand Assistance," in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 22, No. 4, pp. 1695-1704, 2017.
 14. Abdoli-E, M., Agnew, M. J., & Stevenson, J. M. "An on-body personal lift augmentation device (PLAD) reduces EMG amplitude of erector spinae during lifting tasks," Clinical Biomechanics, Vol. 21, No. 5, pp. 456-465, 2006.
 15. LOTZ, Christy A., et al. The effect of an on-body personal lift assist device (PLAD) on fatigue during a repetitive lifting task. Journal of Electromyography and Kinesiology, Vol. 19, No. 2: pp. 331-340, 2009.
 16. CIFREK, Mario, et al. Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. Clinical biomechanics, Vol. 24, No. 4, pp. 327-340, 2009.
 17. Y. Park, N. Paine and S. Oh, "Development of Force Observer in Series Elastic Actuator for Dynamic Control," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 65, no. 3, pp. 2398-2407, March 2018
 18. N. Paine and L. Sentis, "A new prismatic series elastic actuator with compact size and high performance," 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2012, pp. 1759-1766
 19. Jason Wheeler, "Wearable Robotic Devices to Improve Worker Health and Safety"
 20. 권영국, 오영수, 권남영.(2007).근골격계질환 분석용 소프트웨어를 이용한 건설작업자들의 근골격계질환 조사.대한안전경영과학회 학술대회,(),35-50.
-

< 별첨 >

별첨 자료

1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

2. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘국토교통기술촉진연구사업’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.