

320086
-01

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)
1세대스마트플랜트팜산업화기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003688-01

스마트팜 농작업자 추종형 이송 로봇 산업화

2021.10.13

주관연구기관 / (주)하다
협동연구기관 / 전북대학교
한국생산기술연구원
국립농업과학원

농 립 축 산 식 품 부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

스마트팜농작업자추종형이송로봇산업화

2021

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 "스마트팜 농작업자 추종형 이송 로봇 산업화"(개발기간 : 2020.07.03.
~ 2021.07.02.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021.10.13

주관연구기관명 : ㈜하다

(하종우)



협동연구기관명 : 전북대학교산학협력단 (조기환)



협동연구기관명 : 한국생산기술연구원 (이철규)



협동연구기관명 : 국립농업과학원 (김상남)



주관연구책임자 : 하 종 우

협동연구책임자 : 유 범 상

협동연구책임자 : 양 승 환

협동연구책임자 : 김 경 철

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

최종보고서

보안등급
일반[√], 보안[]

중앙행정기관명	농림축산식품부			사업명	사업명	1세대 스마트 팜 산업화 기술개발		
전문기관명 (해당 시 작성)	농림식품기술기획평가원							
공고번호				연구개발과제번호	320086-1			
기술분류	국가과학기술 표준분류	EA0502	50%	EA0501	30%	LB0804	20%	
	농림식품과학기술 분류	RC0103	50%	RC0101	30%	RC0199	20%	
연구개발과제명	국문	스마트팜 농작업자 추종형 이송 로봇 산업화						
	영문	Smart farm agricultural worker tracking robot						
주관연구개발기관	기관명	㈜hada		사업자등록번호	403-81-70868			
	주소	(55338)전북원주삼례삼례로443		법인등록번호	214911-0039571			
연구책임자	성명	하중우		직위	대표이사			
	연락처	직장전화	063-836-2005	휴대전화	010-xxxx-xxxx			
		전자우편	xxx@hada-korea.com		국가연구자번호	11134039		
연구개발기간	전체	2020. 07. 03 - 2021. 07. 02(1년)						
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비	그 외 기관 등의 지원금				합계	연구별비 외 지원금
	현금	현금	현물	현금	현물	현금		
	1년차	500,000	0	166,667			500,000	
협동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고		
						역할	기관유형	
	전북대학교	유범상	교수	010-xxxx-xxxx	xxxxx@trnuc.kr	공동	대학	
	협동연구개발기관	생산기술연구원	양승환	수석연구원	010-xxxx-xxxx	xxxxx@kitech.ac.kr	공동	정부출연연
	국립농업과학원	김경철	농업연구사	010-xxxx-xxxx	xxxxx@nars.ac.kr	공동	국립연	
위탁연구개발기관	전남대학교	손형일	부교수	010-xxxx-xxxx	xxxxx@jnu.ac.kr	위탁	대학	
	서울대학교	김기석	부교수	010-xxxx-xxxx	xxxxx@snu.ac.kr	위탁	대학	
연구개발담당자 실무담당자	성명	유재은		직위	연구소장			
	연락처	직장전화	063-836-2005	휴대전화	010-xxxx-xxxx			
		전자우편	xxx@hada-korea.com		국가연구자번호	10140196		

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

2021년 10월 13일

연구책임자: 하 중 우



주관연구개발기관의 장: ㈜hada

협동연구개발기관의 장: 전북대학교 산학협력단 (직인)

협동연구개발기관의 장: 한국생산기술연구원 (직인)

협동연구개발기관의 장: 국립농업과학원 (직인)



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

사업명	1세대 스마트팜 산업화 기술개발			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)								
내역사업명 (해당 시 작성)				연구개발과제번호		320086-1						
기술 분류	국가과학기술 표준분류	EA0502	50%	EA0501	30%	LB0804	20%					
	농림식품 과학기술분류	RC0103	50%	RC0101	30%	RC0199	20%					
총괄연구개발명 (해당 시 작성)												
연구개발과제명 스마트팜 농작업자 추종형 이송 로봇 산업화												
전체 연구개발기간 2020. 07. 03 - 2021. 07. 02(1년)												
총 연구개발비 총 666,667천원 (정부지원연구개발비:500,000천원, 기관부담연구개발비 :166,667천원)												
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[√] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()						
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)												
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)												
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		시설농장 내에서 작업자를 추종하면서 농작업을 협업하는 전기 구동형 로봇 플랫폼으로 로봇은 경우에 따라 집하장까지 자율주행으로 이동하여 비어있는 트레이로 교환 후 다시 작업자에게 돌아와 협업을 지속하는 형태의 작업자 추종형 이송 로봇 플랫폼 개발									
	전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트팜 재배 작물 2종(딸기, 토마토) 이상의 작물에 대한 이송 로봇 고도화 ○ 협동 작업을 위한 작업자 인식 추종 기능 및 온실 자율 주행 시스템 고도화 ○ 작업이력에 대한 정보를 서버에 저장하며 스마트 기기로 필요한 서비스를 제공 ○ 실증 운용 연구를 통한 실용화 향상을 위한 개선 연구 									
연구개발성과		<ul style="list-style-type: none"> ○ 정량적 성과 목표 - 특허출원 2건, 제품화 1건, 매출액 100백만원, 고용창출 2명, 스마트온실 실증 2건, - 논문(비SCI)1건, 학술발표 6건, 홍보전시 2건 ○정량적 기술 목표 - 작업자 인식률, 자율주행 성공률, 작업자 추종 성공률, 추종 거리/각도 오차, 배터리 연속 사용시간 총 9개지표 모두 100% 달성 										
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과		<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트온실의 첨단 자동화를 위한 로봇 개발 및 산업화 촉진 ○ 작업자 추종 이송로봇 활용으로 수확, 적엽 등 농작업 편의성 향상 										
연구개발성과의 비공개여부 및 사유												
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
	1	2	1		1			생명 정보	생물 자원			정보
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)			ZEUS 등록번호	
국문핵심어 (5개 이내)	스마트 팜		작업자 추종		추종로봇		로봇 플랫폼		이송로봇			
영문핵심어 (5개 이내)	smart farm		worker following		following robot		robot platform		Transport robot			

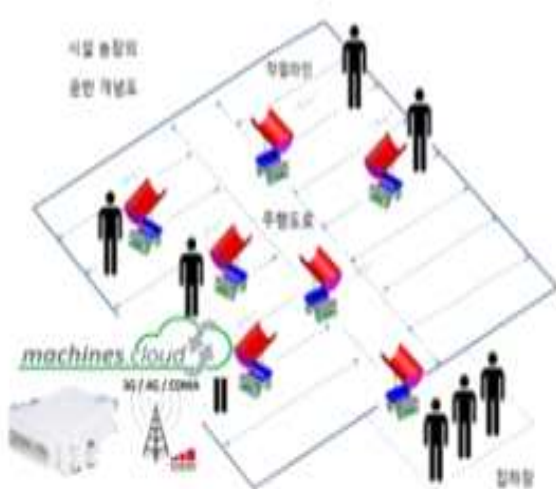
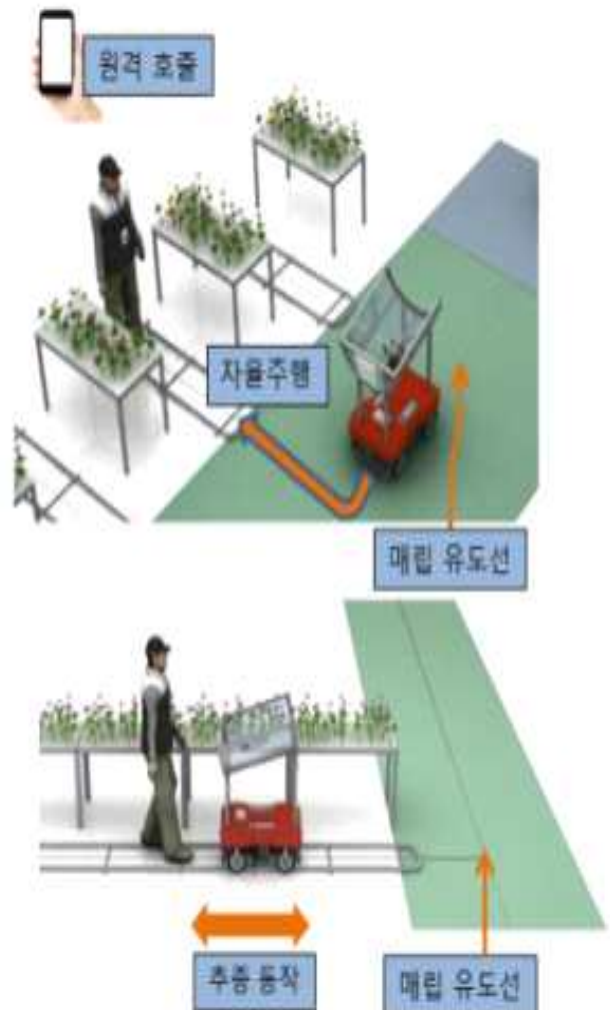
〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	4
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	5
1) 연구개발 목표 및 내용	5
(1) 최종 목표	5
(2) 세부 목표	5
(3) 당해년도 개발 수행 내용	9
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	75
1) 연구수행 결과	75
(1) 정성적 연구개발 성과	75
(2) 정량적 연구개발 성과	78
(3) 세부 정량적 연구개발 성과	94
4. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	122
5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	123
별첨 자료	125

1. 연구개발과제의 개요

시설 농장은 보통 고온 다습하고 환기도 충분하지 못하여 작업시 피로감을 쉽게 느낌. 특히 수확작업은 여러 번에 걸쳐 수확물을 옮겨야하기 때문에 노동의 부담이 가중됨. 수확물의 운반 노력을 절감하고 생산성을 향상시키고자 수확 작업자와 집하장간에 무인으로 수확물을 이송하는 로봇 플랫폼을 고안하게 됨.

- 시설 농장에서 농작업자를 추종하는 전기 구동형 이송 플랫폼으로 수확물을 실을 수 있는 트레이를 장착.
- 시설 농장내의 구조를 매핑하여 수확 작업자와 집하장간 자율주행을 수행하는 이송로봇.
- 자율주행 및 작업자 추종방식은 자기장, 카메라, LiDAR, 초음파 등 센서 간의 조합을 통해 최적의 알고리즘을 도출.
- 시설 농장에서 가장 많이 생산되는 토마토와 딸기를 대상으로 하며 수확물 적재 및 운송 시 작물의 파손을 최소화한 구조의 트레이 개발.
- 모든 작업 이력에 대한 정보는 클라우드 서버에 저장되며 사용자에게 제공됨.
- 실증 연구를 통한 제품 성능 분석 및 상용화 기술 개발을 목표로 함.



<농작업자 추종형 이송 로봇 개념도>

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발 목표 및 내용

(1) 최종 목표

- 주관연구기관 (하다) :

- 스마트팜 재배 작물 관리 로봇에 필요한 다양한 노면(포장지(콘크리트), 온수파이프) 구동용 주행플랫폼 고도화
- 사용이 용이한 조작부 및 고장진단 기능 개발적용
- 클라우드 서비스를 통해 작업이력을 관리하고 스마트폰이나 태블릿PC로 사용자에게 필요한 정보를 제공

- 공동연구기관 1 (전북대) :

- 농작물(딸기, 토마토) 적재 및 하역 트레이 최적화
- 농작물(딸기, 토마토) 적재 및 탈부착이 용이한 트레이 개발
- 하역장 내에서 자동 트레이 교체 시스템 연구

- 공동연구기관 2 (한국생산기술연구원) :

- 포장지(콘크리트)에서의 작업자 추종 솔루션 고도화

- 공동연구기관 3 (국립농업과학원) :

- 현장 적용 능력 향상 및 실용화 향상 연구 (토마토, 딸기)
- 로봇 활용 경제성 분석을 통한 상품성 향상 기술 연구

- 위탁기관 1(전남대) :

- 자력유도선 추종 기반 자율주행 솔루션 고도화
- 온보드 센서 기반 자율주행 시스템 개발

- 위탁기관 2(서울대) :

- 다중 영상센서 기반 농작업 및 작업자 인식/추종 기술 개발

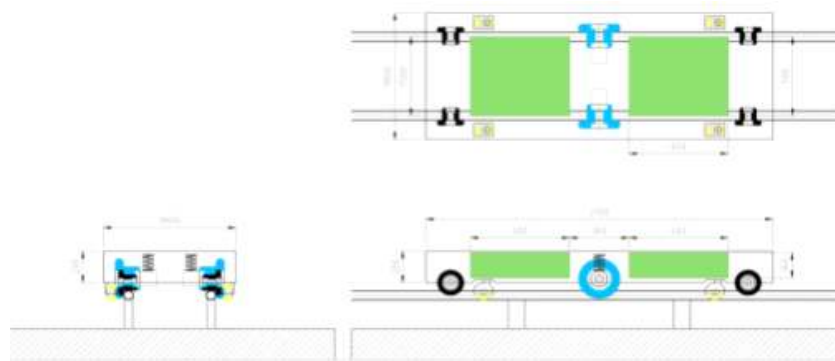
(2) 세부 목표

- 스마트팜 재배 작물 관리 로봇에 필요한 다양한 노면(콘크리트, 온수파이프 등)구동용 주행플랫폼 고도화
- 작업이력 관리 시스템 및 모니터링부 개발적용
- 농작물(딸기, 토마토) 적재 및 하역 트레이 최적화
- 농작물(딸기, 토마토) 적재 및 탈부착이 용이한 트레이 개발
- 포장지(콘크리트)에서의 작업자 추종 솔루션 고도화
 - 이송로봇의 작업자 추종을 위한 작업자 인식 기술 개발
 - 딥러닝 작업자 인식 결과를 통한 이송로봇의 작업자 추종 알고리즘 개발
- 2개소(딸기, 토마토) 온실에 대한 현장 적용 및 실용화 향상을 위한 실증연구
 - 현장 적용 능력 향상 및 실용화 향상 연구
 - 로봇 활용 경제성 분석을 통한 상품성 향상 기술 연구

- 온실형 스마트 팜의 추종형 이송로봇을 위한 자율주행 시스템 개발
 - 자력유도선 추종 기반 자율주행 솔루션 고도화
 - 온보드 센서 기반 자율주행 시스템 개발
- 농작업/농작업자 영상정보 수집 및 데이터베이스 구축
- 컬러영상 기반 농작업/농작업자 개체인식기술 개발
- 깊이센서 기반 작물/농작업자 공간정보 인식기술 개발

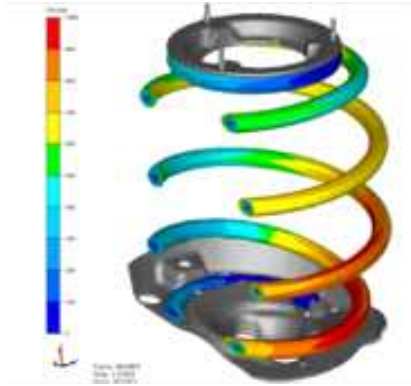
<* 참고. 주관기관 추가 세부 내용>

- 온실내 구동용 주행 플랫폼 설계 및 제작
 - 콘크리트 포장지 및 파이프 레일위에서 이동이 가능한 바퀴 구조 설계
 - 바퀴 휠의 가장자리는 콘크리트 포장지에서 구동하고 바퀴 휠의 안쪽 부분은 파이프 레일 상에서 구동하도록 일체형 휠 제작
 - 구동 모터는 2개의 BLDC모터를 적용하며 기대의 중앙에 배치하여 제자리 회전이 가능하도록 설계
 - 중앙의 구동모터를 중심으로 앞뒤에는 캐스터를 장착하여 무게 분산 및 기대가 기울어지는 것을 방지



<그림> 주행 플랫폼 개념도

- 평탄하지 않은 노면을 고려하여 구동 바퀴부 현가장치 최적화 설계
 - 바퀴와 노면과의 마찰력이 약하면 슬립현상이 발생하는 2륜 구동 바퀴 구조의 단점을 보완하기 위하여 스프링 구조의 현가장치를 적용하여 노면과의 마찰력을 높임



<그림> 현가장치 서스팬션 제품 예시

- 구동 플랫폼용 통합 전력 시스템 고도화
 - 전원 환경에 따른 구동 플랫폼 전원시스템 사양 선정
 - 연속동작 8시간 기준 배터리 사양 선정(1일 작업시간 기준)
 - BMS(Battery management system)적용을 통한 로봇 전원관리 최적화
 - 전력 시스템 모니터링 및 배터리 잔량을 HMI상에 표시



<그림> BMS 모듈 제품 예시



<그림> 배터리 패키지 예시

- 로봇 플랫폼 구동용 하위제어기의 내구성 확보
 - 방수 및 방진기준인 IP등급 55이상의 하위 제어기 선정
 - 악조건의 내환경(온도, 습도)에서도 구동 가능한 제어기 선정
 - 고장률 보장을 위한 SIL2 등급 이상의 제어기 선정
 - 상위제어기의 고장이나 알 수 없는 오류로 인해 상위제어기와 통신 단절이 발생시 하위제어기만으로 수동모드로 로봇 플랫폼을 구동 할 수 있도록 설계

IP 등급의 장 폐쇄 장치 (고체에 대한 보호 정도)		IP 등급의 부 폐쇄 장치 (액체에 대한 보호 정도)	
IP	TEST	IP	TEST
0	모호 인월	0	모호 인월
1	50mm 이상의 고체로부터 보호 (손으로 만지는 정도)	1	수직으로 떨어지는 물방울로부터 보호
2	12mm 이상의 고체로부터 보호 (손가락 크기 정도)	2	수직으로부터 15° 이하로 직접 분사되는 액체로부터 보호
3	2.5mm 이상의 고체로부터 보호 (연필 및 전선 정도)	3	수직으로부터 60° 이하로 직접 분사되는 액체로부터 보호
4	1mm 이상의 고체로부터 보호 (연필 및 기는 전선 정도)	4	모든 방향에서 분사되는 액체로부터 보호-제한된 수준의 유입 허용
5	비치로부터 보호-제한된 수준의 유입 허용 (내물물에 손상될 수지 않는 수준)	5	모든 방향에서 분사되는 낮은 수압의 물줄기로부터 보호-제한된 수준의 유입 허용

<IP등급표>

등급	안전성 확보수준	실패확률	예상치 못한 장애발생 가능성
SIL 4	99.99% 이상	0.01% 이하	10,000년~100,000년 사이
SIL 3	99.9~99.99%	0.01~0.1%	1,000년~10,000년 사이
SIL 2	99~99.9%	0.1~1%	100년~1,000년 사이
SIL 1	90~99%	1~10%	1년~100년 사이

<SIL 등급표>

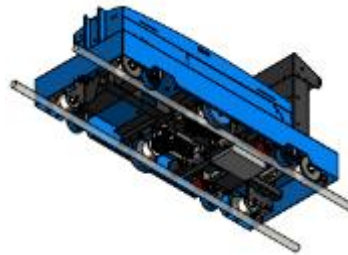


<제어기 예시>

- 로봇 플랫폼에 적재되는 작물의 부피와 양을 고려한 프레임 설계
 - 플랫폼과 적재물을 합한 최대 무게 : 700Kg
 - 최대 적재물을 고려하여 안정된 주행을 하기위한 무게 분산이 가능한 바퀴 배치
 - 자동추종 혹은 자율주행 모드가 아닌 수동으로도 로봇 플랫폼 이동이 가능하도록 손잡이 설계



<로봇 플랫폼 측면 예시>



<로봇 플랫폼 하부 예시>

- 농가에서 조작이 용이한 UI 및 고장진단 기능
 - 5인치 HMI를 적용하여 사용자가 조작하기 쉽게 UI를 구현
 - 로봇 플랫폼에 부착된 각종 센서 및 구동모터가 정상적인 기능을 수행하는지 상시 점검 기능 도입.

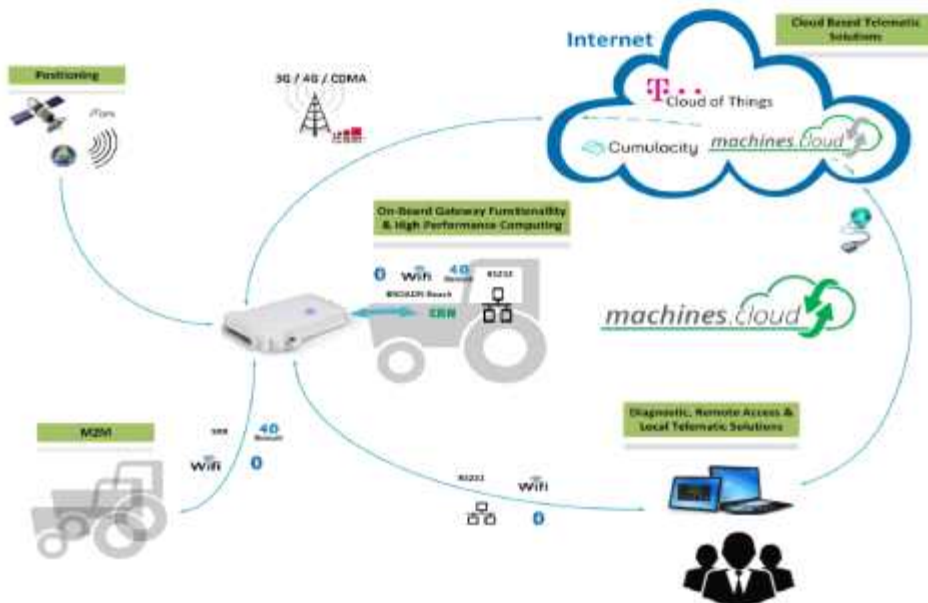


<이용 HMI 예시>



<자동 진단 예시>

- 작업 이력에 대한 정보를 관리 및 서비스하는 시스템 구축
 - 로봇 플랫폼이 수행한 작업의 종류나 작업 시간과 같은 작업 이력 정보를 클라우드 서버에 실시간으로 저장
 - 사용자는 클라우드 서버에 접속하여 지난 작업에 대한 이력을 스마트 기기를 통해 확인이 가능



<그림> Telematics를 적용한 머신 클라우드 예시

(3) 당해년도 개발 수행 내용

가. 주관연구기관 (주식회사 하다)

가) 온실내 구동용 주행 플랫폼 설계 및 제작

(가) Bogaerts社 이송 플랫폼 제품 정보 및 주요 사양 검토

- 온실내에서 마그네틱 라인을 따라 자율주행이 가능한 AGV
- 작업자 수동 조작시 손쉬운 방향 전환 방식 채택
- 다양한 길이와 너비 조절이 가능
- 제자리(제로) 턴 기능 탑재
- 체인이 아닌 기어박스 적용으로 유지보수가 필요없음

- 전면 및 후면에 안전 범퍼 사용



제품명	Bogaerts社 이송 플랫폼
인가전압	24V/118Ah
크기	780 * 2700 * 2800 (mm)
무게	320Kg
적재하중	600Kg
주행방식	자동-마그네티인식, 수동-작업자조작
상자적재개수	16개



<그림> bogaerts社 이송로봇 brochure

(나) Bogaerts社 온실용 방제 플랫폼 제품 정보 및 주요 사양 검토

- 반자동 방식으로 파이프 레일까지는 수동으로 이동
- 300L의 고용량의 물탱크 장착
- 2륜 바퀴 구동의 형태로 방향 전환이 용이함
- 무게 분산을 위하여 보조바퀴 포함 총 10개의 바퀴가 적용
- 버튼의 최소화로 작업자의 수동 조작이 용이



제품명	Bogaerts社 Qii-JetTAV
인가전압	24V/400Ah
크기	2116 *(693~1043) * 2800 (mm)
무게	594Kg
적재하중	300Kg
주행방식	반자동-레일까지 작업자조작
최대 주행속도	110M/min

bogaerts
greenhouse logistics

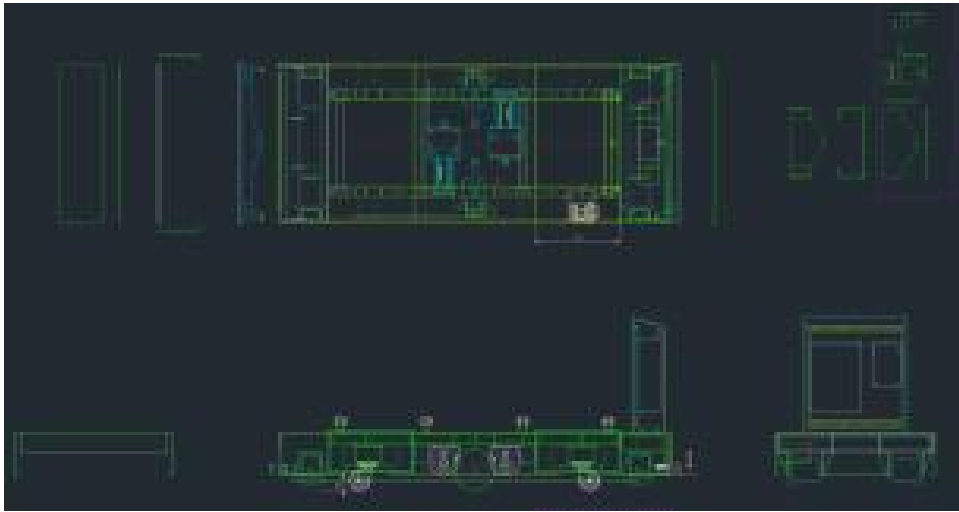
Qii-Jet TAV-342

Maximum speed: 110 m/min
 Maximum pressure: 30 bar
 Tank volume: 300 liter
 Pump: Floooy pump
 Battery: 402 Ah - 24 V - full traction
 Weight: 594 kg
 Dimensions: 2116 x (693-1043) x 2132 mm

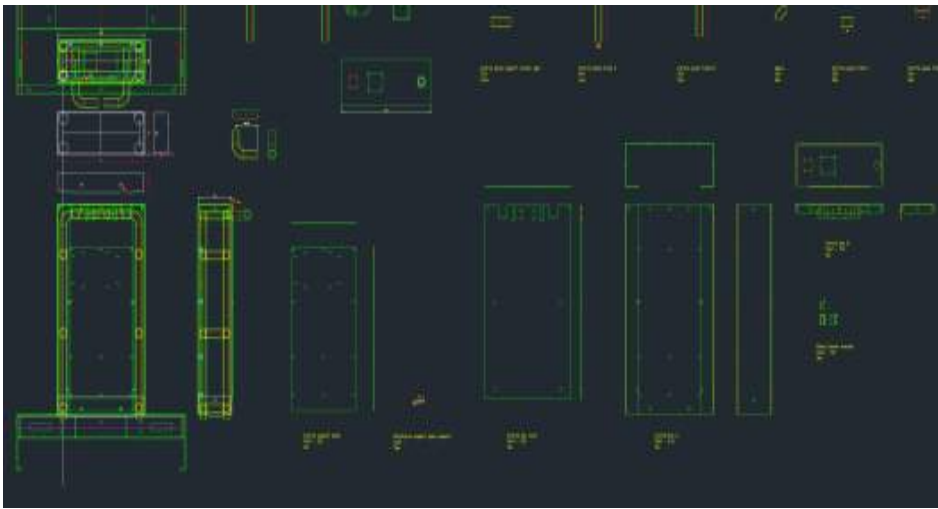
<그림> bogaerts社 방제 플랫폼 brochure

(다) 기초 도면 설계

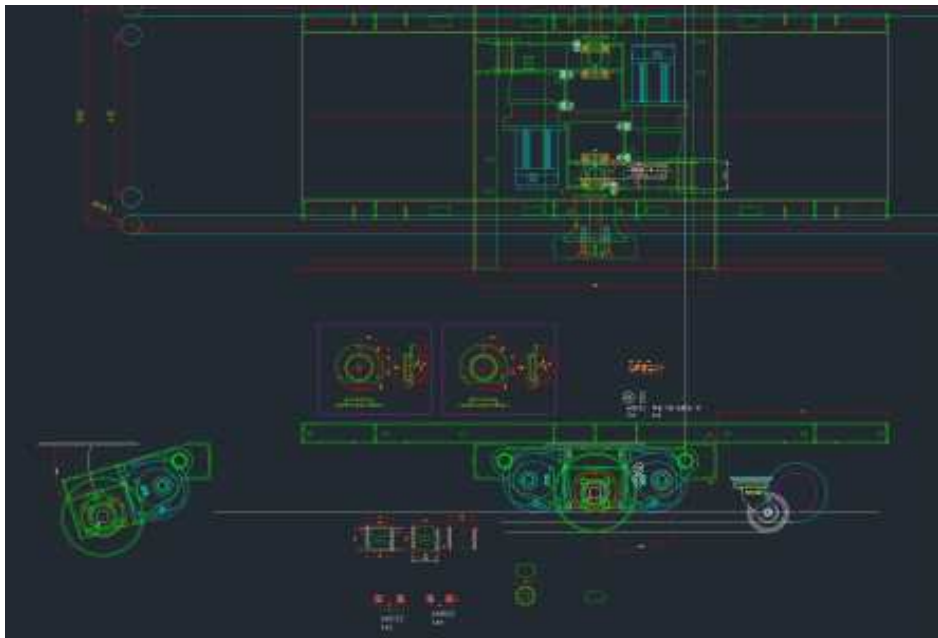
- 중앙 2륜 구동부 방식 적용
- 콘크리트 바닥 및 파이프 레일상에서의 하중 분산을 고려
- 수동방식의 방향 전환을 위한 손잡이의 적절한 높이 고려
- 벤치마킹 기대의 사이즈와 동일한 사이즈 적용
- 작물 포함한 총중량 800Kg을 고려한 설계



<그림> 전체 2D 조립 도면



<그림> 제어부 패널 케이스 도면



<그림> 바퀴 프레임 및 고정부

(라) 레이저 발주 도면 설계

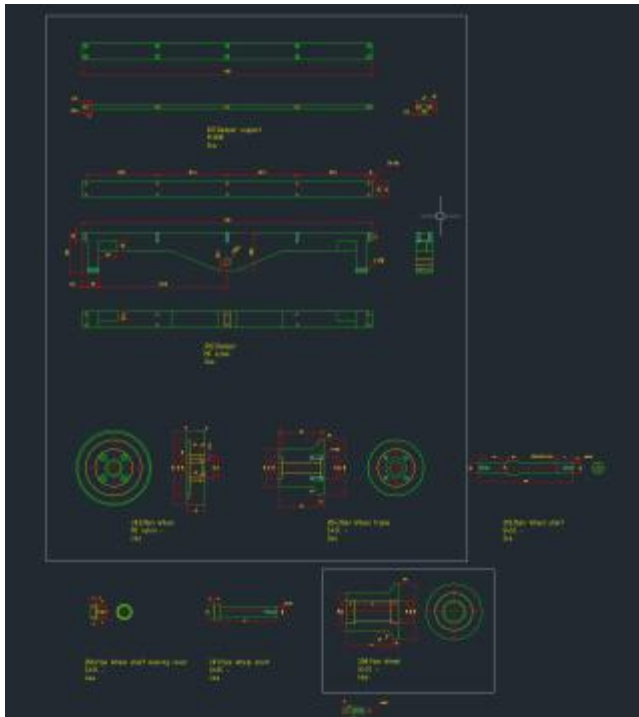
- 메인프레임 및 철판류의 레이저 절단을 위한 도면 설계
- 홀 및 절곡을 고려한 설계
- 용접 및 조립성을 고려한 설계



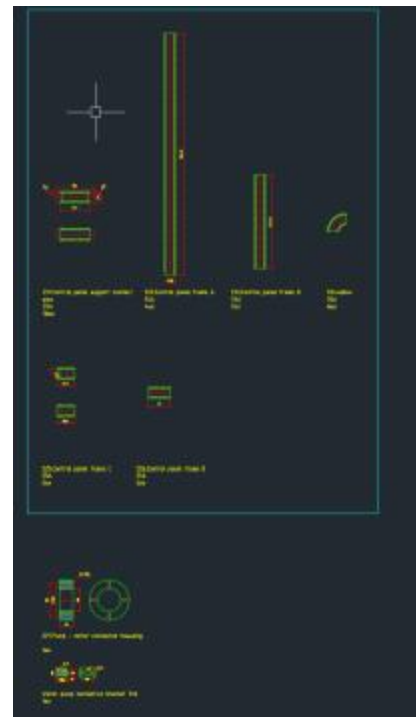
<그림> 레이저 발주도면

(라) 가공 발주 도면

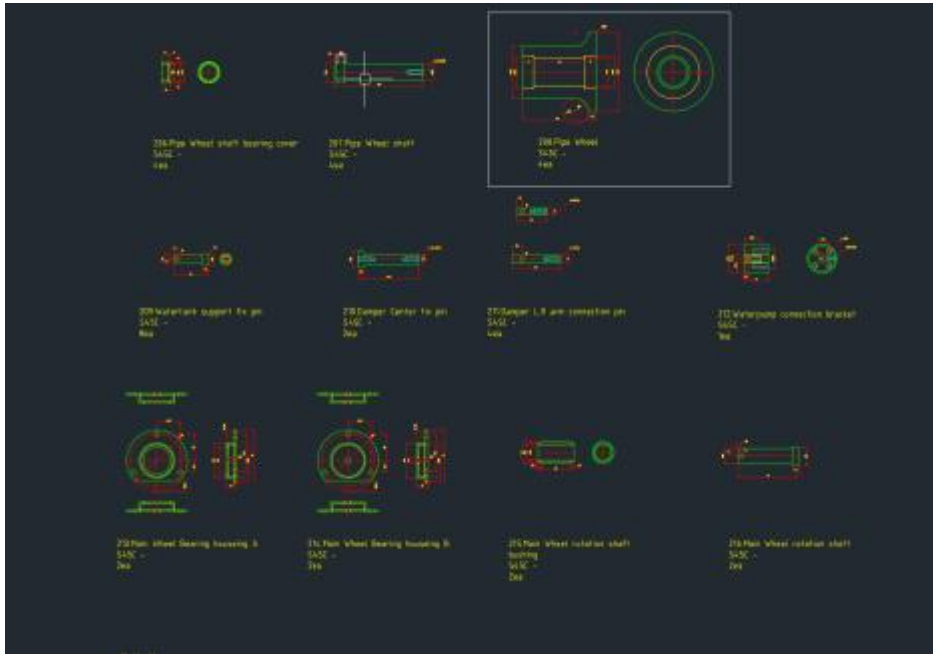
- 바퀴류, 연결부, 구동부를 위한 도면 설계
- 구동 바퀴부 MC나일론 재질 가공을 고려한 설계
- 연결부 및 가공부 용접시 변형을 고려한 설계



<그림> MC나일론 가공 및 휠



<그림> 연결부 및 손잡이



<그림> 구동 휠, 구동 축

나) 평탄하지 않은 노면을 고려하여 구동 바퀴부 현가장치 최적화 설계

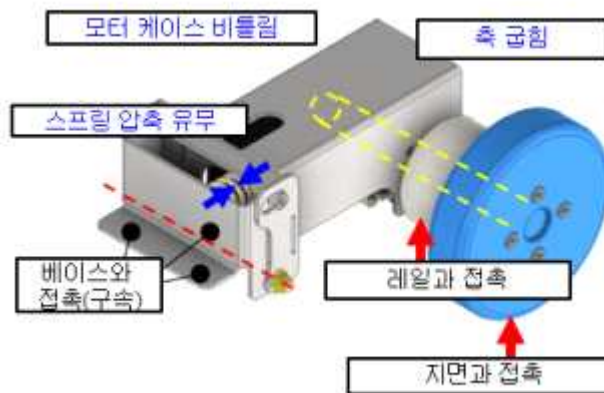
(가) 모델 및 목표

- 시설원에 이송 로봇 폭x너비x높이 = 790 mm x 1900 mm x 1000 mm
- 고온 다습한 환경에서 구동됨
- 이송로봇의 베이스 프레임 하중을 받으며 지정된 레일에서 구동을 목표
- 로봇의 구동부에서 스프링 시스템이 포함된 현가장치 시스템 구조
- 현가장치 부품(스프링, 모터 케이스, 구동 바퀴, 구동 바퀴 축)에서 나타나는 구조적 문제점을 파악하고 개선

(나) 해석 정보 및 조건

1) 물성정보

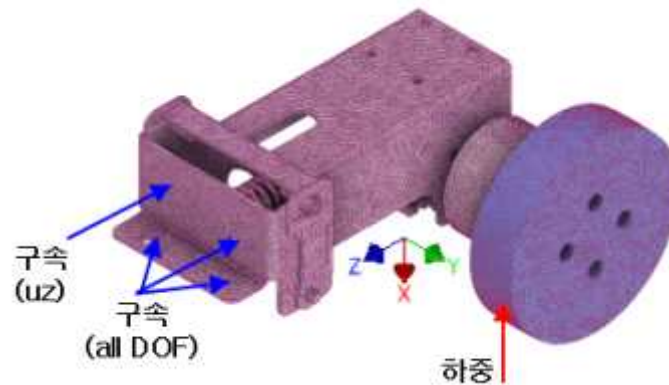
- 현가장치 해석에 사용된 물성정보
- 시중에 판매되는 스프링 카탈로그를 참고함
- 스프링 이외의 부품은 일반 구조용 강 SS400으로 설정함
- 구조 안전성 판단을 위해 재료의 항복 강도와 비교함



<그림> 현가장치 해석 가이드라인

2) 해석 가이드라인

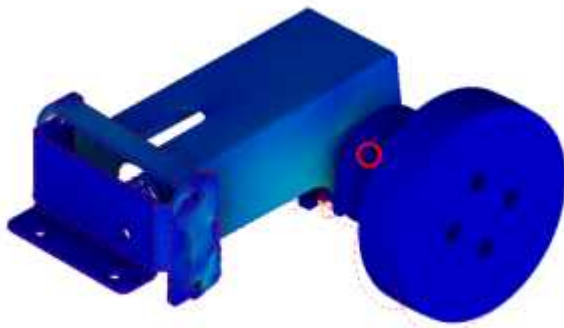
- 현가장치의 접촉조건, 해석에서 포함되거나 무시되는 조건을 고려함
- 실내에서 사용되어 외력이 작용하기 어렵기에 로봇 자체의 하중 최대 900 kg 을 기준으로 해석 진행함
- 해석 시간을 고려하여 이송로봇 전체 시스템이 아닌 현가장치 일부 시스템을 고려하였으며 모델링 과정에서 라운드, 모따기 등을 제거함
- 현가장치 중 접촉 및 하중이 적용되는 부분을 파악하였으며 하중에 대해 구조적으로 문제 될 부품을 구분하여 결과 정리함
- 해석 결과는 연성강의 안전성을 판단하는 등가응력(von-Mises Stress)과 재료의 항복 강도를 비교함



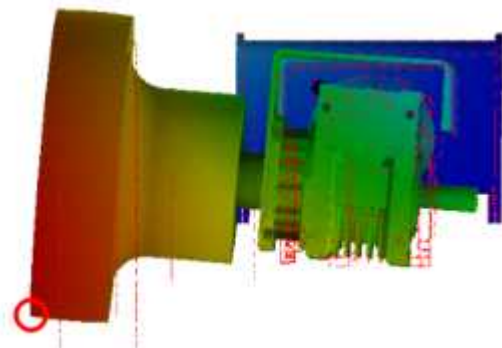
<그림> 해석 경계조건 & 유한요소 모델

3) 해석 조건

- 현가장치 해석은 Autodesk Inventor Nastran2020 프로그램을 사용함
- 해석에 사용된 유한요소의 크기는 4mm, 종류는 tetrahedral solid elements, 타입은 linear로 설정하였으며 이후 개선된 현가장치에 동일 적용함
- 현가장치 체결 부위에 구속조건을 설정함
- 바퀴 4개로 분산되는 이송 로봇 하중 900kg에 대하여 가혹한 하중 조건 (위험도 200%)을 적용하여 전체 하중의 1/2인 450 kg(4415 N)을 구동 바퀴에 적용함



(a) 1차 형상 모델 등가응력 결과



(b) 1차 형상 모델 변위 결과

<그림> 1차 형상 모델 해석 결과

(다) 1차 형상 모델 해석 결과

1) 해석 결과(전체)

- 현가장치 전체 해석 결과로 최대 등가응력 발생 위치, 최대 변위 발생 위치를 파악함
- 구동 바퀴와 구동 바퀴 축의 접촉 부위에서 최대 등가응력이 발생함
- 구동 바퀴 끝단에서 최대 변위가 발생함
- 해석 시뮬레이션을 통해 스프링 시스템의 작동 유무를 파악함



(a) 모터케이스 하중 적용

(b) 구동 바퀴 하중 적용

<그림> 1차 형상 모델 해석 결과(시뮬레이션)

2) 해석 결과(시뮬레이션)

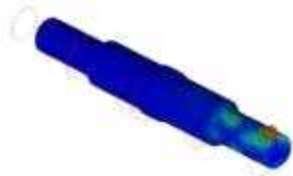
- 해석 시뮬레이션 결과 하중 위치에 따라 스프링 시스템이 다르게 작용됨을 확인함
- 구동 바퀴가 아닌 모터 케이스에 하중을 적용한 경우 스프링이 압축되는 것을 확인함
- 구동 바퀴에 하중을 적용한 경우 스프링 변화가 없음을 확인함
- 구동 바퀴에 하중을 적용한 경우 스프링 압축보다 모터 케이스의 비틀림이 우선적으로 발생하는 것을 확인할 수 있었음



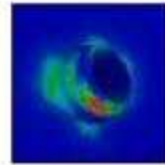
(a) 스프링



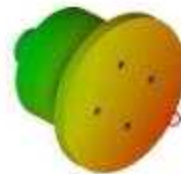
(b) 모터케이스



(c) 구동 바퀴 축



(d) 구동 바퀴



<그림> 1차 형상 모델 해석 결과(부품)

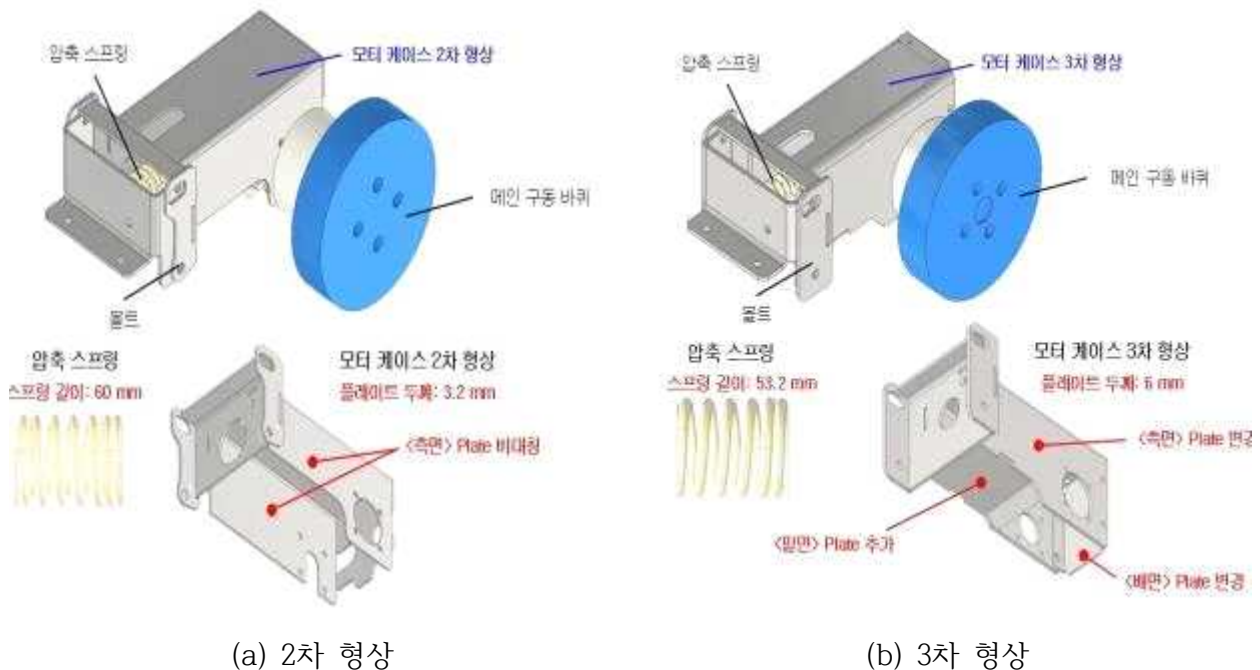
2) 해석 결과(부품)

- 현가장치 해석 결과에서 부품별 응력 및 변위를 확인함
- 스프링 끝단에서 스프링의 최대 등가응력을 확인하였고 응력 집중에 의한 결과로 확인됨
- 스프링 끝단에서 스프링 변위의 최대 지점을 확인하였음
- 모터 케이스 끝단에서 모터 케이스의 최대 등가응력을 확인하였고 이는 응력 집중에 의한 결과로 확인되었으며 모터케이스의 비틀림에 의한 응력 결과를 확인함
- 모터 케이스의 변위를 확인한 경우 구동 바퀴에 적용된 하중이 스프링의 압축보다 모터 케이스의 비틀림과 처짐을 우선적으로 발생시킴 따라서, 이송 로봇이 레일에 놓여 작동하는 상황에서 구조적 문제를 발생시켜 구동이 불가능한 상태가 될 것이라 판단됨
- 구동 바퀴에 하중이 작용할 때 구동 바퀴 축과 구동 바퀴 접촉 부위에 굽힘이 발생하여 국소 부위에 최대 등가응력이 확인됨

(라) 형상 개선 설계안 제시

1) 형상 개선 설계안(2차, 3차 형상)

- 1차 형상모델의 모터 케이스 비틀림이 로봇의 작동 환경에서 구조적 문제가 발생할 것이라 판단하여 모터 케이스의 강성을 개선하는 설계안을 제시함
- 1차 형상 모델에서는 구동 바퀴 축을 한 쪽 벽면에서 지지 하였으나 개선 모델 2차, 3차 형상에서는 양쪽에서 지지하고 배면 plate를 추가시킴
- 3차 형상에서는 2차 형상에서 추가 개선하여 구조적 안전성을 보안하기 위해 스프링의 길이가 60 mm에서 53.2 mm로 감소하였고, 밀면 plate 추가, 전체 plate의 두께를 3.2 mm에서 6 mm로 증가시킴



<그림> 형상 개선 설계안

(마) 개선 모델(2차, 3차) 해석 결과

1) 해석 결과(2차 형상 전체)

- 2차 형상의 현가장치 해석 결과로 최대 등가응력 발생위치, 최대 변위 위치는 기존 모델과 동일함
- 2차 형상의 현가장치에서 최대 등가응력 470 MPa, 최대 변위 6.5 mm를

확인함

2) 해석 결과(2차 형상 부품)

- 2차 형상의 현가장치 해석 결과 중 스프링의 결과에서는 최대 등가응력 29 MPa, 최대 변위 0.5 mm를 확인하였음
- 모터 케이스의 경우 최대 등가응력 196 MPa은 응력집중에 의한 결과로 판단되며 모터 케이스의 비틀림이 발생하는 부분에서 등가응력 80 MPa을 확인함
- 모터 케이스의 전체 변위 3.2 mm이며 측면 방향으로 2.3 mm의 변위를 확인함
- 구동 바퀴 축의 경우 최대 등가응력 470 MPa는 응력집중에 의한 결과로 판단되며 응 력 집중 부위의 주변의 등가응력 250 MPa, 최대 변위 2.9 mm 를 확인함
- 구동 바퀴의 경우 최대 등가응력 459 MPa, 최대 변위 5.6 mm를 확인함

3) 해석 결과(3차 형상 전체)

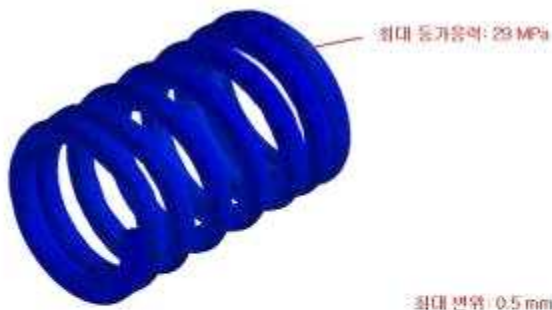
- 3차 형상의 현가장치 해석 결과로 최대 등가응력 발생위치, 최대 변위 위치는 기존 모델과 동일함
- 3차 형상의 현가장치에서 최대 등가응력 380 MPa, 최대 변위 2.4 mm를 확인함

4) 해석 결과(3차 형상 부품)

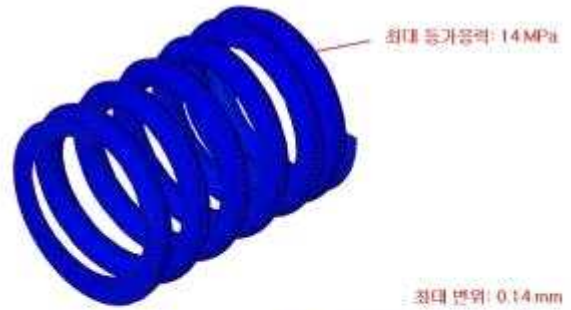
- 3차 형상의 현가장치 해석 결과 중 스프링의 결과에서는 최대 등가응력 14 MPa, 최대 변위 0.14 mm를 확인하였음
- 모터 케이스의 경우 최대 등가응력 198 MPa은 응력집중에 의한 결과로 판단되며 모터 케이스의 비틀림이 발생하는 부분에서 등가응력 40 MPa을 확인함
- 모터 케이스의 전체 변위 0.8 mm이며 측면 방향으로 0.2 mm의 변위를 확인함
- 구동 바퀴 축의 경우 최대 등가응력 380 MPa, 등가응력 275 MPa, 최대 변위 1.1 mm 를 확인함
- 구동 바퀴의 경우 최대 등가응력 3566 MPa, 최대 변위 1.9 mm를 확인함



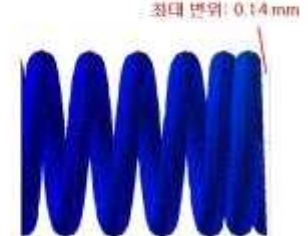
<그림> 형상 개선 설계안 제시



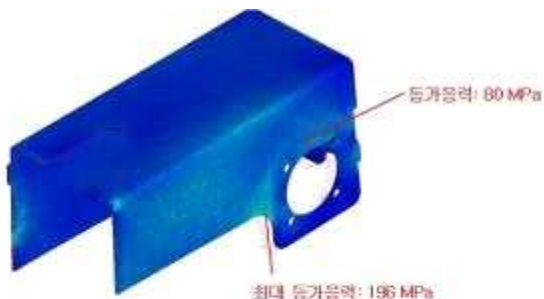
(a) 2차 형상



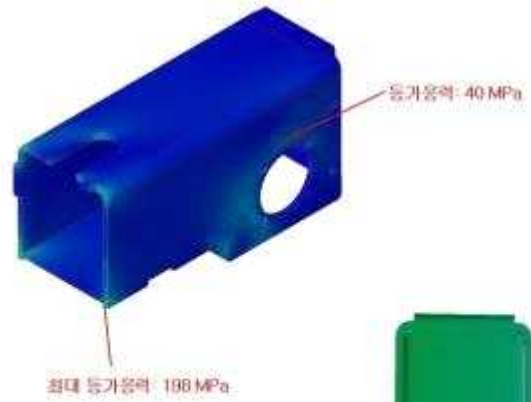
(b) 3차 형상



<그림> 형상 개선 설계안 제시



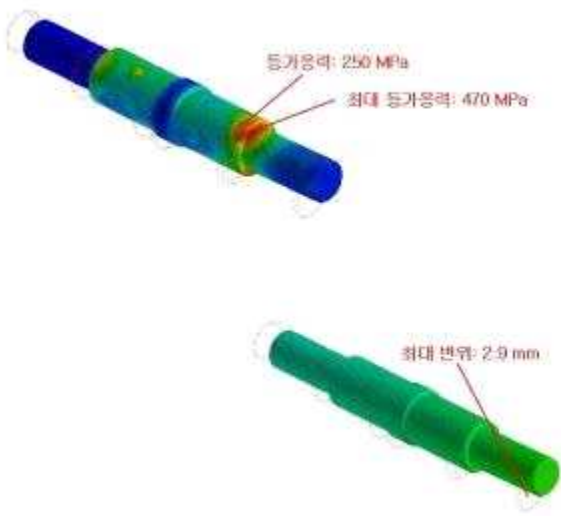
(a) 2차 형상



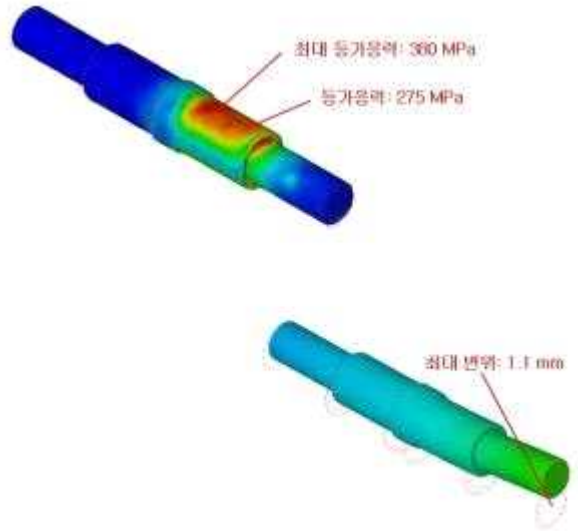
(b) 3차 형상



<그림> 형상 개선 설계안 제시

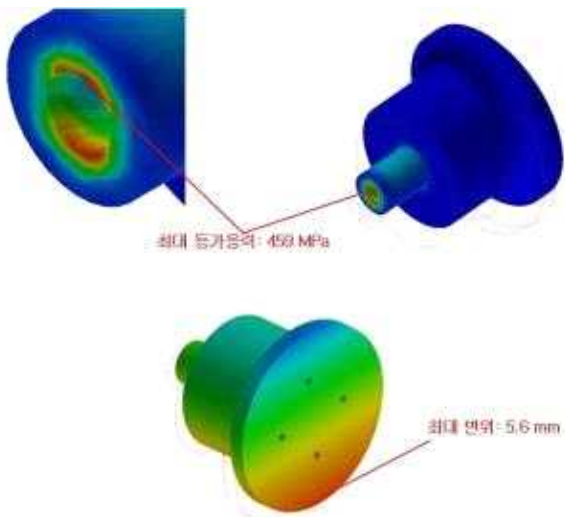


(a) 2차 형상

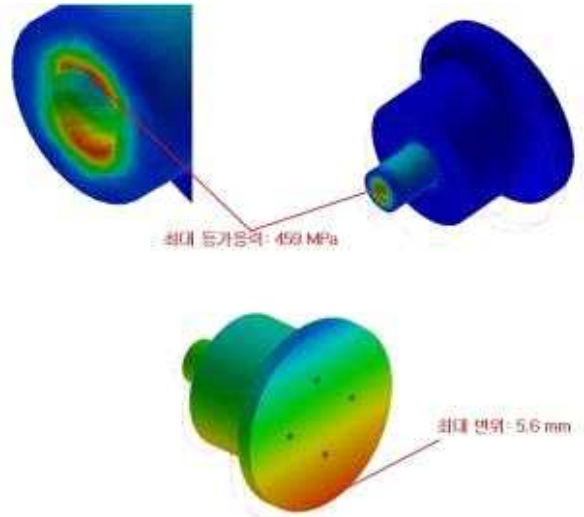


(b) 3차 형상

<그림> 형상 개선 설계안 제시



(a) 2차 형상



(b) 3차 형상

<그림> 형상 개선 설계안

(바) 해석 결과 고찰 및 결론

1) 개선 모델(2차, 3차 형상)의 해석 고찰

- 전체 해석 결과를 비교한 경우 2차 형상보다 3차 형상이 등가응력과 변위 결과를 감소시키는 것을 확인함
- 스프링의 경우 2차 형상보다 3차 형상에서 등가응력과 변위 결과가 감소하였으나 두 형상에서 구조적 문제점을 발견할 수 없었음
- 모터 케이스의 경우 2차 형상보다 3차 형상에서 비틀림이 발생하는 부분의 등가응력이 감소하였고 특히, 측면 방향 변위가 1mm 이하로 감소하여 로봇의 구조적 문제점이 개선되었다고 판단됨

- 구동 바퀴 축의 경우 2차, 3차 형상에서 재료의 항복강도를 초과하는 등가 응력을 확인 할 수 있었으나 실제 사용되는 재료가 아닌 SS400의 재료를 사용하였고, 국소부위에 서 발생하는 응력 집중에 의한 결과로 판단됨. 구동 바퀴 축에서 문제가 발생한다면 치수의 변경으로 개선하는 것이 아닌 재료의 변경으로 개선하는 것이 바람직하다고 판단됨
- 구동 바퀴의 경우 2차, 3차 형상에서 재료의 항복강도를 초과하는 등가 응력을 확인하였으나 모서리에서 발생하는 응력 집중에 의한 결과로 판단되며 실제 형상에서 모따기 및 라운드 처리하기에 구조적 문제가 없을 것이라 판단됨

항목	1차 형상	2차 형상	3차 형상
전체	7755 MPa 141.6 mm	470 MPa 6.5 mm	380 MPa 2.4 mm
압축 스프링	750 MPa 14 mm	29 MPa 0.5 mm	14 MPa 0.14 mm
모터 케이스	2769 MPa, 750 MPa 86.3 mm, 70.8 mm	196 MPa, 80 MPa 3.2 mm, 2.3 mm	198 MPa, 40 MPa 0.8 mm, 0.2 mm
구동 바퀴 축	7755 MPa 70 mm	470 MPa 1.8 mm	380 MPa 1.1 mm
구동 바퀴	7486 MPa 123 mm	459 MPa 5.6 mm	356 MPa 1.9 mm

<표> 해석 결과 정리

2) 해석 결론

- 3차 형상이 등가응력과 변위 결과를 감소시키는 개선안이 되었다고 판단됨
- 3차 형상이 모터 케이스의 비틀림이 발생하는 부위의 등가응력을 감소하였고 특히, 전체 변위와 측면 방향 변위 결과를 감소시킴
- 현가장치의 모터케이스 형상 변경으로 이송로봇의 구조적 문제점을 개선하고 안전성을 향상시킴

다) 구동 플랫폼용 통합 전력 시스템 고도화

(가) 플랫폼 전력사용 조건에 따른 소비전력량 예측

- 1) 전기 기반 구동방식의 시설원예로봇의 배터리 전지 및 충전기 선정에 앞서 용량 계산을 통한 최적 사양을 도출함

- 배터리용량 산정 : $Wh = (W_{Motor} \times Lf) \times H \times Op / Ba \times Sf$

- * W_{Motor} : 모터 정격용량
- * Lf : 모터 부하율
- * H : 가동시간
- * Op : 구동/대기 시간 비율(%)
- * Ba : 배터리 이용율
- * Sf : 안전 계수

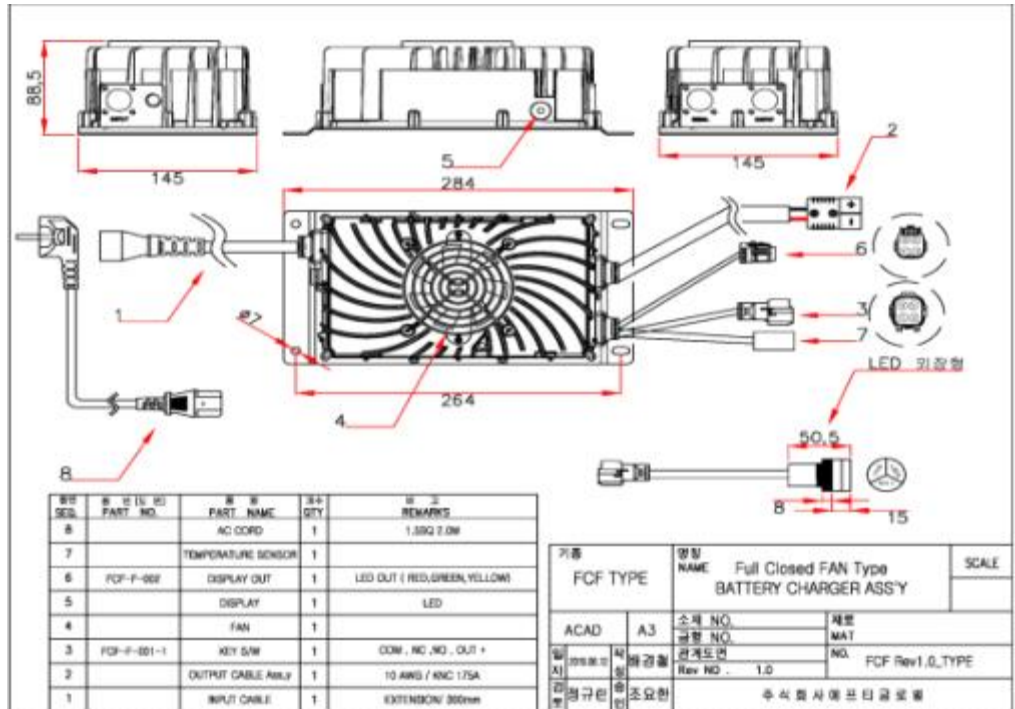
- 2) 가동시간은 1회 충전으로 가동하고자 하는 시간을 hr 단위로 계산하면 되고,

- 구동/대기 시간은 연속 구동시 100%이고 일반적은 60~70%가 적합함
- 3) 배터리 이용률은 배터리관리시스템에 의해 정해지는데 일반적으로 20~80%에서 충/방전을 컷오프하므로 60을 대입하면 됨
- 4) 안전 계수의 경우 일반 안전계수 및 내용 연수에 따른 배터리 충전용량 감쇄를 감안한 값으로 1.2~1.3 정도를 입력하면 됨
- 5) 상기 공식을 활용하여 시설원예로봇 배터리 용량을 계산한 결과, 1회 충전 시 사용시간 8시간 기준 약 9,000Wh(375AH)가 도출되었고 이에 따른 배터리 및 충전기 용량을 선정

(나) 전력시스템 고도화를 위한 배터리 및 충전기 선정

1) 플랫폼 배터리 및 충전기

- 시설원에 이송로봇은 운용 환경 특성상 좁고 높은 형태로 하부에는 주행부 및 배터리가 상부에는 수확물이 위치하여 무게중심이 하부에 위치하도록 하였으며 에너지 밀도가 낮은 납축 배터리로 선정하였고 선정된 납축배터리 (L-8240)에 최적 충전이 가능한 방수형 충전기 제품(FCF15-2425)도 선정함.



<그림> 충전기(FCF15-2425) 도면

* 충전기 용량 25Ah를 45Ah로 변경하여 충전시간 16-->9h로 개선될 수 있도록 개선함.
 추가적으로 가격적인면에서 고가인 단점이 있지만, 활용성 측면에서는 유리한 Li 배터리 적용도 작업자가 선택(옵션기능)할 수 있도록 전원부를 보완코자함.



<그림> (좌) 납축전지(L-8240)배터리,
(우) 납축 배터리 전용 충전기 (FCF15-A-2430)

형명	전압 (V)	용량(AH)			최대 외형치수(mm)					액량 (l)	액무제품 중량(Kg)
		20HR	5HR	75A(min)	길이	넓이	높이	단자	총높이		
Longest 1263 (EB50)	12	63	50	-	260	170	201	A B	225 241	4.4	21.0
Longest 1281 (EB75)	12	81	65	-	304	172	202	A B	227 241	4.5	26.0
Longest 12113 (EB90)	12	113	90	-	358	170	217	A B	241 257	6.0	31.7
Longest 12125 (EB100)	12	125	100	-	409	173	212	A B	244 251	5.7	35.3
Longest 12150 (EB120)	12	150	120	-	504	182	212	A B	256 256	8.1	44.1
Longest 12165	12	165	135	70	331	183	247	C	279	6.8	39.6
Longest 12187 (EB150)	12	187	150	-	508	222	213	A B	257 257	9.6	50.9
Longest 12225 (EB180)	12	225	180	-	523	279	220	A B	243 259	14.0	64.4
Longest 6225	6	225	185	115	261	181	247	A C D	270 279 276	5.7	28.6
Longest 6240	6	240	195	132	261	181	247	A C D	270 279 276	5.4	30.7
Longest 6260	6	260	215	145	261	181	266	A C D	289 298 295	6.3	33.0
Longest 8170	8	170	145	73	264	183	247	A C D	270 279 276	5.8	29.0
Longest 8190	8	190	155	90	264	183	247	A C D	270 279 276	5.2	31.6
Longest 8240	8	240	190	110	264	183	285	A C D	308 317 314	6.2	37.6

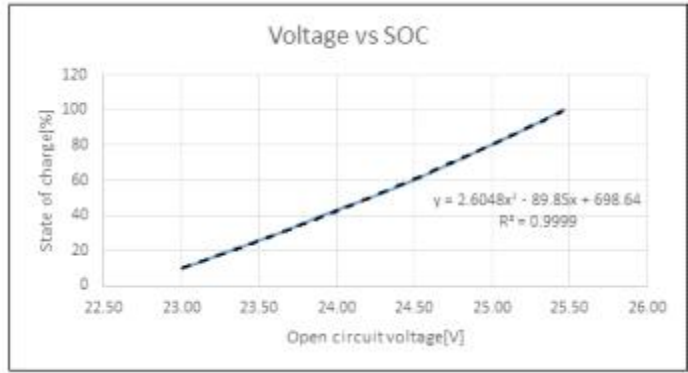
<그림> 세방전지社 Longest 제품 군

(다) 전원 관리 BMS 시스템 개발

1) 플랫폼 BMS 시스템 설계

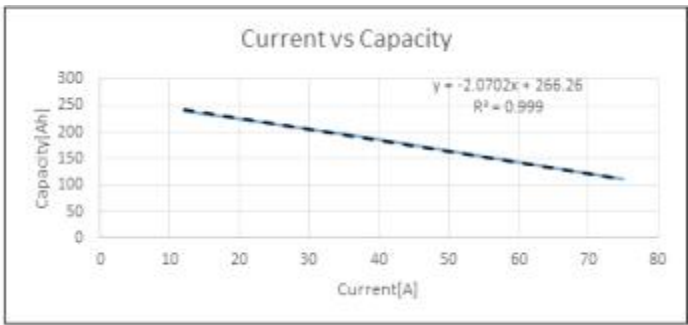
- 일반적으로 납축배터리의 경우 BMS를 사용하지 않고 있으나 이송 로봇의 안정성을 위하여 별도의 BMS를 개발함.
- 배터리 잔존 용량을 계산하기 위해서는 배터리 특성 모델을 확보하고 예측 모델을 개발해야 하지만 납축배터리에 대한 정보가 부족하여 일반적으로 많이 사용하는 배터리 단자 개방전압과 전류적산법을 혼합 사용하여 배터리 잔존용량을 산출함.

State of charge (SOC)	Specific gravity(25°C)	Open Circuit Voltage data (minimum)
100	1.275	19.11
90	1.255	18.93
80	1.235	18.75
70	1.215	18.57
60	1.195	18.36
50	1.175	18.15
40	1.15	17.94
30	1.125	17.73
20	1.1	17.49
10	1.075	17.25

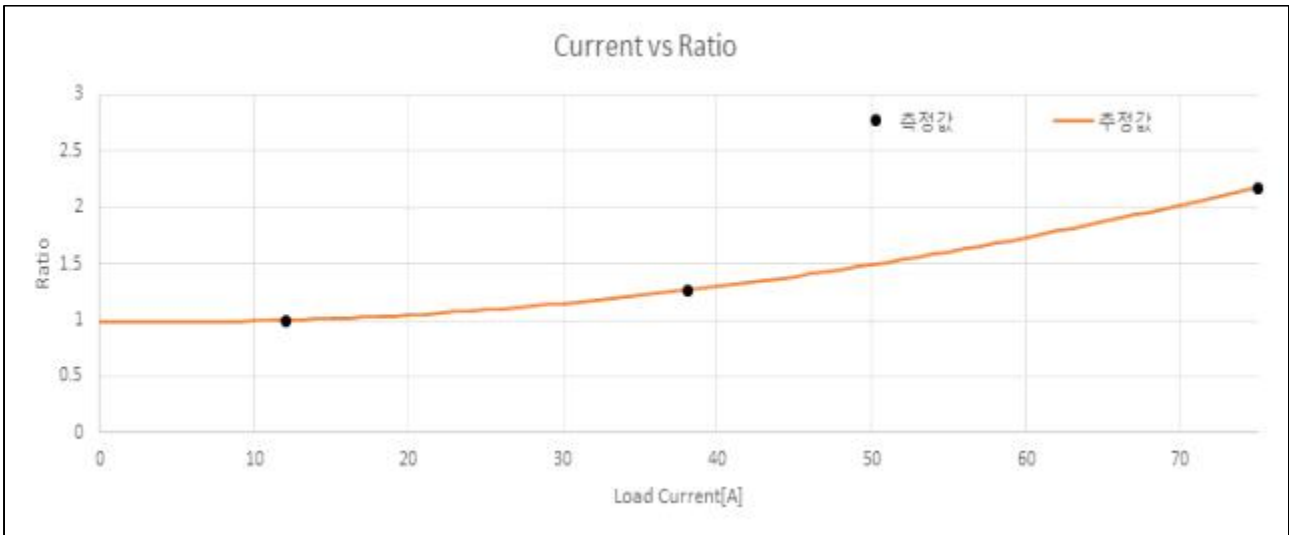


<그림> (좌)L-8240배터리 단자개방전압 특성표 (우) 개방전압별 SOC 특성 그래프

조건	용량[Ah]	소모 전류[A]
20HR	240	12
5HR	190	38
1.46HR(75A(min))	110	75



<그림> (좌)L-8240배터리 방전전류별 용량 (우) 방전전류별 용량 특성 그래프



<그림> 방전전류별 잔존용량 계산비율

- 납축배터리의 경우 다른 2차 전지보다 방전전류량에 따른 배터리 용량의 차이가 큰 편으로 방전 전류가 높을수록 배터리 용량은 낮아지는 특성을 보여 방전전류에 따른 납축 배터리(L-8240)의 잔존 용량 비율을 산출하여 전류적산을 이용한 용량 추정 시 적용함.
 - 이송로봇이 대기상태 또는 정지상태일 경우 단자 개방전압을 기준으로 용량을 추정하고 운용중에는 전류 적산법을 이용하여 용량을 산출함.
- 2) 배터리 및 충전기의 총방전 테스트를 통한 유효성 검증
- BLDC 모터 (400W급) 2pcs를 활용하여 배터리의 안정적인 총방전 여부를 확인하기 위한 테스트를 실시하였음
 - 상기 테스트 환경 기준으로 방전 시간은 약 10.5시간 정도 소요되었으며, 계산값과

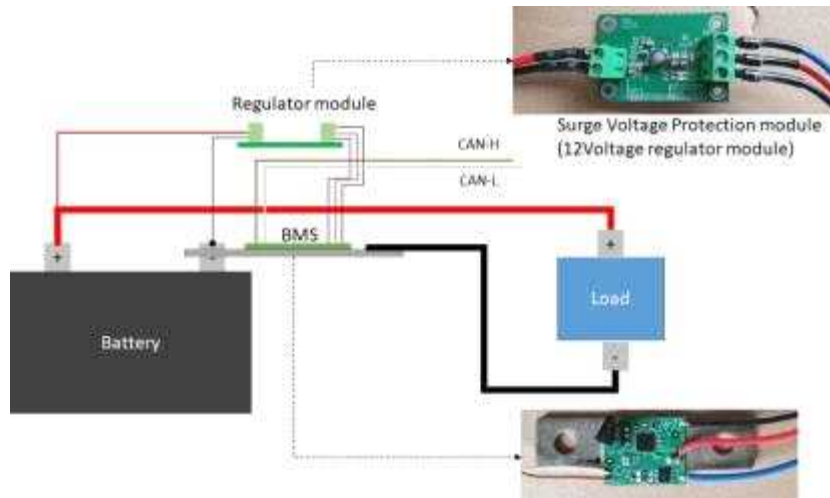
- 차이가 나는 이유는 기타 제어보드의 전력사용 및 누설전류의 영향으로 판단됨
- 충전기 20A 용량으로 충전하였을 때 약 20시간 정도가 소요되었음



<그림> 배터리 충전 및 방전 시험

3) 이송 로봇 플랫폼 전원부

- 상기 선정된 배터리 및 충전기 및 충전방전 조건에 따라 이송 플랫폼에 장착될 배터리 및 BMS를 구성하였음



<그림> 배터리 및 BMS 구성도

- 플랫폼에 구성한 전원부 구성 중 Regulator module은 충전방전 커넥터 접속 시 발생하는 서지 전압 및 노이즈를 보호하기 위해 구성된 모듈로써 충전 시 28V 이상에 대한 서지 전압을 컷 오프 해주는 역할을 함
- Regulator module을 거친 충전 전압은 BMS로 입력되어 28V 이하에서 항상 동작하도록 설계하였음
- BMS는 노이즈에 강하고 안정성이 높은 CAN통신을 이용하여 주제어기로 배터리 상태 정보를 중요도에 따라 10ms, 100ms 주기로 전송함.
- CAN 통신을 통해 BMS에서는 충전방전 전류, 배터리 온도, SOC, 배터리 전압, BMS 온도 정보를 메인 제어기로 전송함
- 상기 정보를 수신한 메인 제어기는 배터리 상태를 상시 모니터링 할 수 있으며, 유사 사항 발생 시 긴급 Shut-down 및 경보 알람 기능을 구현할 수 있음

Items	Description	Sender	Receiver	Size	CAN ID	CAN start bit	CAN signal Length	Offset	UNIT	Resolution (pt)	MIN (pt)	MAX (pt)	CAN Update rate	Comments
BatteryVoltage(Low)	Battery Voltage Value	BMS		8bits	102H	0	8	0	V	0.001	0	65.535	100ms	- data type : unsigned int(16bit)
BatteryVoltage(High)						18	0							
BatteryCurrent(Low-Low)	Battery Current Value	BMS		8bits	102H	18	24	0	A	0.001	-1000	1000	100ms	- data type : signed long(32bit)
BatteryCurrent(Low-High)						24	0							
BatteryCurrent(High-Low)						32	0					- Charge : "+"		
BatteryCurrent(High-High)						40	0					- Discharge : "-"		
BatteryTemperature	Battery Temperature	BMS		8bits	102H	48	8	-40	°C	1	-40	275	100ms	- data type : unsigned short int(16bit)
BMS_mode	BMS status and mode	BMS		8bits	102H	56	8	0	-	1	0	75	100ms	- data type : unsigned short int(16bit)
ChipTemperature	Chip Temperature	BMS		8bits	102H	0	8	-40	°C	1	-40	275.0	100ms	- data type : unsigned short int(16bit)
Battery SOC	Battery State Of Charge	BMS		8bits	104H	8	8	0	%	1	0	100	100ms	- data type : unsigned short int(16bit)
u32CoulombCnt(Low-Low)	u32CoulombCnt	BMS		8bits	104H	16	24	0	A	1	0	4294967295	1000ms	- data type : unsigned long(32bit)
u32CoulombCnt(Low-High)						32	0							
u32CoulombCnt(High-Low)						40	0							
u32CoulombCnt(High-High)						48	0							
LowSocAlarm(Low)	Low Soc Alarm	BMS		8bits	104H	48	8	0	-	1	0	1	100ms	- data type : unsigned int(16bit)
LowSocAlarm(High)						56	0					- normal : 1 - Low SOC(under 30%)		

<그림> BMS CAN통신 정보

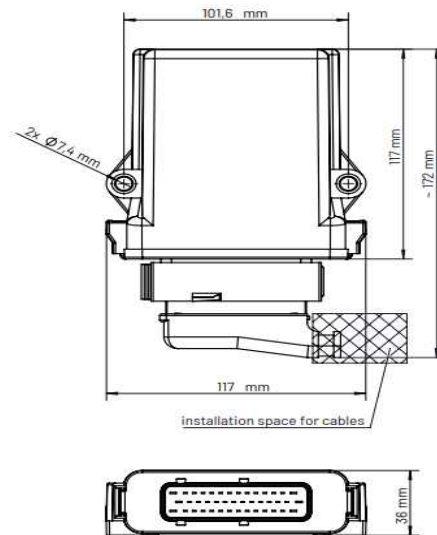
라) 로봇 플랫폼 구동용 하위제어기의 내구성 확보

(가) 제어기 선정 기준

- 방수 및 방진기준인 IP등급 55이상의 하위 제어기 선정
- 악조건외 내환경(온도, 습도)에서도 구동 가능한 제어기 선정
- 고장률 보장을 위한 SIL2 등급 이상의 제어기 선정
- 상위제어기의 고장이나 알 수 없는 오류로 인해 상위제어기와 통신 단절이 발생시 하위제어기의 수동 모드로 로봇 플랫폼의 구동이 가능

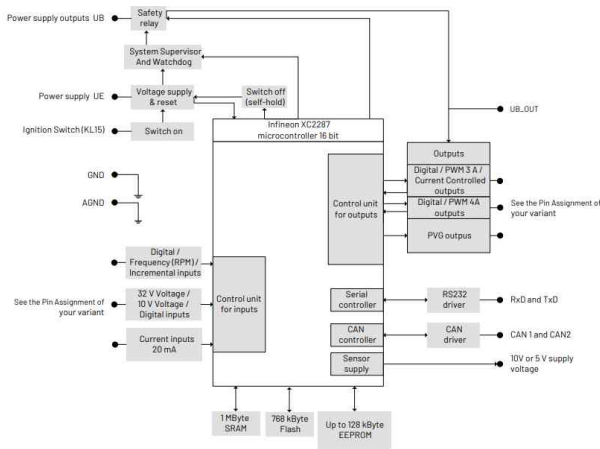


(a) ESX-IOXP 제어기 실물



(b) ESX-IOXP 제어기 도면

<그림> 하위 제어기 선정



System Data		
Type	Property	Values
Supply Voltage	Direct Current (DC)	9...32 V
	Without external load	100 mA
	Standby (ignition off)	1.5 mA
Current Consumption	Maximum load current	11 A
	Chassis Temperature	-40 °C...+85 °C (-40 °F...+185 °F)
Temperature	Automotive Type (Tyco / AMP)	42 Pins
Connector	Plastic case	
Housing		134.5 mm x 117 mm x 36 mm
Dimensions		Ca. 0.4 kg (0.88 lbs)
Weight		
Degree of Protection	IP65 and IP69k	
Certificates and Compliance	Qualified to the applicable standards for automotive, agricultural and construction industries	
	E1 - approval from Kraftfahrtbundesamt	

(a) 하위 제어기 블럭다이어그램

(b) 하위 제어기 기술 사양

<그림> 하위 제어기 사양

(나) 이송 로봇용 제어 및 구동부 사양

- 2륜 구동이 가능한 BLDC 모터 선정 (24V, 500W, 3000RPM)

Model 모델	Rated Power 정격출력	Applied Voltage 인가전압	Rated Speed 정격회전수	Rated Torque 정격토크	Rated Current 정격전류	Insulation Class 절연등급
	W	V	RPM	N-m	A	
TM10-A0523	500	AC220	2,000	2.39	2.0	B
TM10-A0533			3,000	1.59	2.0	
TM10-D0521		DC24	2,000	2.39	25	
TM10-D0531			3,000	1.59	25	
TM10-A0723	750	AC220	2,000	3.58	3.0	
TM10-A0733			3,000	2.39	3.0	
TM10-D0721		DC24	2,000	3.58	37	
TM10-D0731			3,000	2.39	38	
TM10-A1053	1,000	AC220	5,000	1.91	3.9	
TM10-D1051		DC24	5,000	1.91	51	

<그림> 모터 제원

- 모터 드라이버를 구동하는 드라이버 선정 (MD 750T)으로 2개의 BLDC모터를 하나의 모터 드라이버로 동시에 구동이 가능



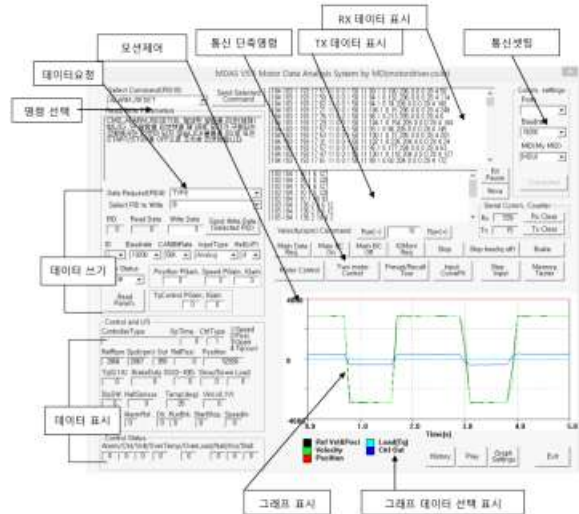
(a) BLDC MD750T 듀얼모터 드라이버.



(b) MD750T 커넥터

	1	5V	Ground
	2	SPEED_IN1	모터 1 의 예상로그 속도입력(0-5V)
	3	RUN/BRK1	모터 1 의 RUN/BRAKE 입력
	4	START/STOP1	모터 1 의 START/STOP 입력
	5	DIR1 (CW/CCW1)	모터 1 의 방향입력
	6	Gnd	Ground
	7	INT_SPEED1	ON 인 경우 LOAD 가변저항으로 모터 1 의 속도입력
	8	RS232_RxD	RS232C 통신의 수신
	9	ALM_OUT1	모터 1 의 알람출력
	10	RC_IN1	모터 1 에 대한 RC 서보입력
	11	PULSE_IN1	모터 1 에 대한 펄스주파수 속도입력 (0-400KHz(0-최대설정속도))
	12	CTR_OUT1	모터 1 의 속도에 비례하는 펄스출력
CTRL	13	Gnd	Ground
DSUB 25PIN	14	SPEED_IN2	모터 2 의 예상로그 속도입력(0-5V)
	15	START/STOP2	모터 2 의 START/STOP 입력
	16	DIR2 (CW/CCW2)	모터 2 의 방향입력
	17	RUN/BRK2	모터 2 의 RUN/BRAKE 입력
	18	ALM_RST	알람 리셋 신호
	19	INT_SPEED2	ON 경우에 LOAD 가변저항으로 모터 2 의 속도입력
	20	RS232_TxD	RS232C 통신의 송신
	21	ALM_OUT2	모터 2 의 알람출력
	22	RC_IN2	모터 2 에 대한 RC 서보입력
	23	PULSE_IN2	모터 2 에 대한 펄스주파수 속도입력 (0-400KHz(0-최대설정속도))
	24	CTR_OUT2	모터 2 의 속도에 비례하는 펄스출력
	25	BUSY	모터 1, 모터 2 가 움직이는 경우 출력 ON(Low level)

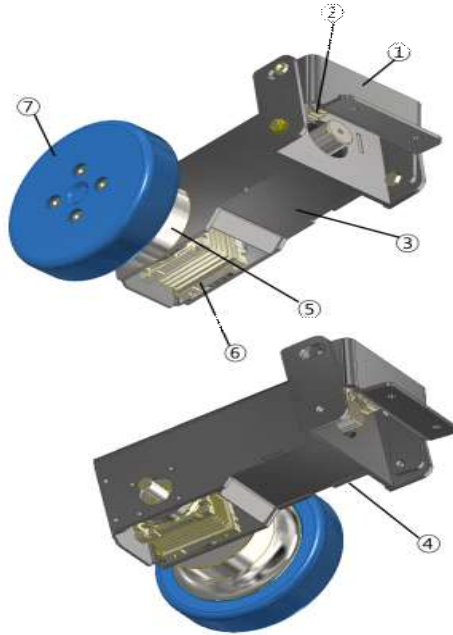
(c) 모터 드라이버 핀사양



(d) 드라이버 테스트 어플

<그림> 모터 드라이버 MD750T 사양

- 구동 모터의 감속기의 기어비는 15:1적용하여 수동 조작으로 운전시 작업자가 손쉽게 조향이 가능한 비율 적용하였음. 20:1이상의 감속기를 적용한 결과 작업자가 수동조작에 의한 조향변경이 원활하지 않는 결과가 발행함.
- 구동바퀴는 기성품이 아닌 MC나일론 계열을 사용
- 보조바퀴는 기성품의 캐스터로 G-DOK GXT-100 4EA를 사용하여 콘크리트 바닥에서 무게 분산의 역할을 함
- 파이프 레일용 바퀴는 레일과 직접적으로 마찰이 발생하는 부분으로 튼튼한 재질의 스틸을 적용



<그림> (좌) 납축전지(L-8240)배터리,
(우) 납축 배터리 전용 충전기
(FCF15-A-2430)

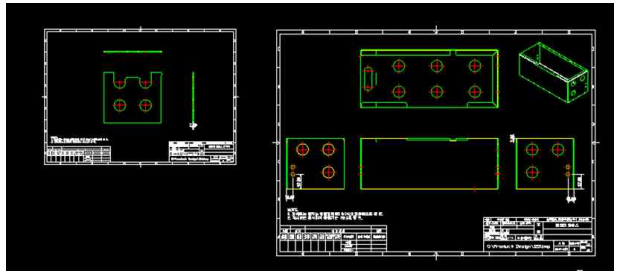
1	하부 프레임 스프링 지지판
2	스프링
3	구동 바디 하부
4	구동 바디 측면부
5	레일용 바퀴부
6	월기어 감속기
7	콘크리트용 바퀴

(다) 통합 제어부 설계

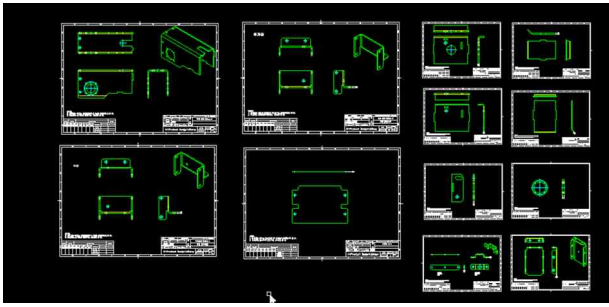
- 메인 전원부 24V
- 통합 하위 제어기 ESX-IOXP 16비트 Controller
- BLDC 모터 및 듀얼 모터드라이버
- 5인치 터치 기능을 가진 모니터
- 파이프레일(온수 파이프)을 감지하는 근접센서를 이송로봇의 각 모서리 부분에 배치
- 장애물 감지 기능을 가진 포토 센서(적외선 센서)를 이송로봇의 전방에 배치, 물리적 충돌발생시는 범퍼센서를 부착하여 안전사고에 대비.
- 이동 거리 계산이 가능한 엔코더 부착
- 콘크리트 바닥에 설치한 마그네틱 라인을 감지하기 위한 마그네틱 센서를 이송로봇의 바닥에 배치
- 작업자 인식용 realsens 카메라를 전방에 배치
- SLAM 기능 구현을 위한 3D Lidar 센서를 전방에



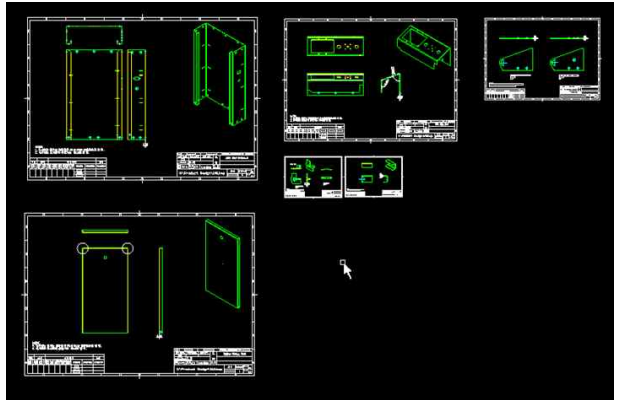
(a) 레이저 가공/절곡도(베이스)



(b) 레이저 가공/절곡도(배터리 케이스)

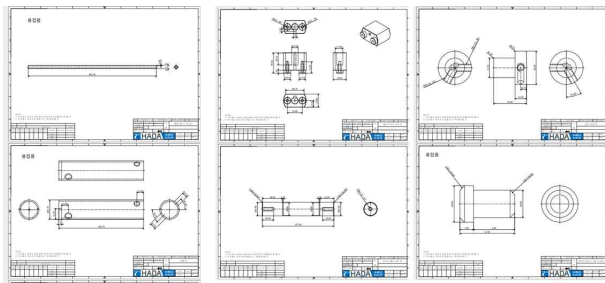


(c) 레이저 가공/절곡도(구동부)

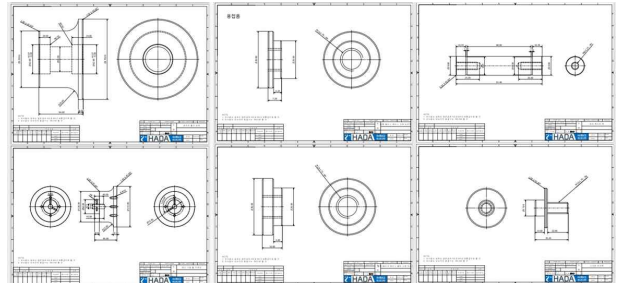


(d) 레이저 가공/절곡도(제어부)

<그림> 로봇 플랫폼 레이저 가공/절곡도 도면



(a) 가공품 도면1



(b) 가공품 도면2

<그림> 로봇 플랫폼 선반 밀링용 가공 도면



(a) 용접 도면1



(b) 용접 도면2

<그림> 로봇 플랫폼 용접용 도면

(라) 로봇 플랫폼 제작

- 레이저 가공 및 절곡 후 입고된 가공품 용접 진행



(a) 하부 메인 프레임 용접



(b) 바퀴 구동부 용접

<그림> 프레임 용접

- 도색 후 조립



(a) 센서부 조립



(b) 바퀴 구동부 조립



(c) 제어 패널부 조립



(d) 사용자 인터페이스

<그림> 로봇 플랫폼 조립

- 로봇 플랫폼 조립 완료 후 무게 측정(플랫폼 무게 562Kg)
- 콘트리트 바닥에서 작업자 추종시 1M의 거리를 유지하면서 추종
- 파이프레일 위에서 작업자를 추종할 때는 작업자가 수확물을 상자에 담기위해 로봇에 접근하는 경우를 고려해 작업자간의 거리 유지 구간 설정을 30Cm로 설정
- 자율주행을 위한 마그네틱 라인 추종 테스트 실시



(a) 조립 완료



(b) 로봇 플랫폼 무게 측정(562Kg)

<그림> 로봇 플랫폼 조립 완료



(a) 마그네틱 라인 추종 자율주행 테스트



(b) 콘트리트 바닥에서 작업자 추종 테스트



(c) 파이프 레일에서 작업자 추종 테스트



(d) 하역 테스트

<그림> 로봇 플랫폼 테스트

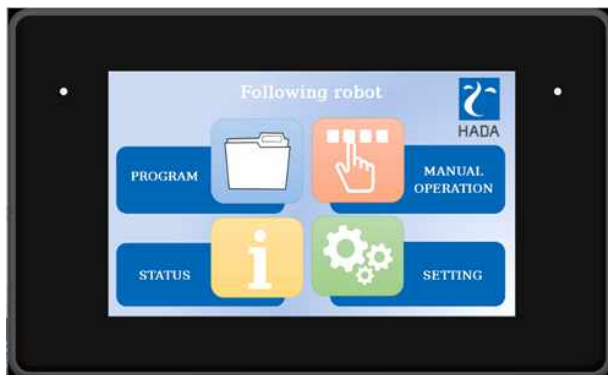
마) 농가에서 조작이 용이한 UI 및 고장진단 기능

(가) 작업자가 HMI를 통해 이송로봇의 환경을 모니터링이 가능

- 작업자가 원하는 구역별 파이프 레일의 길이로 주행 세팅이 가능
- 수동으로 로봇 구동할수 있는 기능 적용
- 로봇의 상태를 육안으로 모니터링할 수 있도록 기능 적용
- 영문 및 국문으로 언어 변환이 가능

(나) 고장 진단 기능

- 로봇의 각종 센서 정보를 실시간으로 HMI에 제공함으로써 센서의 구동 상태를 확인하여 고장 여부 판단이 가능
- 구동 모터에 과부하 발생 시 모터 드라이버에서 자동으로 기능 차단 기능 탑재
- 로봇이 구동 시 전방에 장애물이 감지되면 장애물이 인식범위에서 벗어날 때까지 대기상태로 유지함(1차 포토(적외선 등)센서, 2차 범퍼센서 활용)



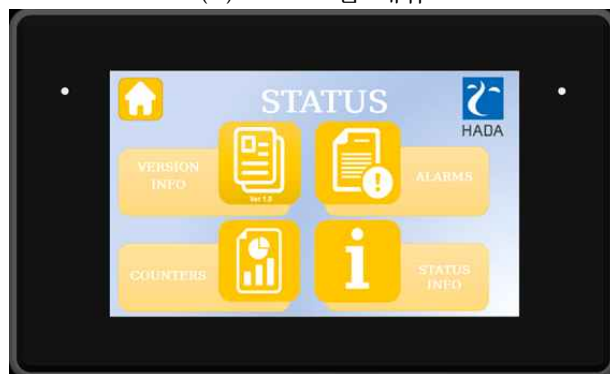
(a) 메인 메뉴



(b) 프로그램 메뉴



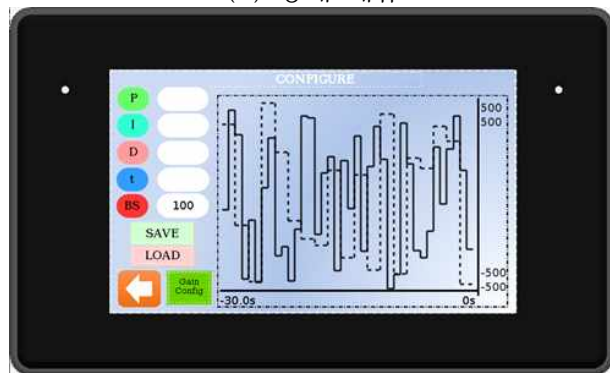
(c) 매뉴얼 구동 메뉴



(d) 상태 메뉴



(e) 센서 정보 고장 진단 메뉴



(f) PID 설정 메뉴

<그림> 로봇 플랫폼 UI

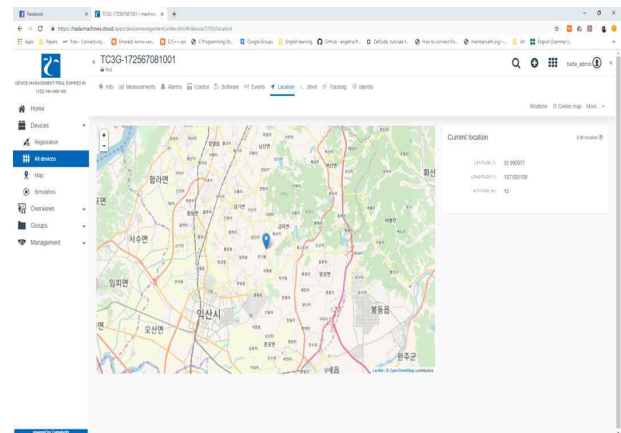
바) 작업 이력에 대한 정보를 관리 및 서비스하는 시스템 구축

(가) 작업이력에 대한 정보를 작업자에게 제공

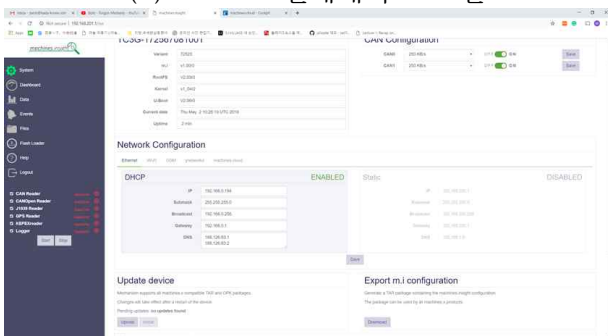
- 로봇 플랫폼이 수행한 작업의 종류나 작업 시간과 같은 작업 이력 정보를 클라우드 서버에 실시간으로 저장
- 사용자는 클라우드 서버에 접속하여 지난 작업에 대한 이력을 스마트 기기를 통해 확인이 가능
- 휴대폰용 심카드 슬롯이 내장된 텔레메틱스 장비로 3G/2G 통신을 통해 클라우드 서버로 데이터를 전송
- 옵션 사양으로 WiFi/WLAN/BLUETOOTH등의 기능을 내장하고 있어 로컬통신으로 로봇간 데이터 통신 기능을 제공
- CAN BUS를 통해 하위제어기와 통신 연결이 되며 제어기에 저장된 데이터를 일정 시간 주기로 텔레메틱스 모듈로 전송



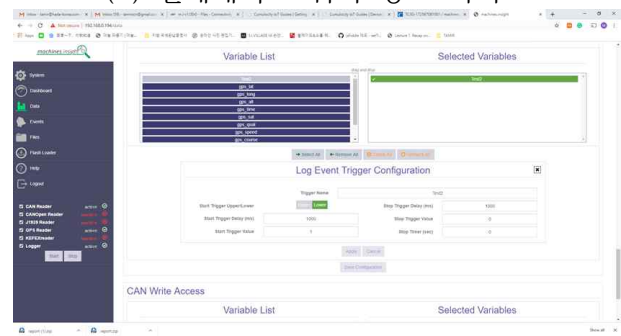
(a) TCG-3 텔레메틱스 모듈



(b) 텔레메틱스 위치 정보 서비스



(c) 클라우드 웹 서비스용 데시보드



(d) 사용자는 웹으로 서비스 접근 가능

<그림> 클라우드 서비스 모듈 및 기능 구축

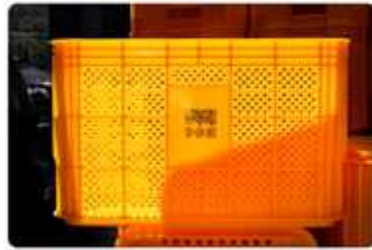
나. 공동연구기관 1 (전북대)

- 시설 작물의 특성을 고려한 적재 트레이 최적화
 - 현재 온실에서 사용하고 있는 적재 트레이 분석
 - : 온실에서 사용하고 있는 적재 트레이 역설계를 통한 트레이 구조 분석
 - 토마토 크기분석

선별기준1		선별기준2			비 고
구 분	1개당 무게	구 분	1개당 무게	1개당 크기(지름)	
특대	320g 이상	특대	320g 이상	85mm 이상	선별기준1 또는 선별기준2 중 하나를 선택하여 표시바랍니다. (단, 무게 오차범위 10%이내)
대	240g 이상	대	240g 이상	80mm ~ 85mm	
		①	200g 이상	75mm ~ 80mm	
중	150g 이상	②	170g 이상	70mm ~ 75mm	
		③	140g 이상	65mm ~ 70mm	
소	70g 이상	④	110g 이상	60mm ~ 65mm	
		⑤	90g 이상	56mm ~ 60mm	
특소	70g 미만	⑥	70g 이상	52mm ~ 56mm	
		⑦	50g 이상	48mm ~ 52mm	
		⑧	50g 미만	48mm 이하	

그림00. 토마토 크기

토마토 트레이 분석



- 용량: 48L
- 원료: HDPE
- 색상: 노란색 / 녹색

제품 규격: (외경) 520mm*360mm*310mm(H)
(내경) 상: 485mm*320mm*310mm(H)
하: 475mm*320mm*310mm(H)

그림00. 과일트레이 크기

토마토가 상자에 담기는 무게는 상자 당 20Kg이 담김
'대'크기 기준 개당 무게는 200g이며 크기는 지름 75~80mm
따라서 상자 당 수확개수는 약 100개

- : 트레이 구조 분석을 통한 시설 작물 적재 위치 및 적재 높이 확인
 - 이송로봇위에 올라가는 상자의 개수는 1단 4열로 높이 310mm, 길이 1440mm, 폭 520mm임

- 시설 작물의 특성을 고려한 적재 트레이 개발
 - : 시설 작물의 형상 및 무게를 고려한 적재 트레이 개발
 - 작물의 형상 및 무게, 트레이의 재질을 선정하기 위한 토마토 경도 측정 수행
 - 경도측정을 위한 속도별 분류 및 경도 측정



그림00. 토마토 숙도별 분류



그림00. 토마토 경도 측정

경도측정은 6mm니들을 사용하여 측정함 경도측정 위치는 토마토의 상, 중, 하 위치에서 각 3번씩 측정함.



경도측정 결과는 아래 표와 같이 나타났음

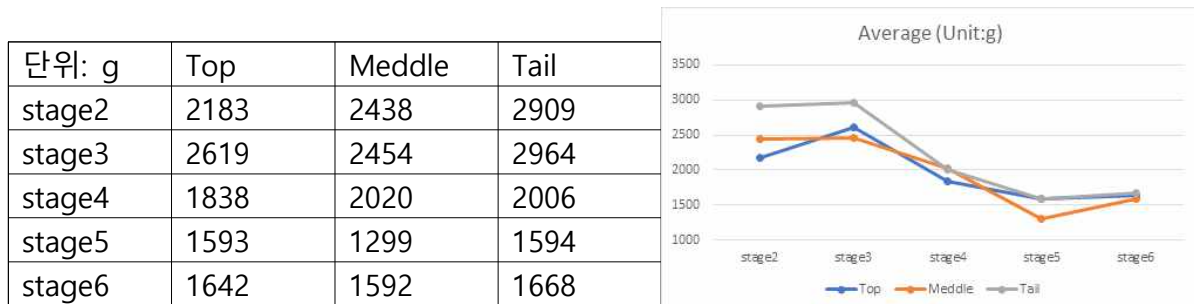


표00. 토마토 경도측정 결과

토마토에 가해진 압력으로 환산함

단위: g/mm ²			
	상	중	하
stage2	77	86	103
stage3	93	87	105
stage4	65	71	71
stage5	56	46	56
stage6	58	56	59

표00. 토마토 압력값

토마토 수확 시 한 상자에 20kg이 담기며 6cm지름을 가지는 토마토가 상자 내부에서 서로 맞닿는 면적을 윗면의 30%로 가정하였을 때 발생하는 압력은 23.6(g/mm²)으로 측정결과의 최소치인 46(g/mm²)아래로 상자 내부의 토마토를 보호하기 위한 별도의 포장재는 불필요함을 확인하였음

- 트레이 고정기구 제작

로봇위에서 트레이가 고정되도록 고정기구를 제작하여 부착함



그림00. 트레이 고정기구

- 하역장 내에서 자동 트레이 교체 시스템 연구

→ 이송로봇이 하역장에 도착하였을 때 로봇의 신호를 받아 자동으로 트레이를 선별대로 이송시킨 후 새 트레이를 이송로봇에 부착할 수 있도록 하는 시스템 개발

자동 상하차 기구 고안

테이블과 기구부를 따로 제작 하여 기구부에서 이송로봇 위의 트레이를 테이블로 밀어주는 형태

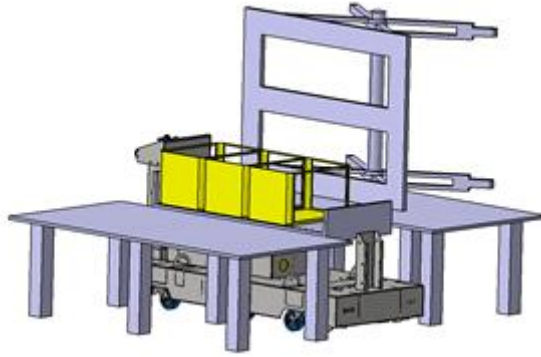


그림00. 트레이 상하차 기구 컨셉

지면으로부터 이송로봇의 높이는 780mm이며 이송로봇위에 올라가는 상자의 개수는 1단 4열로 높이 310mm, 길이 1440mm, 폭 520mm임

따라서 과일 트레이 상하차기구에서 과일상자를 밀어 주는 부분은 지면으로부터 높이 780~1,025mm 사이에 위치되어야 함

트레이 4개를 동시에 밀어주어야 함으로 기구부 길이는 최소 1,440mm 이상이 되어야 함

또 과일이 수확되어진 과일상자의 무게는 각 20kg으로 4개를 한꺼번에 움직여야 함으로 80kg의 하중을 움직일 수 있어야 함.

: 롤러 형식의 이송방식을 통한 트레이 이송 시스템 개발

기본 프레임은 알루미늄프로파일 3030으로 구성, 중간부분을 3060프로파일로 보강하였음

적재함 및 테이블에서 상자를 이송하기 편하게 하기 위한 롤러 컨베이어, 상자를 밀어주기위하여 BLCD모터 2개와 리니어가이드, 리드스크류를 사용하여 제작 함. 이송기구의 움직임을 제어하기 위하여 4개의 근접센서와 3개의 포토센서를 사용하였으며, 전체적인 제어는 PLC를 사용하여 수행하였음.

프레임의 높이는 로봇의 손잡이 부분의 최대 높이인 1,000mm 보다 높도록 1,200mm의 높이로, 폭은 1,600mm로 설계 함.

과일상자를 상, 하차 시키는 부분은 2단으로 구성되어 이송로봇이 하역장에 위치하면 1,2번 모터가 정회전하여 상자를 테이블 안쪽으로 이송시키고 테이블에 새로운 상자 4개가 들어오면 상자를 이송로봇으로 이동 시키도록 알고리즘을 구성하였음.

* 상하차 관련 시스템 최적화 개선을 통해 적재트레이의 상하차 속도를 높이고자 함.

* 더불어 신뢰성(내구성 등)이 확보될 수 있도록 구조적 개선(설계 및 적용 소재 변경 등) 노력을 지속적으로 기울이고자 함.

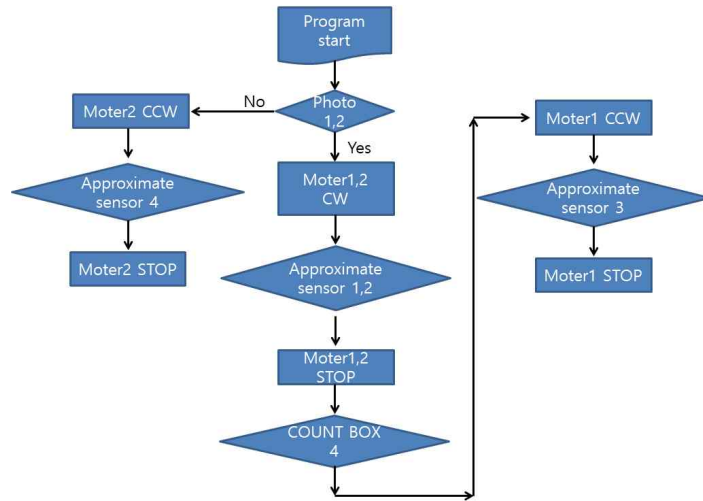


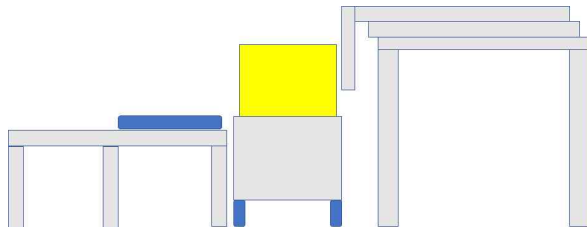
그림00. 트레이 상하차 기구 알고리즘



그림00. 트레이 상하차 기구

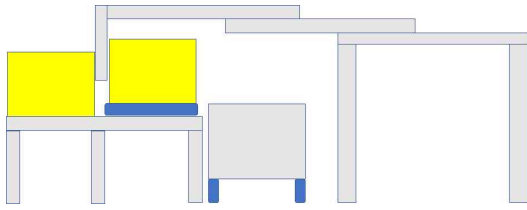
상하차 기구의 동작은 4개의 단계로 이루어짐

첫 번째는 로봇이 상하차기구 사이로 들어옴, 두 번째는 상하차기구가 과일상자를 테이블 가장 안쪽으로 밀어주고 새로운 과일상자가 들어옴, 세 번째는 상하차기구가 새로운 과일상자를 이송로봇위에 올려주고, 로봇이 빠져나가면 다시 대기상태로 돌아옴.

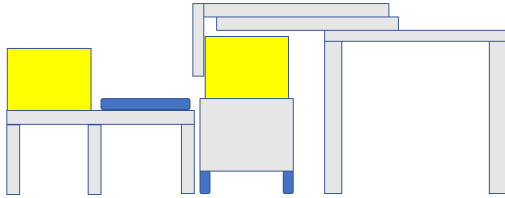


1단계





2단계



3단계



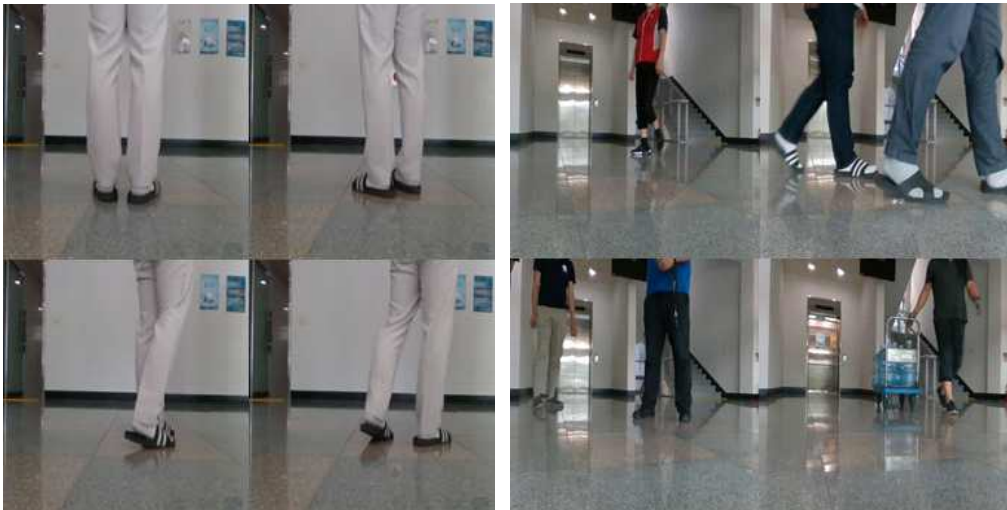
다. 공동연구기관 2 (한국생산기술연구원)

○ 포장지(콘크리트)에서의 작업자 추종 솔루션 고도화

- 이송로봇의 작업자 추종을 위한 작업자 인식 기술 개발

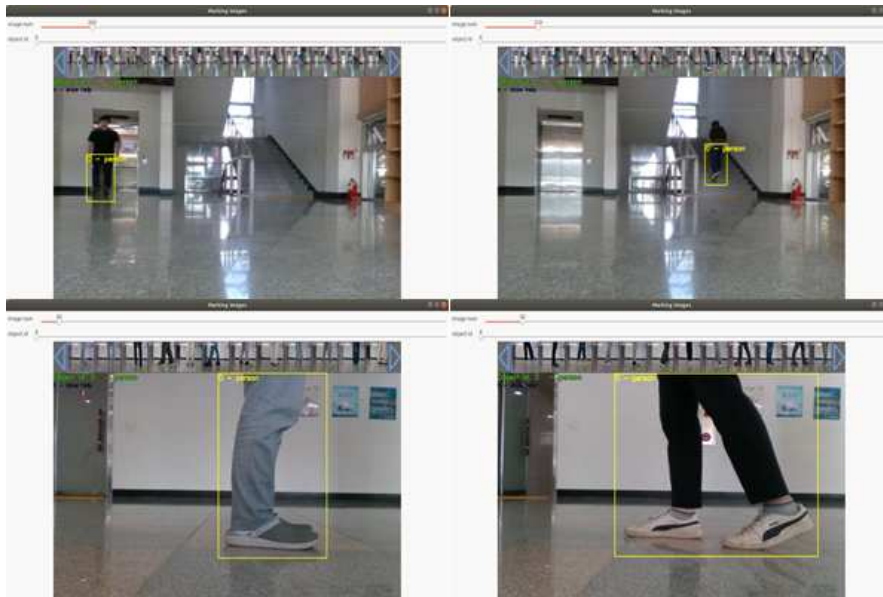
: 지상에서 20cm 높이에 카메라를 설치하여 카메라와 1m 거리에 있는 사람의 여러 자세를 촬영하여 이미지 획득

: 지상에서 20cm 높이에 카메라를 설치하여 일정시간동안 영상데이터를 취득하여 20프레임마다 1장의 이미지 획득



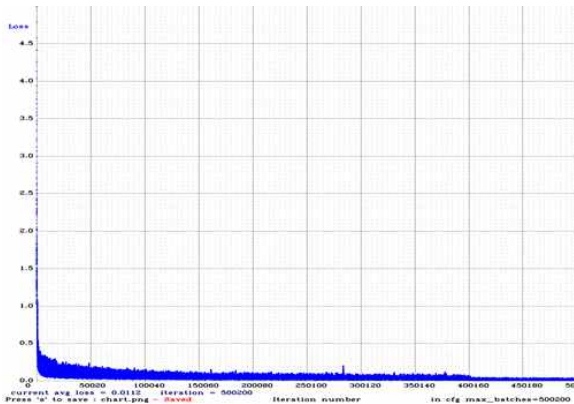
(학습을 위한 이미지데이터)

: 이미지에 있는 사람의 하체를 라벨링하여 딥러닝 학습데이터 셋 제작



(사람의 하체를 라벨링한 학습데이터)

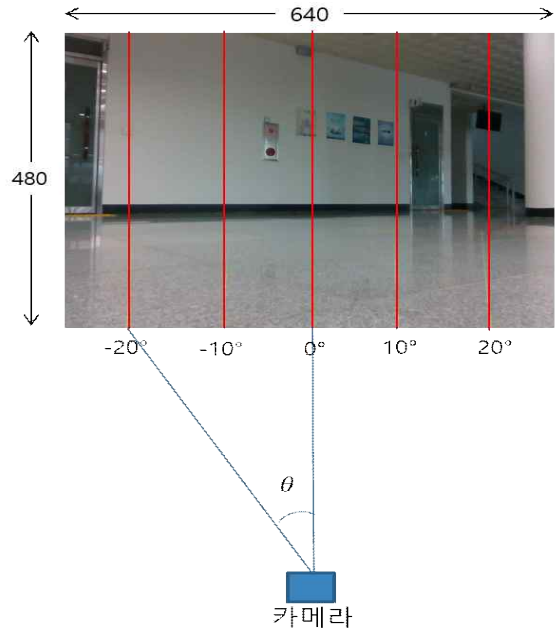
: 딥러닝 신경망 중 물체검출에 용이한 Tiny-YOLOv3를 이용하여 사람의 하체를 학습



(딥러닝 결과 그래프 및 사람 인식 테스트)

- 딥러닝 작업자 인식 결과를 통한 이송로봇의 작업자 추종 알고리즘 개발
 - : 인식된 사람의 중심좌표를 (a, b)라 할 때, $y = b$ 직선 상에 있는 모든 pixel 값의 깊이 영상 데이터 중 최소 값을 로봇과 사람 간의 거리로 계산
 - : 영상에서 중심이 되는 x좌표에서 로봇과 사람이 일직선상에 놓이므로 각도를 0° 가정
 - : 인식된 사람의 y좌표 값을 이용하여 아래 식과 같이 각도 계산; ex) 데스크 카메라의 이미지 좌우 끝의 각도가 28° , 640×480 이미지

$$\theta = \left(\frac{x}{320} \times 28 \right) - 28$$



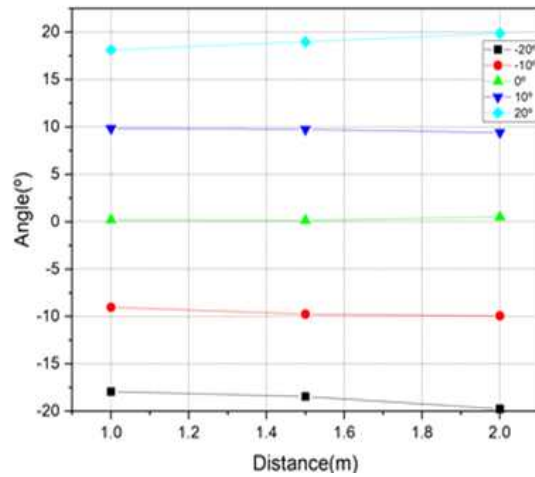
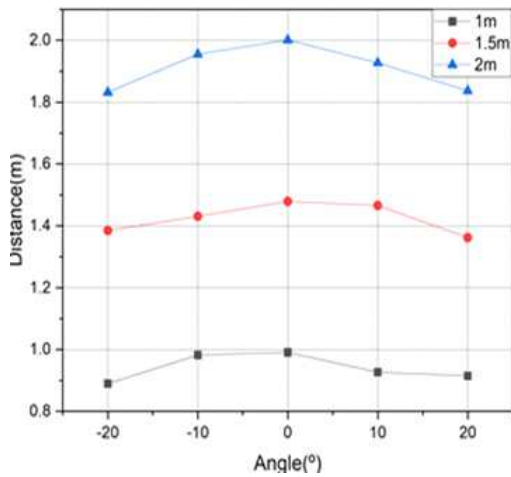
(딤러닝 결과를 통한 거리 및 각도 데이터 계산)

: $-20^\circ \sim 20^\circ$ 에서 10° 씩 다섯 포인트에서 로봇과 거리를 0.5m씩 멀어지면서 각도의 오차를 측정함

: 거리오차의 평균이 0.0769m, 각도오차의 평균이 0.123°

	-20°		-10°		0°		10°		20°	
	측정	오차	측정	오차	측정	오차	측정	오차	측정	오차
1m	0.89	0.11	0.982	0.018	0.991	0.009	0.927	0.073	0.915	0.085
1.5m	1.385	0.115	1.431	0.069	1.479	0.021	1.466	0.034	1.362	0.138
2m	1.832	0.168	1.955	0.045	2.001	-0.001	1.927	0.073	1.803	0.197

(거리와 각도 측정값과 오차)



(거리와 각도 오차그래프)

: 작업자 인식모듈을 통해 얻은 거리, 각도 정보를 하위 제어기인 MCU(Arduino Mega 2560)에 데이터 전송

```

def float_to_bytearray(f_value):
    output = bytearray(struct.pack("f", f_value))
    return output

dist = float_to_bytearray(dist)
ang = float_to_bytearray(ang)
Trans = bytearray([0x44]) + dist + ang + bytearray([0x55])
arduino.wirte(Trans)

```

(상위제어기(Jetson Nano) 통신 코드)

```

void recv_data(){
    if(Serial.available())
    {
        serial_recv_data = Serial.readStringUntil(0x55);
        serial_recv_data.getBytes(serial_buffer, serial_buf_size + 1, 0);
        if((serial_buffer[0] == 'D') && (serial_recv_data.length() == 9))
        {
            u_convert.bytes[0] = serial_buffer[1];
            u_convert.bytes[1] = serial_buffer[2];
            u_convert.bytes[2] = serial_buffer[3];
            u_convert.bytes[3] = serial_buffer[4];
            recv_dist = u_convert.data_float;

            u_convert.bytes[0] = serial_buffer[5];
            u_convert.bytes[1] = serial_buffer[6];
            u_convert.bytes[2] = serial_buffer[7];
            u_convert.bytes[3] = serial_buffer[8];
            recv_theta = u_convert.data_float;
        }
    }
}

```

(하위제어기(Arduino Mega2560) 통신 코드)

: 로봇과 사람의 거리는 1m, 각도는 0°로 설정하여 PID 제어를 통해 모터의 각 속도 목표 값을 설정하여 모바일로봇을 제어

```

void pid_dist() {
    err_d = recv_dist-d_d;
    Pterm_d = Kp_d * err_d;
    Iterm_d += Ki_d * err_d;
    Dterm_d = Kd_d * (err_R - err_d_previous);
    PIDterm_d = Pterm_d + Iterm_d + Dterm_d;
    PIDterm_d = constrain(PIDterm_d, 0, 40);
    err_d_previous = err_d;
}

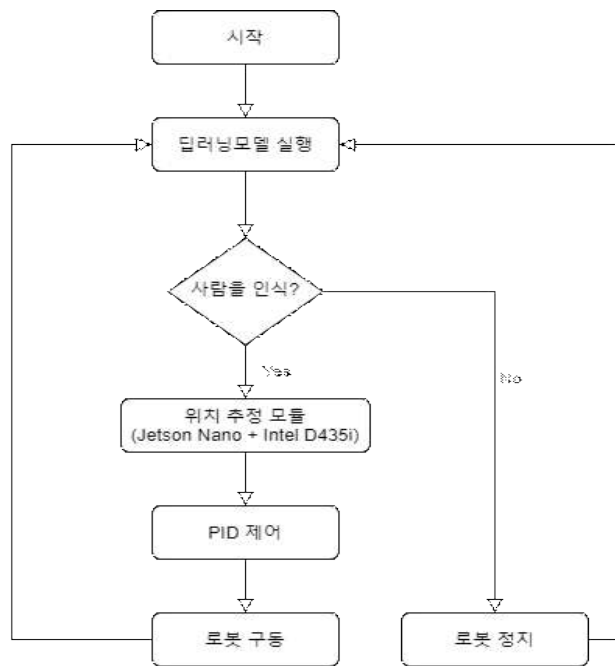
void pid_theta() {
    err_t = abs(recv_theta)-t_d ;
    Pterm_t = Kp_t * err_t;
    Iterm_t += Ki_t * err_t;
    Dterm_t = Kd_t * (err_t - err_t_previous);
    PIDterm_t = Pterm_t + Iterm_t + Dterm_t;
    PIDterm_t = constrain(PIDterm_t, 0, 4);
    err_t_previous = err_t;
}

if(recv_theta>-2 && recv_theta<4){
    if(recv_dist>0.95 && recv_dist<1.15){
        d_R=0;
        d_L=0;
    }
    else{
        if(recv_dist >= 1.3){
            if(recv_theta<=-2){
                d_R=PIDterm_d+PIDterm_t;
                d_L=PIDterm_d;
            }
            if(recv_theta>=4){
                d_L=PIDterm_d+PIDterm_t;
                d_R=PIDterm_d;
            }
        }
    }
}

```

(거리와 각도에 따른 모바일로봇의 속도 목표 값 설정 코드)

: 자체 제작한 모바일로봇에 작업자 인식모듈을 장착하여 추종알고리즘 테스트



(추종알고리즘 플로우차트)



(자체 제작한 모바일로봇 및 테스트)

*추종시스템에 사용중인 비전시스템 외에 초음파 센서, 범퍼센서 등을 활용.

라. 공동연구기관 3 (국립농업과학원)

- 실험적 기법을 활용한 로봇의 현장 적용 능력 향상 연구
 - 개발 대상 로봇에 대한 스마트팜 테스트베드 활용 로봇의 동작성 반복 실험
 - 인식 관련 항목(작업자 인식, 추종 거리, 안전성 확보 등) 평가 실험
 - 주행 관련 항목(자기 유도선 추종, 최고속도, 반복 정밀도 등) 평가 실험



- 시설 온실 이송 로봇의 성능 및 안전성 평가 기준 수립 연구를 통한 현장 요구도 반영 및 관련 기준 수립 연구 (특수목적 성능 기능 및 품질 관련 평가 지표 포함)
 - 요구기능과 목표에 대한 분석을 통한 로봇의 성능규격 관련 기준 설정 (주요 작업인 이송 및 추종 효과와 이를 위한 기능적인 목표 설정)
 - 로봇의 일반적인 기능과 작업을 위한 특수 기능을 구분하여 기준 설정 (로봇의 이동성과 작업시간 그리고 작업 성능 평가를 위한 지표)
 - 로봇 품질을 결정하는 내환경과 내구성 관련 기준 설정 (로봇 운용 환경을 고려한 내환경 지표 및 내구 수명을 고려한 내구성 지표)

주요 작업 요구 기능

시장 요구 사항	기능의 내용	기능의 목표
이송 능력	적재 하중	120kg 이상
작업자 추종 안전성	작업자 인식 정확도	95% 이상
	거리 측정 정밀도	기준 거리 대비 $\pm 50\text{mm}$
	작업자 충돌 안전성	비상 알람 및 정지

성능평가 및 신뢰성(품질) 평가 지표

일반성능 (로봇)	특수성능 (작업)	신뢰성 규격	품질 시험
최고속도	적제 하중	제어기 내환경성 평가	기대 수명 시험 (내구성 평가)
위치정밀도	인식 정확도		
최대작업시간	거리 측정 정밀도	제어기 낙하 충격 평가	
통신 가능거리	충돌 안전성		

- 국내·외 로봇 및 농업기계 관련 표준(ISO, KS) 분석을 통한 기준 수립
 - 로봇 관련 표준(64건) 분석을 통한 농업용 이송 로봇 관계 유사도 분석
 - 유사도 등급 분류를 통한 적용 대상 표준 선정
 - 서비스 로봇 관련 표준에 대한 농업용 로봇 적용 방안 연구

* <추가 농가 실증>

국가 공공시설인 농촌진흥청 소속 국립농업과학원 첨단 디지털 온실외에 실제 농가에서의 실증을 위해 익산시에 있는 월화수목금 토마토농장에서 실증작업을 진행하고 있음. 향후 이를 통해 신뢰성 높은 농작업용 로봇 시스템이 구축될 것으로 보임



- 명 칭 : 월화수목금 토마토 농장
- 주 소 : 전북익산시 황등면 용산리 1285-4번지
- 대상작물 : 방울토마토
- 운영기간 : 연중
- 시설현황 : 1,200평
- 적용내용 : 수확 시 작업자 추종 및 무인 이송을 위한 자율주행
- 자력선 관련 사항 : 제반시설 구축비용은 자력선 200만원/100m기준(설치비 포함), 자력선 훼손 보호방안으로 1차 보호필름을 씌우고, 2차는 교체. (다만, 로봇 활용 시설에서 자력선 손실로 인한 교체는 설치 2년후 인 현재까지 없었음).
- 로봇 최적조건 : 레일CTC 길이 550mm, 파이프 외경 51∅, 로봇 진입 및 turn 최소공간 3m 등(로봇길이 2m).

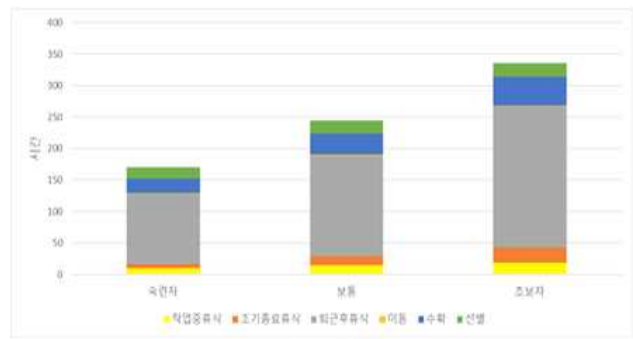
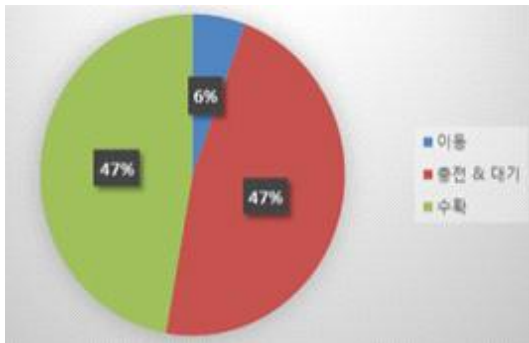
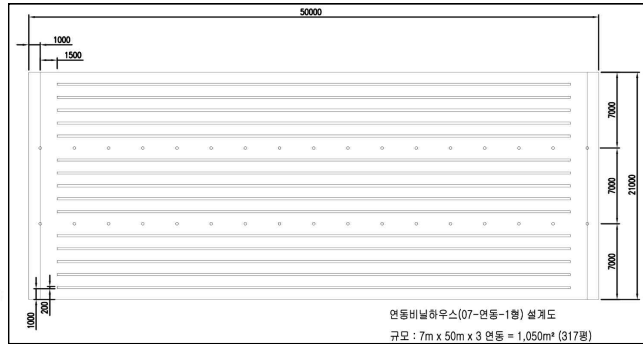
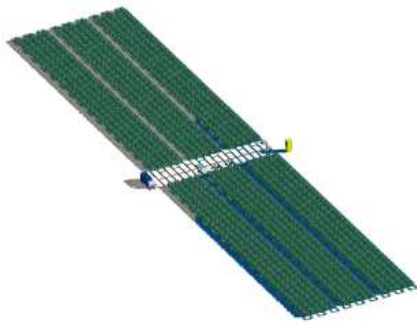
N	KS 번호	년도	표준명	구분
1	KS B 0068	2016	산업용 로봇 기초	산업용 로봇
2	KS B 4002	2003	수치제어 파트 프로그램용 언어	공작기계 프로그램
3	KS B 4206	2004	수치 제어 공작 기계의 준비 기능 (G기능) 및 보조기능(M기능)의 부호	공작기계 프로그램
4	KS B 4222	2016	수치제어 프로세서의 출력 - CLDATA	공작기계 프로그램
5	KS B 4227	2018	모듈러 지그 및 고정구 성능 평가 방법	자동화 공정 Jig Plate
6	KS B 6935	2015	서비스 로봇의 안전 통칙	서비스 로봇
7	KS B 6936	2015	서비스 로봇의 안전 지침	서비스 로봇
8	KS B 6937	2014	서비스 로봇 - 용어 - 제1부 : 분류 및 일반용어	서비스 로봇
9	KS B 6938	2014	서비스 로봇 - 용어 - 제2부 : 이동 및 지능	서비스 로봇
10	KS B 6939	2016	서비스 로봇의 이동 기능 특성 측정 방법 - 제1부 : 기본 사양 결정	서비스 로봇
11	KS B 6940	2016	서비스 로봇의 이동 기능 특성 측정 방법 - 제2부 : 안전성 결정	서비스 로봇
12	KS B 6960	2016	서비스 로봇의 전기적 안전성 요구사항	서비스 로봇
13	KS B 6961	2106	서비스 로봇의 기계적 강도 시험방법 - 제1부 : 하중 시험	서비스 로봇
14	KS B 6962	2016	서비스 로봇의 기계적 강도 시험방법 - 제2부 : 낙하 및 비틀림 시험	서비스 로봇
15	KS B 6963	2016	서비스 로봇의 자동충전 성능 시험방법	서비스 로봇
16	KS B 6964	2016	서비스 로봇의 감성 표현 방법 - 제1부 : 표현 언어	서비스 로봇
17	KS B 6966	2008	서비스 로봇의 형상안전 요구사항	서비스 로봇
18	KS B 6969	2009	서비스로봇의 이동기능 특성 측정방법 - 제3부 : 위치 정밀도	서비스 로봇
19	KS B 6970	2015	실내 서비스 로봇을 위한 음성인식 성능 평가방법	서비스 로봇
20	KS B 7084	2011	산업용 로봇 - 조작 장치 등에 관한 기능 식별 기호 및 식별색	산업용 로봇
21	KS B 7086	2016	산업용 로봇 - 모듈화 설계 통칙	산업용 로봇
22	KS B 7096	2016	산업용 로봇 - 전기 장치	산업용 로봇
23	KS B 7097	2016	산업용 로봇 - 프로그램 언어 SLIM	산업용 로봇 프로그램
24	KS B 7300	2016	로봇용 고정밀 감속기 성능 시험방법	로봇 공통
25	KS B 7301	2016	서비스로봇의 자율성 지수	서비스 로봇
26	KS B 7302	2017	교육용 로봇	교육 로봇
27	KS B 7303	2014	건설 가정용 청소로봇	청소 로봇
28	KS B 7304	2017	교육 보조 로봇	교육 로봇
29	KS B 7305-1	2014	개발형 로봇 소프트웨어 플랫폼 - 제1부 : 일반사항	로봇 프로그램
30	KS B 7305-2	2014	개발형 로봇 소프트웨어 플랫폼 - 제2부 : 컴포넌트	로봇 프로그램
31	KS B 7306	2016	서비스 로봇을 위한 시스템 레벨에서의 접근인식 성능평가방법	서비스 로봇
32	KS B 7307	2017	로봇 및 로봇 장치 - 이동 로봇 - 용어	로봇 공통
32	KS B 7308	2018	실내 이동 로봇의 통신 성능 평가 방법 - 제1부 : 무선랜 통신 환경	서비스 로봇
33	KS B 7309	2018	실내 이동 로봇의 통신 성능 평가 방법 - 제2부 : 다중모드 통신 환경	서비스 로봇
34	KS B 7310	2018	실내 서비스 로봇의 조작 성능 시험방법	서비스 로봇
35	KS B 7311	2018	바퀴형 이동 로봇	로봇 공통
36	KS B 7312	2018	실내 이동 로봇의 장애물 회피 시험 방법	서비스 로봇
37	KS B 7313	2018	산업용 협동 로봇	산업용 로봇
38	KS B 7314	2019	실내 서비스로봇의 주행 성능평가방법 - 교육보조로봇	교육 로봇
39	KS B 7315	2019	데이터베이스 기반 후면 행동 및 제스처 인식 성능평가	로봇 DB 관련
40	KS B IEC 62849	2016	가정용 이동로봇의 성능평가방법	서비스 로봇
41	KS B IEC 62929	2014	가정용 청소로봇 - 건설 - 성능 측정방법	서비스 로봇
42	KS B ISO 841	2001	산업자동화 시스템 및 통합 - 기계의 수치제어 - 좌표계와 운동 명칭	산업용 로봇
43	KS B ISO 3592	2000	산업 자동화 시스템 - 수치제어 기계 - NC 프로세서 출력 - 파일 구조 및 언어 포맷	산업용 로봇
44	KS B ISO 6983-1	2006	자동화 시스템 및 통합 - 기계의 수치제어 - 프로그램 포맷 및 어드레스 워드의 정의 - 제1부 : 위치 결정, 직선운동 및 윤곽제어 시스템용 데이터 포맷	산업용 로봇
45	KS B ISO 8373	2012	로봇 및 로봇장치 - 용어	로봇 공통
46	KS B ISO 9283	1998	산업용 미니플레이팅 로봇 - 성능 항목 및 시험방법	산업용 로봇
47	KS B ISO 9409-1	2004	산업용 미니플레이팅 로봇 - 매커니컬 인터페이스 - 제1부 : 원형 플랜지형	산업용 로봇
48	KS B ISO 9409-2	2002	산업용 미니플레이팅 로봇 - 매커니컬 인터페이스 - 제2부 : 샤프트	산업용 로봇
49	KS B ISO 9787	2014	로봇 및 로봇 장치 -좌표계 및 운동기호	로봇 공통
50	KS B ISO 9946	1999	산업용 미니플레이팅 로봇 - 특성 표시방법	산업용 로봇
51	KS B ISO 10218-1	2011	로봇 및 로봇장치 - 산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항 - 제1부 : 로봇	산업용 로봇
52	KS B ISO 10218-2	2011	로봇 및 로봇장치 - 산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항 - 제2부 : 로봇 시스템 및 통합	산업용 로봇
53	KS B SIO 11593	1996	산업용 미니플레이팅 로봇 - 엔드 이펙터 자동 교환 장치 - 용어 및 특성의 표시 방법	산업용 로봇
54	KS B ISO 13482	2014	로봇 및 로봇 장치 - 개인 지원 로봇 안전 요구사항	서비스 로봇
55	KS B ISO 14539	2000	산업용 미니플레이팅 로봇 - 점형 그리퍼 - 용어 및 특성 표시	산업용 로봇
56	KS B ISO 14649-1	2003	산업 자동화 시스템 및 통합 - 물리적 장치 제어 - 수치제어장치 데이터 모델 - 제1부 : 개요 및 기본 원칙 해설	산업용 로봇
57	KS B ISO 14649-10	2004	산업 자동화 시스템 및 통합 - 물리적 장치 제어 - 수치제어장치 데이터 모델 - 제10부 : 일반 공정 데이터	산업용 로봇
58	KS B ISO 14649-11	2004	산업 자동화 시스템 및 통합 - 물리적 장치 제어 - 수치제어장치 데이터 모델 - 제11부 : 밀링 공정 데이터	산업용 로봇
59	KS B ISO 14649-12	2005	산업 자동화 시스템 및 통합 - 물리적 장치 제어 - 수치제어장치 데이터 모델 - 제12부 : 선반 공정 데이터	산업용 로봇
60	KS B ISO 14649-121	2005	산업 자동화 시스템 및 통합 - 물리적 장치 제어 - 수치제어장치 데이터 모델 - 제121부 : 선반 공구 데이터	산업용 로봇
61	KS B ISO 18646-1	2016	로봇 - 서비스 로봇의 성능기준 및 관련 시험방법 - 제1부:바퀴형 로봇의 이동	서비스 로봇
62	KS B ISO 19649	2017	이동 로봇 - 용어	로봇 공통
63	KS B ISO TR 13309	1995	산업용 미니플레이팅 로봇 - KS B ISO 9283에 따른 로봇 성능 평가를 위한 시험 장비 조작 및 측정방법	산업용 로봇
64	KS B ISO TS 15066	2016	로봇 및 로봇 장치 - 협동로봇	협동로봇

- 로봇 적용을 위한 온실의 작업 공정 설계를 통한 로봇 운영 효율화 연구를 통한 레이아웃 연구
 - 로봇 적용 작업시간 선정을 통한 시뮬레이션 수행
 - 작업자 능력(숙련자, 평균, 초보)에 따른 로봇과의 비교 분석
 - 내재해규격 온실에 대한 로봇 적용을 위한 작물 및 로봇 이동 레이아웃 최적화 연구

- 로봇 작업 시간을 고려한 주행 경로 계획 및 작업 예상 계획 수립

시뮬레이션 조건

	인력			로봇
	숙련자	평균	초보	
이송	1m/s±0.1	1m/s±0.1	1m/s±0.1	0.3m/s±0.03
작업시간	32.56 h	48.23 h	64.07 h	158.55h
일별작업시간	4h±1	4h±1	4h±1	24h



- 작물 및 재배 형태 분석을 통한 로봇 적용에 따른 경제성 향상 운용 방안 연구
 - 스마트 온실 로봇 적용을 위한 경제성 분석
 - 시험 조건에 따른 로봇의 감가 대비 인력 절감 편익 관계 분석

실험조건

면적	5,000㎡
작물수	2,480주
1회 수확 예상량	1,984개
운반 가능 무게	300kg
1일 작업 시간	8시간

감가상각비 및 가치

	감가상각비	현재가치
1년차	750,000	15,000,000
2년차	712,500	14,250,000
3년차	676,875	13,537,500
4년차	673,031	12,860,625
5년차	610,879	12,217,594

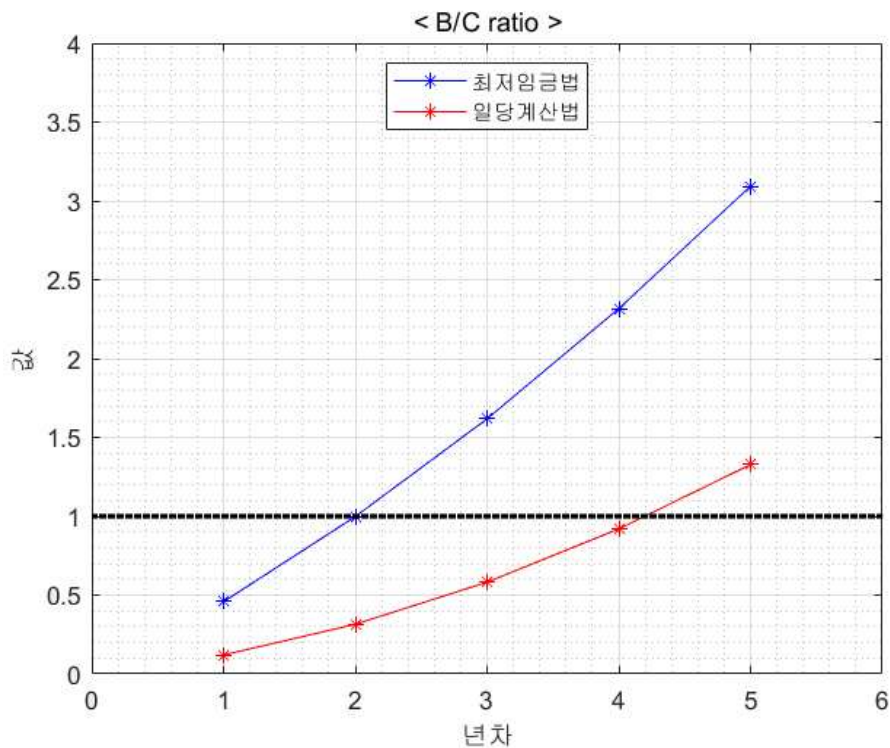
감가상각비 및 가치

	일당계산법	최저임금법
1년차	16,800,000	21,869,760
2년차	17,169,600	22,350,895
3년차	17,547,331	22,842,614
4년차	17,933,372	23,345,152
5년차	18,327,906	23,858,741

감가상각비 및 가치

	일당계산법	최저임금법
1년차	1,800,000	6,869,760
2년차	4,719,600	14,970,655
3년차	8,729,431	24,275,769
4년차	13,802,178	34,760,296
5년차	19,912,490	46,401,447

- 정률법, 내용연수를 적용하여 비교 분석후 B/C 산출
- 최저 임금법은 2년부터, 일당계산법은 4년 이후로 1이상 산출
- 이송로봇 감가상각에 따른 내용연수(5년), 일반적인 로봇 내용연수(8년) 모두 만족



마. 위탁연구기관 1 (전남대학교)

○ 연구개발 목표

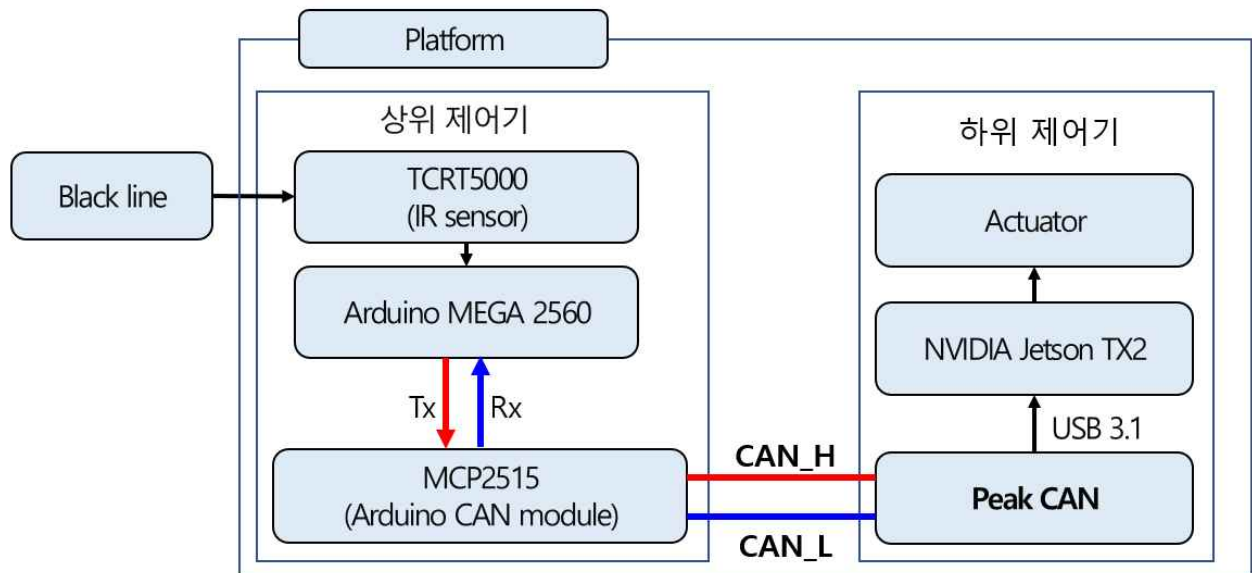
- 자력유도선 추종 기반 자율주행 솔루션 고도화
 - 로봇 제어 시스템 설계 및 개발
 - 로봇 플랫폼의 주행 방향 및 속도를 모터 구동 신호로 변환하는 제어 알고리즘 및

통신 패킷 개발

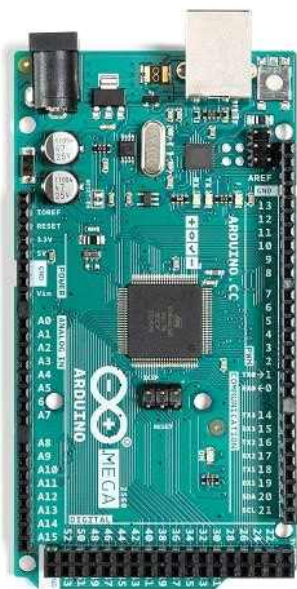
1) 로봇 플랫폼 구성

- 자력 유도선을 대체하여 검은 선 추종
- Arduino용 IR 센서(TCRT5000) 사용
- MCU(Micro Controller Unit)으로 Arduino MEGA 2560사용

- Arduino와 하위 제어기인 NVIDIA Jetson TX2 통신 방법으로 CAN 통신 모듈(MCP2515)과 PCAN-USB 연결
- IR 센서를 통해 받은 데이터로 Actuator 컨트롤

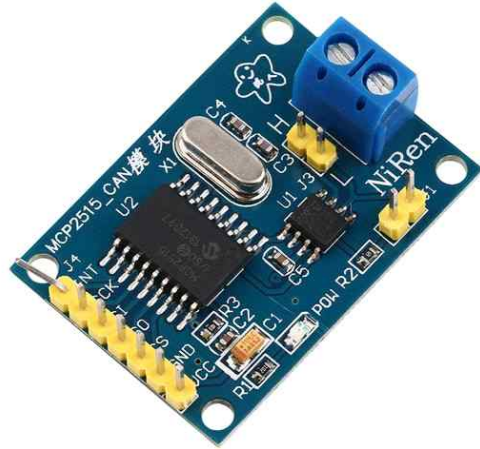


< 하드웨어 구성 >



마이크로컨트롤러(MCU) ATmega2560	
아키텍처	AVR
작동 전압	5v
Flash Memory	256kb
SRAM	8kb
Clock Speed	16 MHz
아날로그 I/O 핀	16
EEPROM	4 KB
I/O핀당 DC 전류	20 mA
3.3v핀당 DC 전류	50 mA
입력 전압	7v ~ 12v (최대 6 ~ 20v)
디지털 I/O핀	54 (15개는 PWM)
PWM 출력	15 (2~13, 44~46)
전력 소비량	19mA
PCB 크기	W:53.4 x L:101.52mm
무게	37g

<Arduino MEGA 2560>



<TCRT5000(IR 센서), MCP2515(CAN 통신 컨트롤러 모듈)>



PCAN-USB	
Adapter	USB connection (Full-Speed mode, compatible with USB 1.1, USB 2.0, and USB 3.0)
Bit rate	5 kbit/s up to 1 Mbit/s
Time stamp resolution approx	42 μ s
Compliant	CAN specifications 2.0A (11-bit ID) and 2.0B (29-bit ID)
CAN bus connection	D-Sub, 9-pin
Clock frequency	16 MHz
supply	5V, USB
operating temperature range	-40 to 85 $^{\circ}$ C (-40 to 185 $^{\circ}$ F)

<PCAN-USB>



Jetson TX2 Developer	
GPU	256코어 NVIDIA Pascal™ GPU
CPU	듀얼 코어 Denver 2 64비트 CPU와 쿼드코어 Arm® Cortex®-A57 MPCore 프로세서
Memory	8GB 128비트 LPDDR 459.7GB/s
Storage	32 GB eMMC 5.1
Connectivity	10/100/1000 BASE-T 이더넷, WLAN
Display	2개의 멀티 모드 DP 1.2/eDP 1.4/HDMI 2.0 2 x4 DSI(1.5Gbps/레안)
외관	87mm x 50mm 400핀 커넥터
소비전력	15W

<Jetson TX2 Development Kit>

2) 로봇 플랫폼의 주행 방향 및 속도를 모터 구동 신호로 변환하는 제어 알고리즘

① Dead reckoning

- 초기 시작 자세 추정치에서 시간에 따른 상대적 위치 변화를 누적하는 과정
- 플랫폼 상태 벡터 :

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{displacement of plat form along } x \text{ axis} \\ \text{displacement of plat form along } y \text{ axis} \\ \text{displacement of plat form along } z \text{ axis} \\ \text{counterclockwise rotation of plat form about the } z \text{ axis} \end{bmatrix}$$

ω 를 IMU 센서에서 측정한 플랫폼의 각속도라고 하고, 플랫폼에 달린 바퀴의 속도를 엔코더를 이용하여 측정

$$\vec{u} = \begin{bmatrix} u \\ \omega \end{bmatrix}, \quad u = \frac{\text{left motor speed} + \text{right motor speed}}{2}$$

프로세스 모델과 현실의 차이를 가우스 노이즈를 추가하여 설명, 플랫폼의 운동식 :

$$\dot{\vec{x}} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u^* \cos(\theta) \\ u^* \sin(\theta) \\ 0 \\ \omega \end{bmatrix} + w(t)$$

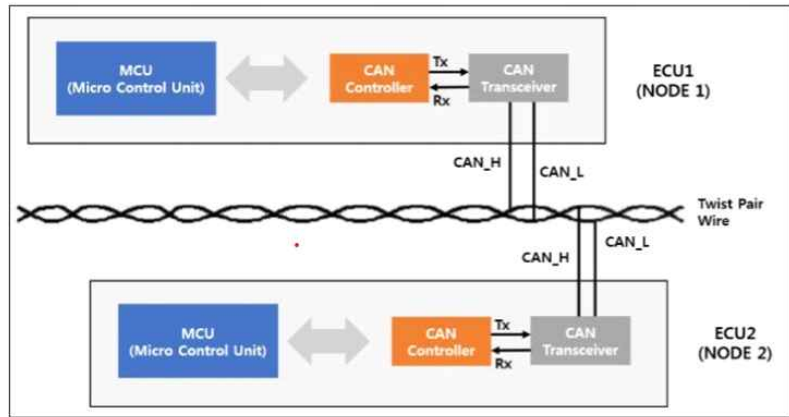
$$\vec{x}_{new} = \vec{x}_{old} + \Delta t * \dot{\vec{x}}$$

$w(t)$ 가 공분산 행렬 G 가 있는 zero-mean Gaussian random vector 가정, 위와 같은 방법으로 IMU 센서 데이터와 모터 속도를 이용하여 현재위치 추정

3) 통신 패킷 개발

① CAN 통신 :

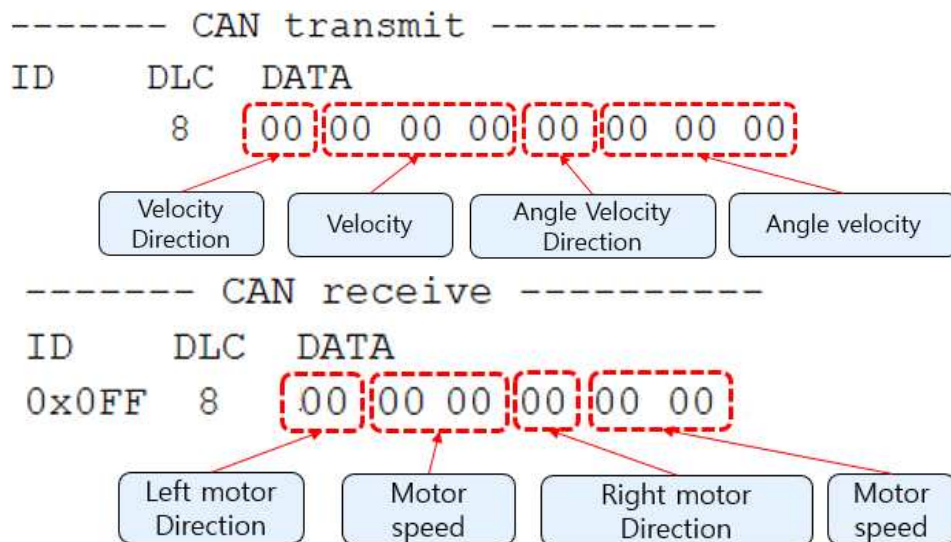
- 플랫폼 내에서 호스트 컴퓨터 없이 마이크로 컨트롤러나 장치들이 서로 통신하기 위해 설계된 표준 통신 규격
- CAN은 다양한 에러 감지 메커니즘이 상호 보완적으로 에러를 감지하여 안정성 높음
- 우선순위가 높은 메시지(더 낮은 ID 번호가 더 높은 우선순위를 가짐)가 먼저 전송
- 꼬인 2선(Twist Pair Wire, *CAN_H, CAN_L)을 이용, 전기적 노이즈에 매우 강함



<CAN 통신 구조>

② CAN 송수신 데이터 구성 :

- 우선순위가 높은 메시지(더 낮은 ID 번호가 더 높은 우선순위를 가짐)가 먼저 전송하여 데이터 송수신
- Arduino에서 하위제어에 필요한 각속도, 진행방향 직선속도를 CAN 통신을 통해 송신
- 방향 데이터를 위한 노드 1개와 각속도, 직선속도 데이터를 CAN 통신 양식으로 변경 후 각각의 데이터를 3개의 노드로 구성, 총 8개의 노드로 CAN 통신 데이터 송신
- 수신데이터는 하위제어기에서 Arduino로 플랫폼에 내장되어 있는 바퀴 엔코더 데이터와 IMU 센서 데이터를 송신하여 Dead reckoning feedback에 사용
- 엔코더 방향, IMU 방향 각각 1노드, 엔코더 속도, IMU 각도 데이터 각각 2개의 노드 총 6개의 노드로 구성



<그림> CAN 통신 송수신 데이터 구성

○ 포장지(콘크리트) 매설 자력유도선 추종 및 자율주행 기술 개발

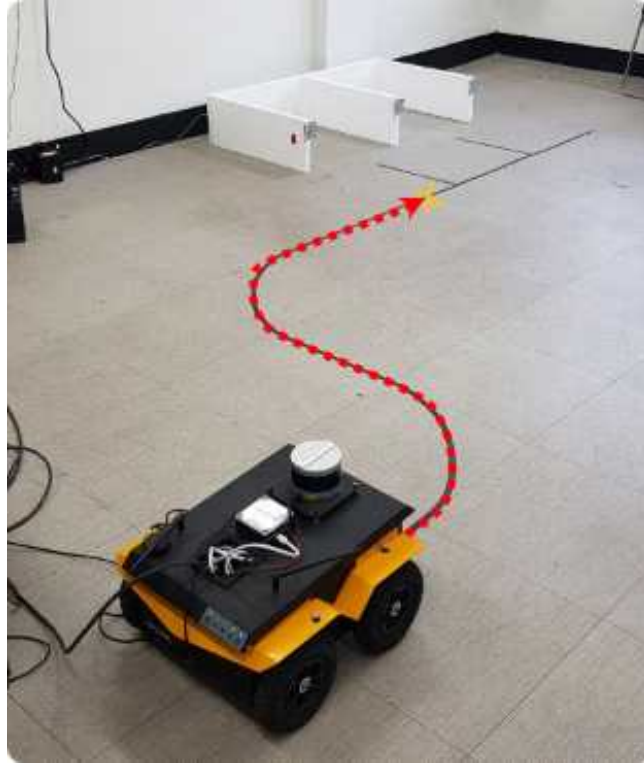
- 로봇이 자력유도선을 추종하며 주행하는 자율주행 기술 개발

1) 자력 유도선 추종과 동일한 검은선 추종 알고리즘 구현

① 작업구간 구현 및 주행

- 시작에서 그림의 포인트까지 검은선 추종 알고리즘으로 주행

- 정확한 검은선 추종을 위한 PID 제어기 사용
- IR 센서로 검은선을 추종하고 출력된 데이터를 피드백 받아 플랫폼의 바퀴를 제어



<작업구간 구현 및 주행>

2) 검은선 추종을 위한 PID 제어

- 측정값은 반사량이 많을수록 작은 값이 출력. 즉, 바닥이 흰색에 가까울수록 측정값은 작아지고 바닥이 까만색에 가까울수록 측정값은 커짐
- 측정값이 제일 커졌을 때를 기준으로 PID 제어 입력
- 비례, 적분, 미분 제어를 적용한 제어 입력 $V(t)$ 를 입력하여 플랫폼이 흔들리지 않고 똑바로 보낼 수 있도록 사용

$$V(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt}$$

- 시행 착오법으로 반복 실험을 통해 PID 제어 게인을 $[K_p, K_i, K_d] = [20, 2, 50]$ 로 설정하여 안정화
- IR 센서와 검은선을 작업부 포장지에 매설된 자력 유도선으로 변경 가능

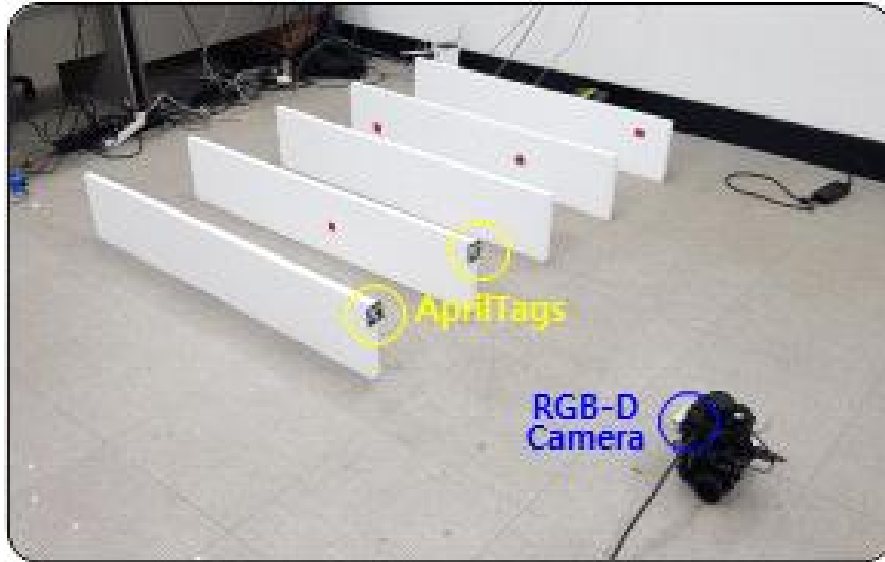
○ 로봇 작업부 진입 자동화 기술 개발

1) 로봇 작업부 진입

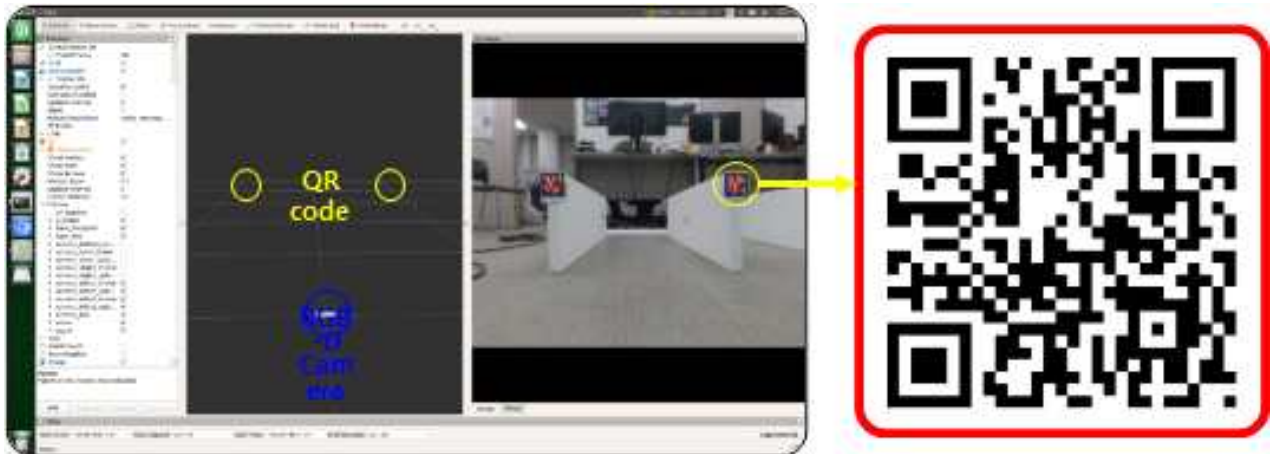
- 비전센서(RGB-D Camera) 기반 마커(QR 코드) 인식을 통해 파이프의 중심 위치를 추정하는 목적지 인식 기술 개발
- QR Code 변경 및 인식 테스트 진행(AprilTagDetector의 낮은 FPS로 인해 QR code 사

용)

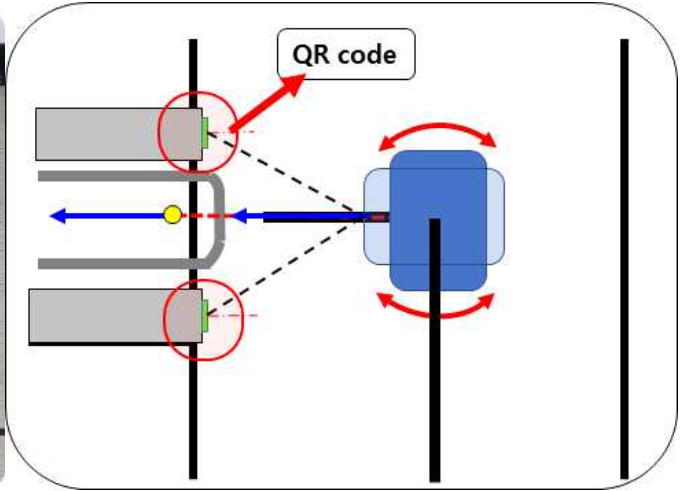
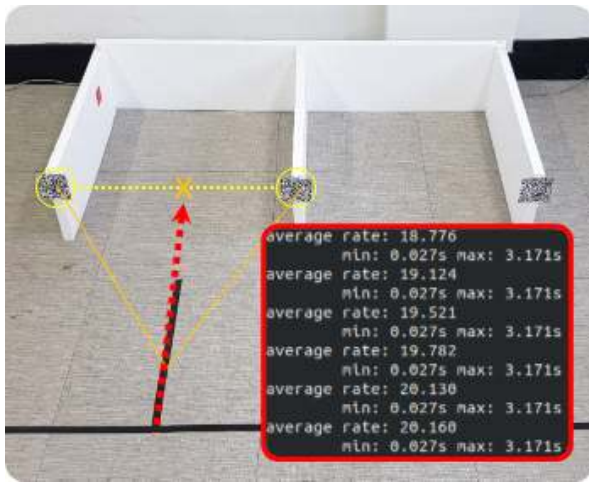
- 인식된 QR code의 두 중점에 중심으로 진입하도록 설계



<테스트베드 구성>



<QR code 인식확인>

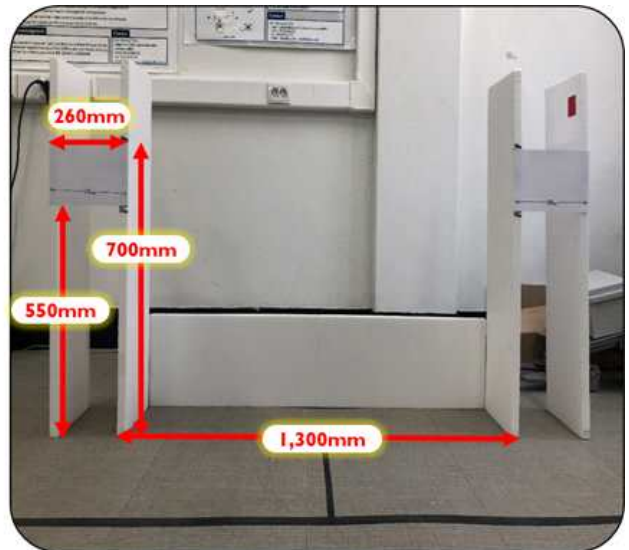
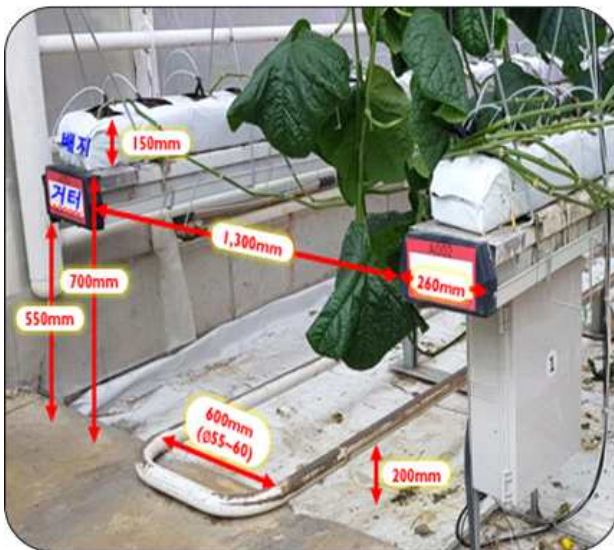


<QR Code 중심점의 Depth 데이터 확인 및 진입 위치 추정>

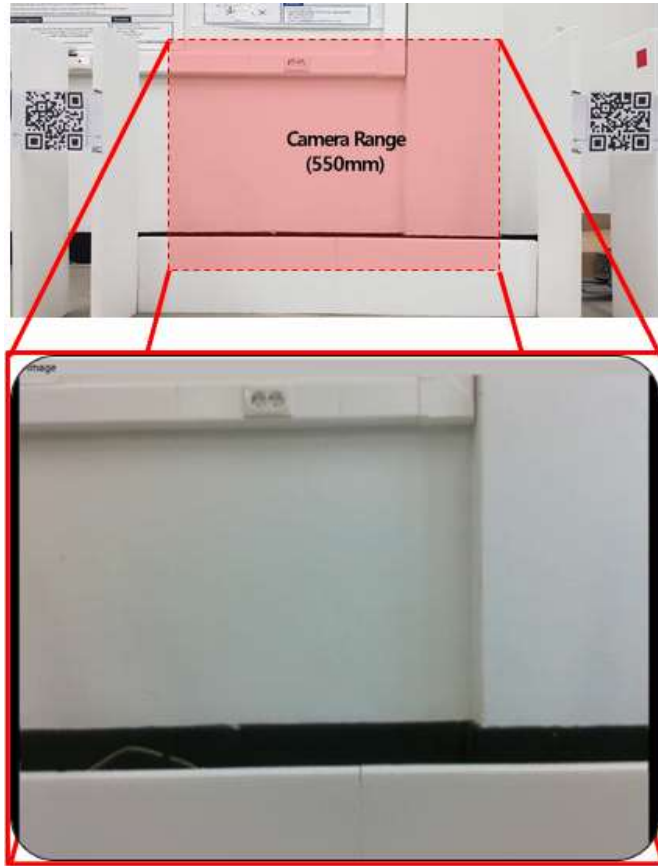
- 플랫폼 기준 두 중심과의 거리가 항상 같아야 중앙으로 진입 가능
- 거리가 항상 같도록 제어하기 위해 PID 제어기 도입
- 두 QR code를 실제 온실 환경의 커터에 설치하여 진입

2) QR code 인식환경 테스트베드 구성

- 비전센서(RGB-D Camera) 기반 마커(QR 코드) 인식을 통해 파이프의 중심 위치를 추정하는 목적지 인식 기술 개발
- 비전센서인 Realsense D435i Camera의 FOV(86°)문제로 QR code 인식불가
- RGB-D 카메라를 측면에 2개 부착하는 경우 FPS 보장 불가
- 넓은 FOV (150°)를 갖는 Web camera로 변경하여 FOV 문제 해결
- 넓은 FOV에서 QR code를 인식하기 위한 카메라 보정 작업



<실제 환경과 흡사한 테스트베드 구성>



<Realsense D435i Camera의 FOV 문제(QR code 인식불가)>

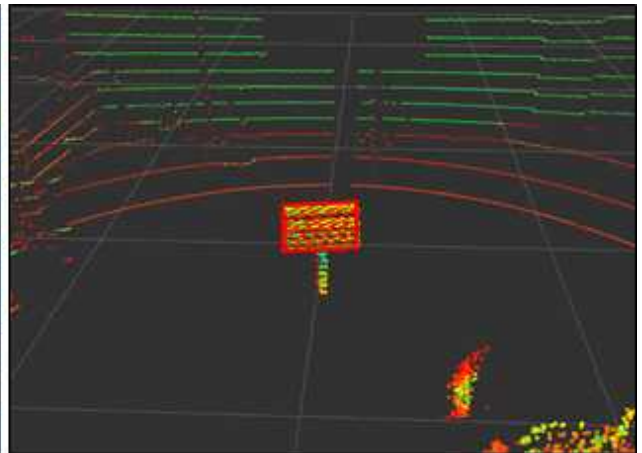
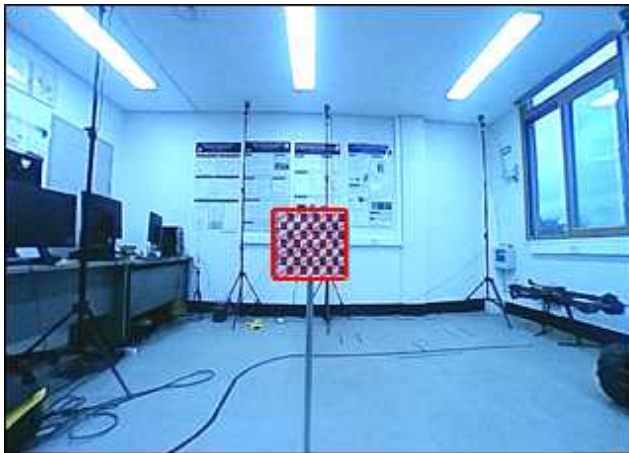


<Web camera 이미지 및 카메라 보정 작업 완료 이미지>



Velodyne Lidar - VLP 16 (Puck)	
채널	16채널
측정범위	100m
정확도	최대 ±3cm(일반)
시야(수직)	+15.0° ~ -15.0°(30°)
시야(수평)	360°
각도 분해능(Vertical)	2.0°
각도 분해능(Horizontal)	0.1° - 0.4°
회전속도	5Hz - 20Hz
소비전력	8W
작동전압	9V - 18V
외관	103.3 mm (Ø4.07 in) / 높이: 71.7 mm (2.82 in)

<실험에 사용된 LiDAR>



<Checkerboard 코너 검출 및 extrinsic parameters 추출>

- 2D Web camera로는 Depth 데이터 확인 불가
- LiDAR와 2D Web camera를 센서 융합하여 Depth 데이터 확인
- QR code의 Depth 데이터 추출

- 온보드 센서 기반 자율주행 시스템 개발

- 온실형 스마트팜의 추종형 이송 로봇을 위한 자율주행 시스템 개발

- 농촌 환경은 규모가 커지고 제도화되고 있음
 - 농업환경은 가이드 라인과 추종 라인의 설치를 하기 어려운 환경
 - 오차를 줄이기 위해 랜드마크를 이용한 SLAM 기반 자율주행 알고리즘 개발
 - 현장 테스트를 통한 SLAM 기반 자율주행 알고리즘 평가

- 1) 스마트팜을 위한 SLAM 기반 자율주행 알고리즘 전체 시스템

- ① SLAM(Simultaneous localization and mapping)

- Mapping method: 3D Cartographer algorithm 사용

- Obstacle detection :

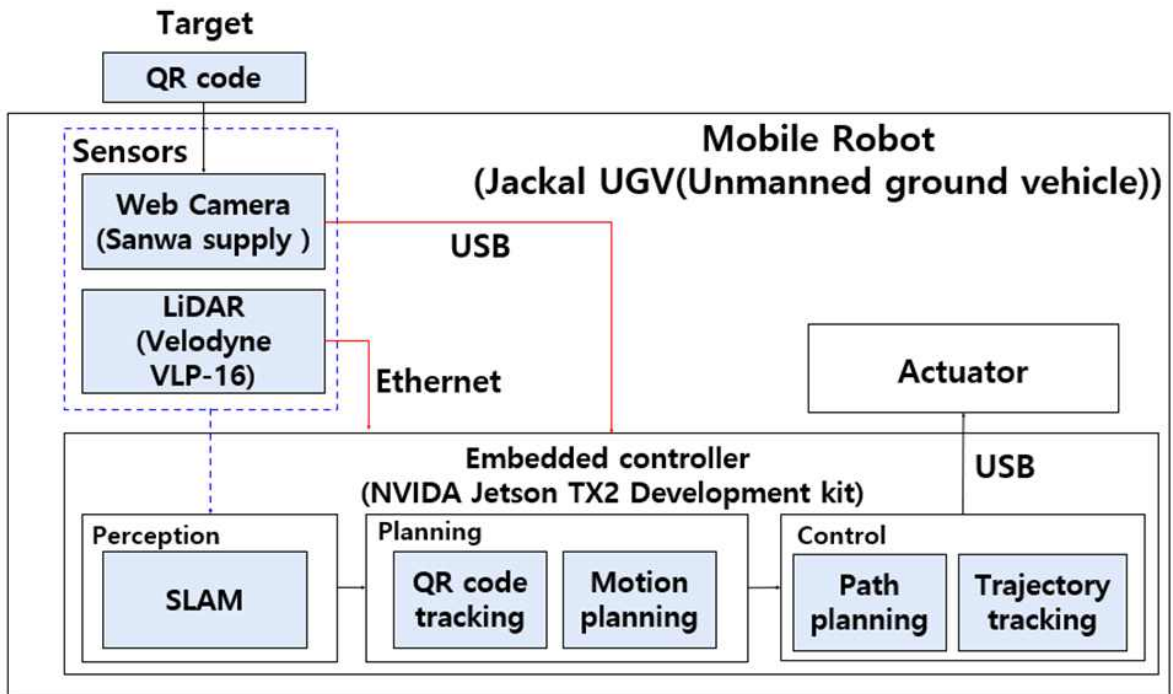
- 스마트팜의 유리온실은 2D LiDAR를 사용시, 빛을 투과하므로, 3D LiDAR(Velodyne VLP-16)를 사용하여 3D Cartographer로 mapping 진행

- Pose estimate :

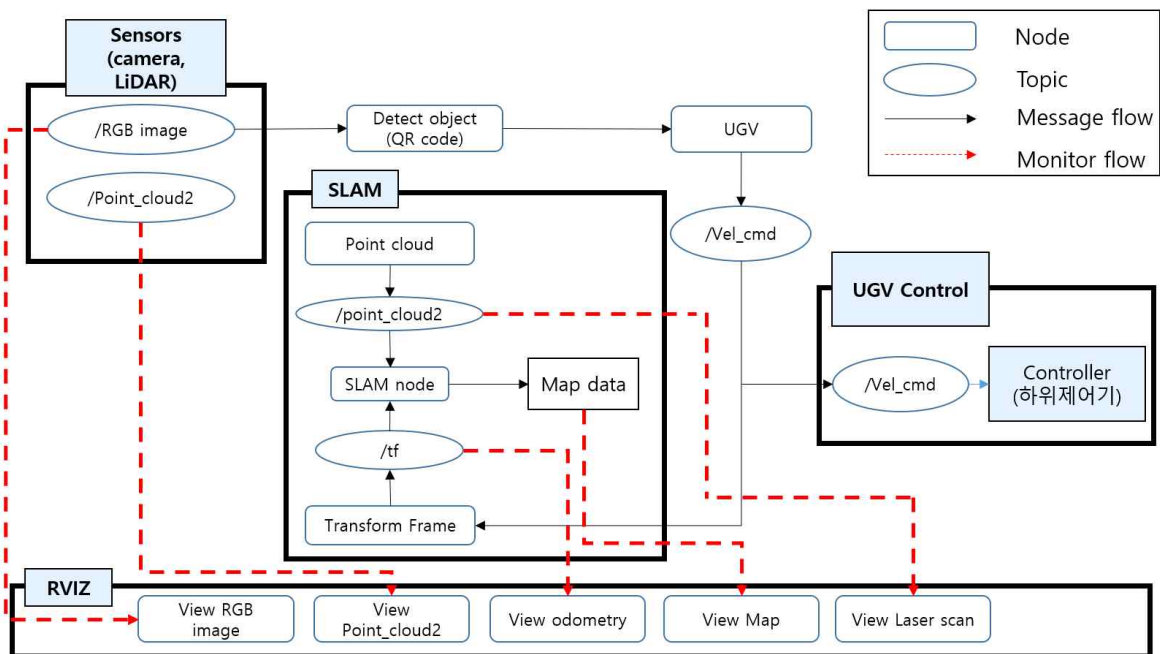
- Localization method: 미리 지도를 생성하고 생성된 지도 정보를 토대로 UGV 바퀴에 부착된 엔코더를 이용한 Dead reckoning을 통해 위치 및 자세 추정



<실험에 사용된 UGV(Jackal)>



<그림> 하드웨어 구성



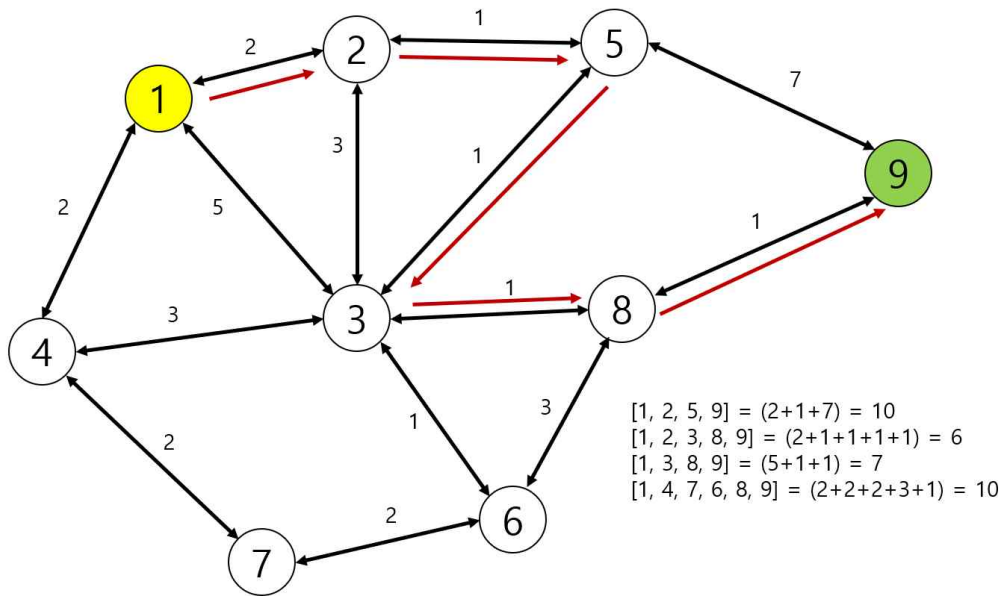
<소프트웨어 구성>

② Navigation

- Path planning algorithm

* Global planner: Dijkstra algorithm :

하나의 출발 노드에서 하나의 목적 노드를 찾는 기존의 최단 경로 탐색 알고리즘들 중에서 가장 기본적이면서도 안정적인 알고리즘. 꼭짓점들이 각각 도시를 나타내고, 변들이 도시 사이를 연결하는 도로의 길이를 나타낸다면, Dijkstra algorithm을 통하여 두 도시 사이의 최단 경로를 찾을 수 있음



<Dijkstra algorithm 예시>

* Local planner : DWA algorithm(Dynamic Window Approach algorithm)

로봇의 속도 탐색 영역(Velocity Search Space)에서 로봇과 충돌 가능한 장애물을 회피하면서 목표 지점까지 빠르게 도달

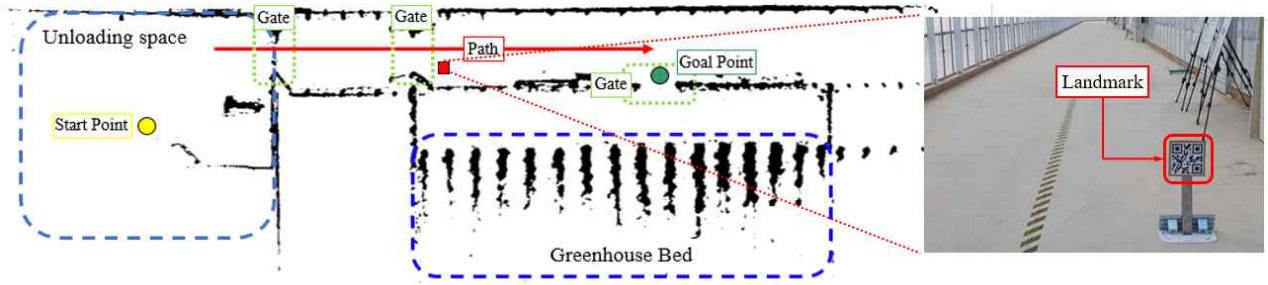
③ Landmark

- Localization accuracy 보정 목적
- FPS가 더 높은 QRcode 선택
- 구속조건으로 좌표정보를 포함하고 있는 QR code 이용.
- 경로 사이에 랜드마크를 설치된 Web camera가 인식, 현재 랜드마크 위치의 좌표정보로 위치보정
- Camera: Web camera(Sanwa supply)

2) SLAM 기반 자율주행 알고리즘 실험 방법 및 결과

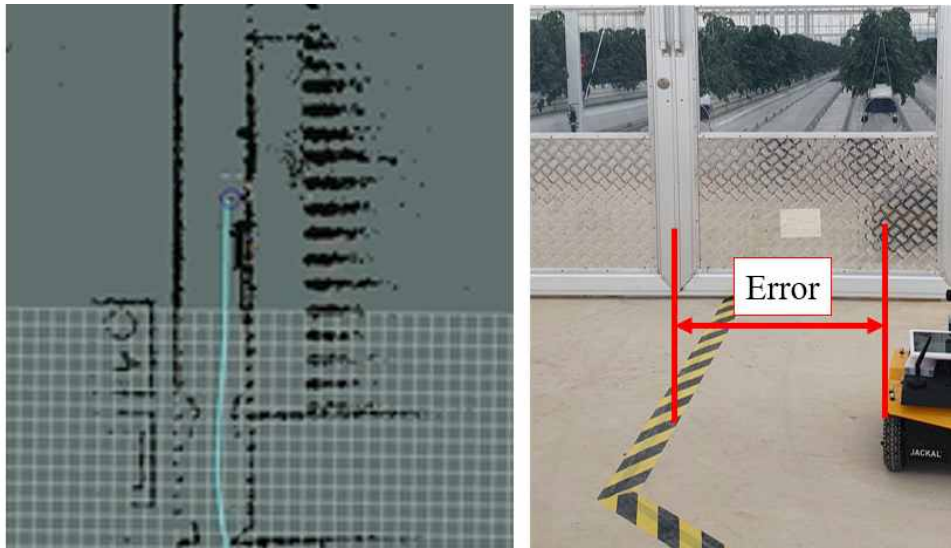
① 실험 순서 :

- 온실 환경 Mapping 데이터에 Start point 및 Goal point 지정.
- 생성된 경로를 따라 자율주행
 - * Case 1: 온실 환경 SLAM 자율주행
 - * Case 2: 구속 조건(랜드마크)이 추가된 지도 기반 SLAM 자율주행
- 5회 반복 실험 후 목표 지점에 도달하는 시간과 위치 정확도 평균을 비교 평가

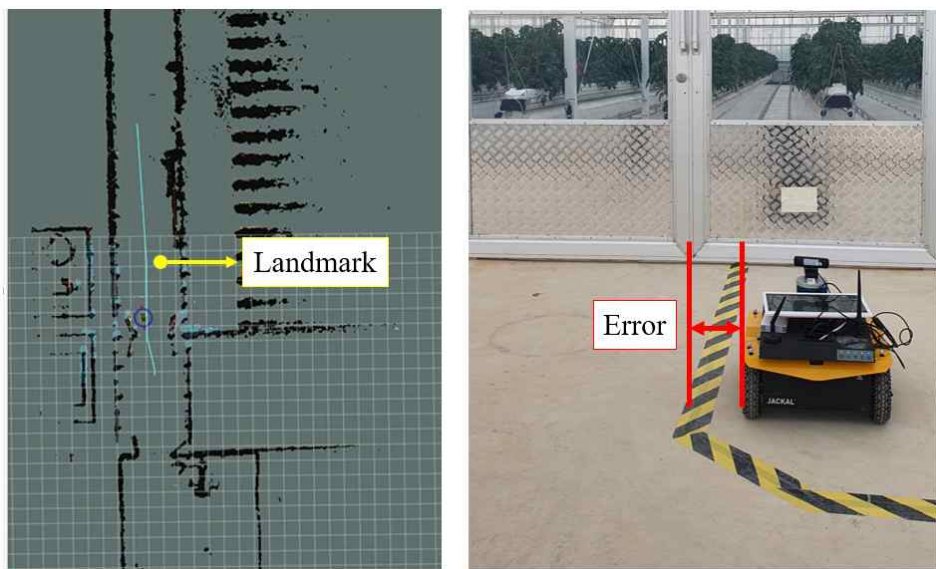


<3D Cartographer를 이용한 온실 환경 Mapping 및 랜드 마크 위치>

② 실험 결과 :



<Case1: SLAM 기반 자율주행 경로 및 도달 위치 에러>



<Case 2: 구속 조건(랜드마크)이 추가된 SLAM 기반 자율주행 경로 및 도달 위치 에러>

표. 시험 결과 데이터

No.	Position(\pm SD)(error) [m]		Orientation(\pm SD)(error) [rad]		Total time (\pm SD) [s]
	x	y	z	W	
Goal point	27.19	3.85	-0.72	0.69	
Case 1	27.24(\pm 0.03)(-0.05)	4.21(\pm 0.08)(-0.36)	-0.76(\pm 0.00)(0.03)	0.65(\pm 0.00)(0.04)	86.17(\pm 3.76)
Case 2	4.21(\pm 0.05)(0.00)	48.60(\pm 0.09)(0.40)	-0.74(\pm 0.09)(0.02)	0.67(\pm 0.02)(0.02)	93.61(\pm 8.93)

- SLAM 기반의 자율 주행 알고리즘을 제안하고 현장 테스트를 통해 스마트팜에 적합한 알고리즘을 평가
- 실험 결과 랜드마크를 이용한 위치 측정으로 위치 정확도가 향상

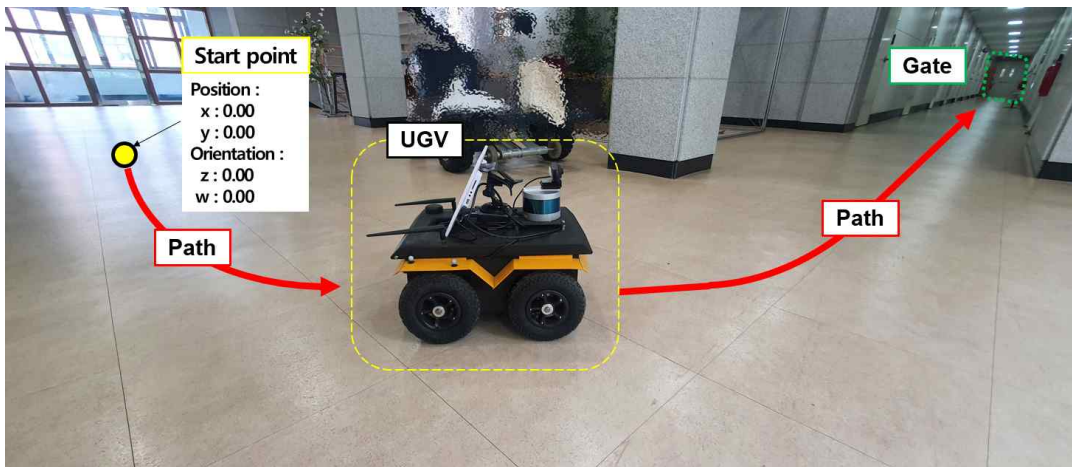
○ 온실 자율주행 제어 시스템 고도화 및 시험

- 랜드마크 2개를 이용하여 기존 SLAM 알고리즘 정확도 향상
- 목적지 도달을 위한 로봇 경로 생성 및 자율주행 기술 개발
- 로봇 자율주행 알고리즘 개발 및 테스트를 위한 시뮬레이션 환경 구축 및 시험

1) 2개의 랜드마크를 이용한 SLAM 알고리즘 시험 방법

- 위 실험 결과 랜드마크를 이용한 SLAM 알고리즘으로 위치 정확도 향상 확인
- 동일한 시스템에 랜드마크 2개를 이용한 SLAM 기반 자율주행 시험
- 200 × 200 (mm) 범위의 Goal point에 도달 확인
- 총 20회 반복 실험 후 자율주행 성공률, 목표에 도달하는 시간, 위치 정확도 등의 정량 지표로 성능 평가

① 시험 환경: 광주광역시 북구 용봉로 77, 전남대학교 농업생명과학대학1호관 3층



<자율주행 시험 환경>

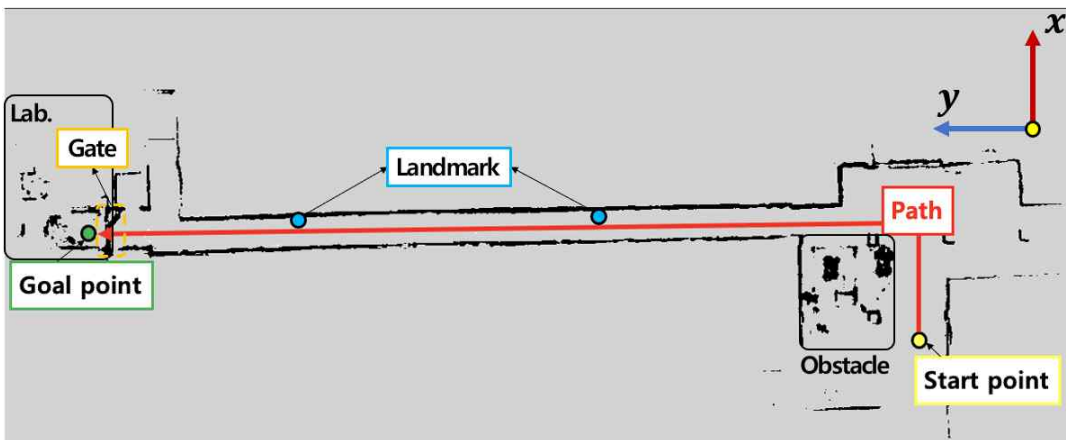
② 정량적 목표지표:

- 자율주행 성공률 [%] : UGV(Jackal)가 정지된 상태(Start point)에서 작업공간 내 임의의 위치(Goal point) 지정 후 20회 반복 시행 후 성공률 계산

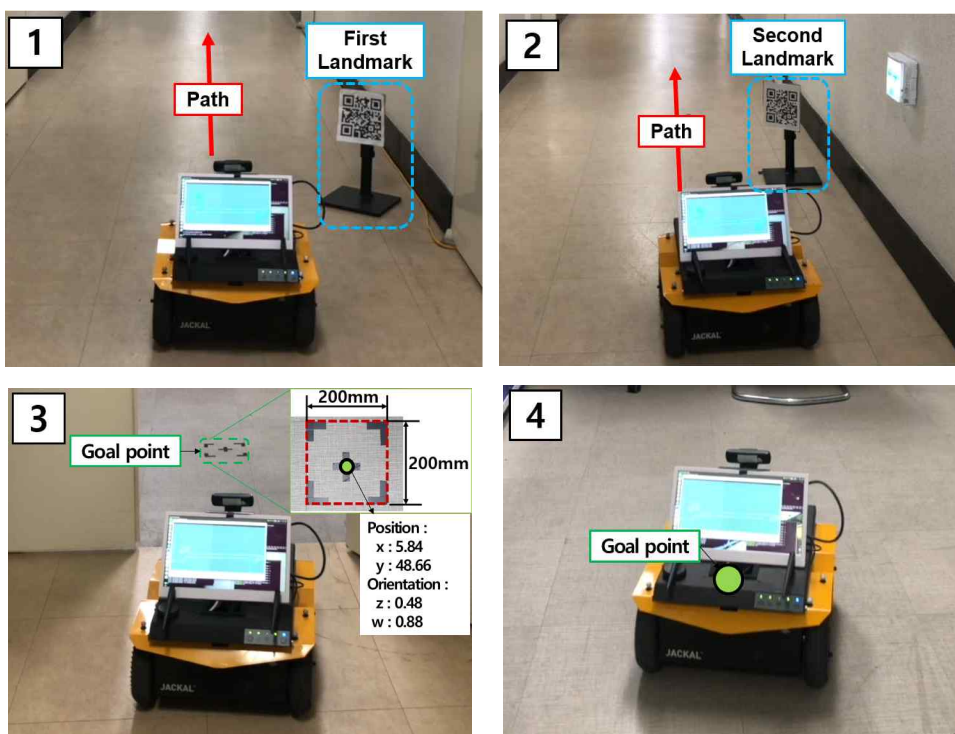
$$(\text{자율주행 성공 횟수}) / (\text{총 실험 횟수}) * 100$$

③ 성능 목표지표:

- 자율주행 총시간 평균 [s] : 실험 시작 순간부터 종료되는 순간까지 총 시간 평균
- 위치 오차 [m] : 지정한 Goal point의 위치 좌표와 자율주행 종료 후 좌표를 비교하여 오차를 계산(Goal point의 position 좌표) - (자율주행 종료 후 position 좌표)
- 방향 오차 [rad] : 지정한 Goal point의 방향과 자율주행 종료 후 방향을 비교하여 오차를 계산 (Goal point의 orientation) - (자율주행 종료 후 orientation)



<그림> 3D Cartographer를 이용한 전남대 환경 Mapping 및 랜드마크 위치



<자율주행 시험 장면>

2) 시험 결과 :

표. 20회 반복 시험 데이터

No.	Position(error) [m]		Orientation(error) [rad]		Total time [s]	Success
	x	y	z	W		
Goal point	5.84	48.66	0.48	0.88		
1	5.76(0.08)	48.50(0.16)	0.49(-0.01)	0.87(0.01)	231.37	○
2	5.76(0.08)	48.60(0.06)	0.63(-0.15)	0.78(0.10)	222.92	○
3	-	-	-	-	-	×
4	5.67(0.17)	48.56(0.11)	0.54(-0.06)	0.84(0.04)	214.97	○
5	5.60(0.24)	48.66(0.00)	0.48(0.00)	0.88(0.00)	253.82	○
6	5.64(0.20)	48.70(0.04)	0.51(-0.03)	0.86(0.02)	235.93	○
7	5.62(0.22)	48.54(0.12)	0.52(-0.04)	0.86(0.02)	233.06	○
8	5.59(0.25)	48.62(0.04)	0.50(-0.02)	0.87(0.01)	256.17	○
9	5.73(0.11)	48.62(0.04)	0.49(-0.01)	0.87(0.01)	245.25	○
10	5.65(0.19)	48.60(0.06)	0.52(-0.04)	0.86(0.02)	264.20	○
11	5.76(0.08)	48.53(0.13)	0.49(-0.01)	0.87(0.01)	278.97	○
12	5.61(0.23)	48.60(0.06)	0.52(-0.04)	0.85(0.03)	242.14	○
13	5.88(-0.04)	48.52(0.14)	0.50(-0.02)	0.87(0.01)	231.50	○
14	5.74(0.10)	48.53(0.13)	0.50(-0.02)	0.87(0.01)	235.33	○
15	5.82(0.02)	48.50(0.16)	0.52(-0.04)	0.85(0.03)	233.86	○
16	5.74(0.10)	48.53(0.13)	0.51(-0.03)	0.86(0.02)	247.55	○
17	5.76(0.08)	48.52(0.14)	0.51(-0.03)	0.86(0.02)	229.11	○
18	5.85(-0.01)	48.48(0.18)	0.51(-0.03)	0.86(0.02)	247.80	○
19	5.68(0.16)	48.61(0.05)	0.45(0.03)	0.89(-0.01)	248.29	○
20	5.80(0.04)	48.58(0.08)	0.45(0.03)	0.89(-0.01)	243.14	○
Average	5.72(0.12)	48.56(0.09)	0.50(-0.03)	0.87(0.02)	242.45	-

- 200 × 200 (mm) 범위의 Goal point에 20회 중 19회 도달하는 것을 확인함.

- 정량적 목표지표 : (자율주행 성공 횟수) / (총 실험 횟수) * 100 = 95%

- 목표 도달시간과 위치 정확도를 확인하기 위해 성능 평가지표 계산

- 성능 평가지표 (1) :

실험이 시작된 순간부터 종료되는 순간까지의 총 시간 평균 = 242.45s

- 위치 정확도

성능 평가지표 (2) :

(Goal point의 position 좌표) - (자율주행 종료 후 position 좌표)

x 축 방향 오차 : 최소 0.01m에서 최대 0.25m 이내, 평균 = 0.12m

y 축 방향 오차 : 최소 0.00m에서 최대 0.18m 이내, 평균 = 0.09m

성능 평가지표 (3) :

(Goal point의 orientation) - (자율주행 종료 후 orientation)

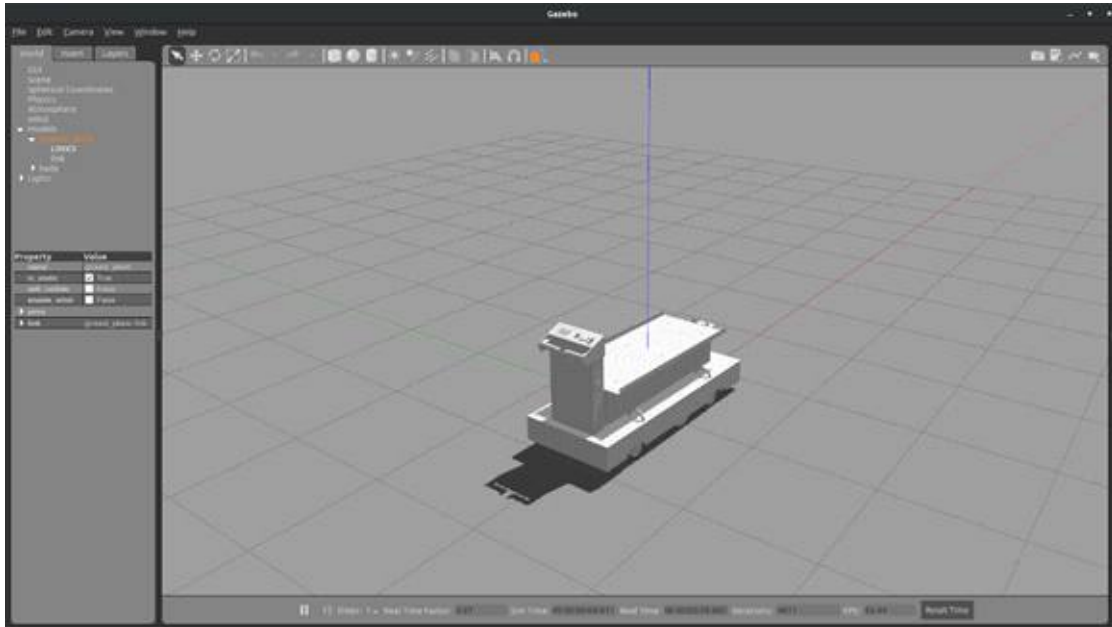
z 축 회전 오차 : 최소 0.00rad에서 최대 0.15rad 이내, 평균 = -0.03rad

ψ 축 회전 오차 : 최소 0.00rad에서 최대 0.10rad 이내, 평균 = 0.02rad

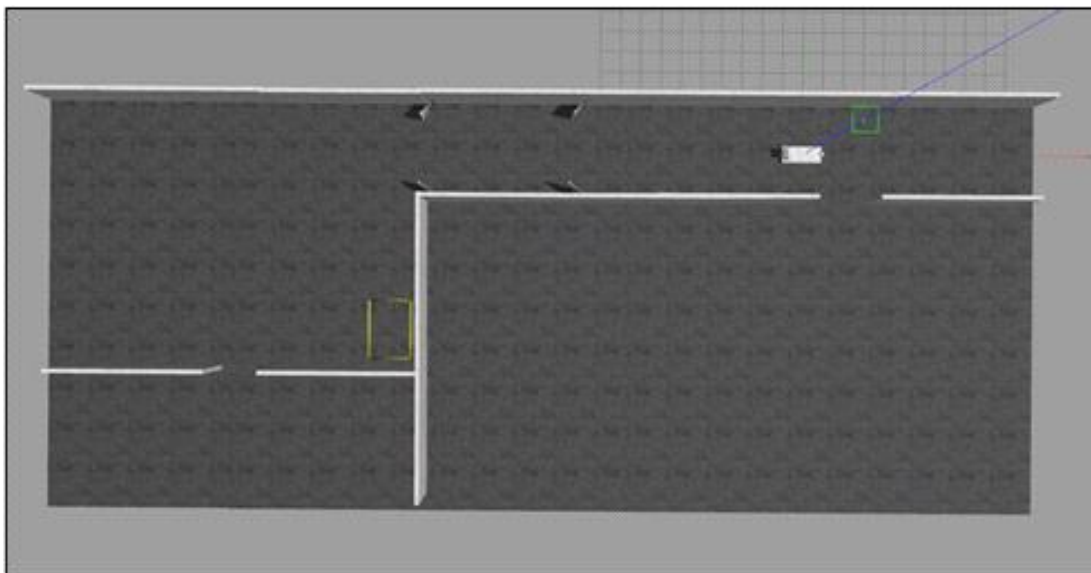
- 따라서 자율주행 목표 성공률 95%(결과치 100%)로 충족되었음.

○ 추종형 이송로봇과 시스템 통합

- 추종형 이송로봇 기준으로 urdf제작
- Wheel RPM data 이용하여 odometry 계산
- 시뮬레이션을 통해 실제 환경과 흡사하게 환경을 구성하고, 추종형 이송로봇 SLAM을 위한 move_base의 파라미터 튜닝



<시뮬레이션 프로그램()상 urdf가 적용된 추종형 이송로봇 모습>



<실제 환경과 흡사한 시뮬레이션 환경 구성 및 파라미터 튜닝>

- 시뮬레이션 환경에서 주행을 통해 파라미터 튜닝 완료
- 파라미터: Obstacle scale, goal tolerance, platform maximum velocity/acceleration

바. 위탁연구기관 2 (서울대학교)

RGBD 영상 기반 농작업자 실시간 객체인식기술 개발

○작업자 영상정보 수집 및 데이터베이스 구축

- Google API를 이용한 data crawling : Opensource pedestrian & worker dataset (2300 여장)
- 실제 농가에서의 영상 수집 (800 여장)
- 영상 수집 전 RGB sensor, Depth sensor 간의 resolution/FoV calibration 작업 선행



그림. 딥러닝 학습을 위한 작업자 오픈소스 데이터셋

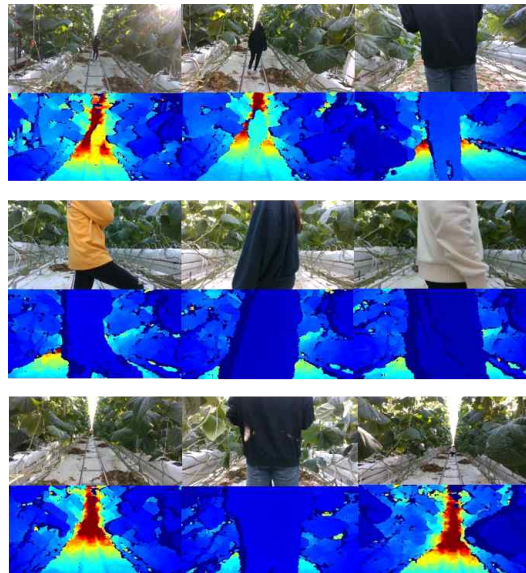


그림. 실제 농가 환경에서의 RGBD 영상 수집

- 영상 내 작업자 부분 라벨링을 통한 학습 데이터셋 제작

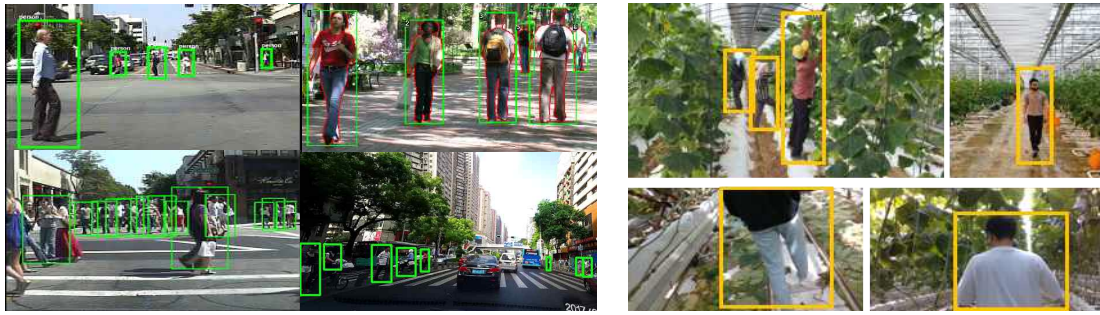


그림. 작업자 라벨링 학습 데이터셋

- 합성곱 신경망 기반 객체 영역 검출모델 적용 및 구조별 성능 비교평가
 - 적용 Meta-architecture : Faster R-CNN, R-FCN, SSD, YOLO
 - 적용 특징추출 신경망 : Alexnet, Resnet, Googlenet, Mobilenet

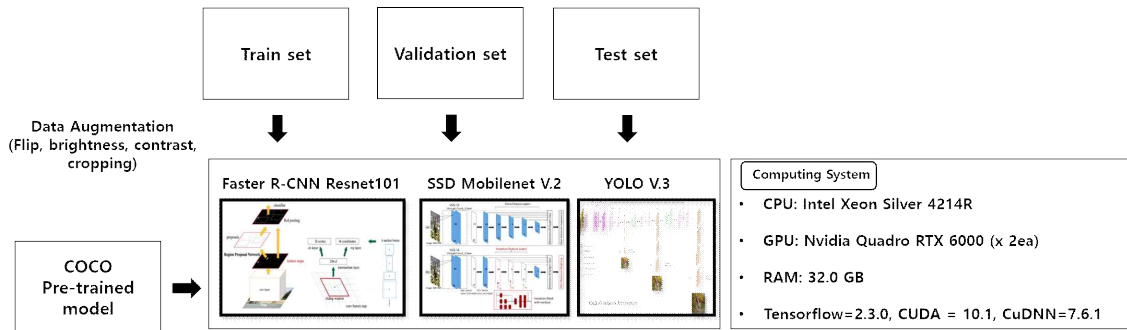


그림. 전반적인 딥러닝 개략도 및 고속 연산을 위한 컴퓨팅 시스템 구축

- 전이학습 (Transfer learning: MS COCO dataset) 적용
- 데이터 증강 (Data augmentation) 기술 적용을 통한 기존 영상의 다양화

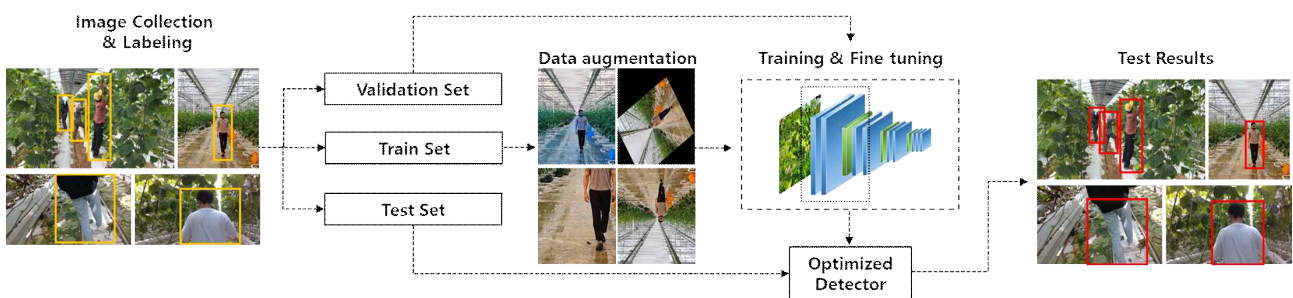


그림. 추가적인 딥러닝 과정에 대한 개략도

- 검출된 작업자와의 실시간 거리정보 획득 알고리즘 개발
 - RGBD 센서의 depth module을 통한 거리정보 획득
 - : 영상의 각 pixel에 해당되는 depth 정보 획득 (1280 x 760)
 - : 용이하고 정밀한 depth 정보 분석을 위한 다양한 파일 형식에서의 자동 저장 (.csv, .jpg, .raw)
 - 검출된 상자 내 작업자와의 거리정보 획득

- : Detected box의 Center point depth information 추출 → 값이 부정확한 한계가 있음
- : Detected box의 30% margin 제거 → 남은 부분을 9개의 구역으로 분할하여 각 구간의 평균 (median) depth 정보를 추출한 것을 작업자와의 거리로 정의함



그림. Center point depth calculation

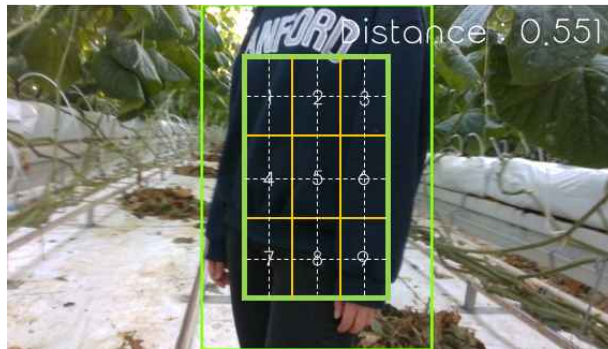


그림. Median value depth calculation

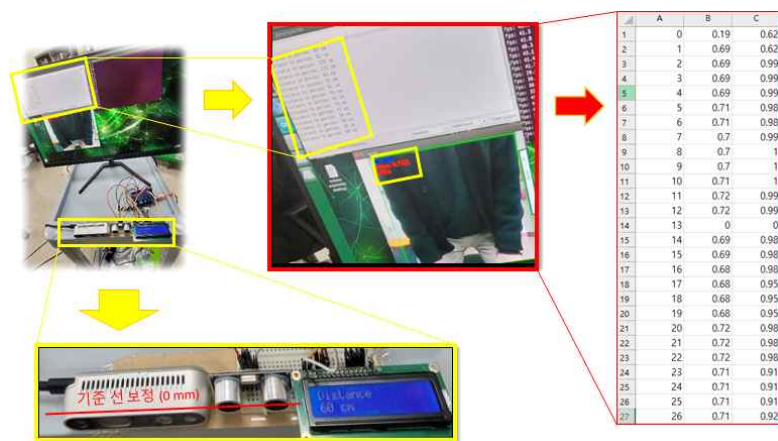


그림. Median value depth calculation으로 구한 거리 데이터 (4byte) 정확도 검증

- o 각 모델의 성능 비교 측정 및 실시간 (real-time)에 적합한 모델 선정
 - 향후 통합 로봇 플랫폼과의 통합을 위해 각 모델의 성능(mAP, fps)을 Nvidia Jetson Nano board 기준으로 비교 측정



그림. Embedding in Jetson Nano board

- Jetson Nano 기준 real-time object detection에 적용하기 위해 각 모델 별 inference time 측정
- 각 모델 별 mAP (mean Average Precision)값 비교 측정

표. Jetson Nano 기준 모델별 performance 비교

Model	Input Size	Mean Average Precision (%)	Inference time (ms / image)
Faster R-CNN Resnet 101	1024 x 1024	98.46	19,351
SSD Mobilenet V.2	640 x 640	95.28	41.67
YOLO V3	640 x 640	95.10	38.46

- 검출 정확도는 Faster R-CNN Resnet101이 가장 높았으나, Jetson Nano 기준으로 한 장의 이미지를 처리하는 inference time이 약 19초 → real-time object detection에 적합하지 않음
- SSD Mobilenet V.2와 YOLO V3 모델 둘 다 빠른 처리 속도와 높은 정확도를 보여줌
- 두 모델의 경우 한 장당 약 0.04초의 빠른 처리 속도 → real-time object detection에 충분히 적용 가능하다고 판단, mAP가 비교적 더 높은 SSD Mobilenet V.2 로 모델 최종 선정
- SSD Mobilenet V.2 모델 적용 결과 (아래 그림 참조) : 작업자 (사람)의 검출 결과 (detected box), fps, score, distance의 정보를 실시간으로 표출

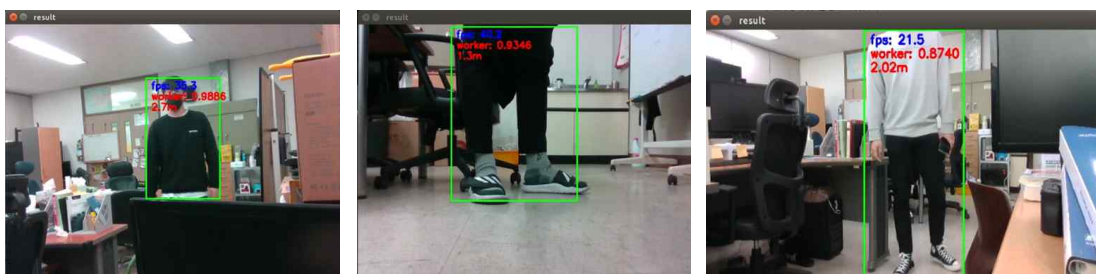
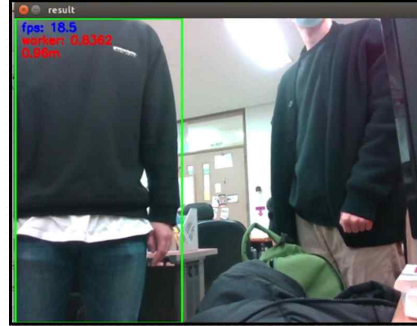


그림. Jetson nano board 기반 SSD Mobilenet V.2 적용 결과

- 다수의 작업자가 검출되는 경우 (아래 그림 참조) : 현장 적용을 고려하여 센서와 가장 인접한 작업자만 인식하도록 알고리즘 구현 → 거리정보 또한 가장 인접한 작업자의 거리정보만 송출하도록 구현



(a) 다수의 작업자가 검출되는 경우



(b) 후처리를 통해 인접한 작업자만 검출

그림. 가장 인접한 작업자만 검출하는 알고리즘 적용 결과

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

주관기관 (주)하다

- 다양한 원예 작물의 이송로봇 요소기술 개발
 - 딸기, 토마토 이외 다양한 종류의 과채류 이송용 플랫폼 시스템으로 활용 가능
 - 과채류의 이송뿐만 아니라 보관 및 포장 작업 등의 다용도 플랫폼 시스템으로 활용 가능
 - 농업분야 뿐만 아니라 산업 전반에 걸쳐 작업자 추종형 이송 로봇으로 활용 가능함
- 개발결과물을 통한 시설 작물 생산 및 관리 플랫폼 구축
 - 시설 이송 로봇의 개발을 통해 취득된 농가별 생산, 품질정보를 활용하여 시설 작물 생산/관리프로그램을 개발할 수 있음
 - 농가간 생산/품질정보를 이용하여 빅데이터 기반 알고리즘을 활용한 작물 생산/품질 예측 서비스 제공함
 - 작목반 단위의 품질관리 시스템을 통하여 농산물 유통 체인에 재배이력과 같은 부가적 가치를 제공함
 - 대규모 시설 원예 작물 농장 구축을 위해 활용 가능
 - 가격 경쟁력 등을 통해 해외 시장에서 대규모 시설 과채류 농장 구축을 위해 활용 가능
- 본 연구를 통해 개발되는 농작업자 추종형 이송 로봇 기술은 아직까지도 해외의 장치와 기술에 의존적인 부분이 큰 것이 현실이며 제안된 과제가 성공적으로 수행된다면 관련 기술과 장치들의 국산화를 달성할 수 있고 농산업뿐만 아니라 환경, 축산업, 에너지 등 다양한 분야의 산업에 적용함으로써 국산화 기술경쟁력 제고와 관련 장비 시장 점유율 확대를 통한 경제적 파급 효과를 획득할 수 있음
- 성공적인 연구의 수행을 통한 목표기술과 장치의 개발이 완료된 이후 지속적인 현장검증과 기술의 보안을 통해 개발기술 및 장치를 업그레이드하여 제품의 현장신뢰성을 확보하고 국가기관을 통한 검정제도 제정과 국내외 전시회 참여를 통한 마케팅 전략을 구축하여 사업화를 실현함
- 실용화 및 제품화
 - 아래와 같은 4단계의 실용화·제품화 전략을 마련함
 - 1단계 : 현장 시설 원예농가, 농장 등을 통한 실공정 평가
 - 2단계 : 현장 시설 원예 농가, 농장의 VOC(Voice of Customer) 수용 및 적용을 통한 개발 제품의 성능평가, 향상 및 보완
 - 3단계 : 현장의 시설 원예 농장에 개발 시스템 투입 및 현장적용을 통한 작동성능 검증
 - 4단계 : 본 연구에서 제안된 대상 작물 이외의 다른 작목 및 시설 작물농가 현장과 연동할 수 있는 연동기능의 유연성을 추가 보강한 최종 제품 제작 및 판매

○ 개발기술을 활용한 타 산업분야 관련 사업화

- 작업자 인식 추종형 이송 로봇의 추종 기능 및 자율주행 시스템 등을 활용한 신호처리/분석 및 제어기술, 플랫폼의 구축을 통한 빅데이터 분석기술, 데이터 통신, 소프트웨어 및 데이터베이스와 관련된 다양한 기술들은 농업, 환경, 산림, 에너지 등의 전방위 산업분야에 광범위하게 적용될 수 있으며 국내외 관련 산업을 대상으로 큰 시장을 형성할 수 있음
- 제안하는 기술은 현재 농가에서 운영되고 있지 않은 새로운 장치/기술로서 시설작물 농가 또는 작목반 등과 연동될 수 있는 프로토콜을 개발 후 현장의 농가, 농장에 시범 투입하여 marathone 테스트를 수행함

○ 미래원천기술 확보

- 제안된 과제의 연구과정 후에 개발하고자 하는 대용량·빅데이터를 이용한 인공지능망 고속학습기술은 최근 들어 크게 주목받고 있는 미래원천기술 중 하나로서 미래첨단농업뿐만 아니라 다양한 분야에 활용될 수 있음
- 뿐만 아니라, 인공지능망 고속학습기술을 응용하는 신호 및 영상처리 분야의 선도기술을 확보할 수 있으며 이는 해외 선진 농업국가와의 기술격차를 해소하고 차세대 인식 추종기술 등에 대한 원천기술을 확보할 수 있는 기회를 제공함

○ 신산업 창출

- 제안된 연구과제를 수행하는 과정 중에 획득할 수 있는 자율주행, 작업자 추종기능, 센싱 및 신호처리기술, 분석기술, 통신 및 데이터베이스 기술들은 추종형 이송 로봇 플랫폼 구축을 통한 생육환경 빅데이터 상관분석기술의 연구뿐만 아니라 지능형 농업로봇, 자율주행 수확기 등과 같은 농산업의 다양한 분야에 적용될 수 있고 스마트팜, 작물의 표현형분석(phenotyping), 작물의 생육진단 및 병해충예찰 등과 같은 신 산업분야에도 적용가능할 것으로 예측됨.

○ 제품 신뢰성 확보

- 농업진흥청 국립농업과학원을 통한 스마트 온실 실증 : 국가기관에서 운영하는 스마트 온실을 통한 실증(딸기, 토마토)을 진행하여, 개발 로봇의 기초 성능관련 신뢰성을 확보할 수 있으며, 추가적으로 환경 및 수명 시험과 연관된 내구성 등에 대한 신뢰성 확보가능

전북대학교

- 토마토 경도측정을 통한 적재트레이 최적화
- 적재트레이 고정기구 개발
- 적재트레이 자동 상,하차기구 개발

생산기술연구원

- 딥러닝을 통해 사람의 하체를 인식했으며, 인식된 사람을 통해 로봇과 사람과의 거리 및 각도를 도출하는 알고리즘을 개발함
- 자체 제작한 모바일로봇을 이용하여 로봇과 사람의 거리 1m, 각도 0°로 추종하는 테스트를 통해 개발한 알고리즘의 성능을 확인함

국립농업과학원

- 테스트베드 활용 작업자 협업 반복 작업을 통한 작업자와 로봇간의 최적 추종 거리 도출

- 추종 기준 거리(500mm)와 수확물 적재를 위한 정지 후 최소 인식 거리(300mm)
- 시설 온실 이송 로봇의 평가 방법 및 기준 수립
 - 이송 로봇의 주요 기능을 고려한 성능 평가 방법(11종) 수립 및 기준 분석
- 로봇 운용 효율화를 위해 온실 레이아웃을 고려한 작업 능력 분석
 - 작업자 대비 로봇의 운용 효율 도출
- 이송 로봇 적용에 따른 경제성 분석을 통한 목표 내용 연구 및 목표 시장 가격 도출
 - 최소 내용 연구 5년, 시장 목표 가격 1,500만원

전남대학교

- 자력유도선 추종 기반 자율주행 솔루션 고도화
 - 로봇 제어 시스템 설계 및 개발
 - 로봇 플랫폼의 주행 방향 및 속도를 모터 구동 신호로 변환하는 제어 알고리즘 및 통신 패킷 개발
- 온보드 센서 기반 자율주행 시스템 개발
 - 온실형 스마트팜의 추종형 이송 로봇을 위한 자율주행 시스템 개발
 - 농촌 환경은 규모가 커지고 제도화되고 있음
 - 농업환경은 가이드 라인과 추종 라인의 설치를 하기 어려운 환경
 - 오차를 줄이기 위해 랜드마크를 이용한 SLAM 기반 자율주행 알고리즘 개발
 - 현장 테스트를 통한 SLAM 기반 자율주행 알고리즘 평가

서울대학교

- 딥러닝 기반의 객체 검출 모델을 적용하여 실시간으로 작업자를 인식했으며, 인식된 작업자를 통해 센서(로봇)와 작업자와의 거리를 정밀하게 도출하는 알고리즘을 개발함
- 2021년 06월 29일 입회시험 진행 (@전주 농업진흥청 실증온실)
 - 작업자 인식률 (precision): 100%
 - 작업자 추종 성공률 (@파이프라인): 100%

(2) 정량적 연구개발성과

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업					스마트 온실실증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용 등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자유치		논문		학술발표			정책 활용	홍보 전 시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	15			10		10	10		10		20			10				15	
최종목표	5	3		1	10	1	4,750	600	4		2	2	1	3				10	
1차년도 목표치	2			1	10	1	70		1		2		1	3				1	
달성치	2			1	3.9	1	100		2		2		(1)	6				2	
달성률	100			100	39	100	142		200		100			200				200	
소 계	2			1	10	1	70		1		2		1	3				1	
종료 1차년도	1						120											1	
종료 2차년도							210					1						2	
종료 3차년도		1					300	90	1			1						2	
종료 4차년도	1	1					1,200	150	1									2	
종료 5차년도	1	1					2,850	360	1									2	
소 계	3	3					4,680	600	3			2						9	
합 계	5	3		1	10	1	4,750	600	4		2	2	1	3				10	

< 연구개발성과 성능지표 결과치 >

평가 항목 (주요성능 Spec.)	단위	전체 항목 에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (/)	개발 목표치	결과치	달성률 (%)	평가 방법	
			성능수준					
1. 작업자 인식률	%	15	82 (네덜란드/ 와게닝겐대학)	90	100	100	공인기관 입회평가	
2. 자율주행 성공율	%	15	-	95	100	100	공인기관 입회평가	
3. 작업자 추종 성공율	%	15	74 (네덜란드/ 와게닝겐대학)	80	100	100	공인기관 입회평가	
4. 추종 거리 오차	cm	10	± 10cm (미국/ 텍사스대학)	± 10cm 이내	4.1	100	공인기관 입회평가	
5. 추종 각도 오차	각도	10	± 2° (미국/ 텍사스대학)	± 2° 이내	0.83	100	공인기관 입회평가	
6. 배터리 연속 사용시간	h	15	-	8	8	100	공인기관 입회평가	
로봇 속도	7. 이동	m/s	5	0.25	0.25	0.508	100	공인기관 입회평가
	8. 최대	m/s	5	1.83 (벨기에/ Bogaerts)	1.83	1.834	100	공인기관 입회평가
9. 위치반복 정밀도	cm	10	-	±10cm 이내	0.37	100	공인기관 입회평가	

<공인기관 시험성적서>

결과 보고서				
제 목		입회결과-추종로봇 성능 시험		
의뢰인	회사명	한국생산기술연구원 전북본부	의뢰일자	2021.06.24
	주 소	전북 김제시 지평선산단3길 119	가 간	2021.06.29 ~ 2021.07.01
	담당자	양 승 환	대 상 품	추종로봇

1. 시험 목적

- 추종로봇의 작동 성능 확인을 위한 입회 시험

2. 시험 조건

항목	조건	측정 횟수	목표
1. 작업자 인식률	- 추종로봇의 장착 카메라로부터 임의의 위치 (1 ~ 5 m 이내)에 작업자가 위치한 후 출력 값 확인	10회	90 %
2. 자율주행 성공률	- 하역장의 정해진 위치까지 자율주행으로 이동 - 성공 판정: 지정 위치 ±10 cm 이내	10회	95 %
3. 작업자 추종 성공률	- 콘크리트 바닥에서 작업자 추종 및 이동 - 추종 거리: 5m, 정지 위치: 작업자 1m 이내	10회	80 %
4. 추종거리 오차	- 로봇에 장착된 카메라의 작업자 거리 데이터 와 실제 작업자의 위치 비교	10회	±10 cm 이내
5. 추종 각도 오차	- 로봇에 장착된 카메라의 작업자 각도 데이터 와 실제 작업자의 위치 비교	5회	±2° 이내
6. 배터리 연속 사용시간	- 로봇의 연속 작동 시간 측정 - 전·후진 반복 이동 후 배터리 소모량 측정	1회	8h 이상
7. 로봇 이동 속도	- 작업 노면(파이프)에서 10m 이동 속도 측정	3회	0.25 m/s
8. 로봇 최대 속도	- 콘크리트 노면에서 10m 이동 속도 측정	3회	1.83 m/s
9. 위치 반복 정밀도	- 하역장의 정해진 위치에서 정지 성능 측정 - 지정 위치 ±10 cm 이내	10회	±10 cm 이내

3. 시험 결과

항목	시험 결과		
1. 작업자 인식률	- 10회 시험 결과 정상 인식률 100 % - 추종거리 오차조건 만족(오차: ±10 cm)		
2. 자율주행 성공률	- 10회 시험 결과 자율 주행 성공률 100 %		
3. 작업자 추종 성공률	- 10회 시험 결과 작업자 추종 성공률 100 %		
4. 추종거리 오차	최대오차	최소오차	오차 평균(10회)
	8 cm	0 cm	4.1 cm
5. 추종 각도 오차	최대오차	최소오차	오차 평균(5회)
	1.39°	0.22°	0.83°
6. 배터리 연속 사용시간	- 8시간 연속 구동 후 정상 작동 확인 - 시험전 배터리 전압 측정값: 25.63 V - 8시간 시험 후 배터리 전압 측정값: 24.96 V		
7. 로봇 이동 속도	- 10 m 이동시간 3회 측정결과 평균: 19.66 s - 이동 속도 평균: 0.508 m/s		
8. 로봇 최대 속도	- 10 m 이동시간 3회 측정결과 평균: 5.45 s - 최대 이동 속도 평균: 1.834 m/s		
9. 위치 반복 정밀도	최대오차	최소오차	오차평균(10회)
	0.8 cm	0.0 cm	0.37 cm

[붙임] 1. 입회시험 결과보고서(R21-0358). 끝.

작성 자	김경주	2021.07.21	책임 자	사정환	2021.07.22
보고서발행번호	JIAT-21-5475		의뢰서접수번호	R21-0358	
상기와 같이 결과 보고서를 제출합니다. 2021.07.22 자동차융합기술원장 					

본 결과보고서는 의뢰인이 제공한 시료·조건·방법 등에 대한 결과물이며, 기술원의 정식 승인 없이 수정 또는 일부를 복사하여 사용을 할 수 없음.
 This report is limited of test results for samples, conditions and test procedures provided by the customer and shall not be revised and copied except in full, without the formal written approval of JIAT

입회시험 결과(R21-0358)

1. 시험 개요

- 목적: 추종로봇의 작동 성능을 확인하기 위함
- 시험명: 추종로봇 성능 입회시험
- 시험부품: 추종로봇
- 시험수량: 총 1 개(Lot No.: R21-0358-001)
- 시험기간: 2021.06.29 ~ 2021.07.01
- 시험장소: 국립원예특작과학원
- 시험자: 한국생산기술연구원 전북본부 지능형농기계연구그룹 양승환 수석연구원,
 주하다 책임연구원 박건우
- 입회자: (재)자동차융합기술원 신뢰성연구센터 선임연구원 김경주
- 연락처: 063-472-2303

2. 시험 항목 및 방법

항목	조건	측정 횟수	목표
1. 작업자 인식률	- 추종로봇의 장착 카메라로부터 임의의 위치 (1~5m 이내)에 작업자가 위치한 후 출력 값 확인	10회	90%
2. 자율주행 성공률	- 하역장의 정해진 위치까지 자율주행으로 이동 - 성공 판정: 지정 위치 ±10cm 이내	10회	95%
3. 작업자 추종 성공률	- 콘크리트 바닥에서 작업자 추종 및 이동 - 추종 거리: 5m - 정지 위치: 작업자 1m 이내	10회	80%
4. 추종거리 오차	- 로봇에 장착된 카메라의 작업자 거리 데이터와 실제 작업자 위치 비교	10회	±10cm 이내
5. 추종 각도 오차	- 로봇에 장착된 카메라의 작업자 각도 데이터와 실제 작업자 위치 비교	5회	±2° 이내
6. 배터리 연속 사용시간	- 로봇의 연속 작동 시간 측정 - 전·후진 반복 이동 후 배터리 소모량 측정	1회	8h 이상
7. 로봇 이동 속도	- 작업 노면(파이프)에서 10m 이동 속도 측정	3회	0.25m/s
8. 로봇 최대 속도	- 콘크리트 노면에서 10m 이동 속도 측정	3회	1.83m/s
9. 위치 반복 정밀도	- 하역장의 정해진 위치에서 정지 성능 측정 - 지정 위치 ±10cm 이내	10회	±10cm 이내

◦ 시험 절차

- ① 시험품의 이상 유무 육안 관찰
- ② 시험 항목별 조건에 따라 시험 진행
- ③ 시험 종료 후 결과 확인

3. 시험 결과

항목	시험 결과		
1. 작업자 인식률	- 10회 시험 결과 정상 인식률 100 % - 추종거리 오차조건 만족(오차: ± 10 cm)		
2. 자율주행 성공률	- 10회 시험 결과 자율 주행 성공률 100 %		
3. 작업자 추종 성공률	- 10회 시험 결과 작업자 추종 성공률 100 %		
4. 추종거리 오차	최대오차	최소오차	오차 평균(10회)
	8 cm	0 cm	4.1 cm
5. 추종 각도 오차	최대오차	최소오차	오차 평균(5회)
	1.39°	0.22°	0.83°
6. 배터리 연속 사용시간	- 8시간 연속 구동 후 정상 작동 확인 - 시험전 배터리 전압 측정값: 25.63 V - 8시간 시험 후 배터리 전압 측정값: 24.96 V		
7. 로봇 이동 속도	- 10 m 이동시간 3회 측정결과 평균: 19.66 s - 이동 속도 평균: 0.508 m/s		
8. 로봇 최대 속도	- 10 m 이동시간 3회 측정결과 평균: 5.45 s - 최대 이동 속도 평균: 1.834 m/s		
9. 위치 반복 정밀도	최대오차	최소오차	오차평균(10회)
	0.8 cm	0.0 cm	0.37 cm

3.1 작업자 인식률 및 추종거리 오차 시험 결과

◦ 시험 설치 및 진행 사진



접수번호 R21-0358

자동차융합기술원

- 2 / 12 -

◦ 시험 결과

순	시험결과			순	시험결과		
1				4			
	측정위치	측정결과	오차		측정위치	측정결과	오차
	1.0 m	1.03 m	+3 cm		2.2 m	2.24 m	+4 cm
2				5			
	측정위치	측정결과	오차		측정위치	측정결과	오차
	1.3 m	1.22 m	-8 cm		2.5 m	2.53 m	+3 cm
3				6			
	측정위치	측정결과	오차		측정위치	측정결과	오차
	1.6 m	1.63 m	+3 cm		2.8 m	2.87 m	+7 cm
7				9			
	측정위치	측정결과	오차		측정위치	측정결과	오차
	1.9 m	1.87 m	-3 cm		3.1 m	3.05 m	+5 cm


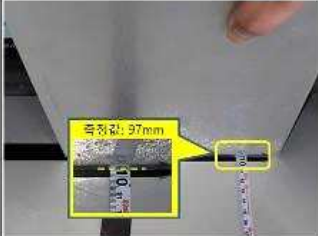


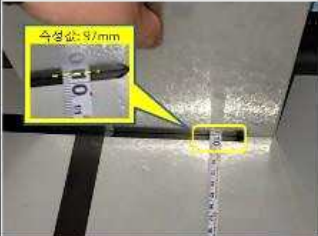
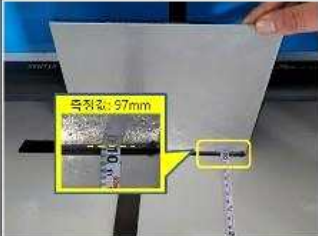

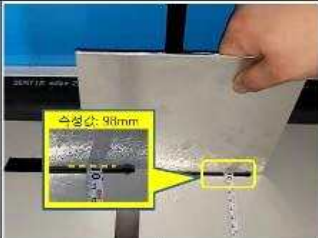
8		10				
	측정위치		측정결과	오차	측정위치	측정결과
	3.4 m	3.40 m	0 cm	3.7 m	3.75 m	+5 cm

3.2 자율주행 성공률 및 위치 반복 정밀도 시험 결과

◦ 시험 설치 및 진행 사진



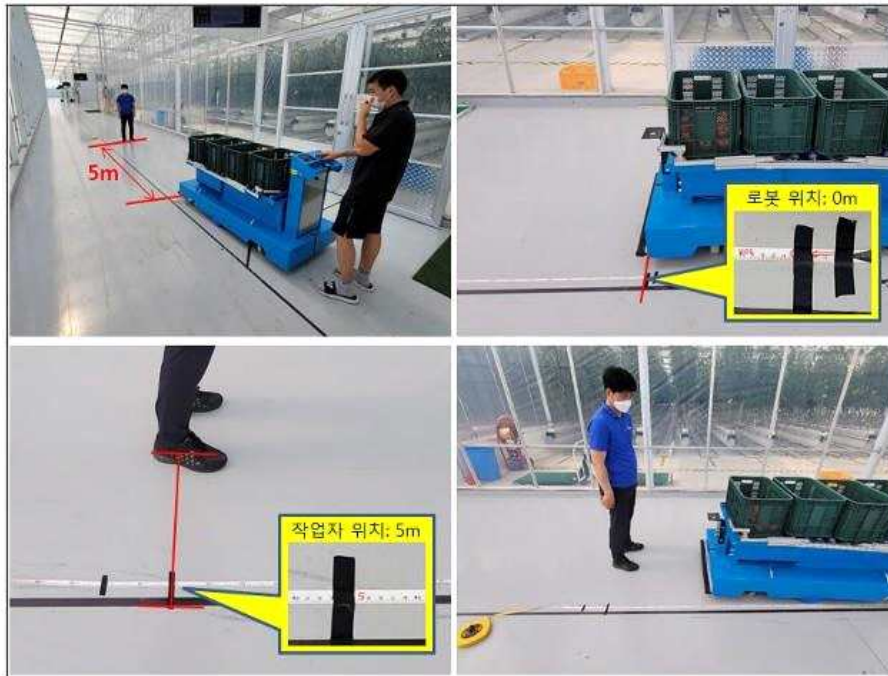
◦ 시험 결과

측정회차	시험결과		측정회차	시험결과	
1			5		
	측정결과	오차		측정결과	오차
	100 mm	0 mm		97 mm	-3 mm
2			6		
	측정결과	오차		측정결과	오차
	98 mm	-2 mm		96 mm	-4 mm
3			7		
	측정결과	오차		측정결과	오차
	97 mm	-3 mm		97 mm	-3 mm
4			8		
	측정결과	오차		측정결과	오차
	95 mm	-5 mm		98 mm	-2 mm





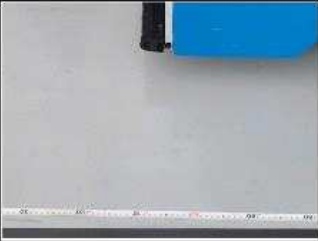



9		10							
	<table border="1"> <tr> <th>측정결과</th> <th>오차</th> </tr> <tr> <td>92 mm</td> <td>-8 mm</td> </tr> </table>		측정결과	오차	92 mm	-8 mm	<table border="1"> <tr> <th>측정결과</th> <th>오차</th> </tr> <tr> <td>93 mm</td> <td>-7 mm</td> </tr> </table>	측정결과	오차
측정결과	오차								
92 mm	-8 mm								
측정결과	오차								
93 mm	-7 mm								

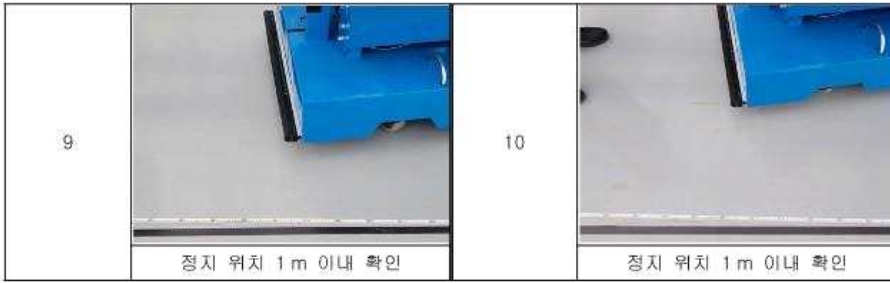
3.3 작업자 추종 성공률 시험 결과

◦ 시험 설치 및 진행 사진



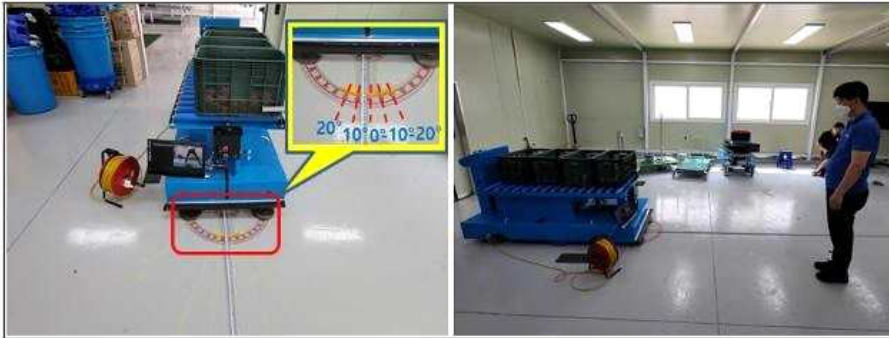
◦ 시험 결과

측정회차	시험결과	측정회차	시험결과
1	 정지 위치 1 m 이내 확인	5	 정지 위치 1 m 이내 확인
2	 정지 위치 1 m 이내 확인	6	 정지 위치 1 m 이내 확인
3	 정지 위치 1 m 이내 확인	7	 정지 위치 1 m 이내 확인
4	 정지 위치 1 m 이내 확인	8	 정지 위치 1 m 이내 확인





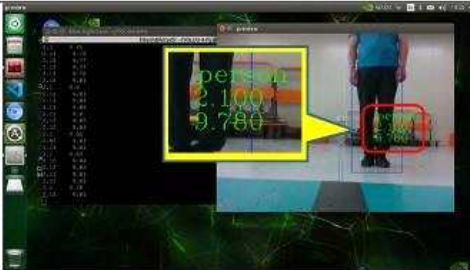






3.4 작업자 추종 각도 오차 시험 결과

◦ 시험 설치 및 진행 사진



◦ 시험 결과

순	시험 결과		
1			
	측정위치	측정결과	오차
	20°	19.60°	-0.40°






2			
	측정위치 10°	측정결과 9.78°	오차 -0.22°
3			
	측정위치 0°	측정결과 1.07°	오차 +1.07°
4			
	측정위치 -10°	측정결과 -8.95°	오차 -1.05°
5			
	측정위치 -20°	측정결과 -18.61°	오차 -1.39°

3.5 배터리 연속 사용시간 시험 결과

◦ 시험 설치 및 진행 사진



◦ 시험 결과

측정회차	시험결과	측정회차	시험결과
1	 1시간 작동 후 전압: 25.52 V	4	 4시간 작동 후 전압: 25.29 V
2	 2시간 작동 후 전압: 25.43 V	5	 5시간 작동 후 전압: 25.23 V
3	 3시간 작동 후 전압: 25.36 V	6	 6시간 작동 후 전압: 25.13 V



3.6 로봇 이동 속도 시험 결과

◦ 시험 설치 및 진행 사진

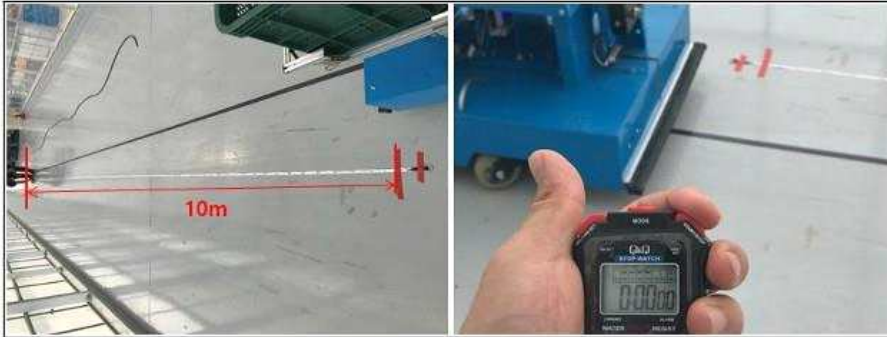


◦ 시험 결과

측정회차	1	2	3
시험 결과			
	측정 결과: 19.72 s	측정 결과: 19.60 s	측정 결과: 19.66 s
3회 측정 평균: 19.66 s (= 0.508 m/s)			

3.7 로봇 최대 속도 시험 결과

- 시험 설치 및 진행 사진



- 시험 결과

측정회차	1	2	3
시험 결과			
	측정 결과: 5.38 s	측정 결과: 5.48 s	측정 결과: 5.49 s
	3회 측정 평균: 5.45 s (= 1.834 m/s)		

(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	시설온실 생산성 향상을 위한 이송로봇의 토마토 적재 트레이 타당성 확인과 과일상자 상하차 기구 제작에 관한 연구	한국산학기술학회	김만중		대한민국	한국산학기술학회	비SCIE	2021.09월 호 게재 예정		100

Journal of the Korea Academia-Industrial
cooperation Society
Vol. X, No. X, pp. -, 2021

시설온실 생산성 향상을 위한 이송로봇의 토마토 적재 트레이 타당성 확인과 과일상자 상하차 기구 제작에 관한 연구

Study on the validation of the tomato loading tray of the transfer robot for improving the productivity of the greenhouse and the production of the fruit box loading and unloading mechanism

요약 본 논문은 시설온실에서 이송로봇을 사용할시 생산성 향상을 위한 토마토 트레이 필요 여부와 과일상자 상하차 기구에 관한 연구이다. 기존 연구한 토마토 경도측정 값을 토대로 토마토가 상자에서 최대 20kg의 하중을 받는다고 하였을 때 토마토 윗면의 30%가 접촉한다고 하면 23.6(g/mm)이상의 압력을 버텨야 한다. 측정결과 토마토는 최소 46(g/mm)이상의 압력을 버틸 수 있음으로 별도의 적재 트레이가 없어도 수확이나 이송시 문제가 없음을 알 수 있었다. 과일 상자 상하차 기구는 알루미늄 프로파일을 사용하여 최대한 경량화 하였으며, 이송로봇과 이송로봇에 적재되는 과일상자의 크기를 기준으로 충분히 작동 할 수 있도록 설계를 진행 하였다. 상자를 밀어주는 구동부 부분과 상자를 받고 올려주는 테이블 부분으로 나누어 제작 하였으며, 구동부는 2개의 모터를 사용하여 2단으로 작동하여 이송로봇이 움직이지 않고 한 위치에서 상, 하차를 모두 진행 할 수 있도록 제작 하였다. 또한 실험을 통하여 상하차기구의 문제점을 파악하고 해결 하였다. 본 연구를 통하여 시설 온실에서 이송로봇 이용에 도움을 주었으며 과일 상하차 기구를 통해 생산성을 높이는데 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

Abstract This paper is a study on whether tomato trays are needed for productivity improvement and a fruit box loading and unloading mechanism when using a transfer robot in a facility greenhouse. Based on the tomato hardness measurement value studied in the past, when a tomato receives a maximum load of 20 kg from a box, if 30% of the top surface of the tomato is in contact, it must withstand a pressure of 23.6 (g/mm²) or more. As a result of the measurement, it was found that there was no problem during harvest or transport even without a separate loading tray, as tomatoes can withstand a pressure of at least 46 (g/mm²) or more. The fruit box loading and unloading mechanism was made as lightweight as possible by using an aluminum profile, and it was designed so that it could operate sufficiently based on the transfer robot and the size of the fruit box loaded on the transfer robot. It was manufactured by dividing the driving part that pushes the box and the table part that receives and raises the box. produced. In addition, the problems of the loading and unloading mechanism were identified and solved through experiments. Through this study, it was helpful to use the transfer robot in the facility greenhouse, and it is expected to help increase productivity through the fruit loading and unloading mechanism.

Keywords : Automation, Facility Greenhouse, Smart Farm, Tomato Hardness, Transport Robot.

1. 서론

기술의 발전에 따라 스마트팜, 농업용 로봇 등은 우리의 일상속에 들어와 있으며, 연구개발 또한 지속적으로 진행 되고 있다. 스마트팜에서의 로봇은 방제,

이송, 수확 등 농업전반에 걸쳐서 진행되고 있으며, 이에 따른 기초자료의 필요성 또한 증대되고 있다.[1] 과일을 수확하는 작업은 수확 > 이송 > 선별의 과정을 통해 진행되며, 이 중 수확작업은 수확물의 상품성을 결정하는 중요한 작업이다. 선별장으로 이송

은 수확 카트 등을 사용하여 이송하고 있으나, 한 번에 옮길 수 있는 양이 많지 않고 선별장까지의 거리가 먼 경우 왕복하는 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 이송로봇을 사용한다면 수확지에서 선별장까지 이동하는 시간을 줄일 수 있으나, 선별장에서 이송로봇 위의 과일상자를 하차 시키고 빈 상자를 상차 시키는 일이 남아 있다. 수확한 과일상자 1개의 무게는 약 20kg으로 사람이 반복적으로 작업할 경우 근골격계 질환을 일으킬 위험이 크므로 이 부분 또한 자동화를 한다면 온실에서의 생산성향상을 하는데 큰 도움이 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구를 진행한 "스마트팜 온실의 적재 트레이 구조 고안을 위한 토마토 경도측정에 관한 연구"에서 토마토 경도측정 자료를 바탕으로 [2] 상품성을 위하여 토마토 적재 트레이가 필요로 한지에 대한 타당성 확인을 진행하고, 이송로봇에서 과일상자 상하차를 자동으로 진행하는 자동상차 기구를 설계 제작 하였다.

2. 토마토 적재 트레이 타당성 확인

2.1 기존 연구 내용

기존 "스마트팜 온실의 적재 트레이 구조 고안을 위한 토마토 경도측정에 관한 연구"를 통하여 토마토 경도측정을 수행하였다. 측정결과는 Table.1과 같이 측정 되었다.

Table 1. Hardness measurement result

Unit:g	Stage2	Stage3	Stage4	Stage5	Stage6
Top	2183	2619	1838	1593	1642
Meddle	2438	2454	2020	1299	1592
Tail	2909	2964	2006	1594	1668

각 숙성단계별 경도측정기의 피크값(g)들의 평균은 상, 중, 하 위치에서 2단계는 2183, 2428, 2909. 3단계는 2619, 2454, 2963. 4단계는 1837, 2024, 2007. 5단계는 1593, 1299, 1594. 6단계는 1642, 1592, 1670임을 보였다. 이들의 면적을 바탕으로 식 (1)과 같이 한계 압력(g/mm²)을 계산한 결과 Table.2와 같이 상, 중, 하 위치에서 2단계는 77, 86, 103, 3단계는 93, 87, 105. 4단계는 65, 72, 71. 5단계는 56, 46, 56. 6단계는 58, 56, 59의 압력을 보였다.

$$P = \frac{F}{A} \quad (\text{식1})$$

(P = 압력, F=힘, A=면적)

Table 2. Limit pressure measurement result

Unit:g/mm ²	Stage2	Stage3	Stage4	Stage5	Stage6
Top	77	93	65	56	58
Meddle	86	87	72	46	56
Tail	103	105	71	56	59

적재 트레이는 Fig.1과 같이 상자 내부에서 과일끼리 부딪히지 않도록 하거나, 과일에 압력이 가해질 때 손상을 막는 역할을 한다.

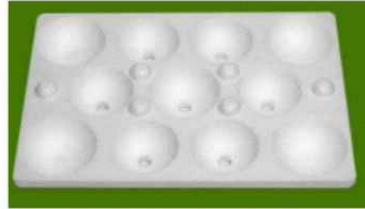


Fig. 1. Fruit tray

과일 트레이는 과일을 보호하는 측면에서는 좋으나 수확작업을 생각 하였을 때는 한 상자에 담기는 수확물의 수를 제한하며, 한 층의 수확물이 담기면 다음 트레이를 올려 다시 적재해야 한다는 단점이 있다. 따라서 트레이가 꼭 필요한지 확인할 필요가 있다.

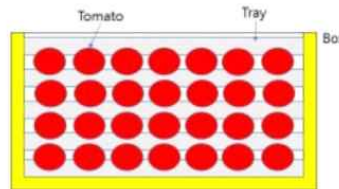


Fig. 2. Fruit tray in the Box

토마토 수확 시 한 상자에 20kg이 담기며 6cm지름을 가지는 토마토가 상자 내부에서 서로 맞닿는 면적을 윗면의 30%로 가정하였을 때 발생하는 압력은 23.6(g/mm²)으로 측정결과의 최소치인 46(g/mm²)아래로 토마토 수확을 보조하기 위한 트레이는 불 필요 함을 알 수 있다.

3. 과일상자 상하차 기구

3.1 이송로봇 및 온실 내부구조

이송로봇은 Fig.3과 같이 로봇위에 과일상자를 올려 이송시킨다.

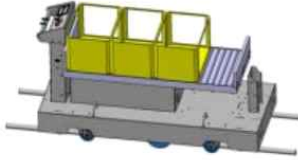


Fig. 3. Transport robot

이송로봇은 수확장과 하역장 사이를 이동하며 수확장에서 수확한 과일을 하역장으로 이동시키는 역할을 한다. 일반적인 온실에서 이송로봇의 이동은 Fig.4와 같이 나타나며, 수확은 사람이 수확하여 과일상자에 넣으면 되나 하역의 경우 하역 테이블 까지 사람의 힘으로 옮겨야 한다. 과일이 담긴 과일상자는 1개에 20kg이며 1번에 4개의 과일상자를 이송시킴으로 하역 시 80kg의 무게를 옮겨야함으로 이를 자동화 시켜 작업자 보호와 생산향상을 이룰 수 있다.

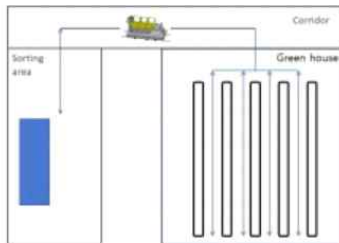


Fig. 4. Transport robot route

3.2 과일상자 상하차 기구 기본 설계

과일상자 상, 하차구는 기존 개발된 농업용 이송로봇이 하역장에 위치 하였을 때 수확이 완료된 과일상자를 자동으로 상, 하차 하기 위한 기구이다. 지면으로부터 이송로봇의 높이는 780mm이며 주로 사용되는 과일상자는 3호 과일상자로 Fig.5와 같이 366x523x245mm 의 크기를 가지고 있다.



Fig. 5. Fruit box size

따라서 과일 상자 상하차기구에서 과일상자를 밀어 주는 부분은 지면으로부터 높이 780~1,025mm 사이에 위치 되어야 한다. 과일상자는 이송로봇위에 Fig. 6과 같이 4개가 올라가며 과일상자 4개를 동시에 밀어주어야 함으로 최소 1,464mm 이상이 되어야 한다. 또 과일이 수확되어진 과일상자의 무게는 각 20kg으로 4개를 한꺼번에 움직여야 함으로 80kg의 하중을 움직일 수 있어야 한다. 과일상자의 하차와 상차를 동시에 할수 있어야 한다. 위의 조건을 정리하면 다음 Table. 2와 같다.

Table 2. Loading and unloading mechanism conditions

Spec.		Respondents
Size	Hight	780~1,025mm
	Wide	1,464mm
Power	Waite	80kg
Move	Box Lode, Unload	

과일상자 상하차 기구는 Fig.6과 같이 상자를 이동시킬 구동부부분과 상자를 올려놓을 테이블 부분으로 2부분으로 나누어 구성 하였다



Fig. 6. Loading and unloading machine concept.

3.2 과일상자 상하차 기구 설계 및 제작

과일상자 상하차 기구를 제작하기 위한 부품을 선정 하였다. 기본 프레임은 알루미늄프로파일 3030으로 선정 하였고, 적재함 및 테이블에서 상자를 이송하기 편하게 하기위한 롤러 컨베이어, 상자를 밀어주기위하여 BLCD모터 2개와 리니어가이드, 리드스크류를 사용하여 제작 하였다. 이송기구의 움직임

제어하기 위하여 4개의 근접센서와 3개의 포토센서를 사용하였으며, 전체적인 제어는 PLC를 사용하여 수행 하였다.

프레임의 높이는 로봇의 손잡이 부분의 최대 높이인 1,000mm 보다 높도록 1,200mm의 높이로, 폭은 1,600mm로 설계 하였다. 과일상자를 상, 하차 시키는 부분은 2단으로 구성되어 이송로봇이 하역장에 위치 하면 1,2번 모터가 정회전하여 상자를 테이블 안쪽으로 이송시키고 테이블에 새로운 상자 4개가 들어오면 상자를 이송로봇으로 이동 시키도록 알고리즘을 구성하였다.

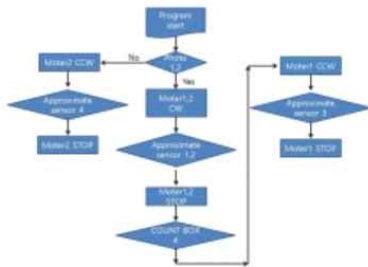


Fig. 7. Loading and unloading mechanism algorithm

상하차 기구의 동작은 4개의 단계로 이루어진다. 첫 번째는 로봇이 상하차기구 사이로 들어온다. 두 번째는 상하차기구가 과일상자를 테이블 가장 안쪽으로 밀어주고 새로운 과일상자가 들어온다. 세 번째는 상하차기구가 새로운 과일상자를 이송로봇위에 올려주고, 로봇이 빠져나가면 다시 대기 상태로 돌아온다. Fig. 8은 상하차 기구의 동작을 보여준다.

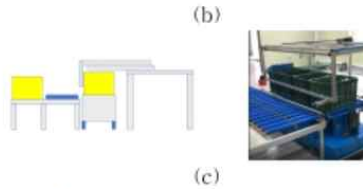
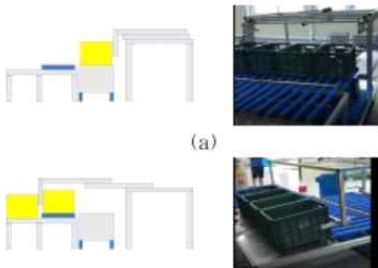


Fig. 8. Loading and unloading machine movement (a) Step 1 (b) Step 2 (c) Step 3

3.4 상하차 기구 작동 실험

과일상자 상하차기구의 작동 실험을 수행하였다. 작동실험은 상하차 속도와 상하차 성공률을 확인 하였다. 총 5회를 측정하였다.

Table 3. Loading and unloading mechanism experiment

Spec.	1	2	3	4	5	
Speed	S	60	64	70	62	63
Success	O,X	O	O	X	O	O

실험결과 성공시 상하차 속도는 62.25S로 측정되었고 1번의 실패가 있었다. 실패의 원인은 빈 상자의 상차시 Fig.9와 같이 로봇의 롤러에 상자가 걸리는 문제가 있었다.



Fig. 9. Transport robot

위의 문제를 해결하기 위하여 과일상자 테이블의 높이를 높이고 로봇과 테이블 사이에 롤러를 보강하여 문제를 해결 하였다.

4. 결론

본 논문에서는 스마트 온실에서 운용되는 이송로봇을 사용하는 경우에 생산성을 높이기 위하여 토마토 수확 트레이 필요 사항 확인을 위한 경도결과 비

교와 과일상자 상하차를 자동으로 할 수 있는 기구를 설계 제작 하였다.

첫 번째로 측정된 경도값을 압력단위로 변환하여 결과를 확인 하였다. 토마토 수확 시 한 상자에 20kg 이 담기며 토마토가 상자 내부에서 서로 맞닿는 면적을 토마토 뒷면의 30%로 가정하였을 때 발생하는 압력은 23.6(g/mm²)으로 측정결과의 최소치인 46(g/mm²) 아래로 토마토 수확을 보조하기 위한 트레이는 불필요 함을 알 수 있다.

두 번째로 이송로봇에서 과일상자를 자동으로 상하차 하는 기구를 설계하기 위해 이송로봇과 과일상자의 재원을 조사하였다.

세 번째로 위에서 조사한 재원을 바탕으로 과일상자 상, 하차 기구를 제작 하였으며 원활히 작동함을 알 수 있었다.

네 번째로 과일 상하차 기구의 동작 실험을 통하여 문제점을 파악하고 수정하여 해결 하였다.

추후 본 논문에서 제작한 과일 상하차 기구의 롤컨베어의 방향을 상자의 상하차방향과 수직이 아닌 수평방향으로 배열 한다면 좀 더 빠른 사이클 타임을 가질 수 있을 것으로 보인다.

5. 사사

본 연구는 농림축산식품연구개발사업 "온실형 스마트팜 추종형 이송로봇 개발을 위한 시설작물 적재 트레이 개발(기관과제번호 : 320086100HD020)"의 지원을 받아 수행되었음.

References

- [1] G.S.Ryuh, C.M Yue, "2021 Technology Trend Brief", KISTEP, Korea, pp.1-3,
- [2] M.J Kim, J.W Jung, K.C Kim, B.S Ryuh, "A Study on the Hardness Measurement of Tomatoes for the Stiffness of Load Tray in Smart Farm Greenhouse", *Proceedings of the KSAM & ARC's 2021 Spring Conference*, KSMA, Korea, Vol.26, No.1, p.176, April 2021.
- [3] "nongsaro Post-harvest management skills", Rural Development Administration,
<http://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psb/psbk/kidoContentsFileView.ps?kidoComdtyNo=22014>, 7

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국농업기계학회 2021년 춘계공동학술대회	김만중(전북대)	2021.4.30	국립농업과학원	대한민국
2	제어로봇시스템학회 학술대회	손현식(생기원)	2021. 06. 25.	여수 소노캄	대한민국
3	제어로봇시스템학회 학술대회	유재은(하대)	2021. 06. 25.	여수 소노캄	대한민국
4	한국농업기계학회 2021년 춘계공동학술대회	김경철(농과원)	2021. 04. 30.	국립농업과학원	대한민국
5	한국농업기계학회 2021년 춘계공동학술대회	박정현(전남대)	2021.04.30	국립농업과학원	대한민국
6	한국농업기계학회 2021년 춘계공동학술대회	김응찬(서울대)	2021. 04. 30.	국립농업과학원	대한민국

A Study on the Hardness Measurement of Tomatoes for the Stiffness of Load Tray in Smart Farm Greenhouse

김만중¹ 정진우¹ 김경철² 유범상^{3*}
Man Jung Kim¹, Jin Woo Jung¹, Kyoung Chul Kim², Beom-Sahng Ryuh^{3*}

¹전북대학교 기계시스템공학과

¹Department of Mechanical Systems Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Korea

²농촌진흥청 국립농업과학원

²National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju, Korea

³전북대학교 자동차 신기술 연구센터

³Automotive New Technology Research Center, Chonbuk National University, Jeonju, Korea

초록(Abstract)

본 논문은 스마트팜 이송로봇의 시설작물(토마토) 적재 트레이의 적절한 형상과 재질을 결정하기 위하여 토마토의 경도측정을 수행하고 분석하였다.

스마트팜에서 시설작물들을 효과적으로 수확하기 위한 적재 트레이 개발을 위하여 대저토마토의 경도값들을 측정하였다. 먼저 숙성단계별로 2-6단계로 나누어 분류작업을 한 후, 각 토마토들의 폭, 높이, 무게를 측정하여 기록하였다.

실험장치를 구성하기 위하여 경도측정기 고정 지그, 프레임, z축 스테이지를 사용하였고, 지그는 알루미늄 프레임을 이용하여 만들었으며, 프레임은 알루미늄 프로파일, z축 스테이지는 XPT-100모델을 사용하였고, 경도계는 FR-5105모델과 6mm직경의 니들을 사용하였다. 과일의 경도 측정 방법은 경도측정기의 니들을 이용하여 과일의 균열이 생길 때까지 탐침시켜 측정하였다. 이 실험은 토마토의 상부, 중부, 하부로 나누어 3번씩 실험을 진행하였고, 과일 표면의 경도값은 균열 생성 직전에서 가장 높은 값을 나타내므로 경도계의 피크(Peak)값을 기록하였다.

각 숙성단계별 경도측정기의 피크값(g)들의 평균은 상, 중, 하 위치에서 2단계는 2183, 2428, 2909, 3단계는 2619, 2454, 2963, 4단계는 1837, 2024, 2007, 5단계는 1593, 1299, 1594, 6단계는 1642, 1592, 1670임을 보였다. 니들의 면적을 바탕으로 압력(g/mm^2)을 계산한 결과 상, 중, 하 위치에서 2단계는 77, 86, 103, 3단계는 93, 87, 105, 4단계는 65, 72, 71, 5단계는 56, 46, 56, 6단계는 58, 56, 59의 압력을 보였다. 실험결과 토마토들은 숙성단계별로 경도값의 차이를 보임을 알 수 있었으며, 숙성단계가 낮을수록 경도값이 높음을 알 수 있었다. 4단계 이후부터는 경도값들이 하락함을 보였고, 5단계와 6단계는 비슷한 정도의 경도값을 나타내었다.

이 연구를 통하여 토마토들의 숙성단계별, 부위별 경도값 측정을 수행하였으며 수행결과는 숙성이 진행됨에 따라 경도가 하락하는 것을 볼 수 있었다. 토마토가 견딜 수 있는 하중을 계산한 결과 숙성단계가 낮을수록 더 높은 하중을 견딜 수 있음을 알 수 있었다. 이는 적재트레이의 형상과 재질을 결정하기 위한 자료로 사용할 수 있으며, 추후 수확로봇의 그리퍼 압력에 대한 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

키워드(Keywords)

스마트팜, 이송로봇, 작물적재 트레이, 토마토

사사(Acknowledgement)

본 연구는 농림축산식품연구개발사업 '온실형 스마트팜 추종형 이송로봇 개발을 위한 시설작물 적재 트레이 개발(기관과제번호 : 320086100HD020)'의 지원을 받아 수행되었음.

*교신저자: 유범상()@jbnu.ac.kr

딥스 카메라를 이용한 사람과 로봇 간의 위치정보 추정 Estimation of location information between human and robot using depth camera

○손현식^{1,3}, 김덕근^{2,3}, 양승환^{3*}

¹⁾ 부산대학교 전기전자공학과 (TEL: 051-510-1445, E-mail: []@kitech.re.kr)

²⁾ 전남대학교 농업생명과학대학연동과정 (TEL: 062-530-2050, E-mail: []@kitech.re.kr)

³⁾ 한국생산기술연구원 지능형농기계연구그룹 (TEL: 063-920-1276, E-mail: []@kitech.re.kr)

Abstract For the mobile robot following a person, a function of estimating its current position is essential. This paper deals with the technique of estimating location information between a following robot and a person. In this paper, a method of recognizing a person through deep learning and estimating location information (distance, angle) between a robot and a person using a depth camera was proposed. The distance is obtained using the depth image of the person recognized through deep learning. The angle is obtained using the x-axis coordinate of the recognized person's center. Through experiments, the average error of distance was 0.0768 m and the average error of angle was 0.123°. It is expected that the proposed method of this paper can be applied to estimate location information for the following robot.

Keywords Distance and angle measurements, Following robot, Deep learning, Depth camera

1. 서론

이동로봇이 사람을 추종하기 위해서는 주행제어, 위치 인식 및 보정 등의 기본적인 능력을 갖추어야 한다. 특히, 로봇이 자기 자신과 사람 간의 현재 위치 관계를 추정하는 기능이 필수적으로 요구된다.

이전 연구에는 두 개의 초음파 센서[1], 카메라와 2D lidar[2]를 이용하여 사람과 로봇 간의 위치정보를 추정하거나 레이저 영역 센서[3-4] 하나만을 가지고 위치정보를 추정하였다.

본 논문에서는 딥러닝을 통해 사람을 인식하고 딥스 카메라(Intel realsense D435) 한 대를 이용하여 사람과 로봇 간의 위치정보(거리, 각도)를 추정하는 방법을 제안하고 실험을 통해 정확도를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

사람을 인식하기 위해 그림1과 같이 사람의 하체를 다양한 방향에서 촬영하여 이미지 데이터를 획득하고 tiny-YOLOv3 모델을 이용하여 학습시켰다.

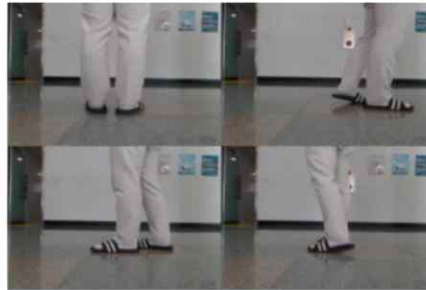


그림 1. 학습을 위한 이미지 데이터

이미지에서 pixel을 좌표로 하여 그림2와 같이 경계상자 안에 인식된 사람의 중심 좌표를 (x, y)라고 했을 때, 경계상자 안에 있는 모든 y축의 depth data 중 가장 작은 값을 사람과 로봇 간의 거리로 계산하였다.

사람과 로봇 간의 각도는 그림 3 과 같이 x 축의 pixel 값을 이용하여 구했다. 딥스 카메라를 통해 측정할 수 있는 각이 좌우 최대 28°가 나온다. 이미지의 중심인 320 pixel 을 0°로 두어 식 1 을 통해 각도를 계산하였다.

$$\theta = \left(x \times \frac{28}{320} \right) - 28 \quad (1)$$

* 본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 1세대스마트프렌트팜 산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(320086-1)

스마트팜 농작업자 추종형 이송 로봇 산업화

Smart farm agricultural worker tracking robot

○유재은¹, 김강산², 라종우³

¹ ㈜하다 기업부설연구소 (TEL: 063-836-2005, E-mail: @hada-korea.com)
² ㈜하다 기업부설연구소 (TEL: 063-836-2005, E-mail: @hada-korea.com)
³ ㈜하다 기업부설연구소 (TEL: 063-836-2005, E-mail: @hada-korea.com)

1. 서론

시설 농장은 보통 고온 다습하고 환기도 충분하지 못하여 작업시 피로감을 쉽게 느낀다. 특히 수확작업은 여러 번에 걸쳐 수확물을 옮겨야 하기 때문에 노동의 부담이 가중된다. 수확물의 운반 노력을 절감하고 생산성을 향상시키고자 수확 작업자와 집하장간에 무인으로 수확물을 이송하는 로봇 플랫폼을 개발하게 되었다.

2. 추종 이송 로봇

개발된 추종이송 로봇의 기본 사양은 아래와 같다.

표 1. 추종 로봇 개발 지표

성능 지표	목표치	성능 지표	목표치
작업자 인식율	90%	추종 거리/각도 오차	5%
자율주행 성공율	95%	배터리 연속 사용 시간	8h
작업자 추종 성공율	80%	구동 방식	2륜

개발 목표치는 선진사 대비 품종 수준 이상으로 정하고, 국내 시설농가 특성을 고려하여 사용 시간 및 구동 방식 등을 정하고, 로봇 플랫폼은 그림 1 과 같이 수확물 적재 컨테이너 등을 고려 설계하였다.



그림 1. 추종 이송 로봇 플랫폼 모델링.

플랫폼과 적재물을 합한 최대 무게를 700Kg까지 가능하도록 설계 제작하고, 최대 적재물을 고려하여 안정된 주행을 하기 위한 무게 분산이 가능한 바퀴 배치와 자동 추종 혹은 자율 주행 모드도 아닌 수동으로도 로봇 플랫폼 이동이 가능하도록 손잡이를 설계하여 편의성을 높였다. 더불어, 시설 온실의 공간활용을 높이기 위해 회전반경이 Zero-turn이 가능하도록 2륜 구동 방식으로 설계하였다.

3. 로봇 고도화

3.1 모바일 플랫폼용 통합 전력 시스템

전원 환경에 따른 구동 플랫폼 전원시스템 사양을 선정하고, 연속동작 8시간 기준 배터리 사양 선정. BMS(Battery management system)적용을 통한 로봇 전원관리 최적화. 전력 시스템 모니터링 및 배터리의 잔량을 HMI상에 표시하였다.

3.2 모바일 플랫폼 구동용 제어기의 내구성 확보

로봇 플랫폼의 신뢰성(내구성)을 높이기 위해 범수 및 방진 기준인 IP등급 65이상의 하위 제어기, 약조건의 내환경(온도, 습도)에서도 구동 가능한 제어기, 고장을 보장을 위한 SIL2 등급 이상의 제어기를 선정하고, 상위제어기의 고장이나 알 수 없는 이유로 인해 상위제어기와 통신 단절이 발생시 하위제어기만으로 수동모드로 로봇 플랫폼을 구동할 수 있도록 설계하였다.



그림 2. 사용 제어기 예시

3.3 연가장지 최적화

평탄하지 않은 시설 온실 노면 상태를 고려하여 바퀴와 노면과의 마찰력이 약하면 슬립현상이 발생하는 2륜 구동 바퀴 구조의 단점을 보완하기 위하여 스프링 구조의 연가장지를 적용하여 노면과의 접지력을 높일 수 있도록 설계 제작하여, 다양한 작업환경의 적합도를 높였다.



그림 3. 연가장지 시스템렌 제품 예시

3.4 운영 시스템

로봇 플랫폼이 수행한 작업의 종류나 작업 시간과 같은 작업 이력 정보를 클라우드 서버에 실시간으로 저장하고, 사용자는 클라우드 서버에 접속하여 지난 작업에 대한 이력을 스마트 기기를 통해 확인이 가능하도록 설계 제작하였다(그림 4). 부가적으로, 5인치 HMI를 적용하여 사용자가 조작하기 쉽게 UI를 구현하였고, 로봇 플랫폼에 부착된 각종 센서 및 구동모터가 정상적인 기능을 수행하는지 상시 점검 기능을 도입하였다.

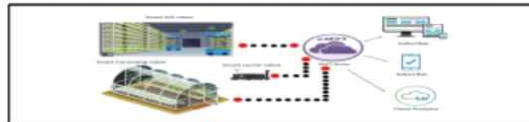


그림 4. 스마트팜용 로봇의 클라우드 예시

4. 결론

스마트팜 재배 작물(파프리카, 딸기, 토마토 등)번리를 위해 농작업자 추종에 의한 열풍 작업 및 자율주행이 가능한 로봇 플랫폼 기술 고도화 작업을 진행하고, 작업자 추종이 가능한 이송 로봇 실증시험 및 상용화 준비를 위한 신뢰성 등을 확보하였고, 작업 이력에 대한 정보를 클라우드 서버에 실시간으로 저장하며 스마트폰이나 태블릿PC를 통해 사용자에게 정보를 제공할 수 있다.



그림 5. 추종형 이송 로봇(적재상태)

참고문헌

[1] M.S.Kang, Y.J.Cho, S.Y.Woo, H.G.Hong, H.Y.Yun, S.H.Song, "Identification of structural problems of facility horticultural robot suspension system through finite element analysis", *Proceeding of the KSMPs Spring Conference*, pp.204, 2020.
 [2] 박성준, 손형일, 주관영, "농업용 로봇 및 자동화 기술 분석과 국내의 동향" *한국농공학회지*, vol. 59, pp. 17-27, August, 2017.

※ 본 논문은 농림축산식품부 1세대 스마트 플랫폼팜 산업화 기술개발사업에서 지원하여 연구하였음.

스마트팜 적용을 위한 SLAM 기반 자율주행 알고리즘 평가

Evaluation of SLAM-based Autonomous Driving Algorithms for Smart Farm

박정현¹ 김정은^{1,2} 박용현³ 손형일^{1,2*}
Jeonghyeon Pak¹, Jeongeum Kim^{1,2}, Yonghyun Park³, Hyoung Il Son^{1,2*}

¹전남대학교 지역·바이오시스템공학과

¹Department of Rural and Biosystems Engineering, Chonnam National University, Yongbong-ro 77, Gwangju 61186, Republic of Korea

²전남대학교 IT-Bio 융합시스템 전공

²Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Chonnam National University, Yongbong-ro 77, Gwangju 61186, Republic of Korea

³경상대학교 바이오시스템공학과

³Department of Biosystems Engineering, Gyeongsang National University, Jinju-daero 501, Jinju 52828, Republic of Korea

초록(Abstract)

농업환경은 다른 산업 현장과 달리 정형화된 환경이 아니기 때문에 가이드라인, 추종선 등을 설치하기 어려운 환경이 존재한다. 이를 해결하기 위해 비정형 농업 환경에서 자율주행을 수행하기 위한 기술 개발이 활발히 이루어지고 있다. 여러 가지 자율주행 알고리즘 중 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 기반 자율주행은 UGV(Unmanned ground vehicle)에 레이저 거리 센서(LiDAR) 등을 탑재하여 SLAM 기법으로 지도 정보를 저장하여 이를 기반으로 장애물을 회피하며 안전하고 정확하게 목표지점까지 이동한다. SLAM은 3가지 환경을 가정해 볼 수 있다. 첫 번째, 비정형화된 새로운 환경에 적용할 수 있는 실시간 SLAM, 두 번째, 정형화되고 알려진 환경에 적용할 수 있는 지도 기반 SLAM, 세 번째, 구속조건을 추가한 지도 기반 SLAM으로 3가지 환경을 가정해 볼 수 있다. 본 연구에서는 스마트팜은 하역장이나 수확 위치가 정해져 있을 때 사전에 지도가 생성되어 있지 않다면 특정 위치를 적용할 수 없으므로 실시간 SLAM을 제외한 두 가지 방식을 비교하였다. 환경은 스마트팜의 유리 온실을 가정하였고, 구속조건은 랜드마크를 결합한 알고리즘을 사용하였다. UGV가 목표 지점에 도달하는 시간과 위치 정확도를 성능지표로 하여 자율주행 알고리즘을 비교, 분석하여 스마트팜에 적합한 알고리즘을 제시한다.

키워드(Keywords)

자율주행, UGV, 스마트팜, 정밀농업, SLAM

사사(Acknowledgement)

본 논문은 농업축산식품연구센터지원사업(과제번호: 320086-01)의 지원에 의해 이루어진 것임

*교신저자: 손형일(@jnu.ac.kr)

RGB-D 센서와 딥러닝을 이용한 스마트온실 내 농작업자의
실시간 인식 및 거리 측정기술 개발

Development of real-time detection and distance measurement
algorithm for agricultural workers in smart greenhouse using RGB-D
sensor and deep learning

김응찬^{1,2} 이창협^{1,2} 홍석주¹ 김상연¹ 김성제¹ 노승우¹
Nandita Irasaulul Nurhisna^{1,2} 류지원¹ 김기석^{1,2,3*}
Eungchan Kim^{1,2} Chang-Hyup Lee^{1,2} Suk-Ju Hong¹ Sang-Yeon Kim¹
Sungjay Kim¹ Seungwoo Roh¹ Nandita Irasaulul Nurhisna^{1,2} Jiwon Ryu¹
Ghiseok Kim^{1,2,3*}

¹서울대학교 농업생명과학대학 바이오시스템공학전공

Department of Biosystems Engineering, Seoul National University, 1 Gwanak-ro,
Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea

²서울대학교 융합전공 글로벌 스마트팜

Global Smart Farm Convergence Major, Seoul National University, 1 Gwanak-ro,
Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea

³서울대학교 농업생명과학연구원

Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, 1
Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea

*교신저자: 김기석(@snu.ac.kr)

초록(Abstract)

스마트팜에 대한 연구가 활발히 진행됨에 따라 농업 분야의 다양한 방면에서 상당한 정도의 기계화와 자동화가 이루어지고 있다. 특히, 노동력을 절감할 수 있는 스마트온실에 대한 관심이 급증하면서 시설·농장 내에서의 로봇화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 시설농장 내에서 작업자를 추종하며 농작업을 협업하는 전기 구동형 로봇 플랫폼을 개발하고자 하는 목표 중에서 작업자를 정확하게 인식하고 인식된 작업자와의 거리를 정확하게 측정하고자 하였다. RGBD 센서로 농작업자를 실시간으로 인식하고 검출된 작업자와의 거리를 출력하여 구동체로 신호를 보내므로써 협동 작업을 위한 작업자 인식 및 추종 기능을 고도화하고자 하였다. 농작업자를 인식하기 위한 딥러닝 모델로는 실시간 검출에 용이한 SSD Mobilenet v.2을 이용하였다. 또한, 센서의 FoV와 작업자와의 거리를 고려하여 로봇 구동체가 작업자와 가까울 경우 신체 전부의 영상을 획득할 수 없으므로, 농작업자의 신체 어느 부위를 검출하던 인식할 수 있고 다수의 작업자가 검출될 경우 가장 근접한 작업자만을 인식하여 거리값을 추출해내도록 알고리즘을 구현했다. 거리값은 RGBD 센서를 통해 획득한 depth 정보를 응용하여 보다 정밀한 거리값을 획득할 수 있도록 적용하였다. 이러한 작업자 추종 이송로봇의 활용으로 수확, 적엽 등 농작업에 대한 편의성을 향상시키고자 연구를 진행하였다.

키워드(Keywords): 스마트온실, 매실, 딥러닝, 실시간 검출, 거리정보 측정

사사(Acknowledgement)

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 1세대 스마트팜산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (320086011WT031)

[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	작업자 추종형 이송로봇	대한민국	(주)하다	2021. 02.24	10-2021- 0024700				100	與	
2	분류의 정확도를 높이는 토마토 운반 대차용 선별 장치 및 그 동작방법	대한민국	대한민국 (농촌진흥청장)	2021. 06.15.	10-2021- 0077527				100		

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1	√	√	√							

출원 번호 통지서

출원 일자 2021.02.24
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)
 출원 번호 10-2021-0024700 (접수번호 1-1-2021-0223036-70)
 (DAS접근코드F518)
 출원인 명칭 주식회사 하다(HADA Co.,Ltd)(1-2013-049388-3)
 대리인 성명 유병선(9-1999-000235-9)
 발명자 성명 하종우
 발명의 명칭 작업자 추종형 이송로봇

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로
 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가
 까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
 3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하
 여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에
 문의하여 주시기 바랍니다.
 ※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

【과제번호】 320086011SB010
【부처명】 농림축산식품부
【과제관리(전문)기관명】 농림식품기술기획평가원
【연구사업명】 1세대스마트플랜트팜산업화기술개발(R&D)
【연구과제명】 스마트팜 농작업자 추종형 이송 로봇 산업화
【기여율】 1/1
【과제수행기관명】 (주)하다
【연구기간】 2020.07.03 ~ 2021.07.02
【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 유병선

(서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】	0 면	46,000 원
【가산출원료】	25 면	0 원
【우선권주장료】	0 건	0 원
【심사청구료】	7 항	451,000 원
【합계】		497,000 원
【감면사유】	소기업(70%감면)[1]	
【감면후 수수료】		149,100 원

출원번호통지서

출원일자 2021.06.15
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(FP2104023KR)
출원번호 10-2021-0077527 (접수번호 1-1-2021-0689726-61)
(DAS접근코드248C)
출원인명칭 대한민국(농촌진흥청장)(2-1998-005031-4)
대리인성명 특허법인 주연(9-2021-100001-4)
발명자성명 김경철 홍영기 최인찬 김국환 권경도 류희석
발명의명칭 분류의 정확도를 높이는 토마토 운반 대차용 선별 장치 및 그 동작방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

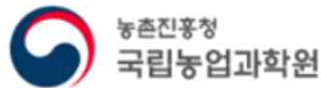
1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-지식재산제도

【우편번호】 54875
【주소】 전라북도 전주시 덕진구 농생명로 310 농업공학부
【발명자】
【성명】 류희석
【성명의 영문표기】 Ru, Hee Seok
【주민등록번호】 XXXXXX
【우편번호】 54875
【주소】 전라북도 전주시 덕진구 농생명로 310 농업공학부
【출원언어】 국어
【심사청구】 청구
【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】
【과제고유번호】 1545022338
【과제번호】 PJ015479022020
【부처명】 농림축산식품부
【과제관리(전문)기관명】 농림식품기술기획평가원
【연구사업명】 1세대 스마트 플랜트팜애니멀팜 산업화기술개발
【연구과제명】 스마트팜 이송 로봇 실용화 향상 실증 연구
【기여율】 1/1
【과제수행기관명】 국립농업과학원
【연구기간】 2020.07.03 ~ 2021.07.02

□ 기술 및 제품 실증

번호	실증 분야	실증 기관	인증 내용		실증 획득일	국가명
			실증명	실증 번호		
1	첨단온실 테스트베드 활용	농업진흥청	토마토, 딸기 2종 작물 8개월간 실증		2021.06.30	대한민국

작업자 추종형 운반 로봇 스마트 온실 실증 보고서 2종(토마토, 딸기)



2021.06.30

국립농업과학원

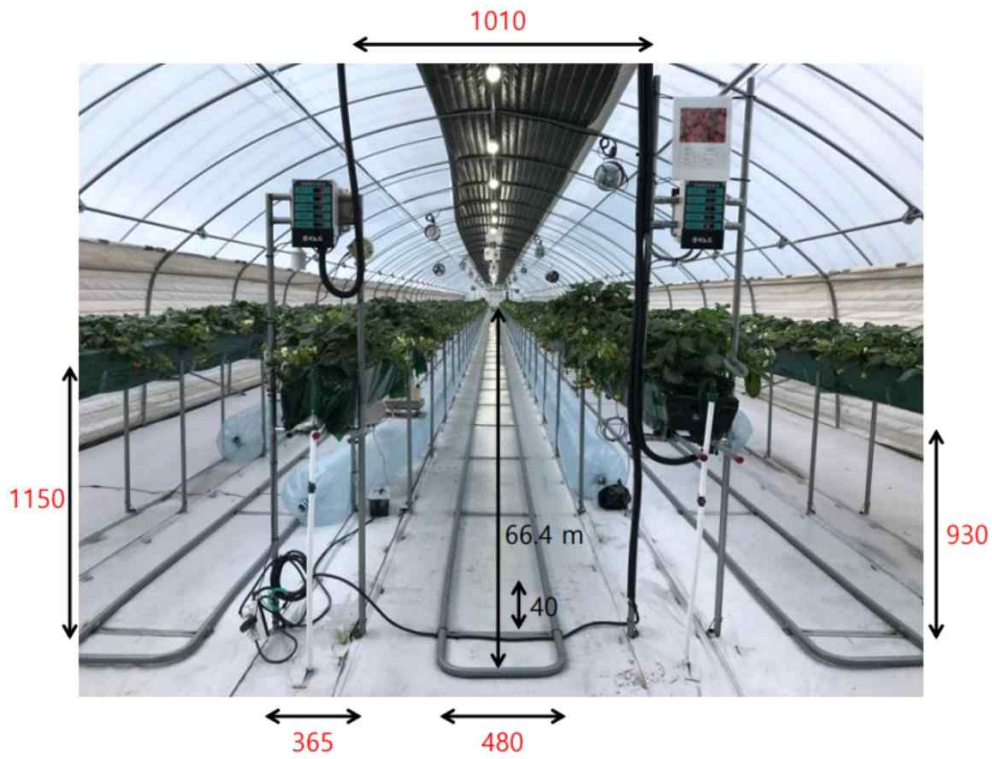


운반 로봇 스마트 온실 실증 테스트

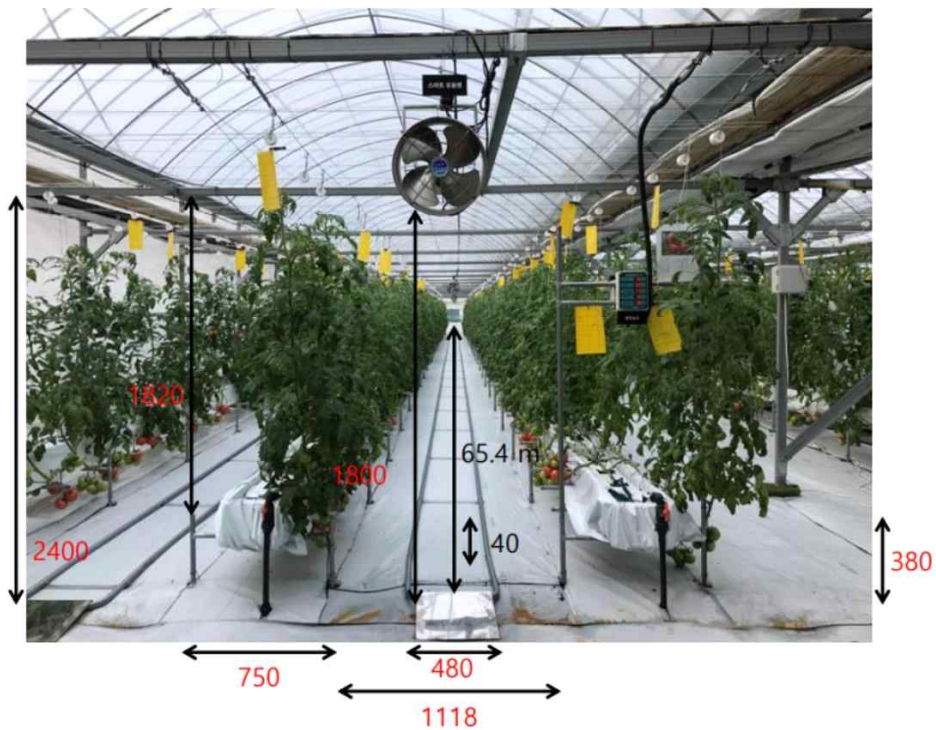
- 장소 : 국립농업과학원 테스트베드 및 첨단 디지털 온실(토마토, 딸기)
- 일시 : 2020년 12월 ~ 2021년 6월
- 내용
 - 로봇 주행 실증(온수 파이프 이동시 동작성 및 하중 변위 실증)
 - 온실 반복 주행 실증(경제성을 고려한 내구성 확보 방안을 위한 실증)
 - 인식 관련 실증(작업자 인식, 추종거리, 안전성 확보 방안 실증)
 - 작업자 협업 작업에 따른 요구 사항 및 안전성 확보 방안 실증



테스트베드 온실 구조(딸기)



테스트베드 온실 구조(토마토)



실증 결과

1. 작물 재배 구역이 황토인 경우 로봇 하중에 의한 지반 침하 발생
-> 온수 파이프 위치 고정(진·출입시 진동 억제) 및 파이프 바닥 지지대 보강
2. 작물 재배 구역 진입시 케스터 가끔 보조 이동 바퀴(케스터)가 걸림
-> 보조 이동 바퀴 종류 및 위치 변경
3. 수확물 적재 시 로봇이 멀어져 작업자가 작물을 던지듯이 적재 함
-> RGBD 센서의 최소 인식 거리(0.3m)를 고려하여 센서 고정 위치 변경
4. 적재 박스에 작물이 담겨있지(빈박스) 않을 때, 로봇 이동시 위치 고정이 풀림
-> 고정 JIG에 탄성(스프링 장치 추가)을 부여하여 결합력 상승
5. 반복 사용에 따른 내구성 관련 특별한 문제점은 없음
-> 약 8개월 실증하였으며 고장 또는 기능에 따른 문제는 없음

[경제적 성과]

□ 시제품 제작


번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	추종이송로봇	2021.08.30	(주)하다	농업진흥청 첨단온실	딸기, 토마토 작물 적용	1년	농업기술실용 화재단	

□ 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	내부자금	이송로봇	(주)하다	2021.08.30	3,920,000원	

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

<별첨3> 기술실시보고서 양식

기술실시보고서						
(단위 : 원)						
연구개발과제 현황	사업명	1세대 스마트 산업화 기술개발		연구과제번호	320086-1	
	연구과제명	스마트팜 농작업자 추종형 이송 로봇 산업화				
	연구기관명	(주)하다	연구책임자	하종우	참여기업명	
	연구협약일	2020.07.03.	연구기간	2020.07.03. ~ 2021.07.02. (12개월)		
	연구개발비	정부출연금	기업부담금	기타 ()		계
280,000		166,667			446,667	
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	농업용 이송로봇 관련 기술				
	계약(활용)일	2021.02.4	실시(활용)기간	2021.02.24.~2041.02.23		
	지재권 종류	특허 출원		실시권 유형	직접 실시	
	* 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명 칭	작업자 추종형 이송로봇			
		번호	10-2021-0024700		일 자	2021.02.24
	실시(활용)기관	기관명	(주)하다		기관유형	중소기업
		주 소	전북 완주군 삼례읍 삼례로 443		대 표 자	하종우
		사업자번호	403-81-70868		전화번호	063- 836-2005
부새(담당자)		유재은		e-mail	@hada-korea.com	
기술료산정내역	정부출연금 280,000천원*10%(중소기업)*20%(참여중소기업 감면)*70%(일시납부 감면)=3,920천원					
기 술 료	정액기술료		경상기술료		기타 조건	
	징수(납부)예정일	징수(납부)금액	착수기본료	징수(납부)예정일		징수(납부)금액
	2021.09.07	3,920천원	매출에 따른 기술료	징수(납부)시작일	결산일	
				징수(납부)종료일	징수율	
	계	3,920천원			매출액의 ()%	
기타특기사항	없음.					
<p>국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제22조 제2항에 따라 위와 같이 기술실시계약이 체결되었음을 보고합니다.</p> <p>붙임 1. 기술실시계약서 사본 1부(타기관으로 기술이전시) 2. 지식재산권을 포함하는 기술이전인 경우 해당 증빙자료(특허 등록증, 출원증 등) 1부 (타기관으로 기술이전시) 3. 연구개발과제협약서 사본 1부(직접실시시).</p> <p style="text-align: center;">2021년 8월 30일 주관연구기관 (주)하다 의 대표 [] 농림식품기술기획평가원장 귀하</p>						

이체확인증

NH Bank

이체처리결과 건별 상세정보입니다.

현재시간 : 2021년 08월 31일 17시 08분 07초

매체구분	기업인터넷뱅킹	이체일자/시간	2021/08/31 17:07:14
출금계좌번호	301-0122-****-41	출금금액	3,920,000 원
출금계좌명	주식회사하다	이체금액	3,920,000 원
출금통장 표시내용		이체수수료	0 원
입금은행	신한	CMS수수료	
입금계좌번호	56214598233070	처리결과	정상처리되었습니다.
입금계좌명	농기명(IPET)	이체메모	추종형이송로봇과제 기술료
입금통장 표시내용	주식회사 하다	CMS 거래처 코드/ 기관코드&채목코드	
보내는돈 연차(타행)		타행처리번호	011513743043E

처리일
2021.08.31
농림

· 고객님의 요청하신 대로 위와 같이 처리되었습니다.
 · 본 확인증은 고객님의 편의를 위하여 제공하는 것으로 법적 효력은 없습니다.
 · 농림 인터넷뱅킹을 이용해 주셔서 대단히 감사합니다.

전자세금계산서				송신번호		20210901-10000000-39752237		
영 급 자	등록번호	403-81-70868	통신업 번호	등록 번호	330-81-02214	통신업 번호		
	상호 (법인명)	주식회사 현대HADA (Co., Ltd)	성명	이종우	상호 (법인명)	주식회사 이콘	성명	박건우
	사업장 주소	전라북도 완주군 상계동 상계로 443, 112호(우석(대학교 공작관))	사업장 주소	전라북도 익산시 문기길 329-34, 3층(문기동)	사업장 주소	전라북도 익산시 문기길 329-34, 3층(문기동)	사업장 주소	
	업태	제조	종목	농업용 기계 및 장비	업태	제조업	종목	농업용 기계 및 장비
이메일	[]@hada-korea.com		이메일			이메일		
작성일자	공급가액	세액	수량	단가	공급가액	세액	비고	
2021-09-01	4,000,000	400,000					해당없음	
월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
09	01	로봇설치부대비용				4,000,000	400,000	
합계금액		현금	수표	이음	요상미수금	이 금액들 (총구) 합		
4,400,000								

본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급 또는 전송 입력된 전자(세금)계산서입니다.
발급사실 확인은 상기 홈페이지의 <조회/발급>전자세금계산서> <제3자 발급사실 조회>를 이용하시기 바랍니다.

<지자체 농가 보급사업 지원금 - 전라북도, 로봇구입자금 지원 3천만원>

2021년 이전 공공기관연계 육성사업 표준협약서				
① 사업명	2021 혁신도시 공공기관연계육성 스마트팜 기업지원사업(비R&D)			
② 관리번호	온-나라 문서 생산등록번호로 관리함			
③ 세부사업명 (협약대상)	스마트팜 기업지원사업 (기획기관)			
	스마트팜 테스트베드 현장실증 지원사업 (참여기업)			
④ 총 사업비	정부출연금 금삼억오천만원(금350,000,000원, 부가세불포함)			
	사업비구성 사업계획서의 사업비 구성을 기준으로 함			
⑤ 이행보증금	기획기관 금 원(금 원)			
	참여기업 금 원(금 원)			
⑥ 이행보증서(증빙대상)	이행보증보험증권 (기획기관, 참여기관)			
⑦ 기술료	기술료는 적용하지 않음			
⑧ 협약기간	2021년 08월 17일부터 2021년 12월 31일까지			
<p>위 협약을 체결함에 있어 불임 협약일반(특수)조건 및 사업계획서가 협약의 일부가 됨을 확인하며 상호대등의 입장에서 신의에 따라 성실히 협약상의 의무를 이행하고 완수할 것을 약속하며 협약의 증거로서 이 협약서를 작성한다.</p> <p>불임 : 1. 협약서 1부. 2. 사업계획서 각 1부 및 협약제반서류 각 1식.</p>				
협 약 일 자 2021년 8월 17일				
[협약당사자]				
(갑) 전담기관	상 호	농업기술실용화재단	사업자등록번호	124-82-18476
	주 소	전라북도 익산시 평동로 457		
	대 표 자	박 철 응	전 화 번 호	063-919-1714
(을) 기획기관	상 호	맥스컨설팅 (주)	사업자등록번호	214-81-57232
	주 소	경기도 안양시 동안구 시민대로 361, 506호(관양동, 에스평촌타워)		
	대 표 자	조 윤 계	전 화 번 호	02-3474-0906
	과제책임자	직급(위) 대표이사	성명	조 윤 계
(병) 참여기업	상 호	주식회사 하다	사업자등록번호	403-81-70868
	주 소	전라북도 완주군 삼례읍 삼례로 443, 112호(우석대학교 공학관)		
	대 표 자	하 중 우	전 화 번 호	063-836-2005
	과제책임자	직급(위) 연구소장	성명	유재은

이전공공기관연계 육성사업 협약서

[세부사업 : 스마트팜 테스트베드 현장실증 지원사업]

맥스컨설팅 (주)(갑)과 주식회사 하다(을)는 「스마트팜 테스트베드 현장실증 지원사업」 수행에 관하여 다음과 같이 협약을 체결한다.

제1조 (목적)

맥스컨설팅 (주)(대표자 조운재, 이하 “갑”)은 ‘스마트팜 테스트베드 현장실증 지원사업(이하 “본 건 사업”)’ 을 통해 주식회사 하다(대표자 하종우, 이하 “을”)의 ‘스마트팜 테스트 베드 활용 이송로봇 현장실증’ 테스트베드 이용 지원함에 있어, “갑” 과 “을” 간의 업무수행에 관한 협력 및 권리와 의무, 사업의 수행에 소요되는 금액(이하 “사업비”)필요한 사항을 정하기 위하여 본 협약을 체결한다.

제2조 (지원 범위)

“갑” 은 본 협약에 의하여 “을” 이 개발한 ‘스마트팜 테스트 베드 활용 이송로봇’ 현장실증’ 에 대해 “을” 이 제출한 사업계획서 등을 바탕으로 사업비를 아래 지원범위 내에서 지원한다.

- 지원범위 : 정부출연금 금30,000,000원(VAT 제외) 10% 현금자부담

제3조 (협약기간)

① 본 협약은 본 협약 체결일로부터 2021년 12월 31일까지 유효하다.

1. “갑” 과 “을” 은 2021년 11월 30일까지 사업목표를 달성할 수 있도록 사업을 계획하고 추진한다.

② 단, 필요시 쌍방의 서면합의에 의해 협약을 연장할 수 있으며, 연장 시 연장협약을 체결 후 연장된 사업기간까지 사업을 수행한다.

제4조 (사업비 지급, 사용 및 관리 등)

① “갑” 은 “을” 이 제출한 사업계획서 등을 근거로 사업비 지원여부를 결정한 이후 “을” 에게 지원통보를 하여야 하며, “을” 은 지원통보를 받은 날로부터 10일 이내에 사업비에 대한 자부담금 납부 확인이 가능한 입금확인서, 협약서, 사업계획서 등을 “갑” 에게 제출하여야 한다.

② “갑” 은 “을” 로부터 제1항의 사업계획서 등을 제출받은 이후 “을” 에게 테스트베드 지원 사업비를 다음과 같이 분할하여 지급한다.

- 협약 체결 후 30일 이내에 사업비 1차분 70%(금21,000,000원) 지급

- 중간보고 완료 후 30일 이내에 사업비 2차분 30%(일금9,000,000원) 지급

③ “을” 은 제2조에 따라 “갑” 으로부터 지급받는 사업비에 대해 이행보증보험증권을 “농업기술

제12조 (테스트베드 활용)

- ① “을”은 본 건 사업 목적 범위 내에서 테스트베드 활용 시 “갑”과의 협의 하에 “을”의 활용목적에 맞게 테스트 항목을 조율 할 수 있다.
- ② “을”은 본 협약에 따라 발생한 결과 및 보고서 등의 산출물을 시제품의 테스트 및 개선점 도출 용도 외로 사용할 수 없으며, 위 산출물을 기초로 한 “을”의 용도의 사용에 따른 “을”의 행위 결과에 대하여 “갑”은 어떠한 책임도 지지 않는다.
- ③ “을”은 협약한 수요처에게 사업 취지 및 테스트 내용을 상세 안내 후, 테스트베드 활용을 추진하며 수요처에 적용한 테스트 과정 및 결과에 대하여 “갑”은 어떠한 책임도 지지 않는다.

제13조 (기타사항 등)




- ① “갑”과 “을”은 본 협약에 의한 지원사업의 결과를 공개, 발표 또는 활용할 경우 반드시 「스마트팜 기업지원사업-스마트팜 테스트베드 현장실증 지원사업」으로 수행된 것임을 밝혀야 한다.
- ② 본 협약서의 해석상 의문 또는 이견이 있을 경우에는 전담기관인 농업기술실용화재단의 해석에 따른다.
- ③ 본 협약에서 정하지 아니한 사항은 관계법령 및 일반 관례에 따라 상호 호혜적인 입장에서 “갑”과 “을”이 협의하여 결정한다.

제14조 (소송관할 합의)

본 협약의 체결 및 이행과 관련하여 발생하는 당사자 사이의 분쟁에 관한 1심법원은 “을” 소재지 관할법원으로 한다.

본 협약이 체결되었음을 증명하기 위하여 협약서 2통을 작성하여 기명날인 후 각 1통씩 보관하기로 한다.

2021년 08월 17일

협약자 : 기획기관(갑)	상 호 : 맥스컨설팅 (주) 주 소 : 경기도 안양시 동안구 시민대로 361, 506호(관양동, 에이스평촌타워) 대 표 자 : 성명 : 조 윤	
협약상대자 : 참여기업(을)	상 호 : 주식회사 하다 주 소 : 전라북도 완주군 삼례읍 삼례로 443, 112호(우석대학교 공학관) 대 표 자 : 성명 : 하 종 우 (인) 사업책임자 직급(위) : 연구소장 성명 : 유 재 윤 (인)	 

- (주)하다가 개발한 이송로봇을 농가에 보급하기위한 지자체 보급지원사업으로, 지자체(전라북도)에서 이송로봇(3천만원)을 농가(월화수목금 토마토농장- 전북 익산 소재)를 대신 구입하여 지역 기업과 농가를 지원해 주는 사업으로, 사업명칭은 스마트팜 테스트베드 현장실증 사업임.

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과		스마트팜 시설용 이송 로봇 사업화			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2			
	소요예산(천원)	1,000,000			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		100,978	390,000	3,210,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
			국내	30	50
국외					1
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		모니터링, 수확, 이식, 정식, 청소 로봇 등 스마트팜 시설용 로봇			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
		90,000	270,000	2,565,000	
	수출	90,000	360,000		

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2020년	2021년	
1	이송로봇	(주)하다		2(9)	2(9)
합계				2(9)	2(9)

*(9)는 과제와 별도로 채용한 간접고용 인력(21년도 신규 채용인력)

□ 고용 효과

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	14
		생산인력	5
	개발 후	연구인력	16
		생산인력	6

4대 사회보험 사업장 가입자 명부

발급번호	20210609180345	발급일시	2021-06-09 16:29	사업장 관리번호	40381708680	
구분	국민연금	건강보험	산재보험	고용보험		
사업자등록번호	403-81-70868	403-81-70868	403-81-70868	403-81-70868		
사업장 명칭	(주)하다	(주)하다	(주)하다	(주)하다		
■ 가입 내역(발급일자 현재기준)					1 / 2	
연번	주민(외국인) 등록번호	성명	자격 취득 일			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
1	*****	김□산	2019.11.29	2019.11.29	2019.11.29	2019.11.29
2	*****	김□식	2017.05.15	2017.05.15	2017.05.15	2017.05.15
3	*****	김□찬	2021.05.14	2021.05.14	2021.05.14	2021.05.14
4	*****	김□일		2021.04.07	2021.04.07	2021.04.07
5	*****	매□진	2021.03.01	2021.03.01	2021.03.01	2021.03.01
6	*****	몽크타□르		2019.04.10		
7	*****	백□진	2014.11.16	2014.11.16	2014.11.16	2014.11.16
8	*****	백□근		2020.09.01	2020.09.01	2020.09.01
9	*****	백□택	2021.01.01	2021.01.01	2021.01.01	2021.01.01
10	*****	백□석	2015.06.22	2015.06.22	2015.06.22	2015.06.22
11	*****	서□			2019.04.10	2019.04.26
12	*****	서□벨렉		2019.04.10		
13	*****	서□렬	2021.01.01	2021.01.01	2021.01.01	2021.01.01
14	*****	신□창	2021.02.01	2021.02.01	2021.02.01	2021.02.01
15	*****	오□민	2020.03.02	2020.03.02	2018.03.02	2018.03.02
16	*****	유□은	2020.02.03	2020.02.03	2020.02.03	2020.02.03
17	*****	이□재			2020.09.01	2020.09.01
18	*****	이□결			2020.09.01	2020.09.01
19	*****	전□식	2021.04.21	2021.04.21	2021.04.21	2021.04.21
20	*****	정□균	2020.03.02	2020.03.02	2018.03.02	2018.03.02
<p>▷ 위 사업장 가입자 명부는 4대사회보험 정보연계시스템이 국민연금공단 국민건강보험공단 근로복지공단의 가입자 정보를 실시간 연계받아 제공하는 것이며, 발급사실 여부는 발급일로부터 90일까지 4대사회보험 포털사이트(www.4insure.or.kr)의 [발급사실확인] 메뉴에서 확인 가능합니다. *정렬한 정보연계서비스, 4대 사회보험이 함께 합니다.</p>						

연번	주민(외국인) 등록번호	성명	자격 취득일			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
21	□□□□□□□□□□	쿠헬바타르콜□아		2019.09.25	2019.09.25	2019.11.27
22	□□□□□□□□□□	타□르			2019.04.10	2019.04.26
23	□□□□□□□□□□	하□권		2013.01.03		
24	□□□□□□□□□□	하□우	2013.08.01	2013.08.01		
25	□□□□□□□□□□	하□영	2013.08.01	2013.08.01	2013.08.01	2013.08.01

이 하 여 백

- ▷ 위 사업장 가입자 명부는 [확인용]으로 신청·발급된 것임을 알려드립니다.
- [확인용]은 4대 사회보험의 업무목적용 위해서만 제공하는 것이므로 재직증명용, 경력증명용, 대출용 등 다른 용도로 사용시에는 발급 기관에 법적 책임이 없다는 점을 알려드립니다.
- 타 기관 제출을 위한 용도로 발급을 원하시는 경우에는 각 공단 지사 창구로 신청하시기 바랍니다.
- ▷ 위 사업장 가입자 명부는 국민연금공단, 국민건강보험공단, 근로복지공단의 가입자 정보를 실시간 연계 받아 제공하는 것입니다. (문의전화: 국민연금 1355, 건강보험 1577-1000, 산재-고용보험 1588-0075)
- 사업장 가입자 명부의 내용이 사실과 다를 경우에는 해당 공단으로 문의하시기 바랍니다.
- 과거 가입내역은 해당 보험별 각 공단에 문의하여 발급받으시기 바랍니다.
- ▷ [산재보험]의 경우, '자격취득일'은 근로자 고용일을 뜻하며, 건설업 및 별목업 등 '자진신고 사업장'은 근로자 고용정보 신고 대상이 아니므로 '자격취득일(고용일)'은 표기되지 않습니다.
- ▷ 위 사업장 가입자 명부는 [사업장 관리번호]를 기준으로 작성되었습니다.

위와 같이 국민연금 가입내역을 확인합니다.	위와 같이 건강보험 가입내역을 확인합니다.	위와 같이 산재보험 가입내역을 확인합니다.	위와 같이 고용보험 가입내역을 확인합니다.
국민연금 이 사 장	국민건강보험 이 사 장	근로복지공단 익산지사장	근로복지공단 익산지사장
			
			



▷ 위 사업장 가입자 명부는 4대사회보험 정보연계시스템이 국민연금공단, 국민건강보험공단, 근로복지공단의 가입자 정보를 실시간 연계받아 제공하는 것이며, 발급사실 여부는 발급일로부터 90일까지 4대사회보험 포털사이트(www.4insure.or.kr)의 [발급사실확인] 메뉴에서 확인 가능합니다.
청렴한 정보연계서비스, 4대 사회보험이 함께 합니다.

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도	추종이송로봇	90,000		100,000	30%	3	
기대 목표	스마트팜 로봇	4,275,000	600,000	4,750,000	50%	4	

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원
1	로봇제어	2020-2021	생산기술연구원, 한국기계연구원 농업진흥청 가온셀	(주)하다	10명

[사회적 성과]

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용
1	제품 설명서	신규	설명서	2021.08.23	로봇제어

□ 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원
1	로봇제어기술	제어기활용	(주)하다	4	16	8

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비
1	농림축산식품부	첨단농기계산업화 기술개발	다수 로봇 협업 기반 원예작물 수확용 로봇 개발	최태용	1,750

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	저널홍보	월간제어계측	로봇제어기	2020.08

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 추종형 이송로봇 개발	○ 스마트팜용 추종이송로봇 개발 및 제품화	○ 100

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 스마트팜용 로봇 분야에서 자율주행에 대한 기술 완전 국산화 및 사용시간(8시간 이상) 증대 기술로 농업 생산량 증가 및 수입 농산물 대비 가격 경쟁력 확보 가능
- 농작업자 추종기술개발로 로봇과 인력의 상호 협력방안 도출 가능(로봇 완전 자동화 이전에 필수적으로 필요한 기술)

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 다양한 원예 작물의 이송로봇 요소기술로 활용
 - 딸기, 토마토 이외 다양한 종류의 과채류 이송용 플랫폼 시스템으로 활용 가능
 - 과채류의 이송뿐만 아니라 보관 및 포장 작업 등의 다용도 플랫폼 시스템으로 활용 가능
 - 농업분야 뿐만 아니라 산업 전반에 걸쳐 작업자 추종형 이송 로봇으로 활용 가능함
- 개발결과물을 통한 시설 작물 생산 및 관리 플랫폼 구축에 활용
 - 시설 이송 로봇의 개발을 통해 취득된 농가별 생산, 품질정보를 활용하여 시설 작물 생산/관리프로그램을 개발할 수 있음
 - 농가간 생산/품질정보를 이용하여 빅데이터 기반 알고리즘을 활용한 작물 생산/품질 예측 서비스 제공함
 - 작목반 단위의 품질관리 시스템을 통하여 농산물 유통 체인에 재배이력과 같은 부가적 가치를 제공함
 - 대규모 시설 원예 작물 농장 구축을 위해 활용 가능
 - 가격 경쟁력 등을 통해 해외 시장에서 대규모 시설 과채류 농장 구축을 위해 활용 가능
- 본 연구를 통해 개발되는 농작업자 추종형 이송 로봇 기술은 아직까지도 해외의 장치와 기술에 의존적인 부분이 큰 것이 현실이며 제안된 과제가 성공적으로 수행된다면 관련 기술과 장치들의 국산화를 달성할 수 있고 농산업뿐만 아니라 환경, 축산업, 에너지 등 다양한 분야의 산업에 적용함으로써 국산화 기술경쟁력 제고와 관련 장비 시장 점유율 확대를 통한 경제적 파급 효과를 획득할 수 있음
- 성공적인 연구의 수행을 통한 목표기술과 장치의 개발이 완료된 이후 지속적인 현장검증과 기술의 보완을 통해 개발기술 및 장치를 업그레이드하여 제품의 현장신뢰성을 확보하고 국가기관을 통한 검정제도 제정과 국내외 전시회 참여를 통한 마케팅 전략을 구축하여 사업화를 실현함
- 실용화 및 제품화 방안
 - 아래와 같은 4단계의 실용화·제품화 전략을 마련함
 - 1단계 : 현장 시설 원예농가, 농장 등을 통한 실공정 평가
 - 2단계 : 현장 시설 원예 농가, 농장의 VOC(Voice of Customer) 수용 및 적용을 통한 개발 제품의 성능평가, 향상 및 보완
 - 3단계 : 현장의 시설 원예 농장에 개발 시스템 투입 및 현장적용을 통한 작동성능 검증
 - 4단계 : 본 연구에서 제안된 대상 작물 이외의 다른 작목 및 시설 작물농가 현장과 연동할 수 있는 연동기능의 유연성을 추가 보강한 최종 제품 제작 및 판매
- 개발기술을 활용한 타 산업분야 관련 사업화 방안
 - 작업자 인식 추종형 이송 로봇의 추종 기능 및 자율주행 시스템 등을 활용한 신호처리/분석 및 제어기술, 플랫폼의 구축을 통한 빅데이터 분석기술, 데이터 통신, 소프트웨어 및 데이터베이스와 관련된 다양한 기술들은 농업, 환경, 산림, 에너지 등의 전방위 산업분야에 광범위하게 적용될 수 있으며 국내외 관련 산업을 대상으로 큰 시장을 형성할 수 있음

- 제안하는 기술은 현재 농가에서 운영되고 있지 않은 새로운 장치/기술로서 시설작물 농가 또는 작목반 등과 연동될 수 있는 프로토콜을 개발 후 현장의 농가, 농장에 시범 투입하여 marathone 테스트를 수행함
- 미래원천기술 확보방안
 - 제안된 과제의 연구과정 후에 개발하고자 하는 대용량·빅데이터를 이용한 인공지능 고속학습기술은 최근 들어 크게 주목받고 있는 미래원천기술 중 하나로서 미래첨단농업뿐만 아니라 다양한 분야에 활용될 수 있음
 - 뿐만 아니라, 인공지능 고속학습기술을 응용하는 신호 및 영상처리 분야의 선도기술을 확보할 수 있으며 이는 해외 선진 농업국가와의 기술격차를 해소하고 차세대 인식 추종기술 등에 대한 원천기술을 확보할 수 있는 기회를 제공함
 - 신산업 창출방안
 - 제안된 연구과제를 수행하는 과정 중에 획득할 수 있는 자율주행, 작업자 추종기능, 센싱 및 신호처리기술, 분석기술, 통신 및 데이터베이스 기술들은 추종형 이송 로봇 플랫폼 구축을 통한 생육환경 빅데이터 상관분석기술의 연구뿐만 아니라 지능형 농업로봇, 자율주행 수확기 등과 같은 농산업의 다양한 분야에 적용될 수 있고 스마트팜, 작물의 표현형분석(phenotyping), 작물의 생육진단 및 병해충예찰 등과 같은 신 산업분야에도 적용가능할 것으로 예측됨.
 - 제품 신뢰성 확보 방안
 - 농업진흥청 국립농업과학원을 통한 스마트 온실 실증 : 국가기관에서 운영하는 스마트 온실을 통한 실증(딸기, 토마토)을 진행하여, 개발 로봇의 기초 성능관련 신뢰성을 확보할 수 있으며, 추가적으로 환경 및 수명 시험과 연관된 내구성 등에 대한 신뢰성 확보가능

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내
국외논문	SCIE	
	비SCIE	
	계	
국내논문	SCIE	2
	비SCIE	
	계	2
특허출원	국내	3
	국외	
	계	3
특허등록	국내	3
	국외	
	계	3
인력양성	학사	
	석사	
	박사	
	계	
사업화	상품출시	1
	기술이전	1
	공정개발	
제품개발	시제품개발	1
비임상시험 실시		
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상
		2상
		3상
	의료기기	
진료지침개발		
신의료기술개발		
성과홍보		8
포상 및 수상실적		
정성적 성과 주요 내용		

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.	1) 자체평가의견서 2) 연구성과 활용계획서
2.	1) 2)

자체평가의견서

1. 과제 현황

		과제번호		320086-1	
사업구분					
연구분야				과제구분	단위
사업명	1세대 스마트 팜 산업화 기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	스마트팜 농작업자 추종형 이송 로봇 산업화			과제유형	(개발)
연구개발기관	(주)하다			연구책임자	하종우
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2020.07.03.~ 2021.07.02	500,000	166,667	666,667
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
	계				
참여기업					
상대국	상대국연구개발기관				

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2021.09.01


3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
(주)하다	대표이사	하종우

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.

확약	하종우
----	-----



I. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

○ 기술적 측면

- 시설 원예의 생산, 수확, 이송, 포장 과정 중에 첨단 로봇기술과 빅데이터, ICT를 접목한 신기술을 적용하여 고품질 및 생산성의 상향평준화로 일관성을 유지할 수 있기 때문에 시장의 가격 안정화가 기대됨
- ICT 적용 신 재배기술 및 생산성 향상 교육 프로그램 실시에 따른 생산농가의 소득 안정화를 기대할 수 있음
- 시설작물의 작업자 추종형 이송 로봇 개발은 다양한 시설작물들에 적용이 가능하기 때문에 신선작물의 상품 고급화 및 포장기술을 극대화할 수 있음
- 시설원에 작물의 재배에 필요한 빅데이터 수집과 분석은 향후 첨단 시설재배에 필요한 기초자료를 D/B화할 수 있고, 미래의 환경변화에 대응할 수 있는 중요한 자료로 활용할 수 있음
- 고온다습한 시설하우스용 이송로봇의 원천기술 확보
- 스마트팜의 첨단 ICT 장비와 결합된 무인 자동화 시스템에 접목 가능
- 다중경로 자율주행이 가능한 로봇 플랫폼으로 향후 다양한 농작업을 수행할 수 있는 manipulator를 적용한 파생 상품으로 개발이 가능

○ 경제적·산업적 측면

- 재배환경에 따른 품질 데이터의 빅데이터 분석과 ICT를 적용하여 환경을 효율적으로 공동 관리하기 때문에 환경변화 대응 관리로 에너지, 인건비, 관리의 단순화에 따른 생산비 절약에 기여할 수 있음
- 연구개발을 통해 획득한 기술력을 바탕으로 해외 수출시장으로 확대할 수 있어 부가가치 측면에서 경제성이 우월함(가격 경쟁력 확보)
- 해외 의존적인 시설원예작물 이송 로봇 제어/운영기술, 빅데이터 분석기술, 통신기술, 소프트웨어 및 데이터베이스 운영시스템의 국산화에 기여
- 원예작물뿐만 아니라 에너지, 환경, 산림 등의 전방위적인 산업분야에 폭넓게 활용
국내 빅데이터를 활용한 생물체 신호측정, 분석, 통신, 데이터베이스 및 시스템 기술 선진화 기여
- 기초 및 응용기술을 연구하는 대학교와 연구소에서의 폭넓은 활용을 예상
- 농가의 만족도가 높을시 시설하우스용 이송로봇의 시장을 선점할 수 있는 기회.
- 기술 사업화시 대당 1,500만원의 소비자가 책정으로 과제 종료 5년 후부터 연간 30억 원 이상(판매대수 : 200대 이상) 판매를 예상
*200대 : 시설하우스 총면적 10,000ha기준, 교체주기 8년, 5ha당 1대 보급 기준(관련 시장 형성 초기상태 가정)

○ 사회적 측면

- 농촌의 고령 및 여성화로 인한 생산인력의 절대 감소로 인한 노동 경쟁력 감소를 해소할 수 있고, 외국인 근로자들에 대한 의존도를 낮출 수 있을 것으로 보임.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : **우수**, 보통, 미흡, 극히불량)

- 시설원에 및 노지 스마트팜 모델 확산으로 S/W 및 H/W 기술 발전 기반 마련
 - 스마트팜과 같은 시설에서 농작업자 추종형 이송 로봇 시스템 개발은 차세대 스마트 팜의 핵심 요소 중 하나인 이송 로봇의 주요 기술로써 다양한 시설원에 작물에 대한 이송 및 포장에 적용 가능함
 - 시설 원예작물 이송 로봇과 작물의 품질정보 기반의 빅데이터 영농 환경의 조성을 통하여 국가 필수 산업인 농업 분야의 생산-가공-유통-판매에 이르는 전체 가치사슬을 클라우드를 통해 연계 가능
 - 클라우드를 통해 연결되는 농업 시스템은 산업 전반의 요소 기술 및 관련 기업들의 융합을 가능하게 하여 국가 산업 전반에 걸친 S/W 및 H/W 기술 발전에 기여할 수 있음
 - 자율주행 알고리즘은 시설하우스 뿐 아니라 노지용 운송 로봇으로도 확장 가능
 - 본 기술의 자율주행과 타 기능의 센서 및 manipulator와 결합하여 무인 농작업도 가능

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : **우수**, 보통, 미흡, 극히불량)

- 스마트온실의 첨단 자동화를 위한 로봇 개발 및 산업화 촉진
- 작업자 추종 이송로봇 활용으로 수확, 적엽 등 농작업 편의성 향상
- 수입 농업용 로봇에 대한 경쟁력 확보로 국내 시장점유율을 높이고, 인건비 절감 등으로 인한 생산 단가를 낮추어 수입 농산물에 대한 국산 농산물 경쟁력을 높일수 있음.
- 스마트팜 시설용 로봇 플랫폼 핵심요소기술을 통해 온실 및 노지용 농업 로봇분야에 활용 가능함

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : **우수**, 보통, 미흡, 극히불량)

주관기관과 참여기관 5개 총 6개 기관이 상호 유기적 협력을 통해 업무분장별 연구개발내용을 성실히 수행하여, 스마트팜용 추종형 이송로봇 국산화 및 개발제품 산업화 목표를 달성한 것으로 판단됨.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수, **보통**, 미흡, 극히불량)

- 특허 출원(국내)
 - 1) 작업자 추종형 이송로봇(10-2021-0024700)
 - 2) 분류의 정확도를 높이는 토마토 운반 대차용 선별 장치 및 그 동작방법(10-2021-0077527)
- 논문
 - 1) 비SCI 1건 게재(시설온실 생산성 향상을 위한 이송로봇의 토마토 적재 트레이 타탕성 확인과 과일상자 상하차 기구 제작에 관한 연구)- 한국산학기술학회지.
 - 2) 국내 학술대회 발표 6건.
- 국내 전시회 참가 2건.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	평가방법
1. 작업자 인식률(90%)	15	100	공인기관입회평가 (자동차융합기술원)
2. 자율주행 성공률(95%)	15	100	공인기관입회평가 (자동차융합기술원)
3. 작업자 추종 성공률(80%)	15	100	공인기관입회평가 (자동차융합기술원)
4. 추종 거리 오차(± 10cm 이내)	10	100	공인기관입회평가 (자동차융합기술원)
5. 추종 각도 오차(± 2° 이내)	10	100	공인기관입회평가 (자동차융합기술원)
6. 배터리 연속 사용시간(8h)	15	100	공인기관입회평가 (자동차융합기술원)
7. 로봇 이동 속도(0.25 m/s)	5	100	공인기관입회평가 (자동차융합기술원)
8. 로봇 최대 속도(1.83 m/s)	5	100	공인기관입회평가 (자동차융합기술원)
9. 위치반복 정밀도(±10cm 이내)	10	100	공인기관입회평가 (자동차융합기술원)
합계	100점	100	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

<p>○ 본 과제는 농업용 시설 내에서 작업자를 추종하면서 농작업을 협업하는 전기 구동형 로봇 플랫폼을 개발 산업화하는 과제로, 구체적으로는 추종형 이송로봇이 작업공간과 집하장까지 자율주행으로 이동하여 비어있는 트레이로 교환 후 다시 작업자에게 돌아와 협업을 지속하는 형태의 작업자 추종형 이송 로봇 플랫폼 개발을 참여기관들과 협력하여 성공적으로 개발진행 제품화한 것입니다.</p> <p>○ 단순 기술개발이 아닌 개발기술의 현장 실증(농업진흥청 첨단온실)을 통해 개선방안 도출 및 활용성 향상을 위한 방안들이 제시되어, 향후 본격적인 관련 시장 성장시 시장점유율 확대 및 글로벌 수입 로봇에 대한 기술적, 경제적 차별성 확보 등을 통해 국내 농업현장 지킴과, 미래에 글로벌 시장진출이 가능하도록 기본적인 핵심 요소기술들을 본 연구를 통해 얻게 된 것입니다.</p>

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

<p>○ 국내 스마트팜용 로봇사업이 상용화 측면에서는 초기단계인 점을 고려하여, 사업화 부분을 긍정적으로 검토바랍니다.</p> <p>○ 산업용 로봇이 아닌 농업용 로봇 분야에서 국산화를 통해 자율주행이 가능하고, 장시간(8시간 이상) 농작업이 가능한 로봇 플랫폼 기술을 개발한 부분도 고려 바랍니다.</p> <p>○ 국내 농업현장의 문제인 고령, 여성화 해결 및 외국인 노동자 의존도를 낮추는 사회적 측면도 고려해 주시기 바랍니다.</p>

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 연구개발 결과를 사업화하는데 집중하고자 하나, 국내의 스마트팜 시설물용 로봇의 경우 관련 시장이 초기 형성단계로, 단기간에 관련 매출이 급증하기는 어려울 것으로 보임.
- 다만, 스마트팜용 로봇에 대한 기본적인 핵심기술 중 자율주행 및 작업자 추종에 대한 기술을 국산화하여, 글로벌 선진 경쟁사 대비 경쟁력 확보가 가능하고, 이를 통한 수입대체 효과도 발생할 것으로 예측됨. 수입대체는 90% 정도 가능할 것으로 보이나, 제어관련 부품들은 내구성 등 신뢰성이 낮아 국산화에 추가적인 시간이 필요할 것으로 판단됨.
- 스마트팜용 로봇 중 당사가 기 보유한 방제 및 이송 로봇 기술 외에, 스마트팜용 일관로봇화를 위해서는 모니터링, 수확, 이식, 정식, 청소, 적엽, 적과 로봇 등이 추가적으로 개발 필요할 것으로 예측되어, 추가 연구개발 진행을 통해 우선적으로 농업용 시설 로봇 일관화, 최종적으로는 노지용 일관 로봇화를 위해 지속적으로 연구개발을 진행코자 함.

IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구개발기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input checked="" type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	
연구과제명	스마트팜 농작업자 추종형 이송 로봇 산업화		
주관연구개발기관	(주)하다	주관연구책임자	하종우
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타
	500,000,000	166,667,000	0
연구개발기간	2020. 07. 03 - 2021. 07. 02 (12개월)		
주요활용유형	<input checked="" 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 (목표달성 100%)
1. 작업자 인식률(90%)	100
2. 자율주행 성공률(95%)	100
3. 작업자 추종 성공률(80%)	100
4. 추종 거리 오차(± 10cm 이내)	4.1
5. 추종 각도 오차(± 2° 이내)	0.83
6. 배터리 연속 사용시간(8h)	8
7. 로봇 이동 속도(0.25 m/s)	0.508
8. 로봇 최대 속도(1.83 m/s)	1.834
9. 위치반복 정밀도(±10cm 이내)	0.37

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				스 마 트 온 실 증	학술성과			교 육 지 도	인 력 양 성	정책 활용·홍보		기 타 (타연구활용비) (이)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	S M A R T P R O T O C O L	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문 S C I	비 S C I			논 문 평 균 I F	학 술 발 표	
											단 위				건	건			건
가중치	15				10		10	10		10		20			10			15	
최종 목표	5	3			1	10	1	4,750	600	4		2			3			10	
당해 년도	목표	2			1	10	1	70		1		2			3			1	
	실적	2			1	3.9	1	100		2		2			(1)			6	2
달성률 (%)	100				100	39	100	142		200		100			200			200	

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	자율주행
②	작업자 추종기술
③	적재 트레이 적용 기술(작물 손상률 최소화)

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)	현장애로 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	상품화 기술 적용 및 차별화 효과 기대
②의 기술	상품화 기술 적용 및 차별화 효과 기대
③의 기술	상품화 기술 적용 및 차별화 효과 기대

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				스 마 트 온 실 증	학술성과			교 육 지 도	인 력 양 성	정책 활용·홍보		기 타 (타 연 구 활 용 영 역)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	S M A R T	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문 S C I	비 S C I			논 문 평 균 I F	학 술 발 표	
	건	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건	
가중치	15				10		10	10	10	20				10				15	
최종목표	5	3			1	10	1	4,750	600	4	2	2	1	3				10	
연구기간내 달성실적	2				1	3.9	1	100		2	2		(1)	6				2	
연구종료후 성과장출 계획	3	3						4,650	600	2		2						8	

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	작업자 추종형 이송로봇 기술(이송 및 추종)		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	3,920천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	1년	실용화예상시기 ³⁾	2021년
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	특이사항 없음.		

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 1세대스마트플랜트팜산업화기술개발사업 “스마트 팜 농작업자 추종형 이송 로봇 산업화” 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 1세대스마트플랜트팜산업화기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.