

320030-03

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( )발간등록번호( O )

첨단농기계산업화 기술개발사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004459-01

과수 재배  
관리용  
(전정,  
적과 등)  
로봇 개발

## 과수 재배관리용(전정, 적과 등) 로봇 개발

2023. 12. 8.

2023

주관연구기관 / 전남대학교  
협동연구기관 / 엘앤에스(주)

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

농림축산식품부  
(전문기관)농림식품기술기획평가원

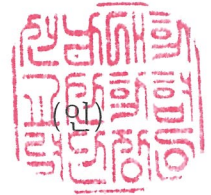
## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “과수 재배관리용(전정, 적과 등) 로봇 개발”(개발기간 : 2020.4.29 ~ 2023.6.30)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 12. 8.

주관연구기관명 : 전남대학교 산학협력단 (대표자) 민 정 준



협동연구기관명 : 엘앤에스(주) (대표자) 정 승 현



주관연구책임자 : 이 경 환

협동연구책임자 : 정 승 현

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서										보안등급	
										일반[ <input checked="" type="checkbox"/> ], 보안[ <input type="checkbox"/> ]	
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		사업명		첨단농기계산업화 기술개발사업		
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원			내역사업명 (해당 시 작성)				-		
공고번호					총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)				-		
					연구개발과제번호				320030-3		
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	60%	LB0804	40%						
	농림식품과학기술분류	RC0101	100%								
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문		-		영문		-			
연구개발과제명		국문		과수 재배관리용(전정, 적과 등) 로봇 개발		영문		Developemnt of a robot system for fruit tree management (pruning, fruit thinning, etc)			
주관연구개발기관		기관명		전남대학교 산학협력단		사업자등록번호		409-82-11942			
		주소		(우)광주 북구 용봉로 77		법인등록번호		206371-0001063			
연구책임자		성명		이경환		직위		교수			
		연락처		직장전화		휴대전화					
				전자우편		국가연구자번호					
연구개발기간		전체		2020. 04. 29 - 2023. 06. 30 (3년 3개월)		1단계		2020. 04. 29 - 2021. 12. 31 (1년 9개월)			
		단계 (해당 시 작성)		2단계				2022. 01. 01 - 2023. 06. 30 (1년 6개월)			
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원		기관부담		그 외 기관 등의 지원금		합계		연구개발비 외 지원금	
		연구개발비		연구개발비		지방자치단체		기타( )			
		현금		현금		현금		현금		합계	
		현금		현물		현금		현물		합계	
총계		1,834,000		23,000		590,000		0		0	
1단계		500,000		0		167,000		0		0	
2단계		667,000		0		223,000		0		0	
1년차		667,000		23,000		200,000		0		0	
2년차		667,000		23,000		200,000		0		0	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편	
		엘앤에스		정승현		대표				비고	
		유원시스템		김영철		이사				역할	
		제노테크		차병래		대표				기관유형	
		경남농업기술원		오주열		농업연구사					
연구개발기관 외 기관											
연구개발담당자 실무담당자		성명		김우영		직위		연구교수			
		연락처		직장전화		휴대전화					
				전자우편		국가연구자번호					

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

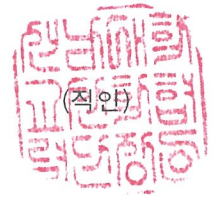
2023년 12월 8일

연구책임자: 이 경 환



---

주관연구개발기관의 장: 전남대학교 산학협력단장



공동연구개발기관의 장: 엘앤에스(주) 대표이사



위탁연구개발기관의 장: 제노테크(주) 대표이사



유원시스템 대표이사



경상남도농업기술원장



---

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

## < 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		첨단농기계산업화기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		
내역사업명 (해당 시 작성)					연구개발과제번호		320030-3
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	60%	LB0804	40%		
	농림식품 과학기술분류	RC0101	100%				
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명		과수 재배관리용(전정, 적과 등) 로봇 개발					
전체 연구개발기간		2020. 04. 29 - 2023. 6. 30 (39개월)					
총 연구개발비		총 2,447,000천원 (정부지원연구개발비: 1,834,000천원, 기관부담연구개발비: 613,000천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)					
연구개발단계		기초[ ] 응용[ ] 개발[ <input checked="" type="checkbox"/> ] 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		과수원 관리 자동화를 위한 재배관리(적화, 적과, 전정)용 로봇과 과수 정보 DB화 시스템 개발				
	전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적화, 적과, 전정 작업 대상체 인식을 위한 센싱 시스템과 알고리즘 개발</li> <li>- 적화 대상체 인식을 90% 이상, 적과/전정 대상체 인식을 80% 이상, 인식 속도 3초 이내</li> <li>○ 적화, 적과, 전정 작업을 위한 2종의 매니플레이터와 2종의 엔드이펙터 개발</li> <li>- 수직 다관절과 텔레스코픽형 : 기반 중량 5kg, 반복 정밀도 2mm 이내, 적화 엔드이펙터 성능 15개/분, 적과/전정 엔드이펙터 성능 15개/초</li> <li>○ 매니플레이터 탑재 및 과수원 내 자율주행이 가능한 전동형 모바일 플랫폼 개발 - 최대 적재하중 300kg 이상, 최대 상승 높이 1.5m, 최대 주행속도 6Km/h, 최대 전도 방지 각 30도</li> <li>○ 과수 재배관리 통합 하드웨어 및 제어 시스템 개발</li> <li>- 재배관리 작업 오차 3mm 이내, 작업 성능 15개/분 이상</li> <li>○ 과수 정보 DB화 시스템 개발</li> <li>- 과수 형상 측정 정확도 90% 이상</li> </ul>				
	1단계 (해당 시 작성)	목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 과수재배 작업용 모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 및 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시스템 개발</li> <li>○ 재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발</li> <li>○ 현장 성능시험 테스트베드 조성</li> <li>○ 과수재배 작업용 다관절/텔레스코픽 타입 매니플레이터 개발 및 적화/적과용 엔드이펙터 개발</li> <li>○ 과수재배 작업용 궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발</li> </ul>				
	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성 및 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시스템 설계</li> <li>- 과수 개체 특성 분석 시스템 개발</li> <li>- 재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발</li> <li>현장 성능시험 테스트베드 준비</li> <li>- 다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 개발</li> <li>- 궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발</li> <li>- 사과 재배관리용 로봇 통합 시스템 구성</li> </ul>					

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시스템 평가 및 성능개선</li> <li>- 재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발</li> <li>- 현장 성능시험 및 개선방안 협의</li> <li>- 텔레스코픽형 매니플레이터와 적과/전정용 엔드이펙터 개발</li> <li>- 수평 유지 및 전도 방지 장치 개발</li> <li>- CAN 통신기반의 인터페이스 시스템 개발</li> </ul>
	2단계 (해당 시 작성)	목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 과수원 환경에서의 재배관리용 로봇 통합 시스템 현장 성능시험</li> <li>○ 과수원 환경에서의 재배관리 대상체 인지 시스템의 성능시험 및 개선</li> <li>○ 과수원 환경에서의 현장 성능시험 및 활용성 증대방안 협의</li> <li>○ 과수원 환경에서의 모바일 플랫폼 현장 성능시험 및 개선</li> </ul>
		내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자율주행 성능시험 및 개선</li> <li>- 대상체 인지, 매니플레이터와 엔드이펙터 성능시험 및 개선</li> <li>- 전체 시스템과 통합 제어기 성능시험 및 개선</li> <li>- 적화, 적과, 전정 대상체 인식 성능시험 및 개선</li> <li>- 재배관리용 로봇의 요소기술 및 전체 통합 시스템의 성능시험 및 활용성 증대방안 협의</li> <li>- 리프트 높이별 매니플레이터 동작에 따른 수평 유지 및 안정성 성능시험 및 개선</li> <li>- 모바일 플랫폼과 요소 장치와의 통합 성능시험 및 개선</li> <li>- 전체 통합 제어기와 CAN 통신 시스템의 인터페이스 성능시험 및 개선</li> </ul>

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적화, 적과, 전정 작업 대상체 인식을 위한 센싱 시스템과 알고리즘 개발</li> <li>○ 적화, 적과, 전정 작업을 위한 매니플레이터와 엔드이펙터 개발</li> <li>○ 매니플레이터 탑재 및 과수원 내 자율주행이 가능한 전동형 모바일 플랫폼 개발</li> <li>○ 과수 재배관리 통합 하드웨어 및 제어 시스템 개발</li> <li>○ 과수 정보 DB화 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과수 형상 인식 정확도 90% 이상</li> </ul> </li> <li>○ 모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자율주행 알고리즘 개발</li> </ul> </li> <li>○ 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어시스템 설계 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 매니플레이터/엔드이펙터 제어기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ 사과 재배관리용 로봇 통합 시스템 구성</li> <li>○ 과수 개체 특성 분석 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사과 수확량 모니터링을 위한 사과 개수 추정 알고리즘 개발</li> </ul> </li> <li>○ 로봇 적화, 적과, 전정 작업을 위한 알고리즘 개발</li> <li>○ 재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전정, 적과, 적화 대상체 인지 알고리즘 개발</li> </ul> </li> <li>○ 현장시험 테스트베드 조성</li> <li>○ 다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 개발</li> <li>○ 텔레스코픽형 매니플레이터와 적과/전정용 엔드이펙터 개발</li> <li>○ 궤도식 전동형 모바일 플랫폼 설계</li> <li>○ 수평유지 및 전도방지 장치 개발</li> <li>○ CAN통신 기반의 인터페이스 시스템 개발</li> </ul>
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 다양한 작업 및 환경에서 적용 가능한 운행 제어, 작업기 제어기술 및 지능형 자율주행 제어의 원천 기술을 확보함으로써 타 산업분야 및 기타 농업 기계 관련 분야에 적극 활용 가능함</li> <li>○ 본 연구를 통해 개발한 노지 스마트 농업 요소기술을 시범단지 조성 사업을 통해 통합 기술화하고 관련 사업화 촉진 예정</li> <li>○ 자율주행 기반의 셔틀봇등 다양한 플랫폼 확대 적용/활용 예정</li> <li>○ 본 연구에서 개발된 대상체를 인지하고 분석하는 알고리즘 및 시스템은 해양 빅데이터/시각화 및 AI 기반 분석 시스템, 위성사진 분석을 통한 재해 피해 예측 시스템 등 다양한 분야에 적용 가능</li> <li>○ 사과나무 재배관리로봇의 독자적인 기술을 바탕으로 세계 농업용 로봇 시장 경쟁력 확보</li> </ul>

- 인간공학적 사과나무 재배로봇을 통해 환경을 보전하면서 수확량 감소 없이 고품질의 사과를 생산할 수 있는 정밀농업기술에 대응할 수 있을 것으로 전망됨
- 지능형 농업로봇으로 재배함으로써 양질의 계획된 수확량 확보가 가능
- 우리나라뿐만 아니라 세계적으로 재배면적이 넓고 생산량이 많은 사과의 생산량을 증대시킴으로써 세계인구 증가에 대한 식량부족 문제를 해결하는데 기여할 것으로 전망됨
- 고령화, 다양화 되는 농업인구의 삶의 질 제고 및 농업 생산성 향상을 통해 균형 발전 및 귀농 활성화에 기여할 것으로 전망

연구개발성과의 비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	4	11				3						
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)	전정		적화		적과		농업용 로봇 시스템		머신비전			
영문핵심어 (5개 이내)	Pruning		Flower Thinning		Fruit Thinning		Agricultural Robot System		Machine Vision			

## <연구개발성과 목표 대비 실적>

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용홍보		기 타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SCI	비 SCI							
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건				
가중치	10	10		10		20	20		20					5			5			
최종목표	3	3		2		2	70		3			2		3			7			
1 차 년 도	목 표	1							1					1						
	실 적	2							5					3						
2 차 년 도	목 표	1	1		1				1			1		1			1			
	실 적	3	2		3	3.3			4			2		7	1		3			
3 차 년 도	목 표	1	1		1		2	20	1			1		1			1			
	실 적	2	2		1	13	3	22.6				1	1	12	2		2	3		
소 계	목 표	3	2		2		2	20	3			2	0	3			2			
	실 적	7	4		4	16.3	3	22.6	9			1	3	22	3		5	3		
종료 1차년도		1						10									1			
종료 2차년도								10									1			
종료 3차년도								10									1			
종료 4차년도								10									1			
종료 5차년도								10									1			
소 계		1						50									5			



## < 목 차 >

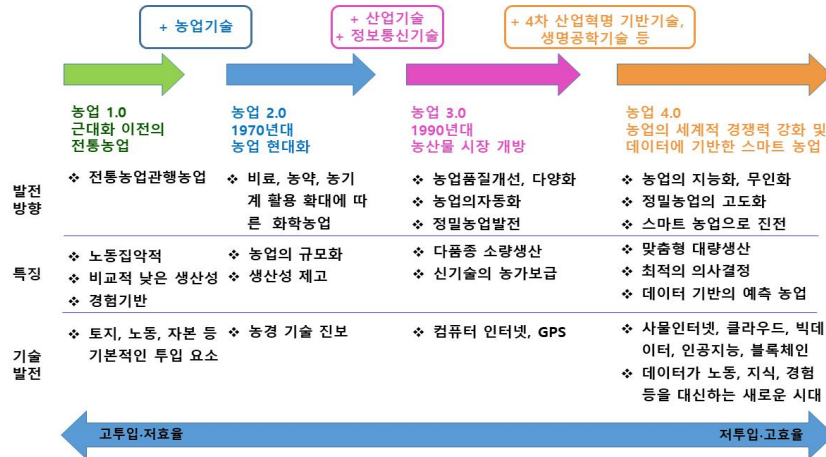
1. 연구개발과제의 개요 .....	6
1.1. 연구개발과제의 필요성 .....	6
1.2. 연구개발과제의 목표 및 내용 .....	8
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 .....	11
2.1. 1차년도 연구개발 내용 .....	11
2.2. 2차년도 연구개발 내용 .....	33
2.3. 3차년도 연구개발 내용 .....	64
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 .....	114
4. 목표 미달 시 원인분석 .....	128
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 .....	129
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 .....	131

# 1. 연구개발과제의 개요

## 1.1. 연구개발과제의 필요성

### ○ 농업 패러다임 변화

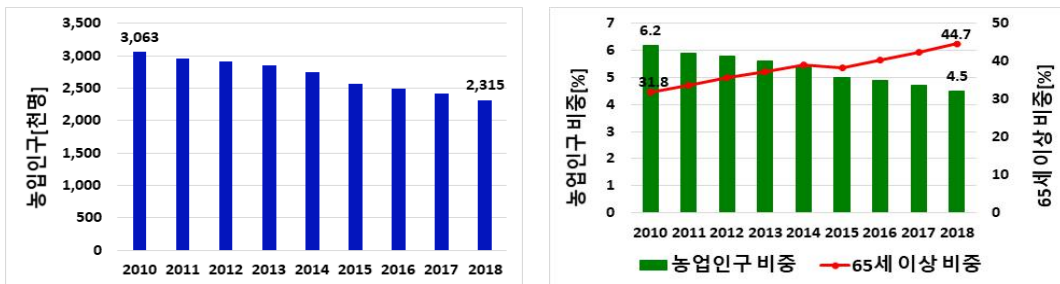
- 농업은 노동집약적 고투입·저효율 시스템에서 **인공지능, 빅데이터, ICT, 로봇 등의 4차 산업혁명 기술 기반의 저투입·고효율 시스템으로 변모**하고 있음



\* 출처 : 삼성KPMG Issue Monitor 119호  
<농업 패러다임 변화>

### ○ 농업 노동력 부족

- 농업인구는 2010년 3,063천명(6.2%)에서 2018년 2,315천명(4.5%)으로 지속적으로 감소하고, 65세 이상 고령화 비중은 31.8%에서 44.7%로 증가하였으며, 1982년 이후 여성 농업인구 비중이 50% 이상을 유지하여 **농업 노동력 부족 현상이 점점 심화되는 추세임. 특히 과수분야에서 농업 노동력 부족이 더욱 심각함**



\* 출처 : 통계청 e-나라지표, 전남대학교 재구성  
<농가인구 감소 및 고령화 통계>

### ○ 국내 과수 재배 현황

- 국내 재배 주요 과수는 사과, 감, 복숭아, 감귤, 배 등이며, 이 중 사과는 재배면적 32,945 ha(2019년)로 전체 과수 재배면적의 21.7%를 차지하고 있으며, 과일 생산액은 9,682억원(2018년)으로 전체 과일 생산액의 21.5% 차지하고 있음. **사과는 전체 과수 중 가장 넓은 재배면적과 가장 많은 과일 생산액을 나타내고 있음**

<국내 과수 재배면적 및 생산액>

구분	사과	감	복숭아	감귤	배	기타
재배면적 (ha)(‘19)	32,945	23,000	20,636	16,253	9,615	49,377
과일 생산액 (10억원)(‘18)	968.2	395.2	728.2	960.9	311.7	1144.2

\* 출처 : 통계청 및 농림축산식품부 주요통계, 전남대학교 재구성

○ 주요 과수 작업의 노동투하 비중

- 사과 재배를 위한 주요 과수 작업은 전지/전정, 적과, 품질관리, 수확 등으로 구분할 수 있으며, **전지/전정 및 적과 작업에 투입되는 노동력은 전체 과수 작업 노동력의 약 50%를 차지할 정도로 많은 노동력을 필요로 함**

<주요 과수 작업의 ha 당 노동투하시간 비중 > (단위 : %)

전지전정	적과	품질관리	수확
12.4	37.0	24.7	25.9

\* 출처 : 농사로, 전남대학교 재구성



(전정)



(적화)



(적과)

<사과나무 전정, 적화, 적과 작업>

○ 농작업 산업재해 사고 현황

- 농작업 시 발생하는 산업재해는 과수원 등에서 사다리나 차량에서 떨어져 발생하는 재해 비율이 37.1%, 농경지에서 경사지와 배수로에서 넘어지거나 바닥의 물체에 걸려 넘어지는 비율이 17.9%임. **전체 농작업 산업재해 중 떨어지거나 넘어져 발생하는 비율이 55% 이상을 차지함**

<작물생산업 시 산업재해가 많이 발생하는 유형> 단위 : %

떨어짐	넘어짐	끼임	사업장 외 교통사고	부딪힘
37.1	17.9	13.0	5.4	4.7

\* 출처 : 안전보건공단

○ 사과 재배관리용 농업용 로봇 필요

- 사과 재배관리에 있어서 적화, 적과, 전정이 차지하는 노동투하 비율이 50% 이상이며 농작업 시 떨어짐과 넘어짐으로 발생하는 산업재해가 55% 이상임. 따라서 **과수재배 노동력 부족 현상을 완화하고 농작업 산업재해 발생 저감을 위해 과수 재배관리용(적화, 적과, 전정) 농업용 로봇이 필요함**

## 1.2. 연구개발의 목표 및 내용

### 1) 최종목표

과수원 관리 자동화를 위한 재배관리(적화, 적과, 전정)용 로봇과 과수 정보 DB화 시스템 개발

- 재배관리 작업 오차 3mm 이내, 작업성능 15개/분 이상, 모바일 플랫폼 적재하중 300kg 이상
- 적화, 적과, 전정 작업 대상체 인식을 위한 센싱 시스템과 알고리즘 개발
  - 적화 대상체 인식을 90% 이상, 적과/전정 대상체 인식을 90% 이상, 인식 속도 3초 이내
- 적화, 적과, 전정 작업을 위한 2종의 매니플레이터와 2종의 엔드이펙터 개발
  - 수직 다관절과 텔레스코픽형 : 기반 중량 5kg, 반복 정밀도 2mm 이내, 적화 엔드이펙터 성능 15개/분, 적과/전정 엔드이펙터 성능 15개/분
- 매니플레이터 탑재 및 과수원 내 자율주행이 가능한 전동형 모바일 플랫폼 개발
  - 최대 적재하중 300kg 이상, 최대 상승 높이 1.5m, 최대 주행속도 6Km/h, 최대 전도 방지 각 30도, IP 등급 54 이상
- 과수 재배관리 통합 하드웨어 및 제어 시스템 개발
  - 재배관리 작업 오차 3mm 이내, 작업성능 15개/분 이상
- 과수 정보 DB화 시스템 개발
  - 과수 형상 인식 정확도 90% 이상

### 2) 연차별 연구개발 목표 및 내용

연차별 연구목표

연도	기관	연구 목표	세부 목표
1차년도 (2020)	주관기관 (전남대학교)  *참여기관 :제노테크, 경남 농기원, 유원시스 템  **국제협력기관 :UC Merced	○모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성 (전남대)	-센서 및 제어기 등의 자율주행 하드웨어 시스템 구성 -자율주행 알고리즘 개발 -재배관리 대상체 인지 및 과수 DB 용 센싱시스템 구축
		○과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어시스템 설계(전남대)	-매니플레이터/엔드이펙터 기능 및 제원 정량화 -매니플레이터/엔드이펙터 제어 시뮬레이터 구축 -매니플레이터/엔드이펙터 제어기술 개발
		○재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발 (제노테크)	-적화, 적과 대상체 인식 알고리즘 개발
		○현장 성능시험 테스트베드 준비	-사과 수형별 시험포장 설치위한 전정, 착과관리 및 상품성 비교 (경남농기원 사과이용연구소) -캘리포니아 주요작물 대상 재배조건 조사(UC Merced)
	○다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 개발(유원시스템)	-재배관리 작업 분석을 통한 설계 고려사항 도출 -다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 설계 및 제작	
	협동기관1 (엘앤에스)	○궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발	-궤도식 차량 프레임 설계 및 제작 -적재하중과 주행속도에 적합한 동력부 설계 및 제작 -모바일 플랫폼 배터리 충전방식, 리튬이온 24V 150A 또는 24V 200A
2차년도 (2021)	주관기관 (전남대학교)  *참여기관 :제노테크, 경남 농기원, 유원시스	○사과 재배관리용 로봇 통합 시스템 구성 (전남대)	-재배관리 대상체 인지 시스템과 매니플레이터의 통합 시스템 구성 -모바일 플랫폼에 매니플레이터와 엔드이펙터 탑재 및 제어기 구성 -전체 시스템과 통합 제어기 구성 -과수개체 특성 분석 시스템 개발

	<p>템</p> <p>**국제협력기관 :UC Merced</p>	<p>○과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어시스템 평가 및 성능개선 (전남대)</p>	<p>-매니플레이터/엔드이펙터 제어기술 테스트 플랫폼 구축</p> <p>-딥러닝 강화학습 기반 매니플레이터/엔드이펙터 제어 성능실험 및 개선</p> <p>-적화, 적과, 전정 작업을 위한 대상체 거리계측 알고리즘 개발</p>
		<p>○재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발 (제노테크)</p>	<p>-전정 대상체 인식 알고리즘 개발</p>
		<p>○현장 성능시험 및 개선방안 협의</p>	<p>-과수원 환경에서의 로봇 요소 시스템의 현장 성능시험 및 개선방안 협의(경남농기원 사과이용연구소)</p> <p>-캘리포니아 주요 작물 과수원에서의 전동형 모바일 플랫폼의 자율주행 성능시험 및 개선방안 협의(UC Merced)</p>
		<p>○텔레스코픽형 매니플레이터와 적과/전정용 엔드이펙터 개발(유원시스템)</p>	<p>-재배관리 작업 분석을 통한 설계 고려사항 도출</p> <p>-텔레스코픽형 매니플레이터와 적과/전정용 엔드이펙터 설계 및 제작</p>
	<p>협동기관1 (엘앤에스)</p>	<p>○수평유지 및 전도방지 장치 개발과 CAN 통신 기반의 인터페이스 시스템 개발</p>	<p>-전도방지를 위한 수평유지 장치 및 아웃트리거 개발</p> <p>-리프트 높이 및 수평유지 제어장치 개발</p> <p>-무한궤도형 제자리 선회 시스템 개발</p> <p>-주변장치와 인터페이스를 위한 CAN 통신 시스템 개발</p> <p>-모바일 플랫폼 배터리 충전방식, 리튬이온 24V 150A 또는 24V 200A</p>
<p>3차년도 (2022~ 2023.6)</p>	<p>주관기관 (전남대학교)</p> <p>*위탁기관 :제노테크, 경남농기원, 유원시스템</p> <p>**국제협력기관 :UC Merced</p>	<p>○과수원 환경에서의 재배관리용 로봇 통합 시스템 현장 성능시험(전남대)</p>	<p>-자율주행 성능시험 및 개선</p> <p>-대상체 인지, 매니플레이터와 엔드이펙터 성능시험 및 개선</p> <p>-전체 시스템과 통합 제어기 성능시험 및 개선</p> <p>-과수개체 특성 분석 시스템 성능시험 및 개선</p>
		<p>○과수원 환경에서의 재배관리 대상체 인지 시스템의 성능시험 및 개선 (제노테크)</p>	<p>-적화, 적과, 전정 대상체 인식 성능시험 및 개선</p>
		<p>○과수원 환경에서의 현장 성능시험 및 활용성 증대방안 협의</p>	<p>-재배관리용 로봇의 요소기술 및 전체 통합시스템의 성능시험 및 활용성 증대방안 협의(경남농기원 사과이용연구소)</p> <p>-캘리포니아 주요 작물 과수원에서의 전동형 모바일 플랫폼의 자율주행 성능시험 및 활용성 증대방안 협의(UC Merced)</p>
	<p>협동기관1 (엘앤에스)</p>	<p>○과수원 환경에서의 현장 성능시험 및 개선</p>	<p>-리프트 높이별 매니플레이터 동작에 따른 수평유지 및 안정성 성능시험 및 개선</p> <p>-모바일 플랫폼과 요소 장치와의 통합 성능 시험 및 개선</p> <p>-전체 통합 제어기와 CAN 통신 시스템의 인터페이스 성능시험 및 개선</p>

□ 정량적 세부목표

평가항목 (주요성능 spec)		단위	평가의 비중(%)	세계최고 수준	개발 목표치			성능평가/시 험방법 및 기준
				성능수준	1차 년도 (2020년)	2차 년도 (2021년)	3차 년도 (2022년)	
궤도식 전동형 모바일 플랫폼	최대 적재하중	kg	3	200	300	300	300	농업기술실용 화재단, 자체평가
	최대상승 높이	mm	3	1300	1500	1500	1,500	
	운영시간 (주간)	시간	3	8	10	10	10	
	최대 주행 속도	km/hr	3	5	6.0	6.0	6.0	
	전도방지 최대측방각	도	3	25	30	30	30	
	구동부 IP 등급	-	4	54	54	54	54	
매니플레 이터/엔 드이펙터 제어시스 템	작업오차	mm	5	3	7	5	3	자체평가
	작업성능	개/분	5	15	5	10	15	자체평가
다관절 매니플레 이터	동작 범위	J1	도	1	±175	±150	±175	ISO 기준, 자체평가
		J2	도	1	±100	±100	±100	
		J3	도	1	±150	±120	±150	
		J4	도	1	±175	±150	±170	
		J5	도	1	±175	±150	±170	
		J6	도	1	±175	±150	±170	
	반복정밀도	mm	3	2	2	2	2	ISO 기준 공인인증시험 평가
	최대속도	(°/sec)	3	180	180	180	180	ISO 기준, 자체평가
스트로크 (5kg가반하중)	mm	3	1600	1600	1600	1600	ISO 기준, 자체평가	
IP등급	-	4	65	65	65	65	한국산업기술 시험원	
텔레스코 픽형 매니플레 이터	동작 범위	J1	도	1	±175	±150	±175	ISO 기준, 자체평가
		J2	도	1	±100	±100	±100	
		J3	mm	1	1200	900	1000	
		J4	도	1	±175	±150	±170	
	반복정밀도	mm	3	2	5	2	2	ISO 기준 공인인증시험 평가
	최대속도	mm/sec	3	1000	700	1000	1000	ISO 기준, 자체평가
	스트로크 (5kg가반하중)	mm	3	1,200	1,100	1,200	1,200	ISO 기준, 자체평가
IP등급	-	4	65	65	65	65	한국산업기술 시험원	
엔드이펙 터(전과, 전정)	절단능력	mm	3	30	25	30	30	자체평가
	절단속도	회/min	3	80	40	60	80	
	중량	kg	3	1	2	1.5	1	
	IP등급	-	4	65	65	65	65	한국산업기술 시험원
엔드이펙 터(적화)	처리속도	개/sec	3	2	3	2	2	자체평가
	중량	kg	3	1	2	1.5	1	자체평가
	IP등급	-	4	65	65	65	65	한국산업기술 시험원
대상체 인지 시스템	적화 대상체 인식율	%	3	90	70	80	90	자체평가
	적과 대상체 인식률	%	3	90	-	80	90	
	전정 대상체 인식률	%	3	90	-	80	90	
	인식 속도	sec	3	3	5	4	3	

## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

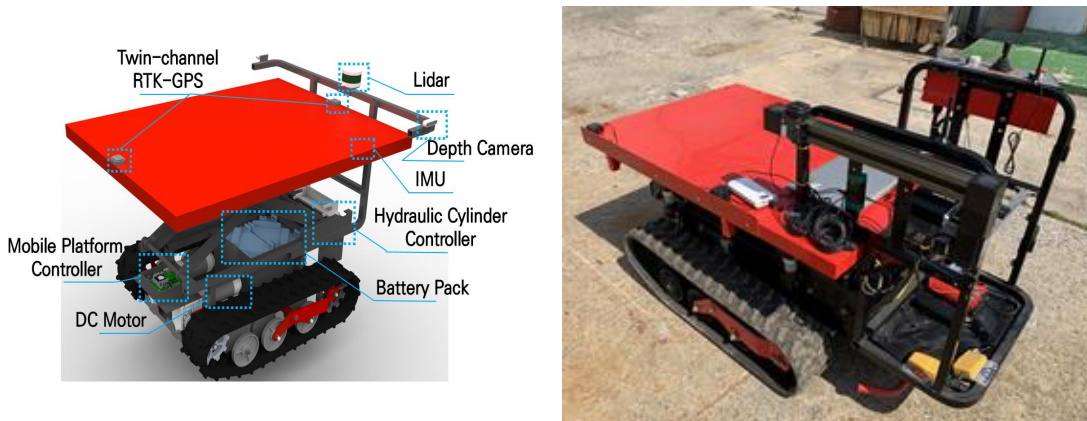
### 2.1. 1차년도 연구개발 내용

#### 가. 주관연구개발기관(전남대학교)

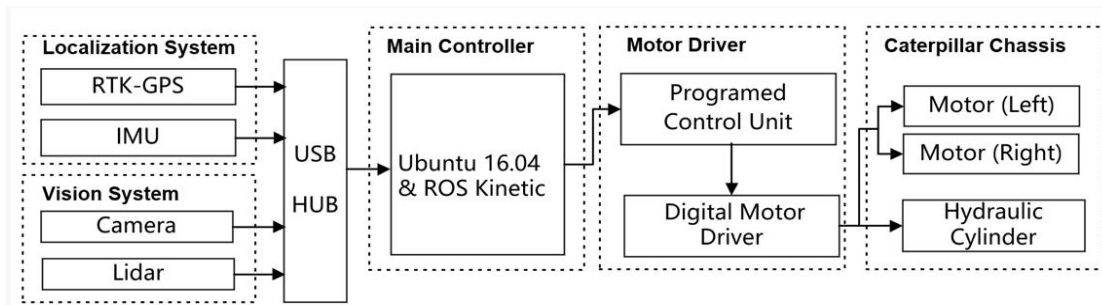
##### (1) 모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성

###### ○ 센서 및 제어기 등의 자율주행 하드웨어 시스템 구성

- 자율주행 시스템 구현을 위해 모바일 플랫폼에 센서와 제어기 구성
- 장애물과 과수 형상 인식을 위해 RGB-D 카메라와 LiDAR 장착
- 모바일 로봇의 위치 인식을 위해 RTK-GPS와 IMU를 탑재함
- 양쪽 무한궤도 제어를 위한 DC 모터, 인크리멘탈 엔코더, 모터 제어기 장착
- 모바일 플랫폼 상위 제어기 장착
- 충전방식의 48V 리튬이온 배터리 팩 설치




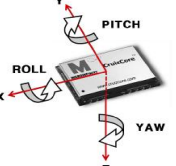


<모바일 플랫폼의 자율주행 시스템>



<자율주행 시스템의 구성도>

<자율주행 시스템의 구성품과 사양>

Component	Specification	Photo
Depth Camera	-Depth Technology: Active IR Stereo -Depth Range: 0.1m ~ 10m -Resolution: RGB: 1920 x 1080, fps Depth: 1280 x 720, fps -Field of View: 87°±3° x 58°±1° -Interface: USB 3.0	
Lidar	-Number of Channel: 16 -Range: 100 m -Field of View: 360° (Hor.), 26.9° (Ver.) -Resolution: 0.08°~0.35°(Hor.), 1.33°(Ver.) -Refresh Rate: 5~20 Hz	

RTK_GPS	-Accuracy: 1cm+1ppm RMS (Hor.) 1cm+1ppm RMS (Ver.) <0.28° (Heading) -Interface: Serial, USB, TCP/IP -Sampling: Hz Max.	
IMU	-Meas. range: ±250deg/sec (angular rate) ±2g(acceleration) -Resolution: 0.01deg/sec(angular rate) 1mg(acceleration) -Error: roll, pitch 0.7deg(dynamic) yaw 0.3%	
Motor driver	-Input voltage: 6-30V -Output current: up to 60A (120A peak) -Interface: serial	
Controller	-CPU: Intel i7-8750H @ 2.20GHz -RAM: 16 GB -GPU: GTX 1070 with Max-q design	

○ 자율주행 알고리즘 개발

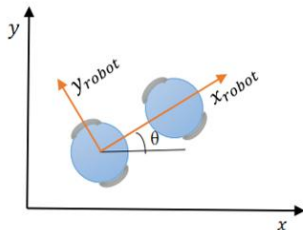
- Cartesian coordinates (x,y)를 속도 (v,w)로 변환함
- 각 지점별로 Cost function을 maximize하는 CVX 코드 작성으로 최적화하여 각 포인트에서 최적 속도를 획득함
- 목표 지점까지 위의 두 과정을 for iteration 구문으로 반복 설계함

1. Robot motion model (Differential type)

$$x = x + v \cdot \Delta t \cos(\theta_t)$$

$$y = y + v \cdot \Delta t \sin(\theta_t)$$

$$\theta_t = \theta_t + \omega \cdot \Delta t$$



2. Speed sampling

$$V_m = \{v \in [v_{min}, v_{max}], \omega \in [\omega_{min}, \omega_{max}]\}$$

$$V_d = \left\{ \begin{array}{l} v \in [v_c - v_b \Delta t, v_c + v_a \Delta t] \cap \\ \omega \in [\omega_c - \omega_b \Delta t, \omega_c + \omega_a \Delta t] \end{array} \right\}$$

$$V_r = \{(v, \omega) | v \leq \sqrt{2 \cdot dist(v, \omega) \cdot v_b} \cap \omega \leq \sqrt{2 \cdot dist(v, \omega) \cdot \omega_b}\}$$

3. Normalization

$$normal\_head(i) = \frac{head(i)}{\sum_{i=1}^n head(i)}$$

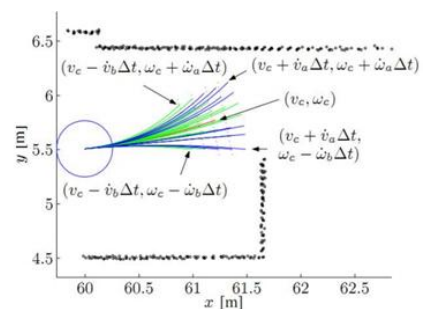
$$normal\_dist(i) = \frac{dist(i)}{\sum_{i=1}^n dist(i)}$$

$$normal\_velocity(i) = \frac{velocity(i)}{\sum_{i=1}^n velocity(i)}$$

4. Evaluation Function

$$G(v, \omega) = \sigma(\alpha \cdot heading(v, \omega) + \beta \cdot dist(v, \omega) + \gamma \cdot velocity(v, \omega))$$

5. Pick best velocity set based on evaluation results

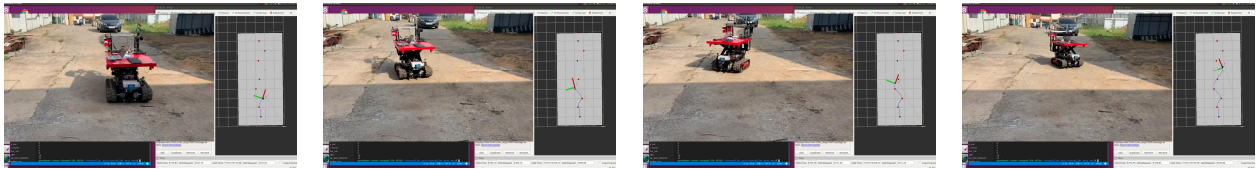


<state-space sampling algorithm의 순서도>

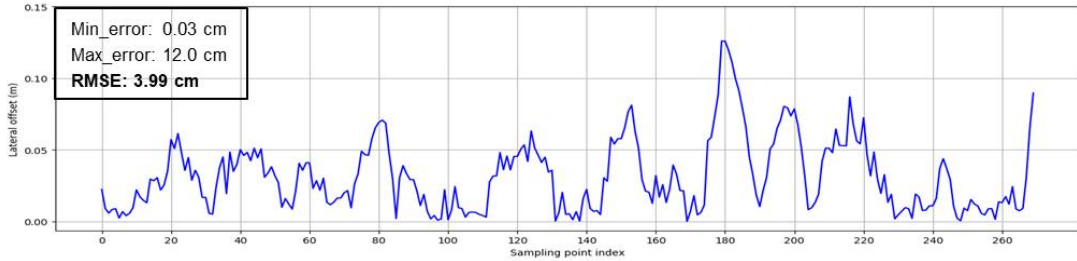
○ 자율주행 알고리즘 테스트 및 결과값

- Dynamic window approach 알고리즘이 설계된 상위 컴퓨터를 모터 컨트롤러에 연결함
- 각 포인트마다 최적의 속도(Linear velocity, angular velocity)를 찾아 웨이포인트 별 제어함
- 목표 경로 추종 오차인 RMSE(Root mean square error)는 3.99cm, 통상 10cm이하이면 자율주행에 문제가 없음





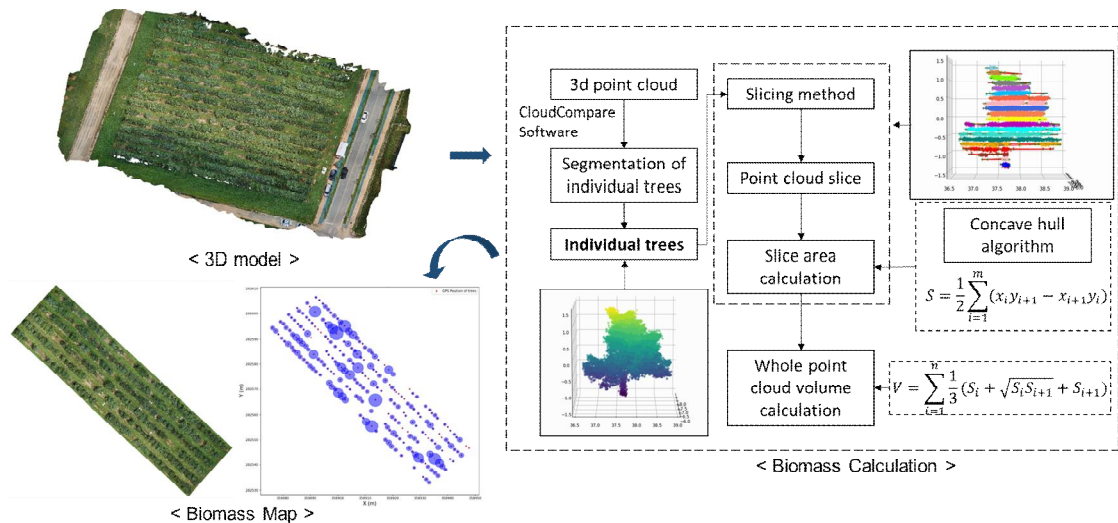
<자율주행 알고리즘 테스트>



<시뮬레이션 대비 실제 실험 값의 측위 오차값>

### ○ 재배관리 대상체 인지 및 과수 DB용 센싱시스템 구축

- 사과 과수의 적화, 적과, 전정의 대상체 인식을 위해 RGB-D camera와 라이다를 융합한 센싱 시스템을 구성
- 적화, 적과, 전정 작업용 모형 사과나무 제작 및 작업 대상체 영상 데이터 획득
- 중첩 영상 데이터를 활용한 3D 정보 추출 및 바이오매스맵 제작
- 3D 포인트 클라우드 정보를 이용하여 과실 체적 계산 알고리즘 개발함



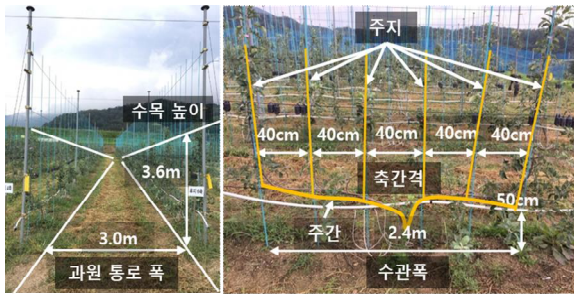
<영상 기반 3D 바이오매스맵 제작 및 과수 체적 계산 알고리즘 개발>

## (2) 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어시스템 설계

### ○ 재배관리를 위한 사과 과원 작업환경 조사 및 분석

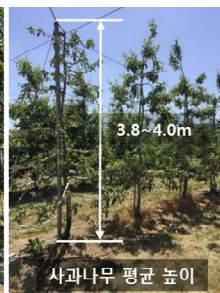
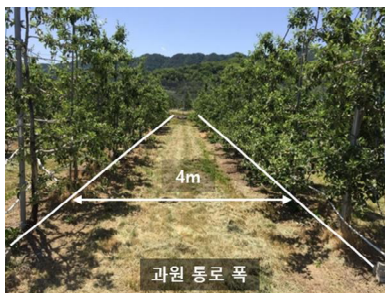
- 경남농기원 사과이용연구소 현장방문을 통한 사과재배관리작업환경 조사 및 분석
- 다축형, 세장방추형 사과 과원 작업공간 및 특징 파악
- 다축형은 수관 벽이 2D로 이뤄져 있어 로봇/기계화 과원 관리에 적합함.
- 다축형 사과 과원 특징
  - 유목기에 주간을 양 갈래로 나눠 넓혀 수형을 잡아주고 주간에서 뺀어 나온 주지들을 세로축으로 세우고 세워진 주지에서 여러 개의 결과지가 뺀어 나오는 형태임
  - 결과지 형태는 대부분 단가지 형태이며 단가지 결과지에 대부분 사과가 하나씩 달림
  - 축수는 2축, 4축 6축, 8축 형태가 있음
- 세장방추형은 국내 밀식재배로 가장 많이 적용되는 사과 과수 형태임

- 세장방추형의 나무 모양은 원뿔 형태의 입체 수관 형태이고 적화, 적과, 전정 수작업 시 많은 인력이 동원되고 수고가 높아 작업 시 작업용 사다리를 이용해야 함
- 로봇/기계화 과원 관리의 적합성과 현재 국내 가장 많이 적용된 밀식재배 수형이라는 각각의 이유로 재배 로봇 적용 우선순위 수형을 다축형과 세장방추형 순으로 정함



- 수목 형태: 다축형
- 과원 통로 폭: 3m
- 수고: 3.6m (= 과원 통로 폭\*(0.9~1.2))
- 축수: 2축, 4축, 6축, 8축
- 수관폭: 2.4m
- 축간 거리: 60cm(4축), 40cm(6축)
- \* 축간 거리 = 수관폭(고정)/축수 하는 방식과 수관폭 = 축간 거리(고정)\*축수 하는 방식 있음.
- 지하고: 50cm

<다축형 사과 과원 작업환경 조사 및 분석>



- 수목 형태: 세장방추형
- 수고: 3.8~4.0m
- 수고 최장: 4.5m
- 수관 폭: 2m
- 나무 사이 폭 : 2m
- 과원 통로 폭: 4m
- 지하고: 75cm
- 작업 범위: 1~3.5m

<세장방추형 사과 과원 작업환경 조사 및 분석>

### ○ 적화, 적과, 전정 수작업 조사 및 분석

- 경남농기원 사과이용연구소 현장방문 및 관련 자료수집을 통한 조사 및 분석
- 적화 작업
  - 단위면적당(300ha) 목표생산량 산출 (수세, 나무 이력, 나무생태정보 등 고려)
  - 나무별 목표 과일 개수 산출
  - 남겨둘 꽃의 개수 = 목표 과일 개수 \* 1.2~1.3 (낙과를 고려한 가중치)
  - 가지에 달린 위치에 따라 정화, 액화 구별
  - 정화가 액화보다 먼저 개화함
  - 액화 꽃대가 뭉쳐 있을 때 적화 작업을 수행하면 정화, 액화 구별이 쉽고, 잎을 보호할 수 있음
  - 남길 꽃의 우선순위
- 결과지 끝에 핀 정화
- 정화로부터 같은 결과지에 20~30cm 정도 떨어져 있는 액화 (20~30cm 범위 내 액화는 제거, 이유는 과실이 커졌을 때 서로 닿지 않도록)
- 결과모지나 주지에 핀 액화
- 주지에 핀 액화



화총



꽃대 뭉침의 작업 용이성



정화와 액화 구별

<적화 수작업 조사 및 분석>

- 적과 작업

- 작업 방향은 위에서 아래로 바깥에서 안쪽으로 진행함
- 몇 개의 사과를 남겨 놓을지는 나무의 세력 (접목 부위 두께, 신초량)에 따라 결정
- 주지의 단면적에 따라 3개/cm<sup>2</sup>에 남겨두는 방식이 있음. 주지 면적은 주지 두께로 가늠함
- 과총(과실이 3~5개 정도 모여있는 그룹)에서 줄기가 길고 두꺼운 과실 한 개만 남기고 나머지는 적과함
- 과실이 커졌을 때 서로 안 닿을 거리를 고려하여 과총 간 간격은 20~30cm (한 뼉 정도의 길이)를 유지함



과실 수용량 척도                      과총                      과총 간 거리

<적과 수작업 조사 및 분석>

- 다축형 동계 전정 작업

- 다축형에서는 노동력 절감을 위해 과수 높이와 통로를 향해 나온 가지 길이가 각각 일정한 길이가 되도록 전용 도구로 일괄처리하고 나머지 전정은 수작업 처리하여 전정 관리가 다른 수형에 비해 수월한 편임
- 과수 높이는 3.6m 이내로 유지되도록 전정
- 통로를 향해 뻗어 나온 가지 길이는 30cm 이내로 유지되도록 전정
- 경쟁지 : 곁가지(곁과지) 두께가 원줄기(주지) 굵기 대비 30%를 넘으면 3cm 길이 정도 남겨두고 기부 절단함. 이렇게 처리하면 남겨진 가지에서 잠아 발현하여 새로운 곁가지로 성장함
- 웃자란가지(도장지) : 분지각도가 좁은 가지는 제거함. 다축형에서는 곁과지가 단가지 형태가 많아 다른 수형에 비해 웃자란가지 발생이 적은 편임

○ 매니플레이터/엔드이펙터 기능 및 제원 정량화

- 다축형 적화, 적과, 전정 작업에 대한 로봇 작업화 과정 정의

- 적화 로봇 작업화 과정
  - ① 화총 탐지를 위해 로봇에 달린 RGB-D 카메라를 원줄기의 윗부분부터 아래 방향으로 스캔해나감
  - ② 인식된 화총은 보존 우선순위에 따라 적화 여부 결정
  - ③ 적화될 화총은 제거 포인트의 위치와 방향을 계산하고 로봇 적화 작업을 수행함
  - ④ 작업 후 최근 작업 지점부터 스캔 작업을 이어서 수행함
  - ⑤ 한 축에 대한 적화 작업이 끝나면 미리 계획한 로봇 진행을 따라 다음 원줄기(축)로 이동함
  - ⑥ 작업 완료까지 ①~⑤과정을 반복수행함

<보존할 꽃 유형의 우선순위>

우선순위	보존할 꽃 유형
1	정화가 있는 화총 (곁과지 말단에 화총)
2	정화로부터 20cm 간격 이상의 같은 곁과지 내 액화
3	곁과모지에 핀 액화
4	주지에 핀 액화

- 적과 로봇 작업화 과정

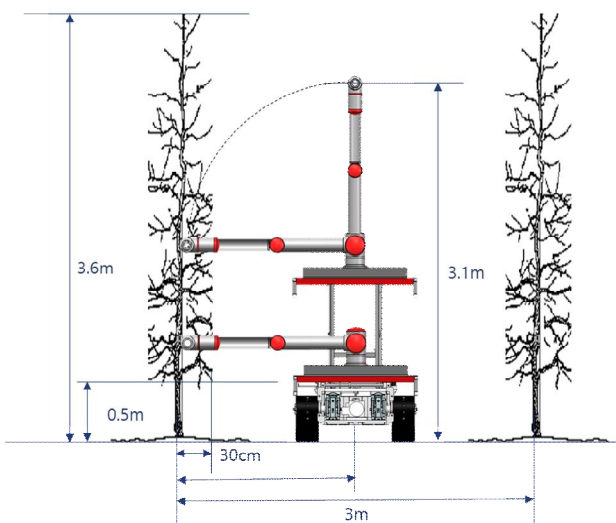
- ① 과충 탐지를 위해 로봇에 달린 RGB-D 카메라를 원줄기의 윗부분부터 아래 방향으로 스캔해 나감
- ② 인식된 과충은 남길 과실 조건을 최대한 만족하는 과실 한 개를 결정하고 나머지는 제거 과실로 분류함
- ③ 제거할 과실에 대해 커팅 포인트의 위치와 자세 값을 계산하고 로봇 적과 작업을 수행함
- ④ 작업 후 최근 작업 지점부터 스캔 작업을 이어서 수행함
- ⑤ 한 축에 대한 적화 작업이 끝나면 미리 계획한 로봇 진행을 따라 다음 원줄기(축)로 이동함
- ⑥ 작업 완료까지 ①~⑤과정을 반복수행함

<보존할 과실 조건의 우선순위>

남기는 과실 조건	
1	과병이 길고 굵은 과실
2	과대가 10~20cm 내외 과실
3	과대지가 15cm 이하 과실
4	주변 가지에 많이 많은 과실

• 전정 로봇 작업화 과정

- ① 가지를 탐지하기 위해 로봇에 달린 RGB-D 카메라를 원줄기 윗부분부터 아래방향으로 스캔해 나감
  - ② 인지된 가지는 제거 대상 여부(통로 돌출 긴 가지, 경쟁지, 옷자란가지 등)를 판별함
  - ③ 제거 대상 가지는 전정 유형에 따라 커팅 포인트의 위치와 자세를 계산하고 전정을 수행함
  - ④ 작업 후 최근 작업 지점부터 스캔 작업을 이어서 수행함
  - ⑤ 한 축에 대한 적화 작업이 끝나면 미리 계획한 로봇 진행을 따라 다음 원줄기(축)로 이동함
  - ⑥ 작업 완료까지 ①~⑤과정을 반복수행함
- 과수원 재배관리 공간 내에 모바일 매니플레이터 및 구성 적화, 적과, 전정 작업수행에 필요한 작업 공간 정의
  - 이동 레일 최대 길이, 매니플레이터 최대 도달 길이, 관절 동작범위 및 동작 속도, 반복 정밀도 등의 설계 고려 사양 도출



	항목	사양
	DOF	6
	무게(Kg)	40
	가반하중(Kg)	5
	팔길이(mm)	1600
	반복정도(mm)	2
	동작범위(°)	J1 : ±175° J2 : ±100° J3 : ±150° J4, J5, J6 : ±175°
	동작속도	J1 : 180°/s J2 : 180°/s J3 : 180°/s J4 : 180°/s J5 : 180°/s J6 : 180°/s
	차체 상부 적재함 크기 (가로 x 세로)	1,100 x 1,200(mm)
	플랫폼 크기 (가로 x 세로)	1,000 x 1200(mm)
	최대 리프트 상승 높이	1,500(mm)
	이동 레일 (가로 x 세로 x 높이)	860 x 300 x 87.6 (mm)

<로봇 작업화를 위한 작업공간 정의 및 사과 재배 로봇 기능 및 제원 정량화>

○ 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시뮬레이터 구축

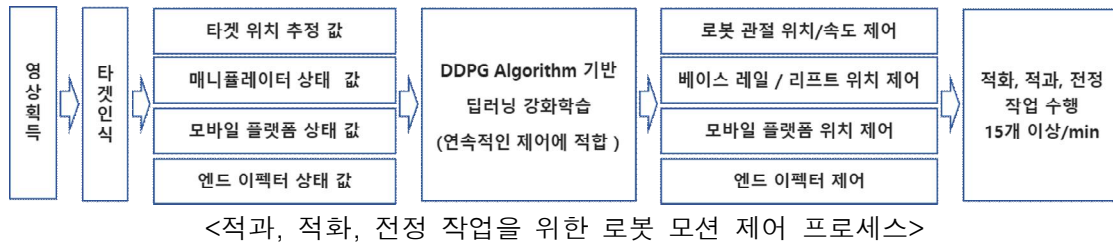
- 적화, 적과, 전정 작업 모션 계획 알고리즘 모델 개발 및 알고리즘 성능실험 및 검증을 위한 로봇 시뮬레이터 환경 구축함
- 로봇 시뮬레이터는 ROS(로봇 프레임워크)에 Gazebo(로봇 시뮬레이터)와 Moveit(모션 계획 및 충돌

체크 기능 지원 패키지)를 이용하여 구성함

- 모바일 플랫폼과 다관절 로봇 모델에 대한 .stl 파일 제작 및 URDF(Universal Robotic Description Format) 파일 작성
- 가상 시뮬레이터에 사과 과원, 모바일 플랫폼과 다관절 로봇 세팅 및 로봇의 ROS control 연결

### ○ 매니플레이터/엔드이펙터 제어기술 개발

- 딥러닝 강화학습의 시스템 제어 파라미터를 선정함
  - 다관절 로봇관절 위치/속도 제어
  - 로봇 베이스 슬라이드/리프트 위치 제어
  - 모바일 플랫폼 위치/속도 제어
  - 엔드이펙터 위치 제어
- 딥러닝 강화학습기반 적과, 적화, 전정 작업을 위한 로봇 모션 제어 프로세스 정의



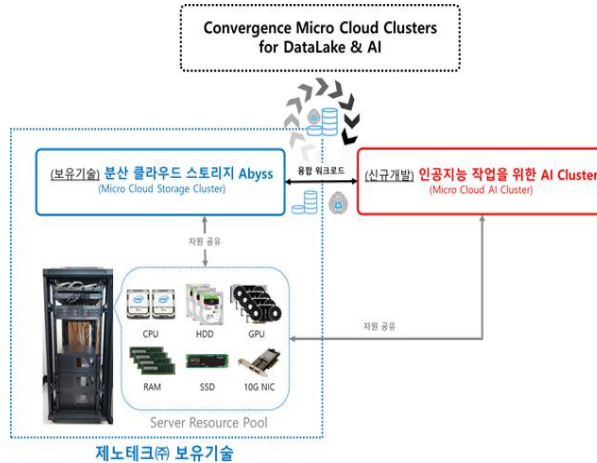
- 딥러닝 강화학습 제어구조 구현
  - 딥러닝 강화학습 기반의 일반적 제어구조는 환경(Environment)로부터 상태(State)  $s_t \in S$ 가 주어졌을 때 에이전트(Agent)는 정책(Policy)  $\pi(a_t|s_t)$ 에 따라 액션(Action)  $a_t \in A$ 가 선택되어 환경에 실행되고 반영된 결과로 상태(State)  $s_{t+1}$ 가 나타남
  - 여기서 액션  $a_t$ 은 제어 동작임. 액션  $a_t$ 은 최종목표 성취 기여도에 따라 보상(Reward)  $r_t \in R$ 을 부여받게 되고, 이런 일련의 경험은 상태( $s_t$ )-액션( $a_t$ )-보상( $r_t$ )-다음 상태( $s_{t+1}$ )의 튜플 형태로 경험 리플레이 버퍼(Replay Buffer)에 저장시켜 저장된 경험 군을 가지고 정책  $\pi$ 의 내부 파라미터를 최적화하기 위한 딥러닝 학습 데이터로 활용하고 이런 상태-액션-보상-학습이라는 일련의 과정을 반복해가면서 제어성능을 향상하게 시켜나감
  - 작업 대상의 위치값은 우선 RGB-D 카메라를 통해 획득되고 좌표 변환을 통해 엔드이펙터 위치로부터 작업 대상까지의 변위 값을 구할 수 있음
  - 재배관리 작업을 모바일 매니플레이션 제어에서는 상태 공간  $s_t$ 는
    - ① 매니플레이터 베이스 좌표계 기준에서의 엔드이펙터의 위치값
    - ② 엔드이펙터 좌표계 기준에서의 작업 대상의 위치값
    - ③ 매니플레이터 모든 관절의 각도 값과
    - ④ 속도 값
    - ⑤ 엔드이펙터 동작 상태 값으로 구성하고,
  - 액션(제어) 공간  $a_t$ 은
    - ① 엔드이펙터 좌표계 기준에서의 매니플레이터 제어 변위 값
    - ② 모바일 플랫폼 좌표계에서의 매니플레이터 베이스 제어 변위 값과
    - ③ 리프트 제어 변위 값
    - ④ 모바일 플랫폼 제어 변위 값
    - ⑤ 엔드이펙터 제어 동작 값으로 구성할 수 있음
  - Deep deterministic policy gradient(DDPG) 알고리즘은 연속적인 제어 환경에서 좋은 학습 성능을 보여 로봇 모션 계획 알고리즘 개발에 적용함

## 나. 위탁연구개발기관(제노테크)

### (1) 대상체 인식 시스템 설계 및 개발

#### ○ 적화, 적과 그리고 전정 알고리즘 개발 및 학습을 위한 대용량 스토리지 및 AI 융합서비스의 설계 및 개발

- 과수 사과와 적과 대상체 인식을 위한 인공지능 알고리즘 설계/개발 및 알고리즘 학습을 위한 대용량 스토리지 및 객체 인식 AI 서비스를 설계함

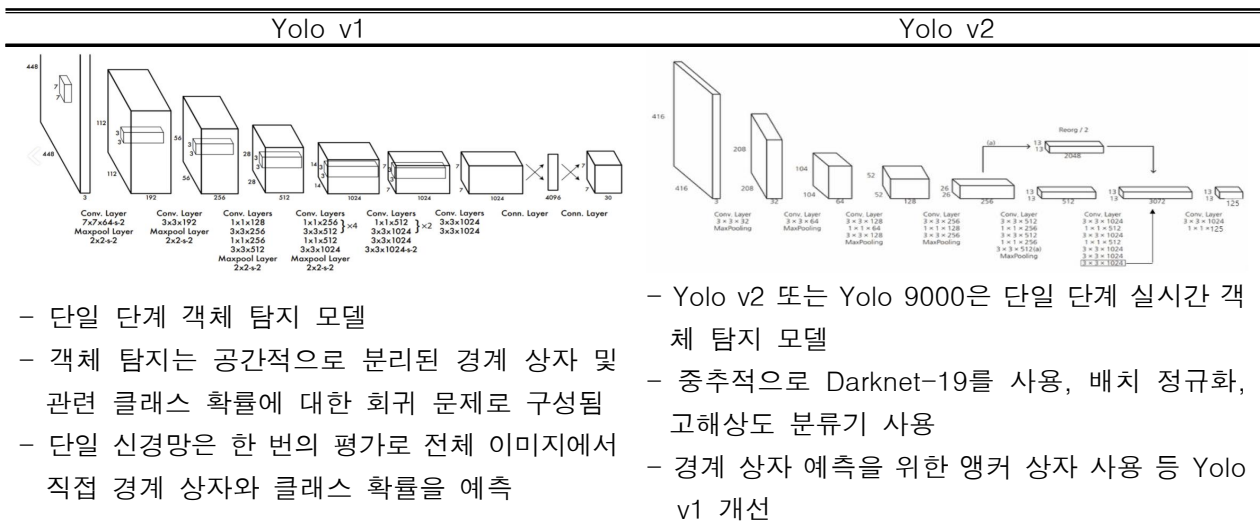


<적화, 적과 그리고 전정을 위한 대용량 스토리지 & AI 서비스 융합형 시스템의 개념도>

- 과수 사과의 적과 대상체 인식을 위한 인공지능 알고리즘 개발 및 학습을 위한 대용량 스토리지의 하드웨어 프로토타입을 개발함

CPU	GPU	RAM
Inter® Core™ i9-7940X	GeForce RTX 2080	64GB
CPU @ 3.10GHz		

- 과수 사과의 적과 대상체 인식을 위한 오픈소스 YOLO v2를 이용하여 AI 서비스의 프로토타입을 설계 및 개발함

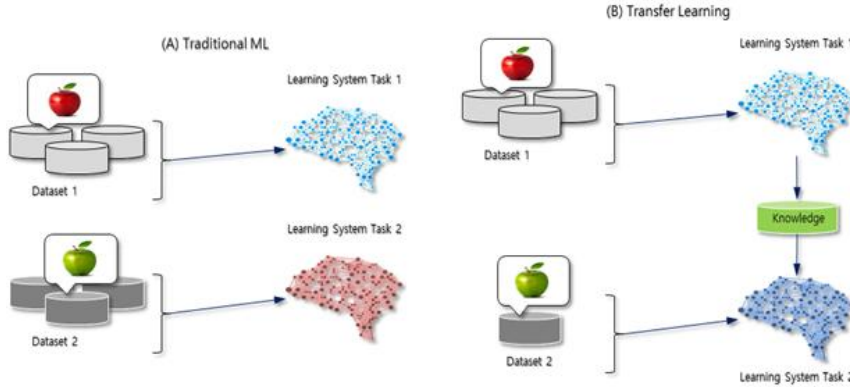


- 단일 단계 객체 탐지 모델
- 객체 탐지는 공간적으로 분리된 경계 상자 및 관련 클래스 확률에 대한 회귀 문제로 구성됨
- 단일 신경망은 한 번의 평가로 전체 이미지에서 직접 경계 상자와 클래스 확률을 예측
- Yolo v2 또는 Yolo 9000은 단일 단계 실시간 객체 탐지 모델
- 중추적으로 Darknet-19를 사용, 배치 정규화, 고해상도 분류기 사용
- 경계 상자 예측을 위한 앵커 상자 사용 등 Yolo v1 개선
- 과수 사과의 이미지 및 영상으로부터 적과 대상체와 적과 대상체의 인식 및 주변 환경 정보를 표현하기 위한 대시보드의 설계 및 개발



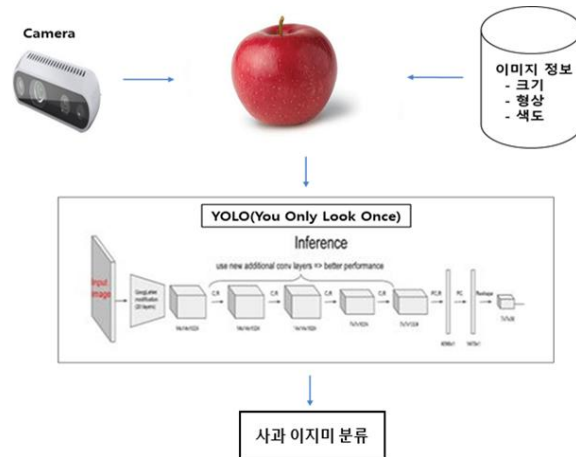
○ 적과 인식을 위한 Pre-trained Model의 설계

- 신경망에서 전이학습은 특정 영역의 한 과제에서 얻은 지식을 유사한 영역의 관련 과제에 전달하는 과정
- 전통기계학습 [(A) Traditional ML]은 각 DataSet와 학습 시스템 과제별로 변환되어 있음을 보여줌
- 전이학습 [(B) Transfer Learning]은 과제를 참고하여 새로운 학습 과제가 만들어지는 것을 알 수 있으며, 기존 머신러닝보다 빠르고 정확하며 학습 데이터가 덜 필요함



<적과 인식을 위한 전이학습 개념도>

- 과수 사과의 적과 대상체 인식 알고리즘 학습과 AI 융합 서비스의 Pre-trained Model 구현

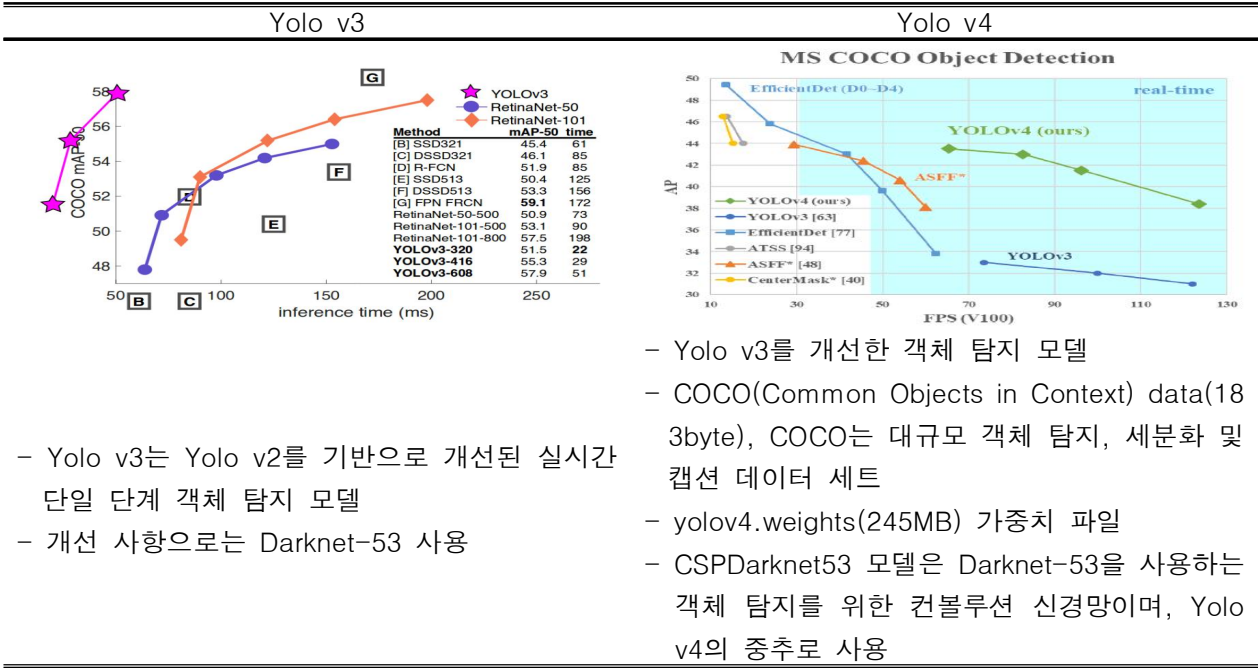


<적과 대상체의 이미지 분류 과정도(사과 이미지)>

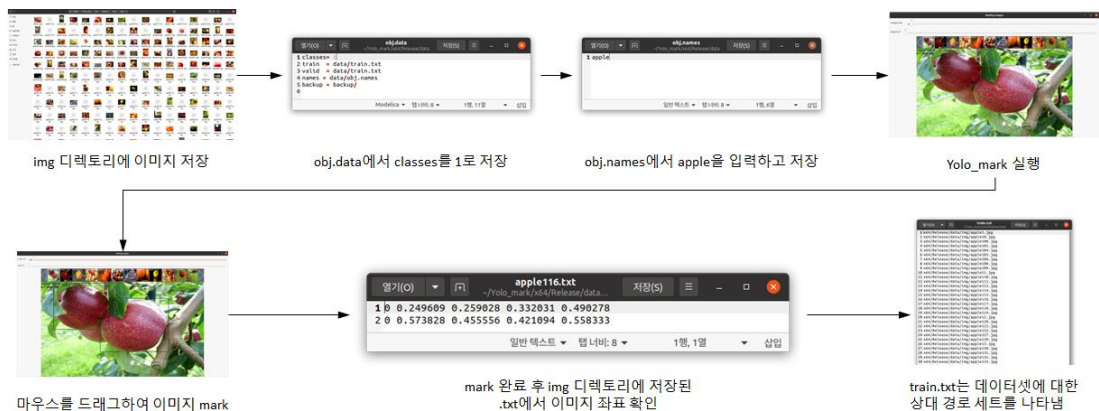
- Darknet을 통해 실행하였으며, “YOLO v2”를 중심으로 CNN(Convolutional Neural Network)를 사용하여 학습을 진행함
- 지도학습 결과를 통하여 yolo-obj\_last.weights 파일이 생성됨
- 여기서 CNN(Convolutional Neural Network) 모델은 이미지, 비디오, 텍스트 또는 사운드를 분류하는 머신러닝의 한 유형이며, 최근에는 딥러닝에서도 많이 사용함
- 즉, Convolutional Layer는 입력 데이터로부터 특징을 추출하는 역할을 하며, 특징을 추출하는 기능을 하는 필터(Filter)와 필터값을 비선형 값으로 바꾸어주는 액티베이션(Activation) 함수로 이루어짐
- Filter를 사용하여 해당 특징이 데이터에 있는지 없는지를 확인하며, 입력받은 데이터에 특성이 있으면, 결괏값이 큰 값으로 출력, 그렇지 않다면 결괏값이 0에 가까운 값을 보여주기 때문에 해당 데이터가 그 특성이 있는지 없는지를 확인할 수 있음



## ○ 적과 인식을 위한 Pre-trained Model의 구현



- 여기서 사용한 CSPNet을 이용한 Object Detection의 장점 :
  - CNN의 학습능력 강화로 정확도를 유지, 경량화 가능함.
  - 연산 Bottleneck 삭제를 통해, 각 계층의 연산량을 균등하게 분배하여, 연산 bottleneck을 없애고 CNN layer의 연산 활용을 업그레이드 가능하여, YOLO-v3 모델에서 bottleneck을 80%가량 줄임
  - 메모리 cost 효과적으로 줄일 수 있으며, cross-channel pooling이 feature 피라미드 작업을 압축이 가능함
- 적과 인식을 위한 Pre-trained Model 구현으로, CSPDarknet53 모델은 Darknet-53을 사용하는 객체 탐지를 위한 컨볼루션 신경망
- CSPNet 전략을 사용하여 기본 계층의 기능 맵을 두 부분으로 분할한 다음 교차 단계 계층 구조를 통해 합치는 시스템이며, base layer를 일부만 convolution 연산을 진행하고 합치기 때문에 성능 향상과 시간적인 소모 감소 효과
- 적과 사과 Yolo v4를 통한 이미지 Marking 처리 과정을 [그림 12]와 같이 나타냈으며, 사과 이미지 760개를 yolo\_mark를 진행하여 사전 학습된 Yolo v4.weight 가중치 파일과 함께 훈련을 진행함



<적과 사과 Yolo Mark의 이미지 Marking 처리 과정>

- yolov4.weights Pre-trained model을 사용하여 사과 이미지를 transfer learning함

## ○ 적과 인식을 위한 Pre-trained Model의 성능 테스트

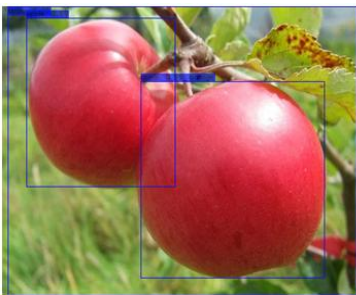
- 과수 사과의 대상체 적과 탐지의 성능 테스트



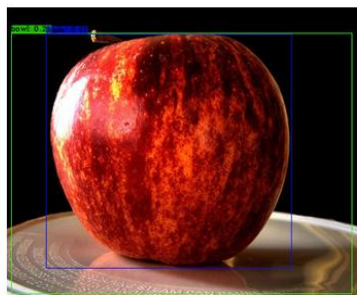
<사과에 Marking 테스트한 모습>

- Yolo v4의 coco.data와 yolov4.weights을 이용하여 사과 이미지를 인식한 결과

- coco.data: 대규모 객체 탐지, 세분화 및 캡션 데이터 집합임
- Yolov4.weights : weigths는 가중치 파일이며, 네트워크의 은닉 계층 내에서 입력 데이터를 변환하는 신경망 내의 매개 변수임



- 2개의 사과를 59%로 인식하며, 오른쪽 사과는 오렌지로 같이 인식함
- 이미지 전체를 사과로 30% 인식함
- 오렌지는 94%로 인식하고, 사과는 91%로 인식함
- 가운데 있는 과일은 인식하지 못함



- 사과를 97% 인식하며, 사과와 검은색 배경, 바닥의 물체를 포함하여 bowl로 25% 인식함
- 왼쪽 아래의 사과는 95%로 인식하지만, 나머지 3개의 사과는 평균 60%로 인식함
- 오른쪽 아래의 사과는 오렌지로 같이 인식하며, 가운데 바나나는 인식하지 못함



- 사과와 다른 과일이 섞여 있는 과일 상자 전체를 사과로 57% 인식함
- 이미지 전체를 사과로 70% 인식함
- 가운데 나타나는 연두색 사과 10개를 평균 50%로 인식함
- 왼쪽 아래의 반만 나타나는 사과 2개는 각각 0.31%, 0.25%로 인식함

<Yolo v4의 coco.data와 yolov4.weights을 이용하여 사과 이미지를 인식한 결과>

## 다. 위탁연구개발기관(경남농업기술원 사과이용연구소)

### (1) 현장 성능시험 테스트베드 운영

#### ○ 개발 로봇의 현장 성능시험을 위한 사과 포장 운영 및 개선방안 협의

- 세장방추형, 세측지세장방추형, 팔매트형 등 수형이 완성된 시험 포장 준비
- 사과원 구성과 재배관리 대상체 인식을 위한 다양한 카메라 촬영 지원
- 2012년 정식 사과나무 수형별로 구성하여 로봇시험 가능하도록 전정 및 착과 관리

#### ○ 수형별 대상체 인식을 위한 촬영



GPS 인식 드론 촬영



전동형 모바일 플랫폼을 활용한 촬영



#### ○ 수형별 모양과 착과된 과일 위치



세장방추형



솔렉스형



팔매트형

#### ○ 수형별 모양과 착과된 과일 위치

구분	세장방추형			세측지세장방추형			솔렉스형			팔매트형		
	'18	'19	'20	'18	'19	'20	'18	'19	'20	'18	'19	'20
수량(kg/주)	41.	46.	52.	50.	48.	52.	51.	44.	46.	38.	67.	51.
	1	4	5	4	1	6	0	9	4	4	7	3
수확과수(개/주)	153	118	177	175	129	175	174	123	172	129	183	208
평균과중(g)	269	394	295	288	370	300	293	366	272	299	369	249
상품과율(%)	49.	97.	85.	68.	97.	84.	75.	96.	87.	76.	95.	81.
	8	2	4	5	7	9	9	1	9	1	1	4

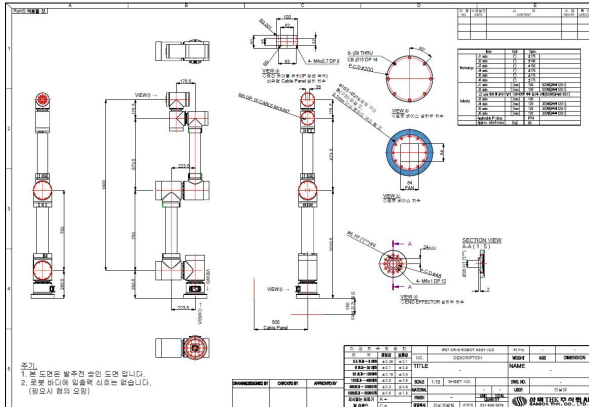
- 연차간 수형별 생산특성을 구명하고 로봇 활용에 대한 사전 생산성 검증

## 라. 위탁연구개발기관(유원시스템)

### (1) 다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 설계 및 제작

#### ○ 다관절 매니플레이터 개발

- 7자유도로 구성되어 로봇 매니플레이터와 이동 레일을 포함하며, 범용 목적뿐만 아니라 복잡한 작업 양상에 대응할 수 있도록 제작되었음
- 사과나무의 특성을 분석하여 그 높이와 가지의 형태에 대응할 수 있도록 가능한 암 길이 등의 사양을 확정
- 농장의 기후 특성 등의 영향에 대응하기 위한 방진, 방수 구조로써 IP65 대응 구조를 채택하여 제작함
- 다관절 로봇 설계, 제작, 조립



<다관절 로봇 설계>



<다관절 로봇 제작 및 조립>

항목	단위	목표 사양	진행 사양	
1. 동작범위	J1	°	±175	±175
	J2	°	±100	±100
	J3	°	±150	±150
	J4 J5	°	±175	±175
	J6			
	2. ARM 전체 길이	mm	1,600	1,600
3. 최대속도	°/sec	180	180	
4. 반복 정밀도	mm	2	2	
5. IP 등급		65	65	
6. 기반 중량	kg	5	5	

#### ○ 적화용 엔드이펙터 설계 및 제작

- 실사용 형태를 고려하여 엔드이펙터의 종류를 적화용과 전정용으로 분리함
- 적화용으로 회전 브러쉬 타입과 에어건 타입을 설계 및 제작함
- 회전 브러쉬 타입은 모터 구동에 의한 회전구조로 설계되었으며, 전체 길이 300mm, 직경 100mm, 솔은 플라스틱 재질로 구성됨
- 작업 대상을 브러쉬 회전마찰력으로 적화하는 원리로서 기다란 측면을 이용하면 한꺼번에 많은 양의 적과 작업이 가능하며 끝의 둥근 부분을 이용하면 특정 부위의 적과 작업이 가능하도록 설계함.
- 에어건 타입은 압축 공기를 노즐 통해 작업 대상에 발사시켜 적화하는 원리로서 솔레노이드 공압 구동으로 온/오프 제어되며 작업 대상과 밀접 시키지 않아도 제거할 수 있도록 설계함.

### (2) 로봇 제어기 요소기술 개발

#### ○ 다축제어 로봇 제어기제작으로 실시간 제어 가능

- 다축제어가 가능한 제어기를 제작하여 외부 인터페이스가 가능한 기능을 부가하여 실시간 제어가 가능한 제어기를 개발함

○ 제어기 및 티칭 팬던트 제작 외형



전면



후면



외관 및 사이즈  
<제어기 제작 외형>



전면



후면

<티칭 팬던트 제작 외형>

○ 제어기 및 티칭 팬던트 제작 사양

<제어기 사양>

항 목		사 양
최대 제어 축수		2Axis ~ 8Axis
교시 방법		티칭 팬던트 (직접 교시, 수동 데이터 입력)
외부 인터페이스		Ether-Net, EtherCAT, CC-Link
백업 방법		PC Software(NRC Studio), USB
전원 사양		DC24V/48V(인버터사용), AC 220V, 60Hz
전원 용량		3kVA
Encoder		17bit Absolute, Incremental
I/O	시스템	12/8 (I/O)
	사용자	기본 20/24, (확장 가능 : 32/32, Option)
	아날로그	8ch/4ch(±10V), 16bit
프로그램 방법		Teach Pendant, PC(NRC Studio), System IO
보호 기능		Over Load, Over Current, Over Speed, EMG Stop, Encoder Error, Axis State Monitoring
사용 함수		PTP, CP, Pink &Place, Circle/Linear Interpolation World/Base/Work Coordinate
냉각 방법		Exhaust by Cooling fan
적용 로봇		VMS,VMM Series, SCARA, WTR, 3Axis 직교
무게 (Kg)		15kg이내
크기(mm) (W x D x H)		350 x 400 x 200
주변 온도		0~40℃
주변 습도		20 ~ 85%(Non-condensing)

<티칭 팬던트 사양>

항 목	사 양
입력 전원	DC 12~24V (With FG)
소비 전력	8W
KEY PAD	62 Keys ( Function 6, Jog 12 )
Dust/Drip Proof	IP65
무게 (Kg)	1.5kg이내
인터페이스	RS422(Full-Duplex Type), Hardwired Switch Pinout
스위치	Emergency, 3Pos SW, Select SW
기능	Simple & Convenient Various Function ( Teaching, Programing)

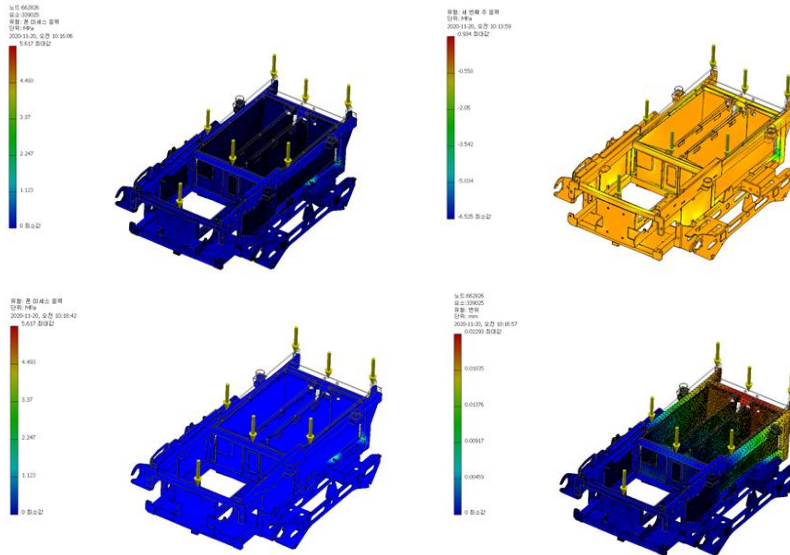
## 마. 협동연구개발기관(엘앤에스)

### (1) 궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발 및 제작

#### ○ 플랫폼 구조해석 및 응력계산을 통한 안정성 확보

#### ▮ 과수로봇 플랫폼 설계

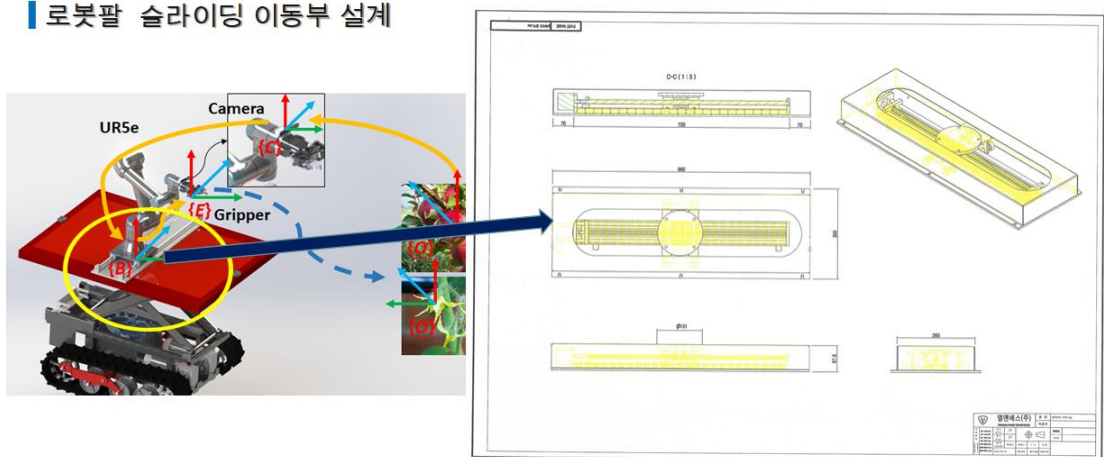
##### ➢ 플랫폼 구조설계 및 응력 분석



- 전문 분석 프로그램을 이용하여 하중 적재 시 프레임, 롤러의 강도 해석
- 유한 요소 해석프로그램을 통하여 외부 하중이 가해졌을 때 응력, 변형, 총 변위를 고려하여 안전범위에서의 최적화된 프레임을 설계함

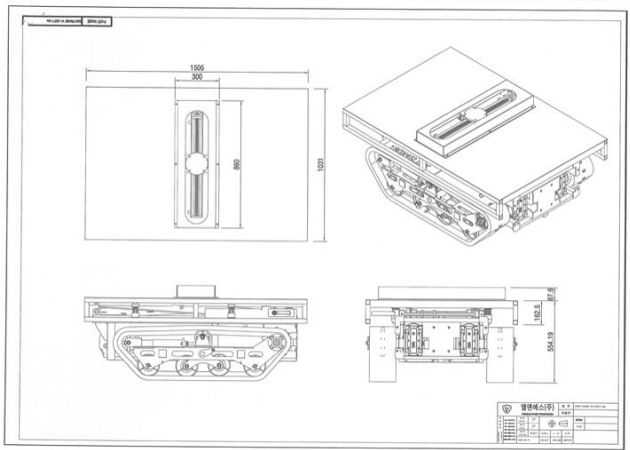
#### ○ 과수 로봇 관절 Arm 슬라이딩 시스템 개발

#### ▮ 로봇팔 슬라이딩 이동부 설계



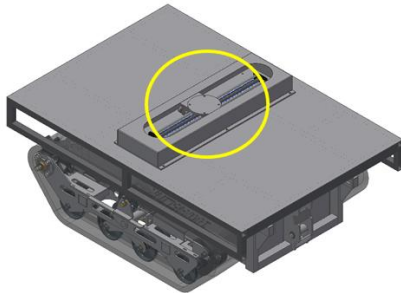
- 6 관절 로봇 팔을 자연스럽게 좌우로 이동시키기 위해 리드 스크루를 통한 이송방법을 고안하여 30kg~50kg 정도의 이송능력을 갖추도록 함

**로봇 슬라이딩 이동부 설계 및 리드스크류**



- BLDC모터 구동을 통해 더욱 정밀하게 제어할 수 있도록 하였음

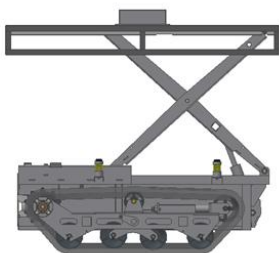
**로봇 Arm 이송 슬라이드 조립**



- 관절 로봇과 결합/ 주행시 안정성을 위하여 바닥면이 견고하게 밀착, Rolling 하면서 진행되도록 설계.

- 6 관절 로봇의 주행 시 앤드이펙터가 흔들리지 않도록 아랫부분을 툴러와 바닥 면을 밀착시켜 주행 하도록 설계함

**과수로봇 플랫폼 조립 1**



**과수로봇 플랫폼 2**



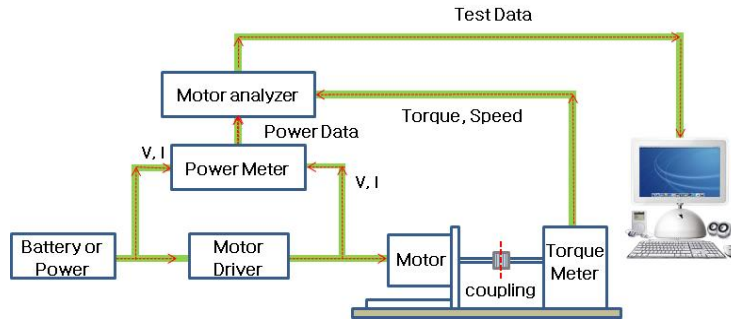


## (2) 구동 모터 토크 및 속도, 동력 전달부 감속기어 및 기어비 등 부품 선정

### ○ 구동모터, 기어 등 부품 선정

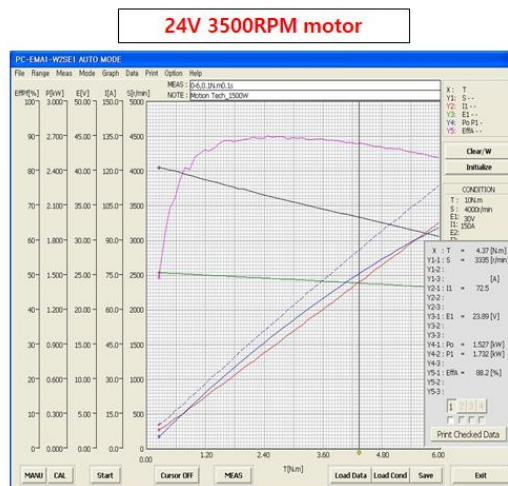
- 구동모터 선정 및 평가

- 전동운반차의 구동용 모터를 선정하기 위해 샘플의 성능 검증을 다이ना모 실험장비를 통해 수행함
- 다이나모 실험장비는 모터의 전기적인 입력과 동력 출력을 측정하여 모터의 효율을 측정하고 다양한 부하 조건에서 모터의 성능을 확인하는 장비임.



<다이나모 실험장비 구성>

## 1차년도 과수로봇 플랫폼 구동 동력부 부품 신뢰성 및 적합성 검토



- 모터의 효율이 88.2[%]로 높은 효율을 나타냄

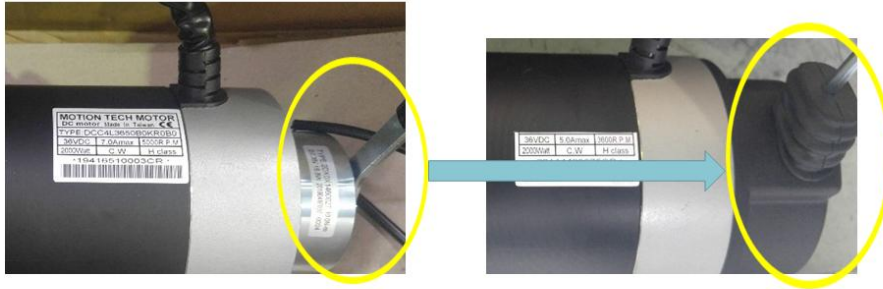
과수로봇 플랫폼 속도 계산

	24V3500 (1차년도)	최종목표 (ESTIMATE)	비 고
Motor RPM	3500 RPM	3500 RPM	
Gear Box Ratio	40:1	20:1	
Gear Box output	87.5 RPM	175 RPM	
Sprocket PCD	PCD 185mm	PCD 185mm	
max.Speed	3.06km	6.12km	
$\frac{\pi * D * N}{1000 * min} = km$			



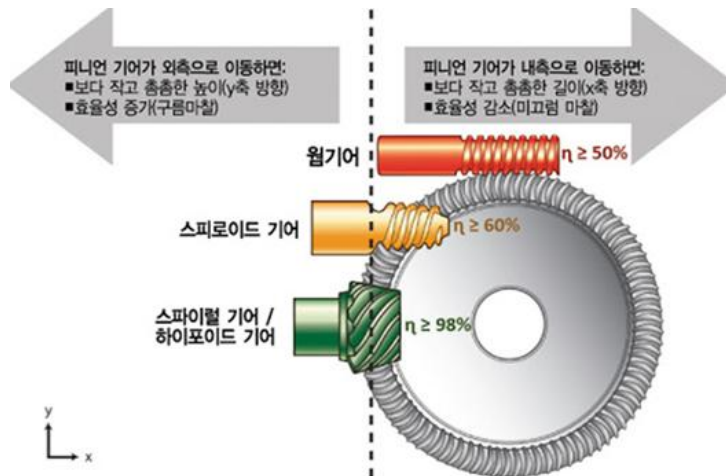
NOTE.  
1. Speed and torque is inversely proportional.

■ 안정성 제고를 위해 모터 브레이크부 IP54등급



- 기존 당사 모터의 방수 방진이 취약하여 현장에서 제한적인 품질문제 야기
- 금번 과제에 IP 54등급의 모터(브레이크 부 Cover)등 Rubber로 차폐 기밀

- 과수 로봇 플랫폼의 이동속도는 농작업 구간에서는 3km/hr가 적정할 것으로 판단함. 하지만 과원간 이동이나 농로 이동시에는 좀더 빠른 이동속도가 요구됨
- 따라서 기존 기어비 40:1을 20:1로 조정하여 이동속도를 3km/hr에서 6km/hr로 향상 시킴.
- 동력전달 기어 선정 및 평가
  - 모터의 동력을 전달하는 기어박스는 배터리 구동의 체계에서 매우 민감한 사안이며, 기어의 효율은 전체 플랫폼의 효율과 아주 밀접하여 정확한 선정이 중요함
  - 하이포이드 기어를 선택하여 높은 효율을 갖도록 선정함



- Hypoid Gear- 효율 94%

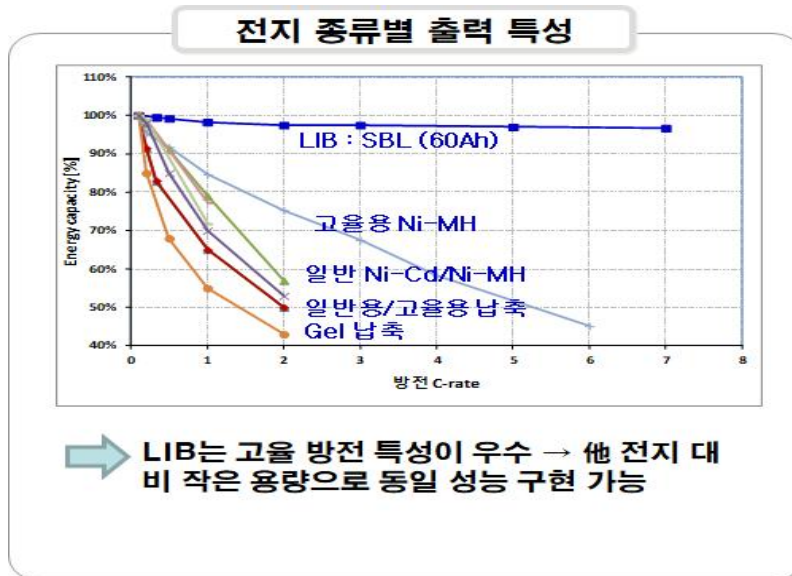


TYPE	Ratios [1]	Input speed [n]	Efficiency [n]
TKM 38B	59.71	1400	94%
NMRV063	60	1400	62%
W63	64	1400	67%

웜(worm)기어와 베벨 기어대비 약30%를 상회하는 고효율

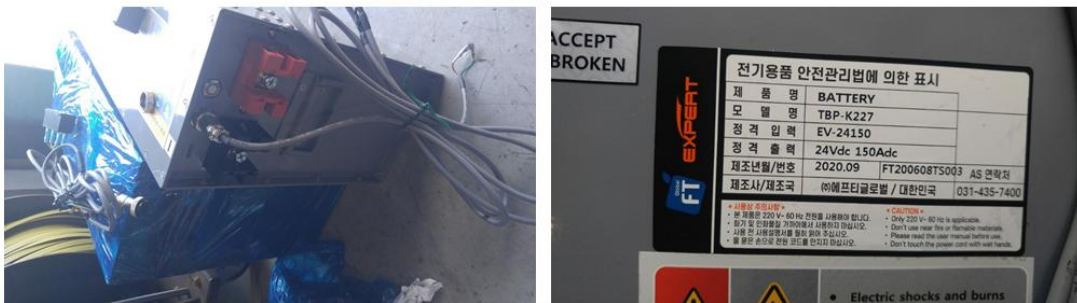
- 리튬이온 배터리

- 리튬이온과 납축배터리의 차이는 가격뿐만 아니라 실제 사용 시 전압 강하 등 안정성에도 상당한 차이가 있음



- 작업 시 로봇과 자율주행 장비의 안정적인 전원 공급을 위해 실제 현장에서 테스트 및 양산 리튬이온을 적용해야 효율적인 운용이 가능함

**리튬이온 24V -150Ah 배터리 적용**



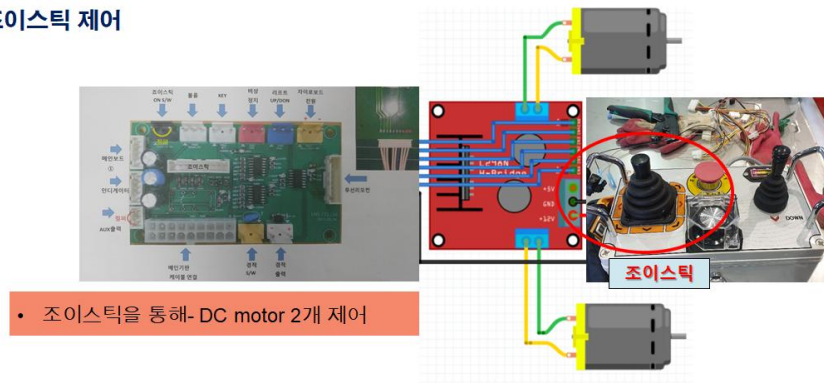
- 과수로봇 플랫폼의 주행 및 작업시 사용 전력의 안정성을 위하여 리튬이온배터리를 채용 테스트
- 2차년도 과제를 통해 CAN통신을 통해 배터리의 상태 잔량, 동력시스템의 에러 등을 확인이 용이하도록 개발 예정

○ 구동부와 연계된 제어 관련 전장품, 유선 조이스틱 제어, 무선제어

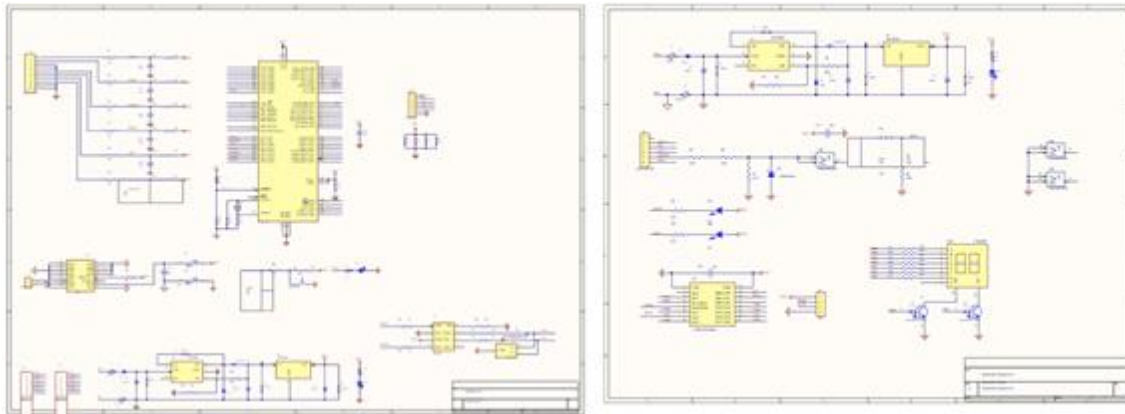
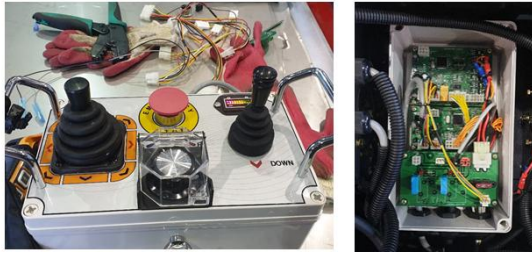
- 조이스틱 유선 제어부

- 과수 로봇 플랫폼의 주행 및 리프트 기능, 상하 리프트, 부가 기기 등의 전력제어 등을 처리할 수 있는 제어기 설계 및 개발하였음
- 배터리 잔량, 동력시스템의 에러 등을 확인하기 위한 디스플레이 회로 설계함
- 작업기의 각종 액추에이터 동작을 위한 파워 구동회로 설계함

## 조이스틱 제어



## 수동 모드 컨트롤러 개발(전장품/리모컨/조이스틱)



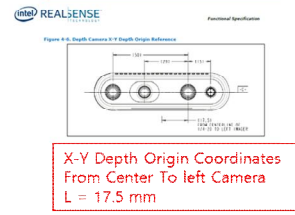
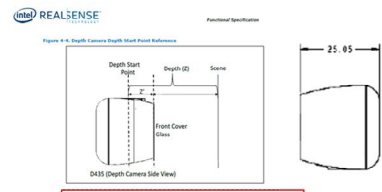
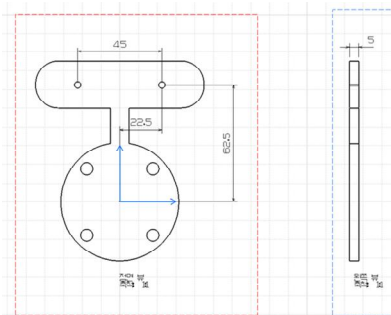
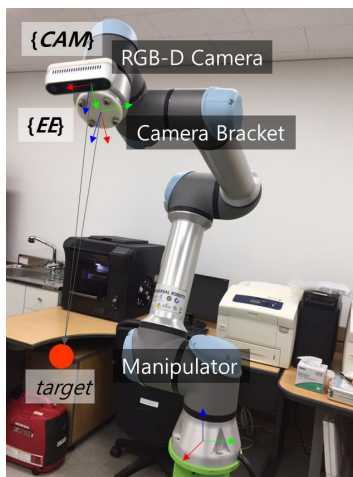
## 2.2. 2차년도 연구개발 내용

### 가. 주관연구개발기관(전남대학교)

#### (1) 사과 재배관리용 로봇 통합 시스템 구성

##### ○ 재배관리 대상체 인지 시스템과 매니플레이터 시스템 통합

- 매니플레이터 링크 끝단에 RGB-D 카메라 센서 탑재
  - 재배관리 대상체 이미지 획득을 위해 다관절 로봇 플랜지 부분에 Intel RealSense D435i RGB-D 부착. 카메라 부착을 위해 브라켓 설계 및 제작
  - RGB-D 카메라 좌표계와 로봇 끝단 좌표계 간의 좌표계 변환 매트릭스 구축
  - 좌표계 변환 매트릭스는 3x3 rotation matrix, 3x1 translation vector로 구성. Rotation matrix와 translation vector는 RGB-D 카메라와 브라켓 기구적 수치를 이용하여 로봇 끝단 좌표계 기준 카메라 좌표계의 상대적 자세와 위치값으로 나타냄

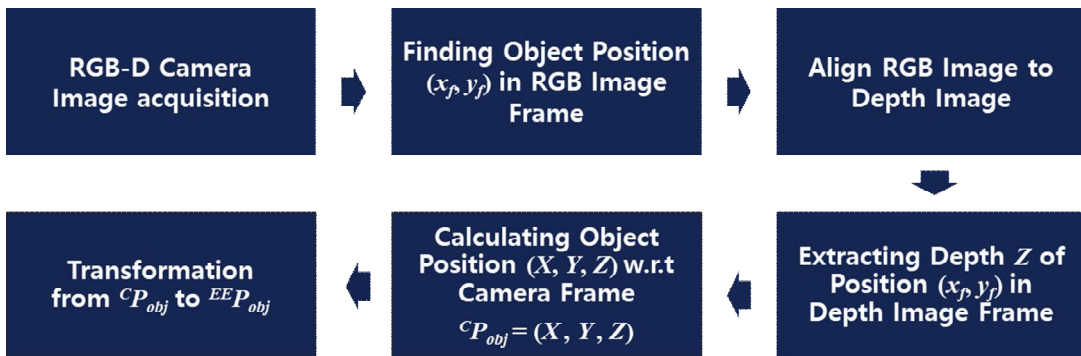


$${}_{CAM}^{EE}T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -62.5 \\ -1 & 0 & 0 & 17.5 \\ 0 & 0 & 1 & 25.85 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

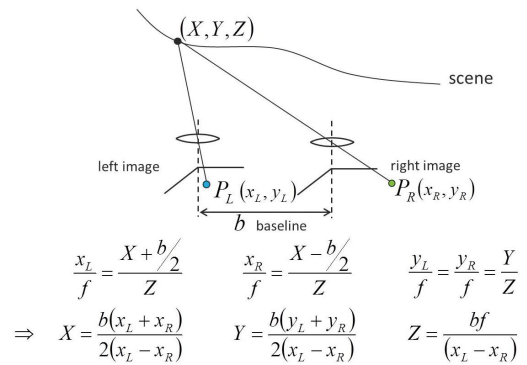
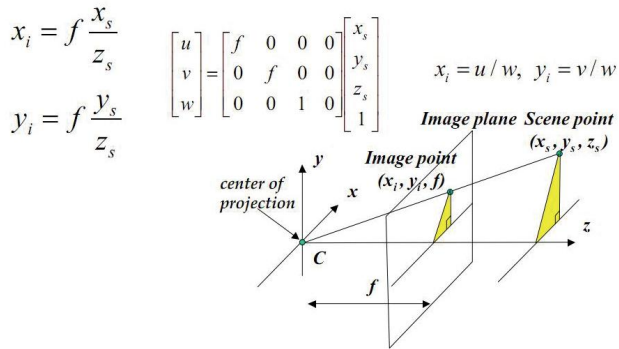
$$\therefore {}^{EE}P_{target} = {}_{CAM}^{EE}T \cdot {}^{CAM}P_{target}$$

<매니플레이터 링크 끝단에 RGB-D 카메라 센서 탑재>

- RGB-D 카메라의 영상 정보 기반 재배관리 대상체 3D 좌표 추출 및 로봇 포지셔닝
  - RGB-D 카메라를 통한 이미지 획득함. 획득한 이미지 내에서 재배관리 대상체 인식 및 대상체 이미지 좌표를 획득함
  - 영상 내 특징점에 대한 왼쪽 카메라 이미지와 오른쪽 이미지의 disparity를 이용한 depth 정보 추출함
  - RGB 이미지에 깊이 정보를 맵핑하여 대상체 이미지 좌표값에 해당하는 depth 정보를 획득하여 카메라 좌표계 기준 대상체의 3차원 공간 위치를 획득함
  - 카메라 좌표계 기준 대상체 좌표값 입력 기반 좌표계 변환을 통한 대상체 로봇 포지셔닝



<영상 정보 기반 재배관리 대상체 3D 좌표 추출 및 로봇 포지셔닝>

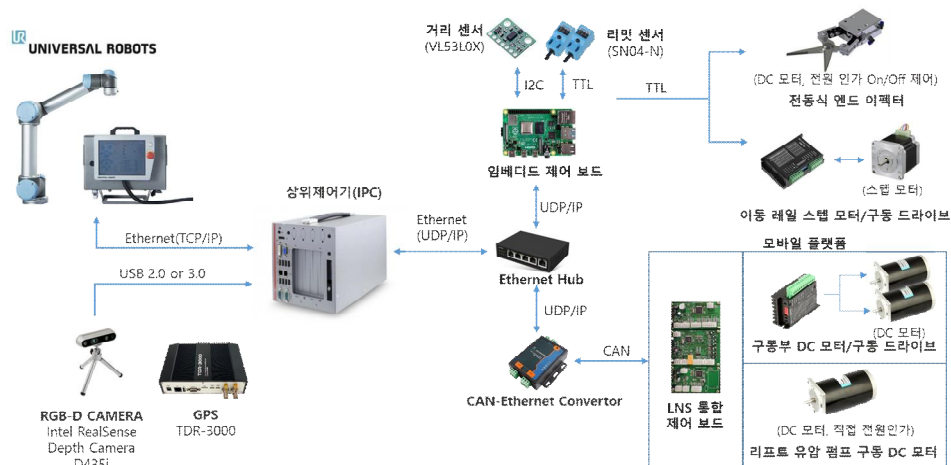
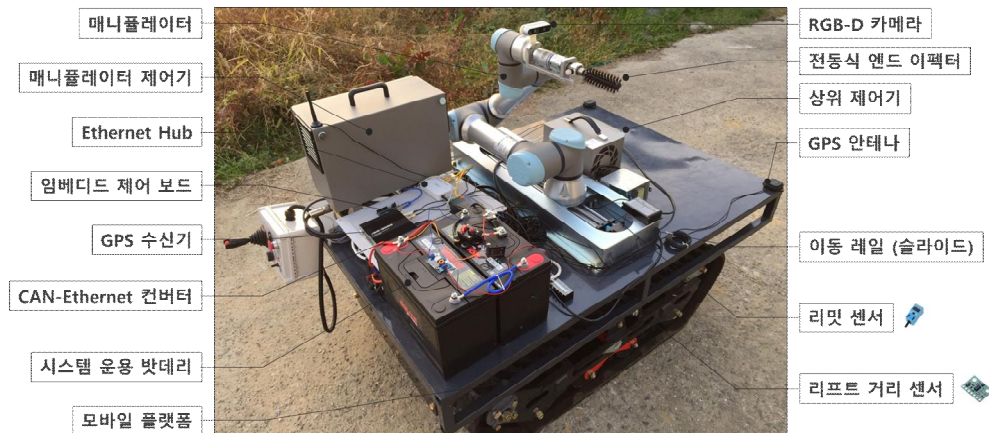


<영상 내 2D pixel 좌표를 카메라 2D 좌표로 변환 수행> <카메라 2D 좌표로부터 3차원 좌표 추출 수행>

## ○ 하드웨어 시스템 통합

- 재배 로봇 통합 시스템 구현

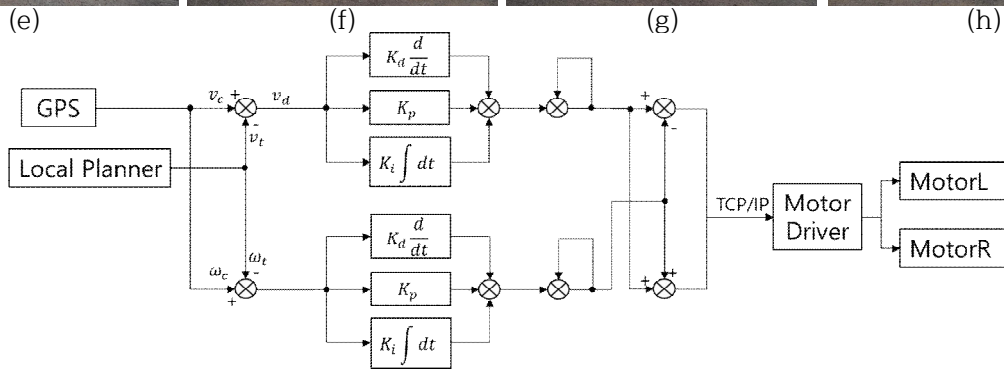
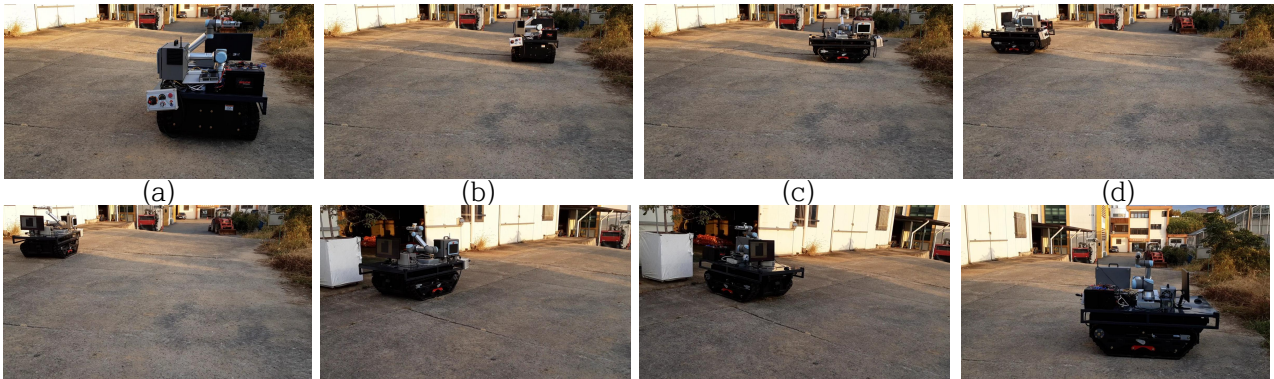
- 상위 제어기를 구성하여 모바일 플랫폼 제어기, 매니플레이터 제어기, 이동 레일 제어기, 리프트 제어기, 엔드이펙터 제어기, GPS 시스템, RGB-D 카메라 시스템 인터페이스 연결
- 상위 제어기에서 동작 모드에 따라 하위 시스템에 제어권 및 시스템 자원 할당
- 매니플레이터는 상위 제어기로부터 Ethernet(TCP/IP) 통신을 통해 위치 지령에 따른 동작 제어
- 모바일 플랫폼은 상위 제어기로부터 Ethernet(UDP/IP)-CAN 컨버터 통신을 통해 속도 지령에 따른 주행 제어
- 이동 레일, 리프트, 엔드이펙터 제어용 임베디드 보드와 상위 제어기와 Ethernet 통신을 통해 제어 구동



<재배 로봇시스템 통합 및 인터페이스 구현>

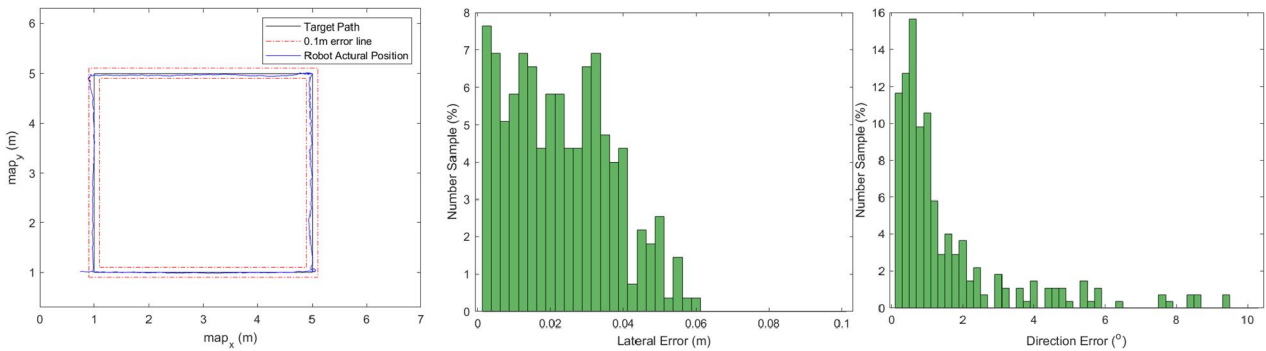
- 상위 제어기 기반 모바일 플랫폼 자율주행 시스템 구축 및 자율주행 알고리즘 수행
- GPS 좌표 기반 4m x 4m 크기의 직사각형 형태의 모바일 플랫폼 목표 경로 맵 설정
- 상위 제어기에서 5Hz 주기로 GPS 좌표 기준 모바일 로봇의 현재 신호를 획득함

- 이동 경로 대비 현재 위치값과 heading 각도에 오차값을 입력에 대한 incremental PID speed controller를 이용하여 자율주행을 수행함



<Incremental PID Speed Controller 기반 시스템 통합 자율주행 수행>

- 통합 시스템 기반 목표 이동 궤적에 대한 자율주행 알고리즘 성능 테스트 실시
- 목표 이동 궤적 대비 모바일 로봇 실제 측위 값 비교
- 위치 및 자세 정확도는 RMSE 2.57cm, 2.35°로 각각 나타남

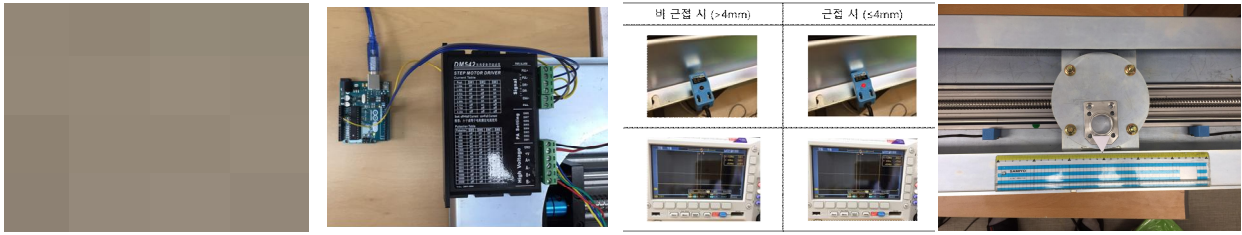


	Experiment number				Synthesis
	1st	2nd	3rd	4th	
lateral error(cm)					
RMS	1.1108	3.1465	3.4190	2.1870	2.5735
STD	1.1086	1.5778	0.9989	1.1467	2.3935
Max	2.6737	5.8712	5.6014	3.9154	5.8712
direction error(°)					
RMS	1.0011	3.3416	2.0334	2.4931	2.3471
STD	0.7662	3.3569	1.9070	2.2552	2.3417
Max	2.3140	9.2040	5.2070	9.2760	9.2760

< 목표 경로 대비 실제 실험 측위 오차값 >

- 이동 레일 위치 제어 시스템 구축
  - 상위 제어기 이동 레일 위치 제어 기능 구현
- 임베디드 제어 보드를 이용한 이동 레일 위치 제어 개발 환경 구축

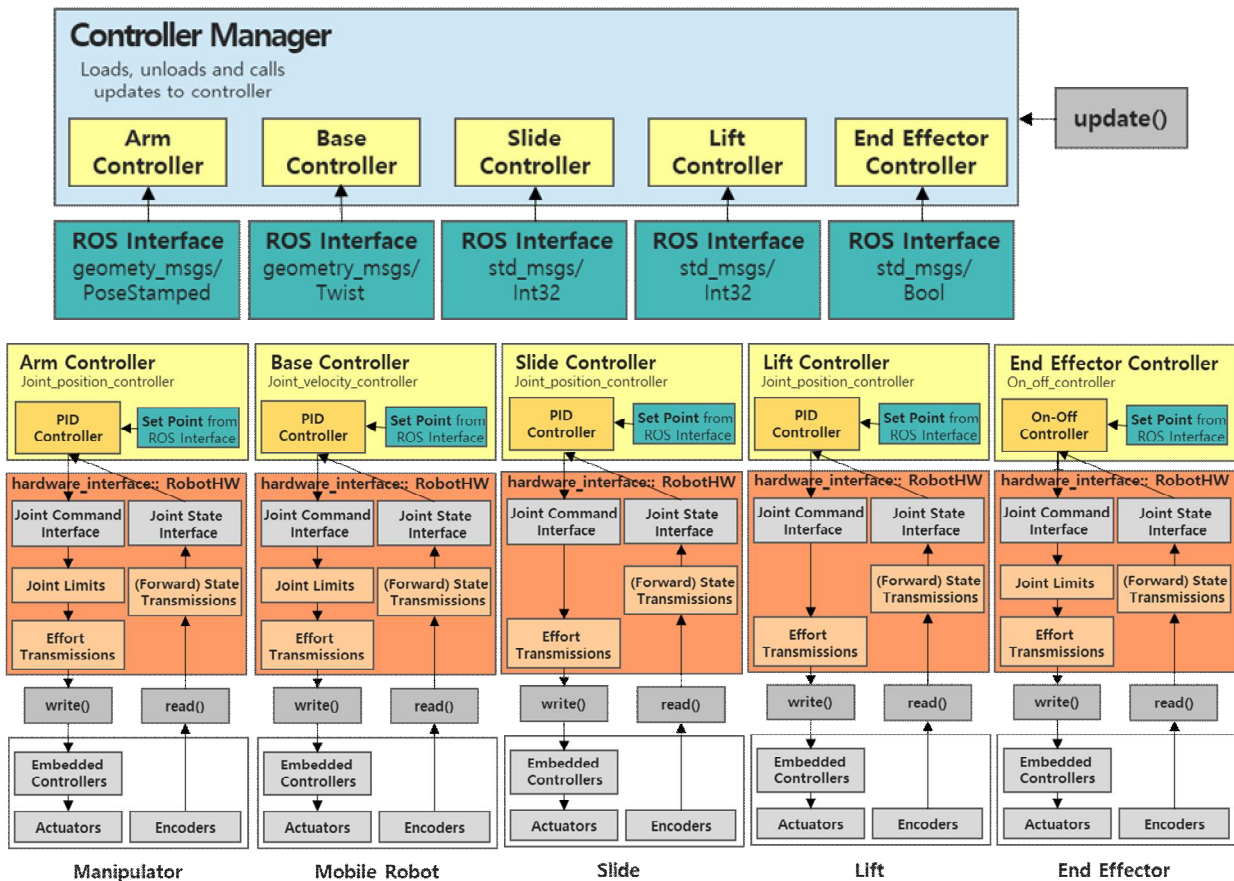
- 구동 모터는 24V 스텝 모터, 모터 컨트롤러는 DM542 stepper motor controller 사용
- 동작 범위 리미트 센서(SN04, 접촉 유효거리 ≤ 4mm)는 이동 레일 양쪽에 설치
- Serial 통신기반 상위 제어기 위치 지령에 따른 위치 제어 절차 프로그래밍
- homing 루틴을 통한 이동 레일 초기 위치 세팅 및 위치 에러 누적 보정



<이동 레일 위치 제어 시스템 구축>

### ○ 제어 시스템 통합

- ROS Control 기반 상위 제어기와 모바일 플랫폼 제어기, 매니플레이터 제어기, 이동 레일 제어기, 리프트 제어기, 엔드이펙터 제어기 통합 제어
- 각 시스템 제어기는 ROS message ( e.g. std\_msgs, geometry\_msgs ) 형식의 제어 set point 값을 업데이트 주기로 입력받고 하드웨어 시스템 구동 값 출력함
- 작업 대상체와 매니플레이터 엔드이펙터 간 유효 작업 거리를 판단하여 매니플레이터 유효 작업 반경 포지셔닝을 위한 모바일 플랫폼 포지셔닝->리프트 상하 조절->이동 레일 포지셔닝 절차 제어
- 작업 대상체와 매니플레이터 엔드이펙터 간 유효 작업 거리를 벗어난 경우 유효 작업 거리내로 위치 하기 위해 필요한 작업 대상체와 엔드 이펙터 간의 거리 벡터를 로봇 좌표계 기준으로 성분 분해하고 x 성분은 모바일 플랫폼 제어 목표 값으로, y 성분은 이동레일 제어 목표 값으로, z 성분은 리프트 제어의 목표 값으로 입력하여 통합 제어함



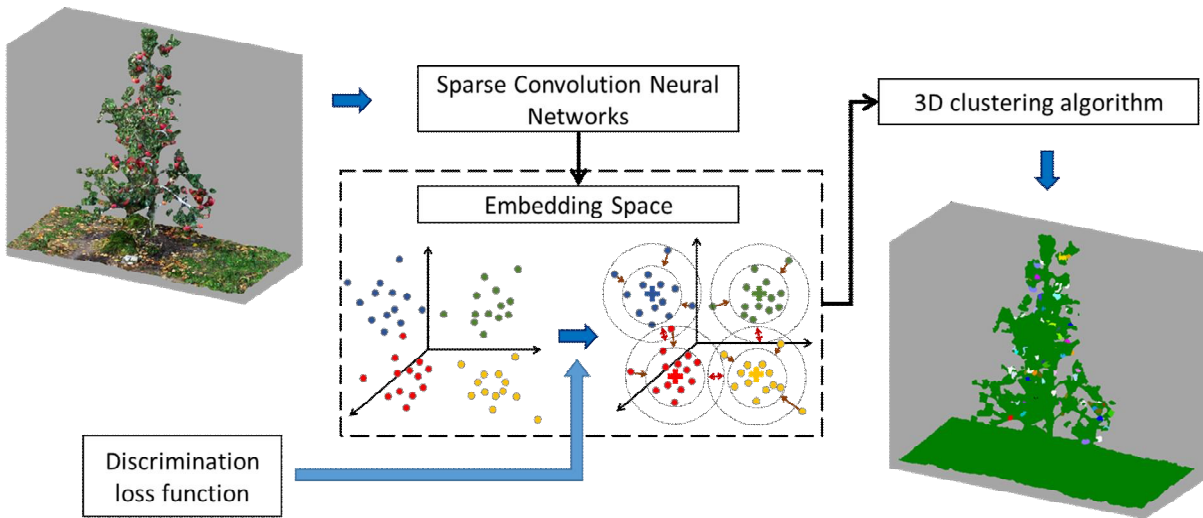
<ROS Control 기반 제어 시스템 통합>



## (2) 과수 개체 특성 분석 시스템 개발

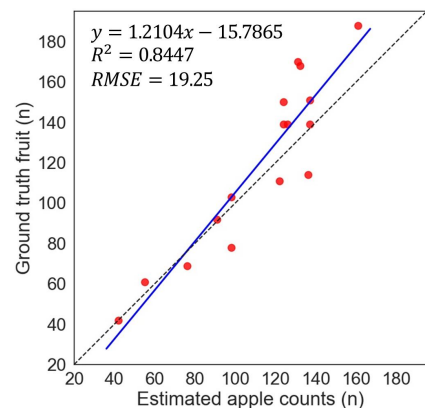
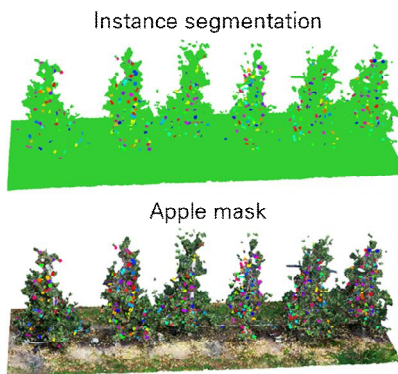
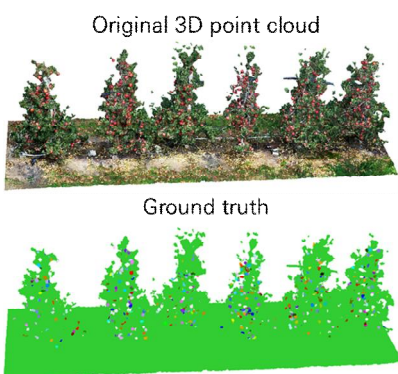
### ○ 사과 수확량 모니터링을 위한 사과 개수 추정 알고리즘 개발

- 3차원 딥러닝 인스턴스 분할 기반 사과 표현형 특성 추출을 이용한 사과 개수 추정 알고리즘
  - 개별 3D 사과 특성 추출 및 3가지 유형의 사과 3D 매핑 딥러닝 시스템을 이용함.
  - 사과의 3차원 포인트 클라우드는 무인항공기(UAV) 기반의 다중 카메라 시스템을 통해 수집된 여러 시점 이미지에서 재구성됨
  - 3D 포인트 클라우드의 개별 사과는 일반화된 희소 합성곱 신경망, 가중 판별 손실 함수 및 다양한 밀도 기반 3D 클러스터링 방법을 포함하는 3D 인스턴스 분할 알고리즘을 통해 추출됨
  - 과수원에 있는 다양한 유형의 사과 훈련 시스템에서 개별 사과 표현형 특성을 정확하게 추정할 수 있고 다른 과일 특성 분석에도 활용할 수 있는 3D 사진과 3D 인스턴스 분할을 결합한 효과적인 방법을 개발함



<재배 로봇시스템 통합>

- 사과 과원의 사과 수의 사과 열매에 대한 사과 개수 추정 알고리즘 성능 테스트
  - 제안한 알고리즘으로 사과 수의 3차원 포인트 클라우드를 추출하고 인스턴스 세그멘테이션과 사과 열매에 대한 딥러닝 학습기반 사과 마스크를 수행해 사과 객체를 추출함
  - 한 그루 사과 수에 대한 사과 개수 추정 성능은 RMSE와  $R^2$ 는 19.25와 0.8447로 각각 나타남
  - 정밀도(Precision)와 재현율(Recall)은 80% 이상임

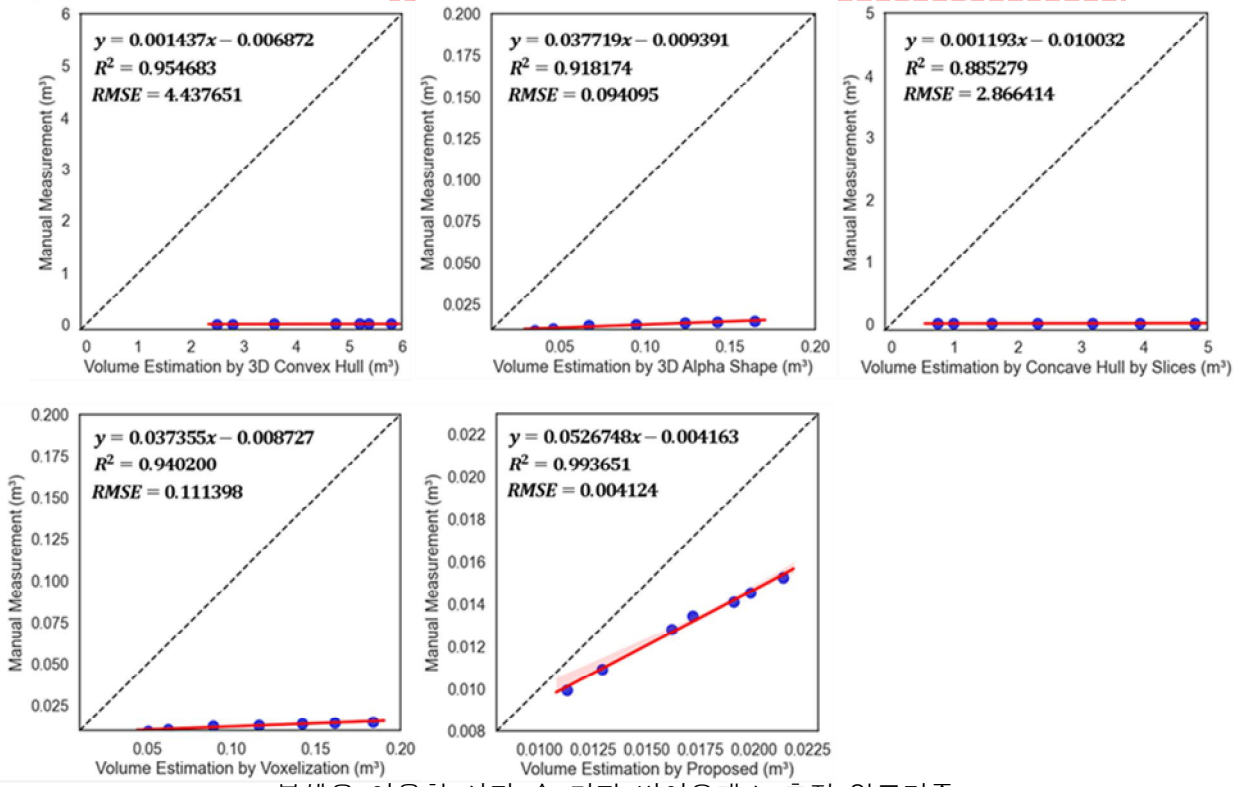
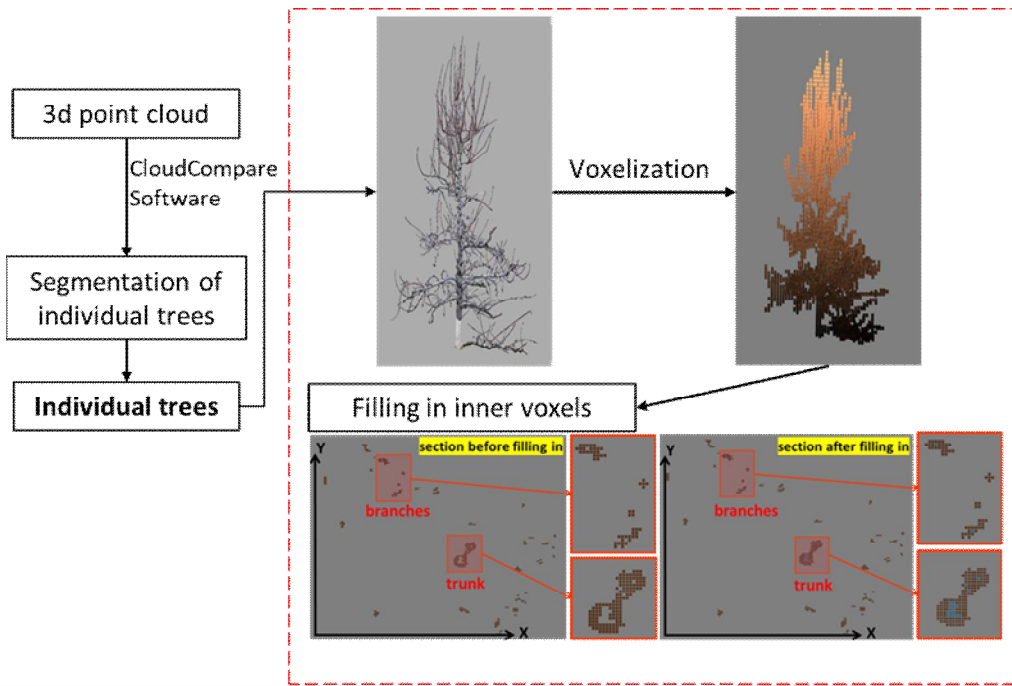


<사과 개수 추정 알고리즘 성능 테스트>

### ○ 사과 수 전정 바이오매스 추정 알고리즘 개발

- 복셀을 이용한 사과 수 가지 바이오매스 추정 알고리즘

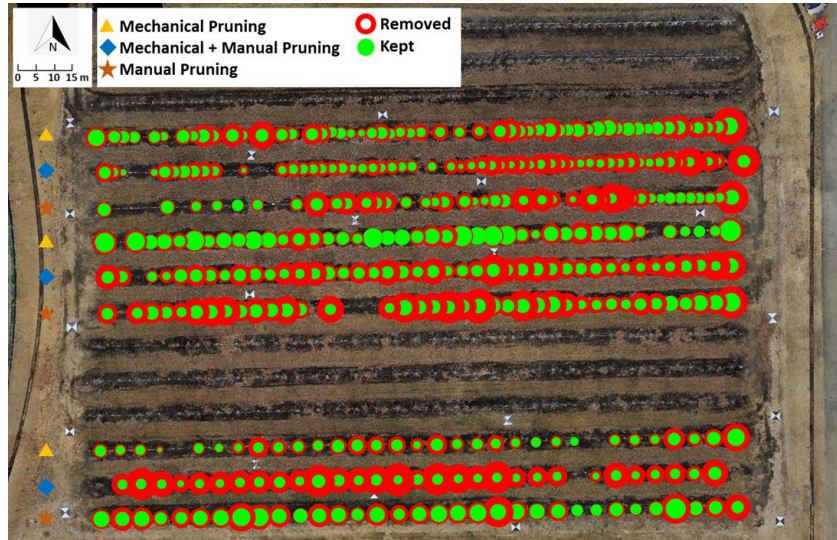
- 경량 멀티 카메라 시스템으로 수집된 동계 사과 수 이미지로부터 3차원 포인트 클라우드 재구성된 개별 사과 수에 대한 바이오매스 계산은 복셀 기반 빈 가지 내부 채우기, 복셀 가장자리 줄이기 등을 이용하여 에러와 정밀도를 향상시킴
- 7개의 사과나무에 대해 기존의 5가지 방법 알고리즘(manual measurement, 3D convex hull, 3D alpha shape, concave hull by slices, voxelization)과 비교하여 제안한 알고리즘이 가장 높은 성능을 보임
- 제안한 방법은 선형회귀 추정에서 가장 작은 RMSE  $0.000881\text{m}^3$ 와  $R^2$  0.99를 얻음



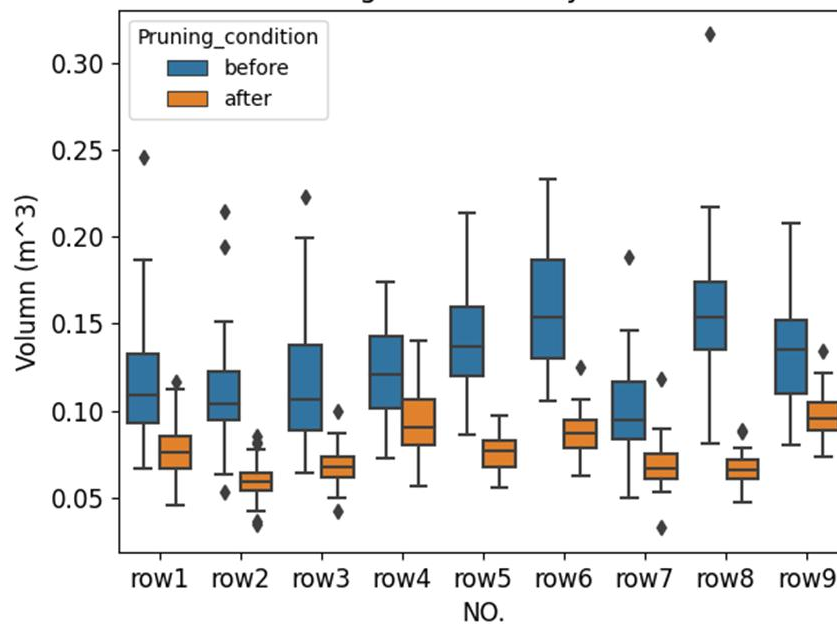
<복셀을 이용한 사과 수 가지 바이오매스 추정 알고리즘>

## ○ 제안한 알고리즘을 이용한 사과 과원 동계 전정 볼륨 추정

- 전정 전후 사과 과원 사과 수 동계 전정 볼륨 추정 시행
  - 경남농기원 사과이용연구소의 시험 포장에서 수동 전정, 기계 전정, 기계-수동 조합 전정에 대한 성능을 분석하기 위해 각각의 전정 방식에 대한 전정 전후 볼륨 측정을 위해 제안한 알고리즘을 이용함
  - 기계적-수동 조합 방법은 대부분 가지를 약 50% 정도 제거할 수 있었고 전정 후 수목의 부피는 표준편차 분석을 기반으로 가장 고르게 분포되어 있음을 파악할 수 있었음



Pruning Estimation by Volumn



Trees Interval	Row No.	Pruning Method	Volume_mean (m <sup>3</sup> )		Volume_std (m <sup>3</sup> )	
			before	after	before	after
1.0m	Row1	Mechanical	0.1147	0.0765	0.0316	0.0137
	Row2	Mechanical + Manual	0.1095	0.0594	0.0278	0.0102
	Row3	Manual	0.1161	0.0687	0.0372	0.0106
1.5m	Row4	Mechanical	0.1211	0.0961	0.0260	0.0219
	Row5	Mechanical + Manual	0.1389	0.0756	0.0305	0.0092
	Row6	Manual	0.1596	0.0867	0.0344	0.0133
2.0m	Row7	Mechanical	0.1007	0.0691	0.0285	0.0144
	Row8	Mechanical + Manual	0.1608	0.0664	0.0345	0.0095
	Row9	Manual	0.1357	0.0970	0.0315	0.0140

<수동 전정, 기계 전정, 기계-수동 조합 전정 전후 볼륨 측정 및 성능 비교>

### (3) 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시스템 평가 및 성능개선

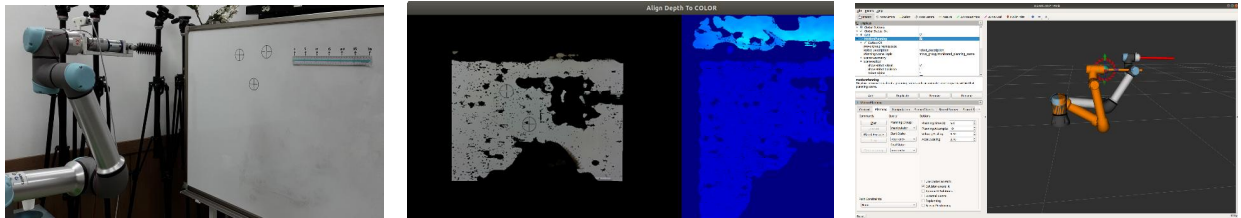
#### ○ 매니플레이터/엔드이펙터 제어기술 테스트 플랫폼 구축

- 적화, 적과, 전정 작업별 과수 재배관리 매니플레이션 제어 기술 개발을 위해 로봇 프로토타입으로 Universal Robot 사의 UR5e을 사용하였음. 본 과제에서 진행 중인 다관절 및 텔레스코픽 타입 매니플레이터 시스템의 시스템 통합 기능 구축 후 교체하여 진행할 예정임
- 제어 시스템 평가를 위한 적화, 적과, 전정 작업별 사과 수 모형 제작
  - 사과 재배 매니플레이션 실내 테스트 환경 구축을 위해 적화, 적과, 전정 작업별 사과 수 모형 제작
  - 적화, 적과용 모형은 줄기는 느티나무 줄기로 꽃과 잎은 사과 모형 조화 재료로 조합하였고 적과 열매는 3D 프린팅 제작 및 페인팅으로 실제 과원 사과 수와 가깝게 모형 제작
  - 전정용 모형은 실제 사과 수를 사용하여 사실에 가까운 전정 테스트 환경 구축



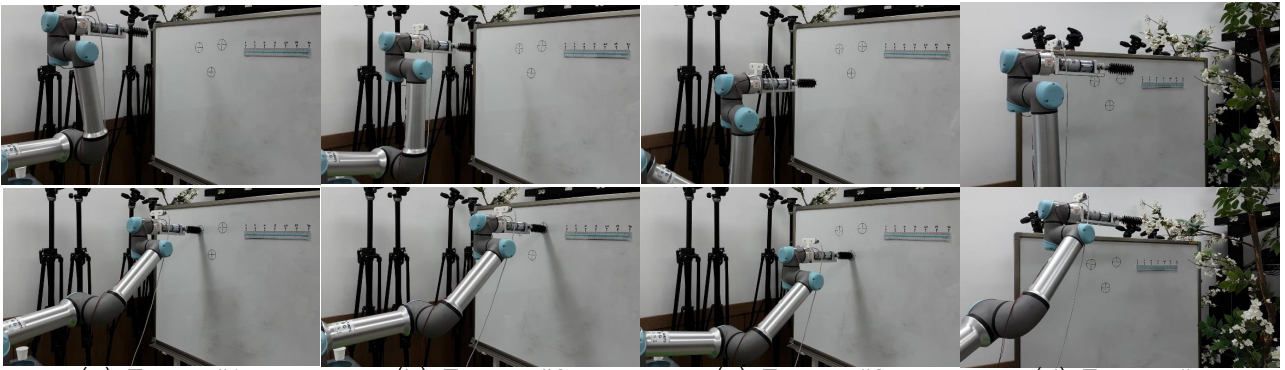
(a) 적화용                      (b) 적과용                      (c) 전정용                      (d) 적과 열매 제작  
<재배 작업별 사과 수 모형 제작>

- 전정, 적화, 적과 대상체 타겟 위치 및 자세 정보 기반 로봇 매니플레이션 제어
  - RGB-D 영상기반 Robotic Eye-In-Hand Camera Positioning 시스템 구축
- 로봇 팔에 부착된 RGB-D 카메라를 통해 타겟 이미지 영상획득
- 2D 실시간 영상 위에 로봇을 위치시킬 타겟 2차원 영상 좌표(픽셀) 지정
- 타겟 영상 좌표를 3차원 로봇 좌표계 기준으로 타겟 위치 변환
- RRT connect 알고리즘 기반 로봇 경로 생성, 로봇 실행, 타겟 위치 도달



(a) 타겟 이미지 획득                      (b) 2D 영상 내 타겟 위치 지정                      (c) 로봇 경로 생성 및 실행  
<RGB-D 영상기반 Robotic Eye-In-Hand Camera Positioning 구축>

- 대상체 타겟 위치 및 자세 정보 기반 로봇 매니플레이션 제어 테스트
  - 세 개의 표적 타겟 및 모형 꽃 타겟 설정 및 획득한 2D 영상 위에 타겟 포인트 지정 및 로봇 포지셔닝 테스트
  - 표적 타겟에 대한 위치 정확도는 RMSE 1.670mm임



(a) Target #1 (b) Target #2 (c) Target #3 (d) Target #4  
 <2D 영상 좌표 기반 로봇 타겟 위치 제어 테스트>

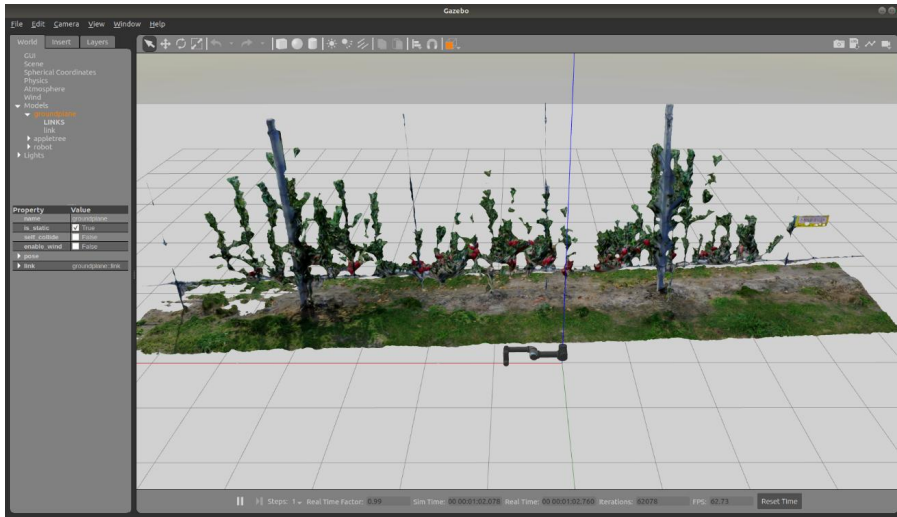
### ○ 딥러닝 강화학습 기반 매니플레이터/엔드이펙터 제어 성능 실험 및 개선

- 재배 로봇 사과 작업수행을 위한 딥러닝 강화학습 MDF 정의
  - 에이전트는 연속 공간에서 학습이 가능한 DDPG 알고리즘으로 설정
  - 액션 공간은 로봇 팔 끝단 위치 및 자세, 모바일 플랫폼 헤딩 각도와 병진 속도, 이동 레일 위치, 리프트 위치, 엔드이펙터 ON/OFF 값 고려함
  - 상태 공간은 이동 로봇 베이스 기준 로봇 팔 끝단 위치-자세, 이동 로봇 베이스 기준 타겟 상대적 위치, 로봇 팔 현재 조인트 위치 및 이동 속도, 엔드이펙터 동작 상태 고려함
  - 보상은 타겟 도달 여부, 이동 레일 동작 범위 여부, 리프트 동작 범위 여부, 로봇 작업 가능 공간 여부, 소모 에너지 최소화 여부 고려함

Items		MDP for robotic cultivating	
MDP	<b>Actor(<math>\pi_{\theta}</math>)</b>	• DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient)	
	<b>Action(<math>a_t</math>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>a_{arm}</math>: E-E relative position control action w.r.t E-E frame</li> <li>• <math>a_{grip}</math>: gripper binary control action</li> <li>• <math>a_{slide}</math>: slide relative position control action w.r.t slide frame</li> <li>• <math>a_{lift}</math>: lift relative position control action w.r.t lift frame</li> <li>• <math>a_{base}</math>: robot base relative position control action w.r.t base frame</li> </ul>	$a_{arm}(\delta x, \delta y, \delta z, \delta \theta, \delta \phi, \delta \psi)$ $a_{grip}(close\ or\ open)$ $a_{slide}(\delta y)$ $a_{lift}(\delta z)$ $a_{base}(\delta x, \delta \theta)$
	<b>State(<math>s_t</math>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E-E position w.r.t base robot base frame</li> <li>• Object position w.r.t E-E frame</li> <li>• Joint positions and velocities of arm</li> <li>• Gripper state</li> </ul>	
	<b>Reward(<math>r_t</math>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>r_{workspace}</math>: if workspace valid, reward 1, nor -1</li> <li>• <math>r_{out\ of\ slide\ range}</math>: if slide range valid, reward 1, nor -1</li> <li>• <math>r_{done}</math>: if done, reward 1, nor -1</li> <li>• <math>r_{out\ of\ lane}</math>: if not out of lane, reward is 1, nor reward is -1</li> <li>• <math>r_{out\ of\ area}</math>: if not our of work area, reward is 1, nor reward is -1</li> <li>• <math>r_{efficiency}</math>: optimal work <math>J_t = -\left(\sum_{i=1}^N Q_i + \sum_{i=1}^N R_i + 2\sum_{i=1}^N N_i\right)</math></li> </ul>	
	<b>Strategy</b>	• One target is one Episode	
	<b>Evaluation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• How accurate positioned</li> <li>• How many object removed</li> <li>• How many time spent</li> <li>• How optimal cultivating behavior</li> </ul>	

<재배 로봇 사과 재배 작업수행을 위한 딥러닝 강화학습 MDF 정의>

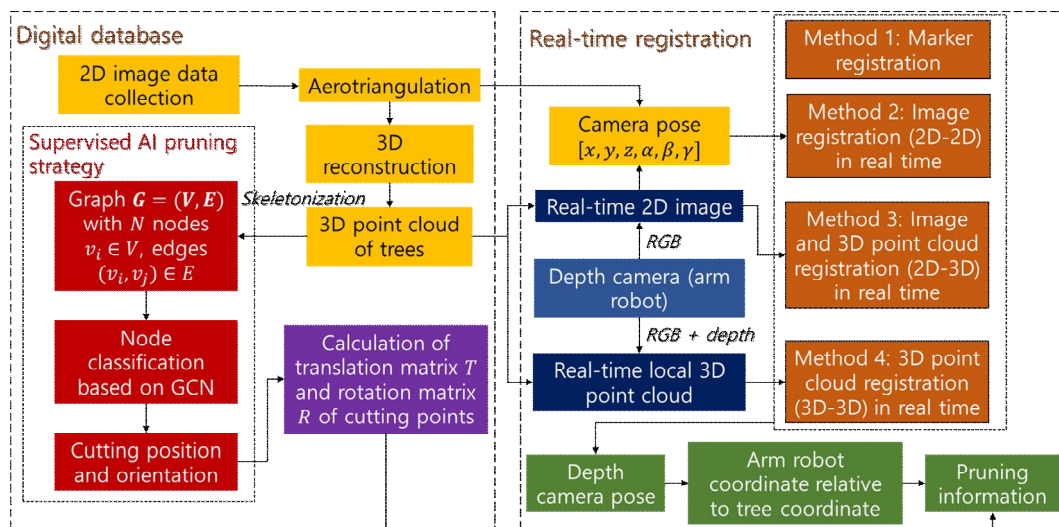
- 재배 로봇 딥러닝 강화학습을 위한 인터페이스 연결 및 구동
  - 가상 시뮬레이션 공간의 재배 로봇 모델링 및 사과 과원 구축
  - 재배 로봇용 openAI-Gym 포맷 기반 테스트베드 구축 및 가상공간에서 재배 로봇 딥러닝 제어 구동을 위한 openai-ros를 기반 인터페이스 구축
  - Python 코드를 기반 재배 로봇용 MDP의 actor, action, state, reward 기능 구현



<가상 시뮬레이션 공간상 재배 로봇 딥러닝 강화학습 테스트베드 구축>

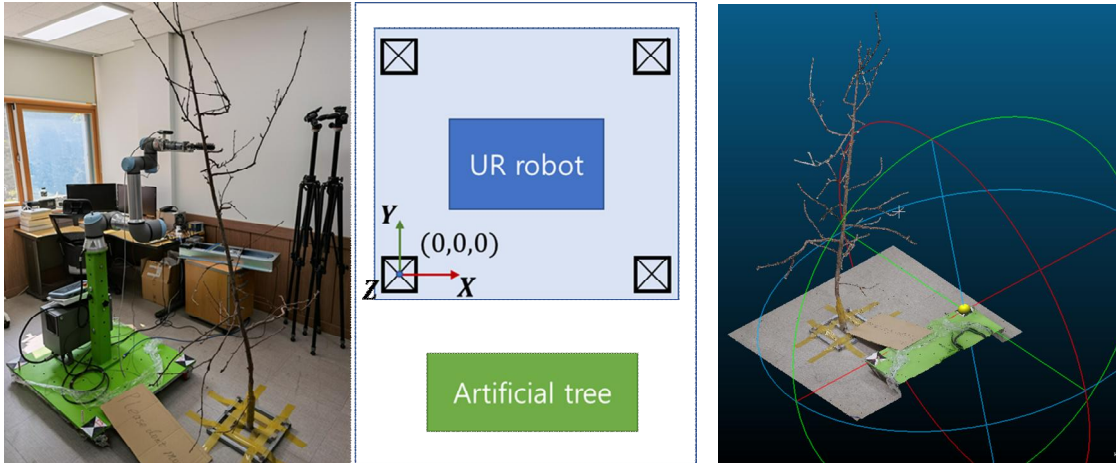
### ○ 로봇 적화, 적과, 전정 작업을 위한 알고리즘 개발

- 그래프 컨벌루션 네트워크를 이용한 로봇 전정 작업을 위한 알고리즘 개발
- 다중 카메라 시스템에 의해 수집된 이미지를 항공 삼각 측량 알고리즘으로 3차원 포인트 클라우드 모델로 복원한 과수원의 사과나무를 GPS 장치로 측정한 지상 기준점을 결합하여 실제 크기와 위치로 재구성함
- 3차원 이미지로 복원된 사과나무의 가지는 스키텔론 추출하여 그래프 구조 표기함. 그래프  $G=(V, E)$  는 노드  $v_i \in V$  및 에지  $(v_i, v_j) \in E$  의 형태의 구조이며, 전체 트리 노드는  $v_i(x, y, z)$ 로 표시되고  $(v_i, v_j)$ 로 연결 표시됨
- 그래프 컨벌루션 네트워크는 전정 포인트들을 학습할 수 있으며, 전정 전문가에 실시한 pruning 전과 pruning 후의 그래프를 그래프의 노드를 1(유지) 또는 0(제거)으로 레이블 하여 절단할 전정 포인트를 학습시킴



<그래프 컨벌루션 네트워크를 이용한 로봇 전정 작업을 위한 알고리즘>

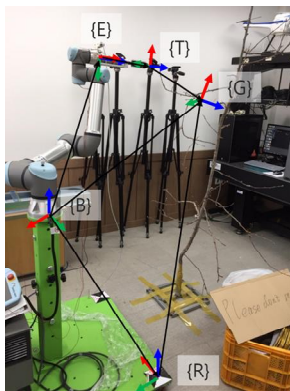
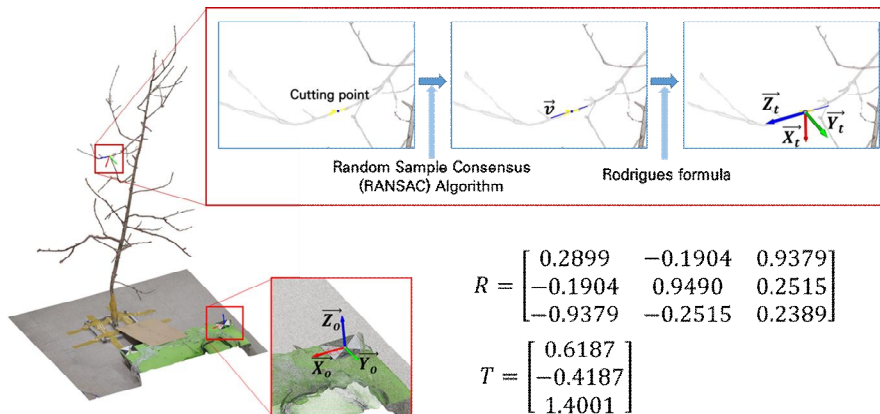
- 사과 수 3D 모델 기반 로봇 전정 작업 테스트
- 고해상도 카메라를 이용하여 수집한 이미지들을 사용하여 특징점을 추출하고, 카메라 포즈를 추정하고, 고밀도 3D 포인트 클라우드 기반의 사과나무를 재구성함
- 로컬 마커와 포지션 마커를 이용하여 3차원 가상 모델의 기준 좌표계 설정 및 기준 좌표계 기준 전정 커팅 포인트 위치 지정
- 전정 커팅 포인트 기준 Random Sample Consensus 알고리즘을 이용한 전정 포인트 방향 좌표계 설정. 전정 포인트 방향 좌표계는 로봇 전정 툴 위치와 정렬 시 사용함



<로봇 전정 작업 테스트를 위한 사과나무 3D 모델 생성>

- 가상공간의 기준 좌표계와 실제 공간의 기준 좌표계 매칭

- 실제 공간의 기준 좌표계에서 전정 포인트 좌표계의 좌표계 변환 매트릭스 계산
- 실제 공간의 기준 좌표계에서 로봇 베이스 좌표계의 좌표계 변환 매트릭스 계산
- 로봇 베이스 좌표계 기준 전정 포인트까지 로봇 툴 위치 제어 이동. 로봇 베이스 좌표계 기준 전정 포인트 목표 위치 대비 실제 위치의 정확도는 RMSE 0.1667mm임



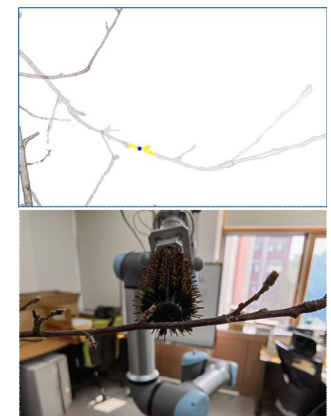
$${}^B_G T = {}^B_R T \cdot {}^R_G T = {}^B_E T \cdot {}^E_T T \cdot {}^T_G T$$

$${}^B_E T = {}^B_T T \cdot {}^T_G T^{-1} \cdot {}^E_T T^{-1}$$

$$\therefore {}^B_E T = {}^B_T T \cdot {}^E_T T^{-1}$$

$$\therefore {}^B_R T = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 0.0 & -0.443 \\ -1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.385 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -0.825 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \quad \therefore {}^E_T T^{-1} = \begin{bmatrix} 0.0 & -1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & -1.0 & 0.325 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$\therefore {}^B_T T = \begin{bmatrix} -0.0754 & -0.3490 & -0.9341 & 0.6187 \\ -0.3490 & 0.8868 & -0.3031 & -0.4187 \\ 0.9341 & 0.3031 & -0.1887 & 1.4001 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$



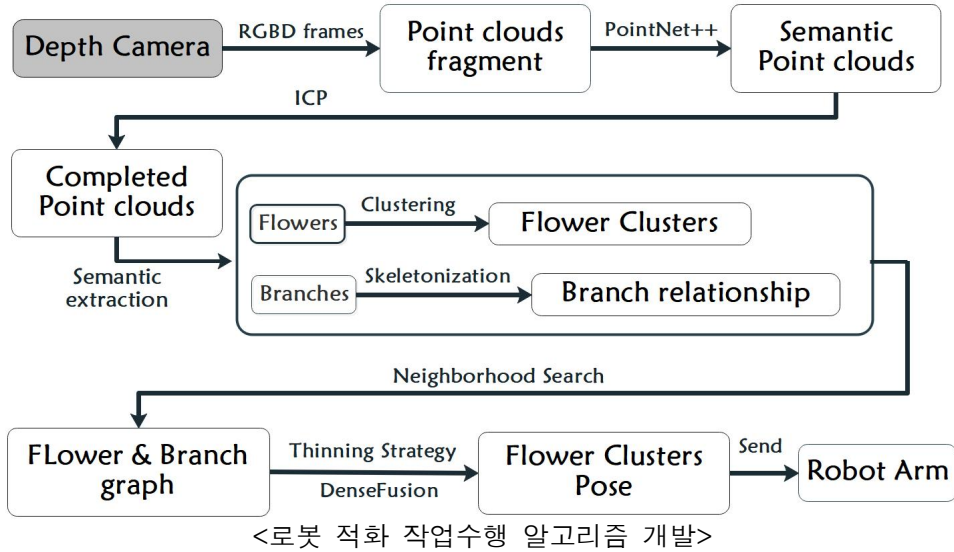
<3D 모델 기반 로봇 전정 작업 테스트>

- 로봇 적화 작업 알고리즘 개발

- 실시간 사과나무 3D 모델 생성을 위해 RGB-D 카메라 스캔을 통해 획득하고 있는 포인트 클라우드 조각 정보들에 대해 ICP 알고리즘을 사용하여 사과 수 전체 모델 완성함
- 시맨틱 포인트 클라우드에서 꽃과 가지 포인트 클라우드를 별도로 추출하고, 꽃 포인트 클라우드를 3차원 클러스터링하여 개별꽃 클러스터를 얻고, 가지 포인트 클라우드를 골격화하여 가지 관계를 얻음
- 시맨틱 포인트 클라우드에서 꽃과 가지 포인트 클라우드를 별도로 추출하고, 꽃 포인트 클라우드를 3차원 클러스터링하여 개별 화총을 얻고, 가지 포인트 클라우드를 골격화하여 가지와 관계를 얻음
- 화총과 가지 관계의 3차원 공간적 관계를 이용하여 K-D 트리 검색 알고리즘을 기반으로 꽃과 가지


그래프를 얻음

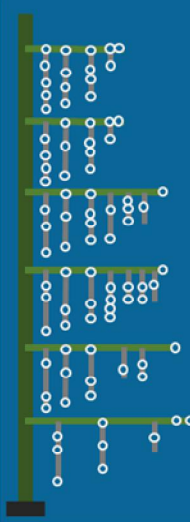
- 위와 같은 flower-branch 그래프를 사용하여 제거할 꽃송이를 분별하고, DenseFusion 알고리즘을 사용하여 공간 포즈를 정보를 얻음
- 이렇게 계산된 제거할 꽃송이의 위치와 자세를 정보를 로봇 팔로 전송하여 적화 작업수행을 유도함



- 3차원 공간 꽃-가지 관계 추출 알고리즘 개발

- 적화할 때 최적의 화총을 결정하기 위해서는 화단과 가지의 상대적 위치를 고려해야 하므로 꽃-가지 그래프를 구하는 것이 필요함
- 꽃-가지 그래프를 구축하기 위해 먼저 의미론적 분할 알고리즘을 이용한 화총 단위 그룹화 및 가지 골격화 과정을 수행함
- 모든 화총을 개별적으로 추출하고 개별 화총 마다 센터 위치를 계산함
- 개별 인식된 화총은 꽃-가지 그래프 내에 부모 가지의 자식 노드로서 배치되고 K-D 트리 3D 도메인 검색 알고리즘을 통해 가지와 화총의 관계를 찾을 수 있음
- 인식된 화총에 대해 꽃-가지 관계를 이용하여 정화 또는 액화임을 식별함





```

RkNN(D,q)
// Initial lists
prune = EMPTY; result= EMPTY;
queue = EMPTY; // priority queue sorted by MinDist(q,E).
queue.add(D.root);

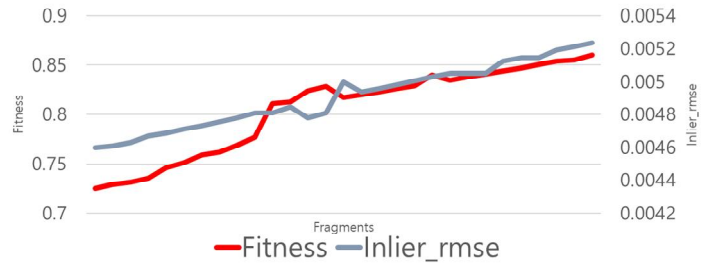
WHILE (queue is not empty) DO
  E = queue.dequeue();
  IF (E is a DirectoryEntry) THEN refine(E);
  ELSE // E is a LeafEntry
    E' = E.kth-next-entry(); // see text for description
    refine(E')
    FOR EACH (E'_i ∈ E') DO
      update k-MMDist(E, E'_i)
      update k-MMDist(E, E'_i)
    END-FOR
    IF apply_filter(E,q,prune,result)=true THEN
      queue.insert(E);
    END-IF
  END-IF
END-WHILE
END RkNN.
        
```

<3차원 공간 꽃-가지 관계 추출 알고리즘>

- 화총 사과나무 3차원 모델 생성 및 화총 인식을 위한 의미론적 분할 알고리즘 성능 테스트

- 3D 포인트 클라우드 ICP 알고리즘 반복 정렬의 평균 성능  
: fitness = 0.81, inlier\_rmse=0.0048
- 단일 프레임 3D 포인트 클라우드의 4개 범주(화총, 가지 잎, 바닥) 의미론적 분할  
: mIOU=54.6%, 정확도=72.4%





- The average performance of 3D point cloud ICP algorithm iterative alignment: fitness=0.81, inlier\_rmse=0.0048.
- Four-category semantic segmentation of single-frame 3D point cloud: mIOU=54.6%, Accuracy=72.4%

<3차원 모델 기반 가상 공간상 화초 인식을 위한 의미론적 분할 알고리즘 성능 테스트 >

- 로봇 적화 작업을 위한 알고리즘 개발

- RGB-D 카메라를 이용하여 3차원 클라우드 포인트 실시간 이미지 획득함
- 3차원 포인트 클라우드 모델에 대한 딥러닝 기반 시멘틱 분할 알고리즘을 적용하여 과충 분리 인식함
- 인식된 과충의 개별 열매들에 대해 생육 판별 알고리즘을 적용하여 우량 열매 우선 순위를 정하고 상대적 상위 등급 열매를 남기고 제거할 열매의 중심 위치를 계산함
- 제거할 열매의 위치 정보를 로봇에 전송하여 로봇 적화 수행함

**Scan apple tree using RGB-D camera**

- Depth camera를 이용하여 사과 나무 단면 스캔
- 단면에 대한 3D reconstruction

**Detection small fruit cluster & recognition individual fruits**

- 열매 클러스터 인식 및 각 열매 상태 구분

**Decision of fruit to leave and to remove in fruit cluster**

- 과실 보존 조건에 부합하는 1개만 남겨두고 나머지는 제거

**Calculating pose of fruit to remove**

- 제거할 열매의 pose 계산
- 로봇 E-E 좌표 기준 pose 전달

**남기는 과실**

□ 적과대상과실

- 남기는 과실
- 잎이 많은 과실
- 과형이 길고 완온과실
- 과대지가 10~20mm내외 과실
- 과대지가 15cm이하 과실

남길 과실 조건	
1	과병이 길고 굵은 과실
2	과대가 10~20내외 과실
3	과대지가 15cm이하 과실
4	주변 가지에 잎이 많은 과실

**Size Color**

<로봇 적과 프로세스 >

## 나. 위탁연구개발기관(제노테크)

### (1) 적과 대상체 인식 알고리즘 성능 향상

#### ○ AI 서비스를 위한 하드웨어 성능 개선

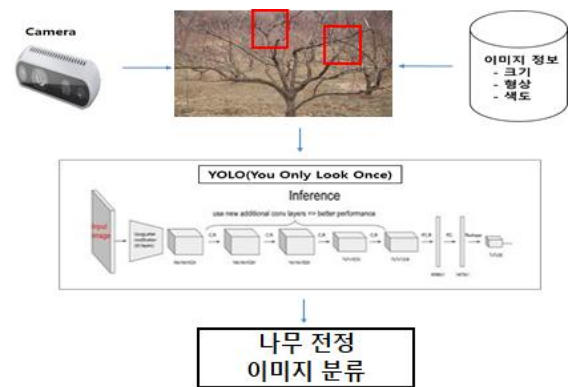
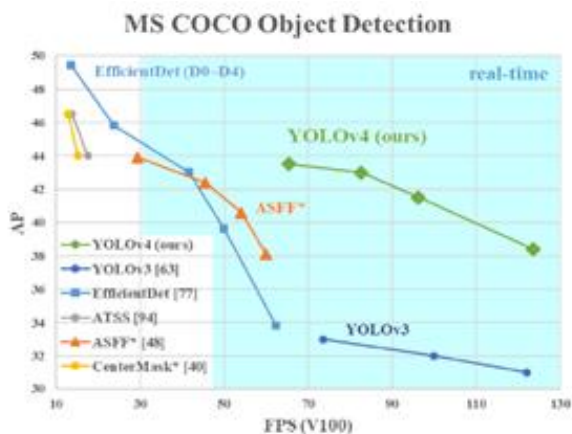
CPU	GPU	RAM
Inter® Core™ i9-7940X	GeForce RTX 2080	64GB
CPU @ 3.10GHz	X 2	X 2

- 과수 사과의 적과 대상체 인식 알고리즘 성능 향상을 위한 스토리지의 하드웨어 스펙 업그레이드 계획
- 기존 구축된 하드웨어 프로토타입 GPU & RAM을 추가 및 업그레이드를 통한 머신러닝 학습시간 단축 예상



<적화, 적과 그리고 전정을 위한 대용량 스토리지 & AI 서비스 융합형 시스템의 개념도>

#### ○ 적과 및 전정의 성능 향상을 위한 AI 서비스 설계 및 개발



- 기존 Yolo v2에서 Yolo v4로 알고리즘 및 탐지 성능 향상을 통하여 이미지 및 영상의 적화 탐지가 향상
- 증강기술(Augmentation Technique) : 적과 탐지를 위한 실 환경 데이터셋 구성의 한계성을 극복하기 위하여 증강기술에 의한 데이터셋을 증강함

(2) 전정 대상체 인식 알고리즘 설계 및 개발

○ 전정 인식을 위한 Machine Learning Model의 설계

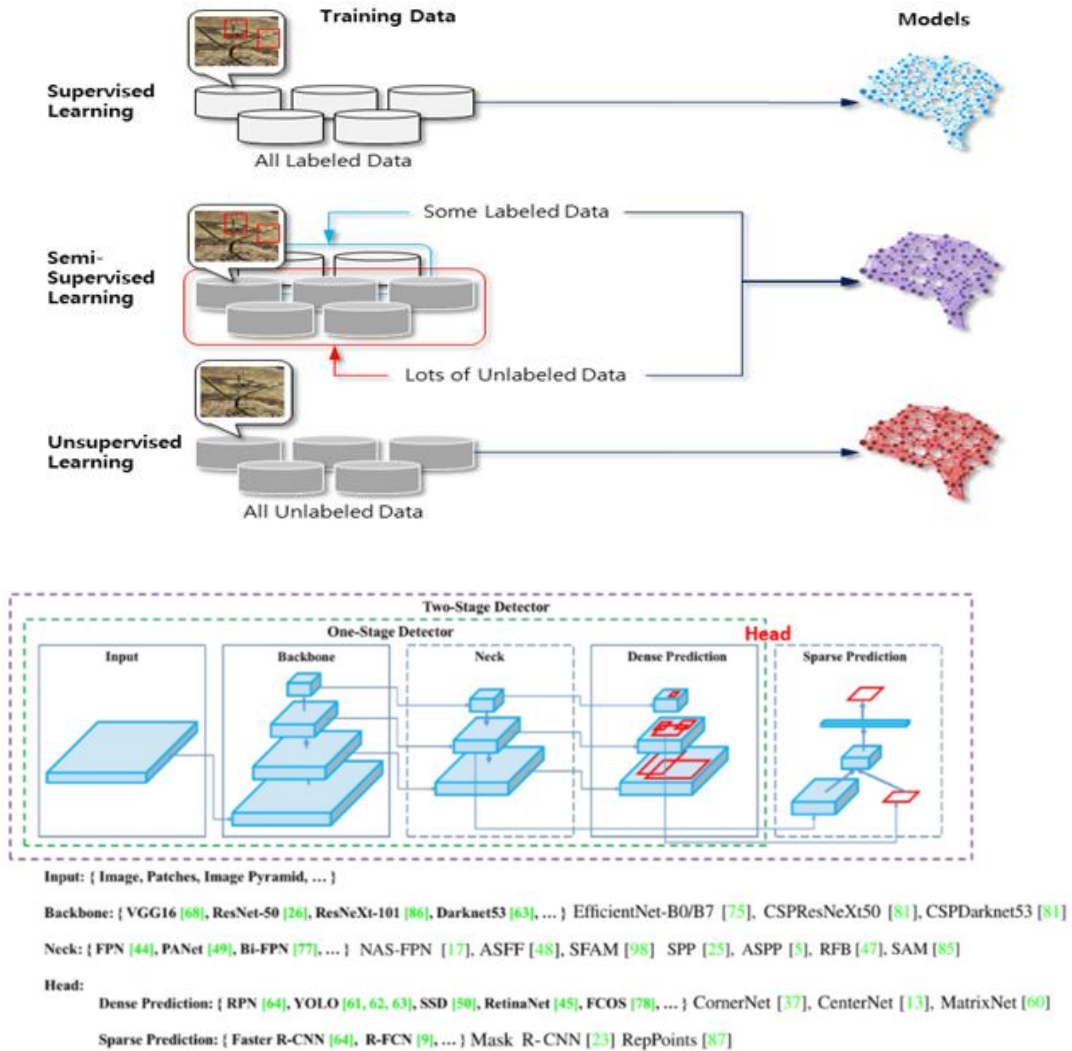
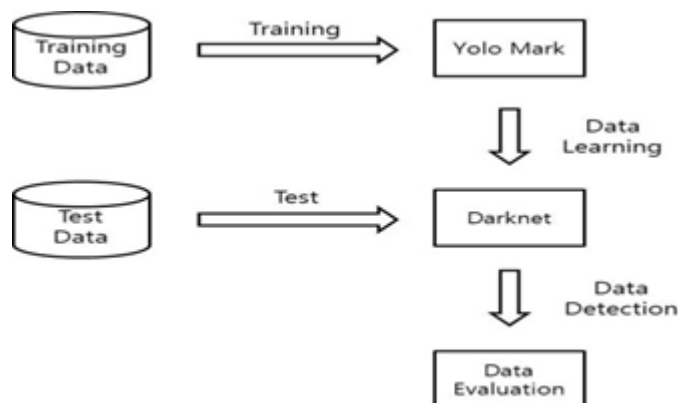


Figure 2: Object detector.

<전정 대상 인식을 위한 Machine Learning Model 개념도>

- 신경망에서 준지도 학습은 “반지도 학습” 이라고 불리며, 지도 학습과 비지도 학습을 섞은 학습 방식
- 데이터의 형태에 맞게 학습 방식 또한 지도 학습과 비지도 학습의 조합으로 이루어져 있는데, 라벨이 없는 데이터를 그룹화 할 때 라벨이 존재하는 일부 데이터를 이용하는 방식임
- 전정 대상체의 인식 알고리즘을 설계하고, 알고리즘을 통한 준지도 학습을 이용하여 설계를 진행함



<전정 대상체의 인식 알고리즘을 통한 준지도 학습의 설계도>

○ 전정 인식을 위한 Pre-trained Model 기반 준지도 학습의 DataSet 구축

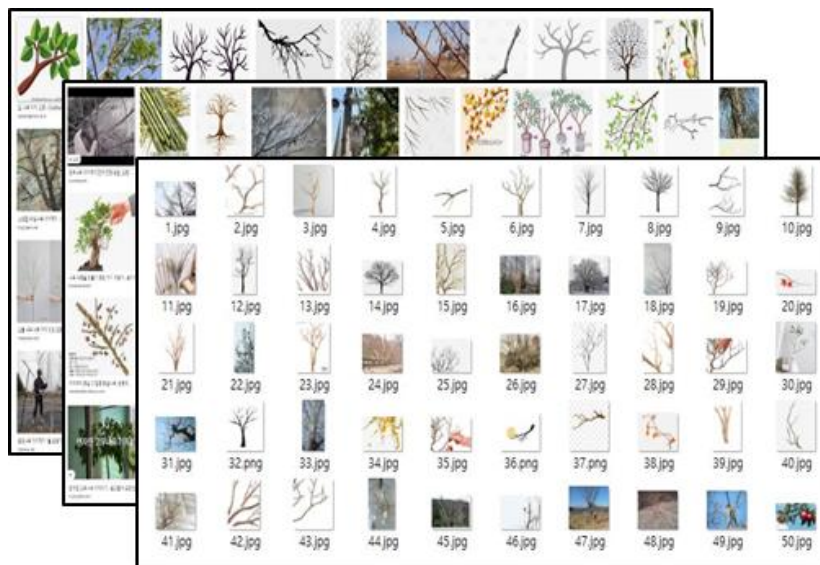
- 전정이란 과수원에서 세부적인 가지를 솎아주거나 잘라주는 일련의 행동을 의미



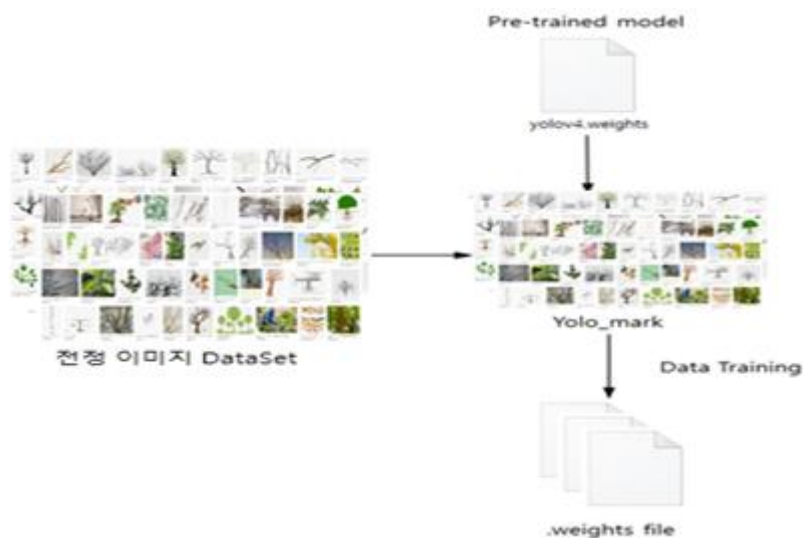
<전정 대상체 - 나뭇가지 DataSet 수집>

- 전정 탐지를 위한 DataSet을 인터넷에서 나뭇가지 이미지 구축과 실환경인 “거창 사과 연구소”에서 이미지를 추가하여 준지도 학습으로 전정 대상체 인식을 위한 학습 성능 향상

○ 전정 인식을 위한 Yolo Mark의 이미지 수집 및 Marking 순서도



<ImageNet 50개의 나뭇가지 이미지>



<Yolo v4와 나뭇가지 이미지를 추가한 후의 전이 학습 수행 절차의 순서도>

○ 전정 인식을 위한 Yolo Mark의 이미지 Marking 처리



<전정 인식을 위한 Yolo Mark의 이미지 Marking 처리>

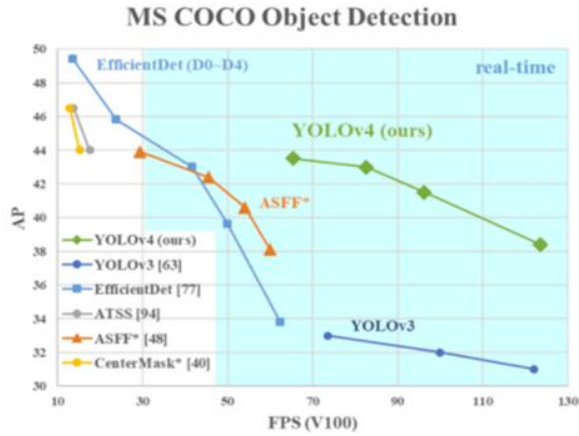
○ 전정 대상체 인식을 위한 Pre-trained Model의 설계 및 구현



<전정 대상체 인식을 위한 Pre-trained Model의 설계>

- 전정 대상체를 위한 Image Processing 기술
  - 적과와 적화를 위한 패턴 추출 과정과는 달리, 전정 대상체를 인식하는 것은 상당히 어려울 것으로 예측, 전정 대상체 인식을 위한 Image Processing 기술을 적용할 예정
- 알고리즘 적용
  - 이미지 중 가지는 끝 부분에서 중간 부분까지 차지하기 때문에 먼저 끝 부분의 이미지를 처리하여 인식하는 기술 적용
- DataSet 생성 및 구축
  - Image Processing 기술이 들어간 알고리즘 기반으로 Data를 수집하고, 축적된 학습 데이터셋을 기반으로 머신러닝의 학습과 전정을 위한 대상체 탐지 성능을 향상함

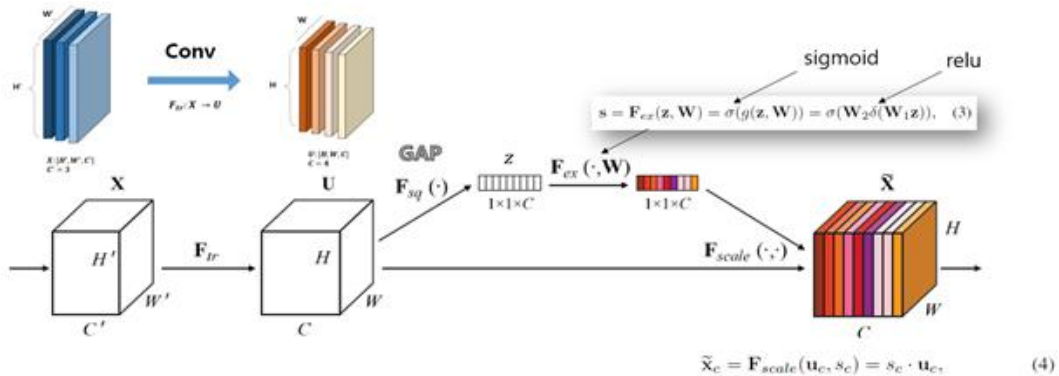
○ 나뭇가지 이미지 분류 기술 개발에 활용



Type	Filters	Size	Output
Convolutional	32	3 x 3	256 x 256
Convolutional	64	3 x 3 / 2	128 x 128
Convolutional	32	1 x 1	
Convolutional	64	3 x 3	
Residual			128 x 128
Convolutional	128	3 x 3 / 2	64 x 64
Convolutional	64	1 x 1	
Convolutional	128	3 x 3	
Residual			64 x 64
Convolutional	256	3 x 3 / 2	32 x 32
Convolutional	128	1 x 1	
Convolutional	256	3 x 3	
Residual			32 x 32
Convolutional	512	3 x 3 / 2	16 x 16
Convolutional	256	1 x 1	
Convolutional	512	3 x 3	
Residual			16 x 16
Convolutional	1024	3 x 3 / 2	8 x 8
Convolutional	512	1 x 1	
Convolutional	1024	3 x 3	
Residual			8 x 8
Avgpool			Global
Connected			1000
Softmax			

<객체 탐지 모델 알고리즘 비교도>

- Yolo v3을 개선한 Yolo v4 객체 탐지 모델
- COCO(Common Objects in Context) Data (183byte)
- COCO는 대규모 객체 탐지, 세분화 캡션 데이터셋
- Yolo-v4.weights(245MB) 가중치 파일
- CSPDarknet53 모델은 Darknet-53을 사용하는 객체 탐지를 위한 컨볼루션 신경망이며, Yolo v4의 중추로 사용

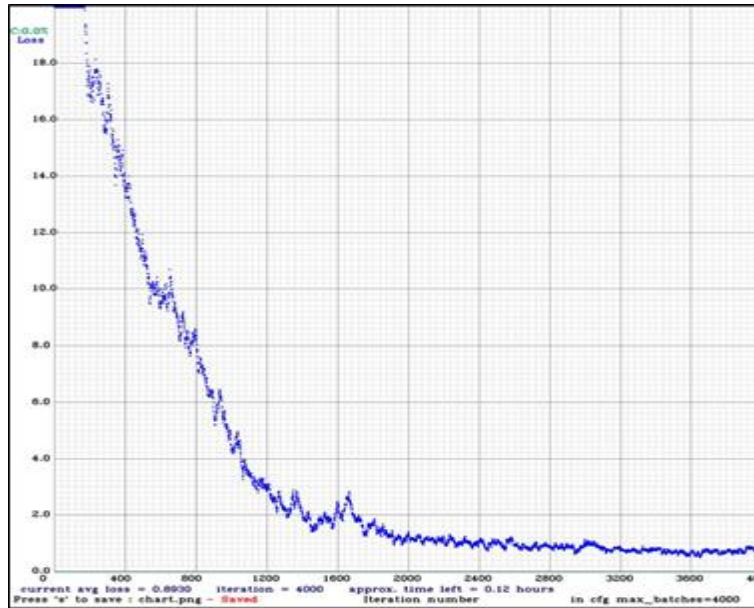


<Yolo-v4 알고리즘을 활용한 객체 탐지 모델 개요도>

- Yolo v3을 개선하였으며, 데이터셋에 특정 라벨이 많은 경우를 대비하여 해결하기 위한 방법
- 약 2% 연산량이 증가하며, GPU 추론 시간이 10% 증가
- 많은 학습량을 통해 손실을 줄이고 Yolo v3보다 정확도 향상
- V4는 Layer수를 증가, 하나의 image에서 다양한 종류, 다양한 크기의 object들을 동시에 검출하기 위해 Parameter 수를 증가

### (3) 테스트 결과

#### ○ 사과꽃과 꽃봉오리 학습결과

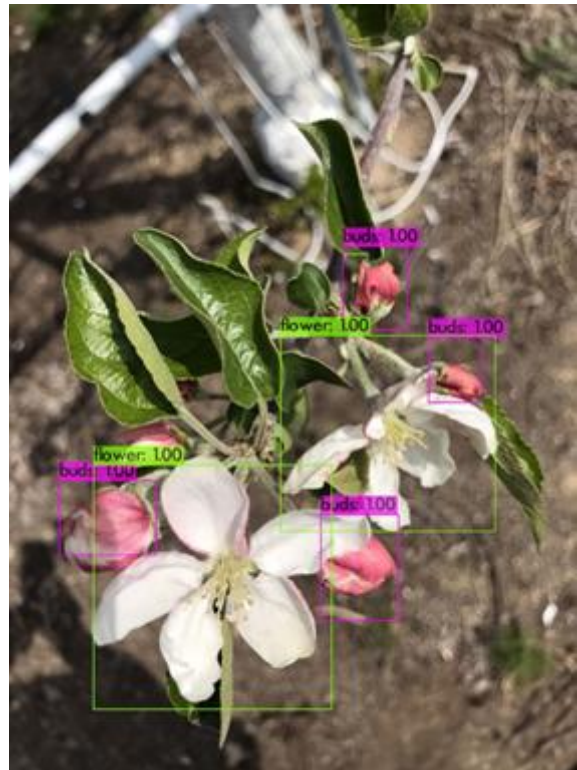


<사과꽃과 꽃봉오리 학습 결과>

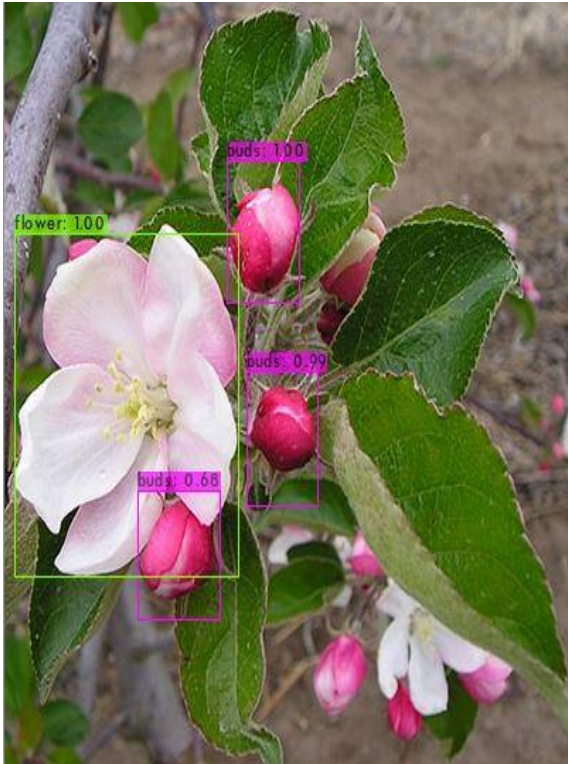
- 사과꽃과 꽃봉오리의 객체인식을 위해 57개의 라벨링 된 이미지의 학습 과정을 나타낸 차트
- 학습이 완료되면 가중치 파일이 생성되며, 해당 파일을 사용하여 객체 인식 테스트 가능



<꽃과 꽃봉오리 원본>



<꽃과 꽃봉오리 객체인식 결과>

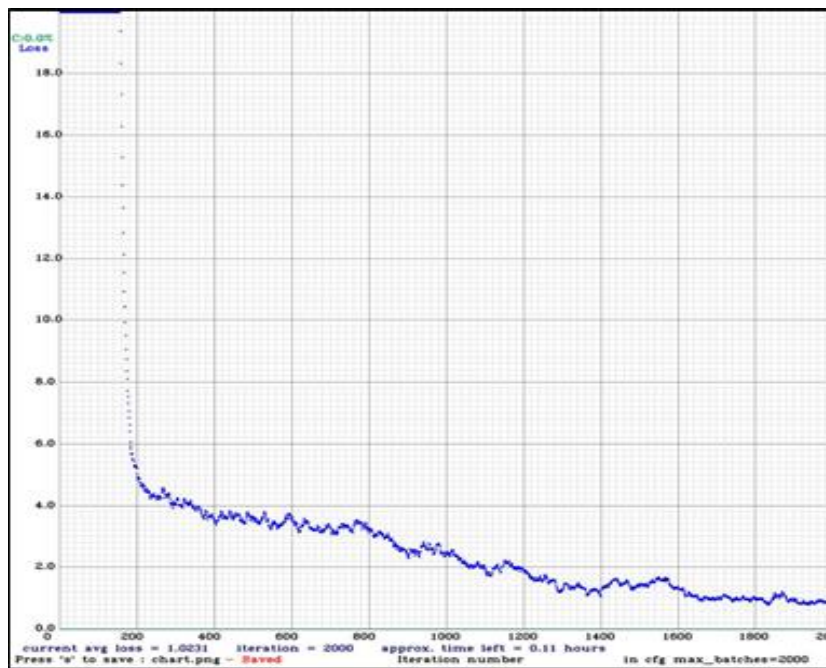


<꽃과 꽃봉오리 객체인식 결과>



<꽃과 꽃봉오리 객체인식 결과>

○ 사과전정을 위한 나뭇가지 학습결과



<사과전정을 위한 나뭇가지 학습결과>

- 사과전정을 위한 나뭇가지의 객체인식을 위해 약 57개의 라벨링 된 이미지의 학습 과정을 나타낸 차트
- 학습이 완료되면 가중치 파일이 생성되며, 해당 파일을 사용하여 객체 인식 테스트 가능



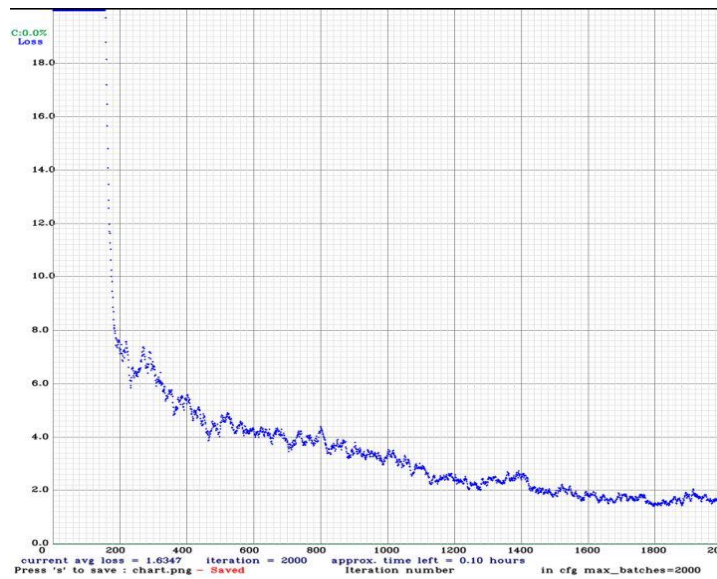


<사과나무 가지 원본>



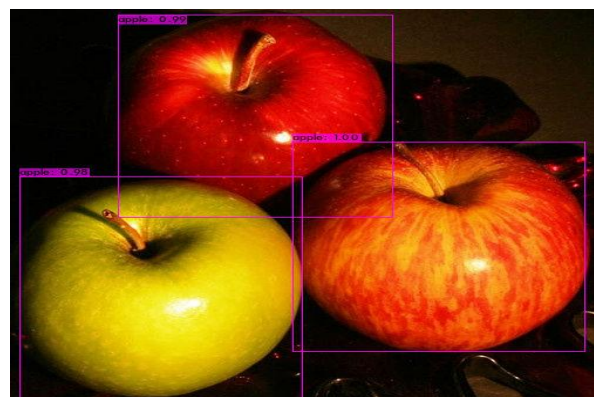
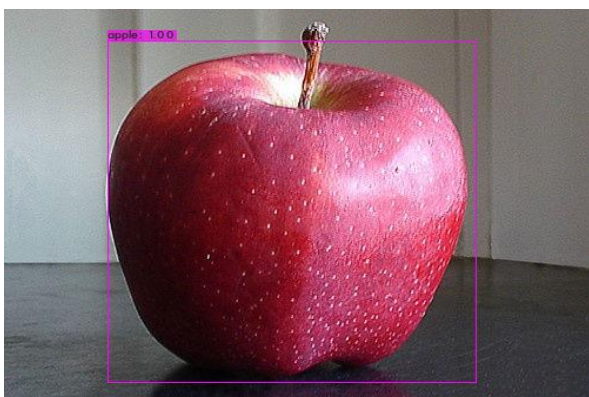
<사과나무 가지 객체인식 결과>

○ 사과 이미지 학습결과



<사과 이미지 학습결과>

- 사과 이미지의 객체인식을 위해 약 700개의 라벨링 된 사과 이미지의 학습 과정을 나타낸 차트
- 학습이 완료되면 가중치 파일이 생성되며, 해당 파일을 사용하여 객체 인식 테스트 가능



<사과 이미지 객체인식 결과>

## 다. 위탁연구개발기관(경남농업기술원 사과이용연구소)

### (1) 현장 성능시험 테스트베드 운영

#### ○ 개발 로봇의 현장 성능시험을 위한 사과 포장 운영 및 개선방안 협의

- 세장방추형, 세척지세장방추형, 팔매트형 등 수형이 완성된 시험 포장 준비
- 사과원 구성과 재배관리 대상체 인식을 위한 다양한 카메라 촬영 지원
- 2012년 정식 사과나무 수형별로 구성하여 로봇시험 가능하도록 전정 및 착과 관리

#### ○ 테스트베드 생육 이미지 조사



이미지 촬영



생육조사



이미지 촬영

<테스트베드 생육 이미지 조사>



세장방추형



슬렉스형



팔매트형

<과수 수형별 생육 이미지 조사>

#### ○ 수형별 수확량

- 연차간 수형별 생산특성을 구명하고 로봇 활용에 대한 사전 생산성 검정

<수형별 생산특성 조사>

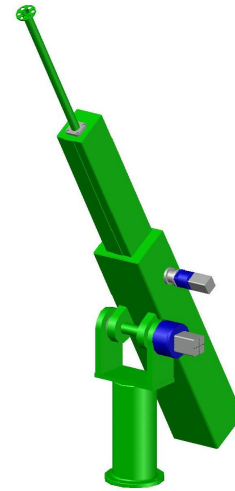
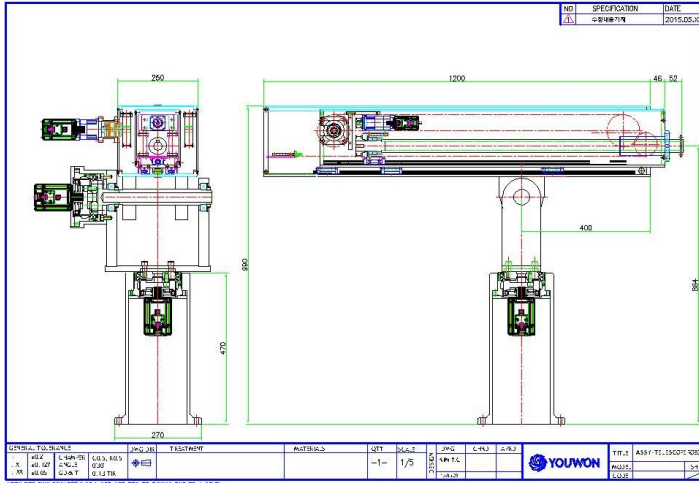
수형	년도	수량 (kg/주)	수확과수 (개/주)	평균과중 (g)
세장방추형	2018	41.1	153	269
	2019	46.4	118	394
	2020	52.5	177	295
	2021	63.0	212	301
세척지세장방추형	2018	50.4	175	288
	2019	48.1	129	370
	2020	52.6	175	300
	2021	65.2	227	286
슬렉스형	2018	51.0	174	293
	2019	44.9	123	366
	2020	46.4	172	272
	2021	66.5	233	285
팔매트형	2018	38.4	129	299
	2019	67.7	183	369
	2020	51.3	208	249
	2021	42.7	154	277

## 라. 위탁연구개발기관(유원시스템)

### (1) 텔레스코픽 매니플레이터와 전정용 엔드이펙터 설계 및 제작

#### ○ 텔레스코픽 매니플레이터 개발

- 4자유도를 가지며, 좌·우측 및 상하관계를 이동하면서 엔드이펙터를 회전시킬 수 있는 과수 작업에 특화된 매니플레이터로 설계되었음
- 과수원 작업의 특성과 높이 등에 대응하기 위한 거리 확장성에 대응 가능한 암 구조를 확정하였음
- 텔레스코프형 다관절 로봇 설계, 제작, 조립 진행 중임



<텔레스코프형 로봇 설계 도면 및 개요도>

<텔레스코프형 로봇 기본 사양>

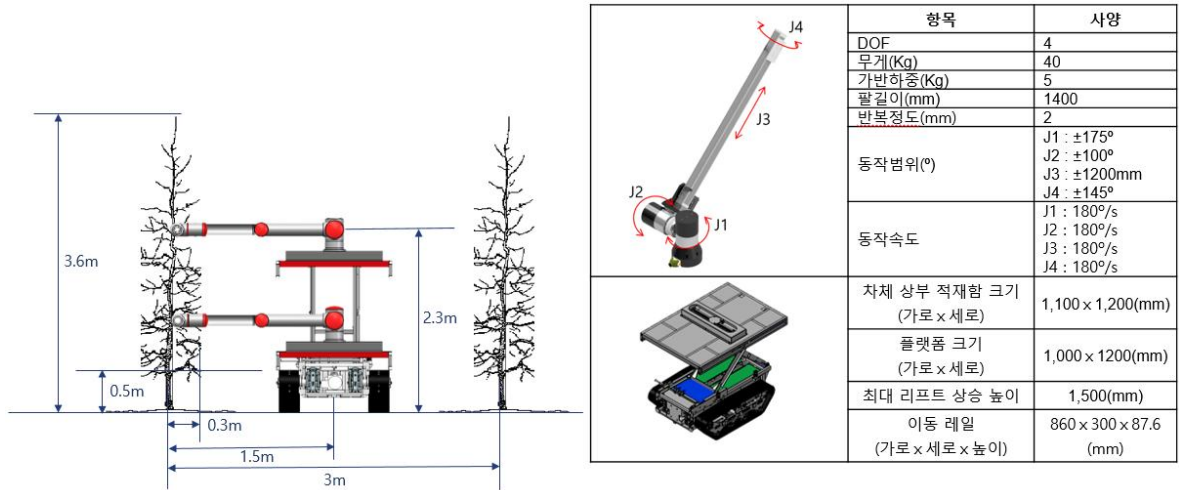
항목	단위	목표 사양	진행 사양
1. 동작범위	J1	°	±175
	J2	°	±100
	J3	mm	±1,200
	J4	°	±145
2. 작동ARM직선속도	mm/sec	1,000	1,000
3. 최대속도	°/sec	180	180
4. 반복 정밀도	mm	2	2
6. 기반 중량	kg	5	5



<텔레스코픽 매니플레이터>

### ○ 텔레스코픽 매니플레이터 재배 관리 작업 공간

- 기계식 수형인 다축형 포장에 대해 재배 관리 작업 공간 고려함
- 과원 폭 3.0m, 수고 3.6m 사양의 다축형 사과 과원에 대해 작업공간 확인함
- 텔레스코픽 매니플레이터의 팔길이가 1400mm임을 고려했을 때 다축형 사과 과원에 대한 유효 재배 관리 작업 가능성을 확인함



<텔레스코픽 매니플레이터 재배 관리 작업 공간>

### ○ 전정/적과용 엔드이펙터 설계 및 제작

- 전정/적과용 엔드이펙터는 전정 가위 타입으로 설계 및 제작함.
- 전정/적과용 엔드이펙터는 모터 구동에 의한 회전 운동을 가위의 회전 운동으로 전달하는 기구학적 구조로 설계되었음

### ○ 사과 재배 관리 작업용 엔드이펙터

<형태별 엔드이펙터 특징 비교>

용도	적화		적과/전정
기구 형태	브러쉬형	에어건형	커터형
작동 방식 및 특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DC 모터로 회전 구동으로 브러쉬 회전 동작 및 브러쉬 회전마찰력으로 적화하는 방식</li> <li>• 브러쉬 사용 측면에 따라 다량 및 특정 부위 적화 가능</li> <li>• 길이: 320mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 솔레이드 공압 밸브의 개폐에 따라 압축공기를 발사해 적화하는 방식</li> <li>• 대상체 직접 접촉 없이 적화 가능</li> <li>• 대상체 상처 없음.</li> <li>• 길이: 420mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DC 모터의 정/역 회전 운동을 전정 가위의 개폐 절삭 동작으로 전환하는 방식</li> <li>• 적과와 전정 용도로 사용 가능함.</li> <li>• 길이: 270mm</li> </ul>
인식시스 템과 연계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TCP(Tool Center Point) 정의</li> <li>• 인식 시스템에 의한 엔드 이펙터의 동작 기준 좌표계는 TCP로 설정</li> </ul>		

## (2) 로봇 제어기 요소기술 개발

### ○ 텔레스코픽 타입 로봇 제어기 선정

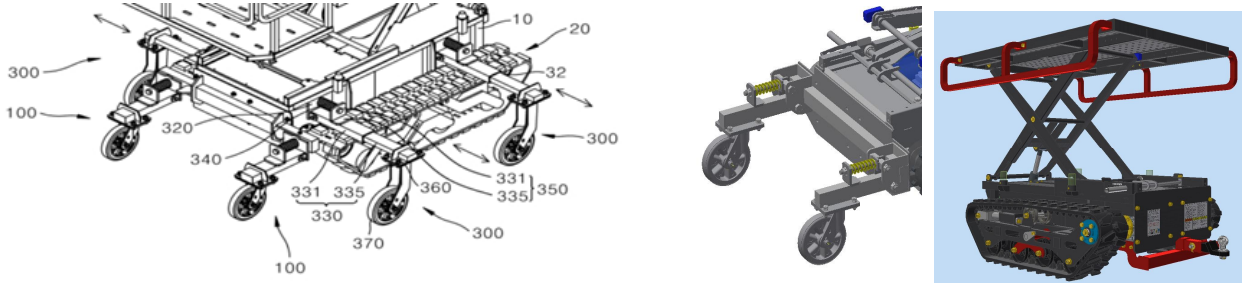
- 제작 로봇의 텔레스코픽 기구학이 반영된 로봇 제어기 설계함
- 다축 제어가 가능한 제어기를 설계, 조인트 모드, 직교 좌표 모드로 개별 조인트 기준, 베이스 좌표계 및 TCP(tool center point)를 기준으로 로봇제어가 가능하도록 설계함
- EtherCAT방식으로 구동 모터 확장이 가능함
- TCP/IP 외부 인터페이스 연결이 가능하고 실시간 제어가 가능한 제어기를 개발함

## 마. 협동연구개발기관(엘앤에스)

### (1) 궤도식 전동형 모바일 수평 유지 및 전도 방지(주행 안정성 확보) 장치 개발

#### ○ 수평 유지 및 전도 방지

- 전측방 전도 방지를 위한 수평 유지 장치 및 아웃트리거 개념 설계 및 제작



<수평 유지 장치 및 아웃트리거 개념 설계>

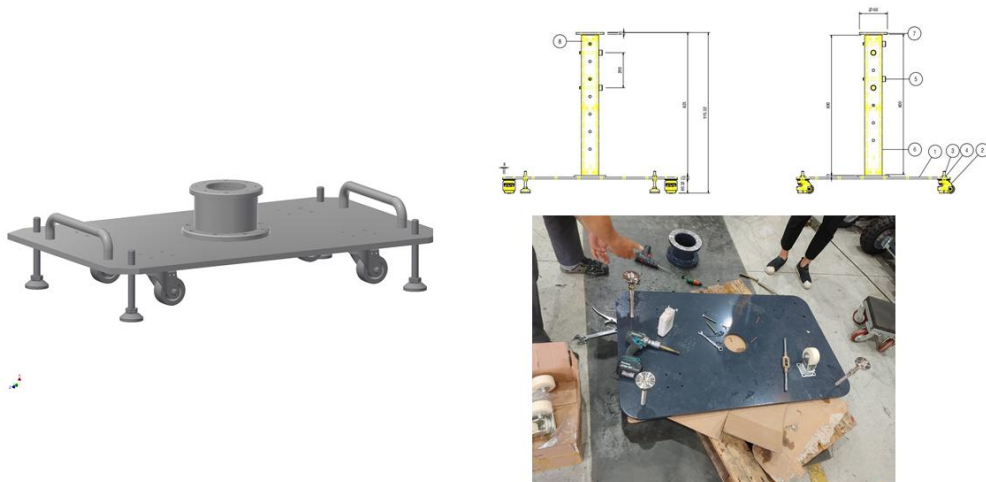
- 실제 농기계 실용화 재단을 통한 검증 결과로는 차체 자체의 전도 위험성은 매우 낮게 나타남
- 기존 모바일 플랫폼 설계시 전도각 40도에서도 안정성을 갖도록 설계하였으며, 탑재된 로봇 팔 (arm)의 무게나 변위에 따라 전도 위험성을 방지하도록 금형 스프링이 장착된 아웃트리거 시스템으로 변경함



<수평 유지 장치 및 아웃트리거 개념 제작>

#### ○ 6축 로봇 Arm Test 용 지그 개발 제작

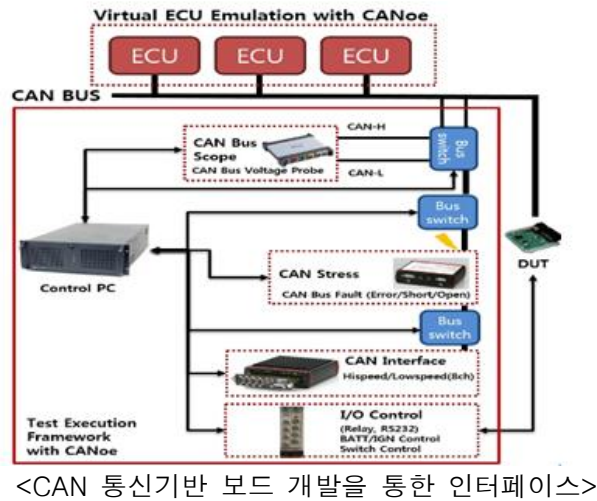
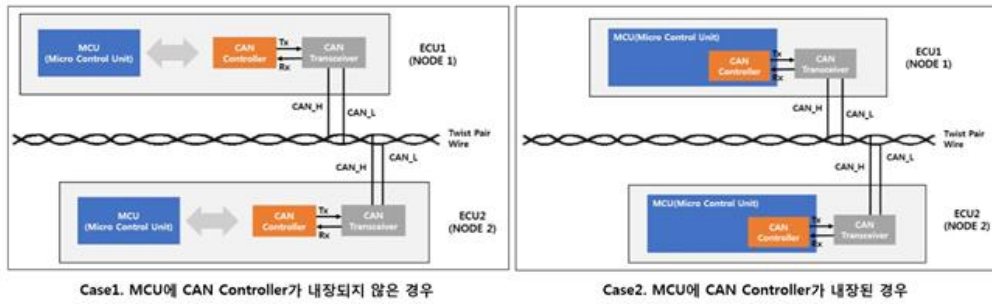
- 삼익THK의 로봇 ARM의 실내 테스트를 위한 지그를 만들어 제작하여 전남대 연구 파트에서 활용



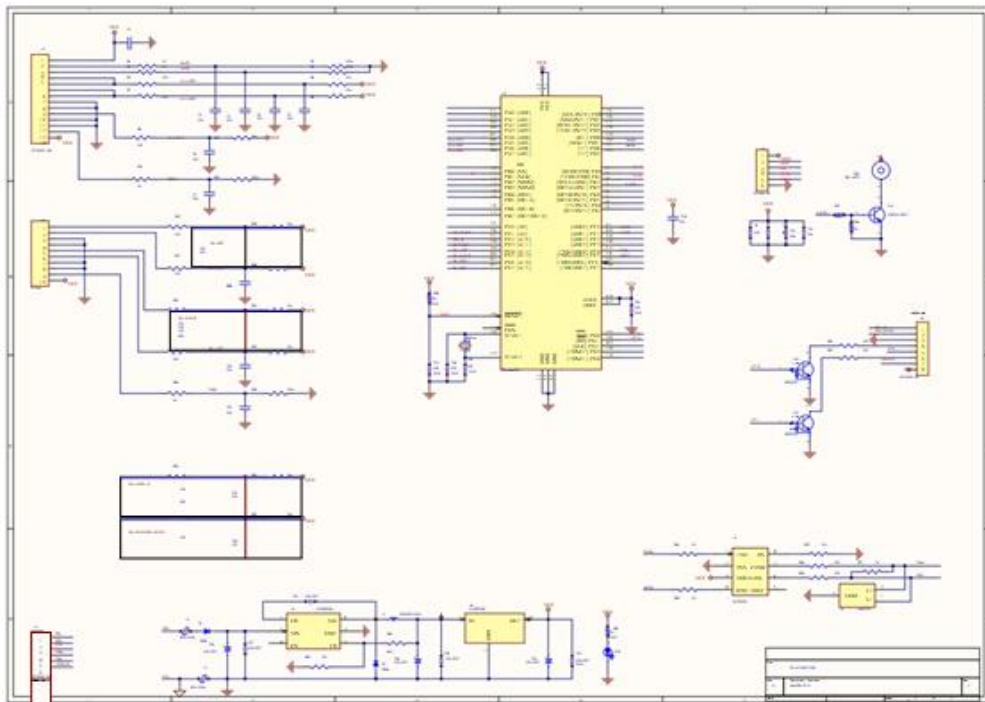
<6축 로봇 ARM 테스트용 지그 개발 제작>

## (2) CAN 통신기반의 인터페이스 시스템 개발

### ○ CAN 통신기반 보드 개발을 통한 인터페이스

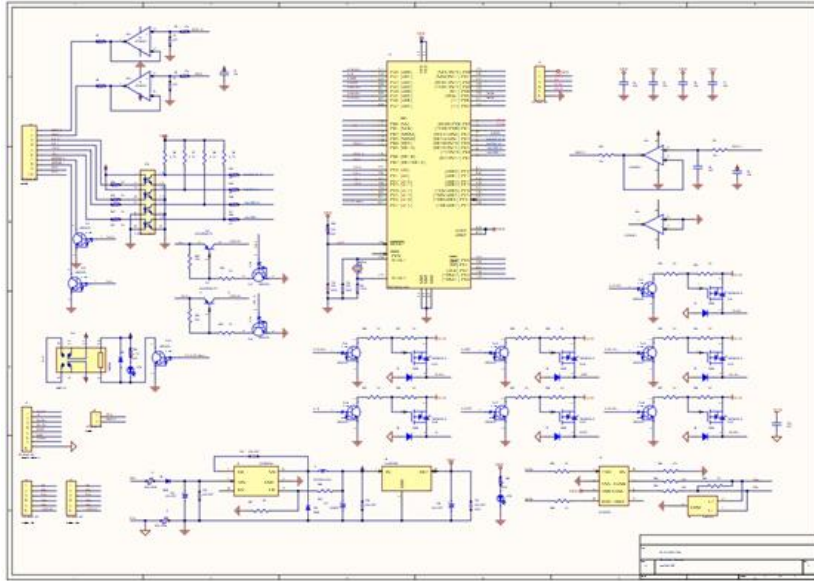


- 컨트롤 보드 회로도 설계



<컨트로 보드 회로도>

- 모터 드라이브 보드 회로도 설계

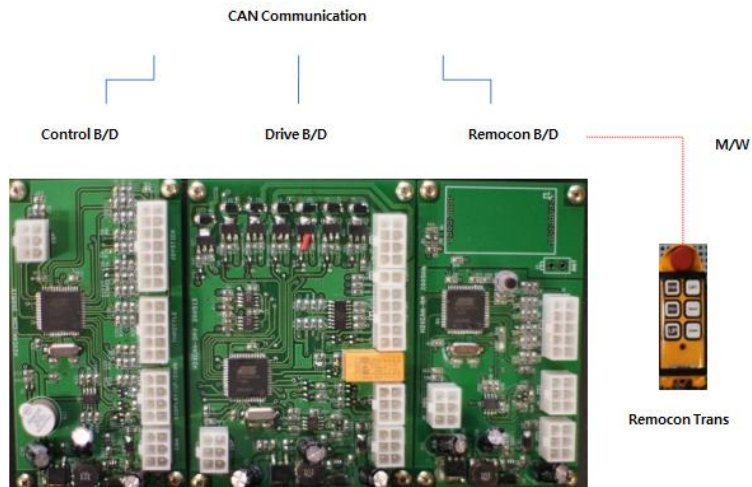


<모터 드라이브 보드 회로도>

- 통합 보드 설계

- 컨트롤 보드와 드라이브 보드 및 리모컨 보드를 통합하여 설계 제작한 결과

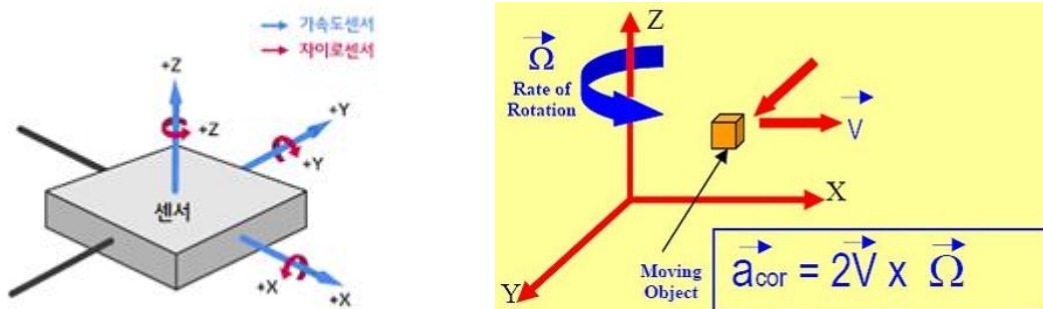
**통합보드 B/D(can)**



<통합 보드>

○ 리프트 높이 및 수평 유지 제어장치

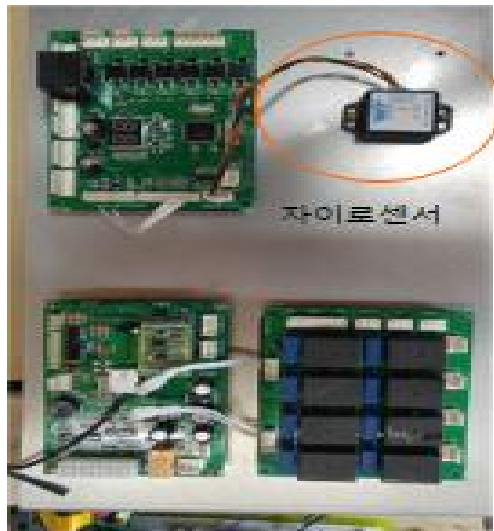
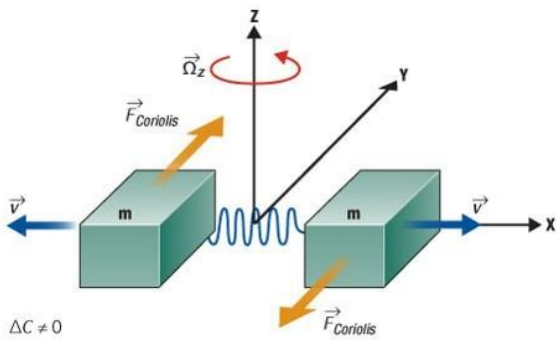
- 자일로 센서를 활용한 수평 유지 제어는 과수원의 요철이나 경사지 및 굴곡부에서 전동궤도의 안정성과 자세 유지에 중요한 부분으로 자일로 센서를 통한 차체의 보정이 정밀해짐



<자일로 센서를 활용한 수평 유지 적용>



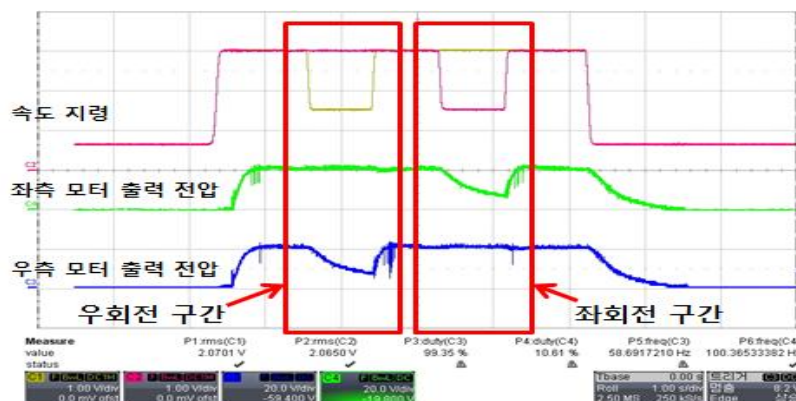
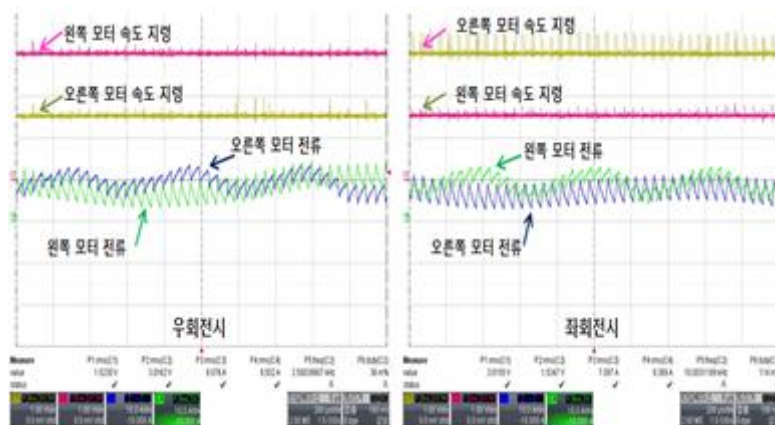
- 위의 그림과 같이 Z 축으로 회전하는 환경에서 X 축으로 물체가 V 라는 속도로 이동할 때 발생하는 Coriolis 가속도는 Y 축으로 발생. 이 가속도  $F=ma$  에 적용하면 Coriolis 힘을 구할 수 있음
- 결과로 회전축과 물체의 이동축, Coriolis 가속도 축 모두 직각이 됨



<자일로 센서를 활용한 수평 유지 제어 구현>

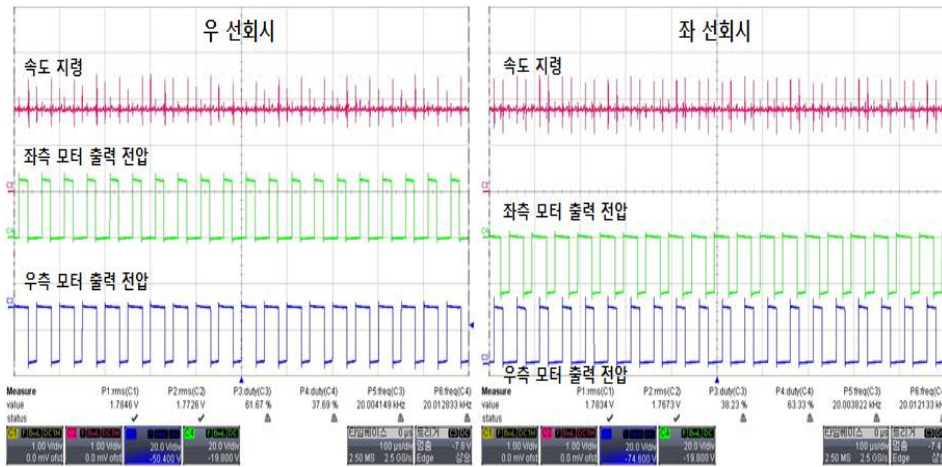
○ 무한궤도의 제자리 선회 시스템

- 전동 플랫폼의 과수 작업 시 좁은 지역에서의 선회반경은 플랫폼의 기동성과 작업성에 중요한 요소로 작용함
- 제자리 선회를 위한 로직은 왼쪽 모터와 오른쪽 모터가 서로 다른 (즉, 정/역) 방향으로 회전하여 구현함



<회전 방향에 따른 모터 출력전압 변화 >

- 플랫폼이 제자리 회전(선회) 시 좌/우 방향에 따른 모터의 출력을 나타내고 있음
- 선회모드 조작 스위치를 On 하고 핸들의 회전 레버를 On 하면 해당 방향으로 플랫폼이 선회하게 됨
- 이때의 회전 속도는 최대 속도의 40%로 고정하였으며, 적재화물에 따라 속도 증가가 필요시 속도를 가변할 수 있음

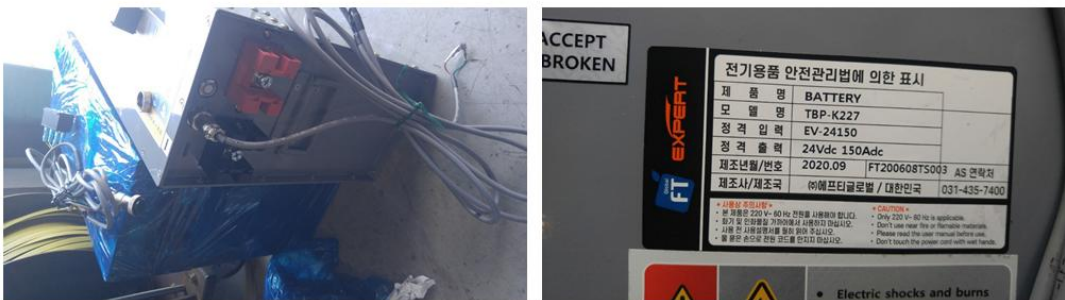


< 좌/우 선회시 모터 출력 >

- 제어기의 동작 상태를 실험해 확인함
- 운반차의 주행 모드에 따라 적절히 모터의 속도를 제어하고 있으며, 그에 따른 모터 출력을 실험 파형을 통해 확인함

### ○ 리튬이온 24V-150Ah/200Ah 테스트

- 플랫폼의 지속시간과 안정적인 전원공급 및 야지의 저온 특성을 고려, 활용도를 높이고 기존 연납 배터리를 리튬배터리의 사용을 검토하여 체계의 효율성을 높이고자 함
- 과수 로봇 플랫폼의 주행 및 작업 시 사용 전력의 안정성을 위하여 리튬이온 배터리를 채용 시험함
- CAN 통신을 통해 배터리의 상태 잔량, 동력 시스템의 에러 등을 확인함



<리튬이온 24V-150Ah 배터리 적용>

- 로봇 ARM 구동 전압이 주로 48V인 것을 고려하여 24V 150Ah 2EA 또는 24V 200Ah 2EA를 구성하여 48V 전압으로 활용할 계획임
- 사용 시간 경우도 하루 플랫폼 작업시간이 10시간을 상회하고 연속운전이 가능함

개발단계평가보고서		평가	만족	불만	비고
목적	1차 시험	필	필	필	25°C 0.8C 0.800
시험대상	리튬이온 배터리	소	소	소	양산용
평가항목	배터리 사용 필요도 있음				
1. 시험 내용	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 사용 장비: LMS-T300</li> <li>2. 적재 중량: 500kg</li> <li>3. 사용 환경 온도: 0°C</li> <li>4. 속도: 10%</li> <li>5. 배터리의 잔량: 70%</li> <li>6. 속도 설정: MAXIMUM</li> <li>7. 주행 환경: 경사가 없는 포장도로 50%, 비포장 도로 50%</li> <li>8. DUMP/LIFT 작동은 제외</li> </ol>				
2. 실험데이터		표정 속도 (15분)	비표정 속도 (15분)		
	정전	80-90 A	85-110 A		
	주행	75-85 A	75-100 A		
	리무 선화	110-115A	90-100A		
제지 선화	OVER LIMIT	OVER LIMIT			
3. 시험사항	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 모든 10차 시험 주행 시점, 배터리 충전 70%</li> <li>2. 사용시간 20분 시점에서 배터리의 잔량 70% &gt; 60%</li> <li>3. 사용시간 25분 시점, 비표정 주행 중 속도 알려짐을 당사 차량 전체 출력에 알렸을 때 배터리의 잔량 40% &gt; 30% 구간. (문턱 밑의 각 색 영역이 리튬이온 배터리에 어떠한 영향을 주는지 미지수)</li> <li>4. 총 사용시간 52분 (90% &gt; 100%)</li> </ol>				



<리튬이온 24V-200,150Ah 배터리>

## 2.3. 3차년도 연구개발 내용

### 가. 주관연구개발기관(전남대학교)

#### 1) 과수원 환경에서의 재배관리용 로봇 통합 시스템 현장 성능 시험

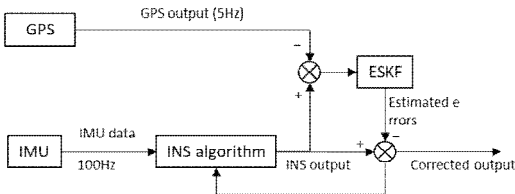
##### (1) 자율주행 성능 시험 및 개선

###### □ 측위(Localization) 정밀도 향상을 위한 시스템 아키텍처 개선

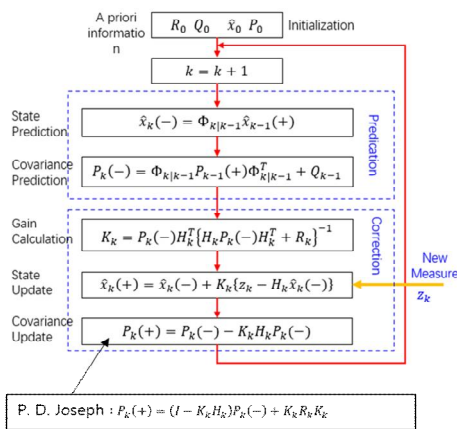
###### ○ Error State Kalman Filter 적용

- 기존 Bi channel GPS 정보로만 운용 시, 낮은 출력 주파수(≤5Hz)와 간헐적으로 끊기는 GPS의 신호 불안정으로 모바일 로봇의 heading angle 값 및 측위 정밀도 성능이 저하되는 문제 발생
- 측위 정밀도 향상을 위해 기존 Bi channel GPS 정보에 고정밀 IMU 센서와 Error-State Kalman Filter(이하 ESKF)를 적용함. GPS는 업데이트 주기가 약 5Hz 수준으로 실시간 위치 정보를 받을 수 없는 단점이 있지만 높은 측위 정확성을 갖는 장점이 있고, IMU는 시간에 따른 누적 오차로 인해 위치 추정값의 정확도가 떨어지는 단점이 있지만 주기가 200Hz 이상으로 실시간성이 좋은 장점이 있음
- ESKF는 GPS/IMU 값을 기반으로 측위 정보를 예측해 나감.
  - ① GPS 위치값 측정(Measurement),
  - ② 측정값과 예측한 상태 비교 보정(update),
  - ③ 보정 상태와 예측 상태의 차이 기반의 오차 상태 추정,
  - ④ 예측 공분산과 보정 공분산을 업데이트하여 시스템과 차 상태의 불확실성 정보를 유지,
  - ⑤ 최종적으로 예측된 상태와 추정된 오차 상태를 결합한 시스템 상태 업데이트 (State Update)
- ESKF와 GPS/INS 신호를 이용한 정밀 측위 기술은 과수원 환경에서 과수 및 주변 구조물의 방해로 GPS 신호가 불안정으로 끊기는 조건에서도 계획 경로를 따라 현재 위치를 추정하는 강건한 성능을 보임

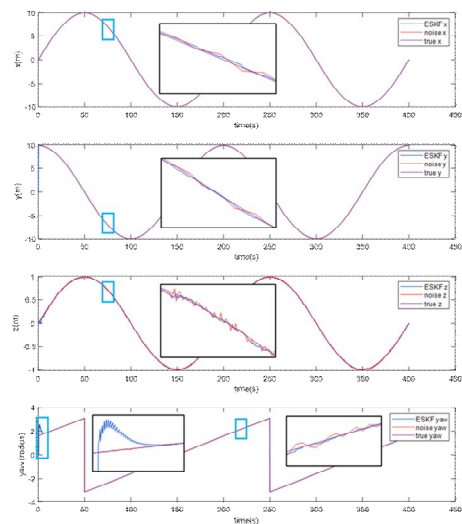
###### Localization



###### Error State Kalman Filter



###### Simulation Result



	RMS Error	GPS	ESKF
X (cm)		0.998	0.645
Y (cm)		0.991	0.772
Z (cm)		1.009	0.907
Yaw (rad)		0.01	0.007

<GNSS/INS Error-State Kalman Filter 적용>

<Error-State Kalman Filter 측위 정확성 오차 비교>

###### ○ Single Neuron Adaptive PID 추종 제어기 적용

- 노지 상태와 같이 토양의 기계적 특성이 가변적인 환경에서는 고정된 PID 매개변수로는 구동 모

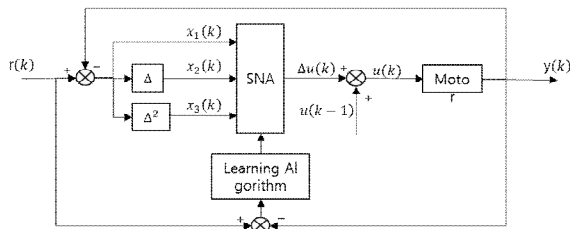
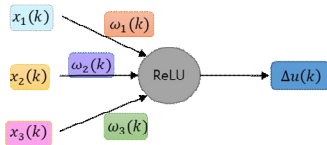
터 제어 성능이 떨어지는 현상 발생함. 이런 문제 해결을 위해 적응형 체계 방식인 단일 뉴런 적응형 PID(single neuron adaptive PID) 방식을 고려함

- 적응형 체계 방식은 능동적으로 시스템의 입력값과 출력값의 자료를 수집하고 이를 기반으로 제어 매개변수를 자동으로 조정할 수 있는 방식임
- 속도 추정 성능을 알아보기 위해 단위계단함수와 사인파 함수를 각각 입력 신호로 사용하였음. 목표 속도 값은 검은색으로, 왼쪽 궤도 속도와 오른쪽 궤도 속도는 각각 빨간색, 파란색으로 나타냄
- 단위 계단 함수의 목표 속도값 0.2m/s에 대해 상승시간 0.26초, 피크시간 0.38초, 정착시간은 0.6초로 나타남

### Incremental PID

$$\Delta u(k) = K_p[e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

### Single Neuron



### Single Neuron Adaptive PID

$$\Delta u(k) = K \left( \sum_{i=1}^3 \omega_i'(k) x_i(k) \right) \begin{cases} x_1(k) = e(k) - e(k-1) \\ x_2(k) = e(k) \\ x_3(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{cases}$$

$$\text{Where, } \omega_i'(k) = \frac{\omega_i(k)}{\sum_{i=1}^3 |\omega_i(k)|}$$

update

$$\Delta \omega_i(k) = \eta_i z(k) u(k) x_i(k) \quad \leftarrow \text{Hebb learning rule}$$

$$\omega_i(k) = \omega_i(k-1) + \Delta \omega_i(k)$$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$$

### Improvement - Adaptive K

if  $\text{sgn}(e(k)) = \text{sgn}(e(k-1))$

$$\Delta K(k) = C \frac{K(k-1)}{T(k-1)} \quad (0.025 \leq C \leq 0.05)$$

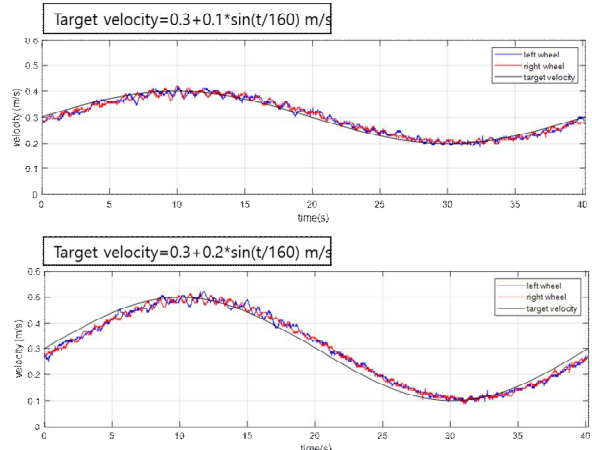
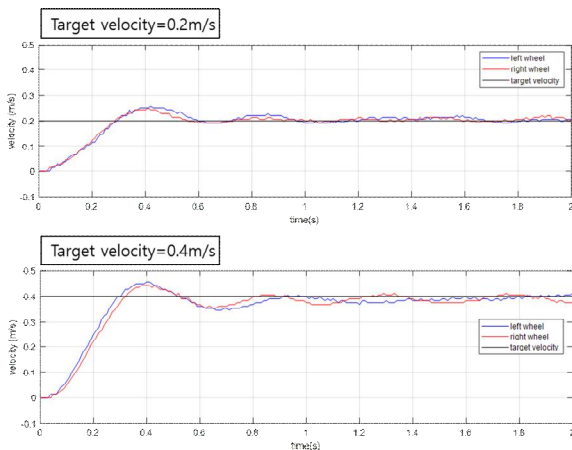
$$\Delta T(k) = L \cdot \text{sgn}[x_1(k) - T(k-1)x_3(k)] \quad (0.05 \leq L \leq 0.1)$$

if  $\text{sgn}(e(k)) \neq \text{sgn}(e(k-1))$

$$K(k) = NK(k-1) \quad (0.75 \leq N \leq 1.0)$$

<Single Neuron Adaptive PID 추종 제어기 적용>

### Real motor experiment results



<Single Neuron Adaptive PID 추종 제어기 성능>

## □ 현장 성능 시험

### ○ 직사각형 궤적 기반 자율주행 성능 시험

- 노지 환경에서 자율주행 성능 실험을 위해 GPS 좌표계 기반 20mx10m 크기의 직사각형 궤적을 생성하고 모바일 로봇의 궤적 추종 성능 실험함
- 주어진 다양한 속도에 대해 각각 거리 오차, 방향 오차를 측정함
- 0.2m/s의 속도에서 측면 및 방향의 RMS 오류는 각각 1.53cm 및 0.92°이며, 측면 및 방향의 최대 오차는 4.86cm 및 4.15°로 나타남

- 0.8m/s의 속도에서도 측면 및 방향의 RMS 오차는 2.52cm 및 3.28°이며 최대 측면 및 방향 오차는 각각 10.4cm 및 13.87°로 나타남

Rectangular Path Tracking Plan



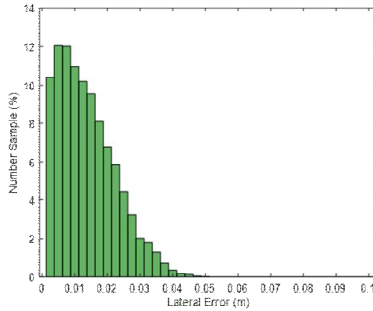
Rectangular Path Tracking Demo



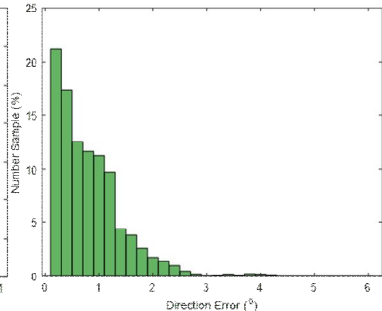
Rectangular Path Tracking Results

	Normal speed					
	0.2m/s	0.3m/s	0.4m/s	0.5m/s	0.6m/s	0.8m/s
lateral error(cm)						
RMS	1.53	1.62	1.52	1.89	1.97	2.52
STD	1.36	1.62	1.52	1.84	1.96	2.50
Max	4.86	6.80	7.28	7.47	8.71	10.40
direction error(°)						
RMS	0.92	1.04	1.32	1.40	1.74	3.28
STD	0.92	0.98	1.31	1.39	1.73	3.28
Max	4.15	4.22	8.73	8.35	12.60	13.87

Histogram of lateral error



Histogram of Direction error

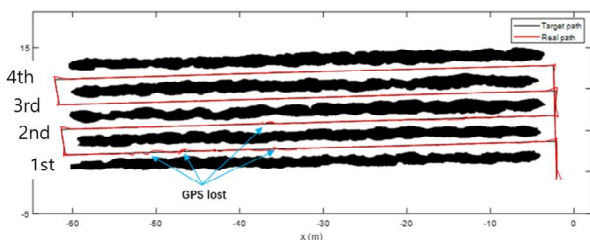
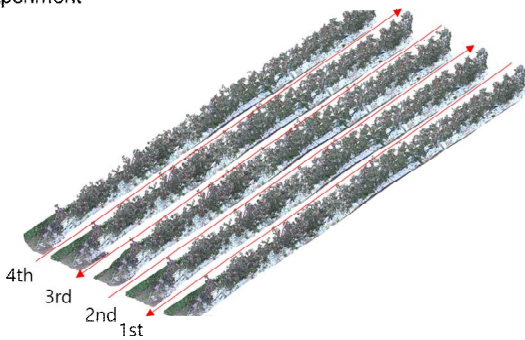


<직사각형 궤적 기반 자율주행 성능 시험>

○ 과수 환경에서의 자율주행 성능 시험

- 과수 환경에서의 자율주행 성능 시험은 경남 농업기술원 사과이용소의 다축형 포장 과원에서 진행함. 과원 통로 폭은 3.0m, 통로로 뺀 나온 가지는 최대 50cm가 넘지 않음
- 실험에 앞서 사과 과수원의 3차원 지도를 투영하여 2D 장애물 지도를 얻고, 보로노이 노드 분석을 통해 topological map을 생성하고 GPS 좌표계 기반의 최적 경로 궤적을 생성함
- 첫 번째 루트에서 최대 횡 오차는 16.34cm, 최대 방향 오차는 18.12°로 나머지 루트보다 높게 나타남

Experiment



Experiment demonstration



	lateral error (cm)			direction error (°)		
	RMS	STD	Max	RMS	STD	Max
1st line	4.57	2.66	16.34	5.43	5.44	18.12
2nd line	4.14	2.57	12.13	5.15	5.16	16.27
3rd line	3.57	1.97	8.15	3.47	3.12	12.62
4th line	3.62	2.02	7.60	3.53	3.21	13.02

<과수 환경에서의 자율주행 성능 시험>


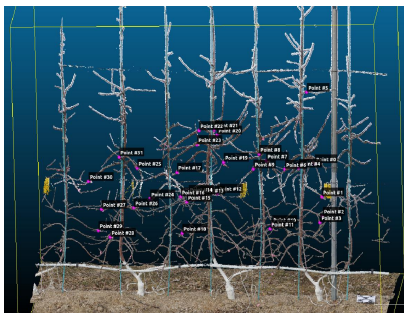
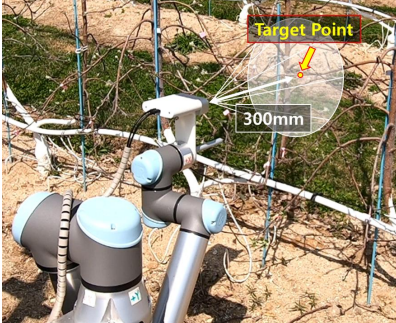
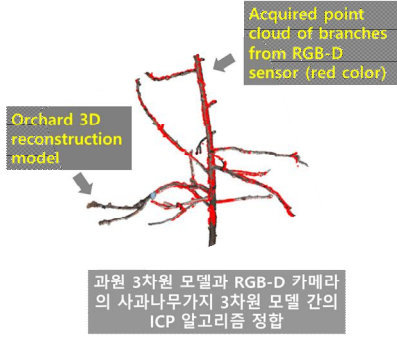
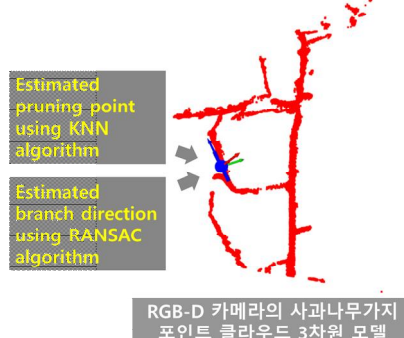
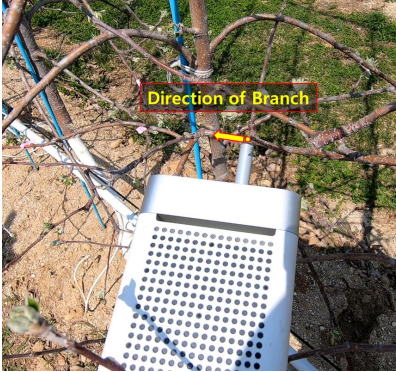
## (2) 대상체 인지, 매니플레이터와 엔드이펙터 성능 시험 및 개선

### □ 로봇 전정

#### ○ 로봇 전정 작업 절차

- ① 다중 카메라 이미지 정합 기반 다축형 사과 과원 포인트 클라우드 3D 모델 생성함
- ② GPS 좌표계 기준으로 좌표변환 후 전정 전문가의 전정 포인트 지정 및 전정 포인트 리스트 생성
- ③ 과원 3차원 모델 좌표계와 모바일 매니플레이터 로봇 좌표계를 GPS 좌표계 기준으로 좌표 매칭을 함
- ④ 모바일 매니플레이터는 1차적으로 전정 타겟 포인트 근처로 접근하여 타겟 포인트로부터 300mm 떨어진 거리에서 Eye-in-Hand Camera로 타겟 포인트 주변의 RGB-D 영상을 획득함
- ⑤ 획득한 RGB-D 카메라 3차원 모델과 과원 3차원 모델과 ICP 좌표 매칭을 수행하고, k-최근접 이웃(KNN) 알고리즘과 RANSAC 알고리즘을 이용하여 Eye-in-Hand Camera 좌표계 기준, 전정 포인트 위치와 가지 방향 벡터를 각각 추정함.
- ⑥ 추정한 전정 대상 포인트 위치와 가지 방향 벡터를 암 로봇 베이스 좌표계로 변환하고 가지 단면을 자를 수 있는 방향으로 로봇 E-E를 이동시켜 로봇 전정을 수행함

<로봇 전정 작업 절차>

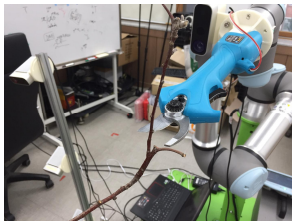
		
<p>다중 카메라 이미지 정합 기반 다축형 사과 과원 포인트 클라우드 3D 모델 생성</p>	<p>GPS 좌표계 기준전정 포인트 지정 및 전정 포인트 리스트 생성</p>	<p>GPS 좌표계 기준으로 좌표 매칭된 모바일 매니플레이터는 전정 포인트 주변의 RGB-D 영상을 획득</p>
		
<p>전정 포인트 주변의 RGB-D 카메라 3차원 모델과 과수 3차원 모델 간 ICP 알고리즘 정합 실시</p>	<p>K-최근접 이웃 알고리즘을 이용하여 RGB-D 카메라의 3차원 모델에서 전정 포인트 찾기</p>	<p>찾아낸 전정 포인트 위치 및 가지 방향을 로봇 좌표계 기준 좌표변환 및 전정 작업 실시</p>

## ○ 로봇 전정 시스템 현장 성능 시험

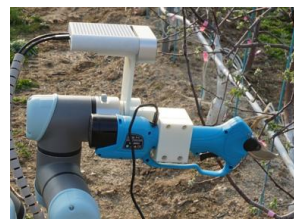
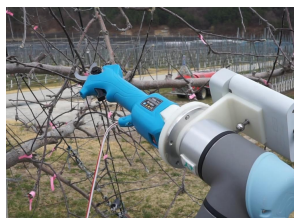
- 전정 포인트 주변 3D 모델 포인트 클라우드와 Depth 카메라 포인트 클라우드 영역 매칭
- 일사광 및 매칭 주변 환경 따라 매칭 성능에 영향을 줌
- 매칭률  $\geq 0.8$ 로 설정하였을 때 아래와 같은 결과 나옴
  - 평균 위치 오차: 4.4cm
  - 전정 성공률: 0.33

## ○ 전정용 엔드 이펙터

- 가위 타입 전정용 엔드 이펙터 디자인 및 로봇 상위 제어기와 디지털 신호(TTL)를 통한 Open-Close 제어
- 매니플레이터 플랜지 부분과 연결될 수 있는 브라켓 디자인 및 제작
- 플랜지 축과 일직선으로 연결될 수 있는 타입
  - 장점: 플랜지 축과 일직선으로 연결되어 좌표변환이 쉽고 로봇 몸체와 엔드 이펙터 충돌 위험 줄임
  - 단점: 엔드 이펙터가 길이가 길면 Eye-in-hand 카메라 뷰에 엔드 이펙터가 간섭되는 면적이 커짐
- 로봇 플랜지 옆에 부착하여 플랜지 축과 평행하게 구성한 타입
  - 장점 : Eye-in-hand 카메라 뷰에 엔드 이펙터가 간섭되는 부분을 최소화할 수 있는 장점
  - 단점: 로봇 플랜지 축 회전 시 로봇 몸체와 엔드 이펙터 충돌 가능



플랜지와 일직선 축



플랜지와 평행한 축

<적전용 가위 타입 엔드이펙터(EE)>

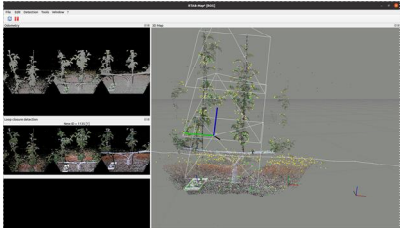
## □ 로봇 적화

### ○ 로봇 적화 작업 절차

- ① 멀티 RGB-D 카메라를 이용하여 적화 대상 과원 스캐닝 및 포인트 클라우드 이미지를 획득함
- ② 획득한 이미지를 정합하여 적화용 3차원 과원 맵 visual-SLAM 측위 정보 생성함
- ③ 3차원 과원 맵 좌표계 기준의 적화 포인트 지정 및 위치 리스트 생성함
- ④ Eye-in-hand 카메라 좌표계와 과수 3차원 과원 모델 좌표계 간 실시간 좌표변환 후, 일차적으로 암 로봇 E-E를 적화 화층 포인트 근처로 접근시켜 적화 포인트로부터 300mm 떨어진 거리에서 Eye-in-Hand Camera로 적화 포인트의 RGB-D 영상을 획득함
- ⑤ 획득한 RGB-D 영상에서 Instance segmentation으로 사과꽃 객체를 개별적으로 인지하여 크기가 작은 꽃을 선별하고, Eye-in-Hand Camera 좌표계 기준 적화 포인트 위치를 추정함
- ⑥ 적화 포인트 위치를 암 로봇 베이스 좌표계로 변환하고 적화를 할 수 있는 방향으로 암 로봇 E-E를 이동시켜 로봇 적화를 수행함



<로봇 적화 작업 절차>

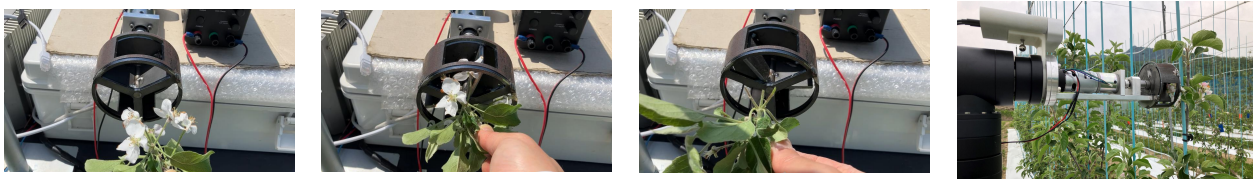
		
<p>멀티 RGB-D 카메라를 이용한 적화용 과원 스캐닝 및 포인트 클라우드 이미지 획득</p>	<p>획득한 이미지를 정합하여 적화용 3차원 과원 맵 생성 및 측위 정보 생성</p>	<p>3차원 과원 맵 좌표계 기준의 적화 타겟 지정 및 위치 리스트 생성</p>
		
<p>Eye-in-hand 카메라 좌표계와 과수 3차원 과원 모델 좌표계 간 실시간 좌표 변환 실시</p>	<p>Instance segmentation으로 사과꽃 객체 개별적으로 인지 및 인지된 적화 대상 위치 방향 예측</p>	<p>적화 타겟 위치를 암 로봇 베이스 좌표계로 변환, 적화를 할 수 있는 위치와 방향으로 암 로봇 E-E를 이동시켜 로봇 적화 수행</p>

○ 로봇 적화 시스템 현장 성능 시험

- 적화용 Instance segmentation의 성능- 인식 정확도: 0.94
- 엔드 이펙터 타겟 위치 도달 성공률: 1.0 (도달 가능 범위와 역기구학 해가 존재하는 영역 내)

○ 적화용 엔드 이펙터

- 브러쉬 타입의 엔드 이펙터로 로봇 적화 시 문제점
  - 브러쉬 마찰로 꽃 가지가 같이 움직여 적화 효과가 떨어지는 현상 발생함
  - 부분적인 꽃잎만 제거할 정도의 적화 기능을 제공함
- 에어건 타입의 엔드 이펙터의 문제점
  - 공압으로는 꽃자루까지 끊어낼 만큼의 적화 기능을 제공하지 못함
  - 에어 펌프를 설치해야 되는 공간적 부담과 늘 에어 펌핑 모터 사용으로 에너지 효율 측면에서 적합하지 못함
- 회전 커터 타입의 적화용 엔드 이펙터 디자인 및 제작
  - 회전 커터 날 - 직경: 100mm, 높이 45mm
  - 회전 커터 날이 있어 꽃자루 윗부분 제거가 용이함
  - 로봇 상위 제어기와 On-Off 개폐 신호를 통한 모터 구동 방식으로 동작함



<적화용 원통형 회전 절단식 엔드이펙터(EE)>

## □ 로봇 적과

### ○ 로봇 적과 작업 프로시저

- ① 멀티 RGB-D 카메라를 이용하여 적과 대상 과원 스캐닝 및 포인트 클라우드 이미지를 획득함
- ② 획득한 이미지를 정합하여 적과용 3차원 과원 맵 및 visual-SLAM 측위 정보 생성함
- ③ 3차원 과원 맵 좌표계 기준의 적과 대상 지정 및 위치 리스트 생성함
- ④ Eye-in-hand 카메라 좌표계와 과수 3차원 과원 모델 좌표계 간 실시간 좌표변환 후, 일차적으로 암 로봇 E-E를 적과 대상 과총 위치로부터 300mm 떨어진 거리로 위치시킨 뒤, Eye-in-Hand Camera로 과총 RGB-D 영상을 획득함
- ⑤ 획득한 RGB-D 영상에서 Instance segmentation으로 과총 내 열매 객체를 개별적으로 인지하여 크기가 가장 작은 열매를 선별하고, Eye-in-Hand Camera 좌표계 기준 적과 위치 및 방향을 추정함
- ⑥ 적과 포인트 위치를 암 로봇 베이스 좌표계로 변환하고 적화를 할 수 있는 방향으로 암 로봇 E-E를 이동시켜 로봇 적화를 수행함

<로봇 적과 작업 절차>

		
<p>멀티 RGB-D 카메라를 이용한 적과용 과원 스캐닝 및 3차원 포인트 클라우드 이미지 획득</p>	<p>획득한 이미지를 정합하여 적과용 3차원 과원 맵 생성 및 visual-SLAM 측위 정보 생성</p>	<p>3차원 과원 맵 좌표계 기준의 적과 대상 지정 및 위치 리스트 생성</p>
		
<p>Eye-in-hand 카메라 좌표계와 과수 3차원 과원 모델 좌표계 간 실시간 좌표변환 시행</p>	<p>Instance segmentation으로 과총 내 열매 객체 개별적 인지, 크기가 가장 작은 적과 대상 선별, 적과 대상 위치 및 방향 예측</p>	<p>적과 포인트 위치를 암 로봇 좌표계로 변환, 적화를 할 수 있는 위치와 방향으로 암 로봇 E-E를 이동시켜 로봇 적과 수행</p>

### ○ 로봇 적과 시스템 현장 성능 시험

- 적과용 Instance segmentation 성능- 인식 정확도: 0.90
- 엔드 이펙터 타겟 위치 도달 성공률: 1.0 (도달 가능 범위와 역기구학 해가 존재하는 영역 내)
- 타겟에 접근 중일 때, 엔드 이펙터와 주변 장애물과 간섭으로 인해 타겟 위치가 바뀌어 로봇 적과 작업이 실패하는 경우가 종종 발생함
- 로봇 적과는 주변 장애물과의 간섭을 최소화할 수 있는 시기가 적합할 것으로 보임(개화 후 2주 후)

### ○ 적과용 엔드 이펙터

- 가위 타입의 엔드 이펙터로 로봇 적과 시 문제점
  - 가위 타입의 엔드 이펙터로 열매 자루 부분을 커트해야 하는 어려움 발생
  - 열매 자루에 대한 인식 및 절삭 위치 및 방향 예측이 어려움
- 원통형 회전 절단 방식의 적과용 엔드 이펙터 디자인 및 제작

- 원통형 절단날 - 지름: 40mm, 길이: 40mm
- 엔드 이펙터 센터를 열매 몸체로 위치시켜 적과 커트 작업이 용이하도록 디자인함
- 로봇 상위 제어기와 On-Off 개폐 신호를 통한 1 사이클 회전 방식으로 동작함



<원통형 회전 절단 방식의 적과용 엔드이펙터(EE) 제작>

### (3) 전체 시스템과 통합 제어기 성능 시험 및 개선

#### □ 전체 시스템 개선

##### ○ 리프트 제어 개선

- 거리센서(VL53L0X)로부터 리프트 높이 정보 실시간 획득 (1mm급 분해능)
- 상대 위치 지령 및 현재 리프트 높이 기준 목표 위치 설정
- 피드백 제어 시스템 기반 개폐(on-off)제어 동작, 입력- 리프트 높이, 출력- 유압 모터 구동
- 1mm급 오차 정밀도 동작, 현재는 tolerance range를  $\pm 50\text{mm}$  여유로 동작



$\Delta z = 0$

$\Delta z = 300\text{mm}$

$\Delta z = 200\text{mm}$

$\Delta z = -500\text{mm}$

<상대 위치 지령 기반 리프트 높이 제어 테스트>

#### □ 통합 제어기 성능 시험









##### ○ 재배 작업을 위한 통합 제어기 성능 시험을 위한 시나리오 구성

- 일렬의 과수에 대한 3차원 과원 맵 생성 및 재배 작업 포인트 지정
- RTK-GPS 좌표계 기반 일렬의 과수 위치측정 및 경로 생성
- 상위 제어기에서 작업할 다음 과수 위치로 모바일 이동 명령 및 모바일 로봇 이동
- 작업 타겟 지점으로 로봇 엔드 이펙터 이동을 위한 암 로봇, 엔드 이펙터 연동 동작
- 로봇 암의 전정 타겟 이동은 GPS 좌표계 기반으로, 적화 및 적과 타겟 이동은 3차원 과원 맵의 visual-SLAM 좌표계 기반으로 이동
- 해당 과수의 재배 작업 완료 후 다음 과수로 이동

##### ○ 재배 작업을 위한 통합 제어기 성능 시험

- 전정, 적화, 적과 작업에 대해 각각 통합 제어기 성능 시험 실시
- 계획 경로를 따라 모바일 로봇 이동 및 해당 작업 과수 위치에 정지 수행 확인
- 해당 작업 타겟 위치와 방향이 로봇 암 도달거리 안에 있거나 로봇의 역기구학의 해가 존재하는 자세면 로봇 암 이동 수행 확인
- 해당 과원의 일련의 대상 포인트 이동 완료 후 다음 과수로 이동 수행 확인

<통합 제어기 성능시험>

			
출발점에서 첫 번째 작업 대상 과수 위치로 이동	첫 번째 과수의 타겟 위치로 엔드 이펙터 이동 및 재배 작업	첫 번째 과수의 재배 작업 완료 후 다음 과수 위치로 이동	두 번째 과수의 타겟 위치로 엔드 이펙터 이동 및 재배 작업
			
두 번째 과수의 재배 작업 완료 후 다음 과수 위치로 이동	세 번째 과수의 타겟 위치로 엔드 이펙터 이동 및 재배 작업	세 번째 과수의 재배 작업 완료 후 종료 위치로 이동	종료 위치 도착 및 시스템 대기

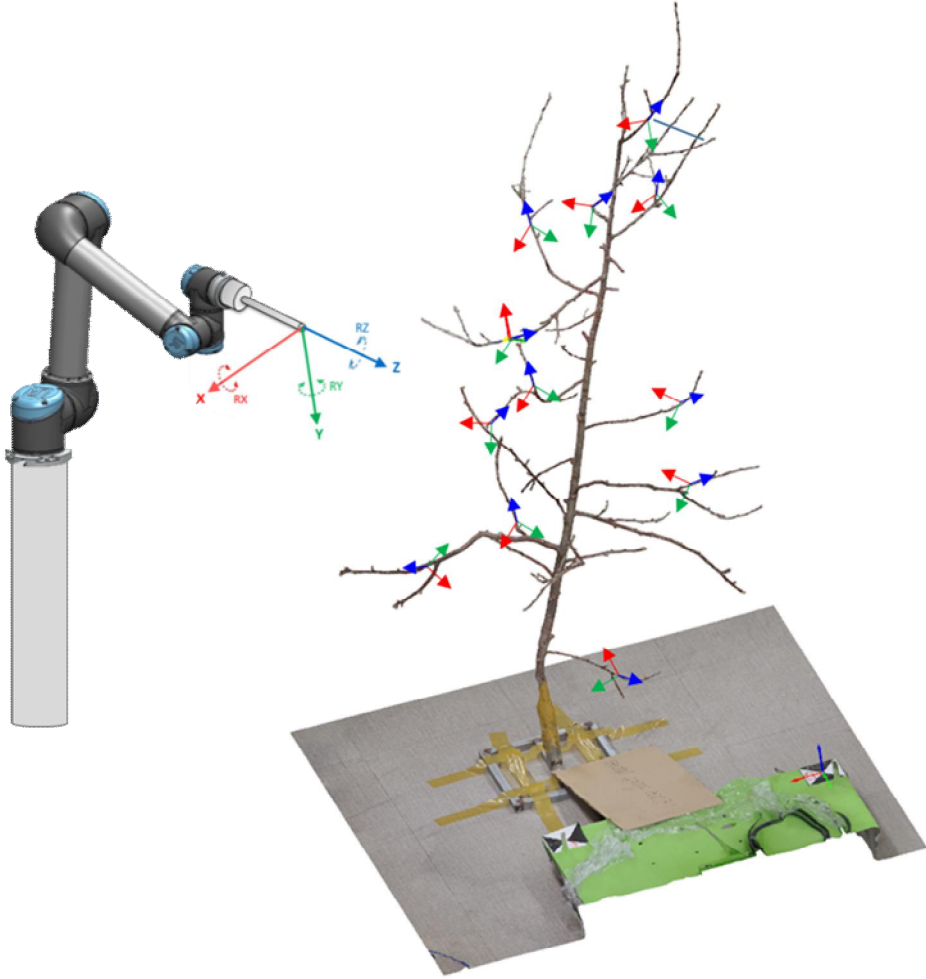
○ 다양한 과수원 환경에서의 통합 제어기 성능 시험

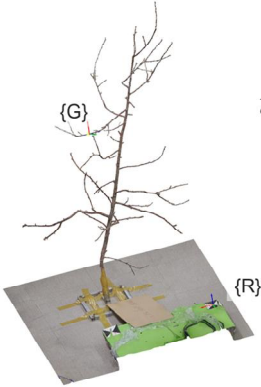
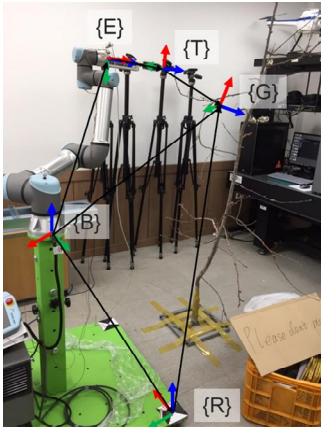


- 시험을 실시한 경남농업기술원 사과이용연구소 사과 포장은 다양한 사과 품종, 다양한 과수 형태, 다양한 이식 거리 등 연구개발 단계에서는 최적의 시험 조건을 갖추고 있음
- 하지만 포장의 경사도가 비교적 완만하고 과수 열간의 공간과 로봇 이동을 경계지의 공간도 비교적 충분하였음
- 최근 일반 농가에서도 이러한 조건으로 포장을 조성하고자 노력하고 있지만, 포장이 비교적 오래전에 조성된 농가는 로봇 운용에 있어서 여러 어려운 조건을 가지고 있음
- 따라서, 향후 사업화 단계에서는 평지와 산악지형에 위치한 다양한 농가에서 현장 실증을 실시하고자 함

□ 전체 시스템 및 엔드이펙터, 매니플레이터의 성능 평가

○ 매니플레이터/엔드이펙터 제어시스템 자체 평가

① 항목별 시험기준 및 방법

시험 항목	작업 오차	
1. 실험 방법		
① 모형 사과나무 가지에 작업 15개 이상의 작업 위치를 미리 정해 놓고 표시함		
② 엔드 이펙터가 각각의 작업 위치를 차례대로 도달하도록 매니플레이터를 동작함		
③ 1분 동안 총 도달해온 작업 위치를 횟수를 카운팅함		
2. 실험 예시		
		

시험 항목	작업 성능	
1. 시험 방법		
① 로봇 베이스에서 3차원 모델 기준 좌표를 거쳐 타겟 포인트까지의 좌표 변환 값을 계산함.		
② 로봇 베이스에서 엔드 이펙터를 거쳐 타겟 포인트까지의 좌표 변환 값을 측정함.		
③ 두 좌표 변환 값의 RMSE 오차를 계산함.		
2. 시험 예시		
	${}^R_G T = \begin{bmatrix} -0.0754 & -0.3490 & -0.9341 & 0.6187 \\ -0.3490 & 0.8868 & -0.3031 & -0.4187 \\ 0.9341 & 0.3031 & -0.1887 & 1.4001 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$	
		
	<pre>b_g_mat: [[ 0.349  0.8868  0.3031  0.8617]  [ 0.0754  0.349  0.9341 -0.2337]  [ 0.9341  0.3031 -0.1887  0.5751]  [ 0.      0.      0.      1.    ]]</pre>	
	<pre>b_t_mat: [[ -0.34950617  0.88625604 -0.30396655 -0.86146531]  [ 0.07534897  0.34996326  0.93372815 -0.23410833]  [ 0.93389933  0.30344018 -0.1890928  0.57497627]  [ 0.          0.          0.          1.          ]]</pre>	

② 시험 결과

Project	과수 재배관리용 로봇 개발	과제 책임자	이경환																			
실행부서	농업생산무인자동화연구센터	시험자	김우영																			
기간	23.0.8.23~23.08.24	제작업체	자체 제작																			
내용 요약	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>■ 시험 결과</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">평가항목</th> <th>단위</th> <th>목표치</th> <th>시험 결과치</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">매니플레이터/ 엔드이펙터 제어시스템</td> <td>작업 오차</td> <td>mm</td> <td>3</td> <td>1.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>작업 성능</td> <td>개/분</td> <td>15</td> <td>16</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> </div>					평가항목		단위	목표치	시험 결과치	비고	매니플레이터/ 엔드이펙터 제어시스템	작업 오차	mm	3	1.7		작업 성능	개/분	15	16	
	평가항목		단위	목표치	시험 결과치	비고																
매니플레이터/ 엔드이펙터 제어시스템	작업 오차	mm	3	1.7																		
	작업 성능	개/분	15	16																		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>■ 시험 결과 의견</p> <p>1. 작업 오차</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- RMSE 1.7 mm 확인함.</li> <li>- 목표치를 만족함.</li> </ul> <p>2. 작업 성능</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 분당 15개 이상 처리 확인함.</li> <li>- 목표치를 만족함.</li> </ul> </div>																						

○ 엔드이펙터(적과, 전정, 적화) 자체 평가

① 항목별 시험 현황

Project	과수 재배관리용 로봇 개발	과제책임자	이경환
실행부서	농업생산무인자동화연구센터	시험자	김우영
기간	23.0.8.23~23.08.24	제작업체	자체 제작
<b>내용 요약</b>	<p>■ 제품 개요 과수 재배 관리(전정, 적과, 적화)용 로봇 엔드 이펙터 개발 성능: 1. 전정용 - 30mm 이상 절단 능력, 80회/분 이상 절단 속도, 중량 1.0 kg 이하, IP65 2. 적과용 - 30mm 이상 절단 능력, 80회/분 이상 절단 속도, 중량 1.0 kg 이하, IP65 3. 적화용 - 2개/초 처리 속도, 중량 1.0 kg 이하, IP65</p> <p>■ 시험 결과</p> <p>1. 전정용 엔드 이펙터 - 30mm의 절단 능력을 확인하였음. - 분당 96회의 절단 속도를 확인하였음. - 중량은 0.791kg 측정됨. 중량 1.0 kg 이하임을 확인하였음. - IP 측정은 구조적으로 불가함.</p> <p>2. 적과용 엔드 이펙터 - 30mm의 절단 능력을 확인하였음. - 분당 96회의 절단 속도를 확인하였음. - 중량은 0.791kg 측정됨. 중량 1.0 kg 이하임을 확인하였음. - IP 측정은 구조적으로 불가함.</p> <p>3. 적화용 엔드 이펙터 - 초당 2개 처리 속도 확인하였음. - 중량은 0.975kg 측정됨. 중량 1.0 kg 이하임을 확인하였음. - IP 측정은 구조적으로 불가함.</p> <p>■ 시험 결과 의견</p> <p>1. 전정용 엔드 이펙터 - 30mm의 절단 능력을 확인함. - 96회/분 절단 속도로 목표치를 만족함. - 중량 기준을 만족함. - 열 발산 위해 내부가 개방된 모터를 사용하여 IP65 등급용 측정은 적합하지 않음.</p> <p>2. 적과용 엔드 이펙터 - 30mm의 절단 능력을 확인함. - 96회/분 절단 속도로 목표치를 만족함. - 중량 기준을 만족함. - 열 발산 위해 내부가 개방된 모터를 사용하여 IP65 등급용 측정은 적합하지 않음.</p> <p>3. 적화용 엔드 이펙터 - 초당 2개 처리 속도 확인하였음. - 중량 기준을 만족함. - 열 발산 위해 내부가 개방된 모터를 사용하여 IP65 등급용 측정은 적합하지 않음.</p>		

② 항목별 시험 결과

구분	시험 항목	단위	목표치	시험 결과치	시험방법	상세내용
엔드이펙터(전정)	절단 능력	mm	30	30	사과나무 가지 수직 단면적 방향으로 절단 시행	버니어 캘리퍼스로 사과나무 가지 단면적 두께 측정
	절단 속도	회/min	80	96	n번의 연속적인 단위 절단 동작 횟수 동안 걸리는 시간 측정	반복 절단 동작 횟수/걸린 시간
	중량	kg	1.0	0.791	전자저울로 중량 측정	전자저울 해상도 0.5g
	IP 등급	-	65	-	구조적 불가능	
엔드이펙터(적과)	절단 능력	mm	30	30	사과나무 가지 수직 단면적 방향으로 절단 시행	버니어 캘리퍼스로 사과나무 가지 단면적 두께 측정
	절단 속도	회/min	80	96	n번의 연속적인 단위 절단 동작 횟수 동안 걸리는 시간 측정	n번의 연속적인 단위 절단 동작 횟수 동안 걸리는 시간 측정
	중량	kg	1.0	0.791	전자저울로 중량 측정	전자저울 해상도 0.5g
	IP 등급	-	65	-	구조적 불가능	
엔드이펙터(적화)	처리 속도	개/sec	2	2	가지에 달린 n개의 꽃을 전부 제거까지 걸리는 시간 측정	제거한 꽃의 개수/걸린 시간
	중량	kg	1.0	0.975	전자저울로 중량 측정	전자저울 해상도 0.5g
	IP 등급	-	65	-	구조적 불가능	



○ 다관절 매니플레이터 인증 평가

- 동작범위, 반복정밀도, 최대속도, 스트로크 항목에 대한 자체평가 실시
- 스트로크 항목은 설계 레이아웃의 기구적인 수치로 대신함

매니플레이터 신뢰성시험 성적서



1. 시험 현황

PROJECT	과수 재배관리용 로봇 개발	과제 PL	최병삼 책임
실행부서	연구소	Model 명	ETC-CRR
개발기간	'20.2 ~ '21.3	과제등급	등급외
시험기간	21.02.25 ~ 21.02.26	시 료 수	1대
시험자	조 민 수	제작업체	사내 제작
내용요약	<p>■ 제품개요 :</p> <p>모바일 로봇에 탑재되어 재배관리 작업을 수행할 수 있는 2종류 이상의 농업환경 전용 매니플레이터 개발</p> <p>성능 : 매니플레이터 작업오차 3mm이내, 작업성능 15개/분 이상</p> <p>■ 시험결과 :</p> <p>6축 끝단에 가만하중 5kg를 부착 후 전 축 구동하여 반복정밀도를 특정 지점에서 실제 거리 ±2mm이내로 수렴하는 것을 확인하였음.</p>		
판 정	적합	비 고	-

<다관절 매니플레이터 신뢰성시험 자체평가 성적서(1)>

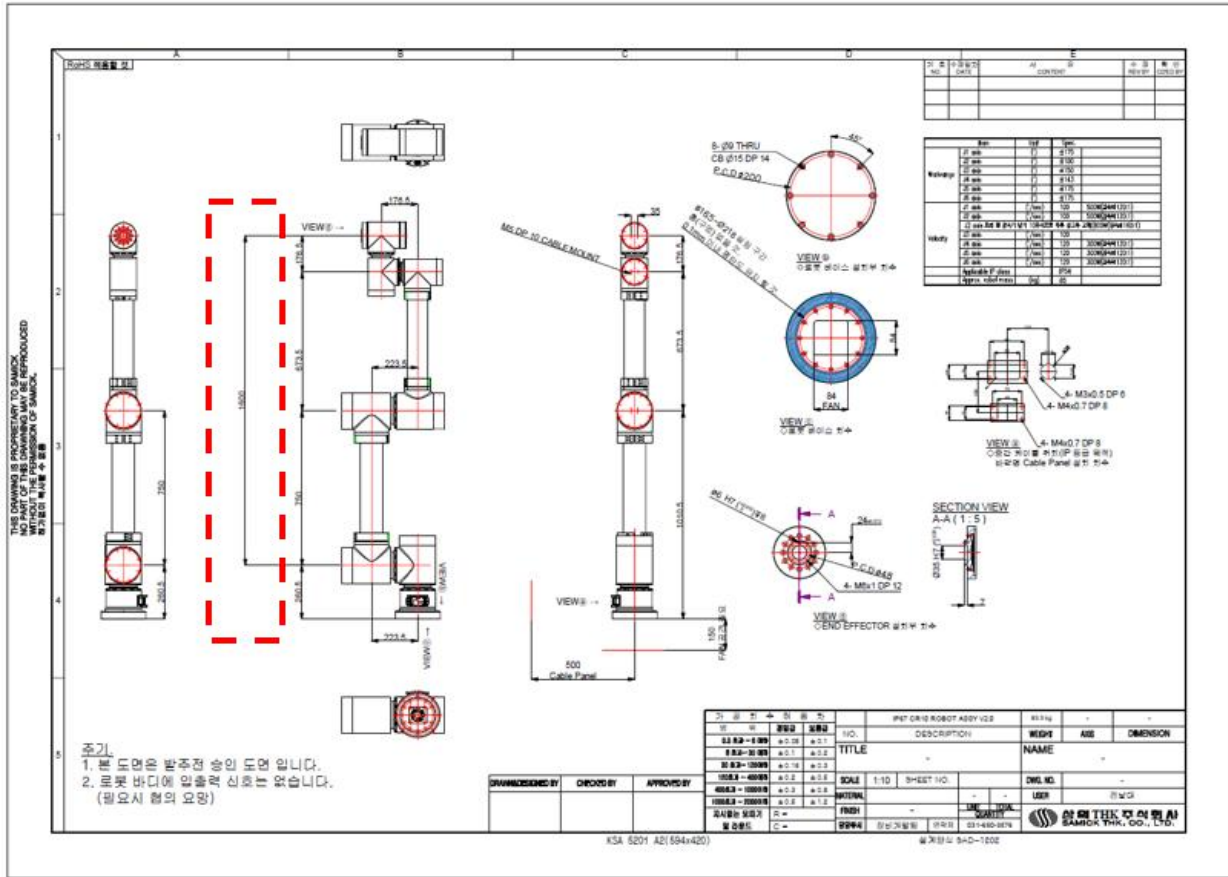


## 2. 신뢰성 시험 세부내역(가반하중 5kg)

### ■ ETC - CRR IP65 TYPE 최대 성능표

구분	시험 항목	시험 결과		시험방법	상세내용
		결과치			
일반 기 /성능	동작영역	J1 : ±180°	모터 측정	엔코더 기반	축 별 구동하여 티칭팬 던트를 통한 실시간 모터 엔코더 좌 표 값 확인
		J2 : ±100°			
		J3 : ±150°			
		J4 : ±180°			
		J5 : ±180°			
		J6 : ±270°			
	최대 동작속도 (조인트 구동)	J1 : 100 deg/sec	속도 기준 경로 프 로파일 모터 구동 엔코더 값을 측정	속도 기준으로 경로 프 로파일 생성 후 드 라이브에 전달하여 모터 구동 엔코더 값 을 확인	
		J2 : 93 deg/sec			
		J3 : 100 deg/sec			
		J4 : 120 deg/sec			
		J5 : 120 deg/sec			
		J6 : 120 deg/sec			
	반복정밀도	±0.078mm	6축 엔드포인트 X,Y,Z 측정	레이저 변위 센서 (정밀도 ±1μm)	
	각축 부하실험 (Torque)	J1: 151.2%	모터 구동 최대 전 류 값 측정	드라이브 전류측정 기능 이용	
		J2: 204.4%			
		J3: 168.6%			
		J4: 83.8%			
		J5: 63.3%			
J6: 51.2%					
점검 항목	감속기 누유 확인 (Long Run 후 점검)	누유 없음 (전 축)	관절 부위 확인	유관 확인	
	Long Run 후 Bolt 체결력 점검	플럼현상 없음.	관절 연결 부위 볼 트 확인	육각 슛 렌치로 확인	

<다관절 매니플레이터 신뢰성시험 자체평가 성적서(2)>



<다관절 매니플레이터 레이아웃>



#### (4) 과수 환경에서의 현장 성능시험 및 활용성 증대방안 협의

##### □ 해외 대학 및 기업과의 상호협력 논의

##### ○ 캘리포니아 농업 및 과수 작물의 현황 조사

- 캘리포니아주는 미국 농업의 중심으로 미국 전체 과일, 채소 생산량의 30% 이상을 차지하며, 약 250개 이상의 품목이 재배되고 있음. 특히 센트럴밸리는 캘리포니아의 농업의 중심지로 주 식량 생산의 3분의 1 이상을 차지하고 있음
- 센트럴밸리에서는 주로 아몬드, 피스타치오 등 견과류와 과일이 재배되며, 과수원은 비교적 평지에 과수열 사이의 거리도 충분하여 로봇 운용을 위한 지형적 여건이 갖추어져 있음. 다만 구획이 대단위이므로 로봇 운용을 위한 에너지 및 농자재 충전, 대형 바이오매스 작물에 의한 GPS 신호 손실 등은 충분히 고려되어야 함
- 센트럴밸리에 위치한 UC Merced는 University of California 계열 중에 가장 최근에 조성된 대학으로 공학계열 학과들이 주를 이루지만 첨단 농업기술 개발을 위해 기계공학과를 중심으로 농업용 인공지능, 로봇 관련 연구가 활발히 진행되고 있음
- 특히, 아몬드, 올리브, 피스타치오 등 견과류 생산 자동화, IoT 기반의 정밀 과원관리 등의 연구를 주도하고 있는 기계공학과 Reza Ehsani 교수와 협력을 통해 개발 모바일 로봇의 캘리포니아 농업 환경에서의 운용 가능성을 타진해 보고자 함

##### ○ 캘리포니아 주요 작물 과수원에서의 전동형 모바일 플랫폼의 자율주행 시험 및 개선방안 협의

- 개발 모바일 로봇을 캘리포니아 머세드 지역의 피스타치오 과수원에서 주행 시험을 실시함. 비교적 평지인 과수원에서 과수 열사이로 주행하는데는 큰문제 없었으며 자율주행 성능도 대략 10cm 이하의 오차를 유지하며 주행됨
- 다만 작물의 바이오매스가 커 터널을 이루는 곳에서는 GPS 신호가 손실되어 자율주행이 원활히 진행되지 않았음. 또한, 강한 햇빛으로 인해 제어기, 컴퓨터 등의 오작동이 가끔 있었으며, 낮은 토양 수분으로 인해 많은 먼지가 발생하여 모터, 제어기 등의 내구성 확보를 고민할 필요가 있었음



<캘리포니아 Merced 지역의 피스타치오 과수원 테스트 환경>

##### ○ 캘리포니아 주요 작물 과수원에서의 전동형 모바일 플랫폼의 자율주행 성능시험 및 활용성 증대방안 협의

- 모바일 로봇의 다양한 활용성을 고려하고자 모바일 로봇에 메뉴플레이터를 장착하여 주행성능 및 적화, 전정 등 농작업의 가능성을 시험함
- 모바일 로봇은 메뉴플레이터를 탑재하고도 평지에서는 문제없이 주행하였지만 모바일 로봇의 상판을 들어올려 메뉴플레이터의 작업위치를 상향시켰을때는 로봇 전도 등 안전성 문제가 발생할 수 있을 것으로 판단되었음
- 과수가 높고 바이오매스가 큰 작물에서는 과수의 최상단 위치에 도달하는데 한계가 있었으며, 과수열 사이도 좁아 로봇 주행 및 농작업 수행이 원활하지 못했음
- 과수의 특성에 맞추어 모바일 로봇의 축고 및 메뉴플레이터의 작동 범위를 선정할 필요가 있으며, 과수원이 대구획이라는 점을 고려하여 배터리 용량 등도 좀더 여유 있는 용량으로 선정할 필요가 있었음

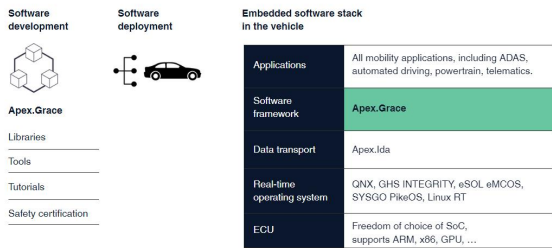


<매뉴플레이터 장착 및 성능 시험>

○ 미국 실리콘벨리의 Apex.AI 기업 방문하여 상호협력 논의

- 개발 모바일 로봇의 미국, 유럽 등 선진국으로의 수출을 위해 로봇 운용의 안정성, 확장성이 요구됨. 이에 실리콘벨리의 첨단 기업과의 협력을 통해 기술 고도화를 꾀하고자 함
- Apex.AI 기업은 로봇 오퍼레이팅 시스템 (ROS, Robot Operating System)에 기반하여 모바일 로봇의 확장 가능한 소프트웨어를 개발 공급하고 있음
- 개발 로봇이 다양한 농업환경에서 안정적인 임무 수행을 위해 Apex.AI와 협력하기로 함

**Apex.Grace abstracts the complexity of underlying components away from the application developer.**



<Apex. AI 방문 및 상호협력 논의>

○ 미국 실리콘벨리의 Anello Photonics 기업 방문하여 상호협력 논의

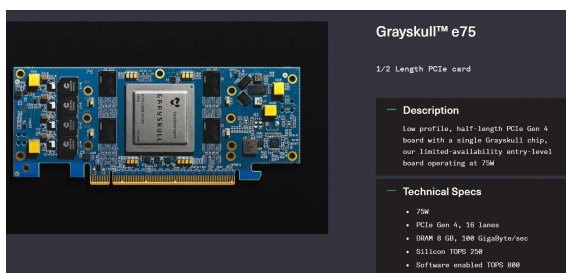
- 노지 환경에서 모바일 로봇의 농작업 성능 향상을 위해서는 정확한 위치정보 획득이 필수이며, GPS 정보가 수신되지 않더라도 지속적으로 임무 수행을 할 수 있어야 함
- Anello Photonics 기업은 광섬유 자이로스코프 센서를 이용하여 INS을 구성함으로써 외부 노이즈에 의한 영향을 최소화하면서 위치 및 자세 정확도 향상을 꾀함
- Anello Photonics로부터 제품을 공급받아 시험할 예정이며, 추가적인 기술지원과 함께 상호협력 방안을 논의하기로 함



<Anello Photonics 방문 및 상호협력 논의>

○ 미국 실리콘벨리의 Tenstorrent 기업 방문하여 상호협력 논의

- 다중의 카메라로부터 과수원 3차원 모델을 구현하고 과수와 과일을 분석하여 구체적인 특성을 인지하기 위해서 여러 인공지능 모델이 요구됨
- Tenstorrent는 반도체 칩 설계 표준 집합인 리스크파이브를 활용해 AI 반도체와 서버용 반도체를 개발하고 있는 기업임
- Tenstorrent로부터 AI 반도체 평가용 칩을 제공받아 인공지능 모델을 시험할 예정이며, 추가적인 기술지원과 함께 상호협력 방안을 논의하기로 함



<Tenstorrent 방문 및 상호협력 논의>

○ 미국 워싱턴 주립대학교의 정밀농업자동화 연구센터와 상호협력 논의

- 미국 워싱턴주는 미국 내 사과 주산지이며 사과 외의 포도, 체리 등 다양한 과일을 생산하고 있으며, 미국의 대표적인 농업 지역임. 과수원 스마트팜을 위한 인공지능, 로봇 관련 다양한 연구를 진행하고 있음
- 대학의 정밀농업자동화 연구센터는 과수원 스마트팜을 위한 인공지능, 로봇 관련 연구를 활발히 진행하고 있으며, 최근에 농업용 인공지능 및 IoT 연구를 위한 대형 연구 과제를 수주함
- 향후 정밀농업자동화 연구센터와 협력을 통해 사과 수확 및 전정 로봇, 인공지능 기반의 과원 정밀관리 등 분야에서 협력하기로 함



<미국 워싱턴 주립 대학교 정밀농업자동화 연구센터 방문 및 상호협력 논의>

## 나. 위탁연구개발기관(제노테크)

### (1) 과수원 환경에서의 재배관리 대상체 인지 시스템의 성능시험 및 개선

#### □ 적화, 적과, 전정 대상체 인식 성능시험 및 개선

##### ○ 적화 대상체 인식 알고리즘 설계 및 개발

- 적화 대상체 인식을 위한 알고리즘 및 프로그램 설계



<영상을 통한 적화 대상체 인식을 위한 대쉬보드>

##### ○ 적화 인식용 Pre-trained Model의 설계를 위한 DataSet 구축

```

In [5]: 1 from bs4 import BeautifulSoup
        2
        3 import numpy as np
        4 import requests
        5 import cv2
        6 import PIL_image
        7 import urllib
        8
        9 page = requests.get("http://image-net.org/api/text/imagenet.synset.geturls?word=07739125")
        10 soup = BeautifulSoup(page.content, 'html.parser')
        11 str_soup = str(soup)
        12 split_urls = str_soup.split('\n')
        13
        14 print(len(split_urls))
        15 print(split_urls[0])
        16
        17 http://farm2.static.flickr.com/1363/123087342_2b4c7569f.jpg

In [6]: 1 def url_download(urls, path, prefix):
        2     idx = 0
        3
        4     for url in urls:
        5         resp = urllib.request.urlopen(url)
        6         try:
        7             image = np.asarray(bytearray(resp.read()), dtype="uint8")
        8             image = cv2.imdecode(image, cv2.IMREAD_COLOR)
        9
        10             if(len(image.shape) == 3):
        11                 print(url)
        12
        13                 idx += 1
        14                 save_path = path + '/' + prefix + str(idx) + '.jpg'
        15                 cv2.imwrite(save_path, image)
        16             except:
        17                 None

In [7]: 1 url_download(split_urls, 'imageNet', 'apple')
        2 http://farm2.static.flickr.com/1363/123087342_2b4c7569f.jpg
        3 http://farm1.static.flickr.com/91/207747002_39c25403e.jpg
        4 http://farm2.static.flickr.com/1435/120085454_30fa975fd.jpg
        5 http://farm1.static.flickr.com/66/263170989_5a9f35685e.jpg
        6 http://farm3.static.flickr.com/2406/225064536_e9812b45d.jpg
        7 http://farm1.static.flickr.com/109/3099009f_0d3a44c9e.jpg
        8 http://farm1.static.flickr.com/137/32366676_9743f3e17.jpg
        9 http://farm3.static.flickr.com/2031/205057936_0c359308e.jpg
        10 http://farm3.static.flickr.com/2359/222090503_4ba2a3f35.jpg
        11 http://farm4.static.flickr.com/3071/2762294293_0d6eef03f9.jpg
        12 http://farm1.static.flickr.com/190/42814900c_90e49a2e5.jpg
        13 http://farm1.static.flickr.com/116/272961235_8c3a481cf.jpg
        14 http://farm1.static.flickr.com/129/48663888_aa7d37c75.jpg
        15 http://farm3.static.flickr.com/2110/2104917997_2aaa89e0d1.jpg
        16 http://farm4.static.flickr.com/3246/2360061827_2f70af00f5.jpg
        17 http://farm4.static.flickr.com/2106/230006f44_807c18479e.jpg
        18 http://farm2.static.flickr.com/86/27466329_3bc05e6f65.jpg
        19 http://farm2.static.flickr.com/1336/1377795493_3e445a62e.jpg
        20 http://farm1.static.flickr.com/29/53088203_7aa21ab1c.jpg
    
```

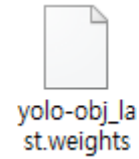
<파이썬을 활용하여 ImageNet에서 사과 이미지를 다운로드 하는 과정>

- ImageNet은 WordNet 계층 구조에 따라 구성된 이미지 데이터 셋임
- WordNet의 개념은 여러 단어 또는 단어 구문으로 설명될 수 있으며, “동의어 세트” 또는 “동의어”라고 함





Type	Filters	Size/Stride	Output
Convolutional	32	3 × 3	224 × 224
Maxpool		2 × 2/2	112 × 112
Convolutional	64	3 × 3	112 × 112
Maxpool		2 × 2/2	56 × 56
Convolutional	128	3 × 3	56 × 56
Convolutional	64	1 × 1	56 × 56
Convolutional	128	3 × 3	56 × 56
Maxpool		2 × 2/2	28 × 28
Convolutional	256	3 × 3	28 × 28
Convolutional	128	1 × 1	28 × 28
Convolutional	256	3 × 3	28 × 28
Maxpool		2 × 2/2	14 × 14
Convolutional	512	3 × 3	14 × 14
Convolutional	256	1 × 1	14 × 14
Convolutional	512	3 × 3	14 × 14
Convolutional	256	1 × 1	14 × 14
Convolutional	512	3 × 3	14 × 14
Maxpool		2 × 2/2	7 × 7
Convolutional	1024	3 × 3	7 × 7
Convolutional	512	1 × 1	7 × 7
Convolutional	1024	3 × 3	7 × 7
Convolutional	512	1 × 1	7 × 7
Convolutional	1024	3 × 3	7 × 7
Convolutional	1000	1 × 1	7 × 7
Avgpool		Global	1000
Softmax			



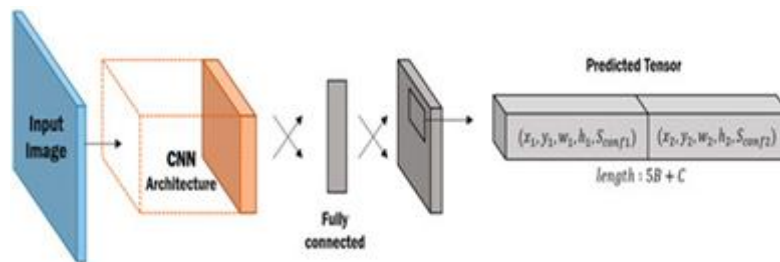
- 유형 : WEIGHTS 파일
- 크기 : 255MB

<Convolution Layer>

<WEIGHTS 파일 생성>

- 위 왼쪽 그림은 “YOLOv2” 의 중추로 사용되는 Convolution Neural Network이며,
- 위 오른쪽 그림은 지도 학습 결과 yolo-obj\_last.weights 파일의 생성 모습임

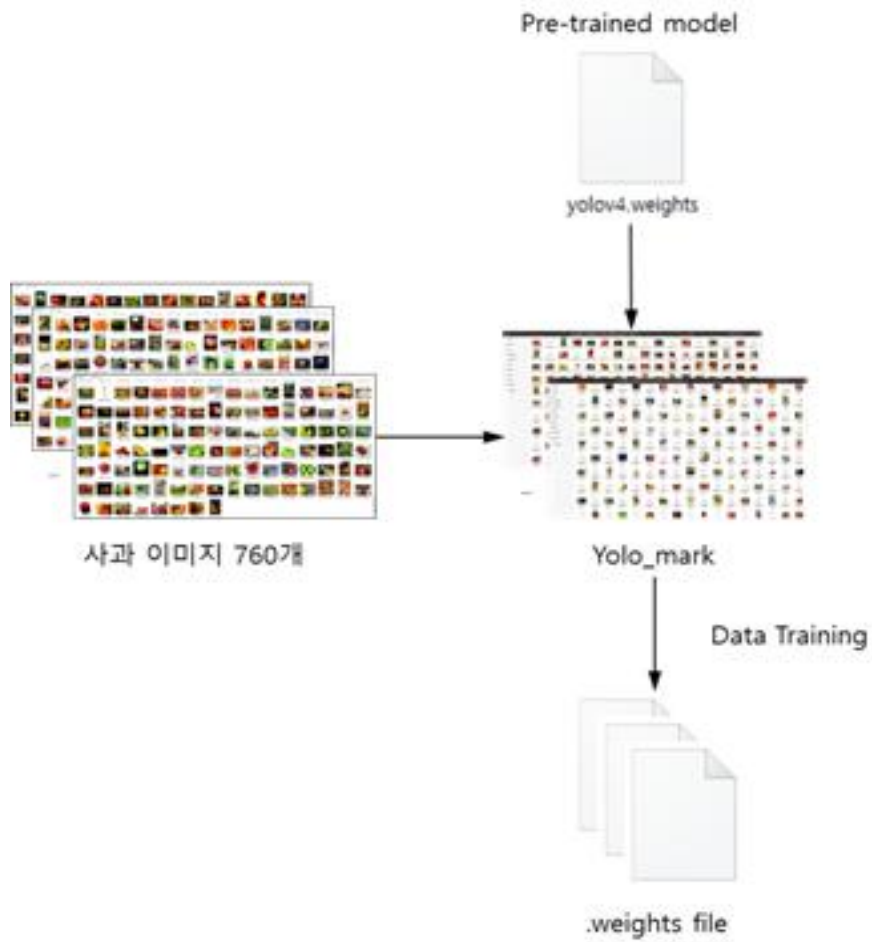
○ 적화 인식을 위한 Pre-trained Model의 구현



Type	Filters	Size	Output
Convolutional	32	3 × 3	256 × 256
Convolutional	64	3 × 3 / 2	128 × 128
Convolutional	32	1 × 1	
Convolutional	64	3 × 3	
Residual			128 × 128
Convolutional	128	3 × 3 / 2	64 × 64
Convolutional	64	1 × 1	
Convolutional	128	3 × 3	
Residual			64 × 64
Convolutional	256	3 × 3 / 2	32 × 32
Convolutional	128	1 × 1	
Convolutional	256	3 × 3	
Residual			32 × 32
Convolutional	512	3 × 3 / 2	16 × 16
Convolutional	256	1 × 1	
Convolutional	512	3 × 3	
Residual			16 × 16
Convolutional	1024	3 × 3 / 2	8 × 8
Convolutional	512	1 × 1	
Convolutional	1024	3 × 3	
Residual			8 × 8
Avgpool		Global	
Connected		1000	
Softmax			

<CSPDarknet53 모델>

- CSPDarknet53 모델은 Darknet-53을 사용하는 객체 탐지를 위한 컨볼루션 신경망임
- CSPNet 전략을 사용하여 기본 계층의 기능 맵을 두 부분으로 분할한 다음 교차 단계 계층 구조를 통해 병합
- YOLOv4 의 중추로 사용함
- yolov4.weights Pre-trained model을 사용하여 사과 이미지를 Transfer Learning함



<yolo\_mark를 실행하는 과정>

- 사과 이미지 760개를 Yolo\_mark하여 사전 학습된 yolov4.weight 가중치 파일과 함께 다시 훈련



➤ Guide-task 모델 및 Glue-Code



➤ Glue Code 및 Sub-task 모델



➤ 전정 대상체 탐지 성능 향상을 위한 통합 모델



<대상체 탐지 성능 향상을 위한 통합 모듈 테스트 실행결과>

○ 적과, 전정, 적과 대상체 인식을 성능 테스트

(가) 시험 결과 종합

① 시험 결과 및 연차별 성과 목표

구분	단위	연차별 목표			성능 평가 결과
		1차년도	2차년도	3차년도	
적화 대상체 인식률	%	70	80	90	91.2% / 충족
전정 대상체 인식률	%	-	80	90	92.0% / 충족
적과 대상체 인식률	%	-	80	90	91.8% / 충족
인식 시간	sec	5	4	3	0.013 / 충족

② 시험 결과 의견

- 적화, 전정, 적과 대상체 인식률 89%~92% 범위로 인식에 문제점 없음
- 인식률을 판정하기 위해 Recall 지표를 사용함

Recall	Positive 샘플 중 분류 모델이 Positive로 판정한 비율
--------	---------------------------------------

- 인식 시간은 13.45ms~13.678ms 범위로, 인식 시간이 평균 0.013sec로 확인됨

(나) 항목별 시험데이터 및 시험결과

① 적화 대상체 인식률

```

genoc@lgeno03: ~/project_kkabull/darknet-2020-12-21/darknet-master$ ./darknet det
nms_kind: greedy (1), beta = 0.600000
Total BFLOPS 59.570
avg_outputs = 489910
Allocate additional workspace_size = 52.43 MB
Loading weights from backup/af/af_final.weights...
seen 64, trained: 256 K-images (4 Kilo-batches_64)
Done! Loaded 162 layers from weights-file

calculation mAP (mean average precision)...
Detection layer: 139 - type = 28
Detection layer: 150 - type = 28
Detection layer: 161 - type = 28
60
detections_count = 422, unique_truth_count = 372
class_id = 0, name = buds, ap = 80.04% (TP = 216, FP = 35)
class_id = 1, name = flowers, ap = 94.42% (TP = 117, FP = 7)

for conf_thresh = 0.25, precision = 0.89, recall = 0.90, F1-score = 0.89
for conf_thresh = 0.25, TP = 333, FP = 42, FN = 39, average IoU = 61.37 %

IoU threshold = 50 %, used Area-Under-Curve for each unique Recall
mean average precision (mAP@0.50) = 0.872292, or 87.23 %
Total Detection Time: 0 Seconds

Set -points flag:
'-points 101' for MS COCO
'-points 11' for PascalVOC 2007 (uncomment 'difficult' in voc.data)
'-points 0' (AUC) for ImageNet, PascalVOC 2010-2012, your custom dataset
genoc@lgeno03:~/project_kkabull/darknet-2020-12-21/darknet-master$ ./darknet det
ector map data/obj_af.data cfg/af.cfg backup/af/af_final.weights[]
    
```

<적화 대상체 출력 데이터>

- 적화 대상체 인식률 시험 20번 실행 결과는 아래 표와 같다
- recall값의 평균은 0.912로, 평균 인식률은 91.2%이며 목표치를 충족함을 확인함

Experiment #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test type	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3
recall	0.9	0.91	0.91	0.9	0.92	0.91	0.9	0.9	0.91	0.92
prediction time(milli-second)	13.45	13.496	13.516	13.493	13.502	13.467	13.619	13.707	13.533	13.646
prediction time(sec)	0.01345	0.0135	0.01352	0.01349	0.0135	0.01347	0.01362	0.01371	0.01353	0.01365
Experiment #	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Test type	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5
recall	0.93	0.91	0.92	0.9	0.93	0.93	0.9	0.92	0.91	0.91
prediction time(milli-second)	13.636	13.664	13.707	13.677	13.547	13.681	13.675	13.628	13.708	13.651
prediction time(sec)	0.01364	0.01366	0.01371	0.01368	0.01355	0.01368	0.01368	0.01363	0.01371	0.01365

② 전정 대상체 인식률

```

genoc@lgeno03: ~/project_kkabuli/darknet-2020-12-21/dark...
[yolo] params: iou loss: ciou (4), iou_norm: 0.07, obj_norm: 1.00, cls_norm: 1.00, delta_norm: 1.00, scale_x_y: 1.05
nms_kind: greedy (1), beta = 0.600000
Total BFLOPS 59.563
avg_outputs = 489778
Allocate additional workspace_size = 52.43 MB
Loading weights from backup/branch/branch_final.weights...
seen 64, trained: 128 K-images (2 Kilo-batches_64)
Done! Loaded 162 layers from weights-file

calculation mAP (mean average precision)...
Detection layer: 139 - type = 28
Detection layer: 150 - type = 28
Detection layer: 161 - type = 28
60
detections_count = 256, unique_truth_count = 119
class_id = 0, name = branch, ap = 90.57% (TP = 111, FP = 12)

for conf_thresh = 0.25, precision = 0.90, recall = 0.93, F1-score = 0.92
for conf_thresh = 0.25, TP = 111, FP = 12, FN = 8, average IoU = 64.20 %

IoU threshold = 50 %, used Area-Under-Curve for each unique Recall
mean average precision (mAP@0.50) = 0.905733, or 90.57 %
Total Detection Time: 1 Seconds

Set -points flag:
'-points 101' for MS COCO
'-points 11' for PascalVOC 2007 (uncomment 'difficult' in voc.data)
'-points 0' (AUC) for ImageNet, PascalVOC 2010-2012, your custom dataset
genoc@lgeno03:~/project_kkabuli/darknet-2020-12-21/darknet-master$ ./darknet detector map data/obj_branch.data cfg/branch.cfg backup/branch/branch_final.weights

```

<전정 대상체 출력 데이터>

- 전정 대상체 인식률 시험 20번 실행 결과는 아래 표와 같다
- recall값의 평균은 0.920으로, 평균 인식률은 92.0%이며 목표치를 충족함을 확인함

Experiment #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test type	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3
recall	0.93	0.92	0.91	0.93	0.93	0.93	0.91	0.92	0.93	0.9
prediction time(milli-seconds)	13.591	13.665	13.712	13.666	13.62	13.801	13.639	13.632	13.648	13.7
prediction time(sec)	0.013591	0.013665	0.013712	0.013666	0.01362	0.013801	0.013639	0.013632	0.013648	0.0137
Experiment #	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Test type	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5
recall	0.9	0.91	0.93	0.92	0.93	0.92	0.92	0.93	0.91	0.92
prediction time(milli-seconds)	13.706	13.596	13.768	13.552	13.635	13.641	13.618	13.679	13.75	13.595
prediction time(sec)	0.013706	0.013596	0.013768	0.013552	0.013635	0.013641	0.013618	0.013679	0.01375	0.013595

③ 적과 대상체 인식을

```

genoc@lgeno03: ~/project_kkabuli/darknet-2020-12-21/dark...
0, delta_norm: 1.00, scale_x_y: 1.05
nms_kind: greedy_nms (1), beta = 0.600000
Total BFLOPS 59.563
avg_outputs = 489778
Allocate additional workspace_size = 52.43 MB
Loading weights from backup/apple/apple_final.weights...
seen 64, trained: 128 K-images (2 Kilo-batches_64)
Done! Loaded 162 layers from weights-file

calculation mAP (mean average precision)...
Detection layer: 139 - type = 28
Detection layer: 150 - type = 28
Detection layer: 161 - type = 28
196
detections_count = 346, unique_truth_count = 233
class_id = 0, name = apple, ap = 93.39% (TP = 215, FP = 19)

for conf_thresh = 0.25, precision = 0.92, recall = 0.92, F1-score = 0.92
for conf_thresh = 0.25, TP = 215, FP = 19, FN = 18, average IoU = 78.99 %

IoU threshold = 50 %, used Area-Under-Curve for each unique Recall
mean average precision (mAP@0.50) = 0.933897, or 93.39 %
Total Detection Time: 2 Seconds

Set -points flag:
`-points 101` for MS COCO
`-points 11` for PascalVOC 2007 (uncomment `difficult` in voc.data)
`-points 0` (AUC) for ImageNet, PascalVOC 2010-2012, your custom dataset
genoc@lgeno03:~/project_kkabuli/darknet-2020-12-21/darknet-master$ ./darknet det
ector map data/obj_apple.data cfg/apple.cfg backup/apple/apple_final.weights

```

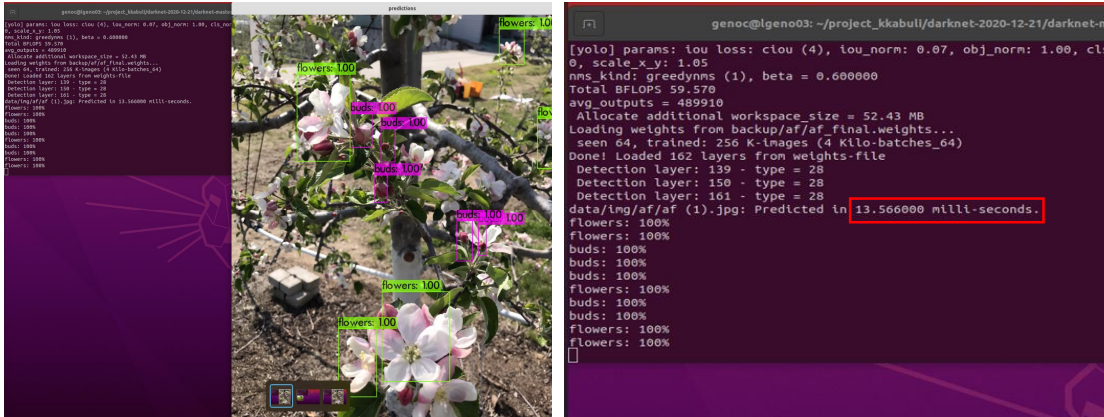
<적과 대상체 출력 데이터>

- 전과 대상체 인식을 시험 20번 실행 결과는 아래 표와 같다
- recall값의 평균은 0.918로, 평균 인식률은 91.8%이며 목표치를 충족함을 확인함

Experiment #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test type	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3
recall	0.92	0.92	0.9	0.91	0.92	0.91	0.92	0.92	0.92	0.91
prediction time(milli-seconds)	13.687	13.744	13.612	13.73	14.018	13.785	13.93	13.866	13.36	13.866
prediction time(sec)	0.013687	0.013744	0.013612	0.01373	0.014018	0.013785	0.01393	0.013866	0.01336	0.013866
Experiment #	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Test type	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5
recall	0.92	0.93	0.91	0.92	0.91	0.93	0.92	0.93	0.92	0.92
prediction time(milli-seconds)	13.77	13.683	13.73	13.821	13.746	13.8	13.74	13.821	13.7750	13.723
prediction time(sec)	0.01377	0.013683	0.01373	0.013821	0.013746	0.0138	0.01374	0.013821	0.013775	0.013723



#### ④ 적화 대상체 인식시간



<적화 대상체 출력 데이터 (2)>

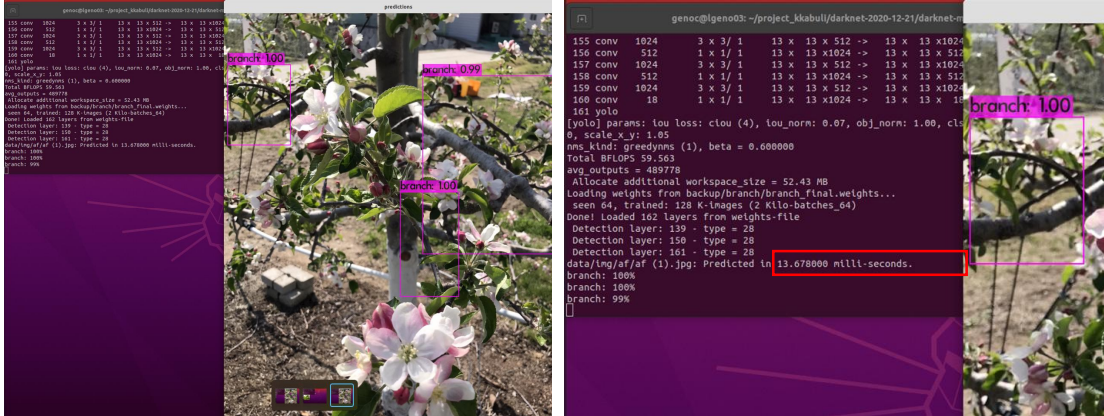
- 위 사진과 같이 인식 시간이 13.566milli-seconds(0.013566sec)으로 확인되었음
- 본 테스트를 57번 진행한 결과에 대한 인식시간 그래프는 아래 그래프와 같다



<적화 대상체 인식시간 그래프>

- 최소 인식시간 12.781milli-seconds(0.012781sec), 최대 인식시간 13.855milli-seconds(0.013855sec)으로 확인되었음
- 적화 대상체 해당 평균 인식시간은 13.61189milli-seconds(0.01361189sec)으로 확인되었음

### ⑤ 전정 대상체 인식시간



<전정 대상체 출력 데이터(2)>

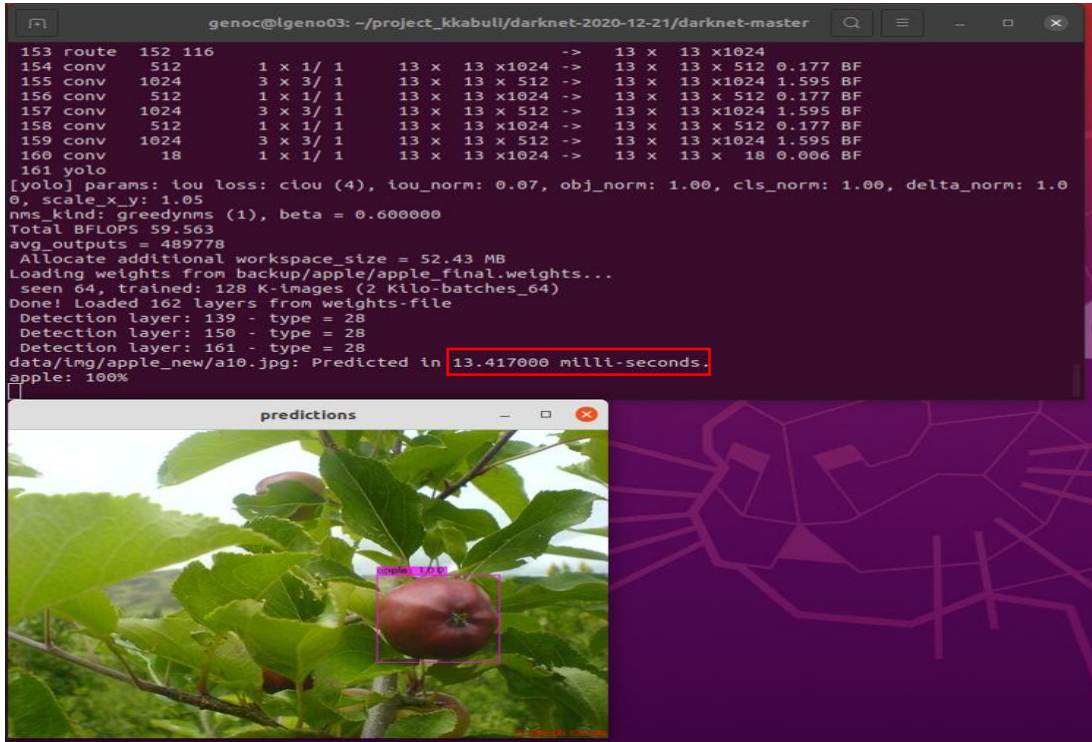
- 위 사진과 같이 인식 시간이 13.678milli-seconds(0.013678sec)으로 확인되었음
- 본 테스트를 57번 진행한 결과에 대한 인식시간 그래프는 아래 그림과 같다.



<전정 대상체 인식시간 그래프>

- 최소 인식시간 13.102milli-seconds(0.013102sec), 최대 인식시간 13.801milli-seconds(0.013801sec)으로 확인되었음
- 적화 대상체 해당 평균 인식시간은 13.65104milli-seconds(0.01365104sec)으로 확인되었음

⑥ 적과 대상체 인식시간



<적과 대상체 출력 데이터(2)>

- 위 사진과 같이 인식 시간이 13.417milli-seconds(0.013417sec)으로 확인되었음
- 본 테스트를 196번 진행한 결과에 대한 인식시간 그래프는 아래 그림과 같다



<적과 대상체 인식시간 그래프>

- 최소 인식시간 12.836milli-seconds(0.012836sec), 최대 인식시간 14.018milli-seconds(0.014018sec)으로 확인되었음
- 적화 대상체 해당 평균 인식시간은 13.73753milli-seconds(0.01373753sec)으로 확인되었음

다. 위탁연구개발기관(경남농업기술원 사과이용연구소)

(1) 과수원 환경에서의 현장 성능시험 및 활용성 증대방안 협의

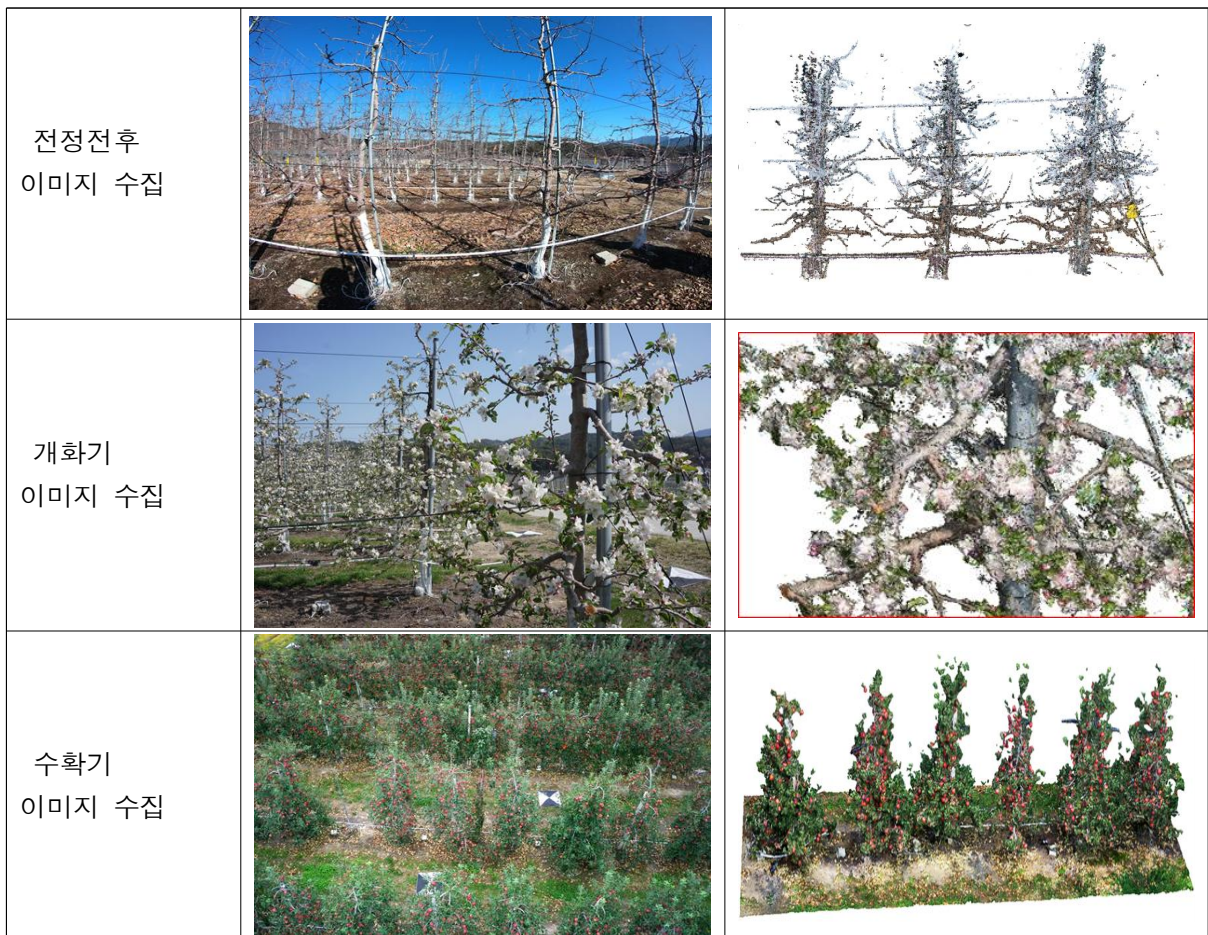
□ 사과 수형별 시험포장 준비

○ 사과재배 수형별 로봇활용을 위한 생산특성 분석

- 인공지능을 활용하기 위한 수형별 생육단계 이미지 촬영 및 생산량 분석



<수형별 테스트 베드 제공 >



<과원 이미지 및 생육단계 이미지 분석>

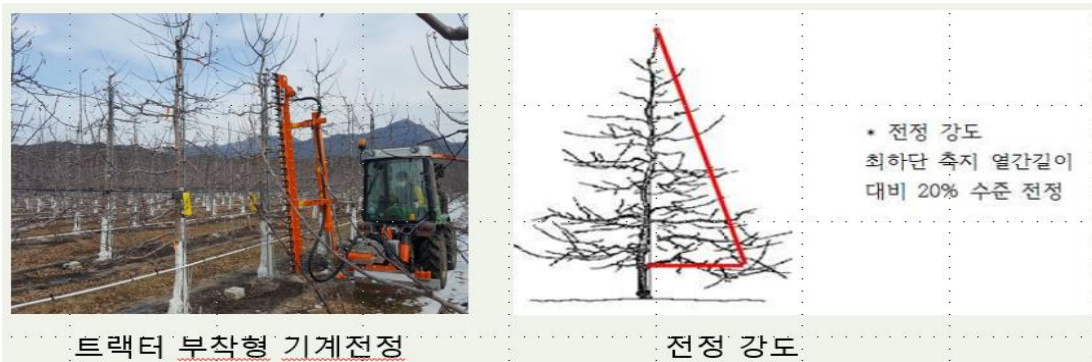
<2020년 수형별 수량특성 분석>

구 분	세장방추형		나리따형		솔렉스형		팔매트형	
	'19	'20	'19	'20	'19	'20	'19	'20
수량(kg/주)	22.7	33.2	29.6	36.9	34.0	40.1	32.6	32.5
상품과 수(개/주)	71	107	84	107	105	127	97	101
평균과중(g)	320	309	351	345	324	315	340	320
상품과율(%)	87.8	78.3	92.1	90.0	88.7	85.9	89.9	83.6

□ 사과 수형별 시험포장에서 개발 로봇의 성능 테스트 및 개선방안 협의

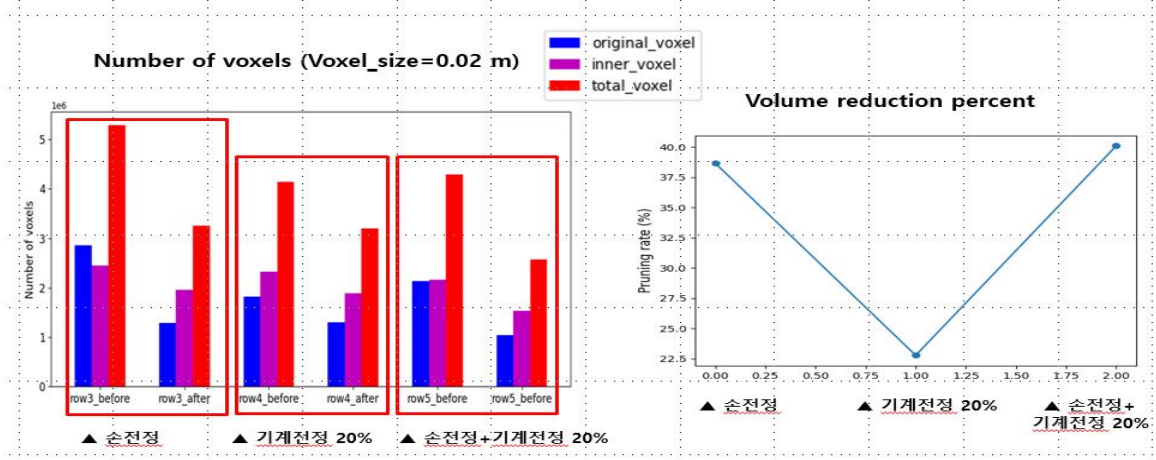
○ 인력 전정과 단순 기계전정·적화 기술의 로봇 응용 가능성 협의

- 인력 전정과 기계전정 기술 비교를 통한 로봇 활용 방법
  - 트랙터 부착형 기계전정 기술은 인력에 의한 꽃눈 관찰을 하지 않고 일정한 거리에서 외형적으로 수관의 용적을 줄이는 방법임
  - 수형에 구성을 위한 동계 전정시 트랙터 부착형 기계전정은 인력전정보다 소요시간 98% 감소
  - 하지만 안정적 착과 관리와 가지의 배치를 바르게 하기 위한 손전정이 필요
  - 과수작업용 로봇을 활용한 전정에 있어 전정가위의 크기 및 작업속도에 대한 고려 필요



<트랙터 부착형 기계전정 방법>

- Biomass Volume Estimation using Voxelization of 3D Apple Tree Model



<동계전정 전·후 체적의 변화(주관과제 책임자의 이미지 분석기술 적용)>

<동계전정 소요시간(시간/10a)>

구 분	3.5×2.0m	3.5×1.5m	3.5×1.0m
손전정	16시간 55분	23시간 57분	30시간 51분
손전정+기계전정 20%	19시간 12분	23시간 35분	21시간 29분
기계전정 20%	34분	36분	34분

<하계전정 소요시간(시간/10a)>

구 분	3.5×2.0m	3.5×1.5m	3.5×1.0m
손전정	12시간 57분	11시간 38분	18시간 50분
손전정+기계전정 20%	7시간 43분	15시간 11분	16시간 2분
기계전정 20%	7시간	10시간 49분	13시간 24분

\* 하계전정 시 모든 처리구는 손전정으로 실시하였음

<동·하계전정량(kg/10a)>

구 분	3.5×2.0m		3.5×1.5m		3.5×1.0m	
	동계	하계	동계	하계	동계	하계
손전정	213	61.2	209	39.2	256.5	43.2
손전정+기계전정 20%	161	34.6	399	58.3	256.5	41.8
기계전정 20%	99.4	26.8	171	35.4	114	28.7

### ○ 기계적화 기술을 활용한 로봇 응용 방법

- 사과 재배과정에서 인력이 가장 많이 소요되는 작업일정은 적화 및 적과 작업임
- 사과재배 전체 작업일정 적화 및 적과 작업 비율을 23% 정도이고 외부 인력의 수요가 많고 사과 품질향상을 위해 빠른 시간내 이루어져야 되는 작업임
- 적화·적과를 위해 로봇을 활용하는 부분에 있어서 로봇팔의 정밀한 움직임 보다는 일정거리에서 물리적으로 타격을 주는 단순한 작업 방법이 필요



- 적화량은 트랙터의 속도 및 적화기 회전속도에 비례
- 적화기의 회전 속도는 50~500rpm 가능 범위
- 꽃의 개화 정도에 따라 사용방법의 차이가 있음
- 사과 품종에 따라 꽃의 탈리 반응의 차이로 사용법 다름
- 회전기의 타격줄이 실리콘 재질로 일부 마모가 심함

<트랙트 부착형 기계적화기>

<‘후지’ 품종 적화기 회전속도에 따른 화총 수 및 꽃 수(개/측지)>

재식거리(m)/ 회전속도(rpm)	적화 처리 전	적화 처리 후			
	총 화총 수 (개/측지)	남은 화총 수 (개/측지)	남은 화총 비율(%)	남은 꽃 수 비율(%)	
3.5×2.0	170	24.5	20.0	81.6	81.5
	200	19.9	16.2	81.4	74.4
	230	19.2	12.6	65.6	62.4
	260	23.1	12.3	53.2	55.8
	300	21.8	10.0	45.8	52.2

<‘후지’ 품종 기계적화 소요시간 및 1차 적과 소요시간(시간/10a)>

구 분	3.5×2.0m				
	170rpm	200rpm	230rpm	260rpm	300rpm
기계적화 소요시간	13분	12분	12분	12분	11분
1차 적과 소요시간	35시간 30분	19시간 22분	19시간 6분	16시간 59분	15시간 39분

<테스트 베드에서 수형별 생육 및 수량 특성>

수형	년도	주간직경 (cm)	차이 (cm)	수확량 (개/주)	차이 (개/주)	평균 과중(g)	차이 (g/개)
세장방추형	2020	7.5	0.7	178	34	316.3	-14.8
	2021	8.2		212		301.5	
솔렉스형	2020	6.7	1.1	173	60	311.6	-26.0
	2021	7.8		233		285.6	
팔매트	2020	6.2	0.6	208	-54	309.6	-32.0
	2021	6.8		154		277.6	

□ 다축수형에서 성능테스트 및 활용성 증대방안 협의

○ 과수작업 로봇활용성이 높은 단순한 과원 체계

- 단순하면서 높은 작업효율성, 관리에 있어 단순한 규칙 적용, 기계화에 적합, 로봇활용
- 농지, 토지, 비료, 농약, 에너지 등은 제한적이거나 더욱 비싸지고 농촌 인력의 고령화와 인건비의 지속적 상승에 생산의 한계 도달
- 노동과 자원 투입은 줄이고 기계화와 자동화율은 높여야 지속적인 사과산업 가능
- 사과의 다축재배는 2차원 평면 사과원으로 단순한 작업으로 노동효율성이 높과 수관 구성과 유지결신관리가 단순화 되어 기계투입이 용이한 재배체계이며 특히 미래 로봇 투입가능한 생산성 높은 새로운 과원 체계임



다축형 4축



다축형 6축



다축형 8축



구왓형

<미래형 사과 다축수형>



<작업용 로봇의 테스트 베드에서 현장성능 시험 >

<다축 수형에 따른 과중과 과중별 수확수>

수 형	평균과중 (g)	과중별 수확수(개/주)			
		167~213g	214~249g	250~374g	
다축	4축	266.0	14.6	9.6	11.8
	6축	282.9	13	16	24
	8축	278.5	12.8	11.8	14.4
구왓	구왓1	270.1	9.8	9.4	9.4
	구왓2	293.1	5.4	12.2	35.2



라. 위탁연구개발기관(유원시스템)

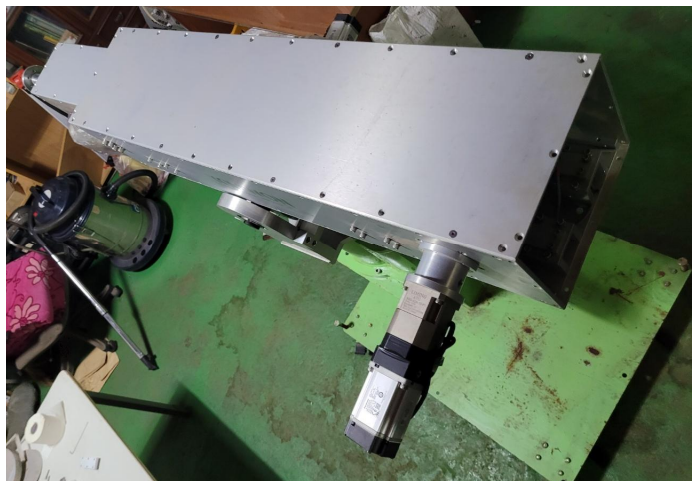
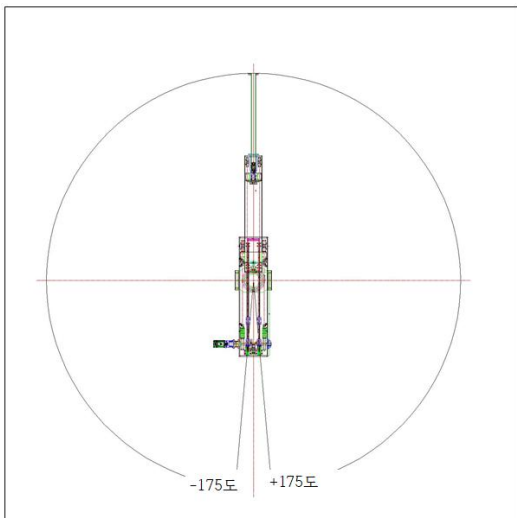
1) 텔레스코픽형 매니플레이터 성능 시험

(1) 항목별 시험기준 및 방법

□ 동작범위

① J1 동작범위

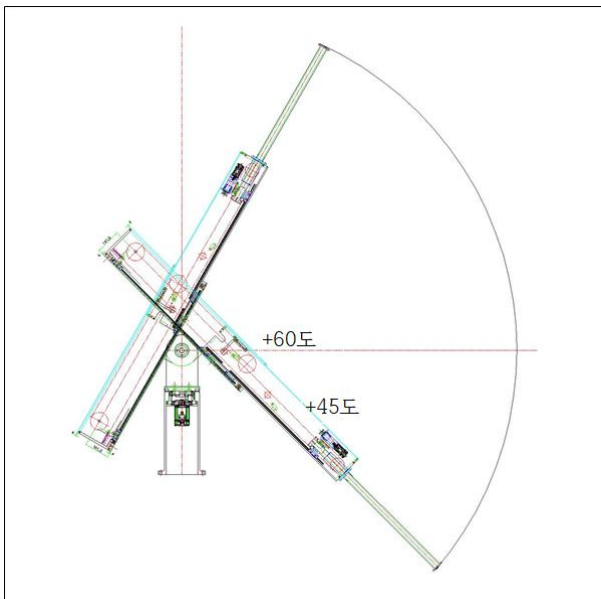
시험 항목	J1 동작 범위	
<p>가. 목 적</p> <p>1축의 좌우 이동구간을 확정하고, 판정하기 위함.</p> <p>나. 사용조건</p> <p>1) 일반조건</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- POWER ON 조건</li> </ul> <p>2) 환경조건</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상온, 상습 조건</li> </ul> <p>3) 설비 및 치구</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 레이저거리측정기,</li> </ul> <p>다. 시험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무부하 상태에서 초기 원점위치로 이동시킨 후 대기상태를 유지시킨다.</li> <li>- 좌측방향으로 작동시켜 175도 부분에 설치된 레이저 측정 장치에서 거리를 확인, 각도를 확인한다.</li> <li>- 우측방향으로 동일하게 작동시켜 거리를 확인하여 각도를 측정한다.</li> <li>- 동일한 방법으로 10회 측정한다.</li> </ul> <p>라. 판정기준</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 거리환산에 의한 각도측정</li> </ul>		



<J1축 동작 범위>

② J2 동작범위

시험 항목	J2 동작 범위	
<p>가. 목 적 2축의 상하 이동구간을 확정하고, 판정하기 위함.</p> <p>나. 사용조건</p> <p>1) 일반조건 - POWER ON 조건</p> <p>2) 환경조건 - 상온, 상습 조건</p> <p>3) 설비 및 치구 - 레이저거리측정기,</p> <p>다. 시험 방법</p> <p>- 무부하 상태에서 초기 원점위치로 이동시킨 후 대기상태를 유지시킨다.</p> <p>- 정면 수평방향으로 작동시켜 0도 부분에 설치된 레이저 측정 장치에서 거리를 확인, 각도를 확인하고 대기한다.</p> <p>- 상부방향으로 60도를 이동하여 상부에 설치된 레이저 측정 장치에서 거리를 확인, 각도를 특정하고, 대기한다.</p> <p>- 다시 정면수평방향으로 작동시켜 대기한다.</p> <p>- 하부방향으로 45도를 이동하여 상부에 설치된 레이저 측정 장치에서 거리를 확인, 각도를 특정하고, 대기한다.</p> <p>- 동일한 방법으로 10회 측정한다.</p> <p>라. 판정기준</p> <p>- 거리환산에 의한 각도 확인 및 판정</p>		



<J2축 동작 범위>

③ J3 동작범위, 스트로크

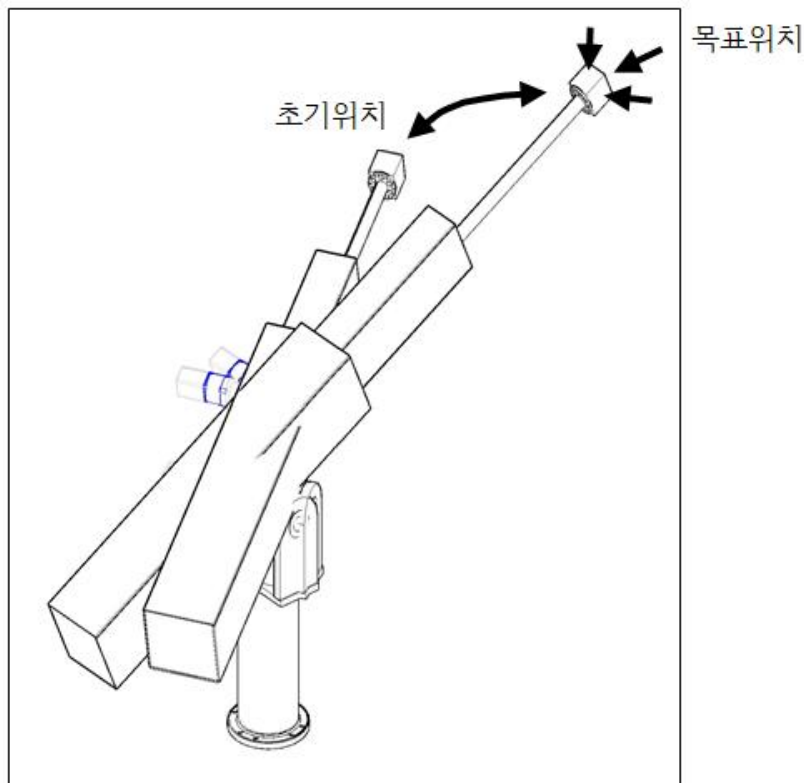
시험 항목	J3 동작 범위	
<p>가. 목 적 3축의 텔레스코픽 이동구간을 확정하고, 판정하기 위함.</p> <p>나. 사용조건</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 일반조건           <ul style="list-style-type: none"> <li>- POWER ON 조건</li> </ul> </li> <li>2) 환경조건           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상온, 상습 조건</li> </ul> </li> <li>3) 설비 및 치구           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 레이저거리측정기,</li> </ul> </li> </ol> <p>다. 시험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 부하상태에서 초기 원점위치로 이동시킨 후 대기상태를 유지시킨다.</li> <li>- 정면 수평방향으로 작동시켜 0도 부분에 설치된 레이저 측정 장치에서 거리를 확인 ,각도를 확인하고 대기한다.</li> <li>- 수평방향으로 J3모터를 작동시켜 600(mm)지점에 위치한 리미트 스위치의 작동을 확인하고, 대기한다.</li> <li>- 부하가 설치된 끝점에서 레이저 측정 장치의 거리를 확인한다.</li> <li>- 동일한 방법으로 10회 측정한다.</li> </ul> <p>라. 판정기준</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 거리환산에 의한 위치 확인 및 판정</li> </ul>		

④ J4 동작범위

시험 항목	J4 동작 범위	
<p>가. 목 적 4축의 회전을 확인하고, 판정하기 위함.</p> <p>나. 사용조건</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 일반조건           <ul style="list-style-type: none"> <li>- POWER ON 조건</li> </ul> </li> <li>2) 환경조건           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상온, 상습 조건</li> </ul> </li> <li>3) 설비 및 치구           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 레이저거리측정기,</li> </ul> </li> </ol> <p>다. 시험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 부하상태에서 초기 원점위치로 이동 시킨 후 대기상태를 유지시킨다.</li> <li>- J4원점위치에서 J4모터를 왼쪽으로 작동시켜 175도 위치에서 정지하고, 대기한다.</li> <li>- 부하가 설치된 끝점에서 레이저 측정 장치의 거리를 확인한다.</li> <li>- J4원점위치에서 J4모터를 오른쪽으로 작동시켜 175도 위치에서 정지하고, 대기한다.</li> <li>- 부하가 설치된 끝점에서 레이저 측정 장치의 거리를 확인한다.</li> <li>- 동일한 방법으로 10회 측정한다.</li> </ul> <p>라. 판정기준</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 끝점에서 거리환산에 의한 거리측정으로 위치확인</li> </ul>		

□ 반복위치정밀도 측정

시험 항목	반복위치정밀도	
<p>가. 목 적                      로봇의 위치 정밀도가 지속적이고, 반복적으로 유지되는 지의 여부를 확인하고, 판정하기 위함.</p> <p>나. 사용조건                      1) 일반조건                      - POWER ON 조건</p> <p>2) 환경조건                      - 상온, 상습 조건</p> <p>3) 설비 및 치구                      - 레이저거리측정기, 목표위치측정 전용지그(x,y,z축 각축설정)</p> <p>다. 시험 방법                      - 부하상태에서 초기 원점위치로 이동시킨 후 대기상태를 유지시킨다.                      - 티칭펜던트를 이용하여 초기위치를 교시하여 초기위치에서 정지하고, 대기한다.                      - 두 번째 위치를 교시하여 목표위치를 지정한다.                      - 로봇을 초기위치에서 목표위치를 이동하도록 지령을 작동시킨다.                      - 동일한 방법으로 10회 측정한다.</p> <p>라. 판정기준                      - 끝점에서 거리환산에 의한 거리측정으로 정지위치 차이확인</p>		



<반복정밀도 초기위치 및 목표위치 개념도>

□ 최대속도

시험 항목	최대속도 시험
<p>가. 목적 로봇의 텔레스코픽 부위의 작동속도를 유지하는지의 여부를 확인하고, 판정하기 위함.</p> <p>나. 사용조건</p> <p>1) 일반조건 - POWER ON 조건</p> <p>2) 환경조건 - 상온, 상습 조건</p> <p>3) 설비 및 치구 - 1/100초 STOP WATCH, 목표위치측정 전용지그(x,y,z축 각축설정)</p> <p>다. 시험 방법</p> <p>- 부하상태에서 초기 원점위치로 이동시킨 후 대기상태를 유지시킨다.</p> <p>- J3 초기위치를 교시하여 초기위치에서 정지하고, 대기한다.</p> <p>- 두 번째 위치를 교시하여 목표위치를 지정한다.</p> <p>- 로봇을 초기위치에서 목표위치를 고속으로 이동하도록 지령을 작동시키고, STOP WATCH를 이용하여 시간을 측정 한다.</p> <p>- 동일한 방법으로 10회 측정한다.</p> <p>라. 판정기준</p> <p>- 끝점에서 거리측정값과 측정시간을 이용하여 최대속도 확인</p>	

(3) 시험 결과 종합

□ 시험 결과

NO	시험 항목	단위	개발목표	측정결과	비고
1	J1	도	±175	±175	
	J2	도	±100	±105(상60/하45)	
	J3	mm	1,200	1,200	
	J4	도	±175	±175	
2	반복정밀도	mm	2	1.75	
3	최대속도	mm/sec	1,000	1,115	
4	스트로크	mm	1,200	1,200	동작범위 J3와 동일
5	IP 등급		65	-	구조적 불가능

□ 시험 결과 의견

- ① J1의 경우 좌우 이동에 문제점 없었음.
- ② J2의 경우 한쪽방향만 동작범위를 만족하였으며, 상부로 60도 하부로 45도를 이동하였음. J1이 180도 회전하면 “-“방향을 만족 할 수 있어, 전체 동작범위에는 만족하기 때문에 적합하다고 판단됨
- ③ J3는 telescopic 동작을 구현하는 부위로서 3축의 600(mm)이동으로 4축이 60(mm)를 추가 이동하여 1,200(mm)를 이동하는 구조임
- ④ J4는 독립적으로 회전하는 구조로서 좌우측으로 175도를 선회하였음
- ⑤ 반복정밀도는 비접촉식 레이저빔 측정기를 x축, y축, z축에 설치하여 측정값의 변화량을 측정하였으며, 10회 측정하여 측정값이 개발목표에 적합하였음
- ⑥ 최대속도는 telescopic축의 이동거리를 스톱위치의 작동에 의하여 속도를 측정하였으며, 개발목표치에 적당함
- ⑦ telescopic축의 스트로크는 축의 이동거리로써 telescopic 구조의 기구적 작동이 원활하였음
- ⑧ IP등급은 TELESCOPIC구조를 구현하는 구조가 LINEAR BEARING을 적용하여 SLIDING을 하는 구조인 관계로 IP구조에 반영이 적합하지 않아서 개발과정에서 반영하지 않았음

## 마. 공동연구개발기관(엘앤에스)

### (1) 과수원 환경에서의 현장 성능시험 및 개선

#### ○ 리프트 높이별 매니플레이터 동작에 따른 수평유지 및 안정성 성능시험 및 개선

- 실제 작업 환경과 유사한 환경에서의 성능 테스트 실시
- 테스트 필드 : 경상남도 농업기술원 사과이용연구소 (경남 거창군 소재)



<테스트 필드 전경>



<테스트 필드에서의 성능 테스트>


#### ○ 모바일 플랫폼과 요소 장치와의 통합 성능 시험 및 개선

- 우천시 및 습한 환경에서 작업환경 극복을 위한 모터 구동부 방수 및 방진 등급확보
- 다양한 농지환경에서 작업 및 주행 가능하도록 안전성 및 성능 확보
- 구동부(모터/기어박스) IP54등급 이상임을 인증 (인증기관 : 헬스케어로봇실증센터, 광주광역시 소재)
- 추후 사업화 단계에서 배터리, 구동부, 제어부 등 전체 시스템에 대한 적정 IP 인증 추진 예정



<인증 기관 및 해당 구동부>

## 시험 성적서



(재)광주테크노파크  
주소: 광주광역시 북구 삼수로 270번길 25  
전화: 062)602-8604 팩스: 062)602-8730  
http://www.gjtp.or.kr/

성적서번호 : GTLED-23-31  
페이지 ( 1 ) / ( 총 4 )

1. 의뢰자  
기관명 : 엘앤에스㈜  
주소 : 광주광역시 광산구 진곡산단 3번로 41-27
2. 시료명 : 모터 기어박스 ASSY
3. 수량 : 2개
4. 시험일자 : 2023.02.14.~2023.02.15.
5. 시험방법 : 의뢰자제시방법
6. 시험장소 :  고정시험실  현장시험  
(주소 : 광주광역시 북구 삼수로 270번길 25)
7. 시험환경 : 온도 : ( 20.8 ± 0.1 ) °C, 습도 : ( 35 ± 2 ) % R.H., 기압 : ( 1 019 ± 3 ) hPa
8. 시험결과 : 불입 시험결과 참조

※ 이 성적서의 시험결과에는 시험의뢰인에 의해 제공된 시료에 한한다.

확인

작성자  
성명 : 김다혜

의뢰자  
성명 : 노기영

의뢰인  
성명 : 김다혜

2023. 03. 02.

### (재)광주테크노파크원장 (인)

※ 본 성적서의 진위확인이 필요하신 경우, Tel. 062-602-8604으로 연락주시면 확인하여 드립니다.

GTLED-TP-22-02(08)

## 시험 결과

성적서번호 : GTLED-23-31

1. 시험방법 : 의뢰자제시방법
  - 1.1 시험항목 및 사용 장비



시험 항목	사용 장비 (모델명)	제조사 (국가)
방수방진시험	IP시험기(SWT1600)	㈜주호테크(대한민국)
	DC Motor(24V 1500W)	MOTION TECHNOLOGY ELECTRIC & MACHINERY CO.,LTD (대만)
	Hypoid gearbox(TKM48B)	ZHEJIANG TONGYU VARIABLE-SPEED MACHINERY CO.,LTD (중국)

- 1.2. 시험 절차
  - 1.2.1 시험 전 시료의 상태를 확인한다.
  - 1.2.2 표 1.의 시험 조건에 따라 방수방진 시험을 진행한다.
  - 1.2.3 시험 후 시료에 DC Motor와 Hypoid gearbox를 연결하여 구동 여부를 육안으로 확인한다.

표 1. 시험 조건

시험 항목	시험 조건(KS C IEC 60529, IP54 참조)
방진시험	먼지 챔버에서 8시간
방수시험	수직에서 ±90°로 단위 구멍당 0.07 L/min ±5 % 분무

- 1.3 시험모습

시험항목	방진시험	방수시험
시료명		
모터 기어박스 ASSY		

- 다음 장에 계속 -

GTLED-TP-22-02(08)

페이지 ( 2 ) / ( 총 4 )



## 시험 결과

성적서번호 : GTLED-23-31



2. 시험 결과
  - 2.1 방수방진 시험 결과

시료명	시험결과	
	방진시험	구동확인
모터 기어박스 ASSY	방수시험	구동확인

- 2.2 방진 시험 후 사진

시료명	방진시험	
	시험 전	시험 후
모터 기어박스 ASSY		

- 2.3 방수 시험 후 사진

시료명	방수시험	
	시험 전	시험 후
모터 기어박스 ASSY		

- 다음 장에 계속 -

GTLED-TP-22-02(08)

페이지 ( 3 ) / ( 총 4 )

## 시험 결과

성적서번호 : GTLED-23-31

3. 시료 사진




그림1. 모터 기어박스 ASSY

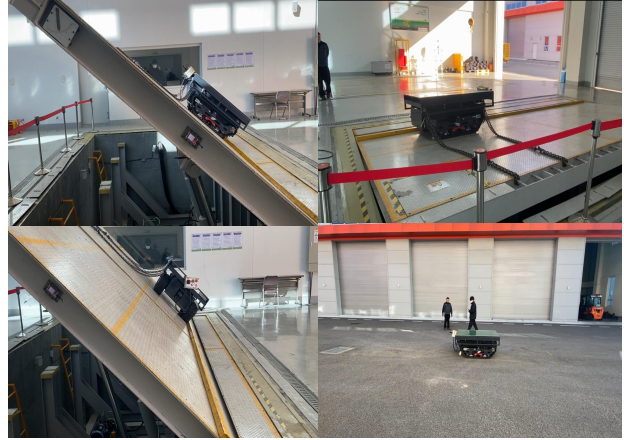
※ 시험은 KS Q ISO/IEC 17025와 KOLAS 인정과 관련된 시험결과입니다.

- 끝 -

GTLED-TP-22-02(08)

페이지 ( 4 ) / ( 총 4 )

- 플랫폼 작업 적합성 검인증
- 최대 상승 높이, 작업속도, 적재하중, 전도방지 최대 측방각 항목 등에 대한 검인증 실시
- 인증기관 : 한국농업기술진흥원(전북 익산시 소재)



<한국농업기술진흥원- 성능테스트>

제 M-22-01752호

### 농업기계 성능시험 성적서

1. 신청인  
 가. 성명 : 정승현  
 나. 사업자등록번호 : 410-86-45756  
 다. 주소 : 광주광역시 광산구 진곡산단3번로 41-27 (진곡동)  
 라. 상호 : 엘엔에스(주)

2. 시험 용도의 제품  
 가. 기종명 : 레도형 운반플랫폼  
 나. 형식명 : LNS-OC700  
 다. 형식 및 규격 : 전동기식, 적재중량 700 kg

3. 시험번호 : 22-KOATMP-874

4. 시험성적 : 불입

「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제4조 제2항에 따라 시험 신청한 기태에 대한 성능시험 성적입니다.

2023년 01월 16일

한국농업기술진흥원의 장

22-KOATMP-874

### 시험 성적

1. 기종명 : 레도형 운반플랫폼  
 2. 시험번호 : 22-KOATMP-874  
 3. 형식명 : LNS-OC700  
 4. 형식 : 전동기식  
 5. 규격 : 적재중량 700 kg  
 6. 시험성적

6.1 구조  
 6.1.1 기체의 크기

· 길이	1 505 mm
· 폭	1 030 mm
· 높이	645 mm
· 중량	582 kg

6.2 성능시험  
 6.2.1 최대상승높이 확인시험

시험조건

· 적재중량	0 kg(공차상태)
--------	------------

시험성적

· 작업대 최저상승높이	645 mm
· 작업대 최저상승높이	1 530 mm

7. 시험제품 개요  
 본 기태는 전동기식 레도형 운반플랫폼으로 적재중량은 700 kg 임

8. 시험결과  
 본 시험성적은 「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제5조제2항의 규정에 따라 실시한 성능시험 성적으로 신청자와 협의하여 정한 시험방법으로 실시되었음

선임연구원 유재현 | 연구원 조재근

<최대 상승 높이 시험성적서>



### 농업기계 성능시험 성적서

#### 1. 신청인

- 가. 성명 : 정승현
- 나. 사업자등록번호(법인등록번호) : 410-86-45756(200111-0310626)
- 다. 주소 : 광주광역시 광산구 진곡산단3번로 41-27 (진곡동)
- 라. 상호 : 엘엔에스(주)

#### 2. 시험 용도의 제품

- 가. 기종명 : 케도형 운반플랫폼
- 나. 형식명 : LNS-OC700
- 다. 형식 및 규격 : 전동기식, 적재중량 700 kg

#### 3. 시험번호 : 23-KOATMP-043

#### 4. 시험성적 : 붙임

「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제4조 제2항에 따라 시험 신청한 기대에 대한 성능시험 성적입니다.

2023년 03월 22일

한국농업기술진흥원의 장



### 시험 성적

- 1. 기종명 : 케도형 운반플랫폼
- 2. 시험번호 : 23-KOATMP-043
- 3. 형식명 : LNS-OC700
- 4. 형식 : 전동기식
- 5. 규격 : 적재중량 700 kg
- 6. 시험성적



#### 6.1 구조

6.1.1 기체의 크기	
· 길이	1 505 mm
· 폭	1 030 mm
· 높이	645 mm
· 중량	682 kg

#### 6.2 성능시험

6.2.1 주행시험	
시험조건	
· 시험노면	아스팔트
· 적재중량	0 kg(공차상태)

#### 시험성적

· 최고주행속도	
진전	6.3 km/h

#### 7. 시험제품 개요

본 기대는 전동기식 케도형 운반플랫폼으로 적재중량은 700 kg 임

#### 8. 시험결과

본 시험성적은 「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제5조 제2항의 규정에 따라 실시한 성능시험 성적으로 신청자와 협의하여 정한 시험방법으로 실시되었음

시험연구원 유재철 | 연구원 조재근

### 농업기계 성능시험 성적서

#### 1. 신청인

- 가. 성명 : 정승현
- 나. 사업자등록번호(법인등록번호) : 410-86-45756(200111-0310626)
- 다. 주소 : 광주광역시 광산구 진곡산단3번로 41-27 (진곡동)
- 라. 상호 : 엘엔에스(주)

#### 2. 시험 용도의 제품

- 가. 기종명 : 케도형 운반플랫폼
- 나. 형식명 : LNS-OC700
- 다. 형식 및 규격 : 전동기식, 적재중량 700 kg

#### 3. 시험번호 : 23-KOATMP-044

#### 4. 시험성적 : 붙임

「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제4조 제2항에 따라 시험 신청한 기대에 대한 성능시험 성적입니다.

2023년 03월 22일

한국농업기술진흥원의 장



### 시험 성적

- 1. 기종명 : 케도형 운반플랫폼
- 2. 시험번호 : 23-KOATMP-044
- 3. 형식명 : LNS-OC700
- 4. 형식 : 전동기식
- 5. 규격 : 적재중량 700 kg
- 6. 시험성적



#### 6.1 구조

6.1.1 기체의 크기	
· 길이	1 505 mm
· 폭	1 030 mm
· 높이	645 mm
· 중량	582 kg

#### 6.2 성능시험

6.2.1 주행시험	
시험조건	
· 시험노면	아스팔트
· 적재중량	0 kg(공차상태)

#### 시험성적

· 최고주행속도	
후진	6.3 km/h

#### 7. 시험제품 개요

본 기대는 전동기식 케도형 운반플랫폼으로 적재중량은 700 kg 임

#### 8. 시험결과

본 시험성적은 「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제5조 제2항의 규정에 따라 실시한 성능시험 성적으로 신청자와 협의하여 정한 시험방법으로 실시되었음

시험연구원 유재철 | 연구원 조재근

<적재 하중, 작업 속도 시험 검인증 성적서>

제 M-22-01751호

### 농업기계 성능시험 성적서

**1. 신청인**  
 가. 성명 : 정승현  
 나. 사업자등록번호 : 410-86-45756  
 다. 주소 : 광주광역시 광산구 진곡산단3번호 41-27 (진곡동)  
 라. 상호 : 엘엔에스(주)


**2. 시험 용도의 제품**  
 가. 기종명 : 레도형 운반플랫폼  
 나. 형식명 : LNS-OC700  
 다. 형식 및 규격 : 전동기식, 적재중량 700 kg

**3. 시험번호 :** 22-KOATMP-873  
**4. 시험성적 :** 불임

「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제4조 제2항에 따라 시험 신청한 기대에 대한 성능시험 성적입니다.

2023년 01월 16일

**한국농업기술진흥원의 장**



22-KOATMP-873

### 시험 성적

**1. 기종명 :** 레도형 운반플랫폼  
**2. 시험번호 :** 22-KOATMP-873  
**3. 형식명 :** LNS-OC700  
**4. 형식 :** 전동기식  
**5. 규격 :** 적재중량 700 kg  
**6. 시험성적**

**6.1 구조**  
 6.1.1 기계의 크기  
 - 길이 : 1 505 mm  
 - 폭 : 1 030 mm  
 - 높이 : 645 mm  
 - 중량 : 582 kg

**6.2 성능시험**  
 6.2.1 전도시험  
 시험조건  
 - 시험장치 : 전도각시험장치(최대경사각42°)  
 - 적재중량 : 0 kg(공차상태)  
 - 작업대 지상고 : 645 mm(최저위치)

시험성적  
 - 후방향 전도시험 결과 : 42° 경사에서 전도되지 않았음

**7. 시험제품 개요**  
 본 기대는 전동기식 레도형 운반플랫폼으로 적재중량은 700 kg 임

**8. 시험결과**  
 본 시험성적은 「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제5조 제2항의 규정에 따라 실시한 성능시험 성격으로 신청자와 협의하여 정한 시험방법으로 실시되었음

시험연구팀 유재현 | 연구원 조재근 | 유재현 | 조재근



제 M-22-01750호

### 농업기계 성능시험 성적서

**1. 신청인**  
 가. 성명 : 정승현  
 나. 사업자등록번호 : 410-86-45756  
 다. 주소 : 광주광역시 광산구 진곡산단3번호 41-27 (진곡동)  
 라. 상호 : 엘엔에스(주)


**2. 시험 용도의 제품**  
 가. 기종명 : 레도형 운반플랫폼  
 나. 형식명 : LNS-OC700  
 다. 형식 및 규격 : 전동기식, 적재중량 700 kg

**3. 시험번호 :** 22-KOATMP-872  
**4. 시험성적 :** 불임

「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제4조 제2항에 따라 시험 신청한 기대에 대한 성능시험 성적입니다.

2023년 01월 16일

**한국농업기술진흥원의 장**



22-KOATMP-872

### 시험 성적

**1. 기종명 :** 레도형 운반플랫폼  
**2. 시험번호 :** 22-KOATMP-872  
**3. 형식명 :** LNS-OC700  
**4. 형식 :** 전동기식  
**5. 규격 :** 적재중량 700 kg  
**6. 시험성적**

**6.1 구조**  
 6.1.1 기계의 크기  
 - 길이 : 1 505 mm  
 - 폭 : 1 030 mm  
 - 높이 : 645 mm  
 - 중량 : 582 kg

**6.2 성능시험**  
 6.2.1 전도시험  
 시험조건  
 - 시험장치 : 전도각시험장치(최대경사각42°)  
 - 적재중량 : 0 kg(공차상태)  
 - 작업대 지상고 : 645 mm(최저위치)

시험성적  
 - 후방향 전도시험 결과 : 42° 경사에서 전도되지 않았음

**7. 시험제품 개요**  
 본 기대는 전동기식 레도형 운반플랫폼으로 적재중량은 700 kg 임

**8. 시험결과**  
 본 시험성적은 「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제5조 제2항의 규정에 따라 실시한 성능시험 성격으로 신청자와 협의하여 정한 시험방법으로 실시되었음

시험연구팀 유재현 | 연구원 조재근 | 유재현 | 조재근



제 M-22-01749호

### 농업기계 성능시험 성적서

**1. 신청인**  
 가. 성명 : 정승현  
 나. 사업자등록번호 : 410-86-45756  
 다. 주소 : 광주광역시 광산구 진곡산단3번호 41-27 (진곡동)  
 라. 상호 : 엘엔에스(주)


**2. 시험 용도의 제품**  
 가. 기종명 : 레도형 운반플랫폼  
 나. 형식명 : LNS-OC700  
 다. 형식 및 규격 : 전동기식, 적재중량 700 kg

**3. 시험번호 :** 22-KOATMP-871  
**4. 시험성적 :** 불임

「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제4조 제2항에 따라 시험 신청한 기대에 대한 성능시험 성적입니다.

2023년 01월 16일

**한국농업기술진흥원의 장**



22-KOATMP-871

### 시험 성적

**1. 기종명 :** 레도형 운반플랫폼  
**2. 시험번호 :** 22-KOATMP-871  
**3. 형식명 :** LNS-OC700  
**4. 형식 :** 전동기식  
**5. 규격 :** 적재중량 700 kg  
**6. 시험성적**

**6.1 구조**  
 6.1.1 기계의 크기  
 - 길이 : 1 505 mm  
 - 폭 : 1 030 mm  
 - 높이 : 645 mm  
 - 중량 : 582 kg

**6.2 성능시험**  
 6.2.1 전도시험  
 시험조건  
 - 시험장치 : 전도각시험장치(최대경사각42°)  
 - 적재중량 : 0 kg(공차상태)  
 - 작업대 지상고 : 645 mm(최저위치)

시험성적  
 - 후방향 전도시험 결과 : 42° 경사에서 전도되지 않았음

**7. 시험제품 개요**  
 본 기대는 전동기식 레도형 운반플랫폼으로 적재중량은 700 kg 임

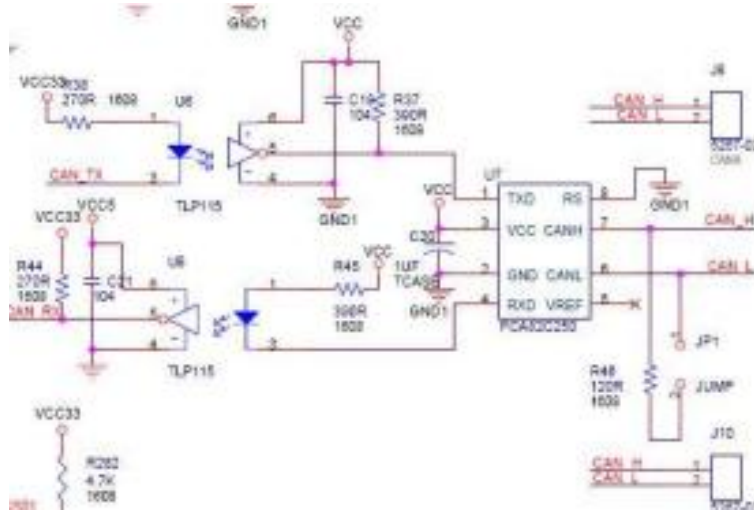
**8. 시험결과**  
 본 시험성적은 「한국농업기술진흥원 분석시험의뢰 및 처리규칙」 제5조 제2항의 규정에 따라 실시한 성능시험 성격으로 신청자와 협의하여 정한 시험방법으로 실시되었음

시험연구팀 유재현 | 연구원 조재근 | 유재현 | 조재근



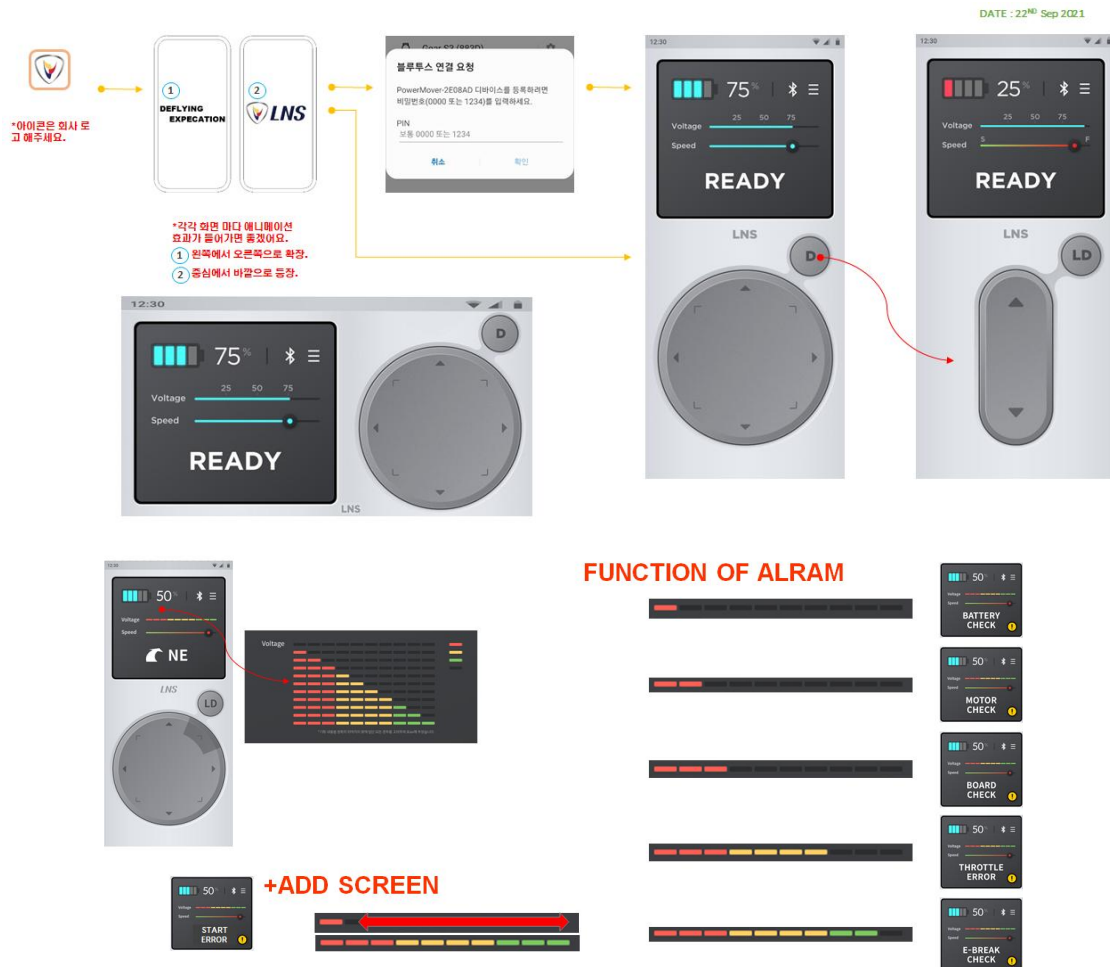
○ 전체 통합 제어기와 CAN 통신 시스템의 인터페이스 성능시험 및 개선

- CAN 통신 시스템 인터페이스 구축



<CAN 통신 시스템 개요도>

- 블루투스 통신 시스템 개발을 통한 플랫폼 상태 모니터링 강화



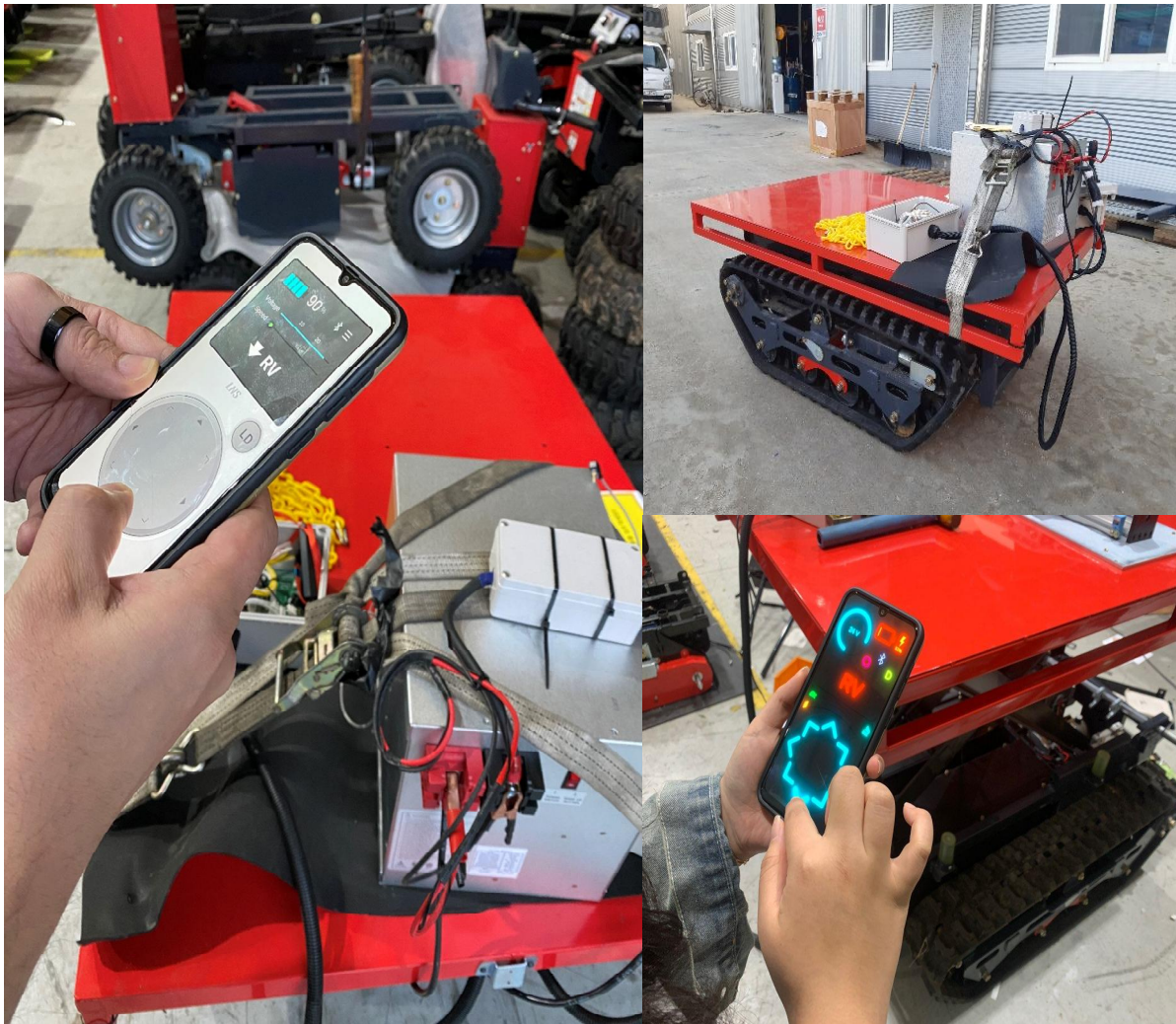
<블루투스 시스템 개요도>

- 배터리 잔량체크 및 전압, 속도 등의 플랫폼 현재 상태 확인 가능
- 플랫폼과 배터리 및 주변기기의 상태를 모니터링하여 플랫폼 운용율을 높임



- ① 배터리 색상은 보기와 같이 하늘색 좋은 것 같아요. 충전이 필요한 한 간 남았을 때만, 빨강색 계열 또는 충전이 필요하다는 다른 방식 (태두리만 남기고 깜빡 거린 다든지 등등..)
- ② **BLUETOOTH PAIRING** 표시 만 가능하게 해주시면 됩니다.  
연결 : 파란색  
끊김 : 이모티콘 안이 비워진 무채색 또는 이해가 가능한 다른색.  
환경설정
- ③
  1. 조이스틱 버튼 누를 때 진동 강도 3~5단계 조절이 가능 할 정도.  
EX) 소 중 강 OR 0 1 2 3 4 5
  2. 경고 알람 BEEP ON/OFF
  3. 회사 홈페이지 내의 **BLUETOOTH REMOTE CONTROLLER MANUAL**로 연결이 가능한 링크.
  4. **BLUETOOTH APP VERSION** 안내
- ④ 전압은 0~30V 까지만 표현해주세요.
- ⑤ 속도는 저속, 고속 색상 GRADATION으로 해주세요 (협의 완료 사항)
- ⑥ '첨부파일 참고해주세요'
- ⑦ 알람 발생시, 저방 방법 및 설명이 기재된 자사 홈페이지로 링크가 되도록 링크 버튼 하나 만들어 주세요. (단, 이 아이콘은 알람 발생 때 활성화/시각화 됩니다.)

<블루투스 시스템 상태창 디스플레이 설명도>



<블루투스 시스템의 플랫폼 적용>

□ 플랫폼 운용시간 점검 및 테스트

○ 요소별 부하에 따른 배터리 용량 산정 자체 평가

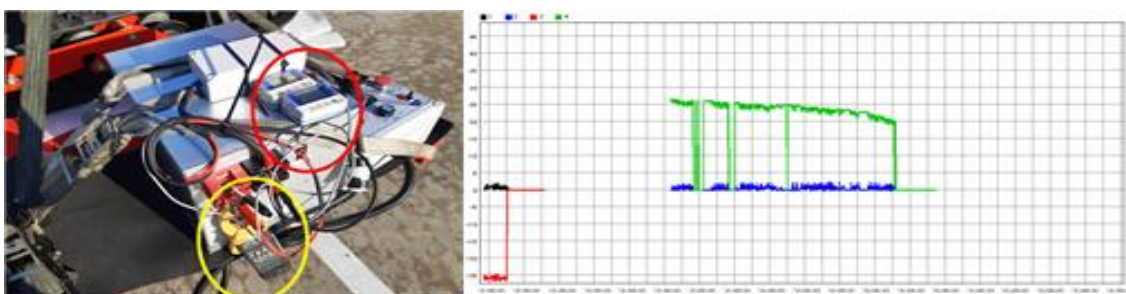
- 플랫폼의 전체 약 3,000평을 작업을 목표로 플랫폼의 이동거리 요소별 부하에 따른 소비전력을 계산하여 배터리를 산정하였음
- : 플랫폼의 총 이동거리는 2.5M간격의 사파이랑을 기준으로 3.96km이고 총 주행시간은 38분이고 각 구성품의 소요전력을 포함하여 운용에 적절함을 확인함

구분	플랫폼 주행모터	6축 로봇			비고
		구동	앤드이펙터	카메라외	
소요 정격	24V-1500watt *2EA	24V-200watt (48V-100watt )	24V-50watt (48V-25watt)	24V-50watt (48V-25watt)	
연속운전시 정격 소비전력	100Ah	8.3Ah	2Ah	2Ah	
작업시간당 실 사용율	10%	70%	50%	100%	
소비전력 (10시간당)	100.0Ah	60Ah	10Ah	20Ah	
플랫폼 소비전력	각 구성요소의 10시간 소비전력은 100+60+10+20= 190Ah로 플랫폼에 24V 400Ah(200Ah*2ea)로 운용하여 약 20시간 사용 가능 확인				



<운용시간에 대한 배터리 성능테스트1>

	포장 도로 (15분)	비포장 도로 (15분)
전진	80-90 A	85-110 A
후진	75-85 A	75-100 A
좌/우 선회	110-115A	90-110A
제자리 선회	OVER LIMIT	OVER LIMIT



<운용시간에 대한 배터리 성능테스트2>

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 1) 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

---

- 적화, 적과, 전정 작업 대상체 인식을 위한 센싱 시스템과 알고리즘 개발
  - 적화, 적과, 전정 작업을 위한 매니플레이터와 엔드이펙터 개발
  - 매니플레이터 탑재 및 과수원 내 자율주행이 가능한 전동형 모바일 플랫폼 개발
  - 과수 재배관리 통합 하드웨어 및 제어 시스템 개발
  - 과수 정보 DB화 시스템 개발
    - 과수 형상 인식 정확도 90% 이상
  - 모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성
    - 자율주행 알고리즘 개발
  - 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어시스템 설계
    - 매니플레이터/엔드이펙터 제어기술 개발
  - 사과 재배관리용 로봇 통합 시스템 구성
  - 과수 개체 특성 분석 시스템 개발
    - 사과 수확량 모니터링을 위한 사과 개수 추정 알고리즘 개발
  - 로봇 적화, 적과, 전정 작업을 위한 알고리즘 개발
  - 재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발
    - 전정, 적과, 적화 대상체 인지 알고리즘 개발
  - 현장시험 테스트베드 조성
  - 다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 개발
  - 텔레스코픽형 매니플레이터와 적과/전정용 엔드이펙터 개발
  - 궤도식 전동형 모바일 플랫폼 설계
  - 수평유지 및 전도방지 장치 개발
  - CAN통신 기반의 인터페이스 시스템 개발
-

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

○ 특허 출원 7

- “컴퓨터 비전의 지능확장을 위한 딥 러닝 시스템 및 방법”
- “과실 수확용 로봇”
- “전정로봇용 텔레스코픽 암”
- “과일 생장 모니터링 시스템 및 이를 이용한 과일 생장 모니터링 방법”
- “잔가지 파쇄기”
- “인공지능 기반의 로봇 과수 전정 처리장치 및 방법”
- “인공지능 기반의 로봇 과수 적과 처리장치 및 방법”

○ 특허 등록 4건

- “자가 전원공급이 가능한 SDN 융합 모바일 애드혹 기반의 이동형 지능 영상감시 시스템”
- “리모트 센싱의 지능형 기상 데이터 처리를 위한 AI 프레임 워크 지원 분산 에지 클러스터를 이용한 기상 피해지역의 변화 탐지 방법”
- “잔가지 파쇄기”
- “전정로봇용 텔레스코픽 암”

○ SCI논문 1(2)건

- “Three-dimensional quantification of apple phenotypic traits based on deep learning instance segmentation” (Computers and Electronics in Agriculture)
- “Improved voxel-based volume estimation and pruning severity mapping of apple trees during the pruning period” (Computers and Electronics in Agriculture, 심사중)
- “Supernode graphs-based pruning strategy for bi-axis type of apple trees” (Computers and Electronics in Agriculture, 투고 준비중)

○ 비SCI논문 3건

- “Drone-Based Three-Dimensional Photogrammetry and Concave Hull by Slices Algorithm for Apple Tree Volume Mapping” (Journal of Biosystems Engineering)
- “광주광역시 AI 산업 생태계를 위한 연합학습, 추천시스템 및 객체 인식의 사전 연구 및 테스트 분석” (정보기술융합 공학 논문지)
- “A Study on Drift Phenomenon of Trained ML” (Advanced Engineering and ICT-Convergence Proceedings(AEICP) 논문집)

○ 학술발표 22건

- 한국농기계학회 2020년 추계 공동학술대회 2건
- SMA 2020 1건
- 한국농업기계학회 2021년 춘계 공동학술대회 2건
- 한국농업기계학회 2021년 추계 공동학술대회 4건
- 2021년 ICTC 1건
- 한국농업기계학회 2022년 춘계 공동학술대회 4건
- 한국지능시스템학회 2022년 춘계 학술대회 1건
- 한국스마트미디어학회 2022년 종합학술대회 1건
- 한국농업기계학회 2022년 추계 공동학술대회 2건
- The XX CIGR World Congress 2022(교토, 일본) 1건
- FIRA USA 2022(프레즈노, 미국) 1건
- 2023 AI Conference(플로리다, 미국) 1건
- 한국농업기계학회 2023년 추계 공동학술대회 1건

○ 기술실시(이전) 4건, 기술료 16.3(백만원)

○ 제품화 3건, 매출액 22.6(백만원)

○ 고용창출 9명

○ 교육지도 3건, 홍보/전시 5건

○ 기타(소프트웨어 등록) 3건

○ 포상 및 수상실적 1건

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계 (2020~2021)	2단계 (2022~2023.06)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표	SCI논문	목표(연차별)	1	1	2	-
		실적(누적)	-	1	1	
	비SCI논문	목표(연차별)	-	-	-	-
		실적(누적)	2	1	3	
	특허출원	목표(연차별)	2	1	3	10
		실적(누적)	5	2	7	
	특허등록	목표(연차별)	1	1	2	10
		실적(누적)	2	2	4	
	학술발표	목표(연차별)	2	1	3	5
		실적(누적)	10	12	22	
연구개발과제 특성 반영 지표	기술실시 (이전)	목표(연차별)	1	1	2	10
		실적(누적)	3	1	4	
	기술료	목표(연차별)	-	-	-	-
		실적(누적)	3,300	13,000	16,300	
	제품화	목표(연차별)	-	2	2	20
		실적(누적)	-	3	3	
	매출액	목표(연차별)	-	20,000	20,000	20
		실적(누적)	-	22,600	22,600	
	고용창출	목표(연차별)	2	1	3	20
		실적(누적)	9	-	9	
	교육지도	목표(연차별)	-	-	-	-
		실적(누적)	1	2	3	
	홍보전시	목표(연차별)	1	1	2	5
		실적(누적)	3	2	5	
	기타(SW등록)	목표(연차별)	-	-	-	-
		실적(누적)	-	3	3	
계	목표(연차별)	10	9	19		
	실적(누적)	34	27	61		



< 연구개발성과 성능지표(예시) >

평가 항목 (주요성능)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중(%)	세계 최고	연구개발 목표치		연구개발 결과	성능평가/시험 방법 및 기준		
			성능수준	1단계 (2020~2021)	2단계 (2022~2023.06)				
궤도식 전동형 모바일 플랫폼	최대 적재하중	kg	3	200	300	300	700	농업기술 진흥원	
	최대상승 높이	mm	3	1,300	1,500	1,500	1,530		
	운용시간 (주간)	시간	3	8	10	10	20	자체평가	
	최대 주행 속도	km/hr	3	5	6.0	6.0	6.3	농업기술 진흥원	
	전도방지 최대측방각	도	3	25	30	30	42		
	구동부 IP 등급	-	4	54	54	54	54	헬스케어로봇 실증센터	
매니플레이터/ 엔드이펙터 제어시스템	작업오차	mm	5	3	5	3	1.7	자체평가	
	작업성능	개/분	5	15	10	15	16	자체평가	
다관절 매니플레이터	동작 범위	J1	도	1	±175	±175	±175	±180	자체평가
		J2	도	1	±100	±100	±100	±100	
		J3	도	1	±150	±150	±150	±150	
		J4	도	1	±175	±170	±175	±180	
		J5	도	1	±175	±170	±175	±180	
		J6	도	1	±175	±170	±175	±270	
	반복정밀도	mm	3	2	2	2	2	0.078	자체평가
	최대속도	(°/sec)	3	180	180	180	180	120	자체평가
	스트로크 (5kg7반하중)	mm	3	1600	1600	1600	1600	1,600	레이아웃의 기구적 수차로 대신함
	IP등급	-	4	65	65	65	65	65	한국산업 기술시험원
텔레스코픽형 매니플레이터	동작 범위	J1	도	1	±175	±175	±175	±175	자체평가
		J2	도	1	±100	±100	±100	±105	
		J3	mm	1	1,200	1,000	1,200	1,200	
		J4	도	1	±175	±170	±175	±175	
	반복정밀도	mm	3	2	2	2	2	1.75	자체평가
	최대속도	mm/sec	3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,115	자체평가
	스트로크 (5kg7반하중)	mm	3	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	자체평가
	IP등급	-	4	65	65	65	65	-	구조적 문제로 시험 불가
엔드이펙터 (전정)	절단능력	mm	3	30	30	30	30	30	자체평가
	절단속도	회/min	3	80	60	80	96		
	중량	kg	3	1	1.5	1	0.79		
	IP등급	-	4	65	65	65	65	-	구조적 문제로 시험 불가
엔드이펙터 (적과)	절단능력	mm	3	30	30	30	30	30	자체평가
	절단속도	회/min	3	80	60	80	96		
	중량	kg	3	1	1.5	1	0.79		
	IP등급	-	4	65	65	65	65	-	구조적 문제로 시험 불가
엔드이펙터 (적화)	처리속도	개/sec	3	2	2	2	2	2	자체평가
	중량	kg	3	1	1.5	1	0.98		
	IP등급	-	4	65	65	65	65	-	구조적 문제로 시험 불가
대상체 인지 시스템	적화 대상체 인식율	%	3	90	80	90	90	91.2	자체평가
	적과 대상체 인식율	%	3	90	80	90	90	92	
	전정 대상체 인식율	%	3	90	80	90	90	91.8	
	인식 속도	sec	3	3	4	3	3	0.013	

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

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Drone-Based Three-Dimensional Photogrammetry and Concave Hull by Slices Algorithm for Apple Tree Volume Mapping	Journal of Biosystems Engineering	Xuhua Dong	46(4)	대한민국	Springer	비SCIE	21.11.18	1738-1266	100
2	광주광역시 AI 산업 생태계를 위한 연합학습, 추천시스템 및 객체 인식의 사전 연구 및 테스트 분석	정보기술 융합공학 논문지	차병래	3	대한민국	조선대학교 IT연구소	비SCIE	21.11.01	1254-3284	100
3	A Study on Drift Phenomenon of Trained ML	Advanced Engineering and ICT-Convergence Proceedings (AEICP) 논문집	차윤석	5(2)	대한민국	ICT-Advanced Engineering Society	비SCIE	22.07.11	2635-4586	100
4	Three-dimensional quantification of apple phenotypic traits based on deep learning instance segmentation	Computers and Electronics in Agriculture	Xuhua Dong	212	영국	Elsevier	SCIE	23.08.14	0168-1699	50
5	Improved voxel-based volume estimation and pruning severity mapping of apple trees during the pruning period	Computers and Electronics in Agriculture	이경환		영국	Elsevier	SCIE	심사중	0168-1699	50

6	Supernode graphs-based pruning strategy for bi-axis type of apple trees” (Computers and Electronics in Agriculture	Computers and Electronics in Agriculture	이경환		영국	Elsevier	SCIE	투고 준비중	0168-1699	50
---	--	--	-----	--	----	----------	------	-----------	-----------	----

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국농업기계학회 2020년 추계 공동학술대회	Xuhua Dong	20.10.30	온라인 발표	대한민국
2	한국농업기계학회 2020년 추계 공동학술대회	Tean Chen	20.10.30	온라인 발표	대한민국
3	SMA 2020	차윤석	20.10.19	제주 라마다 플라자	대한민국
4	한국농업기계학회 2021년 추계 공동학술대회	Zheng Yu	21.10.29	소노벨 제주	대한민국
5	한국농업기계학회 2021년 추계 공동학술대회	Xuhua Dong	21.10.29	소노벨 제주	대한민국
6	한국농업기계학회 2021년 추계 공동학술대회	Tean Chen	21.10.29	소노벨 제주	대한민국
7	한국농업기계학회 2021년 추계 공동학술대회	Pablo Vela Ulloa	21.10.29	소노벨 제주	대한민국
8	ICTC 2021	안성열	21.10.22	제주 라마다 플라자	대한민국
9	한국농업기계학회 2021년 춘계 공동학술대회	김도환	21.04.30	국립농업과학원	대한민국
10	한국농업기계학회 2021년 춘계 공동학술대회	Tean Chen	21.04.30	국립농업과학원	대한민국
11	한국농업기계학회 2021년 춘계 공동학술대회	Xuhua Dong	21.04.30	국립농업과학원	대한민국
12	한국농업기계학회 2021년 춘계 공동학술대회	Zheng Yu	21.04.30	국립농업과학원	대한민국
13	한국농업기계학회 2021년 춘계 공동학술대회	Zhewang Zhang	21.04.30	국립농업과학원	대한민국
14	한국농업기계학회 2021년 춘계 공동학술대회	Tean Chen	21.04.30	국립농업과학원	대한민국
15	한국지능시스템학회 2022년 춘계학술대회	Yao-Bin Zhu	22.05.13	한경대학교	대한민국
16	한국스마트미디어학회 2022년 종합학술대회	차윤석	22.06.24	한남대학교	대한민국
17	한국농업기계학회 2022년 추계 공동학술대회	Yao-Bin Zhu	22.11.02	대구 EXCO	대한민국
18	한국농업기계학회 2022년 추계 공동학술대회	Zhewang Zhang	22.11.02	대구 EXCO	대한민국
19	The XX CIGR World Congress 2022	Zheng Yu	22.12.08	교토 인터내셔널 컨퍼런스 센터	일본
20	FIRA USA 2022	이경환	22.10.18	Fresno Convention Center	미국
21	2023 AI Conference	이경환	23.04.17	Marriot Orlando Airport Lakeside	미국
22	한국농업기계학회 2023년 추계 공동학술대회	Andong Huang	23.11.03	여수 히든베이 호텔	대한민국

□ 기술 요약 정보

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

□ 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

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

[기술적 성과]

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

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	자가 전원공급이 가능한 SDN 융합 모바일 애드혹 기반의 이동형 지능 영상감시 시스템	대한민국					제노테크	21.04.28	10-2248051	50	
2	컴퓨터 비전의 지능확장을 위한 딥러닝 시스템 및 방법	대한민국	제노테크	21.09.28	10-2021-0127616					100	
3	과실 수확용 로봇	대한민국	엘앤에스	21.11.02	10-2021-0149125					100	
4	전정로봇용 텔레스코픽 암	대한민국	유원 시스템	21.11.11	10-2021-0154598		유원 시스템	23.02.18	10-2502773	100	활용
5	과일 생장 모니터링 시스템 및 이를 이용한 과일 생장 모니터링 방법	대한민국	제노테크	20.09.15	10-2020-0118197					100	
6	잔가지 파쇄기	대한민국	엘앤에스	20.12.30	10-2020-0188142		엘앤에스	22.07.21	10-2425221	100	
7	리모트 센싱의 지능형 기상 데이터 처리를 위한 AI 프레임 워크 지원 분산 에지 클러스터를 이용한 기상 피해지역의 변화 탐지 방법	대한민국					제노테크	21.12.28	10-2345786	100	
8	인공지능 기반의 로봇 과수 전정 처리장치 및 방법	대한민국	전남대학교 산학협력단	23.06.26	10-2023-0081994					50	
9	인공지능 기반의 로봇 과수 적과 처리장치 및 방법	대한민국	전남대학교 산학협력단	23.06.26	10-2023-0082000					50	
10	사과의 적과를 위한 객체탐지 시스템						제노테크	22.04.28	C-2022-018853	100	
11	사과의 적화를 위한 객체탐지 시스템						제노테크	22.04.28	C-2022-018852	100	
12	사과의 전정을 위한 객체탐지 시스템						제노테크	22.04.28	C-2022-018854	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		√								
2		√								
3	√									
4	√									
5		√								
6	√									
7		√								
8	√									
9	√									
10	√									
11	√									
12	√									

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	사과의 적과를 위한 객체탐지 시스템	22.04.28	제노테크 주식회사	22.04.28	C-2022-018853	제노테크 주식회사	100%
2	사과의 적화를 위한 객체탐지 시스템	22.04.28	제노테크 주식회사	22.04.28	C-2022-018852	제노테크 주식회사	100%
3	사과의 전정을 위한 객체탐지 시스템	22.04.28	제노테크 주식회사	22.04.28	C-2022-018854	제노테크 주식회사	100%

□ 신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

□ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 <sup>1)</sup>	인증여부 <sup>2)</sup>	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 <sup>3)</sup>	제안/인증일자

\* 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.

\* 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.

\* 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제표준

번호	표준화단계구분 <sup>1)</sup>	표준명	표준기구명 <sup>2)</sup>	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 <sup>3)</sup>	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

□ 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	노하우	과수원 환경에서 자율주행 차량의 GPS 좌표 기반 경로 추종 기술 노하우	엘앤에스(주)	21.11.26	1,100,000원	1,100,000원
2	노하우	스마트폰 기반의 과수 운반 로봇의 상태 모니터링 및 원격제어 기술 노하우	엘앤에스(주)	21.11.26	1,100,000원	1,100,000원
3	노하우	드론 기반 과수 개체의 GPS 좌표 인식 및 지도화 기술 노하우	엘앤에스(주)	21.11.26	1,100,000원	1,100,000원
4	노하우	사과 선별을 위한 AI 알고리즘 노하우	제노테크	22.05.12	13,000,000원	13,000,000원

\* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	제품화	신제품 개발	국내	사과 선별을 위한 AI 알고리즘	사과 선별을 위한 AI 알고리즘 시제품 개발	제노테크	13,000	-	2022	
2	제품화	기존 제품 개선	국내	작업 보조용 로봇 플랫폼	현장 작업 보조용 로봇 플랫폼 개발	엘앤에스(주)	9,600	-	2023	
3	제품화	신제품 개발	국내	텔레스코픽 로봇	전정 및 적과 작업용 텔레스코픽 로봇 개발	유원시스템	-	-		

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
사과 선별을 위한 AI 알고리즘	2022	13,000		13,000	
작업 보조용 로봇 플랫폼	2023	9,600		9,600	
합계		22,600		22,600	

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

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

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			1단계 (2020~2021)	2단계 (2022~2023.06)	
1		엘앤에스(주)	7	-	7
2		제노테크	2	-	2
합계			9	-	9

□ 고용 효과

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

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

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



산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원
1	미래형 사과원 아카데미 교육을 위한 견학	21.06.26~21.11.26	미래형 사과원 아카데미 교육(2기) 교육생	경남 농업기술원 사과이용연구소 시험포장	미래형 사과원 아카데미 교육(2기) 교육생 16명
2	경남지역대학-사과이용연구소 현장 견학 및 교육	22.09.25~22.09.25	한국방송통신대학교 농학과 3학년	경남 농업기술원 사과이용연구소	한국방송통신대학교 농학과 3학년 19명
3	경남 농업 마이스터 대학 농업인 교육	23.06.16~23.06.16	경남 농업 마이스터대학 농업인	경남 농업기술원 사과이용연구소 세미나실 및 시험연구포장	경남 농업 마이스터대학 농업인 20명

기술 무역

(단위: 천원)

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

[사회적 성과]

법령 반영

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

정책활용 내용

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

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

전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황																
			학위별				성별		지역별										
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타						

산업 기술 인력 양성

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

다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비
1	한이스라엘재단	한국 이스라엘 국제공동기술개발사업	포도 과수원 3D 모델링 기술 개발	정승현	100,000 USD

국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	제목	내용	홍보일
1	박람회 전시 홍보	2021 김제농업기계박람회	농업용 파쇄기 등 농기계 전시 홍보	21.11.02
2	온라인 수출상담회 홍보	2021 제주국제 감귤박람회	엘앤에스 농기계 제품 전시 및 홍보	21.11.05
3	전시회 전시 홍보	Green&Agritech Asia 2022	텔레스코픽 로봇 전시 및 홍보	22.08.25
4	디지털 매체 홍보	디지털 조선일보	본 과제 관련 연구 진행 연구원 수상 실적 및 연구 내용 홍보	22.12.20
5	디지털 매체 홍보	디지털 조선일보	사과 과수원 모델링 연구 성과 및 내용 관련 홍보	23.08.21

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	우수논문발표상	2022CIGR_Armand BLANC Prize	2022년 CIGR (교토, 일본) 우수논문발표상 (Armand BLANC Prize) 수상	Zheng Yu (전남대)	22.12.08	The XX CIGR

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

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

\* 「과학기술기본법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 없음)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 없음)

## 2) 목표 달성 수준

연도	추진 목표	달성 내용	달성도(%)
1차년도	○ 모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성	○ 모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성 - 센서 및 제어기 등의 자율주행 하드웨어 시스템 구성 - 재배관리 대상체 인지 및 과수 DB용 센싱시스템 구축	○ 100
	○ 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드 이펙터 제어시스템 설계	○ 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드 이펙터 제어시스템 설계 - 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시뮬레이터 구축 - 매니플레이터/엔드이펙터 제어기술 개발	○ 100
	○ 재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발	○ 재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발 - 적과 대상체 인식 알고리즘 설계 및 개발	○ 100
	○ 현장 성능시험 테스트베드 준비	○ 현장 성능시험 테스트베드 준비 - 현장 성능시험 테스트베드 조성	○ 100
	○ 다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 개발	○ 다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 개발 - 다관절 매니플레이터 개발 - 적화용 엔드이펙터 설계 및 제작	○ 100
	○ 궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발	○ 궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발 - 궤도식 차량 프레임 설계 및 제작 - 구동 모터 토크 및 속도, 동력 전달부 감속기어 및 기어비 등 부품 선정	○ 100
2차년도	○ 사과 재배관리용 로봇 통합 시스템 구성	○ 사과 재배관리용 로봇 통합 시스템 구성 - 재배관리 대상체 인지 시스템과 매니플레이터 시스템 구성 - 하드웨어 시스템 구성 - 통합 제어기 구성 - 과수 개체 특성 분석 시스템 개발	○ 100
	○ 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드 이펙터 제어시스템 평가 및 성능개선	○ 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드 이펙터 제어시스템 평가 및 성능개선 - 매니플레이터/엔드이펙터 제어기술 테스트 플랫폼 구축 - 딥러닝 강화학습 기반 매니플레이터/엔드 이펙터 제어 성능 실험 및 개선 - 로봇 적화, 적과, 전정 작업을 위한 알고리즘 개발	○ 100
	○ 재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발	○ 재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발 - 전정 대상체 인식 알고리즘 설계 및 개발	○ 100
	○ 현장 성능시험 및 개선방안 협의	○ 현장 성능시험 및 개선방안 협의 - 개발 로봇의 현장 성능시험을 위한 사과 포장 운영 및 개선방안 협의	○ 100
	○ 텔레스코픽형 매니플레이터와 적과/전정용 엔드이펙터 개발	○ 텔레스코픽형 매니플레이터와 적과/전정용 엔드이펙터 개발 - 텔레스코픽형 매니플레이터 개발 - 전정/적과용 엔드이펙터 설계 및 제작	○ 100
	○ 수평유지 및 전도방지 장치 개발과 CAN통신 기반의 인터페이스 시스템 개발	○ 수평유지 및 전도방지 장치 개발과 CAN통신 기반의 인터페이스 시스템 개발 - 궤도식 전동형 모바일 수평 유지 및 전도 방지 장치 개발 - CAN통신 기반의 인터페이스 시스템 개발 - 리프트 높이 및 수평 유지 제어장치 개발 - 무한궤도형 제자리 선회 시스템 개발	○ 100

3차년도	○ 과수원 환경에서의 재배관리용 로봇 통합 시스템 현장 성능시험(전남대)	○ 과수원 환경에서의 재배관리용 로봇 통합 시스템 현장 성능시험(전남대) - 자율주행 성능시험 및 개선 - 대상체 인지, 매니플레이터와 엔드이펙터 성능 시험 및 개선 - 전체 시스템과 통합 제어기 성능시험 및 개선	○ 100
	○ 과수원 환경에서의 재배관리 대상체 인지 시스템의 성능시험 및 개선	○ 과수원 환경에서의 재배관리 대상체 인지 시스템의 성능시험 및 개선 - 적화 대상체 인식 알고리즘 설계 및 개발 - 적화, 적과, 전정 대상체 인식 성능시험 및 개선	○ 100
	○ 과수원 환경에서의 현장 성능시험 및 활용성 증대방안 협의	○ 과수원 환경에서의 현장 성능시험 및 활용성 증대방안 협의 - 사과 수형별 시험포장에서 개발 로봇의 성능 테스트 및 개선방안 협의 및 도출	○ 100
	○ 과수원 환경에서의 현장 성능시험 및 개선	○ 과수원 환경에서의 현장 성능시험 및 개선	○ 100

#### 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 없음)

##### 1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

---



---

##### 2) 자체 보완활동

---



---

##### 3) 연구개발 과정의 성실성

---



---

## 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

### 1) 연구개발 성과의 관련 분야 기여도

#### ○ 과학·기술적 측면

- 본 연구 과제에서 개발된 과수 재배관리용 로봇은 현 고령화 여성화된 국내 농업현장에서 노동 생산성을 향상시킬 수 있는 방안임
- 사과나무 재배관리로봇의 독자적인 기술을 바탕으로 세계 농업용 로봇 시장 경쟁력 확보
- 자율주행 로봇 기술과 농업 지식을 결합하여 더욱 효율적이고 지속 가능한 농업 방식을 개발하는데 기여할 수 있음
- 디젤 등 화학연료를 대체하여 전기를 동력원으로 사용함으로써 배기 가스등에 의한 환경오염을 줄일 수 있으며 연구과제의 플랫폼을 기반으로 제초기, 방제기, 로터리 등 각종 농기구를 Integration함으로써 다양한 작업에 활용하여 본 과제의 제품 활용도를 극대화 할 수 있음
- 사과나무 재배로봇 개발을 통하여 농업로봇의 원천 기술 및 ICT/BT/NT/로봇 융합 산업화 기술 확보를 함으로써 대한민국 지능형 농업로봇의 기술경쟁력 강화에 기여할 것으로 전망됨
- 농업로봇 분류에서 높은 기술수준을 요구하는 재배관리 로봇을 개발함으로써 선진국과의 농업로봇 수준 격차를 줄일 수 있으며 재배관리 로봇에 대해서는 다양한 목적과 형태의 로봇 설계, 산업화 기술 및 표준을 선점할 수 있을 것으로 기대됨
- 농업로봇의 부가가치 및 기술 수준이 모두 상위에 있는 재배관리 로봇을 개발함으로써 로봇생산기업의 모든 가치사슬 요소들의 유기적인 상호발전을 견인할 수 있는 기술 확보
- CDA 기반 AI 서비스를 통해 대용량 분산 스토리지 기술과 AI 기술이 융합되도록 함으로써 관련 기술의 발전을 앞당길 것으로 기대
- 전정, 적화, 운반등 다양하고 독창적인 어플리케이션 개발을 통해 기술 장벽을 형성하고 특허기술을 획득, 기술을 선점할 수 있을 것으로 기대됨
- 농업·ICT 융합부품(센서, 제어기, 통신장치 등)의 표준화를 앞당겨 상호 호환성을 향상시키고 점차 외국산 시장 점유율이 증가하고 있는 로봇 및 관련 기자재의 국산화를 이룰 수 있을 것으로 기대
- 셔틀봇 개념의 자율주행 운반차와 작업로봇등의 다양한 어플리케이션 개발을 통한 특허기술 획득 및 이를 통하여 핵심 기술을 선점할 수 있을 것으로 기대됨

#### ○ 경제·사회적 측면

- 인간공학적 사과나무 재배로봇을 통해 환경을 보전하면서 수확량 감소 없이 고품질의 사과를 생산할 수 있는 정밀농업기술에 대응할 수 있을 것으로 전망됨
- 대한민국 사과 재배면적은 34,274ha로 과수중 전체과수면적 대비 가장 넓은 면적을 차지하고 있어, 초기 시장 선점의 유리한 입장에서 사과재배로봇의 경제적 성장이 클 것으로 예상되며, 사과 시장의 경쟁력 향상에도 기여할 수 있을 것으로 전망됨
- 본 연구를 통해 개발된 전기구동 및 자율주행 기술의 표준화, 실용화 및 사업화를 통해 재배 관리 로봇 플랫폼 이외에 다양한 농업기계의 제어와 관련하여 현장 애로 해결을 가능하게 할 수 있으며, 관련 기술을 통해 부가가치 창출에 부응 가능할 것으로 판단됨
- 로봇 제조업체의 경영을 안정화시켜 국내 농업에 필요한 농업로봇의 지속적인 공급과 신기종 연구 개발을 통해 농업발전에 기여할 것으로 전망
- 고령화, 다양화 되는 농업인구의 삶의 질 제고 및 농업 생산성 향상을 통해 대한민국의 균형 발전 및 귀농 활성화에 기여할 것으로 전망
- 지능형 농업로봇으로 재배함으로써 양질의 계획된 수확량 확보가 가능
- 위험한 노동을 재배로봇이 대체함으로써 작물생산업 시 가장 빈번하게 발생하는 떨어짐과 넘어짐에 의한 산업재해를 줄일 수 있음
- FTA 체결, WHO 권고 등으로 농업시장개방이 가속화 되고 있는 시점에서 사과나무 재배로봇 시장 및 사과 시장에서 경쟁 우위를 점할 수 있을 것으로 기대됨
- 사과생산율을 높임으로써 50 % 이하로 내려온 식량자급률 향상을 기대할 수 있음
- 우리나라뿐만 아니라 세계적으로 재배면적이 넓고 생산량이 많은 사과의 생산량을 증대시킴으로써 세계인구 증가에 대한 식량부족 문제를 해결하는데 기여할 것으로 전망됨

2) 연구개발성과에 대한 기술 기여도 및 산정근거

(단위 : 백만원, %)

총괄과제명	세부과제명	기관명	유형	총 연구개발비 (A)	정부지원 연구개발비 (B)	정부지원 연구개발비 비율 (C=B/A)	성과 유형	기술기여도	
								산정 근거	비율
과수 재배관리용(전정, 적과 등) 로봇 개발	모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성 및 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어시스템 설계	전남대학교 산학협력단	대학 (비영리)	1,171	1,171	100	신규 기술개발	해당 없음	-
	재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발	제노테크	중소기업 (영리)	244	124	50.82	신규 기술개발	①-①	50.82
	현장 성능시험 테스트 베드 준비	경남농업기술원	연구기관 (비영리)	90	90	100	신규 기술개발	해당 없음	-
	다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 개발	유원시스템	중소기업 (영리)	224	129	57.59	신규 기술개발	①-①	57.59
	궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발	엘앤에스	중소기업 (영리)	673	320	47.55	신규 기술개발	①-①	47.55
<b>계</b>				<b>2,402</b>	<b>1,834</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

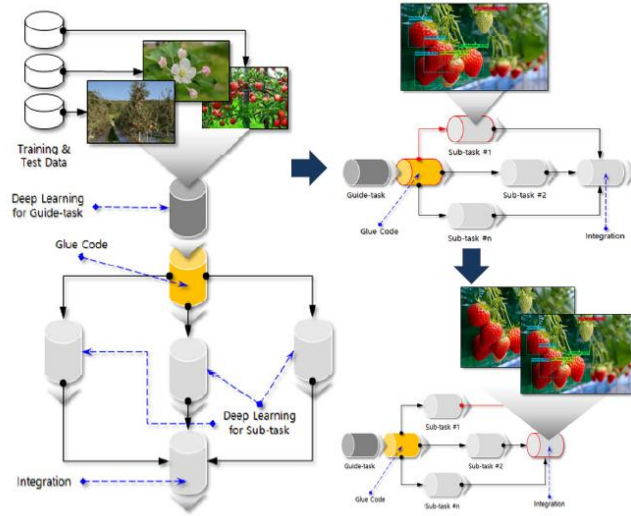
## 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

### 1) 연구성과의 활용계획

연구성과	항목	활용계획
궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발	타 연구에의 응용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자율주행 기반의 셔틀봇으로 활용 가능               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과수별(사과,복숭아,감귤) 적용여부 검토 및 테스트 예정</li> </ul> </li> </ul>
	추가 연구의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 과수 특성에 적합한 소형화/경량화에 대한 추가 연구               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유리온실등 스마트 농업현장에 적합한 작업플랫폼 개발</li> </ul> </li> </ul>
	사업화 추진 방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제주테크노파크, 농업기술센터 등 관련 기관과의 실증 및 연계               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제주 감귤밭 농작업용 수동운반차를 대체하는 자율주행 셔틀봇 제작 및 사업화 추진 예정</li> </ul> </li> </ul>
모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성 및 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드 이펙터 제어시스템 설계	타 연구에의 응용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 다양한 작업 및 환경에서 적용 가능한 운행 제어, 작업기 제어 기술 및 지능형 자율주행 제어의 원천 기술을 확보함으로써 타 산업분야 및 기타 농업 기계 관련 분야에 적극 활용 가능함</li> </ul>
	추가 연구의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자율주행 로봇의 생육 관찰용 카메라 활용을 통한 이미지 분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생산량 예측 모델개발로 수급에 대한 기초자료 제공 가능</li> <li>- 초분광 카메라를 활용한 환경변화에 따른 스트레스지수 개발 및 병해충 관리 모델 개발 가능</li> <li>- 이미지 분석을 통한 생육량과 시비량 의사결정 모델 개발 가능</li> </ul> </li> </ul>
	사업화 추진 방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 연구를 통해 개발한 노지 스마트 농업 요소기술을 시범단지 조성 사업을 통해 통합 기술화하고 관련 사업화를 촉진할 예정임</li> </ul> <div style="text-align: center;"> <p>&lt;첨단 무인자동화 시범단지 및 시스템 개요도&gt;</p> </div>
재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발	타 연구에의 응용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 연구에서 개발된 대상체를 인지하고 분석하는 알고리즘 및 시스템은 해양 빅데이터/시각화 및 AI 기반 분석 시스템, 위성 사진 분석을 통한 재해 피해 예측 시스템 등 다양한 분야에 적용 가능</li> </ul>

사업화 추진 방안

○ 스마트팜에 대한 AI 서비스의 적용



<광주·전남 딸기 스마트팜을 위한 AI 분석시스템 서비스의 개요도>

- 광주·전남 근교의 딸기 스마트팜에 대하여 작물의 활동을 분석하는 AI 서비스 시스템을 바탕으로 한 시설원에 및 환경제어기술을 개발, 보급하고자 함

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE					
	비SCIE					
국내논문	SCIE					
	비SCIE					
특허출원	국내					
	국외					
특허등록	국내		1			
	국외					
인력양성	학사					
	석사					
	박사					
사업화	시제품개발					
	상품출시					
	기술이전					
	공정개발					
	매출액(단위 : 천원)	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
	기술료(단위 : 천원)(제노테크)	51	51	51	51	51
기술료(단위 : 천원)(유원시스템)	58	58	58	58	58	
기술료(단위 : 천원)(엘앤에스)	48	48	48	48	48	
비임상시험 실시						
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상				
		2상				
		3상				
	의료기기					
진료지침개발						
신의료기술개발						
성과홍보		1	1	1	1	1
포상 및 수상실적						
정성적 성과 주요 내용						

\*기술료 산출근거(제노테크) : 기술료 = 매출액 \* 기술기여도(50.82%) \* 기술료율(중소기업=5%) \* (1-감면율 = 20%)  
 \*기술료 산출근거(유원시스템) : 기술료 = 매출액 \* 기술기여도(57.59%) \* 기술료율(중소기업=5%) \* (1-감면율 = 20%)  
 \*기술료 산출근거(엘앤에스) : 기술료 = 매출액 \* 기술기여도(47.55%) \* 기술료율(중소기업=5%) \* (1-감면율 = 20%)



< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.	1) 자체 평가의견서 2) 연구성과 활용계획서
2.	1) 2)

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단 농기계 산업화 기술개발 사업 ‘과수 재배관리용(전정, 적과 등) 로봇 개발’ 과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 첨단 농기계 산업화 기술개발 사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.

## 자체평가의견서

### 1. 과제현황

		과제번호		320030-3	
사업구분	첨단농기계산업화기술개발사업				
연구분야			과제구분		
사업명	첨단농기계산업화기술개발사업			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	과수 재배관리용(전정, 적과 등) 로봇 개발		과제유형	(기초,응용,개발)	
연구개발기관	전남대학교 산학협력단		연구책임자	이경환	
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	20.04.29~20.12.31	500,000	167,000	667,000
	2차년도	21.01.01~21.12.31	667,000	223,000	890,000
	3차년도	22.01.01~23.06.30	667,000	200,000	890,000
	4차년도				
	5차년도				
	계		1,834,000	613,000	2,447,000
참여기업	(주)엘앤에스, (주)유원시스템, (주)제노테크				
상대국			상대국연구개발기관		

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

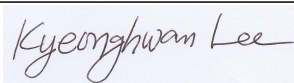
2. 평가일 : 23.08.24

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
전남대학교	교수	이경환

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	
----	---

## I. 연구개발실적

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

### 1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

- 전반적인 연구개발결과의 창의성은 우수하다고 판단됨. 전정, 적과, 적화 대상체 인지 시스템과 매니플레이터/엔드이펙터 및 자율주행이 가능한 플랫폼의 기술의 결합을 통한 과수 재배관리용 로봇의 개발은 그 사례가 드물며, 연구결과 또한 충실히 수행되었다고 보임

### 2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

- 전반적인 연구결과의 파급효과는 우수하다고 판단됨. 본 연구 과제에서 개발된 과수 재배관리용 로봇은 현 고령화, 여성화된 국내 농업현장에서 노동 생산성을 향상시킬 수 있는 방안임. 또한, 자율주행 로봇 기술과 농업 지식을 결합하여 더욱 효율적이고 지속 가능한 농업 방식을 개발하는 데 기여할 수 있으며 사과나무 재배관리로봇의 독자적인 기술을 바탕으로 세계 농업용 로봇 시장 경쟁력 확보할 수 있음

### 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

- 전반적인 연구결과의 활용가능성은 우수하다고 판단됨. 본 연구에서 개발한 내용은 노지 스마트농업 구현을 위한 핵심 요소기술임. 이러한 기술을 전남 나주에 조성 중인 첨단 무인자동화 농업생산시범단지(약 50ha)에 적용되어 첨단 농업을 구현할 것이며, 관련 사업화를 추진하고자 함

### 4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

- 본 연구에 참여하는 연구팀은 성실하게 최선을 다했다고 생각되며, 전반적인 연구개발 수행노력의 성실도는 우수하다고 판단됨

### 5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 아주우수

- 특허 출원 및 등록, 제품화, 학술발표 등의 당초 목표치에 대해서, 본 연구팀은 목표 달성을 위해 최선을 다했으며 그 결과 목표치를 상회하여 초과 달성함. SCI논문 성과의 경우에도, 현재 게재 완료 논문 1건, 심사중 논문 1건, 투고 중 논문 1건으로 당초 목표치인 2건을 무난히 초과달성 할 것으로 판단됨

## II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성	20	100	- 센서 및 제어기 등의 자율주행 하드웨어 시스템 및 알고리즘의 개발을 완료함
과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어시스템 설계	20	100	- 매니플레이터/엔드이펙터 제어기술의 개발 및 성능평가를 완료함
재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발	10	100	- 적과, 전정, 적화 대상체 인지 알고리즘의 개발 및 관련 성능평가를 완료함
다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 개발	15	100	- 다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터의 설계 및 제작을 완료함
궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발	15	100	- 궤도식 전동형 모바일 플랫폼의 설계 및 인증기관을 통한 관련 성능평가를 완료함
사과 재배관리용 로봇 통합 시스템 구성	5	100	- 하드웨어 시스템 및 통합 제어기 구성을 완료함
과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어시스템 평가 및 성능개선	5	100	- 딥러닝 강화학습 기반 매니플레이터/엔드이펙터 제어 성능 실험 및 개선을 수행함
텔레스코픽형 매니플레이터와 적과/전정용 엔드이펙터 개발	5	100	- 텔레스코픽형 매니플레이터 및 적과/전정용 엔드이펙터 설계 및 제작을 완료함
수평유지 및 전도방지 장치 개발과 CAN 통신 기반의 인터페이스 시스템 개발	5	100	- 전도방지 장치의 개발을 완료하였으며, 인증기관을 통한 성능평가 수행
합계	100점		

### III. 종합의견

#### 1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 본 연구에 참여한 연구팀은 최선을 다하여 연구에 매진하였으며, 당초 계획한 정량적 성과를 초과 달성하였음. 본 연구에서 진행된 과수 재배관리용 로봇 및 관련 시스템의 개발을 통해 고령화 되는 농업인구의 삶의 질 향상 및 농업 생산성 증대를 통해 농업에 대한 진입장벽을 낮춰 대한민국의 균형 발전 및 귀농 활성화에 기여할 것으로 기대함.

#### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 정량적 목표 달성의 경우, 비SCI논문, 교육지도, 인력양성, 기타(S/W등록) 등 목표치가 없는 성과 항목도 고르게 달성하였음을 고려하여 주었으면 함

#### 3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 본 연구에서 개발된 전기구동 및 자율주행 기술의 표준화, 실용화 및 사업화를 통해 재배 관리 로봇 플랫폼 이외에 다양한 농업기계의 제어와 관련하여 현장 애로 해결을 가능하게 할 수 있으며, 관련 기술을 통해 부가가치 창출에 부응 가능할 것으로 판단됨. 또한, 향후 셔틀봇 개념의 자율주행 운반차와 작업로봇 등의 다양한 어플리케이션 개발을 통한 특허기술 획득 및 이를 통하여 핵심 기술을 선점할 수 있을 것으로 기대됨

### IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구개발기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

#### 1. 연구책임자의 의견

- 해당 없음

#### 2. 연구개발기관 자체의 검토결과

## 연구성과 활용계획서

### 1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input checked="" type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제		분 야	첨단농기계산업화기술개발사업
연구과제명	과수 재배관리용(전정, 적과 등) 로봇 개발			
주관연구개발기관	전남대학교 산학협력단		주관연구책임자	이경환
연구개발비 (천원)	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	1,834,000	613,000		2,447,000
연구개발기간	2020.04.29. ~ 2023. 06. 30			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(특허, 논문 등) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유: )			

### 2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성	○ 모바일 플랫폼의 자율주행 시스템 구성 - 센서 및 제어기 등의 자율주행 하드웨어 시스템 구성 - 재배관리 대상체 인지 및 과수 DB용 센싱시스템 구축
② 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시스템 설계	○ 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시스템 설계 - 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시뮬레이터 구축 - 매니플레이터/엔드이펙터 제어기술 개발
③ 재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발	○ 재배관리 대상체 인지 알고리즘 개발 - 적과, 전정, 적화 대상체 인식 알고리즘 설계 및 개발
④ 다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 개발	○ 다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 개발 - 다관절 매니플레이터 개발 - 적화용 엔드이펙터 설계 및 제작
⑤ 궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발	○ 궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발 - 궤도식 차량 프레임 설계 및 제작 - 구동 모터 토크 및 속도, 동력 전달부 감속기어 및 기어비 등 부품 선정
⑥ 사과 재배관리용 로봇 통합 시스템 구성	○ 사과 재배관리용 로봇 통합 시스템 구성 - 재배관리 대상체 인지 시스템과 매니플레이터 시스템 구성 - 하드웨어 시스템 구성 - 통합 제어기 구성 - 과수 개체 특성 분석 시스템 개발
⑦ 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시스템 평가 및 성능개선	○ 과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시스템 평가 및 성능개선 - 매니플레이터/엔드이펙터 제어기술 테스트 플랫폼 구축 - 딥러닝 강화학습 기반 매니플레이터/엔드이펙터 제어 성능 실험 및 개선 - 로봇 적화, 적과, 전정 작업을 위한 알고리즘 개발
⑧ 텔레스코픽형 매니플레이터와 적과/전정용 엔드이펙터 개발	○ 텔레스코픽형 매니플레이터와 적과/전정용 엔드이펙터 개발 - 텔레스코픽형 매니플레이터 개발 - 전정/적과용 엔드이펙터 설계 및 제작
⑨ 수평유지 및 전도방지 장치 개발과 CAN통신 기반의 인터페이스 시스템 개발	○ 수평유지 및 전도방지 장치 개발과 CAN통신 기반의 인터페이스 시스템 개발 - 궤도식 전동형 모바일 수평 유지 및 전도방지 장치 개발 - CAN통신 기반의 인터페이스 시스템 개발 - 리프트 높이 및 수평 유지 제어장치 개발 - 무한궤도형 제자리 선회 시스템 개발

\* 결과에 대한 의견 첨부 가능

### 3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구 활용액)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논문				학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
													SCI	비 SCI						
단위	건	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	명	건	건		
가중치	10	10			10		20	20		20				5				5		
최종 목표	3	2			2		2	20		3		2	0	3	0	0		2		
당해 년도	목표	3	2		2		2	20		3		2	0	3	0	0		2		
	실적	7	4		4	16. 3	3	22. 6		9		1	3	22	3	0		5	3	
달성률 (%)	233	200			200		150	113		300				700				250	300	

### 4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	모바일 플랫폼의 자율주행 시스템
②	과수 재배관리 작업용 매니플레이터/엔드이펙터 제어 시스템
③	재배관리 대상체 인지 알고리즘
④	다관절 매니플레이터와 적화용 엔드이펙터 개발 기술
⑤	궤도식 전동형 모바일 플랫폼 개발 기술
⑥	사과 재배관리를 로봇 통합 시스템
⑦	텔레스코픽형 매니플레이터 개발 기술
⑧	수평유지 및 전도방지 장치

### 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					v	v				
②의 기술					v	v				
③의 기술					v	v				v
④의 기술					v					
⑤의 기술				v						
⑥의 기술					v	v				
⑦의 기술				v		v				
⑧의 기술				v						

\* 각 해당란에 v 표시



6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	자율주행 기반의 셔틀봇 등 다양한 형태의 플랫폼에 적용 가능
②의 기술	다양한 작업 및 환경에서 적용 가능한 작업기 제어 기술의 원천 기술을 확보함으로써 타 산업분야 및 기타 농업 기계 관련 분야에 적극 활용 가능함
③의 기술	본 연구에서 개발된 대상체를 인지하고 분석하는 알고리즘 및 시스템은 해양 빅데이터 /시각화 및 AI 기반 분석 시스템, 위성사진 분석을 통한 재해 피해 예측 시스템 등 다양한 분야에 적용 가능
④의 기술	활용도 증대를 위하여 과수 특성에 적합한 다양한 타입의 매니플레이터 및 엔드이펙터의 추가 개발 및 연구 진행 예정
⑤의 기술	소형화/경량화에 대한 추가 연구를 통하여 유리 온실 등 스마트 농업현장에 적합한 작업 플랫폼의 개발 예정
⑥의 기술	인간공학적 사과나무 재배로봇을 통해 환경을 보전하면서 수확량 감소 없이 고품질의 사과를 생산할 수 있는 정밀농업기술에 대응할 수 있을 것으로 전망됨
⑦의 기술	추가 연구를 통하여 작업 성능, 작업 오차 등에 대한 개선 예정
⑧의 기술	작업자의 편의성 및 안전성 증대를 기대할 수 있음

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용액)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	SMART	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출		투자유치	논문 SCI	논문 비SCI			논문 평균편 I-F	학술 발표	
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건	
가중치	10	10			10		20	20		20				5				5	
최종목표	3	2			2		2	20		3		2	0	3	0	0		2	
연구기간내 달성실적	7	4			4	16.3	3	22.6		9		1	3	22	3	0		5	3
연구종료후 성과창출 계획		1						50				2						5	

