

발간등록번호

11-1543000-004327-01

다수
로봇
협업
기반
원예
작물
수확용
로봇
개발

2023

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

다수 로봇 협업 기반 원예작물 수확용 로봇 개발

2023.5.24.

주관연구기관 / 한국기계연구원
공동연구기관 / (주)하다
공동연구기관 / 충북대학교
공동연구기관 / 국립농업과학원
공동연구기관 / 충남대학교

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

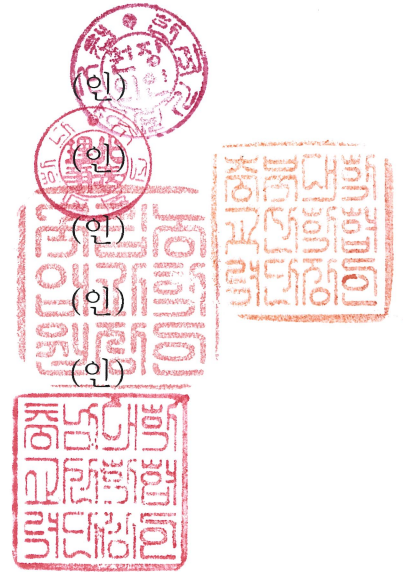
농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “다수 로봇 협업 기반 원예작물 수확용 로봇 개발”(개발기간 : 2021.4.1 ~ 2022.12.31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 5. 24.

주관연구기관명: 한국기계연구원 (대표자) 박상진
공동연구기관명: (주)하다 (대표자) 하중우
공동연구기관명: 충북대학교 (대표자) 김양훈
공동연구기관명: 국립농업과학원 (대표자) 이승돈
공동연구기관명: 충남대학교 (대표자) 김용주

주관연구책임자 : 최태용
공동연구책임자 : 하중우
공동연구책임자 : 신창섭
공동연구책임자 : 김경철
공동연구책임자 : 이대현



국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서

최종보고서							보안등급					
							일반[○], 보안[]					
중앙행정기관명		농림축산식품부		사업명	사업명		첨단농기계산업화 기술개발사업					
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원		사업명	내역사업명 (해당 시 작성)		농기계산업혁신기술					
공고번호		농림축산식품부 공고 제 농축 2021-26호		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		연구개발과제번호		321059-2				
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	40 %	LB0804	30 %	EA0502	30 %					
	농림식품과학기술분류	RC0103	50 %	RC0101	30 %	AA0204	20 %					
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문										
		영문										
연구개발과제명		국문	다수 로봇 협업 기반 원예작물 수확용 로봇 개발									
		영문	Development of robot for harvesting horticultural crops based on multi-robot collaboration									
주관연구개발기관		기관명	한국기계연구원		사업자등록번호		314-82-02693					
		주소	(우)대전광역시 유성구 가정북로 156		법인등록번호		194222-0000031					
연구책임자		성명	최태용		직위		책임연구원					
		연락처	직장전화			휴대전화						
			전자우편			국가연구자번호						
연구개발기간		전체	2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월)									
		단계 (해당 시 작성)	1단계	2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(0년 9개월)								
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계		연구개발 비의 지원금	
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
		총계	1,750,000	10,000	157,000	-	-	-	-	1,760,000	157,000	1,917,000
1단계		1년차	750,000	0	67,000	-	-	-	-	750,000	67,000	817,000
		2년차	1,000,000	10,000	90,000	-	-	-	-	1,010,000	90,000	1,100,000
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편		비고				
공동연구개발기관		(주)하다	하중우	대표					역할	기관유형		
		충북 대학교	신창섭	조교수					참여	중소기업		
		국립농업과학 원	김경철	농업연구사					참여	국립연		
		충남 대학교	이대현	조교수					참여	대학		
연구개발담당자 실무담당자		성명	박중우		직위		선임연구원					
		연락처	직장전화			휴대전화						
			전자우편			국가연구자번호						

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

2023 년 5 월 24 일

연구책임자:

주관연구개발기관의 장: 한국기계연구원

공동연구개발기관의 장: (주)하다

공동연구개발기관의 장: 충북대학교

공동연구개발기관의 장: 국립농업과학원

공동연구개발기관의 장: 충남대학교

최태용

박상진

하중우

김양훈

이승돈

김용주

(인)

(직인)

(직인)

(직인)

(직인)

(직인)


농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		첨단농기계산업화 기술개발사업		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)		농기계산업혁신기술		연구개발과제번호		321059-2	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	40 %	LB0804	30 %	EA0502	30%
	농림식품 과학기술분류	RC0103	50 %	RC0101	30 %	AA0204	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명		다수 로봇 협업 기반 원예작물 수확용 로봇 개발					
전체 연구개발기간		2021.04.01.-2022.12.31.(1년 9개월)					
총 연구개발비		총 1,917,000 천원 (정부지원연구개발비: 1,750,000 천원, 기관부담연구개발비 : 167,000 천원, 지방자치단체지원연구개발비: 0 천원, 그 외 지원연구개발비: 0 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[√] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준(4단계) 종료시점 목표(6단계)	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용		최종 목표	시설원에 환경 수확 성공률 80%급 3대 이상 다수 로봇 기반 수확 및 이송 로봇 시스템 개발				
		전체 내용	<p>[(1차년도)다수 로봇 협업 기반 수확용 로봇 시제품 개발]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 적재겸용 수확 로봇 시제품 개발 - 자율주행 이송 로봇 시제품 개발 - 다수 로봇 협업기반 수확 작업 기술 개발 - 시설원에 환경 모바일 로봇 주행 기술 개발 - 적재겸용 수확 로봇 모바일 플랫폼 시제품 개발 - 자율주행 이송 로봇 모바일 플랫폼 시제품 개발 - 다수로봇 모니터링 시스템 개발 - 다수 로봇을 활용한 수확 작업 계획 기술 개발 - 현장 실증 온실 구축 - 데이터 취득 객관성 향상을 위한 자동화 시스템 개발 - 작물(토마토) 수확시기 결정을 위한 기준 수립 연구 - 딥러닝기반 목적 원예작물 3D 위치 추정 기술 개발 - 시설원에 작물 컬러 정보기반 수확여부 판단 기술 개발 - 시설원에 작물 적재겸용 수확 로봇 매니플레이터 자세 분석 - 시설원에 작물 적재겸용 수확 로봇의 작업 공간 분석 - 대상 작업물 영상 DB 분석 환경 구축 - 영상기반 수확 일정 추정 알고리즘 개발 <p>[(2차년도)다수 로봇 협업 기반 수확용 로봇 기술 시설원에 적용]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 적재겸용 수확 로봇 사이트 적용 및 기능 개선 - 자율주행 이송 로봇 사이트 적용 및 기능 개선 - 다수 로봇 협업기반 수확 작업 기술 농작물 적용 및 기능 개선 - 시설원에 환경 내 모바일 로봇 주행 기술 사이트 적용 및 기능 개선 				

		<ul style="list-style-type: none"> - 수확 로봇 및 이송로봇 고도화 및 다수 제작 - 다수 로봇 현장배치 후 모니터링 시스템 검정 및 개선 - 다수 로봇을 활용한 수확 작업 계획 대비 수행능력 검정 및 개선 - 안전·편의장치 및 정비기능 개발 및 개선 - 작물(토마토) 인식을 위한 시계열 데이터 취득 및 DB 구축 - 작물(토마토) 수확을 위한 엔드이펙터 기술 개발 - 현장 접목 향상 기술 개발 (현장 실증 및 검정 체계 개발) - 시설원에 작물 수확을 위한 3차원 위치 정보 연동 기술 개발 - 시설원에 작물 수확 기능 개선을 위한 3차원 자세 추정 기술 개발 - 시설원에 작물 적재검 수확 로봇 매니플레이터 동특성 분석 - 시설원에 작물 적재검 수확 로봇 매니플레이터 자세 최적화 - 수확 일정 추정 알고리즘 모듈화 - 시설원에 작물 협업 로봇 적용 및 작업 계획 최적화 <p>[연구개발 성과]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 원예작물 수확용 수확로봇(2기), 이송로봇(1기) 개발 - 다수로봇운용 기술을 통한 3대 로봇 온실 실증 - 딥러닝 기반의 작물 위치·자세 인식 기술 - 딥러닝 기반의 작물 성숙도 인식 기술
--	--	--

연구개발성과	<p>[정성적 연구개발 성과]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 적재겸용 수확 로봇 시제품 개발 - 자율주행 이송 로봇 시제품 개발 - 모바일 플랫폼 시제품 개발 - 다수로봇 모니터링 시스템 개발 - 현장 실증 온실 구축 - 데이터 취득 객관성 향상을 위한 자동화 시스템 개발 - 딥러닝기반 목적 원예작물 3D 위치 추정 기술 개발 - 시설원에 작물 컬러 정보기반 수확여부 판단 기술 개발 - 영상기반 수확 일정 추정 알고리즘 개발 																																																			
	<p>[정량적 연구개발 성과]</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">평가 항목 (주요성능¹⁾)</th> <th rowspan="2">단위</th> <th>세계 최고수준 보유국/보유기관 성능수준</th> <th>연구개발 전 국내 수준 성능수준</th> <th colspan="2">연구개발 목표치 및 달성도</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>단계 목표</th> <th>단계 성과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 동시작업 로봇(협업)</td> <td>대</td> <td>1 (네덜란드/WUR)</td> <td>1</td> <td>3이상</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>2. 수확계획 대비성공률</td> <td>%</td> <td>88% (네덜란드/WUR)</td> <td>-</td> <td>88% 이상</td> <td>88</td> </tr> <tr> <td>3. 수작업대비 수확률</td> <td>%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>80% 이상</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>4. 농작물 인식률</td> <td>%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>90</td> <td>90.9</td> </tr> <tr> <td>5. 이동로봇 최대속도</td> <td>m/min</td> <td>55 (벨기에/Bogaerts)</td> <td>40</td> <td>55</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>6. 이동로봇 위치 정밀도</td> <td>mm</td> <td>±50 (네덜란드/WUR)</td> <td>±200</td> <td>±50</td> <td>±5.5</td> </tr> <tr> <td>7. 연속작업시간</td> <td>hr</td> <td>6 (네덜란드/WUR)</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>	평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	세계 최고수준 보유국/보유기관 성능수준	연구개발 전 국내 수준 성능수준	연구개발 목표치 및 달성도				단계 목표	단계 성과	1. 동시작업 로봇(협업)	대	1 (네덜란드/WUR)	1	3이상	3	2. 수확계획 대비성공률	%	88% (네덜란드/WUR)	-	88% 이상	88	3. 수작업대비 수확률	%	-	-	80% 이상	80	4. 농작물 인식률	%	-	-	90	90.9	5. 이동로봇 최대속도	m/min	55 (벨기에/Bogaerts)	40	55	120	6. 이동로봇 위치 정밀도	mm	±50 (네덜란드/WUR)	±200	±50	±5.5	7. 연속작업시간	hr	6 (네덜란드/WUR)	4	6
평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위			세계 최고수준 보유국/보유기관 성능수준	연구개발 전 국내 수준 성능수준	연구개발 목표치 및 달성도																																														
				단계 목표	단계 성과																																															
1. 동시작업 로봇(협업)	대	1 (네덜란드/WUR)	1	3이상	3																																															
2. 수확계획 대비성공률	%	88% (네덜란드/WUR)	-	88% 이상	88																																															
3. 수작업대비 수확률	%	-	-	80% 이상	80																																															
4. 농작물 인식률	%	-	-	90	90.9																																															
5. 이동로봇 최대속도	m/min	55 (벨기에/Bogaerts)	40	55	120																																															
6. 이동로봇 위치 정밀도	mm	±50 (네덜란드/WUR)	±200	±50	±5.5																																															
7. 연속작업시간	hr	6 (네덜란드/WUR)	4	6	9																																															

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> - 스마트팜에 적용가능한 수확용 로봇 시스템은 차세대 스마트 팜의 핵심 요소 중 하나로 다양한 시설원예 작물에 대한 수확·이송 및 포장에 적용 가능함 - 다중경로 자율주행이 가능한 로봇 플랫폼으로 다양한 농작업을 수행할 수 있는 manipulator를 적용한 파생 상품으로 개발 가능 - 해외 의존적인 시설원예작물 수확 및 이송 로봇 제어/운영기술, 빅데이터 분석기술, 통신기술, 소프트웨어 및 데이터베이스 운영시스템 국산화 기여 - 해당 제품은 국내뿐 아니라 유럽을 중심으로 한 세계시장에서도 경쟁력을 갖추어 매출이 가능할 것으로 예상 											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당사항 없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	21	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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)	농업용 로봇		시설원예		다수 로봇 협업		이동로봇		모바일 머니플레이터			
영문핵심어 (5개 이내)	Agricultural robot		Facility gardening		Multi-robot collaboration		AGV		Mobile manipualtor			

목 차

1. 연구개발과제의 개요	6
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	9
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	98
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	104
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	105
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	105

1. 연구개발과제의 개요

○ (추진배경) (국정기획위 국정운영 5개년 계획 및 100대 국정과제('17.07.19)) “지속 가능한 농식품 산업 기반 조성”내 (스마트 농업) '22년까지 스마트팜 시설원에 7천ha, 축산 5천호 보급 및 관련 R&D 투자 확대’를 국정과제로 설정

- (스마트 팜 증장기 추진 계획) 농림축산식품부는 “스마트 팜 증장기 추진 계획('17)”을 통해 온실기반의 스마트 팜 보급 추진방향을 마련
- (추진방향) ①작물 생육과 환경에 대한 데이터를 기반으로 최적 생육 환경을 조성하여 품질과 생산성 제고 → 농업경쟁력, 농가소득↑, ②노동력, 에너지, 농자재 등 투입 최소화 로 비용 절감 및 환경 보전에 기여 → 농업의 지속가능성↑, ③시스템에 의한 정밀농업을 통해 단순 반복 작업, 위험한 노동에서 해방 → 농업인 삶의 질↑

○ (추진배경) 스마트 팜 고도화를 부처별 주요 R&D 방향으로 설정하고 추진

- (한국형 스마트팜 추진계획) 농촌 진흥청은 글로벌 산업화 목적 및 핵심 기술확보를 위한 수출형 스마트팜 3세대 모델 개발을 추진
- 3세대 기본구성은 2세대 모델과 복합에너지관리 및 스마트 농작업이 추가된 모델로, 스마트 농작업 기술확보를 위하여 로봇 및 지능형농기계 농작업 자동화 시스템의 핵심기술 확보 필요

* 한국형 스마트팜 3세대 구성 : 2세대 구성, 복합에너지 관리, 스마트 농작업



< 스마트 3세대 개념 및 농작업용 농업로봇 활용 개념도, 과기정통부, '시설원예용 농업로봇 상용화 기술개발 및 테스트베드 구축' >

○ (추진배경) 농가인구 감소와 고령화, 곡물자급률 하락, 농가소득정체, 기후변화 심화 등으로 국민의 안정적 먹거리 확보에 어려움을 겪고 있음

- 현재 유럽을 중심으로 농업생산의 고부가가치화 및 농업인구의 고령화에 대응하기 위한 농업 로봇의 개발 필요성이 점차 증가하고 있음
- 국내 역시 농업 생산시스템의 스마트화가 진행되고 있으며 농업용 로봇 시장은 연평균 성장률이 약 30%씩 성장하고 있어 스마트 농업 관련 시장도 지속적으로 확대되고 있음

○ 연구개발의 최종목표

연구개발의 최종목표

시설원에 환경 수확 성공률 80%급 3대 이상 다수 로봇 기반 수확 및 이송 로봇 시스템 개발



그림 5 다수로봇 협업기반 수확 로봇 시스템(안)

- 모바일 매니플레이터 기반 농업로봇 시장 선점
- 4차 산업혁명 핵심기술적용 정밀농업 활성화
- 시설원에 작물 표준화 및 자동화 기반 일자리 창출

핵심
목표사양

핵심 기술/제품 성능지표		단위	달성목표
1	동시 작업 로봇	대	3 이상
2	수확 계획 대비 성공률	%	88 이상
3	수작업 대비 수확율	%	80 이상

핵심 개발 기술



< 원예작물 수확 및 이송 로봇 시스템 >



< 다수 로봇 협업기반 수확 및 이송 로봇 적용 사이트, 국립농업과학원 >

수확 및 이송로봇 플랫폼 기술

- 수확 성공률 80%급 모바일 매니플레이터 기반 적재겸용 수확 로봇 플랫폼 기술 개발
- 시설원에 환경 자율주행이 가능한 이송로봇 기술 개발
- 딥러닝 활용 과채 인식 및 3D 위치 추정 기술

다수 로봇 협업 운용 시스템 기술

- 수확 및 이송 최적화를 위한 다수 로봇 협업 시스템 개발
- IoT기술 기반 다수 로봇 운용 시스템 개발
- 수확 일정에 따른 로봇 작업 계획 최적화 기술 개발

시설원에 환경 적용 기술

- 국립농업과학원 신형 시설원에 시설 적용
- 3대 이상의 다수로봇 협업을 통한 수확 및 이송 기술 현장 검증
- 협동로봇 기반 모바일 매니플레이터를 이용한 협조 작업

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

▶ 한국기계연구원

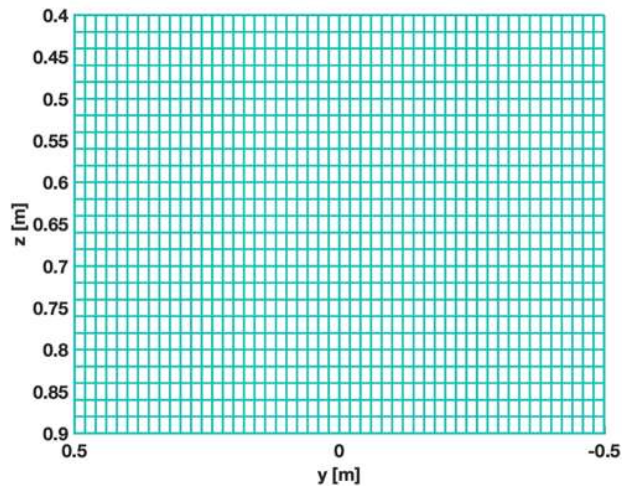
□ 수확 로봇 개발

○ 수확용 모바일 매니플레이터 기초연구 플랫폼 개발

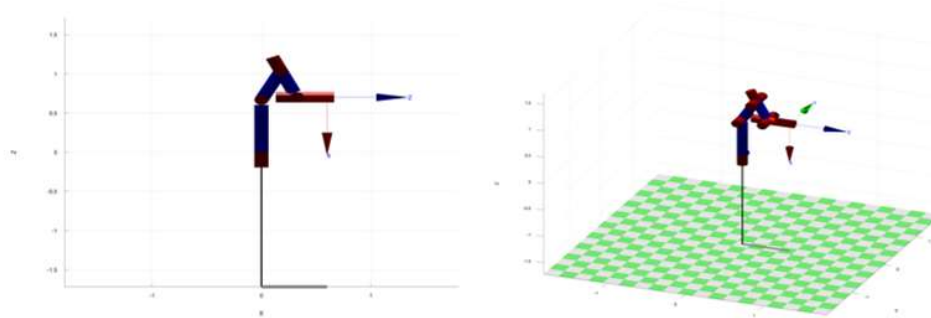
- 작업 공간 해석을 통한 매니플레이터 요구 조건 분석

- 모바일 로봇의 주행 공간 위치 및 과수 수확을 진행할 영역의 상대 위치를 이용하여 매니플레이터 작업 영역 분석 및 이를 통한 매니플레이터의 spec 선정 및 설치 방안 정의
- 목적 토마토 온실의 크기 환경 조건을 고려하여 작업 분석. 바닥에서 통상의 작업기준 수확대상인 토마토의 위치를 0.6m로 산정(토마토는 유인재배를 통해서 수확적기의 토마토를 배지보다 100~200mm 상단에 위치시킴). 작업 영역 외 로봇의 Payload도 고려하며(통상의 수확용 그리퍼 혹은 도구의 무게 3kg 이하 + 작물 수확에 들어가는 추가 힘) Payload 5kg급 협동로봇 중에서 신뢰성이 높고, 모바일 장착이 가능한 DC제어기 옵션이 제품으로 선정

거리 : 0.6 [m]



작업 가능 영역



(높이 : 0.6일 경우)

< 선정 모델의 기구학적 특성을 고려한 온실환경에서의 작업반경 분석 >



< 토마토 수확을 위한 온실 환경 >



< 토마토 수확을 위한 온실 환경 >



레일 시작 환경

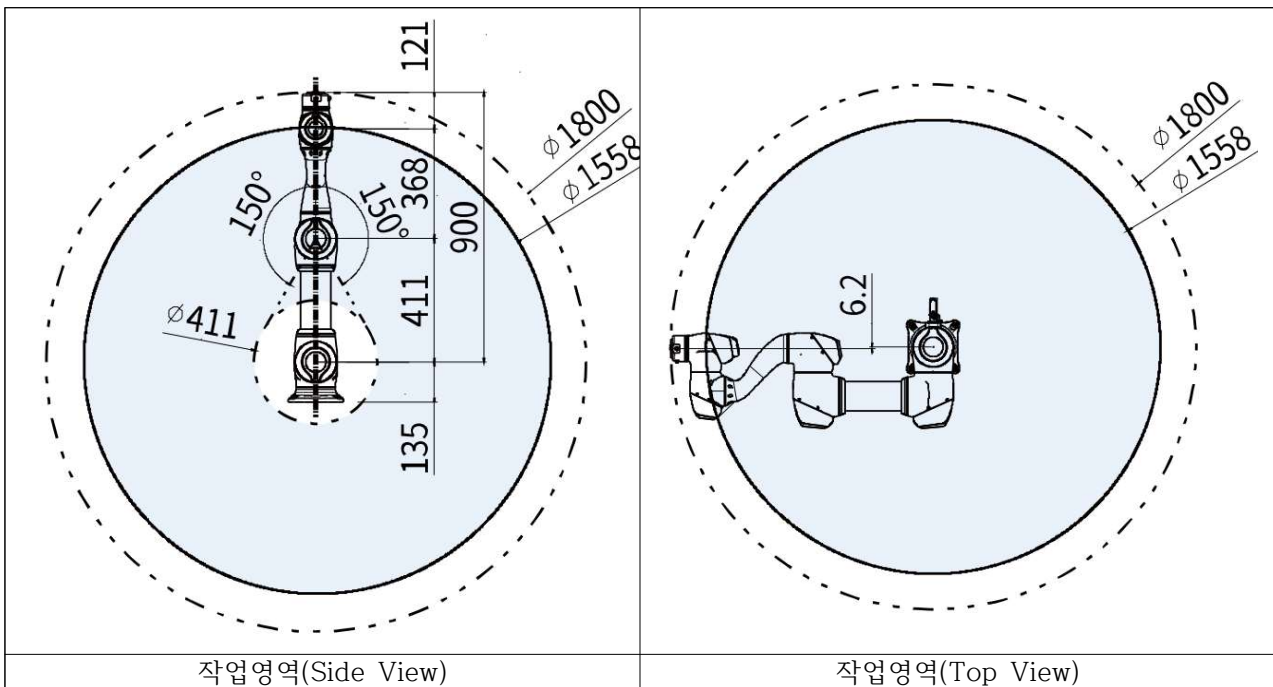


레일 종단 환경

< 온실환경. 레일 시작과 끝 환경 >

- 안전성을 고려한 협동로봇 선정 및 구매

- 인간과의 협동작업을 고려하여 안전인증을 받은 국내 상용 제품 선정 및 활용
- 전세계 협동로봇 TOP5로 시장에서 신뢰성이 검증된 두산로보틱스의 M0609모델을 선정 구매 및 적용(Payload 6kg, 자체중량 35Kg[DC제어기 포함], 최대작업반경 900mm, 충돌안전기능 탑재)
- 협동로봇은 통상 AC전원으로 구동되지만, 모바일 로봇 탑재를 위하여 DC제어기 형으로 변경 적용하였고, 온실환경의 내환경성을 고려하여 WaterJacket를 적용



작업영역(Side View)

작업영역(Top View)

< 적용 협동로봇의 작업영역 >



자율안전확인 신고증명서

사업장명	두산로보틱스주식회사	사업장관리번호	257-88-001280
신청인	사업자등록번호 257-88-00128	대표자 성명	이병서
소재지	(16648) 경기도 수원시 권선구 산업로156번길 79		

자율안전인증대상 기계·기구명	산업용로봇		
형식(규격)	M1013	용량(등급)	6 axis
자율안전 확인번호	17-AB1EQ-01514		
제조사	두산로보틱스주식회사		
소재지	(16648) 경기도 수원시 권선구 산업로156번길 79		

「산업안전보건법」 제35조제1항 및 같은 법 시행규칙 제61조제3항에 따라 자율안전확인 신고증명서를 발급합니다.

2017년 12월 05일



한국산업안전보건공단 서울지역본부장



CERTIFICATE

No. Z10 004249 0013 Rev. 00

Holder of Certificate: Doosan Robotics Inc
79, Saneop-ro 156beon-gil, Gwonseon-gu
Suwon-si 16648
REPUBLIC OF KOREA

Factory(ies): 004249

Certification Mark:



Product: Robot Safety Unit
Model(s): Doosan Robotics Safety Controller

Parameters:

Safety functions:
STO, SBC, Emergency Stop, SS1, SS2, SOS, SLP, SLS, SLT, Protective Stop, TCP/Robot Position Limit, TCP Orientation Limit, TCP Speed Limit, TCP Force Limit, Robot Momentum Limit, Robot Power Limit, Collision Detection, Safety I/O:

Tested according to:

IEC 61508-1:2010
IEC 61508-2:2010
IEC 61508-3:2010
IEC 61508-4:2010
IEC 61800-5-1:2007
IEC 61800-5-2:2010
ISO 13849-1:2015
IEC 62061:2005
IEC 62061:2005/AMD1:2012
IEC 62061:2005/AMD2:2015
ISO 10215-1:2011
ISO TS 15066:2016
IEC 61000-6-7:2014
IEC 61326-3-1:2017

The product was tested on a voluntary basis and complies with the essential requirements. The certification mark shown above can be affixed on the product. It is not permitted to alter the certification mark in any way. In addition the certification holder must not transfer the certificate to third parties. See also notes overleaf.

Test report no.: DS93149T
Valid until: 2024-01-27

Date, 2019-01-30


 (Guido Neumann)

Page 1 of 1
TUV SUD Product Service GmbH • Certification Body • Ritterstraße 65 • 80339 Munich • Germany

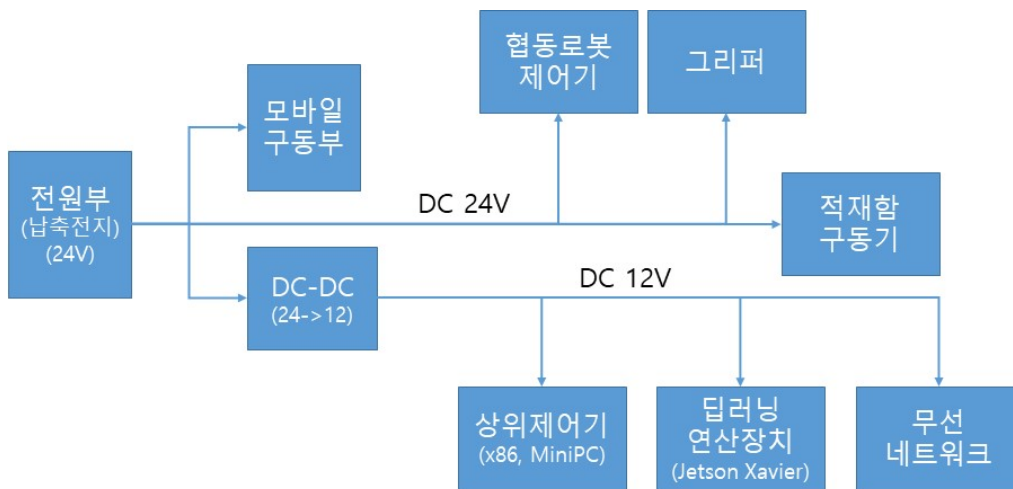
< 적용 협동로봇의 국내외 안전인증서 >

		M0609	M0617	M1013	M1509
Arm	Payload	6 kg (13.2 lb)	6 kg (13.2 lb)	10 kg (22 lb)	15 kg (33 lb)
	Reach	900 mm (35.4 inch)	1,700 mm (66.9 inch)	1,300 mm (51.1 inch)	900 mm (35.4 inch)
	Weight	27 kg (59.5 lb)	34 kg (74.9 lb)	33 kg (72.7 lb)	32 kg (70.5 lb)
Performance					
	Tool Speed	1 m/s	1 m/s	1 m/s	1 m/s
	Repeatability	±0.05 mm	±0.1 mm	±0.05 mm	±0.05 mm
	Temperature	0-45 °C	0-45 °C	0-45 °C	0-45 °C
Joint Movement (Range: ° / Max Speed: °/s)					
	J1	±360° / 150°/s	±360° / 100°/s	±360° / 120°/s	±360° / 150°/s
	J2	±360° / 150°/s	±360° / 100°/s	±360° / 120°/s	±360° / 150°/s
	J3	±150° / 180°/s	±165° / 150°/s	±160° / 180°/s	±150° / 180°/s
	J4	±360° / 225°/s	±360° / 225°/s	±360° / 225°/s	±360° / 225°/s
	J5	±360° / 225°/s	±360° / 225°/s	±360° / 225°/s	±360° / 225°/s
	J6	±360° / 225°/s	±360° / 225°/s	±360° / 225°/s	±360° / 225°/s
Other Features					
	Installation Position	Any (Floor / Ceiling / Wall)			
	Protection Rating	IP54			
	Flange Interfaces	Digital I/O 6 In / 6 Out			
	I/O Power Supply	DC 24V / Max. 3A			

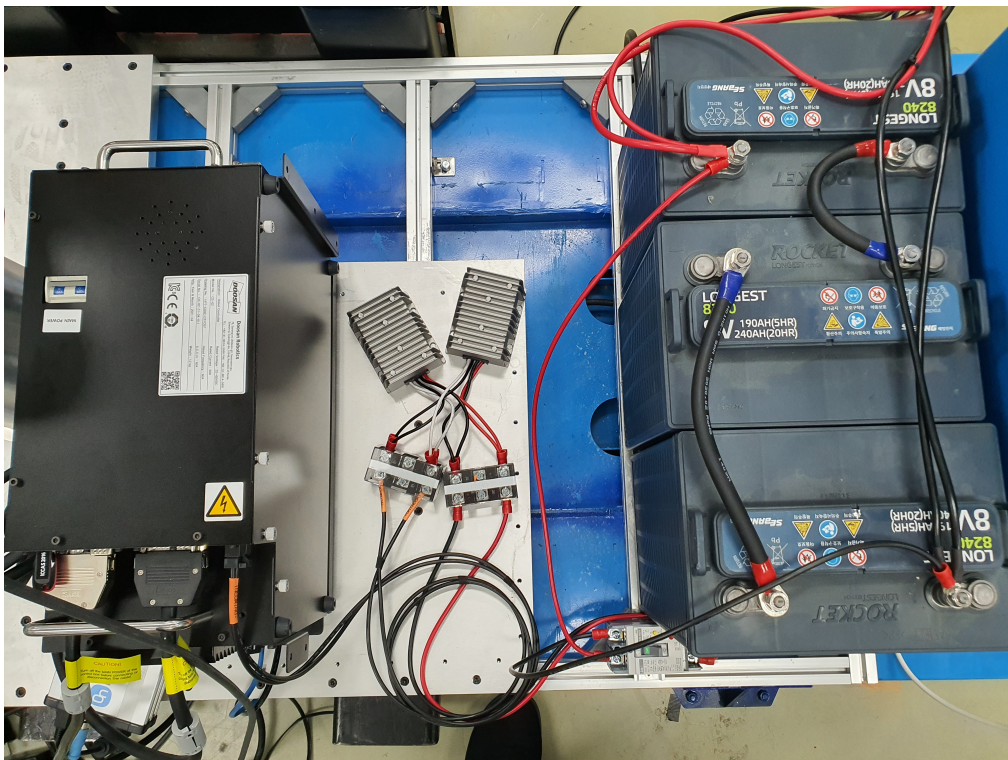
< 적용 협동로봇의 사양표 >

- 동작조건을 고려한 전장부 설계

- 온실내 환경 및 모바일 구동을 고려한 매니플레이터의 전장 조건 분석 및 작업간의 간섭을 고려한 매니플레이터 전장 설계
- 공동연구기관 (주)하다에서 개발한 방재용 모바일 플랫폼의 레일 및 콘크리트의 이동이 가능한 복합 구동부 활용
- 모바일 플랫폼의 8V 저가형 납배터리 기반 전원부를 준용하여, 추가한 DC형 매니플레이터 및 상위제어기 등에 24V혹은 12V전원 공급(세부 전원 계통도는 아래 그림 참조)
- 전장 배치는 납축전지를 전·후로 분산배치하여 모바일 로봇이 레일에 미치는 하중을 분산하도록 했음
- 로봇 동작 영역을 고려하여 적재함과 로봇 주변으로 납축전지, 로봇제어기 등의 부피와 무게가 큰 부품을 분산배치하고, 그 외 상위제어기 딥러닝연산장치 등과 같은 소형 전자부품은 잉여공간에 분산 배치



< 수확로봇 전원부 계통도 >

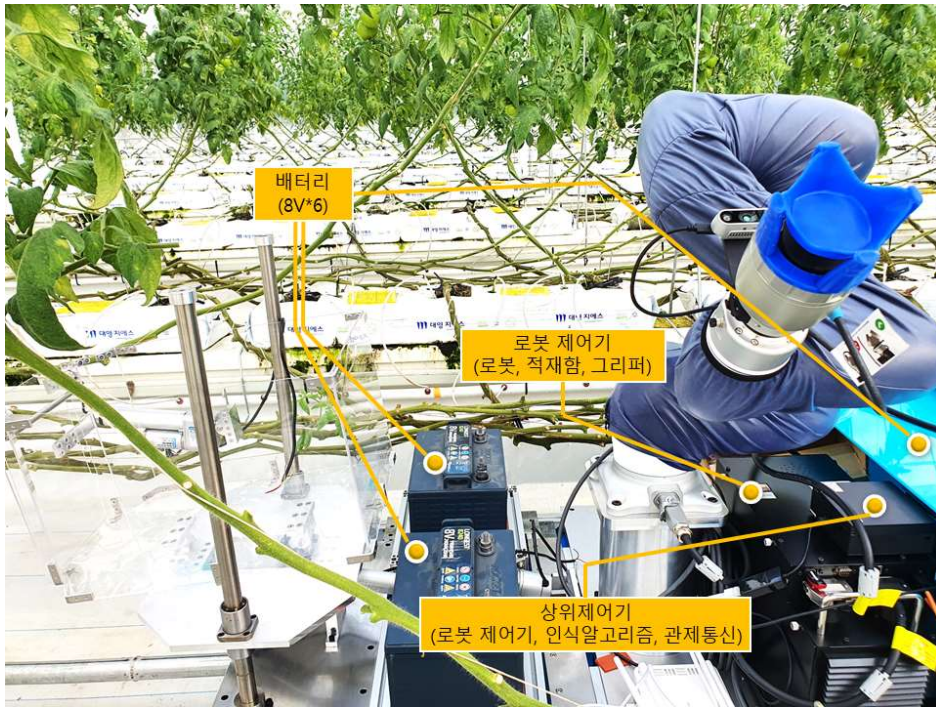


< 매니플레이터 전장 설계 >

- 모바일 로봇에 매니플레이터 탑재

- 모바일 로봇에 탑재한 주요 부품은 다음과 같음

구분	용도 및 설명	개수	
전원계통	납축전지	- 8V(L8240)	6
	DC-DC 컨버터	- 축전지 24V를 제어기 및 인식센서 등이 사용가능한 12V전압으로 변경	3
매니플레이터	로봇암	- 수확용 상용 협동로봇(M0609)	1
	로봇제어기	- 두산 협동로봇용 DC제어기	1
	소프트그리퍼	- 작물 수확용 소프트 그리퍼(전기구동)(OnRobot사)	1
인식	작물 인식 센서	- 2D 스테레오 + Depth센서를 이용하여 3D영상 확보(Intel RealSense D435)	1(2) : 3개 장착 예정이나 현재단계에서 1개만 장착
	인공지능 제어기	- 인식센서의 영상을 이용하여 작물 성숙도 및 위치 판단 연산 수행(Nvidia Jetson Xavier)	1
기타	수확로봇 상위제어기	- 수확로봇 전체 동작 제어 - 매니플레이터, 그리퍼 등의 인터페이스 및 동작 - 비전센서 인터페이스 - 모바일 로봇 인터페이스 및 동작 - 관제서버와의 통신을 통한 사용자 명령에 대한 대응 - 로봇 상태 관제서버 전송 - 작물 적재함 동작(작물 이송로봇 전송)	1
	수확물 적재함	- 일반운용 : 수확한 작물(토마토) 적재함 - 2자유도 구동을 통한 수확작물 이송로봇 전달 메커니즘 탑재	1



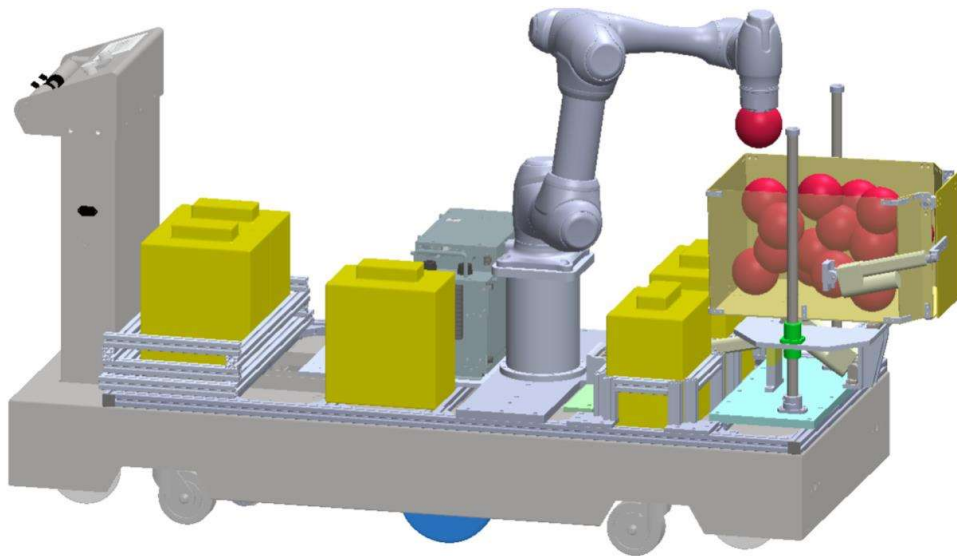
< 매니플레이터 작업 영역을 고려한 전장 설계 >



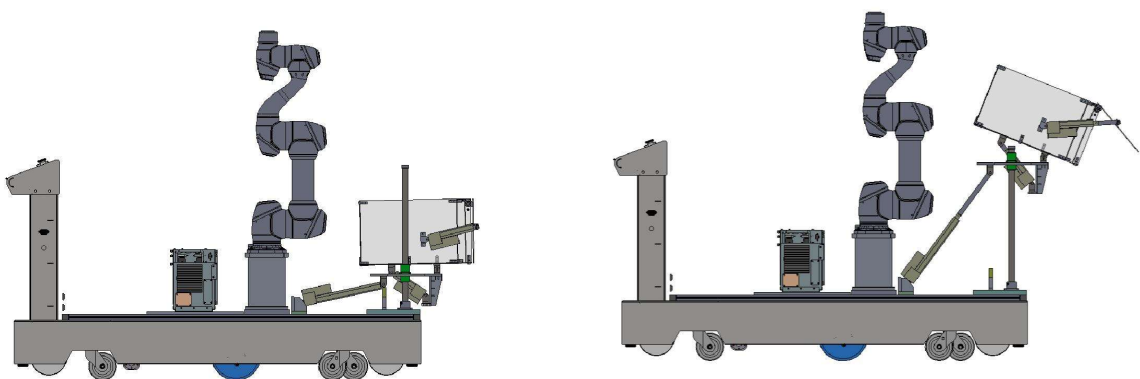
< 수확용 모바일 매니플레이터(라이 ver.1) >

- 수확물 적재 및 전달을 위한 메커니즘 설계

- 수확, 적재 동시 가능한 모바일 매니플레이터와 이송을 위하여 적재함에 수확된 농작물을 전달하기 위한 메커니즘 개발
- 매니플레이터가 수확한 농작물을 적재함에 적재하기 위한 최적의 설치 구조 도출
- 이송용 장치에 수확된 토마토를 옮기기 위하여 높이와 기울기가 가변으로 제어 가능한 형태의 수확물 적재함 개발
- 선행기술 회피 및 개발 기술의 지재권 확보를 위하여 선제적으로 특허 출원(수확로봇 적재함 전달 메커니즘, 이송로봇 적재함 교체 메커니즘 등)



< 농작물을 수확하고 적재하기 위한 구조 설계 >



(a) 수확을 위한 적재함 위치

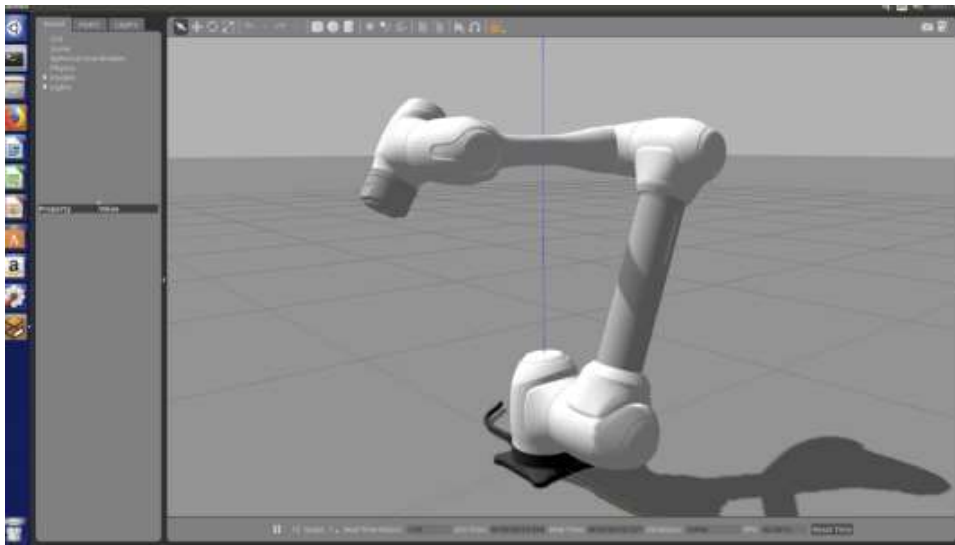
(b) 이송로봇에 수확물을 옮기기 위한 적재함 동작(높이 및 각도 조절)

< 수확물을 적재하고 이송용으로 전달하기 위한 메커니즘 >

- 적재겸용 수확 로봇 상위제어기 개발

- 모바일 로봇의 주행, 매니플레이터의 제어, 수확용 그리퍼 동작 제어 및 적재함의 내용물 전달의 통합 제어를 수행하고 농작물 수확의 로봇의 운영을 위한 수확 로봇의 상위 제어기 개발

- 수확로봇을 구성한 협동로봇(두산), 수확용 그리퍼, 인식센서(D435*3), 모바일 로봇((주)하다), 인공지능연산장치(Jetson Xavier)간의 통신 프로토콜 정의 및 TCP/IP 통신 서버 및 클라이언트 구성
- 로봇 내부 장치 간 통신을 위한 TCP/IP, CAN, ROS 기반 통신 구성 및 로봇과 관제간 통신을 위한 TCP/IP 기반 통신 구성
- State machine 기반 구동 제어 시나리오 설계
- 관제와의 Socket통신을 통한 사용자 입력 대응 및 로봇 상태 관제서버 전송
- 상위제어기 운용 소프트웨어는 오픈소스 로봇 운용 프로그램 ROS활용
- 두산 협동로봇의 경우 ROS운용을 위한 SDK제공
(<http://wiki.ros.org/doosan-robotics>)

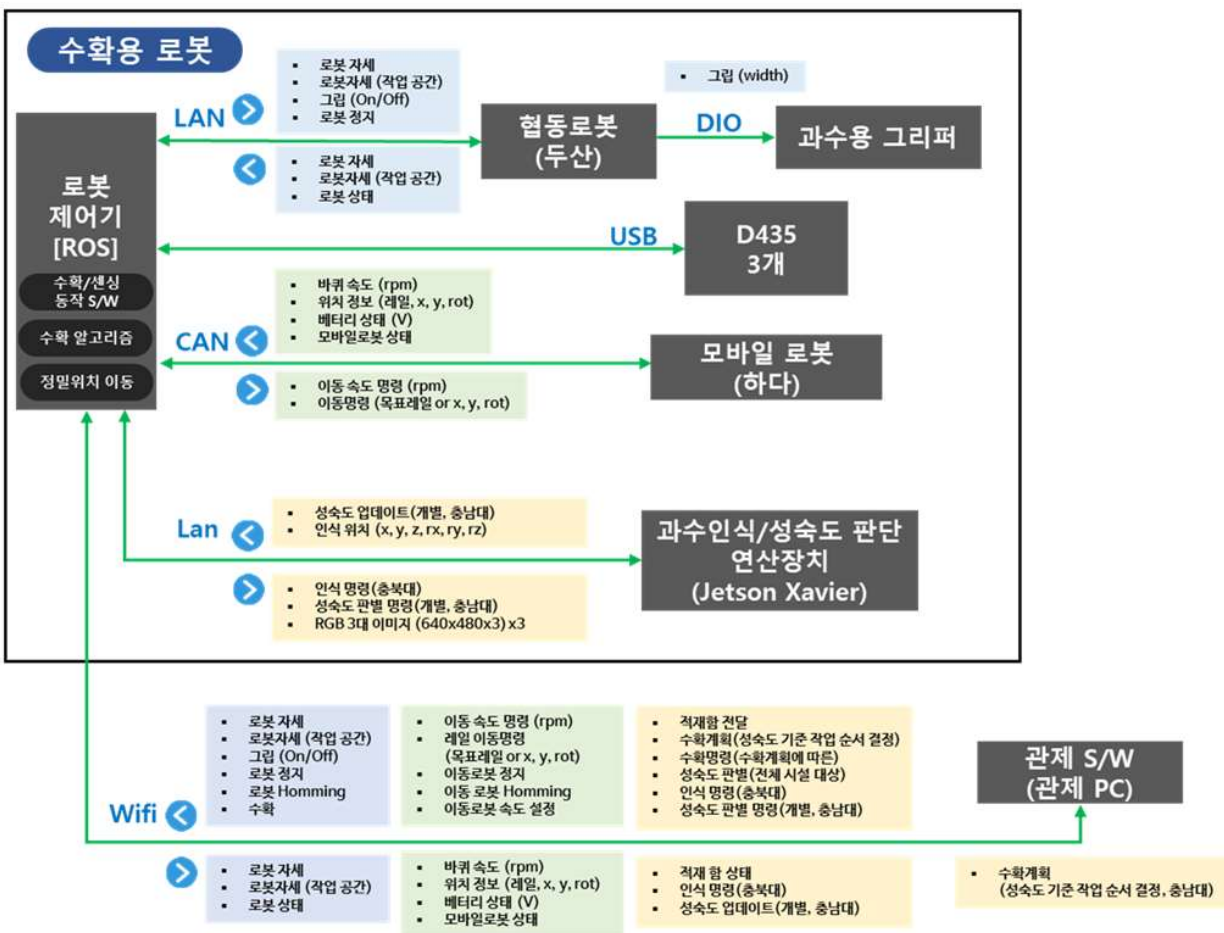


< ROS Rviz에서의 두산 협동로봇 동작 시뮬레이션 >

- 상위제어기의 인터페이스 및 운용 내용은 아래 표 및 그림 참조

구분	인터페이스	비고
인식센서	D435 ◀D435 * 이미지 * Depth	-3개(예정) -USB
매리플레이터	두산 협동로봇 ▶두산 협동로봇 * 로봇 자세 * 로봇자세 명령(작업 공간) * 로봇자세 명령(관절 공간) * 그림 (On/Off) * 로봇 정지 ▶두산 협동로봇 * 로봇 자세(관절 공간) * 로봇자세 (작업 공간) * 로봇 상태	-1개 - Socket(ROS Node)
이동로봇	(주)하다 이동로봇 ▶모바일 로봇((주)하다) * 이동 속도 명령 (rpm) * 이동명령 (목표레일 or x, y, rot) ▶모바일 로봇((주)하다) * 바퀴 속도 (rpm)	-CAN

		<ul style="list-style-type: none"> * 위치 정보 (레일, x, y, rot) * 배터리 상태 (V) * 모바일로봇 상태 	
	적재함	<ul style="list-style-type: none"> ➡적재함 메커니즘 * 리프팅 동작 * 푸싱 동작 	<ul style="list-style-type: none"> -이송 로봇에 작물 전달용 -DIO
관제(사용자 단말)	관제(사용자 단말)	<ul style="list-style-type: none"> ➡관제서버 * 바퀴 속도 (rpm) * 위치 정보 (레일, x, y, rot) * 배터리 상태 (V) * 모바일로봇 상태 * 로봇 자세 * 로봇자세 (작업 공간) * 로봇 상태 * 적재 함 상태 * 성속도 업데이트 ←관제서버 * 이동 속도 명령 (rpm) * 레일 이동명령 (목표레일 or x, y, rot) * 이동로봇 정지 * 이동 로봇 Homming * 이동로봇 속도 설정 * 로봇 자세 * 로봇자세 (작업 공간) * 그립 (On/Off) * 로봇 정지 * 로봇 Homming * 수확 * 적재함 전달 * 수확계획(성속도 기준 작업 순서 결정) * 수확명령(수확계획에 따른) * 성속도 판별(전체 시설 대상) * 인식 명령 * 성속도 판별 명령 	<ul style="list-style-type: none"> -온실 관제 센터 서버 설치 -사용자는 서버의 Web인터페이스를 통하여 로봇과 양방향 통신 -Socket



< 농작물 수확을 위한 상위제어기 설계 >

- 수확 로봇 성능 개선 및 시제품 개발
 - 1차년도 수확로봇은 기능검증을 위한 기초연구(라이 ver.1)
 - 작업공간 협업을 위한 6축 협동로봇 적용
 - 참여기관 (주)하다 개발 모바일 플랫폼 활용

수확로봇(RIH, 라이) ver.1	수확로봇(RIH, 라이) ver.2
	
<ul style="list-style-type: none"> • 메커니즘 동작확인용 간이 제작 • 납축전지 사용에 따른 비대한 크기 및 무게 • 작물 전달 메커니즘 부재 	<ul style="list-style-type: none"> • 고온·다습 환경 운용을 위한 차폐 및 케이싱 • 수확작물 전달 메커니즘(리프팅+틸팅) • 저가형 라이다기반 레일 정밀 주행 • 리튬폴리머 배터리 적용(공간활용성↑, 무게↓)

- 최종 개발 수확로봇(라이 ver.2)는 아래와 같은 기능을 추가 및 보완
 - 고온·다습 환경 운용을 위한 차폐 및 케이싱
 - 수확작물 전달 메커니즘(리프팅+틸팅)(특허출원)
 - 저가형 라이다기반 레일 정밀 주행
 - 리튬폴리머 배터리 적용(공간활용성 ↑, 무게 ↓)
 - 케이싱 및 배터리 교체로 인한 전장부 재설계 및 실장



< 원예작물 수확을 위한 수확로봇(라이 ver.2) >

○ 농작물 수확용 그리퍼 솔루션 확보

- 수확용 그리퍼 요구 조건 분석
 - 대상 농작 물의 크기, 강성 및 농작 물의 수확 방법(돌려따기, 꼭지 자르기 등)을 고려한 수확용 그리퍼의 필요한 기능 및 크기 분석
- 작물 수확을 위한 소프트그리퍼 시스템 개발
 - 비정형 물체인 토마토 그리핑을 위한 OnRobot사의 소프트그리퍼 선정 및 테스트
 - 통상의 토마토 그리핑을 위한 작업영역(Jaw Stroke) 확인
 - 토마토 표면 마찰력에 의한 그리핑시 슬립 가능성 테스트
 - 그립 후 수확간의 작물 그립 유지를 위한 과지력 테스트
 - 사용예정인 두산 협동로봇과의 장착성 및 전원부 인터페이스 확인(두산 로봇에 대한 별도의 동작 솔루션 제공, 배터리 출력 DC24V전원으로 동작 가능)



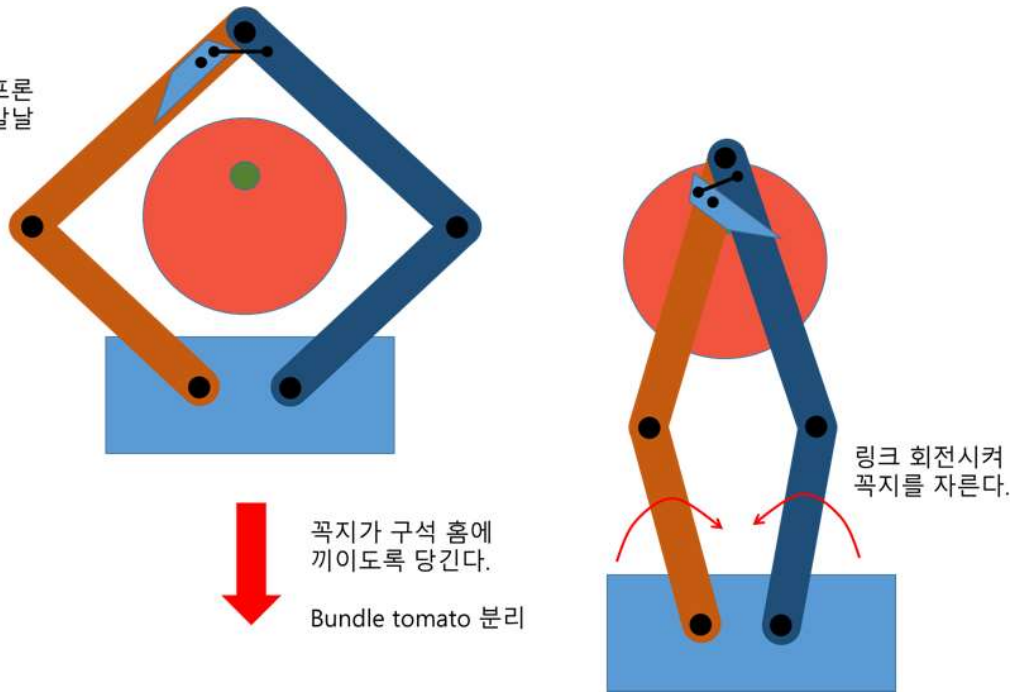
< 그리퍼 선정을 위한 동작성 실험(스트로크, 슬립, 파지력 등의 복합 실험) >



< 실 장착 소프트 그리퍼 >

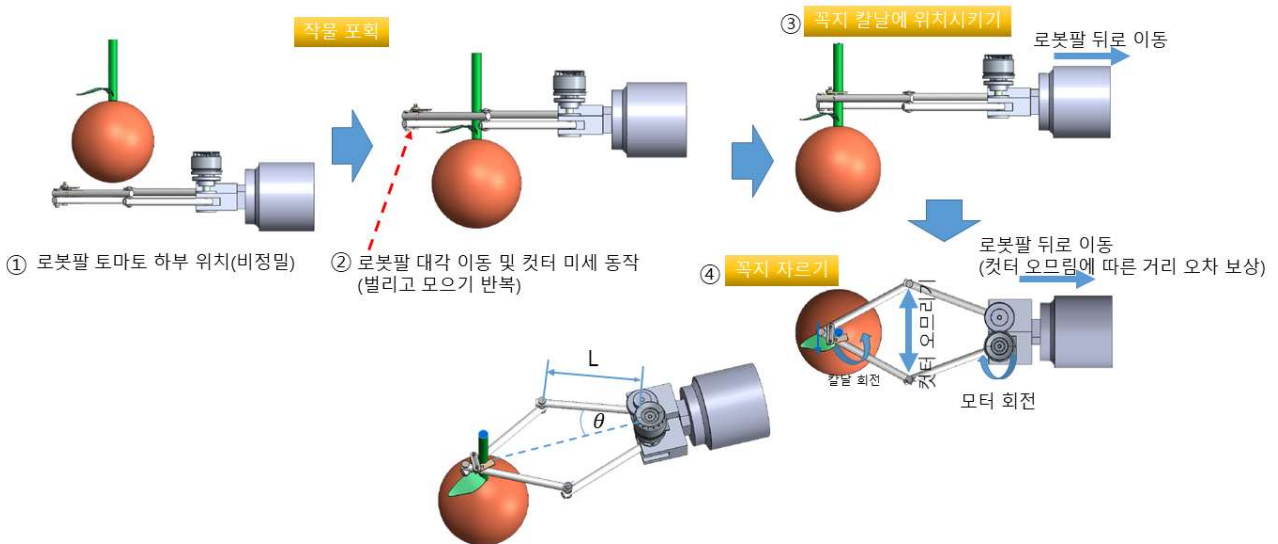
- 수확용 컷터 개념 설계 및 시제품 제작(특허출원 중)
 - 소프트 그리퍼는 중첩된 수확물 수확시에는 수확물이 떨어지는 문제 발견
 - 중첩된 수확물(토마토)의 선별적 수확을 위한 컷터 개념 개발

1. 링크방식
링크 재질은 테프론
칼날은 교체용 칼날



< 작물 수확용 컷터 개념도 >

- 개발 중인 수확물 컷터 동작 순서는 다음과 같음
 - ① 중첩된 토마토 봉치 중 전면부의 토마토 하단에 컷터 위치(수센티미터 위치 오차 가능)
 - ② 그리퍼의 미세 진동 및 로봇팔의 움직임을 통한 목표 작물 분리 및 Trap
 - ③ 컷터의 모서리에 위치한 칼날을 작물 꼭지에 위치시키기 위한 로봇의 후방 운동
 - ④ 로봇 후방 운동 및 컷터의 절단동작(오므리기)을 통한 작물 꼭지 자르기



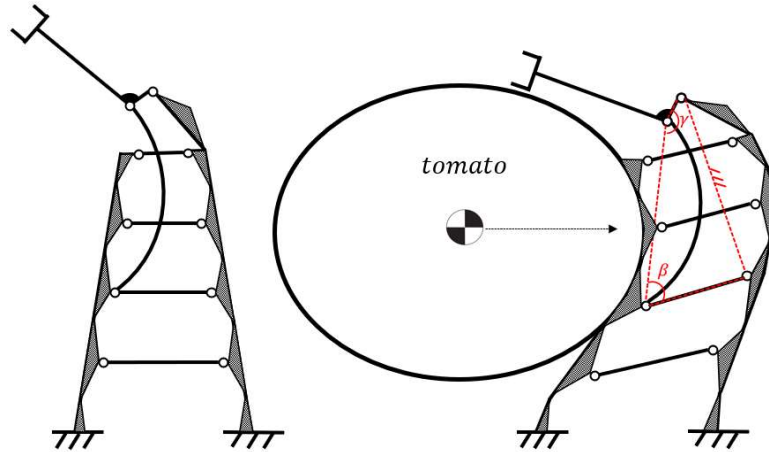
< 작물 수확용 컷터 동작 순서 >

- 작물 수확을 위한 소프트-하드 하이브리드 그리퍼 시스템 개발

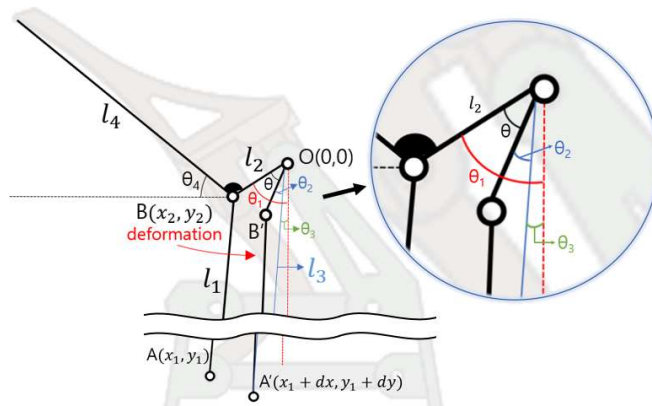
- Finray 그리퍼의 두께, 초기 rip의 각도 조정과 rip 사이의 각도 증가를 통해 passive adaptation과 힘 반응을 동시에 향상시킨 그리퍼 개발

- 그리퍼는 토마토를 파지할 때 하단 그림처럼 변형되고, 토마토의 파지 위치는 토마토의 중심과 아래에서 3번째 조인트가 수평위치에 있을 때임. 이 변형은 그림처럼 말단 링크를 회전시켜서 커터가 줄기를 자르도록 설계
- 그림의 빨간색 점선으로 표시된 4절 링크에서 기계적 이득(MA)은 다음 식과 같음

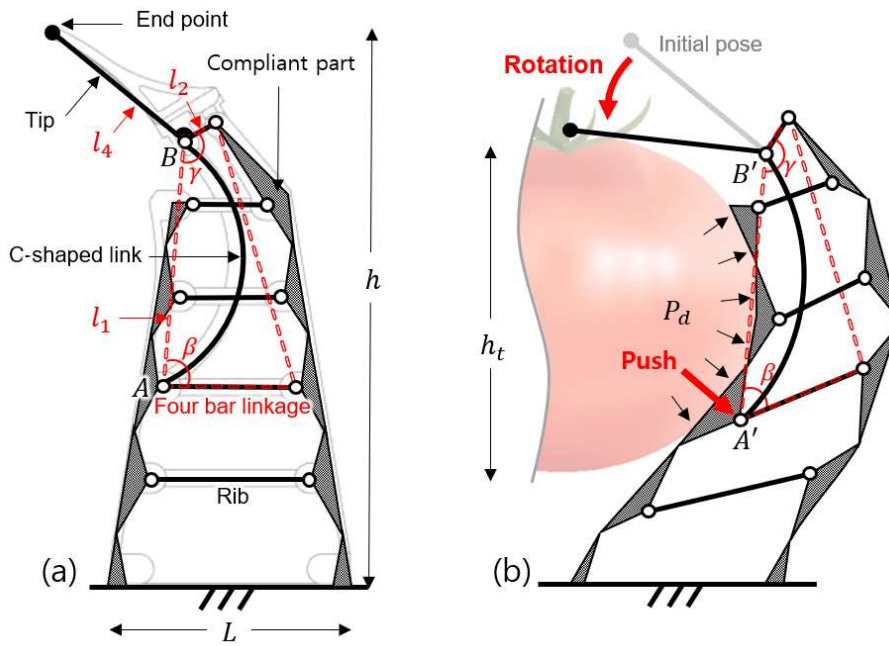
$$MA = \frac{\text{중동절 길이} \times \sin\gamma}{\text{구동절 길이} \times \sin\beta} = \frac{6.5\text{mm} \times \sin 159^\circ}{23.5\text{mm} \times \sin 68^\circ} = 0.107$$



< 핀레이 메커니즘 기반 작물 수확용 그리퍼 툴 메커니즘 >



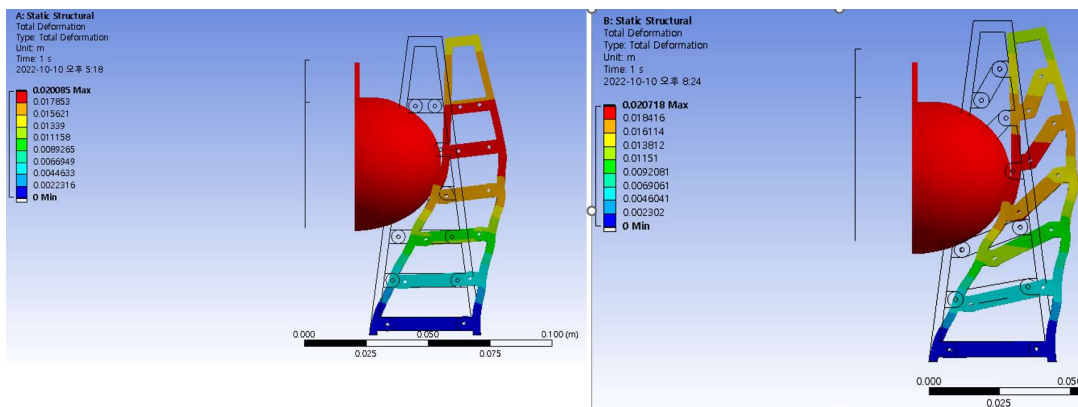
< 핀레이 메커니즘 기반 작물 수확용 그리퍼 툴 메커니즘 분석 >

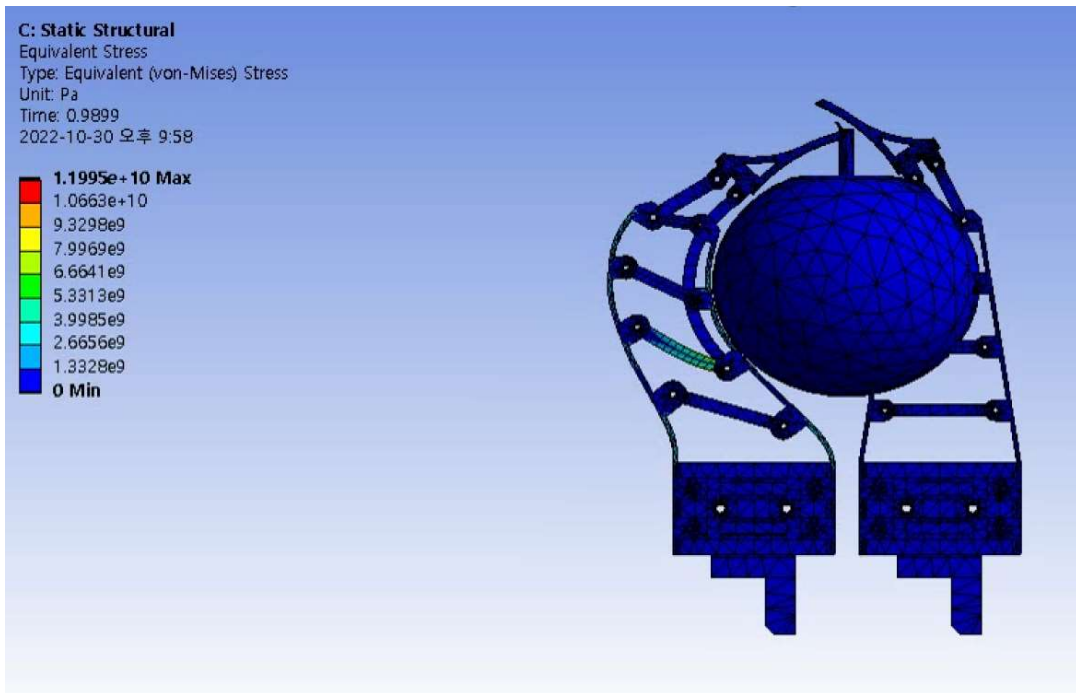


< 핀레이 메커니즘 기반 작물 수확용 그리퍼 기구학적 동작 분석 >

< 핀레이 메커니즘 기반 작물 수확용 그리퍼 툴 메커니즘 분석 개발 및 기구학 분석 >

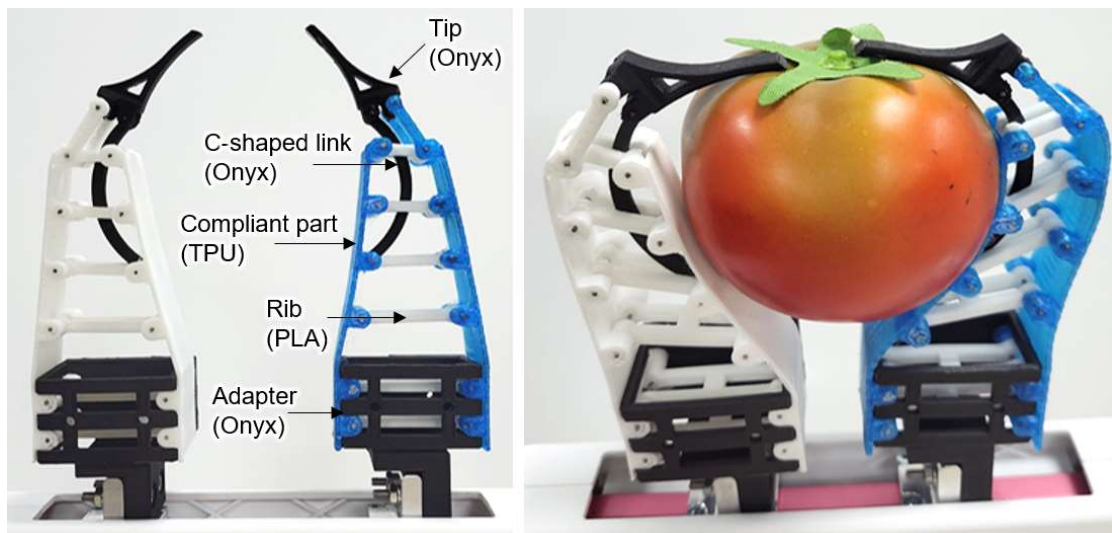
- 작물 수확용 툴의 변형체 시뮬레이션 및 분석 → 선정된 툴 메커니즘 기반으로의 설계를 위해 강성/강도 분석을 시뮬레이션을 통해 수행하며, 이를 통한 재료 선정 및 설계 수행
 - * 토마토와 그리퍼사이 Contact 조건 및 경계 조건을 고려한 그리퍼 구조 개발
 - * 하중 : 토마토 단면에 10N





< 핀레이 메커니즘 기반 작물 수확용 그리퍼 메커니즘 세부 설계 및 시뮬레이션 >

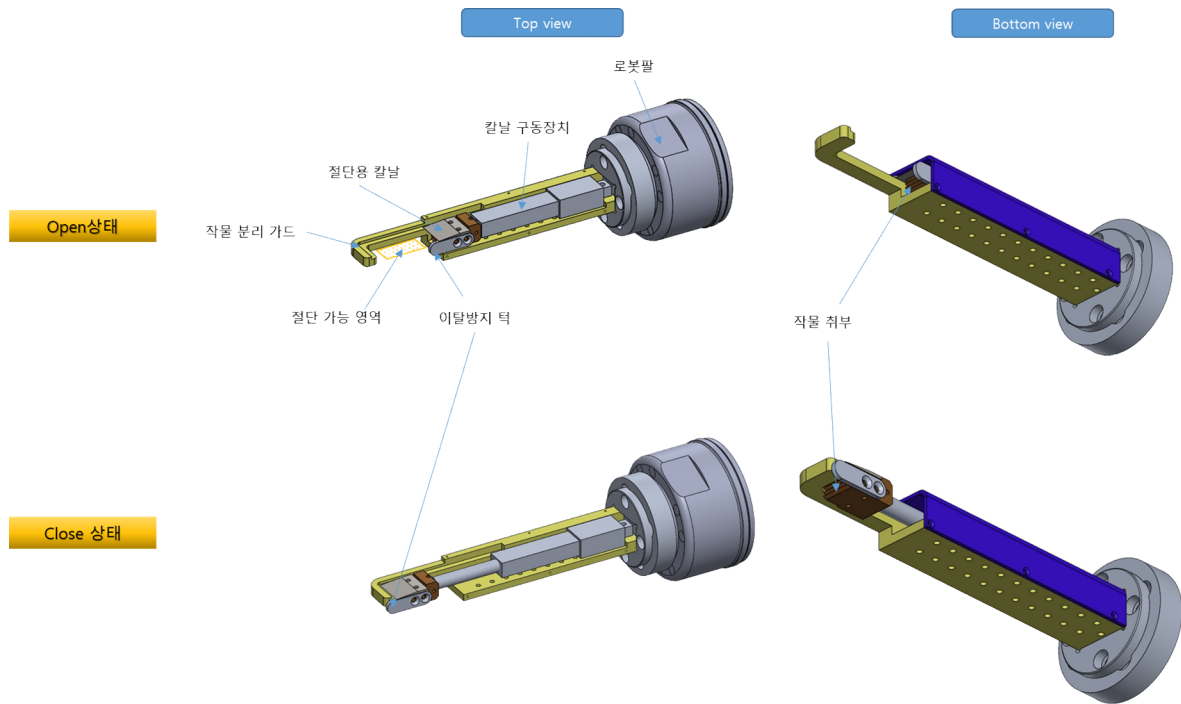
- 시뮬레이션 및 설계에 기반한 소프트-하드 하이브리드 그리퍼 시작품 제작



< 소프트-하드 하이브리드 메커니즘 기반 작물 수확용 그리퍼 프로토타입 제작 >

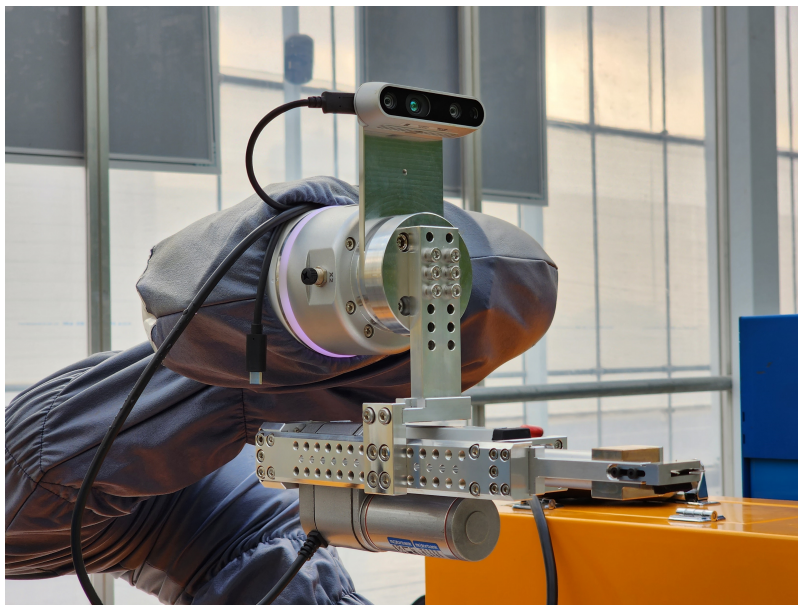
- 원예작물 수확용 작물절단 툴 개발

- 토마토는 오이, 딸기, 참외 등의 원예작물과 달리 묽음으로 자라기 때문에 절단의 어려움이 있음 → 이를 해결하기 위해 아래의 세가지 조건을 만족하는 말단 장치 개발
 - ①비정밀 인식에도 하나의 줄기만을 포획가능한 구조
 - ②대상물 절단시 주변 작물과 분리 구조
 - ③절단시 작물 이탈을 방지하고 동시에 절단 후 취부가 가능한 구조



< 작물 분리 및 커팅이 가능한 말단장치 개념도 >

- 개발 말단장치는 대상작물을 주변 환경과 분리하기 위한 작물 분리가드, 한번 포획된 작물의 이탈을 방지하는 이탈방지 턱, 선형 구동장치에 종속된 작물 커팅용 칼날로 구성
- 토마토의 줄기강성은 140N이상으로 문헌에서 확인됨→1000N급 중·소형 선형 구동부 적용
- 작물 절단 후 파지를 위한 동시파지 기구부 포함



< 작물절단 툴 실장착 수확로봇 >



< 작물절단 툴 동작 시연(접근, 절단, 파지) >

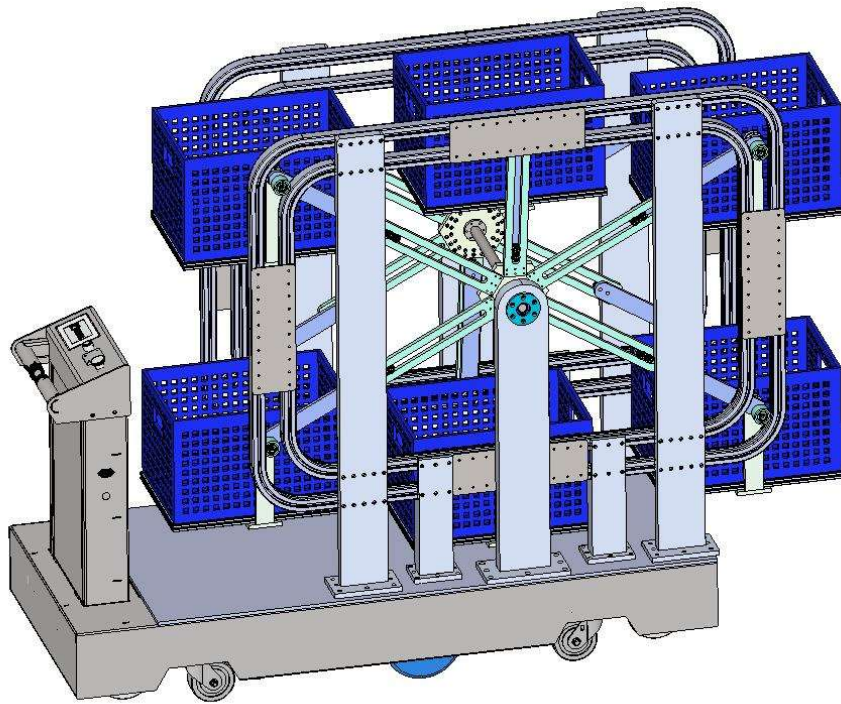
- 개발한 원예작물 수확용 비교 분석 및 최종 적용품 선정
 - 그룹형 작물 수확을 위한 다양한 툴 검토 및 개발
 - 상용화를 고려한 확실한 작물 절단 및 파지가 가능한 작물절단 툴 최종 적용

소프트 그리퍼 (type1)	소프트 그리퍼 (type2)	작물 클러스터 절단 툴(+그립) (특허출원)	작물절단 툴(+그립) (특허출원)	스마트 커팅 툴(+그립) (특허출원)
				
<p>(장점)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 다양한 형태 및 크기의 작물 대응 <p>(단점)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 토마토와 같은 균집형 작물에 부적합 	<p>(장점)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 다양한 형태 및 크기의 작물 대응 <p>(단점)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 탄성계수 조절이 힘들어 작물 손상 가능 	<p>(장점)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 다양한 형태 및 크기의 작물 대응 • 한 번에 복수개 작물 수확 <p>(단점)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 작물별 성숙도 고려못함 • 후속 작업 필요 	<p>(장점)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 다양한 형태 및 크기의 작물 대응 • 한 번에 단수/복수 작물 수확 복합 대응 <p>(단점)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 꼭지 잔존 • 후속 작업 필요 	<p>(장점)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 다양한 형태 및 크기의 작물 대응 • 말단 칼날로 꼭지 절단 기능 <p>(단점)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 정밀한 구조 설계 및 제어 필요

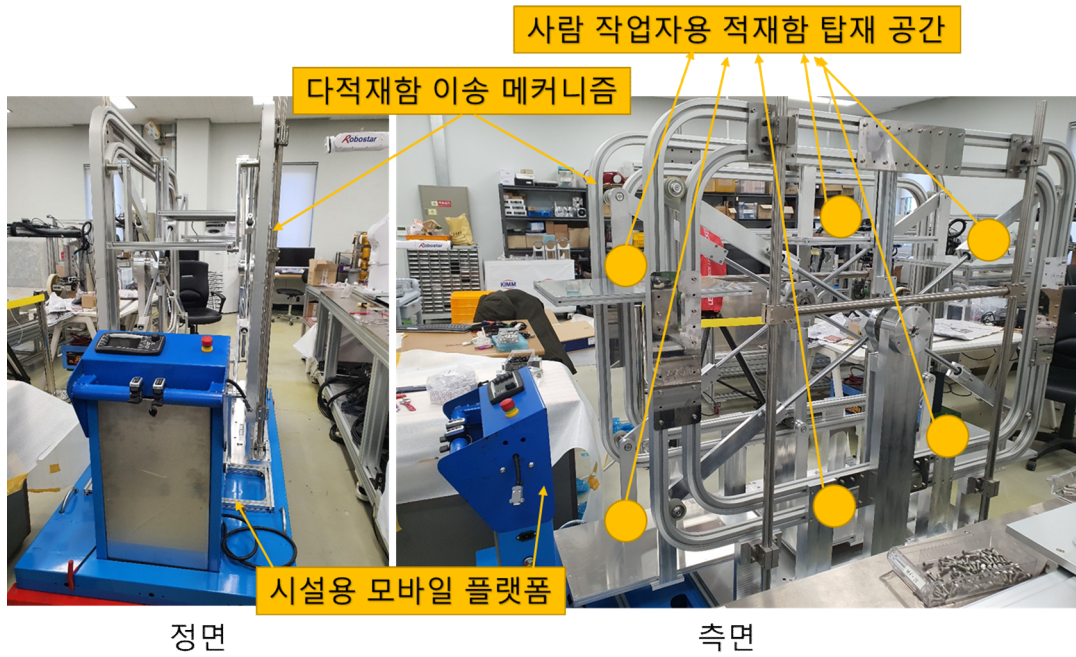
□ 이송 로봇 개발

○ 다적재 이송 로봇 기초연구 플랫폼 개발

- 수확물 적재 및 운반을 위한 메커니즘 설계
 - 수확물을 적재하고 운반하기 위하여 이송용 로봇에 적재물을 전달하기 위한 방식을 고려한 수확용 로봇의 적재함 구조 및 이송용 로봇의 적재함 배치 방안 개발
 - 수확용 로봇에서 이송용 로봇으로 적재물을 옮기기 위한 메커니즘 및 시퀀스 개발
 - 다량의 박스를 관리하며 이송용 로봇이 하역장으로 이동하였을 경우 사람이 손쉽게 토마토 박스를 옮길 수 있는 구조 개발(사람 작업자의 작물 적재 박스 활용)
 - 중앙의 회전부를 이용하여 다량의 무게가 실려도 적재물을 이용한 무게 보상 역할을 이용하여 적은 토크로 다량의 수확물을 이송하는 것이 용이함



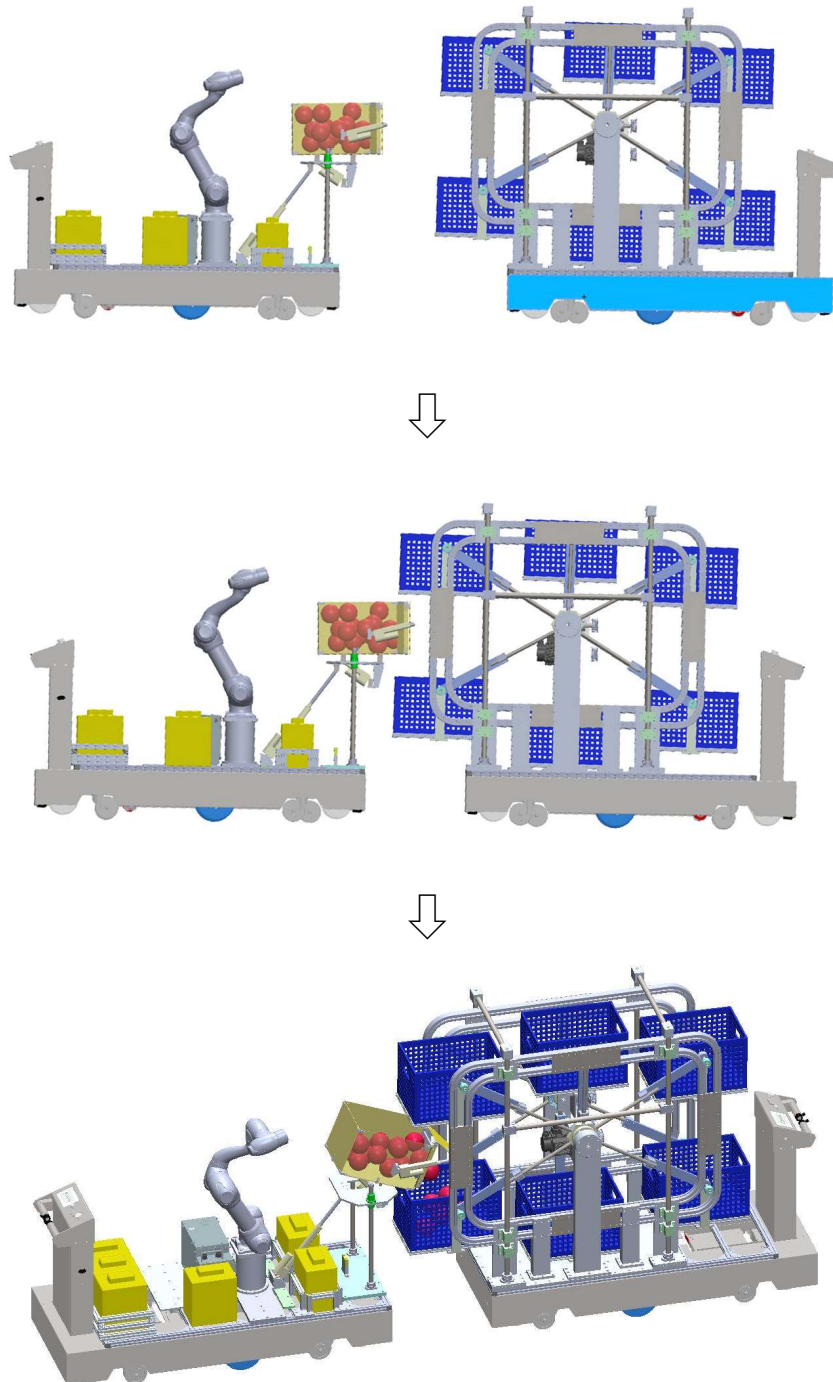
< 이송용 로봇의 적재함 메커니즘 설계안 >



정면

측면

< 이송용 로봇의 적재함 메커니즘 개발 >



< 수확용 로봇에서 이송용 로봇으로 적재물을 옮기는 메커니즘 동작 예시 >

- 이송 로봇 상위제어기 개발

- 적재물을 전달 받고 보관용 사이트로 전달하기 위한 수확용 로봇과 협업을 위한 이송 로봇의 상위 제어기 개발
- 로봇과 관제 PC간 통신을 위한 TCP/IP 기반 인터페이스 구성
- 관제와의 Socket통신을 통한 사용자 입력 대응 및 이송 로봇 상태 관제서버 전송
- State machine 기반 구동 제어 시나리오 설계
- 상위제어기 운용 소프트웨어는 오픈소스 로봇 운용 프로그램 ROS활용
- 이송로봇에 탑재된 인식센서(D435), 이동로봇((주)하다), 복수 적재함 등의 인터페이스

제공

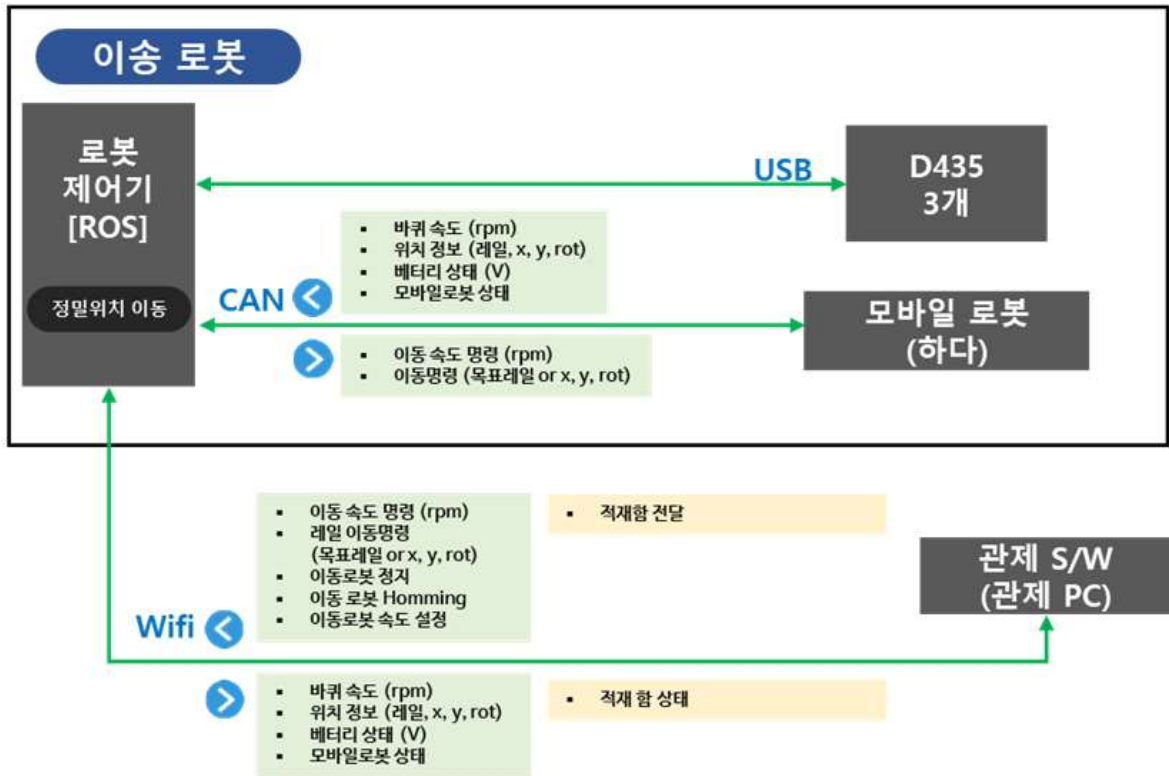
- 상위제어기의 인터페이스 및 운용 내용은 아래 표 및 그림 참조

구분		인터페이스	비고
인식센서	D435	<ul style="list-style-type: none"> ◀D435 * 이미지 * Depth 	<ul style="list-style-type: none"> -3개(예정) -USB
이동로봇	(주)하다 이동로봇	<ul style="list-style-type: none"> ➔모바일 로봇((주)하다) * 이동 속도 명령 (rpm) * 이동명령 (목표레일 or x, y, rot) ◀모바일 로봇((주)하다) * 바퀴 속도 (rpm) * 위치 정보 (레일, x, y, rot) * 배터리 상태 (V) * 모바일로봇 상태 	-CAN
	적재함	<ul style="list-style-type: none"> ➔복수 적재함 메커니즘 * 회전 이동 * 적재함 탑재 	<ul style="list-style-type: none"> -복수 적재함 운용을 위한 메커니즘 구동 -DIO
관제(사용자 단말)	관제(사용자 단말)	<ul style="list-style-type: none"> ➔관제서버 * 바퀴 속도 (rpm) * 위치 정보 (레일, x, y, rot) * 배터리 상태 (V) * 모바일로봇 상태 ◀관제서버 * 이동 속도 명령 (rpm) * 레일 이동명령 (목표레일 or x, y, rot) * 이동로봇 정지 * 이동 로봇 Homming * 이동로봇 속도 설정 	<ul style="list-style-type: none"> -온실 관제 센터 서버 설치 -사용자는 서버의 Web인터페이스를 통하여 로봇과 양방향 통신 -Socket

이송 로봇 시스템 개요

모바일로봇 관련

수확 및 협업관련



< 이송 로봇 상위 제어기 설계 >

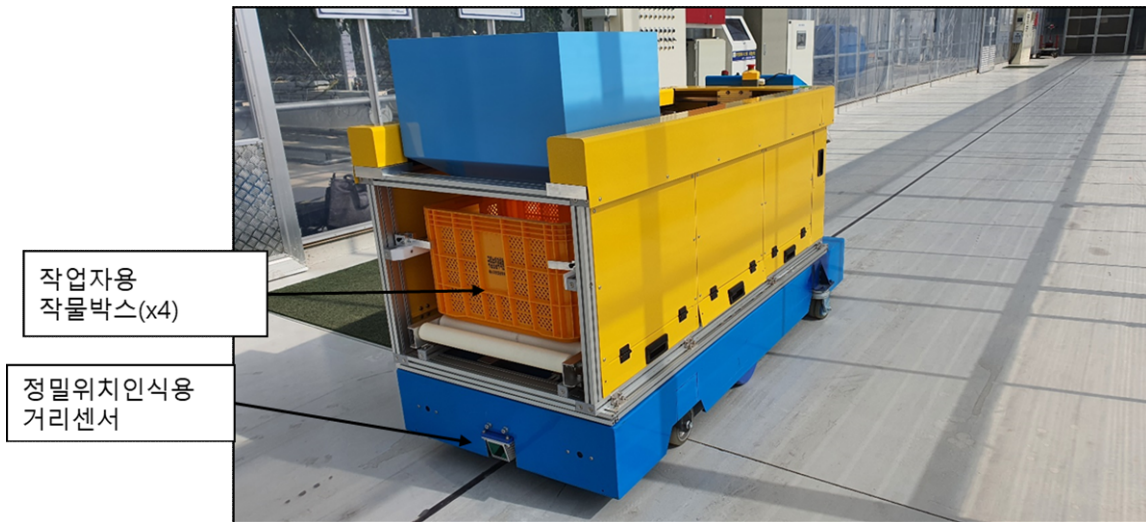
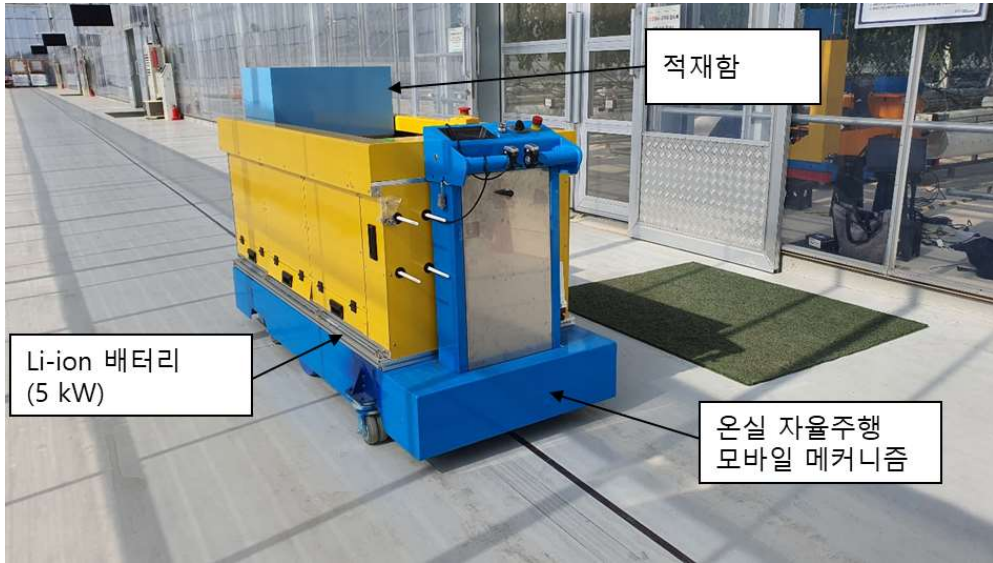
○ 자율주행 이송 로봇 플랫폼 개선 및 시제품 개발

- 1차년도에 개발한 이송로봇(라임 ver.1)에 적용한 회전형 작물교환 메커니즘은 시설 이동 제약 및 박스 교환부의 기구적 마찰문제 등으로 신형 이송로봇(라임 ver.2)는 수평형 박스 적재 메커니즘 적용

이송로봇(RIM, 라임) ver.1	이송로봇(RIM, 라임) ver.2
<p>사람 작업자용 적재함 탑재 공간</p> <p>다적재함 이송 메커니즘</p> <p>시설용 모바일 플랫폼</p> <p>정면</p> <p>측면</p>	
<p>-회전식 작물박스 교환 메커니즘 (장점)</p> <ul style="list-style-type: none"> 6개 이상의 작물박스 이송 <p>(단점)</p> <ul style="list-style-type: none"> 기구적 불안정성 온실에 비해서 거대한 크기 	<p>-슬라이딩 작물이송 메커니즘 (장점)</p> <ul style="list-style-type: none"> 신뢰성 높은 단순한 구조 4개(+알파) 작물박스 이송 <p>(단점)</p> <ul style="list-style-type: none"> 수확로봇에서 작물 전달하기 어려움(높이)

- 참여기관 (주)하다 개발 모바일 플랫폼 활용

- 고신뢰성 소형폼택터 리튬폴리머 배터리 적용
- 수확로봇-이송로봇 작물 전달을 위한 캐링 메커니즘(전달용 박스 + 사람작업자용 작물 박스 4개)(특허출원)



< 이송 로봇(라임 ver.2) 개발 >

- 수확로봇에서 작물을 전달받으면 앞쪽부터 차례로 빈박스를 채우는 방식으로 최대 4개의 사람작업자용 운반박스 운반 기능



< 이송 로봇(라임 ver.2) 작물박스 이동 메커니즘 >

□ 다수 로봇 협업기반 수확 작업 기술 개발

○ 수확 작업 지점 보정 및 파지 기술 개발

- 수확을 위한 인식/로봇제어/그리퍼 통합 시스템 구축

- ROS(Robot Operating System)을 활용한 수확 작업을 위한 인식 센서 및 인식 시스템, 협동로봇과 인터페이스, 그리퍼 및 제어기간 통합 및 수확 작업 테스트 진행
- 매니플레이터의 각도 범위 제한 조건 및 singularity 회피를 위한 최적화(quadratic program, QP) 기반 역기구학 기법 적용

• 매니플레이터 엔드이펙터 좌표 및 카메라 좌표 간 hand-eye calibration 수행

- 수확 위치 인식 오차 및 그리퍼 특성을 고려한 파지 위치 및 수확 전략 선정

- 인식 시 발생하는 오차 보상 및 그리퍼의 입사각 및 동작 범위를 고려한 그리퍼의 위치 및 각도 선정

- 그리퍼의 파지력 및 물체 간 마찰력을 고려한 수확 동작(매니플레이터 손목 회전을 통한 비틀기 동작) 적용

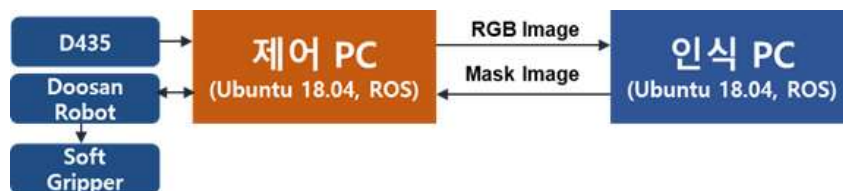
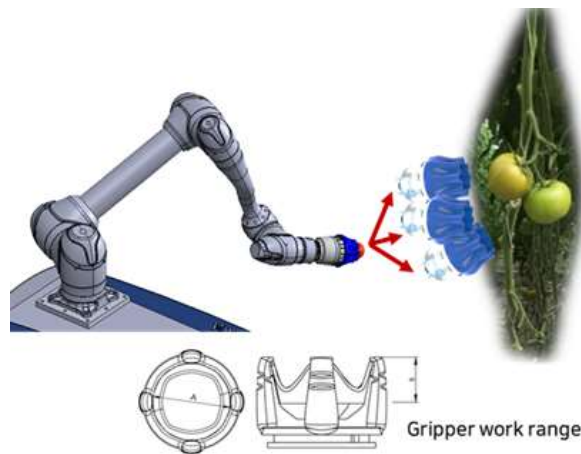


그림 57 수확 작업을 위한 시스템 구성



< 작업 위치 보정 및 파지 지점 선정 예 >



< 수확 작업을 위한 파지 위치 및 수확 전략(라이 ver.1) >



< 그리퍼 및 로봇 특성을 고려한 작업 위치 보정 및 파지 지점 선정(라이 ver.1) >

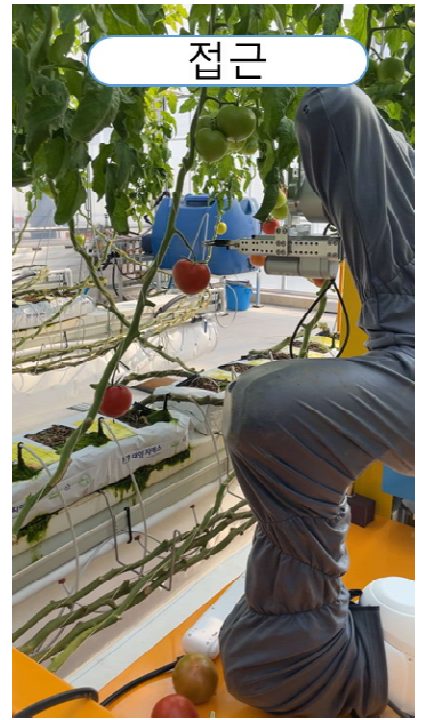
- 수확로봇(라이 ver.1)과 달리 수확로봇(라이 ver.2) 경우에는 적재함, 전장 뿐만 아니라 말단장치가 소프트그리퍼에서 작물절단 툴로 변경되어 수확 전략 신규 구현
 - * 전체 절차는 ①작물인식, ②절단준비, ③작물접근, ④작물구속, ⑤절단 및 파지, ⑥작물 적재의 여섯 단계로 구성
 - * 작물 인식 알고리즘 자체는 라이 ver.1과 ver.2의 차이가 없지만, 툴의 변경으로 작물을 바라보는 자세 변경(라이 ver.1: 아래에서 위 방향 → 라이 ver.2 : 수평)
 - * 신규 개발한 작물절단 툴은 작물을 분리/구속하기위한 가이드가 존재하여 작물을 구속하면 이후 절차는 절단 및 적재로 라이 ver.1과 동일함
 - * 적재시에는 라이 ver.1과 다르게 작물박스 전달을 위한 메커니즘이 신규로 설치되어 로봇 동작영역을 제한함 → 작물 적재를 위한 작업공간 재설정



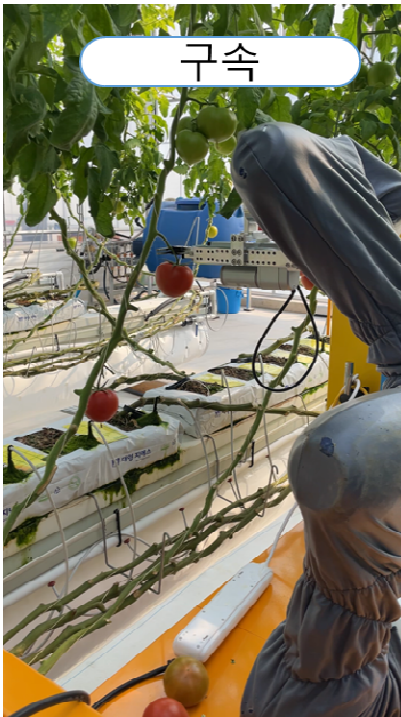
작물 인식



절단 준비



접근



구속



절단/파지



박스 적재

< 수확 작업을 위한 파지 위치 및 수확 전략(라이 ver.2) >

○ 작물 수확 및 운반을 위한 작물전달 알고리즘 및 메커니즘 개발

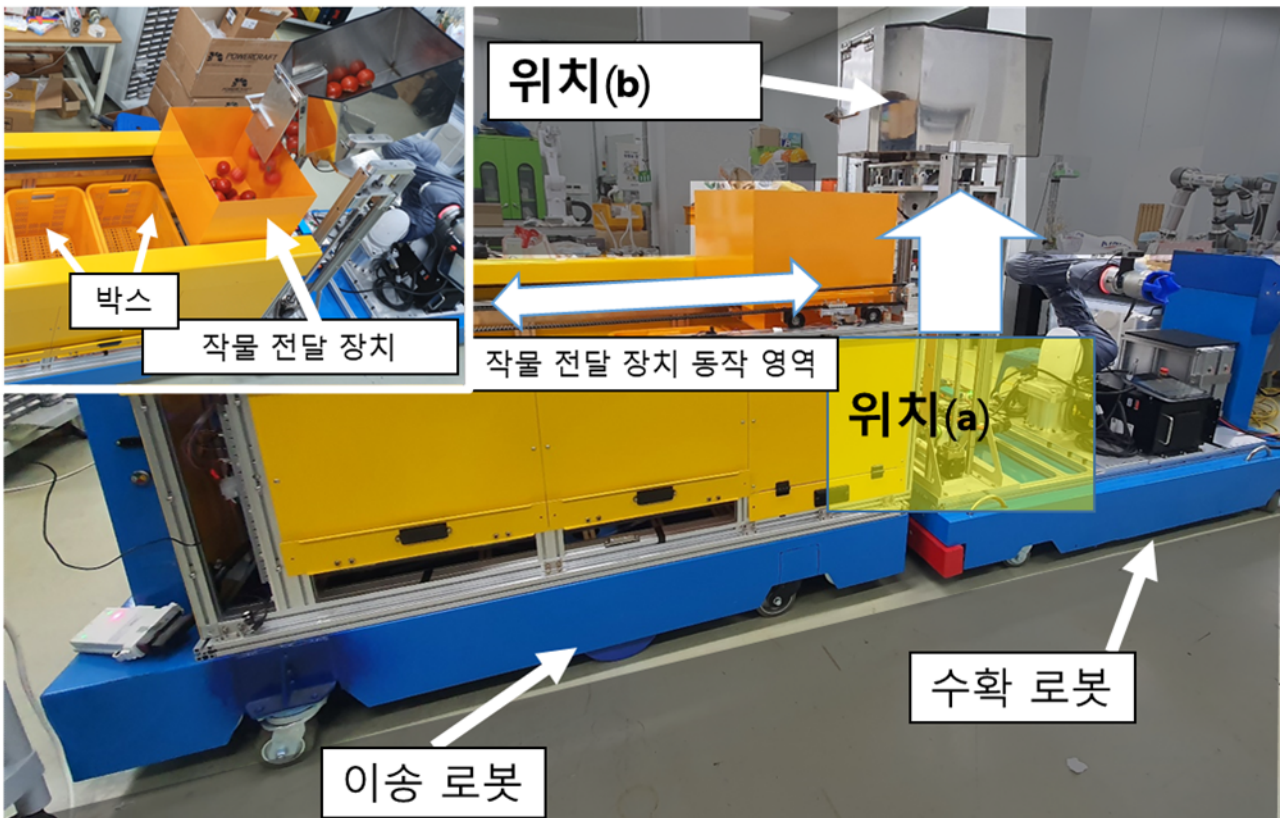
- 모바일 플랫폼 및 매니플레이터 간 순차적 작업 계획

- 수확로봇-이송로봇 작물전달 시스템 개발(특허출원)

- 수확로봇-이송로봇 작물전달을 위한 절차는 아래 그림과 같음

- ① 수확로봇의 박스가 차거나 목표한 작물 개수만큼 수확이 이루어 지면 이송로봇 호출
- ② 이송로봇과 수확로봇이 기설정 거리만큼 접근
- ③ (절차수확로봇의 작물 박스를 위치(a)→(b)로 상향이동
- ④ 수확로봇의 작물 박스를 위치(a)→(b)로 상향이동

- ⑤ 수확로봇의 작물 박스를 이송로봇의 작물 전달 장치에 쏟아 붓기
- ⑥ 이송로봇의 작물 전달 장치가 비어있는 박스로 이동 및 작물 쏟아 붓기



< 수확 작물 전달(수확로봇→이송로봇) 방법 개발 >

- 라이(ver.2) 및 라임(ver.2)에서 구현한 작물전달 메커니즘의 실구현은 아래와 같음
- 수확로봇-이송로봇 간의 정밀 접근을 위해서 이송로봇 하단에 정밀·저가형 라이더 장착

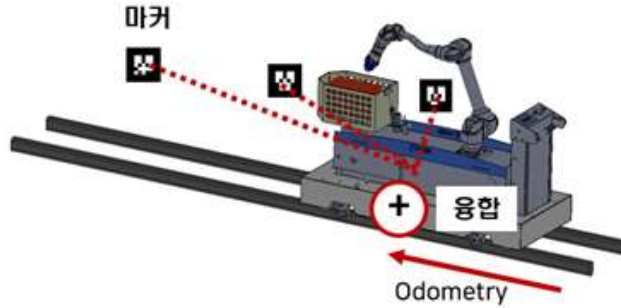


< 수확로봇-이송로봇 작물 전달 실구현 >

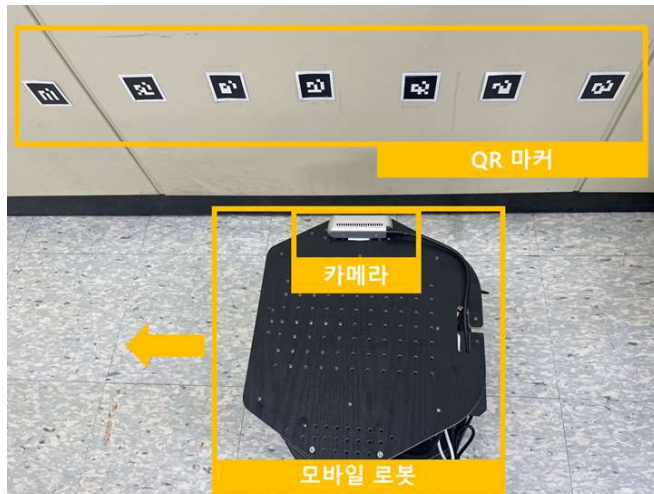
□ 시설원에 환경 모바일 로봇 주행 기술 개발

○ 마커기반 Odometry 보정 기술 개발

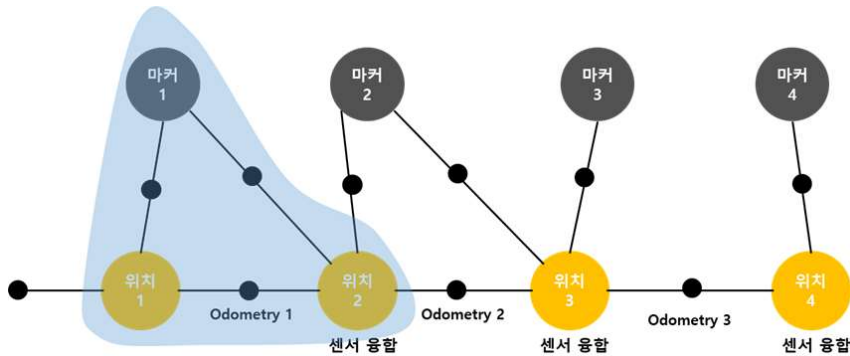
- 주행부 Odometry 정보와 마커 위치 정보 융합을 통한 위치 추정 프레임워크 구축
 - EKF (Extended Kalman filter) 기반 센서 퓨전 기법 적용을 통한 Odometry 에러 보정



< 마커 및 Odometry 정보 활용 위치 추정 개념 >



< 위치 추정 프레임워크 테스트를 위한 세팅 >

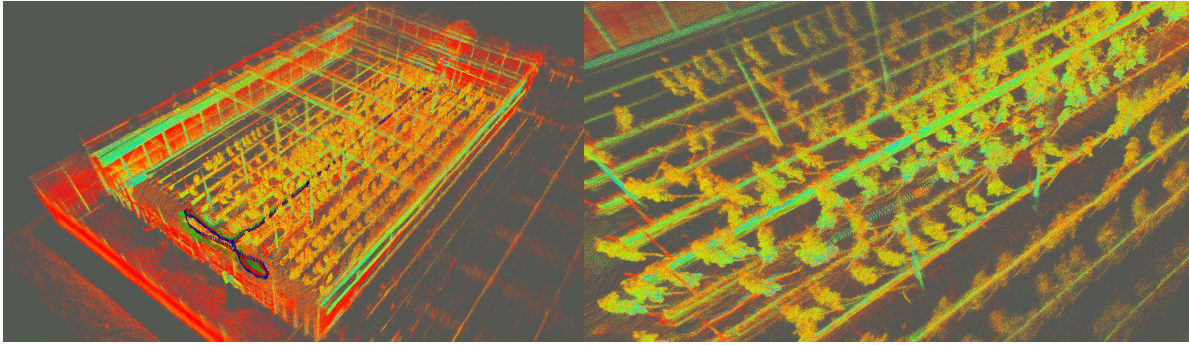


< Odometry 및 마커 위치 기반 센서 융합 과정 >

○ 라이다 기반 시설원예환경 3차원 SLAM 기술 개발

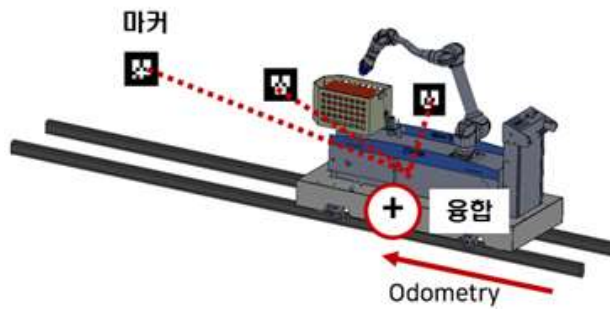
- 라이다 기반 3차원 SLAM 기술 시설 원예 환경 적용
- 센서 단독으로 활용이 가능하며 모바일 로봇에 장착하여 위치 추정 및 3차원 맵 생성

이 가능



< 원예 시설 3차원 LiDAR SLAM을 통한 3차원 맵 생성 결과 >

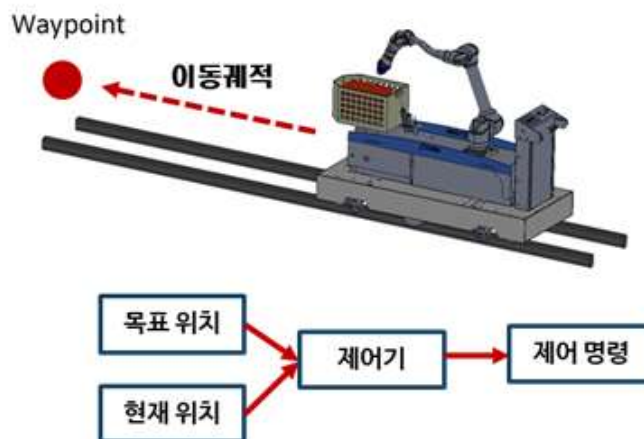
- 차년도 3차원 환경맵을 통한 지형/지물 혹은 마커 연동을 통한 Odometry 향상 기술 연계 예정



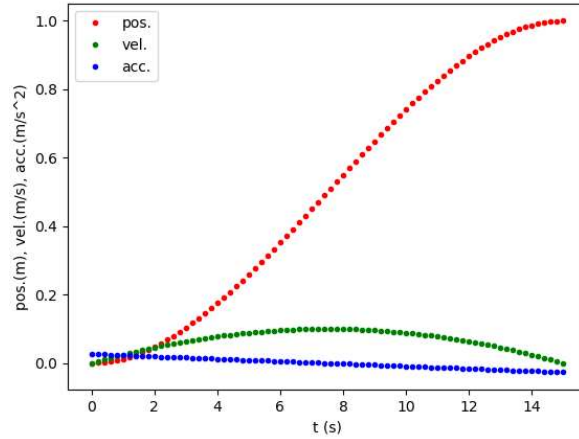
< 마커 및 Odometry 정보 활용 위치 추정 예 >

○ Waypoint 간 이동 및 제어 기술 개발

- 상위 관제에서 주어진 waypoint간 이동 궤적 및 제어 명령 생성
 - 이동 제한조건(최대속도) 고려 및 부드러운 동작 생성을 위한 스플라인 기반 이동 궤적 생성 기법 적용
 - 속도 프로파일 기반 모바일 로봇 이동 명령 생성



< Waypoint 간 이동 및 제어 예 >



< 스플라인 기반 위치, 속도, 가속도 프로파일 예(목적 위치 1m, 최대 속도 0.1m/s) >



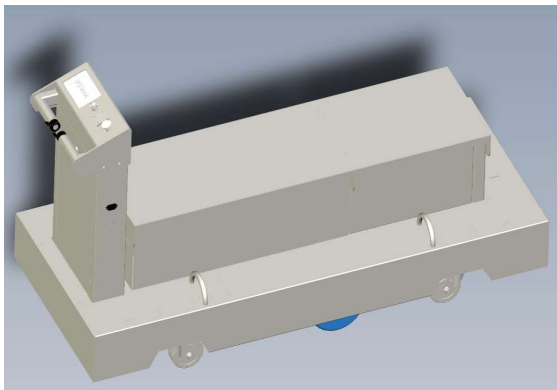
< 속도 프로파일 기반 궤적 추정 제어 구조 >

➡ (주)하다

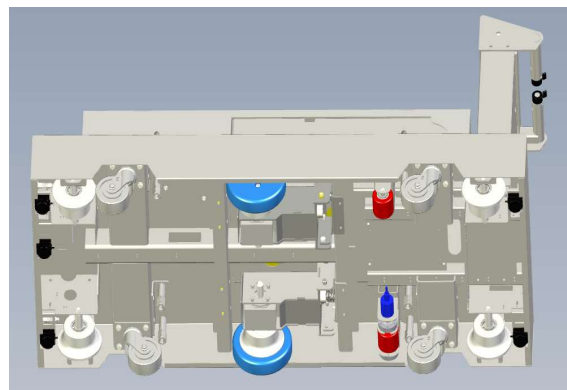
수확 로봇 및 이송로봇 모바일 플랫폼 개발

○ 온실 구동용 주행 플랫폼 설계

- 온실의 환경을 고려하여 이동반경을 최소화한 2륜구동 방식을 채택하여 제자리 턴이 가능한 바퀴구조 설계
- 콘크리트 포장지와 파이프 레일 위를 이동할 수 있는 이중 구조 방식 적용 : 구동 바퀴의 가장자리는 콘크리트 포장지에서 구동하고 바퀴 휠의 안쪽 부분은 파이프 레일 상에서 구동하도록 일체형 휠 제작
- 구동 모터는 2개의 BLDC모터를 적용하며 소음이 적고 효율이 높은 설계
- 중앙의 구동모터를 중심으로 앞뒤에는 캐스터를 장착하여 무게 분산 및 기울짐 방지
- 자동 주행 외 반자동 구동을 위한 손잡이 및 엄지 슬롯 적용



(a) 상부 모델링



(b) 하부 모델링

< 모바일 플랫폼 모델링 >

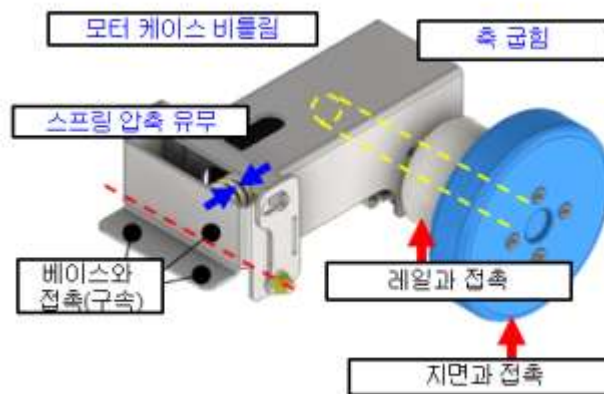
○ 평탄하지 않은 노면을 고려하여 구동 바퀴부 현가장치 최적화 설계

- 모델 및 목표

- 모바일 플랫폼 사이즈(폭x너비x높이) : 790mm x 1900mm x 1000mm
- 고온 다습 환경 구동
- 모바일 플랫폼의 베이스 프레임 하중을 받으며 지정된 레일에서 구동
- 로봇의 구동부에서 스프링 시스템이 포함된 현가장치 시스템 구조
- 현가장치 부품(스프링, 모터 케이스, 구동 바퀴, 구동 바퀴 축)에서 나타나는 구조적 문제점을 파악하고 개선

- 해석 정보 및 조건

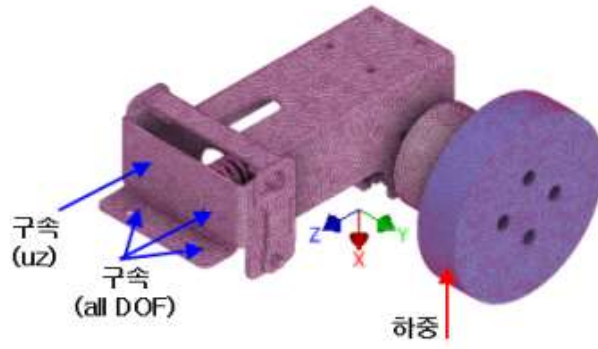
- 현가장치 해석에 사용된 물성정보
- 시중에 판매되는 스프링 카탈로그를 참고함
- 스프링 이외의 부품은 일반 구조용 강 SS400으로 설정함
- 구조 안전성 판단을 위해 재료의 항복 강도와 비교함



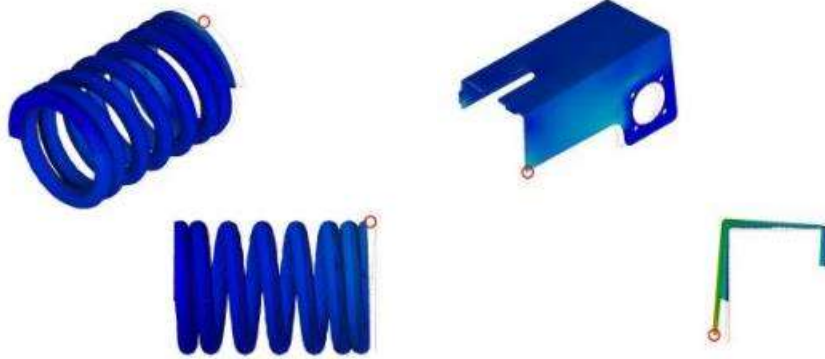
< 현가장치 해석 가이드라인 >

- 해석 가이드라인

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

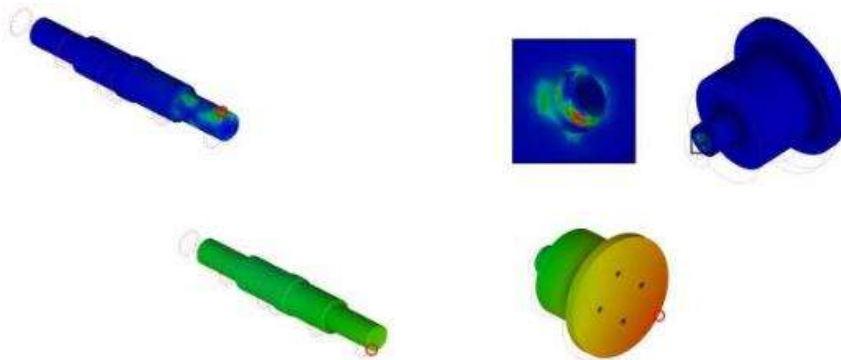


< 해석 경계조건 & 유한요소 모델 >



(a) 스프링

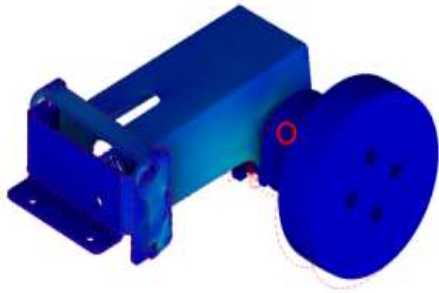
(b) 모터케이스



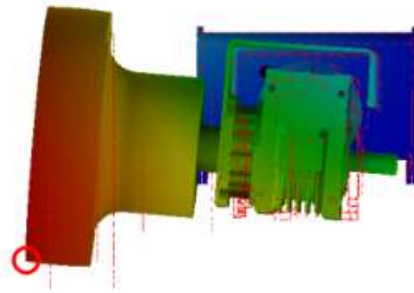
(c) 구동 바퀴 축

(d) 구동 바퀴

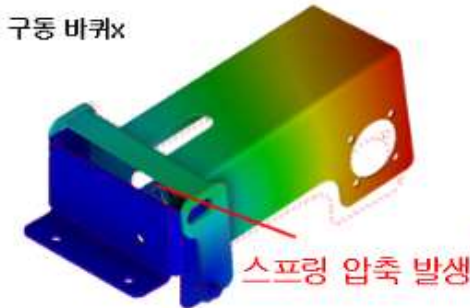
< 1차 형상 모델 해석 결과(부품) >



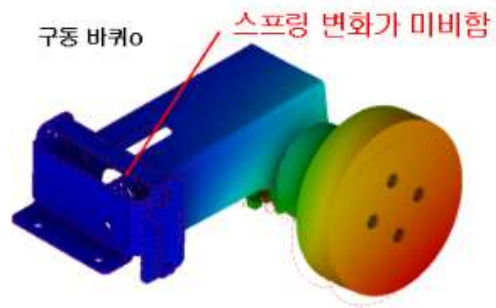
(a) 1차 형상 모델 등가응력 결과



(b) 1차 형상 모델 변위 결과



(c) 모터케이스 하중 적용



(d) 구동 바퀴 하중 적용

< 1차 형상 모델 해석 결과(Assay) >

- 해석 결과(Assay)

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

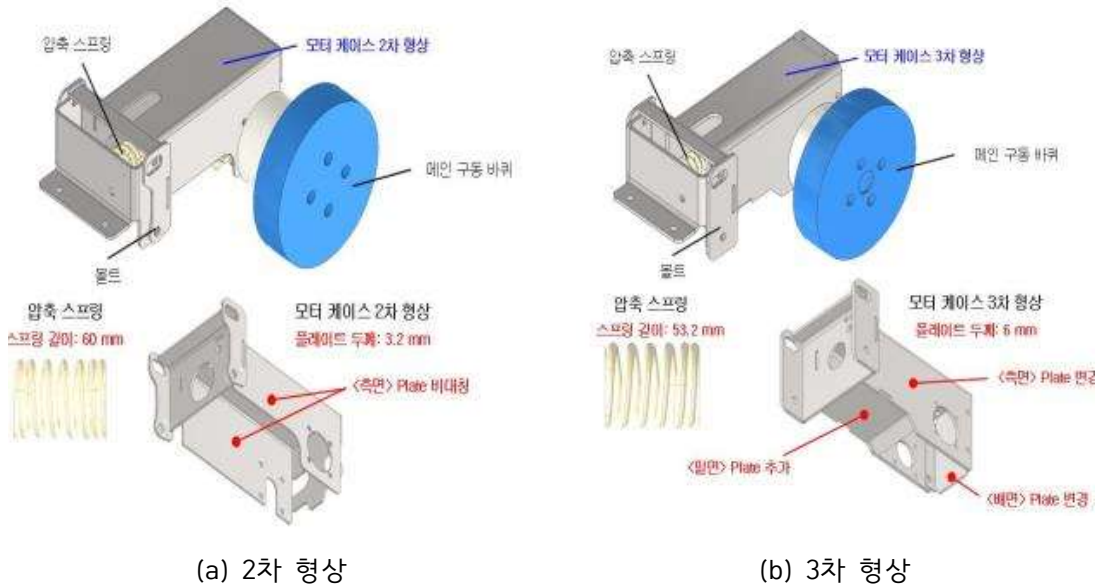
- 해석 결과(부품)

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

○ 형상 개선 설계

- 형상 개선 설계안(2차, 3차 형상)

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



< 형상 개선 설계안 >

○ 개선 모델(2차, 3차) 해석 결과

- 해석 결과(2차 형상 전체)

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

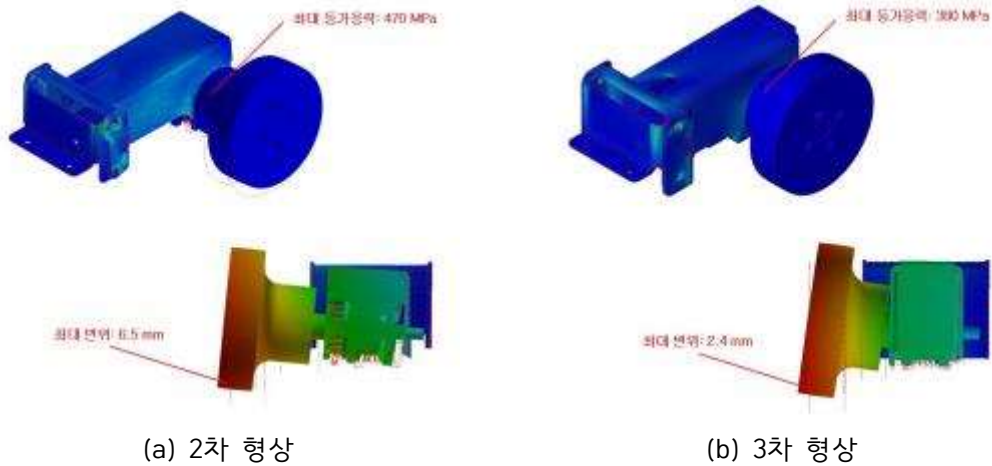
- 해석 결과(2차 형상 부품)

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

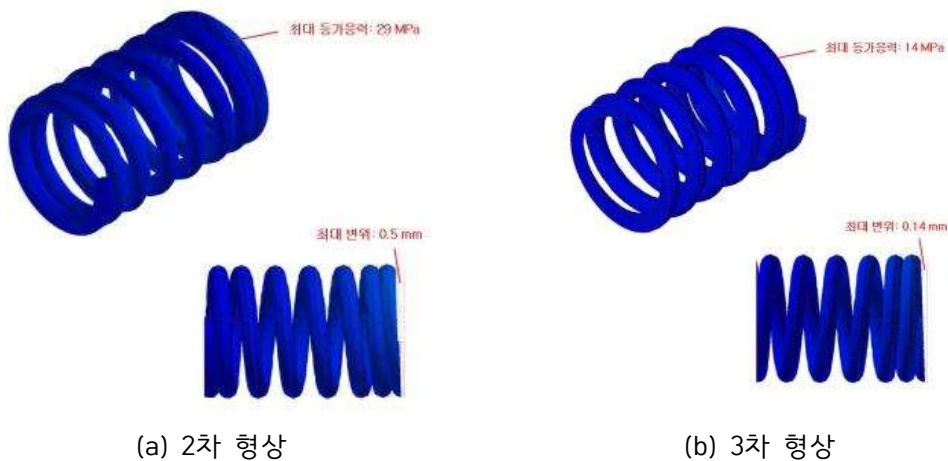
- 해석 결과(3차 형상 전체)

- 3차 형상의 현가장치 해석 결과로 최대 등가응력 발생위치, 최대 변위 위치는 기존 모델과 동일

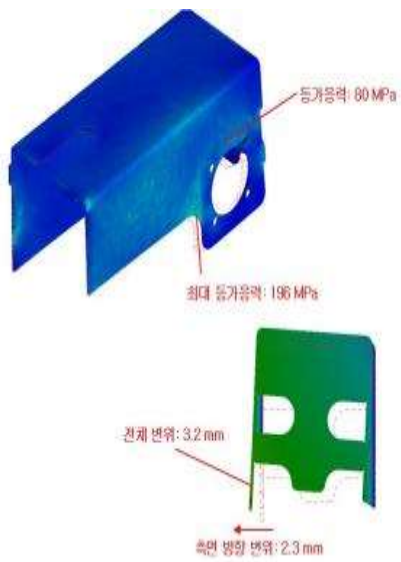
- 3차 형상의 현가장치에서 최대 등가응력 380 MPa, 최대 변위 2.4 mm 확인
- 해석 결과(3차 형상 부품)
 - 3차 형상의 현가장치 해석 결과 중 스프링 결과에서는 최대 등가응력 14 MPa, 최대 변위 0.14 mm 확인
 - 모터 케이스의 경우 최대 등가응력 198 MPa은 응력집중에 의한 결과로 판단 모터 케이스의 비틀림이 발생하는 부분에서 등가응력 40 MPa을 확인
 - 모터 케이스의 전체 변위 0.8mm이며 측면 방향으로 0.2mm의 변위 확인
 - 구동 바퀴 축의 경우 최대 등가응력 380 MPa, 등가응력 275 MPa, 최대 변위 1.1 mm 확인
 - 구동 바퀴의 경우 최대 등가응력 3566 MPa, 최대 변위 1.9 mm 확인



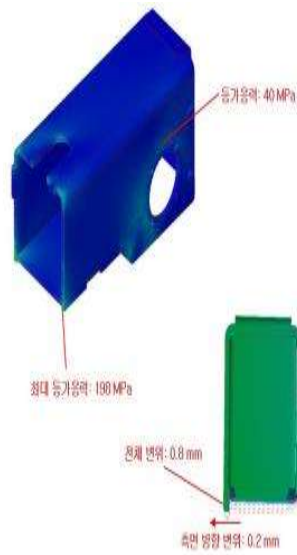
< 형상 개선 설계안 >



< 형상 개선 설계안 >

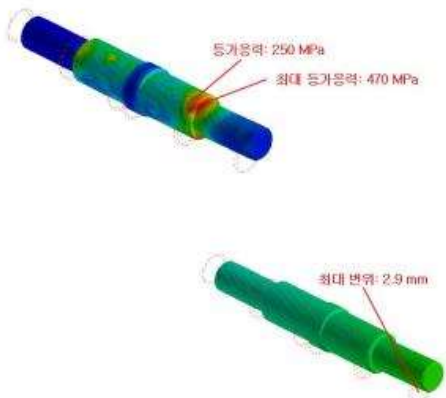


(a) 2차 형상

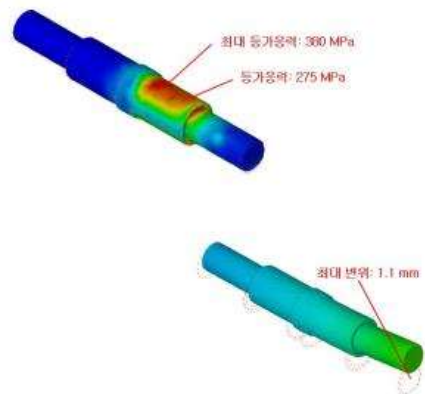


(b) 3차 형상

< 형상 개선 설계안 >

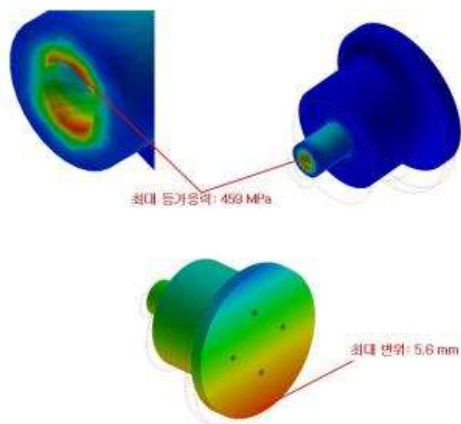


(a) 2차 형상

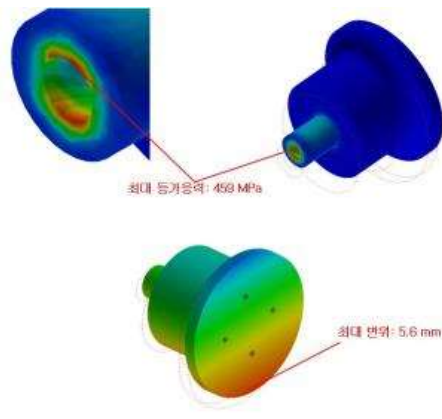


(b) 3차 형상

< 형상 개선 설계안 >



(a) 2차 형상



(b) 3차 형상

< 형상 개선 설계안 >

○ 구동 플랫폼용 통합 전력 시스템 고도화

- 플랫폼 통합전력시스템 개발 (플랫폼 전력사용 조건에 따른 소비전력량 예측)

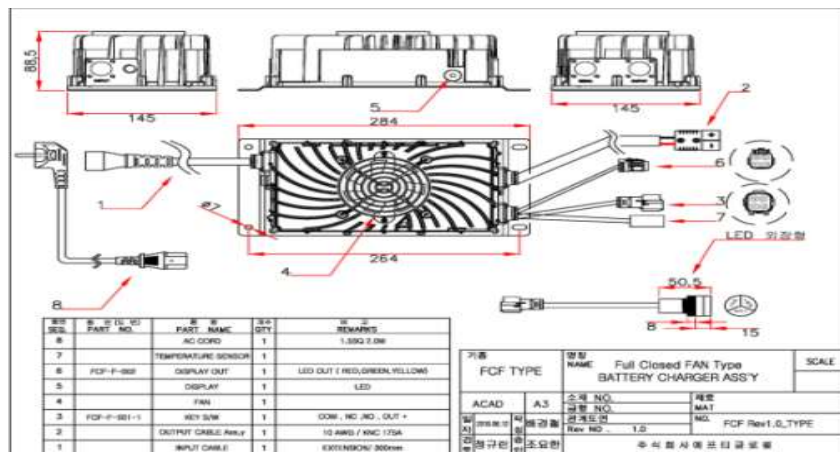
- 전기 기반 구동방식의 시설원예로봇의 배터리 전지 및 충전기 선정에 앞서 용량 계산을 통한 최적 사양 도출
- 배터리용량 산정 : $Wh = (W_{Motor} \times Lf) \times H \times Op/Ba \times Sf$

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

- 가동시간은 1회 충전으로 가동하고자 하는 시간을 hr 단위로 계산 : 구동/대기 시간은 연속 구동시 100%이고 일반 운용은 60~70%가 적합함
- 배터리 이용률은 배터리관리시스템에 의해 정해지며 일반적으로 20~80%에서 충/방전을 켜오프하므로 60을 대입
- 안전 계수의 경우 일반 안전계수 및 내용 연수에 따른 배터리 충전용량 감쇄를 감안한 값으로 1.2~1.3 정도 입력
- 상기 공식을 활용하여 시설원예로봇 배터리 용량을 계산한 결과, 1회 충전 시 사용시간 8시간 기준 약 9,000Wh가 도출되었고 이에 따른 배터리 및 충전기 용량을 산정

- 전력시스템 고도화를 위한 배터리 및 충전기 선정 (플랫폼 배터리 및 충전기)

- 시설원에 모바일 로봇은 운용 환경 특성상 좁고 높은 형태로 하부에는 주행부 및 배터리가 상부에는 수확물이 위치하여 무게중심이 하부에 위치하도록 하였으며 에너지 밀도가 낮은 납축 배터리로 선정하였고 선정된 납축배터리 (L-8240)에 최적 충전이 가능한 방수형 충전기 제품 FCF15-2425로 선정
- L-8240 납축 배터리6개를 사용하고 5H 소모 모드로 배터리 총 용량을 계산하면 9120Wh(8V x 190 x 6개)로 8시간 기준 사용시간 충족



< 충전기(FCF15-2425) 도면 >



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

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

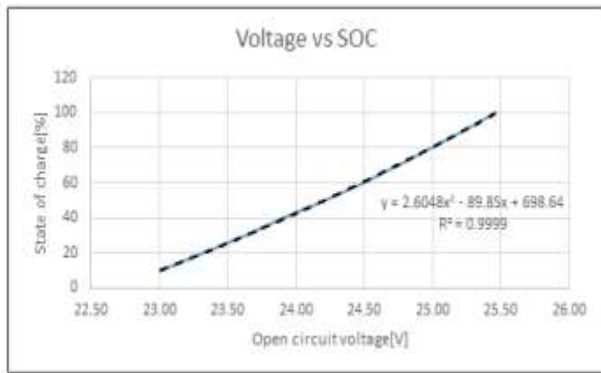
< 세방전지社 Longest 제품 군 >

- 전원 관리 BMS적용을 통한 로봇 전원관리 최적화

• 플랫폼 BMS 시스템 설계

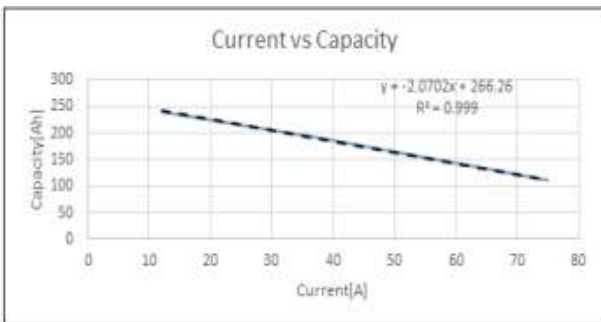
* 배터리 잔존 용량을 계산하기 위해서는 배터리 특성 모델을 확보하고 예측 모델을 개발해야 하지만 일반적으로 많이 사용하는 배터리 단자 개방전압과 전류적산법을 혼합 사용하여 배터리 잔존용량을 산출함.

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

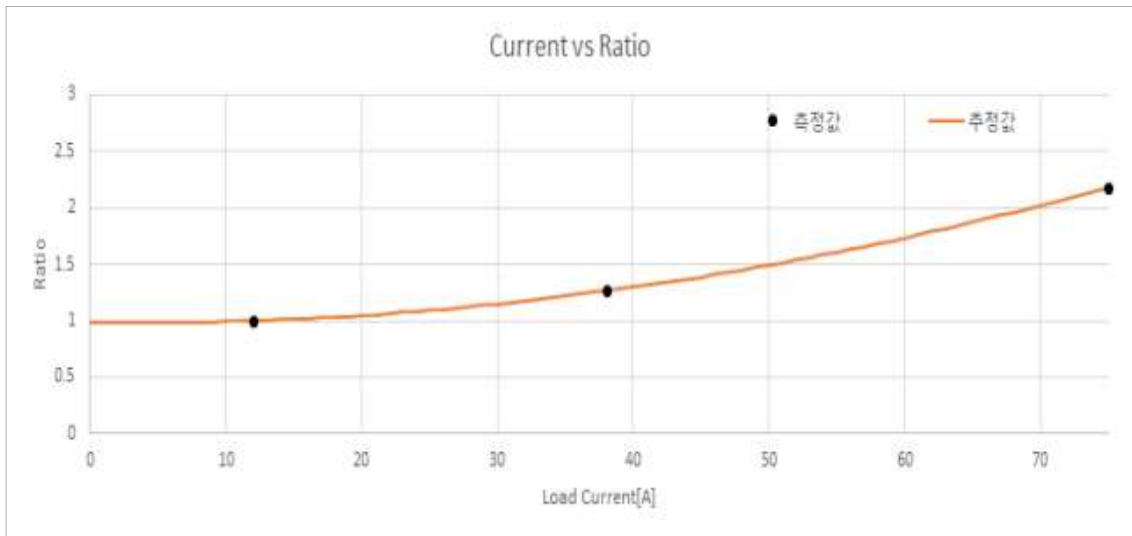


< (좌)L-8240배터리 단자개방전압 특성표 (우) 개방전압별 SOC 특성 그래프 >

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



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



< 방전전류별 잔존용량 계산비율 >

- * 납축배터리의 경우 다른 2차 전지보다 방전전류량에 따른 배터리 용량의 차이가 큰 편으로 방전 전류가 높을수록 배터리 용량은 낮아지는 특성을 보여 방전전류에 따른 납축 배터리(L-8240)의 잔존 용량 비율을 산출하여 전류적산법을 이용한 용량을 적용함
- * 로봇이 대기상태 또는 정지상태일 경우 단자 개방전압을 기준으로 용량을 추정하고 운용 중에는 전류 적산법을 이용하여 용량을 산출함
- 배터리 및 충전기의 충방전 테스트를 통한 유효성 검증
 - * BLDC 모터 (400W급) 2pcs를 활용하여 배터리의 안정적인 충방전 여부를 확인하기

위한 테스트 실시

- * 상기 테스트 환경 기준으로 방전 시간은 약 10.5시간 정도 소요 (계산값과 차이가 나는 이유는 기타 제어보드의 전력사용 및 누설전류의 영향으로 판단)
- * 충전기 20A 용량으로 충전하였을 때 약 20시간 정도가 소요되었음

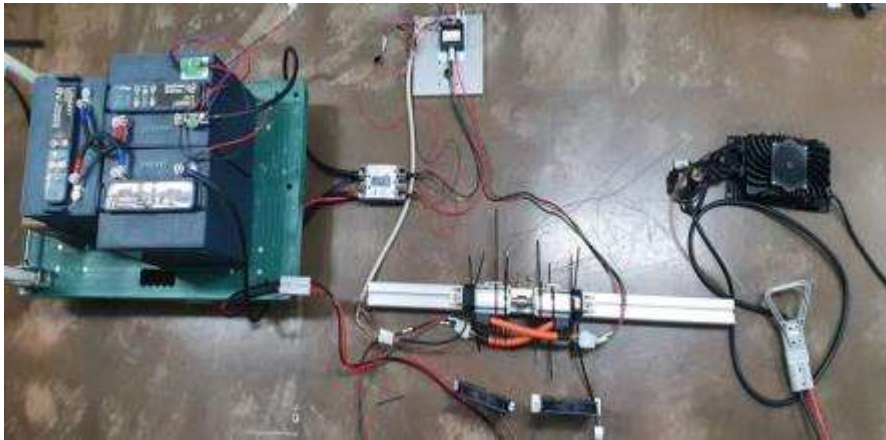


그림 89 배터리 충전 및 방전 시험

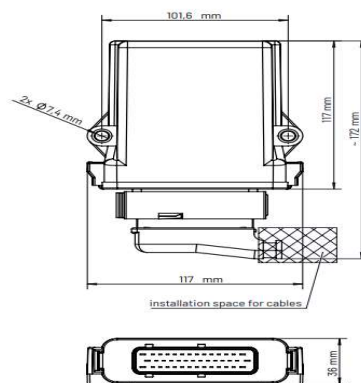
○ 로봇 플랫폼 구동용 하부제어기 선정

- 하위 제어기 및 제어부 사양

- 고온 다습한 환경의 운실 내부를 고려하여 방수 및 방진기준인 IP등급 65등급 이상의 제어기로 선정
- 구동 가능 온도 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 범위
- 고장률 보장을 위한 SIL2 등급 제어기 선정
- 로봇 플랫폼의 구동 정보 및 위치정보를 CAN BUS를 이용하여 상위제어기로 제공

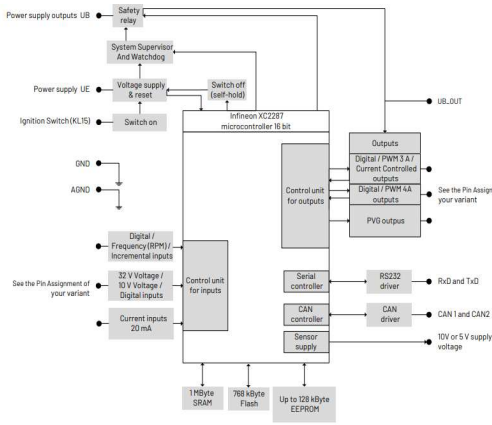


(a) ESX-IOXP 제어기



(b) ESX-IOXP 제어기 도면

< 하위 제어기 ESX-IOXP >

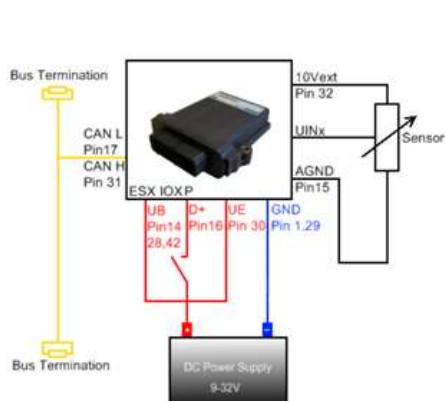


(a) 하위 제어기 블럭다이어그램

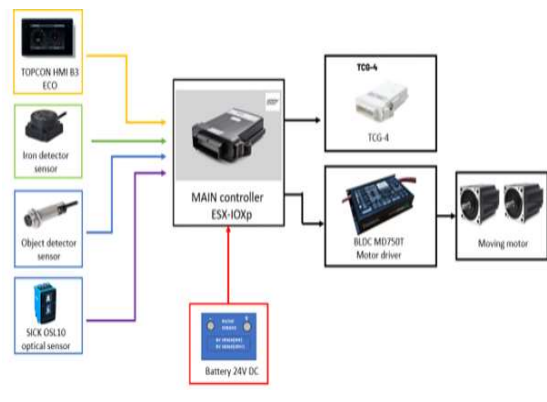
System Data		
Type	Property	Values
Supply Voltage	Direct Current (DC)	9...32 V
Current Consumption	Without external load	100 mA
	Standby (ignition off)	1.5mA
	Maximum load current	11A
Temperature	Chassis Temperature	-40 °C ... +85 °C (-40 °F ... +185 °F)
Connector	Automotive Type (Tyco / AMP)	42 Pins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

(b) 하위 제어기 기술 사양

< 하위 제어기 사양 >



(a) 제어기 파워 및 통신 사양

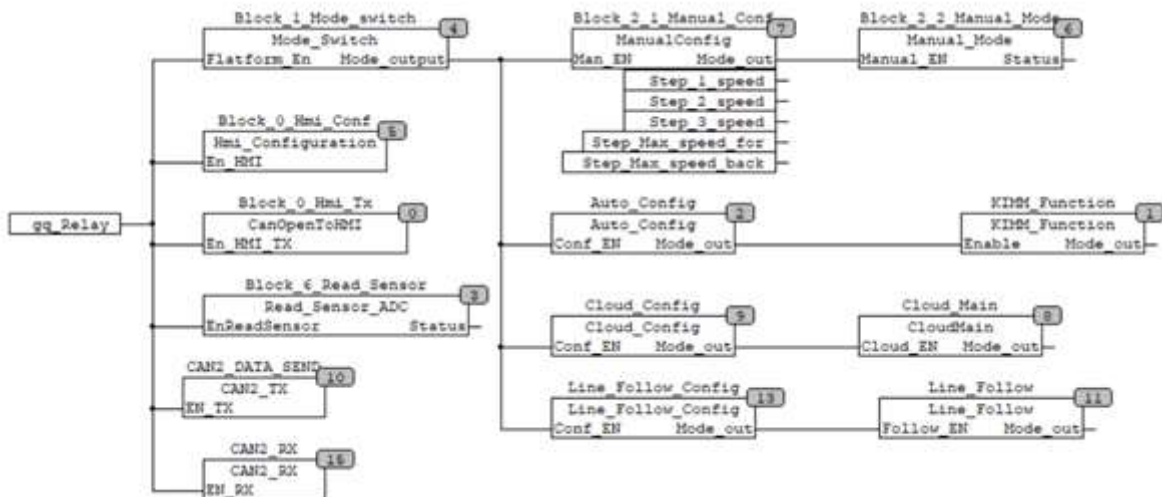


(b) 제어부 구성 사양

< 제어부 구성도 >

- 하위 제어기 소프트웨어 개발

- 하위제어기 구동 소프트웨어는 Codesys 2.3 버전을 사용
- 블록 다이어그램 방식의 메인 소프트웨어 개발 적용
- 상위제어기 및 텔레메틱스와 CAN BUS로 연결하여 데이터 통신



< 블록다이어그램 방식의 하위제어기 소프트웨어 >

이송로봇: Sending CAN data to KIMM

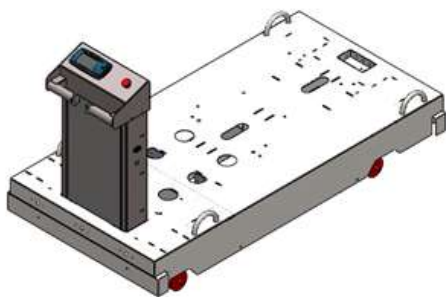
CAN ID	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5	Data6	Data7	Data8	Description
Motor Speed Data (RPM) MAX value = 3000									
0x200	Right motor Low byte	Right motor High byte	Left motor Low byte	Left motor High byte	Right motor Direction	Left motor Direction			Right motor RPM = (D1 D2)<(8) Left motor RPM = (D3 D4)<(8) Gear 비 -> 40:1 사용
Pipe and Obstacle Sensor's Data									
0x201	Right Front sensor	Left Front sensor	Right Back sensor	Left Back sensor	Front Obstacle sensor1	Front Obstacle sensor2	Front bumper sensor	Rear bumper sensor	1- Not detected, 0-detect sensor. Front/Rear sensors not connected yet
Encoder Data, MAX Value = 0xFFFF FFFF									
0x202	Right Encoder 1 byte	Right Encoder 2 byte	Right Encoder 3 byte	Right Encoder 4 byte	Left Encoder 1 byte	Left Encoder 2 byte	Left Encoder 3 byte	Left Encoder 4 byte	Right motor Encoder = (D1 D2)<(8) Left motor Encoder = (D3 D4)<(8)

이송로봇 : Receive CAN data from KIMM

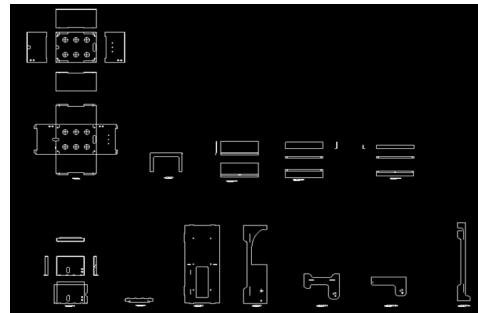
CAN ID	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5	Data6	Data7	Data8	Description
Motor Speed Data control									
0x211	Right motor Low byte	Right motor High byte	Left motor Low byte	Left motor High byte	Right motor Direction	Left motor Direction	Right motor Brake	Left motor Brake	Right motor RPM = (D1 D2)<(8) Left motor RPM = (D3 D4)<(8)

< 이송로봇의 상위제어기간 CAN통신 프로토콜 >

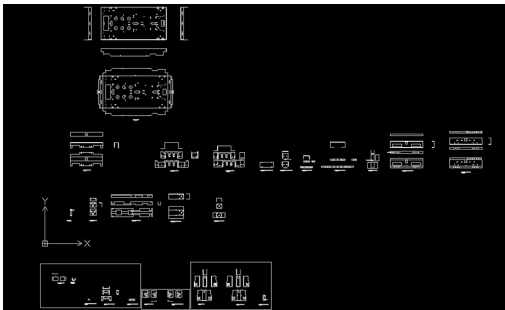
- 로봇 플랫폼 제작을 위한 도면
 - 레이저 가공 및 절곡을 위한 도면 제작



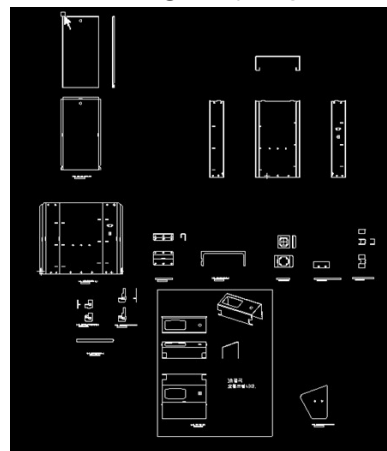
(a) 모바일 플랫폼 조합도



(b) 레이저 가공/절곡도(상부베이스)



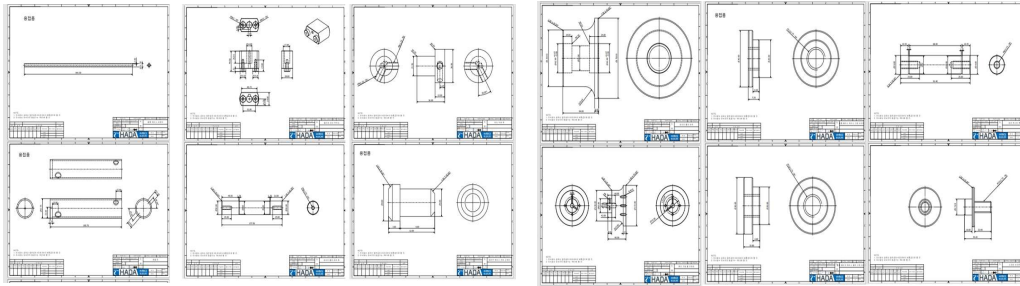
(c) 레이저 가공/절곡도(하부베이스)



(d) 레이저 가공/절곡도(제어부)

< 로봇 플랫폼 레이저 가공/절곡도 도면 >

- 밀링 선반 가공을 위한 도면 제작



(a) 구동 브라켓 도면

(b) 구동부 도면

그림 99 로봇 플랫폼 선반 밀링용 가동 도면



(a) 가공품 도면1



(b) 가공품 도면2

< 로봇 플랫폼 프레임 가공 도면 >

- 용접을 위한 도면 제작



(a) 용접 도면1



(b) 용접 도면2

< 로봇 플랫폼 용접용 도면 >

○ 로봇 플랫폼 제작

- 이송용 로봇 플랫폼 제작



(a) 가공품 입고



(b) 용접



(c) 조립



(d) 제작 완료

< 이송용 로봇 플랫폼 제작 과정 >

- 수확용 로봇 플랫폼 제작



(a) 가공품 입고



(b) 용접

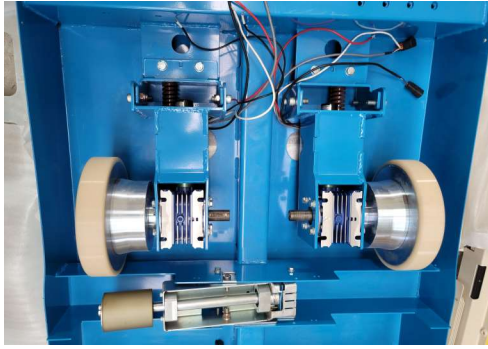


(c) 조립



(d) 제작 완료

< 수확용 로봇 플랫폼 1기 제작 과정 >



(a) 하부 제작(엔코더 설계 변경)



(b) 제작 완료

< 수확용 로봇 플랫폼 2기 제작 과정 >

- 로봇 플랫폼 구동 테스트

- 수확용 로봇 및 이송로봇 간 통신 및 구동 테스트
- 라인추종 방식의 자율주행 테스트
- 클라우드 기반 로봇의 모니터링 및 명령 시스템 검정

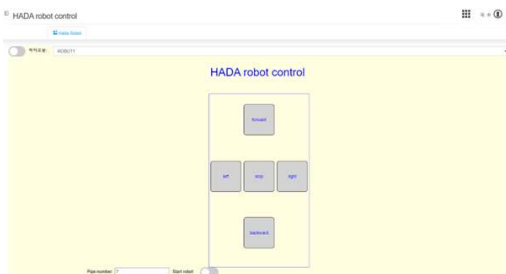


(a) 수확용 로봇 자율주행 테스트



(b) 이송용로봇 자율주행 테스트

< 다수로봇간 구동 테스트(농촌 진흥청 첨단 온실 내) >



(a) 로봇 구동용 UI

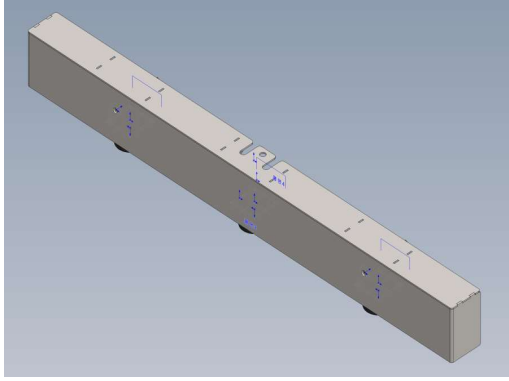


(b)스마트폰으로 구동 테스트

< 스마트폰으로 클라우드에 접속 로봇 구동 테스트 >

- 안전 · 편의 장치 개발

- 장애물이나 로봇간 충돌 감지 및 충격 저감 장치인 범퍼 설계
- 범퍼에 감지 센서 내장으로 충격 감지시 즉시 정지 기능



(a) 범퍼



(b) 충격 감지 센서 적용

< 수확용 로봇 플랫폼 2기 제작 과정 그림 >

□ 다수로봇 모니터링 시스템 개발

○ 농가에서 조작성이 용이한 UI 및 고장진단 기능

- 터치 방식 HMI의 유저 인터페이스

• 로봇 플랫폼 HMI의 UI제작

* 구역별 파이프 레일의 길이를 측정하여 주행 세팅이 가능

* 수동으로 기능을 동작할 수 있는 인터페이스 개발

* 로봇의 동작 상태를 실시간으로 모니터링이 가능

* 로봇의 각종 센서 정보를 실시간으로 HMI에 제공함으로써 구동 상태 확인 가능

* 영문 및 국문 적용



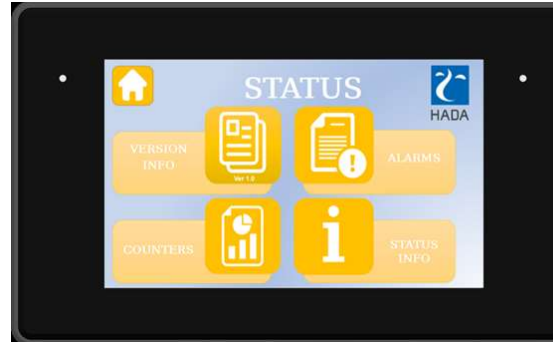
(a) 메인 메뉴



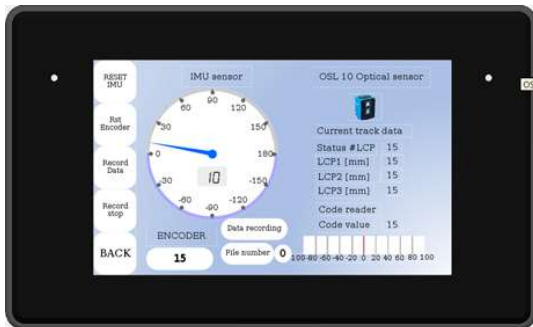
(b) 프로그램 메뉴



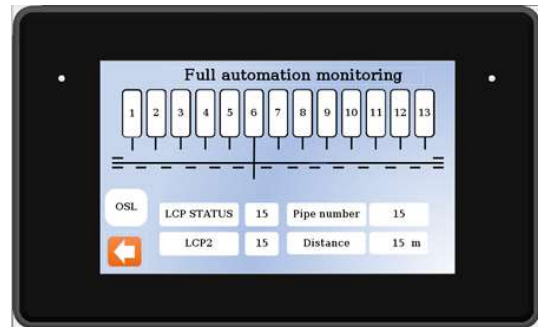
(c) 매뉴얼 구동 메뉴



(d) 상태 메뉴



(e) 센서 정보 메뉴



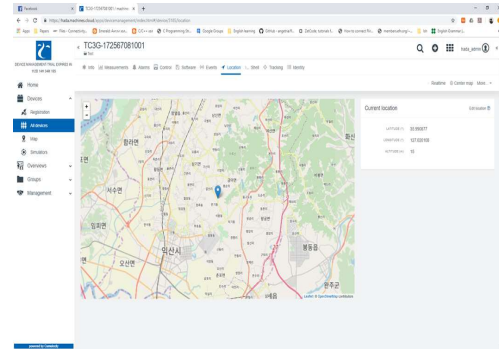
(f) 자동 설정 메뉴

< 로봇 플랫폼 UI >

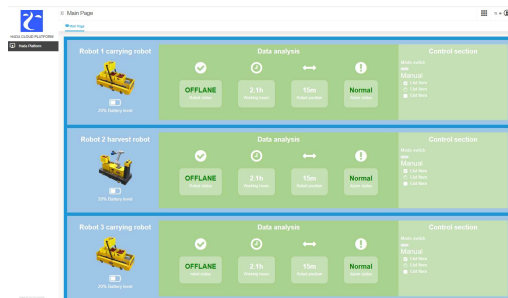
- 로봇 플랫폼의 안전사고 예방 기능
 - 구동 모터에 과부하 발생 시 모터 드라이버에서 자동으로 기능 차단
 - 로봇 구동 시 전방에 30Cm 이내(설정 값 변경 가능) 장애물 감지되면 장애물이 인식 범위에서 벗어날 때까지 대기상태 유지
 - 작업자 혹은 장애물이 범퍼 센서에 접촉 시에 로봇의 구동 장치는 즉시 정지
- 작업 이력에 대한 정보를 관리하는 시스템 구축
 - CAN BUS를 통해 하위제어기와 통신 연결이 되며 제어기에 저장된 데이터를 일정 시간 주기로 텔레메틱스 모듈로 전송
 - WiFi/WLAN/BLUETOOTH등의 기능을 내장하고 있어 로컬통신으로 로봇간 데이터 통신 기능을 제공
 - 휴대폰용 심카드 슬롯이 내장된 텔레메틱스 장비로 4G/3G/2G 통신을 통해 클라우드 서버로 데이터 전송 가능
 - 로봇 플랫폼이 수행한 작업 이력 정보를 실시간으로 저장
 - 사용자는 클라우드 서버에 접속하여 작업 이력을 스마트 기기를 통해 확인 가능



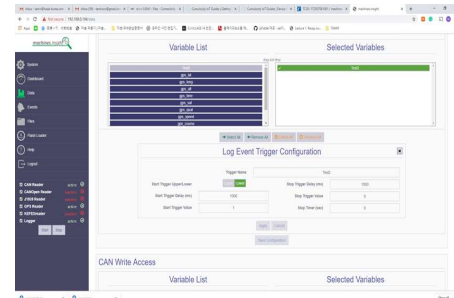
(a) TCG-3 텔레메틱스 모듈



(b) 텔레메틱스 위치 정보 서비스



(c) 클라우드 웹 데시보드

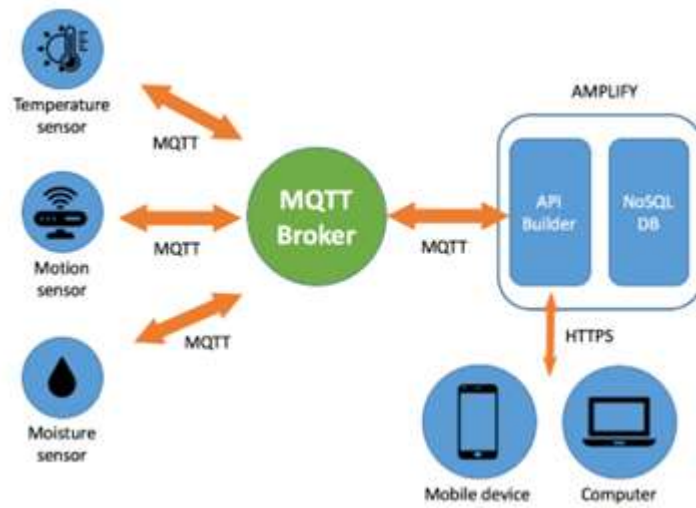


(d) 사용자는 웹으로 접근

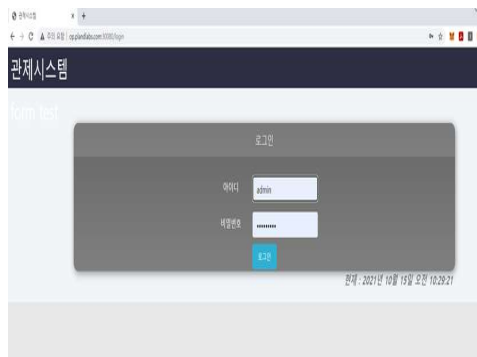
< 클라우드 모듈 및 기능 구축 >

- 모바일 로봇 플랫폼 관제 시스템 구축

- 사용자는 태블릿 장비를 이용하여 관제서버(Web UI)에 접속하여 로봇의 상태를 모니터링 하거나 명령이 가능
- 관제 시스템에 접속 시 첫 페이지에는 사용자 로그인으로 설정하여 사용자나 농장의 환경에 따라 다른 화면구성을 제공할 수 있도록 구성
- 메인 페이지에는 농장의 구조 및 로봇의 위치가 화면상에 표시되고 사용자가 로봇을 선택하면 선택된 로봇의 각종 정보 및 카메라 영상을 표시함
- 메인페이지 상에서 사용자에게 의해 로봇을 선택하고 이동하고자 하는 위치에 드래그를 하면 실제 로봇이 목표지점까지 이동하는 양방향 통신 프로토콜 구축
- 온실내 수확 구역을 설정하여 수확해야할 구역(빨간색)과 수확하지 않아도 되는 구역(초록색)을 색깔로 구분하여 제공
- 이송로봇 페이지는 수확된 작물의 적재량 및 로봇의 상태 정보를 제공



< MQTT 프로토콜 기반 데이터 전송프로토콜 적용 >



(a) 관제 시스템 사용자 로그인 화면



Touch에 의한 위치이동 명령

(b) 메인 페이지



(c) 수확 로봇 페이지



(d) 이송로봇 페이지

< 관제시스템 구축 >

단말기->서버->로봇

	구분자	Target	Type	Command	구분자	Param1	Param2	Param3	Param4	Param5	Param6	Param7	구분자
	1byte	1byte	1byte	1byte	1byte	4byte	4byte	4byte	4byte	4byte	4byte	4byte	1byte
이동로봇 이동 (레일 및 콘크리트)	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x01	#	현재레일(0) 목적레일(N) 콘크리트(-1)	위치(m) 위치(m) x(m)	DC DC y	DC DC z	DC DC Rot	DC DC DC	DC DC DC	#
로봇 자세 (관절)	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x03	#	J1 (Deg)	J2	J3	J4	J5	J6	DC	#
로봇 자세 (작업공간)	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x04	#	x(mm)	y	z	rx(Deg)	ry	rz	DC	#
그립 (On)	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x05	#	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
그립 (Off)	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x06	#	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
수확	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x07	#	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
이동로봇 정지	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x08	#	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
로봇 정지	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x09	#	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
이동로봇 Homming	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x0A	#	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
로봇 Homming	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x0B	#	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
이동로봇 속도 설정	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x0C	#	속도 (rpm?)	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
적재함 전달	#	목적 로봇 인덱스	0x00	0x0D	#	목적이송로봇(Default=0)	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
수확계획(성속도 기준 작업 순서 결정)	#	DC	0x05	0x01	#	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
수확명령(수확계획에 따른)	#	DC	0x05	0x02	#	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
성속도 판별(전체 시설 대상)	#	DC	0x05	0x03	#	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#

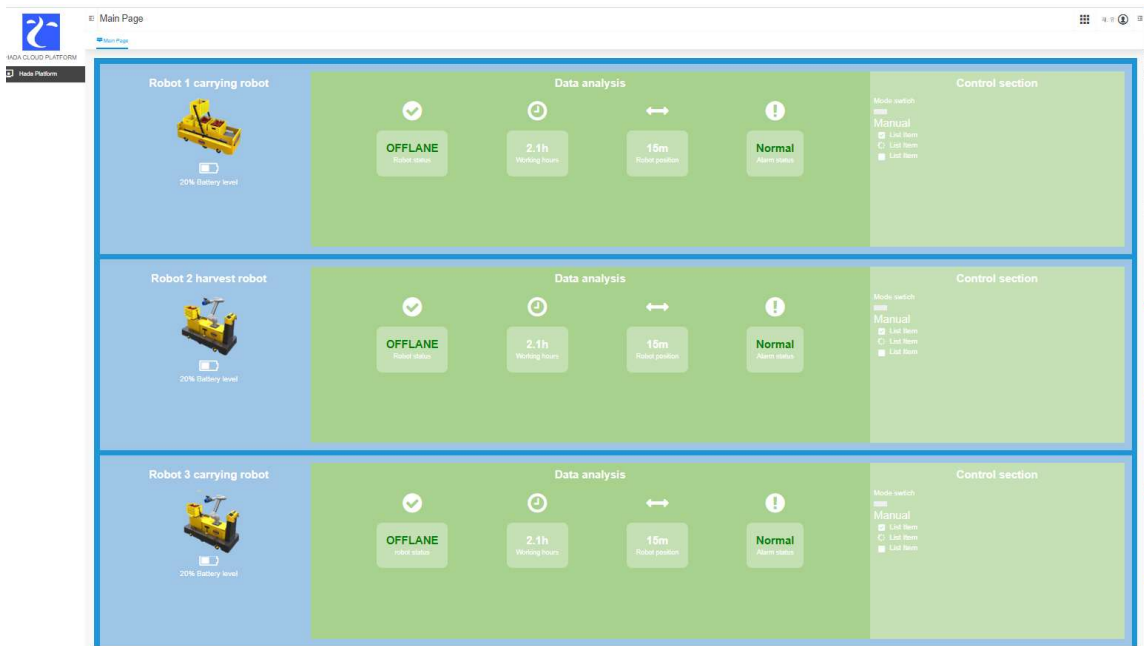
로봇->서버->단말기

로봇별 수확량	#	목적 로봇 인덱스	0x02	0x01	#	수확량	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
이송로봇 적재함 상태	#	목적 로봇 인덱스	0x02	0x02	#	적재함 상태(정의필요)	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
이동로봇 속도	#	목적 로봇 인덱스	0x02	0x03	#	속도 (rpm?)	DC	DC	DC	DC	DC	DC	#
이동로봇 위치	#	목적 로봇 인덱스	0x02	0x07	#	레일(1-N) 콘크리트(-1)	위치(M) x(m)	DC y	DC z	DC Rot	DC 상태6	DC DC	#
로봇팔 자세(관절)	#	목적 로봇 인덱스	0x02	0x07	#	J1 (Deg)	J2	J3	J4	J5	J6	DC	#
로봇팔 자세(작업공간)	#	목적 로봇 인덱스	0x02	0x05	#	x(mm)	y	z	rx(Deg)	ry	rz	DC	#
로봇팔 상태	#	목적 로봇 인덱스	0x02	0x06	#	상태1	상태2	상태3	상태4	상태5	상태6	DC	#

< 통신 단말기 ,서버, 로봇 간 통신 프로토콜 >



< 로봇 팔 구동을 위한 웹 페이지 >



< 로봇의 상태 표시를 위한 웹 페이지 >

국립농업과학원

□ 현장 실증 온실 구축

○ 작물(토마토) 이미지 데이터 취득을 위한 온실 구축



실증 대상 - 시설원에 항공사진

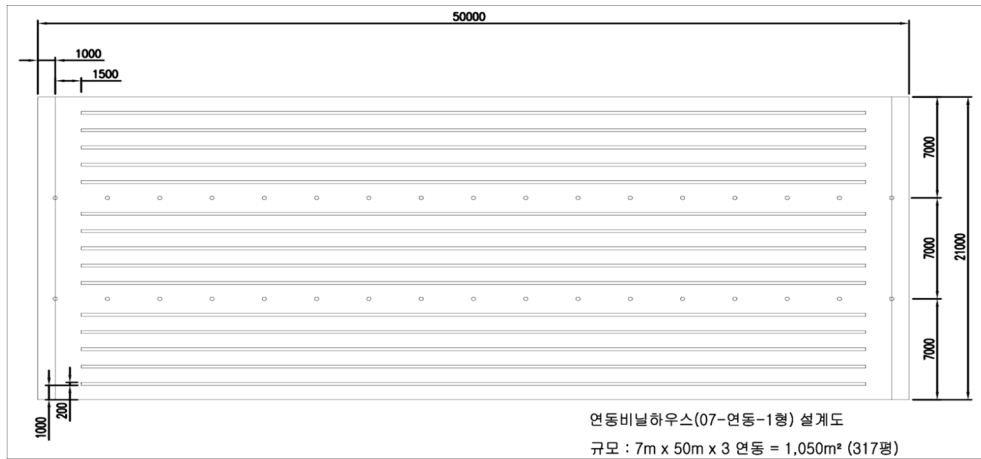


실증 대상 - 시설원에 내부

< 실증 대상 - 시설원에(국립농업과학원) >

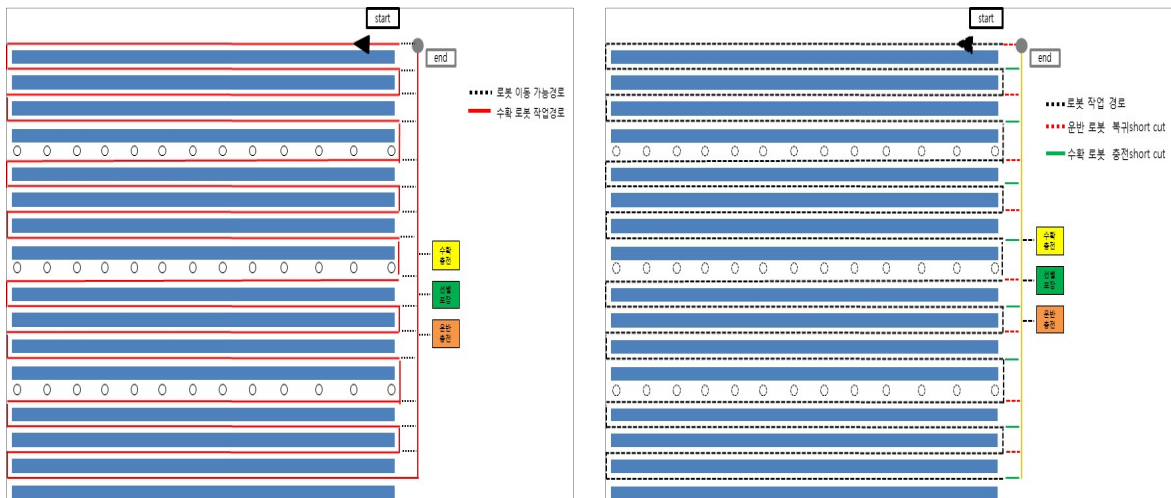
○ 수확 로봇 효율성 향상을 위한 작물(토마토)의 재배양식 조사 및 레이아웃 분석

- 3D 로봇의 운용률은 600평 기준 84% 분석됨. 이는 수확로봇의 경우 총 이동시간이 2.67hr 이었으며 11회 충전으로 22hr 소모
- 수확작업은 112.5 hr로 분석 되었으며 운반로봇의 경우 2대에서 각각 충전시간 64.78~64.86hr로 유사하게 나타났으며 수확작업은 64.78~64.86으로 충전시간과 동일하게 분석됨. 또한 이동 시간은 7.5~7.67hr로 나타남
- 로봇의 전체 운용률은 수확로봇의 경우 수확작업에서 82%의 작업이 이루어졌으며 충전에 16% 이동에 2%가 소요되는 것으로 분석되었고 운반로봇은 충전과 대기, 수확작업에 동일하게 전체시간에서 47%의 비중으로 나타났고 이동작업에 6%가 소요되는 것으로 분석되었음



< 연동 비닐 온실 표준 규격 예시 >

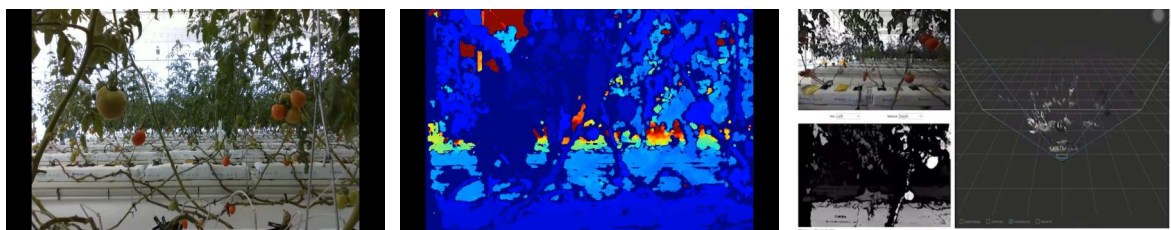
- 경제성 향상을 위한 인력(관행) 대비 로봇 작업시 재배 환경, 시설 변경 조건 연구
 - 인력의 운용률은 숙련자 보통 초보자로 구분하여 시뮬레이션하였으며 그 결과 이동시간은 1.64~1.75hr로 유사하게 나타났으나 수확작업에 있어 숙련자가 22.5hr 보통 작업자가 33.75hr 초보자가 45hr로 나타났음. 이는 작업 초기 설정하였던 Parameter에서 각 항목의 차가 0.5sec로 미비하였지만 600평 규모에서 딸기 1,215kg 을 수확하는데 있어 그 차이가 크게 나타난 것으로 분석됨



< 작물(토마토)의 식재 간격 및 수확 로봇 작업 경로 분석 >

데이터 취득 객관성 향상을 위한 자동화 시스템 개발

- 일정한 수확 부위의 시계열 데이터 취득을 위한 이미지 취득
 - 2D, 3D(Depth, Streo) 이미지 데이터 취득 및 관련 정보 공동 연구기관 제공
 - 2D 토마토 객체 인식을 위한 기계학습 전처리 데이터 도출



< 2D 이미지 데이터 >

< 3D Depth 데이터(D435) >

< 3D Streo 데이터(ZED2K) >

- 자동 이미지 취득을 위한 온실 환경을 고려한 자동 모바일 플랫폼 개발
 - 이미지 영상 데이터 취득용 로봇 구동 플랫폼 제작 완료

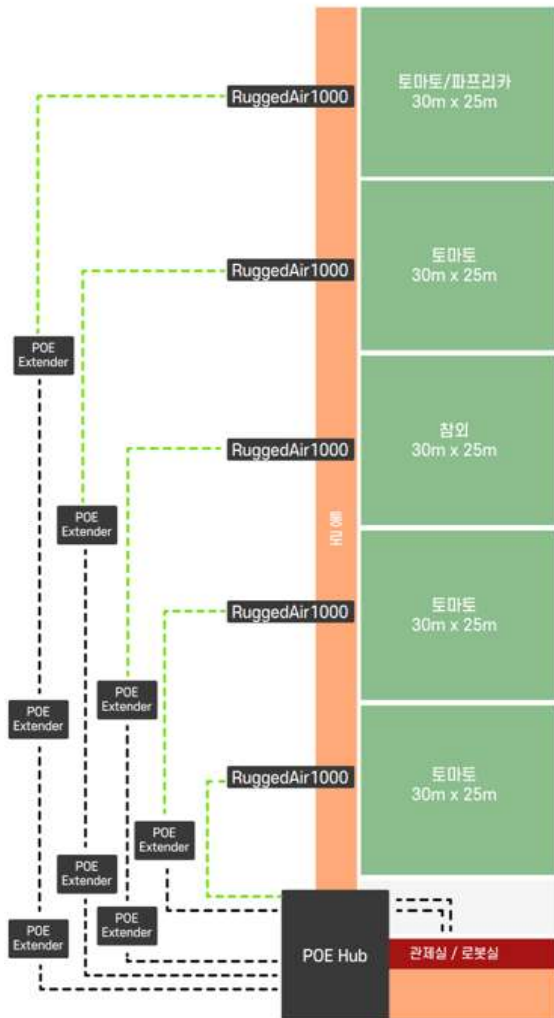


< 영상 데이터 취득 플랫폼 >



< 영상 데이터 취득 플랫폼 >

- 취득 이미지의 실시간 자동 저장을 위한 무선 통신 시스템 구축 및 성능 평가



ASSOCIATED STATIONS

ASSOCIATED STATIONS RESULTS : 2								
GRAPH	RADIO	NAME / SSID	MODE	MAC	CHANNEL	SIGNAL	NOISE	SIGNAL/NOISE
	WiFi	acksys	Infrastructure	76:38:0F:E0:19:46	100	-47 dBm	-99 dBm	42 dB
	WiFi	acksys	Infrastructure	04:F0:21:3D:C0:66	100	-32 dBm	-99 dBm	47 dB

< 근거리(5m) 통신 세기 결과 >

ASSOCIATED STATIONS

ASSOCIATED STATIONS RESULTS : 2								
GRAPH	RADIO	NAME / SSID	MODE	MAC	CHANNEL	SIGNAL	NOISE	SIGNAL/NOISE
	WiFi	acksys	Infrastructure	76:38:0F:E0:19:46	100	-18 dBm	-99 dBm	81 dB
	WiFi	acksys	Infrastructure	04:F0:21:3D:C0:66	100	-41 dBm	-99 dBm	58 dB

< 직선거리(약 40m) 통신 세기 결과 >

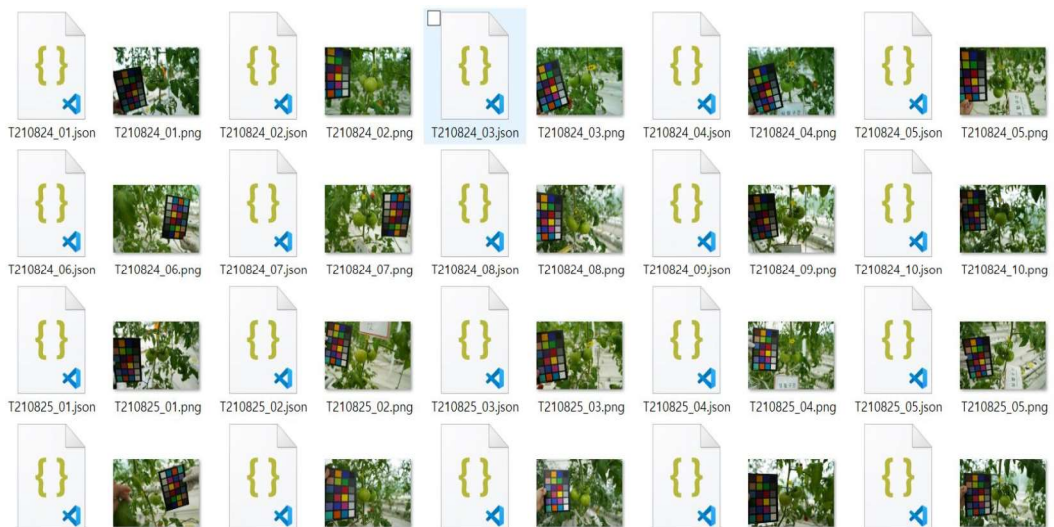
ASSOCIATED STATIONS

ASSOCIATED STATIONS RESULTS : 2								
GRAPH	RADIO	NAME / SSID	MODE	MAC	CHANNEL	SIGNAL	NOISE	SIGNAL/NOISE
	WiFi	acksys	Infrastructure	76:38:0F:E0:19:46	100	-40 dBm	-99 dBm	59 dB
	WiFi	acksys	Infrastructure	04:F0:21:3D:C0:66	100	-70 dBm	-99 dBm	29 dB

< 대각거리(약 100m) 통신 세기 결과 >

작물(토마토) 수확시기 결정을 위한 기준 수립 연구

- 토마토 시계열 데이터 분석을 통한 성숙도 판정 기준 수립을 위한 색차계 분석
- 시계열('21.08.23. ~ '21.09.17.) 이미지 데이터 및 환경 데이터 취득



< 영상 데이터 및 전처리 작업 >

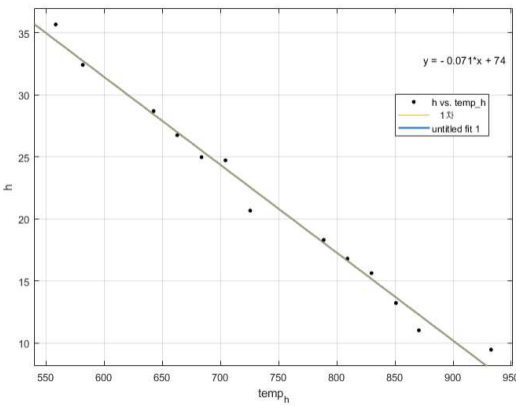


< 영상데이터 취득 샘플 >

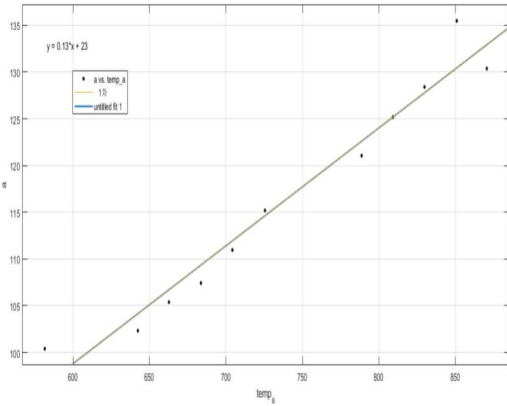


< 영상데이터 취득 샘플 >

- 수확시기 결정을 위한 색차계 데이터 취득 및 색공간 분석(Lab, HSV)



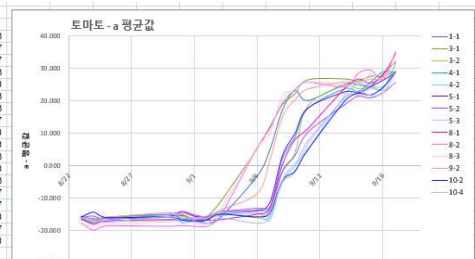
< HSV 색공간 분석 >



< Lab 색공간 분석 >

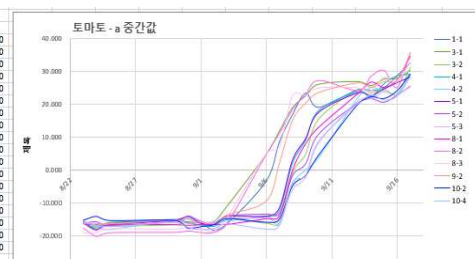
- 적산 온도에 따른 성숙도(La*b) 정도 분석

평균	1-1	3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2	5-3	8-1	8-2	8-3	9-2	10-2	10-4
2021-08-23	-15.997	-16.307	-16.360	-16.770	-16.893	-15.743	-15.973	-15.260	-16.457	-17.877	-18.263	-15.963	-15.850	-16.173
2021-08-24	-17.970	-17.240	-16.433	-17.110	-17.107	-16.463	-16.063	-16.700	-17.827	-19.823	-18.543	-16.380	-14.240	-16.897
2021-09-25	-16.417	-15.857	-17.110	-16.880	-17.377	-18.857	-16.023	-16.520	-16.953	-18.610	-18.057	-15.913	-15.917	-17.477
2021-08-30	-15.800	-14.970	-16.970	-15.047	-16.897	-15.667	-15.180	-15.280	-16.503	-18.723	-17.550	-14.473	-16.677	-15.763
2021-08-31	-15.400	-14.950	-16.883	-16.440	-17.577	-14.333	-14.197	-14.770	-16.770	-18.500	-17.050	-16.183	-16.680	-17.590
2021-09-01	-16.557	-16.600	-16.673	-16.800	-16.457	-15.643	-16.243	-16.370	-16.893	-18.710	-17.747	-15.887	-17.007	-17.383
2021-09-02	-17.727	-15.483	-16.390	-16.570	-15.800	-15.837	-15.903	-15.480	-16.707	-18.690	-18.110	-16.150	-16.690	-17.883
2021-09-03	-16.267	-11.427	-14.770	-15.093	-15.407	-14.313	-14.407	-14.407	-16.570	-15.920	-14.220	-13.767	-14.883	-16.157
2021-09-06	-3.153	5.423	-16.167	-13.823	-14.650	-13.917	-13.263	-14.573	-14.827	5.470	6.510	-8.540	-16.740	-17.980
2021-09-07	4.893	12.073	-16.720	-13.010	-16.793	-11.397	-12.790	-15.263	-13.243	11.327	9.890	1.607	-14.443	-16.960
2021-09-08	17.133	19.867	-1.760	2.033	-4.500	3.033	-1.967	-5.333	0.333	19.133	21.467	15.167	-4.800	-4.433
2021-09-09	23.167	22.267	3.867	9.767	0.933	9.933	3.033	-2.067	8.033	23.300	22.700	20.933	-1.667	-0.200
2021-09-10	20.067	26.500	18.267	17.400	4.767	17.667	10.133	6.400	11.333	25.533	25.700	23.633	4.733	7.433
2021-09-13	25.233	26.787	24.567	23.800	21.800	22.767	18.900	21.167	23.967	24.167	24.700	25.933	20.000	20.967
2021-09-14	25.000	26.100	23.967	22.633	25.133	22.433	21.333	21.733	26.800	23.267	24.700	25.633	22.167	23.067
2021-09-15	24.633	27.000	24.033	25.500	24.967	24.300	20.833	23.533	25.333	23.333	27.933	26.800	21.667	21.600
2021-09-16	28.333	27.567	23.700	28.767	24.333	26.333	22.467	23.067	27.967	26.400	26.633	27.167	24.000	22.467
2021-09-17	32.033	28.200	31.267	28.333	28.733	28.967	26.667	26.633	34.467	34.967	32.733	35.200	28.700	28.900



< 1차 샘플 적산온도 대비 속도 분석 결과 >

종라값	1-1	3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2	5-3	8-1	8-2	8-3	9-2	10-2	10-4
2021-08-23	-15.570	-16.180	-16.210	-16.270	-16.810	-16.280	-15.990	-15.300	-16.060	-17.400	-18.880	-16.080	-15.280	-15.740
2021-08-24	-17.960	-17.400	-16.480	-17.740	-17.150	-16.730	-16.520	-16.610	-18.150	-19.920	-18.690	-16.090	-14.070	-16.730
2021-08-25	-16.250	-15.950	-16.990	-16.060	-16.070	-16.720	-16.650	-16.370	-16.500	-18.820	-17.620	-16.210	-15.340	-17.090
2021-09-30	-15.320	-15.380	-16.470	-14.850	-15.200	-15.190	-15.430	-15.690	-16.540	-18.710	-17.730	-15.020	-15.270	-15.770
2021-08-31	-15.680	-14.880	-15.850	-15.910	-17.750	-14.170	-13.810	-14.480	-16.710	-18.270	-17.090	-16.110	-17.670	-17.330
2021-09-01	-16.080	-16.280	-16.680	-16.470	-16.030	-16.220	-15.430	-16.400	-16.490	-18.760	-17.480	-15.660	-17.190	-17.970
2021-09-02	-18.160	-15.780	-16.320	-16.890	-16.850	-16.530	-16.310	-15.290	-16.480	-18.680	-18.280	-16.080	-16.610	-17.640
2021-09-03	-16.220	-10.960	-14.660	-14.900	-15.540	-14.050	-13.760	-14.590	-16.410	-16.020	-14.160	-13.520	-14.740	-16.220
2021-09-06	-3.130	4.840	-18.030	-13.950	-14.020	-14.050	-13.200	-14.580	-14.700	4.940	5.120	-6.300	-15.880	-17.800
2021-09-07	8.710	11.870	-15.710	-12.150	-16.510	-11.480	-13.080	-15.430	-13.850	11.240	7.110	2.260	-14.860	-16.580
2021-09-08	17.000	18.900	-0.800	2.200	-4.200	3.000	-1.600	-5.900	0.000	18.500	22.700	15.200	-4.800	-3.600
2021-09-09	23.500	22.600	5.000	9.100	0.100	9.500	2.000	-2.100	8.000	23.000	22.700	20.300	-1.600	-1.600
2021-09-10	19.200	26.000	15.700	18.100	3.800	17.600	11.000	6.300	13.000	27.300	25.000	23.600	4.900	8.900
2021-09-13	24.600	26.800	24.500	23.800	22.100	23.400	20.400	21.000	23.200	24.200	25.000	26.500	20.100	20.400
2021-09-14	24.300	25.600	23.600	22.100	25.100	22.600	21.700	21.700	26.700	26.800	24.100	25.200	22.300	23.000
2021-09-15	25.200	27.600	24.700	26.200	24.100	24.600	20.600	23.800	25.100	30.300	30.200	26.900	21.800	21.400
2021-09-16	28.800	27.600	23.300	28.600	23.100	28.600	22.600	22.800	27.400	25.100	26.900	27.300	24.200	22.600
2021-09-17	32.700	30.200	31.300	29.000	28.800	28.200	25.400	25.700	34.600	35.700	32.800	35.400	29.200	28.400



< 2차 샘플 적산온도 대비 속도 분석 결과 >

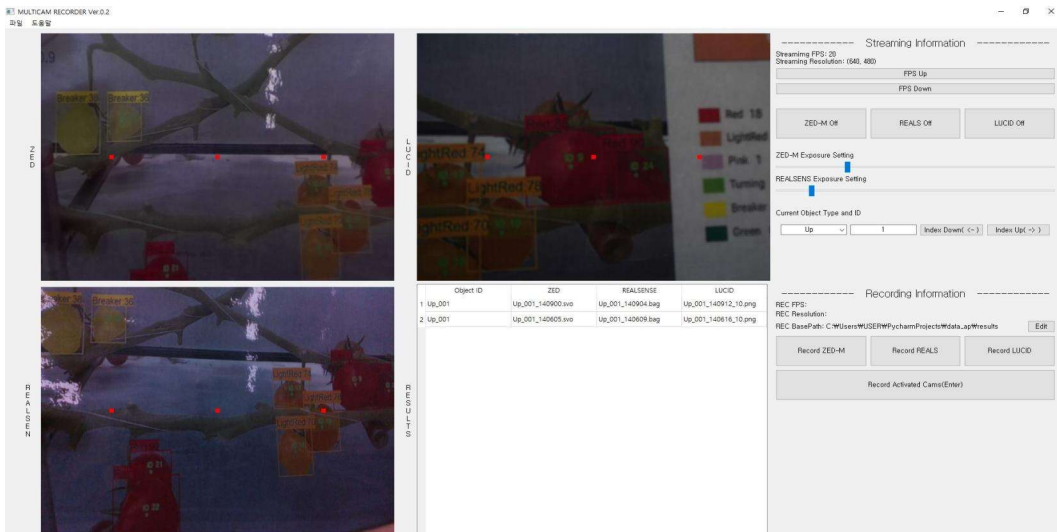
- 색차계 시계열 데이터 취득 및 적산온도 기반 데이터 분석을 통한 과실 성숙도 판정 모델 개발

- a* 값의 경우, 토마토의 숙성정도에 따라 값이 상승하는 것으로 나타남
- 적산온도 800~900℃에서 Green -> Breaker로 변화(1->2단계)
- a* 값의 상승폭이 1단계(평균 -16.037)에서 6단계(평균 30.314)까지 46.351으로 L*, b* 값에 비해 상대적으로 높은 값을 보임
- L* 값의 경우, 토마토의 숙성정도에 따라 색상값이 떨어지는 추세를 보임, 적산온도 900℃ 까지는 도드라지는 변화추이는 없었으나(평균 51.908), 그 이후로는 값이 떨어져 6단계에서는 평균 31.607로 변화 폭이 20.301로 나타남

□ 작물(토마토) 인식을 위한 시계열 데이터 취득 및 DB 구축

○ 토마토 시계열 영상 데이터 자동 취득 알고리즘 개발 및 적용

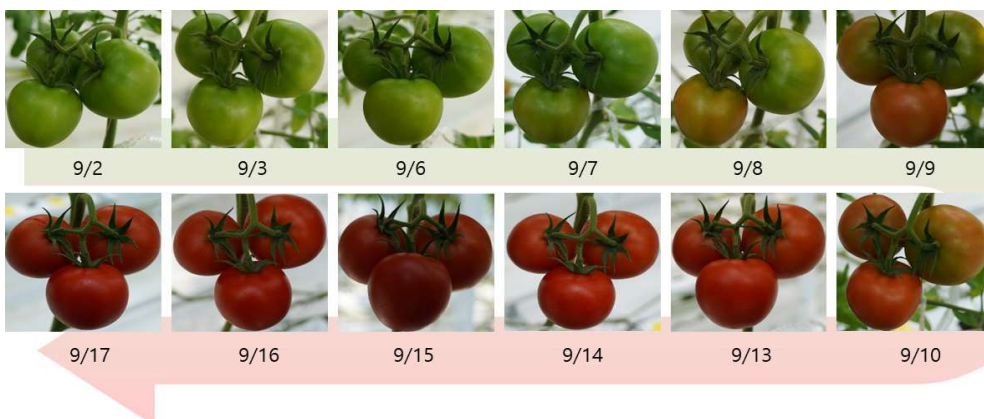
- 2D, 3D 동시 취득을 위한 자동 영상 데이터 취득 및 취득 데이터 저장 프로그램 개발
- 대상 과실의 화면 중앙지점 인식 후 자동 데이터 저장



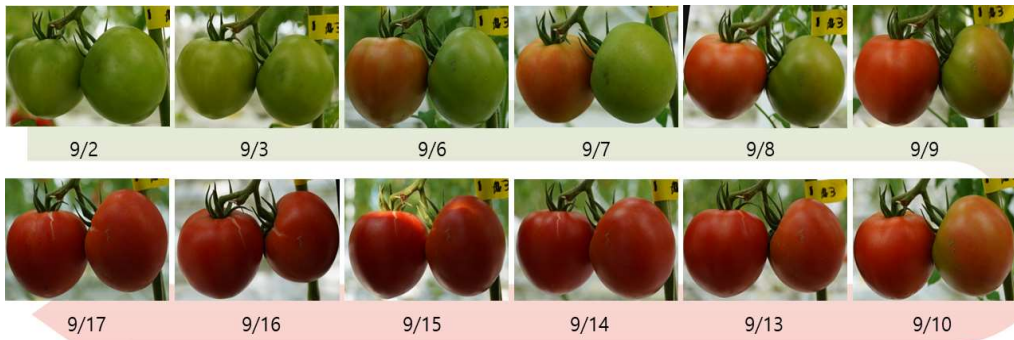
< 영상 데이터 자동 취득 프로그램 >

○ 취득 이미지 데이터의 시기별 관리 및 생식 특성 비교 기술 개발 및 DB 구축

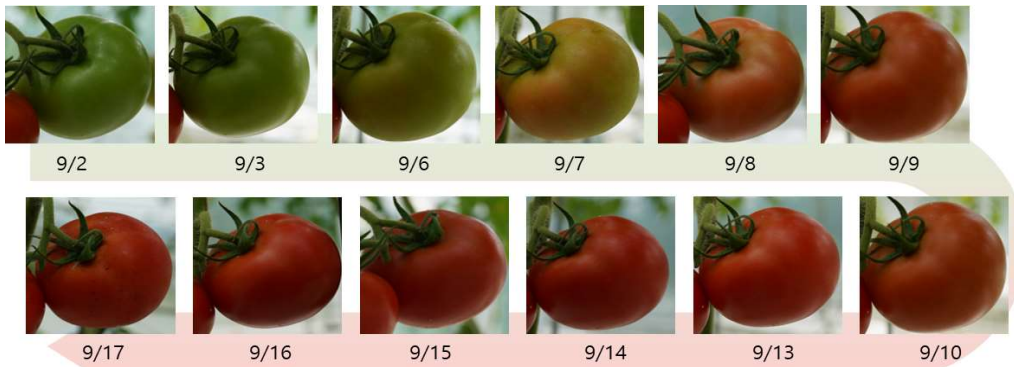
- 토마토 생식 성장 시기에 따른 이미지 취득에 따른 생식 특성 비교



< 수확시기 결정을 위한 시계열 데이터 >

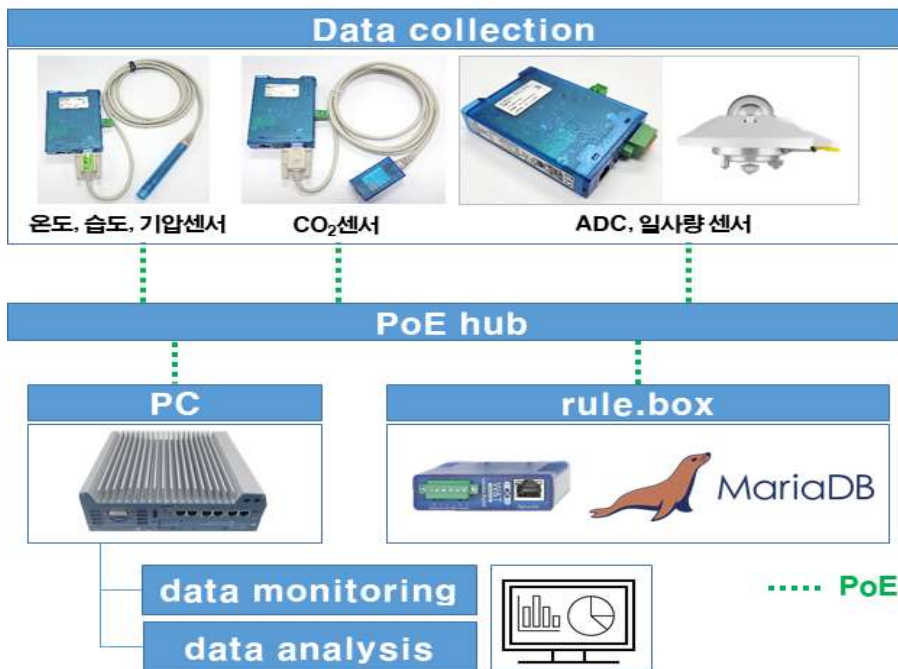


< 수확시기 결정을 위한 시계열 데이터 >

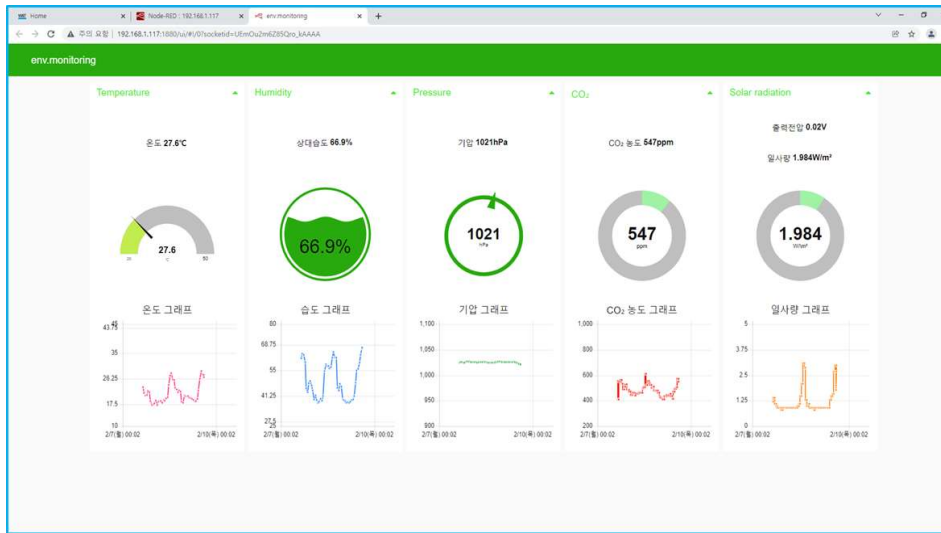


< 수확시기 결정을 위한 시계열 데이터 >

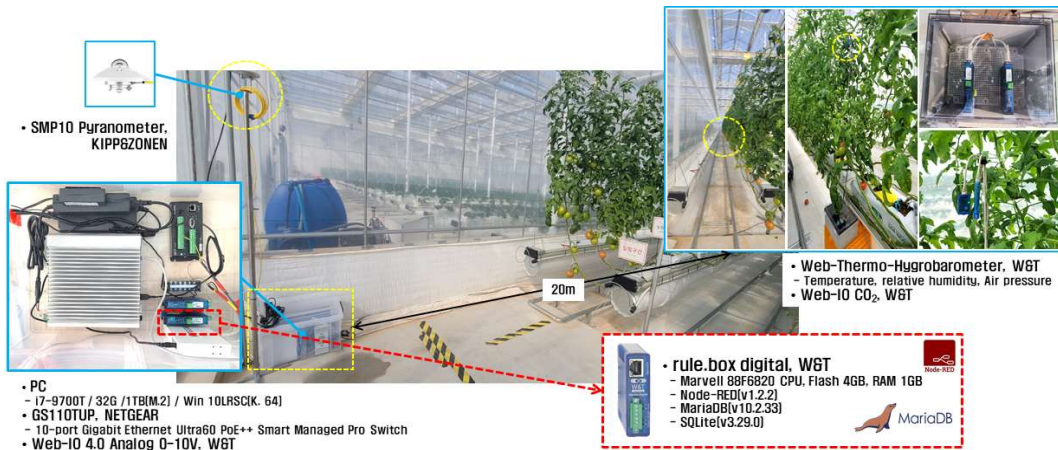
- 토마토 생식 주요 요인 환경데이터 취득을 위한 시스템 구성 및 데이터 취득



< 환경 데이터 취득을 위한 시스템 구성 >



< 환경 데이터 수집 GUI >



< 실제 환경데이터 수집 방법 >



< 수집된 환경 데이터 결과 >

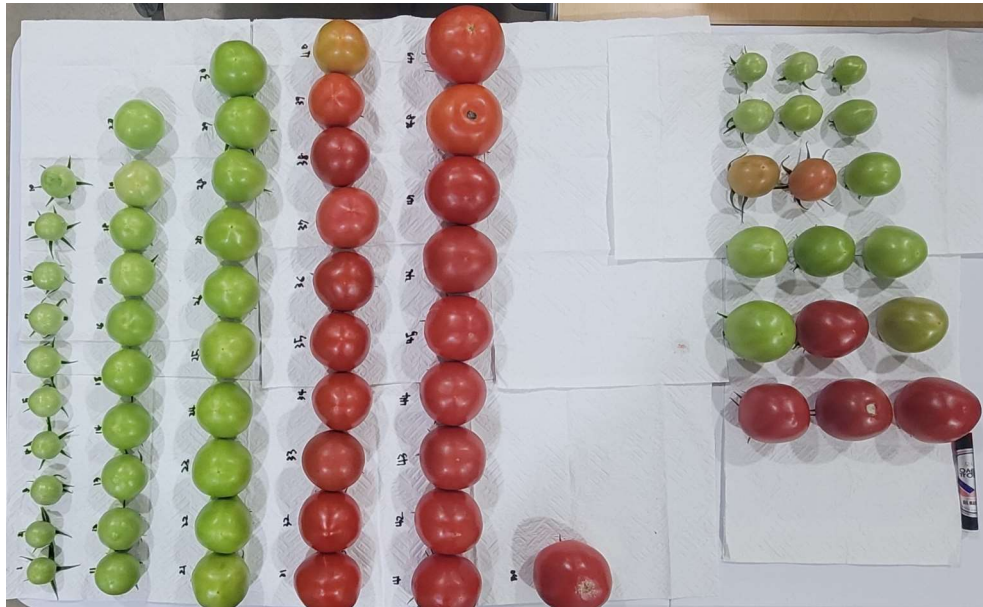
- 수집 영상 데이터 및 환경 데이터 기반 토마토 속도 분류 기준 설정

단계	익음 정도	외관상태	적색 비율	La*b
1	녹숙기	착색이 안된 상태(녹색)	0 %	-4.87 ± 2.73
2	변색기	착색 시작 단계	3~10 %	-0.33 ± 2.50
3	채색기	연한적색과녹색 혼재	11~30 %	4.98± 2.70
4	도색기	연한적색과황색 혼재	31~60 %	10.70 ± 2.53
5	담적색기	연한 적색	61~90 %	16.57 ± 2.32
6	완숙기	착색 완료(적색)	90 % ~	19.31 ± 1.60

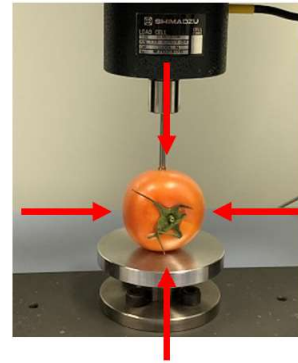
□ 작물(토마토) 수확을 위한 엔드이펙터(커터) 기술 개발

○ 토마토 엔드이펙터 설계 요인(경도) 분석

- 토마토 숙도별 (6단계 샘플) 대상 과실에 대한 경도 분석
- 분석 장치 : AG-10kNX Plus



< 측정 대상 토마토 선별 작업 >



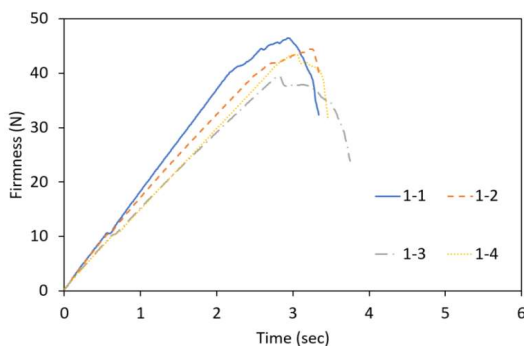
장치	AG-10kNX Plus, Shimadzu, Kyoto, Japan
프로브 직경	5 mm
pre-test speed	2 mm/sec
loading speed	5 mm/sec
침투 깊이	10 mm
측정 방법	샘플 측면 중심부 기준 90° 간격 4곳 측정

< 경도 측정 장비 및 측정 방법 >

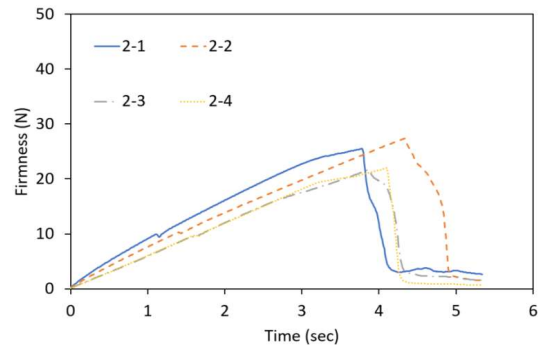
○ 토마토 경도 측정을 통한 그리퍼 최대 허용 압축력 도출 연구

- 속도별 측정 위치에 따른 경도 분석

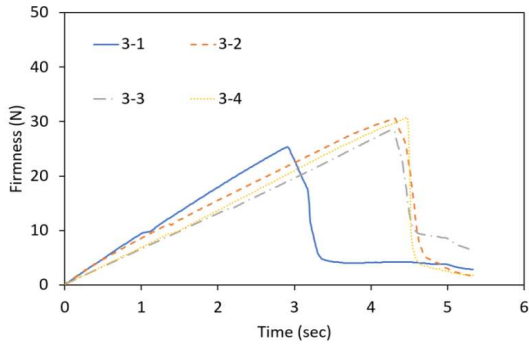
- 위치별 항복지점의 경도 값의 편차는 크지 않았으나, 최대 허용지점의 경도 값은 상대적으로 편차가 큼
- 1단계의 경우 위치별 최대 허용 경도값이 40.5~46.4 N, 2단계 21.4~26.9 N, 3단계 26.3~31.3 N, 4단계 20.3~27.4 N, 5단계 22.2~30.0 N, 6단계는 16.8~20.5 N 측정
- 항복지점까지의 깊이 변화는 약 0.99mm로 유사하게 측정됨
- 최대 허용지점에서의 깊이 변화는 1단계의 경우 5.7~6.5 mm, 2단계 7.2~7.6 mm, 3단계 7.3~8.5 mm, 4단계 5.6~7.1 mm, 5단계 5.1~6.6 mm, 6단계 4.9~6.5 mm로 측정



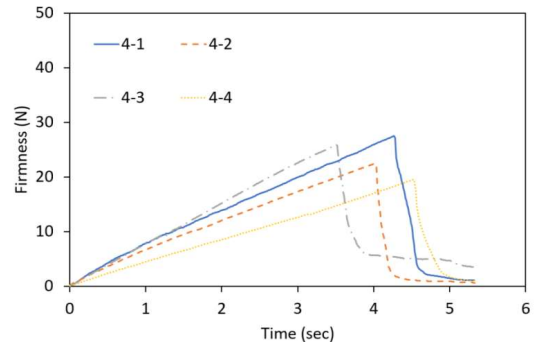
< 1단계 경도 결과 >



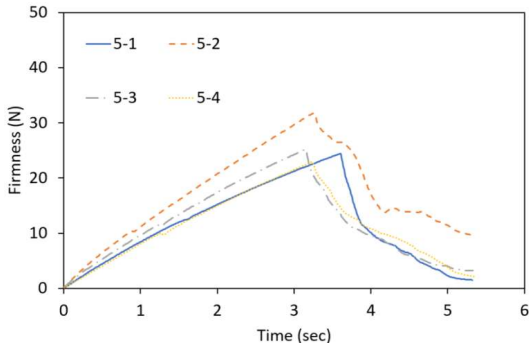
< 2단계 경도 결과 >



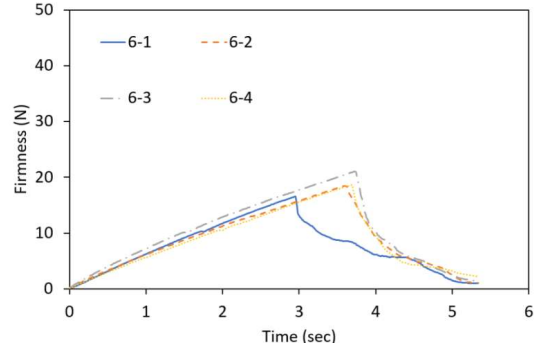
< 3단계 경도 결과 >



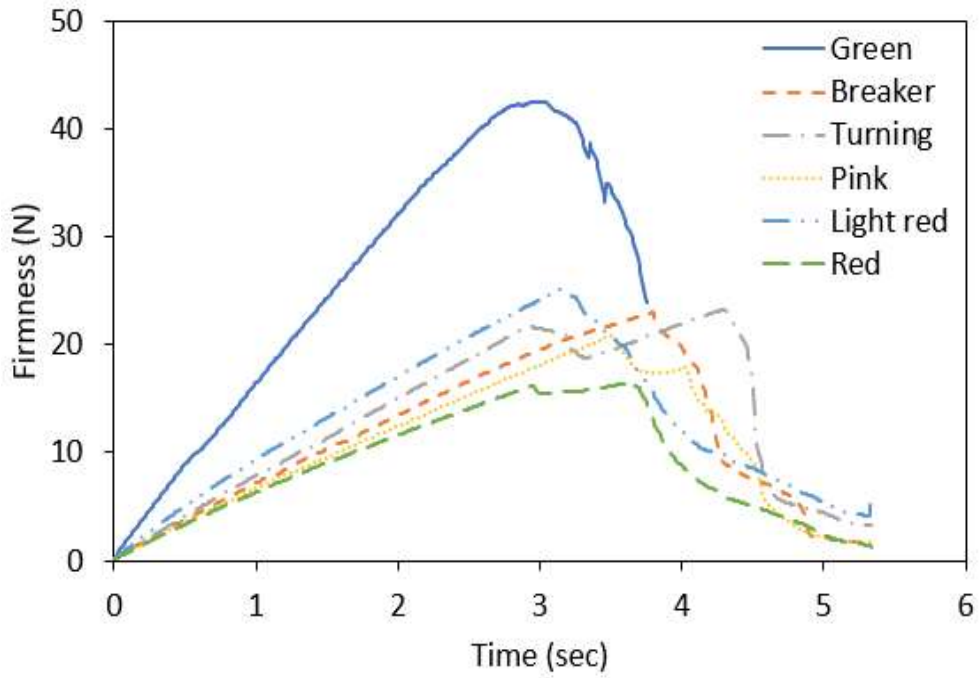
< 4단계 경도 결과 >



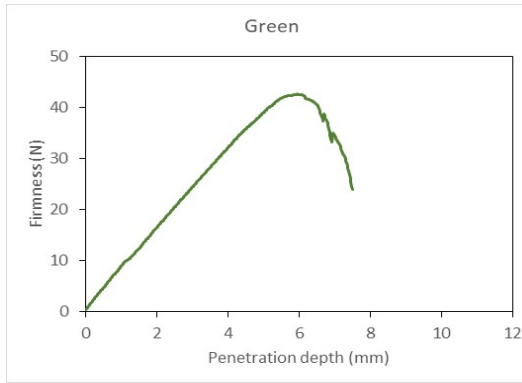
< 5단계 경도 결과 >



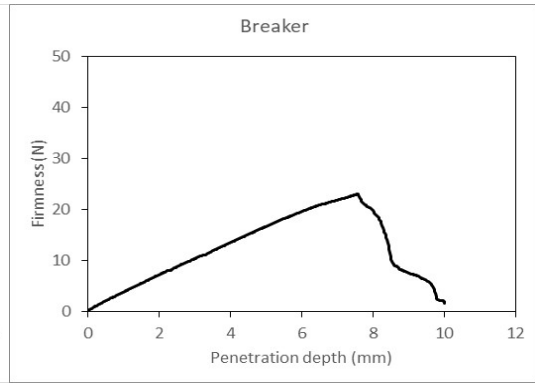
< 6단계 경도 결과 >



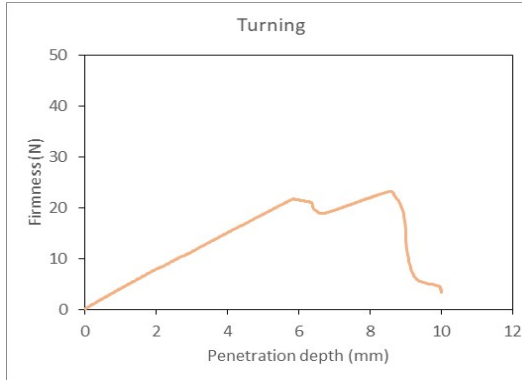
< 속도별 평균 경도 결과 >



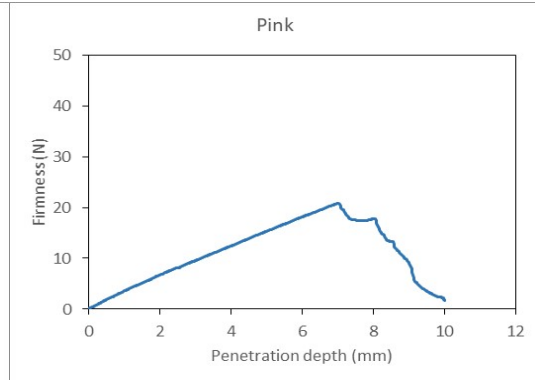
< 1단계 허용지점 깊이 변화 >



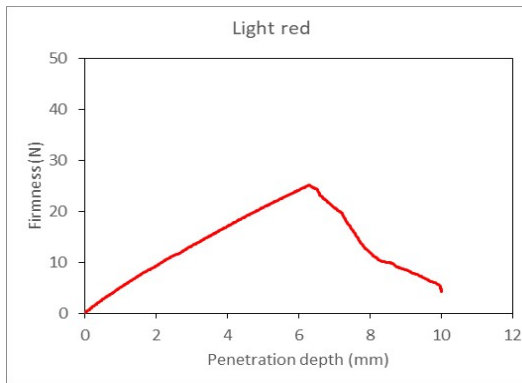
< 2단계 허용지점 깊이 변화 >



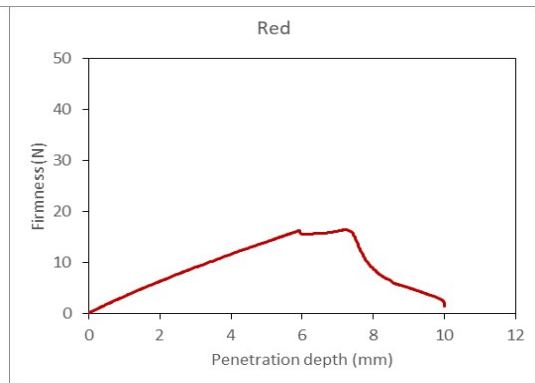
< 3단계 허용지점 깊이 변화 >



< 4단계 허용지점 깊이 변화 >



< 5단계 허용지점 깊이 변화 >



< 6단계 허용지점 깊이 변화 >

Maturity	1st yield point	Max yield point
1단계 Green	8.76 ± 0.77 N	43.46 ± 2.98 N
	0.97 ± 0.3 mm	6.1 ± 0.4 mm
2단계 Breaker	3.74 ± 1.00 N	24.15 ± 2.77 N
	0.98 ± 0.2 mm	7.43 ± 0.2 mm
3단계 Turning	4.03 ± 0.78 N	28.78 ± 2.51 N
	0.98 ± 0.3 mm	7.91 ± 0.6 mm
4단계 Pimk	3.53 ± 0.84N	23.85 ± 3.56 N
	0.97 ± 0.2 mm	6.37 ± 0.7 mm
5단계 Light red	4.98 ± 1.06 N	26.10 ± 3.92 N
	0.97 ± 0.4 mm	5.89 ± 0.7 mm
6단계 Red	3.35 ± 0.46 N	18.66 ± 1.85 N
	0.99 ± 0.2 mm	5.67 ± 0.8 mm

□ 수확 로봇의 현장 접목 향상 기술 개발

○ 시설원에 수확 로봇의 산업화를 위한 검정 체계 개발

- 주요 성능 확인을 위한 시험 방법 요인 분석
- 산업 표준기반 유사 시험 방법 발취 및 농업기계 적용 가능성 타진(검정 기관인 한국 농업기술진흥원 자문 및 사전협의 완료)

평가항목	확인 방법
동시작업로봇	- 기능상으로 동시 작업(제어)이 가능한 로봇의 대수확인
수확 계획 대비 성공률	- 인식된 농작물에 대한 수확 성공 여부 판단(최소 10회)
수확 작업 대비 수확률	- 수확 작업 명령이 부여된 농작물에 해당 수확 성공 여부 판단(최소 10회)
농작물 인식률	- 사람 대비 로봇의 농작물 인식 여부 판단(최소 10회)
이동로봇최대 속도	- KS B 6939 서비스로봇의 이동 기능 특성 측정 방법 제1부: 기본 사양 결정
이동로봇위치 정밀도	- KS B 6969 서비스 로봇의 이동 기능 특성 측정 방법 제3부: 위치 정밀도
연속작업시간	- 1시간 동안 전력 소모량 측정 후 잔여 용량 계산하여 작업시간 산출

- 성능 시험 방법 개발 및 적용

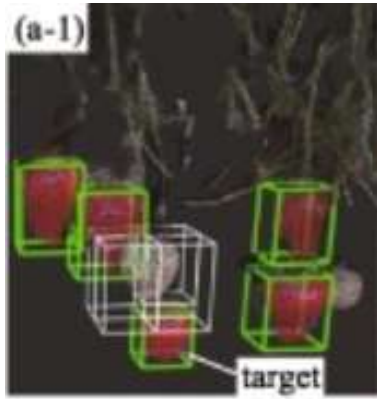
평가항목	시험 방법
동시작업로봇	협업 가능 로봇 대수 확인
수확 계획 대비 성공률	인식된 농작에 대한 수확 성공 여부 판단 - 온실 환경에서 로봇이 사전에 계획되어진 위치 이동 - 계획되어진 작물 인식하고 인식된 작물에 대한 수확 작업 실시(과실 수확 여부만판단) - 최소 10회 반복 동작 후 성공률을 도출
수확 작업 대비 수확률	수확 작업 명령이 부여된 작물에 대해 수확 성공 판단 - 온실 환경에서 로봇이 수확 가능 작물에 위치 - 수확 대상으로 인식된 작물에 대해 수확 작업 실시 - 최소 10회 반복 작업을 수행 후 성공률 도출
농작물 인식률	유사 표준 활용 재구성 : KS B 7306 서비스 로봇을 위한 시스템 레벨에서의 얼굴인식 성능평가 방법) - 환경에서 촬영되거나, 실시간 측정된 영상 활용

	<ul style="list-style-type: none"> - 출력되는 영상에 실제 사람이 인식하는 작물(토마토)과 로봇에 의해 인식되는 작물의 횡수 측정. - 다음의 수식에 따라 결과를 도출 (인식률 = 시스템이 인식한 작물 횡수 / 사람이 인식한 작물 횡수)
이동로봇최대 속도	<p>(KS B 6939 서비스 로봇의 이동 기능 특성 측정 방법 제1부: 기본 사양 결정)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5m 이상 구간 두 개의 표점거리 사이 최대속도 주행 - 두 개의 표점을 지나는 시간 기록, 전방 운행으로 한 방향으로 2회, 전방 운행으로 반대 방향으로 2회 - 두 표점사이의 거리를 4회의 주행 시간의 평균값, 계산 결과는 m/min 단위로 표시하며, 표점사이의 거리와 주행 시간의 측정 정밀도 오차 범위 5%를 ↓ <p>※ 가속 구간 1m, 측정 구간 5m, 감속 구간 1m</p>
이동로봇위치 정밀도	<p>(KS B 6969 서비스로봇의 이동 기능 특성 측정방법 제3부: 위치 정밀도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 로봇 사전에 제시된 이동 길이 5m 이상의 구간 주행 - x축의 양(+)의 방향으로 P점으로 이동명령을 내리고, 도착하면 측정장비를 이용하여 로봇의 위치값 측정 - 측정이 완료되면 로봇을 원위치 - 10회 반복 측정 후 계산
연속작업시간	로봇 완전 충전 후 전기용량 측정하고 1시간 동안 동작(적재 정량 탑재)후 전기 잔량 측정 후 작업 가능 시간 계산

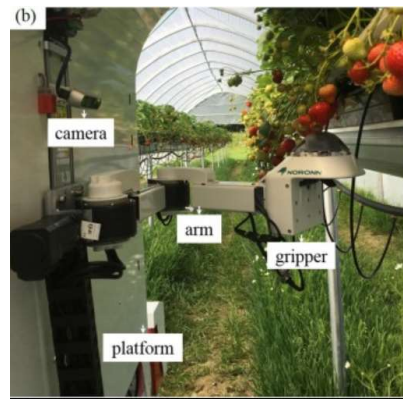
▶ 충북대학교

딥러닝기반 목적 원예작물 3D 위치 추정 기술 개발

- 원예작물 3D 위치 추정을 위한 센서 종류 및 위치 설계
 - Intel 사의 Real Sense D435 센서 채택
 - 센서 채택 시 토마토 수확 환경(조명, 일조량, 거리 등)을 고려



< 3D 위치 추정 기술(예) >



< 농작물 위치인식을 위한 센서(예) >

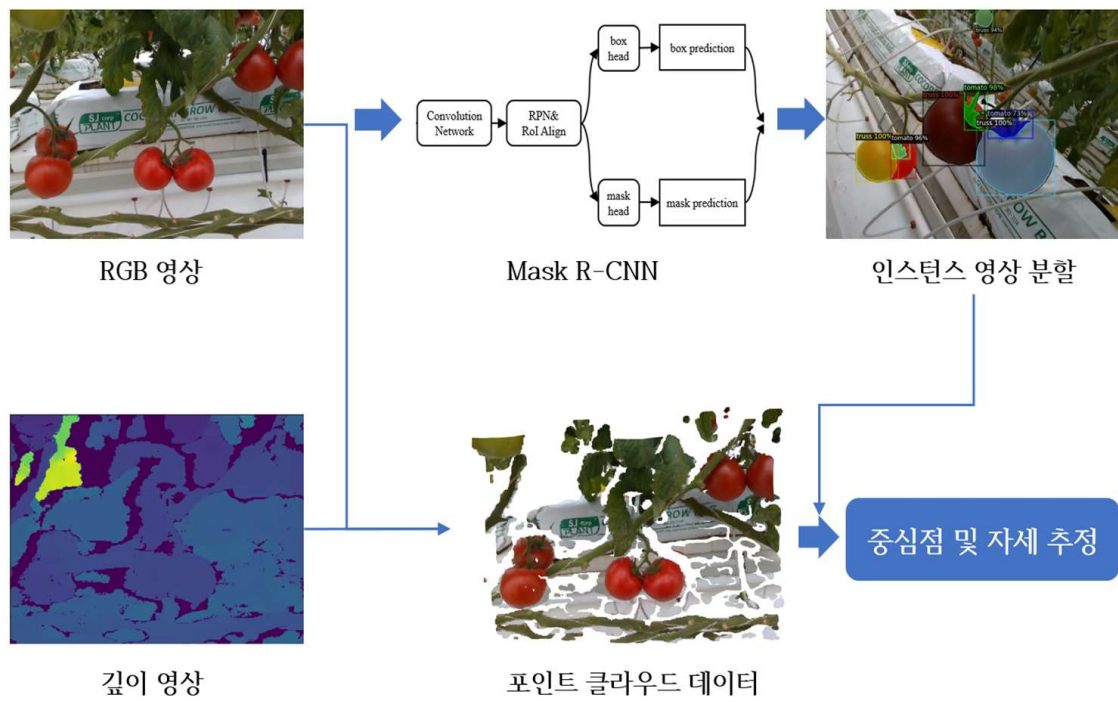
그림 168 목적 원예작물 3D 위치 추정 기술



< Intel사의 realsense D435 RGB-D 카메라 >

○ 딥러닝 기반 목적 농작물의 3D 위치 인식 기술 개발

- 토마토의 정확한 위치와 자세를 추정하기 위해 토마토 꼭지 정보를 활용
- 토마토와 꼭지를 인식하기 위한 모델로 Mask R-CNN, DETR 사용
- 딥러닝 영상인식 모델을 이용해 인식한 객체의 마스크 이미지와 깊이 이미지를 통해 point cloud data 추출 후 pose estimator에 전달
- 토마토, 토마토 꼭지의 point cloud에서 중심점을 각각 추정 후 두 중심점을 벡터로 연결함으로 토마토의 자세를 추정



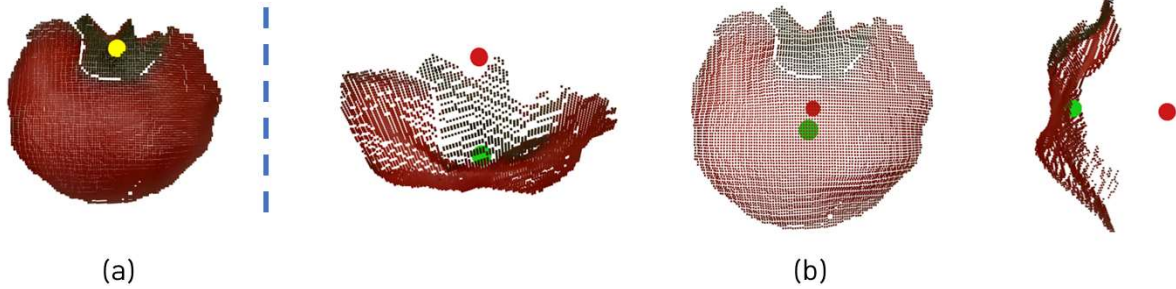
< 토마토 3차원 위치 인식 및 자세 추정 흐름도 >



< RGB 이미지와 깊이 이미지를 통해 생성한 포인트 클라우드 데이터 >



< 각 객체의 3D 위치추정 >



< 토마토 꼭지 중심점(a) 및 토마토 중심점 (b)(왼쪽부터 윗면, 정면, 옆면) 추정 결과 (빨간 점은 구형 피팅을 통한 중심점, 초록 점은 토마토 포인트 클라우드의 평균을 통한 중심점) >



< 토마토 자세 추정 결과 >

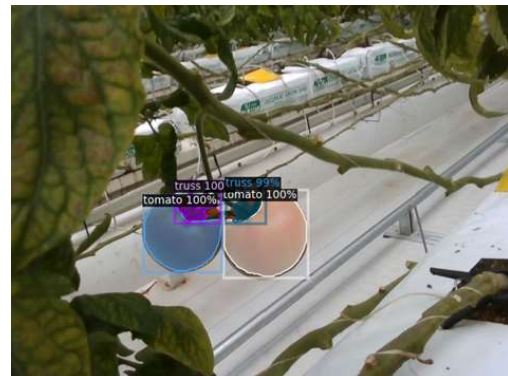
시설원에 작물 컬러 정보기반 수확여부 판단 기술 개발

○ 수확여부 판단을 위한 컬러 특징 추출 기술 개발

- 기존의 Mask-RCNN 모델의 사전 학습 가중치(Microsoft COCO Dataset)를 주어진 합성 이미지 데이터셋에 fine-tuning 시켜 instance segmentation을 수행
- 익은 토마토와 안 익은 토마토에 대하여 모델 학습 진행

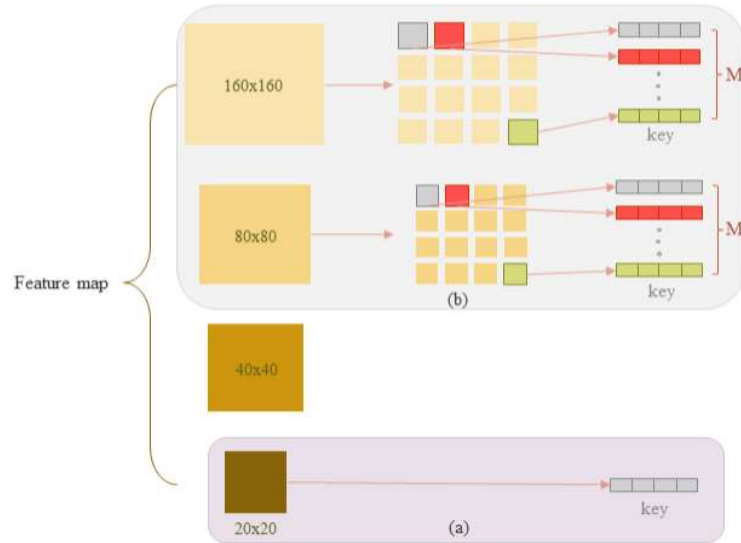


< 딥러닝 학습을 위한 합성 이미지 데이터 >

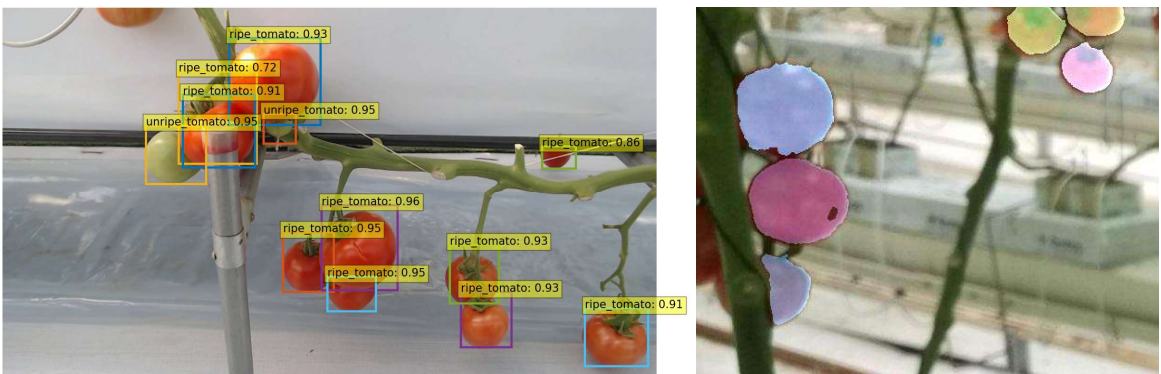


< Mask R-CNN 모델을 통한 토마토 꼭지와 토마토 위치 인식 결과 >

- 최신 딥러닝 기반 object detection model인 Detection Transformer(이하 DETR)을 활용한 토마토 위치 인식 및 분류 기술 개발
- DETR모델에 Feature Pyramid Attention을 통해 고해상도 이미지를 통한 정보도 학습에 사용함으로 성능 향상



< DETR에서 고해상도 정보를 이용하는 Feature Pyramid Attention 네트워크 >



< DETR 위치 인식과 분류 및 시각화 >

□ 시설원에 작물 수확을 위한 3차원 위치 정보 연동 기술 개발

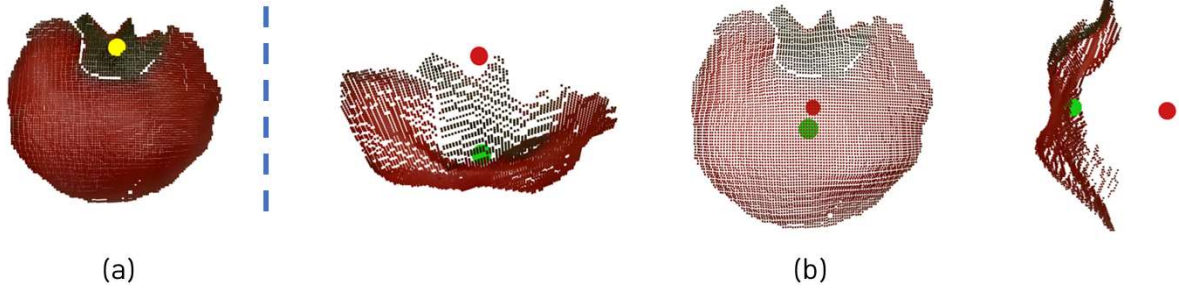
- 센서의 거리에 따른 에러 특성을 고려한 3차원 위치 개선 기술 개발
 - RGB 이미지와 Depth 이미지를 정렬하여 3차원 정보인 포인트 클라우드 데이터 생성



< RGB 이미지와 깊이 이미지를 통해 생성한 포인트 클라우드 데이터 >

- 수확 로봇의 움직임에 따른 3차원 위치 정보 보상 기술 개발
 - 센서 에러 특성과 움직임에 따른 정보 손실을 고려하여 객체의 형태 피팅 기술로 중심

점 추정

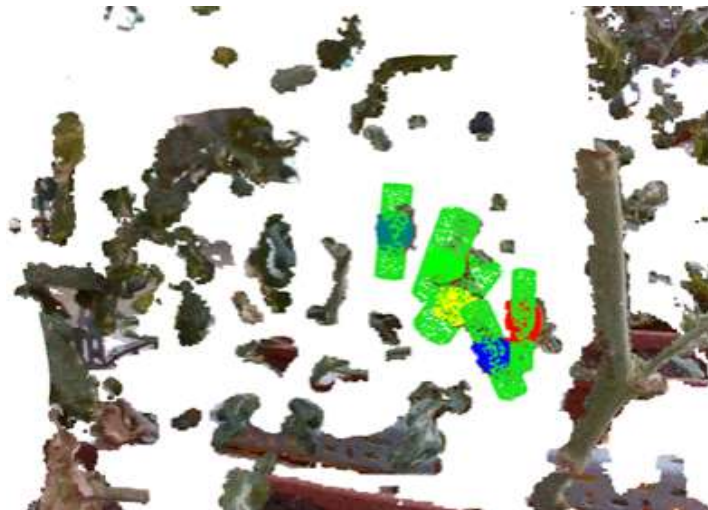


< 토마토 꼭지 중심점(a) 및 토마토 중심점 (b)(왼쪽부터 윗면, 정면, 옆면) 추정 결과 (빨간 점은 구형 피팅을 통한 중심점, 초록 점은 토마토 포인트 클라우드의 평균을 통한 중심점) >

□ 시설원에 작물 수확 기능 개선을 위한 3차원 자세 추정 기술

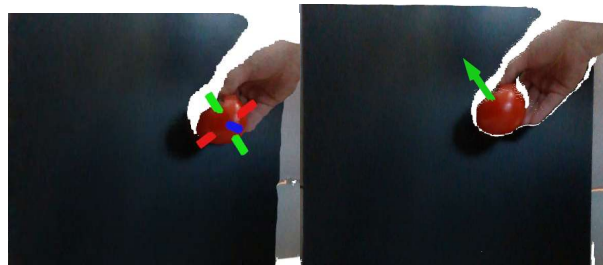
○ 객체의 형태 정보를 고려한 3차원 자세 추정 기술 개발

- 방울토마토의 형태 정보를 고려하여 실린더 피팅을 통해 3차원 자세 추정



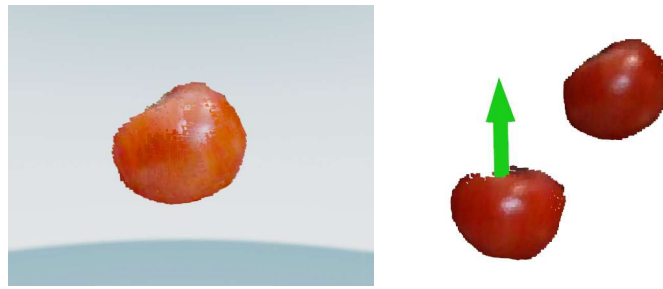
< 실린더 피팅을 이용한 토마토 자세추정 >

- Principal Component Analysis를 통해 3차원 데이터의 주성분을 분석하여 자세 추정



< 주성분 분석과 토마토 자세 추정 결과 >

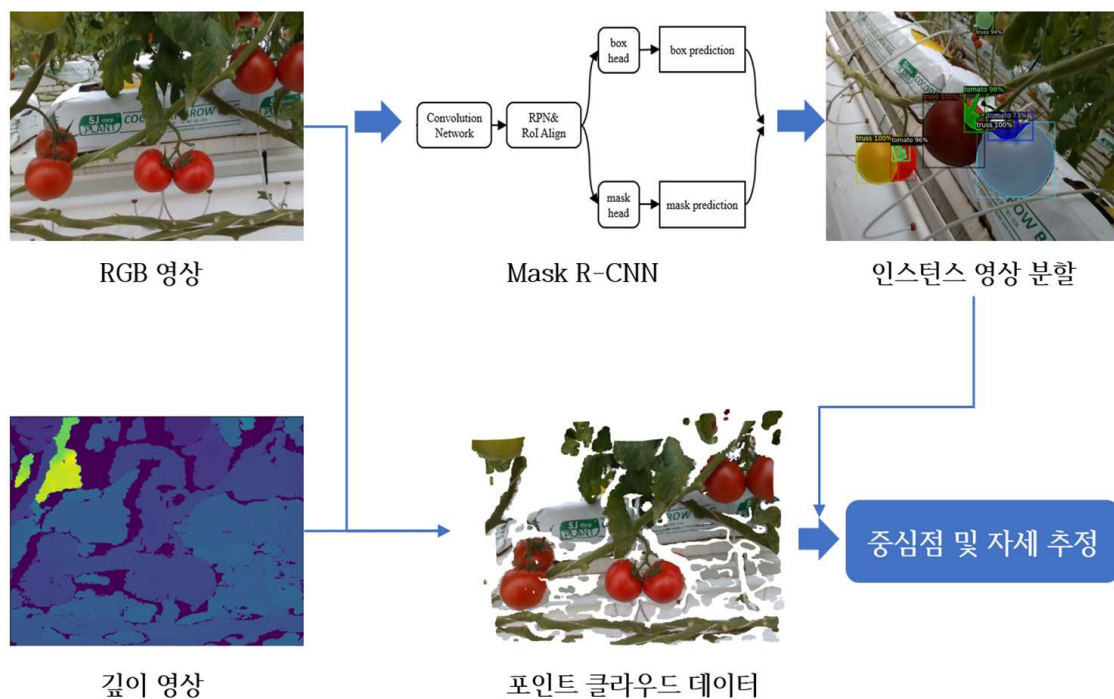
- Iterative Closest Point를 통해 참조 데이터에서 입력 데이터로 정합할 때의 변환행렬 추출 후 자세 추정



< ICP 알고리즘을 통해 두 객체를 정합한 결과와 자세 추정 결과 >

○ 가려짐에 강인한 자세 추정 기술 개발

- 토마토의 정확한 위치와 자세를 추정하기 위해 토마토 꼭지 정보를 활용
- 딥러닝 영상인식 모델을 이용해 인식한 객체의 마스크 이미지와 깊이 이미지를 통해 point cloud data 추출 후 pose estimator에 전달



< 토마토 3차원 위치 인식 및 자세 추정 흐름도 >

- 토마토, 토마토 꼭지의 point cloud에서 중심점을 각각 추정 후 두 중심점을 벡터로 연결함으로써 토마토의 자세를 추정

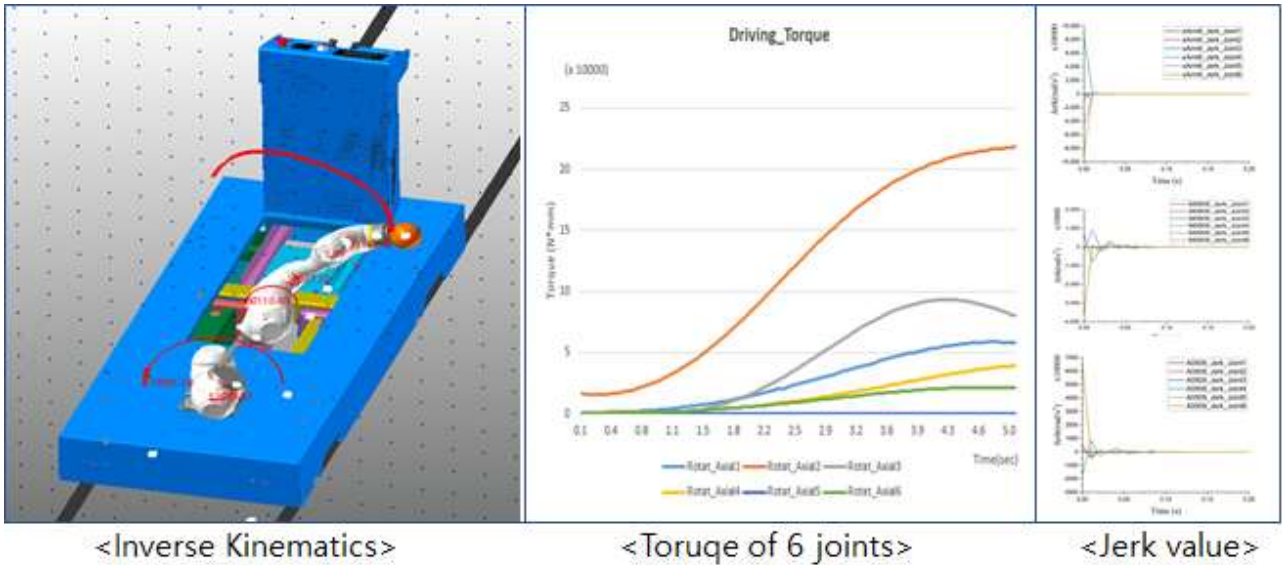


< 토마토 자세 추정 결과 >

□ 시설원에 작물 적재검용 수확 로봇 매니플레이터 자세 분석

○ 원예작물 수확용 로봇 매니플레이터 최적 자세 문헌 연구

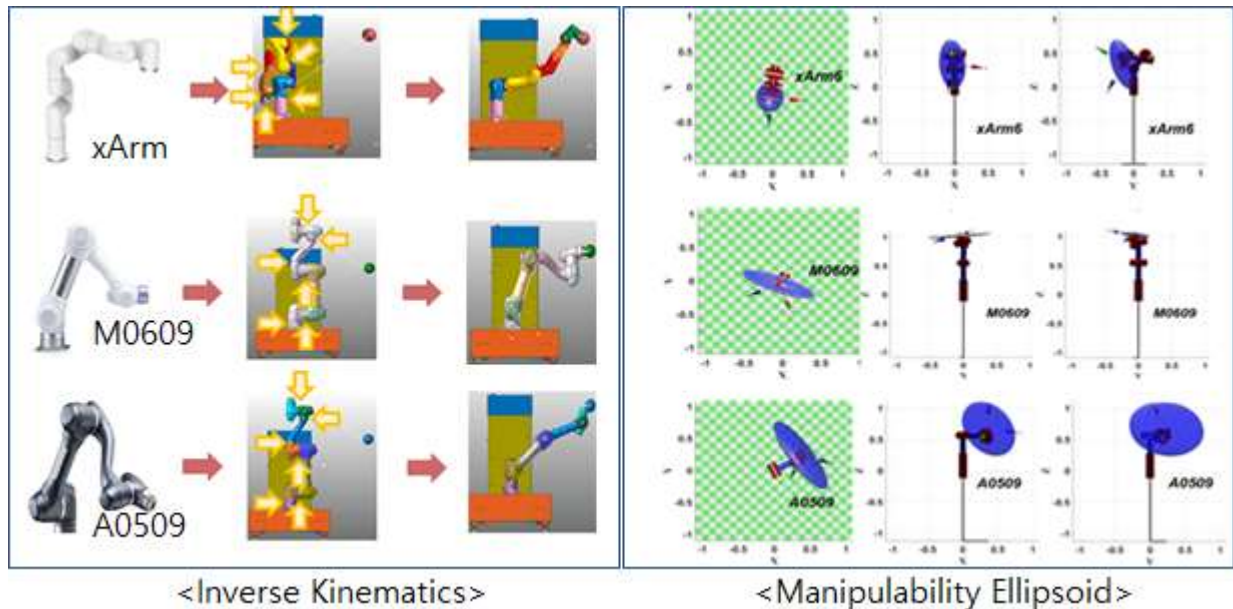
○ 원예작물 수확용 로봇 매니플레이터 자세 분석



< 원예작물 수확용 로봇 매니플레이터 자세 분석 >

□ 시설원예 작물 적재검용 수확용 로봇의 작업공간 분석

- 원예작물 수확용 로봇의 작업 공간 분석 연구
 - 수확용 로봇 매니플레이터 이동 작업 공간 분석 문헌 연구
 - 수확용 로봇 매니플레이터 이동 작업 공간 분석

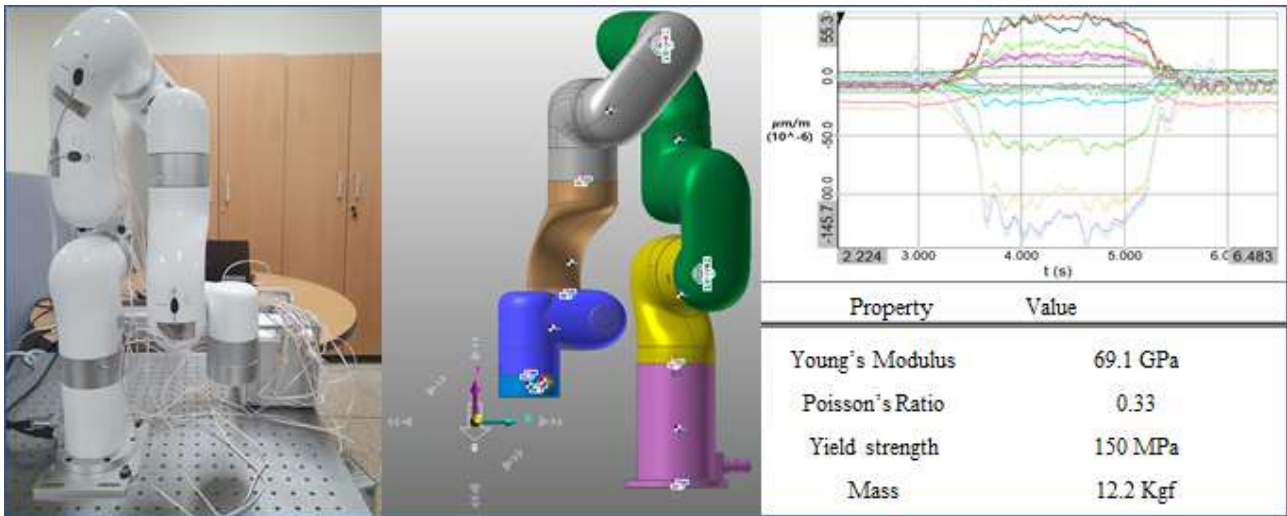


< xArm, M0609, A0509 매니플레이터의 작업공간 분석 >

□ 시설원예 작물 적재검용 수확 로봇 매니플레이터 동특성 분석

- 원예작물 수확용 로봇 매니플레이터 동특성 분석 연구

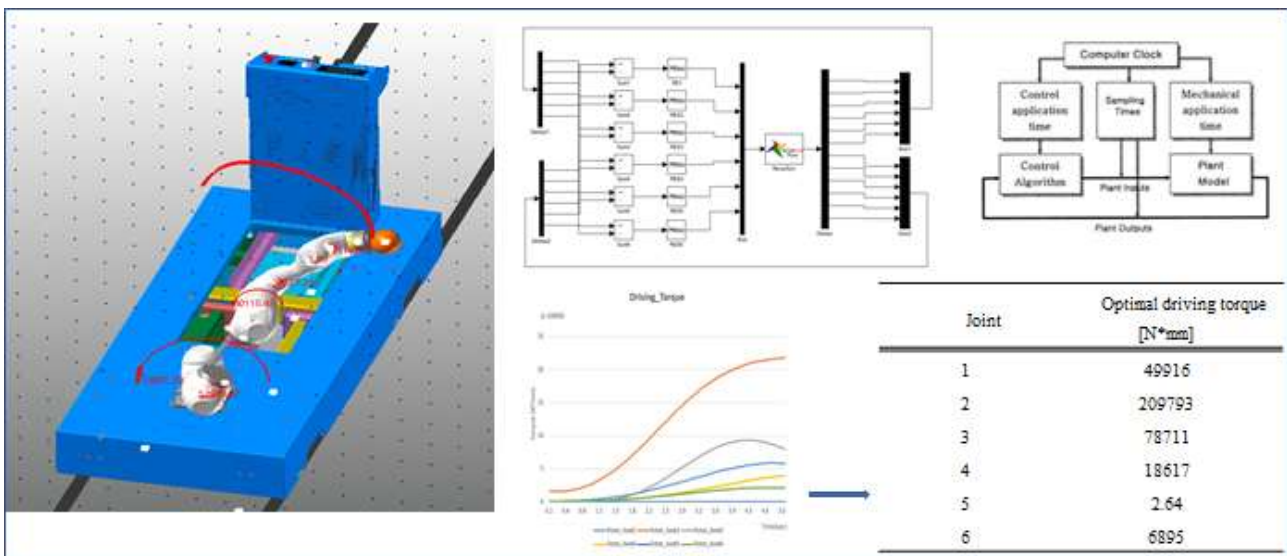
- 수확용 로봇 매니플레이터 동특성 문헌 연구 및 설계 인자 도출
- 수확용 로봇 매니플레이터 동특성 분석



< xArm 매니플레이터 부하 측정 및 해석에 따른 기계적 물성치 분석 >

시설원에 작물 적재검용 수확 로봇 매니플레이터 자세 최적화

- 원예작물 수확용 로봇 매니플레이터 최적 자세 연구
 - 수확용 로봇 매니플레이터 자세 메타 모델 생성
 - 수확용 로봇 매니플레이터 토크 최소화



< PID 제어기 설계와 RecurDyn Colink 활용 매니플레이터 토크 최소화 >

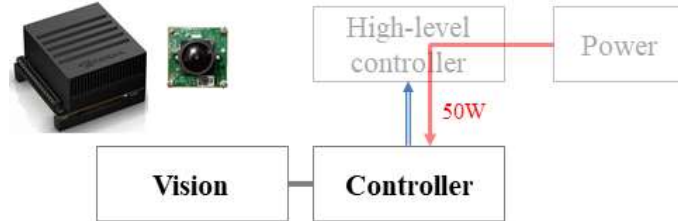
충남대학교

대상 작업물 영상 DB 분석 환경 구축

○ 영상 데이터 DB화 및 분석을 위한 S/W 환경 구축

- 토마토 모니터링을 위한 영상수집 시스템 사양 선정

- 토마토 성숙도 평가를 위한 RGB 영상 수집 시스템을 설계 및 주요 사양을 선정하였음
- 영상 수집 시스템은 비전 센서와 수집된 영상의 저장 및 성숙도 평가 알고리즘 탑재를 위한 임베디드 컴퓨터로 구성됨



< 영상수집 및 성숙도 분석을 위한 센서 시스템 >

- 토마토 영상 실시간 수집 및 성숙도 평가를 위한 시스템의 주요 사양은 임베디드 컴퓨터의 경우 영상 학습이 가능하도록 GPU 기반의 Jetson board (AGX Xavier, NVIDIA, USA)를 사용하였음
- 주요사양은 512 코어의 GPU, 32GB 메모리로 구성되어 있으며, 쿨링 및 케이스를 제외한 보드 자체의 크기는 05 mm x 105 mm x 65 mm 임

Jetson AGX Xavier 주요사양

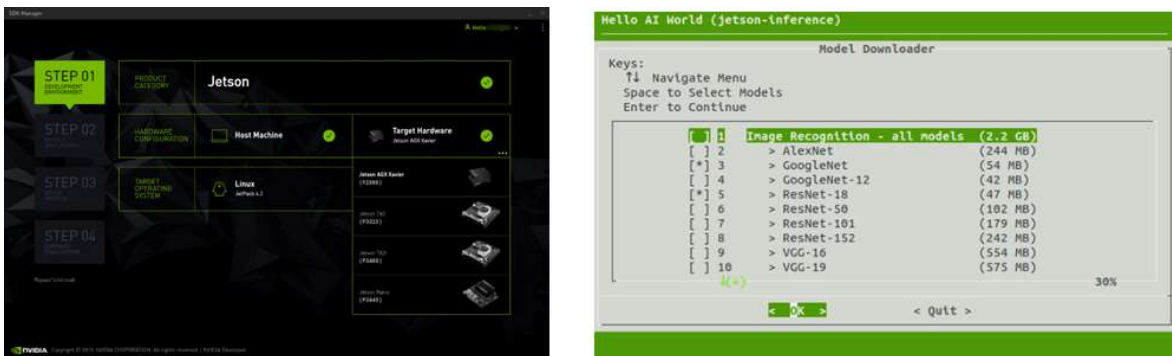
Items	Specification
GPU	512-core Volta GPU with Tensor Cores
CPU	8-core ARM v8.2 64-bit CPU, 8MB L2 + 4MB L3
Memory	32GB 256-Bit LPDDR4x 137GB/s
Storage	32GB eMMC 5.1
DL Accelerator	(2x) NVDLA Engines
Vision Accelerator	7-way VLIW Vision Processor
Encoder/Decoder	(2x) 4Kp60 HEVC/(2x) 4Kp60 12-Bit Support
Size	105 mm x 105 mm x 65 mm

- 비전에 사용되는 카메라(See3CAM_CU135, e-con Systems, USA)는 13.0 MP의 최대 해상도를 가지며, 해상도에 따라 20~120 fps의 속도로 영상 수집이 가능할 뿐만 아니라 사용되는 GPU board와 높은 호환성을 지니며 관련 라이브러리가 제공

See3CAM_CU135 주요사양

Items	Specification
Sensor	AR1335 from ON Semiconductor
Pixel size	1.1μm x 1.1μm pixel with BSI technology
Sensor active area	4208(H) x 3120(V)
Focus type	Fixed focus
Resolution and optical format	13MP CMOS Image Sensor. 1/3.2" Optical format
Sensor type	13MP CMOS Electronic Rolling Shutter Sensor
Image signal processor	On-board high performance ISP
output format	Uncompressed UYVY format and Compressed MJPEG format

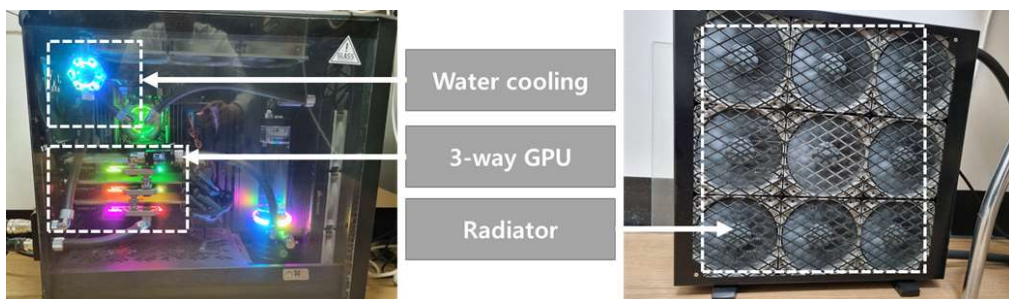
- 소프트웨어 구성을 위해 NVIDIA에서 제공하는 SDK (software development kit)인 JetPack과 SDK manager를 이용하였으며, 딥러닝 학습 기반 영상 인식 기술 설계를 위해 VGG, RESNET 등 성능이 검증된 다양한 모델을 구성함



< Xavier 환경설정 및 학습모델 구성 >

- 데이터 학습 및 분석 환경 구축

- 데이터 분석 및 딥러닝 학습을 위해 고사양 GPU 학습서버를 구축하였으며, 사용된 주요 제원은 3-way Titan RTX (GPU), i9-9900X (CPU), DDR4 128G (RAM) 등임



< 모델 학습을 위한 GPU 서버 구성 >

- 데이터 분석 및 딥러닝 학습을 위해 고사양 GPU 학습서버를 구축하였으며, 사용된 주요 제원은 3-way Titan RTX (GPU), i9-9900X (CPU), DDR4 128G (RAM) 등임
- 데이터 처리, 분석 및 알고리즘 개발을 위한 딥러닝 개발환경 구성을 위해 Ubuntu OS 기반으로 주요 소프트웨어들을 설치하였으며, 프로그램 언어로 python, 딥러닝 프레임워

크로는 직관적으로 작성 및 디버깅이 용이한 pytorch 및 torchvision을 이용하였음

○ 수확 시기 추정을 위한 주요 파라미터 선정 및 라벨링

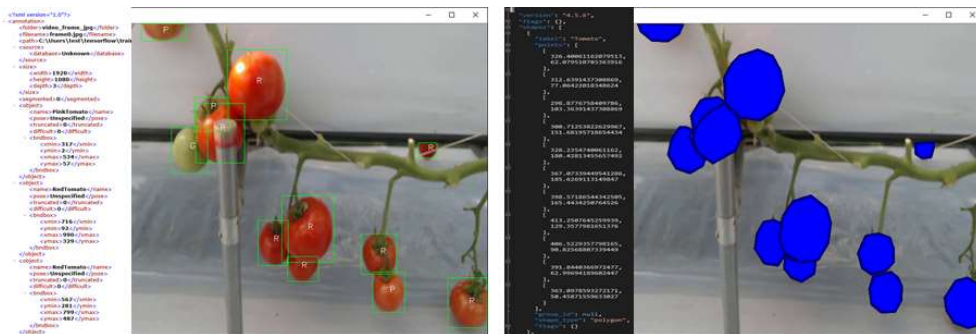
- 토마토 데이터 정보

- 학습 데이터는 국립농업과학원 테스트 온실에서 수집된 생육시기별 토마토 데이터를 이용하였으며, 각각의 영상에 대한 토마토 객체들의 영역과 성숙도 부류의 라벨(label) 정보가 포함되어 있음



< 토마토 영상 데이터(국립농업과학원) >

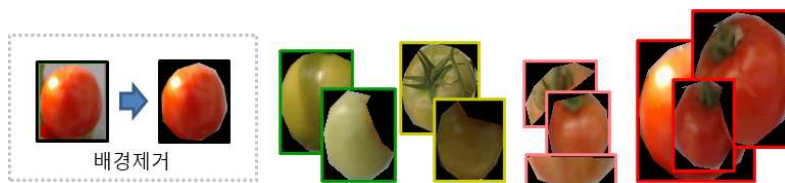
- 영역정보는 객체 검출을 위한 bounding-box 및 의미분할(semantic segmentation)을 위한 polygon 경계정보가 포함되어 있으며, 시각화 한 결과는 아래와 같음
- 학습 데이터는 103개의 수집된 영상에서 총 592개의 토마토 객체를 샘플링하였으며, 분류의 범주는 4 단계의 성숙단계(green, turning, pink, red)로 주석처리되어 있음



< 토마토 객체별 주석정보 및 시각화 >

- 영상데이터 전처리 및 학습세트 구성

- 성숙도 평가를 위한 학습데이터를 구성하는 샘플의 크기는 토마토의 크기 및 거리에 따라 16×47 ~ 131×149 (width×height)의 범위를 가짐
- 본 연구에서는 약지도 방식을 이용하여 토마토 성숙도 분류를 학습하면서 토마토 색상에 대한 지역화(localization)를 내재적으로 수행함. 따라서, 학습 시에는 토마토의 성숙도에 대한 학습만 수행되도록 배경이 제거된 영상을 이용하였으며, 모델의 성능 평가 시에는 배경이 포함된 영상을 사용하였음



< 학습데이터 구성을 위한 주석정보 연계 및 배경제거 >

- 학습데이터 구성 및 크기는 아래의 표와 같으며 성숙도 단계별로는 red 단계가 311개로 가장 많았으며, turning 단계는 27개로 가장 적었음

성숙도 평가를 위한 학습데이터 구성

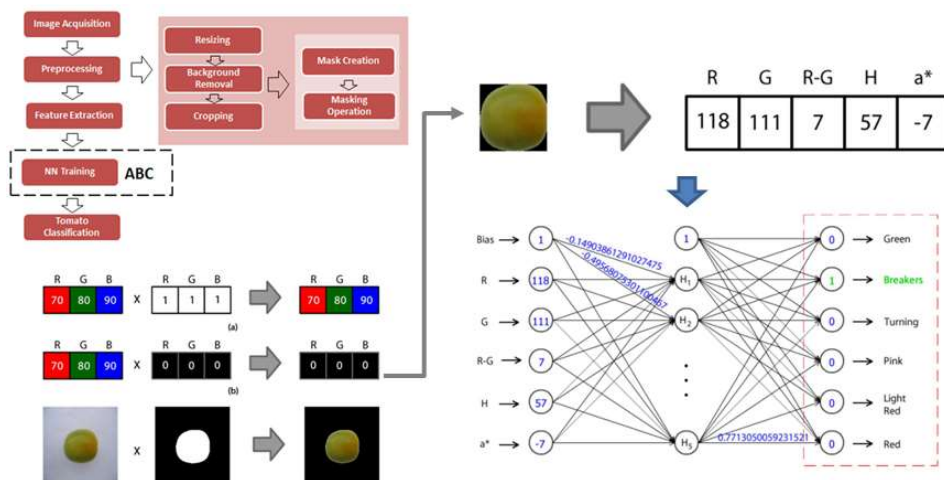
Type	Background	Green	Turning	Pink	Red	Total
Train	X	68	16	80	179	343
Validation	X	49	11	57	132	249
Test	O	117	27	137	311	592

□ 영상기반 수확 일정 추정 알고리즘 개발

○ 알고리즘 설계 및 주요 검출 파라미터 선정

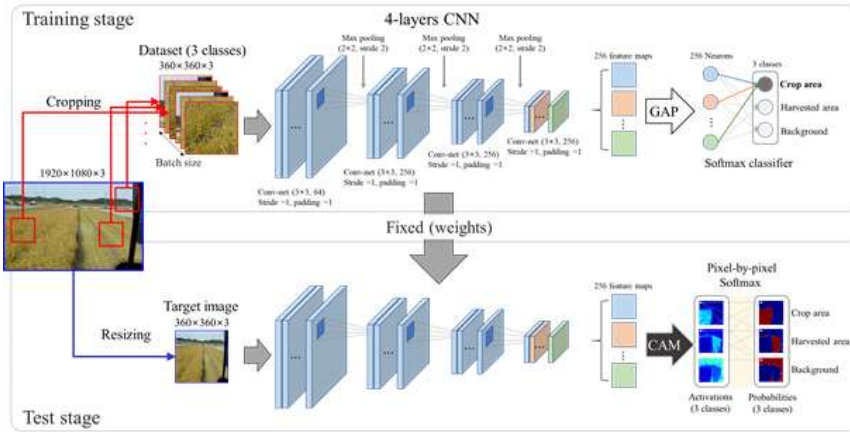
- 성숙도 평가를 위한 주요 선행기술 분석

- 본 연구에서는 토마토 성숙단계 분류 뿐만 아니라 성숙도에 대한 정량적 평가를 진행하며, 이를 위해서는 토마토 객체의 색상영역에 대한 고려가 필요함
- 토마토 성숙도는 색상의 변화(녹색 → 빨간색) 뿐만아니라 색상의 영역비중에 의해서도 결정되기 때문에 semantic segmentation 수준의 검출기술이 필요함 → 객체의 픽셀단위 주석작업이 필요하여 많은 노동이 필요할 뿐만 아니라 색상의 영역 경계에 대한 판단이 모호하다는 문제가 있음



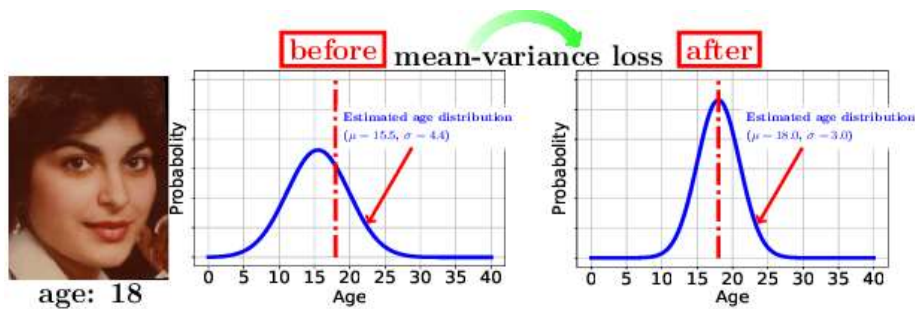
영상기반 토마토 성숙도 판단 알고리즘 구조도

- 따라서, 본 연구에서는 영상 내에 객체의 분류 학습 중 내재적인 지역화가 가능한 약지도 학습(weakly supervised learning) 방법(Zhou, 2015)을 이용하여 주석문제를 해결하였음
- 아래 그림과 같이 영역의 존재 유무에 대한 분류 학습을 통해서 내재적인 지역화를 통해 평가 시 검출영역에 대한 정보 제공이 가능함



< 약지도 학습을 이용한 작물영역 검출(Kim et al., 2021) >

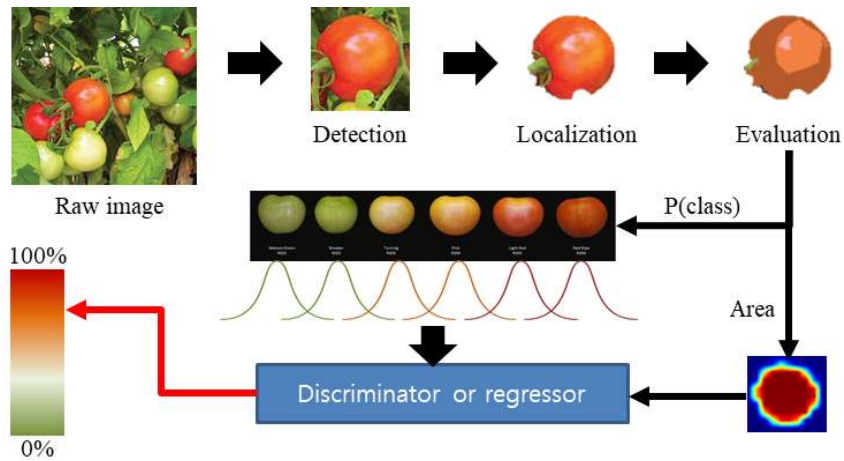
- 또한, 주어진 학습데이터의 부류는 총 4단계로 이루어져있으며, 이를 정밀한 구간 혹은 연속적인 형태의 성숙도 지표로 출력하는 방법이 필요함
- 본 연구에서는 성숙단계의 연속적 표현을 위해 mean-variance loss 및 출력결과를 argmax를 통해 부류를 선정하지 않고 예상값을 계산하였음



< Mean-variance loss를 이용한 나이 평가 기술(Han et al., 2018) >

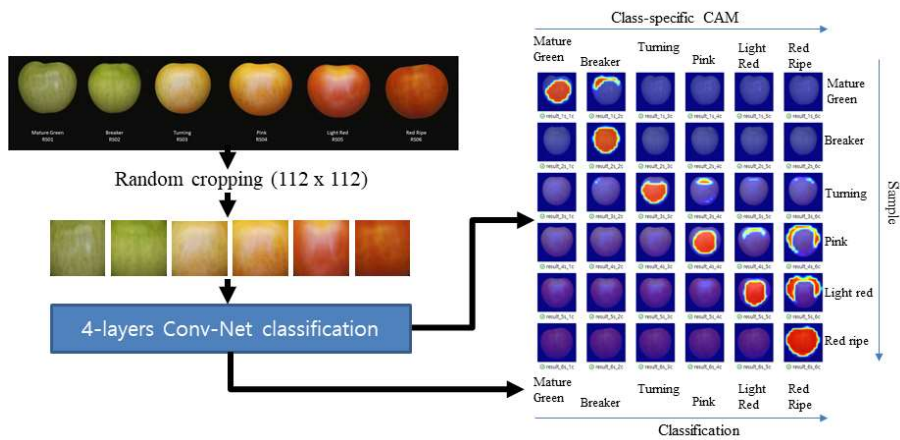
- 딥러닝 기반 성숙도 평가모델 컨셉

- 토마토 성숙도 평가를 위한 학습모델 컨셉은 아래 그림과 같이 객체 검출(object detection) 혹은 객체 분할(segmentation) 결과를 입력으로 수행되며, 모델에서 출력된 확률분포를 바탕으로 성숙도 평가 및 해당영역에 대한 인식을 수행함
- 4단계의 부류는 각각 코드 내 0, 1, 2, 3으로 표현되며 이를 확률분포 결과에 대한 예상값으로 계산하면 0~3의 범위에서 출력됨 → 0~100의 값으로 스케일링하여 성숙도 지표로 사용하였음



< 약지도 학습 및 mean-variance loss를 이용한 모델 설계 >

- 학습데이터 확보 전 약지도 학습방법을 통해 토마토의 숙성영역에 대한 지역화 가능성을 평가하기 위해 사전 테스트를 수행하였음
- 테스트를 위한 영상은 인터넷 검색을 이용하여 6단계의 성숙단계를 가지는 영상들을 수집(다운로드)하였으며, 영상을 검색 및 다운로드하였으며, 모델을 충분히 학습시킨 후 지역화가 가능한지 시각적으로 확인하였음
- 사전테스트 결과 아래 그림과 같이 성숙단계에 따라 색상영역의 지역화가 어느정도 가능하였으며 이를 통해 약지도 학습을 이용한 성숙도 인식이 가능할 것으로 판단됨

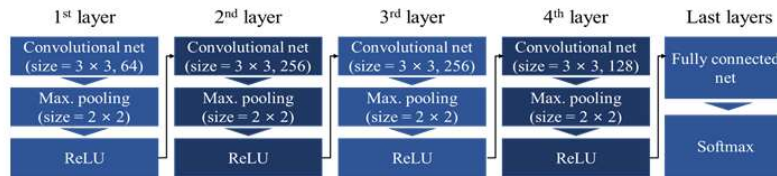
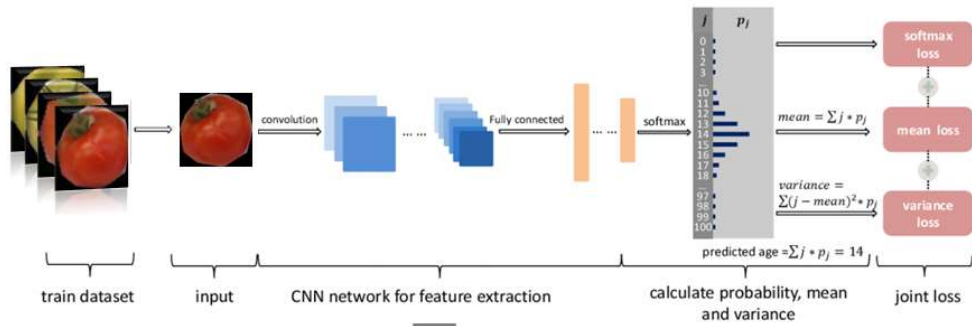


< 토마토 성숙도 영역 검출의 사전연구 결과 >

○ 딥러닝 기반 알고리즘 설계 및 경량화를 위한 Heuristic 융합 기술 개발

- 토마토 성숙도 평가 학습모델 구성

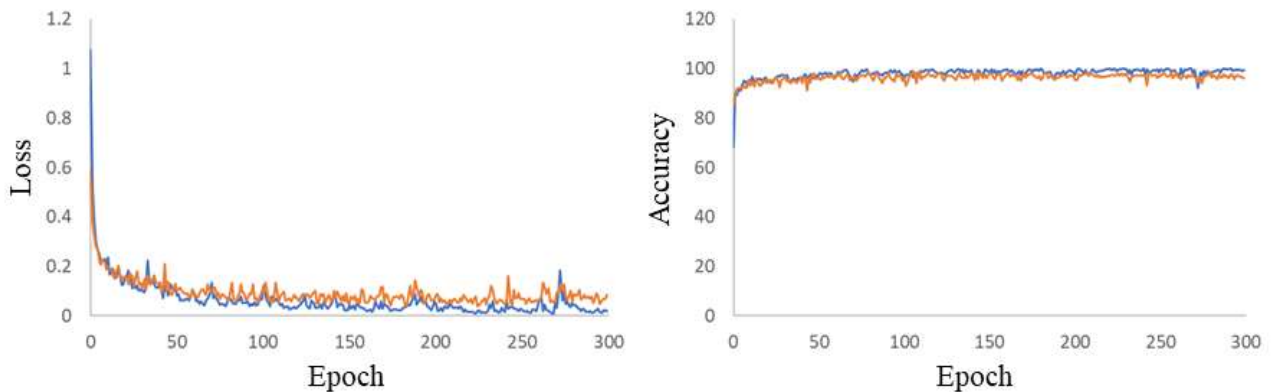
- 딥러닝 모델은 4-layers 합성곱신경망(convolutional neural network, CNN)을 이용하였으며, Pen et al. (2018)의 mean-variance loss 구조를 이용 → 출력은 소프트맥스 활성화 함수를 통해 각각의 부류에 대한 확률분포를 출력



< 토마토 성숙도 평가를 위한 딥러닝 모델 >

- 학습 방법 및 결과

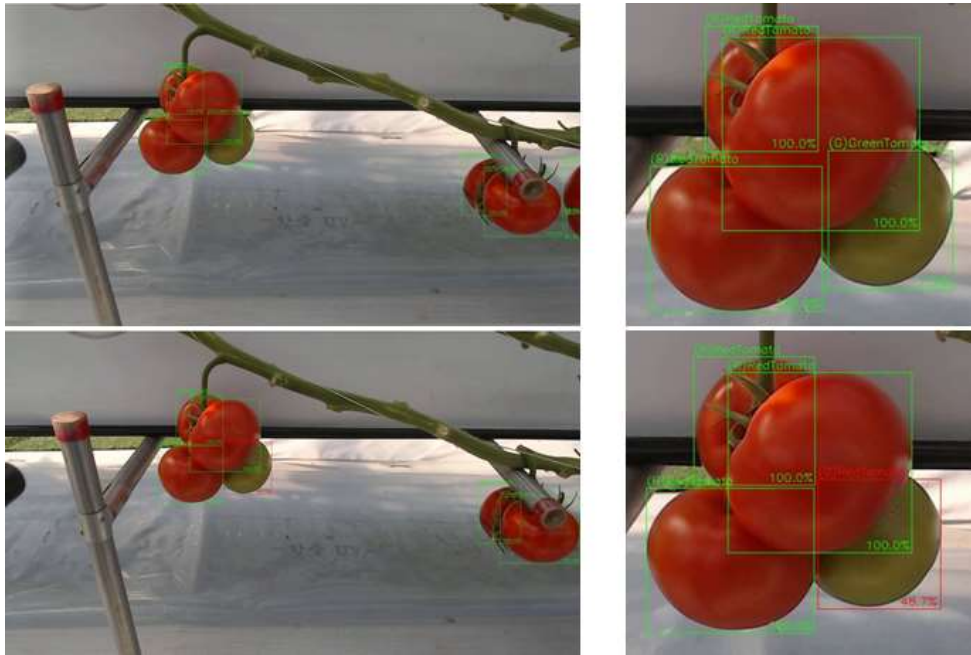
- 딥러닝 모델의 학습은 총 300회 반복 실시하였으며, 학습률(learning rate)는 0.0001, 배치크기(batch size)는 64로 설정하였음
- 모델의 가중치는 Adam optimizer를 이용하여 업데이트하였으며, 모델 학습을 위한 코드는 python 3.7 + pytorch 1.0로 구현하였음
- 4단계의 토마토 성숙단계의 분류 학습 결과, 학습 및 검증 데이터 모두 손실이 0에 수렴하였음 → 토마토 성숙도 분류가 가능할 뿐만 아니라 본 연구의 경우 얕은층(shallow layers)의 CNN으로 모델을 구성하여 현장에서 실시간성도 가질 수 있을 것으로 판단됨



< 반복학습에 따른 학습데이터에 대한 모델의 손실 및 정확도(파랑: 학습, 주황: 검증) >

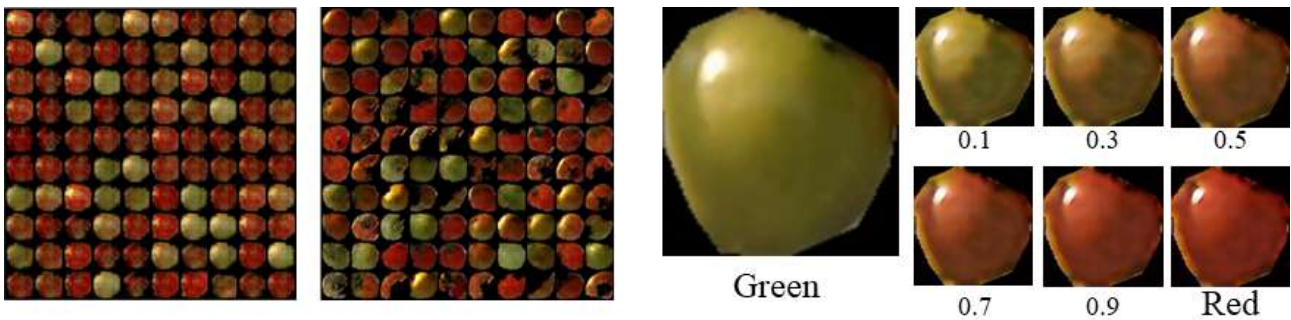
- 토마토 성숙도 평가 결과 및 분석

- 토마토 성숙도 평가 결과, 4단계의 성숙도 부류는 94%의 정확도로 분류 가능했으며, 각각의 부류 내에서도 토마토 색상에 따라 성숙도의 변화를 관찰 할 수 있었음
- 원 영상 내 토마토 객체 숙성 단계 분류 시 위치정보는 사전에 검출된 것으로 가정하였으며, 성숙단계별 성능은 Green (98%), Turning (77%), Pink (83%), Red (98%)로 관찰됨



< 토마토 성숙도 검출(분류) 실패 결과 >

- 토마토 성숙도 평가가 어느정도 가능하였지만 연속적인 토마토 성숙도의 주석에 대한 신뢰성(육안 판단으로 작업자 및 환경에 따라 편차가 큼) 문제의 해결이 필요할 것으로 판단됨 → 녹색에서 붉은색으로의 색상전이에 따른 일관화된 라벨 부여 방법 필요함
- 생성모델 등을 이용하여 토마토 영상을 생성하면 연속적인 색상에 대한 다양한 토마토 영상과 이에 적합한 라벨링이 가능할 것으로 판단됨



< 생성모델 기반 데이터 증강 >

수확 일정 추정 알고리즘 모듈화

○ 협업 로봇 시스템 적용을 위한 알고리즘 모듈화 및 탑재 기술 개발

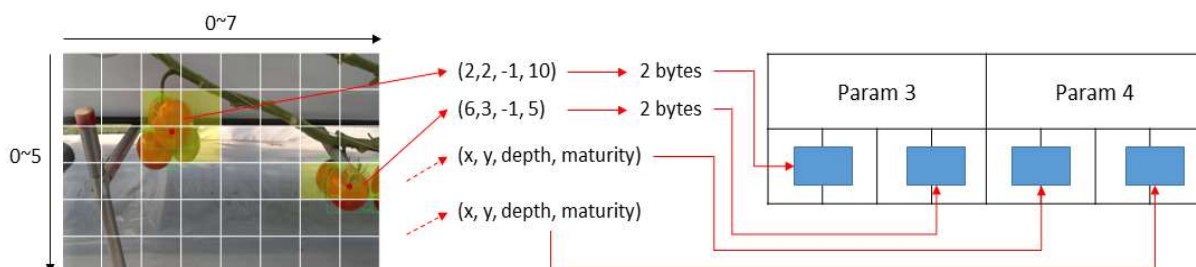
- 수확로봇 시스템의 모니터링 혹은 핸즈온으로 활용하기 위한 카메라 및 임베디드PC 구성을 아래와 같이 하였으며, 카메라의 경우 실제 FOV 평가 등을 통해 depth가 가능한 다양한 사양으로 확장할 계획임



< 통합을 위한 모듈 구성 >

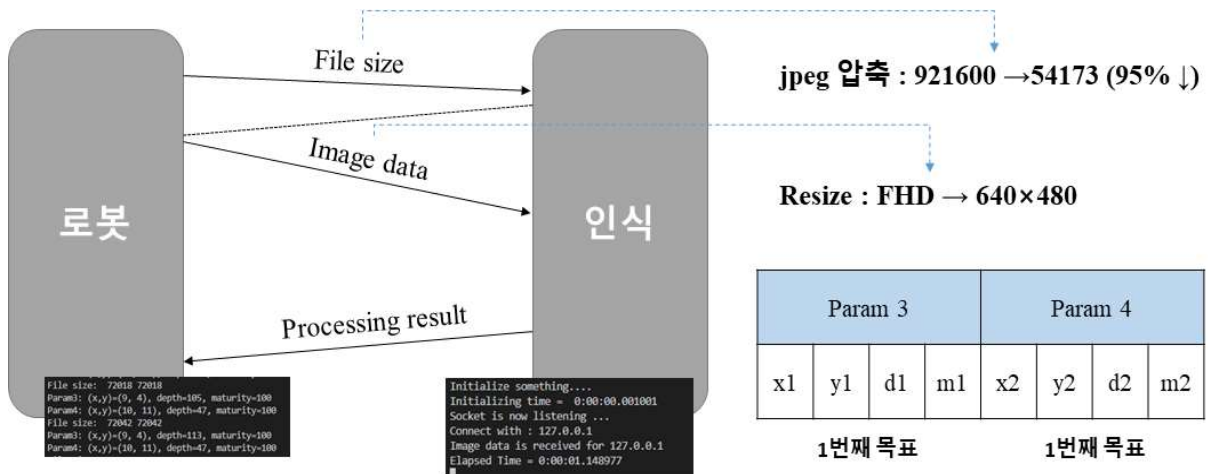
- 로봇의 메인 제어기와의 정보 공유를 위해서 아래와 같이 정보 송수신 데이터 프로토콜을 설계 및 좌표에 대해 종합적으로 제공 가능하게 하였음
- 검출된 영역을 기반으로 성숙도가 높은 객체에 대한 우선순위를 부여한 후 이를 기반으로 최우선되는 객체 1~2개에 대한 정보를 통신으로 제공하게 됨
- 정보는 접근 시, 거시적인 정보가 요구되므로 인코딩을 통해 최소한의 자료를 전달하고, 수확을 위한 동작 시 정밀하게 요구되는 좌표에 맞게 정보 전달이 가능하도록 별도의 flag를 포함할 계획임

	구분자	Target	Type	Command	구분자	Param1	Param2	Param3	Param4	Param5	Param6	Param7	구분자
	1byte	1byte	1byte	1byte	1byte	4byte	4byte	4byte	4byte	4byte	4byte	4byte	1byte
성숙도 업데이트													



< 데이터 프로토콜 설계 >

- 소켓(socket) 통신을 기반으로 위치 정보를 전송할 계획으로 내부에 서버-클라이언트를 구성하여 테스트 환경을 구축하였음
- 테스트 사양은 개발을 위한 데스크탑에서 우선 수행하였으며, 주요 사양은 CPU 및 GPU가 각각 AMD Ryzen 5 1600 Six-Core Processor과, Titan-V로 구성됨
- Server 정보 수신 시 마다 동작(그 외 대기) 및 client 측 압축전송으로 설정하여 테스트영상 내 목표지점을 선정하여 중심좌표(x, y 각 1byte), 깊이(1 byte), 우선순위(1 byte) : 2 set에 대해 수행함(통합 과정에서 수정 및 최적화)



< 다른 모듈과의 정보전송을 위한 소켓통신 >

- 주요 코드는 아래와 같이 파이썬으로 작성하였으며, 인식부를 서버, 메인제어기(매니플레이터)를 클라이언트로 설정하고 테스트를 할 수 있도록 구성함
- 데이터 처리 및 전송에 걸리는 시간은 10 Hz 이내로 측정(소프트웨어 방식)되었으며, 전송에 따른 손실이 관찰되지 않았음

```

class RequestHandler(socketserver.StreamRequestHandler):
    def handle(self):
        global c

        if c:
            # get socket request
            socket = self.request

            # show client
            print('Connect with : ' + self.client_address[0])

            # get image file size from client
            file_size = socket.recv(2048)
            socket.sendall(file_size)
            print('sent file size = ', int(file_size))
            img_data = recvall(socket, int(file_size))

            img_data = pickle.loads(img_data)
            img_data = np.frombuffer(img_data.getbuffer(), np.uint8)
            img = cv2.imdecode(img_data, -1)

            print('Image data is received for ' + self.client_address[0])

            ST = T.now()
            result = infer(img)
            if len(result):
                for i, res in enumerate(result):
                    n = i + 2
                    res = res.a
                    print(res)
                    data=data.a
                    cv2.putText
                    cv2.imshow('C',
                    c = 1

            ET = T.now()
            print('Elapsed Time')
            send_data = pickle.
            res = socket.sendal
            socket.close()
    
```

Server(인식)

```

server_addr = "localhost"
port = 9000
data_start_idx = 5

def recvall(sock):
    data = b''
    while True:
        packet = sock.recv(2048)
        if not packet:
            break
        data += packet
    return data

def test(image_path):
    for i in range(5):
        try:
            ckt = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
            ckt.connect((server_addr, port))

            img = cv2.imread(image_path)
            img = cv2.resize(img, (640, 480), interpolation=cv2.INTER_AREA)
            is_success, buf = cv2.imencode(".jpg", img)
            img_data = pickle.dumps(isuccess, buf)

            f_size = len(img_data)
            print('f_size = ', f_size)
            ckt.send(bytes(str(f_size), 'utf-8'))
            res = ckt.recv(2048)
            print('file size = ', f_size, int(res))
            res = ckt.sendall(img_data)

            receive_file
            receive_d = recvall(ckt)
            rd = pickle.loads(receive_d)

            param1 = rd[data_start_idx*2:data_start_idx*4]
            param2 = rd[data_start_idx*4:data_start_idx*6]

            print('Param1: (x,y)=(%d, %d), depth=%d, maturity=%d %i(param1[0], param1[1], param1[2], param1[3])')
            print('Param2: (x,y)=(%d, %d), depth=%d, maturity=%d %i(param2[0], param2[1], param2[2], param2[3])')

            break
        except Exception as e:
            time.sleep(2)
            print(str(e))
            print('retry...')
            time.sleep(2)
    
```

Client(로봇)

< 소켓통신을 위한 server-client 코드 작성 >

○ 다양한 시나리오 설정을 통한 알고리즘 최적화

- 목표 영상을 메인 제어기로부터 압축전송하여 전달하여 영상 송수신 시간을 단축시켰으며, 이를 통해 영상 수신으로부터 추론까지의 시간이 0.02~0.04초 범위로 감소가 가능하였음
- 아래 그림은 실시간 추론 시 소프트웨어 타이머로 평가한 결과로 영상의 크기에 따라 다소 차이가 발생되지만 실시간 처리가 가능한 것으로 판단됨

```

Terminal File Edit View Search Terminal Help
vialab@vialab-desktop: ~/maturity
Param3: (x,y)=(0, 14), depth=4, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 72271 72271
Param3: (x,y)=(6, 8), depth=156, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 74050 74050
Param3: (x,y)=(8, 7), depth=185, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 76752 76752
Param3: (x,y)=(7, 6), depth=189, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 78709 78709
Param3: (x,y)=(6, 6), depth=189, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 71484 71484
Param3: (x,y)=(6, 7), depth=163, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 77310 77310
Param3: (x,y)=(7, 8), depth=199, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 74318 74318
Param3: (x,y)=(7, 7), depth=162, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 69170 69170
Param3: (x,y)=(6, 7), depth=146, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 69387 69387
Param3: (x,y)=(1, 13), depth=14, maturity=100
Param4: (x,y)=(7, 3), depth=113, maturity=100
vialab@vialab-desktop: ~/maturity$

Inference Time = 0:00:00.035714
Connect with : 127.0.0.1
set file size : 76752
Image data is received for 127.0.0.1
Inference Time = 0:00:00.036799
Connect with : 127.0.0.1
set file size : 78709
Image data is received for 127.0.0.1
Inference Time = 0:00:00.037113
Connect with : 127.0.0.1
set file size : 71484
Image data is received for 127.0.0.1
Inference Time = 0:00:00.034062
Connect with : 127.0.0.1
set file size : 77310
Image data is received for 127.0.0.1
Inference Time = 0:00:00.032817
Connect with : 127.0.0.1
set file size : 74318
Image data is received for 127.0.0.1
Inference Time = 0:00:00.023988
Connect with : 127.0.0.1
set file size : 69170
Image data is received for 127.0.0.1
Inference Time = 0:00:00.032979
Connect with : 127.0.0.1
set file size : 69387
Image data is received for 127.0.0.1
Inference Time = 0:00:00.023827

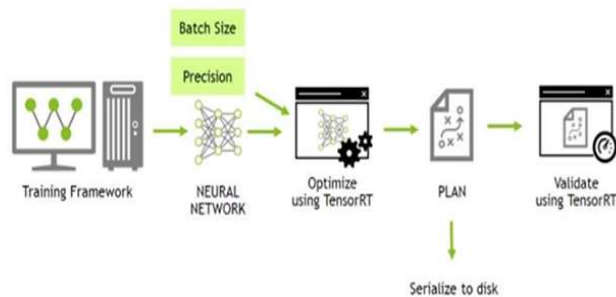
```

< 영상 인코딩 방식 개선에 따른 최적화 >

- TensorRT는 딥러닝 모델의 구조 최적화 수행주며 이를 통해 정밀도 감소 및 그래프 최적화가 가능하기 때문에 속도를 비약적으로 상승시킬 수 있으며, 현재 공개되어 있는 다양한 popular 모델(vgg 등) 기반으로 최적화 성능을 검증받고 있음
- Target 보드에 적용을 위해 NX development kit 에서 테스트 수행되며(384 NVIDIA CUDA cores and 48 Tensor cores), 본 모델의 경우에서도 변환을 위한 함수 개발 등으로 TensorRT 적용하였음



Board [JETSON Xavier NX]



Optimization [TensorRT]

< TensorRT를 이용한 모델 추론 속도 향상 >

- TensorRT를 이용하여 모델의 정밀도 감소 및 그래프 최적화를 수행하였으며, 기존 패키지에서 제공하지 않는 함수는 별도 개발하여 사용하였음
- 자체 서버-클라이언트 구성을 기준으로 평가한 결과 추론 시간에 기존에 비해 25% 수준으로 감소가 가능하였으며, 이를 통해 통합시스템 내 실시간성 확보에 기여가 가능할 것으로 판단됨

```

Terminal
vialab@vialab-desktop: ~/maturity
Param3: (x,y)=(0, 14), depth=4, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 72271 72271
Inference Time = 0:00:00.021864
Connect with : 127.0.0.1
set file size : 76752
Image data is received from 127.0.0.1
Inference Time = 0:00:00.020889
vialab@vialab-desktop: ~/maturity
Param3: (x,y)=(6, 8), depth=156, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 74050 74050
Inference Time = 0:00:00.019442
vialab@vialab-desktop: ~/maturity
Param3: (x,y)=(8, 7), depth=185, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 76752 76752
Inference Time = 0:00:00.017906
vialab@vialab-desktop: ~/maturity
Param3: (x,y)=(7, 6), depth=189, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 78709 78709
Inference Time = 0:00:00.017288
vialab@vialab-desktop: ~/maturity
Param3: (x,y)=(6, 6), depth=189, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 71484 71484
Inference Time = 0:00:00.016052
vialab@vialab-desktop: ~/maturity
Param3: (x,y)=(6, 7), depth=163, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 77310 77310
Inference Time = 0:00:00.019480
vialab@vialab-desktop: ~/maturity
Param3: (x,y)=(7, 8), depth=199, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 74318 74318
Inference Time = 0:00:00.018346
vialab@vialab-desktop: ~/maturity
Param3: (x,y)=(7, 7), depth=162, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 69170 69170
vialab@vialab-desktop: ~/maturity
Param3: (x,y)=(6, 7), depth=146, maturity=100
Param4: (x,y)=(6, 8), depth=157, maturity=100
File size: 69387 69387
vialab@vialab-desktop: ~/maturity
Param3: (x,y)=(1, 13), depth=14, maturity=100
Param4: (x,y)=(7, 3), depth=113, maturity=100
vialab@vialab-desktop: ~/maturity$

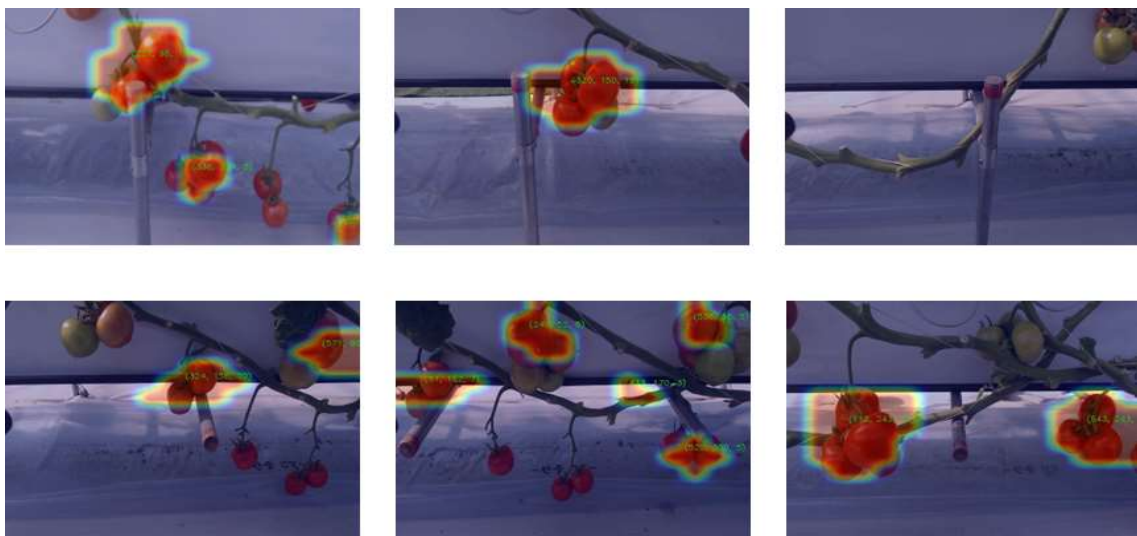
```

< TensorRT 변환을 통한 최적화 >

□ 시설원에 작물 협업 로봇 적용 및 작업 계획 최적화

○ 로봇 시스템 통합을 위한 성능평가

- 다양한 영상조건에서 완숙과 영역을 실시간 인식한 결과는 아래 그림과 같이 대부분의 완숙과가 정상적으로 영역이 검출되었음
- 원거리 작물의 경우 영상에서 점유하는 영역이 작아 검출이 되지 않는 경우가 발생되었지만 수확 우선순위 선정을 위해 하나 이상의 영역이 포함되기 때문에 본 연구 시스템 적용에 문제가 없을 것으로 판단됨
- 미숙과 영역만 존재할 경우 검출된 영역이 없었으며, 검출된 영역이 일반적으로 해당 영역 외 배경 등을 포함하며 다른 단계의 과실이 혼재되었을 경우 객체의 정밀도로 인해 성능이 더 낮아지는 것이 관찰되었음



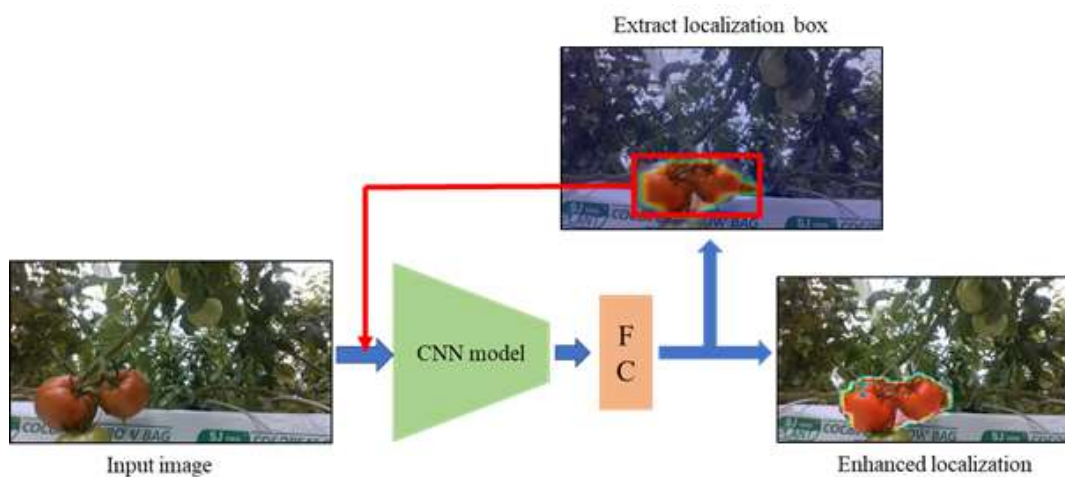
< 완숙영역 검출 결과 1 >



< 완숙영역 검출 결과 2 >

○ 로봇 작업 계획 최적화를 위한 성능 개선

- CAM을 사용한 군집 영역 검출은 대략적인 위치를 잘 나타내지만 군집의 국소적인 부분 혹은 보다 더 큰 범위를 제시하는 경향을 보일 수 있음
- 전체 영역에 대한 정확한 정보를 포함할 수 없기 때문에 성능 저하가 발생할 수 있기 때문에 원하는 영역으로 순차적인 집중이 필요함
- 성능 향상을 위해서 아래 그림과 같이 평가 시 CAM에서 활성화된 주요 영역에서 최대의 x좌표, y좌표 width, height 값을 수집하여 해당영역을 나타내는 가장 큰 bounding box를 추출하고, 추출된 영역을 다시 모델에 입력하는 재귀구조를 적용하여 정밀도를 향상시키는 방법을 사용함



< 재귀방식을 이용한 완숙영역 정밀도 향상 >

- 제안된 개선방법을 통해 검출된 토마토 완숙 영역은 아래 그림과 같이 시각적으로 보다 정확한 영역을 제시할 수 있었으며, 목표 수확과의 집중을 가속화할 수 있을 것으로 판단됨
- 재귀 방식의 적용에 따른 성능은 mIoU로 평가하였으며 기존 0.52에서 개선 후 0.65로 약 13%의 성능 증가를 보여주었음

- 본 최적화 방식을 통해 완숙 토마토 군집 영역을 모델의 구조 변화 없이 더 정확하게 검출할 수 있었으며, 본 연구에서는 실시간성을 위해 2회 수행하였지만 추가적인 반복을 통해 정확도 향상이 가능할 것으로 기대됨



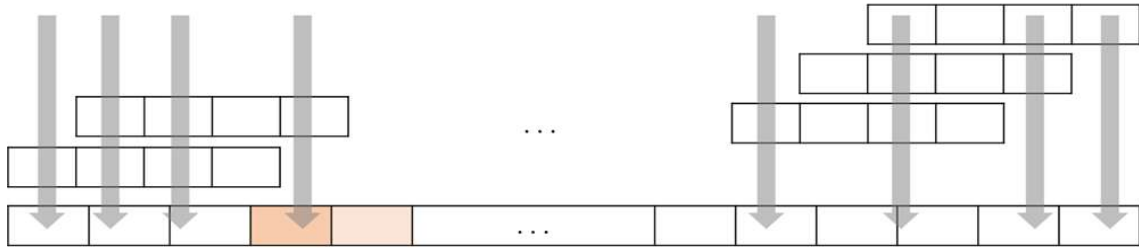
< 성능 개선을 통한 영역 인식 비교(위: 기존, 아래: 개선) >

- 개선된 방법을 이용하여 검출된 영역에서 군집의 중심좌표 선정하였으며, 아래 그림은 대표적인 결과로 입력영상에 대한 좌표 표시를 통해 시각화하였음



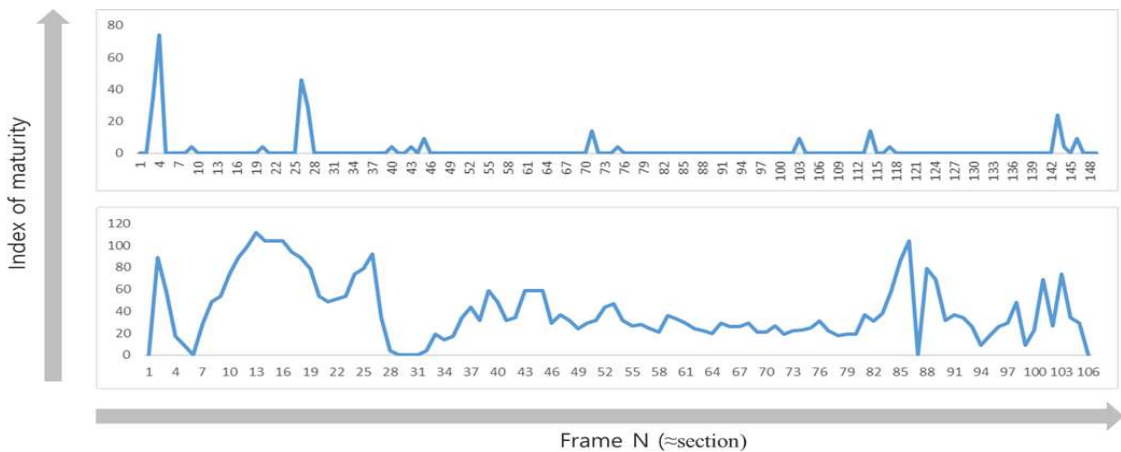
< 성숙영역 좌표변환 결과(송수신용 정보 시각화) >

- 개선된 영역 검출 방법을 이용하여 로봇의 이동에 따라 영역을 누적하여 완숙과의 밀집 정도에 대한 분포로 표현하였음
- 일정한 로봇의 작업속도와 영상장치의 사양을 이용하여 해당 영역 이동 시 대략적인 상대위치를 계산할 수 있으며 아래 그림과 같이 검출된 영역의 결과를 윈도우를 통해 중첩 누적시켜 분포를 계산하였음



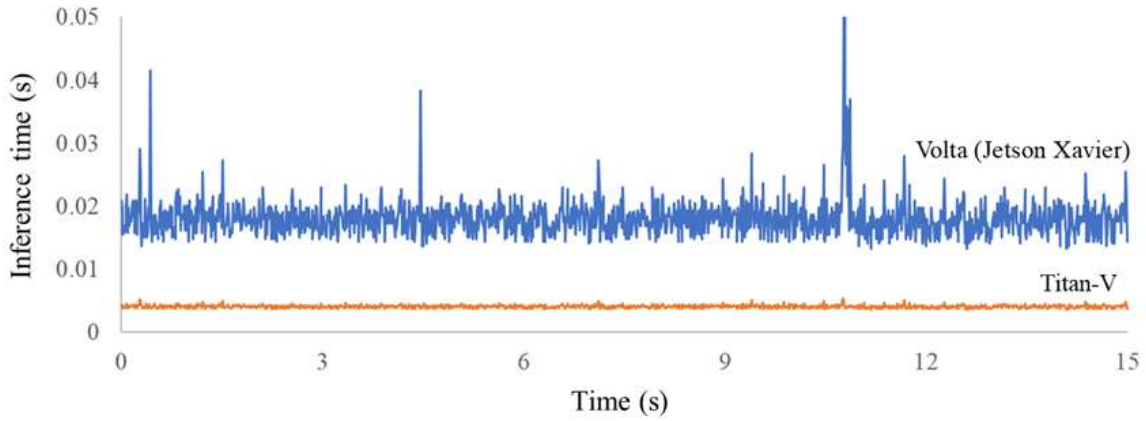
< 영상의 프레임속도 기반 인식된 수확과 영역의 이력화 >

- 생육에 따라 두 조건에 대한 완숙과 분포를 작성하였으며, 아래 그림과 같이 완숙과 영역이 존재하는 영역에 적합하게 분포가 산출되었음
- 현재 아래 결과는 거리수준이 반영되지 않아 정확한 지표로서 사용은 어렵지만 하나의 라인에서 상대적으로 완숙과 분포를 파악할 수 있어 로봇 수확의 경로 설정 최적화에 종합적인 정보로 활용 가능할 것으로 판단됨



< 실시간 이동에 따른 성숙영역 누적 결과 >

- 실제 구동 시 추론 시간을 평가하였으며, 개발용 하드웨어와 적용되는 보드에서 각각 실시간 측정하여 시간을 비교하였음
- 시간은 소프트웨어 타이머를 이용하였으며, 로봇 시스템에 탑재되는 Jetson 보드에서 평균 0.02초 수준으로 추론이 가능하며, 이는 약 50 fps 속도를 가지므로 로봇 시스템의 구동 시 수확 대상과 선정을 위한 실시간 정보 제공이 가능한 것으로 판단됨



< 하드웨어 사양별 처리속도 평가 결과 >

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

연구개발 기관	내 용	
한국기계연구원	<input type="checkbox"/> 수확 로봇(RIH, 라이) 개발 <input type="checkbox"/> 이송 로봇(RIM, 라임) 개발	
(주)하다	<input type="checkbox"/> 모바일 플랫폼 주행기능 개발 <input type="checkbox"/> 다수로봇 모니터링용 관제 개발	
국립농업과학원	<input type="checkbox"/> 현장 실증 온실 구축 <input type="checkbox"/> 데이터 취득 객관성 향상을 위한 자동화 시스템 개발	
충북대학교	<input type="checkbox"/> 딥러닝기반 목적 원예작물 3D 위치 추정 기술 개발 <input type="checkbox"/> 원예작물 3D 자세 추정 기술 개발	<p>3. Tomato key point detection</p> 
충남대학교	<input type="checkbox"/> 영상기반 수확 일정 추정 알고리즘 개발	



< 다수 로봇 원예시설 실정(수확) >



< 다수 로봇 원예시설 실정(이송) >

(2) 정량적 연구개발성과

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계 (2021~2022)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표	특허출원	목표(단계별)	5	5	15
		실적(누적)	5	5	15
	특허등록	목표(단계별)	1	1	15
		실적(누적)	1	1	15
	논문(SCI)	목표(단계별)	1	1	
		실적(누적)	2	2	
	논문(비SCI)	목표(단계별)	3	3	
		실적(누적)	3	3	
	학술발표	목표(단계별)	8	8	15
		실적(누적)	13	13	15
연구개발과제 특성 반영 지표	기술실시	목표(단계별)	1	1	15
		실적(누적)	1	1	15
	제품화	목표(단계별)	1	1	10
		실적(누적)	1	1	10
	고용창출	목표(단계별)	6	6	15
		실적(누적)	6	6	15
	기술인증	목표(단계별)	1	1	15
		실적(누적)	1	1	15
	홍보전시	목표(단계별)	0	0	
		실적(누적)	1	1	
계					100
계					100

< 연구개발성과 성능지표 >

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치	연구개발 달성치	목표설정 근거
			보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1단계 (2021~2022)		
1 동시작업 로봇 (협업)	대	10	1 (네덜란드/WUR)	1		3이상	3	-
2 수확계획 대비성공률	%	20	88% (네덜란드/WUR)	-	75% 이상	88% 이상	88.0	세계최고 수준
3 수작업대비 수확률	%	20	-	-	70% 이상	80% 이상	80	세계최고 수준
4 농작물 인식률	%	20	-	-	85	90	90.9	관련 논문
5 이동로봇 최대속도	m/min	10	55 (벨기에/Bogaerts)	40	45	55	120	세계최고 수준 (Concrete)
6 이동로봇 위치 정밀도	mm	15	±50 (네덜란드/WUR)	±200	±100	±50	±5.5	세계최고 수준
7 연속작업시간	hr	5	6 (네덜란드/WUR)	4	6	6	9	세계최고 수준

* 1) 정밀도, 인장강도, 내충격성, 작동전압, 응답시간 등 기술적 성능판단기준이 되는 것을 의미합니다.

* 2) 비중은 각 구성성능 사양의 최종목표에 대한 상대적 중요도를 말하며 합계는 100%이어야 합니다.

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Work Efficiency Analysis of Multiple Heterogeneous Robots for Harvesting Crops in Smart Greenhouses	Agronomy	최태용	11	스위스	MDPI	SCIE	2022.11	2073-4395	100%
2	Tomato Maturity Estimation Using Deep Neural Network	Applied Sciences	이대현	13	스위스	MDPI	SCIE	2022.12	2076-3417	50%
3	시설원에 작물수확을 위한 이종 복수 로봇의 작업효율 분석	한국통신학회논문지	최태용	10	대한민국	한국통신학회	비SCIE	2022.10	2287-3880	100%
4	농업용 그리퍼의 연구 동향	기계저널	최태용	8	대한민국	대한기계학회	비SCIE	2022.08	1226-7287	100%
5	수경재배 토마토 수확 로봇 그리퍼 설계를 위한 경도 분석	한국통신학회논문지	김경철	11	대한민국	한국통신학회	비SCIE	2022.11	2287-3880	100%

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	ICCAS 2021	최태용	2021.10.12	제주	대한민국
2	KSAM&ARCs 2021 Autumn Conference	서강훈	2021.10.29	제주	대한민국
3	KSAM & ARCs 2021 Spring Conferenc	김재현	2021.04.30	국립농업과학원	대한민국
4	KSAM & ARCs 2021 Spring Conferenc	한승재	2021.04.30	국립농업과학원	대한민국
5	KSAM&ARCs 2021 Autumn Conference	이대현	2021.10.29	제주	대한민국
6	ICCAS 2022	최태용	2022.06.22	거제	대한민국
7	ICCAS 2022	김경철	2022.06.22	거제	대한민국
8	ICCAS 2022	장민호	2022.06.22	거제	대한민국

[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	시설원에 작물 수확 시스템	대한민국	한국기계연구원	2021.06.01	10-2021-0070991	-				100%	미활용
2	작물 수확 장치 및 작물 수확 방법	대한민국	한국기계연구원	2022.01.18	10-2022-0007231	-				100%	미활용
3	농작물 이송로봇 및 농작물 수확 시스템	대한민국	한국기계연구원	2022.02.18	10-2022-0021425	-				100%	미활용
4	농작물 이송로봇 및 농작물 수확 시스템	대한민국	한국기계연구원	2022.11.30	10-2022-0163964	-				100%	미활용
5	작물 수확용 절단장치	대한민국	한국기계연구원	2023.02.03	10-2023-0014707	-				100%	미활용
6	수확용 엔드 이펙터 및 그 사용 방법	대한민국	충남대학교	2021.12.03	10-2021-0171857	-				50%	미활용
7	수확용 엔드 이펙터 및 그 사용 방법	대한민국					충남대학교	2022.02.22	10-2367695	50%	미활용

○ 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				√					√	연계 R&D
4	√			√						

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		
1	HRS-1(온실로봇)	한국농업기술진흥원	농업기계 성능시험	23-KOATMP-045	2023.02.21	대한민국

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	원예작물 수확로봇	2022.12	한국기계연구원	국립농업과학원 (첨단 온실)	원예작물 (토마토)수확	2년	-	-
2	원예작물 이송로봇	2022.12	한국기계연구원	국립농업과학원 (첨단 온실)	원예작물 (토마토)이송	2년	-	-

□ 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	통상실시	실시간 작물 주요 영역 검출 기술	(주)긴트	2022.11.25	22,000 천원	22,000 천원

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	기존 제품 개선	전라북도	온실용 로봇구동 플랫폼	온실용 로봇 플랫폼으로 모니터링, 이송, 수확 등 작업을 수행하는데 필요한 기본 구동 플랫폼	㈜하다	19,800	-	2022	5년

- * 1) 기술이전 또는 자기실시
- * 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- * 3) 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
온실용 로봇구동 플랫폼	2022	19,800	0	19,800	매출
합계		19,800	0	19,800	매출

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2021년	2022년	
1	스마트팜 로봇개발	㈜하다	4	2	6
합계			4	2	6

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	10
		생산인력	8
	개발 후	연구인력	12
		생산인력	10

[사회적 성과]

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	박람회	대한민국 국제동기계자재 박람회	온실용 로봇	2022.11.2.-11.5
2	언론홍보	MBC, KBS, TJB 등	토마토 수확 로봇	2023.3.10

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 수확 및 이송로봇 플랫폼 기술 개발	○ 원예작물 수확을 위한 로봇 개발(라이(ver2)) - 시설원에 자율주행 기능(레일 및 콘크리트) - 작물 수확을 위한 머니플레이터 및 작물수확용 툴 장착(특허) - day-time운용을 위한 대용량 배터리 장착 ○ 원예작물 이송을 위한 로봇 개발(라임(ver2)) - 시설원에 자율주행 기능(레일 및 콘크리트) - 작물 이송을 사람 작업자용 박스(4개) 이송 - day-time운용을 위한 대용량 배터리 장착	100%
○ 다수 로봇 협업 운용 시스템 기술 개발	○ 관제시스템 개발 - 네트워크에 연결된 관제 시스템을 통하여 로봇 동작 모니터링 및 명령 - 웹기반 구현→PC, 핸드폰, 태블릿 동작 ○ 수확로봇-이송로봇 정보교환 및 작물 전달 메커니즘 개발 - 네트워크를 통한 로봇간 정보전달 기능 - 수확작물의 이송을 위한 수확로봇-이송로봇간 근접접근 및 작물 전달 메커니즘 개발(특허) ○ 로봇 3대(라이 ver.2 × 2, 라임 ver.2 × 1) 실증	100%
○ 시설원에 환경 적용 기술 개발	○ 참여기관(국립농업과학원) 시설원에(토마토용 온실)에서 개발 로봇 (라이 ver.2 × 2, 라임 ver.2 × 1) 실증	100%

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

해당사항 없음

2) 자체 보완활동

해당사항 없음

3) 연구개발 과정의 성실성

- 본 과제는 1년 9개월의 짧은 연구개발 기간이 주어졌음에도, 단 기간에 아래의 결과물을 창출했음
 - 수확로봇 라이 : Ver.1, Ver.2로 주요기능 업그레이드 버전 창출
 - 이송로봇 라임 : Ver.1, Ver.2로 주요기능 업그레이드 버전 창출
 - 작물 수확을 위한 툴 5종을 검토하고 현장 실증을 통하여 선정(2종은 상용기반, 3종은 자체개발-3종 특허 출원)
- 연구결과의 상용화를 위하여 실증사이트에서 1년간 집중적으로 현장맞춤형 개발을 진행
- 정성·정량적 결과
 - SCI논문 2편, 비SCI논문 3편, 학회논문 13편 등의 우수한 학문적 성과 창출
 - 기술이전 1건, 사업화 1건 등의 상용화 성과 조기 도출

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

(단위 : 백만원, %)

총괄과제명	세부과제명	기관명	유형	총 연구개발비 (A)	정부지원 연구개발비 (B)	정부지원 연구개발비 비율 (C=B/A)	성과 유형	기술기여도	
								산정 근거	비율
다수 로봇 협업 기반 원예작물 수확용 로봇 개발	다수 로봇 협업 기반 원예작물 수확용 로봇 개발	한국기계연구원	출연연 (비영리)	650	650	1.000	신규 기술개발	해당 없음	-
	시설원에 자율주행 이동로봇 플랫폼 개발	(주)하다	중소기업 (영리)	667	500	0.769	신규 기술개발	①-①	77%
	작물인식 데이터 전처리 및 수확용 그리퍼 현장적용	국립농업과학원	국립연 (비영리)	210	210	1.000	신규 기술개발	해당 없음	-
	작물 위치인식 시스템 개발	충북대학교	대학 (비영리)	270	270	1.000	신규 기술개발	해당 없음	-
	작물 수확계획 알고리즘 개발	충남대학교	대학 (비영리)	130	130	1.000	신규 기술개발	해당 없음	-
계				1,917	1,750	-	-	-	-

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 지적재산권
 - 2022년 과제 종료 후 기 출원한 특허들의 등록을 통하여 연구개발 결과의 지적재산권 확보
- 학문적 성과 계획
 - 연구개발 기간 중에 제출하지 못했던 연구결과 들을 국·내외 주요 저널 및 학회 등록 예정
- 사업화 성과 계획
 - 시설원에 이동기술은 부분적으로 본 연구사업기간 중 사업화 및 매출 확보
 - 추가적으로 수확로봇 및 이송로봇의 핵심기술의 모듈화를 통한 사업화 추진(수확기술, 작물절단 툴, 작물파지용 그리퍼 등)

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE	1	-	-	-	-
	비SCIE	-	-	-	-	-
국내논문	SCIE	-	-	-	-	-
	비SCIE	1	-	-	-	-
특허등록	국내	3	-	-	-	-
	국외	-	-	-	-	-
사업화	시제품개발	1	-	-	-	-
	상품출시	-	1	-	-	-
	기술이전	1	-	1	-	-
	공정개발	-	-	-	-	-
	매출액 (단위 : 천원)	50,000	100,000	200,000	300,000	500,000
	기술료 (단위 : 천원)	1,925	3,850	7,700	11,550	19,250
성과홍보		1	-	-	-	-

□ 실용화 계획

○ 실용화 대상

항목	사양	비고
<p style="text-align: center;">수확로봇</p>  <p>▷가격(예상) : 4000만원(보조금 제외)</p>	<p>▷차체무게 : 300kg ▷가반하중 : 100Kg이상 ▷크기 : 2000×800×(1400[박스기준], 2000[로봇기립]) ▷이동속도 : 120m/min ▷이동방법 : 레일 및 콘크리트(라인트레이싱) ▷작업시간 : 8시간 이상 ▷특징 * 가방하중 5Kg급 협동로봇 * 작물인식용 비전센서 및 제어부 * 작물수확용 그리퍼 및 커팅툴 선택 장착 가능 * 배터리(리튬폴리머 5kW)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 고온·다습 환경 운용을 위한 차폐 및 케이싱 • 수확작물 전달 메커니즘(리프팅+틸팅) • 저가형 라이다기반 시설원에 레일 정밀 주행 • 시설 토마토 수확에 최적화된 기구배치 • 필요시 수동조작 가능(로봇팔, 이동로봇)
<p style="text-align: center;">이송로봇</p>  <p>▷가격(예상) : 2000만원(보조금 제외)</p>	<p>▷차체무게 : 300kg ▷가반하중 : 200Kg이상 ▷크기 : 2000×800×1120 ▷이동속도 : 120m/min ▷이동방법 : 레일 및 콘크리트(라인트레이싱) ▷작업시간 : 8시간 이상 ▷특징 * 작업자용 박스 4개 * 수확로봇 연계 작물전달 메커니즘 * 배터리(리튬폴리머 5kW)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 고온·다습 환경 운용을 위한 차폐 및 케이싱 • 수확작물 전달 메커니즘(수평이동) • 저가형 라이다기반 시설원에 레일 정밀 주행 • 수동조작 가능(이동로봇)
<p style="text-align: center;">작물수확툴</p>  <p>▷가격(예상) : 100만원</p>	<p>▷무게 : 2Kg ▷절단력 : 1000N ▷크기 : 200[돌출부]×150[최대]×200[최대] ▷전원 : 24V ▷특징 * 교체형 칼날 * 로봇말단 기준 오프셋 조정 기능(전후 200, 상하 200)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 고온·다습 환경 운용을 위한 내구성 구조 • 커팅용 칼날 교체를 통한 지속적인 사용 • 커팅이 가능한 다양한 작물 적용 가능(시설 : 토마토, 오이, 파프리카 등, 과수 : 사과, 배 등)

○ 제한사항

▶ 타 작물 적용 (On-Demand 설정)

- 수확로봇은 농업환경 특성상 시설 토마토 수확에 최적화 구성 ⇒ 타 작물 적용시 환경에 맞추어 기구물 재배치
- 작물에 따른 수확 동작 재설정 필요
- 인식 대상은 적용 작물에 따라서 DB 확보 및 적용(현재 토마토 DB만 적용)

▶ 수확속도와 작물적재

- 작물을 안전하게 정해진 위치에 적재하기 위해서는 정밀한 로봇동작이 필요 ⇒ 수확속도 저하 발생
- 현 구성은 고속 작물 적재를 위해서 비교적 충격에 강인한 작물(토마토, 오이, 파프리카 등)은 적재박스에 이격거리에서 낙하하는 방법 적용 ⇒ 적용 작물에 따라서 로봇 동작 수정 요망(작물 적재 안정도와 작업 속도간의 트레이드오프)

▶ 배터리

- 리튬폴리머 5kW급 적용하고 있으나, 안전·가격·공간 등의 요구사항에 따라서 변경 가능 ⇒ 납전지의 경우에는 에너지 밀도가 낮아 적용 불가(운용시간, 로봇크기 제한 등)

○ 실용화 전략

구분	연구결과 활용 및 실용화 전략
수확로봇	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시설원에 작물 수확 로봇 공통 플랫폼 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 개발 기술은 ‘작물위치인식-수확위치 접근-수확/파지-박스적재’의 통상의 작물 수확 방법을 체계화하여 SW로 구현 - 세부적으로는 대상 작물, 환경에 따라서 따로 기능이 구현되어야겠지만, 작물 수확용 로봇의 미들웨어로 활용 가능 ○ 수확로봇에 탑재된 적재박스는 국내최초로 고안되어 수확로봇의 연속작업 및 이송로봇과의 연계작업이 가능하게 함→작물 적재 및 전달 메커니즘은 원예작물용 로봇에 공통으로 활용가능한 기술임 ○ 다양한 작물 적용을 위해서 작물별 생육환경, 영상 DB등을 추가하여 선택적으로 적용 가능
이송로봇	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시설원에 작물 이송 로봇 공통 플랫폼 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 개발 기술은 작물의 종류에 상관없이 사람이 사용하는 박스를 이용하여 시설원에환경에서 작물을 나르는 기술임 ○ 사람 작업자용 운반 로봇 기능 추가 <ul style="list-style-type: none"> - 이송·운반은 수확에 비해서 기술 난이도가 낮아 단기간 상품화가 가능함 - 사람작업자 추종 기능 추가가 쉽고·용이하여 고하중·다량 작업자 추종 운반 로봇으로 기술 개선
작물수확틀	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개발된 3종의 절단 틀 및 그리퍼는 통상의 과채류 및 실외 과수 등에도 공통으로 활용 가능 ○ 작물수확틀은 별도의 실용화 모델로 상용화 추진 <ul style="list-style-type: none"> - 동작 설정을 위한 별도의 제어기 추가 개발 - 다양한 로봇에 장착가능하도록 로봇별 동작 라이브러리 지원 - 작물 절단부와 같은 내구성 관련 부부는 소모성 부품 적용(ex. 칼날)

공통	<ul style="list-style-type: none"> ○ 로봇 고장대책 <ul style="list-style-type: none"> - 고장시 외부 노출된 EMS스위치를 누름으로서 전원차단 및 전기적 안전 확보 - 방전시 배터리 교체(배터리는 모듈형으로 손쉽게 교체 가능) - 사업화 시 ⇒작업간 고장시 A/S 호출 ⇒ 상용화시 휴대폰 App을 통한 A/S요청 메뉴 추가(수확로봇 및 이송로봇 유지보수 유·무료 서비스 사업 모델) ○ 인증 <ul style="list-style-type: none"> - 사업화 시 ⇒ 농기계 검정(기 완료) 외 상품화 및 판매를 위한 KC인증 등 요망
----	--

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2021.06.01
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(0872)
출원번호 10-2021-0070991 (접수번호 1-1-2021-0633854-51)
(DAS접근코드2BFC)
출원인명칭 한국기계연구원(3-1999-902348-1)
대리인성명 팬코리아특허법인(9-2007-100081-9)
발명자성명 최태용 박종우 김두형 경진호 박찬훈 도현민 박동일 김휘수 김의경 한병길 서현욱
발명의명칭 시설원에 작물 수확 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

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

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2021.12.03
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2021-0171857 (접수번호 1-1-2021-1404767-06)
(DAS접근코드E06C)
출원인명칭 충남대학교산학협력단(2-2004-008410-4)
대리인성명 이충한(9-2013-001988-2)
발명자성명 이대현 최정웅
발명의명칭 수확용 엔드 이펙터 및 그 사용 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

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

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2022.01.18
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(10022)
출원번호 10-2022-0007231 (접수번호 1-1-2022-0064015-15)
(DAS접근코드91DD)
출원인명칭 한국기계연구원(3-1999-902348-1)
대리인성명 두호특허법인(9-2014-100041-1)
발명자성명 최태용 김두형 박종우 김정중 신영식 김창현 박동일 서현욱 김휘수 박찬훈
발명의명칭 작물 수확 장치 및 작물 수확 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

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

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2022.02.18
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2022-0021425 (접수번호 1-1-2022-0184506-13)
(DAS접근코드D20F)
출원인명칭 한국기계연구원(3-1999-902348-1)
대리인성명 조영현(9-2004-000363-4)
발명자성명 박종우 최태용 신영식 김정중 서현욱 한병길 김휘수 박동일 박찬훈 박정애
발명의명칭 농작물 이송로봇 및 농작물 수확 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

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

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2022.11.30
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2022-0163964 (접수번호 1-1-2022-1284054-13)
(DAS접근코드AEE3)
출원인명칭 한국기계연구원(3-1999-902348-1)
대리인성명 조영현(9-2004-000363-4)
발명자성명 박종우 최태용 서현욱 김정중 신영식 박찬훈
발명의명칭 농작물 이송로봇 및 농작물 수확 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

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

출원번호통지서

출원일자 2023.02.03
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2023-0014707 (접수번호 1-1-2023-0129380-57)
(DAS접근코드4F4D)
출원인명칭 한국기계연구원(3-1999-902348-1)
대리인성명 조영현(9-2004-000363-4)
발명자성명 최태용 박종우 김정중 신영식 서현욱 이영훈 이준호
발명의명칭 작물 수확용 절단장치

특 허 청 장

<< 안내 >>

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

특허등록 실적 증빙(1건)



발명의 명칭 Title of the Invention
수확용 엔드 이펙터 및 그 사용 방법

특허권자 Patentee
충남대학교산학협력단(160171-*****)
대전광역시 유성구 대학로 99 (공동, 충남대학교)

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.

This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



특허청

Korean Intellectual
Property Office

2022년 02월 22일



QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요

특허청장

COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

김응래





Article

Work Efficiency Analysis of Multiple Heterogeneous Robots for Harvesting Crops in Smart Greenhouses

Taeyong Choi ^{*}, Jongwoo Park, Jeong-Jung Kim, Young-Sik Shin and Hyunuk Seo

Korea Institute of Machinery and Materials, 156 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34103, Republic of Korea

* Correspondence: taeyongc@kimm.re.kr

Abstract: Extensive research is being conducted on using robots to automate harvest. However, most of the existing research is focused on the realization of harvesting using a single robot, and there have been very few studies on harvesting and transporting crops from a smart-greenhouse perspective. In this study, we demonstrate that the work efficiency is higher when a plurality of harvesting and transporting robots are used in tandem for harvesting crops in a smart greenhouse, compared to that when a single robot is used. The harvesting and transporting speeds of these robots are modeled in accordance with the facility environment. The operating speed of the robot group comprising only the harvesting robot and the harvesting and transporting robots is derived. In addition, the derived operating speed is analyzed based on the experimental data of the developed harvesting and transporting robots, and it was found that the overall operating speed increased when an appropriate combination of harvesting and transporting robots was used.

Keywords: harvesting robot; transporting robot; harvesting speed; smart greenhouse



Citation: Choi, T.; Park, J.; Kim, J.-J.; Shin, Y.-S.; Seo, H. Work Efficiency Analysis of Multiple Heterogeneous Robots for Harvesting Crops in Smart Greenhouses. *Agronomy* **2022**, *12*, 2844. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112844>

Academic Editor: Roberto Marani

Received: 13 October 2022

Accepted: 8 November 2022

Published: 14 November 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The increasing attention to the advanced agricultural concepts in recent years can be attributed to the changes in global climate and food crises. The interest in high-tech open-air agriculture represented by unmanned tractors and indoor agriculture, such as urban agriculture and vertical farms, is increasing. A smart greenhouse significantly improves the production and quality of various crops by grafting automation technology to optimally control temperature, humidity, carbon dioxide, and nutrients required for plant growth in existing greenhouses [1,2]. However, precision work such as leaf pruning, crop pruning, and harvesting still rely on manual work, and as a result, several studies have been conducted to automate harvesting in recent years [3–6].

SWEEPER [7], developed by the Dutch University of WAGENINGEN team, is considered the most advanced harvesting robot, mainly because it is equipped with a robot arm on a mobile platform for moving in a greenhouse, a vision system for paprika recognition, and a cutting mechanism.

In the US, RootAI developed a strawberry harvesting robot [8], which is significantly different from SWEEPER in terms of robot arm and end tool used. Although SWEEPER uses a 6-axis vertical articulated robot, RootAI applies a scara-type robot, which is ideal for two-dimensional movement and crop harvesting. Furthermore, for use as an end tool, SWEEPER developed a unique tool for cutting stiff paprika stems, whereas RootAI applied a unique soft gripper for soft strawberry harvesting.

The configuration of other greenhouse crop harvesting robots is similar. A particular mobile platform that is used for moving in the greenhouse is equipped with a robotic arm and an end tool for harvesting. Depending on the crops to be harvested, the robot arm can be applied in a 6-axis vertical multi-joint, parallel robot or a scara type. The end tool that harvests crops is the most vital element of the harvesting robot. The growing process and harvesting conditions for each crop differ significantly, and the harvesting requirements in

Article

Tomato Maturity Estimation Using Deep Neural Network

Taehyeong Kim ¹, Dae-Hyun Lee ^{2,*}, Kyoung-Chul Kim ³, Taeyong Choi ⁴ and Jun Myoung Yu ⁵¹ Big Data COSS, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea² Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea³ Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, Jeonju 54875, Republic of Korea⁴ Department of Robotics and Mechatronics, Korea Institute of Machinery & Materials, Daejeon 34103, Republic of Korea⁵ Department of Applied Biology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

* Correspondence: leedh7@cnu.ac.kr; Tel.: +82-42-821-6717

Abstract: In this study, we propose a tomato maturity estimation approach based on a deep neural network. Tomato images were obtained using an RGB camera installed on a monitoring robot and samples were cropped to generate a dataset with which to train the classification model. The classification model is trained using cross-entropy loss and mean-variance loss, which can implicitly provide label distribution knowledge. For continuous maturity estimation in the test stage, the output probability distribution of four maturity classes is calculated as an expected (normalized) value. Our results demonstrate that the F1 score was approximately 0.91 on average, with a range of 0.85–0.97. Furthermore, comparison with the hue value—which is correlated with tomato growth—showed no significant differences between estimated maturity and hue values, except in the pink stage. From the overall results, we found that our approach can not only classify the discrete maturation stages of tomatoes but can also continuously estimate their maturity. Furthermore, it is expected that with higher accuracy data labeling, more precise classification and higher accuracy may be achieved.

Keywords: tomato maturity; convolutional neural networks; deep learning; mean-variance loss; robot harvesting



Citation: Kim, T.; Lee, D.-H.; Kim, K.-C.; Choi, T.; Yu, J.M. Tomato Maturity Estimation Using Deep Neural Network. *Appl. Sci.* **2023**, *13*, 412. <https://doi.org/10.3390/app13010412>

Academic Editors: Jinsong Bao and Shu Taiza

Received: 11 November 2022

Revised: 16 December 2022

Accepted: 23 December 2022

Published: 28 December 2022



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The continuous shortages in the agricultural labor force require solutions to ensure stable agricultural production. Robotic farming for the realization of unmanned agriculture is emerging as a potential technological alternative, where unmanned agriculture is a technology-intensive farming method that automatically or autonomously performs various agricultural tasks based on intelligent approaches [1]. This issue has received more attention recently, due to the acceleration of global population growth, with the global population expected to reach 10 billion by 2050. Various robot systems are being developed to automate agricultural operations such as harvesting, monitoring, planting, and so on. In particular, the use of harvesting robots in horticultural facilities has potential for practical application in the near future, as the mechanism associated with automatic fruit harvesting is similar to the general gripping system in industrial robots.

Harvesting robots are developed through the integration of various subsystems such as vision, manipulator, gripper, and mobile systems, where vision is a priority requirement for robotic harvesting, being primarily used to implement object (e.g., fruit) recognition. Recent research has shown the capacity for high-level performance when using advanced data-driven approaches such as deep neural networks (DNNs). A convolutional neural network (CNN) is a representative DNN structure for image-based learning, which can extract object features effectively through data learning without human intervention. CNNs have become widely used with the improvement of computing speed. CNN-based approaches for fruit

THEME

02

농업용 그리퍼의 연구 동향

최태용	한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실 책임연구원	e-mail: taeyongc@kimm.re.kr
박종우	한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실 선임연구원	e-mail: jekiel@kimm.re.kr
김정중	한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실 선임연구원	e-mail: rightcore@kimm.re.kr
신영식	한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실 선임연구원	e-mail: yshin86@kimm.re.kr

이 글에서는 농업용 그리퍼의 현재를 살펴보고, 농업 현장, 특히 스마트 팜에서 필요한 농업용 그리퍼 기술의 특징을 살펴보고자 한다. 로봇 적용이 활성화된 산업 분야와 달리 농업 분야는 이제 막 로봇이 적용되기 시작했다. 그마저도 로봇이라고 하기보다는 기존 농기계를 자동화한 수준이다. 기존 농업 트랙터에 자율주행과 첨단 기능을 추가한 것이 대표적 예다. 역사가 짧은 만큼 현재 농업 현장에 바로 적용하기에는 농업용 로봇의 수준이 낮고 농업용 그리퍼도 가야할 길이 멀다. 특히 대상 작물 및 작업마다 다른 특성을 요구하는 농업의 특성상 농업용 로봇의 그리퍼 혹은 작업물은 일반 로봇보다도 훨씬 중요하고 요구 조건도 까다롭다.

농업용 로봇 및 그리퍼 개요

농업의 발전은 인류의 역사와 그 궤를 같이 한다. 인류는 오래전부터 낙농을 시작하면서 병충해에 강하고 수확량이 높은 종자 위주의 의도적 선택으로 종자 개량을 해왔다. 최근에 와서는 유전공학 및 바이오공학 등의 기술 발전에 힘입어 유전자 조작을 통하여 인류에 맞는 종자를 만들어 내는 수준까지 이르러 인류가 종자 개량을 하지 않은 작물을 찾는 것이 더 어려울 지경이다. 이에 더해 최근에는 줄어드는 농업 노동력 해소 및 농작물의 생육 및 수확까지 최적화하기 위해서 스마트 팜 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 국내에서는 스마트 팜 개발 및 보급 사업을 통해서 3세대까지 개발·보급이 이루어지고 있다.

스마트 팜은 작물의 환경을 인위적으로 제어하여 농업의 효율성을 높이기 위한 기술로서, 4차 산업혁명 관련 AI, IoT, 빅데이터, 로봇 등의 기술이 적용되

면서 비약적으로 기술이 발전하고 있다. 특히 온도, 습도, 양액 등 작물 생장에 필요한 환경과 관련된 부분은 데이터가 축적되고 자동화가 이루어지면서 우수한 품질의 작물을 대량 생산하는 데 혁혁한 기여를 하고 있다. 하지만 현재 사람이 손으로 관리하는 정밀 농업이라고 불리는 영역은 자동화되지 못했고, 이 중 대표적으로 '수확'을 농업용 로봇으로 자동화하기 위한 연구가 전 세계적으로 진행되고 있다.

정밀 농업을 위한 수확 로봇의 연구는 상용 로봇 팔에 작물을 인식하기 위한 AI 기능 및 센서, 작물을 다루기에 적합한 그리퍼를 개발하여 장착하는 식으로 많이 이루어지고 있다. 이러한 첨단 농업용 로봇의 그리퍼에 요구되는 기능은 정해진 대상물을 반복적으로 취급하는 산업용 로봇에 비하여 범용성이 높아야 하고, 비교적 연약한 작물을 다루기 위한 특수한 구조를 요구한다. 농업용 로봇에 활용하기 위한 그리퍼는 산업용 그리퍼보다 작물의 특성상 범용성이 요구되

시설원에 작물수확을 위한 이종 복수 로봇의 작업효율 분석

최태용[◦], 박종우^{*}, 김정중^{**}, 신영식^{**}, 김두형^{*}

Analysis of Work Efficiency of Multiple Heterogeneous Robots for Harvesting Crops in the Green House

Taeyong Choi[◦], Jongwoo Park^{*}, Jeong-Jung Kim^{*}, Young-Sik Shin^{**}, Doo-hyung Kim^{**}

요약

최근 4차혁명 기술을 적용한 스마트팜과 같은 시설원예에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 그 중 수확로봇과 사람 작업자의 수확물 이송을 위한 이송로봇 등의 로봇 기술이 연구되고 있다. 기존 연구는 대부분 단일 로봇의 기능 구현에 치중되어 있다. 본 연구에서는 시설원예에서 작물 수확을 위해서 복수의 수확로봇 및 이송로봇을 적절히 혼용했을 때, 단일 수확로봇만 사용하는 것보다 작업 효율이 높음을 보인다. 이를 위해서 수확로봇 및 이송로봇의 수확속도 및 이송속도 등을 시설 환경을 고려하여 모델링하고, 이를 기반으로 기존의 수확로봇으로 구성된 로봇 그룹과 수확로봇 및 이송로봇 혼용으로 구성된 그룹의 작업속도를 도출 및 분석한다. 또한 도출된 작업속도를 실제 개발한 수확로봇 및 이송로봇의 실험 데이터를 바탕으로 분석하여 수확만을 위한 수확로봇과 작물 이송만을 위한 이송로봇으로 구성했을 경우보다 수확로봇과 이송로봇을 적절히 혼용하고 로봇끼리 협동작업을 했을 때 전체적인 작업 속도가 더 높음을 보인다.

키워드 : 수확로봇, 이송로봇, 수확속도, 다수로봇운용, 그린하우스 로봇

Key Words : Harvesting robot, Trasporting robot, Harvesting speed, multi-robot operation, Green house robot

ABSTRACT

Recently, a lot of research on green house such as smart farms to which the 4th revolution technology is applied has been conducted. Among them, robot technologies such as harvesting robots and transporting robots to move crops by human workers are being researched. Existing research is mostly focused on the realization of functions of a single robot. In this study, it is shown that when a plurality of harvesting robots and transporting robots are properly mixed for harvesting crops in green house, work efficiency is higher than using only a single harvesting robot. To this end, the harvesting speed and transportingspeed of the harvesting

※ 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호 321059-2)

◦ First and Corresponding Author : Department of Robotics and Mechatronics, Korea Institute of Machinery and Materials, taeyongc@kimm.re.kr, 정희원

* Department of Robotics and Mechatronics, Korea Institute of Machinery and Materials, jekiel@kimm.re.kr, kdh649@kimm.re.kr

** Department of AI Machinery, Korea Institute of Machinery and Materials, rightcore@kimm.re.kr; yshin86@kimm.re.kr

논문번호 : 202207-135-0-SE, Received June 29, 2022; Revised August 19, 2022; Accepted September 1, 2022

수경재배 토마토 수확 로봇 그리퍼 설계를 위한 경도 분석

김 경 철*, 조 병 효*, 권 경 도*, 홍 영 기*

Hardness Analysis for Design of Harvesting Robot Gripper in Hydroponic Greenhouse

Kyoung-Chul Kim*, Byeong-Hyo Cho*, Kyung-Do Kwon*, Youngki Hong*

요 약

최근 다양한 사회적인 변화로 농업 생산 인력이 감소하고 있으며, 농업 생산을 위한 방법들이 변화하고 있다. 이러한 사회적 변화에 대응하기 위해 스마트 온실 재배가 증가하고 있다. 토마토의 경우에는 매주 수확을 하기에 많은 노동력이 필요하다. 이러한 이유로 본 논문에서는 스마트 온실에서 수확 작업을 로봇화하기 위한 요소기술 연구를 수행하였다. 국내 토마토의 경우 대부분 생식 목적으로 재배하기 때문에 수확 작업 시 상품성 유지가 매우 중요한 요인이다. 수확 로봇의 다양한 기술 중 과실을 다루기 위한 그리퍼의 설계 요인 분석을 하였다. 토마토의 속도에 따라 6단계로 분류하고 분류된 토마토에 대한 경도를 측정하였다. 이는 토마토 수확 로봇 그리퍼의 파지력, 모션 제어 그리고 파지를 위한 쿠션을 적용하기 위해 선행되어야 하는 실험이다. 본 연구를 통하여 속도별 토마토의 허용 압축력 요인을 분석하였다. 이를 통하여 토마토 수확을 위한 그리퍼를 개발하는데 기초 자료로 활용할 계획이다.

키워드 : 수확로봇, 그리퍼, 속도, 경도

Key Words : Harvest robot, Gripper, Maturity, firmness

ABSTRACT

Recently, Various social changing has led to a decrease worker in the agricultural. In addition, there are changing that methods for agricultural production. In response to these social changes, the area of smart greenhouse is increasing. In this paper, we conducted a study of element technology for harvest robot in smart greenhouse. In the case of domestic tomatoes, most fo them are grown for the purpose of eating without cooking, their commodity during harvesting operations is very important. We analyzed the design factors of the gripper. Tomatoes was divided into 6 stage maturity and the firmness was measured. We analyzed the allowable compressive force by tomato maturity. It is used as a data for gripping, motion of the harvesting robot gripper. This will allow us to develop a gripper-shaped gripper for tomato harvesting.

* 본 연구는 농림축산식품부 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(321059-2)
 • First and Corresponding Author : Division of Smart farm Development, National Institute of Agricultural Sciences, kkmole@korea.kr, 정희원
 * Division of Smart farm Development, National Institute of Agricultural Sciences, kwonkd89@korea.kr; sanm70@korea.kr
 논문번호 : 202207-140-0-SE, Received June 15, 2022; Revised September 13, 2022; Accepted September 22, 2022

2021 The 21st International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2021)
Ramada Plaza Hotel, Jeju, Korea, Oct. 12~15, 2021

Development of greenhouse crop harvesting system using multiple robots

Taeyong Choi^{1*}, Jong-Woo Park¹, Jeong-Jung Kim² and Young-Sik Shin²

¹ Department of Robotics and Mechatronics, Korea Institute of Machinery and Materials,

² Department of AI Machinery, Korea Institute of Machinery and Materials,
Daejeon, 34103, Korea (taeyongc@kimm.re.kr) * Corresponding author

Abstract: A harvesting robot system composed of multiple mobile robots is introduced. The harvesting robot system consists of a harvesting robot and a transfer robot, and for the efficiency of the harvesting process, a special mechanism is developed to deliver crops from the loading box of the harvesting robot to the empty loading box of the transfer robot. In addition, the transport robot is developed to include a special loading box replacement mechanism to carry multiple loading boxes.

Keywords: Harvesting robot, mobile manipulator, agriculture robot

1. INTRODUCTION

Research for agricultural automation is being conducted worldwide. In the case of field crops, a lot of automation is being done as an extension of agricultural machinery, and in the case of indoor agriculture, technological progress is being made through smart farms. Although smart farms have automated many aspects of growing crops, there are still many areas that require human assistance. A typical example is harvesting. Currently, a lot of research is being done on harvesting robots around the world. SWEEPER [1-2] is regarded as the most advanced harvesting robot. SWEEPER is developed to harvest sweet pepper. It consists of mobile for indoor environment and manipulator. The core technology of the robot is a gripper and fruit tree recognition technology.



Fig. 1. A harvesting robot, SWEEPER of [1-2].
SWEEPER is used for sweet pepper harvest.

The robot under development is not yet complete, but I would like to introduce it in this paper focusing on its core functions.

2. SYSTEM DESIGN

Until now, harvesting robots had no concept of

multiple robots. Due to the lack of technological advancement, research focused on simply harvesting using a single robot. The newly developed harvesting robot system focused on improving the efficiency of the harvesting process rather than the harvesting operation by applying the concept of multiple robots. The proposed harvesting robot system is mainly composed of two types of robots, a harvesting robot and a transfer robot. The harvesting robot carries a box that stores the harvested crops, so it is possible to continue harvesting until the box is full. The transfer robot is responsible for carrying the crops harvested by the harvesting robot out of the greenhouse. With the current technology, since the size of the greenhouse is large and the speed of the transport robot is not very fast, it takes a lot of time to transport. Therefore, it is important to reduce the number of times the transfer robot goes out of the greenhouse to carry crops. The transport robot being developed is designed to carry multiple loading boxes at the same time. The transfer robot uses a unique patent-pending mechanism to carry multiple loaders. An empty loading bin to receive crops from the harvesting robot was positioned forward, and a mechanism for sending the already full bin to the rear was mounted on the mobile platform. Using this mechanism, the transfer robot does not need to go out of the greenhouse until up to four boxes are full, according to the current design criteria.



색도계를 이용한 토마토의 숙성도 평가 Maturity Assessment Method for Tomato Fruits using Colorimeter

서강훈¹ 조병효¹ 홍영기¹ 권경도¹
Gang-Hun Soe¹ Byeong-Hyo Cho¹ Young-Ki Hong¹ Kyung-Do Kwon¹
김경철^{1*}
Kyoung Chul Kim^{1*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

¹Department of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju, Korea

초록(Abstract)

본 연구에서는 토마토의 숙성도를 비파괴적으로 평가하기 위하여 색도계의 적용 가능성을 검토하고자 하였다. 토마토는 전라북도 전주시의 온실에서 수경방식으로 재배하였으며, 품종은 대프니스이었다. 본 연구에서는 착색 전인 녹색기의 토마토 3개를 샘플로 선정하였으며, 각 샘플의 색도는 휴대용 색도계(CR-20, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정 및 비교하였다. 토마토의 색도 측정은 2021년 8월23일부터 9월17일 까지 주말을 제외하고 총 18회 실시하였다. 그 결과, L* 값은 숙성이 진행됨에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 이는 carotenoid 합성으로 토마토가 어두워지고 녹색이 손실되었기 때문으로 판단된다. a* 값은 숙성이 진행됨에 따라 점차 증가하는 경향을 나타내었으며, 이것은 토마토가 녹색에서 적색으로 변하기 때문으로 사료된다. 한편, b* 값의 경우에는 조금씩 증가하다가 완숙에 가까워지면서 급격히 감소하였으며, 노화가 진행됨에 따라 다시 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 온실에서 토마토의 숙성도를 비파괴적으로 평가하기 위해 색도계가 사용될 수 있음을 확인하였으며, 특히, L* 및 a* 값의 경우 숙성도와 높은 상관관계들을 갖는 것으로 나타났다.

키워드(Keywords)

L*a*b* 색공간, 색도계, 숙성도, 스마트 온실, 토마토

사사(Acknowledgement)

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 지원을 받아 연구되었음(321059-2).

로봇 조작기의 경로 계획 및 궤적 계획에 관한 연구 분석

A Study on the Path Planning and Trajectory Planning of the Robot Manipulator

¹한승재 ²황영배 ¹신창섭
Seung-Jae Han Young-Bae Hwang Chang-Seop Shin

¹충북대학교 바이오시스템공학과

Department of Bio-System Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea

²충북대학교 지능로봇공학과

Department of Intelligent Systems & Robotics, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea

*교신저자 : 황영배(ybhwang@cbnu.ac.kr), 신창섭(shinchang7@cbnu.ac.kr)

초록(Abstract)

로봇 조작기 설계 과정에서 경로 계획 및 궤도 계획은 로봇 공학 분야와 일반적으로 자동화 분야에서 중요한 문제이다. 실제로 로봇과 자동기계의 개발추세는 생산 시간을 단축하기 위해 점점 더 빠른 속도로 작동하는 데에 있다. 작동 속도가 빠르면 액추에이터와 제어 시스템에서 극한의 성능이 필요하기 때문에 로봇 동작의 정확성과 반복성을 저해할 수 있다.

따라서 액추에이터의 과도한 가속과 기계 구조의 진동을 피하는 측면에서 고속으로 실행될 수 있지만 동시에 로봇에 무해한 궤적을 생성하는데 특별한 주의를 기울여야 한다. 경로 계획 알고리즘은 로봇의 관절 공간이나 작동 공간에서 미리 정의된 via-points에서 통과하는 초기 지점에서 최종 지점까지의 기하학적 경로를 생성하는 반면, 궤도 계획 알고리즘은 주어진 기하학적 경로를 사용하여 부여한다. 시간 정보와 함께 via-points에서 통과 시간을 정의하는 것은 모션의 운동학적 속성뿐만 아니라 동역학적 속성에도 영향을 미치기 때문에 궤적 계획 알고리즘은 로봇공학에서 매우 중요하다. 본 연구에서는 경로 계획 알고리즘으로 기하학적 경로를 생성하는데 사용되는 로드맵 기술, 셀 분해 알고리즘, 인공적인 잠재적 방법과 일반적으로 최소 시간, 최소 에너지 최소 저크로 정의 되는 궤적 계획 알고리즘을 알아보려고 하였다. 경로 계획 및 궤도 계획은 로봇 조작기 설계 과정에서 필수적이며 여러 분야에 쓰일 로봇 조작기를 설계 하는데 유용할 것이다.

키워드(Keywords)

경로 계획, 궤적 계획, 매뉴플레이터, 수확기, 액추에이터, 진동

사사(Acknowledgement)

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계 산업화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(321059-2)

원예작물 수확로봇에 사용되는 엔드이펙터의 국내외 연구동향 Research Trends Analysis of End-effectors for Harvesting Horticultural Crops

김재현¹ 황영배² 신창섭¹
Jae-Hyeon Kim Young-Bae Hawng Chang-seop Shin

¹충북대학교 바이오시스템공학과

Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea

²충북대학교 지능로봇공학과

Department of Intelligent Systems & Robotics, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea

*교신저자: 황영배(ybhwang@cbnu.ac.kr), 신창섭(shinchang7@cbnu.ac.kr)

초록(Abstract)

발작물의 수확작업의 경우 대부분 인력으로 수행하고 있어 부족한 농업 노동력에 비하여 인력 의존도가 높은 실정이다. 최근 발작물의 소득증가에 따른 재배 확대와는 상반되게 논농사와 밭농사의 기계화율을 비교해보면 '18년 기준 벼농사는 98.2%이지만, 밭농업은 60.2%로 논농사에 비해 현저히 낮다(2017 농업기계 이용실태 조사). 발작물의 경우 정형화되지 않은 작업 환경과 불확실성 때문에 기계화를 진행시키는데 많은 과제를 안고 있다. 발작물 수확기계 중 원예작물 수확의 기계화 과정에서 사람의 팔과 같은 역할을 할 로봇 기술의 적용이 유효할 것으로 기대된다. 원예작물 수확 로봇에서 원예작물에 손상을 가하지 않게 하기 위하여 엔드 이펙터의 개발은 필수적이다. 이에 본 연구에서는 기동, 공간, 기계 및 원에 요건을 고려한 다양한 형태의 엔드 이펙터의 연구 동향에 대하여 정리해보고자 하였다. 수확로봇의 성능을 판별하기 위해 수확속도, 수확성공률 뿐만 아니라 수확과정 중 발생하는 과실에 대한 손상과 식물에 발생하는 손상도 또한 명확한 기준으로 판별해야 한다. 엔드이펙터는 대상 작물에 직접적인 작업을 수행하기 때문에 엔드이펙터의 특성에 따라 수확과정 중 주변 줄기, 과실에 대한 손상 등이 발생할 수 있다. 즉, 수확로봇 성능에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 요소이다. 수확하고자하는 작물의 생육적 특징과 주변 환경에 따라 엔드이펙터는 그리퍼, 커터, 진공흡착기 등 다양한 형태가 이용될 수 있다. 이러한 연구 및 개발이 지속됨에 따라 머지않아 상용화 수준의 수확용 엔드이펙터가 개발되어질 것으로 예상되며 원예작물 수확 로봇에 있어 중요한 역할을 할 것으로 기대한다.

키워드(Keywords)

그리퍼, 발작물, 수확기, 엔드이펙터

사사(Acknowledgement)

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계 산업화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(321059-2)

영상 분류 기반 토마토 성숙도 평가 기술 개발 Image classification-based tomato maturity estimation

전현호¹ 이준호¹ 김용주^{1,2} 김경철³
Hyeon-Ho Jeon¹ Jun-Ho Lee¹ Wan-Soo Kim^{1,2} Kyoung-Chul Kim³
이대현^{2*}
Dae-Hyun Lee^{2*}

¹충남대학교 스마트농업시스템학과

¹Department of Smart Agricultural Systems, Chungnam National University, Daejeon, Korea

²충남대학교 바이오시스템기계공학과

²Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea

³농촌진흥청 국립농업과학원 스마트팜개발과

³Division of Smart Farm Development, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju, Korea

초록(Abstract)

본 연구에서는 시설 토마토 수확로봇 개발을 위한 영상 인식 기술 개발을 목적으로 수행되었으며, 검출된 토마토의 수확 여부를 결정하기 위한 성숙도 평가 기술을 개발하였다. 토마토의 성숙도 평가는 영상분류를 위한 딥러닝 모델을 이용하였으며, 4단계 성숙 단계에 대한 분류 학습의 결과인 확률분포를 이용하여 0~100% 사이의 성숙도 값을 평가하였다. 학습 데이터는 국립농업과학원 테스트 온실에서 생육시기별 토마토 데이터를 수집하였으며, 각각의 영상 내 토마토 객체의 영역 및 성숙도 부류의 주석 작업을 수행하였다. 학습모델은 4개의 합성곱층으로 구성된 인공신경망을 이용하였으며, 출력은 소프트맥스 활성화 함수를 통해 4개의 부류에 대한 확률분포를 출력하였다. 토마토 성숙도 평가 결과, 4단계의 성숙도 부류는 94%의 정확도로 분류 가능했으며, 각각의 부류 내에서도 토마토 색상에 따라 성숙도의 변화를 관찰 할 수 있었다.

본 연구의 결과를 통해 검출된 토마토의 이산적인 성숙단계 뿐만 아니라 연속적인 성숙도 평가도 가능한 것을 알 수 있었으며, 조도, 겹침 등에 강인한 알고리즘으로 고도화를 통해 실제 수확로봇에 활용 가능할 것으로 판단된다.

키워드(Keywords)

딥러닝, 머신비전, 수확로봇, 토마토, 성숙도

사사(Acknowledgement)

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(321059-2)

*교신저자: 이대현(leedh7@cnu.ac.kr)

시설환경용 수확로봇 및 이송로봇 시스템 개발

Development of harvesting robot and transfer robot for greenhouse environment

○최태용^{1*}, 김정중¹, 박종우¹, 신영식¹

¹⁾ 한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실 (TEL: 042-868-7778, E-mail: {taeyongc, rightcore, jekiel, yshin86}@kimm.re.kr)

Abstract A harvesting robot system for greenhouse environment is introduced. The harvesting robot system consists of a mobile robot for movement on the pipe and concrete, and a manipulator to harvest crops. In this study tomato is considered as a harvesting crop. To increase efficiency of the harvesting process, a special mechanism is developed to deliver crops from the loading box of the harvesting robot to the empty loading box of the transfer robot. In our development loading boxes for human workers are used. The transport robot is also developed to include a special loading box replacement mechanism to carry multiple loading boxes.

Keywords Harvesting robot, mobile manipulator, agriculture robot

1. 서론

기후위기에 따른 작물량 감소 대응 및 식량 주권 확보를 위해서 전 세계적으로 첨단농업에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 그 중 농업 자동화 연구는 노지농업을 중심으로 주로 기존 농기계를 첨단화하는 방향으로 연구가 이루어지고 있다. 대표적인 사례가 기술개발이 거의 완료된 자율 트랙터다. 반면 노지농업과 달리 시설농업의 경우에는 구조화된 환경 구축이 가능한 스마트팜 기술을 중심으로 연구·개발이 이루어지고 있다. 스마트팜은 노지농업과 달리 작물 재배환경이 구조화되고, 온·습도·일사량 등의 통제가 가능해 자동화에 적합하다. 다만, 여전히 적엽·적과·수확 등의 정밀작업은 수작업에 의존하고 있는데, 이 중 수확을 자동화하기 위한 로봇 기술 연구가 최근 화두다.

본 논문에서는 토마토 수확을 자동화하기 위한 로봇 플랫폼 개발을 소개한다. 수확용 로봇으로는 네덜란드 WAGENINGEN 대학팀이 개발한 SWEEPER[1-2]가 가장 진보된 것으로 평가된다. 온실의 파이프 및 콘크리트 이동을 위한 모바일 플랫폼 위에 로봇팔을 장착하고, 파프리카 인식을 위한 비전 시스템 및 절단을 위한 커팅 메커니즘 등을 갖추고 있다.

* 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획기원의 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호 321059-2)

다른 온실용 농작물 수확 로봇의 구성은 이와 유사하며, 본 논문에서 소개하는 수확로봇도 비슷하다. 다만, 본 개발에서는 작물 수확이라는 단위동작 뿐만 아니라 수확물의 적재·이송 절차의 효율성까지 고려하여 수확로봇이 자체 적재함을 가지고 있고, 수확한 작물의 전달을 위한 이송로봇과의 적재박스 전달기능을 포함한다. 또한 사용하는 적재함은 로봇을 위한 별도 적재함이 아니라 현장에서 사용하는 사람 작업자용 적재함을 사용한다.



그림 1. 파프리카 수확로봇 'SWEEPER'[1-2].

2. 작물 수확용 로봇 및 이송로봇 개발
수확용 로봇은 온실환경 이동을 위한 모바일 로

토마토 수확 그리퍼를 위한 속도별 경도 측정 연구

Study of Maturity Level Hardness measurement of Tomato Tomato Harvest Gripper

○김 경 철^{1*}, 권 경 도¹, 홍 영 기¹

¹⁾ 국립농업과학원 스마트팜개발과 (TEL: 063-238-4064, E-mail: kkcsmole@korea.kr)

Abstract Recently, the demand for unmanned operation of agricultural work has been increasing. In particular, research on the application of robotics to harvesting operations that require a lot of labor is actively underway. For this reason, basic research was carried out on the application of grippers to harvesting robots. In the case of raw tomatoes, the product grade is determined according to the condition of the appearance, so the gripper of the harvesting robot is very important factor technology. In this study, the hardness of tomatoes by maturity divided into six stages was measured. As a result, it was found that as the maturity stage increased, the hardness decreased. In Korea, harvesting is carried out in stages 3 and 4, so the maximum allowable grip force of the gripper is considered to be the main factor of the harvesting robot. Based on the findings, we plan to improve the field utilization capacity of the end-effector for harvesting operations.

Keywords Harvest Gripper, Agricultural Robot, Maturity, Hardness

1. 서 론

국내 농업생산량은 다양한 요인들에 의해 점점 감소 되고 있다. 최근 팬데믹으로 점점 가속화되고 있다. 이러한 이유로 스마트 온실 로봇 적용을 위한 다양한 농작업 로봇 기술 개발이 진행되고 있다[1].

토마토의 경우 다양한 농작업 중에서 가장 높은 노동력이 요구되는 작업이 수확 작업이다. 이러한 이유로 최근 다양한 수확 로봇에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있다. 코코넛 수확(Wibowo et al., 2016), 딸기 수확(Qingchun et al., 2012), 사과 수확(Zhao et al., 2011), 파프리카 수확 로봇(Barth et al., 2019)에 대한 연구가 진행되었으며[2], 국내의 경우 아직은 연구개발 시작 수준이다.

본 연구는 수확 작업시 가장 중요한 기술인 그리퍼에 대한 기초 연구로 과실의 상품성과 가장 밀접한 그리퍼의 최적 그림력을 알아보려고 한다. 속도에 따른 경도를 측정하고, 이를 통하여 최적 그리퍼를 선정하는 기초 자료로 활용하고자 한다.







* 본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호 321059-2).

2. 재료 및 방법

2.1 토마토 속도 분류

국내에서 가장 많이 생산·유통되는 품종인 데프니스를 대상으로 하였다. 본 연구에서는 표 1과 같이 6단계 속도(익은정도) 분류[3]를 활용하였다.

표 1. 토마토 속도 분류 단계

Level	Maturity	Description	
1	Green	Entirely green	
2	Breakers	First appearance of external pink or red color; not more than 10%	
3	Turning	Over 10% but not more than 30% red or pink	
4	Pink	Over 30% but not more than 60% pinkish or red	
5	Light Red	Over 60% but not more than 90% red	
6	Red	Over 90% red	

이는 USDA(미국 농무성), RDA(한국 농촌진흥청)에서 토마토를 분류하는 가장 일반적인 방법이다.

3차원 포인트 클라우드를 이용한 토마토 자세 추정 Tomato pose estimation using 3D point clouds

○장 민 호¹, 황 영 배^{2*}

¹⁾ 충북대학교 지능로봇공학과 (TEL: 043-261-3225, E-mail: ronomy721@naver.com)

²⁾ 충북대학교 지능로봇공학과 (TEL: 043-261-3225, E-mail: ybhwang@cbnu.ac.kr)

Abstract Tomato Pose estimation in the harvesting robot is important to prevent collision and damage of fruit. In this paper, we present tomato pose estimation methods using 3D point clouds. We use Mask R-CNN to segment the region of a tomato. To estimate the pose from the result of tomato segmentation, a point cloud is obtained using an RGB-D camera. Then, PCA and ICP algorithms are used to pose estimation. In the PCA algorithm, a pose is estimated as the principal component of tomato point clouds. The ICP algorithm registers source data and target data by iterative estimation of the transformation matrix. Two algorithms are validated by applying to the real data of tomatoes.

Keywords Fruit pose estimation, Harvesting robot, Principal Component Analysis, Iterative Closest Point

1. 서론

최근 농가 고령화와 인구감소로 인해 노동력이 지속적으로 감소하고 있다. 이에 따라 농업 무인화 및 자동화에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다[1]. 특히 농작업 중 많은 노동력을 요구하는 수확 작업의 자동화를 위한 다양한 수확 로봇 연구가 진행되고 있다. 농업용 로봇 연구에서 카메라를 통한 비전 연구는 필수적인 요소 중 하나이다[2]. 수확 로봇이 작물을 수확할 때 요구되는 비전 정보는 작물의 정확한 위치와 자세이다. 로봇의 충돌과 작물의 손상을 방지하기 위해 작물의 자세는 수확 로봇 연구에서 중요한 정보이다. 현재 수확 작업 자동화를 위한 딥러닝 기반 딸기 자세 추정[3], 실린더 피팅 알고리즘 기반 포도 자세 추정[4] 등 다양한 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 토마토를 목표 객체로 설정하여 자세를 추정하는 기법을 제안한다. 딥러닝 모델 중 하나인 Mask R-CNN 모델을 사용하여 토마토의 영역을 인식하고 깊이 카메라를 사용하여 토마토의 3차원 포인트 클라우드 데이터를 얻는다. 이후 3차원 데이터를 이용하여 토마토의 자세를 추정하는 기법을 제안한다.

2. 자세 추정기법

본 연구에서는 토마토의 자세를 추정하기 위해 3차원 포인트 클라우드 데이터를 이용한다. 먼저 토마토를 인식하기 위해 딥러닝 객체 세분화 모델인 Mask R-CNN[5]을 사용한다. 인식된 토마토 마스크 이미지와 깊이 카메라를 통해 생성된 깊이 이미지를 정렬(align)시켜 토마토의 포인트 클라우드 데이터를 얻는다. 포인트 클라우드 생성 결과는 그림 1(b)와 같다.



그림1. (a) RGB 이미지, (b) 깊이 이미지와 정렬을 통해 생성한 포인트 클라우드

2.1 PCA(Principal Component Analysis)

PCA 알고리즘은 분포된 데이터의 주성분을 분석하는 알고리즘이다. 고차원 데이터를 저차원으로 사상시킨 뒤 분산을 통해 몇 개의 주성분을 나타낸다. 이때 각 주성분은 공분산 행렬의 고유벡터이기 때문에 직교한다.

* 본 논문은 농림식품기술기획평가원의 지원(321059-2)과 지역지능화 혁신인재양성(Grand ICT연구센터) 사업의 연구(UTP-2022-2020-0-01462)를 지원받아 연구되었음

별첨#3 ▷ 기술 실시(1건)

< 별지 제8호 서식 >

기술이전 신청서

신청자	기업명	㈜긴트	사업자등록번호	266-88-00215	법인등록번호	134111-0422646	
	기업구분	<input type="checkbox"/> 대기업 <input type="checkbox"/> 중기업 <input checked="" type="checkbox"/> 소기업 <input type="checkbox"/> 개인 <input type="checkbox"/> 기타 (법인)					
	업태	제조업	업종	농업 및 임업용 기계 제조업	대표자	김용현	
	전화		팩스	-	이메일		
	담당자	성명	강해진	부서	재무팀	직위/직책	사원
		전화		핸드폰		이메일	
주소		경기도 수원시 영통구 대학3로 7, 5층					
대상기술	기술유형	<input type="checkbox"/> 특허 <input type="checkbox"/> 실용신안 <input checked="" type="checkbox"/> 노하우 <input type="checkbox"/> 산업자문 <input type="checkbox"/> 저작권 <input type="checkbox"/> 물질 <input type="checkbox"/> 품종 <input type="checkbox"/> 상표 <input type="checkbox"/> 디자인 <input type="checkbox"/> 기타()					
	기술정보	특허실용신안	국가	공동권리자	출원번호(출원일)	등록번호(등록일)	
		노하우산업자문	실시간 작물 주요 영역 검출 기술				
		기타					
이전방식		<input type="checkbox"/> 양도 <input type="checkbox"/> 전용실시 <input checked="" type="checkbox"/> 통상실시 <input type="checkbox"/> 기타()					
계약조건	기술료	고정 기술료 ※정해진 기술료	납부일	2022-12-23까지	금액	20,000,000원 (VAT 별도)	
		경상 기술료 ※매출연동 기술료					
		실적 기술료 ※실적연동 기술료					
		기타기술료					
계약일정	계약일	2022-11-25	계약기간	2022-11-25~2027-11-24(60개월)			
기타사항							
<p>상기의 충남대학교 산학협력단 보유기술에 대한 기술이전을 신청합니다.</p> <p style="text-align: right;">2022년 11월 21일 신청자 김용현 (인)</p> <p>충남대학교 산학협력단장 귀하</p>							
첨부서류	사업자등록증, 법인등기부등본, 법인(개인)인감증명서, 사용인감계						

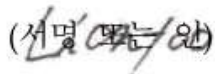
기술이전 동의서

대상 기술	기술명		실시간 작물 주요 영역 검출 기술				
	기술유형		<input type="checkbox"/> 특허 <input type="checkbox"/> 실용신안 <input checked="" type="checkbox"/> 노하우 <input type="checkbox"/> 산업자문 <input type="checkbox"/> 저작권 <input type="checkbox"/> 물질 <input type="checkbox"/> 품종 <input type="checkbox"/> 상표 <input type="checkbox"/> 디자인 <input type="checkbox"/> 기타()				
	기술정보	특허 실용신안	국가	공동권리자	지분율	출원번호(출원일)	등록번호(등록일)
		노하우 산업자문	실시간 작물 주요 영역 검출 기술				
		기타					
발명자 정보	구분	성명	소속(대학/학과)		연락처(휴대폰)	이메일	
	대표발명자	이대현	충남대학교 바이오시스템기계공학과			leedh7@cnu.ac.kr	
	발명자 2						
	발명자 3						
기술이전	이전방식		<input type="checkbox"/> 양도 <input type="checkbox"/> 전용실시 <input checked="" type="checkbox"/> 통상실시 <input type="checkbox"/> 기타()				
	기술료	고정 기술료	납부일	2022-12-23까지	금액	20,000,000원 (VAT 별도)	
		경상 기술료					
		실적 기술료					
		기타기술료					
계약일정	계약일	2022-11-01	계약기간	2022-11-25~2027-11-24(60개월)			
기타							
계약상대자	기업명	㈜긴트	사업자등록번호	266-88-00215	법인등록번호	134111-0422646	
	기업구분	<input type="checkbox"/> 대기업 <input type="checkbox"/> 중기업 <input checked="" type="checkbox"/> 소기업 <input type="checkbox"/> 개인 <input type="checkbox"/> 기타()					
	업태	제조업	업종	농업 및 임업용 기계 제조업		대표자	김용현
	전화		팩스	-		이메일	
	주소	경기도 수원시 영통구 대학3로 7, 5층					
연구과제	사업명	첨단농기계산업화기술개발사업	주관부처(전문기관)	농림식품기술기획평가원			
	과제명	작물 수확계획 알고리즘 개발	연구 책임자	이대현			
	연구기관	충남대학교	참여(협동)기관				
	연구기간	2021.04.01.~2024.12.31.	연구협약일	2021.04.01.			
	연구비	130,000,000원					
발명자 요구사항							
기술이전 기여자							
<p>상기 기술이전의 내용과 조건에 동의하며, 관련 정보와 의견을 제출하오니 기술이전 절차를 진행하여 주시기 바랍니다.</p> <p style="text-align: right;">2022년 11월 21일</p> <p style="text-align: right;">대표발명자 이 대 현 (인)</p> <p style="text-align: center;">충남대학교 산학협력단장 귀하</p>							

농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서

과 제 명	다수 로봇 협업 기반 원예작물 수확용 로봇 개발			
주관연구기관	한국기계연구원	참여기관	(주)하다	
연구책임자	최태용	연구기간	21년 04월 ~ 22년 12월(총 2년)	
총 정부출연금	1,750,000,000원			
해당 기술의 제품출시 유형				
시제품(제품출시 예정)	(<input checked="" type="checkbox"/>)	기존 제품 공정개선	(<input type="checkbox"/>)	
신제품(제품출시 완료)	(<input type="checkbox"/>)	기 타	(<input type="checkbox"/>)	
제품 출시 실적				
제품명	제품사진	제품용도	제품 출시일	해당 기술의 제품출시 기여율(%)
온실용 로봇구동 플랫폼		온실용 로봇구동 플랫폼	022.08.30	30%
<p>* 첨부 : 당해연도 제품출시 여부를 확인할 수 있는 자료(제조년월일 표기사진, 제품등록번호 등) **식품R&D는 품목제조보고서 제출 필수</p> <p style="text-align: center;">상기와 같이 R&D 기술을 제품화한 실적을 보고합니다.</p>				

2022년 10월 04 일

공동연구책임자 : 유재은 (서명 )

농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

과 제 명	다수 로봇 협업 기반 원예작물 수확용 로봇 개발		
주관연구기관	한국기계연구원	참여기관	(주)하다
연구책임자	최태용	연구기간	21년 04월 ~ 22년 12월(총 2년)
기업 정보	기업 매출 총액 : 4,000,000,000원		
관련 실적	특허(<input checked="" type="checkbox"/>), 품종(<input type="checkbox"/>), 소프트웨어(<input type="checkbox"/>), 디자인(<input type="checkbox"/>), 상표(<input type="checkbox"/>), 기타(상세 <input type="checkbox"/>)		
	명칭(번호) : 다목적 온실용 주행장치(10-2447687),		
	시설원에 작물 수확 시스템(10-2021-0070991)		
기술실시 명칭 : 온실용 로봇 구동 플랫폼			
해당제품의 매출 실적			
제품명	제품사진	매출액(원)	해당 과제의 매출액 기여율(%)
온실용 로봇 구동 플랫폼		국 내	19,800,000
		국 외	
30			
* 첨부 : 당해연도 매출액을 확인할 수 있는 자료(매출전표, 세금계산서, 매출원장, 수출계약 등)			
상기와 같이 R&D 기술을 사업화하여 발생한 매출액을 보고합니다.			

2022년 10월 04일

공동연구책임자 : 유 재 은

(서명 또는 인)

전자세금계산서					승인번호	20210929-41000007-60136623					
공 급 자	등록 번호	403-81-70868		중사업장 번호		공 급 받 는 자	등록 번호	124-83-01818	중사업장 번호		
	상호 (법인명)	(주)하다		성명	하중우		상호 (법인명)	농촌진흥청 국립농업과학 원	성명	김상남	
	사업장 주소	전라북도 완주군 삼례읍 삼례로 443 우석대학교 112호(우석대학)					사업장 주소	전라북도 완주군 이서면 농생명로 166			
	업태	제조	종목	농업용기계및장비			업태	공공기관	종목	국가기관	
	이메일						이메일				
	이메일						이메일				
작성일자	공급가액		세액		수정사유	비고					
2021-09-29	18,000,000		1,800,000		해당없음						
월	일	품목		규격	수량	단가	공급가액	세액	비고		
09	17	(시작기) 스마트 온실 로봇 구동 플랫폼 제작			1	19,800,000	18,000,000	1,800,000			
합계금액		현금	수표	어음		외상미수금		이 금액을 (청구) 함			
19,800,000		19,800,000									

본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급, 또는 홈택스로 전송된 전자(세금)계산서입니다.

발급사실 확인은 상기 홈페이지의 "조회/발급> 전자세금계산서> 제3자 발급사실 조회"를 이용하시기 바랍니다.

별첨#5 ▷ 고용창출(6명)

※ Fris 실적 입력 참조

고용창출					
번호	고용인력명	고용창출기관명	고용창출내용	고용창출일	고용형태
1	김정일	(주)하다	신규채용	2021-04-07	정규직
2	전정식	(주)하다	청년의무채용	2021-05-01	정규직
3	박주택	(주)하다	신규인력	2021-01-01	정규직
4	서왕렬	(주)하다	신규채용	2021-01-01	정규직
5	김균태	(주)하다	공동연구기관인 (주)하다 신규참여연구원 고용 -김균태 과장(73.10.27 기계공학 석사) 22.07.05일 입사- 담당역할(조립가공)	2022-07-05	정규직
6	양금희	(주)하다	공동참여연구기관 (주)하다 신규 참여연구 원 고용 -양금희 선임(86.04.09 항공우주공학 석사) 22.07.01일 입사- 담당역할(HW설계)	2022-07-01	정규직

인쇄 : 유한솔 / ICT신뢰성평가팀 (2023-02-27 11:43:35)

당신의 청렴지수 고객의 감동지수



한국농업기술진흥원

수신 한국기계연구원장 귀하
(경유)

제목 농업용 로봇 성능시험 결과 알림

‘23. 02. 20.자로 귀원에서 신청한 농업용 로봇에 대한 성능시험 결과를 붙임과 같이 알려드립니다.

기종명	형식명	형식	규격	시험번호
농업용로봇	HRS-1	시설원예 (토마토)	6hr 이상, 30초(개당)이내 (신청자 제시값)	23-KOATMP-045

붙임 농업기계 성능시험 성적서 1부. 끝.

한국농업기술진흥원장



연구원 유한솔 선임연구원 연가 책임연구원 대결 2023. 2. 27. ICT신뢰성평 전결
 협조자 전임연구원 권나원 박진근 가팀장

시행 ICT신뢰성평가팀-68 (2023. 2. 27.) 접수

우 54672 전라북도 익산시 평동로2길 18, 한국농업기술진흥원 농생명 / www.koat.or.kr
 ICT검인증센터 (목천동)

전화번호 063-919-1759 팩스번호 063-919-1769 / hansol51@koat.or.kr / 비공개(6)

기술기반 미래 농산업 선도, 공정·소통 중심의 경영효율 제고

문서관리카드ICT신뢰성평가팀-68 1/1

농업기계 성능시험 성적서

• 시험번호 : 23-KOATMP-045

• 신청자


상호	한국기계연구원	대표자	박상진
사업자등록번호	314-82-02693		
주소	대전광역시 유성구 가정북로 156(장동)		

• 시험일자

시험일자	2023. 02. 21.
------	---------------

• 시험방법 : 농업용 로봇 성능시험방법(별도 협의)

• 시험대상

농업용 로봇	형식명	HRS-1	
	형식	시설원예(토마토)	
	작업동작	수확	
	규격	6hr 이상, 30초(개당) 이내 (신청자 제시값)	

• 시험결과

수확성공률			작물인식률
절단	운반·적재	절단+운반·적재	
88.0%	52.0%	52.0%	90.9%
최대 이동속도			위치정밀도
2.0 m/s			5.5 mm
최대 작업시간			1회 작업시간
9 hr 19 min			28.9 sec

본 시험은 「한국농업기술진흥원 분석시험 의뢰 및 처리 규칙」 제5조에 따라 실시한 성능시험 성적입니다.

한국농업기술진흥원장



이 성적서는 「한국농업기술진흥원 분석시험 의뢰 및 처리 규칙」에 따른 제품의 성능 확인에 한정된 것이며, 그 밖의 다른 법률이 적용되는 제품의 경우 해당 법률에 따라 추가로 인증·허가 등을 받아야 합니다.

별첨#6 ▷ 홍보전시(2건)

전시회(1건)

2022 KIEMSTA 전시@(주)하다



언론(1건)



주 의

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