

317072-04

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

발
농
업
용

지
능
형

로
봇

개
발

2022

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

발간등록번호

11-1543000-004177-01

발농업용 지능형 로봇 개발

2022.10.05.

주관연구기관 / 한국로봇융합연구원
협동연구기관 / (주)아세아텍

안동대학교 산학협력단
경북하이브리드부품연구원

농 립 축 산 식 품 부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “밭농업용 지능형 로봇 개발”(개발기간 : 2017.11. ~ 2022.05.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 10. 05.

주관연구기관명 : 한국로봇융합연구원 (대표자)
협동연구기관명 : (주)아세아텍 (대표자)
협동연구기관명 : 안동대학교 산학협력단 (대표자)
협동연구기관명 : 경북하이브리드부품연구원 (대표자)



주관연구책임자 : 오장석
협동연구책임자 : 천원기
협동연구책임자 : 이영태
협동연구책임자 : 윤원호

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서										보안등급 일반[<input type="radio"/>], 보안[<input type="radio"/>]		
중앙행정기관명		농림축산식품부		사업명	사업명		첨단생산기술개발사업					
전문기관명		농림식품기술기획평가원			내역사업명							
공고번호		제 2017-352호		총괄연구개발 식별번호								
				연구개발과제번호		317072-04						
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	50%	EA0502		25%	EA0501		25%			
	농림식품과학기술분류	RC0103	60%	RC0101		30%	RC0199		10%			
연구개발과제명		국문	발농업용 지능형 로봇 개발									
		영문	Development of an farming-agricultural intelligent robot									
주관연구개발기관		기관명	한국로봇융합연구원		사업자등록번호		506-82-10676					
		주소	(우)36728 경북 안동시 경동로 1486-20		법인등록번호		171771-0005283					
연구책임자		성명	오장석		직위		센터장					
		연락처	직장전화			휴대전화						
			전자우편			국가연구자번호						
연구개발기간	전체	2017. 11. 15 - 2022. 05. 14 (4년 6개월)										
	1년차	2017. 11. 15 - 2018. 11. 14 (1년)										
	2년차	2018. 11. 15 - 2019. 11. 14 (1년)										
	3년차	2019. 11. 15 - 2020. 11. 14 (1년)										
	4년차	2020. 11. 15 - 2022. 05. 14 (1년 6개월)										
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금	
				자립자단체 기타()								
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	4,080,000	138,000	1,242,000	-	-	-	-	4,218,000	1,242,000	5,460,000	10,800,000	
1년차	1,020,000	34,000	306,000	-	-	-	-	1,054,000	306,000	1,360,000	1,200,000	
2년차	850,000	29,000	261,000	-	-	-	-	879,000	261,000	1,140,000	4,700,000	
3년차	850,000	29,000	261,000	-	-	-	-	879,000	261,000	1,140,000	4,700,000	
4년차	1,360,000	46,000	414,000	-	-	-	-	1,406,000	414,000	1,820,000	200,000	
공동연구개발기관 등		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편		비고				
								역할		기관유형		
공동연구개발기관		(주)아세아텍	천원기	수석						수요	중견기업	
		안동대학교	이영태	교수						공동	대학	
		경북하이브리드 부품연구원	윤원호	연구원						공동	지자체출 연연	
위탁연구개발기관		테크비아이(주)	전순철	이사						위탁	중소기업	
		한국농기계공업 협동조합	이시민	팀장						위탁	중소기업	
연구개발담당자 실무담당자		성명	조용준		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.

2022년 7월 14일

연구책임자: 오 장 석

주관연구개발기관의 장: 한국로봇융합연구원
공동연구개발기관의 장: (주)아세아텍
공동연구개발기관의 장: 안동대학교 산학협력단
공동연구개발기관의 장: 경북하이브리드부품연구원
위탁연구개발기관의 장: 테크비아이(주)
위탁연구개발기관의 장: 한국농기계공업협동조합

여 준 구
김 신 길
전 익 조
추 교 훈
김 길 해
김 성 철



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		첨단생산기술개발사업			총괄연구개발 식별번호		-	
내역사업명		-			연구개발과제번호		317072-04	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	50%	EA0502	25%	EA0501	25%	
	농림식품 과학기술분류	RC0103	60%	RC0101	30%	RC0199	10%	
연구개발과제명		발농업용 지능형 로봇 개발						
전체 연구개발기간		2017. 11. 15 - 2022. 05. 14 (4년 6개월)						
총 연구개발비		총 5,460,000천원 (정부지원연구개발비: 4,080,000천원, 기관부담연구개발비 : 1,380,000천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 10,800,000천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형		지정공모						
연구개발과제 특성								
연구개발 목표 및 내용		최종 목표		발농업 중심의 농작업이 가능한 지능형 플랫폼 (팜봇) 개발 및 시험·성능·실증테스트를 통한 실증 모델 개발				
		전체 내용		- 고령자·여성 농업인도 쉽게 사용할 수 있고, 농작업 노동력 절감을 통한 작업 능률 극대화가 가능한 지능형 무인 이동 플랫폼 개발 (H/W+S/W) - 전주기 농작업 적용성 검증을 위한 작업 모듈 5종 개발 (H/W) - 발농업 농작업 환경에 대응하여 플랫폼의 자세제어가 가능하고, 농업 생산성 향상을 위한 자율 및 원격에 의한 운영기능을 가지는 지능형 플랫폼을 개발하고, 이를 기반으로 전주기 발농업 과정에 적용 및 실증테스트 (H/W+S/W)				
		1년차	목표	발농업 로봇 개념 설계 및 기초설계, 인지 및 제어핵심 모듈 개발				
			내용	- 표준 플랫폼 기초설계, 인지 및 제어핵심 모듈 및 알고리즘 개발 - 작업기 6종 개념설계 및 로터리 및 휴립 피복기 작업 모듈 2종 개발 - 자가진단 시스템 및 모션 제어 시스템 개발 - 로터리/휴립 피복기 핵심부품 효율 최적화 및 체결시스템 개발				
		2년차	목표	발농업 로봇 기본 메커니즘 설계 및 시제품 개발				
			내용	- 표준 플랫폼 시제품 설계 및 제작 - 다중센서 융합 환경인지 기술 및 주행제어기술 개발 - 원격제어 및 통합 관제 설계 - 핵심특허 확보 및 강화/BM 모델 수립 - 파종기 및 방제기 작업 모듈 개발 - 모션제어 및 자체제어 기술 개발 및 자가진단 시스템 설계 - 고기능, 복합재 방제/파종모듈 부품 및 체결시스템 개발				

연구개발 목표 및 내용	3년차	목표	발농업 로봇 통합 시제품 개발 및 작업모듈 연동 최적화
		내용	<ul style="list-style-type: none"> - 표준 플랫폼 통합 시제품 개발 - 다중센서 융합 환경인지 기술 및 주행제어기술 최적화 - 원격제어 및 통합관제 상세설계 - 발농업 로봇 플랫폼의 표준화 연구 - 정식기 및 운반 작업 모듈 개발 - 노지환경 인지 및 노지적용 자세제어시스템 개발 - 정식/운반 모듈 최적 설계지원 및 체결시스템 개발
	4년차	목표	성능검증 및 안정화, 현장검증, 표준화
		내용	<ul style="list-style-type: none"> - 테스트베드 적용을 통한 성능검증 및 안정화 - HW/SW 최적화 및 고도화 - 발농업 로봇 플랫폼의 농기계 검증절차 진행 및 표준화 - 작업기 상용화 모델 개발(6종) - 센서 및 모션제어 기술 안정화 및 모듈화 - 플랫폼 및 작업기 모듈 신뢰성 및 내구성 시험

연구개발성과	○ 학술발표 : 28건, 특허출원: 16건, 제품화 : 6건, 신규채용 : 22명, 홍보 : 13건											
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	○ 대다수 해외의존이 높은 농기계의 국산화 및 미래 농업용 로봇관련 원천기술의 확보 ○ 고령화/여성화 등 농촌 인력 체질 변화에 대응하여 노동 생산성 제고하고, 신규 청년인력 유입을 통한 농업의 활성화 기반 마련											
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
	13	16	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
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)	지능형 무인로봇플랫폼			자율주행		원격조종		전주기 농작업관리		모듈형 작업기		
영문핵심어 (5개 이내)	unmanned intellignet robot platform			autonomous Navigation		remote control		whole-cycle agriculture management		modular farm-working modules		

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

※ 별첨 자료 (공인인증평가 성적서)

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 개요

<개발 개요>

- 발 농업용 지능형(무인이동) 플랫폼 기반의 팜봇(FarmBot) 개발 및 모듈형 작업 로봇 6종 개발
 - 지능형 발농업용 로봇 개발 : 팜봇
 - 모듈형 관리 및 작업 로봇 6종 개발 : 로터기 모듈, 휴립피복 모듈, 파종모듈, 정식모듈, 방제모듈, 이송모듈
 - 자가진단, 자세제어, 구동 및 조향, 원격조종, 센서 등 각종 핵심 부품 모듈화 개발
 - 개발된 로봇의 성능 검증 및 산업화를 위한 현장 실증 연구 : 실환경 성능검증, 신기술 농기계 검증



< 연구개발 개요 >

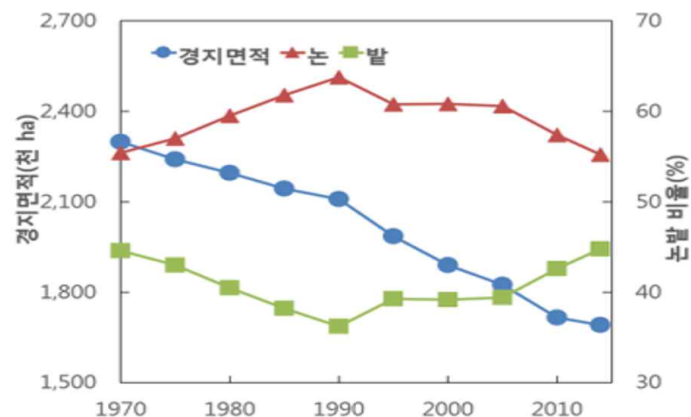
- 발 농업용 지능형(무인이동) 플랫폼 기반의 팜봇 개발
 - 고령자, 여성 농업인도 쉽게 사용할 수 있고, 농작업 노동력 절감을 통한 작업 능력을 극대화가 가능한 지능형 무인 이동 플랫폼 개발
 - : 다목적 농작업이 가능한 지능형 플랫폼 운영 체계 설계
 - : 전기모터 구동부, 주행장치 등이 포함된 자율 주행 운영 시스템 개발
 - : 노지 환경 내 주행 및 경로 탐색, 맵핑 알고리즘 개발
 - : 밭의 지형, 경사/형상 등의 환경 인식을 통한 경사지 적응 및 작업기 자세제어 시스템 개발
- 팜봇 플랫폼과 연동하는 모듈형 농업용 관리 및 작업 로봇 6종 개발
 - 로터리, 휴립 피복, 파종, 정식, 방제, 이송 등의 용도에 맞는 간편 체결구조를 가지는 모듈형 작업기 개발
 - 로봇과 연동 가능한 동력/신호 전달 장치 개발
 - 로터리, 휴립 피복, 파종, 정식, 방제, 이송에 적합한 작업용 로봇 모듈 제작
- 팜봇 플랫폼에 적용되는 핵심 부품 모듈 개발
 - 노지환경 인식, 자가진단, 자세제어 및 모션 제어 등의 핵심 부품 모듈 개발
- 팜봇 및 작업 모듈의 성능고도화 및 제품화를 위한 실증연구센터, 테스트 베드 구축을 통한 현장실증 연구
 - 제품개발 및 개발된 농기계의 성능고도화를 위한 현장 실증 연구 추진
 - 개발된 로봇의 현장 보급
 - 팜봇의 실내 실증시험을 위한 시설 및 장비 구축 (내환경/신뢰성 시험장비, 방수시험시설 등)
 - 팜봇의 실외 실증시험을 위한 테스트베드 구축
 - : 노지환경 시험장, 다양한 재배 형태의 현장 조건을 갖춘 테스트베드 구축
 - : 개발 모듈의 팜봇 탑재 실증 테스트 및 무인 농작업 성능 평가
 - 팜봇의 성능 평가지표 설계 및 평가

○ 사업화(상용화) 추진

- IP-R&D 전략, BM 수립
- 신기술 농업기계 지정 신청 및 농기계 품목, 품질평가 기준, KS규격 제정

<연구개발의 필요성>

- 농촌인구의 고령화 및 감소에 따른 미래 농업 생산력 저하로 농업 산업 경쟁력 하락이 우려
 - 65세 이상 경영주 비중 : ('07) 46.5% → ('10) 46.4% → ('13) 53.5% → ('25) 66.9%
 - 총인구 대비 농가인구 비중 : ('94) 11.6 → ('04) 7.1 → ('14) 5.5 → ('24) 4.4
 - ⇒ 농가인구 감소에 대응하여 저 노동력으로 생산성을 향상 시킬 수 있는 고성능의 농기계 개발이 시급하고 중요
- 우리나라 경지면적은 감소하는 추세이며 논에서 밭으로의 전환율은 1990년부터 증가하는 추세임
 - 경지면적 13.49천 ha/년 감소 : 2,298천 ha('70) → 1,691천 ha('14)
 - 논에서 밭으로의 전환율은 1990년부터 0.36%p/년 증가



<국내 논밭 전환율>

- 국내 밭농업은 소량·다품목 생산의 노동집약적 산업구조로 되어 있어 낮은 기계화율, 노동력 부족 등으로 경쟁력 취약
 - 기계화율(벼농사/밭농사) : ('00) 87.2% / 45.9% → ('14) 97.8% / 56.3%
 - 작물별 노동시간은 9.7~73.6시간/ha으로 많이 소요됨
 - 노동시간(h/10a) : 기장 9.7, 수수 11.6, 콩 20.5, 들깨 33.7, 팥 54.7, 참깨 73.6
 - ⇒ 한국형 밭농업 특성에 부합하면서도 고령자·여성 등의 사용자가 운용하기 쉬운 고성능 소형 농기계 개발이 시급하고 중요함
- 국내 농기계 산업의 기술수준은 원천핵심 및 부품소재의 기술수준이 낮아 선진국대비 70% 이하의 기술수준으로 미래수요에 대비한 무인운전 및 자동제어 기술 등의 원천핵심 기술개발이 시급함
 - 선진국 농기계업체들은 GPS, GIS, 영상카메라, 생육계측센서, CAN 통신 등을 이용한 무인운전 및 자동 제어기술 개발 등에 집중 연구개발
 - 2015년부터 TIER-4 배기가스 규제의 시행에 따라 CO, NOx, PM 등 오염물질의 허용기준에 적합한 구동시스템 기술개발이 활발함
 - ⇒ 농기계 관련기술은 “안전성 → 편리성 → 친환경화 → 고효율화 → 자동화 → 무인화”형태로 발전하는 추세임

<관련기술 현황>

- 농업용 농기계는 작업별 기계화 및 작물별 일관기계화 개발이 진행되고 있으며, 경운기, 트랙터, 관리기 등 전통 농기계와 IT기술의 융합을 통해 새로운 로봇 농기계 형태로 진화해 가고 있으며, 글로벌 농기계 시장에서도 비중이 확대되고 있음

現 활용 수준 (발농업 기계화사업 등)		앞으로의 사업		
장치/기계화	→	일관기계화	→	유무인 자동화
				
파종, 이식, 관리, 수확용 단위 작물별·작업별 기계화		작물별 파종에서 수확까지 작업 통합 일관기계화		무선조종, 자동화 농기계

<농기계 산업 변화>

<연구개발 방향>

- 다양한 작물과 재배양식에 적용할 수 있는 모듈형 발농사 로봇 플랫폼 개발 및 시험·성능평가, 실증테스트를 통한 실증 모델 개발
 - 농업 선진국의 광활한 농지를 효율적으로 관리하는 북미나 유럽의 로봇형 농기계와는 차별화된 소규모, 소구획에 적합한 고효율 로봇 개발
 - 고령자, 여성 농업인도 쉽게 사용할 수 있고, 노동력 절감을 통한 농작업 능률 극대화가 가능한 지능형 이동 플랫폼
 - ICT융합 신기술(ICBM) 등을 활용한 핵심 모듈 및 제어 알고리즘이 적용한 모듈형 로봇 개발
 - * ICBM(IoT, Cloud, Bigdata, Mobile), Robot, AI, AR, VR 등
 - 다목적 농작업 환경에 대응하여 가변형 플랫폼, 농업 생산성 향상을 위한 자율 및 원격에 의한 주행 기능을 가지는 플랫폼 개발과 다양한 발농사 과정에 적용 및 실증테스트를 통한 운영 모델 개발
- ⇒ 다목적 농작업이 가능하고 쉽고 편리하게 사용할 수 있는 지능형 농업용 로봇 및 작업기 개발

노동강도가 높고 특히 노령·부녀화된 노동력으로는 한계가 있는 발작물 재배에 활용되는 농기계를 대체 할 수 있는
고성능 지능형 농작업 플랫폼 개발(팜봇)



<농기계 및 농업로봇 개발 방향>

1-2. 연구개발 대상의 국내외 현황

<국내 기술 수준 및 시장 현황>

○ 기술현황

- 국내에서는 본격적인 로봇 기술의 적용은 아직 이루어지고 있지 않으며, LS엠트론이나 대동공업과 같은 기존 농기계 전문업체가 로봇 기술을 적용한 스마트 트랙터 등에 관심을 보이고 있는 상황이며, 국가 주도의 소규모 과제가 진행 중인 상황
- 발농사용 농기계 중 채소자동이식기, 내외부 비파괴 선별, 채소 접목 로봇 등은 상용화 단계에 있으며, 이외 대부분은 현재 연구개발 단계

구분	국내	국외
트랙터	◎ 무인자율주행트랙터	㉠ 무인자율주행트랙터
이식작업	● 채소자동이식기	● 채소자동이식기 ● 화훼류 자동이식기
시비 방제	㉠ 무인헬기 ◎ 제초로봇	● 무인헬기 ㉠ 제초로봇
수확작업	◎ 사과, 토마토, 딸기 수확로봇	◎ 사과, 토마토, 오이 수확로봇 ● 오렌지 수확로봇
과일선별	● 내외부 비파괴 선별	● 내외부 비파괴 선별
접목	● 채소접목로봇	● 채소접목로봇

◎ 연구단계, ㉠실용화 시도단계, ● 상용화단계

* 자료: 국립농업과학원, 로봇 R&D성과 발표회-농축산 분야 로봇 융합 기술개발 로드맵

< 농업용 로봇의 국내외 기술 수준 >

- 농촌진흥청 농업공학부(생산자동화기계과), 전북대 등을 중심으로 발작물 자동화 연구가 추진되고 있으며, 2010년 이후 IT융합농기계 종합기술지원사업을 통해 첨단 농기계 기술 개발이 추진 중임.

: 무인 트랙터, 접목 로봇, 무인방제로봇, 수확로봇 등 연구개발 과제가 추진되고 있으며, 과채류 접목로봇은 상용화에 성공하여 이탈리아, 멕시코, 미국, 중국 등 10개국에 35대 이상 수출 성과

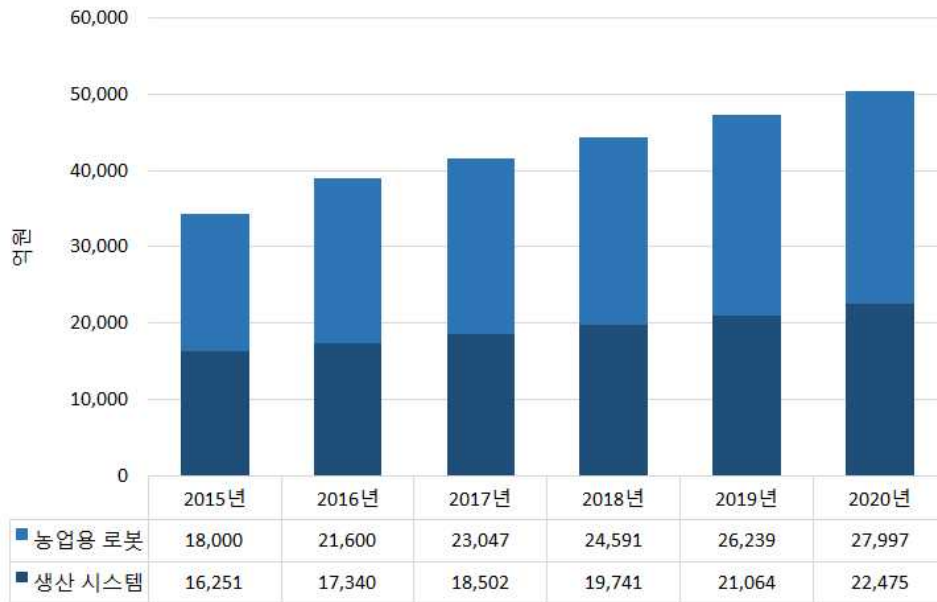
구분	주요 기술개발 동향	
수확	 <p>참외 수확용 로봇시스템 개발</p>	 <p>벤치재배형 딸기 수확 시스템 및 관련 기술 개발</p>
	그린하우스 작물재배용 수확로봇 개발 (오씨티, 2011~2012)	딸기 수확용 로봇 시스템 개발 (국립농업과학원, 2004~2006)

	 <p>GPS기반 자율주행 로봇트랙터('98), 농촌진흥청, 서울대, 경북대공동개발)</p>	 <p>원격제어(수원 임북동) (인터넷 농장 제어 개념도) 인터넷을 이용한 농기계 원격제어기술('04, 농촌진흥청)</p>
관리	 <p><과채류 접목> <접수묘 파지.절단> 과채류 접목 로봇('07), 농촌진흥청, 헬퍼 로보텍)</p>	 <p>장미화훼용 무인관리로봇('08), 전북대)</p>
무인 방제	 <p>유도케이블의 자기장 유도에 의해서 주행 과수원용 유도 케이블식 자율 주행 무인 농약 살포 로봇(경북대)</p>	 <p>0.5m/s의 속도로 주행하면서 분당 10L의 농약 방제가 가능 파프리카 유리온실용 로봇 ('06), 한국 CMS 및 전북대)</p>

< 발농사용 첨단 농기계 기술개발 현황 >

○ 시장현황

- 국내 스마트 농업 생산시스템 시장은 '15년 1조 6천억원에서 '20까지 2조 2천억원 수준으로 증가될 것으로 예상되며, 관련 로봇시장도 1조 9천억에서 2조 7천억 수준으로 확대될 것으로 예상
- : 농기계 시장은 상대적으로 구매력이 취약한 농민을 주요 수요자로 하고 있어 시장원리 보다는 농기계 구입자금 융자, 보조금, 기계화 영농단지 조성 등 정부시책에 많은 영향을 받는 경향이 있음. 하지만 최근 정부 지원의 감소 추세로 향후 농기계 내수 시장 성장을 둔화 전망
- : 스마트 농업 관련 시장도 지속적으로 확대되고 있으나, 대부분 외산 기계에 의존하고 있어, 한국형 스마트 농업 로봇기술 확보가 필요



< 국내스마트 농업시장 전망 *출처:중소기업청,기술로드맵(2017-2019) >

○ 경쟁기관현황

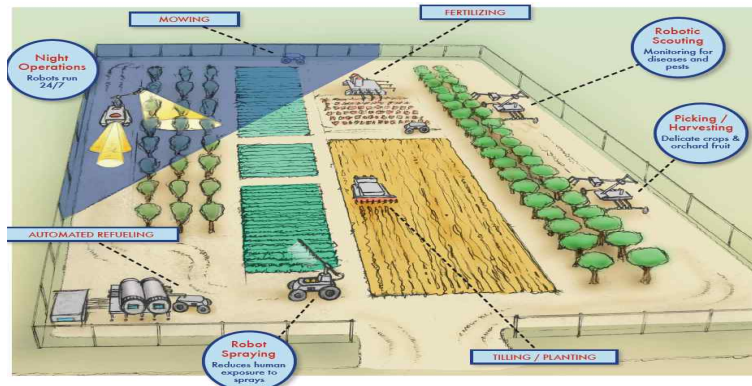
- 국제, 대동, 동양, LS 등 4대 농기계 회사들은 연간 매출 규모는 7,300억원~ 7,600억원으로 2000년 1조 규모에서 계속 줄어들고 있는 실정으로, 시장 규모가 줄면서 기술 투자도 자연스럽게 줄어들고 관련 기술개발이 이루어진 기업이 전무
- 국내 관리기 제품생산은 1980년대부터 대동공업, 아세아텍, 국제종합기계, 동양물산, 금성농기계로 5개 회사에서 현재(2017년) 아세아텍, 태광공업으로 제조회사가 축소되었다가 다시 동양물산 등 신규 개발하고 있음
- 관리기 작업기는 초기 35가지 이상의 다양성을 가졌지만 현재에는 주로 사용하는 작업기로 간소화되었으며, 아세아텍 13종, 태광공업사 10종을 중심으로 생산되고 있으나, 점차적으로 전용으로 작업할 수 있는 전용 관리기로 전환, 시장변화가 예고되고 있음

<국외 기술 수준 및 시장 현황>

○ 기술현황

- 농업 로봇은 자동화·로봇화·무인화 및 인간공학적 기술을 통해, 환경을 보전하면서도, 수확량은 줄이지 않고, 고품질 농산물을 생산할 수 있는 정밀농업용 기술이 빠른 속도로 실용화 진행 중임
- : 급속히 발달하고 있는 생명공학, 전기, 전자, 통신 분야의 첨단기술들이 다양한 산업기술과 융합되고 있고, 전통농업기계 및 농업생산시스템에도 로봇기술의 적용이 확대됨
- : 영농의 정보화·무인화·로봇화로 농민의 지식과 노동력의 많은 부분이 기계로 옮겨지고, 원격 탐사와 컴퓨터 시스템이 결합된 고감도 센서들이 영농에 필요한 의사결정을 할 수 있도록 최적의 정보를 제공함으로써 환경적 제약요건을 극복하고 생산성을 향상할 수 있는 새로운 형태의 영농시스템이 지속가능한 미래농업의 새로운 패러다임으로 등장함
- : 전자와 기계, 정보공학 기술이 결합된 첨단 농업로봇은 유비쿼터스 시대의 도래와 함께 안방에서도 농사를 지을 수 있는 이른바 무인 농작업 시대로 진화함

- (미국) John Deere, CMU RI(NREC)등 선도 기업을 중심으로 대규모 농장용 무인농기계 개발이 활발
- : CMU NREC에서는 24시간 무인으로 운영되는 미래형 농장에 대한 비전을 수립하고 관련 기술을 개발하고 있음.



* 자료: CMU NREC, 미래형농장 개념도

: John Deere, New Holland, Inc. 등을 중심으로 첨단 무인 농기계 기술 개발에 대한 투자 확대

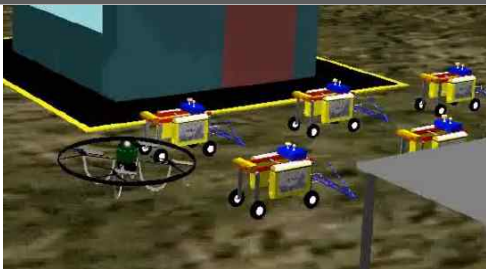






구 분	주요 기술 개발 현황	
수확용	 Peat Moss Harvesting(John Deere)	 Row Crop Harvesting(New Holland, Inc. , NASA)
	 오렌지 및 사과 수확로봇(Vision Robotics)	 포도 가지치기 로봇(Vision Robotics)
	 과일수확시스템(Washington State Univ.)	

무인 방제		
	과수원 무인방제 (NASA, USDA, John Deere)	Integrated Automation for Sustainable Specialty Crops Farming(USDA, John Deere)
관리		
	Container Handling (Horticultural Research Institute (HRI), DOE)	원격조정 트랙터(John Deere)
		
	Golf Course Mowing(The Toro Company)	파트너로봇(Harvest Automation)

< 미국의 첨단 농기계 기술개발 현황 >

- (EU) FP프로그램의 일환으로 과수 수확용, 발농사용 첨단 농기계 기술 개발에 대규모 투자

구 분	주요 기술개발 동향	
수확	   	
	CROPS Project(Intelligent sensing and manipulation for sustainable production and harvesting of high value crops, clever robots for crops, 2010~2014, 1,023만유로)	

관리	 	
	Aerial Unit Ground Unit	
	RHEA (Robot Fleets for Highly Effective Agriculture and Forestry Management, 2010~2014, 896만유로)	
	  	
	I-Green Project	
		
	파종·잡초제거용 로봇	파종로봇(Southern Denmark Univ.)

< EU의 첨단 농기계 기술개발 현황 >

- (일본) 야마, 구보타 등 농기계 전문기업을 중심으로 고령화, 노동인구 감소 등을 대비한 자동수확, 방제 등을 위한 무인농기계 기술 개발이 활발

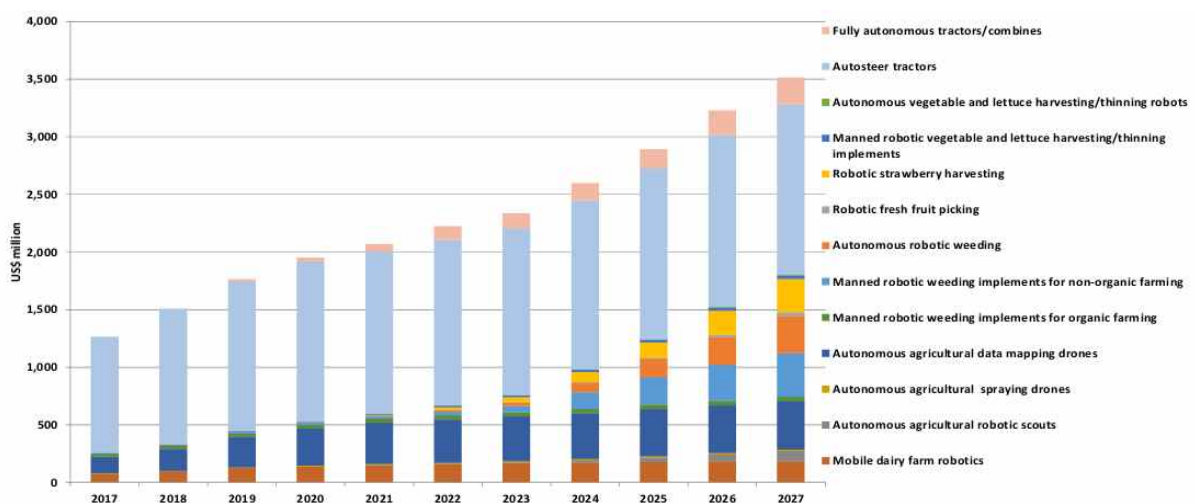
구 분	주요 기술개발 동향			
수확	 		 	
	딸기수확로봇 (일본 농업 식품산업기술종합연구 개발기구)		토마토수확로봇(오코야마 환경화학연구소)	
무인방제				
	무인 스피드 스프레이어(야마, 생연센터)		방제로봇(후지중공업)	

관리	 <p>양파 전자동 이식기(구보다)</p>	 <p>레일위의 의자를 타고 작업을 하는 고령자용 비닐하우스 시스템 (미에현 공업연구소, 의자제조업체 산케이 공업)</p>
----	--	--

< 일본의 첨단 농기계 기술개발 현황 >







○ 시장현황

- 2012년 세계 필드농업용 농기계 시장 규모는 560억불 정도로 로봇시장의 65배 이상이며 세계 TOP 3 제조사가 이들 시장의 70%이상을 점유하고 있고, 이 중 20%정도는 로봇기술이 적용되어 지능화된 트랙터, 콤바인, 임베디드 로봇 형태로 진화되고 있음
- : 농업용 트랙터가 전체 농업 기계 매출 중 30%(100조원, 118만대 규모)를 점유하고 있으며, 지역별로는 미국(202억 달러, 22.7%), 중국(194억 달러, 21.8%), 서유럽(187억 달러, 21%) 순임
- John Deere(미국), AGCO(미국), CNH(네덜란드), 안마(일본), 구보다(일본) 등 상위 5개사가 전 세계 시장의 90% 이상 점유
- : 생산된 농기계의 50% 이상이 수출되는 특성상, 주소비국의 특성에 맞는 제품개발을 위하여 현지에 생산기지를 건설하는 추세
- 세계 농업용 로봇시장은 2017년 기준 약1,250백만달러에서 지속적으로 성장하여, 2027년까지 약 3,500백만달러 수준까지 성장이 예상



< 농업용 로봇 시장 전망 >

○ 경쟁기관현황

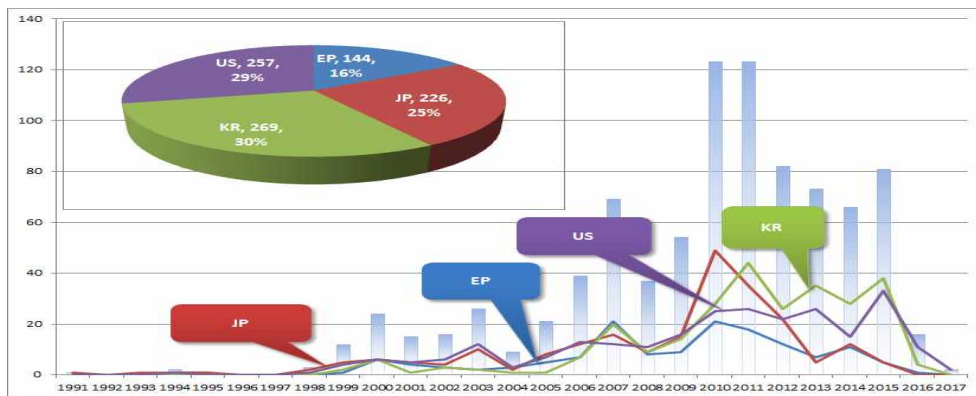
경쟁기업, 국가	제 품명	그림	비고
Agrobot, Huelva Spain	SW6010		2015년 중반 상용화 가격 \$250,000 비전 시스템을 이용하여 딸기의 익은 상태를 파악, 60개의 picking arm으로 딸기 수확 농장의 구조를 인식하여 자동운전
Energid, MA USA	multi-arm citrus harvester		상용화를 위한 테스트 중, 2016년 후반 상용화 예정 가격 \$300,000-\$400,000 트랙터에 부착하여 이동된 후 여러개의 매니퓰레이터가 자동으로 감귤 및 오렌지를 수확
Autonomous Solutions (ASI), UT USA	Forge Robotic Platform		2015년 중반 상용화 가격 \$75,000 - \$150,000/unit 기존 트랙터에 부착하는 키트로서 기존 트랙터를 원격 조종 하거나 무인 운전 할 수 있도록 함
Harvest Automation, MA USA	HV-100 Mobile Robot		2013년부터 판매 중 4개의 로봇 한팀 당 \$130,000 대여 가능, 4개의 로봇 한팀 세달 빌릴 때 \$30,000 묘목, 화분, 컨테이너등을 자동 이송 및 정리
Wall-Ye, Macon, France	Wall-Ye 1000 mobile pruning robot		2013년 테스트 완료, 현재 판매 중 가격 \$30,000 자동 가지치기 로봇, 토양데이터, 수확한 과일 데이터 저장 및 관리
Deepfield Robotics, Bosch, German	BoniRob		테스트중, 2018년 상용화 예정 가격: 제작비 £120,000 Adaptable multi-purpose robotic platform 자동화된 토양검사, 제초작업, 수확을 할 수 있는 로봇 플랫폼 모듈화된 작업기를 통해 다양한 작업 수행

<농업용 로봇 경쟁기관 현황>

<국내·외 지식재산권 현황>

○ 연도별 출원동향

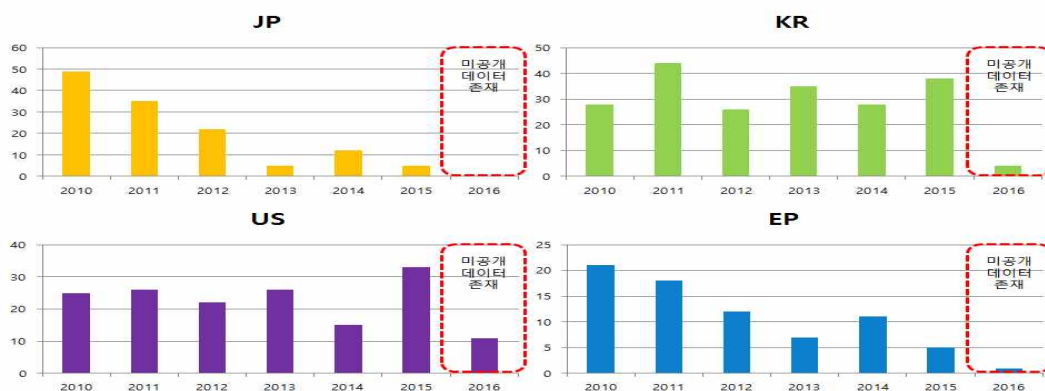
- 농업용 로봇 기술의 지난 18년('98~'16) 간 출원 동향을 살펴보면 연도별 출원 경향이 증가하는 동향을 보이고 있음. '11년까지 출원이 꾸준히 증가하였고, '12년이후 감소하였으나 다시 '15년부터 증가하고 있음. 해당 기술 분야는 지속적인 성장세를 보일 것으로 판단
: 각 국가별로 살펴보면 유럽을 제외한 한국과 일본, 미국이 출원 동향을 주도하며 소폭의 증가세를 보이고 있음. 특히 '14년 이후에도 한국과 미국이 지속적인 성장을 보이고 있기 때문에 미공개 특허의 공개 후, 더욱 높은 성장률을 나타낼 것으로 판단됨
- 일본은 해당 분야에서 '10까지 지속적인 성장세를 보였으나 최근인 '13년부터 성장세를 보이지 않고 있음
- 국가별 출원 비중을 살펴보면 한국이 30%로 최대 출원국으로 나타났으나, 로봇의 주행 시스템과 관련된 특허들이 다수 포함되어 있어 농업용 로봇 기술을 리드하고 있는 것으로 판단하기 어려움
- 미국과 일본이 각각 29%와 25%로 비슷한 수준의 출원 비중을 보이고 있음



< 농업용 로봇 분야 연도별 출원 동향 >

○ 국가별 출원 동향

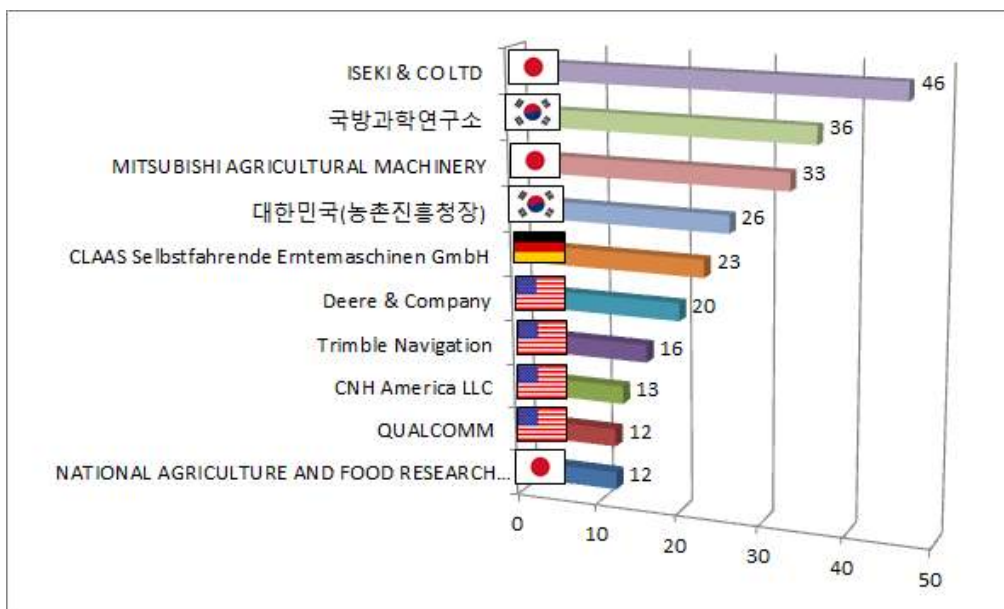
- 한국의 출원 현황을 살펴보면 '10년부터 최근인 '15년까지 지속적인 성장세를 보이고 있음
: '12년에 출원이 다소 줄었으나, '15년에는 출원이 소폭 높아지고 있음
: 한국의 출원 건수가 많은 것은 위치제어 시스템 특허가 포함되어 있기 때문이며, 농업용 로봇 플랫폼 분야의 국내 시장 규모는 크게 형성되지 않은 것으로 판단됨
- 일본의 출원 현황은 '10년을 기점으로 증가추세에서 감소추세로 변화
- 미국의 출원 현황은 지속적인 성장세를 보이고 있음
- 유럽의 출원 현황은 매년 10여건 내외의 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타남



< 국가별 출원 동향 >

○ 주요출원인 분석

- 세계 주요출원인을 살펴보면 주로 한국과 일본의 출원인이 다수의 특허를 보유하고 있는 것으로 나타났으며, 일본은 농기계 분야의 출원인이 대부분
- : 주요 출원인을 살펴보면 일본 국적의 ISEKI & CO LTD 가 최상위 출원인으로 나타났으며, 국방과학연구소와 MITSUBISHI AGRICULTURAL MACHINERY도 상위출원인으로 나타남. 해당 출원인들은 자국 위주의 출원
- : 한국 출원인으로는 국방과학연구소와 농촌진흥청의 2개 기업이 상위출원인으로 나타고 있으나 국방과학연구소는 농업용 로봇의 적용환경과 관련된 특허출원은 없고 자세, 위치 제어 시스템과 관련된 기능적 기술로 출원
- : 미국의 Deere & Company와 독일의 CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH는 다국적으로 시장을 확보하며 출원을 하고 있는 것으로 분석



< 주요 출원인의 출원 현황(상위 Top10) >

1-3. 연구개발의 중요성

< 연구의 중요성 >

- (기술적) 농기계의 핵심기술은 크게 부품소재, 설계, 생산기술, 시스템 기술로 구분되며, 국내의 경우 원천핵심 및 부품소재의 기술수준이 낮아 선진국대비 70%이하의 기술수준임
 - 선진국 농기계업체들은 GPS, GIS, 영상카메라, 생육계측센서, CAN통신 등을 이용한 무인운전 및 자동 제어기술 개발 등에 집중 연구개발 중
 - 농기계 관련기술은 “안전성 → 편리성 → 친환경화 → 고효율화 → 자동화 → 무인화”의 형태로 발전되는 추세
 - ⇒ 친환경 구동시스템, 고효율, 자동화 기술 개발에 대응, 전기 모터를 이용한 총륜 구동부 및 자율 주행 장치 개발
 - ⇒ 자율주행, 4륜 구동, Omni-direction Drive Module, 원격조종, 가변 차폭 등의 핵심 개발 기술은, 단위 기술로 시스템 개발의 원천 기술로 사용될 수 있으며, 또한 모듈화 설계 기술의 개발을 통해 타 농축산 자동화 기계 개발에 용이하게 적용 가능
- (경제산업적) 국내 농기계 시장은 2010년 1조 5,000억원을 넘어섰으나, 공급되는 농기계 대수는 줄거나 정체상태를 보여주고 있어 수출확대, 신개념 첨단 농기계개발을 통한 시장창출이 필요한 시점임
 - 국내 농기계시장은 농협과 대리점으로 유통구조가 이원화되어 기술독점화, 가격불안정, 경쟁력 취약의 구조적인 문제점을 가지고 있어 정책주도형 기술개발 사업을 통하여 기반 기술 확립, 중소기업 육성 등의 산업 생태계 구축이 필요함
 - 세계 농기계시장 생산규모는 1,000억\$ ('13년기준, 농림축산식품부)로 최근 10년간 연평균 9.8%의 높은 성장률이 전망되지만 우리나라의 시장점유율은 1%에 불과하며, 2023년 세계시장규모 2,060억\$ 예상됨
 - 세계시장의 선점을 위하여 농작업의 기계화 → 반자율형 농업용 로봇 → 완전 자율형 농업용 로봇으로 이어지는 단계적이고 시장 지향적인 기술개발 전략으로 서구 유럽과는 차별화된 블루오션 시장 개척 필요함
 - 농업용 로봇은 세계 시장이 극히 초기 단계이며, 널리 사용되고 있지 않음. 농업용 로봇은 최첨단 장치로서 선진국 중심의 시장이 형성될 분야임. 따라서 국내 시장보다는 글로벌 시장을 타겟으로 해야 할 미래 산업임
- 농업용 로봇의 산업의 매력도는 5점 만점 기준으로 3.55점으로, 고령화와 농업 인구 감소의 문제를 해결할 수 있는 주요 수단으로 기대되며, 단순한 기계와 달리 스마트한 지능이 필요하며, 재료-기계-전자-ICT-지능이 융·복합된 기술 분야 임

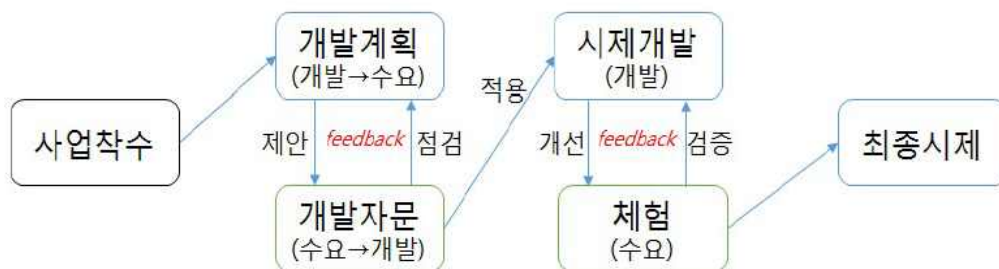


<농업용 로봇의 가치평가>

- (사회적) 우리나라 농가의 인구 감소 및 노동력 부족, 농지감소 등의 문제는 농촌·농업의 정체를 일으키며, 식량 자원화 추세에 따른 식량 안보에 대한 위험이 증대되고 있음
 - 이러한 농업의 지속성에 대한 위기를 극복하기 위해 기존의 전통적인 농업방식을 탈피하여 새로운 패러다임의 생산방식 전환이 필요함
 - 영농 규모화를 통한 생산비 절감과 농업의 경쟁력 확보를 위하여 ICT 기술에 기반 한 지능형 농업용 로봇을 이용하여 영농규모화에 필요한 수단 제공이 필요함
- 밭 농업 기계화율 80%이상 향상에 기여
 - 밭 농업 기계화율이 56%정도이지만, '24년까지 밭농사 기계화율 80% 이상 향상
 - 중소 농기계 업체의 취약한 기술경쟁력과 연구개발 역량을 강화시킬 수 있는 시스템 기반 구축 및 기술개발을 통한 기업의 경쟁력 강화
- 농촌 환경개선을 통한 농업종사자 편익증진 및 농기계 장비 및 부품지원 분야 고용창출을 통한 경제 활성화

<연구의 차별성>

- 농산업 인구의 고령화, 글로벌화, 시장개방 대응과 경쟁력 향상들의 농산업이 가지고 있는 환경적 특성을 잘 반영하여, 밭 농업용 로봇 기술개발을 추진할 예정임
 - ⇒ 특히 우리나라는 농지규모가 작고 시설재배의 비중이 낮아 농업용 로봇 보급 및 활용에 걸림돌로 작용하고 있어 농업환경과 농법의 표준화와 병행하여 개발을 진행할 예정임
- 농업용 로봇 산업의 생태계 현황에 따라 기술 가치사슬을 발굴하고, 관련 부품산업과 연계한 플랫폼 개발을 추진
- 본사업의 정책부서인 농림축산식품부 과학기술정책과 PM(project Manager)로 참여하는 운영위원회에 농촌진흥청, 경상북도농업기술원, 안동시농업기술센터 등의 기관들을 참여시켜 연구방향과 진도·성과 관리를 진행하여 연구의 내실화를 기함
- 사업 참여기관, 농업기술실용화재단, 한국농촌경제연구원, 한국농기계공업협동조합, 중앙 및 지자체 관련 기관들로 실용화추진위원회를 구성하고, 위원회 운영을 통해 습득한 수요자의 요구를 반영한 연구개발 수행
 - 반기별 1회 이상 실용화추진위원회를 운영하여 개발 초기 단계에서는 수요자의 의견을 적극 반영하여 플랫폼 설계에 반영하고, 개발 단계에서는 수요자의 체험 정보를 바탕으로 제품 개선 수행
 - 이러한 Feedback을 통해 제품의 실용성을 증대하여 사업화가 가능한 신뢰성 높은 최종 제품 개발을 추진함



<실용화추진위원회 운영계획(안)>

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2-1. 연구개발 목표 및 결과

<최종목표>

- 발농업 중심의 농작업이 가능한 지능형 플랫폼 (팜봇) 개발 및 시험·성능·실증테스트를 통한 실증 모델 개발
 - 고령자·여성 농업인도 쉽게 사용할 수 있고, 농작업 노동력 절감을 통한 작업 능률 극대화가 가능한 지능형 무인 이동 플랫폼 개발 (H/W+S/W)
 - 전주기 농작업 적용성 검증을 위한 작업 모듈 5종 개발 (H/W)
 - 발농업 농작업 환경에 대응하여 플랫폼의 자세제어가 가능하고, 농업 생산성 향상을 위한 자율 및 원격에 의한 운영기능을 가지는 지능형 플랫폼을 개발하고, 이를 기반으로 전주기 발농업 과정에 적용 및 실증테스트 (H/W+S/W)

<연구개발 세부 목표 및 결과>

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1~4 차년도	플랫폼 기본 메커니즘 설계 및 시제품 개발 (한국로봇융 합연구원/ 위탁: 한국농기계 공업협동 조합, 테크비아이)	통합 제어시스템(ROS) 고도화 및 안정화 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 통합 제어 개념 구성도 수립 - 플랫폼 자율주행 운영 방안 - 통합 제어를 위한 입출력 인자 정의 - ROS 기반 제어 상세 구조도 및 프로토콜 정의 	본문참조
		시스템 도킹 장치 표준화 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 발농업 로봇 플랫폼과 작업기간의 프로토콜 정의 - 발농업 로봇 플랫폼과 자세제어 센서용 프로토콜 정의 - 플랫폼 & 작업모듈 구동 배터리 통합 	
		주행 제어 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 주행 제어부 알고리즘 개발 - 작업기 특성을 반영한 자율주행 발농업 로봇의 모델기반 제어 검증 - 주행 및 조향제어 개발 	
		다중센서 융합 환경인지 및 영상처리 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 카메라 기반 발 환경 인식 및 주행선 탐색 기술 - RTK-GPS 모듈 플랫폼 적용 테스트 - Radar를 활용한 전방 장애물 감지 - 환경지도 작성 기술 	
		발농업용 로봇의 정부지원대상 농업기계 선정	<ul style="list-style-type: none"> - 노지스마트팜분야 표준화 로드맵 농업용로봇 수록 - 농업용 로봇 범위 확대 정책제안 활동 	
	팜봇 플랫폼과 연동하는 모듈형 농업용 관리 및 작업 로봇 6종 개발 (아세아텍)	원격제어 및 통합관제 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 원격제어부 설계 및 제작 - 통합관제 시스템 개발 	본문참조
		작업기 구동 모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 메인 프레임 개발 - 시저스리프트 개발 - 자동체결장치 개발 - 전원부 통합 개발 - 시나리오 대응 요소부품 사양 도출 	
		정식 및 방제작업 모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 자동체결부 개발 - 정식작업 모듈 개발 - 방제작업 모듈 개발 	
		원격제어 및 통합 통신 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 원격제어 시스템 개발 - 통합 통신 시스템 개발 	
		전년도 작업 모듈 보완설계	<ul style="list-style-type: none"> - 로타리작업 모듈 설계 - 휴립피복작업 모듈 설계 - 운반작업모듈 설계 - 파종작업모듈 설계 	

	자가진단, 모션제어 시스템 모듈 개발 및 센싱 알고리즘 개발 (안동대학교)	노지 환경 인지 및 센서 융합 자세제어 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 스마트 히트 펌프 개발 - 로봇의 취약 구조물의 변형 모니터링 - 고도, 침수 및 누전 센서의 업그레이드 개발 	본문참조
		자세 모니터링 시스템과 자기 진단 시스템의 통합 시스템 개발 및 알고리즘 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 자세 모니터링 시스템과 자기 진단 시스템의 통합 시스템 개발 - 통합 알고리즘 개발 - 고성능 자세 모니터링 시스템과 저가 형 자세 모니터링 시스템, 2 종류 개발 - 자동 수평 제어 시스템 개발 - 관성항법 시스템 개발(보조 시스템) 	
		자세 모니터링 시스템 평가를 위한 측정 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 모션 제어 시스템의 정밀 측정을 위한 측정 시스템 개발 - 3축(roll, pitch 및 yaw angle) 회전각의 정밀 측정이 가능한 시스템 개발 - 상용화 검토 	
	정식/방제 모듈 최적 설계지원 및 체결 unit 개발 (경북하이브리드연구원)	전산해석 및 분석을 통한 부품 최적화	<ul style="list-style-type: none"> - 메인플랫폼 및 구동부 구조 안정성 확보를 위한 전산해석 지원 - 정식모듈 고강도, 내마모성 소재 변경 검토 	본문참조
		표준 플랫폼과 정식기/방제모듈 간의 체결 Unit 제작	<ul style="list-style-type: none"> - Auto 체결을 위한 내부삽입형 체결방식 선정 및 개발지원 	

2-2. 연구개발 수행 내용

<주관기관 : 한국로봇융합연구원>

세부연구목표	연구개발 수행내용
노지 발환경 플랫폼 자율주행 환경 및 구동 시나리오 수립	<ul style="list-style-type: none"> - 작업별 주행 환경 정의 - 발환경 로봇 주행 시나리오 수립 - 군집제어 및 관제모니터링 시나리오 수립
통합 제어시스템(ROS) 고도화 및 안정화 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 통합 제어 개념 구성도 수립 - 통합 제어를 위한 입출력 인자 정의 - ROS 기반 제어 상세 구조도 및 프로토콜 정의
시스템 도킹 장치 표준화 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 로봇 플랫폼과 작업기간의 프로토콜 정의 - 플랫폼 & 작업모듈 구동 배터리 통합
주행 제어 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 작업기 특성을 반영한 자율주행 발농업 로봇의 모델기반 제어 검증 - 주행 및 조향제어 알고리즘 개발
다중센서 융합 환경인지 및 영상처리 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 카메라 기반 발 환경 인식 및 주행선 탐색 기술 - RTK-GPS 모듈 플랫폼 적용 테스트 - Lidar를 활용한 전방 장애물 감지 - 환경지도 작성 기술 - 경로 추정 기술
원격제어 및 통합관제 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 원격제어부 설계 및 제작 - 통합관제 시스템 개발 및 군집제어
표준플랫폼 시제품 개발	<ul style="list-style-type: none"> - Model-1 - Model-2.1 - Model-2.2
성능검증 및 안정화	<ul style="list-style-type: none"> - 농업용 로봇 테스트베드 구축 - 발농업 로봇 성능평가 - 제품 상용화 및 신뢰성 확보
발농업용 로봇의 정부지원대상 농업기계 선정	<ul style="list-style-type: none"> - 노지스마트팜분야 표준화 로드맵 농업용 로봇분야 포함 수록 - 농업용 로봇 범위 확대 정책 제안 - 농업용 로봇 포럼을 통한 시험방법 및 검정기준 제시 및 표준화 요소 발굴 - 한국산업표준 제정 제안
핵심특허 확보 및 강화 • BM 모델 수립	<ul style="list-style-type: none"> - IP 확보 전략 수립 - BM 전략 수립

○ 노지 발환경 플랫폼 자율주행 환경 구동 시나리오 수립

가) 작업별 주행환경 정의

- 대상 노지 발 환경 조건 조사

고추	콩	양파	무
		-	
배추	감자	고구마	마늘
		-	

<작물별 재배 양식>

- 작업기별 대상 작물 선정

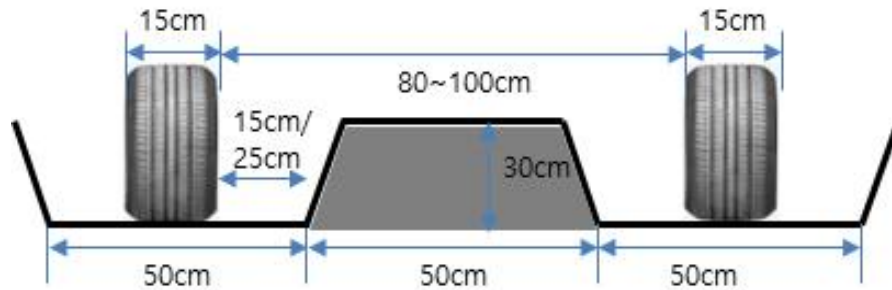
- * 품종별 수확면적, 수확농가구, 수확면적을 비교하였을 때 가장 많은 양의 비중을 차지하는 콩과 고추를 타겟 작물로 함으로 자동화함으로 제품화 후 보급률을 높이는데 유리 할 것으로 판단됨. 정식기는 배추를 타겟 작물로 선정하였으며, 식부(호퍼)를 교체하는 방식으로 고추, 콩 등의 작물에 적용 가능하도록 개발 할 필요가 있음.

- 고랑, 두둑, 두둑 높이 부분을 구분하여 표본 조사



<두둑 및 고랑 측정 정보>

- 대상 두둑 조건 정의

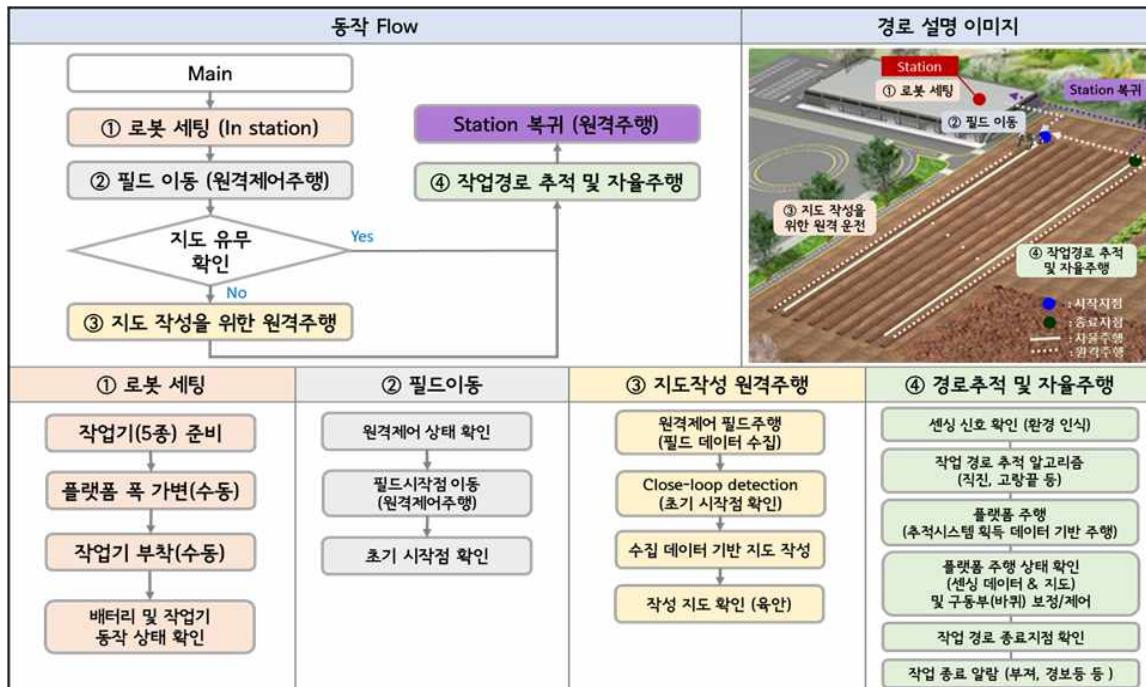


< 두둑 환경 정의 >

* 현재 발작물의 두둑 구현 정보 및 1차 및 2차 플랫폼의 바퀴 내측 너비를 고려한 두둑 환경 정의

- : 두둑 높이 30 ± 10cm (인식을 96% 이상)
- : 두둑 너비 50 ± 5cm (플랫폼 너비 80cm)
- : 고랑 너비 45 ± 5cm (바퀴 너비 15cm)
- : 피복 (검은색 비닐 피복)

나) 발환경 로봇 주행 시나리오 수립



<발 환경 운행 시나리오 구성도>

* 1단계 - 로봇 세팅(in station)

- : 농작업에 따른 부착할 작업기 준비
- : 농작물과 작업에 따른 플랫폼의 폭을 가변함
- : 플랫폼에 준비한 작업기를 부착함
- : 배터리 상태 확인 및 플랫폼과 작업기의 동작 상태 확인

* 2단계 - 필드(노지) 이동

- : 원격제어기 상태 확인
- : 원격제어주행을 통해 노지의 작업시작점으로 이동
- : 초기 작업시작점 확인

* 3단계 - 지도작성 원격주행(지도 유무를 확인하여 없을 경우만 시행)

- : 원격제어를 통해 필드 주행하면서 데이터 수집
- : 주행시작점까지 데이터를 수집하여 Close-loop가 발생하도록 함
- : 수집 데이터를 통해서 지도를 작성함
- : 작성된 지도를 확인하여 자율주행이 가능한 노지의 정보가 충분한지 판단하여 부족 다시 3단계를 시행함

* 4단계 - 경로추적 및 자율주행

- : 주변 환경 인식이 잘되는지 센싱 신호 확인
- : 센싱된 데이터로부터 작업경로 추적 알고리즘 적용하여 고랑인식 및 고랑끝 인식함
- : 획득된 데이터와 인식한 정보를 기반으로 제어 알고리즘을 통해 플랫폼 주행
- : 플랫폼의 주행 상태 확인하면서 지도와 센싱데이터를 이용하여 구동부를 보정하면서 제어
- : 지도상 작업경로 종료지점까지 주행하면서 작업을 수행하고, 획득된 데이터를 바탕으로 종료지점을 확인함
- : 작업종료를 작업자에게 알림

다) 군집제어 및 관제모니터링 시나리오 수립



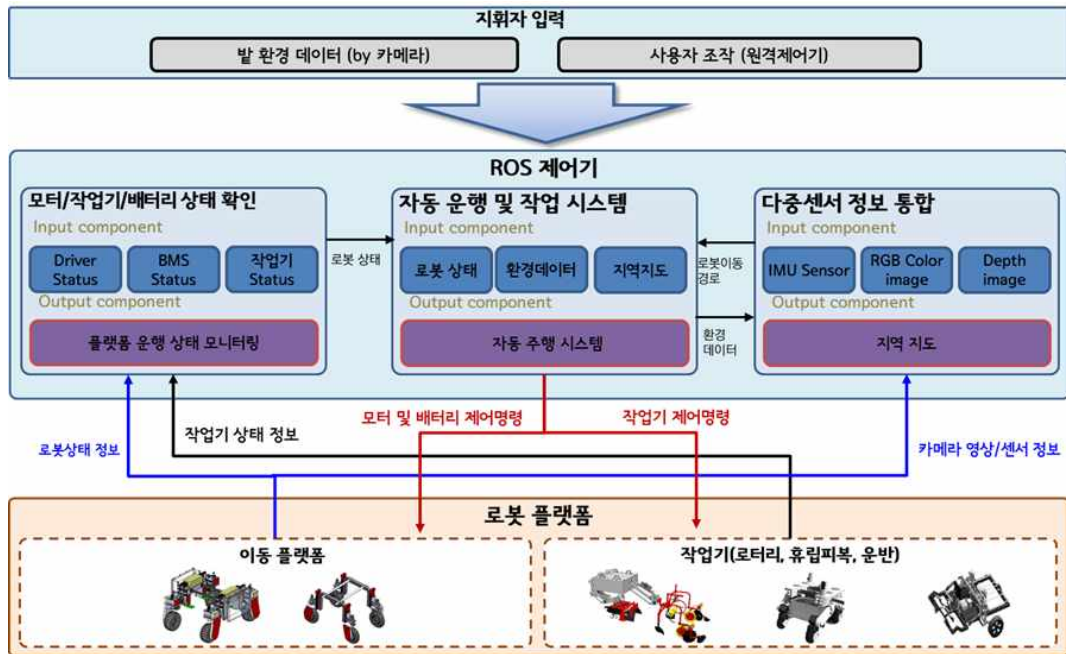
< 군집제어 및 관제모니터링 시나리오 모식도 >

- * 단일 작업 필드에 다수의 발농업 로봇 진입 및 작업 수행 시 중앙 관제시스템에서 로봇의 작업 상태, 주행상태(장애물 포함), 작업수행 시간 등의 정보를 모니터링할 수 있음
- * 관제시스템과 로봇의 인터넷망을 통해 양방향 무선 통신을 하게 되며, 로봇 제어 안정성을 위하여 제어 우선순위를 (1) 하드웨어 비상버튼, (2) 원격제어기, (3) 자동제어 순으로 설정하였음

○ 통합제어 시스템 (ROS) 고도화 및 안정화 개발

가) 통합 제어 개념 구성도 수립

- 통합 제어개념 구성도



< 플랫폼 통합 제어 개념도 >

* 플랫폼은 ROS(Robot Operating System)로 운영체제에서 S/W를 구성하여 통합적으로 제어가 됨. 이를 위해서 입·출력 인자에 대한 정의가 필요하며, 그에 따른 ROS상에 맞는 프로토콜이 정의가 되어야 함

나) 통합 제어를 위한 입·출력 인자 정의

구분			함수	입력 하위함수 및 값	
Camera 1,2			Camera_1 or 2_image	RGB Depth	
IMU Sensor			Sensor_Position control	ROLL PITCH YAW	
모터상태 피드백	모터		Motor status_#N	Current Velocity	
				Encoder value	
				Motor error check	
				Torque	
				Limit_Sensor	
원격	공통		Control_EMERGENCY	Emergency_STOP	
			Select_Run mode	Auto or Manual	
			Reset_System	Init_motor	
			수동주행	조향 모드설정	Select_WS mode	4WS 2WS
	주행	Select_Moving mode			Forwad_Manu Back_Manu
		조향		Select_Steering mode	Right_Manu Left_Manu Rotation_Manu
	자세제어			Select_Attitude mode	Up_Manu Down_Manu
	자율주행			주행	Start_AUTO MOVE
				정지	STOP_AUTO MOVE
	배터리 상태 피드백		BMS	BSC	Battery state of charge
BMC				BMS state of charge	
BMF				BMS status flags	
BMS				BMS operational state	
작업기 상태 피드백		작업기	Working status #N	RPM or Torque, error code	

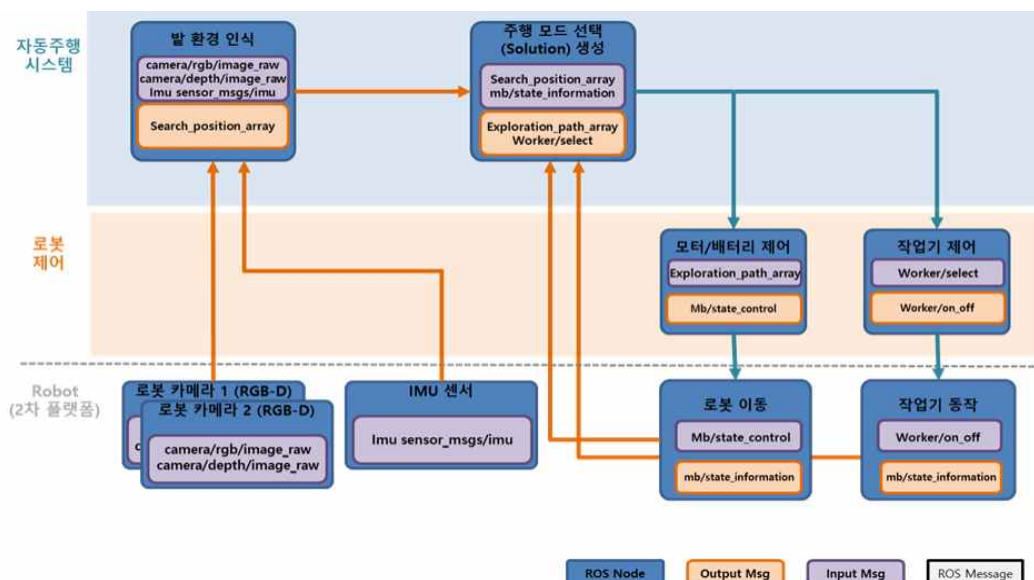
< 통합 제어 입력 인자 정의 >

- 발농업 로봇 운행 시나리오에 맞게 제어를 위한 입·출력 인자를 정의하였으며, 플랫폼 안에 장착된 ROS제어기를 기준으로 모터/작업기/배터리 상태확인 하는 부분과 자동 운행 및 작업 시스템, 다중센서 정보 통합으로 구성됨
- 입력 인자는 사용자조작(원격제어기), 로봇 상태 정보, 카메라 영상/센서 정보, 작업기 상태 정보를 수집하게 되어있으며, 출력 인자는 플랫폼의 모터 및 배터리 제어와 작업기를 제어하는 명령에 대해서 인자를 정의하였음. 제어 입·출력의 세부 구분과 함수 이름과 입력 하위함수 및 값들을 정의를 표로 정리함

구분		함수	출력 하위함수 및 값
주행모터	2WD+2Assist	MOVE_Forward	Motor #N_T motion
			Motor #N_V motion
		MOVE_Back	Motor #N_T motion
			Motor #N_V motion
조향모터	4WS or 2WS	MOVE_STOP	Motor #N_STOP
		Steering_Right	Motor #N_P motion, Motor #N_HOME
		Steering_Left	Motor #N_P motion, Motor #N_HOME
		Steering_Rotation	Motor #N_P motion, Motor #N_HOME
자세제어 모터		Attitue_Up	Motor #N_P motion, Motor #N_HOME
		Attitue_Down	Motor #N_P motion, Motor #N_HOME
긴급정지		Emergency_Shut-down	Signal Lamp (Red & Buzzer), Power_Off_All Motor, Power_Off_Working motor
상태 모니터링		System Status check	Signal Lamp (Red & Buzzer, Green)
		Battery Status check	Signal Lamp (Yellow & Buzzer)
		Start status check	Signal Lamp (BLUE & Buzzer)
		Work status check	Signal Lamp (White & Buzzer)
작업기		Working_Motor_Start	Working motor #N_V/T motion
		Working_Motor_Stop	Working motor #N_STOP
		Working_Motor_Gear	Working motor #N_V/T motion
		Working_Motor_RPM or Torque	Working motor #N_V/T motion
		Working_Cylinder_Start	Working Cylinder #N_V/T motion
		Working_Cylinder_Stop	Working Cylinder #N_STOP
		Working_Cylinder_RPM or Torque	Working Cylinder #N_V/T motion
배터리		Battery_On	
		Battery_Off	

< 통합 제어 출력 인자 정의 >

다) ROS기반 제어 상세 구조도 및 프로토콜 정의



< ROS Component 상세구조도 >

Sender	Receiver	Type	Published Msg.	Subscribed Msg.	설명
발행하는 기관	받는 기관	메시지 타입 (Topic, Service, Action)	발행 메시지명 (메시지 타입)	획득 메시지명 (메시지 타입)	메시지 내용에 대한 설명
플랫폼	ROS 제어기	Topic	/(\$ns)/camera/rgb/image_raw (sensor_msgs/Image)	-	플랫폼 카메라 color 이미지 (\$ns = 플랫폼 개체의 name space 이며, arp_1, arp_2, arp_3)
플랫폼	ROS 제어기	Topic	/(\$ns)/camera/depth/image_raw (sensor_msgs/Image)	-	플랫폼 카메라 depth 이미지 (\$ns = 플랫폼 개체의 name space 이며, arp_1, arp_2, arp_3)
플랫폼	ROS 제어기	Topic	/(\$ns)/mb/state_information (int[])	-	모터/배터리 상태 정보
플랫폼 (안동대)	ROS 제어기	Topic	/(\$ns)/imu sensor_msgs/Imu	-	플랫폼에 달린 imu센서 값
ROS 제어기	ROS 제어기	Topic	/(\$ns)/mb/state_control (signed char[])	-	모터/배터리 제어 명령
ROS 제어기	ROS 제어기	Topic	/search_position_array (geometry_msgs/PoseStamped [])	-	작업 필요 지점 배열
ROS 제어기	ROS 제어기	Topic	/exploration_path_array(nav_msgs/Path [])	-	플랫폼 주행 경로 배열 (주행경로, 플랫폼 헤딩각, 골 간의 편차)
ROS 제어기	작업기	Topic	/(\$ns)/worker/select (int[])	-	플랫폼에 결합된 작업기 선택 (로터리, 휴입피복, 운반)
ROS 제어기	작업기	Topic	/(\$ns)/worker/on_off (bool)	-	플랫폼에 결합된 작업기 조작

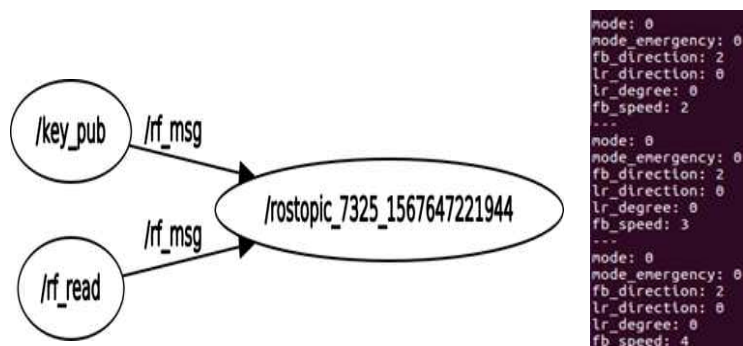
< ROS 프로토콜 정의 >

- ROS 상세구조도를 통해서 플랫폼 및 작업기와 각종 센서에 대한 연결을 정의하여 단위 모듈 형태로 개발을 진행함
 - * ROS 프로토콜을 협력기관과 협의하여 정의를 함. 이를 통해 나중에 모듈화해서 개발된 부품을 적용이 용이하고 가능하게 함
 - * 또한 추가적으로 동종의 센서를 다른 제품으로 교체할 때 프로토콜만 맞추어주면 되므로 확장성이 큼
- ROS에서는 원격제어기 관련해서 RF 통신으로 받는 구조이며, 이를 하단의 원격제어기 프로토콜을 한 개의 메시지 타입으로 표현해서 구현하였음. 최종적인 이름은 /rf_msg 이며, 안에는 정의된 프로토콜들이 전부 들어감.

원격제어기 프로토콜 V0.11-2019.09.03											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte
STX	CMD	조향 설정	조향각도	구동 설정	구동 속도	자세제어 설정	동력부 설정	동력부 속도	제결부 설정	CRC	ETX
0X02	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	0X03

< 원격제어기 프로토콜 정의 및 구현 >

- 통신 baud rate와 serial port 번호에 맞게 연결이 필요하며, 원격 제어기를 속도 조작 시에 변경되는 결과를 하단 오른쪽 화면에서 나타내고 있음.



< ROS msg node 정의 및 구현 테스트 화면 >

○ 시스템 도킹 장치 표준화 개발

가) 로봇 플랫폼과 작업기간 프로토콜 정의

- Model-2.1

KIRO NODE : #100									
KIRO 제어기(0X64)									
Command DATA FROM MASTER, DATA 길이 : 8(0x1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit			MSB→		
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #50			AT/MT			Error Code		
6(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7	Error
	Couple Up	Couple Down	Couple Close	Couple Open	외결확인 Call	UP Lim Call	OPEN Call	CLOSE Call	
5(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Kiro Home Fin	Kiro Homing	작업기 장치	작업기 구동	수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
4(ST Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	RUN Eco	RUN Eco	RUN Eco	RUN Eco	외결확인 Sen	UP Lim Sen	Open Sen	Close Sen	
3(ST Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Asia Eco	Asia Eco			수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
2	0	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
	End Device Num #?								
0	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Couple Fin?	Couple Run?	Couple En?	Couple Dis?	RUN Eco	RUN Eco	RUN Eco	RUN Eco	

ASIA NODE : #50부터									
ASIA 작업기(0X32)									
STATE DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0x1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit			MSB→		
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #50			AT/MT			Error Code		
6(CMD Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	Error
	CMD Eco	CMD Eco	CMD Eco	CMD Eco	CMD Eco	CMD Eco	CMD Eco	CMD Eco	
5(CMD Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Kiro Eco	Kiro Eco	작업기 장치	작업기 구동	수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
4(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Couple Up	Couple Down	Couple Close	Couple Open	외결확인 Sen	UP Lim Sen	Open Sen	Close Sen	
3(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Asia Home Fin	Asia Homing			수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
2	0	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
	End Device #? (Couple Fin 후 경신)								
0	0	1	2	3	4	5	6	7	
	CMD Eco	CMD Eco	CMD Eco	CMD Eco	Couple Fin	Couple Run	Couple En	Couple Dis	

<수동모드 및 작업기 탈/부착용 프로토콜>

* 수동모드 및 작업기 탈부착용 프로토콜

- : 발농업 로봇 플랫폼의 작업기 탈부착은 자동 및 수동모드로 이루어지며, 수동모드의 경우 외부의 유선 및 무선조종기에 의하여 모드 선택과 작업기의 구동을 테스트할 수 있는 프로토콜임
- : 수동 입력반은 플랫폼 제어기 박스에 유선으로 장착이 되며, 무선 조종기도 해당 기능과 같은 조작기능을 가지므로 통합제어기에서는 조종기에 따라 어떠한 신호가 들어오는지 인지함
- : 탈착모드에서는 작업기를 발농업 플랫폼에 장착 및 탈거시에 사용되며, 장착여부는 작업기에서 체결확인용 센서를 통하여 확인함
- : 안전하게 장착된 상태의 여부는 장착부의 열림/닫힘 센서를 통하여 계속적으로 통합 제어기로부터 확인함
- : 작업기 장착 전 발농업 로봇 플랫폼의 위치 확인 구동과 해당 작업이 완료됨에 따라 작업기도 위치확인 작업의 진행 및 장착이 가능한 상태로 만드는 구동과 모니터링도 확인이 가능함
- : 자동모드로 구동시에는 수동모드 및 작업기 탈/부착용 프로토콜에서 AT/MT 데이터가 설정이 되고 연결된 작업기의 세부장치인식용 번호를 확인하여 각 작업기의 프로토콜 영역에서 자동으로 호출과 응답, 명령과 상태를 알려주면서 각 상황에 대응하며, 상호 작동함

Command DATA FROM MASTER, DATA 길이 : 8(0x1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit			MSB→		
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #51			AT/MT			Error Code		
6(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	전진	후진	작업 불가 위치	작업 가능 위치	가/감속 중	정속 도달	장애물감지	반송 중	
5(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7	
					수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
4(ST Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	실린더 상승	실린더 하강	모터 ON/OFF	전진 가능	출력 Up	출력 Stable	출력 Down	과열	
3(ST Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
					수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
2	0	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	1	2	3	4	5	6	7	

STATE DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0x1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit			MSB→		
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #51			AT/MT			Error Code		
6(CMD Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	전진	후진	작업 불가 위치	작업 가능 위치	가/감속 중	정속 도달	장애물감지	반송 중	
5(CMD Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
					수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
4(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	실린더 상승	실린더 하강	모터 ON/OFF	전진 가능	출력 Up	출력 Stable	출력 Down	과열	
3(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7	
					수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
2	0	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	1	2	3	4	5	6	7	

<로타리 및 휴립 피복용 프로토콜>

★ 로타리, 휴립 피복용 프로토콜

- : 로타리와 휴립 피복작업은 같은 기구로 구동이 되기 때문에 동일한 프로토콜로 제어가 이루어짐
- : 인식된 작업기의 장치 번호를 확인하여 로타리 및 휴립 피복용 작업기임을 확인하고, 장착된 작업기 모터에 필요한 명령을 통합제어기에서 송부함
- : 통합제어기는 작업영역에 들어왔는지 확인하고 작업기 가능한 시점과 작업기에 어떠한 구동을 해야 하는지 명령 형태를 결정하여 정보를 구성함
- : 작업기 제어기에서는 해당 명령을 다시 재송부여, 수신된 명령을 증명하고, 각 구동부의 센서와 모터의 동작상태 값을 통해 정상 및 비정상여부를 표시해줌

Command DATA FROM MASTER, DATA 길이 : 8(0xbx1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit	MSB→				
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #52			AT/MT	Error Code			Error	
6(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	전진	후진	작업 불가 위치	작업 가능 위치	가/감속 중	정속 도달	장애물감지	반송 중	
5(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7	
					수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
4(ST Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	지연인식 Fin	지연 실시간	식부계산 완료	작업가능	이식 중	실린더 상	실린더 하		
3(ST Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
					수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
2(실속km/h)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	실속력 X 10(소수점 첫째자리까지 표현)								
1(식부 cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	식부 거리								
0	0	1	2	3	4	5	6	7	
	이식카운트의 Eco								

STATE DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0xbx1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit	MSB→				
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #52			AT/MT	Error Code			Error	
6(CMD Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	전진	후진	작업 불가 위치	작업 가능 위치	가/감속 중	정속 도달	장애물감지	반송 중	
5(CMD Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
					수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
4(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	지연인식 Fin	지연 실시간	식부계산 완료	작업가능	이식 중	실린더 상	실린더 하		
3(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7	
					수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
2(속력 Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	실속력 Eco								
1(식부 Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	식부 거리								
0	0	1	2	3	4	5	6	7	
	이식카운트								

<이식기 구동용 프로토콜>

★ 이식기 구동용 프로토콜

- : 이식기는 발농업용 로봇 플랫폼의 구동 속도와 작물 식간 거리간의 상관관계를 확인하여 로봇의 구동 정보와 이식 가능여부, 구동정보에 따른 식부계산 상태의 정보를 상호 확인함
- : 작업기는 노면과 이식기간의 노면 인식상태를 확인하고 노면에 따른 실린더 조절과 작물 이식 수량을 카운팅하여 통합제어기에 정보를 전달함

Command DATA FROM MASTER, DATA 길이 : 8(0xbx1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit	MSB→				
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #53			AT/MT	Error Code			Error	
6(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	전진	후진	작업 불가 위치	작업 가능 위치	가/감속 중	정속 도달	장애물감지	반송 중	
5(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	펌프 ON/OFF				수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
4(ST Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
				작업 가능	보충 필요	항크 Empty	항크 Middle	항크 Full	
3(ST Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	펌프 ON/OFF	Sol ON/OFF			수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
2(물량크 Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	원 항크 용량(L)								
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	1	2	3	4	5	6	7	

STATE DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0xbx1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit	MSB→				
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #53			AT/MT	Error Code			Error	
6(CMD Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	전진	후진	작업 불가 위치	작업 가능 위치	가/감속 중	정속 도달	장애물감지	반송 중	
5(CMD Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	펌프 ON/OFF				수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
4(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7	
				작업 가능	보충 필요	항크 Empty	항크 Middle	항크 Full	
3(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	펌프 ON/OFF	Sol ON/OFF			수동반 MT 입력	탈착 모드	리모트 모드		
2(물량크)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	원 항크 용량(L)								
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	1	2	3	4	5	6	7	

<방제기 구동용 프로토콜>

★ 방제기 구동용 프로토콜

- : 방제기는 작물이 있는 곳에 약을 분사해야하므로 로봇이 작업이 가능한지의 상태와 구동의 정보와 분사 명령을 작업기에 명령을 함
- : 작업기는 통합제어기로부터 전달 받은 구동 정보와 분사 명령을 확인하여 분사펌프의 작동과 분사노즐 밸브를 작동시키며, 사용된 약재의 양을 확인하여 보충 혹은 작업이 불가능한 시점을 통합제어기에 전달함

Command DATA FROM MASTER, DATA 길이 : 8(0bX1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit	MSB→				
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #54			AT/MT	Error Code			Error	
6(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	전진	후진	작업 불가 위치	작업 가능 위치	가/감속 중	정속 도달	장애물감지	반송 중	
5(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	실린더 상승	실린더 하강	Door Open	Door Close	수동반 MT 입력	탈락 모드	리모트 모드	반송	
4(ST Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
			작업 가능	Door Open Sen	Door Close Sen	상승 Lim Sen			
3(ST Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	실린더 상승	실린더 하강	Door Open	Door Close	수동반 MT 입력	탈락 모드	리모트 모드		
2(무게 ECO)	0	1	2	3	4	5	6	7	
				무게 kg					
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	1	2	3	4	5	6	7	

STATE DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0bX1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit	MSB→				
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #54			AT/MT	Error Code			Error	
6(CMD Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	전진	후진	작업 불가 위치	작업 가능 위치	가/감속 중	정속 도달	장애물감지	반송 중	
5(CMD Eco)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	실린더 상승	실린더 하강	Door Open	Door Close	수동반 MT 입력	탈락 모드	리모트 모드	반송	
4(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7	
			작업 가능	Door Open Sen	Door Close Sen	상승 Lim Sen			
3(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7	
	실린더 상승	실린더 하강	Door Open	Door Close	수동반 MT 입력	탈락 모드	리모트 모드		
2	0	1	2	3	4	5	6	7	
				무게(kg)					
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	1	2	3	4	5	6	7	

<운반기 구동용 프로토콜>

★ 운반기 구동용 프로토콜

- : 운반기는 작업자와 로봇이 같이 작업이 수행이 되며, 물건의 이/적재를 사람이 하며, 로봇은 이/적재에 따른 운반모듈의 위치 변경, 문의 열림과 닫힘에 대한 명령을 받음
- : 운반이 필요한 시점에서 반송 기능을 활성화 하여 물건이나 작물을 운송하게 됨
- : 통합제어기는 반송이나 이송 중에 장애물의 감지와 구동이 가능한 곳인지에 대한 상황을 작업기와 상호 정보를 공유하며, 운반기의 상/하강에 대한 명령을 받아 작업기에 전달함
- : 적재된 짐이나 작물의 무게를 확인하여 수확이나 운송량을 확일 할 수 있도록 정보를 제공함

Command DATA FROM MASTER, DATA 길이 : 8(0bX1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit	MSB→				
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #56			AT/MT	Error Code			Error	
6	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT1 Voltage Call(V)					
5	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT1 Current Call (I)					
4	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT2 Temperature Call(°C)					
3	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT2 Voltage Call(V)					
2	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT2 Current Call(I)					
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT2 Temperature Call(°C)					
0	0	1	2	3	4	5	6	7	
	BAT1 잔류 10%			BAT1 잔류 5%	BAT2 잔류 10%	BAT2 잔류 5%			

STATE DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0bX1000)									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit	MSB→				
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Device Num #56			AT/MT	Error Code			Error	
6	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT1 Out Voltage(V)					
5	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT1 Out Current(A)					
4	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT2 Temperature(°C)					
3	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT2 Out Voltage(V)					
2	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT2 Out Current(A)					
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
				BAT2 Temperature(°C)					
0	0	1	2	3	4	5	6	7	
	BAT1 잔류 10%			BAT1 잔류 5%	BAT2 잔류 10%	BAT2 잔류 5%			

<배터리 상태 프로토콜>

★ 배터리 상태 프로토콜

- : 배터리는 작업기 체결부에 위치하며, 로봇과 작업기의 구동, 각 제어기의 전원으로 배분되며, 2개의 고용량 배터리팩에서 공급됨
- : 통합제어기에서 배터리의 상태를 주기적으로 확인하여 로봇의 구동가능시간과, 충전을 위한 회기 시점을 결정함
- : 두 배터리 팩에서 전압과 전류, 온도수치 및 최저 전류 알람용 데이터 영역을 가짐

★ 자세제어 센서용 프로토콜 정의

- : 자세제어 센서는 크게 0점 설정, 센서 값 전달, 부가 센서 값 전달 3개의 프로토콜 영역으로 나누어서 사용함
- : 센서의 전원이 켜지면 우선적으로 0점 혹은 신호의 정의를 위해 로봇의 0점 조절 후 지면과, 지자기 센서의 값을 확인하여 0점과 오프셋 값을 저장하는 기능이 필요함

KIRO NODE #100										ANU NODE #30									
KIRO 제어기										안동대학교 SENSOR									
CALL DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0bx1000)										SEND DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0bx1000)									
Num of Byte	Num of Bit									Num of Byte	Num of Bit								
7	0	1	2	3	4	5	6	7		7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	디바이스 넘버			SP	DATA SHEET 0 CALL(0)						디바이스 넘버			SP	DATA SHEET 0 RETURN(0)				
6	0	1	2	3	4	5	6	7		6	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Error	Warning	Move	SP	Offset Fin(완료)	Offset Call	Home Fin(완료)	Motion Homing			Error	Warning	Move	SP	Offset Fin(완료)	Offset running	Sensor Call Fin	Sensor Call	
5	0	1	2	3	4	5	6	7		5	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Data Cycle(unit : msec)										Data Cycle Return(unit : msec)								
4	0	1	2	3	4	5	6	7		4	0	1	2	3	4	5	6	7	
	SP										SP								
3	0	1	2	3	4	5	6	7		3	0	1	2	3	4	5	6	7	
	SP										SP								
2	0	1	2	3	4	5	6	7		2	0	1	2	3	4	5	6	7	
	SP										SP								
1	0	1	2	3	4	5	6	7		1	0	1	2	3	4	5	6	7	
	SP										SP								
0	0	1	2	3	4	5	6	7		0	0	1	2	3	4	5	6	7	
	SP										SP								

<자세제어 센서 0점 설정용 프로토콜>

CALL DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0bx1000)										SEND DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0bx1000)									
Num of Byte	Num of Bit									Num of Byte	Num of Bit								
7	0	1	2	3	4	5	6	7		7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	디바이스 넘버			SP	DATA SHEET 0 CALL(10)						디바이스 넘버			SP	SP	점수 LEV	Error		
6	0	1	2	3	4	5	6	7		6	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Error	Warning	Move	SP	Offset Fin(완료)	Offset Call	Home Fin(완료)	Motion Homing			ROLL-점수 부								
5	0	1	2	3	4	5	6	7		5	0	1	2	3	4	5	6	7	
											ROLL-실수 부								
4	0	1	2	3	4	5	6	7		4	0	1	2	3	4	5	6	7	
											PITCH-점수 부								
3	0	1	2	3	4	5	6	7		3	0	1	2	3	4	5	6	7	
											PITCH-실수 부								
2	0	1	2	3	4	5	6	7		2	0	1	2	3	4	5	6	7	
											YAW-점수 부								
1	0	1	2	3	4	5	6	7		1	0	1	2	3	4	5	6	7	
											YAW-실수 부								
0	0	1	2	3	4	5	6	7		0	0	1	2	3	4	5	6	7	
											차고								

<자세제어 센서 값 전달용 프로토콜>

CALL DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0bx1000)										SEND DATA FROM SLAVE, DATA 길이 : 8(0bx1000)									
Num of Byte	Num of Bit									Num of Byte	Num of Bit								
7	0	1	2	3	4	5	6	7		7	0	1	2	3	4	5	6	7	
	디바이스 넘버			SP	DATA SHEET 1 CALL(11)						디바이스 넘버			SP	SP	점수 LEV	Error		
6	0	1	2	3	4	5	6	7		6	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Error	Warning	Move	SP	Offset Fin(완료)	Offset Call	Home Fin(완료)	Motion Homing			UTC-HH								
5	0	1	2	3	4	5	6	7		5	0	1	2	3	4	5	6	7	
											UTC-MM								
4	0	1	2	3	4	5	6	7		4	0	1	2	3	4	5	6	7	
											UTC-SS								
3	0	1	2	3	4	5	6	7		3	0	1	2	3	4	5	6	7	
											UTC-SSS								
2	0	1	2	3	4	5	6	7		2	0	1	2	3	4	5	6	7	
											LATITUDE-dd								
1	0	1	2	3	4	5	6	7		1	0	1	2	3	4	5	6	7	
											LATITUDE-mm								
0	0	1	2	3	4	5	6	7		0	0	1	2	3	4	5	6	7	
											LATITUDE-mm								

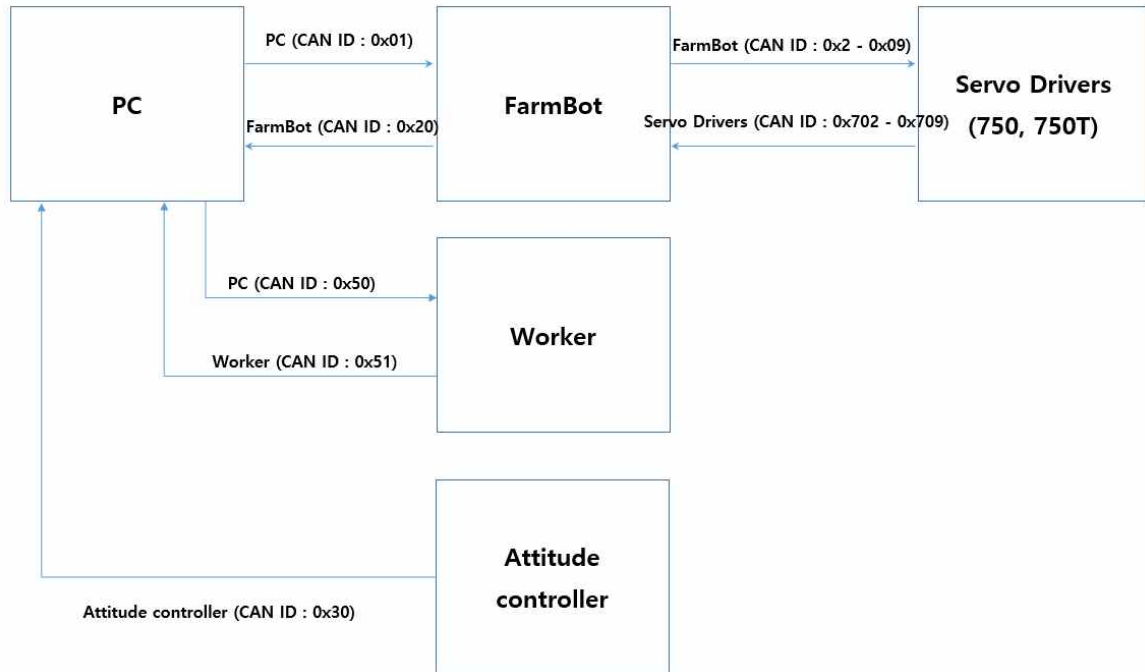
<자세제어 부가 센서 값 전달용 프로토콜>

- : 0점 세팅을 위하여 통합제어기는 로봇의 0점 조절 후 센서의 0점 세팅 구동을 명령하면, 센서는 해당 작업을 내부 작동 순서에 따라 수행과 완료에 대한 송부용 프로토콜을 활성화함
- : 0점 세팅이 완료된 후 센서 정보 전달용 프로토콜로 전환하여 통합제어기가 요구하는 차체의 기울기정보와 차고 정보의 데이터를 갱신 시간에 연속적으로 값을 올려줌
- : 추가적인 3번째 프로토콜은 통합제어기의 요청에 따라 부가 센서의 값을 송부해줌

– Model-2.2

★ 통신 네트워크 구성

- : 상용화 버전인 Model-2.2에서는 플랫폼의 구동(자세제어, 고도, 주행, 조향)을 임베디드 기반의 제어기를 하위 제어기로 구성하여 권한을 부여하였음
- : 그러므로 메인제어기에서 통신하는 데이터를 간소화할 수 있었음



<로봇 플랫폼 및 하위제어기 CAN 통신 네트워크 구성>

★ 상위/하위 제어기 간 CAN 통신 프로토콜

- : 메인제어기(PC) – 영상처리, 플랫폼 및 작업기 구동 판단
- : 플랫폼 구동 제어기(FarmBot) – 플랫폼 폭가변, 고도가변, 주행, 조향 제어
- : 작업모듈 제어기(Worker) – 작업모듈 6종 구동 제어
- : 자세제어모듈 제어기(Attitude Controller) – 자세제어 시스템 신호처리
- : 작업기 상세 제어부를 작업기 제어 모듈로 권한을 넘김으로써 로봇 메인제어부와 작업기 제어모듈과의 통신 프로토콜 간소화

KIRO NODE : #50									
PC (KIRO)									
Command DATA FROM MASTER DATA 길이 : 8									
작업기 프로토콜	Num of Byte	←USB		Num of Bit		MSG→			
	7	0	1	2	3	4	5	6	7
		Device Num #장치 장치			Error Code			Error	
	6(CMD & ST)	0	1	2	3	4	5	6	7
		AT	MT	HD(수동만)	이동중의 원동 (조기유지 이동) > 실링의 정상동 이동	자율제동(MT)	자율분리(MT)	작업중이(이식)로 하 > 기면인식(가시)를 원의(자율)로	EMO
	5(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7
		실링의 방향	실링의 방향	Couple Open/Close					카운터 리셋(이식)
	4(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7
		요격 ON/OFF(이식) (요격리)	원료 ON/OFF(원)	Sol 리 ON/OFF(원)	Sol 리 ON/OFF(원)	방치한 리 Open	방치한 리 Close	방치한 리 Open	방치한 리 Close
	3(CMD)	0	1	2	3	4	5	6	7
		실속력 X 10(소수점 첫째자리) (가시) (표현)							
	2(CMD&DATA)	0	1	2	3	4	5	6	7
		실속 거리(cm)(이식)							
	1(OT)	0	1	2	3	4	5	6	7
		가/감속률	정속 속도	작업 가능	연속작업				
	0(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7
		80C로의 속도제어 ADC (0 ~ 99 ~ 40-400)							

ASIA NODE : #51									
ASIA 작업기									
STATE DATA FROM SLAVE DATA 길이 : 8									
작업기 프로토콜	Num of Byte	←USB		Num of Bit		MSG→			
	7(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7
		Device Num #장치 장치			Error Code			Error	
	6(Ex)	0	1	2	3	4	5	6	7
		AT	MT	HD(수동만)	이동중의 원동 (조기유지 이동) > 실링의 정상동 이동	자율제동(AT/MT)	자율분리(AT/MT)	작업중이(이식)로 하 > 기면인식(가시)를 원의(자율)로	EMO
	5(ST&Data)	0	1	2	3	4	5	6	7
		실링의 방향	실링의 방향	Couple Open/Close					카운터 리셋(이식)
	4(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7
		요격 ON/OFF(이식) (요격리)	원료 ON/OFF(원)	Sol 리 ON/OFF(원)	Sol 리 ON/OFF(원)	방치한 리 Open Limit	방치한 리 Close Limit	방치한 리 Open Limit	방치한 리 Close Limit
	3(DATA&ST)	0	1	2	3	4	5	6	7
		작업중이(이식)로 하 > 기면인식(가시)를 원의(자율)로	자율제동원동	자율분리원동	이동중의 원동(조기유지 이동) > 실링의 정상동 이동	작업중이(이식)로 하 > 기면인식(가시)를 원의(자율)로	실링의 정상동으로	요격(가시)로	요격(이식)로
	2(DATA)	0	1	2	3	4	5	6	7
	1(DATA)	0	1	2	3	4	5	6	7
		이식(이식)로							
	0(ST)	0	1	2	3	4	5	6	7
		80C로의 속도제어 ADC (0 ~ 99 ~ 40-400)							

< PC ↔ ASIA 작업모듈 제어기 프로토콜 >

KIRO NODE : #1									
PC (KIRO)									
Command DATA FROM MASTER DATA 길이 : 8									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit		MSB→			
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
6	0	1	2	3	4	5	6	7	
5	0	1	2	3	4	5	6	7	
4	0	1	2	3	4	5	6	7	
3	0	1	2	3	4	5	6	7	
2	0	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	1	2	3	4	5	6	7	

KIRO NODE : #20									
Farm-bot controller									
Command DATA FROM SLAVE DATA 길이 : 8									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit		MSB→			
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
6	0	1	2	3	4	5	6	7	
5	0	1	2	3	4	5	6	7	
4	0	1	2	3	4	5	6	7	
3	0	1	2	3	4	5	6	7	
2	0	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	1	2	3	4	5	6	7	

< PC ↔ FarmBot 제어기 프로토콜 >

KIRO NODE : #30									
Attitude controller									
Command DATA FROM SLAVE DATA 길이 : 8									
Num of Byte	←LSB			Num of Bit		MSB→			
7	0	1	2	3	4	5	6	7	
6	0	1	2	3	4	5	6	7	
5	0	1	2	3	4	5	6	7	
4	0	1	2	3	4	5	6	7	
3	0	1	2	3	4	5	6	7	
2	0	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	1	2	3	4	5	6	7	

< PC ↔ Attitude controller 프로토콜 >

* 통신 Signal Description (PC ↔ 하위 제어기)

: 플랫폼 주행을 위한 조향, 주행속도, 가변 단계, 고도 수평 유지 여부 신호

: 각 명령별 16Byte 할당으로 추후 기능 확장 가능

Signal Description(PC)

Name	Message	Length	Byte Order	Value Type	Comment
Req_Driving_Mode_Control	PC	4	Intel	Unsigned	PC to FarmBot 요청 : 구동 방향 설정 (전진/후진/정지)
Req_Driving_Speed_Control	PC	4	Intel	Unsigned	PC to FarmBot 요청 : 구동 속도 설정 (속도1/속도2/속도3)
Req_Height_Control	PC	4	Intel	Unsigned	PC to FarmBot 요청 : 고도 가변 설정 (고도1/고도2/고도3)
Req_Height_Homing	PC	1	Intel	Unsigned	PC to FarmBot 요청 : 고도 Align (Homing 모드)
Req_Steering_Homing	PC	1	Intel	Unsigned	PC to FarmBot 요청 : 조향 Align (Homing 모드)
Req_Width_Homing	PC	1	Intel	Unsigned	PC to FarmBot 요청 : 폭 Align (Homing 모드)
Req_Steering_Angle_Control	PC	4	Intel	Unsigned	PC to FarmBot 요청 : 조향 각도 설정 → 일반 조향 모드 시 (Left 10 / Left 5 / Zero / Right 5 / Right 10)
Req_Steering_Mode_Control	PC	4	Intel	Unsigned	PC to FarmBot 요청 : 조향 모드 설정 (일반조향/회전CCW/회전CW/휠이동Left/휠이동Right)
Req_Wheel_Mode_Control	PC	4	Intel	Unsigned	PC to FarmBot 요청 : 바퀴 모드 설정 (2WD/4WD/2WS)
Req_Width_Control	PC	4	Intel	Unsigned	PC to FarmBot 요청 : 폭 가변 설정 (폭1/폭2/폭3)

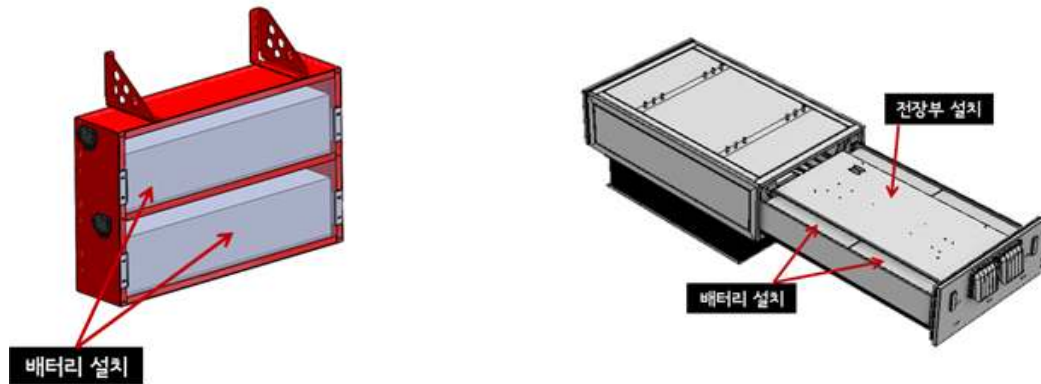
Signal Description(FarmBot)

Name	Message	Length	Byte Order	Value Type	Comment
Res_Driving_Mode_Control	FarmBotController	4	Intel	Unsigned	FarmBot to PC 응답 : 구동 방향 상태 (전진/후진/정지)
Res_Driving_Speed_Control	FarmBotController	4	Intel	Unsigned	FarmBot to PC 응답 : 구동 속도 상태 (속도1/속도2/속도3)
Res_Height_Control	FarmBotController	4	Intel	Unsigned	FarmBot to PC 응답 : 고도 가변 상태 (고도1/고도2/고도3)
Res_Height_Homing	FarmBotController	1	Intel	Unsigned	FarmBot to PC 응답 : 고도 Align 완료 (Homing 모드)
Res_Steering_Homing	FarmBotController	1	Intel	Unsigned	FarmBot to PC 응답 : 조향 Align 완료 (Homing 모드)
Res_Width_Homing	FarmBotController	1	Intel	Unsigned	FarmBot to PC 응답 : 폭 Align 완료 (Homing 모드)
Res_Steering_Angle_Control	FarmBotController	4	Intel	Unsigned	FarmBot to PC 응답 : 조향 각도 상태
Res_Steering_Mode_Control	FarmBotController	4	Intel	Unsigned	FarmBot to PC 응답 : 조향 모드 상태 (일반조향/회전CCW/회전CW/휠이동Left/휠이동Right)
Res_Wheel_Mode_Control	FarmBotController	4	Intel	Unsigned	FarmBot to PC 응답 : 바퀴 모드 설정 (2WD/4WD/2WS)
Res_Width_Control	FarmBotController	4	Intel	Unsigned	FarmBot to PC 응답 : 폭 가변 상태 (폭1/폭2/폭3)

<Signal Description>

나) 플랫폼과 작업모듈 구동배터리 통합

- Model-2.1

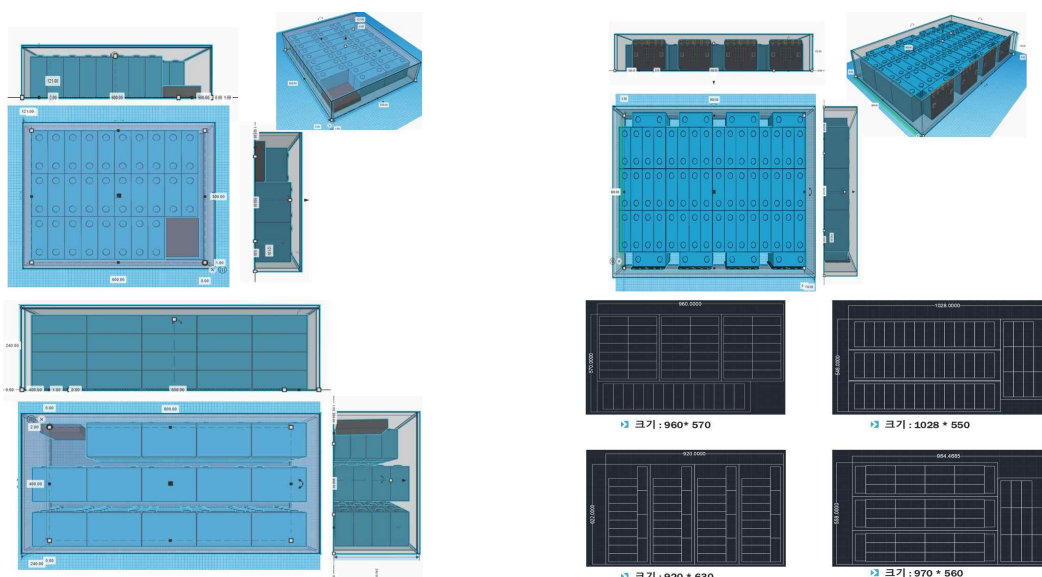


<변경 전(좌), 변경 후(우)의 배터리 시스템>

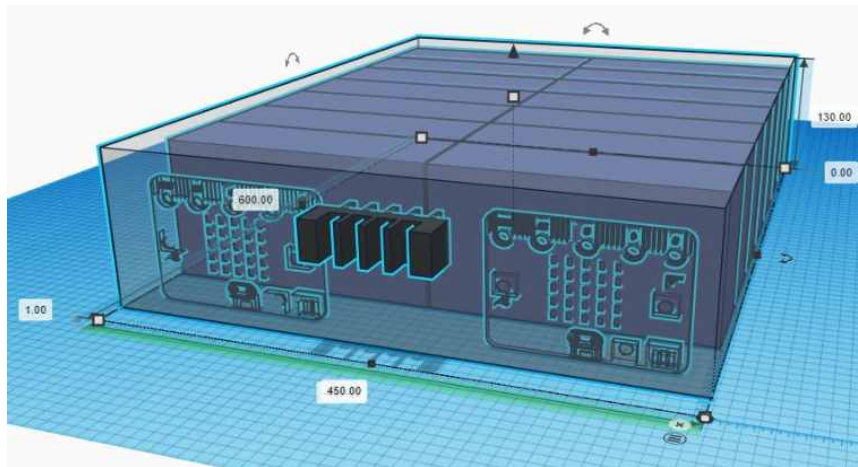
*구동 및 작업기 배터리 통합

- : 배터리는 무게와 효율을 위하여 Li-Ion 배터리를 사용하며, 최대 7C 방전율을 가진 배터리 세를 사용하여 구동 전원을 공급함
- : 이전 배터리의 구성은 작업기와 로봇의 구동 전원부를 나누어 각각의 배터리를 장치에 두었으며, 로봇구동용 400Ah, 작업기 100Ah 통합 500Ah 용량을 설치하였으나, 각 배터리의 설치공간이 분리되며, 각 케이스가 제작되면서 공간과 무게의 증가요인으로 작용함
- : 로봇 구동용 배터리의 장착위치가 좌/우 전장박스의 하단부에 위치하면서, 로봇의 구동시 상/하 지상고가 작아지고 장애물이나 노면에 저항으로 발생하는 문제가 발생함
- : 문제 사항을 고려하여 배터리를 제어기와 구동부의 최단 거리이면서, 로봇의 무게중심을 크게 이동시키지 않는 가운데, 즉 작업기가 위치하는 곳에 이동 배치 및 전원 통합 형태로 변경함

*배터리 통합을 위한 최적 셀 배치 설계 및 제작



<배터리 용량을 고려한 셀 배치 설계>



<최종 통합 배터리 셀 배치 및 구성>

- * 한정된 공간에 로봇과 작업기의 구동전원을 확보하기 위하여 배터리 셀의 선정과 셀의 배치를 다양한 방향으로 적용하여 최적 배치와 공간을 확보함
- * 최종 배터리 셀은 기존 100Ah셀에서 238Ah용량, 방전율은 5C의 셀로 변경하고 2개의 팩으로 분리하여 배터리 셀의 무게로 인한 케이스의 보강을 최소화하여 제작함
- * 배터리 케이스 내부에는 배터리 셀과 BMS(Battery Management System)가 위치하며, 최종 출력과 충전을 위한 단자가 외부에 위치함

SKU/EAN13	11022067235
Battery Designation	4IQpH27/63-8
Height (mm)	102.30 / 118.30
Diameter (mm)	
Width (mm)	220.35
Thickness (mm)	67
Energy (Wh)	846
Nominal voltage (V) at 50% SoC, 0.2C discharge	3.7
Charge method	CCCV
Charge voltage (V)	4.2~4.25
Max. charge current (A)	240
Rated capacity (Ah)	240
End-of-discharge voltage at max. 5C (V)	8
Max. continuous discharge current (A)	720
Discharge pulse current (A) (1 second)	1680A (7C)
EqPb (Equals Lead acid battery)	350 to 500Ah
Operating temperature range	-15°C to +60°C
Storage temperature range short term (1 month)	-20°C to +45°C
Storage temperature long term (>1 month)	-10°C to +25°C
Cycle life at 1C charge/discharge	>1300
Cycle life at C3 charge/discharge	>2500
Weight	3.264kg

<플랫폼 전원 배터리 셀 사양표>

- Model-2.2

* 사용시간 및 소비전력을 고려한 배터리 선정

: 정량적 목표로 설정되어 있는 로봇 구동시간 및 각 구동 모터, 전장부품의 소비전력을 고려하여 배터리 제품을 선정하였음

: 또한 CAN 통신 네트워크를 지원하여 메인 제어기에서 배터리의 잔량 및 이상 상황을 상시 모니터링 할 수 있도록 하였음

리튬전지/충전기 용량 계산							
주거 : 본 계산서는 AGV(전기차) 에 적용되는 모터 용량이 최적화된 값이라는 전제 조건으로 만든 것입니다. 만약 모터용량이 AGV 구동 패턴에 비해 충분히 큰 것을 채용했다면 배터리 용량이 과다하게 계산될 수 있습니다.							
노랑색 셀 : 이 셀에 값을 입력하면 자동 계산됨.							
주황색 셀 : 이 셀은 고급 설계자를 위한 값이며 파라메터를 변경할 수 있음.							
배터리 용량 산정 공식 : $Wh = (W_{Motor} \times L_f) \times H \times Op / Ba \times Sf$							
항목 :	소항목	주거	(1) 주행 모터 총용량 (W)	(2) 방향제어 전용 모터 총용량 (W)	(3) Up/Down 모터 (유압모터 등) 총용량 (W)	(4) 기타 부하 총용량 (WL)	총부하 평균 소모 전력 ($W_{motor} \times L_f$)
설명 :	특징 :	용도 :	주행 중 상시 구동	케브 블리만 구동	Up/Down시만 간헐적 구동	일반 콘트롤 전원 등	
기호 :	모터 가동률 (Op_motor) (참고)	주행모터 가동시간 대비 가동률	1	주행모터 대비 30%	주행모터 대비 20%	AGV 가동시 상시 소모 (100%)	
설계자 입력 항목(노랑 셀)	(a) 정격용량 (W) :	적용 모터사양서상 정격 출력 (W)	1,000	800	800	200	모터 총 정격용량 합 = 2,800 (W)
	(b) 모터 가동률 (Op_motor)	기본 참고 값 →	1.00	0.2~0.3	0.1~0.2		예를 들어 (1)주행모터가 1시간 구동시(30Up/Down모터)는 0.2시간만 구동하는 구동 패턴이라면 → (30Up/Down모터)에 입력되는 값은 0.2
	(c) 모터 평균 부하율 (Lf)	기본 참고 값 →	0.4~0.6	0.4~0.6	0.80	1.00	예를 들어 (1)주행모터가 1000W짜리 모터라면 가동시 최대 1000W까지 소모될 수도 있지만 가동기간을 거쳐 정상 속도에 도달하면 60% 전력만(600W) 소비한다면 0.6입력
	(D) 평균 소모 전력 $W_{motor} \times L_f$ (= a+b+c)	최대 출력대비 평균 소모율	0.50	0.40	0.40	0.70	$W_{motor} \times L_f = 554 (W)$
* 모터 선정시 주의 : (3) Up/Down 모터 (유압모터 등) 는 반드시 BLDC 모터와 같이 가감속이 가능한 모터를 사용해야 합니다. 그렇지 않을 경우 구동시 기동시 기동전류가 과하게 되어 리튬전지가 과전류 차단이 될 수 있기 때문입니다.							
이하 : AGV 구동 조건 입력 항목							
설계자 입력 항목(노랑 셀)	H (시간)	1회 충전으로 가동하고자 하는 시간 입력	일반적인 자동차와 시스템에서는 H = 5 이상으로 설계합니다. → 설계시 8시간으로 권장함. (자동차와 시스템 효율성을 감안한 값임, 이 값이 작으면 적용수력 배터리 수명이 비례적으로 줄어듭니다.)				(H) = 8 (시간)
설계자 입력 항목(노랑 셀)	Op (%)	연속구동시 : 100% 대기시간 감안시 : 보통 60~70%	* 연속 구동시간으로 배터리 용량을 계산하고 하는 경우 : 1을 입력 * 대기 시간까지 포함된 시간으로 배터리 용량을 계산하고자 하는 경우 : 보통 0.6 ~ 0.7				(Op) = 1
이하 : 배터리 사용률 입력 항목							
설계자 입력 항목(노랑 셀)	Ba (%)	배터리 이용률	* 최저전압 : 배터리 잔량 15% 남기고 충전하러 충전소에 이전해 주라 → 최저전압 15%를 기본으로 계산 * 배터리의 최대 충전률 : 충전기 충전전압 값에 따라 80% 충전 및 90% 충전, 자동차 시스템에서는 일반적으로 80%		최저 잔량	배터리 최대 충전률 (0.8 또는 0.9)	자동계산 ↓ (Ba) = 0.8
이하 : 배터리 사용률 입력 항목							
설계자 입력 항목(노랑 셀)	Sf	안전계수	* 일반 안전계수 및 내용 연수에 따른 배터리 충전용량 감소를 감안한 값 : 1.2~1.3을 입력.				(Sf) = 1.2
배터리 적정 용량			$Wh = (W_{Motor} \times L_f) \times H \times Op / Ba \times Sf$			자동 계산 :	필요 용량 (Wh) = 6,648

<배터리 선정 계산표>

: 배터리는 50v전원에 전류용량 70Ah 제품을 선정하였고, 배터리팩 2set을 병렬연결하여 7,060wh의 용량으로 설계함

: 안전계수 1.2, 충전률 65%로 지정하여 외부 환경에 의한 오차율도 충분히 감안하였음

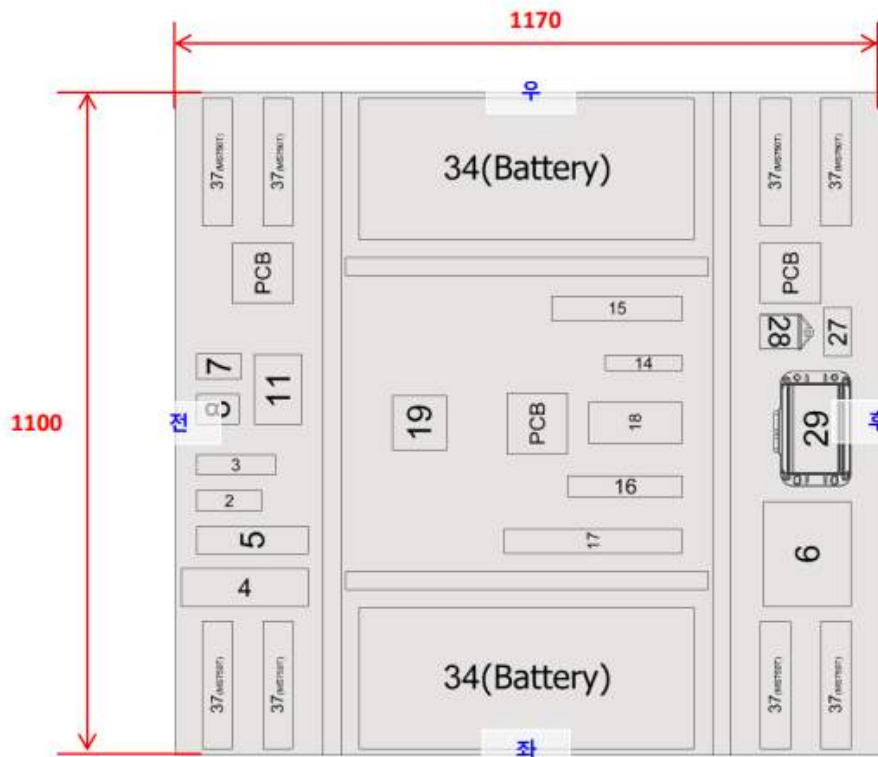


색인 번호	제품 형명 (주문 번호)	인증	적용 BLDC 모터 출력(W) Soft_Start (ΔT ≥ 1.5 초)		배터리 에너지 (Wh)	방전 전류		충전 전류 / 충전기		무게, 크기		통신출력
			(AGV 주행모터) 최대출력 간헐적발생 시	(수직이송, 유압모터) 최대출력 *주파유압모터 직입시동 불가		순간최대 방전전류 (A) 1.5 초	허용방전 최대 전류(A)	허용충전 최대전류(A) (C_Rate)	타보스 충전기 권장 최대용량 (저전류 수명증대)	무게 (Kg)	크기 형변 (케이스 도면)	
50V-16	LM-MOTOR-50V-70AH-X4COM	CE,UN	3200	1920	3,530	140	90	53 (0.75C)	1500W(25A) 3000W(50A)	20.5	X4COM	BMS 통신

< Mode-2.2 적용 배터리 >

★ 통합 배터리 적용 및 전장부 공간 단일화

- : Model-2.1 로봇은 메인전장부, 각 축 주행, 조향 모터 전장부, 배터리/작업기 구동 전장부 총 4종으로 구분되어 로봇에 적용되어 있음
- : 이와 같은 구성은 로봇의 성능(노이즈 개선 등)에는 적합한 구조이나, 추후 상품화에 있어서는 조립 및 A/S의 어려움, 단가 상승은 요인으로 불리함
- : Model-2.2 버전은 상용화를 염두해두고 개발한 시제품이므로 분리되어 있던 전장부를 하나의 전장부로 모두 통합하여 구성하였음



< Model-2.2 전장 배치 전면부 레이아웃 >

○ 주행제어 기술 개발

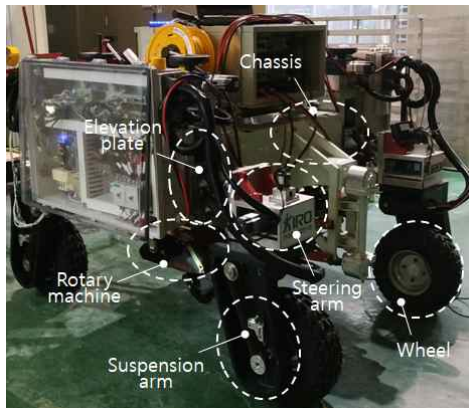
가) 작업기 특성을 반영한 자율주행 발농업 로봇의 모델기반 제어 검증

- 플랫폼 주행

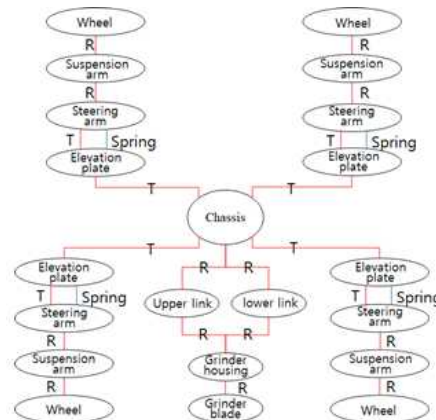
* 발농업 로봇의 다물체 동역학 모델링

: 개발된 모듈형 자율주행 발농업로봇은 아래 그림과 같이 차체, 상승판, 조향암, 서스펜션암, 구동휠로 구성되어 있고, 추가로 로터리작업기가 연결되어 있음. 특징은 4개의 독립 구동형 주행 휠과 조향 휠이 각각 차체와 서스펜션암에 연결되어 있음. 또한 차체의 자세를 일정하게 유지시키기 위하여 각 모서리 수직방향 위치한 상승판을 제어하는 자세제어 모터가 연결되어 총 12개의 구동기가 연결되어 있음

: 다물체동역학 모델링을 위하여 아래 그림 (오른쪽)과 같은 토폴로지를 구성하였음. 총 21개의 물체와 8개의 병진조인트, 13개의 회전조인트로 정의 되었음. 여기서 구동부 및 서스펜션이 연결된 서브시스템 4개가 똑같은 구조로 구성되어 있는 것을 확인 할 수 있음. 하나의 서브시스템은 12자유도로 설계되었고, 차체와 로터리기계의 자유도를 고려하면 개발된 다물체 동역학 모델은 총 21자유도를 가지고 있음



< 발농업 로봇 >



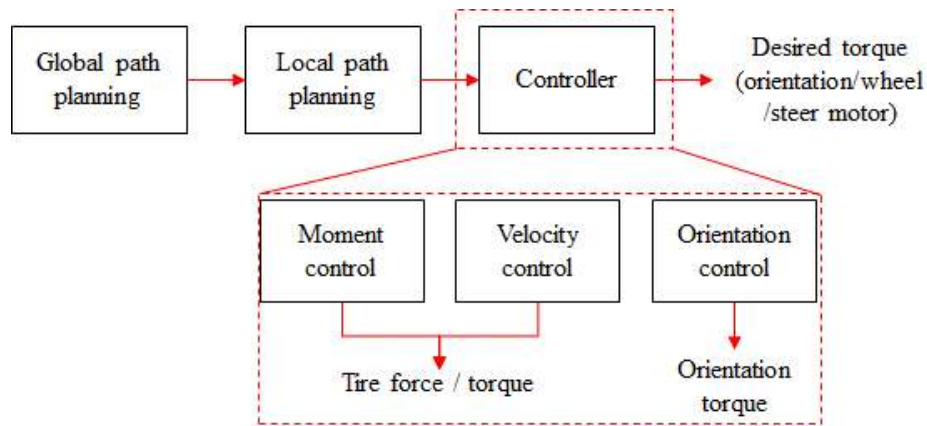
<3차원 다물체 동역학 모델링을 위한 토폴로지 >

: 또한 각 물체의 질량 및 관성 정보와 힘 요소 정보는 아래 표와 같음

	Mass (kg)	Moment of inertia (kgm ²)
Chassis	321.29	$I_{xx}=137.23, I_{yy}=20.80, I_{zz}=142.91$
Elevate plate	6.05	$I_{xx}=5.56, I_{yy}=3.5, I_{zz}=2.21$
Suspension arm	30.15	$I_{xx}=2.48 \times 10^{-3}, I_{yy}=2.48 \times 10^{-3}, I_{zz}=9.95 \times 10^{-4}$
Housing	18.28	$I_{xx}=1.23 \times 10^{-2}, I_{yy}=6.2 \times 10^{-3}, I_{zz}=6.2 \times 10^{-3}$
Wheel	100.0	$I_{xx}=2.6, I_{yy}=2.6, I_{zz}=2.6$
Rotary - L/U arm	1.32	$I_{xx}=2.78 \times 10^{-3}, I_{yy}=2.49 \times 10^{-3}, I_{zz}=1.34 \times 10^{-3}$
Rotary - housing	30.00	$I_{xx}=1.64, I_{yy}=1.47, I_{zz}=0.53 \times 10^{-3}$
Rotary - blade	7.78	$I_{xx}=0.22, I_{yy}=0.22, I_{zz}=6.83 \times 10^{-2}$
	Spring stiffness (N/m)	Damping coef. (N/m/s)
Spring-Damper (suspension)	1.0E+008	1.0E+004
Spring-Damper (Tire contact)	250000	10000
Grinder-Ground	1.0E+007	20.0
Rotation spring damper	600.0(Nm/rad)	50(Nms/rad)

★ 자율주행제어 알고리즘 구성

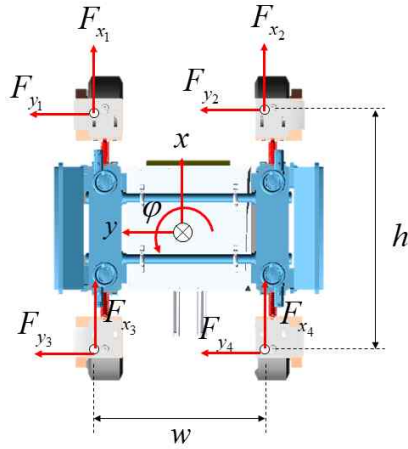
- : 발농업 로봇의 자율주행 알고리즘 구성은 아래 그림과 같이 구성하였음. 우선 작업 전 지시되는 전역경로계획에 대한 입력이 있고, 발농업 로봇이 이동하면서 장애물 회피 및 위치 오차 보정을 할 수 있도록 로컬경로계획이 있음.
- : 이 결과에서부터 로봇이 로컬 경로 위치값과 (오차 포함), 주행속도, 노면 값이 제어기 쪽에 인가되게 됨.
- : 개발된 제어기는 해당 상황을 이용하여 주행제어모터, 자세제어모터, 조향각 제어 모터의 토크값을 각각 계산하게 됨.
- : 이때 제어기는 각각 모멘트제어기와 속도 및 자세 제어기가 포함되어 있음



< 자율주행 제어 블록 다이어그램 >

★ 차량 모멘트 및 속도 제어 기구학

- : 차체의 회전 방향(yaw)에 대한 오차 보정을 위하여 제어 모멘트를 추정하고 그 값을 제어하기 위한 타이어력을 계산하는 방식을 채택하였음. 아래 그림과 같은 4휠 구조의 발농업 로봇의 제어 모멘트는 식(1)과 같이 표현할 수 있음.
- : 여기서, I_{zz} 는 차체의 관성모멘트, e_ψ , \dot{e}_ψ 는 회전 오차 및 속도 오차, K_ψ^p , K_ψ^d 는 각각 게인 값을 의미함
- : M_d 는 외부 힘에 의해 발생하는 외란 모멘트로 식 (2)와 같이 정의 할 수 있음. 여기서 F_x , F_y 는 각 타이어에서 발생하는 종방향, 횡방향 힘이고, w , h 는 축거, 축간 거리를 의미함
- : M_b 는 로터리작업기에 의해서 발생하는 외란을 의미함. 로터리 작업기는 독립적으로 구동되며, 블레이드의 회전속도는 제어 범주가 아님. 여기서는 블레이드의 회전속도에 따른 종방향 반력을 추정하였음. 회전에 대한 운동에너지는 $T\Delta\theta = 0.5I_y\omega^2$ 와 같이 표현할 수 있으며 식(3)과 같이 블레이드의 회전속도(ω_b)와 노면과의 접촉되는 날과 중심까지의 거리 (l_i)로 관한 식으로 표현할 수 있음.
- : 여기서 $\Delta\theta$ 는 각 블레이드와 노면이 접촉되는 회전각으로 본 논문에서는 30deg로 설정하였음. 총 블레이드는 8개로 되어 있음
- : 차량의 속도 제어는 식(4)와 같이 타이어의 종방향에 의한 제어 가능 종방향 힘을 추정하고, 오차를 보정하도록 설계하였음



< 발농업로봇의 벡터 정의 >

$$M_c = I_{zz} \left(K_{\phi}^d \ddot{\phi} + K_{\phi}^p e_{\phi} \right) - M_d - M_b \quad \text{-----}(1)$$

$$M_d = \frac{h}{2} F_{y1} + \frac{w}{2} F_{x1} + L - \frac{h}{2} F_{y4} + \frac{w}{2} F_{x4} \quad \text{-----}(2)$$

$$M_b = 2 \sum_{i=1}^4 F_{x_i} l_i \quad \text{-----}(3)$$

where,

$$F_x = \frac{0.5 \cdot I_y \omega_v^2}{R_b \Delta \theta}, R_b = 0.016m, \Delta \theta \approx \pi / 6 \text{rad}$$

$$F_{x_d} = m \left(K_v^i \int e_v dt + K_v^p e_v \right) \quad \text{-----}(4)$$

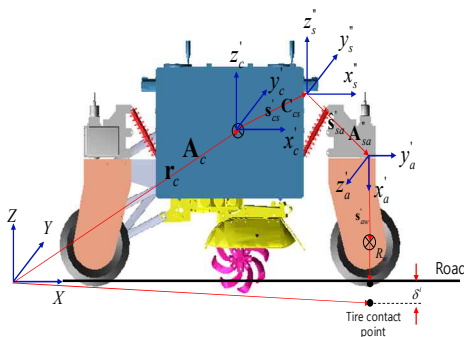
where,

$$e_v = \dot{x}_d - \dot{x}_v, \dot{x}_v = K_v^p e_v + K_v^i \int e_v dt$$

* 타이어력 분배

: 타이어의 현재 상태를 고려하여 필요한 타이어력을 분배하기 위해서 개발된 알고리즘을 기술함. 4휠에 대한 종방향 타이어력을 수직방향 수직방향힘을 고려한 최적화 식(5)를 통해서 식 (6)을 얻을 수 있음

: 여기서, 계산된 종방향 타이어력은 $T^i = R_w F_x^i$ 으로 휠 토크로 환산됨. 여기서, 식 (8)을 계산하기 위해서는 매 스텝마다 수직방향 타이어력을 추정해야만 함. 수직방향 타이어력을 추정하기 위해서 아래 그림과 같은 기구학적 관계를 정의하였음. 식 (7)과 같이 타이어가 변형될 수 있는 변형을 추정할 수 있음. 또한 추정된 변형값을 이용하여 $\hat{F}_{z_i} = K \delta^i$ 를 통해 식 (6)의 수직방향 힘을 추정할 수 있음. 여기서, K_i 는 타이어의 수직방향 강성계수를 의미함. 여기서, A_c 행렬은 $x-y-z$ 좌표에서 $x'_c - y'_c - z'_c$ 사이의 좌표변환 행렬을 의미하고, C_{cs} 는 상수항으로 $x'_c - y'_c - z'_c$ 좌표에서 $x'_a - y'_a - z'_a$ 사이의 좌표변환행렬, s_{cs}^i 벡터는 상수항으로 $x'_a - y'_a - z'_a$ 좌표에서 $x'_a - y'_a - z'_a$ 까지의 거리 벡터, R_w 는 타이어의 반지름을 의미함. K_{tire} 는 타이어의 수직방향 강성 계수를 의미함



$$J = \sum_{i=1}^4 \left[\frac{(F_{x_i})^2}{(\hat{F}_{z_i})^2} \right], \quad \frac{\partial J}{\partial F_{x_i}} = 0 \quad \text{-----}(5)$$

$$\begin{bmatrix} 2W_1 / \hat{F}_{z_1}^2 + 2 / \hat{F}_{z_3}^2 & 0 \\ 0 & 2W_2 / \hat{F}_{z_2}^2 + 2 / \hat{F}_{z_4}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{x_d}^1 \\ F_{x_d}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{x_d} / \hat{F}_{z_3}^2 - 2M_c / \hat{F}_{z_3}^2 l_w \\ F_{x_d} / \hat{F}_{z_4}^2 + 2M_c / \hat{F}_{z_4}^2 l_w \end{bmatrix} \quad \text{-----}(6)$$

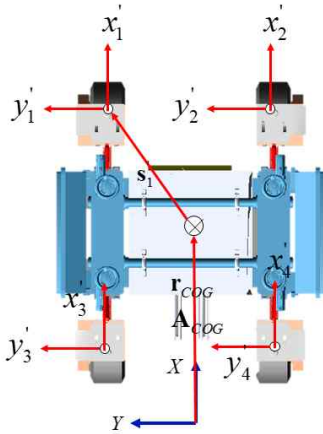
$$\delta^i = [r_c + A_c s'_{cs} + A_c C_{cs} \hat{s}'_{sa} + A_c C_{cs} A''_{sa} s'_{aw}]_3 \quad \text{-----}(7)$$

< 타이어 수직력 계산을 위한 벡터 정의 >

★ 자세제어 기구학

: 발농업 로봇은 하면에 위치한 로터리작업기의 성능을 확보하기 위하여 일정한 속도로 이동해야하는 것 뿐만 아니라 차체의 일정한 자세 유지가 필요함. 이를 위하여 차체 모서리에 수직으로 이동하는 상승판이 위치하고 있고, 모터제어를 통하여 차체와 서스펜션암 사이의 로컬 위치 값을 조절해줌. 이 조절을 위해서는 차체의 자체자세값부터 각 지점의 위치 값을 추정하여, 오차 제어하는 식 (8)과 같이 개발하였음

: 여기서 e_i^z, \dot{e}_i^z 는 각 모서리의 위치 및 속도 오차로 식 (9)와 (10)과 같이 계산할 수 있음. 여기서 ϕ, θ 는 롤 및 피치 각임



$$\eta_i = K_i^p e_i^z + K_i^d \dot{e}_i^z \quad (\text{for } i=1,2,3,4) \quad \text{-----}(8)$$

where,

$W_i K_i^d < K_i^p$, W_i : damping coefficient(always positive)

$$e_i^z = [A_{COG} s_i']_z \quad (\text{for } i=1,2,3,4) \quad \text{-----}(9)$$

where,

$$P_i = r_{COG} + A_{COG} s_i'$$

$$A_{COG} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix}$$

$$\dot{e}_i^z = [B(\theta)A(\phi)s_i'\dot{\theta} + A(\theta)B(\phi)s_i'\dot{\phi}]_z \quad (\text{for } i=1,2,3,4) \quad \text{-----}(10)$$

where,

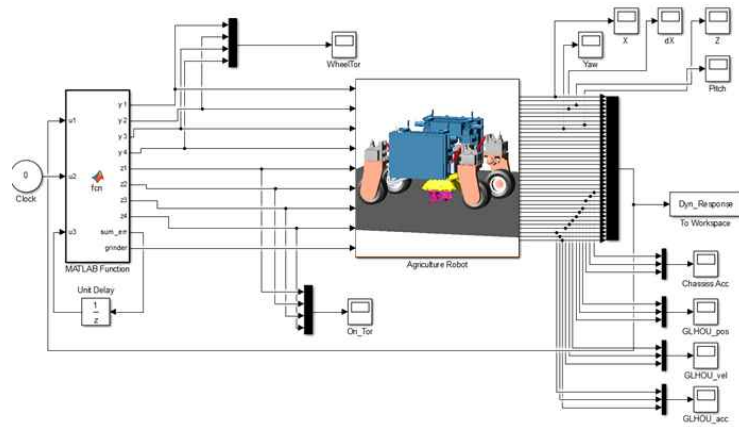
$$B(\theta) = \begin{bmatrix} -\sin \theta & 0 & \cos \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\cos \theta & 0 & -\sin \theta \end{bmatrix}, \quad B(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin \phi & -\cos \phi \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \end{bmatrix}$$

< 타이어 수직력 계산을 위한 벡터 정의 > $\delta^i = [r_c + A_c s_{cs}' + A_c C_{cs} \hat{s}_{sa}' + A_c C_{cs} A_{sa}'' s_{aw}']_3 \quad \text{-----}(11)$

★ 연성해석 모델링

: 앞서 개발된 속도제어/자세제어/모멘트제어를 포함하는 자율주행제어 알고리즘을 다양한 해석 기반의 검증을 수행하였음. 이를 위하여 앞서 설명된 로터리 작업기가 연결된 발농업 로봇의 3차원 다물체 동역학 모델과 자율주행제어 알고리즘을 연성하는 해석 모델을 개발하였음

: 이 해석에서는 다물체 동역학 모델은 ADAMS 내에 포함된 HHT 적분기를 선정하여 수치적으로 안정된 해를 도출시키도록 하였고, Matlab 환경에서는 로터리의 회전속도에 대한 제어기 성능평가를 위한 인터페이스 부분을 개발하였음. 여기서, ADAMS의 입력으로 구동모터, 자세제어모터, 조향 모터 및 로터리 회전 속도가 입력되고, ADAMS의 출력으로는 차체의 병진 방향 위치, 속도, 회전 방향의 롤 각, 피치 각, 요 각, 롤 각속도, 피치 각속도, 요 각속도를 출력함. 이 값들은 추후 실제 시스템에 적용하기 위해서 반드시 예측되어야 하는 값임

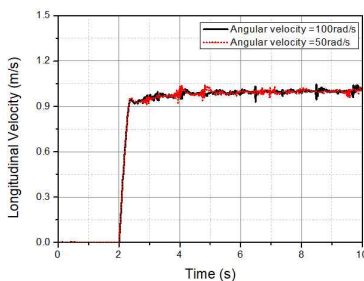


< 타이어 수직력 계산을 위한 벡터 정의 >

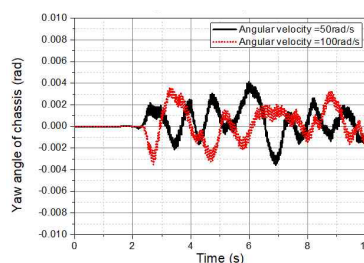
* 일반노면의 직진주행성 해석

: 일반 평지노면에서의 직진주행해석을 통하여 로터리 작업기의 회전 속도에 대한 직진 및 속도 추종성에 대해서 검토하였음. 해석조건에는 블레이드의 회전속도를 50rad/s와 100rad/s 로 구동시키며, 주행해석을 수행하였음. 이때 인가된 종방향 속도는 1m/s이고 자세 유지를 0도로 하였음. 해석의 수치안정성을 높이기 위하여 동적평형상태인 2초에서 시작됨.

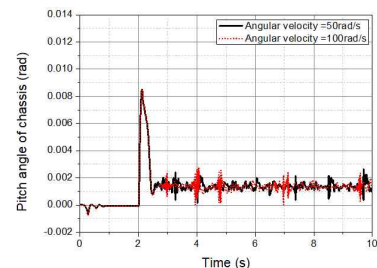
: 아래 그래프는 차체의 종방향 속도와 피치와 요각을 각각 보여줌. 블레이드 회전에 종방향 속도가 1m/s 부근에서 동작함을 보였고, RMS오차 약 0.11m/s로 확인되었음. 블레이드 구동에 상관없이 유사한 결과를 보였음.



< 종방향 차량 속도 >



< 차체의 피치각 >



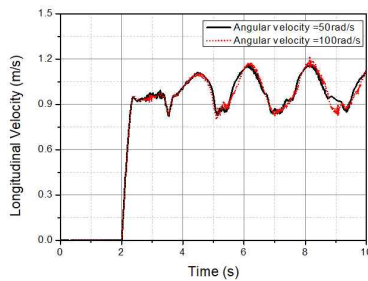
< 차체의 요 각 >

* 굴곡노면의 주행해석

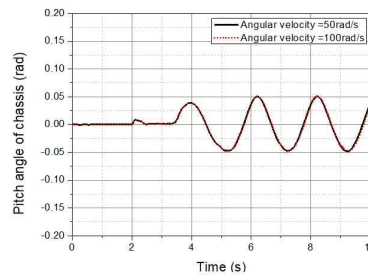
: 여기서는 정현파 함수로 생성된 굴곡노면에 대한 직진주행해석을 통하여 로터리 작업기의 회전 속도에 대한 직진 및 속도 추종성에 대해서 검토하였음. 이대 사용된 범프는 0.5hz 주기로 생성되었음.

: 아래 그림은 차체의 종방향 속도와 피치와 요각을 각각 보여줌. 블레이드 회전에 종방향 속도가 1m/s 부근에서 동작함을 보였음. 종방향 속도의 RMS오차는 약 0.148m/s, 1.52 m/s, 피치각과 요각의 RMS오차는 약 0.03rad, 0.001rad 으로 확인되었음. 마찬가지로 블레이드 구동에 상관없이 유사한 결과를 보였음.

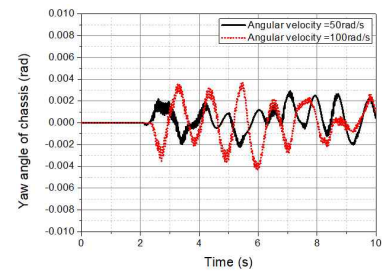
: 이러한 두 가지 결과는 블레이드 날의 좌우 균형적으로 날을 설계하고, 설치 위치를 로봇의 무게중심점과 근접하게 함으로써 외란모멘트를 낮추는 설계를 했기 때문으로 판단됨



< 종방향 차량 속도 >



< 차체의 피치각 >



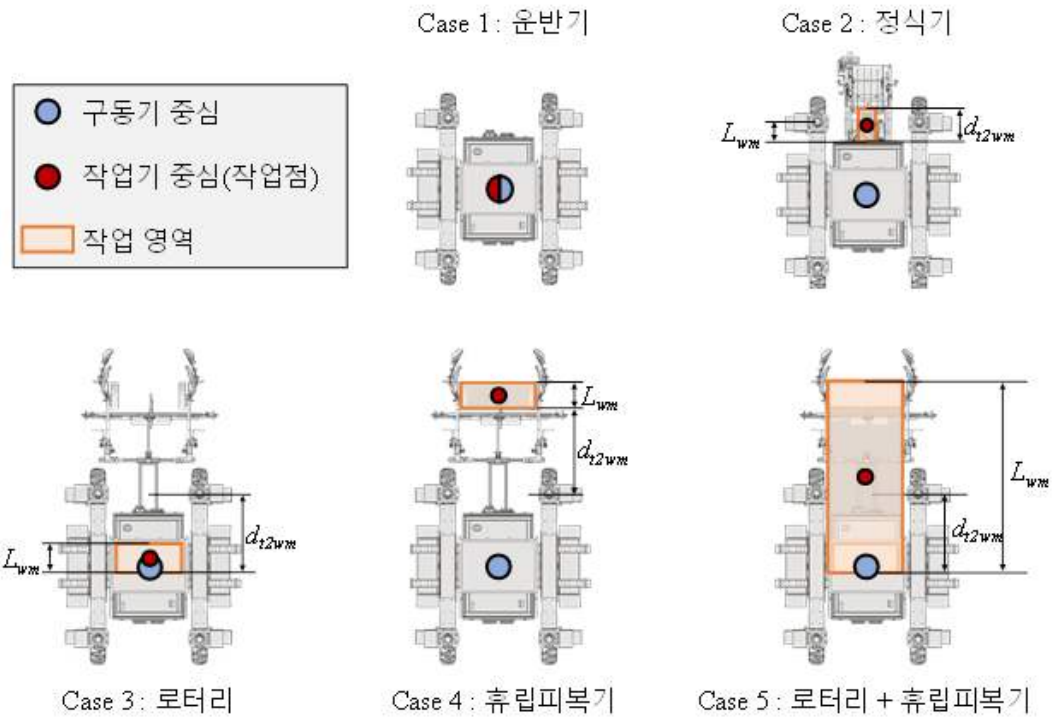
< 차체의 요 각 >

: 해석을 통하여 로터리 작업기의 회전 진동에 의한 자율주행 영향도는 크지 않을것으로 판단되며, 이후 실제 환경에서의 비교실험을 수행할 예정임

- 작업기 연동 작업 주행

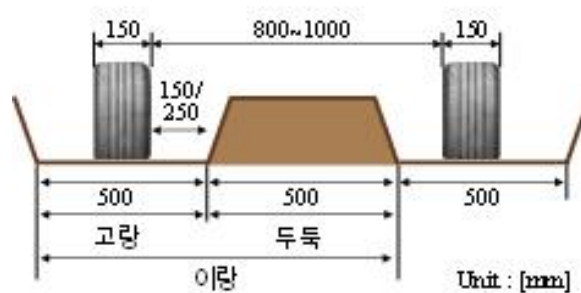
* 농작업 환경 및 시뮬레이션 구성

- : 자율주행 플랫폼의 주행성능을 향상시키기 위해 조향 및 제어에 관한 연구들이 활발하게 수행되었으나 농업환경과 작업특성을 고려하지 않아 농업용 로봇에 적용하기 어려움.
- : 실제 지면과 작업기와의 위치가 중첩되는 것이 보다 중요하기에, 농업용 로봇에 기존의 기술을 적용하게 된다면 작업기의 작업 위치가 목표 궤적을 벗어나게 되는 문제점이 발생.
- : 농업용로봇의 제어는 플랫폼 기준의 선회가 아닌 작업기 기준의 선회를 통해 정확한 농작업이 가능함.
- : 다양한 작업기에 따른 동작특성에 대해 선회 중심을 달리하여 작업거동의 연속을 유지할 수 있게 해야함.
- : 농업 로봇의 주행 성능을 높이고 효율적인 작업을 가능하게 하기 위해, 다목적 농업 로봇에 결합되는 작업기의 작업점을 고려하여 작업기 변화에 따른 로봇 플랫폼의 선회 및 조향 특성에 관한 연구를 수행함.
- : 작업기는 운반기, 정식기, ,로터리, 휴립피복기 4가지로 요구 작업에 따라 모듈형으로 구동기와 결합하여 작업을 수행함.
- : 운반기는 작업과 관련된 모든 장비 및 작업물을 운반하는데 사용되며 정식기는 모종판을 보관하고 구동기의 진행에 따라 발 두둑에 정식 작업을 수행함.
- : 로터리의 경우 발 환경 조성 시 사용하며 회전날이 일정 간격으로 로터리 작업을 수행하며 휴립피복기는 발 두둑을 따라 휴립피복 작업을 수행하고 로터리와 동시에 작업을 수행할 수 있음.
- : 각각의 작업기는 플랫폼 중심에 위치하도록 설계되었고 전원부를 공유함. 내용에서 구동기는 플랫폼을 뜻하며, 작업기와 구동기로 나누어 연구함.



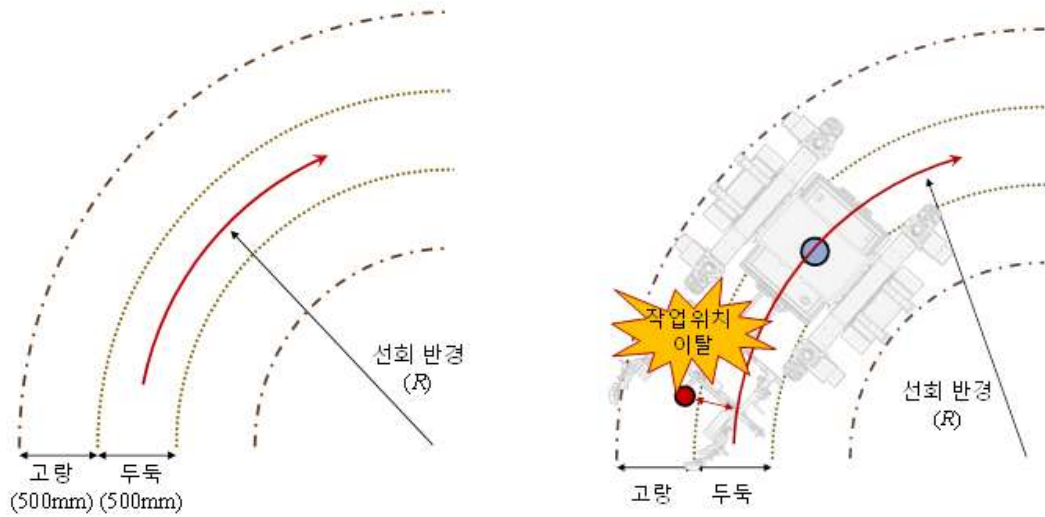
< 구동기(플랫폼)와 작업기의 중심 및 작업영역 >

- : 각 5가지 작업조건에 따른 구동기와 작업기의 결합 상태, 작업 영역, 작업 별 작업점을 나타냄.
- : 운반기의 경우 구동기 하부에 동일한 중심을 가지도록 결합됨.
- : 정식기의 경우 발 환경과 전식 작업의 접촉 영역을 작업 영역으로 정의하였고, 작업영역과 작업점은 구동기 내부에 위치함.
- : 로터리 작업영역은 로터리 회전날의 영역으로 구동기 내부에 작업영역과 작업점이 위치함.
- : 휴립피복기의 피복기가 발 환경과 접촉하는 영역을 작업 영역으로 정의하였고, 구동기 외부에 작업 영역과 작업점이 위치함.



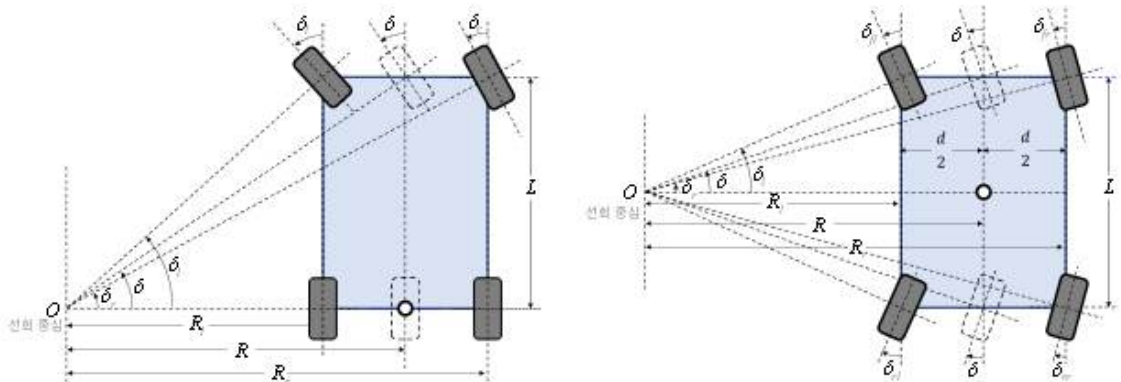
< 농작업 발 환경 >

- : 농작업 환경은 작물이 위치하는 두둑과 양 옆에 물 빠짐과 공기 순환을 위한 고랑으로 구성되며, 두둑과 고랑을 하나의 이랑으로 표현함 두둑과 고랑의 크기는 개발된 농업 로봇과 다양한 작물의 재배 환경을 고려하여 폭은 500 mm로 정의함.



< 시뮬레이션 조건과 문제점 예시 >

- : 시뮬레이션 조건을 정의하였고, 각각의 점선은 고랑과 두둑의 경계이며 선회반경 R 은 농작업 환경의 다양성을 고려하여 10 m, 20 m, 30 m로 정의함.
- : 작업기가 체결된 구동기는 두둑을 중심으로 주행 또는 선회를 하며 로터리는 지면에서 두둑을 형성, 정식기와 휴립 피복기는 두둑 상부에 접촉하여 작업을 진행하게 되며 이 경우 구동기 중심의 선회 주행은 작업기의 접촉에 대한 고려를 하지 않은 주행으로 선회 시에 원하는 경로로 작업을 수행하지 못하는 문제가 발생함.
- : 작업기 별 작업 특성을 고려하여 주어진 농작업 환경에 대해 선회 특성을 검토 해야 함.



< 2륜, 4륜 조향 방식의 선회 >

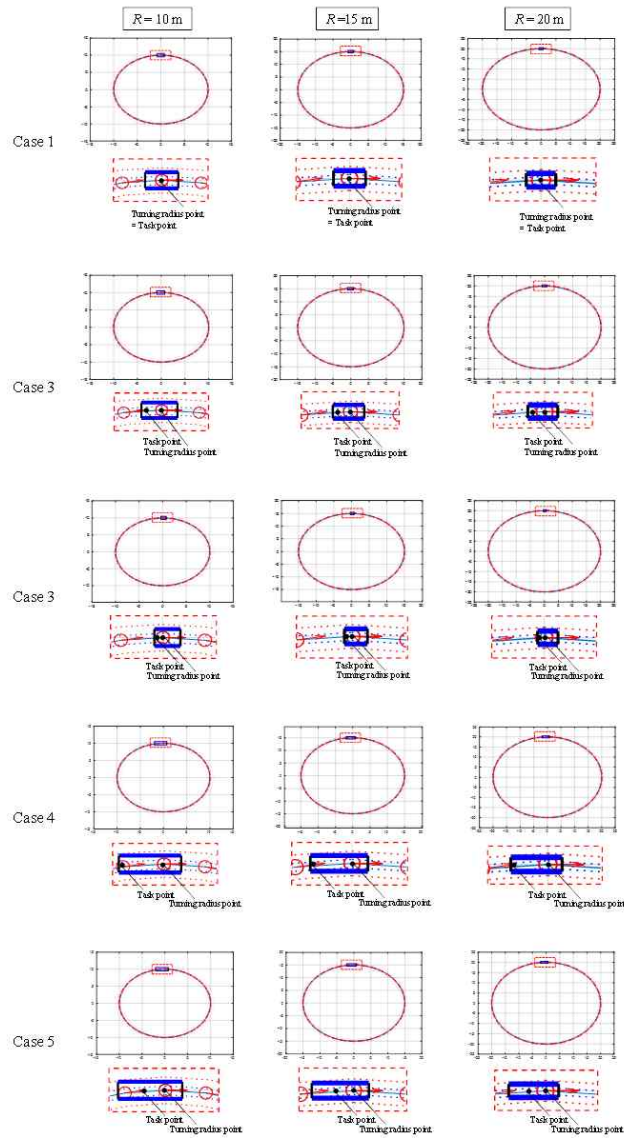
- : 4륜 주행 플랫폼은 2륜 또는 4륜 조향 방식을 적용하여 플랫폼의 선회를 제어하며, 2륜 조향 방식은 뒷 차축 선상에 선회 중심이 위치하고, 4륜 조향 방식은 플랫폼의 중심 선상에 선회 중심이 위치하게 됨.
- : 농업 분야에서 개발되고 있는 대부분의 다목적 로봇의 작업점이 주행 플랫폼의 중심부 근처에 위치하는 4륜 조향 방식을 적용하여 플랫폼의 중심을 선회 점으로 선회하게 됨.

$$\begin{aligned}
R &= \frac{L}{2 \tan \delta} \\
R_i &= \frac{L}{2 \tan \delta} - \frac{d}{2} \\
R_r &= \frac{L}{2 \tan \delta} + \frac{d}{2} \\
\delta_{fi} &= \tan^{-1} \frac{L}{R_i} = \tan^{-1} \frac{L}{2R - d} = \tan^{-1} \frac{L}{\frac{L}{\tan \delta} - d} \\
\delta_{ri} &= -\tan^{-1} \frac{L}{R_i} = -\tan^{-1} \frac{L}{2R - d} = -\tan^{-1} \frac{L}{\frac{L}{\tan \delta} - d} \\
\delta_{fr} &= \tan^{-1} \frac{L}{R_r} = \tan^{-1} \frac{L}{2R + d} = \tan^{-1} \frac{L}{\frac{L}{\tan \delta} + d} \\
\delta_{rr} &= -\tan^{-1} \frac{L}{R_r} = -\tan^{-1} \frac{L}{2R + d} = -\tan^{-1} \frac{L}{\frac{L}{\tan \delta} + d}
\end{aligned}$$

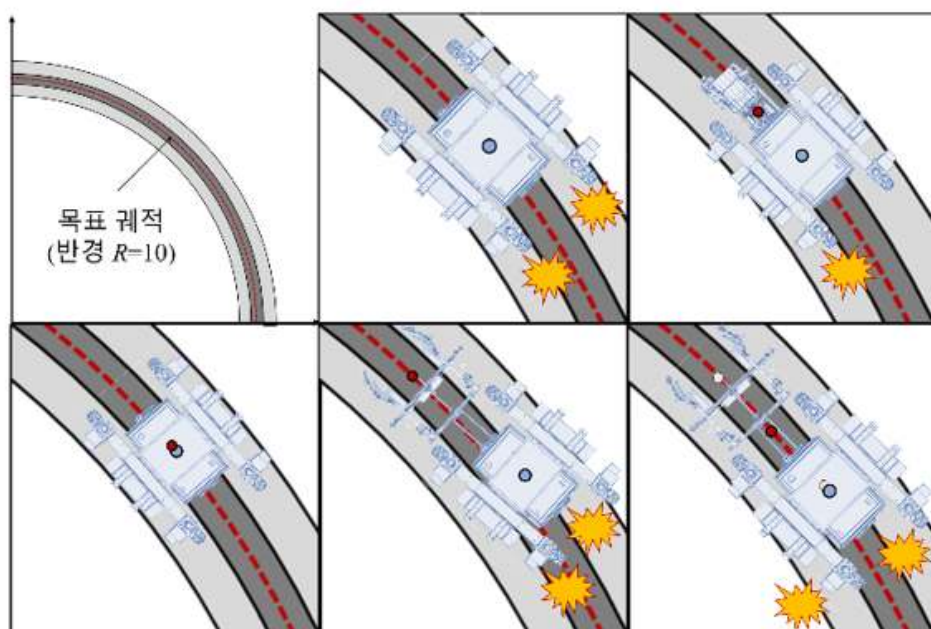
< 선회 관련 수식 >

* 작업환경 기반 주행 시뮬레이션

- : 시뮬레이션은 작업기(운반기, 정식기, 로터리, 휴립피복기)의 다양한 작업환경을 고려하였고 선회반경 R(10 m, 20 m, 30 m)dp 따른 작업점의 궤적과 목표 궤적 간의 차이를 분석하였음.
- : 각 조건에서의 작업점의 궤적과 목표 궤적 간의 오차를 정량적으로 분석하였음.
- : Case1에서는 작업점과 구동기 중심이 동일하여 궤적의 차이가 나지 않음.
- : Case3에서는 로터리의 작업점 궤적은 목표 궤적 반경과 1 mm 이내의 차이를 보이기에 기존의 조향 방식을 적용하여도 작업 성능에 영향이 없을 것으로 판단됨.
- : Case2, Case4, Case5에서 정식기, 휴립피복기, 로터리와 휴립피복기의 작업점은 각각 목표 궤적과 최대 23 mm, 156 mm, 48 mm 차이가 나고 작업점의 궤적과 목표 궤적 간의 오차는 목표 궤적의 선회 반경이 작아질수록 커지는 것을 확인할 수 있음.
- : 기존의 구동기 중심의 선회를 다목적 농업 로봇에 적용한다면, 작업 성능을 확보하기 어려울 것으로 판단됨.
- : 다목적 농업 로봇이 적용될 농작업 환경은 선회 반경이 10 m 보다 작은 경우를 포함하여 다양한 선회 반경을 가지기에 농업 로봇의 주행 성능을 높이고 효율적인 작업을 가능하게 하기 위해서는 작업기의 작업점을 고려하여 작업기 변화에 따른 로봇 플랫폼의 선회 및 조향 특성에 대한 연구가 필요함.
- : 작업점을 기준으로 모교 궤적을 추종하는 경우 구동기 중심은 목표 궤적과 이격이 발생하게 됨.
- : 선회점이 구동이 내부에 위치하는 Case 1, 2, 3의 경우 50 mm이내의 이격 거리가 발생하였으나, 선회점이 구동기 외부에 위치하는 Case 4, 5의 경우 목표 궤적과 최대 211 mm, 81.5 mm의 이격거리가 발생함.
- : 선회 반경이 10 m 인 경우 작업영역이 구동기 내부에 위치한 Case 2, 3 조건에 대해 발 간섭이 발생하지 않거나 정식기의 경우 목표궤적 반경이 작은 경우에 한해 전륜 바퀴의 내측과 발 간에 간섭이 발생함.



< 작업기의 작업 영역에 대한 선회 반경 시뮬레이션 >

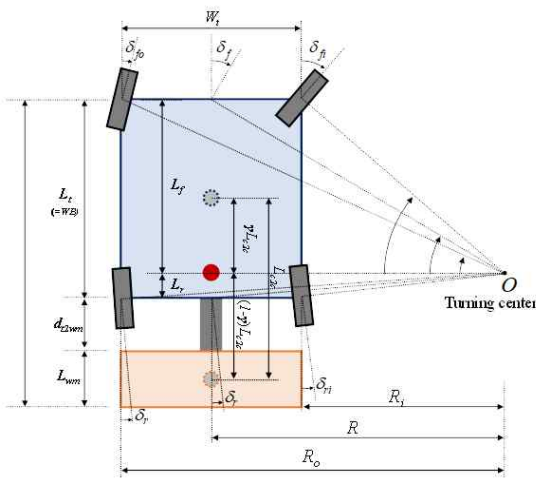


< 작업기 선회 반경 시뮬레이션 예시 >

: 작업 영역이 구동기 외부에 위치한 Case 4, 5 조건에 대해 선회 반경이 큰 경우에도 간섭이 일어났으며 선회반경 10 m 인 경우 발 간섭거리가 328.8 mm, 116.6 mm로 작업기 중심 선회 작업 시 발 간섭이 발생함.

* 작업환경 기반 주행 시뮬레이션 수정

: 독립 4륜 조향 시스템에 의해 작업기 종류에 따라 선회점 및 선회중심점을 변경할 수 있어야 함, 또한 농업로봇의 작업 성능을 확보하고 플랫폼과 발 간섭 문제를 해결하기 위해 4륜을 독립적으로 조향함으로써 선회점을 작업기 중심과 작업기 중심사이에 위치시킬 수 있음.



$$\delta_f = \tan^{-1}\left(\frac{L_f}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{(L_t/2 - \gamma L_{c2c})}{R}\right)$$

$$\delta_r = -\tan^{-1}\left(\frac{L_r}{R}\right) = -\tan^{-1}\left(\frac{(L_t - L_f)}{R}\right)$$

$$\delta_{fo} = \tan^{-1}\left(\frac{L_f}{R_o}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{L_f}{R + W_t/2}\right)$$

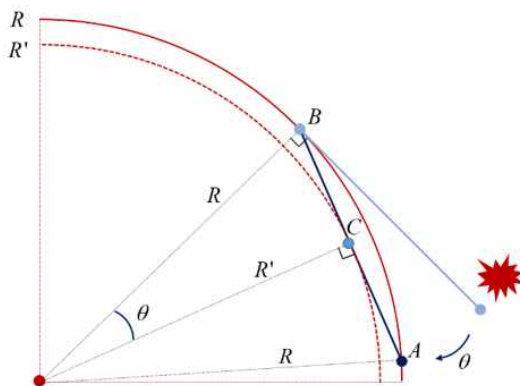
$$\delta_{fi} = \tan^{-1}\left(\frac{L_f}{R_i}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{L_f}{R - W_t/2}\right)$$

$$\delta_{ro} = -\tan^{-1}\left(\frac{L_r}{R_o}\right) = -\tan^{-1}\left(\frac{L_r}{R + W_t/2}\right)$$

$$\delta_{ri} = -\tan^{-1}\left(\frac{L_r}{R_i}\right) = -\tan^{-1}\left(\frac{L_r}{R - W_t/2}\right)$$

< 작업기와 독립 4륜 조향에 대한 선회 환경 >

: 선회점에 계수(y)에 따라 선회점 및 선회 중심점을 원하는 지점에 위치시키기 위한 조향 각 수식을 제시함. 선회점 계수가 0인 경우 구동기 중심을 선회점으로 주행하며, 1인 경우 작업기 중심을 선회점으로 주행하는 것으로 고려함.
: 작업점과 구동기 중심이 모두 궤적을 추종하여 발과 로봇 플랫폼 간의 간섭을 최소화 하도록, 선회점과 수정제어반경을 제안하고자 함.



$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{L}{2R}\right)$$

$$R' = R \cos \theta$$

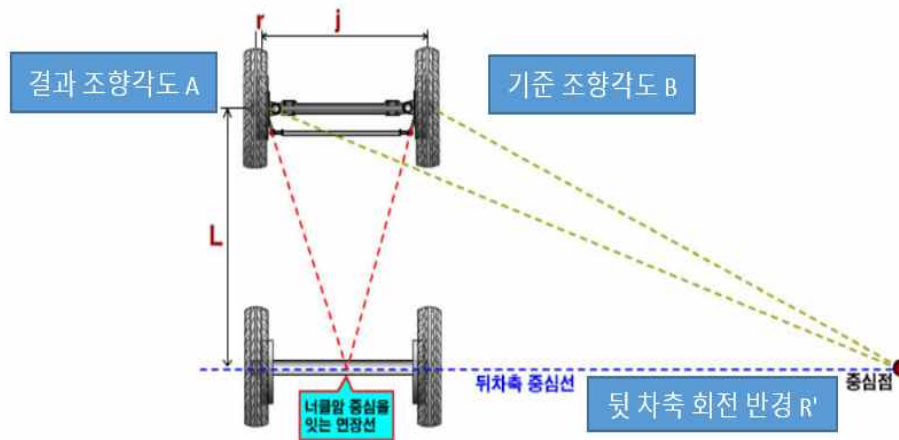
< 선회점에 대한 수정제어반경 및 수식 >

: 작업점과 구동기 중심이 모두 궤적을 추종하여 발과 로봇 플랫폼 간의 간섭을 최소화

- 하도록, 선회점과 수정제어반경을 제안하고자 함.
- : 작업점 B와 구동기 중심 A가 목표 궤적 위에 위치시키기 위해서는 작업로봇의 선회점을 A와 B의 중간지점 C($y=0.5$)에 위치시키고 선회점이 수정 제어 반경(R')을 갖는 궤적을 추종하여야 하므로 기하학적 관계식에 의해 방향각과 수정 제어 반경 수식을 정의함.
 - : 조향각과 제어 반경을 앞선 Case에 적용하여 시뮬레이션을 적용함.
 - : 구동기 중심과 작업점의 거리가 멀어질수록 발 간섭거리가 증가하여 발 간섭거리가 가장 큰 휴립피복기에 대해 준점적으로 분석 및 비교하였음.
 - : 목표 궤적 반경이 10 m 인 경우 전륜 내측의 10 mm 이내 발 간섭이 발생하였고, 목표 궤적이 10 m 보다 큰 경우 발 간섭문제가 발생하지 않았으며 다른 작업기도 수정 선회점의 기준 선회시에 발 간섭이 발생하지 않은 것을 확인하였음.
 - : 농업환경을 고려할 때, 제안한 구정 조향각 및 제어 반경이 농업로봇의 작업 성능 향상에 효과적임을 확인함.

나) 주행 및 조향 제어 알고리즘 개발

- 2륜 조향의 기구학적 계산 기반 주행데이터 산출



<차축의 회전 반경에 따른 조향 각도와 구동 속도의 고려>

- : 발농업 로봇 플랫폼은 4개의 구동바퀴를 가지는 차량형 로봇으로 2륜 조향의 경우 차량과 동일한 운동 특성을 가짐
- : 로봇의 2륜 조향으로 회전시 회전 중심점에서 각 바퀴의 회전반경이 다른 것을 반영하여 각 바퀴의 조향각도를 다르게 세팅이 되도록 조향 모터에 명령을 내려야함
- : 기구적인 특성과 운동 특성에 따른 조향각이 결정되면, 각 바퀴의 부하를 최소화 하기 위하여 구동 시점의 동일하게하며, 이동 거리가 차이의 발생을 최소화하기 위하여 내륜과 외륜 속도의 차이가 나도록 산출함
- : 최종적으로 목표하는 속도와 조향각도를 위하여 기구적인 특성을 조건으로 운동 결과를 도출하게 함

관계식

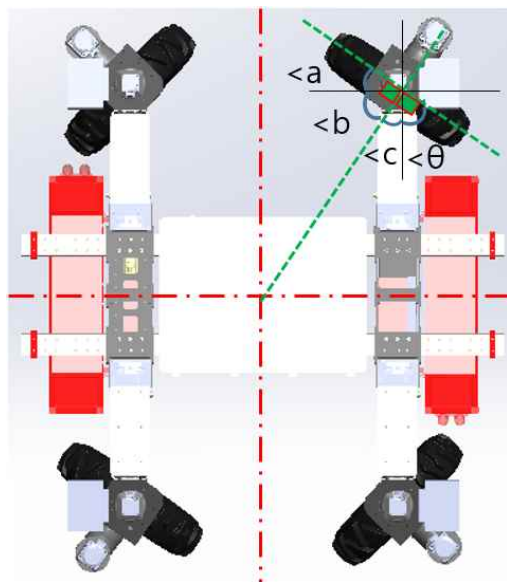
각 항의 내용

$R' = L * \tan B$	.....	R' (뒤 차축 회전반경) L (전장) B (기준 조향각 = 내륜 조향각)
$A = \tan \frac{L}{R' - J}$	.....	A (외륜 조향각) J (전폭)
$AG_{1sec} = \frac{V_s * 360}{2\pi(R' - J)}$	.....	AG_{1sec} (외륜 이동 후 중심각) V_s (외륜 속도)
$L_{1sec} = 2\pi(R' - J) * \frac{AG_{1sec}}{360}$	.....	L_{1sec} (외륜 이동 후 이동 거리)
$AG_t = \frac{A}{AG_{1sec}}$	.....	AG_t (외륜 각도 걸린 시간)
$AG'_{1sec} = \frac{B}{AG_t}$	.....	AG'_{1sec} (내륜 이동 후 중심각)
$L'_{1sec} = 2\pi R' * \frac{AG'_{1sec}}{360}$	.....	L'_{1sec} (내륜 이동 후 이동 거리)
$Vs' = L_{1sec}$	.....	Vs' (내륜 속도, 1초 후 이동거리 기준)
$ac = V_s \frac{1}{T_{ac}}$	.....	ac (외륜 가속도) T_{ac} (외륜 가속시간)
$ac' = V_s' \frac{1}{T_{ac'}}$	.....	ac' (내륜 가속도) $T_{ac'}$ (내륜 가속시간) = T_{ac}

<내/외륜의 조향각도와 구동륜의 속도 및 가속도의 관계>

- : 도출 값은 각 관계식에 의하여 계산되며, 외륜의 조향각도와 구동속력을 입력 인자로, 기구적인 특성은 로봇의 평면상의 전폭과 전장을 입력으로 함
- : 입력 값과, 고정 축의 회전반경을 초기 값으로 하여, 내륜의 조향각을 산출하고 속력과 가속 시간을 토대로 회전각을 계산하고 이후 이것에 대한 이동거리와 시간에 따른 최종 속력과 다시 시간인자를 고려한 가속도 값으로 최종 결과를 얻음

- 4륜 조향의 기구학적 계산 기반 주행데이터 산출



관계식

각 항의 내용

$$\angle \theta = 90 - \angle c \quad \dots\dots\dots \angle \theta (\text{조향각도})$$

$$\angle c = \text{atan} \frac{L}{J} \quad \dots\dots\dots \frac{L(\text{전장})}{J(\text{전폭})}$$

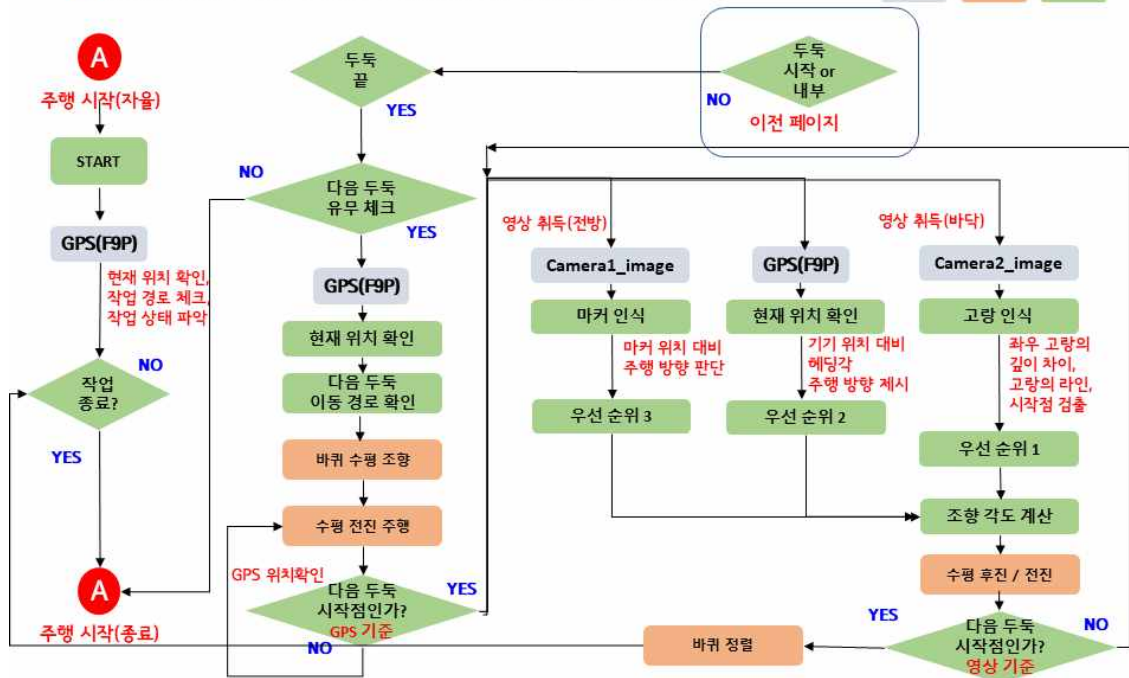
<제자리 회전 각도 산출식과 단순화 모델>

- : 발농업 로봇의 특성인 4륜 조향, 4륜 독립 구동의 가장 큰 장점은 제자리 회전이 가능함
- : 제자리 회전을 하기 위해서는 각 바퀴의 조향 방향과 구동 바퀴의 회전 방향에 대한 명확한 정의가 필요하며, 기구적으로 전폭과 전장의 값에 따라서 조향 각도가 달라지면서, 모든 바퀴가 동일한 궤적을 그려야함
- : 한 바퀴를 기준으로 바퀴가 조향각($\angle \theta$)을 생성하며, 각 바퀴는 회전 축에서 법선의 위치에 있으므로 조향축과 차량의 중심은 수직의 관계가 성립함
- : 위 조건을 바탕으로 전장과 전폭에 관계에 따라서 최종 조향각을 산출할 수 있음

- 로봇 주행 제어부 알고리즘

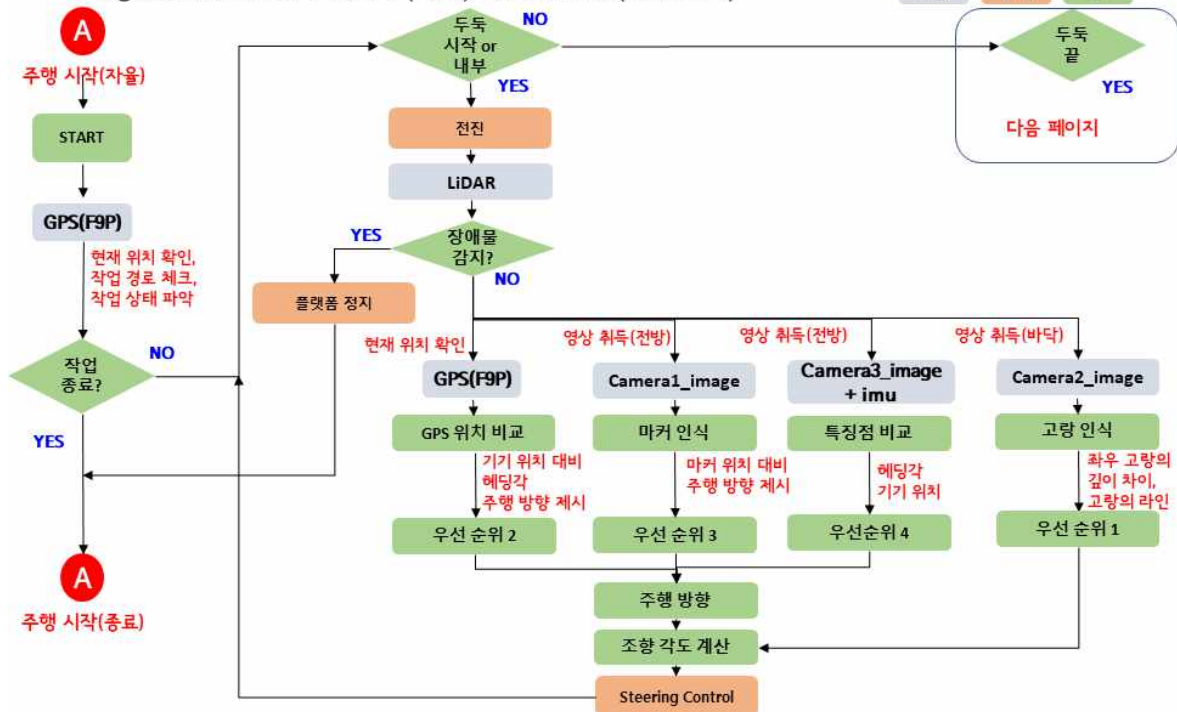
- : 구동/조향/자세제어 모터를 이용한 자율주행제어 시나리오 개발
- : 작업 운영시나리오에 따른 제어 알고리즘 개발
- : 발농업 로봇 제어 알고리즘은 기본적으로 자동운드(AUTO)와 수동모드(MANUAL)로 구성이 됨
- : 작업공간으로 이동은 수동모드로 조작하며, 작업공간에서는 자율모드로 운영함

▶ Agricultural Robot 주 제어부 (자율) : GPS맵 보유 (이동 로그)



< 플랫폼 자동 제어부 전체 흐름도 >

▶ Agricultural Robot 주 제어부 (자율) : GPS맵 보유 (이동 로그)



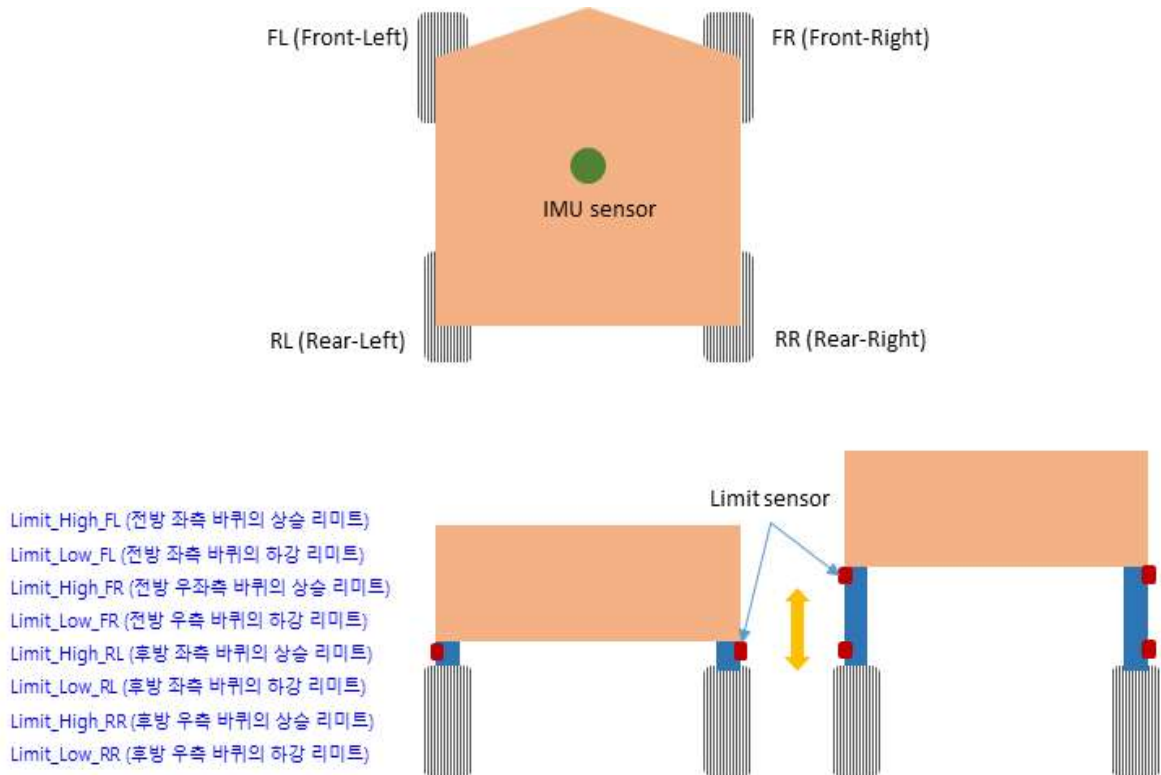
< 플랫폼 제어부 자율 주행 내부 알고리즘 흐름도 >

다) 자세(고도) 제어 알고리즘 개발

- : 경사지 밭 노지 환경에서 정식 혹은 파종 작업을 할 경우 플랫폼은 지형의 경사도가 아닌 수면기준 90도 각도로 작업 되는 것이 양질의 작업을 할 수 있음
- : 그러므로 개발된 로봇 플랫폼은 현재의 자세를 인지할 수 있는 자세제어시스템과 각 바퀴 축을 수직으로 가변할 수 있는 고도 가변부가 구성되어 있어 상기와 같이 지형에 따라 자세제어가 가능함

- 4륜 주행 플랫폼의 자세제어를 위한 하드웨어 구성

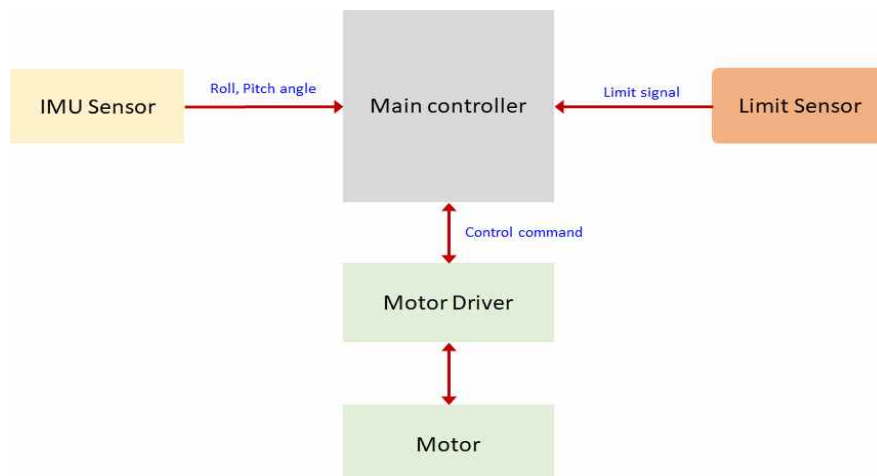
- : 아래 그림은 수평 자세 제어가 가능한 4륜 주행 플랫폼의 하드웨어 모식도를 나타낸 것임
- : 플랫폼 정 중앙에는 Roll, Pitch 각도를 센싱할 수 있는 IMU센서가 구비되어 있고, 각 바퀴에 연결되어 있어 수직 방향으로 가변이 되는 자세유지장치(모터를 이용한 스크류, 실린더 등이 될수 있음), 플랫폼이 수직방향으로 최대 상승, 하강 시(물리적으로 더 이상 가변이 불가 할 때) 위치를 알려주는 리미트 센서가 각 축의 상단, 하단에 각각 구성 되어 있음



<4륜 주행 플랫폼 자세제어 하드웨어 모식도>

- 제어 시스템 구성도

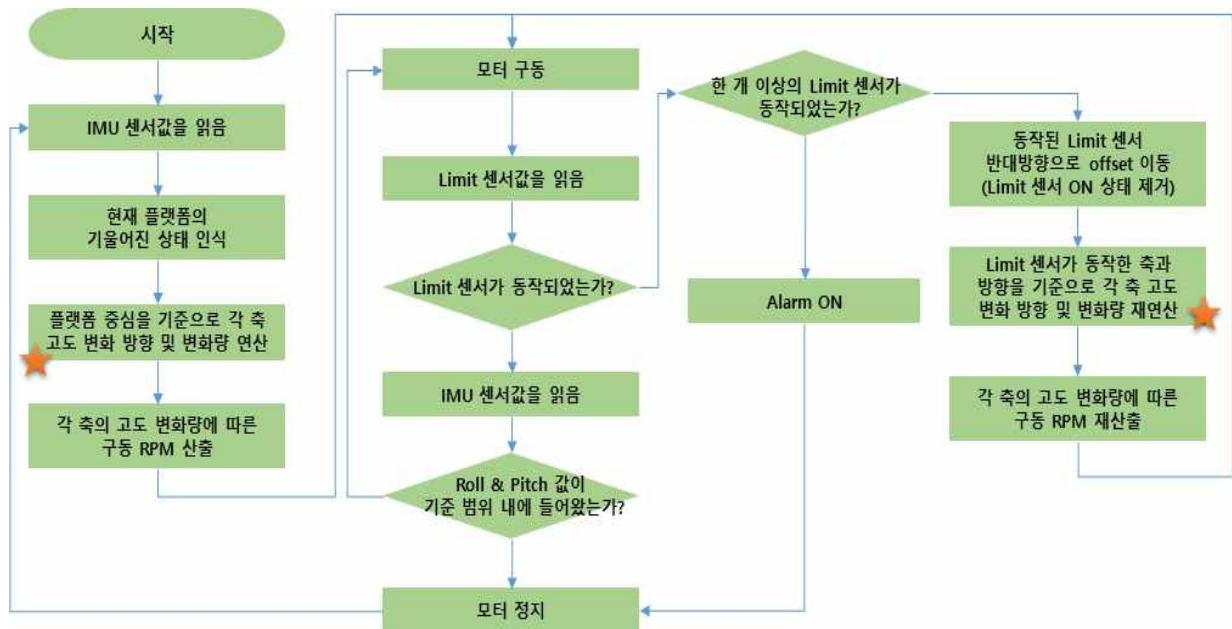
- : 제안하는 수평자세 유지 시스템은 기울기 각도를 센싱하는 IMU센서, 자세제어 장치의 물리적인 최상단/최하단을 감지하는 8EA의 Limit 센서, 센서신호를 기반으로 각 4바퀴 수직 축의 이동량을 연산하고, RPM 혹은 타겟위치값으로 변환하여 모터를 피드백 제어 하는 메인 컨트롤러, 실제 자세제어 구동을 하는 모터 및 모터드라이브 4SET로 구성됨.



<제어시스템 블록도>

– Feedback 방식 자세제어 알고리즘

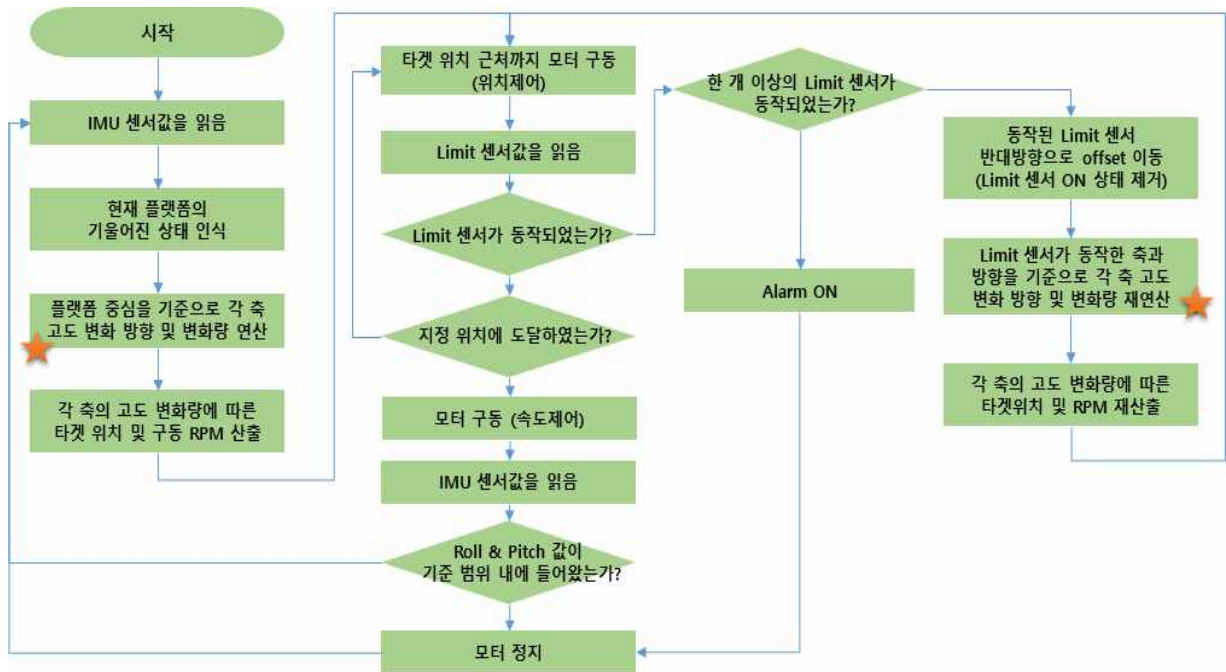
- : 4륜 주행 플랫폼의 자세제어는 IMU 센서를 기반으로 각 바퀴의 기울기를 인식하고, 플랫폼의 중심을 기준으로 각 축의 가변방향과 량을 연산하여 수직축으로 가변하는 자세제어 장치를 구동하는 것임.
- : 다만 자세제어 구동축은 상/하단으로 가변할 수 있는 범위가 구조적으로 한계가 있으므로 최상단, 최하단 부분에 리미트 센서를 두어 리미트 센서가 동작하게 되면 플랫폼의 중심 기준이 아니라 리미트 센서가 동작한 기점을 기준으로 각 축의 가변 방향과 량을 다시 연산하여 자세제어를 가동함.
- : Feedback 제어방식은 일반적으로 구동하는 방식과 동일하며 기울기에 대해 즉각적으로 반응하기 때문에 빠르게 기울기가 변화는 환경(플랫폼 속도가 빠를 경우)에 적합함



<Feedback control 자세제어 순서도>

– Feedforward + Feedback 방식 자세제어 알고리즘

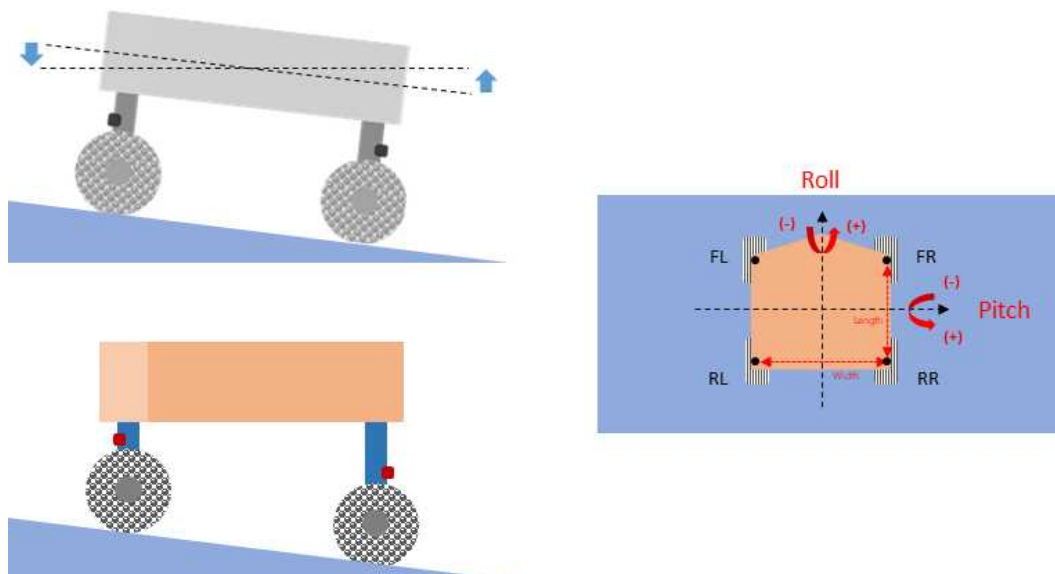
- : Feedforward + Feedback control 제어방식은 앞서 기술한 Only feedback control과는 다르게 각 축의 고도 변화 방향과 량이 연산되면 타겟 위치와 RPM을 동시에 산출하여 타겟 위치의 약 80~90%까지는 위치제어, 높은 RPM 구동으로 Feedforward 방식으로 구동하고, 나머지 10~20%의 남은 길이는 Feedback 방식으로 낮은 RPM으로 미세 제어를 수행함.
- : 이와 같은 제어방식은 농작업 기계같이 주행속도가 느리거나, 지면의 굴곡이 심해서 자세제어 가변량이 큰 경우에 적용하기 유리함



<Feedforward + Feedback control 자세제어 순서도>

- 고도변화 방향 및 변화량 연산 (플랫폼 중심 기준)

- : 상기 제어 순서도에서 별표로 표시되어 있는 각 축 고도 방향 및 변화량 연산에 대한 산출 수식을 구하였고, 아래 그림은 4륜 구동 주행 플랫폼의 구동 예시 그림을 나타낸 것임
- : 자세제어를 위한 각축의 수직 상하강 이동은 기본적으로 플랫폼의 정중앙을 기준으로 동작하게 되는데, 플랫폼의 너비와 전장 길이(바퀴 중심과 중심 기준)와 IMU 센서로부터 출력되는 Roll, Pitch의 각도를 아래 그림 6의 식을 이용하여 이동해야 하는 수직 길이와 방향을 구할 수 있음
- : 이후 구해진 수직 길이와 방향을 바탕으로 자세제어 고도 변화 시 필요한 RPM과 타겟 위치 등을 산출할 수 있음.
- : 수평 자세 제어로 각 축 수직 이동 시 모든 축은 동시에 수평에 도달해야 하므로 이동해야 하는 수직 길이 대비하여 각 축의 RPM이 산출되는 것임



<플랫폼 중심 기준 자세제어 예시>

$$\Delta L_{FL} = (\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width}/2)) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length}/2))$$

$$\Delta L_{FR} = (\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width}/2)) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length}/2))$$

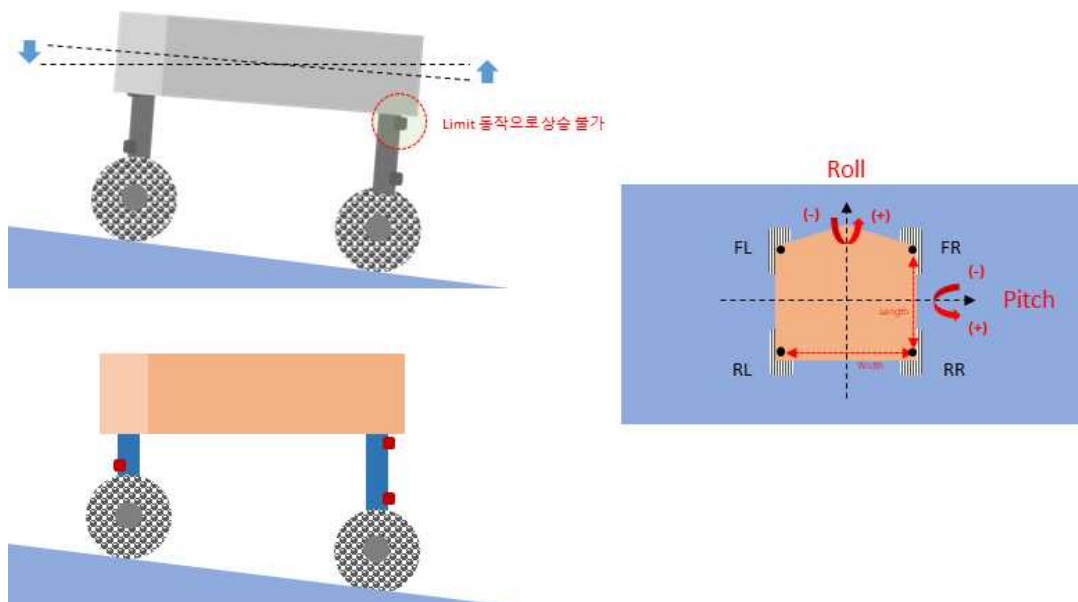
$$\Delta L_{RL} = (\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width}/2)) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length}/2))$$

$$\Delta L_{RR} = (\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width}/2)) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length}/2))$$

< 플랫폼 중심 기준 고도변화 방향 및 변화량 연산 수식 >

- 고도변화 방향 및 변화량 연산 (Limit 센서 동작 기점 기준)

- : 상기 제어 순서도에서 별표로 표시되어 있는 리미트 센서가 동작하였을 때 각 축 고도 방향 및 변화량 연산에 대한 산출 수식을 구하였고 아래 그림은 리미트 센서 동작 시 구동 예시를 나타낸 것임
- : 자세제어를 위한 각축의 수직 상하강 이동 시 수직방향 최상단 혹은 최하단에 이르러 더 이상 물리적으로 가변이 불가능할 때는 기존의 플랫폼 중심 기준의 제어 알고리즘으로 구동이 불가능하게 됨.
- : 그러므로 리미트 센서가 동작하게 되면 동작한 리미트 센서의 기점과 바퀴를 중심으로 나머지 3축의 가변량을 연산하여야 함
- : 바퀴의 중심점이 기준이 되므로 전장 길이와 너비를 나누지 않고 계산이 이루어지며, 리미트 센서의 상승 혹은 하강 여부에 따라 자세제어 방향이 정해지게 됨



<Limit 센서 동작 기점 기준 자세제어 예시>

• Limit_High_FL 가 동작했을 때,
 $\Delta L_{FL} = 0$
 $\Delta L_{FR} = -(\sin(\text{Roll angle}) \times \text{Width})$
 $\Delta L_{RL} = -(\sin(\text{Pitch angle}) \times \text{Length})$
 $\Delta L_{RR} = -((\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width})) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length})))$

• Limit_Low_FL 가 동작했을 때,
 $\Delta L_{FL} = 0$
 $\Delta L_{FR} = \sin(\text{Roll angle}) \times \text{Width}$
 $\Delta L_{RL} = \sin(\text{Pitch angle}) \times \text{Length}$
 $\Delta L_{RR} = (\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width})) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length}))$

• Limit_High_FR 이 동작했을 때,
 $\Delta L_{FL} = -(\sin(\text{Roll angle}) \times \text{Width})$
 $\Delta L_{FR} = 0$
 $\Delta L_{RL} = -((\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width})) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length})))$
 $\Delta L_{RR} = -(\sin(\text{Pitch angle}) \times \text{Length})$

• Limit_Low_FR 이 동작했을 때,
 $\Delta L_{FL} = \sin(\text{Roll angle}) \times \text{Width}$
 $\Delta L_{FR} = 0$
 $\Delta L_{RL} = (\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width})) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length}))$
 $\Delta L_{RR} = \sin(\text{Pitch angle}) \times \text{Length}$

• Limit_High_RL 이 동작했을 때,
 $\Delta L_{FL} = -(\sin(\text{Pitch angle}) \times \text{Length})$
 $\Delta L_{FR} = -((\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width})) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length})))$
 $\Delta L_{RL} = 0$
 $\Delta L_{RR} = -(\sin(\text{Roll angle}) \times \text{Width})$

• Limit_Low_RL 이 동작했을 때,
 $\Delta L_{FL} = \sin(\text{Pitch angle}) \times \text{Length}$
 $\Delta L_{FR} = (\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width})) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length}))$
 $\Delta L_{RL} = 0$
 $\Delta L_{RR} = \sin(\text{Roll angle}) \times \text{Width}$

• Limit_High_RR 이 동작했을 때,
 $\Delta L_{FL} = -((\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width})) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length})))$
 $\Delta L_{FR} = -(\sin(\text{Pitch angle}) \times \text{Length})$
 $\Delta L_{RL} = -(\sin(\text{Roll angle}) \times \text{Width})$
 $\Delta L_{RR} = 0$

• Limit_Low_RR 이 동작했을 때,
 $\Delta L_{FL} = (\sin(\text{Roll angle}) \times (\text{Width})) + (\sin(\text{Pitch angle}) \times (\text{Length}))$
 $\Delta L_{FR} = \sin(\text{Pitch angle}) \times \text{Length}$
 $\Delta L_{RL} = \sin(\text{Roll angle}) \times \text{Width}$
 $\Delta L_{RR} = 0$

< Limit 센서 동작 기점 기준 고도변화 방향 및 변화량 연산 수식 >

○ 다중센서 융합 환경인지 및 영상처리 기술 개발

가) 카메라 기반 발 환경 인식 및 주행선 탐색 기술

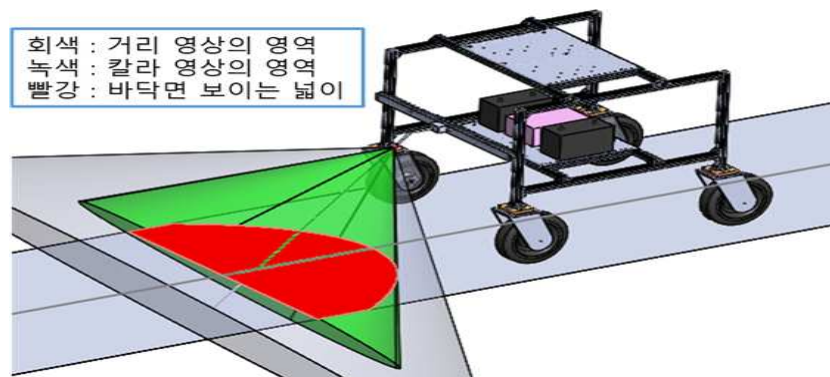
- 로봇의 자율주행 알고리즘을 적용하기 위한 지도 작성을 위해서 영상획득용 플랫폼을 설계하고, 다음의 RGB-D(칼라영상+거리영상) 카메라의 FOV(Field Of View)인 해상도를 고려하여 D435모델을 선정하고 적용하였으며, 이 카메라의 뷰가 넓다는 의미는 본 연구에서 제안하는 이량의 너비의 폭이 120cm를 충분히 획득 가능한 카메라를 선택하기 위함임.

D400 series Depth Cameras	Intel® RealSense™ Depth Camera D415	Intel® RealSense™ Depth Camera D435
Left/Right Imagers FOV (degrees)	H:69.4±3 / V:42.5±2 / D:77±3	H:91.2±3 / V:65.5±3 / D:100.6±3
IR Projector	Standard	Wide
IR Projector FOV	H:80±3 / V:55±3 / D:89.3±3	H:100.4±3 / V:69±3 / D:110.4±3
Color Sensor	OV2740	OV2740
Color Camera FOV	H:69.4±3 / V:42.5±2 / D:77±3	H:69.4±3 / V:42.5±2 / D:77±3
Depth Module Dimensions (mm)	X=83.7mm Y=10mm Z=4.7mm	X=70.7mm Y=14mm Z=10.53mm

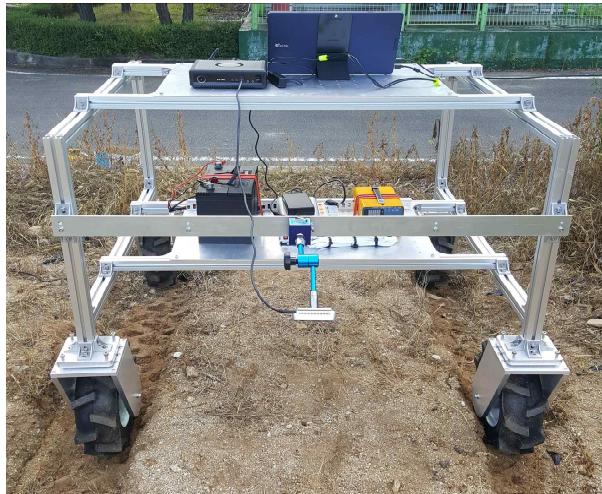
NOTE: H - Horizontal FOV, V - Vertical FOV, D - Diagonal FOV, X - Length, Y - Breadth, Z - Thickness

< RGB-D 카메라 종류의 사양비교 >

- 카메라(D435)의 간이 영상 플랫폼에 최적의 카메라의 부착 위치를 찾기 위해서 획득영상의 범위를 모델링해서 실제 카메라에서 취득되는 범위는 원뿔로 카메라의 FOV를 이용하여 표현하였으며, 녹색이 칼라영상에 해당하고 회색이 거리영상에 해당함. 그리고 빨간색 부분이 획득하게 되는 두둑의 면적이 됨. (약 90 × 90 cm)
- 모델링한 영상획득용 플랫폼을 제작하고, 카메라(D435)를 설치하여 평평한 바닥과 실제 노지에서 테스트함.

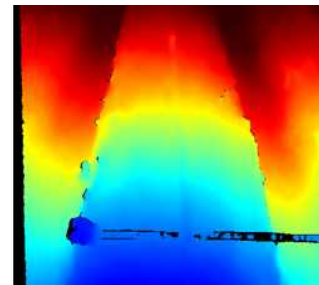


< 영상획득용 플랫폼에서 카메라의 FOV >



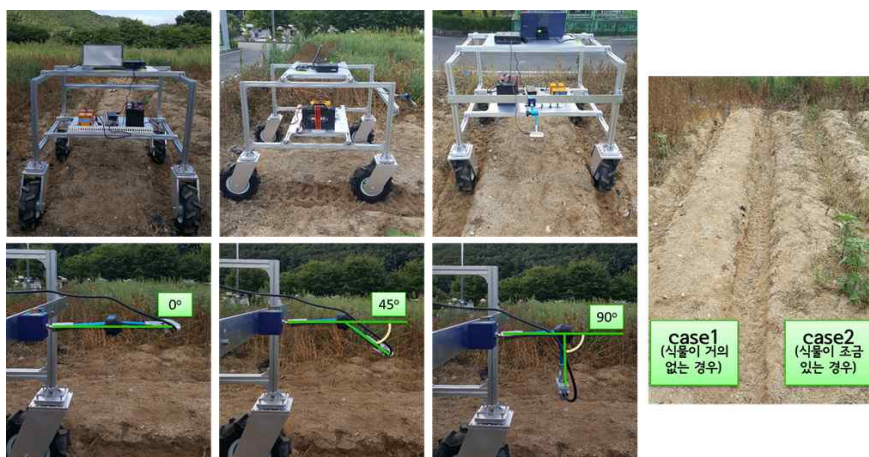
< 영상획득용 플랫폼 >

- 실제 RGB영상에서 들어오는 뷰는 가로, 세로 각각 90cm 까지 나오며, 실제 딥스 영상에서 120cm의 골이 충분히 나오는 것을 확인함. 이 영상을 기반으로 자율 주행에 필요한 환경인지 및 자율주행 연구를 진행하고 있음.



< 영상획득용 플랫폼에서 영상 획득 테스트 >

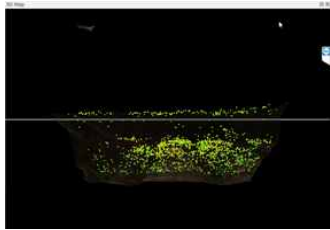
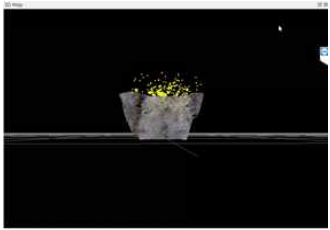
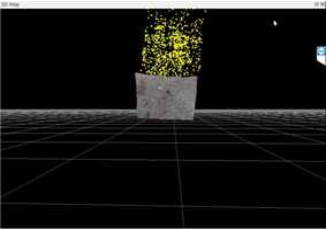
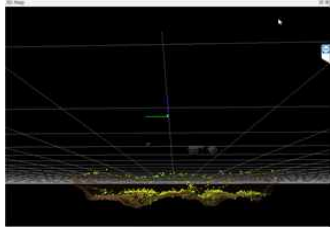
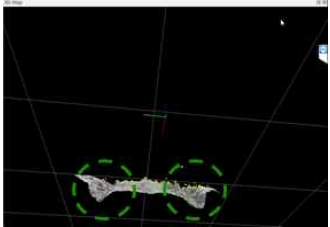
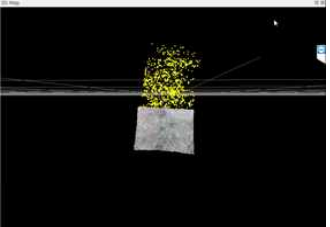
- 발 환경의 이랑너비의 폭은 80cm, 100cm, 120cm이며 최대 120cm에서 주행이 되게 환경 세팅을 하여 진행함.



< 영상획득용 플랫폼의 노지테스트 >

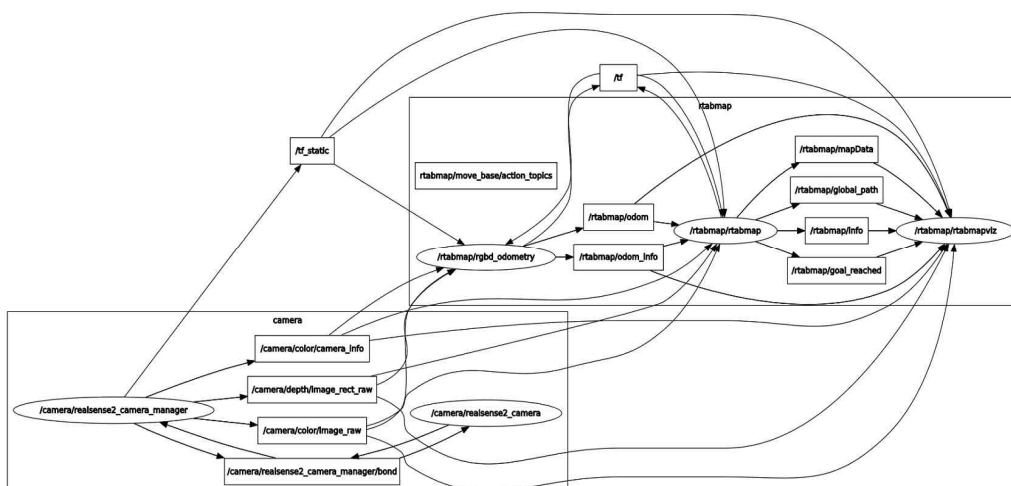
- 영상 획득용 플랫폼에서 카메라의 각도를 0°, 45°, 90° 로 설정해서 폭이 120cm인 Case 1(식물이 거의 없는 경우)과 Case2 (식물이 조금 있는 경우)에 발 환경의 지도를 작성하기 위해서 RTAB-Map을 적용해서 고랑을 인식 가능한지 확인하였음. 확인결과

45°에서 영상을 취득 할 시에 노지의 고랑을 인식해서 직진 주행에 적합 한 것을 나타냈고, 이를 기반으로 지도를 생성하기 위해서 최적의 카메라의 부착 위치를 선정하였음.

구분	0°	45°	90°
case 1 (식물이 거의 없는 경우)			
case 2 (식물이 조금 있는 경우)			

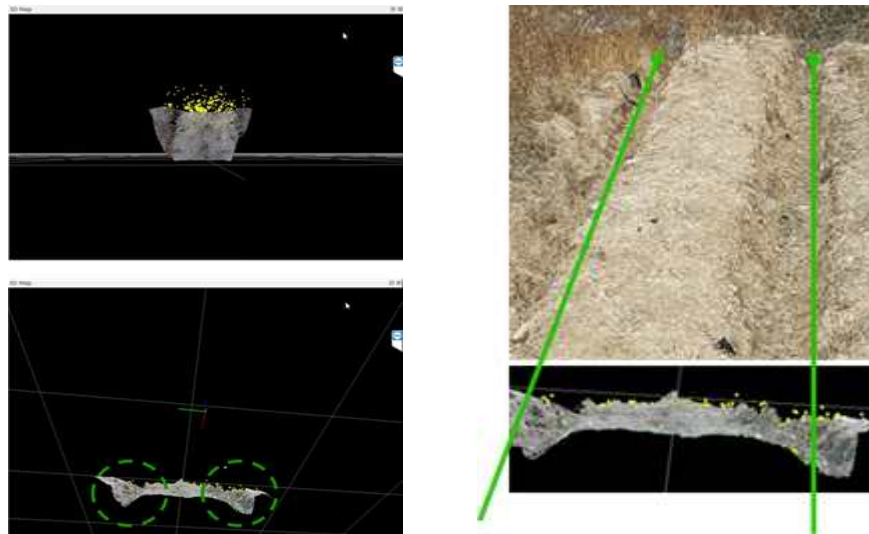
< 노지에서 카메라의 각도에 따른 테스트 >

- 영상 획득용 플랫폼에서 카메라의 각도를 45°를 기준으로 본 연구에서 사용되는 D435 카메라의 RGB영상과 딥스 영상의 뷰가 다르기 때문에, 여기서 오버랩 되는 부분에 120cm 고랑이 들어오는 최적의 위치를 선정함. 카메라의 높이는 바닥에서부터 센서까지의 거리는 80cm이고, 뷰 상단 끝에서 카메라의 센서까지의 대각선 거리는 130cm임.
- 자율주행을 위해서, RTAB-Map 알고리즘을 적용해서 연구를 진행하고 있으며, RTAB-Map은 이미지센서(RGB-D), 2D와 3D Laser(Lidar), 주행거리측정(IMU센서, 바퀴 인코더 등)의 정보들을 결합 또는 선택해서 사용이 가능한 장점이 있기 때문에 이 알고리즘을 선택함.



< ROS상에서 RTAB-Map 알고리즘 구성도 >

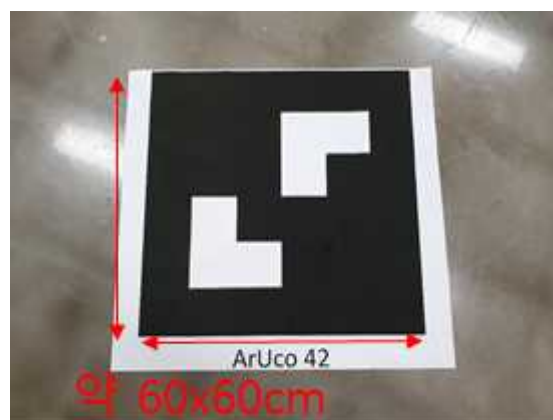
- 현재 진행되는 연구는 이미지센서 (RGB-D D435)을 사용하여 RTAB-Map이 제공되는 ROS 패키지의 노드를 이용해서 폭이 120cm인 노지환경에서 자율주행 가능한 데이터를 획득함. 다음 그림과 같이 노지의 고랑이 형성 되는 것을 확인하였고, 향후 다중 센서들을 결합하는 방향으로 연구를 진행할 예정임.



< 영상획득용 플랫폼에서 고양이 인지 테스트 >







- 마커 인식 기반 주행 보조 시스템

- : 발환경 시나리오에 맞게 전방 카메라에 영상을 취득함
- : 플랫폼 전방의 카메라는 두둑과 고양이가 촬영되어있는 환경이며, 마커(표지판)으로 주행 보조 가능한 환경임
- : 카메라에서 취득된 영상은 Raw Data이며, 기본적으로 RGB, Depth인 거리 값을 영상으로 표현된 데이터로 구성되어 있음. 이 획득된 영상에서 RGB 영역을 활용하여 Filter, Binarization를 적용하여 Contour를 추출하고, 마커의 중심 및 벡터 정보들을 계산함
- : 추출한 Contour를 활용하여 Polygonal curve의 각 4개의 점을 구함
- : Binarization을 통해서 6x6, 8x8 영역의 격자로 패턴을 추출해내며, 셀 내의 흰색 픽셀의 개수가 전체의 절반이상이면 흰색으로 판단하며, 비트 매트릭스로 패턴화 시킴
- : 비트 매트릭스를 활용하여 마커 ID와 Rotation 및 Affine 변환에 관련된 정보를 획득함
- : 마커 ID와 각 코너 점을 고유하게 획득하는 것을 확인하고 마커의 중심 및 벡터 정보들을 취득함



<제작한 마커>

- : 테스트 배드 실제 상황에서 거리별 (5~15m)로 마커 인식 테스트 (사이즈 변경)해서 진행하였으며, 자율주행 운영 시나리오 거리는 10m로 선정함
- : 수행 결과 마커를 표지판에 부착하고 테스트배드에 설치해서 직진 주행 보조 수단으로 사용 가능한 것을 확인함
- : 영상의 해상도를 기준으로 마커(20x20cm) 인식유무를 측정하였으며 9m 이상은 모두 실패하는 결과를 나타냈으며, 9m에서도 간헐적으로 인식되는 것을 확인함
- : 10m 이상에서 인식이 되기 위해서는 마커의 사이즈를 키워야할 필요가 있으며, 60x60cm로 출력을 함. 최종적으로 마커는 11m 이상에서도 인식이 되는 것을 확인하였으며, 실시간으로 데이터를 받는 것을 확인함

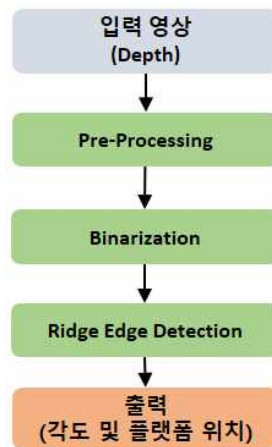
조건	5m	6m	9m	10m	11m	15m
마커(20 x 20cm) 인식유무				실패	실패	실패
마커(60 x 60cm) 인식유무	성공	성공				실패

<마커를 활용한 필드 테스트 결과>

- 다중 센서의 실외환경 적용 실험 수행

* 센서 이용 고랑인식, 직진주행 알고리즘 개발

- : 발환경 시나리오 및 작업기 사용을 고려하여 두둑, 두둑(피복)된 상태의 영상을 취득함
- : 플랫폼 전방의 가운데에 카메라를 부착해서 두둑과 고랑을 촬영할 수 있는 높이로 영상을 획득하며 영상 내의 중심이 플랫폼의 중심을 나타냄
- : 카메라에서 취득된 영상은 Raw Data이며, 기본적으로 RGB, Depth인 거리 값을 영상으로 표현된 데이터로 구성되어 있음. 이 획득된 영상에서 Depth 영역을 활용하여 Filter, ROI(Region of Interest)의 Pre-Processing과정을 통해서 Binarization 적용할 Threshold를 찾아 냄
- : Global과 Local 적인 Threshold를 활용해서 두둑과 고랑의 선 성분들을 획득하기 위한 과정을 적용함
- : 최종적으로 두둑의 라인의 왼쪽과 오른쪽 라인을 획득하고 중심점 라인과 방향을 얻어내서, 플랫폼의 위치 및 각도를 계산하여 제어함




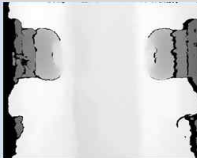


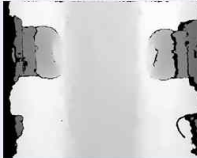


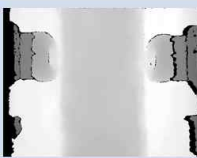


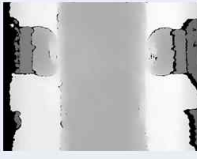

< 고랑인식 및 직진주행 알고리즘의 흐름도>



< 고랑인식 및 직진주행 알고리즘 결과>

* 두둑 인식이 되는 높이 정의하는 테스트

- : 플랫폼에서 하단의 카메라로 두둑을 촬영해서 두둑 인식율을 확인
- : 실제 농업에서 사용하는 작물들의 종류에 따라 두둑의 높이 및 폭 너비가 다름. 밭농업 테스트에 사용되는 대상들의 작물은 두둑 높이가 30~40cm로 정의가 되었으며 두둑의 높이는 날씨, 바람 등으로 높이가 변경이 되는 환경임
- : 두둑 높이는 10cm, 20cm, 30cm, 40cm 총 4 개의 케이스로 구성되어있음
- : 두둑 인식율 기준은 덤프로 이랑과 고랑을 분리가 가능한 수준이며, 고랑인식 및 직진주행 알고리즘 결과에서 Binarization에 관련된 결과를 나타냄
- : 결과적으로 20cm 이상에서도 활용 가능한 것을 확인 가능함

두둑 높이	RGB	Depth	실험 결과
10cm			
20cm			
30cm			
40cm			

< 두둑 인식 결과 >

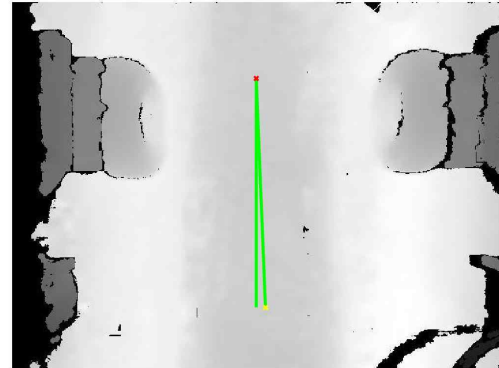
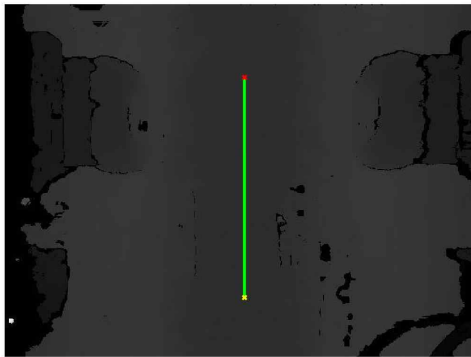
두둑 높이	DB(장)	인식율
40cm	5,735	5,694/5,735 (99.29%)
30cm	3,065	3,055/3,065 (99.67%)
20cm	5,498	5,325/5,498 (96.85%)
10cm	5,324	0/5,324 (0.0%)

: 20cm에서 Local Threshold를 활용하면 성능을 향상 시킬 것으로 보이며, Global Threshold만 활용하여 측정된 성능임

* 두둑 인식 및 검출 알고리즘 개발

- : 두둑(피복)이 되어 있는 경우에도 인식 테스트를 진행하였으며, 성능이 나오지 않는 것을 확인하고 추가적으로 Ride Edge Detection 알고리즘을 개발하여 성능을 측정함
- : 두둑을 휴리스틱 피복한 상태에서는 두둑의 경계가 많이 무너지는 현상이 발생하였음
- : Global과 Local Threshold를 활용하여 러프하게 두둑의 형상을 찾고 Ride Edge Detection 으로 경계를 선택함
- : 실험결과에 사용된 영상은 플랫폼 하단에 부착된 카메라로 Depth 영상을 활용하였으며, 플랫폼은 2km 속도로 10m 주행해서 촬영한 영상으로 600 frame으로 구성됨
- : 영상 600장을 Groundtruth 작업 진행을 하였으며 두 선분 (x,y) 좌표를 저장하고 영상 기준으로 주행 플랫폼의 angle을 정의함
- : 검출된 각도의 시작점은 빨간색, 끝점은 노란색이며 Groundtruth와 비교하여 플랫폼의 Lr_direction (좌, 우) 방향과 Lr_angle 주행 오차를 평가함

실험결과	Lr_direction 결과(%)	Lr_angle (°)
30~40cm	99.992% (595/600)	1.551°

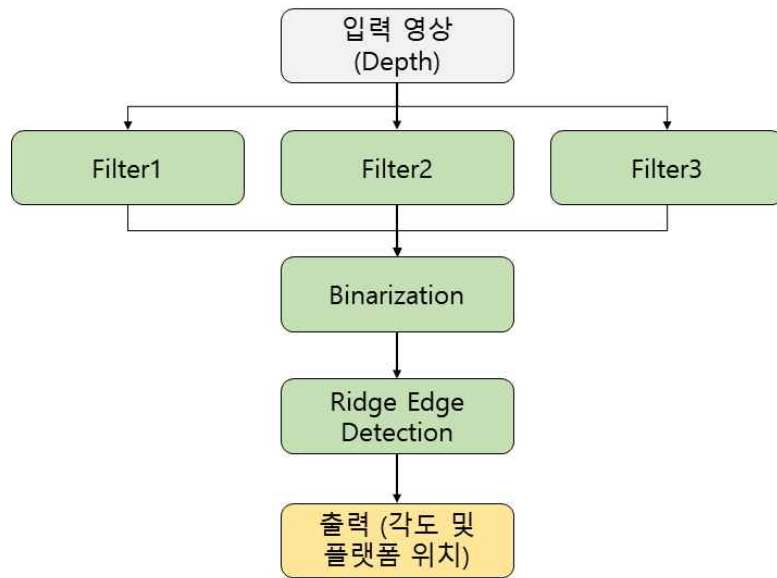


< 두둑 인식 및 검출 결과>

- : 두둑(피복)이 되어 있는 경우에도 인식 테스트를 진행하였으며, 성능이 나오지 않는 것을 확인하고 추가적으로 Ride Edge Detection 알고리즘을 개발하여 성능을 측정함
- : 두둑을 휴리스틱 피복한 상태에서는 두둑의 경계가 많이 무너지는 현상이 발생하였음
- : Global과 Local Threshold를 활용하여 러프하게 두둑의 형상을 찾고 Ride Edge Detection 으로 경계를 선택함
- : 실험결과에 사용된 영상은 플랫폼 하단에 부착된 카메라로 Depth 영상을 활용하였으며, 플랫폼은 2km 속도로 10m 주행해서 촬영한 영상으로 600 frame으로 구성됨
- : 영상 600장을 Groundtruth 작업 진행을 하였으며 두 선분 (x,y) 좌표를 저장하고 영상 기준으로 주행 플랫폼의 angle을 정의함
- : 검출된 각도의 시작점은 빨간색, 끝점은 노란색이며 Groundtruth와 비교하여 플랫폼의 Lr_direction (좌, 우) 방향과 Lr_angle 주행 오차를 평가함

* 두둑 검출 및 인식 알고리즘 개선

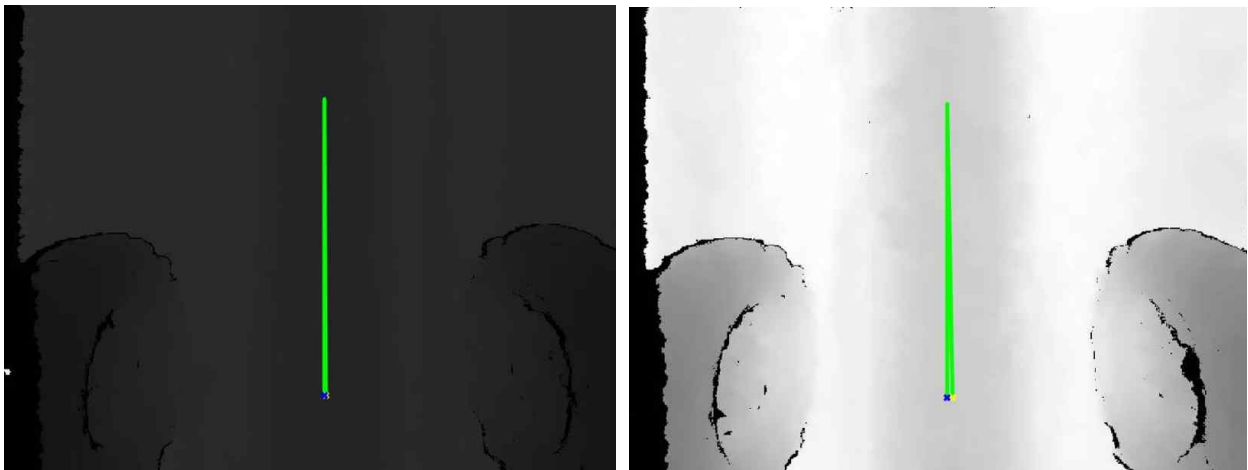
- : 두둑(피복) 또는 두둑만 있는 형태에서 추가적으로 데이터를 취득해서 알고리즘을 개선하였으며, 이전의 Pre-Processing과정에서 사용되는 필터를 여러 개를 사용해서 선택 또는 OR로 영상 머지를 시켜서 적용함.
- : 추가적인 데이터는 다른 조건의 두둑을 주행하면서 촬영하였으며, 플랫폼은 이전과 동일하게 2km 속도로 10m 주행하면서 촬영한 영상으로 각각 600 frame 3set으로 구성됨.
- : 영상 1,800장을 Groundtruth 작업 진행을 하였으며 검출된 선분 (x,y) 좌표와 Groundtruth 오차를 내서 주행 오차를 확인함.
- : 최종적으로 주행오차와 픽셀오차는 한번이라도 크게 틀어지는 것을 찾아내기 위해서 데이터베이스내에서 가장 큰 값으로 성능을 측정함.
- : 실제 픽셀오차와 주행오차는 픽셀 영상기준 데이터 오차를 나타내고, 주행오차를 의미하는 것은 플랫폼에 장착된 카메라에서 줄자 등을 활용해서 영상의 Pixel과 Cm를 환산하였음.



< 고랑인식 및 직진주행 개선 알고리즘의 흐름도>

실험결과	최대주행오차(cm)	최대픽셀오차(pixel)
DB1	4.38	18.24
DB2	1.79	7.47
DB3	5.12	21.35

< 최대 주행오차 및 최대 픽셀 오차>

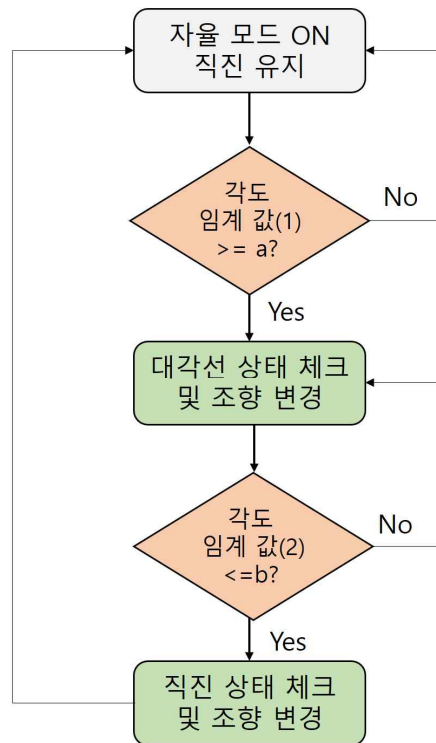


< 개선된 두둑 인식 및 검출 결과>

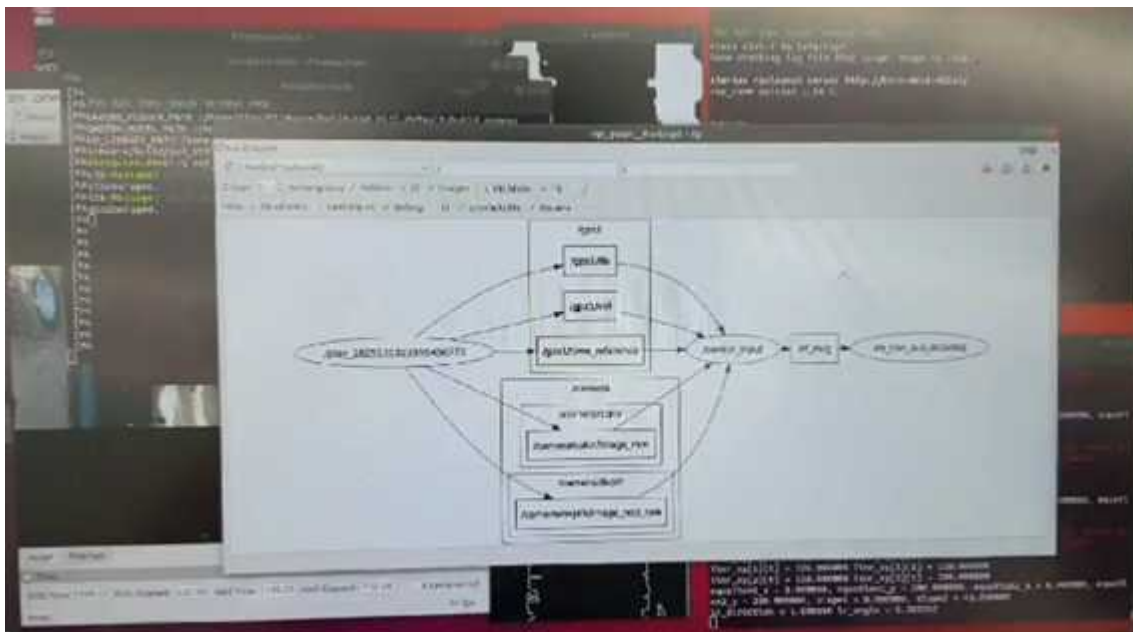
* 두둑인식을 활용한 직진 자율주행 알고리즘 개발

- : 두둑 인식에서 활용된 조향 각도를 활용해서 플랫폼의 조향 각도를 제어하게 되며, 직진 상태에서 자율주행 모드를 선택 했을 시에 동작되게 구성함.
- : 먼저, 각도 두둑 상태는 두둑 유/무와 두둑이 존재 하였을 때 직진/대각선 총 3가지로 분류가 가능하며, 이를 고려하여 알고리즘을 설계함.
- : 직진 주행시 대각선 상태를 판단하는 임계 값1과, 대각선 주행시 직진 상태를 판단하는 임계 값2로 주행 테스트를 하면서 임계값을 얻어내었으며, 플랫폼의 주행 속도 때문에 영상의 프레임에서 나오는 각도 정밀 제어를 하면 지그재그 주행하는 문제점이 발생함.

: 임계 값2 에는 각도 값 외에도 시간 값을 주어 일정 주행 시 각도를 직각으로 만들어서 안정된 주행이 되는 것을 확인함.



< 고랑인식 및 직진주행 개선 알고리즘의 흐름도>



< 고랑인식 및 직진주행 개선 알고리즘의 동작화면>

나) RTK-GPS 모듈 플랫폼 적용 테스트

- RTK- GPS 모듈 선정

- * 발농업용 로봇플랫폼과 같은 무인이동체가 자율주행을 수행하기 위해 필요한 정밀 측위 제품은 아래와 같은 다양한 요구사항을 동시에 만족 시킬 수 있어야함

성능지표	설명
정확도	cm급 오차 정밀도 필요하며, 자율주행의 차선 구분을 위해서도 최소한 50cm이하의 오차 정밀도를 확보하여야 한다.
사용 편의성	정밀 측위 서비스에 수동 조작 없이 자동 접속되는 사용 편의성을 제공 하여야 한다.
서비스 접속 안정성	정밀 측위 서비스에 무제한 동시 접속이 가능하여야 하며 장시간 안정적인 서비스를 유지해야 한다.
서비스 안정성	언제 어디서나 안정적인 무중단 정밀 측위 서비스가 제공되어야 한다.
가용성	도심지역에서도 높은 정밀 측위 모호정수 획득 확률(이하'Fix2) 확률')을 제공하여야 한다.
복귀시간	모호 정수를 잃어버리고 빠르게 획득할 수 있어야 한다. '복귀시간을 이하 Convergence Time3)으로 표기.'
경제성	방송망과 같이 단방향 무료 네트워크를 통해 서비스를 제공할 수 있어야 한다.
기타	Jamming 및 해킹에 대한 안정성, 무결성 등

< 무인이동체 분야 정밀측위 성능 요구사항 *출처 : 위치정보산업동향보고서 >

- * 아래와 같이 국내 정밀측위 서비스(RTK-GPS) 비교 결과 MBC(문화방송)의 RTK서비스가 가장 우수하여 MBC의 RTK 서비스 이용이 가능하고 플랫폼이 정지하고 있을 때 지향하고 있는 방향정보를 제공해주는 MRD-1000T와 TDR-3000제품으로 선정

기술방식	OSR			SSR
	MBC RTK	VRS	FKP	
특징	MBC가 세계최초로 구현한 Broadcast RTK서비스	Virtual Reference Stations 서버연산 방식으로 관측위치 주변에 가상 의 기준국을 제공	VRS의 접속제한 문제를 개선한 면보정 방식 서비스	인프라 구축비용을 절감할 수 있어 대륙단위 서비스가 가능한 최신 정밀측위 기술
운용 주체	MBC	국토지리정보원	국토지리정보원	국토지리정보원
원천 기술	MBC	트림블	GEO++	GEO++
주요 용도	공공측량 제외 모든분야	측지측량	사용성 낮음	자율주행차 목표
성능	접속 제한	무제한	제한(기기제어 사용불가)	무제한
	운용 안정성	높음(기준국 이중화 구축)	낮음	낮음
	정확도	Cm급	Cm급	20Cm급
	Fix 확률	높음	보통	낮음(예상)
	Conv.Time	빠름	보통	낮음(예상)

< 국내 정밀측위 서비스 성능 비교 *출처 : 위치정보산업동향보고서 >

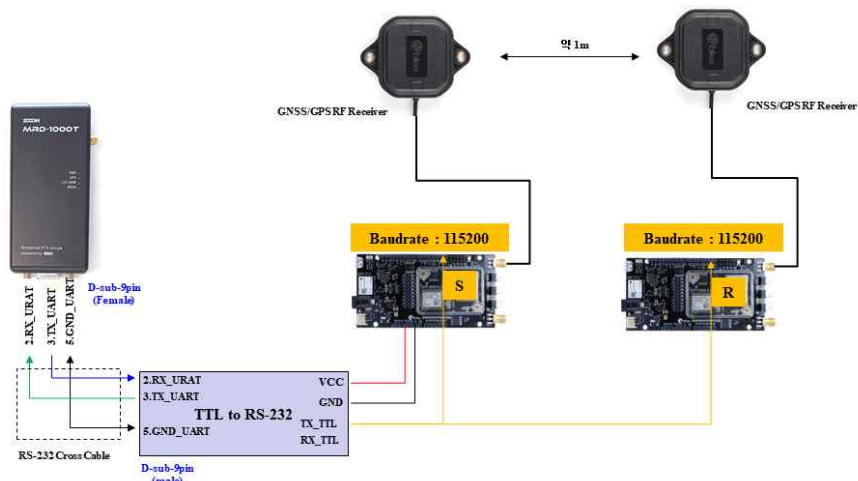
- RTK- GPS 플랫폼 적용 테스트

- * 간이 플랫폼에 RTK-GPS를 설치하고 현재 위치에 대한 신뢰성을 검증하기 위하여 수신되는 위성지도로 확인 가능한 주차장에서 주차선을 이동하면서 실제 위치와 위성지도에 표시되는 위치를 비교
- * RTK 보정 신호 수신기 1대에 다수의 RTK-GPS 모듈을 연결하여도 RTK 수신이 가능하며,보정 신호 수신기는 데이터는 수신이 계속 되는 형태임.

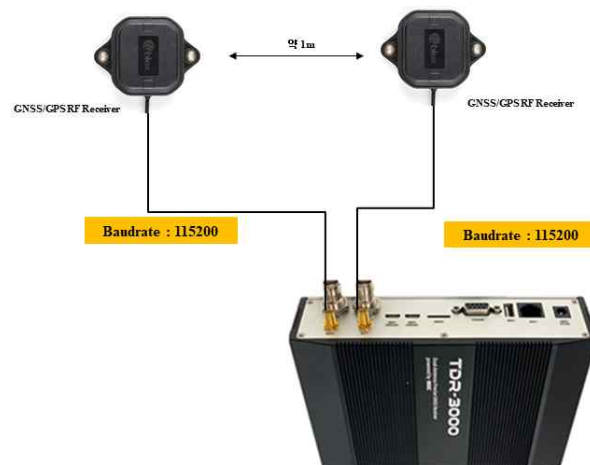


< 주행 경로(좌) 및 간이 플랫폼(우) >

- * MRD-1000T와 TDR-3000를 사용하기 위해서는 최소 GPS 수신기는 2개가 필요하며 이를 활용하여 테스트함. 수신기 간의 거리는 약 1m이상에 설치를 권장하므로 복수의 테스트 결과를 해보았으며 1m 이상 거리일시에 데이터가 잘 들어오는 것을 확인함.

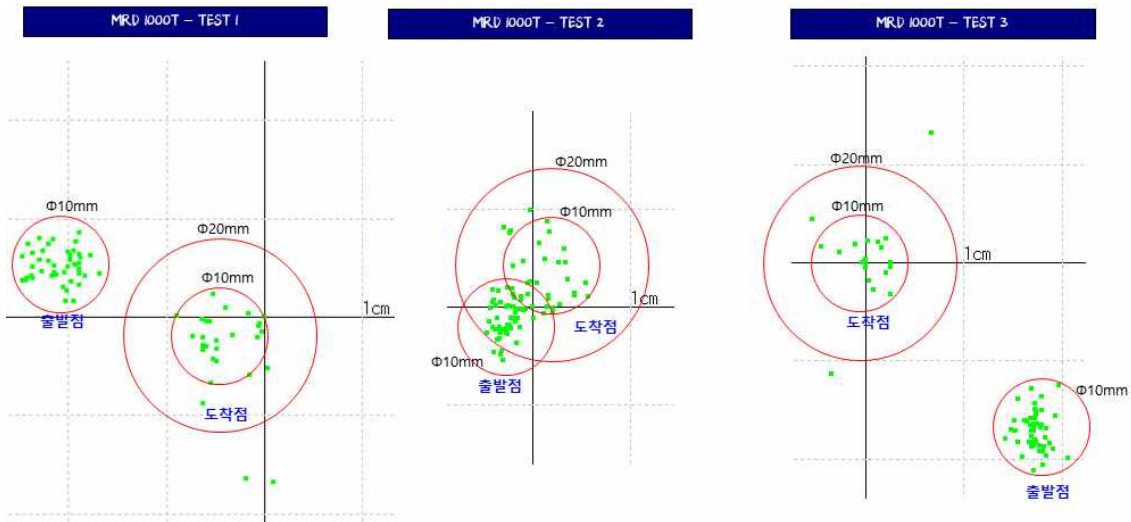


<RTK-GPS의 센서와 MRD-1000T 보정신호 수신기 구성도>

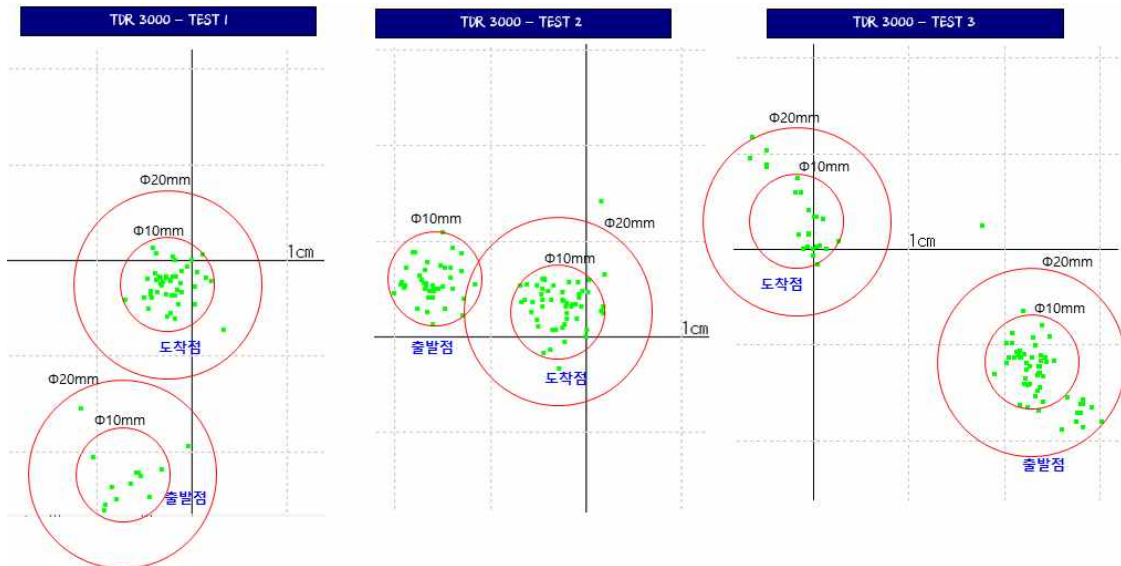


<RTK-GPS의 센서와 TDR-3000 보정신호 수신기 구성도>

- * 주행 경로 계획상 출발점과 도착점의 위치가 같으나 정확한 위치를 고정 할 수 없어 실험자의 간이 플랫폼 조작에 의한 실험오차 인해 출발점과 도착점의 위치정보의 차이가 발생하였고 정지상태에서의 오차는 20mm 이내로 확인함

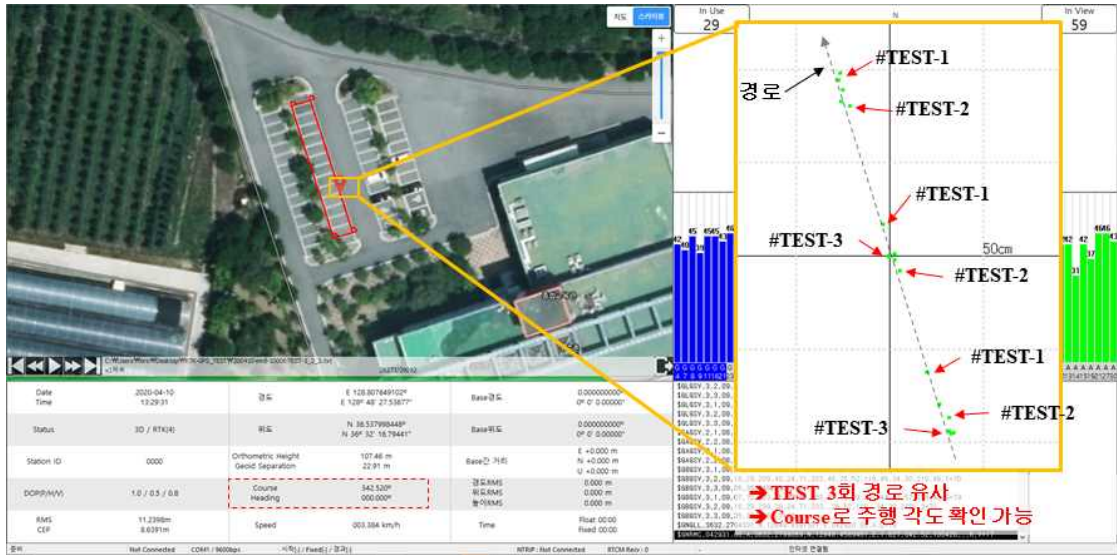


< 간이플랫폼 정지 상태 위치 오차 (MRD-1000T) >

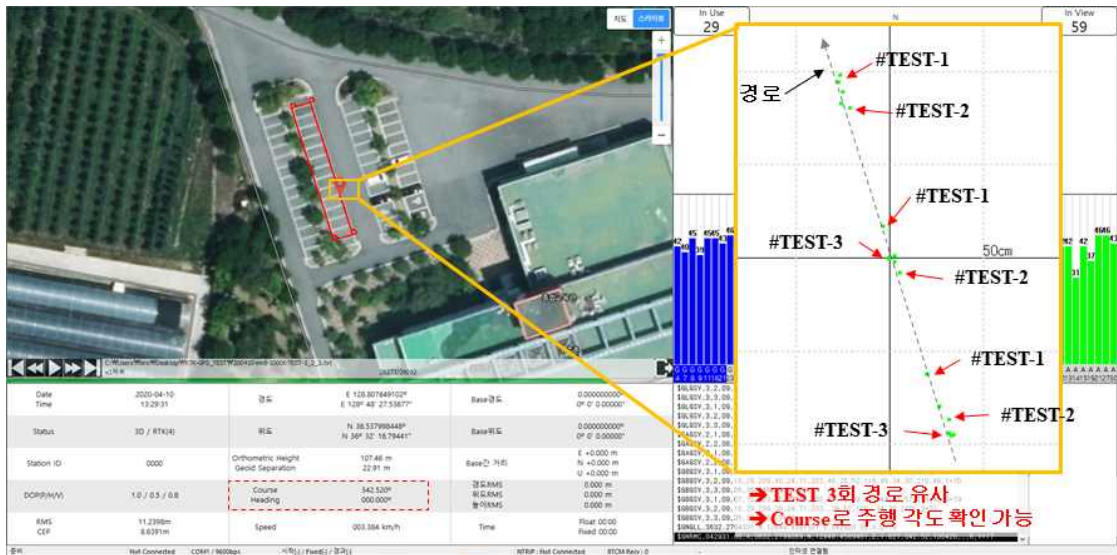


< 간이플랫폼 정지 상태 위치 오차 (TDR-3000) >

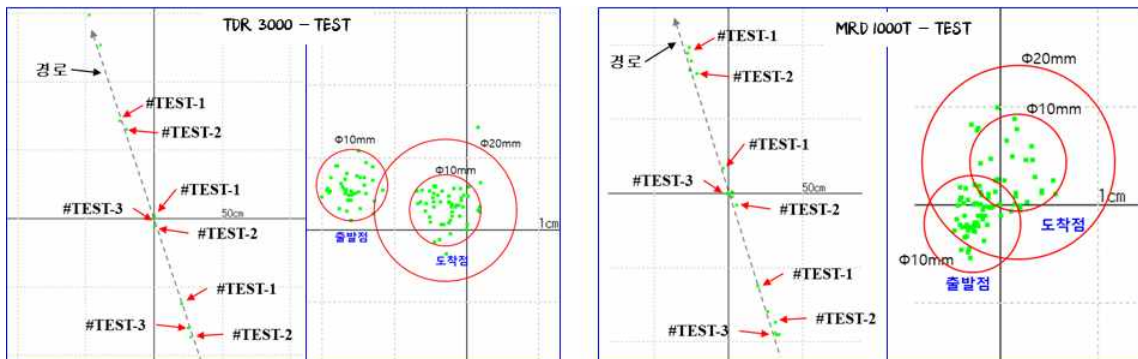
- * 계획 된 주행경로를 3회 반복 주행하여 위치정보를 수집하였으며 3회 모두 계획된 경로 내 위치가 확인 되었고 주행 중 경로 변경을 위해 급정지 하였을 경우 오차가 2회 오차가 발생하였으며 간이플랫폼이 지향하고 있는 방향(Heading)을 확인함.
- * 동일한 GPS 모듈에 수신기를 활용한 보정 신호 알고리즘이 다른 차이점만 존재하기 때문에, 경향성은 비슷하며, 차이점은 방향(Heading)각을 제공하는 TDR-3000과 달리 MRD-1000T의 경우에는 직접 계산을 적용해야함.
- * Global path planning에서 필요한 GPS 정보뿐만 아니라 주행의 방향각을 얻게 되면 원활한 퓨전 알고리즘을 만드는 Factor로 사용가능함으로 최종적으로 TDR-3000을 선정함.



<주행경로 3회 반복 주행 결과 (MRD-1000T)>



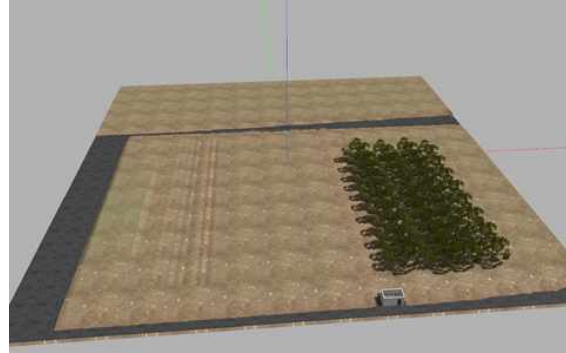
<주행경로 3회 반복 주행 결과 (TDR-3000)>



<TDR-3000 및 MRD 1000T 수신기 성능 확인 결과(위치 오차)>

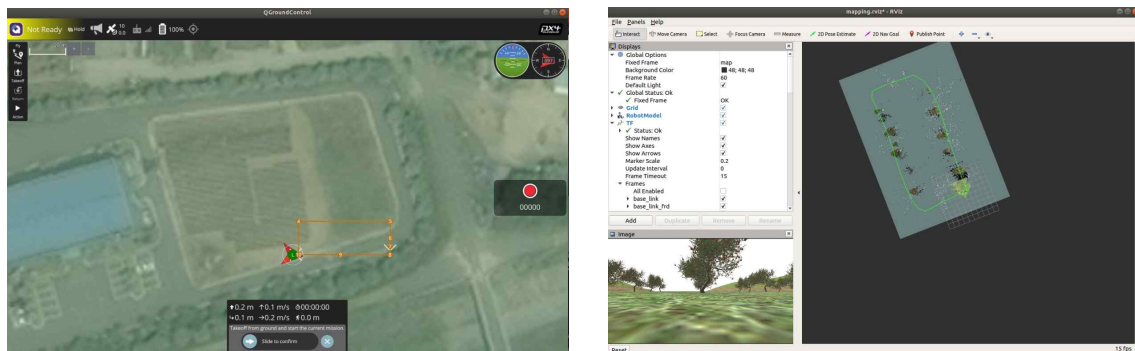
* GPS를 활용한 주행을 위해서 ROS상의 Gazebo에서 한국로봇융합연구원의 테스트 필드 환경을 모델링하였음. height map과 Global path planning에서 필요한 GPS 정보 뿐만 아니라 주행의 방향각을 얻게 되면 원활한 퓨전 알고리즘을 만드는 Factor로 사

용하기 위해서 최종적으로 TDR-3000을 선정함.



<테스트베드 환경 시뮬레이션 구현결과 (왼쪽: 위성사진, 오른쪽 : 시뮬레이션 환경)>

- * GPS 이외에도 센서 퓨전으로 IMU가 부착된 Tracking 카메라와 GPS를 활용해서 데이터를 취득한 뒤에 GPS 주행 테스트를 시뮬레이션 상에서 적용함.



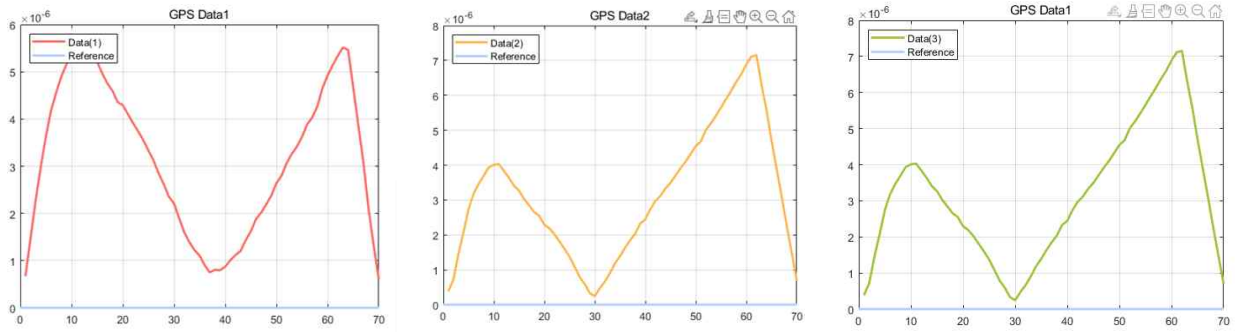
<시뮬레이션 상에서 주행경로 설정 및 테스트 결과>

- * 주행경로 설정을 하였고, GPS 위치대로 플랫폼이 이동을 하는 것을 확인하였으며, 센서 퓨전으로 IMU가 부착된 Tracking 카메라와 GPS를 융합할 시에 이동 궤적이 보정되는 것을 확인할 수 있었음.
- * Global 위치추정오차를 구하기 위해서 RTK-GPS로 시작점과 끝점을 reference 데이터로 만들었으며, 두독을 직진 자율주행 하면서 GPS 데이터를 취득함. 상기 결과를 활용해서 RMSE (Root Mean Squared Error)를 구함으로써 reference 절대 위치 값과 실제 주행 결과 값 간의 차이 척도를 구하였음. 표준 편차와 같이 예측이 얼마나 오차가 발생이 되는 것을 확인 가능함.

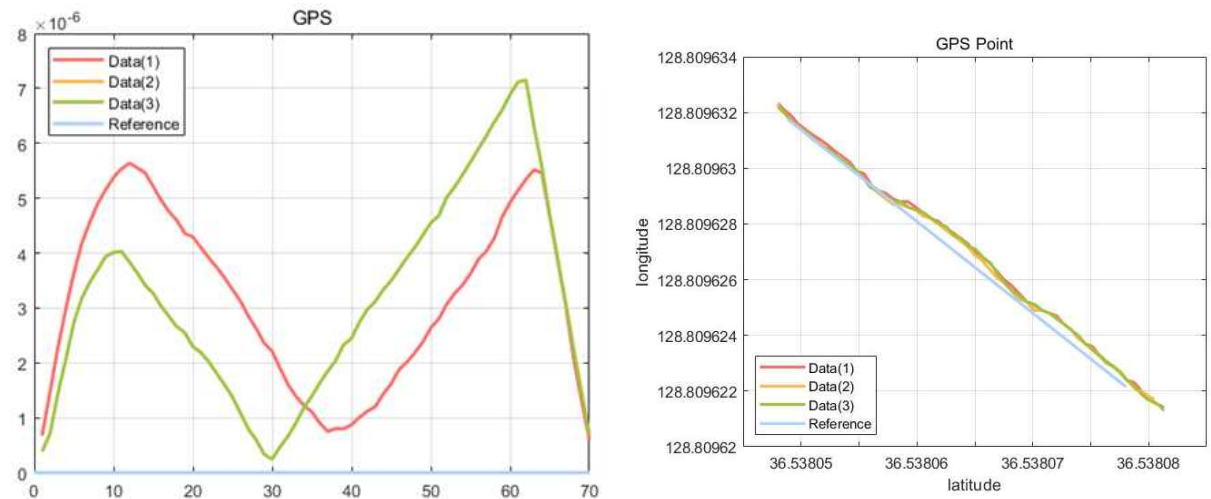
실험결과	최대위치주행오차(cm)
GPS1	3.9002
GPS2	4.1652
GPS3	3.8474

< GPS기반 주행위치오차>

- * 실험 데이터 결과 Reference를 주행 할 시에 4.1652cm 이내의 최대 위치 주행 오차를 나타내는 것을 확인 가능하였음.



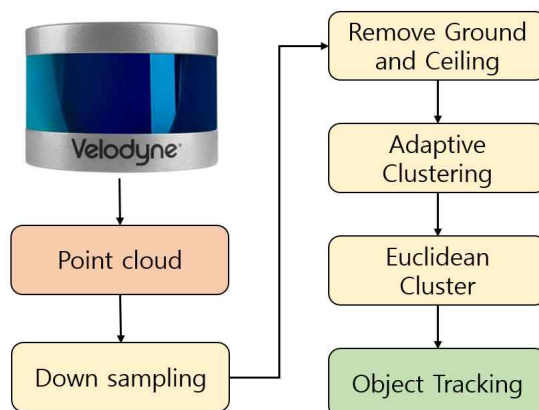
<GPS 직진자율주행 경로추정 결과>



<GPS 직진자율주행 경로추정 결과>

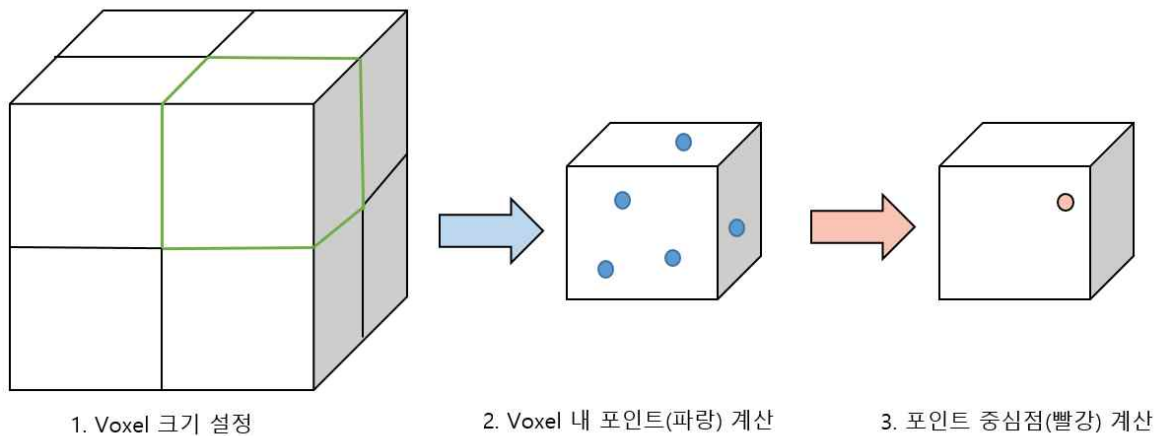
- * 최종적으로 두둑인식 Local 위치 추정오차는 5.12cm 이내이며, RTK-GPS를 반영해서 위치 추정오차를 구한 결과는 약 4.17cm 이내로 나타났음.

다) LiDAR를 활용한 전방 장애물 감지



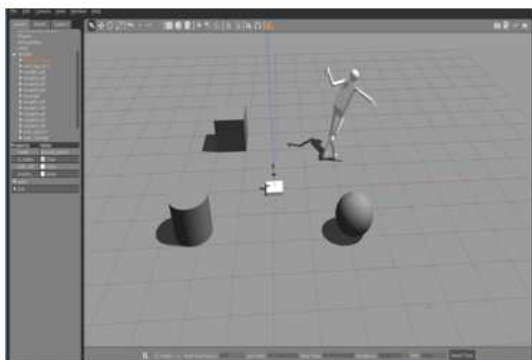
< 전방 장애물 감지 전처리 과정 흐름도 >

- VLP-16 LiDAR Data 전처리 알고리즘 과정

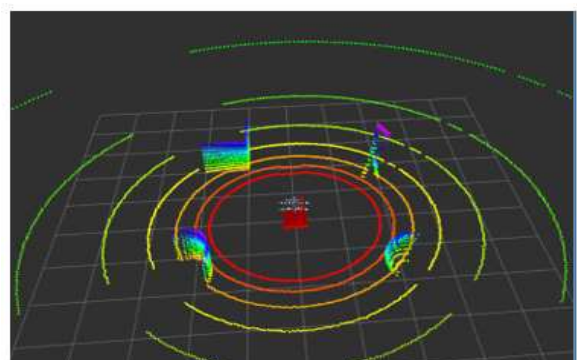


<Down sampling Voxellization 방법 >

- : 전방 장애물에 대한 반응 속도 및 연상처리를 높기 위한 Voxel Grid 기반의 Down sampling 과정 진행 및 거리정보 바탕의 특정 포인트의 반경내 지정된 포인트 이하의 경우 잡음으로 간주하여 (Radius Outlier removal) 노이즈 제거함
- : 점군 안에서 선, 원통, 평면 등과 같은 특정 모델의 파라미터를 선정하고 Lidar 정보가 이 모델에 속하는지 무작위의 Point를 선별 하여 일치하는지 테스트하는 방식의 RANSAC(Random Sample Consensus) 과정을 통해 Ground 제거 하여 각각의 장애물들이 서로 연결되지 않고 떨어지게 하여 구분을 쉽게 할 수 있고 불필요한 영역을 제거함으로 계산 부하를 감소함
- : DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) 기반으로 특정 요소가 클러스에 속하는 경우 해당 클러스터 내의 다른 많은 요소와 가까운 위치를 기반으로 직경과 최소요소를 사용하여 핵심, 경계 이상치 요소로 구분함 즉 포인트 클라우드간의 밀도 정보를 이용하여 군집을 구별함
- : 두점 사이의 거리가 특정 거리 이하일 경우 동일한 군집으로 계산하기 위한 거리를 계산하는 방법을 중심 기반의 군집화 (Euclidean Clustering) 클러스터를 클러스터 중심으로 정의하는 방식을 적용함
- : 군집화 상태에서 Surface Normal 기법을 사용하여 평면법선을 기준으로 방향정보를 복원해 그점을 포함하고 있던 면의 법선 벡터를 근사적으로 추정하여 Object Tracking을 함

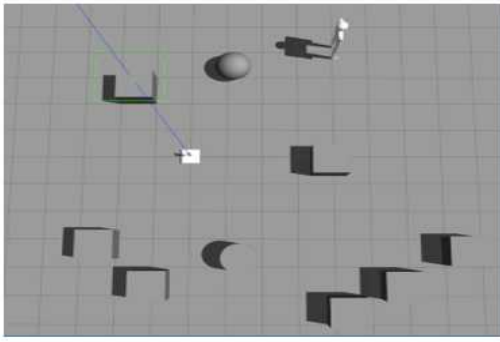


Simulation
(Environment)

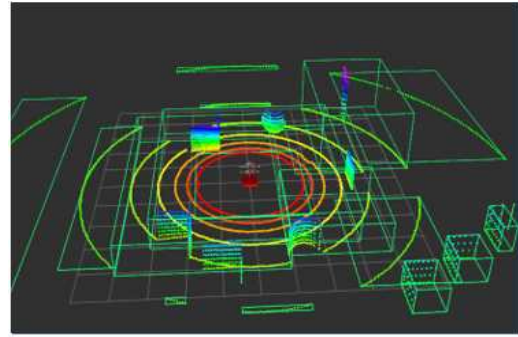


Simulation
(Lidar)

<가상환경 (ROS Gazebo) VLP-16 LiDAR 환경 설정 >



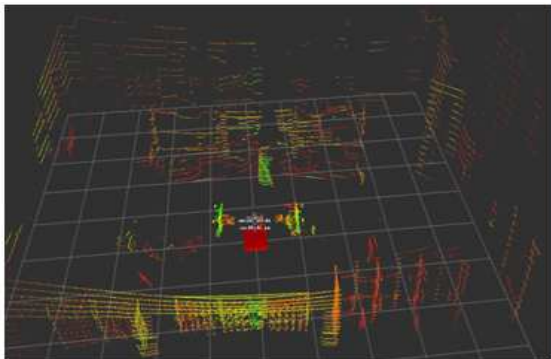
Simulation
(Environment)



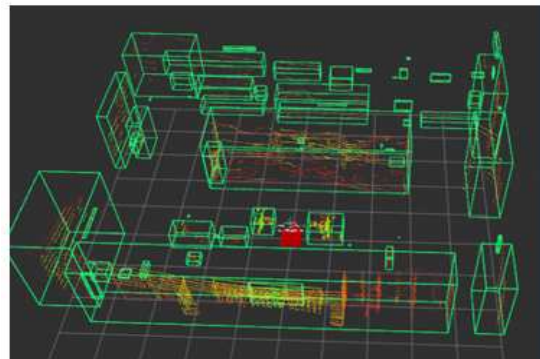
Simulation
(Object Tracking)

<가상환경 (ROS Gazebo)에서 Object Tracking 결과 >

- VLP-16 LiDAR Data 전처리 과정 가상환경 설정 및 사전 Test
 - : 가상환경 (ROS Gazebo)에서 VLP-16 LiDAR Data가 Topic Data로 전환되어 전달 되는지 확인함
 - : 가상환경 (ROS Gazebo)에서 LiDAR Data를 전처리 하고 Rviz에서 시각화 확인함
 - : 가상 환경(ROS Gazebo)에서 전처리된 Data를 통해 Object 검출하고 Tracking ROS 제어기에 전달함



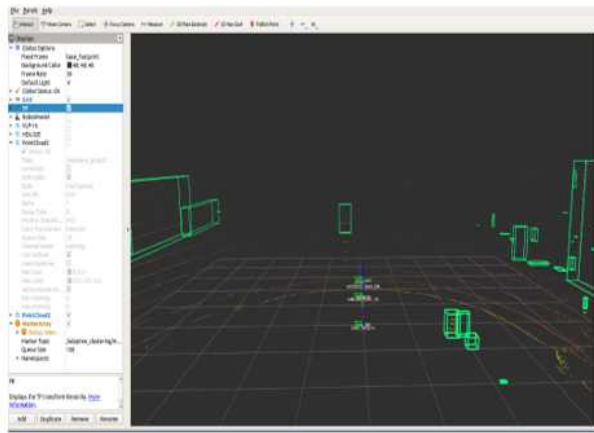
Real World
(Indoor)



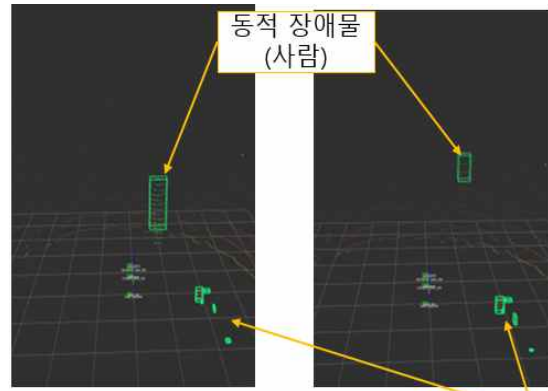
Object Tracking
(Indoor)

<실내 환경에서 Object Tracking Test>

- VLP-16 LiDAR Data 전처리된 Object Tracking 실내 환경 Test
 - * 실내 환경에서 VLP-16 LiDAR Data가 Topic Data로 전환되어 전달 되는지 확인함
 - * 실내 환경에서 LiDAR Data를 전처리 하고 Rviz에서 시각화 확인함
 - * 실내 환경에서 전처리된 Data를 통해 Object 검출하고 Tracking 하여 ROS 제어기에 전달함



Real World
(Outdoor)



Object Tracking
(Outdoor)

정적 장애물
(의자)

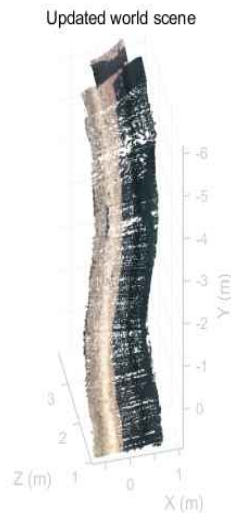
<실외 환경에서 Object Tracking 결과 >

- VLP-16 LiDAR Data 전처리된 Object Tracking 실외 환경 적용
 - * 실외 환경에서 VLP-16 LiDAR Data가 Topic Data로 전환되어 전달 되는지 확인함
 - * 실외 환경에서 LiDAR Data를 전처리 하고 Rviz에서 시각화 확인함
 - * 실외 환경에서 전처리된 Data를 통해 Object 검출하고 Tracking 하여 ROS 제어기에 전달함
 - * 제어기로 전달된 Data를 통해 전방에 장애물 발견 시 정지 및 감속 운행 시행함

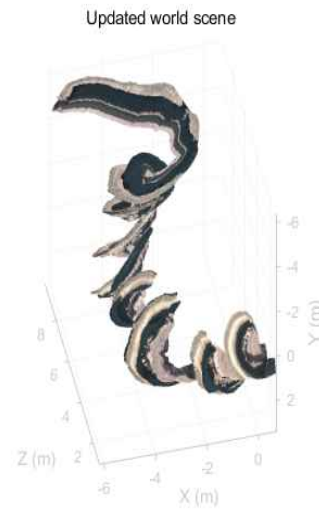
라) 환경 지도 작성 기술

- ICP(Iterative Closest Point)

: 포인트 군집(Point Cloud)을 이용하여 환경지도의 3차원 정보를 복원하는데 있어서 다양한 방법이 있고, 관심영역을 설정한 후 복원한 결과는 아래 그림과 같음. 결과를 보면 Iterative Closest Point (ICP)의 방법이 적용 가능함을 알 수 있음



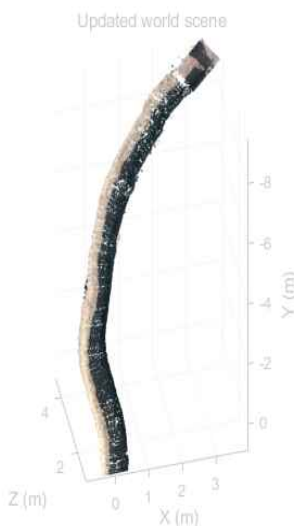
(a) Iterative Closest Point (ICP)



(b) Normal-Distributions Transform (NDT)

< 포인트 군집을 이용하여 고랑의 3차원지도를 복원한 예 >

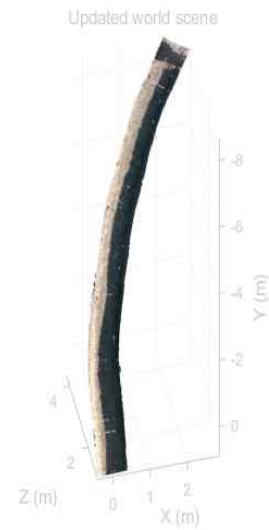
: 또한 다음과 같이 모든 데이터를 처리하는 경우와 효율성을 위해서 획득되는 데이터를 샘플링하여 복원하는 방법을 비교해본 결과 다음과 같음. 실험 결과 적당한 샘플링을 한 경우 업데이트속도를 올릴 수 있었으며, 또한 더 많은 개수의 복원된 포인트군집을 획득할 수 있음.



(a) 4444 images / 22553 points / 5.0047 Hz



(b) 2222 images / 26291 points / 11.1527 Hz



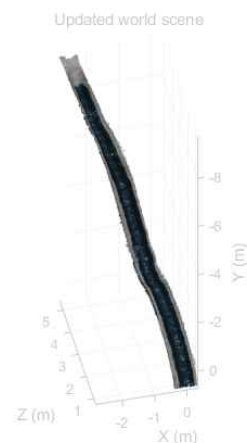
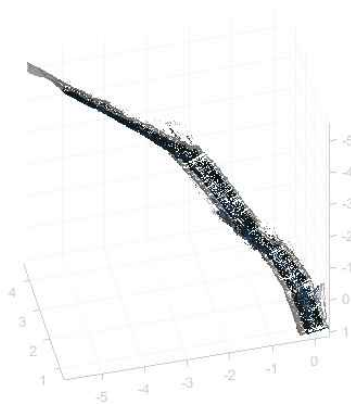
(c) 1481 images / 28748 points / 15.6018 Hz (d) 1111 images / 29888 points / 19.6078 Hz

< 포인트군집 데이터에 샘플링을 적용한 결과 >

: 위의 데이터 경우 이미지만을 이용한 경우로 다양한 샘플링을 적용한 경우임. 보다 효율적인 방법으로는 GPS의 위치정보를 이용하여 필요한 데이터의 양을 줄이고, 즉 위치변화가 거의 없는 경우는 업데이트를 생략하면서, 필요한 경우에만 데이터를 이용하여 업데이트를 하는 방법을 적용하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있음.



(a) GPS정보

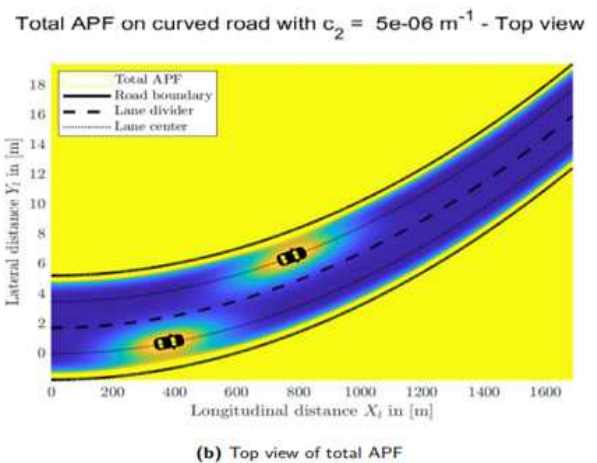
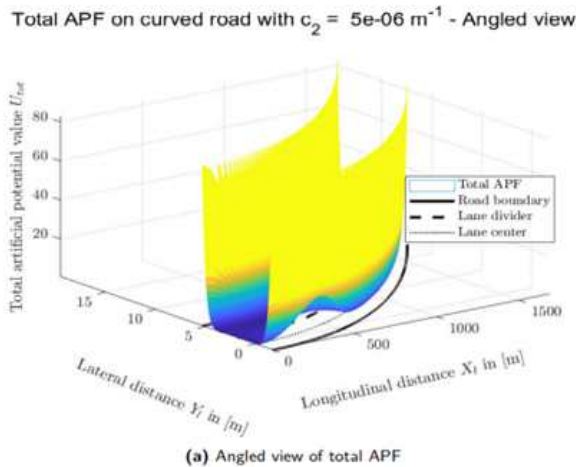
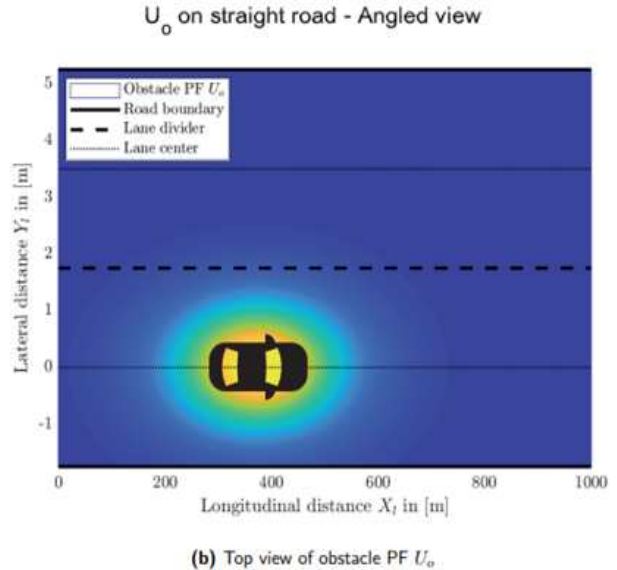
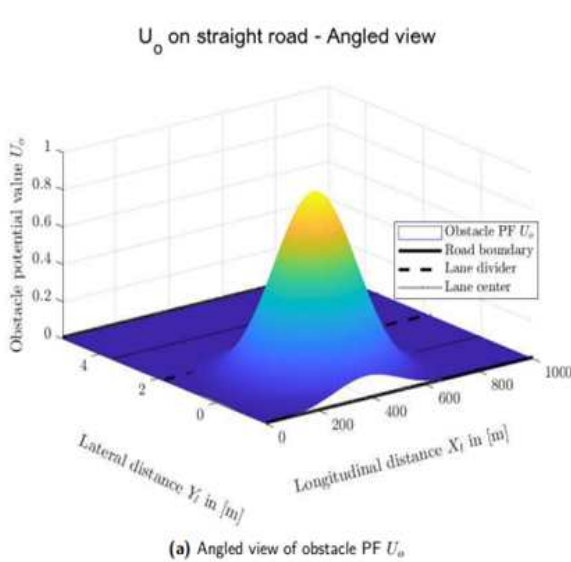


(b) 4211 images / 20046 points / 5.8501 Hz (c) 1403 images / 30063 points / 20.3608 Hz

< GPS정보를 이용하여 포인트군집 데이터를 샘플링 적용한 결과 >

: 위의 결과에서 보면, 샘플링 없이 환경지도를 복원한 경우 오히려 부정확한 지도가 생성이 됨. GPS 정보를 활용하여 샘플링한 데이터를 가지고 복원한 경우, 빠른 업데이트속도를 가지면서도 보다 정확하며, 더 많은 복원 포인트군집을 획득할 수 있음.

마) 경로추정 기술

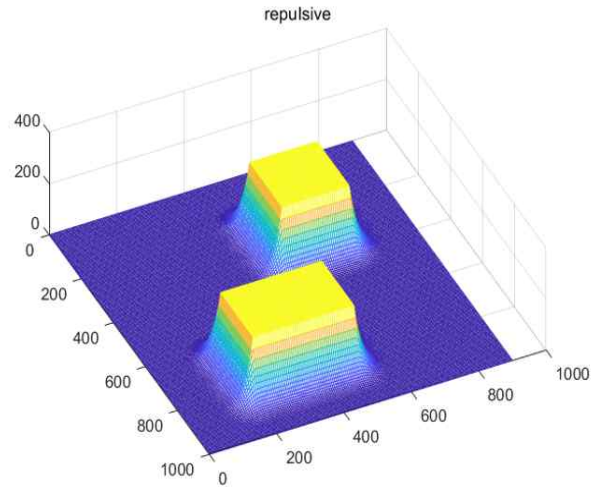
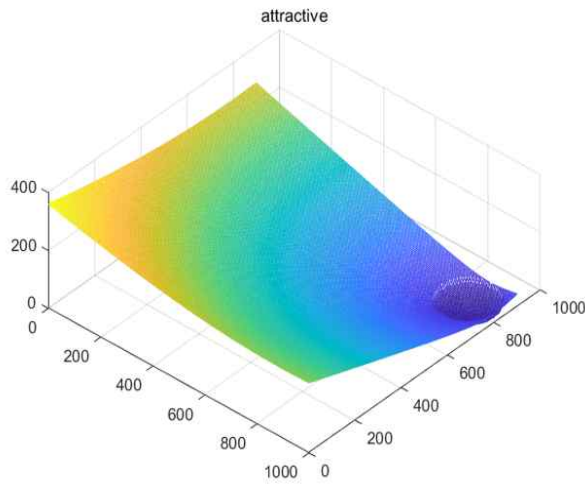


<Potential Field 사용 예시 >

출처: Model-based Path Planning and Control for
Autonomous Vehicles using Artificial Potential Fields

- Potential Field 알고리즘 기반의 경로 추정 기술 적용

- : 목표점을 으로 이끄는 (Attractive) 인공적인 Potential Field 와 장애물로부터 멀어지게 내보내는 (Repulsive) 인공적인 Potential 필드를 형상 공간에 구축하여 경로를 추정함
- : Attractive Potential는 경로의 목표점으로 가까워 질수록 적은 값을 가지고, Repulsive Potential는 장애물에 가까이 갈수록 큰값을 가지도록 함
- : 즉 목표위치에 Attractive 힘을 주도록 하며, 장애물 근처에서는 충돌하지 않도록 Repulsive 힘을 주어서 장애물을 우회해서 목표위치에 도달하게 하는 경로추정 기술을 사용함



<Potential Field (Attractive , Repulsive) 시각화 모습 >

- Potential Field 알고리즘 수식 설명

$$U(q) = U_{att}(q) + U_{rep}(q) \quad : \quad \text{Potential} = \text{Attractive} + \text{Repulsive}$$

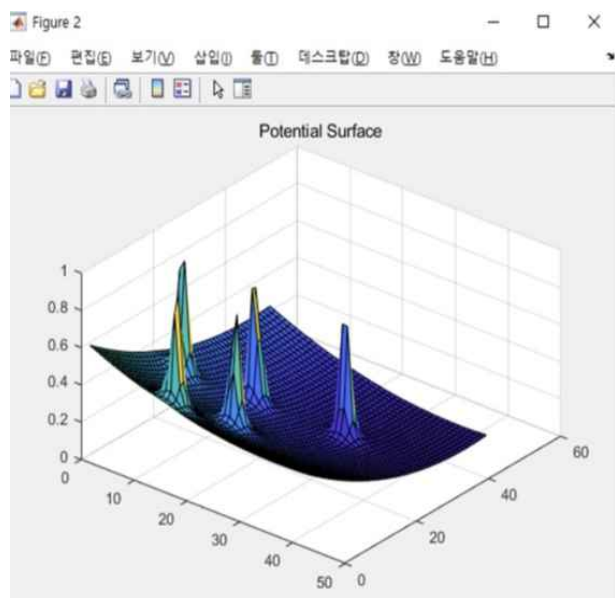
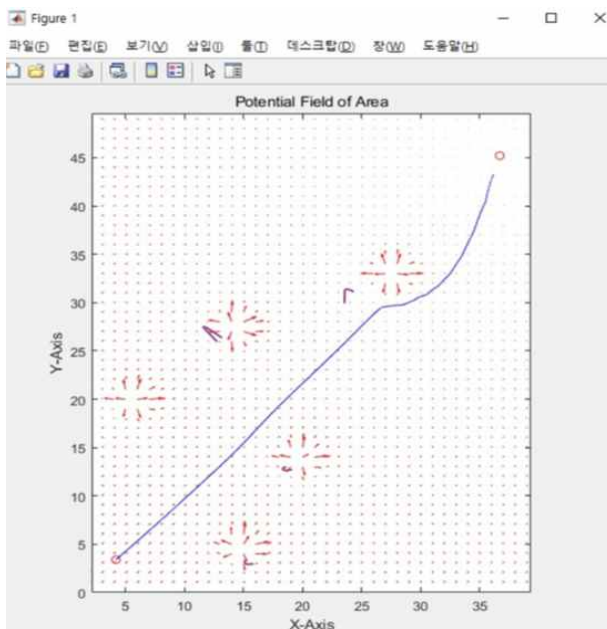
$$U_{att}(q) = \frac{1}{2} \zeta p_{goal}^2(q)$$

ζ : 임의의 양수값 , $p_{goal}^2(q)$: 현재위치에서 목표위치 까지 거리

$$U_{rep}(q) = \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho(q) - \rho_0} \right)^2 \quad \text{if } \rho(q) \leq \rho_0$$

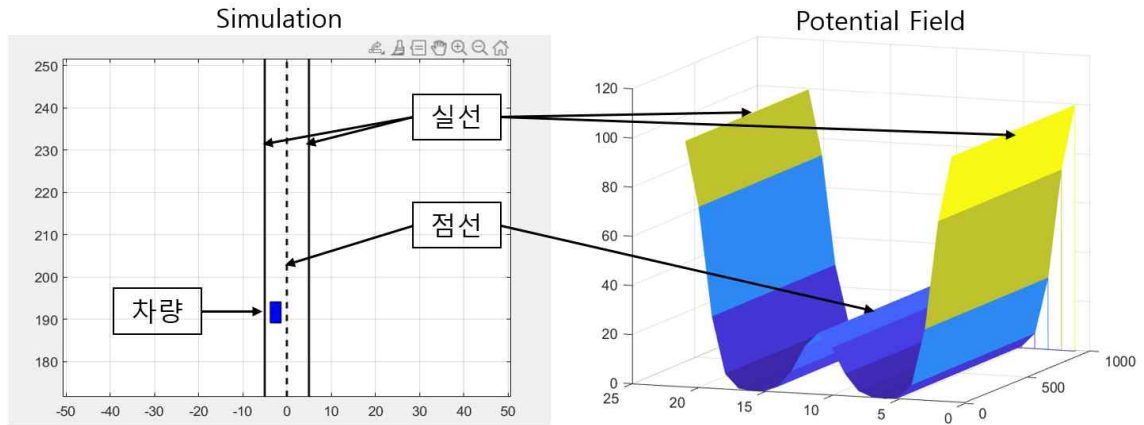
η : 임의의 양의 값, $\rho(q)$: 현재 위치에서 장애물 까지 거리 , ρ_0 : 장애물의 크기 결정 양의 상수

$$U_{rep}(q) = 0 \quad \text{if } \rho(q) > \rho_0$$



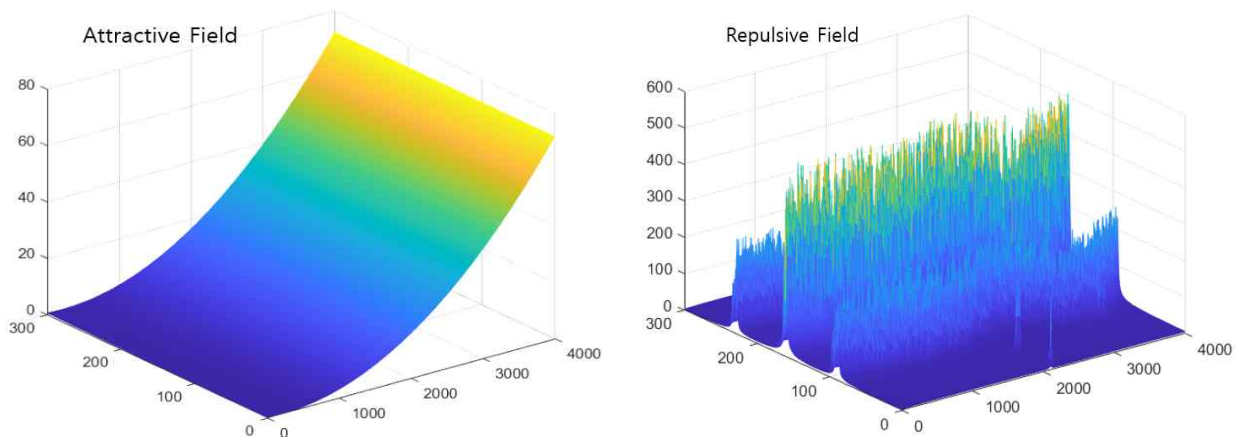
<Simulation 환경에서 Potential Field 알고리즘으로 경로추정 Test >

- Simulation 환경에서 Potential Field 알고리즘 성능 사전 Test
 - * Simulation 환경에서 장애물에 대하여 Attractive Field와 Repulsive Field가 적용되는지 확인함
 - * Simulation 환경에서 Potential Field 기반의 Global Map을 활용하여 Pure Pursuit Control 알고리즘으로 최적경로를 확인함
 - * Simulation 환경에서 생성된 최적경로 결과와 장애물을 결합하여 경로추정 성능을 확인함

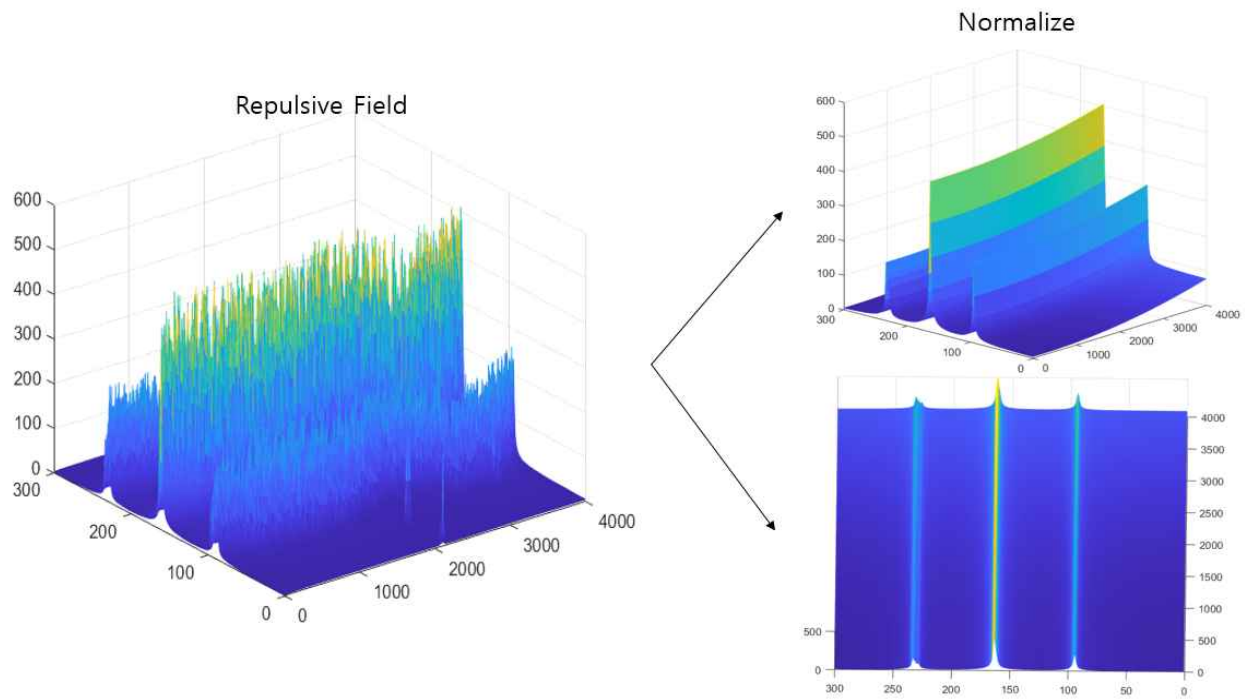


<논발 환경에서 적용하기 위한 Potential Field 기반의 경로추정 Test >

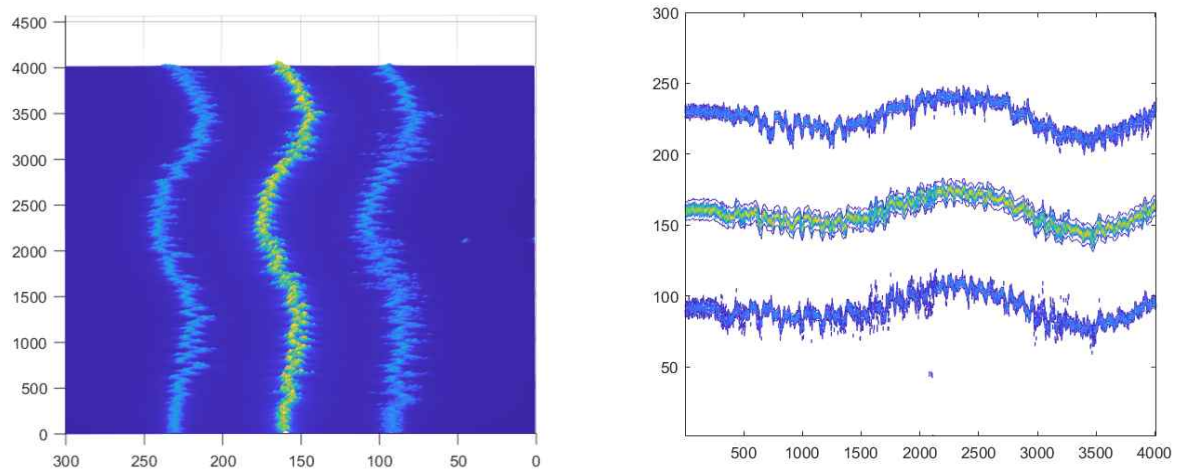
- Simulation 환경에서 논발에 Potential Field 적용가능성 판별 Test
 - * Simulation 환경에서 차선에 대하여 Attractive Field와 Repulsive Field가 적용되는지 확인함
 - * Simulation 환경에서 Potential Field 기반의 Global Map을 활용하여 Pure Pursuit Control 알고리즘으로 차선을 넘지 않고 주행하는 최적 경로 확인함
 - * Simulation 환경에서 생성된 최적경로 결과 와 차선과 결합하여 경로추정 성능을 확인함



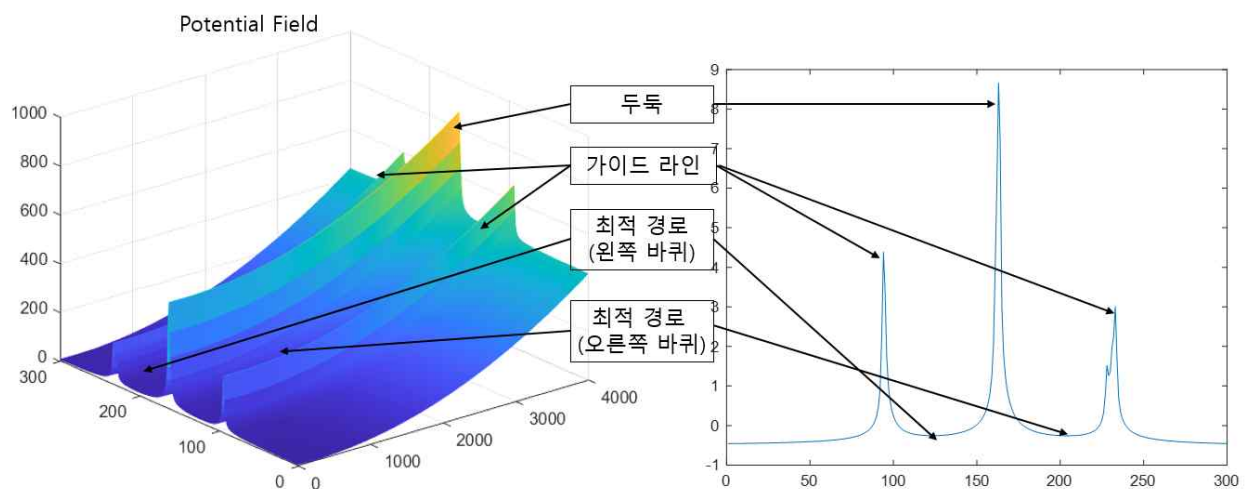
<실제 논발 환경에서 두둑 정보에 적용한 Attractive Field , Repulsive Field 결과 >



<실제 논발 두둑 정보 Repulsive Field Normalize 결과 >



<실제 논발 환경에서 두둑 정보에 적용한 Potential Field 기반의 경로추정 결과 >



<실제 논발 환경에서 두둑 정보에 대한 Potential Field 결과 >

- 실제 논밭 환경에서 Potential Field 알고리즘 적용
 - * 실제 논밭의 두둑 이미지를 차선과 같은 방식으로 인지하여 Attractive Field와 Repulsive Field가 적용되는지 확인함
 - * 실제 논밭 환경에서 두둑에 대한 Potential Field 적용한 Global Map을 활용하여 Pure Pursuit Control 알고리즘으로 최적 경로를 확인함
 - * 실제 논밭 환경에서 생성된 최적경로 결과와 두둑을 결합하여 경로추정 성능을 확인함

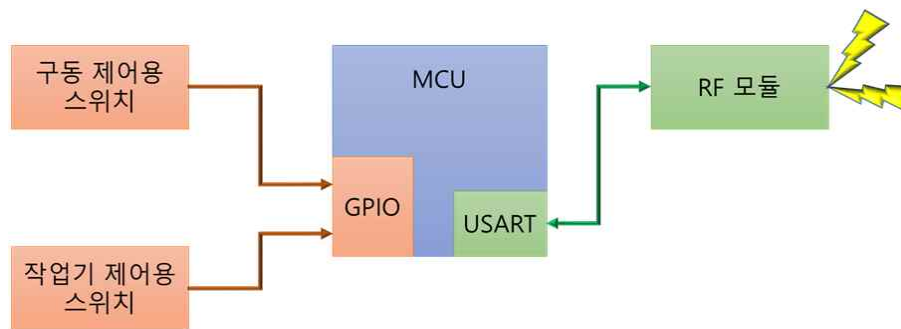
○ 원격제어부 및 통합관제 시스템 개발

가) 원격제어부 설계 및 제작

- Model-2.1용 원격 조정기

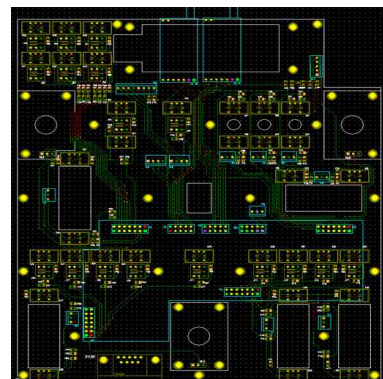
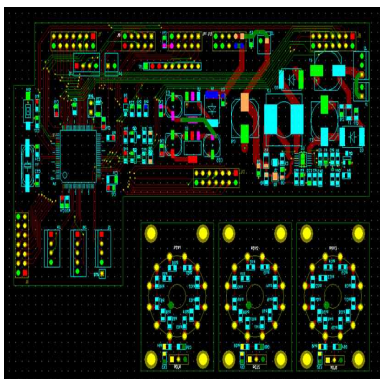
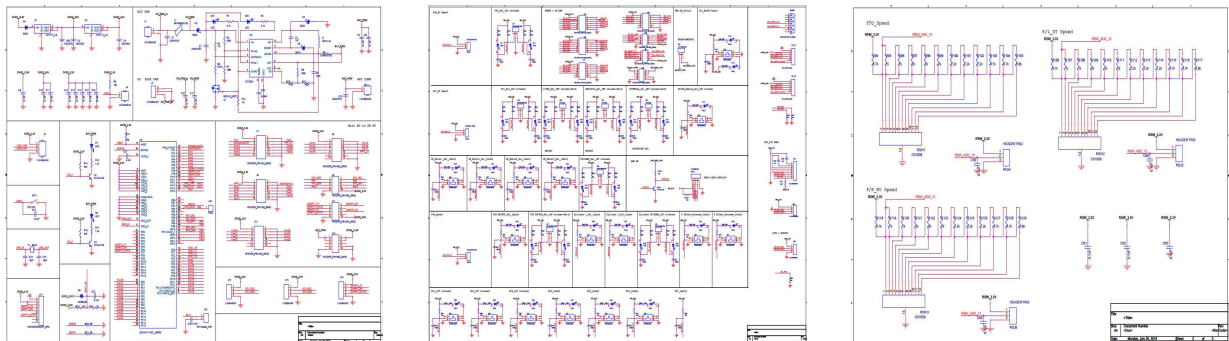
* 제어부 및 회로 설계

- : 32bit 프로세서를 이용한 회로 설계를 통하여 다중 입력을 빠르게 처리하도록 함
- : 구동 및 작업기 제어를 위한 누름 스위치와 위치고정 스위치, 로터리 스위치 등을 장착함
- : 각 제어용 스위치를 통한 디지털신호 및 아날로그 신호를 발생시켜 정보를 생성함
- : 생성된 정보는 패킷화를 통하여 무선모듈(RF 모듈)을 통한 통합제어기(ROS PC)로의 정보 전달을 함



<원격제어기의 구성>

- : 원격제어기의 배터리관리를 위하여 자체 배터리 충전회로 및 측정기능을 내장하여 사용자에게 디스플레이를 통하여 정보를 전달함



<원격제어기 회로 설계>

- : 원격지에서 구동명령을 전달하기 위하여 신호대역은 현재 상용으로 많이 사용하고 있는 GHz 대역의 혼선을 피하기 위하여 수백MHz 대역으로 선정하여 회로작성을 함
- : 회로는 3가지 파트로 나누어지며, 주 연산파트인 마이크로프로세서(Micro Processor)를 구성하는 회로와 신호연결과 전원컨버터, 충전에 대한 영역과, 각 스위치의 연결정의 커넥터와 ON/OFF확인을 위한 LED 인디케이터(Indicator), 무선송수신 모듈 영역, 조향과 자세제어, 속도 등의 아날로그 값을 정의하는 회로 영역으로 나누어 설계함
- : 기능적으로 발농업 로봇의 구동에 필요한 속도, 조향 각도, 자세제어 높이, 구동 모터의 선택과 동작신호 레버, 작업기의 작동 값, 모터 및 실린더 선택, 구동신호 레버 및 표시기, 비상상황용 비상정지 스위치를 두어 각 제어상황에 따라 사용자가 선택하여 사용이 가능함

* 원격제어기 프로토콜

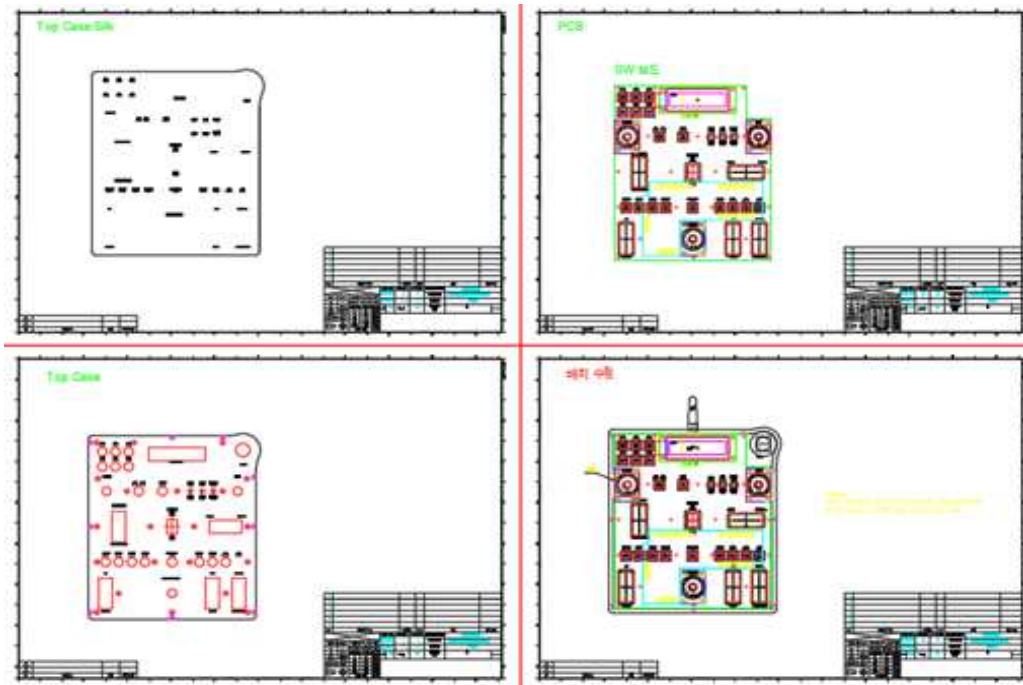
- : 원격제어기의 프로토콜은 플랫폼간의 1:1 제어 시 사용을 위한 정보전달 체계를 수립함
- : 통신속도 9,600bps로 총 12Byte의 데이터를 전송하며, 향후 제어범위에 따라 그 크기는 조절될 수 있음
- : 현 설정된 데이터의 0번 및 10, 11번 데이터는 시작과 끝, 데이터 유효성을 확인하는 정보를 취급함
- : 1번 데이터는 자동 및 수동의 모드와 비상정지를 확인함
- : 2~6번 데이터는 플랫폼의 전체 구동에 관여하는 정보를 취급하며, 각 정보는 스위치의 ON/OFF정보와 아날로그 값을 각 데이터에 배치함
- : 7~9번 데이터는 작업기에 관련된 정보를 취급하며, 작업기에 장착된 모터와 실린더의 동작에 필요한 스위칭 정보와 아날로그 신호 입력을 배치함

원격제어기 프로토콜												
순번	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
크기	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte
내용	STX	CMD	조향 설정	조향 각도	구동 설정	구동 속력	자세 제어 설정	동력 부 설정	동력 부 속력	체결 부 설정	CRC	ETX
데이터	0X02	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	0X03

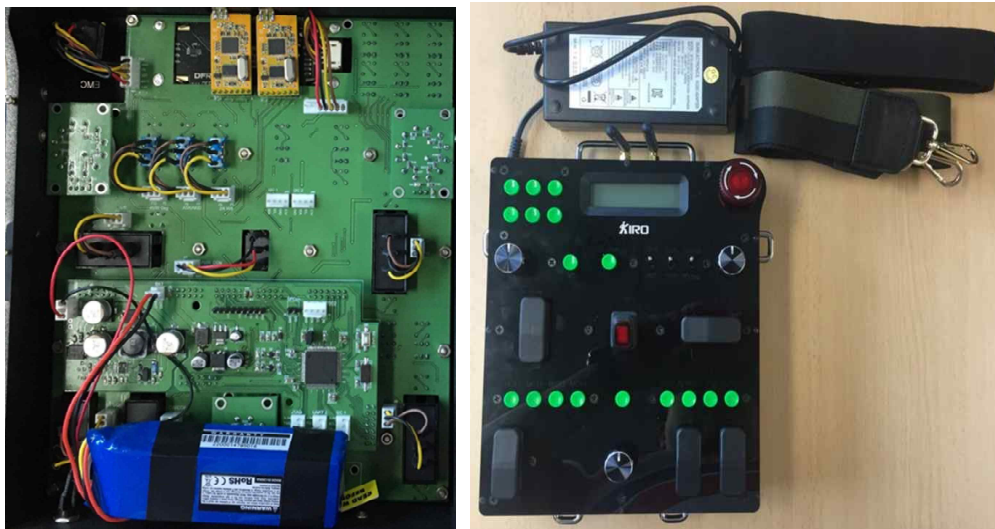
< 원격제어기 프로토콜 정의 >

* 시제품 제작

- : 제작된 회로도를 바탕으로 PCB를 제작하며, 그 크기를 바탕으로, 스위치의 크기 및 두께를 반영하여 CAD기반의 내·외형 설계를 함



<회로 및 구성 부품을 적용한 원격제어기 내/외부 설계>



<원격제어기의 제작된 회로보드 및 외형>

- : 설계된 회로를 이용하여 PCB 제작하였으며, 각 제어 버튼은 중앙제어기와의 상호 프로토콜에 의하여 신호 유지 혹은 사용자가 원하는 동안만 신호를 보내는 용도에 따라 자가 유지 및 자동 리턴이 되거나 선택 및 시소형 스위치의 구성으로 각 기능용 스위치를 연결하여 원격제어기의 인터페이스를 구성함
- : 인디케이터의 광원 확인을 위하여 상판은 아크릴을 이용하여 제작 및 색인처리를 하였고 이로 인하여 각 스위치를 누르거나 동작시 버튼의 상단부에 기능에 따른 문구가 표시 됨
- : 사용되는 기능이 많고 크기가 있는 형태의 제어기 이므로 사용자가 들고 조작의 편의를 주기 위하여, 목에 걸어 사용이 가능하도록 좌우 및 상단에 손잡이 구조를 장착함

- Model-2.2용 원격 조정기

* 원거리용 송/수신기 제품 선정

: 목표인 송수신 거리 1km를 만족하기 위해 기존 고전력 RF 모듈에서 장거리 무선 통신용 릴레이로 제품을 교체하였음

: 기존 최대 800m 였던 통신거리가 약 1.5km까지 증대하였음

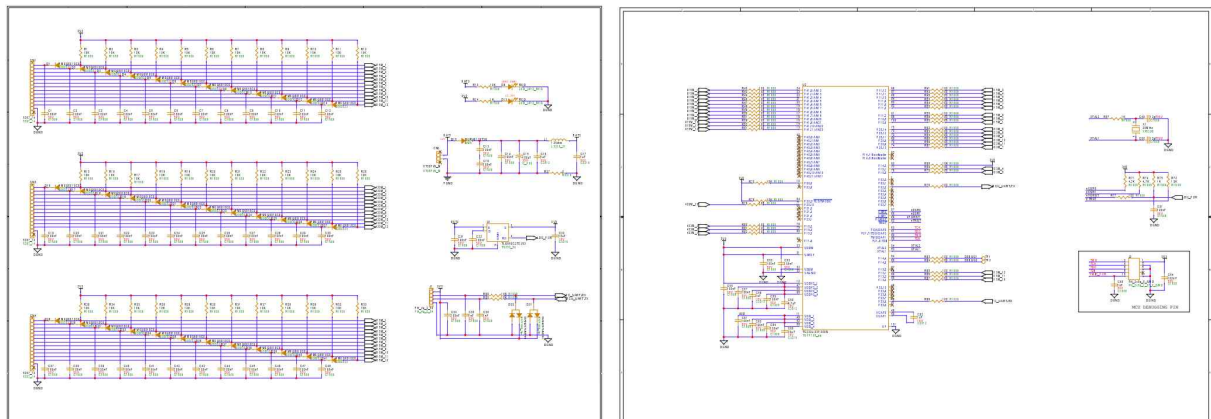


< 6km Remote control switch >

Input	DC12V (AC220V/380V is customized)
Quiescent Current	16mA
Working Current	65mA
Max Load	7A (Relay Contact)
Channels	8 / 12
Working Frequency	434MHz (Customize 868MHz / 915MHz, shorter distance.)
Receiving Sensitivity	148dBm
Modulation Type	FSK+LORA
Coding Type	Private Learning Code
Operation Range	6km (Measured Value, Open Area, LOS)
Dimension	142*83*40mm (with case)

* 원격신호처리용 보드 설계 및 제작

: 송수신모듈에서 전달되는 명령신호를 메인제어기(pc)에 전달하기 위해 원격신호처리용 보드를 별도 제작하였음



< 원격신호처리용 보드 회로도>

: 원격신호처리용 보드는 각 접점에서 전달되어 오는 명령 신호를 프로토콜에 따라 구분하고 해당되는 명령을 USB-Serial 통신으로 변환하여 메인 제어기로 전달함

사용버튼	수신기 주파수	수신기 pin 번호	Remote 보드 pin
주행 정지	315M	G1	PIN6
조향 R5	315M	G2	PIN8
속도 2	315M	G3	PIN2
주행 후진	315M	G4	PIN5
조향 R10	315M	G5	PIN9
모드 Auto/Man	315M	G6	PIN0
조향 L10	315M	G7	PIN11
속도 1	315M	G8	PIN1
조향 0	315M	G9	PIN7
속도 3	315M	G10	PIN3
주행 전진	315M	G11	PIN4
조향 L5	315M	G12	PIN10
주행모드 리턴	433M	없음 (가상신호)	PIN12
고도가변 고도	433M	G1	PIN11
폭가변 2단	433M	G2	PIN10
폭가변 3단	433M	G3	PIN9
이동 수평이동	433M	G4	PIN8
이동 제자리	433M	G5	PIN7
폭가변 1단	433M	G6	PIN6
Homing 폭Home	433M	G7	PIN5
Homing 고도Home	433M	G8	PIN4
Homing 조향Home	433M	G9	PIN3
정식/파종/로터리 2단	433M	G10	PIN2
정식/파종/로터리 3단	433M	G11	PIN1
정식/파종/로터리 1단	433M	G12	PIN0
시저스 상승	915M	G1	PIN2
시저스 COUPLE	915M	G2	PIN0
시저스 자동체결	915M	G3	PIN1
구동 모터	915M	G4	PIN5
구동 펌프	915M	G5	PIN4
시저스 하강	915M	G6	PIN3
방제 Arm우	915M	G7	PIN6
방제 Arm좌	915M	G8	PIN7
방제 SOL좌	915M	G9	PIN8
방제 이동준비	915M	G10	PIN10
방제 작업준비	915M	G11	PIN11
방제 SOL우	915M	G12	PIN9

< 수신모듈 및 구동 명령, 신호처리보드 Pin-map 정리>

: 원격신호처리보드는 로봇 내부에 장착하기 위해 신규 보드 제작



<원격신호처리 제어보드>

* 원격 제어 프로토콜

: STX : Start of frame, ETX : End of frame

: Check sum : Byte0~ Byte6

: 데이터 표시 방법 : 0 = Switch off, 1 = Switch On

FRAME								
BYTE 0	BYTE 1	BYTE 2	BYTE 3	BYTE 4	BYTE 5	BYTE 6	BYTE 7	BYTE 8
STX	315MHZ		433MHZ		915MHZ		Check sum	ETX
	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB		
0X02	아래참조							0X03

MSB							
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
x	x	x	PIN12 (only 433M)	PIN11	PIN10	PIN9	PIN8

LSB							
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
PIN7	PIN6	PIN5	PIN4	PIN3	PIN2	PIN1	PIN0

< 원격신호 RS232 통신 프로토콜 >

* 원격제어기 U/I

: 배터리 12v 사용 (내부 고정), 전원 충전 가능하도록 충전 포트 구성

: 통신 거리 : 1km 이상, 주파수 315~915MHz

: 기능별 인터락, 자기유지 기능 구현

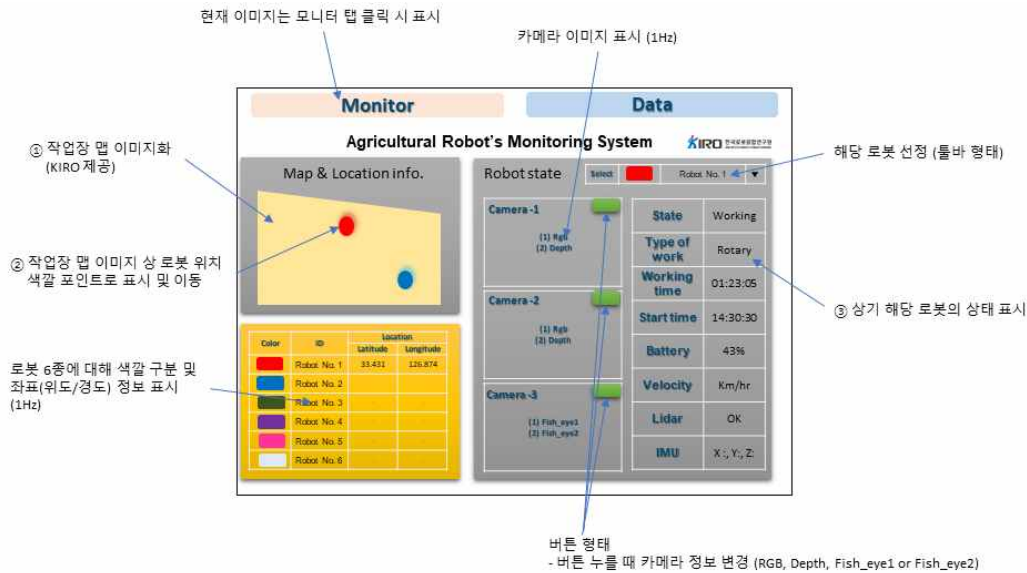


< 무선제어기 레이아웃 >

나) 통합관제 시스템 개발 및 군집제어

- 중앙 관제 시스템 GUI 개발

- * 관제시스템에서는 밭 작업 진행 중인 로봇 플랫폼들의 상태 및 현황을 한눈에 파악할 수 있도록 구성하였음



(a) GUI 상태 표시 페이지



(b) GUI 작업 데이터 정보 저장/표시

< GUI 구성도 >

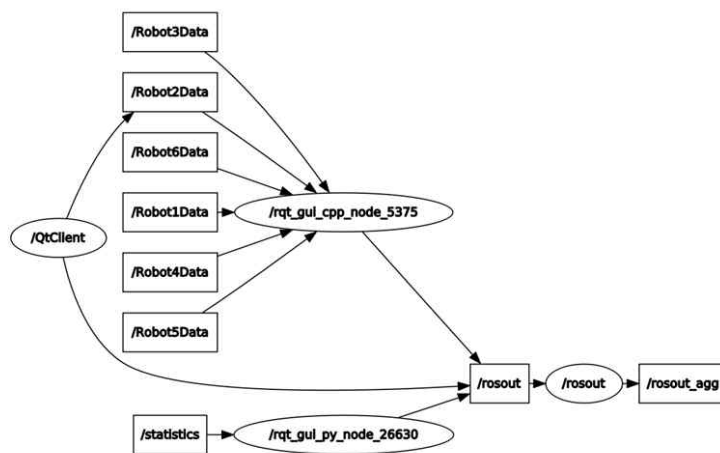
- * 관제 시스템의 GUI는 크게 2페이지로 구성되며, 상세 내용은 아래와 같음

- ① 로봇 위치 : 필드 Map 상에 로봇 실시간 위치 및 좌표 정보 표시
- ② 로봇 촬영 이미지 : 로봇에 장착된 3대의 카메라를 통해 촬영되는 전방, 하방 이미지를 실시간 디스플레이
- ③ 로봇 상태 : 로봇 현재 작업 종류, 상태, 작업수행시간, 속도, 기울기 정보 표시

순	항목	상세 사양	
①	작업장 맵 이미지화	<ul style="list-style-type: none"> - 맵 상 경계면 표시를 위한 KIRO에서 작업장 도면 제공 - 작업장 주소 및 위치 KIRO 제공 	
②	맵 내 로봇 위치 표시	<ul style="list-style-type: none"> - 각 로봇의 정해진 컬러가 1HZ 주기로 깜박이며 이동 - 로봇의 상태가 긴급 정지나 에러 시 5HZ 단위로 깜박이며, 컬러는 회색으로 변경 	
③	로봇상태 표시	STATE	(1) Working : 작업장 내 작업 및 이동 중일 때 (2) Moving : 원격조정에 의해 작업장으로 이동 중일 때 (맵상에서는 표시 x) (3) Pause : 로봇 정상 상태에서 단순 정지 시 (4) Emergency : 로봇 고장 혹은 장애물 검지로 인해 작업/작동 중지 시 (5) Error : 통신 오류
		Type of work	(1) Rotary, (2) Mulch, (3) Plant, (4) Transport, (5) Spray
		Working time	일별 로봇의 state 가 working일 때 시간의 누적값 (시/분/초)
		Start time	현재 수행하고 있는 working 의 시작 시간 (오전에 일을 하고 오후에 일을 했다면 오후에 시작한 시간 표시)
		Battery	% 단위로 배터리 남은 잔량 표시 (1Hz)
		Lidar	로봇이 장애물에 의해 정지했을 때 라이다에 의해 검지된 장애물 유무 표시 (검지시 : Detecting.. / 미 검지시 : OK!!)
		IMU	로봇의 Yaw, pitch, roll 값 표시 (1Hz)

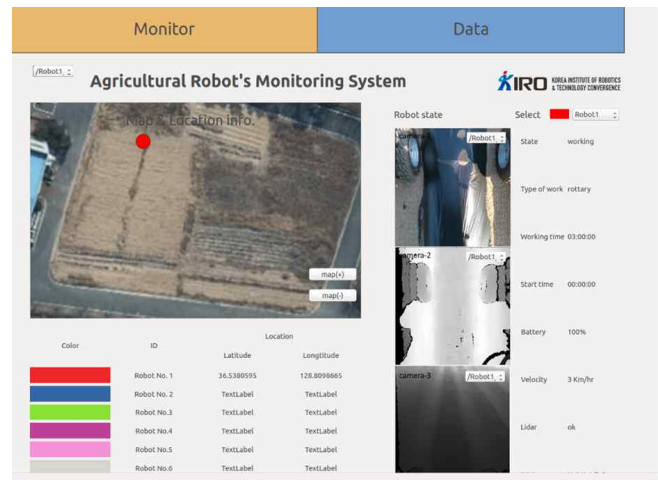
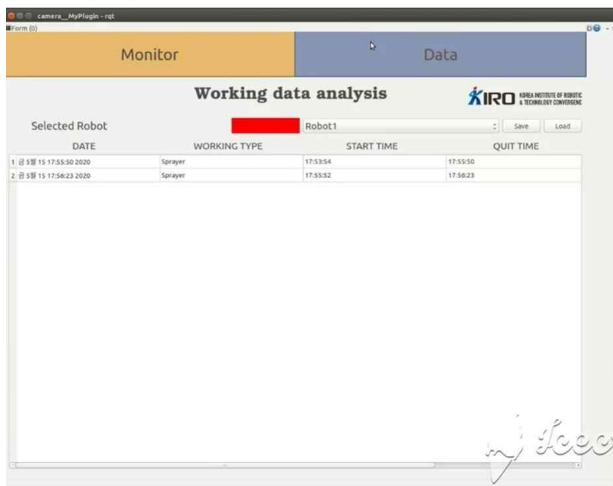
<GUI 주요 사양>

- * 플랫폼의 현재 위치, 작업 상태, 플랫폼 이상 여부를 확인 가능함
- * 총 6대의 로봇까지 확인가능하며, 개별 로봇의 상태를 각각 확인 가능함
- * 플랫폼의 작업 기록 저장 가능함

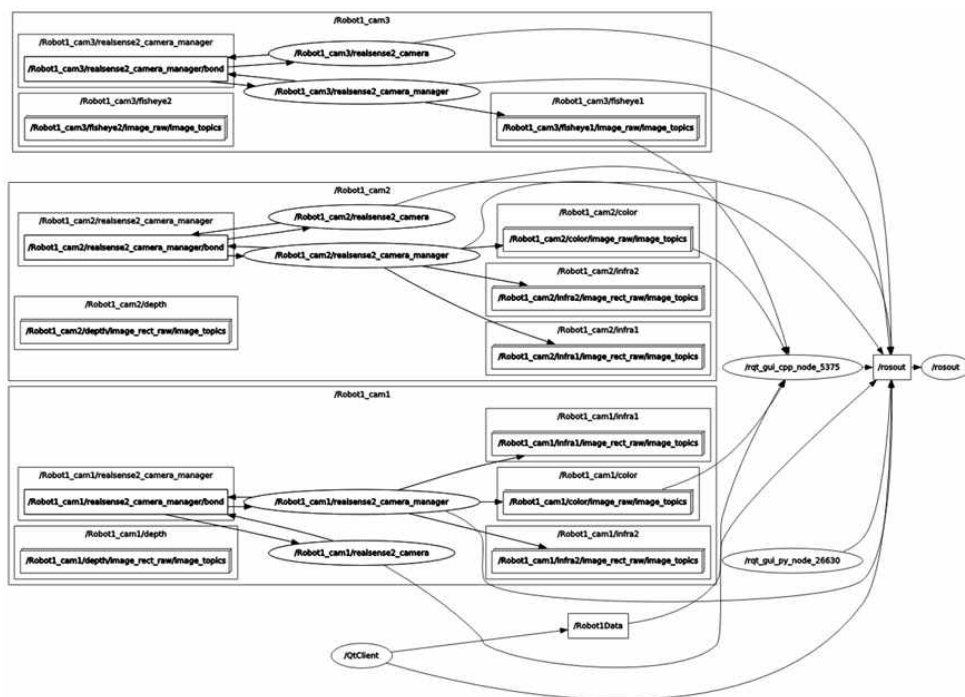


<로봇 6대의 동작이 실현되는 ros network 구성도>

- * 로봇 한 대는 다중센서를 활용하여 카메라 여러 대로 데이터를 취득이 가능하며, 총 6대 까지 데이터를 전송이 가능하게 관제 시스템을 구현함.
- * 지도의 경우 GPS 위치를 통해서 업데이트가 가능하며, 맵 위치에 따라 다른 지역에서 도 테스트를 진행함.
- * 로봇 한 대에는 GPS센서, IMU 값, 다수의 카메라를 구성할 수 있게 네트워크를 구성하였음.



< 개발한 관제 시스템의 GUI>



< 로봇 1대의 ROS network 구성도>

- 군집제어

* Multi-ros기반 군집제어 시스템

: 일반적인 ROS를 활용한 시스템들은 roscore 노드가 한 개로 되어있는 형태로 구축이 되며, roscore 노드가 공격을 받았을 시에 시스템이 종료가 되는 취약한 문제가 발생함. 이러한 문제를 해결하기 위해서 우리는 네트워크 망을 구성해서 multi-ros를 활용하여 ROS masters를 동기화함.



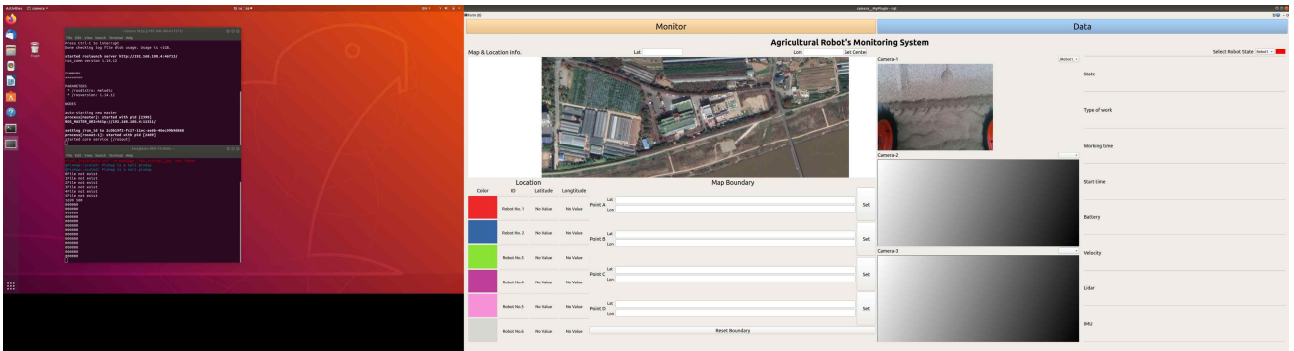
< 군집제어에 활용되는 multi-ros관련 이미지의 예>

- : 주기적으로 multi-master는 메시지를 통해서 공동 네트워크에 전송하여 동작을 스케줄링하며, roscore 노드를 각각 로봇에서 실행을 하게되며, 각각 로봇에서 roscore가 실행된 것을 확인이 가능함.
- : 로봇들의 로컬 네트워크는 변경 사항을 체크해서 ros에서 실행되는 명령들을 확인하고 모든 roscore들에게 알리게 되며, 관제 시스템에서 동작되는 것을 확인 가능함.
- : 로봇 2대의 다양한 센서 들을 활용해서 로봇 2 대의 데이터를 관제 시스템에서 확인이 가능하며 GPS 위치 값을 통해 로봇 1과 2대 명령을 관제 시스템에서 확인 가능함.

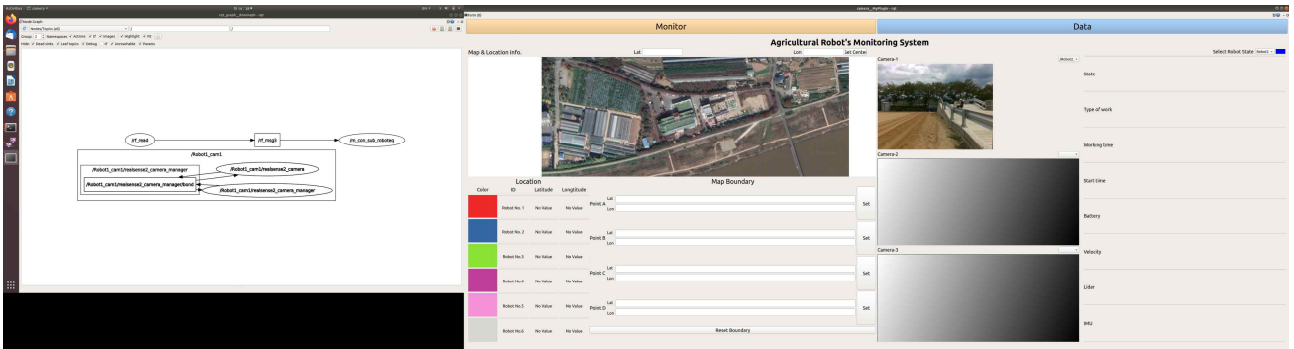


< 로봇 2대의 테스트 사진>

- : 최종적으로 로봇 2대의 위치를 확인하면서 주행하기 위해서 한국로봇융합연구원 테스트베드에서 필드 테스트를 진행하였음.
- : 하기 화면은 관제 시스템에서 획득한 로봇1과 로봇2의 데이터들에 대한 결과를 모니터링 한 것임.



< 로봇1 ROS 통합 시스템 화면>



< 로봇2 ROS network 및 통합 시스템 화면>

- 로봇 플랫폼용 HMI(Human & Machine Interface) 시스템

* HMI H/W

: 발농업 주행 플랫폼 HMI 시스템으로 선정한 A6 제품은 하기 사양표와 같이 방수기능을 보유하고 CAN, USB 등 인터페이스가 우수한 제품으로 플랫폼 좌측 전장 박스 내부에 장착되어 플랫폼이 운행 및 작업하는 동안 작업자가 항상 플랫폼의 구동 상태를 확인할 수 있도록 하였음



<HMI 시스템>

No	항목	Spec.
1	CPU	Freescale I.MX6, Solo, 800Mhz
2	Mass storage	4 GByte
3	RAM	512 MByte
4	RTC	Buffered by gold cap
5	Speaker	80dB @ 1KHz in 1M
6	Operating voltage	9~36vdc
7	Interface	CAN BUS/RS232/USB
8	Video	3 × analog
9	touch	PCT
10	Right keypad	6 + 4 keys with tactile feedback

<HMI 시스템 주요 사양표>

* U/I 프로그램

- : A6 HMI 하드웨어 기반으로 구현되는 U/I는 관제시스템과는 다르게 로봇 플랫폼의 주요 부품 성능을 모니터링할 수 있도록 모터의 출력 특성, 플랫폼의 운전 상태를 나타냄
- : 하기 그림과 같이 상단의 Platform은 작업 종류, 배터리 잔량, 라이다 및 IMU 출력값, 플랫폼 주행속도, 조향 각도를 나타내고, 하단의 Motor 부에서는 구동, 조향, 자세제어의 총 12개 모터에 대한 출력특성을 나타내도록 하였음

Platform

State	Working
Type of work	Rotary
Battery	43%
Lidar	OK
IMU	X :, Y:, Z:
Drive velocity	000 km/hr
Steering angle	+/- 000 °C

Motor

item	Drive				Steering				Posture			
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
Velocity (Km/hr)												
Counter (Encoder)												
Motor AMP												
Direction												
Position	-	-	-	-	°C	°C	°C	°C	mm	mm	mm	mm
Acceleration Deceleration												

< HMI 시스템 프로그램 >

○ 표준 플랫폼 시제품 개발

가) Model-1

- Model-1 기구 설계

* 노지환경 주행이 가능한 로봇 플랫폼 사양 및 개념 설계

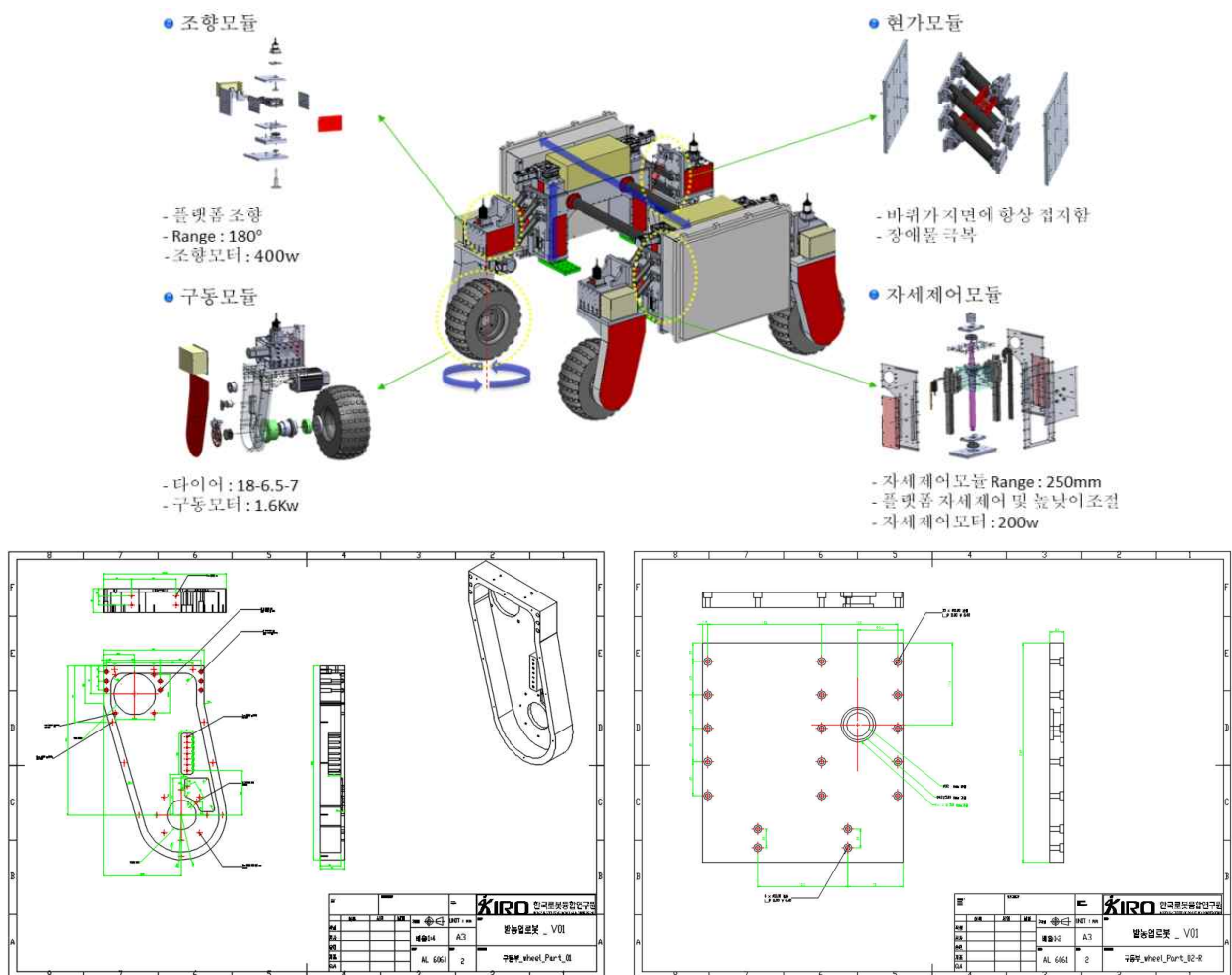
: 발농업용 로봇은 구동 및 조향, PTO에 개별적으로 작동되는 모터로 구성되고 감속기를 이용하여 토크를 높일 예정, 이에 따라 1차년도에서는 20마력급으로 플랫폼을 설계 하였으며, 2차년도부터 실제 농작업에 필요한 출력과 경제성을 고려하여 플랫폼을 개발 할 예정이다.

: 농작업을 일반적으로 두둑형성, 이식, 방제, 수확, 운반 순서로 진행되며 두둑의 경우 일반적으로 지면으로 250 mm 이상 올라오며 이랑의 거리는 작물에 따라 800 ~ 1500 mm 까지 다양하게 만들어지므로 이 폭에 맞게 가변적으로 움직여야 함.

: 작물 중에는 저상 작물과 고상 작물등 작물에 따라서 플랫폼은 높낮이를 조절할 수 있어야 작물에 피해를 주지 않고 작업이 가능함.

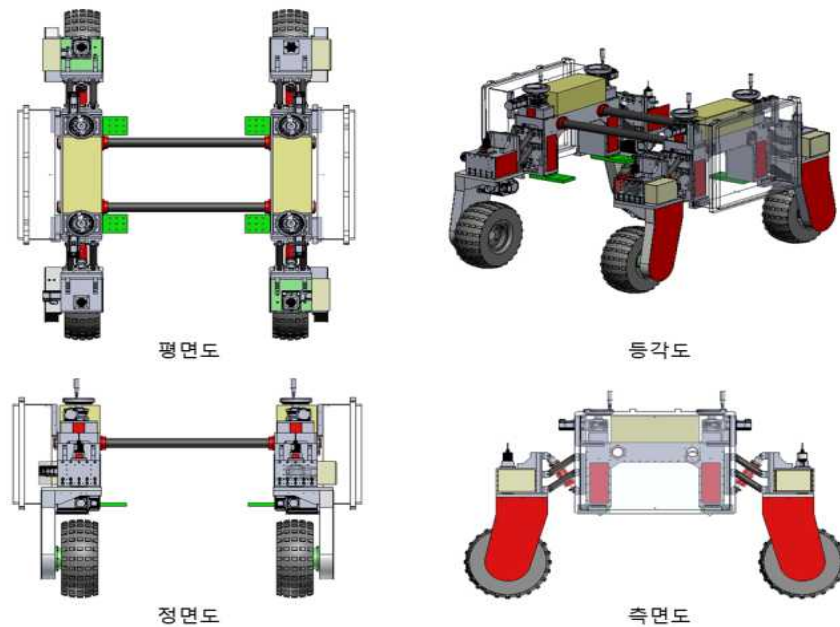
* 기본 메커니즘 설계 및 기초실험용 플랫폼 개발

: 원격제어 및 체결 표준화모듈 구현 및 노지환경 구동을 통한 요소부품 사양 검증자료로 활용 가능한 플랫폼 개발을 진행함.

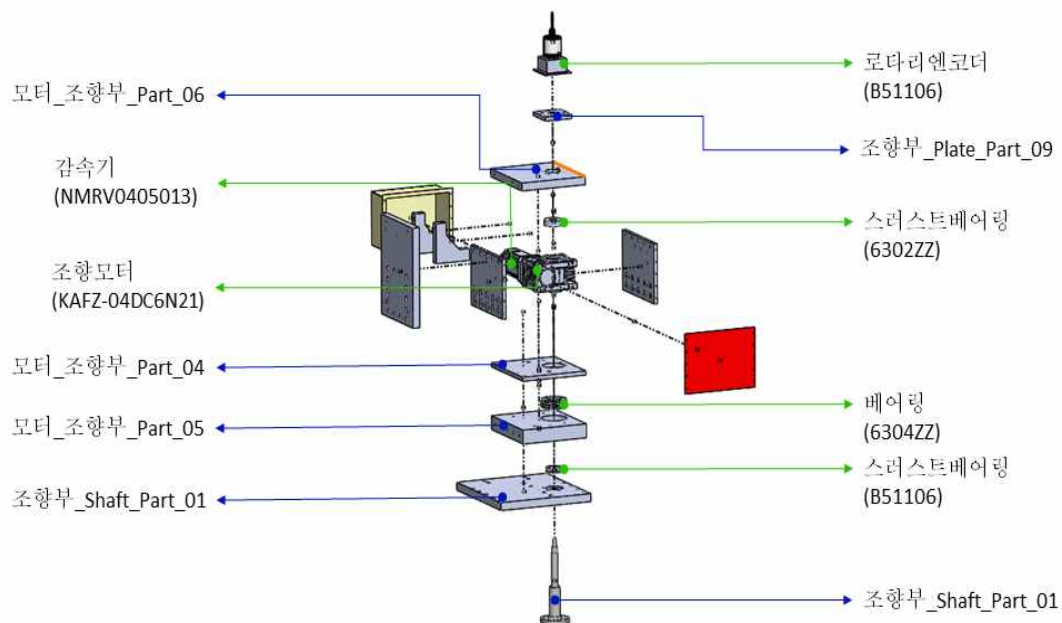


< Model-1 플랫폼 설계 >

: 1차 년도는 작업 모듈의 연동 대응용 노지 주행 플랫폼 개발을 진행하였으며, 4WS가 가능한 조향모듈과 장애물 극복을 위한 험가모듈, 자세제어모듈을 포함하고 여러 종류의 작업기를 부착하고 견인할 수 있는 구동모듈로 구성되며, 좌우측 측면에 전장박스가 설치되어 각종 모터들을 제어하고, 센서로부터 들어오는 신호를 수집하는 프로세서가 탑재됨.
: 플랫폼의 전체 크기는 2000 x 1700 x 1300 mm³ 이며, 예상무게는 300 kg임.

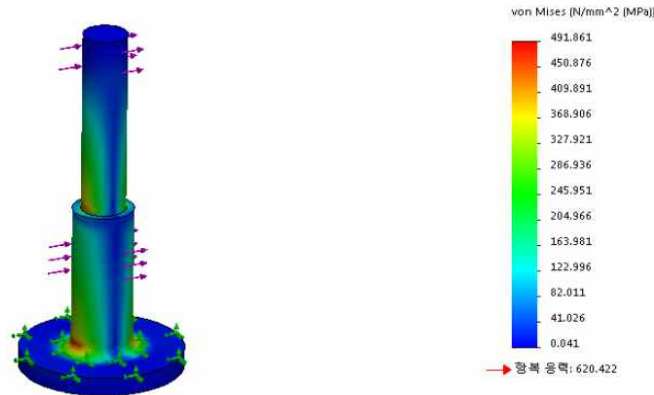


< Model-1 플랫폼 3D 뷰 >



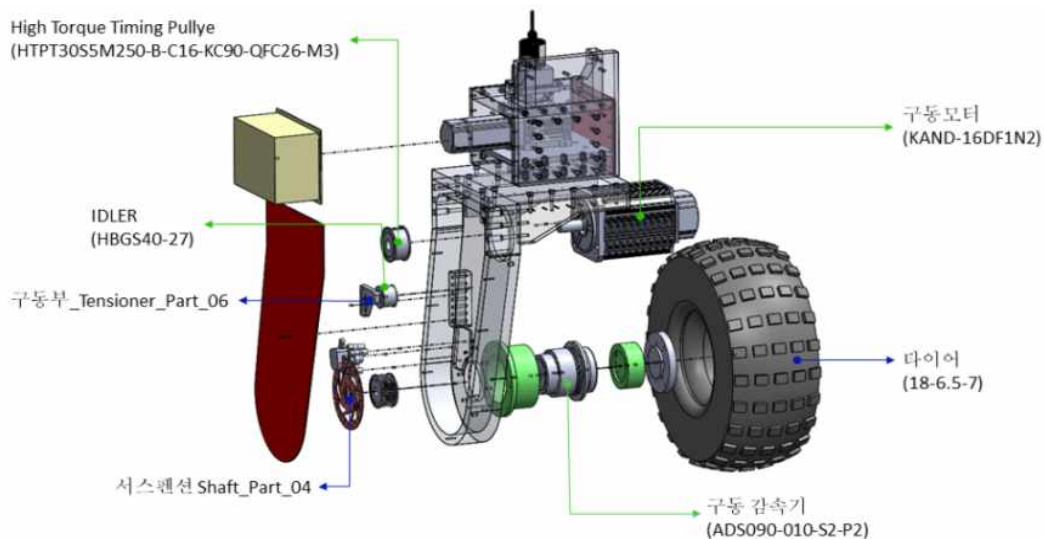
< 조향모듈 3D 조립도 >

: 조향축은 구동바퀴와 험가장치 사이에 위치하고 구동바퀴가 회전하는 축에 위치 함. 이 조향축은 본체의 하중과 노면에서 올라오는 진동을 모두 받게 되어 피로파괴 및 고하중에 영구변형이 발생하지 않아야 함. 제작에 앞서 실제 하중에 대해서 응력 분포를 확인하기 위해 유한요소해석을 통해 확인함.



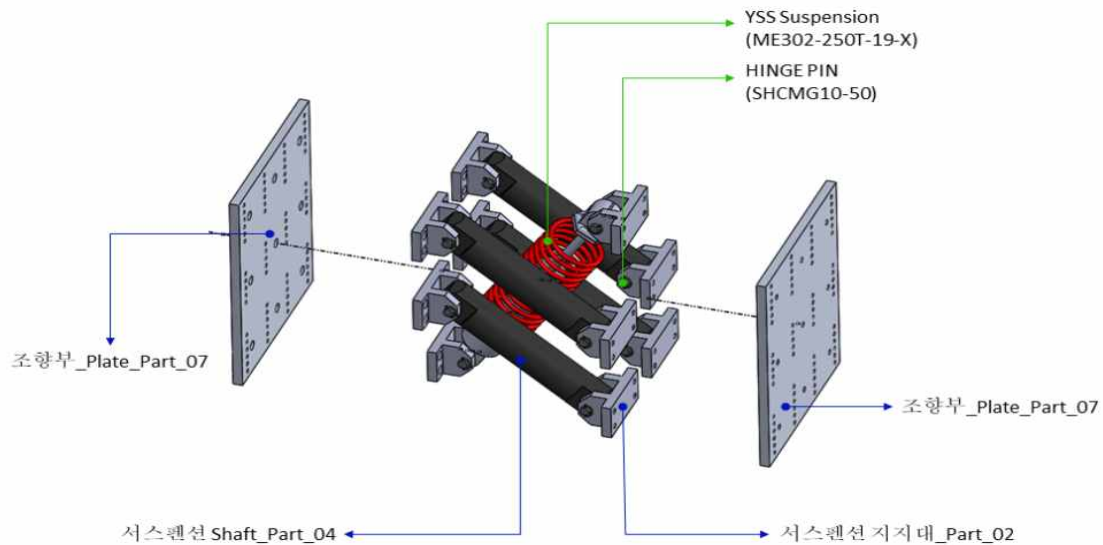
< 하중에 따른 조향축의 응력 분포 >

- : 해석조건으로는 하부 원형을 고정시키고, 베어링 지지점에 면하중으로 축방향과 수직하도록 500 kg 하중을 인가함. 예상 되는 플랫폼의 무게는 500~700 kg 내외로 축당 500 Kg의 하중을 지지하게 되면 이론상 최대 2,000 kg의 하중을 지지할 수 있는 플랫폼이 되므로 하중에 대한 안전계수는 3이하로 설정함.
- : 메쉬는 7,199개이며, 질점은 11,655개로 해석을 진행하였음. 해석결과 Edge 부분에서 최대응력분포를 나타냈으며, 안전계수를 높이기 위해 Edge 부분에 Round 5의 필렛을 넣어 응력집중을 회피하였다. 그 결과 500Kg 하중에서 상부 Edge 부분에서 491.861Mpa 응력 집중이 발생하였으나, 안전계수가 1.261으로 영구변형은 일어나지 않음. 해석결과 중요 부품에 대한 안전성이 확보되어 제작 시 문제가 없음.



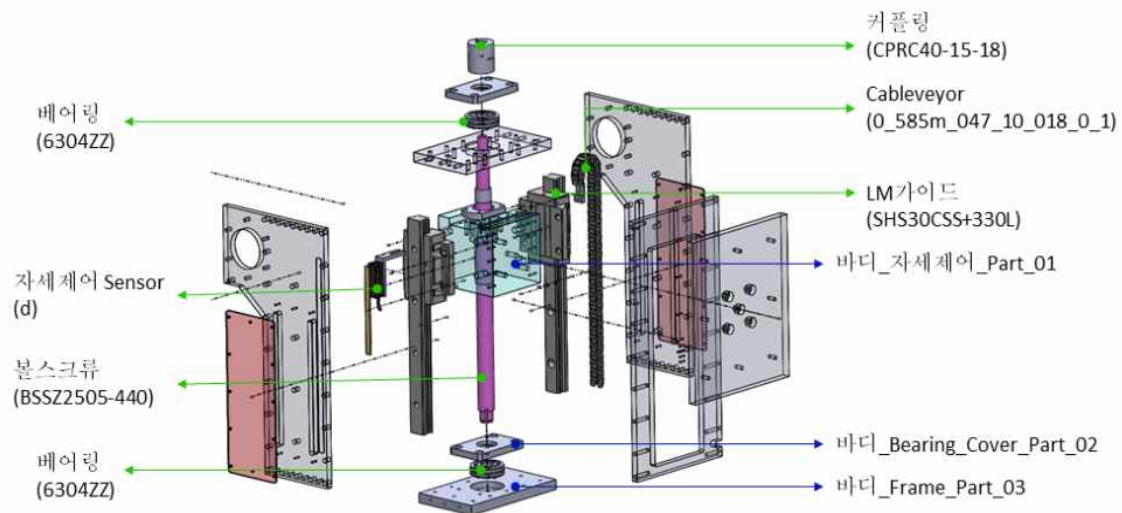
< 구동모듈 3D 조립도 >

- : 비포장 노지환경에서 15cm 장애물을 극복하기 위해 구동모듈로는 18인치 외경과 7인치 폭의 ATV용 타이어로 트레이가 높아 노지에서 지면과 마찰력이 높고 높은 견인력을 낼 수 있으며, 1.6Kw DC모터를 동력원으로 S5M시리즈의 1:1 비로 구성된 고토크 타이밍 풀리로 동력을 전달됨. 이렇게 전달된 토크는 최종단에서 Apex사의 x10배의 감속기로 토크를 높여 스펙의 요구치를 만족 하도록 설계함.



< 현가모듈 3D 조립도 >

: 150 mm의 장애물을 극복하기 위해 구동장치에 자유도를 추가해야 하는데, 이는 구동장치와 플랫폼 본체 사이 현가장치를 추가하여 회전 자유도를 추가함. 현가장치는 4개의 Bar와 대각선으로 위치한 속업쇼바로 구성되어 있음. 바의 길이는 205 mm이며, 핀과 핀 사이의 거리는 175 mm로 10파이 핀으로 체결되어 움직이게 됨. 속업쇼바는 기성제품중에서 YSS사의 MSX 에코라인 가스쇼바(ME302-250T-19-X) 제품으로 선정하였으며 본 제품은 300Kg 하중에서도 안정적으로 동작이 가능함.



< 자세제어모듈 3D 조립도 >

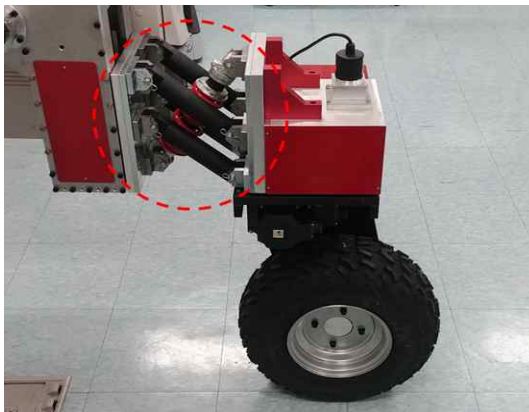
: 자세제어모듈은 LM가이드 2개, 볼스크류 1개, 볼스크류를 지지하는 2개의 베어링, 자세제어블럭으로 구성되어 있으며, LM가이드는 양단에 설치하여 자세 제어 시 비틀림을 막고, 볼스크류에 모멘트하중이 작용하는 것을 방지하여 제품의 내구성을 향상함. 자세제어 모듈의 Range는 수직으로 250 mm로 작물의 상태 및 작업기에 따라서 높낮이를 변경할 수 있음.

- Model-1 기구부 제작
 - * 노지환경 주행이 가능한 로봇 플랫폼 제작



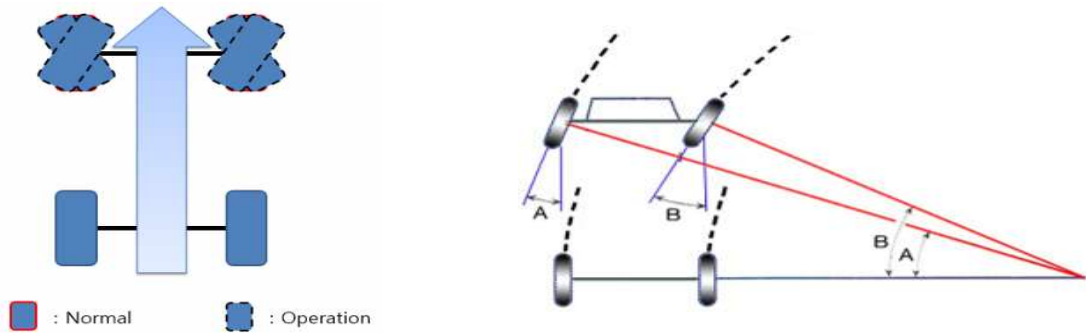
< Model-1 플랫폼 >

: 주행용 구동메커니즘 설계, 조향 및 구동장치, 현가장치, 자세제어모듈 등을 반영하여 제작한 로봇 플랫폼



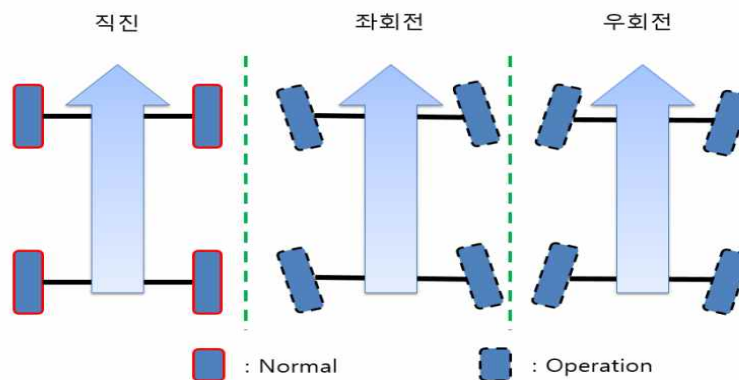
< Model-1 현가모듈 & 구동모듈 >

- 주행 플랫폼 구동 및 조향 메커니즘 분석
 - * 4륜 독립구동·조향 메커니즘 설계 및 노지 환경 내 이동특성 분석
- : 발농업 로봇의 주행은 대부분 노지에서 주행하게 되는데 노지의 경우 흙의 점도, 흙의 굵기, 자갈의 유무, 경사도, 비탈면 등 주행조건에 요소로 작용하는 변수가 많음.



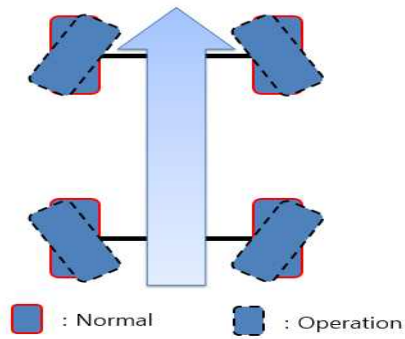
< 2WS 조향 system >

- : 일반적으로 2WS(Wheel Steering) 조향시스템일 경우 진행방향의 앞쪽 두 바퀴로 조향을 하고 뒤쪽 바퀴는 Idle로 따라오거나 동력만 유지하는 방식임. 이 방식의 경우 일반적인 선회방법으로 다음 그림에서처럼 우회전하는 경우에서 우륵의 꺾임각 B보다 좌륵의 꺾임각 A가 같을 경우 전륵의 회전축 연장선과 후륵의 연장선이 동일선상에서 한점으로 만나지 않기 때문에 선회 주행 시 원심력이 발생하여 조향이 잘 되지 않고 미끄러져 앞으로 진행하게 됨.
- : 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 우륵의 꺾임각 B가 좌륵의 꺾임각A 보다 크게 하여 축의 연장선이 한 점에서 만나 자연스러운 선회가 이루어짐. 두독을 따라 움직이는 플랫폼은 경우에 따라서 2WS 조향 시스템을 사용하게 되는데, 원활한 조향을 위해 조향 꺾임각을 달리 적용함.
- : 발농업 플랫폼은 개별 조향 모터를 사용하여 조향각도를 개별적으로 제어가 가능하기에 향후 조향 각에 의해 발생하는 문제는 소프트웨어적 제어로 해결 가능함.



< 4WS 조향 system >

- : 발 농업로봇 플랫폼은 2WS 조향방법 외 4WS 조향도 가능함. 4WS 조향은 진행방향의 앞에 있는 전륵 바퀴의 조향각을 조절하는 동시에 뒷바퀴도 조향을 해 회전반경을 줄임. 특히 발작업중 경작지의 끝에 도달하였을 경우 다음 이량으로 넘어가야하는데 이때 조향 각도를 좌측 +90°, 우측 +90° 혹은 좌측 -90°, 우측 -90° 위치를 시킨다면 플랫폼이 직각으로 주행이 가능하여 선회반경을 비약적으로 줄이고 플랫폼의 주행 모션에 많은 다양성을 줄 수 있음.

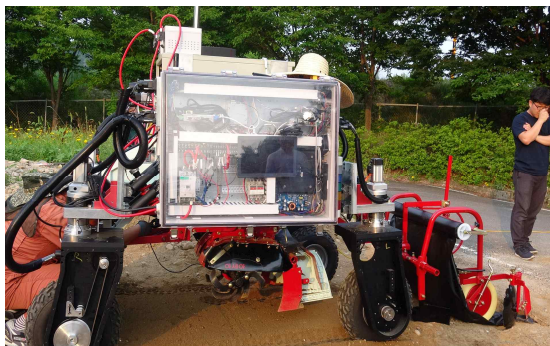


< 4WD System 제자리 선회 >

: 작업기의 특성상 경우에 따라서 진행방향이 정해지는데 작업이 끝난 이량을 다시 되돌아 오면서 작업해야하는 경우 이량의 끝점에서 발농업 로봇 플랫폼이 180° 선회해야하는데 이때 4WS 시스템을 적용할 경우 바퀴의 각도를 아래 그림과 같이 배치하여 제자리에서 선회가 가능하기 때문에 공간 활용도가 매우 높음.

- 노지 환경 실험 및 테스트

* 4륜 구동/조향 노지환경 테스트 및 로터리 & 휴립피복 테스트



< Model-1 로터리 & 휴립피복 테스트 >

: 실제 노지 환경에서 구동 및 조향 테스트를 진행하며 기구적 안전성을 분석하였음. 로터리와 휴립피복기를 장착하는데 있어서 기구적 간섭이나 구동 상태의 문제점은 없었으며, 작동 또한 문제없이 진행되었음.

: 노지 환경 주행은 지면의 상태(모래, 흙)에 따른 변수가 많으며, 각각의 바퀴가 서로 다른 지면 상태(흙의 많음과 적음, 흙 or 콘크리트, 자갈)와 경사(무게 분산의 불균형)에서 구동하게 되므로 구동 환경에 대한 변수가 많음.

: 노지 환경에서 바퀴 빠짐과 주행 극복을 위해 ATV용 타이어가 아닌 농업용 타이어로 교체하여야 하고, 각각의 구동 환경과 작업기 및 배터리를 지지하는 두 개의 shaft를 보강하여 구조적 강성을 높여 각 프레임에서 발생하는 비틀림과 굽힘 상태를 보안하고자 함.

- Model-1 해석 기반 구조 분석
- * 플랫폼 지지대 구조 해석결과



< 일반 구조용 탄소 강관 치수 >

- : 로봇 랫폼의 하중과 굽힘 모멘트를 많이 받는 조향축과 가변 폭을 구현하기 위한 두 개의 지지대(shaft)를 유한요소해석을 통해 응력을 확인하고 검증함. 먼저 프레임을 지지하고 비틀림 모멘트를 받는 지지대(Shaft)의 재질은 일반적으로 널리 사용되는 합금강(Alloy Steel)로 지정하였으며, 치수는 KS D 3566을 준수하는 일반구조용 탄소강관으로 외경은 60.5mm이며 두께는 3.1mm 제품으로 해석함.
- : 해석 조건은 우측 210mm 구간은 고정하고 좌측 210mm 구간을 Z-axis방향으로 면하중을 인가하여 응력분포와 변위량을 확인함. 하중은 100kg에서 500kg까지 100kg씩 증가하여 해석하였으며 결과는 아래와 같음.

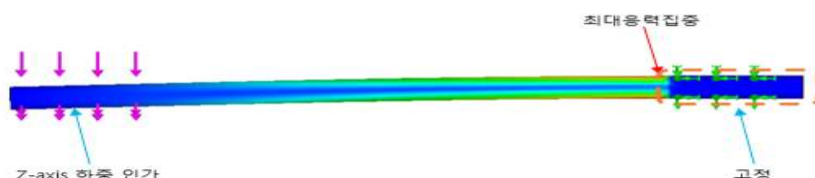
하중 (Kg)	응력 (Mpa)	변위 (mm)	안전계수 (S.F)
100	129.567	7.95	4.8
200	259.133	15.9	2.4
300	388.7	23.85	1.6
400	518.266	31.801	1.2
500	654.574	39.73	0.9

< 일반 구조용 탄소 강관 구조 해석 결과 >

- : 안전계수(Safety factor)는 재료, 제품의 특성의 불균일, 추정 응력의 불확실성에 대비하여 설계 시 여유를 갖기 위한 하중의 배수로 아래와 같은 수식으로 계산됨.

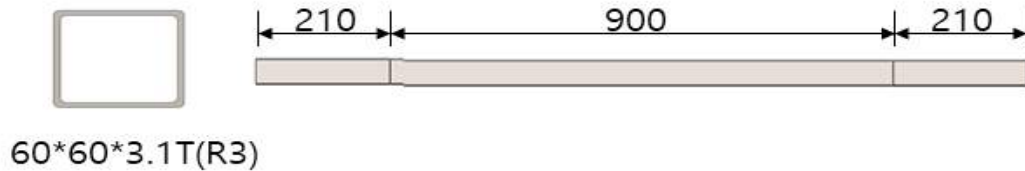
$$\text{안전계수 (S.F)} = \frac{\text{허용응력 (MPa)}}{\text{최대응력 (MPa)}}$$

- : 합금강(Alloy Steel)의 최대응력은 620.422 (Mpa)으로 하여 하중에 대한 허용응력으로 나눠 안전계수를 계산하였으며, 400kg의 모멘트 하중이 걸렸을 때 작용 하였을 때 안전계수는 1.2로 나타났으며 그 이상으로 올라갈 경우 안전계수가 1 이하로 떨어져 재료의 영구변형이 일어남. 최대응력집중은 고정지점의 앞에 발생하고, 인가 하중점의 끝단에서 가장 큰 변위를 나타냄.



< 해석 조건에 따른 최대응력 분포 >

: 최적의 소재 선정을 위해 일반 구조용 탄소 강관 이외 다른 모양에서도 해석을 통해 응력 분포 및 변위량을 확인하였음. 아래는 일반구조용 탄소 각관으로 가로 60mm, 세로 60mm의 두께 3.1T의 소재이며, 일반구조용 탄소강관의 해석조건과 동일하게 해석함.



< 일반 구조용 탄소 각관 치수 >

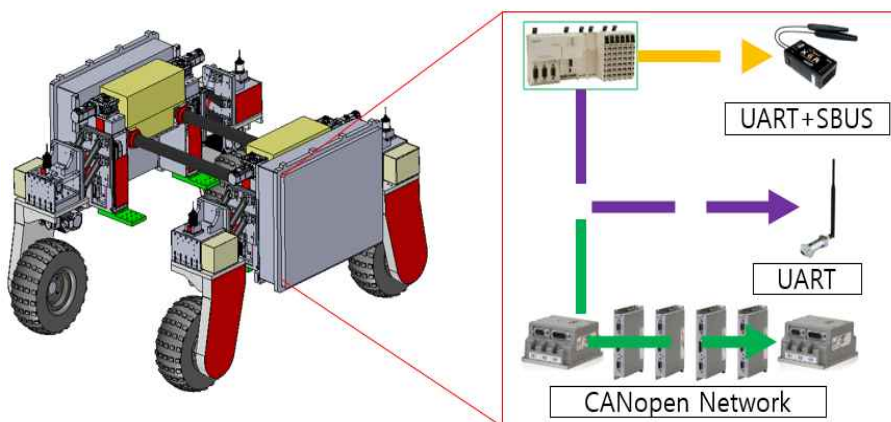
: 해석 결과는 아래와 같이 500kg 하중에서 원형인 탄소강관보다 안전계수가 1.45로 높게 나왔으며, 이는 사각 구조가 원형 구조보다 안전함을 확인 할 수 있음.

: 설계한 로봇플랫폼은 허용하중 250~300kg을 만족하면 되고, 프레임의 가변조절 기능과 각관의 모서리부분에 발생하는 응력집중을 피할 수 있는 장점 등을 고려하여 강관의 지대지(Shaft)를 선정하여 개선하고자 함.

하중 (Kg)	응력 (Mpa)	변위 (mm)	안전계수 (S.F)
100	85.518	4.857	7.25
200	171.037	9.713	3.62
300	255.603	14.570	2.42
400	342.073	19.427	1.81
500	427.600	24.284	1.45

< 일반 구조용 탄소 각관 구조 해석 결과 >

- 전장 설계 및 제작



< 플랫폼 내부의 ISOBUS 기반의 통신 구성 >

- : ISOBUS기반의 데이터 통신을 기반으로 구축하기 위하여 직렬 버스기반(Serial Bus)으로 하여 최소한의 선을 사용하며 전체적인 데이터를 주고받을 수 있는 환경을 조성하기 위하여 각각의 통신 규격을 선정하였음. 크게 무선통신을 위한 시리얼 UART(Universal asynchronous receiver-transmitter)를 기반으로 하는 SBUS, 기타 외부 무선 명령을 주고받기 위한 무선 UART를 가지고 있으며, 로봇의 센서 및 구동에 관여하는 모터 드라이버를 모두 통괄하여 통신은 CAN(Controller Area Network) BUS기반의 상위계층 프로토콜인 CANopen을 사용하여 전체적인 네트워크 구축하였음.
- : 전체 네트워크의 데이터 처리는 내부에 있는 임베디드 컴퓨터(Embedded Computer)와 로봇의 구동 제어기(Motion Controller)에서 데이터를 받아서 사용이 가능하도록 처리를 수행함.
- : 무선 신호는 외부에서 다중 제어를 위한 명령이나, 원격지에서의 명령을 처리하는 하드웨어로 들어오는 데이터를 자체적으로 변환하며, 제어기는 해당 내용을 다시 가공하여 전체 하드웨어의 구동에 사용이 가능하도록 함.



< 제어기와 구동 모터 드라이버가의 통신 연결 구성 >

- : 로봇의 구동과 외부 센서를 통한 센싱값을 처리하기 위해 통합화된 통신을 사용하면서 하드웨어 추가가시 선의 연결과 확장성을 높이기 위하여 BUS기반의 네트워크로 구성, 현 2선식 통신 네트워크 기반의 장치로 구성함.
- : 구성된 네트워크의 경우 MASTER와 SLAVE가 각각 있으며, SLAVE영역은 최대 512개 까지 확장이 가능함. 각 데이터는 모든 노드에서 확인이 가능하나 번지수에 따른 필터링으로 데이터를 해석하며 각각의 연결된 디바이스에 명령을 줄 수 있음.
- : 발농업 로봇에는 통신부의 MASTER를 통하여 구동하는 각 모터와 기타 계속적으로 기능 구현에 따른 하위 센서나 장치의 연결을 확장하는 형태로 디자인이 되어있음.

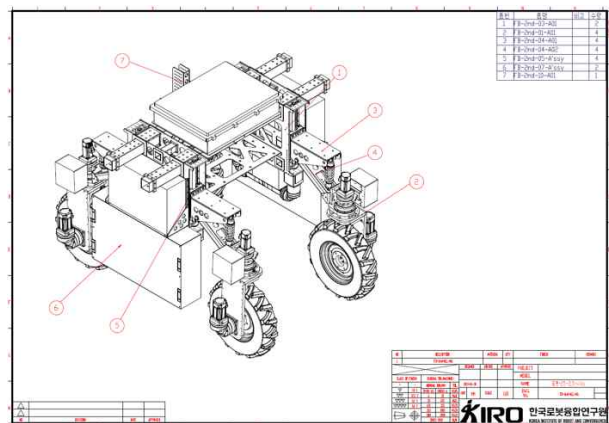
나) Model-2.1

- 기구 설계 및 제작

* Model-1 개선 사항

- : Model-1의 경우 높은 소비전력, SMPS 전압원사용, 누적 가공오차, 가변의 어려움, 소형 타이어 등 문제점을 가지고 있으며 Model-2에서 문제점을 해결하고자 설계 및 제작되었음.
- : Model-2로 제작된 플랫폼의 전체 크기는 1560 X 2000 X 1570 mm³ 이며, 예상무게는 430 kg임.
- : Model-1에서 사용한 18인치 ATV타이어는 노지 환경에서의 사용이 부적합하다 판단하여 직경을 키우고 노지 환경에 적합한 23인치 농기계용 타이어로 개선하였음.
- : Model-1에서 자세제어 폭은 220 mm이었으나, Model-2에서는 스크류 및 리니어 가이드를 사용하여 약 270mm의 자세제어 폭을 가짐.
- : Model-1에서 위치한 작업기는 후방으로 편심 되어 플랫폼의 조향 및 구동에 문제가 되었으나 작업 모듈을 내부에 위치시켜 편심질량을 줄이는 방향으로 설계 변경함.
- : 제작될 작업 모듈에 대해 내부 공간을 확보하여 작업 모듈 체결 시 구동 /조향, 제자리 회전이 가능하고 작업 모듈 작동에 대해 기구적 간섭을 고려하여 설계함.
- : 기존 SMPS 전압원을 사용한 경우 유선으로 연결되어 전력을 공급하였으나, 배터리를 장착하여 구동 플랫폼이 별도의 전력선이 필요하지 않으며 원격 주행 및 자율주행 시 전력원에 대한 문제점을 해결함.

* 설계사항 반영 플랫폼 설계



< Model-2 플랫폼 설계 >

- : 기존 플랫폼의 타이어는 외경이 18인치(457.2mm)이며 폭은 7.5인치(190mm)로 허용중량은 축당 최대 하중180kg 임
- : 기존 플랫폼의 경우 동력부와 작업기를 모두 부착한 상태의 무게가 700kg 이상으로 타이어에 허용중량의 안전계수가 낮아 위험함
- : 기존 18인치 타이어는 수급은 쉬우나 허용하중이 낮고, 농경지에서 견인력을 발생시키는 러그의 패턴이 단순하고, 높이가 낮음
- : 험지에서 고립되었을 때 플랫폼이 탈출하기 위해서는 타이어의 지름이 클수록 험지에 고립될 확률이 줄어들고, 고립되더라도 탈출이 용이함

아세아텍 승용관리기



602										
규격	PR	구분	외경	외경 (mm)	단면폭 (mm)	단면폭 (mm)	중량 (kg)	중량 (kg)	중량 (kg/cm ²)	공기압 (psi)
6.00-12	4	T/T	4.00	632	158	22	325	716	1.80	28

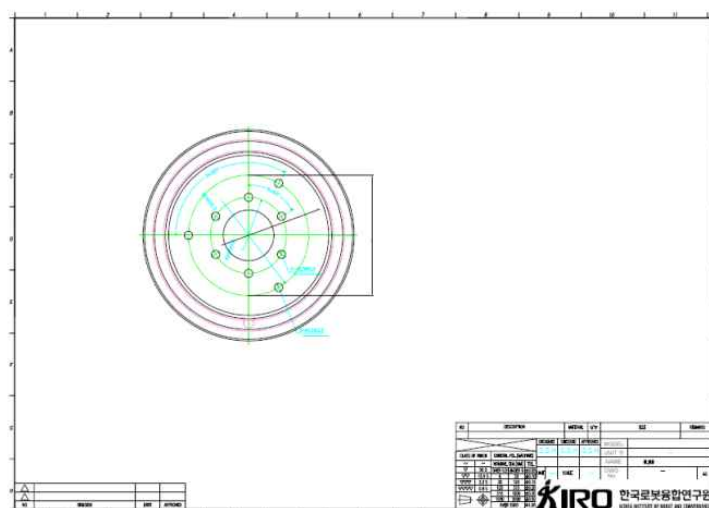
발동엔로봇 적용 대상 제품



458										
규격	PR	구분	외경	외경 (mm)	단면폭 (mm)	단면폭 (mm)	중량 (kg)	중량 (kg)	중량 (kg/cm ²)	공기압 (psi)
6-12	4	T/T	5JA	580	152	15	268	591	2.00	28

< 개선 플랫폼 타이어 종류 >

- : 농경용 타이어는 다양한 패턴과 사이즈로 제작되고 있으나, 개선플랫폼의 예상 무게는 최대 700Kg로 예상하고, 안전계수 1.5를 곱해 허용무게 이상인 458패턴의 타이어와 602패턴의 타이어를 선정함
- : 602패턴의 타이어는 현재 (주)아세아텍에서 생산되는 승용관리기에 적용되는 타이어로 참여기관으로 타이어 수급에 장점이 있으나, 타이어의 직경이 25.74인치로 큰 편이며, 러그의 높이도 22mm로 높아 조향에 어려움이 있을 것으로 예상 됨
- : 458패턴의 타이어는 외경 23.42인치로 초기 목표치인 24인치 이하이며, 러그 높이도 15mm로 낮아 조향에 필요한 힘이 적음
- : 개선플랫폼에는 458패턴의 타이어를 장착 할 수 있도록 설계하고, 향 후 개선플랫폼이 안정화를 진행 후 타이어 수급이 용이한 602 타이어와 호환이 가능하도록 허브의 형태를 동일하게 설계함



< 개선 플랫폼 타이어 허브 >

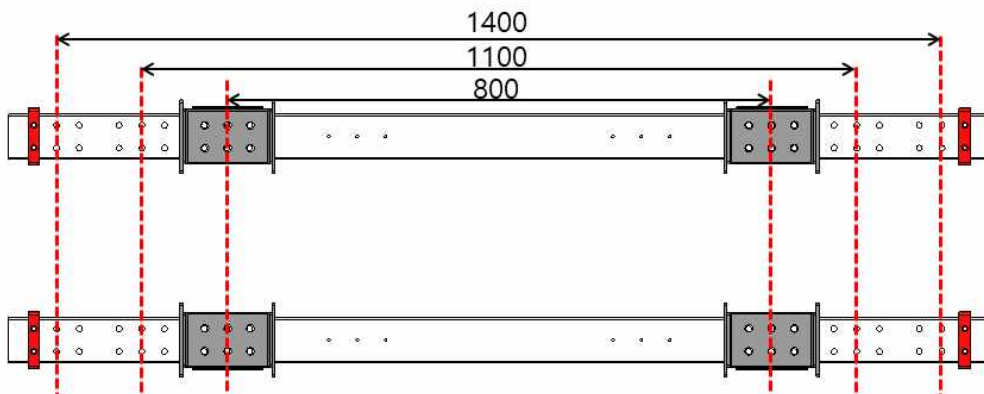
- : 허브의 형상은 중앙에 $\phi 80$ 관통 Hole이 있으며, 중심으로부터 $\phi 120$ 위치에 $\phi 13$ 의 Hole 6개가 60° 도 각도로 뚫려 있음.
- : 속 튜브가 있는 형태로 타이어를 제작 함.



< 제작이 완료된 458 패턴의 타이어 >

* 가변형상 기술적용 설계

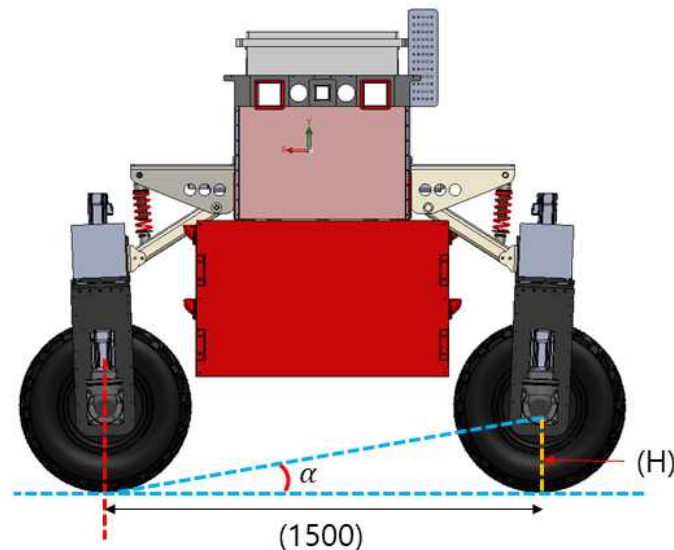
- : 농작업에 따라서 플랫폼의 폭을 가변 할 필요성이 있는데 기존 플랫폼에서는 장비의 안정성 문제로 고정하여 테스트 함
- : 개선 플랫폼에서는 다양한 농작업에 대응하기위해 플랫폼의 전폭을 가변 할 수 있도록 설계 하였음
- : 가변형상의 기본이 되는 각형 파이프는 비틀림응력에 저항성을 지니고 있어 플랫폼 내부에 작업 할 수 있는 공간의 크기가 800mm, 1100mm, 1400mm로 3단계로 구성되어 있으며, 내부 사이즈 공간이 800mm일 때 바깥쪽 바퀴와 바퀴사이 거리는 약 1,085mm로 1100mm 이량의 넓이를 가지는 작물에 대응함



< 가변형상이 적용된 구조용 각형 파이프 >

* 자세제어 기술적용 설계

- : 자세제어는 플랫폼이 경사지를 주행하거나, 운반모듈을 장착하여 주행하거나, 정식기를 사용하는 등 작업종류에 따라 노지면과 수평을 맞춰야 하는 경우가 발생하게 됨. 이러한 경우에 각 축의 바퀴축을 지지하는 자세제어 모듈을 제어하여 높낮이를 변경 함
- : 농작업 중 노면이 불균일하거나, 돌출되어 있는 돌을 밟을 경우 등 장애물을 극복하기 위해서는 5~10°정도 플랫폼의 기울기를 제어 할 수 있는 자세제어 모듈이 필요함
- : 개선 플랫폼으로 농작업을 원활하게 수행하기 위해서는 $\geq 10^\circ$ 를 만족해야 하며 개선플랫폼의 축간거리가 약 1500mm 이며, α 는 10° 이상으로 계산함

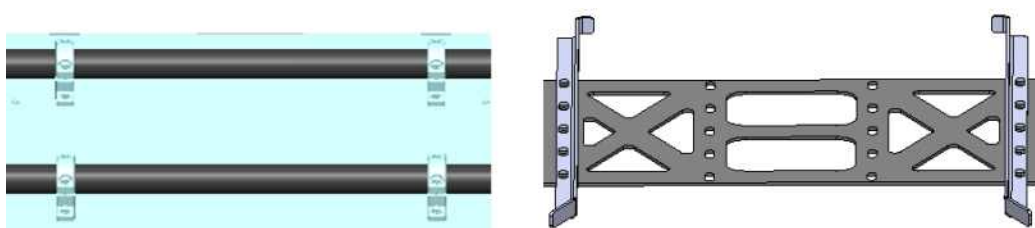


< 조향부 기존모델 >

- : 삼각함수를 이용하여 높이 H는 $H = 1500 \cdot \tan(\alpha)$ 로 계산 될 수 있음
- : 각도 10° 를 움직이기 위해서는 최소 변위 264.5mm를 만족해야 됨
- : 자세제어 모듈은 볼 스크류 1개와 양쪽으로 LM가이드 2개가 가이드 역할을 하고 있으며, 전체 길이는 477.5mm이며, 블록의 크기는 208mm로 자세제어 할 수 있는 Range는 269.5mm로 최소변위 이상이동 가능하여 각도 10° 이상을 만족함

* 작업기 체결구조 반영한 설계

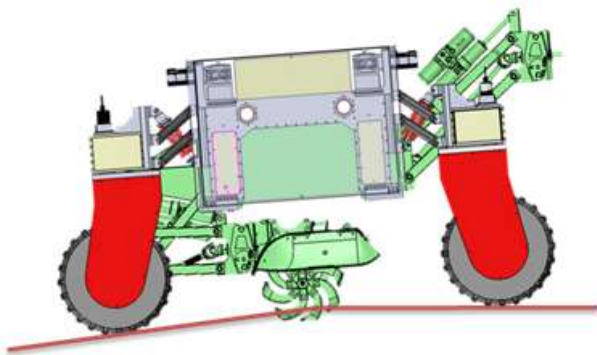
- : 기존 플랫폼의 경우 중앙에 위치한 두 개의 일반구조용탄소강관에 위 아래로 체결되는 클립를 설계하여 동력부를 체결하는동안 동력부의 하중을 들어 올린 상태로 체결을 해야 함
- : 동력부의 하중이 150Kg 이상으로 리프트 장비 없이는 동력부를 체결 할 수 없음
- : 또한 상부에서 볼트로 고정하는 방식이라, 진동에 의해 나사가 풀어질 경우 동력부가 아래로 떨어져 안전사고가 발생 할 수 있음
- : 개선플랫폼에서는 동력부의 고정방식을 상부 체결방식이 아닌 슬라이드 방식으로 정해진 위치에 끼워넣는 방식으로 설계함
- : 기존 플랫폼은 캔틸레버형태의 구조로 길이가 길어질수록 모멘트가 크게 발생하여 파손이 발생 할 수 있는 구조였으나, 개선 플랫폼은 슬라이드 슬롯으로인해 사각형 닫힌 구조로 프레임이 제작되어 구조적으로 안정성이 높음
- : 개선플랫폼은, 가변되는 길이에 따라 슬롯의 바닥면이 대응하기 위해 가공을 정해진 크기로 다양하게 가공을 가공해야 하는 단점이 있으나, 구조적으로 안정적이고, 볼트가 풀려서 발생하는 안전사고를 방지 할 수 있음



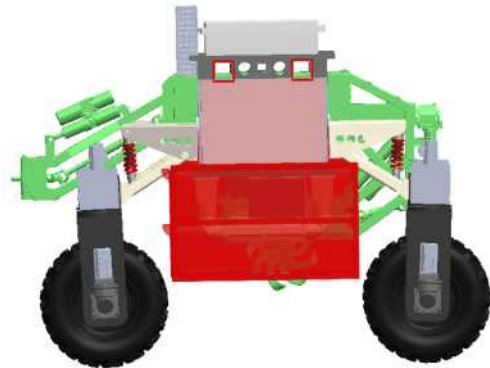
< 작업기 체결구조 개선 >

★ 작업기 높이를 고려한 설계

- : 기존플랫폼은 지면 아래로 약 10cm~20cm 깊이로 작업이 가능했으나, 최대로 들어 올릴 경우 플랫폼 상부와 간섭이 생겨 지면으로부터 약 5cm 까지 상승 가능함
- : 기존플랫폼에 작업기(로타리)부착시 로타리날이 지면과의 거리가 다양한 농작업에 한계가 있음
- : 개선플랫폼에서는 동력부(PTO)의 조립위치가 기존플랫폼보다 높게 설계하여 지면에서부터 약 40cm 높이에 로타리 날이 위치함
- : 로타리날이 위로 올라감으로써 농작물에 피해를 안주고 경작지 위를 이동 가능함
- : 정식기는 이랑과 두둑이 만들어진 노지에서 작업이 이루어져야 하므로 기존플랫폼에서는 높이에 제약이 있었으나, 개선플랫폼에서는 동력부 설치 위치를 개선하여 작업이 가능한 공간을 높임



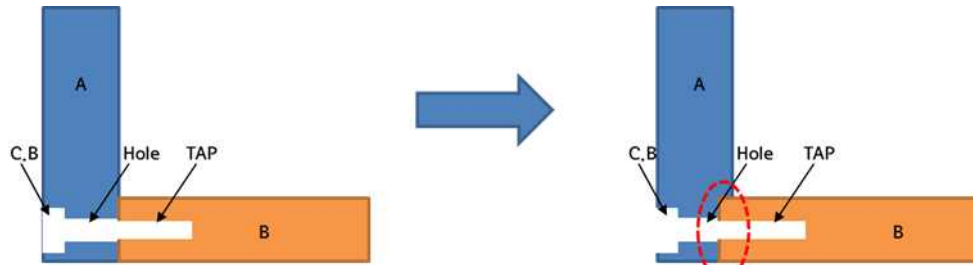
< 기존플랫폼 설계 >



< 개선플랫폼 설계 >

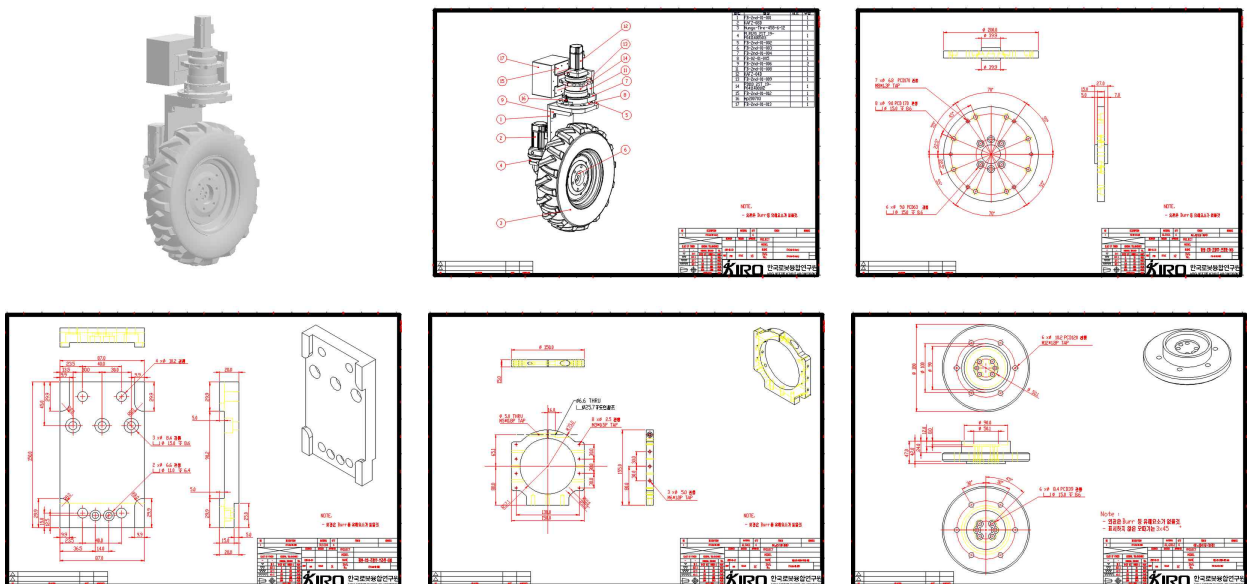
★ 주행부 조립공차를 고려한 설계

- : 플랫폼 설계 시 단차 가공을 통해 조립 누적 공차 최소화
- : 기존플랫폼의 경우 연구 목적으로 각각의 파트들을 용접을 통해 Ass'y 시키지 않고 부분적으로 수정이 가능하도록 판재와 판재를 볼트로 체결하여 조립함
- : 볼트로 체결 할 경우 안쪽 판재는 나사산이 있는 TAP으로 가공되어야 하며, 바깥쪽은 나사가 잘 들어 갈 수 있도록 Hole 가공을 해야 함. 이 때 Hole가공은 실제 나사의 직경보다 크기 때문에 중력방향, 하중방향으로 편심지게 되며, 이러한 누적공차가 쌓여 끝단에서는 큰 누적오차를 나타냄
- : 이러한 누적공차를 최소화 하기 위해서는 판재와 판재를 결합 할 때 단차를 주거나, 끼움으로 판재들을 미리 자리를 잡고 볼트로 체결하면 됨
- : 개선 플랫폼에서는 기본적으로 누적공차를 최소화 하기 위해서 둔턱과 끼움 홈을 만들어 가공되며, 또한 지속적으로 하중을 받는 부분은 가이드를 잡고 용접으로 마무리하여 하나의 파트로 가공하여 누적가공오차로 발생하는 오차를 최소화 함
- : 가공 오차 적용으로 누적 가공 오차 최소화



< 기존플랫폼 가공 형태와 개선 모델링 방안 >

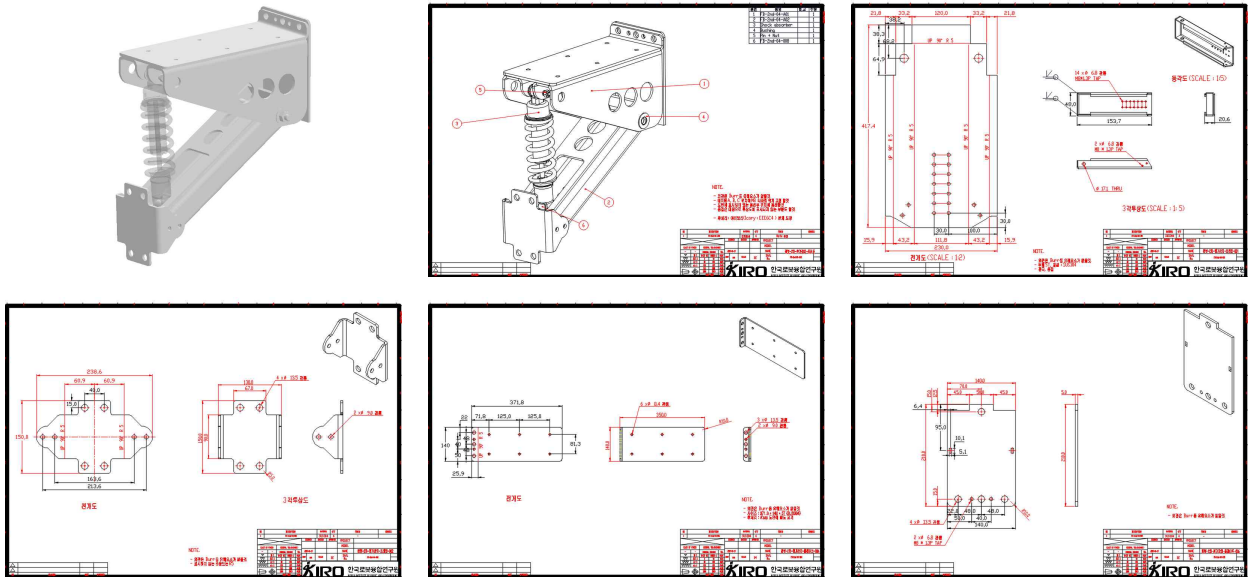
★ 모듈 설계



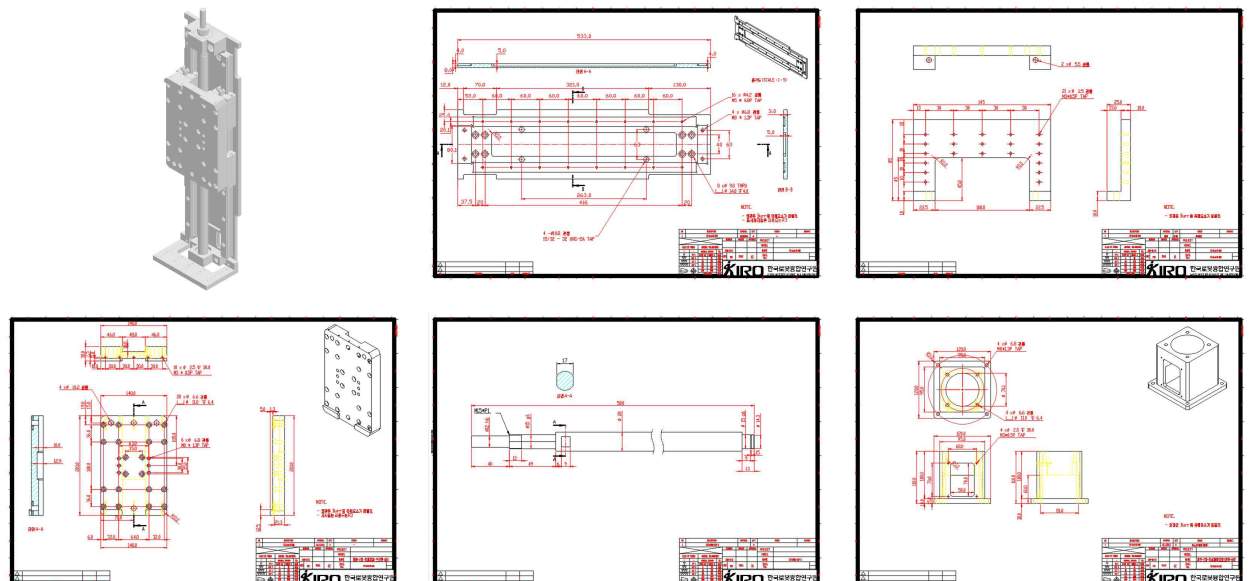
< Model-2 구동/조향모듈 설계 >

: 구동 및 조향 모듈에 사용된 감속기는 각각 100:1 의 감속비를 가지며 서보모터 감속기를 사용하였음, 감속기의 작동 온도는 0~ 90°C 이며, IP65 등급임, 조향 감속기의 공칭 토크: 162 Nm, 무 부하 토크: 0.45 Nm, 최대 경 방향 하중: 3,675 N, 최대 축 방향 하중: 1,838 N이고 구동 감속기의 공칭 토크: 93 Nm, 무 부하 토크: 0.45 Nm, 최대 경 방향 하중: 6,550 N, 최대 축 방향 하중: 3,275 N으로 감속기의 효율은 100:1인 경우 최소 90%의 효율을 가지는 감속기를 선정함.

: Model-1에서 조립에 대한 공차 오차의 누적이 문제가 되어 현가모듈은 하나의 링크와 하나의 스프링이 지지하는 단순한 구조로 변경하였음. 현가 모듈의 공차 오차를 줄이기 위해 보트 체결 후 체결 위치에 용접을 진행함.

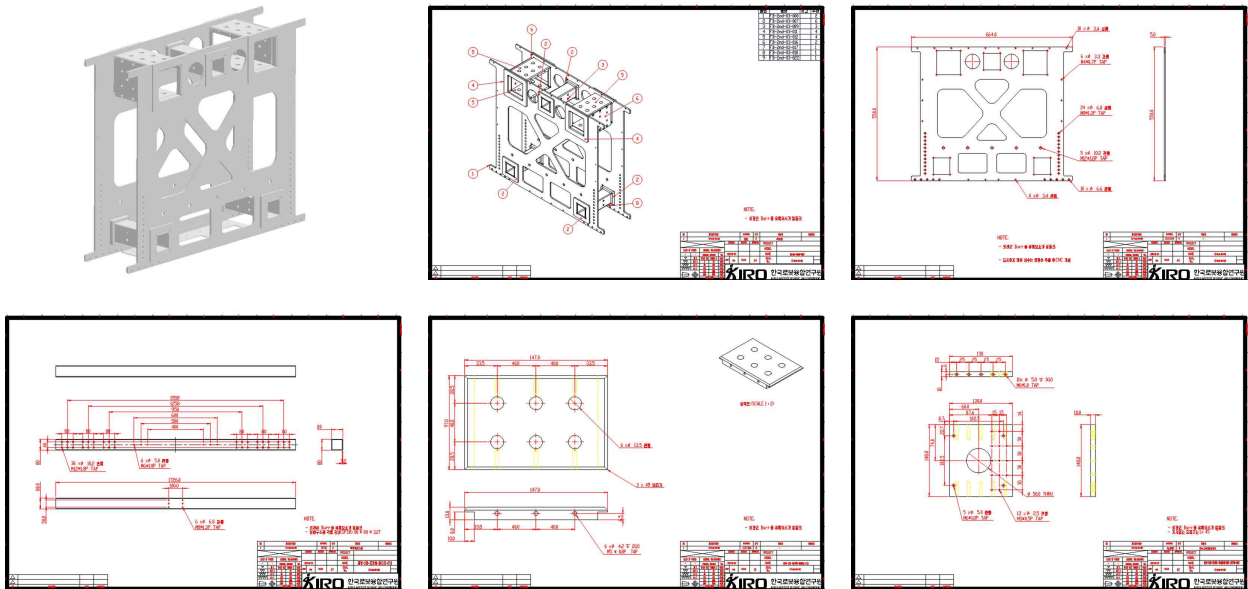


< Model-2 현가모듈 설계 >

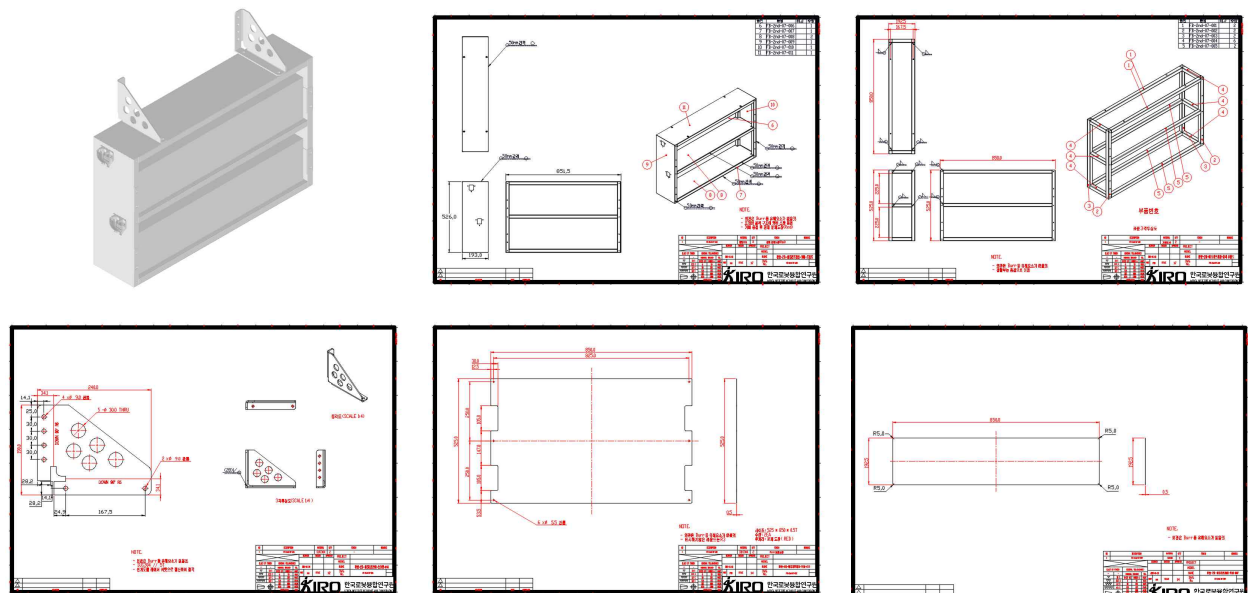


< Model-2 자세제어모듈 설계 >

- : 자세제어 모듈은 스크류와 리니어 가이드를 사용하였고, 플랫폼에서 4개의 현가 모듈과 체결되어 상하 가변을 통해 지면 경사도에 대해서 평형을 맞추고자 하였으며 자세제어 폭은 270 mm로 플랫폼 윤거 957 mm의 좌, 우 자세제어 각도는 15.7° 이며 휠베이스 1510 mm의 앞, 뒤 자세제어 각도는 10° 로 제어됨.
- : 자세제어 각도에 사용된 감속기의 감속비는 100:1 작동 온도는 $0 \sim 90^\circ\text{C}$ 이며, IP65 등급임, 감속기의 공칭 토크: 70 Nm, 무 부하 토크: 0.35 Nm, 최대 경 방향 하중: 1,510 N, 최대 축 방향 하중: 755 N이고 감속기의 효율은 최소 90%의 효율을 가지는 감속기를 선정함.
- : 플랫폼 지지대의 강성 보강을 위해 구조용 탄소 각관을 사용하였으며, 폭 가변과 전장 공간의 확보를 위해 프레임부의 개선을 진행함. 각형 각관의 체결을 위해 사각 지지대를 설계하였고, 전장부의 선 작업, 무게 감소를 위해 내부 공간을 확보하였음.

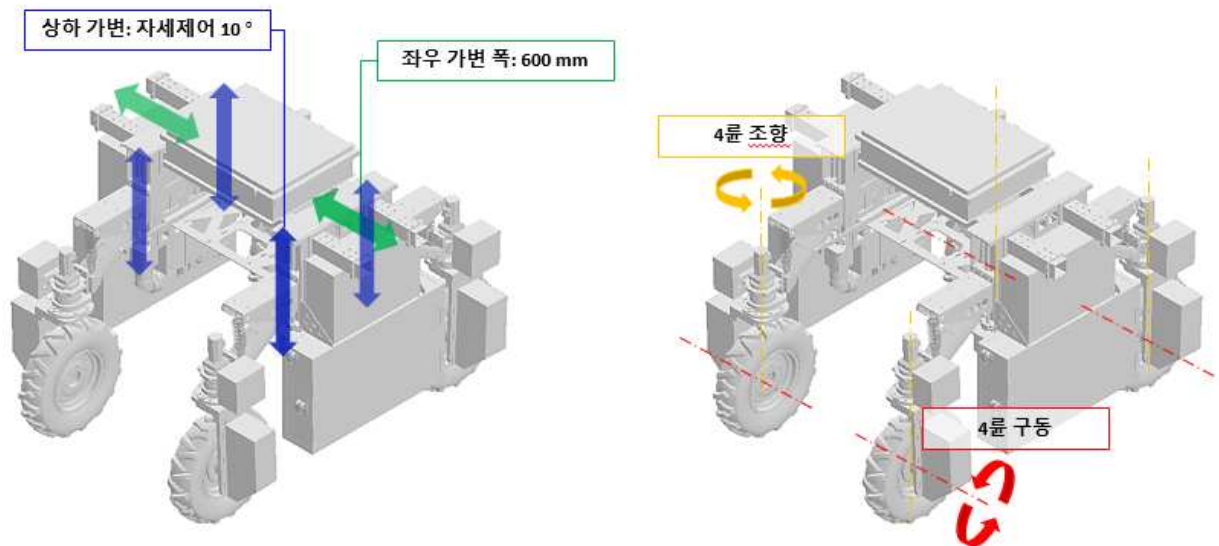


< Model-2 프레임모듈 설계 >



< Model-2 배터리모듈 설계 >

- : SMPS를 대체하여 배터리모듈을 설계함, 배터리 모듈은 플랫폼의 좌, 우 하단에 위치하며 총 4개의 배터리 보관이 가능함.
- : 설계안을 반영한 Model-2의 기구 제어 구성도는 아래와 같이 구동/조향모듈, 현가모듈, 상하 가변 모듈은 4 set로 기구 제어 구성도와 같이 좌, 우측에 대칭으로 배치되며 좌, 우 폭의 제어는 프레임을 교체하는 방식으로 진행함. 4개의 조향과 4개의 구동바퀴의 제어로 제자리 회전 및 평형 주행이 가능함.



< Model-2 플랫폼 기구 제어 구성도 >

- Model-2 제작

* 로봇 플랫폼 제작



< Model-2 부품 및 플랫폼 >

- : 플랫폼 모듈의 부품 및 플랫폼 어셈블리 이미지로 어셈블리 후 기능 및 기구적 특성을 검토함.
- : 노지 환경에 대한 기능 수행과 각각의 환경(비탈, 자갈, 장애물)에 따라 기구적 특성 및 안정성을 확인함 플랫폼 테스트 후 보완사항에 대해 조치 후 지속적인 연구 개발 예정임.

* 플랫폼 현가장치 보완

- : 플랫폼 초기 예상 하중은 430 kg 이었으나, 배터리 및 기타 작업 구성품의 추가로 인해 무게 증가로 스프링에 대한 처짐이 증가하여 주행 바닥면과 끌림이 발생함.
- : 정상적인 주행이 불가능하고, 장애물 극복 및 험지에 대한 극복이 어렵기에 스프링을 포함한 속업쇼버의 변경으로 처짐을 완화하여 주행 가능하도록 함.
- : 속업쇼버의 변경은 스프링 처짐을 기준으로 플랫폼의 무게 600 kg을 각 현가장치 개수로 나누고, 스프링의 감김수, 지름, 단면지름, 탄성계수 등으로 처짐량을 계산함.

스프링의 처짐: δ

$$\delta = \frac{8N_a D^3 P}{Gd^4}$$

스프링 감김 수: $N_a=10$ (연삭 달힘 끝 6+2)

스프링 평균지름: $D=49.2$ mm

스프링 코일 단면 지름: $d=7.8$ mm

재료의 횡 탄성계수: $G=8 \times 10^3 \text{ kg/mm}^3$

$$\delta = \frac{8N_a D^3 P}{Gd^4} = \frac{8 \cdot 8 \cdot (49.2)^3 \cdot 150}{8 \times 10^3 \cdot (7.8)^4} = 38.6$$



< Model-2 플랫폼 현가장치 보완 전 >

: 개선 전 속업쇼버 스프링의 처짐량은 33.6 mm이고, 변경 될 속업쇼버 스프링 처짐량은 6.7 mm로 처짐량이 1/5로 개선되었으며, 개선 부품에 대해 스프링 어댑터를 수정하여 반영함.

스프링의 처짐: δ

$$\delta = \frac{8N_a D^3 P}{Gd^4}$$

스프링 감김 수: $N_a=8$ (연삭 달힘 끝 6+2)

스프링 평균지름: $D=35$ mm

스프링 코일 단면 지름: $d=11.4$ mm

재료의 횡 탄성계수: $G=8 \times 10^3 \text{ kg/mm}^3$

$$\delta = \frac{8N_a D^3 P}{Gd^4} = \frac{8 \cdot 8 \cdot (35)^3 \cdot 150}{8 \times 10^3 \cdot (11.4)^4} = 6.7$$



< Model-2 플랫폼 현가장치 보완 후 >

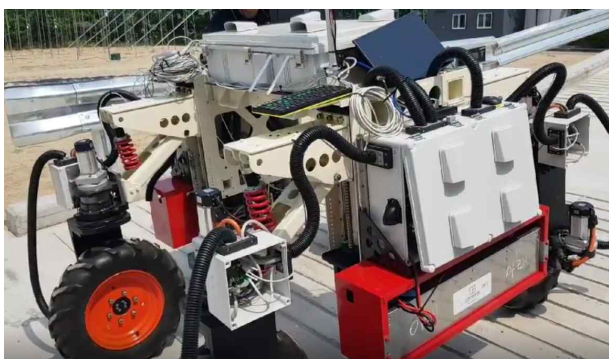
* 플랫폼 기능 및 주행 테스트

- : 플랫폼 4개의 조향모터에 대해 조향 테스트 및 조향 각을 측정함, 조향 360°가 가능하지만 모터로 이어지는 물리적인 선의 길이와, 조향 시 필요한 각도의 범위로 인해 구동 바퀴가 정면에서 좌, 우로 90°씩 조향을 수행하며 전체 180° 회전할 수 있도록 하였음. 구동 바퀴의 정렬을 위해 플랫폼에 센서를 부착하여 좌측, 우측 최대각을 측정한 후 정렬됨.
- : 플랫폼 4개의 구동모터에 대해 구동 테스트를 진행함. 구동 바퀴를 정면에서 90°로 정렬한 후 정면에서 수직으로 좌, 우측으로 구동하는 것을 확인할 수 있었으며, 조향 각도를 45°로 정렬한 후 제자리 회전이 가능함.
- : 플랫폼을 경사도에 위치시킨 후 자세제어를 수행하여 수평을 유지하게 함. 경사도는 5°이고 초기 위치에서 앞, 뒤 자세제어를 통해 수평을 측정하였음.
- : 플랫폼 구동 환경(경사도, 장애물, 자갈, 노지)에 대해 주행 테스트를 진행함. 테스트한 경사도는 20°이며 경사도에 대한 등판을 확인하였고, 장애물의 높이는 100 mm로 장애물을 넘어 주행이 가능함을 확인하였다. 장애물 통과 시 구동 바퀴에 대한 슬립이 발생하였고, 콘크리트 장애물 경사도 45°에 대해 플랫폼 바퀴의 마찰력이 충분하지 않다고 판단됨.



< Model-2 4륜 구동 및 조향 테스트 >

: 야외 주행에서 외부 환경에 대한 주행이 가능함을 확인하였음, 외부 환경에서 발생하는 경사의 발생으로 무게 불균형으로 인한 하중 쏠림이 발생하여 기구 구성 품에 대한 안전성을 확인할 필요가 있음.



< Model-2 자세제어 테스트 >

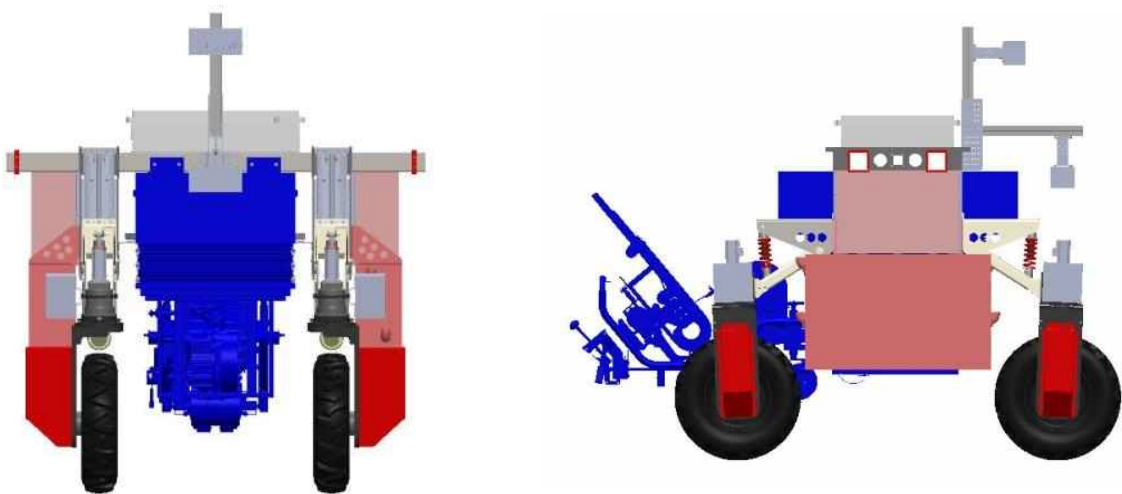


< Model-2 험지 주행 테스트 >

– Model-2 배터리 및 기구모듈 개선

★ 개선 사항

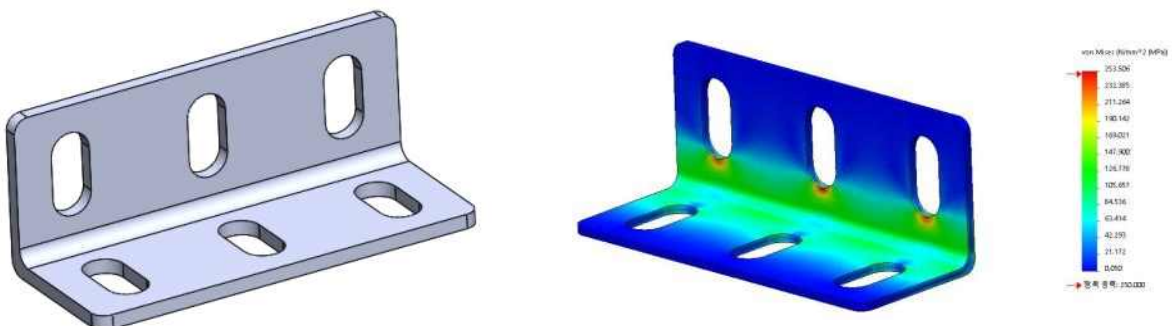
- : 목적에 맞는 작업기를 교체하는 과정에서 플랫폼의 체결부는 수작업으로 변경해야 하며, 공간이 협소하여 체결에 어려움이 발생함.
- : Model-1에서 시저스 타입의 작업기 높낮이 모듈의 경우 부피가 크고, 편심 되어 있어 플랫폼이 구동과 조향에 문제가 발생 함.
- : 편심 되어 위치한 작업기의 높낮이를 변경하는 모듈을 플랫폼 안으로 넣어 편심질량을 줄이는 방향으로 설계 변경을 함.
- : 기존플랫폼에서는 통합동력모듈로 PTO를 사용하였으나, 작업모듈에 따라서 동력이 필요 없는 경우와, 동력이 작게 필요한 경우가 발생하는데 큰 동력원을 항상 플랫폼이 실고 다닐 경우 전력효율이 낮고, 부피가 커 공간 활용이 어렵고 작업기와 기구적 간섭이 발생할 수 있음.
- : 기존의 PTO 공간을 배터리를 넣어 플랫폼과 작업기간 전압을 공유하여 사용 함
- : 측면부에 위치하던 배터리를 중앙으로 이동함으로써 중앙 지지대에 걸리는 하중이 증가함.
- : 구조해석을 통해 응력, 변위, 안전계수를 확인함.



< Model-2 개선 모델의 작업기 장착 예 >

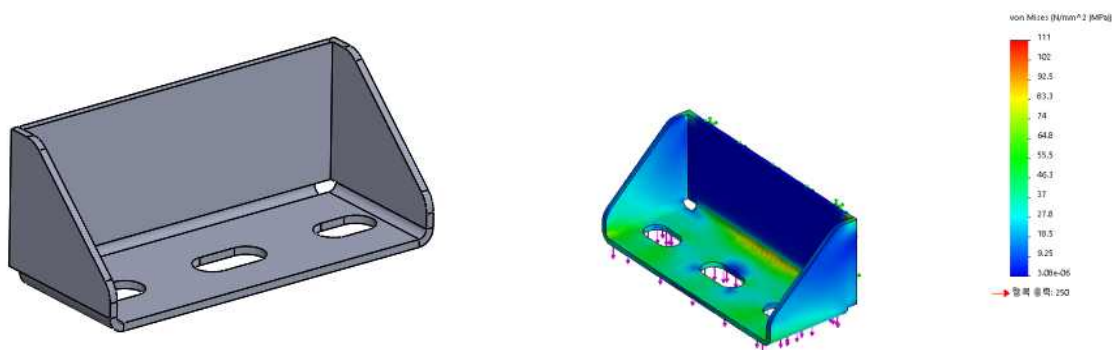
★ 작업 체결구조 개선 설계

- : 작업 모듈 체결용 브라켓은 플랫폼 중앙 지지대 각관 파이프에 볼트로 체결됨.
- : 작업기 하중이 최대 400 kg으로 예상하고 각 축당 100 kg 하중으로 분할하여 해석 함.
- : 재료는 ASTM 32 SS로 일반강이며 항복응력은 250 MPa임.
- : 구조는 3T 재질을 외각 커팅 하여 절곡하여 접은 구조임.

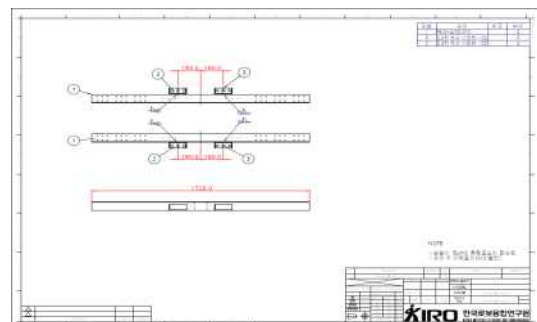


< Model-2 작업기 체결 브라켓 개선 전 >

- : 해석결과 최대하중은 볼트가 채결되는 부분에서 발생하며, 절곡으로 접힌 부분에는 약 150 MPa 응력이 발생함.
- : 최대변위는 0.616 mm로 브라켓의 끝부분에서 발생함.
- : 전체 플랫폼의 크기에서 브라켓의 변위량을 미비해서 큰 영향력이 없을 것으로 판단되나, 볼트가 채결되는 부분에서 최대응력이 253.506 MPa로 재료의 항복응력보다 높아 영구변형이 발생함.
- : 재료의 두께 T를 증가하거나, 구조를 변경이 필요함.
- : 브라켓 개선 전 문제점을 보완하는 구조로 두께는 동일하며, 구조에 리브를 추가하여 강성을 보강함.
- : 기존 채결구조인 볼트채결에서 용접으로 채결하는 구조로 변경하여 응력이 집중되는 문제를 해소함.
- : 해석결과 브라켓 개선 후의 최대 변위는 지지부쪽 끝단 중앙에서 발생하였으며, 변위는 0.242 mm로 전체 길이에 대해서 변위량을 미비함.
- : 최대응력은 절곡부 안쪽에서 발생하며, 111 MPa로 안전계수는 2.25가 나옴.
- : 기존의 볼트 채결 구멍에 집중되던 응력은 용접으로 해소됨.
- : 브라켓 개선 전 보다 후에서 더 좋은 결과를 도출하므로 제작하여 적용함.



< Model-2 작업기 체결 브라켓 개선 후 >



< 개선 브라켓을 적용한 중앙 지지대 >

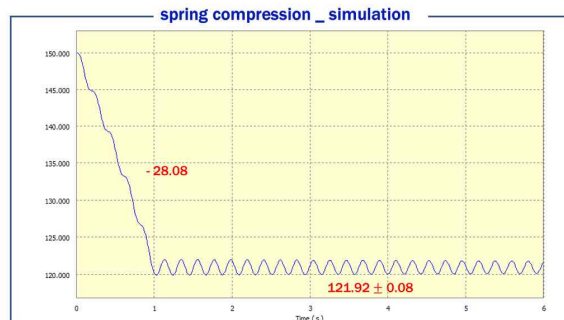
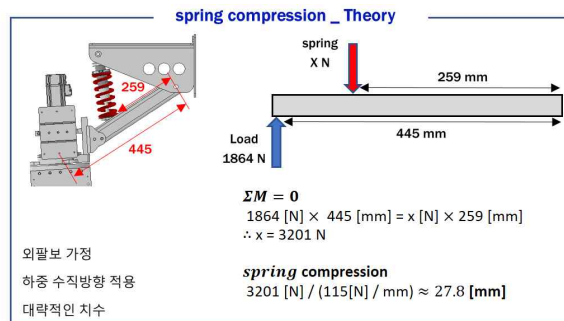
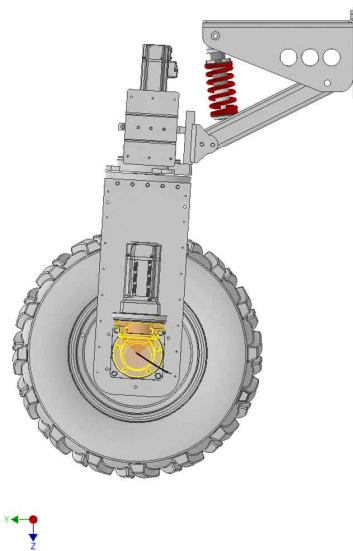
– Model-2 현가모듈 개선

★ 개선 사항

- : 현가모듈의 속업쇼버 스프링의 작동 환경 설정을 위한 예압 구성 분석을 진행함.
- : 현가모듈은 상, 하 가변되는 자세제어부와 볼트로 체결됨.
- : 현가모듈에서 작업기 및 플랫폼의 하중 상태에 대해 볼트 체결에서 틈새가 발생하며 반복될 경우 볼트 체결이 풀리거나, 기구적 변형이 발생함.
- : 현가모듈 플레이트의 두께 보강이나, 상자세제어부와 현가모듈 플레이트의 구조 변경이 필요함.
- : 구조 개선을 위해 해석을 진행하여 플랫폼 하중 상태와 접촉 및 경계조건을 부여하고 해석 결과에 대한 분석으로 개선 방향을 선정함.
- : 개선 전 모델의 구조해석 결과 최대 처짐은 플레이트의 하중 상태와 동일하게 발생함을 확인할 수 있었고, 최대 응력은 구조 체결 부위에서 응력집중으로 인해 모서리 부분에서 발생함을 확인함.
- : 해석 결과를 바탕으로 개선 모델에서는 최대 처짐을 방지하기 위해 볼트 체결 개수를 증가시키고, 응력 집중을 방지하기 위해 체결 부위를 라운드형으로 제작함.

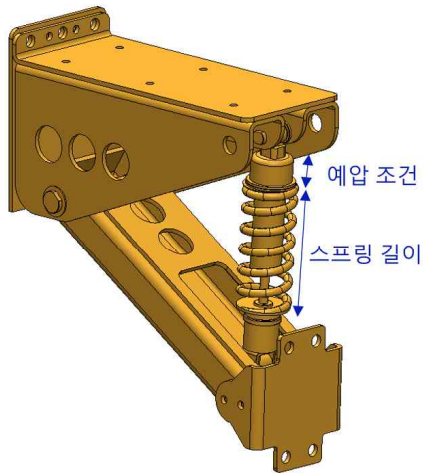
▪ Dynamain Simulation Test

- Simulation result



< Model-2 현가모듈 스프링 시뮬레이션 >

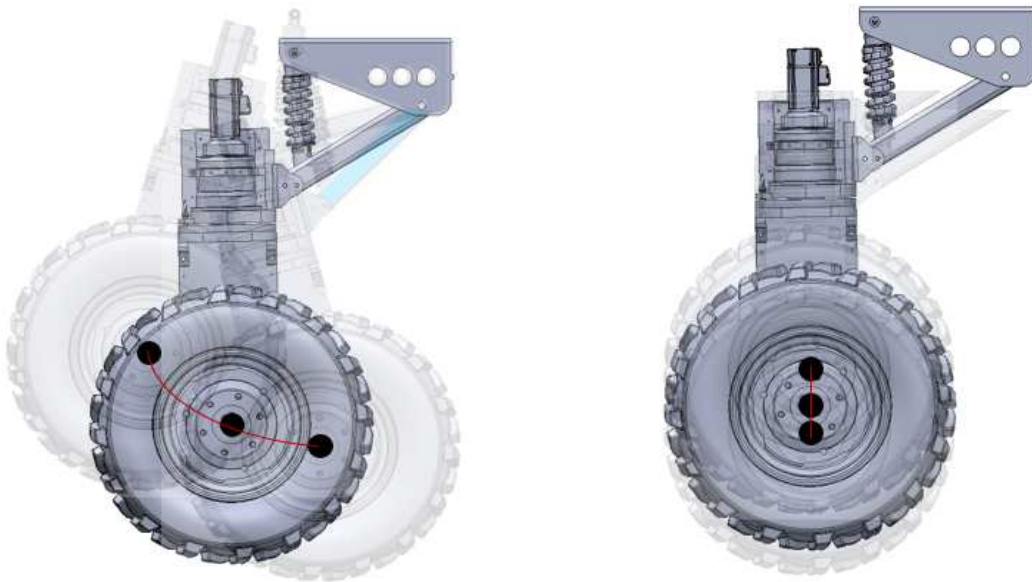
- : 현가모듈 스프링 환경에서의 분석으로 구동 축에 1/4에 대한 하중과 링크 구조의 길이 및 스프링 상수 등으로 압축량을 이론적으로 계산하였고, 구성 부품 및 현가 시스템을 모델링 한 후 스프링 작동에 대해 구동축의 변화와 스프링 압축 상태를 시뮬레이션으로 확인함.



스프링 길이 [Unit: mm]					
		변경 전 예압조건 (40 mm)		변경 후 예압조건 (30 mm)	
		Load (760 kg)	No Load (0 kg)	Load (760 kg)	No Load (0 kg)
전방	좌	126.79	125.86	130.96	137.27
	우	125.85	126.18	131.02	137.04
후방	좌	125.73	125.97	131.17	136.98
	우	125.73	126.00	131.72	137.06
변형량 평균: 0.0225				변형량 평균: 5.87	

< Model-2 현가모듈 스프링 예압 분석 >

: 현가모듈 하중 상태에 대해 스프링 압축량을 측정하였으며 예압조건이 40 mm 인 경우, 하중 상태에 대해 스프링 압축이 발생하지 않아 플랫폼의 주행 환경에서 속업쇼버의 활용이 불가능 하지만 예압 조건을 30 mm 이하로 설정 한 경우 하중 상태에 대해 속업쇼버의 작동을 기대할 수 있음.



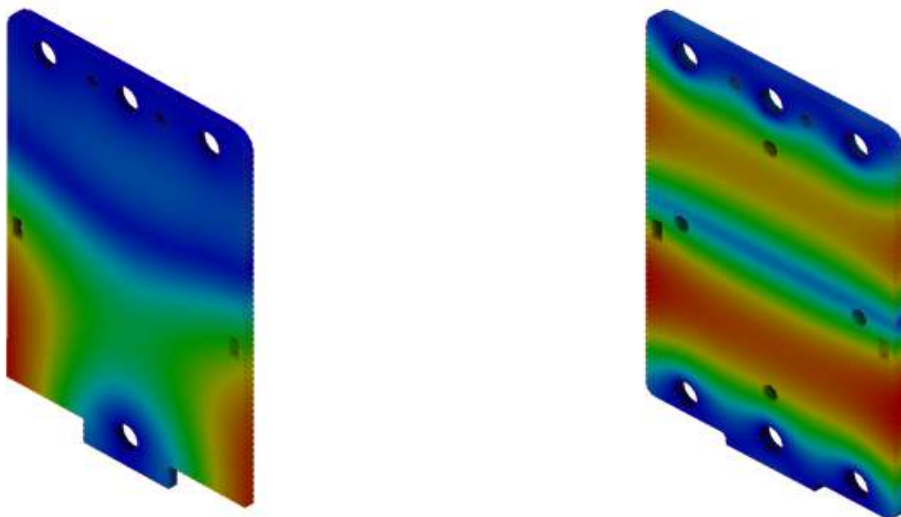
< Model-2 현가모듈 링크 움직임 및 개선 방향 >

- : 현가모듈 링크 구조를 하나의 링크의 회전 자유도를 4절 링크 구조로 변경하여 속업쇼버의 역할은 수행하며 구동축의 움직임을 상, 하 자유도로 구성하였음.
- : 현가모듈의 구조로 하나의 링크와 스프링으로 구성되어 있으며, 구조는 하나의 힌지로 고정되어 회전방향에 대한 자유도를 가짐.
- : 현가모듈의 기구적 특성에 의해 바퀴 구동축의 범위가 확대되는 문제점이 발생하고 이는 플랫폼 주행 제어 시 주행 오차로 이어질 수 있음.
- : 현가링크 구조의 변화로 플랫폼 구동 제어 시 구동축의 변화 즉, 축간거리 변화에 의한 주행 제어 변수를 차단함.

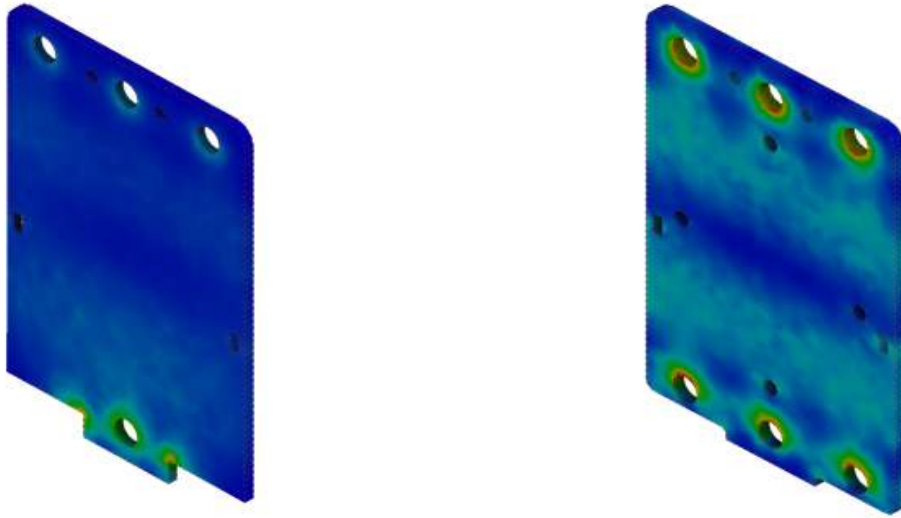


< Model-2 현가모듈 체결 문제점 >

- : 현가모듈의 구동축 변화 문제는 현가 모듈의 링크 구조를 변경하여 개선하였고, 현가모듈 플레이트의 구조 변경과 병행하여 이루어짐.
- : 현가모듈 개선 전의 무게는 70 kg 이고, 개선 후 링크 구조와 플레이트 등 총 무게는 76 kg으로 측정됨.
- : 현가모듈 플레이트 처짐 해석 결과로 개선 전 플레이트 양 끝단에서 최대 처짐이 발생하고, 개선 후 플레이트의 중앙 부에 위치하며 처짐량은 수치상 1/10로 줄어든 것을 확인함.
- : 현가모듈 플레이트의 양 끝단에서 굽힘이 발생하고 모서리 부분에서 응력집중이 나타나며 모서리의 응력집중으로 안전계수는 0.75를 확임 함.
- : 개선점으로 볼트 체결 개수를 증가시킴, 개선 후 볼트 체결 상태증가로 인해 굽힘이 일어나지 않고, 상, 하로 압축을 받는 좌굴 형상의 처짐이 발생하지만 처짐량이 소수점 2자리 밑의 수치를 나타내며, 체결 부위의 각 끝단에서 발생하는 응력집중 또한 안전계수 3.5를 나타내어 체결 부위를 증가시키는 것으로 구조 개선을 확인함.



< Model-2 현가모듈 플레이트 개선 전, 후 처짐 결과 >



< Model-2 현가모듈 플레이트 개선 전, 후 응력 결과 >

- : 현가모듈 플레이트 개선에 대해 자세 제어부의 체결 플레이트 설계 변경을 동일하게 진행함.
- : 현가모듈 설계 개선안을 반영하여 플랫폼에 적용 시켰으며, 주행 환경에서의 테스트 수행 후 개선 사항에 대해 분석하고자 함.

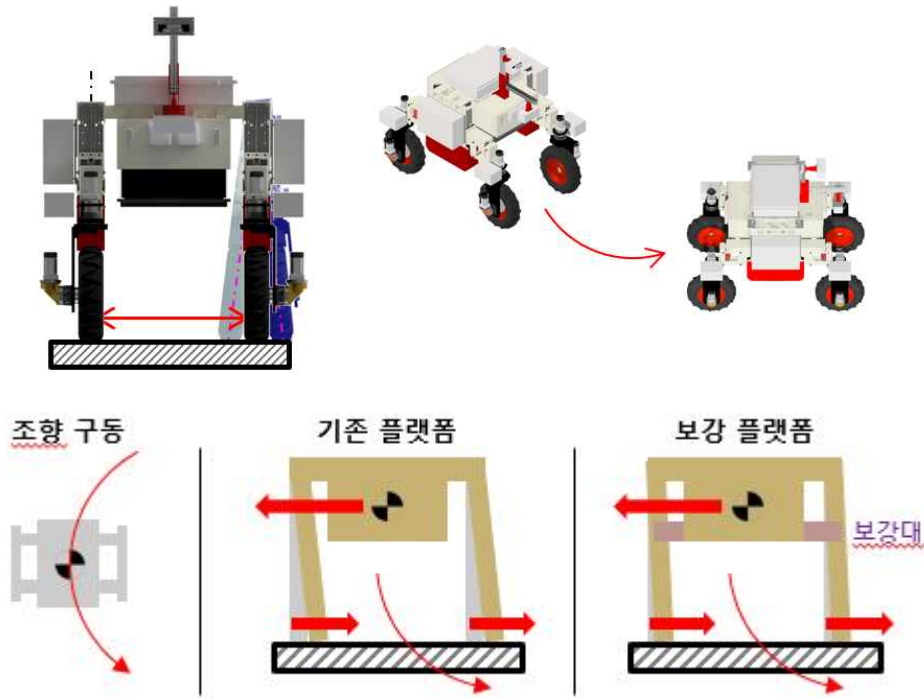


< Model-2 현가모듈 링크 개선 전, 후 >

- Model-2 플랫폼 보강

* 보강 사항

- : 플랫폼의 주행 상태에 따라 프레임모듈의 굽힘이 발생하며 윤거의 변화로 플랫폼 구동 제어 시 오차가 발생하거나 편심된 하중으로 발생하는 기구적 변형이 발생할 수 있음.
- : 특히, 노지 또는 조향 상태의 주행에서 무게중심에서 발생하는 원심력과 바퀴 마찰로 발생하는 구심력으로 프레임모듈 체결 부위에서 모멘트가 발생하고, 이를 감소시키기 위해 보강대를 설치함으로써 모멘트가 발생하는 길이를 줄여 완화하고자 함.
- : 보강대의 설치로 구조 변형은 완화하였으나 4륜 구동/조향 플랫폼의 특성상 구동부의 휘어짐이나 굽힘이 발생함.



< Model-2 주행 상황에 대한 프레임모델 변화 >

: 플랫폼 제어 단계에서 바퀴의 토인 또는 토아웃 값을 설정하여 조향한 후 구동하거나, 조향 구동 시 플랫폼의 각 바퀴 속도 제어가 필요함.

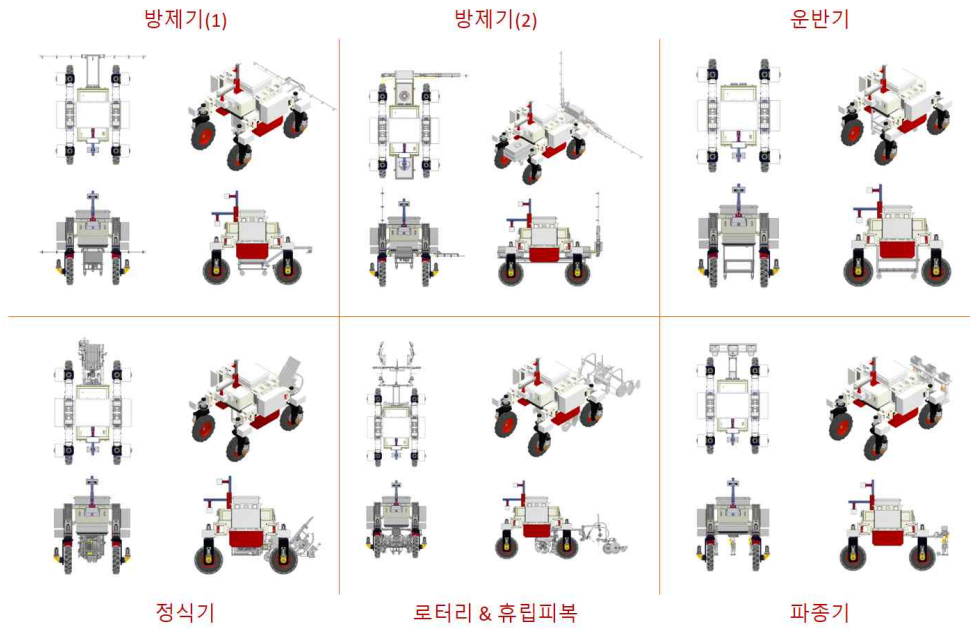


< Model-2 플랫폼 보강 >

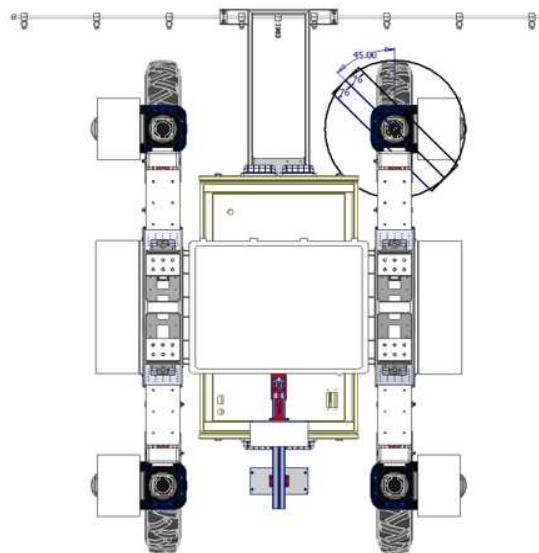
- Model-2 작업기 간섭 확인

* 모델링을 통한 작업기 간섭 확인

- : 플랫폼 작업기 6종(로터리, 휴립피복, 방제, 이식, 정식, 운반기)의 체결
- : 모델링을 통하여 플랫폼과 작업기의 기구적 결합 및 간섭을 확인함.
- : 플랫폼 체결 상태 확인과 체결 상태에서 발생할 수 있는 추가적인 문제점을 분석하여 해결하고자 함.
- : 플랫폼 체결 시 중요 문제점으로 제자리 회전 및 평행이동이 가능함을 확인해야 하며, 기구적 간섭으로 인한 체결 문제점과 카메라 등의 위치 선정을 확인하여야 함.

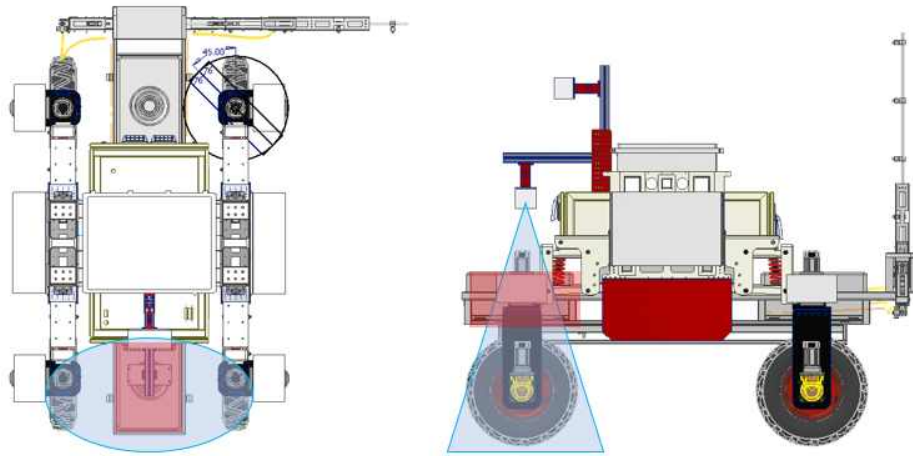


< Model-2 작업기 간섭 분석 >



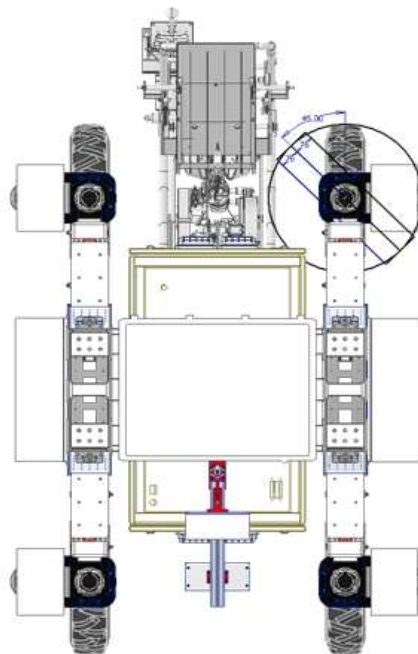
< 방제기1차 간섭 분석 >

- : 방제기 1차와의 체결 상태에서 제자리 회전을 위한 후륜 바퀴의 조향은 간섭이 없음을 확인함.
- : 방제 플랫폼의 무게는 79.5 ~ 80 kg이며, 물 저장 탱크의 무게는 20 kg으로, 구동 바퀴 조향 각 90°에 대해 평행이동은 불가능할 것으로 판단됨.
- : 저장 탱크의 위치가 중심에 위치하여 무게 중심의 편심에 대한 영향은 미비할 것으로 판단됨.



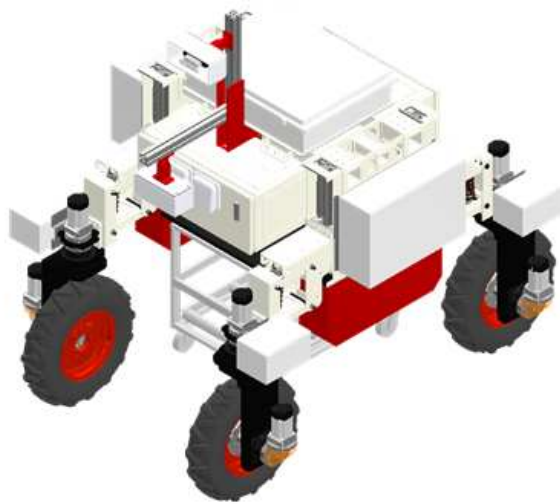
< 방제기2차 간섭 분석 >

- : 방제기 2차와의 체결 상태에서 제자리 회전을 위한 후륜 바퀴의 조향은 간섭이 없음을 확인하였으나, 발 고랑 인식용 카메라의 시야 방해로 주행 제어 시 문제 발생이 나타날 수 있음.
- : 구동 바퀴 조향 각 90°에 대해 평행이동은 불가능할 것으로 판단됨.
- : 방제기 2차의 무게는 물 탱크를 제외한 66.5 kg 으로 확인됨.
- : 저장 탱크는 앞, 뒤로 대칭으로 제작되어 무게 중심의 편심에 대한 영향은 미비할 것으로 판단됨.



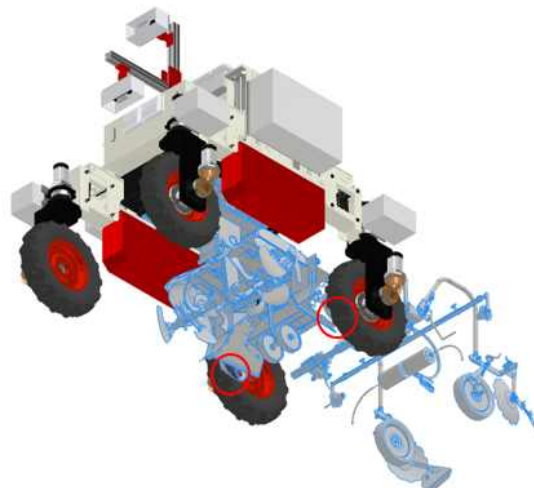
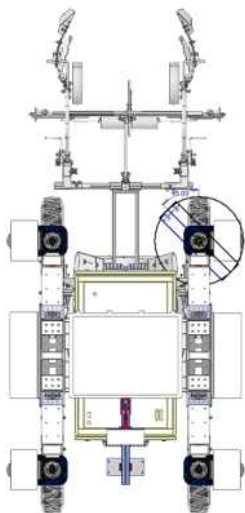
< 정식기 간섭 분석 >

- : 정식기의 체결 상태에서 제자리 회전을 위한 후륜 바퀴의 조향은 간섭이 없음을 확인함.
- : 구동 바퀴 조향 각 90°에 대해 평행이동은 불가능할 것으로 판단됨.
- : 정식기의 무게는 125 kg으로 확인됨.



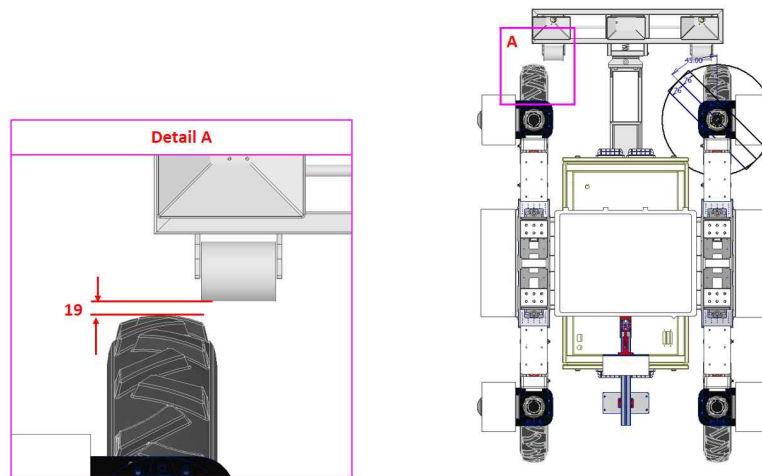
< 운반기 간섭 분석 >

: 운반기의 체결 상태에서 제자리 회전을 위한 후륜 바퀴의 조향은 간섭이 없음을 확인함.
구동 바퀴 조향 각 90°에 대해 평행이동이 가능할 것으로 판단됨.



< 로터리&휴립피복기 간섭 분석 >

: 로터리&휴립피복기의 체결 상태에서 제자리 회전을 위한 후륜 바퀴의 조향은 간섭이 없음을 확인하였으나, 로터리 축의 길이 1000 mm로 플랫폼 내부 폭 800 mm를 넘어 작업기 체결 시 치수 간섭으로 인한 체결 불가능을 파악함.
: 로터리의 축 가공을 통해 플랫폼 조립 시 치수 간섭으로 인한 문제를 해결함.
: 휴립 피복기의 경우 로터리 후방에 장착되며 플랫폼 후방에 위치함, 치수 간섭이 발생하지 않는 것으로 파악됨.



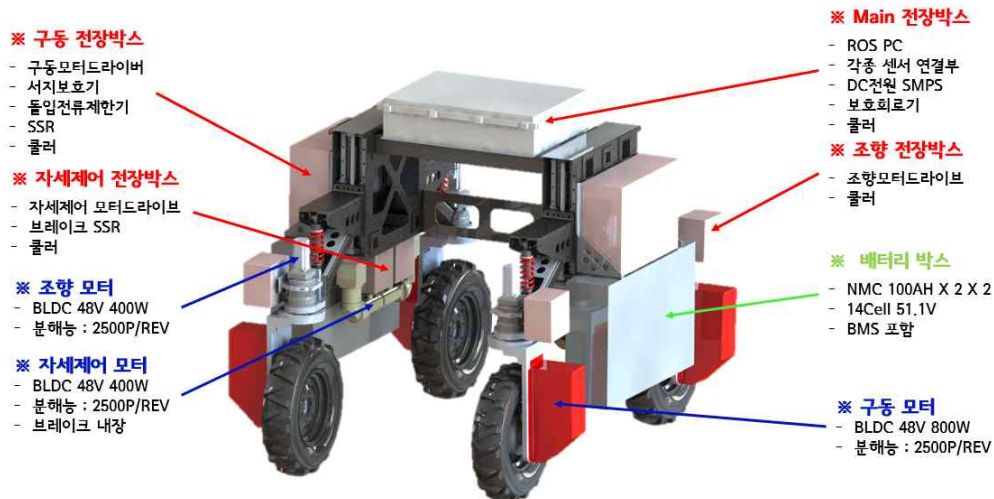
< 파종기 간섭 분석 >

- : 파종기 체결 상태에서 제자리 회전을 위한 후륜 바퀴의 조향은 간섭이 없음을 확인하였으나 파종기와의 간격이 19 mm로 치수적 여유가 적어 작업기 체결 후 파종기 길이 조절, 구동 상태에서의 주의가 필요함.
- : 플랫폼의 작업기 체결을 분석하여 치수 간섭 등을 확인하였음.
- : 작업기 체결 상태에서 운반기를 제외한 작업기에서 평형 이동이 불가능 한 것으로 확인 되었고, 제자리 회전을 위한 조향 각은 확보할 수 있음.
- : 로터리&휴립피복기, 정식기, 파종기 체결 상태에서 무게 중심이 플랫폼 후방에 위치하기에 플랫폼 구동부의 부하와 시저스의 기구적 변형이 나타날 수 있음.

- 전장 설계 및 제작

* 기존플랫폼 및 개선플랫폼과의 전장부 차이점

- : 전장케이블의 최소한 사용을 위한 각 드라이버의 위치를 모터 주변으로 조정함
- : 드라이버의 위치 조종으로 각 방수/방진을 위한 전장박스 설치함
- : 기존대비 측면 전장박스의 크기 축소 및 제어기능을 분산하여 설계함
- : 센서 및 제어장치의 장착을 위한 중앙 전장박스 설계함



< 플랫폼 전장 구성 >

- : 전체 전원은 기존의 외부 전원공급기 사용방식에서 배터리를 사용하여 구동 자유도를 상승시킴
- : 주 전원 연결방식 즉 단속 방식을 기계적 접촉방식에서 전자식 접촉방식으로 변경하여 전기적 연결에 따른 충격을 완화시킴

항목	Model-1	Model-2.1	개선 사유
주 전원	유선 전원 공급 (Wired Power Supplier)	배터리 (Battery-51.1V 400AH)	구동 자율성 증대 및 실사용 플랫폼 대응
주전원 연결부	전자식 연결방식 (Magnet Contactor)	SSR-무접점 방식 (Solid State Relay)	전원 연결시 발생하는 노이즈 및 접점과 정전용량으로 발생하는 전기적 충격으로 인한 문제 개선
구동부 모터	1.6kW	0.8kW	플랫폼의 무게 감소 및 감속기의 기어비 증대로 인한 사용 토크 영역 변화 및 소비전류 감소
조향 및 자세제어 모터	0.2kW	0.4kW	양산성을 위한 부품의 단일화 및 기구 기어비의 증대
전장박스	2개의 전장박스	주 3개의 전장박스 + 6개 보조 전장 박스	전원부, 제어모듈 분리, 드라이버 분리, 시스템 점검 용이성 증대
시스템 쿨러	80mm 4개	80mm 21개	전장박스 열 배출량 확대
케이블 방수/방진	커넥터 분리형 커넥터 판넬	케이블 판넬	케이블의 수량의 증가, 커넥터 분리부로 인한 노이즈 발생원 감소를 위한 케이블 판넬 적용 방수/방진 관리의 용이성 증대

- : 모터의 사양은 전반적으로 플랫폼의 무게가 100kg가량 줄어들고 기어비를 상승시켜, 모터의 용량을 축소하여 선정함
- : 방수/방진을 위하여 중계 커넥터를 사용하던 방식에서 케이블 자체를 잡는 형태의 판넬을 사용하여 외부의 이물질을 차단하는 형태의 방수/방진 체계로 변경함
- : 전체 열 유량의 증대를 위하여 쿨러의 수량을 증대시켜 적용함
- * 설계목표 설정 및 근거
 - : 개선플랫폼의 무게가 줄어들음에 따라서 모터와 드라이버 재선정
 - : 외부 환경을 반영한 장치의 개선

설계 목표		선정 근거
항목	Spec.	
구동부 토크 (kgf.cm)	19.11이상	<ul style="list-style-type: none"> 플랫폼 무게 500kg 기준(토크 계산 공통사항) 마찰계수 1(마찰력이 높은 노면) 기어비 70, 100(구동부 공통) 바퀴지름 610mm
구동부RPM	1844 이상	<ul style="list-style-type: none"> 작업 속도 약 3km/h 작업 폭 600mm
조향부 토크 (kgf.cm)	6.87 이상	<ul style="list-style-type: none"> 마찰계수 1(마찰력이 높은 노면) 기어비100(조향부 공통) 토크 발생지점 100(mm)
조향부 RPM	250 이상	<ul style="list-style-type: none"> 조향속도 15(deg/sec)
자세제어토크 (kgf.cm)	0.66 이상	<ul style="list-style-type: none"> 하중 500kg 기준 볼스크류리드 5(mm), 효율 0.9, 마찰계수 0.3 기어비100(자세제어 공통)
자세제어 RPM	1800 이상	<ul style="list-style-type: none"> 순간 이동 거리 15(mm/sec)
구동부 드라이버	MAX 75 A	<ul style="list-style-type: none"> CAN 네트워크 구성 가능(상위 레이어CANOpen통합) 구동 모터 최대 전류 68A 이상 출력 가능한 제품 전압 DC입력 가능하며, 48V이상 입력 가능 할 것 장치구동 온도조건이 -20 ~ 60°C 적용 가능할 것
조향, 자세 드라이버	MAX 30 A	<ul style="list-style-type: none"> CAN 네트워크 구성 가능(상위 레이어CANOpen통합) 조향 모터기준 정격 20A이상 출력 가능 장치구동 온도조건이 -20 ~ 60°C 적용 가능할 것

- * 모터 선정
- : 구동부의 모터 토크에서 가장 큰 부하요인은 수식(1)에서와 같이 가속구간의 토크로 가속 토크와 마찰부하 토크에 관여하여하는 연속방정식을 풀이하여 모터의 토크를 산출함
- : 주행속도는 전진방향 기준 3.03km/H 기준으로 부하 무게는 500kg으로 선정함

$$T_m = T_a + L$$

T_m = 가속구간 전체 코드
 T_a = 가속 토크
 L = 마찰부하 토크

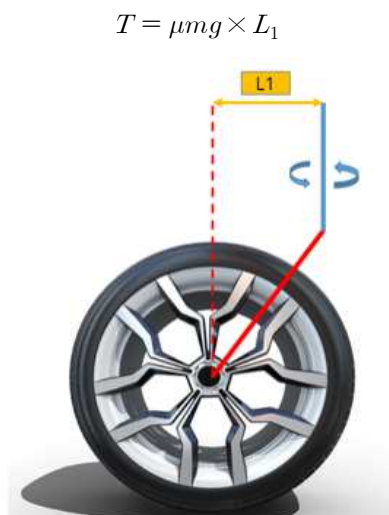
$$T_a = \frac{J}{g} \times \frac{2\pi f}{t}$$

J = 부하관성 모멘트
 g = 중력가속도
 f = 동력륜의 등속운전 속도
 t = 가속시간

항목	주행부 정보 및 결과
주행 속도(km/h)	3.03
가속도 시간(sec)	0.5
부하(kg)	500
바퀴지름(cm)	61
초당 회전수(1/sec) - f	0.44
부하관성 모멘트(kg.cm ²) - J	232562.5
정지마찰 계수	1
마찰부하 토크(kg.cm) - L	29.2
가속토크(kg.cm) - Ta	1308.5
등속구간 토크(kg.cm) - Tm=L	29.2
가속구간 토크(kg.cm) - Tm=Ta+L	1337.8
축 기어비	70
모터 기동 토크(kg.cm)	19.11
바퀴 회전수(RPM)	26.355
모터 회전수(RPM)	1844.8

< 구동부 동력산출 >

- : 조향부는 기본적인 토크산출 공식으로 계산을 하여 모터의 출력을 산출함
 : 조향속도는 우측회전을 기본으로 초당 15°를 구동하는 조건이며, 축과 힘의 작용부의 거리는 10cm로 산정하여 계산에 반영함



항목	조향부 정보 및 결과
조향 속도(deg/sec)	15
조향 속도(m/sec)	0.026
가속 시간(sec)	1
가속도(deg/sec ²)	0.026
부하(kg)	500
축-바퀴간 거리(m) - L1	0.1
축 둘레(m)	0.314
정지마찰 계수	1
정지마찰력(N)	1225
축에 걸리는 토크(N.m)	61.25
조향 기어비	100
기어 관성모멘트 (kg.m ²)	0.00003
모터 기동 토크(kg.cm)	6.875
조향 축 회전 수(RPM)	2.5
모터 회전 수(RPM)	250

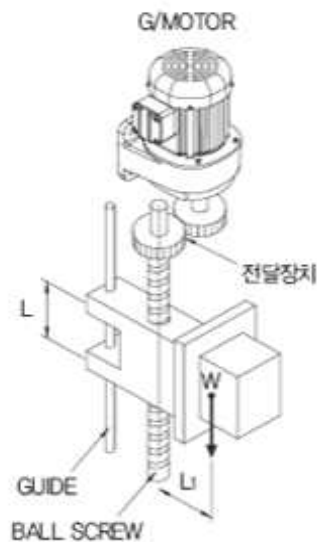
< 조향부 동력산출 >

: 자세제어부는 기구적으로 수직하는 방향으로 작용하는 힘에 대하여 계산하는 형태로 자세제어부 동력산출 방법과 같이 기구부의 관계식과 동력관계를 통하여 모터 토크를 산정함

$$T = \frac{F \cdot P}{2\pi \cdot \eta} + \frac{\mu_0 \cdot F_0 \cdot P}{2\pi}$$

$$F_0 = \frac{F}{3}$$

$$F = \frac{W \cdot L_1}{L} \times \mu \times 2 + W$$



항목	자세제어부 정보 및 결과
볼스크류 리드(P)(mm)	5
하중(kg)	500
볼스크류 재질 밀도(kg/m^3)	7870
볼스크류 직경(de)(mm)	20
하중간 거리(L1)(mm)	400
볼스크류 폭(L)(mm)	106
볼스크류 가동 힘(F)(kg)	688.679
예압하중(F0)(kg)	229.56
가이드 마찰계수	0.05
볼스크류 마찰계수	0.3
볼스크류 효율	0.9
직선운동 관성 모멘트 (kg.m^2)	0.00003
전체 관성모멘트(kg.m^2)	0.00003004
감속 후 토크(T1)(kg.cm)	0.664
초당 구동 길이(mm/s)	1
구동 회전 수(RPM)	1200

< 자세제어부 동력산출 >

: 각 산출결과에 따라서 구동부는 800W급(750W)의 모터와, 조향은 400W, 자세제어는 200W로도 충분하지만 부품의 단일화 및 수리, 보수 관계와 구성 부품들을 가만하여, 조향부와 같은 400W 제품으로 선정함

항목	KAFZ-04D	KAFZ-08D
출력(W)	400	750
정격 소비 전류(Arms)	12.6	24.2
최대 소비 전류(Arms)	35.64	68.45
정격 토크(kg.cm)	13.3	25.0
최대 토크(kg.cm)	26.5	48.9
정격 RPM	3000	3000
최대 RPM	4000	4000

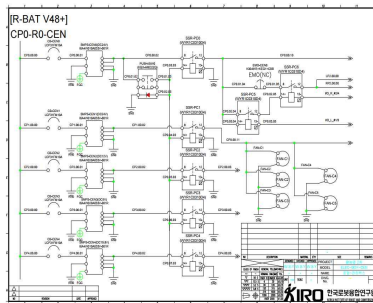
< 각 토크산출에 따른 모터 선정 >

* 드라이버 선정

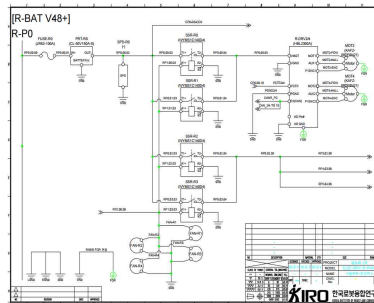
: 기존 플랫폼은 Elmo 드라이버를 사용하여 1.6kW급의 고용량 모터를 구동하지만, 개선 플랫폼의 경우 무게의 감소로 부하가 줄어들어 보다 낮은 용량의 드라이버로 구동이 가능함
 : 또한 Elmo제품의 경우 가격대비 성능비가 낮으며, 구동 환경요인 중 온도특성이 가장 낮아 장비 구동에 있어서 내구성에 치명적으로 악영향을 줄 것으로 보임
 : 따라서 선정된 모터의 구동이 가능하면서, 환경적 요인에 큰 무리가 없는 제품이면서 가격대비 성능이 우수한 제품으로 각 제품군을 비교하여 RoboteQ제품으로 선정함

★ 전장부 설계

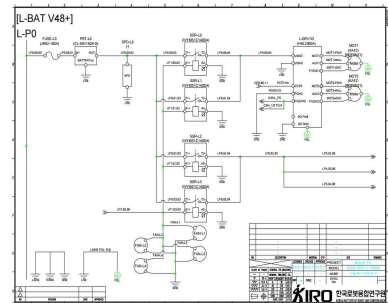
- : 이전 플랫폼 대비 입력전원의 안정화를 위하여 전원부를 보강함
- : 기존의 기계적 접촉방식의 전원 연결방식의 경우 무접점방식의 전기적 접촉방식으로 변경
- : 구동에 관여하는 부분과 제어부의 신호라인의 분리로 신호 노이즈를 최소화 하도록 배치함
- : 전장회로는 좌우가 대칭으로 구동 드라이버 1개와, 조향 드라이버 2개, 자세제어 드라이버 2개를 한쪽에 각각 배치하여 반대 쪽도 동일하게 배치 구성함
- : 중앙부는 제어용 ROS PC와 각종 센서의 부착 및 전원 공급을 위한 DC-DC 컨버터가 위치하며, 중앙 전장박스의 정 중앙에는 자세제어용 센서가 위치하도록 공간을 만듦



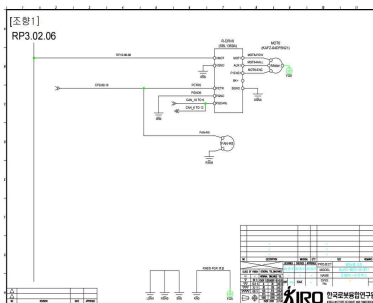
< 중앙제어 전장부 설계 >



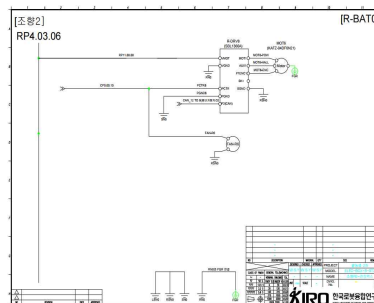
< 우측 구동 전장부 설계 >



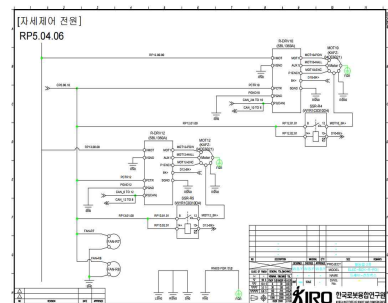
< 좌측 구동 전장부 설계 >



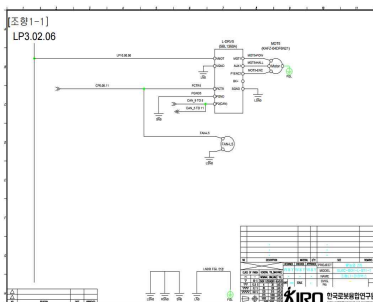
< 우측 조향1 전장부 설계 >



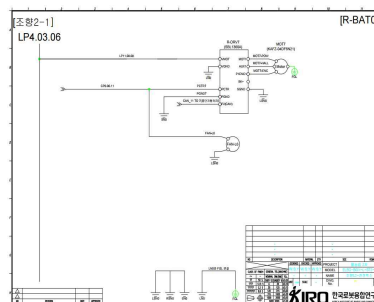
< 우측 조향2 전장부 설계 >



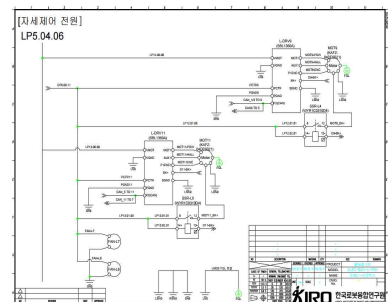
< 우측 자세제어 전장부 설계 >



< 좌측 조향1-1 전장부 설계 >



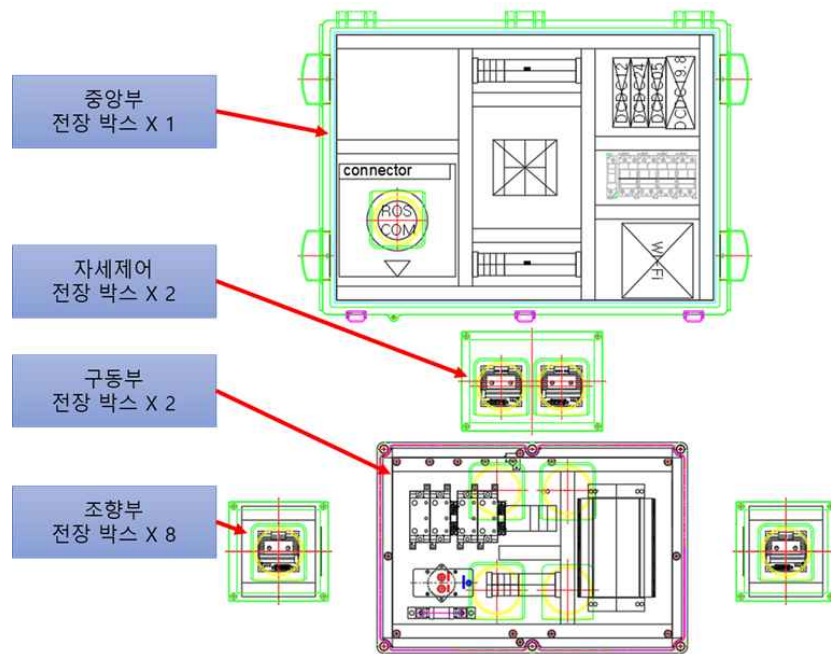
< 좌측 조향2-1 전장부 설계 >



< 좌측 자세제어 전장부 설계 >

<세분화된 전장박스별 연결도 설계>

- : 전장박스의 내부 배치는 각 장치를 세분화하여 특정부분의 문제발생시 개별접근 가능 하도록 함
- : 세분화된 장치의 개별 열 배출을 위한 개별 쿨러 장착으로 열용량 증대시킴



<각 전장박스의 내부 부품 배치도 설계>

- 전장부 제작

- : 전장부는 설계된 사항으로 각 부품을 방수형 전장박스에 배치하고 전원 스위치와 터미널을 주축으로 배선의 분할과 덕트를 설치하여 전선의 통로를 구성함
- : 각 연결 선의 넘버링 튜브를 통하여 각 명칭을 표시하여 점검과 진단시 용이하도록 하며, 신호의 색상을 전원을 적색과 흑색, 신호선을 파랑색으로 구분하고, 모터의 구동 전원인 U, V, W 라인의 중계부분만 적, 파랑, 흑색으로 혼용하여 사용함
- : 각 전장박스는 연결용 주름 덕트를 이용하여 전원과 신호라인이 연결되며, 주름 덕트의 고정부는 방수, 방진을 위하여 전용 방수/방진 판넬을 적용하여 연결부에서의 방수 및 방진 성능의 문제발생을 최소화 하도록 함



< 중앙제어 전장부 >



< 구동 전장부 >



< 자세제어 전장부 >



< 조향 전장부 >



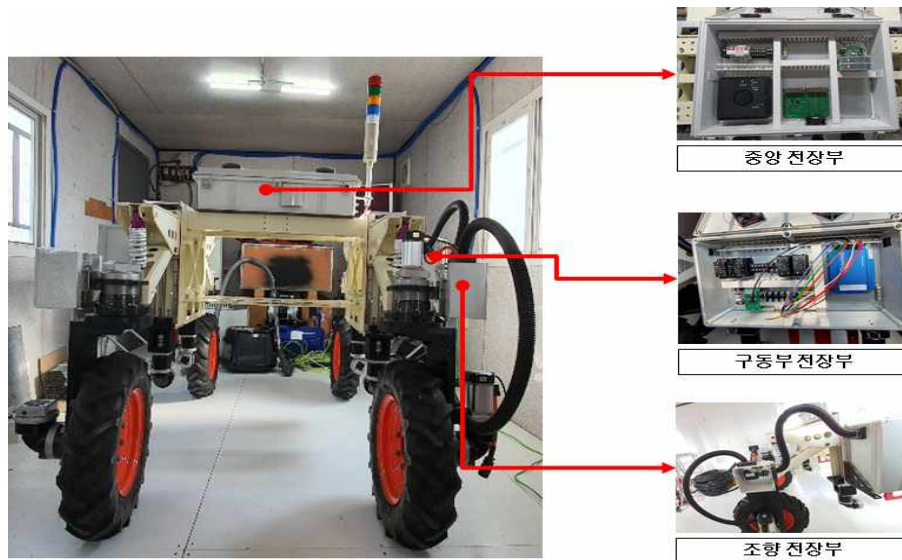
< 중앙제어-구동 전장 연결 >



< 조향-구동 전장 연결 >

- 2차 플랫폼 어셈블리 제작

- : 2차 플랫폼의 주요 전장부 구성은 중앙전장부, 구동부 전장부, 조향 전장부로 되어 있음
- : 중앙 전장부는 환경인지 센서 및 카메라 신호, 메인 제어 PC 등으로 구성되어 있으며, 좌/우 대칭하게 각각 장착되어 있는 구동 전장부는 좌측 전/후륜 주행 모터 제어 및 배터리 전원 제어부가 구성되어 있음. 구동전장부와 동일하게 조향전장부도 4개 바퀴 상에 각각 구성되어 있고 각 바퀴의 조향모터 제어를 담당하고 있음



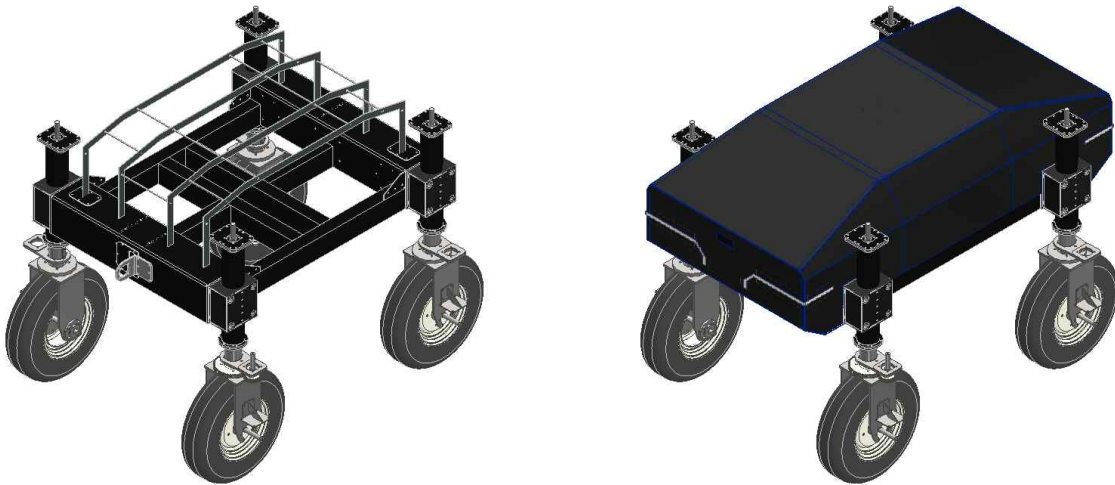
< 2차 플랫폼 주요 전장부 구성 >

다) Model-2.2

- Model-2.2 설계

* 설계 사항

- : Model-2 개발 단계에서는 폭 가변에 대해 프레임의 교체를 통한 폭 가변이 수행되었으며 이는 교체가 어려울 뿐만 아니라 다양한 농작업 환경에 적용할 수 있는 한계가 존재함.
- : 실제 환경에서의 농업용 작업 수행을 위해 폭 가변 및 자세제어를 위한 플랫폼을 구상하였고, 상/하 가변은 Model-1, 2에서 설계했던 스크류를 사용하거나, 전동 리니어 실린더를 사용하고, 좌/우 폭 가변도 마찬가지로 스크류 및 전동 리니어 실린더를 사용하는 것으로 구상함.
- : 바퀴의 구동과 조향은 각각의 독립 모터로 구성되어 4륜 주행, 조향이 가능하고 제자리 회전과 평행 주행 등이 가능함.
- : 구동축의 헨가부를 제외하고 상/하 가변을 통한 자세제어로 이를 극복하고자 함.



< 플랫폼 개발 컨셉 >

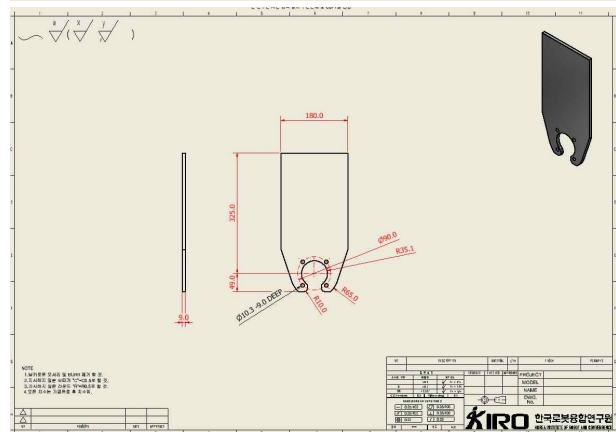
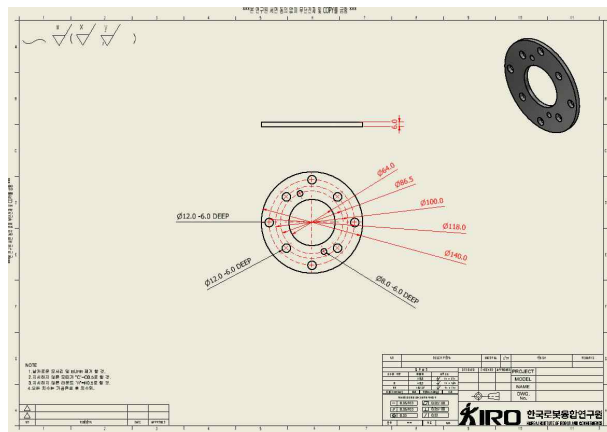
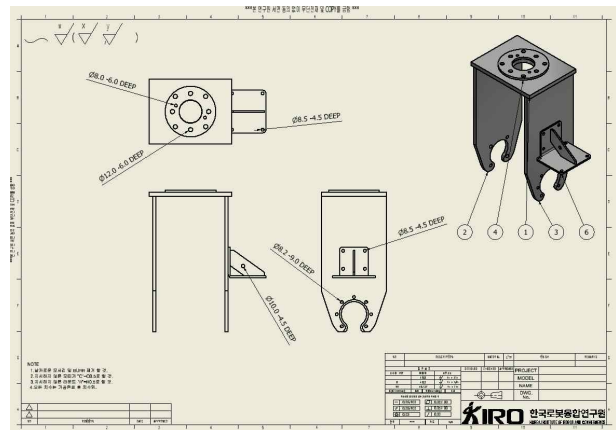
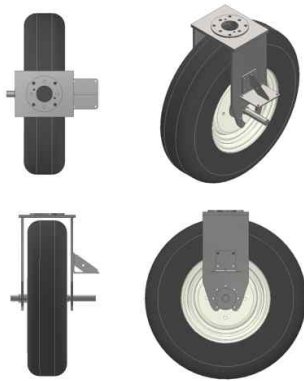
- : 플랫폼 개발 과정에서 플랫폼의 무게는 500 kg 이하로 예상하였으나, 플랫폼에 포함되는 배터리, 모터, 감속기등의 부가적인 부품과 작업기의 무게를 포함하여 500 kg 이상을 기준으로 무게를 예상하여 설계하여야 함. Model-1, 2의 경우 플랫폼의 무게만을 고려하여 500 kg 이하로 설계를 진행하여 플랫폼 하중 불균형과 기타 스프링 설계 시 오차가 있었음.
- : Model-2.1의 타이어가 458패턴의 타이어인 경우 최대 경사각도 20°를 기준으로 플랫폼의 최대 무게 700 kg 까지 설계할 수 있음.
- : Model-2 플랫폼의 무게를 특정한 경우 작업기(방제기)와 배터리를 포함하여 최대 무게 840 kg으로 측정되며, 현재의 무게가 Model-2.1에 적용되어 458 패턴의 타이어를 사용할 경우 경사로 등판에 대한 타이어의 하중 적용이 불가능함.
- : Model-2.1의 타이어는 최대 하중을 고려하여 501A 패턴에서 규격 6.00-12의 타이어를 사용하였고, 최대하중은 325 kg으로 적용하였을 경우 경사각 20°를 기준으로 최대 무게 930 kg의 설계가 가능함.



501A		*R-2 TYPE								
규격	PR	구분	 품목	 외경 (mm)	 단면폭 (mm)	 리그높이 (mm)	 최대하중		 공기압	
							kg	lbs	kg/cm ²	psi
5.00-12	4	T/T	3.00	585	130	23.5	255	562	2.00	28
6.00-12	4	T/T	4.00	632	158	26.0	325	716	1.80	26
7-14	4	T/T	5JA	690	170	25.0	370	816	1.80	26
7-14	6	T/T	5JA	690	170	25.0	440	970	2.40	34
6.00-16	4	T/T	4.00	735	165	26.0	420	926	2.00	28

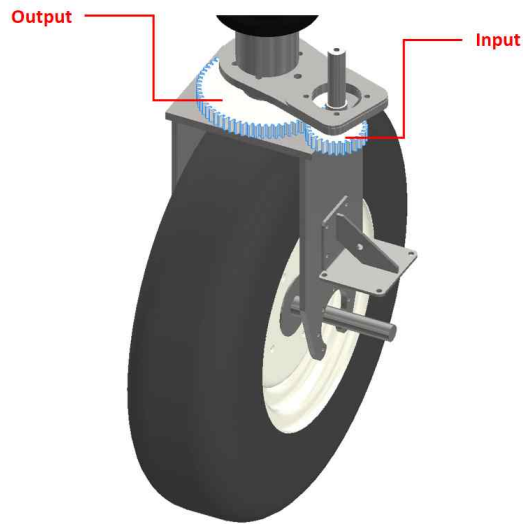
< 농업용 트랙터 타이어 >

* 모듈 설계



< 구동모듈 설계 >

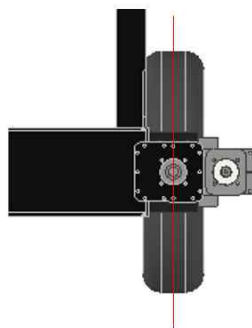
- : Model-2.1의 타이어를 적용하여 설계안 제시함, 타이어 외경은 630 mm이고 타이어 폭은 158 mm 으로 Model-2보다 타이어의 폭과 지름을 크게 설계함.
- : 구동부의 양단을 지지하였으며 이는 Model-2에서 구동 바퀴의 단순지지 형상이 구동부 프레임의 굽힘으로 인해 감속기와 구동부 축에 대한 부하가 나타나 구동부 감속기가 정지하거나 구동 모터에 많은 전력 소비로 나타나는 것으로 판단되어 양단지지 형상의 설계를 진행함.
- : 구동부 프레임의 두께는 9 mm이며 상단에 조향부와 결합되는 플레이트와 옆면에 감속기와 구동모터가 장착되는 브라켓이 구성되어 있음, 구동바퀴의 감속비는 100:1이며 구동모터의 최대회전수는 3000 RPM 임.



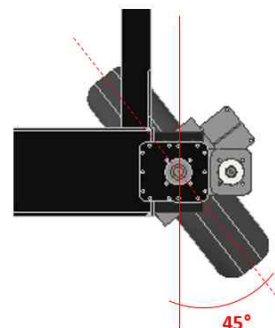
< 플랫폼 조향기어 설계 >

- : Model-2.1에서는 평기어를 사용하여 조향모듈을 설계함, 조향 기어는 두 가지로 Input(driving)기어와 Output(driven)기어로 나누어지며 Output기어는 구동모듈과 결합되어 Input기어의 회전에 대해 구동모듈이 회전하게 됨.
- : 기어비는 64 : 27이며 driven의 기어가 크기에 더욱 큰 토크를 전달할 수 있음.
- : 조향 감속기의 감속비는 30:1 이고, 모터의 최대 RPM은 3000으로 Output에서의 최대 RPM은 42 RPM으로 계산됨.
- : 실제 발 환경에서 농업용 주행 플랫폼의 조향 각도는 0 ~ 5도 미만이며, 조향 각이 작기에 조향 속도 또한 큰 사양을 요구하지 않아 사용할 수 있을 것이라 판단됨.
- : 평행이동을 위한 조향각 90°를 회전하기 위해서 Input기어는 0.6 바퀴 회전해야 하며 구동 모터는 18바퀴를 회전 즉, 0.36s 동안 작동하게 설계됨.
- : 제자리 회전은 위한 조향각 45°는 0.3 바퀴 회전하며, 구동 모터는 9바퀴, 0.18s동안 작동함.

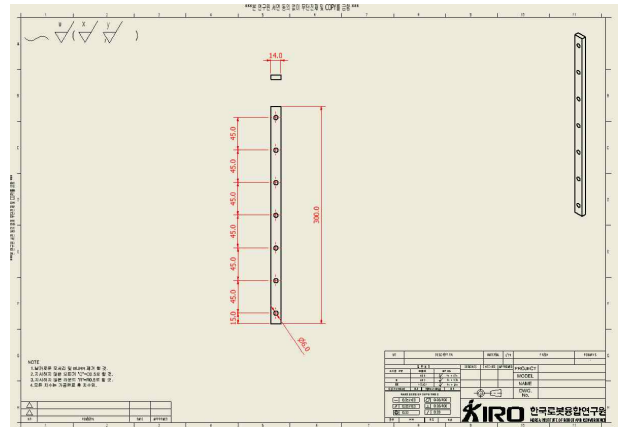
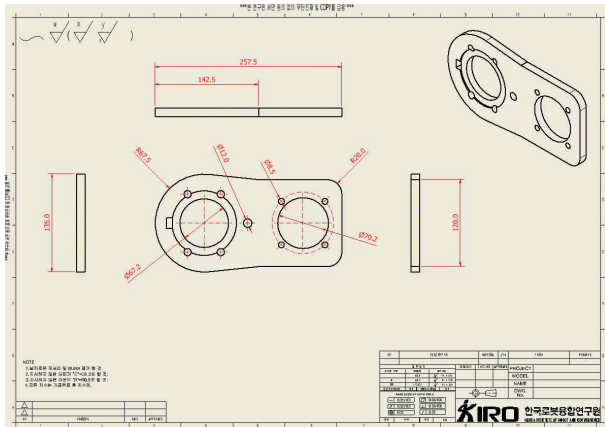
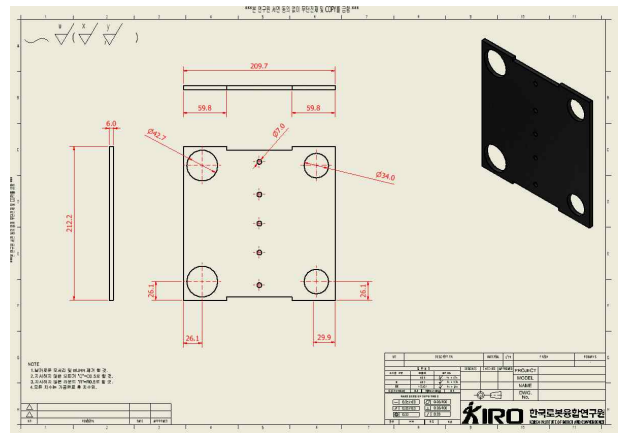
< 조향 전 >



< 조향 후 >



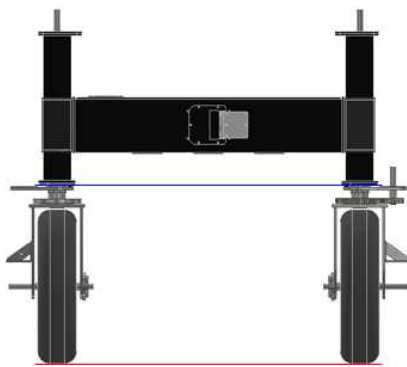
< 플랫폼 조향 시뮬레이션 >



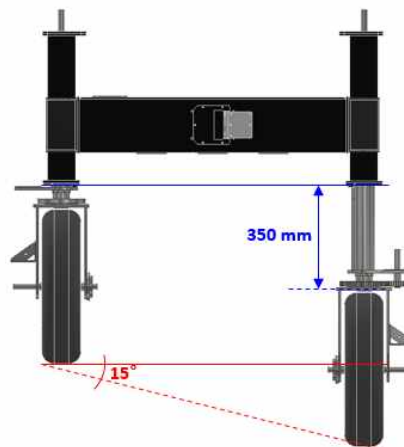
< 자세제어 모듈 설계 >

- : 자세제어 모듈로 플랫폼 좌우 폭 가변, 4축의 구동/조향부와 결합되어 있음.
- : 각 축의 상/하 가변을 통하여 플랫폼 롤링, 피칭 각도에 대한 평행을 유지할 수 있음.
- : 상/하 가변의 범위는 350 mm으로, 윤거와 축간거리가 1400 mm인 Model-2.1의 경우 상하 가변으로 인해 최대 15° 까지 자세제어가 가능함.
- : 상/하 가변은 스크류를 사용하였고, 스크류는 4회전에 25.4 mm를 이동함.
- : 상/하 가변의 감속기는 웜기어 감속기이며 감속비는 10:1, 상하 가변에 사용된 모터는 최대 RPM 3000으로 스크류의 최대 속도는 300 RPM이며, 최대 RPM으로 1초에 31.75 mm를 움직임.

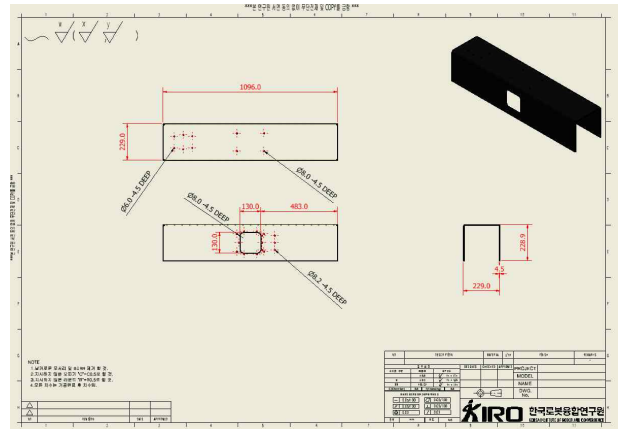
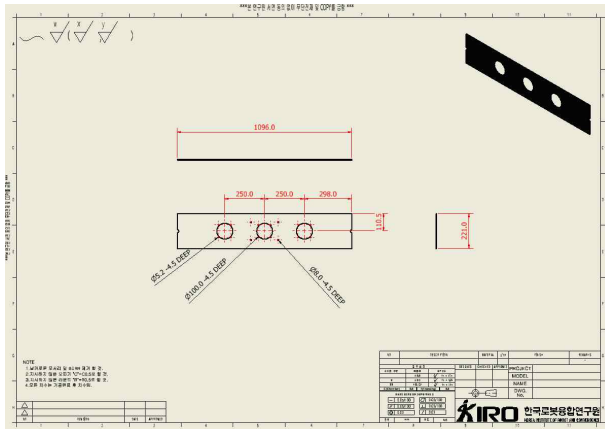
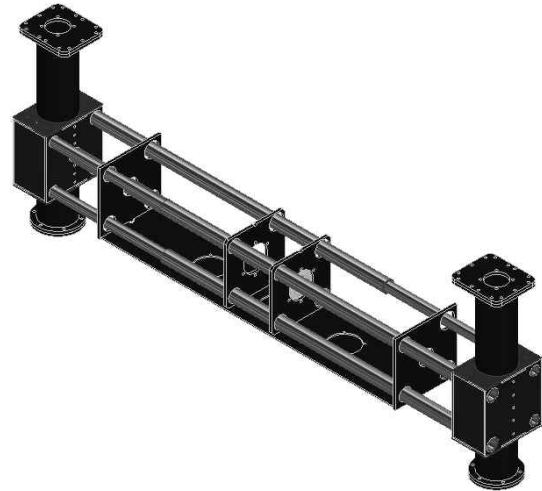
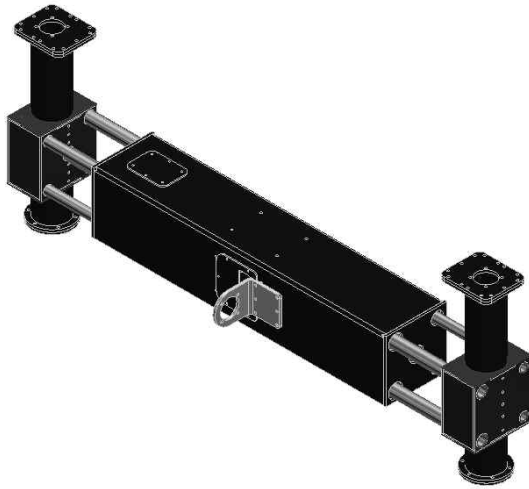
< 가변 전 >



< 가변 후 >

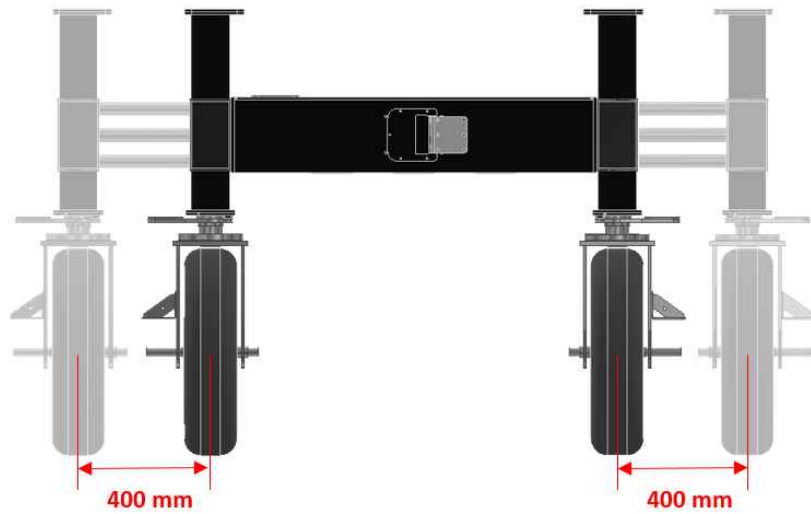


< 플랫폼 정면에서의 상/하 가변 시뮬레이션 >

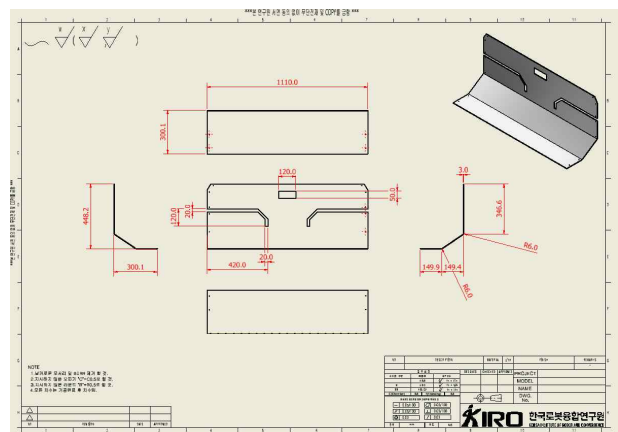
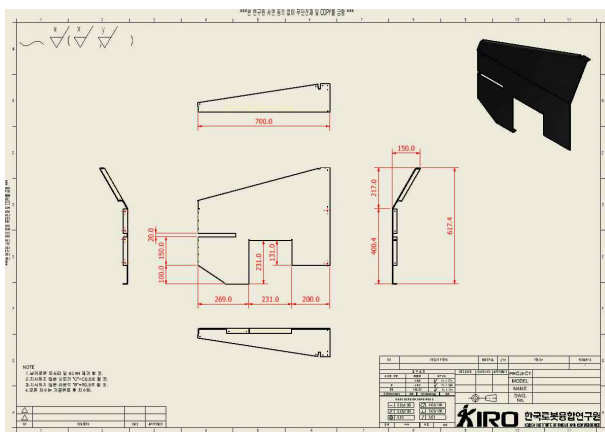
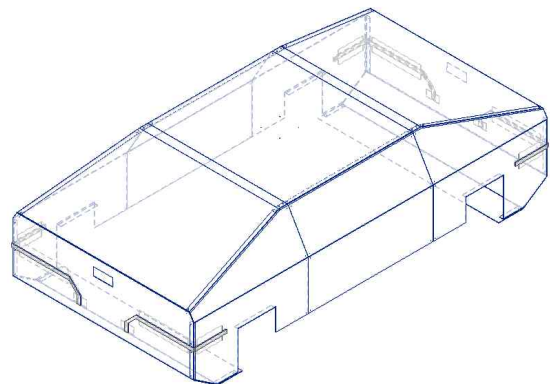
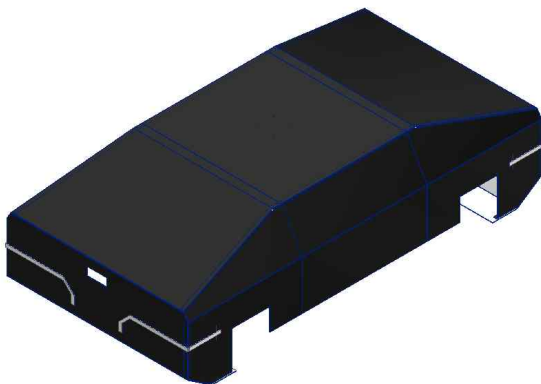


< 폭 제어 모듈 설계 >

- : 폭 제어 모듈은 상/하 가변 모듈과 결합되어 있음.
- : 내부 스크류 좌/우 회전 방향을 다르게 설정한 후 용접하여 사용하였으며, 하나의 구동모터로 좌/우측의 동일한 폭 제어가 특징임.
- : 구동모터의 감속비는 30:1 이며 감속기 끝 스프로켓과 체인이 내부 스크류의 스프로켓과 연결되어 사용됨.
- : 좌우 가변의 폭은 각각 400 mm이고, 가변 폭 400 mm를 만족하기 위해서 기구적으로 최소한의 겹침부분을 위해 내부 플레이트는 800 mm 이상인, 1000 mm를 기준으로 설계함.
- : 가변을 위한 물림을 위해 좌/우측 상/하 가변부에 외경: 42.7 mm, 내경: 34.7 mm인 중공축과, 외경: 34 mm, 내경: 26 mm인 중공축을 축 내부 외부에 설계하여 가변이 가능하며 구조물의 지지가 가능한 구조를 설계함.
- : 중공축의 후처리는 아연도금으로 아연도금과 아연도금의 마찰계수는 0.16 ~ 0.31이며, 이 수치는 강과 강의 마찰계수 0.57 ~ 0.75의 수치보다 적으며 도금 시 녹방지가 탁월하고, 저렴하여 선택함.
- : 좌/우 폭 가변에 사용한 모터의 최대 RPM은 3000으로 스프로켓의 최대 속도는 100 RPM,



< 폭 제어 시뮬레이션 >



< 플랫폼 커버 설계 >

- : 플랫폼의 커버는 무게가 적고 부식에 강한 알루미늄이고 두께는 3 mm이며, 커버의 총 무게는 40 ~ 50 kg임. 커버의 체결을 위해 M4의 볼트 홀 및 탭을 설계함.
- : 플랫폼 커버의 고정은 내부 커버 프레임과 커버간의 체결로 고정되며, 플랫폼 외관은 도장이 아닌 차량용 랩핑지를 사용하여 색상, 커버보호 선택하였음.

- Model-2.1 제작
- * 로봇 플랫폼 제작



< Model-2.2 부품 및 플랫폼 >

- : 플랫폼 모듈의 부품 및 플랫폼 어셈블리 이미지,, 어셈블리 후 기능 및 기구적 통성을 검토함.
- : 각 모듈의 제작 과정에서 감속기와 타이어 등 체결 부품에 대한 간섭을 확인함.



< Model-2.2 커버 >

- : 플랫폼 커버 제작 및 체결하였고, 커버는 알루미늄 판재의 판금으로 인해 설계한 각도

- 의 커버 제작이 어렵기에 체결 시 커버 홀 동심의 문제가 발생할 수 있음.
- : 플랫폼의 하단에 작업기의 시저스 리프트를 부착할 수 있는 플레이트 가공 후 용접함.



< Model-2.2 커버 >

- : 플랫폼내부에 커버 고정을 위한 프레임과 전장 공간을 확보하여 배터리, PC등이 위치 하고 커버 외부에 라이더, 카메라 등이 설치됨.
- : 커버 외부에 모터를 사용할 수 있는 배선과 전원스위치, EMO등의 체결이 가능하며 LED등을 배치함.

- Model-2.2 실험 및 테스트

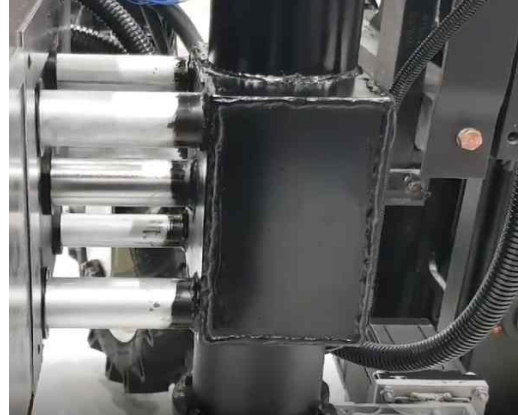
* 모듈 동작 테스트

- : 모듈별 동작 상태를 확인함.



< Model-2.2 구동/조향 테스트 >

- : 구동모터 신호로 구동 바퀴의 움직임과 조향기어의 움직임, 조향각의 변화를 확인함.
- : 조향 각의 원점을 찾기위해 리미트 센서 신호를 사용하고 구동은 전진, 후진이 가능 함. 구동모터 및 조향모터의 전원 및 신호를 위한 배선에서 상/하 가변, 좌/우 가변에 서의 길이 변화에 대해 배선의 길이가 길어짐. 이후 제어 시 배선에 대한 문제 인식 후 제어해야함.



< Model-2.2 좌/우 가변 테스트 >

: 좌우 폭의 가변으로 하나의 모터로 좌/우 축의 움직임을 확인하였고, 좌우 가변의 최대 폭 400 mm를 확인함. 가변 시 중공층의 움직임과 플랫폼 차체의 마찰로 인해 그리스 등을 도포함.

: 좌/우 폭 가변 시 구동 바퀴가 좌/우로 정렬되기 위해 조향 각을 90°로 회전시킨 후 구동속도와 가변속도를 일치시킬 필요가 있음.



< Model-2.2 상/하 가변 테스트 >

: 상/하 가변을 통해 플랫폼의 가변 움직임을 확인하였고, 가변 폭 350 mm를 확인함.

: 플랫폼의 가변 정도를 파악하고, 기울기에 대한 자세제어 가능성을 확인함.



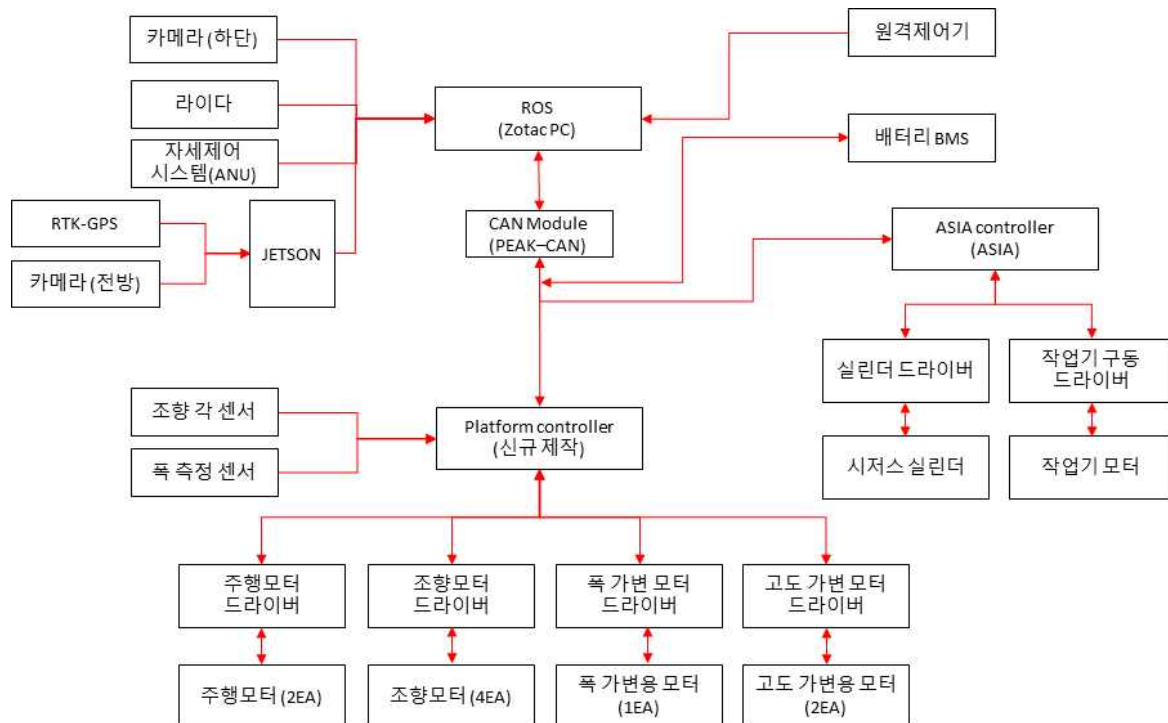
< Model-2.2 외부 환경 테스트 >

: 외부 환경에서 플랫폼의 정적상태 유지를 확인함. 각 모듈의 동작을 확인하고, 카메라 및 기타 센서등의 동작과 Model-2 플랫폼과의 연동을 확인함.

– 전장 설계 및 제작

* Model-2.2 제어 구성도

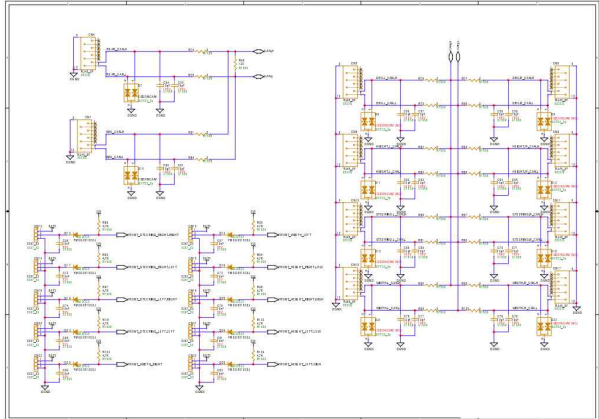
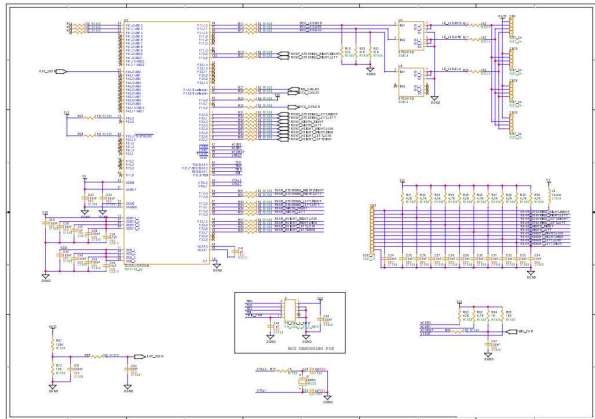
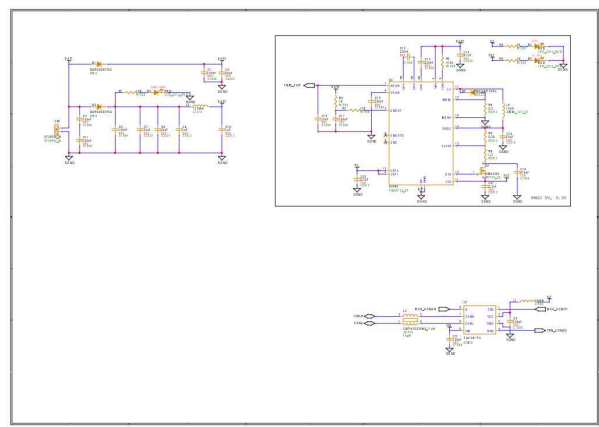
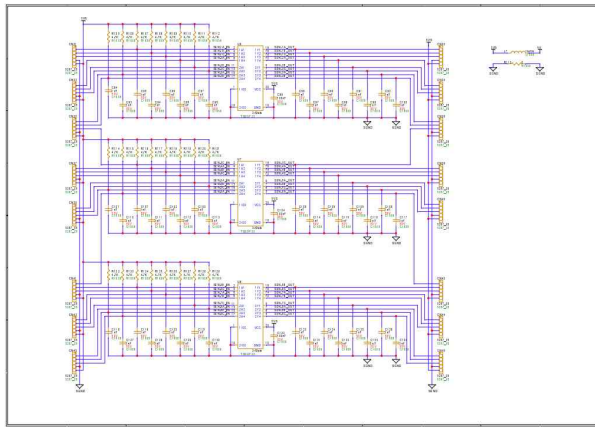
- : Model-2.1에서는 모든 제어권이 메인제어기(PC)에 할당되어 있어 메인제어기의 처리 상태에 따라 플랫폼 동작이 매우 의존적이었음
- : Model-2.2에서는 이와 같은 처리 업무 집중 문제를 해소시키기 위해 하위제어기(Farmbot-controller, Worker-controller)를 구성하여 플랫폼의 주행부분과, 작업모듈 구동 부분을 하위 제어기에서 제어하도록 하였음
- : 이러한 제어 구성으로 인해 메인 제어기는 자율주행을 위한 영상처리, 지도 등의 입력신호 처리와 플랫폼 구동/작업을 위한 총괄 제어만 수행하면 됨



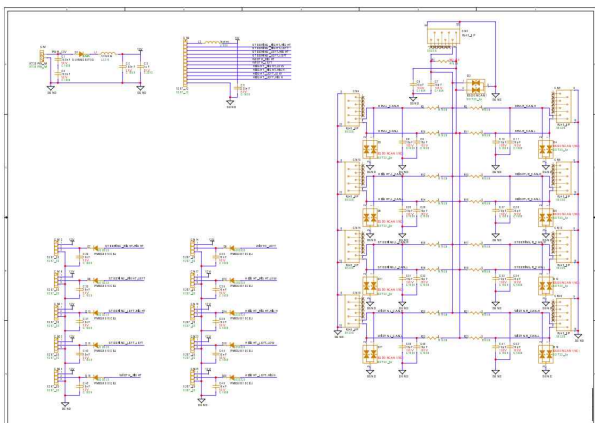
<Model-2.2 제어 구성도>

* 플랫폼 주행을 위한 하위 제어기(Farmbot-controller) 설계

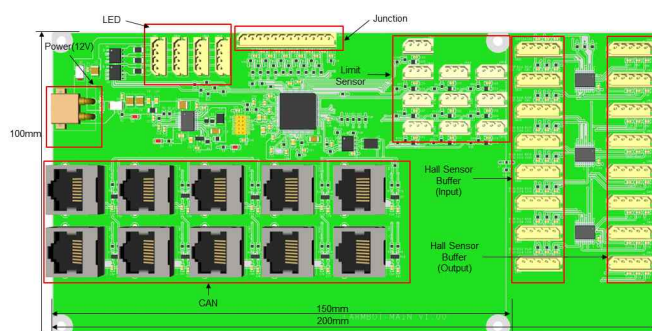
- : 플랫폼의 주행, 조향, 고도제어, 폭 제어 총 14축 제어를 위한 하위제어기를 설계하였음
- : 각 모터별 상용 구동 드라이버가 적용되어 있기 때문에 하위 제어기에서는 모터 드라이버의 구동을 위한 CAN 통신을 통한 명령 전달 기능을 함
- : 하위제어기는 차량용 MCU를 적용하여 향후 로봇 상용화 시 신뢰성 확보가 가능하도록 하였음
- : 하위 제어기는 Main 및 Junction 보드 2가지 구성되어 있으며, Main 보드에는 명령 제어를 위한 MCU 및 통신 트랜시버 등 핵심 부품들이 배치되어 있고, Junction 보드는 후륜부 축에서 구동되는 드라이버 통신부를 연장하기 위한 점퍼 보드 역할을 함



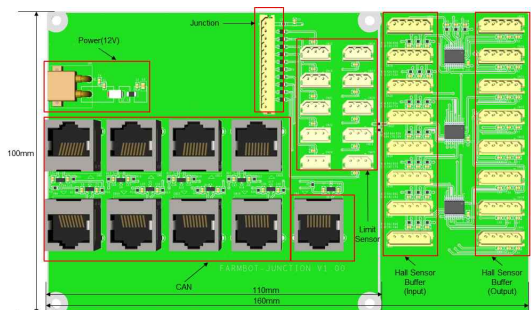
<Farmbot-main board>



<Farmbot-Junction board>



(a) Main



(b) Junction

<Farmbot-controller Art-work 설계안>

* 플랫폼 주행을 위한 하위 제어기(Farmbot-controller) 제작

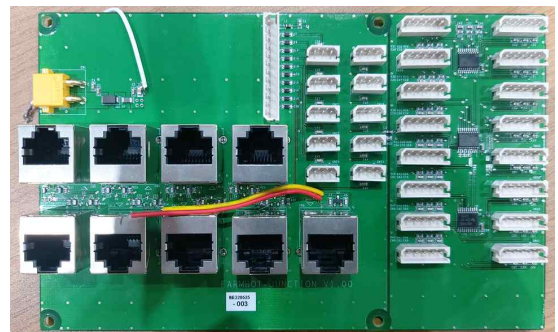
: 하위제어기 보드는 그림과 같이 Art-work 작업을 거쳐 로봇 내에 장착될 수 있도록 보드로 제작되었음

: 각 드라이버의 병렬 통신을 위한 RJ45포트가 총 17개로 구성되어 있음

- 구동 드라이버 : 8SET
- 자세제어 모듈 : 1SET
- 작업기 하위 제어기 : 1SET
- PC : 1SET
- 보드 커넥터용 : 1SET
- 기능 추가를 위한 Dummy : 5SET



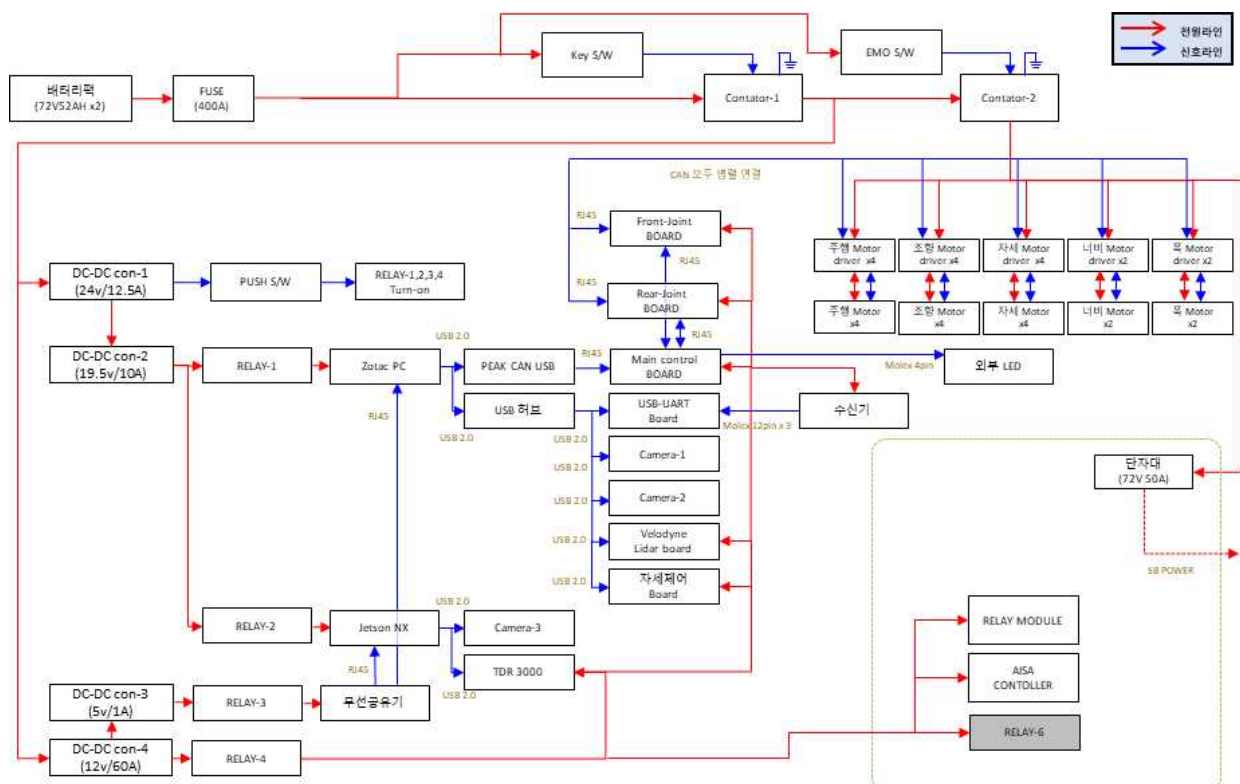
(a) Main



(b)Junction

<Farmbot-controller 시제품>

* 전장 구성도



<Model-2.2 전장 구성도>

: Model-2.2 플랫폼의 전장 구성도는 상기 그림과 같음

: 전원은 배터리 전압 72V를 기준으로 사용하여 각각의 컨버터 적용을 통해 시스템의 전원을 구분하였음

→ 72V : 모터 드라이버, 메인 스위치

→ 24V : 릴레이

→ 19.5V : PC, NX 보드

→ 12V : Lidar, GPS, 카메라, 하위제어기, 자세제어모듈, 통신 수신기

: 로봇 구동 시 안정성 확보를 위해 전원 라인부 (72V)에 EMO 버튼을 구성하여 유사 시 모터드라이벌 공급되는 전원 차단할 수 있음

NO.	부품명	품번	수량	SIZE	전압	허용전류	비고
1	velodyne lidar board		1	107.93 x 85.18 x 35.11 mm	DC 9~32V		외부 라이다, PC(LAN케이블)와 연결
2	jetson NX		1	103 x 90.5 x 34.66 mm	19V	2.37A	세로 브라켓 필요
3	zotac PC		1	210 x 203 x 62.2mm	19.5V	12A	전원 ON/OFF 버튼으로 외부에서 전원 조작
4	usb 허브		1	45 x 185 x 25 mm	DC 5V(PC-USB)		PC 연결
5	tdr-3000		1	174 x 145 x 45 mm	DC 12 ~ 24V	4.0A	외부 GPS와 연결, 세로 브라켓 필요
6	peak pcan usb		1	42.5 x 74.0 x 20.5 mm	DC 5V(PC-USB)		PC 연결
7	USB-UART BOARD		1				USB 허브에 바로 장착
8	무선공유기	dir-806m	1	115x 80 x 21 mm	5V	1.2A	안테나 외부 연결, Jetson & PC LAN 선 연결
9	camera-1	D435	1				
10	camera-2	D435	1				
11	camera-3	T265	1				
12	수신기	145 x 90 x 40mm	3	40 x 145 x 90 mm			
13	DC/DC 컨버터-1	RSD-300D-24	1	216 x 40 x 97 mm	입력 72V, 출력 24V	12.5A	
15	DC/DC 컨버터-2	CLL 30A 800W	1	154 x 75 x 68.6 mm	입력 24V, 출력 19.5V	10A	
16	DC/DC 컨버터-3	RSD-60L-5	1	128 x 25 x 60 mm	입력 72V, 출력 5V	2A	
18	DC/DC 컨버터-4	SD-1000H-12	1	295 x 41 x 127 mm	입력 72V, 출력 12V	60A	
19	contactor-1	MZJ-300A	1	90 x 90 x 50 mm	72V	300A	
20	contactor-2	ZJ-200D	1	90 x 90 x 50 mm	72V	300A	
22	릴레이-1		1		19.5V	5A	45번 중앙 단자대에 포함
23	릴레이-2		1		19.5V	5A	
24	릴레이-3		1		5V	3A	
25	릴레이-4		1		12V	60A	
28	릴레이모듈	사진참조	1	90 x 60 x 40 mm	12V	20A	2개 사급 (봉렬로 연결), 바닥에서 1cm 이상 띄워서 조립
29	ASIA CONTROLLER	사진참조	1	191 x 127.2 x 45 mm	12V	5A	
30	EMO	KEPB22ER-11	1		72V	1A	
31	키스위치	NF25W-K	1		24V	1A	
32	루시스위치	NF25W-BM2CR11(빨강)	1		24V	1A	
33	충전커넥터	4252-6F78	1				IP 55 이상 (커버 있는 사양) / 충전 와이어와 세트 구매
34	배터리팩	TABOS 72V 52AH	2	555 x 231 x 145 mm	72V	92A	
35	외부 LED		1		12V		
36	후행모터 드라이버	MS750T	2	212 x 125 x 50 mm			
37	조향모터 드라이버	80ST AASD-15A	4	210 X 150 X 180 mm			
37	자세모터 드라이버	80ST AASD-15A	4	210 X 150 X 180 mm			
37	너비모터 드라이버	80ST AASD-15A	2	210 X 150 X 180 mm			
38	FUSE	300A	1				사진참조
39	front-joint board		1	100 X 100 X 10 mm			
40	Rear-joint board		1	100 X 100 X 10 mm			
41	Main control board		1	100 X 100 X 10 mm			
42	통신용 신호처리보드		1	130 X 80 mm			
43	자세제어보드		1	80 X 80 mm			
44	후방 단자대		1	110 X 40 X 40 mm	72V	50A	
45	중앙 단자대		1	440 X 40 X 40 mm			

< 전장 BOM LIST>

* Model-2.2 전장부 제작

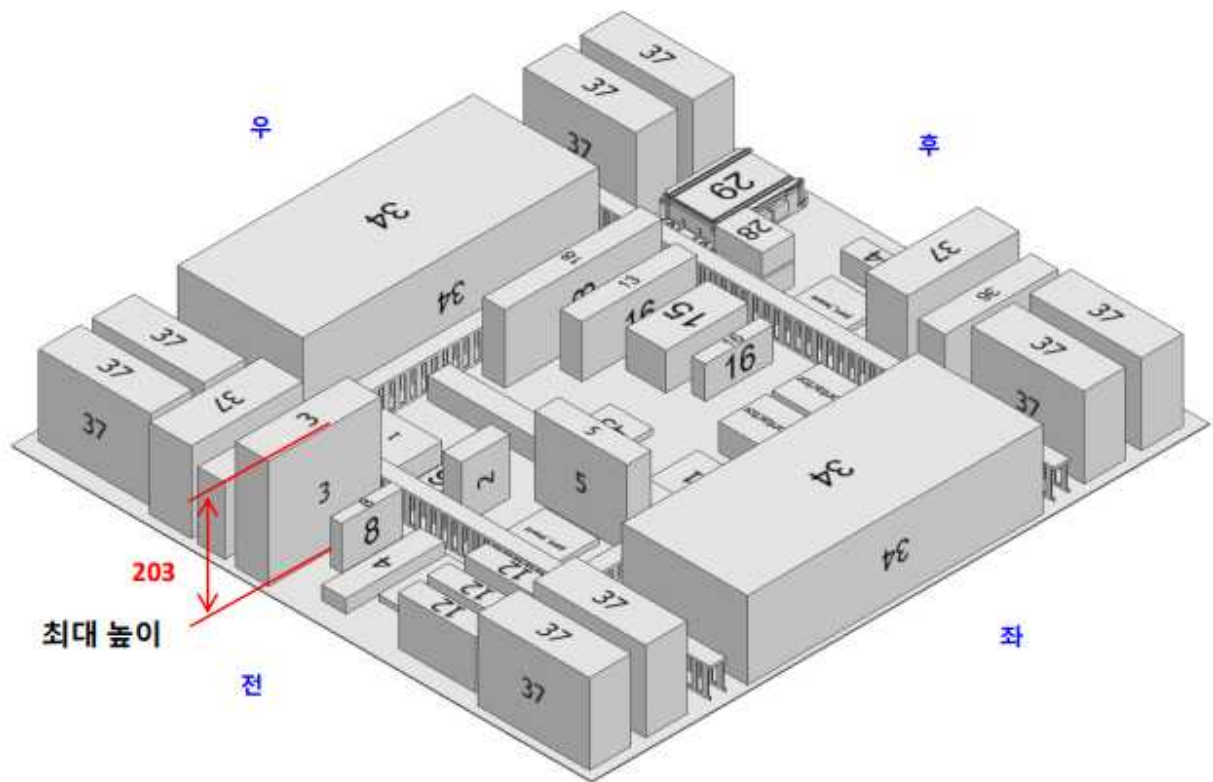
: 로봇 플랫폼의 양산성을 고려한 구조 단순화를 위해 단일 전장 박스 내에 모든 전장 부품을 실장하고자 하였음.

: 무게 중심을 위해 가장 고 중량의 배터리를 플랫폼 중앙에 좌우 대칭되도록 배치하였고 각 축을 구동하는 드라이버를 구동 축과 가장 가까운 박스 각 모서리에 배치하였음 (모터 엔코더 및 제어선은 거리가 짧을수록 노이즈에 강함)

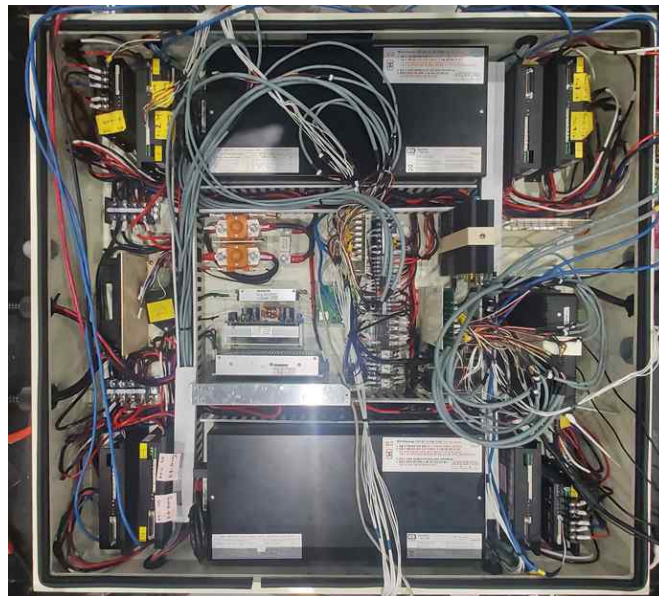
: 전장박스 중앙에는 전원부(컨버터) 및 하위제어기가 구성되어 있음

: 작업기를 구동하는 작업모듈 제어기는 박스의 후면에 배치하여 작업기와 가장 가까도록 구성하였음

: 각기 구성되는 파트 중간에 배선을 위한 덕트를 구성하여 배선 연결이 용이하도록 구성하였음



<Model-2.2 전장 배치도>



<Model-2.2 로봇 전장부>

- : 상기 그림은 3D 전장 배치도를 나타낸 것이고 설계 배치도를 기준으로 실제 제작 및 구성된 전장부를 나타낸 것임
- : 방수/방진을 위해 전장박스는 고무링을 적용하였으며, 배선의 입출은 방수용 잭을 사용하여 모두 연결하였음

○ 성능검증 및 안정화

가) 농업용 로봇 테스트 베드 구축

- : 주관기관인 한국로봇융합연구원 부지 내 발환경 주행 및 플랫폼 주행 특성을 평가하기 위한 테스트 베드 구축 완료하였음
- : 테스트 베드는 발노지 (고랑/이랑 및 노지), 경사로, 자갈로, 단차로로 구성되어 있으며, 테스트 베드를 관제할 수 있는 중앙 관제실에서 테스트 현황 및 상태를 실시간으로 확인할 수 있음



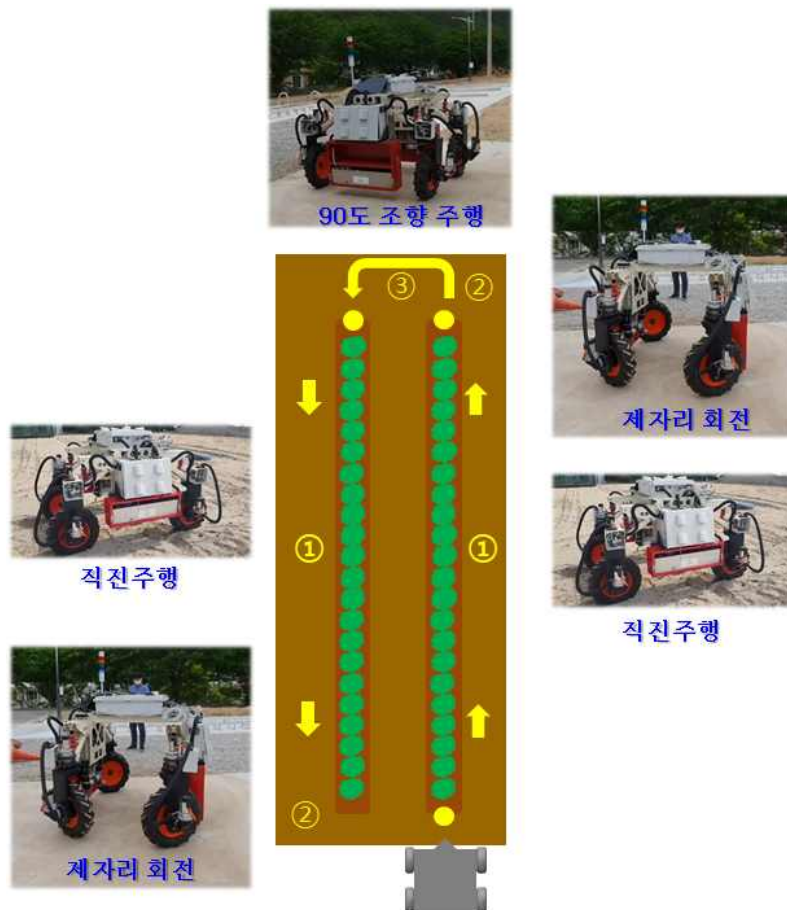
<농업용 로봇 테스트 베드 설계안>

발 노지	경사로 (5~20도)
	
자갈로	단차로 (10~30cm)
	

<한국로봇융합연구원 농업용 로봇 테스트베드>

* 노지 환경 주행을 위한 기본 주행 모드 평가

- : 발농사 작업 시나리오 기반 주행 플랫폼의 각 주행 모드 구현에 대해 평가를 실시하였음
- : 개발한 플랫폼은 밭 고랑을 직진(자율조향) 주행한 후 고랑 종료 지점에서는 360도 회전하고 다음 고랑으로 이동하기 위해서 90도 조향 수평 이동 주행을 수행하여야 함. 이후 다음 고랑 시작점을 찾아 다시 직진주행을 반복하게 됨
- : 평가 결과, 밭고랑 주행을 위한 3가지 기본 모드(직진주행, 제자리 회전, 90도조향 수평 주행)에 대한 주행특성은 아래의 그림과 같이 확보되었음을 확인하였음
- : 플랫폼 제자리 회전의 직경은 2,000mm 이며, 주행 폭은 1,100mm로 측정됨.



< Model-2 노지 주행 테스트 >

- 플랫폼 주행 상태에 따른 소비전력 특성 평가

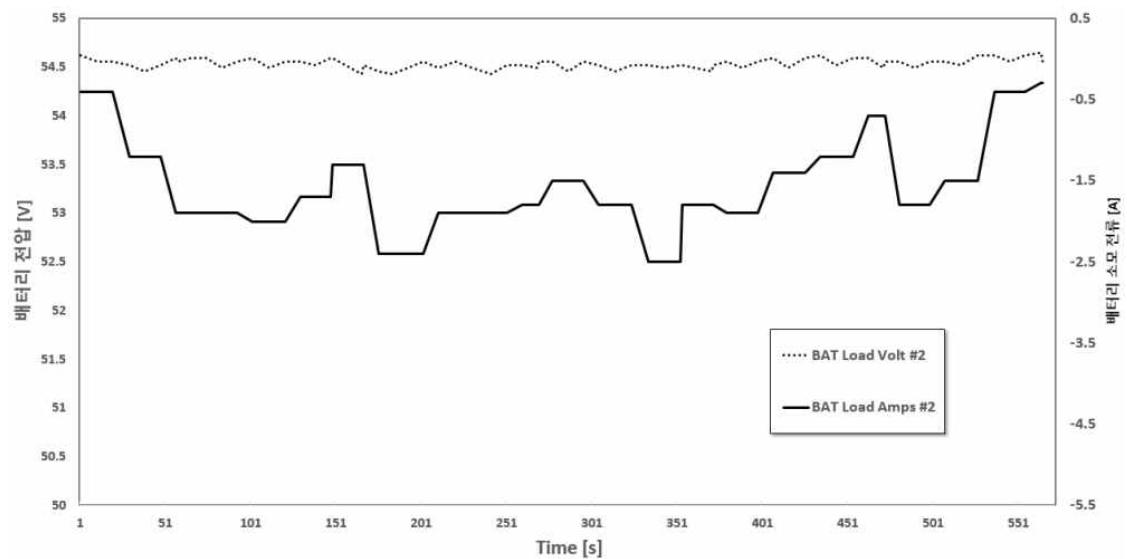
* 노면 상태에 따른 소비전력 특성

- : 발농업 주행 플랫폼 주행을 파악하기 위해 노면상태별, 경사 각도별, 속도별 소비전력 특성을 평가하였다. 소비전력 특성 평가를 실시함에 따라 설계된 모터 용량 및 전류/전압 제어 범위 등을 검증할 수 있었음

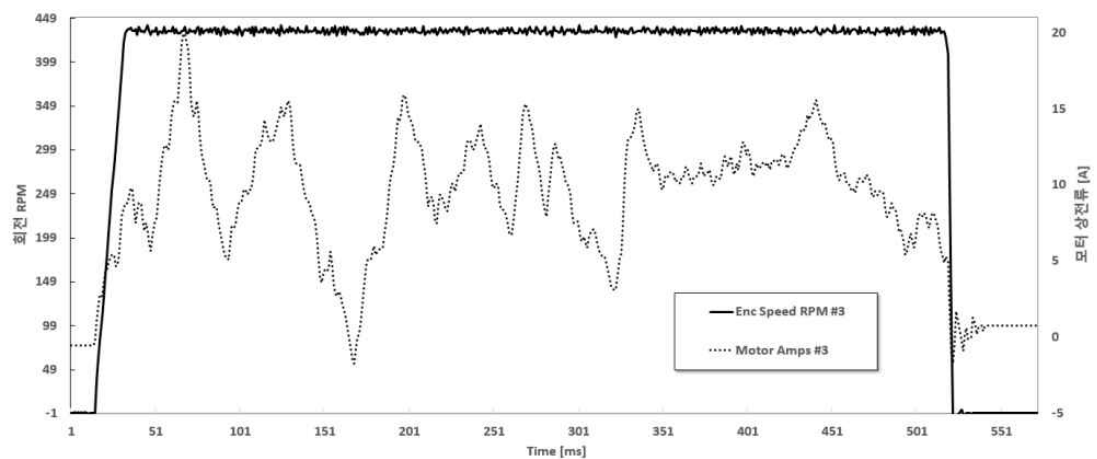
: 시험조건

항목	평가 조건
인가전압	48VDC
노면상태	노지(밭), 자갈로, 아스팔트로
주행방식	직진주행 3회
구동속력	약 0.5km/h

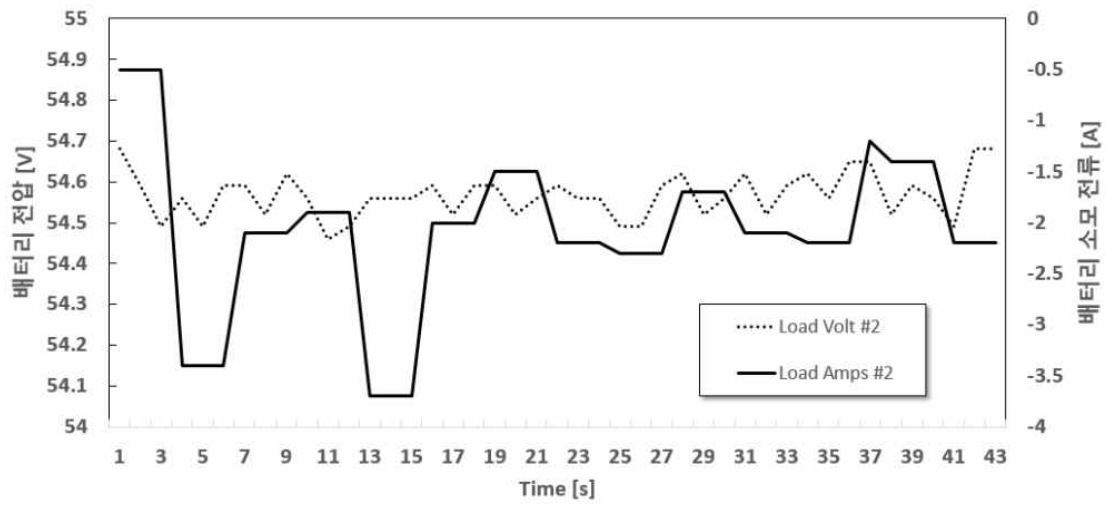
: 시험 결과



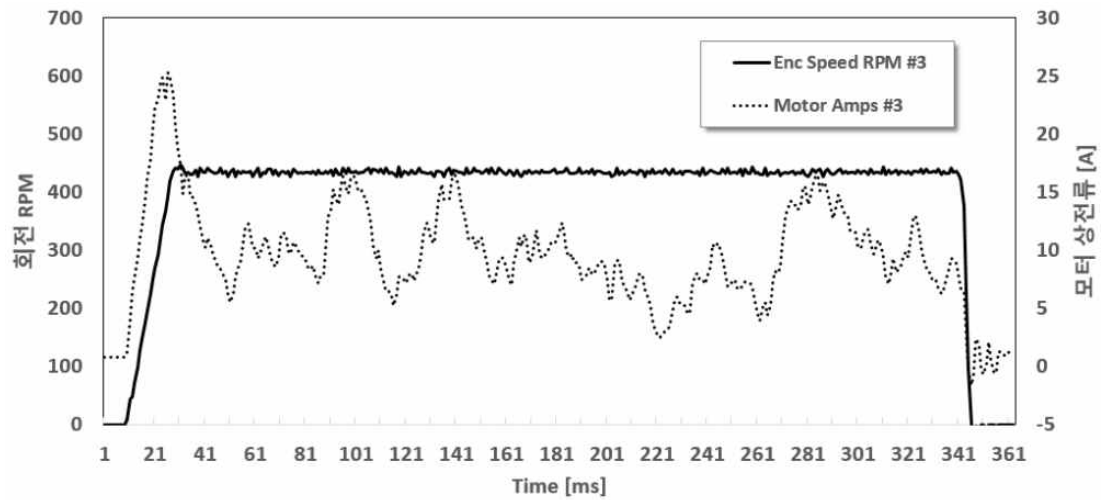
(a) 노지 주행 배터리 전원 특성



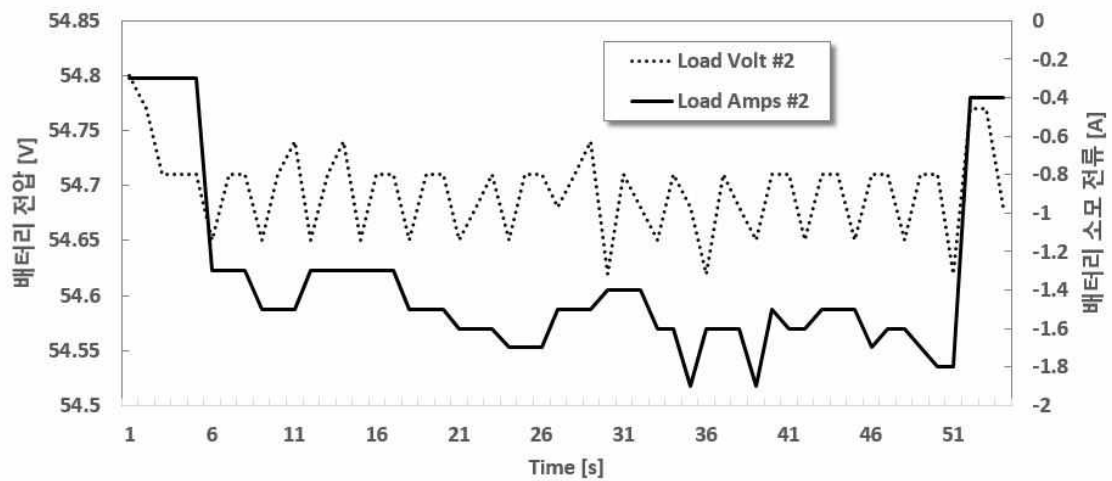
(b) 노지 주행 모터 상 전류



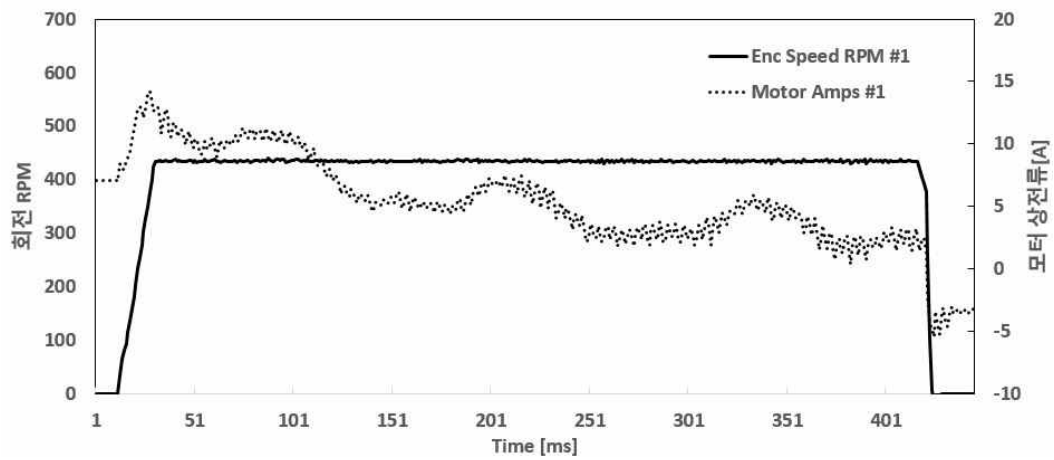
(c) 자갈로 주행 배터리 전원 특성



(d) 자갈로 주행 모터 상 전류



(e) 아스팔트 주행 배터리 전원 특성



(f) 아스팔트 주행 모터 상 전류

< 노면 상태에 따른 배터리 및 모터 소비전력 특성 그래프 >

구분	모터 상전류 [A]		배터리 소모전류 [A]	
	평균	최대	평균	최대
노지(밭)	9.82	19.9	1.70	2.5
자갈로	10.27	25.3	2.14	3.7
아스팔트로	5.78	14.2	1.43	1.9

< 노면 상태에 따른 소비전력 >

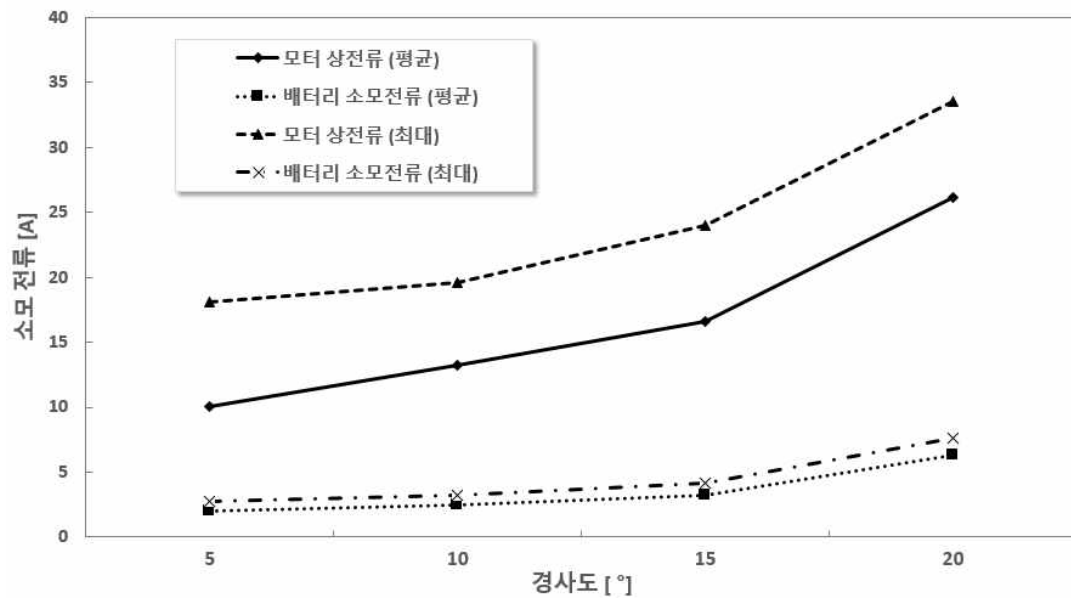
: 노면상태에 따른 소비전력 특성 평가 결과, 자갈로 > 노지 > 아스팔트 순으로 소모되는 전류의 양은 크게 나타났음. 아스팔트로는 자갈로의 약 1/2 수준의 전류 소모 특성을 보였음. 대부분 노지 환경에서 주행이 되는 발농업 플랫폼을 기준으로 보았을 때, 모터 최대 제한 전류인 60A의 1/3수준에서 최대 전류가 발생하며, 배터리 소모전류 기준으로는 약 60시간 정도 주행이 가능한 것으로 계산됨

* 경사도별 소비전력 특성 평가

: 시험조건

항목	평가 조건
인가전압	48VDC
경사도	5, 10, 15, 20°
주행방식	직진주행
구동속력	약 0.5km/h

: 시험 결과



< 각 경사도에 따른 소비전력 특성 그래프 >

구분	모터 상전류 [A]		배터리 소모전류 [A]	
	평균	최대	평균	최대
5도	10.08	18.1	1.96	2.8
10도	13.19	19.6	2.44	3.2
15도	16.57	24	3.24	4.2
20도	26.16	33.5	6.32	7.6

< 경사 각도에 따른 소비전력 >

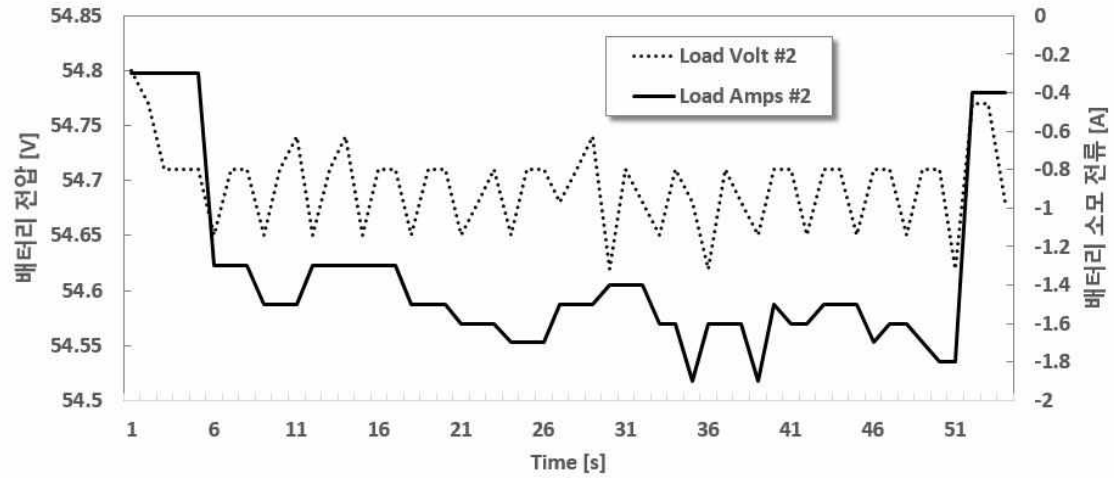
: 경사각도에 따른 등반 시 소비전력 특성 평가 결과, 경사도가 증가할수록 모터 상전류 및 배터리 소모전류도 비례하여 증가하였음. 최대 각도 20도 경사도에서는 최대 33A까지 전류가 측정되어 제한 전류 60A의 55%까지 소모되었음. 추후 작업모듈을 장착한 최대 부하 조건에서 소비전력 평가를 진행할 예정임

* 플랫폼 주행 속도별 소비전력 특성 평가

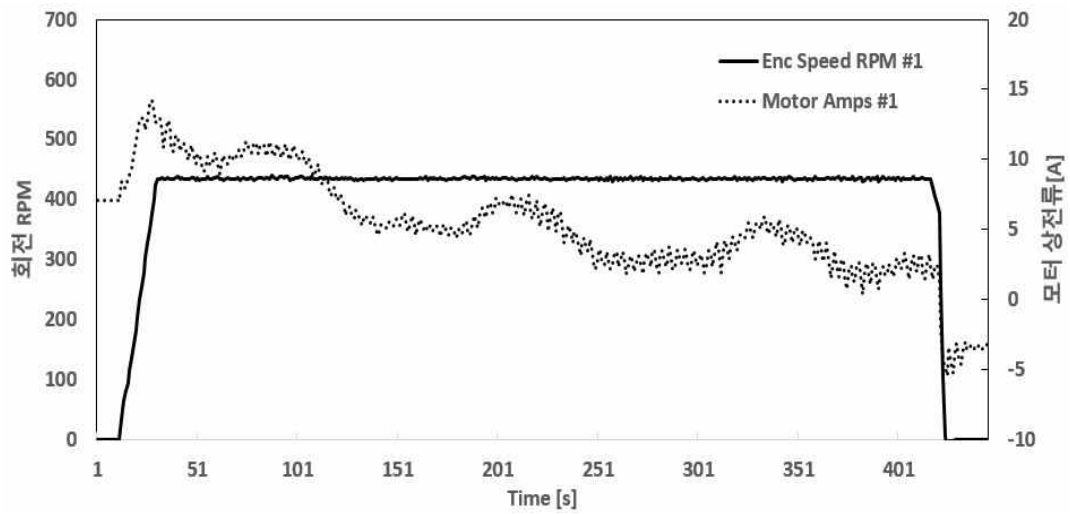
: 시험조건

항목	평가 조건
인가전압	48VDC
속도	0.5, 1, 1.5, 2 km/h
주행방식	직진주행 3회

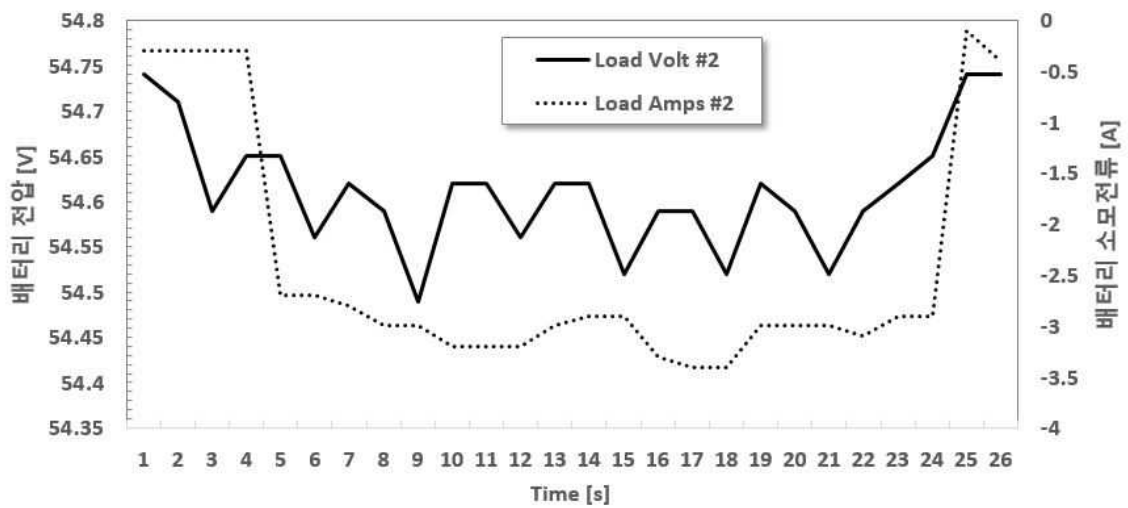
: 시험 결과



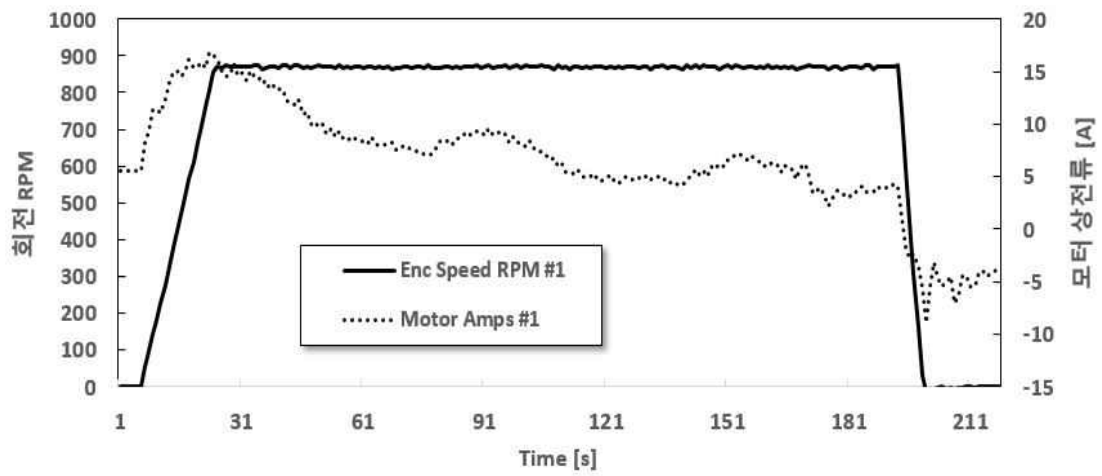
(a) 속도 0.5km/h 배터리 전원 특성



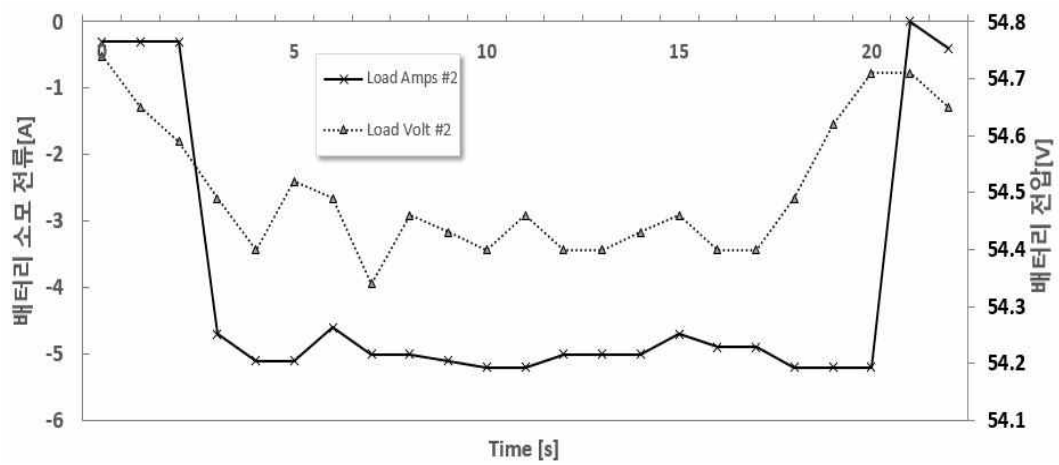
(b) 속도 0.5km/h 모터 상전류



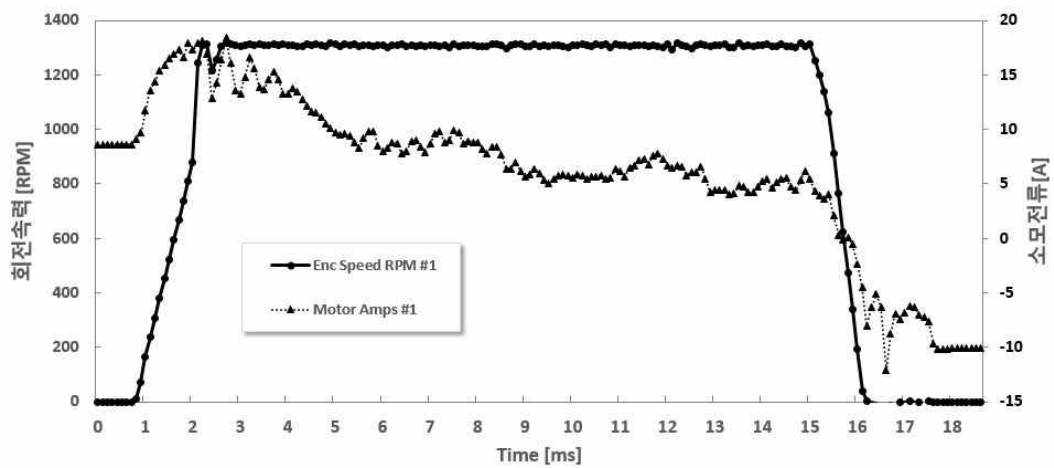
(c) 속도 1km/h 배터리 전원 특성



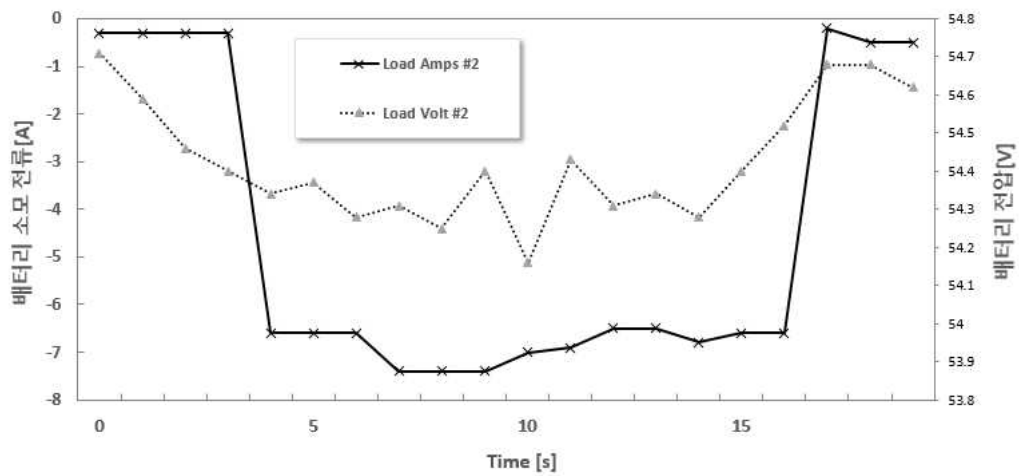
(d) 속도 1km/h 모터 상전류



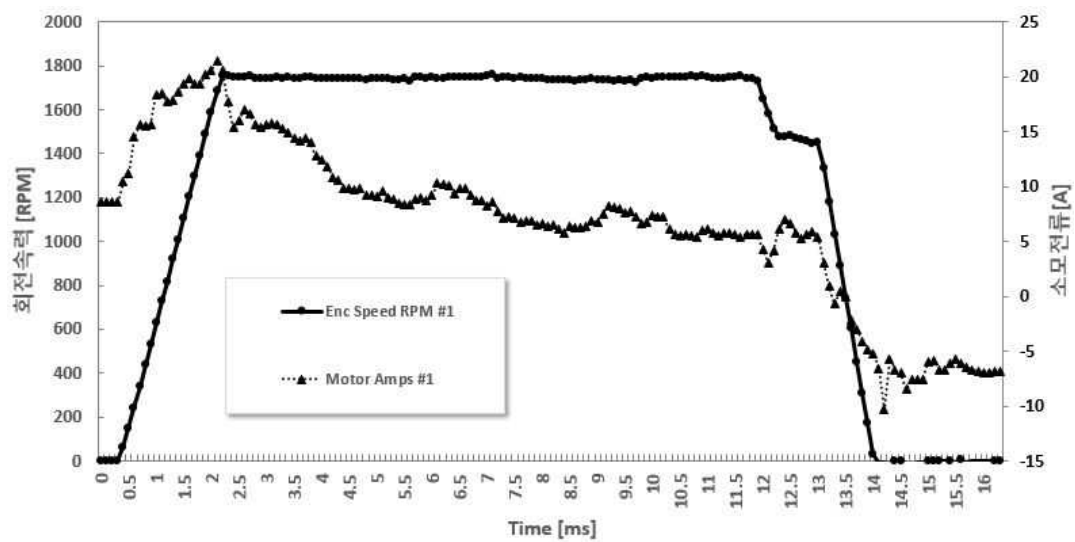
(e) 속도 1.5km/h 배터리 전원 특성



(f) 속도 1.5km/h 모터 상전류



(g) 속도 2.0km/h 배터리 전원 특성



(h) 속도 2.0km/h 모터 상전류

< 주행 속도에 따른 소비전력 특성 그래프 >

구분	모터 상전류 [A]		배터리 소모전류 [A]	
	평균	최대	평균	최대
0.5 km/h	5.78	14.2	1.43	1.9
1 km/h	7.58	16.8	2.67	3.4
1.5 km/h	9.04	18.4	4.29	5.2
2 km/h	9.83	21.4	6.37	7.4

< 주행속도에 따른 소비전력 >

: 주행속도 소비전력 특성 평가 결과, 속도가 증가함에 따라 모터 상전류 및 배터리 소모전류 모두 비례하게 증가하는 특성을 보였음

– 플랫폼 주행 성능 평가

No	시험항목	목표	결과	비고
1	조향/주행 구동	4EA	4EA	4륜 조향/주행
2	조향각도	360도	360도	–
3	가변폭	0.6m	0.6m	–
4	자세조절 각도폭	> 5°	> 5°	–
5	등판각도	> 18°	> 20°	–
6	장애물 극복단차	15cm 이상	15cm	–
7	이송속도	> 2km/h	2.23km/h	–
8	데이터 통신	800m	800m	–
9	주행오차	25cm	23.9cm	–
10	로컬지도 업데이트	>10Hz	11.6Hz	–

* 동시 구동 및 조향 바퀴 수

(1) 시험 방법

: 발농업용 로봇 플랫폼의 바퀴수를 확인하고 4개 바퀴의 조향 및 주행이 동시 구동 가능 여부를 확인하여 검증함

(2) 시험 전경



(3) 시험 결과

시험항목	조향 바퀴수	동시구동 가능여부	시험결과
동시 구동/ 조향 바퀴수	4 ea	가능	이상 없음

: 주행 및 조향 4륜 동시 구동을 확인하기 위해 플랫폼은 공중에 띄워 무부하 상태에서 테스트를 실시하였음. 본 플랫폼 제어를 4WD/4WS 모드를 기본 주행 모드로 제어 하였으므로 실제로 4륜 바퀴가 동시에 회전 조향 및 주행을 양호하게 구동하였음

★ 조향 각도

(1) 시험 방법

: 발농업용 로봇 플랫폼이 제자리에서 360° 회전이 가능한지 확인하여 검증함

(2) 시험 전경



(3) 시험 결과

시험항목	조향 바퀴수	조향각도	조향가능여부	시험결과
조향 각도	4 ea	360°	가능	이상 없음

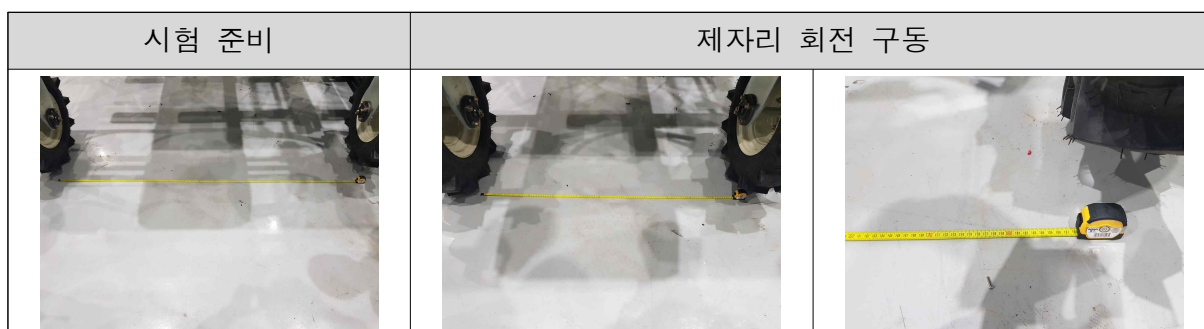
: 플랫폼 주행 설계 시 발 노지에서 회전 반경을 최소화하기 위해 조향 시 제자리 회전을 할 수 있도록 제어함. 평가 결과, 제자리 회전을 양호하게 주행하였으며, 이에 따라 조향 각도는 360도가 가능하였음

★ 가변 폭

(1) 시험 방법

: 플랫폼 좌우바퀴의 내측간의 거리를 최대로 가변 시와 최소로 가변시의 차이 확인

(2) 시험 전경



(3) 시험 결과

시험항목	최대 가변시	최소 가변시	폭 차이	시험결과
조향 각도	1.88m	1.08m	0.8m	이상 없음

: 여러 작물의 발 환경에 능동적인 대응을 위해 플랫폼의 폭은 가변할 수 있음. 측정 결과 최소 1.08m에서 최대 1.88m까지 가변을 할 수 있으며, 필요에 따라 측정 범위 내에서 중앙 지지대 길이 조절을 통해 원하는 폭을 선택할 수 있음

★ 자세조절 각도폭

(1) 시험 방법

: 10° 이상의 경사로에 발농업 로봇 플랫폼을 이동시키고, 본체의 수평 유지 가능여부를 확인하여 검증함

(2) 시험 전경



(3) 시험 결과

시험항목	경사로 각도	수평유지 가능여부	시험결과
자세조절 각도폭	10.0	가능	이상 없음

: 경사각도 10도의 경사로에서 전후륜 4바퀴의 자세조절 기능을 동작시켜 본체를 수평(0도)자세로 유지하였음. 이후 측면 주행을 통해 자체 조절된 상태에서 주행이 가능함을 확인하였음. 본 항목은 추후 비탈진 노지 환경에서 곧바른 정식을 위해 필요한 기능임

★ 등판 각도

(1) 시험 방법

: 발농업 로봇 플랫폼이 평지에서 출발하여 18° 이상 경사로의 등반 가능 여부를 확인하여 검증함

(2) 시험 전경



(3) 시험 결과

시험항목	경사로 각도	등반 가능여부	시험결과
등판각도	20.0	가능	이상 없음

: 경사각도 20도의 경사로에서 플랫폼의 등반 능력을 측정하였음. 앞서 보고한 경사각도에 따른 소비전력 특성과 같이 최대각도 20도에서도 안정적으로 등반이 가능함을 확인하였음

★ 장애물 극복 단차

(1) 시험 방법

: 발농업 로봇 플랫폼이 평지에서 출발하여 15cm이상 장애물의 통과 가능 여부를 확인하여 검증함

(2) 시험 전경

단차 높이 측정	단차 등반	
		

(3) 시험 결과

시험항목	단차 높이	통과 가능여부	시험결과
장애물 극복단차	15cm 이상	가능	이상 없음

: 높이 15cm의 장애물을 등반 가능한지 평가하였음. 장애물은 경사도는 45도이며 콘크리트 구조물로 제작하였음. 평가 결과, 목표 높이의 장애물은 등반이 가능하였으며, 등반 시 헨가 스피링 장치로 인해 충격을 감소하는 기계적 동작도 확인하였음

★ 이동속도

(1) 시험 방법

: 발농업 로봇 플랫폼이 도로상에서 출발하여 최대속도에서 2m 테스트 구간을 지나 갈 때의 시간을 측정하여 속도를 계산하여 시속 2km/h 이상임을 확인하여 검증함

(2) 시험 전경

테스트 구간	출발 시점	도착 시점
	 시작 시간 : 8.96초	 통과시간 : 12.49초

(3) 시험 결과

시험항목	시험 구간	이동 시간	계산 속도	시험 결과
이동속도	2m	3.53s	2.04 km/h	이상 없음

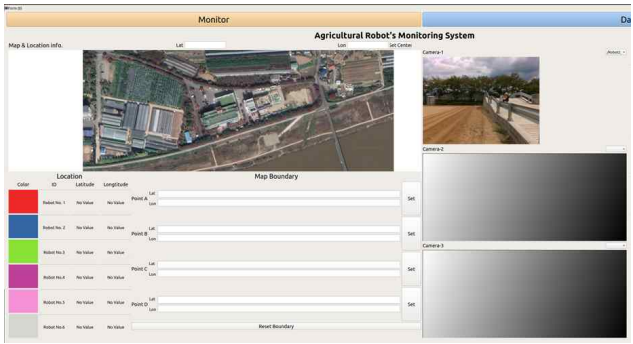

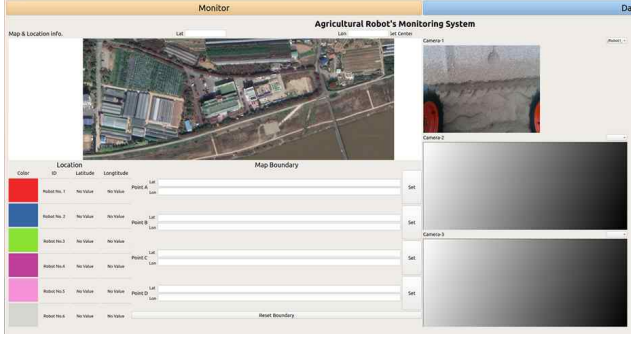
: 플랫폼의 주행속도를 측정하기 위해 2m 길이의 테스트 구간을 만들고, 플랫폼의 가속이 완료 상태에서 2m 구간을 통과하는 시간을 측정하였음. 본 조건은 KS B ISO 18646-1 규격을 참조한 것임. 평가 결과, 이동 시간은 3.53초가 소요되었으며, 이를 속도로 환산 시 2.04km/h가 확인되었음

★ 다중로봇 협업 대수

(1) 시험 방법

: 동일한 테스트장 내에서 로봇 2대 배치 후 관제 프로그램에서 2대의 구동 정보 모니터링 가능 여부를 확인하여 검증함

(2) 시험 전경

<p>시험 준비</p>	<p>모니터링 화면 (1대)</p>	
	<p>모니터링 화면 (2대)</p>	

(3) 시험 결과

시험항목	로봇 대수	모니터링 가능여부	시험결과
다중로봇 협업대수	2	가능	이상 없음

: 1대 이상의 로봇이 동일장 작업장 내에서 작업 및 구동할 때 중앙 관제 시스템에서 이를 모니터링할 수 있도록 구성하였음

: 각 로봇에 장착되어 있는 카메라 영상정보, 현재 위치정보, 작업 정보(작업 종류, 작업 시간)을 모니터링 할 수 있음

★ 데이터(원격) 통신

(1) 시험 방법

: 구글 지도 상 1km 떨어진 지점에서 발농업 로봇 플랫폼을 원격제어하여 구동 여부를 확인하여 검증함

(2) 시험 전경



(3) 시험 결과

시험항목	시험 거리	원격 구동 여부	시험결과
데이터 통신	1km	가능	이상 없음

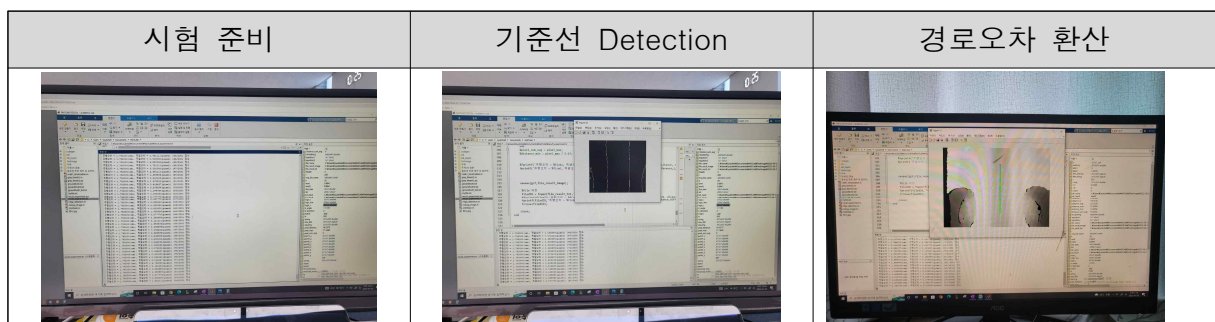
: 5KM 장거리급 무선 RF 통신 모듈을 적용하였고 1,000m 거리에서 양호한 통신 특성을 보였음

★ 경로 주행 오차

(1) 시험 방법

: 알고리즘에 의해 구현된 기준값에 실측된 카메라 영상 프레임 정보를 비교하여 단위 픽셀 당 거리를 측정하고 픽셀의 숫자를 거리를 환산하여 검증함

(2) 시험 전경



(3) 시험 결과

시험항목	단위픽셀 당 거리	총 픽셀 수	주행오차	시험결과
경로주행오차	0.24cm	7.45ea	1.79 cm	이상 없음

★ 로컬지도 업데이트 속도

(1) 시험 방법

: 제어로직의 전 주기에서 획득된 카메라 영상 프레임과 새로 획득된 프레임 간 지도비교
로직의 주기를 측정하여 지도 업데이트 속도를 확인하여 검증함

(2) 시험 전경

시험 준비	로컬지도 업데이트	소요시간 환산
		

(3) 시험 결과

시험항목	프레임 수	소요 시간	업데이트 속도 주파수	시험결과
로컬지도 업데이트 속도	1055	61.9942	17.0177	이상 없음

- 작업 모듈의 작업성 테스트 (상세 내용 아세아텍 개발내용 참조)

: 플랫폼 작업기 체결 및 작동 테스트를 진행함.

: 작업기는 배터리 모듈 하단에 체결되고, 상, 하 높낮이 조절이 가능한 시저스리프트와 체결 구조에 대해 탈부착이 가능함.

: 작업기 체결 시 전륜과 후륜의 조향을 통해 제자리 회전이 가능하며, 시저스의 상, 하 높낮이 조절로 작업기의 작업위치를 결정함.

: 작업기 중 로터리, 운반기의 경우 무게중심이 플랫폼의 무게중심과 동일하여 주행에 어려움이 없으나, 휴립피복기, 정식기, 파종기, 방제기 등 플랫폼 후방으로 기구가 장착되어 제자리 회전 시 회전 반경 1800 mm 에 대한 공간이 필요하며 무게중심이 후방에 위치하여 주행 시 현가모듈의 불균형이 발생할 수 있음.

: 휴립피복기, 방제기 체결 시 주행에서 기구 구성을 변경하여 무게 중심을 중앙으로 위치할 수 있고, 파종기의 바퀴 굴림을 통해 현가 모듈의 불균형을 해결할 수 있음



< 로터리, 휴립피복기 테스트>

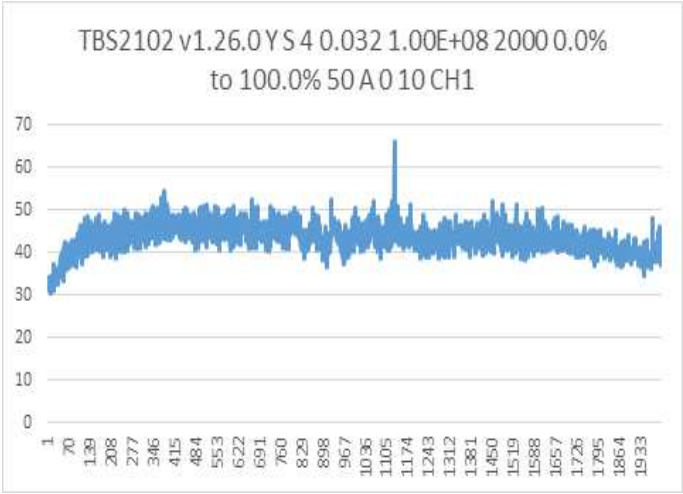
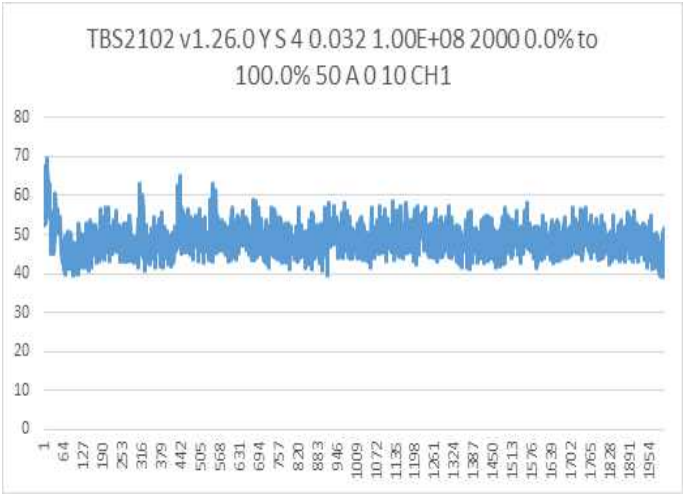
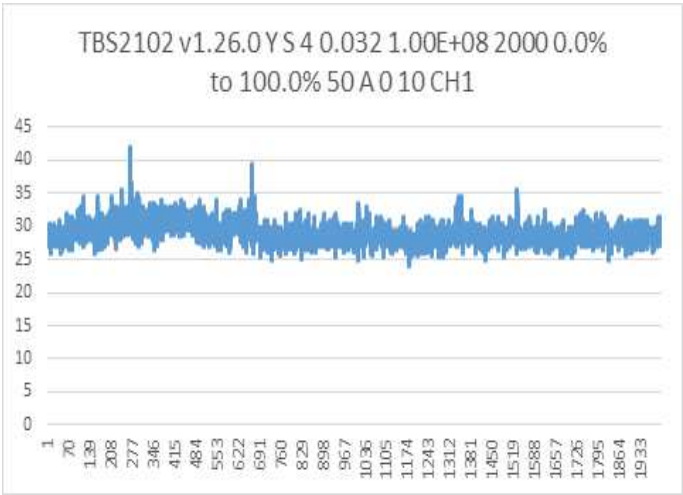


< 운반기, 정식기 테스트>



< 파종기, 방제기 테스트>

– 작업기별 작업가능시간 산출

구분	소비전력 측정 그래프(x축:시간/y축:소비전력)	평균소모 전력 (A/h)	구동가능 시간 (h)	충전주기 시간 (h)
로터리		43.6	5.5	4.4
후립피복		48.5	4.9	4
방제		29.1	8.2	6.6

정식		27.9	8.6	6.9
파종		22.6	10.6	8.5
운반		20.6	11.6	9.3

: 배터리는 240A를 기준으로 평균 소모 전력을 측정하여, 작업별 구동 가능한 시간을 예상함.

: 배터리잔량 20%기준으로 충전시기를 고려한 사용시간은 작업별로 차이가 있지만, 위의 표에서와 같이 최소 약4시간은 농작업이 가능함.

다) 제품 상용화 및 신뢰성 확보

- 부품 신뢰성 확보

* 환경(흙지, 농약살포 조건 등)에 강인한 구조설계

: 플랫폼이 구동되는 환경은 험로인 상태에 수분 혹은 비가 내리거나 바람이 불며 구동 시 진동을 수반하는 환경이기 때문에 플랫폼과 구성 부품의 내충격성과 방수성을 가지고 있어야함.

품명	재질	IP등급	내화학적성
모터	알루미늄	65	0
조향 엔코더	알루미늄	68	0
전장박스	ABS	66	0
커넥터	알루미늄·실리콘·ABS	67	0
전선	테프론	-	0
플랫폼	알루미늄	-	0


< 플랫폼 구성품의 방진·방습 및 내화학적성 >

: 상기 표와 같이, 각 구성 부품과 부속은 재질, IP등급, 내화학적성, 특성을 고려하여 선정하였으며, 부식성과 사용 목적의 특이성으로 인하여 농약과 같은 화학성 물질에 강인할 필요가 있으므로, IP등급55이상의 구성 부품들을 선정하여 노지환경에서 내성과 강인성을 가지도록 구성함.

: 플랫폼을 구성하는 전장박스, 모터, 기어, 전선 등 외장부와 연결된 모든 부품을 IP등급을 만족하는 부품으로 선정하여 적용하였으므로 방수/방진 기능을 만족하였음

: 차량 크기의 로봇 어셈블리 전체를 평가할 수 있는 사이트가 없는 관계로 부품별 IP등급으로 대응하였음

CERTIFICATE
of Conformity




Registration No.: AK 50115592 0001
Report No.: 13601369 002

Holder: **Boxco Inc.**
Boxco Bldg.,
577-16, Gwanbeop-dong, Sasang-gu,
Busan 617-809,
Rep. of Korea

Product: Empty Enclosure

Identification: Type Designation : BC-series series
(u = A; v = G, T; w = F, R, S, M;
x = 05-63; y = 04-83; z = 03-28)
Degree of Protection : IP67, EX08
Serial No. : n.a. (prototype)
Remark: Only clause 9.6 and 9.7 have been tested (IP and IK).
Tested acc. to: EN 62281:2003


The certificate of conformity refers to the above mentioned product. This is to certify that the specimen is in conformity with the assessment requirement mentioned above. This certificate does not imply assessment of the protection of the product and does not permit the use of a TUV Rheinland mark of conformity.

 Certification Body
Dipl.-Ing. D. Lütfer

Cologne, 27.09.2007

TÜV Rheinland Product Safety GmbH - Am Grauen Stein - D-51105 Köln

(a) 전장박스 (IP67만족)



4.22 Leakage Test IP67

1 Sample (1-00044),
1 Sample (1-00045),
1 Sample (1-00051),
1 Sample (1-00052),
1 Sample (1-00081),
1 Sample (1-00082).

4.15.1 Leakage Test IP67



Leakage Parameter: The Connectors must pass 0.1 bar (AIR) Leakage Test for 30 minutes.

4.15.2 Test Result

All connectors pass the leakage test.

Page 26 of 92

(b) 커넥터 (IP67만족)



 

TEST REPORT
6002-13-GG-13-PB008

Page 1 of 4

Product	Cable entry system
Customer	Icotek GmbH Blaschhof-von-Lipp-Str. 1 73569 Eschach, Germany
Factory	Icotek GmbH Blaschhof-von-Lipp-Str. 1 73569 Eschach, Germany
Model / Type ref.	KEL-ER (mounted on the enclosure)
Trade mark	Icotek
Additional information	Before the IP6X-test a connection for the underpressure was applied to the test sample. For the detection of dust and water inside the enclosure a visual inspection was performed.
Test foundation	EN 60529:1991 + A1:2000 (DIN EN 60529:2000-09)
Degree of protection	IP65
Test conditions	IP6X-test: all side dusting, test duration: 8h, test with underpressure (20 mbar), test wire (Ø1mm) does not penetrate into the enclosure IPX5-test: all side irrigation with 12,8l/min water, test duration: 3 min, nozzle 6,3mm
Test result	Protection against dust and solid objects IP6X test passed Protection against water IPX5 test passed

With this test result the consistent with the requirements of the test foundation for the protection against IP65 could be proved.

Tested by:  Ruter
Approved by:  R. Schubert
Head of Department Appliance Safety

Hartmannsdorf, 24.04.2013

SLG Prüf- und Zertifizierung GmbH
Department Appliance Safety
Bismarckstrasse 26
D-30225 Hartmannsdorf
Germany

Phone: +49 5102 1025-0
Fax: +49 5102 1025-100
E-Mail: info@slg-zert.de

(c) 모터류 (IP65만족)
<주요 전장부품 IP 평가 보고서>

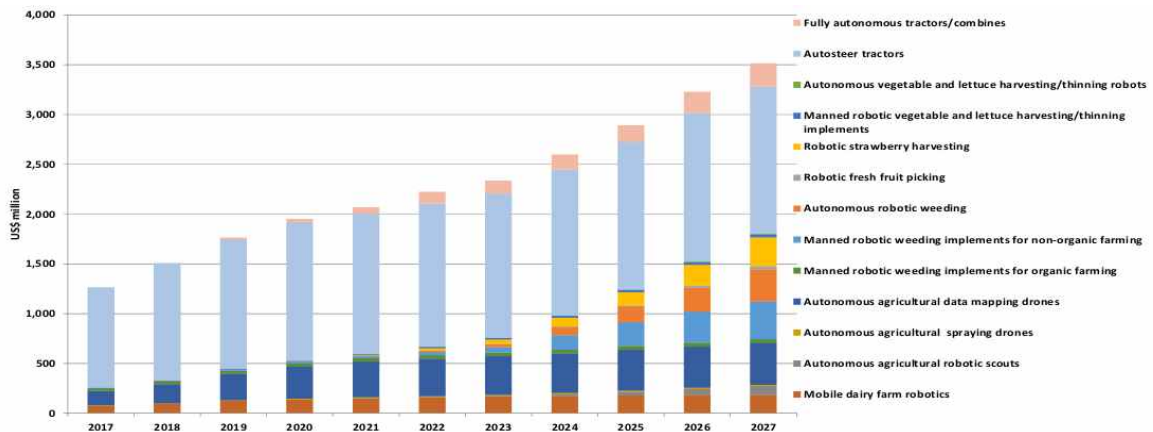
< 위탁연구기관 : 한국농기계협동조합 >

세부연구목표	연구개발 수행내용
발농업용 로봇의 정부지원대상 농업기계 선정	<ul style="list-style-type: none"> - 노지스마트팜분야 표준화 로드맵 농업용로봇 수록 - 농업용 로봇 범위 확대 정책제안 활동
농업용 로봇 포럼을 통해 시험방법 및 검정기준 제시 및 표준화 요소 발굴	<ul style="list-style-type: none"> - 농업기술실용화재단과 농업용 로봇 범위, 분류, 검정기준(안) 마련 - 국가표준개발협력사업 워크숍 개최

○ 발농업용 로봇의 정부지원대상 농업기계 선정

가) 노지스마트팜분야 표준화 로드맵 농업용 로봇분야 포함 수록

- 노지스마트팜 표준화 로드맵에 농업용 로봇을 포함하여 향후 정책제안과 정부정책 R&D 방향성, 주요 표준화 요소 발굴 및 우선 제정에 활용
- 농업용 로봇 분야 기술 현황
 - : 자동화·로봇화·무인화 및 인간공학적 기술을 통해, 환경을 보전하면서도, 수확량은 줄이지 않고, 고품질 농산물을 생산할 수 있는 정밀농업용 기술이 빠른 속도로 실용화 진행
 - : 농업기계는 작업별 기계화 및 작물별 일관기계화 개발이 진행되고 있으며, 경운기, 트랙터, 관리기 등 전통 농기계와 IT기술의 융합을 통해 새로운 로봇 농기계 형태로 진화해가고 있으며, 글로벌 농기계 시장에서도 비중이 커지고 있음



< 농업용 로봇 시장 전망 >

: 농업은 상업용 드론과 로봇 공학을 접목할 수 있는 가장 큰 산업으로 구분되며, IDTechEx의 보고서에 따르면 2026년까지 농업용 드론 시장이 4억 8천만 달러에 이를 것으로 예상됨.

구분	국내	국외
트랙터	◎ 무인자율주행트랙터	● 무인자율주행트랙터
이식작업	● 채소자동이식기	● 채소자동이식기 ● 화훼류 자동이식기
시비 방제	● 무인항공기 ◎ 제초로봇	● 무인항공기 ① 제초로봇
수확작업	◎ 사과, 토마토, 딸기 수확로봇	◎ 사과, 토마토, 오이 수확로봇 ● 오렌지 수확로봇
과일선별	● 내외부 비파괴 선별	● 내외부 비파괴 선별
접목	● 채소접목로봇	● 채소접목로봇

◎ 연구단계, ①실용화 시도단계, ● 상용화단계

* 자료: 국립농업과학원, 로봇 R&D성과 발표회-농축산 분야 로봇 융합 기술개발 로드맵

< 농업용 로봇의 국내외 기술 수준 >

- 노지농업 로봇

- : 노지농업용 로봇은 트랙터, 콤바인, 관리기 등 전통 농기계와 로봇기술의 융합을 통해 새로운 로봇 농기계 형태로 진화해 가고 있으며, 글로벌 농기계 시장에서 비중을 확대 중
- : 로봇차체에 센서와 카메라를 장착하여 딥러닝 기술을 적용한 무인제초로봇이 개발되어 화학비료, 제초제, 농약등의 사용을 줄이는 동시에 수확량을 늘리는 기술이 상용화 되었음.

- 시설농업 로봇

- : 구조화되고 제어된 환경과 산업용 로봇요소 활용을 통해 개발기간 단축이 가능하며, 비닐하우스, 유리온실, 식물공장 등에서 시설자동화와 함께 로봇화를 추진
- : 기후변화와 자연 재해의 증가로 농작물의 안정적 재배와 공급을 위해 시설농업 면적은 더욱 증가하고, 시설의 자동화·로봇화를 통해 생산 시스템의 첨단화가 이루어질 전망
- : 태양광과 함께 LED램프 등으로 인공광을 사용하며, 식물성장에 필요한 이산화탄소는 탄산가스 발생장치로 생육환경을 만들어 주고, 온도는 지열 등 신재생에너지를 이용하여 공급하며, 자양액은 토양성분과 유사하게 여러 가지 물질을 조제하여 재배되는 작물에 공급하게 되며, 파종에서 수확까지 대부분의 생산 공정에 로봇기술을 기반으로 한 자동화 기술들이 적용

- 축산 로봇

- : 국내 축산업은 시장개방에 따른 반대 급부적 지원정책으로 성장을 지속하고 있지만, 구제역, AI, 아프리카돼지열병 등 전염성 가축질병에 취약한 상태로 이를 차단할 수 있는 로봇을 활용한 축산관리 기술 도입이 필요한 시점임.
- : 로봇 기술을 통해 가축 질병 발생 시 초기대응 및 질병확산 방지에 대한 대응책과 최적의 가축 사육환경을 지속적으로 제공하여 농가의 생산 효율성을 증대하고, 가축 질병이 발생할 수 있는 상황을 사전에 예방하여 피해를 최소화 시킬 수 있는 기술개발에 대한 요구가 높음

드론/항공 이미징	스프레이 제초 로봇	과일 수확 로봇	다기능 로봇
			
<p>항공이미징(농작물 스트레스, 식물 성장을 모니터링)은 시간과 노동력 절감 효과 기대.</p>	<p>잡초 이미지의 데이터베이스를 활용하여 잡초를 감지하고 뽑아내거나 농약살포.</p>	<p>로봇 팔을 이용하여 딸기, 오이 및 사과와 같은 작물 수확으로 노동력 절감</p>	<p>관수 관비 및 농약살포 및 비료 살포 등 다양한 생산분야의 비용을 줄이는 로봇 기술</p>

< 농업용 로봇의 국내외 기술 수준 >

- 농업용 로봇 핵심 기술 후보군 선정

- : 스마트팜 분야의 영역은 구분하기 어려울 정도로 광범위 하나, 글로벌 시장의 경쟁력을 키우고 국제표준과 연계하여 향후 시장규모가 크고 활용성이 높을 것으로 예상되는 농업용 로봇에 대한 필요 기술을 도출 함.
- : 4차 산업혁명 시대 맞이하여 전통적인 농업기계와 ICT기술이 접목 된 정밀농업기계, 무인자율기계, 농업용 로봇 등 글로벌 발전방향으로 인식되고 있는 분야 선정
- : 농업용 로봇은 농업생산을 효율적으로 관리하고, 고품질의 농산물을 생산하는 환경을 구축하는 ‘스마트팜’으로 통칭하는 농작업 토탈 정보에 활용성이 높은 장비로, 특히 다양한 정보의 공유를 통해 농업 생산의 최적환경을 찾아가는 ‘Connected farming’ 기술의 핵심 아이템임
- : 핵심기술 후보군의 지표별 평가를 수행하여 핵심기술을 도출하였음

- 농업용 로봇 표준화 핵심 기술 후보군 평가

핵심기술 지표별 평가결과														
구 분	핵심기술 후보군	P1	P2		P3		P4		P5		P6		평균	비고
		기술 수준	향후 기술 중요도		정책 방향 부합성		IPR 확보 가능성		향후 시장 파급성		표준 연계 가능성			
			R&D 측면	표준 측면	R&D 측면	표준 측면	핵심 특허	주변 특허	사업 화	소비 만족	De- Fab	공적 표준		
농 업 용 로 봇	농업용 로봇 정의 및 요구사항	70	35	45	35	50	40	40	35	40	45	45	80	
	농업용 로봇 안전	90	35	45	30	45	30	30	40	40	40	45	78	
	농업용 로봇 시험 방법	70	35	45	35	50	40	40	35	40	45	45	80	
	농업용 로봇 성능평가 방법	70	40	45	40	45	35	40	40	35	40	45	79	
	발작업 로봇 작업기 부착장치 표준화	90	35	45	30	45	30	30	40	40	40	45	78	

- 농업용 로봇과 연관 된 기술 후보군 평가

핵심기술 지표별 평가결과														
구 분	핵심기술 후보군	P1	P2		P3		P4		P5		P6		평균	비고
		기술 수준	향후 기술 중요도		정책 방향 부합성		IPR 확보 가능성		향후 시장 파급성		표준 연계 가능성			
			R&D 측면	표준 측면	R&D 측면	표준 측면	핵심 특허	주변 특허	사업 화	소비 민족	De-Fab	공적 표준		
트랙 자율행 기술	트랙터 작업 모니터링 시스템	70	50	40	50	50	35	45	45	45	45	45	87	
	오픈 플랫폼형 트랙터 자동 변속기의 구동모듈 및 제어기술	80	40	40	40	40	35	40	40	40	40	45	80	
	레벨 3 자율작업 트랙터용 개방형 통합제어 시스템 기술	80	50	40	50	40	40	40	45	45	40	45	86	
	트랙터의 고장 자가진단 및 모니터링 기술	50	40	40	45	45	40	45	40	45	40	45	79	
	트랙터 작업기 견인 제어 시스템	90	35	40	35	35	40	40	35	40	40	40	78	
	트랙터 작업기 수평 제어 시스템	70	30	40	30	40	30	30	35	45	40	40	72	
	자율주행 트랙터의 구성품 및 명칭	70	50	50	45	50	40	50	40	40	45	50	88	
	자율주행 트랙터의 성능평가 방법	90	35	45	35	45	30	30	30	35	40	45	77	
스마트 온실	수확물 이송로봇 기술	70	35	40	35	35	30	35	30	45	40	45	73	
	작목별 방제로봇 기술	50	45	35	45	35	30	35	40	40	40	45	73	
	작목별 협업로봇 기술	50	35	40	35	45	30	30	30	45	40	45	71	

- 농업용 로봇(농기계 자율주행 기반기술) 표준화 로드맵

구 분		1단계					2단계	목표 (연도)
핵심기술	중점 표준화 항목 (시급성/활용성)	2020	2021	2022	2023	2024	2025 ~	
농기계 자율주행 기반기술 (로봇)	위치정보 보정 기술	■	■	■	■			국제표준/ISO (2023)
	작업 경로생성 기술	■	■	■	■	■		국제표준/ISO (2024)
	자율주행 차량의 자동조향 장치	■	■	■	■			국제표준/ISO (2022)
	자동조향 제어기술	■	■	■	■			국제표준/ISO (2022)
	주변환경 인식기술	■	■	■	■			국가표준 (2023)
	자율주행 차량의 사용가능 시기		■	■	■	■		국가표준 (2024)
	원격제어기 통신 규격			■	■	■	■	국제표준/ISO (2026)
	자율주행 수준별 개발항목	■	■	■	■	■		국제표준/ISO (2024)
	자율주행 농업기계의 데이터 표준	■	■	■	■	■		국제표준/ISO (2024)

나) 농업용 로봇 범위 확대 정책 제안

- 농업용 로봇 농업기계 범위 확대 체계 의견 수렴 및 정책 제안 회의 개최
 - : 2020년 4월 20일 : 한국농기계글로벌센터내에서 농림축산식품부 농산업정책과 및 관련 산업계를 모시고 개최코자 하였으나 코로나19 확산에 따른 회의 개최 연기
 - : 2020년 5월 12일 : 농림축산식품부 농산업정책과 심동욱 사무관과 스마트팜 정책 방향 의견 교류 및 노지 스마트팜, 농업용 로봇 범위 확대 체계 마련 필요성 논의
 - : 2020년 5월 20일 : 농림축산식품부 농산업정책과 방문하여 송남근 과장, 심동욱 사무관, 농업기술실용화재단과 함께 스마트팜 관련 농기계 산업 동향, 미래기술에 해당하는 노지 스마트팜 및 농업용 로봇에 대한 농업기계 포함 범위 및 관련 산업 지원 등 정책 제안



- 노지스마트팜분야 워크숍 개최(예정)
 - : 일시 : 2020년 6월 15일(월)
 - : 장소 : 한국농기계글로벌센터 내
 - : 참석대상 : 농림축산식품부 농산업정책과, 관련 산업계, 지자체 등

○ 농업용 로봇 포럼을 통한 시험방법 및 검정기준 제시 및 표준화 요소 발굴

- 농업용 로봇 포럼 운영코자 하였으나 코로나19 확산으로 관련기관 개별 진행
- 농업용 로봇 범위, 분류, 검정기준(안) 마련
 - : 담당기관 : 농업기술실용화재단 스마트농업본부 ICT기자재검정팀
김영태 팀장, 한철우 연구원 등
 - : 농업로봇의 정의(안) : 농업 생산과 가공, 유통, 소비의 전과정에서 스스로 서비스 환경을 인식(Perception)하고, 상황을 판단(cognition)하여 자율적인 동작(Mobility & Manipulation)을 통해 지능화 된 작업나 서비스를 제공하는 기계
 - : 농업로봇의 분류(안) : 농작업체계에 따른 분류 필요

정식

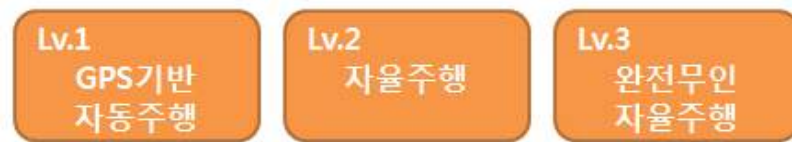
경작

방제·제초

운반

수확

: 로봇의 자율작업 레벨 정의(안)



: 농업용 로봇 검정기준(안) : 5월 말 상세내용 Update

(1)적용범위

(2)용어정의

(3)시험항목 - 구조조사, 성능시험, 조작난이도시험, 안정성 시험 등

(4)시험조건

(5)시험방법

(5-1) 구조조사 : 형식, 규격, 크기, 동력전달, 조향, 제동, 주행, 승강, 기타 장치

(5-2) 성능시험 : 주행시험, 직진성, 최고주행속도, 최소선회반경, 양력시험 등

(5-3) 조작난이도시험 : 변속, 조향, 작업, 작업기착탈난이, 위치제어, 부착간격
안전성, 정비 등의 난이도

(5-4) 안전성시험 : 위험 우려 부위의 안전장치, 안전방호장치 및 안전표시 확인 등

- 표준개발협력사업 기술위원회 워크숍 개최 (6월 초 Update)

: 일시/장소 : 2020년 5월 28일(목) / 강원도 홍천 소노호텔리조트

: 참석대상 : 농림업용 트랙터 및 기계류분야(TC23) 전문위원 및 관련전문가 20명 내외

: 농업용 로봇동향 및 표준요소 등 : 로봇산업진흥회 전진우 실장

: 농업용기계 자율주행 및 텔레매틱스 등 : (주)긴트 김용현 대표

- 한국농기계공업협동조합에서는 농업기계가 정밀·스마트화·다목적 기능을 수행하는 등 다양하게 개발되어 기존의 ‘농업기계화촉진법 시행규칙’의 ‘별표 1. 농업기계의 범위’가 이를 반영하기에는 부족하여 ‘농업기계의 범위’ 개정(안)을 마련하고자 농기계조합 자체 예산으로 한국농업기계학회와 용역계약을 체결하여 개정안을 작성중에 있으며, 2022년 말 용역결과를 기반으로 ‘발농업용 로봇’ 등 다양한 농업기계가 정부지원대상 농업기계에 포함 될 수 있도록 건의하고자 함.

※붙임 1. 한국농업기계학회 연구용역 추진 계획서 제출 공문 1부.

- 한국농업기술진흥원의 ‘농업기계 검정 및 안전관리 세부 실시요령’에 ‘농업기계 규격 및 성능설명서’에 ‘86. 자율주행 시스템’을 추가하고 ‘농업기계 구조조사 방법’에 ‘97. 자율주행 시스템’을 추가 함.

※붙임 2. 농업기계 검정 및 안전관리 세부 실시요령 발체


○ 한국산업표준 제정 제안



- 1) 한국산업표준 제정을 위해 한국농기계공업협동조합에서 4차례에 걸쳐 기술위원회를 개최하여 표준제정안을 작성하여 국가기술표준원에 표준제정 제안을 함.
 - ① 제정의 취지: 발농업용 원격조종 농업기계에 대한 연구개발이 활발해지고 농가보급이 가시화 되고 있다. 이와 관련한 농업기계의 일반요구사항을 규정하여 품질향상을 유도하고자 한다.
 - ② 표준명 및 적용범위
 - 표준명: 발농업용 원격조종 농업기계 일반요구사항
 - 적용범위: 이 표준은 밭과 같이 물이 없는 농경지 내에서 원격조정으로 농작업을 수행하는 농업기계의 일반요구사항에 대하여 규정한다.
 다음과 관련한 사항은 이 표준에서 규정하지 않는다.
 - 운전석이 있는 자주식(승용형, 보행형) 농업기계
 - 부착작업기의 요구사항
 - 작업이력수집, 저장, 전송
 - 농경지 이외의 장소에서 농작업 및 주행
 - ③ 일반요구사항: 구조, 원격조종기, 안전
 - ④ (기타사항) 발농업용 원격조종 농업기계의 보급은 초기단계이므로 이 표준안에서는 성능요구사항 내용은 제외한다. 성능 요구사항을 규정하기 위해서는 시험방법이 제시되어야 하는데, 시험방법 제정에 필요한 자료가 충분하지 않다고 판단함

⑤ 기술위원회 추진내역

회의 일시 및 장소	회의사진
<p>1차 기술위원회 22년 1월 12일 농기계조합 회의실</p>	
<p>2차 기술위원회 22년 1월 20일 - 27일 서면검토회의</p>	<p>—</p>
<p>3차 기술위원회 22년 3월 30일 농기계조합 회의실</p>	<p>—</p>
<p>4차 기술위원회 22년 4월 6일 서울드래곤시티</p>	

- 2) 한국농기계공업협동조합의 제안에 따라 국가기술표준원에서 농림업용 트랙터 및 기계류 분야 전문위원회를 개최함.

회의 일시 및 장소	회의사진
<div data-bbox="226 611 469 730"> <p>전문위원회 22년 4월 13일 줌 온라인 화산회의</p> </div>	

<div data-bbox="220 1523 474 1559"> <p>전문위원회 개최문서</p> </div>	<div data-bbox="654 1050 1321 1122">  <div> 산업통상자원부 국가기술표준원  </div> </div> <div data-bbox="654 1149 984 1198"> <p>수신 농·임업용 트랙터 및 기계류 전문위원 (경유)</p> </div> <div data-bbox="654 1202 1161 1227"> <p>제목 농·임업용 트랙터 및 기계류(ISO TC23) 전문위원회 회의소집</p> </div> <hr/> <div data-bbox="654 1240 1326 1314"> <p>KS B 7204(승용 이앙기용 차륜의 주요 치수) 등 12종의 한국산업표준 제·개정 및 폐지 검토를 위해 농·임업용 트랙터 및 기계류 전문위원회를 다음과 같이 개최하고자 하오니 참석하여 주시기 바랍니다.</p> </div> <div data-bbox="670 1344 1307 1473"> <ol style="list-style-type: none"> 1. 일 시: 2022년 4월 13일(수), 10:00 ~ 12:00 2. 장 소: 온라인회의(ZOOM) 3. 안 건: KS B 7204, KS B 7609, KS B 7749, KS B 7770, KS B 7773, KS B 7921, KS B 7934, KS B 7933, KS B 7939, KS B 7803, KS B ISO 789-8, KS_B_NEW_2021_2376 등 제·개정 및 폐지 12종, 도래표준 검토 </div> <div data-bbox="654 1503 1214 1579"> <p>붙임 1. 회의소집 문서 1부. 2. 농·임업용 트랙터 및 기계류(ISO TC23) 전문위원회 명단 1부. 3. 회의자료(별도송부) 1부. 끝.</p> </div> <div data-bbox="911 1774 1077 1803" style="text-align: center;"> 국가기술표준원장 </div> <hr/> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>공업사무관</td><td>정현우</td><td>과장</td><td>진열 2022.4.12. 이병휘</td></tr> <tr> <td colspan="4">협조자</td></tr> <tr> <td>시행</td><td colspan="2">기계융합산업표준과-405</td><td>접수</td></tr> <tr> <td>우</td><td colspan="2">27737 충청북도 음성군 명동면 이수로 93</td><td>/ http://www.kats.go.kr</td></tr> <tr> <td>전화번호</td><td>043-870-5375</td><td>팩스번호</td><td>043-870-5670 / hyunwoo@motie.go.kr / 비공개(5)</td></tr> </table>	공업사무관	정현우	과장	진열 2022.4.12. 이병휘	협조자				시행	기계융합산업표준과-405		접수	우	27737 충청북도 음성군 명동면 이수로 93		/ http://www.kats.go.kr	전화번호	043-870-5375	팩스번호	043-870-5670 / hyunwoo@motie.go.kr / 비공개(5)
공업사무관	정현우	과장	진열 2022.4.12. 이병휘																		
협조자																					
시행	기계융합산업표준과-405		접수																		
우	27737 충청북도 음성군 명동면 이수로 93		/ http://www.kats.go.kr																		
전화번호	043-870-5375	팩스번호	043-870-5670 / hyunwoo@motie.go.kr / 비공개(5)																		

- 3) 농림업용 트랙터 및 기계류 분야 전문위원회 검토결과를 반영하여 국가기술표준원에서 표준제정안을 예고고시함. 예고고시는 2022년 5월 10일에서 7월 9일까지 60일간 진행됨.

예고고시

이나라표준인증 홈페이지(standard.go.kr) 발췌

2022년 5월10일 ~ 7월9일

22. 6. 10. 오전 10:10

표준화 활동 > KS 예고고시 | e나라표준인증

국가표준인증 통합정보시스템

e나라표준인증 인증 및 등록

홈 회원가입 로그인

국가표준 인증제도 기술기준 TBT 정보 인증지원

지식광장 알림마당 고객센터

국가표준

표준 검색

표준화 활동

▶ KS 예고고시

▶ KS 고시

▶ 표준화 수요조사

▶ 표준 개정신청

표준이하기

표준 현황

KS 예고고시

표준화 활동 > KS 예고고시

상단메뉴 이동

고시번호(고시일)

제2022-0063호(2022.05.10)

고시제목

KS_B_NEW_2021_2376 등 1종 제정 예고고시

제고고시 기한

2022.05.10 ~ 2022.07.09

담당자

정원우

담당자연락처

043-870-5375

담당부처

국가기술표준원

담당과

기계융합산업표준과

제정원 사유

① 자체 검토에 의한 제정

제정내용

② 발농업을 원격조종 농업기계에 대한 요구사항을 규정하기 위하여 이 표준을 제정하였다. 저농업, 밭농업, 밭작물농업, 저농업이 가능한 농기계 개발에 따른 기존의 농업기계와 차별화된 요구사항을 표준으로 작성하였다.

구분	표준번호	표준명	의견
제정(안)	KS_B_NEW_2021_2376	발농업을 원격조종 농업기계 일반요구사항	<input type="button" value="의견"/>

목록

이용약관

개인정보처리방침

저작권정책

국가기술표준원

이동

(27737) 충북 음성군 영동면 아수로 93 국가기술표준원
Copyright 2022 e나라표준인증. All Rights Reserved.

시스템 관련 문의 043-870-5697

인증 표준 정보센터 1381

국가기술표준원

예고고시 제정안 : 붙임3 표준제정안 참조

- 4) 예고고시 종료 후, 국가기술표준원을 통해 산업기계기술심의회에 제정안을 차기 기술심의회(8월초 추진 중)에 상정하여 심의를 진행할 예정임.

- 5) 산업기계기술심의회 승인을 받은 제정안을 산업표준심의회 최종의결을 받아 국가기술표준원에서 고시하여 이나라표준인증에 등록됨(22년 10월 예상)

<위탁연구기관 : 테크비아이 >

세부연구목표	연구개발 수행내용
추가 IP 확보 전략 수립	- 제품 혁신 방법론인 O/S Matrix, POWER 기법 등을 활용하여 신규 IP 창출 Seeds 발굴 및 핵심특허 확보 전략 수립
목표시장 선정 및 고객 경쟁사 및 제품분석 수행	- 타겟 시장에 대한 주요 Player의 상용화 현황 및 유사제품군에 대한 스펙 분석을 통해 향후 시장 진입에 대한 장벽도 파악과 동시에 타사 제품 대비 창업 대상기술의 차별성 및 경쟁력 진단 - 농업 로봇 기술의 타겟 시장에 대해 Market Repot, 무역 데이터, 기업 데이터 등을 활용하여 현재 시장 규모 및 수요처 특징, 내수 및 수출 규모, 시장 성장률, 지원 정책 등의 측면에서 Market Driver 파악
BM 전략 수립	- 기술사업화를 위한 BM전략 수립 지원 (SWOT분석, STP 분석, 5-Force분석, BMC (Business model canvas))
사업화 추진 방향 제안	- BM 모델을 기반으로 중장기 수익모델 사업계획 수립

○ 핵심특허 확보 및 강화·BM 모델 수립 (테크비아이㈜) : 위탁연구

가) IP 확보 전략 수립

- 공백기술 분석

: 농업용 로봇의 주행 차량의 핵심 요소 기술은 외부 환경을 인지하기 위한 센서와 주행 차량의 이동 방향과 속도를 추정하기 위한 측위기술과, 경로 탐색, 자율주행 판단, 비상 시 위험회피, 주행라인 유지, 방향전환 등을 위한 판단기술 및 판단 결과를 바탕으로 차량의 조향, 제동, 가속, 자세 제어와 같은 제어 기술이 있음

: 인프라 기술로는 작업 농경지에서 주행 차량의 작업 경로를 생성하는 기술과, 작업 지시서를 기반으로 주행 제어 명령을 전달하는 관제 기술이 있을 수 있음

구분	세부 내용
센싱 기술	- 자율 주행의 핵심은 외부 환경을 인지하는 센서가 중요함
측위 기술	- 주행차량의 이동 방향과 속도를 추정하는 기술로, 주행라인 인식, 작업 끝단 판단 등 고정밀 측위 및 맵핑기술 필요
판단	- 경로탐색, 자율주행 판단, 비상 시 위험회피 대처 능력 등 수행 - 주행(라인)방향유지, 좌/우회전, 비상정지
제어	- 조향, 제동, 가속 등 액추에이터 제어 - 주어진 경로주행과 상황판단에 따라 자세 제어 및 조향, 가속 제어
작업 경로 생성	- 작업 농경지 지적도와 실사 영상 맵핑, 작업 지시서 작성
작업 지시서 기반 주행 제어	- 작업 지시서 기반 농업용 로봇의 주행 제어 기술 - 개별 농업용 로봇이 작업 지시서에 따라 개별 제어하는 방식 또는 원격 관제 컴퓨터에서 로봇으로 작업 정보를 제공하고 로봇이 이를 기반으로 주행 경로 및 속도 제어하는 방식

- : 현재 센싱기술로 사용되는 영상 센서, 초음파 센서, 레이더 및 라이다 센서는 많은 상용 제품들이 출시되고 있고, 가격 또한 저렴해지고 있는 상태이며, 이와 같은 센서들을 이용해 상황을 인지하는 다양한 특허들이 출원되어 있는 상태에 있음
- : 또한 농업용 작업기에 GPS 또는 RTK-GPS와 같은 측위장비 적용하여 고정밀 측위정보를 제공하는 상용 제품들이 출시되고 있음
- : 하지만, 이와 같은 센서 및 측위장비를 통해 수집된 정보를 바탕으로 농작업기의 경로를 탐색하고, 주행을 제어하는 기술은 아직 상용화되어 있지 못하고, 관련 특허출원도 거의 없는 상태에 있음. 현재 출원된 특허의 경우 영상 기반으로 수집된 정보를 바탕으로 주행을 제어하는 방식으로 이와 같은 방식은 실제 노지 환경에서 작업기를 제어하는데 한계가 있을 수밖에 없음. 즉 농작업 환경은 노지 환경이면서 경사를 가지고 있어 슬립이 발생되고, 직진 주행을 유지하는 것이 매우 어려운 환경임. 이에 따라 농작업기의 주행 자세를 유지하는 것이 무엇보다 중요함
- : 또한 농작업기의 자율 주행을 위해서는 주행 경로를 생성하는 기술과, 생성된 주행 경로로 제어하는 기술이 매우 중요한데, 특허 검색 결과 주행 경로를 생성하는 기술 중 차량을 먼저 주행시켜 환경 정보를 취득한 후 이를 바탕으로 주행하는 기술들은 이미 공지된 기술로 판단됨. 하지만, 정밀 측위 기반 지도를 생성하고 작업 경로를 생성하는 기술들은 아직 공개되어 있지 않아 이에 대한 특허를 확보할 필요성이 있음
- : 핵심 특허를 확보해야 할 공백 기술 분야로는 차량의 상황인식 기술, 차량의 주행 판단 기술, 작업 경로 생성 기술, 관제 기반 주행 제어 기술들인 것으로 판단됨

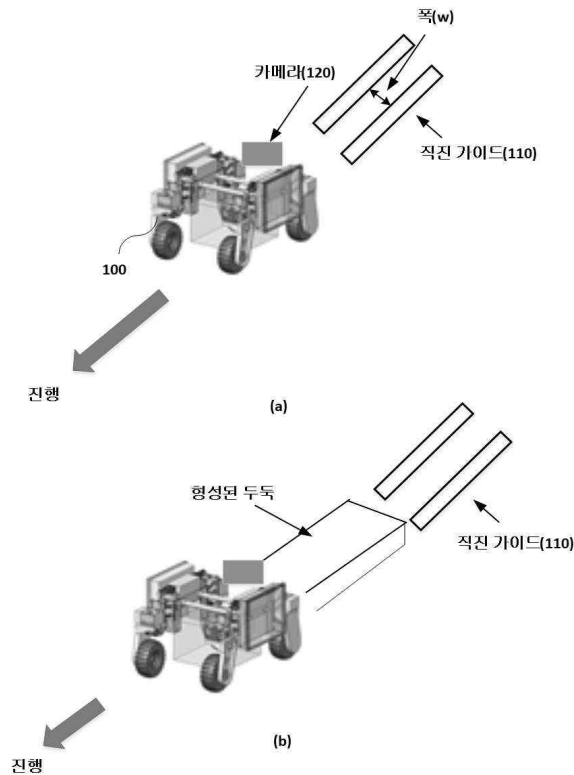
중분류	소분류	관련 특허	공지 기술	공백 기술
차량	가변 플랫폼	US9,891,629	작업 종류에 따라 차량의 폭 및 높이를 가변하는 특허는 기 출원됨	핵심 특허 확보 어려움
	상황인식	KR10-2016-0119125	적외선 및 영상 기반 상황인식 특허들은 다수 존재함	농작업 환경에 최적화된 적외선 및 영상 기반 상황인지 기술은 없음
	측위	KR10-1765746	저가형 GPS 또는 RTK 이용 측위 특허 존재함	측위 자체 기술에 대한 핵심 특허 확보 어려움
	판단	JP2016-012614	라인 추적 방식 또는 광추적 방식 또는 네비게이션 방식 등 다양한 선행기술 존재	작업 지시와 연계된 자율주행 기반 차량 제어기술에 대한 특허 확보 가능
	차량 주행제어	US10,286,893	슬립 방지, 작업기 연계 작업 속도 제어 기술에 대한 선행특허 존재	상황 판단에 따른 차량 주행 제어 기술에 대한 핵심 특허 확보 어려움
인프라	경로 생성	US2017-0083024	드론 연계 작업 경로 생성 또는 차량을 먼저 주행시켜 주행 환경을 파악하는 선행특허 존재	정밀 측위 장비를 활용하여 용이하게 작업 경작지의 지도 및 작업 경로를 생성하는 특허 없음
	관제 제어	KR2017-0081685	관제 시스템의 지시에 따라 차량을 제어하는 선행특허 존재	복수의 차량을 관제 시스템에서 통제하면서 작업을 정밀 제어하는 특허 확보 필요

- 신규 IP 창출 및 강화

* 신규 IP 창출 아이디어 도출

: 공백 기술인 차량 기술 분야 중 상황인식 기술 분야, 차량 기술 분야 중 자율주행을 위한 판단기술 분야, 인프라 기술 분야 중 경로 생성 기술 분야 및 인프라 기술 분야 중 관제 제어 기술 분야를 대상으로 아이디어 회의를 통해 신규 IP 확보가 가능한 기술을 도출함

: 첫째는, 자율주행을 위한 판단기술 분야에서, 하기 도면과 같이 직진성을 유지하는 직진 가이드를 농업용 로봇의 진행방향 반대편에 설치시키고, 농업용 로봇의 후방에 설치된 카메라를 통해 직진 가이드를 촬영하며, 촬영된 영상 내의 직선 부재의 길이방향 위치를 비교하는 것으로 초기 이동을 시작하고, 두둑이 설정길이 만큼 완성하면 두둑을 촬영하여 촬영된 두둑 영상을 이용하여 농업용 로봇의 자율 주행하는 방식을 제안함



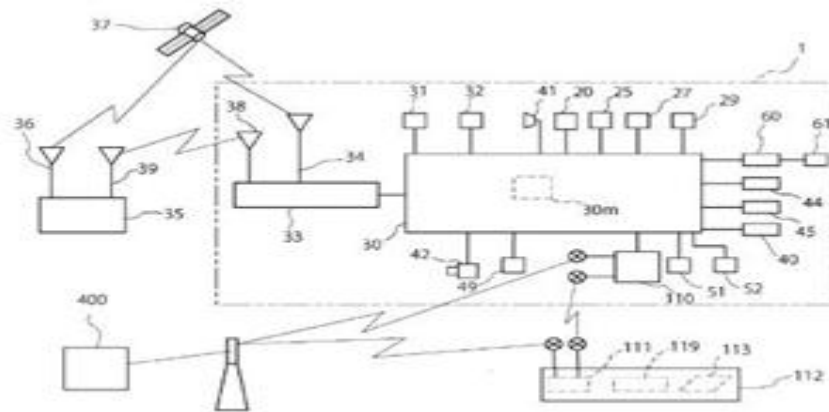
< 농업용 로봇의 자율 주행 방식 >

- : 도출한 첫째 아이디어 기술인 자율 주행을 위한 판단 기술에 대하여 신규 IP 획득 가능성을 파악하기 위하여 선행기술조사를 실시함
- : 선행기술조사 결과 유사한 하기의 2개의 선행문헌을 추출하였으며, 2개의 선행문헌은 전진하는 주행 차량에서 전방 카메라를 통해 전방의 차선을 인식하여 자율 주행하는 기술 및 좁은 도로의 진입 통과시, 또는 주정차 차량으로 인해 좁아진 도로 등을 통과할 때, 자기 차량의 통과 여부를 용이하게 판단하여 운전자에게 알려주는 전진 주행 궤적 안내 기술임에 따라, 첫째 아이디어 기술은 등록 가능성이 있는 것으로 판단됨

관련문헌	구분		출원인	제목	관련도
선행문헌	R1	한국등록특허 [1701050]	주식회사 만도	전방 카메라를 이용한 주행 차량 휠 얼라이먼트 경보 시스템 및 방법	△
	R2	한국등록특허 [1405816]	현대자동차일 본기술연구소 외 1	차량의 전진 주행 궤적 안내 장치 및 방법	△

- : 둘째는, 경로 생성 기술 분야에서, 하기 도면과 같이 정부기관에서 제공하는 GPS 좌표를 가지지 않는 농경지 정보를 기반으로 드론을 통해 1차 GPS 좌표를 획득하여 농경지 정보에 반영하고, 1차 GPS 좌표가 반영된 농경지 정보에 작업 경로를 기록하여 GPS 정보를 가진 작업 경로를 가진 작업맵을 획득하고, 획득한 작업맵에 대해 농업용 로봇이 실제 농경지에서 획득한 GPS 좌표를 이용하여 작업맵의 GPS 정보의 오차 보정을 수행하여 최종 작업맵을 생성하는 방식을 제안함

- : 셋째는, 관제 제어 기술 분야에서, 원격의 관제 센터에서 로봇이 작업할 농경지에 따른 동작 데이터나 소프트웨어를 원격의 로봇에게 제공하여 로봇 본체에 최소한의 소프트웨어만을 탑재하도록 하여 로봇을 구동하게 하는 방식을 제안함
- : 넷째는 관제 제어 기술에 관련하여 하기 도면과 같이 일본 출원인인 안마에서 국내 및 유럽, 미국(등록), 일본에 출원한 기술과 권리침해 소지가 있으므로, 해당 기술의 권리를 회피하도록 아이디어 구체화가 필요함

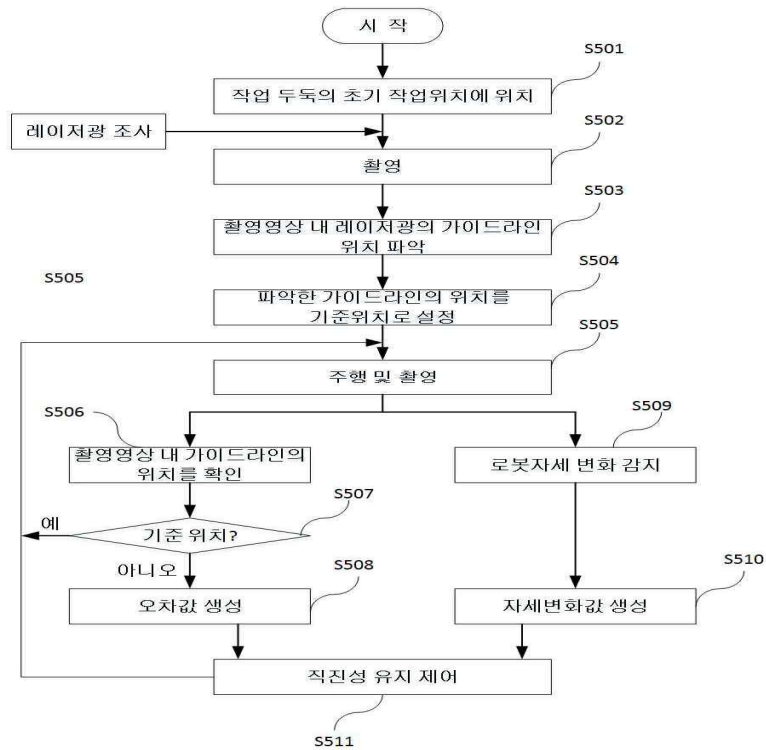


< 안마의 관제제어 특허기술 도면 >

- : 안마 특허 기술은 관제 컴퓨터로부터의 정보에 따라 농업용 작업차가 제어되고, 설정 주행 속도와, 실제 주행 속도와 주행 거리로부터 슬립률을 연산하여 포장면의 경도를 구하여 설정 주행 속도 보정하며, 복수 작업차가 병주 작업이 가능함

* IP 강화

- : 1차년도에 출원한 2건의 지식재산권(IP)에 대한 권리 강화 수행
- : 첫째 IP는 로봇에서 두둑 상에 적외선 광을 조사하고, 조사한 적외선을 촬영하여 촬영된 영상의 적외선 광(직진광)을 가이드라인으로 하여 로봇의 위치 보정을 하여 자율 주행을 수행하는 이동로봇의 직진성 유지장치 및 방법임

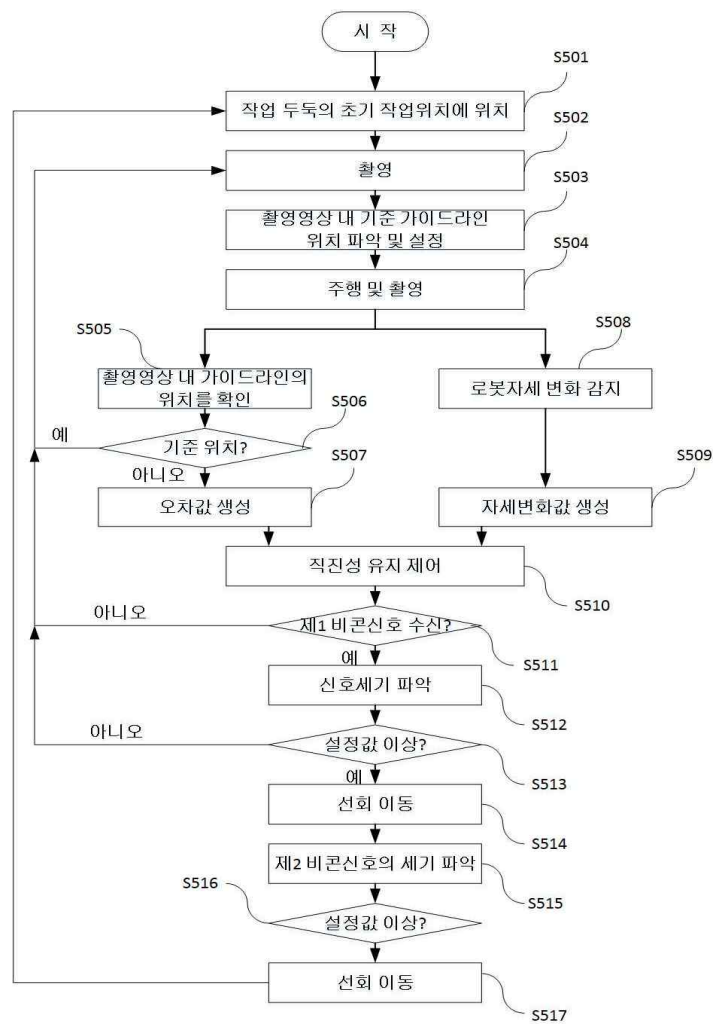
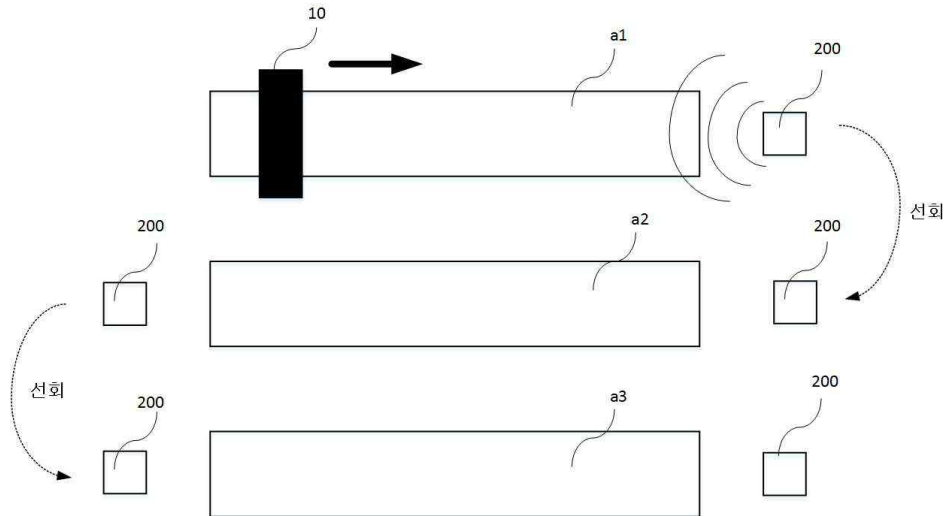


< 출원한 특허의 개념도(1) >

- : IP 강화를 위해, 권리범위 분석을 수행하였으며, 최소구성요소를 가지도록 하고 한정 요소를 최소화하여 권리범위가 최대가 되도록 함
- : 선행기술조사를 통해 현재까지의 선행문헌을 조사하였으며, 그에 따라 초기 출원시의 선행기술결과에 영향을 주는 선행문헌을 발견하지 못함

권리범위	비고
제1 두둑 상을 이동하는 이동로봇의 주행방향측을 촬영하는 촬영부, 상기 촬영부에서 촬영한 영상을 분석하여 상기 제1 광에 의해 형성된 직선의 가이드라인(이하 "현재 가이드라인"이라 함)의 위치를 파악하고 상기 현재 가이드라인의 위치와 기 저장된 기준위치간의 오차를 파악하는 추적부, 상기 제1 두둑 상을 이동하는 이동로봇의 자세 변화를 감지하고, 감지한 자세 변화값을 생성하는 자세 감지부, 상기 추적부로부터 수신된 오차값과 상기 자세 감지부로부터 수신된 자세 변화값을 수신하고, 수신한 오차값과 자세변화값을 이용하여 상기 이동로봇이 초기 진행 방향으로 계속 직진하도록 하는 자세 제어값을 생성하는 자세 유지부, 상기 자세 유지부의 자세 제어값에 따라 휠의 조향을 제어하여 상기 이동로봇의 진행 방향을 조절하는 조향부를 포함하는, 이동로봇의 직진성 유지장치.	<ul style="list-style-type: none"> - 최소 구성(촬영부, 추적부, 자세 감지부, 자세 유지부, 조향부)으로 구성 - 한정 요소를 최소화

- : 둘째 IP는 두둑의 외부 연장선에 비콘 신호를 송출하는 비콘 장치를 설치하고, 두둑을 촬영한 영상에서 두둑의 외각 경계를 기준으로 직진 자율주행을 하게하고, 비콘 신호의 세기를 통해 직진 유지 또는 다음 두둑에 선회를 결정하는 이동로봇의 두둑 이동제어장치 및 방법임



< 출원한 특허의 개념도(2) >

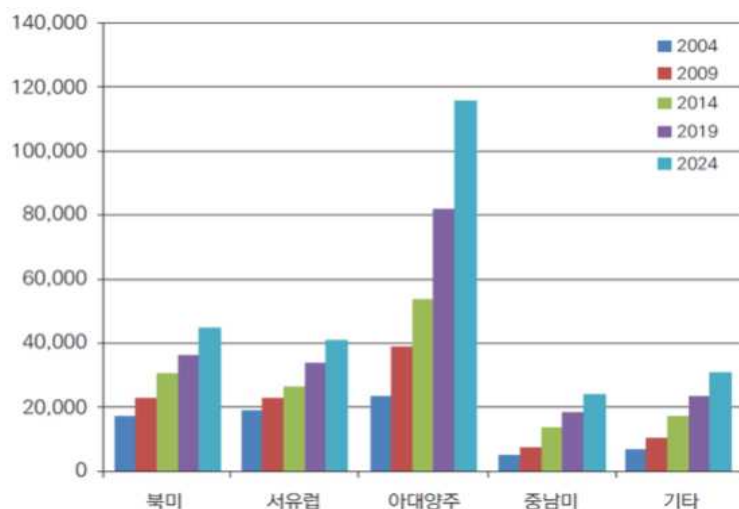
- : IP 강화를 위해, 권리범위 분석을 수행하였으며, 최소구성요소를 가지도록 하고 한정요소를 최소화하여 권리범위가 최대가 되도록 함
- : 선행기술조사를 통해 현재까지의 선행문헌을 조사하였으며, 그에 따라 초기 출원 시의 선행기술결과에 영향을 주는 선행문헌을 발견하지 못함

권리범위	비고
<p>비콘 신호를 송출하는 비콘 장치가 제1 두둑에 대해 적어도 하나가 설치되고, 두둑의 길이방향 연장선상에 위치한 상태에서,</p> <p>상기 제1 두둑 상을 이동하는 이동로봇의 주행방향측을 촬영하는 촬영부,</p> <p>상기 촬영부에서 촬영한 영상을 분석하여 상기 제1 두둑의 가장자리 경계선을 현재 가이드라인으로 하여 그 위치를 파악하고 상기 현재 가이드라인의 위치와 기 저장된 기준위치간의 오차를 파악하는 추적부,</p> <p>상기 제1 두둑 상을 이동하는 이동로봇의 자세 변화를 감지하고, 감지한 자세 변화값을 생성하는 자세 감지부,</p> <p>상기 추적부로부터 수신된 오차값과 상기 자세 감지부로부터 수신된 자세 변화값을 수신하고, 수신한 오차값과 자세 변화값을 이용하여 상기 이동로봇이 초기 진행 방향으로 계속 직진하도록 하는 자세 제어값을 생성하는 자세 유지부,</p> <p>상기 비콘 장치로부터 비콘 신호를 수신하는 비콘 수신부, 수신된 비콘 신호의 신호 강도를 측정하고 측정된 신호 강도를 설정치와 비교하여 설정치 이상인지를 파악하며, 설정치 이상이 되면 이동로봇을 선회시키는 선회지점 파악부, 그리고</p> <p>상기 자세 유지부의 제어에 따라 동작하여 이동로봇의 진행 방향을 조절하여 직진성이 유지되도록 하고, 상기 선회지점 파악부의 선회 제어 신호에 따라 다음 작업할 두둑측으로 방향을 선회시키는 조향부를 포함하는 이동로봇의 두둑 이동제어장치,</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 최소 구성(촬영부, 추적부, 자세 감지부, 자세 유지부, 선회지점 파악부, 조향부)으로 구성 - 비콘장치는 구성에서 제외함 - 한정 요소를 최소화

나) 목표시장 선정 및 고객 경쟁사 및 제품분석 수행

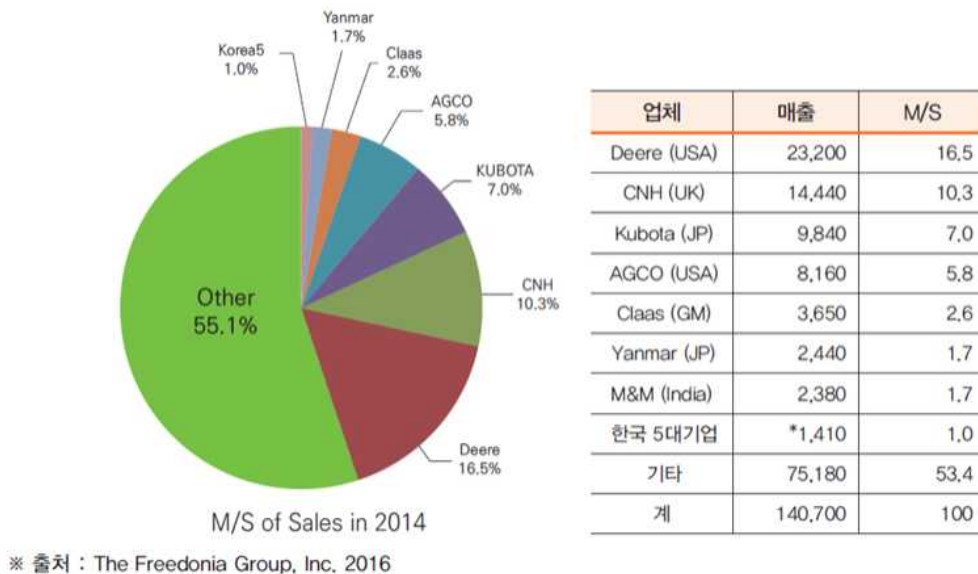
- 농업 분야 세계시장 동향 및 전망

: 세계 각국은 식량부족 등으로 식량증산 정책을 추진하고 있으며, 세계 농기계시장도 매년 확장되고 있음. 농기계시장 조사업체인 Freedonia에 따르면 세계 농기계시장 규모는 2014년 기준으로 약 1,407억 달러로 추정되며, 10년 후인 2024년에는 그 두 배에 가까운 2,560억 달러가 될 것으로 추정하고 있음. 이는 연평균 18.0% 이상의 성장률에 해당하며, 지역별로는 아세아지역이 다른 지역에 비해서 가장 크게 성장할 것으로 내다보고 있음



< 세계 농기계시장 전망(단위 : 백만 달러) >

- : 농업기계 전체시장에서 트랙터와 수확기가 절반 이상을 차지할 것으로 보이며, 특히 다양한 환경에서 다용도로 사용되고 있는 트랙터는 전체 시장의 3분의1 이상을 차지하고 있는 대표기종임. 또한 중국과 인도의 급속한 성장과 베트남, 미얀마와 같은 개발도상국의 농기계시장 확대 등 폭발적인 성장이 예상되어, 농기계시장의 잠재적 성장 동력은 북미와 서유럽에서 아시아 태평양 지역으로 이동할 것으로 예측됨
- : 세계 농기계시장 M/S는 2014년 기준 미국 존디어가 16.5%로 1위, 영국 CNH가 10.3%로 2위, 한국은 5대기업(대동, 국제, 동양, LS, 아세아)을 합해 14억 달러로 약 1.0%를 차지하고 있음



< 세계 농기계시장 M/S(단위 : 백만 달러) >

- 농업 분야 국내시장 동향 및 전망

- : 2014년 국내 농업 총생산은 45조원에 육박했으나, 2017년에는 43조원으로 약 2조원이 줄었고, 농산물 수입확대 등으로 국내 생산규모는 감소 추세임. 또한, 쌀 가격의 하락으로 곡물류의 생산도 감소할 것으로 보임. 연도별 변동을 감안하더라도 그나마 생산규모를 유지하는 분야는 축산업이지만, 수입개방과 함께 AI, 구제역, 계란 살충제 파문 등은 여전히 성장에 부정적인 요소가 되고 있음
- : 어려운 농업환경은 농기계산업에도 그대로 반영되어 금액기준 2016년 대비 2017년 농기계시장은 10% 이상 감소했으며, 최근 5년간 감소추세가 이어지고 있음. 국내 농업 총생산의 감소, 배기가스규제로 인한 원가상승, 농협의 임대농기계 입찰로 인한 잠재 수요의 감소, 농산물 시장개방 등의 영향으로 전망은 더욱 어려울 것으로 예측됨
- : 우리나라는 2000년 이후 농기계 수출은 정체된 내수시장 의존전략을 탈피하고 해외시장 개척에 많은 노력을 집중해 2017년까지 900백만 달러의 수출을 기록했으며, 이는 2000년 대비 6.6배 이상 급격히 증가한 수출실적임. 다만, 침체된 내수시장의 한계를 수출시장 개척으로 극복하고 있으나, 해외시장에서 품질·가격 경쟁이 심화되고, 자국 산업 보호 무역주의 대두, 주요 경쟁국의 해외시장 선점으로 인한 진입장벽 등은 앞으로 해결해야 할 과제임

－ 목표 시장(농업용 로봇 시장) 규모

- ： 2019년 5월 블룸버그에 따르면, 세계 농업 무인기와 로봇은 2018년에 253만 달러에 그치고 있으나, 현장 특화 농업 적용의 필요성, 자재 및 자원 농업 노동력 감소에 기인하여 2028년에는 230억 6000만달러로 연 평균 24.76% 성장할 것으로 예측함
- ： 한국과학기술정보연구원의 데이터를 참조하면, 농업 및 임업용 기계 제조업의 2017년 국내 시장 규모는 3조5000억 규모로, 매년 3.1% 정도 성장할 것으로 예측되고 있음

농업 및 임업용 기계 제조업

기간 변경
(단위 : 억 원)

연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR ('17~'21)
출하액	32,579	32,741	34,769	38,103	40,500	37,668	-	-	-	-	-
수출액	6,744	6,805	7,399	8,119	7,200	7,902	8,198	-	-	-	-
수입액	4,448	4,746	5,090	4,671	5,774	5,519	5,824	-	-	-	-
내수시장	30,282	30,681	32,460	34,655	39,073	35,284	37,070	38,024	38,979	39,933	3.1%

※ 통계청, 관세청 데이터를 바탕으로 2017년까지의 데이터는 실적데이터 기반의 추정치이고, 2018년 이후의 데이터는 KMAPS 전망치입니다.

- ： 본 개발 제품은 로터리, 휴립 피복, 정식, 파종, 농작물 이송, 방제 작업 등을 수행할 수 있는 무인 농기계로, 경운기 시장, 농업용 분무기 시장, 기타 재배관련기기 및 기타 수확관련기기 시장에 활용될 수 있을 것으로 예상됨
- ： 한국과학기술정보연구원의 데이터를 참조하면, 경운기 시장은 600억 정도로 예측하고 있고, 농업용 분무기 시장은 950억원 정도로 예측하고 있으며, 기타 재배관련기기는 700억원 정도, 기타 수확관련 기계는 770억원 정도로 예측하고 있음
- ： 본 개발 제품은 소형 트랙터의 시장 일부를 확보할 수 있을 것으로 예상되고, 앞서 기타 재배관련기기 및 수확관련 기계 중 본 개발 제품이 적용될 수 없는 시장을 제외하면, 본 개발 제품의 국내 시장 규모는 최소 2000억원에서 최대 2500억원 정도의 시장으로 예상됨

경운기

기간 변경
(단위 : 억 원)

연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR ('17~'21)
출하액	580	588	662	627	648	498	612	612	612	612	5.3%
수출액	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
수입액	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
내수시장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

※ 통계청, 관세청 데이터를 바탕으로 2017년까지의 데이터는 실적데이터 기반의 추정치이고, 2018년 이후의 데이터는 KMAPS 전망치입니다.

농업용 분무기

기간 변경
(단위 : 억 원)

연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR ('17~'21)
출하액	828	792	882	1,545	1,174	830	949	949	949	949	3.4%
수출액	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
수입액	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
내수시장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

※ 통계청, 관세청 데이터를 바탕으로 2017년까지의 데이터는 실적데이터 기반의 추정치이고, 2018년 이후의 데이터는 KMAPS 전망치입니다.

기타 재배관련기기

기간 변경

(단위 : 억 원)

연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR ('17~'21)
출하액	443	481	413	777	1,500	719	699	699	699	699	-0.7%
수출액	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
수입액	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
내수시장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

※ 통계청, 관세청 데이터를 바탕으로 2017년까지의 데이터는 실적데이터 기반의 추정치이고, 2018년 이후의 데이터는 KMAPS 전망치입니다.

기타 수확관련 기계

기간 변경

(단위 : 억 원)

연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR ('17~'21)
출하액	839	854	773	841	748	771	770	770	770	770	0%
수출액	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
수입액	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
내수시장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

※ 통계청, 관세청 데이터를 바탕으로 2017년까지의 데이터는 실적데이터 기반의 추정치이고, 2018년 이후의 데이터는 KMAPS 전망치입니다.

- 경쟁 제품 분석

: 농업 분야 무인기 및 로봇 시장의 성장 전망에 따라 세계 농작업기 제조 기업 및 연구기관에서는 농업용 로봇 개발을 진행하고 있음. 이에 현재 개발 추진 중인 농업용 로봇의 제품에 대한 분석을 진행함

: 경쟁 제품은 아래와 같음



< 경쟁 제품 >

: 주요 경쟁 제품의 스펙은 다음과 같음

기업명	참여기관 정보	제품명	외형	가동시간(h)	크기	트랙 폭	무게(kg)	속도(km/h)	배터리	모터	구동	파워	페이로드	가격
Naïo Technologies	1. Elatec(Gers) : 시스템 자동화 2. Carat SAS 3. UNIAK 4. Université de Toulouse	OZ		7	100cm(L)X40cm(W)X60cm(H)	0.4~0.8	110~150 (도구 유무)	1.3	24V	110W*4개	4WD			21000유로
		Ted (포도밭용)		8~10	2.30m(L)X1.80m(W)X2.10m(H)	2~3m	600~800	4			4WD			
		Dino		6~8	2.20m(L)X1.30m(H)*2.1m(W)	1.2~1.8m	600	3~4	-		4WD, 4WS			1억 660만원
SAGA ROBOTICS	1. Norwegian University of life, NMBU 2. Brazilian students and Universities	Thorvald-1			59cm(H)	~1.5 m	150	3.6	48V	600W*4개	4WD, 4WS		200kg	3900만원
		Thorvald-2							48V		1WD, 1WS			
		Thorvald-2 Phenotyping			1.35(L)		200	1.5 m/s	48V	500W*4개	4WD, 4WS		180kg	
		Thorvald-2 Phenotyping			59cm(H)				48V		2WD, 2WS			
		Thorvald-2			59cm(H)	~1.5 m			48V					
		Thorvald-2							48V		2WD, 2WS			
Bosch	amazon Deepfield Robotics (Bosch 자회사)	Bonirob-1			0.5m(h) x 1 m(w) x 1.5 m(L)	0.75~2.0m	400	8	24V	2.0kW*4개	4WD, 4WS	24kW	15kg	
		Bonirob-2			0.4m(h) x 0.77 m(w) x 0.75 m(L)				2.4V	2.6kW*4개	4WD, 4WS	26kW		
		Bonirob-3			2.2 m x 1.3-2.4 m x 1.8-2.8 m	1.0~1.9m	1090	5.4	2.4V	2.6KW*4개	4WD, 4WS	26kW	15kg	8000만원

< 주요 경쟁 제품의 스펙 >

: Bosch 제품의 세부 사양은 아래와 같음



bonirob-1		
Navigation	GPS	RTK(RealTime Kinematic)-GPS
	Lidar	3D MEMS lidar(FX6)
	Navi_algorithm	RANSAC
	Navi_Control unit	Intel Atom fanless embedded PC
	Sensor	2D-Laserscanner
		3D-Laserscanner
Accelaration sensor		
Gyroscope		
Phenotyping	3D-ToF camera	
	Spectral Imaging	Hyper spectral imaging system (근적외선)
		Hyper spectral imaging system (가시광선)
	Light curtain Imaging	Optical sensor
	Laser distance sensor	Triangulation sensor
	Digital camera	
	Rotary encoder	
	Temperature sensor	
Remote Control		Logitech Rumblepad, mobile
Inner-commun		이더넷(TCP/IP), USB, CAN
outer-commun		WLAN AP, 이더넷(TCP/IP), Blue Tooth
motor controller		Roboteq SBL1360(4개)
ROS		Linux(2.6 Kernel)
safety 특징	Emergency Switch	
	Ultrasonic wall	
	Software Monitoring	

< Bosch 제품 >

* 경쟁 제품 분석을 통해 사업화를 고려한 연구개발 방향을 정리하면 다음과 같음

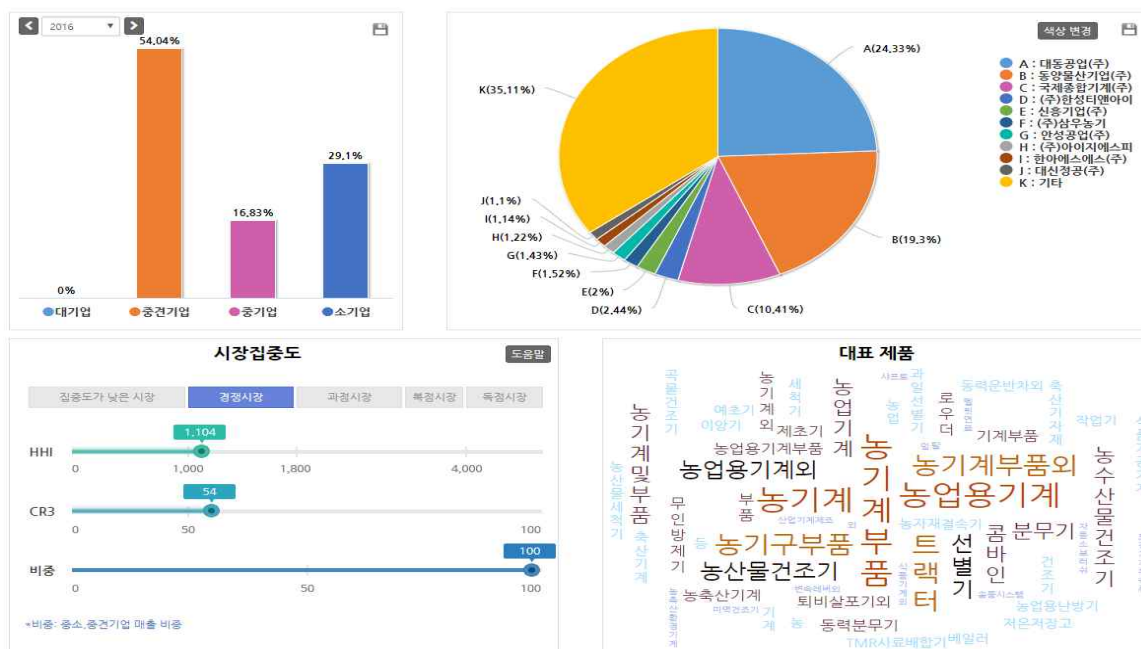
: 첫째, SAGA 제품은 부품을 모듈화하여 1WD, 2WD, 4WD 플랫폼 및 다양한 사이즈의 플랫폼을 개발하고 있음. 농업의 경우 작물, 경작지 환경 및 작업 내용에 따라 농기계들이 다양한 형태로 구현될 필요성이 있을 것으로 보여지며, 이에 대응하기 위해 모듈화가 바람직할 것으로 보여짐

: 둘째, 경쟁 제품들 모두 개별적인 농작업기를 제조하는 형태가 아닌 하나의 플랫폼을 통해 다양한 작업을 할 수 있도록 개발하고 있으며, 현재 개발된 제품들은 작물 관리 또는 방제와 같은 작업에 한정되어 있어 아직은 개발 초기 상태로 보여짐. 또한 판매 가격이 농민에게 부담될 수 있는 고가로, 가격 경쟁력을 확보할 수 있도록 제품 개발이 필요할 것으로 보여짐

라) BM 전략 수립

- 시장경쟁 현황

: 농업 및 임업 기계 시장은 주로 중견기업이 시장을 이끌어가고 있는 것으로 확인되었으며, 시장 집중도는 경쟁시장 구조인 것으로 확인되며, 품목에 따라 한 기업이 독점으로 시장을 이끌어나가고 있는 것으로 확인됨. 때문에 새로운 업체가 시장에 진입하기에는 어려운 점이 많음



< 농기계 시장 현황 >

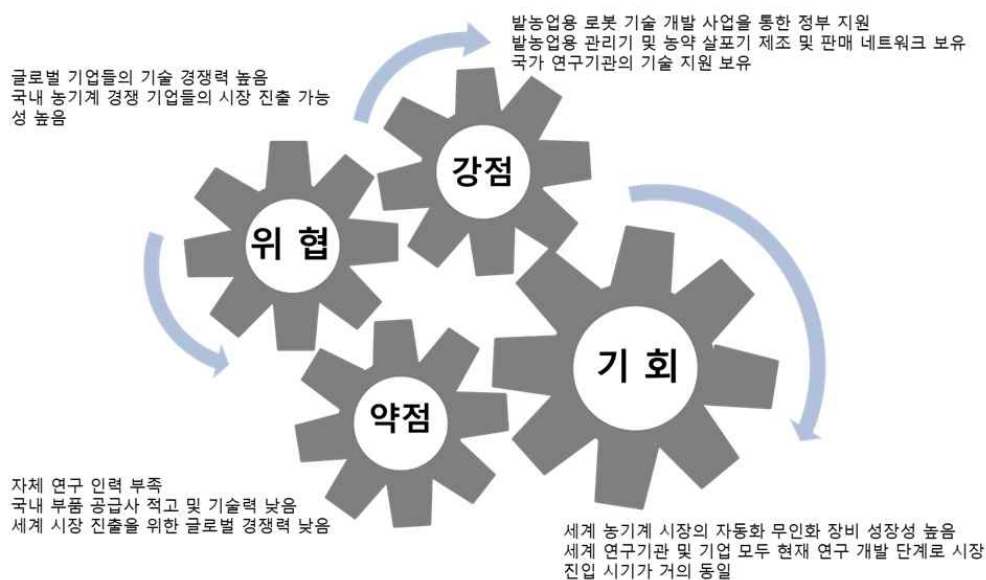
: 농업 임업 기계 시장의 경우, 트랙터나 콤팩트와 같이 고도화된 기술이 필요한 기계들의 경우, 한 기업이 독점하거나 주로 해외 의존적인 것으로 확인됨

: 반면, 제초기 및 분무기와 같은 소규모 기계들의 경우 한 기업(예로 아세아텍의 경우 국내 작업기 시장의 90%를 차지하고 있음)이 독점한 형태로 나타나거나, 주도적인 기업이 없는 경우 경쟁이 매우 치열한 것을 확인할 수 있었음

: 때문에 팜봇의 경우, 많은 다양한 기술들의 집약체로서, 시장을 선점하지 못하고 후발 주자로 시장에 진입할 경우, 많은 어려움이 있을 것으로 예상됨

- SWOT 분석

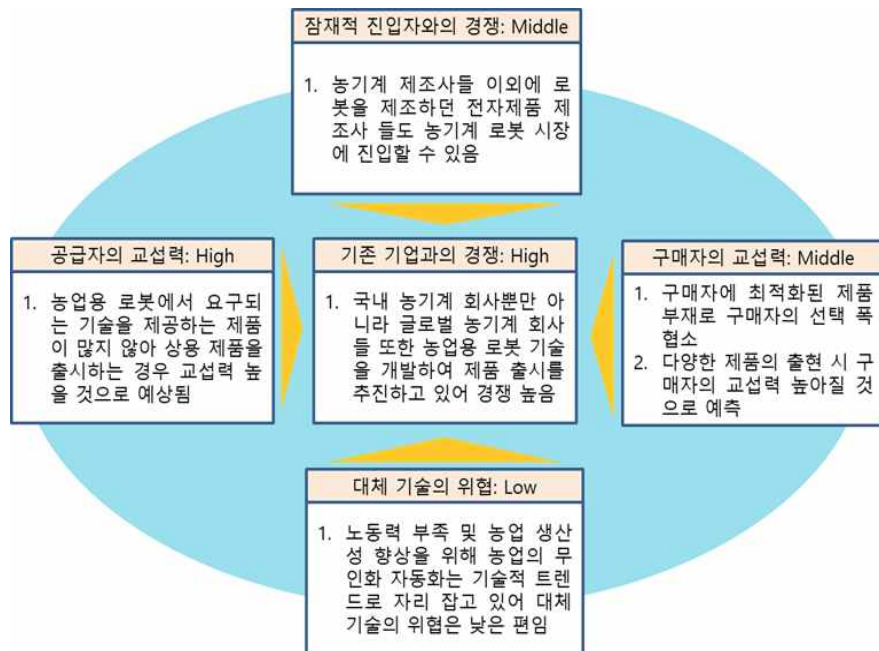
- : 전기식 자동 농기계 시장의 경우, 배기가스 규제 등 친환경 제품 요구 증대와, 인구 증가 및 식량문제 해결, 농촌 노동력 부족 등에 따라 승용 관리기 시장의 지속 성장, 정부의 적극적 농기계 산업 활성화 지원, 농기계 자동화 및 무인화 시장 태동기라는 측면에서 기회가 있음. 하지만, 위협적 요소로는 글로벌 및 국내 농기계 회사들의 시장 선점 가능성이 있고, 중국, 인도 등 후발 개도국의 경쟁력 강화 및 국가적 지원 증가, 기술 인력의 수급 불안, 국내 농업 기반 약화, 선진국과의 기술 격차 확대 가능성, 농기계 임대사업 등의 내수시장 불안 요인 등이 있음
- : 그럼에도 불구하고, 사업화 주체로 참여하고 있는 아세아텍은 발농업용 관리기 및 농약 살포기 시장의 많은 부분을 차지하고 있고, 판매 네트워크를 확보하고 있으며, 정부 지원 개발 사업 참여를 통해 기술력을 확보할 수 있음



< SWOT 분석 >

- 5-Forces 분석

- : 국내 농기계 시장은 기존 기업과의 경쟁이 이미 높은 상태로, 무인 농기계 시장 또한 국내 농기계 대기업들이 개발을 진행하고 있어, 마찬가지로 경쟁은 높을 것으로 예상됨
- : 현재 국내의 경우 농업용 로봇에서 요구되는 조건을 만족하는 부품을 공급할 수 있는 부품 공급사들이 많지 않아 공급자의 교섭력은 높을 것으로 예상됨
- : 현재 시장은 엔진 타입의 농기계들이 장악하고 있으나, 점차 친환경 농기계들이 시장을 장악할 것으로 예상되며, 자동화 무인화 농기계를 위협할 대체 기술의 출현 가능성은 낮은 것으로 예상됨
- : 현재 자동화 무인화 농기계가 상용화되어 있지 않아 제품 출시 시 구매자의 교섭력은 높지 않을 것으로 예상됨
- : 기존 로봇 제조사들이 농기계 시장에 진입하기에는 시장 특성 상 용이하지 않아 잠재적 진입자와의 경쟁도 높지 않을 것으로 예상됨



< 5 forces 분석 >

- BMC 모델

파트너	핵심활동	가치제안	고객관계	고객세그먼트
	핵심자원		채널	
<ul style="list-style-type: none">정부(지자체)국책연구기관농업기술센터농기계 대리점부품공급사	<ul style="list-style-type: none">제품 생산제품 홍보대리점 계약A/S <ul style="list-style-type: none">R&D를 통한 양산가능제품기술력인적자원특허	<ul style="list-style-type: none">차별화된 신제품 출시를 통한 시장 확보농업 노동력 부족 문제 해결지속적 작업으로 농업 생산성 향상	<ul style="list-style-type: none">매우 헌신적인 개별 어시스트 <ul style="list-style-type: none">대리점농업기술센터	<ul style="list-style-type: none">농민농업기술센터전문용역 회사
비용구조			수입원	
<ul style="list-style-type: none">인건비양산 제품 제조 비용(부품 구매, 생산 비용)홍보 비용			<ul style="list-style-type: none">제품 판매 비용대여료라이선스 및 로열티 수익정부 지원금(R&D)	

< BMC 모델 >

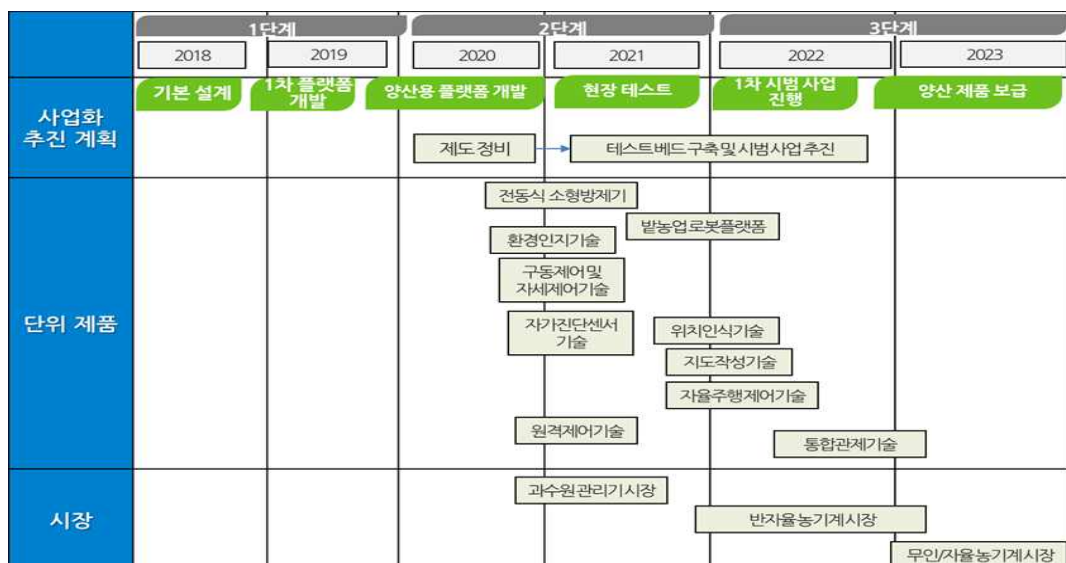
마) 사업화 추진 방안

- : 본 사업을 통해 도출된 연구 결과물 및 각 결과물의 사업화 형태를 정리하면 다음과 같이 정리할 수 있을 것으로 예상됨
- : 최종적인 로봇 플랫폼 및 작업기는 아세아텍에서 사업화를 담당하고, 각 요소기술들은 중소기업에 기술이전하거나 한국로봇융합연구원에서 기술 출자한 특수목적법인(SPC, Special Purpose Company)을 통해 사업화하여 아세아텍에 공급하는 형태로 사업화가 가능할 것으로 예상됨

연구분야별 단위 제품	핵심 요소기술	사업화 형태
로봇 플랫폼 구조설계 기술	모듈형 플랫폼 구조 설계 기술	아세아텍
	작업기 및 연동제어 설계 기술	아세아텍
로봇 플랫폼 구동제어기술	노지환경 구동제어 및 자세제어 기술	기술이전 (중소기업)
	자기진단 센서 기술	기술이전 (중소기업)
다중센서 융합 환경인지 및 주행제어기술	위치인식 기술(GPS/영상 융합)	기술이전 (중소기업)
	환경 인지 기술(영상/적외선 융합)	기술이전 (중소기업)
	GIS 기반 환경지도 작성 기술	기술이전 (중소기업)
	자율주행 제어 기술	기술이전 (중소기업)
원격제어 및 통합관제 기술	원격제어기술	기술이전 (중소기업)
	통합관제기술(복수 플랫폼 병행제어 포함)	기술이전 (중소기업)

< 연구분야별 핵심 요소기술 >

- : 본 연구과제를 통해 도출되는 단위 기술들의 사업화 추진 계획을 정리하면 아래와 같이 정리할 수 있을 것으로 예상됨
- : 1차적으로 가장 수요가 많을 것으로 예상되는 과수원용 전동식 소형 방제기를 기술이전을 통해 사업화를 추진하고, 환경인지기술, 구동제어 및 자세제어기술, 자기진단센서 기술 등은 다양한 반자율 농작업기에도 적용 가능할 것으로 예상되어 기술이전을 통해 먼저 사업화를 추진할 필요성이 있을 것으로 예상됨
- : 이후 위치인식기술, 지도작성기술, 자율주행제어기술과 함께 자율 주행 발농업 로봇 플랫폼을 사업화하고, 통합관제기술을 이후 사업화를 추진할 것을 제안함



< 사업화 추진 계획도 >

< 공동연구기관: (주)아세아텍 >

세부연구목표	연구개발 수행내용
자동화 시나리오 도출 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 자동체결 시나리오 도출 및 개선, 개발 - 자율작업 모드 시나리오 도출 및 개선, 개발
작업기 구동 모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 메인 프레임 개발 - 시저스리프트 개발 - 자동체결장치 개발 - 전원부 통합 개발 - 시나리오 대응 요소부품 사양 도출 및 개발
원격제어 및 통합 통신 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 원격제어 시스템 개발 - 통합 통신 시스템 개발
작업모듈 전원 자동 체결장치 개선, 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 자동체결부 개선, 개발 <ul style="list-style-type: none"> 1차 : 히치타입으로 개발 2차 : 시저스리프트 타입으로 자동체결 장치로 개선, 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 전원장치 자동 체결용 커넥터 본체플랫폼과 작업모듈 플랫폼과의 자동체결(모든 작업모듈 동일하게 적용)
로터리 및 휴립, 피복모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 로터리 모듈 개선, 개발 <ul style="list-style-type: none"> 1차 : 히치타입으로 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 모터에서 동력을 전달받아 연결조인트로 동력을 로터리 체인케이스로 전달 * 구조가 복잡하고 작업기 공간을 많이 차지하는 문제점 발생 2차 : 시저스타입으로 개선, 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 본체 플랫폼과 작업모듈 연결 플랫폼을 자동으로 체결 할 수 있는 구조로 개선, 개발 * 동력은 자동 체결방식의 로터리 모듈에 구동모터로 동력을 전원공급하여 컨트롤러, 모터 컨트롤러 등 신호를 제어하고 로터리 축의 회전 및 작업의 효율을 개선, 개발 * 휴립 모듈은 로터리 모듈의 작업부를 휴립장치, 휴립용 칼날조립 등 조립을 통한 작업 편의성 개선 * 로터리 모듈의 프레임부와 휴립 모듈부에 비닐피복 장치 설치하여 비닐피복 모듈 조립 작업성 개선
정식 및 방제작업 모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 정식모듈의 개선, 개발 <ul style="list-style-type: none"> 1차 : 구동부(구동모터 및 감속부)의 고정장치(부착부)가 일반 철판으로 제작되어 이식모듈 작업 시 부착부의 휨 발생 및 감속부의 유성기어 조합의 구성부품 파손에 따른 문제 발생 2차 : 구동부 고정장치, 프레임, 식부장치 등 개선, 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 고정장치부의 소재를 스틸에서 알루미늄으로 제작, 가공한 케이스를 적용 평면도, 직각도 등 발생 문제점 개선. * 본체 플랫폼과 작업기 시저스 연결 프레임을 보강 개선 * 식부구동 케이스 제작을 통해 이식부의 성능 개선 및 향상 * 식부부 리턴부 스프링 개선으로 식부 결주율 감소 및 식부상태 개선 - 방제모듈 개선, 개발 <ul style="list-style-type: none"> 1차 : 방제작업의 경우 노즐부를 수평 위치에서 작업하여 다양한 작물의 방제작업에 불편한 문제 발생 2차 : 노즐부가 지면과 수평/수직으로 방제작업이 가능하도록 개선,개발 <ul style="list-style-type: none"> * 작물에 따라 수평위치에 하강하여 지면에 방제작업 가능하며, 수직방향에서 측면으로 방제작업이 가능하도록 개선, 개발
파종모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 파종모듈 추가 개발 <ul style="list-style-type: none"> 1차 : 5조형으로 설계 및 시작품 개발하였으나 구조적인 문제 발생 <ul style="list-style-type: none"> * 수직으로 링크조작하여 파종하는 방식으로 설계 및 시작품 제작 * 파종장치의 구조적인 문제 <ul style="list-style-type: none"> -> 파종장치의 하강 및 상승시 파종탱크안의 종자가 상하로 움직임 발생으로 구조변경하여 재설계 필요성 인식하고 변경 2차 : 3조형으로 설계 및 시작품 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 수직 파종장치에서 회전식 파종 구조로 변경 * 조건거리를 자동으로 조절 (최소 25cm ~ 최대 80cm) * 높이 자동 조절 * 필요시 조수 변경 가능

○ 개발 대상 작업기 6종에 대한 기초 조사

가) 개발 대상 작업기 적용 작물 기초 조사

- 품목 분류

: 현재 주요 발작물은 식량작물 (콩, 감자, 고구마), 채소 (배추, 무, 고추, 양파)류 8종과 기타 (옥수수, 대파, 인삼, 참깨) 4종 등 총 12종으로 분류할 수 있음.

- 품목별 순위

① [수확면적 기준] 콩 > 고추 > 배추 > 고구마 > 감자

② [수확농가수 기준] 콩 > 고추 > 고구마 > 감자 > 배추

작물	1)수확면적(ha)		2)수확농가(가구)	
콩	59,060	1	444,645	1
감자	21,878	5	226,109	4
고구마	23,260	4	285,228	3
배추	28,270	3	176,292	5
무	15,859	9	98,450	9
고추	43,405	2	315,487	2
마늘	20,495	6	132,756	6
양파	16,520	8	51,483	10
옥수수	12,542	10	127,299	8
대파	7,292	12	40,018	11
인삼	17,028	7	10,998	12
참깨	10,792	11	129,163	7
평균	23,034		169,827	

- 작물별 기계화 수준

: 주요 발작물 기계화율은 작물별로 50~7.2% 범위로 같은데 기계화율이 95.5~99.5% 수준인 경운정지, 방제와 비닐피복을 제외하면 파종정식과 수확은 14.7% 임

농작업 단계	3)주요 8개 발작물별 기계화율								
	콩	감자	4)고구마	무	배추	고추	마늘	양파	평균
경운정지	99.5	99.9	99.0	99.9	99.8	98.7	99.6	99.9	99.5
파종정식	15.1	2.7	0.0	0.2	1.8	2.0	19.6	7.0	6.0
비닐피복	73.9	84.9	40.0	95.9	89.1	58.5	54.3	86.5	72.9
방제	95.9	97.9	90.0	97.3	96.9	90.9	96.8	98.5	95.5
수확	21.0	70.9	60.0	0.0	0.0	0.0	35.1	0.0	23.4

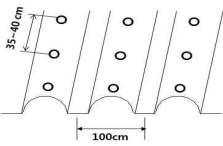
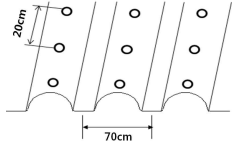
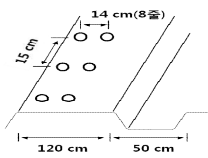
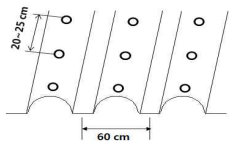
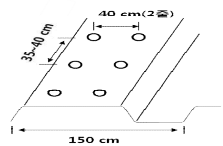
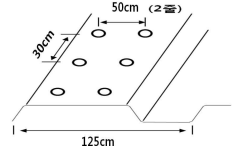
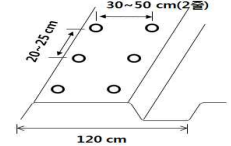
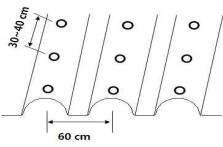
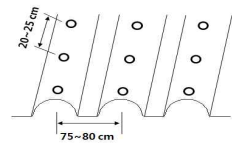
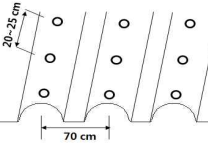
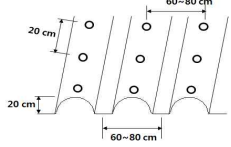
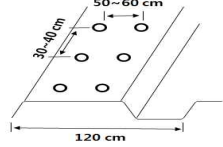
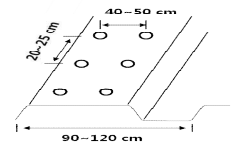
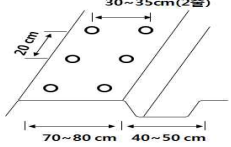
1) 농기계 농기계 임대사업 운영방안 연구 2016

2) 통계청, 농림어업총조사_작물별 규모별 농가 및 면적, 2011

3) 농촌진흥청, 2013 농업기계 이용실태 및 농작업 기계화율, 2014

4) 농촌진흥청 발작물 기계화 현황 및 발전 방안, 2012

- 작물별 두둑 폭 조사

고추	콩	양파	무
			
			
배추	감자	고구마	
			
			

<작목별 재배양식>

- 작업기 개발에 적용할 품종에 대한 선정

: 품종별 수확면적, 수확농기구, 수확면적을 비교하였을 때 가장 많은 양의 비중을 차지하는 콩과 고추를 타겟 작물로 함으로 자동화함으로 제품화 후 보급률을 높이는데 유리할 것으로 판단됨. 정식기는 배추를 타겟 작물로 선정하였으며, 식부(호퍼)를 교체하는 방식으로 고추, 콩 등의 작물에 적용 가능하도록 개발 할 필요가 있음.

연차	연차별 개발 대상 작업기	타겟 작물
1년차	로터리, 휴립 피복기	모든 작물
2년차	방제기	고추, 콩
3년차	운반기	모든 작물
	정식기	배추 (고추, 콩)

< 작업기에 따른 적용 품종 >

나) 개발 대상 작업기 6종 대한 기초연구

① 로터리 작업기

- 일반적인 로터리 작업기는 칼날의 형상 및 배열에 따라 구굴 및 로터리 작업이 가능



<아세아텍 관리기(AMC-880)>

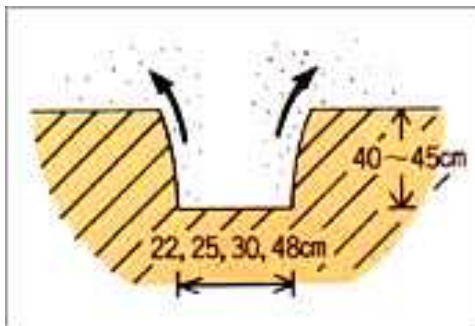


<로터리 칼날>

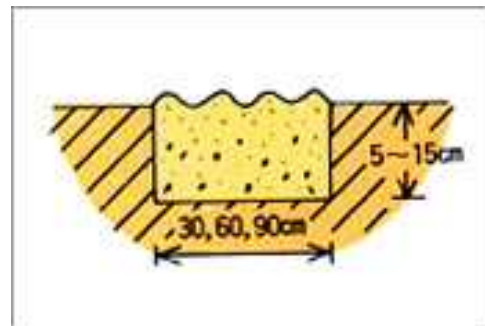


<구굴기 칼날 및 부대품>

- 구굴은 좁은 폭(약 25cm)의 골을 파기위한 작업으로 칼날이 땅속 깊이(15~40cm) 들어가 단단한 지면에 의해 최대 부하와 최소부하의 차이가 큼
- 로터리는 폭 60cm 깊이 5~15cm(일반적인 로터리 기준)의 표토를 쇄토하는 작업으로 구굴에 비해 부하가 낮고 최대 부하와 최소부하의 차이가 작음



<구굴작업>



<로터리 작업>

- 동일한 로터리 작업기로 두 가지 작업을 수행하므로 로터리 작업기 설계시 구굴의 최대 부하 및 충격을 견딜수 있게 높은 안전율로 설계됨
- 아세아텍 주관의 “고령자 및 여성의 작업성 향상을 위한 보급형 다목적 소형 관리기 개발”에서 소형 관리기(ASC-620)의 구굴 작업 시 PTO축의 부하토크는 최대 48Nm이며, 구굴 작업축의 토크는 100Nm이하임.



<아세아 소형 관리기(ASC-620)>

작업 단수		최소 토크 (Nm)	최대 토크 (Nm)	평균 토크 (Nm)	평균 표준편차
전진 1단	PTO 역회전 1단	2.84	23.12	11.64	3.69
	PTO 역회전 2단	3.41	48.32	18.05	5.21
전진 2단	PTO 역회전 1단	4.52	47.63	17.67	4.41
	PTO 역회전 2단	4.53	47.21	22.98	6.39

<구굴작업 시 작업부에 걸리는 부하>

② 휴립 피복 모듈

- 국내 휴립기의 경우 로터리 작업기에 휴립기를 부착하여 사용함.
- 일본 휴립기의 경우 국내와 같이 로터리 작업기 부착용 휴립기와 휴립 전용 로터리가 있음



<국내 로터리 부착형 휴립기(아세아텍 AF-300)>



<일본 Y社 휴립 전용 로터리>

- 일본 휴립기의 경우 휴립부의 각도가 조절되어 로터리 와 독립적으로 각도 조절 가능
- 국내 휴립기의 경우 로터리 작업기에 부착되어 고정되어 각도 조절 불가능
- 일본의 토양은 화산토로 부드러워 휴립기의 각도를 조절 하여도 큰 부하 없이 작업 가능
- 국내에서 휴립 작업시 휴립기의 각도를 조절하면 부하로 인해 기대의 엔진이 꺼짐. 휴립 성능과 최소 부하를 받는 각도로 고정되어 제작됨.
- 두둑 성형시 두둑의 다짐 효과를 위해 휴립기 출구의 형상이 입구보다 작음



출구

<휴립기 성형판의 형상(위에서)>



<휴립기 성형판의 형상(입구에서)>

- 로터리 칼날이 휴립기의 성형판 안으로 흙을 퍼올려 두둑을 형성함으로 휴립기가 로터리 축으로부터 멀어질수록 쌓인 흙으로 인해 휴립 성능이 떨어지고 부하를 많이 받음

③ 방제기

- 대상 작물인 콩의 주요 병해와 방제 방법은 아래와 같음 (출처 - 제주특별자치도농업원)

구분	시 기	대상병충해	약제명	방제법
1차	7월하순 ~ 8월상순	노균병, 먹뿌리썩음병, 자주빛무늬병, 미이라병, 진딧물, 콩줄기굴파리, 콩줄기명나방 등	살균제(베노밀수화제, 만코지 수화제)와 살충제 (디프수화제, 피리모수화제, 모레스탄수화제,메프수화제)등을 혼합하여 살포	10a당 100 ~ 120ℓ에 타서 뿌림
2차	8월하순 ~ 9월상순	세균성점무늬병, 탄저병 먹뿌리썩음병, 미이라병, 콩나방, 노린재류, 자주빛무늬병 등	살균제(베노밀수화제, 만코지 수화제)와 살충제 (디프수화제, 피리모수화제, 모레스탄수화제,메프수화제)등을 혼합하여 살포	10a당 100 ~ 120ℓ에 타서 뿌림

< 병해충 동시방제 요령 >

구 분	제 초제	10a당 사용량	10a당 살포량	사용시기	1년생잡초
토 양	알라유제(라쏘)	200ml	100ℓ	파종후덧기후3 ~ 4일 이내	1년생잡초
처리제	알라입제(라쏘)	3 ~ 5kg	-	파종후덧기후3 ~ 4일 이내	1년생잡초
	트리린유제	200ml	100	파종후덧기 직후	1년생잡초
	메토프유제(코달)	300ml	100	파종후덧기 직후	1년생잡초
	에탈프루라린유제	300ml	100 ~ 120	파종후덧기직후 3일 이내	1년생잡초
	(쏘나란)		100 ~ 120	파종후덧기직후 3일 이내	1년생잡초
	리누론수화제	100mg	100	파종후덧기직후 3일 이내	1년생잡초
	(아파론, 아파록스)		120	파종후덧기직후 3일 이내	1년생잡초
	지호프유제(원싸이드)	75ml	100	잡초 3 ~ 5엽기	화본과잡초
처리제	세톡시덤유제(나브)	150ml	120	잡초 2 ~ 4엽기	화본과잡초

< 콩밭 잡초약의 종류와 사용법 >

- 방제의 방법으로는 사람이 노즐이 달린 약대와 약액 통을 직접 사용 하는 방법과 약액탱크를 두고 약대만 사용 하는 방법, 승용관리기나 트랙터 등의 작업기형태의 방제방법, 그리고 드론으로 방제하는 방법이 있음
- 약액 통과 약대로 직접 방제(휴대용 방제기)할 경우 약액 양이 적지만 운신이 자유로워 좁은 밭에 적합함
- 약대만 사용하는 방제(경운기 등)의 경우 어느정도 운신이 자유롭지만 방제와 호스 정리를 위해 2인 이상이 필요함
- 승용관리기나 트랙터를 사용할 경우 큰 약액탱크 용량과 기계로 넓은 면적을 방제 가능하지만 운신에 제한이 있음
- 드론 방제의 경우 비행을 위한 한정된 탱크 용량, 드론의 와류, 전문인력 필요 등의 문제가 있음



<휴대용 방제기>



<경운기 방제기>



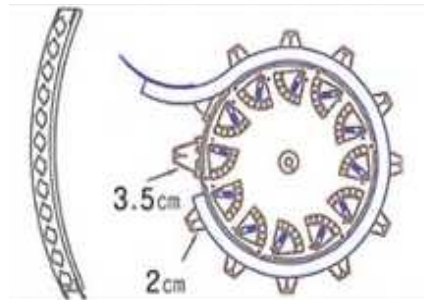
<승용관리기 봄스프레이어>



<드론 방제기>

④ 파종기

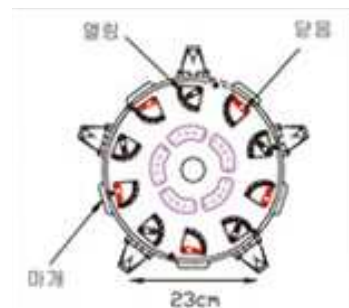
- 기존의 파종기의 경우 지륜을 이용해 파종 동력을 활용하는 방식으로 본기의 바퀴속도와 파종 모듈의 파종 속도가 같음
- 작물별 조간거리, 파종 깊이, 종자량 조절 등에 차이가 있으며, 대상 작물에 따라 작업 전 작업기 수동 조정이 필요하므로, 개발 모듈에 대해서는 작물 대상에 대한 정보를 입력 받고 그에 따라 모터를 사용하여 조간거리, 파종 깊이를 조절하고, 씨앗이 투입되는 부분의 열림 정도를 조절하여 파종량을 조절할 수 있도록 개발



< 깊이 벨트를 이용하여 파종 깊이 조절 >



< 배출구 10개 모두 파종 시 >



< 5개 배출 시(배출구 5개 제거) >

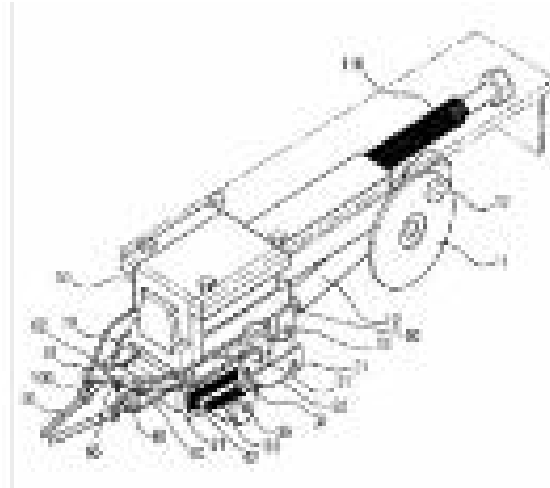


<파종 깊이 및 조간 거리 자동 조절 >

- 작물에 따라 흙 위에 파종하는 방식과, 비닐 멀칭 후 파종하는 경우로 나뉘며 비닐 멀칭에 파종 시 톱날 등을 장착하여 작물에 맞는 길이만큼 비닐을 찢을 수 있는 장치 개발 필요
- 파종 후 체인을 사용하여 흙을 덮어주고 진압롤러가 땅을 눌러주는 방식으로 흙덮임 깊이가 일정하지 않다는 단점이 있음. 개발 모듈에 대해서는 일정한 높이로 흙을 덮어 줄 수 있는 흙덮임판을 부착하여 발화율을 높일 수 있도록 함

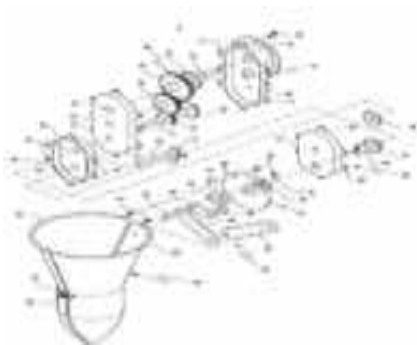
⑤ 정식기

- 국내 사용중인 정식기는 사람이 정식기에 타고 직접 손으로 모종을 호파에 넣는 이식방법과 육묘상자를 세팅하여 자동으로 심어지는 방식으로 나뉨
- 토질이 단단한 한국 지형에 맞게 단단한 식부로 개발 필요



< 모취출 장치 선행연구 적용(출원번호 1020000042801(주)아세아텍) >

- 자동 이식을 위해서는 이식에 맞는 전용 육묘상자가 필요
- 이식 좌우 수평제어 및 두둑 높이에 따른 식부의 높낮이 조절이 없을 경우 이식이 되지 않는 경우가 많음. 따라서 개발 모듈에서는 두둑에 높이에 따라 식부의 높낮이를 자동으로 조절하고 좌우의 수평을 자동으로 조절이 가능하도록 개발 필요



< 식부 장치(출원번호-1020000042798,(주)아세아텍) 및 깊이 조절의 예(고추) >

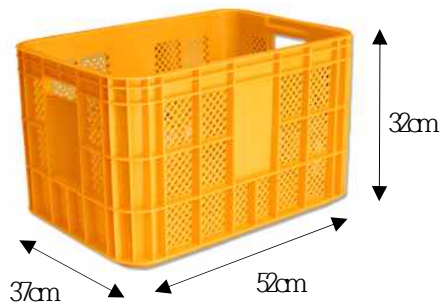
- 육묘별 식부 크기를 구분하여 식부를 교체하는 방식으로 다양한 육묘를 정식 할 수 있도록 개발
- 육묘별 식부 깊이를 조절하여 생육 활성을 위한 시스템 개발 필요

⑥ 운반 모듈

- 대상작물(고추)의 운반(수확 등) 작업

: 농작업에 흔히 쓰이는 운반상자의 크기는 전장 52cm, 전폭 37cm, 전고 32cm임

: 고추를 기준으로 가득 채울 때 중량이 약 17kg임



< 농산물 운반용 상자 >



< 고추 수확시 중량 >

- 운반기의 종류

: 기능에 따라서 단순 운반, 리프트, 덤프 등의 기능이 있음

: 단순 운반의 경우 대상작물, 운반상자의 형태 또는 갯수에 따라 맞춤 제작됨



<한상자용 운반기>



<3상자용 운반기>



<딸기 하우스용 운반기>

: 리프트의 경우 바닥에 있는 운반물을 들어 올리거나 적재된 운반물을 들어 올림



<리프트형 운반기의 종류>

- : 동력의 유무에 따라 인력운반기와 동력운반기로 구분됨
- : 농업용 인력운반기의 경우 대부분 단순운반용으로 중량을 덜기위해 간단한 알루미늄구조로 경량화됨
- : 동력운반기의 경우 리프트와 덤프 등의 다기능으로 제작됨



<인력운반기>

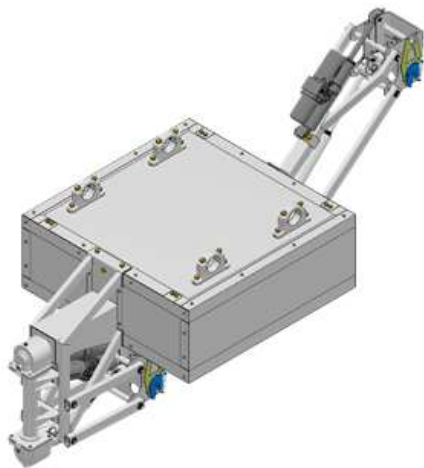


<다기능(리프트, 덤프)동력운반기>

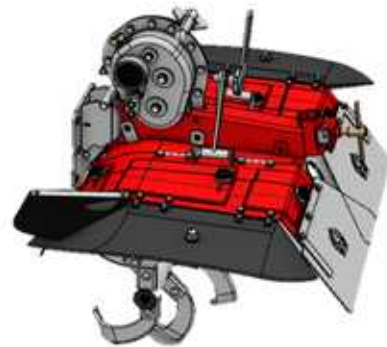
○ 발농업용 로봇 작업모듈 구동부 구성

가) 작업 모듈 구동부(체결부) 공용화 구성(1차)

- 작업모듈 6종(파종모듈 추가)에 대해 공용화를 위한 작업 체결부의 구성
- 구동 모듈내(內) 배터리 및 제어 전장부 구성됨
- 초기 컨셉에서 작업기 6종이 각각의 동력원을 갖고 메인플랫폼에 결합하는 형태의 작업기 제작을 목표하였으나, 각각의 작업기에 배터리와 기어 박스, 기타 전장품 등을 포함할 경우 모듈의 무게 및 부피가 커져 플랫폼과의 탈부착에 어려움이 생기므로 모터와 배터리 기어박스와 같이 공통된 동력부와 작업부를 분리하여 작업 전환 시 작업부만 교체하는 방식으로 설계함.

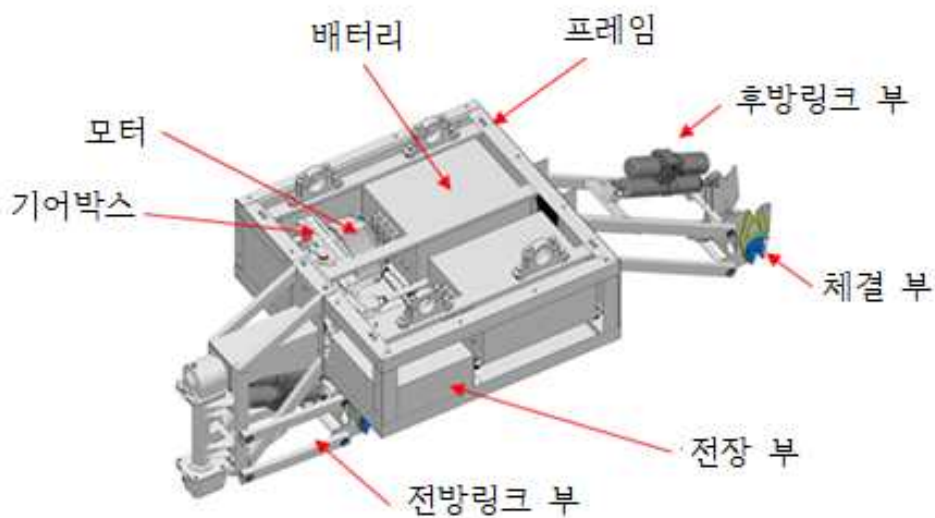


< 동력부 설계 >



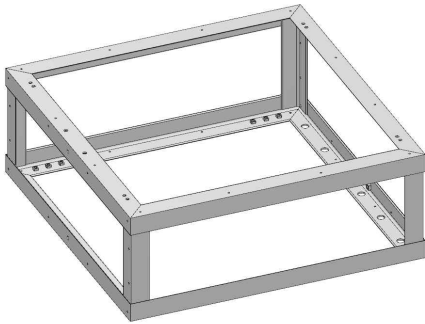
< 작업기 모듈 설계 안 (로터리) >

- 동력부 설계 개발

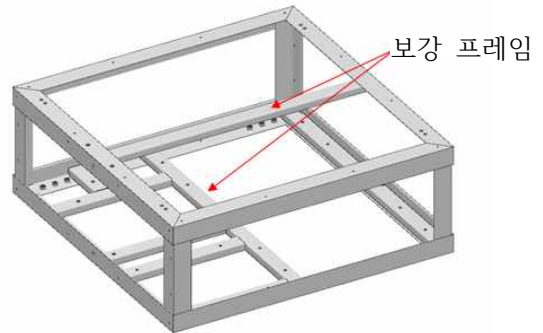


< 구동부 레이아웃 및 각 부 명칭 >

- 동력부는 메인플랫폼의 내부에 삽입되는 형태이며, 작업기 모듈의 상하 높이 조절을 고려하여 최대 800*800*300으로 사이즈가 한정됨. 제한된 공간에서 내부 공간을 확보하기 위해 'L'형 강을 사용하였으며, 비틀림을 방지하기 위해 보강프레임을 추가함.



< 'L'형강 프레임 >

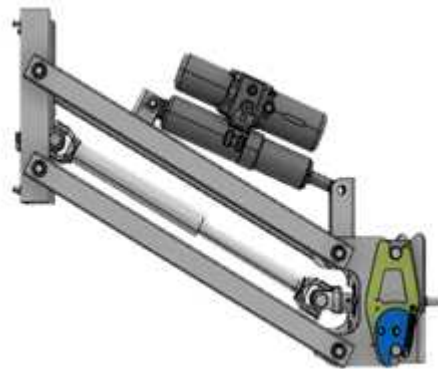


< 비틀림 방지용 보강 프레임 >

- 링크부는 작업기의 높낮이 조절을 위한 장치로 링크암, 실린더, 작업기 체결부, PTO축으로 구성됨
- 작업 모듈은 플랫폼 내 장착을 기본으로 하며, 모듈의 크기가 메인 플랫폼의 공간보다 거나 작업 특성상 내부에 장착이 불가능한 경우 후방에 견인형태로 장착되도록 설계함. 전방 링크암은 작업기 체결 시 플랫폼의 중앙에 위치하도록 하고 후방 링크암은 메인 플랫폼의 바퀴와 작업기 간의 간섭을 고려하여 설계함.

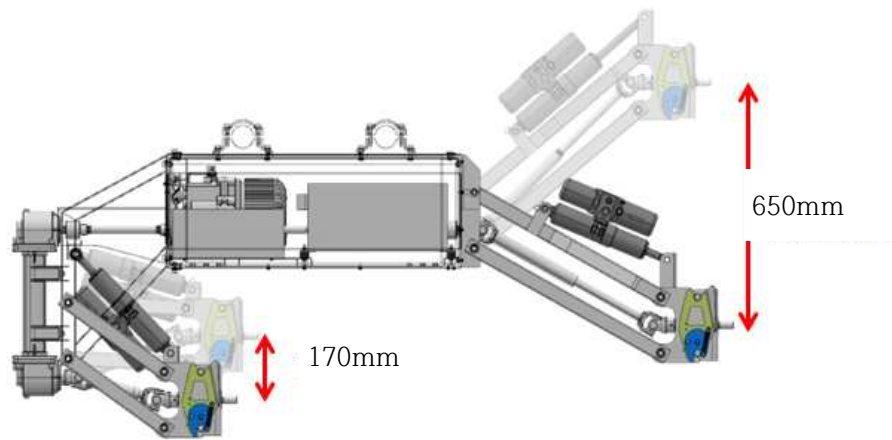


< 전방 링크부 설계 >



< 후방 링크부 설계 >

- 전방 링크부는 허용 압력 7.1MPa, 직경 $\phi 34 - \phi 20$, 스트로크 150mm의 실린더를 사용하여 로터리 모듈의 작업 기준으로 지하 150mm(로터리 깊이), 지상 20mm로 총 170mm의 가변 높이로 설계함.
- 후방 링크부는 전방 링크부의 실린더와 동일한 조건의 스트로크 200mm를 가지는 실린더를 사용하여 높낮이를 조절하며, 작업기 미체결 또는 방향 전환 시에 지면의 장애물과 바퀴와의 간섭을 고려하여 650mm의 가변높이를 갖도록 설계함.



< 전방 및 후방 링크부 가변 높이 >

- 링크부에 사용되는 실린더의 허용 부하는 약 400kg이며, 로터리 작업기를 장착하였을 때 실린더의 부하는 약 130kg이므로 흙, 풀뿌리의 얽힘 등을 고려하였을 때 충분히 사용 가능한 범위로 판단됨.
- 실린더의 속도는 2.54mm/sec이며, 실린더 길이 변화와 체결부 높이 변화 비는 전방 1:4, 후방 1:3로 약 10mm/sec, 약 7.5mm/sec의 속도를 가짐. 메인 플랫폼 진행 중 발생하는 높이 변화에 충분히 대응 가능한 속도로 판단됨.

항 목	규 격
릴리프 밸브 압력(MPa)	7.1
파워(VDC)	12
실린더 사이즈(직경)	34 - 20
실린더 스트로크(mm)	150, 200
허용 부하(kg)	400
속도(mm/sec)	2.54
소비전력(w)	400

< 실린더 사양 >

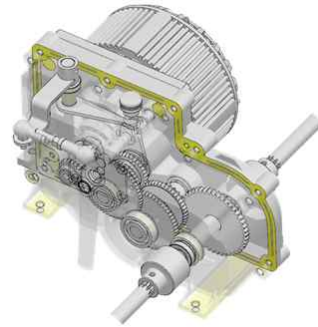


< 기어박스 설계 컨셉 및 시작품 >

- 동력은 모터에서 기어박스를 거쳐 작업에 필요한 토크와 RPM만큼 감속을 거친 뒤 PTO축을 통해 작업기로 전달되도록 설계함. 단수는 저속과 고속으로 작업의 형태와 종류에 따라 변경이 가능하도록 설계하였으며, 감속된 동력은 전후방 PTO축으로 전달 됨. 사용된 모터의 정격 회전수는 3500회이며, 전후방 PTO의 분당 회전수는 고속에서 455회, 저속에서 259회로 로터리 작업에 적합한 회전수에 맞추어 설계함.



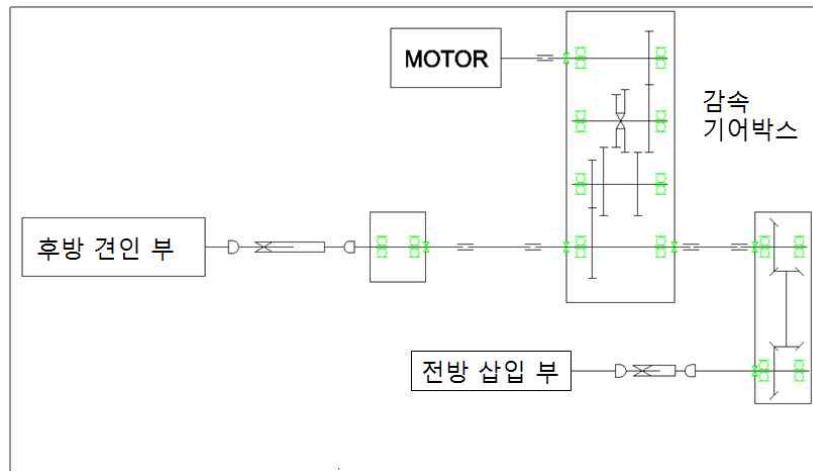
< 동력 전달부 설계 >



< 기어박스, 전후방 동력 전달부 >

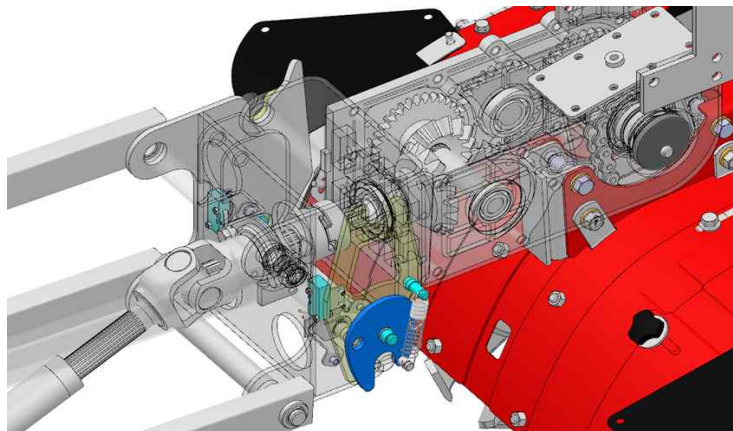
구분	PTO PART	Motor	기어1		기어2		기어3		로타리 체인	
			엔진폴리	카운터폴리	구동	피동	구동	피동		
고속	기어 배열 (잇수)		21	58	33	45	23	47	12	12
	rpm (max)	3500		1267.24		929.31		454.77		454.77
	모듈 (mm)		1.50		1.50		2.00			
	전위		0.3937	0.1292	0.5496	0.5673	0.3606	0.1651		
	폭 (mm)		6		7		8			
	거리 (mm)		60.00		60.00		71.00			
	Motor(torque) (kg/m)	1.4		3.95		5.38		10.99		10.99
저속	기어 배열 (잇수)		21	58	23	55	23	47	12	12
	rpm (max)	3500		1267.24		529.94		259.33		259.33
	모듈 (mm)				1.50					
	전위				0.5130	0.5762				
	폭 (mm)				8					
	거리 (mm)				60.00					
	Motor(torque) (kg/m)	1.4		3.95		9.44		19.28		19.28

< 구동부 감속 기어박스 감속비 >

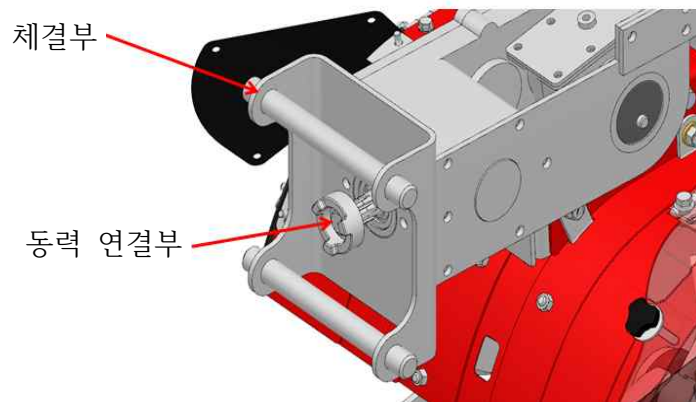


< 구동부 동력계통도 >

- 킥히치(자동체결구조)부는 GHI와 공동개발하였으며, 체결부는 전후방 링크부에 포함되어 있고 체결부에 작업모듈을 체결함과 동시에 작업모듈에 따라 동력 취출(PTO)이 가능하도록 설계하여 체결과 동시에 동력전달이 가능함.



< 동력전달이 가능한 체결구조 >



< 체결 및 동력 연결부 >

- 앞선 기초연구 단계의 데이터를 기준으로 모터의 스펙을 선정함. 구굴 작업 시 PTO 축의 부하토크는 최대 48Nm이며, 구굴날 축의 토크는 100Nm이하임. 동력원으로 사용되는 모터는 정격출력 5KW, 정격토크 14Nm의 성능을 가지며, 설계한 기어박스를 거쳐 1단 200Nm, 2단 111Nm의 토크를 가지므로, 구굴 작업에 필요한 부하토크 이상을 만족하므로 구굴 작업보다 적은 힘이 필요한 로터리 작업은 충분히 가능하고 로터리 외 개발 6종에 대해서 로터리 작업 이하의 동력이 필요하므로 모든 개발 작업기에 적용이 가능



< 5KW 모터 >



< 5KW 모터 모델링 >

항 목	규 격
정격전압(V)	48
정격전류(A)	120
정격출력(W)	5000
정격토크(Nm)	14
모터회전수(RPM)	3500
효율(%)	84

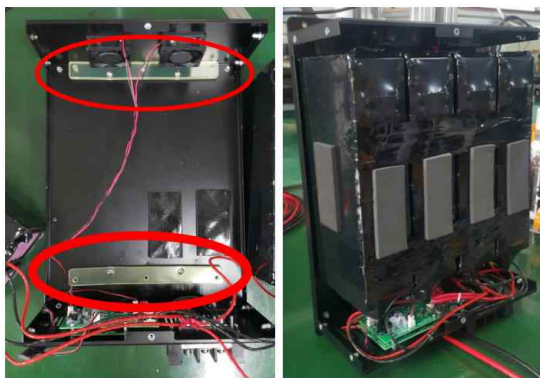
< 모터 사양 >

- 리튬이온 배터리의 용량(Wh)은 적용 모터의 최대 출력을 기준으로 평균 부하율과 가동률을 고려하여 산출함. 개발 작업기의 특성상 가동률은 100%로 계산하였을 때, 시간당 2.3kW의 에너지가 필요로 할 것으로 판단됨. 배터리는 동력부의 내부 공간을 최대 활용하기 위해 맞춤형 제작을 컨셉으로 하였으나 제작기간 등을 고려하여 양산형 배터리를 사용함.
- 배터리의 용량은 3.5kWh, 정격 방전 전류는 140A이며, 작업시간을 고려하여 2개의 배터리를 병렬 연결하여 사용하며 배터리 하나당 부하 전류는 60A으로 배터리 정격 방전 전류보다 50%이상 낮은 값이며, 작업 시간은 약 2~3시간을 만족함.

항 목	규 격
모터 최대 출력(W) (Soft Start)	4,900
모터 최대 출력(W) (직입시동)	2,800
공칭 전압(V)	51
에너지(Wh)	3,530
정격 방전 전류(A)	140
순간 최대 방전전류(A), 1.5초	310
무게(Kg)	20

< 배터리 사양 >

- 로터리 작업 시 발생하는 진동은 5G로 예상되어 내부에 방진 고무를 추가로 설치하여 진동에 견디도록 수정 함. 작업시 일부 분진이 배터리 내부 회로에 유입되어 소자 간에 합선을 일으킬 우려가 있으므로 DIP타입의 부품은 실리콘, SMD타입의 부품은 아크릴 코팅을 추가로 작업함.

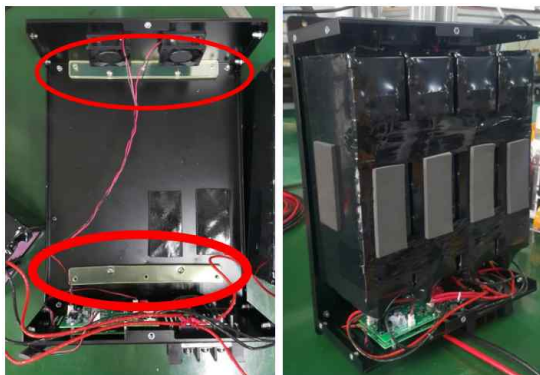


< 스토퍼 추가 작업 >



< 회로부 실리콘 및 아크릴 코팅 >

- 로터리 작업 시 발생하는 진동은 5G로 예상되어 내부에 방진 고무를 추가로 설치하여 진동에 견디도록 수정 함. 작업시 일부 분진이 배터리 내부 회로에 유입되어 소자 간에 합선을 일으킬 우려가 있으므로 DIP타입의 부품은 실리콘, SMD타입의 부품은 아크릴 코팅을 추가로 작업함.



< 스토퍼 추가 작업 >



< 회로부 실리콘 및 아크릴 코팅 >

- 전자식 시스템 설계 및 개발

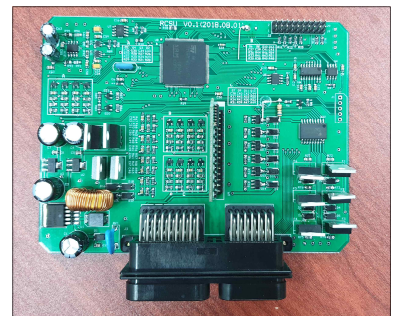
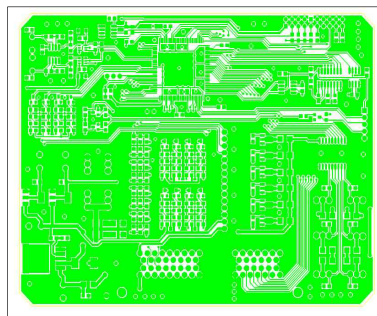
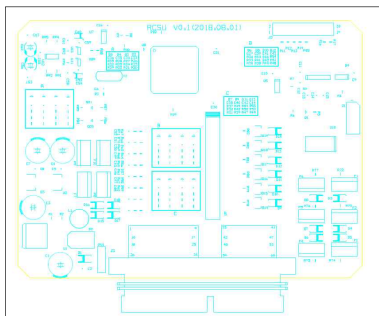
: 팜봇 작업 모듈을 제어할 수 있는 컨트롤러, 데이터통신, 외부 센서와 전동 실린더 제어가 가능한 통합 제어 모듈로 구성되어 짐. DC-DC 컨버터의 출력 전압인 12V에 맞춰 12V의 전원 전압을 갖는 컨트롤러이며 CAN OPEN 통신 프로토콜을 사용하여 메인 플랫폼으로부터 작업 명령에 대한 신호를 전달 받고, 작업기 승하강 위치센서 및 체결 인식 등 작업 모듈에 대한 상태를 전달하도록 설계함.

- 작업기 체결부에 부착된 센서를 통해 작업기의 체결 유무를 확인하고, 링크부에 부착된 작업기 승하강 위치 센서로 작업이 가능한 작업기의 위치를 만족하였을 때, 모터 드라이버의 액셀레이터의 포트로 전압을 인가하도록 시스템을 구성함.

- 작업 중 작업기의 체결 인식과 링크부의 위치 값이 사용 가능 범위를 벗어났을 때 브레이크가 작동하여 작업 모듈에 동력을 끊도록 설계함. 또 내부에 부착된 온도센서를 통해 환기용 팬의 회전수를 제어하며, 배터리 내부에 부착된 온도 센서로 배터리 셀의 온도가 40도 이상 상승하였을 때, LED 및 부저를 통해 경고하며 50도 이상 온도가 상승하였을 때, 동력을 차단하도록 설계함.

- 모터의 정격 분당 회전수(RPM)은 3500회이며, 모터의 홀센서를 사용하여 모터 회전수를 감지하고 작업 중 3초 이상 RPM이 3000회 이하로 떨어졌을 때, 전동실린더를 작동시켜 작업기의 높이를 50mm 들어 올려 정격 RPM을 만족했을 때, 작업기의 높이를 다시 낮추도록 하며, 5초 이상 지속될 경우 부저와 LED를 통해 이상 상황을 알리고, 메인 플랫폼에 전달하여 일시정지, 후진 후 재작업 등 다음 명령을 전달 받도록 함. 작업기 제어는 RPM은 모터 성능표를 참고하여, 전류량 증가 대비 출력이 떨어지는 3000 RPM을 기준으로 함.

RPM 3000회 이하부터는 전류량 대비 출력이 떨어지므로 전류가 증가함에 따라 출력이 상승할 수 있는 최대 구간인 3000회를 기준으로 선정하였으며, 추후 시험을 통해 적정 기준을 검증 및 시제품 제작 개발.



< 작업 모듈 컨트롤러 샘플 제작품 >

– 작업모듈 시작품 제작 및 작업성 평가

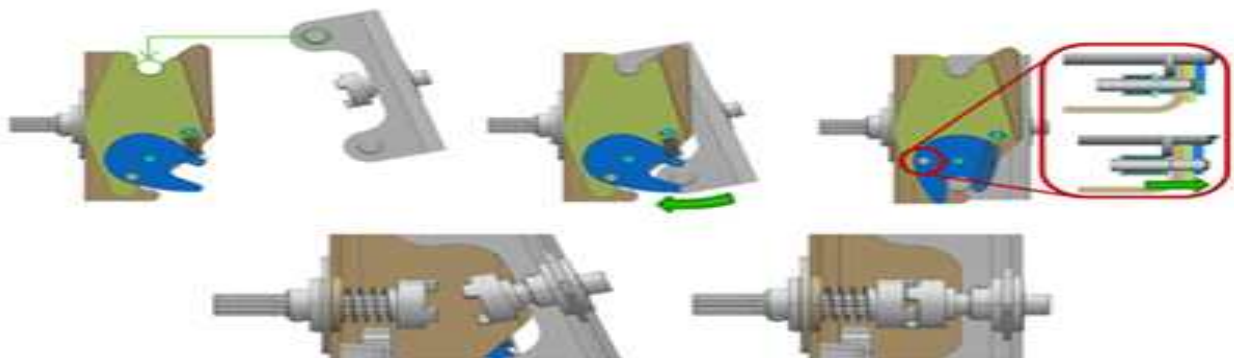
- * 1차 본체 플랫폼 및 작업구동부 시작품 제작하여 작업모듈(로터리, 휴립, 피복)로 시험한 결과 각 작업 모듈별로 작업은 양호하나 내구성, 탈 부착성이 불편함.
- * 작업모듈 체결부의 내구성 문제가 발생하여 구조변경 등 개선이 필요하게 됨.

항목	로터리 작업	휴립피복 작업
플랫폼 어셈블리		
작업 모습		

< 1차 플랫폼 로터리, 휴립피복 작업 결과 >

- 1차 본체 플랫폼의 작업 모듈 구동부는 시험결과 본체 플랫폼의 배터리 모듈과 작업 모듈의 배터리 장착 모듈이 별개로 설계 및 개선 개발이 필요.

: 구조가 복잡하고 전장, 배선 등 설치가 아주 불편함. 특히 작업 모듈의 설치 공간이 부족하여 탈, 부착하는데 어려움이 많음. 이를 해결하기 위하여 작업기 탈, 부착 구조를 변경할 필요성이 있어 2차 구조변경을 검토하였음.



<1차 체결 방식>

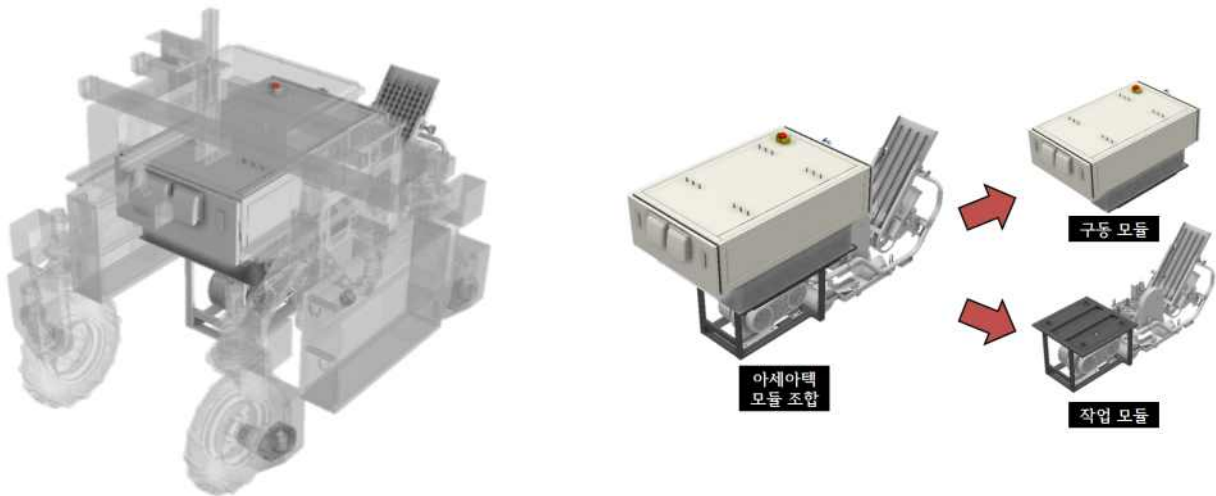
나) 작업 모듈의 구동부(체결부) 공용화 구조 변경(보완) 개발(2차)

- 2차 본체 플랫폼의 작업 모듈의 배터리 동력을 본체 플랫폼에 위치하고 본체 및 작업 모듈 동력을 공용으로 사용하도록 구조변경하여 시작품 개발.

: 본체 플랫폼의 배터리 모듈과 작업 모듈의 배터리 장착 모듈이 별개로 되어 구조가 복잡하고 전장, 배선 등 설치가 아주 불편함. 특히 작업 모듈의 설치 공간이 부족하여 탈, 부착하는데 어려움이 많음. 이를 해결하기 위하여 작업기 탈, 부착 구조를 변경할 필요성이 있어 1차 구조에서 2차 구조로 설계 보완 개선.

: 작업모듈 탈, 부착부

- * 시저스 타입으로 원터치 탈, 부착 가능하도록 설계 및 시작품 제작
- * 탈, 부착부는 동일한 구조로 원터치 부착 가능
- * 본체 플랫폼의 배터리 전원을 원터치 커넥터로 자동 연결 구조로 개발



< 2차 본체 플랫폼 및 작업 모듈 구동부 개발 >

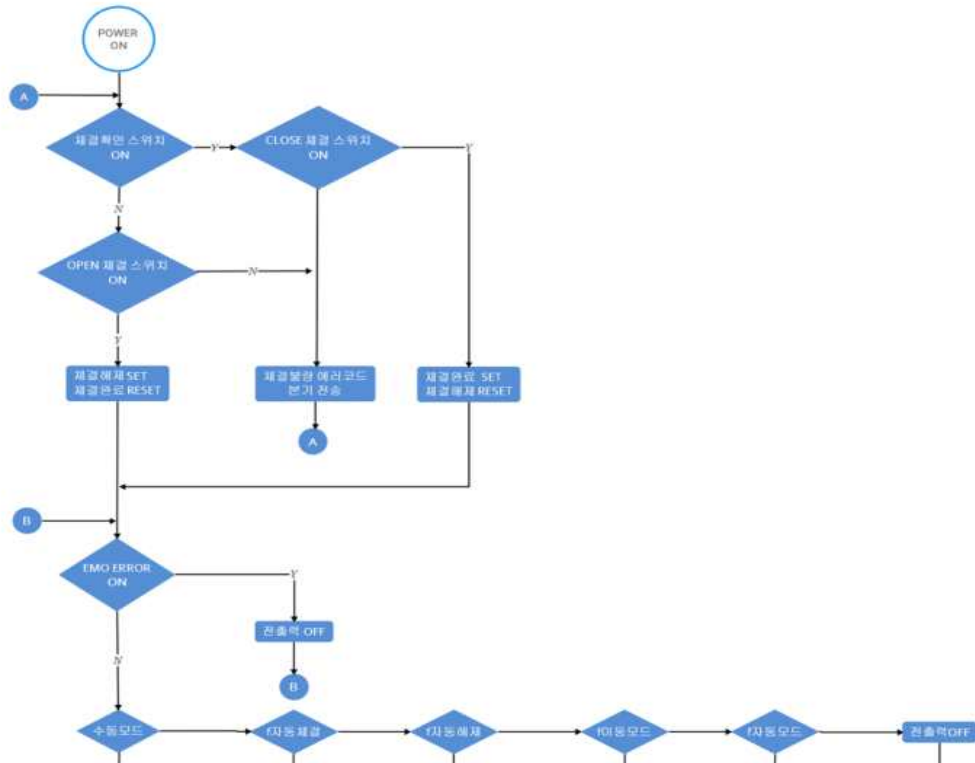


< 2차 본체 플랫폼 + 2차 작업모듈 시작품 작업 결과 >

– 작업모듈 자동화 시나리오 도출

★ 자동체결 시나리오 도출

- 순서도 작성



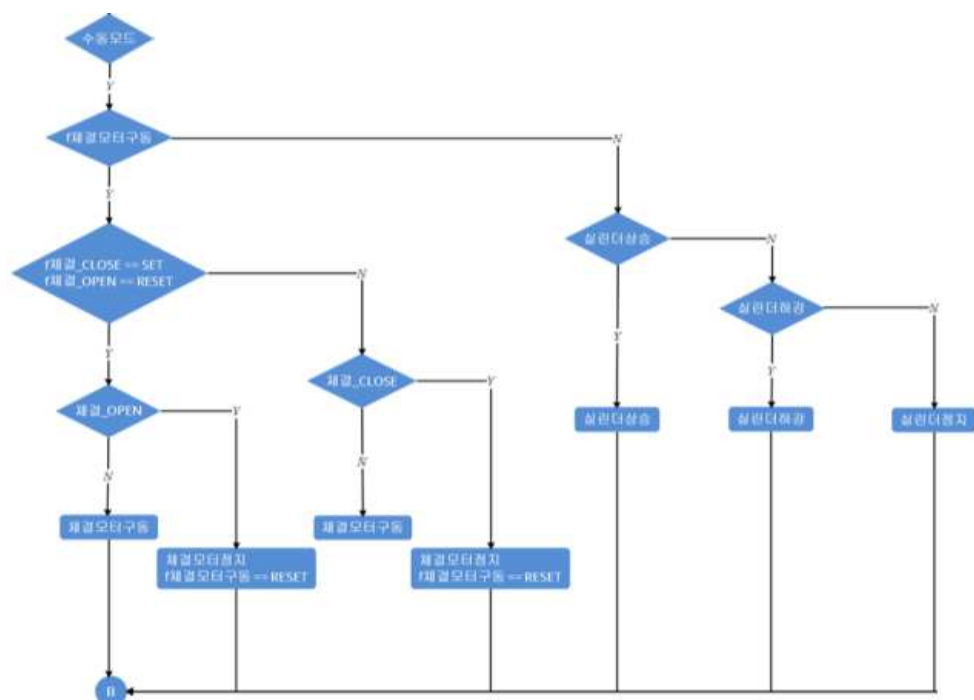
< 초기 체결 상태 확인 순서도 >

★ 초기 체결 상태 확인

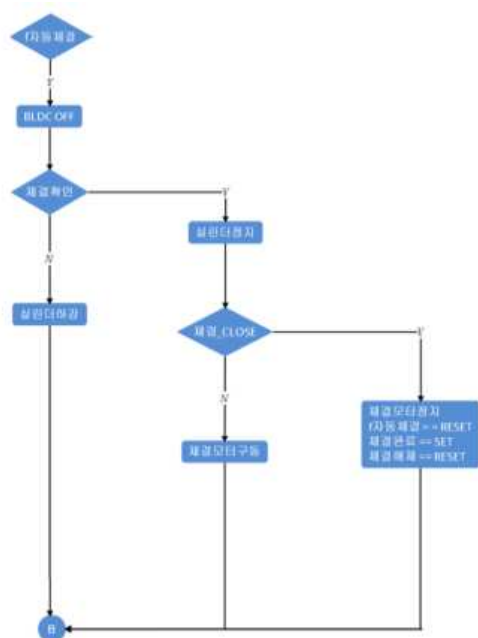
- : 구동 모듈에 전원이 인가되면 체결과 관련된 3가지 리미트 스위치를 통해 현재 구동 모듈의 체결 상태를 확인함
- : 체결확인 스위치는 구동 모듈의 하부판과 작업 모듈의 상부판의 접촉에 의해 작동되며, 스위치의 On/Off 유무로 작업기 부착 유무를 판단함
- : Open 체결 스위치, Close 체결 스위치를 통하여 작업 모듈의 잠금 상태를 확인함
- : 체결확인 스위치의 신호가 On일 때 작업 모듈은 부착되어 있다고 판단하며, 작업 모듈의 탈락을 방지하고 안전을 위하여 작업 모듈의 도킹홀더는 잠겨야함. 따라서 Close 체결 스위치는 On이 된 상태를 체결완료 상태라고 판단하며, 이때 체결완료 Set, 체결해제 Reset으로 처리됨
- : 체결 확인 스위치의 신호가 Off일 때 현재 작업 모듈은 체결되어 있지 않다고 판단하며, 추후 작업 모듈의 체결 과정에서 도킹홀더의 통과를 위해 조(調)조합은 Open이 되어야함. 따라서 Open 체결 스위치는 On인 상태를 체결해제 상태라고 판단하며, 이때 체결완료 Reset, 체결해제 Set으로 처리됨
- : 위 두 경우를 제외한 경우에는 정상적인 작업 모듈 부착 유무의 상태가 아님으로 간주하여 체결불량 에러코드를 플랫폼으로 전송함

체결확인 스위치	Open 체결 스위치	Close 체결 스위치	상태
O	O	O	체결 불량
O	O	X	체결 불량
O	X	O	체결 완료
X	O	O	체결 불량
X	O	X	체결 해제
X	X	O	체결 불량

< 체결 상태표 >



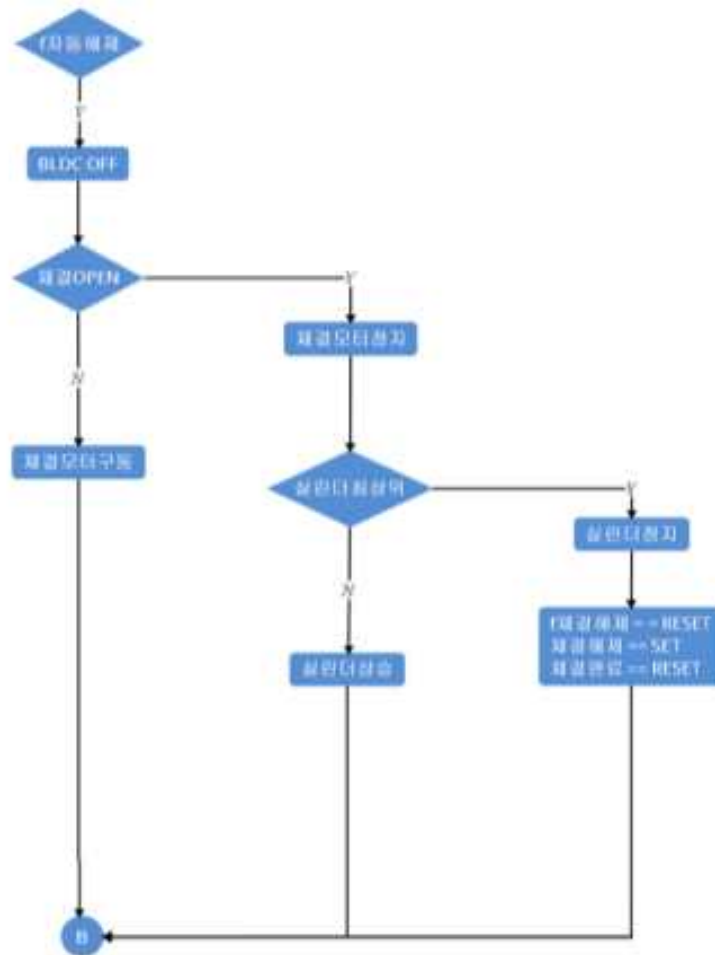
< 수동 모드 순서도 >



< 자동체결 순서도 >

★ 자동체결

- : 자동체결 플래그가 Set이 되면 작업 모듈의 체결을 시작함
- : 체결 과정에서 발생할 수 있는 사고에 대비하여 작업 모듈로 인가되어지는 전원을 차단 후 체결확인 스위치의 신호가 On이 될 때까지 체결 실린더를 하강함
- : 체결확인 스위치가 On이 되면 체결 실린더를 정지하고 Close 체결 스위치가 On이 될 때까지 체결 모터를 작동하여 도킹홀더의 홈에 조(調)조합이 물려 작업 모듈을 고정시킴
- : Close 체결 스위치가 On이 되면 체결 모터의 작동을 정지하고 자동체결 플래그와 체결해제를 Reset, 체결완료를 Set 시킴



< 자동해제 순서도 >

★ 자동해제

- : 자동해제 플래그가 Set이 되면 작업 모듈의 체결해제를 시작함
- : 작업 모듈로 인가되어지는 전원을 차단한 후 스테이지에 작업 모듈이 완전히 안착될 때까지 체결 실린더를 하강함
- : 작업 모듈이 스테이지에 안착되면 체결 실린더를 정지하고 자동해제 플래그와 체결완료를 Reset, 체결해제를 Set 시킴

- 자율작업 모드 시나리오 도출

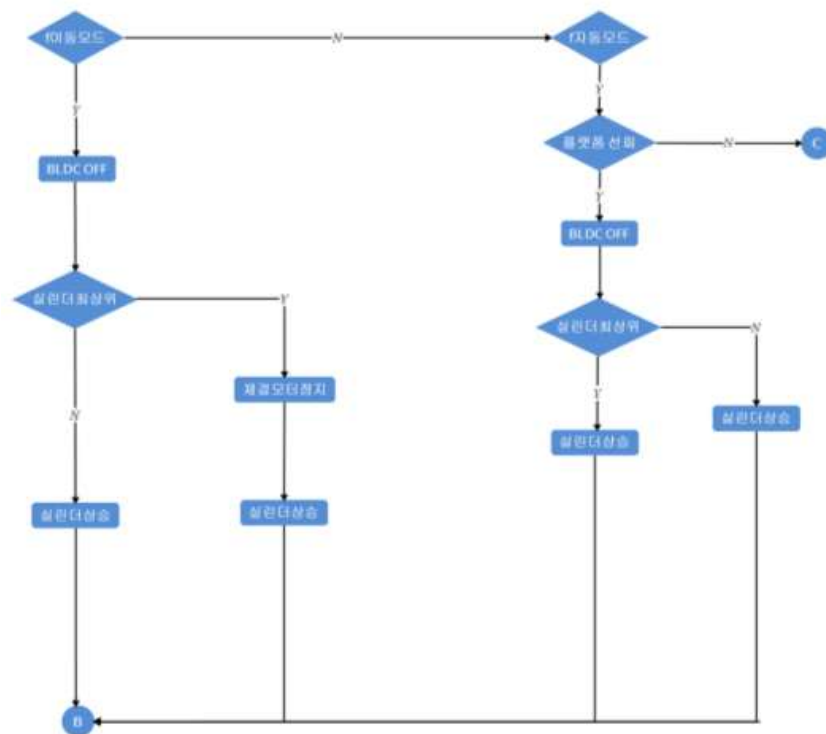
* 순서도 작성

• 이동 모드

: 작업을 위한 플랫폼의 주행을 제외한 플랫폼의 주행은 이동 모드로 정의하며, 이때 안전을 위하여 작업 모듈에 인가되어지는 모든 전원을 차단한 후, 실린더를 최고 위치까지 상승시켜 이동시 지면과의 간섭을 줄임

• 선회 모드

: 자동 작업 중 플랫폼의 선회 시 플랫폼으로부터 신호를 전달 받아 작업 모듈로 인가 되는 전원 중 48V의 컨택터 릴레이를 차단하여 작업을 멈춘 후 실린더를 최고 위치까지 상승시켜 선회 중 지면에 간섭이 없도록 함



< 이동 및 선회 모드 순서도 >

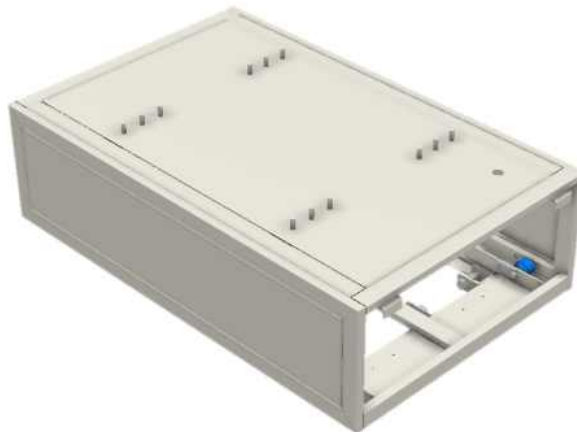
- 방제 모듈 자동 작업
 - : 방제 모듈 체결 후 체결 실린더 최대 상승
 - : 워터펌프를 ON 시킨 후 플랫폼의 작업 명령으로 SOL밸브를 개폐하여 분사
 - : 방제 붐대의 좌,우 수직, 수평 모드를 선택하여 방제작업 실시.
- 운반 모듈 자동 작업
 - : 운반 모듈 체결 후 체결 실린더 최대 상승 또는 적정(작업) 위치로 설정하여 작업 실시.
- 파종 모듈 자동 작업
 - : 파종 모듈 체결 후 체결 실린더 최대 상승 또는 적정(작업) 위치로 설정 한다.
 - : 파종장치를 히치부에 연결하고 좌,우 스윙 범위를 조절한후 파종부의 조간거리를 설정 한다. 이때 작물에 따라 조간거리(25 ~ 50cm까지 조절 가능)를 조정하고 파종 깊이를 조절하여 작업 실시.

다) 작업 구동 모듈 개발

- 메인 프레임 개발(2-1호기)

* 메인 프레임

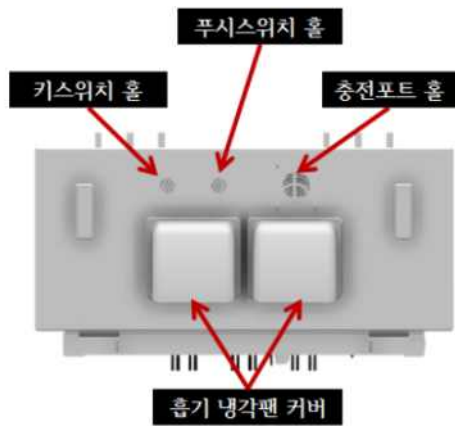
- 작업 구동 모듈의 외부 보호를 위한 케이스 설계를 진행함
- 스틸 재질의 기둥에 판재 형태의 상, 하, 측면 판을 용접처리하여 조립하였음
- 방수, 방진처리를 위해 접합부를 병렬 용접하여 수분과 먼지로부터 보호
- 구동 모듈은 플랫폼 지지대와 체결되어야 하므로 별도 고정부를 상단에 구성하였으며, 고정부는 볼트를 용접하여 수분과 먼지가 침투할 수 없도록 함



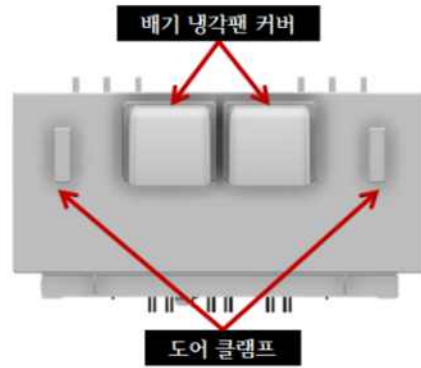
< 구동 모듈 메인 프레임 모델링 >

- 전 • 후방 패널(2-1호기)

- * 구동 모듈 내에는 배터리와 전장제어부가 구성되어 있으므로 외부 전장연결을 위해서 전 후방 패널에 커넥터 및 스위치들이 구성되어 있음
- * 또한 내부의 전장품 열방출에 의한 문제점을 해소하기 위해 별도의 배기 냉각팬을 구성 하여 상시 열이 외부로 방출될 수 있도록 설계하였음

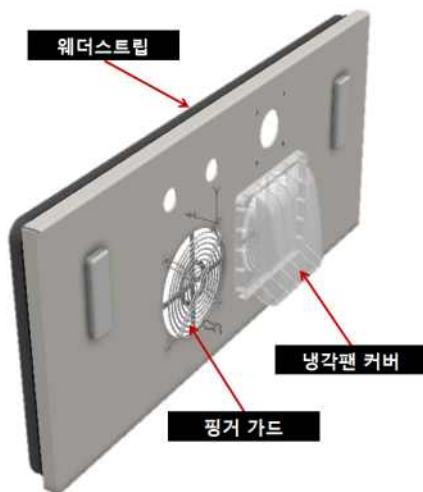


< 구동 모듈 후방 패널 모델링 >

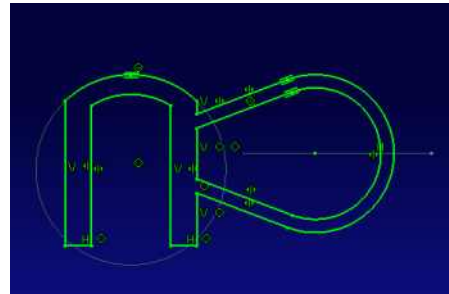


< 구동 모듈 전방 패널 모델링 >

- * 스위치류는 IP67 등급으로 방수와 방진이 가능하며, 패널과 메인 프레임의 접합부에 웨더스트립을 사용하여 외부로부터 수분 및 먼지가 유입되지 않도록 구성함
- * 배기팬은 190 CFM의 강한 풍량으로 내부의 공기를 빠르게 밖으로 배출하여 냉각팬 커버와 더불어 외부의 이물질이 침투하지 못하도록하며, 흡기팬은 핑거가드와 냉각팬 사이에 미세 필터를 추가 부착하여 외부의 이물질로부터 보호하도록 구성함

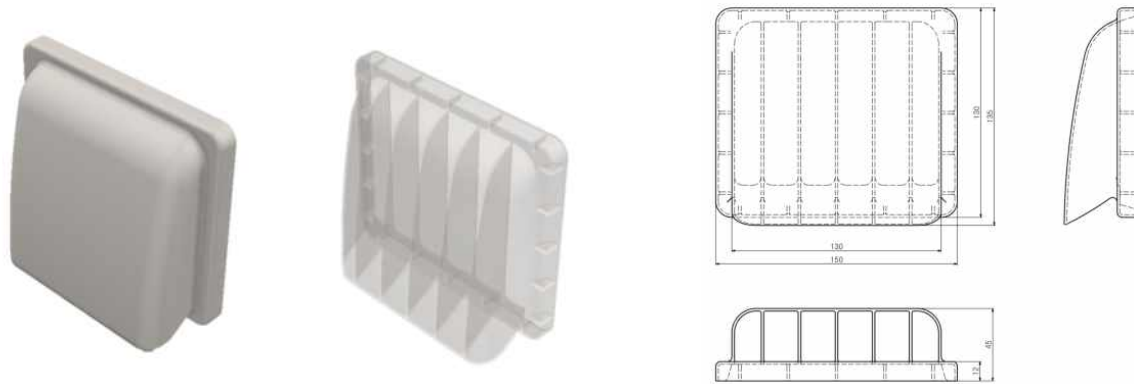


< 패널 방수, 방진 부품 구성 >



< 웨더스트립 단면도 >

- * 냉각팬 커버는 필요한 형상을 모델링하여 3D프린터를 통해 제작함
- * 외부에 노출되고 고온의 작업 환경과 방제시 약품에 노출되므로 약품과 온도, 충격에 강한 ABS 소재를 사용하여 제작함



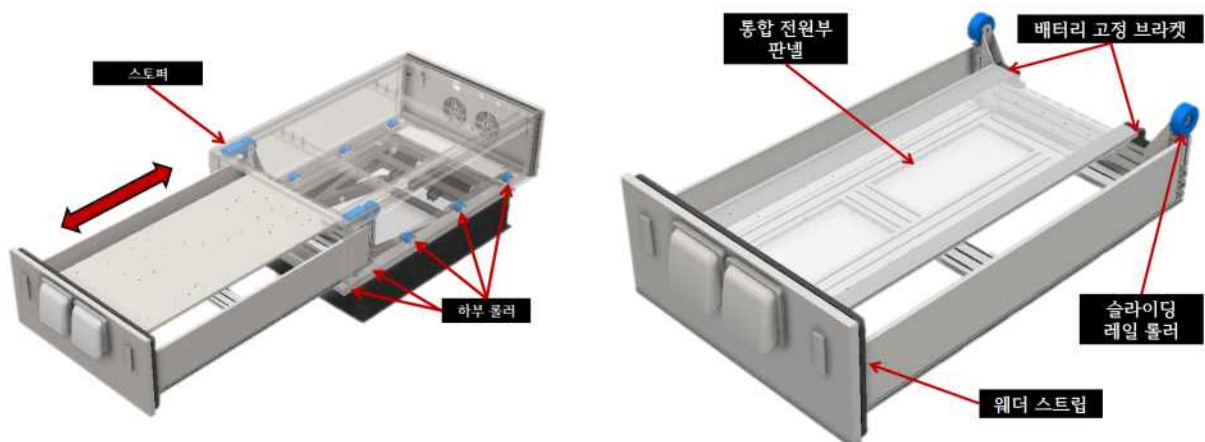
< 냉각팬 커버 모델링 >



< 후방 패널 개폐 정의 >

- 슬라이딩 레일 프레임(2-1호기)

- * 앞서 언급한 바와 같이 고하중의 배터리가 구동모듈에 구성되므로 배터리 교체 및 A/S작업 시 작업 편의성 확보를 위해 슬라이딩 구조의 레일 프레임을 구성하였음
- * 슬라이딩 레일 프레임을 지지하기 위해 하부 롤러를 부착하였으며, 레일의 끝단에서 프레임의 이탈을 방지하기 위해 스톱퍼 부착, 끝단에서의 하중을 고려하여 2개의 하부 롤러를 배치함
- * 롤러는 강도가 높으며 내마모성, 자기윤활성이 우수한 모노-캐스트-나ylon 소재를 가공하여 제작하였으며, 내부에 볼베어링을 삽입하여 고하중의 메인프레임을 지지함



< 슬라이딩 레일 프레임 모델링 >

나) 메인 프레임 및 패널 개발(2-2호기)

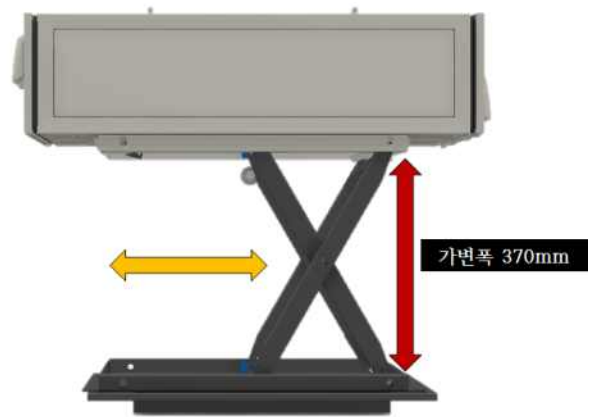
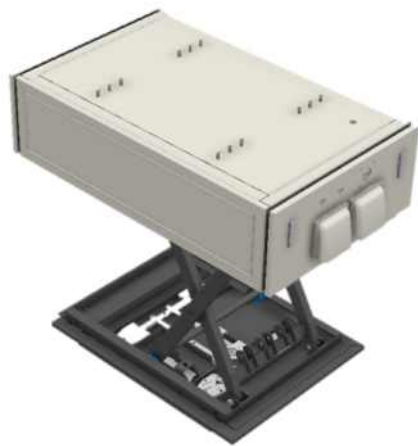
- 기존의 작업모듈 구동 메인 프레임과 패널의 구조가 복잡하고 전장부품의 설치가 난해하여 본체 플랫폼 본체에 작업모듈 구동부를 설치하여 중량감소 및 구조 단순화 전장품 설치 등이 용이하도록 설계보완 제작되었음
- 또한 시저스리프트의 공간확보 및 승하강 높이를 확대하여 작업 모듈의 작업높이(지면에서 최대 800mm) 범위를 확대 하여 정교한 작업을 할 수 있도록 하였음



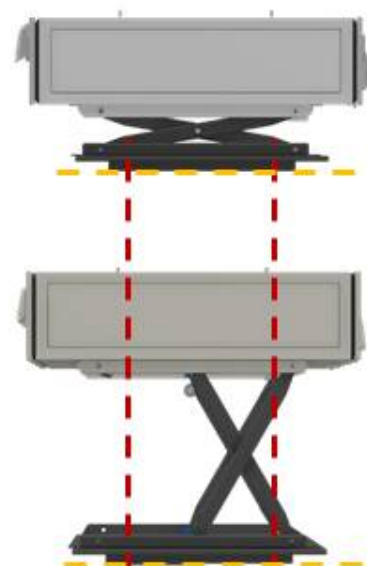
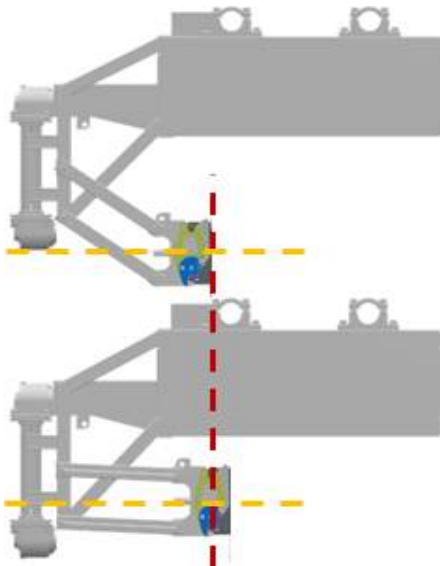
<작업 구동부 개선품 사진>

다) 시저스리프트 개발

- 작업 모듈 승하강부 재설계(2-1호기, 2-2호기)
 - * 기존 1,2차년도에 개발한 링크암 구조의 승하강부에서 시저스 리프트 구조로 변경
 - * 메인 플랫폼의 높이 상승에 따라 기존 링크암의 길이가 연장되어 링크구조에 가해지는 비틀림 모멘트가 상승하므로 구조물의 안전성을 고려하여 시저스 리프트 방식 채택
 - * 작업 모듈의 자동체결을 위해서 체결포인트는 승하강부의 위치에 상관없이 항상 일정하게 위치하여야 하지만 1,2차년도 링크부는 승하강부의 위치에 따라 체결 포인트가 달라지므로 자동체결을 하기 위한 체결포인트 위치결정에 어려움이 있음
 - * 시저스 리프트 구조는 승하강부의 높이 변화에 관계없이 항상 같은 위치의 체결포인트를 가지므로 자동체결에 유리함



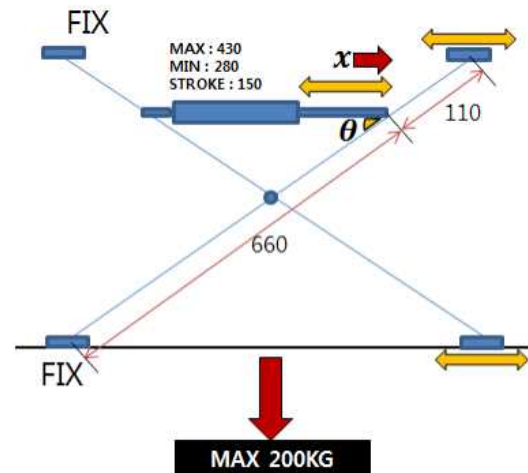
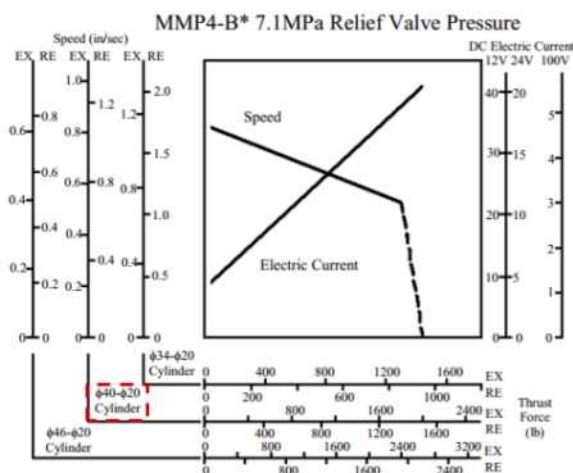
< 시저스 리프트 모델링 및 동작 정의 >



< 작업모듈 상승에 따른 체결점 위치 변화 >

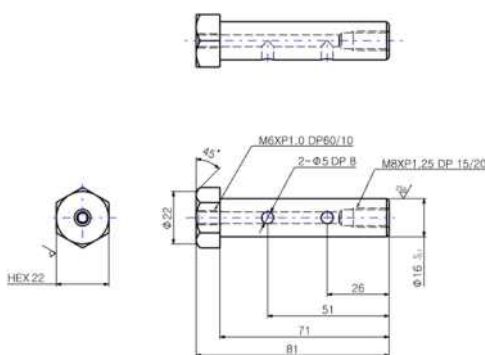
– 제어 실린더 선정(2-1호기, 2-2호기)

- * 승하강부의 제어는 모터와 실린더 제어 중 구조물의 간소화 및 경량을 위해 실린더를 사용하였으며, 농작업 특성상 작업 모듈의 진동 및 충격이 발생함을 고려하여 내구성과 진동 감쇠에 우수한 유압-전동 실린더를 사용함
- * 실린더의 스트로크는 150mm이며, 승하강부의 가변폭은 370mm를 갖음
- * 체결부의 최대 하중은 작업모듈의 흡입힘 등을 고려하여 최대 200KG으로 가정하였으며, 이에 따라 수직 방향으로 약 2000N의 힘이 필요로함
- * 시저스 리프트 구조물의 가변각도는 11°에서 44°이며, 이때 실린더 운동방향의 힘 x 의 최대 크기는 약 10000N이 필요함
- * 실린더 구조물의 기계적인 마찰 등을 고려하여 7.1Mpa 릴리프 밸브, 40-20 구경 타입의 실린더를 2개 사용하여 제어토록함
- * 큰 압력의 실린더의 경우 전류소모량이 높아 배터리의 부하가 커지므로 안전성을 고려하여 2개의 실린더를 사용함
- * 실린더는 초당 약 25mm의 속도로 수축/이완하며 승하강 구조물은 1초당 약 65mm의 속도로 가변됨



< 실린더 성능표 및 구조물 정의 >

- * 승하강부의 회전축은 구리스 주유가 가능하도록 핀을 가공하여 제작
- * 포텐셜 미터를 사용하여 승하강부의 높이 제어를 함



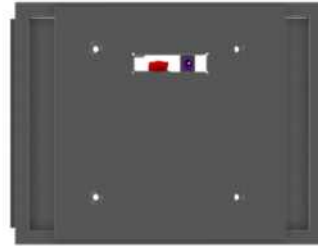
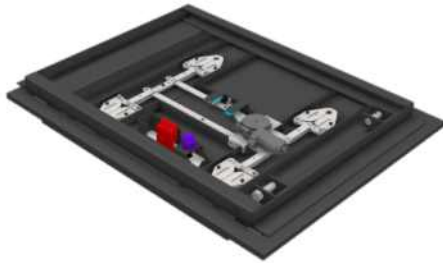
< 힌지축 제작 >



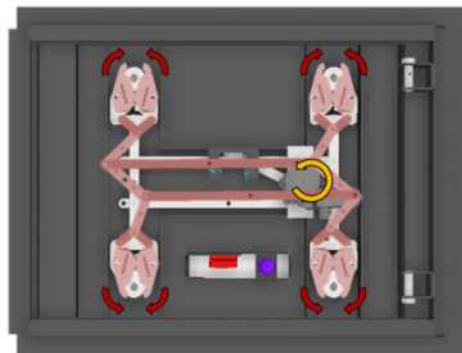
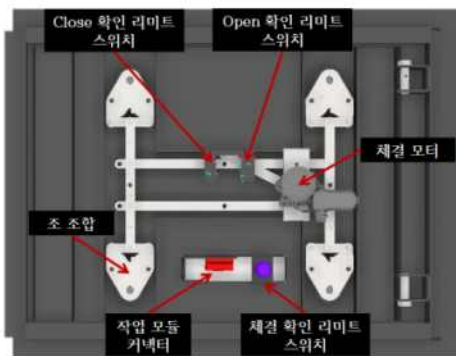
< 포텐셜 미터 작동 정의 >

라) 체결부 개발(2-1호기, 2-2호기)

- 구동 모듈 하단에 구성되어 있는 체결부는 각 작업 모듈과 공용으로 적용될 수 있도록 설계함

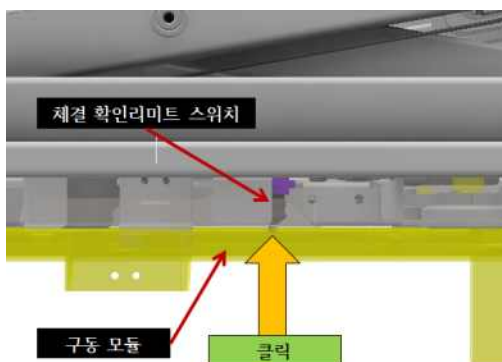


< 체결부 모델링 >

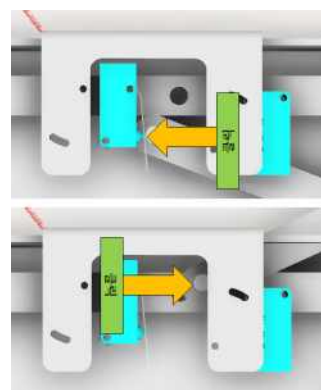


< 체결부 동작 정의 >

- 별도의 리미트 스위치를 구성하여 작업 모듈 장착 시 장착 여부를 확인할 수 있음
- * 작업 모듈과 구동 모듈의 체결부가 접촉했는지에 대하여 체결 확인 리미트 스위치를 통해 알 수 있으며, 작업 모듈의 도킹홀더와 구동 모듈의 조 조합이 체결되었는지에 대해서는 OPEN / CLOSE 체결 리미트 스위치를 통해 알 수 있음



< 체결부 확인 리미트 스위치 정의 >



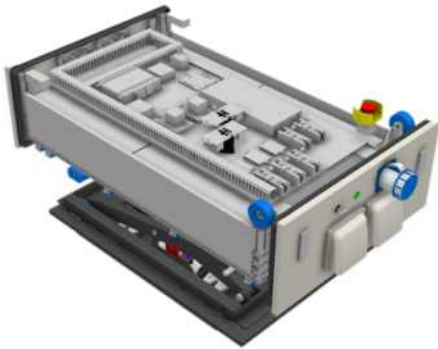
< 체결부 Open / Close 리미트 스위치 정의 >

- 전자식 자동 체결을 위해 별도의 체결 모터를 구성하였음
- * 체결모터는 링크구조를 회전시켜 Open / CLOSE 체결 리미트 스위치를 클릭하면 컨트롤러는 체결 모터의 작동을 멈춤
- * 체결 모터는 웜기어가 장착되어 회전수를 줄이고 토크를 높인 모터를 사용
- * 모터 작동 시 내구성을 위해 PWM 제어를 하여 최대 70%까지만 출력을 사용

마) 전장부 개발

- 통합 전원부 개발(2-1호기, 2-2호기)

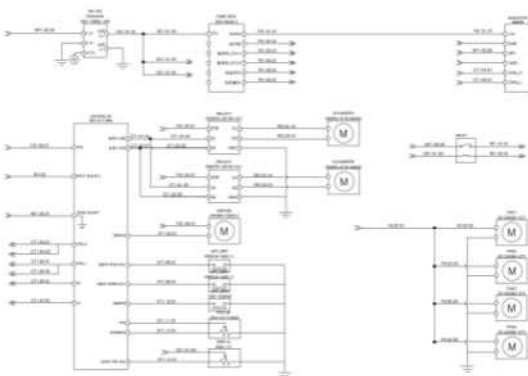
- * 플랫폼과 작업기의 전원부(배터리)를 통합함으로써 통합 플랫폼의 사이즈를 최소화함
- * 전원부의 부품 통일화 및 중복 부품에 대한 전장품 최소화를 위해 전원부를 통합함
- * 컨택터 및 돌입전류방지기 등 허용 전류 및 동작 특성을 고려하여 통합하여 사용
- * 전원부가 통합되어 고전류를 사용하기 때문에 메인 스위치는 컨택터를 ON / OFF 하는 방식으로 구성



< 전원부 통합 모델링 >

- 제어부 개발

- * 기존 1차년도에서는 하나의 제어가 구동 모듈과 작업 모듈 모두를 제어하였으나, 2차년도는 자동화를 목표로 개발함에 따라 제어기의 요구 핀(Pin) 수가 늘어나게 되어 구동 모듈과 작업 모듈의 제어를 나누어 구성함
- * 자동 체결을 위해 판스프링이 장착된 커넥터를 사용하여 별도의 탈부착 과정이 필요없고, 메인전원(48V/GND), 보조전원(12V/GND), 통신(Rx.Tx)을 만족하는 고전류용(80A) 2PIN, 일반(30A이하) 4PIN으로 구성된 앤더슨사의 커넥터 사용

[illegible]

< 구동 모듈 제어기 배선도 및 핀맵 >

○ 발농업용 로봇 작업모듈 1차, 2차 개선, 개발 시작품

가) 로터리 모듈

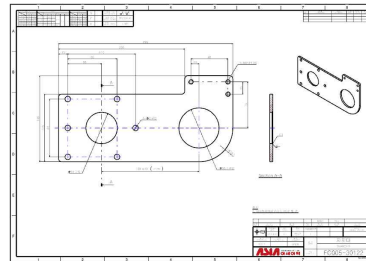
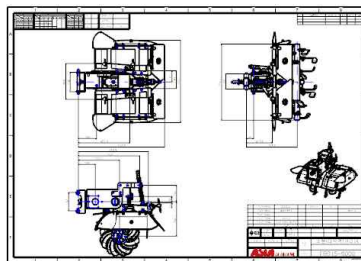
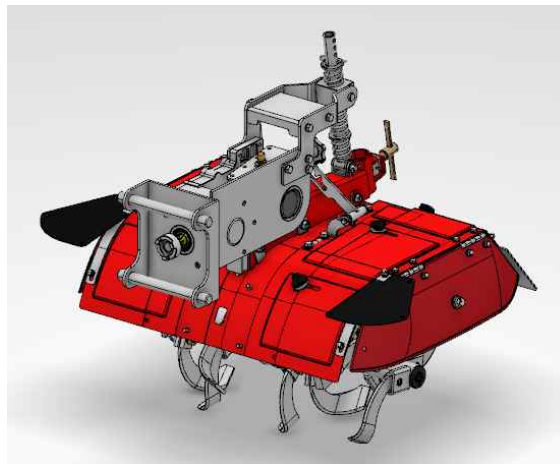


<1차 시작품 사진>



<2차 시작품 사진>

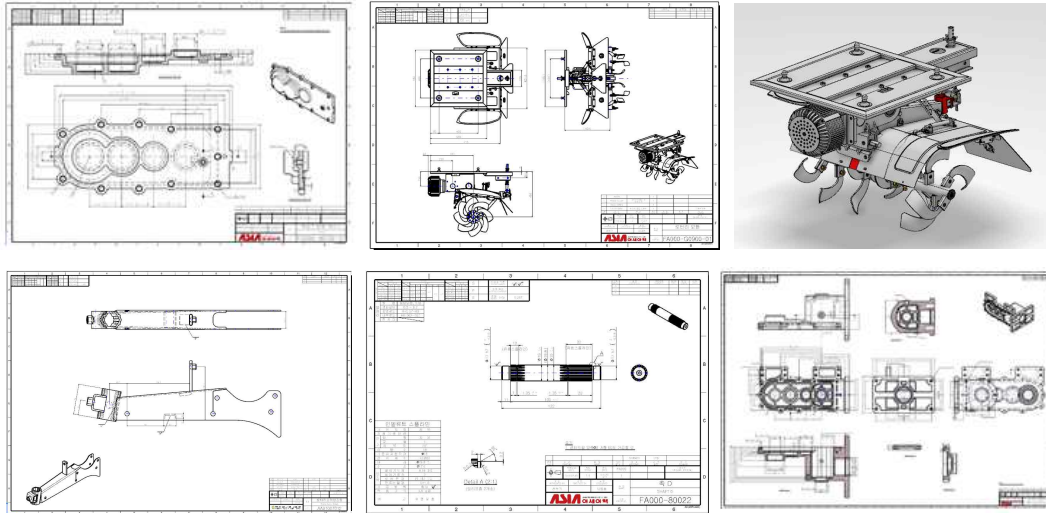
1) 로터리 모듈 1차 시작품(설계)



<로터리 모듈 설계(1차)>

- 1차 로터리 모듈 시작품 제작 및 시험 결과 내구성 문제, 진동, 동력 연결부 흔들림 등 여러 가지 문제점을 고려하였으나, 문제점이 발생되어 시험 결과 구조 개선이 필요.
- 특히 동력이 본체부의 구동모터에서 여러 단계를 거쳐 최종적으로 로터리 축으로 전달, 시험결과 구동부의 진동, 흔들림, 동력손실 등 크랙 및 부하 발생.

2) 로터리 모듈 2차 시작품(설계)



<로터리 모듈 설계(2차)>

- 로터리 모듈 2차 시작품은 2차 본체 플랫폼에 자동 체결하여 작업시 안정감 있게 정상적으로 작업됨.
- 특히 작업성은 일발 보행 로터리 작업과 동등 이상으로 작업됨.

나) 휴립, 피복 모듈

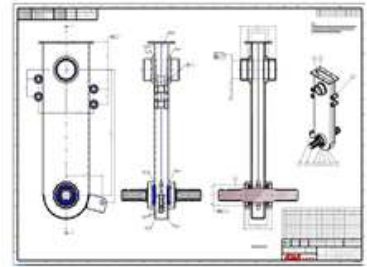
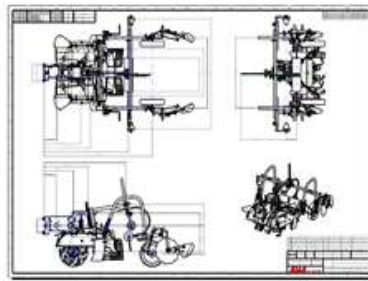
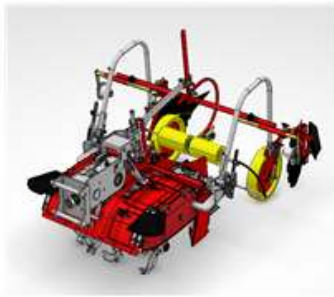


<1차 시작품 사진>



<2차 시작품 사진>

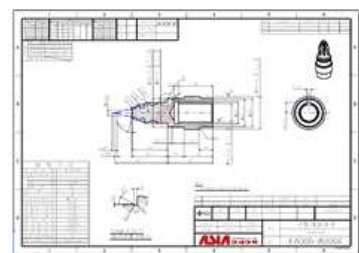
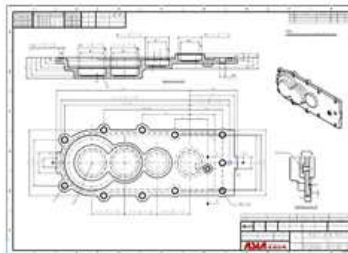
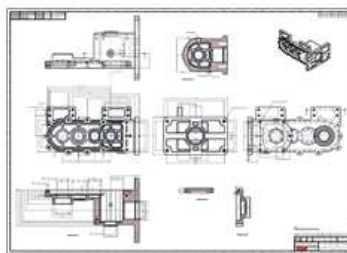
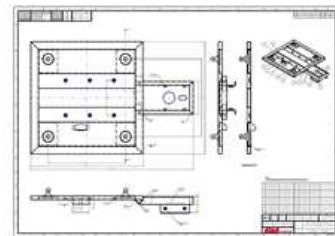
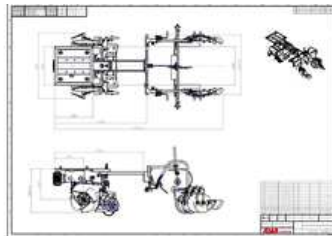
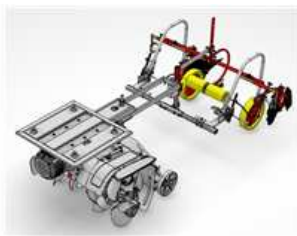
1) 휴립, 피복 모듈 1차 시작품



<휴립.피복 모듈 설계(1차)>

- 1차 로터리 모듈과 같은 시작품으로 시험 결과 내구성 문제, 진동, 동력 연결부 흔들림 등 여러 가지 문제점이 발생되어 구조 개선이 필요함.(로터리 모듈과 동일함)
- 특히 동력이 본체부의 구동모터에서 여러 단계를 거쳐 최종적으로 휴립구동 축으로 전달, 구동되므로 진동, 흔들림, 동력손실 등 부하 발생.

2) 휴립, 피복 모듈 2차 시작품



<휴립.피복 모듈 설계(2차)>

- 로터리 모듈과 같이 2차 시작품은 2차 본체 플랫폼에 자동 체결하여 작업시 안정감 있게 정상적으로 휴립작업, 피복작업이 양호하게 작업됨.
- 특히 작업성은 일발 보행 로터리 작업과 동등 이상으로 작업됨.

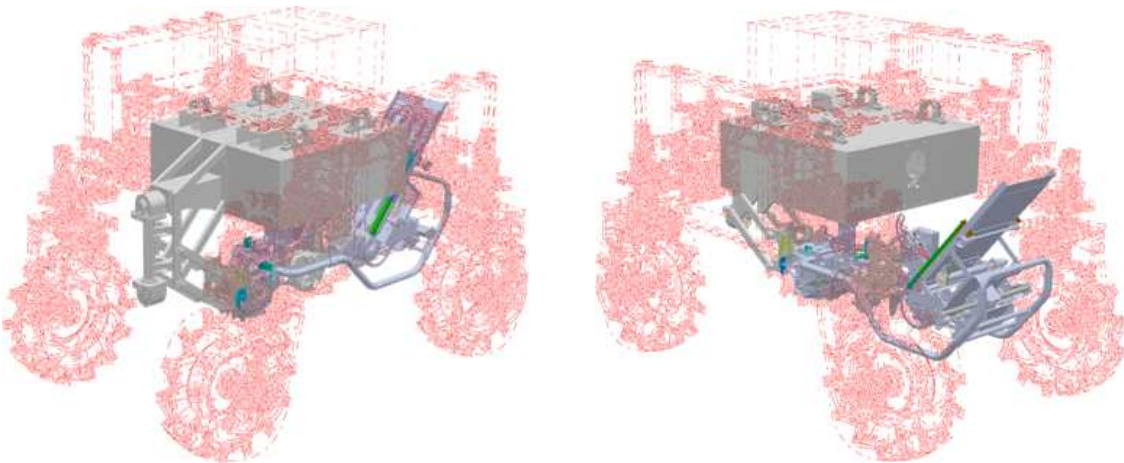
다) 이식모듈



<시작품 사진>

1) 이식 모듈 1차 시작품

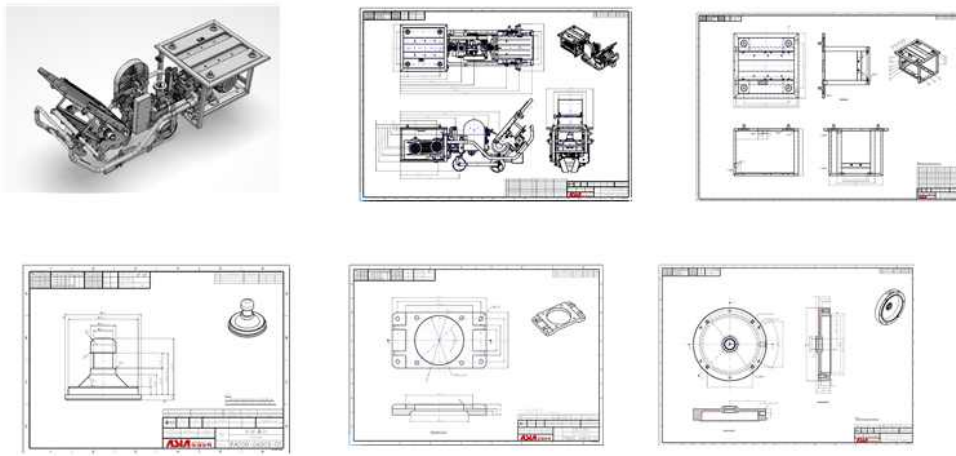
- 이식 작업 모듈 전방 링크 삽입형으로 구동부의 전방 링크부에 체결되는 형태
- PTO로부터 모터의 동력을 전달받아 이식 작업 수행
- 메인플랫폼의 진행속도에 맞춰 PTO의 RPM을 조절하여 대상작물의 이식거리 조절 가능함.



<삽입형 이식 작업 모듈>

2) 이식 모듈 2차 시작품

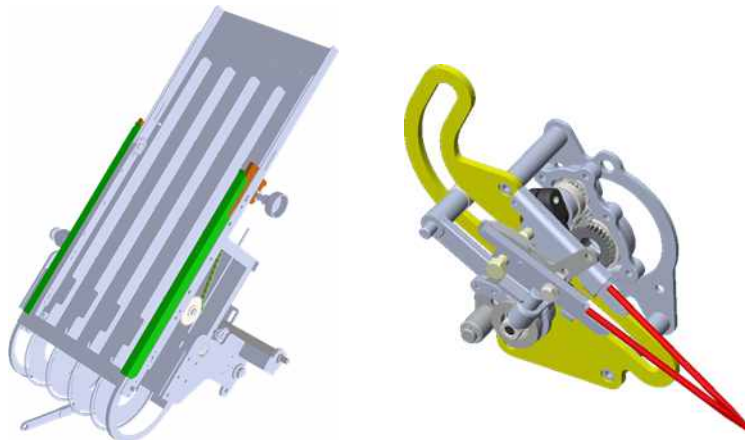
- 본체 플랫폼의 작업 구동부를 시저스 타입의 탈, 부착형으로 개발 및 체결 가능함.
- 자동 체결장치로 본체 플랫폼과 작업 모듈을 자동체결 및 자동 전원공급 가능
- 이식 작물은 고추, 배추, 상추, 브로콜리, 콩, 옥수수, 등 전용 포트묘의 이식 작업 가능



<시저스타입의 삼입형>

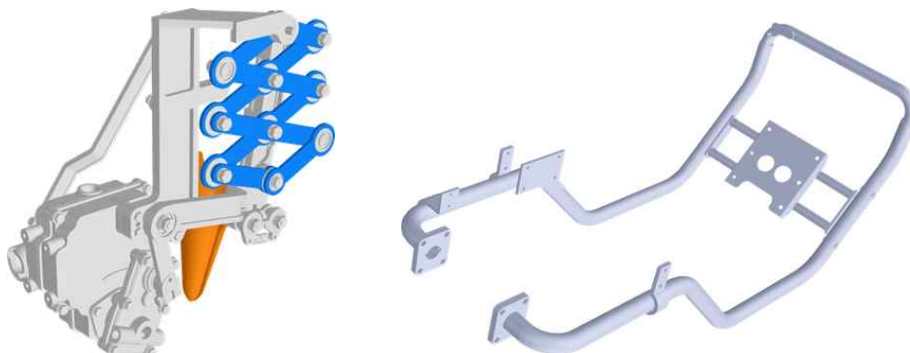
3) 이식 작업 모듈 핵심부품 개념 설계

- 이송부(트레이드) 개념 설계 - 하향 원웨이 클러치, 좌우 간헐 운동 구조
- 모취출부 개념설계 - 이송부와 연동한 간헐 운동 구조



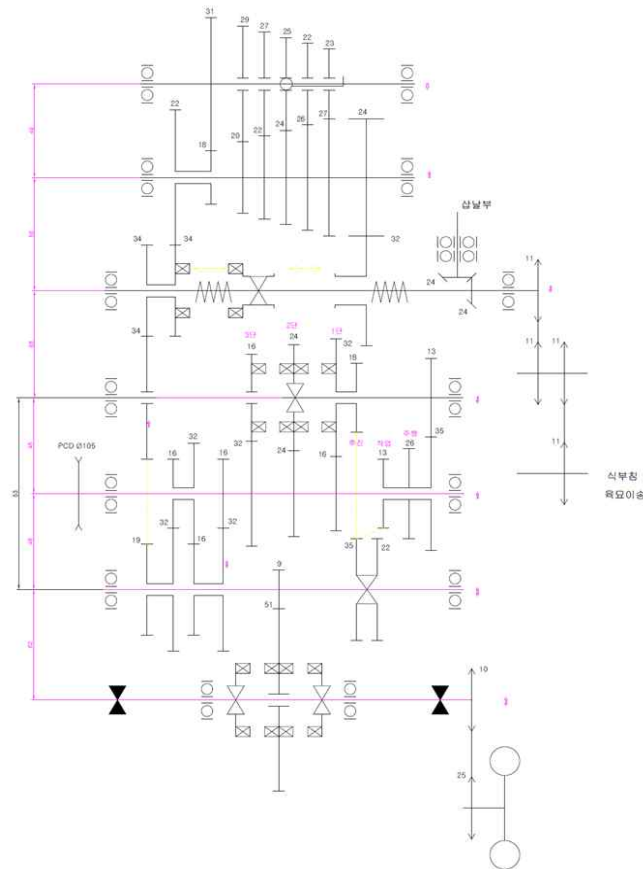
<이식 작업 모듈 이송부 및 모취출부>

- 식부부 개념설계 - 모취출부와 연동한 간헐 운동구조
- 프레임 개념설계 - 플랫폼 내부 공간에 호환 되는 크기



<이식 작업 모듈 식부부 및 프레임>

- 이식 작업 모듈 동력 전달 Lay-Out 설계

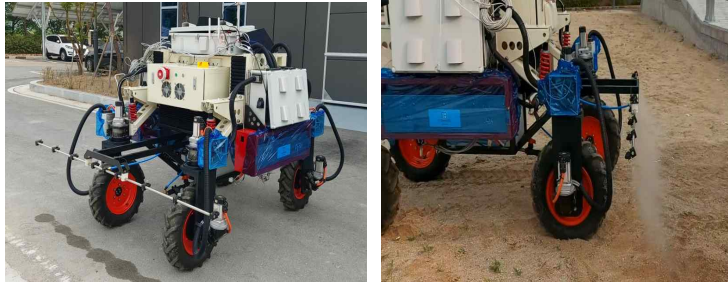


<이식 작업 모듈 동력계통도>

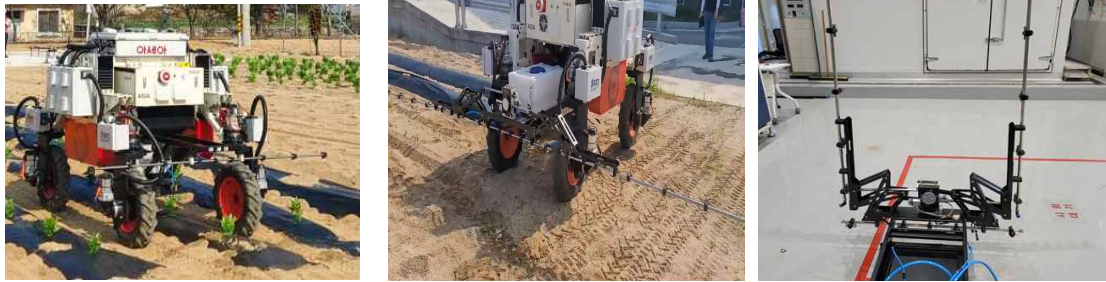
식부분		E/G	감속						구동(속도)			구동				변속		클러치 (OFFTIM ING)		주간거리 (cm) (0.5km/h 기준)	
식 부 1단	기어 배열		16	32	16	32	16	32	19	34	34	34	22	18	31	23	27	24	32		
	RPM	1800. 0	900.0		450.0		225.0				125.7		194.3		112.8		96.1		72.1		12.1
	엔진 토크																				
식 부 2단	기어 배열		16	32	16	32	16	32	19	34	34	34	22	18	31	22	26	24	32		
	RPM	1800. 0	900.0		450.0		225.0				125.7		194.3		112.8		95.5		71.6		12.2
	엔진 토크																				
식 부 3단	기어 배열		16	32	16	32	16	32	19	34	34	34	22	18	31	25	24	24	32		
	RPM	1800. 0	900.0		450.0		225.0				125.7		194.3		112.8		117.5		88.1		9.9
	엔진 토크																				
식 부 4단	기어 배열		16	32	16	32	16	32	19	34	34	34	22	18	31	27	22	24	32		
	RPM	1800. 0	900.0		450.0		225.0				125.7		194.3		112.8		138.5		103. 9		8.4
	엔진 토크																				
식 부 5단	기어 배열		16	32	16	32	16	32	19	34	34	34	22	18	31	29	20	24	32		
	RPM	1800. 0	900.0		450.0		225.0				125.7		194.3		112.8		163.6		122. 7		7.1
	엔진 토크																				

<이식 작업 모듈 식부 주수 계산표>

라) 방제 모듈

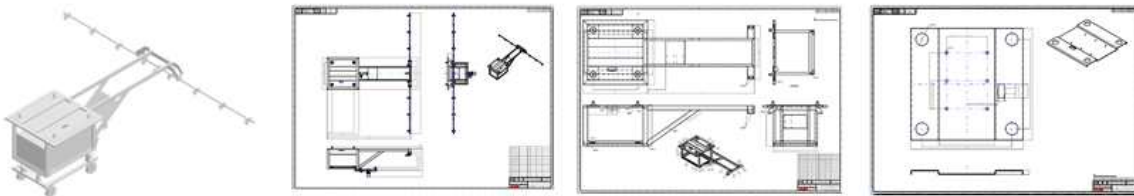


<1차 시작품 사진>



<2차 시작품 사진>

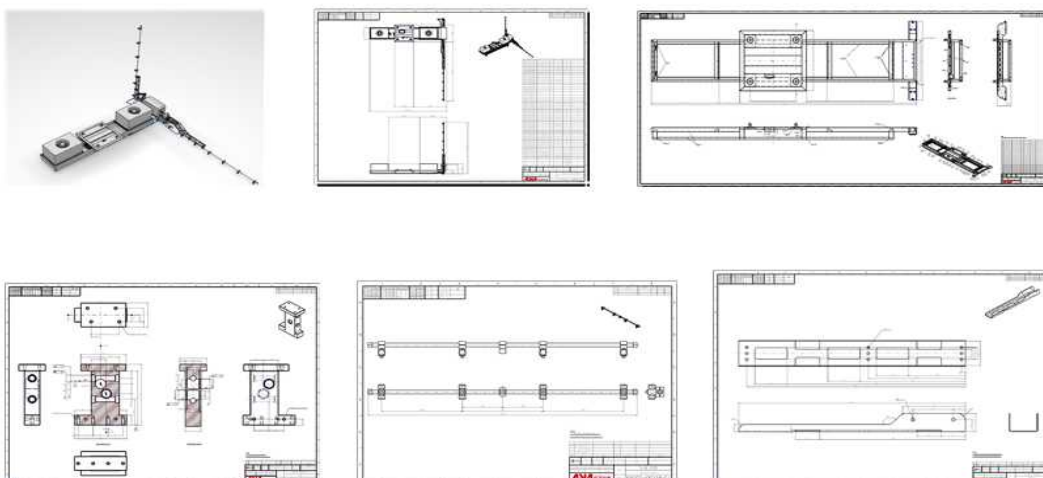
1) 방제 모듈 1차 시작품



<방제 모듈 설계(1차)>

- 방제작업 방법을 노즐부를 수평위치에서 작업하여 다양한 작물의 방제작업에 불편한 문제 발생

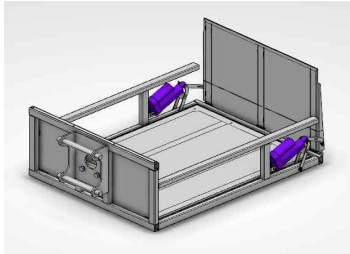
2) 방제 모듈 2차 시작품



<방제 모듈 설계(2차)>

- 방제작업을 노즐부의 수평위치, 수직위치에서 방제 작업이 가능 하도록 개선, 개발
- 수평위치에서 하강하여 지면의 방제작업이 가능하며, 수직방향에서 측면으로 방제작업이 가능하도록 개선, 개발
- 작물에 따라 측면에 방제작업이 가능하도록 개선, 개발

마) 운반모듈



<1차 시작품 사진>

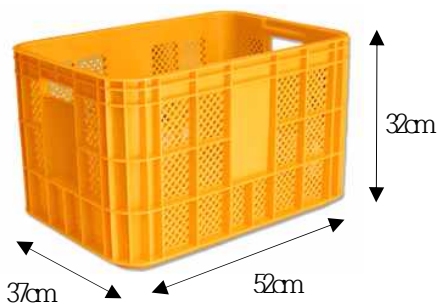


<2차 시작품 사진>

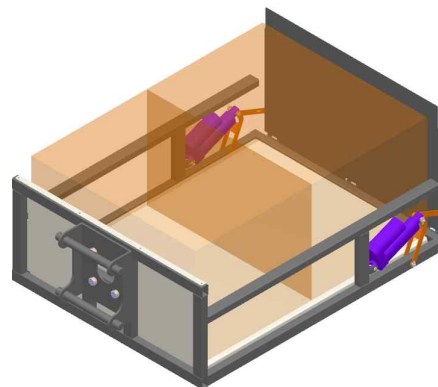


1) 운반 모듈 1차 시작품

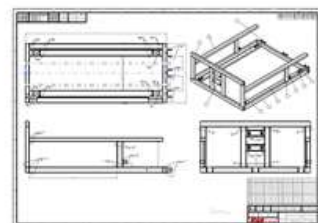
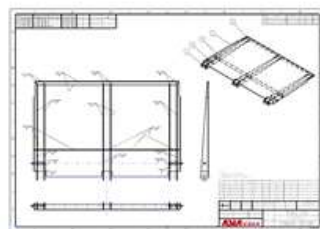
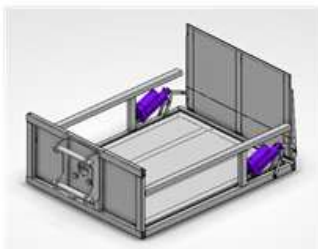
- 대상작물의 소량, 경량 작업(수확 등)에 따른 운반 작업 모듈의 설계
 - * 농 작업에 흔히 쓰이는 운반상자의 크기는 전장 52cm, 전폭 37cm, 전고 32cm임.
 - * 2개의 운반상자 작업 시 운반 작업 모듈의 필요 공간(적재함 내부)은 최소 전폭 52cm, 전장 74cm, 전고 32cm가 필요함.
 - * 내부 54cm X 75cm의 공간으로 운반 작업 모듈 설계
 - * 1차년도 체결 시스템을 이용하여 작업 모듈 구동부에 체결



< 농산물 운반용 상자 >

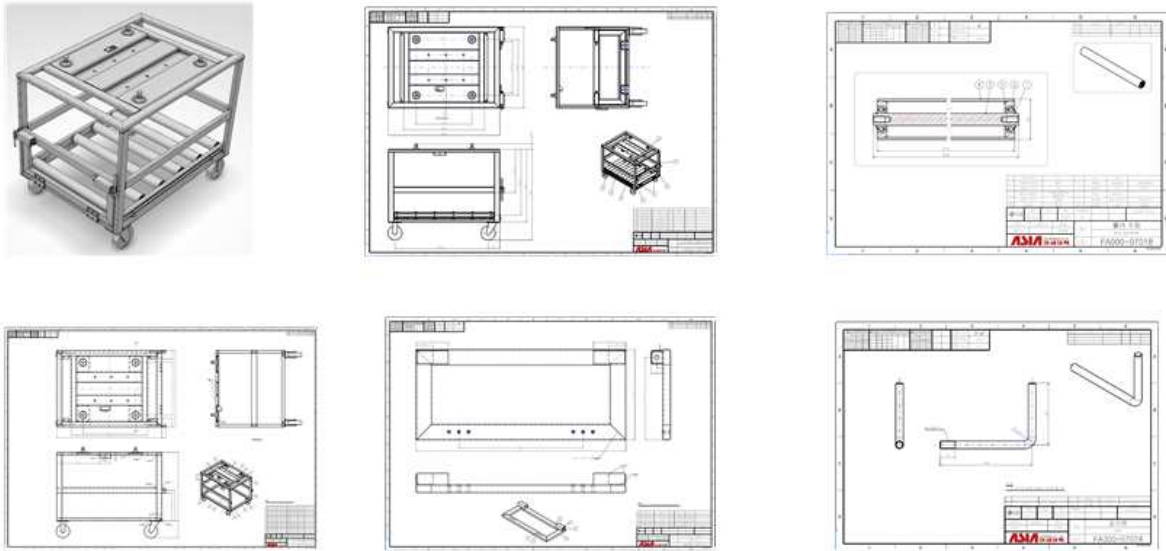


<개발 운반 작업 모듈>



<운반 모듈 설계(1차)>

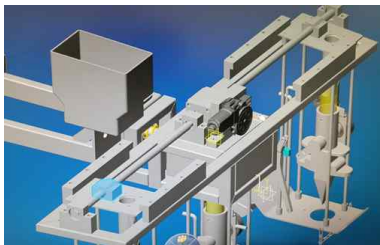
2) 운반 모듈 2차 시작품



<운반모듈 설계(2차)>

- 대상작물의 소량, 경량 작업(수확 등)에 따른 운반 작업 모듈의 설계
- 본체 플랫폼의 특성상 일반 운반 수단 보다 경량 운반을 대상으로 고추, 마늘, 양파, 땅콩 등 경량 운반 수단으로 활용 되도록 제작

바) 파종모듈



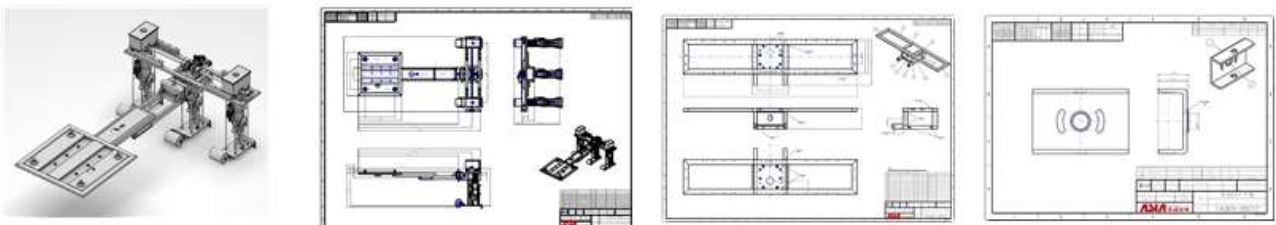
<1차 시작품 사진>



<2차 시작품 사진>



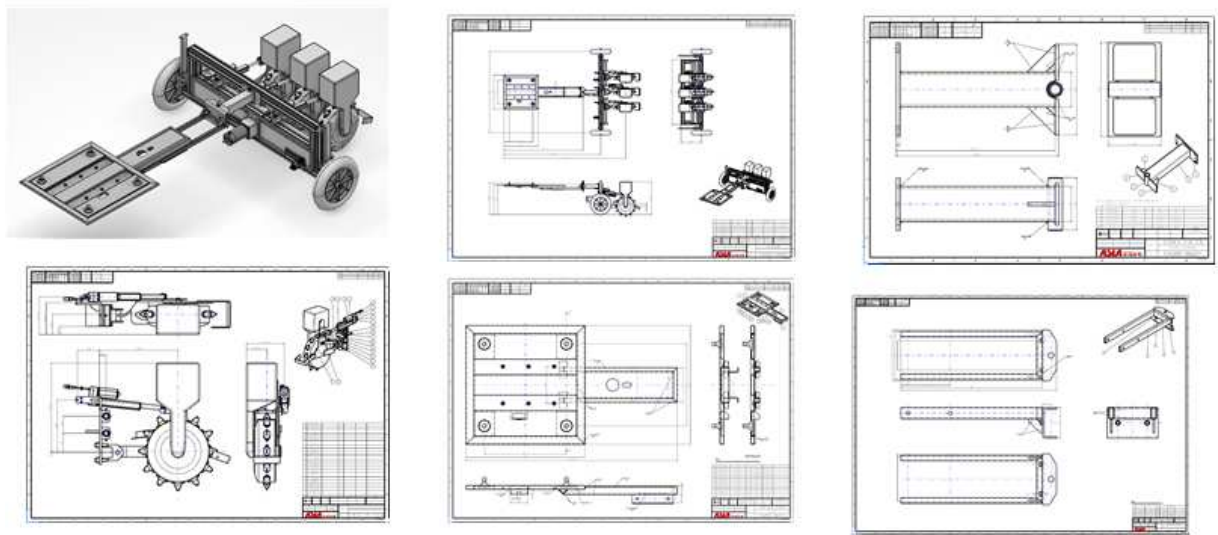
1) 파종 모듈 1차 시작품



< 파종 모듈 설계(1차)>

- 직립형으로 파종장치를 설계 및 개발
- 파종부의 구조난해로 구조 변경(2차 구조로 개발)

2) 파종 모듈 2차 시작품

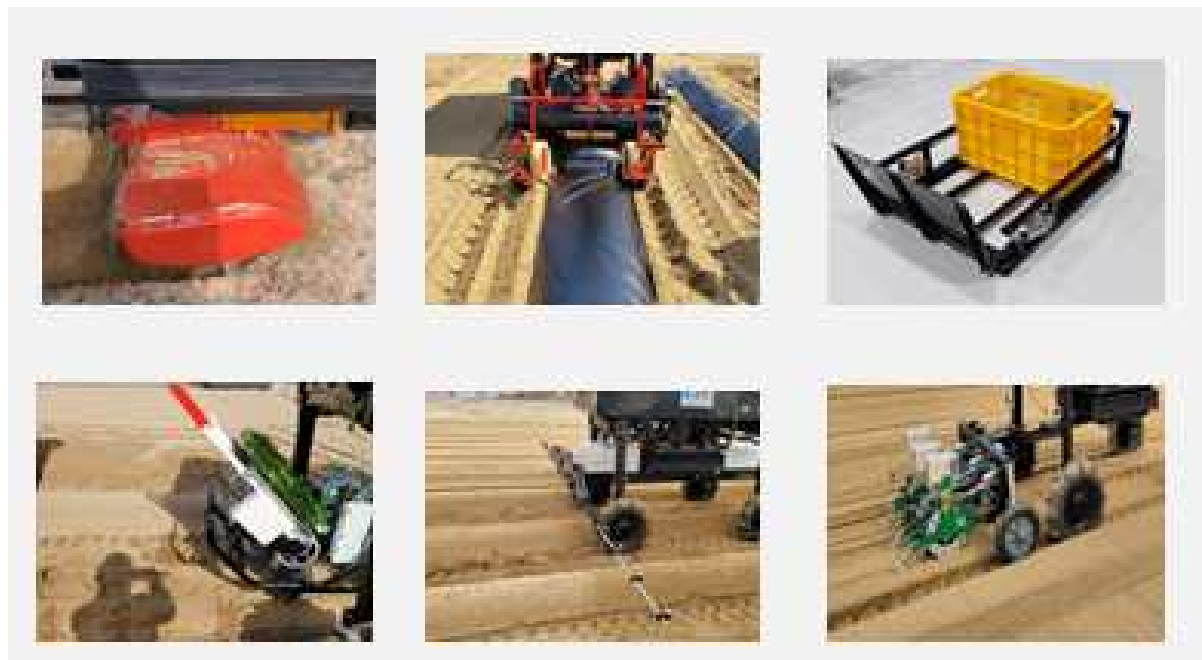


< 파종 모듈 설계(2차)>

- 파종부의 조간거리를 25cm ~ 50cm까지 가능하도록 설계하여 작물의 재배 특성에 조절을 자동으로 조절 할 수 있도록 설계.
- 파종깊이를 자동으로 조절 가능하며, 파종량, 주간조절도 작물에 따라 조절 가능.

○ 작업 모듈별 작업 광경 소개

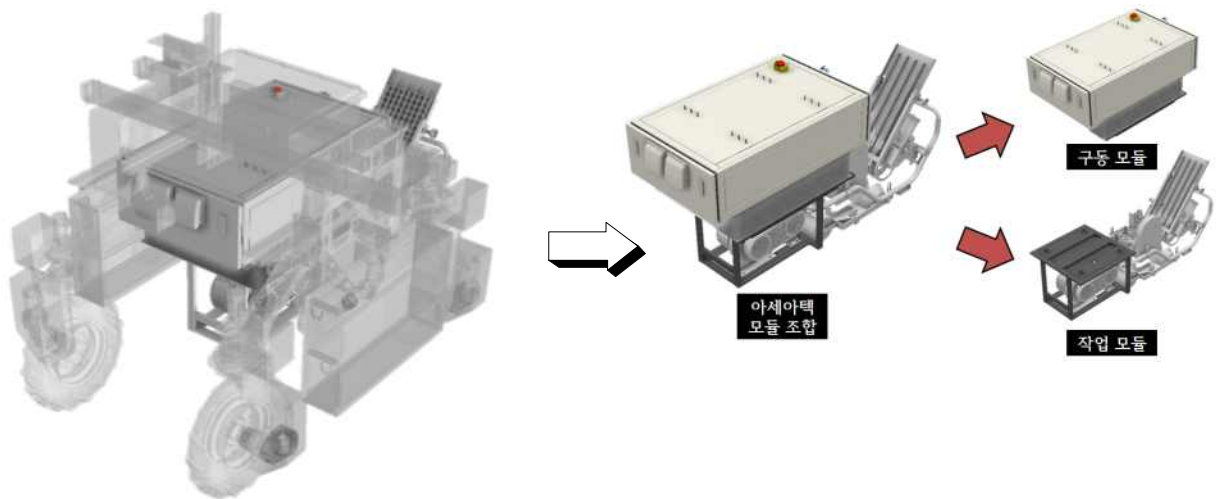
- 로터리, 휴립.피복, 운반, 이식, 방제, 파종 모듈별로 작업하는 광경을 소개.



< 작업기별 작업 모습 >

○ 본체 플랫폼 및 작업 플랫폼에서 자동 체결 장치부의 분리

- 본체 플랫폼과 작업 플랫폼의 자동 체결되는 부분의 작업 모듈을 그림으로 표현 하였다.



< 아세아텍 개발 플랫폼과 작업 모듈 >

○ 작업모듈 시작품 제작 및 시험

가) 로터리 모듈 시작품 제작

- 먼저 본체 플랫폼의 작업모듈 구동부(체결부)를 1차 히치타입으로 개발하였으나 구조가 복잡하고 탈, 부착 등이 불편하여 2차는 본체 플랫폼에 작업 모듈의 부착부를 공용화하여 구조를 간단하고 다른 작업 모듈을 편리하게 사용 할 수 있도록 시저스 타입으로 개발함.



<1차 작업모듈 구동부>



<2차 작업모듈 구동부>

< 작업모듈 장착 구동부 >

- 그림과 같이 작업모듈 구동부를 위의 그림과 같이 공용화하여 플랫폼을 공용화하여 탈부착, 정비성 등을 고려하여 개선 개발 하였음.
- 로터리 모듈, 휴립,피복모듈, 이식모듈, 방제모듈, 운반모듈, 파종모듈을 본체 플랫폼의 구동모듈에 각각의 작업 모듈만 부착하여 사용 가능함.
- 전원 공급은 본체 플랫폼의 구동부와 작업모듈의 자동 탈 부착과 동시에 자동 체결한 전원으로 편리하게 연결됨.
- 자동 체결한 전원으로 로터리 모듈의 구동 모터로 전원을 공급 받아 컨트롤러, 모터 컨트롤러 등 신호를 제어하여 로터리 축을 회전, 작업을 하도록 개선, 개발됨.

- 로터리 모듈



< 로터리 모듈 사진 >

* 로터리 작업 시험



<2차 로터리 모듈 작업 >

* 로터리 모듈 작업후 쇠토율 측정



<로터리 모듈 작업 후 쇠토율 측정 >

* 로터리 작업후 쇠토율 측정

- > 가로 x 세로 x 깊이(30cm x 30cm x 10cm)의 흙을 채취하여 쇠토율 측정하였다
- > 측정방법은 철망은 가로 x 세로(1cm x 1cm) 규격으로 그림과 같이 거른뒤 측정.
- > 1차 총중량 12.48kg/쇠토중량 12.16kg/쇠토율 97.4%
- > 2차 총중량 12.22kg/쇠토중량 12.00kg/쇠토율 98.2% 나타났다.(포장지, 토질에 따라 많이 차이가 날 수 있음.)

* 시험 결과










① 쇄토율 시험 결과

시험항목	전체 흙중량(kg)	쇄토흙(kg)	미쇄토흙(kg)	쇄토율(%)	비고
1차측정	12.67	12.35	0.32	97.47	
2차측정	12.21	11.99	0.22	98.37	

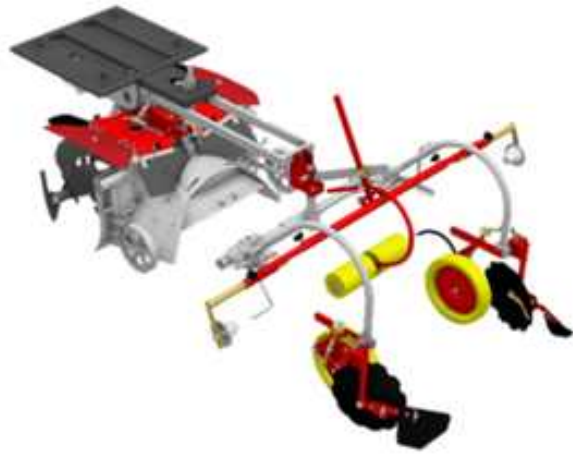
시험 준비	시험 횟수	전체 흙중량	쇄토흙 및 미쇄토흙
  	1차		
	2차		

② 균평도 시험 결과

시험항목	N1(cm)	N2(cm)	N3(cm)	N4(cm)	균평도(cm)	비고
1차측정	2.5	2.5	3.5	5.0	4.37	
2차측정	7.0	3.0	3.0	6.5	4.87	

시험 항목		N1	N2	N3	N4
	1차				
	2차				

나) 휴립, 피복 모듈 시작품 제작 및 시험



< 휴립, 피복 모듈 사진 >

- 휴립 모듈은 로터리 모듈의 작업부를 휴립장치, 휴립용 칼날조합 등 조립하여 편리하게 작업되도록 개선, 개발
- 특히 휴립장치 공간을 확보하기 위하여 휴립장치의 육각 프레임(육각파이프), 차축파이프, 칼날조합 등 구조를 개선 개발하였음.
- 비닐피복 모듈은 로터리 모듈의 프레임부에 휴립 모듈부에 비닐피복 장치를 간단하게 설치, 조립하여 작업되도록 개발



< 2차 휴립, 피복 모듈 작업 광경 >

- 휴립 피복 작업 능력 및 휴간 오차 측정

- 시험방법은 발농업 로봇 플랫폼 본체에 휴립피복 작업모듈을 장착하여 1주기를 수행하여 휴립피복 모듈의 작업 상태(작업속도, 휴립폭, 휴간 오차)를 확인하고 검증함

* 시험 조건

- > 공시기 : 로봇플랫폼 + 휴립피복 작업 모듈 부착 상태
- > 작업조건 : 20m 거리(1주기)를 주행 및 작업 수행
- > 조간거리 : 두둑간거리 : 1000mm(100cm)기준
- > 두둑높이 : 250 ~ 300mm 기준

* 시험 결과

① 휴립 폭 높이 측정 및 휴간 오차

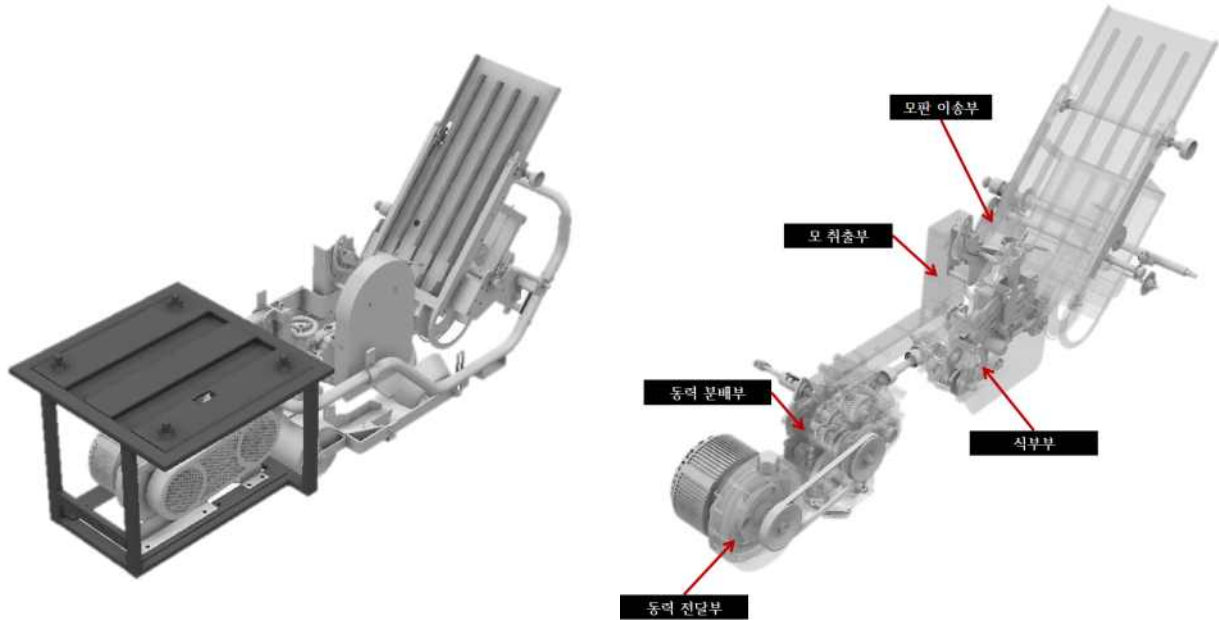
시험 항목	N1 (cm)	N2 (cm)	N3 (cm)	N4 (cm)	최저 (cm)	최고 (cm)	휴간오차 (cm)	비고
1차측정	25	27	30	28	25	30	±2.5	
2차측정	27	28	31	26	26	31	±2.5	

② 종합 결과

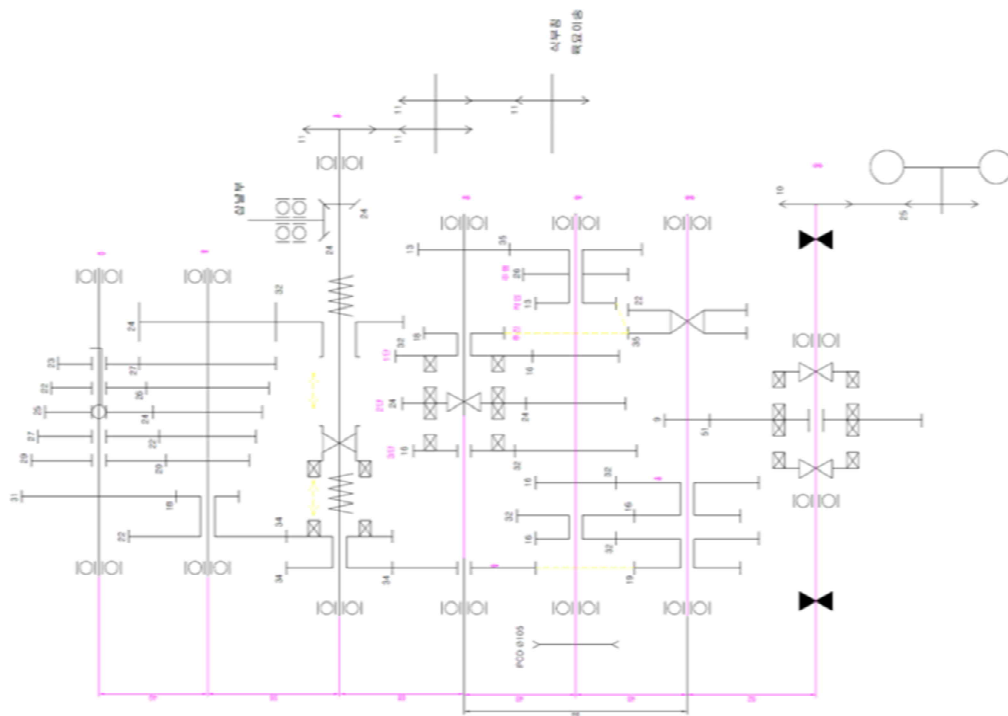
시험항목	1주기 작업시간	작업능력	휴립 폭, 높이 휴간 오차
휴립피복 작업능력	76초	57분/10a	9.1%

다) 이식작업 모듈 시작품 제작 및 시험

- 시저스 및 구동모듈과 호환되는 이식 작업 모듈 설계 및 제작을 수행하였음
- 이식 작업 모듈은 동력 전달부, 분배부, 모 취출부, 식부부, 모판 이동부로 구성되어 있음
 - * 모터의 동력은 감속을 통해 동력 분배부로 전달되며 각각 모 취출부와 식부부, 모판 이동부로 동력이 연동되어 전달
 - * 일정한 주간거리를 유지하기 위해 플랫폼으로부터 차속 데이터를 받아 연동하여 작동



< 이식 모듈 모델링 및 동력 구성도 >



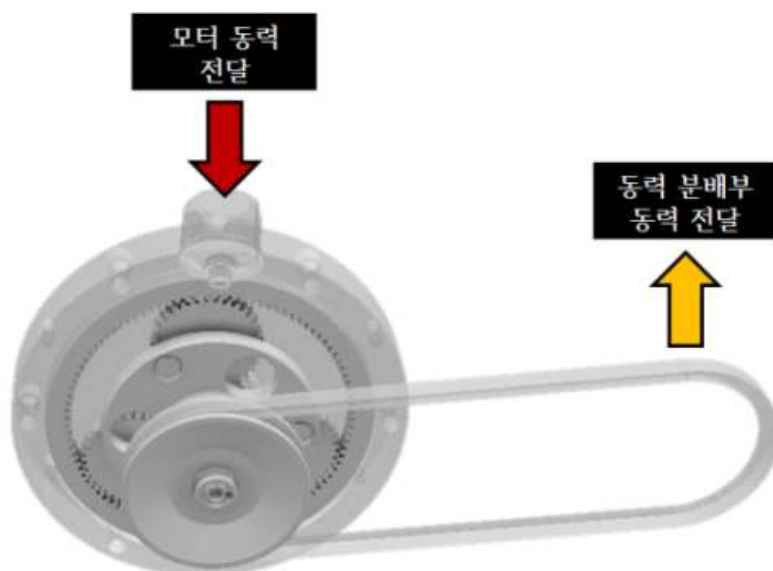
< 이식 작업 모듈 동력계통도 >

식부부		모터	감속						구동(속도)			구동				변속		클러치 (OFFTIMING)		주간거리(cm) (0.5km/h 기준)
식부 1단	기어 배열		16	32	16	32	16	32	19	34	34	34	22	18	31	23	27	24	32	
	RPM	1800.0	900.0		450.0		225.0				125.7		194.3	112.8			96.1		72.1	12.1
	모터 토크																			
식부 2단	기어 배열		16	32	16	32	16	32	19	34	34	34	22	18	31	22	26	24	32	
	RPM	1800.0	900.0		450.0		225.0				125.7		194.3	112.8			95.5		71.6	12.2
	모터 토크																			
식부 3단	기어 배열		16	32	16	32	16	32	19	34	34	34	22	18	31	25	24	24	32	
	RPM	1800.0	900.0		450.0		225.0				125.7		194.3	112.8			117.5		88.1	9.9
	모터 토크																			
식부 4단	기어 배열		16	32	16	32	16	32	19	34	34	34	22	18	31	27	22	24	32	
	RPM	1800.0	900.0		450.0		225.0				125.7		194.3	112.8			138.5		103.9	8.4
	모터 토크																			
식부 5단	기어 배열		16	32	16	32	16	32	19	34	34	34	22	18	31	29	20	24	32	
	RPM	1800.0	900.0		450.0		225.0				125.7		194.3	112.8			163.6		122.7	7.1
	모터 토크																			

< 이식 작업 모듈 식부 주수 계산표 >

– 동력 전달부 개발

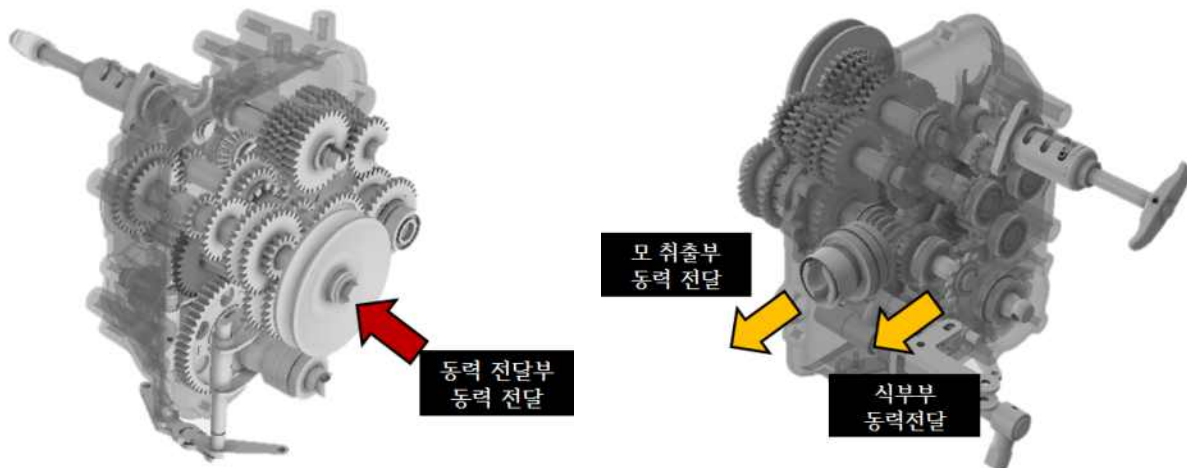
- * 동력 전달부는 높은 토크와 회전수를 갖는 모터를 사용함으로 내구성과 에너지 전달 효율이 높고 작은 사이즈의 유성감속장치로 개발
- * 모터 회전축을 선기어로하여 유성기어와 링기어로 구성함
- * 기어의 잇수는 선기어 24, 유성기어 36, 링기어 99개로 최종 감속비는 5.1이 됨
- * 최종 감속된 동력은 V벨트를 통해 동력 분배부로 전달됨



< 동력 전달부 모델링 >

- 동력 분배부 개발

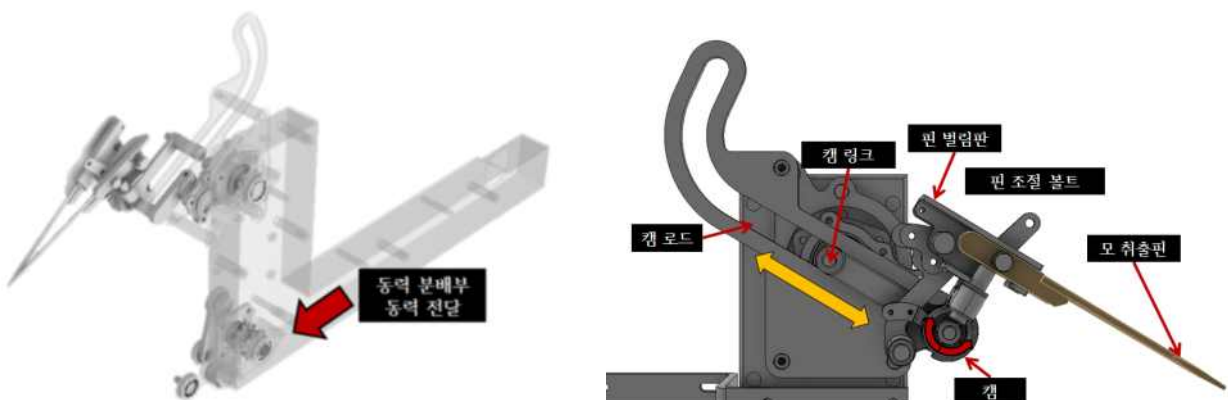
- * 모 취출부와 식부부는 차속과 연계되어 작동되어야함으로 동력 분배부를 개발하여 2개의 출력 동력을 만듦
- * 기본적으로 모터 RPM을 통해 주간거리를 조절하며, 별도의 수동 변속장치를 부착하여 별도의 감속비를 갖음
- * 수동 클러치 부를 추가하여 기계적으로 동력을 차단할 수 있도록 개발함



< 동력 분배부 모델링 >

- 모 취출부 개발

- * 차속과 연동하여 트레이의 육묘를 취출하여 식부부로 내려주는 장치
- * 동력 분배부의 동력은 체인을 통해 모 취출부의 캠을 회전시킴
- * 캠이 회전함에 따라 캠 링크는 캠 로드를 타고 이동하여 육묘 취출을 위한 운동을 함
- * 캠 로드의 정점에 도달 하였을 때 핀 벌림판이 당겨지며 식부부로 육묘를 떨어트림
- * 핀 벌림판의 조절 볼트를 이용하여 모종에 따라 모 취출핀의 간격을 조절함

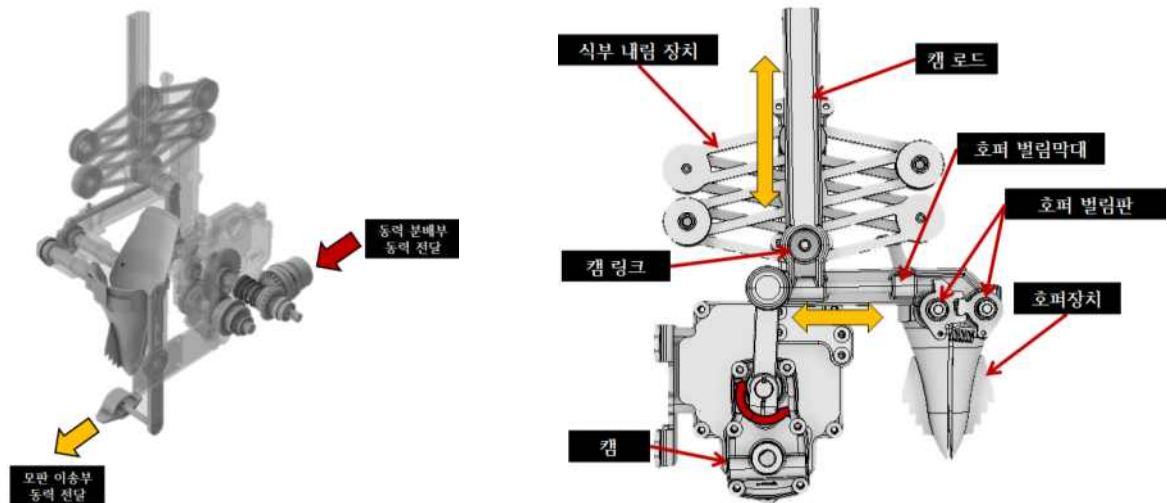


< 모 취출부 모델링 >

- 식부부 개발

- * 차속과 연동하여 모 취출장치에서 내려온 육묘를 호퍼장치를 통해 정식하는 장치
- * 동력 분배부의 동력은 조인트를 통해 식부부의 캠을 회전시킴
- * 캠이 회전함에 따라 캠 링크는 캠 로드를 타고 이동하며 식부 내림 장치와 호퍼 벌림 막대를 운동시킴

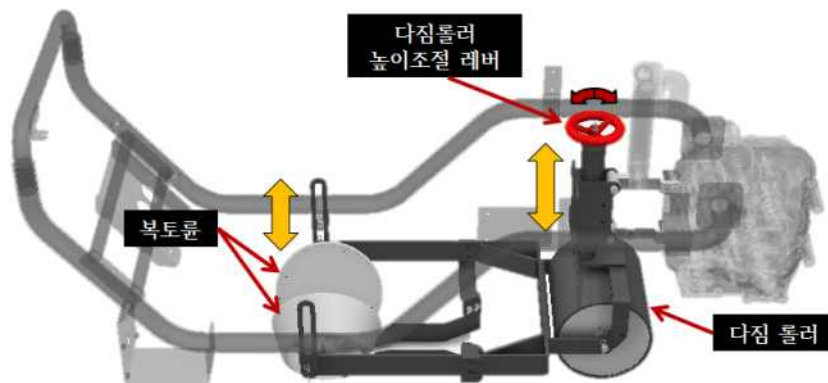
- * 식부 내림 장치가 벌어짐에 따라 호퍼장치가 하강하고 캠 링크가 정점에 도달하였을 때 호퍼 벌림막대가 호퍼 벌림판을 밀어 땅에 삽입된 호퍼장치를 벌려 육묘를 심게됨



< 식부부 모델링 >

- 복토륜 및 다짐롤러 개발

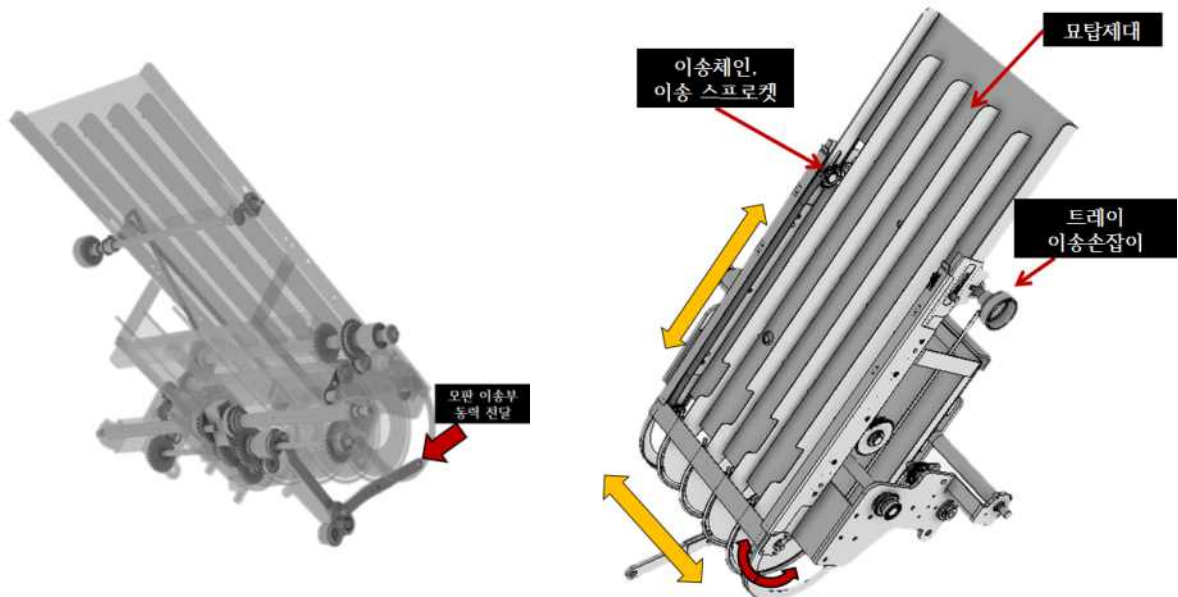
- * 이식(정식)률을 높이기 위해 식부부 앞단에 다짐 롤러를 설치하여 이식(정식)되어질 지면의 높이와 흙을 정리토록하며 수동 다짐롤러 높이조절 레버를 개발하여 지면의 높이를 설정함
- * 식부부를 통해 정식된 후 복토륜을 통해 정식된 육묘에 흙을 덮도록 장치함



< 복토륜 및 다짐롤러 모델링 >

- 묘판 이송부 개발

- * 식부부 장치와 연동하여 1회 사이클시 묘탑제대를 좌우로 1칸씩 시프트시킴
- * 묘판은 8줄 기준이며, 8칸 시프트 후 이송체인을 회전시켜 트레이를 아래로 한 칸 시프트시킴



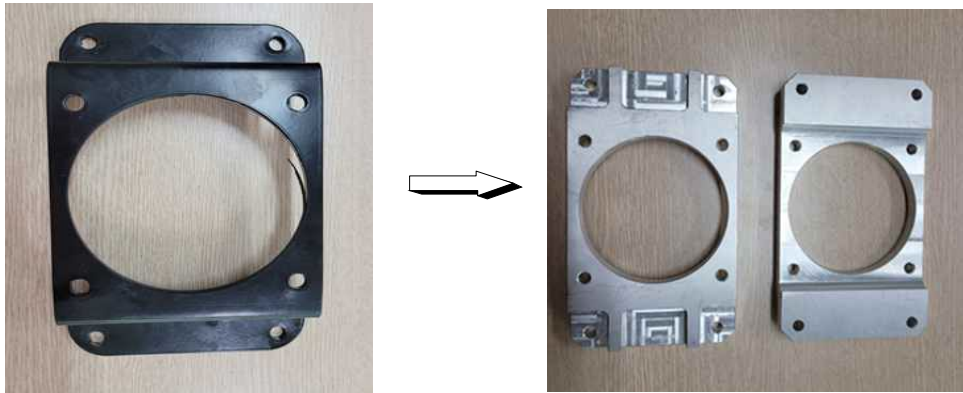
< 묘판 이송부 모델링 >

- 이식모듈 시작품 작업시 문제점 개선

- * 이식 모듈의 모터와 구동부 동력을 연결하는 구조의 고정부(모터케이스)의 휨 발생으로 모터케이스내의 유성기어 및 베어링 파손
- * 모터 고정부를 철판에서 알루미늄 케이스로 개선하여 문제점 해결.
- * 식부미션 클러치, 묘이송 타이밍 개선하여 결주 및 묘이송 해결



< 이식 모듈 시작품 문제점 사진 >



< 동력부 모터케이스 개선품 >

- 이식모듈 개선 및 시험 작업



< 개선품 이식작업 광경 >

* 정식(이식) 작업 능력

-> 시험 방법은 발농업 로봇 플랫폼 본체에 정식 작업모듈을 장착하여 1주기를 수행하여 정식작업모듈의 작업상태(속도 및 전결주율)를 확인하고 검증함

* 시험 조건

- > 공시기 : 로봇플랫폼 + 정식 모듈 부착 상태
- > 작업조건 : 20m 거리(1주기)를 주행 및 작업 수행
- > 식부(이식)주간 : 50cm 기준
- > 조간거리 : 100cm 기준

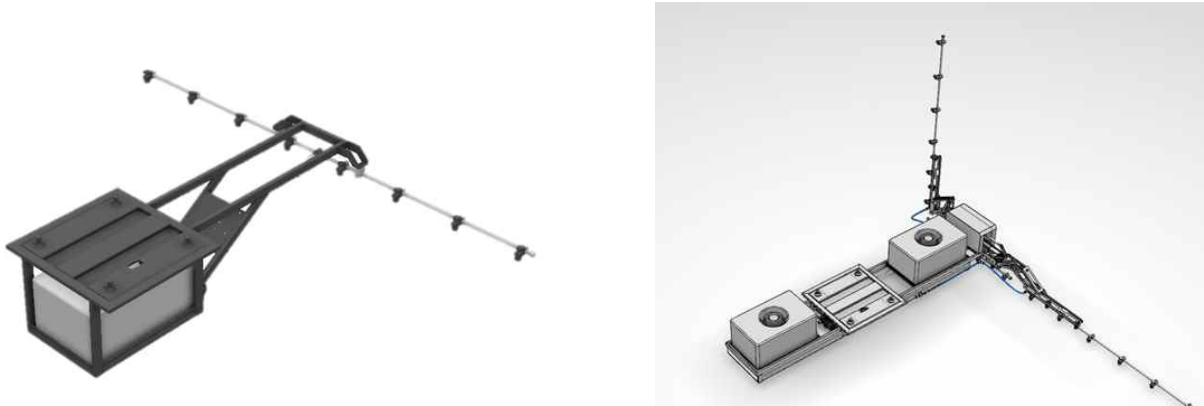
* 시험 결과

항목	1주기	2주기	3주기	비고
결주수 / 정식수	0/40	0/40	1/40	20m 작업 후 결주율 조사
결주율(%)	0	0	2.5	

시험항목	전결주율	1주기 작업시간	정식능력
정식 작업 능력	2.5%	78초	59분/10a

라) 방제작업 모듈 시작품 제작 및 시험

- 시저스 및 구동모듈과 호환되는 방제 작업 모듈 설계 및 제작을 수행하였음
- 방제 작업 모듈은 탱크부, 호스연결부, 호스부, 노즐부로 구성되어 있음



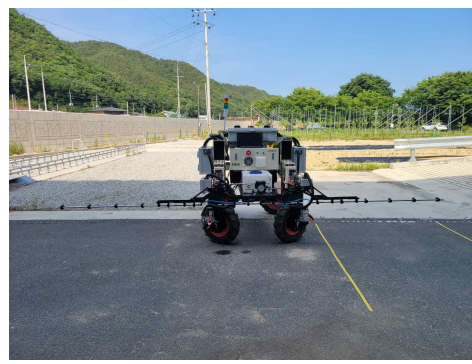
< 방제모듈 1차 (좌), 방제모듈 2차 (우) >

- 방제 모듈 1차, 2차 시작품 및 작업 사진

- * 1차 방제 모듈의 시작품 제작후 시험하였으나 수직 방제작업을 할 수 없고, 탱크용량이 부족하여 개선이 필요.
- * 2차 방제 모듈은 그림과 같이 탱크 용량을 증대(50L에서 100L)하고, 수직, 수평 방제 작업을 할 수 있도록 개선.
- * 살포폭은 수평 작업시 5m 작업 가능하도록 설계 제작됨.



< 방제모듈 1차 사진 >



< 방제모듈 2차 사진 >

- 방제펌프 용량 산출

- * 방제 펌프의 유량은 8LPM 이며, 탱크의 용량 50L, 노즐경 0.3mm/0.6mm, 노즐개수 8개로 구성됨
- * 플랫폼의 이동속도를 3.6km/h로 가정하였을 때, 살포시간은 25.1분이며 살포거리는 1,476m로 노즐부의 길이를 적용하였을 때 약 447평의 작업 능력을 갖음
- * 정량적 목표인 시간당 10a을 충분히 만족하는 사양

Q	통과유량(L/min)	0.249
K	유량계수	1
g	중력가속도(m/Sec ²)	980
γ	비중량(kg/m ³)	1000
d	오리피스경(mm)	0.6
ΔP	오리피스 차압(kg/cm ²)	1.12
A	오리피스 단면적(cm ²)	0.0028

유량 L/min	유속 m/s	배관 구경 mm
8	0.75	15

동력(W)	100
관경(1.5)	1.5
관 길이(CM)	220

오리피스	살포량	탱크용량	살포시간	살포거리	작업범위	살포속도	주행속도
8개	2LPM	50L	25.1분	1,476m	447평	1.0m/s	3.6km/h

< 방제기 사양설계 >

- 전장부 설계

- * 1차 개발분 노즐길이 2.2m 시 1개의 방제펌프를 사용하며, 2차 개발분에서 4m로 노즐을 연장하였을 때, 펌프의 용량이 부족함으로 2개의 방제펌프를 구동하여 작업함
- * 방제펌프는 약 10a의 소모전력을 갖으며 작업 중 선회, 이동 등 펌프의 잦은 ON/OFF 시 방제펌프와 배터리 등 부하가 발생하므로 내구성을 위해 방제 펌프와 노즐의 사이에 고압용 솔밸브를 추가하여 제어하는 방식으로 방제펌프의 사용수명을 늘림
- * 노즐 탱크에 수위센서를 부착하여 현재 수위에 대한 데이터를 완충, 50%, 25%, 보충요망으로 구분하여 플랫폼에 전송

- 작업 시험결과

- * 로봇플랫폼 + 방제 모듈 부착 상태로 전진으로 주행하면서 방제 작업 실시
- * 작업 조건은 20m 거리(1주기)를 작업 속도에 맞게 방제 작업

* 방제 폭은 수평작업시 5m, 수직 작업시 2m 작업

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		
		
		

* 시험 결과

시험항목	살포폭	1주기 작업시간	방제능력
방제 작업 능력	2 ~ 5 m	40초	30분/10a

- * 방제 작업은 본체 플랫폼의 주행 속도에 따라 방제 작업의 작업시간 및 작업 능력을 높일 수 있다.
- * 특히 작물의 종류에 따라 작업속도를 조절하여 작업이 가능하다.
- * 또한 작물의 재배 방법, 용도에 따라 수평 방제 작업, 수직 방제 작업을 다양하게 할 수 있다.

마) 운반 모듈 시작품 제작 및 시험

- 운반 작업 모듈 설계 제작

- * 체결 방식 변경에 따른 체결부 수정
- * 수확물 적재의 편의성을 위해 이송롤러 추가 설계 및 개발



< 운반 모듈 >

- 운반 모듈 체결 및 작업 내용



< 운반 모듈 작업 내용 >

- 운반 작업 능력

* 시험 방법은 발농업 로봇 플랫폼 본체에 운반 작업모듈을 장착하여 1주기를 수행하여 운반 작업모듈의 작업 상태(적재량, 속도)를 확인하고 검증함

* 시험 조건

-> 공시기 : 로봇플랫폼 + 운반 모듈 부착 상태

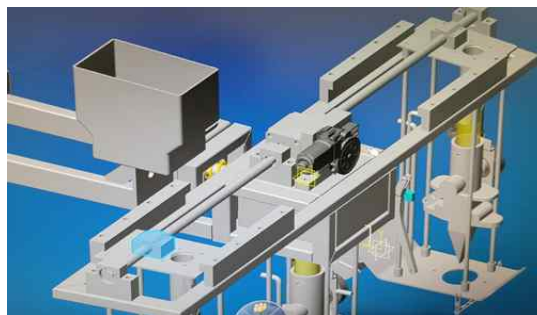
-> 작업조건 : 20m 거리(1주기)를 주행 및 작업 수행

* 시험 결과

시험항목	1주기 작업시간	운반능력
운반 작업 능력	65초	49분/10a

바) 파종모듈

- 설계 시작품 제작 및 시험



<1차 시작품 사진>



<2차 시작품 사진>



< 파종후 성장 : 콩시험 >

- 콩파종후 성장 내용 사진(조간 50cm, 주간 12cm, 깊이 3cm)
- 13일 경과후 성장 사진

- 파종 작업 능력

* 시험 방법은 발농업 로봇 플랫폼 본체에 파종 작업모듈을 장착하여 1주기를 수행하여 파종 작업모듈의 작업 상태(파종 깊이, 거리, 속도)를 확인하고 검증함

* 시험 조건

- > 공시기 : 로봇플랫폼 + 파종 모듈 부착 상태
- > 작업조건 : 20m 거리(1주기)를 주행 및 작업 수행
- > 조수 : 기본 3조
- > 조간거리 : 35cm(폭 조절가능 : 25 ~ 80cm)
- > 시험종자 : 콩

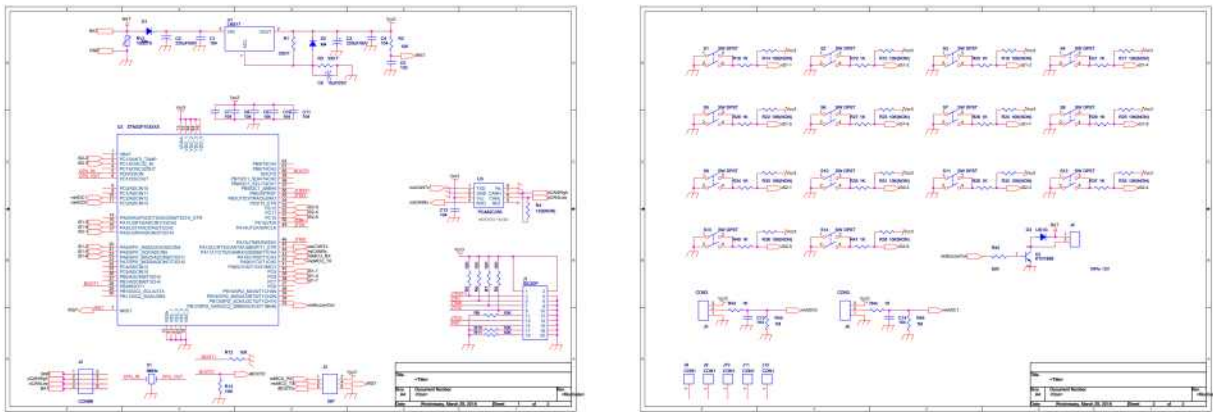
* 시험 결과

시험항목	파종거리	1주기 작업시간	파종능력
파종 작업 능력	10cm	42초	32분/10a

사) 원격제어 및 통합 통신 시스템 개발

- 원격제어 시스템 개발

- * 구동 모듈과 작업 모듈의 작동 테스트 및 초기 세팅을 위한 블루투스 연결 방식으로 구동 모듈의 실린더 제어, 체결 모터 작동, 승하강부의 최고/최저 위치 세팅 등 전용 어플을 통해 설정 가능



< 무선리모컨 회로 설계 >

- * 작업 중 수동모드를 통한 원격제어는 한국로봇융합연구원의 원격제어기를 통해 제어함
- * 원격제어기에 작업 모듈과 작동 모듈의 제어를 위한 버튼을 구성하여 플랫폼의 제어기로 전달받은 제어값을 CAN 통신을 통하여 구동 모듈로 전달받아 제어함

- 통합 통신 시스템 개발

- * 한국로봇융합연구원의 플랫폼과 안동대학교의 자세제어 모듈, 아세아텍의 구동 모듈의 통신 통합을 위한 프로토콜 정의

< 통합 통신 프로토콜 정의 >

- * 구동 모듈로 전달 받은 통신값은 시리얼통신을 통해 하위인 작업 모듈로 통신함

[illegible][illegible]

< 구동 모듈 - 작업 모듈 통신 프로토콜 정의 >

아) 작업 모듈 시제품 제작 및 시험 사진



< 시작부품 제작 사진 >



< 시|작품 시|험 사|진 >

○ 개발 성과

- 로봇자동화 플랫폼에 적용 가능한 미래형 작업기 6종 개발 및 성능 평가 결과 향후 사업화 기대가 됨.
- 자동화 플랫폼 본체의 농업용 로봇기계에 적용하여 여러 가지 작업기 부착, 작업 가능성을 확인하고 실제 주요 작업기 6종의 작업성능을 만족하게 됨.
- 특히 무인 로봇 주행으로 구동되는 전동(배터리)으로 모터 구동에 의한 동력전달로 작업기에 대한 실제 작업 torque가 만족하여 어떠한 작업기에도 적용 가능함을 검증함.
- 이로인하여 향후 농업로봇에 있어서 로봇 자동화 플랫폼 본체 및 작업모듈 6종(로터리, 휴립, 피복, 운반, 파종모듈)등에 사업화 적용 가능하다고 판단됨.
- 이 결과물을 홍보한 결과 향후 농업 로봇 무인화 기계 개발에 기대가 됨.

- 관행(보행관리기) 작업 대비 팜봇 작업 경쟁력 비교

항 목	관행(보행) 작업	팜봇 작업	비 교
1. 로터리 작업	1. 관행적으로 보행관리기 의 로터리 작업은 72분 /10a 작업	1. 관행대비 로터리 작업의 능 률은 59분/10a 작업으로 관행 에 비해 18% 향상됨.	• 팜봇 작업의 포장지에 따라 차이가 있음.
2. 휴립.피복 작업	1. 관행적으로 보행관리기 용으로 휴립.피복 작업은 별도로 작업 실시 (휴립후 피복작업) 2. 휴립. 피복기는 작업능 률이 많이 떨어짐.(작업하 기에 힘이 많이 든다.)	1. 관행 작업에 비해 팜봇 휴립. 피복은 작업능률이 좋다. 2. 특히 직진성, 작업성이 좋다. 3. 휴립, 피복 작업을 동시에 할 수 있고, 작업에 효율적이다. 4. 작업 능력은 관행대비 2배 효과적이다.	
3. 이식작업	1. 보행 이식기는 경사지 등에서는 작업하기가 힘들 다. 2. 보행이식기의 작업 능력 은 일반적으로 72분/10a 임.	1. 관행대비 팜봇 이식기는 좌, 우 수평, 깊이 조절 등이 손쉽 게 컨트롤 할 수 있어 정교하게 작업이 가능하다. 2. 특히 팜봇 본체의 두둑 자동 인식으로 두둑 중심에 이식 작 업을 정교하게 할 수 있다. 3. 평지의 작업 능력은 관행(보 행) 이식기에 비해 작업 성능이 뛰어나 1.5배 성능이고 효과적 이다. 4. 작업 능력은 /59분10a	• 작업 능력은 포장지 조건에 따라 차이가 날 수 있음.
4. 파종 작업	1. 일반 보행 작업은 작업 자가 직접 주행하면서 작업 하므로 피로도 누적	1. 팜봇으로 무인 파종 작업으 로 작업 피로도가 없으며, 작업 성(능력)도 관행에 비해 효과적 이다.	
5. 방제 작업	1. 방제 작업 속도가 일정 하지 않으며, 작업자의 농 약 피해가 있을 수 있다.	1. 팜봇 방제 작업 속도가 일정 하여 균일하게 방제작업을 할 수 있다. 2. 작업자의 농약 피해가 없어 친환경적이다.	
6. 운반 작업		1. 관행 대비 운반 작업은 한정 된 적재 용량으로 운반하므로 관행에 비해 제한적이다. 2. 소량의 작업도구, 작물 수확 등 운반	

- 경제성 및 생산성 분석

* 작업능률 및 필요인력 비교

작업모들	일반농기계 작업시		팜봇 작업시		비고
	필요인원	작업능률(분/10a)	필요인원	작업능률(분/10a)	
로터리작업	1	57분/10a	1(0)	57분/10a	
휴립.피복작업	2	60분/10a	1(0)	57분/10a	
이식작업	2	72분/10a	1(0)	59분/10a	
파종작업	1	33분/10a	1(0)	32분/10a	
방제작업	2	30분/10a	1(0)	30분/10a	
운반작업	2	49분/10a	1(0)	49분/10a	

* 팜봇 작업시(자율주행) 필요인원은 0명으로 1명은 보조

* 농업 노동 임금(1일)은 2021년 3/4분기 기준 남자 129,150원, 여자 96,144원이며, 월 가동일수를 25일로 산출하면, 남자는 3,228,750원, 여자는 2,403,600원이므로, 필요인력의 차이만큼 절감되는 경제성이 있다고 볼 수 있음.

* 팜봇의 작업 능률은(분/10a) 작업에 따라 일반 농기계 작업 능률 대비 동등하거나 소폭 향상됨을 보이며, 이에 따라 생산성 또한 동등 또는 소폭 향상됨.

* 현재 농업 노동 임금이 계속 상승 중에 있으며, 노동인력 확보에 많은 어려움이 있음. 이에 노동력 확보 해소에 도움이 됨.

* 특히 평지 작업에서 휴립, 피복, 이식, 파종 작업은 관행 작업(일반 보행 작업)과 비교시 정교한 작업을 할 수 있고, 직진성 등이 뛰어남.

- 작업별 내구성 테스트(시험일지)

팜봇 로터리 모듈 내구성 시험 일지

ASIA

시험자 : 천원기, 김대현

• 시험목적

- 1) 로터리 모듈의 내구성 검증용 시험.
- 내구성 확인(누유, 비틀림, 파손, 전기, 전자 장치 작동)

• 시험조건 및 방법

- 1) 시험일자: 2022.04.08
- 2) 시험장소: 경상북도 안동시 경동로 1486-20 KIRO 농업로봇실증센터 테스트 베드
- 3) 포장조건: 굽은자갈 및 모래
- 4) 시험조건: 주행속도 1.5~2km/h
- 5) 시험시간: 4 hr/day

• 시험결과

- 1) 로터리 작업 4hr 후 변형, 파손, 누유 등 육안 확인 결과 이상 없음.



Fig. 1 로타리 작업기 내구성 테스트



Fig. 2 로타리 작업기 내구성 테스트



Fig. 3 로타리 작업기 내구성 테스트



Fig. 4 변형, 파손, 누유 등 육안 확인

• 결론

- 1) 로터리작업 4hr 후 로터리 모듈의 변형, 파손, 누유 등의 결함이 발생하지 않았으므로 **내구성에 이상이 없다고 판단됨.**
- 2) 특히 비틀림이나 충격에 의한 부하, 파손, 오일누유 등은 문제점이 없음.
※ 로터리 충격완화장치(쇼버) 설치로 작업시 충격부하 감소.

- 끝 -

팜봇 휴립, 파복 모듈 내구성 시험 일지

ASIA

시험자 : 천원기, 김대현

• 시험목적

- 1) 휴립파복 모듈의 내구성 검증용 시험.
- 내구성 확인(누유, 비틀림, 두드림, 파손, 전기, 전자 장치 작동)

• 시험조건 및 방법

- 1) 시험일자: 2022.04.18
- 2) 시험장소: 경상북도 안동시 경동로 1486-20 KIRO 농업로봇실증센터 테스트 베드
- 3) 포장조건: 굽은자갈 및 모래
- 4) 시험조건: 주행속도 1.5~2km/h
- 5) 시험시간: 4hr/day

• 시험결과

- 1) 휴립 파복 작업 4hr 후 변형, 파손, 누유 등 육안 확인 결과 이상 없음.



Fig. 1 휴립파복 작업기 내구성 테스트



Fig. 2 휴립 작업기 내구성 테스트



Fig. 3 휴립 작업기 내구성 테스트



Fig. 4 변형, 파손, 누유 확인

• 결론

- 1) 휴립파복작업 4hr 후 휴립파복 모듈의 변형, 파손, 누유 등의 결함이 발생하지 않았으므로 **내구성에 이상이 없다고 판단됨.**

- 끝 -

팜봇 방제 모듈 내구성 시험 일지

ASIA

시험자 : 천원기, 김대현

• 시험목적

- 1) 방제 모듈의 내구성 검증용 시험.
- 내구성 시험 확인(변형, 파손, 누유, 전기장치 등)

• 시험조건 및 방법

- 1) 시험일자: 2022.04.15
- 2) 시험장소: 경상북도 안동시 경동로 1486-20 KIRO 농업로봇실증센터 테스트 베드
- 3) 포장조건: 굽은자갈 및 모래
- 4) 시험조건: 주행속도 1.5~2km/h
- 5) 시험시간: 5hr/day

• 시험결과

- 1) 방제 작업 5hr 후 변형, 파손, 누유 등 육안 확인 결과 이상 없음.



Fig. 1 방제 작업기 내구성 테스트



Fig. 2 방제 작업기 내구성 테스트



Fig. 3 방제 작업기 내구성 테스트



Fig. 4 변형, 파손, 누유 유무 확인

• 결론

- 1) 방제작업 5hr 후 방제모듈의 변형, 파손, 누유 등의 결함이 발생하지 않았으므로 **내구성에 이상이 없다고 판단됨.**

- 끝 -

팜봇 파종 모듈 내구성 시험 일지

ASIA

시험자 : 천원기, 김대현

• 시험목적

- 1) 파종기 모듈의 내구성 검증용 시험.
- 내구성 확인(누유, 비틀림, 파종상태, 파손, 전기, 전자 장치 작동)

• 시험방법

- 1) 시험일자: 2022.04.19
- 2) 시험장소: 경상북도 안동시 경동로 1486-20 KIRO 농업로봇실증센터 테스트 베드
- 3) 포장조건: 굽은자갈 및 모래
- 4) 시험조건: 주행속도 1.5~2km/h
- 5) 시험시간: 5 hr/day

• 시험결과

- 1) 파종 작업 5hr 후 변형, 파손, 누유 등 육안 확인 결과 이상 없음.



Fig. 1 파종 작업기 내구성 테스트



Fig. 2 파종 작업기 내구성 테스트



Fig. 3 파종 작업기 내구성 테스트



Fig. 4 변형, 파손, 누유 유무 확인

• 결론

- 1) 파종작업 5hr 후 파종 모듈의 변형, 파손, 누유 등의 결함이 발생하지 않았으므로 **내구성에 이상이 없다고 판단됨.**

- 끝 -

시험자 : 천원기, 김대현

• 시험목적

- 1) 이식 모듈의 내구성 검증을 위한.
- 내구성 확인(누유, 비틀림, 식부장치 작동, 파손, 전기, 전자 장치 작동)

• 시험방법

- 1) 시험일시: 2022.04.20
- 2) 시험장소: 경상북도 안동시 경동로 1486-20 KIRO 농업로봇실증센터 테스트 베드
- 3) 포장조건: 굽은지갈 및 모래
- 4) 시험조건: 주행속도 1.5~2km/h의
- 5) 시험시간: 4hr/1day

• 시험결과

- 1) 이식 작업 4hr 후 변형, 파손, 누유 등 육안 확인 결과 이상 없음.



Fig. 1 이식 작업기 내구성 테스트



Fig. 2 이식 작업기 내구성 테스트



Fig. 3 이식 작업기 내구성 테스트



Fig. 4 변형, 파손, 누유 유무 확인

• 결론

- 1) 최종 문제점 개선 후 이식작업 4hr 후 이식모듈의 변형, 파손, 누유 등의 결함이 발생하지 않았으므로 **내구성에 이상이 없다고 판단됨.**

- 끝 -

시험자 : 천원기, 김대현

• 시험목적

- 1) 운반 모듈의 내구성 검증을 위한.
- 내구성 확인(변형, 비틀림, 파손 등)

• 시험방법

- 1) 시험일시: 2022.04.21
- 2) 시험장소: 경상북도 안동시 경동로 1486-20 KIRO 농업로봇실증센터 테스트 베드
- 3) 포장조건: 굽은지갈 및 모래
- 4) 시험조건: 주행속도 1.5~2km/h의
- 5) 시험시간: 6 hr/1day

• 시험결과

- 1) 운반 작업 6hr 후 변형, 파손 등 육안 확인 결과 이상 없음.



Fig. 1 운반 작업기 내구성 테스트



Fig. 2 운반 작업기 내구성 테스트



Fig. 3 운반 작업기 내구성 테스트



Fig. 4 변형, 파손 유무 확인

• 결론

- 1) 운반작업 6hr 후 운반모듈 변형, 비틀림, 파손 등의 결함이 발생하지 않았으므로 **내구성에 이상이 없다고 판단됨.**

- 끝 -

- 기술이전 및 사업성 검토

기술이전 및 사업성 검토 회의록

ASIA

참석일 : 2022년 07월 28일
참석자 : ATC 천원기, 김병수, 정병수
KIRO 오창석, 조용준

• 회의내용

개발 장비 및 기술에 대한 사업화(기술이전)는 발작물 로봇 기술에 대한 인식 및 가격 경쟁력과 다양한 작업 및 작물을 재배하는 우리나라 농업의 여건을 감안하여 한 시험에서 시기적으로 이른 실험이라고 판단됨.

하지만 다년간 과제를 진행함에 따라 국내외 농업용 로봇 시장에 대한 동향 분석과 동시에 글로벌 로봇 시장과 비교하여 팜봇의 기술적 경쟁력에 대한 가능성과 활용성은 미래 지향적인 측면에서 긍정적이라 생각됨.

과제를 통한 선행연구로 문제점을 개선하고 보완한 농업용 로봇 개발 기술을 습득하였으며, 이를 토대로 경제성 & 생산성 분석 및 상업화를 위한 상품 기술 고도화(기술연중)를 진행하여, 중장기적으로 판매를 추진하고자 함.

상품 기술 고도화(기술이전)의 경우 중장기적인 관점에서 전략적으로 추진하고자 하며, 사업화로 매출을 일으켜 추가적인 실적 확보 하고자 계획함.

뿐만 아니라 내부적으로 전통물켓들에 대한 성장 동력 마련과 제품 생산에 안정화를 위한 공장 증축 및 생산 인력 확보에 대하여 긍정적인 관점에서 검토 중에 있음.

제품 판매를 통한 매출 증대뿐만 아니라 발작물 로봇에 대한 대외 및 관리에 대한 신사업 투자를 통해 농업 신기술 적용에 대한 사회적 인식 개선과 인력난 해소와 기계화율을 높여 농경지를 효율적으로 관리하여 농업 생산성과 작물의 수확량을 높이는데 기여하고 더불어 농업에 관련된 새로운 시장의 활로 개척과 청진적인 성장으로 지속적 매출 증대 효과 기대하고 있음.

• 향후일정

9~10월 중 일정을 정하여 사업화를 위한 좀 더 구체적인 기술이전 내용을 상세히 논의 예정

* 위와 같이 사업화를 위한 기술이전에 대한 회의를 진행 중에 있음

농업로봇 및 작업기

ASIA
ASIA TECHNOLOGY CO., LTD.

ROBOT FARM ARF-800



www.asiakor.com

농업로봇 및 작업기

ASIA
ASIA TECHNOLOGY CO., LTD.

ROBOT FARM ARF-800



방제 작업



휴립 · 비닐피복 작업



이식 작업



운반 작업



파종 작업



로터리 작업



- ◆ 세계 유일의 밭작물 농업로봇으로 로터리, 휴립, 비닐피복, 운반, 방제, 파종, 이식작업 등 성능
- ◆ 농업로봇의 플랫폼의 바퀴 4개가 동시에 조향 및 주행이 가능하며, 제자리에서 360° 회전 및 선회 기능 탑재
- ◆ 원터치 자동 탈부착 기능과 바퀴 폭 및 높이의 가변형으로 다양한 작물에 적용하여 효과적으로 작업 가능

본사	대구광역시 달서군 유가면 비슬로 96길 11	☎ 053-580-7777
서울사무소	서울특별시 서초구 반포동 강남대로 507 신태양 B/D 701호	☎ 02-547-8098
경기·강원영업소	경기도 용인시 처인구 원삼면 투창로 215-12	☎ 031-335-8242
충북영업소	충청북도 진천군 덕산면 석장로 61	☎ 043-537-8235~6
충남영업소	충청남도 공주시 송선동 요동길 20	☎ 041-857-8235
호남영업소	광주광역시 광산구 하남산단 9번로 77	☎ 062-956-8627
경남·북영업소	대구광역시 달성군 유가면 비슬로 96길 11	☎ 053-580-7811

www.asiakor.com

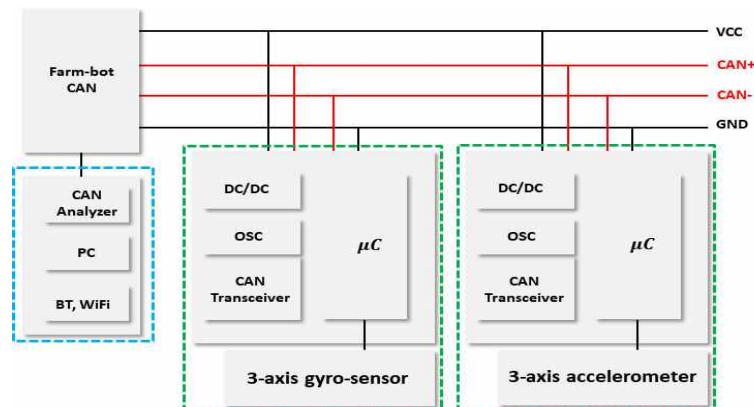
< 공동연구기관 : 안동대학교 산학협력단 >

세부연구목표	연구개발 수행내용
자기 진단 센서 융합 시스템 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 자기 진단 시스템 설계 - 자기 진단 시스템 시제품 제작 - 누전 모니터링 시스템 개발 - 침수 센서 및 차고 센서 개발 - 내환경 시스템 패키지 개발
INS 기반 범용 자세인식 및 수평 제어기술 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 팜봇의 기계적 특성 분석 - 수평 자세 모니터링 시스템 개발 - GPS 모듈 적용 위치 인식 기능 개발 - 다중 자세 인식 시스템 및 알고리즘 개발 - 시제품 제작
노지 환경 인지 및 센서 융합 자세제어 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 스마트 히트 펌프 개발 - 로봇의 취약 구조물의 변형 모니터링 - 고도, 침수 및 누전 센서의 업그레이드 개발
자세 모니터링 시스템과 자기 진단 시스템의 통합 시스템 개발 및 알고리즘 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 자세 모니터링 시스템과 자기 진단 시스템의 통합 시스템 개발 - 통합 알고리즘 개발 - 고성능 자세 모니터링 시스템과 저가 형 자세 모니터링 시스템, 2 종류 개발 - 자동 수평 제어 시스템 개발 - 관성항법 시스템 개발(보조 시스템)
자세 모니터링 시스템 평가를 위한 측정 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 모션 제어 시스템의 정밀 측정을 위한 측정 시스템 개발 - 3축(roll, pitch 및 yaw angle) 회전각의 정밀 측정이 가능한 시스템 개발 - 상용화 검토

○ 자세 모니터링 시스템 및 자기 진단 시스템 개발

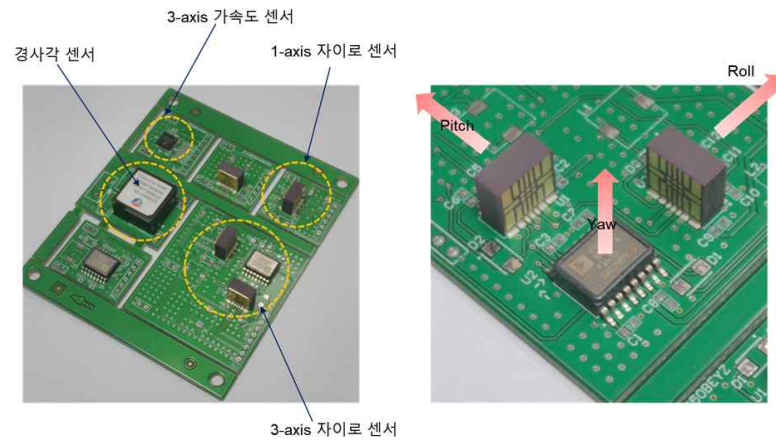
가) 자세 모니터링 시스템 개발

- 농업용 로봇의 자세제어를 위한 자세 모니터링 시스템과 동작 상태를 모니터링 하기 위한 자기 진단 시스템을 개발함
- 자세 모니터링 시스템은 총 3개 모델을 개발하였으며, 최종 모델은 자세 모니터링 시스템 과 자기 진단 시스템을 한 개의 보드로 통합하여 개발함
- 1차 자세 모니터링 시스템은 3축 자이로 센서(AnalogDevices ADXRS450 3개), 3축 가속도 센서(AnalogDevices ADXL345) 등을 독립 보드로 제작한 후에 하나의 보드에 통합하여 제작함
- 특히 자이로 센서 보드의 총 3개의 자이로 센서를 사용하여 각축별로 정확한 측정이 가능하게 함

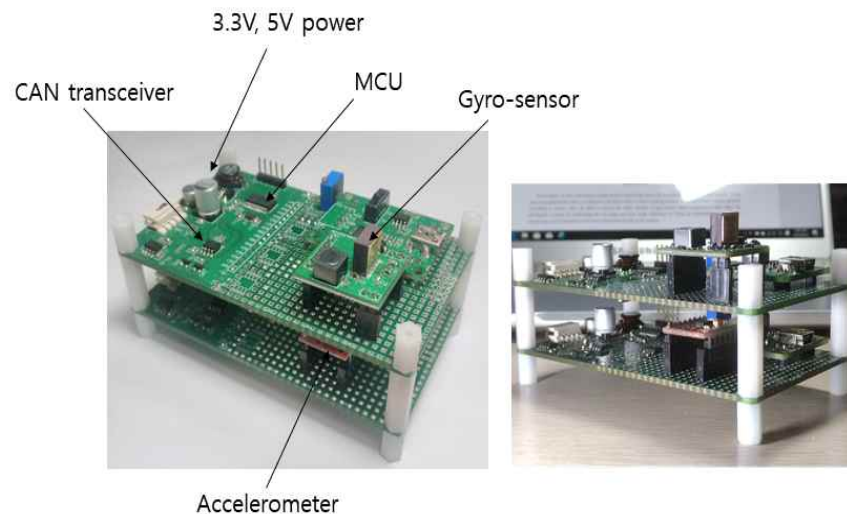


< 자세 모니터링 시스템 블록도 >

- 1차 자세 모니터링 시스템은 3축 자이로 센서와 3축 가속도 센서가 각각의 MCU(PIC18F26K83-E/SO)를 가지는 독립 시스템으로 제작되고, CAN 통신을 사용함
- 가속도 센서 모듈과 자이로 센서 모듈을 2층 구조로 조립함

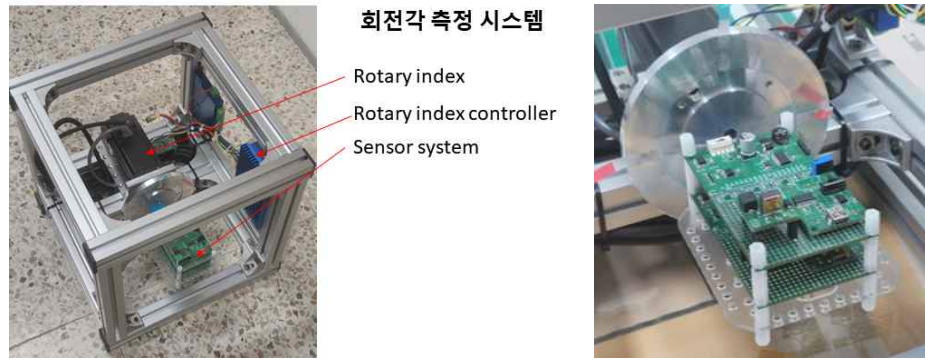


< 센서 보드: 자이로, 가속도, 경사각 센서 등 >

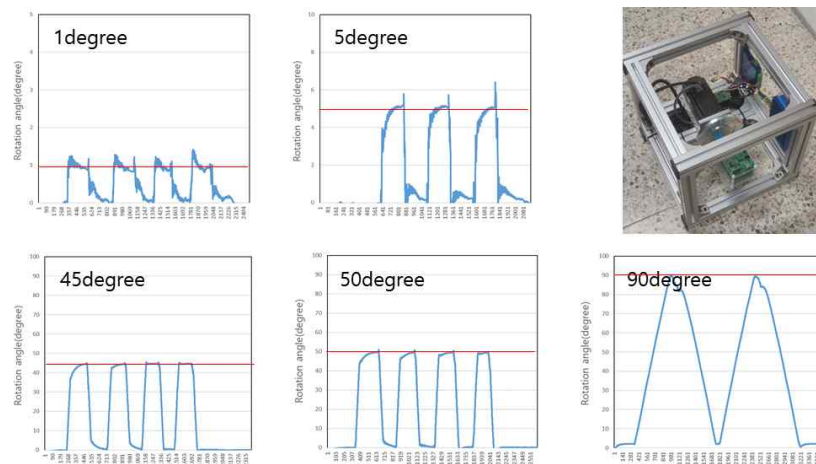


< 자세 모니터링 시스템 1차 모델 >

- 1차 자세 제어 시스템의 경우 구조가 복잡하고, 각 센서의 회전축이 모두 달라서 보상이 필요해 측정 알고리즘이 너무 복잡해지는 문제점이 있음
- 개발된 자세 모니터링 시스템의 동작 특성을 평가하기 위하여, 자이로 센서 모듈과 가속도 센서 모듈 등 모듈 각각의 동작을 확인하고, 통합 자세 모니터링 시스템(2차 모델)을 설계함

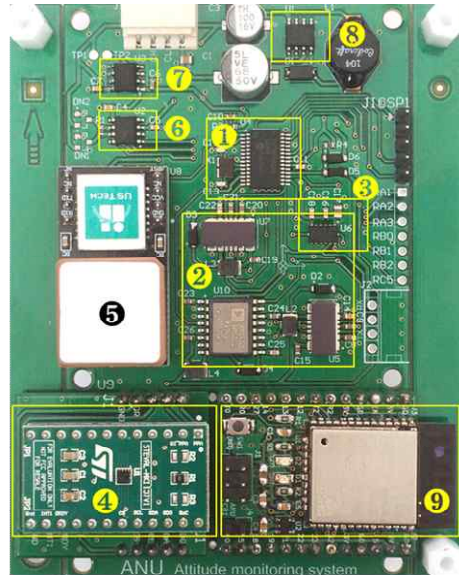


< 자세 모니터링 시스템 측정 >



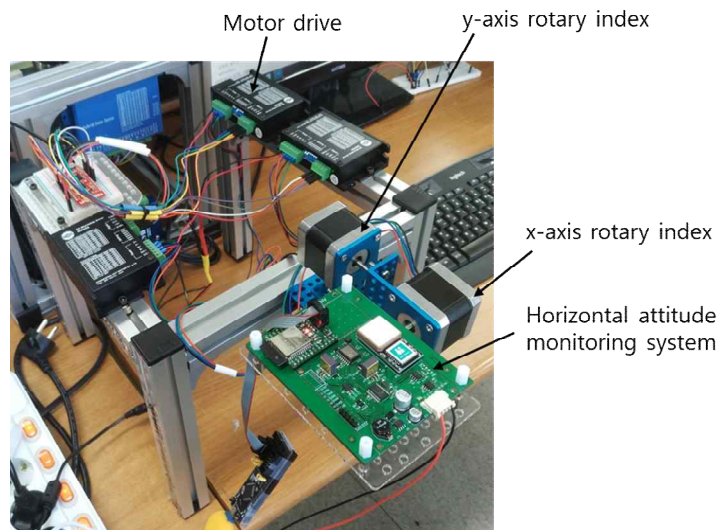
< 자세 모니터링 시스템 측정 결과: 1도, 5도, 45도, 50도 및 90도 >

- 통합 보드에는 3축 자이로 센서, 3축 가속도 센서를 배치하고, 본 자세 모니터링 시스템을 로봇의 자율 주행에도 적용할 수 있도록 3축 지자계 센서를 추가 설계함
- GPS 시스템을 추가하여, 자율 주행이 가능하게 함
- 로봇의 중앙 제어 시스템과의 통신은 CAN을 표준으로 적용하고, 무선 통신을 위한 WiFi와 블루투스 통신을 적용하고, 전용 앱을 개발함
- 전원은 중앙 제어 시스템으로부터 공급받도록 설계하였으며, 3.3V와 5V를 사용할 수 있게 설계함
- 자세 모니터링 시스템의 roll 및 pitch angle을 측정하기 위한 측정 시스템을 제작함
- 측정 시스템은 2개의 모터를 이용하여 roll, pitch angle을 동시에 제어할 수 있도록 함
- 자세 모니터링 시스템 2차 모듈에는 블루투스 통신 모듈이 설치되어 무선 통신이 가능함
- 자세 모니터링 시스템과의 무선 통신을 위하여 전용 앱을 개발함

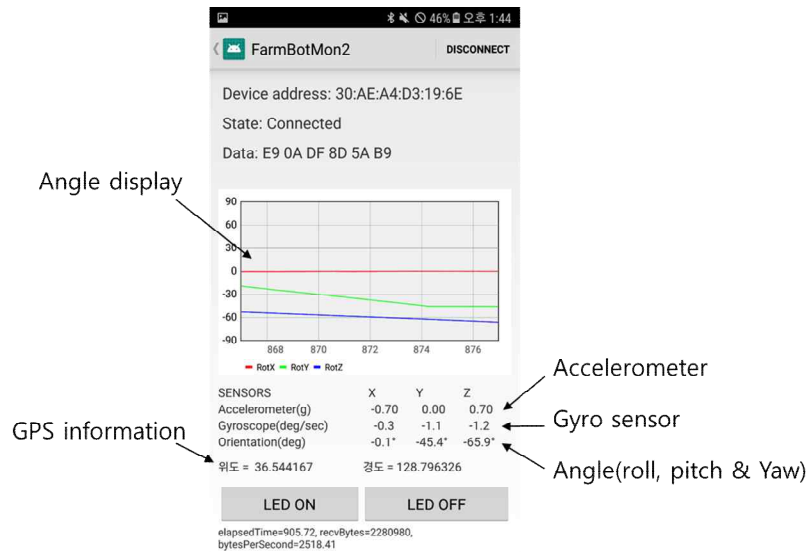


①MCU ②3축 자이로 센서 ③3축 가속도 센서 ④3축 지자계 센서 ⑤GPS ⑥CAN
⑦3.3V 전원 ⑧5V 전원 ⑨블루투스 모듈

< 자세 모니터링 시스템 2차 모델 >

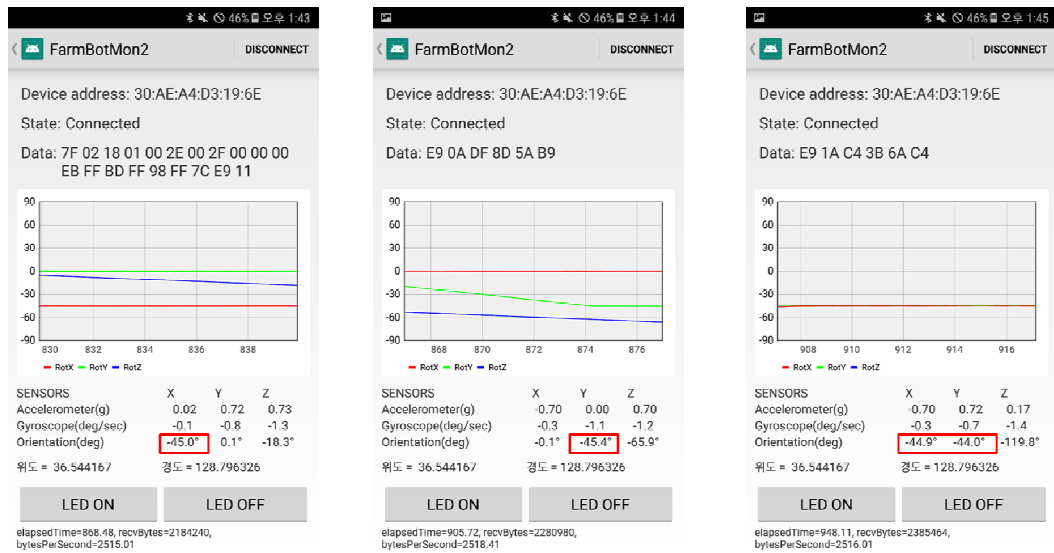


< 자세 모니터링 시스템 측정 시스템 >

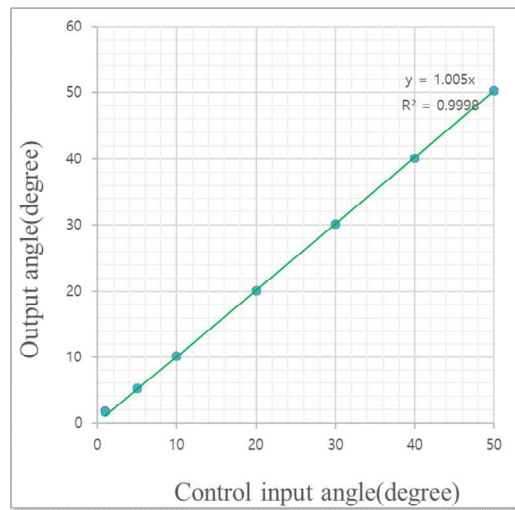


< 자세 모니터링 시스템 전용 앱 >

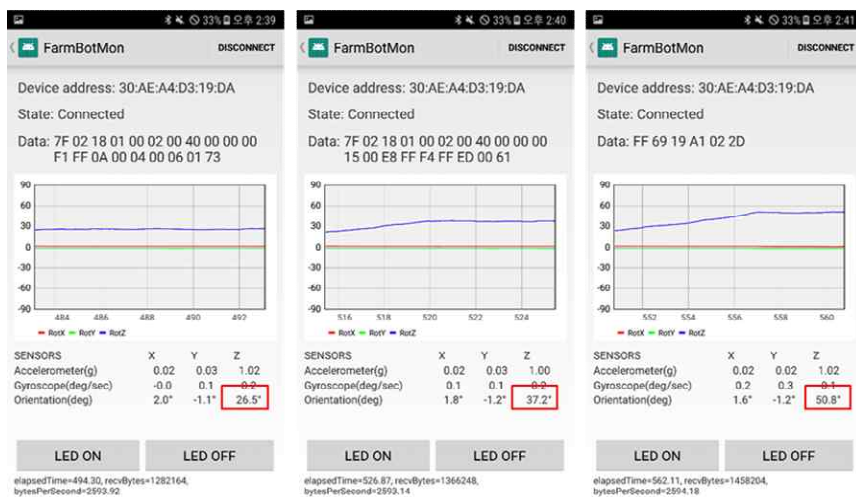
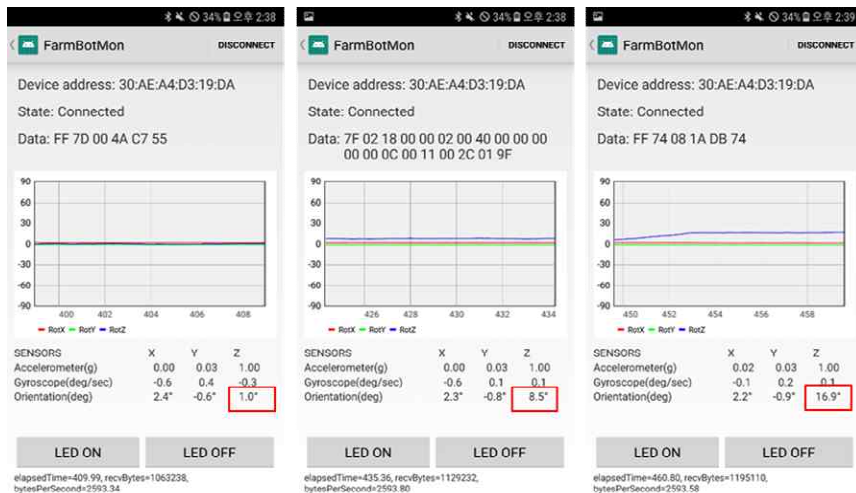
- 전용 앱은 무선으로 GPS 정보, 가속도 센서, 자이로 센서 정보 및 각도(roll, pitch, yaw) 정보를 확인할 수 있으며, 현재의 roll, pitch 및 yaw 각도를 실시간으로 표시되는 그래프를 확인할 수 있음



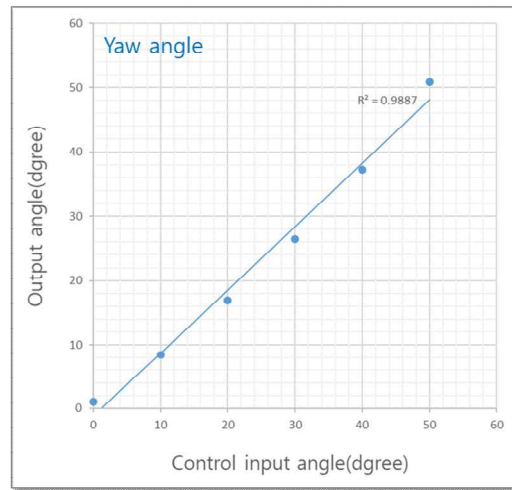
< Roll, pitch angle 측정 결과 >



< Roll, pitch angle 측정 결과 >



< Yaw angle 측정 결과, 무선 모니터링 >

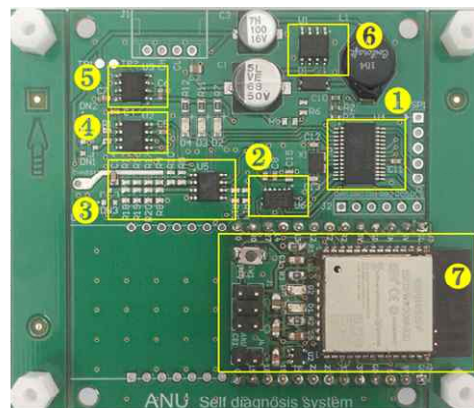


< Yaw angle 측정 결과 >

- R2 값이 0.99로 매우 우수한 측정 결과를 나타내고 있음
- 각도 측정은 0.5도의 정도로 측정 가능함
- 무선 통신이 가능하여 원격 모니터링이 가능할 것으로 판단됨

나) 자기 진단 시스템 개발

- 자기 진단 시스템은 로봇의 상태를 모니터링하여 현장 상황을 판단함
- 자기 진단 시스템의 1차 모델은 로봇의 누전 모니터링, 이상 진동 및 충격 모니터링이 가능하고, MCU가 포함되어 있으며 CAN 통신 및 블루투스 통신이 가능하게 설계함



①MCU ②가속도 센서 ③누전 센서 ④CAN
⑤3.3V 전원 ⑥5V 전원 ⑦블루투스 모듈

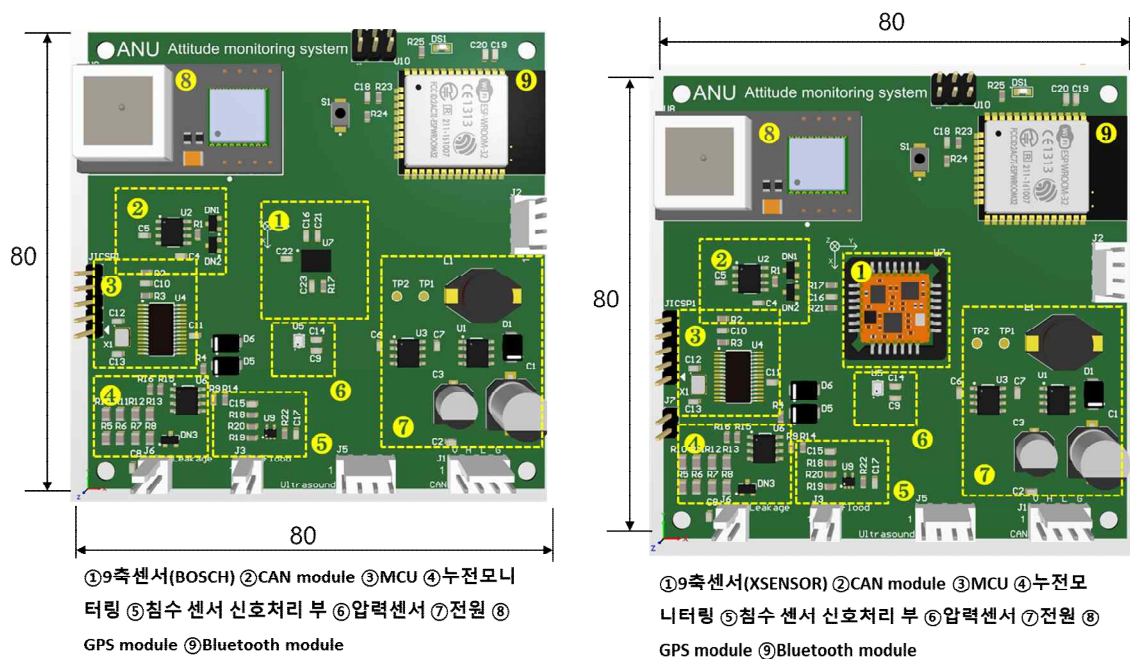
< 자기 진단 시스템 1차 모델 >

- 자기 진단 시스템에는 3.3V와 5V 전원을 사용할 수 있고, MCU가 포함되어 있어서 다양한 기능을 구현할 수 있음
- 자기 진단 시스템에 필요한 센서를 추가하면서 기능을 업그레이드 가능
- 누전 센서는 본 연구에서 개발되었으며, 로봇 바디를 통해서 발생하는 누전을 감지할 수 있음
- 3축 가속도 센서는 로봇의 전후, 좌우 및 상하 방향의 진동 및 충격을 모니터링하여, 로봇의 이상 진동이나 충격을 감지함

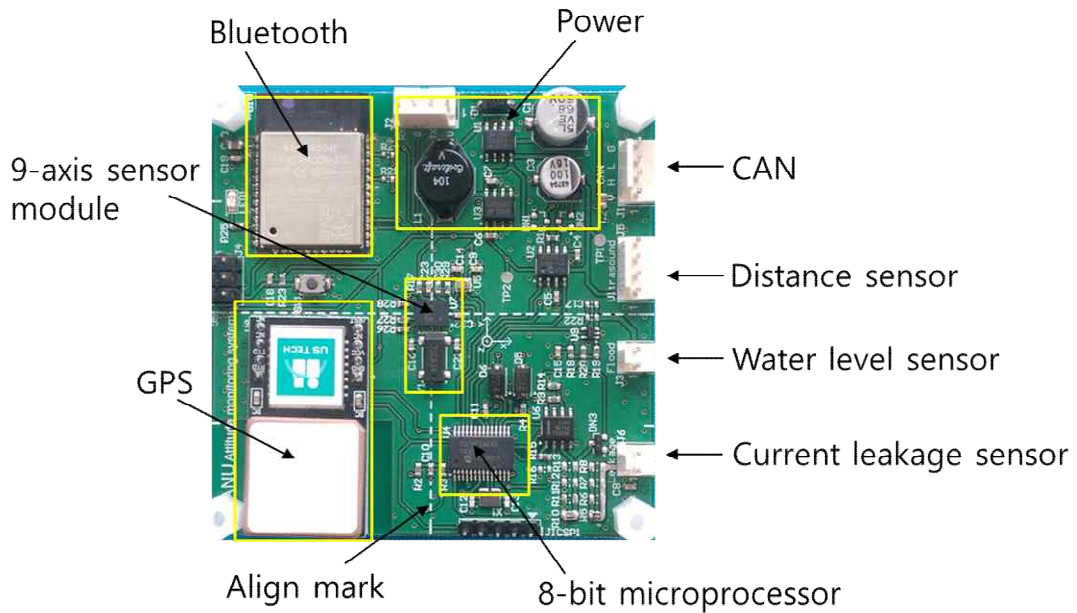
- 감지된 누전, 이상 진동 및 충격 감지 결과를 CAN 통신 또는 블루투스를 이용한 무선 통신 방법으로 정보를 전달할 수 있음

다) 자세 모니터링 및 자기 진단 시스템 통합 보드 개발

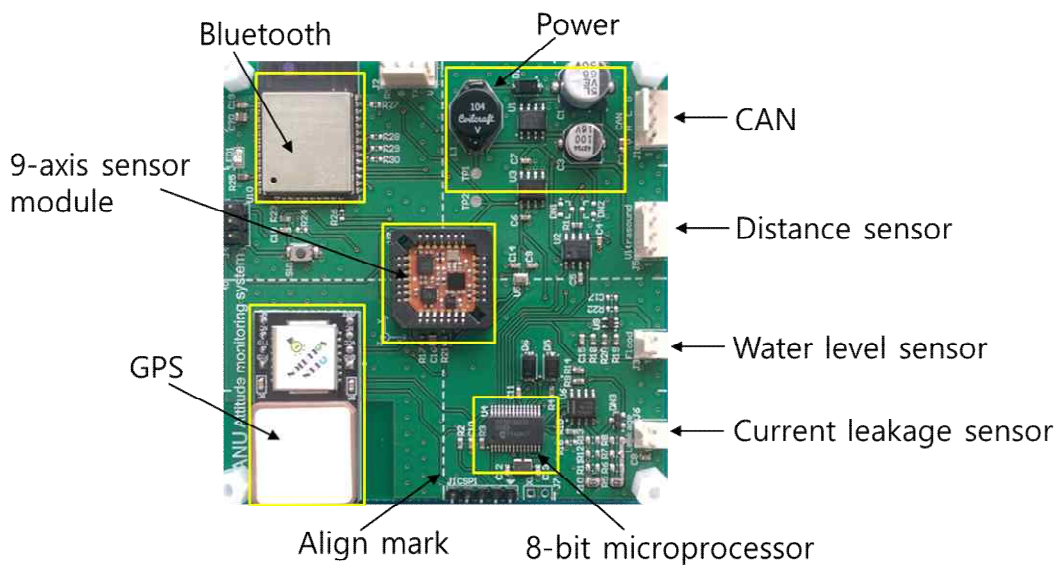
- 자세 모니터링 시스템과 자기 진단 시스템을 하나의 보드로 통합한 보드 개발
- 자세 모니터링 시스템과 자기 진단 시스템을 하나의 보드로 통합하여, 로봇 본체에 보드 장착을 위해 확보해야 할 면적이 좁아지고, 중앙 제어 장치와의 통신을 위한 시스템이 단순해지는 장점이 있음
- 3축 가속도 센서, 3축 자이로 센서 및 3축 지자기 센서를 하나의 칩에 통합한 고성능 9축 센서를 사용함으로써 보드가 단순화되고, 각 센서의 회전축 위치에 대한 보상이 필요 없어서 측정 알고리즘도 단순화 가능함
- 통합 보드 1차 모델에는 9축 센서와 GPS, 블루투스(ESP32_WROOM_32D), CAN 및 8비트 MCU(PIC18F26K83-E/SO), 그리고 자기 진단 부에는 침수 센서, 누전 센서, 차고 센서 및 압력 센서로 구성되어 있음
- 통합 보드 개발에는 onechip 9축 관성 센서(BOSCH BNO055(LGA28))를 사용한 모델과 Multi-chip 9축 관성 센서(Xsens MTi-7)를 사용한 모델 등 2 종류를 개발함



< 통합 보드 1차 모델 설계, onechip 8축 관성 센서, multi-chip 8축 관성 센서 모델 >

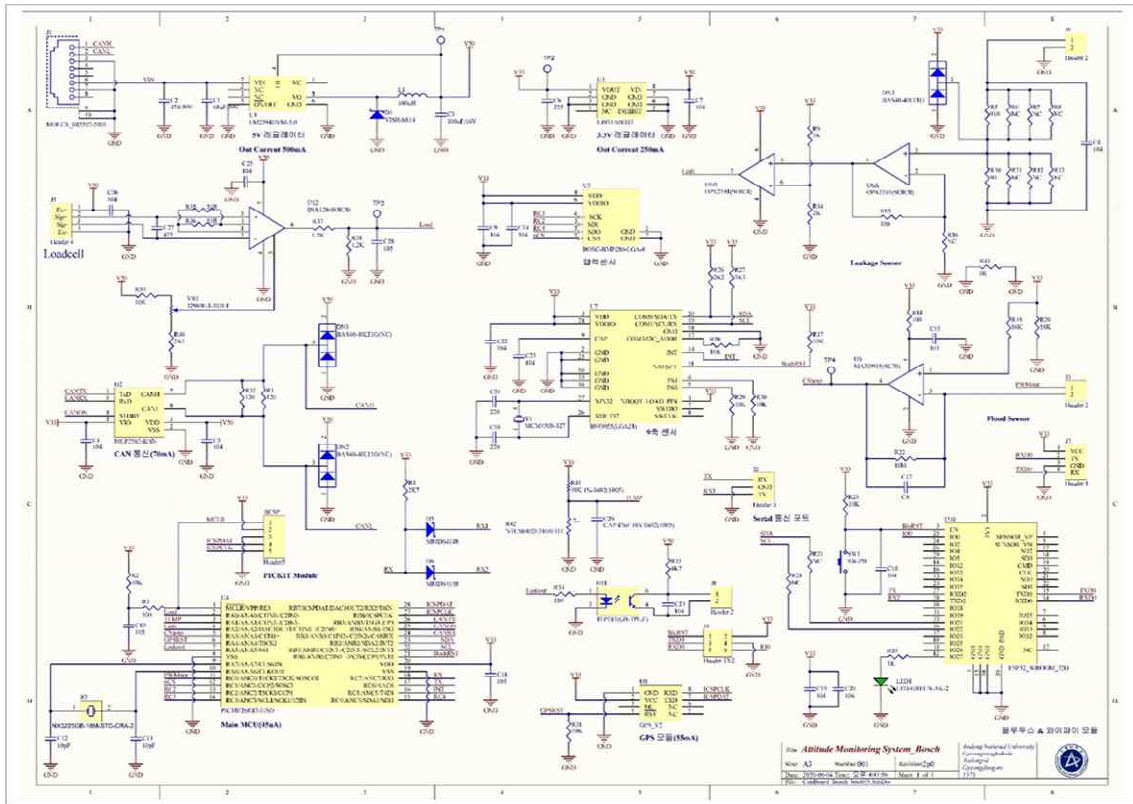


< 통합 보드 1차 모델 제작, onechip 9축 관성 센서 사용 >

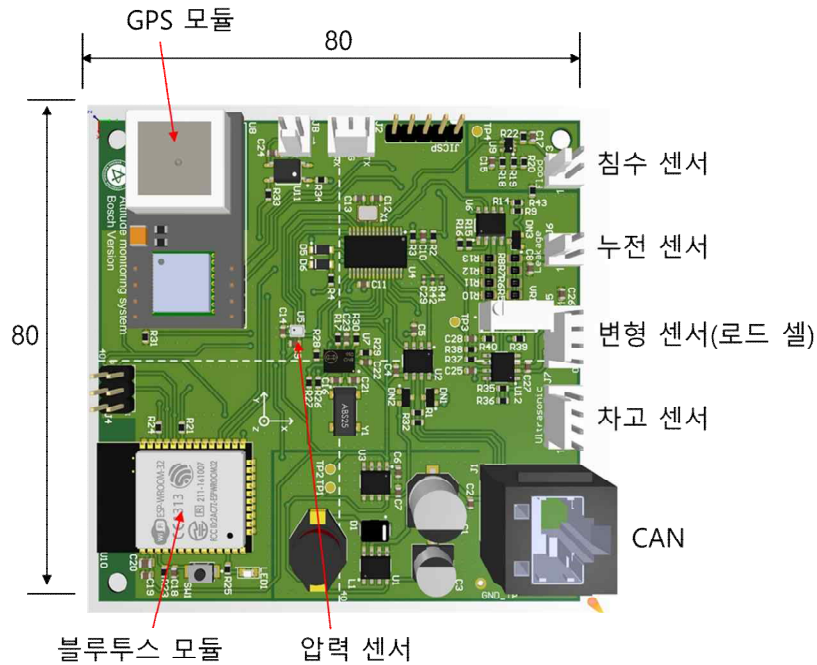


< 통합 보드 1차 모델 제작, multi-chip 9축 관성 센서 사용 >

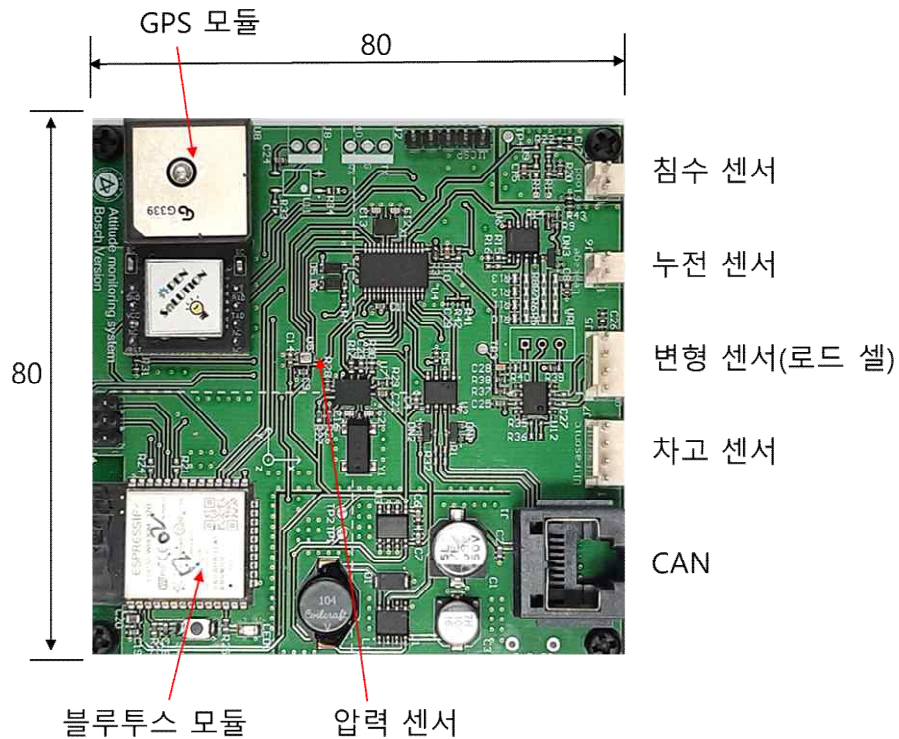
- 통합 보드 개발에는 onechip 9축 관성 센서를 사용한 모델과 Multi-chip 9축 관성 센서를 사용한 모델 등 2종 개발
- 9축 관성 센서를 보드의 중심에 배치하고, 주위에 GPS, 블루투스, 전원 및 센서류를 배치함
- 최종 모델인 통합 보드 2차 모델에는 로봇 본체의 변형을 모니터링할 수 있는 로드셀을 추가하고, CAN 연결 단자를 수정함



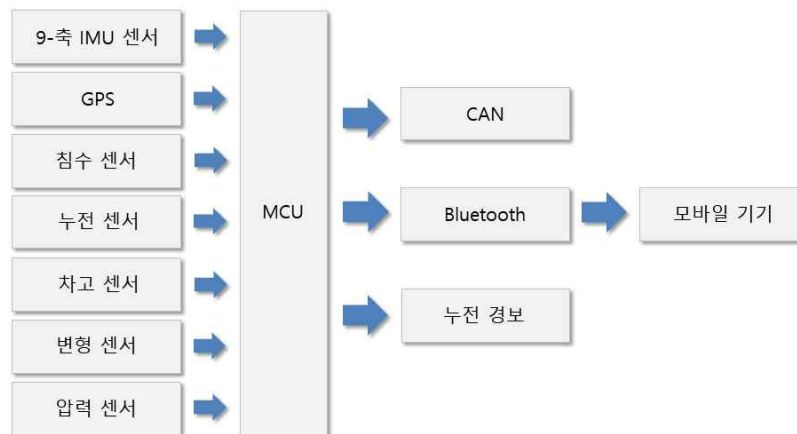
< 통합 보드 2차 모듈 회로도 >



< 통합 보드 2차 모델 설계, onchip 9축 관성 센서 사용 >

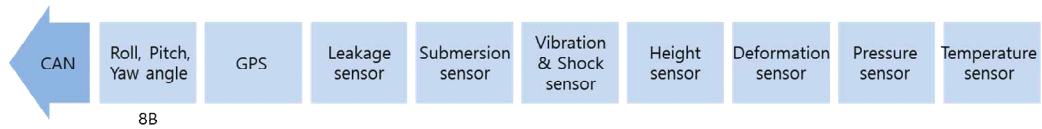


< 통합 보드 2차 모델 제작, onechip 9축 관성 센서 사용 >



< 자세 모니터링 시스템 및 자기 진단 시스템 최종 통합 보드 >

- 최종 자세 모니터링 및 자기 진단 시스템 통합 보드는 9축 관성 센서, GPS, 5종류의 센서 (침수, 누전, 차고, 변형 및 압력)로 구성되었으며 CAN 통신과 블루투스를 이용한 무선 통신이 가능하도록 개발됨
- 통합 보드는 CAN 버스를 통해서 자세 모니터링 결과를 포함하여 각 센서의 측정 결과를 다음 그림과 같은 데이터 세트 형태로 전송함

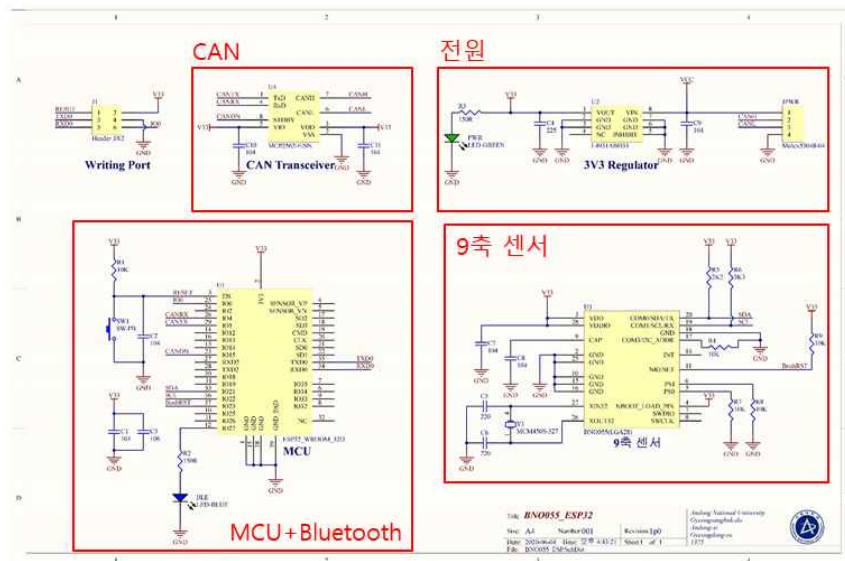


< 통합 보드의 출력 데이터 세트 >

- 자세 모니터링 및 자기 진단 결과를 CAN 버스를 통하여 중앙 제어 시스템으로 전송함
- 각 데이터는 8바이트로 구성되며, 순차적으로 전송됨

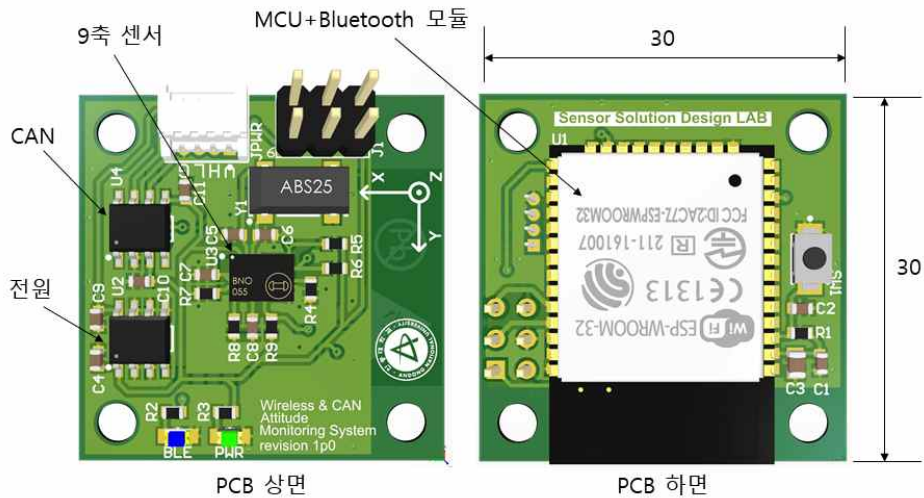
라) 다중 자세 모니터링용 시스템 보드 개발

- 통합 보드와 함께 농업용 로봇에 연결되는 각종 작업기에 장착하여 다중 자세 모니터링을 위하여 소형 자세 모니터링 시스템을 추가로 개발함



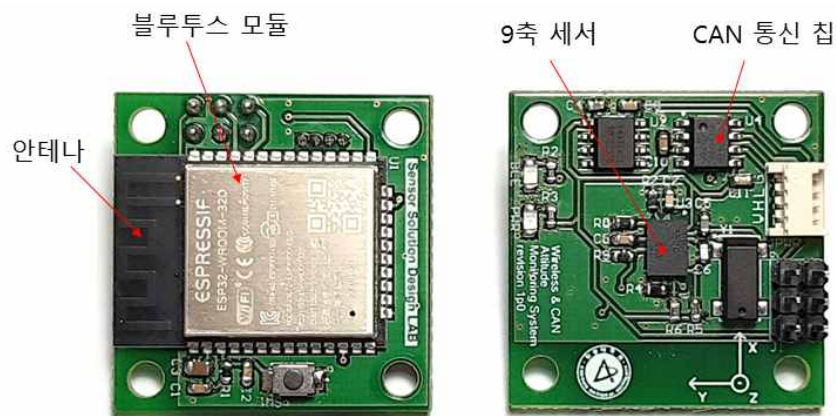
< 다중 자세 모니터링 용 소형 자세 모니터링 시스템 >

- 다중 자세 모니터링 시스템은 9축 관성 센서, 전원 및 CAN 통신용 칩으로 구성되며, MCU와 블루투스 통신 시스템이 통합된 시스템을 사용하여 설계하였으며, 보드 사이즈를 줄이기 위하여 양면 PCB로 설계함
- 다중 자세 모니터링 시스템은 소형이며, 자세 모니터링 정보를 블루투스를 이용한 무선 통신이 가능하여 로봇 자세 모니터링뿐 아니라 인간의 모션 모니터링, 드론의 자세 모니터링 등 다양한 응용이 가능할 것으로 판단됨



< 다중 자세 모니터링 시스템 설계 >

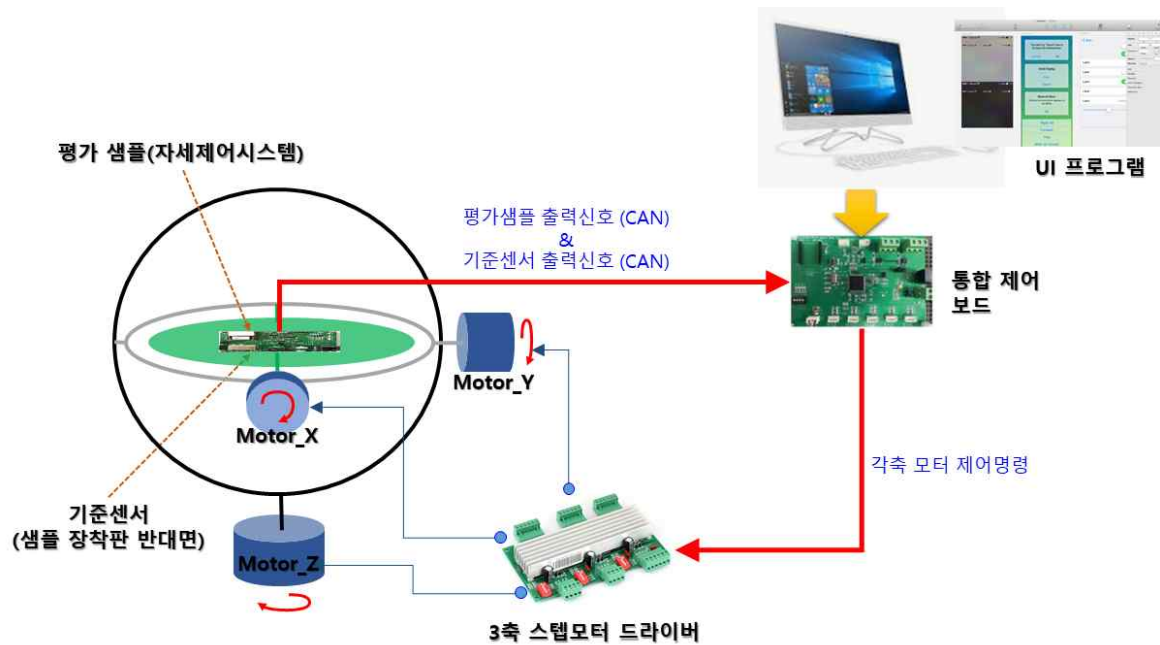
- 다중 자세 모니터링 시스템은 저가형 9축 센서를 사용하고, CAN 통신과 블루투스 통신을 통한 원격 모니터링이 가능하게 설계함
- 다중 자세 모니터링 시스템은 roll, pitch 및 yaw angle을 측정하고, CAN 통신 및 블루투스 통신으로 모니터링 결과를 공유 가능함
- 다중 자세 모니터링 시스템을 사용하여 다중 자세 제어가 가능하며, 다중 자세 제어 목적 외에도 단순히 작업기의 현재 상태(기울기, 방향, 진동 등)를 참조 정보로 사용할 수도 있음
- 다중 자세 모니터링 시스템은 사이즈가 $30 \times 30 (mm^2)$ 로 소형이기 때문에 농업용 로봇의 특정 부분에 접착하여 특정 부분만의 자세 정보를 모니터링 할 수 있음



< 다중 자세 모니터링 시스템 뒷면과 전면 >

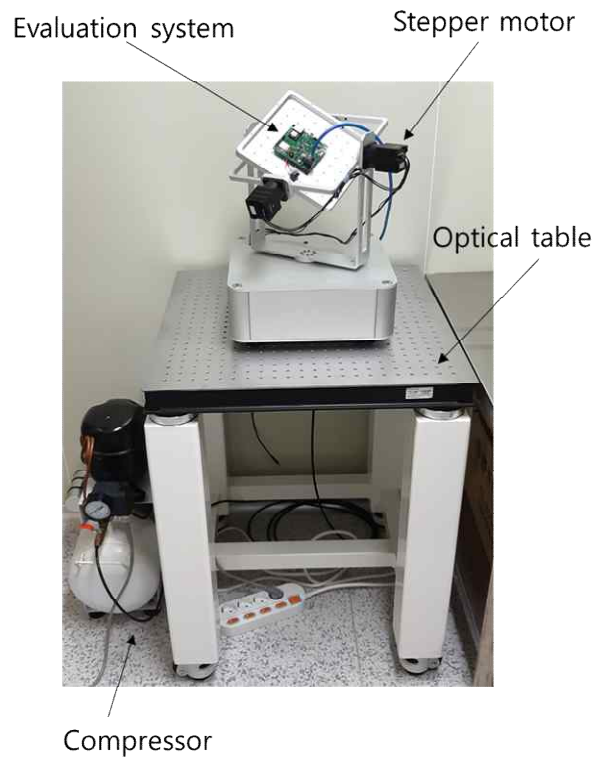
- 다중 자세 모니터링 시스템 보드의 사이즈는 $30 \times 30 cm^2$ 이고, 보드의 사이즈를 줄이기 위하여 PCB 양면을 사용하며, 앞면에는 센서와 통신 용 칩 등을 배치하고, 뒷면에는 마이크로프로세서와 블루투스 통신 기능이 통합된 ESP32-WROOM-32D 칩을 사용함
- 건전지를 사용하여 구동할 수 있으며, 블루투스 통신이 가능하여 무선 장착 및 원격 모니터링이 가능함

- 마) 3축(roll, pitch 및 yaw angle) 회전각 측정을 위한 고니오미터(goniometer) 개발
- 3축(roll, pitch 및 yaw angle) 회전각을 정확하게 제어하기 위한 고니오미터를 설계함



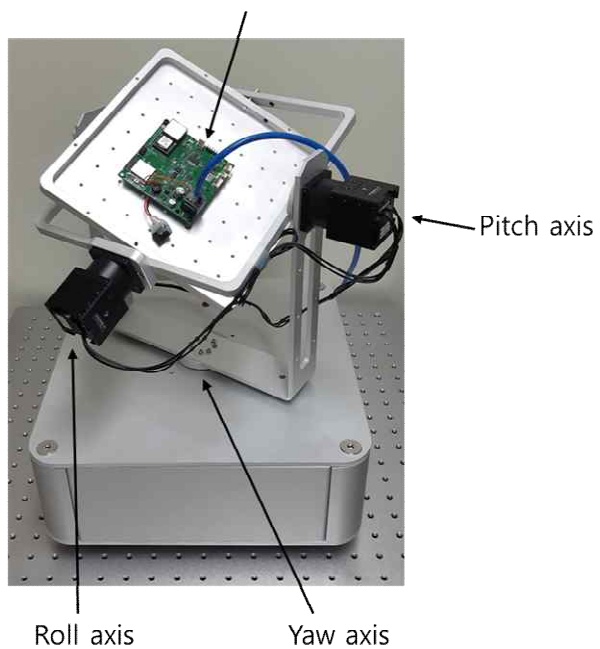
< 3축 회전각 제어 시스템 >

- 3축(roll, pitch 및 yaw angle) 회전각을 0.01도의 분해능으로 제어 가능한 시스템을 개발함
- 3축의 회전각을 제어하기 위한 3개의 고성능 스텝핑 모터(분해능 0.01도)를 사용함
- 스텝핑 모터를 제어하기 위한 모터 드라이버를 사용하였으며, 모터 제어는 PC 기반 소프트웨어를 사용함
- 측정 시스템에는 자세 모니터링(3축 회전각 모니터링) 시스템을 장착하여, 피 측정 시스템의 출력과 비교할 수 있도록 개발함

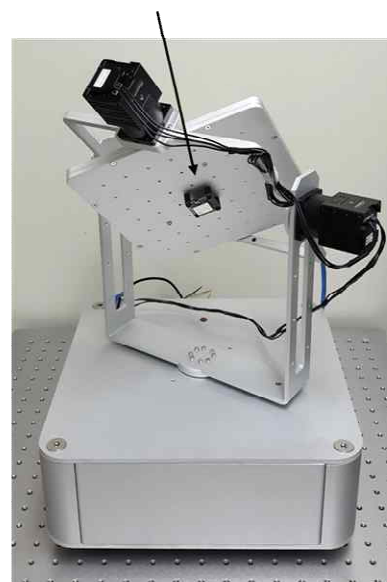


< 3축 고니오미터 >

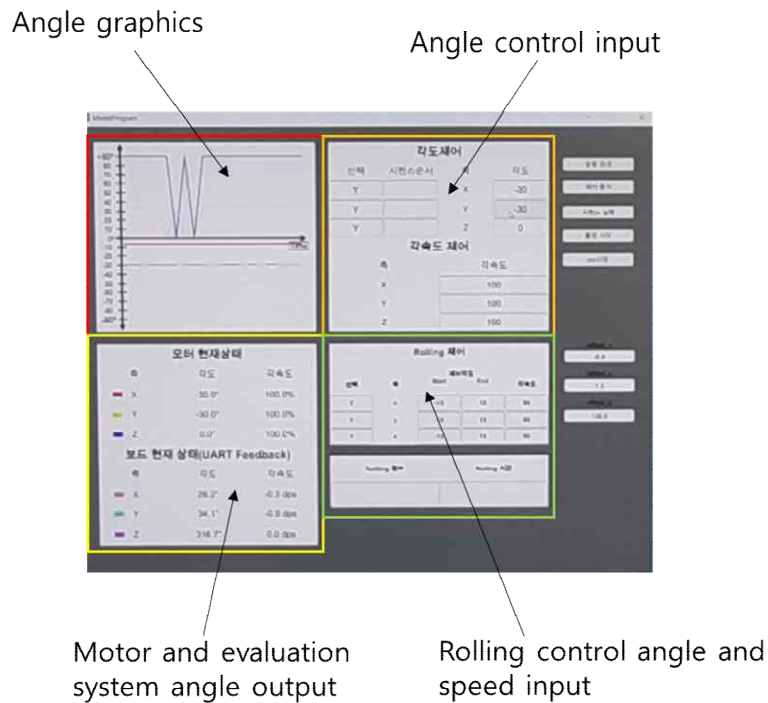
3-axis attitude monitoring system



3-axis attitude monitoring reference system



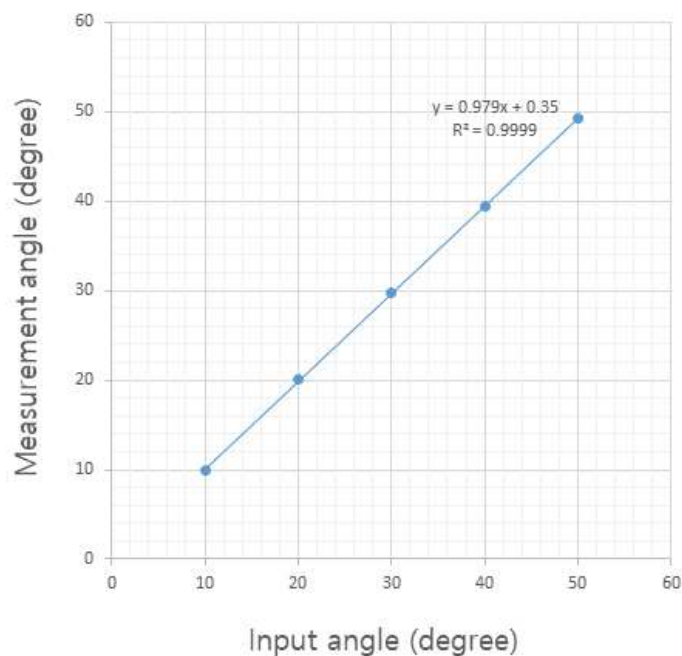
< 3축 고니오미터 >



< 고니오미터 제어 판넬 >

바) 자세 모니터링 시스템을 이용한 roll, pitch 및 yaw angle 측정

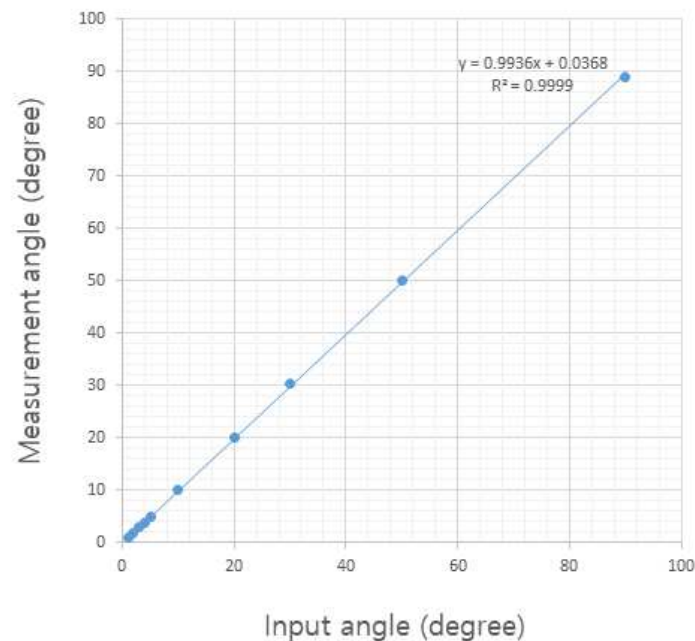
- 개발된 자세 모니터링 시스템의 성능 평가를 위하여 roll, pitch 및 yaw angle을 변화 시키면서 자세 모니터링 시스템의 출력 특성을 분석함
- Roll angle 및 pitch angle은 특성이 동일하기 때문에 roll angle만 측정함



< Roll angle 모니터링 결과 >

- 측정 결과에서 input angle은 스텝핑 모터를 이용하여 회전시킨 각도이며, Measurement angle은 자세 모니터링 시스템을 이용하여 각도를 모니터링 결과임

- R2 값이 0.9999로 매우 우수한 상관관계를 나타내는 것으로 확인되었음
- 본 연구의 목표인 각도 모니터링 분해능인 0.5도를 측정한 결과(10회 측정 평균값), 스텝핑 모터를 이용하여 자세 모니터링 시스템을 0.5도 회전 시킬 때 모니터링 값이 약 0.421도임
- 입력 각도에 대해서 모니터링 결과 약 84%의 출력 값을 나타내고 있으나, 최소 각도인 0.5도의 분해능으로 측정이 가능할 것으로 판단됨
- 본 자세 모니터링 시스템은 0.2도까지 측정이 가능한 것으로 확인함(공인 입회시험)
- Yaw angle도 같은 방법으로 스텝핑 모터로 각도를 변화시키면서 자세 모니터링 시스템의 측정 각도를 모니터링 함



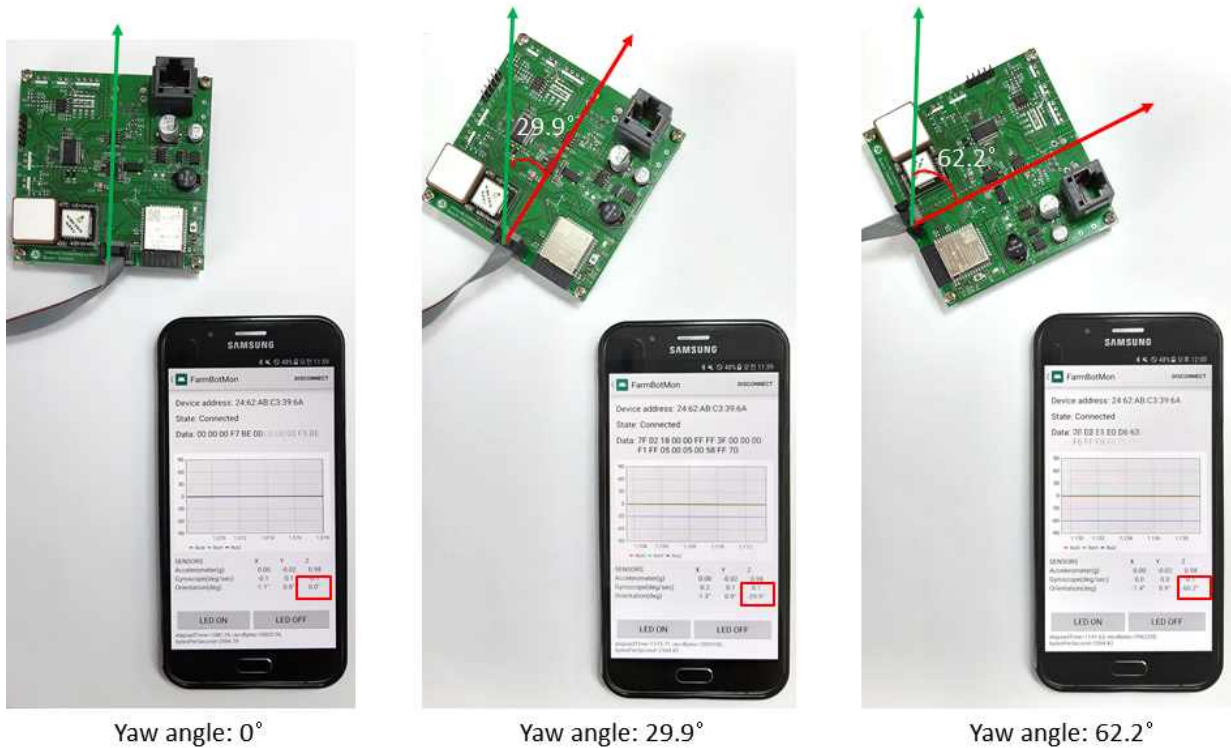
< Yaw angle 모니터링 결과 >

- R2 값이 0.9999로 매우 우수한 상관관계를 나타내는 것으로 확인됨
- 자세 모니터링 시스템의 전원을 ON하면, 시스템의 헤딩 각도(heading angle)를 나타내도록 개발하여, 농업용 로봇 구동 시 최초 헤딩 각도를 판단할 수 있음
- Yaw angle 모니터링의 분해능을 검토하기 위하여, 스텝핑 모터를 이용하여 0.5도 회전을 입력하면 평균적으로 0.38도의 yaw angle이 모니터링 됨

입력 각도 (도)	Yaw angle 모니터링 값 (도)				
	1회	2회	3회	4회	5회
0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4

< Yaw angle 모니터링 결과 >

- 표에서 5회 반복 측정에서 비교적 측정 재현성을 확보할 수 있을 것으로 판단됨
- 개발된 자세 모니터링 시스템 통합 보드를 이용하여 yaw angle을 측정 사례를 나타냄



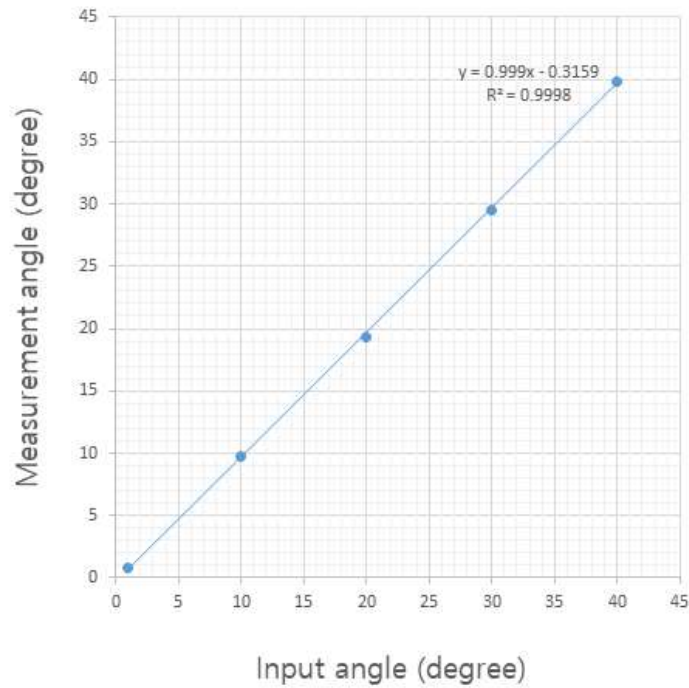
< Yaw angle 측정 >

- 자세 모니터링 시스템 통합 보드를 이용하여 yaw angle을 측정한 결과 안정적인 측정 가능한 것으로 판단됨
- 본 자세 모니터링 시스템의 경우 전원 ON 시, 현재 시스템의 헤딩 각도(heading angle)를 나타내도록 개발함
- 따라서 자세 모니터링 시스템이 장착된 로봇은 전원을 인가했을 때, 최초의 로봇 헤딩 각도를 판단할 수 있음
- 자세 모니터링 시스템은 $218\mu s$ 마다 8비트의 정보를 출력하여, 약 $218\mu s$ 의 응답시간을 나타냄



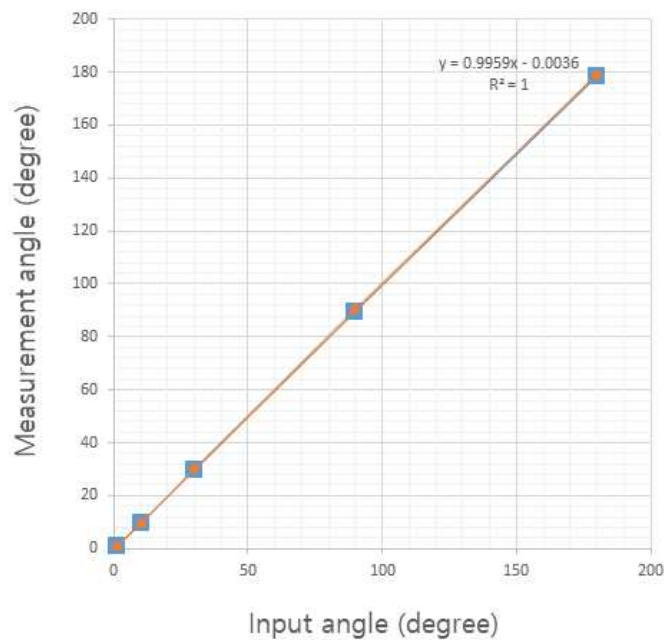
<자세 모니터링 시스템의 응답시간 측정 결과>

- 사) 다중 모니터링용 자세 모니터링 시스템을 이용한 roll, pitch 및 yaw angle 측정
- 농업 로봇의 작업기 등에 설치하여 다중 자세 모니터링 또는 로봇의 특정 부분에 장착하여 부분적 자세를 모니터링을 위한 용도로 개발
 - 자세 모니터링 시스템과 동일한 9축 관성 센서를 적용했기 때문에 비슷한 특성을 나타낼 것으로 판단됨
 - Roll angle 및 pitch angle은 거의 동일한 특성을 나타내기 때문에 roll angle에 대해서만 특성을 검토함
 - R2 가 0.9998로 매우 우수한 상관 관계를 나타냄
 - Roll, pitch 및 yaw angle 모니터링 분해능은 자세 모니터링 시스템의 분석 결과와 동일한 특성을 나타냄



< Roll angle 모니터링 결과 >

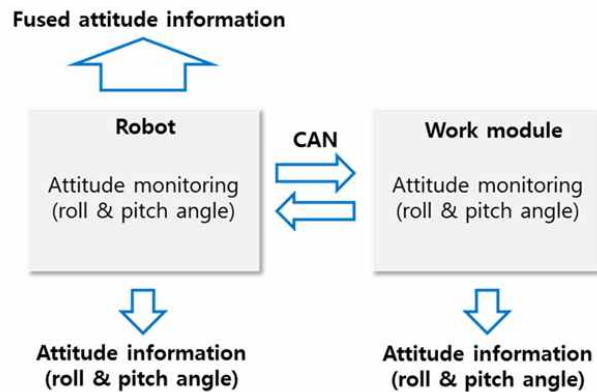
- Yaw angle 모니터링은 180도까지 특성을 검토하였음
- Yaw angle은 자세 모니터링 시스템과 다중 모니터링 용 자세 모니터링 시스템을 동시에 측정한 결과 거의 동일한 특성을 나타냄을 확인함



< Yaw angle 모니터링 결과 >

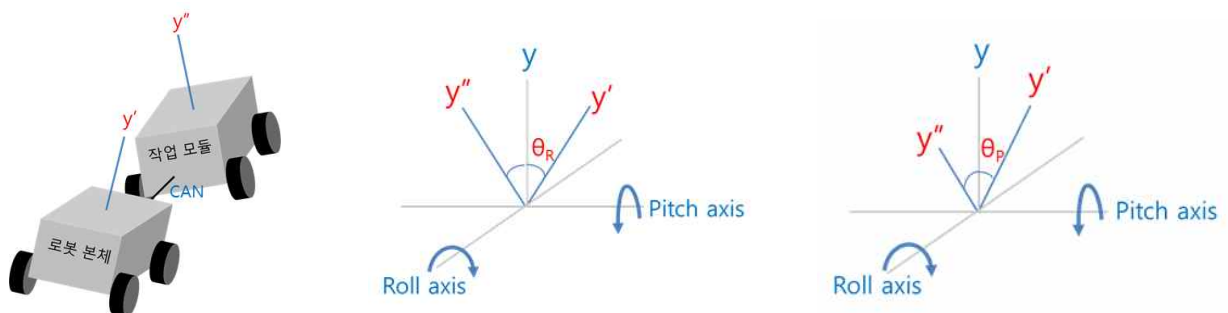
- Yaw angle 모니터링의 분해능도 자세 모니터링 시스템과 거의 동일한 특성을 나타냄을 확인함
- 다중 모니터링용 자세 모니터링 시스템의 yaw angle은 자세 모니터링 시스템과 달리 헤딩 각도가 아니라 상대적 각도 측정을 할 수 있도록 개발함

- 농업용 로봇 본체에 장착된 자세 모니터링 시스템에서 헤딩 각도를 모니터링 하기 때문에 다중 모니터링용 자세 모니터링 시스템은 상대적 각도만을 측정하도록 개발함
- 고니오미터를 이용한 다중 모니터링 측정 결과를 나타냄
- 농업용 로봇과 같이 본체에 작업 모듈을 연결하는 방식의 로봇의 경우 환경의 영향으로 각각의 진동 특성이 서로에게 영향을 줄 수 있어서 이상 진동 발생 및 연결 구조물에 기계적 충격을 줄 수 있어서 각각의 진동을 통합 모니터링, 통합 제어가 필요함
- 농업용 로봇의 본체와 작업 모듈에 자세 모니터링 시스템을 각각 배치하고 CAN 버스로 연결하여 서로의 정보를 공유하도록 다중 자세 모니터링 시스템을 설계함

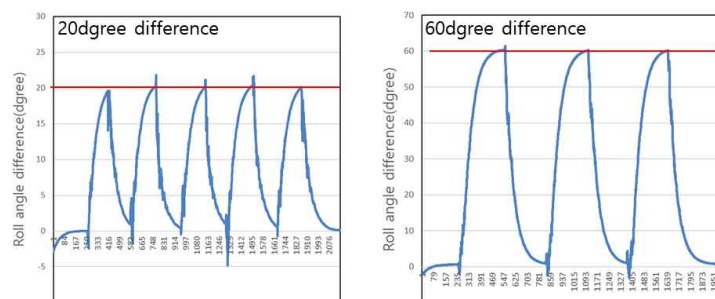


< 다중 자세 모니터링 시스템 설계 >

- 다중 자세 모니터링 시스템으로 농업용 로봇의 본체와 작업 모듈 사이의 롤 각 또는 피치 각의 차(roll or pitch angle difference)를 모니터링 하여 상대적인 자세를 판단할 수 있도록 함



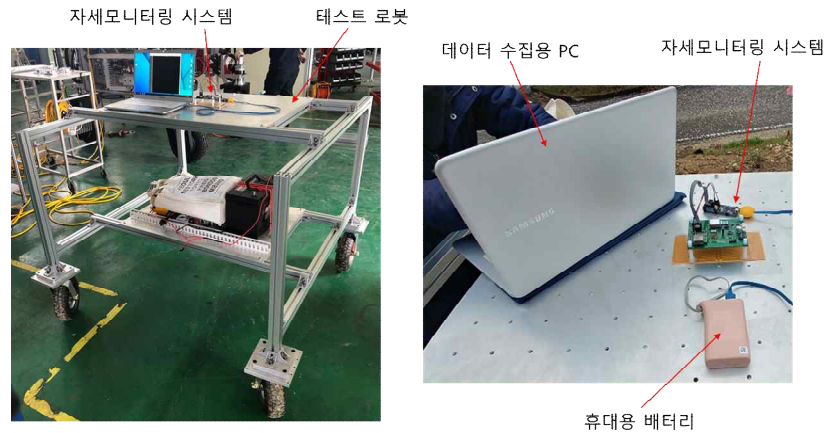
< 다중 자세 모니터링 시스템 개념, roll angle difference, pitch angle difference >



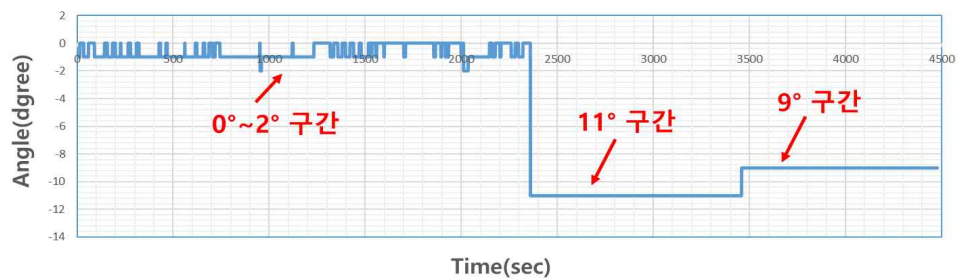
< 다중 자세 모니터링 시스템 측정 결과, 20도 각도 차, 60도 각도 차 >

아) 자세 모니터링 시스템 농업 현장평가

- 자세 모니터링 시스템의 농업 현장에서의 평가를 위해 테스트베드 활용함



< 자세 모니터링 시스템의 농업 현장평가 시스템 >



< 자세 모니터링 시스템 농업 현장 측정 결과 >

- 테스트베드에서 로봇(테스트 로봇)이 기울기가 설정된 노지를 이동하면서 실제 측정함
- 0°~2° 구간에는 노지 표면의 요철이 모두 반영되어 측정됨
- 노지에서의 측정 결과 비교적 안정된 측정이 가능한 것으로 판단됨
- 경사지에서 농업용 로봇의 자세 모니터링 성능을 검토하기 위하여 5도 경사와 10도 경사가 형성되어 있는 테스트베드를 활용함

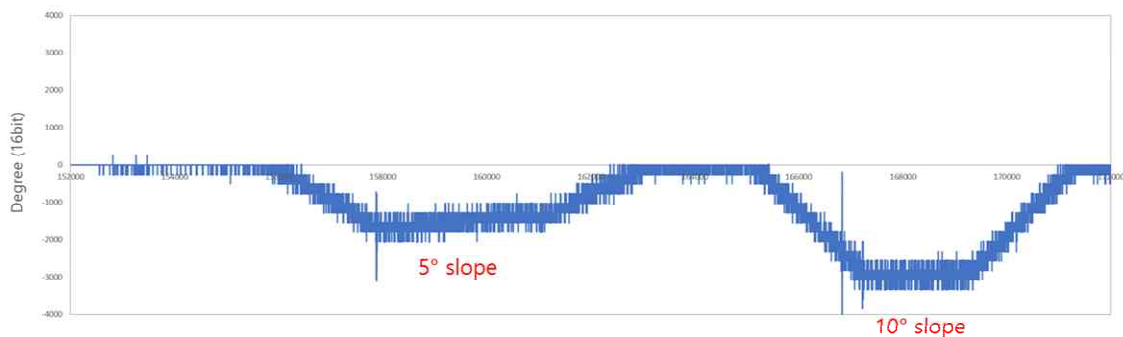


< 자세 모니터링 시스템이 장착된 농업용 로봇 >



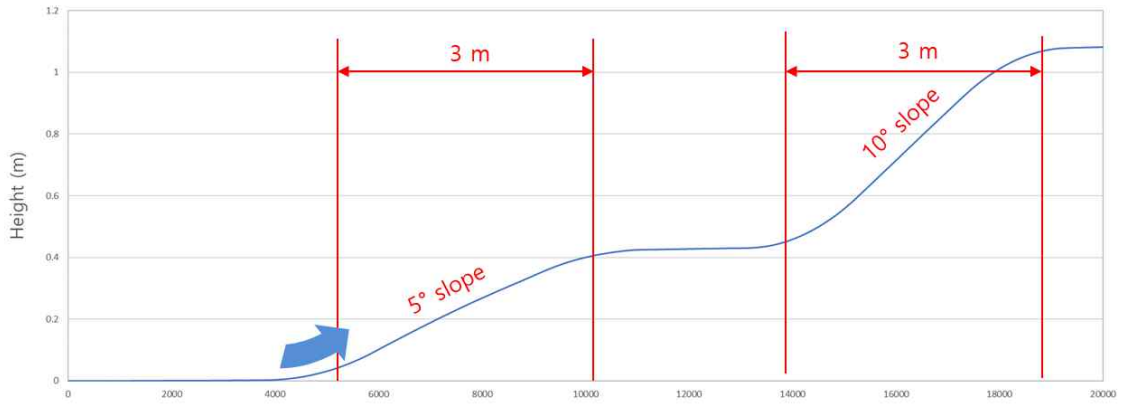
< 5도 및 10도 경사가 형성된 테스트베드, KIRO >

- 연속적으로 5도 및 10도 경사가 형성된 경사로를 농업용 로봇이 상향 이동하면서 자세를 모니터링하고, 하향 이동하면서 자세 모니터링 데이터를 획득함
- 획득된 자세 각도 데이터를 활용하여 농업용 로봇의 자세 제어가 가능하며, 각도를 이용한 표고 계산을 통하여 지형 데이터를 획득할 수 있음

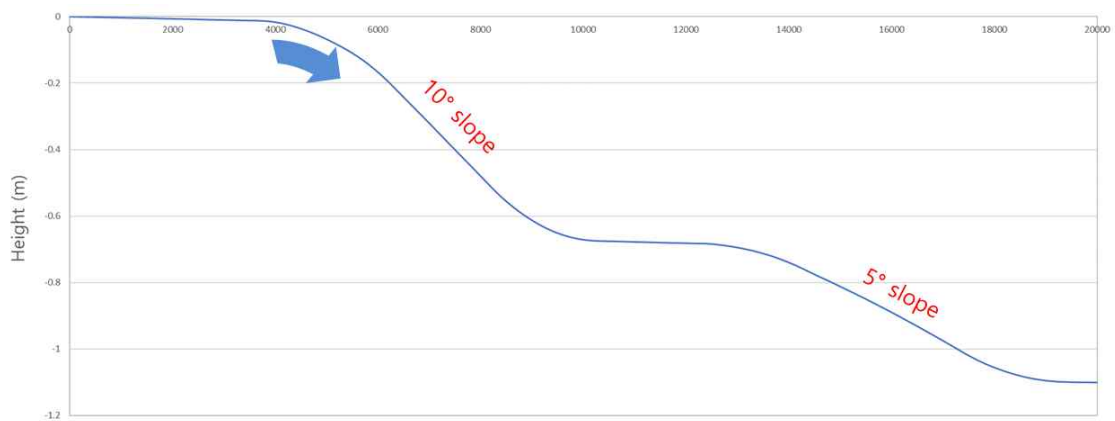


< 기울기 각(pitch angle) 측정 결과 >

- 자세 모니터링 시스템은 10ms 간격으로 자세 정보를 모니터링 함
- 16bit 디지털 정보로 획득된 각도 데이터를 라디안 각으로 환산하고, 표고를 계산하여 지형 정보를 획득할 수 있음
- 기울기 각 측정에서 5도 구간 및 10도 구간의 각도를 반복 측정한 결과 반복 재현성이 비교적 우수한 것으로 나타남
- 농업 현장의 상황을 고려할 때 100ms나 1s 간격으로 자세 정보를 모니터링해도 충분할 것으로 판단됨



< 측정된 피치각을 활용하여 획득된 지형(표고) 정보: 상향 측정 >



< 측정된 피치각을 활용하여 획득된 지형(표고) 정보: 하향 측정 >

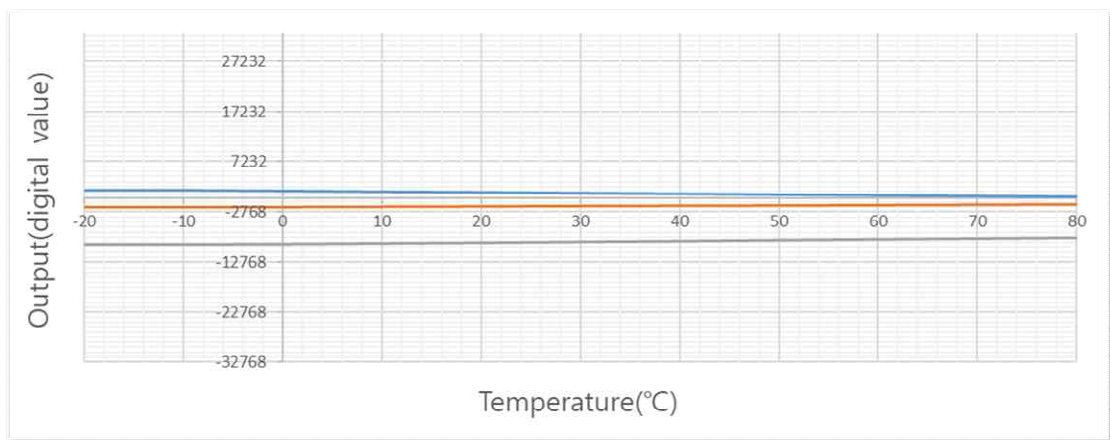
- 5도와 10도 경사가 연속적으로 형성된 경사로에서 로봇이 상향 이동하면서 측정된 기울기 각도를 이용하여 계산된 표고 결과와 로봇이 하향 이동하면서 측정된 기울기 각을 이용하여 계산된 표고의 결과가 거의 일치하고 있음
- 농업 현장 표면의 요철에 의해 로봇의 기울기 각을 측정하면 그림에 나타난 것 같이 10ms 간격으로 측정하면 매우 복잡한 측정 결과를 나타내지만, 측정된 각도를 이용해 표고를 계산하면 지표면의 요철은 서로 상쇄되고 상대적인 표고 값만 남음
- 로봇이 경사로를 상, 하향 이동하면서 획득된 pitch angle만을 나타냈지만, roll angle, yaw angle 등도 동일한 결과를 나타냄

자) 통합 보드 내구성 검토

- 개발된 통합 보드에 대한 온도 환경에서의 내구성(내열성, 내한성, 내습성) 검토함
- 온도 환경에서의 내구성 검토는 -20℃와 80℃에서 각각 8시간 동안 방치한 후에 시스템의 동작 여부를 확인하는 통상적인 검증 방법 활용함
- 항온항습기 내에 통합 보드를 설치하고, 온도 제어를 통해 -20℃에 도달한 시점부터 8시간 방치한 후에, 이어서 항온항습기 온도를 80℃로 설정하여 8시간 방치하는 실험을 추진함
- 온도 환경에서의 내구성 실험 중에 통합 보드의 동작 여부 확인을 위하여 계속해서 전원을 연결하고, 보드의 출력 전압을 모니터링함

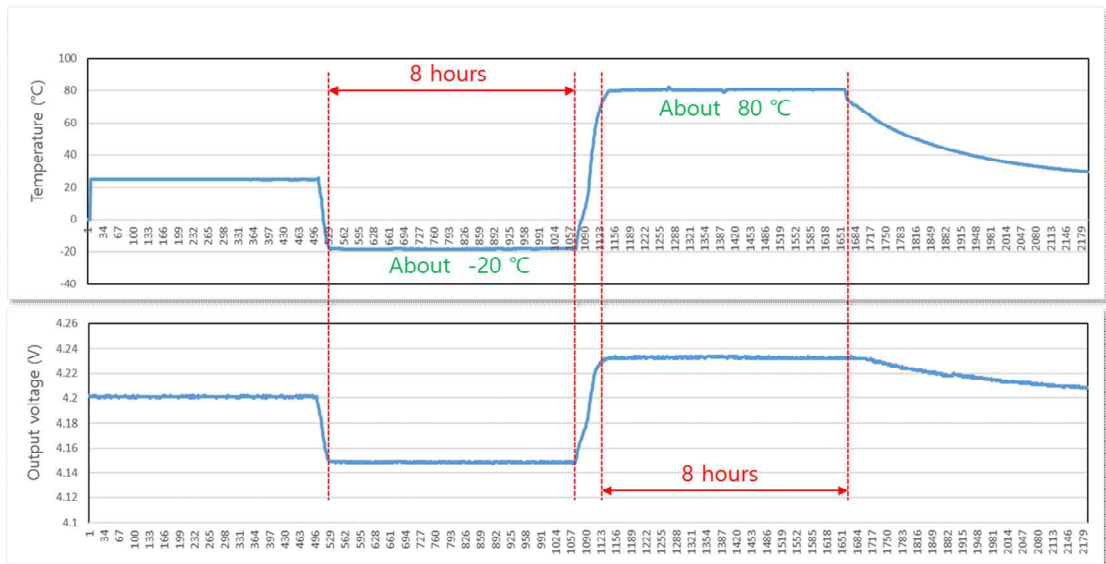


< 온도 환경에서의 내구성 측정 >



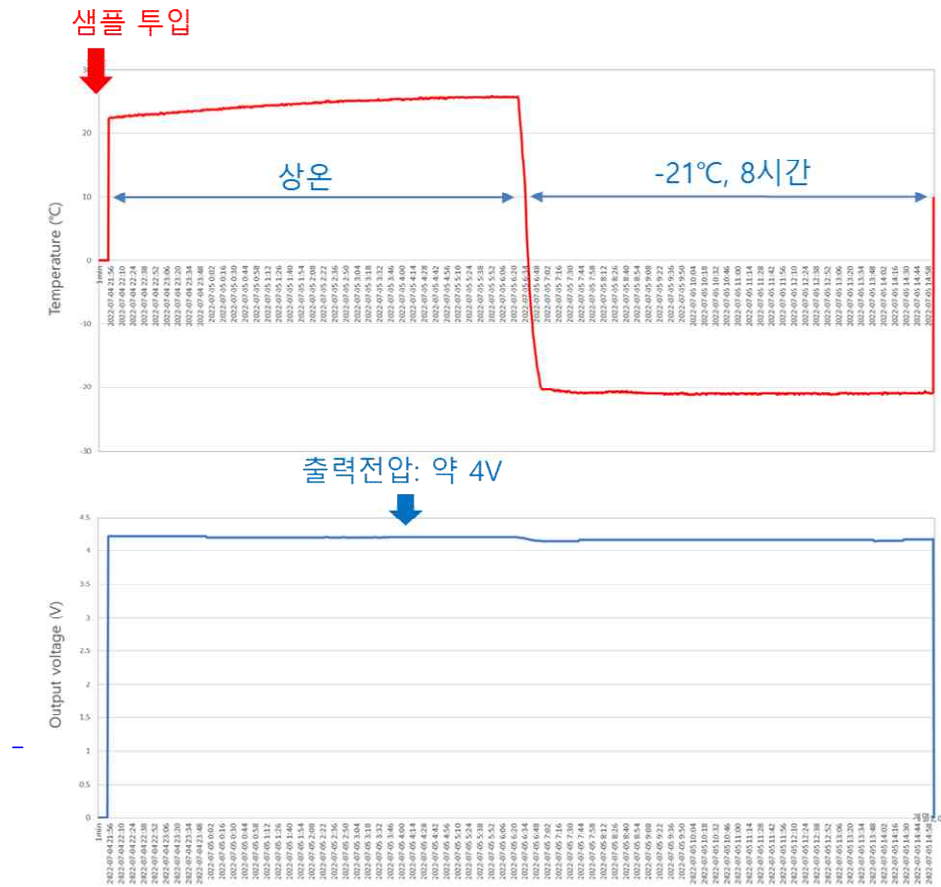
< 통합 보드의 온도에 대한 디지털 출력 >

- 온도 범위 $-20^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 에서 자세 모니터링 시스템의 온도 특성을 측정함
- 자세 모니터링 시스템을 항온항습기 내에 고정하고 온도 변화에 따른 3축 가속도 센서의 출력을 측정함
- 3축 가속도 센서의 출력을 측정한 결과 $-20^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 온도 범위에서 최대 2.1%F.S(full scale에 대한 오차)의 온도 드리프트를 나타내어, 측정 온도 범위에서 시스템 사용이 가능한 비교적 우수한 결과를 나타냄
- 요(yaw), 롤(roll) 및 피치 각(pitch angle) 등을 다양한 현장 상황에서의 동작 특성을 정밀 검토하고, 외부 노이즈(기울기, 진동 등)를 최소화하기 위한 측정 시스템 개발 필요

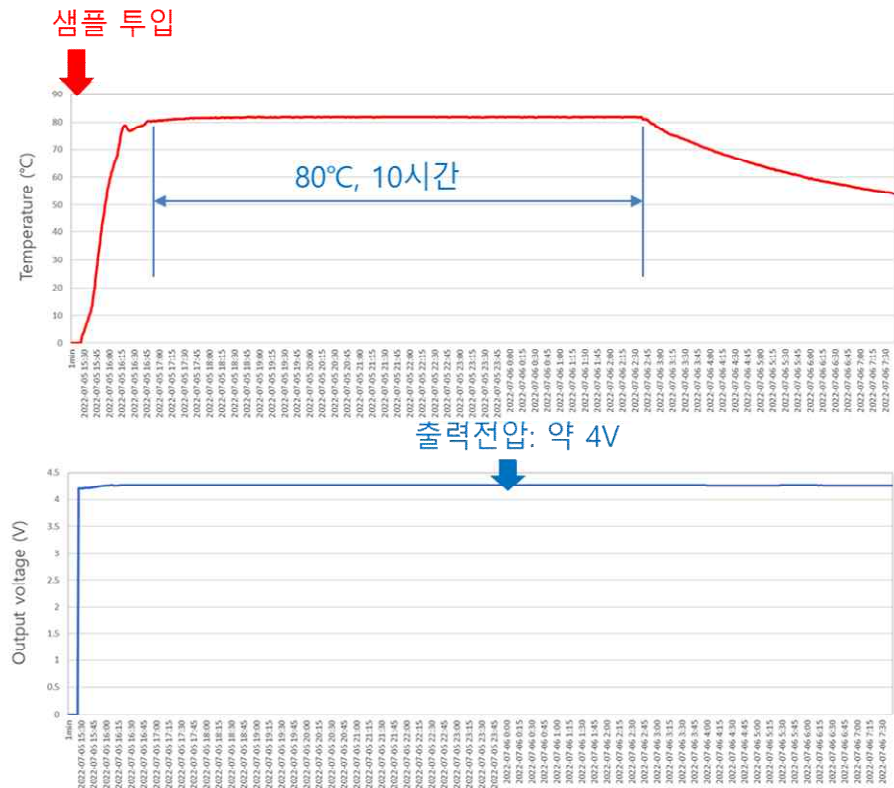


< 통합 보드의 온도 내구성 검토 >

- 통합 보드의 온도 환경에서의 내구성 검토를 위하여 항온항습기에 통합 보드를 장착함
- 측정 환경의 습도는 30%로 설정하고, 온도를 상온(25℃)에서 시작하여 먼저 -20℃까지 온도를 낮추 후 8시간 동안 방치함
- 통상적으로 -20℃에서 8시간 방치한 후에 시스템의 동작을 확인하는 방법으로 온도 내구성을 검토하지만, 본 실험에서는 8시간 방치하는 동안 계속해서 전원을 인가하고, 시스템의 출력을 측정하는 방법으로 실시간 동작 특성을 모니터링함
- 상온(25℃) 대비 -20℃에서의 출력 전압이 약 1.19% 하락하는 것을 확인하였으나, 시스템이 정지하거나 오동작을 나타내지 않음
- 저온에서의 내한 측정을 종료한 이후에 바로 항온항습기 온도를 80℃로 높이고, 8시간 방치하는 실험을 실시함
- 80℃에서의 내열 실험의 경우에는 상온(25℃) 대비 출력 전압이 0.7% 상승하는 것을 확인하였으나, 시스템이 정지하거나 오동작을 나타내지 않음



< -20°C, 8시간 방치 시험 >



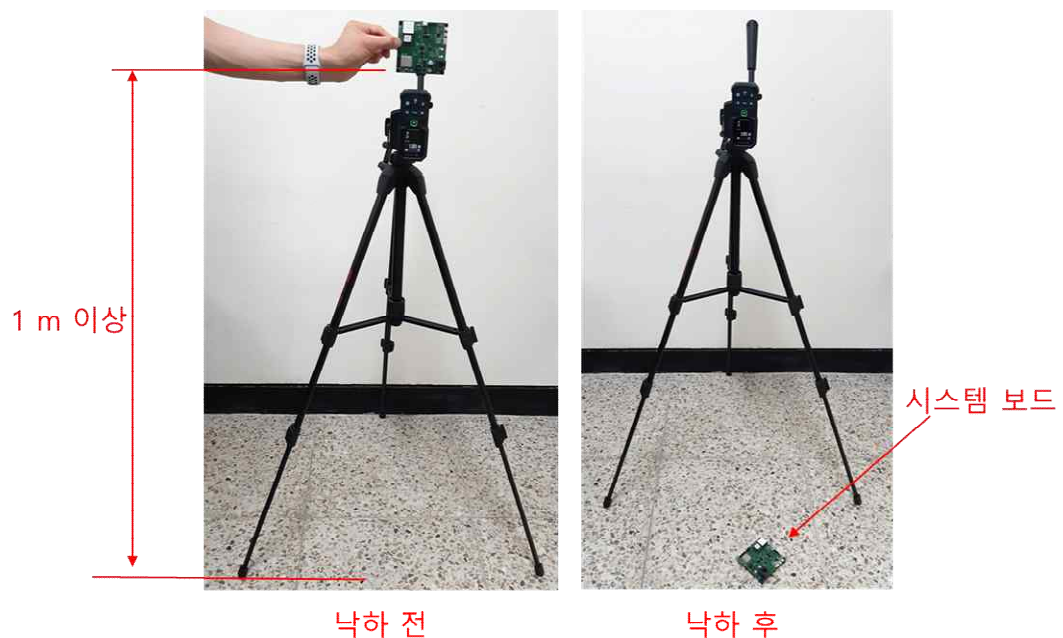
< 80°C, 8시간 방치 시험 결과 >

- 자세 모니터링 시스템의 기계적 내구성 검토를 위하여 1m 낙하 시험 실시
- 1m 낙하 시험은 시스템을 1m 높이에서 콘크리트 바닥으로 자유낙하 시킨 후에 시스템이 정상적으로 동작하는가를 확인하는 방법으로 내구성 검토

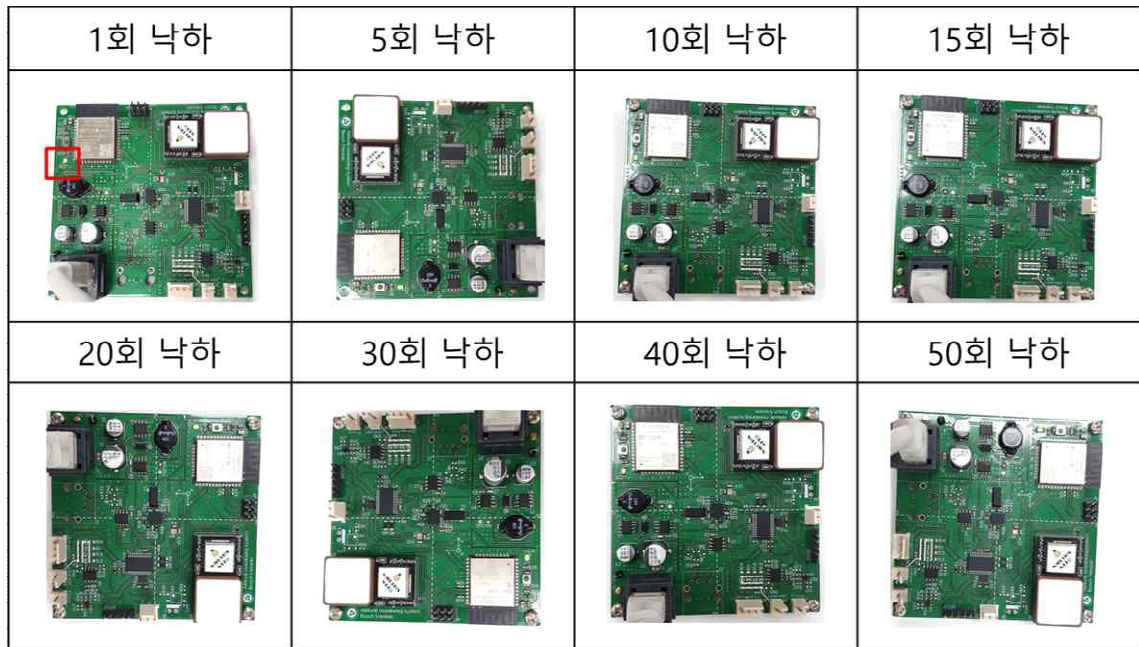


< 레이저 거리 측정기 활용 높이 측정 >

- 레이저 거리 측정기를 이용하여 1m 높이를 측정함
- 1m 높이 이상에서 자세 모니터링 시스템 보드를 자유낙하 시킨 후에 시스템이 ON 확인
- 본 시험에서는 1m 자유낙하를 50회까지 반복하면서 시스템의 성능 검토함



< 1m 이상의 높이에서 시스템 보드의 낙하 전후 사진 >



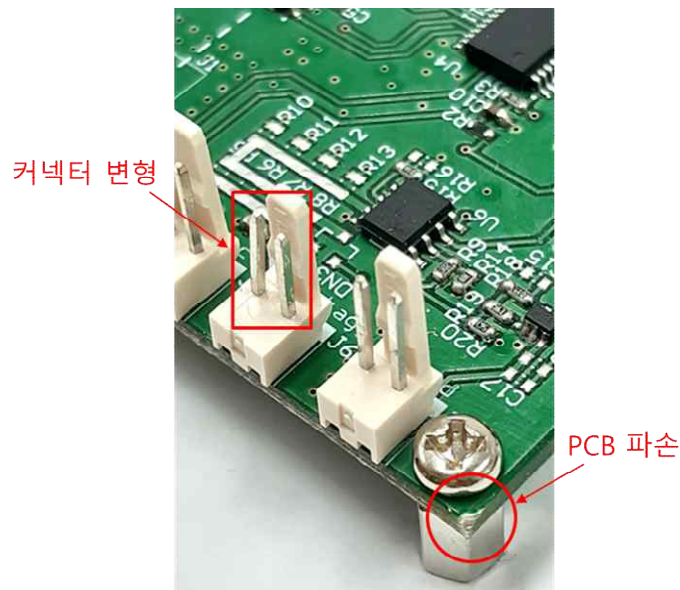
< 자유낙하 시험 후의 시스템 보드의 사진 >

- 1m 자유낙하 시험을 50회 반복하면서 시스템의 동작 연구 확인함
- 자세 모니터링 시스템 보드의 중량은 약 49g 정도임
- 자유낙하 후에 전원 ON 여부 확인을 통해서 시스템의 파손 여부 확인
- 그림에서 LED를 확인하는 방법으로 시스템 ON 여부 확인
- 50회 자유낙하 후에 시스템 보드를 이용하여 roll, pitch 및 yaw angle을 측정하여 시스템의 정상 동작 여부를 확인함
- 50회 자유낙하 후에도 시스템 보드의 전원은 정상적으로 ON 되는 것을 확인함



< 50회 자유낙하 후에 roll, pitch 및 yaw angle 측정 결과 >

- 50회 자유낙하 시험 후에 자세 모니터링 시스템 보드를 이용하여 roll, pitch 및 yaw angle을 정상적으로 측정됨



< 50회 자유낙하 후 파손 정도 >

- 50회 자유낙하 후 시스템 보드의 파손 정도를 확인한 결과, PCB의 모서리 등의 파손, 일부 커넥터의 변형 정도 확인됨
- 50회 자유낙하 시험에서 심각한 파손은 확인되지 않았으며, 특히 시스템 보드의 성능에 영향을 줄 수 있을 정도의 파손은 확인되지 않았음

차) 통합 보드 최종 업그레이드 설계 및 제작

- 최종 자세 모니터링 시스템 보드에는 기존에 2개로 설계된 CAN 포트를 1개로 줄이고 확보된 면적에 로드 셀의 센싱 정보 처리를 위한 차동 증폭기를 배치함
- 정전 용량 형 침수 센서의 외부 노이즈 영향 최소화를 위하여 전원 접지와 센서 접지를 분리 설계함
- 자세 제어 시스템 보드 제작 시 SMT(surface mount technology) 기술 등 정밀 부품 실장 기술을 이용한 부품 실장 비율이 66% 이상으로 진동 등에 의한 내구성 문제를 고려함
- 앞으로 정밀 실장 시스템을 이용한 부품 실장 비율을 점차 높여서 내구성 등 관련 신뢰도 향상에 노력할 필요 있음

카) 관성항법 시스템 개발

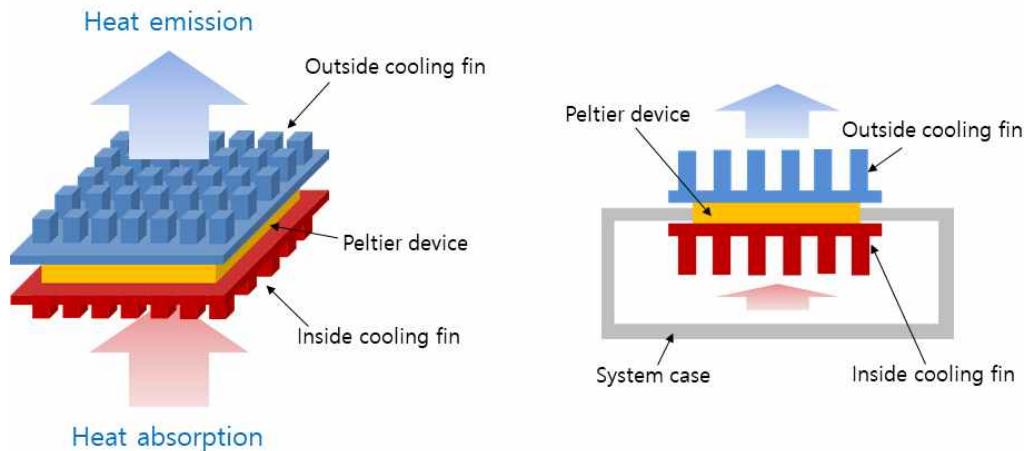
- 관성항법 시스템에 필요한 roll angle, pitch angle 및 yaw angle 정보 및 GPS 정보 제고
- 농업용 로봇 구동 시, 초기 헤딩 각도를 판단할 수 있어서, 보조용 관성항법 시스템으로 활용 가능
- 최초로 농업용 로봇 운전에는 필요한 자기 진단 관련 센서가 집적된 관성항법 시스템 개발로 보드 하나로 자율 주행 로봇 개발 기대

○ 시스템 패키지의 방열 문제 검토

가) 히트 펌프(Heat pump) 개발 검토

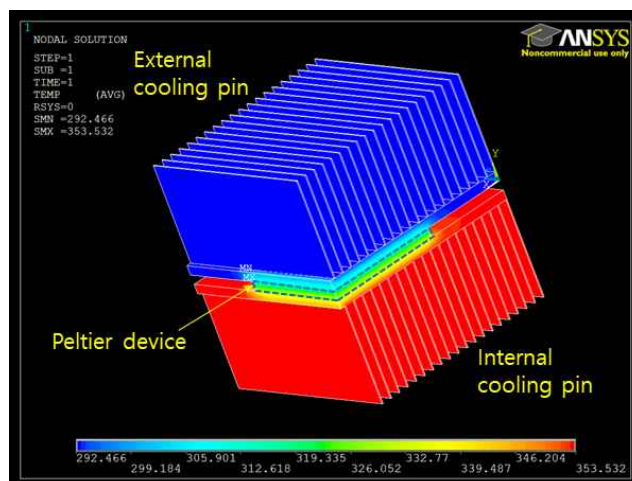
- 개발된 자세 모니터링 및 자기 진단 통합 보드를 외부환경(강우, 눈, 농약, 습기)으로부터 보호하기 위해서 시스템용 패키지(케이스)가 필요함
- 여름철에는 밀폐된 패키지 내의 온도가 상당히 높게 상승하여 시스템의 오동작, 건전지의 방전 등의 다양한 문제가 발생할 수 있음

- 패키지 내부의 온도가, 적어도 외부 온도 정도로는 유지하기 위하여 히트 펌프(heat pump)를 설계함

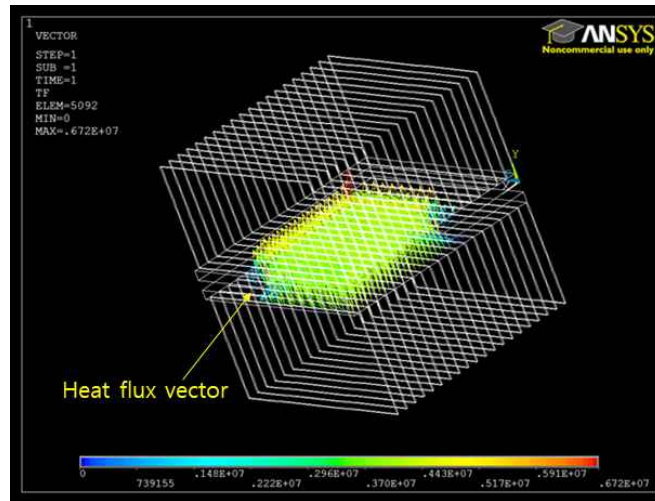


< 시스템 패키지 용 히트펌프 개념설계 >

- 히트펌프의 구조는 시스템 패키지 내부와 외부에 방열판을 배치하고, 내외부 방열판 사이에 펠티어 소자(peltier device)를 배치하여 열을 내부 방열판으로부터 외부 방열판으로 방출하도록 설계함
- 펠티어 소자를 구동하지 않을 경우는 내, 외부 방열판을 통한 자연 방열이 이루어짐
- 펠티어 소자는 반도체 쇼트키 다이오드(schottky diode) 구조의 소자로 전류를 인가하는 방향에 따라서 방열의 방향을 결정할 수 있는 소자로 소비 전력이 다소 높은 단점이 있으나, 구동이 간편하고, 내구성이 좋고, 소자의 두께가 얇아서 응용성이 우수함
- 펠티어 소자의 소비 전력 문제는 패키지 내부의 온도를 모니터링 하여 설정 온도보다 높아진 상태에만 구동하는 방식으로 소비전력을 줄일 수 있음
- 밀폐된 내부의 열을 히트펌프를 통하여 외부로 배출할 수 있어서, 패키지 내부의 온도가 과도하게 높아지는 것은 방지할 수 있을 것으로 판단됨
- 히트 펌프의 성능을 더 높일 필요가 있는 경우에는 외부 방열판 위에 냉각팬(cooling fan)을 설치하는 방법이 있으나, 소비 전력이 높아지는 문제가 있음



< 열전달 해석(온도분포 시뮬레이션, 1/4 구조) >

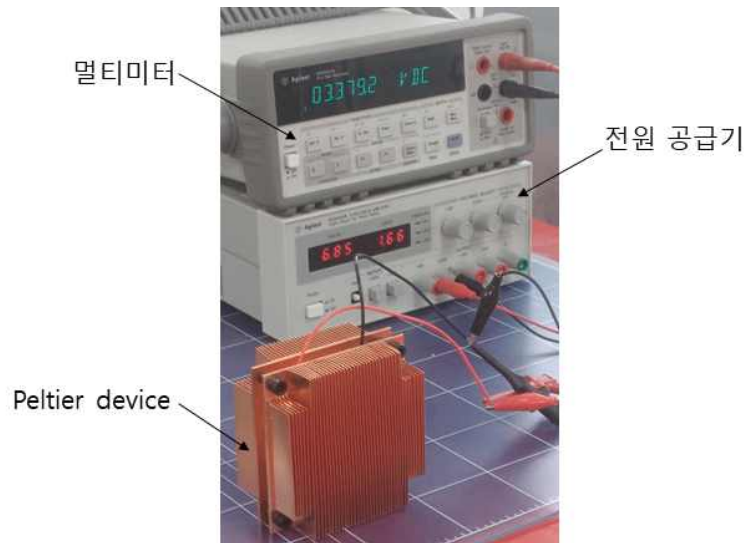


< 열전달 해석(heat flux vector) >

- 히트 펌프의 특성을 분석하기 위하여 ANSYS를 활용한 열 해석(thermal analysis)함
- 시스템 패키지 내외부의 냉각 핀(cooling pin)은 구리(copper)로 제작된 것으로 모델링하고 열 해석함(1/4 구조 모델링)
- ANSYS 분석 결과 시스템 패키지 내부에 배치되는 냉각 핀에서 외부의 냉각 핀 사이에 온도 기울기가 발생하기 때문에 heat pumping이 가능할 것으로 판단됨
- Heat pumping의 향상을 위하여 양 냉각 핀 사이에 펠티어 소자(peltier device)를 개입시켜 열전달 향상
- Heat flux vector를 보면 온도가 높은 내부 냉각핀으로부터 외부 냉각핀으로 분명한 heat flux가 발생함을 알 수 있음

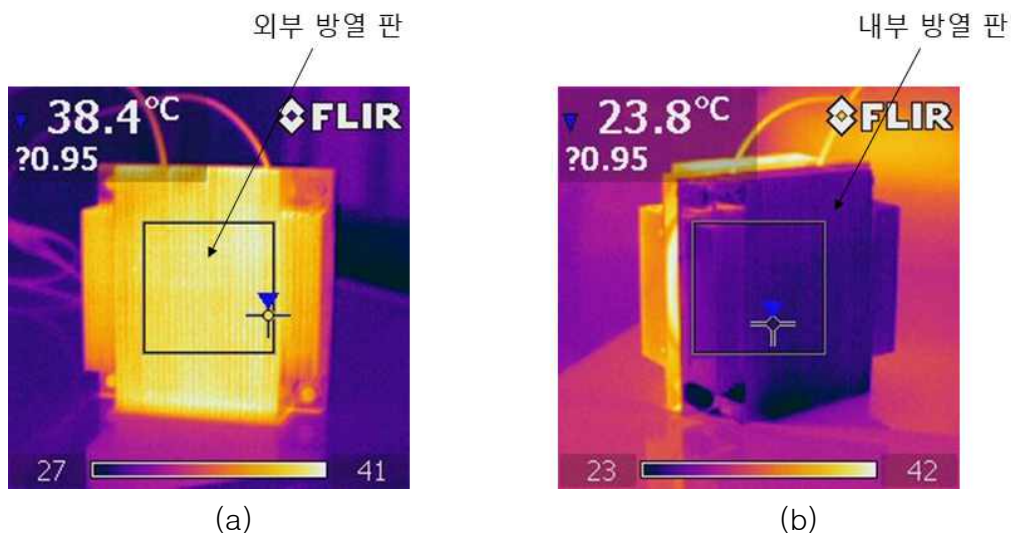


< 제작된 히트 펌프 사진 >



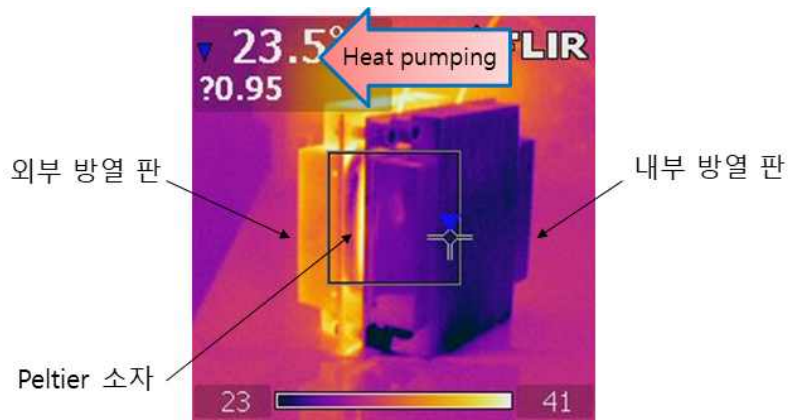
< 히트펌프 측정 시스템 >

- 제작된 히트 펌프의 성능을 측정하기 위하여 히트 펌프에 DC 전원을 인가하고, 적외선 카메라를 이용하여 온도분포를 측정함
- Peltier 소자의 특성에 의해 인가 전류의 방향에 따라서 열 방출 방향이 달라짐



< 히트 펌프 측정 결과, (a) 외부 방열판(열 흡수), (b) 내부 방열판(열 방출) >

- 히트 펌프에 DC 전압(약 6.85V)을 인가하고 내, 외부 방열판을 적외선 카메라로 관찰한 결과, 내부 방열판은 온도가 낮아지고, 외부 방열판의 온도는 높아져, 양 방열판 사이에 약 15도의 온도 차가 발생하는 것으로 확인할 수 있었음
- 히트 펌프의 peltier 소자가 구동되면 지속적으로 열을 한 방향으로 방출하는 것을 알 수 있음
- Peltier 소자의 소비 전력이 다소 높은 것이 문제이지만, 짧은 시간에 다량의 열을 방출하는 용도로는 매우 우수한 응용이기 때문에, 상시 가동이 아닌, 필요시에만 사용하는 용도로 사용하면 효과적일 것으로 판단됨

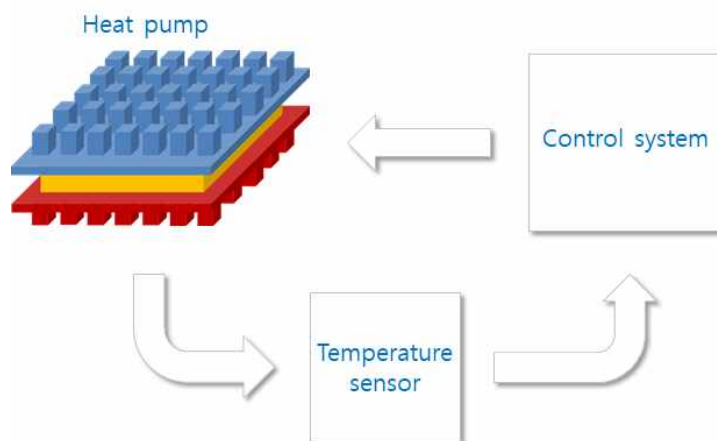


< 히트펌프 측면 사진 >

- 히트 펌프의 측면 사진을 보면 확연한 온도 차를 확인할 수 있음
- 사진에서, 내부 방열판에서 외부 방열판으로 열 흐름을 확인할 수 있어서, 히트 펌프로 충분히 사용이 가능할 것으로 판단됨

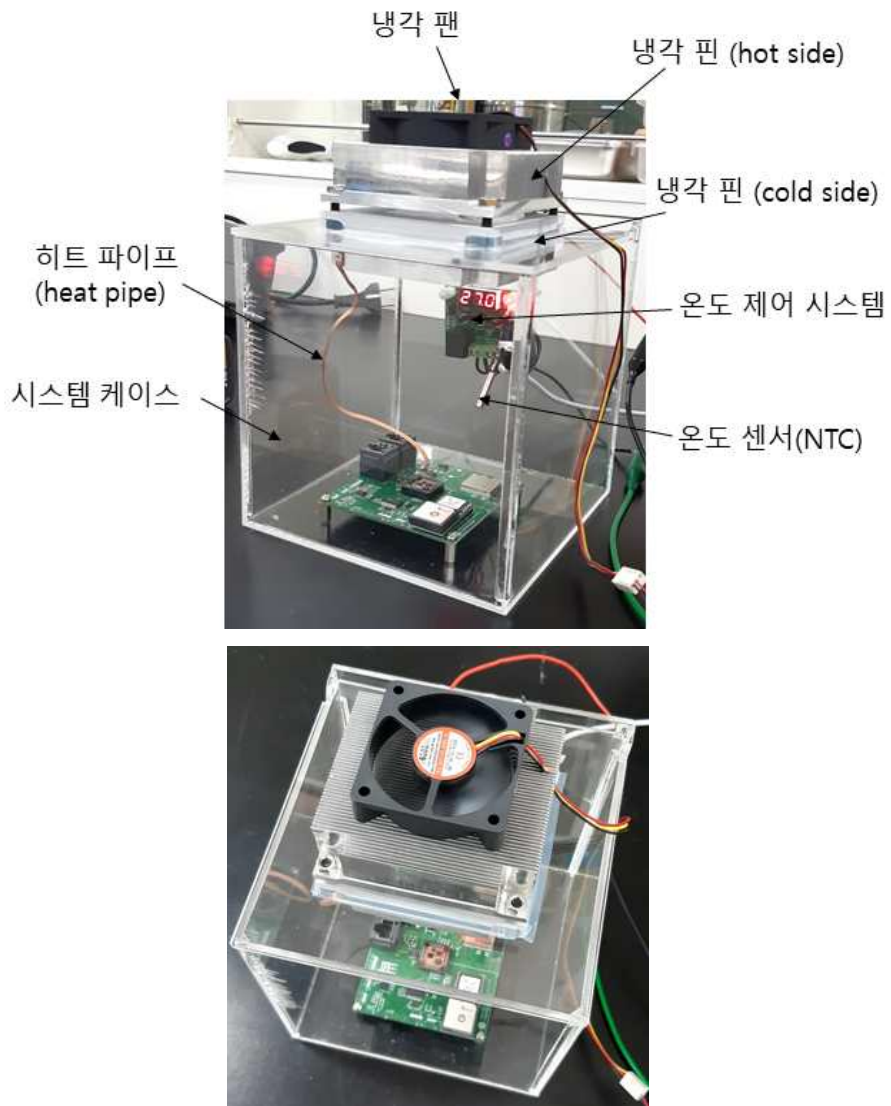
나) 스마트 히트 펌프 개발

- 시스템 패키지 내부의 열을 방출하여 시스템의 오동작을 방지하기 위한 스마트 히트 펌프를 개발함
- 본 히트 펌프 시스템에 적용된 펠티어 소자(peltier device)는 소비 전력이 높아서, 펠티어 소자를 상시로 구동하기에는 전력 소모가 다소 부담됨
- 시스템 패키지 내부의 특정 온도 범위에서만 능동적으로 동작하는 스마트 히트 펌프를 개발하여 전력 소모 문제를 해결함
- 온도 센서 시스템이 패키지 내부의 온도를 모니터링 하여 설정치보다 높은 경우 냉각핀이 양면에 부착된 펠티어 소자를 구동하여 내부의 열을 외부로 방출함



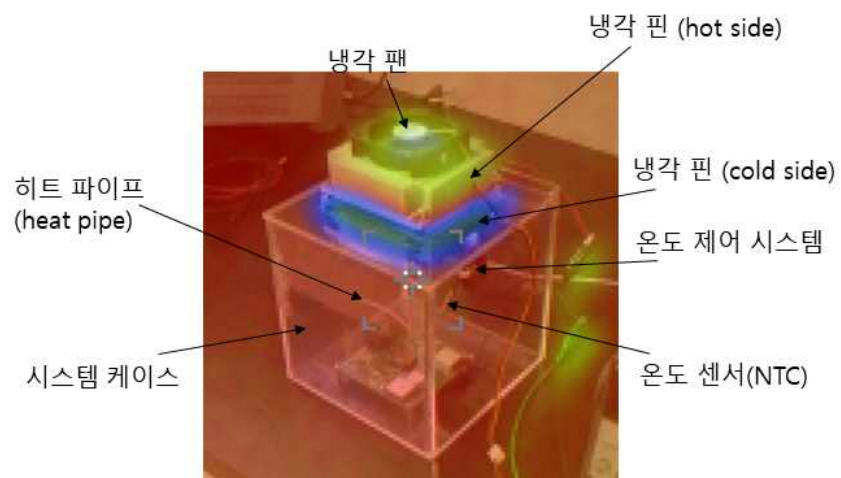
< 스마트 히트 펌프 >

- 케이스 내부에서 지속적으로 열을 발산하는 열원인 시스템 보드의 경우 시스템 보드와 냉각핀을 열전도율이 좋은 전선으로 직접 연결하여, 히트 펌프의 효율을 높임



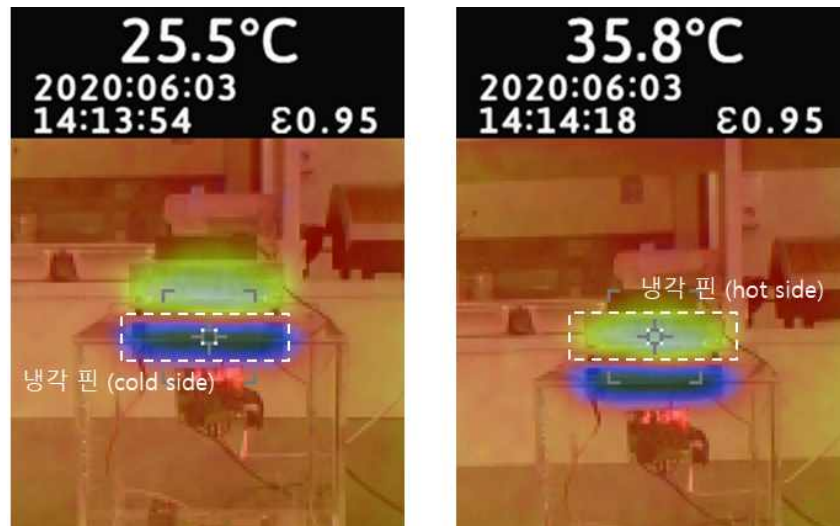
< 스마트 히트 펌프 >

- 시스템 케이스 내부의 온도가 설정 온도보다 높아지면 펠티어 소자에 전원이 인가되어 열을 방출함



< 스마트 히트 펌프 적외선 사진 >

- 그림에서 펠티어 소자 양단에 접착된 냉각핀 중에 케이스 내부의 냉각핀은 저온으로 표시되었으며, 케이스 외부에 있는 냉각핀은 상대적으로 고온으로 표시되어 열 방출 방향이 케이스 내부에서 외부로 향하고 있음을 알 수 있음
- Hot side 냉각핀과 cold side 냉각핀의 온도차(전원 5V/3A)는 10℃에서 15℃ 정도임



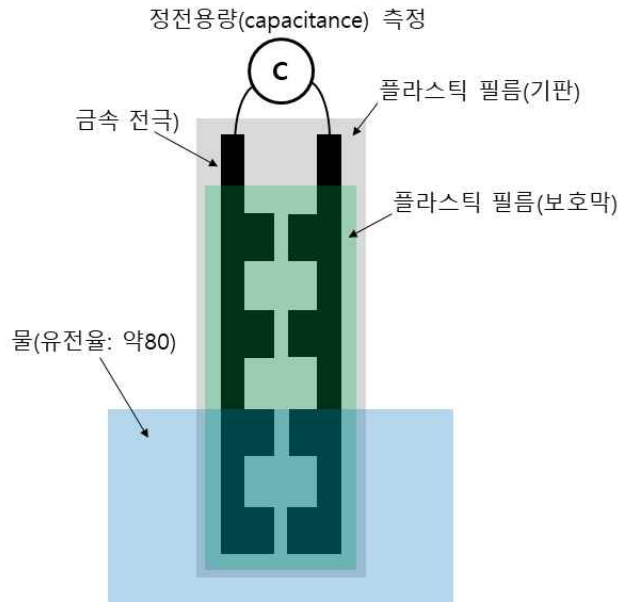
< Hot side와 cold side의 적외선 사진 >

- 그림에서 cold side 쪽의 냉각핀의 온도는 25.5℃, hot side 쪽의 냉각핀의 온도는 35.8℃를 나타내면서 지속적으로 케이스 내부의 열을 외부로 방출함
- 설정 온도에 도달할 때까지 펠티어 소자가 열 방출을 지속하다가 설정 온도에 도달하면 정지되어, 케이스 내부는 설정 온도를 유지하게 됨
- 케이스 내부의 열 방출 효율을 높이기 위하여, 케이스 내부의 직접적인 열원인 시스템 보드를 열전도율이 높은 전선을 이용하여 냉각핀과 직접 연결함

○ 관련 센서 개발

가) 플라스틱 필름형 침수 센서 개발

- 농업 로봇은 강우 등에 의해 침수될 수 있으며, 강한 강우에 의한 침수와 같은 효과의 상황에 노출될 수 있음
- 로봇이 침수될 경우 누전에 의한 감전 사고의 우려가 있어서 설정값 이상의 침수가 발생할 때 로봇의 전원을 차단하는 등의 조치가 필요함
- 로봇의 특정 부위에 접착제를 이용하여 간단하게 부착할 수 있도록 플라스틱 필름형 침수 센서를 개발함
- 플라스틱 필름상에 두 개의 전극을 형성하는 정전 용량 형(capacitive type) 침수 센서를 개발함
- 수위 센서에 많이 응용되고 있는 저항형(resistive type) 침수 센서의 경우에는 금속 전극이 직접 수분에 노출되어 금속 전극 표면의 산화에 의한 저항 변화가 문제 될 수 있음
- 정전 용량형 침수 센서의 경우에는 전극이 플라스틱 필름으로 보호되기 때문에 전극에 직접적인 영향이 없음

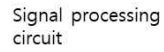


< 정전용량형 플라스틱 침수 센서 >

- 플라스틱 침수 센서의 구조는 PET이나 polyimide 등의 플라스틱 필름 기판에 금속이나 카본 잉크 등으로 전극 패턴을 형성하고, 두 전극을 전기절연 시키기 위하여 플라스틱 보호 필름을 라미네이팅(laminating) 공정으로 접착하여 완성함
- 침수 센서의 두 전극 사이의 정전 용량(capacitance)은 유전율과 전극 면적에 비례하고, 전극 간격에는 반비례 관계를 나타냄

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$

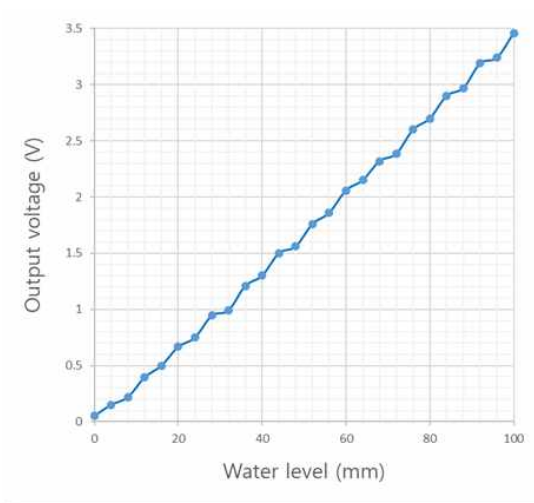
- 공기의 유전율이 약 1인 것에 비해 물의 유전율은 약 80으로 80배의 차이를 나타냄
- 플라스틱 침수 센서가 공기 중에 노출되어 있다가 침수가 시작되면 정전 용량이 침수 깊이 비례하여 증가하게 됨
- 플라스틱 침수 센서의 단점은 필름 표면의 상태(오염, 수분 코팅 유무 등)에 따라서 출력 신호의 절대 치가 달라진다는 것임
- 필름 표면의 상태에 관계 없이 침수 높이 측정이 가능한 전극 패턴(본 대학 보유 특허기술)을 사용하여 침수 센서를 개발함
- 침수 센서의 전극을 구간별로 전극의 면적 및 간격을 다르게 설계하여, 구간별로 측정 감도를 다르게 함
- 침수 센서 신호처리 회로를 이용하여 출력 감도가 다른 구간을 측정하는 방법으로 침수 수위 측정, 감도가 다른 구간 간격은 변하지 않아, 센서 표면 상태와는 전혀 관계없이 정확한 수위 측정 가능(정전 용량 형 디지털 수위 센서)
- 정전 용량 형 침수 센서는 침수 수위에 비례하는 정전 용량 값을 출력함
- 침수 센서의 출력 신호 처리를 위하여 정전 용량 값을 전압으로 변환하여 출력하는 회로를 개발함

[illegible]

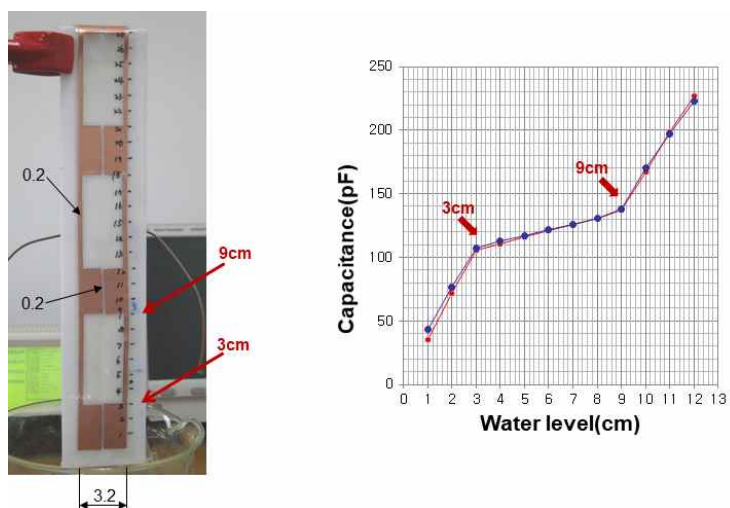
- 침수 센서의 측정 결과를 보면 구간별로 감도가 다름을 알 수 있으며, 이 구간의 수를 카운트하면 정확한 수위 측정 가능함



< 침수 센서 측정 시스템 >

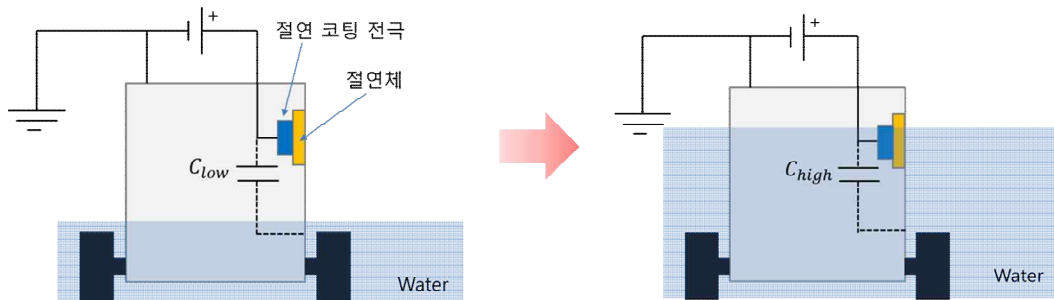


< 침수 센서 측정 결과(1) >



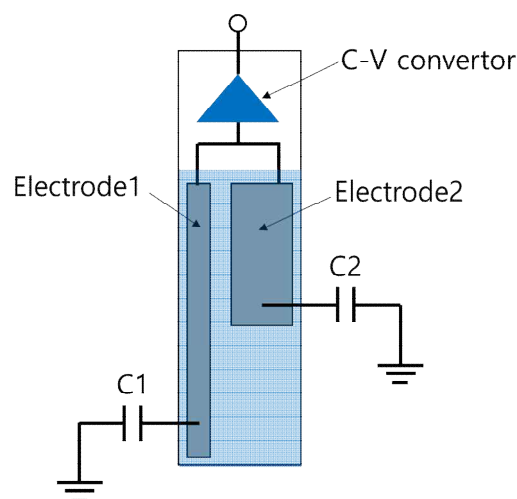
< 침수 센서 측정 결과(2) >

- 측정 결과(1)의 경우에는 면적과 간격이 다른 전극의 높이가 각 4mm이고, 총 25개의 전극이 배치되어, 총 100mm 침수 수위를 측정할 수 있음
- 측정 결과(2)는 전극의 면적 및 간격을 더욱 크게 제작하여 측정한 결과로, 전극의 면적이 간격이 다른 구간에서는 감도(기울기)가 달라지는 것으로 확인할 수 있음
- 농업용 로봇의 침수를 모니터링하기 위하여, 로봇의 본체와 절연된 금속 전극 사이의 정전용량을 측정하는 알고리즘 설계함



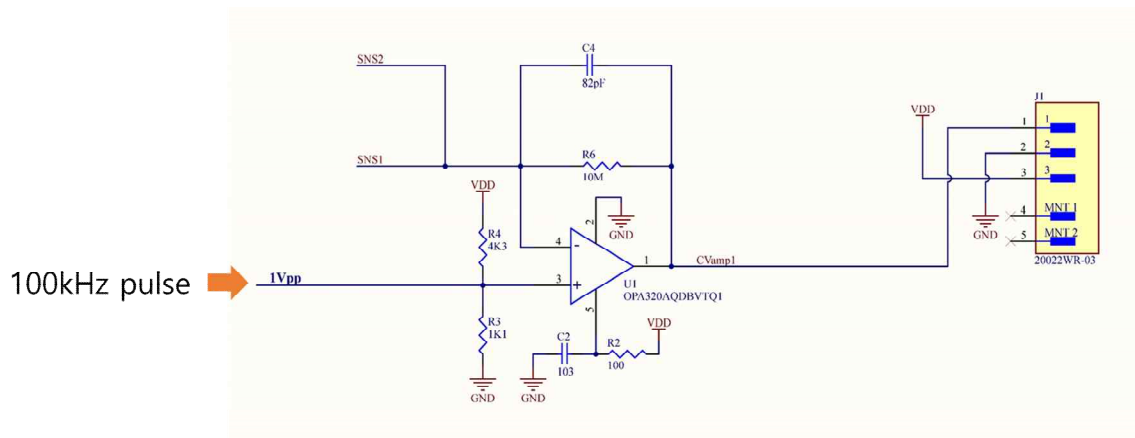
< 로봇 본체와 센서 전극과의 정전용량 측정 >

- 통상적으로 접지 상태에 있는 로봇 본체, 본체와 절연 상태에 있는 센서 전극 간의 정전용량을 측정하는 방법으로 침수 모니터링함
- 그림에서 센서 전극이 물에 잠기기 전과 물에 잠기 후의 정전용량 차를 모니터링 하여 침수를 모니터링 함
- 물이 잠기기 전의 로봇 본체와 센서 전극 사이에는 비유전율이 1인 공기가 채워져 있지만, 물이 채워지면 비유전율이 80으로 높아지며, 정전용량을 비유전율에 비례 관계에 있음
- 농업용 로봇의 침수 모니터링은 침수 정보뿐 아니라 침수 속도 정보도 매우 중요함
- 외부환경의 영향을 받지 않고 침수 및 침수 속도를 정확하게 모니터링 하기 위하여 침수 모니터링용 전극과 침수 속도 측정용 전극이 배치된 플라스틱 필름형 침수 센서를 개발함



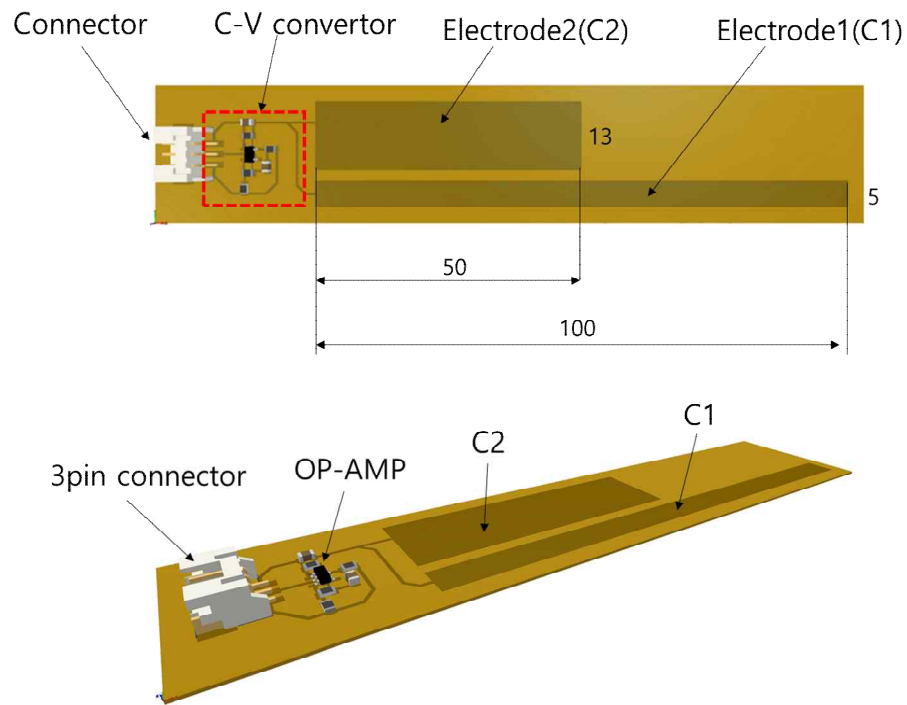
< 침수 및 침수 속도 측정용 플라스틱 필름형 침수 센서 >

- Electrode1이 침수 모니터링용 전극으로 접지 상태의 로봇 본체와의 사이의 정전 용량을 측정하는 방법으로 침수를 모니터링함
- Electrode2는 침수 속도 측정용 전극으로 electrode1과 병렬 접속되어 있어서, 수위가 electrode2에 도달하면 센서의 감도(sensitivity)가 달라져서 수위가 도달한 것을 알 수 있음
- 수위가 electrode2에 도달하여 감도가 변하는 시점까지의 시간을 측정하여 속도를 계산함 (electrode1과 electrode2의 길이 차이는 항상 일정하여 시간을 측정하면 속도를 계산할 수 있음)
- 침수 센서는 출력은 정전 용량 변화로 나타나, 정전 용량 변화를 전압의 변화로 변환해주는 C-V 컨버터 회로가 필요함
- 센서의 전극이 형성되는 플라스틱 필름상에 C-V 컨버터 회로도 함께 형성하기 위하여 센서 전극 형성 시에 회로의 전극 패턴도 함께 형성함



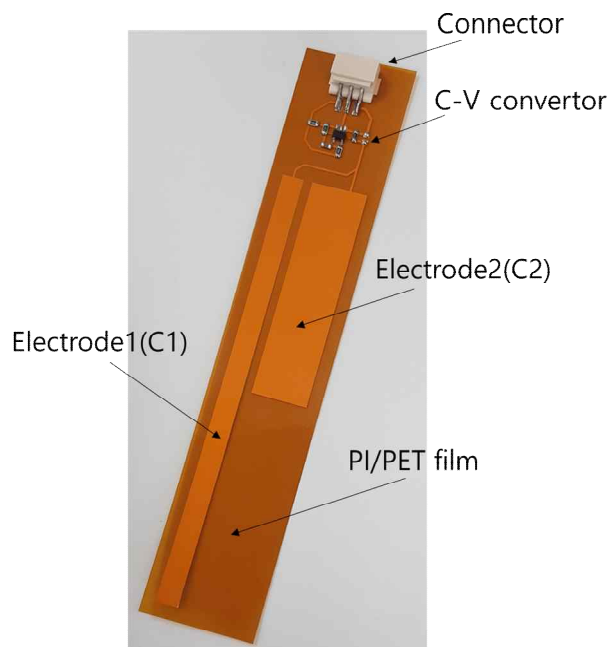
< C-V 컨버터 회로 >

- 침수 센서 제작은 PET 필름상에 금 전극 패턴을 형성(에칭 공정)하고, 전극을 폴리이미드 필름을 코팅하는 방법으로 정전용량형 전극을 형성함
- C-V 컨버터 회로용 전극 패턴에 부품을 납땜 방식으로 부착하여 완성함
- 침수 속도 측정이 가능한 침수 센서의 구조를 다음 그림에 나타냄

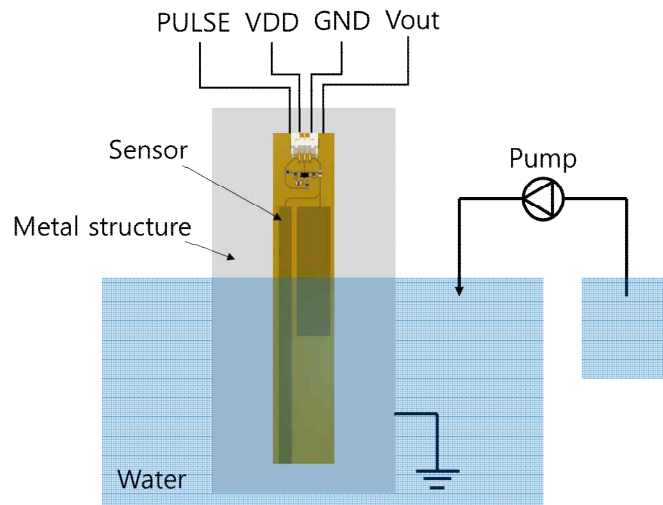


< 플라스틱 필름형 침수 센서 구조 >

- 플라스틱 필름상에 센서가 제작되어서, 센서의 형태나 사이즈(폭, 길이)를 비교적 자유로운 설계가 가능함
- 그림에 나타낸 침수 센서의 경우 두 전극 사이의 길이 차가 50mm로, 수위가 50mm 상승하는 동안의 시간을 측정하면, 침수 속도 계산이 가능함
- 제작된 침수 센서의 사이즈는 PI/PET 필름 두께 $95\mu\text{m}$, 금 전극 두께 $20\mu\text{m}$ 이며 센서의 전체 사이즈는 $133 \times 26 \text{ mm}^2$ 임
- 전극 패턴 위에 OP-AMP 등 부품을 납땜으로 고정하여 센서를 완성함
- 필름형 침수 센서의 특성을 평가하기 위하여 그림과 같은 측정 시스템을 구성함

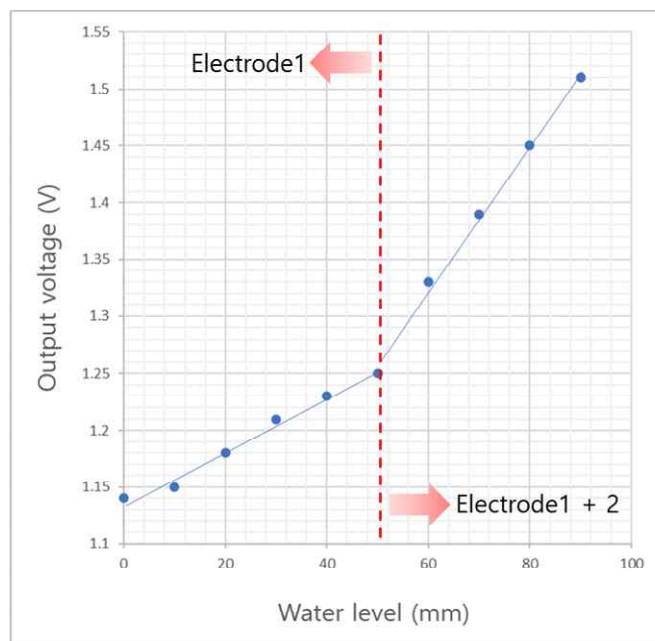


< 제작된 필름형 침수 센서 사진 >



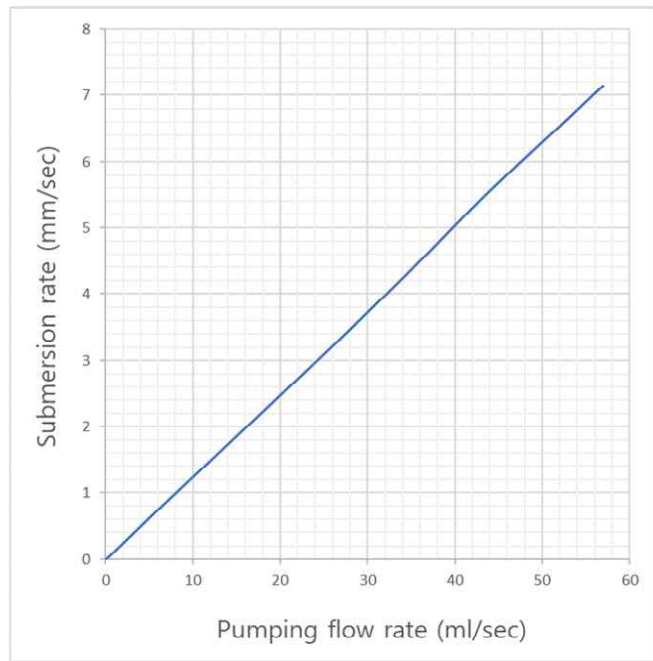
< 침수 센서 측정 시스템 >

- 침수 센서의 측정을 위하여 센서에 전원을 인가하고, 1kHz에서 100kHz 사이의 펄스 (pulse)를 인가하고 출력값을 측정함
- 로봇 본체 역할을 하는 금속판은 접지에 연결하고, 침수 센서를 금속판에 양면테이프로 접착함
- 침수 속도를 측정하기 위하여 DC 펌프를 이용하여 수위를 조절하였음



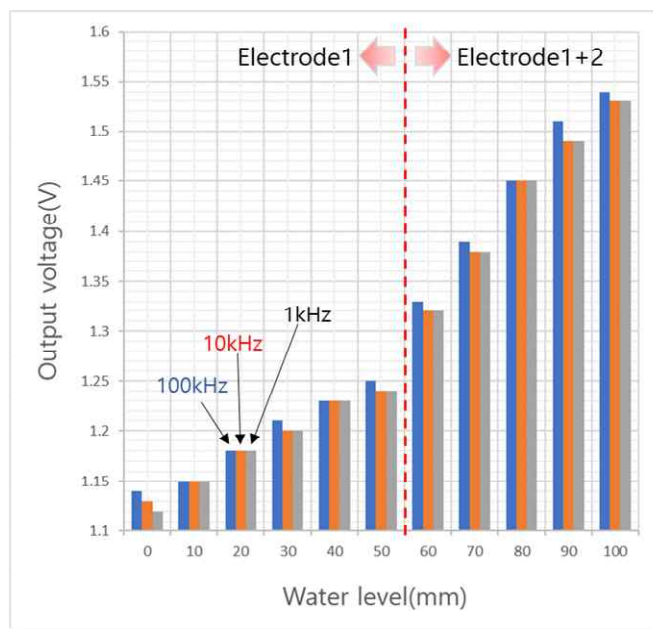
< 수위에 대한 출력 전압 >

- 그림에서 침수 모니터링 전극만 수위에 노출된 구간과 두 전극 모두 노출된 구간의 감도 명확하게 달라짐을 알 수 있음
- 센서의 감도가 달라지는 지점까지의 시간을 측정하고, 두 전극의 길이 차이(50mm)를 측정 시간으로 나누면 속도를 구할 수 있음



< 침수 속도 측정 결과 >

- 침수 속도 측정은 DC 펌프의 펌핑 유량을 조절하여 침수 속도 측정용 전극까지 도달하는 시간을 측정하여 침수 속도를 측정함
- 침수 속도 측정 결과 직선성이 매우 좋은 출력 특성을 확인할 수 있었음



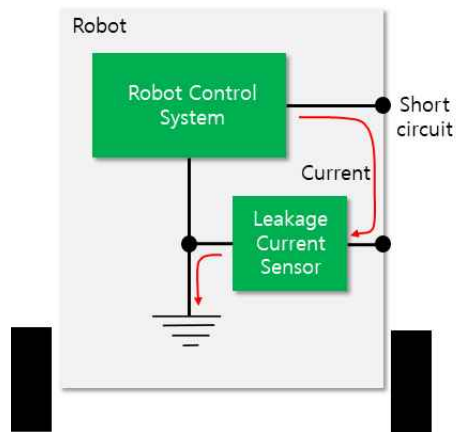
< 출력 전압의 펄스 주파수 의존성 >

- 펄스 주파수를 1kHz에서 100kHz까지 변화시키면서 수위에 대한 출력 전압을 측정한 결과 이 주파수 범위에서는 출력 특성에 주목할만한 영향이 없음
- 펄스 주파수가 높아지면 출력 펄스의 왜곡이 다소 발생하는 것으로 확인함
- 펄스 주파수는 1kHz에서 100kHz 사이의 적당한 주파수를 사용하면 될 것으로 판단됨

- 침수 모니터링 시에 침수 속도 정보도 함께 알 수 있다면 침수에 대한 대응도 매우 효과적일 것으로 판단됨

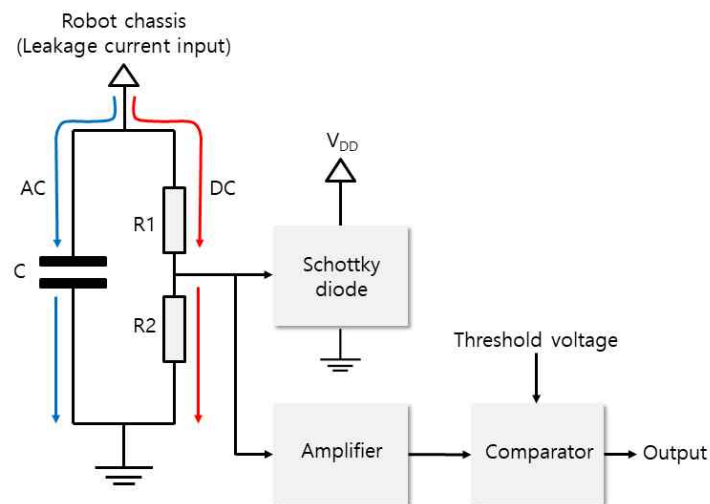
나) 로봇 샤프트 누전 모니터링 센서 개발

- 로봇의 샤프트를 통하여 발생하는 누전을 적극적으로 상시 모니터링 하기 위하여 누전 모니터링 센서를 개발함



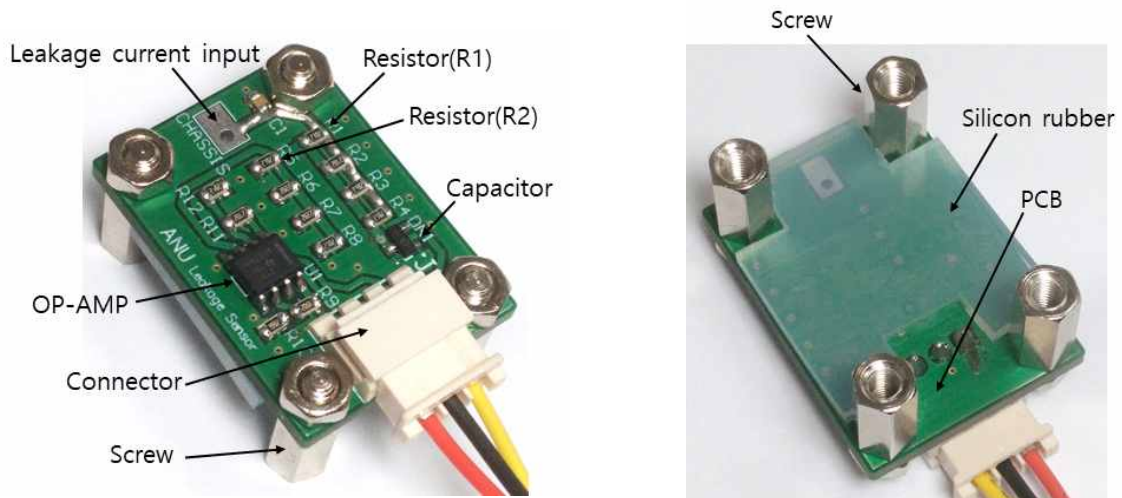
< 로봇 샤프트 누전 모니터링 센서 >

- 본 누전 모니터링 센서는 OP-AMP를 적용한 증폭기와 비교기 각 1개씩을 사용한 비교적 단순한 회로로 구성됨
- 누전 모니터링 센서는 샤프트를 통해 주입되는 직류 성분뿐 아니라 고주파 성분도 접지를 통해 제거할 수 있도록 함
- 누전 모니터링 센서에 쇼트키다이오드(schottky diode)를 배치하여 과도한 전압이 인가되면 전압이 회로 쪽에 인가되지 않도록 함



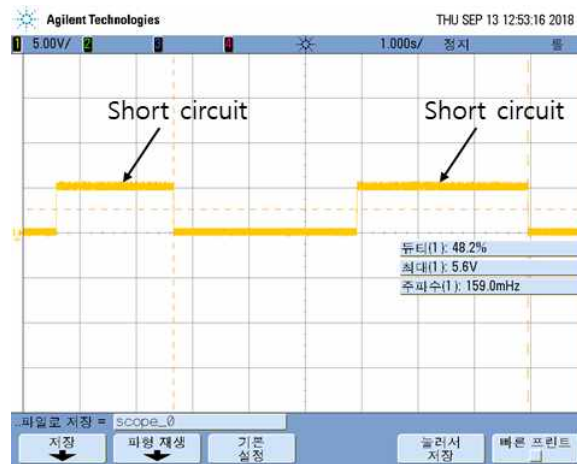
< 누전 모니터링 센서 회로도 >

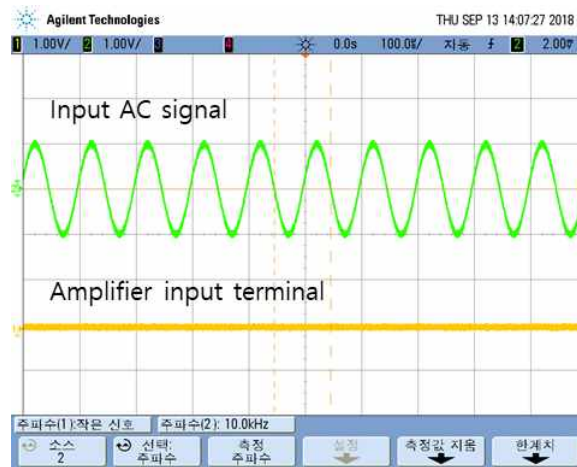
- 누전 모니터링 센서 개발에 증폭기와 비교기는 OP-AMP(OPA2191)를 사용했고, 쇼트키 다이오드는 BAS40-40LTIG를 사용함
- 제작된 누전 모니터링 센서에서 적용한 부품을 확인할 수 있음



< 제작된 누전 모니터링 센서 사진 >

- 누전 전류에 의한 입력 전압이 설정 전압보다 높아지면 누전으로 판단
- 비교기의 출력값은 로봇 제어 시스템의 MCU에 보내, 시스템 긴급 정지 등 적절한 판단을 하도록 함
- 본 누전 모니터링 시스템은 설정 전압을 DC22V로 설계하고, 누전으로 판단되면 비교기가 high(5V)를 출력함
- 누전 모니터링 센서의 뒷면은 고무 또는 플라스틱 재질의 패드를 부착하여 절연하고, 본 누전 센서를 도전성 나사를 이용하여 로봇 샷시에 고정하여, 나사가 샷시와 센서의 입력 단을 자연스럽게 연결할 수 있도록 함



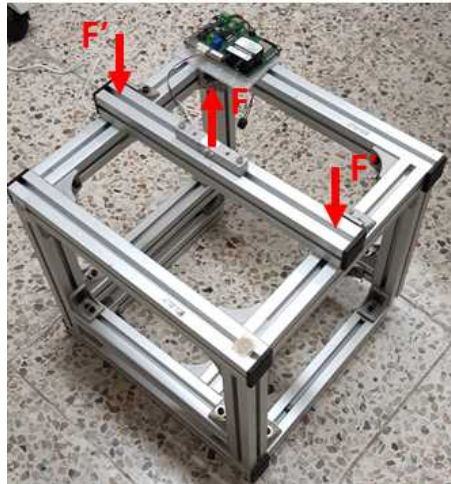


< 누전 모니터링 센서의 측정 결과 >

- 로봇 새시를 통한 누전의 발생으로 설정 전압보다 높은 전압이 인가되면 비교기가 high(5V)를 출력함
- 로봇 새시를 통하여 고주파 성분이 주입될 경우 누전 모니터링 센서 입력단에 배치된 커패시터에 의해 접지로 방출되기 때문에 노이즈에 의한 영향을 최소화할 수 있음
- 로봇 새시에 10KHz 정도의 고주파 성분을 인가할 때, 누전 모니터링 센서의 증폭기 입력단을 측정한 결과 고주파 성분이 나타나지 않았음
- 로봇 새시 누전 모니터링 센서 성능을 평가한 결과 인간에게 있어서 위험한 새시를 통한 누전은 모니터링 가능할 것으로 판단됨
- 누전 모니터링 센서는 OP-AMP 2개와 저항 등 부품 몇 개로 이루어지기 때문에 생산 단가가 매우 낮을 것으로 판단되어 상품화에 매우 유리할 것으로 판단됨
- 개발된 누전 모니터링 센서는 자기 진단 시스템에 통합하여 개발함

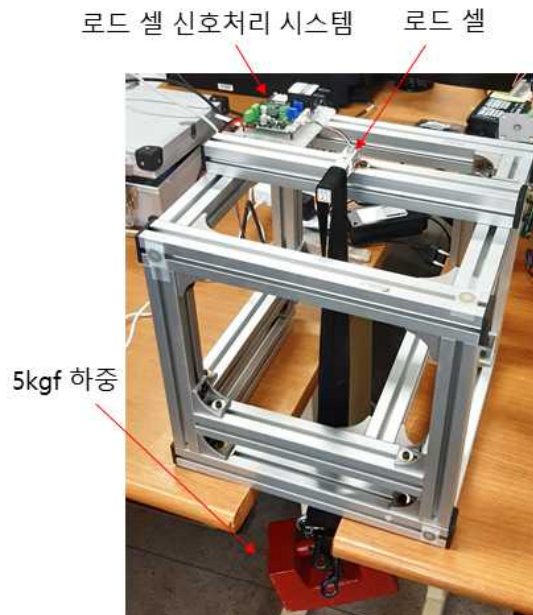
다) 로봇의 취약 구조물의 변형 모니터링 시스템

- 농업용 로봇은 요철이 심한 노지에서 주로 작업이 이루어지기 때문에 진동이 심하여, 로봇에서 취약 구조물의 변형 및 파괴가 우려됨
- 로봇에서 내구성 취약 구조물의 변형 및 파괴를 모니터링하기 위하여 소형 로드셀 ($80 \times 12 \times 12 (mm^2)$)을 사용함
- 로드셀을 취약 구조물에서 변형, 즉 응력이 집중되는 부분에 장착하여 상시 변형을 모니터링 함



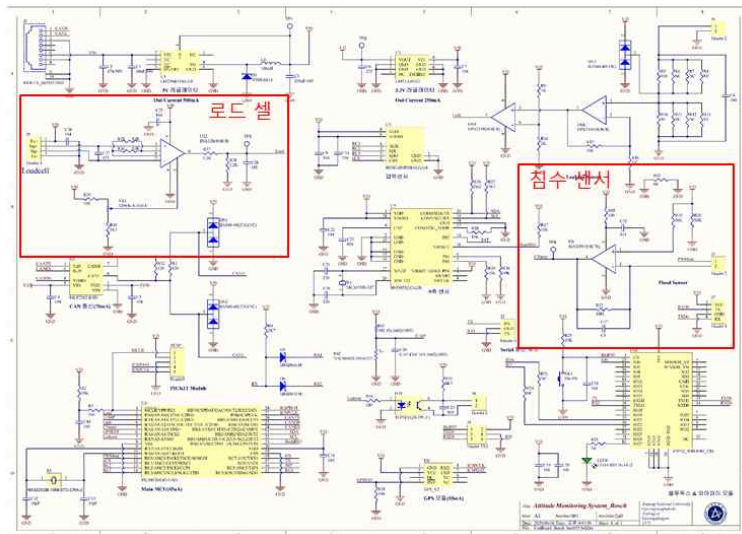
< 구조물의 변형 모니터링 시스템 >

- 로봇 구조물에 로드셀을 장착하여 작업 시에 발생하는 통상적인 변형 및 진동과 이상 변형 및 진동을 구분하는 방법으로 구조물의 파괴를 모니터링 할 수 있음
- 본 시스템에 적용할 로드셀의 변형 모니터링 능력을 판단하기 위하여 로드셀을 고정하고 5kgf의 하중을 인가하여 출력을 모니터링 함



< 로드 셀 성능 평가 시스템 >

- 그림과 같이 로드 셀의 한쪽 끝단을 고정하고 다른 쪽 끝단에 5kgf의 하중을 인가했을 때 12bit 디지털 출력값으로 1440/4096을 나타내어 구조물의 이상 변형 모니터링이 가능할 것으로 판단됨
- 작업 시 로봇 구조물의 정상적인 변형을 측정하여 경보 설정값을 정하여 적용하면, 이상 변형 발생 시에 중앙 제어 시스템에 경보 신호를 전달할 수 있음
- 자세 제어 및 자기 진단 통합 보드에 로드 셀의 신호처리 회로부를 반영하여 설계 및 제작 함



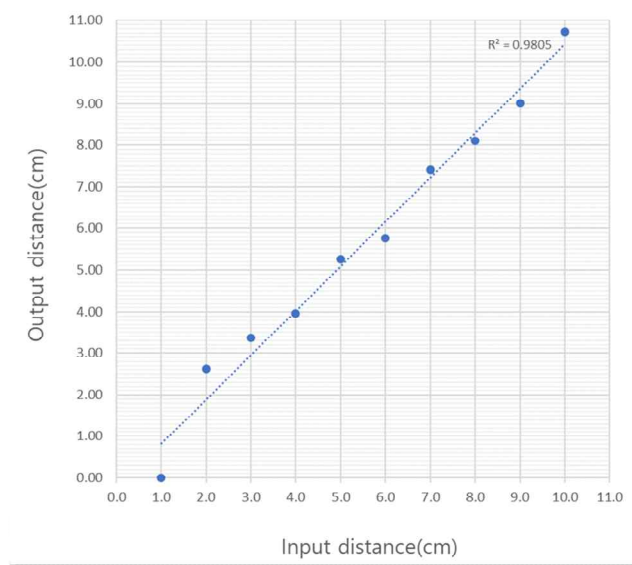
< 로드 셀 신호처리 회로 >

라) 차고 모니터링 시스템

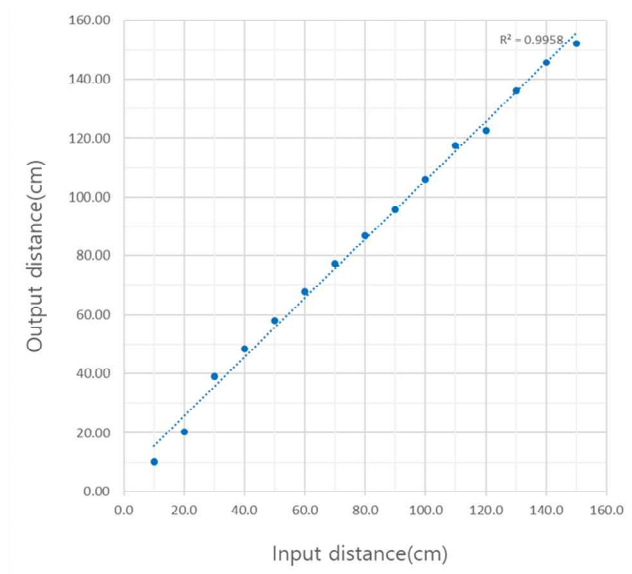
- 로봇의 높이 가변 시에 가변 높이를 모니터링 하기 위한 센서로, 초음파 센서를 이용한 거리 모니터링 시스템을 개발함
- 일반 초음파 센서를 활용해도 충분한 감도를 확보할 수 있으나, 농업 환경의 높은 습도에 초음파 센서의 오동작을 방지하기 위하여 방수 초음파 센서를 적용하는 것이 효과적일 것으로 판단됨
- 차고 센서는 로봇의 하단의 적당한 위치에 장착하여, 지면과의 상대적 높이를 모니터링 함



< 방수 초음파 센서 >



< 초음파 센서를 이용한 거리 측정 결과, 10cm 범위 >



< 초음파 센서를 이용한 거리 측정 결과, 150cm 범위 >

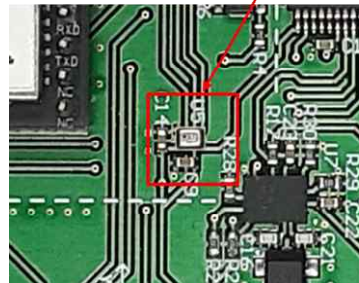
- 초음파 센서를 이용하여, 10cm 범위와 150cm 범위의 거리를 측정함
- 10cm 범위 측정에서는 1cm 간격으로, 150cm 범위 측정에서는 10cm 간격으로 거리를 측정한 결과, 최소 1cm의 측정 분해능은 확보됨
- 초음파 센서를 이용한 거리 측정 결과 R2가 0.98 이상으로 출력값의 직선성이 우수하여 로봇의 차고 모니터링에 적용이 가능할 것으로 판단됨
- 로봇의 최대 차고를 고려할 때 150cm 범위의 거리 측정이 가능하면 적용 가능할 것으로 판단됨

마) 압력 모니터링 시스템

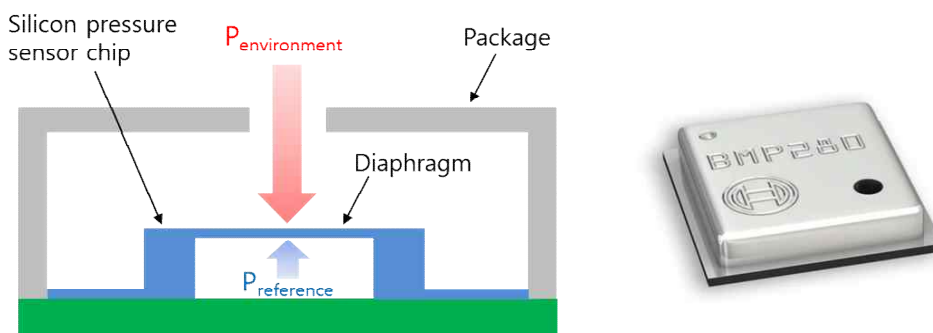
- 압력 센서는 고도, 수직 속도, 기상 예측, 기온기 측정 등 다양한 용도로 응용되고 있음
- 농업용 로봇에서는 압력 센서를 이용하여 주위 환경의 압력을 측정하여 현재의 고도 예측, 농업 현장 기상 예측 등이 가능함

- 통합 보드에 BOSCH사의 BMP280-LGA-8 절대압 압력 센서를 적용하여 압력 모니터링 가능함

압력센서(BOSCH BMP280)



< 압력 센서, BOSCH BMP280 >



< 절대압 센서 측정 원리, BOSCH BMP280 >

- 절대압 센서는 실리콘으로 제작된 다이아프레이름(diaphragm) 전면과 후면에 인가되는 압력의 차이에 비례하는 출력값을 나타내는 센서로, 기준 압력(Preference)은 압력 센서 제작 시에 결정하여 설정하고, 주위 환경의 압력(Penvironment)의 크기에 따라 다이아프레이름의 휨이 발생함

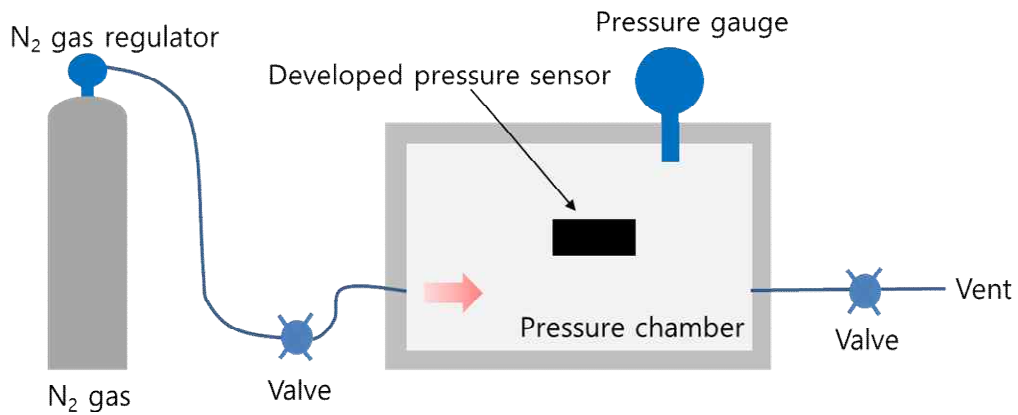
$$P \propto \sigma = \varepsilon E$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi \sigma$$

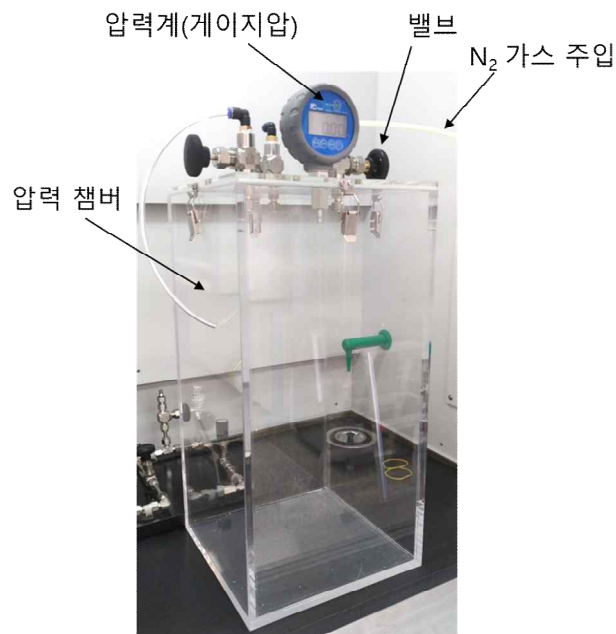
$$\Delta V = I \cdot \Delta R$$

- 인가 압력(P)에 비례하여 다이아프레이름 상에 응력(σ)이 발생하고, 응력에 비례하여 다이아프레이름 상에 형성된 압저항(piezoresistor)의 저항 변화($\frac{\Delta R}{R}$)가 발생하며, 최종적으로 저항 변화에 비례하는 전압 변화(ΔV)가 출력됨(ε : strain, E : young's modulus, π : piezoresistance coefficient, I : current)
- 다이아프레이름의 휨이 발생하면 다이아프레이름에 설치되어 있는 저항의 저항값이 비례하여 변하고, 최종 전압으로 출력함

- BMP280 압력 센서는 110kPa 범위 측정이 가능하며, 최대 2,000kPa까지 사용 가능함
- 통합 보드에 압력 센서를 내장 설계하여 디폴트로 주위 환경 압력을 측정하여, 중앙 제어 시스템으로 보내는 데이터 세트에 포함 필요시에 압력 정보를 활용할 수 있도록 함



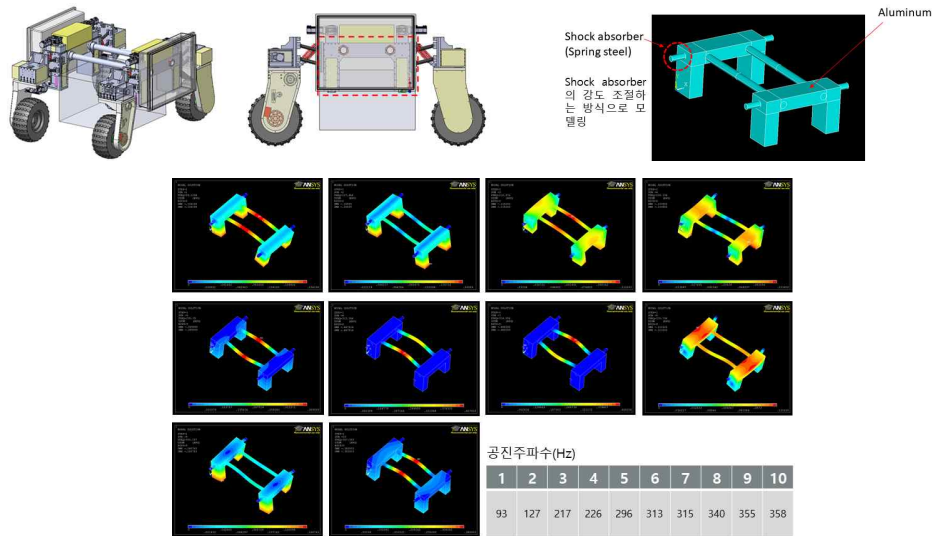
< 압력 모니터링 시스템 평가 장치 >



< 압력 모니터링 평가용 압력 챔버 >

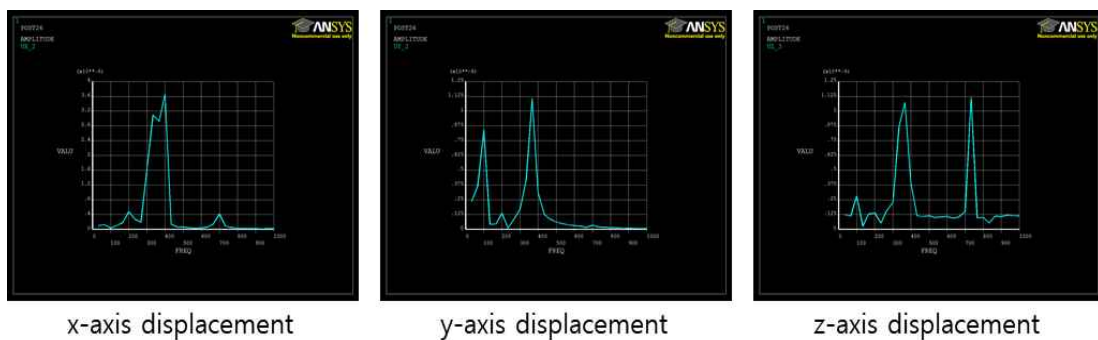
바) 진동 및 충격 모니터링 시스템

- 농업용 로봇의 기계적 특성(변위, 응력 분포 및 진동 특성)을 파악을 위하여 ANSYS를 활용한 구조해석 시뮬레이션을 실시함
- 농업용 로봇의 기계적 진동 특성을 분석하기 위하여 Modal analysis와 Harmonic analysis를 실시함



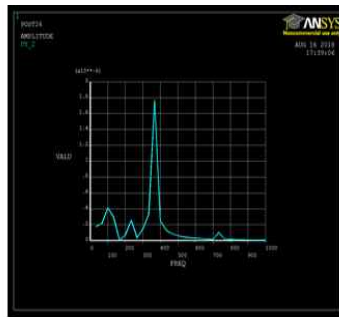
< 농업용 로봇 플랫폼 모델 및 modal analysis 결과 >

- 1차 모드에서 10차 모드까지의 공진 형태와 공진 주파수의 ANSYS 시뮬레이션 결과 최초로 공진이 발생하는 1차 모드 공진 주파수가 93Hz로 다소 낮은 주파수에서 공진이 발생하는 것을 알 수 있음. 다만 ANSYS 시뮬레이션에서 농업용 로봇 플랫폼 만의 모델을 사용한 결과로 배터리, 작업 모듈 등 하중이 인가된 상태로 시뮬레이션을 실시할 경우 공진은 더욱 높은 주파수에서 발생할 것으로 판단됨. 추후에 배터리 등 유틸리티 및 작업 모듈 등의 하중이 인가된 상태로 시뮬레이션을 실시하여 더욱 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대함
- 동일한 모델을 이용하여 harmonic analysis를 실시하였다. Harmonic analysis는 하중이 인가된 상태의 공진 스펙트럼을 알 수 있는 해석 방법으로 1N의 하중을 사용하여 시뮬레이션을 실시함. 그래프에서 x-축은 공진 주파수, y-축은 변위(displacement)를 나타냄



< x, y, z-축 방향 harmonic analysis 결과 >

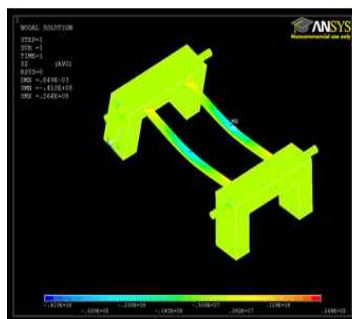
- y-축 방향 harmonic analysis 결과를 보면 첫 번째 공진이 약 1kHz 근처에서 발생하여, modal analysis 결과 중에 1차 모드와 비슷한 결과를 나타내는 것으로 판단됨. 공진에 의한 변위를 감소시키기 위해서는 로봇 플랫폼을 지탱하기 위한 스프링의 강도를 높일 필요가 있는 것으로 확인됨



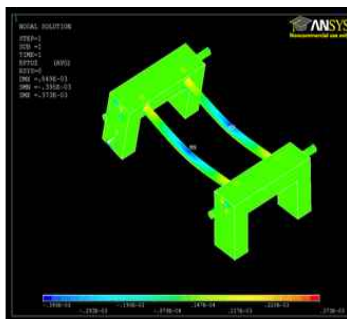
y-axis displacement(young's modulus up!)

< Harmonic analysis 결과: 스프링 강도 높임 >

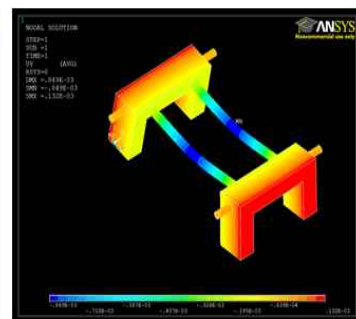
- 그림에서 최초 공진이 발생하는 1kHz 근처에서 변위의 크기가 감소된 것으로 알 수 있음.
- 농업용 로봇의 내구성을 판단하기 위하여 농업용 로봇의 양쪽 빔(beam)에 각각 400kg 하중을 인가했을 때의 응력 분포, 변형 및 변위를 시뮬레이션함



Stress-z: 41 MPa



Strain-z: 400×10^{-6}

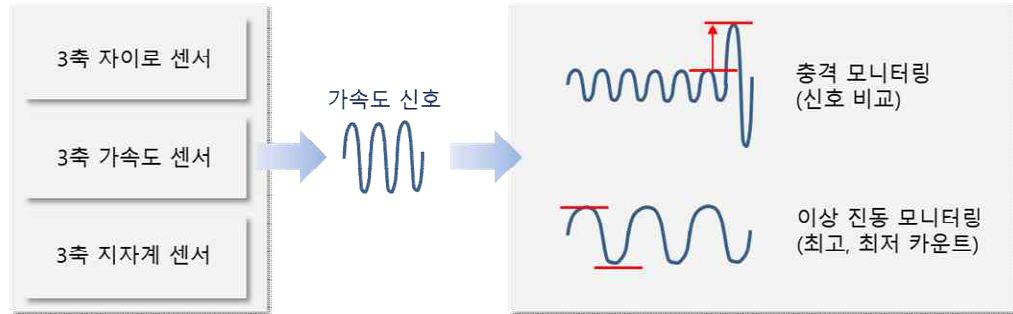


Displacement-y: $849 \times 10^{-6} \text{ m}$

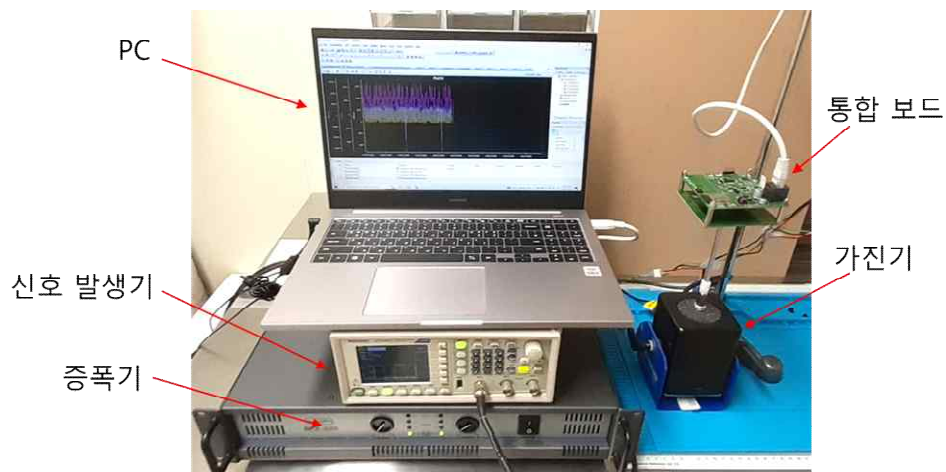
< 농업용 로봇에 인가된 하중(400kg)에 의한 응력 분포, 변형 및 변위 시뮬레이션 결과 >

- 응력 시뮬레이션 결과 최대응력을 나타내는 부분이 하중이 인가된 부분으로 약 41MPa 정도로, 알루미늄의 파괴강도가 100MPa 이상이기 때문에 빔 하나에 400kg 정도의 하중은 적용이 가능한 것으로 판단됨
- 농업용 로봇의 기계적 특성(공진 주파수 등)을 고려하여 이상 진동 및 충격 모니터링 시스템의 판단 기준을 설정하여 운영할 수 있음
- 로봇의 하중, 형태, 사이즈에 따라 기계적 특성(특히 공진 주파수)이 달라져, 시뮬레이션 또는 실측을 통해서 정확하게 분석한 후에 판단 기준을 설정할 필요 있음
- 로봇 본체에 크랙(crack) 등 기계적 문제가 발생할 경우, 공진 주파수가 달라질 수 있어서 공진 주파수의 변화폭을 모니터링하는 방법으로 기계적 이상 상태를 모니터링할 수 있음
- 로봇의 진동 폭(진폭)이 이상적으로 커지는 현상도 로봇의 기계적 이상 상태로 판단되어, 진동 주파수와 함께 모니터링할 필요가 있음
- 진동 및 충격 모니터링은 9축 관성 센서의 가속도 센서를 활용하여 모니터링 함
- 9축 관성 센서의 3축 가속도 센서의 출력 신호를 읽어서 이상 진동 및 충격을 모니터링 함
- CAN 버스를 통해 16bit 디지털 신호의 형태로 중앙 제어 시스템에 전달되면, 샘플링 신호를 비교하면서 설정값 이상의 신호가 감지되면 충격으로 판단할 수 있으며, 신호의 크기에 따라서 충격의 강도를 판단할 수 있음
- 신호의 최고, 최저치를 카운트하여 진동 주파수를 계산하고, 설정 주파수와 비교하는 방법으로 이상 진동을 모니터링 함

자세 모니터링 시스템

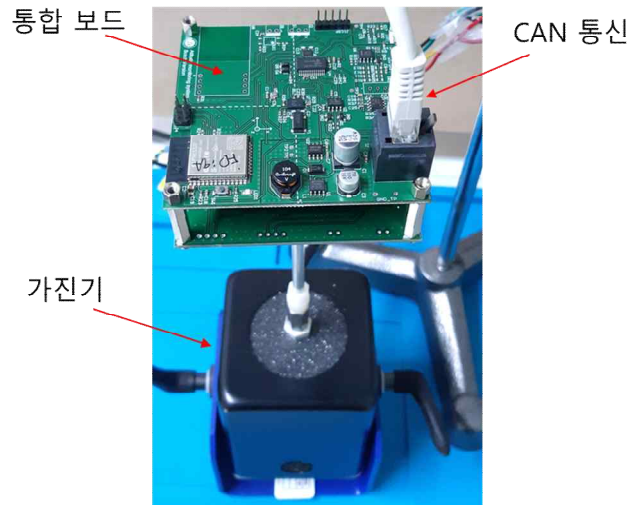


< 충격 및 이상 진동 모니터링 시스템 >

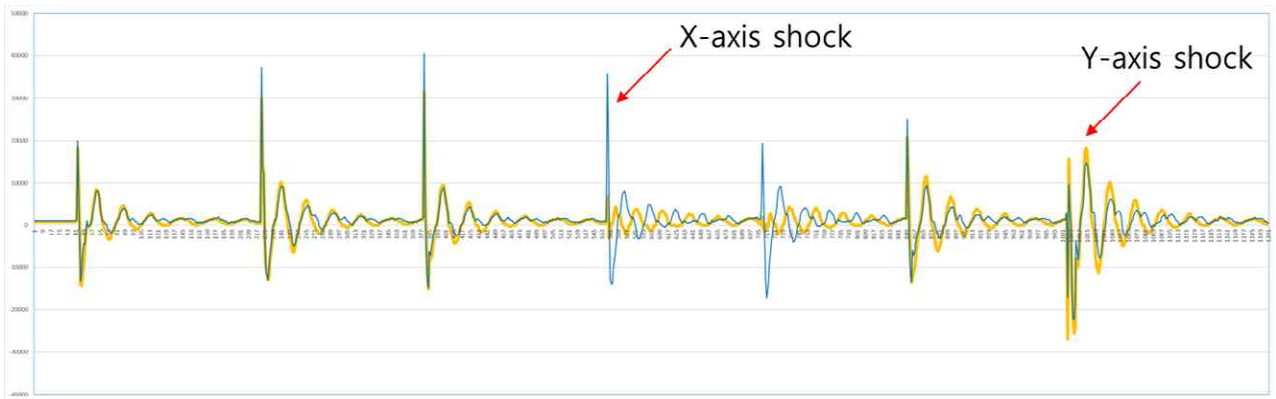


< 충격 및 진동 특성 측정 시스템 >

- 충격량 및 진동 주파수를 측정하기 위해 기계적 진동을 인가할 수 있는 가진기(shaker)를 이용한 측정 시스템을 구축함
- 측정 시스템은 가진기에 특정 주파수의 신호를 입력하기 위한 신호발생기 및 증폭기로 구성되며, 통합 보드에서 출력되는 가속도 신호를 CAN을 통해서 모니터링하기 위한 PC로 구성됨
- 진동 특성 측정에 있어서 통합 보드가 장착되는 구조물에 따라서 진동 양상이 달라질 수 있어서, 통합 보드가 로봇에 최종 장착된 이후의 진동 특성을 분석하여 설정값을 정해야 함

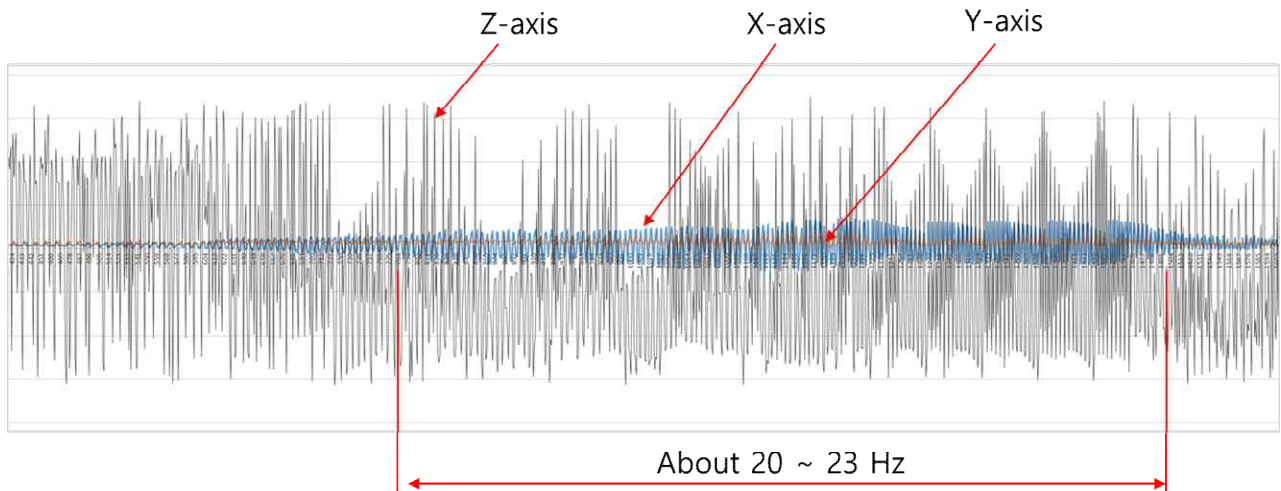


< 가진기에 장착된 통합 보드 >



< 통합 보드에 x축 및 y축 방향 충격 인가 실험, 가속도 센서 디지털 출력값 >

- 사진에 나타난 상태에서 통합 보드의 접선 방향(x축, y축)의 충격이 인가된 경우의 측정 결과를 나타냄
- 측정 결과에서 파란색으로 나타난 결과가 x축 방향 충격에 의한 결과이며, 노란색으로 나타난 결과가 y축 방향 충격에 의한 결과임
- 비교적 미세한 충격량(가속도 성분)도 모니터링 가능할 것으로 판단됨
- 로봇에 인가되는 충격량을 지속적인 모니터링도 가능하며, 설정값과의 비교를 통해 로봇을 정지시키는 등 다양한 제어가 가능할 것으로 판단됨



< 통합 보드에 Z축 방향의 진동 인가 실험, 가속도 센서 디지털 출력값 >

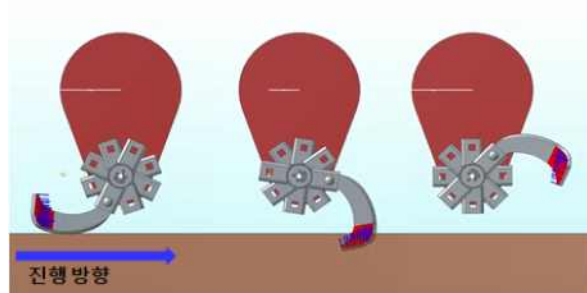
- 3축 가속도 센서의 출력 신호를 분석하여 로봇의 이상 진동 감지 및 제어가 가능함
- 특정 구조물에 기계적 진동이 인가되면 주파수에 따라서 다양한 형태의 진동을 나타냄
- 구조물에 인가되는 기계적 진동 주파수에 따라 주기적으로 공진이 나타나며, 공진 상태에서는 심각한 이상 진동으로 오작동 또는 파괴 등의 우려가 있음
- 공진 특성은 통합 보드가 장착된 구조물의 형태, 재료 등에 영향을 받기 때문에 경우별 특성 확인 및 분석이 필요함
- 그림에 나타낸 진동 특성 측정 결과는 z축 방향으로 진동을 인가할 때의 x, y, z축 방향의 가속도 특성을 나타냄
- 측정 결과 20에서 23Hz 근처에서 z축 뿐 아니라 x, y축 가속도 성분도 증가하는 특성을 나타냈으며, 실제로 가진기에 부착된 통합 보드가 불규칙한 심각한 진동을 나타냄을 확인함
- 진동 주파수가 23Hz를 넘어서면서 z축 방향 진동만 나타나고, x, y축 방향 가속도가 감소하는 것을 확인함
- 로봇의 이상 진동을 모니터링하여 로봇 제어를 위한 다양한 경우에 응용할 수 있을 것으로 판단됨

< 공동연구기관 : 경북하이브리드부품연구원 >

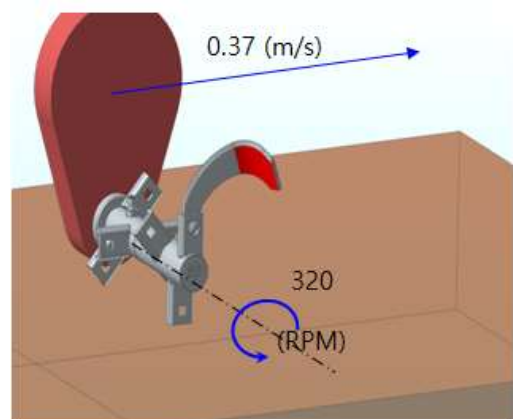
세부연구목표	연구개발 수행내용
작업모듈 개발 및 최적화지원	<ul style="list-style-type: none"> - 로터리 핵심부품(칼날 모듈)의 전산 시뮬레이션을 통한 효율 최적화 <ul style="list-style-type: none"> * 전산 시뮬레이션을 통한 최적 로터리 칼날 모듈 설계안 도출 * 기존 로터리 칼날 분석을 통한 최적화 - 고강도, 내마모성 개선 로터리 칼날 제작 <ul style="list-style-type: none"> * 극한환경, 반복작업에 따른 고강도, 고내마모성 소재 적용 및 선정 - 휴립 피복기 모듈 핵심 부품 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 가변 제어형 휴립 피복모듈 최적화 연구 * 휴립칼날 비틀림 각 비교 모델에 따른 해석 수행 - 로전산 해석결과 검토를 위한 필드 테스트 <ul style="list-style-type: none"> * 휴립 칼날의 굽힘 및 비틀림 각도에 따른 토양의 비산정도를 분석 - 로전산해석 및 분석을 통한 작업모듈(정식기, 운반기) 중요 부품 최적화 <ul style="list-style-type: none"> * 작업모듈(정식기, 운반기) 장착 구동부 구조 안정성 확보를 위한 전산해석 지원 - 로방제모듈 전산해석을 통한 방제성능 최적화 지원 <ul style="list-style-type: none"> * 방제모듈 내부 노즐 위치 및 구조에 따른 최적화 및 부품 제작 - 로매인플랫폼 및 구동부 구조 안정성 확보를 위한 전산해석 지원 <ul style="list-style-type: none"> * 프레임 구조변경(Case 별)에 따른 전산해석 지원 - 로팜봇 배터리 성능 향상을 위한 작업모듈 경량 고강도 소재 적용 <ul style="list-style-type: none"> * 차기 팜봇 적용을 위한 경량 고강도 알루미늄 소재적용 검토 및 제작
체결 Unit 개발 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> - 로체결 Unit 개발 및 최적화지원(1차 개발품) <ul style="list-style-type: none"> * 원터치 히치형 체결 Unit 제작 * 체결 구조 안정성 확보 및 DB 구축을 위한 체결강도 측정 - 로체결 Unit 개발 및 최적화지원(2차 개발품) <ul style="list-style-type: none"> * 구조안정성 검증 해석 * 전자식 체결을 위한 내부삽입형 체결방식 선정 제작 지원

○ 로터리 핵심부품(칼날 모듈)의 전산 시뮬레이션을 통한 효율 최적화

- 전산 시뮬레이션을 통한 최적 로터리 칼날 모듈 설계안 도출
 - 로터리 칼날 최적화 위해 참여기관인 아세아텍의 기존 로터리 칼날 대비 꺾임 각에 대한 비교군을 설정하여 최적의 비산 정도를 검토 할 수 있는 전산해석을 수행
- 구동 조건 및 모델링 설정
 - 구동조건
 - 모델링 설정

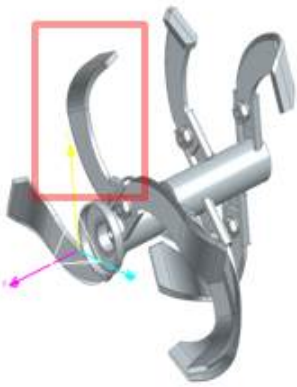


로터리 진행방향(주행) 속도	0.37m/s
로터리 축 회전속도	320 RPM
토양 표면으로 부터의 높이	100mm

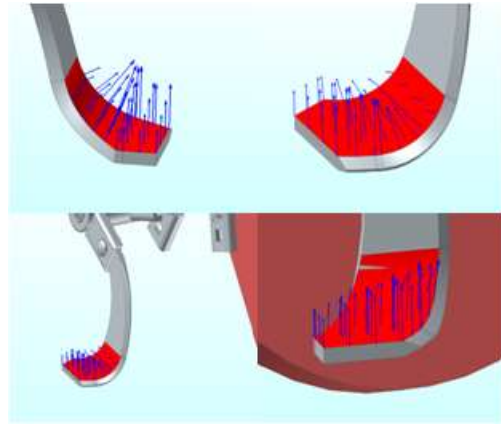


<로터리 칼날 해석 모델>

- : 꺾임 각 55°의 소형 로터리 칼날을 대상으로 해석 모델 생성
- : 칼날 면의 법선 방향 속도 해석
- : 법선 방향 속도 계산시, 토양에 수직으로 작용하는 회전 반경 방향의 칼날 면 제외
- : 칼날의 곡률부와 평면부에서 면에 수직한 법선 방향 속도 계산



<로터리 칼날 해석 적용 part>



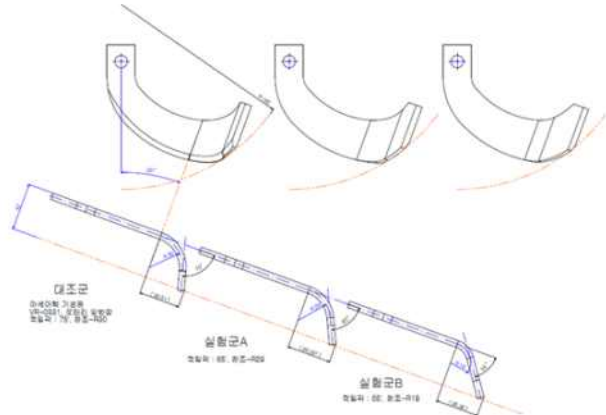
<로터리 칼날 면의 법선방향 속도>

- 로터리 칼날 꺾임 각 비교 모델 분류

- 소형 로터리 칼날을 비틀림 각 없이 꺾임 각 $[75^\circ, 65^\circ, 55^\circ]$ 으로 분류
- 기존 모델에서 꺾임(굽힘부) 시작 위치 및 반경을 동일하게 모델링



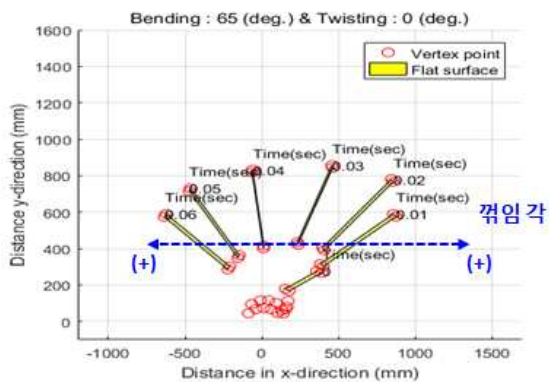
<로터리 칼날 꺾임 각>



<꺾임 각 대조군, 실험군 설정>

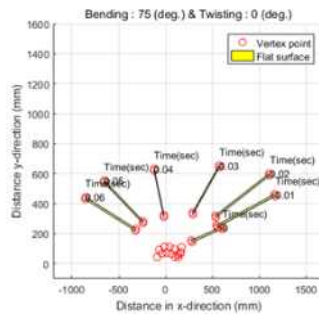
- 해석 결과

- 꺾임 각에 따른 탄착군 비교

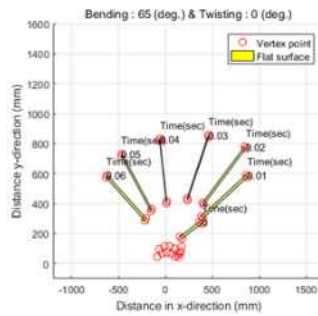


<꺾임 각($75^\circ, 65^\circ, 55^\circ$)에 따른 비교>

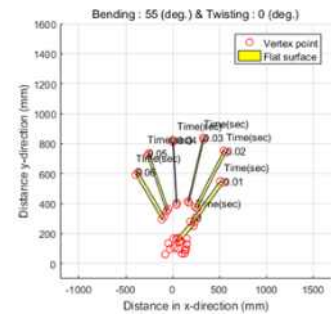
- 꺾임 각이 클수록 전후 방향의 비산거리 증가
- 꺾임 각이 작을수록 측면 방향으로 토양의 비산 집중
- 측면 방향 성토 위치의 경우 비산거리 차이가 작음



<꺾임 각 75°>



<꺾임 각 65°>

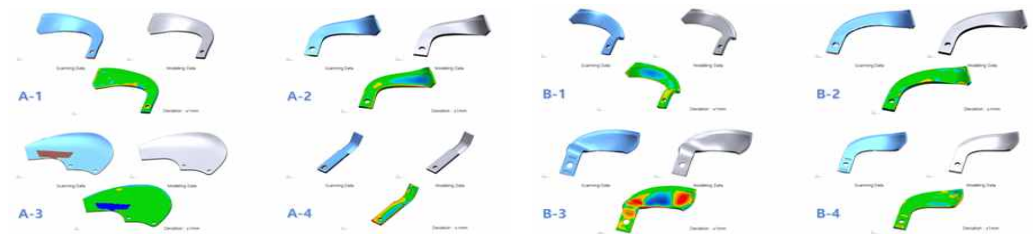


<꺾임 각 55°>

- 로터리 칼날의 효율을 직, 간접적으로 예측할 수 있는 토양의 비산 정도 분석을 통해 최적의 칼날 형상의 기초 data를 확보함.

– 기존 로터리 칼날 분석을 통한 최적화

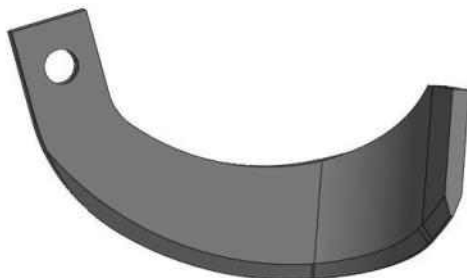
- 기존 국내 양산 적용 로터리 칼날의 경쟁사(Y社, K社 각 4종) 칼날 spec. 분석을 통해 제품 형상, 꺾임 각 등을 참고하여 로터리 칼날 최적화를 위한 data로 활용하기 위해 3D 모델링 및 역설계를 수행



<칼날 역설계 분석 data>

○ 고강도 로터리 칼날 제작

- 극한환경, 반복작업에 따른 고강도, 고내마모성 소재 적용 및 선정
 - * 밭 작업 환경에서 외부에 노출되는 작업기의 물리적 손상(수분, 파편, 진흙 등), 화학적 손상(염수, 산화 등)을 최소화 할 수 있는 소재로 변경을 검토
 - * 흙에 직접 접촉되어 사용하는 작업기 부품의 고강도, 고내마모성 소재로 변경을 고려함
 - * 변경대상 소재: BOHLER K340 -> 내마모성 및 높은 경도(기존 소재 경도 대비 3배 향상)
 - * 기존 부품 형상과 동일한 시제품 제작



○ 휴립 피복기 모듈 핵심 부품 개발

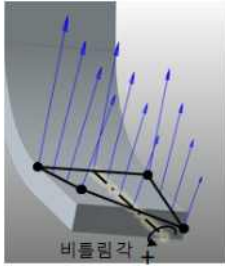
- 가변 제어형 휴립 피복모듈 최적화 연구 및 개발

* 로터리 칼날 전산해석과 동일한 방식으로 휴립모듈 칼날의 비틀림 각에 대한 비교군을 설정하여 최적의 비산 정도를 검토 할 수 있는 해석을 수행함.

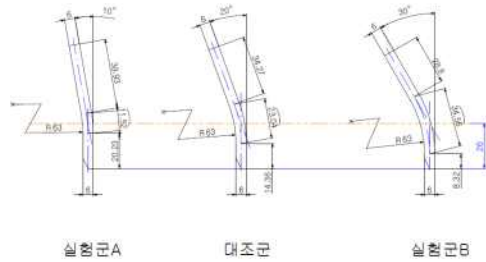
* 휴립 칼날 비틀림 각 비교 모델 분류

: 동일한 꺾임 각(65°)을 가지는 칼날 끝단의 비틀림 각 $[+12^\circ, +6^\circ, 0^\circ, -6^\circ, -12^\circ]$ 으로 분류

: 꺾임 까지의 칼날은 동일하며, 끝단의 비틀림을 분류 기준에 따라 모델링



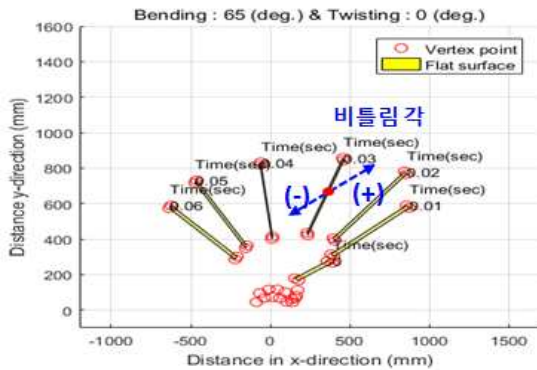
<휴립 칼날 비틀림 각>



<비틀림 각 대조군, 실험군 설정>

* 해석 결과

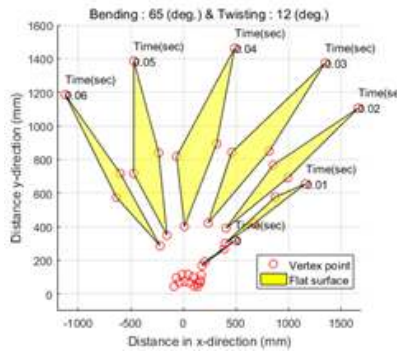
: 비틀림 각에 대한 탄착군 비교



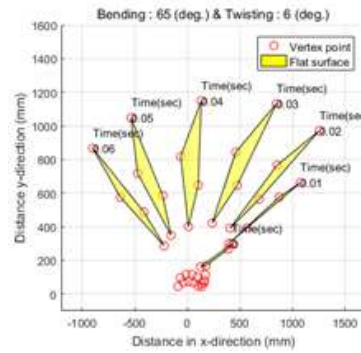
<비틀림 각($+12^\circ, +6^\circ, 0^\circ, -6^\circ, -12^\circ$)에 따른 비교>

비틀림 각이 양의 방향으로 클수록
 → 전방 방향 비산거리 증가
 → 측면 방향 비산거리 증가
 → 평면부에 의한 성토 면적 증가

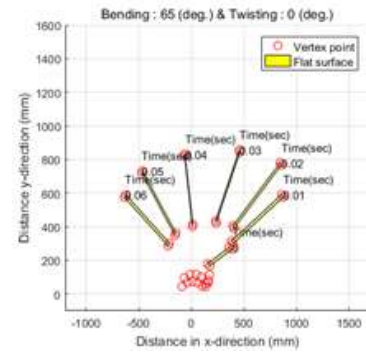
비틀림의 방향에 따라, 비틀림 각 0° 기준으로
 → 양의 비틀림 각은 토양이 전방으로 비산
 → 음의 비틀림 각은 토양이 후방으로 비산



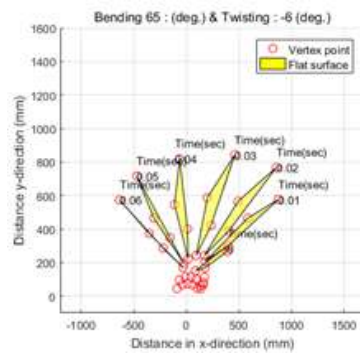
<비틀림 각 +12°>



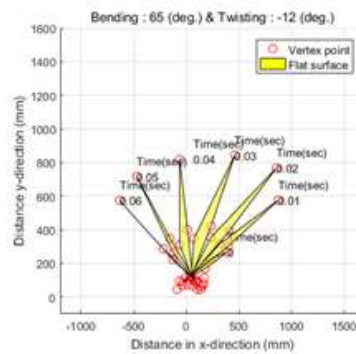
<비틀림 각 +6°>



<비틀림 각 0°>



<비틀림 각 -6°>



<비틀림 각 -12°>

○ 칼날 최적화 및 전산 해석결과 검토를 위한 필드 테스트

- 시험 목적 및 내용

- * 휴립 칼날의 굽힘 및 비틀림 각도에 따른 토양의 비산정도를 분석하여, 최적 칼날형상에 대한 data를 확보
- * 현재 양산되고 있는 로터리 칼날 및 휴립 칼날을 아래 표와 같이 꺾임 각을 $\pm 10^\circ$ (로터리 칼날 65°), 비틀림 각을 약 $\pm 10^\circ$ (휴립 칼날 10°)의 변화를 주어 도포된 비산확인용 비닐에 비산된 흙의 양과 상태 관찰



<비산 각 측정 방법>



<비산 방향 측정 방법>

– 시험 결과

- * 비산각이 칼날의 꺾임 각이 감소함에 따라 비례하여 감소하고, 비틀림 각이 클수록 흙의 비산방향은 전방으로 향함



< 칼날 A (75°) >



< 칼날 B (65°) >



< 칼날C (55°) >

구분	칼날A (꺾임각 75°)	칼날B (꺾임각 65°) (양산품)	칼날C (꺾임각 55°)
측정1	70°	61°	54°
측정2	75°	67°	50°
측정3	70°	65°	55°
측정4	69°	64°	54°
측정5	67°	59°	57°
측정6	64°	58°	59°
측정7	64°	65°	54°
측정8	73°	64°	48°
측정9	71°	58°	55°
측정10	72°	59°	46°
평균값	69.5°	62°	53.2°

<칼날의 꺾임 각에 따른 흙의 비산 각 분포>



<비산 정도 분석>

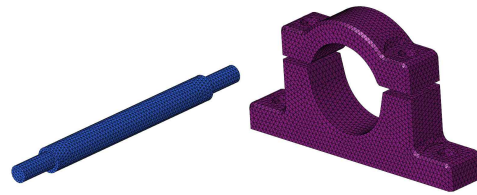
- * 로터리의 경우 흙이 위로 비산하여 제자리에 떨어져야하는 하므로, 꺾임 각을 크게 하는 것이 유리
- * 휴립기의 경우 흙이 전방으로 비산되어 최대한 작업기 내로 모여야 하므로, 비틀림 각을 크게 하는 것이 유리

○ 전산해석 및 분석을 통한 작업모듈(정식기, 운반기) 중요 부품 최적화

- 작업모듈(정식기, 운반기) 장착 구동부 구조 안정성 확보를 위한 전산해석 지원
- 개발 대상품 기준 작업모듈 체결 구동부 해설 모델 및 경계조건
 - * 각 소재별 물성 및 중량, 용접 등 기초 data를 바탕으로 경량 고강도를 위한 구조변경 가능 구간 및 구동 안정성 확보
 - * 기본 프레임 구조 및 판재류는 Shell Element를 이용하여 모델링 하였고, 체결 브라켓 (단조 부품) 및 슬리브핀은 Solid Element를 적용, 고차요소인 2 order를 이용하여 모델링을 진행

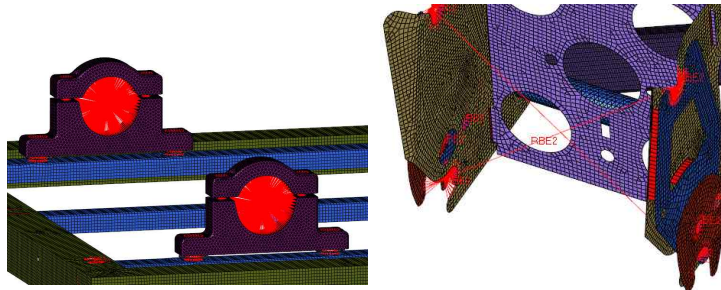


<Shell Element>

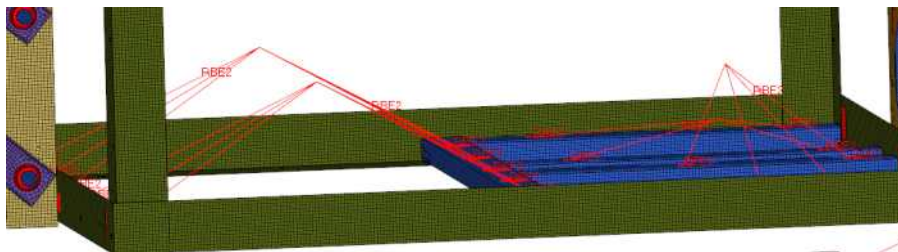


<Solid Element-슬리브핀&차체 체결 브라켓>

- * 각 부위의 Hard point는 강체요소인 RBE2를 이용하여 연결하였고, Main frame 내부 부품에 자중을 부여하기 위해 무게 중심부를 RBE2로 연결하였음

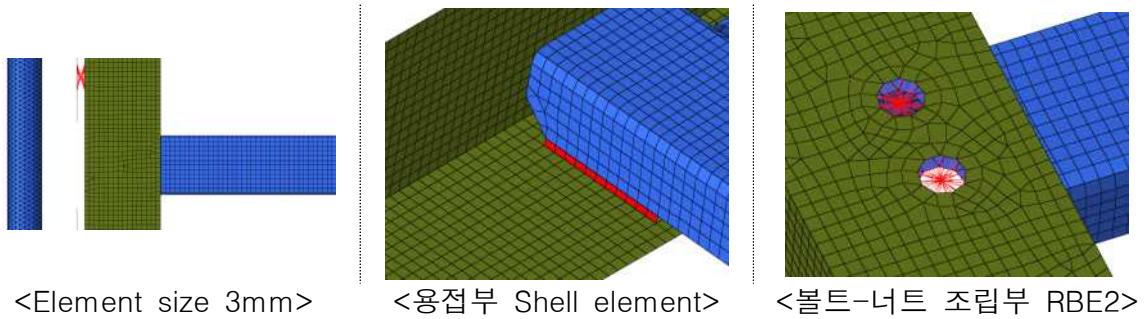


<구속 및 하중 부여부 RBE2>

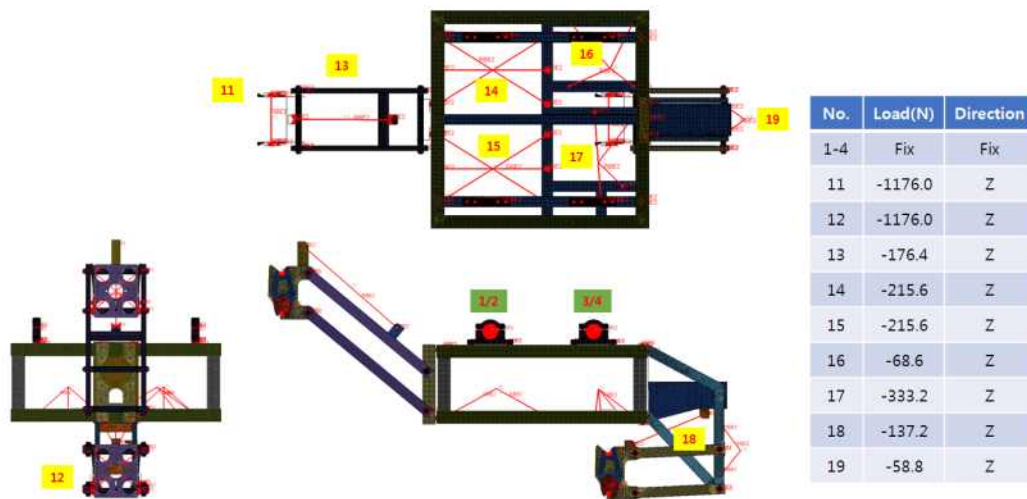


<Main frame 내부 부품 자중부여위한 RBE2>

- * Element size는 3mm를 기본으로 적용, 부품간 용접부는 Shell 요소를 이용하여 모델링, 부품간 보트-너트 조립부는 RBE2 요소를 사용하여 모델링



* 구동부 하중 인가에 따른 구조별 모델링 진행

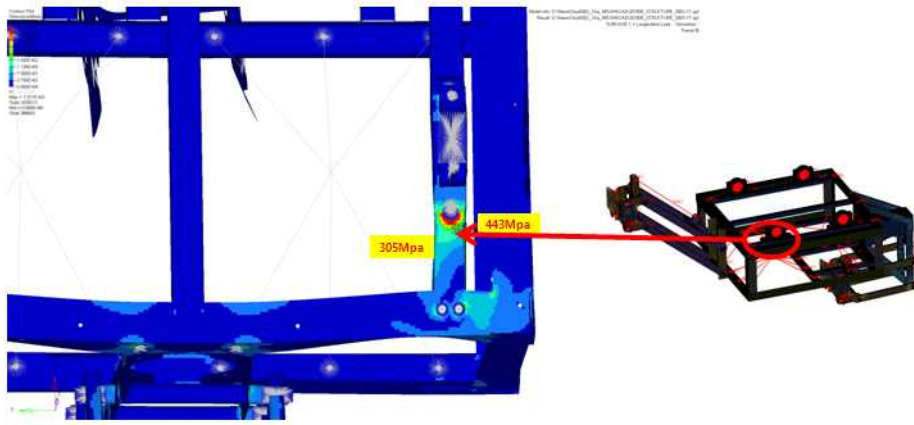


<구속조건 및 하중 부여>

- : 고정부 Pt1-4는 1-6자유도를 구속하고 Pt 13-19는 각 내부 조립 부품(배터리팩, 모터 등)은 무게중심점에 하중을 부여함
- : 외부 하중부인 Pt 11-12는 100kg에 안전율 1.2를 감안하여 120kg의 하중을 부여하고, 설계변경시 재검토에 유리하게 트리를 구성하였음
- : 실제 작업시 구동부 링크위 가동범위 및 작동각 적용

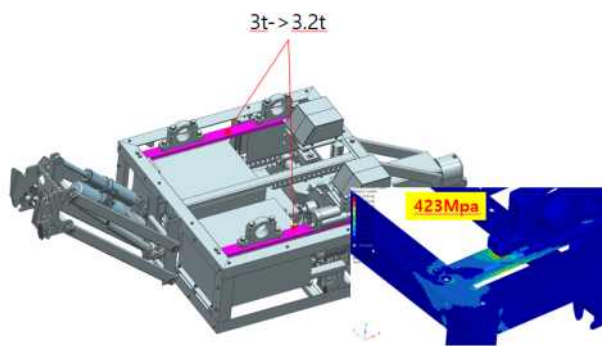
- 해석결과 도출

- * 구동부 중 메인플랫폼과 결합되는 링크와 작업기가 결합되어 높은 하중이 인가되는 체결 부는 안전율을 감안하여 구조 변경안 도출 및 반영
- : 브라켓이 장착되는 Main frame부에서 가장 높은 응력값 443MPa이며, 이 부위를 제외한 응력은 200Mpa이하로 확인
- : 가장 높은 응력값 443Mpa로 Main Frame의 원소재인 SHP1의 물리적인 Specification 인장강도 440Mpa 이상으로 원소재의 인장강도를 넘은 응력이지만, 실제 소재의 인장강도는 460Mpa가 넘을 것으로 예상되어 파단이 발생되지 않을 것으로 사료되었으나 강건 설계를 위해 개선을 위한 해석을 진행

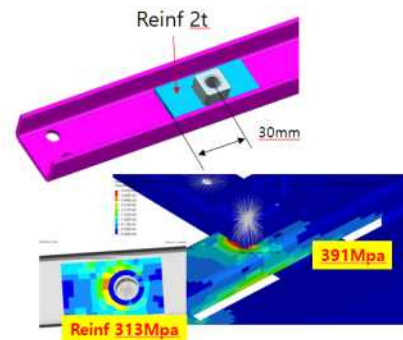


<구동부 구조 취약부위>

- * 취약부위로 예상되는 상부 프레임은 소재 두께 변경 및 보강 설계 검토
- * 취약부 사양을 고려하여 구동부 설계 구조 변경시 결과내용 반영
- * 정식모듈, 운반모듈 최대 하중 및 작업하중을 고려하여, 취약부 개선사항 도출



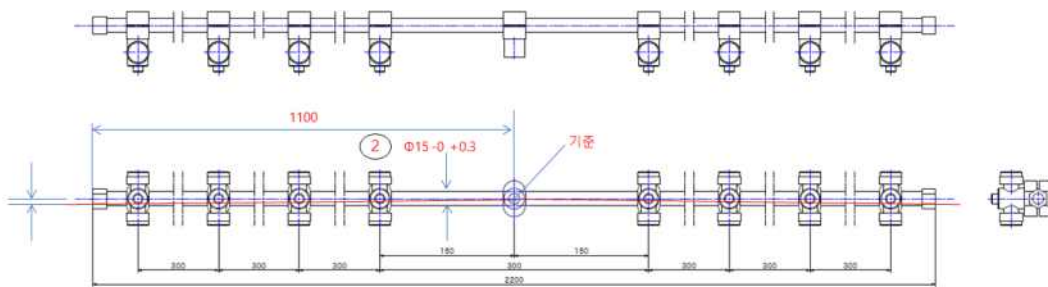
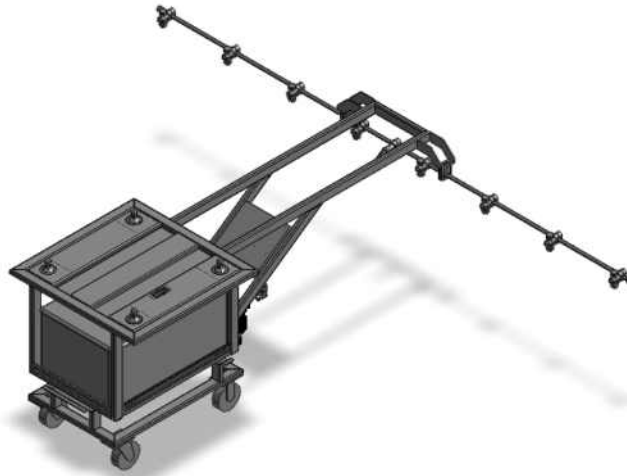
⇒ 본기와 조립되는 부재의 두께증가(3t->3.2t)



⇒ 내측 nut부 보강조립 및 용접

○ 방제모듈 전산해석을 통한 방제성능 최적화 지원

- 방제모듈 내부 노즐 위치 및 구조에 따른 최적화
 - *노즐간 거리 발 작물 노지 최적분사가 가능한 설계 지원
 - *개발 방제모듈 적용 효율적인 농약 분사를 위한 최적화 지원
- 방제기 rod 고강도, 경량화를 위한 부품제작
 - *내구성(농약에 의한 손상) 향상 소재적용
 - *내식성, 강도, 중량 등을 고려한 최적 소재 및 제조공법(braiding) 선정



< 방제기 모듈 및 방제rod 제작 도면 >

○ 메인플랫폼 및 구동부 구조 안정성 확보를 위한 전산해석 지원

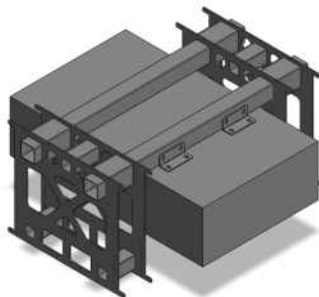
- 프레임 구조변경을 위한 case별 구조해석

* 각 case별(모듈 box 중량 / 브라켓 구조변경) 기초 설계 데이터를 바탕으로 구조 안정성 확보를 위한 해석을 수행

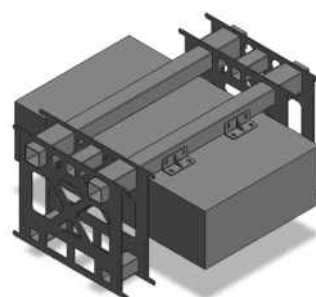
: case 1 - 기존 / case 2 - 리브 보강

: 모듈 box 중량(200kg, 300kg, 400kg)

: case 1, case 2 모델링

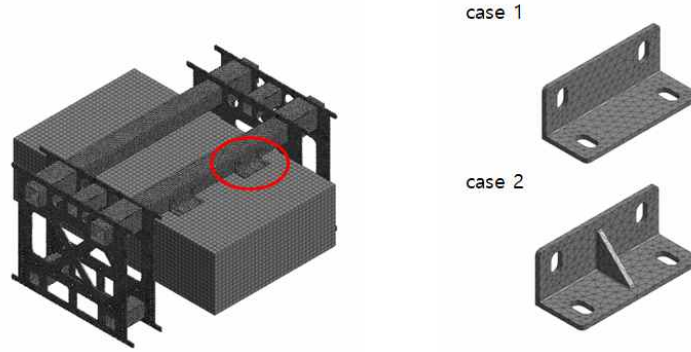


< case 1 >



< case 2 >

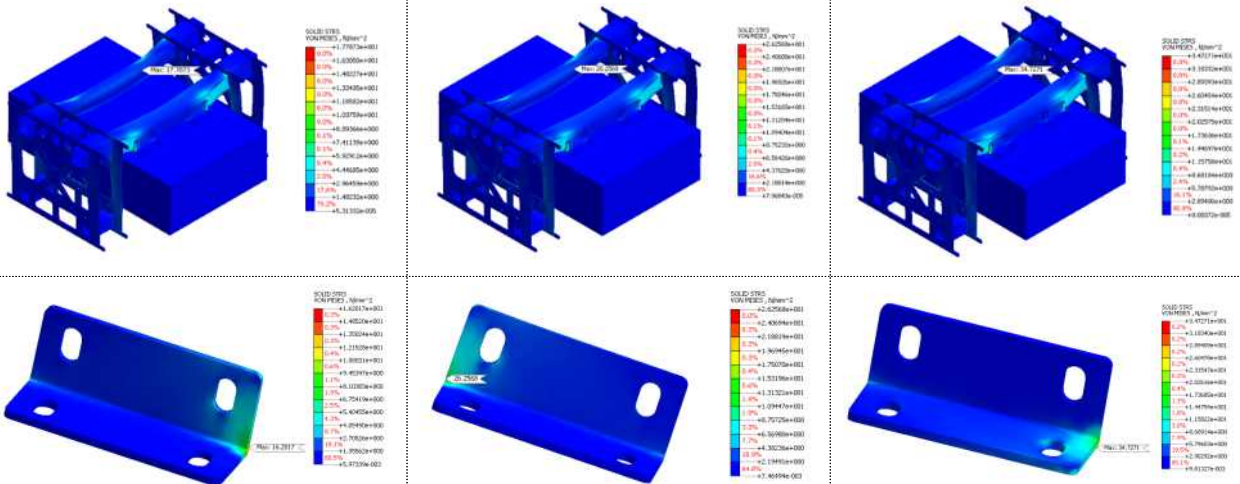
: case 1, case 2 mesh



< mesh >

- 해석결과 도출

* case 1

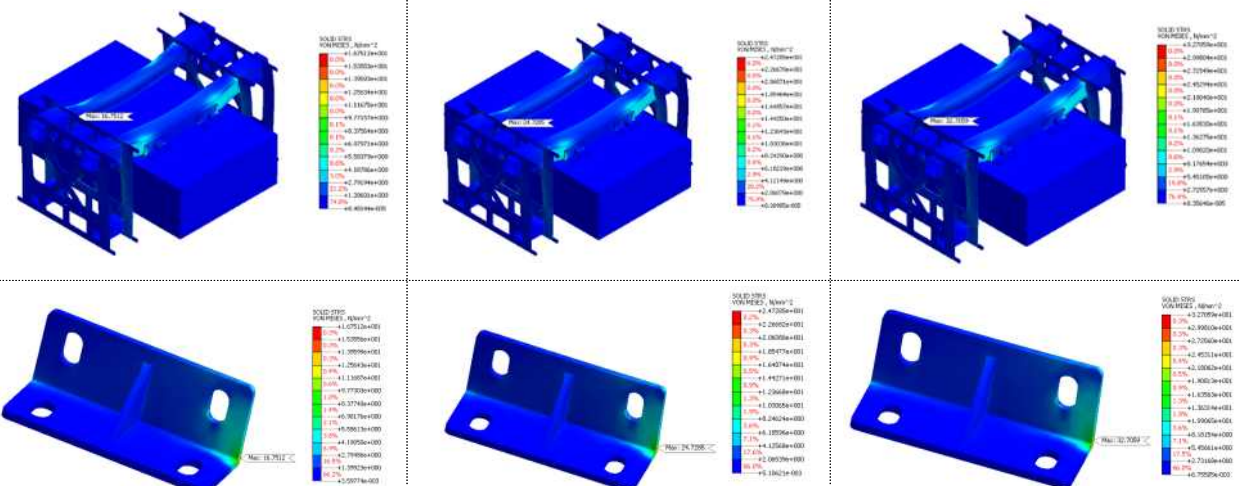


< 모듈 box 200kg >

< 모듈 box 300kg >

< 모듈 box 400kg >

* case 2



< 모듈 box 200kg >

< 모듈 box 300kg >

< 모듈 box 400kg >

* case 별 하중 비교

구분		하중(N/mm2)
case 1	200kg	16.8
	300kg	24.7
	400kg	32.7
case 2	200kg	17.8
	300kg	26.3
	400kg	34.7

* 리브 추가에 따른 부가하중 비교

구분	감소율
200kg	94.4%
300kg	93.9%
400kg	94.2%

: 브라켓 구조(리브)보강시 약 6% 부가하중 감소의 효과를 확인

○ 팜봇 배터리 성능 및 효율 향상을 위한 작업모듈 경량 고강도 소재 적용

- 차기 팜봇 적용을 위한 기존 철강소재를 경량 고강도 알루미늄 소재로 변경하기 위한 설계 및 제작
- 대상부품 - 작업기 구조 부품(프로파일, 배터리 케이스, 브라켓 등)
- * 구동부 내부 프레임 Assy's



* 정식기 결합 프레임 Assy'



○ 표준 플랫폼과 작업모듈 간의 체결 Unit 제작(1차 개발품)

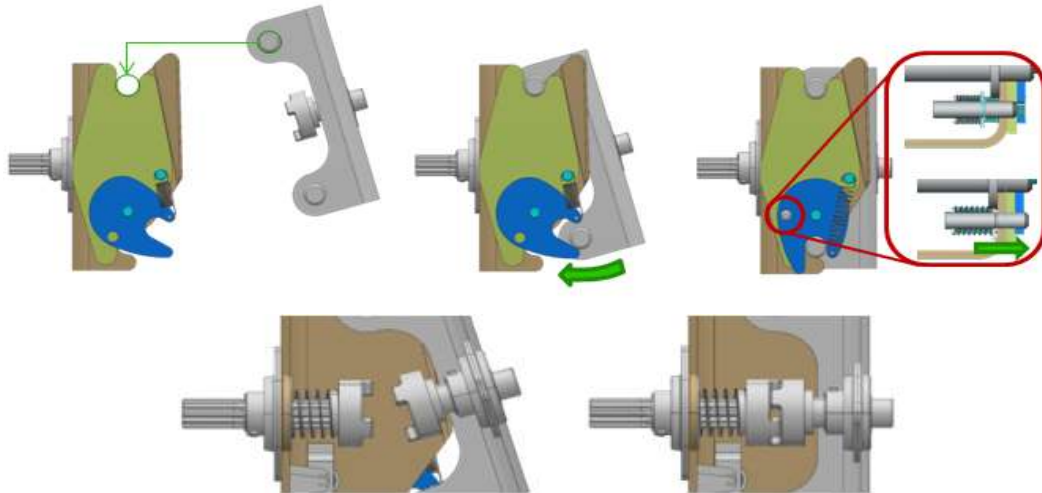
- 원터치 히치형 체결 Unit 제작
- * 플랫폼 적용 작업 모듈의 체결시스템은 작업기 모듈 변경 적용이 용이하여야 하며, 각 모듈의 용도에 적합한 위치에 체결 되어야 함
- * 각 용도에 적합한 체결시스템 개발을 위해 초기단계 설계안 도출 및 상세설계, 시제품 제작 및 최적화를 수행

* 내부 삽입형, 외부 견인형에 적합하게 적용부품을 구분

: 원터치(Quick hitch) 체결방식 및 고정(핀 체결) 방식을 적용하여 손쉽게 작업모듈 교체가 가능한 구조로 제작

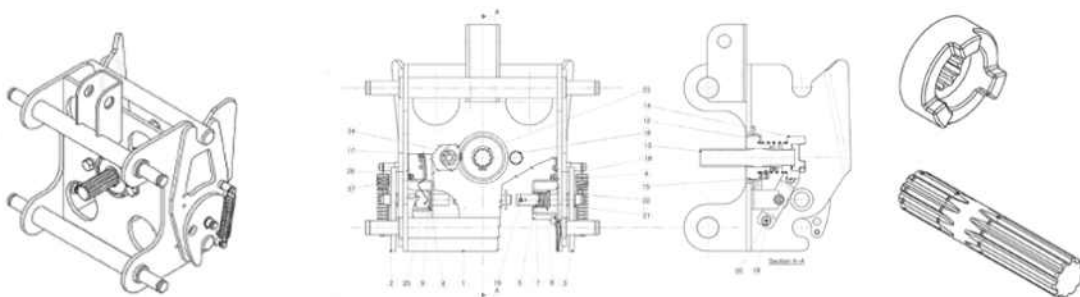
: 원터치(Quick hitch) 체결 방식 적용

: 상단부 결합 → 하단부 결합 → 고정(핀 체결)



<체결구조 및 동력 체결>

* 체결방식에 적합한 조인트 설계 및 제작



<체결부 설계 도면>



<체결시스템 부품 제작>

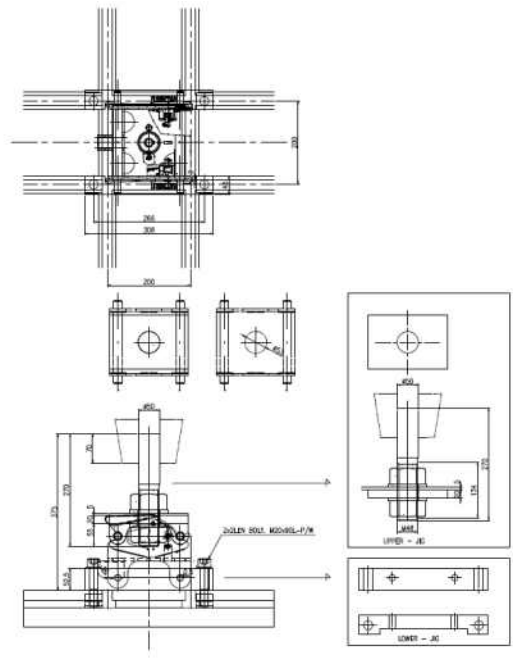


<체결 unit 상판(위, 아래)>



<체결 unit 내부>

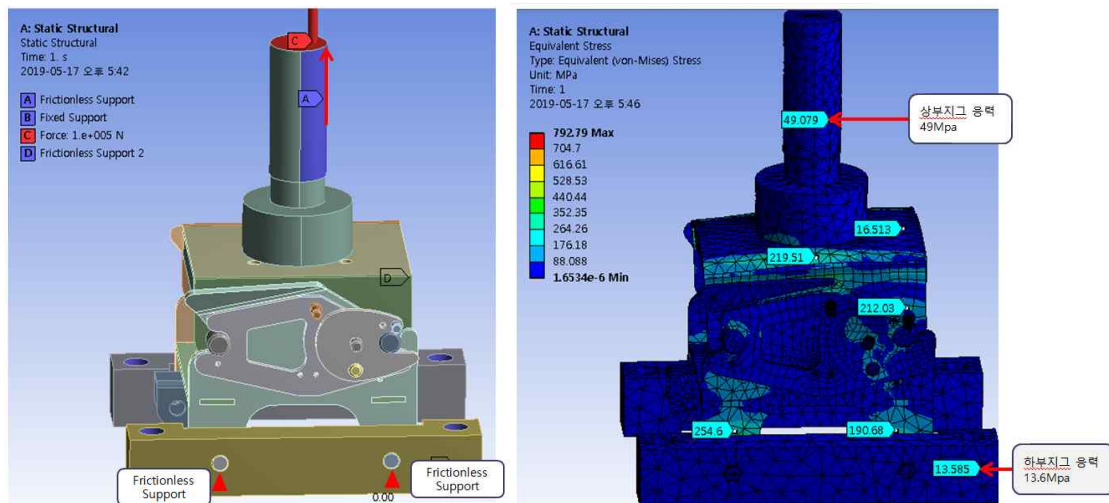
- 체결 구조 안정성 확보 및 DB 구축을 위한 체결강도 측정
 - * 1차 플랫폼 적용 체결 Unit 체결력 측정
 - : 수직 상하방향 인장시험으로 부품 파손시 최대 하중 측정
 - : 실제 구동부와 작업기간 체결 구조를 고려한 부품단위 시험 컨셉 도출
 - : 하단부 구속조건 설정 후 상부 인장력 부여
 - : 재료시험기는 체결 Unit 파손 최대 하중을 고려한 50ton사양 으로 선정
 - * 시험 지그 제작
 - : 인장 하중 부여시 체결 부품외 지그 파손을 고려한 설계
 - : 일체형 하부 고정용 bar 및 상부 물림부(bolt/nut type) 제작



<지그설계 및 제작>

* 부품시험 사전검증을 위한 전산해석 진행

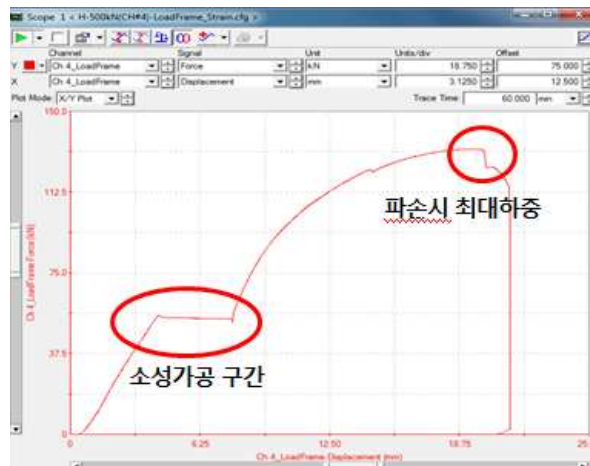
- : 시험 조건과 동일하게 하단부 완전 구속 및 상부 수직방향으로 하중 부여 후 파단부위 예측
- : 상부지그 응력은 49.0Mpa로 지그 소재(S45C - 항복점, 490Mpa) 대비 안전율 10 확보
- : 하부지그 응력은 13.6Mpa로 지그 소재(SS400 - 항복점, 215Mpa) 대비 안전율 13.5 확보
- : 변형량은 0.23mm로 예측되는 결과를 도출하였음



<구속조건 설정 및 전산해석 결과>

* 체결 Unit 체결력 측정 시험 및 분석

- : 재료시험기(50ton)을 활용하여 체결력 측정을 진행하였으며, 시험은 하단부 고정 후 수직 방향으로 인장하중 부여방식으로 진행
- : 시험 조건은 변위제어(1mm/min)로 진행
- : 인장하중은 시험 초기 상부 plate의 소성가공이 진행되면서 일정구간 동일 하중(55kN)이 유지되었고, 그 후 부품 파손시까지 하중이 증가하였음



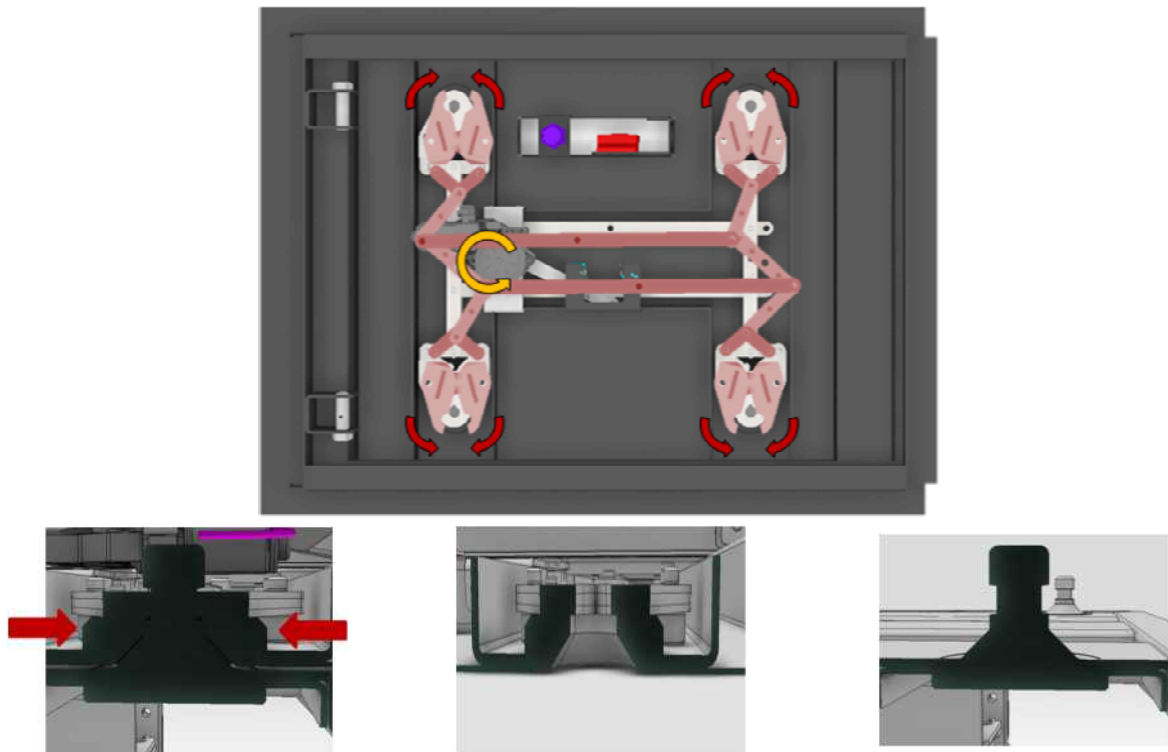
<체결력 측정시험 setting 및 결과>

- : 시험 결과 예상했던 고정클립 부분에서 파단이 발생되었으며, 파단발생 최대 하중 확인
- : 측정된 체결 unit 파단시 하중은 132kN이며, 결과 data를 바탕으로 구조설계 반영 및 전산 해석 data로 활용
- : 구동부와 작업기간의 체결을 유지하기에 과도한 설계가 반영되어, 경량화를 위한 축소 제작 진행(소재 두께 감소, 경량소재 적용)



<상판 소성가공 형상 및 파손부위>

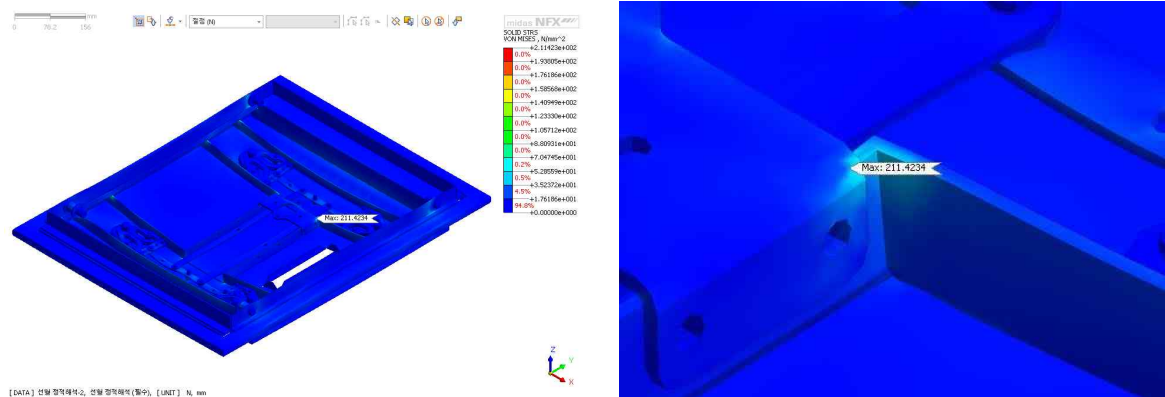
- 메인플랫폼 변경 및 작업모듈 6종 적용을 위한 체결 Unit 개발 및 최적화지원(2차 개발품)
 - 해석 목적
 - * 4개의 체결 니플을 잡아주는 구조로, 최대중량(작업모듈 무게) 300kg에서의 구조 안정성 검증을 위한 해석 수행



<체결 방식 모식도>

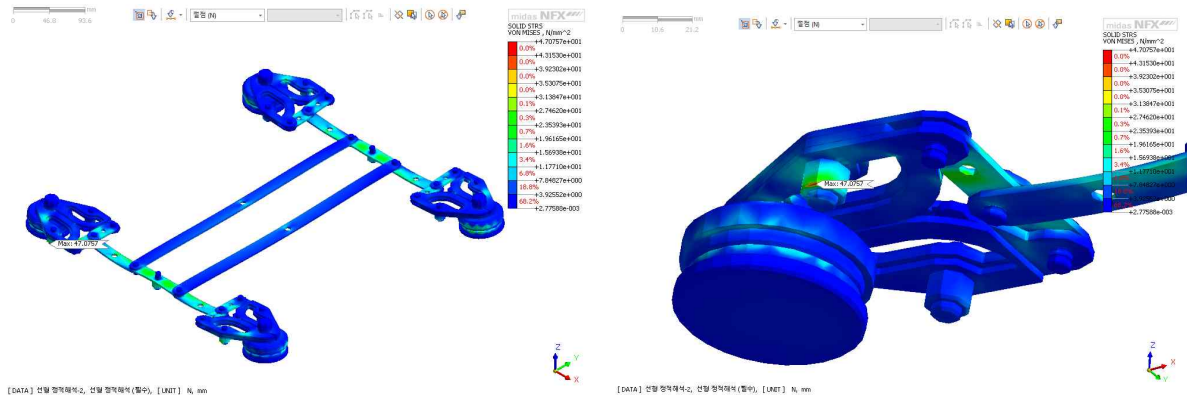
– 해석결과

- * 전체 하중 부여시 구조물이 받는 최대하중은 211.4MPa로 안전율 2이상 확보



<Plate 구조물 최대하중>

- * 각 구조가 받는 최대 하중은 47.1MPa로 안전율 10이상 확보



<Plate 구조물 최대하중>

- 전자식 체결을 위한 내부삽입형 체결방식 선정 제작 지원

* 팜봇 및 구동부, 동력부 설계 변경에 따른 플랫폼-작업모듈 간 기존 체결방식(내부삽입형 체결 Unit / 후방건인형 체결 Unit) 변경

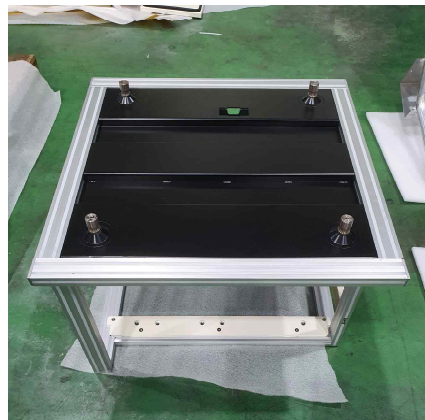
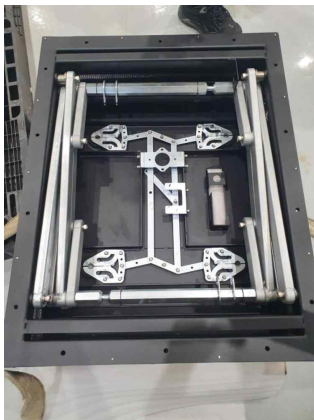
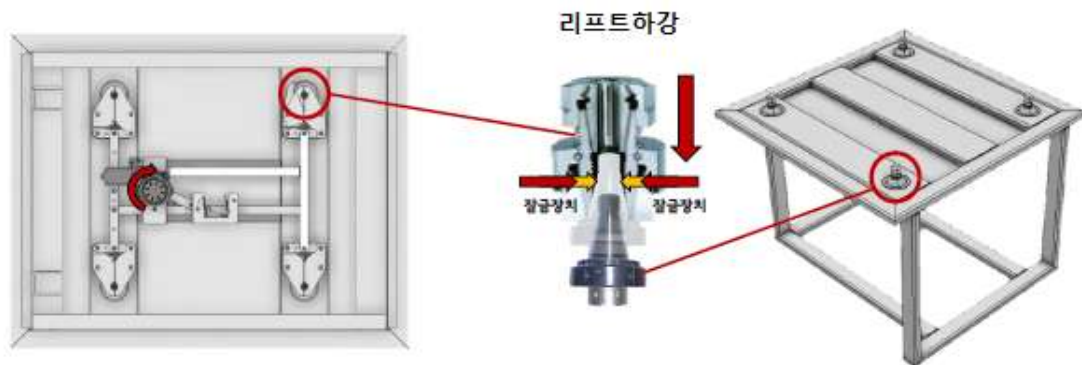
* 기존 체결 Unit 대비 하나의 체결구조로 모든 작업모듈의 조립이 가능한 체결 방식으로 변경

* 구동부-작업기(플랫폼 내부삽입형)간 실린더를 통한 체결방식 선정

* 기계식 체결 -> Auto 전자식 체결

: 시저스 리프트 구조를 적용한 수직 승/하강 기능 부여

: 작업모듈에 동력부를 부여하고 프레임에 리모트 컨트롤에 의해 자동 탈부착 가능한 구조



<전자식 체결 시제품 >

2-2. 특허기술 마케팅 분석 (상세내용 첨부파일 참조)

1) 기술 분석 요약

기술명	밭농업용 지능형 로봇기술	
기술설명	주행 플랫폼과 작업 플랫폼을 결합하고, 이를 AI로 무인 제어할 수 있는 로봇기술	
기술개발효과	노지 농업에 있어서 6종의 모듈형 작업 로봇을 1개의 단일 플랫폼에서 모듈교체만으로 구현할 수 있는 높은 범용성의 농업용 로봇을 구현	
경쟁분석	경쟁강도	높음
	경쟁요소	가격, 시간당처리면적, 작업지속 시간, 내구성
	경쟁자 유형	대기업 및 중소기업체
	주요 경쟁자	글로벌 농기계 업체
응용분야	시설농업 및 축산농업 분야	
제품성격	기술집약적 아이템, 높은 기술의존성	
기술개발 완성도	연구 개발 완료	
시장분석	시장규모	글로벌: 1,080억 달러
	성장률	12~20%
	가격민감도	보통
	제품수명주기	발전기
	주요소비자	농업인, 대규모 공장형 농업기업
기술도입효과	개별 도입 사업자별로 농업생산성을 도입 이전 대비 매우 높일 수 있으며, 농업인구감소 및 식량수요 증가라는 글로벌 시장추세에 대응할 수 있음	
상용화 문제점	높은 초기 도입비용, Supply Chain의 형성, 작물별 커스터마이징	

2) 보유 지식재산권 현황 및 내용 (2019년 1월 기준)

No.	출원번호	출원일	발명의 명칭
1	KR 10-2018-0108685	2018.09.12	이동로봇의 직진성 유지장치 및 이의 방법
2	KR 10-2018-0108686	2018.09.12	이동로봇 두둑 이동제어장치 및 이의 방법
3	KR 10-2019-0082945	2019.07.10	농업용 로봇을 위한 작업맵 생성 방법
4	KR 10-2019-0082947	2019.07.10	농업용 로봇의 직진성 유지 방법
5	KR 10-2019-0144873	2019.11.13	폭 변경이 가능한 지형 감지 가변형 농업용 로봇
6	KR 10-2019-0144874	2019.11.13	높이 변경이 가능한 지형 감지 가변형 농업용 로봇
7	PCT/KR/ 2019-015398	2019.11.13	가변형 농업용 로봇 (PCT출원)
8	KR 10-2019-0144876	2019.11.13	회전 가능한 캐스팅을 구비하는 가변형 농업용 로봇
9	KR 10-2019-0144875	2019.11.13	가변형 농업용 로봇의 주행 제어방법
10	PCT/KR/ 2019-015404	2019.11.13	가변형 농업용 로봇의 주행 제어방법 (PCT출원)

3) 수요기업 조사

: 본 기술은 농업용 지능형 로봇기술에 관한 것이므로 본 기술을 필요로 하는 수요업체로서 현재 농업용 기계를 생산하는 농기계 업체 및 대규모 농축산업을 실시하는 기업을 수요기업으로 선정하였다.

[표] 수요기업 현황

순번	수요기업	구분	주사업분야
1	LG CNS	최종수요	스마트팜
2	SK 텔레콤	최종수요	스마트팜
3	대동공업	완제품생산	농기계-트랙터등
4	LS엠트론	완제품생산	농기계-트랙터등
5	동양물산	완제품생산	농기계-트랙터등
6	국제종합기계	완제품생산	농기계-트랙터등
7	아세아텍	완제품생산	농기계-트랙터등

: SK그룹은 자회사인 SK텔레콤을 통해 스마트팜 설치사업에 진출한데 이어, LG그룹도 자회사인 LG CNS를 통해 시장에 진출하였는데, 특히, LG CNS는 3800억원을 투자해 새만금에 76ha 규모의 '스마트바이오파크'를 설치하고 토마토와 파프리카 등 농산물을 재배할 계획을 발표하는 등 농업 분야에 적극적으로 진출⁵⁾하고 있다는 점에서, 본 기술 또한 시설 농업인 스마트 팜에도 충분히 응용 가능한 분야이라 할 것이므로, 관련된 수요기업으로 선정하였다.

: 한편, 농업용 지능형 로봇은 기술집약적 산업으로 기술력이 바탕이 되어야 하는 만큼 상대적으로 높은 R&D역량을 기대할 수 있는 국내 종합형 농기계 매출 상위 5개 기업⁶⁾을 수요기업으로 선정한 바 있는데, 특히, 대동공업과 LS엠트론의 경우 2019년 10월 기준 관련 국내 특허를 다수 보유한 상위 Top 5 출원인에 포함되어 특허기반 기술에 관심이 높을 것으로 판단되는 만큼, 관련된 수요기업으로 선정하였다.

5) 노컷뉴스, LG vs SK 농업 상권 경쟁..."농민은 소작농 전략할 것", 2016.07.12

6) 경상북도, 스마트 농기계 전장부품산업 육성 최종보고서, 2017

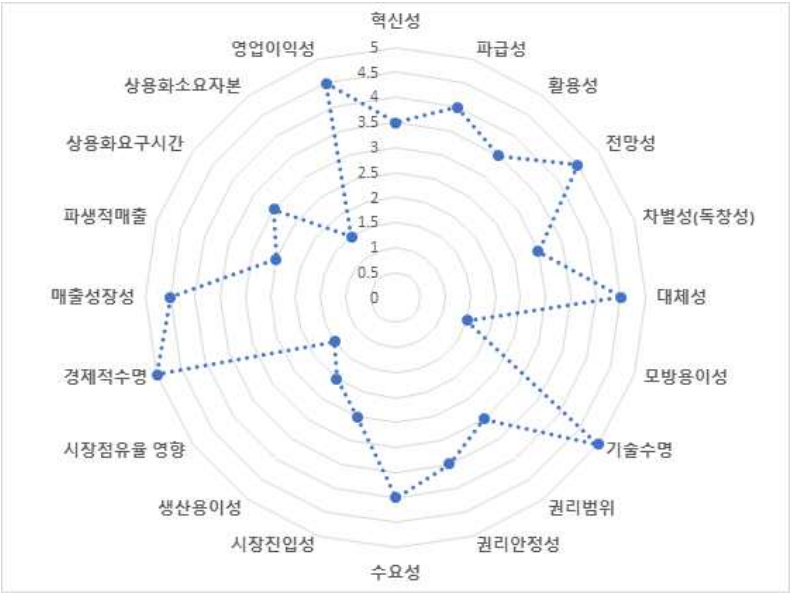
4) 기술 기여도

- : 기술기여도는 기술거래 및 이전에 있어서, 산출된 현재가치 중에서 기술의 영향이 어느 정도 미치는 지를 지수로 나타낸 것으로, 본 보고서에서는 산업통상자원부 기술가치평가 실무가이드의 기술기여도⁷⁾ 산식에 따라 개별기술 강도와 산업기술요소를 통해 추정하였다.
- : 본 기술의 산업기술요소는 46.31%(농업, 임업 및 어업)에 해당(시나리오1)하나, 이러한 산업기술요소 비율은 고전적인 농업기술에서 IP기여도에 대한 산출로서, 기술집약적 스마트 농기계 산업의 경우 기타 기계 및 장비 제조업에 해당되는 54.56%는 산업기술요소 비율을 적용(시나리오2)하여도 무방할 것으로 판단된다.
- : 개별기술 강도는 기술성 10개 평가항목과 사업성 10개 평가항목으로 구성되며, 대상기술의 사업화 과정에서 기술적 우위성, 권리성 및 상업적 가능성을 측정하여 사업가치 창출에 어느 정도 기여하는 가를 평가하는 것으로, 기술성(권리성 포함) 및 사업성(시장성 포함) 개별 평가항목을 0.5~5점 범위에서 선택하여 평가하며, 기술성과 사업성 평점에 가중치는 동일하게 적용하고 다음과 같이 개별기술 강도를 산출하였다.

[표] 개별기술강도 가중치

구분	기술성	사업성
특성점수	36/50	31/50
가중치	1	1

: 하기 평가에 따라서 계산한 개별기술 강도는 67이다.



< 개별기술강도 항목별 평가 >

7) 기술 기여도 = 개별 기술강도 × 산업기술요소, 이때, 개별 기술강도는 법적인 보호강도×상업적 우위성이고, 산업기술요소는 산업통상자원부의 기술가치평가 실무가이드의 <산업기술요소표>를 인용하였다.

: 산업기술요소에 개별기술강도 비율을 곱하여 최종적으로 산출된 기술기여도는 다음과 같다.

구분	시나리오1 (일반 농업)	시나리오2 (스마트농기계-보정)
산업기술요소(%)	46.31%	54.56%
개별기술강도(%)	67%	
시나리오별 최종 기술기여도	31.02%	36.55%
평균 기술기여도	33.79%	

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 플랫폼 기본 메커니즘 설계 및 시제품 개발
 - 통합 제어시스템(ROS) 고도화 및 안정화 개발
 - 시스템 도킹 장치 표준화 개발
 - 주행 제어 기술 개발
 - 다중센서 융합 환경인지 및 영상처리 기술 개발
 - 발농업용 농기계의 표준안 제안

 - 팜봇 플랫폼과 연동하는 모듈형 농업용 관리 및 작업 로봇 6종 개발
 - 원격제어 및 통합관제 시스템 개발
 - 작업기 구동 모듈 개발
 - 로타리, 휴립피복, 운반, 파종, 정식 및 방제작업 모듈 개발
 - 원격제어 및 통합 통신 시스템 개발

 - 자가진단, 모션제어 시스템 모듈 개발 및 센싱 알고리즘 개발
 - 노지 환경 인지 및 센서 융합 자세제어 시스템 개발
 - 자세 모니터링 시스템과 자가 진단 시스템의 통합 시스템 개발 및 알고리즘 개발
 - 자세 모니터링 시스템 평가를 위한 측정 시스템 개발

 - 작업 모듈 최적 설계지원 및 체결 Unit 개발
 - 전산해석 및 분석을 통한 부품 최적화
 - 표준 플랫폼과 작업 모듈 간의 체결 Unit 제작
-

(2) 정량적 연구개발성과

< 정량적 연구개발성과 >

(단위 : 건, 백만원)

성과지표명			연도	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	특허출원	목표(단계별)	2	2	2	2	8	20	
		실적(누적)	2	2	6	6	16		
	특허등록	목표(단계별)	-	-	2	3	5	15	
		실적(누적)	-	-	-	7	7		
	학술발표	목표(단계별)	4	4	4	4	16	5	
		실적(누적)	5	5	5	13	28		
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	기술이전	목표(단계별)	-	-	-	3	3	10	
		실적(누적)	-	-	-	-	0		
	기술료	목표(단계별)	-	-	-	90	90	10	
		실적(누적)	-	-	-	-	0		
	제품화	목표(단계별)	-	-	-	7	7	10	
		실적(누적)	-	-	-	6	6		
	고용창출	목표(단계별)	6	2	1	1	10	5	
		실적(누적)	7	8	2	5	22		
	기술인증	목표(단계별)	-	-	-	1	1	10	
		실적(누적)	-	-	-	-	0		
	교육지도	목표(단계별)	-	-	-	1	1	2	
		실적(누적)	-	-	-	1	1		
	홍보전시	목표(단계별)	1	1	1	1	4	10	
		실적(누적)	4	3	2	4	13		
	기타	목표(단계별)	-	-	1	1	2	3	
		실적(누적)	-	-	-	2	2		
계			목표(단계별)	13	9	11	114	147	100
			실적(누적)	18	18	15	43	94	

< 연구개발 성과 성능지표 >

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)		단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치				목표설정 근거
				성능수준	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
1	동시 구동/조향 바퀴수	EA	5	-	-	4	4	4	자체규격
2	조향각도	deg	5	-	-	≥360	≥360	≥360	
3	가변폭	m	10	-	-	0.6	0.6	0.8	
4	자세조절 각도폭	deg	10	-	-	≥5	≥5	≥10	
5	등판각도	deg	10	≤10	-	≥15	≥18	≥18	
6	장애물 극복 단차	cm	5	≤10	-	≥10	≥15	≥15	
7	이동속도	km/h	5			≥2	≥2	≥2	
8	방수방진	IP	5	-	-	54	55	55	
9	다중로봇 협업 대수	ea	5	-	-	-	-	2	
10	데이터 통신	m	5	200	200	400	800	1000	
11	경로주행오차	cm	5	-	-	30	25	20	
12	3D 환경인식 및 로컬지도 업데이트 속도	Hz	5	-	-	≥5	≥10	≥15	
13	로터리 작업능력	분/10a	2	-	-	-	-	60분/10a	
14	로터리 쇄토율	%	2	-				70%	
15	로터리 균평도(고저차)	cm	1	-				7cm	
16	휴립 피복 능력	분/10a	3	-	-	-	-	60분/10a	
17	휴립 폭, 높이 및 휴간 오차	%	2	-				10%	
18	방제 작업능력	분/10a	5	-	-	-	-	60분/10a	
19	정식 능력	분/10a	3	-	-	-	-	60분/10a	
20	전결주율	%	2	-				2.5%	
21	작업모듈(누적)	종	5	-	2	3	5	5	

(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	농업 로봇 용 다중 자세 모니터링 시스템 개발	반도체디스플레이기술 학회지	권익현	17(3)	대한민국	반도체디스플레이 기술학회	비SCIE	2018-09-30	1738-2270	100
2	이동 로봇 새시 누전 모니터링 센서 개발	반도체디스플레이기술 학회지	김청월	17(3)	대한민국	반도체디스플레이 기술학회	비SCIE	2018-09-30	1738-2270	100
3	농업 로봇 용 수평 자세 모니터링 시스템 개발	반도체디스플레이기술 학회지	김성득	18(2)	대한민국	반도체디스플레이 기술학회	비SCIE	2019-06-30	1738-2270	100
4	작물의 저해상도 이미지에 대한 3차원 복원에 관한 연구	한국기계가공학회지	오장석	18(8)	대한민국	한국기계가공학회	비SCIE	2019-08-30	1598-6721	70
5	조류 퇴치 시스템의 설계 및 구현	한국기계가공학회지	홍형길	18(8)	대한민국	한국기계가공학회	비SCIE	2019-08-30	1598-6721	10
6	발농업로봇의 자율주행 제어 알고리즘 검증을 위한 다물체동역학 시뮬레이션	제어로봇시스템학회 논문지	한중부	25(10)	대한민국	제어로봇시스템학 회	비SCIE	2019-10-01	1976-5622	100
7	고온용 플라스틱 필름 수위 센서 개발	반도체디스플레이기술 학회지	이영태	18(4)	대한민국	반도체디스플레이 기술학회	비SCIE	2019-12-27	1738-2270	100
8	밭 노지 환경 주행을 위한 모듈형 농업 로봇 플랫폼에 대한 연구	로봇학회 논문지	조용준	15(2)	대한민국	로봇학회	비SCIE	2020-05-29	1975-6291	100
9	과수 인식을 이용한 지능형 방제기 시스템 개발	로봇학회 논문지	홍형길	15(2)	대한민국	로봇학회	비SCIE	2020-05-29	1975-6291	50
10	A reliable quasi-dense corresponding points for structure from motion	KSII Transactions on internet and information systems : TIIS	오장석	14(9)	대한민국	TIIS	SCIE	2020-09-30	1976-7277	100
11	자율주행 발농업로봇의 로터리 경작을 고려한 모델 기반 제어 연구	로봇학회 논문지	송하준	15(3)	대한민국	로봇학회	비SCIE	2020-09-30	1975-6291	100
12	다목적 농업 로봇의 농작업 환경 기반 선회 특성 연구	로봇학회 논문지	이지원	16(4)	대한민국	로봇학회	비SCIE	2021-12-01	1975-6291	100
13	팜봇과 연동하는 작업기 자동제결 장치 개발	한국기계가공학회지	권익현	20(12)	대한민국	한국기계가공학회	비SCIE	2021-12-31	1598-6721	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국컴퓨터정보학회 하계학술대회	오장석	2018-07-17	제주대학교	대한민국
2	한국생산제조학회 추계학술대회	오장석	2018-10-05	밀레니엄 서울 힐튼 호텔	대한민국
3	한국생산제조학회 추계학술대회	홍형길	2018-10-05	밀레니엄 서울 힐튼 호텔	대한민국
4	한국생산제조학회 추계학술대회	송수환	2018-10-05	밀레니엄 서울 힐튼 호텔	대한민국
5	한국생산제조학회 추계학술대회	우성용	2018-10-05	밀레니엄 서울 힐튼 호텔	대한민국
6	2018년 한국센서학회 종합학술대회	권익현	2018-11-16	서울대학교 글로벌컨벤션플라자	대한민국
7	2019년 한국센서학회 춘계학술대회	권익현	2019-03-29	서울 삼성동 코엑스	대한민국
8	2019년 한국정밀공학학회 춘계학술대회	우성용	2019-05-17	라마다프라자제주호텔	대한민국
9	2019년 한국정밀공학학회 춘계학술대회	송수환	2019-05-17	라마다프라자제주호텔	대한민국
10	2019년 한국정밀공학학회 춘계학술대회	윤해룡	2019-05-17	라마다프라자제주호텔	대한민국
11	2019년 한국센서학회 추계학술대회	권익현	2019-08-28	강릉 라카이샌드파인리조트	대한민국
12	한국기계가공학회 추계학술대회	송수환	2019-10-18	히든베이호텔	대한민국
13	한국기계가공학회 추계학술대회	김준성	2019-10-18	히든베이호텔	대한민국
14	한국기계가공학회 추계학술대회	조용준	2019-10-18	히든베이호텔	대한민국
15	한국기계가공학회 추계학술대회	오장석	2019-10-18	히든베이호텔	대한민국
16	제15회 한국로봇종합학술대회	강민수	2020-08-18	휘닉스평창(온라인)	대한민국
17	제15회 한국로봇종합학술대회	조용준	2020-08-18	휘닉스평창(온라인)	대한민국
18	한국기계가공학회 2020년 춘계학술대회	강민수	2020-06-26	통영 금호마리나 호텔	대한민국
19	한국기계가공학회 추계학술대회	강민수	2020-11-05	여수 히든베이호텔	대한민국
20	한국기계가공학회 추계학술대회	홍형길	2020-11-05	여수 히든베이호텔	대한민국
21	한국기계가공학회 추계학술대회	조권승	2020-11-05	여수 히든베이호텔	대한민국
22	한국기계가공학회 추계학술대회	박관형	2020-11-05	여수 히든베이호텔	대한민국
23	한국기계가공학회 추계학술대회	조용준	2020-11-05	여수 히든베이호텔	대한민국
24	한국기계가공학회 춘계학술대회	강민수	2021-06-24	부산 웨스틴 조선호텔	대한민국
25	한국센서학회 추계학술대회	이영태	2021-10-28	강릉 라카이샌드파인리조트	대한민국
26	한국기계가공학회 2022 춘계학술대회	박희창	2022-04-29	여수 엑스포 컨벤션센터	대한민국
27	한국기계가공학회 2022 춘계학술대회	강민수	2022-04-29	여수 엑스포 컨벤션센터	대한민국
28	한국기계가공학회 2022 춘계학술대회	박관형	2022-04-29	여수 엑스포 컨벤션센터	대한민국

□ 기술 요약 정보

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

□ 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

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

[기술적 성과]

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

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	이동로봇의 두둑 이동제어장치 및 이의 방법	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2019-09- 11	10-2019- 011288 1	-	한국로봇 융합연구 원	2021-06- 03	10-2262 845	100	O
2	이동로봇의 직진성 유지장치 및 이의 방법	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2019-09- 11	10-2019- 011287 3	-	한국로봇 융합연구 원	2021-06- 03	10-2262 844	100	O
3	농업용 로봇을 위한 작업맵 생성 방법	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2019-07- 10	10-2019- 008294 5	-				100	O
4	농업용 로봇의 직진성 유지방법	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2019-07- 10	10-2019- 008294 7	-				100	O
5	가변형 농업용 로봇의 주행 제어방법	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2019-11- 13	10-2019- 014487 5	-	한국로봇 융합연구 원	2021-04- 29	10-2248 382	100	O
6	폭 변경이 가능한 지형 감지 가변형 농업용 로봇	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2019-11- 13	10-2019- 014487 3	-	한국로봇 융합연구 원	2021-04- 05	10-2238 680	100	O
7	높이 변경이 가능한 지형 감지 가변형 농업용 로봇	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2019-11- 13	10-2019- 014487 4	-	한국로봇 융합연구 원	2021-03- 08	10-2227 167	100	O
8	회전 가능한 캐스팅을 구비하는 가변형 농업용 로봇	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2019-11- 13	10-2019- 014487 6	-	한국로봇 융합연구 원	2021-06- 10	10-2265 567	100	O
9	가변형 농업용 로봇의 주행 제어방법	PCT	한국로봇 융합연구 원	2019-11- 13	PCT/KR 2019/01 5404	-				100	O
10	가변형 농업용 로봇	PCT	한국로봇 융합연구 원	2019-11- 13	PCT/KR 2019/01 5398	-				100	O
11	농업용 로봇의 주행제어장치 및 방법	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2020-08- 27	10-2020- 010844 5	-				100	O
12	농업용 로봇을 위한 작업 경로 생성 방법	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2020-08- 27	10-2020- 010844 4	-				100	O
13	농업 로봇용 주행가이드 시스템	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2020-08- 28	10-2020- 010897 5	-	한국로봇 융합연구 원	2021-10- 27	10-2320 782	100	O
14	팜봇용 작업기 탈부착장치	대한민국	아세아텍	2021-06- 30	10-2021- 008603 2	-				100	O
15	농업 보조용 로봇	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2022-01- 26	10-2022- 001131 7	-				100	O
16	로봇 다리 구조	대한민국	한국로봇 융합연구 원	2022-03- 31	10-2022- 004010 0	-				100	O

○ 지식재산권 활용 유형

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

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1		√								
2		√								
3		√								
4		√								
5		√								
6		√								
7		√								
8		√								
9		√								
10		√								
11		√								
12		√								
13		√								
14		√								
15		√								
16		√								

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

□ 신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

□ 기술 및 제품 인증

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

□ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 ¹⁾	인증여부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	제안/인증일자
1	한국산업표준	제안	발농업용 원격조종 농업기계 일반요구 사항	산업표준심의회	한국농기계공 업협동조합	신규	2022.04.13.

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

* 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.

* 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제표준

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

* 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.

* 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.

* 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

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

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 투자실적

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

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

* 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)		
합계					

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

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

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)					합계
			2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	
1	발농업 플랫폼	한국로봇융합연구원	3	2	8	5	2	20
2	발농업 플랫폼	아세아텍	2	-	-	-	-	2
합계			5	2	8	5	2	22

☐ 고용 효과

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

☐ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

☐ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

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

☐ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원
1	농업용 로봇 개발 컨설팅	2022-04-28	(주)에스엔솔루션즈	경상북도 안동시 천년숲서로 7-19 화인비즈니스타운 503호	3

☐ 기술 무역

(단위: 천원)

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

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

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

☐ 정책활용 내용

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

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

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

☐ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	대학	2022	1				1				1		

□ 산업 기술 인력 양성

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

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비
1	산업통상자원부	기계장비산업기술개발	발농업용 레벨3 자율작업 및 원격관제 기술 개발	김진희	3,654,500,000

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	기타	로봇신문	[기획]글로벌로 도약하는 한국로봇융합연구원②	2018.05.10.
2	기타	뉴스원	경북도, 첨단미래농업 위한 농사용 로봇개발 (노인도 여성도 쉽게 농사 짓는 농사용 로봇개발)	2018.10.02.
3	기타	로봇신문	사진으로보는 로보월드 2018, 첫째날	2018.10.30.
4	기타	로봇신문	[로보월드 2018 특집]교육·연구기관 소개	2018.10.30.
5	기타	한국농기계신문	[기획 - 농기계미래기술] 발작물용 지능형 로봇 '팜봇' 상용화 기대	2019.01.17.
6	기타	한국농기계신문	농용로봇현주소, 그리고 미래	2019.01.29.
7	기타	농민신문	"발농사 기계화를 높여라"...전용 로봇 개발 한창	2019.08.15.
8	중앙TV방송	생방송 아침이 좋다	현재와 미래를 잇는 로봇	2019.09.25.
9	기타	헬로티첨단뉴스	[2019 로보월드] 한국로봇융합연구원, 핵심연구 분야별로 다양한 로봇 전시	2019.10.11.
10	지방TV방송	대구MBC 뉴스투데이	"한국형 팜봇 개발"..안동 농업로봇실증센터 개소	2020.11.02.
11	지방Radio	안동 MBC 라디오 오늘	이슈 오늘	2020.11.04.
12	지방Radio	KBS 아침의 광장	아침인터뷰	2020.11.04.
13	지방TV방송	생방송 TV 전국시대	지금은 로봇 전성시대	2020.11.19.

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	수상	우수논문발표상	우수논문	단체	2019.10.18.	한국기계가공학회
2	수상	우수논문발표상	우수논문	단체	2020.06.26.	한국기계가공학회

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

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

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

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

해당사항 없음

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

해당사항 없음

2) 목표 달성 수준

추진목표	달성내용	달성도(%)
○ 플랫폼 기본 메커니즘 설계 및 시제품 개발	○ 플랫폼 설계 및 제작 ○ 환경인지 기술 및 주행제어 기술 개발 ○ 원격제어 및 통합제어시스템 개발 ○ 플랫폼 표준안 제안	○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100%
○ 플랫폼과 연동하는 농업용 작업 모듈 개발	○ 로터리 작업 모듈개발 ○ 휴립피복 작업 모듈개발 ○ 방제 작업 모듈개발 ○ 정식 작업 모듈개발 ○ 운반 작업 모듈개발 ○ 파종 작업 모듈개발	○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100%
○ 자가진단, 모션제어 시스템 모듈 개발 및 센싱 알고리즘 개발	○ 노지환경인지 및 센서융합 자세제어 시스템 개발 ○ 자세 모니터링 시스템과 자기 진단 시스템 개발 및 알고리즘 개발	○ 100% ○ 100%
○ 작업모듈 최적설계지원 및 체결 Unit개발	○ 전산해석 및 분석을 통한 부품 최적화 ○ 플랫폼과 작업 모듈 간의 체결Unit 제작	○ 100% ○ 100%

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

2) 자체 보완활동

3) 연구개발 과정의 성실성

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 발농업 작업을 위한 플랫폼 기술 기여도 : 약 70%(원격제어, 환경인지 및 주행제어, 작업모듈 연동 등)
- 국내 농촌 지역의 노동력 감소 문제 해결 기대
- 국내 표준안(발농업용 원격조종 농업기계 일반요구 사항)제안 등으로 향후 다양한 제품에도 선행적인 연구로 활용 기대

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 발농업 작업을 위한 로봇에 대한 연구는 환경변화(온난화), 노동력감소 문제를 해결하기 위해 지속적으로 수행 될 것으로 예측됨에 따라 본 연구를 통해서 얻어진 결과(플랫폼 설계 및 제작, 환경인지 및 주행제어, 작업모듈, 자세 모니터링 시스템 및 자기진단 시스템, 체결Unit 등)를 활용하여 참여기업뿐만 아니라 농기계업체들과의 협업을 통해서 관련된 연구를 고도화 및 최적화를 수행할 예정
- 제안한 표준안을 바탕으로 한국농기계공업협동조합, 한국농업기술진흥원 등과 협업을 통해서 국내 발농업용 로봇의 상용화에 기여할 예정

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

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

※ 별첨자료

대구기계부품연구원
 大邱機械部品研究院
 DAEGU MECHANICAL & MATERIALS INSTITUTE
 대구광역시 달서구 성서공단로11길32(후평동)
 TEL: (053)608-2112 FAX: (053)608-2119

시험 성적서

- 성적서 번호 : TE-22-01007
- 페이지 번호 : 20 쪽 중 1 쪽
- 의뢰자
 기관명 : 한국로봇융합연구원
 주 소 : 경북 포항시 남구 지곡로 39(지곡동) 한국로봇융합연구원
- 시험대상 품목 : 농업용 로봇
- 접수일자 : 2022. 05.09
- 시험기간 : 2022. 07.04 ~ 2022. 07. 06
- 시험장소 : □ 고정시험실 ■ 현장시험
 (주소 : 경북 안동시 경동로 1486-20 로봇융합연구원)
- 시험방법 : 다음 쪽 "시험방법" 참조
- 시험결과 : 다음 쪽 "시험결과" 참조

작성자
 성 명 : 박진홍



기술책임자
 성 명 : 손영범



위의 내용은 신청인에 제출한 시험품에 대한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

2022.07.12



대구기계부품연구원장



발급 및 결과문의 - <http://www.dmi.re.kr>

TP-0114-02(12)(01)

A4(210×297mm)

시 험 결 과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (2) 쪽



1. 시험 개요

a. 시험품명 : 발농업용 로봇 플랫폼



b. 시험일자 : 2022년 7월 4일 ~ 2022년 7월 6일

c. 시험항목

No	시험항목		시험방법	요구조건 (개발목표)	단위
1	동시 구동/조향바퀴수		세부항목 참조	4	EA
2	조향각도			≥ 360	Deg
3	가변폭			0.8	m
4	자세조정 각도폭			≥ 10	Deg
5	등판각도			≥ 18	Deg
6	장애물 극복 단차			≥ 15	cm
7	이동속도			≥ 2	Km/h
8	다중로봇 협업 대수			2	대
9	데이터통신			1,000	m
10	경로주행오차			≤ 20	cm
11	로컬지도 업데이트 속도			≥ 15	Hz
12	로터리	작업능력		60분/10a	분/10a
		최토출		≥ 70%	%
		균형도		≤ 7cm	cm
13	휴입 피복	작업능력		60분/10a	분/10a
		폭, 높이 및 휴간 오차		≤ 10%	%
14	방제 작업능력			60분/10a	분/10a
15	정식	작업능력		60분/10a	분/10a
		전결주율	≤ 2.5%	%	
16	파종 작업능력		60분/10a	분/10a	
17	운반 작업능력		60분/10a	분/10a	
18	작업모듈 개발 중수		≥ 5	중	

※ 상기 시험항목에 대한 세부 시험방법은 한국로봇융합연구원에서 제시한 시험방법을 참조하였음

TP-0114-02(2/2)(01)

A4(210×297mm)

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (3) 쪽



2. 시험항목별 평가결과

2.1 조향바퀴수/동시구동

(1) 시험방법

- 발동입용 로봇 플랫폼의 바퀴수를 확인하고 4개 바퀴의 조향 및 주행이 동시 구동 가능여부를 확인하여 검증함

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	조향바퀴수	동시구동여부	시험결과
조향바퀴수/동시구동	4 ea	가능	이상 없음

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (4) 쪽



2.2 조향각도

(1) 시험방법

- o 발동업용 로봇 플랫폼이 제자리에서 360° 회전이 가능한지 확인하여 검증함
- o 조향부의 원격제어를 기준으로 검증하였음


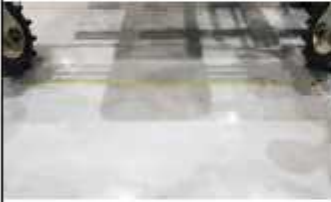


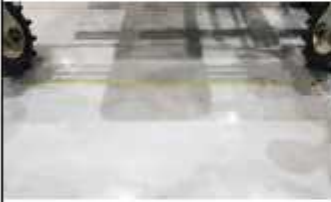


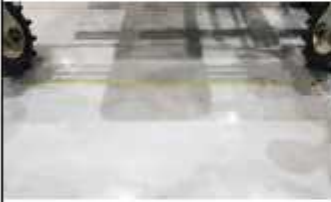


(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	조향바퀴수	조향각도	조향가능여부	시험결과
조향각도	4 ea	360 °	가능	이상 없음

- 이 하 여 백 -

<h2 style="margin: 0;">시 험 결 과 (Test Results)</h2>	성적서번호 : TE-22-01007 (20) 쪽 중 (5) 쪽																	
<p>2.3 가변 폭</p> <p>(1) 시험방법</p> <ul style="list-style-type: none"> o 발농업용 로봇 플랫폼의 좌우 바퀴의 내측간 거리를 최대로 가변시와 최소로 가변시의 차이를 확인하여 검증함 <p>(2) 시험전경</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 33%;">시험 준비</th> <th style="width: 33%;">시험 전경(1)</th> <th style="width: 33%;">시험 전경(2)</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>(3) 시험결과</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 15%;">시험항목</th> <th style="width: 15%;">최대 가변시</th> <th style="width: 15%;">최소 가변시</th> <th style="width: 15%;">가변 폭</th> <th style="width: 40%;">시험결과</th> </tr> <tr> <td>가변 폭</td> <td>1.88 m</td> <td>1.08 m</td> <td>0.8 m</td> <td>이상 없음</td> </tr> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">- 이 하 여 백 -</p>			시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)				시험항목	최대 가변시	최소 가변시	가변 폭	시험결과	가변 폭	1.88 m	1.08 m	0.8 m	이상 없음
시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)																
																		
시험항목	최대 가변시	최소 가변시	가변 폭	시험결과														
가변 폭	1.88 m	1.08 m	0.8 m	이상 없음														

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (6) 쪽



2.4 자세조절 각도폭

(1) 시험방법

- 10 ° 이상의 경사로에 발농업용 로봇 플랫폼을 이동시키고 본체의 수평 유지가능여부를 확인하여 검증함

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	경사로 각도	수평 유지 가능 여부	시험결과
자세조절 각도폭	10.0 °	가능	이상 없음

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (7) 쪽



2.5 등판각도

(1) 시험방법

- 발동업용 로봇 플랫폼의 등판 능력을 확인하여 검증함
- 발동업용 로봇 플랫폼이 평지에서 출발하여 20 ° 이상 경사로의 등반가능 여부를 테스트함

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	경사로 각도	등반 가능 여부	시험결과
등판각도	20.0 °	가능	이상 없음

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (8) 쪽



2.6 장애물 극복단차

(1) 시험방법

- 발농업용 로봇 플랫폼의 장애물 극복 능력을 확인하여 검증함
- 발농업용 로봇 플랫폼이 평지에서 출발하여 15 cm 이상 장애물의 통과 가능 여부를 테스트함

(2) 시험전경



(3) 시험결과

시험항목	장애물 높이	통과 가능 여부	시험결과
장애물 극복단차	15 cm 이상	가능	이상 없음

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (9) 쪽



2.7 이동속도

(1) 시험방법

- 발농업용 로봇 플랫폼의 이동 속도를 확인하여 검증함
- 발농업용 로봇 플랫폼이 도로상에서 출발하여 2 m의 테스트 구간을 지나 갈 때의 속도를 계산함

(2) 시험전경



(3) 시험결과

시험항목	시험구간	이동시간	시험결과
이동속도	2 m	3.53 s	2.04 km/h

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (10) 쪽



2.8 다중로봇 협업 대수

(1) 시험방법

- 동일한 테스트장 내에서 로봇 2대 배치 후 관제 프로그램에서 2대의 구동 정보 모니터링 가능 여부를 확인하여 검증함

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)

(3) 시험결과

시험항목	로봇 대수	모니터링 가능 여부	시험결과
다중로봇 협업대수	2 대	가능	이상 없음

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (11) 쪽



2.9 데이터 통신

(1) 시험방법

- o 구글 지도 상 1km 떨어진 지점에서 발농업 로봇 플랫폼을 원격제어하여 구동 여부를 확인하여 검증함

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	시험거리	원격 구동 여부	시험결과
데이터 통신	1 km	가능	이상 없음

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (12) 쪽



2.10 경로주행 오차

(1) 시험방법

- 알고리즘에 의해 구현된 기준값에 실측된 카메라 영상 프레임 정보를 비교하여 단위 픽셀 당 거리를 측정하고 픽셀의 숫자를 거리를 환산하여 검증함

(2) 시험전경



(3) 시험결과

시험항목	단위 픽셀 당 거리	총 픽셀수	주행오차	시험결과
경로주행오차	0.24 cm	7.45 ea	1.79 cm	이상 없음

- 이 하 여 백 -

시험 결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (13) 쪽



2.11 로컬지도 업데이트 속도

(1) 시험방법

- 발송업용 로봇 플랫폼의 지도 업데이트 속도를 평가함
- 제로로직의 전 주기에서 획득된 프레임과 새로 획득된 프레임 간 지도비교 로직의 주기를 측정하여 검증함

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	프레임수	소요시간	시험결과
로컬지도 업데이트 속도	1055 장	61.9 초	17.018 Hz

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (14) 쪽



2.12 로터리 작업능력 및 상태

(1) 시험방법

- o 발농업 로봇 플랫폼 본체에 로터리 작업모듈을 장착하여 1주기를 수행하여 로터리 모듈의 로터리 작업 상태(작업속도, 경심깊이, 쇄토율, 균평도)를 확인하고 계산하여 검증함
- o 20 m(1주기)를 주행 및 작업수행

(2) 시험전경



(3) 시험결과 (쇄토율)

시험항목		전체 중량	쇄토중량	미 쇄토중량	시험결과
쇄토율	1차	12.67 kg	12.35 kg	0.32 kg	97.47 %
	2차	12.21 kg	11.99 kg	0.22 kg	98.37 %

(4) 시험결과 (균평도)

시험항목		N1	N2	N3	N4	시험결과
균평도	1차	2.5 cm	2.5 cm	3.5 cm	5.0 cm	4.37 cm
	2차	7.0 cm	3.0 cm	3.0 cm	6.5 cm	4.87 cm

- 이 하 여 백 -

TP-0114-02(2/2)(01)

A4(210×297mm)

시 험 결 과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (15) 쪽



(5) 시험결과 (종합)

시험항목	1주기 작업시간	작업능력	경심깊이	쇄토율	균평도
로터리 작업능력	73 초	55분/10a	10 cm	97.92 %	4.87 cm

2.13 휴립피복 작업능력 및 상태

(1) 시험방법

- 발농업 로봇 플랫폼 본체에 휴립피복 작업모듈을 장착하여 1주기를 수행하여 휴립피복 모듈의 작업 상태(작업속도, 휴립폭, 휴간 오차)를 확인하고 계산하여 검증함
- 20 m(1주기)를 주행 및 작업수행

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과 (휴립 폭 높이 측정 및 휴간 오차)

시험항목	단위	N1	N2	N3	N4	최저	최고	휴간 오차
1차측정	cm	25	27	30	28	25	30	±2.5
2차측정	cm	27	28	31	26	26	31	±2.5

(4) 시험결과 (종합)

시험항목	1주기 작업시간	작업능력	휴간오차
휴립피복 작업능력	76 초	57분/10a	9.1 %

- 이 하 여 백 -

TP-0114-02(2/2)(01)

A4(210×297mm)

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (16) 쪽



2.14 방제 작업 능력

(1) 시험방법

- o 발농업 로봇 플랫폼 본체에 방제 작업모듈을 장착하여 1주기를 수행하여 방제 작업모듈의 작업 상태(살포폭, 작업 속도)를 확인하고 계산하여 검증함
- o 20 m(1주기)를 주행 및 작업수행

(2) 시험전경



(3) 시험결과

시험항목	최대 살포폭	1주기 작업시간	시험결과
방제 작업 능력	5 m	40 초	30분/10a

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (17) 쪽



2.15 정식(이식) 작업 능력

(1) 시험방법

- o 발농업 로봇 플랫폼 본체에 정식 작업모듈을 장착하여 1주기를 수행하여 정식 작업모듈의 작업상태(속도 및 전결주율)를 확인하고 계산하여 검증함
- o 20 m(1주기)를 주행 및 작업수행
- o 식부(이식)주간 : 50 cm 기준

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과 (결주율)

시험항목	1주기	2주기	3주기	비고
결주수/정식수	0/40	0/40	1/40	20 m 작업 후 결주율 조사
결주율	0 %	0 %	2.5 %	

(4) 시험결과 (종합)

시험항목	전결주율	1주기 작업시간	시험결과
정식 작업 능력	2.5 %	78 초	59분/10a

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (18) 쪽






2.16 파종 작업 능력

(1) 시험방법

- o 발농업 로봇 플랫폼 본체에 파종 작업모듈을 장착하여 1주기를 수행하여 파종 작업모듈의 작업 상태(파종 깊이, 거리, 속도)를 확인하고 계산하여 검증함
- o 20 m(1주기)를 주행 및 작업수행

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	파종 거리	1주기 작업시간	시험결과
파종 작업 능력	10 cm	42 초	32분/10a

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (19) 쪽



2.17 운반 작업 능력

(1) 시험방법

- o 발농업 로봇 플랫폼 본체에 운반 작업모듈을 장착하여 1주기를 수행하여 운반 작업모듈의 작업 상태(적재량, 속도)를 확인하고 계산하여 검증함
- o 20 m(1주기)를 주행 및 작업수행

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	1주기 작업시간	시험결과
운반 작업 능력	65 초	49분/10a

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01007

(20) 쪽 중 (20) 쪽



2.18 작업모듈 개발 총 수

(1) 시험방법

- o 개발된 작업모듈의 실물을 확인하여 개발 총수를 검증함

(2) 시험전경



(3) 시험결과

시험항목	개발목표	개발결과
작업모듈 개발총수	5종	6종

끝.

시험 성적서

- 성적서 번호 : TE-22-01009
- 페이지 번호 : 6 쪽 중 1 쪽
- 의뢰자
기관명 : 안동대학교 산학협력단
주 소 : 경북안동시 경동로 1375(송천동)
- 시험대상 품목 : 자세제어모듈
- 접수일자 : 2022. 05.10
- 시험기간 : 2022. 07.04 ~ 2022. 07. 05
- 시험장소 : □ 고정시험실 ■ 현장시험
(주소 : 경북안동시 경동로 1375(송천동) 안동대학교)
- 시험방법 : 다음 쪽 "시험방법" 참조
- 시험결과 : 다음 쪽 "시험결과" 참조

작성자
 성 명 : 박진홍



기술책임자
 성 명 : 손영범



위의 내용은 신청인이 제출한 시험품에 대한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

2022.07.12



대구기계부품연구원장



발급 및 결과문의 - <http://www.dmi.ac.kr>

TP-0114-02(1/2)(01)

A4(210×297mm)

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01009

(6) 쪽 중 (2) 쪽



1. 시험 개요

a. 시험품명 : 자세제어 모듈



b. 시험일자 : 2022년 7월 4일 ~ 2022년 7월 5일

c. 시험항목

No	시험항목	시험방법	요구조건 (개발목표)
1	온도특성(저온)	세부항목 참조	-20 °C 이하 8시간
2	온도특성(고온)	세부항목 참조	80 °C 이상 8시간
3	각도측정 분해능	세부항목 참조	0.5 deg 이하
4	응답시간	세부항목 참조	3 ms 이하

※ 상기 시험항목에 대한 세부 시험방법은 안동대학교에서 제시한 시험방법을 참조하였음

TP-0114-02(2/2)(01)

A4(210×297mm)

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01009

(6) 쪽 중 (3) 쪽



2. 시험항목별 평가결과

2.1 온도특성(저온)

(1) 시험방법

- 자세제어 모듈의 저온에서의 온도특성을 검증함
- 항온항습기 -20 ℃에서 8시간 방치 후 시스템 구동 여부를 확인하여 검증함

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	시험 온도	시험 시간	구동 여부	시험결과
온도특성	-20 ℃	8 hour	구동 가능	이상 없음

- 이 하 여 백 -

TP-0114-02(2/2)(01)

A4(210×297mm)

시험 결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01009

(6) 쪽 중 (4) 쪽



2.2 온도특성(고온)

(1) 시험방법

- 자세제어 모듈의 고온에서의 온도특성을 검증함
- 항온항습기 80 °C에서 8시간 방치 후 시스템 구동 여부를 확인하여 검증함

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	시험 온도	시험 시간	구동 여부	시험결과
온도특성	80 °C	8 hour	구동 가능	이상 없음

- 이 하 여 백 -

시험결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01009

(6) 쪽 중 (5) 쪽


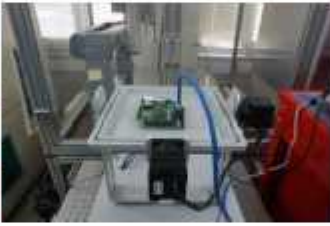


2.3 각도측정 분해능

(1) 시험방법

- 자세제어 모듈의 각도 조정 시 분해능을 검증함
- 0.2 deg 의 입력값 설정 시 출력값을 확인하여 검증함

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	정량목표	입력값	출력값	시험결과
각도측정 분해능	0.5 deg 이하	0.2 deg	0.2 deg	이상 없음

- 이 하 여 백 -

시험 결과 (Test Results)

성적서번호 : TE-22-01009

(6) 쪽 중 (6) 쪽



2.4 응답속도

(1) 시험방법

- 자세제어 모듈의 각도 조정 시 응답속도를 확인하여 검증함

(2) 시험전경

시험 준비	시험 전경(1)	시험 전경(2)
		

(3) 시험결과

시험항목	정량 목표	출력값	응답시간	시험결과
응답속도	3 ms 이하	8 bit	0.218 ms	이상 없음

끝.

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업 발농업용 지능형 로봇 개발 과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.