

121029-02

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
첨단농기계산업화 기술개발사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004460-01

발농업
농산물
적재·운반
·하역용
차체
가변형
전기구동
자율주행
모바일
로봇 개발

발농업 농산물 적재·운반·하역용 차체 가변형
전기구동 자율주행 모바일 로봇 개발

2023. 12. 8.

주관연구기관 / 전남대학교
협동연구기관 / (주)앨비

2023

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

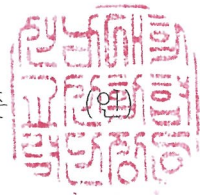
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “발농업 농산물 적재·운반·하역용 차체 가변형 전기구동 자율주행 모바일 로봇 개발” (개발기간 : 2021.4.1 ~ 2023.6.30)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 12. 08.

주관연구기관명 : 전남대학교 산학협력단 (대표자) 민 정 준



협동연구기관명 : (주)엘비

(대표자) 오 창 호



주관연구책임자 : 이 경 환

협동연구책임자 : 김 수 현

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서							보안등급				
							일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]				
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명	사업명		첨단농기계산업화 기술개발			
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원			내역사업명 (해당 시 작성)	농기계 산업혁신기술					
공고번호		제 농축2021-26호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		-				
					연구개발과제번호		121029-2				
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	55%	LB0804	45%						
	농림식품과학기술분류	RC0101	55%	RC0103	45%						
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문									
		영문									
연구개발과제명		국문		발농업 농산물 적재·운반·하역용 차체 가변형 전기구동 자율주행 모바일 로봇 개발							
		영문		Autonomous motor drive mobile robot with adjustable chassis for loading, transporting and unloading of harvested agricultural products in upland field							
주관연구개발기관		기관명	전남대학교 산학협력단		사업자등록번호		409-82-11942				
		주소	(61186)광주광역시 북구 용봉로 77		법인등록번호		206371-0001063				
연구책임자		성명		이경환		직위		교수			
		연락처	직장전화				휴대전화				
			전자우편				국가연구자번호				
연구개발기간		전체		2021.04.01. - 2023.06.30. (2년 3개월)							
		1단계		1년차		2021.04.01. - 2021.12.31. (9개월)					
				2년차		2022.01.01. - 2023.06.30. (1년 6개월)					
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비	그 외 기관 등의 지원금				합계		연구개발비 외 지원금	
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계		
총계		933,000	8,900	146,700	0	0	0	0	941,900	146,700	1,088,600
1단계	1년차	400,000	0	66,700	0	0	0	0	400,000	66,700	466,700
	2년차	533,000	8,900	80,000	0	0	0	0	541,900	80,000	621,900
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고				
							역할	기관유형			
공동연구개발기관		(주)엘비	김수현	연구소장			공동연구	중소기업			
위탁연구개발기관		충남대	김용주	교수			위탁연구	대학			
연구개발담당자 실무담당자		성명		김우영		직위		연구교수			
		연락처	직장전화				휴대전화				
			전자우편				국가연구자번호				

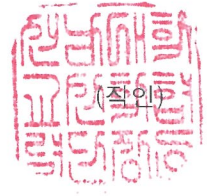
이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023년 12월 8일

연구책임자: 이 경 환



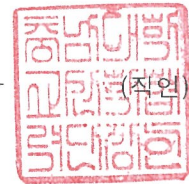
주관연구개발기관의 장: 전남대학교 산학협력단장



공동연구개발기관의 장: (주)엘비 대표이사



위탁연구개발기관의 장: 충남대학교 산학협력단장



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	첨단농기계산업화기술개발			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		
내역사업명 (해당 시 작성)	농기계 산업혁신기술			연구개발과제번호	121029-2	
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	55%	LB0804	45%	%
	농림식품 과학기술분류	RC0101	55%	RC0103	45%	%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)						
연구개발과제명	발농업 농산물 적재·운반·하역용 차체 가변형 전기구동 자율주행 모바일 로봇 개발					
전체 연구개발기간	2021.04.01. - 2023.6.30.(2년 3개월)					
총 연구개발비	총 1,088,600천원 (정부지원연구개발비: 933,000천원, 기관부담연구개발비 : 155,600천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)					
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)						
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)						
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		발 농업 농산물 적재·운반·하역을 위한 운거 가변형 4륜 독립 전 기구동 기반 자율주행 모바일 로봇 개발			
	전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> • 모바일 로봇 자율주행 시스템 개발 • 전기구동 플랫폼 설계 및 시뮬레이션 • 운거 가변형 4륜 독립 전기 구동 모바일 플랫폼 개발 • 작업자 추종 및 원격제어 시스템 개발 • 전기구동 플랫폼 성능 평가 • 적재함 수평 제어시스템 및 적재·하역 리프트 시스템 개발 			
	1년차	목표	<ol style="list-style-type: none"> 1. 모바일 로봇 자율주행 시스템 개발 2. 전기구동 플랫폼 설계 및 시뮬레이션 3. 운거 가변형 4륜 독립 전기 구동 모바일 플랫폼 개발 			
		내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 모바일 로봇 자율주행 시스템 개발 - 자율주행 하드웨어 시스템 구성 - 머신비전 및 인공지능 기반의 발농경지 환경인식 시스템 개발 - 4륜 독립 전기구동 기반의 자율주행 알고리즘 개발 ○ 전기구동 플랫폼 설계 및 시뮬레이션 - 구동 모터, 감속기 등을 포함한 전기구동 플랫폼 설계 - 적재 하중에 따른 전기구동 플랫폼 시뮬레이션 및 사양 선정 ○ 운거 가변형 4륜 독립 전기 구동 모바일 플랫폼 개발 - 4륜 독립 전기구동 모바일 플랫폼 개발 - 모바일 플랫폼 운거 가변 시스템 개발 - 직진·후진 가변 및 직각 선회 시스템 개발 			
2년차	목표	<ol style="list-style-type: none"> 1. 작업자 추종 및 원격제어 시스템 개발 2. 전기구동 플랫폼 성능 평가 3. 적재함 수평 제어시스템 및 적재·하역 리프트 시스템 개발 4. 농업 환경에서의 현장 실증 				
	내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 작업자 추종 및 원격제어 시스템 개발 - 작업자 추종 주행 시스템 및 알고리즘 개발 - 스마트폰 기반의 음성인식 원격제어 시스템 개발 - 맵기반의 적재-하역 지점 간의 셔틀 자율주행 알고리즘 개발 ○ 전기구동 플랫폼 성능 평가 				

			<ul style="list-style-type: none"> - 적재 하중에 따른 전기구동 플랫폼 성능 측정 - 모터 구동, 배터리 성능 등 플랫폼 성능 평가 및 사양 최적화 ○ 적재함 수평 제어시스템 및 적재·하역 리프트 시스템 개발 - 발 경사도에 따른 적재함 수평 제어시스템 개발 - 적재·하역 리프트 시스템 개발 - 발 농경지 환경에서의 사고 예방 장치 개발 ○ 농업 환경에서의 현장 실증 - 발농경지 환경에서의 현장 실증을 통한 성능 고도화
--	--	--	--

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 윤거 가변형 4륜 독립 전기구동 모바일 플랫폼의 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 윤거 범위 800-1,600mm, 적재 중량 300kg 이상 ○ 머신비전 및 인공지능 기반의 모바일 로봇 자율주행 시스템의 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 자율주행 정확도 3%이내, 대상체 인지 정확도 90%이상 ○ 모바일 플랫폼 적재함 수평제어 시스템 및 적재·하역 리프트 시스템의 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 리프트 적재 중량 100kg이상, 리프트 작동 높이 0-1,100mm 이상 ○ 작업자 추종 및 음성인식 기반의 원격제어 시스템의 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 작업자 추종 정확도 90% 이상, 음성인식 정확도 95% 이상 ○ 자율주행 하드웨어 시스템 구성 및 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 4륜 독립 구동 로봇 하드웨어 시스템 구성 ○ 머신비전 및 인공지능 기반의 발 농경지 환경 인식 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - YOLOv5 기반 객체 검출 알고리즘 개발 ○ 4륜 독립 전기구동 기반의 자율주행 알고리즘 개발 ○ 장애물 인식 시스템 개발 ○ 4륜 독립전기구동 플랫폼의 부품 선정 및 시스템 설계 기술 ○ 전기구동 플랫폼의 핵심부품 사양 선정을 위한 시뮬레이션 단품 모델 개발 기술 ○ 플랫폼 주행 및 작업 조건별 시뮬레이션 해석 및 분석 기술 ○ 전기구동 플랫폼 성능 평가를 위한 계측 시스템 개발 ○ 전기구동 플랫폼 시스템 해석 모델 개발 및 시뮬레이션 해석 기술 ○ 시뮬레이션 모델을 활용한 전기구동 플랫폼 핵심부품의 사양 최적화 기술 ○ 4륜 개별 구동 시스템 개발 ○ 직진·후진 가변 및 직각 선회 시스템 개발 ○ 발 농경지 환경에서의 사고예방장치 개발
--------	--

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자율주행 시스템 및 알고리즘 개발 결과는 본 과제에 적용되는 플랫폼뿐만 아니라 다양한 농업 기계 및 타 산업분야에 추후 지속적인 확대 적용 진행 예정 ○ 자율주행 시스템 등 본 연구에서 개발한 기술은 전남 나주에 조성 중인 첨단 무인 자동화 농업생산시험단지(약 50ha)에 적용되어 첨단 농업을 구현할 것이며, 관련 사업화를 촉진하고자 함 ○ 공동연구기관인 엘비는 전동운반차 및 작업 로봇 등으로 국내 및 해외에 수요처를 추가 확보하고 지속적인 시장 파악 및 판로 개척을 하고자 함 ○ 지속적인 개발 기술 설명회 개최, 국내외 전시회 참가를 통한 홍보 및 마케팅 예정 ○ 주관연구기관인 전남대학교는 미국 UC Merced와 협력하여 현지 수요/시장 파악 및 판로를 개척하고자 함 ○ 본 연구 개발품인 농업용 운반기계 플랫폼에 전기구동 기술을 적용하여 디젤엔진의 사용을 줄이고 전기구동 시스템을 이용하여 구동함으로써 미래 지향적인 친환경 작업이 가능할 것으로 판단됨 ○ 자율주행 로봇 기술과 농업 지식을 결합하여 더욱 효율적이고 지속 가능한 농업 방식을 개발하는 데 기여할 수 있음 ○ 자율주행 기술의 적용으로 인력을 대체하거나 보조하여 작업 효율을 크게 향상시킬 수 있으며 생산성 향상을 기대할 수 있음 ○ 고령화, 다양화 되는 농업 인구의 삶의 질 및 농업 생산성 향상을 통해 대한민국의 균형 발전 및 귀농 활성화에 기여할 것으로 전망 ○ 운반 등 중노동을 농업로봇이 대체함으로써 산업재해를 줄일 수 있음 ○ 지능형 농업로봇으로 재배함으로써 양질의 계획된 수확량 확보가 가능함
---------------------------	---

	○ 농업의 자동화 및 4차산업화에 일조하여 농촌의 청년인구 유입에 도움이 될 것으로 기대											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유												
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	1	7										
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명		규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호		
국문핵심어 (5개 이내)	농업용 모바일 로봇			자율주행 시스템		4륜 모터구동		윤거 가변형 모바일 플랫폼		음성인식 및 제어		
영문핵심어 (5개 이내)	Agricultural Mobile Robot			Autonomous System		Four-Wheel Motor Drive		Mobile Platform with Adjustale Thread		Voice Recognition and Control		

<연구개발성과 목표 대비 실적>

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용홍보		기 타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SCI	비 SCI							
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	명	건	건			
가중치	10			10	10	50			10					5				5		
최종목표	2	2		1	2	1	10		2			1	1	4				3		
1 차 년 도	목 표	1							1				1	1						
	실 적	3							2				1	2		1				
2 차 년 도	목 표	1			1	2	1		1			1		1				1		
	실 적	2	2		3	12	2	10.4	1					7				1		
소 계	목 표	2	0		1	2	1	0	2			1	1	2		0		1		
	실 적	5	2		3	12	2	10.4	3				1	9		1		1		
종료 1차년도		1												1				1		
종료 2차년도		1					10							1				1		
소 계		2					10							2				2		

< 목 차 >

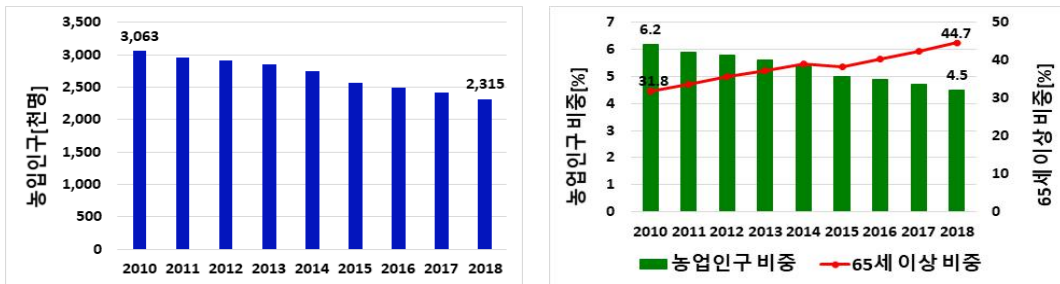
1. 연구개발과제의 개요	6
1.1. 연구개발과제의 필요성	6
1.2. 연구개발과제의 목표 및 내용	7
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	9
2.1. 1차년도 연구개발 내용	9
2.2. 2차년도 연구개발 내용	43
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	74
4. 목표 미달 시 원인분석	83
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	84
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	86

1. 연구개발과제의 개요

1.1. 연구개발과제의 필요성

○ 농업 노동력 부족

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



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

○ 농업 패러다임 변화

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

○ 국내 밭 농업노동력 수급 현황

- 밭작물은 양파, 마늘, 고추, 배추 등 국민 식생활의 유지에 매우 중요하고, 농업인의 소득, 지역 유지·활성화에도 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며, 최근에는 한·중 FTA 등 개방 확대로 인해 밭작물의 경쟁력 유지가 중요한 과제로 등장하고 있음
- 2013년에 시행한 농가 설문조사에서 밭작물류에서는 채소 작목에서 고용 노동력이 필요하다는 응답이 66.7%로 가장 많았으며 작업 단계별로는 밭작물류에 속한 모든 작목에서 **'적재·운반' 작업의 고용 노동력 수요가 57.1%로 가장 높음**

<밭작물류 및 작업 단계별 고용 노동력 수요 관련 농가 응답>

구분		식재	제초, 시비, 전지	적재·운반	기타	소개
밭작물	식량	1.2	2.4	11.9	-	15.5
	채소	13.1	9.5	39.3	4.8	66.7
	특작	2.4	6.0	6.0	2.4	16.7
	화훼		1.2			1.2
	소계	16.7	19.0	57.1	7.1	100.0

* 출처: 한국농촌경제연구원 농업고용 노동력 수급 실태와 대응 방안 보고서



(수집·적재)

(운반)

(하역)

<노동력 수요가 높은 밭 작업>

- 수집·적재, 운반, 하역 작업을 위한 발농업용 로봇 필요
 - 수확 이후 작업인 수집·적재, 이송, 하역 작업은 대부분 수작업으로 이루어지며, 노지재배의 특성상 노동 집약이 존재하고 고된 작업 조건과 노동 투입이 필요한 상황임. 따라서 밭 농업 노동력 부족 현상을 완화하고 수집, 적재, 운반, 하역 작업 같은 육체적으로 고된 밭작업을 로봇 작업으로 대체할 수 있는 발농업용 로봇이 필요함

1.2. 연구개발의 목표 및 내용

1) 최종목표

□ 밭 농업 농산물 적재·운반·하역을 위한 차체 가변형 전기구동 자율주행 모바일 로봇 개발

- 운거 가변형 4륜 독립 전기구동 모바일 플랫폼 개발
 - 모바일 플랫폼의 운거 범위 800-1,600mm, 적재 중량 300kg 이상
- 머신비전 및 인공지능 기반의 모바일 로봇 자율주행 시스템 개발
 - 자율주행 정확도 3% 이내, 농경지에서 대상체 인지 정확도 90%이상
- 모바일 플랫폼 적재함 수평제어 시스템 및 적재·하역 리프트 시스템 개발
 - 리프트 적재 중량 100kg이상, 리프트 작동 높이 0-1,100mm 이상
- 작업자 추종 및 음성인식 기반의 원격제어 시스템 개발
 - 작업자 추종 정확도 90% 이상, 음성인식 정확도 95% 이상

2) 연차별 연구개발 목표 및 내용

□ 연차별 연구목표

연도	기관	연구 목표	세부목표
1차년도 (2020)	주관기관 (전남대학교)	○모바일 로봇 자율주행 시스템 개발	-자율주행 하드웨어 시스템 구성 -머신비전 및 인공지능 기반의 밭 농경지 환경인식 시스템 개발 -4륜 독립 전기구동 기반의 자율주행 알고리즘 개발
	위탁기관 1 (충남대학교)	○ 전기구동 플랫폼 설계 및 시뮬레이션	-구동 모터, 감속기 등을 포함한 전기구동 플랫폼 설계 -적재 하중에 따른 전기구동 플랫폼 시뮬레이션 및 사양 선정
	협동기관 1 (엘비)	○ 차체 가변형 4륜 독립 전기 구동 모바일 플랫폼 개발	-4륜 독립 전기구동 모바일 플랫폼 개발 -모바일 플랫폼 운거 가변 시스템 개발 -직진·후진 가변 및 직각 선회 시스템 개발
2차년도 (2021)	주관기관 (전남대학교)	○ 작업자 추종 및 원격제어 시스템 개발	-작업자 추종 주행 시스템 및 알고리즘 개발 -스마트폰 기반의 음성인식 원격제어 시스템 개발 -맵기반의 적재-하역 지점 간의 서클 자율주행 알고리즘 개발
		○ 농업 환경에서의 현장 실증	-밭농경지 환경에서의 현장 실증을 통한 성능 고도화
	위탁기관 1 (충남대학교)	○ 전기구동 플랫폼 성능 평가	-적재 하중에 따른 전기구동 플랫폼 성능 측정 -모터 구동, 배터리 성능 등 플랫폼

협동기관 1 (앨비)	○ 적재함 수평 제어시스템 및 적재·하역 리프트 시스템 개발	성능 평가 및 사양 최적화 -발 경사도에 따른 적재함 수평 제어시스템 개발 -적재·하역 리프트 시스템 개발 -발 농경지 환경에서의 사고 예방 장치 개발
	○ 농작업 현장 실증	-다양한 농작업 실증을 통한 성능 고도화

□ 정량적 세부목표

평가항목 (주요성능 spec)	단위	평가의 비중(%)	세계 최고 수준 보유기관	개발 목표치		성능 평가/시험방법 및 기준	
			성능 수준	1차 년도 (2021년)	2차 년도 (2022년)		
윤거 가변형 4륜 독립 전기구동 모바일 플랫폼	최대 적재하중	kg	10	대한민국/한국로봇융합연구원	300	300	농업기술진흥원
				300			
	윤거 확장 범위	mm	10	프랑스/Naio Technologies	1,000	1,600	
				1,000			
	운용 시간 (주간)	시간	5	노르웨이/Thovald Robot	10	10	
				10			
	바퀴 조향 각도	도	10	노르웨이/Thovald Robot	80	90	
				90			
	외측			노르웨이/Thovald Robot	30	45	
45							
최대 주행속도	km/hr	5	대한민국/한국로봇융합연구원	5	6		
			5				
수평 유지 최대 경사도(각)	%(도)	10	대한민국/한국로봇융합연구원	25	25		
			25				
리프트 허용 하중	kg	5	-	100	100		
리프트 작동 높이	mm	5	-	800	1,100		
자율주행 시스템	주행오차	mm	10	프랑스/Naio Technologies	100	100	농업기술진흥원
				100			
장애물 인식 정확도	%	10	프랑스/Naio Technologies	95	98	농업기술진흥원	
			99				
사용자 추종 시스템	대상체 추종 정확도	%	10	미국/Augean Robotics	90	95	농업기술진흥원
				95			
음성인식	인식 성능 (단어)	%	5	미국/Trint	90	97	농업기술진흥원
				99			
자연어처리 (문장)	%	5	미국/Trint	90	92	농업기술진흥원	
			99				

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

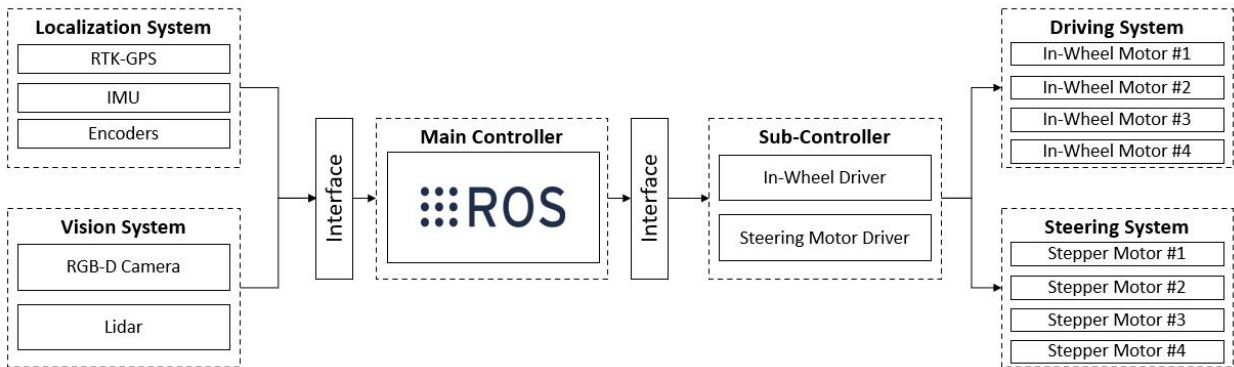
2.1. 1차년도 연구개발 내용

가. 주관연구개발기관(전남대학교)

(1) 자율주행 하드웨어 시스템 구성

○ 4륜 독립 구동 로봇 프로토타입 하드웨어 시스템 구성

- 자율주행을 위한 모바일 플랫폼 하드웨어 인터페이스 설계
 - ROS 기반 상위 컨트롤러 및 인 휠 모터 제어기와 조향 모터 제어기 기반의 하위 제어기 구성
 - 로봇 자율주행 주변 환경인지 및 측위 기술을 위한 RTK-GPS, IMU, 엔코더 기반 로봇 localization system 구성 및 RGB-D, Lidar 센서 기반 vision system 구성
 - 로봇 자율주행 구동을 위한 바퀴 일체형 인 휠 모터로 구성된 driving system과 조향 제어를 위한 stepper motor 기반의 steering system 구성






<모바일 플랫폼 하드웨어 인터페이스 블록 다이어그램>

- 자율주행을 위한 모바일 플랫폼 하드웨어 시스템 구성

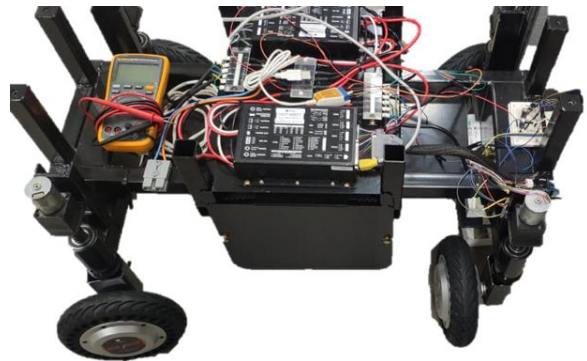
<자율주행 시스템의 구성품과 사양>

Component	Specification	Photo
Depth Camera	-Depth Technology: Active IR Stereo -Depth Range: 0.1m ~ 10m -Resolution: RGB: 1920 x 1080, fps Depth: 1280 x 720, fps -Field of View: $87^{\circ} \pm 3^{\circ}$ x $58^{\circ} \pm 1^{\circ}$ -Interface: USB 3.0	
Lidar	-Number of Channel: 16 -Range: 100 m -Field of View: 360° (Hor.), 26.9° (Ver.) -Resolution: $0.08^{\circ} \sim 0.35^{\circ}$ (Hor.), 1.33° (Ver.) -Refresh Rate: 5~20 Hz	
RTK_GPS	-Accuracy: 1cm+1ppm RMS (Hor.) 1cm+1ppm RMS (Ver.) $<0.28^{\circ}$ (Heading) -Interface: Serial, USB, TCP/IP -Sampling: Hz Max.	
IMU	-Meas. range: ± 250 deg/sec (angular rate) ± 2 g (acceleration) -Resolution: 0.01deg/sec (angular rate) 1mg (acceleration) -Error: roll, pitch 0.7deg (dynamic) yaw 0.3%	

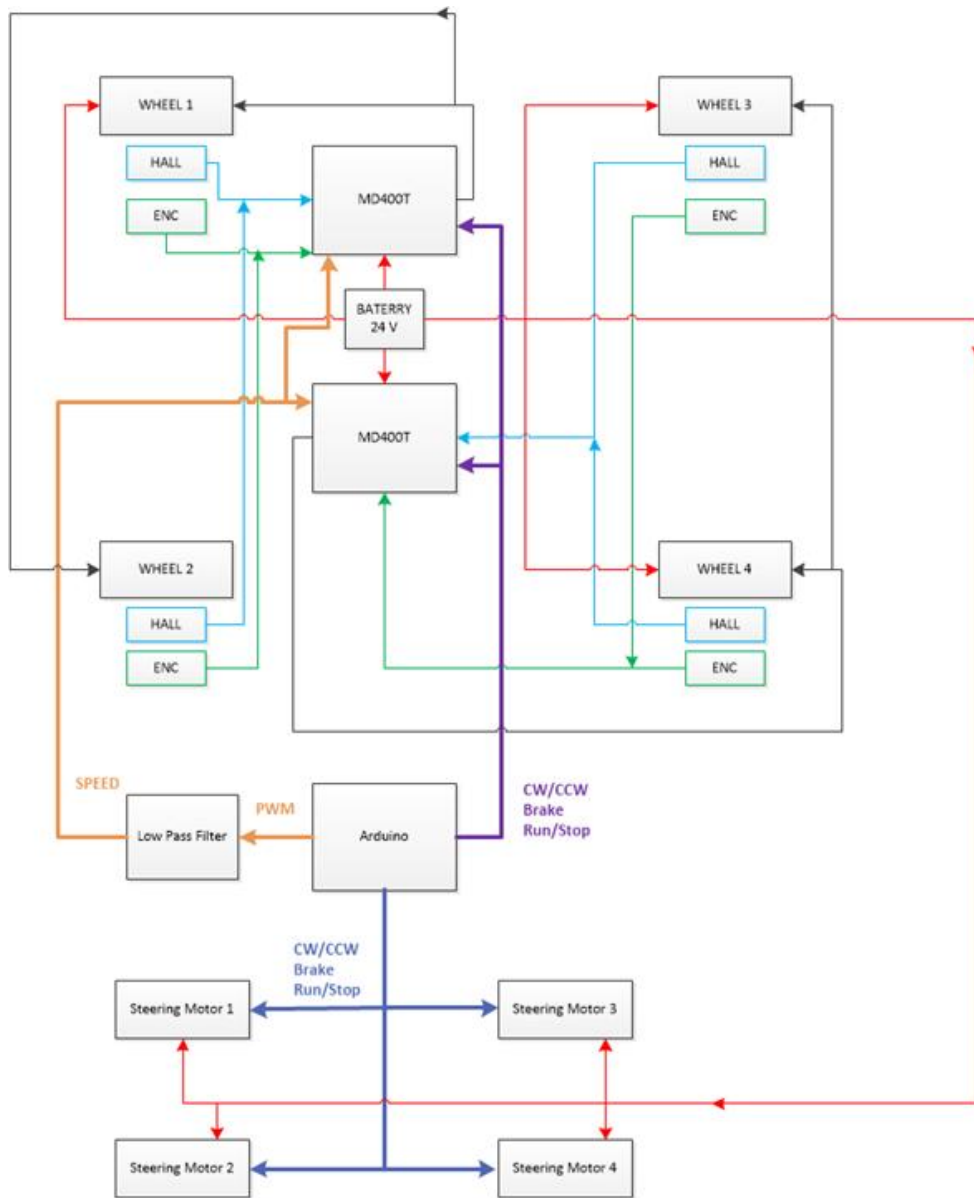
Motor driver	-Input voltage: 12-48V -Output current: up to 20A per channel (2) -Interface: Serial - CAN	
In-Wheel Motor	-Power: 100 ~ 350W -Torque: 8N.m -Voltage: 24~48VDC -Current: 8A	
Controller	-CPU: Intel i7-8750H @ 2.20GHz -RAM: 16 GB -GPU: GTX 1070 with Max-q design	

- 4륜 독립 구동 모바일 플랫폼 프로토타입 제작

- 4개의 인 휠 구동 모터, 4개의 조향 구동 모터를 구성하였고 인 휠 모터 컨트롤러(MD400T) 1대당 2개의 모터제어가 가능하여 2개의 인 휠 모터 제어를 사용함. 조향 구동 모터는 DC 모터로 구성함
- 전체 시스템은 직렬로 연결된 2개의 12V 배터리에 의해 에너지가 공급되며, 한편 인 휠 모터 컨트롤러(MD400T)와 조향 모터 사이의 통신 인터페이스는 Arduino Mega에 의해 수행됨
- Arduino Mega는 직렬 통신을 통해 명령을 수신할 수 있으며 PWM 및 High 및 Low 핀 조합을 사용하여 이러한 명령을 인 휠 모터 컨트롤러에 적합함. 한편, 조향 모터는 디지털 핀만 제어하면 되도록 함
- 각 인 휠 모터 컨트롤러는 각 인 휠 모터에 있는 홀 센서와 인코더로부터 피드백 정보를 수신하므로 내부 PID 알고리즘을 사용하여 속도를 정확하게 제어함



<4륜 독립 구동 모바일 플랫폼 프로토타입 기구적 구성>



<전력 및 제어 신호 인터페이스>

- 4륜 독립 구동 모바일 플랫폼 프로토타입 동작 테스트

- 첫 번째 테스트는 인 휠 모터의 회전 속도, 응답 속도에 대해, 두 번째 테스트는 조향 모터의 회전 속도, 회전각의 정밀도에 관해 확인함
- 인 휠 모터 테스트에서는 목표 속도와 회전 제어에 대해 양방향으로 원활하게 제어할 수 있었음. 전기 브레이크를 사용할 수 있어 인 휠 모터의 응답시간이 단축됨
- 조향 모터에는 엔코더가 없어 조향 정밀도가 낮고 응답 속도가 느린 것으로 나타남. 정식 버전에서는 조향 모터의 조향 정밀도를 높이기 위해 모터 엔코더 부착 및 스텝 모터 사용을 고려함



a) Steering Test



b) Speed Test

<4륜 독립 구동 모바일 플랫폼 프로토타입 동작 테스트>

(2) 머신비전 및 인공지능 기반의 밭 농경지 환경 인식 시스템 개발

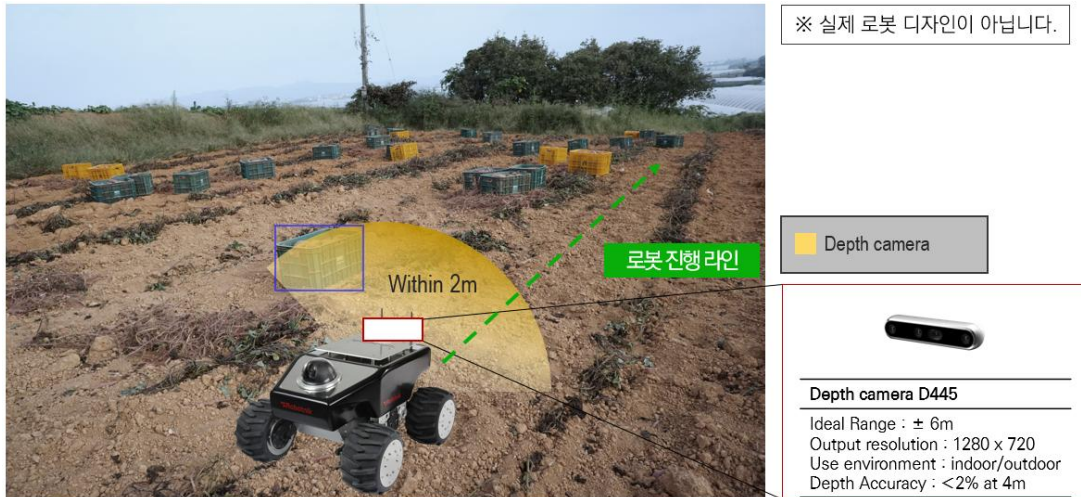
○ 수확 후 밭 농경지 환경정보 수집

- 밭 환경 내의 타겟 객체 설정 및 거리 추정 시스템 개발
 - 구황작물 수확 시 기계를 이용하여 고구마를 수확하지만, 분류와 운반은 사람의 수작업으로 진행되며 수확물을 트럭에 싣고 나르는 데에 있어서 상당한 노동력이 요구됨
 - 이를 위한 운반 로봇은 정확한 객체 인식과 거리 추정은 선행되어야 하는 필수 요소임
 - 실외에서 라이다 센서를 많이 사용하지만, 비용적인 측면을 고려하여 객체 인식과 더불어 가까운 객체의 거리를 추정하기 위해 depth camera를 사용하여 타겟 박스의 거리를 추정함



<수확물 운반 시 많은 노동력 소모>

- 최근 GPU 컴퓨팅 파워의 증가와 신경망 연구의 발전으로 인공지능 연구가 폭넓은 분야로 연구되고 있음
- 그것에 맞게 실시간으로 빠르고 강력한 알고리즘인 YOLOv5를 이용하여 정확한 타겟 인지를 실행함
- 따라서 본 연구는 YOLOv5 기반 대상 객체 박스를 인지하고 depth camera를 이용하여 2m 내에 있는 가장 가까운 박스의 거리를 산출해 내는 방법을 제안함

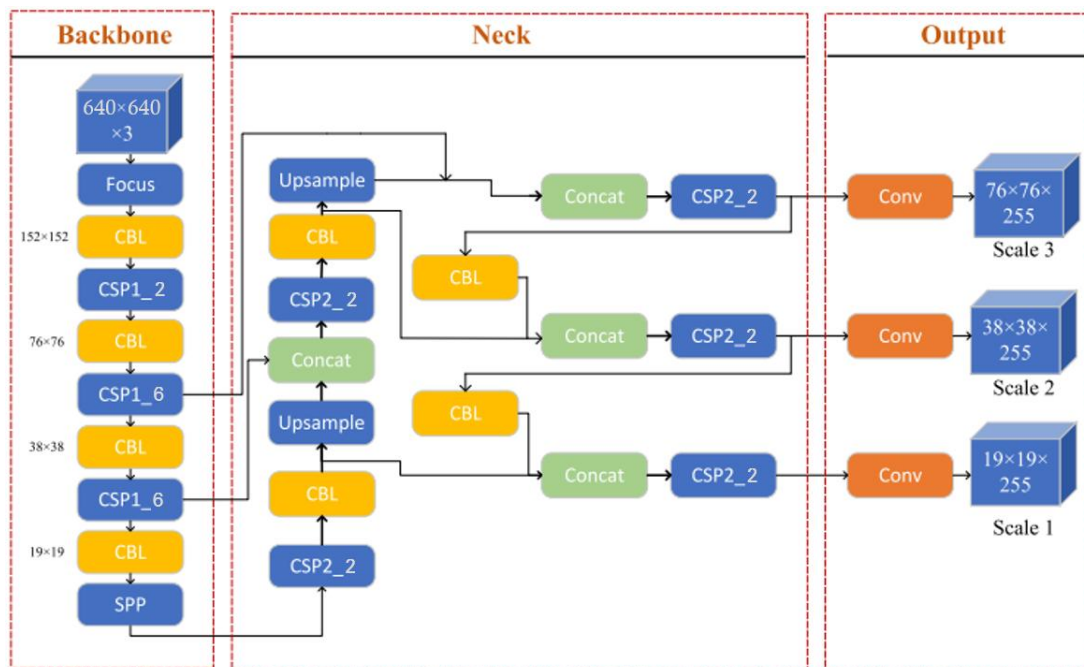


<박스 인지 및 거리 추정 시나리오>

- 운반 로봇의 시나리오는 다음과 같음. 일렬로 놓인 수확물이 담긴 박스를 인지하고 특정 거리(2m) 안에 들어왔을 때 해당 객체의 정확한 거리를 산출함. 그 후 로봇이 해당 객체로 접근하여 대상물을 실는 작업을 함

○ 박스 인식을 위한 YOLOv5 기반 객체 검출 알고리즘




- 객체 검출에 R-CNN부터 많은 알고리즘이 존재하지만, 실시간 사용이 가능하고 성능이 우수한 one-stage 기법의 YOLO 시리즈를 사용함. 가장 최근에 나온 YOLOv5의 4가지 모델 가운데 비교적 가볍고 계산량이 많은 YOLOv5m을 채택함



<YOLOv5m의 구조체>

- 이미지로부터 feature map을 추출하는 backbone의 큰 특징은 기존의 버전들과는 다르게 focus 구조가 추가되고 CSPnet 구조를 설계하여 컴퓨팅 파워가 낮은 환경에서 감당하기 힘든 연산량을 완화해 주었음
- Focus 구조에 원본 640*640*3 이미지를 입력하고 슬라이싱 작업을 사용하여 먼저 320*320*12 feature map이 된 다음 최종 convolution 연산에서 48개의 커널을 사용함

<전체 데이터 세트>

Component	Numbers	Photo
box	1526	
human	693	
box & human	776	

- 고구마밭 영상 촬영 및 데이터 처리

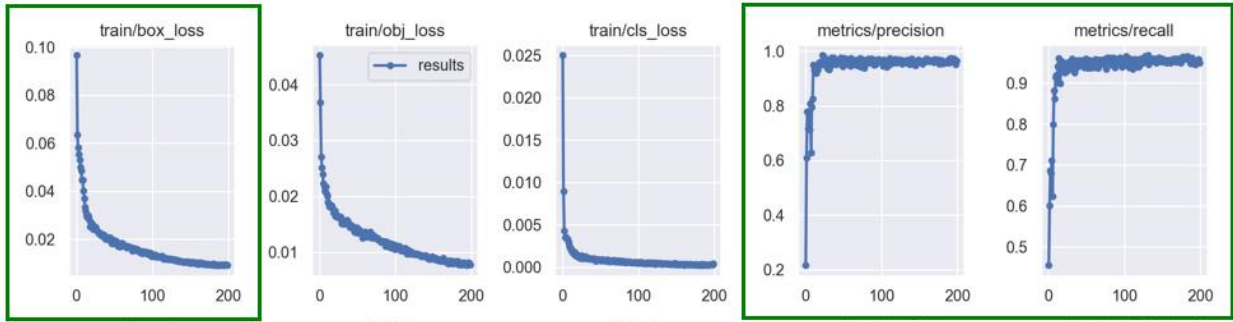
- 고구마밭에서 수확물이 담긴 박스와 사람을 타겟 객체로 설정하고 약 3,000장의 이미지 데이터를 수집함. 총 박스 1,526장, 사람 693장, 박스와 사람 776장의 데이터로 분류 작업 후 라벨링을 진행함
- 각 객체의 데이터 비율을 고려해 train:validation:test를 8:1:1 비율로 나눈 뒤 학습을 진행함
- Class는 2개(box, human), input 이미지 640, batch 8, epochs 200에서 pretrain된 YOLOv5m 모델로 학습을 실행함



<미학습된 영상 테스트 결과>

- YOLOv5 기반 학습 결과

- Object classification, localization이 잘 수행됨. 미학습된 영상에서도 가까운 객체 뿐만 아니라 먼 객체까지 정확히 검출되는 모습을 볼 수 있음



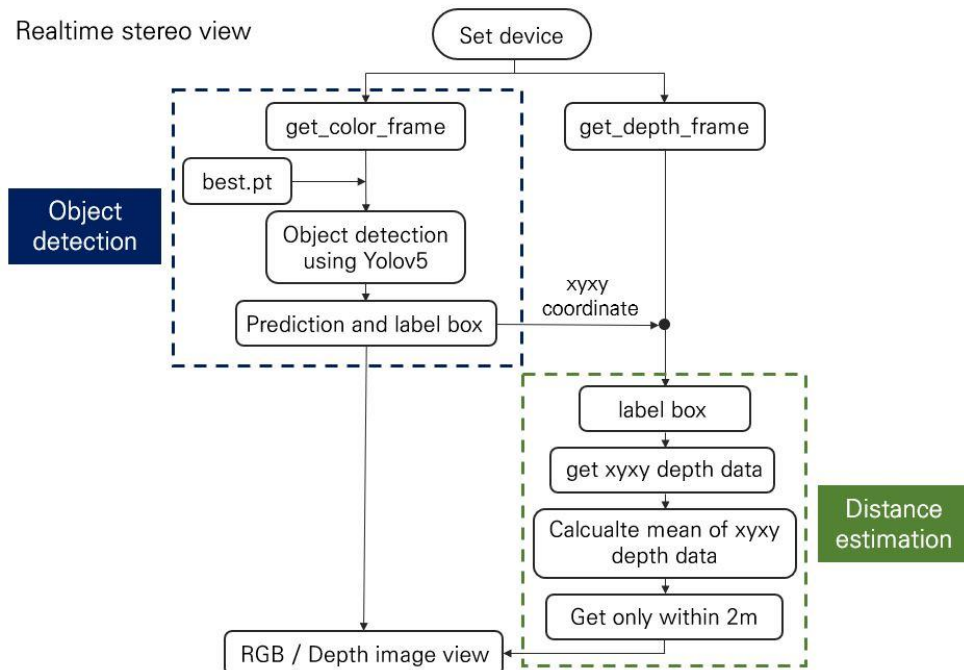
$$CIoU_Loss = 1 - CIoU = 1 - \left(IOU - \frac{Distance^2}{Distance^2 + C^2} - \frac{\nu^2}{(1 - IOU) + \nu} \right)$$

<그림9. 학습 결과 지표>

- train/box_loss에서 CIoU를 나타내며 loss 값은 거의 0에 가깝게 나타나는 것을 볼 수가 있음. CIoU는 bounding box regression을 위한 함수이며, 박스 간의 겹치는 부분, 중심점 사이의 거리, 높이 너비 비율 모두를 고려하여 페널티를 추가한 함수임
- 또한 모든 예측된 바운딩 박스들 중에서 맞은 것의 비율을 나타내는 precision과 전체 타겟 bounding box(정답 bounding box)들 중에서 우리가 맞춘 비율을 나타내는 recall은 모두 1에 가깝게 측정된 것을 볼 수 있음

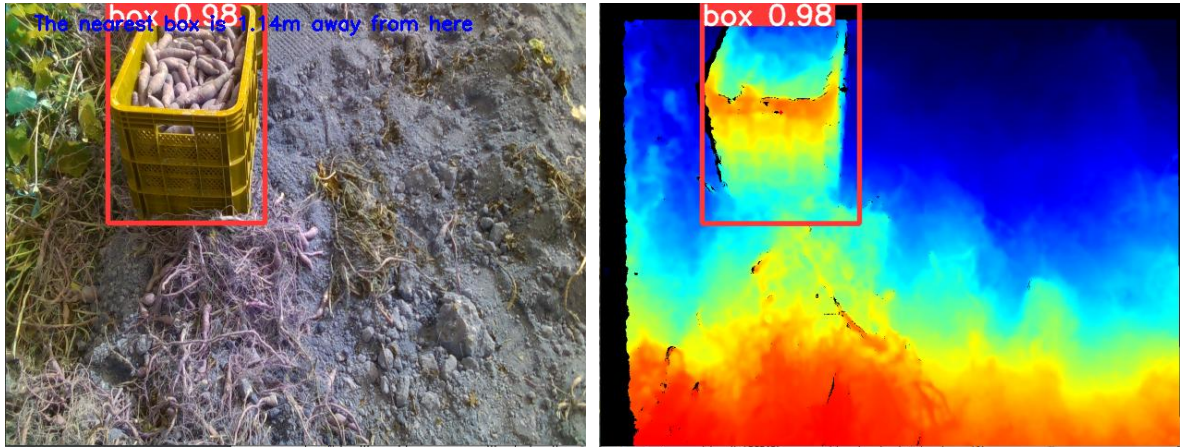
○ Depth camera를 이용한 객체 인지 및 거리 정보 추출

- 학습 모델 기반 객체 인지 및 거리 추정 순서도 및 결과



<객체 인지 및 거리 추정 순서도>

- depth camera로부터 color map과 depth map을 불러온 뒤 RGB 이미지에서 미리 학습시켜놓은 우리 모델을 이용하여 객체 인식 단계를 진행함. classification과 localization을 진행하고 바운딩 박스의 왼쪽 위 끝점인(x1, y1) 좌표와 오른쪽 아래 끝점 (x2, y2) 좌표를 depth map에 불러옴
- 그다음 각각의 좌표에 해당하는 거리 정보의 평균값을 구해 그 객체와 거리를 추정할 수 있음



<depth camera의 RGB-depth map view>

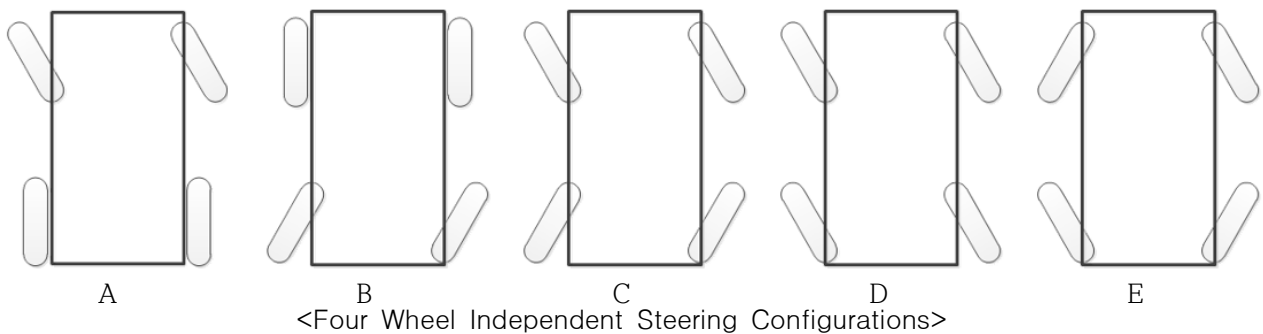
- 많은 인지된 박스의 거리값 중에 2m 이내로 들어오는 값들만 받고 그 중의 가장 작은 값을 “The nearest box is {}m away from here”라고 표기하였음. 사람 역시 2m 이내에서 감지되면 그 거리를 추정하여 함께 표기하는 시스템을 개발함

(3) 4륜 독립 전기구동 기반의 자율주행 알고리즘 개발

○ 4륜 독립 구동 로봇 자율주행 알고리즘에 관한 선행 연구 조사

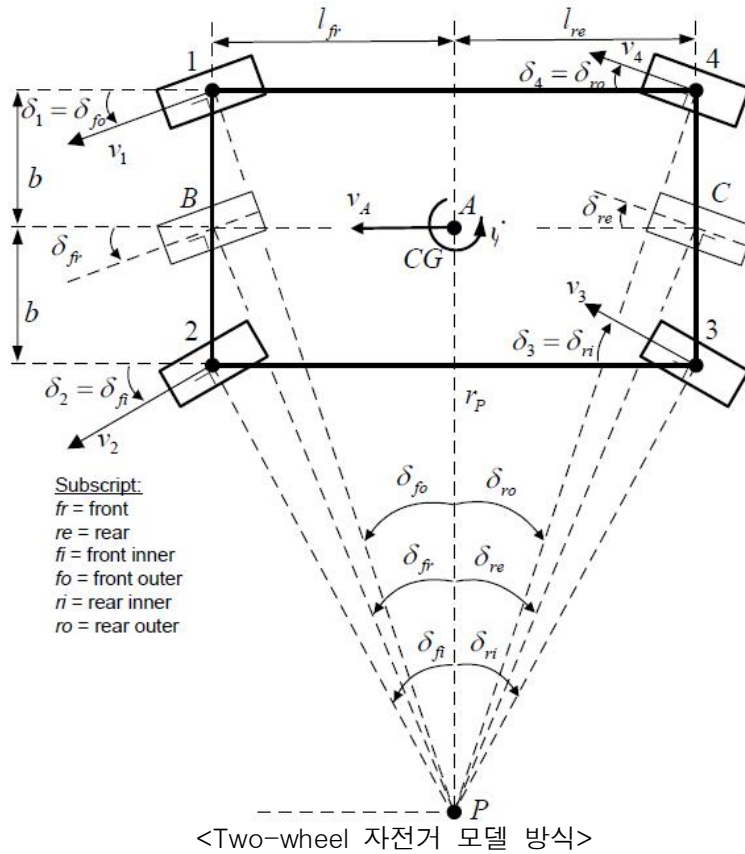
- 4륜 독립 조향 플랫폼의 5가지 작동

- 모드 A에서는 두 개의 앞바퀴만 조향할 수 있고 둘 다 같은 각도로 조향할 수 있음. 이 모드는 자동차의 일반적인 구성을 나타냄
- 모드 B에서는 두 개의 뒷바퀴만 조향할 수 있고 둘 다 같은 각도로 조향할 수 있음. 이 모드는 일반적으로 지게차에 사용됨
- 모드 C에서 두 개의 앞바퀴는 같은 각도로 조향할 수 있으며 두 개의 뒷바퀴는 앞바퀴의 반대 각도로 조향 됨. 이 모드는 일반적으로 대형 트럭이나 트레일러에 사용됨
- 모드 D에서는 모든 바퀴가 동일한 각도로 조향하므로 좁은 공간에서 더 나은 기동성을 제공함
- 모드 E에서는 모든 바퀴가 다른 각도로 조종되므로 로봇이 위치를 변경하지 않고 방향을 변경할 수 있음



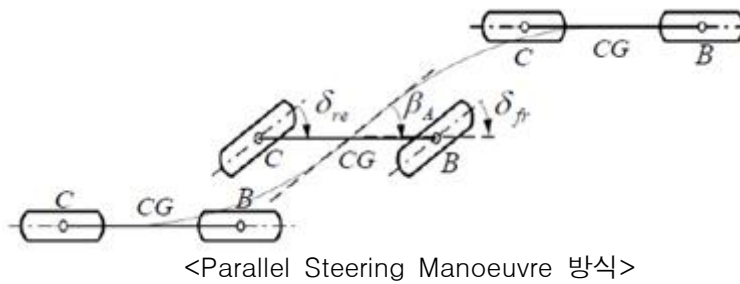
- Two wheel 기구학 모델 방식 특징

- 4륜 독립 조향 장치의 기구학은 자전거 모델을 사용하여 해결할 수 있음. 이는 정상적인 주행 조건에서 차량 움직임을 잘 포착하기 때문임
- 무게 중심(CG)은 글로벌 기준 좌표계에서 로봇의 위치를 나타내고 v_A 는 속도를 나타냄
- 각 바퀴 조향각은 $\delta_{1,2,3,4}$ 로 표시되지만, 자전거 표현을 사용할 때 δ_1 과 δ_2 는 δ_r 로 단순화되고, δ_3 및 δ_4 는 δ_{re} 로 단순화됨
- 이전 연구에서 Setiawan, Y.D., Nguyen, T.H., Pratama, P.S. et al. 4륜 독립 조향 자동 안내 차량의 경로 추적 컨트롤러 설계. 국제 J. 제어 자동화. 시스템 14, 1550-1560(2016) 다음과 같은 분석이 수행되었음



- Parallel Steering Manoeuvre 기구학 모델 방식 특징

- 모든 바퀴는 동일한 각도로 조향하므로 하나의 조향 각도와 하나의 속도만 계산된 다음 나머지 바퀴에 대해 복제됨
- 이 방식은 β_A 로 표시된 측면 슬립 각도가 존재하며 바퀴 방향과 로봇의 실제 속도 벡터 사이의 각도로 정의됨



- Parallel Steering Manoeuvre 기구학 모델 방식의 제어

- 컨트롤러는 선형 속도 $v_R(t)$, 각속도 ψ'_R 및 측면 슬립 각속도 $\beta'_R(t)$ 를 기반으로 위치($X_R(t)$, $Y_R(t)$), 방향 $\psi_R(t)$ 및 측면 슬립 각도 $\beta_R(t)$ 를 동시에 추적하도록 설계됨
- 4WIS 로봇은 바퀴를 측면 방향으로 조정하지 않고는 옆으로 이동할 수 없기 때문에, 비 홀로노믹 제약 조건을 적용할 수 있음
- 시스템의 안정성은 Lyapunov 안정성 이론을 사용하여 확인하기 때문에 시스템을 안정적으로 만들고 주어진 기준 궤적을 추적할 수 있는 U를 찾는 것이 가능함

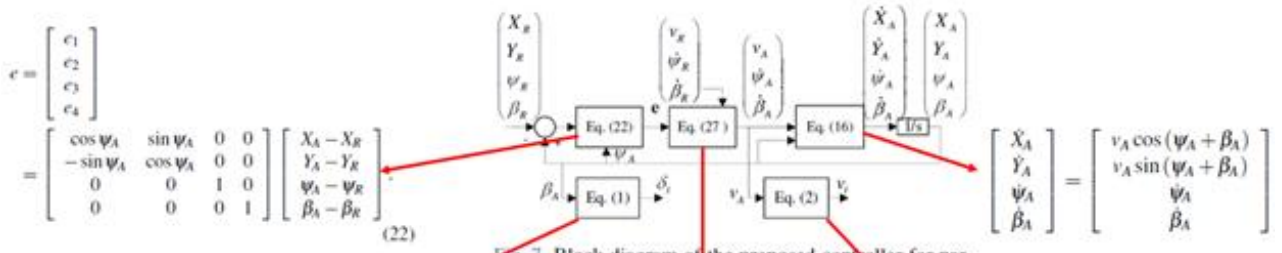


Fig. 7. Block diagram of the proposed controller for parallel steering maneuver.

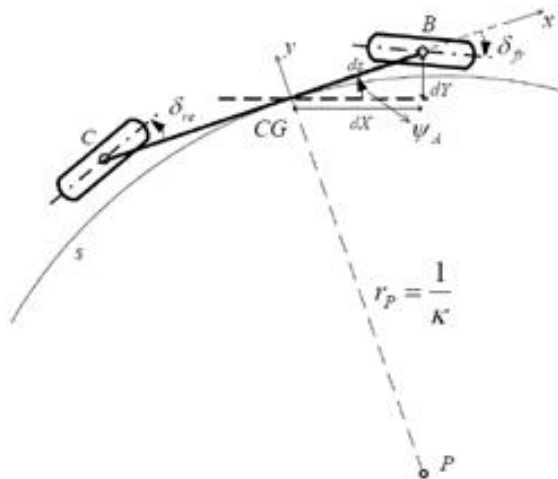
$$\delta_i = \beta_A \text{ for } i = 1, \dots, 4, fr, re. \quad (1)$$

$$U = \begin{bmatrix} v_A \\ \psi_A \\ \beta_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -k_1 e_1 + v_R \cos e_3 \\ \psi_R - e_2 k_2 v_R - k_3 \sin e_3 \\ \beta_R - k_4 e_4 \end{bmatrix}, \quad (27)$$

<Parallel Steering Controller>

- Zero Side Slip Manoeuvre 기구학 모델 방식 특징

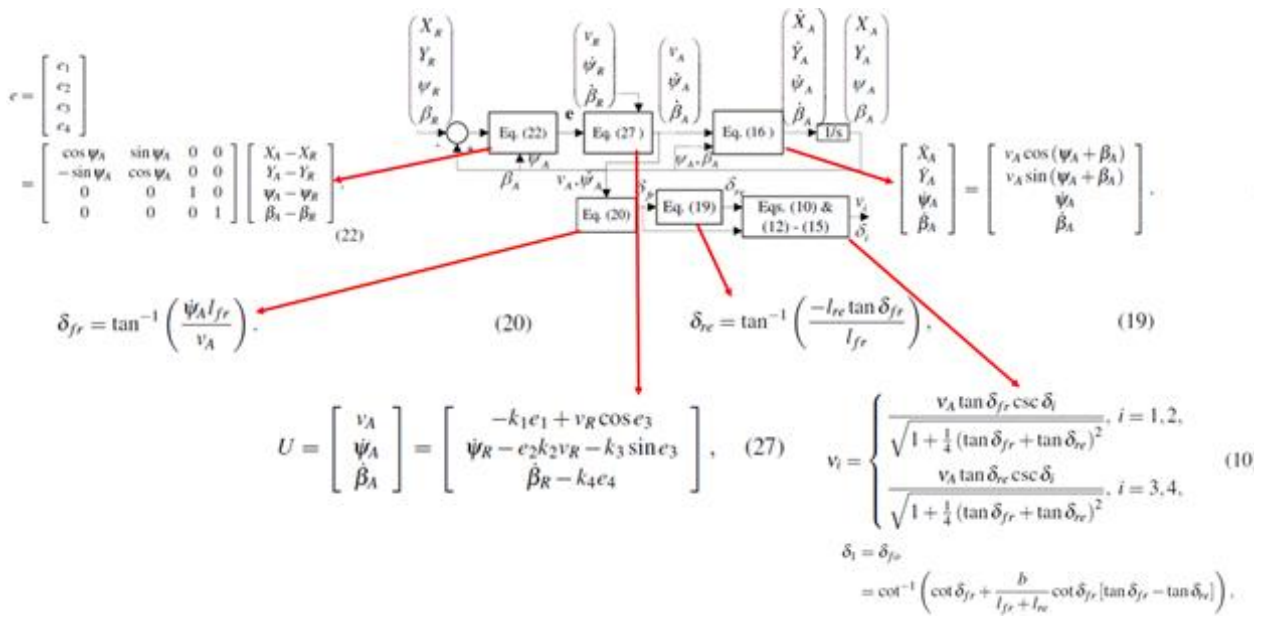
- 차체는 항상 경로에 접하기 때문에 이 기동은 차량 동작에 바람직함
- 이 조작은 차량이 움직이는 동안 차량의 측면 슬립 각도 β_A 가 0으로 유지될 때 수행됨
- 4륜 독립 조향 플랫폼은 아래 그림과 같이 최소 5가지 작동이 구성됨



<Zero Side Slip Manoeuvre>

- Zero Side Slip Manoeuvre 방식의 제어

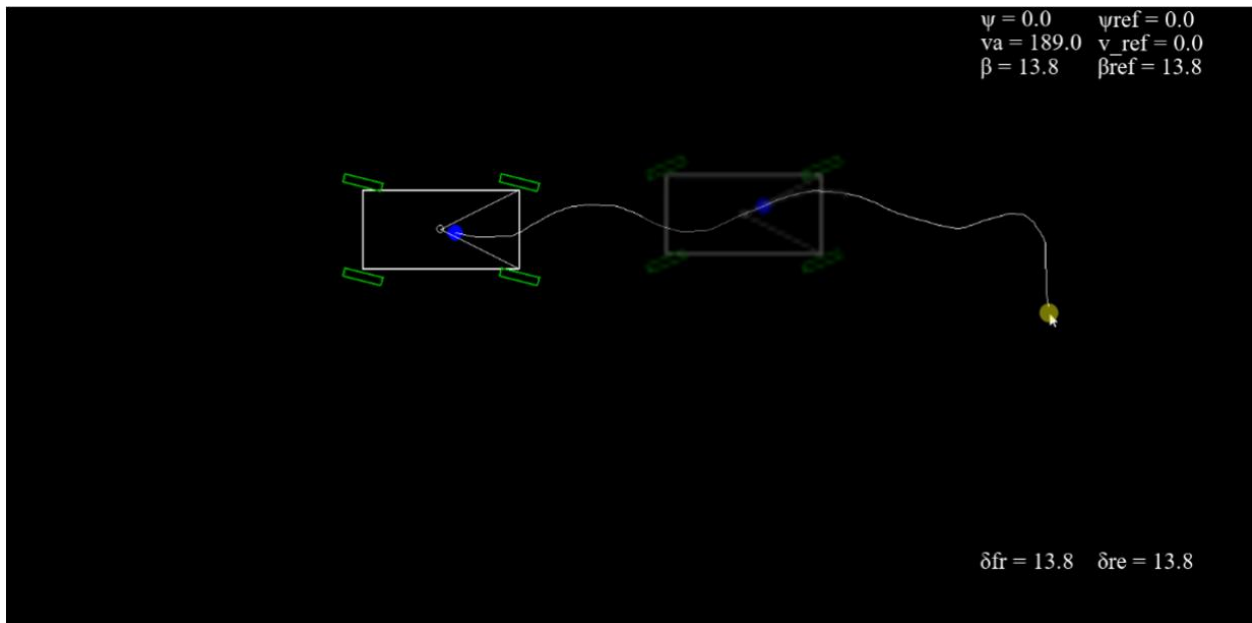
- Parallel Steering Manoeuvre 제어기 방식과 유사하지만 휠 속도와 조향 각도를 찾기 위한 조작 방정식은 아래 그림과 같이 다름



<Zero Slide Slip Steering Controller>

- Parallel Steering Controller 시뮬레이션

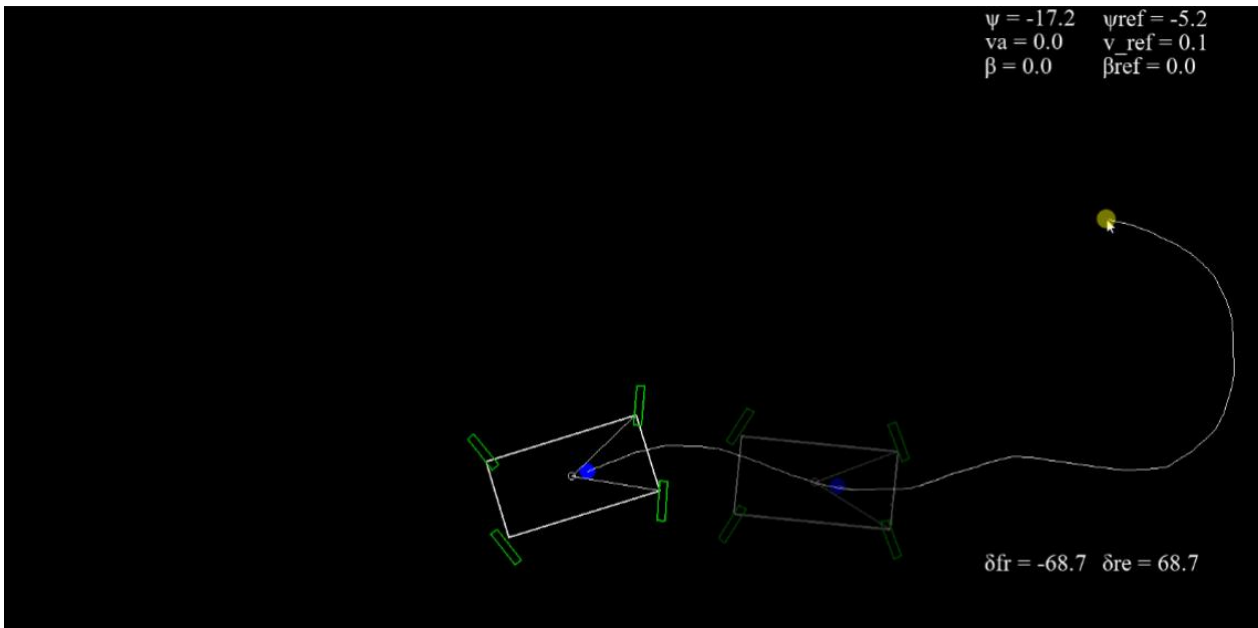
- 자율주행 알고리즘 구축, 테스트, 변경이 쉬운 애자일 방식의 시뮬레이션 환경 구축. Python으로 제어 알고리즘을 구축하고 시각화 인터페이스는 Pygame라이러리를 사용함
- Parallel Steering Controller 구현 및 시뮬레이션 실시
- 화면에서 마우스의 위치를 캡처하여 기준경로를 생성한 후 좌표를 로봇 기준 좌표계로 변환함
- 컨트롤러에서 최적의 각도와 속도를 계산하여 직선, 곡선, 예각의 오차 없이 생성된 경로를 따라갈 수 있었음



<Parallel Steering Simulator Test>

- Zero Slide Slip Steering Controller 시뮬레이션

- Zero Slide Slip Steering Controller 구현 및 시뮬레이션 실시
- Zero Slide Slip Steering Controller는 직선, 곡선 및 날카로운 각도에서 오류 없이 궤적을 따를 수 있었음. 그러나 컨트롤러 응답이 즉각적이어서 역학이 충분히 정확하지 않았음
- 다양한 알고리즘을 매우 빠르고 효율적으로 프로그래밍하고 테스트할 수 있음에도 불구하고 시뮬레이션은 마찰이나 기계적 제약을 고려하지 않으며 물리적 엔진이 없으므로 시뮬레이션이 너무 이상적이었고 실제 실험의 성능이 정확하지 않았음



<Zero Slide Slip Steering Simulator Test>

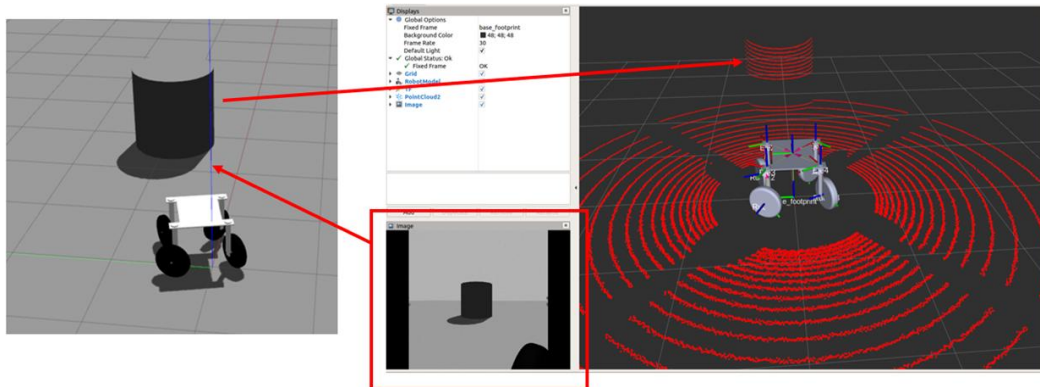
○ Gazebo 시뮬레이터 환경을 이용한 4륜 독립 구동 로봇 자율주행 알고리즘 개발

- 4륜 독립 구동 로봇 자율주행 알고리즘 개발을 위한 Gazebo 시뮬레이터 구축
 - 애자일 방식의 시뮬레이션의 단점을 극복하기 위해 ROS 연동 기반 Gazebo 시뮬레이션 환경 구축.
 - Gazebo는 물리적 엔진, 중력을 포함하는 3D 오픈 소스 로봇 공학 시뮬레이터이며 완전히 사용자 지정할 수 있음
 - Gazebo 시뮬레이션 가상공간에서 덤스 카메라, RGB 카메라, IMU, GPS, Lidar 및 자력계와 같은 가상 센서를 구현할 수 있는 환경임
 - ROS의 Topic 또는 Service 통한 ROS와 Gazebo 간의 지속적인 커뮤니케이션을 통해 다양한 지형을 테스트하고, 기계적 제약 조건을 추가하고, 다양한 마찰 계수를 사용하고, 필요한 만큼 많은 센서를 생성하므로 시뮬레이션 테스트 환경의 사실성이 높일 수 있음



<ROS-Gazebo Implementation Diagram>

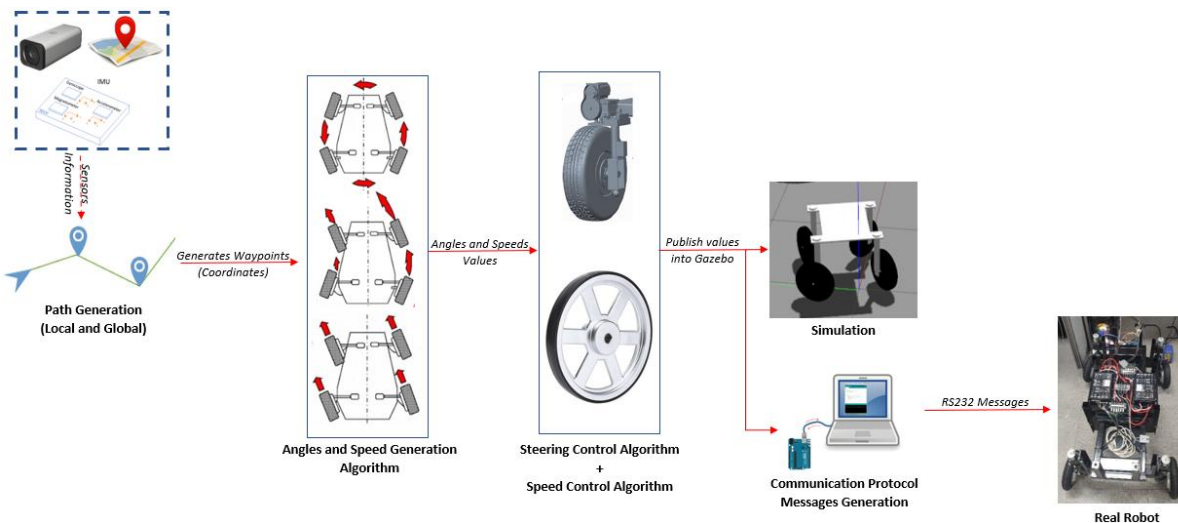
- 4륜 독립 구동 로봇 자율주행 알고리즘에 필요한 센서 구현
 - RGB-D 카메라, IMU, GPS 센서를 구현하기 위해 Hector C++ 라이브러리를 사용했으며 플러그인을 모듈로 나누어 urdf 모델 파일에 추가함
 - ROS launch 파일을 통해 각 센서에 대해 서로 다른 물리적 매개변수를 설정함
 - ROS에서 제공하는 Rviz Visualizer는 센서를 통해 얻은 정보를 처리하고 표시하는 데 사용함. 예시로 아래 이미지(우측)와 같이 라이다 센서는 로봇 앞의 원통형 장애물을 식별하고 RGB 카메라는 물체를 표시함



<Lidar and Camera Modules Simulation Example>

- 4륜 독립 구동 로봇 자율주행 알고리즘 제안

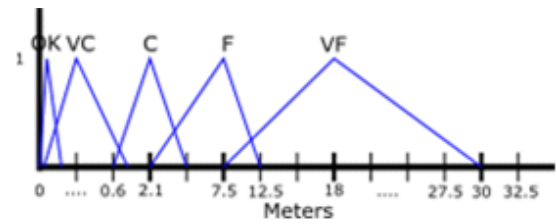
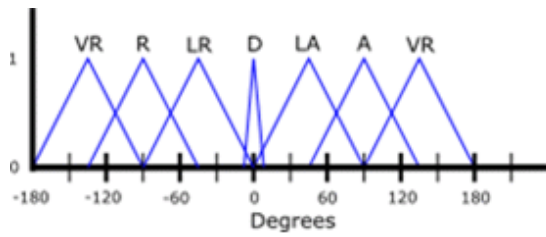
- 첫 번째 단계에서는 순수 추적 알고리즘을 사용하여 센서(IMU, GPS, 카메라)에서 정보를 검색하고 경로를 생성함
- 두 번째 단계에서 퍼지 컨트롤러는 작동 구성이 주어진 각 휠에 대해 최상의 각도와 속도를 계산함
- 세 번째 단계에서 휠과 조향 축은 각 모터(4개의 조향 모터 및 4개의 인휠 모터)에 대한 PID 컨트롤러를 사용하여 동기화됨
- 마지막 단계에서는 이미 생성된 값을 Gazebo 시뮬레이터로 전송함과 동시에 해당 값을 통신 프로토콜에 따라 유효한 명령으로 변환하여 실제 로봇에 전송함



<Proposed Algorithm Diagram>

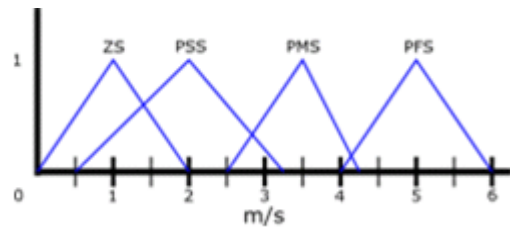
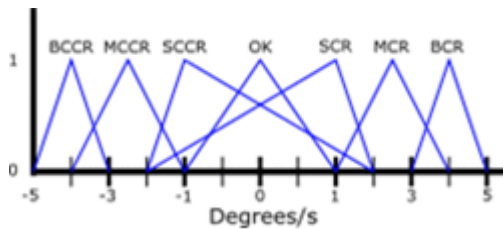
- 4륜 독립 구동 제어를 위한 Fuzzy Logic Controller 구현

- 퍼지 로직 컨트롤러는 퍼지화, 규칙 실행, 역퍼지화의 세 가지 프로세스로 구성됩니다. 퍼지화 과정에서 선명한 입력은 멤버십 함수를 활용하여 퍼지 변수로 변환됨
- 제안한 알고리즘에는 고려해야 할 2개의 입력 변수가 있음. 첫 번째는 조향각도이고 두 번째는 목표 점으로부터의 거리임. 두 경우 모두 삼각형 멤버십 함수가 퍼지 매핑에 사용됨
- 조향각도에 대해 7개의 입력 언어 변수가 사용됨. 매우 지체됨(VR), 지체됨(R), 약간 지체됨(LR), 직접(D), 미리 약간(VA), 앞서서(A), 매우 앞서서(VA)
- 한편 거리에 대해 5개의 입력 언어 변수를 사용함. O.K. (OK), 매우 가까운 (VC), 가까운 (C), 먼 (F) 및 매우 먼 (VF)



<Input Linguistic Variable>

- 제안된 알고리즘에는 2개의 출력 변수가 고려되는데, 첫 번째는 조향 속도이고 두 번째는 로봇의 속도임. 두 경우 모두 삼각형 멤버십 함수가 퍼지 매핑에 사용됨
- 조향 속도 출력의 경우 8개의 crisp 출력이 사용됨. BCCR(Big Counter Clock Rotation), MCCR(Medium Counter Clock Rotation), SCCR(Small Counter Clock Rotation), O.K. (OK), 작은 클럭 회전(SCR), 중간 클럭 회전(MCR) 및 큰 클럭 회전(BCR)
- 로봇 속도 출력의 경우 4가지 crisp 출력이 사용됨. Zero Speed(ZS), PSS(Positive Slow Speed), PMS(Positive Medium Speed) 및 PFS(Positive Fast Speed)



<Output Linguistic Variables>

- 퍼지 시스템의 규칙은 변수 사이에 존재하는 상호 작용 및 관계를 나타내고 모델링할 수 있어 시스템에 더 많은 규칙이 추가될수록 좋은 성능의 결과가 나타남
- 퍼지 시스템 컨트롤러를 이용한 자율주행 알고리즘에서는 속도보다 정확성을 강조하는 42가지 규칙이 제안됨. 즉, 로봇은 이동하기 전에 먼저 각 바퀴에서 올바른 조향 각도를 설정함
- 전체 컨트롤러는 Ubuntu 18.04의 단일 ROS 노드에서 python 2.7을 사용하여 프로그래밍함

```
# 5 Rules
system.add_rule({'distance': 'VF', 'angle': 'D'}, {'speed': 'PFS'})
system.add_rule({'distance': 'F', 'angle': 'D'}, {'speed': 'PMS'})
system.add_rule({'distance': 'C', 'angle': 'D'}, {'speed': 'PSS'})
system.add_rule({'distance': 'VC', 'angle': 'D'}, {'speed': 'PSS'})
system.add_rule({'distance': 'OK', 'angle': 'D'}, {'speed': 'ZS'})

# 5 Rules
system.add_rule({'distance': 'VF', 'angle': 'I'}, {'speed': 'PMS'})
system.add_rule({'distance': 'F', 'angle': 'I'}, {'speed': 'PMS'})
system.add_rule({'distance': 'C', 'angle': 'I'}, {'speed': 'PSS'})
system.add_rule({'distance': 'VC', 'angle': 'I'}, {'speed': 'PSS'})
system.add_rule({'distance': 'OK', 'angle': 'I'}, {'speed': 'ZS'})

# 24 Rules
system.add_rule({'distance': 'VF', 'angle': 'VR'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'VF', 'angle': 'R'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'VF', 'angle': 'LR'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'VF', 'angle': 'LA'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'VF', 'angle': 'A'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'VF', 'angle': 'VA'}, {'speed': 'ZS'})

system.add_rule({'distance': 'F', 'angle': 'VR'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'F', 'angle': 'R'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'F', 'angle': 'LR'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'F', 'angle': 'LA'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'F', 'angle': 'A'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'F', 'angle': 'VA'}, {'speed': 'ZS'})
```

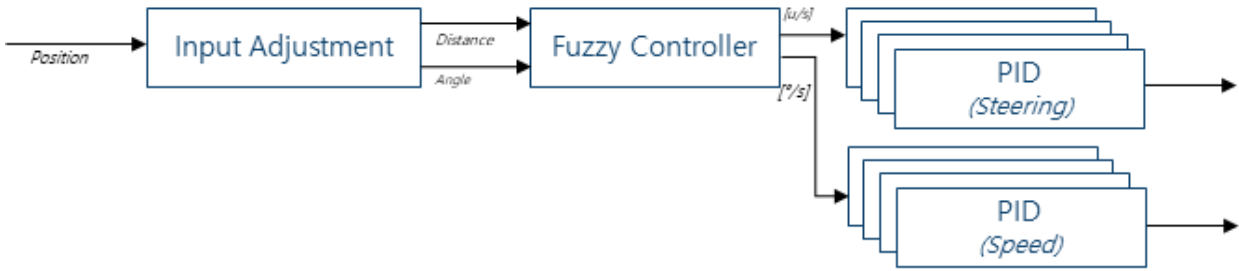
```
system.add_rule({'distance': 'C', 'angle': 'VR'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'C', 'angle': 'R'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'C', 'angle': 'LR'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'C', 'angle': 'LA'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'C', 'angle': 'A'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'C', 'angle': 'VA'}, {'speed': 'ZS'})

system.add_rule({'distance': 'VC', 'angle': 'VR'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'VC', 'angle': 'R'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'VC', 'angle': 'LR'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'VC', 'angle': 'LA'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'VC', 'angle': 'A'}, {'speed': 'ZS'})
system.add_rule({'distance': 'VC', 'angle': 'VA'}, {'speed': 'ZS'})

# 8 Rules
system.add_rule({'angle': 'I'}, {'turn_rate': 'OK'})
system.add_rule({'angle': 'VR'}, {'turn_rate': 'MCCR'})
system.add_rule({'angle': 'R'}, {'turn_rate': 'BCR'})
system.add_rule({'angle': 'LR'}, {'turn_rate': 'SCR'})
system.add_rule({'angle': 'D'}, {'turn_rate': 'OK'})
system.add_rule({'angle': 'LA'}, {'turn_rate': 'SCCR'})
system.add_rule({'angle': 'A'}, {'turn_rate': 'BCCR'})
system.add_rule({'angle': 'VA'}, {'turn_rate': 'MCR'})
```

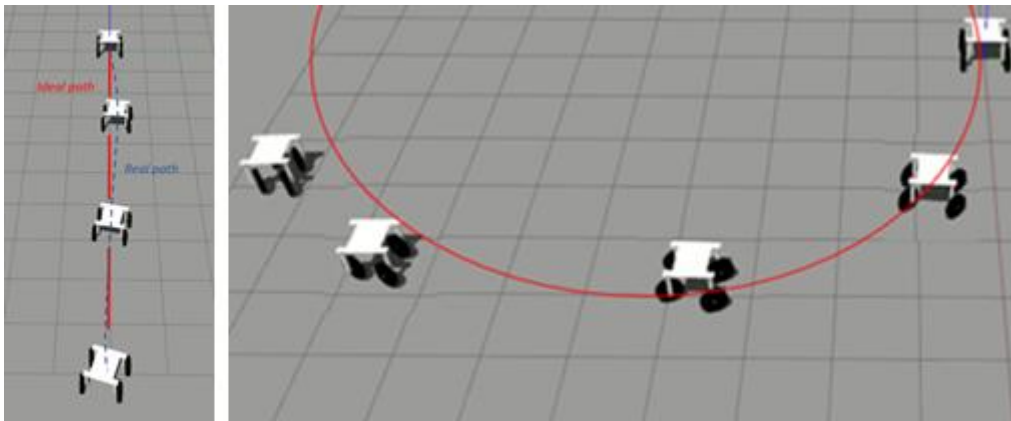
<4륜 독립 구동 자율주행을 위한 퍼지 컨트롤러 시스템 구현>

- 4륜 독립 구동 로봇 자율주행을 위한 동기화 단계 구현
 - 동기화 단계의 경우 PID 컨트롤러가 실제 인 휠 모터 컨트롤러로 선택되었으며, 실제 스테퍼 컨트롤러에는 일반적으로 속도와 위치를 제어하기 위한 내부 PID 루프가 있음
 - ROS 컨트롤러 패키지를 사용하여 PID 컨트롤러는 아래 이미지와 같이 퍼지 로직 컨트롤러에서 제공하는 입력에 따라 각 모터에 대해 설정 및 동기화함
 - 속도 컨트롤러의 경우 입력은 속도(미터/초)이고, 조향 컨트롤러의 경우 입력은 조향 속도(도/초)임



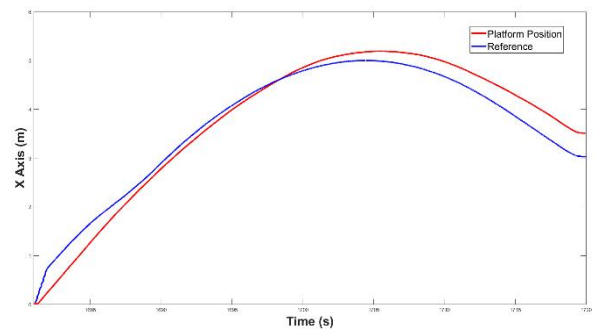
<퍼지 컨트롤러 기반 동기화 단계 구현>

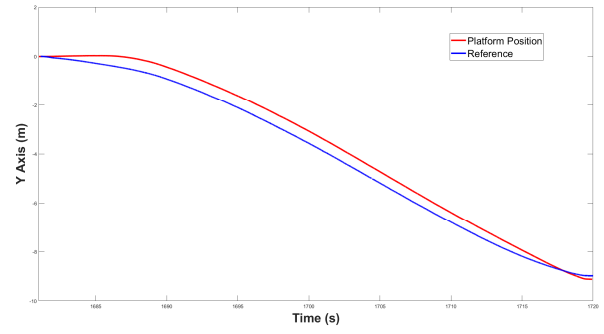
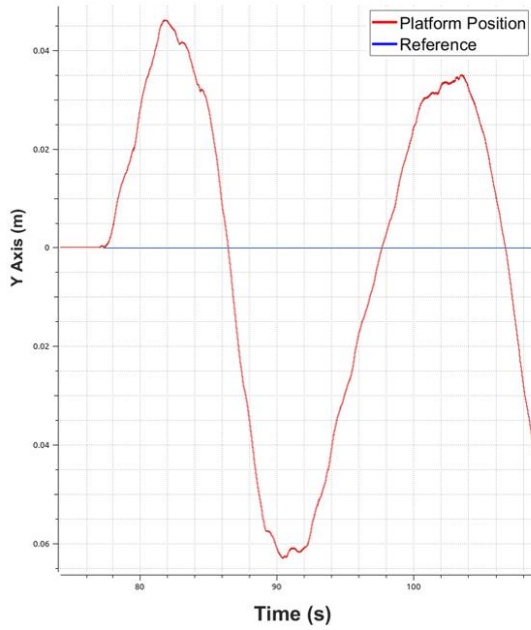
- Gazebo 시뮬레이터 기반 제안한 자율주행 알고리즘 테스트 결과
 - 제안된 컨트롤러를 테스트하기 위해 4륜 독립 플랫폼의 3D 모델을 Solidworks에서 설계한 다음 URDF 파일로 이식하여 Gazebo 시뮬레이터가 플랫폼을 로드하고 렌더링할 수 있도록 했음
 - 4륜 독립 구동 모바일 플랫폼은 길이 60cm, 너비 60cm, 높이 44cm임. 총 8개의 관절, 조향용 4개의 관절, 바퀴용 4개의 관절이 있으며 모든 바퀴가 동일함
 - 컨트롤러의 위치정확도를 확인하기 위해 두 가지 시뮬레이션을 수행함. 첫 번째 시뮬레이션에서는 플랫폼이 직선을 추종하도록 하고 (왼쪽 이미지), 두 번째 시뮬레이션에서는 플랫폼이 반원 경로를 추종하도록 함 (오른쪽 이미지)



<퍼지 컨트롤러 기반 4륜 독립 구동 모바일 플랫폼 직선 및 커브 테스트 결과>

- 두 테스트에서 우리는 미끄러운 지역과 장애물이 없는 평평한 지형을 고려함
- 직선 경로의 경우 알고리즘의 RMS 오차는 3.46cm로 최대 오차는 아래 왼쪽 그림과 같이 7cm 미만으로 나타남
- 반원 경로의 경우 알고리즘의 RMSE는 아래 오른쪽 이미지와 같이 X축에서 28.3cm, Y축에서 39.7cm로 나타남







<Straight and Curve Path Results>

(4) 작업자 추종 주행 시스템 및 알고리즘 개발 (2차년도 연구내용 선 진행)

○ 작업자 인지 시스템 구성 및 작업자 인지 알고리즘 개발

- 실시간으로 작업자 인지 하기 위한 컴퓨터 비전 및 딥러닝 기술 기반 시스템 구축

<작업자 인지 및 추종 시스템의 구성품과 사양>

Component	Specification	Photo
Depth Camera	-Depth Technology: Active IR Stereo -Depth Range: 0.1m ~ 10m -Resolution: RGB: 1920 x 1080, fps Depth: 1280 x 720, fps -Field of View: $87^{\circ} \pm 3^{\circ} \times 58^{\circ} \pm 1^{\circ}$ -Interface: USB 3.0	
Laptop	-CPU: Intel Core i7-11800H -GPU: GeForce RTX 2060 6GB GDDR6 -RAM: 16GB -OS: Linux x86_64 Ubuntu 18.04 LTS	

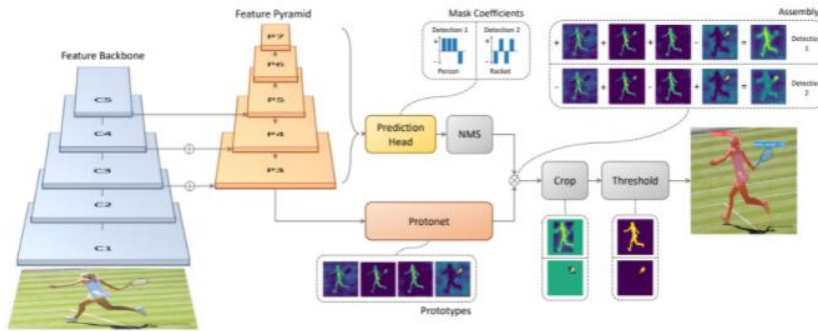
- 작업자를 인지하기 전 사람을 픽셀 단위로 얻기 위해 Semantic Image Segmentation의 모델인 YOLACT 알고리즘 사용함



<YOLACT을 이용한 사람 Segmentation 시스템>

■ YOLACT이란?

- Image Segmentation은 이미지를 픽셀 단위의 다양한 segments로 분할하는 task임
- YOLACT은 localization 단계를 생략하고 두 가지 task로 나뉨
 1. 전체 이미지에 대한 prototype mask dictionary 생성
 2. instance 마다의 linear combination coefficients 예측
 각 instance 마다 예측된 coefficients를 이용하여 prototype mask를 linear하게 합침
- 그 후, 예측된 bounding box로 crop함. 두 task를 이용하면, 네트워크 스스로 (시각적, 공간적, 의미 상으로) 비슷한 instance를 다르게 나타내는 instance mask가 잘 localize 될 수 있도록 학습됨



<YOLACT 프로세스>

- 기본 모델은 one-stage object detection 모델인 RetinaNet을 수정하여 사용하였고 feature localization step 없이 mask branch를 추가하기 위해서 instance segmentation task를 두 가지의 간단한 task로 병렬 처리함
- 위 그림을 보면 Protonet과 Prediction Head로 각각 병렬 처리되는 것을 알 수 있음
- FCN을 사용하여 instance에 의존하지 않은 image 크기의 prototype masks 생성하는 task prototype 공간에서 instance의 정보를 가진 mask coefficients를 예측하기 위한 object detection task 두 task의 결과물을 linear 하게 합쳐서 NMS를 통해 살아남은 instance의 mask를 생성한다. semantic 한 결과를 얻을 수 있는 fc layer를 통해 mask coefficients를 예측하고, spatially coherent에 탁월한 conv layer를 통해 prototype masks를 생성함. 또한 두 결과물을 합칠 때 생기는 계산량은 단순한 매트릭스 곱셈이기 때문에 빠름

Method	Backbone	FPS	Time	AP	AP ₅₀	AP ₇₅	AP _S	AP _M	AP _L
PA-Net [29]	R-50-FPN	4.7	212.8	36.6	58.0	39.3	16.3	38.1	53.1
RetinaMask [14]	R-101-FPN	6.0	166.7	34.7	55.4	36.9	14.3	36.7	50.5
FCIS [24]	R-101-CS	6.6	151.5	29.5	51.5	30.2	8.0	31.0	49.7
Mask R-CNN [18]	R-101-FPN	8.6	116.3	35.7	58.0	37.8	15.5	38.1	52.4
MS R-CNN [20]	R-101-FPN	8.6	116.3	38.3	58.8	41.5	17.8	40.4	54.4
YOLACT-550	R-101-FPN	33.5	29.8	29.8	48.5	31.2	9.9	31.3	47.7
YOLACT-400	R-101-FPN	45.3	22.1	24.9	42.0	25.4	5.0	25.3	45.0
YOLACT-550	R-50-FPN	45.0	22.2	28.2	46.6	29.2	9.2	29.3	44.8
YOLACT-550	D-53-FPN	40.7	24.6	28.7	46.8	30.0	9.5	29.6	45.5
YOLACT-700	R-101-FPN	23.4	42.7	31.2	50.6	32.8	12.1	33.3	47.1

- 위 표는 다른 Semantic Image Segmentation의 모델들과 YOLACT을 비교한 표임
- 표를 보면 다른 모델들과 달리 FPS 와 TIME 면에서 우수한 것을 볼 수 있음. 실시간으로 작업자를 빠른 시간 안에 인지해야 하므로 YOLACT을 사용하여 작업자의 인지 시스템 구축을 진행함
 - YOLACT에서 사람을 Segmentation 하기 YOLACT을 Training 해야 하는데 COCO Dataset 을 이용하여 학습하고 정확도가 가장 우수한 "yolact_base_54_800000.pth"을 사용

Image Size	Backbone	FPS	mAP	Weights	
550	Resnet50-FPN	42.5	28.2	yolact_resnet50_54_800000.pth	Mirror
550	Darknet53-FPN	40.0	28.7	yolact_darknet53_54_800000.pth	Mirror
550	Resnet101-FPN	33.5	29.8	yolact_base_54_800000.pth	Mirror

- YOLACT 알고리즘 사용 후 정확한 작업자의 특징을 얻기 위해 사람 외에 class들 및 배경을 OpenCV의 GrabCut 알고리즘 사용

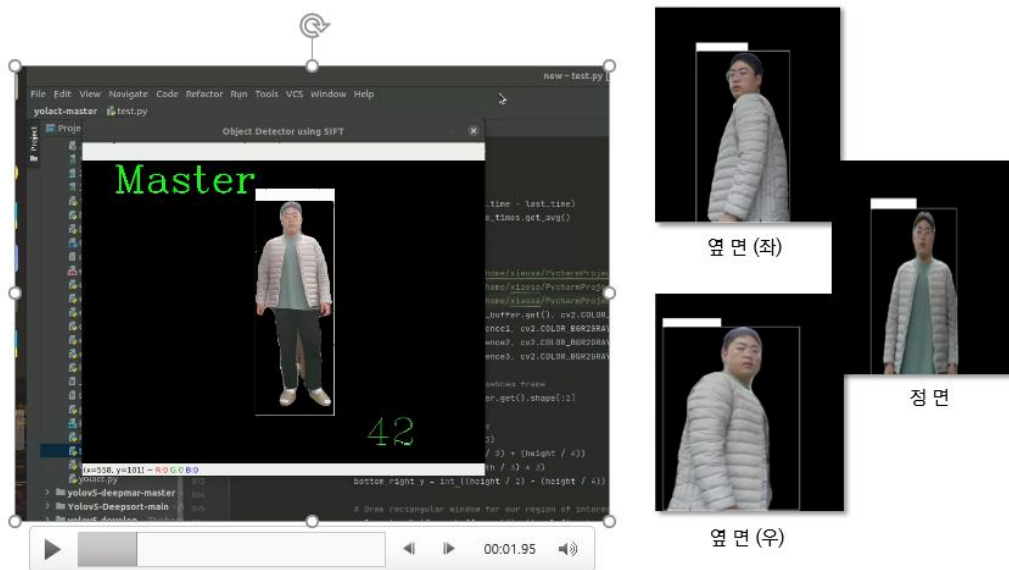


<GrabCut을 이용한 Background Extraction 시스템>

- 사람만을 Segmentation 진행 후 이후에 사용할 SIFT 알고리즘을 위해 배경을 제거하는 GrabCut 알고리즘을 적용하였습니다. 농업 환경에서 배경에서 얻을 수 있는 특징들이 많아서 사람 외에 값을 0으로 코드를 진행하였음

■ GrabCut 이란?

- 그래프 컷(graph cut)기반 영역 분할 알고리즘이다. 그래프 알고리즘에서 사용되는 최소화한 컷 알고리즘을 이용해서 영역을 분할하여 객체와 배경을 구분함
- 사람 외에 class 들과 배경을 제거한 후 작업자의 특징을 얻기 위해 OpenCV의 SIFT 알고리즘을 사용 후 작업자의 정면, 좌(우)측면을 실시간으로 이미지를 얻은 후 실시간 카메라와 매칭함

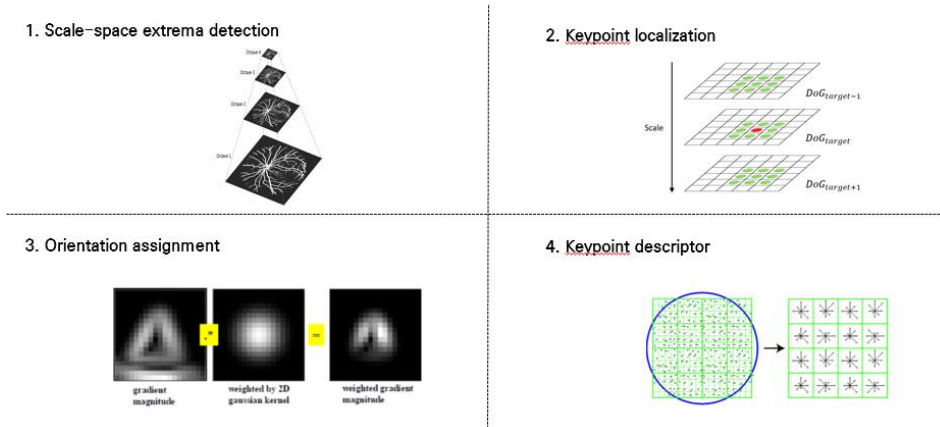


<SIFT 알고리즘을 사용해 매칭 후 작업자 식별 시스템>

■ SIFT 이란?

- 이미지의 크기 및 회전에 영향을 받지 않는 특징점을 추출하는 알고리즘임
- 총 4단계로 진행함

4 단계

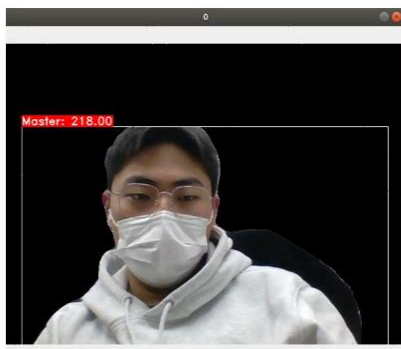


<SIFT 알고리즘의 진행 단계>

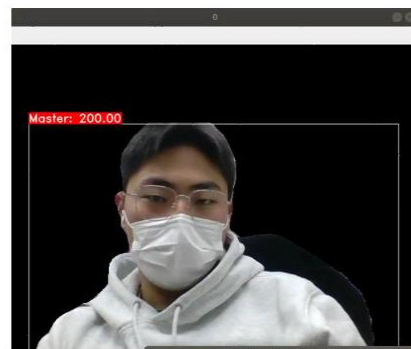
- 이미지의 특성을 매칭하기 위해 Brute-Force 매칭 방법을 활용. 이 방법은 각 이미지에서 검출한 특성들을 전수 조사하여 매칭하는 방법이므로 이미지 사이즈가 크게 되면 성능적인 문제가 발생할 수 있음
- FLANN은 Fast Library for Approximate Nearest Neighbors의 약자로 큰 이미지에서 특성들을 매칭할 때 성능을 최적화된 라이브러리 모음임. FLANN 매칭은 큰 이미지에 대해 BF 매칭에 보다 빠르게 동작함

```
>>> FLANN_INDEX_KDTREE = 0
>>> index_params = dict(algorithm=FLANN_INDEX_KDTREE, trees=5)
>>> search_params = dict(checks=50)
```

- 위 코드는 이미지 특성 매칭을 위해 SIFT를 활용하는 경우임
- FLANN 기반 매칭을 위해 두 개의 사전 자료형의 인자가 필요한데, 하나는 indexParams이고, 나머지 하나는 searchParams임
- 여기서 searchParams는 특성 매칭을 위한 반복 횟수임. 이 값이 커지면 보다 정확한 결괏값이 나오지만, 속도는 느려짐. 그래서 실시간 작업자 매칭을 위해 더 좋은 값을 설정하기 위해 실험을 진행하였음



<Checks = 50일 때>



<Checks = 100일 때>

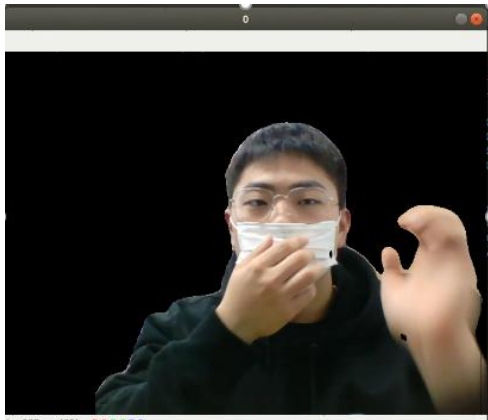
<FLANN_INDEX = 0일 때 Checks>

FLANN_INDEX = 1	Checks = 50	Checks = 100
최소 매칭	255	220
최대 매칭	187	198
매칭 평균	221.8	205.5

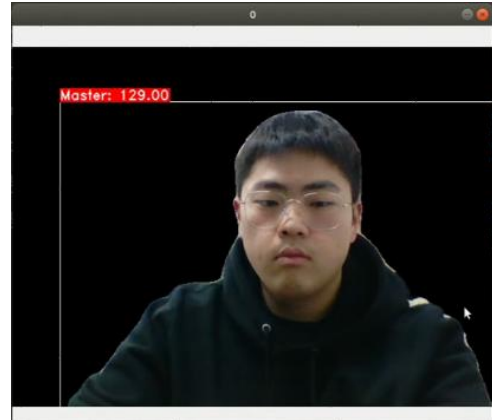
<FLANN_INDEX = 1일 때 Checks>

FLANN_INDEX = 0	Checks = 50	Checks = 100
최소 매칭	194	104
최대 매칭	242	202
매칭 평균	216.8	170.4

- 이 실험을 통해 INDEX가 1이고 Checks가 50일 때 실시간으로 matching 하는 matching feature의 개수 평균이 가장 좋았으므로 향후 진행되는 모든 프로그램의 setting을 INDEX=1과 Checks 50으로 설정함
- 매칭 결과가 가장 우수한 사람을 작업자로 식별하고 작업자만 boxing 함

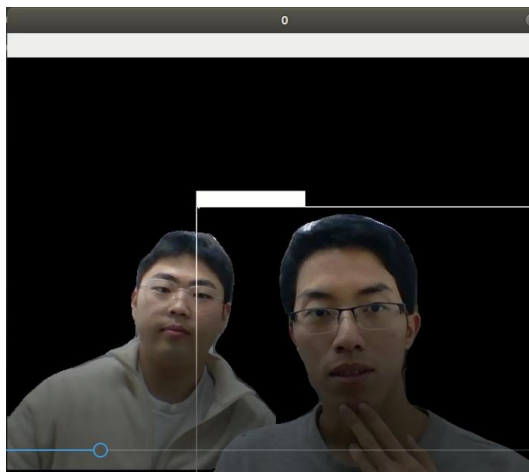


<매칭을 통해 작업자라고 인식할 때>



<매칭을 통해 작업자라고 인식 못 할 때>

- 매칭 결과 threshold 점수가 작업자로 분류하기에 알맞은 점수 이상이면 작업자(Master)로 설정하도록 코딩함
- 매칭 결과 threshold 점수가 작업자로 분류하기에 알맞은 점수 이하면 Boxing을 제거해 구분함
- 작업자 구분(Master Identification)이 끝나면 작업자만을 식별하는 코드 진행



<작업자만 식별하는 코드>

■ DeepSort 이란?

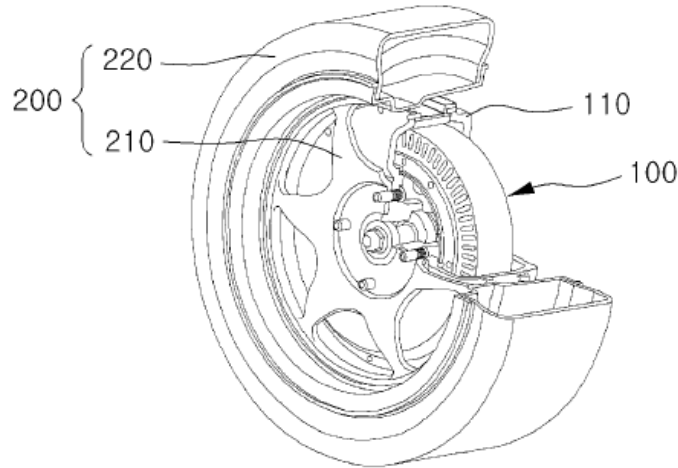
- Kalman Filter, Hungarian Algorithm 그리고 Feature Vector를 SORT와 합친 것이 DeepSort임
- Kalman Filter는 이전 프레임에 등장한 개체를 이용하여 다음 프레임의 개체의 위치를 예측하고 측정함
- Hungarian Algorithm은 최적의 매칭을 찾는 알고리즘으로 할당 문제 (Assignment problem)의 해결 방법의 하나임
- SORT는 실시간 추적을 위해 object 들을 효율적으로 연관 지어주는 다중 객체 추적(MOT)임. 이러한 알고리즘들이 합쳐져 DeepSort 알고리즘이고 객체 추적 프레임 워크 중 가장 널리 사용되고 있음

나. 위탁연구개발기관(충남대학교)

(1) 구동 모터, 감속기 등을 포함한 전기구동 플랫폼 설계

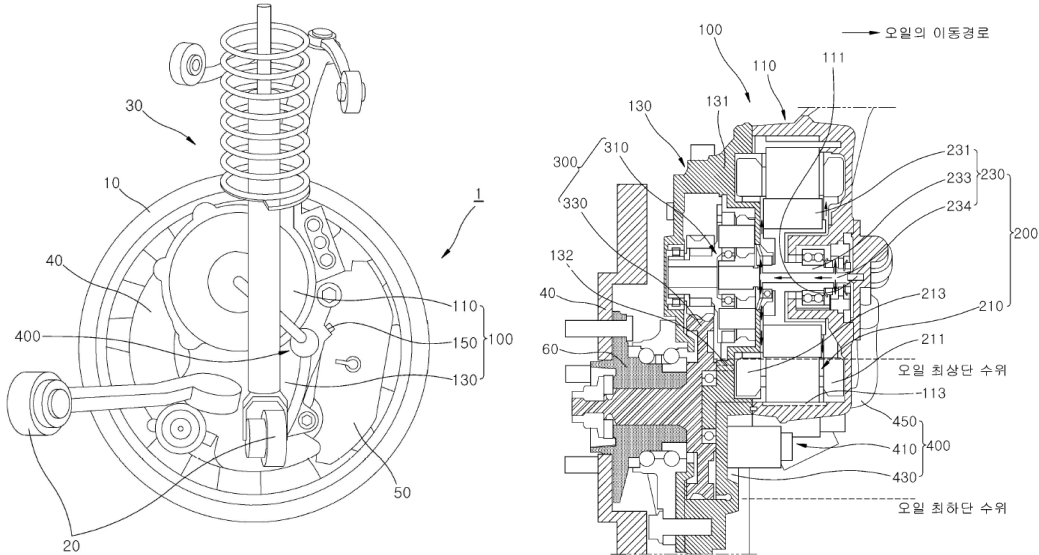
○ 4륜 독립 전기구동 플랫폼 설계를 위한 관련 특허 조사

- 차량용 인휠 모터(자동차부품연구원, 10-2011-0095667, 특허청)는 주행 때 바퀴내로 유입되는 공기를 이용하여 보다 효율적으로 인휠 모터의 냉각이 되도록 하는 하우징 구조에 대하여 제시하였음



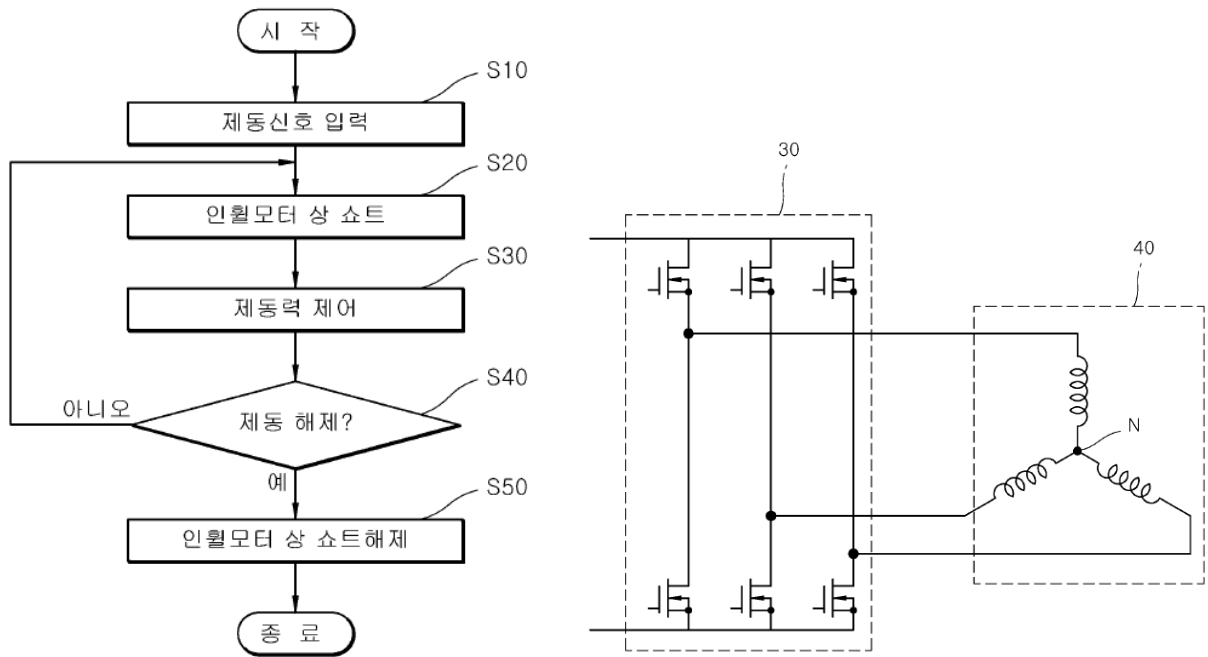
<차량용 인휠 모터의 구조(자동차부품연구원, 10-2011-0095667, 특허청)>

- 인휠모터 장치(현대모비스, 10-2019-0030857, 특허청)는 하우징부에 수용된 오일을 인휠모터부의 로터축부에 공급하여 오일이 주변 장치에 원활히 공급되어 냉각 성능을 향상시키는 효과를 가짐



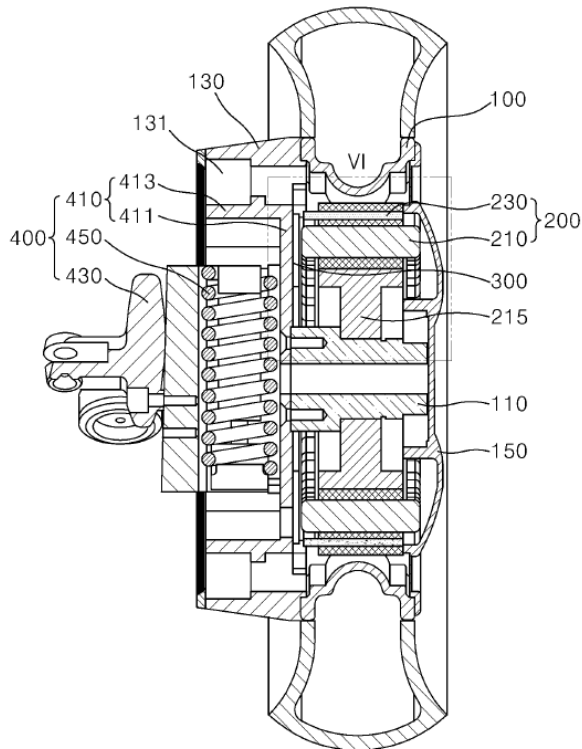
<인휠모터 장치의 구조(현대모비스, 10-2019-0030857, 특허청)>

- 인휠 시스템의 인휠모터 구동장치 및 그 제어방법(현대모비스, 10-2019-0090309, 특허청)은 제동 신호가 입력될 경우 별도의 전류를 인가하지 않고 인휠모터의 상을 쇼트시킴으로써 역기전력으로 인휠모터를 구동하여 에너지 효율을 향상시키고 연비를 향상시킬 수 있음



<인휠 모터 제어 알고리즘(좌) 및 인휠 모터 전기 회로도(현대모비스, 10-2019-0090309, 특허청)>

- 인휠모터 구동장치(엘지전자, 10-2016254, 특허청)는 서스펜션 하우징과 샤프트를 분리시키고, 서로 다른 재질을 사용함으로써 무게를 경량화시키고 주행 중 노면으로부터 가해지는 충격을 완충 및 흡수하는 효과를 가짐



<인휠모터 구동장치의 구조(엘지전자, 10-2016254, 특허청)>

○ 4륜 독립 전기구동 플랫폼 설계를 위한 선행 자료 및 기술동향 조사

- John deere社は SESAM (Sustainable Energy Supply for Agricultural Machinery) 트랙터 개발 이후 케이블을 통해 지속적으로 전력 공급이 가능한 GridCON tractor를 개발하였으며, 전·후륜을 독립적으로 구동 가능한 시스템을 채택하여 견인 및 작업 성능을 개선하였음



<John deere 社の Plug-in 타입 전기구동 트랙터(GridCON)>

- SOLECTRAC 社は 소형 마력급 트랙터의 디젤 엔진을 모터 및 배터리로 변경한 CET (Compact electric tractor)를 출시 예정 중에 있으며, 4WD 시스템을 적용하여 견인효율 및 작업 성능 향상에 관한 연구를 수행 중에 있음



<SOLETRAC 社の 전기구동 트랙터(CET)>

- Caterpillar 社は 도저의 변속기를 대용량 모터로 대체하는 등 고효율 전기구동 건설기계를 출시하고 있으며, D6 XE 모델은 연료 소비량을 최대 35%까지 절약 가능함



<Caterpillar 社の 전기구동 도저(D6 XE)>

- Hilectro 社は AWD 시스템을 적용한 작업용 차량을 개발하여 오프로드 조건에서 선회 반경을 감소시켰으며, 저소음 전기 모터를 통해 작업 환경을 크게 개선하였음



<Hilectro 社の 독립구동 모터 기반의 전기구동 작업 차량>

- 대동공업 社は 4개의 바퀴를 동시에 제어하는 다목적 전기 운반차를 이용하여 험로탈출 상황에서 보다 우수한 성능을 확보하였음



<대동공업 社の 4륜 독립구동 다목적 전기 운반차>

- 한국생산기술연구원은 E-4WD (4 wheel drive) 기술을 적용한 전기구동 플랫폼을 개발하였으며, 독립 구동을 통해 비선형적 특성을 최적화 할 수 있어 효율이 높고 주행거리가 긴 전기 자동차 개발을 위한 기초 트랙션 시스템으로 활용 가능함



<한국생산기술연구원의 E-4WD 플랫폼>

- 현대모비스 社は 차량 바퀴 내부에 구동모터를 장착해 독립적으로 구동하는 시스템인 e-Corner모듈을 개발하고 있고 이를 통하여 안정적인 코너링이 가능하고 동력전달 과정에서 낭비되는 에너지가 없어 연비 개선 효과가 큼



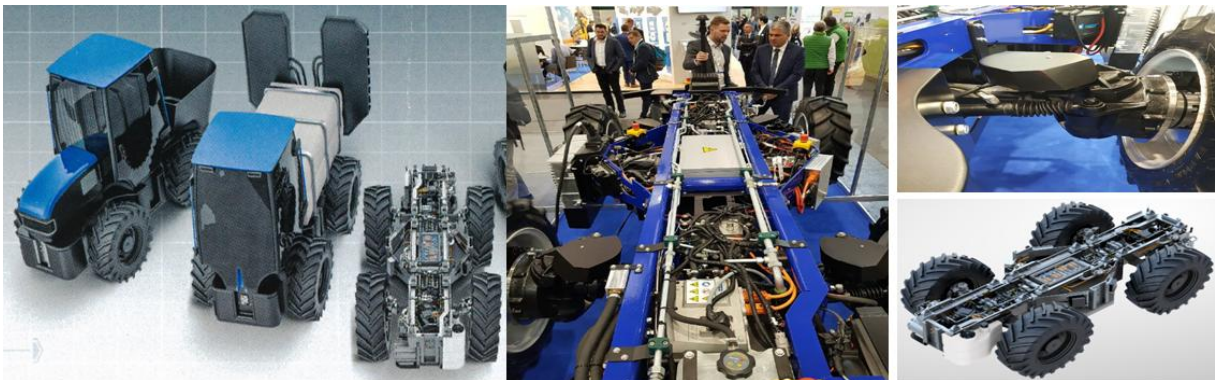
<현대모비스 社の 전기모터 기반 독립 구동 시스템 (e-Corner 모듈)>

- 모헤닉모터스 社は 전기 자동차에 관한 연구가 활발히 진행 중이며, 특히 인휠 모터 시스템을 통하여 선회 시 외륜만을 능동적으로 조타하여 차량의 선회성능을 향상시킬 수 있으며, 주행 환경 대응에 탁월한 장점이 있음



<모헤닉모터스 社の 인휠모터 시스템 적용 차량>

- AVL 社は 다목적 플랫폼으로 활용 가능한 e-Tractor를 개발하였으며, 전·후 차축을 모터로 독립 구동 가능하여 농업, 건설 현장과 같은 오프로드 조건에서 활용도가 높을 것으로 기대됨



<AVL 社の 독립 구동형 다목적 플랫폼(e-Tractor)>

○ 전기모터의 출력과 감속기의 기어비 호환성을 고려한 부품 선정 및 전체 전기구동 시스템 설계

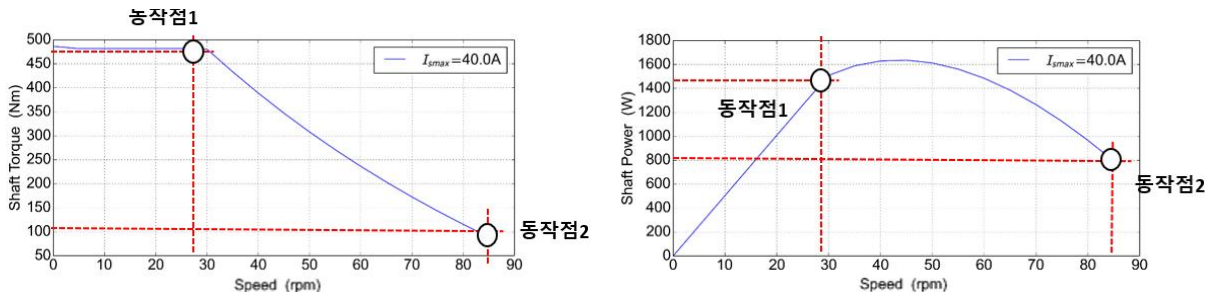
- 개발 플랫폼의 구름저항 및 구배저항을 통해 구동력을 계산하였으며, 출력 토크에 따른 전기 모터를 선정하였음
- 개발 플랫폼의 무게는 약 600 kg으로, 구름저항은 비포장도로에 적용되는 구름저항 계수(0.05)를

- 고려하였을 때 약 264 N으로 계산됨
- 본 과제에서 개발하고자하는 플랫폼은 각 축마다 모터가 구성된 4륜 독립구동 전기 플랫폼으로, 축 당 고려되는 구름저항은 약 66.2 N로 계산됨
- 개발 플랫폼의 무게와 농작업 현장에서의 등판 각도(약 15°)를 고려하였을 때, 축 당 구배저항은 약 380.5 N으로 계산됨
- 총 주행 저항은 1,786 N이며, 축 당 주행 저항은 약 446 N임
- 총 주행 토크는 개발 플랫폼의 선정 타이어 제원을 고려하여 계산하였으며, 계산 결과 축 당 주행 토크는 약 116 Nm임
- 전기모터는 총 주행 저항을 고려해 120 Nm 이상의 토크를 출력 가능한 제품으로 선정 하였으며, 동일 조건에서 모터의 최대 출력 가능 범위는 약 1~1.2 kW임
- 최대 출력 1~1.2 kW의 모터의 설계 사양은 아래 표와 같음

<최대 출력에 따른 모터의 설계 제원>

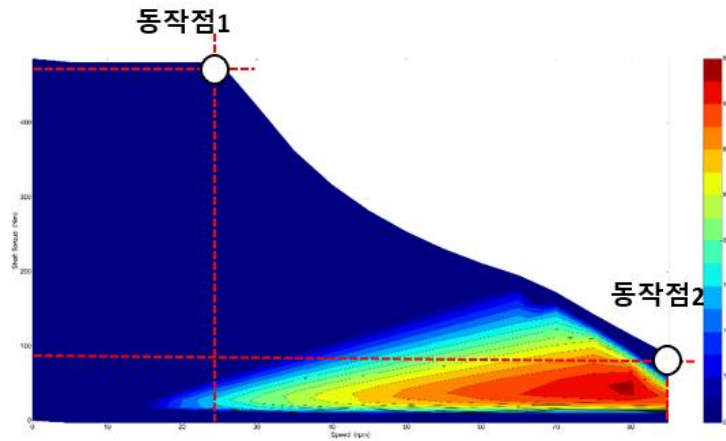
Item	Value
Rated Output Power (kW)	1.17
No. of Phase	3
No. of Pole	12
Rated / Max Speed (rpm)	28 / 85
Vdc	72
Torque (Nm)	405 / 133.4
No. of Slot	72
Winding Method	CoilPitchx
Winding Connection Method	Y (Star)
Magnet Data	N42SH (Br:0.31T)
Stator Core OD (mm)	240
StatorCoreID (mm)	188
Rotor OD (mm)	185
Magnet Length (mm)	16*2
Magnet Width (mm)	7.5

- 전기모터 선정을 위해 기존 설계한 모터의 속도-출력 특성, 속도-토크 특성에 대한 분석을 수행하였으며, 각 동작점에서의 모터 특성을 확인하였음



<전기모터 선정을 위한 속도-출력(좌) 및 속도-토크(우)의 동작점에서의 모터 특성 그래프>

- 농업 분야에서 사용되는 전기 모터는 일반적인 전동기보다 운전 속도가 낮으며 고 토크가 요구됨
- 이는 입력 전류 크기의 증가 혹은 회전자의 사이즈 증가가 필요하나, 전류 증가 시 줄열이 증가하여 효율이 감소하는 결과가 나타나며, 고 토크 구간보다 고 rpm 조건에서 효율이 높게 나타남을 확인하였음



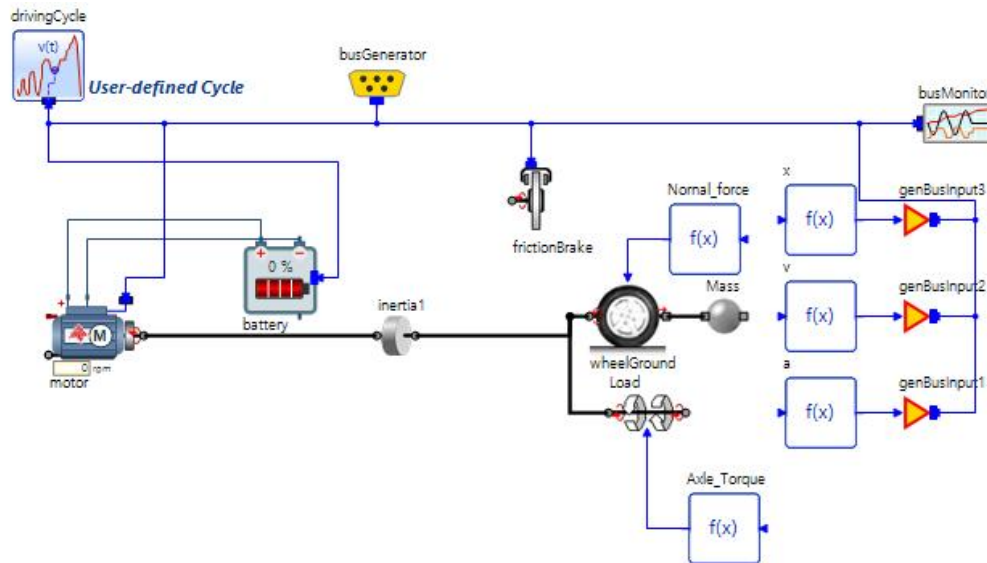
<모터 동작점에 따른 효율>

- 설계 제품의 특성을 고려하여 보다 수급이 용이한 상용품 중 적합한 제원의 전기모터를 선정하였으며, 출력 토크를 고려 하였을때 별도의 감속기는 구성하지 않아도 되는 것으로 확인됨

(2) 적재 하중에 따른 전기구동 플랫폼 시뮬레이션 및 사양 선정

○ 전기구동 플랫폼 핵심부품 사양 선정을 위한 시뮬레이션 모델 Lay-out 설계 및 개발

- 선정된 전기모터의 성능 평가를 위하여 1-D 시뮬레이션 소프트웨어인 Simulation X (Ver 4.0, ESI ITI GmbH, Dresden, Germany)를 통해 모델을 개발하였음



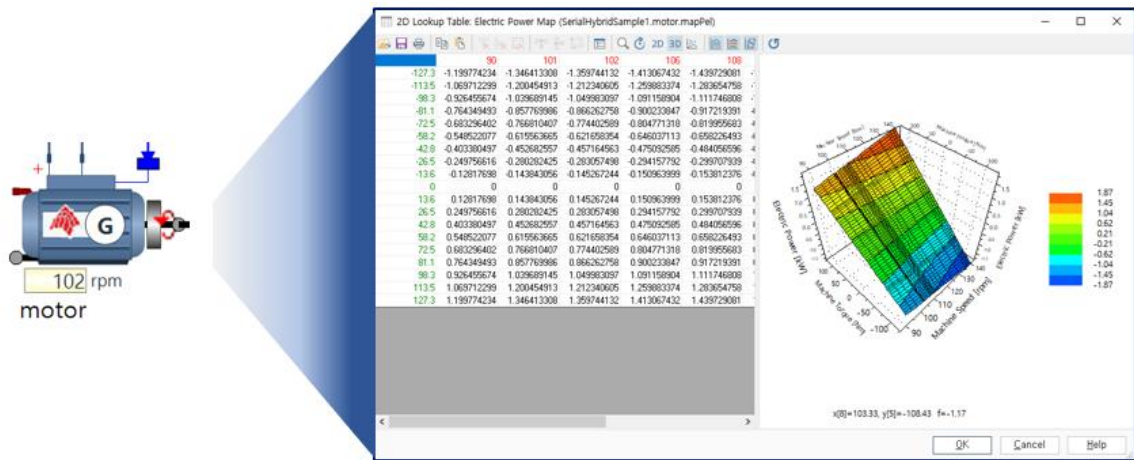
<전기구동 플랫폼 1-D 시뮬레이션 모델>

- 시뮬레이션 모델은 입력 부하에 따라 전기모터의 출력 토크 예측이 가능하며, 전기모터 구동에 따른 배터리 용량을 예측 가능함
- 시뮬레이션 모델은 크게 전기모터, 배터리, 휠, 차축 입력 모델로 구성하였으며, 각각의 모델의 파라미터는 아래와 같이 실제 부품의 제원을 반영하였음
 - 전기모터의 전압은 60 V이며, 정격 및 최대 출력은 각각 1, 1.26 kW임
 - 전기모터의 최대 출력 토크 및 회전속도는 120.3 Nm, 147 rpm이며, 최대 전류는 32 A인 제품을 선정하였음
 - 배터리는 리튬이온배터리를 적용하였고, 정격 전압, 용량은 각각 64 V, 6.4 kWh이며, 해당 제원을 시뮬레이션 모델에 입력하였음
 - 휠 모델은 전기모터의 회전속도에 따른 플랫폼의 주행 속도를 고려하고, 주행 저항에 따른 휠 출력 토크를 결정함

<전기구동 플랫폼 시뮬레이션 단품 모델의 제원>

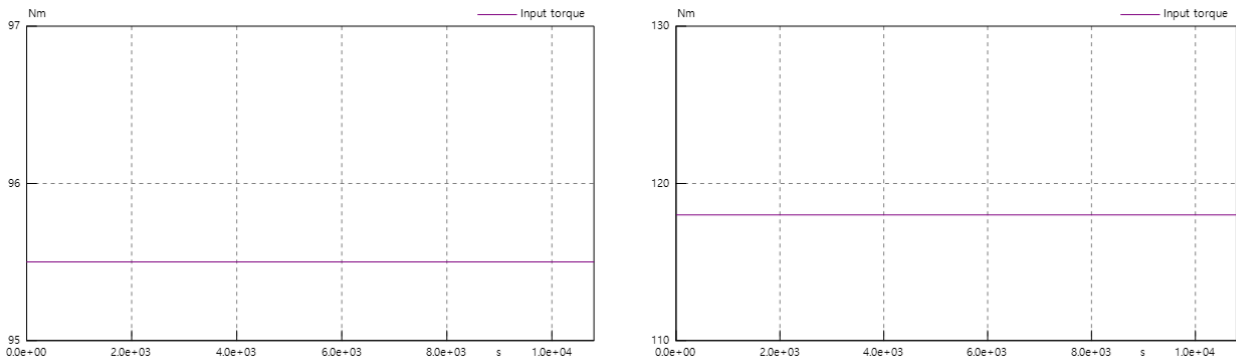
Item		Value
Electric motor	Voltage (V)	60
	Rated power (kW)	1
	Max. power (kW)	1.26
	Max. rotational speed (rpm)	147
	Rated torque (Nm)	95.5
	Max. torque (Nm)	120.3
	Max. current (A)	32
Battery	Type	Li-ion
	Voltage (V)	64
	Capacity (kWh)	6.4
	Cell internal resistance (mΩ)	≤0.4
Wheel	Radius (m)	0.26
Platform	Weight (kg)	600

- 전기모터 업체로부터 모터의 회전속도, 토크, 출력에 대한 데이터를 제공받아 아래와 같이 3D map 을 작성하여 모터 모델에 입력하였음



<전기모터 단품 모델의 입력파라미터(Motor 3D map)>

- 입력 부하는 플랫폼이 정격 토크 및 최대 토크에서 구동되는 환경을 구현하기 위해 95.5 Nm, 118 Nm 로 설정하였으며, 시뮬레이션은 일정한 토크를 외부에서 지속적으로 입력하는 조건 하에서 수행하였음

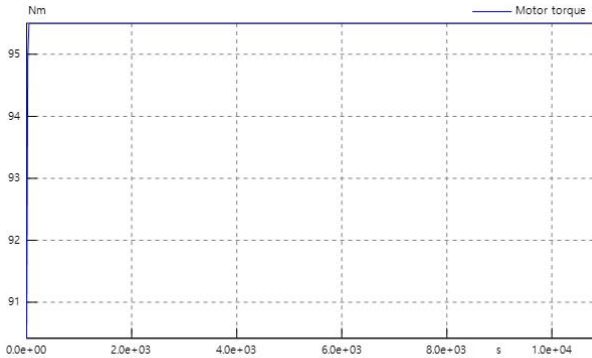


<시뮬레이션 해석을 위한 정격 토크(좌) 및 최대 토크(우) 입력 파라미터>

○ 적재 하중 조건에 따른 전기구동 플랫폼 시뮬레이션 해석

- 정격 토크 입력 조건에서의 전기구동 플랫폼 시뮬레이션 해석

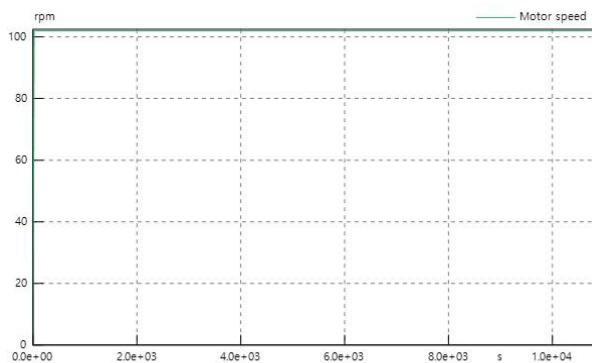
- 입력 토크(정격 토크, 95.5 Nm)에 따른 전기구동 플랫폼 시뮬레이션 결과, 모터의 토크는 부하에 따라 95.5 Nm를 일정하게 출력 가능한 것으로 나타났으며, 약 3 h동안 연속작업이 가능하였음
- 모터의 평균 회전속도는 약 102 rpm으로 나타났으며, 회전속도는 입력 부하가 일정함에 따라 전 구간에서 유사하게 나타남
- 모터 출력은 약 1.02 kW로 나타났으며, 이는 모터의 토크와 회전속도로 계산한 값과 일치하였음
- 배터리 SOC level은 정격 토크 조건에서 3 h동안 연속적으로 전력 공급이 가능한 것으로 나타났으며, SOC level의 분당 감소율은 약 0.30%로 나타남



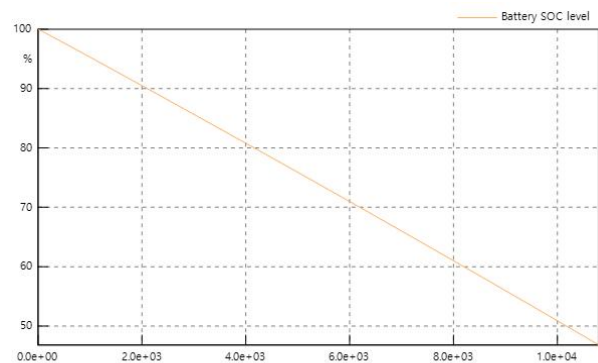
(a)



(b)



(c)

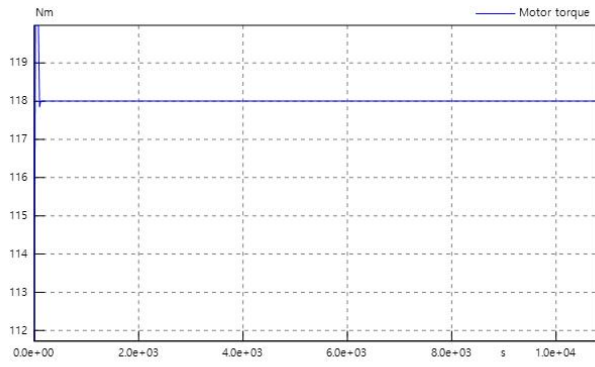


(d)

<전기구동 플랫폼의 정격 토크 조건에서의 시뮬레이션 해석 결과; (a) 모터 토크, (b) 모터 출력, (c) 모터 회전속도, (d) 배터리 SOC level>

- 최대 토크 입력 조건에서의 전기구동 플랫폼 시뮬레이션 해석

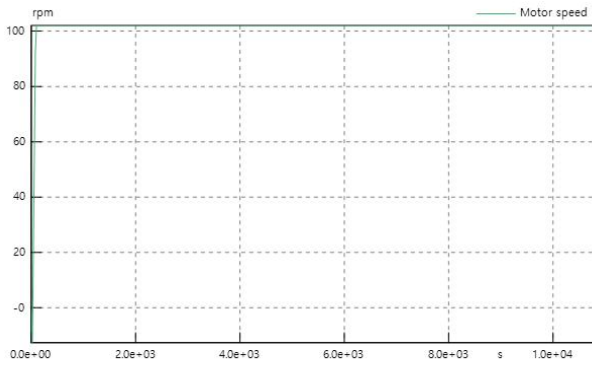
- 최대 토크는 플랫폼에 적재 하중(약 100 kg)을 추가하였을 때 계산되는 구름저항(308 N) 및 주행 토크(118 Nm)를 고려하여 선정하였음
- 입력 토크(최대 토크, 118 Nm)에 따른 전기구동 플랫폼 시뮬레이션 결과, 모터의 토크는 부하에 따라 118 Nm를 일정하게 출력 가능한 것으로 나타났으며, 약 3 h동안 연속작업이 가능하였음
- 모터의 평균 회전속도는 약 102 rpm으로 나타났으며, 회전속도는 정격 토크 조건과 유사하게 입력 부하가 일정함에 따라 전 구간에서 유사하게 나타남
- 모터 출력은 약 1.2 kW로 나타났으며, 이는 모터의 토크와 회전속도로 계산한 값과 일치하였음
- 배터리 SOC level은 최대 토크 조건에서 3 h동안 연속적으로 전력 공급이 가능한 것으로 나타났으며, SOC level의 분당 감소율은 약 0.37%로 나타남



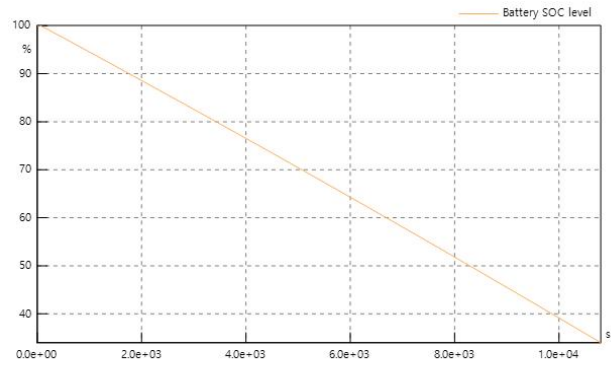
(a)



(b)



(c)



(d)

<전기구동 플랫폼의 최대 토크 조건에서의 시뮬레이션 해석 결과; (a) 모터 토크, (b) 모터 출력, (c) 모터 회전속도, (d) 배터리 SOC level>

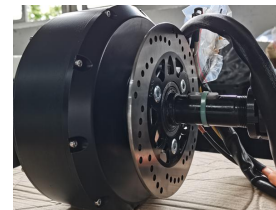
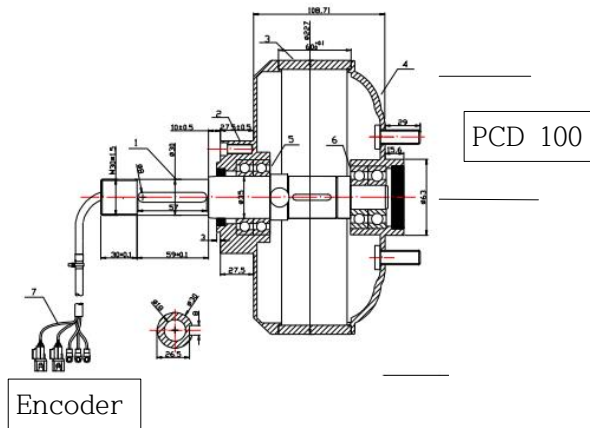
다. 협동연구개발기관(엘비)

(1) 4륜 개별 구동 시스템 개발

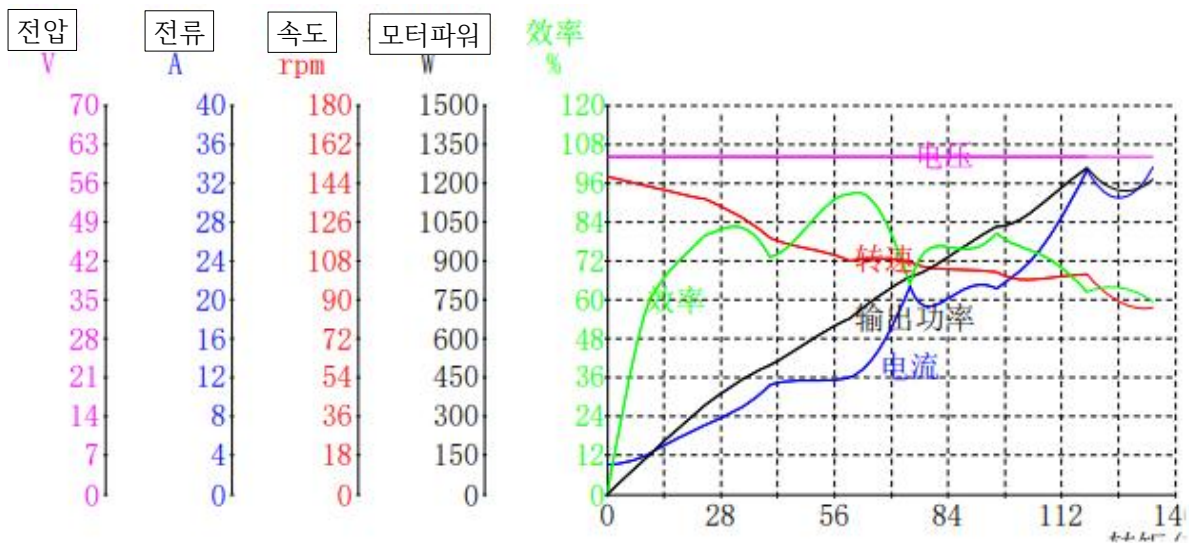
○ 농업용 운반차량으로서 자율주행기능을 탑재한 4륜 독립 전기구동 모바일 플랫폼

- ① KW BLDC motor
- ② Inwheel Motor
- ③ CAN통신을 기본으로 한 motor driver control
- ④ Encoder 방식을 이용한 Motor operation status feed back
- ⑤ 4 inwheel motor를 이용한 개별 Wheel의 독립구동 및 독립적 control
- ⑥ 개별 Wheel의 총 180도의 조향 능력
- ⑦ 주행 System과 조향 System의 Integration 구현

○ Inwheel Motor Specification

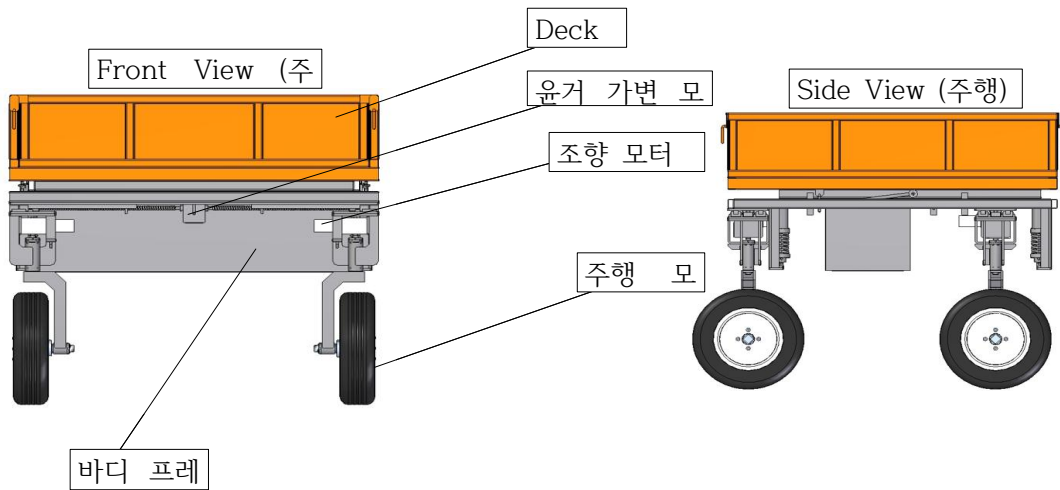


<Motor Outfigure>

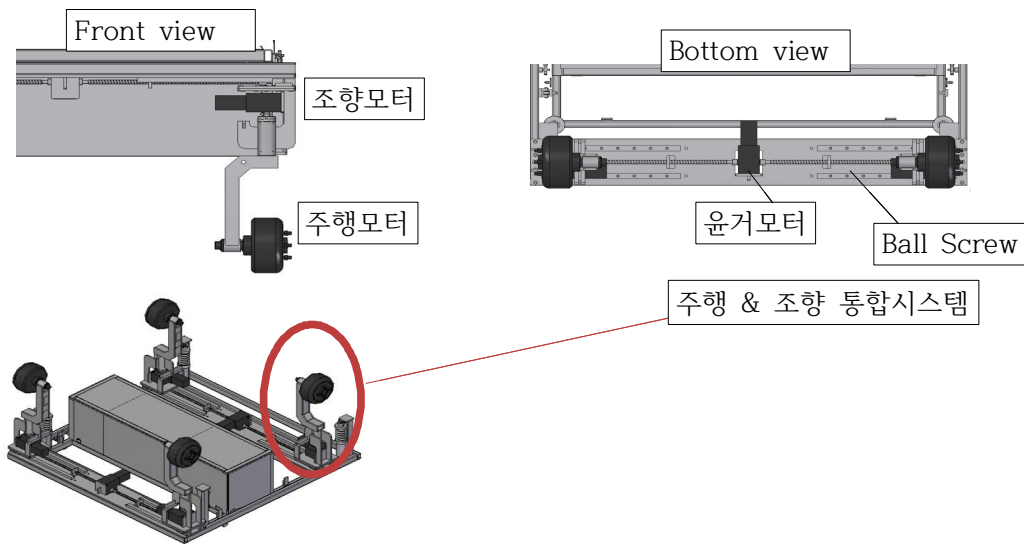


<Motor Specification>

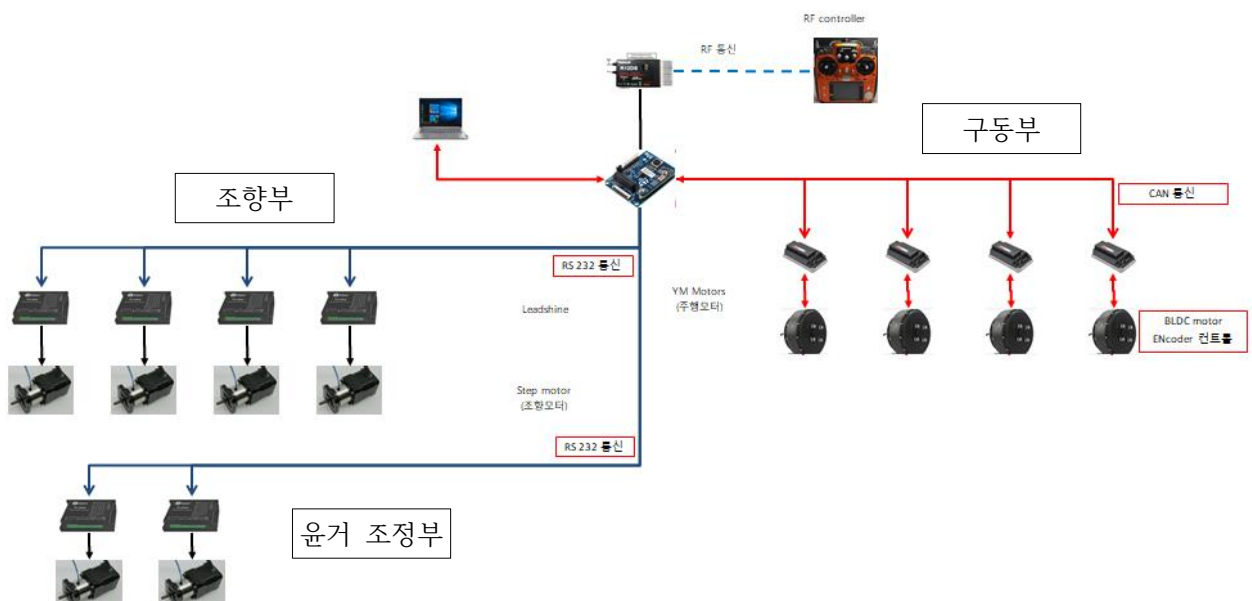
○ 플랫폼 System configuration



<그림61. 플랫폼 구상도>



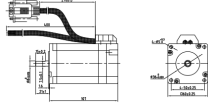



<주행 및 조향 Integration System>



<System control configuration>

<Main Components 구성>

Main Component	Specification	Photo
In-Wheel Motor	<ul style="list-style-type: none"> - 1 Kw BLDC motor : 4 set - Rated power : DC 60V - Max RPM 140 - Feedback Signal : Encoder 	
In-Wheel Motor driver	<ul style="list-style-type: none"> - Input Rated Voltage 48~72Volt - Rated Power ~ 3000W - IP 67 - Control interface : CAN 	
Step motor for steering	<ul style="list-style-type: none"> - Step angle : 1.8도 - Torque : 3.0 Nm - Encoder Resolution : 1000 cpr 	
Step motor driver	<ul style="list-style-type: none"> - Control voltage +5V - Input voltage DC max 80V - Control interface : RS 232C and Pulse 	

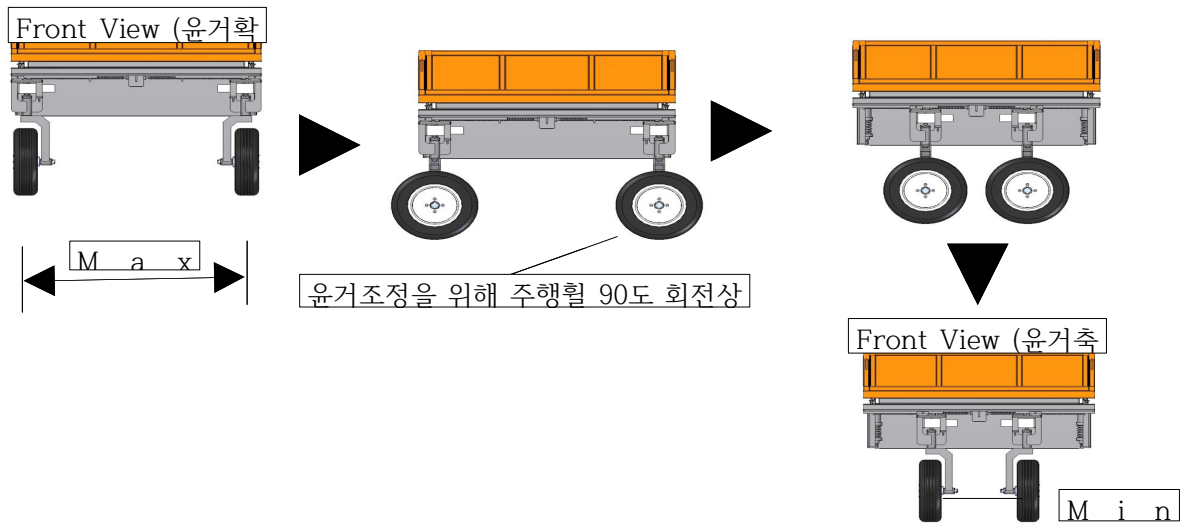
○ 인휠모터의 플랫폼 적합성

- 인휠모터를 탑재하여 모바일 플랫폼을 구성하고 주행 가능성을 시험하였음. 하지만 인휠모터의 구동 토크가 충분하지 않아 저속에서 플랫폼을 구동할 수 없었음
- 또한 인휠모터를 다양한 경사지와 다른 토양 표면 조건에서 시험한 결과 안정적인 구동 성능을 나타내지 못했음
- 따라서 중국에서 구입한 인휠모터의 성능은 본 플랫폼에 탑재하기 적합하지 않은 것으로 판단하였으며, 인휠모터 개발을 위해서는 막대한 비용이 소요되므로 BLDC 모터를 사용하여 구동부와 조향부를 구성하는게 타당한 것으로 판단하였음

(2) 모바일 플랫폼 윤거 가변 시스템 개발

○ 농촌현장의 상황에 따른 차량의 효율성 증대를 위한 윤거 가변시스템의 개발

- ① Front Rear 각1개의 모터와 Ball screw를 이용하여 좌/우 등가가변이 되도록 시스템 구성
- ② 농작물의 고랑 폭을 기초로 윤거조정 가능범위를 1000~1600mm로 구성
- ③ 윤거폭 조정 시 Wheel 마찰력의 최소화를 위하여 조향시스템의 90도 회전상태에서 윤거 가변시스템이 작동되도록 System interlock
- ④ 과다 조향에 의한 Harnss 단선을 방지하기 위하여 최대 조향각 (좌/우 각90도) 규제

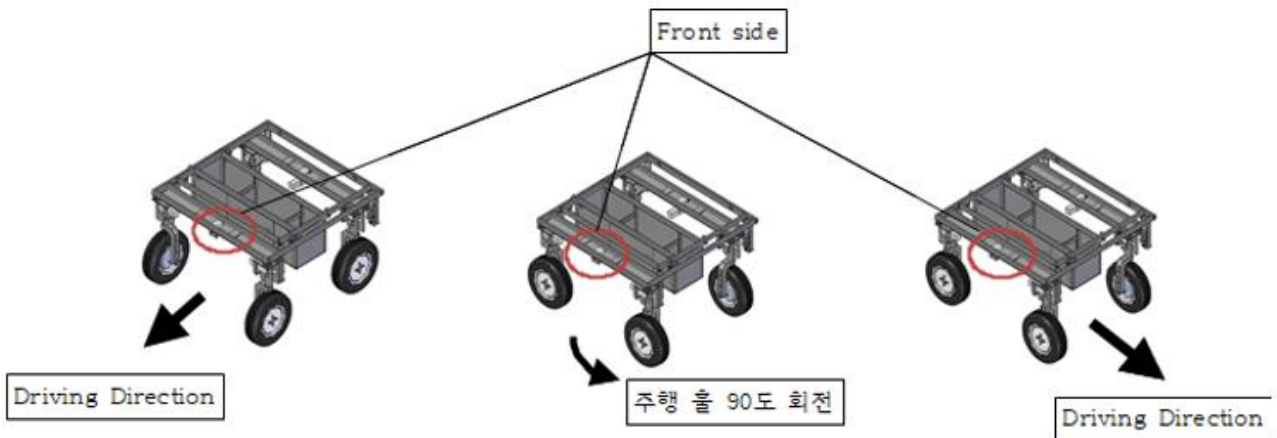


<윤거 가변 시스템 System configuration>

(3) 직진·후진 가변 및 직각 선회 시스템 개발

○ 상황에 따른 차량의 이동용이성 확보를 위한 플랫폼의 직각선회 기능반영

- ① 4륜에 대한 동일 조향각 조정 (Max 90도) 및 조향각 확보 후
- ② 주행모터의 구동으로 차량의 운전편의성을 확보함



<플랫폼 직각 선회 System configuration>

2.2. 2차년도 연구개발 내용

가. 주관연구개발기관(전남대학교)

(1) 작업자 추종 및 원격제어 시스템 개발

□ 작업자 추종 주행 시스템 및 알고리즘 개발

○ 작업자 추종 주행 시스템 성능 실험 실시

- 1차년도에 선 진행한 연구 내용을 바탕으로 성능 검증 실험 실시
- 카메라는 1920x1080 해상도의 비디오 녹화가 가능한 것을 사용하였지만, 프레임 속도를 높이고 정확성과 안정성을 유지하기 위해 녹화된 영상을 800x450로 리사이징함
- 농업 환경에서 흔히 발생하는 상황의 시나리오를 구성하여 4개의 다른 실험을 수행. 모든 실험의 목적은 알고리즘의 마스터 추적 능력을 테스트하고, 마스터를 놓친 경우에도 복구하여 추적할 수 있는 능력을 시험하는 것임
- 첫 번째 실험에서는 두 명의 사람이 함께 걷는 상황을 테스트 하였음. 두 번째 실험에서는 물체로 인해 마스터가 가려지는 상황을 테스트 하였으며, 세 번째 실험에서는 다른 사람을 피하며 마스터가 걷는 상황을 테스트 하였음. 네 번째 실험에서는 로봇과 마스터 사이의 걷는 사람에 의하여 마스터가 가려지는 상황을 테스트함



Experiment 1

Two people walking together in a straight line.



Experiment 2

Occlusion by an object.



Experiment 3

Master walking in the agricultural field avoiding other people.



Experiment 4

Occlusion by a person walking between the camera and the master.

<작업자 추종 주행 시스템 실험 시나리오>

- 실험 결과, 모든 상황의 평균 알고리즘 인식 정확도는 약 91.9%로 측정되었으며, 가장 일반적인 상황인 1번 상황의 경우, 98.9%의 인식 정확도를 확인

<작업자 추종 주행 시스템 성능 실험 결과>

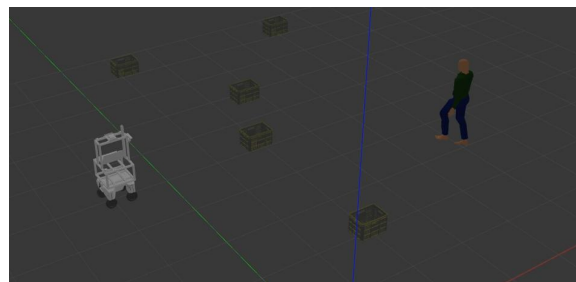
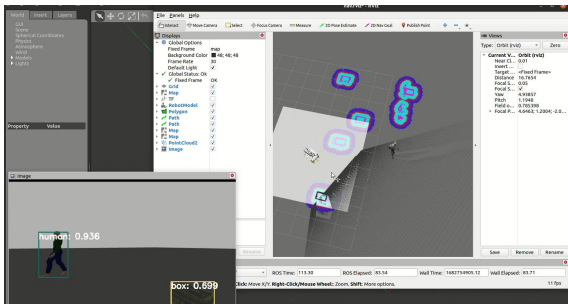
Experiment #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Time: M: Morning / A: Afternoon	A	A	A	M	M	M	M	A	A	A
Test type	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3
Distance [m]	2	2	3	2	3	4	-	2	3	4
Clothes: S: Similar / D: Different	D	S	D	S	S	D	-	D	D	D
Total frames analyzed	975	781	1023	1001	892	1091	228	504	427	466
Successfully tracked frames	944	779	1022	1001	868	1090	205	477	374	398
Lost track of master frames	24	0	1	0	14	1	23	12	13	31
Master wrongly identified frames	7	2	0	0	10	0	0	15	40	37
Tracking success rate [%]	96.8	99.7	99.9	100	97.3	99.9	89.9	94.6	87.5	85.4
Threshold value	53	53	30	98	80	30	15	40	25	15
Average Score	160	190	135	221	148	113	73	145	68	52
Frames per second	21.6	21.3	23.4	19.9	22.5	23.4	15.6	22.0	21.8	19.4
	1	5				2				
Experiment #	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Time: M: Morning / A: Afternoon	M	M	M	A	A	A	M	M	M	M
Test type	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4

Distance [m]	2	3	3	3	4	4	3	3	4	4
Clothes: S: Similar / D: Different	S	D	S	S	D	S	D	S	D	S
Total frames analyzed	988	862	733	768	812	661	517	473	493	442
Successfully tracked frames	921	798	683	691	671	606	443	354	437	423
Lost track of master frames	36	36	11	29	92	37	48	83	28	6
Master wrongly identified frames	31	28	39	48	49	18	26	36	28	13
Tracking success rate [%]	93.2	92.5	93.1	89.9	82.6	91.6	85.6	74.8	88.6	95.7
Threshold value	40	40	29	35	20	25	60	35	20	25
Average Score	139	119	85	118	64	75	166	109	115	91
Frames per second	15.3	17.1	16.3	22.2	23.5	21.6	22.1	19.8	23.2	19.6

□ 장애물 인식 시스템 개발

○ ROS를 활용한 시뮬레이션

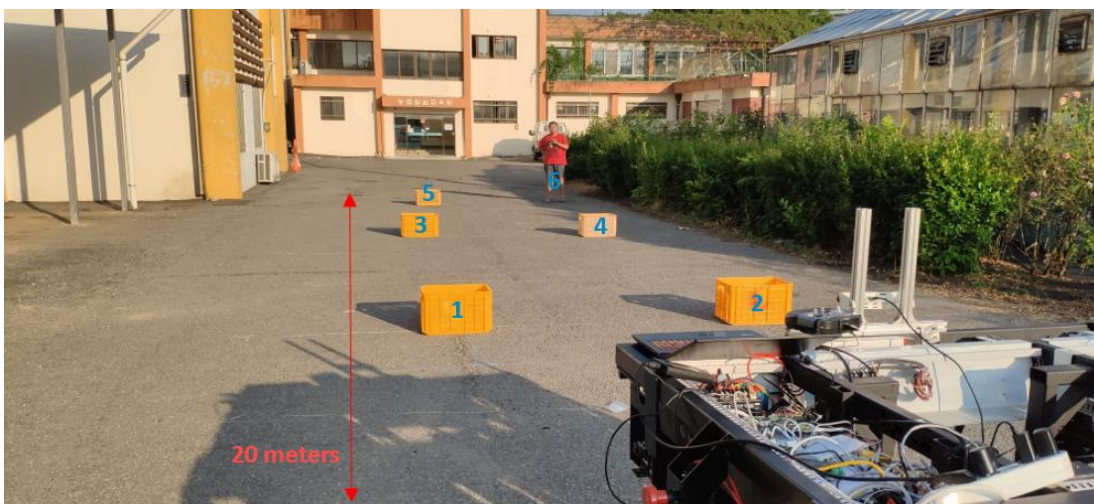
- 1차년도에 개발된 시스템을 바탕으로 YOLO-v5 알고리즘과 ROS를 활용하여 시스템의 정확성을 테스트하기 위한 가상 시나리오를 생성
- 실제 작업 현장과 유사하게 정적 장애물인 상자와 동적 장애물인 사람을 시뮬레이션에 포함하여 난이도를 상향함
- TEB 및 자율 주행 시스템을 통해 로봇은 장애물을 감지할 뿐 아니라, 회피하여 주행할 수 있음



<시뮬레이션 Costmap과 장애물 회피>

○ 장애물 인식 시스템 성능 실험 실시

- 시스템의 성능을 검증하기 위한 테스트를 실외에서 진행. 상자 5개와 사람 1명의 총 6개의 장애물을 설치하였으며, 총 이동 거리는 20미터를 설정함
- 장애물 1,2는 4m 지점에 배치하였고, 3,4는 10m 지점에, 그리고 5,6은 16m 지점에 배치함
- 장애물 사이를 주행하며 6개의 장애물에 대해 감지 영역안에서의 총 감지 프레임 대비 실제 인식이 성공한 프레임을 계산하여 그 평균값을 장애물 인식 정확도 값으로 함



<장애물 인식 및 회피 시스템 실험>

- 실험 결과, 99.68%의 인식 정확도를 확인

<장애물 인식 및 회피 시스템>

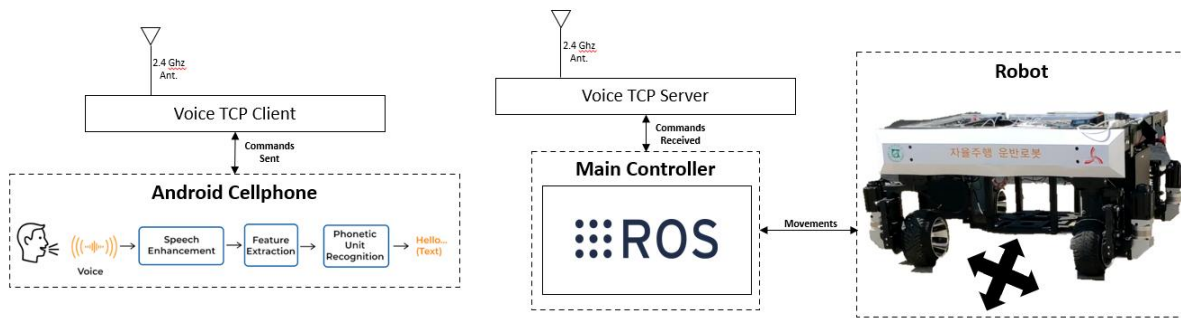
	Results
Total Frames	1044
Accuracy	99.6%

Obstacle	1	2	3	4	5	6
Total Frames	220	220	128	128	128	220
Detected Frames	218	219	128	128	127	220
Accuracy	99.1%	99.5%	100%	100%	99.2%	100%

□ 스마트폰 기반의 음성인식 원격제어 시스템 개발

○ 음성인식에 의한 제어시스템 구축

- 스마트폰을 이용하여 음성으로 로봇을 원격 제어하는 시스템으로 스마트폰의 마이크를 통해 음성을 입력하여 구글의 음성 인식 API를 통해 문자로 변환하고, 문자를 다시 제어신호로 변환 무선통신을 통해 로봇을 제어
- 스마트폰 음성제어는 “앞으로”, “오른쪽”, “정지” 등의 단어와 “작업장으로 간다” 등의 자연어 문장을 인식, 제어함



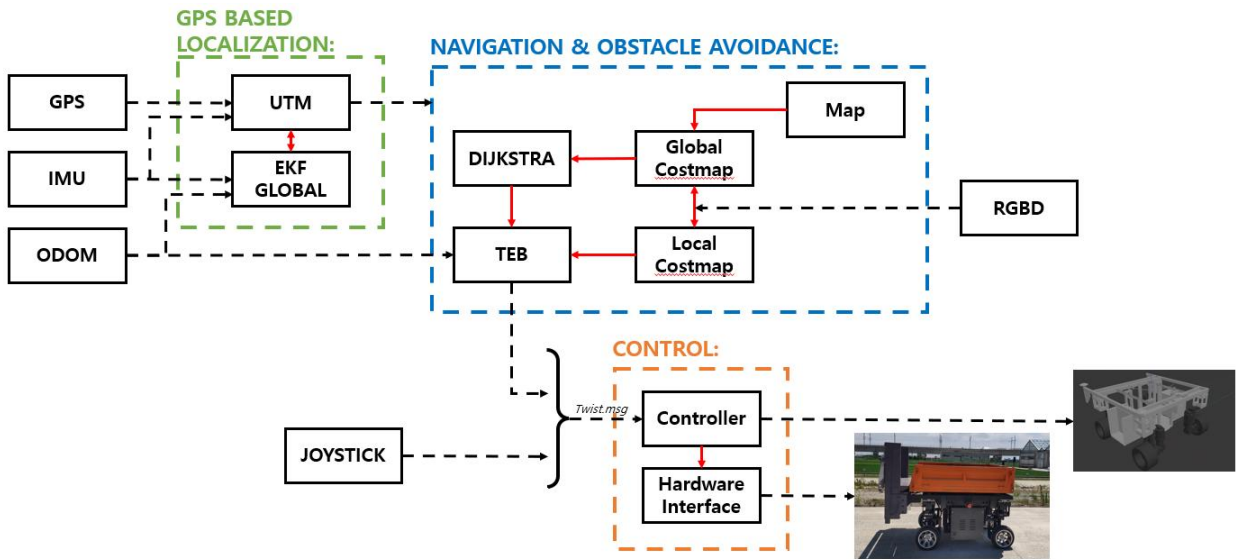
<스마트폰음성 인식처리과정>



<자연어 처리 화면>

□ 맵 기반의 적재-하역 지점 간의 셔틀 자율주행 알고리즘 개발

○ 자율주행 시스템의 정확도 향상 및 개선



<자율주행 시스템 인터페이스 다이어그램>

- 전체 인터페이스는 로봇 Localization 패키지, 네비게이션 패키지 및 ROS 제어 패키지로 구성됨
- **로봇 Localization 패키지** : GPS 좌표를 UTM 좌표로 변환하고, 확장 칼만 필터를 사용하여 IMU, GPS 및 인코더 odometry를 퓨전하여 Localization의 정확도를 향상
- **네비게이션 패키지** : 센서 데이터를 사용하여 로봇이 따라야 할 최적 경로를 계산하고 생성함. 코스트맵을 기반으로 한 로컬 및 글로벌 planner를 사용하여 장애물을 피하고 복잡한 환경에서 이동할 수 있게 함
- **ROS 제어 패키지** : 컴퓨터, 센서 및 모터 컨트롤러 사이의 인터페이스 역할을 수행. 또한, Gazebo에서의 시뮬레이션을 주 컨트롤러와 연결하여 다른 패키지에서 시뮬레이션 값을 읽을 수 있도록 함

○ 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter)를 활용한 로봇 Localization 정확도 향상 및 개선

- **위치 정확도 향상** : GPS와 IMU 데이터를 칼만 필터를 사용하여 퓨전하고 두 센서의 장점을 결합하여 위치 정확도를 향상. 이 필터는 GPS 위치 업데이트와 IMU 데이터를 균형있게 조합하여 오차와 드리프트를 최소화한 차량의 위치를 더 정확하고 신뢰할 수 있는 추정치로 생성
- **동적 성능 향상** : IMU 센서에서 얻은 고주파 가속도 및 각속도 측정치는 차량의 운동 역학을 정밀하게 추적할 수 있게 함. 이처럼 칼만 필터를 사용하여 고주파 IMU 측정치를 GPS 정보와 결합, 계산된 차량의 위치, 속도 및 방향 추정치로 동적 성능을 보다 향상시킬 수 있음
- **부드러운 전환 및 궤적 추정** : 칼만 필터는 GPS기반 위치 업데이트와 IMU기반 모션 측정치 간의 부드러운 전환을 가능하게 함. 필터는 GPS가 정상적으로 작동하는 환경에서 GPS가 불가능한 상황(터널 및 혼잡한 도시 환경 등)으로 전환되면, 정밀한 위치 추정을 유지하기 위해 IMU 데이터에 더 의존할 수 있게 함. 이러한 적응성은 시스템이 불안정한 GPS 조건에서도 차량의 궤적을 더욱 정확하게 추정할 수 있도록 함

1. Prediction based on last estimate:

$$\hat{x}(k+1|k) = F(k)\hat{x}(k|k) + G(k)u(k)$$

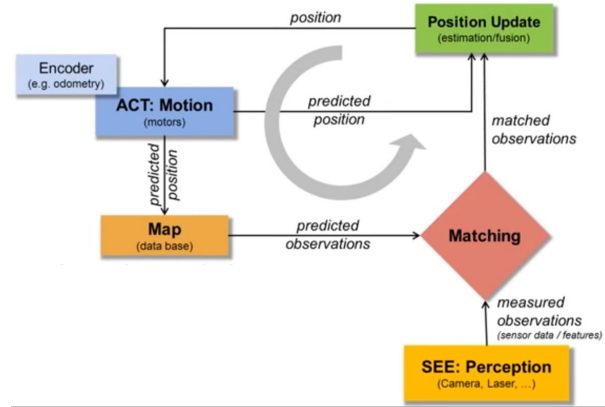
$$\hat{y}(k) = H(k)\hat{x}(k+1|k)$$

2. Calculate correction based on prediction and current measurement:

$$\Delta x = f(y(k+1), \hat{x}(k+1|k))$$

3. Update prediction:

$$\hat{x}(k+1|k+1) = \hat{x}(k+1|k) + \Delta x$$



<Extended Kalman Filter>

○ UTM 좌표계(UTM Coordinates)를 활용한 로봇 Localization

- **표준화된 좌표계** : UTM은 지구 표면을 격자 형태의 구역으로 분할하여 전 세계적으로 표준화된 좌표계를 제공. 각 구역은 고유한 UTM 투영법을 사용하며, 서로 다른 지역에서도 일관되고 정확한 위치 표현이 가능함
- **지역화된 지도 투영법** : UTM은 각 UTM 구역에 대해 횡축 메르카토르 투영법을 사용. 이 투영법은 특정 구역에서 거리와 각도의 왜곡을 최소화하여 지역 또는 국가 수준의 지도 작성 및 탐색에 적합함
- **직교 좌표계** : UTM 좌표는 동서와 남북 축을 따라 거리를 미터로 표현하는 직교 좌표계를 기반으로 함. 이 직교 형식을 사용하면 거리와 방향과 같은 간단한 계산 및 점과 선 사이의 거리 또는 다각형의 면적과 같은 기하학적 연산이 모두 가능함

Northing and Easting

$$x = k_e R_N \left[A + (1 - T + C) \frac{A^2}{6} + (\zeta - 18T + T^2 + 72C - 58e^2) \frac{A^4}{120} \right]$$

$$y = k_e \left\{ M - M_o + R_N \tan \phi \left[\frac{A^2}{2} + (\zeta - T + 9C + 4C^2) \frac{A^4}{24} + (61 - 58T + T^2 + 600C - 330e^2) \frac{A^6}{720} \right] \right\}$$

UTM Scale Factor

$$k = k_o \left[1 + (1 + C) \frac{A^2}{2} + (\zeta - 4T + 42C + 13C^2 - 28e^2) \frac{A^4}{24} + (61 - 148T + 16T^2) \frac{A^6}{720} \right]$$

Or in terms of Latitude and Longitude

$$k = k_o \left[1 + \frac{(1 + e^2 \cos^2(\phi)) x^2}{2k_o^2 R_N^2} \right]$$

$$T = \tan^2 \phi$$

$$C = e^2 \cos^2 \phi$$

$$A = (\lambda - \lambda_o) \cos \phi \dots \dots \dots \text{where } \lambda \text{ and } \lambda_o \text{ are in radians}$$

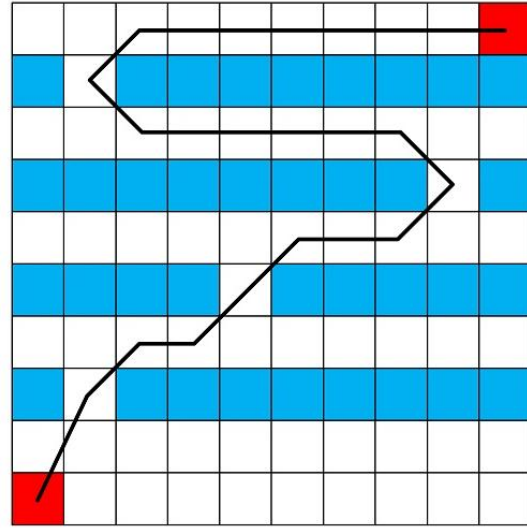
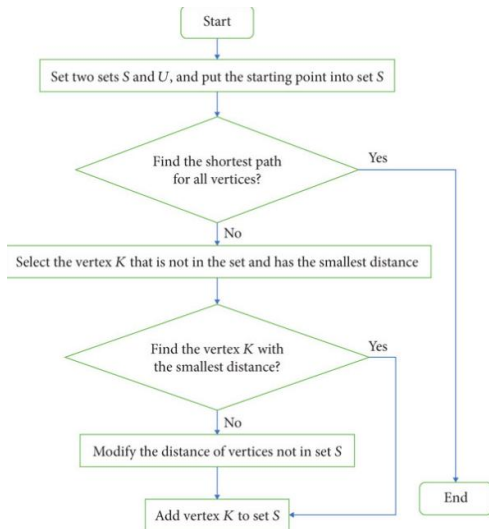
$$M = a \left[\left(1 - \frac{e^2}{4} - 3 \frac{e^4}{64} - 5 \frac{e^6}{256} - \dots \right) \phi - \left(3 \frac{e^2}{8} + 3 \frac{e^4}{32} + 45 \frac{e^6}{1024} + \dots \right) \sin 2\phi + \left(15 \frac{e^4}{256} + 45 \frac{e^6}{1024} + \dots \right) \sin 4\phi - \left(35 \frac{e^6}{3072} + \dots \right) \sin 6\phi + \dots \right]$$

where ϕ is in radians

<위도, 경도(ϕ, λ)에서 UTM 좌표로의 변환식>

○ 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘을 활용한 Global Planner 개선

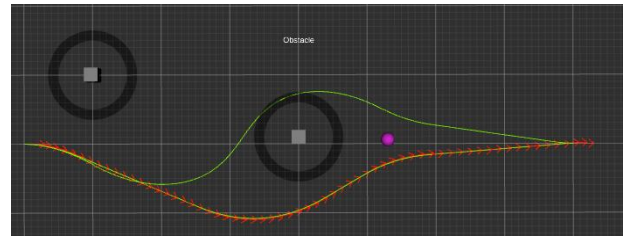
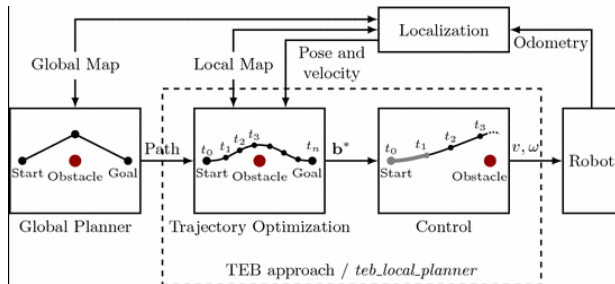
- **최적성 보장** : 다익스트라 알고리즘은 가중 네트워크에서 출발 노드와 다른 모든 노드 간의 최단 경로를 보장. 간선의 가중치가 고려되며, 이 가중치의 총합을 사용하여 최단 경로를 결정함
- **점진적인 경로 구성** : 최단 경로는 다익스트라 알고리즘을 통해 점진적으로 구성되며, 노드를 반복적으로 탐색하고 잠재적인 거리를 업데이트 함. 알고리즘은 이 점진적인 방식을 통해 목적지 노드에 도달하거나 모든 도달 가능한 노드를 탐색한 이후에 중지됨. 이러한 특성은 최단 경로 결정에서 효과적이고 효율적인 방법으로 작용됨
- **희소 네트워크에서의 효율성** : 간선의 수가 노드의 수보다 훨씬 적은 희소 네트워크에서는 다익스트라 알고리즘이 더욱 효과적으로 작동함. 다음 노드를 탐색하기 위해 우선순위 목록에서 가장 짧은 예상 거리를 가진 노드를 선택. 다익스트라 알고리즘은 이러한 전략을 사용하여 불필요한 노드나 간선을 탐색하지 않고도 최단 경로를 효과적으로 결정할 수 있음



<Dijkstra algorithm>

○ TEB(Time Elastic Band)를 활용한 Local Planner 개선

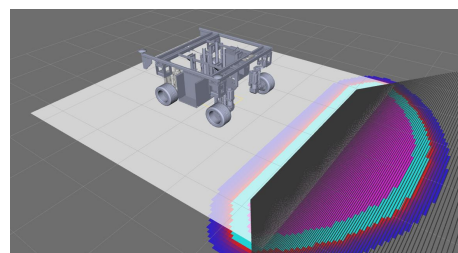
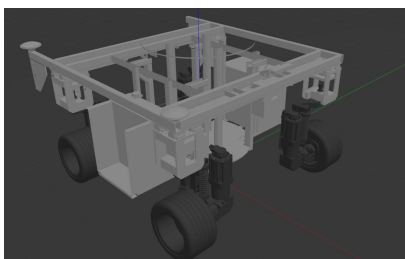
- TEB open-loop optimization 작업을 통해 로봇이 초기 자세(ss)에서 최종 자세(sf)로 안전한 거리를 유지하면서 최소 시간 내에 이동 가능한 제어를 찾을 수 있음
- 실시간 응답성 : TEB는 실시간으로 응답하여 신속하고 효율적인 동작 계획을 탐색함. 변경된 상황에 대응이 가능하고 가장 최근의 센서 데이터에 기반하여 계획을 조정할 수도 있음
- 계산 효율성 및 동적 환경에 대한 적응성 : TEB는 짧은 계획 범위와 단순화된 환경 모델로써 작동. 뛰어난 계획 생성 능력과 계산 효율성으로 빠르게 계획을 탐색 및 개발할 수 있어 시스템이 실시간으로 반응하고 계획할 수 있음



<TEB algorithm>

○ 자율주행 시스템 시뮬레이션

- 알고리즘 정확성 및 오류 검증
 - 알고리즘을 검증하기 위해 Gazebo를 활용하여 URDF 모델을 만들고 각각의 조향 모드 테스트 실시. GPS 및 IMU 센서 시뮬레이션 및 Local Planner와 Global Planner를 확인하기 위한 다양한 경로를 설계함



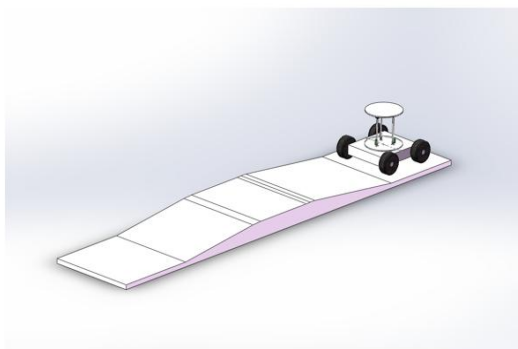
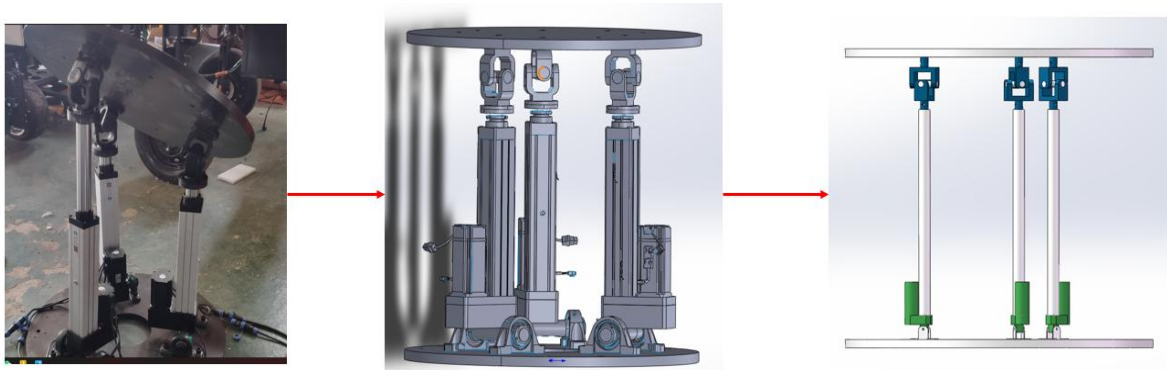
<Gazebo Simulation>

(2) 농업 환경에서의 현장 실증

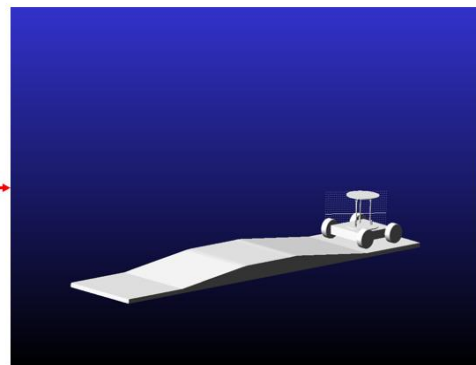
□ 농작업 환경에 적합한 플랫폼의 기능 고도화

○ 적재함 수평 조절 시스템 개발

- 평탄하지 않은 환경에서도 플랫폼 적재함의 수평을 조절할 수 있는 시스템을 개발
- 시뮬레이션 환경 구축 및 시뮬레이션 환경에서의 알고리즘 개발
 - 모델은 Solid Works를 사용하여 단순화하고, ADAMS를 통해 Kinematic 시뮬레이션을 수행



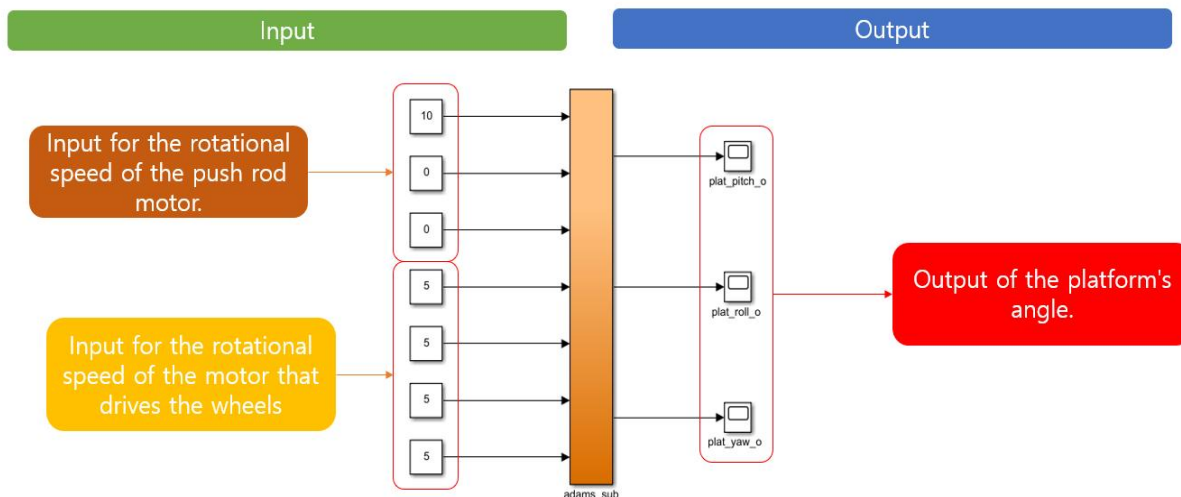
SolidWorks



Adams

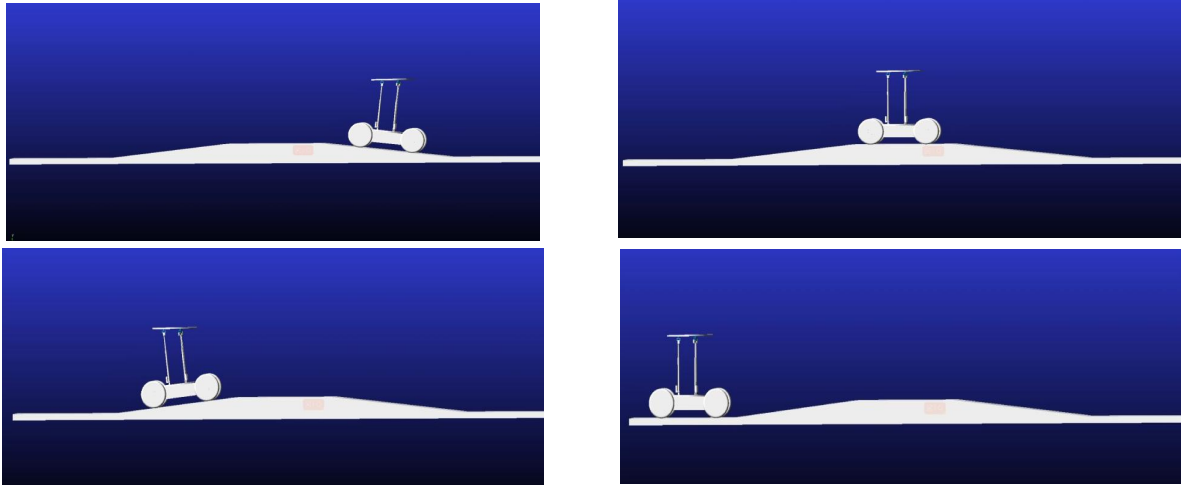
<model simplification>

- ADAMS의 Kinematic 시스템을 MATLAB SIMULINK에 연결함



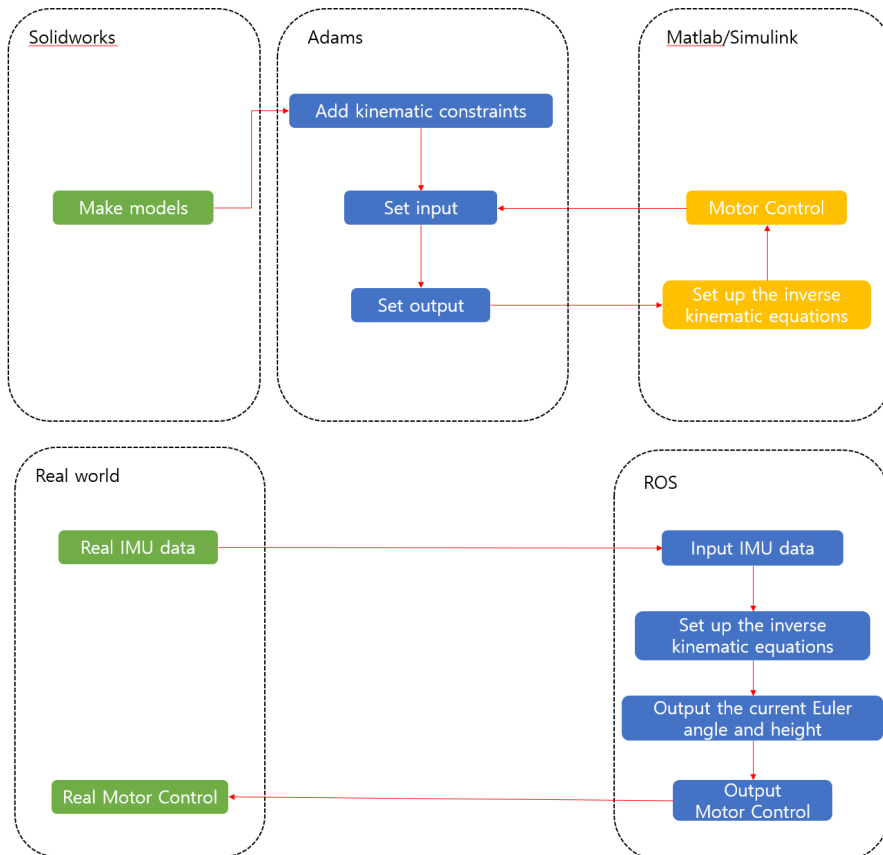
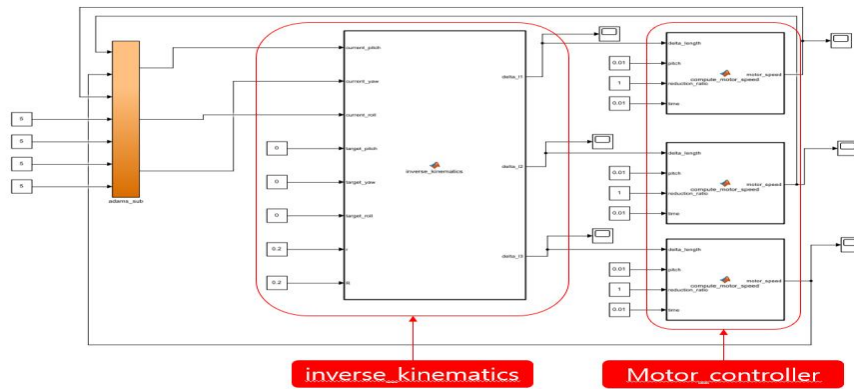
<simulink configuration interface>

- simulink를 활용하여 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 진행함



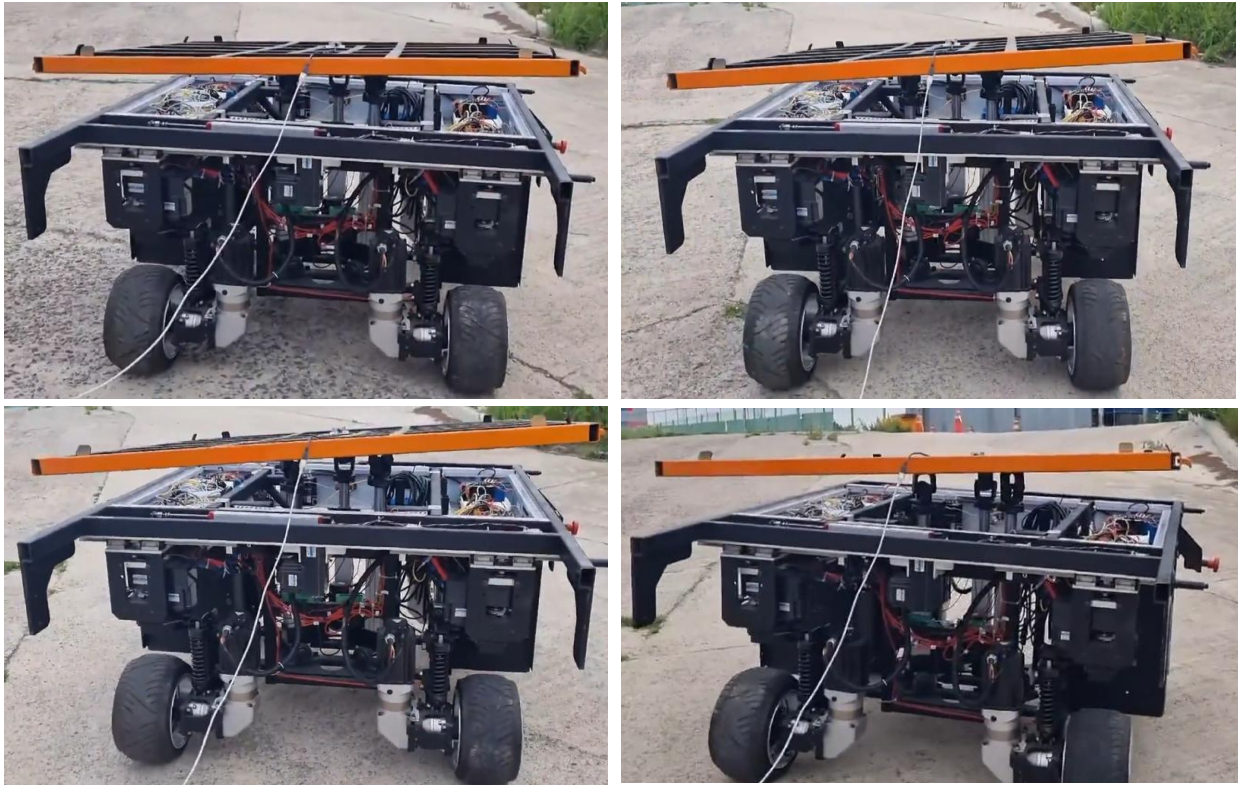
<Matlab simulink를 활용한 시뮬레이션>

- 시스템 구현화 Logic 설정



<시스템의 구현 Logic>

- 적재함 수평 조절 시스템의 실외 테스트 실시
 - 지면이 울퉁불퉁하여 평지가 아닌 곳에서도 시스템이 정상 작동함을 확인

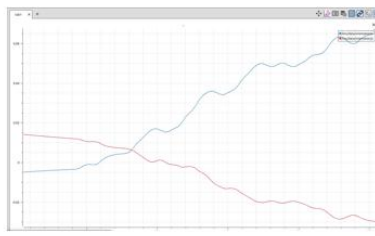


<적재함 수평 조절 장치 실외 테스트>

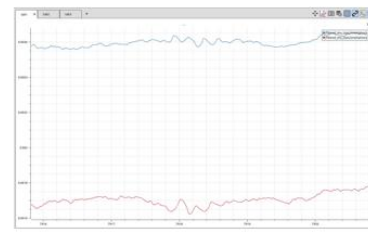
- 수평조절 시스템 테스트 결과는 아래 그림과 같음



Initial



When the platform is in an unbalanced position



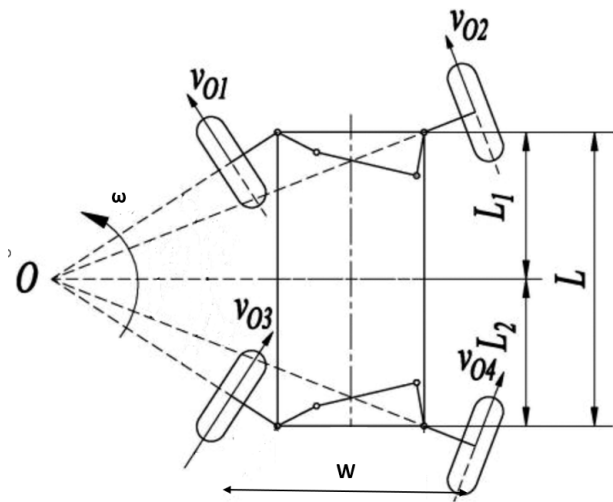
After balance

<수평조절 시스템 테스트 결과>

- 평탄하지 않은 지형에 진입하였을 때,
 - Rotation error of X-axis: $0.065 + 0.008 = 0.073 = \underline{7.3^\circ}$
 - Rotation error of Y-axis: $0.03 - 0.0005 = 0.0295 = \underline{2.95^\circ}$
- 수평 조절 시스템을 적용하였을 때,
 - Rotation error of X-axis: $0.0026 + 0.00 = 0.0026 = \underline{0.26^\circ}$
 - Rotation error of Y-axis: $0.0017 - 0.00 = 0.0017 = \underline{0.17^\circ}$
- 위와 같이, 수평 조절 시스템을 적용하고 나서의 Rotation error값이 안정화됨을 확인

○ 4축 독립 구동 조향 Kinematics 적용

- 이 로봇은 홀로노믹 로봇(holonomic robot)으로, 로봇의 방향을 변경하기 위한 회전이나 특정 조작 없이 4축 독립 구동 조향을 통해 어떤 방향으로든 즉각적으로 동작이 가능
- 따라서, 아래 그림과 같이, 로봇이 즉각적으로 어떤 방향으로든 움직일 수 있는 점을 고려하여 설계됨. 여기서 V_i 는 로봇의 이동과 회전, V 는 로봇의 이동, ω 는 로봇의 회전을 나타냄



- **Wheel 1:**
 $V_{1x} = V_x + (\omega r)_x = V_x + \omega L/2 = B$
 $V_{1y} = V_y + (\omega r)_y = V_y - \omega W/2 = C$ \Rightarrow speed = $\sqrt{B^2 + C^2}$
 angle = $\text{atan2}(B, C)$
- **Wheel 2:**
 $V_{2x} = V_x + (\omega r)_x = V_x + \omega L/2 = B$
 $V_{2y} = V_y + (\omega r)_y = V_y + \omega W/2 = D$ \Rightarrow speed = $\sqrt{B^2 + D^2}$
 angle = $\text{atan2}(B, D)$
- **Wheel 3:**
 $V_{3x} = V_x + (\omega r)_x = V_x - \omega L/2 = A$
 $V_{3y} = V_y + (\omega r)_y = V_y + \omega W/2 = D$ \Rightarrow speed = $\sqrt{A^2 + D^2}$
 angle = $\text{atan2}(A, D)$
- **Wheel 4:**
 $V_{4x} = V_x + (\omega r)_x = V_x - \omega L/2 = A$
 $V_{4y} = V_y + (\omega r)_y = V_y - \omega W/2 = C$ \Rightarrow speed = $\sqrt{A^2 + C^2}$
 angle = $\text{atan2}(A, C)$

<4 Wheel-Independent Steering Kinematics>

- 이를 통해 로봇은 스트래핑(Strafing), 크랩(Crab), 제자리 회전, 더블 아커만(Double-Ackermann) 등의 총 4가지 다른 모드로 주행 가능
- **스트래핑(Strafing)** : 이 모드에서는 모든 바퀴가 같은 각도로 조향되어 로봇의 방향이 변경되지 않음
- **크랩(Crab)** : 이 모드에서는 모든 바퀴가 90도로 조향되어 로봇이 방향을 변경하지 않고 옆으로 이동가능



<스트래핑(Strafing)모드 & 크랩(Crab)모드>

- **제자리 회전** : 이 모드에서는 모든 바퀴가 45도로 조향되어 로봇이 이동 없이 제자리에서 회전가능
- **더블 아커만(Double-Ackermann)** : 이 모드에서는 모든 바퀴가 자유롭게 조향되어 회전 반경을 줄이고 좁은 공간에서의 기동성을 향상



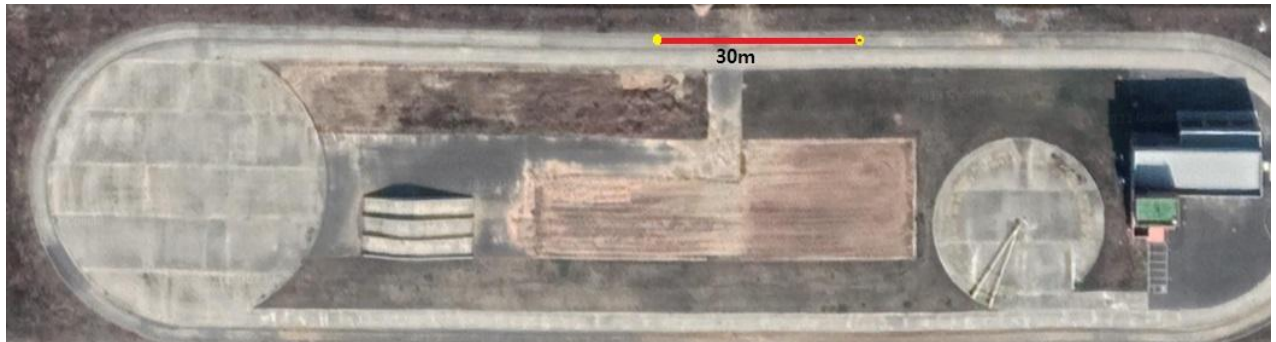
<제자리 회전 모드 & 더블 아커만(Double-Ackermann)모드>

□ 플랫폼의 현장 실증

○ 모바일 플랫폼 통합 성능 시험

- 플랫폼의 성능 및 작업 적합성 검증
- 인증기관 : 한국농업기술진흥원
- 시험장소 : 한국농업기술진흥원 야외시험장 (전라북도 익산시 소재)
- 인증결과, 모든 항목에 대한 목표치를 충족함을 확인
- 인증항목 및 측정결과는 아래 표와 같음

NO	시험 항목	단위	개발목표	측정결과	비고
1	자율주행 시스템 주행오차	mm	100	66	
2	장애물 인식 정확도	%	98	99.6	
3	대상체 추종 정확도	%	95	96.7	
4	음성 인식 인식 성능(단어)	%	97	98.6	
6	음성인식 자연어 처리(문장)	%	92	94.7	



<자율주행 검인증 시험장소 전경>



<검인증 시험 트랙 및 자율주행 검인증 현장>

시험 성적

1. 기 종 명 : 자율주행시스템
2. 시험번호: 23-KOATMP-333
3. 형 식 명 : LB-UGV2
4. 형 식 : GNSS(RTK)
5. 규 격 : -
6. 시험성적



6.1 구조

6.1.1. 주행장치

- 타이어규격 (전륜) 16×6.50-8 (후륜) 16×6.50-8
- 차륜의 거리 (전륜) 1 000, (후륜) 1 000 mm
- 축간거리 1 000 mm

6.1.2. 조향장치

- 형식 4WS(4륜조향)

6.1.3. 자동유도장치

- 형식명 TDR3000
- 제조사 SYNEREX
- 위치인식장치 종류 GNSS(GPS, RTK)
- 위치인식장치 위치 기체상단 중앙과우
- 위치인식장치 개수 2개

6.1.4. 자동조향장치

- 자동조향장치 형식 전동식
- 자동조향장치 형식명 -
- 제조사 전남대학교 자체제작

6.2 성능시험

6.2.1. 목표 도달 오차 성능시험

- 시험조건
- 시험장소 한국농업기술진흥원 야외시험장 (전라북도 익산시 평동로 2길 18)
 - 시험시작일시 2023.8.21, 17시 00분
 - 자동조향거리 30 m
 - 차량 대표권 차량 중심점
 - 설정 속도 0.4 m/s

시험결과

- 목표지점 도달 시 경로추종 이탈거리

구분	1회	2회	3회
목표지점 도달 시 이탈거리(mm)	65	68	64

7. 시험제품 개요

본 기대는 자동조향장치가 설치된 다목적 작업지원용 다축자율주행 플랫폼으로 직선경로를 3회 주행한 결과 목표 지점 도달 시 경로추종 이탈거리는 65 mm, 68 mm, 64 mm 임

8. 시험결과

본 시험은 한국농업기술진흥원 「분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제5조에 따라 신청자가 요구한 항목에 대한 성능시험 성격으로 신청자와 협의한 시험방법으로 실시하였음

연구팀 김은경 | 선임연구팀 조태경

<자율주행 시스템 검인증 성적서>

시험 성적

1. 기 종 명 : 자율주행시스템
2. 시험번호: 23-KOATMP-334
3. 형 식 명 : LB-UGV2
4. 형 식 : GNSS(RTK)
5. 규 격 : -
6. 시험성적



6.1 구조

6.1.1. 주행장치

- 타이어규격 (전륜) 16×6.50-8 (후륜) 16×6.50-8
- 차륜의 거리 (전륜) 1 000, (후륜) 1 000 mm
- 축간거리 1 000 mm

6.1.2. 조향장치

- 형식 4WS(4륜조향)

6.1.3. 자동유도장치

- 형식명 TDR3000
- 제조사 SYNEREX
- 위치인식장치 종류 GNSS(GPS, RTK)
- 위치인식장치 위치 기체상단 중앙과우
- 위치인식장치 개수 2개

6.1.4. 자동조향장치

- 자동조향장치 형식 전동식
- 자동조향장치 형식명 -
- 제조사 전남대학교 자체제작

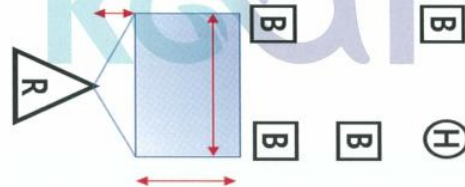
6.1.5. 영상력특장장치

- 형식명 D455
- 제조사 Intel

6.2 성능시험

6.2.1. 장애물 인식 성능

- 시험조건
- 시험장소 한국농업기술진흥원 야외시험장 (전라북도 익산시 평동로 2길 18)
 - 시험일시 2023.8.21, 14시 00분
 - 주행거리 20 m
 - 장애물 종류 및 색상 농산물 상자(노란색), 사람
 - 장애물 크기 및 개수 523×366×320 mm, 장애물 4개, 사람 1명
 - 인식대상체 배치 R: 기대, B: 장애물



- 반복횟수 6회

시험결과

- 인식률 99.6%

구분	1회	2회	3회	4회	5회	6회	합계
전체 프레임(개)	220	220	128	128	128	220	1044
감지 프레임(개)	218	219	128	128	127	220	1040
인식률(%)	99.1	99.5	100	100	99.2	100	99.6

<장애물 인식 정확도 검인증 성적서>

시험 성적

- 1. 기종명: 자율주행시스템
- 2. 시험번호: 23-KOATMP-331
- 3. 형식명: LB-UGV2
- 4. 형식: GNSS(RTK)
- 5. 규격: -
- 6. 시험성적



6.1 구조

6.1.1. 주행장치

- 타이어규격 (전륜) 16×6.50-8 (후륜) 16×6.50-8
- 차륜의 거리 (전륜) 1 000, (후륜) 1 000 mm
- 축간거리 1 000 mm

6.1.2. 조향장치

- 형식 4WS(4륜조향)

6.1.3. 자동유도장치

- 형식명 TDR3000
- 제조사 SYNEREX
- 위치인식장치 종류 GNSS(GPS, RTK)
- 위치인식장치 위치 기계상단 중앙과우
- 위치인식장치 개수 2개

6.1.4. 자동조향장치

- 자동조향장치 형식 전동식
- 자동조향장치 형식명 -
- 제조사 전남대학교 자체제작

6.1.5. 영상획득장치

- 형식명 D455
- 제조사 Intel

6.2 성능시험

6.2.1. 대상체 추종 성능

- 시험장소 한국농업기술진흥원 야외시험장 (전라북도 익산시 평동로 2길 18)
- 시험일시 2023. 8. 21. 14시 00분
- 대상체 추종 거리 10 m
- 인식대상체 사람
- 반복횟수 3회
- 시험결과
- 인식결과 3회 모두 대상체를 추종하여 10 m 추종 완료 되었음
- 인식률(인식 프레임/총감지 프레임) 평균 96.7% (1회) 96.2%, (2회) 97.4% (3회) 96.6%

7. 시험제품 개요

본 기대는 자동조향장치가 설치된 다목적 작업지원용 다축자율주행 플랫폼으로 대상체(사람)를 추종하여 10 m 자율주행 하였으며, 주행 중 대상체 인식률은 각각 96.2%, 97.4%, 95.6% 임

8. 시험결과

본 시험은 한국농업기술진흥원 「분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제5조에 따라 신청자가 요구한 항목에 대한 성능시험 성적으로 신청자와 협의한 시험방법으로 실시하였음

연구팀 김은국 | 선임연구원 조태경

<대상체 추종 정확도 검인증 성적서>

시험 성적

- 1. 기종명: 자율주행시스템
- 2. 시험번호: 23-KOATMP-332
- 3. 형식명: LB-UGV2
- 4. 형식: GNSS(RTK)
- 5. 규격: -
- 6. 시험성적



6.1 구조

6.1.1. 음성획득장치

- 형식명 SM-G991N
- 제조사 SAMSUNG
- 음성처리 소프트웨어
- 모델명 시제품
- 제조사 전남대학교 자체 제작

6.2 성능시험

6.2.1. 음성인식 성능

- 시험조건 한국농업기술진흥원 야외시험장 (전라북도 익산시 평동로 2길 18)
- 시험일시 2023. 8. 21. 14시 00분
- 인식 대상체 사람 목소리
- 인식 단어(인식성능) "앞으로", "뒤로", "오른쪽", "왼쪽", "정지"
- 인식 자연어(자연어처리) "작업장으로 간다.", "오른쪽으로 간다.", "정지한다."
- 반복횟수 각 10회 (단어) 10회(10반복) × 5개 단어 (자연어) 10회(10반복) × 3개 문장

시험결과

- 단어 인식률 평균값 98.6%

구분	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	인식률(%)
앞으로	100	90	100	100	100	100	100	100	100	100	99.0
뒤로	100	100	80	100	100	100	100	100	100	100	98.0
오른쪽	100	100	100	100	100	100	90	100	100	100	99.0
왼쪽	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100	99.0
정지	100	100	100	100	100	80	100	100	100	100	98.0
평균											98.6

· 자연어 인식률 평균값 94.7%

구분	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	인식률(%)
작업장으로 간다.	100	100	100	90	100	100	100	80	100	100	97.0
오른쪽으로 간다.	90	100	90	100	80	100	90	100	90	100	94.0
정지한다.	100	80	100	100	80	100	100	80	100	90	93.0
평균											94.7

7. 시험제품 개요

본 기대는 자동조향장치가 설치된 다목적 작업지원용 다축자율주행 플랫폼을 제어하기 위한 스마트폰(안드로이드)에 탑재된 어플리케이션으로 사람의 음성의 인식시험 결과 단어인식률은 98.6%였으며, 자연어 인식률은 94.7% 임

8. 시험결과

본 시험은 한국농업기술진흥원 「분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제5조에 따라 신청자가 요구한 항목에 대한 성능시험 성적으로 신청자와 협의한 시험방법으로 실시하였음

연구팀 김은국 | 선임연구원 조태경

<음성인식 자연어 처리 및 인식 성능 검인증 성적서>

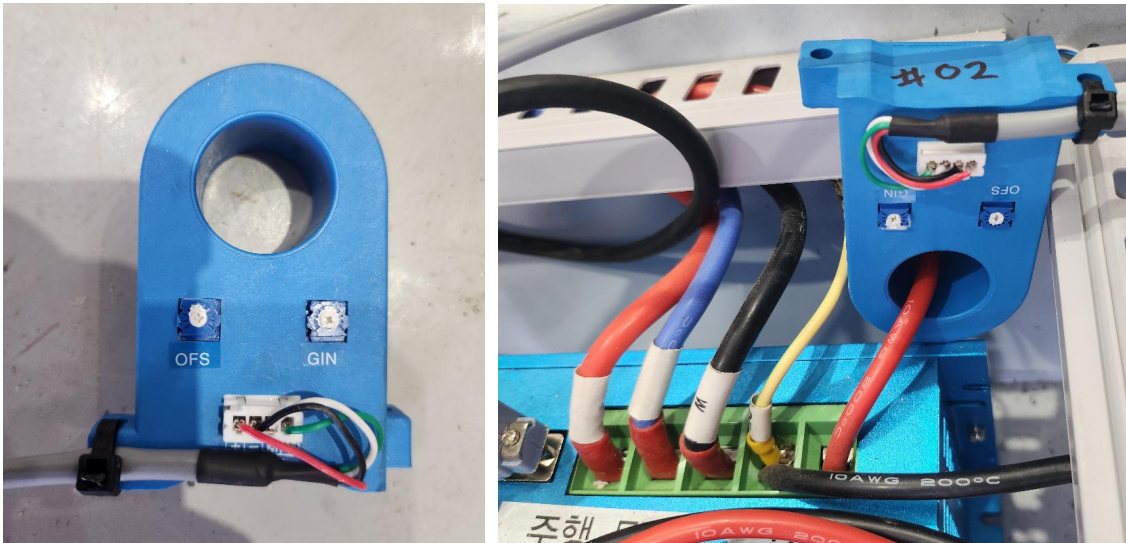
나. 위탁연구개발기관(충남대학교)

(1) 전기구동 플랫폼 성능 평가

□ 적재 하중에 따른 4륜 독립 전기구동 플랫폼 성능 측정

○ 실증 시험 시 성능 측정을 위한 전기구동 플랫폼 성능평가시스템 개발

- 전기구동 플랫폼의 성능 평가를 위한 센서 및 데이터 계측시스템 구성
 - 전기구동 플랫폼의 계측시스템은 주요 파라미터 측정을 위해 구성하였으며, 인버터 입력(모터) 전류, 모터 전압, 모터 회전속도, 배터리 전류를 계측하였음
 - 모터 전류는 DC current transducer (CE-IZ04-35A2-1, Phidgets Inc., Canada)를 사용하여 측정하였으며, 인버터와 모터 사이의 전선에 설치하였음



<전기구동 플랫폼의 인버터 입력(모터) 전류 측정을 위한 DC current transducer>

- DC current transducer는 0-100 A 범위의 전류를 측정할 수 있으며, 최대 오차는 1%임
- DC current transducer의 입력, 출력 전압은 각각 12 V, 0-5 V로 캘리브레이션 값을 통해 전류 측정이 가능하며 세부 제원은 아래 표와 같음

<표. DC current transducer 제원>

Item	Value
Current (DC Through-Hole)	Current (DC Through-Hole)
Sensor Output Type	Non-Ratiometric
Input Current Min. (A)	0
Input Current Max. (A)	100
Current Measurement Resolution (mA)	100
Measurement Error Max. (%)	1
Sensor Response Time Max (μs)	7
Supply Voltage (Vdc)	12
Current Consumption Max. (mA)	25
Output Voltage Min. (Vdc)	0
Output Voltage Max. (Vdc)	5
Operating Temperature (°C)	-10-80

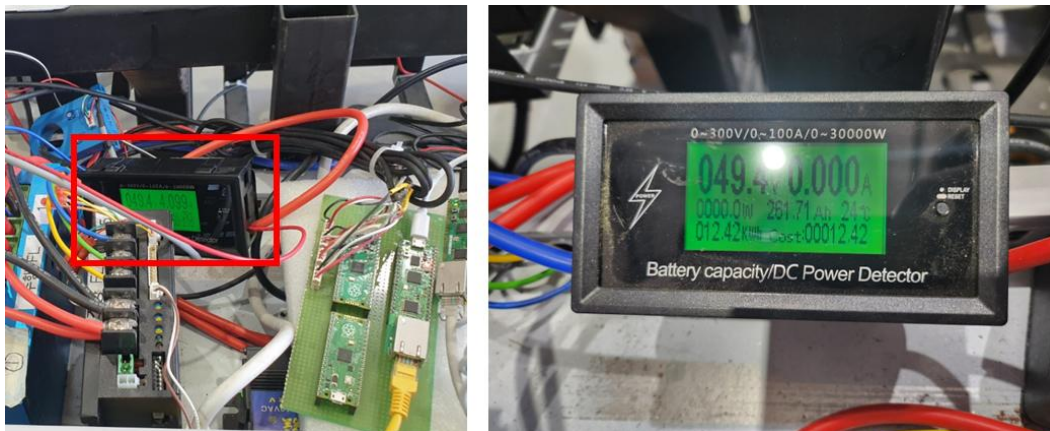
- 모터 회전속도 및 전압은 인버터의 controller network area (CAN) bus를 통해 계측하였음

- CAN 데이터의 sampling rate는 300 Hz로, 취득 주기를 높여 데이터의 신뢰성을 확보하였음



<모터 인버터의 실시간 CAN 데이터 측정을 위한 시스템 구성>

- 배터리 전류는 DC volt meter (Volt meter, Wuqieoi, China)를 통해 실시간으로 계측하였음
- DC volt meter의 최대 측정 전압 및 전류는 각각 300 V, 100 A이며, 전압과 전류 분해능 정확도는 0.05 V, 0.05 A임
- DC volt meter의 데이터 갱신은 매 500 ms 마다 수행되며, 작동 온도 범위는 0~99°C이며, 기타 세부 제원은 아래 표와 같음



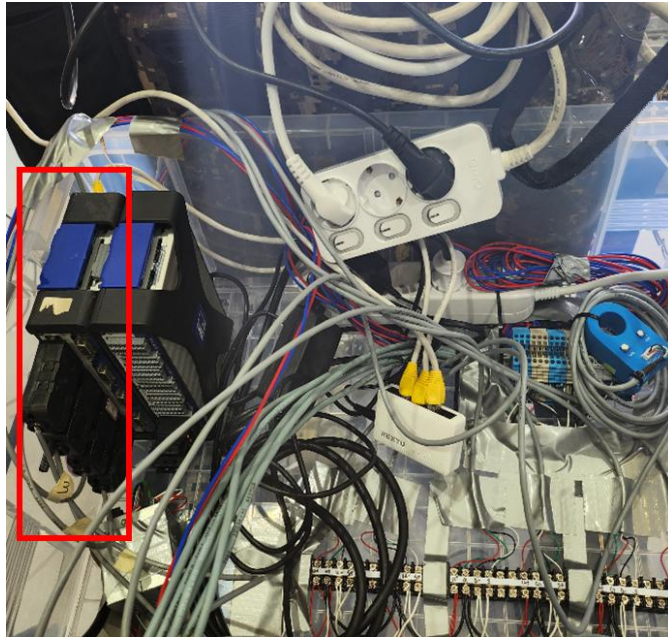
<배터리 출력 데이터 측정을 위한 시스템 구성 및 DC volt meter>

<표. DC volt meter 제원>

Item	Value
Voltage range (V)	0-300
Current range (A)	0-100
Voltage Resolution precision (V)	0.05
Current resolution precision (A)	0.05
Refresh time (ms/time)	500
Operating Temperature (°C)	0-99
Sampling rate (Hz)	0.5

- 계측 데이터 수집을 위해 Data acquisition (DAQ)를 설치하였으며, CAN 데이터, 아날로그 및 디지털 데이터 수신 가능한 모델(QuantumX MX840B, HBM, Germany)을 활용하였음

- 데이터수집장치의 CAN 채널의 포함하여 총 8개의 채널을 통해 데이터 수집이 가능하며, 정확도는 0.05-0.1%임
- 데이터수집장치의 sampling rates는 40 kS/s이며, 작동 온도 범위는 -20-65°C임



<계측 데이터 수집을 위한 데이터수집장치(DAQ)>

○ 실증 시험에 따른 독립 전기구동 플랫폼의 성능 측정

- 독립 전기구동 플랫폼 주행 및 작업 성능 측정
 - 독립 전기구동 플랫폼의 성능을 측정하기 위해 계측 시스템을 구성하였으며, 플랫폼 이동 중 실시간으로 계측할 수 있도록 장착하였음
 - 별도의 파워팩을 구성하여 센서를 포함한 계측시스템에 지속적인 전원을 공급할 수 있도록 구성하였음



<성능 측정을 위한 독립 전기구동 플랫폼 및 데이터 계측 시스템>

- 전기구동 플랫폼은 구동을 위해 2 kW급 모터를 각 휠에 구성하였으며, 모터의 정격 회전속도 및 전압은 각각 3,000 rpm, 48 Vdc임

- 전기 모터는 40:1의 기어비를 가지는 감속기를 거쳐 휠에 토크 및 회전속도를 전달하며, 전기모터의 정격 및 최대 토크는 각각 1.3, 6.4 Nm임
- 휠에서 출력 가능한 최대 토크는 약 240 Nm이며, 동일한 제원의 모터를 각 휠에 구성하였음
- 배터리는 정격 전압 48 Vdc의 리튬이온(Li-Ion) 배터리를 사용하였으며, 4.3 kWh의 용량을 가진 상용 제품을 2개 사용하였음

<표. 전기구동 플랫폼 주요 부품 제원>

Item		Value
Motor	Rated rotational speed (rpm)	3,000
	Rated voltage (Vdc)	48
	Rated torque (Nm)	1.3
	Max. torque (Nm)	6.4
	Gear ratio	40:1
Battery	Type	Li-ion
	Capacity (kWh) / ea	4.3 / 2

- 전기구동 플랫폼의 실차시험은 전남대학교 광주캠퍼스 내의 도로에서 수행하였으며, 도로 주행, 경사지 주행, 제자리 선회작업 시 데이터를 계측하였음
- : 주행 환경에서의 전기구동 플랫폼 성능을 평가하기 위해 등판, 강판, 평지주행을 수행하였음



<전기구동 플랫폼의 등판·강판주행 및 평지주행 테스트>

- : 독립 구동 시스템의 선회작업 성능을 평가하기 위해 제자리 선회작업 테스트를 수행하였음

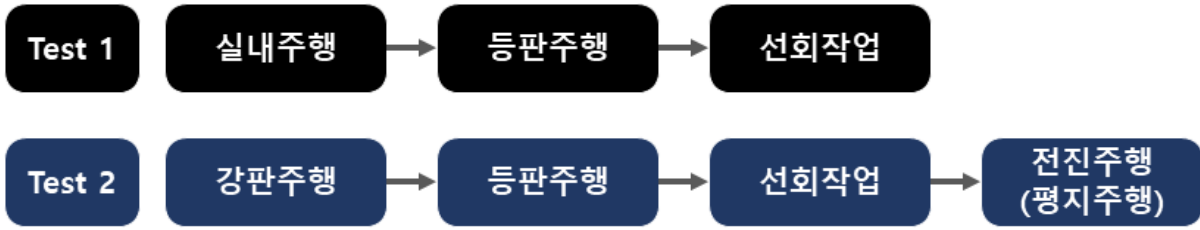


<전기구동 플랫폼의 제자리 선회작업 테스트>

- 테스트는 총 두 작업 사이클에 대해 진행하였으며, 첫 번째 작업 사이클(Test 1)은 실내주행-등판주행-선회작업으로 구성되어 있으며, 두 번째 작업 사이클(Test 2)은 강판주행-등판주행-선회작업-전진주행(평지)로 구성됨

: 각 작업 사이클은 약 200 sec 동안 연속 수행하였음

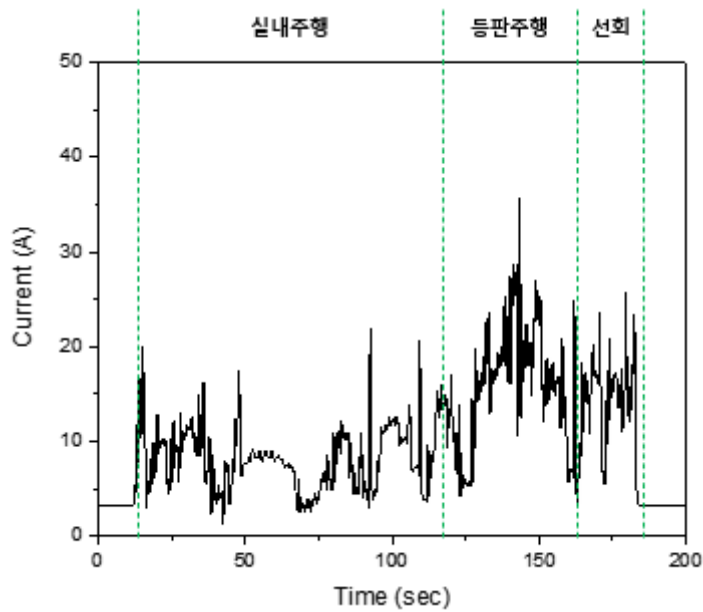
: 각 작업은 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 2회 반복 실시하였음



<전기구동 플랫폼 테스트 사이클>

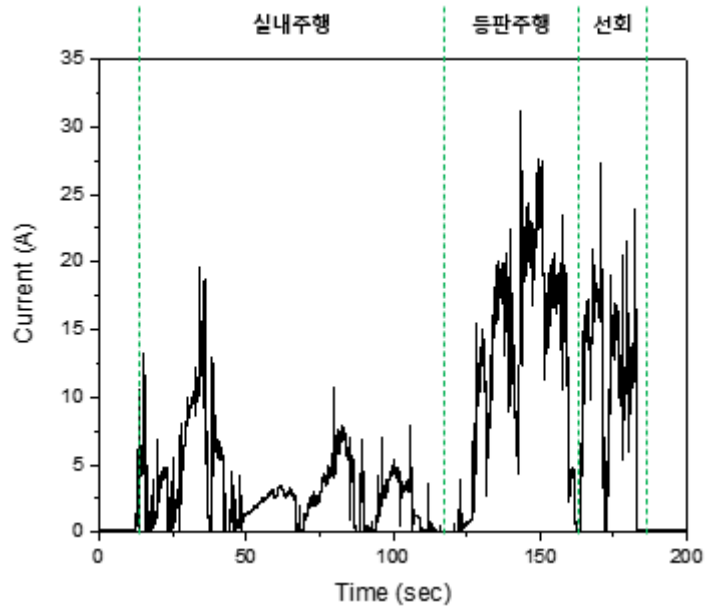
- 전기구동 플랫폼의 부하 계측 및 기존 부하데이터를 활용한 비교 분석

- Test 1에서 배터리 출력 전류는 아래와 같이 나타났으며, 실내주행, 등판주행, 선회 작업 시 평균 전류는 각각 8.2, 15.5, 12.3 A로 나타남
- : 소모 전류는 부하가 크게 발생하는 등판주행에서 가장 크게 나타났으며, 이후 선회작업, 실내주행 순으로 나타남



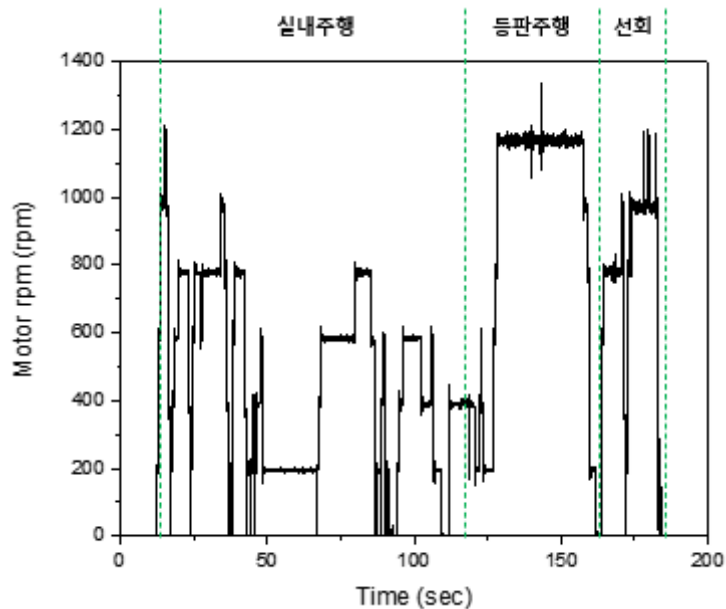
<전기구동 플랫폼의 배터리 출력 전류 데이터(Test 1)>

- Test 1에서 모터 입력 전류는 아래와 같이 나타났으며, 실내주행, 등판주행, 선회 작업 시 평균 출력 전류는 각각 3.1, 12.1, 9.3 A로 나타남
- : 모터 입력 전류는 전력 변환 효율에 의해 배터리 출력 전류보다 낮은 값을 가지며, 이 때 평균 효율은 77.0%로 나타남
- : 모터 입력 전류는 배터리 출력 전류와 유사한 개형을 보이며, 등판주행 시 가장 높은 전류가 소모되었으며, 실내주행 및 선회작업 시 상대적으로 낮은 전류가 소모됨



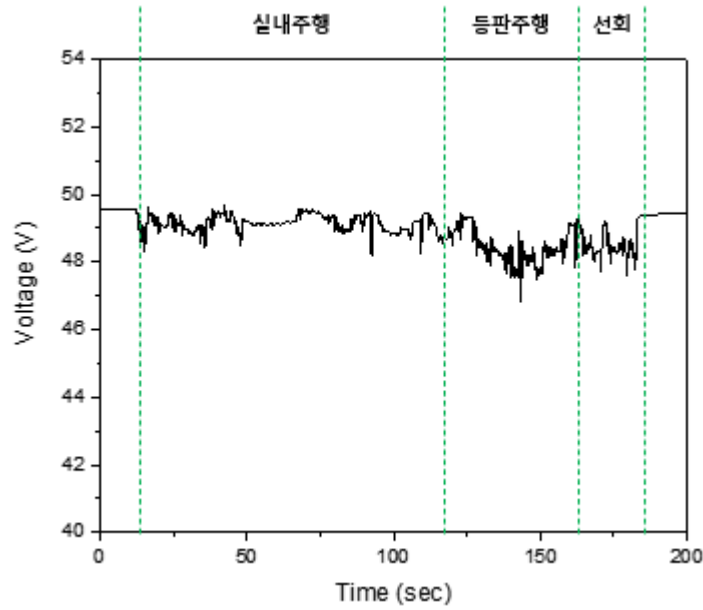
<전기구동 플랫폼의 모터 입력 전류 데이터(Test 1)>

- 각 작업 중 모터 회전속도는 아래 그림과 같이 나타났으며, 실내주행, 등판주행, 선회 작업 시 평균 모터 회전속도는 각각 448.1, 861.8, 730.7 rpm으로 나타남
 - : 실내주행은 비정형 환경에서 수행되어 빈번한 가·감속으로 인해 값의 변동이 큰 것으로 나타남
 - : 등판주행은 약 2 km/h의 주행속도로 수행되었으며, 그로인해 모터의 회전속도는 약 1,200 rpm으로 유지되었음
 - : 선회작업은 모터 회전속도 800~1,000 rpm 범위에서 수행되었음



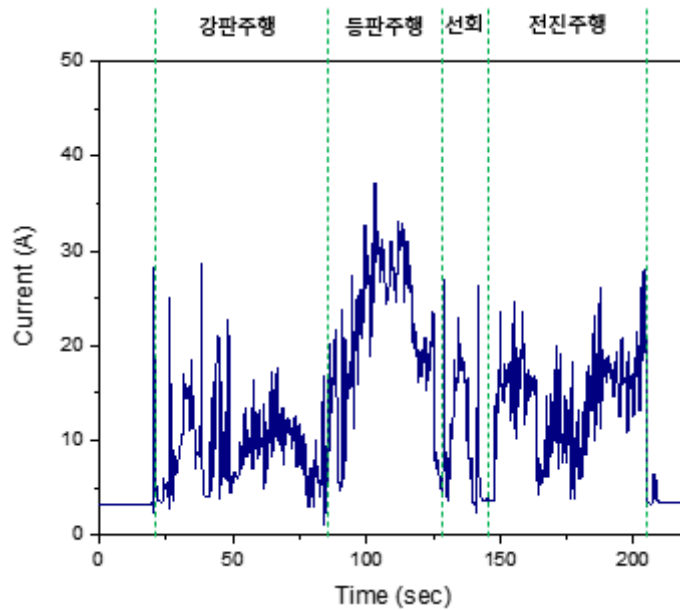
<전기구동 플랫폼의 모터 회전속도 데이터(Test 1)>

- Test 1에서 모터 전압은 아래 그림과 같은 개형으로 나타났으며, 실내주행, 등판주행, 선회 작업 시 각각 평균 49.1, 48.5, 48.7 V로 나타남
 - : 전압은 출력 전류가 높을 경우 강하되며, 등판주행 시 정격 전압대비 가장 크게 낮아지는 것으로 나타남
 - : 비교적 저부하 작업인 실내주행 시 전압 강하가 가장 작았으며, 전압이 안정된 상태에서 작업이 수행되었음
 - : 비교적 저부하 작업인 실내주행 시 전압 강하가 가장 작았으며, 전압이 안정된 상태에서 작업이 수행되었음



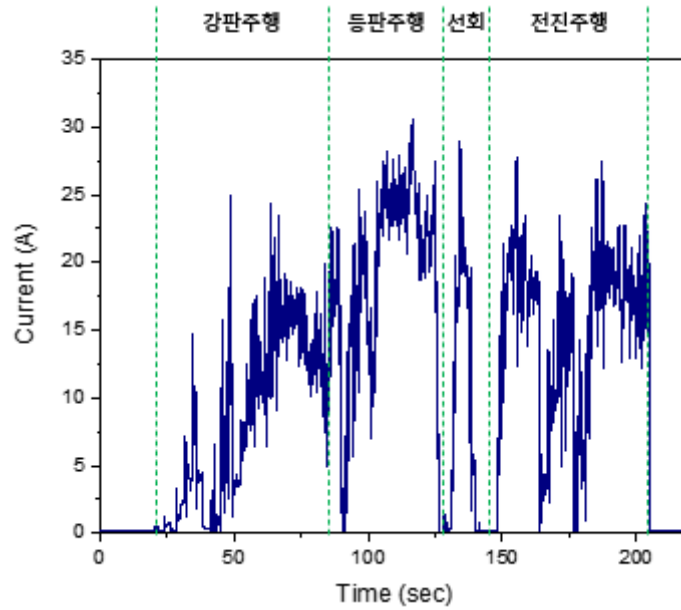
<전기구동 플랫폼의 전압 데이터(Test 1)>

- Test 2에서 배터리 출력 전류는 아래와 같이 나타났으며, 강판주행, 등판주행, 선회 작업, 전진주행 시 평균 전류는 각각 9.3, 20.9, 10.0, 14.3 A로 나타남
- : 소모 전류는 Test 1과 마찬가지로 부하가 크게 발생하는 등판주행에서 가장 크게 나타났으며, 이후 전진주행, 선회작업, 강판주행 순으로 나타남
- : 강판주행은 구름저항이 크지 않고, 관성에 의한 주행에 의해 비교적 저부하 조건에서 수행되어 전류가 낮게 소모된 것으로 판단됨



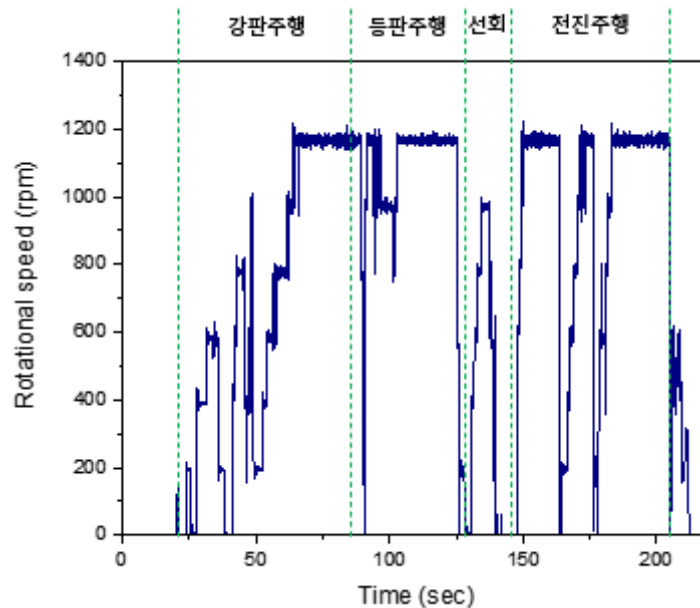
<전기구동 플랫폼의 배터리 출력 전류 데이터(Test 2)>

- Test 2에서 모터 입력 전류는 아래와 같이 나타났으며, 강판주행, 등판주행, 선회 작업, 전진주행 시 평균 출력 전류는 각각 8.2, 18.4, 7.1, 14.7 A로 나타남
- : 전력 변환 효율은 평균 82.1%로 나타났으며, 이는 배터리에서 출력되는 전류가 도선 저항과 인버터 효율에 의해 모터로 입력될 시 낮아지기 때문으로 판단됨
- : 모터 입력 전류는 배터리 출력 전류와 유사한 개형을 보이며, 등판주행 시 가장 높은 전류가 소모 되었으며, 강판주행 및 선회 작업 시 상대적으로 낮은 전류가 소모됨



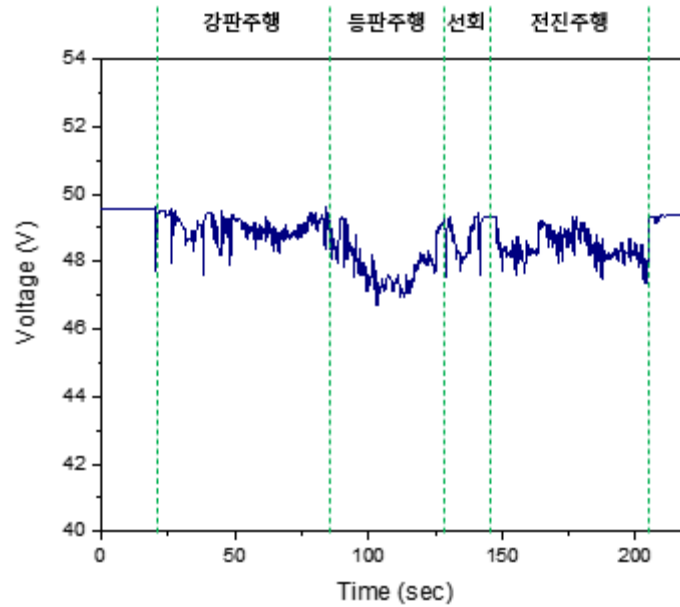
<전기구동 플랫폼의 모터 입력 전류 데이터(Test 2)>

- 각 작업 중 모터 회전속도는 아래 그림과 같이 나타났으며, 강판주행, 등판주행, 선회 작업, 전진주행 시 평균 모터 회전속도는 각각 660.6, 1028.5, 352.5, 978.3 rpm으로 나타남
- : 강판 주행의 초반 40 sec는 경사가 심하여 플랫폼 주행속도를 제어하기 위해 모터의 회전속도가 낮은 것으로 나타났으며, 이후 등판주행 속도와 같은 2 km/h에서 작업을 수행하기 위해 모터의 회전속도는 1,200 rpm으로 제어하였음
- : 등판주행은 Test 1과 같이 약 2 km/h의 주행속도로 수행되었으며, 모터의 회전속도는 약 1,200 rpm으로 유지되었음
- : 선회작업은 Test 1과 같이 모터 최대 회전속도 1,000 rpm 내에서 수행되었음
- : 전진주행 작업은 같은 모터 회전속도 조건에서 전기구동 플랫폼의 소모 전류 등을 비교하기 위해 타 작업과 같이 모터의 회전속도를 1,200 rpm으로 유지하였음



<전기구동 플랫폼의 모터 회전속도 데이터(Test 2)>

- Test 2에서 모터 전압은 아래 그림과 같은 개형으로 나타났으며, 강판주행, 등판주행, 선회 작업, 전진주행 시 각각 평균 49.0, 47.9, 48.8, 48.4 V로 나타남
- : 전압은 강하에 의해 고부하 작업인 등판주행 시 정격 전압대비 가장 크게 낮아지는 것으로 나타남
- : 비교적 저부하 작업인 강판주행 시 전압 강하가 가장 작은 것으로 나타남

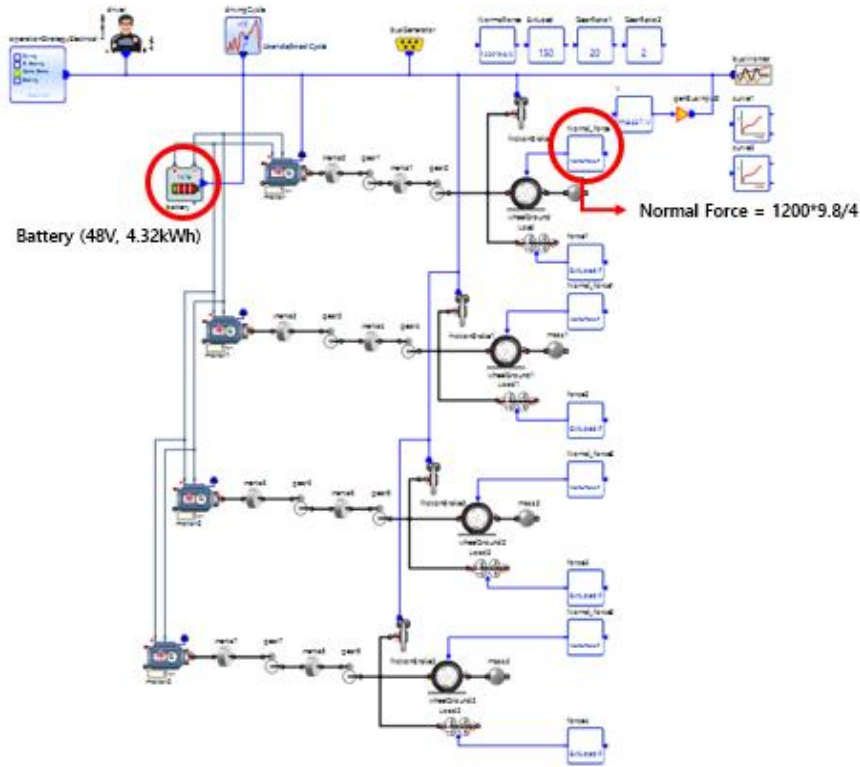


<전기구동 플랫폼의 전압 데이터(Test 2)>

□ 모터 구동, 배터리 성능 등 플랫폼 성능 평가 및 사양 최적화

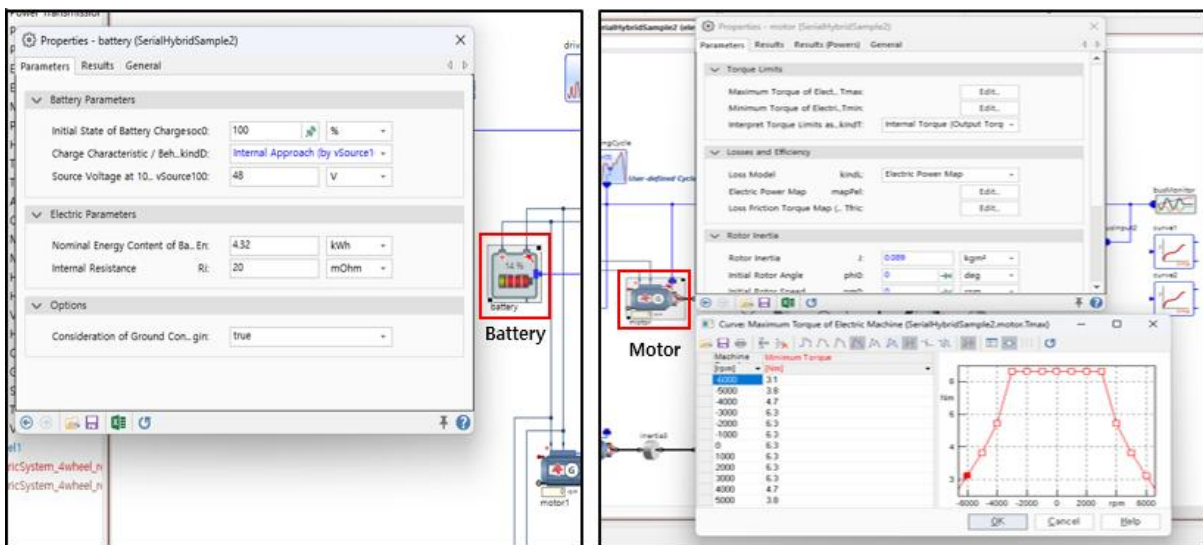
○ 실험 데이터를 기반으로 한 전기구동 플랫폼 시뮬레이션을 통한 모터, 배터리 등의 플랫폼 핵심부품의 성능 평가

- 실험 데이터에 기초한 전기구동 플랫폼 시뮬레이션 모델 보완 및 최적화
 - 전기구동 플랫폼의 시뮬레이션 모델은 1D 상용 해석 소프트웨어인 Simulation X (Ver 4.4, ESI ITI GmbH, Germany)를 이용하여 개발하였으며, 플랫폼의 모터, 배터리, 감속기, 차축 토크의 입력값을 반영하였음
 - 전기구동 플랫폼은 배터리로부터 전력을 공급받아 각 모터를 작동시키며, 모터에서 전기에너지를 회전에너지로 변환시켜 바퀴를 구동함
 - : 배터리에 각 부품들을 연결하였으며, 모터와 차축 사이에는 기어를 맞물려 감속비를 적용하였음
 - : 바퀴에 작용하는 수직항력은 플랫폼의 무게, 중력가속도 및 차축의 수를 고려하여 계산하였음



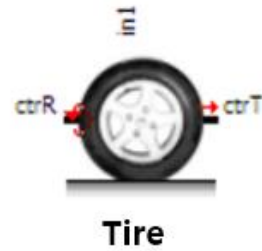
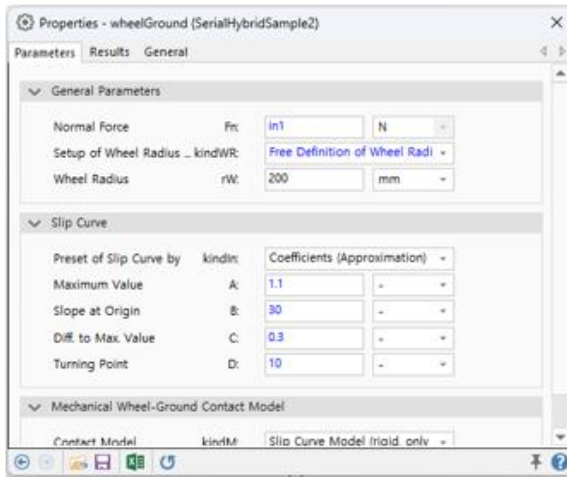
<전기구동 플랫폼 시스템 1D 시뮬레이션 모델>

- 시뮬레이션 모델의 사양은 실제 제품의 사양을 참고하였으며, 각 파라미터를 입력하여 단품 모델을 구성하였음. 전기구동 플랫폼의 제원은 아래 표와 같음
 - : 무게는 1,200 kg이며, 구동 모터는 4개의 축에 500W 모터를 각각 연결하여 총 2 kW의 출력을 내도록 하였음
 - : 배터리는 정격전압 48V, 용량 4.32 kWh의 리튬 이온 배터리를 선정하였음. 가속비는 1:40으로 선정하였음



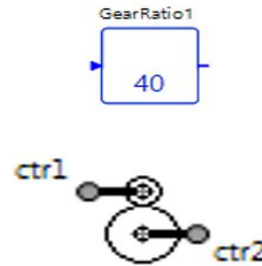
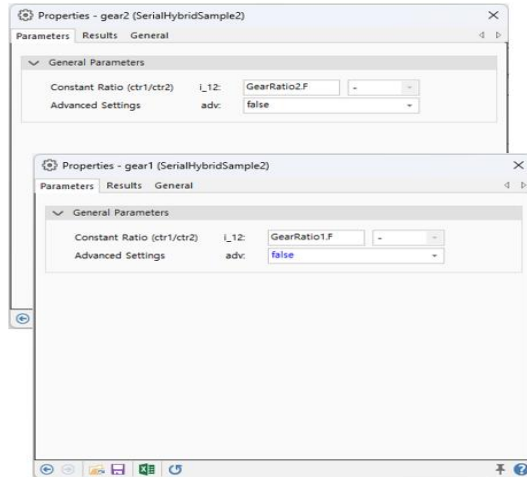
<시뮬레이션 모델 배터리(좌) 및 모터(우) 파라미터 입력 조건>

- 시뮬레이션 타이어 모델의 지름은 200 mm임. 타이어 제원을 이용하여 수직항력을 도출하였으며, 수직항력을 바탕으로 모터 토크를 계산하도록 구성하였음



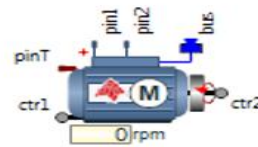
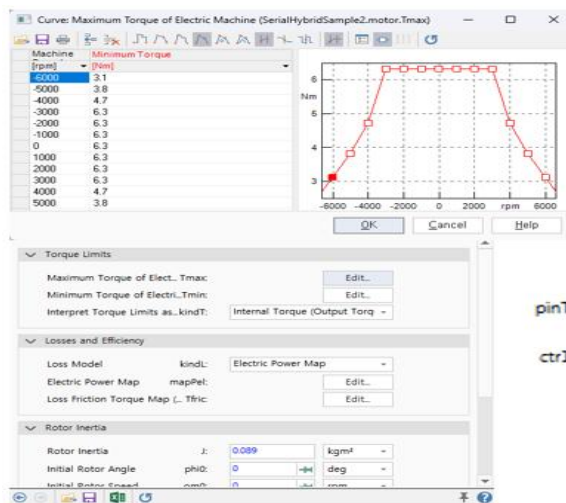
<시뮬레이션 모델 타이어 파라미터 입력 조건>

- 시뮬레이션 모델의 감속비는 1:40으로, 모터의 회전수를 감속하여 타이어 모델에 전달하도록 구성하였음



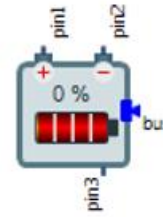
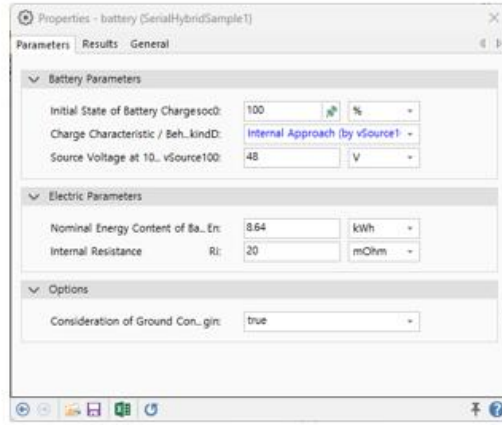
<시뮬레이션 모델 감속비 파라미터 입력 조건>

- 시뮬레이션 모델의 모터는 3000 rpm까지 최대 출력 토크인 6.3 Nm를 낼 수 있음



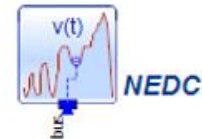
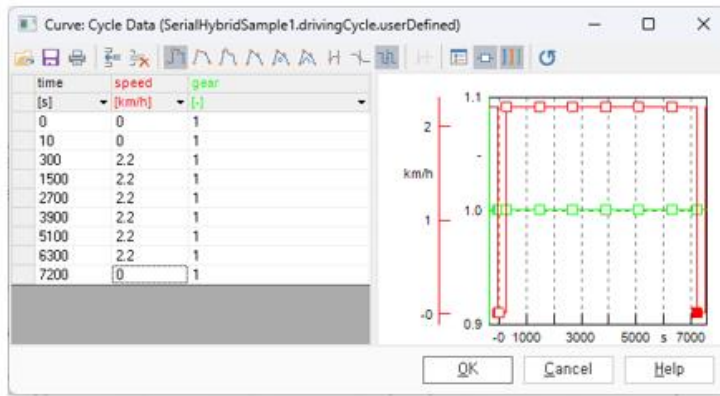
<시뮬레이션 모델 모터 파라미터 입력 조건>

- 시뮬레이션 모델의 배터리는 리튬이온 타입의 배터리를 선정하였으며, 총 배터리 용량은 8.64 kWh로 입력하였음



<시뮬레이션 모델 배터리 파라미터 입력 조건>

- 시뮬레이션 모델의 Driving cycle은 실제 주행속도인 2.2 km/h를 반영하였음

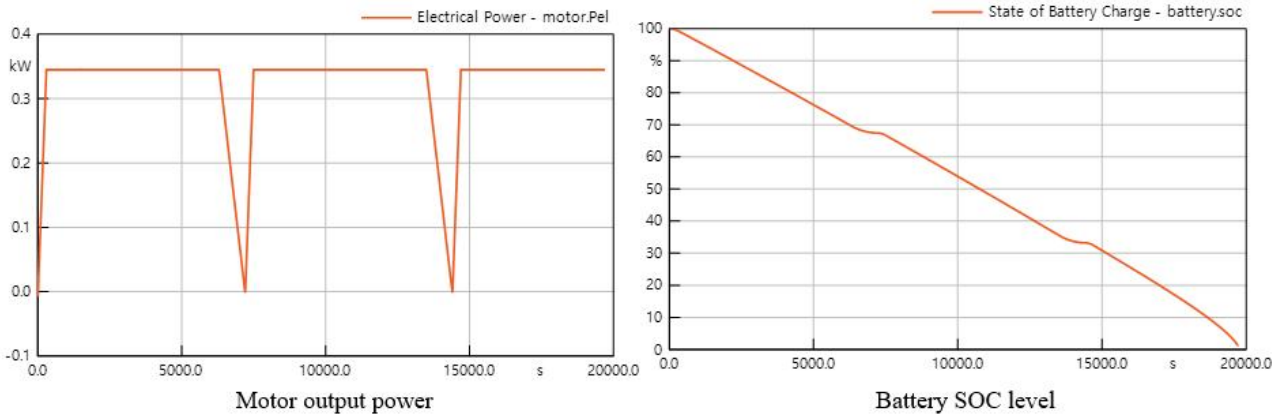


<시뮬레이션 모델 Driving Cycle 입력 조건>

<전기구동 플랫폼 주요 부품 제원>

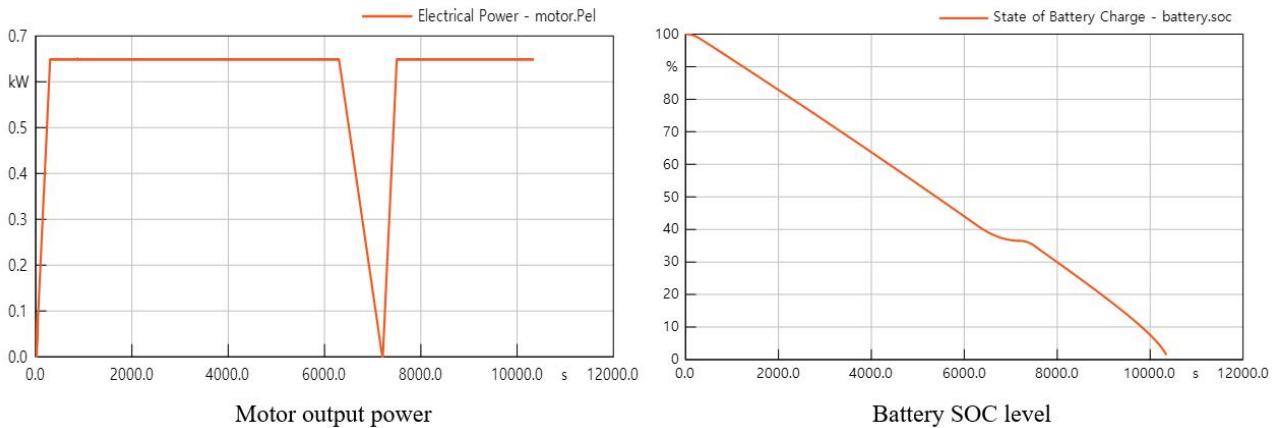
Item	Specification	
Weight (kg)	1,200	
Wheel diameter (mm)	400	
Length × Width × Height (mm)	1,600 × 1,600 × 1,380	
Battery	2 EA (48V, 4.32 kWh × 2 EA, Li-ion)	
Driving motor	Power (W)	2000 (500W × 4 EA)
	Rated speed (rpm)	3,000
	Rated Torque (Nm)	1.27
	Gear Ratio	1:40

- 전기구동 플랫폼 시뮬레이션을 이용하여 모터 토크, 배터리 SOC (State of charge) Level 등의 주요 핵심부품 성능 평가
 - 시뮬레이션 조건으로 등판주행 및 선회작업을 선정하였으며, 주행 속도는 2.2 km/h로 설정하였음. 배터리 용량을 고려하여 시뮬레이션은 약 12,000초 동안 수행하였음
 - 실차 시험 간 계측한 모터 회전속도 및 출력 데이터로 모터 필요 토크를 계산하였으며, 시뮬레이션 모델의 모터에 계산된 필요 토크를 입력하여 시뮬레이션을 수행하였음
 - 선회 작업 조건에서 모터 출력 시뮬레이션 해석 결과, 모터 최대 출력은 약 0.35 kW로 나타났으며, 배터리 SOC level 시뮬레이션 해석 결과, 연속 작업 조건 하에 약 5.6 시간 동안 사용 가능함



<모터 출력 및 배터리 SOC level 해석 결과 (선회 작업 조건)>

- 등판 주행 조건에서 모터 출력 시뮬레이션 해석 결과, 모터 최대 출력은 약 0.64 kW로 나타났으며, 배터리 SOC level 시뮬레이션 해석 결과, 연속 작업 조건 하에 약 2.8 시간 동안 사용 가능함
- 이에 따라, 2.2 km/h 속도로 주행 조건 하에서 현재 선정된 배터리를 1회 충전시, 이동 거리는 약 6.2 km로 판단됨



<모터 출력 및 배터리 SOC level 해석 결과 (등판 주행 조건)>

○ 실증 시험과 시뮬레이션 결과의 비교 분석을 통한 전기구동 플랫폼 핵심부품의 사양 최적화

- 전기구동 플랫폼의 실증 시험 및 시뮬레이션 해석 결과는 아래와 같음
 - 등판주행 조건에서 모터 출력은 Test 1, Test 2, 시뮬레이션 해석 결과 각각 0.53, 0.79, 0.64 kW로 나타났으며, 배터리 사용시간은 3.5, 2.3, 2.8 시간으로 나타남
 - 선회작업 조건에서 모터 출력은 Test 1, Test 2, 시뮬레이션 해석 결과 각각 0.41, 0.31, 0.35 kW로 나타났으며, 배터리 사용시간은 4.5, 5.9, 5.6 시간으로 나타남
- 시뮬레이션 해석 결과는 실증 시험을 통해 계측한 모터 출력 데이터 범위 내의 수치를 가지는 것으로 나타났으며, 배터리 사용시간 또한 시뮬레이션으로 예측 가능함을 확인하였음
- 현재 선정된 모터는 출력 범위 내에서 작업 수행이 가능하며, 배터리 또한 약 3 h의 작업이 가능함에 따라, 핵심부품의 사양은 적절한 것으로 판단됨

<전기구동 플랫폼 실증 시험 및 시뮬레이션 해석 결과 비교>

	실증 시험				시뮬레이션 해석	
	모터 출력 (kW)		배터리 사용 시간 (h)		모터 출력 (kW)	배터리 사용 시간 (h)
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2		
등판주행	0.53	0.79	3.5	2.3	0.64	2.8
선회작업	0.41	0.31	4.5	5.9	0.35	5.6

다. 협동연구개발기관(엘비)

(1) 차체가변형 4륜 독립 전기구동 모바일 플랫폼 개발

○ 4륜 독립 전기구동 모바일 플랫폼 개발

- 모바일 플랫폼의 차체는 1600(L)*1600(W)*1400(H)로 제작 했으며, 적재함은 팔레트를 적재할 수 있도록 1600(L)*1600(W)*350(H) 크기로 구성했음
- 4개의 바퀴가 전기모터에 의해 독립적으로 구동 및 조향될 수 있도록 하여 직각 및 제자리 선회가 가능하며, 전후, 좌우 이동 제어가 쉽도록 구성했음
- 독립 현가장치를 사용하여 농산물 운반시 충격을 줄이고, 6km/h 이내 속도로 농작물 운송하며, 배터리는 48V, 300A를 적용하여 종일 주간 사용에 충분하도록 구성함
- 4륜 독립 조향을 위해 각각 내측 45도, 외측 90도 조향이 가능함



<사륜 독립구동, 독립조향이 가능하며 독립현가장치를 구비한 모바일 플랫폼>

○ 모바일 플랫폼 윤거가변시스템 개발

- 국내 밭농경지에는 다양한 작물이 재배되고 작물에 따라 재배 이랑의 폭이 다르므로 작물에 따라 모바일 로봇의 윤거를 조절할 수 있는 시스템을 개발함
- 윤거 조절 시스템은 모터, 감속기 및 LM guide를 사용하여 차체 폭을 $\pm 300\text{mm}$ 로 조절가능하며, 이에 따라 윤거는 바퀴 외측 기준 1000mm~1600mm까지 조절할 수 있음



<윤거가변 시스템>

○ 직진,후진 가변 및 직각 선회 시스템 개발

- 4륜 독립구동, 독립조향 기능을 이용하여 전진, 후진, 측방향 직각주행 및 제자리 선회 주행이 가능함

<모바일 플랫폼 사양>

Items	Specifications
차량 크기	(LxWxH) 1600 X 1600 X 1400
적재함 크기	(LxWxH) 1600 X 1600 X 350
적재 중량	300KG
등판 능력	300kg 적재시 25%경사 등판가능
구동 방식	4륜 BLDC모터+감속기
바퀴 조향각도	4륜 각각 135도 가능(내측 90도, 외측 45도)
윤거 확장 범위	좌우 각각 300mm 총 600mm 확장가능
윤거 최소 최대 폭	외측기준 최소 1000mm 최대 1600mm
구동 전력	리튬이온 배터리
배터리	48V 300A
최고 속도	6Km/h
서스펜션	독립현가장치

○ 밭 경사도에 따른 적재함 수평제어 시스템 개발

- 경사로에서 적재물의 안전을 위해 항상 수평을 유지할 수 있는 시스템을 구성함. 농경지의 종단 경사로 또는 횡단경사로에서 적재함 하부에 설치된 IMU와 3개의 유압실린더를 통해 전후좌우 수평을 유지하도록 함

<적재함 수평제어 시스템 사양>

Items	Specifications
적재함 크기	1600 X 1600 X 350
수평 제어 방법	IMU와 유압실린더에 의한 수평제어 방식
수평 조정 범위	25% 경사까지 가능



<적재함 수평제어 시스템>

○ 적재.하역 리프트 시스템 개발

- 작업자의 편의성 및 안전을 위해 1회에 100kg까지 사용할 수 있는 화물 상하차용 리프트를 설치하여 작업을 용이 하게함
- 유압모터 및 윈치를 이용하여 승강하며, 화물 적재 완료후 리프트 (바닥판을 수직으로 세워 적재 뒷면에 고정하여 적재물 낙하를 막는 적재함의 뒷문으로 사용함

<리프트 장치 사양>

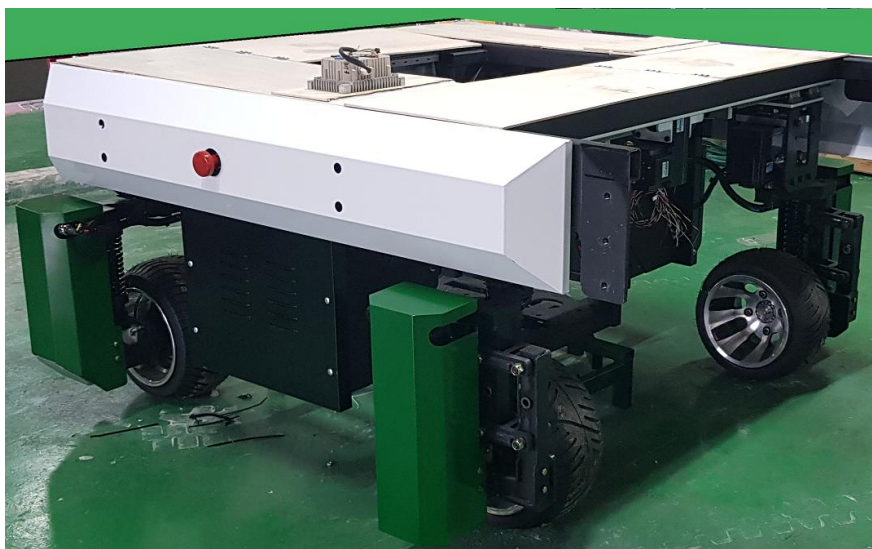
Items	Specifications
사용 하중	100kg
구동방식	전동윈치
리프트 판 크기	1200mm X 500mm
작동 높이	지상--> 600mm --> 1100mm 단계별 작동 가능



<적재.하역을 위한 리프트 시스템 및 안전사고 예방을 위한 비상정지 버튼>

○ 밭 농경지 환경에서의 사고예방장치 개발

- 차량의 전방 및 후방에 동작감지 센서 및 라이다를 부착하여 일정거리 이내의 물체를 감지하고 속도와 연동하여 위험시 자동정지하며, 동시에 알람 신호를 울려 주위에 운행중임을 인식시켜 안전사고를 예방함
- 비상정지 버튼으로 시스템 동작 정지를 통한 안전사고를 예방함



<비상정지 버튼 및 안전 커버>

(2) 농작업 현장 실증

○ 모바일 플랫폼 통합 성능 시험

- 플랫폼의 작업 적합성 검증
- 인증기관 : 한국농업기술진흥원(전북 익산시 소재)
- 인증결과, 모든 항목에 대한 목표치를 충족함을 확인
- 인증항목 및 측정결과는 아래 표와 같음

NO	시험 항목	단위	개발목표	측정결과	비고
1	최대 적재 하중	kg	300	300	
2	윤거 확장 범위	mm	1,600	1,600	
3	운용 시간 (주간)	시간	10	10	
4	바퀴 조향 각도	도	내측	90	
			외측	45	
5	최대 주행 속도	km/hr	6	6	
6	수평 유지 최대 경사도(각)	%(도)	25(14°)	30.5%(17°)	경사각 변환식을 통해 측정치인 17°의 경사각은 30.5%의 경사도로 환산
7	리프트 허용 하중	kg	100	100	
8	리프트 작동 높이	mm	1,100	1,100	



<농업기술진흥원 플랫폼 검인증>

농업기계 성능시험 성적서

1. 신청인

- 가. 성명 : 오강호
- 나. 사업자등록번호 : 523-87-00315
- 다. 주소 : 충청북도 음성군 금왕읍 본대리 148-14
- 라. 상호 : 주식회사 엘비

2. 시험 용도의 제품

- 가. 기종명 : -
- 나. 형식명 : 전기구동 모바일 플랫폼
- 다. 형식 및 규격 : 4륜 독립구동식, 최대적재하중 300 kg(신청자 제시값)

3. 시험번호 : 23-KOATMP-169

4. 시험성적 : 불임

본 성적서는 한국농업기술진흥원 「분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제5조에 따라 실시한 성능시험 성적서입니다.

이 성적서는 한국농업기술진흥원 「분석시험 의뢰 및 처리규칙」에 따른 연구개발제품에 대한 성능 확인에 한정된 것이며, 그 밖의 다른 법률이 적용되는 제품의 경우 해당 법률에 따라 추가도 인증·허가 등을 받아야합니다.

2023년 08월 21일

한국농업기술진흥원의



[붙임]

23-KOATMP-169

시험 성적

1. 기종명 : -
2. 시험번호 : 23-KOATMP-169
3. 형식명 : 전기구동 모바일 플랫폼
4. 형식 : 4륜 독립 구동식
5. 규격 : 최대적재하중 300 kg(신청자 제시값)
6. 시험성적



6.1 구조

- 6.1.1 기체의 크기
 - 길이 × 폭 × 높이 (2 030 × 1 600 × 1360) mm
 - 중량 1 080 kg

6.2. 성능시험

- 6.2.1 최대적재하중
 - 시험조건 아스팔트
 - 시험노면
 - 시험구간 및 주행속도 100 m, 6 km/h
 - 적재량 300 kg
 - 시험성적 300 kg 적재 후 6 km/h 속도로 주행 시 이상여부 없음 (작동중지, 구성품의 파손, 경로 이탈, 최대속도 미달, 이상소음, 전도 등)

- 6.2.2 윤거확장범위
 - 시험성적 (최소) 800 mm, (최대) 1 600 mm

- 6.2.3 운용 시간
 - 시험조건 아스팔트
 - 시험노면
 - 시험구간, 주행속도, 왕복 횟수 300 m, 4 km/h, 13 회(300 kg 적재), 13 회(미적재)



시험성적

26회 시험구간 반복 주행 후 배터리 잔량은 39.2 V(방전종지전압 37.5 V)로 상차 및 하차 시간 포함 총 10시간이상 운용 가능

- 6.2.4 바퀴 조향 각도
 - 시험성적 (-)90° ~ (+)90°

- 6.2.5 최대 주행 속도
 - 시험조건 아스팔트, 50 m
 - 시험노면 및 시험구간
 - 시험 성적 6 km/h

- 6.2.6 수평유지 최대 경사각
 - 시험조건 300 kg
 - 적재량 (최대) 17°
 - 시험성적

- 6.2.7 리프트 허용 하중
 - 시험조건 100 kg
 - 적재량
 - 시험성적 차체 후방에 부착된 유압 리프트에 100 kg 적재 후 상승 하강 5회 반복 시 이상 없음

- 6.2.8 리프트 작동 높이(최대)
 - 시험조건 100 kg
 - 적재량
 - 시험성적 1 100 mm

7. 시험제품 개요

본 기대는 「발농사 농산물 적재, 운반, 하역용 차체 가변형 전기구동 자율주행 모바일 로봇개발」 과제로 연구개발된 4륜 독립구동식 전기구동 모바일 플랫폼임

8. 시험결과

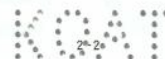
시험 결과 본 기대의 최대 주행속도는 6 km/h이며 최대 적재량은 300 kg, 후방 리프트 허용하중은 100 kg이며 최대운용 시간은 10시간 이상으로 측정되었음

선임연구원
배남진

배남진

연구원
백선욱

백선욱



<검인증 성적서>

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

-
- 윤거 가변형 4륜 독립 전기구동 모바일 플랫폼 개발
 - 윤거 범위 800-1,600mm, 적재 중량 300kg 이상
 - 머신비전 및 인공지능 기반의 모바일 로봇 자율주행 시스템 개발
 - 자율주행 정확도 3%이내, 대상체 인지 정확도 90%이상
 - 모바일 플랫폼 적재함 수평제어 시스템 및 적재·하역 리프트 시스템 개발
 - 리프트 적재 중량 100kg이상, 리프트 작동 높이 0-1,100mm 이상
 - 작업자 추종 및 음성인식 기반의 원격제어 시스템 개발
 - 작업자 추종 정확도 90% 이상, 음성인식 정확도 95% 이상
 - 자율주행 하드웨어 시스템 구성 및 개발
 - 4륜 독립 구동 로봇 하드웨어 시스템 구성
 - 머신비전 및 인공지능 기반의 밭 농경지 환경 인식 시스템 개발
 - YOLOv5 기반 객체 검출 알고리즘 개발
 - 4륜 독립 전기구동 기반의 자율주행 알고리즘 개발
 - 장애물 인식 시스템 개발
 - 4륜 독립전기구동 플랫폼의 부품 선정 및 시스템 설계 기술
 - 전기구동 플랫폼의 핵심부품 사양 선정을 위한 시뮬레이션 단품 모델 개발 기술
 - 플랫폼 주행 및 작업 조건별 시뮬레이션 해석 및 분석 기술
 - 전기구동 플랫폼 성능 평가를 위한 계측 시스템 개발
 - 전기구동 플랫폼 시스템 해석 모델 개발 및 시뮬레이션 해석 기술
 - 시뮬레이션 모델을 활용한 전기구동 플랫폼 핵심부품의 사양 최적화 기술
 - 4륜 개별 구동 시스템 개발
 - 직진·후진 가변 및 직각 선회 시스템 개발
 - 밭 농경지 환경에서의 사고예방장치 개발
-

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

○ 특허 출원 5건

- “독립 구동형 전기 플랫폼의 슬립 제어 시스템”
- “농업용 4륜차 볼 스크루를 이용한 윤거가변장치”
- “농업용 4륜차의 윤거가변장치”
- “전동 사륜차량의 독립 현가장치”
- “인공지능 기반의 로봇 과수 적과 처리장치 및 방법”

○ 특허 등록 2건

- “독립 구동형 전기 플랫폼의 슬립 제어 시스템”
- “전동 사륜차량의 독립 현가장치”

○ SCI논문 리뷰 및 투고 준비 중 - (3)건

- “Data analysis and traction performance evaluation of an electric all-wheel drive tractor during agricultural operation” (Biosystems Engineering, 투고완료 후 에디터 리뷰 중)
- “Orchard navigation system based on error state Kalman filter for IMU/bi-channel GPS integrated” (Computers and Electronics in Agriculture, 투고 준비 중)
- “A Real-Time Person Tracking Algorithm Based on Yolact and SIFT for Agricultural Robots” (Computers and Electronics in Agriculture, 투고 준비 중)

○ 비SCI논문 1건

- “Performance Simulation of the Electric Multi-purpose Cultivator according to Rotary Tillage” (Korean Journal of Agricultural Science)
-

○ **학술발표 9건**

- 드라이브·컨트롤 2021년 춘계학술대회 1건
: “필드시험을 통한 전기구동 AWD 트랙터의 농작업 성능 분석”
- 한국농업기계학회 2021년 추계 공동학술대회 1건
: “Fuzzy Logic Controller Design for an Agricultural Four-Wheel Independent Mobile Robot”
- 한국 자동차 공학회 2022년 춘계학술대회 1건
: “전기구동 트랙터의 견인 효율 및 견인 계수 분석”
- 한국농업기계학회 2022년 추계 공동학술대회 2건
: “An Autonomous Navigation System based on Error State Kalman Filter and Topological Map”
: “Lyapunov Controller for an Agricultural Four- Wheel Independent Mobile Robot”
- 드라이브·컨트롤 2022년 추계학술대회 1건
: “44 kW급 전기 트랙터의 E-driving 시스템 설계 검증”
- 2022년 ICROS 2건
: “Lyapunov Pose Controller for 4 Wheel Independent Steering and Driving System”
: “A Real-Time Person Tracking Algorithm Based on Yolact and SIFT for Agricultural Robots”
- 한국농업기계학회 2023년 춘계학술대회 1건
: “Improving Model Performance on Scarce Datasets using SE Blocks in YOLOv7 Architecture”

○ **기술실시(이전) 3건, 기술료 12(백만원)**

○ **제품화 2건, 매출액 10.4(백만원)**

○ **고용창출 3명**

○ **인력양성 1명 : 석사학위 취득**

○ **홍보/전시 1건**

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1차년도 (2021)	2차년도 (2022~2023.6)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표	SCI논문	목표(연차별)	-	1	1	-
		실적(누적)	-	-	-	
	비SCI논문	목표(연차별)	1	-	1	-
		실적(누적)	1	-	1	
	특허출원	목표(연차별)	1	1	2	10
		실적(누적)	3	2	5	
	특허등록	목표(연차별)	-	-	-	-
		실적(누적)	-	2	2	
	학술발표	목표(연차별)	1	1	2	5
		실적(누적)	2	7	9	
연구개발과제 특성 반영 지표	기술실시(이전)	목표(연차별)	-	1	1	10
		실적(누적)	-	3	3	
	기술료	목표(연차별)	-	2,000	2,000	10
		실적(누적)	-	12,000	12,000	
	제품화	목표(연차별)	-	1	1	50
		실적(누적)	-	2	2	
	매출액	목표(연차별)	-	-	-	-
		실적(누적)	-	10,460	10,460	
	고용창출	목표(연차별)	1	1	2	10
		실적(누적)	2	1	3	
	인력양성	목표(연차별)	-	-	-	-
		실적(누적)	1	-	1	
	홍보전시	목표(연차별)	-	1	1	5
		실적(누적)	-	-	1	
계	목표(연차별)	4	7	11		
	실적(누적)	8	13	21		

< 연구개발성과 성능지표 >

평가 항목 (주요성능)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중(%)	세계 최고		연구개발 목표치		연구개발 결과	성능평가/시험 방법 및 기준		
			보유국/보유기관	성능수준	1차년도 (2021년)	2차년도 (2022년 ~2023.06)				
1	윤거 가변형 4륜 독립 전기구 동 모바일 플랫폼	최대 적재하중	kg	10	대한민국/한국로봇 융합연구원	300	300	300	300	한국농업 기술진흥원
2		윤거 확장 범위	mm	10	프랑스/Naio Technologies	1,000	1,000	1,600	1,600	
3		윤거 시간 (주간)	시간	5	노르웨이/Thovald Robot	10	10	10	10	
4		바퀴 내측 조향	도	10	노르웨이/Thovald Robot	90	80	90	90	
5						바퀴 외측 각도	45	30	45	
6		최대 주행속도	km/hr	5	대한민국/한국로봇 융합연구원	5	5	6	6	
7		수평 유지 최대 경사도	%	10	대한민국/한국로봇 융합연구원	25	25	25	30.5	
8		리프트 허용 하중	kg	5	-	-	100	100	100	
9		리프트 작동 높이	mm	5	-	-	800	1,100	1,100	
10	자율 주행 시스템	주행오차	mm	10	프랑스/Naio Technologies	100	100	100	66	한국농업 기술진흥원
11		장애물 인식 정확도	%	10	프랑스/Naio Technologies	99	95	98	99.6	
12	사용자 추종 시스템	대상체 추종 정확도	%	10	미국/Augean Robotics	95	90	95	96.7	한국농업 기술진흥원
13	음성	인식 성능	%	5	미국/Trint	99	90	97	98.6	한국농업 기술진흥원
14	인식	자연어처리	%	5	미국/Trint	99	90	92	94.7	

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

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Performance Simulation of the Electric Multi-purpose Cultivator according to Rotary Tillage Data	Korean Journal of Agricultural Science	백승윤	48(4)	대한민국	충남대학교	비SCI	21.12.01	2466-2402	100%
2	analysis and traction performance evaluation of an electric all-wheel drive tractor during agricultural operation	Biosystems Engineering	백승윤	-	영국	ELSEVIER	SCIE	투고 후 리뷰 중	-	50%
3	Orchard navigation system based on error state Kalman filter for IMU/bi-channel GPS integrated	Computers and Electronics in Agriculture	이경환	-	영국	ELSEVIER	SCIE	투고 준비중	0168-1699	50%
4	Real-Time Person Tracking Algorithm Based on Yolact and SIFT for Agricultural Robots	Computers and Electronics in Agriculture	이경환	-	영국	ELSEVIER	SCIE	투고 준비중	0168-1699	50%

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	드라이브·컨트롤 2021년 춘계 학술대회	백승윤	21.07.15	부경대학교	대한민국
2	한국농업기계학회 2021년 추계공동학술대회	Vela Ulloa Pablo Andres	21.10.29	소노벨 제주	대한민국
3	한국 자동차 공학회 2022년 춘계 학술대회	백승윤	22.06.03	부산 BEXCO	대한민국

4	한국농업기계학회 2022년 추계공동학술대회	주야오빈	22.11.02	대구 EXCO	대한민국
5	한국농업기계학회 2022년 추계공동학술대회	Vela Ulloa Pablo Andres	22.11.02	대구 EXCO	대한민국
6	드라이브·컨트롤 2022년 추계 학술대회	백승윤	22.12.15	군산대학교	대한민국
7	2022년 ICROS	유현종	22.06.22	거제 소노캠	대한민국
8	2022년 ICROS	Vela Ulloa Pablo Andres	22.06.22	거제 소노캠	대한민국
9	한국농업기계학회 2023년 춘계공동학술대회	장제왕	23.04.28	KT 대전인재개발원	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	독립 구동형 전기 플랫폼의 슬립 제어 시스템	대한민국	충남대학교 산학협력단	21.08.12	10-2021- 0106411		충남대학교 산학협력단	22.02.24	10-2368 877	100%	
2	농업용 4륜차 볼 스크루를 이용한 윤거가변장치	대한민국	주식회사 앨비	21.11.16	10-2021- 0157552					100%	활용
3	농업용 4륜차의 윤거가변장치	대한민국	주식회사 앨비	21.11.19	10-2021- 0160268					100%	활용
4	전동 사륜차량의 독립 현가장치	대한민국	주식회사 앨비	22.09.06	10-2022- 0112561		주식회사 앨비	23.01.19	10-2491 800	100%	활용
5	인공지능 기반의 로봇 과수 적과 처리장치 및 방법	대한민국	전남대학교 산학협력단	23.06.26	10-2023- 0082000						

○ 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		√								

□ 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) 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
1	통상실시	전동사륜차량의 독립현가장치 적용 노하우	엘앤에스(주)	22.11.24	1,000,000원	1,000,000원
2	통상실시	개별조향식 농업용 4륜차의 볼스크류를 이용한 윤거가변 시스템 노하우	엘앤에스(주)	22.11.25	1,000,000원	1,000,000원
3	노하우	전복예측 모니터링 및 센싱 기술	(주)디팜스	22.12.20	10,000,000원	10,000,000원

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 투자실적

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

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	제품화	신제품 개발	국내	이지로카트 (LB-W408L)	이지로카트 (LB-W408L) 출시 - 고소 작업 - 농산물 운반	(주)엘비	10,460		2022	
2	제품화	기존 공정 개선	국내	자율주행 알고리즘 및 시스템	농산물 적재·운반·하역 등의 농작업을 위한 모바일 로봇 등에 활용 가능한 자율주행 알고리즘 및 시스템 개발	전남대학교 산학협력단				

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
이지로카트 (LB-W408L)	2022	10,460		10,460	
합계		10,460		10,460	

□ 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
			2021년	2022~2023.06	
1		주식회사 앨비	2		2
2		주식회사 앨비		1	1
합계			2	1	3

□ 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

□ 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	석사학위 취득	2021		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

국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	전시회 참가	2022년 영광 이모빌리티 엑스포	농업용 전기차 전시	22.10.13

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

연구시설·장비

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

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

[그 밖의 성과](해당 없음)

--

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 없음)

--

2) 목표 달성 수준

연도	추진 목표	달성 내용	달성도(%)
1차년도	○ 모바일 로봇 자율주행 시스템 개발 - 자율주행 하드웨어 시스템 구성 - 머신비전 및 인공지능 기반의 발농경지 환경 인식 시스템 개발 - 4륜 독립 전기구동 기반의 자율주행 알고리즘 개발	○ 모바일 로봇 자율주행 시스템 개발 - 4륜 독립 구동 로봇 자율주행 하드웨어 시스템 구성 - YOLOv5 기반 객체 검출 알고리즘 개발 - 4륜 독립 전기구동 기반의 자율주행 알고리즘 개발	○ 100
	○ 전기구동 플랫폼 설계 및 시뮬레이션 - 구동 모터, 감속기 등을 포함한 전기구동 플랫폼 설계 - 적재 하중에 따른 전기구동 플랫폼 시뮬레이션 및 사양 선정	○ 전기구동 플랫폼 설계 및 시뮬레이션 - 4륜 독립전기구동 플랫폼의 부품 선정 및 시스템 설계 - 전기구동 플랫폼의 핵심부품 사양 선정을 위한 시뮬레이션 단품 모델 개발	○ 100
	○ 차체 가변형 4륜 독립 전기 구동 모바일 플랫폼 개발 - 4륜 독립 전기구동 모바일 플랫폼 개발 - 모바일 플랫폼 윤거 가변 시스템 개발 - 직진·후진 가변 및 직각 선회 시스템 개발	○ 차체 가변형 4륜 독립 전기 구동 모바일 플랫폼 개발 - 4륜 개별 구동 시스템 개발 - 모바일 플랫폼 윤거 가변 시스템 개발 - 직진·후진 가변 및 직각 선회 시스템 개발	○ 100
2차년도	○ 작업자 추종 및 원격제어 시스템 개발 - 작업자 추종 주행 시스템 및 알고리즘 개발 - 스마트폰 기반의 음성인식 원격제어 시스템 개발 - 맵기반의 적재-하역 지점 간의 셔틀 자율주행 알고리즘 개발	○ 작업자 추종 및 원격제어 시스템 개발 - 작업자 추종 주행 시스템 및 알고리즘 개발 - 장애물 인식 시스템 개발 - 스마트폰 기반의 음성인식 원격제어 시스템 개발 - 자율주행 알고리즘 개발	○ 100
	○ 농업 환경에서의 현장 실증 - 발농경지 환경에서의 현장 실증을 통한 성능 고도화	○ 농업 환경에서의 현장 실증 - 실제 작업환경과 유사한 환경에서의 현장 실증을 통한 성능 고도화	○ 100
	○ 전기구동 플랫폼 성능 평가 - 적재 하중에 따른 전기구동 플랫폼 성능 측정 - 모터 구동, 배터리 성능 등 플랫폼	○ 전기구동 플랫폼 성능 평가 - 전기구동 플랫폼 성능 평가를 위한 계측 시스템 개발 - 전기구동 플랫폼 시스템 해석 모델 개발 및 시뮬레이션 해석 기술 - 시뮬레이션 모델을 활용한 전기구동 플랫폼 핵심부품의 사양 최적화	○ 100
	○ 적재함 수평 제어시스템 및 적재·하역 리프트 시스템 개발 - 발 경사도에 따른 적재함 수평 제어시스템 개발 - 적재·하역 리프트 시스템 개발 - 발 농경지 환경에서의 사고 예방 장치 개발	○ 적재함 수평 제어시스템 및 적재·하역 리프트 시스템 개발 - 발 경사도에 따른 적재함 수평 제어시스템 개발 - 적재·하역 리프트 시스템 개발 - 발 농경지 환경에서의 사고 예방 장치 개발	○ 100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 없음)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

2) 자체 보완활동

3) 연구개발 과정의 성실성

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

1) 연구개발 성과의 관련 분야 기여도

(1) 연구개발성과의 기대효과

○ 과학·기술적 측면

- 본 연구 과제인 4륜 독립 전기구동 모바일 플랫폼은 현 고령화 여성화된 국내 농업현장에서 노동 생산성을 향상시킬 수 있는 방안임
- 본 연구 개발품인 농업용 운반기계 플랫폼에 전기구동 기술을 적용하여 디젤엔진의 사용을 줄이고 전기구동 시스템을 이용하여 구동함으로써 미래 지향적인 친환경 작업이 가능할 것으로 판단됨
- 디젤 등 화학연료를 대체하여 전기를 동력원으로 사용함으로써 배기 가스등에 의한 환경오염을 줄일 수 있으며 연구과제의 플랫폼을 기반으로 제초기, 방제기, 로터리 등 각종 농기구를 Integration함으로써 다양한 작업에 활용하여 본 과제의 제품 활용도를 극대화 할 수 있음
- 로봇생산기업의 가치사슬 요소는 ‘로봇 부품 및 부분품(GPS, 이미지센서, 스마트 액추에이터, 로봇 OS, 임베디드 컨트롤러 등)’, ‘로봇시스템(로봇 가이던스 시스템, 작업 로봇 등)’, ‘로봇 임베디드(방제용 헬리콥터, 자율주행 로봇 등)’, ‘로봇 서비스(농업로봇 임대 은행 등)’로 구분할 수 있음
- 농업로봇의 부가가치 및 기술 수준이 모두 상위에 있는 발농업 로봇을 개발함으로써 로봇생산기업의 모든 가치사슬 요소들의 유기적인 상호발전을 견인할 수 있는 기술 확보
- 발농업 로봇 개발을 통해 농업로봇의 원천기술 및 ICT/BT/NT/로봇 융합 산업화 기술 확보를 함으로써 대한민국 지능형 농업로봇의 기술 경쟁력 강화에 기여
- CDA 기반 AI 서비스를 통해 대용량 분산 스토리지 기술과 AI 기술이 융합되도록 함으로써 관련 기술의 발전을 앞당길 것으로 기대
- 난이도가 높은 기술을 선점함으로써 더디게 진행되는 농업·ICT 융합부품(센서, 제어기, 통신장치 등)의 표준화를 앞당겨 상호 호환성을 향상시키고 점차 외국산의 시장 점유율이 증가하고 있는 농업로봇 및 농업 기자재의 국산화를 이룰 수 있을 것으로 기대
- 농업로봇 분류에서 높은 기술 수준을 요구하는 다목적 발농업용 모바일 로봇을 개발함으로써 선진국과의 농업로봇 수준 격차를 줄이고, 로봇에 대해서는 다양한 목적과 형태의 로봇 설계, 산업화 기술 및 표준의 선점에 기여
- 본 연구를 통해 전기구동 플랫폼의 시스템 설계 기술 및 시뮬레이션 모델을 개발하였음. 연구 결과를 활용하여 발농업, 과수 농업 등 노지에서 작업 가능한 전기구동 플랫폼개발 가이드라인 제시 및 원천 기술을 확보할 수 있을 것으로 판단됨
- 최근 환경 문제로 인해 내연기관의 전동화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있음. 또한, 개발된 전기구동 플랫폼의 성능평가를 위해 계측 시스템이 필요함. 본 연구에서 개발한 계측 시스템은 추후 전기구동 플랫폼의 성능 계측에 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 계측 데이터를 통해 전기구동 플랫폼의 성능 평가가 가능할 것으로 판단됨
- 자율주행 로봇 기술과 농업 지식을 결합하여 더욱 효율적이고 지속 가능한 농업 방식을 개발하는데 기여할 수 있음

○ 경제·사회적 측면

- 자율주행 기술의 적용으로 인력을 대체하거나 보조하여 작업 효율을 크게 향상시킬 수 있으며 생산성 향상을 기대할 수 있음
- 본 연구 과제를 통해 스마트팜 구현에 필요한 자동화 기술의 중요한 부분을 확보하였고, 이는 스마트팜의 실제 구현에 상당한 도움이 될 것으로 예상
- 본 연구를 통해 개발된 전기구동 및 자율주행 기술의 표준화, 실용화 및 사업화를 통해 운반용 플랫폼 이외에 다양한 농업기계의 제어와 관련하여 현장 애로 해결을 가능하게 할 수 있으며, 관련 기술을 통해 부가가치 창출에 부응 가능할 것으로 판단됨
- 본 과제를 통해 개발된 전기구동 플랫폼은 운반용 농업기계뿐만 아니라 건설기계 및 대형 농업기계에도 확대 적용 가능하며, 이를 통해 농작물 생산성/작업효율 증대에 기여할 것으로 판단됨
- 로봇 제조업체의 경영을 안정화시켜 국내 농업에 필요한 농업로봇의 지속적인 공급과 신기종 연구개발을 통해 농업발전에 기여할 것으로 전망
- 2022년 경지면적조사 결과에서 대한민국 발농업 면적은 75만 15ha로 전체농지면적의 약 49%로 넓은 면적을 차지하고 있음. 이에 따라, 본 과제에서 개발된 기술을 통해 다양한 발작물 재배의

경쟁력 향상에도 기여할 수 있을 것으로 전망됨

- 인간공학적 발농업 로봇을 통해 환경을 보전하면서 수확량 감소 없이 고품질의 발작물을 생산할 수 있는 정밀 농업기술이 빠른 속도로 실용화될 수 있을 것으로 전망됨
- Markets and markets에 의하면 대한민국 농업로봇 시장은 2017년 5050만 달러에서 2022년 2억 4880만 달러로 연평균 30.46%, 세계 농업로봇 시장은 2020년 74억 달러에서 2025년 206억 달러로 연평균 22.8% 성장 전망으로 매출 신장과 수출에 기여
- 현재까지 개발되지 않은 높은 기술 수준으로 분류된 발농업 로봇 연구개발을 통한 관련 기술력 확보 및 초기 시장 진입으로 급성장하는 농업로봇 시장의 발농업 로봇 분야를 선도하여 이 분야에서 상당 부분 시장 점유가 가능할 것으로 기대됨
- 노지 작업은 환경 및 작업 조건 등 다양한 요인에 의해 부하가 변동되는 특성을 가짐. 이에 따라 부품 및 제원 선정에 큰 어려움이 있음. 본 연구에서 개발한 기술을 통해 부하에 따른 시뮬레이션을 활용하여 최적 부품 선정이 가능할 것으로 판단됨. 결과적으로 개발 비용 및 시간이 절감 될 것으로 기대됨
- 고령화, 다양화 되는 농업 인구의 삶의 질 및 농업 생산성 향상을 통해 대한민국의 균형 발전 및 귀농 활성화에 기여할 것으로 전망
- 운반 등 중노동을 농업로봇이 대체함으로써 산업재해를 줄일 수 있음
- 지능형 농업로봇으로 재배함으로써 양질의 계획된 수확량 확보가 가능함
- FTA 체결, WHO 권고 등으로 농업시장개방이 가속화 되는 시점에서 농업용 로봇 시장에서 경쟁 우위를 점할 기회로 삼을 수 있음
- 새로운 형태의 농기계에 대한 수요창출로 농기계산업 발전에 기여할 수 있을 것으로 판단됨
- 농업의 자동화 및 4차산업화에 일조하여 농촌의 청년인구 유입에 도움이 될 것으로 기대
- 밭 재배 작업의 효율성을 높임으로써 밭작업 노동의 질 향상을 기대할 수 있음

2) 연구개발성과에 대한 기술 기여도 및 산정근거

(단위 : 백만원, %)

총괄과제명	세부과제명	기관명	유형	총 연구개발비 (A)	정부지원 연구개발비 (B)	정부지원 연구개발비 비율 (C=B/A)	성과 유형	기술기여도	
								산정 근거	비율
발농업 농산물 적재·운반·하역용 차체 가변형 전기구동 자율주행 모바일 로봇 개발	모바일 로봇 자율주행 및 원격제어 시스템 개발	전남대학교 산학협력단	대학 (비영리)	380	380	100	신규 기술개발	해당 없음	-
	전기구동 플랫폼 설계 기술 개발	충남대학교 산학협력단	대학 (비영리)	90	90	100	신규 기술개발	해당 없음	-
	차체 가변형 4륜 독립 구동 전기구동 모바일 플랫폼 개발	(주)앨비	중소기업 (영리)	615.6	460	74.72	신규 기술개발	①-①	74.72
계				1085.6	930	-	-	-	-

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

1) 연구성과의 활용계획

연구성과	항목	활용계획											
모바일 로봇 자율주행 및 원격제어 시스템 개발	타 연구에의 응용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자율주행 시스템 및 알고리즘 개발 결과는 본 과제에 적용되는 플랫폼 뿐만 아니라 다양한 농업 기계 및 타 산업분야에 적용성이 높기 때문에 추후 지속적인 확대를 진행할 계획임 											
	사업화 추진 방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 연구에서 개발한 내용은 노지 스마트농업 구현을 위한 핵심 요소기술임. 이러한 기술을 전남 나주에 조성 중인 첨단 무인자동화 농업생산시험단지(약 50ha)에 적용되어 첨단 농업을 구현할 것이며, 관련 사업화를 촉진하고자 함  <p style="text-align: center;"><첨단 무인자동화 농업생산시험단지 개요도></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>면적(ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>총</td> <td>54.3</td> </tr> <tr> <td>시험면적</td> <td>20.0</td> </tr> <tr> <td>시험면적</td> <td>19.5</td> </tr> <tr> <td>관제센터</td> <td>3.2</td> </tr> <tr> <td>농장</td> <td>1.1</td> </tr> </tbody> </table>	구분	면적(ha)	총	54.3	시험면적	20.0	시험면적	19.5	관제센터	3.2	농장
구분	면적(ha)												
총	54.3												
시험면적	20.0												
시험면적	19.5												
관제센터	3.2												
농장	1.1												
전기구동 플랫폼 시뮬레이션 해석 및 설계 기술 개발	타 연구에의 응용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시뮬레이션 모델을 통한 최적 부품 선정 방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 본 연구에서 개발한 시뮬레이션 모델을 활용하여 다양한 조건에서의 시뮬레이션 수행 - 다양한 조건에서의 전기구동 플랫폼 구동 환경 모사 및 시뮬레이션을 통한 최적 부품 선정 ○ 시뮬레이션 해석 데이터의 신뢰성 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 시뮬레이션 해석 결과 및 계측 데이터의 비교를 통해 시뮬레이션 모델 해석 결과의 신뢰성 평가 ○ 계측 시스템을 활용한 실차시험 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 전기구동 플랫폼 계측 시스템 활용을 통한 타 플랫폼의 실시간 데이터 계측 및 성능 평가 											
	추가 연구의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 범용적 적용을 위한 추가 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 고마력대의 플랫폼에 적용을 위한 시뮬레이션 모델 및 파라미터 개선 - 독립구동 방식이 아닌 single motor, dual motor 방식의 전기구동 시스템 적용 방안 검토 											
차체 가변형 4륜 독립 구동 전기구동 모바일 플랫폼 개발	추가 연구의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자율주행 기능을 농지뿐만 아니라 대형 농산물 창고 또는 온실, 하우스, 시설재배지 등 보다 다양한 환경에서 사용/적용 될 수 있도록 기술 고도화 예정 ○ 현재의 플랫폼을 농업 현장에서 상용화하기 위해서는 인휠모터를 사용하여 플랫폼의 컴팩트화가 필요하며, 경량 소재를 사용한 차체의 경량화 연구 필요 											
	사업화 추진 방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공동연구기관인 앨비는 전동운반차 및 작업 로봇 등으로 국내 및 해외에 수요처를 추가 확보하고 지속적인 시장 파악 및 판로 개척을 하고자 함 ○ 지속적인 개발 기술 설명회 개최, 국내외 전시회 참가를 통한 홍보 및 마케팅 예정 ○ 주관연구기관인 전남대학교는 미국 UC Merced와 협력하여 현지 수요/시장 파악 및 판로를 개척하고자 함 											

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE					
	비SCIE					
국내논문	SCIE					
	비SCIE					
특허출원	국내					
	국외					
특허등록	국내		1	1		
	국외					
인력양성	학사					
	석사					
	박사					
사업화	시제품개발					
	상품출시					
	기술이전					
	공정개발					
	매출액(단위 : 천원)	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
	기술료(단위 : 천원)	75	75	75	75	75
비임상시험 실시						
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상				
		2상				
		3상				
	의료기기					
진료지침개발						
신의료기술개발						
성과홍보			1	1		
포상 및 수상실적						
학술발표			1	1		
정성적 성과 주요 내용						

*기술료 산출근거 : 기술료 = 매출액 * 기술기여도(75%) * 기술료율(중소기업=5%) * (1-감면율 = 20%)

< 별첨 자료 >

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

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단 농기계 산업화 기술개발 사업 ‘발농업 농산물 적재·운반·하역용 차체 가변형 전기구동 자율주행 모바일 로봇 개발’ 과제 최종보고서 이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 첨단 농기계 산업화 기술개발 사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		121029-2	
사업구분	첨단농기계산업화기술개발 사업				
연구분야				과제구분	주관
사업명	첨단농기계산업화기술개발 사업				
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	발농업 농산물 적재·운반·하역용 차체 가변형 전기구동 자율주행 모바일 로봇 개발			과제유형	개발
연구개발기관	전남대학교			연구책임자	이경환
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	21.04.01~21.12.31	400,000	66,700	466,700
	2차년도	22.01.01~23.06.30	533,000	88,900	621,900
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
	계		933,000	155,600	1,088,600
참여기업	(주)엘비				
상대국	상대국연구개발기관				

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

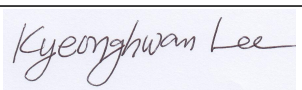
2. 평가일 : 2023. 08. 24

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
전남대학교	교수	이경환

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약	
-----	---

I. 연구개발실적

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

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

- 전반적인 연구개발 결과는 우수하다고 판단됨. 발농업의 작업 환경에 적합한 차체 가변형 4륜 독립 전기 구동 모바일 로봇의 설계 및 자율주행 시스템의 개발이 잘 이루어졌으며, 단순 기술 개발로 그치지 않고 관련 제품화, 특허 출원 등의 활용을 통하여 기술 구현의 극대화를 추구함. 또한, 자율주행 시스템에 더하여 장애물 인식, 대상체 추종, 음성 인식 등의 기술 개발과 검증을 통하여 연구 결과의 우수성과 창의성을 확인 할 수 있었다고 보임

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

- 전반적인 연구결과의 파급효과는 우수하다고 판단됨. 본 연구에서 이루어진 농작업 로봇의 핵심 요소 기술의 개발이 이와 관련된 산업의 육성과 맞물려 농업의 양적/질적 성장을 동시에 가져올 수 있기 때문에 그 파급효과와 기대효과는 매우 크다고 생각됨

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

- 본 연구 결과의 활용가능성은 우수하다고 판단됨. 향후 제품화 및 사업화 등을 위하여 공동연구기관인 앨비는 전동운반차 및 작업 로봇 등으로 국내 및 해외에 수요처를 추가 확보하고 지속적인 시장 파악 및 판로 개척을 하고자 함. 또한, 지속적인 개발 기술 설명회 개최, 국내외 전시회 참가를 통한 홍보 및 마케팅을 계획하고 있으며, 주관연구기관인 전남대학교는 미국 UC Merced와 협력하여 현지 수요/시장 파악 및 판로를 개척하고자 함

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

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

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 아주우수

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

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체 평가
모바일 로봇 자율주행 시스템 개발	20	100	- 4륜 독립 구동 로봇 자율주행 하드웨어 시스템 및 알고리즘을 개발을 수행함 - 인증기관을 통한 모바일 로봇의 자율주행 성능 평가를 완료함
전기구동 플랫폼 설계 및 시뮬레이션	20	100	- 4륜 독립전기구동 플랫폼의 부품 선정 및 시스템 설계를 완료함 - 전기구동 플랫폼의 핵심부품 사양 선정을 위한 시뮬레이션 단품 모델을 개발함 - 플랫폼의 주요 평가 항목에 대한 성능 평가를 인증기관을 통하여 완료함
차체 가변형 4륜 독립 전기 구동 모바일 플랫폼 개발	20	100	- 4륜 개별 구동 시스템 개발 완료함 - 모바일 플랫폼 윤거 가변 시스템에 대한 성능평가를 인증기관을 통하여 완료함
작업자 추종 및 원격제어 시스템 개발	10	100	- 작업자 추종 주행 시스템 및 알고리즘 개발을 완료하였으며, 인증기관을 통한 성능평가를 완료함 - 장애물 인식 시스템에 대한 성능평가를 인증기관을 통하여 완료함 - 스마트폰 기반의 음성인식 원격제어 시스템 개발 수행, 인증기관을 통한 성능평가 완료
농업 환경에서의 현장 실증	10	100	- 실제 작업환경과 유사한 환경에서의 현장 실증을 수행
전기구동 플랫폼 성능 평가	15	100	- 전기구동 플랫폼 성능 평가를 위한 계측 시스템 개발을 완료함 - 전기구동 플랫폼 시스템 해석 모델 개발 및 시뮬레이션 해석 기술 개발 완료 - 시뮬레이션 모델을 활용한 전기구동 플랫폼 핵심부품의 사양 최적화 수행
적재함 수평 제어시스템 및 적재·하역 리프트 시스템 개발	5	100	- 밭 경사도에 따른 적재함 수평 제어시스템을 개발하였으며, 인증기관을 통한 성능평가를 완료함 - 적재·하역 리프트 시스템을 개발하였으며, 인증기관을 통한 성능평가를 완료함
합계	100점		

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 본 연구에 참여한 연구팀은 최선을 다하여 연구에 매진하였으며, 당초 계획한 정량적 성과를 초과 달성하였음. 본 연구에서 진행된 모바일 로봇 설계 및 자율주행 기술 등 핵심 원천기술의 개발은 작업 효율 향상 및 이에 따른 노동의 질 향상에 기여할 수 있을 것이라 판단됨. 또한, 본 연구에서 개발된 기술들의 높은 적용성 및 활용도로 인하여 기술의 지속적인 확대, 확장이 기대되며, 나아가 현재 농업의 문제점인 높은 진입장벽과 고령화를 해소할 수 있는 요소기술이 될 수 있을 것이라 생각됨

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 본 연구의 모바일 로봇 설계 및 자율주행 시스템 등의 기술에 대한 개발 등의 목표가 성실히 수행되었고, 관련한 성능 지표가 인증기관을 통하여 충분한 검증이 이루어졌음을 고려해 주었으면 함

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 본 연구에서 개발한 작물 인식 시스템 및 자율주행 기술은 본 과제에 적용되는 모바일 로봇 뿐 만 아니라 다양한 농업기계 및 타 산업분야에 적용성이 높기 때문에 추후 지속적인 확대가 진행될 수 있도록 확대 적용할 방안을 강구할 예정이며, 시스템을 더욱 고도화하여 제품화 연구를 진행할 예정임.

IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구개발기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

- 해당 없음

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input checked="" type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제		분 야	첨단농기계산업화기술개발사업
연구과제명	발농업 농산물 적재·운반·하역용 차체 가변형 전기구동 자율주행 모바일 로봇 개발			
주관연구개발기관	전남대학교		주관연구책임자	이 경 환
연구개발비 (천원)	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	933,000	155,600		1,088,600
연구개발기간	2021.04.01. ~ 2023.06.30			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도		<input type="checkbox"/> 정책자료	<input checked="" type="checkbox"/> 기타(특허, 논문 등)
	<input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 모바일 로봇 자율주행 시스템 개발	○ 모바일 로봇 자율주행 시스템 개발 - 4륜 독립 구동 로봇 자율주행 하드웨어 시스템 구성 - YOLOv5 기반 객체 검출 알고리즘 개발 - 4륜 독립 전기구동 기반의 자율주행 알고리즘 개발
② 전기구동 플랫폼 설계 및 시뮬레이션	○ 전기구동 플랫폼 설계 및 시뮬레이션 - 4륜 독립전기구동 플랫폼의 부품 선정 및 시스템 설계 - 전기구동 플랫폼의 핵심부품 사양 선정을 위한 시뮬레이션 단품 모델 개발
③ 차체 가변형 4륜 독립 전기 구동 모바일 플랫폼 개발	○ 차체 가변형 4륜 독립 전기 구동 모바일 플랫폼 개발 - 4륜 개별 구동 시스템 개발 - 모바일 플랫폼 운거 가변 시스템 개발 - 직진·후진 가변 및 직각 선회 시스템 개발
④ 작업자 추종 및 원격제어 시스템 개발	○ 작업자 추종 및 원격제어 시스템 개발 - 작업자 추종 주행 시스템 및 알고리즘 개발 - 장애물 인식 시스템 개발 - 스마트폰 기반의 음성인식 원격제어 시스템 개발 - 자율주행 알고리즘 개발
⑤ 농업 환경에서의 현장 실증	○ 농업 환경에서의 현장 실증 - 실제 작업환경과 유사한 환경에서의 현장 실증을 통한 성능 고도화 - 성능 지표에 대한 인증기관 검인증 평가 및 실증
⑥ 전기구동 플랫폼 성능 평가	○ 전기구동 플랫폼 성능 평가 - 전기구동 플랫폼 성능 평가를 위한 계측 시스템 개발 - 전기구동 플랫폼 시스템 해석 모델 개발 및 시뮬레이션 해석 기술 - 시뮬레이션 모델을 활용한 전기구동 플랫폼 핵심부품의 사양 최적화
⑦ 적재함 수평 제어시스템 및 적재·하역 리프트 시스템 개발	○ 적재함 수평 제어시스템 및 적재·하역 리프트 시스템 개발 - 발 경사도에 따른 적재함 수평 제어시스템 개발 - 적재·하역 리프트 시스템 개발 - 발 농경지 환경에서의 사고 예방 장치 개발

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용등)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T P A T E N T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논문				학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
													S C I	비 S C I						
단위	건	건	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	명	건	건		
가중치	10				10	10	50			10				5				5		
최종 목표	2				1	2	1			2				1	1		2		1	
당해 년도	목표	2			1	2	1			2				1	1		2		1	
	실적	5	2		3	12	2	10.4		3				1		9	1		1	
달성률 (%)	250				300	600	200			150				100		450			100	

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	모바일 로봇 자율주행 시스템
②	전기구동 플랫폼 설계 및 시뮬레이션
③	모바일 플랫폼 운거 가변 시스템
④	작업자 추종 시스템
⑤	장애물 인식 시스템
⑥	발 경사도에 따른 적재함 수평 제어시스템
⑦	적재·하역 리프트 시스템

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술					v	v				
②의 기술					v	v				
③의 기술				v		v	v			
④의 기술				v				v		
⑤의 기술				v				v		
⑥의 기술					v			v		
⑦의 기술				v				v		

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	자율주행 시스템의 위치인식 인식기술, 경로 추종기술 등의 원천기술을 자율주행 콤바인, 자율주행 이앙기 등 다른 농업기계등에 확대 적용하여 활용 가능함
②의 기술	본 연구 개발품인 농업용 운반기계 플랫폼에 전기구동 기술을 적용하여 디젤엔진의 사용을 줄이고 전기구동 시스템을 이용하여 구동함으로써 미래 지향적인 친환경 작업이 가능할 것으로 판단됨
③의 기술	윤거 가변 시스템의 적용을 통하여 폭이 좁거나 넓은 밭고랑등 다양한 밭농업 환경에 대응하여 작업이 가능
④의 기술	자율주행 로봇 기술과 결합되어 더욱 효율적이고 지속 가능한 농업 방식을 개발하는 데 기여할 수 있음
⑤의 기술	장애물 및 사람과의 충돌을 방지함으로써, 플랫폼의 사용 수명을 증대시킬 수 있으며, 산업재해의 발생 가능성을 줄일 수 있음
⑥의 기술	경사로에서 적재물의 안전을 담보할 수 있어, 작업 안정성 증대를 기대할 수 있음
⑦의 기술	작업자의 안전 및 편의성 증대를 기대할 수 있음

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용비)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T 평 가 제 도	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논문				학 술 발 표	정 책 활 용	
											SCI		비 SCI	논 문 평 균 I F					
단위	건	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	10				10	10	50		10					5				5	
최종목표	2				1	2	1		2			1	1	2				1	
연구기간내 달성실적	5	2			3	12	2	10.4	3				1	9		1		1	
연구종료후 성과창출 계획		2						10						2				2	

