

(옆면)

(앞면)

319040-3

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

발간등록번호

11-1543000-004006-01

자율직진주행이 가능한 승용이앙기 개발 최종보고서

2021

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

자율직진주행이 가능한 승용이앙기 개발

2022. 04. 11

주관연구기관 / (주)대동

참여연구기관 / 국제종합기계(주)

서울대학교

홍익대학교

농업기술실용화재단

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “자율직진주행이 가능한 승용이앙기 개발”(개발기간 : 2019.04.01 ~ 2021.12.31.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022.04.04

주관연구기관명 : (주)대동

김준식, 원유현



참여기관명 : 국제종합기계(주)

김희용 (인)



서울대학교 산학협력단

최해철 (인)



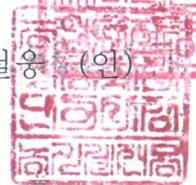
홍익대학교

추상오 (인)



농업기술실용화재단

박철웅 (인)



주관연구책임자 : (주)대동

임명제

참여기관책임자 : 국제종합기계(주)

황선국

서울대학교

김학진

홍익대학교

김정훈

농업기술실용화재단

이익봉

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서							보안등급								
							일반[], 보안[]								
중앙행정기관명	농림축산식품부			사업명	사업명			첨단생산기술개발사업							
전문기관명 (해당 시 작성)	농림식품기술기획평가원			사업명	내역사업명 (해당 시 작성)			첨단농기계생산							
공고번호	제 농축2019-58호			총괄연구개발 식별 번호											
				연구개발과제번호			319040-3								
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	50%	LB0804	30%	EA0506		20%							
	농림식품과학기술분류	RC0101	%		%			%							
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문													
		영문													
연구개발과제명		국문		자율 직진 주행이 가능한 승용이앙기 개발											
		영문		Development of driving type rice transplanter with auto-guidance system											
주관연구개발기관		기관명		(주)대동		사업자등록번호		514-81-06690							
		주소		대구광역시 달성군 논공 읍 논공중앙로34길 35		법인등록번호		191111-0000104							
연구책임자		성명		임명제		직위		상무							
		연락처		직장전화		휴대전화		-							
				전자우편		국가연구자번호		-							
연구개발기간		전체		2019. 04. 01 - 2021. 12. 31 (33개월)											
		단계		1단계		2019. 04. 01 - 2021. 12. 31 (33개월)									
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금		합계		연구 개발 비의					
		현금		현금		현금		현금							
총계		1,840,000		460,000		766,680		2,300,000		766,680		3,066,680			
1단계		1년차		500,000		125,000		208,340		625,000		208,340		833,340	
		2년차		670,000		167,500		279,170		837,500		279,170		1,116,670	
		3년차		670,000		77,400		369,270		747,400		369,270		1,116,670	
공동연구개발기관 등		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편		비고			
공동연구개발기관		국제종합기계(주)		황선국		책임연구위원		-		-		수요 중견기업			
		홍익대학교		김정훈		부교수		-		-		공동 대학			
		서울대학교		김학진		교수		-		-		공동 대학			
		농업기술실용화재단		이익봉		책임연구원		-		-		공동 국립연			
위탁연구개발기관															
연구개발기관 외 기관															
연구개발담당자 실무담당자		성명		김영호		직위		차장							
		연락처		직장전화		휴대전화		-							
				전자우편		국가연구자번호		-							

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

2022 년 2 월 11 일

연구책임자: (주)대동

임명제

주관연구개발기관의 장: (주)대동 김준식, 원유현

공동연구개발기관의 장: 국제종합기계(주) 김희용 (직인)

홍익대학교

서울대학교 산학협력단장

농업기술실용화재단

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하



< 요약 문 >

사업명	첨단생산기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)	첨단농기계생산			연구개발과제번호	319040-3		
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB801	50 %	LB0804	30 %	EA0506	20%
	농림식품 과학기술분류	RC0101	%		%		%
총괄연구개발명							
연구개발과제명	자율 직진 주행이 가능한 승용이앙기 개발						
전체 연구개발기간	2019. 04. 01 - 2021. 12. 31 (33개월)						
총 연구개발비	총 3,066,680 천원 (정부지원연구개발비: 1,840,000천원)						
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]	기술성숙도			착수시점 기준 (2) 종료시점 목표(8)		
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 승용이앙기 주행 제어 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 자율 주행을 위한 모터, 감속기 등 조향제어 시스템 개발 - 자동 경로생성·추종을 통한 자율 조향, 주행속도 제어, 작업기 작동 제어 - 해외 선진사와 동등한 수준의 자율 직진주행 성능(자율주행오차 15cm 이내) 개발 - 이앙 자동화를 위한 식부제어 기술 개발 - CAN 통신을 통한 승용이앙기 통합제어 및 모니터링 기술 개발 ○ 고정밀 이앙 환경 인식을 통한 주행경로 최적화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - GPS, 카메라 등의 센서 융복합을 통한 고정밀 환경 인식 기술 개발 - 작업 환경에 따른 주행경로 최적화 기술 개발 ○ 최적 경로 추종 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 해외 선진사와 동등한 수준의 이앙 위치 오차(10cm 이내)를 갖는 경로 추종 시스템 개발 - 자동 선회 및 이앙 위치 결정 기술 개발 ○ 현장 실증 및 사업화 <ul style="list-style-type: none"> - 자율 직진주행 기술의 승용이앙기 적용 - 농작업 현장 실증을 통한 성능 고도화 					
	전체 내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 조향 제어 기술 <ol style="list-style-type: none"> 1) 자율 직진 주행을 위한 모터, 감속기 등 조향제어 시스템 개발 2) 승용이앙기 조향 시스템 최적화 설계 3) 제어 출력대비 평균 0.5초 이내의 반응속도의 자율주행 제어 시스템 설계 2. 경로 생성 및 추종 시스템 <ol style="list-style-type: none"> 1) 승용이앙기 이앙작업 분석 및 동적 경로 추종 알고리즘 개발 2) 직진주행 경로상의 횡방향 오차 10cm 이내 추종 3) 자동선회 후 라인정확도 10cm 이내의 경로 생성 및 추종 3. 환경 인식 기술 <ol style="list-style-type: none"> 1) GNSS 위치인식기술 : 승용이앙기의 위치를 인식하여 최적 경로 추종 시스템에 활용하며, 현재 위치와 목표 경로의 오차를 측정하고 조향 제어 활용한다. 2) 영상 인식 기술 : 카메라기반으로 눈에 이식된 모를 인식하고 이식된 방향을 측정한다. 고정된 카메라 위치를 기준으로 이식된 모와의 간격을 주행제어에 활용한다. 3) 위치오차 2cm 이내의 RTK-GNSS 모듈 개발 4) 영상기반 이식된 모의 환경인식률 95% 이상 4. 이앙작업 자동화 기술 					

	1) 이양 작업 중 자동 선회 및 이양 위치 결정 기술 개발 2) 이양 위치 결정 기술 : 유압 스티어링 핸들에 모터기어를 연결하고 선회각 센서와 차속센서를 장착하여 선회와 위치를 제어하고 위치에 따라 식부 클러치를 모터로 제어 3) 자동 선회 기술 : 이양 작업 중 선회 회전각 센서, 차속센서 HST 모터, 식부 클러치 제어를 통한 자동 선회 및 이양 위치 결정 기술 개발 5. 자율주행 제어기 개발 1) 자율주행 알고리즘을 탑재한 농기계용 제어기 개발 2) ISO11783, J1939 기반 자율주행 CAN 프로토콜 개발 3) 부품 고장 진단 및 모니터링 항목의 수 20건 이상 4) 내진성, 내수성, ESD, EMC 등 제품화를 위한 환경시험
--	--

연구개발성과	1. 개발 성과 1) 자율직진주행이 가능한 승용이양기 시작품 제작 2건 2) 자율주행 승용이양기 관련 특허 출원 5건 3) 한국농업기계학회 및 농촌진흥청 등 학술대회 발표 6건 4) 벼 디지털농업기술 현장연시회 홍보전시 5) 자율주행 시스템 검정방법 제정 등 정책활용 6) 자율주행 기술 개발을 위한 청년 신규 인력채용 4건 3. 정량적 목표 항목 실적 1) 환경인식율 : 95.6% 2) 자동선회후 라인 정확도 : 4.7cm(RMS) 3) 이양부자동화 기능수 : 1건 4) CAN프로토콜 개발 : 1건 5) 모니터링 항목의 수 : 20건 6) 내진성/내수성 : PASS/IP65 7) ESD, EMC : CLASS4, ECER10.03 8) 경로추종오차 : 5.1cm(RMS) 9) 조향 반응시간 : 0.5초
--------	---

연구개발성과 활용 계획 및 기대 효과	1. 연구개발성과 활용 계획 1) 제품 사업화 <ul style="list-style-type: none"> 직진 자율 주행 승용이양기 실증 사업을 통해 기술 고도화 및 품질 최적화를 하여 조기 사업화 신기술 적용으로 국내 시장에서의 해외 선진사 제품대비 시장점유율 확보 국내 승용이양기 제조업체의 공동 개발로 개발 비용 및 제품화 기간 축소 승용이양기 실수요자를 대상으로 농작업 실증시연 및 전시하여 자율주행 이양기의 우수성 및 편의성 홍보 2) 제품 판매 전략 <ul style="list-style-type: none"> 공용 플랫폼 적용을 통한 가격이 저렴한 자율 직진 주행 승용이양기 판매 KIT 사업을 통한 매출 확대 직진자율주행 플랫폼 확대를 통한 시장 창출 2. 자율직진주행 승용이양기의 기대 효과 1) 자율 직진 주행 승용이양기 연구개발을 위한 연구인력 고용 창출 2) 자율 직진 주행 승용이양기 제품화를 통한 선진사(일본) 제품 대체 및 수출 효과 3) 고품질, 저비용의 자율 직진 주행 시스템 및 승용이양기 상용화를 통한 국내 농기계 시장 활성화 3. 파급 효과 1) 선진국과의 기술 격차 완화 및 세계 시장 대응 가능한 기술 개발 2) 자율 주행 관련 신사업 전반적인 시장 확대 및 매출 증대 가능 3) 농업 인구 고령화로 인한 농촌 인력난을 해결하고 생산성 향상을 통한 식량안보 확보 4) 타 농기계 플랫폼에 확대적용이 가능한 공통기술 확보
----------------------	---

연구개발성과의 비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록·기타	논문	특허	보고서 원문	연구 시실·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물

건수		5								
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)	자율주행		승용이앙기		주행제어		환경인식			
영문핵심어 (5개 이내)	Auto-guidance system		Riding type rice transplanter		Driving control		Environmental recognition			

< 목 차 >

제 1 장 연구개발과제의 개요	7
제 2 장 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	10
제 1 절 연차별 연구개발 수행 내용	10
제 2 절 세부 연구수행 결과(1차년도)	16
제 3 절 세부 연구수행 결과(2차년도)	69
제 4 절 세부 연구수행 결과(3차년도)	129
제 3 장 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	185
제 4 장 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	191
제 5 장 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	192
[별첨1] 자체평가의견서	193
[별첨2] 연구성과 활용계획서	197

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 개요

○ 연구개발 개요 : 모터, 감속기 등 조향제어 시스템 및 환경 인식 센서를 활용한 주행경로 생성 최적화 기술을 기반으로 자율 직진 주행이 가능한 승용이앙기 개발

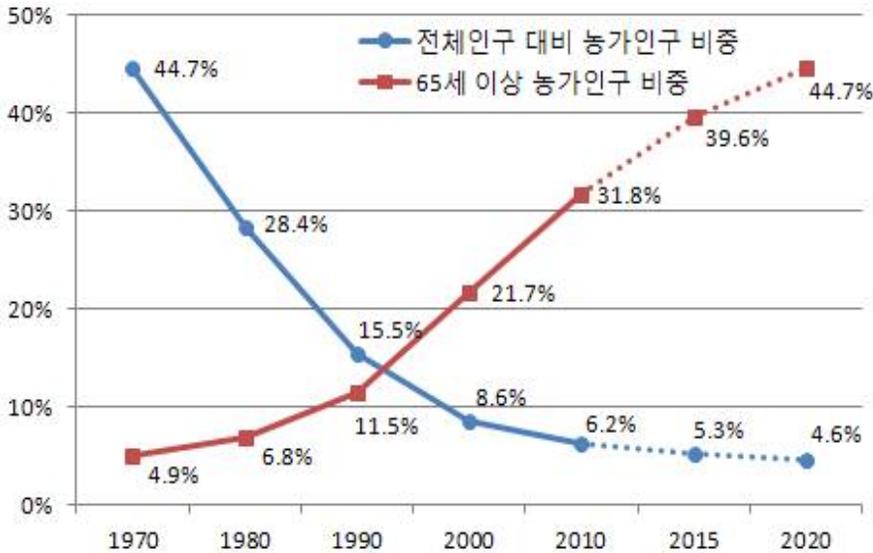


○ 핵심기술

- ㉠ 조향 제어 기술 : 자율 직진 주행을 위한 모터, 감속기 등 조향제어 시스템 개발
- ㉡ 최적 경로 추종 시스템 : 해외 선진사와 동등한 수준의 이양 위치 오차(10cm 이내)를 갖는 경로 추종 시스템 개발
- ㉢ 환경 인식 기술
 - GNSS, 카메라 등의 센서 융복합을 통한 고정밀 환경 인식 기술 개발
 - GNSS : 승용이앙기의 위치를 인식하여 최적 경로 추종 시스템에 활용하며, 현재 위치와 주행 경로간의 오차를 조향 제어 적용한다.
 - 카메라 등 영상 인식 기술 : 모의 이식 상태를 인식하여 주행 경로 생성에 활용한다.
- ㉣ 이양작업 자동화 기술
 - 이양 작업 중 자동 선회 및 이양 위치 결정 기술 개발
 - 이양 위치 결정 기술 : 유압 스티어링 핸들에 모터기어를 연결하고 선회각 센서와 차속센서를 장착하여 선회와 위치를 제어하고 위치에 따라 식부 클러치를 모터로 제어
 - 자동 선회 기술 : 이양 작업 중 선회 회전각 센서, 차속센서 HST 모터, 식부 클러치 제어를 통한 자동 선회 및 이양 위치 결정 기술 개발
- ㉤ 통합 시스템 개발 : CAN통신 기반 통합 제어 및 모니터링 기술 개발

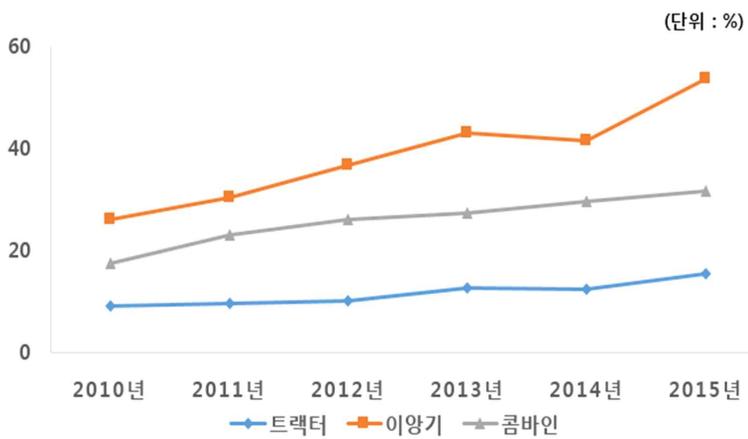
○ 연구개발 배경

- 현재 농촌인구의 고령화는 도시보다 훨씬 빠르게 진행되고 있고 농촌인구 중에서 65세 이상의 고령농가가 차지하는 비율 또한 1970년 4.9%에서 2015년 기준 38.2%로 크게 증가하였으며 2020년에는 44.7%로 증가할 것으로 전망됨



< 농가인구 고령화 추이 및 전망 >

- 농업기계분야에서는 농촌 인력의 고령화 및 여성화로 농촌 인력을 대체할 수 있는 지능형 농업기계의 필요성이 대두되고 있으며, 전 세계 농기계시장에서 기종별로 활용가치가 큰 농용트랙터는 2009년 기준으로 283억 불로 28.5%를 점유하여 가장 큰 시장규모를 보이고 있고, 2019년에는 442억 불까지 성장할 것으로 전망
- 따라서, 농촌의 여성화 및 고령화로 인하여 인력 수급이 어려운 조건에서 자율주행 기술은 작업자의 피로도 감소, 안정성 확보, 인력난 해결, 고효율 농작업 등을 실현할 수 있을 것으로 예상됨
- 고도화된 수입 농기계의 국산 시장 잠식으로 인한 국내 농기계의 입지가 점차 약화됨
- 국내 농기계 수입액은 2010년 419백만\$에서 2014년 540백만\$로 지속적으로 국내 시장의 해외 농업기계 수입이 증가하는 추세이며, 일본 제품의 점유율은 크게 증가하여 2015년 국내 농업기계 시장의 승용이앙기 53.5%, 콤바인 31.7%, 트랙터 15.4%를 차지함



<일본 농업기계의 국내 점유율(농기자재신문,2016)>

- 일본 제품의 점유율이 높고, 승용이앙기의 기술 및 제품 경쟁력 강화 시급
- 농업기계의 자동화, 편의성 향상을 위해 최근 기술 적용이 확대되고 있는 전자제어 장치의 품질 고도화를 통한 농업기계 작업 효율 및 농업 생산성을 증대
- 핵심부품의 수입으로 막대한 외화 낭비와 농업기계 기술 침체 등을 초래하고 있어 핵심 부품의 국산화 및 기술 개발 필요함
- 수입농기계에 대한 대처 방안으로 국산 농기계의 기술 및 품질 향상과 원가 절감만이 최선이라 판단되며, 이를 위해선 국내업체의 국산화에 대한 자구 노력과 함께 연구개발(R&D)에 대한 정부 차원의 적극적인 지원 필요.

제 2 장 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

제 1 절 연차별 연구개발 수행 내용

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1차 년도 (2019)	GNSS/환경 인식 시스템 설계	선진사 핵심 기술 벤치마킹	선진사 기대 분석	직진자율주행 핵심 기술 분석
		시스템 레이아웃 설계	조향모터 장착을 위한 조향부 레이아웃 설계/공용화 설계 GNSS 모듈 장착을 위한 묘탑지지대 레이아웃 설계 환경인식 시스템 장착부 설계 완료	조향 지지대 레이아웃 설계 완료 감속기 구조 설계 및 제작 완료 묘탑재대 설계 완료 환경인식 시스템 장착부 설계 완료 조작부 장착부 설계 완료
		GNSS 위치 인식 시스템	선진사 제품 성능 비교 GNSS 모듈 선정 GNSS 모듈 개발	선진사 제품의 GNSS 모듈의 구성품, 성능에 대한 시험 완료 GNSS 모듈 제품 조사 및 성능평가하여 승용이양기 최적 제품 선정 완료 승용이양기 환경요건 및 설계 표준에 기준한 샘플 제작 완료
		환경인식 시스템	환경인식 모듈 개발 영상 처리 알고리즘 설계	영상 처리 모듈(카메라) 조사 완료 부품 선정 및 시험 영상처리 알고리즘 개발 구상 및 1차 단품 시험 완료
	자율 직진 조향 시스템 개발	조향 제어 제품 분석	선진사 시스템 분석	직진자율주행 핵심 기술 분석
		조향 장치부 레이아웃 설계	전동 조향기구 설계 휠 장착부 매칭 설계	대동공업 조향 공용화 설계 진행중 휠 장착부 매칭 설계완료
		선회 자동화 식부제어 시스템	선회자동 상승하강 기능 개발	선회자동 상승하강 기능 개발 완료

			기술지도 검정	기술지도 검정 완료
자율주행 제어기 개발	자율주행 시스템 제어알고리즘 개발	일본 자율주행 이양기 운전시험 및 분석 이양기 자율주행을 위한 제어 시스템 개발 자율주행 제어기 Layout 설계		제어 하드웨어 센서 및 시스템 사양 확정 자율주행 제어기 설계
	ISO11783기반의 자율주행 CAN 프로토콜 개발	기존 양산 프로토콜 정리 및 표준프로토콜 개발		자율주행 이양기 표준 프로토콜 개발 완료. 1건
자율주행 이양기 경로생성 및 추종 알고리즘 개발	관행 이양 방법 및 선진사 알고리즘 분석	관행 이양 방법 조사 선진사 알고리즘 분석 문헌 조사		자율 이양에 필요한 기능 분석
	직진 및 선회 경로생성 알고리즘 개발	직진 작업 경로 생성 U형 선회 수학적 모델 개발 및 경로 생성		직진 및 U형 선회 경로 생성 알고리즘
	경로 추종 알고리즘 개발	동적 경로 추종 알고리즘 개발 GPS 기울어짐 오차 보상 경로 생성 및 추종 소프트웨어 개발		정밀 경로 추종 알고리즘
	자율주행 시뮬레이션	직진 및 선회 경로 생성 및 추종 시뮬레이션		경로를 생성하고 주행 가능함을 보임
자율주행 이양기 검정방법(안) 개발	구조 조사방법 개발	검정방안 작성		1차 검정 방안 작성 완료(3차년도 완료)
	작업성능 시험방법 개발	검정방안 작성		
	조작의 난이도 시험방법 개발	검정방안 작성		

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2차 년도 (2020)	실증 차량 제작 및 시험	1차 실증용 차량 제작 (대동공업 이앙기)	1차년도 개발품의 실증용 차량 및 동작 확인	실증용 차량 제작 완료 기본 동작 확인 완료
		필드 실증 시험	조향 감도 평가 주행 데이터 수집	데이터 로거 장착 후 조 향 감도 및 데이터 수집
	GNSS 환경인식 시스템 개발	조향지지대 및 조향 기어 개발	조향 구조 개발	외부 간섭 및 동작 확인 완료 조향지지대조합 및 감 속기 기어케이스 개발
		자율직진주행 조작부 개선 설계	조작성 개선 장착부 개선	성능 시험 완료 장착부 개선 설계
		작업환경 인식 모듈 개선 설계	장착부 개선 설계 성능 시험 데이터 수집	영상분석 기술 개발 AI기술 접목 데이터 수 집
	이앙부 자동화 기술개발, 실증용 차량 제작	자동 선회 승용이앙기 부품 및 실증용 차량 제작 (국제종합기계 이앙기)	주요 기능 시작품 제작 선회 자동화 식부 제어 시스템 튜닝	조향부 설계 및 시작품 제작 선회부 설계 및 시작품 제작 식부제어 컨트롤러 동 작 사양
		Field 성능 시험 및 문제점 보완	자동 선회 및 식부 자동화 기능 성능 시험 문제점 개선 보완	자율 주행, 자동 선회 및 식부 자동화 작동 시 험 식부부 자동화 문제점 개선
		2차 실증용 차량 핵심부품 개선 설계	2차 주요 기능 사양 검토 및 보완 2차 시작품 설계 및 제작	조향부 주요 부품 보완 검토 및 2차 시작품 제 작
	자율주행 경로생성 알고리즘 개발	1차년도 개발 기술 실차 적용 평가	U형 선회 및 왕복 직진 작업 경로 생성 및 추종 기술 실증 차량 적용	이앙기 차동 장치로 인 해 선회 반경 차이 발생 생성한 경로에 대해 추 종 오차 발생
		선회 경로 생성 알고리즘 보완	차동 장치로 인한 기구학적 제약조건 규명 U형 선회가 어려운 조건에서의 최적 선회 패턴 개발	기구학적 제약조건을 분석하여 적정 조향 한 계 설정 U형 선회가 어려운 조 건에서 Reverse R형 선 회 패턴 개발

		2차년도 개선 내용 실차 적용 평가	Reverse R형 선회 및 왕복 직진 작업 경로 생성 및 추종 기술 실증 차량 적용 기울기 보상 알고리즘 적용 영향 평가	대동공업 실증용 플랫폼을 통한 Reverse R turn 실험 결과 경로 추종 최대 오차가 15cm 이내 기울기 보상 알고리즘 적용시 직진 안정성 향상
		경로 추종 정확도 및 안정도 조사	실증 차량의 선회 후 자율 직진 상대 위치 및 방향각 RMSE 측정 자율 직진 상대 최대 횡편차 측정	직진 구간 평균 위치 횡편차 RMS는 약 0.05cm, 방향각 오차 RMS는 0.96도 전체 직진구간에서 최대 횡편차는 15cm를 초과하지 않음
		추종 성능 요인 분석	자율 직진 정확도 및 안정도에 영향을 미치는 요인 분석	GNSS 안정성 스티어링 액추에이터 응답성 노면 상태 속도
		지능형 식부 상하강 알고리즘 개발	새머리 영역 진출입시 정확하게 식부를 상승, 하강	식부 상하강 명령을 위한 작업기 경로점 생성
자율주행 제어기 및 모니터링 시스템 개발	자율주행 임베디드 제어기 개발	임베디드 제어기 하드웨어 개발사양 확정 임베디드 제어기 설계 및 시제품 제작 임베디드 제어기를 이용한 자율주행 운전제어 알고리즘 개발	제어기 상세설계 수행 제어기 시제품 제작 제어기 정량적 목표 관련 시험 실시(내진, 방수, 모니터링 항목) 자율주행 운전제어 알고리즘 개발	
	자율주행 모니터링 알고리즘 개발	자율주행 주행오차 표시 알고리즘 개발 센서 및 액추에이터의 주기적 상태진단 및 작동상태 판단 알고리즘 개발 자율주행정보 및 차량운전정보의 수집, 연산 및 저장 알고리즘 개발	주행오차 표시방법 확정 및 표시 알고리즘 개발 상태진단 항목 및 판단 기준 알고리즘 개발 자율주행 정보표시를 위한 연산항목 및 연산 방법, 관련 CAN Protocol 개발	

구분 (연도)	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
3차 년도 (2021)	자율주행용 전자식 변속 시스템 개발(선회 자율주행 구현)	주변속/부변속 시스템부 구조 설계 차속제어 컨트롤러 개발	CAN통신 기반 전/후진 제어가 가능하도록 개발 완료
	작업환경인식 시스템 개발	공인기관 입회시험 수행	환경인식률 95.6%, 정량적 목표항목 달성
	자율주행 시스템 개선 설계	이양부 자동화 시스템 최적화 이양부 제어 컨트롤러 개선 설계	작업기 제어 관련 전동화 및 CAN통신 제어 기능 개발 완료
	최종 실증용 차량 시험	자율주행 모터 내구성 시험 자체평가 실증 시험 이양작업 실증 평가 자동선회를 포함한 자율주행 실증 시험	가속시험 기반 조향모터 기대 수명시간 1,015Hr 직진자율주행의 포장지 기준 8cm이내 주행오차 실수요자 차량대여 평가 완료 자동선회 자율주행 이양기 구현 및 시험
	자동 선회 개선품 개발 및 승용이양기 실증용 차량 제작	이양 자동화 및 자동 선회 기능 개선 자율 주행 조향 모듈 성능 시험	묘탑재판 자동 위치 센싱 시스템 개발 자동 선회로드부 개선 조향 모듈 실차 토크 분석
	자동 선회 이양기 포장성능 시험 및 개선	주행오차 시험_노상 주행오차 시험_필드 IMU 진동 시험 및 개선	주행오차 비교 성능 시험_노상 주행오차 비교 성능 시험_필드 IMU 진동 시험
	자율주행 제어성능 최적화 연구	자율주행 제어기 최종 시제품 제작 자율주행 제어기 임베디드 프로그램 개발 자율주행 CAN 제어 프로토콜 및 모니터링 최종본 확정, 배포	임베디드 제어기, 스위치 모듈, 배선 최종 시제품 제작 제어기 Firmware 제작 및 자율주행 알고리즘 포팅 CAN 프로토콜 (31개항목) 및 모니터링(자율주행제어, 차량제어, 차량센서) 항목 확정 및 배포
	자율주행 성능 실증 및 보완	제어기 모니터링 Test 프로그램 제작 임베디드 제어기 이양기 적용 및 탑재시험 공인평가 시험	제어기 작동 및 CAN Message 확인시험 자율주행 관련 하드웨어 작동 시험 및 최적화 공인평가지험 (6개항목)
	직진 왕복 및 선회 경로 생성 알고리즘 및 추종 알고리즘 현장 요인실험	현장 테스트 플랫폼 구성 실제 무논 테스트 환경 구성 현장 실험 진행	실제 무논 정지 작업 환경에서 테스트 진행 10cm 이하의 주행 오차

자율주행 알고리즘의 보완 및 개선	U자형 신속 선회 알고리즘 개발하여 선회 갈고리즘 개선	독자적인 선회 알고리즘 구성 (특허출원)
식부 상·하강 지능형 제어 알고리즘 개발	GPS 위치를 기준으로한 자율주행 중 식부 제어 로직 개발 CAN 제어를 통한 식부 상하강 제어 요인 실험	실증 실험을 통한 식부 상하강 및 PTO 연결 제어 실증성 확인
구조조사, 성능시험, 안전성 시험 등 시험항목에 대한 프로세스 구축	구조조사, 성능시험, 안전성 시험 등 시험항목에 대한 프로세스 구축	자율주행시스템 시험항목 (구조조사, 성능시험, 조작성 난이도시험, 안전성시험) 프로세스 구축 농업기술실용화재단의 자율주행시스템검정방법 신설·공포로 검정가능 (농업기계화촉진법 시행령 제9조2항: 농기계검정 재단위탁)
자율 직진 주행형 이앙기 검정 장비 구축	자율 직진 주행형 이앙기 검정 장비 구축	자율주행 농기계의 직진성, 속도 등 측정 으로 검정시 활용
자율 직진주행 검정방법 모의실험	자율 직진주행 검정방법 모의실험	경로이탈오차 성능시험

제 2 절 세부 연구수행 결과(1차년도)

1. 자율직진주행 GNSS/환경인식 시스템 설계

가. 선진사 핵심 기술 벤치마킹

1) 상세 기능 비교

항목	K사	I사
GPS 활용 직진 자동 제어	○ (직진 조타 기능)	○ (직진 어시스트 기능)
긴급 조향 수동 제어	○ (긴급 회피)	○ (직진 어시스트 긴급 회피)
GPS 수신 불량 경고	○ (GPS 위치 불량 대응)	○ (GPS 불량 자동 정차)
논두렁 접근 경고	○ (논두렁 충돌 방지)	○ (논두렁 접근 경고)
포장 이탈 방지 기능	○ (포장 이탈 방지)	○ (포장 이탈 방지)

표 8 판매 제품의 적용 기능

나. 시스템 레이아웃 설계

1) 자율주행을 위한 조향시스템 공용화 설계

- Ⓐ 자율주행이 가능한 조향지지대 프레임 설계
- Ⓑ 참여기관과의 공용화 설계된 조향모터 장착
- Ⓒ 감속기 기어비(1:16) 적용하여 정밀한 자율주행 및 강건성 확보



2) 환경인식 시스템 장착부 설계

- Ⓐ GPS 및 GNSS 모듈 조립을 위한 프레임 구조
- Ⓑ 환경인식 시스템의 정밀성을 확보하기 위하여 강건성 설계
- Ⓒ 정밀한 GPS수신을 확보하기 위하여 위치 선정

환경인식 시스템 장착부

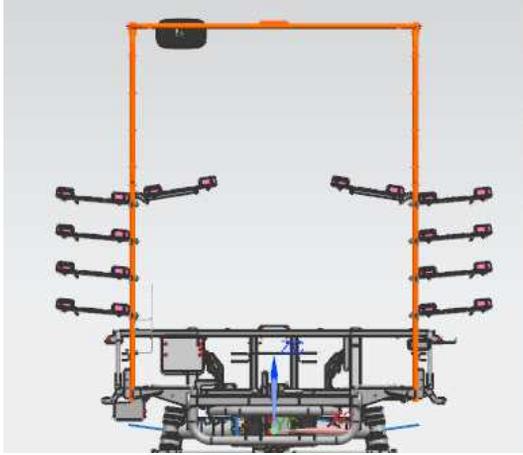
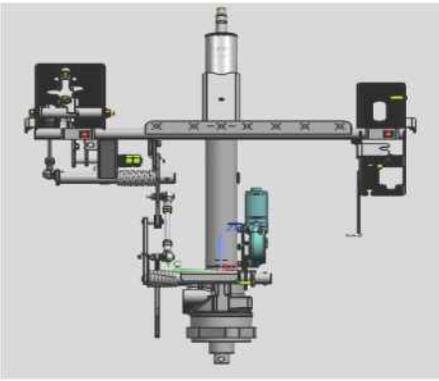
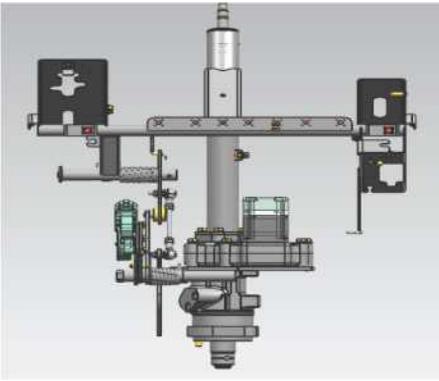


그림 6 환경인식 시스템 장착부

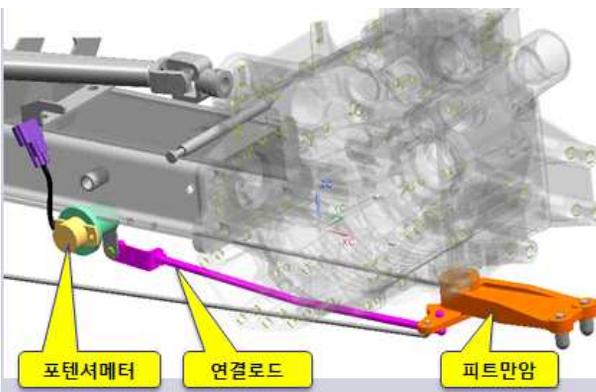
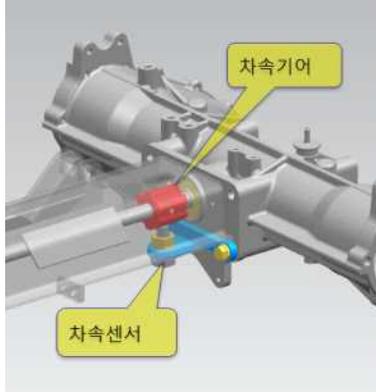
3) 기존 일반형 대비 자율직진 승용이양기 조향 시스템 변경 내역

기존 일반형 조향 시스템	자율직진 주행 조향 시스템
 <p data-bbox="211 1220 650 1258">그림 7 기존 일반형 조향 시스템</p>	 <p data-bbox="838 1220 1277 1258">그림 8 자율직진 주행 조향 시스템</p>

- Ⓐ 이양클러치 작동 시스템 및 모터 위치 변경
- Ⓑ 감속기 조합 및 조향모터 추가
- Ⓒ 조향지지대 조합 형상 변경

4) 조향각 및 차속 센서 장착

- Ⓐ 조향각 센서: 조향각도 검출하여 자율주행 시 좌우편차 최소화 적용
- Ⓑ 차속 센서: 주행거리를 측정하여 원활한 GPS수신 및 자율주행 작동을 수행

조향각 센서	차속 센서
 <p data-bbox="133 2060 729 2110">그림 9 조향각 센서 장착 구조</p>	 <p data-bbox="870 2060 1246 2110">그림 10 차속 센서 장착 구조</p>

5) 배선 라우팅 및 회로도 설계

㉠ 2차년도 시작품 제작을 위한 라우팅 설계

㉡ 타부품간 간섭여부 검사 및 최적 경로 설계

㉢ 배선 주요 고정부 관련 설계

㉣ CAN통신 연결 관계 및 최적 경로 설계

- 통신 프로토콜은 가급적 국제 규격인 ISO 11783 혹은 SAE J1939에 준하며, 제어기에서 제공하는 기본 프로토콜에 따르도록 설계

- CAN 중요 사양은 속도 : 250kbps, 규격 : SAE J1939 or ISO 11783

- 승용이양기의 CAN 통신은 기본적으로 이양컨트롤러, 시비기컨트롤러, 계기판에 해당하는 3개의 유니트가 통신하고 있으며, 승용이양기 자율직진주행을 수행하기 위하여 조향제어모듈, GNSS모듈, 상위제어기 등 3개소 이상의 유니트가 추가되어 통신하고 있다.

- 통신 부하율 : CAN 통신의 부하율은 250Kbps를 기준으로 50~60% 이내에서 통신을 하도록 설계한다.

- 회로 : 승용이양기의 CAN 통신을 위하여 양단에 종단저항을 구비하고, 트위스트 선을 사용하도록 설계한다.

㉤ 전원 시스템 분배

- 퓨즈 용량 선정을 위한 시스템 부하 분석

- 전기적 부하 특성 고려

- 퓨즈박스 및 부하 사용 위치의 온도 조건을 고려

- 계산된 부하 용량에서 120~130%의 안전율을 고려하여 퓨즈 용량을 결정

- 전체 시스템 부하 분석

승용이양기의 각 전장품을 선정하고 각 이론 전류치를 표에 나타내고 일차적으로 실측치를 측정한다. 자율직진주행 주요 부품으로는 GNSS 모듈, 조향제어 모듈, 환경인식 장치가 있으며 해당 부품의 전류 사용량을 고려하여 전원부를 설계하였다.

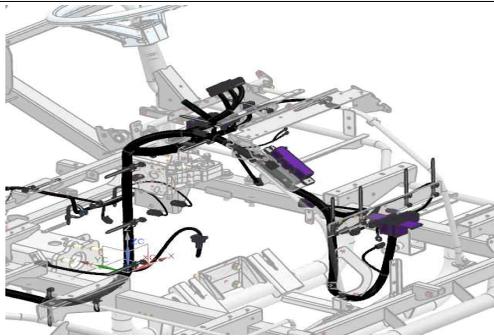


그림 11 조향 및 계기패널부 3D 라우팅 설계

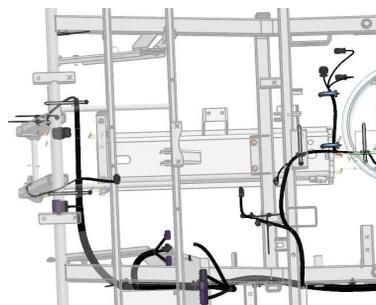


그림 12 주프레임부 라우팅 설계

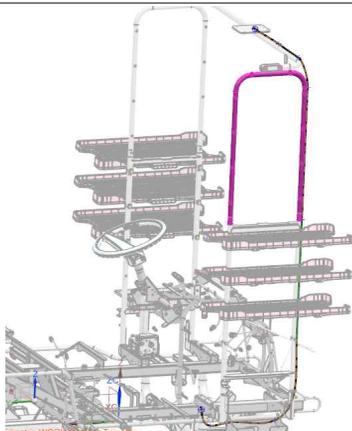


그림 13 모탑재대부(환경인식관련 모듈) 라우팅

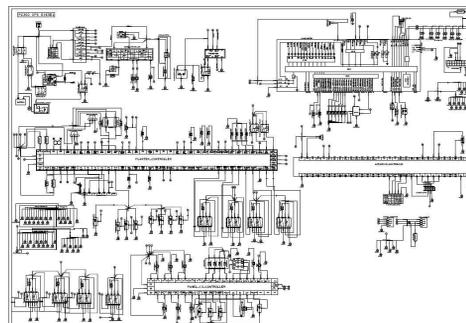


그림 14 전체 회로도 설계

6) 자율직진주행 조작부 설계

㉠ 선진사 벤치마킹

- (a) K사 특징 : LED램프스위치 2개 및 주행레버에 스위치 1개가 있으며, 램프스witch는 A/B점 등록(시작점/종료점)에 활용하고, 주행레버에 부착된 GS 스위치의 경우 주행 시작을 수행하기 위해 사용됨.
- (b) I사 특징 : 직진 어시스트 레버(상,하 조작 가능) 1개를 이용하여, 시작점/종료점 등록 및 주행 시작을 조작할 수 있음

A/B 등록 스위치	 <p>A / B 스위치 (램프 검출)</p>	<p>직진 어시스트 레버 (스위치) 하 : 시작점 A, 종료점 B 등록 상 : 기능 ON, 기능 OFF</p> 
기능 동작/해제 스위치	 <p>GS 스위치</p>	
동작 디스플레이		

그림 15 선진사 조작 스위치 분석

㉡ 주행레버 스위치 개발

- (a) 시작점/종료점 등록 및 주행 시작/종료 등의 기능을 수행
- (b) 상/하/좌/우 4방향 조작 가능
- (c) 주행레버스위치는 스티어링 하단부/조향지지대에 조립되도록 설계
- (d) 몸체 재질은 알루미늄 재질을 사용하였으며, 내부의 접점 플레이트 설계하여 4방향 조작 가능하도록 설계
- (e) 조작에 따른 내구성은 정격부하 110%에서 상하스위치는 1초 간격 조작하였을 경우 10,000회를 만족하고, 좌우스위치는 5,000회를 만족하도록 설계하였음



그림 16 단품 사진



그림 17 장착성 확인

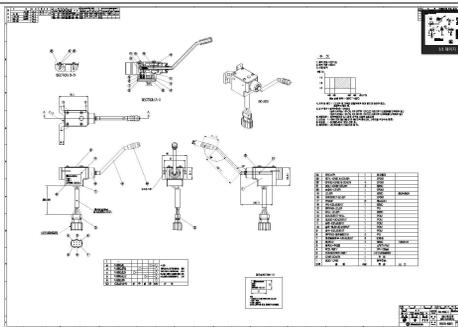


그림 18 설계 도면

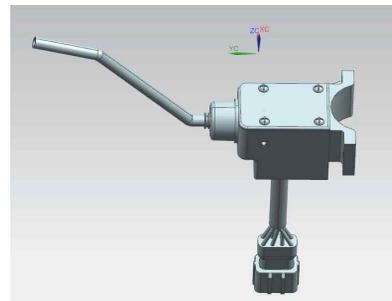


그림 19 3D 모델링

㉔ 계기판 개발

- (a) 계기판은 자율직진주행의 동작상태를 알려주며, LED 램프로 점등되는 심볼 및 LCD 문구로 표현
- (b) 계기판의 동작 상태는 CAN 통신으로 제어하며, 16개의 LED 심볼 및 기능에 따라 100~120개의 LCD 문구로 구성
- (c) 계기판 구성 주요 심볼은 KS 표준에 기준하여 설계되었으며, 자율직진주행 관련 심볼은 표준 규격이 없으므로, 대동공업 표준에 준하여 설계

Image	Description	ILL Source	Color	Specification	Supplier
	시작점	LED	GREEN	MGT801	서울반도체
	종료점	LED	GREEN	MGT801	서울반도체
	Glow	LED	AMBER	-	씨티엘
	High Temp	LED	RED	-	씨티엘
	Engine Oil Pref	LED	RED	-	씨티엘
	Battery Charging	LED	RED	-	씨티엘
	식부자동	LED	GREEN	MGT801	서울반도체
	적진자동	LED	GREEN	MGT801	서울반도체
	스마트린	LED	GREEN	MGT801	서울반도체
	모 빌어짐	LED	RED	-	씨티엘
	확조클러치 이상클러치	LED	GREEN	MGT801	서울반도체
	Check	LED	RED	-	씨티엘
	클러치경보 엔진ECO	LED	GREEN	MGT801	서울반도체
	송풍기 Off	LED	RED	-	씨티엘
	마카 우	LED	GREEN	MGT801	서울반도체
	Low Fuel	LED	AMBER	-	씨티엘
	시비 떨어짐	LED	RED	-	씨티엘
	시비 막힘	LED	RED	-	씨티엘
	마카 좌	LED	GREEN	MGT801	서울반도체

그림 20 계기판 심볼 리스트



그림 21 기존 계기판

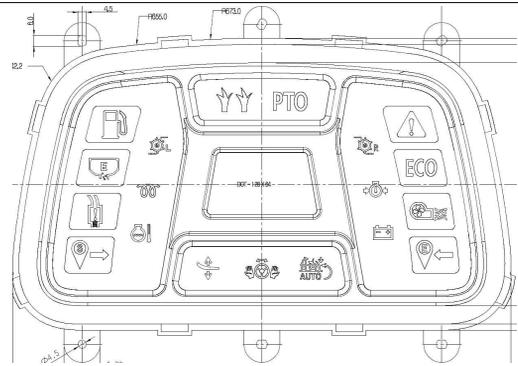


그림 22 변경안

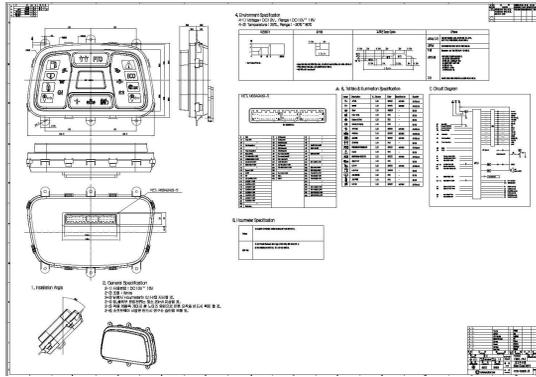


그림 23 설계 도면

- 시작점/종료점 심볼 추가
 - 직진주행 시작/종료 알림
 - LCD 문구 추가
- (실증용 차량 제작 이후 추가사항에 대한 개발 필요)
- 2차년도 실증용 차량 제작 전 단품 제작

다. GNSS 위치 인식 시스템 개발

1) 선진사 제품 구성

㉠ 외형 및 내부 구조 파악

- 내부 메인 보드 및 GNSS 모듈로 구성되어 있음.
- 별도 안테나 보드를 탑재하고, 메인보드와 통신함.
- CAN 통신으로 변환하여 출력
- 메인 보드에서 전원제어하며, 동작전압은 12V임.

㉡ 내부 부품 구성 및 성능 비교를 위한 분석



그림 24 GNSS 모듈 상측



그림 25 GNSS 모듈 하측



그림 26 GNSS 모듈 내측



그림 27 GNSS 모듈 단품

2) 선진사 제품 성능 분석

㉠ 단품 상태 출력 분석(CAN DATA)

- 별도의 CAN데이터 입력 없이도 지속적으로 GPS정보 및 IMU신호 출력
- 3개의 별도 ID값을 갖는 데이터 출력
- GPS정보(위도 및 경도)를 0.1초당 1개(10Hz) 출력

Filter	Count	Time (Sec:MS)	Tr	Description	ID#	Hex	Dir	Details	Network	Node	ChangeCnt	Timestamp	Hex/Ascii
Custom 1	1	100.000 ms	R	GPS_01 0P0012D	0P001	2	RD	00 02 2F 14 00 00 00 00	HS CAN	29			
Custom 2	1	100.000 ms	R	GPS_02 0P0012D	0P002	2	RD	00 00 00 00 00 00 00 00	HS CAN	255			
Custom 3	1	3.000 ms	R	GPS_03 0P0012D	0P003	3	RD	00 00 00 00 00 00 00 00	HS CAN	200			

그림 28 CAN통신 데이터 리스트

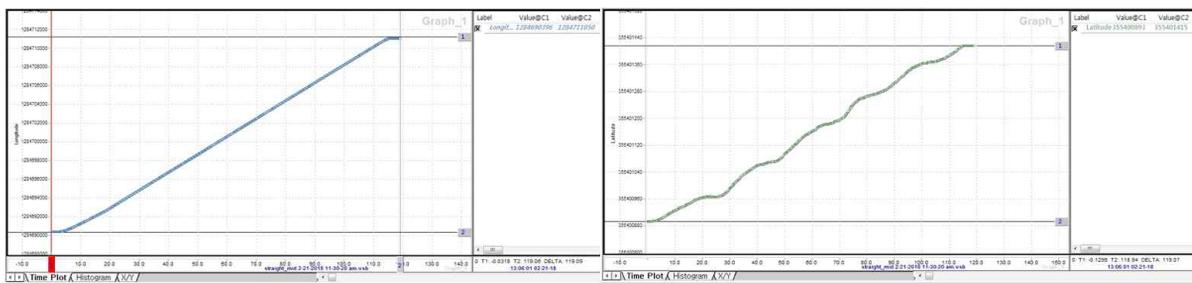


그림 29 출력 분석 - 위도 및 경도값 해당 CAN DATA 추출

3) GNSS 핵심 부품 선정

㉠ 국내 수급 가능 해외 업체 및 국내 업체 제품 비교/선정

- 제품별 성능 비교표

업체(제조사)	Hemisphere	Furuno	U-Blox	
모델명	CRESCENT P102	GV-8720 Series	NEO-M8L	NEO-M8P-0/ NEO-M8P-2
수신 타입	L1 밴드, C/A code	L1 밴드, C/A code	L1 밴드, C/A code	
채널	12-channel, parallel tracking (10-channel when tracking SBAS)	26 channels (GPS, GLONASS, QZSS, SBAS)	72-channel u-blox M8 engine	72-channel u-blox M8 engine
Update Rate(출력)	20 Hz Maximum	GNSS: 1 / 2 / 5 / 10 Hz Dead Reckoning : 1 / 2 / 5 / 10 Hz	Up to 30 Hz	RTK + GPS : 8Hz GPS, GLONASS, BeiDou : 10Hz
수평 정확도 (Horizontal Accuracy)	< 0.02 m 95% confidence (RTK 1,2,3) < 0.28 m 95% confidence (L-Dif1, 2,3) < 0.6 m 95% confidence (DGPS1) < 2.5 m 95% confidence (autonomous, no SA1)	GPS : 2.5m(CEP) GPS + SBAS : 2.0m (CEP) GPS + SBAS + GLONASS: 2.0m (CEP) ▶ Update rate : 1Hz	Autonomous : 2.5 m CEP with SBAS : 1.5 m CEP	Standalone : 2.5 CEP RTK : 0.025m + 1ppm CEP
데이터 프로토콜	NMEA 0183, SLX binary	eSIP(NMEA 0183 Standard Ver. 4. 10)	NMEA, UBX binary, RTCM	NMEA 0183
Antenna Input Impedance	50Ω	50Ω		

- 성능 비교 평가

- 고성능 RTK급 GNSS 모듈을 기준으로 GNSS 모듈별 위치 오차를 측정하여 성능을 비교
- 해당 평가를 통해 자율직진시스템에 적용가능한 모델을 선정하였으며, 이를 GNSS 모듈 설계에 반영하고 승용이양기 작업 환경에 맞도록 보안 설계가 필요
- 모듈별 시험 결과를 1~3차로 구분하였으며 3차에 해당하는 GNSS 모듈이 적합하다고 판단함

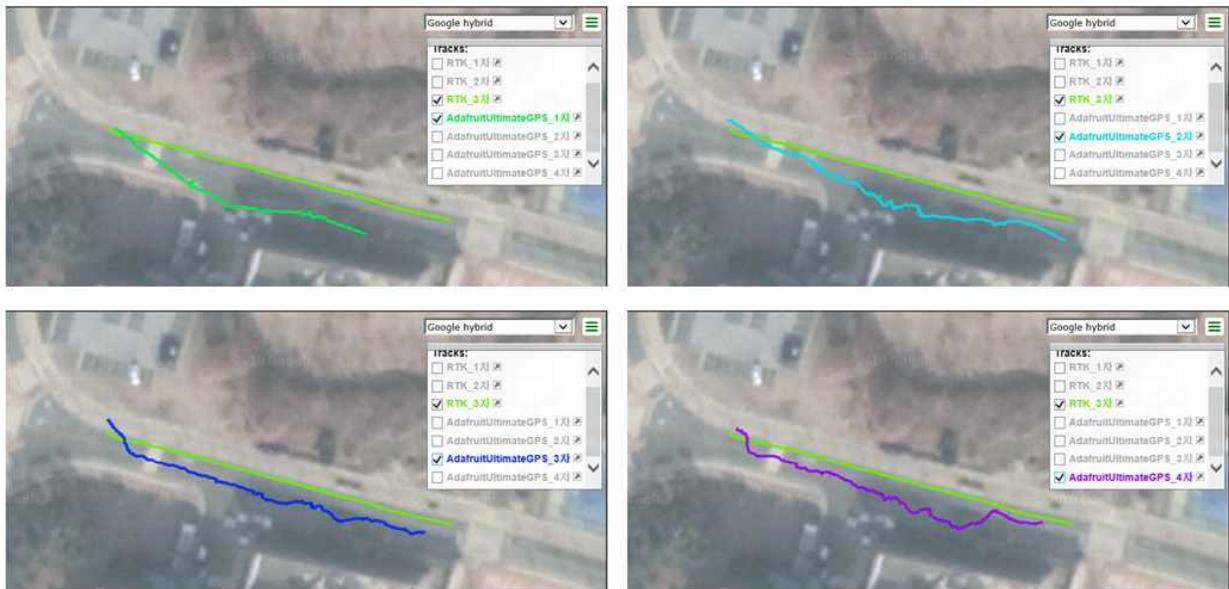


그림 31 1차 비교 시험 결과

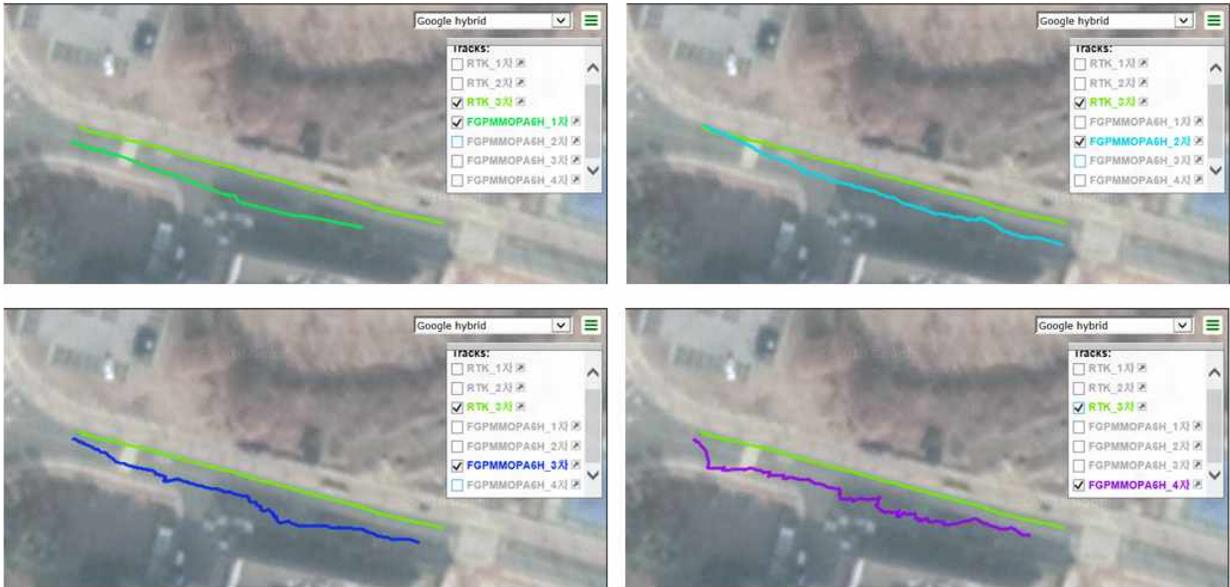


그림 32 2차 비교 시험 결과

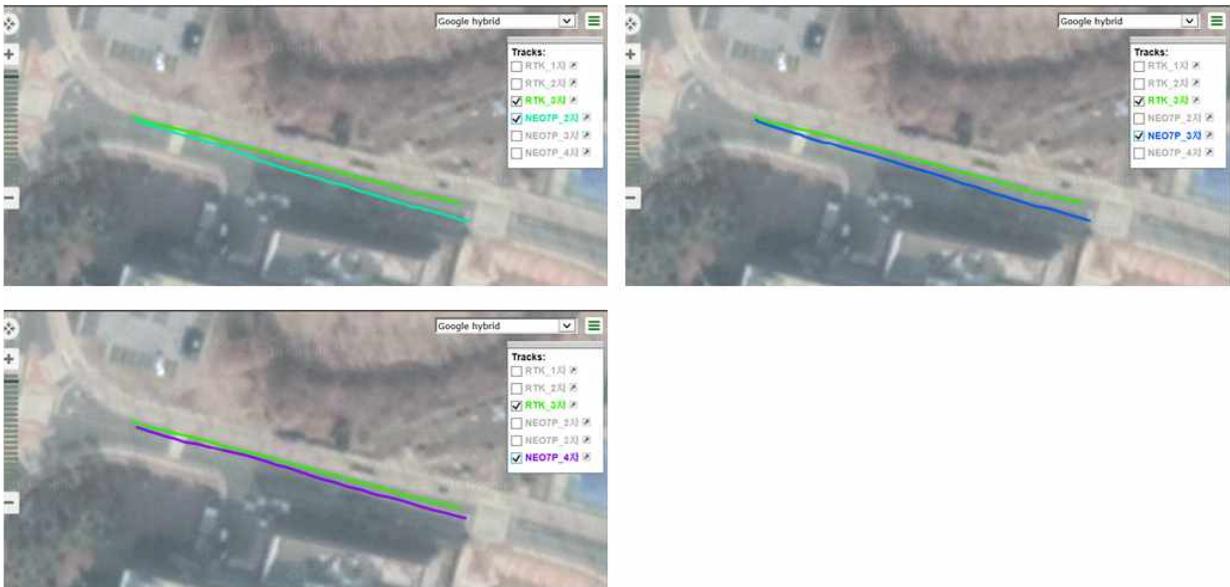


그림 33 3차 비교 시험 결과

⑧ GNSS 모듈 특징

- GNSS 모듈의 범용 활용 방안은 NMEA 프로토콜 규격에 맞춰 통신으로 출력되는 위치값을 활용하여야 함
- NMEA는 시간, 위치, 방위 등의 정보를 포함하고 있으며, 필요 정보를 요약한 내용은 GNRMC(GLONASS Recommended Minimum data)에 포함되어 있음
- 승용이양기의 위치 정보는 NMEA 데이터 포맷 중 GPGGA 정보를 활용하며 해당 정보를 CAN데이터로 변환하여 상위제어기로 전달

```

$PERDSYS, FIXSESSION, INIT*49
$PERDACK, PERDAPI, 47, LTCSM*7B
$PERDACK, PERDAPI, 48, SELFEPH*70
$PERDACK, PERDAPI, 49, EXTENDGSA*63
$PERDACK, PERDAPI, 50, CSMREQ*23
$PERDACK, PERDAPI, 51, CROUT*66
$PERDACK, PERDAPI, 52, CROUT*65
$PERDACK, PERDAPI, 53, START*7B
$PERDSYS, FIXSESSION, ON*52
$GNRMC, 072503.953, V, 3532.4700, N, 12828.2815, E, 0.00, 0.00, 181217, , N, V*19
$GNGNS, 072503.953, 3532.4700, N, 12828.2815, E, NNN, 00, 63.9, 22.7, , V*4E
$GNGST, 072503.953, , , *5B
$GNGSA, A, 1, , , , , , 1*1D
$GNZDA, 072503.826, 18, 12, 2017, , *49
$GPGSV, 4, 1, 13, 10, 68, 270, 18, 57, 193, 12, 53, 091, 25, 47, 161, 1*66
$GPGSV, 4, 2, 13, 32, 40, 309, 24, 39, 048, 14, 21, 298, 15, 17, 104, 1*6D
$GPGSV, 4, 3, 13, 31, 12, 244, 20, 04, 155, 21, 94, 83, 111, 1*51
$GPGSV, 4, 4, 13, 93, 52, 172, , , , , 1*5F
$GLGSV, 2, 1, 07, 76, 79, 260, 65, 56, 126, 66, 54, 336, 75, 44, 028, 1*7D
$GLGSV, 2, 2, 07, 77, 19, 221, 72, 10, 137, 67, 05, 323, , , 1*41

```

그림 34 NMEA 데이터 포맷의 실제 출력

데이터	시간	신뢰성	위도		경도		속도	방향	날짜		체크섬
\$GNRMC	63336.8	A	3532.3383	N	12828.1836	E	3.48	60.09	211217	A	V*36
\$GNRMC	63337.8	A	3532.3387	N	12828.1847	E	3.48	59.44	211217	A	V*36
\$GNRMC	63338.8	A	3532.3391	N	12828.1857	E	3.49	58.68	211217	A	V*31
\$GNRMC	63339.8	A	3532.3395	N	12828.1866	E	3.45	59.14	211217	A	V*30
\$GNRMC	63340.8	A	3532.3400	N	12828.1876	E	3.49	59.35	211217	A	V*3B
\$GNRMC	63341.8	A	3532.3406	N	12828.1887	E	3.49	59.76	211217	A	V*35
\$GNRMC	63342.8	A	3532.3411	N	12828.1897	E	3.47	60.38	211217	A	V*3F
\$GNRMC	63343.8	A	3532.3416	N	12828.1906	E	3.46	60.24	211217	A	V*3C

그림 35 NMEA 데이터 포맷 분석

명칭	내용
시간	시간으로서 Zulu time (그리니치 표준시) 기준으로 06시 33분 43초를 뜻한다.
신뢰성	GPS 신호의 신뢰성을 뜻한다. (A = 신뢰할 수 있음, V = 신뢰할 수 없음)
위도	3532.3416은 위도로서 35도 32.3416분을 뜻한다. 도(degree) 단위로 환산시, 32.3416/60 = 0.54 대략 37.54도가 된다.
경도	12828.1906은 경도로서 128도 28.1906분을 뜻한다. 도(degree) 단위로 환산시, 28.1906/60 = 0.47 대략 128.47도가 된다.
속도	'3.46'은 Speed over ground로서 knots 단위의 속도계이다.(m/s 단위로 환산시, 약 1.78m/s가 된다.)
방향	'60.24'는 Track Angle in degree true로서, 진행 방향을 정북을 0도부터 359도 까지 표현한 것이다.
날짜	'211217'은 Date를 뜻한다. 여기에서는 21th, Sep, 2017 이며 2017년 12월 21일이다.

그림 36 NMEA 데이터 포맷 분석 2

4) GNSS 모듈 설계

㉠ 주요 기능 :

- GNSS 모듈과 시리얼 통신으로 연결하여 범용장착 가능하도록 메인보드 설계
- 내부 센서 및 GNSS 모듈 전원 분배
- 상위 제어기로 데이터 송신을 위한 CAN 통신 모듈 장착

㉡ GNSS 모듈의 시스템 구성

- 12V 전원단을 기준으로 설계되었으며, 이는 승용이양기의 배터리 전원을 공급받도록 설계
- GNSS 모듈은 NMEA데이터를 통신으로 출력하며, IMU등의 센서와 전원 통제를 위해서 모듈 16Bit MCU를 탑재하여 이를 제어한다.
- IMU센서는 GNSS 모듈의 위치정보 보정 및 승용이양기의 주행 방향을 판단한다.

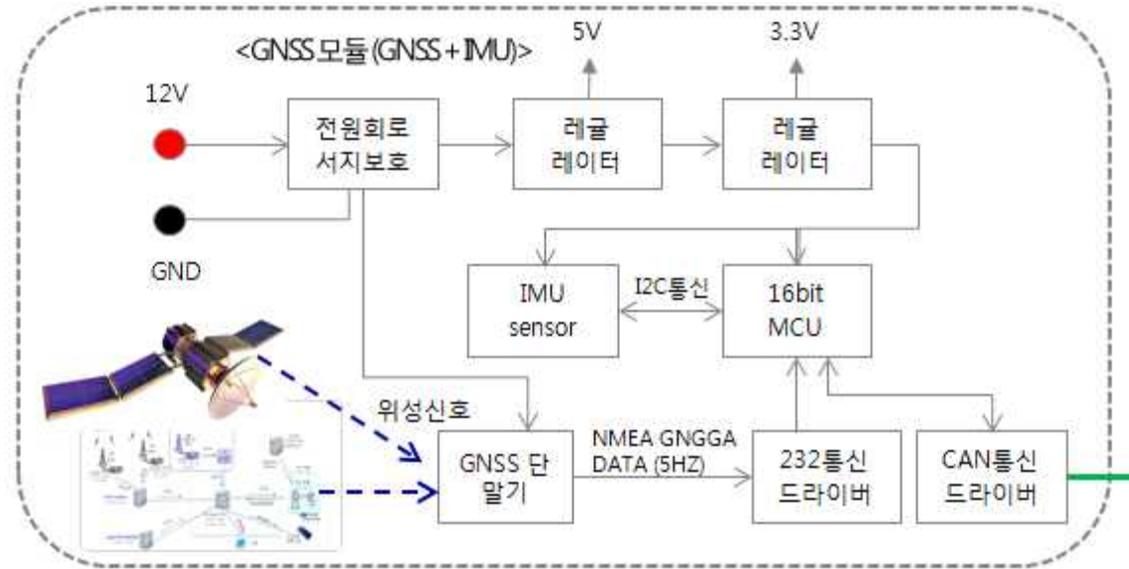


그림 37 GNSS 모듈 시스템 구성

- GNSS 모듈에서 출력되는 CAN 통신 데이터는 다음과 같으며, 본 과제의 개발과정을 통해 승용이양기 공용사용이 가능하도록 설계

NO	ID	CYCLE TIME[ms]	BYTE	BIT	Comment / Parameter	Data Range	unit	offset	description	비고
1	0x18FF2800	50	1~4	32	위도 data	0~4294967295			factor: 0.0000001	GPS&IMU: TX 직진주행 컨트롤러: RX
			5~8	32	경도 data					
2	0x18FF2801	50	7	8	GPS상태 신호	0~255			0~3: 위치신호 0~3 4: RTK, 5: 클로핑	
3	0x18FF3200	50	1~2	16	IMU angle	0~65535			factor: 0.0625 Imu ang ~180 이면 Imu ang - 360	

그림 38 GNSS 모듈 CAN 통신 데이터

© 모듈 케이스 설계

- 방수성, 내진성 등 환경요건을 고려한 케이스 설계
- CAN 통신 출력 및 전원 공급용 커넥터
- 승용이양기 묘탑재대 상단부 장착성을 고려한 설계(디자인, 강성 등)
- GNSS 수신 안테나 장착성을 고려한 설계

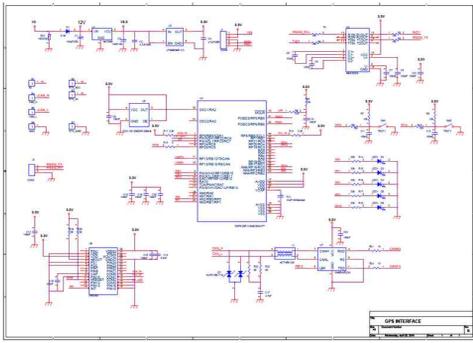


그림 39 GNSS 모듈 회로 설계

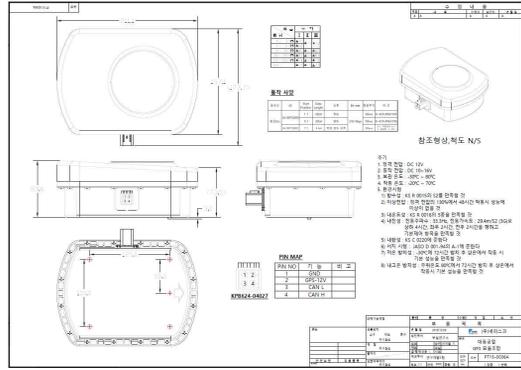


그림 40 GNSS 모듈 케이스 설계

5) GNSS 모듈의 성능 개선 설계

- 승용이양기의 차속 및 구조적 수평 상태에 따라 GNSS 모듈의 신호에 대한 보상 필요
- IMU센서를 활용하여 GNSS 모듈의 위치적 오차를 보상
- GNSS 모듈의 위치 보상은 칼만필터를 활용하였으며, 그 방법은 다음과 같다.

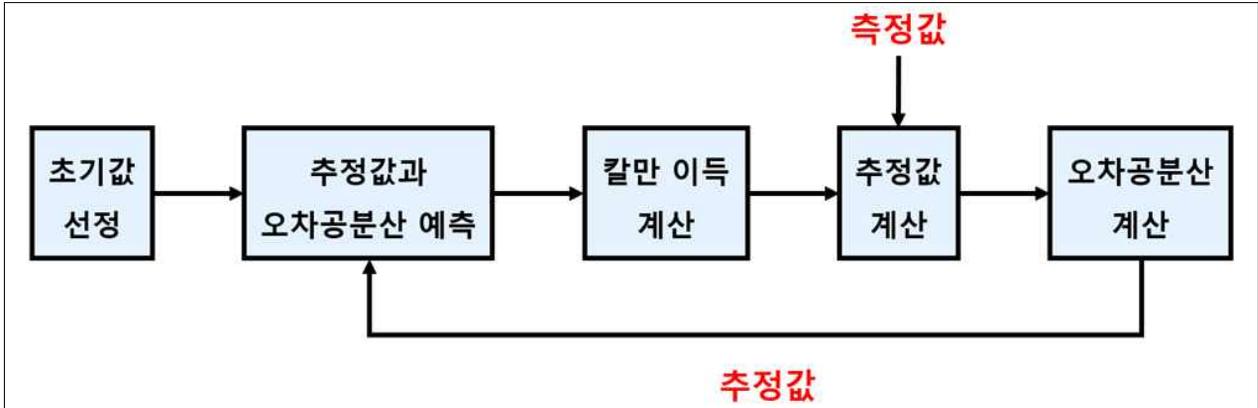


그림 41 칼만 필터의 정의

- 잡음이 포함된 데이터를 재귀적으로 처리하는 필터로서 현재 상태에 대한 최적의 통계적 예측 값을 얻는 알고리즘
- 승용이양기의 IMU센서 인식의 경우 진동에 의한 센서 오차가 발생하여 실험적 방법으로 추정값, 오차 공분산 등 칼만 이득의 적합한 수치를 얻어내는 과정이 필요함

Time Update ("Predict")

(1) Project the state ahead
 $\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_k$

(2) Project the error covariance ahead
 $P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q$

Measurement Update ("Correct")

(1) Compute the Kalman gain
 $K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1}$

(2) Update estimate with measurement z_k
 $\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-)$

(3) Update the error covariance
 $P_k = (I - K_k H)P_k^-$

^ : 추정된
 - : 이전 시점의

- **Initial estimate:** 초기의 상태변수의 값(\hat{x}_{k-1})과 공분산오차(P_{k-1})를 예측하여 입력하는 부분 (처음 한 번만 진행)
- **Time Update:** 상태방정식으로 이전 데이터를 근거로 예측하는 부분
- **Measurement Update:** 측정 모델로써 새로운 측정값으로 교정하는 부분

Measurement Update ("Correct")

(1) Compute the Kalman gain
 $K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1}$

(2) Update estimate with measurement z_k
 $\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-)$

(3) Update the error covariance
 $P_k = (I - K_k H)P_k^-$

❖ $K = \begin{matrix} 6 \times 3 & 6 \times 6 & 3 \times 6 & 6 \times 3 \\ \underline{P} & H^T & (H \cdot \underline{P} H^T + R) & \end{matrix}^{-1} \Rightarrow$ 칼만 이득

❖ $\underline{x} += \begin{matrix} 6 \times 3 & 6 \times 3 & 3 \times 1 & 3 \times 6 & 6 \times 1 \\ K & (z - H \cdot \underline{x}) & \end{matrix}$

❖ $\underline{P} = \begin{matrix} 6 \times 3 & 6 \times 6 \\ (I - KH) & \cdot \underline{P} \end{matrix}$
단위 행렬

추정값 : $z = \begin{bmatrix} tm_x \\ tm_y \\ altitude (m단위) \end{bmatrix}$
3*1

그림 42 칼만필터 알고리즘 정의

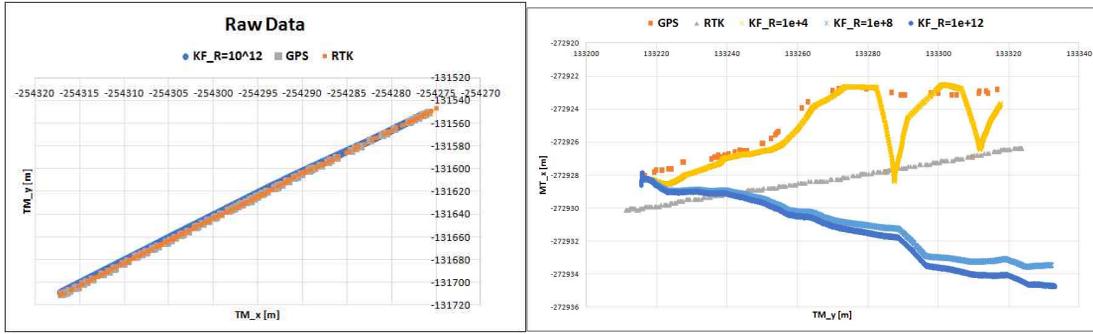


그림 43 GNSS 모듈에 칼만필터의 칼만이득 시험



그림 44 실험 결과

칼만 이득에 따른 출력 수치 비교를 통해 적절한 수치를 적용하였으며, 추가 실차 시험 필요

6) 성능 평가

- 성능 평가 결과(선진사 제품과 비교 평가)

- ㉠ 선진사 제품과 성능 비교 시험 진행, 정지상태 오차 및 이동상태 오차 측정하여 비교 분석
- ㉡ 다수 제품 중 성능 비교 시험 결과에서 오차 조건을 만족하는 제품 선정



그림 45 시험 평가 관련 사진



그림 46 정지상태 위치점

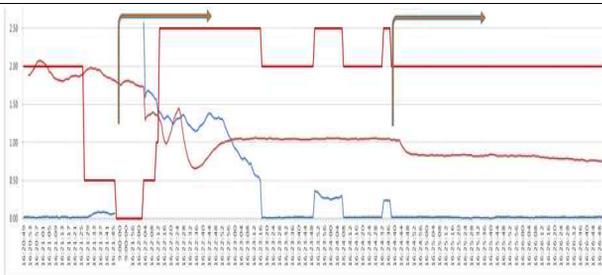


그림 47 성능 비교 그래프

	정지상태 오차	이동상태 오차
선진사 제품	7.18cm ± 9.76cm	6.30cm ± 29.19 cm
선정 제품	1.78cm ± 0.86cm	2.07cm ± 2.46 cm

그림 48 성능 비교 결과

7) 성능 시험

- 정격 전압의 80%~130% 이내에서 동작 가능하도록 설계하여, 동작 시험 실시

faceko 시험성적서				작성	날짜	승인
품명	GPS 모듈조합	작성부서	품질보증부			
품번	PT15-0036A	작성일	2019.10.14			
시험명	이상전압	시험일	2019.10.14 ~ 15			
목적	신뢰성 검증	시험규격	도연주기 5.0			
차종	대형공영 이양기	시험자	김남규 부장			

1. 시험조건 및 방법
정격전압 (DC 12V)의 130%(DC16V) 에서 48 시간 작동시 성능에 이상이 없을 것

2. 시험설비명
DC POWER SUPPLY, NOTE BOOK, 우형현트블러조합, 전동 걸사기, CAN USB, TIMER

3. 시험항목 및 결과
이동 속도 저하 없음

순번	CANID	CCC	Symbol	Unit	Timeouts	Cycle Time	Count
1	18322000	R	18322000	속도	00:00:00:00:00:00:00	100.0	149992
1	18FF2440	R	Inherent_panel_ex	속도	00:00:00:00:00:00:00	100.0	149992
1	18FF2000	S	속도	속도	00:00:00:00:12:00:00	50.0	330704
1	10FF2000	O	spd_det	속도	00:00:00:00:00:00:00	50.0	330704
1	18FF2000	S	imu	속도	00:00:00:00:00:00:00	100.0	149992
1	10FF2000	O	imu	속도	00:00:00:00:00:00:00	50.0	330704

4. 시험사진
이동 속도 저하 없음

그림 49 정격전압의 130%(DC16V) 동작 시험

faceko 시험성적서				작성	날짜	승인
품명	GPS 모듈조합	작성부서	품질보증부			
품번	PT15-0036A	작성일	2019.10.14			
시험명	동작전압 / 10 V	시험일	2019.10.14			
목적	신뢰성 검증	시험규격	도연주기 2			
차종	대형공영 이양기	시험자	김남규 부장			

1. 시험조건 및 방법
10 V 에서 정상 동작할 것

2. 시험설비명
DC POWER SUPPLY, NOTE BOOK, 우형현트블러조합, 전동 걸사기, CAN USB

3. 시험항목 및 결과
이동 속도 저하 없음

순번	CANID	CCC	Symbol	Unit	Timeouts	Cycle Time	Count
1	18322000	R	18322000	속도	00:00:00:00:00:00:00	100.0	139998
1	18FF2440	R	Inherent_panel_ex	속도	00:00:00:00:00:00:00	100.0	139998
1	18FF2000	R	속도	속도	00:00:00:00:00:00:00	50.0	279996
1	10FF2000	O	spd_det	속도	00:00:00:00:00:00:00	50.0	279996
1	18FF2000	S	imu	속도	00:00:00:00:00:00:00	100.0	139998
1	10FF2000	O	imu	속도	00:00:00:00:00:00:00	50.0	279996

4. 시험사진
이동 속도 저하 없음

그림 50 정격전압의 83%(DC10V) 동작 시험

라. 영상처리 시스템 개발

1) 영상처리(카메라) 선정을 위한 제품 조사

㉠ 제품별/성능별 비교 시험을 위한 제품 조사 및 시험

모델명	TGCAM-T1600	HD WebCam C270	Lifecam HD-3000	X4000-3(액션캠)
FPS	30	30	30	15
해상도	640 x 480	1280 x 720	1280 x 720	1280 x 720

그림 51 카메라 단품 비교

㉠ 단품 비교 시험 결과

- 실내 시험 진행하여, 고성능 카메라와 실시간 비교 시험 진행
- 색상의 구분도와 물체의 인식정도, 실시간 영상 처리 속도를 비교
- 환경인식 알고리즘 구현을 위한 시제품 제작에 활용

				실시간 영상 처리 불가
모델명	TGCAM-T1600	HD WebCam C270	Lifecam HD-3000	
FPS	30	30	30	15
해상도	640 x 480	1280 x 720	1280 x 720	1280 x 720
성능 평가 결과	· 색상 처리 성능 下 · 영상 처리 정확도 20% 미만	· 색상 처리 성능 上 · 영상 처리 정확도 60% 수준	· 색상 처리 성능 上 · 영상 처리 정확도 90% 이상	

그림 52 단품 시험 결과

2) 영상처리 컨트롤러(하드웨어) 개발

Ⓐ 하드웨어 선정

- 기존 승용이앙기에 탑재되는 컨트롤러의 경우 영상처리를 수행하기 부적합하여, 고성능 제품을 선정하여 적용
- 단품상 성능 확인하고, 시제품 제작에 실차 적용하여 추가 시험 진행



그림 53 제품 사진

SYSTEM	
FEATURES	LATTEPANDA
PROCESSOR	Intel Cherry Trail Quad Core i 801e
OPERATING SYSTEM	Pre-installed Full Edition Of Windows 10
CACHE	2MB
RAM	2GB DDR3L-4GB DDR3L (LatticePanda Enhanced)
GRAPHICS CAPABILITIES	Intel Gen8
VIDEO SUPPORTED	1080p 60 HZ decode H.264/H.265
VIDEO OUT	HDMI Display Connector
STORAGE CAPABILITY	32GB-64GB (LatticePanda Enhanced)
MICROSD SLOT	
CO-PROCESSOR	Amega3204 Arduino Compatible

그림 54 주요 성능

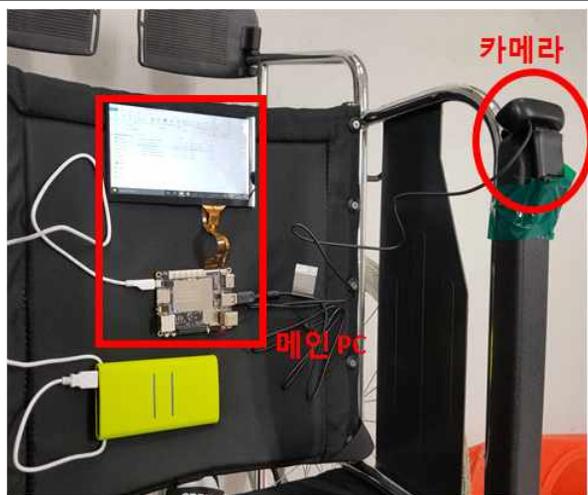


그림 55 실내 시험

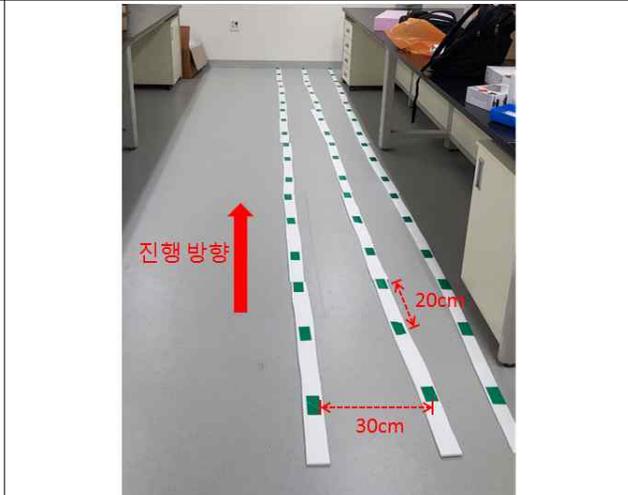


그림 56 실내 시험 조건

3) 영상처리 알고리즘 개발

Ⓐ 영상처리 주요 기능

- 지면에 이양 작업 된 모의 직선 상태를 검출하여 자율직진주행의 방향 정보 전달
- 눈두렁, 사람 등 장애물 인식 시 대처를 위한 물체 검출

⑧ 영상처리 알고리즘 개발

(a) 전체 구성도

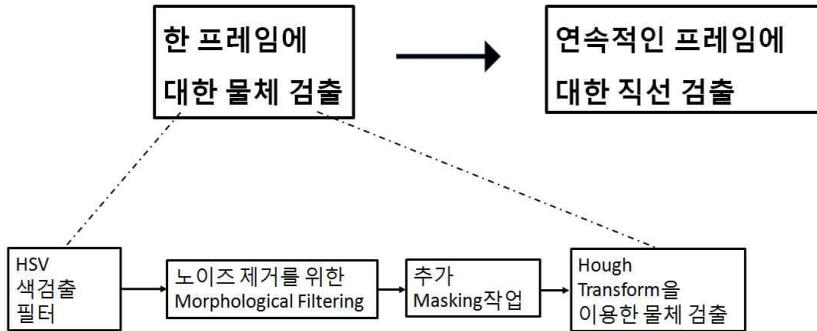


그림 57 알고리즘 구성도

(b) 알고리즘 구현 내용

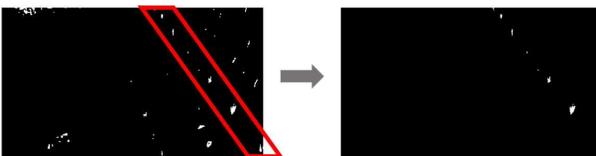
- HSV 색검출 필터

영상의 색상을 HSV 모델 기준으로 2진수 데이터화 하고, 특정 색상의 범위를 활용하여 원하는 형태의 물체를 인식할 수 있도록 변환하는 과정

구분	설명
Hue(색조)	색의 종류. 0°~360°의 범위를 갖는다.
Saturation(채도)	색의 선명도, 진함의 정도(가장 진한 상태를 100%로 한다)
Value(명도)	색의 밝기, 밝은 정도(가장 밝은 상태를 100%로 한다)

표 23 HSV 구분

주요 내용	관련 사진
<p>HSV 색검출 필터</p> <ul style="list-style-type: none"> · 색상을 구분하여 물체를 특정함 	<p>그림 58 HSV 색검출 필터</p>
<p>Morphological Filtering</p> <ul style="list-style-type: none"> · 물체를 특정하기 위한 검출 과정으로 내형, 외형의 구분을 확인하고, 불필요한 부분을 삭제함 	<p>그림 59 Morphological Filtering</p>

<p>Masking</p> <ul style="list-style-type: none"> · 관심 영역을 지정하여 특정 부분을 제외한 입력 상태를 제거 	 <p>그림 60 Masking</p>
---	---

© 영상처리 알고리즘 구현 시험

- 이앙작업 영상을 특정하여 알고리즘 구현 시험

주요 내용	관련 사진 및 상세 내용
<p>원본 이미지</p> <ul style="list-style-type: none"> - 영상 인식 장치(카메라)를 승용이앙기에 별도 부착하고, 영상을 수집하여 샘플로 활용함. 	 <p>그림 61 원본 이미지</p>
<p>HSV 색검출 필터</p> <ul style="list-style-type: none"> - 샘플 영상에서 모의 형체를 검출하였으며 검출율은 빛의 반사 정도, 색상 오차 등의 결과로 실제 영상 속 모의 개수의 평균 80%이상의 인식율을 보였다. 	 <p>그림 62 HSV 색검출 필터</p>
<p>Morphological Filtering</p> <ul style="list-style-type: none"> · 검출된 모를 제외한 탑재대에 위치한 예비묘, 지면에 위치한 불필요한 정보를 포함하고 있다. 이 필터를 활용하여 불필요한 정보의 30%이상을 제거한다. 	 <p>그림 63 Morphological Filtering</p>

Masking

· 위의 필터 기술로 제거되지 않은 정보에 대하여 승용이양기에 설치된 카메라의 위치를 기준으로 불필요한 정보에 대한 프레임의 고정 위치를 선정하고 제거하여 데이터를 제한한다.



그림 64 Masking

2. 자율 직진 조향 시스템 개발

가. 조향제어 제품분석

1) 선진사 제품 분석

Ⓐ K사 제품분석

○ 조향 시스템 분석

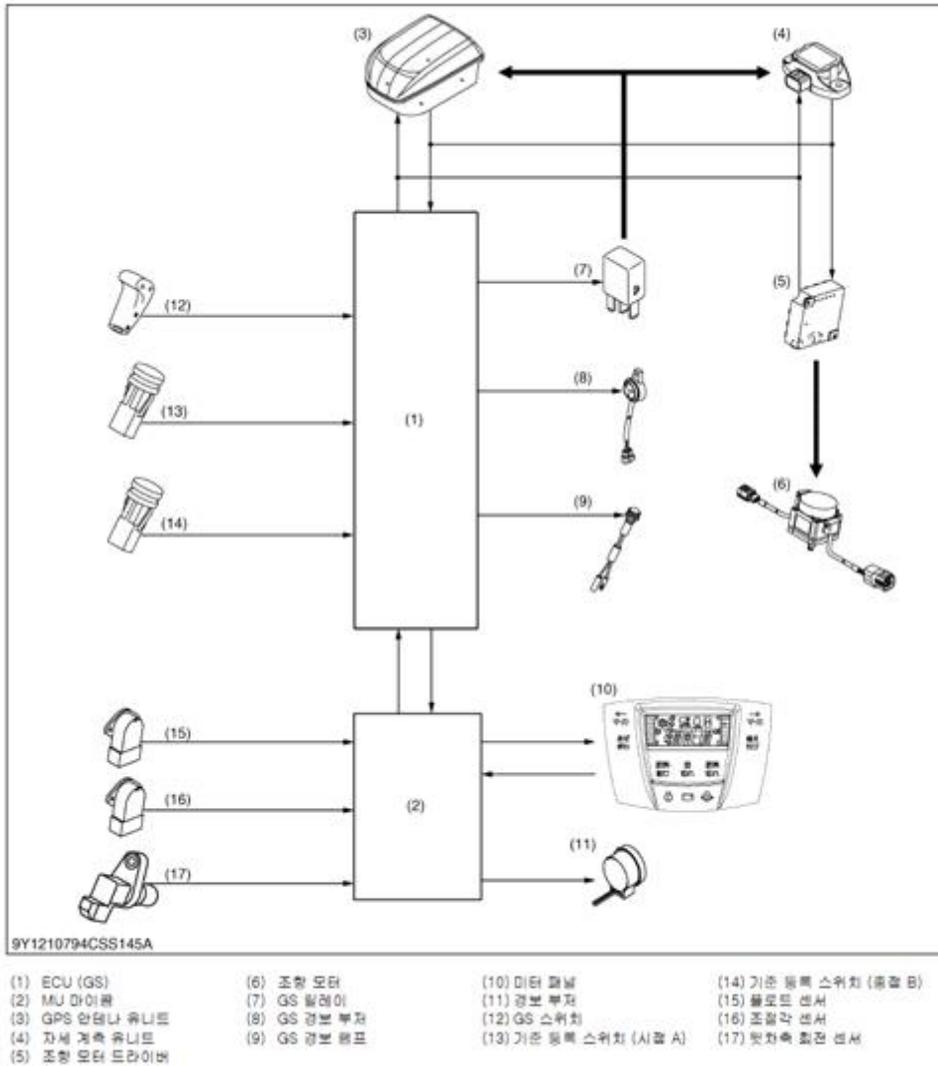


그림 65 K사 직진 어시스트 시스템 개요

- 조향 모터(엔코더 일체형)

- 스티어링축을 움직이는 모터로 스티어링 홀더에 장착되어 DltDMA
- DC모터와 달리 정류자 및 브러시를 필요로 하지 않는 3상 전력의 공급으로 구동하는 AC 서보 모터 사용
- 권선을 감은 고정자 철심과 자기적 관계를 유지하여 배치한 영구자석으로 이루어진 회전자로 구성
- 회전방향은 입력 전원에 대한 상의 순서를 U → V → W에서 U → W → V로 바꿈으로서 역회전을 함

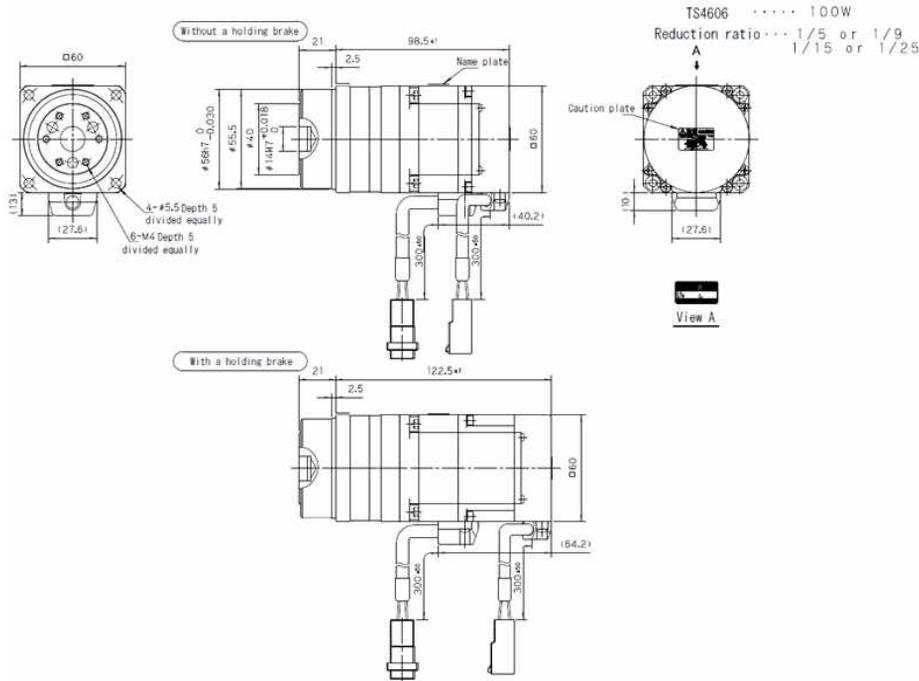


그림 66 조향 모터 도면

- 조향 모터 드라이버 및 릴레이
 - 조향 모터를 구동시키기 위한 출력 제어 회로를 내장한 유니트
 - 패널 커버 아래 설치되어 있음
 - 조향 모터 드라이버로의 직B 전원은 릴레이를 통해 공급함
 - 조향 모터 구동용 3상 교류 전원은 조향 모터 드라이버에서 변환
- GS 스위치
 - 주변속 레버의 그림 내측에 설치
 - 직진 유지 기능을 ON/OFF하는 스위치



그림 67 K사 조향 시스템

○ 스티어링 홀더 내부 구조

- 구성
 - (1)조향 모터, (2)조향 모터 드라이버, (3)스티어링 홀더 위, (4)스티어링 홀더 아래, (5)모터, (6)각도 센서, (7)위치 검출용 8P 커넥터, (8)구동용 4P 커넥터, (9)모터 기어, (10)기어 커버, (11)감속 56T 기어, (12)감속 15T 기어, (13)스티어링축, (14)스티어링축 기어, (15)감속축,

(16)3상 교류전원

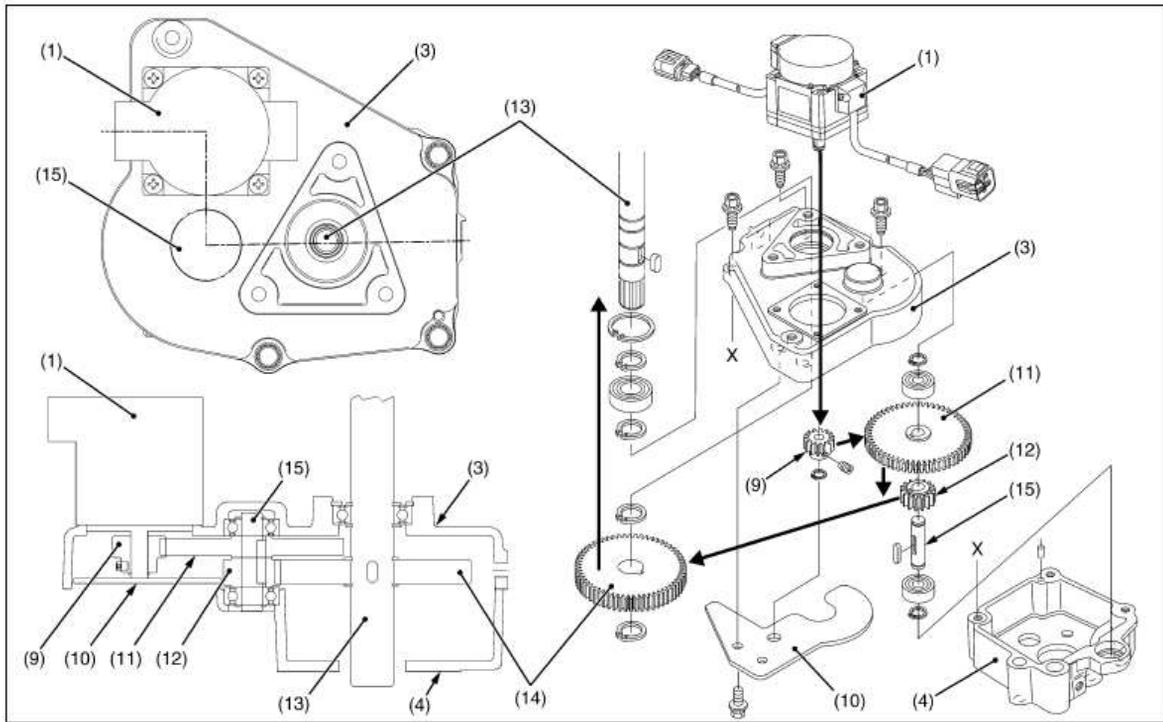


그림 68 스티어링 홀더 구성



그림 69 스티어링 홀더 내부 실물

○GPS모듈 내부 구조

- 구성 GPS모듈은 IMU를 이용하여 오차를 보정하는 방법을 적용 IMU를 통하여 획득되는 자세 및 속도정보를 이용하여 GPS의 위치를 확인하고 보정하는 알고리즘을 적용한 것으로 판단된다.

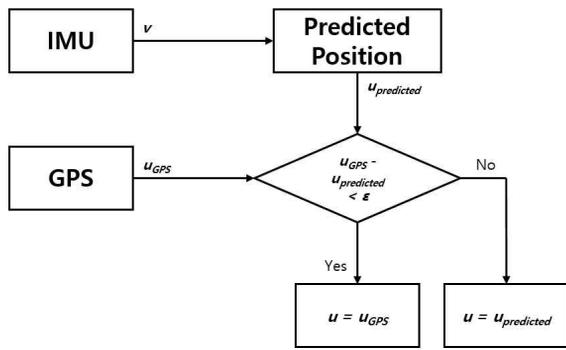


그림 70 GPS/IMU Integration structure



그림 71 GPS 내부 실물

□ I사 제품분석

○ 조향 시스템 분석



그림 72 I사 직진 어시스트 시스템 개요

- 스텝핑 모터

- 본넷 내부 파워스텝 상부의 모터 유니트에 취부되어 스티어링 조작함
- 임의의 각도에서 모터를 정지시키는 것이 가능
- 1.8° 단위로 모터의 회전각도 변화 가능

Specification	
품명	STEPPING MOTOR
제조사	Oriental motor
상(相)	2상
정격전류	4.2A/상
전압	2.2V
최대정지토크	2.5N·m
기본작동각도	1.8°
보호등급	IP20

표 28 Specification

- 모터 드라이버 유니트
- 본넷 내부 연료탱크 상부에 취부되어 있음
- 스텝핑 모터의 구동 및 제어
- 모터 드라이브 전원공급을 위해 DC-DC 컨버터 내장

Specification	
품명	MOTOR DRIVER UNIT
제조사	Oriental motor
구동방식	마이크로 스텝 구동 바이폴라 정전류 방식
정격전압	DC 12V
사용 전압범위	DC 9V ~ 18V
방수성	JIS S1

표 29 Specification

- 직진 어시스트 레버
- 직진 어시스트 입·절 및 IMU 센서 재설정

Specification	
품명	레버(직진) ASSY
제조사	유신
정격전압	DC 5V
성능	DC 9V ~ 16V
방수성	JIS S2 상당

표 30 Specification



그림 73 I사 조향 장치부

○ 스티어링 구동 유니트 내부 구조

- 어시스트 모터, 스퍼기어, 센서기어 10T, 센서기어B, 스티어링 2EA, 스티어링케이스 하, 스티어링케이스 상, 스퍼기어 28T, 기퍼기어 10-17, 오일실 2EA, 포텐셜센서

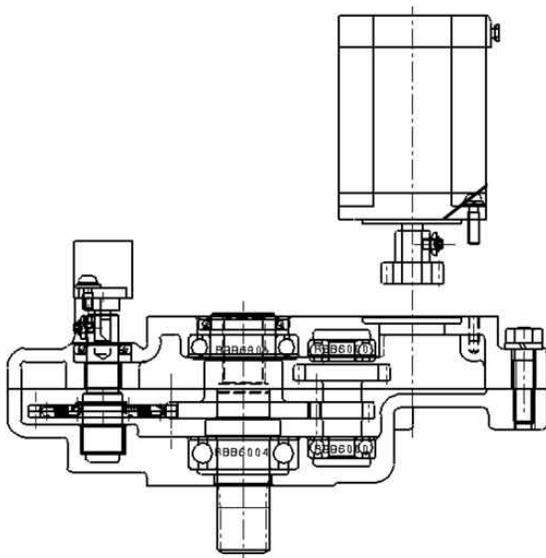


그림 74 스티어링 구동 유니트 구성

그림 75 스티어링 구동 유니트 내부 실물

○ GPS 모듈 내부 구조

- GPS모듈은 GPS와 IMU는 별도의 모듈로 되어 있으며 케이스 외부에 GPS안테나를 장착하는 구조도 되어 있음.



그림 76 GPS 모듈 실물

나. 조향 장치부 Layout 설계

1) 조향부 설계

- K사 및 I사 구조 벤치마킹
- 각 선진사의 효율적·합리적 구조를 융합하여 개발품에 적용하였음
- 구성
 - 케이스 상, 케이스 하, 조향축, 베어링 3EA, 오일실, 기어 60T, 기어 14T, 연결축 조합(기어 56T, 기어 15T)

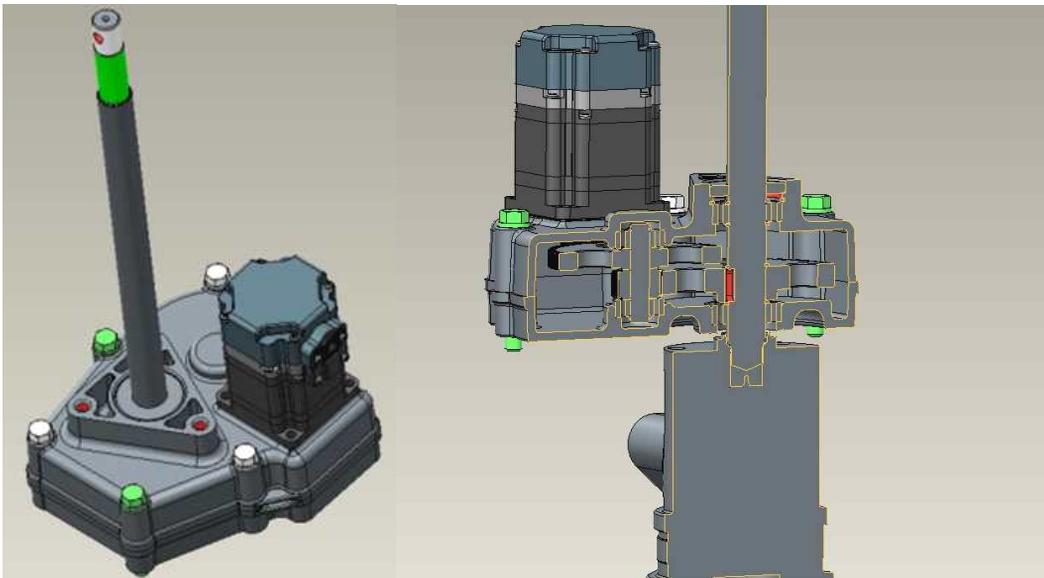


그림 77 개발 조향부 설계 및 단면도



그림 78 개발 조향부 분해도 및 매칭 검토

다. 선회 자동화 식부 제어 시스템

1) 선회 자동화 기능 개발

□ 선회자동 Z턴

○ 개략도

- 선회자동 스위치: 핸들을 돌려 선회하는 것만으로 자동으로 식부부를 상승하강 시키고 식부 시작 위치가 되면 자동으로 식부클러치가 연결로 되는 스위치

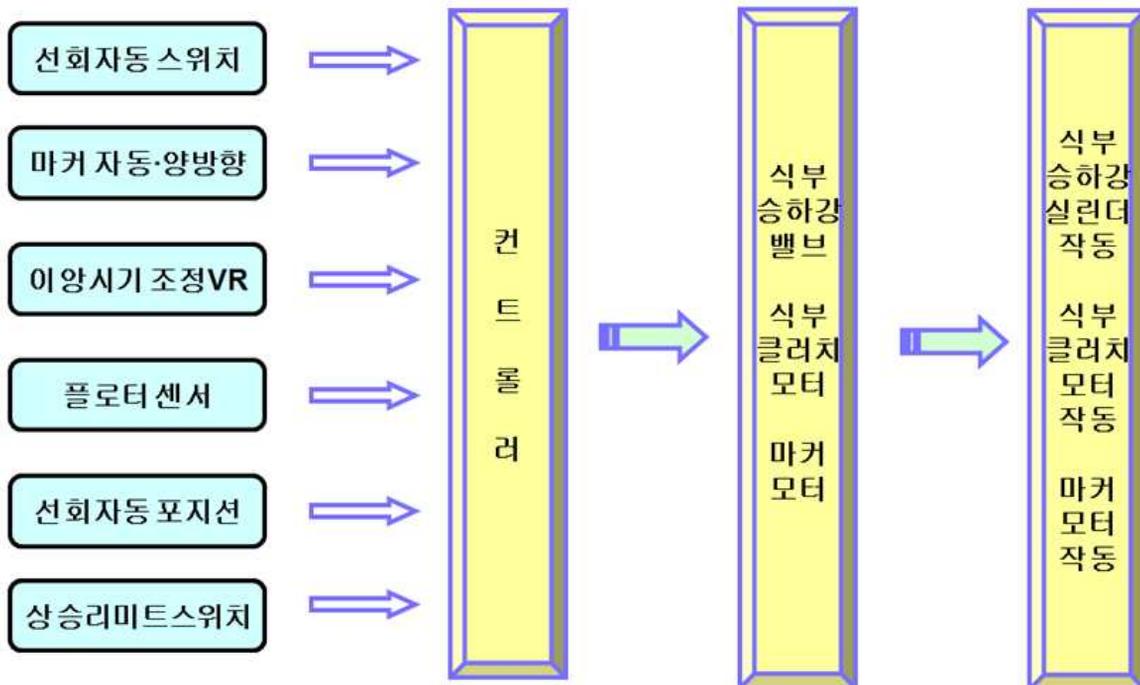


그림 79 동작 사양 개략도

○ 조건 및 동작

- 조건

· 선회자동 스위치 ON 조간이 갖추어지면 자동 모드로 되어 램프가 점등



그림 80 선회자동 스위치

- 선회자동 조건은 선회자동 S/W ON, 마커 S/W ON, 조향각 선회인식
- 동작
- 선회자동 포지션 센서에 의해 선회조건이 되면 작동이 됨
- 식부 연결 후 채터링 및 에러인식으로 식부 상승을 방지하기 위해 식부 하강 후 약 3m는 핸들을 꺾어도 선회자동 작동이 되지 않음
- 후진 시 선회 자동은 일시 정지되어 대기모드로 진입하여 자동램프 점멸
- 식부부 상승위치는 식부 상승리미트 스위치에 의해 제한됨
- 식부부 하강은 조향각 센서의 선회 인식값 복귀 후 식부부를 하강시키면, 이때부터 PULSE를 인식하고 직진인식 범위에 들어가면 기대가 180° 회전했음을 인식하여 식입시기 불륨에 따라 누적되고 있는 차속 PULSE를 계산하여 식부 모터 동작
- 해제조건: 자동제어 조건의 불일치나 각종 센서의 에러에 의해 정상 동작이 되지 않으면 선회자동 램프를 점멸시키며 부저를 울림으로 해제되었음을 알림

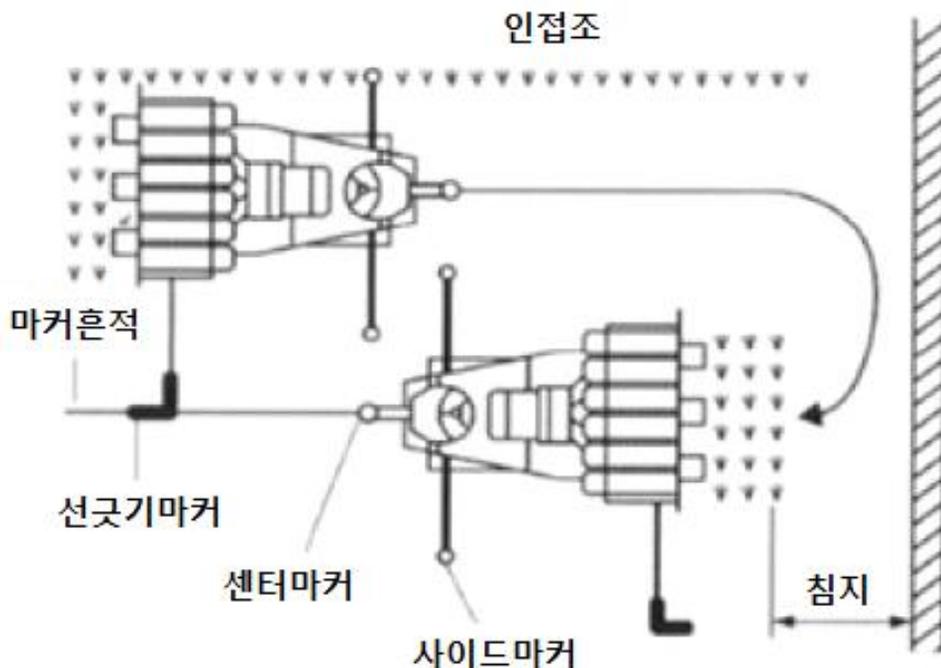


그림 81 선회 자동화 기능

2) 기술지도 검정

□ 검정 현장

- 선회 자동화 기능에 대한 검증
- 공인기관(대한 자재검사소) 입회 하 시험



그림 82 실증시험

□ 성능시험 성적서

제 FACT19-0701 호

농업기계 성능시험 성적서

1. 신청인
 가. 성명 : 권영균
 나. 사업자등록번호 : 129-81-00751
 다. 주소 : 충청북도 옥천군 옥천읍 서부로 49
 라. 상호 : 국제종합기계(주)

2. 시험 용도의 제품
 가. 기종명 : 동력이앙기
 나. 형식명 : RG0700
 다. 형식 및 규격 : 승용형산파식, 6조

3. 시험번호 : 19-FACTMP-197

4. 시험성적 : 불임

『농업기술실용화재단 분석시험 의뢰 및 처리규정』 제4조 제2항에 따라 시험신청한 기
 대에 대한 성능시험 성적입니다.

2019년 10월 23일

농업기술실용화재단 이사장 

그림 83 성능시험 성적서

19-FACTMP-197

6.2 성능시험
6.2.1 작업성능

시험조건	삼광벼
· 품종	어린보
· 종류	2.7 업
· 모령	산파식
· 파종방식	5.0 분/cm ²
· 모본수	450 m ² (50 m×5 행정)
· 포장면적	6조
· 이앙조수	30 cm×25.1 cm
· 조건 × 주간	0.97 m/s
· 이앙작업속도	
시험성적	
· 선회시간	19.5 초
· 선회반경	169 cm
· 회행후 회망 식부위치와의 오차거리	9 cm

7. 시험제품 개요
 가. 본 기대는 승용형산파식 동력이앙기로 규격은 6조임
 나. 동력전달장치의 변속방식은 주변속은 유압식(HST), 부변속은 기계식(선택물임식)
 이고 변속단수는 주변속은 무단, 부변속은 2단(작업, 이동)임
 다. 선회시 전륜의 조향각에 따라 식부장치가 자동으로 상승하고 조향각이 적진위치가
 되면 자동으로 식부장치가 하강 및 작동되는 구조임

8. 시험결과
 본 시험성적은 『분석시험의뢰 및 처리규정』 제5조의 규정에 따라 실시한 성능시험(선회후
 식부장치 자동 작동성능) 성적으로 동력이앙기 검정방법을 준용하여 실시된 검정성적임

책임연구원 이익봉 | 연구원 정진수 | 연구원 정진수 | 연구원 김민서
 이익봉 | 정진수 | 김민서

2-2

그림 84 성능시험 성적서

3. 자율직진주행 제어기 개발

가. 자율주행 시스템 제어알고리즘 개발

1) 일본 자율주행 이양기 운전시험 및 분석

일본 및 국내에 판매중인 자율주행 이양기를 대상으로 자율운전 작동 특징 및 장단점 파악을 위한 자율주행 시험을 실시하였음. 대상은 일본 Kubota KNW8-GS모델과 YR8D 기종을 대상으로 실시하였음. 두 기종 모두 A-B 라인 추종 자율주행기능을 구현하고 있음. 다음 그림은 시험한 Kubota와 Yanmar의 이양기를 나타냄.



그림 85 국내 시판중인 일본 자율주행기능 탑재 이양기
(Kubota KNW8-GS(좌) / Yanmar YR8D(우))

조사한 두 기종 모두 A-B라인 직선 자율주행 기능을 탑재하고 있으며, 자동조향을 위한 전자식 조향장치가 스티어링 컬럼 내부에 설치되어 있음. 자율주행을 위한 위치인식시스템 또한 두 기종 모두 이양기의 보조 묘탑재 프레임 상단 가장 높은 곳에 설치되어 있었음. 자율주행 기능을 사용하기 위한 조작부의 경우 사용방법은 유사하나 배치는 다른 형태를 갖고 있었음. Kubota 제품의 경우 계기판 좌측에 A점과 B점을 입력하는 버튼을 배치하였으며, 자율주행 관련 조작정보를 계기판을 통하여 확인 할 수 있었음. A점과 B점이 입력된 상태에서 자율주행 기능을 활성화 하기 위한 버튼은 변속레버에 배치하여 사용 편의성을 높였음. 다음은 Kubota 제품의 해당 부분에 대한 그림을 나타냄.



그림 86 Kubota KNW8-GS 기종의 자율주행 관련 조작부 배치현황

Yanmar 제품은 자율주행 기능을 사용하기 위한 조작부를 별도의 스위치 박스형태로 운전자 우측에 모아서 배치한 것이 특징. 스위치 박스는 A, B점 입력 버튼과 자율주행 기능 활성화 버튼으로 구성되어 있으며, 자율주행 정보 확인을 위한 별도의 표시장치는 갖고 있지 않음. 다

음의 그림은 Yanmar 이앙기의 주요 부품 배치를 나타냄.



그림 87 Yanmar YR8D 기종의 자율주행 관련 조작부 배치현황

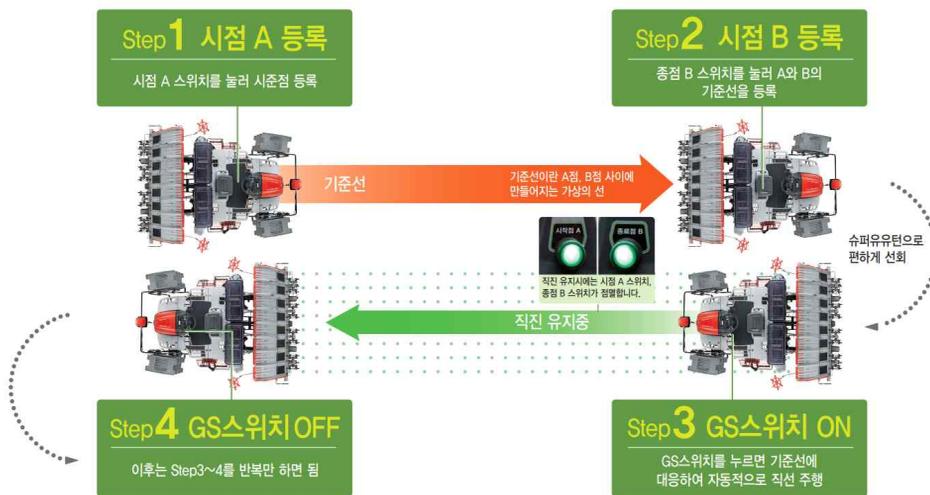


그림 88 Kubota 자율주행 기능 사용방법(출처 : Kubota 제품안내서)

위의 그림은 Kubota 자율주행 이앙기의 조작방법을 나타낸다. 자율주행 이앙기의 조작방법은 두 회사 모두 유사한 방식을 채택하고 있었음. 먼저 최초 작업이 시작되는 지점에서 A점을 입력한 후 최초 작업이 끝나는 지점에서 B점을 입력하면 이후 인접한 경로에 진입한 이후 자율주행 활성화 버튼을 누르면 직선 자율주행 운전이 개시되었음. Yanmar 제품의 경우 직선 자율주행 이후 인접경로 진입을 위하여 180도 회전을 수동으로 진행한 이후 바로 자율주행이 가능한 반면 Kubota 제품의 경우 인접한 경로에 진입하여 5m 이상 수동으로 직선주행을 시작한 이후라야 자율주행을 개시할 수 있는 차이가 있었음. 이러한 차이는 Yanmar 제품의 경우 사용자 편의성이 우수한 반면 인접경로 진입에 대한 정확성이 자율주행 알고리즘에 의하여 결정되므로 제어성능 또는 위치인식 품질에 따라 초기 직선주행 품질이 결정되는 단점이 있음. 반면 Kubota 제품의 경우 인접 경로 진입을 운전자에 의존함으로써 사용편의성은 떨어질 수 있으나 인접경로 진입부에서의 작업상태는 보다 안정적인 결과를 기대할 수 있는 차이를 나타냄. 또한 Kubota 제품의 경우 초기 시동이후 약 5분 이상의 GPS 안정화 시간을 필요로 했으

며, 이 시간동안 자율운전 기능은 사용할 수 없었음. 반면 Yanmar 제품의 경우 초기운전과 관련하여 특별한 제약이 없었음.

2) 이양기 자율주행을 위한 제어 시스템 개발

자율주행 이양기 제어를 위한 제어기는 위치인식 및 주행정보 피드백을 위한 센서 입력과 자율주행을 위한 차량제어출력 그리고 운전자로부터 자율주행 운전 입력 및 주행정보 출력을 위한 조작부를 대응할 수 있음. 자율주행 이양기의 개략적인 제어시스템 구성은 다음의 그림과 같음.

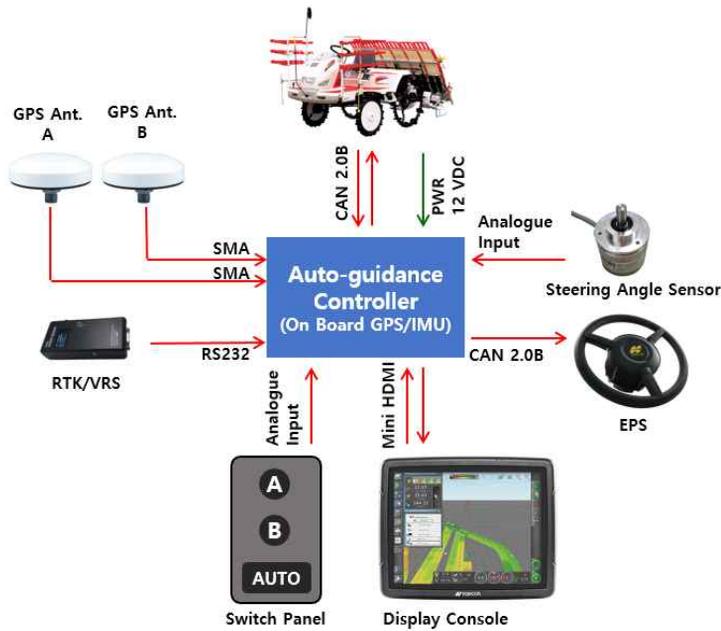


그림 89 자율주행 이양기 제어시스템 구성도

- 자율주행 제어기 센서 입력

자율주행 이양기의 경로추종 제어를 위한 위치인식은 두 개의 GPS 안테나 신호입력을 통하여 이루어지며, IMU 측정 데이터를 통하여 보정됨. 따라서 제어기에서 사용되는 센서의 사양은 아래의 그림과 같음.

구분	GPS 센서	IMU 센서	Inclinometer센서
모델명	ZED-F9P	M-G365	SCL3300-D01
주요사양	<ul style="list-style-type: none"> - Receiver : 184CH, GPS, GLO, GAL, BSD, QZSS - 정밀도(RTK) : 10cm + 1ppm - Output Accuracy : Velocity 0.05m/s, Heading 0.4° - Data Rate : 5~20Hz - Protocol : UBX, NMEA, RTCM3.3 	<ul style="list-style-type: none"> -6 DOF : 3 Gyro + 3 Accel -Gyro In-Run Bias Stability : 1.8°/h -Angular Random walk : 0.08°/√(hr) -Attitude Output Accuracy : /±0.2° -Output : Delta Angle, Delta Velocity -Data Rate : 2K Sample/sec 	<ul style="list-style-type: none"> - 3 Axis Inclinometer - 측정범위 : 3.6g/±90° - Output Resolution : 0.0055°/LSB - Offset 에러 : 20mg/±1.15° - ODR : 2000Hz
운용온도(°C)	-40 ~ 85	-40 ~ 85	-40 ~ 125
사이즈(mm) /Weight(g)	17 x 22 x 2.4	24 x 24 x 10 / 10	8.6 x 7.6 x 3.3
센서 사진			

그림 90 센서 주요사양 및 사진

조향제어를 위한 조향각 측정은 이양기의 조향 암에 설치된 포텐쇼센서를 이용하여 측정함.

3) 자율주행 제어기 Layout 설계

자율주행 이양기의 제어시스템 구성에 따른 제어기의 개발 구성도는 다음의 그림과 같음. 제어기는 향후 제어시스템의 사용 확장성을 고려하여 구성하였음.

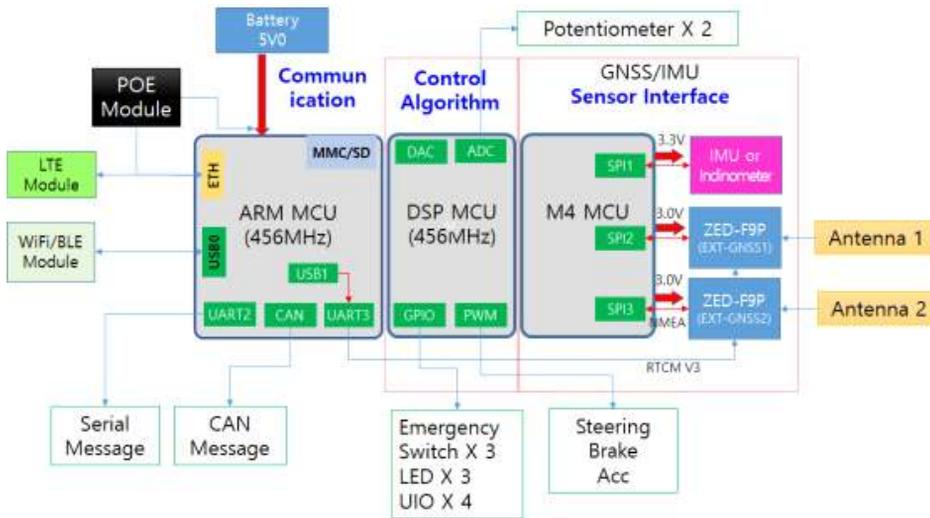


그림 94 자율주행 제어기 구성도

제어기는 센서 인터페이스, 하드웨어 제어 및 통신, MCU 각 1매로 구성. 각각의 세부 사양과 내용은 다음과 같음.

- 센서 인터페이스

고속의 대용량 센서 데이터를 실시간으로 수집하기 위해 100MHz급 M4 MCU 기반의 프로세서를 사용한 고속 SPI 통신 펌웨어 구현. 다음은 보드 인터페이스 신호의 정의임.

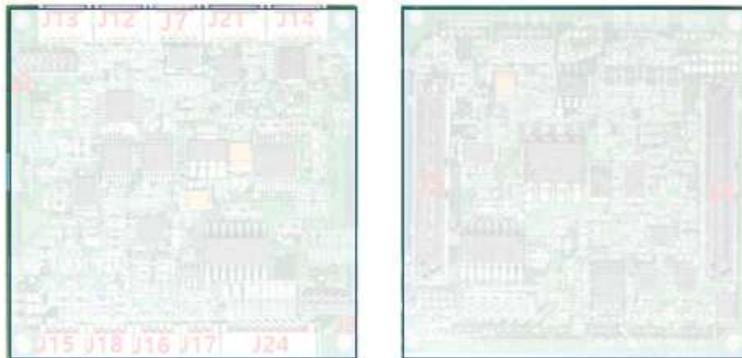
J1	PW 신호명
#1, #2	~D24V
#3, #4	GND

J23	Uart 신호명
#1	D5V
#2	UART TXD
#3	UART RXD
#4	DGND

J12	GNSS 신호명		
#1	GNSS1_RTK_STAT US	#2	GNSS0_RTK_STATUS
#3	GNSS_SPI_SCLK	#4	GNSS_SPI_MOSI
#5	GNSS_SPI_MISO	#6	GNSS0_SPI_CSn
#7	GNSS1_SPI_CSn	#8	GNSS1_TXREADY
#9	GNSS_ENABLE	#10	GNSS0_TXREADY

J12	IMU & AHRS 신호명		
#1	DC5V	#2	IMU_TXREADY
#3		#4	IMU_GPIO2
#5	DGND	#6	IMU_SPI_MISO
#7		#8	IMU_SPI_CSn
#9		#10	IMU_SPI_SCLK
#11	EARTH	#12	IMU_SPI_MOSI
#11		#14	IMU_ENABLE

그림 95 센서 보드 인터페이스 신호 정의



커넥터	Interface	PIN #	비고
J4, J5	OMAP-L138 SOM	100P, 100P	
J2	Dual GPSS Module	10P	
J3	IMU Module & Power IN	14P	
J7	CAN	5P	
J12, J13	Encoder 0, Encoder 1 IN	5P	
J14	RS232C	6P	
J15	External Temp(RTD)	4P	
J16 & J18	External ADC IN(Voltage)	4P	
J17	External DAC OUT	3P	
J21	Motor Control IO	6P	
J24	External IO	10P	

그림 96 센서 인터페이스 보드 Layout

- 하드웨어 제어 및 통신

GPS 데이터와 자세 데이터를 융합 처리하여 트랙터 하드웨어를 실시간 고속 제어하기 위해 456MHz DSP 기반의 데이터 처리용 RTOS 탑재. 무선 통신, Lidar 센서 데이터 입력, 가감속 장치 및 조향장치와의 CAN 통신, 사용자 입력 처리를 위한 ARM-9 MCU 기반의 임베디드 리눅스 OS 탑재. 입력전원 사양 : 9~24V

J7	CAN 신호명	J17	DAC 신호명	J2 & J13	ENCORDER 신호명	J24	External IO 신호명
#1	DCSV IN	#1	Analog OUT	#1	DCSV OUT	#1	DCSV OUT
#2	CAN_HIGH	#2	GND	#2	Phase A	#2	Ext.VCC IN
#3	CAN_LOW	#3	Earth	#3	Phase B	#3	Digital INPUT 0
#4	CAN_GND			#4	DGND	#4	Digital INPUT 1
#5	Earth			#5	Earth	#5	Digital INPUT 2
		J16 & J18	ADC 신호명			#6	Digital INPUT 3
		#1	DCSV OUT	J21	Motor Control 신호명	#7	Digital OUTPUT 0
		#2	Analog IN	#1	DCSV OUT	#8	Digital OUTPUT 1
		#3	GND	#2	Ctrl Enable	#9	Digital OUTPUT 2
		#4	Earth	#3	PWM A	#10	Digital OUTPUT 3
				#4	PWM B		
J14	RS232C 신호명	J15	RTD 신호명	#5	Ctrl Direction		
#1	DCSV OUT	#1	RTD A	#6	DGND		
#2	TXD	#2	RTD B				
#3	RXD	#3	GND				
#4	CTS	#4	Earth				
#5	RTS						
#6	DGND						

그림 97 제어용 통신 및 사용자 인터페이스 신호 정의

커넥터	Interface	PIN #	비고	J8	UIO 신호명	비고
J1, J2	OMAP-L138 SOM Rev1.0	100P, 100P		#1	D5V	
J3	Power Module	4P		#2	UIO 0	
J6	Ethernet	8P		#3	UIO 1	
J4	UART	4P		#4	UIO 2	
J10	USB	5P		#5	UIO 3	
J8	User IO	6P		#6	GND	
J5	JTAG Connector	9P				
S1	Micro SD					
SW2	Boot Mode SW					

그림 98 멀티코어 MCU 보드 Lyout 및 신호 정의

나. ISO11783 기반의 자율주행 CAN 프로토콜 개발

1) 자율주행 제어기, GPS 모듈, 이양기 차량제어기의 기존 양산 프로토콜 정리

이양기 자율주행 제어를 위한 표준 CAN 프로토콜 개발을 위하여 다음의 제어 항목에 대한 이양기 사양에 대하여 조사를 실시하였다. 아래의 표는 조사한 항목을 나타냄. 조사한 항목을 바탕으로 관련된 이양기 차량제어기의 CAN protocol을 제공받아 정리하였음. 다음의 Protocol은 그중 일부를 나타냄.

항목	차량제어사양	제어 계획 및 요청사항	사양	비고
전후진	HST 제어용 Potentio Meter Feedback	자율주행 제어로 fake 신호 발생하여 제어. Potentiometer spec. 요청	장착	
속도제어	"	"	장착	
변속제어	작업속/주행속	제어않함(작업속으로 고정 후 작업)	속도제어	
조향	내장 EPS 모터(대동)	모터제어 spec. 요청 조향각feedback 받을수있는센서위치및사양요청	없음	
엔진 rpm	차량속도와 연계되어 자동제어	제어않함.	HST와 연동	
브레이크제어		필요성 여부 회신 요청, 이양작업 중 작업속에서 필요한가? 사판중립시바로정지할것으로생각됨.	없음	
식부분 상하강	식부분 상승 하강 CAN 제어	제어 프로토콜 요청, CAN 사양 함께 전달 요망	별도_첨부	
각조클러치 제어	On/Off 스위치 제어	자율주행 제어로 fake 신호 발생. 스위치에 12V가 흐르는가?	CAN 통신사양 참고	
기타	이양식부분 자동화 장치관련 기능	기능정의 및 작동사양, 기능 제어프로토콜.		
	- 자동 후진 상승		장착	
	- 조향시 자동 상승 등등		장착	

표 32 이양기 제어사양 조사항목



그림 99 이양기 CAN Protocol

2) ISO11783 기반의 CAN2.0B 표준 프로토콜 개발

농업기계의 CAN 사양은 ISO11783을 따르도록 국제표준이 제정되어 있다. ISO11783은 하드웨어를 구성하는 아키텍처 구성방안에 대한 부분과 프로토콜의 구성과 정의에 대한 부분으로 나누어 생각할 수 있다. 또 프로토콜의 정의 내용 중 GNSS 시스템과 관련된 규약은 NMEA2000을 따르도록 규정되어 있다. 이러한 ISO11783을 따를 경우의 장점은 virtual terminal 지원이 가능하여 다양한 작업기 또는 통합제어관련 편의성이 높아지며, 이에 따른 비용의 절감이 가능하다는 것임. 그러나 국내의 경우 아직까지 ISO11783기반의 Virtual Terminal을 지원하는 작업기를 보유하고 있지 못하며, 또 NMEA2000 기반의 프로토콜 구성을 위해선 별도의 라이선스 비용이 발생한다는 단점을 갖음. 따라서 본 개발에서는 CAN 아키텍처는 ISO11783구조를 따르되, 프로토콜 영역에서는 독자적인 메시지 규약을 두도록 하였음. 다음은 개발한 CAN 프로토콜의 결과임.

Specification: CAN 2.0B
Transmission Speed 250 Kbps

1	19.10.9.	1st Version Release
Rev.	Date	Remark

Module	ID (hex)	Message Name	Cycle Time (ms)	Message Type	Target Module	Data Length (1 - 8) (byte)	Packet Name	Signal Byte No (0-7)	Signal Length (bit)	Signal Bit (0-7)	Contents	Value				
												값	단위	Gain	실제값	비고
Auto-Guidance Control	0x19FFA205	Sensor Data1	20	cyclic	Upper	8	Latitude	0.4	uint40	GPS_Latitude	ex) 37130856959	x*10^7	ex) 3713.0856959			
							Speed	5.6	uint16	GPS_Speed_KHP	0 ~ 25000	KPH	x*100	0.00 ~ 250.00		
							Fix Position	7	uint8	GPS_Fix Position	0 ~ 5					
	0x19FFA210	Sensor Data2				Longitude	0.4	uint40	GPS_Longitude	ex) 126589184714	x*10^7	ex) 12658.9184714				
						Heading	5.6	int16	GPS_Ture Heading	0 ~ 35990	deg	x*100	0.00 ~ 359.90			
						Satellites Used	7	uint8	GPS_Satellite Used	0 ~ 255						
	0x19FFA215	Sensor Data3				Roll	0.1	int16	IMU_Roll	-180.00 ~ 180.00	deg	x*100	-180.00 ~ 180.00			
						Pitch	2.3	int16	IMU_Pitch	-180.00 ~ 180.00	deg	x*100	-180.00 ~ 180.00			
						Yaw	4.5	int16	IMU_Yaw	-180.00 ~ 180.00	deg	x*100	-180.00 ~ 180.00			
						Revised	6	-	-							
	0x19FFA200	Auto-Guidance Command				Alive Count	7	uint8	Heartbeat	255/0 increasing each one step, if keep going increasing, then success control, otherwise, then vehicle'll be under emergency.						
						Control Mode : Auto	0	7		0 : OFF, 1 : ON						
Control Mode : Manual	0	6		0 : OFF, 1 : ON												

Specification: CAN 2.0B
Transmission Speed 250 Kbps

1	19.10.9.	1st Version Release
Rev.	Date	Remark

Module	ID (hex)	Message Name	Cycle Time (ms)	Message Type	Target Module	Data Length (1 - 8) (byte)	Packet Name	Signal Byte No (0-7)	Signal Length (bit)	Signal Bit (0-7)	Contents	Value				
												값	단위	Gain	실제값	비고
Vehicle Control	0x19FFD201	Rice Planter Sensor Data Set 01	100			8	변속모터 센서	0	uint8		0 ~ 255					
							HST라버 센서	1	uint8		0 ~ 255					
							유압압도 VR	2	uint8		0 ~ 255					
							로터상승 VR	3	uint8		0 ~ 255					
	0x19FFD202	Rice Planter Sensor Data Set 01				8	시비각조율러치 센서	4	uint8		0 ~ 255					
							각속도 센서	0	uint8		0 ~ 255					
							주평센서	1	uint8		0 ~ 255					
							평행화 센서	2	uint8		0 ~ 255					
	0x19FFD203	Rice Planter H/W Control				100	경사센서	3	uint8		0 ~ 255					
							선화자동화 센서	4	uint8		0 ~ 255					
							로터센서	5	uint8		0 ~ 255					
							수온 SW	0	5							
							투진 SW	0	4							
							미세하강 SW	0	1							
							소식견제 SW	0	7							
							식부상승 SW	1	7							
							식부하강 SW	1	6							
							마크전환 SW	1	6							
							브레이크 SW	1	4							
							카조 L SW	1	2							
							카조 C SW	1	1							
							카조 R SW	1	0							
							HST 모터 출력	2	7,6							
							부변속 다이얼 SW	2	5,4			00 : OFF 01,10,11 : ON				
							식부클러치 모터	2	3,2							
							시비각조율러치 모터	2	1,0							
							카조 L 랩프 출력	3	7							
							카조 C 랩프 출력	3	6							
							카조 R 랩프 출력	3	5							
							마크 좌 출력	3	3							
							마크 우 출력	3	2							
							컨트롤러 F	7								

Specification: CAN 2.0B
Transmission Speed 250 Kbps

1	19.10.9.	1st Version Release
Rev.	Date	Remark

Module	ID (hex)	Message Name	Cycle Time (ms)	Message Type	Target Module	Data Length (1 - 8) (byte)	Packet Name	Signal Byte No (0-7)	Signal Length (bit)	Signal Bit (0-7)	Contents	Value				
												값	단위	Gain	실제값	비고
Rice Planter H/W Control	0x19FFD204	Rice Planter H/W Control	100			8	요탱크 정렬 감지 SW	0	7							
							식부 깊이 상 SW	0	6							
							식부 깊이 하 SW	0	5							
							비료 없음 SW	0	4							
							비료 막힘 SW	0	3							
							요탱크 정렬 SW	0	2							
							마크 선택 SW	0	1.0			00, 11 : OFF 01 : ON (마크 선택 SW 자동) 10 : ON (마크 선택 SW 양방향)				
							마크 R 출력	1	1.0							
							마크 L 출력	2	1.0							
							로터 모터 출력	3	7,6							
							카조 클러치 모터 출력	3	5,4							
							식부 깊이 모터 출력	3	3,2							
							수평 제어 좌우 출력	3	1.0							
							플로터 센서	5				0 ~ 255				
							각조클러치 센서	6				0 ~ 255				
							컨트롤러 R	7								

그림 100 CAN 프로토콜 요약본

4. 자율주행 이앙기 경로생성 및 추종 알고리즘 개발

가. 관행 이앙 방법 및 선진사 알고리즘 분석

1) 관행 이앙 방법 조사

㉠ 이앙 작업 방법

- 이앙의 시작은 논외의 장방향의 논두렁 직선 측으로부터 이앙한다. 일반적으로 이앙거리는 조간 30cm, 14cm로 하고, 주간묘취거리 $1.0 \times 1.3\text{cm}$ (어린모 기계 이앙은 $1.0 \times 1.0\text{cm}$)로 3~4분씩 이앙함
- 논둑 옆의 이앙은 마지막의 이앙조수를 사용기계의 조수에 맞추고 이앙조수 클러치 및 모스토퍼를 사용하여 그림102와 같이 작업함

㉡ 이앙기 선회 방법

- 이앙 작업에서는 하나의 열에 모를 심은 후 논머리에서 인접열로 선회하여 진입한다. 논머리 영역이 가까워지면 감속을 시작하고, 이앙부를 상승시킨 후 선회함
- Jin(2010)은 경작지에서의 경로 생성 알고리즘을 위한 선회 패턴을 제시
- Yin(2018)은 자율주행 이앙기를 위한 선회 패턴을 정의하고 이앙작업을 위한 선회패턴은 작업 폭 W와 선회반경 R에 따라 다음과 같이 C형, R형, U형으로 분류함 (그림102)

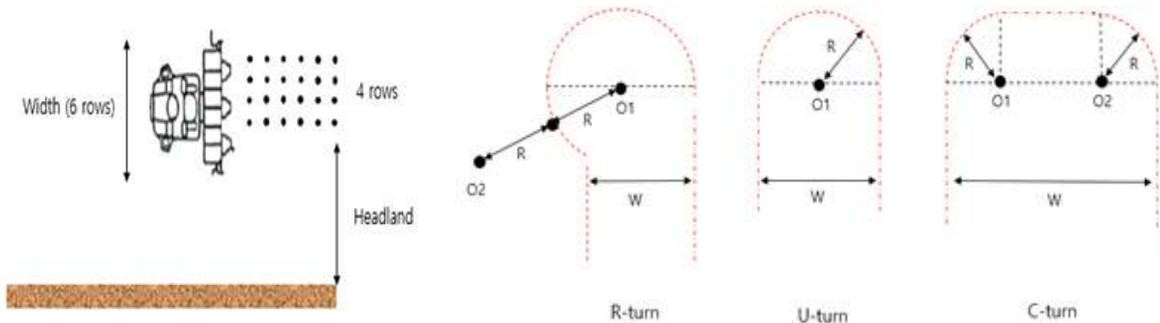


그림 101 논둑 옆 이앙 작업 방법

그림 102 이앙기 선회 패턴 (Yin, 2018)

- 실제 국내 농민을 인터뷰한 결과, 6조 이앙기를 기준으로 했을 때, 이앙 작업의 선회 패턴은 R형 형태로 나타남 (그림103)



그림 103 실제 이앙 작업의 선회 궤적 (R형)

- Y사의 이앙기 매뉴얼에 따르면 논머리 선회 시 한번 후진 후 선회(그림105)와 후진 없는 선회로 나뉘고 논머리 마무리 구간에서 후진 후 선회는 두 줄, 후진 없는 선회는 한 줄의 이동 경로가 요구됨

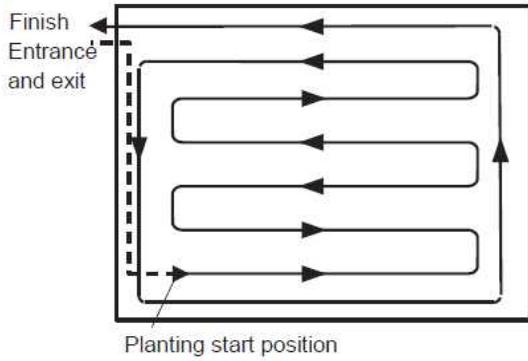


그림 108 논머리 영역 □자 작업 방식

④ 네 모서리 영역 작업 방법

- 논머리 영역 작업 시 네 모서리 부분에 모가 심기지 않는 부분이 발생
- ㄷ자 형태 논머리 작업 유형에서 국내 농민들이 180도 선회가 필요한 모서리 부분의 미경지를 발생시키지 않기 위해 복잡한 과정을 거침
- □자 형태 논머리 작업 유형에서 모서리 작업 방법이 간단해지며 이는 180도 선회구간이 발생하는 ㄷ자 방식과는 다르게 모든 모서리 작업의 선회각도가 90도 내외로 선회가 수월함

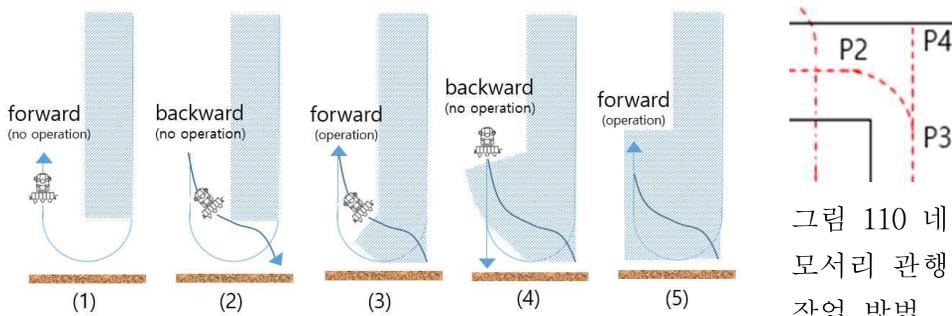


그림 109 네 모서리 관행 작업 방법 (ㄷ자 방식)

그림 110 네 모서리 관행 작업 방법 (□자 방식)

⑤ 실제 이양 작업 경로 실측 실험

- 논산시 상월면의 포장 (그림112)에서 실제 농민의 이양 관행 작업 경로 실측 및 GPS 데이터 수집
- PIKSI DURO RTK-GPS와 VRS 신호 보정을 이용하여 데이터 수집하고 데이터 로깅은 GPS에 무선 블루투스 시리얼 장치를 부착하여 진행 (그림113)
- 수집한 경로는 아래 그림113과 같고 R형 선회 패턴과 ㄷ자 형태의 논머리 영역 작업 경로를 확인



그림 111 GPS 데이터 수집을 위한 장치



그림 112 논산시 상월면 실제 포장

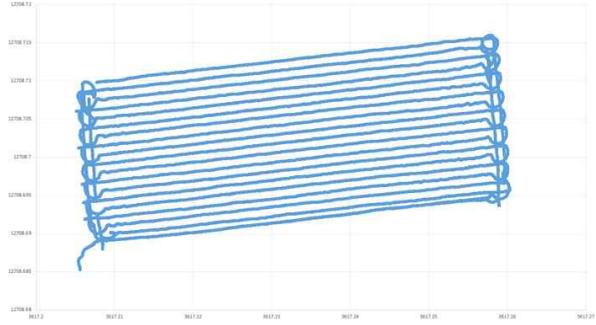


그림 113 이앙 관행 작업 경로

2) 선진사 이앙기의 제품 분석

㉠ 자율 직진 기능 동작 방식

- RTK-GPS 기반 자율 직진 주행 기능 탑재
- 사람이 첫 번째 line을 주행하며 A점과 B점을 등록해 AB line을 생성하면, 다음 열에 진입하는 시점의 위치 좌표를 바탕으로 이전 line에 평행한 line을 생성
- 2번째 line부터는 현재 heading이 이전 AB line에 평행한지를 판단하기 위해 3m의 수동 주행 후 자율 직진 기능이 동작
- 엔진이 충분히 예열 되어야 자율주행기능 사용 가능
- 일본 National Agriculture Food Research Organization(NARO)의 경우 자동 선회 가능한 자율주행 이앙기가 보고됨 (그림114)



그림 114 일본 NARO의 자동 선회 이앙기

㉡ 안전 기능

- 논둑 감지 기능: 첫 line을 사람이 주행하고 선회 수행 결과를 토대로 선회 반경을 계산하여 논둑의 위치를 등록 후 두 번째 line부터 논둑에 3m 이내로 근접하면 미리 경보음을 울리고, 너무 근접했다고 판단 시 자율주행 기능이 꺼짐
- 자율 직진 기능 도중 외란 등으로 방향이 기준 각도 이탈 시 기능을 정지

㉢ 하드웨어 특징

- GPS와 IMU 센서 탑재
- ECU가 없는 기계식 엔진 모델이기 때문에 속도 및 브레이크 제어는 불가능하고 조향제어만 가능
- 스티어링 방식은 차체에 일체형으로 설계된 EPS 사용
- 기계식 차동 기어
- HST 변속시스템 탑재

3) 문헌 조사

- Nagasaka 등 (2007)은 1999년에 GPS 기반 자율주행 이앙기 시스템을 개발하고 이후 계속해서 개선. 0.3 ha(100 x 30m) 논에서 전체 작업 경로를 주행하는 농작업을 수행. 또한 논머리 영역 작업에서 선회 제어 알고리즘을 제시하였고, RTK-GPS를 사용하고 Gyro 센서로 자세를 제어하여 정확도를 높이고자 함. 그러나 논머리 영역 작업을 포함하는 수식화된 구체적인 경로 생성 알고리즘을 제시하지는 못함. 또한 단순한 직진 추종 모델을 사용하여, 정밀 추종에 있어 한계를 보임.
- Zhang 등 (2013)은 RTK-GPS를 사용한 프로토타입 이앙기 자율주행 시스템을 개발. 칼만 필터를 이용해서 자세를 추정. 목표 방향각을 기반으로 제어하고, 선회를 위한 U-Turn 제어 방법을 제시. 속도에 따라 오차가 증가하고, 목표 경로점까지의 거리 또한 성능에 영향을 준다는 것을 보임. 목표 경로점까지의 거리가 성능에 영향을 미치는 것을 추종 알고리즘에 참고할 수 있음.
- Yin 등(Xiang Yin, 2018)은 RTK-GPS와 IMU 센서를 사용한 자율주행 이앙기를 개발. 이앙기의 선회 반경과 작업 폭에 따라 선회 방법을 3종류로 분류하여 이앙기에 적용
- Yin 등(Junnan Yin, 2019) 자율주행 이앙기를 위한 제어 알고리즘 개발. 복합 퍼지 PID 제어와 운동학적 모델을 제시하고 제어를 개발. 미리 경로를 정의한 직진과 선회구간에서 실험을 진행. 논머리 영역 작업에 대한 알고리즘은 제시하지 못함.

나. 왕복 이앙 작업 및 선회 경로 생성 알고리즘 개발

1) 자율주행 이앙기 경로 생성 알고리즘 구성

- 직사각형 형태 포장을 대상으로 경로 생성 알고리즘 개발
- 주행 경로 구성은 그림115와 같이 직진 왕복 작업, 논머리 선회로 구성

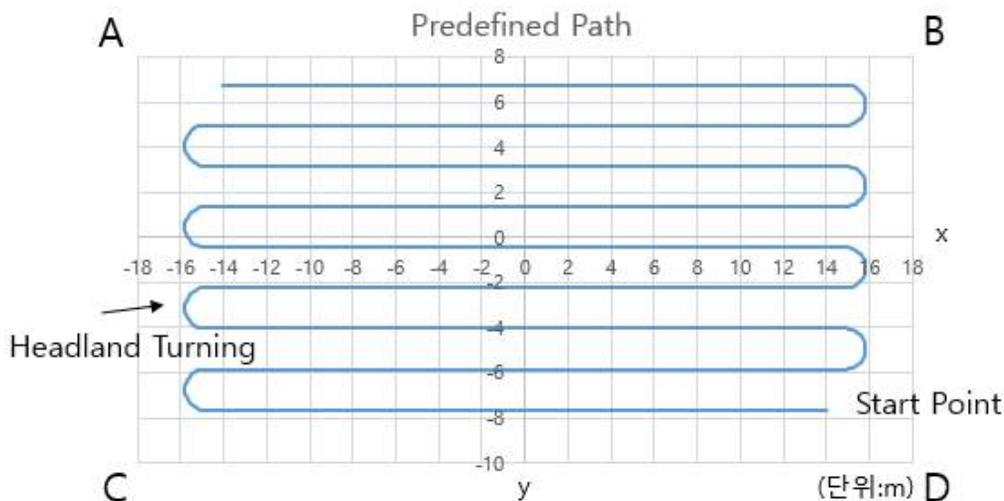


그림 115 자율주행 이앙 직진 및 선회 경로 구성

- 후진 없는 선회 방식을 적용
- 포장 모서리 위치 정보를 입력하면 작업 폭의 2배만큼 안쪽(논머리 영역)으로 평행이동하여 내부 작업 영역을 생성
- 내부 작업 영역에서 장변방향으로 직교하는 직선을 복제하여 일정 간격으로 경로를 생성, 생성된 직진 경로에 조건 간격 30cm를 유지하는 U형으로 선회 경로를 생성 (U형 경로이지만 추종 시에 선회 반경이 부족하게 되면 R형으로 주행하게 됨)
- 포장 모서리 좌표, 작업 폭, 선회 반경, Lateral Boundary Offset(LBO) 등을 알고리즘에

입력하면 경로점, 작업 시작점, 작업 명령, 위치 별 속도, LBO 등에 대한 그림116과 같은 Route Description Data를 생성

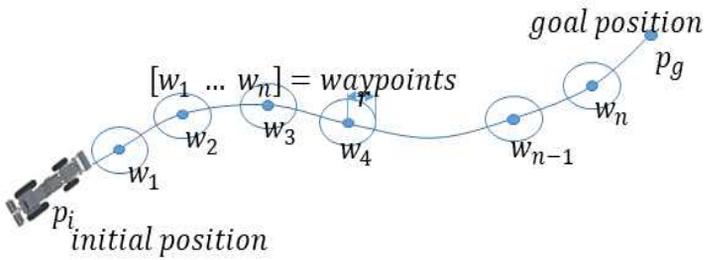


그림 116 작업 경로점 생성

2) 내부 왕복 작업 경로 생성 알고리즘

- 그림117와 같이 내부 작업 영역의 정보와 장변방향의 주행방향, 작업 폭을 이용하여 직진주행 할 평행선을 생성 후 내부 작업 영역 경계선이 교차된 두 점 A, B를 도출
- 두 점 A, B를 연결하는 직선을 복제하여 조건 간격 30cm의 일정한 간격으로 복제하여 포장 내부에 전체 직진 AB 경로를 생성
- 각 직선과 포장 내부 경계선이 교차된 두 점은 왕복 작업 경로의 시작점과 종료점으로 정의

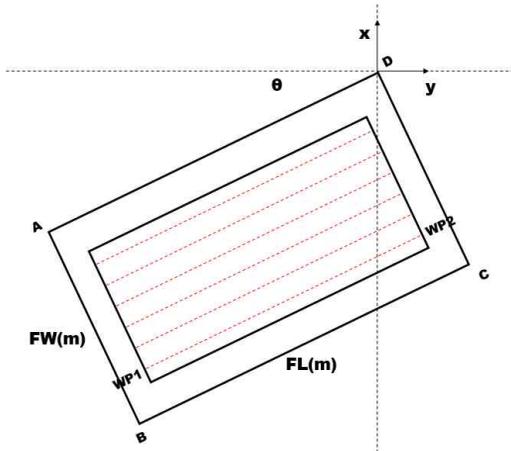


그림 117 내부 직진 작업 경로 생성

3) U형 선회 경로 생성 수학적 모델 및 알고리즘 개발

- 생성된 직진 경로에 조건 간격 30cm를 유지하는 U형으로 선회 경로를 생성
- 선회 경로에 대한 수학적 모델은 아래 그림118과 같으며, XC, XS점을 연결하는 직진 거리는 0으로 계산함

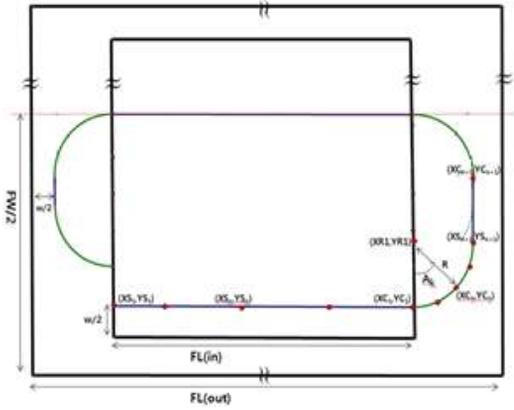


그림 118 U형 선회 경로 생성 수학적 모델

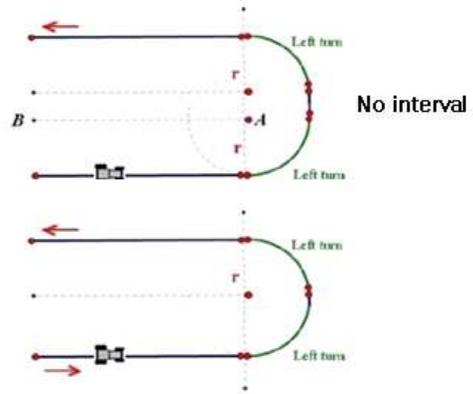


그림 119 U형 선회 경로

- 포장 변수, 회전 변경, 작업기 폭 이용 논머리 작업 경로의 시작점과 끝점의 결정 (식 1)

$$\begin{cases} XS_1 = R + \frac{W}{2} \\ YS_1 = R + W \end{cases} \quad \begin{cases} XC_1 = FL_{(out)} - (R + \frac{W}{2}) \\ YC_1 = YS_1 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (1)$$

- U형 논머리 영역의 선회주행 경로점 생성 (그림119, 식 2)

- 왕복 작업 경로 추종 후 트랙터 선회 반경을 반지름으로 하는 원의 일부를 추종 후 다음 작업 경로 시작점으로 진입하기 위해 동일한 반지름을 가지는 원형 경로를 추종

$$\begin{cases} XC_k = XR_1 + R \times \cos(A_k) \\ YC_k = YR_1 + R \times \sin(A_k) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2)$$

다. 자율주행 이양기 정밀 추종 알고리즘 설계

1) 동적 경로추종 제어기 설계

- Han(2017)의 Extended Ackerman Kinematic Model (EAKM) 경로 추종 알고리즘을 기반으로 제어 로직을 구축 (그림122)

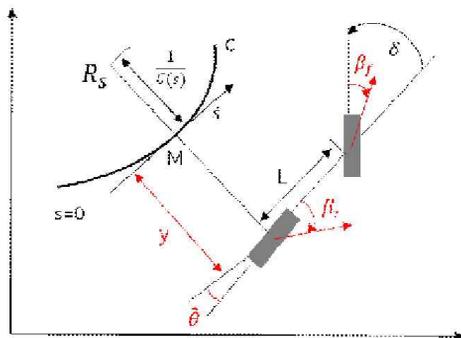


그림 122 Extended Ackerman Kinematic Model

$$\begin{cases} \dot{s} = \frac{v \times \cos(\hat{\theta} + \beta_r)}{1 - c(s) \times u} \\ \dot{y} = v \times \sin(\hat{\theta} + \beta_r) + \epsilon_1 \\ \dot{\hat{\theta}} = v \times \left[\cos \beta_r \frac{\tan(\delta + \beta_f) - \tan \beta_r}{L} - \frac{c(s) \times \cos(\hat{\theta} + \beta_r)}{1 - c(s) \times u} \right] + \epsilon_2 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Where, s : Curvilinear coordinates of point M

y : Lateral deviation

Θ : Heading error

$c(s)$: Curvature of the path at point M

v : Vehicle longitudinal velocity

δ : Steering angle of the vehicle

β_f : Slip angle of front tire

β_r : Slip angle of rear tire

ϵ_i : Unformulated perturbation effects caused by both the inaccuracy of β_f

and β_r

- 상태 변환을 통해 식 4의 EAKM을 식 5와 같이 변환 가능하며 또한 식 6과 같이 Perturbed 체인 시스템을 얻을 수 있음

$$(a_1, a_2, a_3) = (s, y, (1 - c(s) \times y) \times \tan(\tilde{\theta} + \beta_r)) \dots\dots\dots(4)$$

$$\begin{cases} \dot{a}_1 = \frac{v \cos(\tilde{\theta} + \beta_r)}{1 - c(s)y} = m_1 \\ \dot{a}_2 = v \sin(\tilde{\theta} + \beta_r) + \epsilon_1 = a_3 m_1 + \epsilon_1 \\ \dot{a}_3 = \frac{d(1 - y c(s)) \tan(\tilde{\theta} + \beta_r)}{dt} = m_2 + \eta \end{cases} \dots\dots\dots(5)$$

$$m_2 = -v c(s) \sin(\tilde{\theta} + \beta_r) \tan(\tilde{\theta} + \beta_r) - v \frac{dc(s)}{ds} \frac{\cos(\tilde{\theta} + \beta_r)}{1 - y c(s)} \tan(\tilde{\theta} + \beta_r) y$$

$$+ v \frac{1 - y c(s)}{\cos^2(\tilde{\theta} + \beta_r)} \left(\cos \beta_r \frac{\tan(\delta + \beta_r) - \tan \beta_r}{L} - c(s) \frac{\cos(\tilde{\theta} + \beta_r)}{1 - y c(s)} \right)$$

$$+ \frac{1 - y c(s)}{\cos^2(\tilde{\theta} + \beta_r)} \frac{d\beta_r}{dt}$$

$$\eta = \frac{(1 - y c(s)) \epsilon_2}{\cos^2(\tilde{\theta} + \beta_r)} - c(s) \epsilon_1 \tan(\tilde{\theta} + \beta_r) \dots\dots\dots(6)$$

- ϵ_1 과 η 는 ideal 체인 시스템에 외란 역할을 추가한 것이며 상태 변수 a_1 에 대해서 미분하여 식 7과 같이 단일 입력을 가진 선형 시스템으로 전환

$$\text{derivation w.r.t } t \begin{cases} \dot{a}_1 = 1 \\ \dot{a}_2 = a_3 + \frac{\epsilon_1}{m_1} \\ \dot{a}_3 = \frac{m_2}{m_1} + \frac{\eta}{m_1} = u + \frac{\eta}{m_1} \end{cases} \dots\dots\dots(7)$$

- 가상 제어 입력 u 를 이용 식 8과 같이 PD 제어기를 설계하고 식 3 EAKM을 기반으로 식 9와 같은 2차 미분 방정식을 얻게 됨

- 즉 P gain과 D gain을 조절정하여 상태 변수 a_2 a_3 를 0으로 수렴하는 것이 목적

$$u = -K_D \times \dot{z} - K_P \times a_3 - \rho \times \tanh\left(\frac{0.2785\rho z}{\sigma}\right) \quad \sigma > 0 \dots\dots\dots(8)$$

$$z = K_P \times a_2 + a_3 = K_P \times y + (1 - y \times c(s)) \times \tan(\tilde{\theta} + \beta_r) \dots\dots\dots(9)$$

- 식 8과 9를 이용한 조향각은 가상 강인 제어 법칙 u 를 역 변환에 의해 식 10과 같이 얻어짐

$$\delta(y, \tilde{\theta}) = \arctan \left[\frac{L \times \left(\frac{\cos^3(\tilde{\theta} + \beta_r)}{(1 - y c(s))^2 \cos \beta_r} \times \left(\frac{dc(s)}{ds} \times y \times \tan(\tilde{\theta} + \beta_r) \right) + u + c(s)(1 - y c(s)) \times \tan^2(\tilde{\theta} + \beta_r) + \frac{c(s) \cos(\tilde{\theta} + \beta_r)}{(1 - y c(s))^2 \times \cos \beta_r} \right) - \frac{L}{v \times \cos \beta_r} \frac{d\beta_r}{dt} + \tan \beta_r}{\dots} \right] - \beta_r \quad \dots\dots\dots(10)$$

2) GPS 기울어짐 보정 알고리즘

- 이양기가 논에서 작업 시 정밀한 위치 추종을 위해서는 정밀한 위치정보를 얻는 것이 필요
- 이양기에 장착된 GPS (설치 높이 약 2 m)는 그림과 같이 경사지 혹은 불규칙한 노면 상태에 의해 롤, 피치의 영향을 크게 받게 되며 차량의 실제 위치를 제공하기 어려움
- 정확한 경로탐색을 진행하기 위해 이양기에 장착된 IMU에서 출력한 롤 피치 값을 이용 노면 경사에 의한 위치 오차를 보상하는 식을 고안

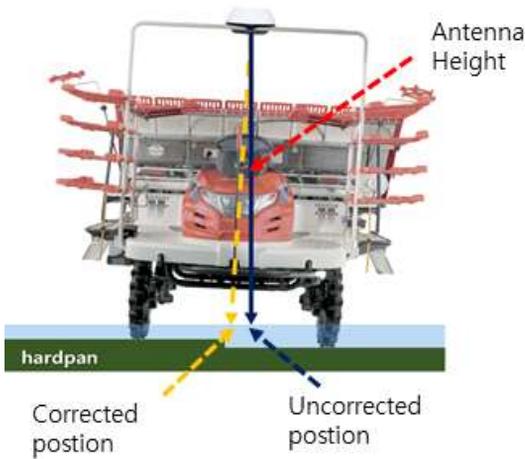


그림 132 GPS 위치 오차 보정

- GPS 위치 오차 보정 방법은 식 (11)과 같으며 여기서 행렬 E는 상태좌표를 절대좌표로 변환하기 위한 변환 행렬

$$\begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \cdot E^{-1}(\psi, \theta, \alpha) \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$E^{-1}(\psi, \theta, \alpha) = E(-\psi, -\theta, -\alpha) = \begin{pmatrix} \sin\alpha \sin\theta \sin\psi + \cos\alpha \cos\psi \cos\theta \sin\psi & \sin\alpha \cos\psi - \cos\alpha \sin\theta \sin\psi \\ \sin\alpha \sin\theta \cos\psi - \cos\alpha \sin\psi \cos\theta \cos\psi - \sin\alpha \sin\psi - \cos\alpha \sin\theta \cos\psi \\ -\sin\alpha \cos\theta & \sin\theta & \cos\alpha \cos\theta \end{pmatrix}$$

- Where, X_c, Y_c, Z_c : Corrected position of GPS
- X_r, Y_r, Z_r : Raw position of GPS
- a, b, c : Distance from the COG to GPS
- ψ : Heading angle of IMU
- θ : Pitch angle of the IMU
- α : Roll angle of the IMU

3) 경로 생성 및 추종 프로그램

- 경로 생성 및 추종 알고리즘을 통합하여 LabView기반 AB라인 및 선회 자율주행 이양기 소프트웨어 개발
- 포장 좌표 텍스트 파일을 입력하고, 속도, 작업 폭, 선회 반경 등을 설정하면 내부 직진 작업 AB 경로와 U형 선회 경로를 자동으로 생성하고, 경로 추종을 시작함
- 그림135와 같이 현재 차량의 움직임, 조향각 생성 파라미터, GPS 위치, 방향각 및 위치 오차, 작업 영역, 경로 추종 상태 등을 확인 가능함
- 시뮬레이터와 서버-클라이언트 환경으로 연결되어 있어 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 실행 가능함



그림 135 자율주행 이양기 소프트웨어

- 자율주행 이양기 소프트웨어는 그림136와 같은 Opus A8s 상위 제어기에 탑재하여 실차 실험을 진행



그림 136 Opus A8s Full

A8s		OPUS technical specification
Basic	Full	
x	x	Standalone
x	x	Dashboard Mount
x	x	Landscape
x	x	Portrait
12,1"	12,1"	Size
16:9	16:9	Ratio
x	x	Touchscreen
8/4	8/4	Keys Soft/ Hard
x	x	Keys with Backlight
1	1	Encoder
4	4	LED
Speaker	Speaker	Audible Signal
32-bit	64-bit	Processor Size
800 MHz, solo	1 GHz, quad	Processor Speed
512 MB	1 GB	RAM
4 GB	8 GB	Mass Storage
32 kB serial	32 kB serial	EEPROM
2	2	CANbus Ports
1	1	Serial Ports
2/1	4/3	I/O
2	2	USB
1	1	Ethernet
1	3	Max video input
-	x	Audio out

그림 137 Opus A8s 사양

라. 가상 시뮬레이터를 통한 정밀추종 알고리즘 검증

- 1) 시뮬레이터 개요

- Han(2017)의 토양 환경을 반영한 가상 농작업 시뮬레이터를 이용
- 테스트 환경은 크게 클라이언트 환경인 LabVIEW 프로그램에서 경로생성 및 경로추종 알고리즘을 구성하고 생성된 조향 각 및 속도정보는 Server 환경인 RoboticsLab 프로그램으로 전송하는 방식이며, 서버 환경에서 Extended Kinematic Bicycle Model (EKBM)을 이용 차량의 움직임을 표현함 (그림139)
- 트랙터의 위치정보와 자세정보는 서버 환경에서 클라이언트 환경으로 피드백 전송하여 목표점과 비교 후 무인 주행에 필요한 조향 각과 속도정보를 다시 생성함
- 트랙터가 실제 포장에서 회전 주행 시 토양의 반력에 의해 슬립현상이 발생하게 되며 이러한 현상을 시뮬레이션에서 반영하기 위해 EKBM을 구동엔진으로 사용

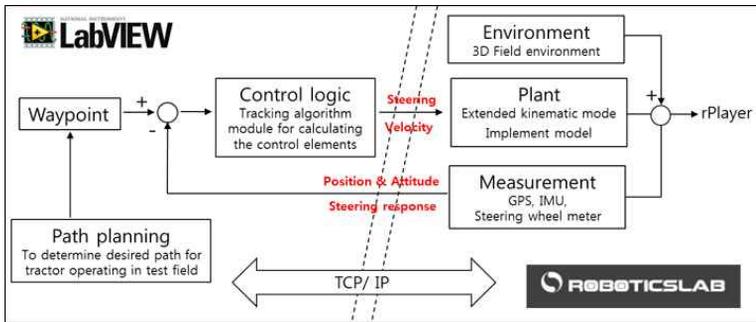


그림 138 Configuration of the developed virtual simulator system

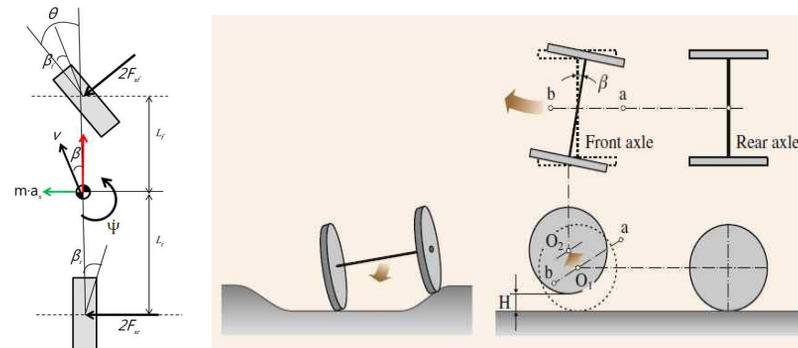


그림 139 Extended kinematics bicycle model (Zhang et al. 2009)

- 바퀴에 적용한 측면 반력은 슬립 각과 코너링 스티프니스에 대한 함수로 정의, 슬립 각은 수식에 의해 도출되고, 코너링 스티프니스 값(Cf,Cr)의 설정을 통해 토양 환경 반영
- 식 12,13, 그림139와 같이 트랙터의 주행 위치는 슬립 각, 요잉 율 및 주행 속도에 의해 결정됨

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\psi} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2(C_f + C_r)}{mv_x} & -1 - \frac{2(l_f C_f - l_r C_r)}{mv_x^2} & 0 \\ -\frac{2(l_f C_f - l_r C_r)}{I_z} & -\frac{2(l_f^2 C_f + l_r^2 C_r)}{I_z v_x} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \psi \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2C_f}{mv_x} \\ \frac{2l_f C_f}{I_z} \\ 0 \end{bmatrix} \theta \dots\dots\dots(12)$$

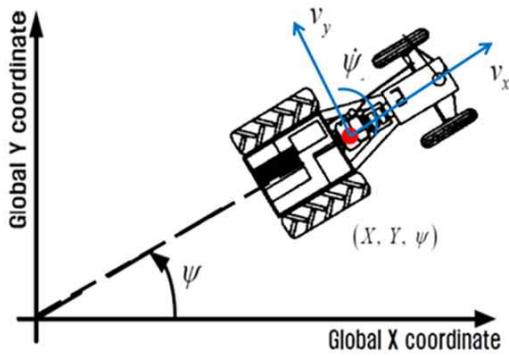


그림 141 Position of the extended kinematic model in field coordinates

$$\begin{cases} X = X_0 + \int v_x \cos\psi - v_y \sin\psi dt \\ Y = Y_0 + \int v_x \sin\psi + v_y \cos\psi dt \end{cases} \dots\dots\dots(13)$$

2) 시뮬레이터 변수 설정

- 선진사 이양기의 기대 명세를 참고하여 차량 조건을 시뮬레이터에 입력하고, 일반 토양 조건과 유사한 코너링 스티프니스 값을 설정
- Cornering Stiffness : 일반 토양 조건 Cf 6800, Cr 7500 (Han, 2017)
- 작업폭 : 1.8m (6조x조간 간격 30cm)
- 차량 무게 : 770kg
- 축거 : 1,050mm
- 앞바퀴 반지름 : 650mm
- 뒷바퀴 반지름 : 950mm
- 무게중심은 차량 중앙으로 가정
- 최대 조향각 : 40도로 가정
- 최소회전반경 : 0.9m로 가정, 후륜 내측 바퀴가 고정된 상태로 가정하고 0.9m로 설정하였으며, 실제로는 후륜 내측 바퀴가 천천히 회전한다.
- 차량의 3D 모델은 트랙터로 대체하였다.

3) 경로 생성 및 추종 알고리즘 시뮬레이션

- 1.8m의 일정한 간격으로 생성된 직진 및 U형 선회 이양 경로를 경로 생성 알고리즘을 통해 생성 (그림143)

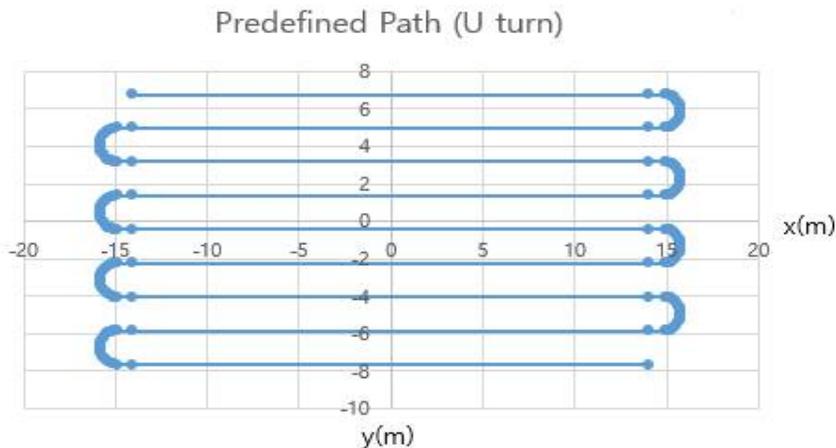


그림 143 직진 및 선회 이양 경로

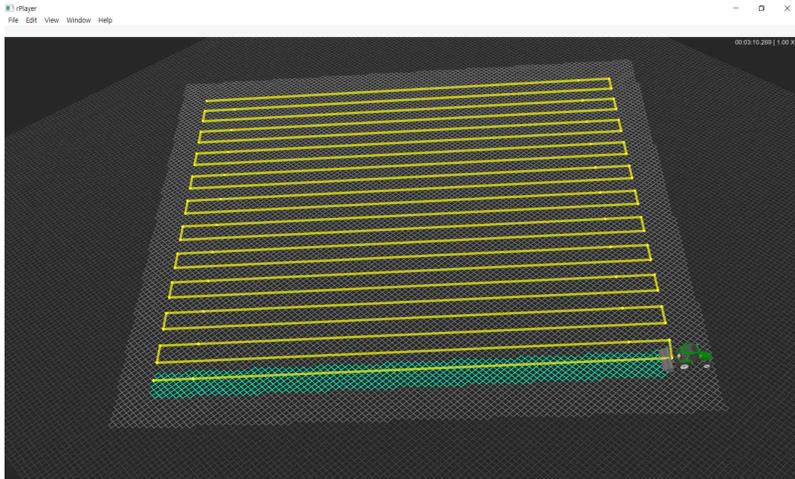


그림 144 시뮬레이션 진행

- 경로 추종 알고리즘 및 시뮬레이션(Han, 2017)을 이용한 추종 성능 평가 (그림144)
- 시뮬레이터 상에서 작업 속도 1km/s (선회 속도 0.5km/s), 선견 거리 1m일 때, 작업 구간 위치 RMSE 0.0677 m, 작업 구간 방향각 RMSE 4.3562 도로 나타났으며 이양 작업이 가능한 수준의 결과를 보임 (그림145)

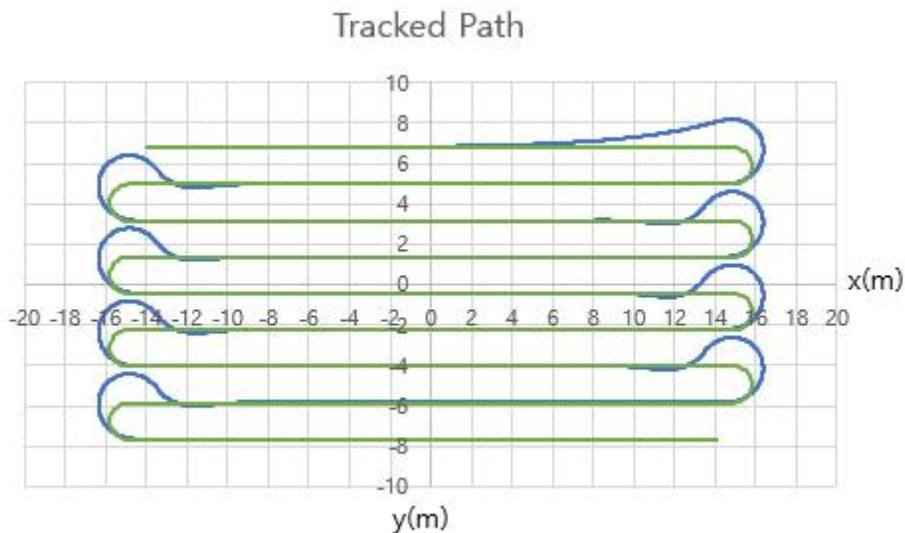


그림 145 시뮬레이션 주행 궤적

- 선회구간에서 선회 포함 위치 RMSE 0.6380 m, 최대 횡방향 오차가 0.3m로 조건 간격보다 크게 나타나고 선회 포함 방향각 RMSE 또한 19.5686도로 매우 크게 나타남 (그림146, 그림147)
- 최대 오차 패턴을 살펴보면 선회구간에서 오차가 커지는 것을 확인

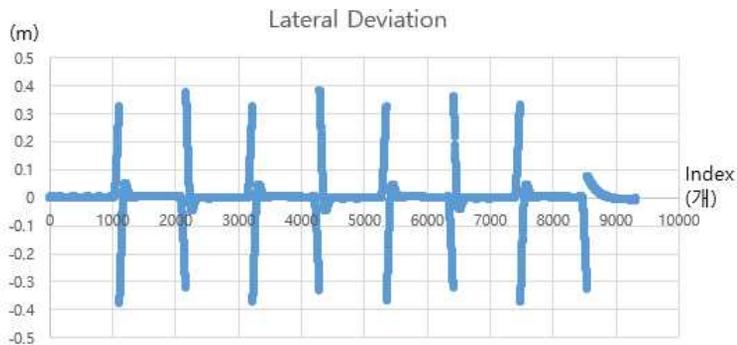


그림 146 시뮬레이션 횡 방향 오차

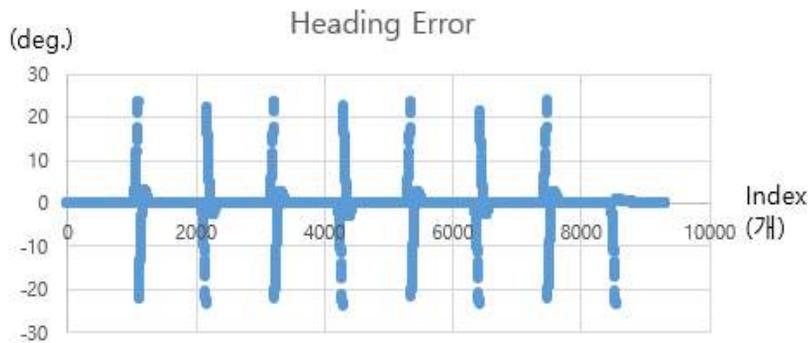


그림 147 시뮬레이션 방향각 오차

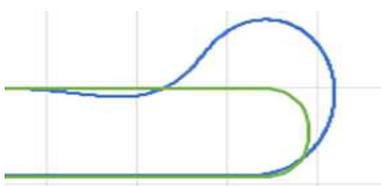


그림 148 선회 구간에서의 주행 궤적

- 식 14 (Gillespie, 1992)와 같은 선회 반경 계산식에 따르면 입력된 기대 명세에 대한 최소 선회 반경이 1.5262m ($g=9.8m/s^2$)으로 U형 선회 경로에서 요구되는 선회 반경 0.9m를 만족하지 못함에 따라 그림148과 같은 선회 후 작업 열 진입 궤적을 보임
- 시뮬레이터 구동 엔진이 Bicycle Model 기반으로 구현되어 있어 실제 이양기 선회와는 다르게 선회구간에서 큰 오차를 보임

$$R = \frac{L}{\delta} + K \frac{V^2}{g} \quad K = \frac{W_f}{C_{\alpha f}} + \frac{W_r}{C_{\alpha r}} \dots\dots\dots(14)$$

V = Vehicle speed

R = Cornering radius

δ = Steer angle

g = gravitational Acceleration

K = K-gradient

L = Distance between front and rear transaxle

- 실제 3.6m의 간격을 갖는 C형 선회 경로의 경우 선회 포함 방향각 RMSE가 0.2703m로 감소
- 아래 표와 같이 속도와 선견 거리를 변경시키면서 RMSE 6cm 부근에서 큰 변화가 없음
- RMSE 값이 속도나 선견거리 등이 아닌 차량 구동 모델의 영향을 크게 받고 있음을 확인

- 차륜의 차동 제어가 가능한 실제 기대에서 추종 알고리즘 동작 시 개선된 결과가 기대되기 때문에 개발된 알고리즘을 통한 실차 실험 및 실차 실험 결과에 따른 모델 개선이 요구됨

	선견거리 2m	선견거리 0.5m	선견거리 1m 및 속도 0.5km/s
작업 위치 RMSE	0.1434 m	0.065 m	0.0632 m
작업 방향각 RMSE	6.8도	4.1842도	4.1033도
위치/방향각 변화	+0.0757/2.44	-0.0027/-0.172	-0.0045/-0.2529

표 33 속도와 선견거리 변화에 따른 위치 및 방향각 RMSE 변화

5. 자율주행이양기 검정방법(안) 개발

가. 자율주행이양기 검정방법(안) 개발 내용

○ 구조조사방법 개발

자율주행기계 개념 설정, 환경인식장치, 데이터 송·수신장치, 데이터 분석장치, 자율조작장치, 기능진단장치 등 조사방법 개발

○ 작업성능 시험방법 개발

- 성능 시험방법 개발

시험포장 조건 설정, 시험시 왕복순차법·회행법 등 작업방법 개발, 자율주행이양기 시험조건 설정, 논머리 작업시 미작업 면적 조사방법 개발

- 주행 시험방법 개발

시험로면 설정, 직진성 검증시 최대 이탈거리 조사방법 설정, 선회성 시험방법 설정

- 위험회피성능 시험방법 개발

시험조건 설정 및 임의 장애물 설정, 장애물과의 최소 우회거리 측정방법 설정

- 연속운전 시험방법 개발

시험장소 설정, 작업자의 교대조건 등 설정, 연속작업시 이상발생 상황 등 설정

- 방수 시험방법 개발

전기, 전자부품의 침수 여부 등 조사방법 설정

○ 조작의 난이도시험

자율조작장치의 조절 등 조작난이도 조사방법 설정

제 3 절 세부 연구수행 결과(2차년도)

1. 자율직진주행 GNSS/환경인식 시스템 설계

가. 이양기 자율 직진 주행 주요 부품 및 장착부 개발

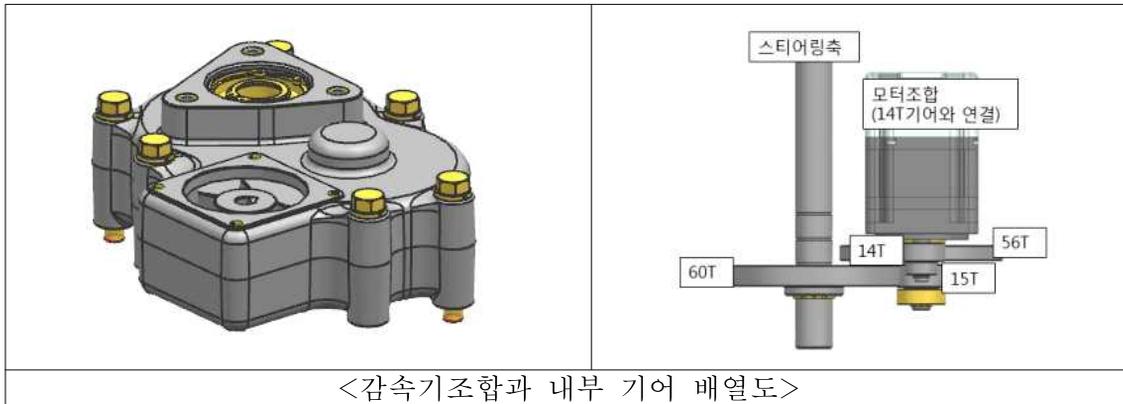
1) 스티어링 지지대 및 조향 기어감속기 케이스 조합 개발

- 스티어링지지대 조합:기존의 수동식 핸들 조작 방식과 감속기기어케이스 조합을 장착하여 자율주행 기능



<자율직진주행 조향 시스템 및 조립도>

- 감속기케이스조합:GPS를 통하여 위치정보를 수신받아 모터조합을 통하여 감속기 기어를 작동시켜 자율 주행 기능 수행
- 감속기기어비:5/80 _ (14T/56T)X(15T/60T)
자율주행모터조합의 작동 부하를 경감하고 최적의 조향 성능 발휘



<감속기조합과 내부 기어 배열도>

2) 핸들 조작식 조향과 자율주행 조향

- 핸들 조작식 조향 : 핸들 -> 스티어링축 -> 파워유닛 -> 밧션 -> 앞차축
- 자율주행 조향 : 모터조합 ->감속기기어 -> 파워유닛 -> 밧션 -> 앞차축

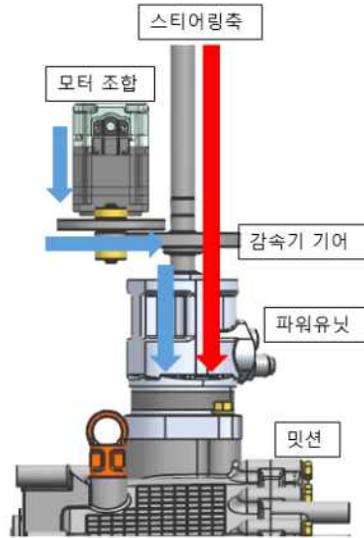
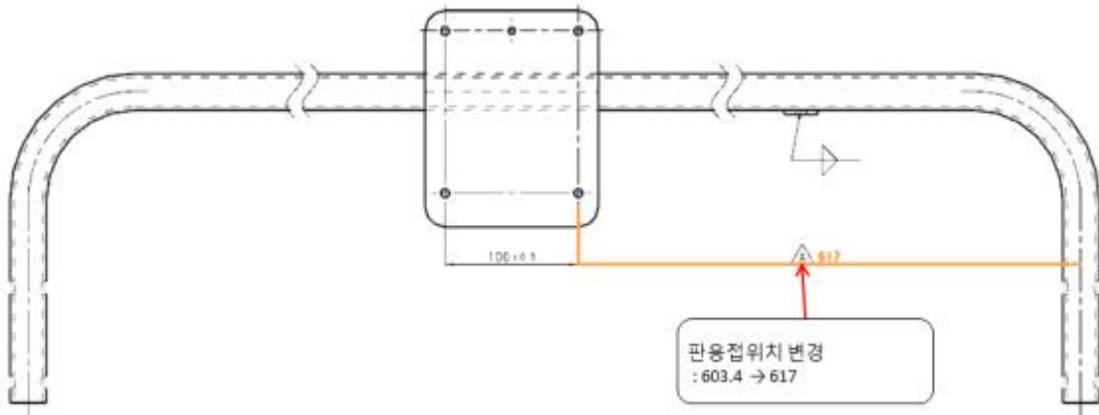


그림 155 조향지지대 동작

3) GNSS 장착부 개선 개발

- GNSS모듈의 안테나 위치를 고려하여 위치 변경



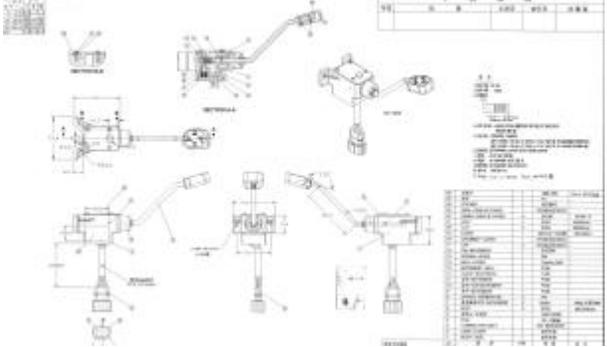
4) 주행레버 스위치 개선 개발

㉠ 개선 필요사항

- 계기판넬부 공간협소로 인한 시인성 부족 및 조작공간 부족
- 조작에 의한 변형 우려, 브라켓 개선 필요
- 내부 접점판 불량 가능성 확인

㉡ 개선사항

- 조작감 및 안내를 위한 손잡이 부분 신규 개발
- 조향 지지대구조 고정을 위한 브라켓 개발
- 내부 접점판 개선 설계

<p>1차년도 개발품</p> 	<p>2차년도 개선품 실증용 차량</p> 
<p>2차년도 개선품</p> 	<p>도면</p> 
<p>신규 브라켓(감도다이얼)</p> 	<p>감도다이얼 기능 추가</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 신규 브라켓에 다이얼 추가 적용 ▪ 논의 환경조건에 따라 조향력을 달리하여 시스템상 인지하지 못하는 부하조건에 대하여 사용자의 용도에 따라 변경 가능하도록 조절 ▪ 용도에 따라 타기능으로 활용 가능

나. GNSS모듈, 카메라 등 작업환경 인식 모듈 개선 설계

1) 작업환경 인식 모듈 개발

㉠ 하드웨어 제작 관련 사양 변경

- 소프트웨어 부하로 인한 메인 MCU 성능 미달 : 상위 성능 제품 변경
- 영상처리를 위한 내부 저장장치 성능 증대
- 별도 GPIO추가 구성
- CAN 통신 채널수 추가 적용

㉡ 모듈 사양표 및 PCB

Category #1	Category #2	RMS	Comment
OS	#1	Android 9	
	#2	Linux, ROS	
System	AP	Telechips TCC8031	
	Memory	1GB	
Camera			
Wire			
TeleCo			
Sensor			
Interface	UART	2ch+	min. 1ch
	I2C	1ch+	min. 1ch
IP Level	GPIO	7+	
		IP67	TBD

그림 162 환경인식 컨트롤러 하드웨어 사양표



그림 163 환경인식 컨트롤러 PCB



그림 167 필드 데이터 수집 시험-1



그림 168 필드 데이터 수집 시험-2

© 시험 결과 및 분석

- 카메라 영상 원본과 카메라 영상원본에서 모 인식 영상처리한 화면을 확인할 수 있다.
- 카메라 영상 원본은 이앙기 엔진룸 위의 중앙에 장착한 카메라에서 확보하였으며 전면 하단에 이앙기의 엔진 덮개가 확인된다.
- 모 인식 영상처리 #1~3은 카메라 영상원본을 후처리하여 모를 인식한 결과임
- 실제 모가 인식되지 못한 부분과 모 이외의 부분이 모로 인식된 것을 확인할 수 있다

- 문제점
- 주행기준이 될 모라인의 모와 거리가 멀어 정확한 인식이 어렵다.
- 주행기준이 될 모라인이 화면의 측면에 위치한다.
- 모와 유사한 불필요한 부분이 모로 인식된다.

- 측정 데이터(색상 필터)
- 색상필터만 적용하여 특이점 추출
- 색상 범위를 허용 가능한 수준에서 최대로 증가시켜도 찾지 못하는 모가 있음
- 주변 색상에 의해 모의 색상이 침식되어 얇은 모가 인식되지 못함
- 색상 범위가 너무 넓어 물에 반사된 색상이 대부분 걸러지지 못함



그림 169 카메라 영상 원본



그림 170 모 인식 영상처리 #1 (색상 필터)

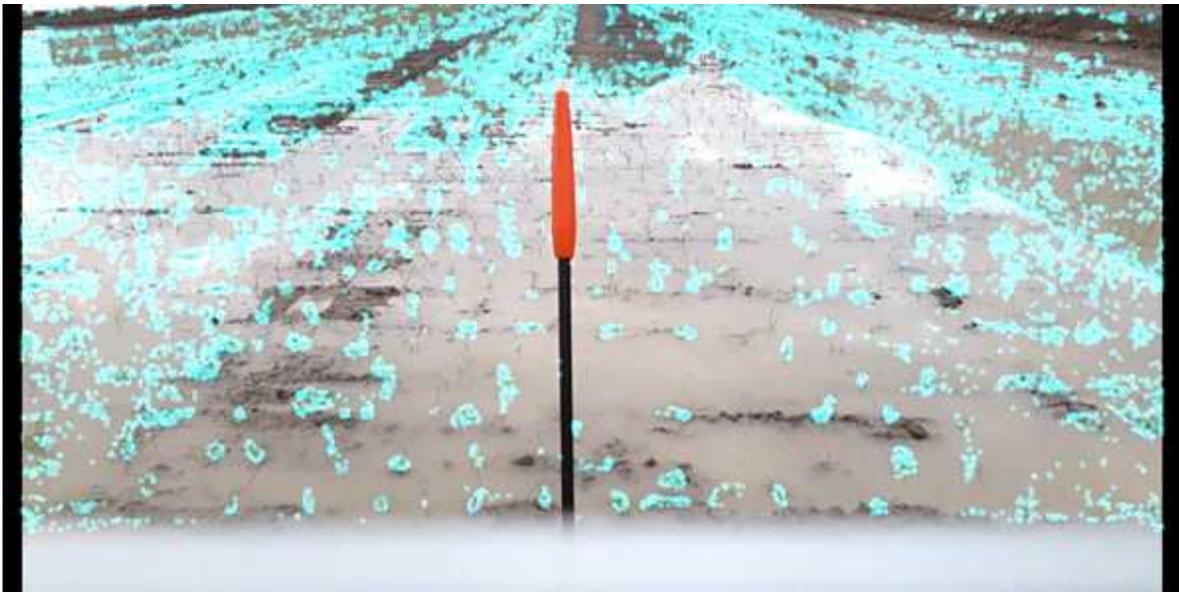


그림 171 모 인식 영상처리 #2 (색상 필터)

- 측정 데이터(Canny 방식의 색상필터 1차 적용)
- Canny알고리즘을 적용하여 선만 추출한 후 색상필터 적용하여 특이점 추출
- 배경(물)에서 검출 되는 특이점의 양이 눈에 띄게 줄어들음
- 얇은 모나 흐릿한 모가 인식되지 않는 현상은 오히려 증가



그림 172 색상필터 적용-1(Canny 방식)

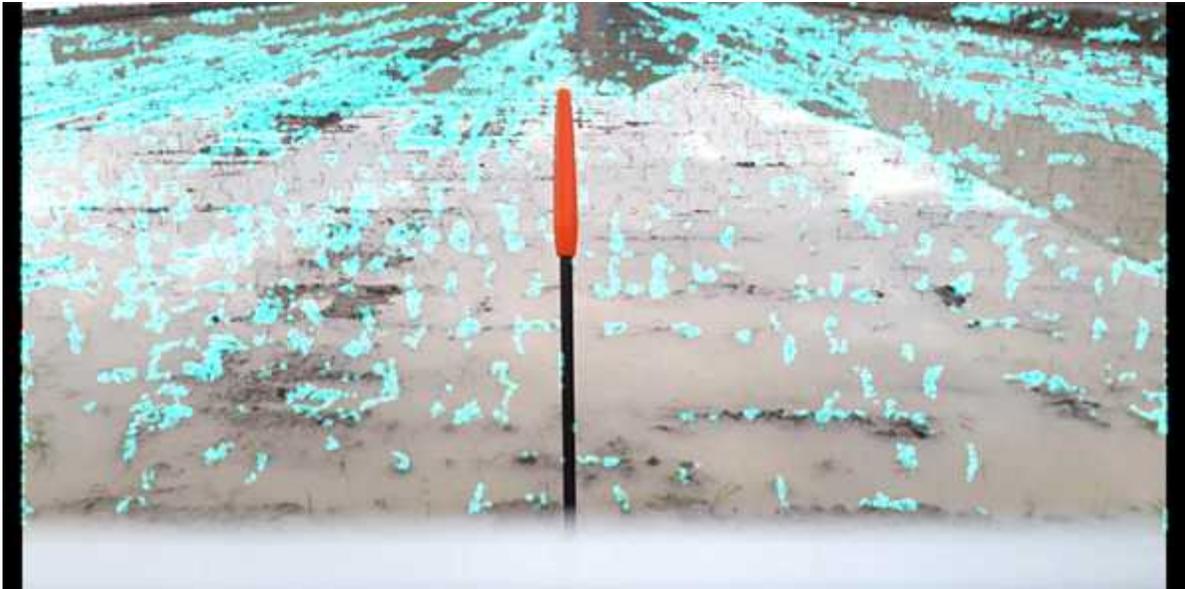


그림 173 색상필터 적용-2(Canny 방식)

- 측정 데이터(Adaptive Threshold 방식의 색상필터 2차 적용)
- Adaptive Threshold 알고리즘을 적용하여 선과 선에서 일정 범위까지의 이미지를 추출 후 색상필터 적용하여 특이점 추출
- Canny에 비해 얇은 모나 흐릿한 모의 인식률 증가
- 색상필터의 한계로 인해 인식하지 못하는 모는 여전히 존재함
- 색상으로 모를 처리하기 위한 새로운 방법 모색 필요



그림 174 색상필터적용-3 (Adaptive Threshold)

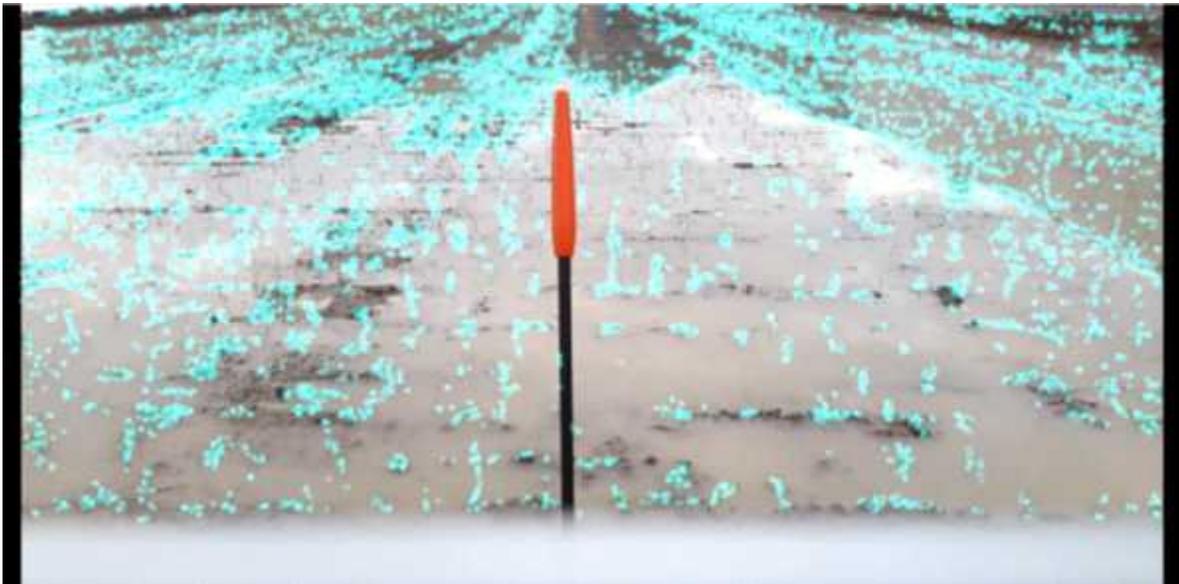


그림 175 색상필터적용-4 (Adaptive Threshold)

- 결과

위의 색상 필터 적용방식의 문제점과 측정위치로 인한 문제점을 개선하기 위해 변경 검토

- 카메라 설치 위치 변경
- 카메라 설치 위치를 이양기 중앙부가 아닌 측면부에 설치한다.
- 이를 통해 카메라의 설치 방향 및 각도의 제약을 없애 모와의 거리를 줄일 수 있다.
- 인식해야 할 모를 화면 중앙에 위치하게 하여 인식 오류를 줄일 수 있다.
- 모 영상을 선명하게 확보하여 모가 아닌 부분의 오인식을 줄일 수 있다.
- 엔진 및 차체의 진동으로 인한 블러링 효과는 카메라 자체의 필터링 기술이 내장되어 있으며, 초당 60프레임 이상의 데이터가 수집되어 모 인식에는 문제 없으므로 판단됨

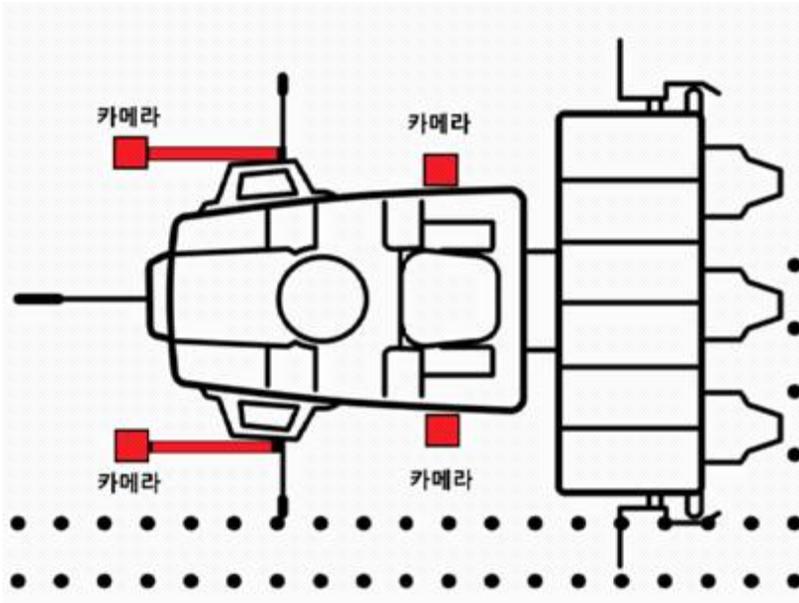


그림 176 카메라 위치 선정 및 장착부 설계 레이아웃

- 카메라 운용 대수 변경
- 카메라의 설치 위치 변경으로 카메라의 장착성이 향상된다.
- 좌우 측면에 카메라를 각각 설치하여 이양기가 회전하였을 경우에도 별도의 설정없이 운용 가능하게 한다.
- 카메라를 좌우 측면에 각 2대씩 장착하여 정확한 주행 기준라인 확보 및 주행 제어가 가능하도록 한다.



그림 177 승용이양기 실제 탑재-1



그림 178 승용이양기 실제 탑재-2

3) 모 인식 데이터 수집

① 벚 모종 이미지 구성

- 이미지사이즈: 768 x604
- 이미지 개수: 2837장
- 이미지내에 벚 모종의 수:

벚 모종이 2줄, 3줄로 보이는 경우에 따라서 모종의 수가 달라짐

2줄 일 경우 약 10~12개, 3줄은 일부분이 잘려서 안보이는 경우가 많아 평균 15개 인식

㉔ 벼 모종 데이터 셋 기준

- 목적: 벼 모종을 기준으로 bbox를 치고 그 bbox의 x, y, width, height 값
(bounding 박스의 최소x, 최소y값, 가로 길이, 세로의 길이)
- Bbox를 해야할 벼 모종의 종류, 기준
 - Perfect rice : 완벽히 ‘벼’ 로 인식되는 object
 - Vague rice : 기타 이유로 ‘벼’ 로 인식되지만 완전하지 않은 object
 - Abnormal rice : 기타 이유로 ‘벼’로 인식되지만 검출해서는 안되는 object

㉕ 벼 모종 기준의 측정 데이터 및 상세 설명

Perfect rice	Vague rice
<p>벼 모종의 모근을 추정할 수 있을 정도로 육안으로 뚜렷히 구분 가능한 경우</p> 	<p>벼 모종의 상당 부분이 물에 잠겨서 모근을 추정할 수 없는 경우</p> 
<p>Abnormal rice 벼 모종으로 인식되지만, 비정상적인 상태로 객체로 인식해서는 안되는 경우</p> 	

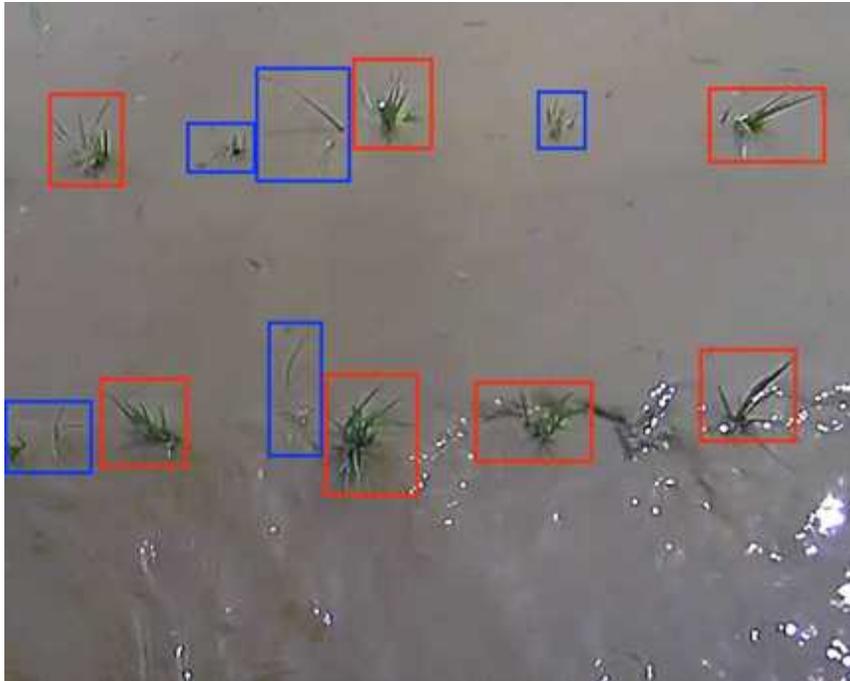
㉖ 벼 모종 기준의 측정 데이터

red box : Perfect rice

blue box : Vague rice

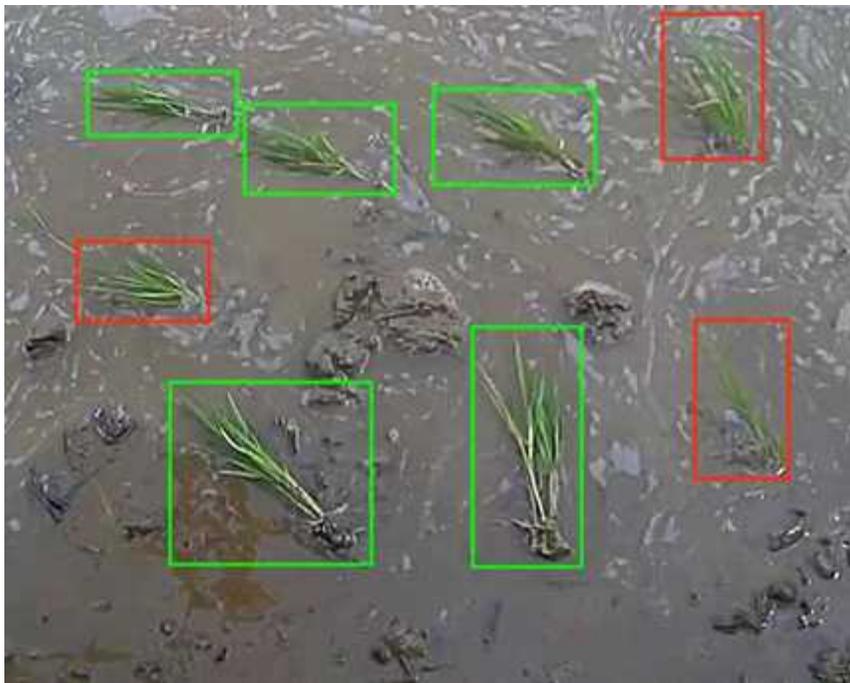
green box : Abnormal rice

#데이터 측정 결과-1



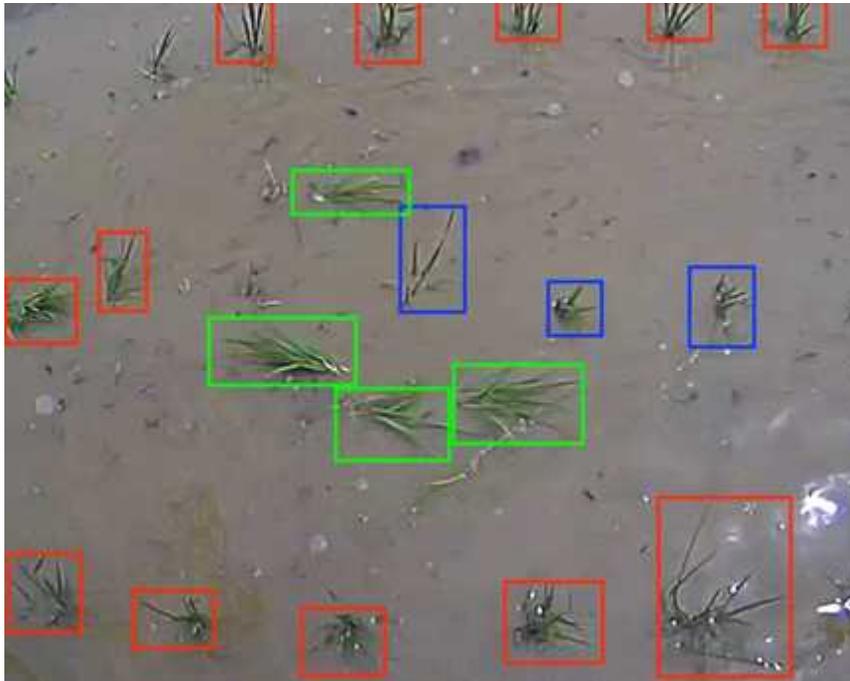
전체 모종 : 13
Perfect rice : 7
Vague rice : 5
Abnormal rice : 0

#데이터 측정 결과-2



전체 모종 : 8
Perfect rice : 3
Vague rice : 0
Abnormal rice : 5

#데이터 측정 결과-3



전체 모종 : 19
Perfect rice : 12
Vague rice : 3
Abnormal rice : 4

#데이터 측정 결과-4



전체 모종 : 4
Perfect rice : 0
Vague rice : 4
Abnormal rice : 0

4) GNSS모듈 개선개발

- Ⓐ 1차년도 기개발된 GNSS 모듈 수신감도에 대한 문제점을 개선하기 위하여 통신방식을 변경 적용

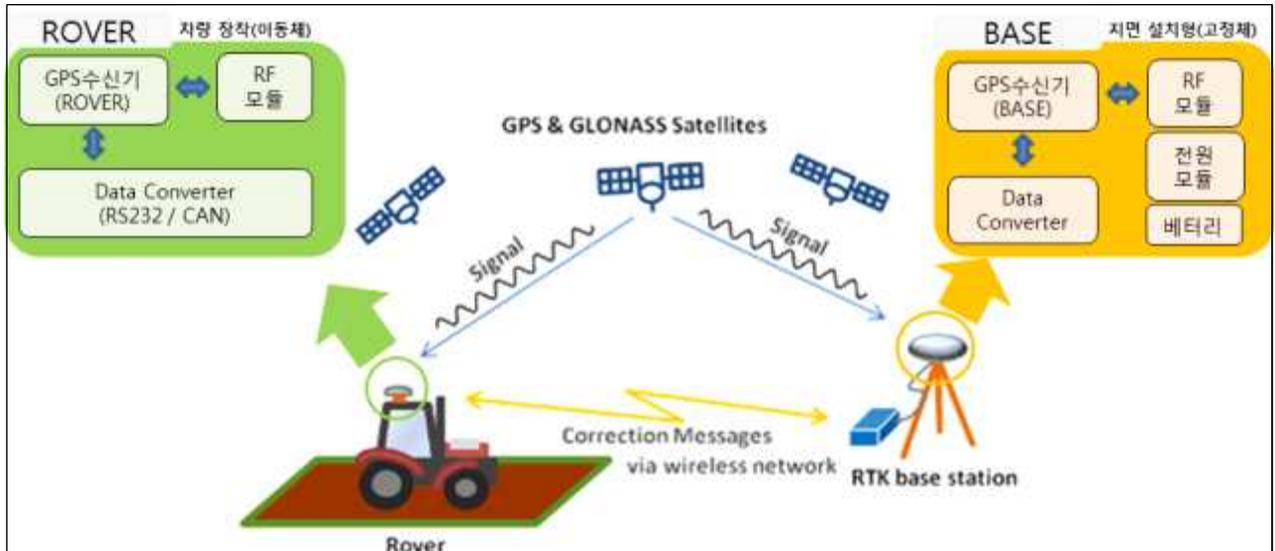


그림 186 GNSS모듈 통신방식 변경품 시스템 구성도

㉔ 상세 동작 블록다이어그램

- 1) 임의 위치에 설치
- 2) GPS신호 컨트롤러는 GPS모듈을 BASE STATION으로 설정한다.
- 3) 현재위치에 대한 고정좌표를 설정하고, 수신된 GPS신호를 고정좌표와 비교하여 실시간 위치오차를 생성한다.
- 4) 실시간 위치 오차정보는 RF TX모듈을 통해 100msec 간격으로 전송한다.
- 5) 실시간 위치 오차정보 전송 속도는 100msec을 기본으로 하나 가변가능 하다.
- 6) 실시간 위치 오차정보는 UART 통신이 가능한 형태의 신호이면 통신속도는 115200bps로 한다.
- 7) 실시간 위치 오차정보는 UART 통신을 기본으로 하나 CAN통신 등 다양한 형태가 가능하다.
- 8) 임의 위치에 설치 가능하도록 배터리 전원 공급장치를 포함한다.
- 9) 동작상태를 원거리에서 확인 할 수 있도록 대형 LED표시기가 있다.
- 10) RF TX신호는 주변 동일 장치와 혼선을 방지하기 위해 ID방식을 이용해 정확한 정보 전송이 가능하다.
- 11) RF TX모듈은 범용으로 사용가능한 주파수와 송신출력을 사용한다.

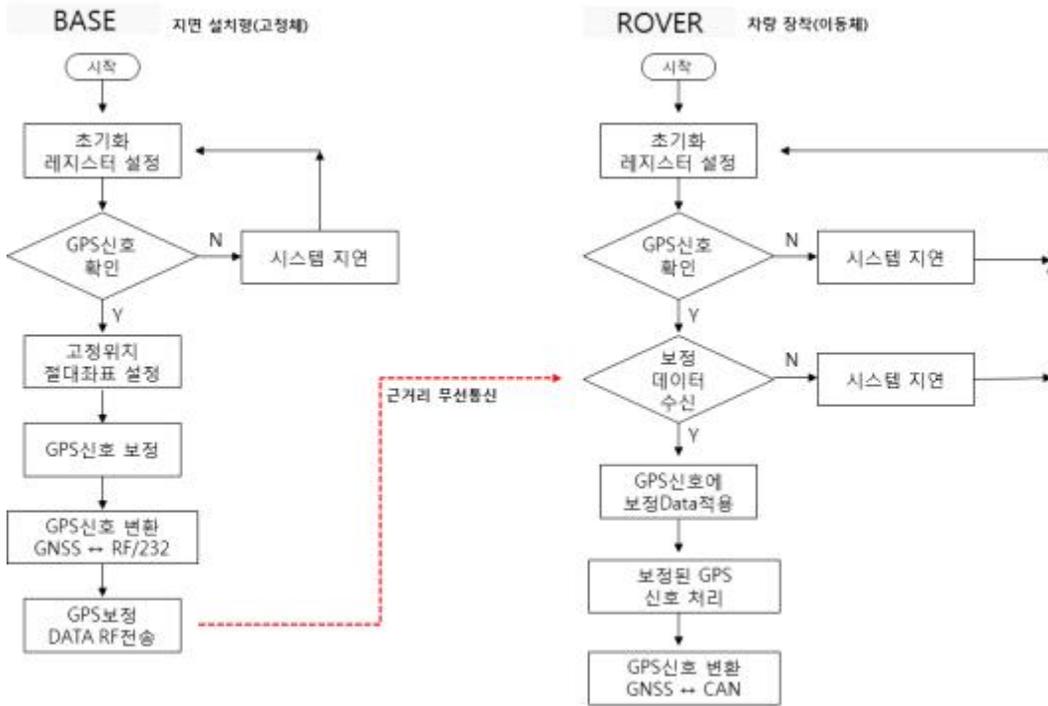


그림 187 BASE-ROVER 방식의 GNSS 모듈

© GNSS 모듈 개발품 실차 테스트

단품 사진(BASE-ROVER)	실차 장착 테스트-1
	
실차 장착 테스트-2	
	

④ 성능 시험 결과

(1) 시험목적

- ㉠ 1차년도 개발품과 2차년도 개발품의 수신성능 비교 목적
- ㉡ GNSS모듈의 통신수단 변경에 대한 수신상태 검증 목적

(2) 시험개요

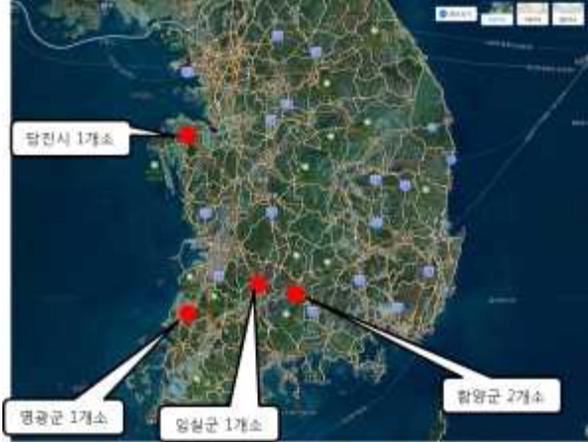
- ㉠ 시험자 및 보고서 작성자 : 윤원호
- ㉡ 시험장소 : 경남 함양, 전북 임실, 전남 영광, 충남 당진
- ㉢ 시험기대 : GNSS 모듈 단독 제품

(3) 평가방법

㉠ 평가기준

- GPS모듈 수신시간이 15분 이내일것(최대 20분까지 측정)
- 수신불량지역 주변 이동시 수신이 부분적으로 끊기는 현상 없어야 될 것

(4) 시험결과

시험 지역		시험평가 모듈					
 <p>그림 192 시험 지역</p>		 <p>그림 193 시험평가 GNSS모듈</p>					
시험평가-1(경남 함양군 유림면)		시험평가-2(경남 함양군 유림면)					
							
시험평가-3(전북 임실군 정월리)		시험평가-4(전북 임실군 정월리)					
							
시험평가-5(충남 당진시 석문면)		시험평가-6(충남 당진시 석문면)					
시험 결과							
지 역		경남 함양군		전북 임실군	전남 영광군	충남 당진시	비 고
세부지역		유림면	수동면	정월리	염산면	석문면	
수신 시간	1차년도	25분이상	11분	5분56초	20분	35분	
	2차년도	1분30초	54초	54초	55초	1분	
이동시확인		양 호	양 호	양 호	양 호	양 호	
판 정		○	○	○	○	○	

다. 1차 실증용 차량 제작 및 실증 시험

1) 1차 실증용 차량 제작 완료

㉠ 1차 실증용 차량 BASE 제작 완료

㉞ 1차 실증용 차량 BASE를 기반으로 하위 부품에 대한 장착부 및 부품 부착



그림 199 1차 실증용 차량 BASE

㉟ 1차 실증용 차량 변경 후 실증 시험 진행



그림 200 1차 실증용 차량

2) 실증용 차량의 실제 논 작업 평가 실시

㉠ 시험목적

- 조향모터의 부하에 따른 이앙 작업시 직진 자율 주행 성능을 평가하기 위함.
- 이앙 작업시 직진 자율 주행 성능을 비교 평가하기 위함.

㉡ 시험개요

- 시험장소 : 창녕읍 효정리 논
- 시험기대 : 실증용차량 1호기



㉔ 시험방법 및 시험조건

(1) 시험방법

㉕ 이양에 적합한 포장지 및 이양모를 준비함.

㉖ 이양기의 주행 경로를 측정할 수 있는 GPS 장치(DS-IMU2, Dewesoft 장비)를 설치함.

㉗ 직진자율주행 시작점과 끝점을 지정하고 직진자율주행 모드에서 이양작업을 실시함.

㉘ 직진자율주행 이양작업 중 이양기 경로, 이양기 조향각, 조향모터 전류 데이터를 수집함.

(2) 시험조건

㉕ 직진자율주행이 가능한 상태를 확인한 후 시험을 진행함.

㉖ 이양기 경로 데이터를 측정하는 DS-IMU의 위성상태가 RTK Fix된 상태에서 데이터를 수집함.

㉕ 시험 결과

(1) 직진 자율 주행 경로 이탈 평균 거리와 이탈 최대폭

㉕ 동일한 조건의 포장지에서 10회 직진 자율 주행 이양 시험을 진행함.

a. 이탈 평균: 직진 기준선 대비 틀어진 경로 값의 평균값(좌측 -, 우측 +)

b. 이탈 최대폭: 직진 기준선 대비 틀어진 경로의 최대값과 최소값의 차이(peak-peak)

c. 좌측 최대 이탈거리: 직진 기준선 대비 이양기 좌측 방향 이탈 경로 최대 거리

d. 우측 최대 이탈거리: 직진 기준선 대비 이양기 우측 방향 이탈 경로 최대 거리

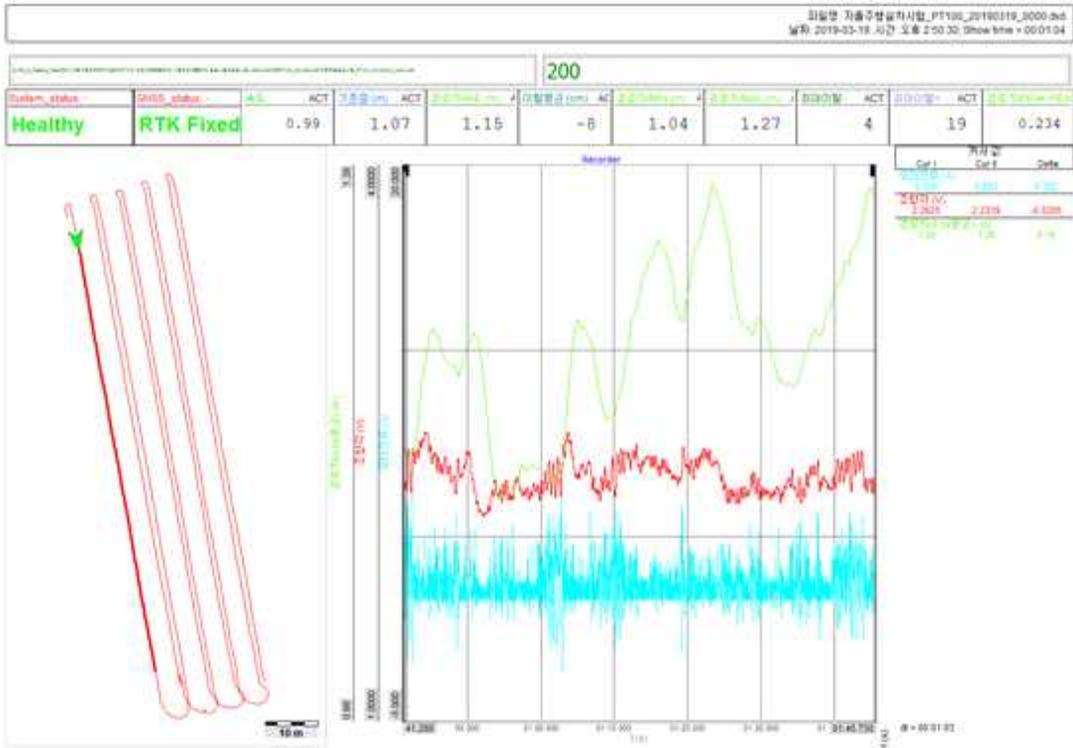


그림 202 측정 데이터 분석



그림 203 실증용 차량 이앙 작업 후 결과

2. 자율 직진 조향 시스템 개발

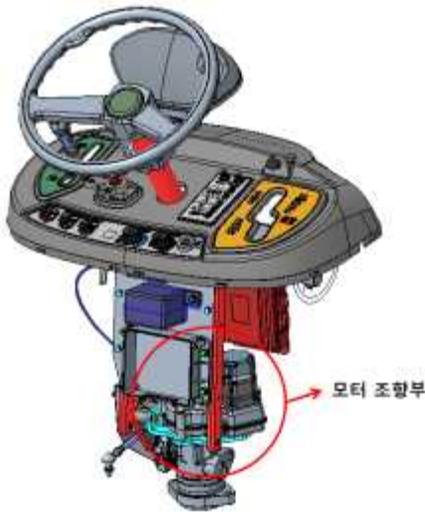
가. 자동 선회 국제종합기계 승용이양기 부품 및 실증용 차량 제작

1) 주요 기능 시작품 제작

㉠ 조향부 설계 및 시작품 제작

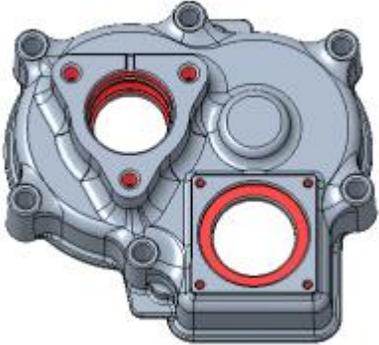
○ 조향부 시스템 구조

- 조향부 모듈은 모터 구동기어에서 동력이 발생되어 연결축 조합부(제 1축부), 조향축 조합부(제 2축부)로 전달되는 시스템이며, 총 기어비는 16:1임
- 1축부는 기어A 14T, 기어B 56T로 구성하여 감속비 4:1로 구성되어 있으며, 2축부는 기어C 15T, 기어D 60T로 구성하여 감속비 4:1로 구성되어 있음
- 모터 구동을 통한 스티어링 제어 방식이며, 조향 토크 2.5~3kgf·m 입력 시 유성기어에서 약 140kgf·m 토크가 발생하여 휠 구동
- 조향부 시스템은 케이스 상, 케이스 하, 조향샤프트(상, 하), 중간 연결축, 조향모터, 키 2종, 베어링 2종, 기어 4종 등으로 구성되어 있음



○ 조향부 사양 및 1차 시작품

- 케이스부
 - 기어박스가 조립되는 케이스 상, 하로 구성되어있음
 - 다이캐스팅 정밀 주조 방식으로 제작되어지며, 연결판을 통해 토크제너레이터와 조립되어짐

케이스 상	
MODELING	1차 시작품
	
케이스 하	
MODELING	1차 시작품
	

- 기어 및 축류

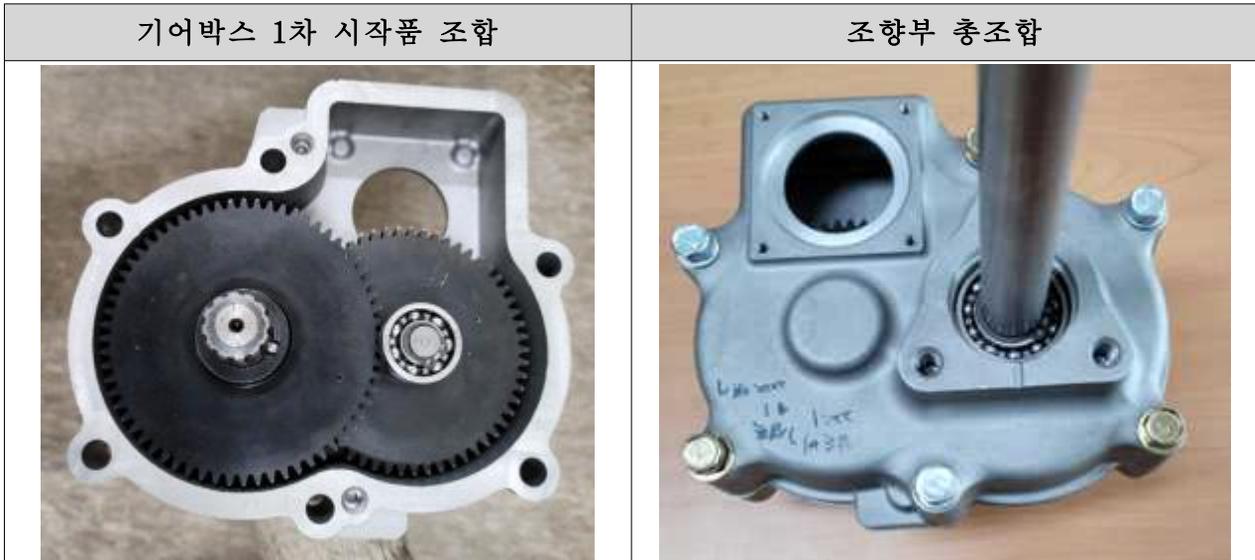
- 총 2쌍의 기어로 구성되어 있으며, 1축부 기어A, 기어B, 2축부 기어C, 기어D로 동력을 전달하는 구조임
- 기어 재질은 SCM415를 사용하였으며, 1축부 기어비 4:1, 2축부 기어비 4:1로 총 기어비 16:1로 설계
- 축 재질은 SM45C를 사용하였으며, 키자리 1개소, 스냅링 취부자리 5개소로 설계
- 축 스플라인부 및 핀 조립부 고주파 열처리함

	기어A		기어B	
모듈	1.5		1.5	
압력각	20°		20°	
잇수	14		56	
기준피치원경	∅21		∅84	
이끝원직경	58.387		86.579	
이뿌리원직경	18.671		79.863	
기초원직경	19.734		78.934	
형상	MODELING	1차 시작품	MODELING	1차 시작품

				
	기어C		기어D	
모듈	1.5		1.5	
압력각	20°		20°	
잇수	15		60	
기준피치원경	∅22.5		∅90	
이끝원직경	26.862		93.066	
이뿌리원직경	20.184		86.388	
기초원직경	21.143		84.572	
형상	MODELING	1차 시작품	MODELING	1차 시작품
				

	조향 샤프트 축	
피치	16/32	
압력각	30°	
잇수	12	
기준피치원경	∅19.050	
대경	∅20	
소경	∅16.586	
형상	MODELING	1차 시작품
		

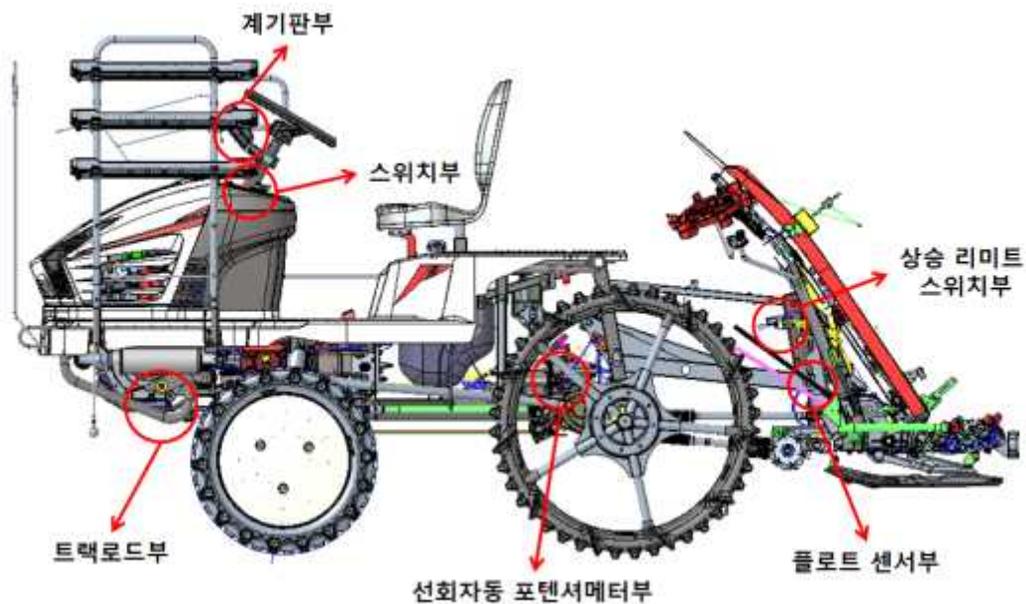
- 조향부 1차 시작품 조립



㉞ 선회부 설계 및 시작품 제작

○ 선회부 시스템 구조

- 선회 자동 시스템은 핸들 조향 시 트랙로드부에서 자동 선회 로드가 구동됨
- 이 때, 선회로드 후방에 위치한 포텐서 메터가 핸들 조향각을 인식하며 일정 각도 이상 조향각이 틀어지게 될 경우 식부부를 자동으로 상승시키도록 신호를 전달함
- 식부부는 행거베이스에 부착되어있는 리미트 스위치가 접지되어지는 위치까지 상승하게 되며, 선회 후 조향각 센서의 선회 인식 값이 복귀하면 자동으로 식부부가 하강함
- 플로트가 지면에 닿지 않으면 식부 연결이 되지 않음



○ 선회부 사양 및 1차 시작품

- 스위치 박스 조립
 - 선회자동, 수평제어 등 7가지 제어 기능을 수행하는 통합 스위치박스임.

- 다이얼 및 버튼식 조작 구조
- 케이스는 ABS 재질, 명판은 PC 재질을 사용하였으며 걸이식 조립방식으로 탈부착이 용이하도록 설계

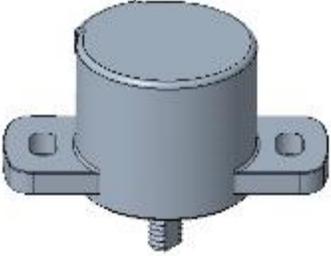
MODELING	SPECIFICATION	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 정격 전압: DC 12V 2. 작동온도범위: -20~80℃ 3. 절연저항: 2MΩ이상(DC500V Megger 상온, 상습에서) 4. 내수성: 정규 자세로 부착한 상태로 KSR0015 S2시험 뒤 1시간 방치 후 정상 동작할 것. 5. 내진동성: 진동 가속도 4G에서 X, Y, Z 세 방향 각 2시간 시험 후 이상 없음 6. 저온방치: -30℃에서 4시간 방치 후 상온에서 정상동작 7. 고온방치: 80℃에서 4시간 방치후 상온에서 정상동작 	
시작품	조립성 확인	
		

- 계기판 조합
 - 선회자동 작동 유/무를 LED 점등을 통해 표시해주며, 그 외 기능 작동 유/무와 작업 모드, 체크 모드 등을 표시해주는 기능을 함
 - 계기판 제어 방식은 CAN 통신 방식이며, 나사 조립타입으로 탈부착이 용이하도록 설계함

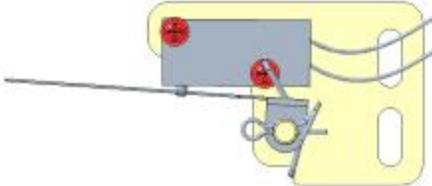
SYMBOL	PTO					
NAME	PTO	TURN(L)	TURN(R)	자동 선회	미카 좌	미카 우
색 상	GREEN	GREEN	GREEN	GREEN	GREEN	GREEN
사용 기종	(CAN)	(H)	(H)	(CAN)	(CAN)	(CAN)
SYMBOL						
NAME	주의	비료 보급	비료 역행	엔진 온도	시작 없음	오 없음
색 상	RED	RED	RED	RED	RED	RED
사용 기종	(CAN)	(CAN)	(CAN)	(CAN)	(CAN)	(CAN)
사용 LAMP	LED					
비 고	SYMBOL은 합동시 부과,부고하는 사항일 것.					

MODELING	SPECIFICATION
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 정격 전압: DC 12V 2. 사용전압 범위: DC 10~16V 3. 암전류: 3mA 이하 4. 기준온도: 20℃ (-20~80℃) 5. 내구성: 1CYCLE 30000회 작동 후 각 부위에 이상 없음 6. 내수성: KS R 0015의 S1 시험 후 수분 잔류 없고, 유리 내부 흐림 발생하지 않음 7. DUST 시험: KS R 1063(자동차 부품의 먼지 시험)의 부유 시험 F 중 구분3에 따라 일반 성능 만족
시작품	조립성 확인
	

- 선회자동 포텐서 메터
 - 핸들 조향 시 선회로드에 의해 조향 각도를 인식하며, 컨트롤러에 센싱 신호를 보내주는 역할을 함

MODELING	SPECIFICATION	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 전기적 유효각도: 110±3° 2. 기계적 유효각도: 120±5° 3. 정격전력: 0.2W at 70℃ 4. 사용온도범위: -25~80℃ 5. 정격전압: MIN 4.5~MAX 5.5V 6. 내진성: 30G X, Y, Z 각방향 12hr 7. 고온방치: 120℃ 48hr 방치 8. 저온방치: -40℃ 48hr 방치 	
시작품	조립성 확인	
		

- 상승 리미트 스위치
 - 선회 시 자동으로 식부부가 상승되었을 때, 식부부 상승 높이를 제한하는 역할을 하는 스위치

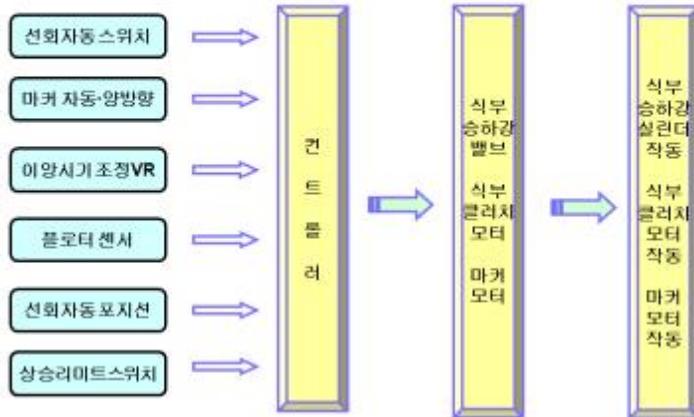
MODELING	SPECIFICATION	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 정격: 12V, 5A 2. 사용전압범위: DC 10V~16V 3. 사용온도범위: -30~70℃ 4. 내구성 <ul style="list-style-type: none"> - 기계적 작동횟수: 200,000회 - 전기적 작동횟수: 100,000회 	
시작품 및 조립성 확인		
		

2) 선회 자동화 식부 제어 시스템 튜닝

① 식부제어 컨트롤러 동작 사양

○ 선회 자동 동작 사양

자율 직진 주행 이양기 컨트롤러 동작사양_선회자동



- 조건

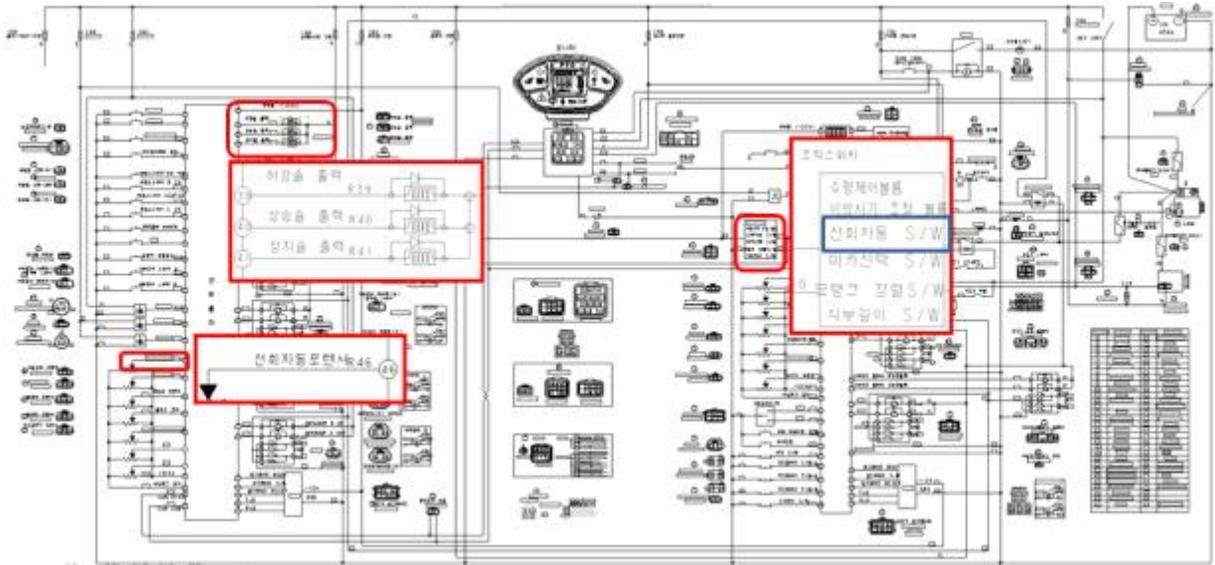
- 선회 자동 스위치 ON & 마커 자동 스위치 ON 조건이 갖추어지면 자동 모드로 되어 선회자동 스위치 램프 점등 및 작동 가능을 알림

- 동작

- 선회 자동 스위치 ON & 마커 자동 스위치 ON 조건 시 선회자동 포지션 센서에 의해 작동 신호 전달(1.57V이하 OR 3.53V이상)
- 식부 연결 후 채터링 및 ERROR 인식으로 식부 상승을 방지하기 위해, 식부 하강 후 약 3m는 핸들 선회 시에도 선회자동 미작동
- 침지부에서 후진 시 선회자동은 일시 정지 및 대기 모드로 진입하며, 부저 울림과 자동램프 점멸됨(대기모드 상태에서 식부 수동하강 및 PTO 연결 시 선회자동 재작동)
- 식부부 상승위치는 식부 상승리미트 스위치에 의해 제한됨
- 플로터가 지면에 닿지 않을 경우 식부(PTO) 연결되지 않음

	선회자동 S/W	마커 S/W	선회자동포텐서	식부부 동작	식부모터	비고
1	ON	ON	ON	상승	OFF	# 선회자동은 포텐서 메터를 읽어 하강 및 식부 연결시점을 식입시기 조정 불륨에 비례하게 동작
2	ON	ON	OFF	하강	ON	
3	ON	OFF	ON	상승	OFF	
4	ON	OFF	OFF	상승유지	OFF	

㉔ TRP60 선회자동 관련 회로도



나. Field 검증 시험 및 문제점 보완

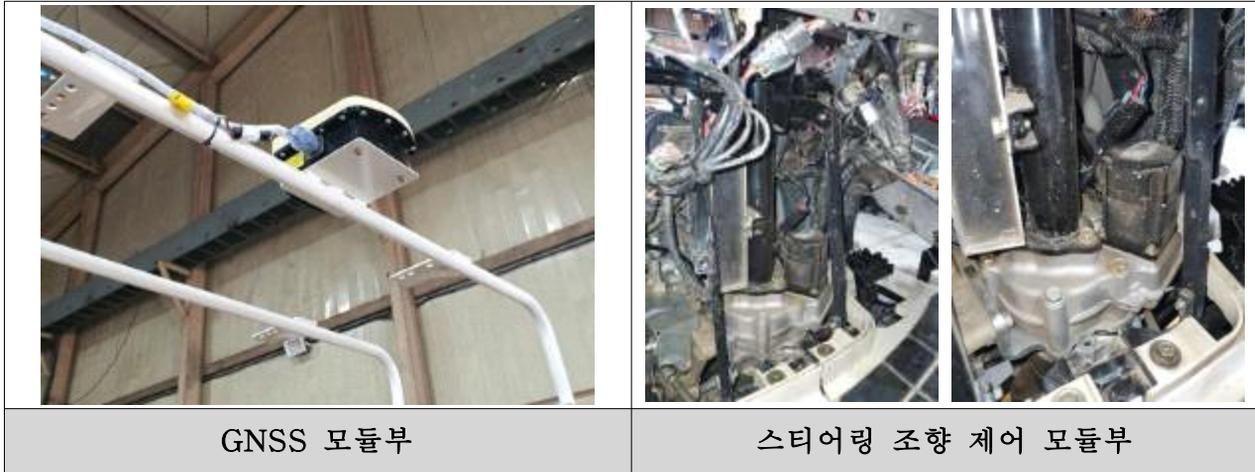
1) 자동 선회 및 직진 자동화 기능 성능 시험

㉔ 자율 주행, 자동 선회 및 직진 자동화 작동 시험

○ 각 모듈부 장착

- GNSS 모듈 시작품(환경 인식 융복합 센서) 장착
- 스티어링 조향 제어 모듈 시작품 장착
- 통합 컨트롤러 제어 모듈 시작품 장착
- 직진 주행 레버부 시작품 장착
- 기타 연결 배선 장착





GNSS 모듈부

스티어링 조향 제어 모듈부



통합 컨트롤러 제어부

직진 주행 레버부

○ 본기부 성능 시험

- 자동주행 입력 시 부저음 3번 울리면 좌 또는 우 이탈($\pm 3.5^\circ$)
- 시동 OFF 시에도 일정 시간동안 시작점/종료점 기록 유지(장시간 미시동 시 기록 해제)
- 저속/중속/고속 주행 시에도 경로 인식됨
- 시작점/종료점에 가까워지면 부저음이 빨라지며 시동 OFF
- 시동 OFF되기 전 자동주행 재 입력 시 시동 ON 상태에서 수동모드 전환
- 시동 OFF되기 전 수동 선회 시(과토크 입력) 자율조향 모드 해제되면서 수동모드 전환
- 후진 시 자율조향은 되나 경로를 이탈하고 과다 이탈 후 전진 시 시동 OFF

1. 시험명	· 자율 주행 이양기 노상 성능 테스트	
2. 시험 기종	· 자율 직진 어시스트 승용 산파 이양기	
3. 시험 조건	· 콘크리트 또는 아스팔트에서 시험(선회 자동화는 포장지에서 시험) · 시험 속도는 표준 작업 속도로 하되, 필요 시 저속, 고속에서도 시험 · 시험 행정은 50m로 하고, 눈에 보이게끔 중앙선을 표시	
4. 시험 항목		RESULT
가) 주행 시험	· 시작점 및 종료점이 목표한 지점에서 등록이 되는지 확인	등록

	· 선회 후 3m 직진 시 GS모드 작동 여부 확인	작동
	· 좌이탈 / 우이탈 시 경보음 작동 여부 확인(±3.5°)	작동
나) 연속운전 시험	· 전파 송·수신의 이상 발생 여부 확인	이상 없음
	· 1h 이상 연속 운전 중 전파 송·수신 장치의 이상에 의한 전파의 끊김 횟수 확인	끊김 없음
다) 위험회피 성능	· 회피 또는 긴급정지 가능 여부	가능
	· 주행 경로 상 장애물이 있을 경우 정지 시 경보장치 작동 여부를 확인	작동
라) 기타 안전 사양	· 기체가 시작점/종료점에 가까워지면 부저음이 빨라지며 시동 OFF 되는지 확인	0
	· 시동 OFF 되기 전 자동주행 재입력 시 GS모드 해제 및 수동 모드 전환 확인	GS 해제 및 수동 전환
	· 시동 OFF 되기 전 핸들 수동 선회(과도크 입력) 시 GS모드 해제 및 수동 모드 전환 확인	GS 해제 및 수동 전환
마) 방수 시험	· 작업 및 세척 후 침수에 의한 합선, 쇼트 등 이상여부	이상 없음
바) 선회자동화 (포장지)	· 포장지 내 선회 시간 및 선회 반경	19.5s / 169cm
	· 회행 후 희망 식부위치와의 오차 거리	9cm



<본기부 노상 성능 시험>

2) 문제점 개선 보완

① 식부부 자동화 문제점 개선

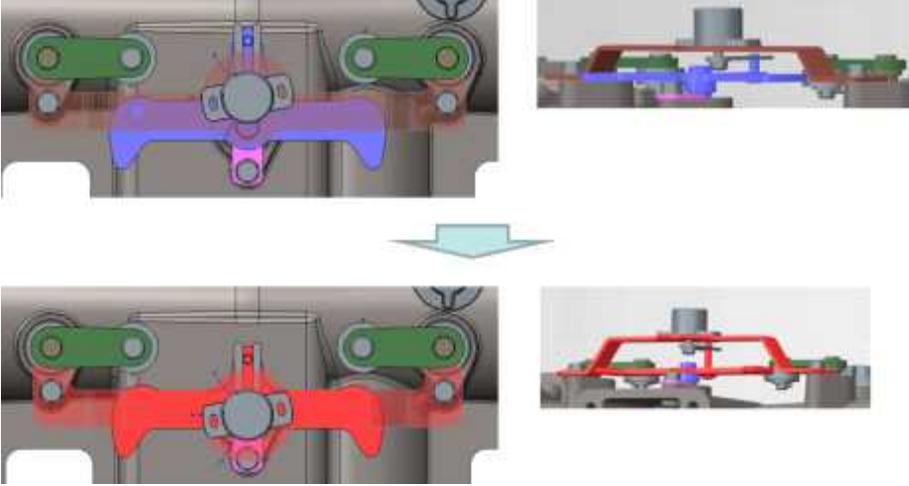
○ 문제점 및 원인

- 최대 조향시 포텐서 센서값이 에러범위와 근접 또는 에러범위에 진입하여 모니터에 '선회자동에러' 표시 됨
- 직진 이양 시 핸들을 조금만 돌려도 선회자동 인식 됨
- 조향부 스톱퍼의 편차에 의해 각이 큰 경우 발생

- 조향 시 틈새에 의해 중립 위치가 수시로 변경 되어 포텐서 에러범위 진입

○ 개선 방안

- 선회로드 조립부 치수 수정: 12.1~12.2 → 12.0~12.1
- 포텐서 미터 위치를 사이드 클러치축과 동축상에 위치
- 선회자동 시점 현 수준 유지



다. 2차 실증용 차량 핵심부품 공용화 설계

1) 2차 주요 기능 사양 검토 및 보완

④ 조향부 주요 부품 보완 검토 및 2차 시작품 제작

○ 조향부 모듈 경량화

- 조향부 기어박스 내 기어 B와 기어 D를 원주방향 4등분 구멍을 뚫어 경량화 개선
- 부가적으로 소재 절감을 통하여 원가 절감을 실현함

	MODELING	2차 시작품	참고도
기어B			
기어D			

○ 조향부 모듈 방수성 향상 및 내부누유 개선

- 케이스 하 · 토크제너레이터 조립부, 케이스 상 · 스티어링 모터 조립부 O링 삽입
- 스티어링 축 조립부 오일실 삽입
- 오일실 및 O링 부품 조립을 통하여 외부에서 유입될 수 있는 이물질 및 물에 대하여 방수성을 확보하였으며, 내부 그리스 또는 오일 등 윤활제의 누유를 방지할 수 있도록 함

3. 자율주행 경로 생성 및 추종 알고리즘 개발

가. 자율주행 알고리즘 검증 시스템 구성

1) 이앙기 레이아웃

- 대동공업 DRP60D 이앙기

	형식명	DRP60D (D:디젤)
구분	호칭마력(PS)	22
탑재엔진	형식	수냉 3기통 디젤
	최대/회전수(kW/rpm)	16.3/3,000
	배기량(cc)	1,007
	연료소비율(g/kWh)	274
	연료탱크용량(l)	40
체원	길이x폭x높이(mm)	3,300x2,600x2,275
	최저지상고(mm)	430
	중량(kg, 무부하)	810
	축거	1,060
	전륜x후륜경(mm)	650x950
	앞차축 윤거	1220
	뒷차축 윤거	1200
	뒷차축 식부 간 거리	1100
주행부	변속단수	전진 : 2단, 후진 :1단 무단 HST부변속 *속도 제어 없음
	스티어링 시스템	CAN 통신 제어 가능한 EPS 장착 (토크 제어)
		앞차축 앵글 센서 장착
이앙부	조간거리(cm)	30
	주간거리(cm)	12,14,16,18,20,22 (6단)

그림 251 Daedong rice tansplanter specification

- 스티어링 모터의 토크 제어 범위는 - 300 ~ 300 Nm이며 모터가 동작하지 않도록 설정한 토크 범위(Dead band)는 - 100 ~ 100 Nm
- 리졸버의 정확도는 최대 +-10도의 오차를 보임

2) 전자식 파워 스티어링 (Electric Power Steering) 시스템 구성

Ⓐ 시스템 구성

- 대동공업 DRP60D 조향 모터, 인버터 및 앞바퀴의 조향 각도 피드백을 위한 리졸버 사용
- 대동공업 조향 시스템 조합에 대해 서울대에서 PID 각도-토크 제어 적용
- 서울대 자율주행 소프트웨어에서 PID 제어를 통해 각도를 토크로 변환하여 CAN 통신을 통하여 대동공업 차량 제어기로 송신, 차량 제어기로부터 리졸버의 앞바퀴 조향 각도 정보 수신
- OBDII 케이블과 NI CAN USB-8473 모듈을 통해 CAN 통신 연결
- CAN 메시지 프로토콜은 대동공업의 프로토콜을 따라 정의

항목	단위	
정격출력		
정격 토크		
최대토크		
정격 속도		
최대 속도		
정격전류		
순간최대전류		
회전자관성		
권선온도상승		
보호방식		

그림 252 Daedong steering motor specification

항목	단위	
Input Voltage		
Transformation ratio		
Accuracy		
Input Impedance		
Output Impedance		
Max Speed		
Operationg temperature		
Mass		
Output Voltage Equation		

그림 253 Daedong Resolver specification

⑧ PID 제어 내용

- Resolver를 통해 앞바퀴의 각도 값을 -55도 ~ 55도 범위 내에서 측정
- PID gain이 적용된 값에 각도 값을 토크 값으로 선형 변환하는 계수 a 를 적용
- 1km/h로 주행 상태일 때 목표값에 대해 오버슈트 5~10도, 지연시간 0.5초 정도 존재 (그림8-Steering angle comparison on autonomous driving 참조)

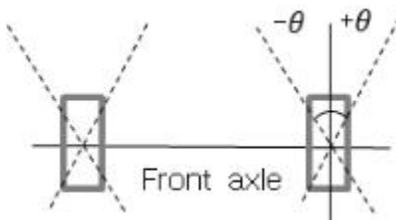
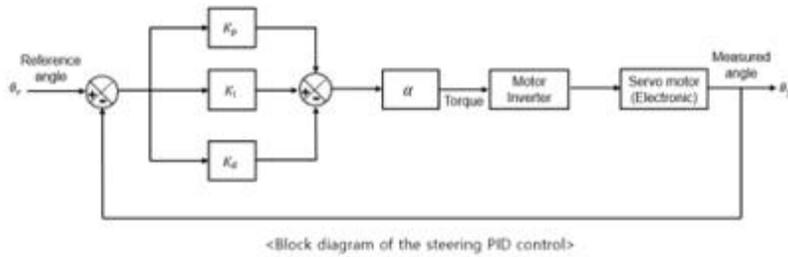


그림 254 steering angle measurement



$$u(t) = \alpha \left\{ K_p(\theta_r - \theta_y) + K_i * \int_{t_0}^t (\theta_r - \theta_y) dt + K_d * \frac{d(\theta_r - \theta_y)}{dt} \right\}$$

where,

- θ_r = reference angle
- θ_y = measured angle
- K_p = proportional gain
- K_d = differential gain
- K_i = integral gain

α = coefficient to convert angles to torque values

그림 255 a block diagram and an equation of the PID control

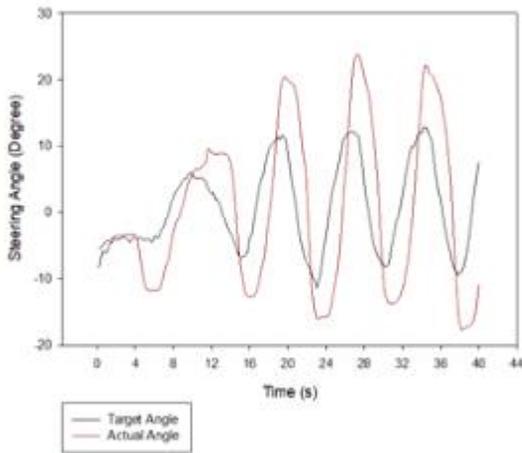


그림 256 Steering angle comparison on autonomous driving

3) GNSS 시스템 구성

- 서울대에서 개발한 1차년도 알고리즘의 경우 정확한 경로 추종을 위하여 위치와 방향각 정보를 필요로 함
- 센서의 성능에 의한 영향을 배제하고 알고리즘의 검증을 위해 신뢰성이 있는 위치 및 방향각 데이터가 요구되며, Dual Antenna GNSS는 위치 및 방향각에 대해 정확도가 높음
- 알고리즘 검증 후 이를 실제 개발하고자 하는 자율주행 이양기의 센서 구성에 적합하도록 Single GNSS에 적용하기 위한 실험을 수행
- 1차년도에 개발한 서울대 경로 추종 알고리즘에는 노면에 의한 GNSS 안테나 위치의 기울어짐을 보상하기 위한 알고리즘 (tilting compensation)이 존재하며 이를 적용하기 위해서는 IMU의 자세 정보가 필요함

Ⓐ Dual Antenna GNSS

- Synerex 사의 TDR-3000 GNSS Receiver를 사용하였고 이 제품은 MBC로부터 위치 정보 보정 신호를 LG U+plus의 4G LTE 통신망을 통해 수신
- RS-232 시리얼 통신을 통해 자율주행 소프트웨어로 NMEA 형식 데이터를 직접 수신

Synerex TDR-3000	
Antenna	Dual Frequency Antenna
Correction Signal	LTE (MBC Broadcast RTK)
Output format	RS232 - NMEA GGA, RMX, HDT
Frequency	20Hz
Position Accuracy	0.010m + 1 ppm CEP(RTK)
Heading Accuracy	0.3 deg (baseline length > 2m)
GNSS TTFF	Cold start : 24~29 sec Aided start : 2 sec
Convergence time	10~30 sec
Input Voltage	12 ~ 24 V
size	174mm (w) x 145 mm (h) x 45 mm (d)
Temperature range	-40 ~ 85°C
Multi-GNSS	GPS/Galileo/GLONASS/BeiDou

그림 257 Dual antenna GNSS specification

㉞ Single Antenna GNSS

- 대동공업에서 개발한 GNSS 모듈을 사용
- 대동공업 GNSS에서 나오는 데이터는 차량 제어를 거쳐 CAN 메시지로 자율주행 소프트웨어에 전달

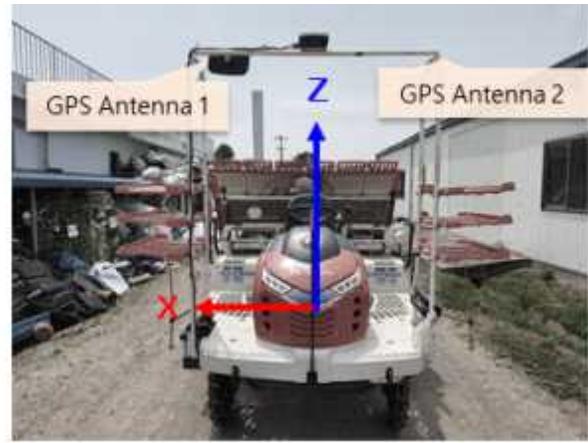
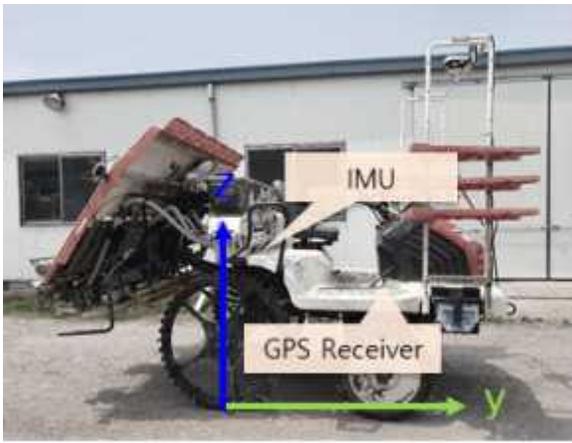
㉟ IMU

- SBG 사의 Ellipse-E IMU를 사용하여 USB 2.0 통신을 통해 자율주행 소프트웨어에서 데이터를 직접 수신

SBG Ellipse-E IMU	
Roll/Pitch	0.1°
Heading(Yaw)	0.8° Magnetic
Output rate	200Hz
Serial Interface	RS-232, RS-422, USB - up to 921,600 bps
Serial protocols	Binary eCom, NMEA, ASCII, TSS
size	46 * 45* 24 mm (49g)

그림 258 IMU specification

㊱ GNSS Antenna 및 IMU의 설치



- 그림 259 Local Right-handed Cartesian Coordinates from the rear-axle center
- Dual GNSS 안테나 간격은 1,330mm로 설치하였고 실제 GNSS Position 위치는 두 안테나의 중심에서 계산되도록 함
 - 뒷차축으로부터 실제 GNSS Position 위치까지의 거리는 X : 0 Y : 1,080 mm Z : 2,400 mm
 - IMU의 설치 위치는 뒷 차축 중심

4) Controller

- 자율주행을 위한 상위 제어기는 1차년도와 같이 LabView 기반 소프트웨어로 제작
- 제어는 Laptop을 CAN 통신으로 차량 제어기와 연결하여 제어
- C언어로 작성된 경로 생성 프로그램과 LabView 기반 경로 추종 프로그램 사용
- 제어에 사용된 Laptop은 Intel Core i7 7700HQ CPU에 RAM 8GB, Windows 10 OS
- 3차년도에는 실제 홍익대학교에서 개발한 임베디드 제어기에 경로 생성 및 추종 프로그램을 탑재하여 제어



<LabView 기반 자율주행 이앙기 소프트웨어>

그림 260 autonomous rice transplanter software

나. 1차년도 개발 자율주행 기술 적용 평가

- AB Line 기반 U형 선회 경로 적용 (선회반경 : 0.9m, 6조 x 30cm 작업폭 1.8m의 절반)
- 1차년도의 Extended Ackerman Kinematic Model(EAKM) 기반 동적 경로 추종 알고리즘을 적용하였으며, 선견거리(Look-ahead distance)를 도입하여 선견점(Look-ahead point)에서 EAKM을 기반으로 조향각을 산출함

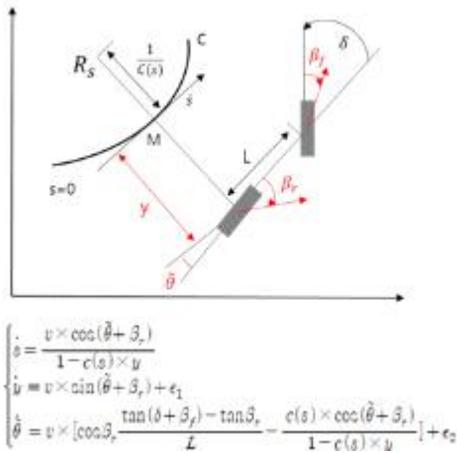


그림 261 Extended Ackerman Kinematic Model

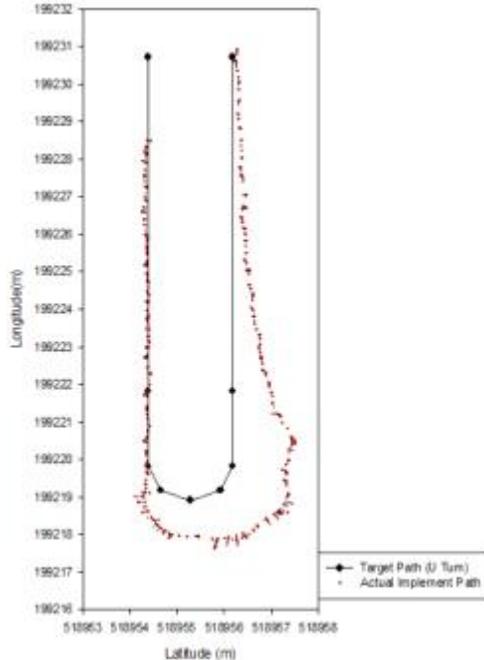


그림 262 U turn implement trajectory

- 실험은 서울대학교 수원 농장의 마른 논에서 수행
- U형 선회의 경우 생성한 경로를 제대로 추종하지 못함
- U형 선회에서 이러한 오차가 나타나는 원인은 이양기의 조향 특성이 Ackerman Steering 모델의 조향 특성과 차이가 있기 때문
- 서울대에서 개발한 자율주행 기술은 Kinematic Bicycle Model을 기반으로 하고 있으며 이 Bicycle Model은 Ackerman Steering 특성을 나타냄
- 그러나 실제 이양기의 경우 일정 이상 각도로 선회하게 되면 차동 장치가 적용되어 U형 선회가 가능한 선회 반경을 얻을 수 있음
- 조향 특성 차이는 기구학적 차량 주행 모델의 차이를 만들어내고 이는 Bicycle Model이 생성하는 조향각과 실제 U형 선회에 요구되는 조향각은 차이가 날 수 있음을 의미
- 따라서 1차년도 개발 알고리즘에 대해서는 Ackerman Steering Model의 선회반경과 Bicycle Model의 선회반경이 일치하는 조향 각도에서 알고리즘이 동작해야 한다는 조건을 발견할 수 있음(교차점 이상의 조향각도에 대해서는 경로를 벗어나는 것에 대해 Ackerman Steering으로 보상할 수 없으나 교차점 이하의 조향각도에 대해서는 Ackerman Steering으로 보상이 가능, 선회 구간 추종시 약간의 진동 발생 가능성 존재)

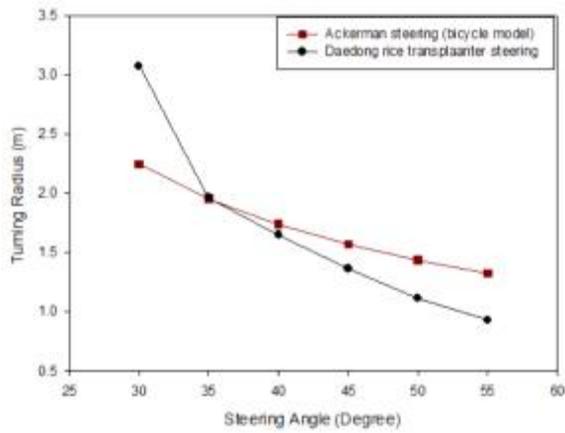


그림 263 Turning radius comparison

- 1차년도 개발 알고리즘의 조건 하에서는 U형 선회 경로는 선회 후 진입 오차가 크므로 뒷차축 기준 선회반경이 0.9m보다 클 경우에 적용 가능한 다른 선회 패턴 적용이 요구됨
- 주행 모델 차이로 인한 오차를 해결하고 U형 선회가 가능한 자율주행 기술 개선이 필요하며 이와 관련해서는 3차년도에 추가적으로 알고리즘을 보완할 계획
- 직진 구간에서는 1차년도 개발 알고리즘을 적용하여 자율주행을 수행

다. 경로 생성 알고리즘 개선 - 인접열 최적 선회 경로 생성 알고리즘

1) AB Line 기반 경로 생성

- Extended Kinematic Bicycle Model(Han, 2019)을 사용하는 자율주행 알고리즘은 이양기와 조향 모델이 달라 선회 반경에 대한 제한조건 발생
- 조향각 35도 이하인 경우에 적용가능하며, 이 때 뒷차축 기준 선회 반경은 U턴에 필요한 선회 반경인 0.9m를 초과
- 포장 내 첫 작업열을 작업자가 직접 작업하며 A점, B점 두 포인트의 좌표를 취득
- 출발점에서 A점의 좌표를 얻고 첫 열 작업을 마치고 선회하기 전 B점의 좌표를 취득하면 두 좌표를 바탕으로 자동 선회 구간과 직진 경로를 생성

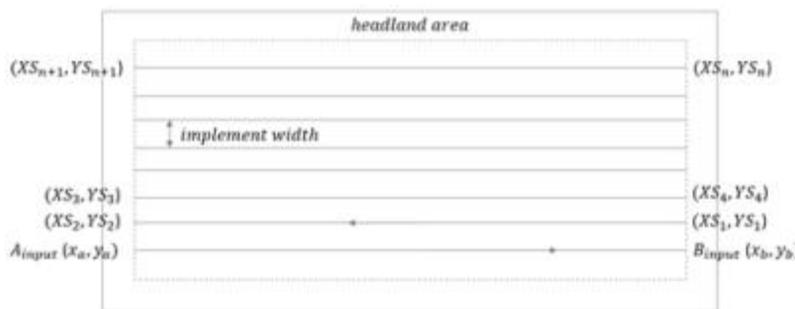


그림 264 Straight path generation



그림 265 AB Line

2) 인접열 최적 선회 경로 생성

- 자동 선회를 위한 경로는 선회 후 진입 구간에서 발생하는 오차를 최소로 하는 최적 경로 형태로 생성
- 선회 반경이 0.9m를 초과하여 U형 선회가 불가능한 경우에는 선회 후 직진 구간으로

진입하는 구간에서 급격한 스티어링으로 진입 오차가 발생할 수 있으며 이는 직접적인 작물의 손상으로 이어질 수 있고 이 구간에서는 직진 작업을 진행할 수 없음

- 따라서 이양기의 자동 선회 시에는 진입 오차를 최소화하면서 전체 선회 시간이 최소가 되는 경로가 필요

- 최소 선회 시간 경로생성을 위해 시간 비용 함수 정의

$$C_{\text{headland}} = C_{\text{geometric turn}} + C_{\text{error}} + C_{\text{adjust}}$$

where, C_{headland} : The cost of the headland turning
 C_{turn} : The cost of the geometric turn
 C_{error} : The cost of the turning error
 C_{stable} : The cost of the travel path for the stable state

그림 266 an equation for time cost estimation

- 선회 형태는 일반적으로 농작업에 사용되는 형태인 Omega, R형 선회에 더하여 R형 선회를 역방향으로 선회하는 Reverse R형 선회 형태를 새롭게 제시하고 아래 그림과 같은 각각의 선회 형태에서 β 값을 10도 단위로 변경시켜 다양한 길이와 곡률을 갖는 선회 패턴을 생성

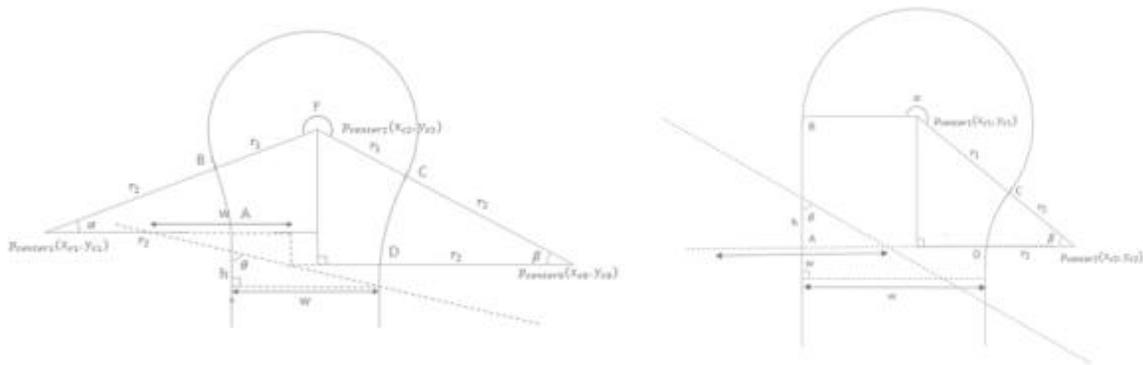


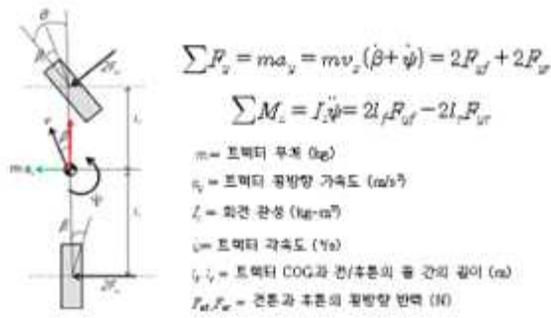
그림 267 Omega / R / Reverse R Turn Geometric Model

3) 시뮬레이션을 통한 진입 오차 추정

- 최적 선회 경로 생성을 위한 진입 오차를 추정하기 위해 Han(2019)이 개발한 Extended Kinematics Bicycle Model 기반 트랙터 시뮬레이터 및 RobotisLab 시뮬레이터 활용

- 이 시뮬레이터는 동역학적 요인을 기구학 모델에 반영할 수 있는 장점이 있어 조향 특성이 일치할 경우 실제 환경을 유사하게 반영할 수 있음

- 각 선회 형태마다 경로 추종 모델에 필요한 파라미터를 해당 선회 형태에서 최소가 되도록 최적화



$$\sum F_x = ma_x = mv_x(\dot{\beta} + \dot{\psi}) = 2F_{t,f} + 2F_{t,r}$$

$$\sum M_z = I_z \ddot{\psi} = 2l_t F_{t,f} - 2l_t F_{t,r}$$

m = 트렉터 무게 (kg)

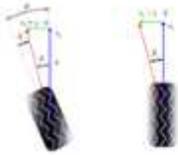
v_x = 트렉터 진행방향 속도 (m/s)

l_t = 회전 관성 (kg-m²)

$\dot{\psi}$ = 트렉터 각속도 (rad/s)

l_t, l_i = 트렉터 COG과 컨/후분의 둘 간의 길이 (m)

$F_{t,f}, F_{t,r}$ = 전륜과 후륜의 진행방향 반력 (N)



$$F_{t,f} = C_t \beta_f = C_t \left(\theta - \frac{v_x + l_t \dot{\psi}}{v_x} \right)$$

$$F_{t,r} = C_t \beta_r = C_t \left(-\frac{v_x - l_t \dot{\psi}}{v_x} \right)$$

Extended Kinematics Bicycle Model
(Zhang et al, 2009)

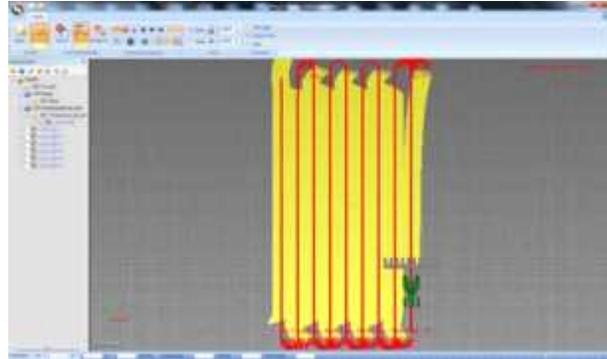


그림 269 Simulator

그림 268 Extended Kinematics Bicycle Model

- 시뮬레이터에서 각 선회 형태에 대한 비용함수를 추정했을 때 결과는 아래 그림과 같으며, Reverse R형 (beta=70 deg.) 선회가 가장 최적으로 나타남
- 기하학적인 비용만을 고려했을 때는 Omega 형 (beta=60 deg.) 선회가 가장 짧게 나타났으나 알고리즘 적용시 Reverse R형 선회로 경로를 생성하게 됨

Type	θ (deg.)	α, β (deg.)	C_{turn} (sec)	C_{adjust} (sec)	C_{total} (sec)	Headland (m)
OMEGA				<5cm		
	280	50	98.8	4.7	103.5	11.24 (>6 rows)
	260	40	112.4	0	112.4	6.89 (>3 rows)
	240	30	125.6	1.4	127	10.05 (>5 rows)
	220	20	162.6	0.8	163.4	12.474 (>6 rows)
Type	β (deg.)		C_{turn} (sec)	C_{adjust} (sec)	C_{total} (sec)	Headland (m)
R				<5cm		
	50		140.7	0.6	141.3	10.03 (>5 rows)
	60		127.4	0	127.4	8.04 (>4 rows)
	70		117.2	0	117.2	7.07 (>3 rows)
Type	β (deg.)		C_{turn} (sec)	C_{adjust} (sec)	C_{total} (sec)	Headland (m)
RR				<5cm		
	50		136.2	0	136.2	9.36 (>5 rows)
	60		123.9	0	123.9	8.04 (>4 rows)
	70		111.4	0	111.4	7.07 (>3 rows)

그림 270 Turning cost estimation

라. 2차년도 개선된 자율주행 기술 실차 적용 평가

1) Reverse R형 선회 및 직진 자율주행 평가

- 앞서 항목에 기술한 자율주행 시스템 구성으로 실차 적용 실험 진행 (Daedong DRP60D)
- 시뮬레이션을 통해 진입오차를 추정하여 최적으로 생성한 Reverse R형 (beta=70도) 경로를 1km/h 속도로 일정하게 자율주행 추종하도록 함
- 서울대학교 수원 농장에서 실차 실험을 진행하였으며, 무논 환경에서 실험을 진행하지는

못하고 아래 그림과 같이 어느정도 수분이 존재하는 환경에서 실험 진행



그림 271 서울대학교 수원농장 실험 포장

- 선건거리는 시뮬레이션을 통해 최적화한 값을 그대로 적용하여 사용
- 실험 결과 아래 그림과 같이 생성된 경로를 잘 추종함
- 직진 구간 평균 위치 횡편차 RMS는 약 0.05cm, 방향각 오차 RMS는 0.96도 나타났으며 평균 선회시간은 120.24초, 전체 직진구간에서 최대 횡편차는 15cm를 초과하지 않음
- 이러한 결과는 개발된 자율주행 기술이 농작업에 충분히 사용될 수 있으며 선진사 직진 자율주행 상용 이앙기에서 제시하고 있는 최대 편차 값과 유사한 수준

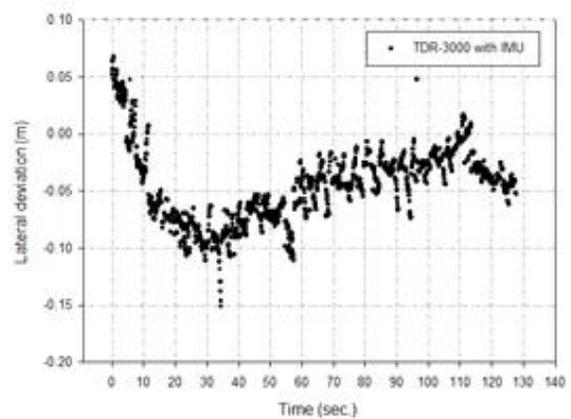
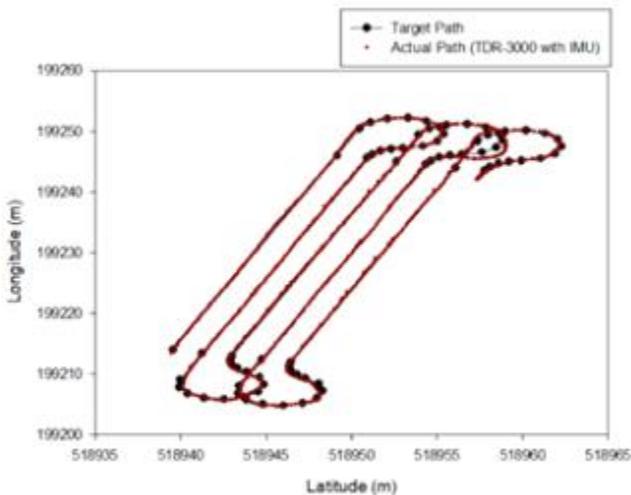


그림 272 Reverse R Turn trajectory R=2.5m

그림 273 Lateral deviation from turning to straight section

	Position RMSE (m)	Heading RMSE (m)	Max deviation (m)	Total Turning Time (s)
Line1	0.0292	0.9266	0.1397	112.8
Line2	0.0394	0.93	0.1196	114.9
Line3	0.0829	1.08	0.1461	120.9
Line4	0.0561	0.9397	0.1499	127.8
Line5	0.0462	0.9277	0.1295	124.8

그림 274 Reverse R-turn Performance

2) Omega형 선회 및 직진 자율주행 평가

- 앞서 항목에 기술한 자율주행 시스템 구성으로 실차 적용 실험 진행 (Daedong DRP60D)

- 기하학적으로 가장 짧은 경로인 Omega (beta=60 deg.) 경로를 1km/h 속도로 일정하게 자율주행 추종하도록 함
- Reverse R형 자율주행 실험과 동일 환경에서 실험 진행
- 선건거리는 시뮬레이션을 통해 최적화한 값을 그대로 적용하여 사용
- 실험 결과 아래 그림과 같이 생성된 경로를 잘 추종하였으나 Reverse R형 선회와 선회 후 진입 구간 횡편차를 비교했을 때 Omega형에서 직진 구간 진입 오차가 크게 나타남
- 진입 오차가 15cm 이내로 작아지기 위해 3~10초의 시간 필요
- 기존과 같이 기하학적 비용 계산을 수행했을 때 Omega형 선회 경우가 선회 시간이 짧아야 하나 전체 구간에서 선회 시간도 Reverse R 형이 더 짧게 나타남
- 이는 진입 오차를 고려한 자율주행이 제대로 수행되었음을 의미
- Omega 형 경로의 자율주행 추종 성능은 아래 그림과 같음

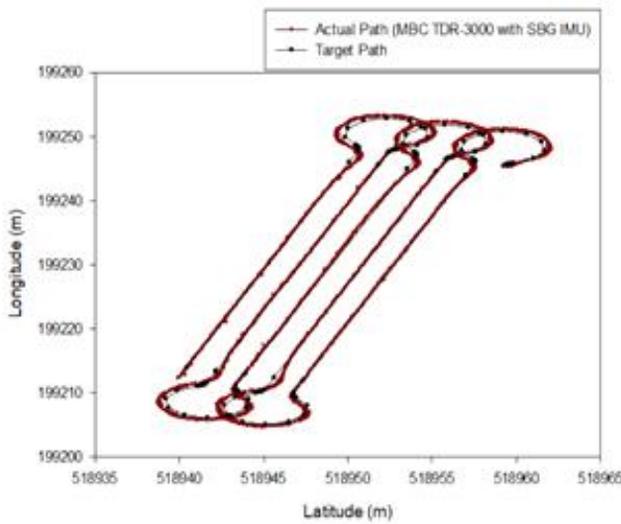


그림 275 Omega turn trajectory

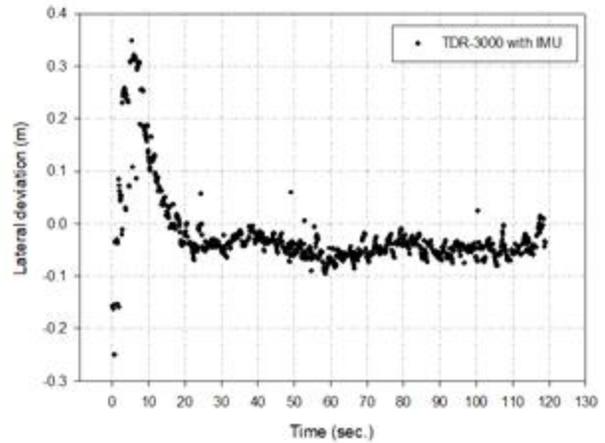


그림 276 Lateral deviation from turning to straight section

	Position RMSE (m)	Heading RMSE (m)	Max deviation (m)	Adjustment distance (m)	Adjustment time (s)	Pos RMSE without adjustment (m)	Heading RMSE without adjustment (m)	Total Turning Time (s)
1	0.0527	1.7533	0.1302	4.181	3.7	0.0497	1.3532	113.8
2	0.1039	2.9948	0.1434	11.187	9.9	0.0311	1.1064	124.8
3	0.0943	2.8078	0.1461	6.667	5.9	0.0728	1.712	122
4	0.0659	1.9757	0.1378	7.571	6.7	0.0289	1.0663	131.8
5	0.0758	2.7848	0.1436	6.554	5.8	0.0473	1.4871	136.8

그림 277 Omega Turn Performance

3) 직진 자율주행에서의 기울어짐 보상 알고리즘 영향 평가 실험

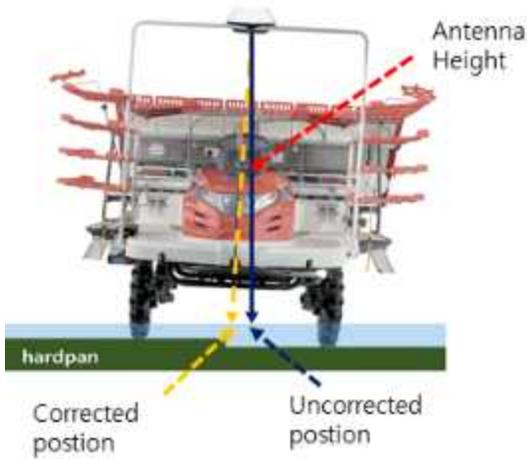


그림 278 GPS 위치 오차 보정

$$\begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \cdot E^{-1}(\psi, \theta, \alpha)$$

수식 4 Tilting

compensation equation

$$E^{-1}(\psi, \theta, \alpha) = E(-\psi, -\theta, -\alpha) = \begin{pmatrix} \sin\alpha\sin\theta\sin\psi + \cos\alpha\cos\psi\cos\theta\sin\psi & \sin\alpha\cos\psi - \cos\alpha\sin\theta\sin\psi \\ \sin\alpha\sin\theta\cos\psi - \cos\alpha\sin\psi\cos\theta\cos\psi & -\sin\alpha\sin\psi - \cos\alpha\sin\theta\cos\psi \\ -\sin\alpha\cos\theta & \sin\theta & \cos\alpha\cos\theta \end{pmatrix}$$

수식 5 Tilting compensation equation

Where, X_c, Y_c, Z_c : Corrected position of GPS

X_r, Y_r, Z_r : Raw position of GPS

a, b, c : Distance from the COG to GPS

ψ : Heading angle of IMU

θ : Pitch angle of the IMU

α : Roll angle of the IMU

- 앞서 항목에 기술한 자율주행 시스템 구성으로 실차 적용 실험 진행 (Daedong DRP60D)
- 서울대학교 수원 농장의 마른 토양에서 기울어짐 보상 알고리즘 적용, 미적용으로 나누어 50m 직진 자율주행
- 그 결과 아래 그림과 같이 기울어짐 보상 알고리즘이 없는 경우에는 횡편차의 분산이 더욱 크게 나타남
- 기울어짐 보상 알고리즘이 GNSS의 정확한 위치를 추정하는데 효과가 있음을 알 수 있음

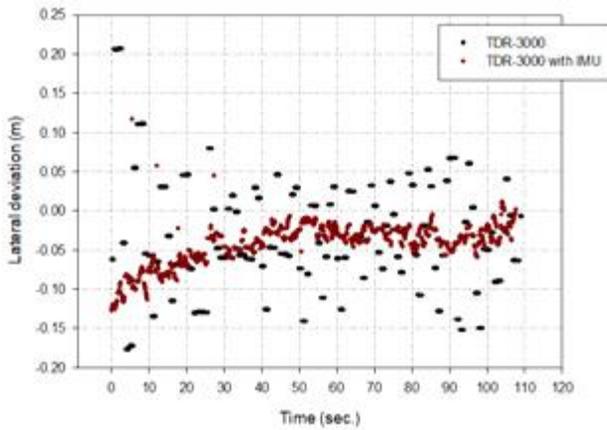


그림 279 Straight section lateral deviation comparison

4) Single Antenna RTK GNSS를 이용한 자율주행 적용 가능성 평가

- 대동공업 개발 Single Antenna GNSS 모듈 (IMU 미적용)을 통한 실차 적용 실험 진행 (Daedong DRP60D)
- Dual antenna GNSS 실험의 Reverse R형 및 Omega 형 선회 실험과 동일한 환경에서 Reverse R형 선회(beta=70 deg.) 경로에 대한 자율주행 수행
- Single antenna GNSS는 방향각 데이터를 정확하게 얻기 어렵기 때문에 자율주행 조향각 생성 알고리즘에서 방향각 없이 횡편차로만 계산
- 그 결과 아래 그림과 같이 경로를 어느정도 추종하였으며, 직진구간 평균 횡편차 RMS는 0.1m로 농작업이 가능한 수준이었으나 최대 횡편차가 30cm에 이르는 구간이 있어 직진 자율주행 안정도를 높이는 것에 대해서는 추가 연구 및 개선이 필요

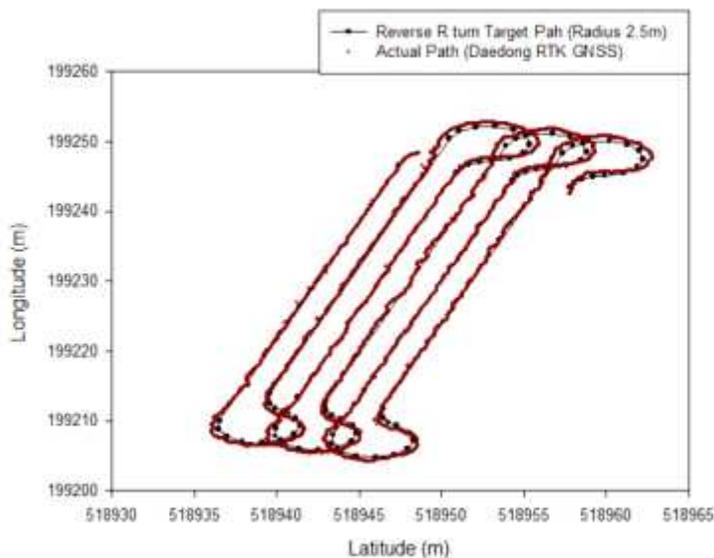


그림 280 path tracking trajectory with Daedong single antenna RTK gps

마. 자율주행 성능 요인 분석

1) 스티어링 제어 오차 :

- Target Value와 5~10도 이상 오차 존재, 외부 PID 제어의 한계

- Encoder 대비 Resolver의 정확도가 낮다는 내재적 한계(+/-10도)
- 주행 상황 0.5초 정도의 스티어링 딜레이가 자율 주행 성능에 영향

2) 노면 상태 :

- 고르지 않은 노면 상태일 경우 (예를 들어, 경반을 제대로 타고 가지 못하는 경우) 차체의 기울어짐이 상당히 크게 존재
- IMU를 통한 GPS Position에 대한 기울어짐 보상이 필수적

3) GNSS 안정성 :

- 전체 작업 시간 동안 RTK 품질의 위치 정보를 안정적으로 수신할 수 있어야 함
- 모델 기반 경로 추종 기술의 경우 True Heading이 필수적
- Single RTK GPS도 어느 정도 경로 추종이 가능하나 Max Deviation 해결 필요

4) 이양기 차량 모델

- 이양기 조향 특성을 고려한 선회 방법이 요구됨

5) 속도

- 상대적으로 고속의 작업 속도에서도 횡편차 및 방향각 오차가 커지지 않고 안정적으로 직진을 수행할 수 있는 방법 필요
- 저속으로 선회하고 작업시에는 속도를 높이는 제어가 가능하도록 속도 제어에 대한 전장화가 요구됨

바. 지능형 식부 상하강 제어 알고리즘

- 이양기 생성된 주행 경로를 기반으로 농작업 진행 시 미 작업 영역 부분을 감소시키고 및 포장 작업 효율을 향상시키기 위해 새머리 영역 진입 및 새머리 영역 탈출 시 작업기를 특정 경로점에서 정확히 작동하는 것이 필요
- 그림281은 RDDF에서 작업기 제어명령이 구성된 하나의 예이며 4번 경로점에서 이양기가 작업기 상승하고 16번째 경로점에서 작업기 하강

1	9.5600000	-2.1000000	0.5	1	0	4	1
2	9.5600000	-17.1000000	0.5	1	0	4	1
3	9.5600000	-32.1000000	0.5	1	0	4	1
4	9.5600013	-36.3662105	0.5	1	0	2	0
5	9.8684132	-36.9567135	0.5	1	0	2	0
6	10.8220466	-36.285491	0.5	1	0	2	0
7	12.2169914	-39.1379338	0.5	1	0	2	0
8	13.8166324	-40.2058721	0.5	1	0	2	0
9	14.7318551	-41.8966403	0.5	1	0	2	0
10	14.7534175	-43.817224	0.5	1	0	2	0
11	13.876343	-45.5271039	0.5	1	0	2	0
12	12.3030684	-46.6306238	0.5	1	0	2	0
13	10.3967202	-46.8730809	0.5	1	0	2	0
14	8.5973012	-46.1965139	0.5	1	0	2	0
15	7.3201343	-44.7625193	0.5	1	0	2	0
16	6.8600013	-42.8968147	0.5	1	0	4	1
17	6.8600013	-27.8968147	0.5	1	0	4	1
18	6.8600013	-12.8968147	0.5	1	0	4	1
19	6.8600013	2.1031853	0.5	1	0	4	1
20	6.8600013	17.1031853	0.5	1	0	4	1

그림 281. Commands of implement control on the RDDF

- 작업기 상승/하강 제어 위치의 계산은 기구학적 거동 기술 기반의 모델을 사용. 이 모델은 전륜과 후륜 중심으로 구성하며 필드 좌표에서 위치와 주행방향을 정의할 수 있음
- 본 모델에서는 오직 전륜만 좌우로 조향가능하며 휠의 측면 슬립과 외력은 없는 것 가정
- 아래 식과 같이 이양기의 거동을 X축과 Y축방향의 속도로 정의하고 이양기의 방향각과 회전 각속도 및 조향 휠의 각속도를 정의

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\psi} \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \\ \frac{\tan(\theta)}{L} \\ 0 \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \delta$$

여기서, θ = 주행 방향 ($^{\circ}$)
 δ = 조향 각도 ($^{\circ}$)
 L = 축간 길이 (m)
 v = 주행 속도 (m/s)

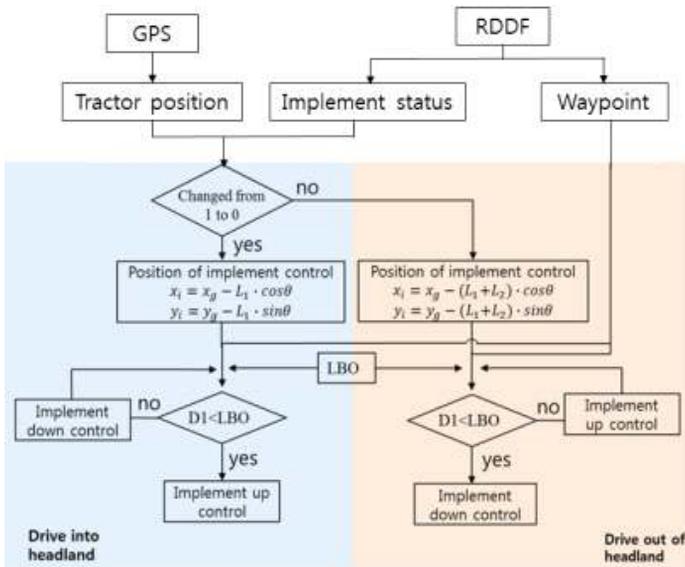
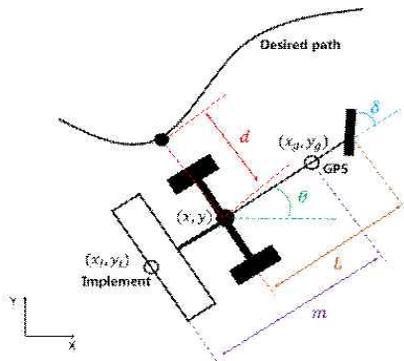


그림 282 Flowchart of the implement control



<Kinematic bicycle model>

- GPS에서 수신된 위치 좌표 (x_g, y_g) 와 작업 위치 좌표 (x_i, y_i) 의 관계는 다음 식과 같고, 여기서 m 은 GPS 수신 위치와 작업기 위치간의 거리

$$\begin{cases} x_g = x_i + m \cos \theta \\ y_g = y_i + m \sin \theta \end{cases}$$

$$m = \begin{cases} L_1 & (\text{drive into hedland}) \\ L_1 + L_2 & (\text{drive out of headland}) \end{cases}$$

여기서, $x_g, y_g =$ GPS 수신 위치 (m)

$x_i, y_i =$ 작업기 위치 (m)

$m =$ GPS와 작업기간의 길이 (m)

- 이앙기가 새머리 영역으로 진입 시 GPS 설치 위치와 작업기 앞부분 간의 거리를 고려하여 사전에 만들어진 RDDF에 작업기 제어 명령을 인식

- 이앙기가 새머리 영역에서 탈출 시 GPS 설치 위치와 작업기 뒷부분 간의 거리를 고려하여 사전에 만들어진 RDDF에 작업기 제어 명령을 인식하도록 하였음

- 위의 수식을 정리하면

$$\begin{cases} \dot{x}_g = \dot{x}_i - m\dot{\sin}\theta = v\cos\theta - m\dot{\sin}\theta \\ \dot{y}_g = \dot{y}_i + m\dot{\cos}\theta = v\sin\theta + m\dot{\cos}\theta \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_g^2 + \dot{y}_g^2 &= (v\cos\theta - m\dot{\sin}\theta)^2 + (v\sin\theta + m\dot{\cos}\theta)^2 \\ &= v^2\cos^2\theta + m^2\dot{\theta}^2\sin^2\theta - 2va\dot{\theta}\cos\theta\sin\theta + v^2\sin^2\theta \\ &\quad + m^2\dot{\theta}^2\cos^2\theta + 2va\dot{\theta}\cos\theta\sin\theta \\ &= v^2 + m^2\dot{\theta}^2 \end{aligned}$$

- 이를 이용 트랙터의 현재 방향을 아래와 같이 얻음

$$\dot{\theta} = \pm \frac{\sqrt{\dot{x}_g^2 + \dot{y}_g^2 - v^2}}{m}$$

$$\theta_t = \theta_{t-1} \pm \frac{\Delta T}{m} \sqrt{\left(\frac{x_{g_t} - x_{g_{t-1}}}{\Delta T}\right)^2 + \left(\frac{y_{g_t} - y_{g_{t-1}}}{\Delta T}\right)^2 - v^2}$$

여기서, $\Delta T =$ 샘플링 시간 (sec)

$x_{g_t}, y_{g_t} =$ 시간 t에서의 GPS 위치 (m)

$\theta_t =$ 시간 t에서의 주행 방향 ($^\circ$)

- 계산으로부터 얻은 현재 방향각과 작업기 전 위치의 정보를 이용하여 아래와 같이 작업기 현재 위치를 계산. 계산된 작업기 현재 위치를 이용 사전에 만들어진 RDDF에 작업기 제어 명령을 인지하여 작업기 제어

$$\begin{cases} x_{i_t} = x_{i_{t-1}} + v\Delta T\cos\theta_t \\ y_{i_t} = y_{i_{t-1}} + v\Delta T\sin\theta_t \end{cases}$$

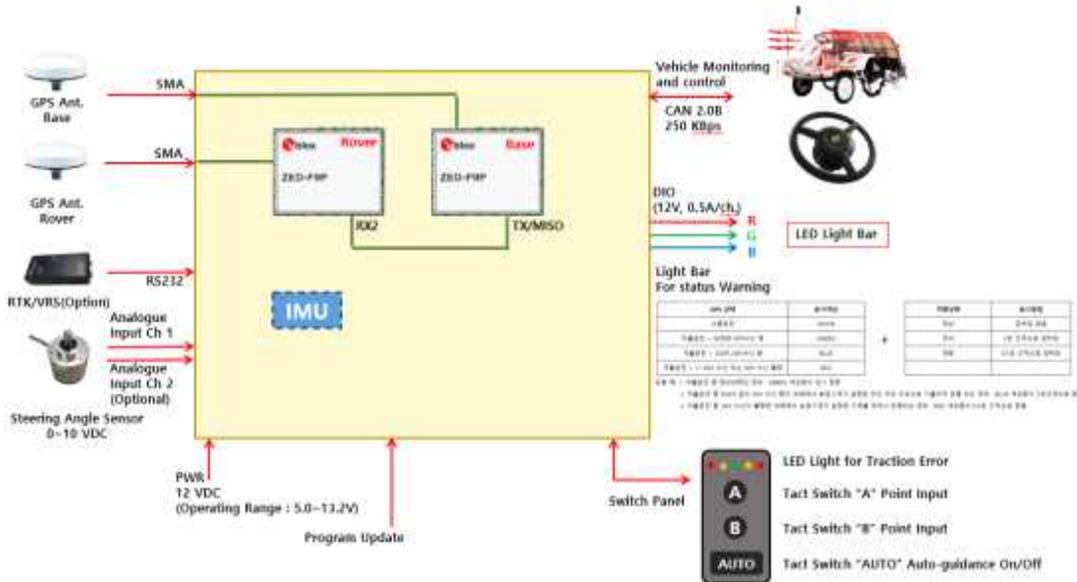
여기서, $x_{i_t}, y_{i_t} =$ 시간 t에서의 작업기 위치 (m)

4. 자율직진주행 제어기 개발

가. 자율주행 임베디드 제어기 개발

1) 임베디드 제어기 하드웨어 개발사양 확정

자율주행 이양기 제어를 위하여 확정된 전체 제어시스템은 다음의 그림과 같음.



자율주행 이양기 제어시스템 Layout

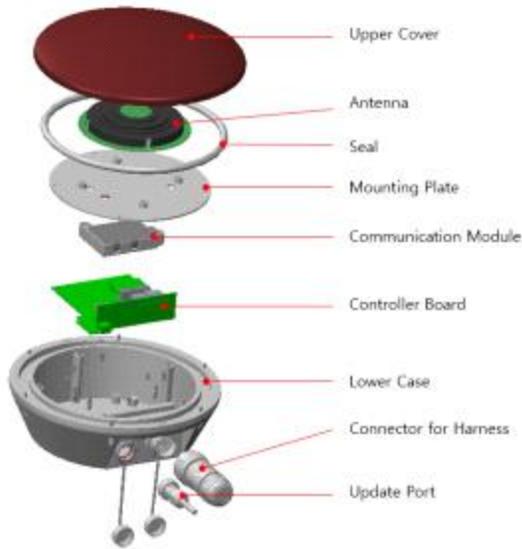
임베디드 자율주행 제어기는 CANbus 통신을 이용하여 이양기 차량제어기와 통신하며, 차량으로부터 차량상태정보를 수신하고 자율주행을 위한 제어정보를 송출함. 기존 차량제어기의 CAN통신 사양과 동일한 CAN2.0B 250kbps 지원. 자율주행 조작제어는 스위치 판넬의 DIO를 통하여 입출력이 이루어지며 작업지점 입력신호, 자율주행 On/Off 제어신호, GPS의 Status 정보 및 주행오차 정보를 표시할 수 있음. 조향각은 기존의 탑재되어 있는 조향각 센서를 대체하여 신뢰성이 우수한 2채널 방식의 포텐쇼메터 센서를 사용하므로 아날로그 채널을 지원하도록 설계. 다음의 표는 개발된 제어기의 사양을 표시함.

임베디드 제어기 개발 사양

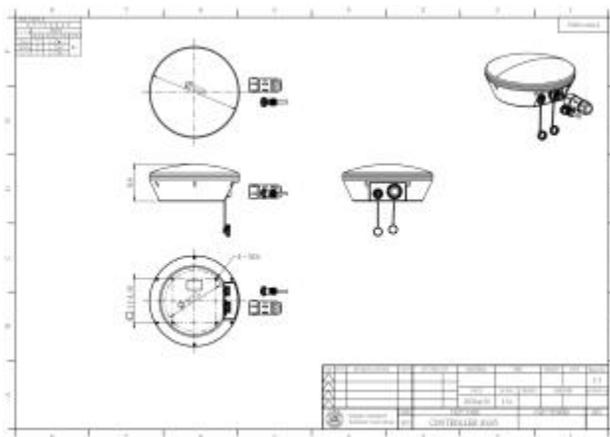
System		
	CPU	Arm Cortex-M7 core
	RAM	64MB
	FLASH	32MB
	Voltage Input	5.5~36VDC
Interface		
	Mobile	LTE CAT1
	CAN	2.0B, 2 Channel
	Ethernet	1 Port
	RS-232	1 Port
	Input	x8 DI/ADC/FRQ, Need Config
	Output	x4 LS
Sensor		
	GPS	RTK-GPS, Ubox-F9P
	IMU	9-axis

2) 임베디드 제어기 설계 및 시제품 제작

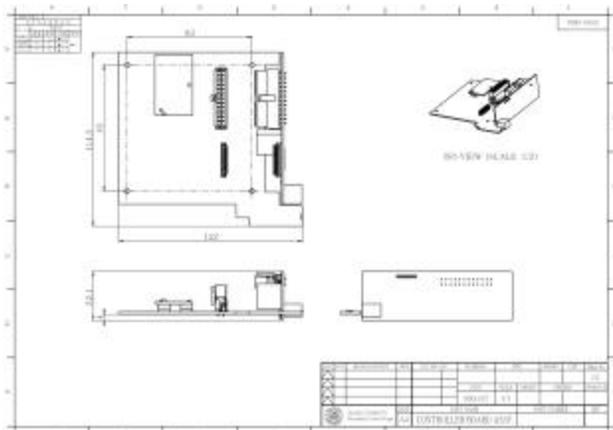
자율주행 이양기 제어를 위한 임베디드 제어기는 이양기에 노출되어 부착되므로 사용 환경에 따른 신뢰성 확보를 위하여 IP65조건을 만족하도록 설계하였음. 제어기 외형은 Lower Case와 Upper Case로 이루어져 있으며 두 부품사이에는 Seal을 이용하여 기밀을 유하는 구조를 갖고 있음. 차량의 전장시스템과 연결을 위한 커넥터(Connector) 사양 또한 IP65를 만족할 수 있는 사양을 선정하였음. 다음의 그림은 설계된 임베디드 제어기 조합 입체 구성도 및 도면을 나타냄.



Embedded Controller Assembly Layout



Embedded Controller Assembly Drawing



Embedded Controller Board Drawing

다음의 사진은 제작된 임베디드 제어기 보드(좌) 및 제어기 케이스(우) 제품사진과 IP65조건 만족을 위하여 내진시험을 중인 제어기 사진임.



Embedded Controller Board Assembly



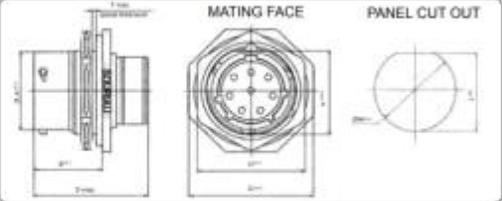
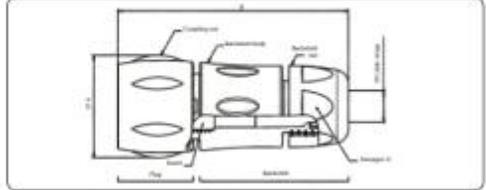
Embedded Controller Case

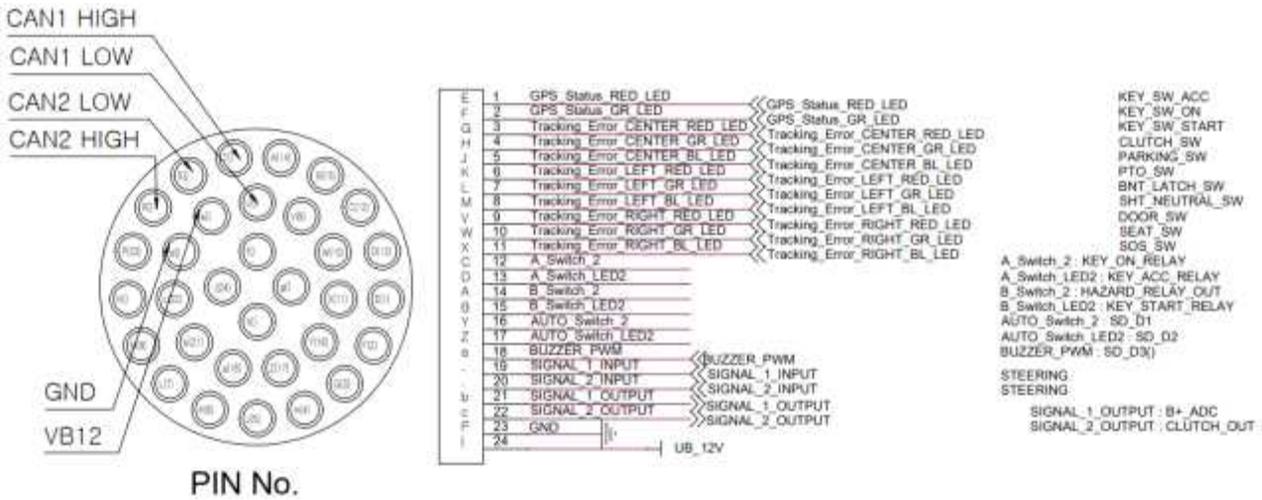


Vibration Test of Embedded Controller Ass'y

제어기의 커넥터 사양 및 핀맵은 다음과 같음.

Connector Specifications

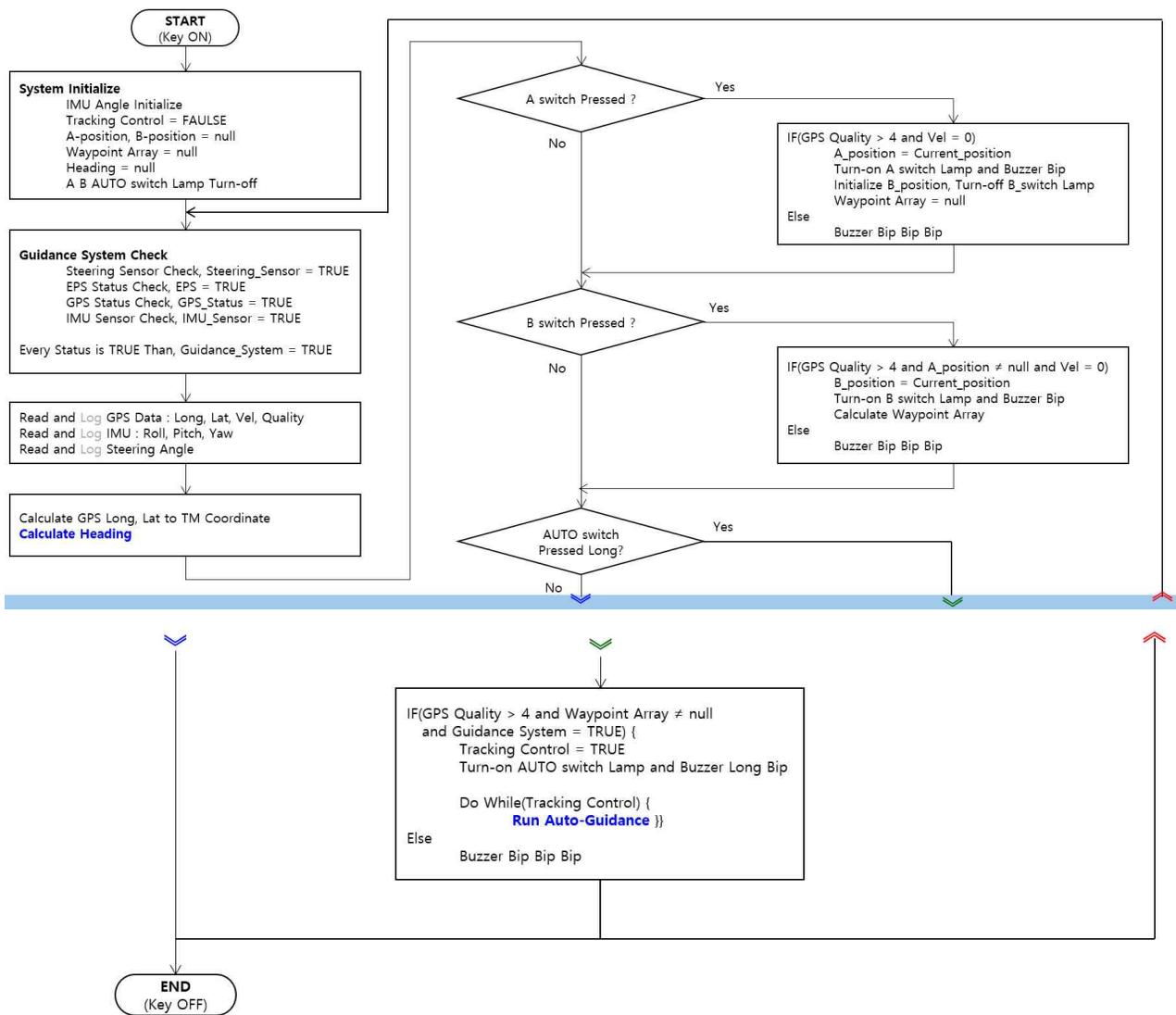
제어기측	UTS71832P		
차량측	UTS6JC1832S		



Connector Pin Map

3) 임베디드 제어기를 이용한 자율주행 운전제어 알고리즘 개발

임베디드 제어기는 자율주행을 위한 시스템을 100Hz로 제어 가능하도록 구성되었으며, 센서 시스템, 제어시스템, 자율주행제어를 순차제어 하도록 알고리즘을 구성하였음. 차량 시동 후 제어시스템 초기화가 진행된 후 차량상태 정보, 센서시스템, 자율주행 시스템 상태를 확인. 이후 자율주행 운전정보 입력 완료 및 자율주행 상태가 활성화 되면 자율주행 알고리즘이 동작하도록 구성되어 있음. 자율주행 활성화 중 차량정보, 센서정보는 지속적으로 모니터링됨. 다만 제어시스템의 제어권은 자율주행 알고리즘이 갖고 있으며 모니터링된 차량정보, 센서정보 중 이상이 탐지되면 즉시 자율주행은 비활성화 상태로 전환됨. 다음은 개발된 제어시스템의 알고리즘 순서도를 나타냄.

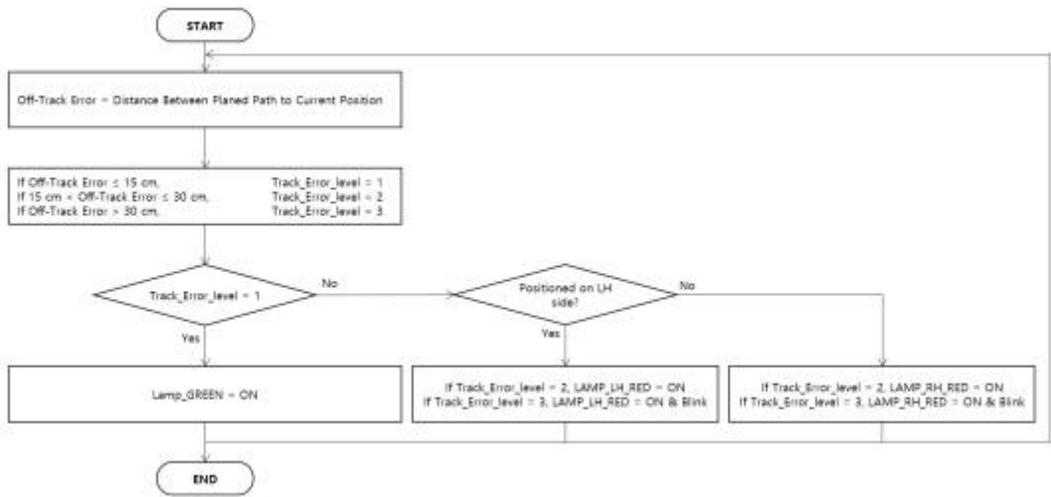


Control Flow Chart of Guidance system of Rice Planter

나. 자율주행 모니터링 알고리즘 개발

1) 자율주행 주행오차(Off-Track Error) 표시 알고리즘

임베디드 제어기의 자율주행 오차는 Planed Path와 Current Path의 차인 Off-track Error를 표시하도록 하였으며, Off-track Error의 단계를 세단계로 나누어 다음의 표와 같이 자율주행 표시장치에서 표시되도록 제어함. 이때 각각의 Path는 위경도 좌표계를 TM(Transverse Mercator) 좌표계로 변환하여 계산함. 표에 제시된 Off-track Error의 단계별 수준은 3차년도 실증 평가를 통하여 최적화



Off-Track Error 표시 알고리즘 Flow Chart

Off-Track Error 표시방법

Track Error Level	방 향	표 시 방 법	비 고
1	GREEN LED	ON	Off-Track Error ≤ 15
2	LH RED LED	ON	15 < Off-Track Error ≤ 30
	RH RED LED	ON	
3	LH RED LED	ON and Blinking	Off-Track Error > 30
	RH RED LED	ON and Blinking	

2) 센서 및 액츄에이터의 주기적 상태진단 및 작동상태 판단 알고리즘

임베디드 제어기는 앞의 Control Flow Chart에서와 같이 주기적인 센서 및 액츄에이터 상태 진단을 수행 함. 이때 센서 및 액츄에이터 작동상태는 진단 및 판단은 다음의 표와 같이 수행 함.

상태진단 항목 및 판단 기준

항 목	상태모니터링	작동상태 판단 기준	비 고
Steering Angle Sensor	자율주행제어기	- Signal 1, Signal 2 출력여부 - Signal 1 + Signal 2 = 2.5V ?	
GPS	자율주행제어기	- Good : GPS Quality > 4 - Poor : GPS Quality = 1 - Warning : GPS Quality = 0	GPS GPGGA Message Monitoring
IMU	자율주행제어기	- Roll, Pitch, Yaw 출력여부 - Roll, Pitch, Yaw 출력값의 범위	
환경인식센서	환경인식모듈	- 환경인식모듈 Message 값 사용	CAN Protocol
EPS	차량제어기	- 차량제어기 Message 값 사용	CAN Protocol
식부장치 및 작업기	차량제어기	- 차량제어기 Message 값 사용	CAN Protocol

3) 자율주행정보 및 차량운전정보의 수집, 연산 및 저장

임베디드 제어기에서 자율주행 중 작업상태의 표시 및 저장을 위하여 연산을 수행하는 항목

과 연산방법은 다음의 표와 같음.

자율주행 정보 표시를 위한 연산항목 및 내용

항 목	연산알고리즘	내 용
작업시간	작업시간 = 현재시간 - 작업개시 시간	금회차 자율작업시간
누적작업시간	누적작업시간 = 누적자점시간 + 작업시간	시동 후 총 누적 자율작업시간
작업거리	GPS 누적 이동거리 (While 주행속도≠0)	금회차 자율작업거리
누적작업거리	누적작업거리 = 누적작업거리 + 작업거리	시동 후 총 누적 자율작업거리
작업면적	작업면적 = 작업거리 × 작업기폭	금회차 자율작업면적
누적작업면적	누적작업면적 = 누적작업면적 + 작업면적	시동 후 총 누적 자율작업면적
Off-Track Error	Off-Track Error = Distance Between Planed Path and Current Position	

임베디드 제어기에서 수집, 연산된 정보는 CAN Protocol로 표시되며, 표시된 CAN Protocol은 LET 통신을 이용하여 Server에 수집이 가능하며 관제될 수 있는 환경을 제공. 별도의 표시장치를 이용한 정보의 표출 또한 CAN Protocol을 이용하여 가능함. CAN Protocol은 별도의 CAN Logger를 설치하여 차량에서 실시간으로 기록 저장하도록 구성하였음. 다음의 표는 CAN Protocol과 상시 모니터링 항목을 표시함.

자율주행이양기 CAN Protocol

Module	ID(hex)	Message Name	Data Length (1-8 byte)	Packet Name	Signal ByteNo (0-7)	Signal Length (bit)	Signal Bit (0-7)
Auto-Guidance Control	0x19FFA205	Sensor Data1	8	Latitude	0.4	uint40	
				Speed	5.6	uint16	
				Fix Position	7	uint8	
	0x19FFA210	Sensor Data2	8	Longitude	0.4	uint40	
				Heading	5.6	int16	
				Satelites Used	7	uint8	
	0x19FFA215	Sensor Data3	8	Roll	0.1	int16	
				Pitch	2.3	int16	
				Yaw	4.5	int16	
	0x19FFA200	Auto-Guidance Command	8	Control Mode : Auto	0		7
Control Mode : Manual				0		6	
Vehicle Control	0x19FFA201	RicePlanter SensorData Set	8	변속모터 센서	0	uint8	
				HST레버 센서	1	uint8	
				유압감도	2	uint8	
				로터상승	3	uint8	
				시비각조클러치 센서	4	uint8	
	0x19FFA202	RicePlanter SensorData Set	8	각속도 센서	0	uint8	
				수평센서	1	uint8	
				평행화 센서	2	uint8	
				경사센서	3	uint8	
				전회자동화 센서	4	uint8	
	0x19FFA203	RicePlanter H/WControl	8	로터센서	5	uint8	
				수온	0		5
				식부상승 S/W	1		7
				식부하강 S/W	1		6
				브레이크 S/W	1		4
HST 모터 출력	2		7.6				

			식부클리치 모터	2		3.2
			시비각조 클러치 모터	2		1.0
			컨트롤러 F	7		
			비료 없음 SW	0		4
			비료 막힘 SW	0		3
			묘뱅크 정렬 SW	0		2
			모터 모터 출력	3		7.6
			각조 클러치 모터 출력	3		5.4
			식부 깊이 모터 출력	3		3.2
			수평 제어 좌우 출력	3		1.0
			플로터 센서	5		
			각조클리치 센서	6		
			컨트롤러 R	7		
0x19FFA204	RicePlanter H/WControl	8				

No.	Group	Monitoring ITEM
1	Auto-Guidance Group	Latitude
2		Speed
3		Fix Position
4		Longitude
5		Heading
6		Satelites Used
7		Roll
8		Pitch
9		Yaw
10		Alive Count
11	Vehicle Control Group	변속모터 센서
12		HST레버 센서
13		유압감도
14		로터상승 S/W
15		시비각조클러치 센서
16		각속도 센서
17		수평센서
18		평행화 센서
19		경사센서
20		선회자동화 센서
21		로터센서
22		수온
23		식부상승 S/W
24		식부하강 S/W
25		브레이크 S/W
26		HST 모터 출력
27		식부클러치 모터
28		시비각조 클러치 모터
29		컨트롤러 F
30		비료 없음 SW
31		비료 막힘 SW
32		묘탱크 정렬 SW
33		플로터 센서
34		각조클러치 센서
35		컨트롤러 R



CAN 분석기를 이용한 출력신호 모니터링 출력 결과

표 61 자율주행이앙기 상시 모니터링 항목

5. 정량적 목표 항목 평가 결과

가. 상세 평가 내용

1) 환경인식률

㉠ 시험 방법

- 영상처리 장치를 이용하여 작업 공간 내 존재하는 모를 인식하는 성능을 측정
- 15일 이상된 육묘를 이양작업 실시한다.
- 실제 이양작업과 동일한 경로로 주행하여 영상수집 및 환경인식 시스템을 구동한다.

㉡ 시험 환경

- 이양 작업이 가능하며, 30일 이내 로터리 작업이 완료된 논
- 평균 5cm 높이 이상의 물이 존재하는 상태의 논

㉢ 판별 기준

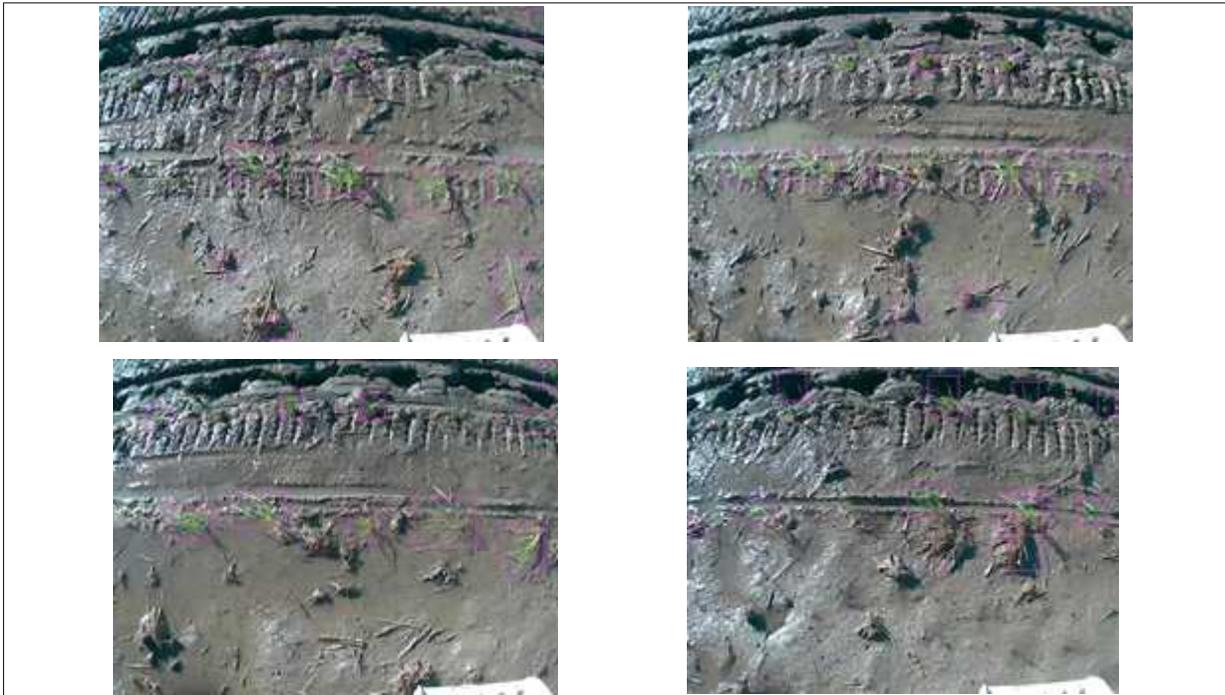
- 측정된 영상의 육안으로 구분 가능한 모와 시스템에서 인식된 모의 개수를 측정한다.
- 5회 측정 반복하여 평균치를 측정한다.

㉣ 평가 결과

- 5회 시험 평균 결과치

횟수(회)	1	2	3	4	5	평균
인식률	83% (45/54)	85% (48/56)	84% (49/58)	80% (45/56)	85% (49/58)	83.4%

- 데이터 측정 자료



2) 자동 선회 후 라인 정확도

㉠ 시험 방법

- 자율주행이 가능한 승용이양기의 구동 시험
- 데이터 측정 장비(정밀 GNSS모듈)를 설치한 상태로 데이터 수집 및 주행시험
- 실제 이양작업과 유사한 경로로 주행

㉞ 시험 환경

- 대동공업 기술 연구소의 단단하고 평지인 아스팔트 주행 시험장

㉟ 판별 기준

- 자율 직진 주행 중 논머리에서 선회 후 다시 직진 주행을 할 때 목표 작업라인과 실제 작업라인의 오차
- 기준선과의 오차계산을 cm단위로 계산

㊱ 평가 결과

- 데이터 측정 결과(x축: 시간(s), Y축 : 오차거리(cm))
- 생성된 경로는 여러 개의 경로점으로 이루어져 있으며, n번째와 n+1번째 점을 지나가는 직선을 계산하고 선건 지점에서 직선까지의 거리를 계산하여 횡방향 편차로 계산한다.
- 횡방향 편차(Lateral deviation) RMS 4.7 cm

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i x_i^2}$$

RMS = root mean square
n = number of measurements
x_i = each value

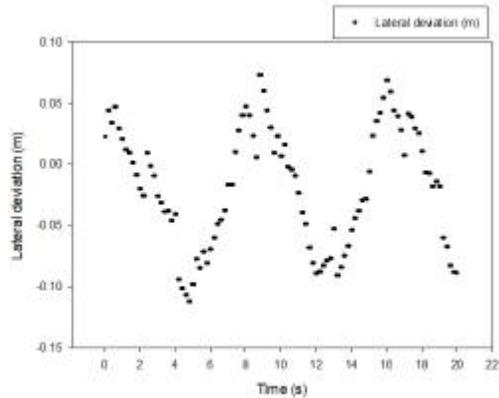


그림 302 Root mean square formula

그림 303 Lateral deviations after the headland turning

3) 경로추종 오차

㉞ 시험 방법

- 자율주행이 가능한 승용이양기의 구동 시험
- 데이터 측정 장비(정밀 GNSS모듈)를 설치한 상태로 데이터 수집 및 주행시험
- 실제 이양작업과 유사한 경로로 주행

㉟ 시험 환경

- 대동공업 기술 연구소의 단단하고 평지인 아스팔트 주행 시험장

㊱ 판별 기준

- 주행 경로 중 직선 경로상의 기준선을 선정하고 실제 주행 시 경로를 측정 장비로

데이터 수집

- 기준경로 대비 실제 주행경로의 오차를 계산하고, 단위는 cm로 계산

㊱ 평가 결과

- 데이터 측정 결과(x축: 시간(s), Y축 : 오차거리(cm))
- 횡방향 편차(Lateral deviation) RMS 5.1 cm

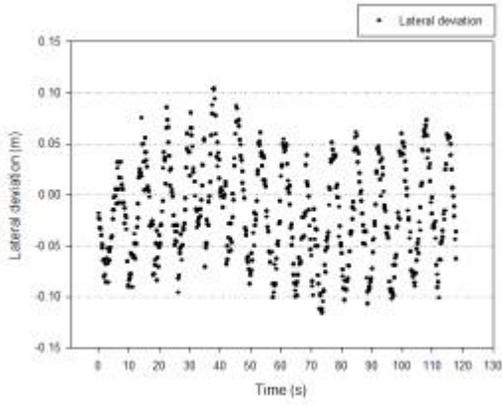


그림 304 Lateral deviations of the straight line



그림 305 Path mapping on Google Earth satellite image

4) 조향반응시간

① 시험 방법

- 유압/전자 제어 방식 스티어링 구조의 승용이양기의 구동 시험
- 데이터 측정 장비(CAN 통신 장비)를 설치한 상태로 구동 및 데이터 수집
- 정지상태에서 동작 시 반응 속도 측정

② 시험 환경

- 대동공업 기술 연구소 주행 시험장비(롤러)

③ 판별 기준

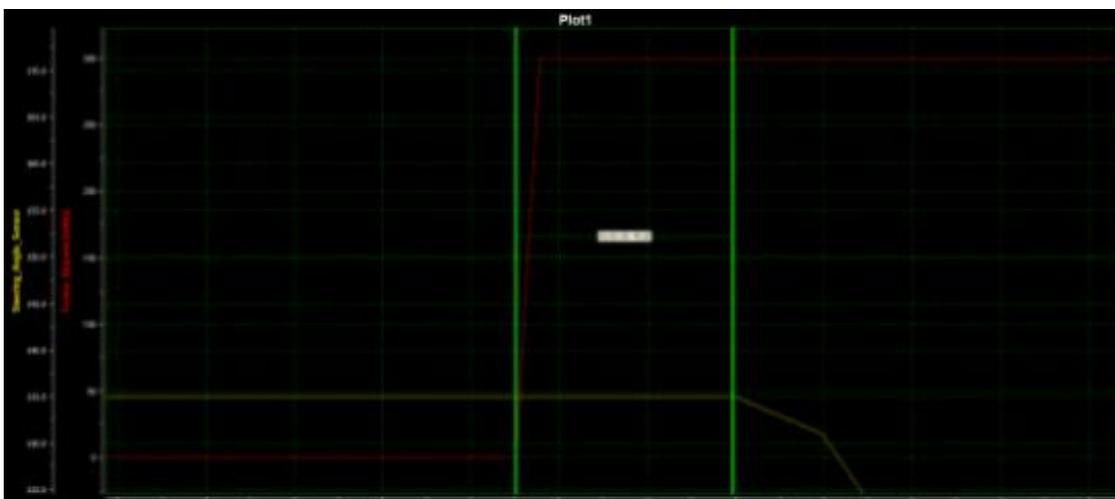
- 스티어링 모터의 출력 시점(토크 출력)부터 스티어링 구조의 동작 시간

④ 평가 결과

- 5회 측정 평균치 계산

횟수(회)	1	2	3	4	5	평균
반응 시간(초)	0.49	0.49	0.53	0.42	0.55	0.496

- 데이터 측정 결과(x축: 시간(s), Y축 : 모터제어(토크값) 및 조향각 센서)



제 4 절 세부 연구수행 결과(3차년도)

1. 자율주행용 전자식 변속 시스템 개발

- 자율직진주행에서 안전제어를 위하여 정지 동작을 구현함
- 선회 자동제어 구현 시 감속 및 후진을 제어하여 선회반경 확보 및 정밀 제어 활용
- HST페달 센서 감지를 통한 신호 전달 및 전기모터를 통한 HST 제어하여 선회 자동제어 기능 구현 가능

가. 주변속 시스템부 구조 설계

1) 변속구조 레이아웃 설계

Ⓐ 전자식 가속 페달 적용

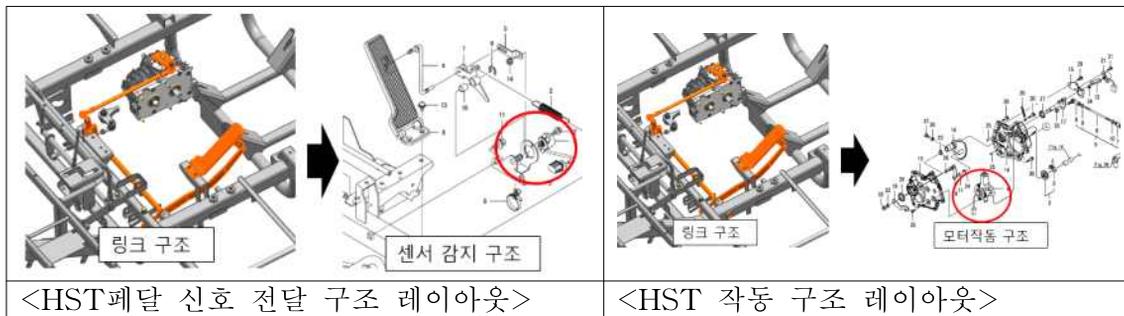
Ⓑ 전기 모터를 사용한 변속 링크 구조 적용

- 모터를 사용하여 HST의 속도를 제어할 수 있는 구조로 모터의 회전방향에 따라 작업기의 진진, 후진 방향이 제어됨.

Ⓒ 차속 연동 구조

- 기대의 차속을 파악하여 작업지의 조건에 따른 속도 변화 최소화

Ⓓ 기존 기계식 구조



Ⓔ 신규 변속구조 레이아웃

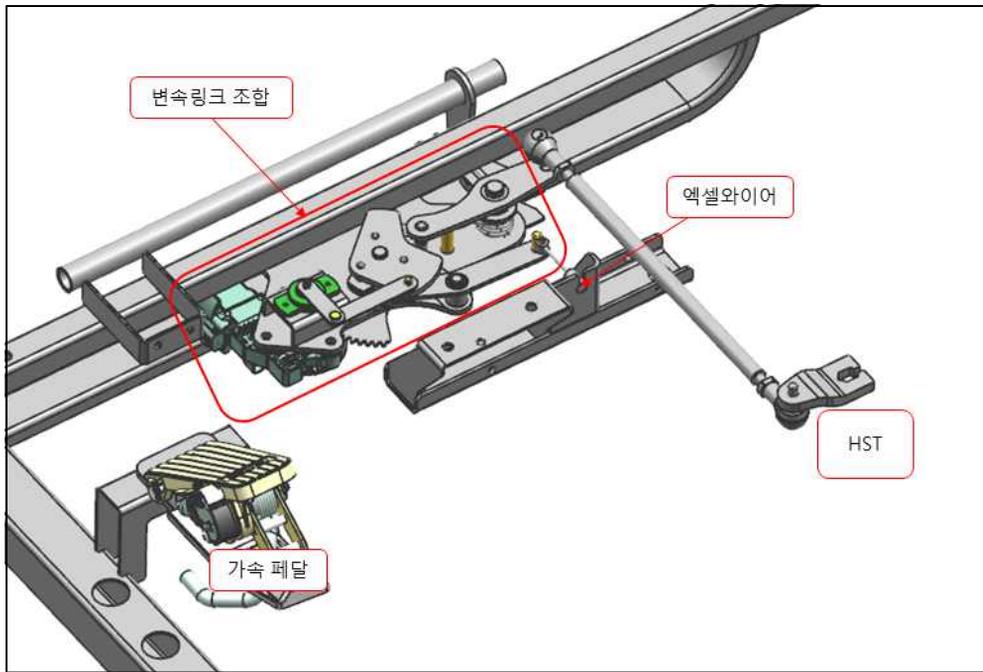


그림 313 액셀페달 및 변속 구조 전체 레이아웃

- 가속 페달(액셀 페달) : 전자식 동작으로 고장 감지 및 정밀 측정을 위하여 5V기준, 2.5V기준의 2개의 signal출력을 갖는 구조

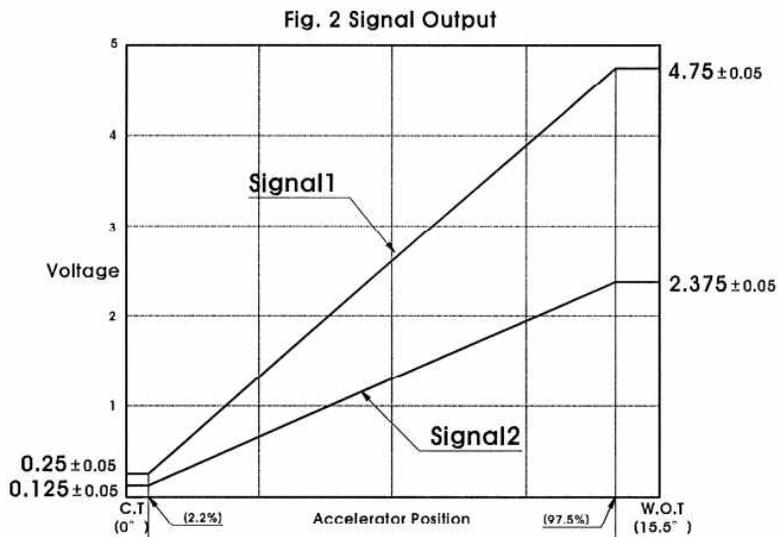


그림 314 가속 페달의 전기적 특성 그래프

- 변속링크 조합 : 센서(포지션 센서), 모터, 센서로드, 변속캠, 작동암 등으로 구성된 구동조합
- 액셀 와이어 : 엔진 RPM과 동시 조작을 위하여 구동축의 각도에 따라 조속레버를 조작
- HST구조 : 이양기의 전/후진을 결정하며, 사관을 제어할 수 있는 구동축이 포함됨

2) 동작 구조

- 작동 순서 요약 :

가속페달이 작동 → 모터 구동(회전방향에 따른 전 후진 변경) → 변속기어 회전 → 변속캠 회전 → HST 사관 제어

- ㉠ 가속페달의 조작량에 따라 변속링크조합 상부의 모터가 구동하고, 변속기어의 위치를 결정한다.
- ㉡ 전,후진을 인식한 상태에서 가속페달이 작동하면 모터를 필요 방향으로 회전시킨다.
- ㉢ 모터의 회전은 변속기어에 전달되고,변속기어는 변속캠1,변속캠2를 회전시킨다.
- ㉣ 변속캠1은 작동암을 회전시켜 HST를 전진 또는 후진 방향으로 가속시킨다.
- ㉤ 변속캠2는 액셀 작동암을 전,후진에 상관없이 항상 한방향으로 움직여 액셀와이어를 속도와 연동되도록 작동시킨다.
- ㉥ 속도의 제어는 변속캠1과 연결된 센서로드를 통해 센서값을 인식하여 작동시킨다.
- ㉦ HST를 중립을 유지시키는 중립 스프링을 두어 가속페달의 작동이 없을시 자동으로 HST의 중립을 유지시킨다.

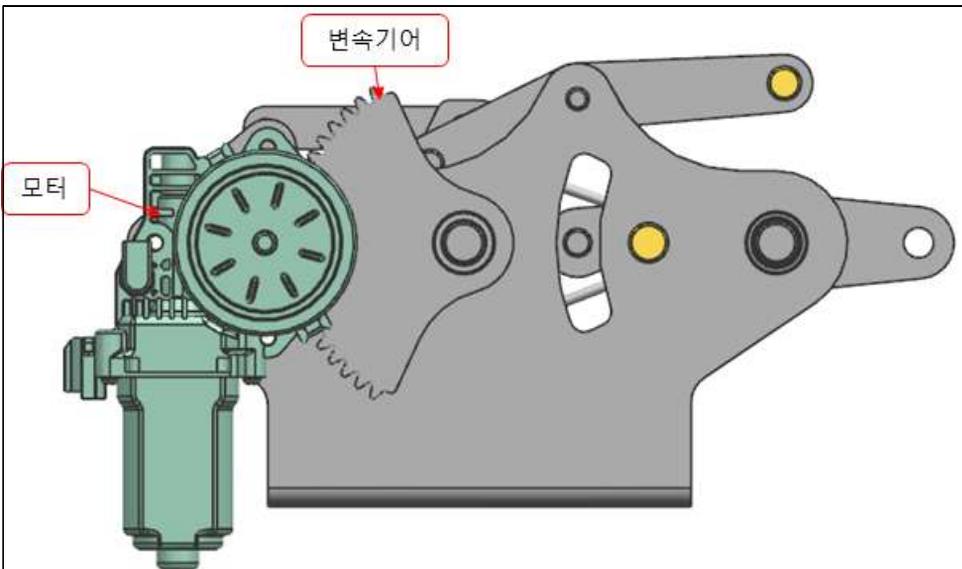


그림 315 변속링크조합 상부

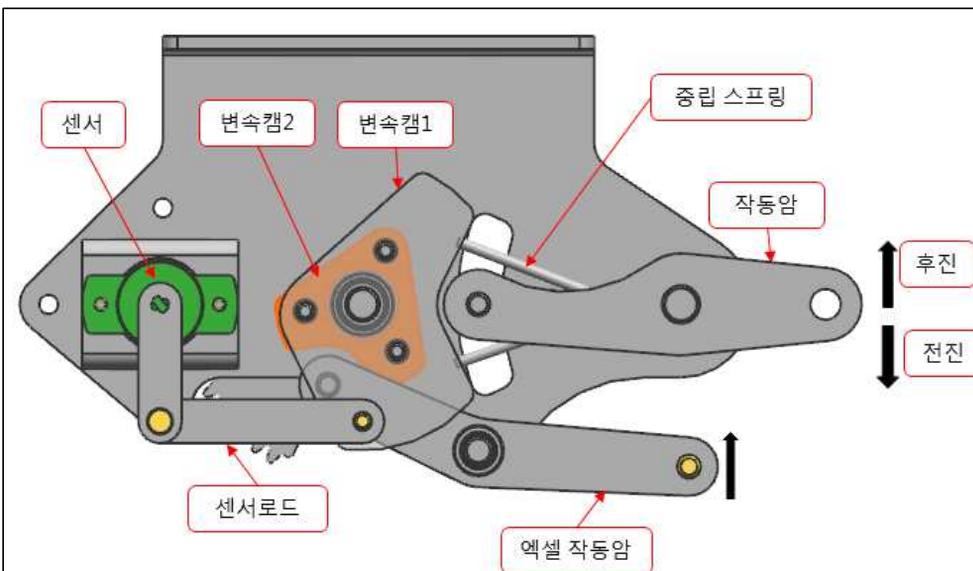
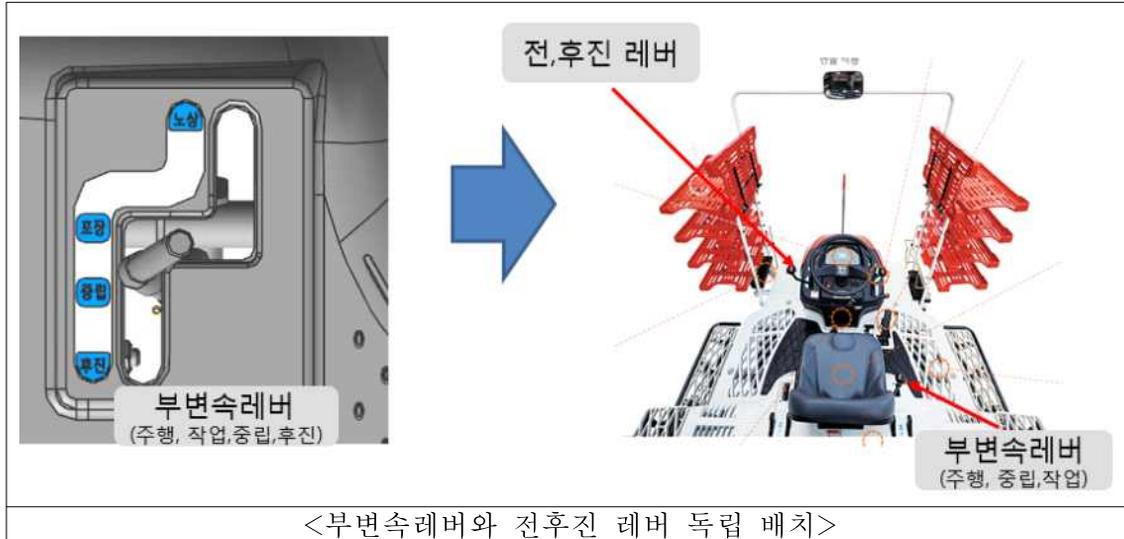


그림 316 변속링크조합 하부

3) 부변속(주행, 작업, 중립, 후진) 구조 변경

- 전후진 레버+ 부변속(주행,중립, 작업) 레버 분리 적용
- 수동 주행시 전진, 후진 변속용 레버 별도 채용.
- 자율주행시는 컨트롤러의 신호를 받아 모터의 회전방향을 제어하여 전,후진을 제어하는 구조



4) 실증용 차량 제작

- 실증용 차량에서 기존 기계식 구조를 탈거하고 모터 구동박식의 변속링크 조합을 조립
- 변속제어 컨트롤러 및 배선 하네스를 설계하여 제작
- 전체구조는 의자 및 발판 하단부에 구성되며 양산성을 고려하여 설계



그림 318 변속 구조 실증용 차량 제작 결과

나. 차속제어 시스템부 배선 설계

- 1) 기존 차량 시스템에 연동되도록 연결배선 방식 설계
- 2) 차속제어 컨트롤러 및 전원부 포함 45개 회로 구성

- 3) 퓨즈박스 전원부 3개소
- 4) 악셀페달, 포지션센서, 전후진 스위치, 크루즈 스위치, 릴레이 등 추가 부품 레이아웃 기준 설계
- 5) 자율주행 제어부와 통신 가능하도록 CAN채널 구분 배치
- 6) 시동 상태 확인을 위한 Key-ON 전원부 연결

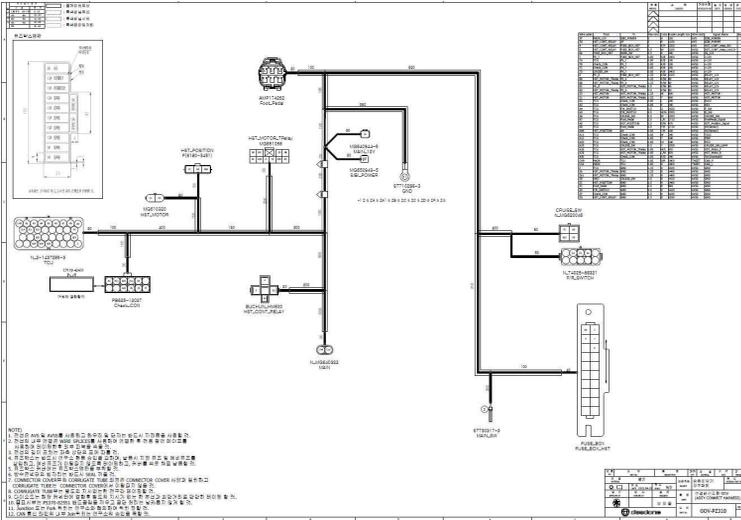


그림 319 하네스 설계 도면

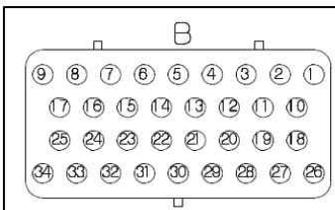
다. 차속제어 컨트롤러 개발

1) 개발 컨셉

- 이양기의 전/후진 변속 및 속도제어가 가능한 컨트롤러
- 계기판, 조향제어기 등의 UNIT들과 CAN 통신 네트워크로 신호 입, 출력
- 주요 기능은 악셀페달 및 전후진 스위치 입력에 따라 HST축 위치 결정

2) 주요 입출력 사양

- 전/후진 스위치 입력, 크루즈 스위치 입력, AD 입력, 모터 출력, 통신



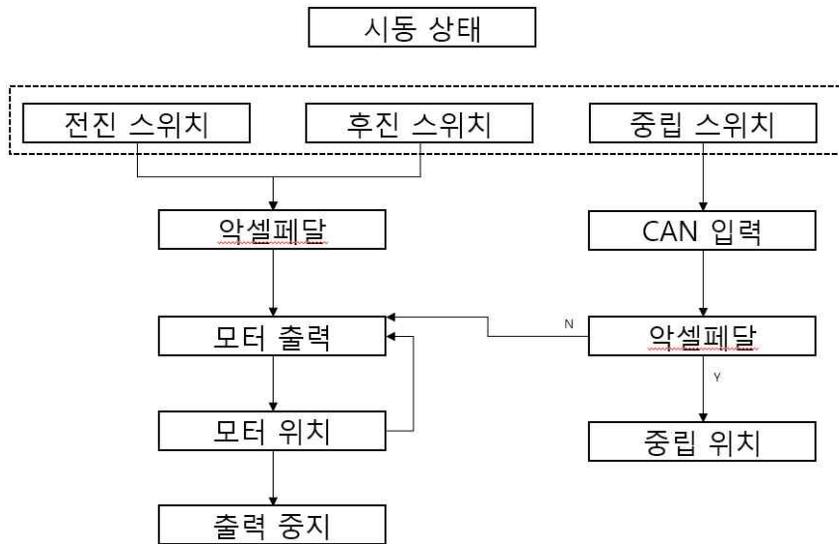
구분		수량
입력	스위치 입력 (-)	3(2)
	스위치 입력 (+)	0
	AD입력단	2(4)
	주파수 입력단	0
전원단	전원단	4
통신	RxD, TxD, CAN	7
출력	출력단	0(6)
	릴레이 출력단(-)	2
	비례제어밸브 출력단	0
	LED 램프 출력단 (-)	0
합계		30

커넥터 구분	핀 번호	기능설명	커넥터 구분	핀 번호	기능설명
B	1	CAN_H	B	20	MD2
B	2	RxD2	B	21	스페어 입력(AD)
B	3	RES	B	22	스페어 입력(AD)
B	4	전진 스위치 입력 (-)	B	23	-
B	5	후진 스위치 입력 (-)	B	24	-
B	6	크루즈 스위치 입력 (-)	B	25	SPARE 출력 (-)
B	7	악셀페달 센서 입력(AD)	B	26	SPARE 출력 (+)
B	8	HST 포지션 센서 입력(AD)	B	27	SPARE 출력 (+)
B	9	5V(센서)	B	28	SPARE 출력 (-)
B	10	CAN_L	B	29	SPARE 출력 (-)
B	11	TxD2	B	30	5V(통신)
B	12	FEW	B	31	변속모터 정전 릴레이(-)
B	13	SPARE 입력 (스위치 -)	B	32	변속모터 역전 릴레이(-)
B	14	SPARE 입력 (스위치 -)	B	33	-
B	15	스페어 입력(AD)	B	34	GND
B	16	스페어 입력(AD)			
B	17	12V			
B	18	-			
B	19	SPARE 출력 (+)			

그림 320 변속제어 컨트롤러 입출력 정의

3) 제어 사양 정의

㉠ 동작 사양 요약



㉢ 전진 제어

- 전진 스위치가 ON 이고, 악셀 페달 입력이 0.3V 이상일 경우 목표 HST 포지션 위치까지 HST 모터 정/역방향 출력한다.
- 목표 HST 포지션 위치는 하기의 기준으로 결정한다.
 - 악셀페달 위치 : $\{(\text{악셀 페달 입력}) - 0.3V\} / (4.7V - 0.3V)$
 - 목표 HST 포지션 결정 : $\text{악셀페달 위치} * \{(\text{HST 최대 전진 위치}) - (\text{중립위치} + \text{DeadBand})\} + (\text{중립위치} + \text{DeadBand})$
 - DeadBand : 10ADC
- 악셀 페달 입력이 0.3V 이하일 경우 중립 위치로 HST 포지션을 제어한다.
- 모터의 정/역 반복 출력을 제한하기 위하여 현재 악셀 페달 위치에서 히스테리시스를 적용한다.
(현재위치에서 정방향 출력 중 역방향으로 입력 시, 역방향 출력 중 정방향 입력 시, 5ADC이상 감소/증가하기 전까지는 현재 위치를 유지한다.)

㉣ 후진 제어

- 후진 스위치가 ON 이고, 악셀 페달 입력이 0.3V 이상일 경우 목표 HST 포지션 위치까지 HST 모터 정/역방향 출력한다.
- 목표 HST 포지션 위치는 하기의 기준으로 결정한다.
 - 악셀페달 위치 : $\{(\text{악셀 페달 입력}) - 0.3V\} / (4.7V - 0.3V)$
 - 목표 HST 포지션 결정 : $(\text{중립위치} - \text{DeadBand}) - \{\text{악셀페달 위치} * (\text{중립위치} - \text{DeadBand} \cdot \text{HST 최대 후진 위치})\}$
 - DeadBand : 10ADC
- 악셀 페달 입력이 0.3V 이하일 경우 중립 위치로 HST 포지션을 제어한다.
- 모터의 정/역 반복 출력을 제한하기 위하여 현재 악셀 페달 위치에서 히스테리시스를 적용한다.

(현재위치에서 정방향 출력 중 역방향으로 입력 시, 역방향 출력 중 정방향 입력 시, 5ADC이상 감소/증가하기 전까지는 현재 위치를 유지한다.)

㉔ 중립 제어

- 액셀 페달 입력이 0.3V 이하일 경우 중립 HST 포지션 위치까지 HST 모터 정/역방향 출력한다.
- 목표 HST 포지션 위치는 변수값으로 지정하고, DeadBand는 하기의 기준으로 결정한다.
가. DeadBand : 10ADC
- 시동 상태가 OFF 일 경우 HST 모터 릴레이 출력을 중지한다.

㉕ 크루즈 제어

- 전진제어 동작 중 크루즈 스위치 입력 시 크루즈 모드로 진입한다.
- 현재 HST 포지션 제어 위치를 고정하고, HST 모터 릴레이 출력을 중지한다.
- 전진 스위치 'OFF' 또는 크루즈 스위치 재입력 시 크루즈 모드를 중지한다.
- 크루즈 동작 상태의 HST 포지션 제어 위치 보다 높은 목표값의 액셀페달 입력 시 크루즈 모드를 해제하고, 전진제어 한다.
- 크루즈 동작 상태에서 램프 출력 ON 한다.

㉖ CAN통신 입출력 정의

- 자율주행 상태 확인 변수 1bit
- 전진/후진 출력 8bit, 최대 100%기준

Message				Message Definition					
Name	CAN ID [Hex]	PGN	Cyclic Time [ms]	Byte	Bit	Signal Name	Length /Resolution	Data Range	Operating Data Range
자율주행제어기	0x18 FFA1 20	65441	100	1	1	자율주행 상태	1Bit	0~1	0 : OFF / 1 : ON
				4	1~8	전진출력	8bit	0~255	0~100
				5		후진출력	8bit	0~255	0~100

2. 작업환경인식 시스템 개발

가. 환경인식률 공인기관 입회시험

1) 시험 방법

- 영상처리 장치를 이용하여 작업 공간 내 존재하는 모를 인식하는 성능을 측정함
- 15일 이상된 육묘를 이양작업 실시한다.
- 실제 이양작업과 동일한 경로로 주행하여 영상수집 및 환경인식 시스템을 구동한다.

2) 시험 환경

- 이양 작업이 가능하며, 30일 이내 로터리 작업이 완료된 논
- 평균 5cm 높이 이상의 물이 존재하는 상태의 논

3) 판별 기준

- 측정된 영상의 육안으로 구분 가능한 모와 시스템에서 인식된 모의 개수를 측정한다.
- 5회 측정 반복하여 평균치를 측정한다.
- 이양기의 이동 속도가 5~7km/h로 초당 1.4m로 이동하고, 이때 10~30프레임의 이미지가 생

성되며 각 프레임에 중복되는 이미지가 발생함

- 중복으로 인식되는 모를 기계적으로 분류할 수 없으므로 육안으로 구분되는 개수와 비교

4) 평가 결과



그림 323 측정 원본(좌측)과 환경인식 시스템 구동 결과(우측)

- 5회 시험 평균 결과치

횟수(회)	1	2	3	4	5	평균
인식률(%)	96.9	96.9	94.1	96.0	93.8	95.6
인식수(개)	63	62	48	72	61	306
표본(개)	65	64	51	75	65	320



시험 대상품목(차량 및 영상인식 장치)



시험 환경(이식용 모)



3. 자율주행 시스템 개선 설계

가. 이양부 자동화 시스템 최적화

- 1) 이양부 작업제어를 위한 전자식 제어 시스템
 - 이양부 자동화 시스템

<p>모떼기량 제어</p>	<p>심음깊이 제어</p>
<p>균평높이 제어</p>	<p>각조클리치 제어</p>

2) 이양부 작업설정에 필요한 제어부 4개소 및 승하강 제어를 위하여 제어부 개선 설계

3) 모떼기량 제어, 심음깊이 제어 등 각 주요작업부의 표준치를 선정하고 제어에 필요한 위치

결정

- 4) 자율주행 시 각 위치 제어가 가능하도록 단수를 구분
- 5) 이양부 제어 컨트롤러에 CAN출력으로 제어 가능하도록 개선 설계

나. 이양부 제어 컨트롤러 설계

1) CAN통신 프로토콜 선정

- 수동으로 조작 가능한 작업제어 항목을 CAN통신으로 제어 가능하도록 항목 선정
- 자율주행 제어기에서 결정하는 자율주행 상태를 인식하고 수동제어 상태에서는 동작하지 않음
- 각 작업제어의 단수는 수동 조작 상태를 우선시 하며 추가 제어 명령을 입력함

4. 최종 실증용 차량 시험 결과

가. 자율주행 모터 내구성 시험

1)내구 시험 요약

평가항목	구분		기준(목표)	결과	평가(완료율)	비고
정치내구	목표	Cycle	151,000	152,888	101.3%	밋션오일온도 :100 ℃ 외기온도 : 40℃(보정) ※ 내구시험횟수 선정 무고장 수명시간 :1,015hr 신뢰도 : 80% 형상 모수 : 3.7
		시험시간[h]	32	32.4		
온도	모터온도[℃]		80이하	64(Max)	OK	
	인버터 온도[℃]		80이하	56(Max)	OK	

2) 내구시험결과: 내구시험도중 특이사항 없었으며 정상동작함

3) 내구전후 성능 평가: 내구전후 성능시험에서 초기 전류값보다 한 사이클 기준으로 전류값 1.38A 증가

4) 분해조사 결과: 외관상 이상없으며 기어케이스 내부기어 크랙이나 마모흔적 없음

5) 시험결론: 내구전후 동작 이상없으며 기어 및 서보모터 크랙, 마모 흔적 없으므로 문제없음, 성능평가에서 내구후에 소모전류가 증가하였으나 증가한 만큼 조향범위도 넓어졌으므로 양호하다고 판단

구분	좌,우 선회 반복시 조향 각도	평가 결과
시제품	<p>Y 축 : 조향각도[°] : 내구전 측정 조향각[°]</p>	동일 RPM, 토크에서 시험결과 내구 전,후 조향각도가 +5°, -5°이상으로 움직이며 내구후가 좀더 큰 각도로 움직임

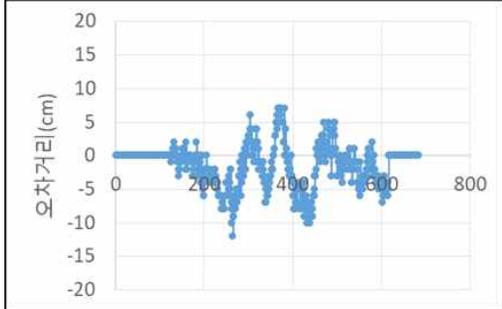
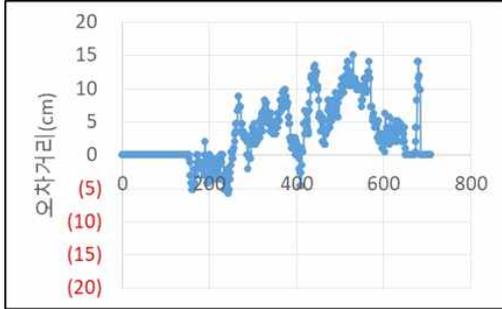
	: 내구후 측정 조향각[°]	
분해 사진	분해사진	평가 결과
		<p>서보모터 조립기어 이상없으며 기어케이스 내부 기어도 접촉 흔적은 있으나 마모흔적은 없음</p>
세부 사진	서보모터	서보모터기어
		
	기어케이스 및 서보모터 배선	기어케이스 내부 기어1
		
	기어케이스 내부 기어2	기어케이스 내부 베어링
		
인버터	내구 시험 환경	

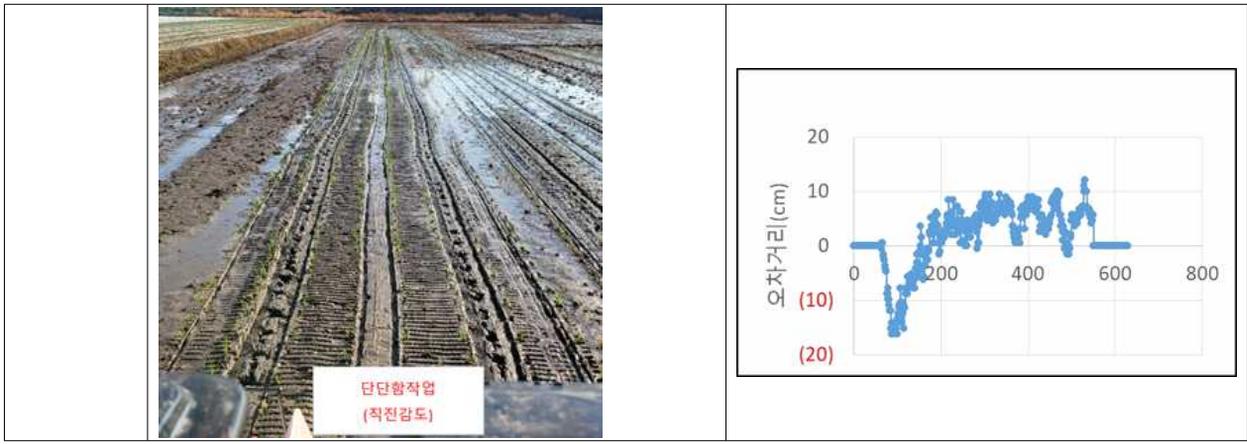


나. 포장지 실증 시험

1) 포장지 상태별 직진성능 평가

- 실차작업 조건별 GPS위치 측정 결과를 수집하여 기준선 대비 오차 측정
- 포장지 조건에서 최대 오차거리 8cm이내에서 수준으로 측정됨
- 상대적으로 악조건인 상태에서 시험하기 위하여 로터리 작업이 불충분한 포장지를 선정하고, 조향 감도에 따라 동작 성능을 파악함

감도	측정 그래프	측정 결과
무름		<p>평균 오차 7cm</p> 
표준		<p>평균 오차 7.5cm</p> 
단단함		<p>평균오차 8cm</p>



다. 이양작업 실증 평가

- 1) 시험 개요 : 수요자 대상 실증용 차량 대여방식으로 성능 평가 및 의견 청취
- 2) 시험 대상지: 밀양(약 22,000평), 함양(5,800평)
- 3) 시험 결과 요약

㉠ 수요자 평가 의견 :

- 간헐적으로 GPS 수신불량이 발생하였으나, 그 외 정상동작 시 성능은 좋음
- 이양기 차체가 기울정도의 굴곡이 심한 구간에서는 성능이 떨어짐
- 직진자율주행 시 전자식 제어도 조작되면 좋겠다는 의견임

㉡ 자체 평가 :

- 차체의 기울어짐 혹은 바퀴가 빠져 동력전달의 문제가 생길 경우 대처 방법에 대한 문제개선 필요
 - 조작 미숙으로 인한 동작오류 발생에 대하여 조작 간소화 및 선회제어의 필요성 제기
- 라. 시험 결과 자료



그림 348 밀양지역 실증 시험



그림 349 함양지역 실증시험

마. 자동선회를 포함한 자율주행 실증 시험

- 1) 시험 개요 : 전남 나주 첨단무인화 실증단지에서 선회를 포함한 자율주행 실증 시험
- 2) 시험 대상지: 전남 나주(3000평)
- 3) 시험 결과 요약
 - Ⓐ 이양부 자동화 시스템과 연동하여 이양부 상승, 하강, PTO연결 등의 동작 구현
 - Ⓑ 전체 작업 경로 생성 후 선회자율주행까지 동작하여 조작 간소화
 - Ⓒ 주행 중 모공급 및 안전을 위하여 탑승자 1명이 필요하며, 1인 작업체제로 운영 가능
 - Ⓓ 조작 편의성을 위한 개선 설계 방안 검토
- 4) 시험 결과 자료



5. 자동 선회 개선품 개발 및 승용이양기 실증용 차량 제작

가. 이양 자동화 및 자동 선회 기능 개선

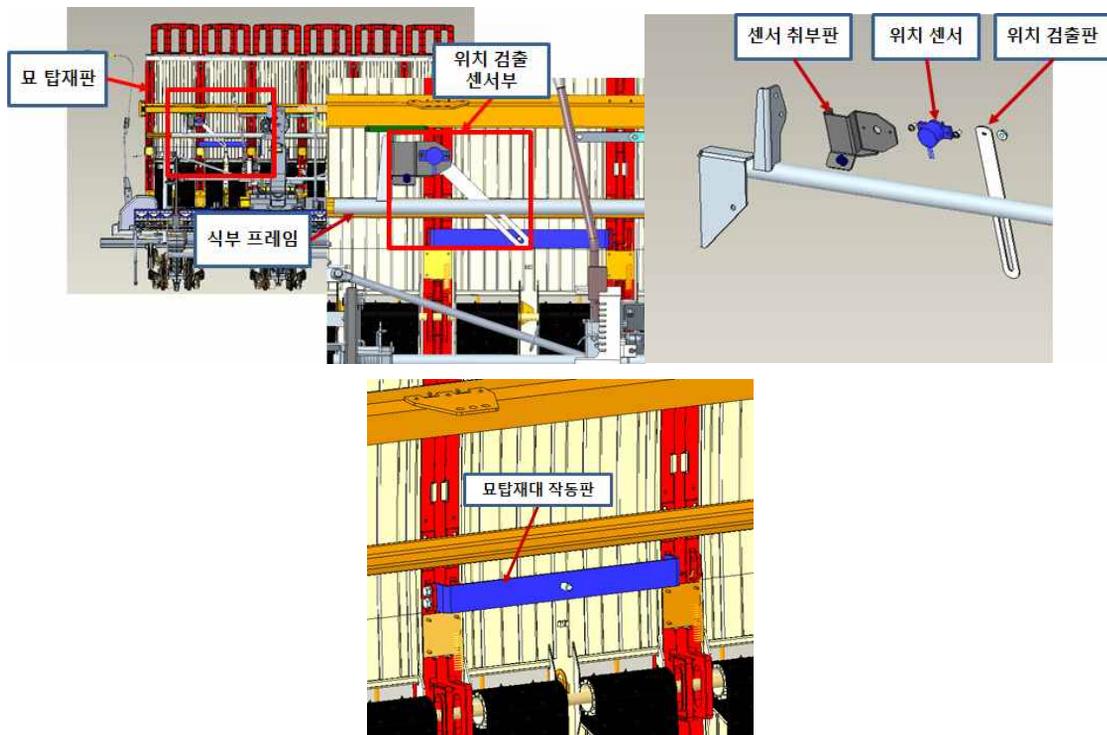
1) 묘탑재판 자동 위치 센싱 시스템 개발

㉠ 시스템 개요

- 기존 이양기는 묘탑재판의 정확한 위치 검출 장치가 없어 휴식 또는 정비 후 재작업 시 초기 결주 및 육묘량 편차가 발생
- 이양 작업 중 묘탑재판의 정비 상황 발생 시 묘탑을 이동하여도 이동 전 위치를 기억하여 정비 완료 후 기존 위치로 재배치하기 위해, 정확한 묘탑재판의 위치를 검출할 수 있도록 하는 시스템

㉡ 시스템 구성

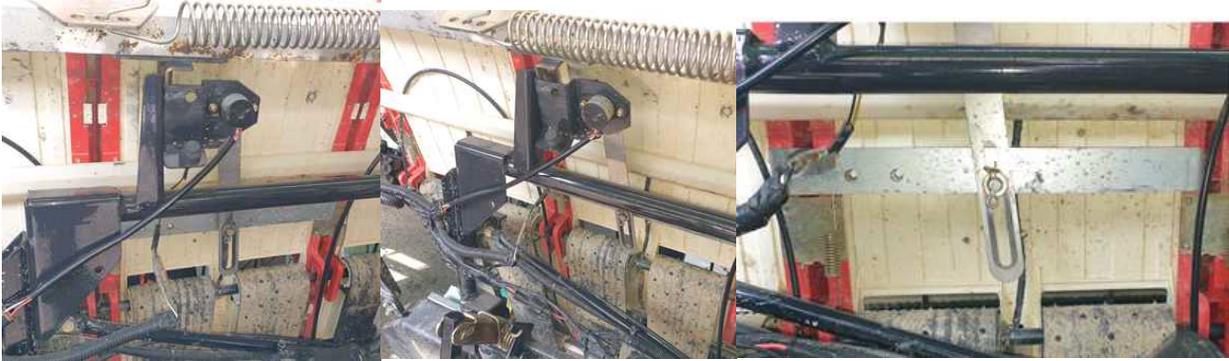
- 시스템 구조는 식부 프레임, 묘탑재대 작동부, 위치 검출 센서부로 구성되어 있음
- 식부프레임은 묘탑재대를 지지해 주는 동시에 위치 검출 센서부를 쉽게 조립할 수 있는 구조로 되어있음
- 위치 검출 센서부는 묘탑재대 작동부와 링크 구조로 연결되어 있으며, 센서 취부판과 위치 센서, 위치 검출판으로 구성되어 있음
- 묘탑재대 작동부는 묘탑재대부에 조립되어 좌, 우로 이동 시 위치 센서에 신호를 입력하는 역할을 함



<묘탑재판 자동 위치 센싱 구조>

㉢ 기구부 부품 제작

- 각 부 샘플 제작을 진행하였으며, 센싱부를 통해 좌·우측 끝단으로 묘탑재판을 이동 및 정렬시킬 수 있었으며, 특정 위치 지정 후 묘탑재판을 움직였을 경우 스위치를 통해 지정한 위치로 되돌아가는 것을 확인할 수 있었음



<묘담재판 자동 위치 센싱부 실차>

나. 자동 선회로드부 개선

1) 조향각 센서 성능 시험(개선 전)

㉠ 시험 목적

- 스티어링 핸들 작동 시 센서 장착 위치에 따른 조향각 오차 확인

POTENTIOMETER SPECIFICATION		
NO	항 목	규 격
1	전기적 유효각도	110±3°
2	기계적 유효각도	120±5°
3	정격전력	0.2W at 70℃
4	사용온도범위	-25~80℃
5	분해능	12bit
6	최대전압	+20V
7	역전압	-10V
8	정격전압	MIN4.5~MAX5.5V
9	최대출력전류	30mA
10	소비전류	10mA
11	정격전류	Analog Output mode -8~8mA

<포텐서메터 재원>

㉡ 시험 방법

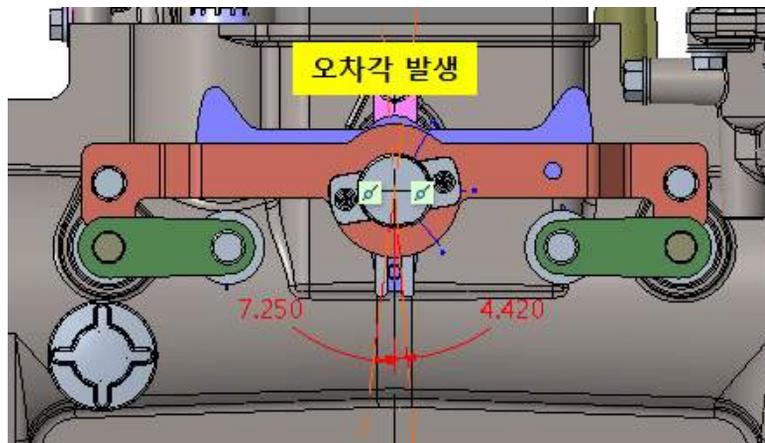
- 조향각 센서를 이양기 후차축 미션 상단부와 Steering Column 하단부에 부착하여 조향각을 측정함
- Steering Column 하단부에 부착한 조향각 센서는 조향축 직결 구동으로 오차 측정의 기준
- 핸들 조향을 시계방향으로 5회 / 반시계방향으로 5회 작동하여 조향각 센서의 오프셋 변화량과 지연 시간을 분석함(이 때 출력 전압을 100ms로 로그)



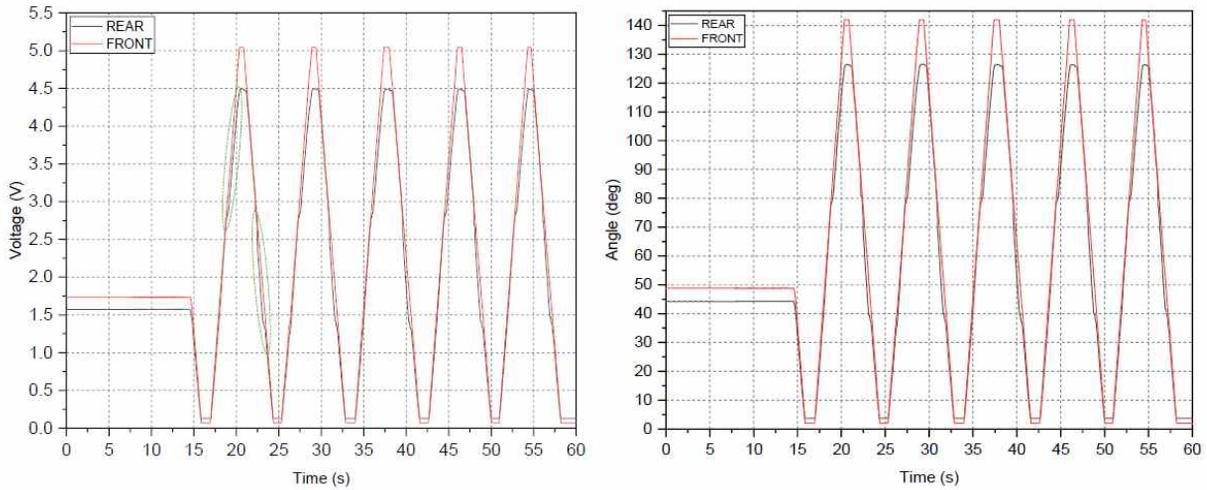
<조향각 센서 부착 위치>

© 시험결과

- 시계방향, 반시계방향 조향 시 특정 구간에서 반복적인 조향각 오차가 발생함
- 시계방향 조향 시, 출력 전압 2.75V 이상에서 센서 A와 센서 B의 출력 전압 오차가 발생하며, 최대 0.26V 오차가 발생함
- 반시계방향 조향 시, 출력 전압 2.75V 이하에서 센서 A와 센서 B의 출력 전압 오차가 발생하며, 최대 0.16V 오차가 발생함
- 이양기 총 조향각이 140°로 가정할 경우 시계방향으로 최대 7.25°, 반시계방향으로 최대 4.42° 오차가 발생



<포텐셔미터 오차각 발생>



<조향각 센서 시험 그래프_개선 전>

2) 조향각 센서부 개선

- 조향각 오차를 줄이기 위해서 오차 발생 구간이 발생하지 않는 조향각 센서 장착 위치 선정 또는 자동선회 링크부 공차 개선이 필요하다고 판단됨
- 조향각 센서 장착 위치를 Steering Column 하단부로 변경 시, 이양기 작업환경을 고려하였을 때 센서가 이물질에 노출이 많이 되므로 불합리하다고 판단됨
- 따라서, 자동선회 링크부 공차 개선을 통해 문제를 해결하고자 하였음

Ⓐ 개선 사항

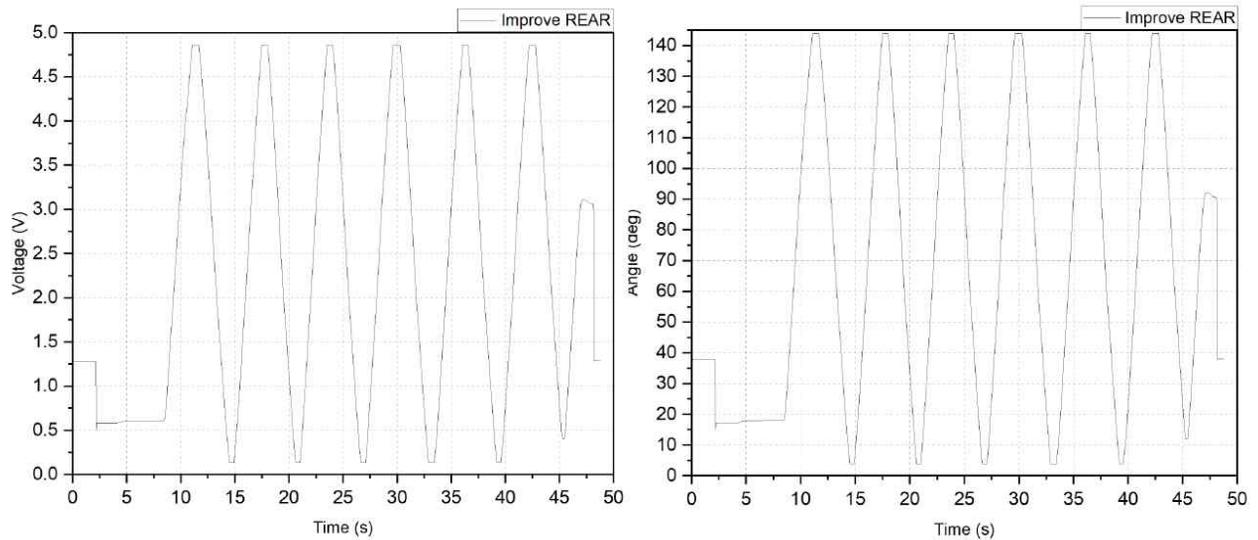
- 전방 링크부 구조를 핀 구조에서 볼조인트로 변경하여 유격량을 개선하였음
- 후방 축 조립부는 소재(SPHC -> S45C)로 소재 변경 및 열처리를 하여 강도 개선을 통한 변형을 방지하였고 유격량을 개선하였음



변경 전	변경 후
<p style="text-align: center;">- 소재 SPHC - 핀 TYPE</p>	<p style="text-align: center;">- 소재 S45C - 열처리 - 볼조인트 TYPE</p>

3) 조향각 성능 시험(개선 후)

- 개선 부품 적용 후 후차축 미션 상단부에 조립하여 동일한 조건으로 시험 결과, 개선 전 특정 구간에서 반복적으로 발생하던 오차가 개선품 적용 후 발생하지 않는 것을 확인하였음



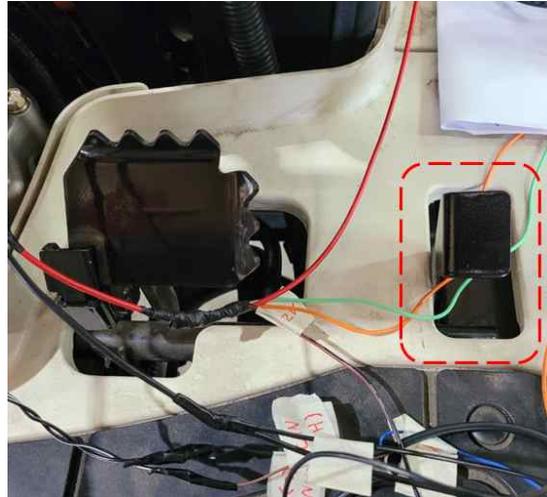
<조향각 센서 시험 그래프_개선 후>

다. 엔진 RPM 제어 시스템 개선

- U형 자동 선회 적용 시 이양기 조향이 좌/우 60° 이상 선회할 경우 최대 조향각에 미치기 전 자율주행 기능이 해제되는 현상이 발생
- 엔진 RPM 상승 시 정상적으로 작동하였으며, 이는 저속에서는 RPM이 낮아 U형 자동

선회가 작동하지 않는 문제점을 가지고 있음

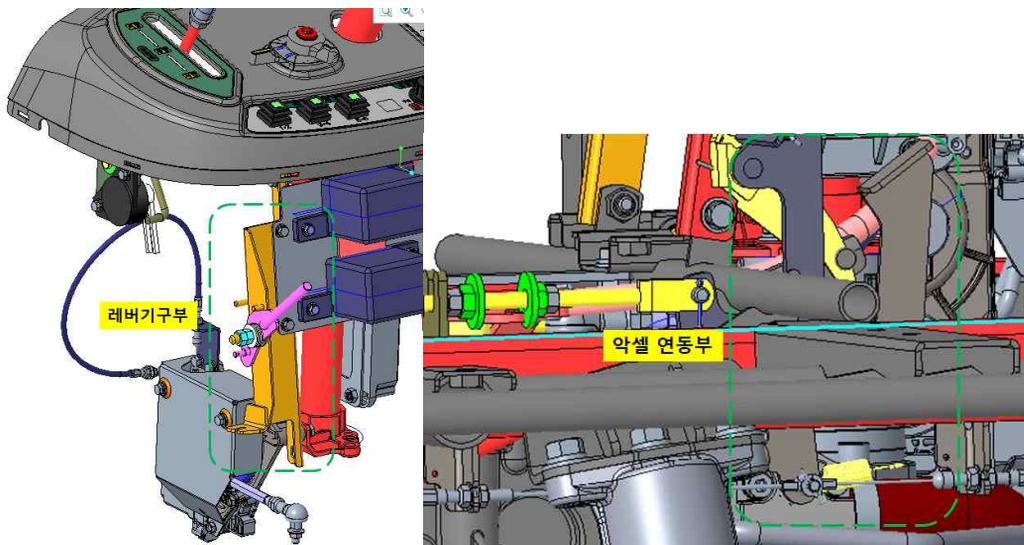
- 현재 이양기 엔진 RPM 제어 구조는 풋악셀 타입으로 RPM만 단독으로 고정할 수 없는 구조로 되어있어, 레버로 연동하여 제어할 수 있도록 시스템 개선



<풋악셀 구조>

1) 레버 연동 엔진 RPM 제어 시스템

- 레버 기구부 레이아웃은 조향부 측 지지플레이트 부품을 수정하여 레버 및 작동와이어를 조립할 수 있도록 구성하였음
- 악셀 연동부는 와이어를 활용하여 풋악셀과 레버를 연동해 레버 작동 시 엔진 RPM 단독으로 제어가 될 수 있도록 구성하였음



<레버 연동 엔진 RPM 시스템 레이아웃>

- 시스템 구성 결과 엔진 RPM을 단독으로 800~3,400RPM까지 제어가 가능하도록 하여, U형 자동 선회 시 발생하는 문제를 개선하였음



<레버 연동 엔진 RPM 시스템 확인>

6. 자율 주행 조향 모듈 성능 시험

가. 조향 모듈 실차 토크 분석

1) 각 사 조향 토크 비교 분석 시험

㉠ 시험 목적

- 자율 주행 조향 모듈 토크 계측 시험을 통해, 핸들 조향력 적합성 판단을 위한
- 각 사 조향력을 비교 분석하여 개발 모듈의 신뢰성을 검증하기 위한

㉡ 시험 방법

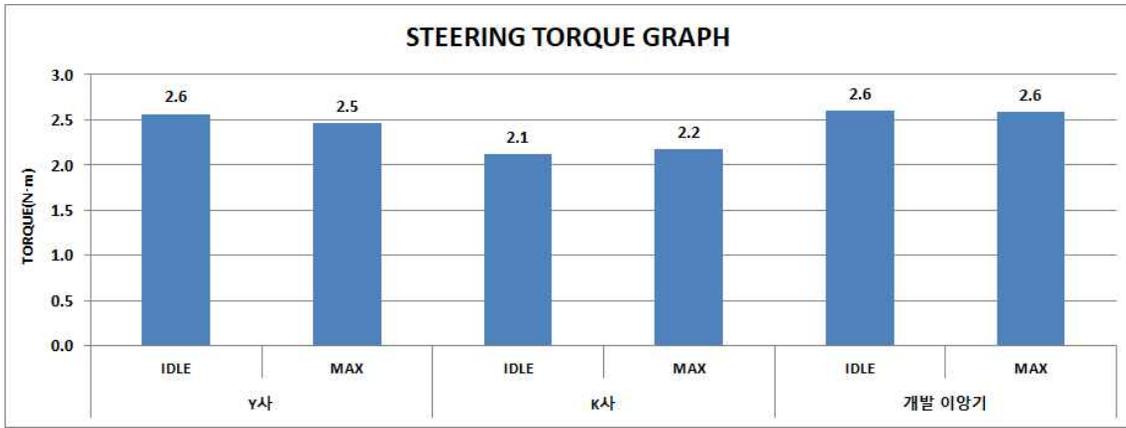
- 자율 조향 모듈을 실차 조립하여 시동 후 정지 상태에서 계측
- 비교 계측을 위해 Y사, K사의 이양기 선정
- Steering Force Meter(TR 60 DEC 100N.M)를 핸들에 장착하여 측정
- IDLE RPM / MAX RPM일 때, 좌, 우 최대 조향각까지 5반복 핸들 작동을 통해 데이터 수집 및 평균값 도출



<조향력 계측 장비 구성>

㉢ 시험 결과

- 조향 토크 그래프에 따르면, IDLE RPM에서는 평균 핸들 조향력이 Y사 2.6N·m, K사 2.1N·m, 개발 이양기 2.6N·m로 K사가 조향력이 가장 작았으며, Y사와 개발이양기가 유사하였음
- MAX RPM에서 평균 핸들 조향력이 Y사 2.5N·m, K사 2.2N·m, 개발이양기 2.6N·m로 K사가 조향력이 가장 작았으며, Y사와 개발이양기가 유사하였음

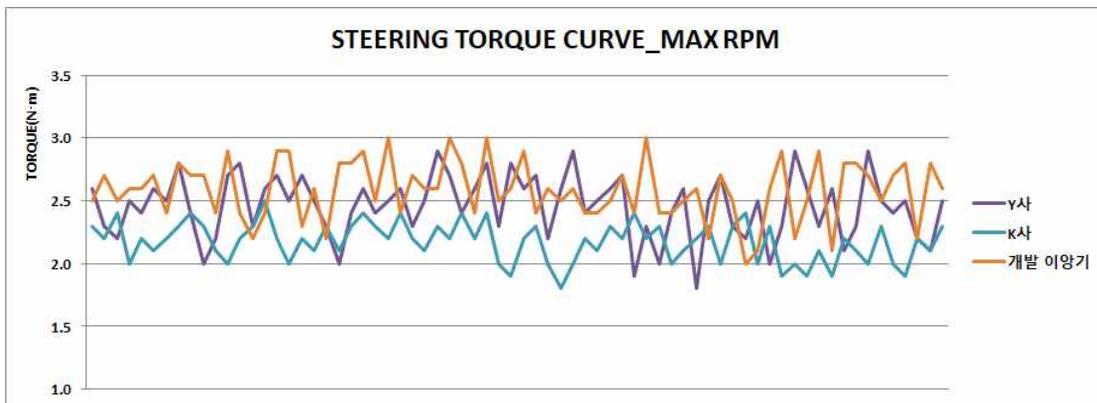
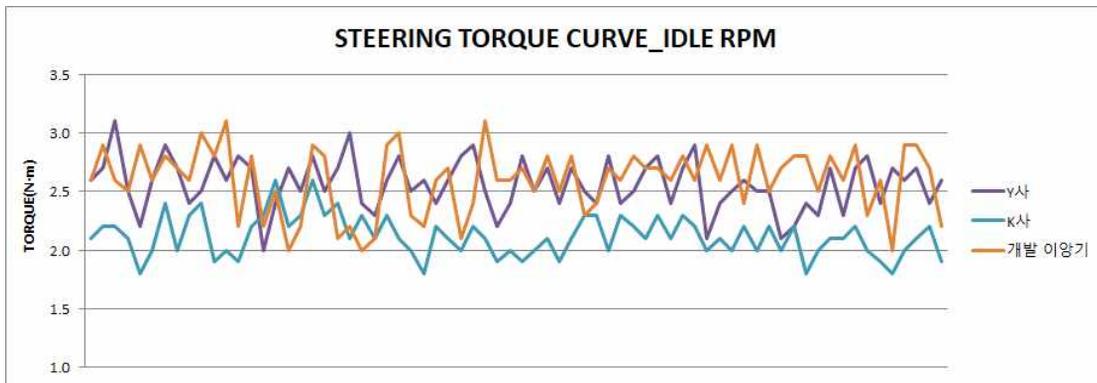


<조향토크 그래프>

- 조향 토크 곡선 분석 결과, IDLE RPM에서 표준 편차가 개발이양기는 0.28로 편차가 가장 컸으며, K사는 0.17로 편차가 가장 작았음
- MAX RPM에서 표준 편차가 Y사는 0.25로 편차가 가장 컸으며, K사는 0.16으로 편차가 가장 작았음

STEERING TORQUE STANDARD DEVIATION					
IDLE RPM			MAX RPM		
Y사	K사	개발 이양기	Y사	K사	개발 이양기
0.22	0.17	0.28	0.25	0.16	0.24

<조향 토크 표준편차>



<조향 토크 곡선>

- 데이터에 따르면 K사의 조향력 및 조향력 편차가 가장 작았으며, Y사와 개발이앙기 조향력과 조향력 편차가 유사한 것으로 나타남
- 감성 평가 시 각 사간 조향력에 대해 큰 차이가 느껴지지 않으며, 데이터 상 큰 차이가 발생하지 않으므로 개발 조향 모듈의 조향력이 적합하다고 판단됨

7. 자동 선회 이양기 성능 시험 및 개선

가. 주행오차 시험

1) 주행오차 비교 성능 시험_노상

㉠ 시험 목적

- 노상에서 K사 직진 자율주행 이양기 및 개발 이양기 주행 성능 확인 및 비교

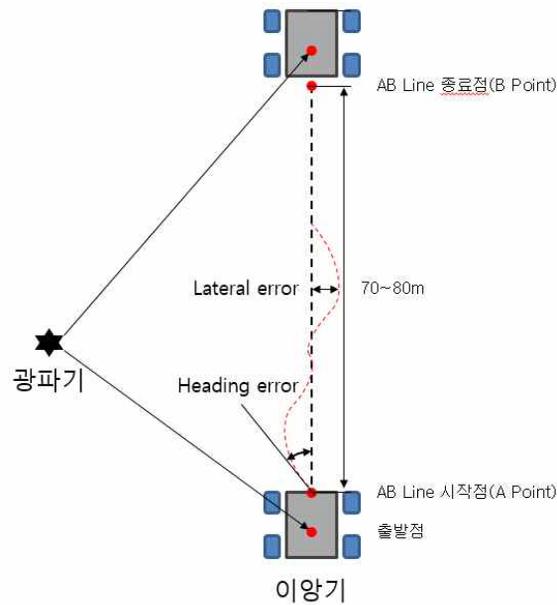
㉡ 시험 방법

- 작업 속도 별(2km/h, 4km/h, 6.5km/h) 노상에서 30m 직진 자율 주행하여 측정
- 시험 장비는 광파기를 이용하여 직진 주행 오차를 확인하였으며, 프리즘 부착 위치는 IMU 지지대 하단부에 부착하였음

광파기(iX-1001) SPECIFICATION		
망원경		전체길이: 142mm
		유효경: 38mm(EDM)
		배율: 30x
		상: 정상
		분할률: 2.5"
		시계: 1°30'
		최단초점거리: 1.3m
		포커싱 나사 기어비: 1단
측각부	최소표시	0.5"/1"
	정밀도	1"
	자동 2축 보정장치	보정범위: ±6'
측거부	광파 시그널 대역	적색 레이저 다이오드, 690mm 무타겟: Class 3R
	측정가능범위_360° 프리즘	1.3~1000m
	최소표시	0.0001 / 0.001m(트래킹 측정: 0.001 / 0.01m)
	정밀도(측정시간)_프리즘	±(1+2ppm x D)mm
	측정시간_정밀모드	1.5(첫 회) + 0.9초 이하

<광파기(iX-1001) 제원표>

- 시험 주행 경로를 좌표값 A점과 B점으로 설정하였음
- 자율 주행 모드 활성화에 필요한 사용자 직진 주행 거리 3m에 대한 주행 오차는 반영하지 않음
- 설정 경로를 따라 K사 및 개발 이양기를 운행 후 실제 운행 경로와 이론적인 오차를 확인



<주행 오차 시험 방법>



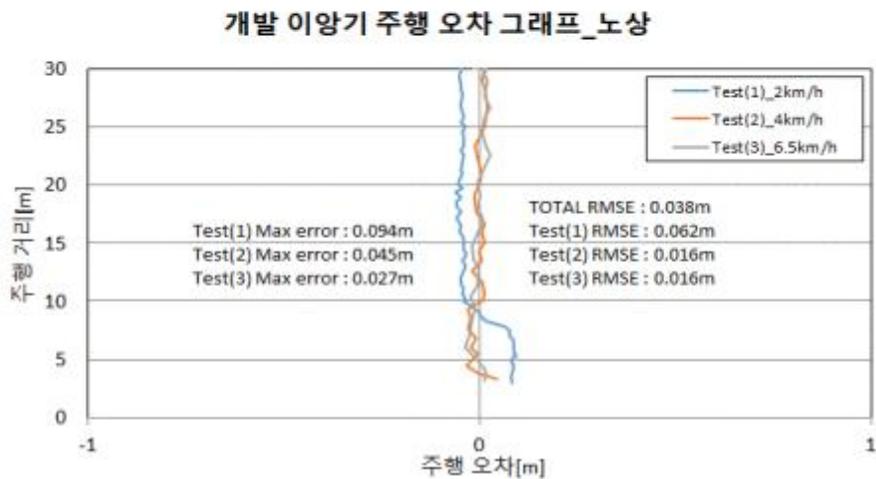
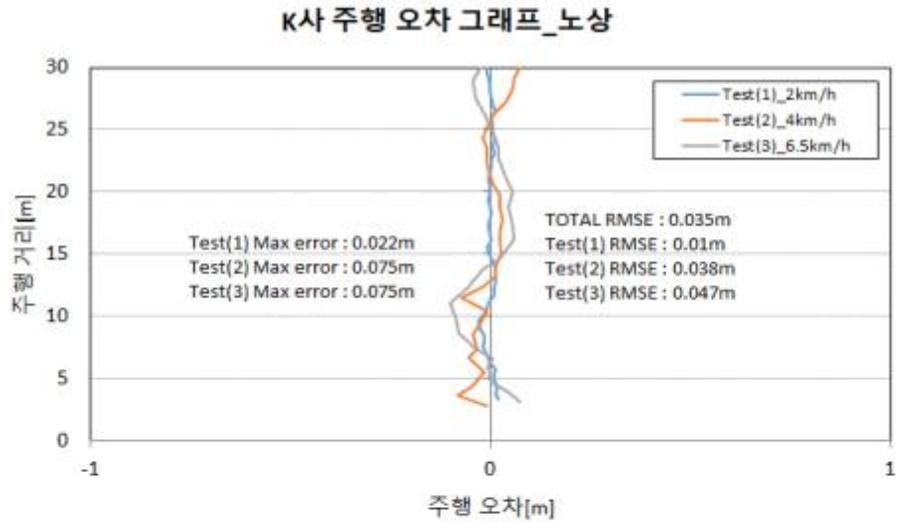
<주행 오차 시험 준비>

㉔ 시험 결과

- 속도에 따른 자율 주행 오차 분석 결과, K사 이양기의 초기 시험 경로 대비 자율 직진 주행 표준 오차(RMSE)는 저속(2km/h)에서 0.01m, 중속(4km/h)에서 0.038m, 고속(6.5km/h)에서 0.047m로 저속에서 고속으로 갈수록 정밀도가 떨어지는 것을 확인하였음
- K사 이양기의 주행 최대 오차는 저속에서 0.022m, 중·고속에서 0.075m로 저속보다 중·고속에서 약 0.053m 주행 오차가 더 크게 계측되었음
- 개발 이양기의 초기 시험 경로 대비 자율 직진 주행 표준 오차(RMSE)는 저속에서 0.062m, 중·고속에서 0.016m로 저속보다 고속에서 정밀도가 높은 것을 확인하였음
- 개발 이양기의 주행 최대 오차는 저속에서 0.094m, 중속에서 0.045m, 고속에서 0.027로 고속보다 저속에서 주행 오차가 더 크게 계측되었음
- 전체 표준 오차는 K사 0.035m, 개발 이양기 0.038m로 노상에서의 주행 오차는 동등 수준으로 판단됨

주행 오차 비교_노상				
	K사		개발 이앙기	
	RMSE	Max Error	RMSE	Max Error
Test(1)_2km/h	0.01	0.022	0.062	0.094
Test(2)_4km/h	0.038	0.075	0.016	0.045
Test(3)_6.5km/h	0.047	0.075	0.016	0.027
TOTAL	0.035		0.038	

<직진 주행 오차 비교 표>



<속도 별 직진 주행 오차 그래프>

나. 주행오차 시험_필드

1) 주행오차 비교 성능 시험_필드

Ⓐ 시험 목적

- 포장지에서 K사 직진 자율주행 이앙기 주행 성능 확인 및 비교

Ⓑ 시험 방법

- 시험 장비는 노지 성능 시험과 동일한 장비를 활용하였음
- 시험 장소는 사내 시험 포장지(면적: 1608m²[약 500평])로 선정하였으며, 이앙기의 식부부를 하강한 상태에서 최고 속도(6.5km/h)로 총 3회 직진 주행하여 오차를 측정함
- 기존 노지에서의 시험과 달리 행정거리를 50m로 하였으며, 최고속도 3회 반복을 통해 결과 데이터의 신뢰성을 높임
- 상기 부분을 제외한 시험 방법은 노지에서의 시험 방법과 동일함



<필드 성능 시험>

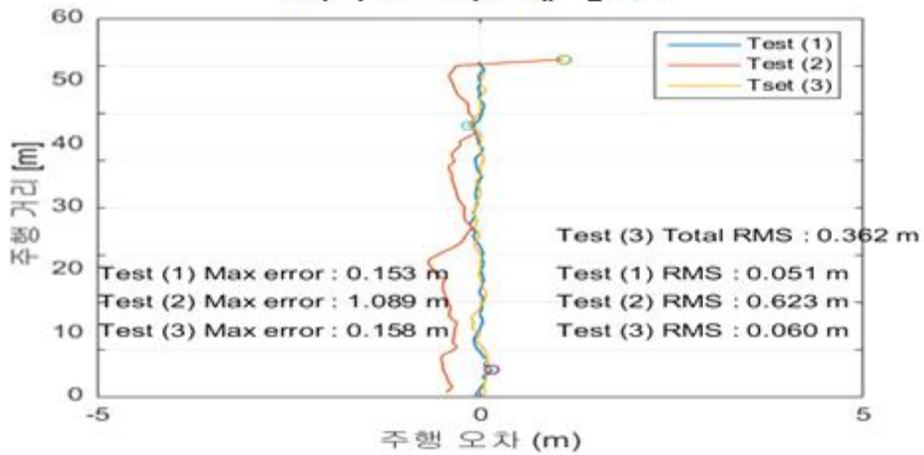
Ⓒ 시험 결과

- 최고속도(6.5km/h)에서 3반복 측정 결과, K사 이앙기의 초기 시험 경로 대비 자율 직진 주행 표준 오차(RMSE)는 1차 테스트에서 0.051m, 2차 테스트에서 0.623m, 3차 테스트에서 0.06m로, 전체 표준 오차는 0.362m로 측정되었음
- K사 이앙기의 최대 주행 오차는 1차 테스트에서 0.153m, 2차 테스트에서 1.089m, 3차 테스트에서 0.158m로, 2차 테스트에서 가장 큰 오차가 발생함
- 개발 이앙기의 초기 시험 경로 대비 자율 직진 주행 표준 오차(RMSE)는 1차 테스트에서 0.08m, 2차 테스트에서 0.269m, 3차 테스트에서 0.734m로, 전체 표준 오차는 0.454m로 나타남
- 개발 이앙기의 최대 주행 오차는 1차 테스트에서 0.191m, 2차 테스트에서 0.818m, 3차 테스트에서 1.236m로, 3차 테스트에서 가장 큰 오차가 발생함
- K사는 전체 표준 오차 0.362m로 노상에서의 측정 데이터 대비 주행 오차가 0.315m 증대되었으며, 개발 이앙기는 0.416m 증대되어 두 기종 모두 포장에서 주행 오차가 대폭 커지는 것이 확인되었음

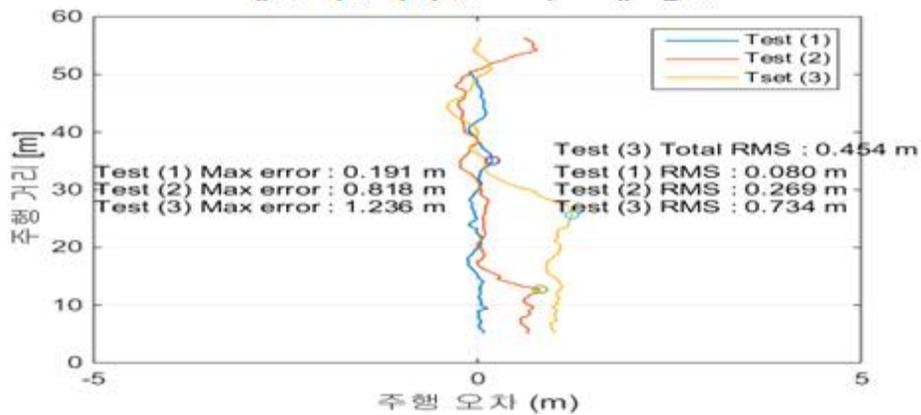
주행 오차 비교_필드				
	K사		개발 이양기	
	RMSE	Max Error	RMSE	Max Error
Test(1)	0.051	0.153	0.08	0.191
Test(2)	0.623	1.089	0.269	0.818
Test(3)	0.06	1.158	0.734	1.236
TOTAL	0.362		0.454	

<직진 주행 오차 비교 표>

K사 주행 오차 그래프_필드



개발 이양기 주행 오차 그래프_필드



다. IMU 진동 시험 및 개선

1) IMU Mounting Position Vibration 시험

Ⓐ 시험 목적

- 포장지에서 K사 직진 자율주행 이양기와 개발 이양기 IMU 진동 성능 평가 및 비교

Ⓑ 시험 방법

- 이양기 작업 단수에서 속도 별(2km/h, 4km/h, 6.5km/h) 3단계로 나누어, 3회 반복하여 진동

계측 시험을 진행함

- 육묘 중량을 대체하기 위해, 묘탑재대에 각 조당 약 13kg의 고무 플레이트 6개를 장착하여 총 78kg의 중량을 부가하였으며, 예비 묘탑재대에 약 5kg의 고무 플레이트 6개를 장착하여 총 30kg의 중량을 부가하였음
- 속도계를 장착하여 기대의 속도를 확인하였으며, 3축 가속도 센서와 소음·진동 계측기를 활용하여 X축, Y축, Z축에 대한 데이터 수집을 진행하였음
- 가속도 센서는 IMU 마운팅부 중앙에 부착함



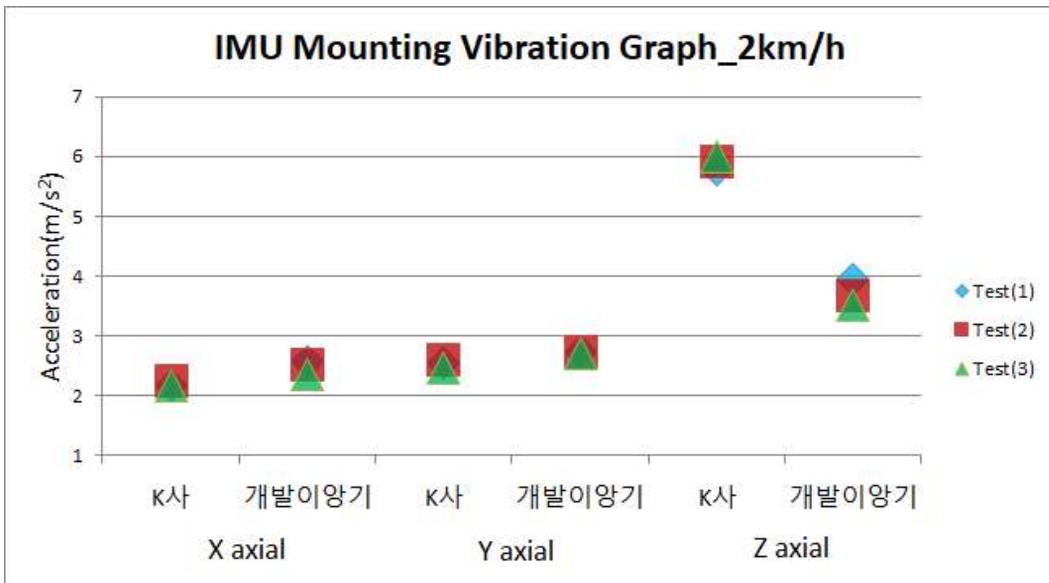
<시험 장비 및 좌표계 설정>

© 시험 결과

- 작업속도 2km/h 진동 시험
 - IMU 마운팅부 진동 시험 결과, X축 최대 진동은 K사는 2.24m/s², 개발 이양기는 2.57m/s²이며, 3회 시험 평균 진동은 K사는 2.19m/s², 개발 이양기는 2.48m/s²으로 개발 이양기가 K사보다 약 0.3m/s² 전·후 진동이 큰 것으로 나타남
 - Y축 최대 진동은 K사는 2.59m/s², 개발 이양기는 2.74m/s²이며, 3회 시험 평균 진동은 K사는 2.54m/s², 개발 이양기는 2.73m/s²으로 개발 이양기가 K사보다 약 0.2m/s² 좌·우 진동이 큰 것으로 나타남
 - Z축 최대 진동은 K사는 5.99m/s², 개발 이양기는 3.95m/s²이며, 3회 시험 평균 진동은 K사는 5.89m/s², 개발 이양기는 3.71m/s²으로 개발 이양기가 K사보다 약 2.18m/s² 상·하 진동이 작은 것으로 나타남

IMU Mounting Vibration Test Sheet_2km/h						
	X axial		Y axial		Z axial	
	K사	개발 이 양 기	K사	개발 이 양 기	K사	개발 이 양 기
Test(1)	2.16	2.57	2.55	2.73	5.77	3.95
Test(2)	2.24	2.51	2.59	2.74	5.92	3.67
Test(3)	2.17	2.35	2.47	2.72	5.99	3.57
Average	2.19	2.48	2.54	2.73	5.89	3.71

<IMU 마운팅부 진동 시험 표_2km/h>

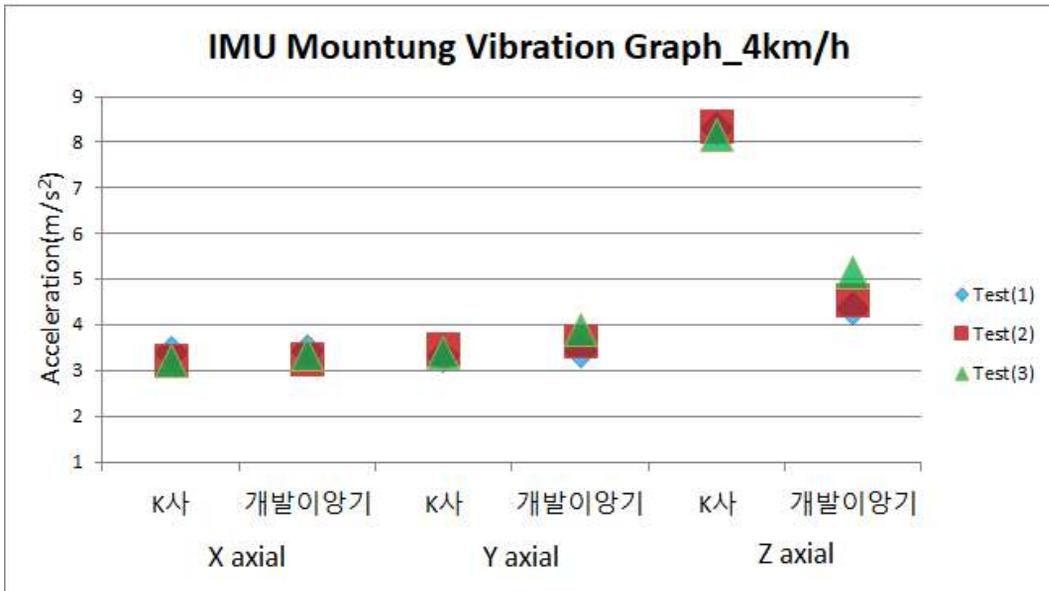


<IMU 마운팅부 진동 시험 그래프_2km/h>

- 작업속도 4km/h 진동 시험
 - IMU 마운팅부 진동 시험 결과, X축 최대 진동은 K사는 3.38m/s², 개발 이양기는 3.43m/s²이며, 3회 시험 평균 진동은 K사는 3.27m/s², 개발 이양기는 3.34m/s²으로 개발 이양기와 K사의 전·후 진동이 대동소이한 것으로 나타남
 - Y축 최대 진동은 K사는 3.48m/s², 개발 이양기는 3.89m/s²이며, 3회 시험 평균 진동은 K사는 3.4m/s², 개발 이양기는 3.65m/s²으로 개발 이양기가 K사보다 약 0.2m/s² 좌·우 진동이 큰 것으로 나타남
 - Z축 최대 진동은 K사는 8.34m/s², 개발 이양기는 5.14m/s²이며, 3회 시험 평균 진동은 K사는 8.27m/s², 개발 이양기는 4.69m/s²으로 개발 이양기가 K사보다 약 3.58m/s² 상·하 진동이 작은 것으로 나타남

IMU Mounting Vibration Test Sheet_4km/h						
	X axial		Y axial		Z axial	
	K사	개발 이 양 기	K사	개발 이 양 기	K사	개발 이 양 기
Test(1)	3.38	3.43	3.32	3.44	8.32	4.37
Test(2)	3.23	3.26	3.48	3.63	8.34	4.55
Test(3)	3.2	3.34	3.39	3.89	8.16	5.14
Average	3.27	3.34	3.4	3.65	8.27	4.69

<IMU 마운팅부 진동 시험 표_4km/h>



<IMU 마운팅부 진동 시험 그래프_4km/h>

- 작업속도 6.5km/h 진동 시험

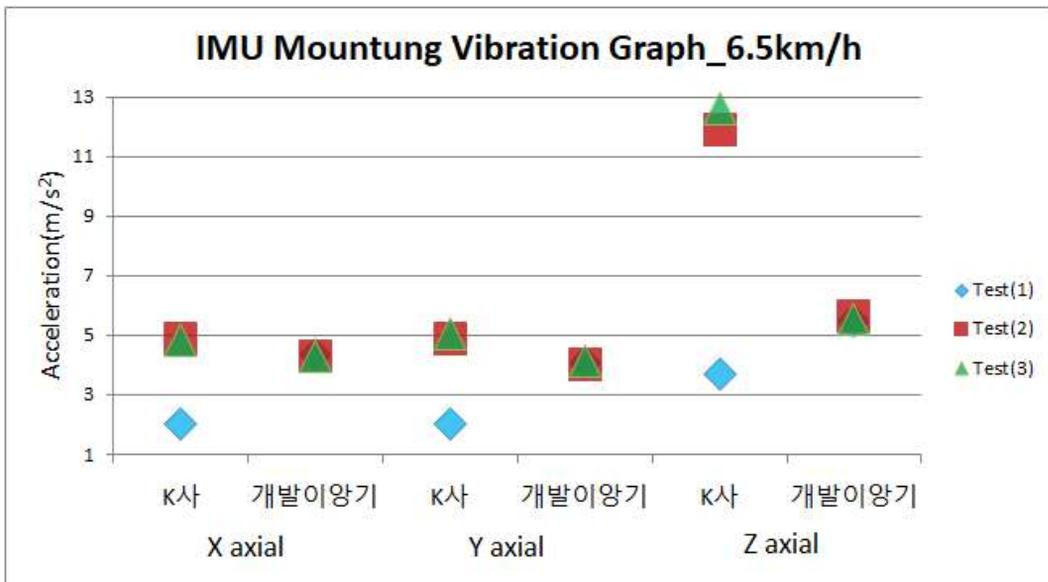
· IMU 마운팅부 진동 시험 결과, X축 최대 진동은 K사는 4.91m/s², 개발 이양기는 4.35m/s²이며, 3회 시험 평균 진동은 K사는 3.94m/s², 개발 이양기는 4.33m/s²으로 개발 이양기가 K사보다 약 0.4m/s² 전·후 진동이 큰 것으로 나타남

· Y축 최대 진동은 K사는 5.05m/s², 개발 이양기는 4.14m/s²이며, 3회 시험 평균 진동은 K사는 4.0m/s², 개발 이양기는 4.08m/s²으로 개발 이양기와 K사의 좌·우 진동이 대동소이한 것으로 나타남

· Z축 최대 진동은 K사는 12.6m/s², 개발 이양기는 5.63m/s²이며, 3회 시험 평균 진동은 K사는 9.41m/s², 개발 이양기는 5.56m/s²으로 개발 이양기가 K사보다 약 3.85m/s² 상·하 진동이 작은 것으로 나타남

IMU Mounting Vibration Test Sheet_4km/h						
	X axial		Y axial		Z axial	
	K사	개발 이 양 기	K사	개발 이 양 기	K사	개발 이 양 기
Test(1)	2.06	4.35	2.03	4.08	3.73	5.49
Test(2)	4.91	4.31	4.91	4.08	11.9	5.63
Test(3)	4.84	4.32	5.05	4.14	12.6	5.56
Average	3.94	4.33	4.0	4.08	9.41	5.56

<IMU 마운팅부 진동 시험 표_4km/h>



<IMU 마운팅부 진동 시험 그래프_6km/h>

· 주행 속도 별 IMU Mounting부 진동 시험 결과, 전·후 진동 및 좌·우 진동은 K사와 대동소이하며, 상·하 진동은 개발 이양기가 더 작으므로, 개발 이양기의 IMU 마운팅 프레임이 더욱 우수한 것으로 판단됨

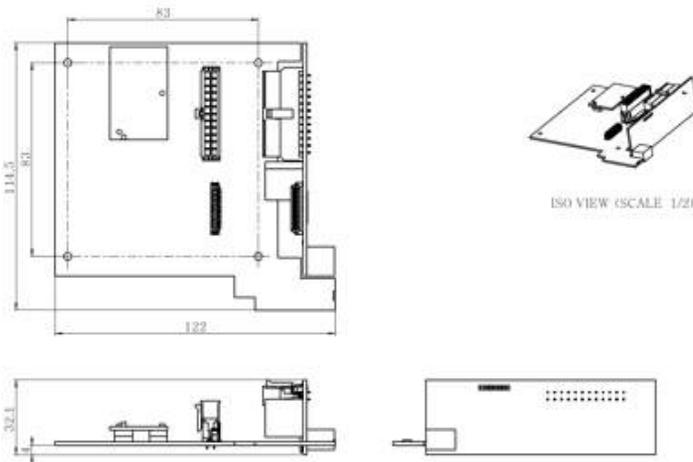
8. 자율주행 제어성능 최적화 연구

가. 자율주행 제어기 최종 시제품 제작

- 제어기 보드 제작
- 제어기 케이스 제작 및 제어기 조립(외장형, 내장형)
- 제어 입력 스위치 모듈 제작
- 제어기 배선 제작

제어기 최종 시제품 사양

System		
CPU	Arm Cortex-M7 core	
RAM	64MB	
FLASH	32MB	
Voltage Input	5.5~36VDC	
Interface		
CAN	Extended CAN 2.0B, 2 Channel	
Ethernet	1 Port	
RS-232	1 Port	
Input	x8 DI/ADC/FRQ, Need Config	
Output	x4 LS	



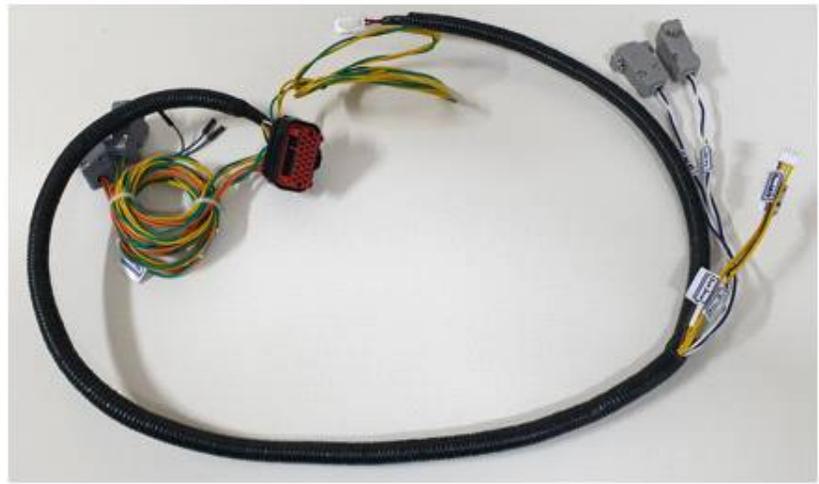
제어기 보드 설계도면



제어기 보드 최종 시제품



제어기 최종 시제품 제작(좌:외장형, 우:내장형)



자율주행 스위치모듈(좌), 자율주행 제어기 배선 시제품(우)
자율주행 제어기 관련 부대 부품 제작

나. 자율주행 제어기 임베디드 프로그램 개발

- 개발환경 : Ubuntu 16.04 C 프로그램 기반
- 제어기 Firmware 프로그램 제작 및 자율주행 알고리즘 포팅

자율주행 이양기 CAN Protocol

No.	ID (HEX)	Cycle Time	Data Length	Packet Name	Signal ByteNo	Signal Length	Signal Bit	Value
		(ms)	(byte)					
1	0x19FFA200	20	8	Control Mode : Auto	0		7	0 : OFF, 1 : ON
2				Off-track Error	3..4	int16		좌:-32768~0, 우:0~32767
3				Working Time	5	uint8		0~255
4	0x19FFA201	20	8	Working Distance	0..1	uint16		0 ~ 65535
5				Working Area	4..7	uint32		0~4294967295
6	0x18FF2800	20	8	Latitude	0..3	uint32		4294967295
7				Longitude	4..7	uint32		4294967295
8	0x18FF2801		Fix Position	6	uint8		0 ~ 5	
9			gps_can_ count	7	uint8		0~255	
10	0x0C3C474A	10	8	Fault Reset	0		0	0:Normal, 1:Fault Reset
11				Motor control mode			6	0:Torque, 1:Speed
12				Speed Limit atTorqueMode	3..4	uint16		0~65535
13				Torque_Request	5..6	uint16		0~65535
14	0x19FFA216	20	8	Front Overturning Alarm	0		7	0 : OFF, 1 : ON
15				Side Overturning Alarm			6	0 : OFF, 1 : ON
16	0x18FF7832	100	8	후진스위치	1		2	0 : OFF, 1 : ON
17				상승스위치			5	0 : OFF, 1 : ON
18				하강스위치			6	0 : OFF, 1 : ON
19				각조 클러치 1	4		1	0 : 정상, 1 : 끊음
20				각조 클러치 2			2	0 : 정상, 1 : 끊음
21				각조 클러치 3			3	0 : 정상, 1 : 끊음
22				각조 클러치 4			4	0 : 정상, 1 : 끊음
23	0x18FF8232	100	8	이양부 위치값	0	uint8		0~255
24				조향각센서1	6	uint8		0~255
25	0x1832C800			조향각센서2	1.2	int16		-32768~32767
26	0x18FF8C32	100	8	차속센서1	5	uint8		0~255
27	0xC3C4000	100	8	차속센서2	0	uint8		0~255
28	0x19FFAA4A	100	8	식부제어 1	0	uint8		0~255
29				식부제어 2	1	uint8		0~255
30				식부제어 3	2	uint8		0~255
31	0x18FF3200	100	8	Yaw angle	0.1	uint16		0~65535

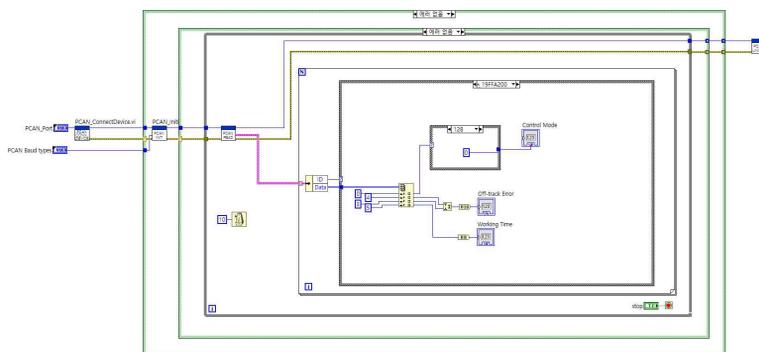
자율주행 이양기 모니터링 항목

No.	Group	Packet Name	CAN ID	
1	자율주행제어	Control Mode : Auto	0x19FFA200	
2		Off-track Error	0x19FFA200	
3		Working Time	0x19FFA200	
4		Working Distance	0x19FFA201	
5		Working Area	0x19FFA201	
6		Latitude	0x18FF2800	
7		Longitude	0x18FF2800	
8		Fix Position	0x18FF2801	
9		gps_can_count	0x18FF2801	
10	차량제어	Fault Reset	0x0C3C474A	
11		Motor control mode	0x0C3C474A	
12		Speed Limit at TorqueMode	0x0C3C474A	
13		Torque_Request	0x0C3C474A	
14		Front Overturning Alarm	0x19FFA216	
15		Side Overturning Alarm	0x19FFA216	
16		후진스위치	0x18FF7832	
17		상승스위치	0x18FF7832	
18		하강스위치	0x18FF7832	
19		각조 클러치 1	0x18FF7832	
20		각조 클러치 2	0x18FF7832	
21		각조 클러치 3	0x18FF7832	
22		각조 클러치 4	0x18FF7832	
23		이양부 위치값	0x18FF8232	
24		식부제어 1	0x19FFAA4A	
25		식부제어 2	0x19FFAA4A	
26		식부제어 3	0x19FFAA4A	
27		차량센서	조향각센서1	0x18FF8232
28			조향각센서2	0x1832C800
29			차속센서1	0x18FF8C32
30			차속센서2	0xC3C4000
31	Yaw angle		0x18FF3200	

9. 자율주행 성능 실증 및 보완

가. 제어기 모니터링 Test 프로그램 제작

- 자율주행 중 차량과 제어기간의 통신 및 제어명령 모니터링을 위한 시험 프로그램 제작
- 프로그램 개발 환경 : NI LabView 2018

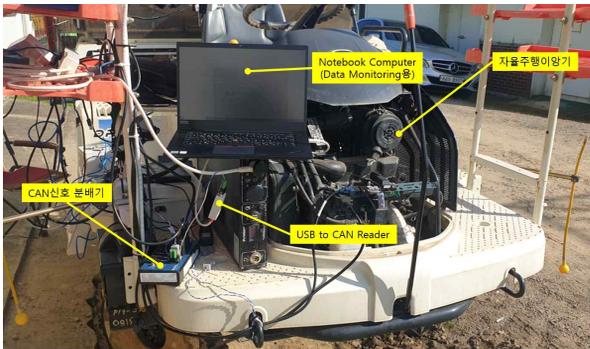


나. 임베디드 제어기 이양기 적용 및 탑재시험

- 제어기 모니터링 프로그램을 이용하여 이양기에서 작동중인 제어기 CAN Message 확인.
- 자율주행 관련 하드웨어 작동시험 및 최적화.



시험이양기



제어기 시험장치 구성



자율주행 제어기 작동시험

시험장치 구성

USB to CAN Reader

- 제조사 : PEAK System
 - 제품명/모델명 : PCAN-USB / IPEH-002021
 - High-speed CAN connection (ISO 11898-2)
 - Bit rates from 5 kbit/s up to 1 Mbit/s
 - Time stamp resolution approx. 42 μ s
 - Compliant with CAN specifications 2.0A (11-bit ID) and 2.0B (29-bit ID)
 - NXP SJA1000 CAN controller, 16 MHz clock frequency
 - NXP PCA82C251 CAN transceiver
-

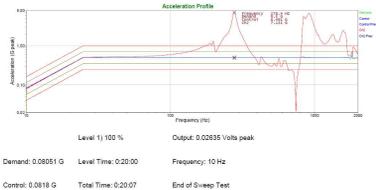
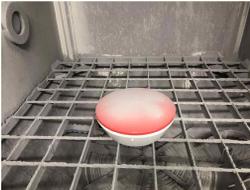
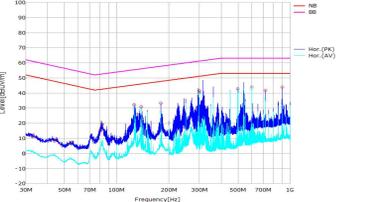
CAN Data Log Software

- 제조사 : PEAK System
 - 제품명 : PCAN-View Ver.4.3.4.615
-

CAN신호 분배기

- 제조사 : NI
 - 제품명/모델명 : CAN Breakout Box / 780041-01
 - 7 d-Sub Ports, 7 Screw Terminal Ports
 - On-board Power Supply and Switchable 120 Ω , 60 Ω or no-termination
-

- 자율주행 제어기 관련하여 다음과 같이 6개 항목에 대한 공인평가지험 진행.

<p>4. CAN 프로토콜</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발목표 : 1건 - 평가결과 : 1건, 달성 - 시험기관 : 농업기술실용화재단 - 시험성적서 : 제 M-21-01432호 (별첨) 	
<p>5. 모니터링 항목의 수</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발목표 : 20건 이상 - 평가결과 : 31건, 달성 - 시험기관 : 농업기술실용화재단 - 시험성적서 : 제 M-21-01433호 (별첨) 	
<p>6. 내진성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발목표 : KS R 1034 PASS - 평가결과 : PASS, 달성 - 시험기관 : (주)디티앤씨 - 시험성적서 : DRAFAE2011-2910 	 
<p>7. 내수성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발목표 : IP65(KS C IEC 60629) PASS - 평가결과 : PASS, 달성 - 시험기관 : (주)디티앤씨 - 시험성적서 : DRAFAE2011-2910 	 
<p>8. ESD(정전기시험)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발목표 : IP65(KS C IEC 60629) PASS - 평가결과 : PASS, 달성 - 시험기관 : (주)디티앤씨 	
<p>9. EMC(전자파시험)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발목표 : ECE R-10.06 PASS - 평가결과 : PASS, 달성 - 시험기관 : (주)디티앤씨 - 시험성적서 : DRAUTO2109-0369(1) 	 

10. U형 선회가 가능한 자동 선회 알고리즘 개발

가. 문제점 정의

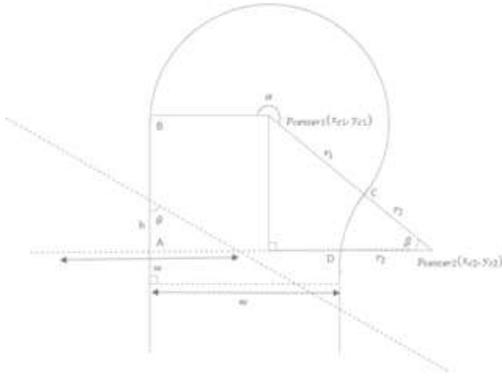


그림 397 Reverse R형턴 선회 경로(좌) 새머리구간에서 이양기 선회 예시(우)

- 기존의 고안된 Reverse R형턴(그림398[좌])의 경우에는 기존의 바퀴형 차량에서 사용되는 기하학 기반의 추종 가능 경로를 곡률을 기반으로 정의됨
- 하지만, 이양기의 경우에는 인접 열 진입을 용이하게 하기 위해 조향각이 일정한 각도로 틀어지면 선회 방향의 뒷차축의 동력을 끊어 피벗 형태로 선회하게 고안됨
- 이는 동력이 끊어지는 조향각 각도에도 불연속적인 제어 구간이 발생하여 이를 해결하기 위해 기존에는 최소 선회 반경을 크게 정의함
- 선회 반경이 크게 정의가 되어 선회 구간의 면적이 넓어지게 되며 이는 거리적·시간적 소실이 발생함
- 따라서, 이양기 고유의 선회 방식을 고려한 U형 선회 방식(그림398)의 알고리즘이 요구됨

나. U형 선회 알고리즘 구성 (그림398[우])

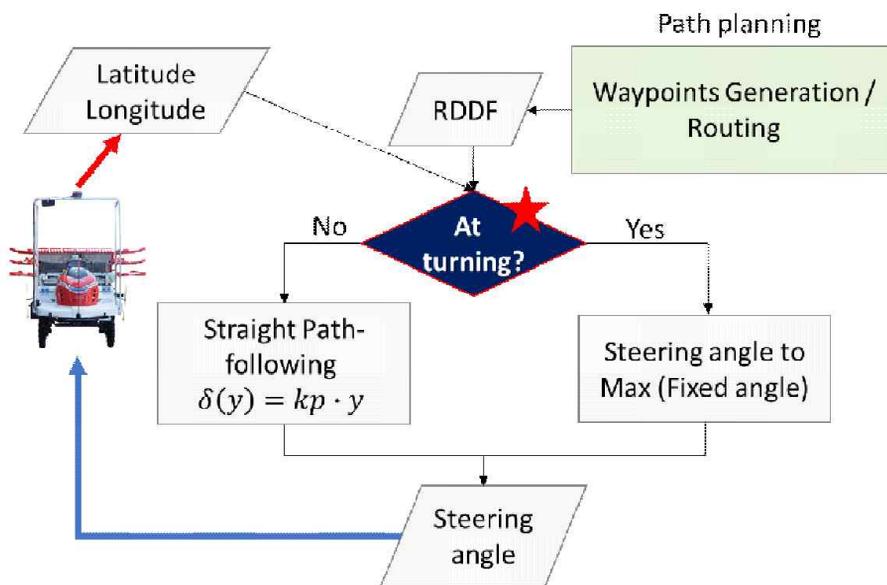


그림 398 자율주행 이양기 U형 선회 경로 추종 알고리즘 Flow Chart

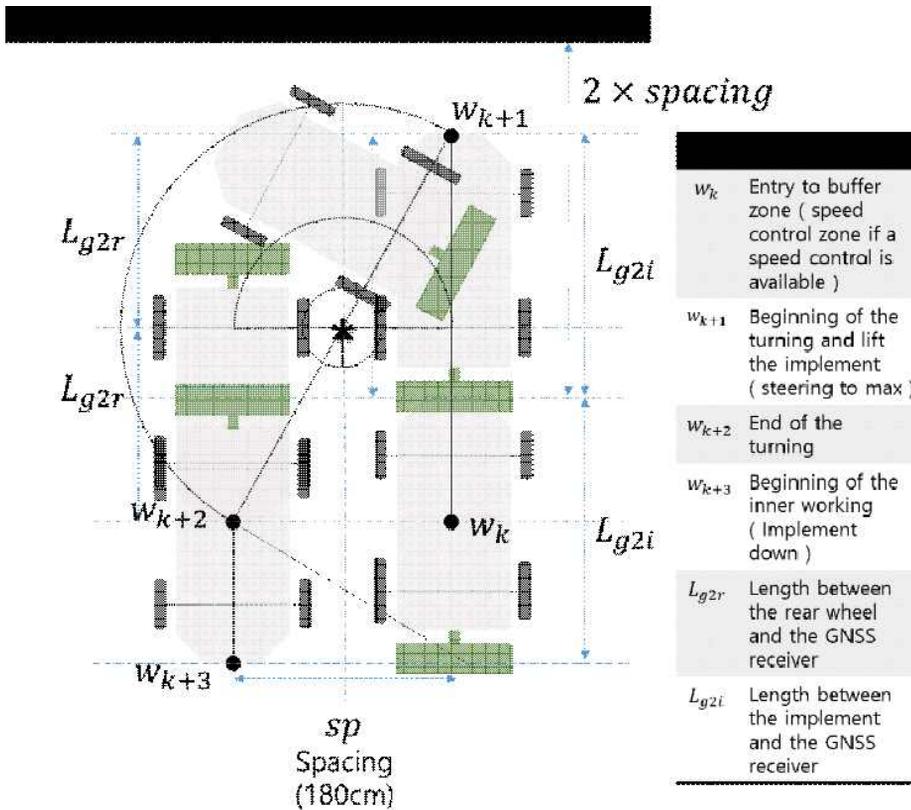


그림 399 기하학적 선회 경로 계획

1) 자율주행 이양기 U형 선회 경로 계획 알고리즘 (그림399)

Ⓐ 다음과 같은 가정으로 주행이 가능한 경로 계획 알고리즘을 구성

1. 뒷차축 중앙을 기준으로 최소 선회 반경이 왕복 경로 간 간격(180cm)과 일치한다.
2. 선회시 최대 조향각이 유지되며 속도와 관계없이 최소 선회 반경으로 원운동을 한다.
3. 선회 진입 (w_k) 시 차량의 측면 변위와 방향각 오차는 0이다.

Ⓑ 자율주행 이양기의 제원을 기반으로 위의 가정에 근거하여 기하학적 추종 가능 경로 생성

Ⓒ 일반적으로 경로점 간의 연결은 직선을 가정 하나 개발된 자율주행 이양기 경로 생성의 알고리즘의 경우 선회 시에는 경로점을 원의 곡선으로 연결

Ⓓ 개발된 경로 계획에는 작업기를 제어하는 위치점에 대한 정의가 포함되어 있으며 종방향 제어가 가능할 경우를 가정하여 속도 감소 구간 또한 정의됨

Ⓔ U형 선회는 뒷차축 중심점의 이동이 U자 형태를 이루기 때문에 이름을 이처럼 정의함

2) 자율주행 이양기 추종 알고리즘

Ⓐ 자율주행 이양기 추종 알고리즘은 직선구간 제어와 선회 구간 제어 2가지 파트로 나뉨

Ⓑ 직선구간 제어는 기존에 사용된 추종 알고리즘이 사용됨

Ⓒ 선회 구간 제어는 선회 진입점(w_{k+1})에서 조향각을 최대 입력하여 선회 종료점(w_{k+2})까지 최대 조향각을 유지함

Ⓓ 이 과정에서 경로점의 업데이트 방식이 중요한 역할을 함

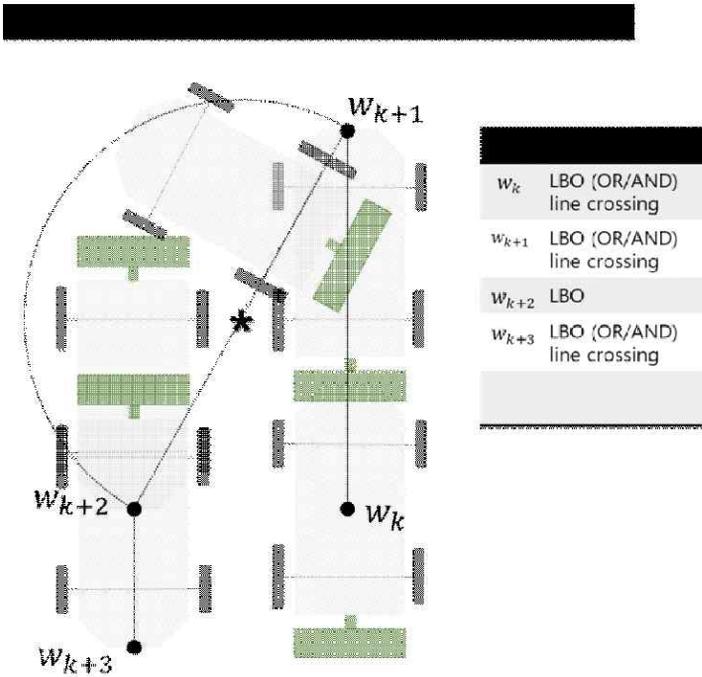
Ⓔ 경로점 업데이트 방식은 경로점마다 다른 업데이트 방식을 채택하며 2가지 업데이트 방식이 아래와 같이 정의됨 (그림401)

1. Lateral Boundary Offset (LBO) 방식 : 경로점을 중심으로 일정한 범위 안에 차량이

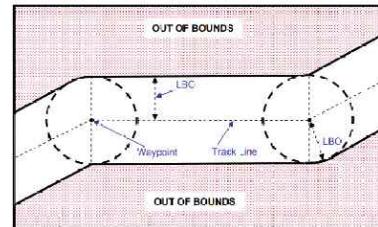
위치하게 되면 경로점이 업데이트되는 방식

2. Line-Crossing 방식 : 경로점에서 이전 route의 수직인 직선을 넘어가면 update가 되는 방식

㉔ 경로점 업데이트는 특히 선회 종료점(w_{k+2})에서는 LBO 방식의 업데이트를 사용하고 LBO의 크기가 선회 구간에서 직선구간으로 변경되는 시스템적 지연시간을 고려할 수 있게 됨



1. Lateral Boundary Offset (LBO) 방식



2. Line-crossing 방식

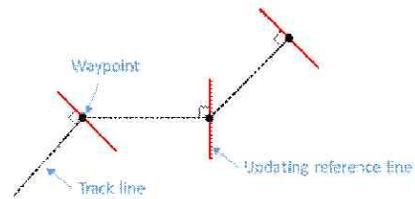


그림 400 경로점에 따른 선회 경로 추종 알고리즘 업데이트 방식

㉔ 선회 진입 (w_{k+1}) 업데이트 후 최대 조향각 명령이 들어가는 시점에서 실제 선회 시작점 (차동이 걸리는 시점)까지 delay 발생으로 인해 계획 경로에서 벗어나는 현상 발생 (그림402)

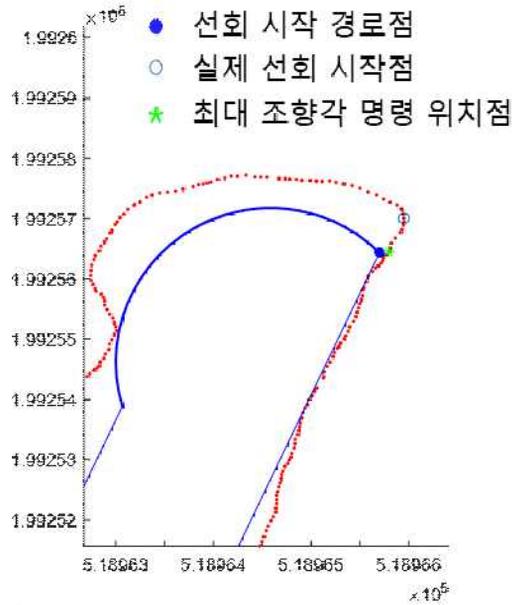


그림 401 선회 진입(wk+1) 구간 주행시 경로 분석

㉞ 경로 이탈 정도를 추종 경로에 현재의 위치에서 과거 n개의 데이터에 Circular regression을 적용하여 선회 중심 찾아 계획 경로에서 벗어난 정도를 측정 가능

① Circular regression ($[x_n \ y_n]$: 회귀 위치점, $[a \ b]$: 원 중심점, r : 원의 반지름)

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$$

$$x^2 + y^2 - 2ax - 2by + a^2 + b^2 - r^2 = 0$$

$$\Rightarrow x^2 + y^2 - 2ax - 2by + c = 0, c = a^2 + b^2 - r^2$$

$$\Rightarrow -2ax - 2by + c = -x^2 - y^2$$

$$\begin{bmatrix} -2x_1 & -2y_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -2x_n & -2y_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x_1^2 - y_1^2 \\ \vdots \\ -x_n^2 - y_n^2 \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} -2x_1 & -2y_1 \\ \vdots & \vdots \\ -2x_n & -2y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} -x_1^2 - y_1^2 \\ \vdots \\ -x_n^2 - y_n^2 \end{bmatrix}$$

$$JX = Y \rightarrow X = (J^T J)^{-1} J^T Y$$

㉟ 계획 경로의 선회 중심과 자율주행 추종 선회 중심의 차이를 통해 종방향 displacement와 횡방향 displacement를 산출

㊱ 실시간으로 취득된 displacement 값들을 통해 선회 끝 지점(wk+1)을 실시간으로 재설정 (그림403)

이를 통해 선회 구간에서 직진 구간의 변경을 안정적으로 유도할 수 있음

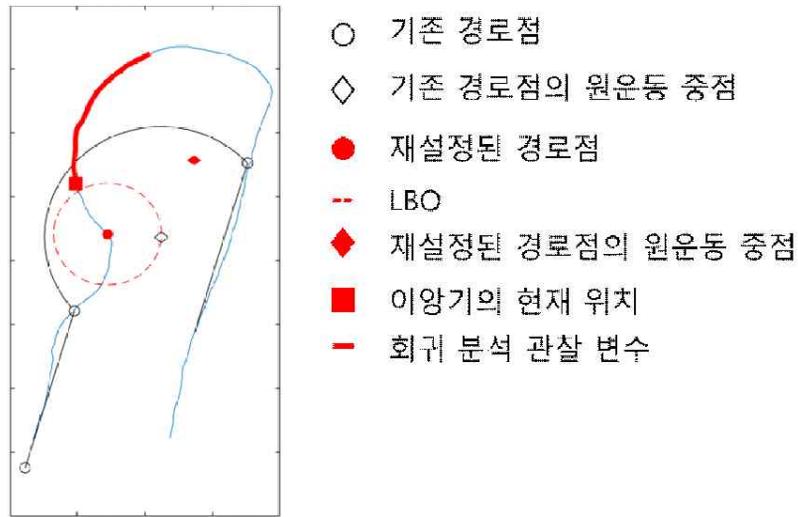


그림 402 선회 끝(wk+1)을 실시간으로 재설정하여 직진 구간으로의 유도 과정

3) 작업기 제어 방식 (표1)

- 위치를 기준으로 작업기 제어 위치점이 앞서 정의됨
- 작업기는 상하강과 PTO on/off로 나뉘며 PTO는 작업기의 하강 상태에서만 동작 가능 (작업기 상승 시 PTO는 자동으로 off됨)
- 따라서, 선회 종료 시점(wk+2)에서 미리 작업기 하강 신호를 주고 작업기가 내려가는 시간을 충분히 확보한 뒤 PTO 동작 시점 (wk+3)에서 모를 심기 시작하여 GPS 위치점을 기준으로 이앙 위치를 정확하게 제어 가능

표 1 자율주행 이앙기 선회 및 작업기 제어

순번	다이어그램	내용
1		선회 구간 진입 <ul style="list-style-type: none"> • 조향각을 최대한 선회 방향으로 돌림 • 계획 경로에 따라 조향 방향 결정
2		선회 구간 종료 <ul style="list-style-type: none"> • LBO를 이용한 경로점 업데이트를 통해 선회 종료 감지 • 조향각 제어가 직진 모드로 변경

3		<p>작업기 하강</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lateral deviation의 절대값, y,이 일정한 값 이하로 떨어지면 작업기 하강 신호 송신 • 대동 직진 제어기의 기준선은 하강 신호 수신 시점의 위치를 기준으로 생성됨
4		<p>직진 제어 전환</p> <ul style="list-style-type: none"> • 선회 종료 후 일정 구간 서울대학교 직진 제어 컨트롤러로 동작 • 대동 제어기에서 자율직진이 가능한 시점에 대동 직진 제어로 전환
5		<p>PTO동작 시점</p> <ul style="list-style-type: none"> • 작업기가 하강 된 상태에서 PTO 동작이 가능 • 미리 생성된 이양 작업 시작 시점에서 동작

11. 실제 농작업 환경에서의 자율주행 및 식부 제어 알고리즘 현장 실증 및 성능평가. 선회 실험용 자율주행 이앙기 프로토타입 모델 구성



그림 408 자율주행 이앙기와 컨트롤러 간의 통신 구성 (좌) 대동 (우)국제종합기계

- 대동 상용 직진 자율주행 이앙기(DRP60D)의 구성을 그대로 사용
- 국제종합기계 플랫폼은 DRP60D 제어기로 자율주행용 프로토타입으로 구성됨
- 컨트롤러 부분만 Windows 10이 탑재된 Laptop에서 Matlab과 Labview를 통해 구현하여 사용
- CAN 인터페이스 디바이스(NI USB-8473, 현재 단종)를 통해 자율주행 이앙기와 컨트롤러(노트북) 간의 통신 구성 (그림409)

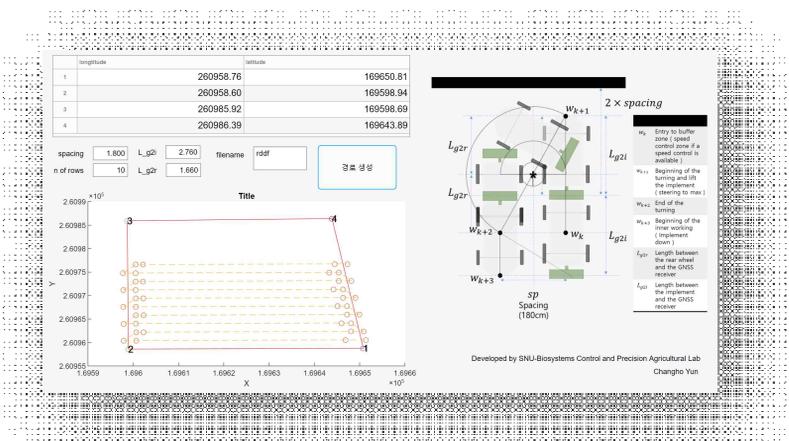


그림 409 경로 생성 프로그램 구성

- Matlab을 통해 경로 생성프로그램을 구성(그림410)하여 꼭지점 2개 혹은 4개 점을 취득된 전재로 경로 생성 진행

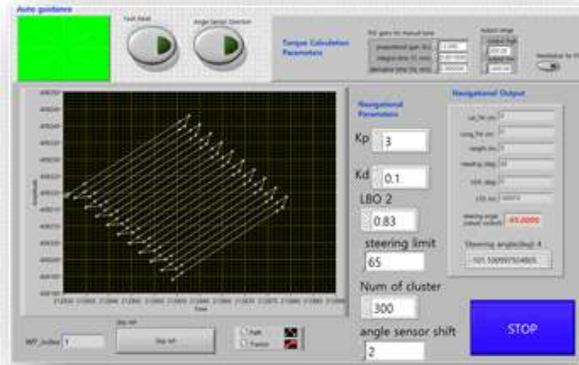


그림 410 Labview로 구성된 제어 프로그램

- 생성된 경로를 불러와 Labview로 구성된 제어 프로그램(그림411)을 이용하여 제어 실시
- 이앙기로부터 GPS 위치점과 조향 센서의 input값을 받아 조향 모터의 Torque값을 output으로 산출하여 선회 및 직진 제어 진행

나. 이앙 작업 환경 구성

- 총 3개의 다른 지역에서 실험이 진행됨

장소	실험 플랫폼 / 제어방식	실험 필드 준비 과정
서울대학교 수원 농장	대동 / 서울대학교 직진 및 선회 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> - 기존에 벼농사를 짓던 농지 - 추수 후 쟁기 작업 실시 - 실험 5일전 무논 정지 작업 실시 - 물을 충분하게 가꿔 놓은 상태에서 5일 동안 논 굳히기 실시 - 물을 땅이 약간 보일 정도로 뺀 뒤 실험 실시
전남 나주시 첨단 무인 농업 생산 자동화 시범 단지	대동 / 기존 상용 직진 알고리즘 + 서울대학교 선회 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> - 실험 1~2주일 전 무논 상태에서 포크레인 및 불도저를 이용해 복토 실시 - 실험 3~5일전 무논 상태에서 정지 작업 실시 - 토양이 상당히 무른 상태에서 실험이 진행됨
충남 논산시 상월면 산성리 239-2답	국제 / 서울대학교 직진 및 선회 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> - 기존에 논으로 활용되었으나 최근 1년 동안 옥수수밭으로 활용됨 - 실험 5일전 물로터리 작업 실시 - 물을 충분하게 가꿔 놓은 상태에서 5일 동안 논 굳히기 실시 후 실험 진행



그림 411 자율주행 이양기 실험 환경 (좌) 수원 (중) 나주 (오) 논산

12. 자율주행 이양기 직진 및 선회 실험 결과

가. 서울대학교 수원 농장 실험 결과

- 실험은 1.6km/h로 선회와 직진의 속도를 동일하게 진행
- 사람의 개입 없이 계획된 내부 왕복 경로를 농지 전체를 대상으로 실시 (총 11줄)
- 선회 진입 구간은 선회 종료점과 PTO 동작점까지로 정의하고 선회 후 직진 진입 후 작업이 시작될 때 직선에 잘 수렴하는지 관찰하여 선회 알고리즘의 유효성을 평가할 수 있음
- 표89은 PTO 동작점에서의 차량이 계획 직선 경로 대비 횡방향의 오차를 기록한 데이터로서 11번의 선회 동안 평균 9.2cm로 나타남
- 표90은 직진 구간에 대한 평균 횡방향 오차 RMSE로서 7cm로 무논 환경에서도 안정적인 직진 성능을 보임
- 선회 후 진입 시 직진에 수렴하도록 제어가 어려운 점을 고려하면 개발된 선회 방식이 직진 오차와 2cm 내외의 차이를 보임으로서 크게 벗어남 없이 안정성을 확인함

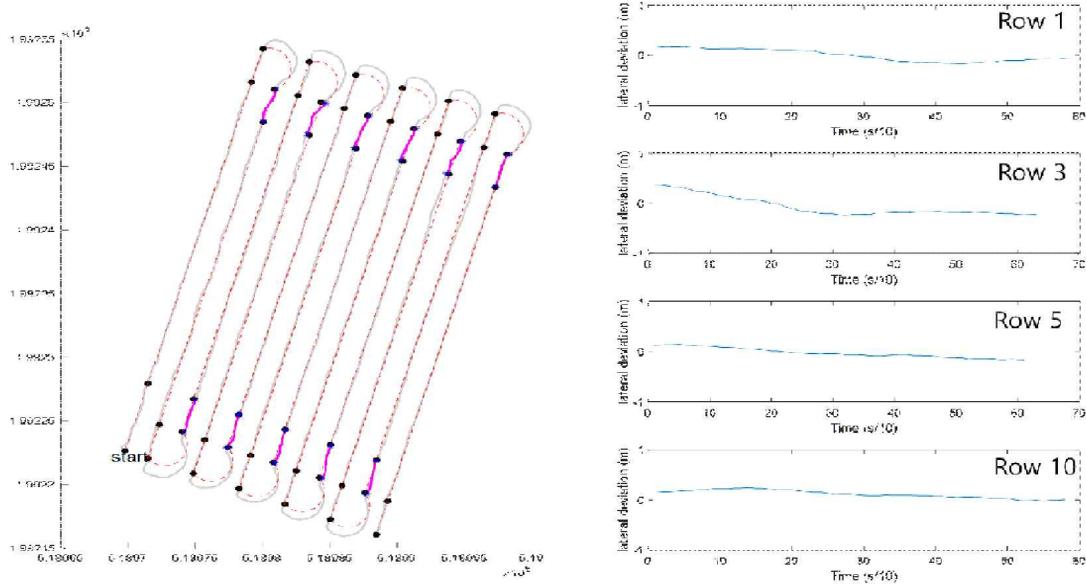


그림 412 자율주행 이양기 결과 (수원) - 선회 후 직진 구간 분석

Row	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	절대값 평균
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	-----------

PTO 연결 시 Lateral deviati on (m)	-0.041	0.169	-0.170	-0.054	-0.148	0.050	-0.155	0.025	-0.185	0.013	0.004	0.092
--	--------	-------	--------	--------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	-------	-------

표 92 자율주행 이앙기 실험 결과 (수원) - PTO 연결 시 횡방향 오차

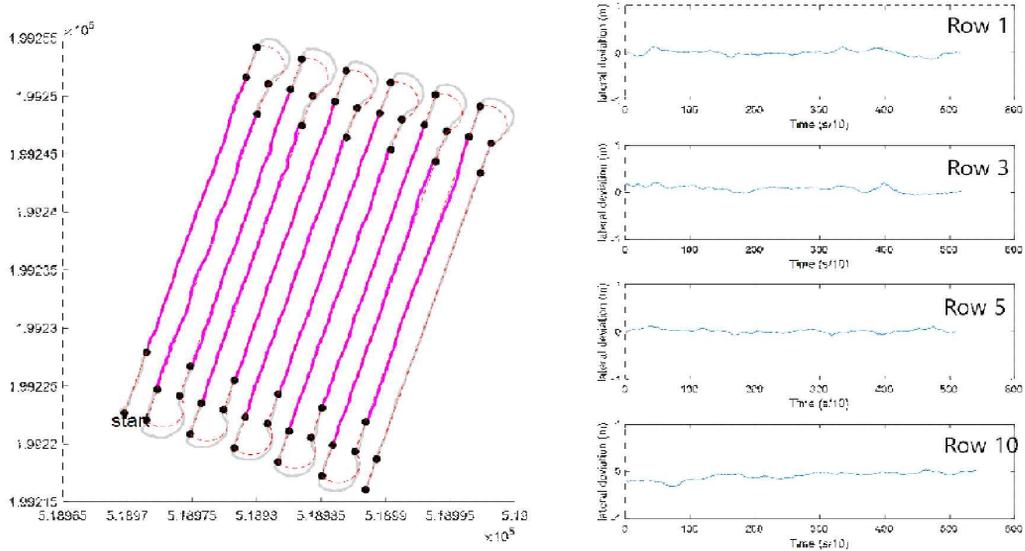


그림 413 자율주행 이앙기 실험 결과 (수원) - 직진 구간 분석

줄	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	평균
Lateral deviation RMSE (m)	0.044	0.099	0.093	0.094	0.041	0.076	0.048	0.072	0.04	0.12	0.115	0.077

표 93 자율주행 이앙기 실험 결과 (수원) - 직진 수행 횡방향 오차 RMSE 분석

나. 전남 나주시 첨단 무인 농업 생산 자동화 시범 단지

- 실험은 직진에서 1.5km/h로 선회에서 0.7km/h로 진행
- 실제 모를 심으면서 총 4줄의 왕복 실험이 실시됨
- 논이 조성 후 땅굳히기 기간이 짧아 토양 물리 이앙기가 깊게 빠져 추종에 어려움이 있어 다소 높은 주행 에러로 나타남

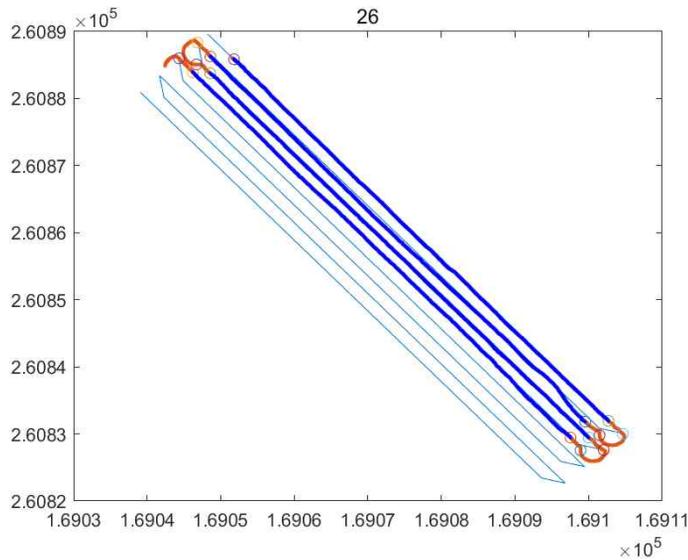


그림 414 자율주행 이양기 실험 결과 (나주) - 직진구간

Row	1	2	3	4	평균
Lateral deviation RMSE (m)	0.159	0.378	0.239	0.137	0.23

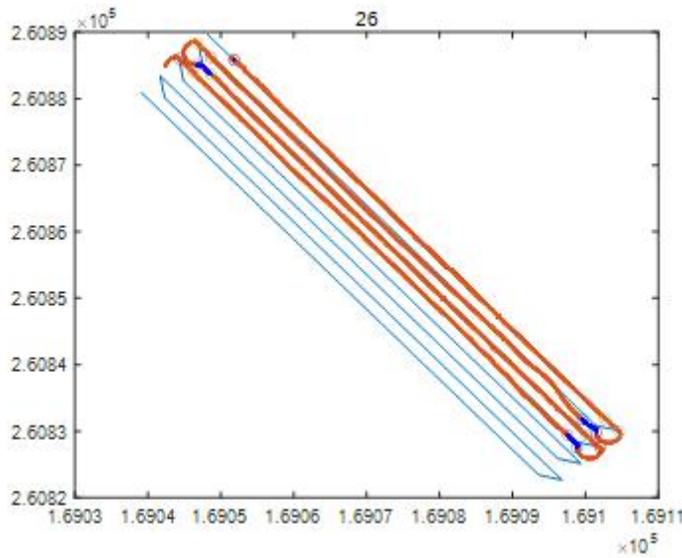


그림 415 자율주행 이양기 실험 결과 (나주) - 선회 후 진입

Row	1	2	3	4	절대값 평균
PTO 연결 시 Lateral deviation (m)	-	0.729	0.178	0.202	0.37

다. 충남 논산 실험 (국제 이양기)

- 속도값을 통신으로 받을 수 없어 수치적 결과는 얻을 수 없었지만 기존 실험들과 비슷한 속도로 진행됨
- 총 4줄의 왕복 실험 중 최초 2줄에서 한쪽으로 치우침 현상이 발생하였으며 이를 조향각 센서의 바이어스 문제로 판단하여 치우친 방향으로 3도 정도 조정 (UI에서 설정 가능)

- 이후 진행된 직진 구간들에서 RMSE가 줄어들고 치우침 현상이 줄어들었음이 확인됨
- PTO 연결 시 lateral deviation의 경우에는 LBO 값이 중요한 요인으로 작용하는데 수원 농장 실험의 경우 파라미터 튜닝에 대한 충분한 시간이 있었으나 국제종합기계의 자율주행 이앙기 플랫폼은 튜닝이 다소 정교하지 못한 부분이 있어 기존 수원 농장 실험에 비해 높은 주행 오차값을 보임

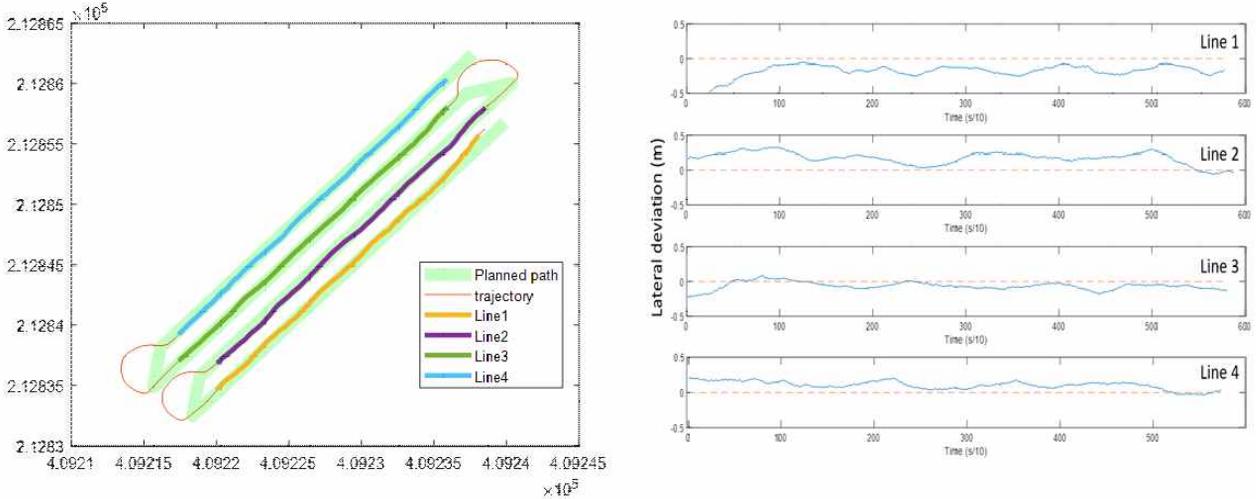


그림 416 자율주행 이앙기 실험 결과 (논산) - 직진 구간

Row	1	2	3	4	평균
Lateral deviation RMSE (m)	0.217	0.196	0.084	0.119	0.15

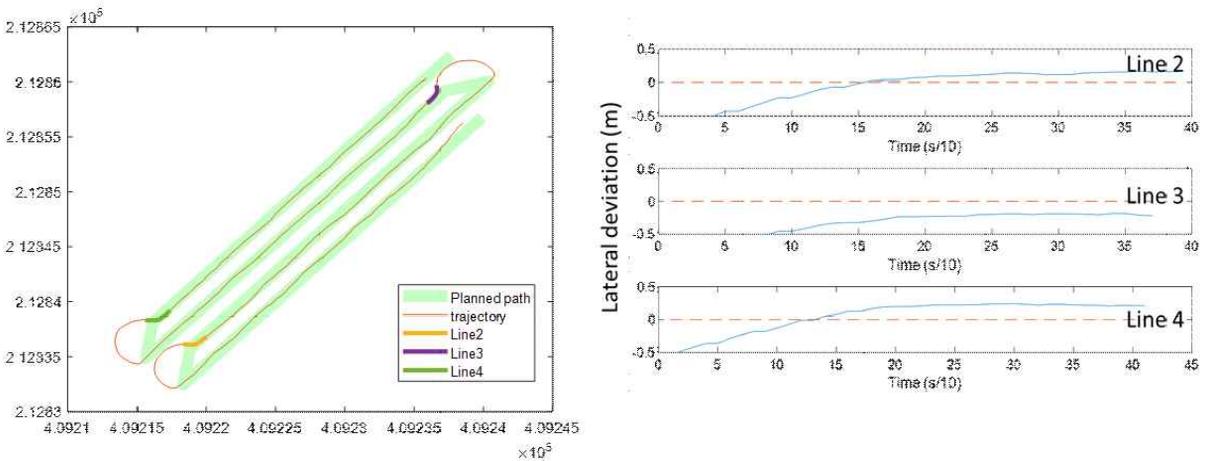


그림 417 자율주행 이앙기 실험 결과 (논산) - 선회 후 진입 구간

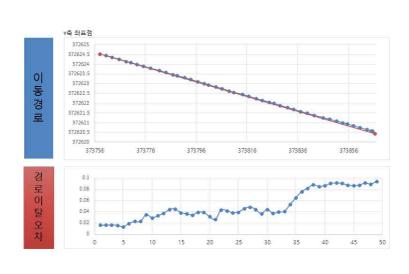
Row	1	2	3	4	절대값 평균
PTO 연결 시 Lateral deviation (m)	-	0.161	-0.219	0.211	0.200

13. 자율주행 승용이앙기 시험방법 표준화 및 실증시험

가. 자율 직진주행이 가능한 승용이앙기 시험방법 표준화

- 농업기계화촉진법령에 따라 위탁받은 검정사항 중 자율주행시스템 검정방법 신설
 - 농업기술실용화재단 농기계검정 및 안전관리 세부실시요령 개정('21.2.26.)

- 자율주행시스템 시험항목: 구조조사, 성능시험, 조작의 난이도시험 및 안전성시험
- 나. 성능시험 등 실증시험 실시

실증시험	<야외시험장>	<경로이탈오차>
<ul style="list-style-type: none"> ○ 시험일자: '21.4.1. ○ 시험기종: 자율주행이앙기 (형식명: MRP65D) ○ 검정방법: 자율주행시스템 ○ 측정항목: 경로이탈오차 		

<시험장면>



다. 자율 직진주행이 가능한 승용이앙기 공인성적서 작성

- 시험성적서 발급 예시
 - 성적내용: 구조 및 직진 자동조향 성능시험

시험 성적

1. 기종명: 이앙기
2. 시험번호: 21-FACMP-755
3. 형식명: MRVSD
4. 형식: 승용신차식
5. 규격: 6조
6. 시험성적



6.1 구조

6.1.1. 주행장치

- 기계지지방식 차륜식
(전륜)스프링식, (후륜)고정식
- 차륜지지방식 (전·후륜)고무코팅철자륜
- 차륜의 종류 (전륜) 210 mm, (후륜) 210 mm
- 차륜의 거리 (전륜) Ø650 mm, (후륜) Ø900 mm
- 차륜의 직경 1 030 mm

6.1.2. 조향장치

- 형식 유압식
- 조향방식 조향휠식

6.1.3. 작동유도장치

- 형식명 FJND-2.5MD
- 제조사 FJdynamics
- 위치인식장치 종류 GNSS(GPS L1/L2, GLONASS L1/L2, BDS B1, B2, B3)
- 위치인식장치 위치 기계전향 프레임 상단 좌·우
- 위치인식장치 개수 2 개

6.1.5. 자동조향장치

- 자동조향장치 형식 기계식

2-1

- 자동조향장치 형식명 TZ165R02C12
- 제조사 FJdynamics

6.2 성능시험

6.2.1. 직선자동조향 성능시험

- 시험조건
- 시험장소 농업기술실용화재단 야외시험장
(전라북도 익산시 경동로 2길 18)
 - 시험시작일시 2022.1.11. 14시 00분
 - 시험종료일시 2022.1.12. 15시 20분
 - 자동조향거리 100 m
 - 차량 대표값 식부장치 횡방향 중심
 - 설정 속도 (저속) 0.5 m/s
(중속) 1.5 m/s
(고속) 3.0 m/s

시험결과

- 평균 주행속도 및 이탈거리

구분	저속	중속	고속
평균 주행속도(m/s)	0.5	1.5	3.0
이탈거리 누적분포 95%(mm)	18.7	27.0	60.0
평균이탈 거리(mm)	7.3	10.0	28.3
최대이탈 거리(mm)	30.0	45.0	95.0

7. 시험제품 개요

본 기대는 직선자동조향장치가 설치된 이앙기로 직선경로를 100 m 주행한 결과 최대 이탈거리 누적분포 95% 값은 60 mm 이고 최대 이탈거리는 95 mm 임

8. 시험결과

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

연구원 김민석 3/6/23 | 시험방법 조대경

2-2

제 3 장 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

성과목표	사업화지표										연구기반지표5									
	지식재산권			기술실시(이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책활용·홍보		기타(타연구활동등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표	정책활용			홍보전시		
												SCI	비SCI						논문평균IF	
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	10			5		20			10				5		5	5	5			
최종목표	4			1		2			2		1	2	4		4	1	1			
1차년도	1								1				3							
2차년도	1								1				2		1					
3차년도	3			1		2			1				1	1	1	1	1			
합계	5			1		2			3		0	0	6	1	2	1	1			

(2) 정량적 연구개발성과

평가항목 (주요 성능 Spec)	단위	전체항목에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/보유기업 (/)	연구개발 전 국내수준	개발 목표치				평가방법
			성능수준	성능수준	1차년도 목표	2차년도 목표	3차년도 목표	최종실적	
1 환경인식율	%	10	95 % (미국/Johndeere)	60	-	80	95	95.6	공인기관 입회시험
2 자동선회후 라인 정확도	cm	10	20 (일본/Kubota)	40	-	30	20	4.7 (RMS)	공인기관 입회시험
3 이양부자동화 기능수	건	10	3 (일본/Kubota)	0	1	1	1	1	공인기관 입회시험
4 CAN 프로토콜	건	5	-	-	1	1	1	1	공인기관 입회시험
5 모니터링 항목의 수	건	5	-	-	-	14	20	31	공인기관 입회시험
6 내진성	P/F	10	-	-	-	PASS	PASS	PASS	공인기관 시험 (1차년도 자체 평가)
7 내수성	P/F	10	-	IP65	-	IP64	IP65	IP65	공인기관 시험 (1차년도 자체 평가)
8 ESD(정전기시험)	KV	10	-	-	-	-	CLAS S4	PASS	공인기관 시험
9 EMC(전자파시험)	MHz	10	-	-	-	-	ECE R 10.03	PASS	공인기관 시험
10 경로추종오차	cm	10	15 cm (일본/Kubota)	40 cm	-	15	10	5.1 (RMS)	공인기관 입회시험
11 조향반응시간	초	10	-	-	-	0.8	0.5	0.496	공인기관 입회시험

(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

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2019 한국농업기계학회 추계공동학술대회	강민석	2019.10.18	춘천, 엘리시안 강촌	자율주행 이앙기를 위한 경로생성 및 추종 알고리즘 기초연구
2	2019 한국농업기계학회 추계공동학술대회	강민석	2019.10.18	춘천, 엘리시안 강촌	다중 저가형 GPS를 이용한 무인 자율주행 농기계의 위치 및 방향각 오차 감소 알고리즘 개선 연구
3	2019 정밀농업학회 추계학술대회	강민석	2019.10.21	전주, 농촌진흥청	다중 저가형 GPS를 이용한 무인 자율주행 농기계의 위치 및 방향각 오차 감소 알고리즘 개선 연구
4	2020년 농업기계학회 추계공동학술대회	강민석	2020.10.30	전주, 농촌진흥청 (온라인 발표)	자율주행 이앙기 새머리 선회 시간 최적 자율주행 기술 개발
5	2020년 농업기계학회 추계공동학술대회	윤창호	2020.10.30	전주, 농촌진흥청 (온라인 발표)	Development of Efficient Headland Turning Control for Autonomous Rice Transplanter
6	(사)한국농업기계학회/ 2021 추계공동학술대회	윤창호	2021.10.29	소노벨 제주(제주특별자치도 제주시 조천읍 신북로 577)	위치 및 절대 방향각 데이터 출력주기 향상을 통한 자율주행 이앙기의 직진 성능 개선 기초 연구

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, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	특허	최대 속도 조절 장치가 구비된 이앙기	(주)대동	2019.10.29	10-2019-0135034					100%	O
2	특허	농업용 작업기의 조향 어셈블리	국제종합기계 주식회사	2020.12.11	10-2020-0172911					100%	O
3	특허	승용 이앙기의 이앙부 자동높이조절 및 시동제어장치, 그리고 그 제어방법	(주)대동	2020.07.21	10-2020-0090546					100%	O
4	특허	자율 주행 농기계의 제어 방법 및 장치	서울대학교 산학협력단	2021.04.06	10-2021-0044634					100%	O
5	특허	이식기의 탑재대 위치 감지장치	국제종합기계 주식회사	2021.12.27	10-2021-0188207					100%	O

○ 지식재산권 활용 유형

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

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1	√	√								
2	√	√								
3	√	√								
4		√								
5	√	√								

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

○ 국제표준

번호	표준화단계구분 ¹	표준명	표준기구명 ²	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	승용이앙기 (DRP60)	2020.03.01	(주)대동	사내 개발본부	시제품 시험			
2	승용이앙기 (RGO-700)	2020.07.01.	국제종합기계 (주)	사내 연구소 시작실	시제품 시험			

□ 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	직접 실시	자율주행 승용이앙기	(주)대동	2022.03	45,360,000(감면금액)	

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2019년	2020년	
1	자율주행 이앙기	(주)대동	1	1	2
2	자율주행 이앙기	국제종합기계(주)		1	1
합계			1	2	3

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	36	
		생산인력	-	
	개발 후	연구인력	39	
		생산인력	-	

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원
1	자율주행 농업기계 이해	2021.09.27.~2021.09.29.	농촌진흥청 공무원	농촌인적자원개발센터	20명

[사회적 성과]

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용
1	자율주행시스템 검정방법 제정	농업기계 검정 및 안전관리 세부실시요령 개정 (내규 제575호, '21.2.26)	농업기술실용화재단 (농기계검정팀)	2021년	검정방법 항목 (구조조사, 성능시험, 조작 및 안전성시험)

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	학사	2020			√			√	√				
2	석사	2021	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
				√			√		√				

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	현장 연사회	대한민국 정책브리핑	벼 디지털농업기술 현장 연사회(자율주행 이앙기)	2021.06.16

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○선진사 제품 분석/벤치마킹	○직진자율주행 핵심 기술 분석(주요국가:일본) 및 개발 사양 검토 완료	○ 100
○조향 장치부 레이아웃	○참여기관의 공용화 조향부 레이아웃 설계 및 차량 제작 완료	○ 100
○GNSS 위치 인식 시스템	○GNSS 모듈 장착부 공용화 설계 및 무선통신 기반 RTK급 GNSS 모듈 개발	○ 100
○영상처리 기반 환경인식시스템 레이아웃 설계	○승용이앙기 전방부 카메라 장착부 레이아웃 및 차량 제작 완료	○ 100
○모인식 영상처리 시스템 개발	○포장지에 이식된 모를 인식하여 자율주행 경로 추종 시 경로 오차 및 주행 방향을 파악하고 CAN통신 기반 결과치를 출력한다. 환경인식률 : 95.6%	○ 100
○자율주행용 전자식 변속 시스템 개발	○주변속/부변속 시스템부 구조 변경, 악셀페달 및 CAN통신 입력 기반 차속제어 알고리즘 및 컨트롤러 개발	○ 100
○승용이앙기 포장지 실증시험	○이앙작업시기에 실제 포장지 작업을 수행하여 성능 검증 및 개선점을 도출함, 고정밀 GNSS 및 광학장비를 활용하여 성능 평가, 실수요자 대상으로 차량 대여방식으로 개선점 평가	○ 100
○실증용차량 내구성 시험	○조향 모터 및 이앙부 자동화 기능성 핵심 부품 내구성 시험 완료	○ 100
○선회 자동화 식부제어 시스템	○ 선회자동 상승·하강 기능 개발 및 기술지도 검증	○ 100
○자동 선회 승용이앙기 부품 및 실증용 차량 제작	○ 조향부 및 선회부 설계 및 주요 기능 시제품 제작 / 선회 자동화 식부 제어 시스템 튜닝 및 컨트롤러 동작 사양 설계	○ 100
○자동 선회 개선품 개발 및 승용 이앙기 실증용 차량 제작	○ 이앙 자동화 기능 및 자동 선회 기능 개선 / 자율 주행 조향 모듈 토크 성능 시험	○ 100
○자동 선회 이앙기 포장성능 시험 및 개선	○ 노상 및 필드 주행오차 비교 성능 시험 및 IMU 진동 성능 시험	○ 100
○자율주행 제어성능 최적화	○ 자율주행 제이기 최종 시제품 제작	○ 100
○자율주행 성능 실증 및 보완	○ 자율주행 제이기 임베디드 프로그램 개발	○ 100
	○ 임베디드 제이기 이앙기 적용 및 탑재시험	○ 100
○이앙기 자율주행 경로 생성 및 추종 기술 개발	○ 이앙기의 제원을 고려하여 GNSS 좌표 (TM) 상에 일정한 간격으로 이앙 위치가 표현이 가능하고 직진 및 선회 가능한 경로 생성 및 추종 알고리즘 개발 완료 경로 추종 횡방향 오차 RMSE : 7.7 cm	○ 100
○이앙작업 자동화 기술 개발	○ CAN 통신을 통해 센서값을 입력받고 위치별 조향값과 작업기 상하강 및 PTO 명령 하달이 가능한 알고리즘 개발 완료	○ 100
○직진 자율주행 승용이앙기 검정 방법 제정	○ 자율주행 시스템 검정방법 제정 공포 - 검정항목: 구조조사, 성능시험, 조작의 난이도 시험, 안전성시험	○ 100

제 4 장 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

1. 기술적 측면

- GPS위치인식, 조향제어, 경로생성 및 추종, 작업환경 인식 등의 자율주행 핵심기술을 양산성 및 범용성을 고려하여 개발 농업기술 개발에 이바지함.
- 국내 승용이앙기 제조사에서 사용가능하고 확장 및 변경이 용이한 CAN 통신 기반 자율직진주행 통합제어시스템을 개발하여 농기계 자율주행 기술 보급 및 자율직진주행 이앙기 양산 확대적용에 기여할 것으로 기대됨
- 자율주행 농기계의 검정기반 확충으로 업체의 자율주행 농기계에 대한 연구개발 촉진

2. 산업적 측면

- 일본산 제품이 60%를 잠식하고 있는 국내시장에서 편의성과 가격경쟁력이 확보된 자율 직진 주행 이앙기를 기술개발을 통해 조기 사업화하여 국산 제품 판매 증대 및 내수 시장 활성화에 기여
- 주요 경쟁사인 일본의 구보타, 안마, 이세키 등의 경우 자율주행과 관련된 기술을 부분적으로 적용한 제품을 이미 양산하고 있으므로 관련기술의 독자적인 개발을 통하여 향후 국내시장에서의 경쟁력 확보 및 관련 분야 해외시장 확대에 기여할 것으로 기대됨
- 직진 자율주행이앙기 등 자율주행 농기계 제조업체가 농업기계화촉진법령에 따른 농업기술실용화재단에 농기계검정 신청가능

3. 경제적 측면

- 국내시장에 진출하고 있는 일본산 자율직진주행 이앙기와 동등한 수준을 갖는 제품을 개발하여 수입 제품을 대체시킬 뿐만 아니라 차별화된 기술로 해외 시장에 진출할 수 있는 기반 확보
 - 자율주행 핵심 모듈 개발 및 양산 적용을 통해 건설기계 및 농기계와 관련된 자율주행 핵심부품 시장 확대에 기여할 것으로 기대됨
-

제 5 장 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

1. 제품 사업화

- 자율 주행 승용이양기 실증 사업을 통해 기술 고도화 및 품질 최적화를 하여 사업화
- 국내 승용이양기 제조업체의 공동 개발로 개발 비용 및 제품화 기간 축소
- 승용이양기 실수요자를 대상으로 농작업 실증시연 및 전시하여 자율주행 이양기의 우수성 및 편의성 홍보
- 기술 고도화하여 해외 시장 진출 사업화 발판 마련, 동남아시아, 일본 등 수출 기회 마련

2. 자율 직진 주행 승용이양기 연구개발을 위한 연구인력 고용 창출

- 자율 직진 주행 승용이양기 개발 후 제품화 과정에서 발생하는 연구개발 및 생산 인력 고용 창출

3. 고품질, 저비용의 자율 직진 주행 시스템 및 승용이양기 상용화를 통한 국내 농기계 시장 활성화

- 신기술 적용으로 국내 시장에서의 해외 선진사 제품대비 시장점유율 확보
- 승용이양기 자율주행 기술 고도화로 수출판매 기회마련

4. 유사 농기계 적용 확대

- 본 과제를 통해 개발된 자율주행 핵심 부품을 활용하여 타 농기계 적용 솔루션 개발 활용
- 자율주행 경로 생성 및 추종 기술에서 공통 적용 가능한 기술 추출

5. 정책활용

- 자율주행 농기계 검정방안의 제정으로 국내 농기계 시장 방어 및 기술 표준화에 활용
- 검정방안의 확대 적용으로 자율주행 관련 시험 표준화에 활용

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내	
국외논문	SCIE		
	비SCIE		
	계		
국내논문	SCIE		1건
	비SCIE		2건
	계		3건
특허출원	국내		
	국외		
	계		
특허등록	국내		2건
	국외		
	계		2건
인력양성	학사		1건
	석사		1건
	박사		
	계		4건
사업화	상품출시		2건
	기술이전		1건
	공정개발		
제품개발	시제품개발		
비임상시험 실시			
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상	
		2상	
		3상	
	의료기기		
진료지침개발			
신의료기술개발			
성과홍보			
포상 및 수상실적			
정성적 성과 주요 내용			

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		319040-3	
사업구분	첨단생산기술개발사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	첨단생산기술개발사업				주관
총괄과제				총괄책임자	
과제명	자율직진주행이 가능한 승용이앙기 개발			과제유형	(기초,응용,개발)
연구개발기관	(주)대동			연구책임자	임명제
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	19.04.01. ~ 19.12.31.	500,000	333,340	833,340
	2차년도	20.01.01. ~ 20.12.31.	670,000	446,670	1,116,670
	3차년도	21.01.01. ~ 21.12.31.	670,000	446,670	1,116,670
	4차년도				
	5차년도				
	계		1,840,000	1,226,680	3,066,680
참여기업	국제종합기계(주), 홍익대학교, 서울대학교, 농업기술실용화재단				
상대국			상대국연구개발기관		

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2022년 2월 11일

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
(주)대동	상무보	임명제

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

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

확약	임명제
----	-----

I. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수 (우수, 보통, 미흡, 극히불량)

국산 승용이앙기의 자율 주행을 실현하기 위한 제어 기술 개발과 고정밀 이앙 환경 인식을 통한 주행경로의 최적화 및 정확도를 높여 해외 선진사와 동등 또는 더 우수한 경로를 추종할 수 있는 시스템을 개발하였다. 또한 기존 자율직진주행 기술에 더하여 선회자율주행까지 가능한 경로생성 및 추종 기술을 개발하여 기술고도화의 결과를 보였다.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수 (우수, 보통, 미흡, 극히불량)

농촌 인구 감소, 고령화로 부족한 인력을 자율주행이 가능한 지능형 작업기의 필요성이 절실한 실정에서 국산 기술을 통하여 활용 가치가 높은 이앙기가 개발되어 인구감소에 대한 기술적 대안과 사용자의 피로도 감소로 인한 작업효율을 크게 증대하였다.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수 (우수, 보통, 미흡, 극히불량)

본 과제를 통하여 개발된 기술을 활용하여 자율직진이 가능한 승용이앙기 이후 사업화할 모델에 본 기술을 기반으로 하여 자율 선회, 무인작업이 가능한 승용 이앙기 개발로의 기술향상 기반을 확보하게 되었다. 승용이앙기 뿐만 아니라 다양한 농기계, 발작물 작업기등에 기술 확산이 가능하며, 주요 농기계 생산업체와 함께 공동 개발함으로써 국산 농기계의 기술 향상과 수입 제품 대비 경쟁력을 확보하였다.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수 (우수, 보통, 미흡, 극히불량)

본 과제를 수행하면서 AI 기반 영상 인식 기술중 가장 어려운 모의 형상을 인식하여 경로 생성에 정확도를 향상 시킬수 있는 새로운 기술 개발에 도전하였고, 정량적 목표를 달성함으로써 작물 인식 기술에 기반을 마련하였다.

참여기관간의 협업으로 실증 시험을 수행하였으며, 실제 포장지에서 수행한 실증시험은 핵심 기술에 대한 정보 공유 및 개발협력으로 제품화에 중요한 기술기반으로 활용이 가능하게 되었다.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수 (우수, 보통, 미흡, 극히불량)

연구개발성과에서 지식재산권 관련 특허는 목표 4건 대비 실적 5건을 달성하였으며, 학술발표 목표 4건 대비 6건으로 초과달성하였다. 정책적으로 보았을 때, 농기계 검정방안 제정 1건 및 대한민국 정책브리핑 홍보 1건 등 각 목표대비 실적을 달성하였다. 또한, 기존 목표 대비 신규 실적으로 교육지도 1건을 수행하여 신규 성과를 달성하였다.

논문관련 성과에서 COVID-19로 인한 발표회 취소 및 연기 등으로 인하여 목표달성에 미달되었지만, 기제출된 논문 및 보완제출로 과제종료 후 달성할 것이다.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
조향제어모듈 개발, 제어 기술	20	100	모터식 조향 시스템 구조 개발 및 공용화 적용 완료
경로 생성 및 추종 시스템	20	100	직진주행 경로 및 선회를 포함한 자율주행 경로 생성 및 추종 기술 확보
환경 인식 기술	10	100	위치인식 기반 GNSS 모듈 개발 모열 인식 영상처리 시스템 개발 완료
이양작업 자동화 기술	20	100	CAN통신 기반 작업제어가 가능한 승용이양기 기술 개발 완료
자율주행 제어기 개발	20	100	자율주행 알고리즘 구동 및 모니터링 항목 20건 이상 구현된 제어기 개발
자율주행 검정방안 개발	10	100	자율주행 농기계 검정방안 제정 완료
합계	100점	100	자율직진주행 승용이양기 개발 완료

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

국내 승용이양기 제조사가 협력하여 자율주행 이양기의 공용화 개발하였으며, 학교기관의 참여로 목표하는 자율주행 이양기 개발에 성공하였다. 또한 현재 국내 시장에 도입된 수입 제품의 직진자율주행 기술에서 나아가 선회자율주행 기술까지 개발하면서 기존 과제 목표 대비하여 기술 고도화를 하였다.

향후 본 과제를 통해 개발된 기술을 기반으로 양산화/제품화에 활용하면 사업화 가능성이 높을 것으로 기대하며, 동종업계 타기종에도 활용 가능한 공통적인 기술요소도 확보하였다.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

자율직진주행 기술의 상용화를 위하여 기술 개발 뿐만 아니라, 국내 농업기술에 대한 이해와 수요자의 의견 청취를 포함한 실증시험에 상당수 시간과 인력이 투입되었습니다. 승용이양기 제조사의 협업으로 제품에 대한 완성도를 높일 수 있었으며, 기존 목표 대비 기술 고도화를 이루었습니다.

선회까지 자율주행으로 수행가능하도록 실증시험을 수행하였으며, 이는 타 과제 및 나주 스마트농업단지에서 시연하고, 시제품을 판매하여 성능을 입증하였습니다.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

본 과제를 통하여 개발된 기술을 향후 3년 이내 제품화에 활용하여 사업화를 수행한다.

과제 수행기간에서 미흡한 부분을 보완하고, 국내 승용이양기 환경에 최적화된 자율주행 승용이양기를 상용화하면 시장방어와 수출효과를 기대할 수 있다.

또한 특허등록, 논문, 홍보 등의 활동을 지속적으로 수행하면서 자율주행 기술 확산에 도움이 될 것이다.

IV. 보안성 검토

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	농작업 기계·시스템
연구과제명	자율직진주행이 가능한 승용이앙기개발		
주관연구개발기관	(주)대동	주관연구책임자	임명제
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타
	1,840,000 천원	1,226,680 천원	3,066,680 천원
연구개발기간	2019.04.01. ~ 2021.12.31		
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(제품화) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)		

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 조향제어모듈 개발, 제어 기술	모터식 조향 시스템 구조 개발 및 공용화 적용 완료
② 경로 생성 및 추종 시스템	직진주행 및 선회를 포함한 기술 확보
③ 환경 인식 기술	위치인식 기반 GNSS ,모열 인식 시스템 개발
④ 이앙작업 자동화 기술	CAN통신 기반 작업제어 승용이앙기 기술 개발
⑤ 자율주행 제어기 개발	자율주행 알고리즘 구동 제어기 개발
⑥ 자율주행 검정방안 개발	자율주행 농기계 검정방안 제정 완료

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식재산권				기술실시(이전)		사업화				기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책활용·홍보		기타 (타연구활용등)	
	특허출원	특허등록	품종등록	S M A R T	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출		투자유치	논문				학술발표	정책활용		홍보전시
													SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건				
가중치	10				5	20			10				5	5	5	5				

최종 목표	4			1	2		2		1	2		4	4	1	1
총료	목표	4		1	2		2		1	2		4	4	1	1
	실적	5		1	2		3		0	0		6	1	2	1
달성률 (%)	100			100	100		100		0	0		100	50	100	100

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	승용이양기용 전자식 모터 조향제어 기술
②	승용이양기 자율주행 경로 생성 및 추종 기술
③	환경 인식 기술
④	이양작업 자동화 기술

5. 연구결과별 기술적 수준

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

* 각 해당란에 √ 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	전자식 모터 기반 직진 및 선회 자율주행 기술 개발 및 제품화
②의 기술	이양작업에 최적화된 경로 생성 및 포장지 주행 오차 보상
③의 기술	GNSS 기반 위치 인식 기술의 제품화 및 영상처리 기반 신기술 활용
④의 기술	농작업에서의 작업기 제어를 포함한 자율주행 기능 개발

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 (타연구)
	특허	특허	품종	S M	건수	기술	제품	매출	수출	고용		투자	논문	비			논문	학술	
												S	비						

	출원	특허	특허	A R T	료	화	액	액	창출	유치		C I	S C I	평 인 F	발표			활 용	전 시	활 용 (이 연 비)
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건		건		명	건	건	
가중치																				
최종목표	4			1		2	78,750		2			1	2		4		2	1	1	
연구기간 내 달성실적	5								3			0	0		6	1	4	1	1	
연구종료 후 성과장 출 계획		2		1		2	78,750					1	2		2					

8. 연구결과의 기술이전조건

핵심기술명			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간		실용화예상시기	
기술이전시 선행조건			

뒷면지

주 의

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