

(옆면)

(앞면)

320026-
3

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

발간등록번호

11-1543000-004318-01

자
율
주
행

무
인
콤포
바
인

개
발

최
종
보
고
서

2022

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

자율주행 무인콤포바인 개발

2023.05.26

주관연구기관 / (주) 대동
공동연구기관 / (주) 편진

홍익대학교

충남대학교

한국농업기술진흥원

농림축산식품부

(전문기관) 농림식품기술기획평가원

최종보고서				보안등급			
				일반(√), 보안			
중앙행정기관명	농림축산식품부		사업명	첨단농기계산업화 기술개발사업			
전문기관명 (해당 시 작성)	농림식품기술기획평가원		내역사업명 (해당 시 작성)	농기계 산업 혁신기술			
광고번호	제 농축 2020 - 63호		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		-		
			연구개발과제번호		320026-3		
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 소분류 코드명 %	2순위 소분류 코드명 %	3순위 소분류 코드명 %			
	농림식품과학기술 분류	1순위 소분류 코드명 %	2순위 소분류 코드명 %	3순위 소분류 코드명 %			
연구개발과제명	국문	자율주행 무인 콤바인 기술 개발					
	영문	Development of autonomous combine harvester with auto-guidance system					
주관연구개발기관	기관명	(주) 대동	사업자등록번호	514-81-06690			
	주소	(우)50319 경남 창원군 창녕읍 창녕공단길 39	법인등록번호	191111-0000104			
연구책임자	성명	이종순		직위	부사장		
	연락처	직장전화 전자우편	휴대전화		국가연구자번호		
연구개발기간	전체	2020. 04. 29 - 2022. 12. 31 (2년 9개월)					
	단계 (해당 시 작성)	1단계	2020. 04. 29 - 2021. 12. 31 (1년 9개월)				
	2단계	2022. 01. 01 - 2022. 12. 31 (1년 0개월)					
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		합계			
	현금	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	2,200,000	28,000	1,211,000	2,228,000	1,211,000	3,439,000	
1단계	1년차	600,000	28,000	372,000	628,000	372,000	1,000,000
	2년차	800,000	-	534,000	800,000	534,000	1,334,000
2단계	1년차	800,000	-	305,000	800,000	305,000	1,105,000
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
	편진	엄기태	부장			개발	영리
	홍익대학교	김정훈	부교수			연구	비영리
	충남대학교	이대현	조교수			연구	비영리
한국농업기술진흥원	김은국	연구원			시험	비영리	
연구개발담당자 실무담당자	성명	박태중		직위	팀장		
	연락처	직장전화 전자우편	휴대전화		국가연구자번호		
							11079975

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

2023년 02월 24일

연구책임자: 이종순 (인)

주관연구개발기관의 장: (주) 대동 (직인)
 공동연구개발기관의 장: (주) 편진 (직인)
 공동연구개발기관의 장: 홍익대학교 (직인)
 공동연구개발기관의 장: 충남대학교 (직인)
 공동연구개발기관의 장: 한국농업기술진흥원 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	첨단농기계산업화 기술개발사업		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		-		
내역사업명 (해당 시 작성)	농림식품기술기획평가원		연구개발과제번호		320026-3		
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 소분류 코드명	%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%
	농림식품 과학기술분류	1순위 소분류 코드명	%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)	-						
연구개발과제명	자율주행 무인 콤바인 기술 개발						
전체 연구개발기간	2020.04.29.~2022.12.31.(33개월)						
총 연구개발비	총 3,439,000 천원 (정부지원연구개발비: 2,200,000 천원, 기관부담연구개발비 : 1,239,000 천원)						
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표(<input checked="" type="checkbox"/>)		
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)	해당사항 없음						
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)	해당사항 없음						
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	자율주행 대응형 고성능 H/W와 부하감응기술을 탑재 및 환경인식, 주행제어, 작업경로생성 최적화 기술을 기반으로 자율주행이 가능한 무인 콤바인 개발					
	전체 내용	<p>[1 차년도] : 자율주행/수확량 모니터링 모듈개발 및 작업부 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 경쟁사 벤치마킹, 특허동향 및 대응 방안 검토 - 자율주행 핵심 모듈개발 <ul style="list-style-type: none"> * 센서 융합 또는 영상처리를 통한 작업환경 인식 시스템 기 - 예취 속도 가변제어 기술 적용 모듈설계 및 모듈 시제품 제작 - 부하감응 차속제어 기술 적용 모듈 설계 및 모듈 시제품 제작 - 곡물배출시스템/수확량모니터링 기술 S/W 제어로직 설계 - 자율주행 어플리케이션 기술 개발 CAN 통신시스템 개발 <p>[2 차년도] : 통합 시스템 개발 및 작업부 제작</p> <ul style="list-style-type: none"> - 자율주행 시제품 콤바인 제작 및 성능개발 <ul style="list-style-type: none"> * 콤바인 공용 CAN 통신 기반 통합시스템 개발 - 예취 속도 가변제어 기술 적용 모듈 제작 및 성능평가 - 부하감응형 차속제어 기술 적용 모듈 제작 및 성능평가 - 곡물배출자동화시스템/수확량모니터링 기술 적용 모듈 제작 및 성능평가 - 차속제어/곡물배출자동화시스템 모듈 제작 및 모듈 성능평가 - 자율주행 어플리케이션 기술 개발 CAN 통신 적용 					

		<p>[3 차년도] : 자율주행/수확량 모니터링 콤바인 상용화 및 실증</p> <ul style="list-style-type: none"> - 자율주행 시작품 콤바인 제작 및 현장검증 - 환경인식 및 통합제어모듈 개선 - 현장 적응성 향상을 통한 신뢰성 검증(현장실증) - 예취 HST 및 예취 높이 지능 제어 시스템 개선 및 필드 시험 - 차속제어/곡물배출 자동화 시스템 모듈 신뢰성 필드검증 - 자율주행 어플리케이션 기술 개발 CAN 통신 현장평가 - 콤바인 자가고장진단 및 스마트폰 연동기술 개발
	<p>1차년도 (1단계)</p> <p>내용</p>	<p>목표 자율주행/수확량 모니터링 모듈개발 및 작업부 개발</p> <p>가) 주관기관 : (주) 대동</p> <ul style="list-style-type: none"> • 자율주행 작업 연동 차량 제어시스템 개발 • 자자율주행 작업 연동 차량 제어시스템 개발 • 통합제어시스템 기술개발 • 부하감응 반응 및 탈곡부 개발 <p>나) 공동연구기관 : (주) 편진</p> <ul style="list-style-type: none"> • 환경인식/경로추종 컨트롤러 샘플보드 개발 • 환경인식/경로생성 알고리즘 포팅 <p>다) 공동연구기관 : 홍익대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> • 직진주행 작업경로 생성 알고리즘 개발 • 궤도형 차륜장치를 위한 주행제어 모델 개발 <p>라) 공동연구기관 : 충남대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> • 시뮬레이션 설계인자 도출 및 주행부 3D 모델 개발 • 주행부 조인트 강성계수 예측 모델 개발 • 환경정보 수집을 위한 센서 시스템 구성 및 영상, 공간정보 등 주요 데이터 수집 • 작업환경 분석을 통한 자율주행 콤바인 환경인식 요소 선정 및 레이아웃 설계 <p>마) 공동연구기관 : 한국농업기술진흥원</p> <ul style="list-style-type: none"> • 자율주행 및 핵심 기술 성능평가 방법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 직진 경로추종 시험방법(안) 마련 • 자율주행 및 핵심 기술 성능평가 방법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 장애물 회피 성능 시험방법(안) 마련

		<p>목표</p> <p>내용</p>	<p>자율주행 통합시스템 개발 및 작업부(1차 Pilot기대) 제작</p> <p>해당단계 목표 달성을 위해 각 기관별 전문분야를 하기와 같이 분업하여 목표달성을 위한 개발목표 및 내용을 구성하였음.</p> <p>가) 주관기관 : (주) 대동</p> <ul style="list-style-type: none"> • 자율주행 작업 연동 차량 제어시스템 개발 • 자율주행시스템 차량 어플리케이션 CAN통신 차량적용 • 통합제어시스템 성능 최적화 • 시제품 기대 제작 및 성능평가 • 부하감응형 반송 및 탈곡부 개발 <p>나) 공동연구기관 : (주) 편진</p> <ul style="list-style-type: none"> • 환경인식/추종 컨트롤러 시제품 개발 • 환경 및 작물인식, 경로생성/추종 제어기술 개발 <p>다) 공동연구기관 : 홍익대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> • 후진을 포함한 전역작업경로 생성 알고리즘 개발 • 자율주행 콤바인 주행제어 알고리즘 개발 <p>라) 공동연구기관 : 충남대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실차모델 제원 이용한 주행부 시뮬레이션 모델보완 • 작업 부하에 따른 주행부 시뮬레이션 모델검증 • 학습기반 지능형 객체 인식 및 주요영역 분할 기술개발 • 복합정보의 실시간 맵핑 및 실시간 환경인식 기술 개발 <p>마) 공동연구기관 : 한국농업기술진흥원</p> <ul style="list-style-type: none"> • 자율주행 무인콤바인 추종 시스템 개발 - 자율주행 콤바인 주행 경로 획득 시스템 개발 - 수확모니터링, 곡물 배출 자동화 시스템 등 요소기술 평가 시스템 개발 • GPS 수신율 , CAN-Bus 통신호환성 검정시스템개발 - ISO11783 표준 통신프로토콜 검정시스템 개발 - GPS 수신율 검정시스템 개발 • 안전성 평가 시스템 개발 - 자율주행 안전성 평가 시험시나리오 개발 - 안전성 평가를 주행 경로 및 장애물 개발 및 제작
--	--	---------------------	--

		<p>목표</p> <p>내용</p>	<p>자율주행 무인 콤바인 시작품 제작 및 필드 실증 시험</p> <p>가) 주관기관 : (주) 대동</p> <ul style="list-style-type: none"> • 자율주행 작업 연동 차량 제어시스템 개발 - 자율주행 대응형 예취시스템 모듈 개선 및 제작평가 - 부하 감응형 차속제어 기술개발 모듈 제작평가 - 곡물 배출 자동화 시스템 개발 제어기 개선 및 제작평가 - 수확량 모니터링 시스템 개선 및 제작평가 • 자율주행시스템 차량 어플리케이션 CAN통신 개선적용 • 자가고장진단 기술 개발 • 통합제어시스템 성능 검증 • 부하감응형 반송 및 탈곡부 개발 - 부하감응형 반송 및 탈곡부 개선품 제작 및 필드평가 - 최적 급치 배열 탈곡통 현장평가를 통한 최적사양 결정 • 시작품 제작 및 현장 적응성 평가 <p>나) 공동연구기관 : (주) 편진</p> <ul style="list-style-type: none"> • 환경 및 곡물인식 / 추종 컨트롤러 시작품 개발 및 최종 필드 검증 - 환경 및 곡물인식/추종 컨트롤러 보드 개선 시작품 개발 - 최종 필드검증 환경에서의 컨트롤러 보드 H/W 적정성 최종 필드 평가 • 환경/곡물인식 및 경로생성/추종 제어 최종 필드검증 - 컨트롤러 보드의 환경 및 곡물인식 / 경로생성 알고리즘 성능 최종 필드 평가 - 시스템과의 통신을 위한 CAN통신 최종 필드 평가 • 자가고장진단 스마트폰 연동 기술 개발 <p>다) 공동연구기관 : 홍익대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> • 콤바인 작업경로 생성 알고리즘 최적화 - 실증시험을 통한 알고리즘 평가 및 최적화 • 주행제어 알고리즘 실증 및 최적화 - 주행제어 알고리즘 실증시험 - 주행알고리즘 최적화
--	--	---------------------	---

		<p>라) 공동연구기관 : 충남대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> • 경사지 주행에 따른 주행부 동역학 시뮬레이션 모델 및 최적 주행 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 노지 및 경사지에서의 동역학 시뮬레이션 모델 개발 - 시뮬레이션 모델을 이용한 주행조건에 따른 성능 검증 및 최적 주행 기술 개발 • 환경 및 곡물인식 기술 성능평가 및 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 비정형 작업환경 및 장애물 인식 기술 개발 - 자율주행 콤바인 적용 및 프로세스 최적화 기술 개발 <p>마) 공동연구기관 : 한국농업기술진흥원</p> <ul style="list-style-type: none"> • 자율주행 무인콤바인 검정방법(안) 실증 <ul style="list-style-type: none"> - 직진 자율주행 및 선회자율주행 시험시나리오 통합 - 자율주행 성능 현장 시험 및 평가 - 자율주행 안전성 현장 시험 및 평가 • 자율주행 무인콤바인 검정방법(안) 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 레벨 3 자율주행 무인콤바인 검정방법(안) 개발 후 운영
--	--	--

<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 지식재산권 <ul style="list-style-type: none"> - 특허출원 4건 - 특허등록 2건 • 기술 인증 <ul style="list-style-type: none"> - 공인기관 기술인증 7건 • 학술성과 <ul style="list-style-type: none"> - SCI급 논문 2편, KCI급 논문 2편 게재 - 학술대회 10건 • 시제품 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 콤바인 및 컨트롤러 시제품 제작 2건 • 기술실시 <ul style="list-style-type: none"> - 자율주행 무인콤바인 개발 특허 기술실시 1건 - 자율주행 무인콤바인 노하우 및 프로그램 기술실시 1건 • 사업화 <ul style="list-style-type: none"> - 신제품 개발을 통한 사업화 2건 예정 • 고용창출 <ul style="list-style-type: none"> - 신규채용 6명 • 전문 연구 인력 양성 <ul style="list-style-type: none"> - 석사 6명
---------------	--

	<ul style="list-style-type: none"> • 인력양성(교육지도) <ul style="list-style-type: none"> - 자율주행 콤바인 현장 운용 및 이론 관련 교육 1건 • 홍보실적 <ul style="list-style-type: none"> - 제품설명회 (연사회) 1건 - 전시회 출품 1건 - SNS홍보(INSTAGRAM,YOUTUBE) 2건
--	--

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>가) 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> • 기술적 측면 <ul style="list-style-type: none"> - 경로생성 및 추종, 작업환경 인식 등의 자율주행 핵심기술을 양산성 및 범용성을 고려하여 개발 농업기술 개발에 이바지함. - 국내 콤바인 제조사에서 범용적으로 사용가능하고 확장 및 변경이 용이한 CAN 통신 기반 통합제어시스템을 개발하여 농기계 자율주행 기술 및 확대적용에 기여할 것으로 기대됨 • 산업적 측면 <ul style="list-style-type: none"> - 선진국 제품으로부터 서비스, 가격 경쟁력 및 고급화된 기술확보를 기반으로 내수시장 회복을 꾀할 수 있으며, 조기 사업화하여 국산 제품 판매 증대 및 내수시장, 해외시장의 활성화에 기여. - 기존 유사기술을 토대로 시장형성을 하고 있는 선진업체와 차별화되고 실용적인 기술 보급을 통하여 향후 국내시장에서 경쟁력 확보 및 관련분야 해외시장 확대에 기여할 것으로 판단됨. • 경제적 측면 <ul style="list-style-type: none"> - 내수시장 선점하고 있는 선진사 콤바인과 동등한 수준의 H/W를 갖는 제품을 개발하고 자율주행 기능을 실 작업에 상용될 수준으로 실용적으로 보급하여 수입 제품 대체 뿐만 아니라 이를 기반으로 해외시장 진출 토대를 마련
---------------------	---

연구개발성과의 비공개여부 및 사유	최초 국내 농업기계 콤바인 자율주행 상용화 관련 기술로 기술개발정도 및 방법에 대한 초기 연구단계 대외비 관리가 필요. 해외 혹은 여타 경로를 통한 기술유출 우려
--------------------	--

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
	4	6	-	-	-	-	-	생명 정보	생물 자원		-	정보
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		콤바인		주행제어		환경인식		부하감응			
영문핵심어 (5개 이내)	Autonomous system		Combine Harvester		Driving control		Environmental recognition		LOAD REDUCTION			

< 목 차 >

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

별첨 자료 (참고 문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

가 연구개발 배경

1) 국내 농업의 현황

가) 국내 농업 노동력 감소 현황 (자료출처 : 농촌진흥청/국립농업과학원)

ㄱ. 국내 농업 인구 감소와 고령화로 공동화가 가속되고 있어, 노동력을 보완 대체 할 수 있는 수단과 생력화 기술 개발이 시급한 실정임. 현재 국내 농업은 매년 대두되어온 노동력에 대한 문제를 해결하기 위해 정부 주관의 다양한 귀농 및 농업 부양 정책이 시행되고 있지만 그 효과는 아직 미미한 수준임. 농가 및 농가 인구는 저출산, 고령화에 따른 농업 포기, 전업 등으로 인해 지속적으로 감소하고 있음.

A. 농가인구(천명): ('00) 4,031명(8.6%) → ('10) 3,063(6.3%) → ('19) 2,245(4.3%)

B. 65세 이상 농가 비율(%): ('10) 31.8 → ('15) 38.4 → ('17) 42.5 → ('19) 46.6



<농가·농가인구·고령인구 비율>

나) 국내 콤바인의 기술적 수요 현황 (자료출처 : 한국농촌경제연구원)

ㄱ. 상기 문제는 전반적인 농업 분야에서 발생하고 있으며, 이를 해결하기 위해 다양한 방법론이 거론되고 있음. 종래에는 농업기계의 작업효율을 증진시켜 기계작업 성능을 토대로 작업 시간을 단축 방법의 연구가 집중적으로 이루어졌음. 농기계의 대형화 기술고도화를 통해 노동력이 발생하던 상당량의 농업공정에서 현재 기계화가 이루어짐.

A. 농업기계의 대형화 및 기술고도화를 통한 농기계 기술발전은 산업발전과 더불어 급격히 진행되었지만, 기후와 작황 종류에 따라 한정된 작업 시기에 적기 작업이 이루어져야 하는 콤바인의 경우 노동력 부재에 대한 문제가 해소되지 못한 실정임.

B. 콤바인의 경우 차량의 운반, 작업자, 곡물차량 등 3~4명의 인원이 작업이 이루어짐. 콤바인 수확은 시기에 따라 수율과 품질이 결정되기 때문에 짧은 수확시기에 다량의 작물을 작업을 위해 많은 노동 투하시간이 요구됨. 또한 작업자의 숙련도에 따라 작업능률과 수확작물의 수율에도 큰 영향을 미치기 때문에 농가에서는 다양한 부분에 대한 개선요청이 이루어지고 있는 실정임.

다) 국내 농업의 자율주행 콤바인 상용화 필요성

ㄱ. 현재 국내 보급되는 국산 농기계의 경우 HARDWARE의 기술은 성숙기 단계에 진입하여 작업 성능에 주요한 영향을 미치는 요소부품에 대한 고도 기술 개발을 진행 중. 선진국의 경우 일반 산업에서 적용되는 4차 산업기술을 농업기계에 적용하여 일부는 상용화까지 진행되고 있는 실정이며, 다양한 기술접목이 진행되고 있는 상황임.



<국가별 농업기계 기술보유 수준>

- ㄴ. 전 세계적으로 기계학습 및 딥러닝 등의 인공지능과 응용기술이 비약적으로 발전함에 따라 자동차 산업에서 대두되던 자율주행 기술에 대한 농업기계의 접목이 이슈되고 있으며, 이를 농업 노동력 보강의 발판으로 상기 문제를 타개하고자 하는 연구가 지속적으로 이루어지고 있음.
- ㄷ. 현재 국내 콤바인 분야의 자율주행 기술 상용화는 전무한 실정이며, 콤바인 수확기계에서는 자율주행의 시나리오, 기술정의, 환경인식 등 적용 방안과 기술정의가 구체적으로 진행되지 않음. 따라서 본 연구에서는 자율주행 기술을 콤바인 수확기계에 접목하여 상용화를 위한 기술 개발 연구를 목표로 함.
- ㄹ. 해당 자율주행 무인콤바인 상용화 기술 개발 목표 달성을 통해 국산 콤바인 수확기의 4차 산업 관련 기술 점유를 통한 선진국과 기술격차를 조기 완화와 내수시장에서의 국산 콤바인 점유율 확보를 통한 국내 농기계 산업 발전에 기여하고자 함.

2) 자율주행 콤바인 기술 개요

가) 콤바인 자율주행 주요 기능 정의

콤바인 및 작업지 위치인식을 기반으로 작업지를 매핑하여 주행/작업 경로를 자동으로 생성하고 생성된 경로에 따라 자동으로 주행하면서 수확작업을 수행함.

ㄱ. 경로생성

작업지 외곽 수동 수확(약 2~3회경, 5m)후 내부 미수확지역에 자율수확 경로 생성하고, 경로패턴은 U턴, α 턴 등 선택가능하며, 콤바인 크기에 맞춰 경로 생성함. 수확경로내 포인트별 자동작업 지령 포함(경로생성을 위한 최소자업지 크기 有, 경로내 시작점/종료점 有)

ㄴ. 경로추종

생성된 경로를 따라 시작점에서부터 자율주행하면서 수확작업 수행하고, 목표 경로추종오차(15 cm)이내 유지, 경로를 벗어나거나 gps미수신등 상황 발생시 안전제어 수행함. 또한, 각 상황에 맞게 알람(램프,부저,보이스등) 기능 수행하도록 함.

ㄷ. 디스플레이 연동

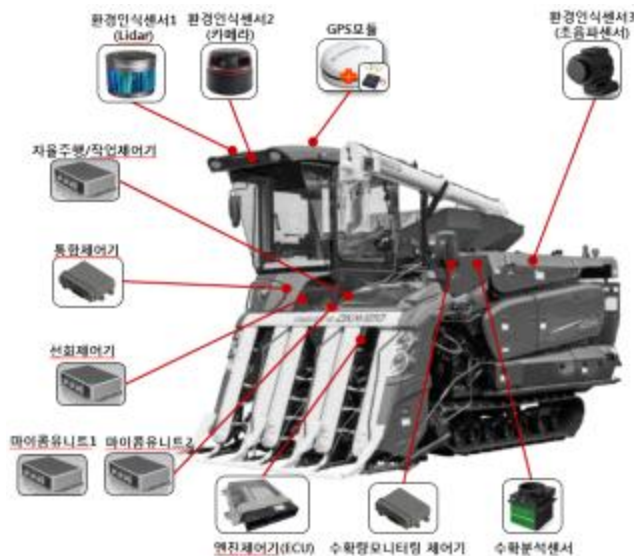
시작, 정지등 주요동작신호는 물리버튼으로 동작하며 모든 동작 및 셋팅 기능은 디스플레이 조작으로 동작하도록 하고 CAN통신기반 디스플레이 HW/SW 및 UI 개발 수행함.

ㄹ. 환경인식

카메라, Lidar, 초음파 등 환경인식센서를 탑재하여 콤바인 주위 상황을 인지, 자율주행/작업 시 주위상황에 따른 제어 수행

나) 자율주행 콤바인 시스템 구성

콤바인의 자동제어를 위한 주요 제어기에 따라 시스템 구성을 요약



<자율주행 무인 콤바인 제어기 구성도>

ㄱ. 최상위제어

A. 통합제어기 : 모든 제어기 모니터링 및 제어 프로토콜 관리

ㄴ. 상위제어

A. 환경인식 제어기 : 환경인식센서 데이터 취득 및 환경 인식 관련 제어 수행

B. GPS모듈 및 자율주행/작업 제어기 : 경로 생성 및 경로 추종 주요 기술

ㄷ. 하위제어

A. 각종 차량 제어기 (마이콤, 선회제어기 등) : 차량 작업 제어 기술

B. 수확량 모니터링 제어기 : 수확량 측정 센서 데이터 취득 및 제어 기능



<자율주행 무인 콤바인 제어기 구성도>

다) 무인화 콤바인 차량(작업)제어 항목 정의

<자율주행 무인 제어항목 정의>

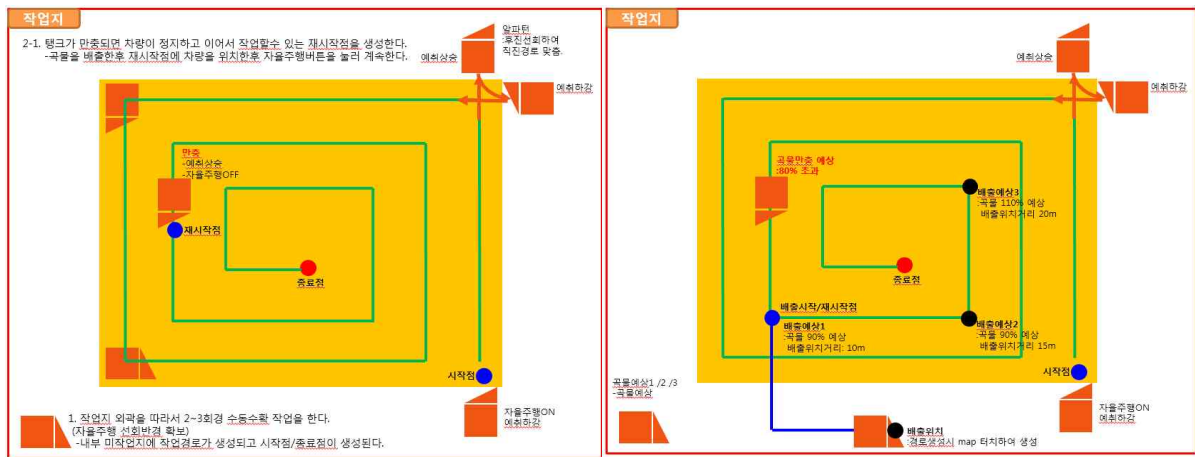
분류	기능	설명
예취 제어	예취높이 자동 제어	예취높이 조정 볼륨값에 따라 예취높이를 일정하게 유지
	오토리프트 제어	후진 혹은 예취부 작물 유입이 없을시 예취를 자동으로 상승
	오토클러치 제어	예취상승시 예취부/탈곡부 동력을 차단
탈곡 제어	공급깊이 제어	곡물유입량에 따라 탈곡통에 유입되는 곡물의 깊이를 조절
	탈곡모터제어	탈곡 클러치 ON/OFF 제어
	풍구 제어	예취높이, 풍구설정볼륨에 따라 풍구를 조정하여 풍구바람 조정
배출 제어	엔로더 자동 제어	엔로더의 위치를 배출위치/복귀위치로 자동 이동(상승/하강, 선회)
	곡물 배출 제어	곡물량이 0일때까지 곡물 자동 배출

주행 제어	수평 제어	기대 전후(롤링), 좌우(피칭)을 센싱하여 수평이 되도록 실린더를 제어
	주변속차속제어	부하감응 차속제어를 위한 주변속레버 액츄에이터 제어
	선회제어(BSST)	좌우 크롤러 속도를 제어하여 브레이크턴, 스펀던 선회 제어
엔진제어	엔진RPM제어	CAN통신을 통한 엔진RPM 제어

라) 자율주행 작업 시나리오 정의

자율주행 경로 생성 및 추종을 위하여 실제 수동작업과 대비하여 주행경로 시나리오를 정의하고 생성할 필요가 있음

ㄱ. 전체 예상 시나리오 요약



<자율주행 전체 작업 시나리오>

A. STEP 1 : 작업 경로 생성

a. 최초 회경작업을 수동으로 수행하며 3회의 회경작업을 수행한다. 자동 선회 주행을 위한 선회반경 확보를 위한 작업이며, 이때 내부 자율주행 경로를 생성한다.

B. STEP 2 : 자율주행 경로 진입 및 명령

a. 예취 및 탈곡부 제어상태에서 직선경로에 진입하며, 시작점에서 자율주행 시작 명령 시 선회구간까지 직진자율주행을 수행한다.

C. STEP 3 : 자율주행 수행

a. 곡물탱크가 일정량 만충되기 전까지 자율작업을 수행한다.

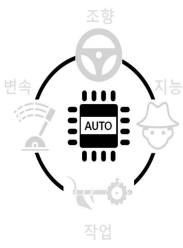
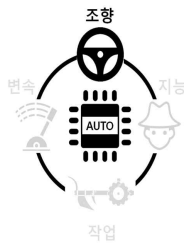
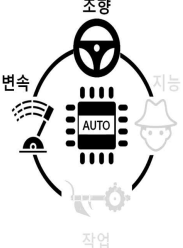

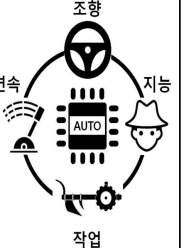
D. STEP 4 : 자동 배출위치 주행

a. 물탱크가 일정량 만충되었을 경우 선회 반경을 고려하여 배출 시작점을 지정하고 사전 정의된 배출지역으로 이동한다.

E. STEP 5 : 자율주행 종료

마) 자율주행 기술단계 정의

<농촌진흥청 2021년 8월 5일 보도자료 발췌>

구 분	Level 0 (원격제어식)	Level 1 (자동조향)	Level 2 (자율주행)	Level 3 (자율작업)	Level 4 (무인자율작업)
자동화 범위					
기술 특성	리모트컨트롤 이용 제어	자동 직진 조향	자동 경로생성 · 추종	경로생성·추종 + 작업기제어	무인완전자율 주행·작업

농업기계는 자동차 산업과 달리 주행과 함께 환경에 대한 작업행위나 작물 수확이 수반되어야 하기 때문에 통상적으로 자동차 산업에서의 자율주행 레벨 단계와는 상이한 개념의 단계로 구성됨. 콤바인의 경우 제도적으로 확정된 사항은 아니지만 트랙터와 유사한 개념에서 자동경로를 생성하고 추종하는 것을 Level 2, 자동 경로 생성 및 추종을 진행하며 작업기에 대한 제어를 통한 자율작업이 진행되는 것을 Level 3로 정의함.

본 연구 개발과제에서는 작업경로에 대한 생성 및 추종과 더불어 예취부 및 차속의 제어를 통해 자율주행 단계 Level 2 ~ 3에 준하는 수준의 자율주행 콤바인을 개발하는 것을 목표로 함.

나 연구개발 목표 및 기관별 진행 내용

1) 최종목표

자율주행 대응형 고성능 H/W와 부하감응기술을 탑재 및 환경인식, 주행제어, 작업경로 생성 최적화 기술을 기반으로 자율주행이 가능한 무인 콤바인 개발
 → Level 3(자율작업)* 수준의 자율주행 무인콤바인 상용화 기술개발

2) 세부목표

- [1 차년도] : 자율주행/수확량 모니터링 모듈개발 및 작업부 개발
- [2 차년도] : 통합 시스템 개발 및 작업부 제작
- [3 차년도] : 자율주행/수확량 모니터링 콤바인 상용화 및 실증

항목	2020년		2021년		2022년		2023년
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	사업화
자율주행 대응형 에퀴시스템 개발		설계 및 개발, 샘플추진	시제품		시제품		
부하감응 기술개발 (주행/달곡)		설계 및 개발, 샘플추진	시제품		시제품		
곡물 배출 자동화 시스템 개발	기술 등량 분석	설계 및 개발, 샘플추진	시제품	시제품, 콤바인 제작	시제품	시제품, 콤바인 제작	
주행제어 및 작업경로 생성 기술 개발		설계 및 개발, 샘플추진	시제품		시제품		
환경인식 및 경로생성, 추종 컨트롤 기술 개발		설계 및 개발, 샘플추진	시제품	*상용개발	시제품	*발드실증	
차량어플리케이션 기술 개발		설계 및 개발, 샘플추진	시제품		시제품		
통합시스템개발			시제품		시제품		
자율주행콤바인개발				시제품		시제품(초도양산)	상용화/사업화
용도	모듈단위 설계 및 성능개발		시제품 콤바인 탑재용		시작중 콤바인 탑재용		

<년차별 핵심모듈 및 자율주행 콤바인 개발 계획>

3) 기관별 개발 목표 및 내용

최종목표 자율주행 대응형 고성능 H/W와 부하감응기술을 탑재 및 환경인식, 주행제어, 작업 경로 생성 최적화 기술을 기반으로 자율주행이 가능한 무인 콤바인 개발 성과달성을 위한 컨소시엄간 연차별 개발 및 연구진행사항은 하기 표제와 같은 내용으로 순차적으로 연구개발 진행함.

<연차별 각 기관 연구수행 내용>

기관명	1차년도	2차년도	3차년도
	연구목표	연구목표	연구목표
주관기관 (주)대동	<ul style="list-style-type: none"> -경쟁사 벤치마킹, 특허동향 및 대응방안 검토 -개발모듈 Lay-out설계 및 S/W 제어로직 구성 -자율주행 차량어플리케이션 시스템 개발 -통합제어시스템 개발 -선진사 부하감응기술 조사 -부하감응형 반송 및 탈곡 시스템 Lay-out설계 -탈곡통 급치형상 및 배열 Lay-out설계 -탈곡부 부하감지 센서류 선정 	<ul style="list-style-type: none"> -시제품 기대 제작 및 성능 평가 -개발모듈 제작 및 성능평가 -자율주행 차량어플리케이션 시스템 차량 적용 -통합제어시스템 성능최적화 -부하감응형 반송 및 탈곡 제작 및 모듈 성능 평가 -부하감응형 탈곡통 제작 및 성능평가 -탈곡부하감지 센싱신뢰검증 	<ul style="list-style-type: none"> -시작품 기대 제작 -개발모듈 개선 및 현장평가 -자율주행 차량어플리케이션 시스템 현장 적응성 평가 -필드실증시험 -자가고장진단 기술 개발 -상용화 및 사업화 -통합제어시스템 성능 검증 -부하감응형 반송 및 탈곡부 개선품 제작 및 필드 평가 -최적급치배열 탈곡통 현장평가를 통한 최적사양 결정
협동 연구기관 (편진)	<ul style="list-style-type: none"> - 환경 및 작물 인식/추종 컨트롤러 샘플보드 개발 - 환경인식, 경로생성 알고리즘 이식 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 환경 및 작물 인식/추종 컨트롤러 시제품 개발 - 환경인식, 경로생성/추종 제어기술 개발 - 1차 필드검증 	<ul style="list-style-type: none"> - 환경 및 작물 인식/추종 컨트롤러 시제품 개발 - 현장 적응성 평가 - 환경인식 및 경로생성/추종 제어기술 최적화 - 2차 필드검증 - 상용화 및 사업화 - 자가고장진단 스마트폰 연동 기술 개발
협동 연구기관 (홍익대)	<ul style="list-style-type: none"> - 직진주행 작업경로 생성 알고리즘 개발 - 궤도형 차륜장치를 위한 주행제어 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -후진을 포함한 전역작업 경로 생성 알고리즘 개발 -자율주행 콤바인 주행제어 알고리즘 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -콤바인 작업경로 생성 알고리즘 최적화 -주행제어 알고리즘 실증 및 최적화
협동 연구기관 (충남대)	<ul style="list-style-type: none"> -자율주행 콤바인 주행부 시뮬레이션 모델 개발 -작업환경 분석 및 환경인식 기술 설계 	<ul style="list-style-type: none"> -작업 부하에 따른 주행부 시뮬레이션 모델 해석 및 검증 -자율주행 콤바인 지능형 환경인식 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -경사지 주행에 따른 주행부 동역학 시뮬레이션 모델 및 최적 주행 기술 개발 -환경인식 기술 성능평가 및 고도화
협동 연구기관 (한국농업 기술진흥원)	<ul style="list-style-type: none"> -자율주행 및 핵심 기술 성능평가 방법 개발 -안전성 평가 방법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -자율주행 콤바인 추종 시스템 개발 -GPS 수신율 및 CAN-Bus 통신호환성 검정시스템 개발 -안전성 평가 방법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -자율주행 무인콤바인 성능 및 안전성 시험방법 (안) 실증 및 고도화

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

가

주관연구기관 : (주) 대동 연구개발 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발 수행내용

[1차년도]

(1) 자율주행 작업 연동 차량 제어시스템 개발

가) 자율주행 관련 경쟁사 기술 벤치마킹, 특허동향 및 대응 방안 검토

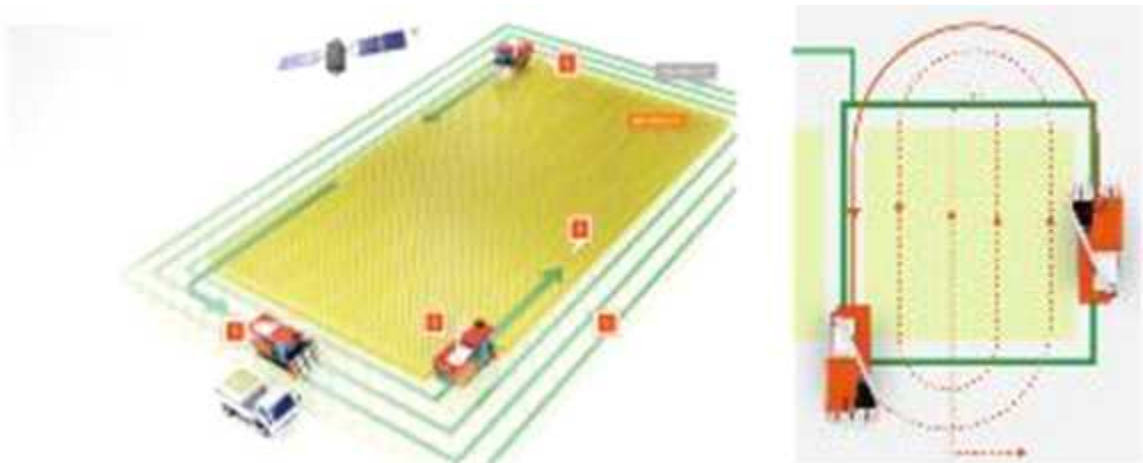
ㄱ. 선행 기술 분석

해당 과제에서 목표로 하고 있는 수전농 전용의 무인콤바인은 2020년 출시된 구보다의 Farm-pilot 시리즈의 6조 콤바인 모델인 DR6130A가 유일함. 북미, 유럽의 선진사의 경우 대형 하베스터에 자율주행모듈을 탑재하여 판매하는 경우가 있으나 국내 농업 환경과는 맞지 않아 국내 환경과 유사한 일본 구보다를 벤치마킹 진행함.

아. 자율주행 기능 분석

• 기본 동작 사양

자율주행 콤바인 동작은 다음과 같음. 우선 수동으로 외주경로를 따라 3회경 작업을 하면 작업경로내에서 최적의 자율주행 경로를 생성함. 그리고 어시스트 스위치를 누르고 주변속 “전진”을 하면 생성된 경로를 따라서 자율주행 함. 자율주행을 하면서 자동으로 예취부 승하강, 클러치 ON/OFF, 방향 수정을 자동으로 수행함. 자율주행에 들어가면 곡물탱크가 가득찰 때까지 자동으로 작업하며 만충 시 곡물을 자동으로 배출함. 기본 동작에서 3회경 수동 작업이 필요한 것은 선회를 위한 반경지역을 확보하기 위한 것으로 추정되며, 이로 인해 회경 면적이 안나오는 좁은 작업지에서는 사용이 불가능한 문제점이 있음. 이 부분을 참고하여 필요 회경을 최소화할 수 있도록 개발 중임.



<구보다 자율주행 경로>

• 특징점

구보다 자율주행 관련 특징점 및 벤치마킹 기능은 하기와 같음.

- 곡물 자동 배출 기능

자율주행/작업시 탱크에 곡물이 만충 될 때 까지 자동으로 동작된다. 여기에 더해서 구보다에서는 곡물 자동 배출 기능을 추가하여 작업중 수확량을 모니터링하여 곡물 만출을 예상하여 자율주행 경로를 수정하여 정해진 곡물배출 위치로 자동으로 이동. 당 과제에서는 구보다의 기능을 벤치마킹하고 특허회피하여 고유의 곡물자동배출기능을 개발할 계획.



- 선회 패턴 선택 기능

자율주행/작업 시 다음 직진구간까지 선회하는 패턴을 작업자가 선택할 수 있도록 하여 작업자, 작업지별 특성에 맞게 효율적으로 작업할 수 있도록 구현함. 선회 패턴은 기본 U자 패턴부터 X턴, 알파턴 등 총 5개의 패턴을 선택할 수 있도록 되어 있음. 당 과제에서는 기본적으로 U턴 선회 패턴을 자율주행 기능을 개발한 후 향후 시험을 통해 필요한 선회 패턴을 추가 할 예정.



<선회 선택 패턴>

- 라인시프트 기능

라인시프트 기능은 자율주행이앙기에 있는 기능으로 직진자율주행 중에 작업자의 필요에 따라 좌우버튼을 조작하여 지정된 거리(약10cm) 만큼 좌우로 직진경로를 시프트 시키는 기능임. 이는 GPS오차로 인해 경로를 일부 이탈하거나 작업방법상 미세 경로조정이 필요할 때 유용한 기능으로 당 과제에서도 라인시프트 기능을 개발하여 적용할 계획.



<라인시프트 기능>

- 디스플레이 기능

자율주행 차량에서 자율주행 동작상태 및 작업지역, 작업완료지역 등의 정보를 제공하기 위해 디스플레이 장치가 필수적임. 구보다 자율주행 무인콤바인의 디스플레이 장치는 하기 상태를 기본적으로 표시함. 구보다 디스플레이를 참고하여 당 과제 사양에 최적화된 디스플레이 및 UI를 개발할 계획.

1. 조작스위치 일체형 및 자율주행 ON/OFF 표시
2. 작업 표시 기능: 작업지역표시, 작업완료지역표시, 차량표시
3. 방위 아이콘 및 GPS 수신상태 표시



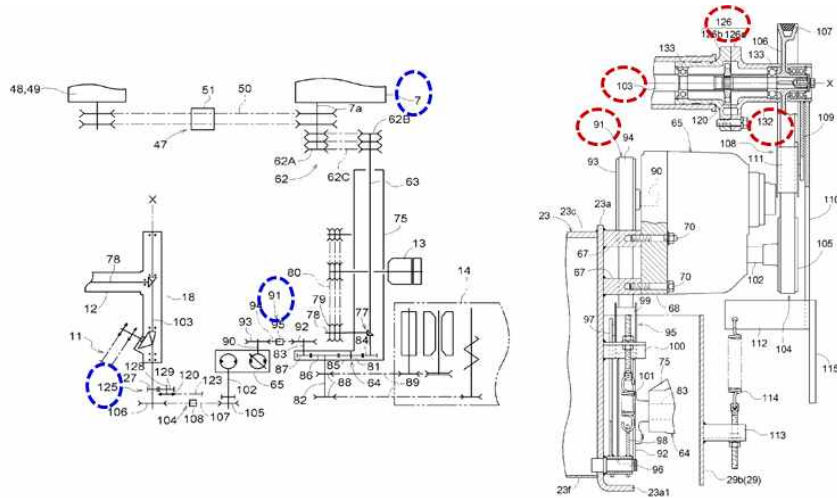
<구보다 자율주행 무인콤바인 디스플레이>

ㄴ. 콤바인 예취부 관련 선행 특허조사

a. 예취부 선행 특허

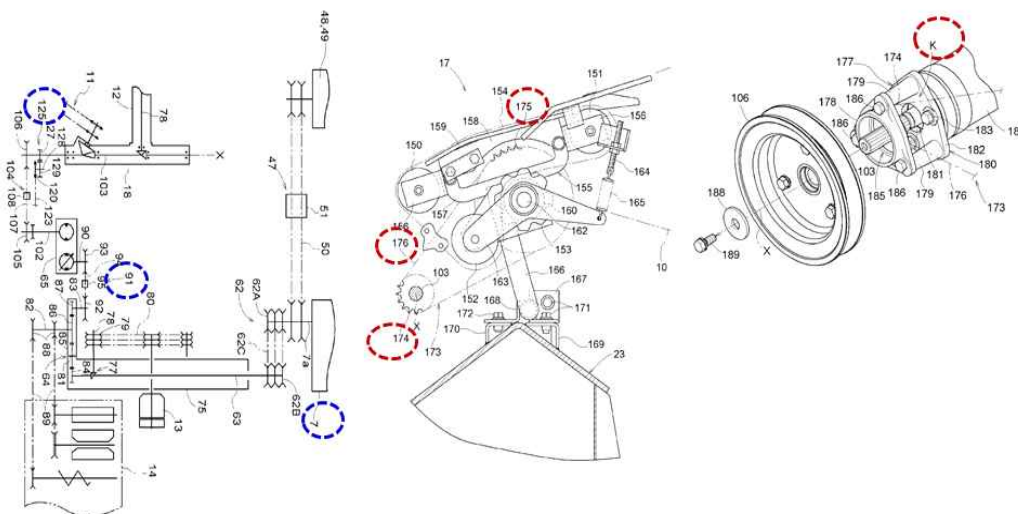
- 예취동력전달 관련 특허

항목	KR 10-2120305 B1	검토 내용
청구항 1	<p>직립 곡간을 예취하여 후방으로 반송하는 예취부(3)와, 기체 횡폭 방향 한 쪽 부근의 부위에 위치하는 구동용의 엔진(7)과, 기체 횡폭 방향을 따라서 연장되는 예취 입력축(103)과, 상기 엔진으로부터의 동력을 상기 예취 입력축에 있어서의 기체 횡폭 방향 다른 쪽 부위로 전달하는 입력용 전동 기구(91)와, 상기 예취부의 반송 중단부로부터 탈곡 피드 체인을 향해 예취 곡간을 공급 반송하는 공급 반송 장치(17)가 구비되며, 상기 예취 입력축(103)으로부터 상기 공급 반송 장치(17)로 동력을 전달하는 공급 반송용 전동 기구(125)가 구비되고, 상기 공급 반송용 전동 기구를 덮는 공급 반송 전동 케이스(126)가 상기 예취 입력축에 있어서의 기체 횡폭 방향 다른 쪽 단부의 외주부를 지지하는 단부측 지지 통부(132)를 구비하여 구성되어 있는, 콤바인.</p>	공급 반송용 전동기구



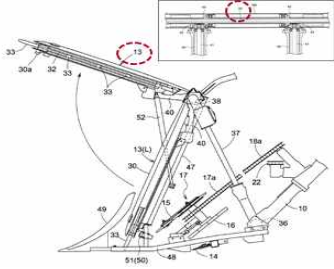
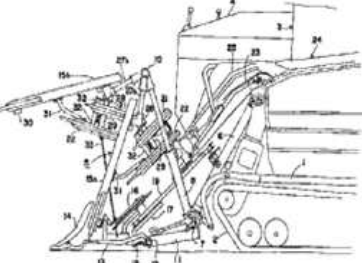
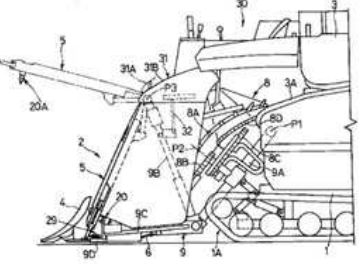
<예취부동력전달구조 관련특허 1>

항목	KR 10-2120305 B1	검토 내용
청구항 9	<p>직립 곡간을 예취하여 후방으로 반송하는 예취부와, 기체 횡폭 방향 한 쪽 부근의 부위에 위치하는 구동용의 엔진과, 기체 횡폭 방향을 따라서 연장되는 예취 입력축과, 상기 엔진으로부터의 동력을 상기 예취 입력축에 있어서의 기체 횡폭 방향 다른 쪽 부위로 전달하는 입력용 전동 기구와, 상기 예취부의 반송 종단부로부터 탈곡 피드 체인을 향해 예취 곡간을 공급 반송하는 공급 반송 장치가 구비되며, <u>상기 예취 입력축(103)으로부터 상기 공급 반송 장치(17)로 동력을 전달하는 공급 반송용 전동 기구(125)가 구비되고</u>, 상기 공급 반송용 전동 기구가 상기 예취 입력축에 구비된 <u>상측의 전동 회전체(174)와</u>, 상기 공급 반송 장치의 입력축과 연동하는 <u>하측의 전동 회전체(175)와</u>, 그들의 각 전동 회전체에 걸쳐 권회되는 <u>무단부 회동대(176)를 구비하여 구성되고</u>, 상기 무단부 회동대가 상기 예취 입력축의 외주측을 덮는 통 형상 케이스에 형성된 <u>개구(K)를 통해서</u>, 상기 <u>상측의 전동 회전체와 상기 하측의 전동 회전체에 걸쳐 권회되도록 구성되어 있는</u>, 콤바인.</p>	<p>개구(K) 구성 없음</p>



<예취부동력전달구조 관련특허 2>

- 예취끌어올림장치

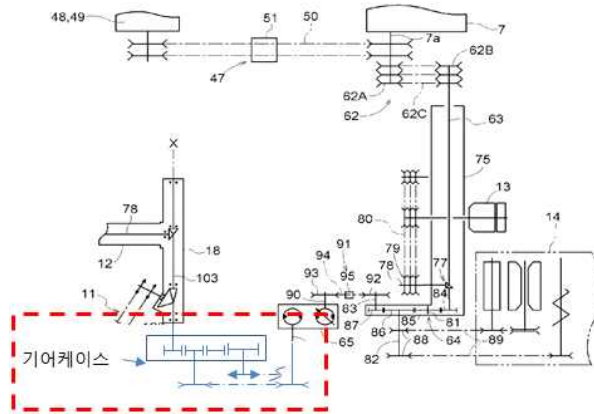
KUBOTA 선행기술 1	KUBOTA 선행기술 2	ISEKI 선행기술 3
<p>KR 등록(0688365) JP, CN등록 우선일: 2005.07.01 [~ 2026.03.07] 명 칭: 콤바인</p> 	<p>JP공개(1994-217626) 공개일: 1994.08.09 명 칭: 콤바인의 예취부</p> 	<p>JP 공개(1999-235116) 공개일: 1999.08.31 명 칭: 콤바인의 전처리부 구조</p> 
<p><u>인접하는 복수의 상기 기립 장치가 일체로 하여 들어올림 요동 가능하게 구성</u></p> <p>기립 장치의 상부에 가로로 걸쳐져 지지된 카운터축으로 기어 연동, 상기 카운터축과 상기 기립 장치의 구동 스프로킷축이 기어 연동</p>	<p>【목적】 유지보수의 용이화. 【구성】 좌우측에 마련한 단측 인기장치 15 a와 좌우의 단측 인기장치 15 a 사이에 배치되는 중간인기장치 15 b와 상기 각 인기장치 15 a, 15 b 후방에 배치 고정되는 전측 이삭 끝 이송 장치 21, 22를 가지는 콤바인의 예취부에서 상기 각 인기장치 15 a, 15 b 중 상기 중간인기장치 15 b는 상기 전측 이삭 끝 이송 장치 21, 22 마다 회동하고 상방에 끌어 올려져 또한 지지구 33에 의해 끌어올린 채로와 해낼 수 있는 구성으로 한 콤바인의 예취부.</p>	<p>【과제】 보조 이송 장치나 공급 이송 장치의 전방 부분을 간단하게 개폐할 수 있도록 하여 보조 이송 장치나 공급 이송 장치에 대한 유지보수 작업을 용이하게 수행할 수 있도록 한다. 【해결 수단】 콤바인의 전처리부 구조에서 인기장치 5를 상부의 좌우 방향 축심 P3주위에 치켜 들어 요동 조작 가능하게 지지함과 동시에, 인기장치 5의 하부를 소정의 작업 위치를 향해서 상하 방향 및 좌우 방향으로 걸어맞춤 안내하는 안내 수단 A와 인기장치 5의 하부를 소정의 작업 위치에 고정하는 고정 수단 B를 장착했다.</p>

㉔ 예취부 선행 특허 회피방안

- 예취동력전달 관련 특허

항목	KR 10-2120305 B1	검토 내용
<p>청구항 1</p>	<p>직립 곡간을 예취하여 후방으로 반송하는 예취부(3)와, 기체 횡폭 방향 한 쪽 부근의 부위에 위치하는 구동용의 엔진(7)과, 기체 횡폭 방향을 따라서 연장되는 예취 입력축(103)과, 상기 엔진으로부터의 동력을 상기 예취 입력축에 있어 서의 기체 횡폭 방향 다른 쪽 부위로 전달하는 입력용 전동 기구(91)와, 상기 예취부의 반송 종단부로부터 탈곡 피드 체인을 향해 예취 곡간을 공급 반송하는 공급 반송 장치(17)가 구비되며,</p>	<p>엔진과 공급 반송용 전동기구를 예취입력축 기준으로 서로 반대에 배치</p>

	<p>상기 예취 입력축(103)으로부터 상기 공급 반송 장치(17)로 동력을 전달하는 공급 반송용 전동 기구(125)가 구비되고, 상기 공급 반송용 전동 기구를 덮는 공급 반송 전동 케이스(126)가 상기 예취 입력축에 있어서의 기체 횡폭 방향 다른 쪽 단부의 외주부를 지지하는 단부측 지지 통부(132)를 구비하여 구성되어 있는, 콤파인.</p>	
--	--	--



<예취부동력전달구조 관련 특허 회피안>

- 예취끌어올림장치

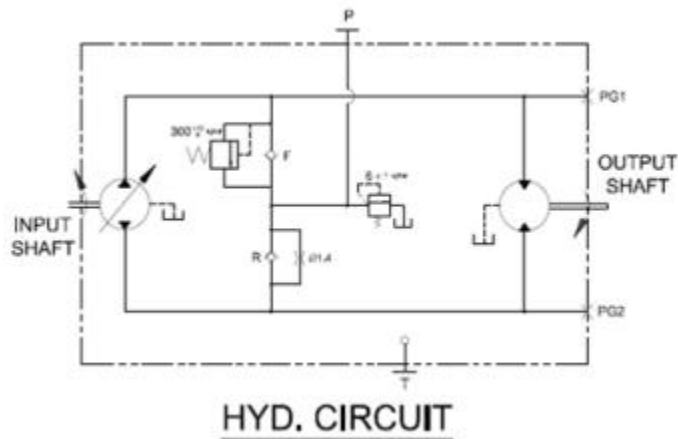
항목	KR 10-0688365 B1	검토 내용
청구항 1	<p>예취부의 전방부에 좌우로 병렬 배치된 복수의 기립 장치와, 상기 기립 장치의 후방에 좌우로 병렬 배치된 복수의 합류 반송 장치를 구비하고, 상기 기립 장치 중, 소정의 기립 장치가 들어올림 요동 가능하게 지지되고, 상기 합류 반송 기구는 밀동부 반송 기구와 이삭끝 반송 기구를 구비하고, 수취된 곡식 줄기를 예취 폭의 곡식 줄기 중간 위치에 합류 반송하는 콤파인에 있어서, 인접하는 복수의 상기 기립 장치가 일체로 하여 들어올림 요동 가능하게 구성되는 것을 특징으로 하는 콤파인.</p>	<p>- . 선행기술1,2로 무효화 가능 - . 기립장치 각각 1개씩 오픈</p>

나) 자율주행 대응형 예취시스템 개발

ㄱ. 예취 속도 가변제어 기술 개발(예취 HST모듈)

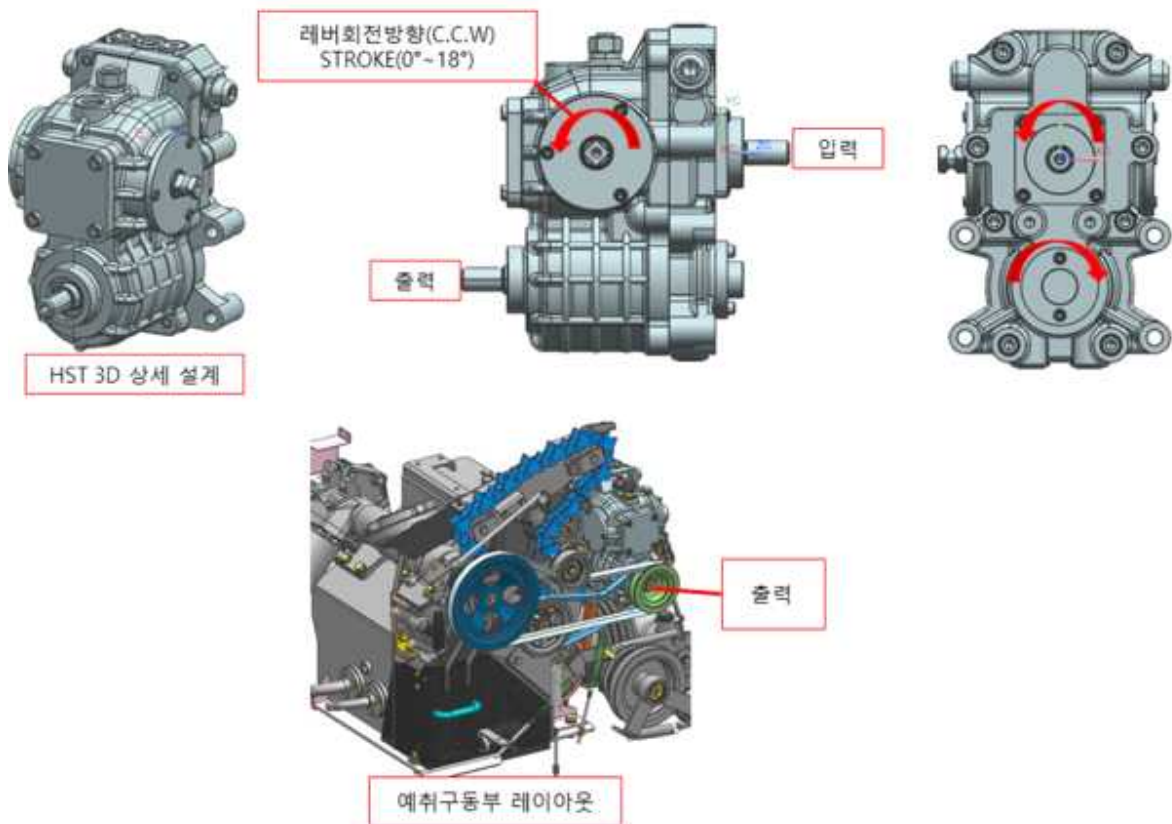
해당 과제에서 목표로 하고 있는 수전농 전용의 무인콤바인은 2020년 출시된 구보다의 Farpilot 시리즈의 6조 콤바인 모델인 DR6130A가 유일함. 북미, 유럽의 선진사의 경우 대형 하베스터에 자율주행모듈을 탑재하여 판매하는 경우가 있으나 국내 농업 환경과는 맞지 않아 국내 환경과 유사한 일본 구보다를 벤치마킹 진행함.

- A. 예취 HST 모듈 유압시스템 설계 : 예취구동부 요구토크(9kg·m)를 반영하여 용량, 23cc/rev 및 메인 릴리프 압력, 300kgf/cm²으로 유압회로시스템 설계



<예취 HST 유압회로도>

- B. 예취 HST 모듈 설계 : 동력전달 장치 감안하여 입, 출력 회전 방향 설계



<예취 HST 모듈 시스템 Lay-out>

ㄴ. 예취 높이 지능제어 시스템 개발

- A. 예취 지면대응 센서를 통해 지면 높이를 감지하고 그에 따라 예취 높이를 자동 제어
시스템 레이아웃 및 구조는 경쟁사 시스템 구조 BM 진행



<지면 높이제어 동작>

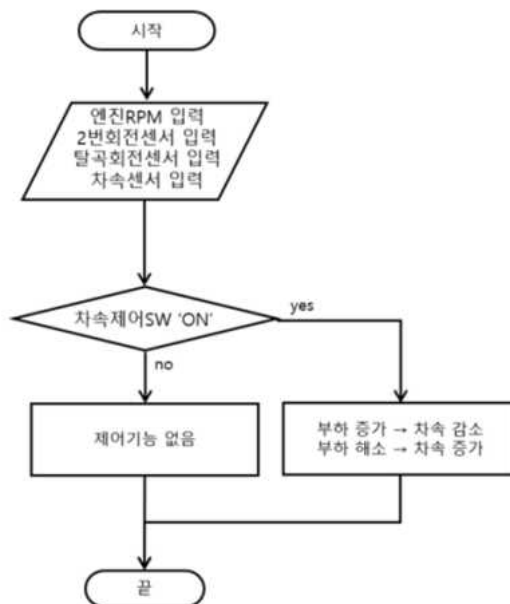
다) 부하감응형 차속제어 기술 개발

- ㄱ. 부하감응형 차속제어 전장부 제어시스템 개발

- A. 엔진 RPM, 2번 회전센서, 탈곡 회전센서 등의 정보를 받아 현재 부하를 확인
- B. 작업부하에 따라 주행 HST를 제어하여 차속을 제어하고 부하가 해소되면 차속 제어를 통해 다시 증속하는 지능형 시스템 개발



<부하감응형 차속제어 전장부 제어시스템 적용부>



<부하감응형 차속제어 블록도>

라) 곡물 배출 자동화 시스템 개발

ㄱ. 오거 자동제어 시스템 전장부 개발

- A. 곡물 배출 자동스위치 입력 신호 시, GPS 배출위치 저장 및 탱크 용량 감지를 통해 만
충 시 목표 배출위치로 출력 신호 전달



<곡물 배출 자동화 시스템 블록도>

마) 수확량 모니터링 기술 개발

ㄱ. 수확량 모니터링 기술 분석 (논문, 특허, 시장조사)

- A. 수확량모니터링 기술 특허 조사

a. 주요 특허 리스트(샘플)

출원 국가	발명의 명칭	출원인	출원번호	특허 내용
KR	콤바인(COMBINE)	구보다	10-2015-7030450	곡물탱크의 중량을 측정할 수 있는 콤바인
KR	콤바인(COMBINE)	구보다	10-2019-7031221	탈곡 처리된 곡물의 수확량을 측정하는 장치
KR	콤바인(COMBINE)	구보다	10-2013-0012915	수확물 품질(식미) 측정 장치

b. 주요 특허 검토 및 분석

• 수확량 측정 관련 특허_1

특허번호 (출원번호)	출원일자	출원인 (출원인국적)	권리 상태	핵심요지
KR 10-2015-703 0450	2014.02. 20	구보다 (일본)	공개	곡물 탱크에 저장된 곡물의 중량을 고정밀도로 측정할 수 있는 콤바인.
대표 도면				핵심 내용 및 활용 방안
				<p>○ 본 특허는 예취부와 탈곡장치의 작업상태 여부를 판정하여 작업상태 일때는 중량 측정을 하지 않는 기능에 대한 특허임. 이는 로드셀을 이용하여 곡물탱크의 중량을 측정하는 방식의 특성상 기대 작업시 진동으로 인해 부정확한 값이 측정되는 것을 방지하기 위한 기능으로 추측. 상기 방식을 참고하여 중량을 상시 측정하고 중량의 변화량을 계산하여 변화량이 일정이하 일 때 마다 측정값을 업데이트 하도록 하면 특허를 회피하고 업데이트 주기를 빠르게하여 좀더 정확한 값을 측정할 수 있을 것으로 예상됨.</p>

• 수확량 측정 관련 특허_2

특허번호 (출원번호)	출원일자	출원인 (출원인국적)	권리 상태	핵심요지
KR 10-2013-001 2915	2013.02. 05	구보다 (일본)	공개	탈곡 처리된 곡물의 수확량을 측정하는 장치
대표 도면				핵심 내용 및 활용 방안
				<p>○ 본 특허는 탈곡처리된 곡물 반송 부하와 수확량 측정부에서 얻어진 데이터를 활용하여 제어에 사용하는 기능에 대한 특허. 본 특허내에 수확량 측정부에 대한 상세 설명이 수록되어 있다. 수확량 측정부는 가로스크류 출구로부터 방출되는 곡물의 가압력에 기초하여 수확량을 산출함. 수확량 측정부에 대한 설명 및 구조를 참고하여 곡물의 실시간 수확량 장치를 구성할 수 있을 것으로 예상됨.</p>

• 식미 측정 관련특허

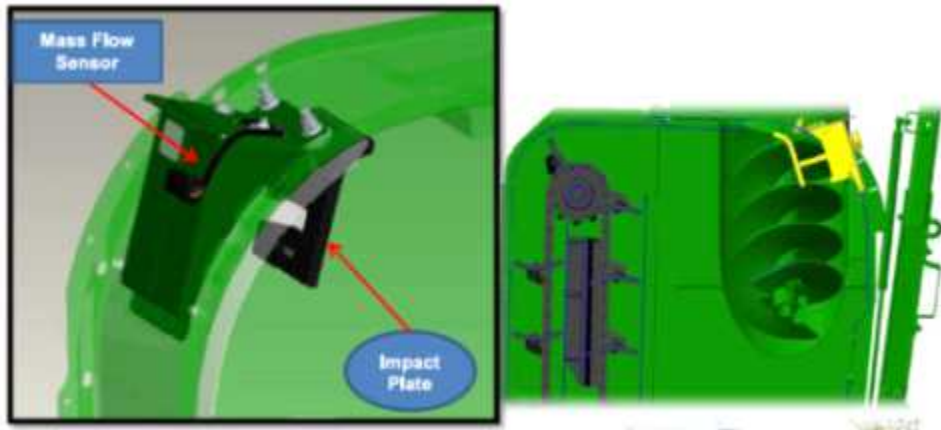
특허번호 (출원번호)	출원일자	출원인 (출원인국적)	권리 상태	핵심요지
KR 10-2019-70 3122	2013.02. 05	구보다 (일본)	공개	수확물 품질 계측 장치를 구비한 콤바인
대표 도면			핵심 내용 및 활용 방안	
			<p>○ 본 특허는 수확물 품질 계측 장치(식미)를 구비한 콤바인과 그 계측구조에 대한 특허.</p> <p>상기 특허내에 수확물 품질 계측 장치에 대한 상세 설명이 포함되어 있음. 수확물 품질 계측 장치는 근적외선의 흡수 스펙트럼을 이용한 성분 분석 방법을 이용하여 근적외선을 곡물에 투사하여 특과광의 스펙트럼을 해석하여 수분, 단백질, 아밀로오스 등의 성분량을 계측함.</p> <p>본 특허의 내용을 활용하고 BM을 통하여 수확량 품질 계측 장치를 구성할 수 있을 것으로 예상됨.</p>	

상기 특허 분석을 통하여 수확량 모니터링 기술의 핵심 요소 기술인 수확물 중량 측정, 수확량 품질 계측등의 기술을 검토하였다. 북미, 유럽은 대형 Harvester에 적용되는 엘리베이터(버킷) 타입의 배출구에 맞춰져 있어, 당 과제 콤바인의 스크류 타입의 배출구에는 맞지 않음. 따라서 동일한 사양을 사용하는 구보다 등 일본업체의 기술을 참고함. 이중 국내에 특허가 다수 출원되어 있는 구보다의 특허를 분석하여 기술 적용을 검토함.

c. 수확량모니터링 기술 시장 조사

• 존디어 기술 조사

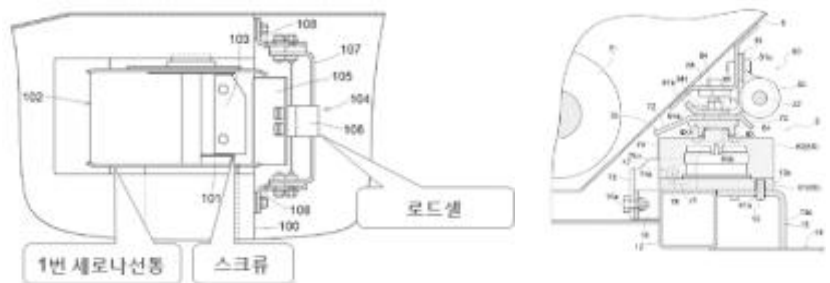
존디어의 수확량 모니터링 장치는 엘리베이터 타입의 수확물 이송장치를 가진 대형 하베스트에 적합하게 구성되어 있음. 엘리베이터의 최상단으로 버킷으로 운송된 수확물이 탱크로 던져질 때 매스플로우센서에 연결된 임팩트 플레이트에 부딪히게 배치하여 이때 곡물의 충격량을 측정하여 수확물의 중량을 예측함. 이때 수확물 운송 체인의 속도에 따라 충격량이 달라지므로 운송 속도에 따라 캘리브레이션이 필요.



<임팩트 플레이트를 이용한 수확량 측정장치>

• 구보다 기술 조사

구보다의 수확량모니터링 장치는 탱크 중량 센서 및 수확물 유량 센서 2가지 센서로 구성되어 있음. 탱크 중량 센서 및 그레인 탱크 힌지부에 원형 로드셀을 장착하여 탱크의 중량을 직접적으로 측정하는 센서임. 탱크 중량 센서는 수확 작업시 차량 진동이나 기대 기울기에 따라 측정값이 부정확하고 보상이 필요한 문제점이 있어 차량 운행중에는 측정이 어려운 문제점이 있음. 수확물 유량 센서는 존디어의 수확량 측정 장치와 유사한 방식으로 스크류 최상단에서 배출되는 수확물의 충격량을 측정하여 중량을 측정하는 장치임. 다만 스크류 타입의 특성상 곡물이 연속적으로 배출되어 존디어의 엘리베이터 타입 보다는 측정 및 계산 어려운 문제점이 있음. 구보다가 2개의 센서로 수확량모니터링 장치를 구성하는 것은 스크류 타입 수확물 유량 센서의 측정 방식의 특성상 유량센서만으로는 정확한 수확량 값을 얻기가 어려워 유량센서와 중량센서 2개의 센서를 이용하여 서로 보상하여 사용하는 것으로 추측됨. 당사의 수확량모니터링 장치는 구보다의 구성을 참조하여 2개의 센서로 구성하고 유량 센서 1개만으로 수확량모니터링이 가능하도록 연구개발을 진행



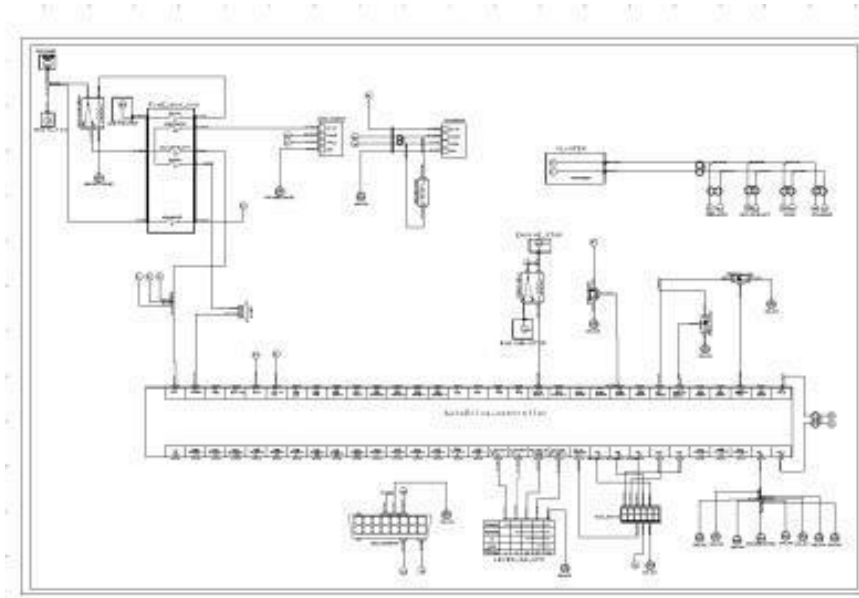
<구보다 수확물 유량 센서 및 탱크 중량 센서>

(2) 자율주행 작업 연동 어플리케이션 제어시스템 개발

가) 자율주행시스템 전장부 어플리케이션

ㄱ. 자율주행 콤바인 전장시스템 개발

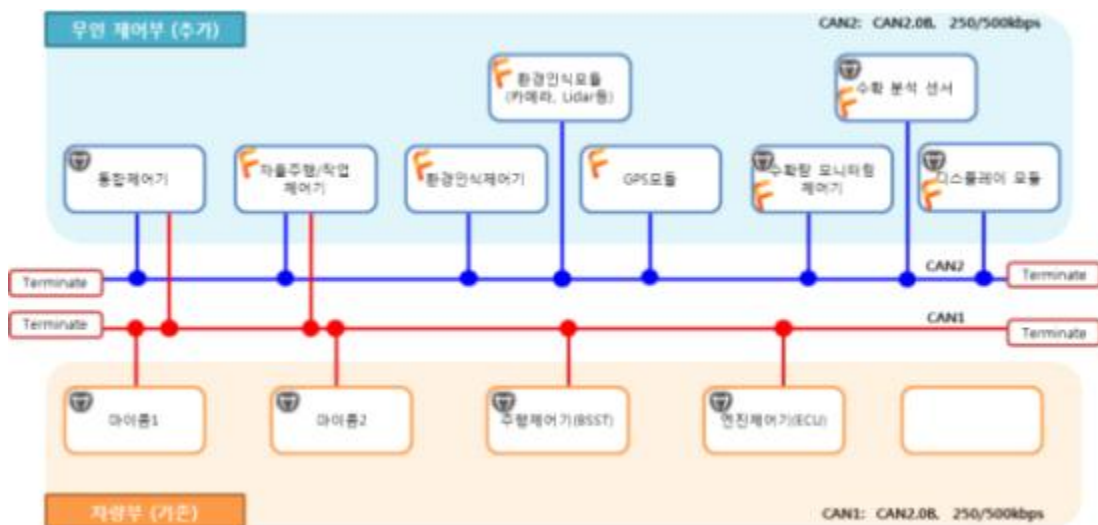
자율주행 콤바인의 전장시스템을 구성하고 자율주행부 시스템 회로도를 설계하였음. 시스템 주요 구성 부품은 1)자율주행 컨트롤러, 2)GPS모듈, 3)선회제어기, 4)통합제어기 5)계기판 으로 구성됨. 각 부품은 CAN 통신으로 연결하여 통신 안정성을 확보하고 확장성이 용이하도록 구성하였음.



<자율주행 시스템 회로도>

ㄴ. 자율주행 콤바인 CAN통신 시스템 개발

자율주행 콤바인 CAN통신 사양은 농기계 CAN통신 규격을 활용하여 CAN2.0B J1939 Protocol을 기본으로 설계하였음. CAN통신 부하를 고려하여 본기 제어부 및 엔진을 포함한 채널 1번(CAN1) 과 자율주행제어기 및 GPS등이 포함된 자율주행제어부 채널 2번(CAN2)의 2채널로 통신 라인을 구성하였음.



<자율주행 무인 콤바인 CAN통신 구성>

CAN통신 제어 기능에 따라 CAN1, CAN2 용 CAN Protocol을 정의하였음. CAN Protocol은 시작품 튜닝시 동작 점검 및 Protocol 추가를 진행할 예정임. CAN통신 제어 기능에 따라 CAN1, CAN2 용 CAN Protocol을 정의하였음. CAN Protocol은 시작품 튜닝 시 동작 점검 및 Protocol 추가를 진행할 예정임.

AUTONOMOUS COMBINE CAN PROTOCOL
CAN Version : 2.6B
Baud Rate : 250KBPS

Name	ID Name	CAN ID	Signal Name	Description	Start Bit	End Bit	Length Bit	DATA TYPE	Unit	Resolution	Offset	Gain	Transmission Repetition Rate	Reserved Data		
VCI 0010000	0010	0010	ECUCanLine	ECUCanLine Signal	0	0	4	int	2-00	1	0	0	100%			
			WCHC_req	Washing/Contactor_req	4	4	1	int	0-1	1	0	0	0	100%		
			MARC_req	Marc/Contactor_req	5	5	1	int	0-1	1	0	0	0	100%		
			WV_ready_req	Drive ready_req	6	6	1	int	0-1	1	0	0	0	100%		
			Reserved		7	7	1									
			Dr_Emergency_req	Driving Inverter Emergency Stop_req	8	8	1	int	0-1	1	0	0	0	0	100%	
			Dr_Stop_req	Driving Inverter Stop after open_req	9	9	1	int	0-1	1	0	0	0	0	100%	
			Reserved		10	10	1									
			Wt_Emergency_req	Working Inverter Emergency Stop_req	11	11	1	int	0-1	1	0	0	0	0	100%	
			Wt_Stop_req	Working Inverter Stop after open_req	12	12	1	int	0-1	1	0	0	0	0	100%	
			Reserved		13	13	1									
			Reserved		14	14	1									
			Dr_Denating_req	Driving Inverter Denating_req	15	15	8	int	0-100	1	0	%	0	0	100%	
			Wt_Denating_req	Working Inverter Denating_req	16	16	8	int	0-100	1	0	%	0	0	100%	
			Accel_percent_req	Accel Percentage	17	17	8	int	0-100	1	0	%	0	0	100%	
			Reserved		18	18	8									
			SPG_NID	Start of Mapped Number	19	19	4	int	0-15	1	0	0	0	0	100%	
			Reserved		20	20	7									
			RTON	Reverse Switch Signal	24	24	1	int	0-1	1	0	0	0	0	100%	
			FRON	Forward Switch Signal	27	27	1	int	0-1	1	0	0	0	0	100%	
			SRON	Spring Switch Signal	30	30	1	int	0-1	1	0	0	0	0	100%	
			CRON	Crane Switch Signal	33	33	1	int	0-1	1	0	0	0	0	100%	
			BRON	Brake Switch Signal	34	34	1	int	0-1	1	0	0	0	0	100%	
			WC_PAC_Line	Work Mode Line	42	42	2	int	0-3	1	0	0	0	0	100%	
VCI 0010000	0010	0010	WUCanLine	WCU Fault Signal	0	0	1	int	0-1	1	0	0	100%			
			WUWarning	WCU Warning Signal	1	1	1	int	0-1	1	0	0	0	100%		
			WUReady	WCU Ready Signal	2	2	1	int	0-1	1	0	0	0	100%		
			WUStop	Washing/Contactor_req	3	3	1	int	0-1	1	0	0	0	100%		
			WUTrd	Marc/Contactor_req	4	4	1	int	0-1	1	0	0	0	100%		
			Reserved		5	5	1									
			WUWUP	WCU/CanLine Signal	8	12	4	int	0-100	1	0	0	0	100%		
			Reserved		12	12	4									
			WUWV	Battery pack information (V)	19	23	4	int	0-1000	1	0	V	0	0	100%	
			WUWV1	Cell Voltage Fault (Normal, 1.0v, 2.0v low, 3.0v high, 4.0v high)	24	27	3	int	0-9	1	0	0	0	0	100%	
			WUWV2	Cell Voltage Fault (Normal, 1.0v, 2.0v low, 3.0v high, 4.0v high)	28	31	3	int	0-9	1	0	0	0	0	100%	
			WUWV3	Temperature Fault (Normal, 1.0v, 2.0v low, 3.0v high, 4.0v high)	32	35	3	int	0-9	1	0	0	0	0	100%	
			WUWV4	Cell Discharge Fault (Normal, 1.0v, 2.0v low, 3.0v high, 4.0v high)	36	39	3	int	0-9	1	0	0	0	0	100%	
			WUWV5	Current Fault (Normal, 1.0v, 2.0v low, 3.0v high, 4.0v high)	40	43	3	int	0-9	1	0	0	0	0	100%	
			WUWV6	SOC Fault (Normal, 1.0v low, 2.0v high)	44	45	2	int	0-2	1	0	0	0	0	100%	
			Reserved		46	46	18									

<자율주행 무인 콤바인 CAN Protocol>

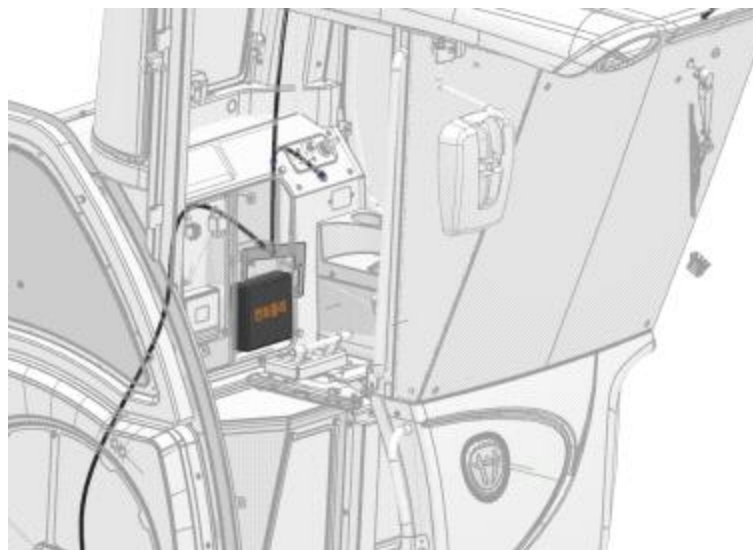
나) 자율주행시스템 본기 어플리케이션

ㄱ. 작업인식, 경로추종, 위치인식 등 모듈 개발품 탑재부 Lay-out설계

A. 자율주행, 환경인식 컨트롤러 장착부 레이아웃 설계

a. 컨트롤러 volume Lay-out Spec : LxWxH = 180x160x50 mm

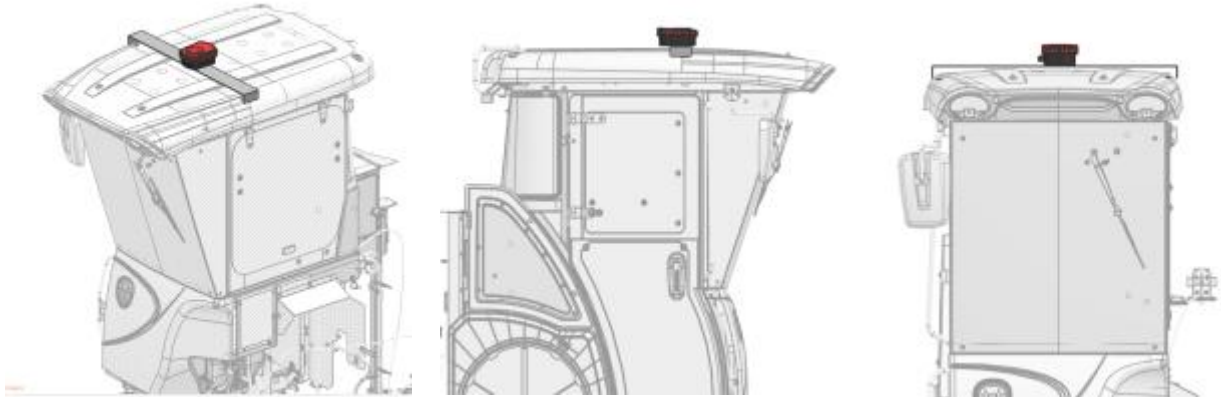
b. 컨트롤러 장착부 캐빈 내부



<캐빈 내부 컨트롤러 Lay-out 배치>

B. GPS모듈 레이아웃 설계

a. 캐빈 지붕부 GPS 장착



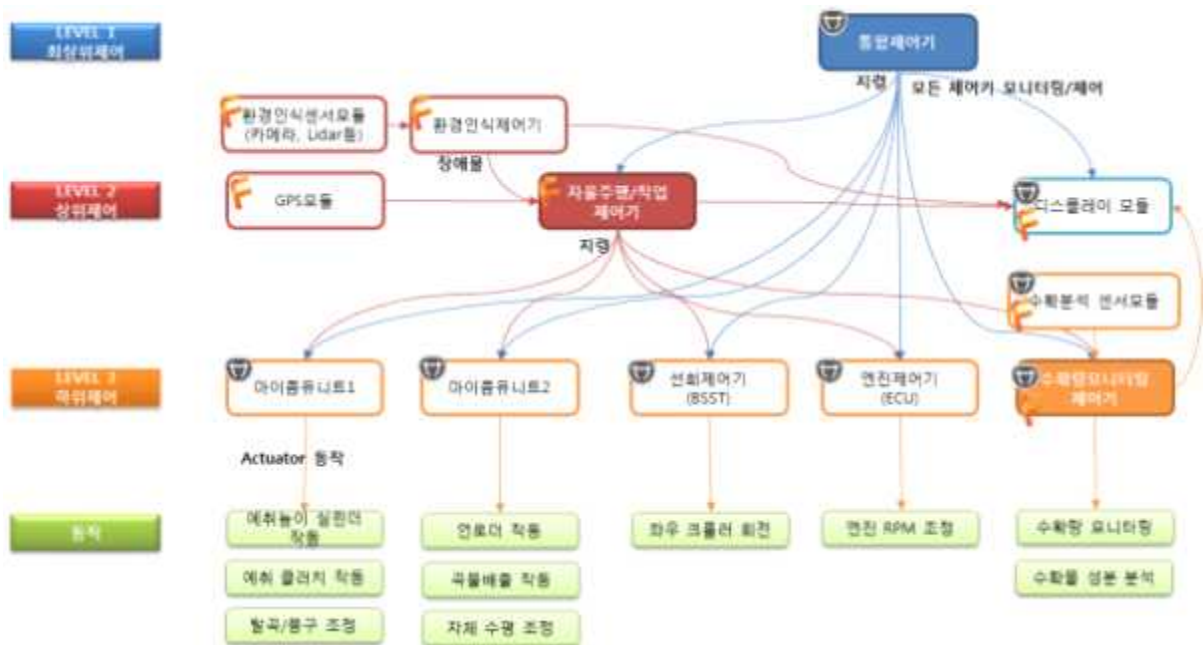
<캐빈 내부 컨트롤러 Lay-out 배치>

(3) 통합제어시스템 기술개발

가) 통합제어기 개발

ㄱ. 통합제어기 시스템 개발 및 기능 설계

통합제어기 개발을 위해 통합제어기를 포함한 전체 제어시스템을 구성하였음. 아래 그림은 무인콤바인에 구성되는 제어기를 나타내며 각 제어기는 CAN통신을 통해 Data를 공유하고 지령에 따라 동작함. 통합제어기는 모든 제어기의 최상위 제어기로 모든 제어기의 동작 상태를 모니터링하고 동작우선순위를 정하고 이상 발생 시 각 제어기간 안전제어 동작을 하도록 관리함.



<통합 제어 시스템 구성도>

아래 표에 통합제어기를 포함한 자율주행부 제어기의 동작사양을 정리하였음. 통합제어기는 크게 3가지 기능 동작을 수행함. 첫째, 초기 시동시 각 제어기의 정상동작 여부를 확인하고 정해진 시퀀스에 따라 각 제어기를 초기화 하는 초기구동제어를 수행함. 둘째, 실제 동작,작업 조건에서 수동 및 자율주행 시나리오에 따라 각제어기의 동작 우선순위를 정하고 그에 따른 동작을 지시함. 셋째, 각 제어기의 이상발생 및 오작동시 차량 및 운전자에게 피해가 파급되지 않도록 정해진 시나리오에 따라 안전제어 및 긴급동작 등의 제어를 수행함.

제어기능	분류	기능	설명	제어기		담당
신규	통합제어	초기구동제어	초기 시동시 각 제어기의 정상동작여부 확인 및 기동 시퀀스 제어	통합제어기	신규 개발	대동
		통합제어	작업 시나리오에 따라 각 제어기의 우선순위에 따른 동작 지령			
		안전제어	각 제어기 이상 및 오동작시 안전제어 및 긴급제어			
	수확량모니터링	수확량 모니터링	위치기반 실시간 수확량 모니터링을 위한 제어기	수확량모니터링 제어기	신규 개발	대동
		수확물 성분분석	광학센서를 통한 수확물 수분/단백질등 성분 분석			
	자율주행/작업 제어	경로생성제어	작업지를 인식하여 콤팩트 자율주행/작업을 위한 주행 경로 생성	자율주행/작업 제어기	신규 개발	편진
		경로추종제어	생성된 경로를 추종하기 위해 위치에 따른 차속 및 좌/우 조향 지령 (→주행제어기, 통합제어기)			
		자율작업제어	자율작업을 위해 위치에 따른 예취높이, 클러치 제어 지령 (→마이콤유니트, 통합제어기)			
		자율배출제어	탱크내 곡물량을 감지하여 만차시 지정된 배출위치로 이동하여 오거를 제어하고 배출 수렴			
	환경인식제어	환경/장애물인식	환경인식센서(카메라, Lidar, 초음파센서등)를 이용한 장애물 인식 비전인식 및 작습 통한 장애물 확인 (작물, 땅, 논두렁 등)	환경인식제어기	신규 개발	편진
비상구동제어		장애물인식을 통한 회피, 무시, 비상정지등의 자율주행/작업 관련 지령				

<통합제어기 및 자율주행 구성 제어기 동작 사양>

(4) 부하감응 반응 및 탈곡부 개발

가) 부하감응형 반응 및 탈곡부 시스템 Lay-out설계



ㄱ. 선진업체 부하감응 기술 적용 사례 조사

A. 일본 선진사 : K사 부하 감응 기술 적용



사 진	기 술 설 명
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 기존 문제 탈곡부로 초당 인계되는 작물이 과다하게 되면 부하 상승, 초당 인계 작물 줄이기 위해 공급체인 증속은 작물 탈곡되기 위한 최소 유효 타격수 미달로 성능 저하 우려 ✓ 적용 사례 탈곡통 길이 1,100mm → 1,300mm 탈곡통 폭 435mm → 455mm * 상기 내용 적용을 통해 고속 고정밀 작업을 실현하고 고속 작업 시 탈곡부 인계되는 속도를 증진시켜 탈곡 부하 저감 실현, 탈곡통 길이 증대로 적절 타격수 확보
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 기존 문제 대량의 곡물이 유입되면 내부 막힘/정체로 인한 탈곡 부하 및 선별 저하 발생 ✓ 적용 사례 선별부 길이 1,760mm → 1,930mm * 상기 내용 적용을 통해 대량의 작물 유입 대응 효율 상승으로 막힘/정체로 인한 부하발생 감응

* 일본 선진사 K사의 경우 H/W부의 증대를 통한 탈곡부하 저감 기술 위주 적용중

B. 일본 선진사 : I사 부하 감응 기술 적용

사 진	기 술 설 명
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 기존 문제 고속 작업 시 과다한 곡물량으로 인해 선별부 부하발생 및 선별능력 저하 ✓ 적용 사례 곡물 감지 센서 장착 * IOT센싱기술 접목을 통해 곡물량에 따른 풍량과 시브 각도를 자동 조절하여 부하저감 및 선별능력 향상
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 기존 문제 공급부 체인으로 과도한 작물 인계시 막힘 발생 ✓ 적용 사례 보조 반송장치 대폭 개선 * 보조반송장치와 공급체인의 동기화 개선을 통한 광범위한 개선으로 탈곡부로 원활한 작물 이송 능력 향상

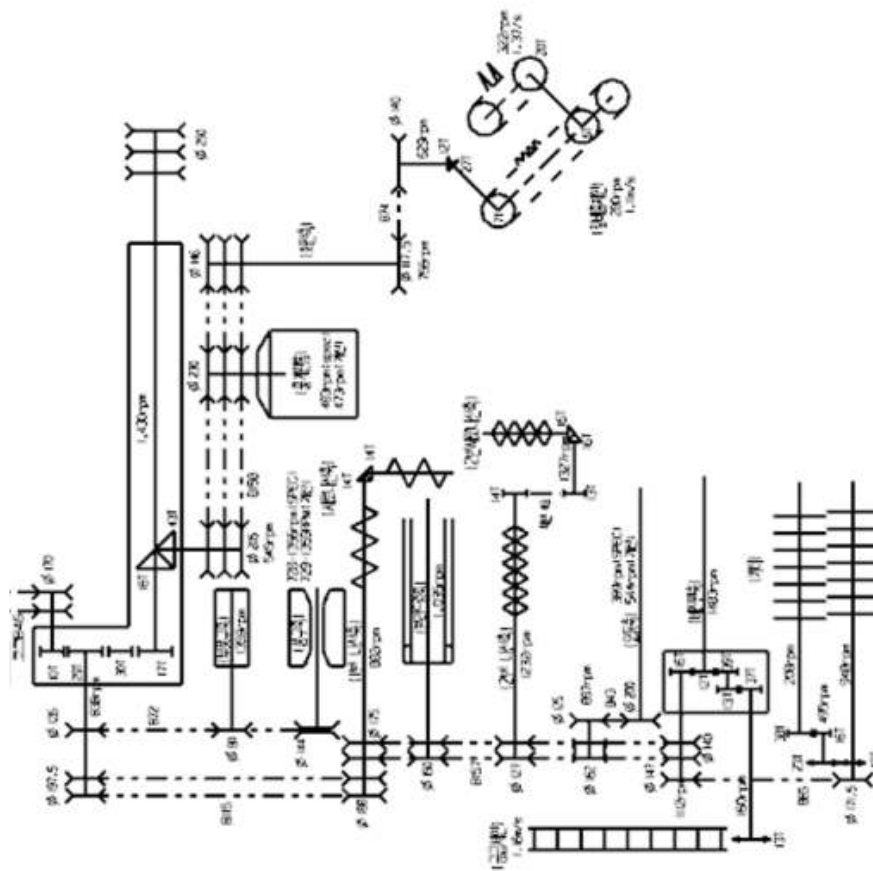
C. 일본 선진사 : Y사 부하 감응 기술 적용

사 진	기 술 설 명
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 기존 문제 고속 작업 시 탈곡부하로 인한 기대 정지 다소 발생 ✓ 적용 사례 괘속 2중통 및 대경 4중팬 구조 적용 * 긴 탈곡통과 송진구처리통 적용을 통해 많은 양의 곡물에도 부하 없이 작업성 향상, 또한 4중 풍구팬 적용을 통해 습재의 막힘으로 인한 부하를 억제
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 기존 문제 기대 속도 및 작황에 따라 유입 짚단의 두께 변동이 크고 과도한 짚단 두께 유입 시 막힘 발생 ✓ 적용 사례 보조 반송장치 개선 및 탈곡 피드부 싱크로 기능 탑재 * 짚단 유량과 두께를 일정하게 함으로 부하 변동이 작아 안정된 탈곡 기능 구현

L. 부하감응형 탈곡시스템 개발

A. 탈곡시스템 동력전달 계통도 Lay-out 설계

부하감응을 위한 시스템 도입을 위해 탈곡부 동력전달 속도 동기화 작업을 통한 계통도 Lay-out 구성



<탈곡시스템 동력전달 계통도 Lay-out설계>

B. 탈곡시스템 Lay-out 설계

탈곡시스템 Lay-out은 당사 6조 콤바인에 요소부품(탈곡 급치, 선별부, 송진시스템 등) Modify 및 신규적용을 통해 부하감응 기술 적용

a. 탈곡 급치 종류 및 배열

탈곡부 유입되는 작물에서 낱알을 털어내는 과정을 진행하는 시스템으로 콤바인 전체에서 가장 많은 부하가 소요되는 시스템임. 이러한 부하는 기대의 출력저하 및 미탈립 등 콤바인 작업능력에 치명적인 영향을 실 작업중에 미침. 단순히 탈곡부하 해소를 위해서는 탈곡부 속도를 증속하여 작물이 탈곡부 내부 정체되는 시간을 줄여 해소가 가능하지만 이러한 부분은 최적화 되지 않으면 미타격으로 인한 작물 손실이 발생함. 따라서 본 연구 개발에서는 탈곡부 유입작물 전부에 균등타격을 통한 작물의 손실을 최소화 하며, 탈곡통 급치의 H/W부분 개선을 통한 부하 저감형 탈곡통 급치 종류 및 배열 Lay-out 설계를 진행함.

b. 급치 배열 계산 이론

탈곡통은 직경과 길이로 그 치수가 결정되고, 탈곡통의 급치는 배열선의 진입각, 배열선상에서의 이웃하는 급치간의 거리, 배열선간의 원주방향의 거리가 결정되면 그 배열이 결정됨. 이러한 인자들을 결정하기 위해서 먼저 다음과 같이 몇 가지 용어들을 수학적으로 정의할 필요가 있음.

- 공급체인을 지나는 벼의 압축되지 않은 상태의 두께

- 1초당 예취되는 벼의 단면적은

$$\frac{V_C}{D_a} \times N_C \times A_r$$

- 1초당 공급체인에 공급되는 되는 벼의 단면적은

$V_1 \times D_b$ 로 나타낼 수 있고, 이들 두 값은 같아야 하므로

$$\frac{V_C}{D_a} \times N_C \times A_r = V_1 \times D_b \text{ 이다.}$$

$$\text{따라서, } D_b = \frac{V_C \times N_C \times A_r}{D_a \times V_1} \text{ -----(식1)}$$

로 나타내어진다.

여기서 V_C : 콤바인의 작업 속도(cm/s)

N_C : 예취조수

A_r : 벼 1포기의 절단 단면적(cm^2)

V_1 : 공급체인의 속도(cm/s)

D_b : 공급체인을 지나는 벼의 압축되지 않는 상태에서의 두께(cm)

- 공급체인을 지나는 벼의 단위 폭에 급치의 타격수

벼가 탈곡통을 지나는 동안의 탈곡작용은 거리가 보강치와 병치에 의한 것으로 생각할 수 있으므로 공급체인을 지나는 벼 단위 폭(1 cm)에 대한 급치의 타격수는 보강치와 병치의 개수와 회전속도 및 단위 폭이 이동하는데 걸리는 시간의 곱으로 나타낼 수 있음.

$$\frac{V_c}{D_a} \times N_c \times A_r = V_1 \times D_b \text{ 이다.}$$

$$N_i = N_1 \times (N_t - 3) \times (R/60) \times (1/V_1) = \frac{N_1 \times (N_t - 3) \times R}{60 \times V_1} \text{ -----(식2)}$$

여기서 N_i : 공급체인을 지나는 벼의 단위 폭에 대한 급치의 타격수

N_1 : 배열선의 수

N_t : 배열선 1개당의 급치의 수

R : 탈곡통의 회전속도(rpm)

- 공급체인의 속도에 대한 나선의 진입속도의 비

나선의 진입속도는 탈곡통의 회전속도와 1회전하는 동안의 나선의 진입거리의 곱으로 표시할 수 있음.

$$R_r = \{(R/60) \times \pi \times D \times \tan\alpha\} / V_1 = \frac{R \times \pi \times D}{60 \times V_1} \times \tan\alpha$$

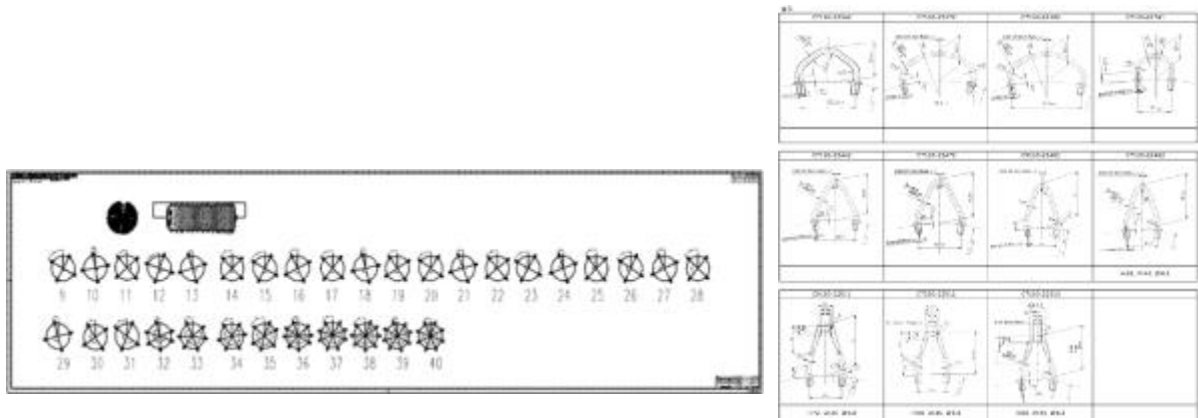
여기서, R_r : 공급체인의 속도에 대한 나선의 진입속도의 비

D : 탈곡통의 직경(cm)

α : 진입각

c. 급치 종류별 배치분석

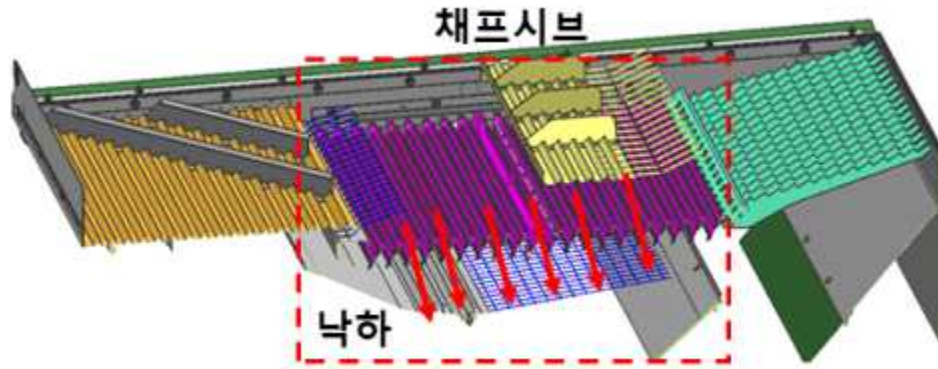
상기 공식을 당사 6조 콤바인에 적용하여 급치 종류별로 배치분석을 진행하였으며, 최종적으로 하기 그림과 같은 단면별 급치의 배치위치와 종류 Lay-out 설계 진행함.



<급치 종류별 Lay-out>

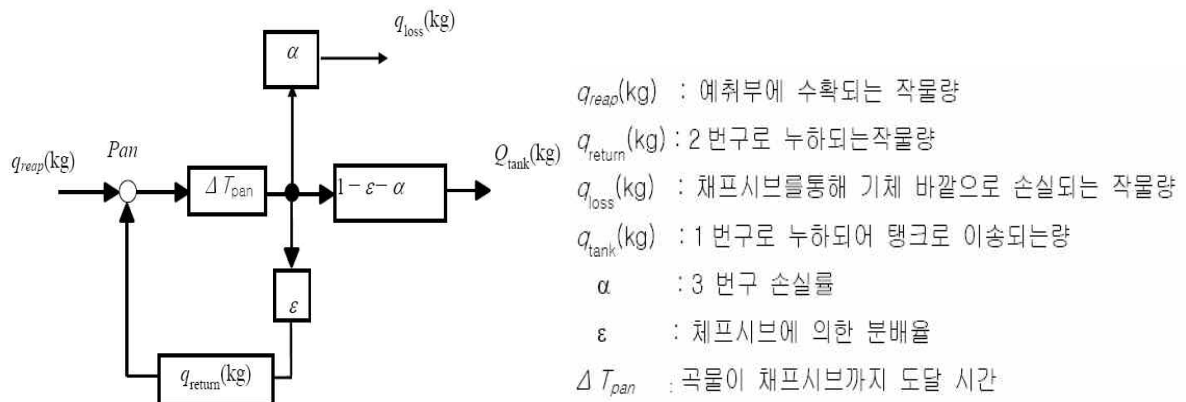
C. 선별부 부하저감 기술

탈곡부에서 낙하한 곡립의 정체없이 선별하여 부하를 저감하기 위해서는 낙하량을 결정하는 채프시브의 개도각 제어를 통해 선별제어를 진행함.



<선별부 채프시브 곡물 낙하 개념도>

선별제의 처리 프로세스는 수확되는 작물량과 선별부로 낙하하는 작물의 초기 도달 시간, 1번구로 낙하하는 곡물의 양, 2번구로 낙하하는 곡물과 검불의 양, 2번구로 낙하한 곡물의 재처리후 선별부로 이송하는데 까지 걸리는 소요 시간등 수확되는 작물의 상태와 선별정도를 고려하여 실기 상태에서 검증을 걸쳐 최종 사양 확정하고자함. 선별부의 곡물 누하량 조절은 채프의 개도각을 전기 구동모터에 의해 변경하고, 모터의 제어는 탈곡 제어 컨트롤러에서 수확량 센서 값을 검출하여 제어하도록 Lay-out 구성하였음.

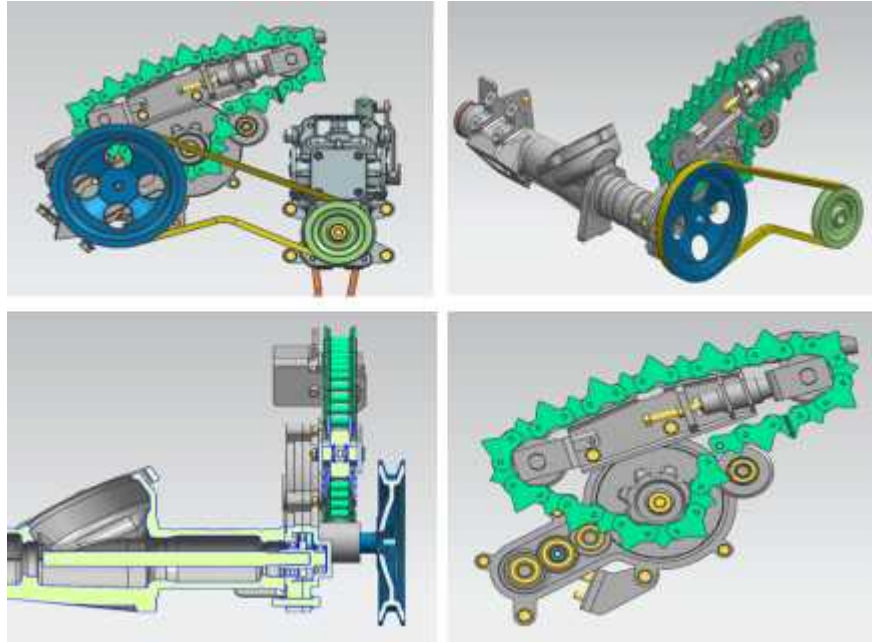


<선별제어 개념도>

ㄷ. 부하감응형 반송 시스템 개발

A. 보조 반송장치 Lay-out 설계

보조 반송장치는 예취부의 공급 체인과 탈곡부의 Feed체인과 이송속도 차이를 줄여주는 중간 단계의 반송 장치로 동력이 예취부와 연동하여 탈곡부로 고속으로 유입되는 벼의 자세를 바로 잡아주고 탈곡장치 입구부의 막힘없이 원활히 공급이 이루어지는 장치임. 예취부 공급체인 이송 속도는 2.2m/s 보조 반송장치는 1.25m/s, 탈곡부 공급체인은 0.77m/s 로 설정하여 예취부 공급체인 -> 보조반송장치 체인 -> 탈곡부 Feed 체인 이송 속도 순으로 설계하였음.



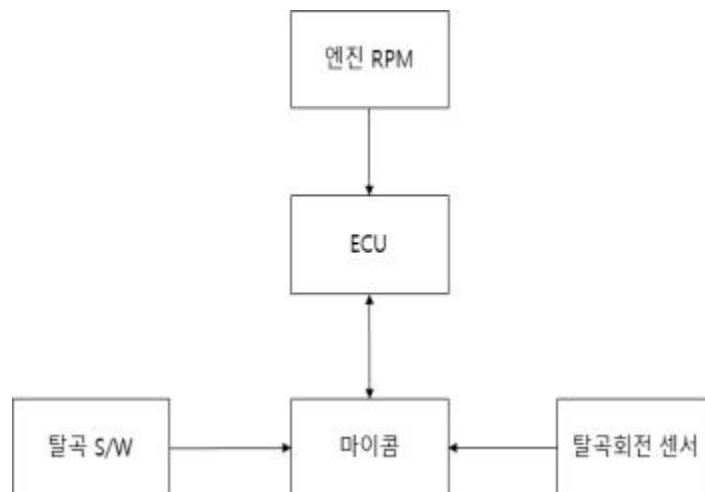
<보조반송장치 Lay-out>

ㄹ. 탈곡부 부하 센싱 장치 개발

A. 탈곡부 회전센서를 장착하여 엔진 RPM 대비 탈곡 회전의 변화 감지 후 탈곡 부하 센싱



<탈곡부 부하 센싱 장치 부착 예정 위치>



<탈곡부 부하 센싱 구성도>

[2차년도]

(1) 자율주행 작업 연동 차량 제어시스템 개발

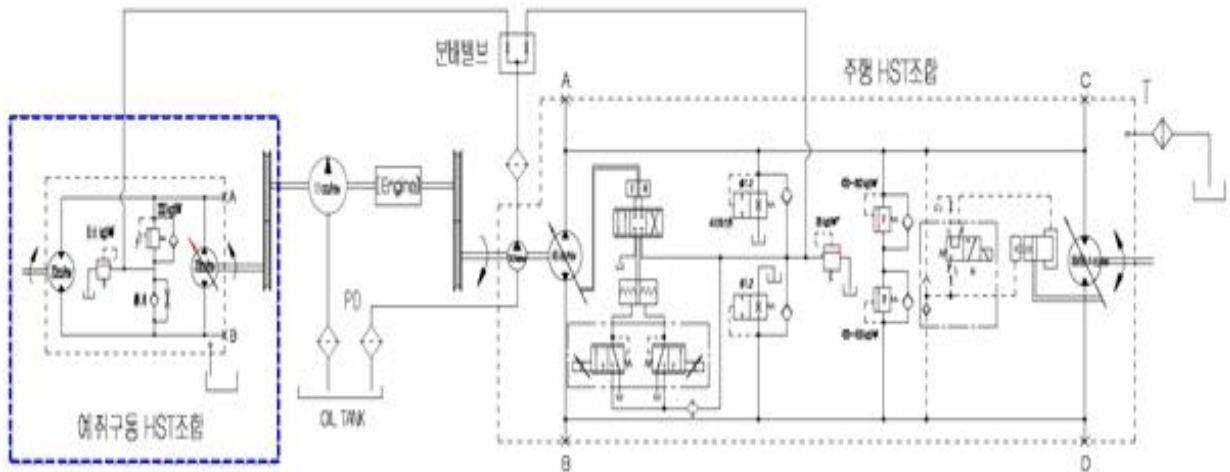
가) 자율주행 대응형 예취시스템 개발

ㄱ. 예취 속도 가변제어 기술 개발

A. 예취 HST 개발 컨셉

a. 예취구동 HST 시스템 Lay-out

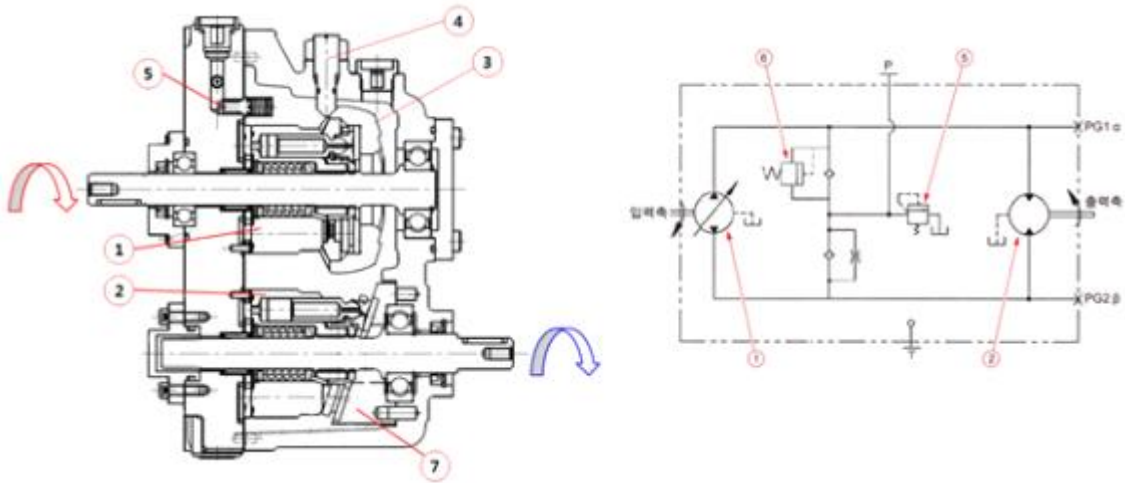
- 예취 HST의 유압시스템 구성은 차징펌프(지로타), 유압필터, 분배밸브, 예취 구동용 HST 로 구성됨.
- 차징펌프에서 공급된 오일은 HST로의 이물질 유입을 방지하기 위하여 유압필터를 통해 분배밸브, HST로 유입되며, 차징된 오일은 HST의 구동 중 내부 리크로 인한 오일을 보충하고 잔여 오일은 드레인을 통하여 오일탱크로 회수됨.



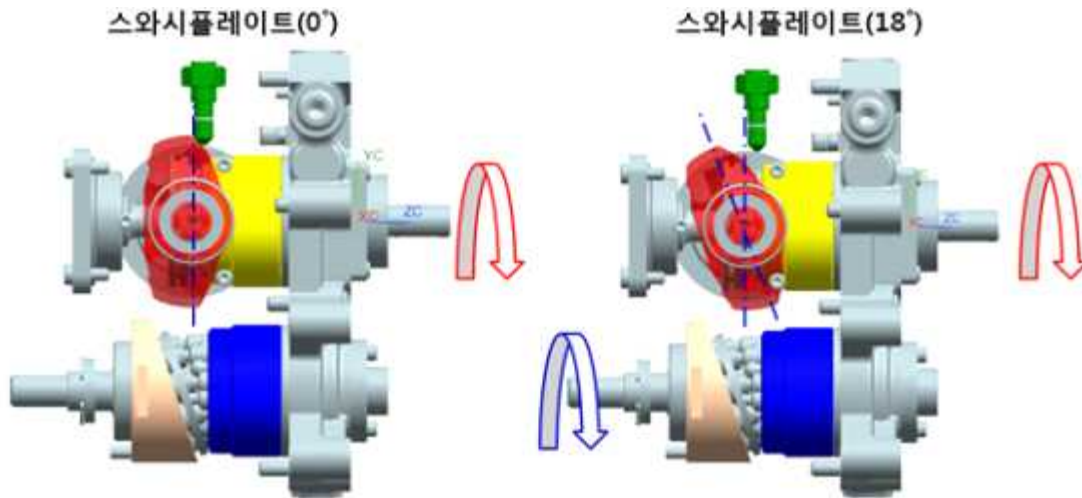
<예취구동 유압시스템>

- 예취구동 HST는 2개의 로타리조합(①피스톤펌프, ②피스톤모터) 과 2개의 스와시플레이트(③가변식, ⑦고정식), 사판 고정 기구(④), 차지릴리프(⑤), 메인릴리프(⑥)의 주요 기능품과 하우징, 입, 출력축, 밸브블록, 커버류로 구성됨.
- 피스톤펌프(①)는 펌프축이 회전하면 실린더블록이 따라 회전하면서 내부에 있는 피스톤이 경사판에 따라 왕복운동을 하게 되고, 스와시 플레이트(③)의 각도가 0°인 경우에는 토출량이 없고 18°일 때는 최대 토출량이 발생되어 모터로 오일을 유입시키게 됨.
- 피스톤 펌프로부터 토출된 오일이 피스톤 모터(②)의 흡입포트로 들어와 피스톤을 밀어내며, 피스톤이 밀려 나오면 그 선단이 고정식 스와시플레이트(⑦)에 따라 미끄러져 피스톤과 실린더 블록 멩치가 회전하게 되고 따라서 모터축에 회전력이 전달되게 됨.
- 피스톤모터의 흡입포트로 유입되는 유량은 피스톤 펌프로부터 토출량이 증가하면 모터축의 속도를 증가시키고 줄어 들면 속도를 떨어뜨리며 토출량이 없으면 모터축도 정지하게 됨.

- 예취 구동 HST는 예취구동부의 구동 조건상 단일 방향으로의 회전만이 필요하여 사판 고정 기구(④)를 장착하여 스토퍼에 의한 역 방향의 회전을 제한하도록 구성하였음.



<예취구동 HST 및 유압회로도>

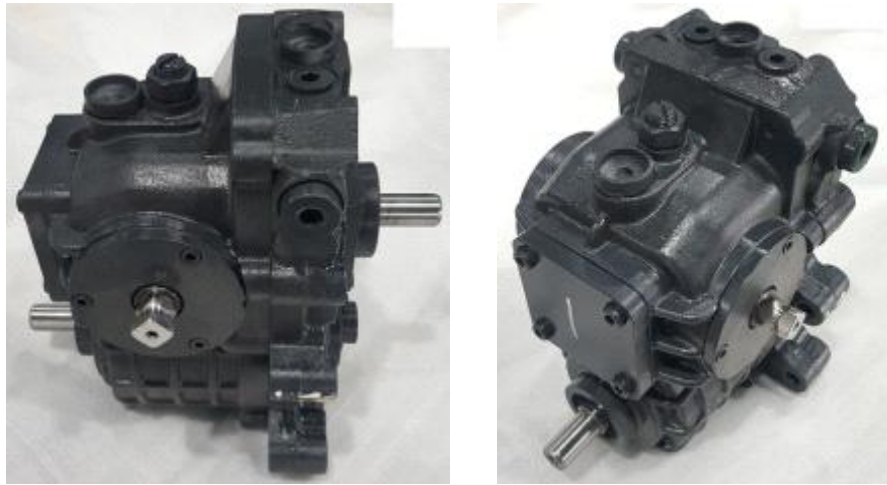


<예취구동 HST의 작동>

b. 예취구동 HST 시제품 제작



<예취구동 HST 구성품 제작>



<예취구동 HST 조합품 제작>

- 예취구동용 HST 구성품을 추진하여 단품 검사를 진행하였고, 완제품 조립과정에서 발생하는 조립문제점도 추가로 조사하였음.

c. 단품평가 성적

<예취구동 HST 사양>

SPECIFICATION	
INPUT SPEED	1,608 ~ 3,416
PUMP DISPLACEMENT	0 ~ 23.2 cc/rev
TILTING ANGLE OF PUMP	0 ~ +18°
MOTOR DISPLACEMENT	23.2 cc/rev
CHARGE PRESSURE	6 kgf/cm ²
RELIEF PRESSURE	300 kgf/cm ²

- 예취구동 HST 테스트 벤치에서 입력회전수 및 부하별 성능을 확인하였으며, 목표 성능을 확보함.



HST PERFORMANCE TEST SHEET										작성	검토	승인
시험 일자	2023.07.29		테스트 온도	50℃		제품 사양						
형 식	250		종류 번호	174사제품A1		입력회전수	1500rpm		회전토크	238kgm		
작 용 부	H500		사용각도	+12°		회전압력	200kg/cm ²		유량	300kg/min		
목적	1. 작동상태 및 성능을 확인하기 위하여 실시함 2. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 3. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 4. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 5. 100% 부하에서 작동시 성능 확인											
시험장비	3000 OK											
시험 목적	시험 목적 1. 작동상태 및 성능을 확인하기 위하여 실시함 2. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 3. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 4. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 5. 100% 부하에서 작동시 성능 확인											
시험 결과	시험 결과 1. 작동상태 및 성능을 확인하기 위하여 실시함 2. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 3. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 4. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 5. 100% 부하에서 작동시 성능 확인											

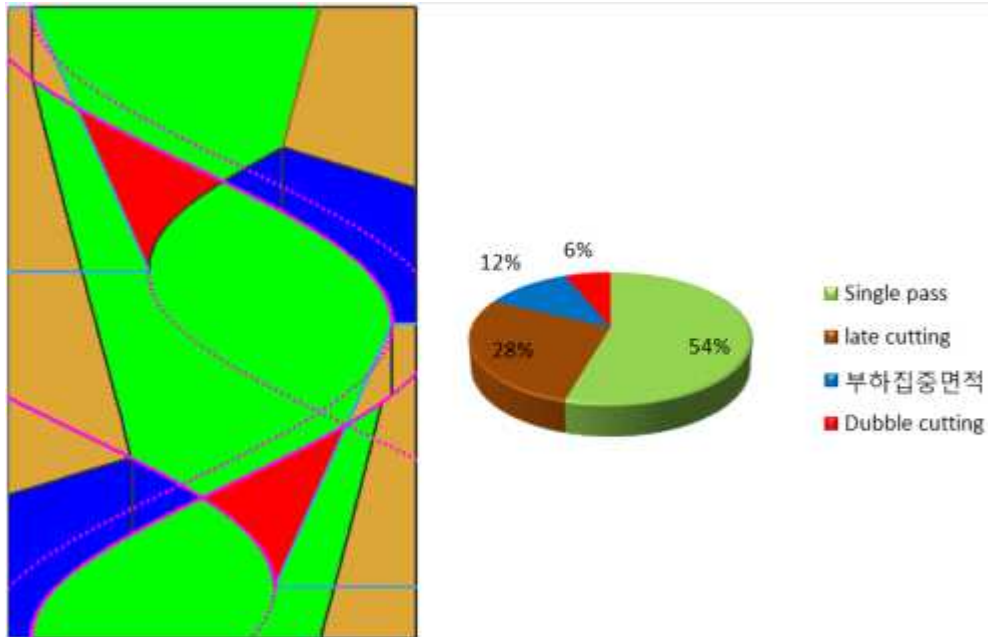
HST PERFORMANCE TEST SHEET										작성	검토	승인
시험 일자	2023.07.29		테스트 온도	50℃		제품 사양						
형 식	250		종류 번호	174사제품A1		입력회전수	1500rpm		회전토크	238kgm		
작 용 부	H500		사용각도	+12°		회전압력	200kg/cm ²		유량	300kg/min		
목적	1. 작동상태 및 성능을 확인하기 위하여 실시함 2. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 3. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 4. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 5. 100% 부하에서 작동시 성능 확인											
시험장비	3000 OK											
시험 목적	시험 목적 1. 작동상태 및 성능을 확인하기 위하여 실시함 2. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 3. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 4. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 5. 100% 부하에서 작동시 성능 확인											
시험 결과	시험 결과 1. 작동상태 및 성능을 확인하기 위하여 실시함 2. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 3. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 4. 100% 부하에서 작동시 성능 확인 5. 100% 부하에서 작동시 성능 확인											

<예취구동 HST의 벤치테스트 성적서>

B. 차속 대비 예취속도 최적화 사양 구명

a. 차속에 따른 예취 칼날 궤적 특성

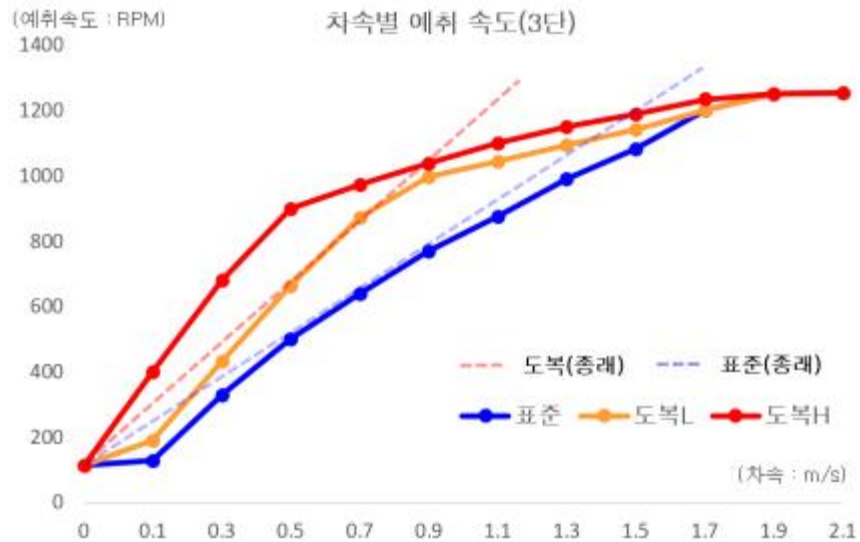
- 기존 당사 6조 콤바인은 차속에 동조하여 예취속도가 증·감속하는 시스템으로 구성되었음. 따라서 차속에 따른 예취속도가 선형적인 증·감속만 가능하였음. 이로 인해 차속 대비 예취 칼날의 궤적에 따라 작물을 올바른 타이밍에 절단하는 부분도 있는 반면 두번 이상 칼날궤적을 가지고 가면서 칼날의 내구성에 문제를 야기 할 수 있는 부분도 발생할 수 있으며 예취속도보다 빠른 차속으로 인해 작물을 밀고 가며 미예취 및 높게 베어지는 현상이 발생함. 이러한 부분은 칼날형상, 칼날 크랭크의 구동방식 등 미시적인 관점에서는 예취 칼날 관계의 Assembly 및 Structure변경에 의해 일정부분 해소가 가능하지만 원초적으로 차속에 동조하여 예취 칼날 및 끌어올림 등 속도가 결정나는 현재의 시스템에서는 원초적인 해결 방안이 되지 못함.



<차속에 따른 예취칼날 궤적>

- 또한 도복작업에서 작물 수확을 진행 할 때 현재 예취시스템에서는 차속의 저속구간에서 동일하게 예취속도도 저속을 나타냄. 따라서 작물을 예취하고 끌어올려 탈곡으로 인계해야하는 예취시스템에서 현저히 낮은 퍼포먼스를 보임. 이는 예취속도를 독립적으로 구현할 수 있는 예취구동용 HST의 부재로 인한 종래의 문제였으며, 이를 해결하기 위해 도복 및 일반작업에서 예취시스템 높은 퍼포먼스를 보이는 선진사 기대의 차속에 따른 예취속도 벤치마킹으로 차속/예취 속비 테이블을 구명함.

b. 차속에 따른 예취속도 그래프

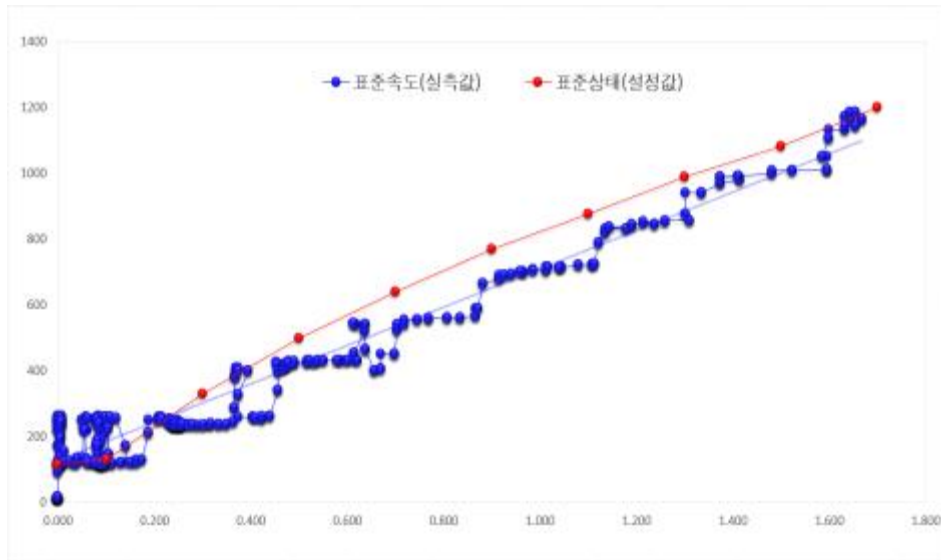


<차속에 따른 예취시스템 속도>

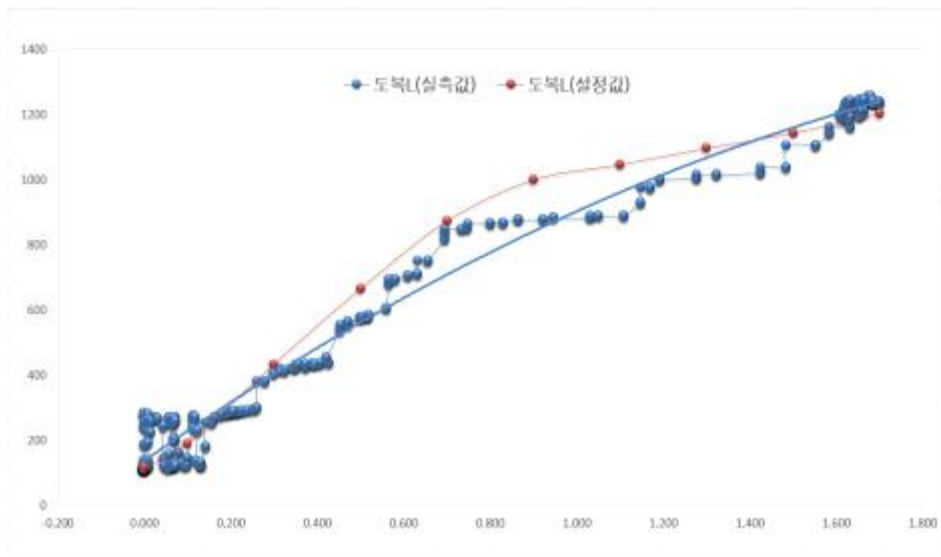
- 종래 양산중인 6조 콤바인의 경우 예취 HST가 별도 구비되지 않았기 때문에 그림13과 같이 차속에 선형적으로 예취속도가 증가하는 것을 알 수 있음. 이로 인해 예취속도의 별도 단수가 존재하지 않고, 부변속에서 표준, 주행, 도복 3단으로 구성되어 있으며 주행 단수는 기대 이동에만 사용되며 주행단수에서는 예취시스템이 인게이지 되지 않도록 시스템 되어 있음. 그에 비해 신규 예취 HST를 구비한 1차 Pilot 차량에서는 예취 단수를 3단으로 구성하여 표준, 도복LOW/HIGH단으로 별개의 예취속도 단수를 3단으로 구성하였음. 별도의 예취 구동 HST가 구성되어있기 때문에 특정 차속에 원하는 예취속도를 구현 할 수 있게 됨.
- 예취속도 표준의 경우 저속(0~0.5m/s), 고속(1.1~2.1m/s)에서 과도하게 빠른 예취속도 부분에 대한 일부 교정을 진행하였고, 도복의 경우 저속(0~0.5m/s)구간에서 도복작물에 대한 작업성 향상을 위해서 예취속도 증속 진행하였고, 중·고속(0.9~2.1m/s)구간에서는 감속을 진행하였음. 또한 도복에서는 작물의 상태에 따라 H/L단 중 선택하여 작업이 가능하며, 작물에 길이에 따라 2단으로 적정 예취속도를 각각 구비하였음.
- 예취속도 개선테이블의 경우 현재 1차 Pilot기대는 차속 1.7m/s 최고속 작업이 가능하도록 구성되어 있지만 예취속도의 레이블 범위는 2.1m/s까지 구성함. 표준, 도복H/L단 3단 동일하게 구성된 특징은 종래의 예취속도처럼 차속대비 계속 증가하는 구조가 아닌 차속 1.7m/s이후 차속에서 예취속도는 1250rpm(예취구동폴리축 RPM기준)에서 수렴한다는 특징이 있음.

C. 실증시험 내용

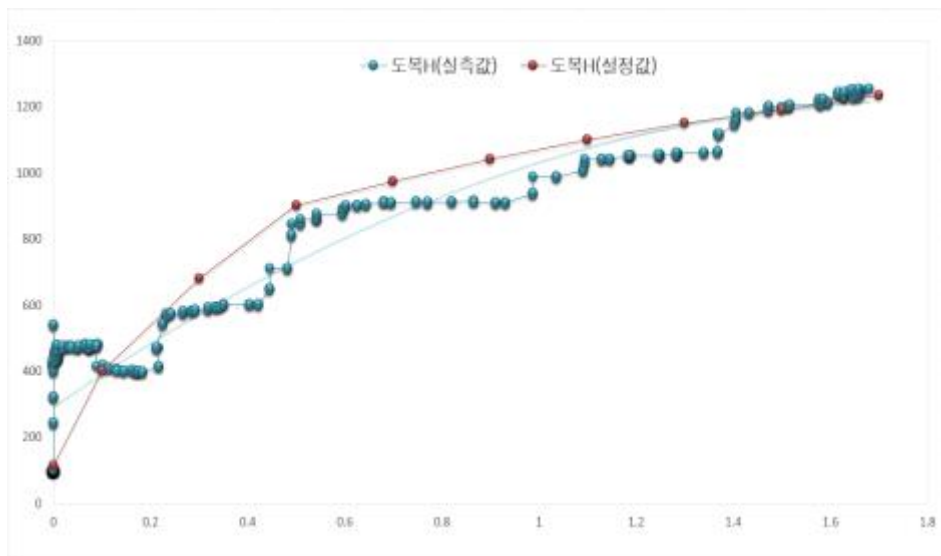
a. 차속에 따른 예취속도 실증시험(무부하)



<무부하 시 차속에 따른 예취속도 (표준)>



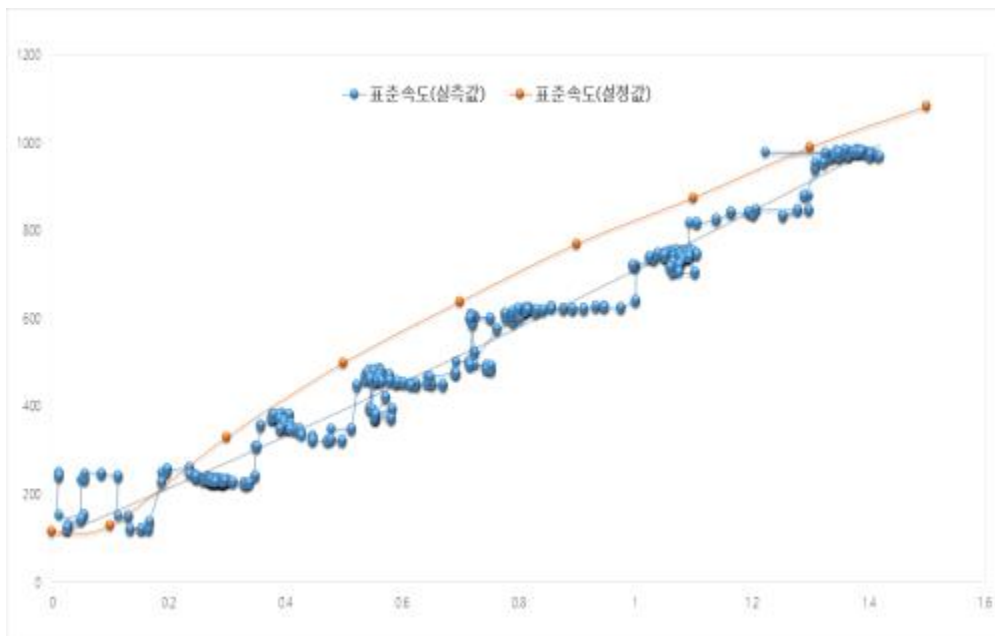
<무부하 시 차속에 따른 예취속도 (도복L)>



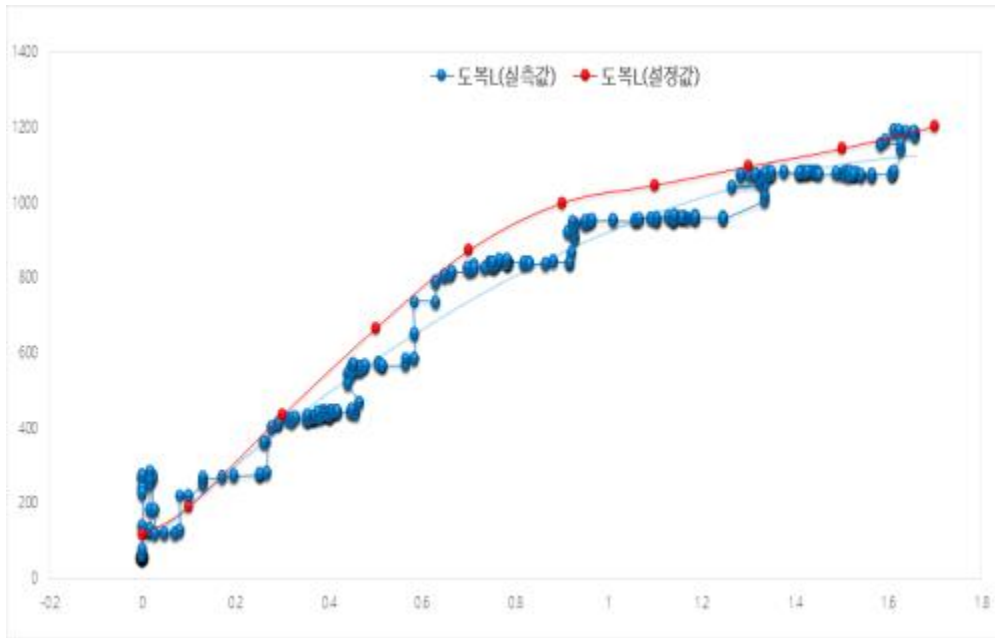
<무부하 시 차속에 따른 예취속도 (도복H)>

- 필드 작업 전 차속에 따른 예취속도를 예취 단수에 따라 무부하 상태에서 경향을 확인하였음. 우선 프로그램 제어를 통해 설정한 차속대비 예취속도의 테이블이 실제 연계되어 유사경향을 나타내는지 확인하는 것이 첫 번째 과제였고, 무부하상태에서 예취속도와 작물이 절단되고 인계되는 부하상황에서 예취속도는 다를 수 있기 때문에 부하상태, 무부하 상태에서의 부하로 인해 조성되는 예취속도 저하수준 확인을 하는 것이 필요했음.
- 무부하 상태에서 차속대비 예취속도는 상기 그래프와 같이 예취 각 단수에서 조성되었음. 초기 차량 탑재 상태라 각 단수별 초기 설정 명령한 테이블값과 같이 예취속도가 선형적으로 증가하지는 않고, 각 속도에서 노이즈가 발생하는 것을 확인 할 수 있음. 이는 기본 예취속도가 차속 HZ데이터에 연동되어 작동되는데 차속에서 발생하는 데이터 노이즈가 영향을 미칠 수도 있으며, 이보다 기본 예취속도 제어방식에서 노이즈가 발생 할 가능성이 가장 농후 할 것으로 판단됨.
- 현재 제어시스템은 차속센서에서 HZ데이터를 수신하여 차속에 따른 예취속도를 목표한 설정값까지 예취 구동 HST 센서 위치 AD값을 변화시키며 예취 기어케이스의 기어 속도를 읽고 있는 예취센서에서 예취속도를 측정하고 목표치 속도 도달의 이상여부를 판단하여 다시 한번 예취 HST 위치센서로 피드백하는 방식임. 이로 인해 차속과 예취속도를 입출력하는 과정에서 데이터 노이즈가 발생 할 수 있으며 이에 대한 튜닝이 추가적으로 필요하다고 판단됨. 또한 현재의 제어방식은 릴레이제어로 릴레이 입력에 따른 예취 HST 위치센서의 출력값에서 노이즈가 발생하는 부분을 확인함. 따라서 추후에는 차속에 따른 예취속도의 반응성과 정확도 유지를 위해 추가적인 튜닝과 제어 방법의 보안 및 변경에 대한 대책 마련 할 예정임.

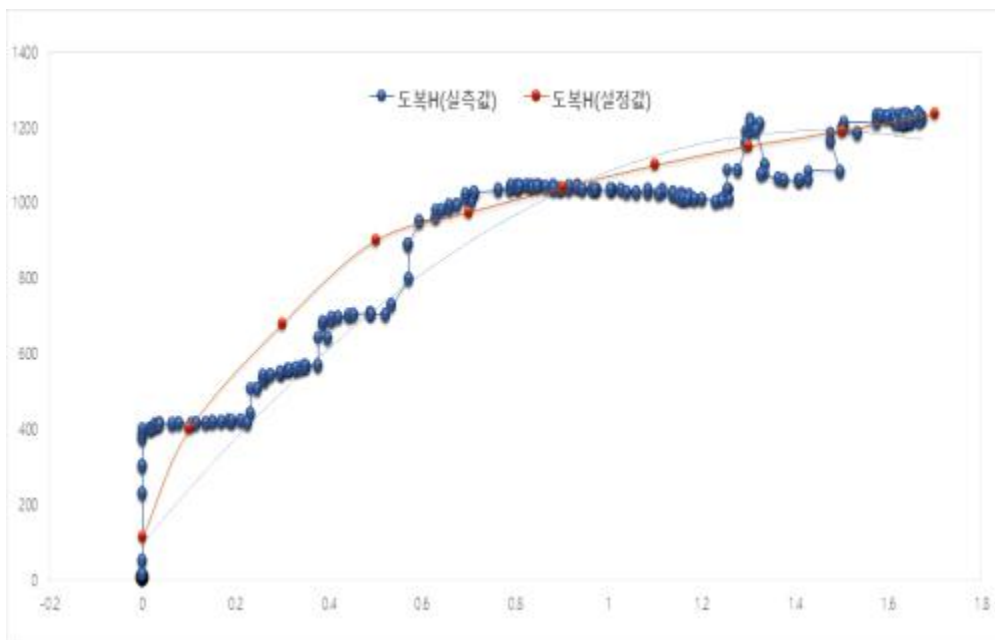
b. 차속에 따른 예취속도 실증시험(부하)



<부하 시 차속에 따른 예취속도 (표준)>



<부하 시 차속에 따른 예취속도 (도복L)>



<부하 시 차속에 따른 예취속도 (도복H)>

- 실 작업에서 차속에 따른 예취속도를 예취 단수별로 속도를 증속시키며 데이터 측정을 진행하였음. 예취속도는 무부하 시 마찬가지로 경향은 테이블 명령에 의거하여 움직이는 것이 확인되지만, 상기 언급한 내용과 동일한 사유로 인해 데이터 노이즈는 발생하는 것으로 판단됨. 부하 및 무부하조건 사이의 차이는 표준 및 도복L단 작업에서는 차속에 따른 예취속도의 속비 차이가 동일한 패턴으로 나타나는 것으로 확인됨. 하지만 도복 H단에서는 전체적인 추세와 경향은 무부하 시 속도와 유사하게 나타나지만 일부 속도에서 예취속도가 큰 폭으로 증·감속이 되는 것을 확인 할 수 있었음.
- 실 작업에서 예취 단수에 따라 도복 작업성능에서는 종래 구조와 상반되게 확연히 좋은 퍼포먼스가 나타나는 것을 확인 할 수 있었으며, 도복 L단에서는 짧은 도복 작물, 도복 H단에서는 긴 도복 작물에 유리하게 작용하는 것을 확인 할 수 있었음.



<부하 시 차속에 따른 예취속도 (도복H)>

- 추후 추가적인 제어 튜닝 및 센서 검증을 통해 예취속도에 대한 성능 안정화 작업이 추가적으로 차년도 진행 필요 할 것으로 판단되며, 다양한 노지에서 동일한 높은 작업 성능이 확인되는지 필드 모니터링이 필요함.

나) 예취 높이 지능제어 시스템 제작 및 성능평가

ㄱ. 예취 높이 지능제어 시스템 탑재 및 개선

A. 예취 높이 지면대응 사양 수립

a. 예취 높이 지면대응 선진사 현황 조사



<선진사 예취높이 지능제어 사양>

- 선진사 예취높이 지능제어의 경우 4가지 사양으로 포퍼먼스를 진행함
- 높이 조절 다이얼
 - 최대 하강 높이를 다이얼에 의해 조정 가능함
 - 1단~9단까지 볼륨을 조정하여 하강높이를 세팅 할 수 있도록 구성됨.

<예취 높이지능제어 설정 높이 사양>

설정 단계	예취부 높이	설정 단계	예취부 높이
1	0.81~1.24cm	6	4.82~5.40cm
2	1.64~2.17cm	7	5.94~6.09cm
3	2.40~2.91cm	8	5.99~6.12cm
4	3.35~3.64cm	9	5.99~6.12cm
5	3.89~4.44cm		

- 모드 선택 가능
 - 승강자동모드/상승자동모드 2가지 모드로 구성됨.
 - 높이 조절 다이얼 구성됨
- 승강자동 기능
 - 수확작업 중 지면의 굴곡을 감지하여 굴곡 높이 만큼 예취부를 상승 후 원래 위치로 자동 하강 복귀함.
- 자동상승 기능
 - 수확작업 중 지면의 굴곡을 감지하여 굴곡 높이 만큼 예취부를 상승 후 유지함
 - 하강은 운전자가 수동으로 조작해야함.
- 지면 대응 반응성

<지면 대응 반응성 사양>

Deadband		반응속도(예취부 상승속도)				예취수동조작	
상승 시	하강 시	차속 (0.5m/s)	차속 (0.5m/s)	차속 (0.5m/s)	차속 (0.5m/s)	상승	하강
0.3V↓	0.3V↓	90mm/s	110mm/s	120mm/s	120mm/s	540mm/s	460mm/s

- 차속이 0m/s 일때는 예취 지면대응 기능이 반응하지 않으며, 동일한 높이의 턱을 만났을 경우라도 주행속도에 따른 예취 상승속도 상이함.
- 지면대응 센서 좌측 또는 우측의 값이 변화할 때, 센서 변화 값이 큰 쪽을 우선하여 예취부가 상승됨.

b. 예취 높이 지면대응 개발 사양



<당사 예취높이 지능제어 사양>

- 예취 높이 지능제어 개발 컨셉은 수동 하강 상승자동으로 설정높이까지 높이 지면 대응이 가능하도록 구성함. 상세 사양은 하기와 같음.
- 예취지면대응 사양
 - 예취, 탈곡 SW ON 조건에서 지면 대응 기능 구현
 - 조작부 컨트롤러 지면 SW ON 동작 및 예취높이 볼륨에 따른 높이 설정



<당사 예취높이 지능제어 조작부>

- 지면대응 높이는 하기 참조(선진사 사양과 동일)

<당사 지면 대응 높이 사양>

설정 단계	예취부 높이	설정 단계	예취부 높이
1	0.81~1.24cm	6	4.82~5.40cm
2	1.64~2.17cm	7	5.94~6.09cm
3	2.40~2.91cm	8	5.99~6.12cm
4	3.35~3.64cm	9	5.99~6.12cm
5	3.89~4.44cm		

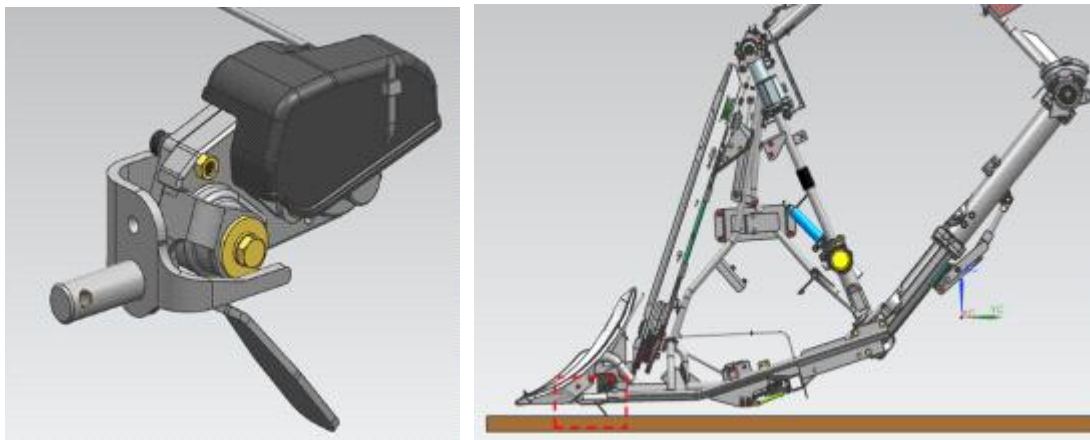
- 각 볼륨 단계에서 예취높이가 항상 유지되도록 제어하며 볼륨 단계는 향후 계기판 팝업 창으로 표시 예정
- 개발 기대 지면 높이 센서 범위는 0V(예취하한)~3.3V(예취상한)으로 설정



<예취높이 상하한에 따른 센서 위치>

- 0V~3.3V 사이 9구간으로 나누고 각 구간 전압은 0.35V로 구성

c. 예취 높이 지면대응 Lay-out



<예취높이센서 및 부착위치 Lay-out>

- 예취 높이 센서는 하방 판에 의해 상하단으로 원점을 기준으로 요동되게 구성되고 하방 판을 링크구조로 하여 스트로크센서와 접하여 예취부 전체의 위치를 센서값을 통해 확인할 수 있는 구조로 구성함. 예취 높이 센서는 분할기 하단에 그림과 같이 구성하였음.



<예취높이센서 및 부착위치 Lay-out>

- 예취높이센서는 예취높이를 정확하게 인지시키기위해 내부 기어 잇수, 작동각, 센서시작 각도, 센서 최대각도, 부착 시 조립 위치, 초기 위치 등 예취시스템과 답대관계를 검토하여 Lay-out 구성을 완료하였음.

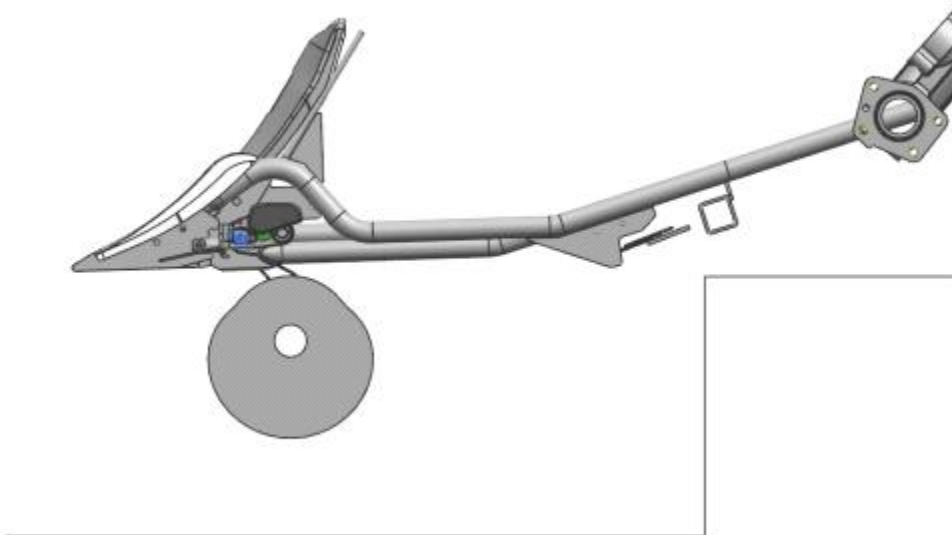
d. 예취 높이 지면대응 시제품 제작



<예취높이센서 시제품 제작>

ㄴ. 예취 높이 지능제어 시스템 제작 및 성능 벤치 테스트

a. 예취 높이 지면대응 벤치시험기 제작



<예취높이센서 벤치시험기 Lay-out>

- 벤치시험기 Lay-out은 상기와 같이 구성하였고, 캡 형상을 구동을 통해 필지의 굴곡진 바닥면 표현을 하고자 상기와 같이 구성하였음.

b. 예취 높이 지면대응 감성평가

- 예취 높이 지면대응 기능의 경우 작업성 평가 이전에 예취 지면 대응 기능이 설정한 높이만큼 실제 구현이 되는것인지, 또한 실 주행에 있어서 목표 높이 값으로 도달하고 가 변되는데 걸리는 반응성이 적절한지에 관한 평가가 필요함. 우선 벤치 시험기 제작이 완료되기 전 예취 높이 지면 대응 기능에 목표 높이 값에 대한 정확도를 측정하고 반응성에 관한 부분은 감성평가를 진행하였음.



<예취높이센서 세팅 높이 평가>

- 예취 높이 지면대응은 설정높이 9단계 가운데 낮은 위치 구간에서 목표값과 실측값의 차이가 나타나는 것을 확인하여, 센서의 위치를 재검토하고 센서값에 대한 데이터를 다시 설정하여 목표 수준만큼 길이가 나타나는 것을 확인 할 수 있었음.
- 주행 평가의 경우 주행 시 요철이나 굴곡부에서 상승하는 반응속도는 적절하게 동작하는 것을 확인 할 수 있었지만, 변속이나 상하방향 뿐만 아닌 좌우 방향에서도 평면조건이 아닌 작업지(논,밭)에서 어떠한 성능이 필요 할 지는 필드 모니터링이 필요 할 것으로 판단됨. 또한 벤치시험기를 통한 반응성 평가 및 정확도 평가를 통해 명확한 조립기준, 세팅기준 마련이 필요 할 것으로 판단됨.

다) 부하감응형 차속제어 기술 개발

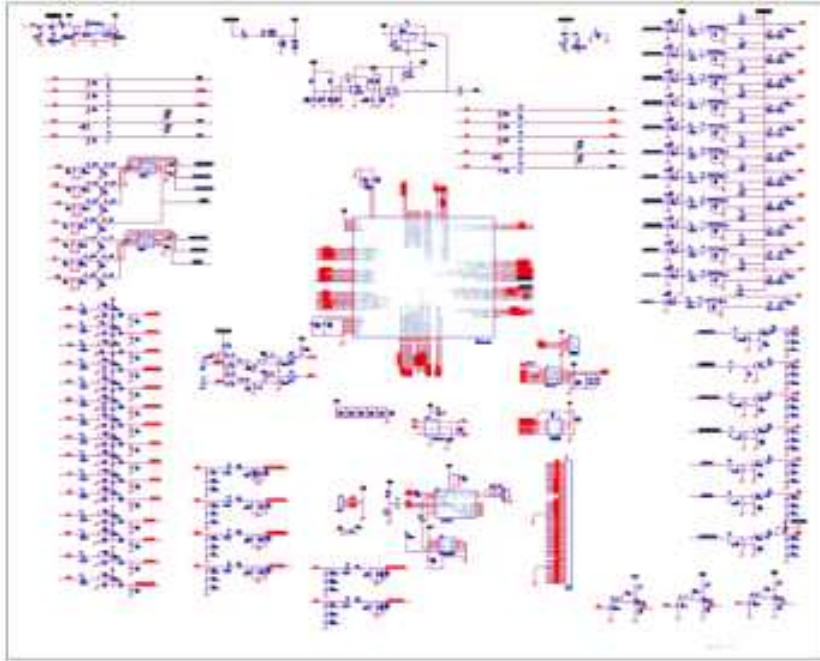
ㄱ. 부하 감응형 차속제어 전장시스템 개발 및 차량 탑재

A. 부하감응형 차속제어 컨트롤러 개발

a. 차속제어 컨트롤러 사양

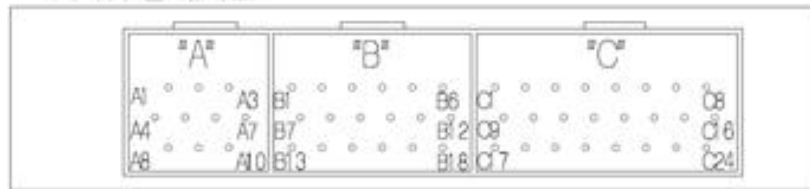


<주행제어기>



<내부회로도>

커넥터 핀 배치도



<주행제어기 핀 배치도>

<예취구동 HST의 벤치테스트 성적서>

차속제어 컨트롤러 입출력						
NO	구분	입출력	제어	입력	출력	PIN NUM.
1	스위치	주변속 H/L스위치	(-)	O		B16
2		차속자동스위치	(-)	O		B18
3		예취H/L스위치	(-)	O		A02
4		탈곡통 열림 스위치	(-)	O		A03
5		탈곡통 닫힘 스위치	(-)	O		A04
6		SPARE SW 2~14	(-)	O		
7		SPARE SW 1	(-)	O		B17
9	센서	SPARE 1 (AD)	sig	O		B07
10		SPARE 2 (AD)	sig	O		B01

11		예취회전 속도 센서	sig(pwm in)	O		C07
12		예취회전 위치 센서	sig	O		B13
13	SOL	HST 전진 SOL	PWM(+)		O	C24
14		HST 후진 SOL	PWM(+)		O	A07
15		SPARE SOL 1~6	ON/OFF(+)		O	
16		H/L SOL	ON/OFF(+)		O	C19
17	LAMP	SPARE LAMP	ON/OFF(+)		O	C11
18	릴레이	예취 HST 증가 릴레이	(-)		O	C03
19		예취 HST 감소 릴레이	(-)		O	C09
20		탈곡통 열림 릴레이	(-)		O	C02
21		탈곡통 닫힘 릴레이	(-)		O	C17
22		탈곡통1 락킹 릴레이	(-)		O	C18
23		탈곡통1 풀림 릴레이	(-)		O	C10
24		탈곡통2 락킹 릴레이	(-)		O	C21
25		탈곡통2 풀림 릴레이	(-)		O	C22
26	CAN	CAN_H	CAN			B6
27		CAN_L	CAN			B12
28	RS232	RES	COM			C06
29		FWE	COM			C13
30		MD2	COM			C05
31		TxD2	COM			C04
32		RxD2	COM			C12
33	전원	12V	PW	O		C16
34		5V(센서)	PW		O	C15
35		5V(통신)	PW		O	C08
36		GND	GND	O		C1

b. 차속제어 컨트롤러 시험기 제작

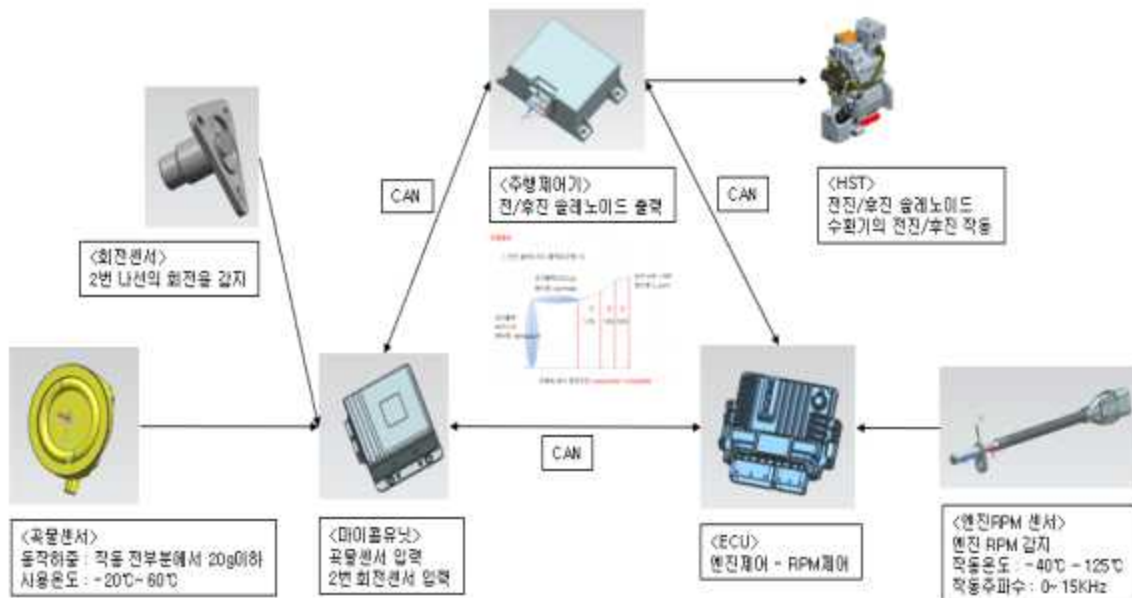


<주행제어기 시험기>

- 주행제어 컨트롤러의 테스트를 위해 컨트롤러 시험기 제작 진행
- 시험기를 통해 콤바인에 장착전 테스트를 수행하고 이상유무를 판단함.

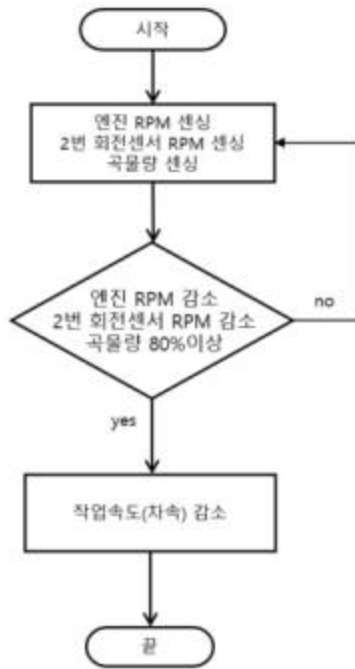
B. 부하감응형 차속제어 알고리즘 개발

a. 차속제어 전체시스템



<차속제어 전체시스템>

b. 차속제어 전체시스템



<차속제어 로직>

- 차량의 작업 및 곡물 상태를 각각의 센서를 통해 센싱하고 마이콤유닛이 입력받아 주행 제어기와 ECU에게 CAN 통신으로 통신. 엔진 RPM 정보는 ECU가 J1939 - EEC1 통신 규약을 통해 마이콤유닛과 주행제어기에 제공함. 주행제어기에서 전/후진 HST를 제어하여 작업 및 차속을 최적화 함.
- 곡물이 80% 시점에서 곡물센서가 눌러지면 곡물탱크의 만충이 가까워졌으므로 마이콤유닛에서 주행제어기로 신호를 보내 차속을 감속시켜 곡물탱크가 넘치지 않게 제어함.
- 2번 회전센서를 통해 2번 회전나선의 회전을 감지하여 엔진의 RPM은 유지되나 2번 회전센서의 회전속도가 감소하면 탈곡부의 막힘이 있을 수 있어 마이콤유닛에서 주행제어기로 신호를 보내 차속을 감속시켜 탈곡부의 파손을 방지함.

```

    210  int main(void)
    211  {
    212      int i;
    213      int j;
    214      int k;
    215      int l;
    216      int m;
    217      int n;
    218      int o;
    219      int p;
    220      int q;
    221      int r;
    222      int s;
    223      int t;
    224      int u;
    225      int v;
    226      int w;
    227      int x;
    228      int y;
    229      int z;
    230      int aa;
    231      int ab;
    232      int ac;
    233      int ad;
    234      int ae;
    235      int af;
    236      int ag;
    237      int ah;
    238      int ai;
    239      int aj;
    240      int ak;
    241      int al;
    242      int am;
    243      int an;
    244      int ao;
    245      int ap;
    246      int aq;
    247      int ar;
    248      int as;
    249      int at;
    250      int au;
    251      int av;
    252      int aw;
    253      int ax;
    254      int ay;
    255      int az;
    256      int ba;
    257      int bb;
    258      int bc;
    259      int bd;
    260      int be;
    261      int bf;
    262      int bg;
    263      int bh;
    264      int bi;
    265      int bj;
    266      int bk;
    267      int bl;
    268      int bm;
    269      int bn;
    270      int bo;
    271      int bp;
    272      int bq;
    273      int br;
    274      int bs;
    275      int bt;
    276      int bu;
    277      int bv;
    278      int bw;
    279      int bx;
    280      int by;
    281      int bz;
    282      int ca;
    283      int cb;
    284      int cc;
    285      int cd;
    286      int ce;
    287      int cf;
    288      int cg;
    289      int ch;
    290      int ci;
    291      int cj;
    292      int ck;
    293      int cl;
    294      int cm;
    295      int cn;
    296      int co;
    297      int cp;
    298      int cq;
    299      int cr;
    300      int cs;
    301      int ct;
    302      int cu;
    303      int cv;
    304      int cw;
    305      int cx;
    306      int cy;
    307      int cz;
    308      int da;
    309      int db;
    310      int dc;
    311      int dd;
    312      int de;
    313      int df;
    314      int dg;
    315      int dh;
    316      int di;
    317      int dj;
    318      int dk;
    319      int dl;
    320      int dm;
    321      int dn;
    322      int do;
    323      int dp;
    324      int dq;
    325      int dr;
    326      int ds;
    327      int dt;
    328      int du;
    329      int dv;
    330      int dw;
    331      int dx;
    332      int dy;
    333      int dz;
    334      int ea;
    335      int eb;
    336      int ec;
    337      int ed;
    338      int ee;
    339      int ef;
    340      int eg;
    341      int eh;
    342      int ei;
    343      int ej;
    344      int ek;
    345      int el;
    346      int em;
    347      int en;
    348      int eo;
    349      int ep;
    350      int eq;
    351      int er;
    352      int es;
    353      int et;
    354      int eu;
    355      int ev;
    356      int ew;
    357      int ex;
    358      int ey;
    359      int ez;
    360      int fa;
    361      int fb;
    362      int fc;
    363      int fd;
    364      int fe;
    365      int ff;
    366      int fg;
    367      int fh;
    368      int fi;
    369      int fj;
    370      int fk;
    371      int fl;
    372      int fm;
    373      int fn;
    374      int fo;
    375      int fp;
    376      int fq;
    377      int fr;
    378      int fs;
    379      int ft;
    380      int fu;
    381      int fv;
    382      int fw;
    383      int fx;
    384      int fy;
    385      int fz;
    386      int ga;
    387      int gb;
    388      int gc;
    389      int gd;
    390      int ge;
    391      int gf;
    392      int gg;
    393      int gh;
    394      int gi;
    395      int gj;
    396      int gk;
    397      int gl;
    398      int gm;
    399      int gn;
    400      int go;
    401      int gp;
    402      int gq;
    403      int gr;
    404      int gs;
    405      int gt;
    406      int gu;
    407      int gv;
    408      int gw;
    409      int gx;
    410      int gy;
    411      int gz;
    412      int ha;
    413      int hb;
    414      int hc;
    415      int hd;
    416      int he;
    417      int hf;
    418      int hg;
    419      int hh;
    420      int hi;
    421      int hj;
    422      int hk;
    423      int hl;
    424      int hm;
    425      int hn;
    426      int ho;
    427      int hp;
    428      int hq;
    429      int hr;
    430      int hs;
    431      int ht;
    432      int hu;
    433      int hv;
    434      int hw;
    435      int hx;
    436      int hy;
    437      int hz;
    438      int ia;
    439      int ib;
    440      int ic;
    441      int id;
    442      int ie;
    443      int if;
    444      int ig;
    445      int ih;
    446      int ii;
    447      int ij;
    448      int ik;
    449      int il;
    450      int im;
    451      int in;
    452      int io;
    453      int ip;
    454      int iq;
    455      int ir;
    456      int is;
    457      int it;
    458      int iu;
    459      int iv;
    460      int iw;
    461      int ix;
    462      int iy;
    463      int iz;
    464      int ja;
    465      int jb;
    466      int jc;
    467      int jd;
    468      int je;
    469      int jf;
    470      int jg;
    471      int jh;
    472      int ji;
    473      int jj;
    474      int jk;
    475      int jl;
    476      int jm;
    477      int jn;
    478      int jo;
    479      int jp;
    480      int jq;
    481      int jr;
    482      int js;
    483      int jt;
    484      int ju;
    485      int jv;
    486      int jw;
    487      int jx;
    488      int jy;
    489      int jz;
    490      int ka;
    491      int kb;
    492      int kc;
    493      int kd;
    494      int ke;
    495      int kf;
    496      int kg;
    497      int kh;
    498      int ki;
    499      int kj;
    500      int kk;
    501      int kl;
    502      int km;
    503      int kn;
    504      int ko;
    505      int kp;
    506      int kq;
    507      int kr;
    508      int ks;
    509      int kt;
    510      int ku;
    511      int kv;
    512      int kw;
    513      int kx;
    514      int ky;
    515      int kz;
    516      int la;
    517      int lb;
    518      int lc;
    519      int ld;
    520      int le;
    521      int lf;
    522      int lg;
    523      int lh;
    524      int li;
    525      int lj;
    526      int lk;
    527      int ll;
    528      int lm;
    529      int ln;
    530      int lo;
    531      int lp;
    532      int lq;
    533      int lr;
    534      int ls;
    535      int lt;
    536      int lu;
    537      int lv;
    538      int lw;
    539      int lx;
    540      int ly;
    541      int lz;
    542      int ma;
    543      int mb;
    544      int mc;
    545      int md;
    546      int me;
    547      int mf;
    548      int mg;
    549      int mh;
    550      int mi;
    551      int mj;
    552      int mk;
    553      int ml;
    554      int mm;
    555      int mn;
    556      int mo;
    557      int mp;
    558      int mq;
    559      int mr;
    560      int ms;
    561      int mt;
    562      int mu;
    563      int mv;
    564      int mw;
    565      int mx;
    566      int my;
    567      int mz;
    568      int na;
    569      int nb;
    570      int nc;
    571      int nd;
    572      int ne;
    573      int nf;
    574      int ng;
    575      int nh;
    576      int ni;
    577      int nj;
    578      int nk;
    579      int nl;
    580      int nm;
    581      int nn;
    582      int no;
    583      int np;
    584      int nq;
    585      int nr;
    586      int ns;
    587      int nt;
    588      int nu;
    589      int nv;
    590      int nw;
    591      int nx;
    592      int ny;
    593      int nz;
    594      int oa;
    595      int ob;
    596      int oc;
    597      int od;
    598      int oe;
    599      int of;
    600      int og;
    601      int oh;
    602      int oi;
    603      int oj;
    604      int ok;
    605      int ol;
    606      int om;
    607      int on;
    608      int oo;
    609      int op;
    610      int oq;
    611      int or;
    612      int os;
    613      int ot;
    614      int ou;
    615      int ov;
    616      int ow;
    617      int ox;
    618      int oy;
    619      int oz;
    620      int pa;
    621      int pb;
    622      int pc;
    623      int pd;
    624      int pe;
    625      int pf;
    626      int pg;
    627      int ph;
    628      int pi;
    629      int pj;
    630      int pk;
    631      int pl;
    632      int pm;
    633      int pn;
    634      int po;
    635      int pp;
    636      int pq;
    637      int pr;
    638      int ps;
    639      int pt;
    640      int pu;
    641      int pv;
    642      int pw;
    643      int px;
    644      int py;
    645      int pz;
    646      int qa;
    647      int qb;
    648      int qc;
    649      int qd;
    650      int qe;
    651      int qf;
    652      int qg;
    653      int qh;
    654      int qi;
    655      int qj;
    656      int qk;
    657      int ql;
    658      int qm;
    659      int qn;
    660      int qo;
    661      int qp;
    662      int qq;
    663      int qr;
    664      int qs;
    665      int qt;
    666      int qu;
    667      int qv;
    668      int qw;
    669      int qx;
    670      int qy;
    671      int qz;
    672      int ra;
    673      int rb;
    674      int rc;
    675      int rd;
    676      int re;
    677      int rf;
    678      int rg;
    679      int rh;
    680      int ri;
    681      int rj;
    682      int rk;
    683      int rl;
    684      int rm;
    685      int rn;
    686      int ro;
    687      int rp;
    688      int rq;
    689      int rr;
    690      int rs;
    691      int rt;
    692      int ru;
    693      int rv;
    694      int rw;
    695      int rx;
    696      int ry;
    697      int rz;
    698      int sa;
    699      int sb;
    700      int sc;
    701      int sd;
    702      int se;
    703      int sf;
    704      int sg;
    705      int sh;
    706      int si;
    707      int sj;
    708      int sk;
    709      int sl;
    710      int sm;
    711      int sn;
    712      int so;
    713      int sp;
    714      int sq;
    715      int sr;
    716      int ss;
    717      int st;
    718      int su;
    719      int sv;
    720      int sw;
    721      int sx;
    722      int sy;
    723      int sz;
    724      int ta;
    725      int tb;
    726      int tc;
    727      int td;
    728      int te;
    729      int tf;
    730      int tg;
    731      int th;
    732      int ti;
    733      int tj;
    734      int tk;
    735      int tl;
    736      int tm;
    737      int tn;
    738      int to;
    739      int tp;
    740      int tq;
    741      int tr;
    742      int ts;
    743      int tt;
    744      int tu;
    745      int tv;
    746      int tw;
    747      int tx;
    748      int ty;
    749      int tz;
    750      int ua;
    751      int ub;
    752      int uc;
    753      int ud;
    754      int ue;
    755      int uf;
    756      int ug;
    757      int uh;
    758      int ui;
    759      int uj;
    760      int uk;
    761      int ul;
    762      int um;
    763      int un;
    764      int uo;
    765      int up;
    766      int uq;
    767      int ur;
    768      int us;
    769      int ut;
    770      int uu;
    771      int uv;
    772      int uw;
    773      int ux;
    774      int uy;
    775      int uz;
    776      int va;
    777      int vb;
    778      int vc;
    779      int vd;
    780      int ve;
    781      int vf;
    782      int vg;
    783      int vh;
    784      int vi;
    785      int vj;
    786      int vk;
    787      int vl;
    788      int vm;
    789      int vn;
    790      int vo;
    791      int vp;
    792      int vq;
    793      int vr;
    794      int vs;
    795      int vt;
    796      int vu;
    797      int vv;
    798      int vw;
    799      int vx;
    800      int vy;
    801      int vz;
    802      int wa;
    803      int wb;
    804      int wc;
    805      int wd;
    806      int we;
    807      int wf;
    808      int wg;
    809      int wh;
    810      int wi;
    811      int wj;
    812      int wk;
    813      int wl;
    814      int wm;
    815      int wn;
    816      int wo;
    817      int wp;
    818      int wq;
    819      int wr;
    820      int ws;
    821      int wt;
    822      int wu;
    823      int wv;
    824      int ww;
    825      int wx;
    826      int wy;
    827      int wz;
    828      int xa;
    829      int xb;
    830      int xc;
    831      int xd;
    832      int xe;
    833      int xf;
    834      int xg;
    835      int xh;
    836      int xi;
    837      int xj;
    838      int xk;
    839      int xl;
    840      int xm;
    841      int xn;
    842      int xo;
    843      int xp;
    844      int xq;
    845      int xr;
    846      int xs;
    847      int xt;
    848      int xu;
    849      int xv;
    850      int xw;
    851      int xx;
    852      int xy;
    853      int xz;
    854      int ya;
    855      int yb;
    856      int yc;
    857      int yd;
    858      int ye;
    859      int yf;
    860      int yg;
    861      int yh;
    862      int yi;
    863      int yj;
    864      int yk;
    865      int yl;
    866      int ym;
    867      int yn;
    868      int yo;
    869      int yp;
    870      int yq;
    871      int yr;
    872      int ys;
    873      int yt;
    874      int yu;
    875      int yv;
    876      int yw;
    877      int yx;
    878      int yy;
    879      int yz;
    880      int za;
    881      int zb;
    882      int zc;
    883      int zd;
    884      int ze;
    885      int zf;
    886      int zg;
    887      int zh;
    888      int zi;
    889      int zj;
    890      int zk;
    891      int zl;
    892      int zm;
    893      int zn;
    894      int zo;
    895      int zp;
    896      int zq;
    897      int zr;
    898      int zs;
    899      int zt;
    900      int zu;
    901      int zv;
    902      int zw;
    903      int zx;
    904      int zy;
    905      int zz;
    906      return 0;
    907  }
  
```

<주행제어기 소스코드>

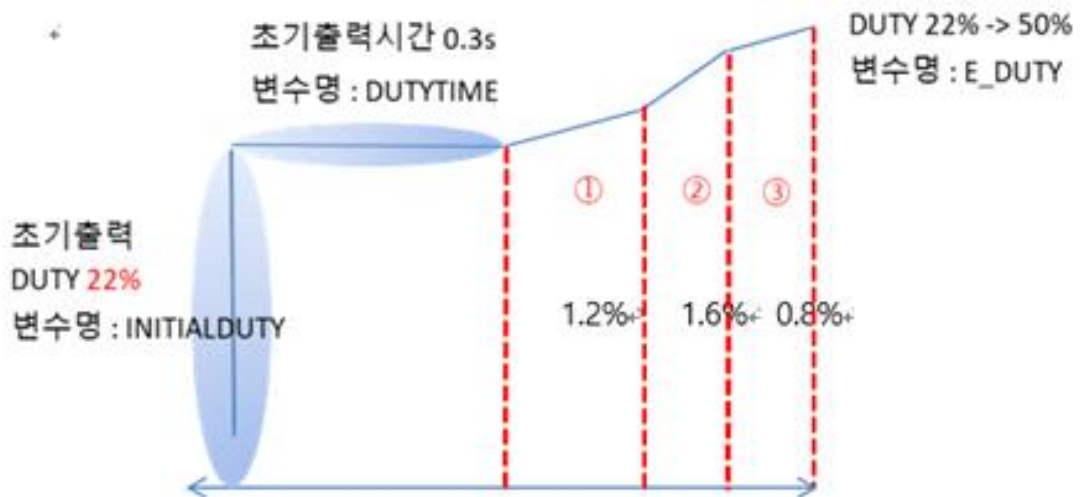
c. 차속제어 입출력 제어

<차속제어기 입출력 제어내용>

입력	제어내용
주변속 H/L 스위치	주변속스위치로 주변속 H/L 변경 - 1개 버튼으로 입력마다 H/L 반복 변경(초기값은 L)
주변속 센서	주변속스위치 입력은 80ms 주기로 채터링 방지 할 것.
차속자동스위치	주변속스위치 입력은 1초 이내 재입력 시 방지(단속 주기 입력 방지)
차속설정볼륨	주변속이 H 일때 H/L 솔레노이드 12V 출력 - 주변속이 L 일때 H/L 솔레노이드 0V 출력
차속센서	주변속 센서에 따른 전진/후진 솔레노이드 제어를 위의 그래프와 같이 한다(위 그래프 참고)

출력	제어내용
HST 전진솔레노이드	HST 전진 솔레노이드 DUTY 출력
HST 후진 솔레노이드	HST 후진 솔레노이드 DUTY 출력
H/L 솔레노이드	HST H/L 변속 ON/OFF 출력

d. 차속제어 입출력 제어 소스코드



주변속 센서 전진구간 2.46V(AD505) ~ 3.9V(AD800)

<주행제어기 소스코드>

- 주행제어는 주변속 레버의 위치를 감지하여 부드러운 주행을 위해 위의 표와 같은 알고리즘으로 동작한다. 후진은 주변속 레버의 위치에 따라 전진과 대칭되게 제어된다. 차속 자동제어 시 차속의 증가/감소는 위의 표와 같은 그래프로 동작한다.

라) 곡물 배출 자동화 시스템 개발

ㄱ. 오거 자동제어 시스템 전장부 개발

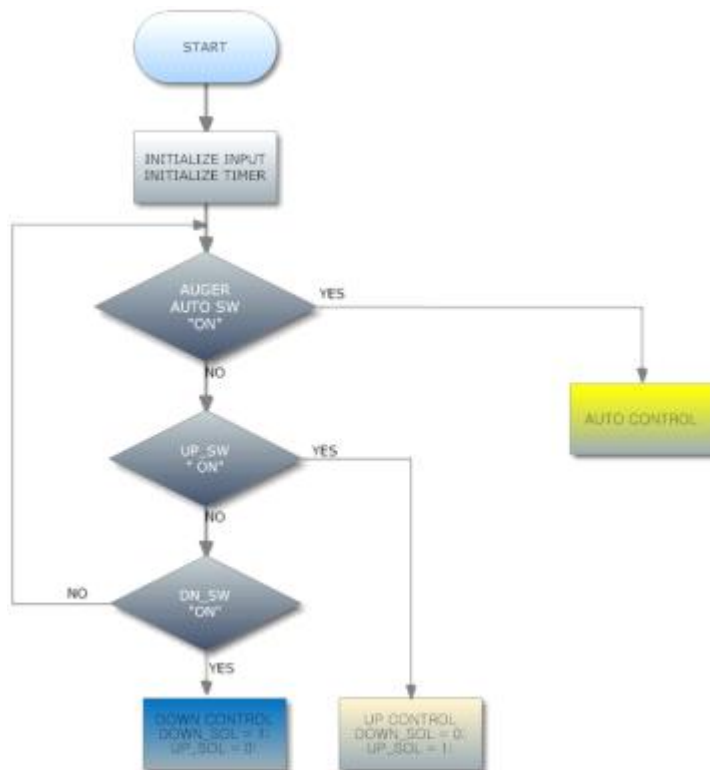
A. 오거 승강 제어 밸브

- a. 오거 승강 제어 밸브는 ON/OFF 밸브를 사용하고 있으며, 작업성 향상을 위해 최대한 빠른 시간에 최대 상승점 도달해야 함. 하지만 정지 시 충격을 방지하기 위해 목표 지점 도달 시 모듈레이팅 제어가 필요함.

< 시험 분석을 통한 개발 목표 >

항 목	벤치마킹 기대	개발 CONCEPT	비 고
제어 주파수	50Hz(20ms)	100Hz(10ms)	
PWM DUTY 범위	가변 제어 (0~100%)	가변 제어(최적화)	충격 발생되지 않는 최대치 적용
수동 제어 DUTY	75% 고정	가변 제어(최적화)	충격 발생되지 않는 최대치 적용

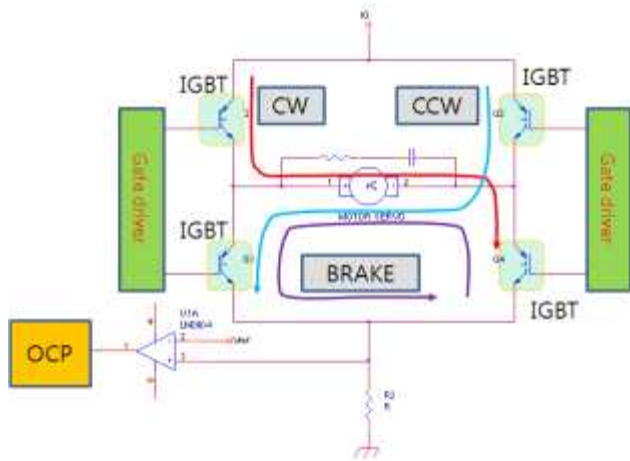
b. 오거 승강부 제어 알고리즘



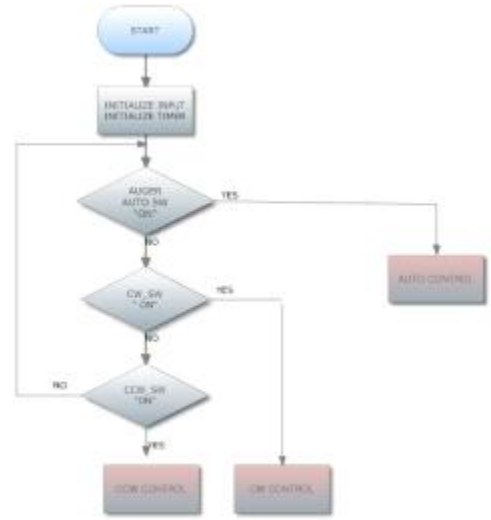
<오거 승강 제어 알고리즘>

B. 곡물 오거 선회 모터 제어부

a. 오거 승강 제어와 모터 선회 제어는 실제 작업자의 작업 능력과 밀접한 관계를 가지는 인자이므로 최대한 빠른 시간에 작업자가 원하는 위치에 도달하는 것이 목표. 일반적으로 오거 선회 모터는 릴레이를 이용한 저원가의 시스템과 IGBT 등 스위칭 소자를 활용하여 제어 정밀도 및 출발과 정지 충격을 완화된 시스템으로 분류됨. 본 과제에서는 IGBT를 활용하여 제어 정밀도 및 출발과 정지 충격을 개선하여 작업자의 욕구를 충족시키고자 함.



<선회 모터 제어 회로>



<선회 모터 제어 알고리즘>

b. 곡물 배출 제어 설계

운전자가 조작하는 곡물 배출 스위치 입력을 받아 곡물 배출 모터에 신호를 출력하여 모터 위치가 배출 위치로 가도록 모터를 제어한다.

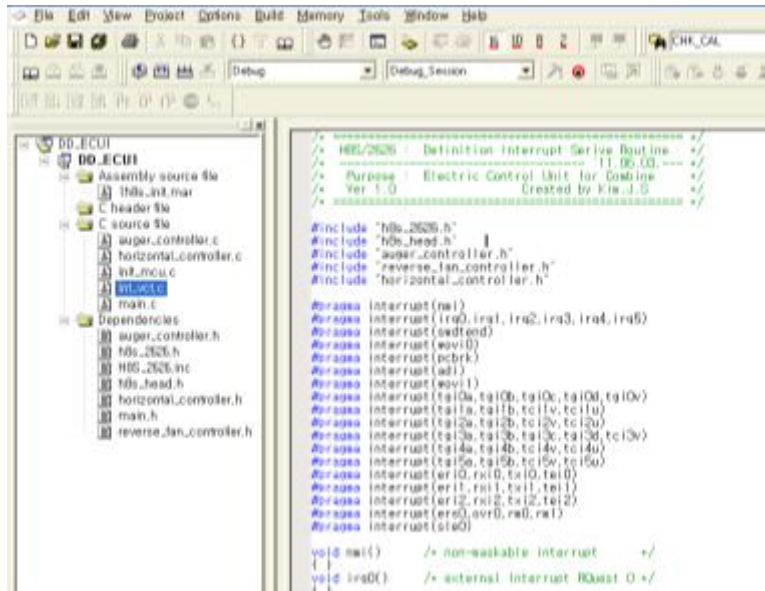
<목표입출력에 관련된 사양>

항 목	회 로 명	규 격	비 고
동작전압 범위	전원	8V ~ 16V	정격: 12V
스위치입력	곡물 배출 스위치	ON : BAT(-)	5mA 이하
		OFF : Open	
	배출 리미트 스위치	ON : BAT(-)	5mA 이하
	정지 리미트 스위치	ON : BAT(-)	5mA 이하
		OFF : Open	
출력	곡물 배출 릴레이	ON : BAT(-)	1A 이하
		OFF : Open	
	배출 정지 릴레이	ON : BAT(-)	1A 이하
		OFF : Open	
	곡물 배출 램프	ON : BAT(-)	1A 이하
		OFF : Open	

C. 오거 제어부 소프트웨어 설계

<소프트웨어 설계>

	항목	이름	비고
오거제어	입출력 설정	auger_controller.h	오거제어 입출력 포터 설정
	타이머 설정	int_vct.c	
	메인 프로그램	auger_controller.c	오거제어 메인 프로그램



<프로그램 구성 예시>

D. 오거 자동제어 시제품 상세 사양

a. 자동제어 종료

운전자가 조작하는 곡물 배출 스위치 입력을 받아 곡물 배출 모터에 신호를 출력하여 모터의 위치가 배출 위치로 가도록 모터를 제어함

- 자동제어 작동 중 정지 스위치 신호가 입력되면 즉시 자동제어를 종료함.
- 자동제어 작동 중 수동 스위치 신호가 입력되면 즉시 자동제어를 종료하고 해당 수동 출력
- 자동제어 작동 중 에러 검출시에는 즉시 자동제어를 종료하고 해당 에러를 출력함.

b. 좌, 우선회 PWM출력 상세

<자동 배출 시>

포텐셜미터 위치값	배출위치+AD15이상	배출위치+AD15미만	비 고
PWM제어 출력	DUTY 100%	DUTY 50%	오차 : ±10%

<자동 복귀 시>

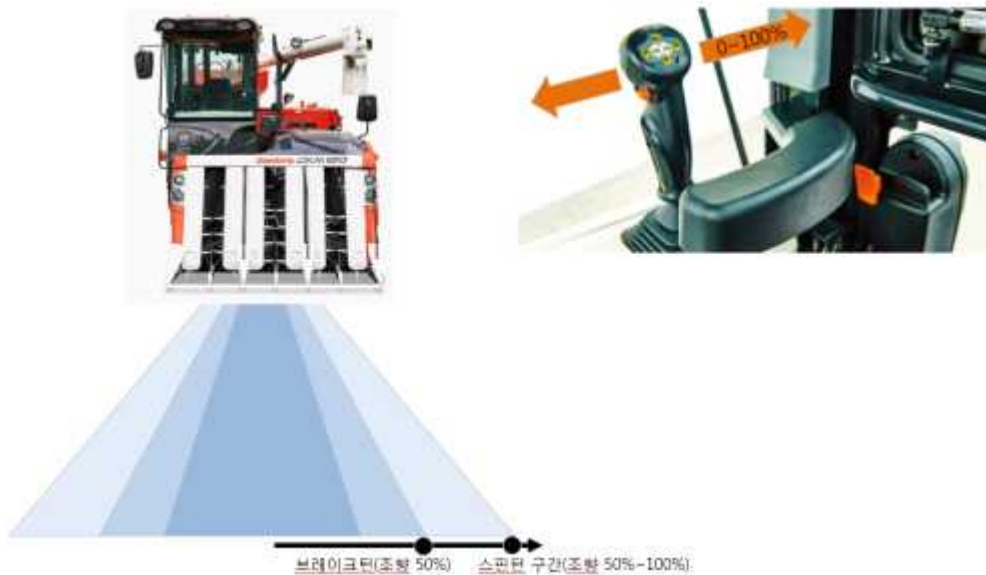
포텐셜미터 위치값	복귀위치 -AD20이상	복귀위치 -AD20 ~복귀위치-AD10	복귀위치 -AD10미만	비 고
PWM제어 출력	DUTY 100%	DUTY 50%	DUTY 40%	오차 : ±10%

- 향후 자율주행 배출위치 경로추종과 연계하여 오거 자동 선회기능 구현 예정

ㄴ. 자율주행 경로 추종 선회제어기 개발

A. 선회제어기 제어 목표

- 기존 기계식 조향방식의 콤바인은 좌/우 브레이크를 조작하여 미세 조향이 어려움
- 좌/우 브레이크 및 사이드 클러치를 전자식 제어가 가능한 구조로 변경하고 제어함
- HST구조의 브레이크 압력 제어가 가능한 솔레노이드를 제어하는 것이 목표



<자율주행 무인 콤바인 제어기 구성도>

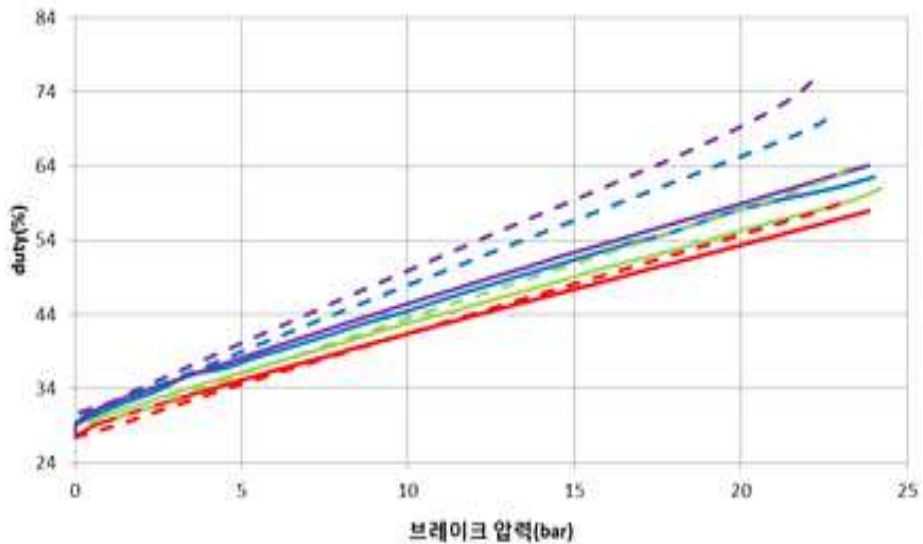
B. 구조/성능시험

- HST축 솔레노이드의 압력을 측정하여 제어 목표 사양 확보

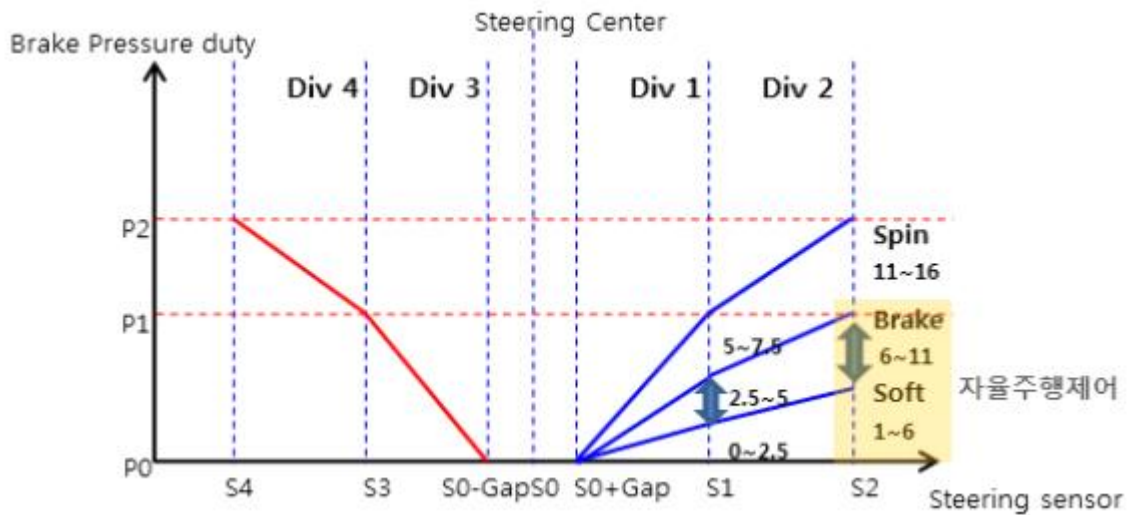


<자율주행 무인 콤바인 제어기 구성도>

- b. 좌/우 압력을 측정하여 출력별 특성을 파악하고, 온도별 특성을 고려한 소프트웨어 튜닝 값 도출
- c. 자율주행 시 경로오차 15cm이내 주행을 위하여 미세조향이 중요하며, 온도에 따라 변화하는 유압특성을 고려하여 출력 튜닝 필요
- d. 압력에 따라 유압밧션 동작상태를 구분하고 소프트, 브레이크, 스피턴 3종으로 분류하여 선회 반경이 구현



<출력별/온도별 압력 측정 결과>



<조향 목표 대비 출력 곡선>

C. 소프트웨어 동작 시험

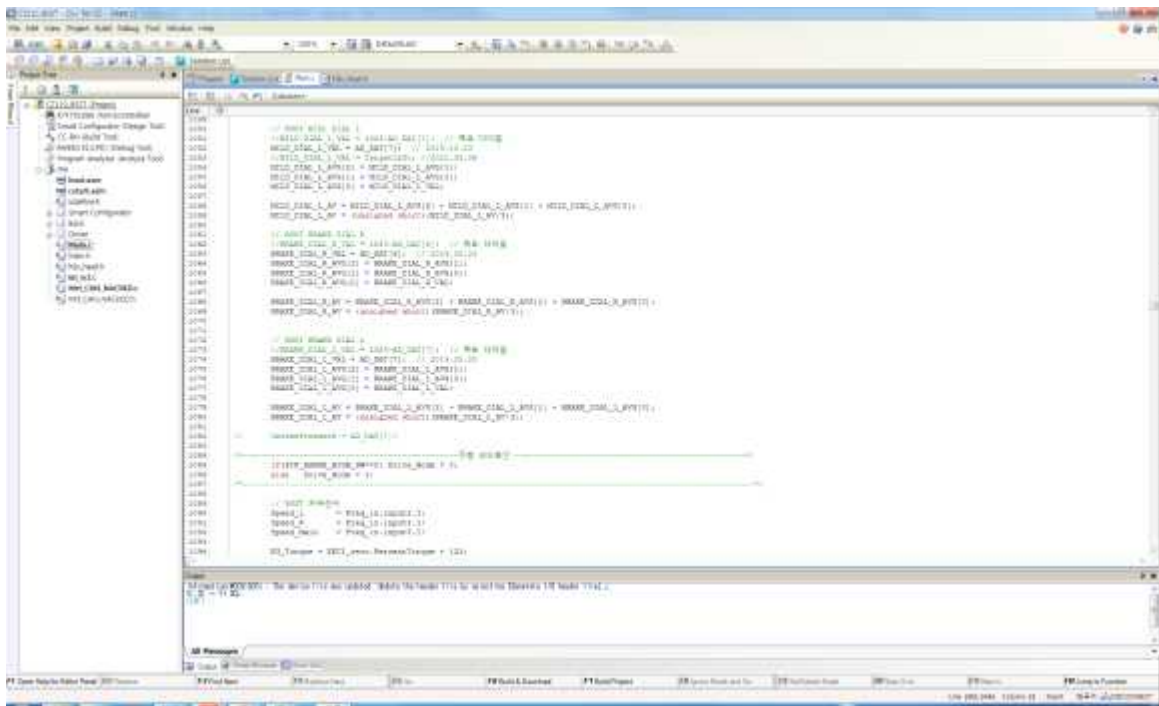
- a. 조향 출력 대비 선회반경을 측정하고, 자율주행 통합제어기 명령 수행을 위한 제어수치를 퍼센트 단위로 구분하여 적용
- b. GPS를 부착하고, 일정 속도에서 선회반경 측정 시험 결과

D. 자율주행 동작 소프트웨어 개발

- a. 자율주행 통합제어기 명령 수행을 위해 정의된 CAN프로토콜에 따라 동작하도록 소프트웨어 적용
- b. 선회반경 측정시험 결과로 보아 미세조향을 위하여 최소단위 0.1%로 출력제어가 가능하도록 소프트웨어 변경 적용함
- c. 자율주행 ON/OFF상태를 인식하여 CAN통신 제어 상태를 구분함
- d. 긴급 상황 발생 시 수동조향을 하여 긴급회피가 가능하도록 수동조향을 우선순위로 지정

Message				Message Definition						
Name	RX/TX	CAN ID (Hex)	PGN	Cyclic Time (ms)	Byte	Bit	Signal Name	Length /Resolution	Data Range	Operating Data Range
자율주행제어기	TX	0x18 FF41 20	65441	100	1	1	자율주행 상태	1Bit	0-1	0 : OFF / 1 : ON
					2	1-16	조향출력	16bit	0-2000	0 : 좌출력 100% 100.0 : 좌/우출력 0% (중립) 200.0 : 우출력 100%
					3					

<자율주행 무인 콤바인 제어기 구성도>



<자율주행 무인 콤바인 제어기 구성도>

마) 수확량 모니터링 기술 개발

ㄱ. 해외 선진사 기술 조사

- A. 시중 판매중인 수확량 모니터링 기술 관련 조사 (3사)
- B. J사 : 작업 속도, 수분량, 건조 수확량, 습식 수확량 표기
- C. K사 : 총 중량, 수분량, 단백질량 등
- D. T사 : 총 중량, 수분량, 광학방식 센서 활용 등



<수확량 모니터링 벤치마킹 조사 요약>

ㄴ. 수확량 측정 센서류 부품 조사 및 선정

A. 센서류

- a. 중량 측정 : 로드셀 류
- b. 식미(단백질 측정) : NIR
- c. 수분량 측정 : 파괴식(수분 센서), 비 파괴식(광학 센서)

- 위 대표 3종 항목에 대한 측정 및 분석을 위하여 부품 조사 및 개발 진행
- 로드셀류는 선정 완료하여 탱크 하단부 2개소 및 탱크 유입구 1개소 부착하여 개발
- 식미, 수분량 센서 관련하여 국내 전문업체 부채로 개발 진행중

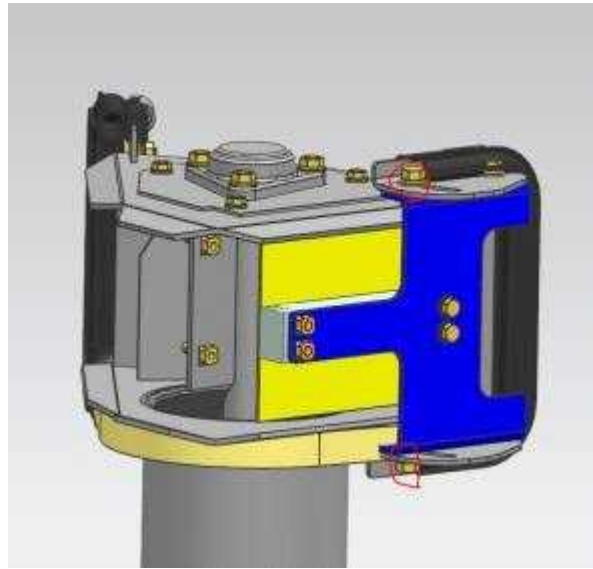
ㄷ. 수확량 모니터링 시스템 구성도



<수확량 모니터링 시스템 구성도>

ㄹ. 수확량 모니터링용 센서 장착부 및 제어기 소프트웨어 설계

A. 센서입력부터 디스플레이까지의 시스템 적용 알고리즘 구상 및 사전 시험 진행



<탱크 유입구측 로드셀 장착부>

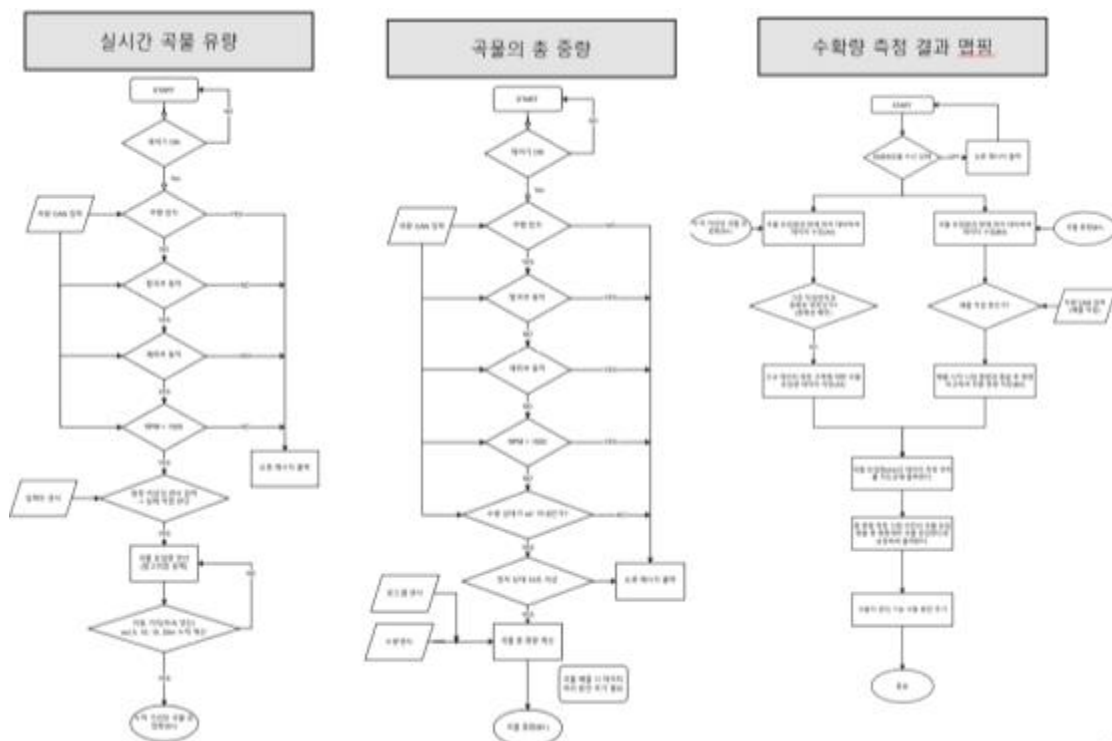
B. 곡물의 총 중량 측정을 위하여 탱크 하단부에 로드셀 2개소 장착

C. 곡물의 유입량 측정을 위하여 탱크 상단부에 임팩트센서 1개소 장착

D. 작업 조건에 따라 기능 구분 : RPM, 차속, 탈곡 상태 등

E. 실 곡물 투입 시험을 통하여 로드셀의 수치대비 튜닝값을 지정하고 소프트웨어 적용

F. 공인기관입회 시험을 진행하여 검증



<수확량 모니터링 알고리즘 플로우 차트>

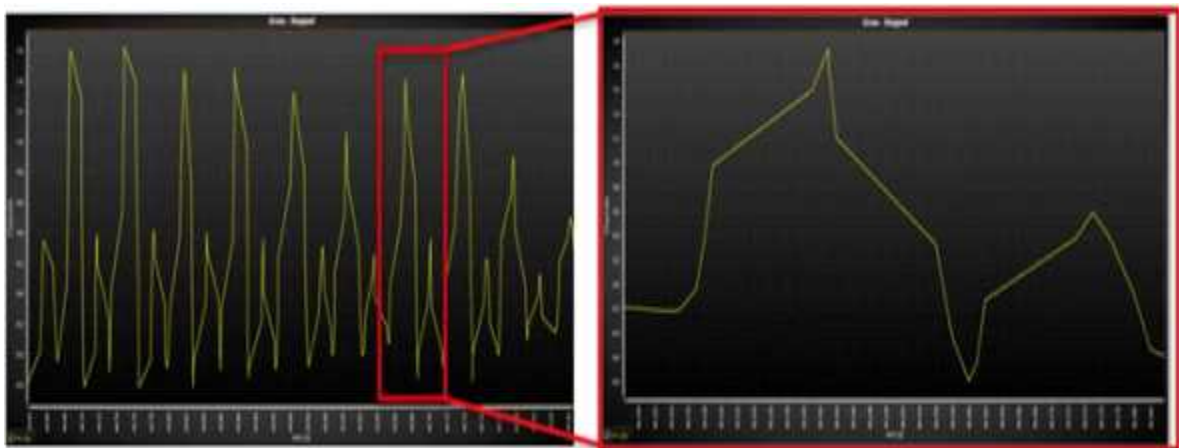
□. 실증용 차량 시험

A. 시험목적 : 콤바인 수확량측정 센서류 인식 시험

실차 측정 데이터 기반 상세 부품 선정 및 분석 알고리즘 개발 검토

B. 시험 요약 : 외부 무게 측정 장비 활용하여 기본 콤바인 무게대비 탱크 내부 곡물 유입량 측정. 탱크 내부 유입패턴 유사하게 조성하기 위해 1번 가로나선 청소구로 정량 곡물 투입.

C. 측정결과 : 곡물 유입을 30kg단위로 시험하여 측정치와 비교함



<탱크 상단부 임팩트 센서 측정 결과>

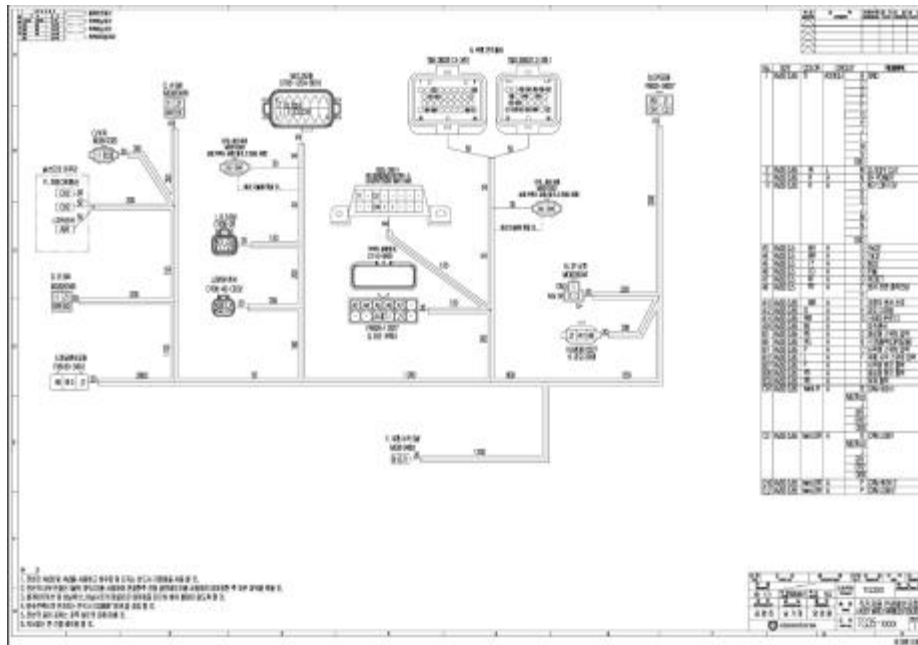
D. 시험 고찰 : 진동에 대한 필터링 기술이 필요하며, RPM에 따라 센서 입력 주기 변경 필요함. 또한 곡물이 탱크 내부에 쌓이는 모양에 따라 측정 결과의 오차가 발생하며, 상단부 임팩트센서에 의한 측정값으로 입력치를 구분 비교가 필요함.

(2) 자율주행시스템 차량 어플리케이션 기술 개발

가) 자율주행 시스템 전장부 어플리케이션

ㄱ. 자율주행 콤바인 전장 시스템 개발

- A. 기존 콤바인 시스템에 탑재 가능한 연결배선 형태의 설계
- B. 주요 제어기 및 센서에 적절한 커넥터 및 선경을 지정
- C. CAN통신 안정성을 위하여 종단저항을 고려하여 설계하고, 차량통신과의 연결관계 고려
- D. 각 주요 부품의 위치, 구조물에 의한 간섭을 회피하고 진동을 고려한 레이아웃 설계
- E. 레이아웃 설계 기준으로 선정된 하네스 길이 및 각각의 고정부 선정



<전장부 회로 설계>

ㄴ. 전장부 설계 주요 부품 리스트

<전장부 회로 설계>

No	부품명	레이아웃 기준
1	GPS 모듈	1) 캐빈전방과후방에1m이격거리로2개장착. 2) 상단부는구조물이없는오픈구조. 3) 2개의안테나높이는동일하도록설치
2	자율주행제어기	1) 캐빈 내부
3	통합(상위) 제어기	1) 캐빈 내부
4	IMU센서	1) lh사이드커버 내부에 장착 2) 가능하면사출부품에장착(마그네틱센서) 3) 조립부기준수평장착 4) 커넥터기대 후방장착
5	자율주행 조정스위	1) remote_control모델링기준장착검토

	치	2) 좌측A필러부
6	자율주행모니터	1) 좌측A필러부 2) 계기판10'모니터
7	전방 카메라	1) 캐빈 지붕 전면부 배치
8	스위치조합	1) 캐빈 작업등 스위치 주변 배치 (천정부)
9	초음파 센서	1) 예취부전방 2) 모열인식기능
10	수확량 측정 제어기	1) 캐빈 내부 공간 협소 시 탱크 뒷편으로 변경
11	임팩트센서	1) 1번 세로나선/탱크 내부
12	로드셀	1) 탱크 힌지 하단부(1), 탱크 여닫이 고정 볼트 하단부(1)

ㄷ. 자율주행 콤바인 CAN 통신 시스템 개발 및 차량 매칭 시험

A. 각 주요 기능별 제어기간의 명령전달을 위한 CAN 통신 프로토콜 맵핑



<자율주행 무인 콤바인 제어기 구성도>

- 주요 제어 기능 중 자율주행과 연관된 데이터를 정의
- 기존 차량 시스템에서의 프로토콜과 중복되지 않는 신규 프로토콜 정의
- CAN통신 부하량 관리를 위하여 무인제어부와 차량부로 구분하고, 통합제어기에서 중계기 역할을 수행
- CAN통신 부하는 최대 60%이하로 지정하고 종단저항을 구비한다.
- 기본적인 프로토콜 사양은 J1939표준에 맞추어 설계하며, 제어기에 따라 ID, Tx/Rx, Cycle Time 등을 고려한 추가 프로토콜을 적용

Message				Message Definition									
Name	Ka/TS	Can ID (Hex)	Can ID (Dec)	Length (Byte)	Msg No	Signal Name	Length (Normalized)	Data Range	Operating Data Range	T	Unit	비고	
자율주행제어기	CAN	0x1274120	4344C	100	1	가속도 센서	18bit	0~3	0.0MPH ~ 1.0MPH				Resolution: 0.1% (0.0001MPH) (0.0001MPH) (0.0001MPH) (0.0001MPH) (0.0001MPH) (0.0001MPH) (0.0001MPH) (0.0001MPH) (0.0001MPH) (0.0001MPH)
					2	1~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					3	2~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					4	3~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					5	4~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					6	5~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					7	6~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					8	7~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					9	8~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					10	9~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
속도 제어기	CAN	0x1274120	4344C	100	1	가속도 센서	18bit	0~3	0.0MPH ~ 1.0MPH				
					2	1~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					3	2~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					4	3~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					5	4~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
제어기	CAN	0x1274120	4344C	100	1	가속도 센서	18bit	0~3	0.0MPH ~ 1.0MPH				
					2	1~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					3	2~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					4	3~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					5	4~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
제어기	CAN	0x1274120	4344C	100	1	가속도 센서	18bit	0~3	0.0MPH ~ 1.0MPH				
					2	1~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					3	2~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					4	3~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			
					5	4~18	방향 정보	18bit	0~255	0.0MPH ~ 255.0MPH			

<자율주행 무인 콤바인 제어기 구성도>

나) 자율주행 시스템 본기부 어플리케이션

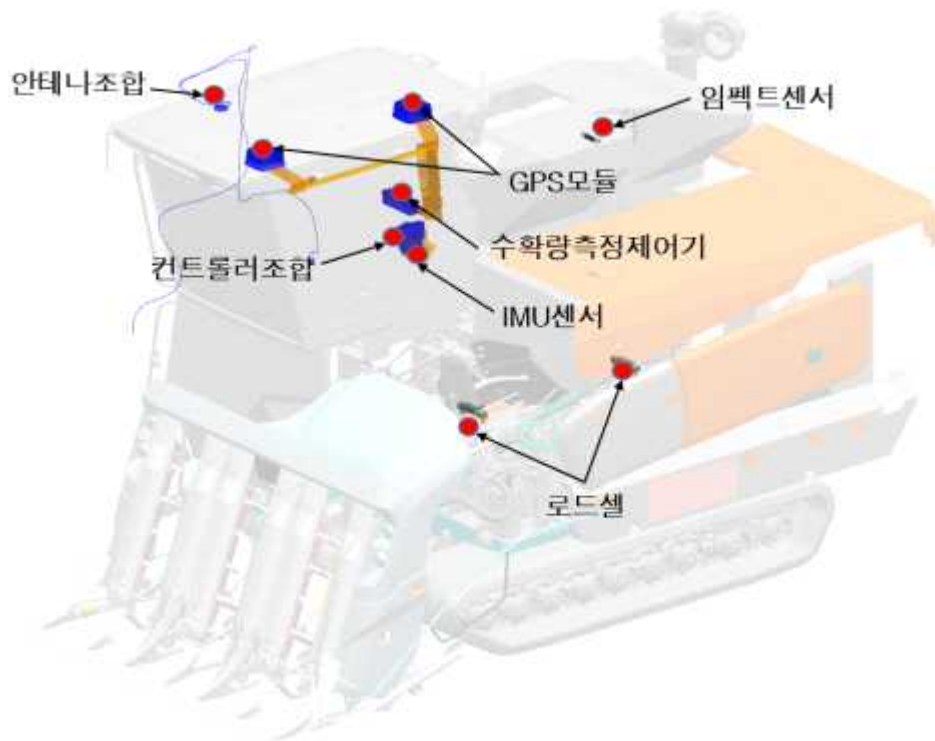
ㄱ. 자율주행 시스템 어플리케이션 관련 조작장치 설계

A. 자율주행 시스템 모듈 부착 필요 센서

<자율주행 시스템 센서 및 설치조건>

센서명	수량	설치조건
GPS 모듈	2	캐빈 전방과 후방에 1m 이격거리로 2개 장착. 상단부는 구조물이 없는 오픈 구조. 2개 높이는 같도록 설치.
IMU센서	1	1h 사이드커버 내부에 장착 가능하면 사출부품에 장착(마그네틱센서) 조립부 기준 수평 장착 커넥터 기대 후방 장착
컨트롤러조합	1	캐빈 내부
안테나조합	1	천장과 지붕 사이
수확량측정제어기	1	캐빈 내부
임팩트센서	1	1번 세로나선/탱크 내부
로드셀	2	탱크 힌지 하단부(1), 탱크 여닫이 고정 볼트 하단부(1)

B. 자율주행 시스템 모듈 Lay-out



<자율주행 무인 콤바인 센서류 Lay-out>

- a. 1차 Pilot 기대 적용 예정 자율주행 모듈 Lay-out은 그림 56과 같음. 센서 사양에 따라 탑재위치 조건을 우선적으로 확인하여 탑재부 구성을 완료함. 탑재부 또한 조립품으로 구성하여 향후 모듈 탑재 시 탈부착을 통한 공급 검토도 추가적으로 진행함.

L. 자율주행 시스템 어플리케이션 시제품 제작

A. 자율주행 시스템 모듈 1차 Pilot 기대 장착

a. 자율주행 관련 모듈



<자율주행 무인 콤바인 모듈 장착 사진>



<자율주행 무인 콤바인 수확량모니터링 센서장착>

(3) 통합제어시스템 기술개발

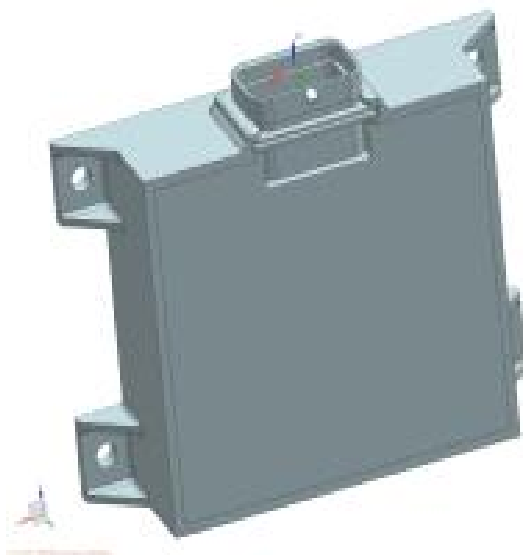
가) 주요 기능

- ㄱ. 초기구동제어 : 초기 시동 시 각 제어기의 정상동작여부 확인 및 기동 시퀀스 제어
- ㄴ. 통합제어(중계기) : 작업 시나리오 따라 각 제어기의 우선순위 지정 및 동작 지령 전달
- ㄷ. 안전 제어 : 각 제어기 이상 및 오동작 시 안전제어 및 긴급제어

나) 개발품 하드웨어 사양

- ㄱ. 입출력 : 32Pin
- ㄴ. CAN통신 입출력, 5V 출력, 아날로그 입력, 디지털 입력 등

다) 하드웨어



<하드웨어 Lay-out>

라) 기능 개발

ㄱ. CAN통신 프로토콜 입출력 동작

- A. 기존 차량의 CAN통신과 자율주행 동작용 CAN통신을 별도 구분되어있어 중간 중계기 역할을 수행함. 자율주행 통신라인에서 경로 추종을 위한 조향 지령, 작업 지령을 수신 받아 차량의 상태 점검 및 동작상태를 전달함.

ㄴ. 안전제어 동작

- A. 긴급 회피 : 수동조향조작이 감지될 경우 조향제어기에서 에러코드를 수신받아 자율주행 정지
- B. 경로 이탈 감지 : 자율주행 제어기에서 발생하는 경로 이탈을 감지 시 자율주행 정지
- C. 작업 상태 감지 : 탈곡 부하, 예취 막힘 등 차량의 작업이 불가능한 상태를 감지함
- D. 전복 감지 : 차량에 별도 부착된 IMU(관성항법장치)의 상태를 인식하여 전복 감지

ㄷ. 전원제어

- A. 자율주행 동작 여부에 따라 주요 센서 및 제어기의 전원 제어를 수행한다.

(4) 부하 감응형 반송 및 탈곡부 시스템 개발

가) 부하감응형 반송 및 탈곡부 시스템 제작 및 모듈 성능평가

ㄱ. 부하감응형 반송 시스템 개발

A. 보조 반송장치 속비 개선 검토

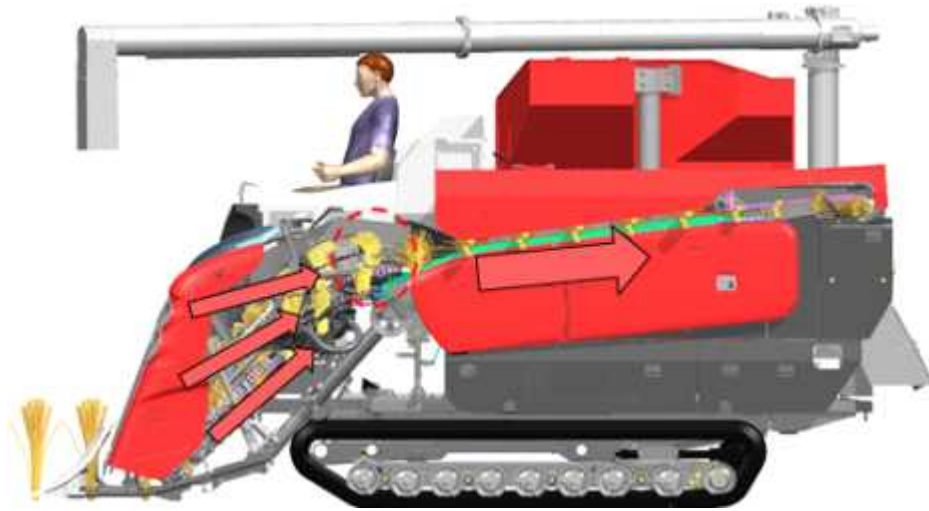


Fig. 60. 콤바인 작업 시 작물 이송 경로

- 작물의 이송은 Fig.60과 같이 예취 칼날에 의해 절단된 작물이 예취부에 좌, 중, 우 구성된 포기체인에 의해 기대 후방 방향으로 이송이 이루어지며 예취부의 끝단 공정에서 작물이 모여 보조반송장치를 통해 탈곡부의 공급체인으로 인계됨.
- 보조 반송장치는 예취부에서 탈곡부로 작물 이송이 원활하게 이루어지도록 연계하는 장치로 구성형상 및 위치만큼이나 예취시스템, 보조반송장치, 탈곡시스템의 속비가 부하저감에 중요한 인자로 작용함.
- 각 시스템의 속도가 다르게 조성되면 각 부에서 나타나는 작물의 두께가 변화하게 됨. 차속에 따라 초당 작물유입량은 일정하게 결정되어 있으며 이에 각부에서 표현되는 속도에 따라 작물이 인계되는 두께가 다르게 나타남. 속비가 과도하게 설정되면 한쪽에서 작물두께가 두꺼워지며 이는 탈곡부하로 조성되어 막힘이나 파손이 발생 할 수 있음. 체인 속도에 따른 작물두께 산출 이론식은 하기와 같음.

$$D_b = V_m R_c A_r / (D_a V_1)$$

D_b = 공급체인을 지나는 작물두께

V_m = 콤바인 작업속도

R_c = 작물의 예취줄수

D_a = 작물 포기사이거리 (관행 : 15cm)

V_1 = 공급체인속도

A_r = 한포기당 단면적 (실측 평균 : 12.6cm²)

초기 각부 속도 컨셉에 따라 작물두께를 계산하면 하기와 같이 나타남.

<작물인계 시스템별 체인속도 및 작물두께 (개선전)>

항목	속도(m/s)	작물두께(cm)	비 고
예취이송체인	2.20	3.9	엔진rpm max (2,450) 기준
보조반송체인	1.25	6.9	
탈곡공급체인	0.77	11.1	

상기와 같은 속비에서는 예취속도에서는 높은 퍼포먼스를 나타낼지 모르나 보조반송에서 공급으로 인계되는 지점에서 작물두께가 과다하게 커지며 탈곡부하 및 작물층이 두꺼워짐에 따른 탈곡통에서 미탈립이 발생 할 우려가 큼.

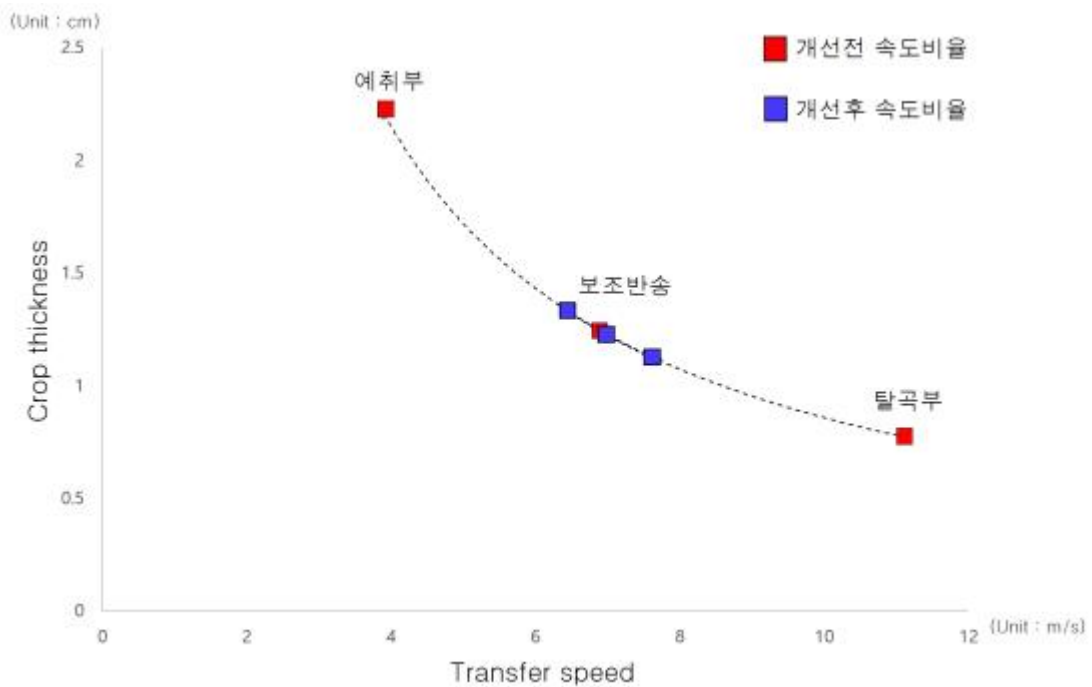


Fig. 61. 각 시스템별 작물인계속도 및 작물두께 관계

d. 따라서 보조 반송 장치를 기준으로 속비를 최적화 하기 위해 각 시스템 이송속도를 작물 두께 기준으로 개선작업을 진행함. 개선 후 시스템별 속도비율은 하기와 같이 결정하였으며, 작물두께에 따른 속도 좌표들을 기준으로 추세선 이내로 속비를 설정하여 선진사 속도비율과 비교 분석하였을 때, 유사한 수준으로 확인됨.

<작물인계 시스템별 체인속도 및 작물두께 (개선후)>

항목	속도(m/s)	작물두께(cm)	비 고
예취이송체인	1.34	6.4	엔진rpm max (2,450) 기준
보조반송체인	1.22	7.0	
탈곡공급체인	1.11	7.7	

B. 보조 반송장치 시제품 제작

a. 보조반송장치 시제품 제작 및 차량 탑재



<보조반송장치 필드 감성평가>

- 보조반송장치 시제품 제작을 진행함. 또한 1차 Pilot 기대 탑재 조립을 진행하며 조립간 간섭 및 문제점 확인을 추가적으로 진행함. 조립과정에서 보조반송장치 안착 시 탈곡프레임 입구판부 간섭 발생하여 임시 절단하여 조립 진행함. 향후 개선조치 필요.

C. 보조 반송장치 조립성 및 성능 평가

a. 보조반송장치 성능 평가



<보조반송장치 필드 감성평가>

- 보조반송장치의 성능평가는 시험자의 정성적평가를 기준으로 이루어졌으며, 부하 발생은 탈곡부 2번회전센서 부저를 통해 확인하였음. 보조반송장치 1차 Pilot기대 장착사양은 속비 개선안 (보조반송체인속도 : 1.22m/s) 사양으로 시험평가가 이루어졌으며, 작물의 인계 자세, 인계속도, 작물의 정체 등 작업성 부분에서 모두 양호한 수준으로 확인됨. 전체 작업 기능에서 양호한 수준을 나타내었지만, 추가적으로 보조반송체인의 윤활을 위해 구성된 주유장치에서 주유되는 기름이 하방향에 구성된 벨트 상단으로 떨어지는 현상이 발생함. 이는 지속적으로 발생하면 벨트의 내구성에 영향을 미친 우려가 있으므로 향후 개선검토가 필요할 것으로 판단됨.

ㄴ. 부하 감응형 탈곡 시스템 개발

A. 탈곡통 제작



롤링



용접



너트용접



비딩



간이조립



본조립



급치높이확인



BALANCE TEST

<협력사 탈곡통 제작 공정>

- a. 1차년도 이론식을 기준으로 구멍한 급치 배열 및 탈곡통 Lay-out을 기준으로 탈곡통 제작을 그림64과 같이 진행하였음. 제작 후 동발란스 테스트를 진행하고 1차 Pilot기대 탑재 후 조립성 및 간섭부 평가를 추가적으로 진행하였음.

B. 탈곡 선별 제어부 제어

- a. 탈곡통을 통해 탈곡된 곡물이 시브케이스 상부로 유입되고 이때 유입된 곡물의 양에 따라 풍구 회전 및 채프의 열림각 제어하여 곡물의 비산 및 부하 최소화 하도록 구성 <풍구 및 채프 모터 제어 방법>

곡물 유입량	제어 항목	비고
많음	풍구 회전수 증대	
	채프 열림각 증대	
표준	풍구 회전수 표준	
	채프 열림각 표준 위치	
적음	풍구 회전수 감소	
	채프 열림각 감소	

- b. 유입되는 곡물의 양을 정확하게 감지하기 곡물의 퇴적 높이에 따른 곡물량 감지 센서의 변위가 최대한 클 수 있게 하고, 곡물과 접촉하는 판은 풍구를 통해 유입되는 바람의 영향을 받지 않고 동시에 곡물을 누르지 않도록 하였음.

- c. 곡물의 높이와 곡물량 감지 센서의 변화는 아래의 그래프와 같다. 곡물량 감지 센서가

17mm의 곡물을 감지할 때 0.81V의 전압값이며 최대 위치 96mm 높이의 곡물량을 감지할 때 4.04V를 표시됨.

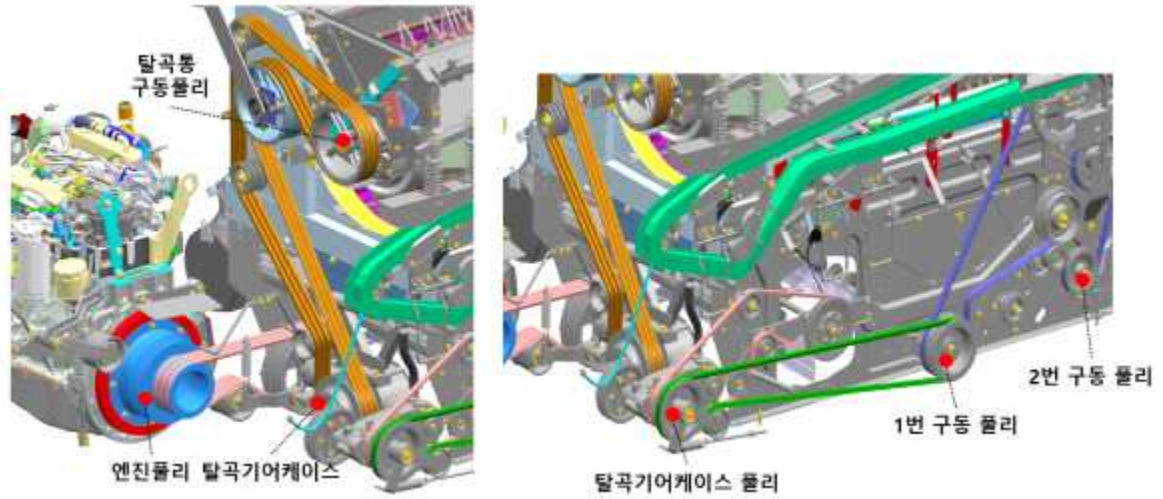
<선별제어 관련 입출력 항목>

항 목	회 로 명	규 격	비 고
동작전압 범위	전원	8V ~ 16V	정격 : 12V
스위치입력	탈곡 스위치	ON : BAT(-)	5mA 이하
		OFF : Open	
	예취 스위치	ON : BAT(-)	5mA 이하
		OFF : Open	
	포기 스위치	ON : BAT(-)	5mA 이하
		OFF : Open	
카운터 입력	엔진 회전 센서	0 ~ 20Khz 이하	pulse 입력
아날로그 입력	풍구 조절 다이얼	0V ~ 5V	AD 10bit
	채프 조절 다이얼	0V ~ 5V	AD 10bit
	곡물량 감지 센서	0V ~ 5V	AD 10bit
	채프 위치 센서	0V ~ 5V	AD 10bit
	풍구 모터 위치 센서	0V ~ 5V	AD 10bit
출력	채프 릴레이(open)	ON : BAT(-)	1A 이하
		OFF : Open	
	채프 릴레이(close)	ON : BAT(-)	1A 이하
		OFF : Open	
	풍구 릴레이(강)	ON : BAT(-)	1A 이하
		OFF : Open	
	풍구 릴레이(약)	ON : BAT(-)	1A 이하
		OFF : Open	

- d. 풍구 제어와 채프 제어는 유사한 제어 LOOP와 입출력 인자로 제어가 진행됨. 풍구 제어 및 채프 제어는 집중화된 조작 패널에서 작업자가 손쉽게 조작할 수 있는 다이얼로 설정을 하면, 풍구 모터 및 채프 모터가 동작하고 모터의 회전에 의해 해당 위치를 검출하는 위치센서로부터 피드백된 센서 입력과 설정 값을 비교하여 원하는 위치로 모터를 제어하는 방식으로 구성.

7. 탈곡부하 센싱장치 개발

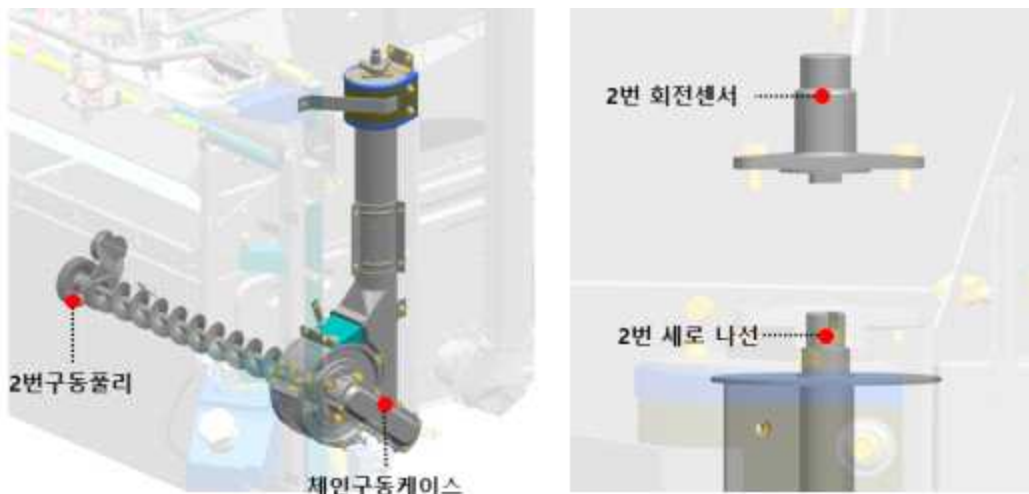
A. 탈곡부 동력전달계통 Lay-out 구성



<탈곡시스템 동력전달관계>

- a. 탈곡시스템의 구동은 탈곡기어케이스에 의해 상부, 하부 크게 2 section으로 나누어짐. 최초의 동력은 엔진폴리에서 벨트 구동에 의해 직접 탈곡기어케이스로 전달되며 탈곡기어케이스에서 상·하단으로 동력 분배가 이루어짐.
 - b. 탈곡통 회전은 엔진폴리에서 전달받은 동력을 탈곡기어케이스가 전달받고 벨트 3가닥에 의해 탈곡통 구동 폴리를 회전시키며 동력 전달이 진행됨. 한편 1번, 2번 구동폴리는 동일하게 엔진폴리에서 입력된 동력으로 탈곡기어케이스 내부 기어 구동을 통해 탈곡기어케이스 폴리가 회전하고 벨트 연결에 의해 1번 구동, 2번 구동폴리가 순차적으로 동력전달이 진행됨.
- 상단 : 엔진폴리 → 탈곡기어케이스 → 탈곡통 구동폴리 → 탈곡통 회전
 - 하단 : 엔진폴리 → 탈곡기어케이스 → 1번 구동폴리 → 2번 구동폴리

B. 탈곡부하 계측 위치 선정



<탈곡시스템 2번 구동부 조합 Lay-out>

- a. 상기 내용과 같이 탈곡시스템 회전의 경우 엔진폴리에서 탈곡기어케이스로 전달받으며 상하부로 기어케이스에 의해 동력분배가 이루어짐. 이로 인해 엔진 출력은 정상적으로 입력이 이루어지지만 탈곡부에 부하가 조성되면 출력이 이루어져야하는 탈곡통 구동폴리와 1, 2번 구동폴리의 벨트 슬립으로 인한 회전수 저하가 초래됨.
- b. 따라서 본 연구에서는 종래 막힘이 잦은 빈도로 발생하는 2번 구동부의 회전수를 계측하고 부하 조성 시 벨트 슬립으로 인한 출력부 폴리 회전수 저하를 근거로 탈곡부하를 계측함.
- c. 탈곡부 부하 계측은 그림 66과 같이 탈곡 2번 세로나선 끝단부에 접촉식 회전센서를 활용하였음. 추가적으로 회전센서를 컨트롤러에 연동시켜 하기 조건에서 사용자에게 알람이 가능하도록 구성하였음.
 - 조건 : 탈곡 S/W ON, 엔진 500RPM이상, 2번 회전센서의 회전수가 1033RPM(70Hz)이하로 2초 이상 유지 될 경우 → 해당 조건 탈곡부 막힘으로 인지
 - 동작 : 2번램프 점멸. (ON:300msec, OFF:200msec) 전방부저 단속. (ON:70msec, OFF:270msec)
- d. 향후 자율주행 기대 연동하여 탈곡부하 감지 시 차속제어 및 탈곡부 부하 해소기능(채프 열림, 송진열림, 풍구속도(강) 등)연쇄 동작 기능 추가 검토 예정.

(5) 1차 Pilot 기대 제작 및 공인인증시험

가) 1차 Pilot 기대 제작

ㄱ. 1차 Pilot 기대 조립



<1차 Pilot 기대 제작>

- A. 1차 Pilot 기대 제작은 2021년 08월 16일부터 동년 9월 3일까지 3주가량 진행하여 완성하였음. 제작 이후 기대 최종검사, 튜닝, 프로그래밍 등 후속작업 완료는 9월 17일까지 완료하여 필드 시험을 준비하였음.

ㄴ. 1차 Pilot 기대 완성



<1차 Pilot 기대 제작 사진>

나) 차량 공인인증시험(기술지도검증)

ㄱ. 정도시험 및 작업능률시험



<작업능률 및 정도시험 사진>

ㄴ. 시험 방법

A. 작업능률 시험 방법

(* 농업기계 검정 및 안전관리 세부 실시요령-제 4조 검장방법 및 기준)

a. 공시 포장면적 작업소요시간 측정하여 하기의 식에 의거, 포장작업능률 산출

$$D = A/T \times 60$$

여기서 D : 포장작업능률(a/h)

T : 작업시간 (min)

A : 작업면적 (a)

(단, 곡물배출시간을 포함하되 배출하기 위해 이동하는 시간은 제외하여 산출)

B. 정도시험 방법(곡물손실을)

a. 엔진을 정격회전수로 조정하여 3단계의 작업단수(표준, 최저, 최고)로 각각 3반복 측정하여 다음 식에 의하여 산출.

- 예취손실립비 : $L_h = G_h/G_t \times 100$
- 탈곡선별 손실립비 : $L_t = (G_u + G_s + G_c)/G_t \times 100$
- 곡립구중의 손상립비 : $L_d = G_d/(G_d + G_g + p)/G_d \times 100$
- 곡립구중의 협잡물비 : $L_k = P/(G_g + G_d + p) \times 100$
- 곡립손실립비 : $L = L_h + L_t$
- 곡립구중 손상립 이외의 곡립비 : L_g (%), $L_g = G_g/(G_d + G_g + P) \times 100$
- 미탈곡립비 : L_u (%) = $G_u/(G_t - G_h) \times 100$
- 비산손실립비 : L_s (%) = $G_s/(G_t - G_h) \times 100$
- 배진구 손실립비 : L_c (%) = $G_c/(G_t - G_h) \times 100$

여기서 $G_t : G_h + G_u + G_s + G_c + G_g + G_d$

G_h : 예취손실립 중량 (g)

G_u : 미탈곡립 중량 (g)

G_s : 비산손실립 중량 (g)

G_c : 배진구 손실립 중량 (g)

G_g : 곡립구중 손상립, 협잡물 이외 곡립중량 (g)

G_d : 곡립구중의 손상립 중량(g)

P : 곡립구중의 협잡물 중량 (g)

단, G_g , G_d , P 는 곡립구 곡립중에서 300g을 무작위로 채취하여 각각의 구성비를 조사한 후 전체로 환산한 중량으로 한다.

㉒. 시험 결과

A. 해당연도 정량적 성능 목표 만족 (상세내용 공인인증성적서 참조)

다) 수확량 모니터링 공인인증시험

㉑. 수확량 모니터링 공인인증시험



<수확량 모니터링 공인인증시험>

ㄴ. 시험 방법

- A. 곡물을 유입시키는 곡물유입시험기 상단에 로드셀을 장착하여 곡물탱크의 입구로 분사되는 곡물을 유입 전 중량을 측정하고 곡물을 탱크 내부 유입시켰을 때, 탱크 하단의 로드셀로부터 측정된 중량을 비교하여 실 중량과 정확도를 확인하여 검증

ㄷ. 시험 결과

- A. 해당연도 정량적 성능 목표 만족 (상세내용 공인인증성적서 참조)

[3차년도]

(1) 자율주행 작업 연동 차량 제어시스템 개발

가) 자율주행 대응형 예취시스템 개발

ㄱ. 예취 속도 가변제어 기술 개발

A. 차량용 예취 시스템 개선

a. 1차 개발 사양 부적합부 반영 시스템 개선

- 예취구동 HST 오일 누유 개선

- 현상 및 문제점 : Proto 필드 시험 중 HST 입력축 커버부 오일누유 현상이 발견되었으며 아래 사진과 같이 펌프 입력축 커버부에서 누유가 발생하는 것을 확인함.



<예취구동 HST 누유 부위>

- 원인조사 결과 : 예취구동 HST 분해조사결과 펌프측 오일씰 립부에 손상을 확인하였으며 오일씰 조립 시 입력축 키홈부위 burr에 의한 손상으로 확인됨.

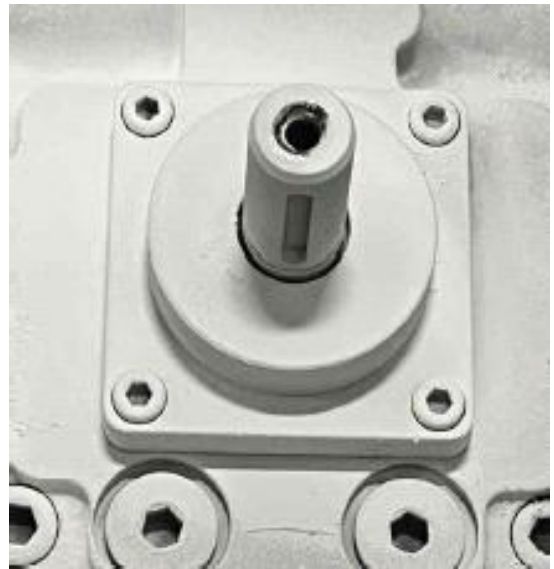


<오일씰 손상 부위>

- 개선방안 : 오일씰 손상 방지용 조립 치구 제작하여 조립/분해 반복 시험 후 이상없음을 확인하였으며 1차 PILOT 차량에 탑재하여 실차내구시험을 통해 오일누유가 미발생하였음을 확인함.



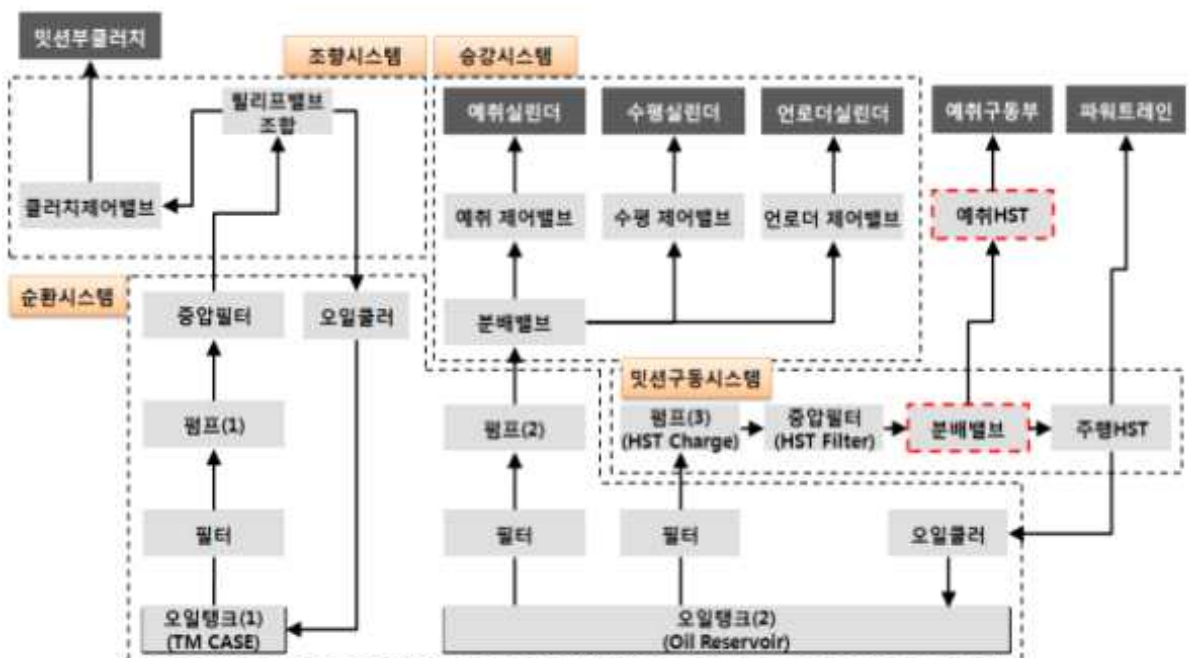
<오일씰 손상 방지용 조립 치구>



<내구 후 오일누유부 확인 사진>

b. 예취 가변 제어 개선 시스템 개발

- 벤치마킹 검토 결과 예취구동 HST의 개발컨셉에서, 예취구동용HST는 Trunnion type으로 하였고 공간적인 제약과 배관추가에 의한 재료비 상승을 억제하기 위해 분배밸브를 활용하여 개발 추진하였으며, 기본 유압시스템은 대동 6조 모델과 Power Flow를 동일하게 개발하였음.



<유압 Power Flow>

벤치마킹 모델 중 최근에 개발된 K(社) ZR모델을 참조하여 기본 Spec.은 동일하나 내부 로터리부는 기존에 개발되어있던 23cc/rev 공용화하였고 메인케이싱부 소재는 단방향 제어 및 입출력구조가 상이하어 신규로 개발하였다. 이론토크 검토 결과 K(社)의 성능과 비교하여 아래와 같이 용량을 선정하였음.

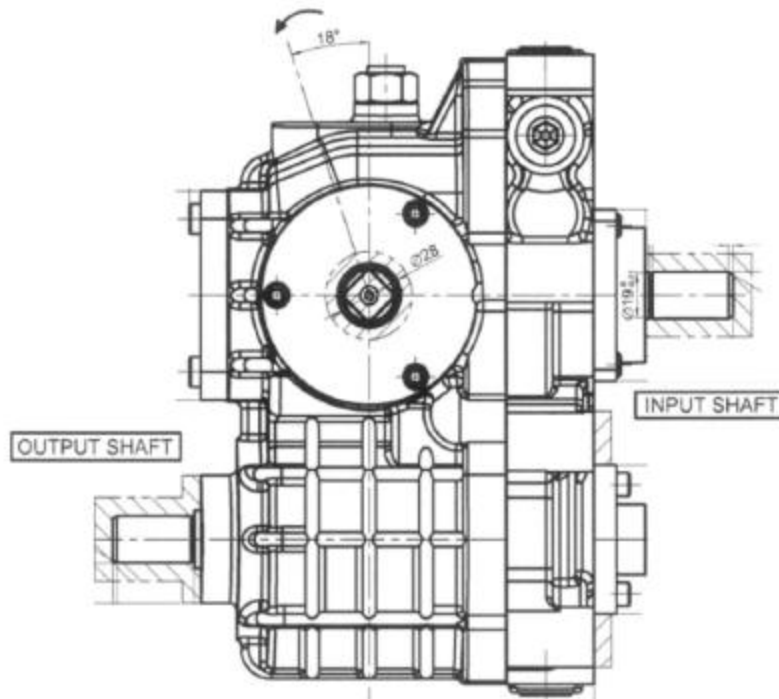
구 분	K(社)	대동
용량(cc/rev)	20	23
릴리프압력(kgf/cm ²)	350	300
전효율	0.7	0.7
토크(kgf·m)	9.4	9.2

<예취구동 HST 주요사양비교>

B. 차량용 예취 시스템 개선

a. 개선시스템 기본 작동성능 및 제어성능 평가 검증

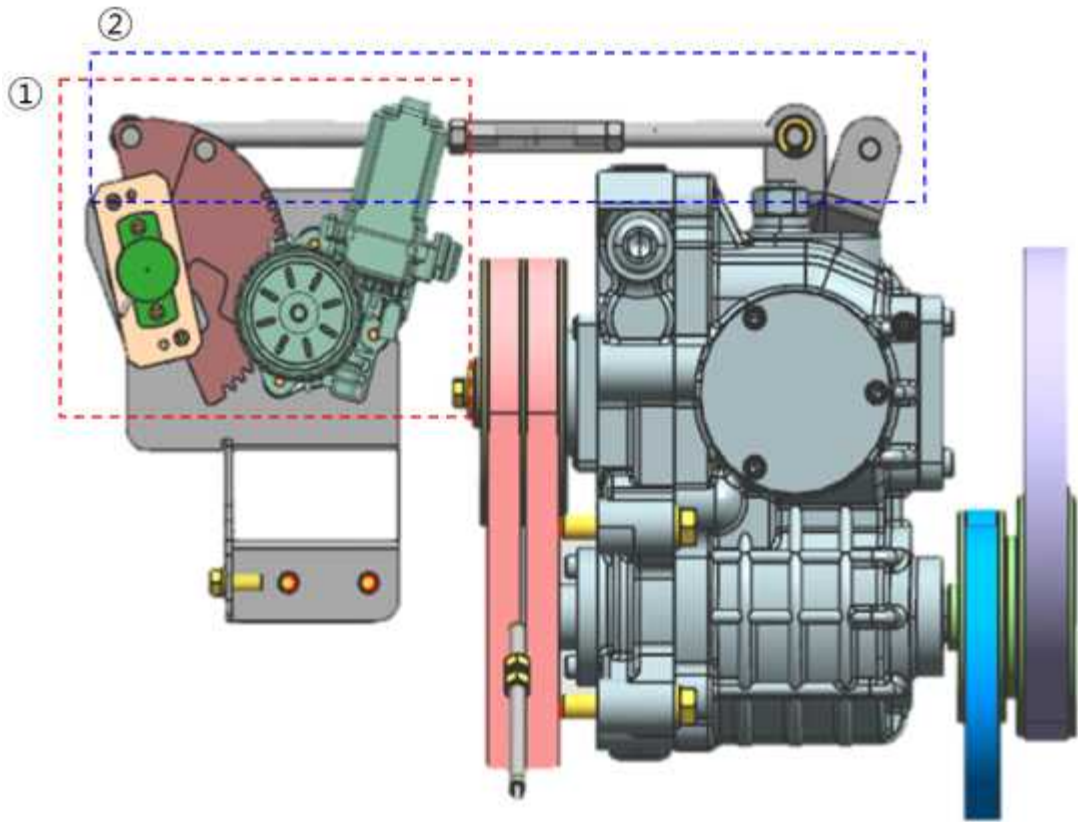
- 예취 HST 작동부 Lay-out
- 예취 HST 작동범위



<예취구동 HST 작동각도 Lay-out>

예취 HST의 입력은 후면의 축의 동작되는 각도에 따라 입력이 이루어짐. INPUT SHAFT로 입력된 동력이 사판의 각도에 따라 출력을 발생시켜 OUTPUT SHAFT로 전달하며, 사판은 0도 ~ 18도의 범위에서 동작함. 0도는 사판의 중립위치로 INPUT 동력이 OUTPUT으로 전달되지 않는 상태를 말하고, 18도는 설정된 예취속도의 최대 동력으로 운임되는 방식으로 Lay-out이 구성됨.

- 예취 HST 동작 기구



<예취구동 HST 동작기구>

예취 HST의 사판입력은 상기 Lay-out과 같이 모터조합과 링크기구에 의해 동작을 진행 하였음. 모터조합(①)이 설정된 AD 중립값과 최대값, 즉 0도 ~ 18도 범위를 동작하고 모터조합에 연결된 링크기구(②)의 동작에 따라 사판에 외력을 인가하는 방식임.

해당 방식으로 HST 중립값을 설정하고 사용 동작의 기본적인 테스트를 진행하였음. 초기 세팅이후 동작성은 문제가 발생되지 않았지만 초기 세팅에서 에러사항이 발생됨.

- 예취 HST 동작 기구 문제

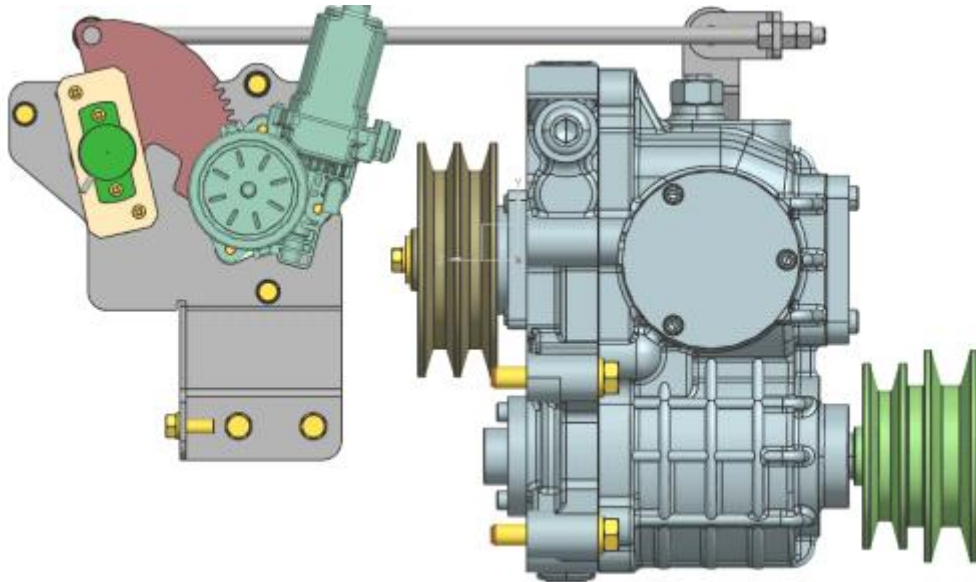
예취 HST 동작을 위한 모터조합 및 링크 구조 기구는 동작 및 기능적인 부분에 하자는 발생하지 않음. 하지만 조절 및 세팅에 있어 하기와 같은 문제가 발생하여 구조적인 개선작업을 진행함.

- I. 예취부의 탈거가 이루어지지 않은 상태에서 링크 중앙의 턴버클 조립성 난이
- II. 모터조합의 포텐셜미터에서 중립 및 최대값으로 모터가 동작하는데 그때 링크의 길이가 맞춤되어 장착되어야 하기 때문에 예취가 인가되지 않은 상태에서 조정하려면 작업상 위험 및 사고가 발생 할 우려가 있음.
- III. 링크 구조상 끼임 발생으로 인한 간헐적 예취 동작 불가 현상 발생

- 예취 HST 작동부 개선

- 예취 HST 작동부 구조 개선

상기 세가지 정비 및 조립세팅의 문제로 인해 예취 HST 작동 구조를 하기와 같이 개선 진행함.



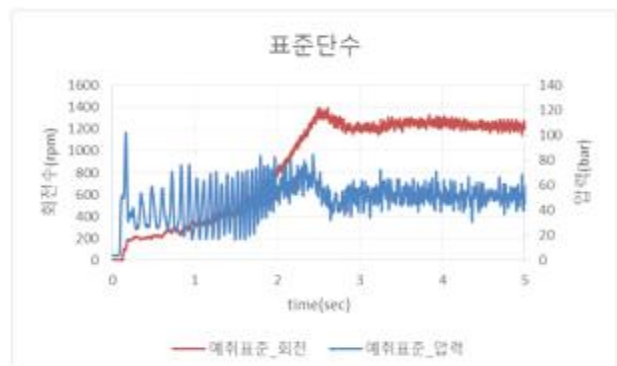
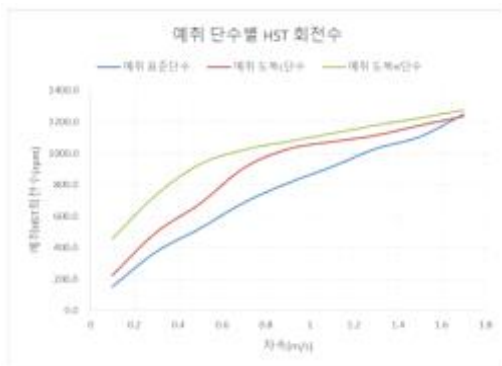
<예취구동 HST 동작기구>

상기 구조는 조정 및 세팅에 용이한 구조로 기대 좌측에서 별도의 분해 없이 링크길이를 조절 할 수 있는 구조를 적용함.

- 예취 HST 제어 성능 평가

- 개선 시스템 작동성능 및 제어성능 평가 검증

필드시험 시 예취구동 시스템은 원활하고 안정적으로 작동하였으며 예취구동 시 예취폴리 최대회전수 1,205rpm, 표준단수에서 HST압력은 피크치 약110bar, 평균치 약 60bar 수준으로 HST용량과 릴리프압력은 충분한 것으로 판단되었음. 또한 하곡 필드 작업시간 3시간30분 경과 후 유온은 평균치 약85℃로 오일온도는 안정적으로 유지되었고 작업 시 특이사항이 없음을 확인하였음.



<필드시험 시 변속단수별 예취폴리 회전수 및 표준단수 예취HST메인 압력>



<하곡 필드시험 시간별 유온>

실차내구시험 결과 : 예취구동용 HST 성능 검증을 위해 실차내구를 250hr 진행하였고 내구완료 후 누유 및 성능, 부품 마모상태 및 치수 확인 결과는 아래와 같음.

- 내구성능 평가

<내구 전/후 효율 비교(3,000rpm, 유온 50 °C기준)>

사판경전방향		α방향 (전진)				
유효압력(kgf/cm ²)		무부하	150	180	210	240
용적 효율	내구성 전	95.6%	94.0%	92.5%	91.2%	89.1%
	내구성 후	94.0%	92.3%	91.0%	89.6%	87.7%
	변화량	-1.6%	-1.7%	-1.5%	-1.6%	-1.4%
기계 효율	내구성 전	70.4%	73.5%	75.6%	77.4%	78.0%
	내구성 후	72.5%	75.4%	76.9%	79.1%	81.6%
	변화량	2.1%	1.9%	1.3%	1.7%	3.6%
전효율	내구성 전	67.3%	69.1%	69.9%	70.6%	69.5%
	내구성 후	68.2%	69.6%	70.0%	70.9%	71.5%
	변화량	0.9%	0.5%	0.1%	0.3%	2.0%

<내구 후 분해조사 결과>

NO.	항 목	확인부	상태	내 용
1	PISTON	슬라이드면	양호	이상마모 없음.
2	CYLINDER BLOCK (P)	슬라이드면	양호	이상마모 없음.
3	CYLINDER BLOCK (M)	슬라이드면	양호	이상마모 없음.
4	V/V PLATE(P)	마찰면	양호	이상마모 없음.
5	V/V PLATE(M)	마찰면	양호	이상마모 없음.
6	SHAFT(P)	마찰면	양호	이상마모 없음.
7	SHAFT(M)	마찰면	양호	이상마모 없음.
8	SWASH PLATE	마찰면	양호	이상마모 없음.
9	SHOE PLATE	마찰면	양호	이상마모 없음.
10	COVER (P)	오일실조립부	양호	이상마모 없음.

내구 후 분해조사 결과, Proto 필드시험 시 오일누유 발생되었던 오일실 손상이 발생되지 않음을 확인하였음.



구 분		1	2	3	4	5	6	7	8	9
내구성 전	PUMP속	0.69	0.65	0.66	0.64	0.70	0.71	0.61	0.66	0.64
	MOTOR속	0.70	0.71	0.73	0.69	0.73	0.77	0.70	0.71	0.73
내구성 후	PUMP속	0.61	0.60	0.65	0.64	0.60	0.62	0.64	0.60	0.66
	MOTOR속	0.66	0.64	0.60	0.64	0.60	0.66	0.61	0.60	0.67

<내구후 실린더블록 사진 및 조도측정 데이터>

실린더블록 홀내경 합격기준 : 내구 후 조도 변화량 1.0 이내



구 분		1	2	3	4	5	6	7	8	9
내구성 전	PUMP속	0.09	0.09	0.11	0.12	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09
	MOTOR속	0.08	0.08	0.09	0.05	0.09	0.10	0.10	0.11	0.10
내구성 후	PUMP속	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03
	MOTOR속	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03

<내구후 피스톤 사진 및 조도측정 데이터>

피스톤 외경 합격기준 : 내구 후 조도 변화량 0.10 이내



구 분		1
내구성 전	PUMP측	5.01
	MOTOR측	5.01
내구성 후	PUMP측	5.00
	MOTOR측	5.00

<내구후 밸브플레이트 PUMP, MOTOR 사진 및 두께 치수 측정 데이터>

밸브플레이트 두께 치수 합격기준 : 내구 후 두께치수 변화량 0.10 이내



구 분		전
내구성 전	PUMP측	3.996
	MOTOR측	3.995
내구성 후	PUMP측	3.988
	MOTOR측	3.989

<내구후 슈플레이트 PUMP, MOTOR 사진 및 두께 치수 측정 데이터>

슈플레이트 두께 치수 합격기준 : 내구 후 두께치수 변화량 0.01 이내



<내구후 축 PUMP, MOTOR 사진>

축 오일씰부 합격기준 : 누유없을 것.(누유없음)



<내구후 스와시플레이트 사진>

스와시플레이트 오일씰부 합격기준 : 누유없을 것.(누유없음)



<내구후 COVER (P) 오일씰 사진>

COVER (P) 오일씰부 합격기준 : 누유없을 것.(누유없음)

- 내구 전, 후 릴리프밸브 오버라이드 그래프 분석

내구전 세팅압력 309.9 kgf/cm²@30lpm에서 내구 후 측정값은 304.26kgf/cm²@30lpm으로 약1.8% 감소하였으나 내구후 성능기준 10%이내를 만족하였음.

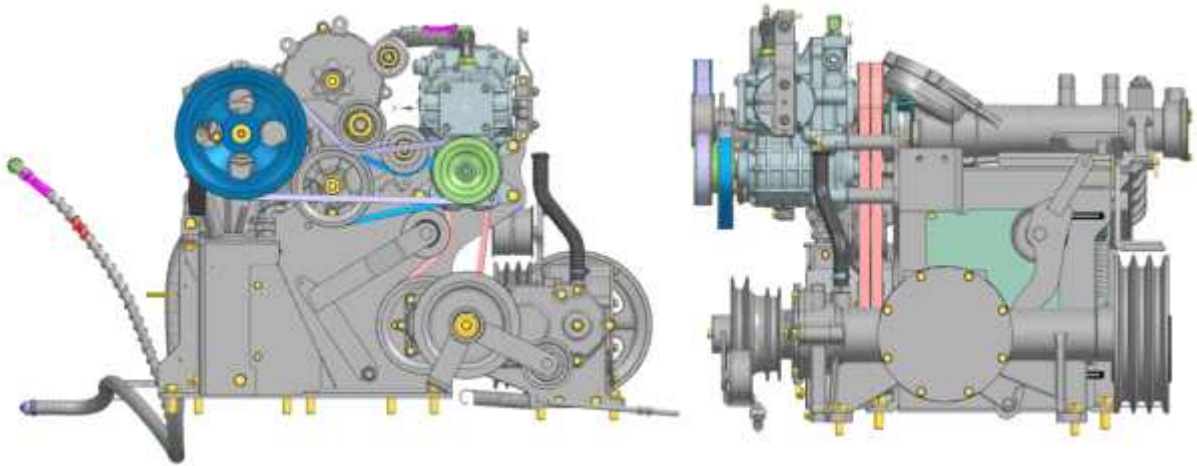


<내구전, 후 릴리프밸브 오버라이드 그래프>

C. HST 본기 탑재부 2차 개선 및 현장평가

a. HST 탑재부 개선

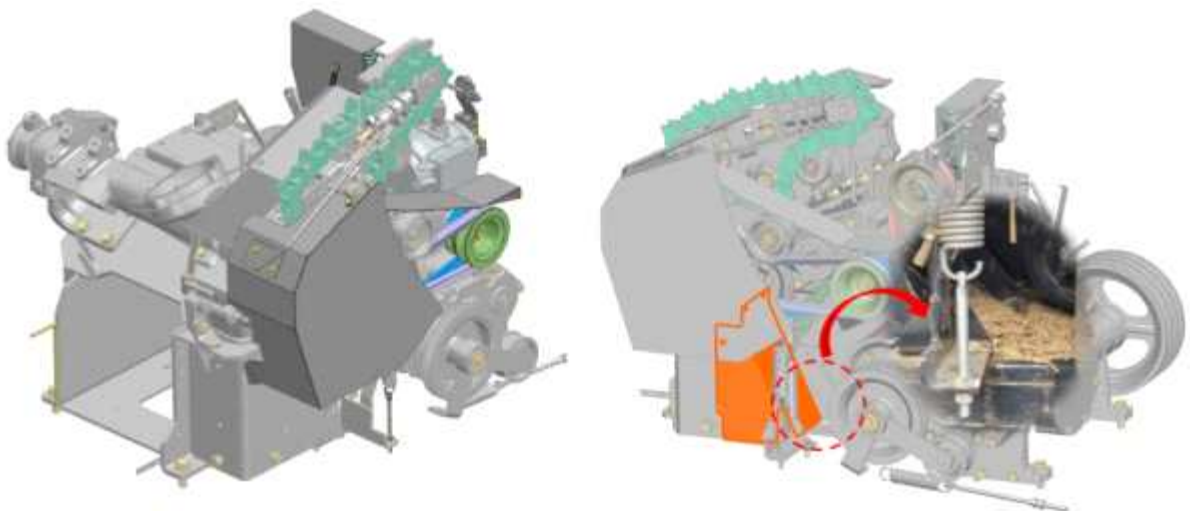
- 예취 HST 탑재부 사양확정



<예취 HST 탑재부>

- 예취 HST 탑재부는 예취 동력의 인가, 인계를 고려하여 예취지지부 후단에 구성하였음. 정비성과 Lay-out상 유리한 부분을 유지하기 위해 기대 좌측편에 외팔보형태로 구성되었으며, 동력은 탈곡기어케이스에서 전달받아 예취부 및 보조반송장치로 동력분배가 이루어지도록 벨트라인도 구성하였음. 또한 사판을 동작하기 위한 모터조합 및 링크기구의 동작 간 간섭이 없도록 구성되었으며, 간단한 정비 사전조치를 통해 예취 HST 탈거 용이한 구조를 구성하여 정비성을 확보함.

- 예취 HST 주변부 커버 구성



<예취 HST 주변 커버류>

- 주변 구동풀리와 벨트 보호 및 사용자 안전보호를 위한 커버류를 구성하였고, 필드시험에서 문제가 된 검불 및 이물질 적층을 해소하고자 경사 덮판구조를 적용함.

나) 예취 높이 지능제어 시스템 개선개발 및 평가

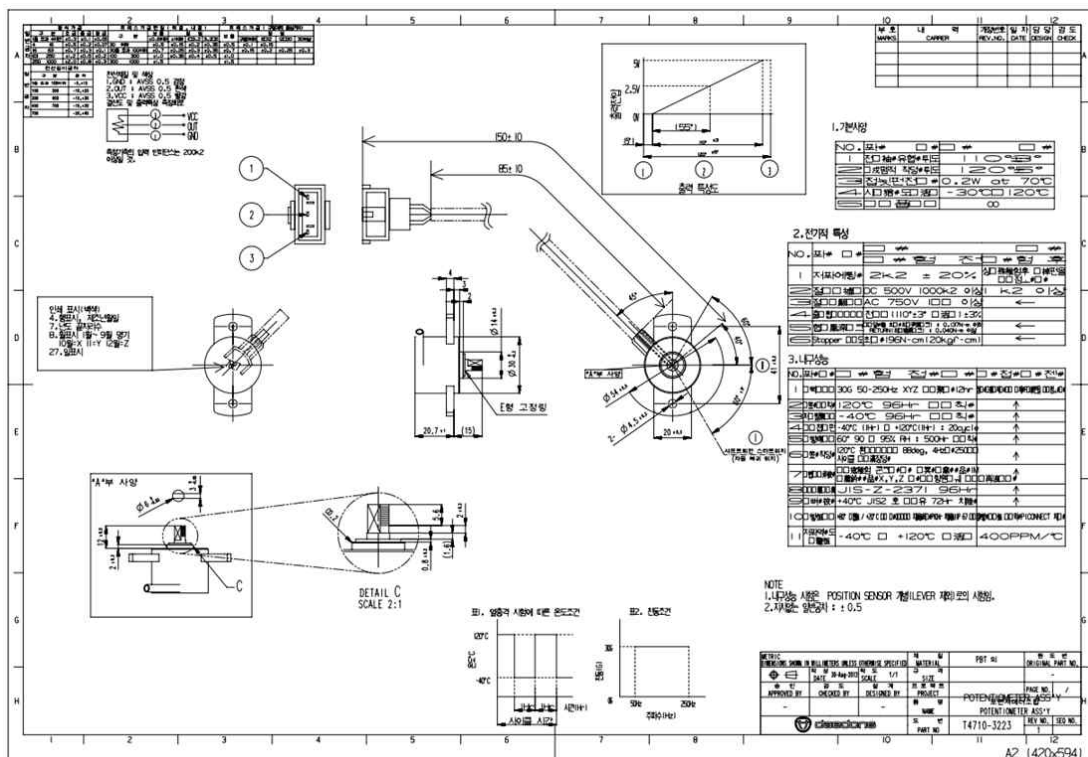
ㄱ. 예취 높이 지능제어 시스템 센서/배선/제어기 사양 결정

A. 센서/배선/제어기 사양 결정

a. 예취높이제어 센서 : 포텐셜메터

• 내환경성 시험 항목

- 내진성 : 30G, 50~250Hz, XYZ 각방향 12hr 후 성능에 이상이 없을 것
- 고온방치 : 120°C, 96Hr 방치 후 성능에 이상이 없을 것
- 저온방치 : -40°C, 96Hr 방치 후 성능에 이상이 없을 것
- 열충격 : -40°C(1Hr)~+120°C(1Hr), 20cycle 반복 후 성능에 이상이 없을 것
- 내습성 : 60°C, 90~95% 500Hr 방치후 성능에 이상이 없을 것
- 고온작동 : 120°C 환경에서 88deg, 4Hz로 250만 사이클 연속작동 후 성능에 이상이 없을 것
- 내충격성 : 콘크리트 바닥면에서 1M 높이에서 X,Y,Z 각 방향으로 떨어뜨린 후 성능에 이상이 없을 것
- 내유성 : +40°C, JIS2 호 경유 72Hr 침지후 성능에 이상이 없을 것
- 내수성 : +80°C 온수/ +20°C 물 각 30분씩 침수하여 10Hr 침수 (IP67만족) 후 성능에 이상이 없을 것
- 저항온도계수 : -40°C~+120°C 범위에서 400PPM/°C 만족할 것



<포텐셜메터 승인도>

- 해당 사양에 관한 승인도 접수를 통해 부품 품질 수준 관리 예정

b. 배선 : Hardwire

• 내환경성 시험 항목

- 내구성 : 400시간 이상 실차내구시험 후 배선에 손상이 없을 것

c. 제어기 : 예취컨트롤러

• 내환경성 시험 항목

- 방수성 : KSR0015의 S2를 만족할 것

- 이상전압 : 정격 전압의 13-%에서 48시간 작동시 성능에 이상이 없을 것.

- 내온도성 : KSR0016의 5종을 만족할 것

- 내진성 : 진동주파수 33Hz, 진동가속도 29.4m/s²(3G)로 상하 4시간, 좌우 2시간, 전후 2시간을 행하고 기본제어 항목을 만족할 것

- 내한성 : KSC0220에 준할 것

- 서지시험 : JASO D 001-94의 A-1에 준할 것

- 내고온방치성 : 주위온도 80°C,72시간 방치후 상온에서 작동시 기본 성능을 만족할것

- 서지시험 : JASO D 001-94의 A-1에 준할 것

- 해당 사양에 관한 승인도 접수를 통해 부품 품질 수준 관리 예정

L. 예취높이 지능제어 S/W Calibration, H/W 최종 사양 개선 평가

a. S/W Calibration

• 기존 S/W 반응속도 문제로 인해 필드에서 작업시간이 진행될수록 예취부 상승 또는 하강 시 헛팅하는 문제로 흙 및 짚 끼임이 과다한 현상이 발생하여 S/W에서 현재 지면 센서 값과 목표볼륨 전압값에 따라 Duty를 79~87%로 조절하여 상승하도록 변경하고, 조작부 볼륨값에 따른 선형적인 예취 높이 구현이 가능하도록 개선진행



<예취높이 볼륨 위치에 따른 베타 그루터기 높이 data>



<예취높이 볼륨 위치에 따른 벼 그루터기 높이>

b. H/W 변경 및 개선사항

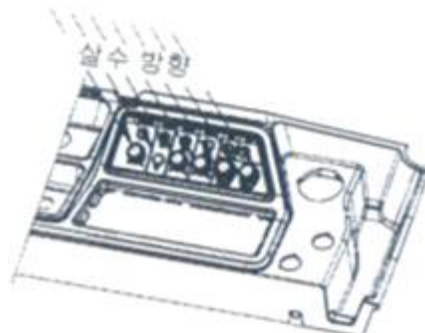
- 흙 및 짚 끼임이 과도한 현상이 발생함에 따라 예취높이센서에 연결된 배선 중 외부에 노출된 구간이 손상되는 문제가 있어서 스프링을 추가하여 연결배선을 외부충격으로부터 보호하는 방식으로 수정되었음. 별도로 케이스 상부의 물 유입 가능성을 고려하여 KS R 0015, R1에 따라 내수시험을 실시하여 신뢰성을 확보하는 방향으로 개선 진행.



<개선 전>



<개선 후>



<조작부 살수시험>

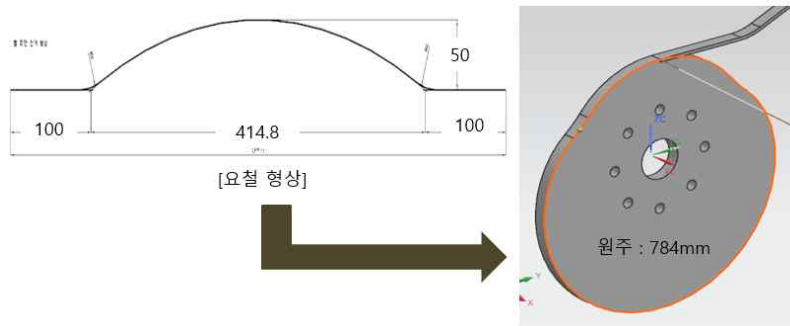
ㄴ. 예취높이 지능제어 신뢰성 시험평가

a. 시험장비

- 예취높이 지능제어 정차상태에서 시험평가 하기 위해 신뢰성 시험을 위해 시험장치를 하기와 같이 구성하였음. 또한 지면이 요철이나 굴곡을 넘어가는 부분에서 센싱값의 변화와 정합성을 확인해야하기 때문에 센서를 터치하는 요철의 형상을 아래와 같이 구성함.



<예취지능제어 신뢰성 평가 벤치시험>



<벤치시험기 요철의 형상>

b. 신뢰성 평가

• 기본 성능 시험평가

- 시험방법 : 실작업과 같이 주행조건을 통해 기본성능 평가를 진행함.

• 보증시간 시험평가

- 시험방법 : 사용시간 대비 보증시간을 수치화하여 시험 목표를 하기와 같이 구성

- 5년 1,080hr
 - 300hr/년
 - 유효 작업 90% = 270hr/년
 - 예취 작동 시간 80% = 216hr/년

- 1200평 작업시간
 - 25m x 1,080hr = 27,006m
 - 35m 직진 작업시 센서 작동 거리 400mm(11.4mm/m 구보다 BM)
 - 1200평 작업시 이동 거리 2,188m (1hr 소요)
 - 1200평 작업시 센서 작동 거리 11.4mm/mx2188m = 25m



- 신뢰수준 80%(빈도5, 심각도 5)
- 샘플수 2ea(좌우 각 1ea)
- 신뢰도 80%
- 형상 모수 2

$$t_n = 27,006 \times \left\{ \frac{\ln(1-0.8)}{2 \times \ln(1-0.2)} \right\}^{\frac{1}{2}} = 51,285m$$

- 작동 거리에 대한 가속 불가
- 무고장 시험 시간(거리) 기준 51,285m 검증

<신뢰성평가 목표 산출>

c. 신뢰성 평가 시험결과

• 기본 성능 시험 결과

기본 성능 평가 결과 그루터기 높이 측정을 통해 볼륨별 제어 정도를 확인하였고, 양호하게 나타남. 단, 제어 중 예취 승하강 시 작은 충격 발생하여 추가 튜닝 필요 할 것으로 판단됨.

볼륨 최저	볼륨 50%	볼륨최고
60~70mm	70~80mm	120~140mm

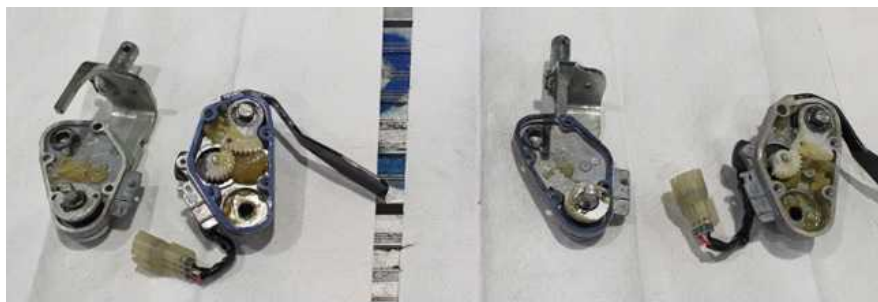
• 제어 속도 평가 (예취 실린더 작동 속도)

예취 승하강 속도가 선진사 대비 높게 나타나는 것을 확인하였고, 속도차이로 인해 기본 성능시험에서 충격이 발생한 것으로 판단됨.

구분	상승	하강
개발콤바인	250~300mm/s	250~300mm/s
K사 콤바인(선진사)	140~220mm/s	100~140mm/s

• 보증시간 시험평가

- 좌우 샘플 각각에 대해 51,285m 작동시험 완료
- 신뢰성 평가 전후 성능 결과 변화 없음
- 시험 중 누유 및 오작동 등 특이사항 없으며, 완료 후 분해 조사 결과 또한 특이사항 없음.



<신뢰성평가 분해조사>



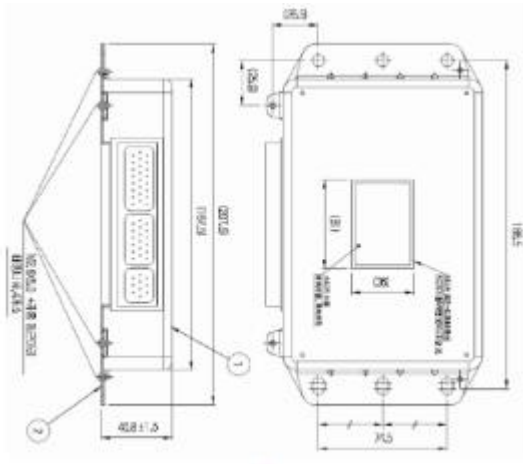
<신뢰성평가 분해조사,샘플1/샘플2>

다) 부하감응형 차속제어 기술 개발

ㄱ. 부하감응형 차속제어 전장시스템 개발

A. 부하감응형 차속제어 컨트롤러 개선 개발

a. 컨트롤러 시제품 개선 개발 및 제작



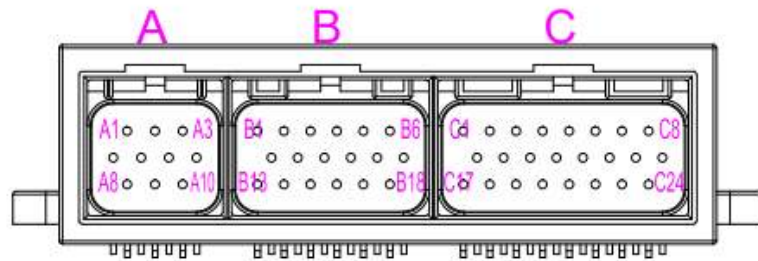
<차속제어 컨트롤러 하드웨어 구성>

차속제어 컨트롤러 구성 및 포트, 케이스 고정타입은 상기와 같이 사양 확정하였음.

<차속제어 컨트롤러 입출력 구성 사양>

커넥터 구분	핀번호	기능설명	커넥터 구분	핀번호	기능설명
A	1	예비 SW 13(-)입력	B	17	주차브레이크 SW(+입력
A	2	예취H/L 스위치(-)입력	B	18	예비 SW 1(+ 입력
A	3	탈곡통 열림스위치	C	1	GND
A	4	탈곡통 닫힘 스위치	C	2	탈곡통 열림 릴레이
A	5	예비 SOL 1(+)	C	3	예취 HST 감소 릴레이
A	6	예비 SOL 2(+)	C	4	TXD2
A	7	HST 후진 SOL(+출력	C	5	MD2
A	8	예비 SOL 3(+출력	C	6	RES
A	9	예취HST모터속도출력	C	7	예취회전속도센서
A	10	SPARE SOL 5(+출력	C	8	5V출력(통신)
B	1	SPARE 2 (AD)	C	9	예취HST 증가 릴레이
B	2	SPARE SW 2(-) 입력	C	10	탈곡통1 락 릴레이
B	3	SPARE SW 3(-) 입력	C	11	예비 LAMP(-)
B	4	SPARE SW 4(-) 입력	C	12	RXD2
B	5	SPARE SW 5(-) 입력	C	13	FWE
B	6	CAN_H	C	14	SPARE SW 11(-) 입력

B	7	예취속도패달_(AD)	C	15	5V 출력(센서)
B	8	예비 SW 6(-) 입력	C	16	12V 전원
B	9	예비 SW 7(-) 입력	C	17	탈곡통 닫힘 릴레이
B	10	예비 SW 8(-) 입력	C	18	탈곡통1 풀림 릴레이
B	11	예비 SW 9(-) 입력	C	19	H/L SOL
B	12	CAN_N	C	20	예비 SOL 6(+)출력
B	13	예취회전 위치센서	C	21	탈곡통2 풀림 릴레이
B	14	예비 SW 10(-)입력	C	22	탈곡통2 락 릴레이
B	15	예비 SW 14(-)입력	C	23	예비 SW 12(-)입력
B	16	주변속 H/L 스위치(+)입력	C	24	HST전진 SOL(+)-출력

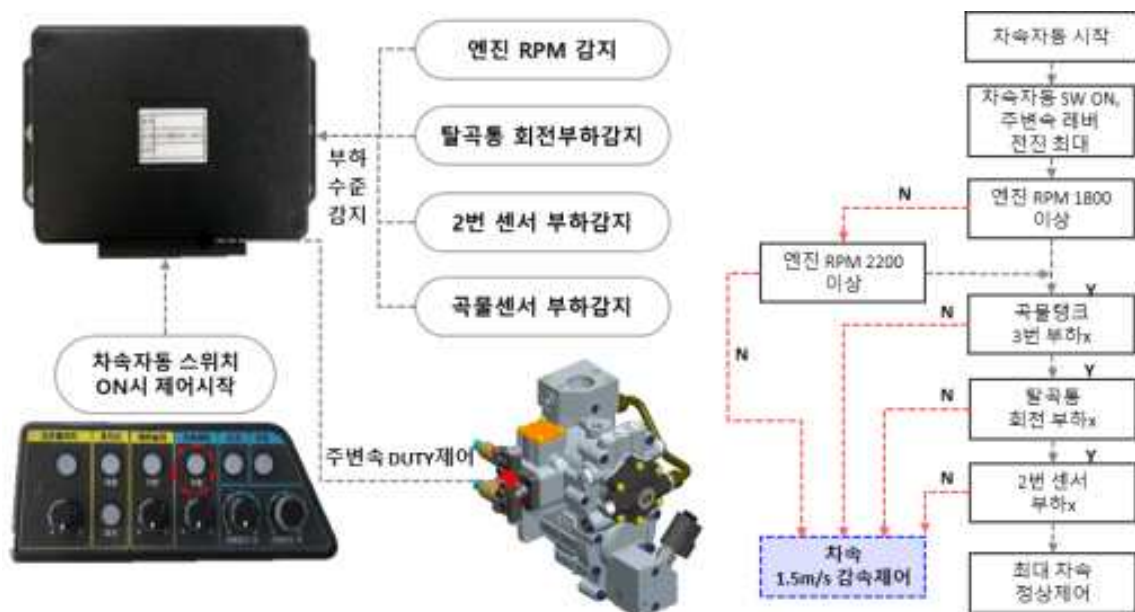


<차속제어 컨트롤러 커넥터 및 핀위치>

차속제어 컨트롤러 커넥터 핀번호별 수행기능을 구성하였고, 차속제어 컨트롤러에서는 주행 HST 및 예취 HST의 입출력과 탈곡통 열림 및 락킹, 주차브레이크에 관한 입출력 제어를 수행하도록 기능구성을 완료함.

b. 차량시험을 통한 알고리즘 수정 개발 및 적용

- 차속제어 알고리즘 사양



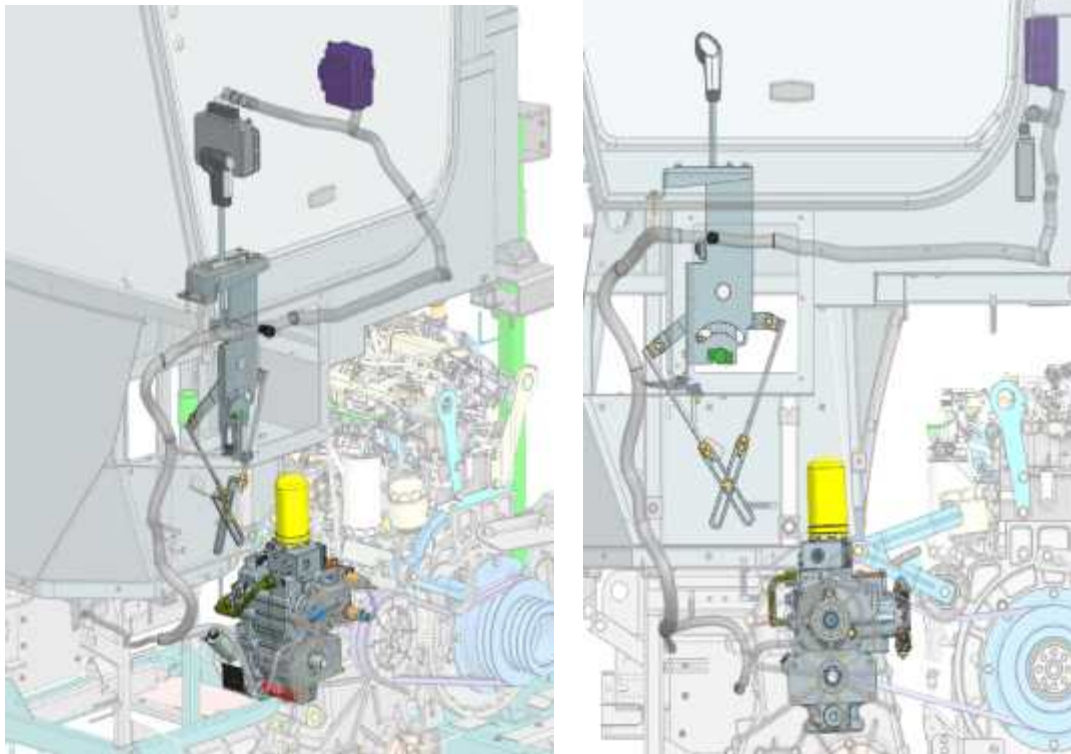
<차속제어 컨트롤러 수정 알고리즘>

차속자동제어는 기존 알고리즘 구성에서 각 부하를 센싱하는 부분의 기준값을 엔진 2200rpm이하, 2번 회전센서 1250이하, 탈곡통 회전수 420rpm이하, 곡물탱크 3번센서 알람의 조건 발생 시 차속을 1.9m/s에서 1.5m/s로 제어하는 컨셉으로 설정하였고, 계기판의 차속자동 스위치 on상태에서 구현되도록 알고리즘 수정을 진행함.

• 차속제어 동작조건

진입	해제
1. 조작부 버튼 입력 후 500ms 이후	2. 조작부 버튼 입력
일시정지조건	일시정지 해제 조건
1. 현재 주변속 레버 위치 ADC 값 2. 탈곡, 예취 SW OFF 3. 주변속 레버가 전방 방향이 아닐 경우 4. 주행일 경우	1. 현재 주변속 레버 위치 ADC 값 2. 탈곡, 예취 SW ON 3. 주변속 레버가 전방 방향이 아닐 경우 4. 주행일 경우
정상작동	
1. 현재 차속이 진입 차속의 -10% 보다 크고, 진입 차속의 +10% 보다 작을 때 (목표차속경우) 1-1. 부하 레벨이 3 이상일 경우 현재 출력 Rate에 -0.5% 적용(감속) 1-2. 500ms 대기 후 1-3-1. 부하 레벨이 3 미만일 경우 1. 번으로 이동 1-3-2. 부하 레벨이 3 이상일 경우 현재 출력 Rate에 -0.5% 적용(감속) 후 1-2. 번으로 이동 2. 현재 차속이 진입 차속 보다 낮을 경우 2-1. 현재 출력 Rate에 +0.3% 적용 (증속) 2-2. 500ms 대기 후 2-3-1. 부하 레벨이 3 미만일 경우 1. 번으로 이동 2-3-2. 부하 레벨이 3 이상일 경우 현재 출력 Rate에 -0.5% 적용(감속) 후 2-2. 번으로 이동	

- ㄴ. 부하감응형 차속제어 외장 시스템 개발
 - A. 부하감응형 차속제어시스템 본기부 개발
 - a. 차속제어 시스템 Lay-out



<주변속레버 동작원리>

기대 전후진은 주행 HST에서 관장하며, 주변속레버의 전후방향 동작을 레버 하부의 스트로크센서가 AD값을 센싱하고 주행컨트롤러를 통해 설정된 세팅값에 따른 출력을 HST 전자비례제어밸브 인가하여 솔레노이드 밸브의 DUTY변화를 통해 전후진 및 속도를 구현 할 수 있도록 구성하였음.

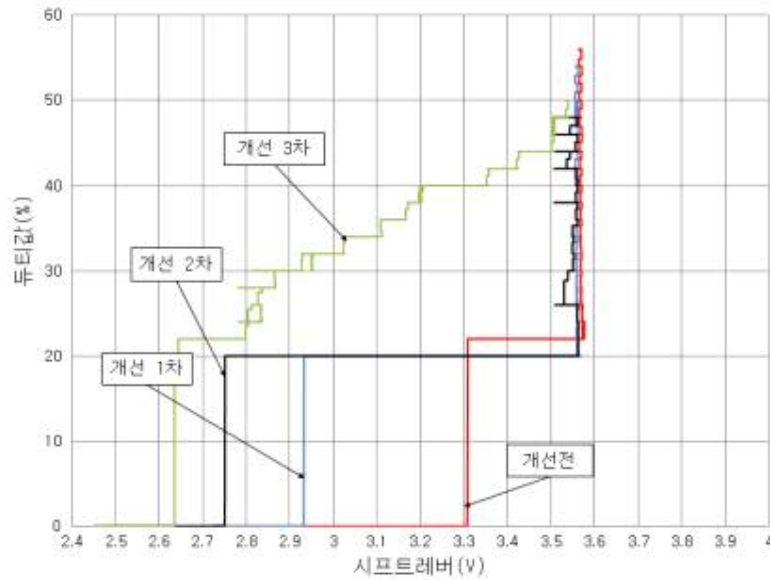
종래 콤바인의 경우 주변속레버와 HST 사판이 기계식으로 조립되어 레버의 움직임에 직접적으로 동작되어 고장모드가 단순하지만 전자비례제어방식의 전후진은 고장모드가 다소 복잡 할 수 있음. 하지만 기계식의 경우 주변속레버만의 동작으로는 속도 구현 폭이 협소하고, 주행속도(도복,표준,주행)변경을 위해 주변속을 별도로 조작해야하며 주변속 기어 변경을 하기 위해서는 정차후 변경해야하는 불편함이 있음. 그에 반해 전자비례제어식 HST는 전후진 속도 변환 가능 폭이 넓으며, 주행속도 구간 진입은 주행 중 버튼터치를 통해 HST 이속모터 ON/OFF신호를 통해 손쉽게 구현이 가능하다는 장점이 있음.

주변속 및 전자비례제어식 HST 구성을 통해 각 작업부 부하를 센싱하여 컨트롤러간 CAN통신을 통한 정보교반의 기반으로 차속제어 시스템 구현이 가능하도록 시스템 레이아웃을 형성함.

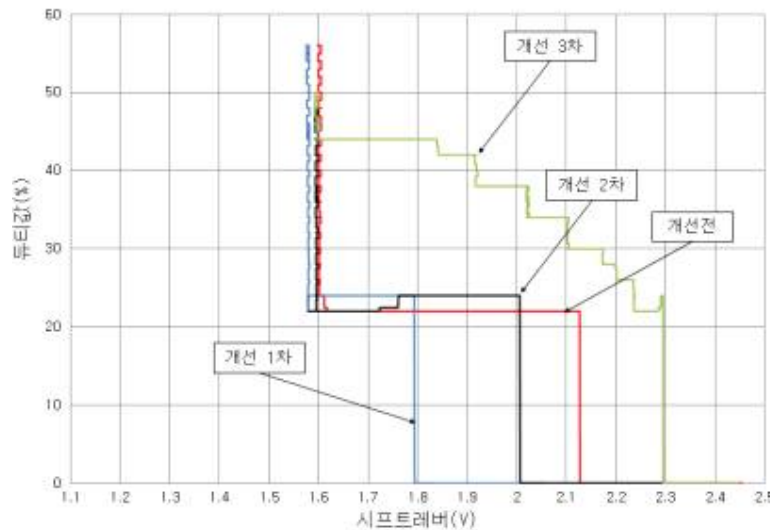
㉔. 부하감응형 차속제어 시스템 시험평가

A. 주변속레버 및 HST 성능 시험평가

a. 주변속레버 작동성 매칭 성능 테스트 및 튜닝



<전 · 후진레버 조작에 따른 전진 듀티 변화>



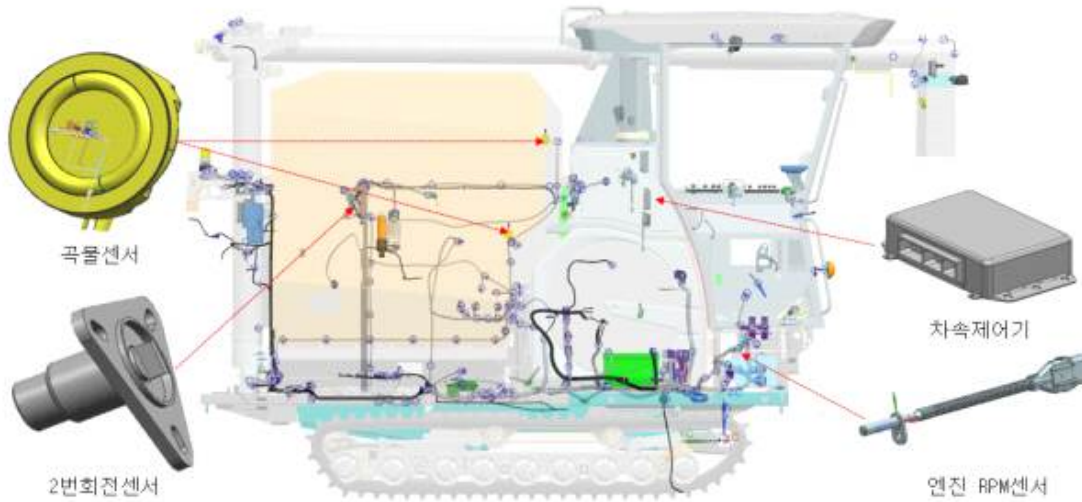
<전 · 후진레버 조작에 따른 후진 듀티 변화>

차량의 전·후진은 차량 내부 시프트레버(전·후진레버)의 전·후 동작을 통해 레버하단의 센서값을 기준으로 HST 펌프측 비례제어 솔레노이드 작동하여 HST펌프측 사판 동작하고 HST모터측 축 회전을 통해 전·후진 출력 생성됨. 개선 1,2차 시기에는 레버의 중립 및 데드밴드 구간 설정을 진행하였고, 개선 3차에서 레버의 동작에 따라 듀티값이 단계적으로 상승하도록 튜닝작업 진행함. 튜닝을 통해 레버의 전·후진 동작에 따라 HST펌프측 솔레노이드에 출력되는 DUTY값의 반응성 개선이 된 것을 확인 할 수 있음. 즉, 주변속레버의 동작에 따라 HST가 적절한 반응성을 가지고 정합성있는 모델로 매칭되어 기대의 전·후진 행위가 확인됨.

B. 부하감응형 차속제어 시스템 필드시험

a. 부하감지 센서 장착 및 구성

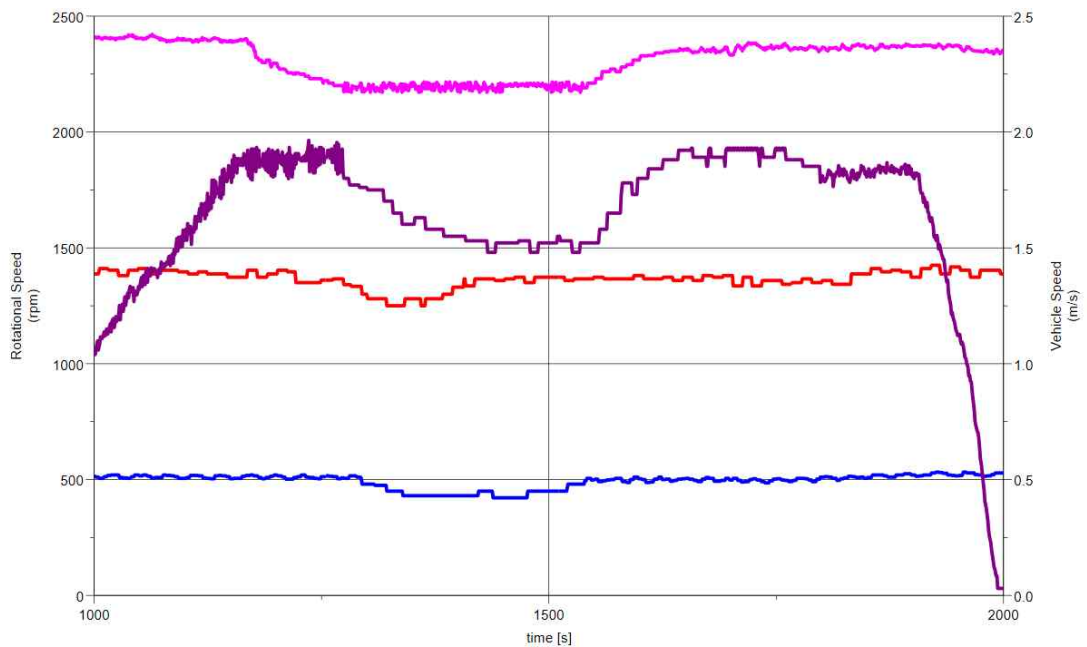
- 부하감지형 차속제어 센서 및 컨트롤러 장착부는 아래 그림과 같이 구성됨.



<부하감지형 차속제어 센서 및 컨트롤러 장착부>

b. 차속제어 필드시험

- 차속제어 필드시험 결과



<차속제어 시험결과>

차속제어 작동조건은 엔진RPM : 2,200이하, 2번회전센서 : 1,250이하, 탈곡통회전수 : 420이하, 탱크 완충량 3번 알람 시 제어하도록 설정하였고, 제어차속은 1.5m/s로 진행함. 차속제어 필드 시험간 수집된 데이터 결과는 상기 그래프와 같음. 시험결과 부하 발생시 로직에 따라 차속이 제어되는 경향은 확인되었지만, 실제 차속이 제어되는 과정과 원래 차속으로 복귀하는 과정에서 헛팅현상이 발생하는게 확인되었고, 이 부분은 필드 연속작업을 통해 튜닝과 프로그램적인 수정으로 최적화가 필요 할 것으로 판단됨.

라) 곡물 배출 자동화 시스템 개발

ㄱ. 곡물 배출 경로 생성 시스템 구현을 위한 CAN 프로토콜 구축

A. 수확량 모니터링 시스템에서 측정된 곡물량에 따라 배출경로 생성 여부 판단

a. 곡물 만충량 분석

Message		Message Definition					
Name	CAN ID [Hex]	Byte	Bit	Signal Name	Length /Resolution	Data Range	Operating Data Range
수확량 모니터링 제어기	0x18 FFDC 40	1~2	1~16	현재 중량	16bit	0~2500	1 kg/bit
		3	1~8	실시간 곡물 유량	8bit	0~255	1 kg/s
		4	1~8	GRID_NUM	8bit	0~100	#num
		5	1~8	적산 곡물 유량	8bit	0~255	1 kg/m
		8	1~8	CNT	8bit	0~255	메시지당 +1 카운트
	0x18 FFDD 40	1~2	1~16	수분값(T.B.D)	8bit	0~1000	0.1%/bit
		8	1~8	CNT	8bit	0~255	메시지당 +1 카운트

- 수확량 모니터링 제어기 출력 CAN 프로토콜 분석 후 경로 생성 구분
- 최대 중량 대비 현재 중량치를 비교하여 곡물 탱크 내 현재 만충량(%) 구분
- 실시간 곡물 유량을 비교하여 만충 예상 지점을 판단

B. 곡물 배출 경로 추종 및 관련 제어 프로토콜

Message				Message Definition					
Name	CAN ID [Hex]	PGN	Cyclic Time [ms]	Byte	Bit	Signal Name	Length /Resolution	Data Range	Operating Data Range
마이콤 1	0x03FA0006	64000	100	1	1	자동 예취 램프			1 = ON, 0 = OFF
					2	오토 리프트 자동			1 = ON, 0 = OFF
					3	오토 클러치 스위치			1 = ON, 0 = OFF
					4	공급깊이 자동 램프			1 = ON, 0 = OFF
					5	자속 자동 SW			1 = ON, 0 = OFF
					6	예코자동 스위치			1 = ON, 0 = OFF
					7	선택 SW			1 = ON, 0 = OFF
					8	짚배출모드			1 = ON, 0 = OFF
				2	1	후진 SW			1 = ON, 0 = OFF
					2	중립 SW			1 = ON, 0 = OFF
					3	전진 SW			1 = ON, 0 = OFF
					4	탈곡 스위치			1 = ON, 0 = OFF
					5	예취 스위치			1 = ON, 0 = OFF
					6	예취 상승 출력			1 = ON, 0 = OFF
					7	예취 하강 출력			1 = ON, 0 = OFF
					8	방향 좌 출력			1 = ON, 0 = OFF
				3		자속 센서			
						방향 우 출력			1 = ON, 0 = OFF
				4		방향 좌 스위치			1 = ON, 0 = OFF
						방향 우 스위치			1 = ON, 0 = OFF
						미세 방향 좌 스위치			1 = ON, 0 = OFF
						미세 방향 우 스위치			1 = ON, 0 = OFF
						예취 상승 스위치			1 = ON, 0 = OFF
						예취 하강 스위치			1 = ON, 0 = OFF

a. 작업부 제어

- 곡물 만충 시 경로 생성 후 추종 시 예취부 상승/하강 출력 구성
- 예취부, 탈곡부 동작 상태 제어(ON/OFF) 등 작업 상태 OFF 동작 유도
- 작업 동작 상태에 따라 사용자 안내 기능을 위한 CAN프로토콜 진단
- 차속에 따라 곡물 만충량 오차, 동작 구분 등 기능 동작

b. 배출 제어

Message				Message Definition					
Name	CAN ID [Hex]	PGN	Cyclic Time [ms]	Byte	Bit	Signal Name	Length /Resolution	Data Range	Operating Data Range
				1	1	발전기 충전신호	1bit	0 ~ 1	0 : OFF 1 : ON
					2	엔로딩 슬 출력	1bit	0 ~ 1	0 : OFF 1 : ON
					3	곡물배출 출력상태	1bit	0 ~ 1	0 : 배출 CLOSE 1 : 배출 OPEN
					4	오거자동 복귀상태	1bit	0 ~ 1	0 : OFF 1 : ON

- 곡물 배출 기능 동작 시 자동 제어 가능하도록 제어 시스템 구현
- 예취부, 탈곡부 동작 상태 제어(ON/OFF) 등 작업 OFF 상태 확인하고, 필요 시 예취/탈곡부 동작 상태로 전환
- 작업 동작 상태에 따라 사용자 안내 기능을 위한 CAN프로토콜 진단
- 곡물 배출 스위치 조작 혹은 모니터 조작을 통한 배출 시스템 동작
- 현재 오거모터 위치에 따른 차상위 동작 구동 순서 결정

L. 곡물 배출 경로 시스템 구축

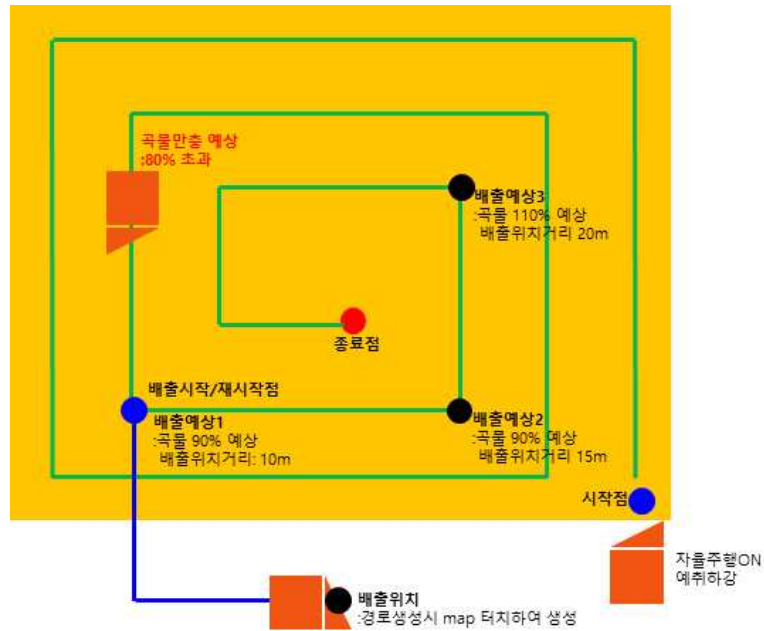
A. 배출경로 생성 기준 판단

a. 배출 위치 결정

- 각 작업지마다 배출위치는 사용자에게 따라 상이하기 때문에 특정 위치를 경로 생성 전 지정해야함
- 지정 가능한 위치는 자율주행 경로 생성 시 직사각형 모양의 경로의 최외각 4변을 지정하도록 함

b. 배출 시점 결정

- 자율주행 동작 중 배출경로 주행 시 작업 중단 후 작업 경로를 이탈해야하므로 직선구간이 완료되기 전 동작할 경우 고려해야할 변수가 다수 발생
- 작업 환경을 특정하기 위하여 직선 경로가 완료되는 시점에서 곡물 만충 예상치를 분석하고 직선 경로 완료 시점까지 곡물탱크가 만충되지 않는 경우의 수를 분석함
- 작업지 환경마다 곡물 수확량이 상이하므로, 수확량 모니터링 제어기에서 출력되는 현재 중량 및 실시간 곡물 유량을 분석하여 예상치 분석 필요



c. 배출 경로 생성

- 최초 자율주행 경로 생성 시 결정된 배출위치까지 자율주행 작업 경로에 연결하여 생성
- 직선 경로 끝단에서 배출위치까지 주행하도록 경로 생성
- 배출 위치까지 이동 시 기존 작업된 지점을 주행하므로, 작업자 혹은 장애물 등의 안전 문제 발생 우려, 경로 생성 시 후진 경로는 없도록 생성
- 배출 위치 이동 시 직선 위주의 경로를 생성하여 주행하며, 선회 시 후진 동작이 없는 선회 방식을 사용

d. 배출 경로 추종

- 배출 경로 추종 시 자율주행 동작 속도 대비 80%이하로 저속 주행
- 작업 상태는 자율 주행으로 수행 시 탈곡부/예취부 등 OFF 상태로 주행
- 경로 추종 완료 후 배출 작업에 대한 동작 상태 확인, 모니터 동작 안내

마. 자율주행 조작 디스플레이 장치 개발

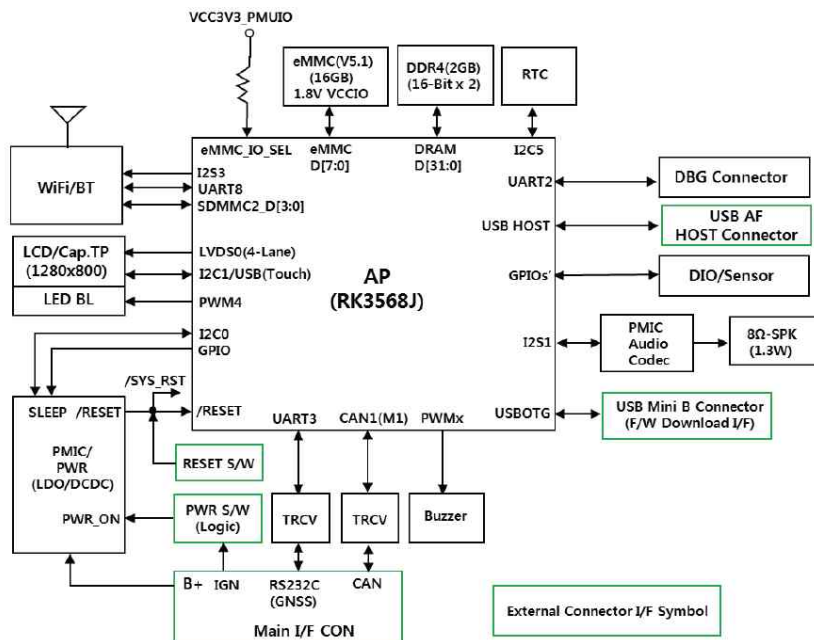
A. 디스플레이 장치 하드웨어 개발

a. 주요 시스템 사양

구분		SPECIFICATION
H/W	CPU	Rockchip RK3568 2.0Ghz 64bit quad-core
	Memory	eMMC 16GB / DDR4 2GB
	LCD	10.1" TFT & 정전터치
	Audio	1.3 Watt SPK out
	Buzzer	SPL 90dB
	UART	RS232C 외부시리얼 통신
	CAN	CAN 2.0 B (Extention)
	USB	Host 1port / Funtion 1 port
	POWER	12VDC
S/W	OS	안드로이드 11.0
	native	CAN / GNSS JNI Native
	Framework	Swipe제거 / 런처수정

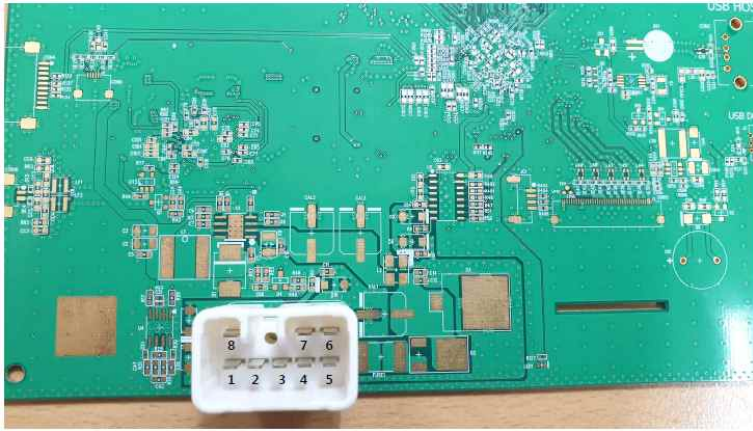
b. H/W 시스템 블록도

- 메인 CPU 중심 통신 사양 및 입출력 사양에 대한 블록도
- 12V 시스템 동작 사양 전원 관리부 설계
- CAN, USB, Serial 통신 관계 구성
- 차량 통신의 경우 CAN통신 기반 동작 구성, 그 외 데이터 관리 및 Firmware 관리는 USB통신 관리



c. H/W 회로 설계

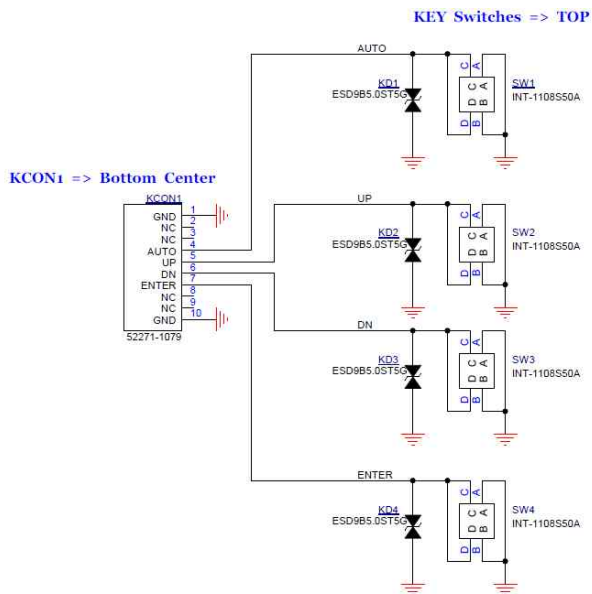
1. 메인 커넥터 구성



1. CAN+
2. RS232C_RX(Reserved)
3. RS232C_TX(Reserved)
4. IGN+
5. BAT+(12V)
6. BAT-(GND)
7. IGN-(GND)
8. CAN-

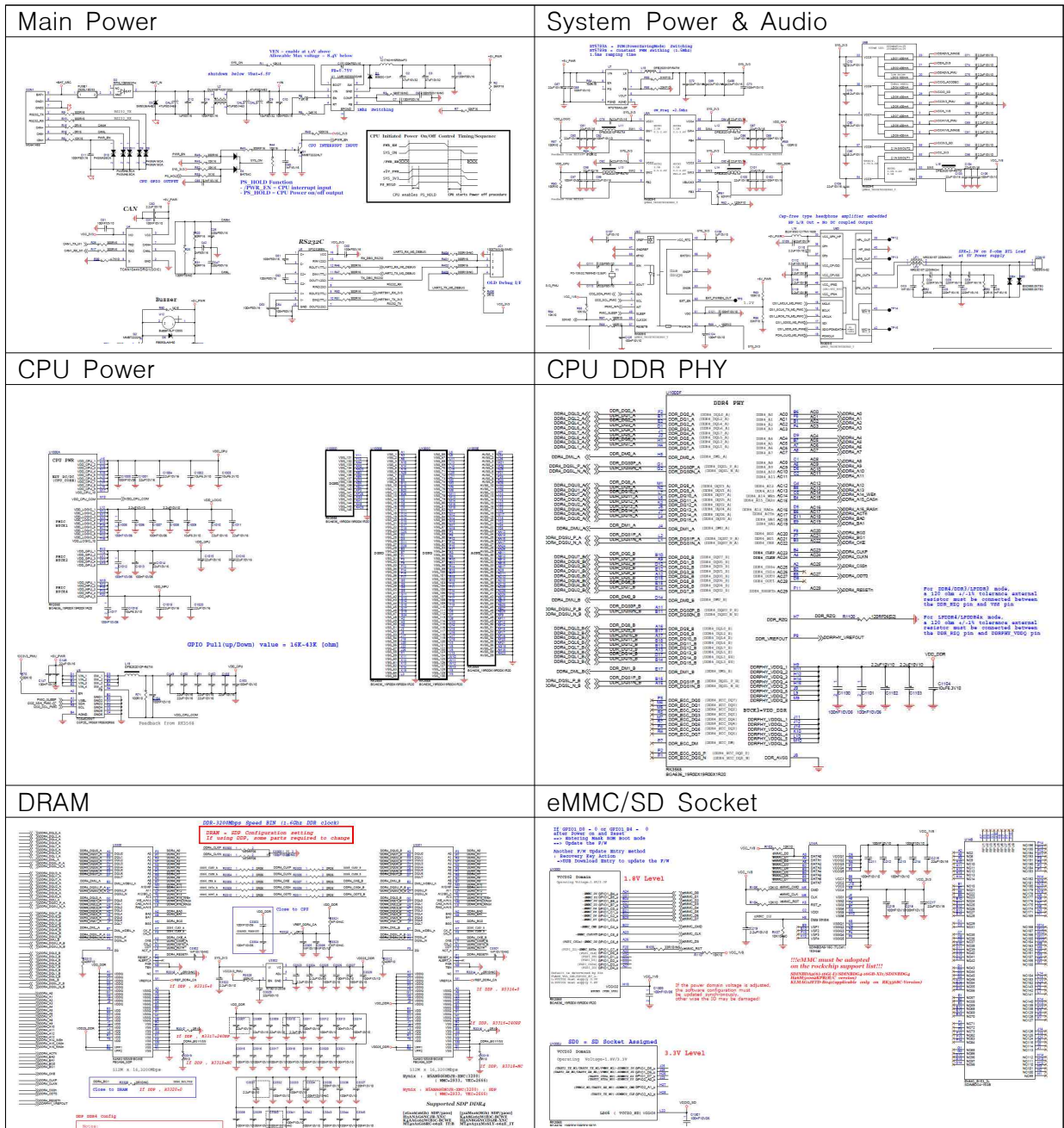
2. 스위치 입력

- 모니터 동작 제어용 4개소 스위치 입력 구성



3. 전체 회로 설계

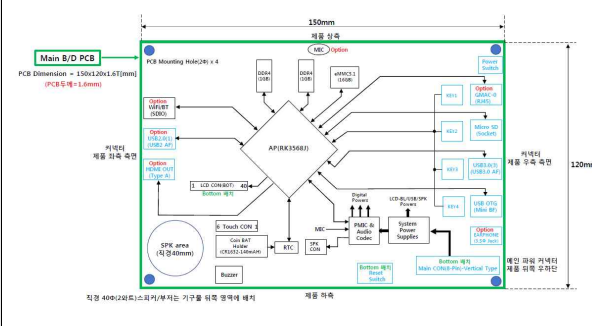
- Main Power : 메인 커넥터 IG전원 및 B+전원단 입력 전원 분배
- System Power : 5V 입력단, 스위치, 부저 등 12V 이외 전원단 관리 회로
- CPU Power : GPIO 풀업 저항, 입출력 연결관계
- CPU DDR PHY, DRAM : CPU연결 RAM 관련 사항
- eMMC/SD Socket : 기타 저장장치 관련 회로



4. 기구 설계 관련 레이아웃 설계

- PCB 이외 스피커, 부저, 스위치 등 배치구조에 따른 PCB 레이아웃 설계
- 메인 커넥터 위치에 따른 회로 설계 구성 검토
- LCD 패널 연결 커넥터 레이아웃 구조 설계
- USB, 스위치 등 케이스 외부 돌출부에 따른 케이스 설계 구조 검토

레이아웃 설계 검토



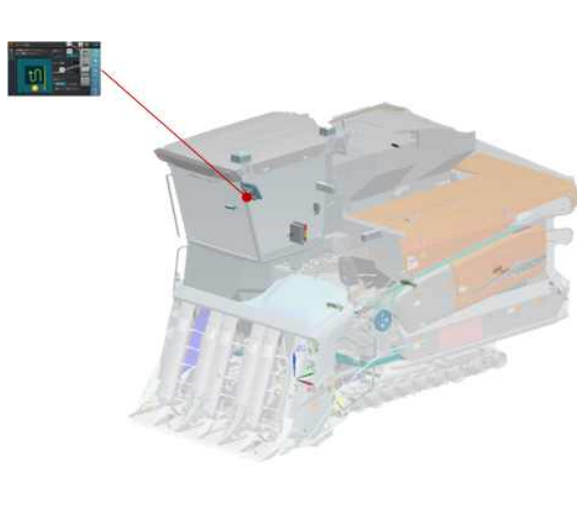
샘플 추진 후 재검토



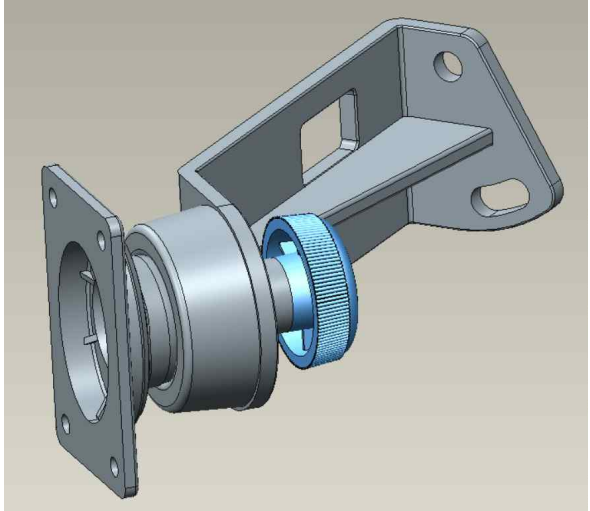
5. 케이스 설계

- 하드웨어 환경시험 조건에 따른 구조 설계 반영
- 조작 편의성을 고려한 스위치 위치 결정
- 전체 제품 디자인 설계
- 장착 브라켓 구조와 연계하여 구조 설계

장착부 레이아웃 검토



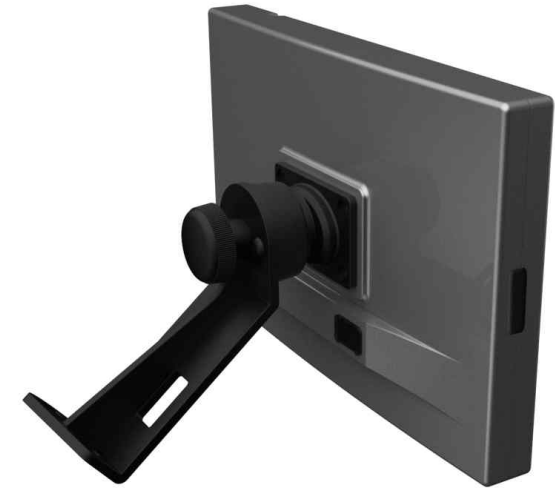
브라켓 레이아웃 설계



케이스 디자인 설계



케이스 뒷면 디자인



B. 디스플레이 장치 소프트웨어 개발

a. S/W 구성

1. 자율주행 동작 관련 기본 세팅 모드

- GNSS 수신 감도 확인 : 현재 GNSS모듈 상태 확인
- 경작지 선택 기능 : 이전 작업지 정보, 신규 작업지 정보 등
- 작업기 설정 기능 : 작업 상태 변경 시 설정
- 자율주행 경로 생성 보조 기능 : 자율주행 경로 선택 후 기타 보조작업

2. 자율주행 관련 기능

- 시작 위치 표기 기능 : GNSS 위치데이터 표시 기능
- 경로 추종 위치 데이터 확인 : GNSS 위치데이터 기반 오차 분석
- 안전 감지 기능 : 긴급정지 및 안전 관련 기능

3. 제어 및 신호 처리

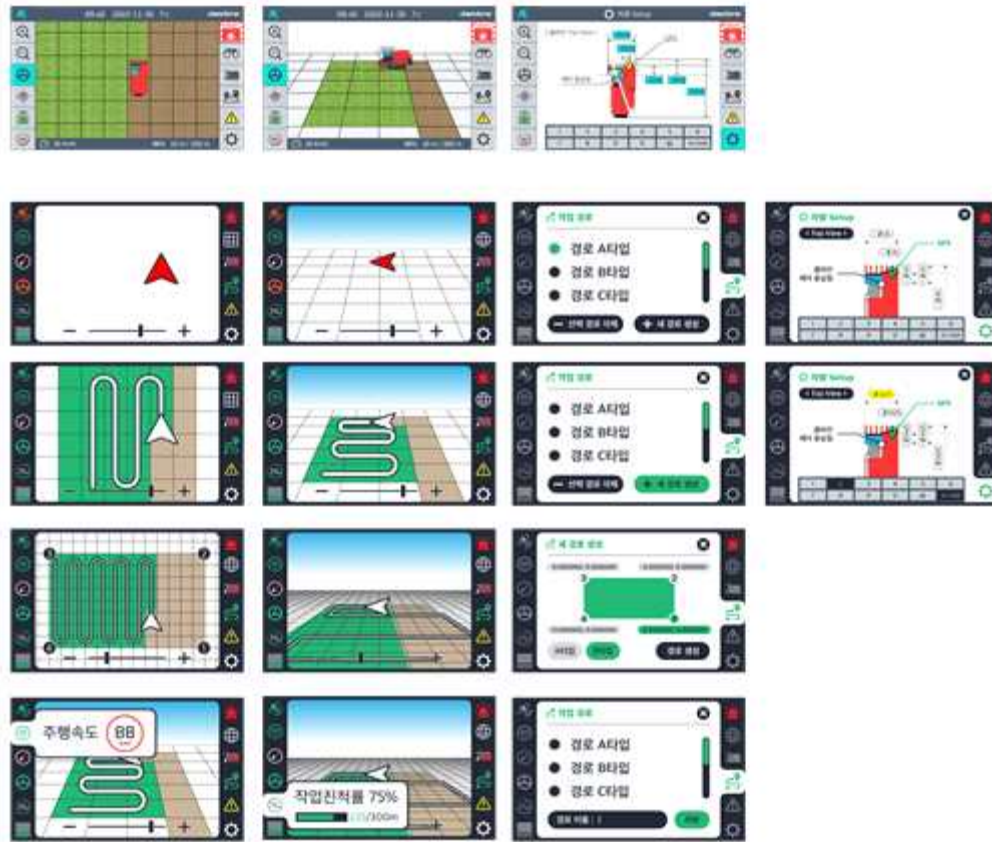
- 조향 제어 모듈 신호처리 : 선회제어기(BSST 제어) 관련 제어 신호 처리
- ECU 신호 처리 : RPM 정보, 유온 등 ECU 데이터 표기
- 예취/탈곡부 등 작업기 제어 신호 처리 : 작업제어 상태 표기
- 주행 제어 신호 처리 : 전/후진, 속도 등 상태 표기

4. 작업데이터 관리

- 경작지정보/자율주행경로/추종경로/작업정보 저장
- 자동저장기능/수동저장기능 등
- 작업데이터 리플레이
- 작업데이터 리스트 내보내기/가져오기

b. 디자인 UX/UI 구성

- 자율주행 기능 및 수확량 모니터링 기능 조작 및 확인을 위한 LCD GUI환경 구축
- 콤바인 특정 데이터 및 자율주행 정보 표기
- 기타 조작 관련 기능 아이콘 디자인 설계
- 경로 추종, 수확량 모니터링 등 그리드 기반 표현 방식의 GUI 구성
- 차량 제원, 경로 설정 등 기본 설정 버튼, 아이콘 등 구성

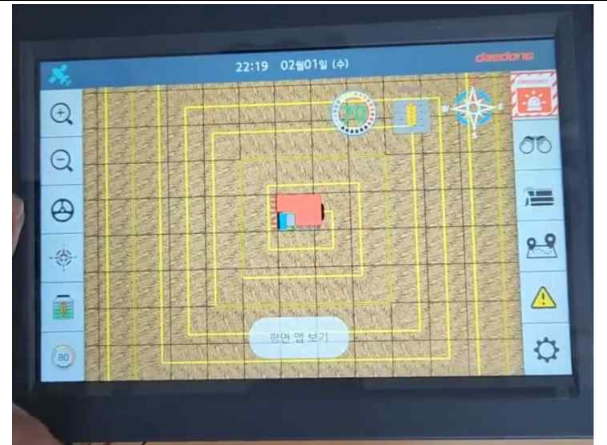


C. 자율주행 모니터 HMI 제작 샘플

샘플 사진 1



샘플 사진 2



바) 수확량 모니터링 기술 개발

ㄱ. 센서부/데이터 수집 및 표시부 최적 위치설치

A. 현장평가를 통한 센서 및 데이터 수집부 위치 최적화

a. 현장 평가 시 현장조건에 따른 센서부/데이터 수집부 위치 최적화

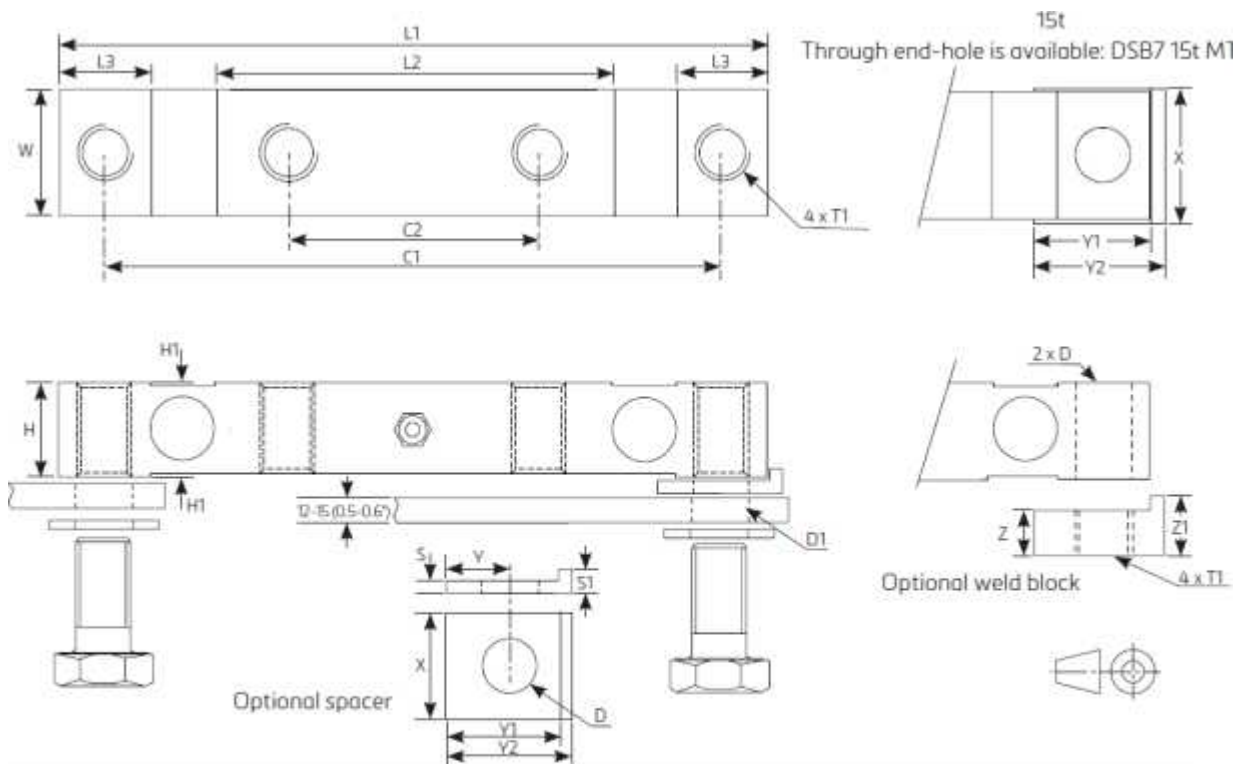
• 곡물 탱크 총량 측정 센서부

- 탱크 하단부 로드셀 센서 2set 적용

1. 중량 측정을 위한 센서로 로드셀 센서를 선정

2. 곡물 탱크 중량 약 350kg과 곡물 최대 약 1,200kg 저장량을 고려하여 2t까지 측정 가능한 센서를 선정하여 적용

3. 이동차량에 대한 로드셀 적용을 위하여 진동, 충격 등 외란에 의한 센서 측정 오차를 최소화할 수 있는 구조적용



Type	L1	L2	L3	C1	C2	H	H1	W	T1	D	D1	X	Y	Y1	Y2	S	S1	Z	Z1
2t, 7.5t	200	96	29	171.5	67.5	30	0.5	40	M16x1.5	-	17-18	42	20	36	42	6	12	-	-

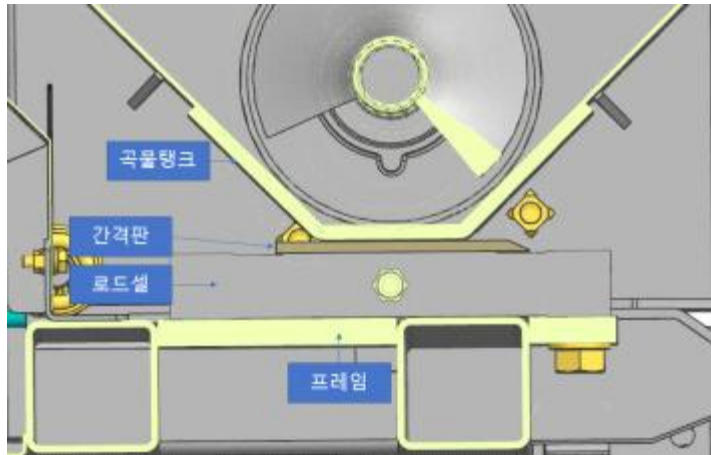
<곡물탱크 하중 측정 센서 사양>

- 외부 브라켓 구조

1. 탱크 외부 프레임과 메인프레임 사이 로드셀센서를 장착하며, 메인프레임에 조립됨.

2. 탱크 외부 프레임에 의한 손상 및 접촉면적 확보를 위하여 센서와 탱크 사이 간격판을 두고 설치

3. 탱크의 수동 개폐 시 간섭되지 않도록 브라켓 가이드 라인 설계



<곡물탱크 하중 측정 센서 Lay-out구성>

• 곡물 탱크 유입량 측정 센서부

- 2차년도 설계사양에 대한 개선 설계

1. 탱크 고정부 진동 문제 및 장착 구조 문제로 인한 개선 설계 진행
2. 세로나선 구조 상단부, 곡물 유입구측 장착구조 설계 및 테스트

기존 구조	변경 구조
	
설계안	
	

<곡물 유량센서 개선사양 Lay-out>

ㄴ. 수확량 모니터링 실측 테스트

A. 작물 투입 조건에 따른 신뢰성 시험

a. 시험 환경

- 곡물 투입용 벤치 운용

- 곡물 투입량, 투입 속도 등 조절 가능한 곡물 투입기 운용

1. 투입량의 차이에 따른 결과치 분석
2. 곡물 투입 속도에 따른 결과치 분석
3. 총 투입량에 대한 비교 분석



<수확량 모니터링 벤치 시험>

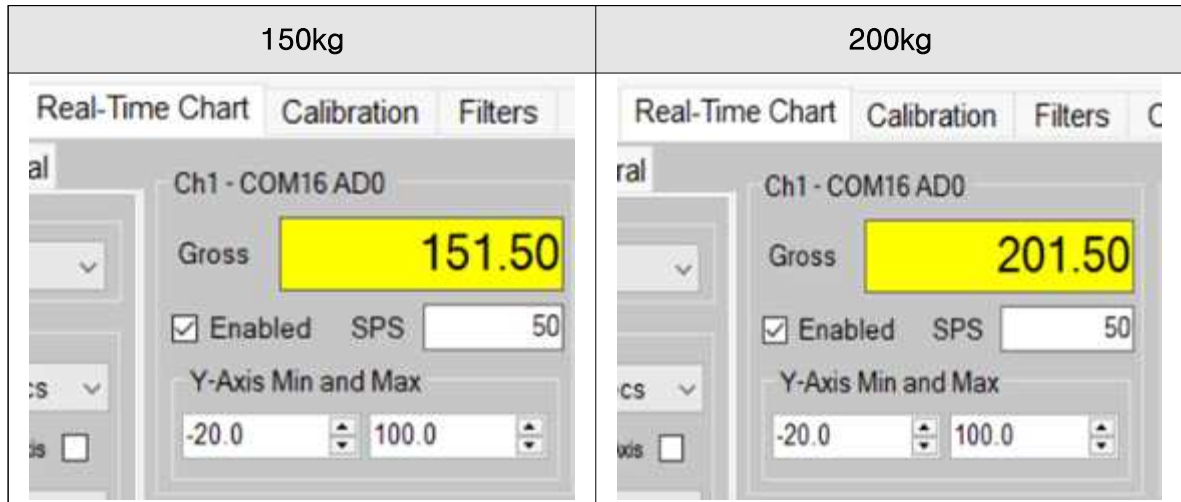
b. 시험 결과 분석

- 곡물 탱크 총 중량 측정 테스트

- 누적 중량에 따른 결과치

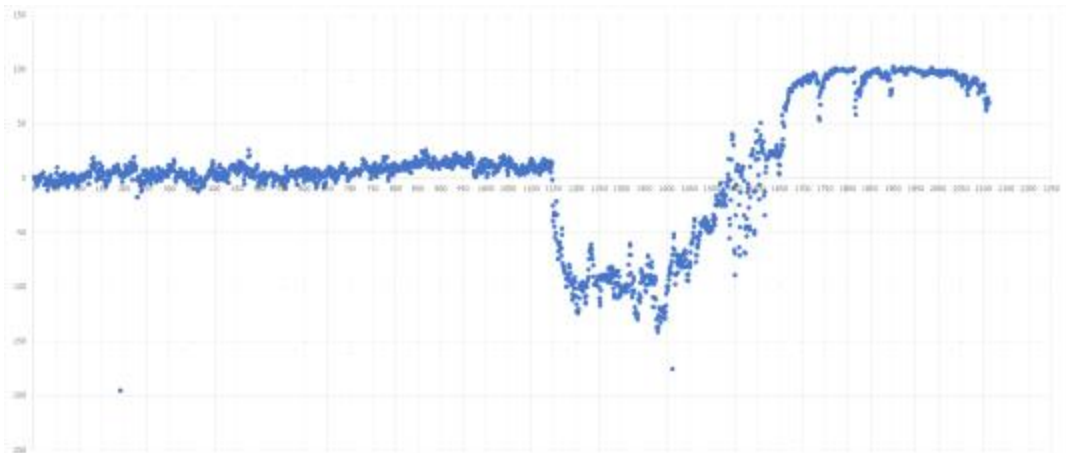
1. 0, 100, 150, 200kg 투입 시 결과

0kg(영점)	100kg
<p>Real-Time Chart Calibration Filters C</p> <p>Ch1 - COM16 AD0</p> <p>Gross 0.00</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Enabled SPS 50</p> <p>Y-Axis Min and Max</p> <p>-20.0 100.0</p>	<p>Real-Time Chart Calibration Filters</p> <p>Ch1 - COM16 AD0</p> <p>Gross 98.50</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Enabled SPS 51</p> <p>Y-Axis Min and Max</p> <p>-20.0 100.0</p>

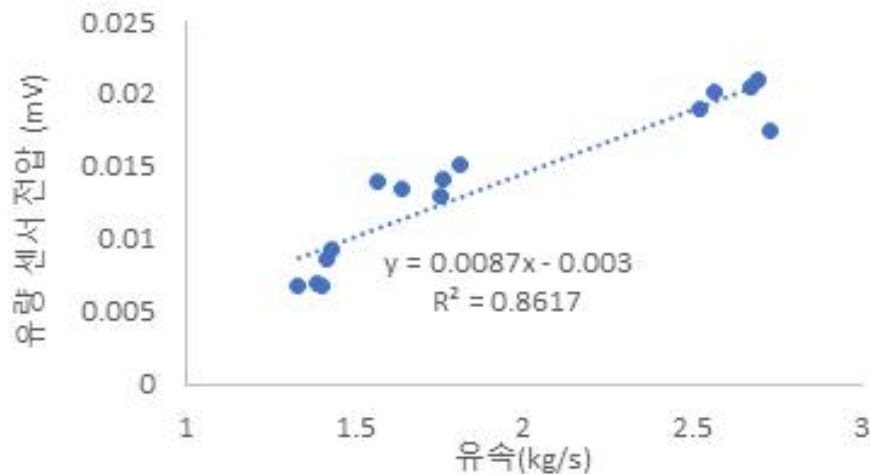


<수확량 모니터링 벤치 시험>

- 곡물 유입량 차이에 따른 측정 테스트
 - 곡물 유입량 변화에 따라서 결과치 분석
 1. 측정 센서값에 대한 시계열 결과 분석
 2. 입력 시간, 샘플링 주기에 따라 데이터 측정



<30kg 투입 시 측정 결과>



<유입량에 따른 평균 데이터>

ㄷ. 수확량 모니터링 측정용 제어기 개발

A. 수확량 모니터링 제어기 개요

a. 개발 범위

- 콤바인 적용 수확량 모니터링 시스템에 대한 기능, 성능, 통신, 신뢰성, 내구성 및 검증 요구사항 등을 규정하고 설계사양을 확정
- 수확량 모니터링 시스템에 대한 양산제품 판매 시 고객, 환경, 인터페이스, 법규, 필수 표준 및 요구 사항을 포함하여 차량 사용 중에 발생하는 기능 요구 사항을 정의하고 설계사양에 준하도록 개발

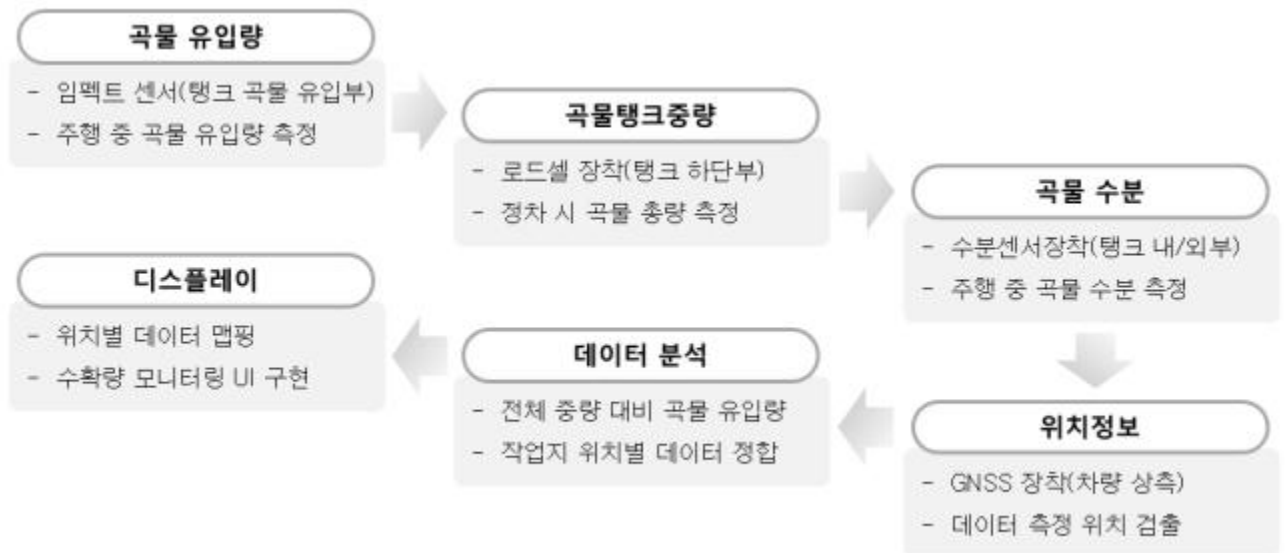
b. 개발 범위

- 곡물 총량센서는 포장 내 수량변이 및 각 수확공정마다 곡물탱크 내 벼 알곡을 측정하기 위한 기능을 가짐
- 곡물 유량센서는 포장 내 실시간 곡물이 유입되는 양을 측정하는 기능을 가짐
- 곡물 수분센서는 포장 내 곡물의 수분변이를 측정하는 기능을 가짐

개발품	STD/OPT	개발사양
수확량 모니터링 제어기	STD	신규개발품
곡물 총량센서	STD	구매품
곡물 유량센서	STD	구매품
HMI (계기판)	STD	신규개발품

B. 수확량 제어기 개발 내용

a. 수확량 제어기 동작 방법(수분센서에 대한 항목은 양산 제품 개발 시 고려)

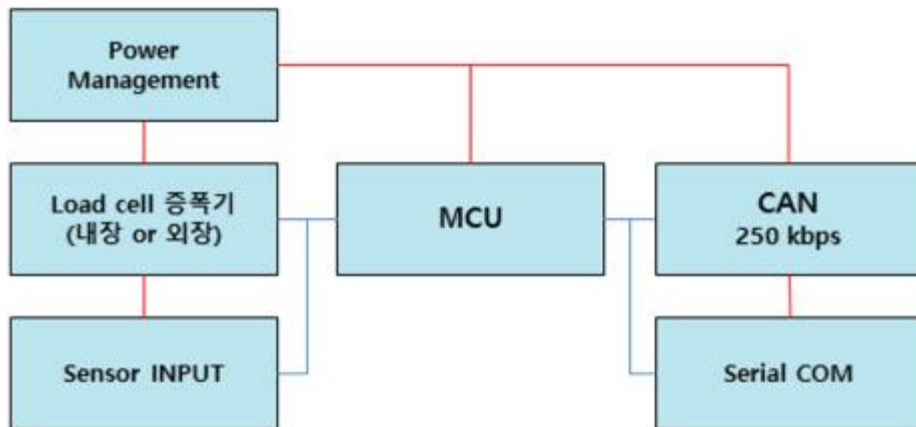


<수확량 제어기 동작 알고리즘>

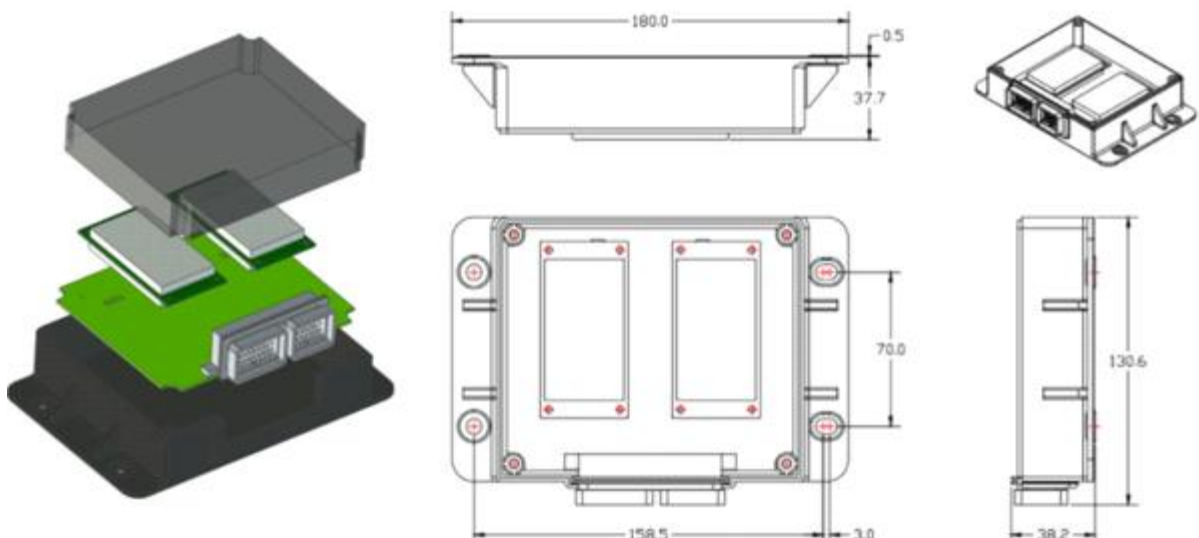
b. 수확량 제어기 요구 기능

순번	요구 기능	설명
1	센서 필터 기능	차량 진동 및 센서감지구조 진동으로 인한 노이즈 필터링 필요
2	가변 샘플링 기능	센서 측정주기는 엔진 rpm 혹은 세로 나선축 rpm에 연동되어야 하므로 rpm에 따라 샘플링을 가변하는 기능
3	센서 캘리브레이션 기능	유량센서 총격량으로 유입중량을 계산하는 캘리브레이션 기능 총량센서 실제값으로 곡물 총중량을 계산하는 캘리브레이션 기능
4	곡물 유량센서 적산 기능	곡물 유량센서를 적산하여 총중량으로 환산하는 기능
5	수확량 위치 보정 기능	예취부로 공급되는 곡물은 탈곡,선별등을 거쳐 탱크로 유입되므로 딜레이 발생 딜레이를 적용하여 실제 곡물의 수확 위치를 보정하는 기능
6	건조중량 환산 기능	곡물 총중량을 건조수분 (xx %)일때의 중량값으로 환산하는 기능
7	에러 감지 기능	센서값 에러, 제어기 에러등 SW적 에러감지 기능 요구
8	차량 상태 인지 기능	작업상태, RPM, 예취, 탈곡부 상태 인지하여 수확량 측정시 보정

c. 수확량 제어기 하드웨어 구성



<수확량 제어기 구성>



<수확량 제어기 하드웨어 구성>

- OPERATING VOLTAGE : 9~18V
- OPERATING TEMPERATURE : -20~80℃
- 암전류 : 2mA 이하 @ Sleep Mode
- MCU : RENESAS RH850/F1KM-S1 제안
- CAN : CAN 2.0B SAE-J1939 250kbps, 2CH
- 동작 환경 내에서 안정적으로 동작 할 수 있도록 POWER 설계 및 ESD, EMI 등 강건설계
- 회로 및 PCB 설계는 Design Review 실시
- H/W 구성 회로에 대해서 Fault Circuit 진단 회로 구성
- 내부 및 외부 인터페이스 신호 상태를 점검 (고장 검출)

d. 수확량 제어기 소프트웨어 구성



<수확량 제어기 소프트웨어 구성>

(2) 자율주행시스템 차량 어플리케이션 기술 개발

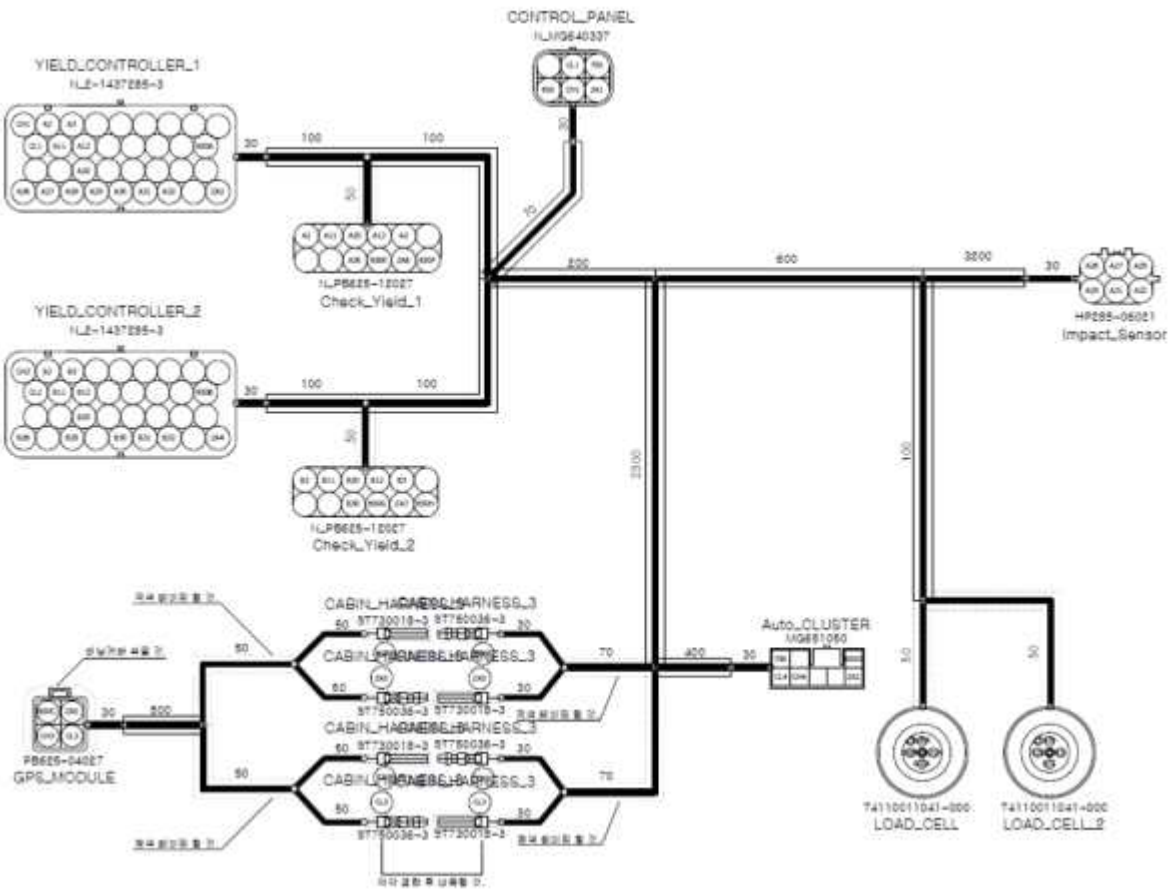
가) 자율주행시스템 전장부 어플리케이션

ㄱ. 자율주행 콤바인 전장시스템 개발

A. 자율주행 시스템 회로 개선 설계 및 Wiring Harness 제작

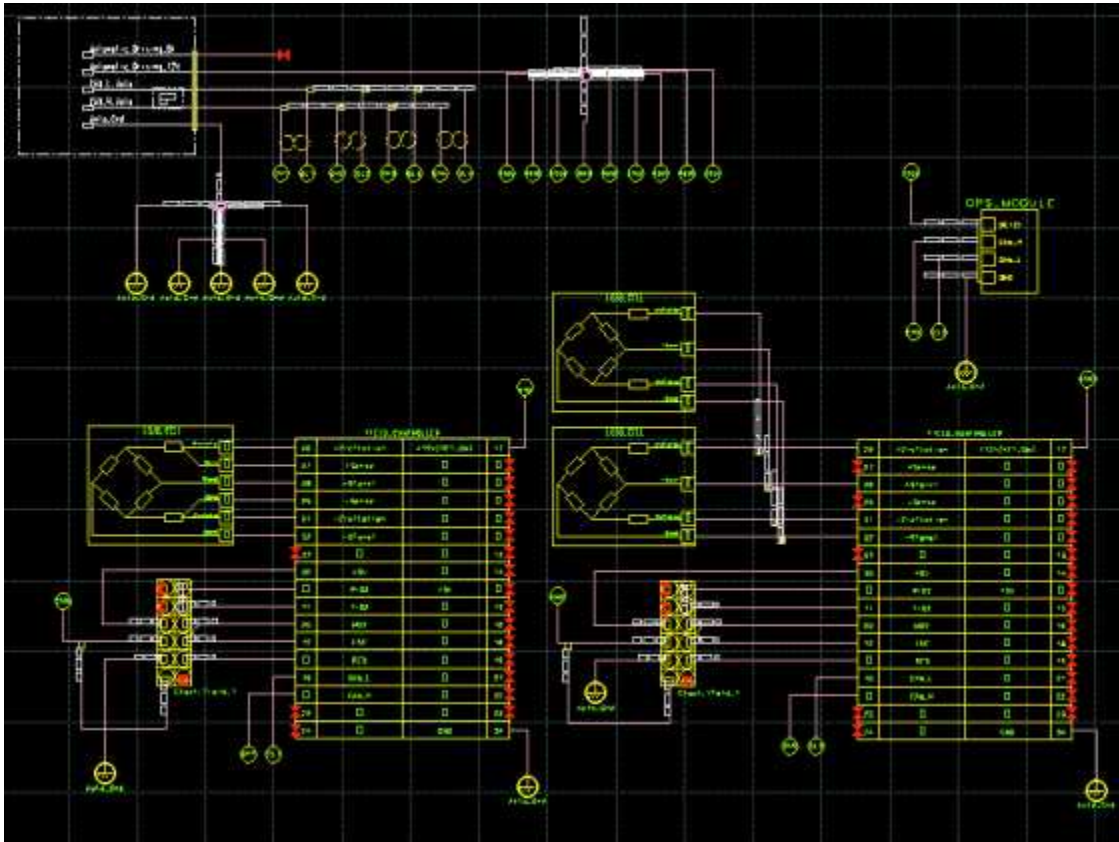
a. 레이아웃 설계

- 자율주행 및 수확량 모니터링 시스템 적용을 위한 Wiring Harness
 - 탱크-프레임-캐빈 연결관계 배선설계
 - 주요 핵심 부품별 배선 경로 상 간섭 회피, 고정부 등 고려
 - 양산제품 적용을 위한 실차 데이터 기준 적용



<자율주행 설계회로>

- 전원 및 노이즈 관련 개선을 위한 회로 개선 설계
 - 로드셀 센서 및 임팩트 센서 운용을 위한 증폭기 적용
 - 제어기 노이즈 필터링 별도 적용
 - CAN통신 적용을 위한 회로 구성
 - 기존 차량 데이터 수집을 위한 연결관계 규정



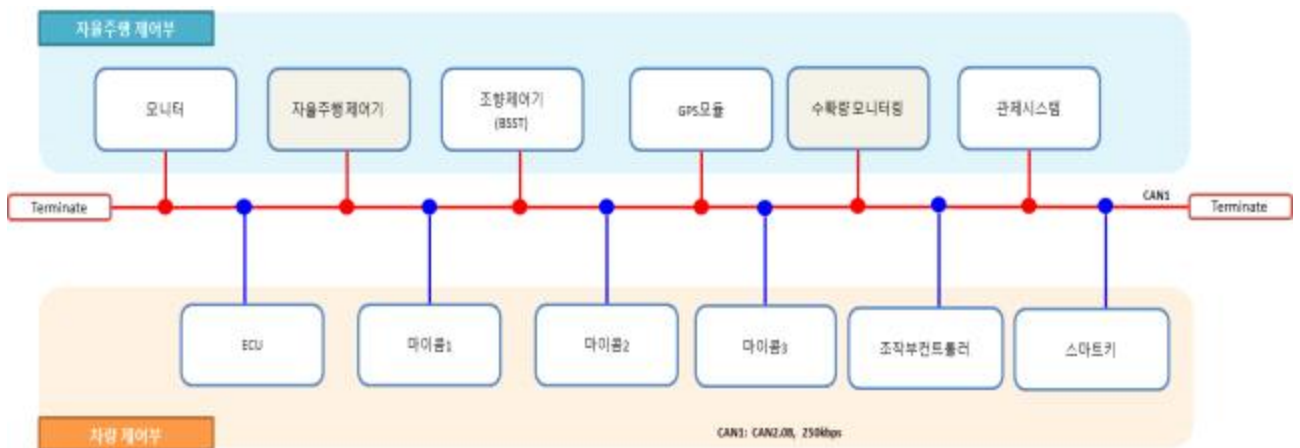
<전원 및 노이즈 관련 개선 회로>

L. 자율주행 콤바인 CAN 통신시스템 개선 개발

A. 자율주행 콤바인 본기 제어부 CAN Protocol 수정 개발

a. 콤바인 각 제어부 통신 프로토콜 규정

- CAN통신 제어부 구성 정의
 - 무인콤바인 기술 적용을 위한 자율주행 제어기 및 수확량 모니터링 제어부 추가



<CAN통신 제어부 개선>

- 자율주행 제어기 관련 프로토콜 규정
 - 자율주행 제어를 위한 조향, 전후진, 작업부 제어 등 필요 사항 규정

<자율주행 제어를 위한 주행 및 작업부 필요 사양>

Message		Message Definition			Length /Resolution	Data Range	Operating Data Range
Name	Byte	Bit	Signal Name				
자율주행제어기	1	1	자율주행 상태	1bit	0~1	0 : OFF / 1 : ON	
	2	1~16	조향출력	16bit	0~2000	0 : 좌출력 100% 100.0 : 좌/우출력 0% (중립)	
	3						
	4	1~8	전진출력	8bit	0~255	0~100	
	5	1~8	후진출력	8bit	0~255	0~100	
	6	1	예외 상승	1bit	0 ~ 1	0 : OFF / 1 : 상승	
		2	예외 하강	1bit	0 ~ 1	0 : OFF / 1 : 하강	
		3	예외높이자동제어	1bit	0 ~ 1	0 : OFF / 1 : ON	
		4	예외동작	1bit	0 ~ 1	0 : OFF / 1 : ON	
5		발곡동작	1bit	0 ~ 1	0 : OFF / 1 : ON		
6		공급깊이자동제어	1bit	0 ~ 1	0 : OFF / 1 : ON		
7	오도블러지제어	1bit	0 ~ 1	0 : OFF / 1 : ON			
8	수명자동제어	1bit	0 ~ 1	0 : OFF / 1 : ON			

- 환경인식 관련 장애물 감지에 대한 CAN 프로토콜 규정(J1939 기준)

환경인식 센서 구성에 관한 규정 정보(ON Request 방식)

긴급 정지 구동을 위한 위험 수준, 감지 위치 등을 규정하는 CAN 프로토콜 구성

PGN	Parameter Group Label	PG Acronym	SPN Position in PG	PG Description	SPN Description	EDP	DP	PF	PS	Multipacket	Transmission Rate	PG Data Length	Default Priority
64792	Collision Sensor Information	CSI	1.1	Message containing type and serial number for every	Type of Frontal Collision Sensor 1.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			1.5	Message containing type and serial number for every	Type of Frontal Collision Sensor 2.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			2.1	Message containing type and serial number for every	Type of Frontal Collision Sensor 3.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			2.5	Message containing type and serial number for every	Type of Frontal Collision Sensor 4.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			3.1	Message containing type and serial number for every	Type of Side Collision Sensor Front - Left.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			3.5	Message containing type and serial number for every	Type of Side Collision Sensor Mid Front - Left.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			4.1	Message containing type and serial number for every	Type of Side Collision Sensor Mid Rear - Left.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			4.5	Message containing type and serial number for every	Type of Side Collision Sensor Rear - Left.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			5.1	Message containing type and serial number for every	Type of Side Collision Sensor Front - Right.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			5.5	Message containing type and serial number for every	Type of Side Collision Sensor Mid Front - Right.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			6.1	Message containing type and serial number for every	Type of Side Collision Sensor Mid Rear - Right.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			6.5	Message containing type and serial number for every	Type of Side Collision Sensor Rear - Right.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			7.1	Message containing type and serial number for every	Type of Rear Collision Sensor 1.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			7.5	Message containing type and serial number for every	Type of Rear Collision Sensor 2.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			8.1	Message containing type and serial number for every	Type of Rear Collision Sensor 3.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
			8.5	Message containing type and serial number for every	Type of Rear Collision Sensor 4.	0	0	253	24	Yes	On request	Variable	7
61487	Advanced Emergency System	AEB51	6.1	Advanced Emergency Braking System message 1	Current operational state of forward collision	0	0	240	47	No	Every 50ms and	8	3
			1.5	Advanced Emergency Braking System message 1	To implement different HMI (human machine	0	0	240	47	No	Every 50ms and	8	3
			2.1	Advanced Emergency Braking System message 1	Indication if the advanced emergency braking	0	0	240	47	No	Every 50ms and	8	3
			2.4	Advanced Emergency Braking System message 1	Probability if monitored relevant object might start	0	0	240	47	No	Every 50ms and	8	3
			5	Advanced Emergency Braking System message 1	The time to collision is the duration after which	0	0	240	47	No	Every 50ms and	8	3
			4.1	Advanced Emergency Braking System message 1	Current operational state of road departure	0	0	240	47	No	Every 50ms and	8	3

• 이외 GNSS모듈, 수확량 모니터링 등 프로토콜 규정

- 무인콤바인 구성을 위한 기타 프로토콜 규정

<PROTOCOL구성>

Message		Message Definition			Length /Resolution	Data Range	Operating Data Range
Name	Byte	Bit	Signal Name				
GPS	1~5	40	Latitude	40 bit	0 ~ 10990511627775	0.0000001	
	6~7	16	Speed	16 bit	0 ~ 25000	0.01	
	8	8	Fix Position	8 bit	0 ~ 5		
	1~5	40	Longitude	40 bit	0 ~ 10990511627775	0.0000001	
	6~7	16	Heading	16 bit	0 ~ 35990	0.01	
	8	8	Satelites Used	8 bit	0 ~ 5		
	1~2	16	Roll	16 bit	-18000 ~ 18000	0.01	
	3~4	16	Pitch	16 bit	-18000 ~ 18000	0.01	
	5~6	16	Yaw	16 bit	-18000 ~ 18000	0.01	
7	8	Reserved	8 bit				
8	8	Alive Count	8 bit	0 ~ 255			
관제시스템	1	1~8	원격 시동 시간	8bit	2~10	1 min/bit(2 to 10 min)	
	4	3	원격 시동 ON	1bit	0~1	0: Default, 1: Remote Start ON	
스마트키	2	4	원격 시동 OFF	1bit	0 ~ 1	0: Default, 1: Remote Start OFF	
		1	SMK Acknowledge	1bit	0~1	0: Default, 1: Acknowledge	
		7	User Authorization	1bit	0~1	0: Default, 1: User Authorization	
관제시스템	8	8	Remote Start	1bit	0~1	0: Remote OFF, 1: Remote ON	
		1	1	원격 자율주행 제어	1bit	0~1	0 : OFF / 1 : ON
수확량 모니터링 제어기	8	1~8	CNT	8bit	0~255	메시지당 +1 카운트	
		1~2	1~16	현재 중량	16bit	0~2500	1 kg/bit
		3	1~8	실시간 곡물 유량	8bit	0~255	1 kg/s
		4	1~8	GRID_NUM	8bit	0~100	#num
		5	1~8	적산 곡물 유량	8bit	0~255	1 kg/m
8	1~8	CNT	8bit	0~255	메시지당 +1 카운트		

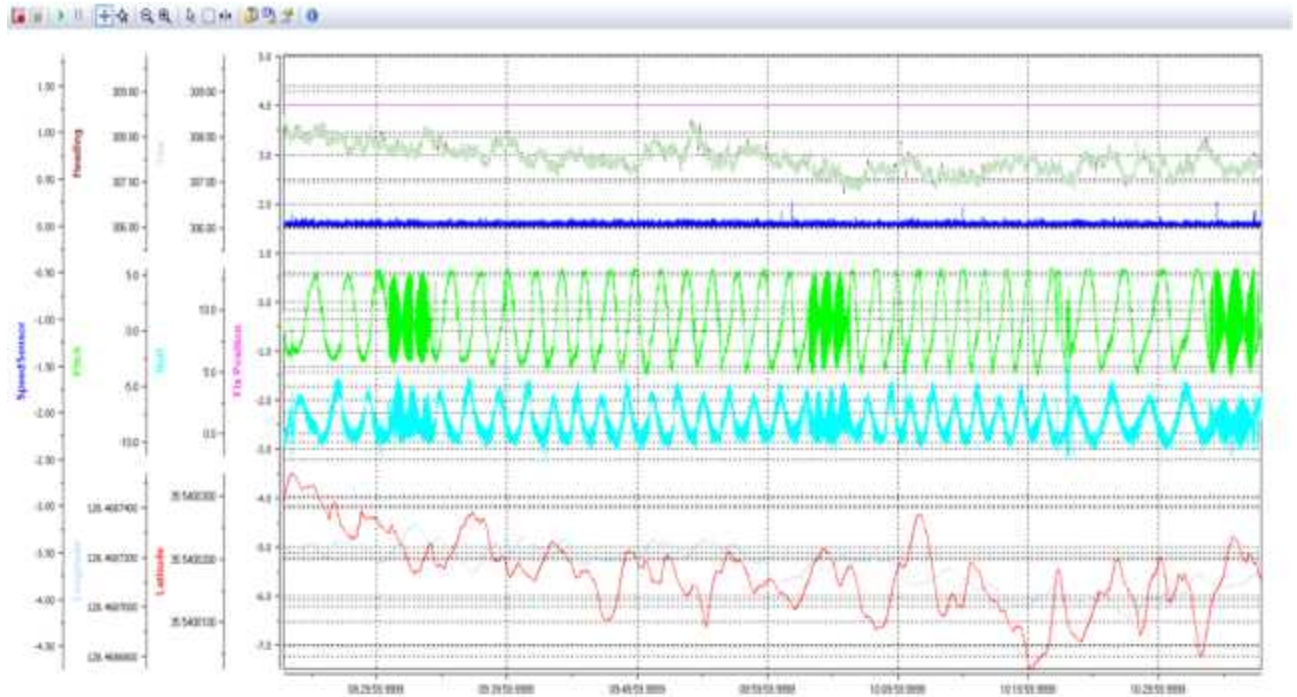
나) 자율주행시스템 검증

ㄱ. 위치인식 모듈개발품 현장 평가

A. 위치인식 모듈 신뢰성 평가

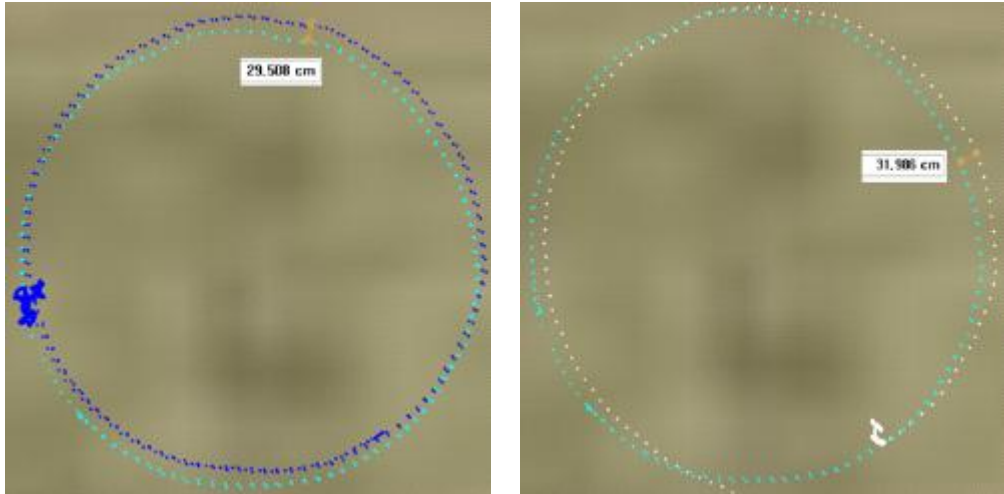
a. RTK보정 방식 GNSS 모듈 운영하여 신뢰성 확인

- 정지위치 오차 테스트



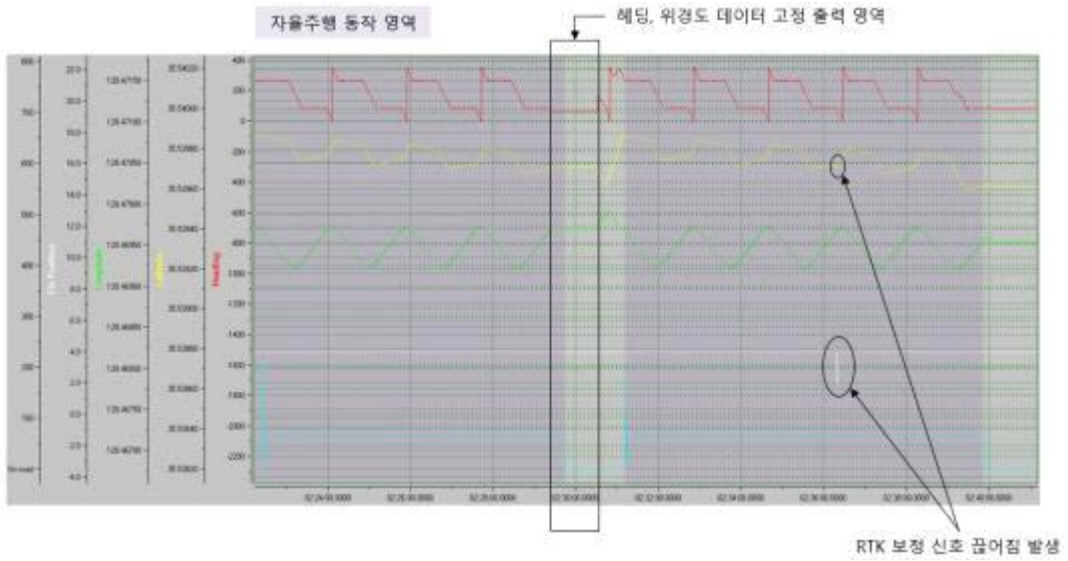
<자율주행 콤바인 정지 위치오차 테스트>

- 선회주행 시 위치 정밀도 테스트



<자율주행 콤바인 선회 주행 시 위치 정밀도 테스트>

- 실제 주행 테스트 시 결과



<자율주행 콤바인 주행 테스트>



<자율주행 콤바인 주행 테스트 주행경로 1,2>

다) 자율주행시스템 실증시험

ㄱ. 하곡시즌 보리작업 시 자율주행 현장평가

A. 시험목적 :

- a. 콤바인 자율주행 하곡시즌 필드시험을 실시
- b. 자율주행 기능 완성도, 신뢰성 평가

B. 시험일자 : 2022.05.31(화) ~ 2022.06.03(금)

C. 참석기관 : (주)대동, 홍익대학교

D. 시험기대 : 정부사업 PILOT차량

E. 시험항목 : 자율주행 기능 동작 중 생성된 경로와 실제 주행경로 간의 오차

F. 시험지 : 경상남도 창원군 성산면 대견리 125 [약 800평], 경상남도 창원군 성산면 대견리 202 [약 1200평]

G. 기타 특이사항

- a. 대상 작물은 보리로 시험 진행
- b. 조향 및 속도제어에 한정하여 자율작업 실시

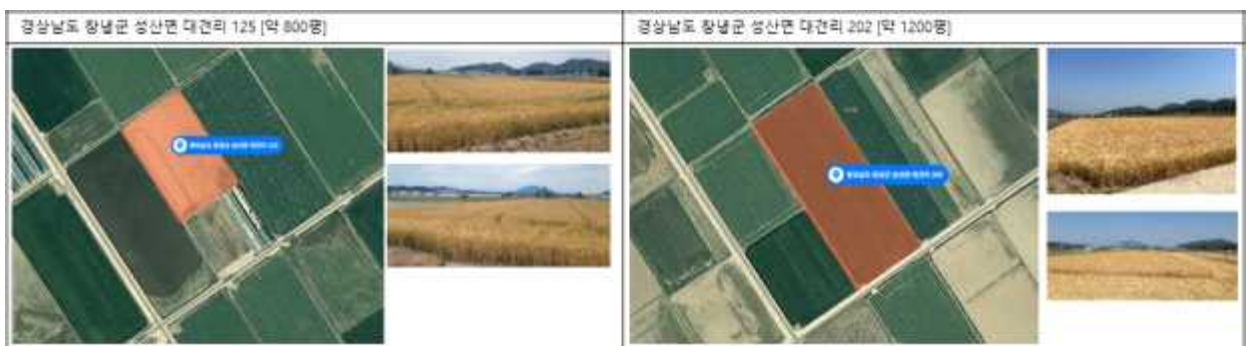
H. 시험 방법 및 결과

a. 사전 시험(1번 필지 약 800평)

- 회경 3회 작업 후 미작업 영역에 대한 경로 생성
- 자율작업으로 직진구간 및 선회구간 수확 작업 실시
- 성능 튜닝을 위하여 작업영역 내 반복 실시

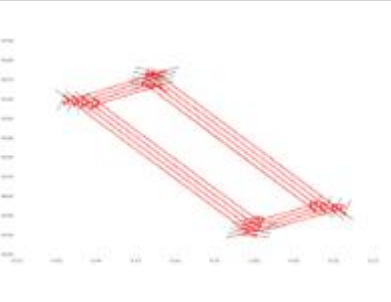
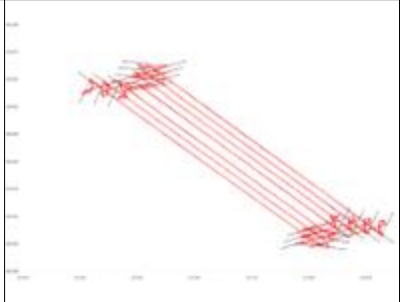
b. 성능 평가(2번 필지 약 1200평)

- 회경 4회 작업 후 미작업 영역에 대한 경로 생성
- 자율작업으로 직진구간 및 선회구간 수확 작업 실시 연속작업으로 시행
- 주행 중 차량 데이터 수집(CAN데이터)
- 차속 3km/h 기준으로 1차 주행하여 평가
- 추가 시험으로 4km/h 기준으로 증속 후 작업 평가 실시



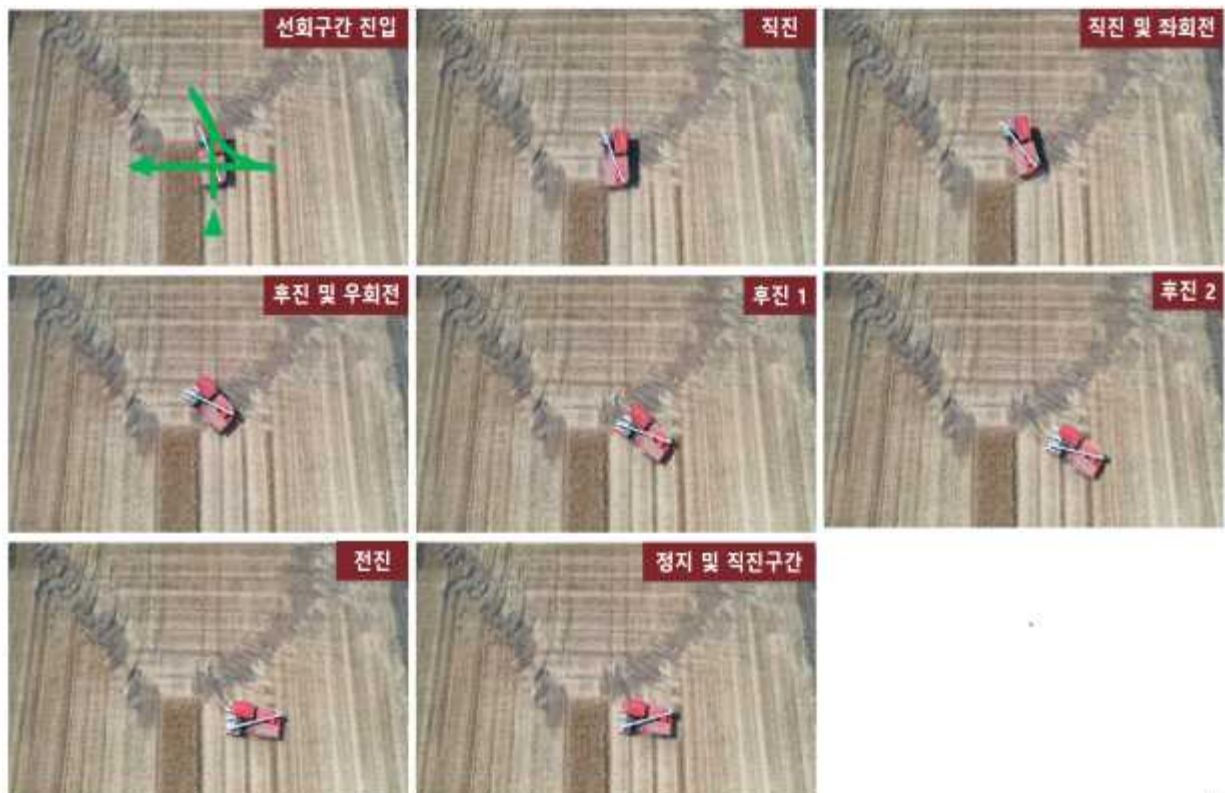
c. 평가 결과

<자율주행 시험 평가 결과>

항목		목표	1차 평가	2차 평가
작업 시간		-	11:15 ~ 11:51(실작업 19분)	13:43 ~ 14:17(실작업 19분)
주행거리		-	695m	695m
작업면적		-	1112m ²	1251m ²
성능 기준	작업 속도	최대 6.23km/h	3km/h	4km/h
	선회 속도	-	1km/h	1km/h
전체 평균 오차		0.15m	0.217m	0.285m
주행 경로 결과		-		

d. 평가 관련 사진

- 드론 촬영 선회 동작 모습



<자율주행 콤바인 선회작업 영상>



캐빈 내부



정면



선회 후



측면

<자율주행 콤바인 직진작업 영상>

L. 추곡시즌 벼작업 자율주행 현장평가

A. 시험목적 :

- a. 콤바인 자율주행 추곡시즌 필드시험을 실시
- b. 자율주행 기능 완성도, 신뢰성 평가

B. 시험일자 : 2022.10.14 ~ 2022.10.21

C. 참석기관 : (주)대동, 홍익대학교

D. 시험기대 : CZ200 PROTO 4호기

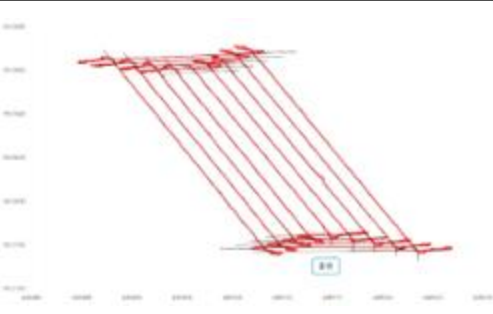
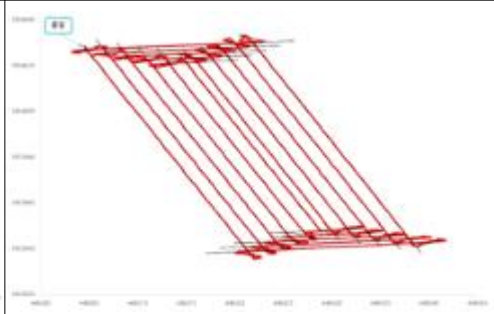
E. 시험항목 :

- a. 자율주행 기능 동작 중 생성된 경로와 실제 주행경로 간의 오차
- b. 자율작업제어 동작 기능 평가

F. 시험지 : 창녕군 대지면 본초리 일대

G. 시험 결과

항목	목표	1차 평가	2차 평가
작업면적	-	1571.5m ²	1652.6m ²
성능	작업 속도 1.39 m/s	1.65 m/s	1.38 m/s
	선회 속도 -	0.28 m/s	0.28 m/s
전체 평균 오차	0.15 m	0.109 m	0.096 m

직진구간 평균 오차	0.15 m	0.029 m	0.028 m
시험 시 GPS 상태	RTK Fixed	RTK Fixed	RTK Fixed
주행 경로 결과	-		

실작업 평가를 통해 측정한 오차 정밀도는 작업 구간인 직진구간 2.8~2.9cm 이내로 7cm 이내의 성능으로 확인함.

전체 평균 오차가 높게 측정되는 이유는 선회구간의 오차를 포함하여 측정하였기 때문임. 선회구간의 경우 전진 동작 뿐만 아니라 후진 동작도 수행하기 때문에 GNSS 모듈의 위치특성상 오차가 발생할 수 있으며, 선회 구간에서의 지체 시간을 최소화 하기 위하여 주행 거리를 최소화 하도록 동작함.(길어질 수록 작업 시간이 증가하여 작업 능률이 떨어짐.)

H. 관련사진



<자율주행 콤바인 추곡시험 사진>

ㄷ. 자율주행시스템 작업 능력 평가

A. 추곡시즌 수확작업 자율주행 현장평가

a. 시험목적 :

- 콤바인 자율주행 추곡시즌 필드시험을 실시
- 자율주행 기능 완성도, 신뢰성 평가

B. 시험일자 : 2022.10.14 ~ 2022.10.20

C. 시험기대 : 정부사업 PILOT차량

D. 시험항목 : 작업 속도 측정, 미수확률 측정

E. 시험지 : 경상남도 창원군 성산면 대건리 125 [약 800평], 경상남도 창원군 성산면 대건리 202 [약 1200평]

F. 결과

판별 기준
<ul style="list-style-type: none">○ 포장지 내 작업면적을 측정하고 콤바인 수확작업 시 남아있는 벼의 면적 측정○ 벼 1포기당 면적 : 주간 거리(0.21m) * 조간 거리(0.3m) = 0.063m²○ 미경작률 = (미수확 벼 면적) / (전체 작업 면적) * 100(%)○ 한포기의 일부 남아있는 경우도 측정 면적에 포함
평가 결과
<ul style="list-style-type: none">○ 미수확된 벼의 포기 수 : 42ea○ 미수확 면적 : 42ea * 0.063m² = 2.646m²○ 미경작률(작업 정확도) : 2.646m² / 1652.6m² * 100 = 0.16%
관련 사진(시험 환경 및 미수확 작물)


(3) 자가고장진단 기술 개발

가) 자가고장진단 기술 개발

ㄱ. 콤바인 시스템 이상부위인식 / 진단을 위한 자가고장진단 시스템 개발

A. 차속제어, 예취부, 반송부, 탈곡부, 수확량 모니터링, 환경인식/추종제어부 등 주요 시스템 고장 진단

1. CAN 통신 에러 체크 및 기본 차량 데이터 오류 체크

Message				Message Definition					
Name	CAN ID [Hex]	PGN	Cyclic Time [ms]	Byte	Bit	Signal Name	Length /Resolution	Data Range	Operating Data Range
마이콤2				1	1,2	마이콤1과 CAN 에러	2bit	0 ~ 3	00 : 정상 01 : 에러 10 : RESERVED 11 : NOT USED
					3,4	조작부와 CAN 에러	2bit	0 ~ 3	00 : 정상 01 : 에러 10 : RESERVED 11 : NOT USED
					5,6	계기판과 CAN 에러	2bit	0 ~ 3	00 : 정상 01 : 에러 10 : RESERVED 11 : NOT USED
					7,8	과전위지센서 에러	2bit	0 ~ 3	00 : 정상 01 : 에러(0.2V이하) 10 : 에러(4.8V이상) 11 : NOT USED
				2	1,2	우전위지센서 에러	2bit	0 ~ 3	00 : 정상 01 : 에러(0.2V이하) 10 : 에러(4.8V이상) 11 : NOT USED
					3,4	좌포위지센서 에러	2bit	0 ~ 3	00 : 정상 01 : 에러(0.2V이하) 10 : 에러(4.8V이상) 11 : NOT USED
					5,6	우포위지센서 에러	2bit	0 ~ 3	00 : 정상 01 : 에러(0.2V이하) 10 : 에러(4.8V이상) 11 : NOT USED
					7,8	오거포텐서 에러	2bit	0 ~ 3	00 : 정상 01 : 에러(0.2V이하) 10 : 에러(4.8V이상) 11 : NOT USED
				1,2	롤랑센서 에러	2bit	0 ~ 3	00 : 정상 01 : 에러(0.2V이하) 10 : 에러(4.8V이상) 11 : NOT USED	

2. 자율주행 동작 오류 체크

Message		Message Definition					
Name	CAN ID [Hex]	Byte	Bit	Signal Name	Length /Resolution	Data Range	Operating Data Range
자율주행 제어기	0x18 FF14 20	1	1	시작점 등록	1bit	0 ~ 1	0 : OFF, 1 : ON
			2	종료점 등록	1bit	0 ~ 1	0 : OFF, 1 : ON
			3	자율주행 준비 완료	1bit	0 ~ 1	0 : OFF, 1 : ON
			4	자율주행 ON/OFF	1bit	0 ~ 1	0 : OFF, 1 : ON
		2	1	좌측경로미탈	1bit	0 ~ 1	0 : OFF, 1 : ON
			2	우측경로미탈	1bit	0 ~ 1	0 : OFF, 1 : ON
			3	수동주행	1bit	0 ~ 1	0 : OFF, 1 : ON
			4	난기운전	1bit	0 ~ 1	0 : OFF, 1 : ON
			5	하강미일력	1bit	0 ~ 1	0 : OFF, 1 : ON
			6	직진거리부족	1bit	0 ~ 1	0 : OFF, 1 : ON
7	연진정지		1bit	0 ~ 1	0 : OFF, 1 : ON		
3	1	위성강도	4bit	0 ~ 15	0 : 위성신호없음 1 : 신호강도미약 2 : 신호강도미약 3 : 신호강도미약 4 : 신호강도미약 5 : 위성강도-5		
6	16	프로그램 버전표시		0~65535	VERSION : 25101		

(4) 부하감응 반송 및 탈곡부 개발

가) 부하감응형 반송 및 탈곡부 시스템 개선 제작 및 평가

ㄱ. 부하감응형 반송 시스템 개선품 본기 탑재 평가

A. 반송시스템 및 필드검증 개선품 필드검증

a. 작물 및 노지 조건에 따른 기대 가변 작업 시 반송계 막힘 유무확인



<반송시스템 필드검증>

예취된 벼가 탈곡실로 유입될 때 끊임없이 일정량의 짚단두께를 형성하여야 하며, 보조 반송에 작물이 물리는 자세가 곧게 이송되어야함. 또한 이송중 작물의 흘림이 없어야함.

2차년도 반송부 시험평가에서 전체적으로 양호한 포퍼먼스를 확인하였지만, 극소량의 작물 유입 시 작물 흘림이 발생하였음.



<예취 인계시스템 가이드봉 추가>

이를 개선하기 위해 소량의 작물도 흘림 없도록 가이드봉을 구성하여 필드시험평가를 진행하였음. 전체적으로 작물의 인계수준은 우수하게 확인되었으며, 소량의 작물도 빠짐없이 인계되는 것을 확인함. 추가적인 이슈는 발생하지 않음.

b. 보조반송부 커버 보호물 구성



<보조반송부 커버 보호물 구성>

보조반송 및 공급체인 하단에 예취 HST 동력벨트라인이 구성되어 체인에 윤활을 위한 오일을 주유하였을 때 하방향의 벨트를 오염시켜 슬립 및 벨트 노후화를 촉진시키는 문제를 해결하기 위해 상기 그림과 같이 커버 보호구조물을 조성함.

B. 예취 및 탈곡 속도 연계 시 적합성 검토

a. 작업 시 발생 상황별 반송부 대응능력 최종평가(필드)

저속, 고속, 도복 등 필지 작물 상태에 따라 연속작업을 통해 반송부의 결함 유무 평가를 진행하였으나 특이사항 확인되지 않음.

b. 자율주행 시 발생 상황별 반송부 대응능력 최종평가(필드)

현재 자율주행은 1.0~1.5m/s의 중저속 구간 작업이 가능하도록 설정되어 있고, 가용속도 내에서 예취속도 및 보조반송간의 작물흘림 및 막힘, 부자연스러운 작물의 자세를 연속작업을 통해 평가 진행함.

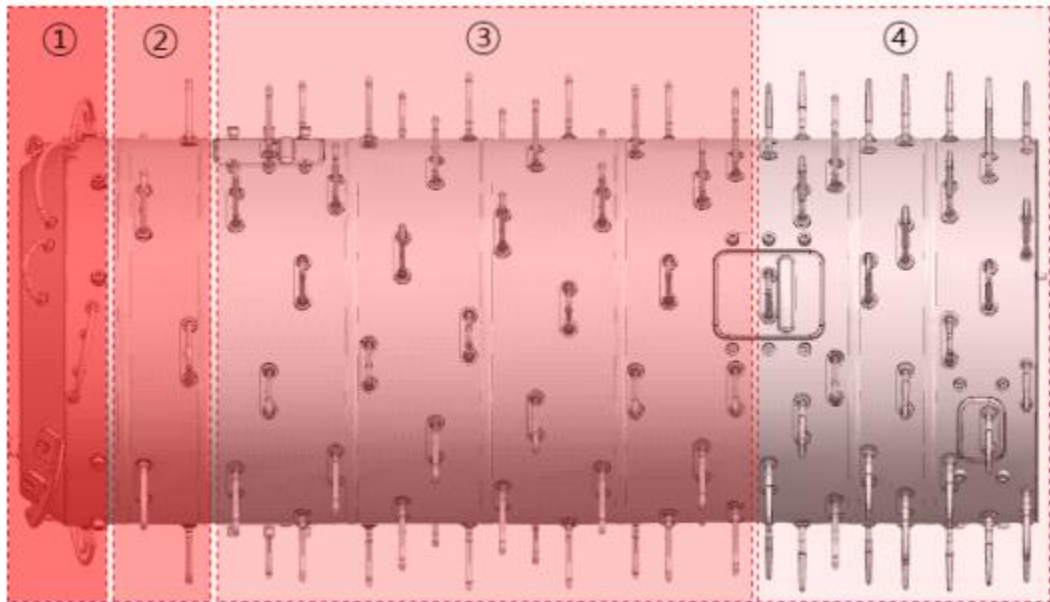
평가는 2,000평 가량 연속작업을 통해 진행되었고, 반송부의 작물인계에서 특이사항은 없었음.

ㄴ. 부하감응형 탈곡시스템 개발

A. 탈곡부 소화능력 향상을 위한 탈곡 급치 최적화 개발

a. 급치 배열이 최적화

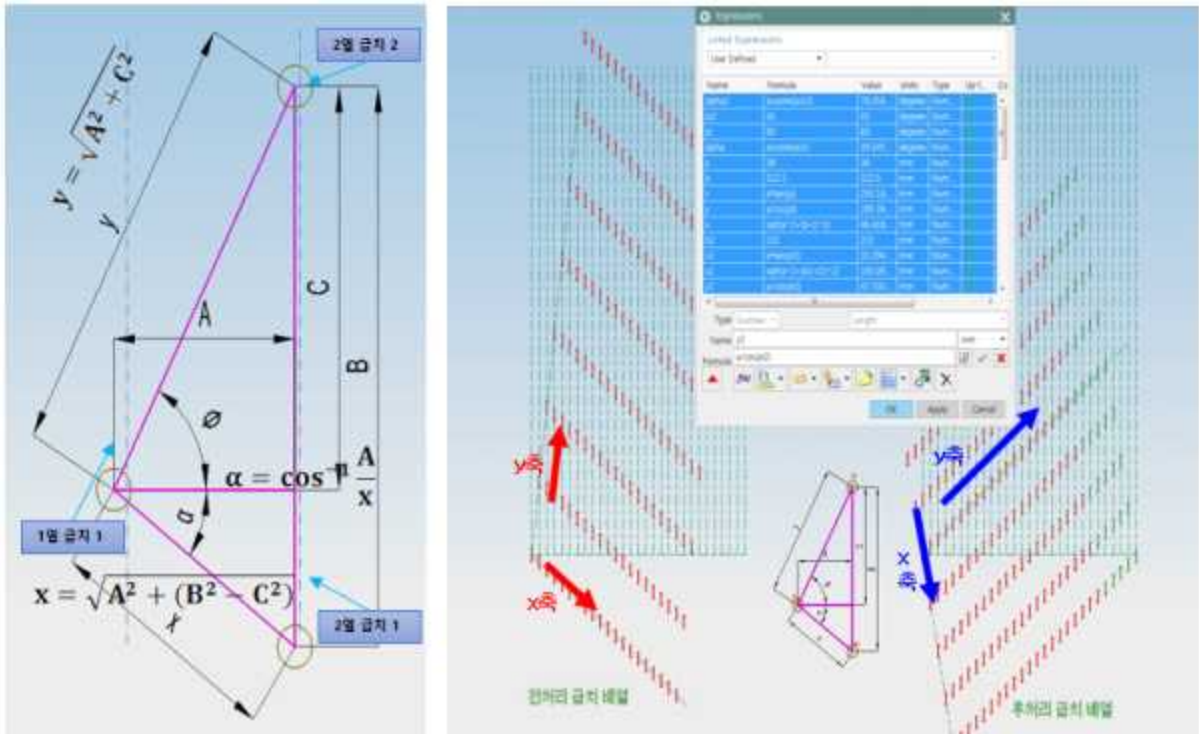
- 구간별 급치 구성



구간	①	②	③	④
치형	정소치	보강치	중간치	흠개치
최대 높이				
형상				
대개	6개	8개	72개	49개

탈곡통으로 작물이 유입되면 초반 ①,②구간에서 가장 많은 비율의 탈곡이 이루어짐. ③, ④구간에서는 전방에서 탈립되지 않은 낱알을 탈곡함. 초반에 탈곡 가능한 작물이 많기 때문에 초반에 과도한 탈곡을 진행하고자 급치형상을 비교적 크고 수량을 많이 구성하게 되면 과부하로 인한 탈곡통 슬립 혹은 막힘의 우려가 있음. 따라서 전방부는 비교적 간헐적으로 급치 배열이 구성되며 급치 또한 낮은 형태의 형상으로 구성됨. 전방에서 탈곡된 후 남은 알곡 탈립을 위해서는 작물 사이사이를 균일하게 급치로 훑어줘야하기 때문에 전방부 대비 급치 배열을 밀도있게 구성하고, 급치 높이도 다소 높은 사양을 구성함.

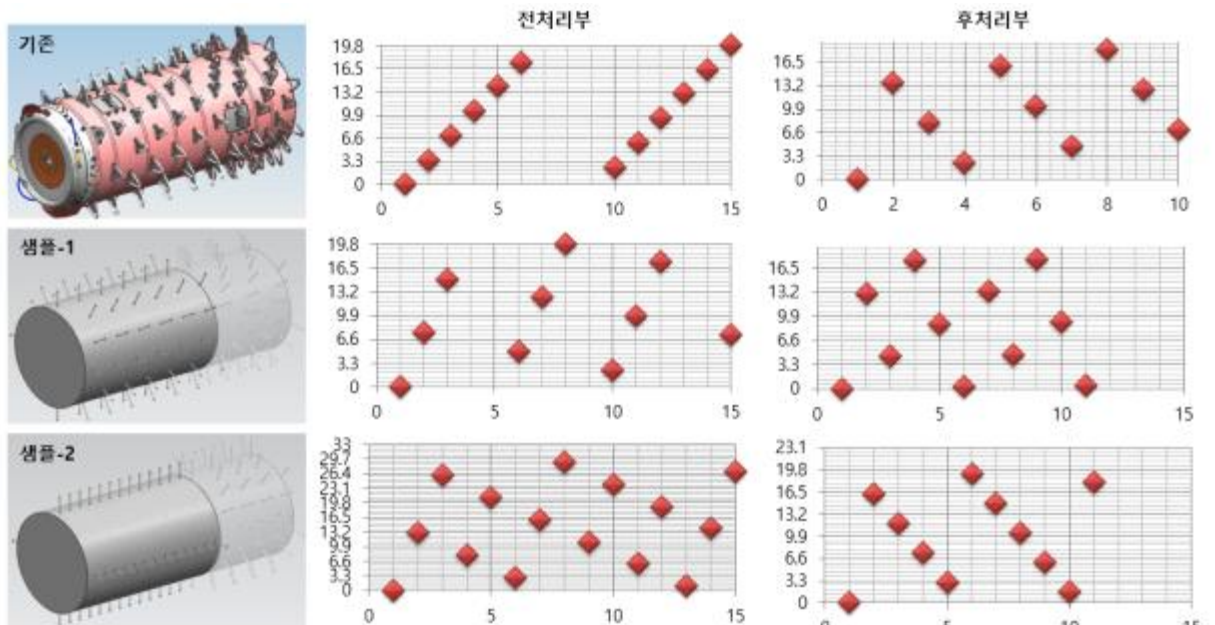
- 급치배열
- 급치배열 이론 현실화



<급치배열 이론치 CAD data 적용>

급치배열 이론을 CAD 데이터 적용하여 최적 급치 배열 위한 급치 배열 스펙트럼 구성.

- 샘플별 급치 배열 선도



<급치배열 선도>

급치배열 이론을 적용하여 지연각 및 급치간격을 조정하여 급치 타격지점을 검토하여 현재사양 및 샘플모델링을 구성하였음. 선도 분석 결과 현재사양의 경우 전처리부 작물의 반복 타격으로 인해 검불과다 및 일부 미타격이 예상되고, 후처리 부분은 균등하게 타격

하고 있는 수준이지만 여전히 반복 타격이 발생하여 탈립 효율 측면에서 다소 떨어지는 부분을 확인함. 이를 토대로 상기 인자(지연각, 급치간격)을 조정하여 배열각을 균등하게 구성하여 샘플을 구성함.

b. 급치 배열에 따른 탈곡부하 모니터링(필드)

- 시험 탈곡통 제작



상기 이론검토를 통해 탈곡통 시험품을 제작 완료함.

- 시험 탈곡통 및 시험사양

항목		현재사양		시제품#1		시제품#2	
		전처리	후처리	전처리	후처리	전처리	후처리
시스템 차이점	급치수	88	33	72	49	60	43
		121		121		103	
	탈곡통속도	11m/s					
	피드체인속도	1.1m/s					
	급치열간거리	36	36	31	36	49	32
	지연각	73.3	73	73.3	74	0	66.6

- 시험 결과

시험은 현재사양 및 시제품 사양의 성능 비교 목적으로 진행되었기 때문에 동력 및 작업을 위한 기본 세팅모드(풍구, 수망간격, 비산방지, 채프각도, 송진판 등)를 동일조건으로 세팅하여 진행하였음.

- 현재사양 시험결과

항목	현재사양			
	검불량	미탈립량	비율	부하
TEST1	8,300g	353g	4.1%	전체적 미탈립 발생 및 부하발생
TEST2	9,630g	388g	3.9%	
TEST3	9,100g	392g	4.1%	

- 시제품#1 시험결과

항목	시제품#1			
	검불량	미탈립량	비율	부하
TEST1	14,050g	60g	0.4%	전체적 과부하 발생 및 검불과다
TEST2	16,390g	70g	0.4%	
TEST3	15,810g	40g	0.3%	

- 시제품#2 시험결과

항목	시제품#2			
	검불량	미탈립량	비율	부하
TEST1	9,520g	130g	1.4%	일시적 이상부하 확인
TEST2	8,200g	118g	1.4%	
TEST3	7,190g	106g	1.5%	

3가지 탈곡통 급치 배열 모드에 따른 필드시험을 진행하였고, 필드시험 결과는 상기 테이블과 같이 나타남.

각 시험모드는 3반복하여 시험평가를 진행하였고, 시험결과는 시제품#2에서 가장 높은 포퍼먼스를 확인하였음. 현재사양의 경우 작물의 상,하단 전구간에서 미탈립이 발생하였고, 탈곡작업 시 부하조성으로 엔진 RPM이 2,100~2,200 수준으로 drop되는 경우가 일시적으로 발생함. 시제품#1의 경우 미탈립량에서는 가장 높은 성능이 확인되었지만 검불량이 과다하여 급치배열이 작물의 반복적인 타격을 가하고 있는 것으로 확인됨. 또한 엔진부하도 높게 나타남(엔진RPM: 2,100 수준).

시제품#2는 시제품#1보다 미탈립량은 높게 나타났지만 종합적인 성능에서 가장 좋은 퍼포먼스가 확인됨. 일시적으로 이상 부하가 확인되었지만 작업 노이즈로 판단됨.

향후 연속시험을 통해 급치배열의 효용성을 추가적으로 확인 할 필요가 있음.

1) 연구개발 수행내용

[1차년도]

(1) 환경인식/경로생성 컨트롤러 샘플보드 하드웨어 개발

가) 환경 및 작물인식 / 추종 컨트롤러 샘플보드 설계

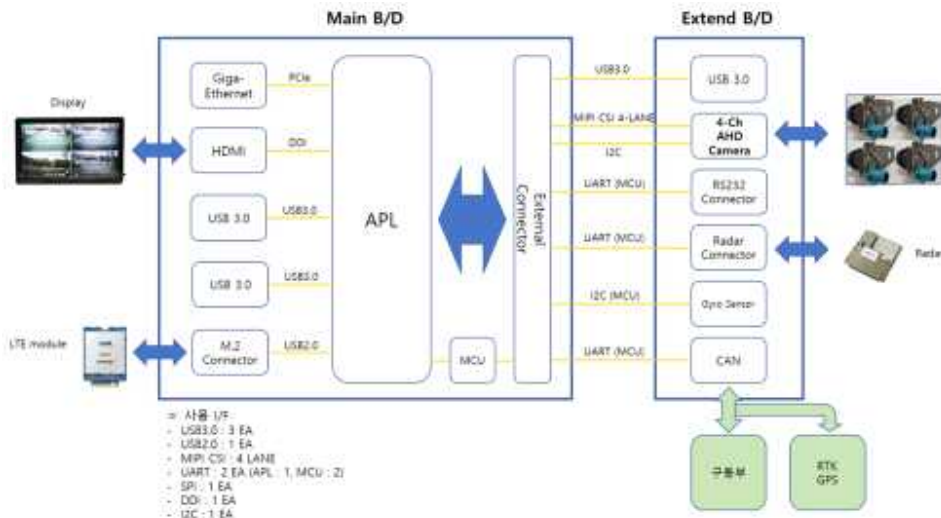
ㄱ. 환경인식/경로생성 컨트롤러 Interface 설계 주안점

a. 환경인식/경로생성 컨트롤러 샘플보드는 제어기통신, 센서연결, 영상입출력 환경을 고려하여 아래와 같은 Interface가 제공 될 수 있도록 설계함

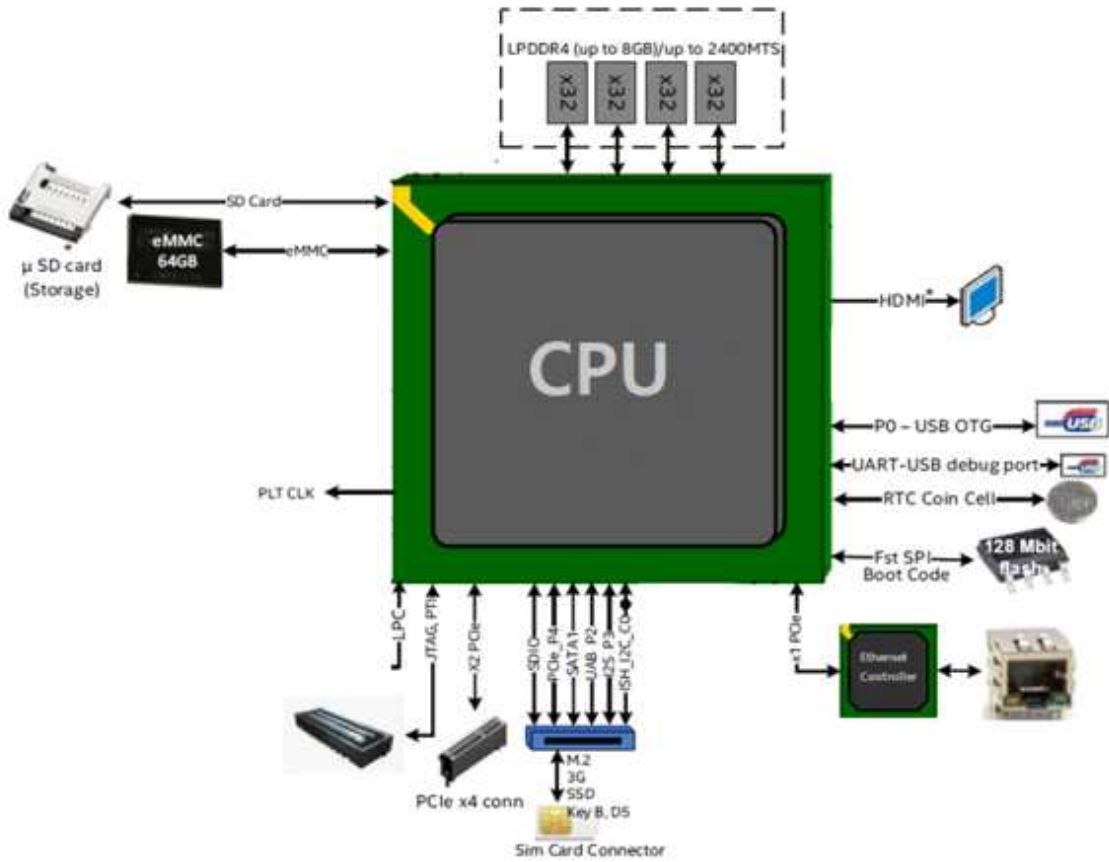
- 콤바인 내 제어기와의 통신을 위한 CAN Port 제공
- 통신환경 제공을 위한 Gigabit Ethernet 대응 RJ45 제공 및 USIM 부착가능 Slot 확보
- 환경인식용 Camera 대응 위한 MIPI Interface 제공
- 센서정보 취득을 위한 RS232, UART Interface 제공
- 영상출력제어를 위한 Micro HDMI Interface 제공
- 범용통신 및 Debugging을 위한 USB Port 제공
- Interface 확장성을 고려한 확장보드 slot 제공

L. 환경인식/경로생성 컨트롤러 보드 형상 설계 주안점

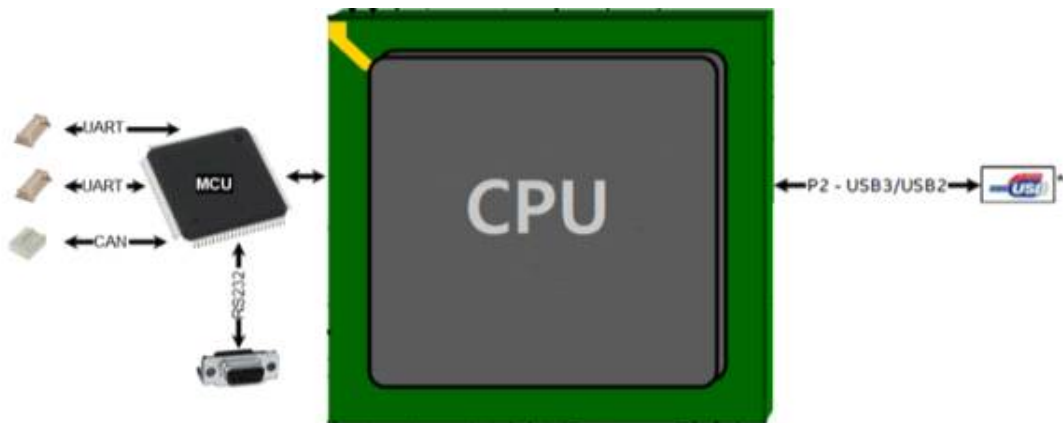
a. 환경인식/경로생성 컨트롤러 샘플보드의 소형화 및 연결확장성을 고려, 컨트롤러 메인보드와 확장보드로 이원화 함으로써 보드사이즈 소형화 및 향후 발생할 수도 있는 Interface 타입변경 과 확장에 유연하게 대처할 수 있도록 보드를 설계함



<환경인식/경로생성 컨트롤러 샘플보드 Interface 개념도>



<컨트롤러 메인보드 기능 블록도>



<컨트롤러 확장보드 기능 블록도>

나) 환경 및 작물인식 / 추종 컨트롤러 샘플보드 구성

a. 환경 및 작물인식 / 추종 컨트롤러 샘플보드 는 1) 메인보드와 2) 확장보드로 구성됨

다) 환경 및 작물인식 / 추종 컨트롤러 메인보드 사양

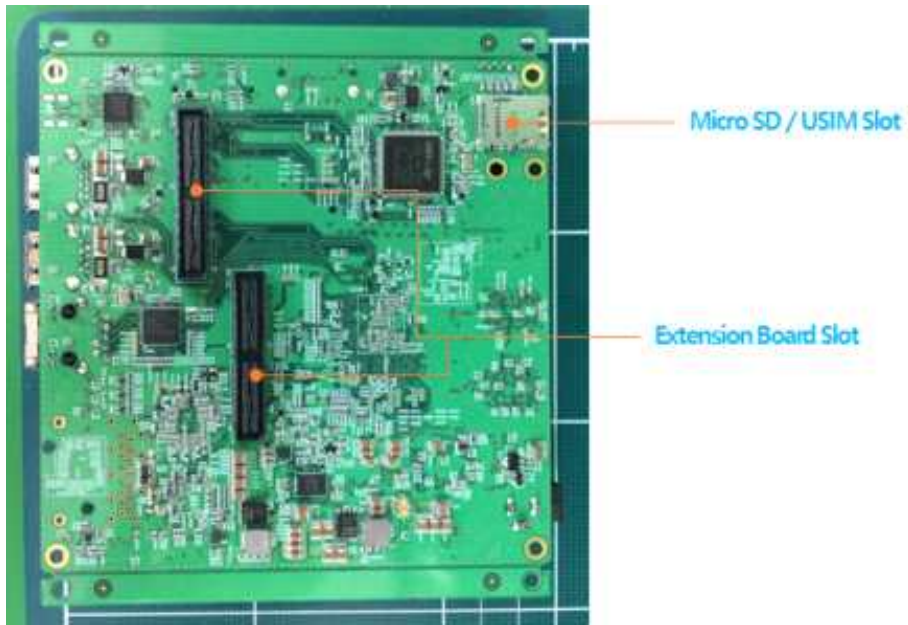
ㄱ. 컨트롤러 메인보드 Spec.

항목	사양	비고
CPU	Quard Core 2.0 Ghz	
Memory	LPDDR4 4Gbyte	
Storage	eMMC 64Gbyte	
Interface	Mini HDMI x 1 RJ45 (Gigabit Ethernet) x 1 USB3.0 x 2 SDCard / USIM Combo x 1 PCIe Connector x 1	
Size	125mm X 125mm	

<컨트롤러 메인보드 사양>



<컨트롤러 메인보드 앞면>

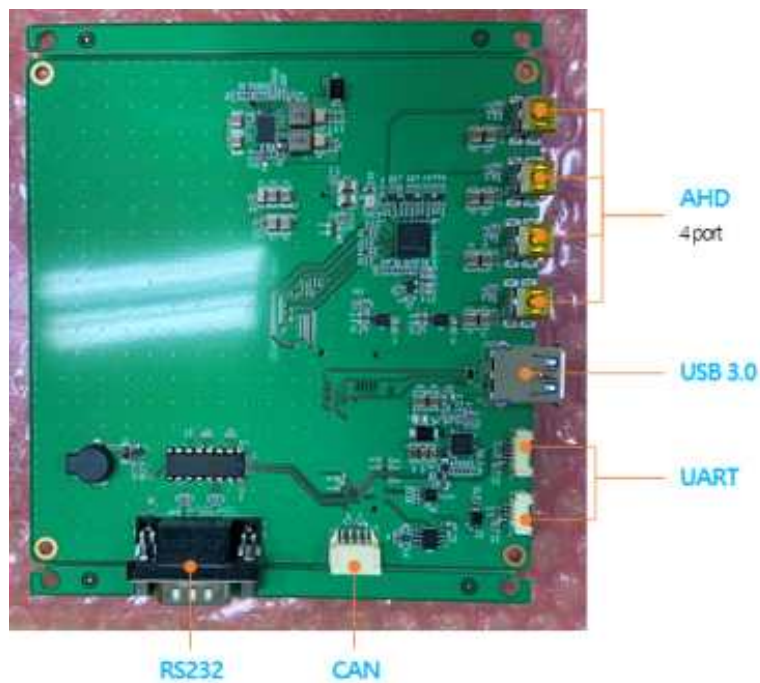


<컨트롤러 메인보드 뒷면>

L. 컨트롤러 확장보드 Spec.

항목	사양
Interface	MIPI Interface x 4 USB3.0 x 1 UART x 2 CAN x 1
Size	125mm X 125mm

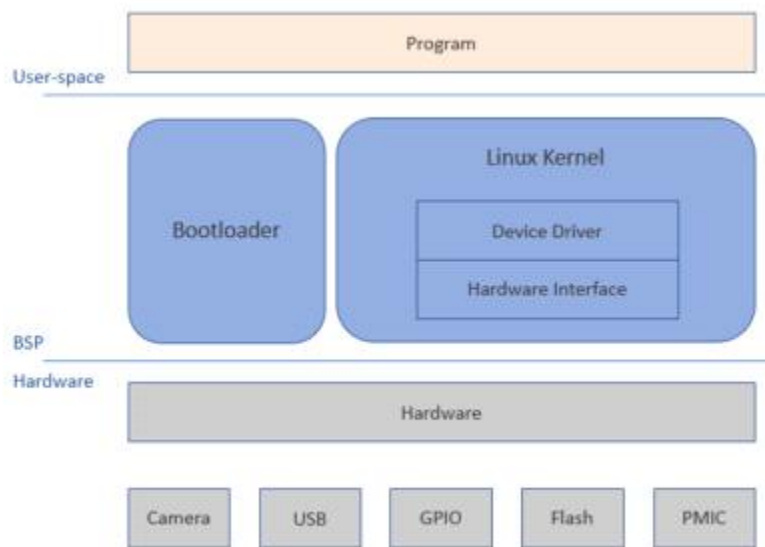
<컨트롤러 확장보드 사양>



<컨트롤러 확장보드>

3) 환경 및 작물인식 / 추종 컨트롤러 보드 Bring-up 및 BSP 개발

- a. 컨트롤러 보드의 카메라 입력부를 포함한 각 부 제어장치들을 동작시키기 위한 보드 Bring-up 및 BSP 개발 진행
- 콤바인 내 제어기와의 통신을 위한 CAN Port 제공
 - Bootloader 제작
 - Memory configuration, MIPI CSI configuration, GPIO 및 I2C port configuration
Kernel device driver 제작 및 configuration
 - HDMI display, 확장보드 N4 decoder driver 개발, ethernet driver 개발, camera driver 개발
 - Kernel 및 Root File System 개발



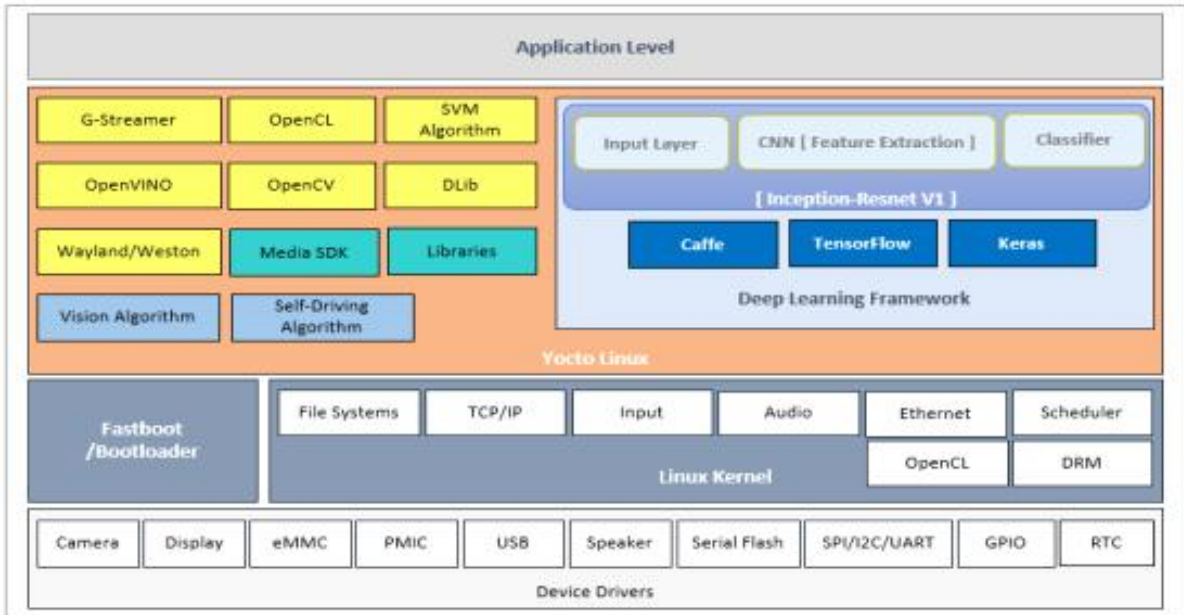
<ESP 개발 블록 다이어그램>

나) 컨트롤러 보드의 MCU 제어기능 구현

- Firmware 개발
- Protocol 정의 및 개발
- MCU data 송/수신 기능 개발 (UART, CAN)

다) 컨트롤러 보드에 환경 및 작물인식 알고리즘 탑재를 위한 운영환경 구성

- Embedded OS 환경, 센서부 Driver 및 Library 최적화 알고리즘 포팅 개발
- 컨트롤러 보드에 경로 생성 알고리즘 탑재를 위한 필요 library 검토
- 기 선정 library 대상 컨트롤러 보드 환경에서 동작가능 하도록 library 포팅



<S/W 블록다이어그램>

[2차년도]

(1) 환경 및 작물인식 / 추종 컨트롤러 시제품 설계 및 개발

가) 환경인식/경로생성 컨트롤러 Interface 설계 주안점

a. 환경인식/경로생성 컨트롤러 시제품은 제품 운영환경에 대응되는 강건성이 확보될 수 있도록 보호회로 추가 및 인터페이스 부 강화 작업을 추진하였으며, 그 내용은 아래와 같음

- Surge, ESD 회로손상을 방지를 위한 보호회로 추가
- 방수, 방진, 진동 Spec. 부합을 위한 차량용 커넥터 적용
- 디버깅을 위한 외부 디스플레이 단자 및 Interface 추가
- 콤바인 내 제어기와의 통신을 위한 CAN Port 제공
- 통신환경 제공을 위한 Gigabit Ethernet 대응 RJ45 제공 및 USIM 부착가능 Slot 확보
- 환경인식용 Camera 대응 위한 MIPI Interface 제공
- 센서정보 취득을 위한 RS232, UART Interface 제공
- 영상출력제어를 위한 Micro HDMI Interface 제공
- 범용통신 및 Debugging을 위한 USB Port 제공
- Interface 확장성을 고려한 확장보드 slot 제공

B. 환경인식/경로생성 컨트롤러 Interface 설계 특징은 아래와 같음

- 하드웨어 설계 특징으로는 IEC61000-4-2 Specification 부합될 수 있도록 외부 Interface ESD 설계를 진행
- 입력 전원의 Surge, ESD 등에 의한 회로 손상을 막기 위한 보호회로를 적용

- 방수, 방진, 진동 SPEC에 부합하기 위한 TE 3-6437285-0 차량용 커넥터 적용
- 4CH 카메라 사용이 가능하도록 AHD CAMERA Interface 적용
- 디버깅에 용이하도록 외부 디스플레이 단자 및 외부 Interface 단자 적용

나) 환경 및 작물인식 / 추종 컨트롤러 메인보드 사양

ㄱ. 사양개요

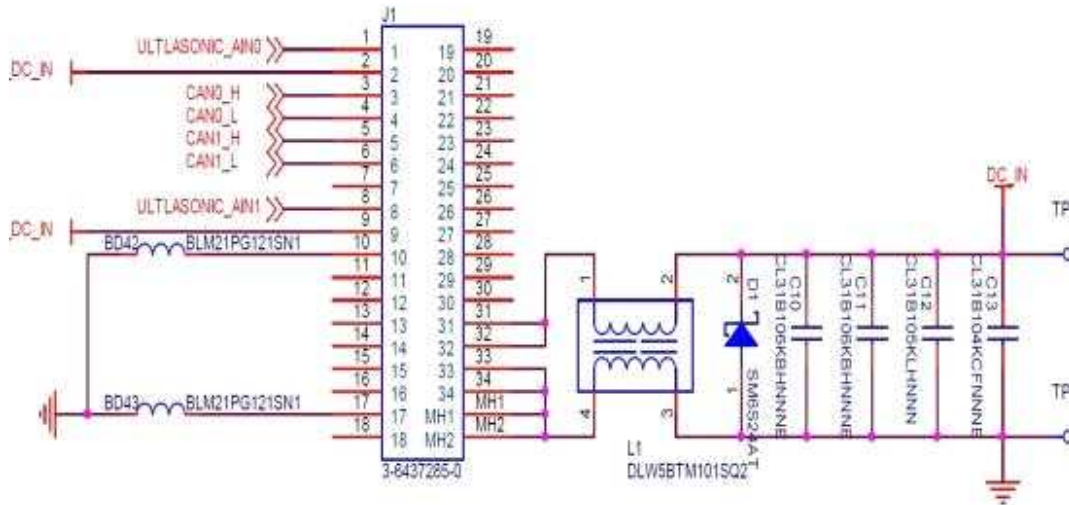
- a. 1차년도와 동일하게 환경 및 작물인식 / 추종 컨트롤러 샘플보드 는 1) 메인보드와 2) 확장보드로 구성하였으며, 컨트롤러 메인보드의 Spec. 은 아래와 같음

L. 컨트롤러 메인보드 Spec.

- a. 자율주행 경로생성/주행 알고리즘이 원활하게 구동될 수 있도록 Embedded System을 구성 하였음
- b. SoC는 Intel chip을 사용하였으며 충분한 내부 eMMC 메모리를 장착하였고 고속 LPDDR4를 사용하였음.
- c. 세부 spec.은 아래와 같음

SoC	Intel Atom Processor E-3950
Memory	LPDDR4 4GB
Storage	eMMC 32GB
Connectivity	1xGigabit Ethernet(RJ45) 4xAHD 1xUSB 2.0 2xUSB 3.0 2xCAN 2xADC 1xmSD Soket
Display	1xHDMI 1xDP
Operating voltage	7V ~ 24V
Operating temp	-40°C ~ +85°C
Size	175mm x 155mm x 30mm

<제어기 Spec.>



<보호회로>



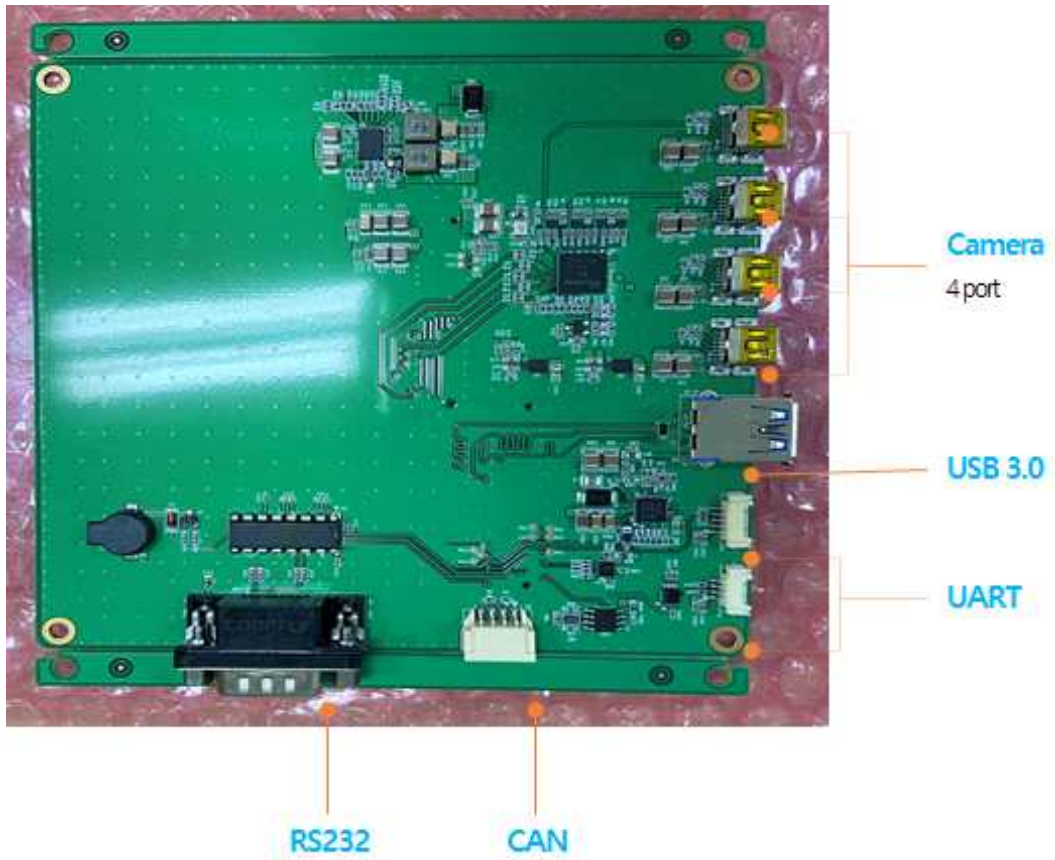
<TE 3-6437285-0 차량용 커넥터>

1	초음파센서0 Analog DATA
2	초음파센서0 PWR 12V OUTPUT
3	CAN0 DATA_H
4	CAN0 DATA_L
5	CAN1_DATA_H
6	CAN1_DATA_L
8	초음파센서1 Analog DATA
9	초음파센서1 PWR 12V OUTPUT
10	초음파센서0 GND
17	초음파센서1 GND
31	MAIN PWR 12V INPUT
32	MAIN PWR 12V INPUT
33	MAIN PWR GND
34	MAIN PWR GND
MH1	GND
MH2	GND

<TE 3-6437285-0 차량용 커넥터 PINMAP>



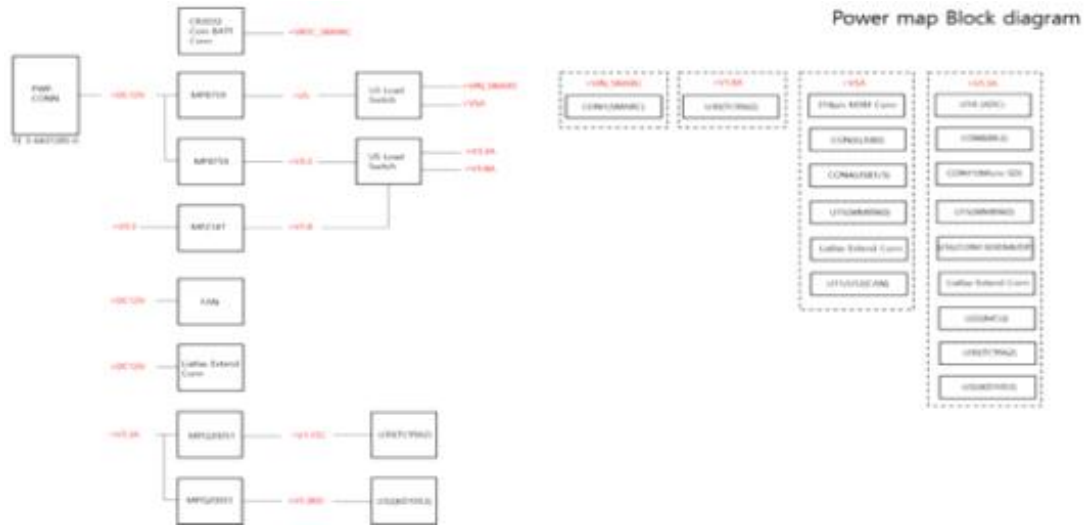
<컨트롤러 (앞)/(뒤)>



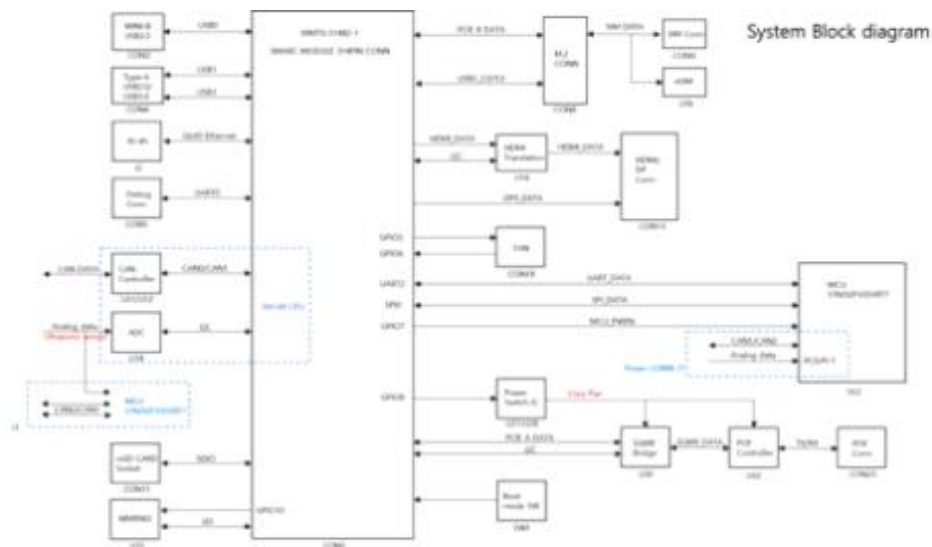
<CAN통신 확장보드>

ㄷ. 전력 및 시스템 블록 구조

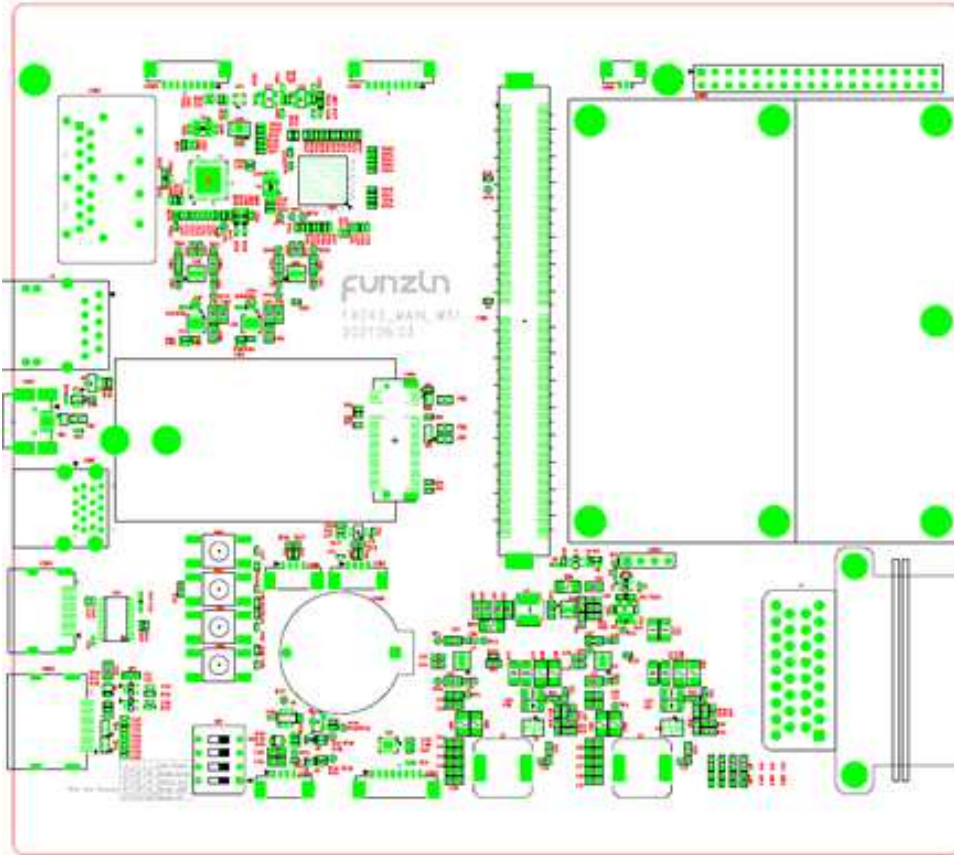
- a. 하드웨어 제작을 위한 power map block diagram과 system block diagram을 보여주고 있으며 이를 기반으로 적합한 SoC를 선정하고 회로도를 완성한 후 아트웍을 진행하여 PCB를 제작함.
- b. 특히, power map은 제어기 동작의 안정성에 매우 중요한 부분이며 각 block별도 나누어 설계하였음.



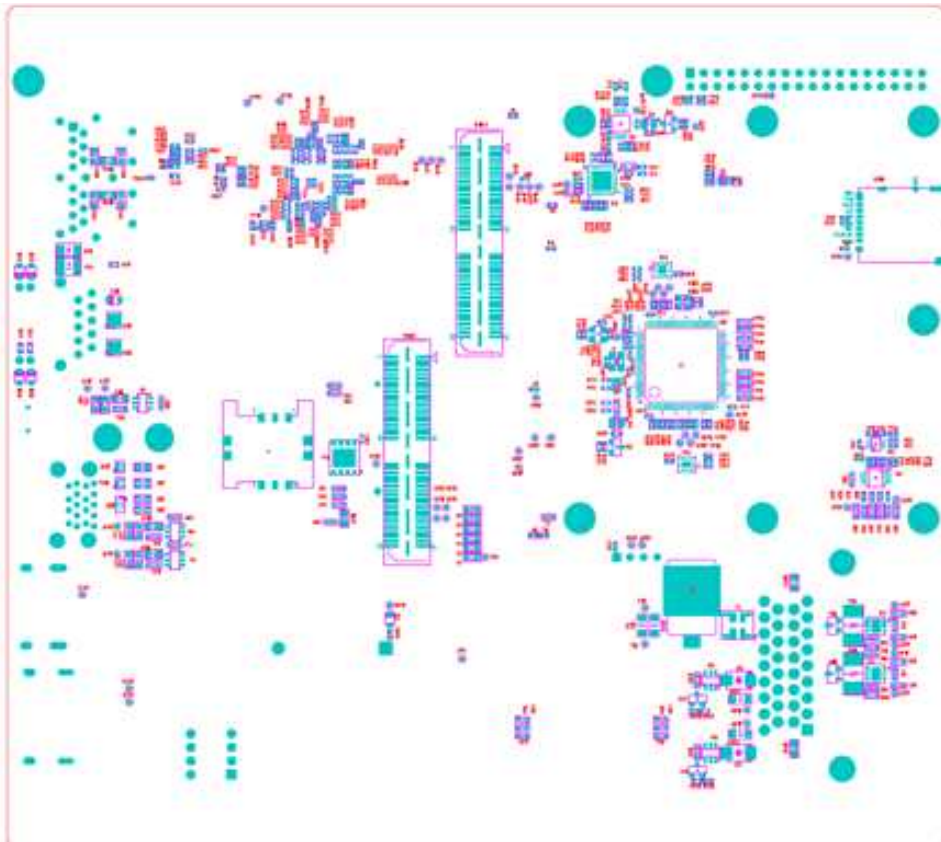
<Power Map Block Diagram>



<System Block Diagram>



<PCB Layout TOP>



<PCB Layout Bottom>

(2) CAN 통신 프로토콜 자가진단 항목 개발

가) CAN 통신 프로토콜 자가진단 항목 개발

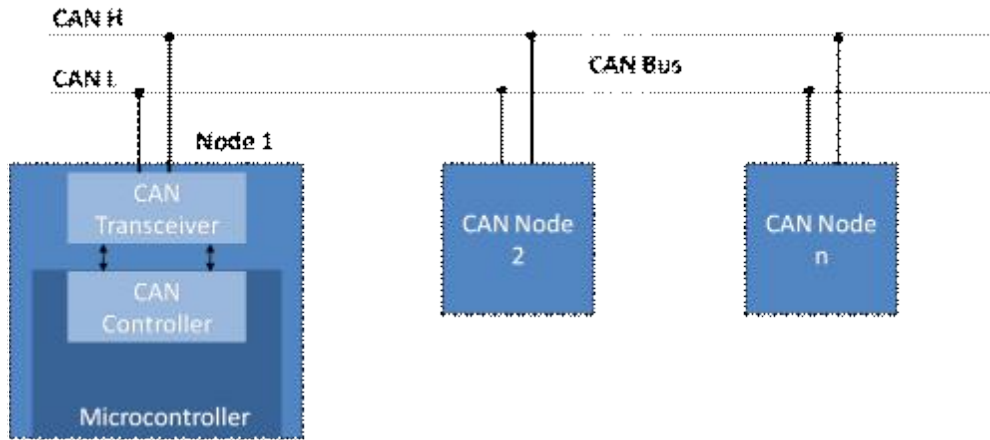
- a. 2차년도 개발 계획을 수립하고 환경인식 컨트롤러 2차 보드를 제작함
- b. 제작한 보드를 동작시키기 위해 BSP(Board Support Package)를 이용하여 외부 peripheral device를 동작시키고 MICOM과 SoC간에 UART 통신을 이용하여 공용프로토콜과 자가진단 기능 개발을 수행하였고 3D Rendering 기술을 사용하여 케이스를 제작하였음
- c. CAN 통신 프로토콜은 그림 73에 나와 있으며 이를 기반으로 공용프로토콜과 자가진단 항목을 개발함.

Message					Message Definition				Data Rate	Operating Data Range	T.T	LCD	비고	
Name	RX/TX	CAN ID (Hex)	FCN	Cycle Time (s)	Byt	Bit	Signal Name	Length (Max/Min)						
자율주행제어기	TX	0x18 5A1 20	05441	300	1	1	자율주행 상태	1Bit	0-1	0: OFF / 1: ON				
					2	1-16	고장명세	16Bit	0-2000	0: 정상목 100%, 100.0: 정/부정목 05 (종점), 200.0: 부정목 100%			resolution: 0.1%, 0.001 100, 1000 (1 무늬(+))	
					3	1-8	전진명세	8Bit	0-255	0-100			resolution: 1%	
					4	1-8	후진명세	8Bit	0-255	0-100			resolution: 1%	
					5	1	패시브상태	1bit	0-1	0: 활성 / 1: 비활				
						2	대행능력사용제한	1bit	0-1	0: OFF / 1: ON				
						3	직속사용제한	1bit	0-1	0: OFF / 1: ON				
						4	배경사용제한	1bit	0-1	0: OFF / 1: ON				
						5	오도기 사용제한	1bit	0-1	0: OFF / 1: ON				
						6	승강기 사용제한	1bit	0-1	0: OFF / 1: ON				
7	오도방지제어	1bit	0-1	0: OFF / 1: ON										
8	승강사용제한	1bit	0-1	0: OFF / 1: ON										
조광 제어기(수동)	RX	0x18 5A64 30	54300	300	1	1-16	직속명세(정)	16Bit	0-65534					
					2									
					3	1-16	직속명세(부)	16Bit	0-65534					
					4									
					5									
					6									
					7									
					8									
ECU	RX	0x0C 2034 00	01444		1									
					2									
					3									
					4		전진 RPM C&E	SCALE = 0.729	0-65535			전진 rpm feedback		
					5		후진 RPM C&E							
					6									
					7									
					8									
라이플 1	RX	0x01FA0000			3	1-8	직속명세(정)	8Bit	0-631					

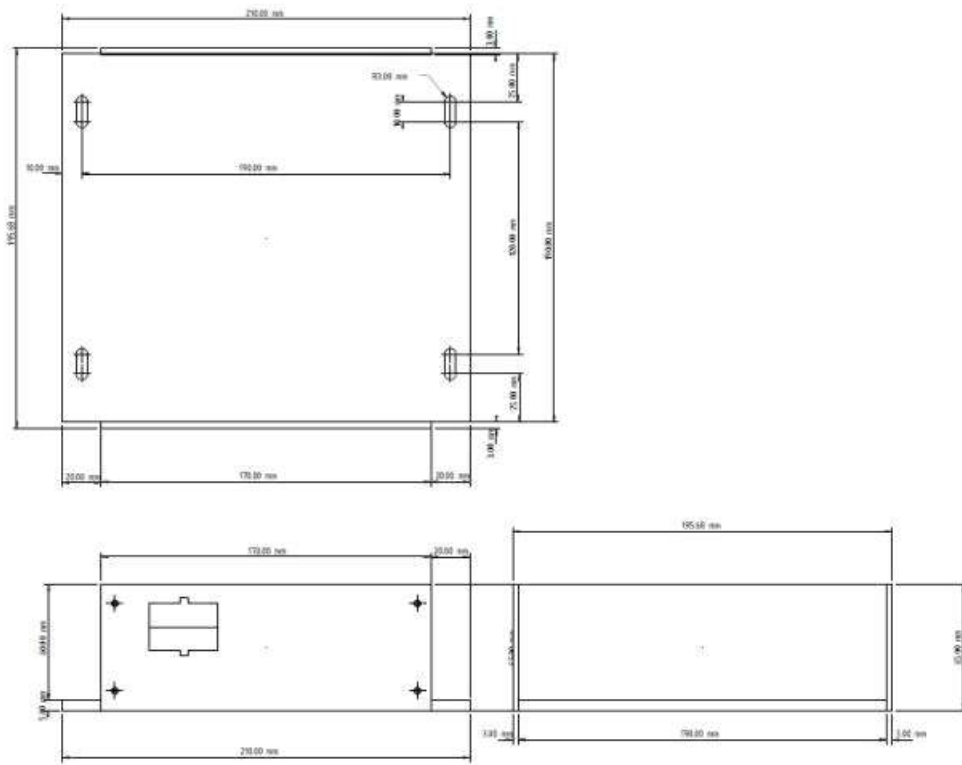
<CAN통신 프로토콜 자가진단 항목>

나) 자율주행 시스템 및 환경인식 센서부 CAN통신 시스템 개발

- CAN 통신 및 디바이스 전원 제어를 위한 MCU 제어 기능 개발
- CAN driver 분석 및 개발
- CAN 통신 프로토콜 분석 및 수정, 프로토콜에 맞게 동작하도록 통신 기능 개발
- SoC와 연동을 위한 UART 통신 프로토콜 개선 및 통신 기능 개발



<CAN통신 시험 개요>



<컨트롤러 2D 상세 사양 Lay-out>



<컨트롤러 케이스 Mock-up 제작>

(3) 컨트롤러 동작 검증

- a. 아래 그림과 같이 환경인식 컨트롤러 2차 보드 제작을 완료하고 동작 검증을 진행하였음
- b. 콤바인과 자율주행 제어기간에 CAN 통신 시험을 위해 CAN 통신 Protocol을 기반으로 MICOM Firmware를 제작하고 MICOM Firmware를 직접 burning tool을 이용하여 Image를 변경해 가면서 CAN Analyzer와 노트북을 연결하여 테스트를 진행함.



<콤바인과 자율주행 제어기 연결>



<자율주행 제어기 연결>

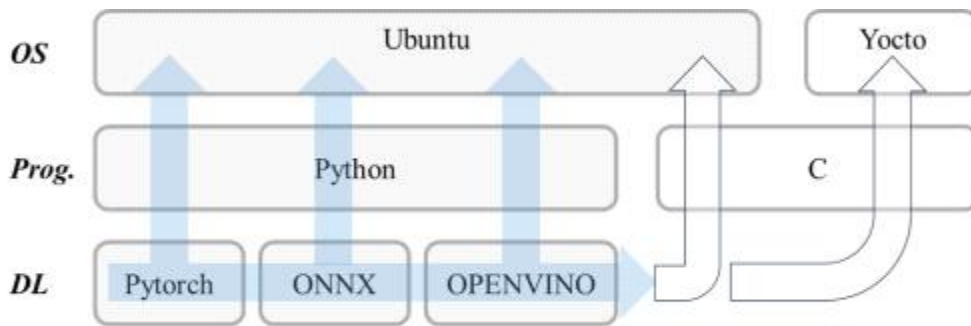
[3차년도]

(1) 환경인식/추종 컨트롤러 시작품 하드웨어 개발

가) 사양 부적합부 개선사항 / 내환경성 개선항목 도출

ㄱ. 환경인식부 구동환경 개선

- 본 과제에서는 콤바인 작업환경 인식기술의 자율주행 콤바인 적용을 위해서 카메라에서 취득된 2D RGB정보를 기반으로 한 딥러닝 알고리즘을 사용 중
- 이를 통해 환경인식 및 인지를 위한 Object detection 및 semantic segmentation의 기능 구현이 필요
- 딥러닝 알고리즘 구현 성능 검토결과, 딥러닝 알고리즘 개발환경과 2차년도 컨트롤러 개발 환경이 서로 상이함에 따라 딥러닝 알고리즘 목표성능 달성에 이슈가 있는 것으로 검토 됨
- 따라서, 성능개선을 위해 개발환경과 동일한 NVIDIA APU로 변경, 요구성능에 부합할 수 있도록 개선개발을 진행하였음



<제어기 장착을 위한 최적화 방안>

ㄴ. 환경인식/경로생성 컨트롤러 시작품 설계 특징

- VISION 알고리즘 처리 성능을 높일 수 있도록 AP Module Nvidia NX 모듈로 변경
- 설치가 용이하도록 기존 대비 보드 사이즈 축소
- USB 3.0 포트를 기존 2개에서 4개로 변경하여 외부 장치 호환성 향상
- 입력 전압 Range를 30V까지 향상

나) 환경 및 작물인식 / 추종 컨트롤러 메인보드 시작품 사양

ㄱ. 사양개요

- a. 1차, 2차년도의 확장 보드를 제거하여 환경 및 작물인식 / 추종 컨트롤러 컨트롤러 보드 하나로 구성하였으며, 컨트롤러 보드의 Spec. 은 다음과 같음

ㄴ. 컨트롤러 메인보드 Spec.

a. 컨트롤러 Spec은 아래와 같으며 자율주행 경로생성/주행 알고리즘이 원활하게 돌아가는 Nvidia 기반 Embedded System을 구성함.

b. SoC는 Nvidia XavierNX를 사용하였음

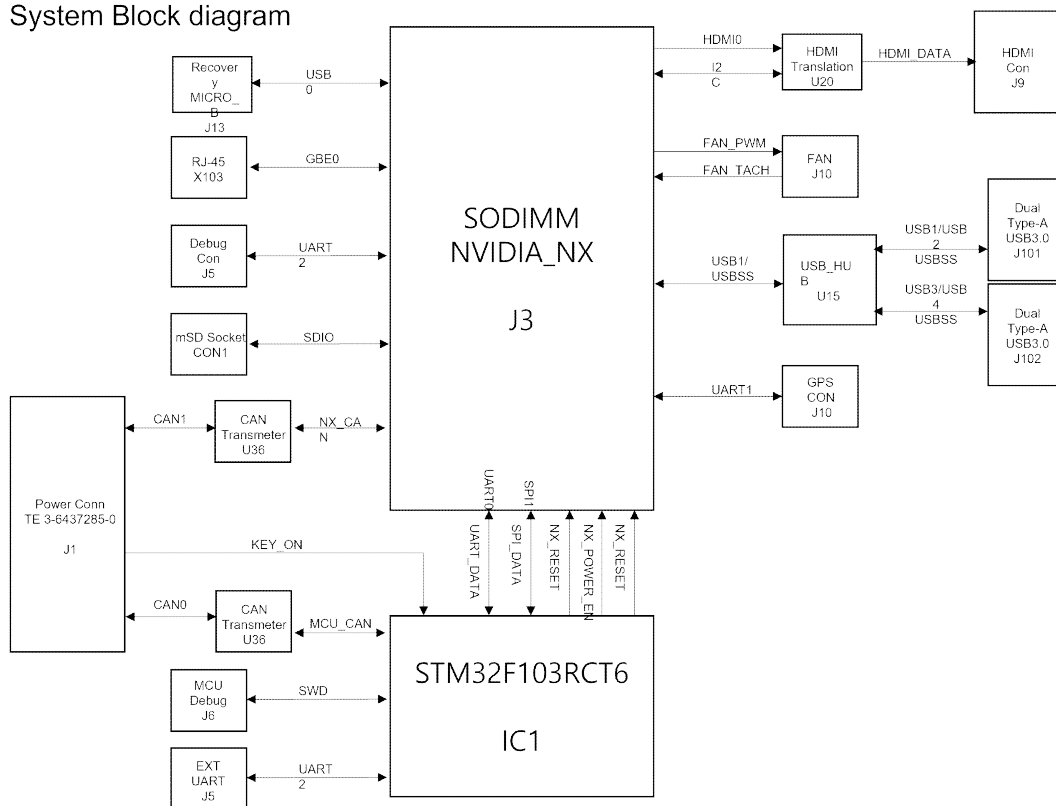
SoC	NvidiaXavierNX
Storage	eMMC16GB
Connectivity	1xGigabit Ethernet(RJ45) 4xUSB 3.0 2xCAN 1x mSD Slot 3x Uart
Display	1xHDMI
Operatingvoltage	7V ~30V
Operatingtemp	-40°C ~+85°C
Size	150mmx 130mm x 33mm

<컨트롤러 Spec.>

ㄷ. 전력 및 시스템 블록 구조

a. 아래 Block Diagram 구조로 PCB 제작 진행함

System Block diagram



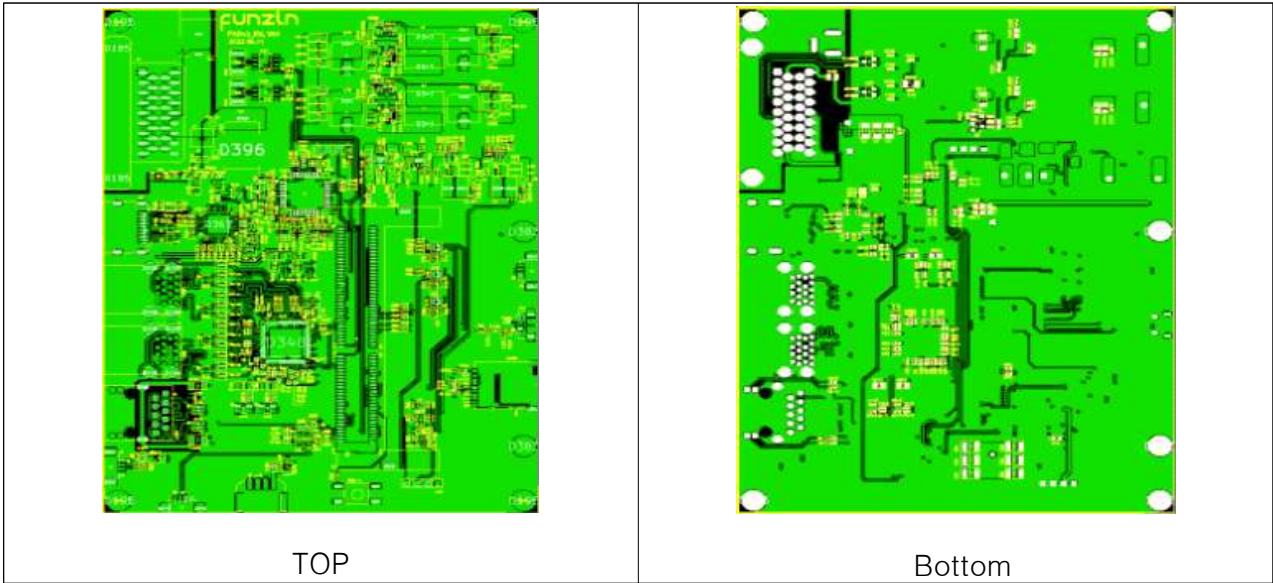
<System Black Diagram>

ㄹ. PCB Layout

a. PCB는 보드사이즈 줄이기 위해서 6Layer 양면으로 구성, 최종 보드사이즈는 150mmx 130mm x 33mm 임

c. SoC와 PCB Board와의 연결은 DIMM 타입으로 교체가 가능하도록 하도록 제작 하였음

a. PCB Top, Bottom 레이아웃은 아래와 같음



<PCB Layout>

b. PCB 사양

Material	FR-4
Thickness	1.6T
PSR Color	Black
Finish	Gold
Copper	1oz
Layer	6Layer

c. Layer Stack Up



OHM	50	90		100	
	WIDTH	WIDTH	SPACE	WIDTH	SPACE
L1 TOP	0.21	0.2	0.13	0.18	0.18
L3 SIGNAL	0.145	0.12	0.12	0.11	0.17
L4 SIGNAL	0.145	0.12	0.12	0.11	0.17
L6 BOTTOM	0.21	0.2	0.13	0.18	0.18

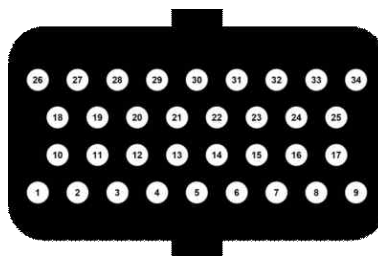
□. 외관

A. 제품 이미지



<외관 전면 / 후면 이미지>

B. 커넥터 핀맵



<커넥터 핀 배열>

TE-3-6437285-0 차량용 커넥터	
3	CAN_0 High
4	CAN_0 Low
5	CAN_1 High
6	CAN_1 Low
31	Main PWR
32	Main PWR
33	GND
34	GND

<차량용 커넥터 핀맵>

(2) CAN 통신 공용 프로토콜 및 자가진단 항목 개발

가) CAN통신 공용 프로토콜 개발

- a. 환경인식/경로생성 컨트롤러가 각 제어기와 Data를 공유하고 지령에 따른 동작제어가 이루어질 수 있도록 CAN2.0B J1939 Protocol 에 의거한 CAN통신방식을 구현 하였음
- b. 구현한 CAN프로토콜을 통해 예취상승, 예취하강, 예취높이 자동제어, 예치동작에 대한 제어를 이루어질 수 있도록 함
- a. 개발 구현한 공용프로토콜의 항목은 아래와 같음

Message				Message Definition			Length /Res.	Data Range	Operating Data Range	LCD
Name	CAN ID [Hex]	PGN	Cyclic Time [ms]	Byte	Bit	Signal Name				
자율주행 제어기	0x18 FF14 20	65300	100	2	1	좌측경로 이탈	1bit	0~1	0 : OFF, 1 : ON	좌측경로 이탈
					2	우측경로 이탈	1bit	0~1	0 : OFF, 1 : ON	우측경로 이탈
					5	하강미입력	1bit	0~1	0 : OFF, 1 : ON	하강미입력
					6	직진거리 부족	1bit	0~1	0 : OFF, 1 : ON	직진거리 부족
					5	탈곡동작	1bit	0~1	0 : OFF, 1 : ON	

<자가진단 항목>

나) 자가진단 항목 개발

- a. 자가진단 항목은 자율주행의 주행장애 및 예치부장애를 탐지하고 대응할 목적으로 좌/우측 경로이탈, 하강미입력, 직진거리 부족 자가진단기능을 구현하였으며, 그 기능목록은 아래와 같음

표 75 - 자가진단 항목

Message				Message Definition			Length /Res.	Data Range	Operating Data Range	LCD
Name	CAN ID [Hex]	PGN	Cyclic Time [ms]	Byte	Bit	Signal Name				
자율주행 제어기	0x18 FF14 20	65300	100	2	1	좌측경로 이탈	1bit	0~1	0 : OFF, 1 : ON	좌측경로 이탈
					2	우측경로 이탈	1bit	0~1	0 : OFF, 1 : ON	우측경로 이탈
					5	하강미입력	1bit	0~1	0 : OFF, 1 : ON	하강미입력
					6	직진거리 부족	1bit	0~1	0 : OFF, 1 : ON	직진거리 부족

(3) 컨트롤러 공용프로토콜 및 자가진단기능 검증

가) 테스트 절차

- a. 테스트는 콤바인 자율주행 제어부와의 연동 및 모니터링 환경을 구성 한 후, 기능검증을 위한 CAN통신 신호를 발생시키고 이를 CAN Analyzer를 통해 모니터링 하는 방식으로 진행 하였음
- b. 상기 방식으로 공용프로토콜 4개항, 자가진단 4개항에 대한 공인입회시험을 진행하였으며 모든 기능이 정상동작함을 인증 받았음
- c. 세부 시험절차는 아래와 같음

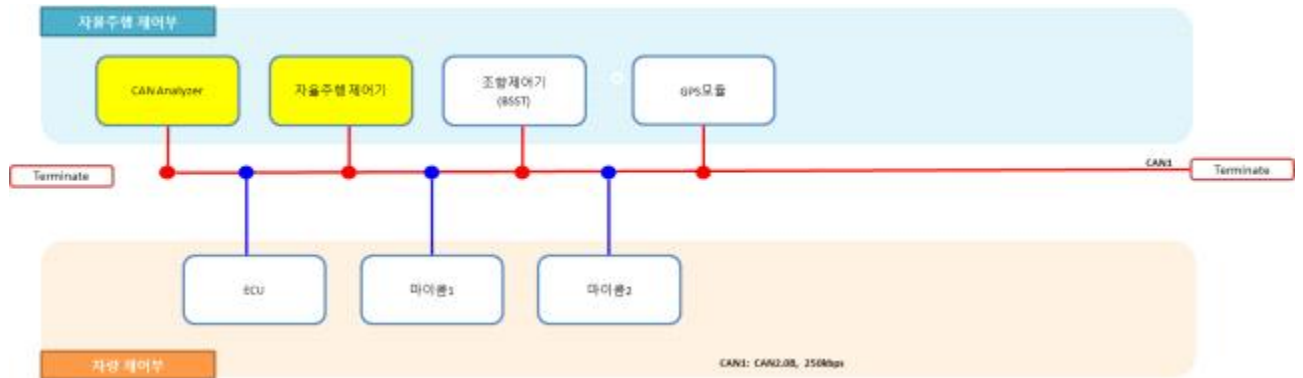
No.	항목	기준																
1	콤바인 환경구성	콤바인에 자율주행 제어부인 자율주행제어기, 조향제어기, GPS모듈, 관제시스템과 차량제어부인 ECU, 마이콤1, 마이콤2, 마이콤3, 조작부컨트롤러, 스마트키가 콤바인에 설치되어 있으며 모든 장치는 CAN 통신(CAN 2.0B, 250 kbps)으로 연결																
2	모니터링 환경구성	콤바인의 CAN 통신은 CAN to USB Analyzer로 PC 모니터링 프로그램(PCAN View)과 연결																
3	제어관련 CAN통신 출력변경 (4건)	<p>자율주행 제어기에서 정의된 4가지 항목에 대한 CAN 통신 신호를 발생</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Cyclic time (ms)</th> <th>Byte</th> <th>Bit</th> <th>Range</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">0x18FFA120</td> <td rowspan="4">100</td> <td rowspan="4">6</td> <td>1</td> <td>0 ~1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 ~1</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 ~1</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0 ~1</td> </tr> </tbody> </table>	ID	Cyclic time (ms)	Byte	Bit	Range	0x18FFA120	100	6	1	0 ~1	2	0 ~1	4	0 ~1	5	0 ~1
ID	Cyclic time (ms)	Byte	Bit	Range														
0x18FFA120	100	6	1	0 ~1														
			2	0 ~1														
			4	0 ~1														
			5	0 ~1														
4	제어관련 CAN통신 출력확인	변경한 CAN 통신이 출력되었는지 PC 모니터링 프로그램을 통해서 확인한다.																
5	고장관련 CAN통신 출력변경 (4건)	<p>자율주행 제어기에서 정의된 4가지 항목에 대한 CAN 통신 신호를 발생시킨다.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Cyclic time (ms)</th> <th>Byte</th> <th>Bit</th> <th>Range</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">0x18FF1420</td> <td rowspan="4">100</td> <td rowspan="4">2</td> <td>1</td> <td>0 ~1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 ~1</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0 ~1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0 ~1</td> </tr> </tbody> </table>	ID	Cyclic time (ms)	Byte	Bit	Range	0x18FF1420	100	2	1	0 ~1	2	0 ~1	5	0 ~1	6	0 ~1
ID	Cyclic time (ms)	Byte	Bit	Range														
0x18FF1420	100	2	1	0 ~1														
			2	0 ~1														
			5	0 ~1														
			6	0 ~1														
6	고장관련 CAN통신 출력확인	변경한 CAN 통신이 출력되었는지 PC 모니터링 프로그램을 통해서 확인한다.																

<시험절차>

나) 검증환경구성 상세

a. 공인입회시험을 위해 구성한 테스트 환경은 아래와 같음

- 콤바인에 자율주행 제어부인 자율주행제어기, 조향제어기, GPS모듈, 관제시스템과 차량제어부인 ECU, 마이콤1, 마이콤2, 조작부컨트롤러, 스마트키가 콤바인에 설치되어 있으며 모든 장치는 CAN 통신(CAN 2.0B, 250 kbps)으로 연결
- 콤바인의 CAN 통신은 CAN to USB Analyzer로 PC 모니터링 프로그램(PCAN View)과 연결



<자율주행 제어부 - 차량 제어부 연동 방식>

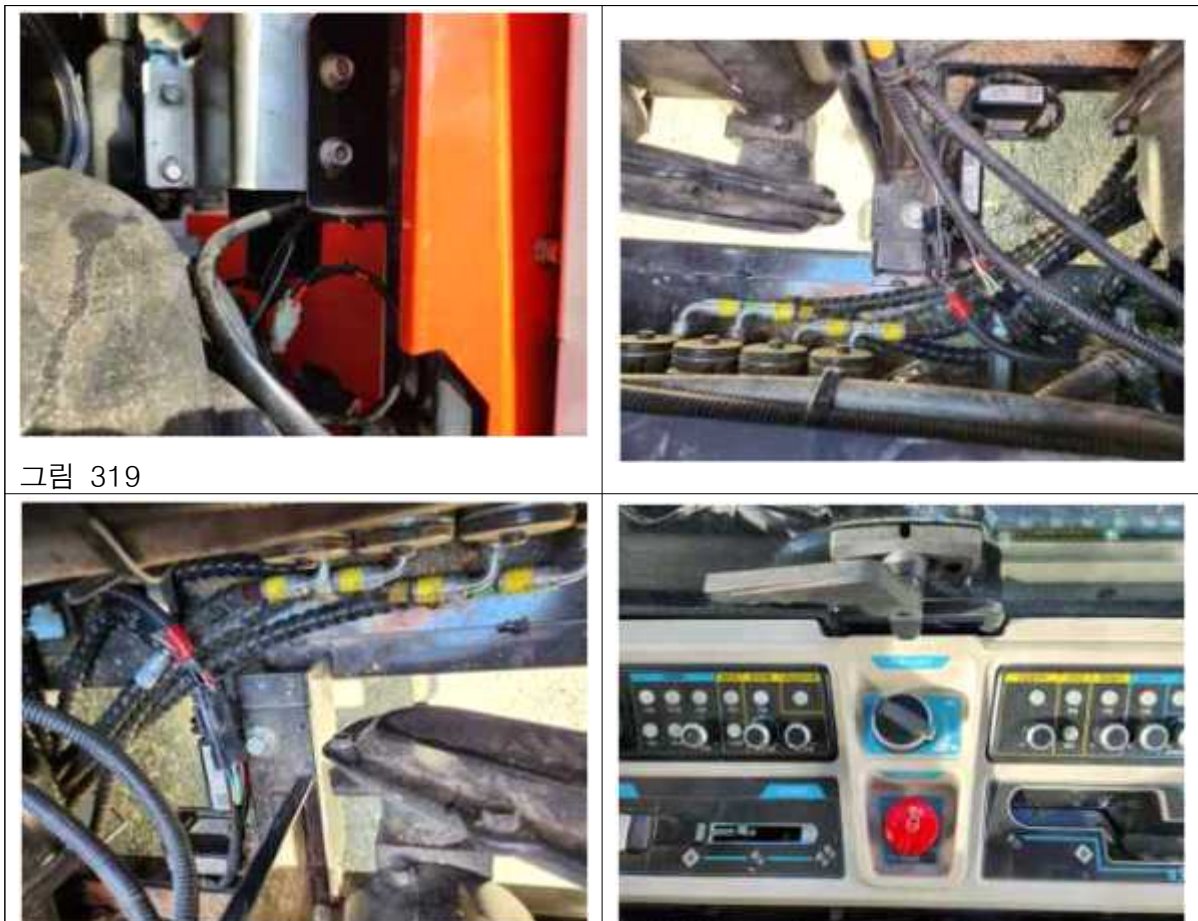


그림 319

<콤바인 연동 테스트 환경>

다) 공용프로토콜 검증

- a. 공인입회시험을 통해 검증대상 프로토콜인 예취상승, 예취하강, 예취동작, 탈곡동작 4개 항에 대해서 정상적으로 기능 동작함을 검증 받음

KTC Global Reliable Partner



시험 결과

성적서 번호 : 기용2023-00052

5.3 제어관련 CAN통신 출력변경

- 시험방법 : 임의로 4개의 값을 입력시키고 그에 따른 출력 값이 의뢰자가 제공한 테이블에 제공된 값과 동일한지 확인함
- 시험결과 : 이상없음

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	6	1	예취 상승	1bit	0 ~ 1	0: OFF / 1: 상승	
					2	예취 하강	1bit	0 ~ 1	0: OFF / 1: 하강	
					4	예취동작	1bit	0 ~ 1	0: OFF / 1: ON	
					5	탈곡동작	1bit	0 ~ 1	0: OFF / 1: ON	

출력값 무	6번째 자리 1번 bit 출력
6번째 자리 2번 bit 출력	6번째 자리 4번 bit 출력
6번째 자리 5번 bit 출력	



<공용프로토콜 공인입회시험 결과>

라) 자가진단기능 검증

- a. 공인입회시험을 통해 자가진단기능인 좌측경로이탈, 우측경로이탈, 하강미입력, 직진거리부족 4개 항에 대해서 정상적으로 기능 동작함을 검증 받음

Global Reliable Partner XTC



시험결과

성적서 번호 : 기용2023-00052

5.4 고장관련 CAN통신 출력변경

- 시험방법 : 4개 센서의 상태를 변경하고, 그에 따른 출력 값이 의뢰자가 제공한 테이블에 제공된 값과 동일한지 확인함
- 시험결과 : 이상없음

Message				Message Definition					
Name	CAN ID [Hex]	PGN	Cyclic Time [ms]	Byte	Bit	Signal Name	Length /Resolution	Data Range	Operating Data Range
자율주행 제어기	0x18 FF14 20	65300	100	2	1	오거포텐션 예리	1bit	0 - 1	0 : OFF, 1 : ON
					2	용 예리	1bit	0 - 1	0 : OFF, 1 : ON
					5	피치 예리	1bit	0 - 1	0 : OFF, 1 : ON
					6	RPM 예리	1bit	0 - 1	0 : OFF, 1 : ON



센서 정상 연결 상태




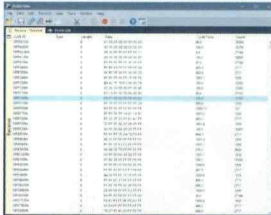

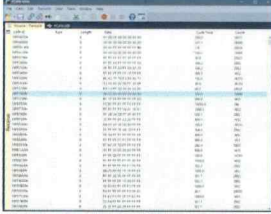

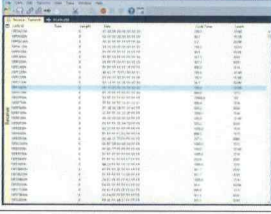

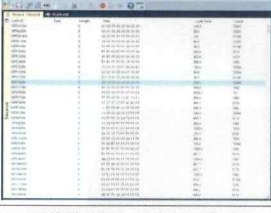
출력값 무



<자가진단기능 공인입회시험 결과 (1/2)>

시험 결과

성적서 번호 : 기용2023-00052

	
<p>오거포텐션 센서 분리</p>	<p>2번째 자리 1번 bit 출력</p>
	
<p>롤 센서 분리</p>	<p>2번째 자리 2번 bit 출력</p>
	
<p>피치 센서 분리</p>	<p>2번째 자리 5번 bit 출력</p>
	
<p>RPM 조정</p>	<p>2번째 자리 6번 bit 출력</p>

끝.

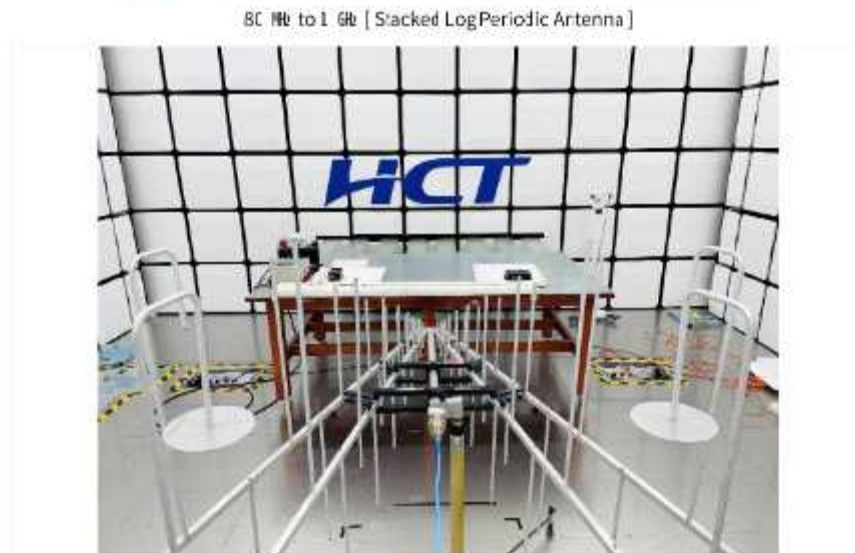


<자가진단기능 공인입회시험 결과 (2/2)>

라) 전자파 시험 (EMC) / 정전기 시험 (ESD)

ㄱ.전자파 / 정전기 시험 환경

- a. 전자파 시험(EMC)은 유럽 전자파 방출량 규정인 'ECE R10 rev3' 에 따라 5개 시험을 진행하였음
- b. 정전기 시험(ESD)는 자동차전장품 전자파적합성 시험인 'ISO 10605:2008'에 따라 2개 시험을 진행하였음
- c. 각 시험은 'ECE R10 rev3' 및 'ISO 10605:2008'에서 규정하고 있는 시험환경에 따라 진행 되었음



<시험환경 (Radiated Immunity 시험)>

ㄴ. 전자파 / 정전기 성능 검증

- a. 당사 자율주행 컨트롤러는 유럽 전자파 방출량 규정인 'ECE R10 Rev 3' 및 자동차 전장품 전자파적합성 시험 인 'ISO 10605:2008'를 시험을 통과, EMC (전자파 시험, Electromagnetic Compatibility) 및 ESD (정전기 시험, Electrostatic discharge) 에 있어 국제규격에 준하는 성능확보를 검증 하였음

고객비밀
CUSTOMER SECRET

생체번호 CT-AU-2212-ET003

4. 시험 결과

시험항목	요구사항	시험결과
Bulk Current Injection (BCI)	60 mA Class A	60 mA Class A
Free field testing method (Radiated Immunity)	30 V/m Class A	30 V/m Class A
Broadband & narrowband electromagnetic radiation	Refer to B.3.1	적합
Emission of conducted disturbances	+75V / -100V	적합
Immunity to transient disturbances conducted along supply lines	Pulse 1: C Pulse 2a: B Pulse 2b: C Pulse 3a: A Pulse 3b: A Pulse 4: B	Pulse 1: B Pulse 2a: A Pulse 2b: B Pulse 3a: A Pulse 3b: A Pulse 4: B
Electrostatic discharge - Unpowered Discharge	Contact ±4 kV: Status I Contact ±6 kV: Status I Air ±8 kV: Status I	Contact ±4 kV: Status I Contact ±6 kV: Status I Air ±8 kV: Status I
	Contact ±4 kV: Status I Contact ±6 kV: Status I Air ±4 kV: Status I Air ±8 kV: Status I Air ±18 kV: Status I Air ±25 kV: Status I	Contact ±4 kV: Status I Contact ±6 kV: Status I Air ±4 kV: Status I Air ±8 kV: Status I Air ±18 kV: Status I Air ±25 kV: Status I
Electrostatic discharge - Powered Up Discharge	Contact ±4 kV: Status I Contact ±6 kV: Status I Air ±4 kV: Status I Air ±8 kV: Status I Air ±18 kV: Status I Air ±25 kV: Status I	Contact ±4 kV: Status I Contact ±6 kV: Status I Air ±4 kV: Status I Air ±8 kV: Status I Air ±18 kV: Status I Air ±25 kV: Status I

F:TP22-03 (Rev. 04)
페이지 3 / 총 40페이지

< EMC / ESD 인증 시험 결과 - 적합 >

1) 연구개발 수행내용

[1차년도]

(1) 직진주행 작업경로 생성 알고리즘 개발

가) 수확작업경로 패턴조사 및 분석

ㄱ. 콤바인 수확작업경로 패턴 조사 및 패턴별 특징분석

- 자륜형 주행장치를 갖는 트랙터등과 달리 콤바인은 궤도형 주행장치를 사용하므로 방향 전환을 위하여 스키드조향(skid-steering) 방식을 사용
- 자율주행 콤바인 작업경로는 작업의 효율성, 인력에 의한 사전작업 최소화, 자율주행 경로 추종의 용이성 측면에서 작업경로 계획 및 평가 필요.
- 다음의 그림은 국내에서 표준적으로 적용하고 있는 논농사 작업을 위한 포장을 나타냄. 그림은 전라남도 영광지역에서 많이 사용하고 있는 3,960 m²(1,200평)의 포장에 대하여 작업경로 특징 및 평가를 진행하였음.

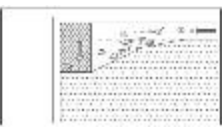
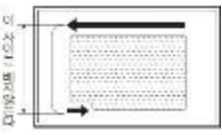



< 논작업 포장 예시(전라남도 영광군 일대) >

- 다음의 표는 농기계 회사에서 사용자 설명서에 언급되고 있는 내용을 발췌한 것이며, 일반적으로 많이 사용되는 콤바인 예취작업 방법을 나타냄.

<콤바인 예취작업 방법>

①		<p>일반적인 포장의 예취방법 포장의 끝부터 좌회전 예취를 한다.</p>
---	--	--

②		손베기를 적게하기 위한 예취방법. 2~3회 직진을 반복하고 모서리부에서 크게 예취한 후 회전하는 방법
③		좁고 긴 포장에서의 예취방법. 포장의 끝부터 좌회전 예취로 1바퀴 예취. 포장의 양쪽단을 기계가 선회할 수 있을때까지 예취한 다음 긴 방향만을 예취함.
④		넓은 포장에서의 예취방법. 포장의 끝부분 좌회전 예취로 5~6바퀴 예취한 다음 중할 예취를 하여 좁고 긴 포장과 같이 긴 방향만 예취하면 능률적으로 예취작업을 할 수 있음.

- 다음의 표는 일반적으로 많이 사용되고 있는 길이 110 m, 폭 34 m인 포장에서 예취폭이 1,500 mm, 길이가 4,450 mm 인 콤바인을 가정하여 작업경로의 거리, 시간, 조향횟수, 자율작업 난이도, 인력에 의한 수작업 필요성 등의 항목으로 평가한 내용임. 자율작업 중 후진 작업이 포함되는 경우 그렇지 않은 경우에 비하여 작업시간의 소요가 크고, 제어의 복잡성이 증가하므로 자율작업 난이도의 판단 기준으로 사용 함. 작업속도는 1.6km/hr를 기준으로 계산하였음. ④는 포장이 큰 경우에 해당하므로 본 비교에서는 제외하였음. 분석결과 ① 경로가 작업효율, 추종 편의성에서 유리한 것으로 나타남. 다만 포장의 네 귀퉁이에서 콤바인의 선회가 가능하도록 사전 작업이 요구됨.

<콤바인 예취작업 경로 분석>

경로	작업경로	경로길이 (m)	예상작업 시간(Hr)	조향횟수 (회)	후진유무 (O/X)	인력작업 여부(O/X)
①		2,518.8	1.57	44	X	O
②		2,683.7	1.68	62	O	X
③		2,828.6	1.77	44	X	O

나) 정방형 표준포장에 대한 직진주행 작업경로 생성 알고리즘 개발

ㄱ. 정방형 표준포장에 대한 직진주행 작업경로 생성 알고리즘 개발

- 직사각형을 갖는 표준형 논을 대상으로 위의 표에서 ①회행형 작업경로 생성 알고리즘 개발.
- 알고리즘은 입력장치로부터 포장의 4개 모서리점의 GPS좌표, 출발위치, 좌선회인지 우선회인지를 입력하면 way-point를 출력하도록 작성됨.
- 다음의 그림은 개발된 알고리즘을 이용하여 생성된 작업경로를 나타내며, 각각의 선회지점에서는 90도 skid-steering 방식의 방향전환을 하는 것으로 1차년도 수행. 또한 개발된 알고리즘의 flow chart를 함께 나타내었음. 입력된 경계의 모서리점 좌표는 다음의 표와 같음.

사용된 언어는 Linux기반의 C 언어를 사용하였음.

- 입력된 좌표로부터 경로생성이 가능한지 판별

$$L_C < [N_C \times W_C - (N_C - 1) W_{overlap}]$$

L_C : Length of Combine

W_C : Width of Combine

N_C : Number of cutting on outer path

$W_{overlap}$: Width of Overlap

- 경로생성이 가능한 경우 다음과 같이 직선경로를 생성

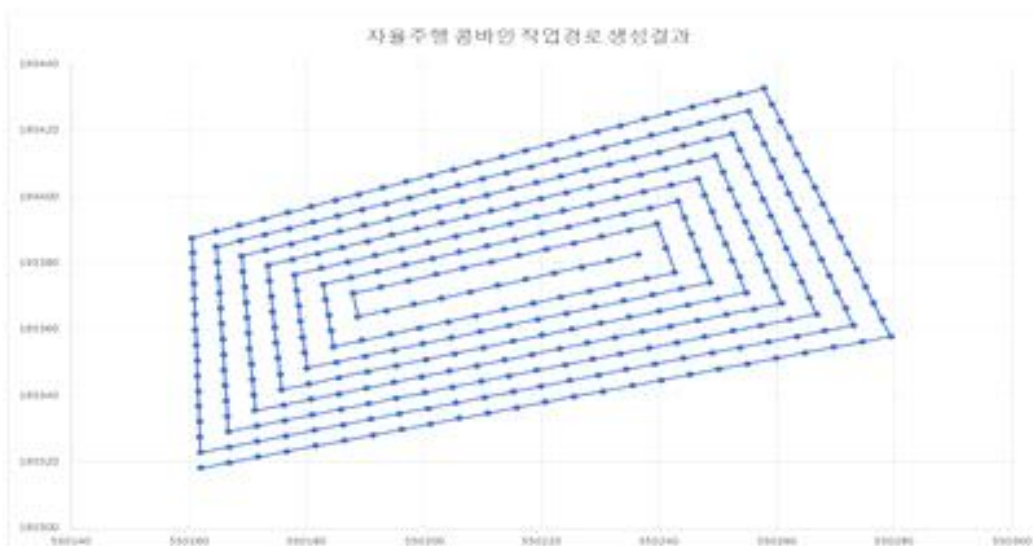
$$f_{i,j}^{(k)} = \frac{y_i^{(k)} - y_j^{(k)}}{x_i^{(k)} - x_j^{(k)}}(x - x_i^{(k)}) + y_i^{(k)}, (i,j) = (1,2), (2,3), (3,4), (4,1)$$

$$f^{(k)}_{i,j} = A^{(k)}_{i,j}x + B^{(k)}_{i,j}$$

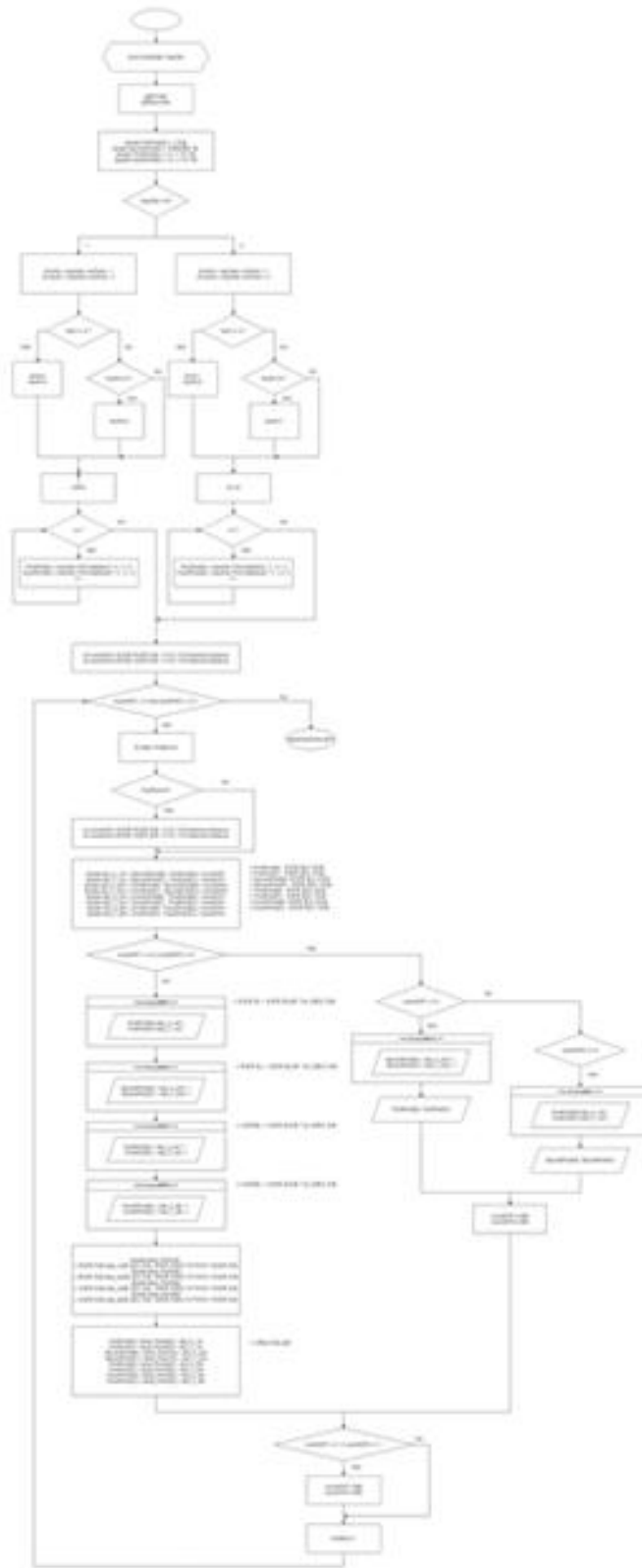
$$A^{(k)}_{i,j} = \frac{y_i^{(k)} - y_j^{(k)}}{x_i^{(k)} - x_j^{(k)}}, B^{(k)}_{i,j} = y_i^{(k)} - \frac{y_i^{(k)} - y_j^{(k)}}{x_i^{(k)} - x_j^{(k)}} \times x_i^{(k)}$$

<경로생성 알고리즘 입력 좌표>

경계모서리	위경도 TM좌표
POINT 1	550162.0686, 193318.2557
POINT 2	550279.3512, 193357.9371
POINT 3	550257.7600, 193432.8529
POINT 4	550160.5702, 193387.7097



<자율주행 콤바인 작업경로생성 알고리즘 실행결과>



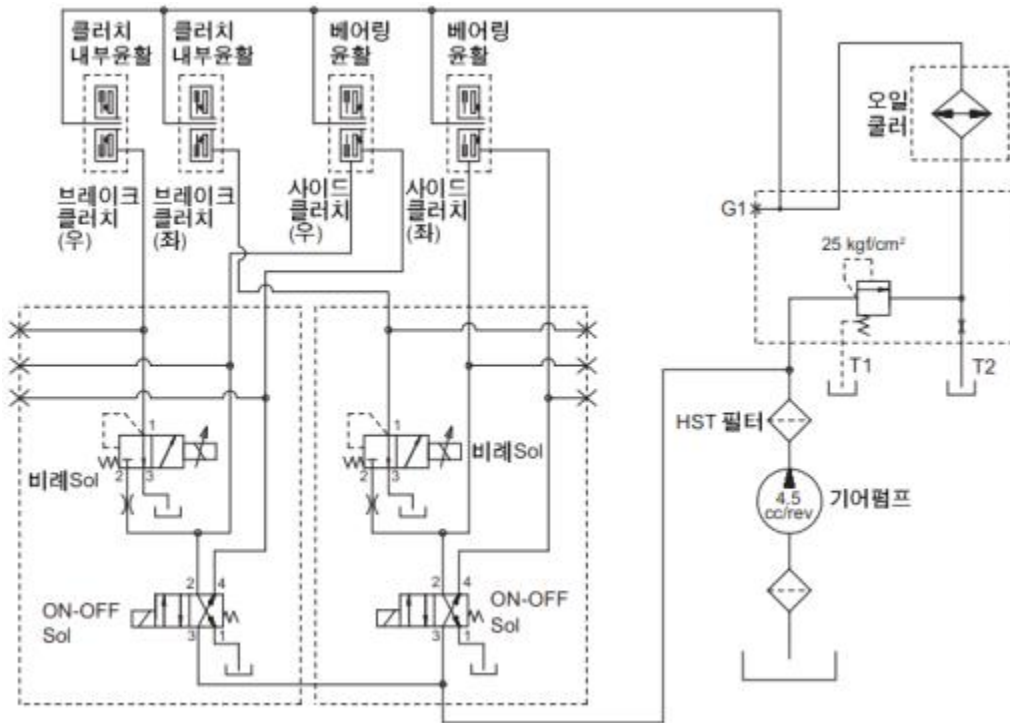
<자율주행 콤바인 작업경로생성 알고리즘 Flow Chart>

(2) 궤도형 차륜장치를 위한 주행제어 모델 개발

가) 궤도형 차륜을 갖는 콤바인의 주행장치 분석 및 제어요인시험

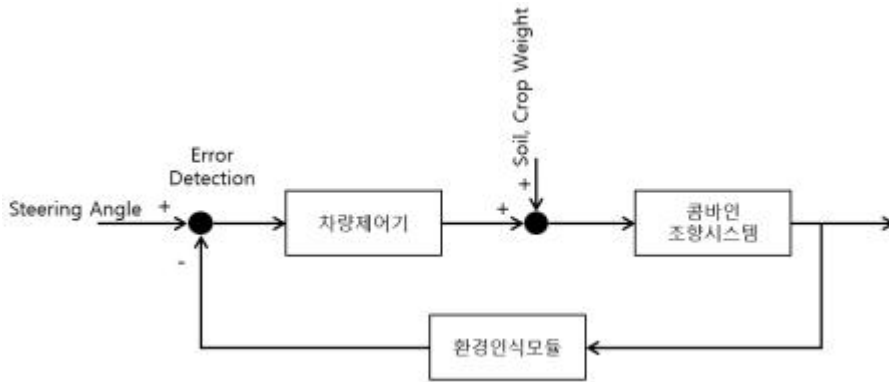
ㄱ. 콤바인 주행시스템 분석 및 제어 Layout 설계

- 자율주행 콤바인의 주행제어를 위한 주행 시스템 분석을 수행. 자율주행 구현을 위한 콤바인은 주관기관인 대동공업의 DXM시리즈 기종이며, DXM시리즈 기종은 차량제어기에 의하여 조향장치가 제어되도록 설계되어 있으며 차량제어기는 운전자가 조작하는 조이스틱 레버로부터 Potentio 센서신호를 받아들여 작동.
- 제어기는 완선회, 브레이크 선회, 급선회의 각기 다른 세가지 조향모드를 제공하며 콤바인 트랜스미션에 설치된 좌/우 브레이크 클러치와 사이드 클러치를 제어하여 콤바인의 크롤러를 제어하도록 설계되어 있음. 각각의 클러치는 On-OFF 솔레노이드 및 비례제어 솔레노이드 밸브에 의하여 전자유압제어에 의하여 작동됨. 다음의 그림은 선회와 관련된 전자유압제어 회로를 나타냄.



<자율주행 콤바인 조향제어 시스템>

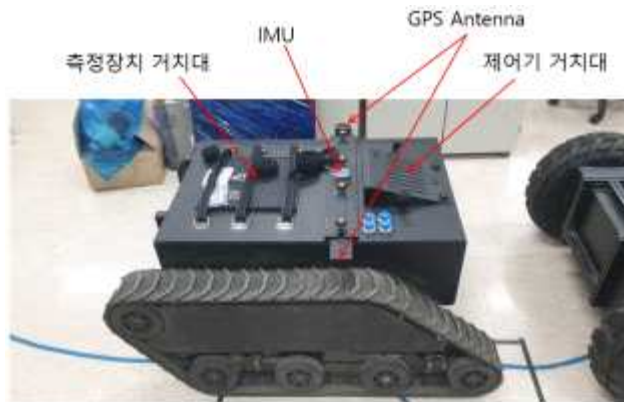
- 자율주행 콤바인 운전제어시스템은 환경인식장치로부터 실시간 차량의 위치 및 자세정보를 제공받고 운전제어시스템의 알고리즘으로부터 계산된 제어값을 콤바인의 차량제어기에 전달하여 운전제어를 하고 그 결과를 다시 피드백 받는 방식으로 시스템을 구성.
- 이때 모든 제어기간 정보는 CAN 통신을 통하여 이루어지면 관련 CAN 프로토콜은 주관기관에서 개발한 표준 프로토콜을 적용. 다음 그림은 운전제어시스템의 제어흐름도를 나타냄.



<콤바인의 운전제어 시스템 블록선도>

ㄴ. 콤바인 주행시스템 분석 및 제어 Layout 설계

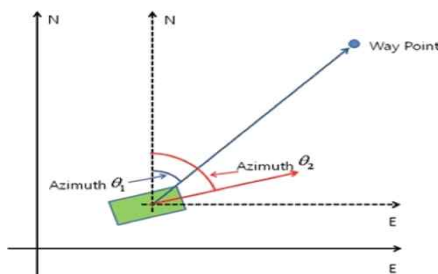
- 운전제어 알고리즘 개발을 위한 스케일 플랫폼 제작. 기존 궤도형 플랫폼을 이용하여 GPS, IMU를 콤바인과 유사하도록 부착. 두 개의 구동 전기모터가 각각 좌우의 크롤러를 구동하고 있으므로 skid-steering 구현이 가능.



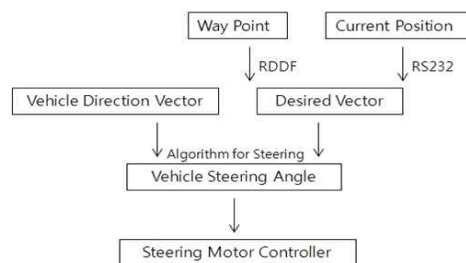
<운전알고리즘 개발용 플랫폼>

나) 콤바인 주행제어모델 개발

- 콤바인은 생성된 작업경로 추종을 위하여 waypoint 기반의 추종 알고리즘을 사용. 현재의 목표 waypoint 값, 위치오차 및 콤바인의 주행 방향으로부터 목표 조향각을 생성. 다음 그림은 조향각 계산방식을 나타냄.



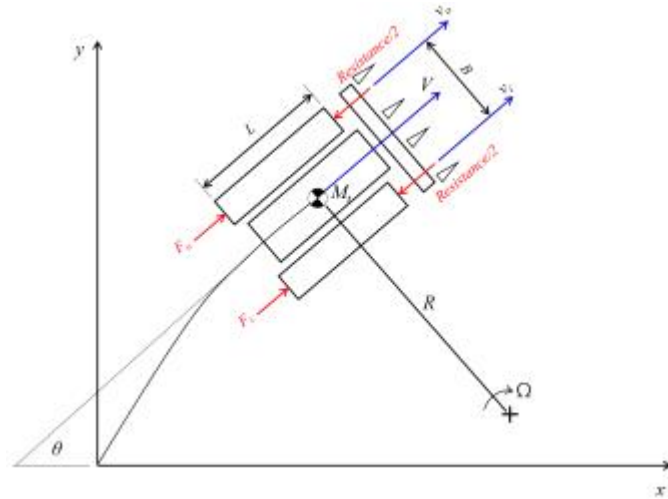
(a) 조향각 벡터(Woo 등, 2009)



(b) 조향각 생성 연산과정

<경로탐색을 위한 조향각 계산방식>

- Skid 조향을 하는 콤바인의 좌,우 궤도의 속도 제어를 통한 자율주행 알고리즘 적용을 위해서는 실험적인 방법과 이론적인 접근을 통한 Steering Angle, Turning Radius, Clutch Control간의 상관관계 도출이 필수적.
- 일반적으로 Track Vehicle에 적용되는 kinematic model을 기반으로 궤도차륜의 거동을 정의하고 식에 포함된 특성값을 실험적 방법을 통하여 도출하여 적용. 다음의 그림은 일반적인 Skid 조향 Kinematic을 도식화 한 것이며, 이때 차량의 회전반경과 회전속도는 다음의 식과 같다.



<Principles of skid steering>

$$R = \frac{B}{2} \frac{r\omega_o + r\omega_i}{r\omega_o - r\omega_i} = \frac{B}{2} \frac{(K_s + 1)}{K_s - 1}$$

$$\Omega = \frac{r\omega_o + r\omega_i}{2R} = \frac{r\omega_i(K_s - 1)}{B}, \quad K_s = \omega_o/\omega_i$$

- 콤바인의 경우 궤도와 트랙사이의 비선형성, 콤바인 수확작업에 따른 차량 무게의 변화, 속도제어 클러치의 마찰 비선형성 등 여러 가지 원인에 의하여 차량 동역학 기반의 제어가 어려움. 따라서 위의 식을 기반으로 입력값과 피드백되는 값의 비교를 통한 강건제어를 제안 하되 속도와 회전반경에 대한 감도계수를 고려. 감도계수는 실험적인 방법에 의하여 결정. 다음의 조향제어 모델식은 위치오차, 해딩에러(heading error), 회전각속도의 일차함수로 표현되고 있음.

$$\delta = K_{\Delta L} \times \Delta L + K_{\Delta\Phi} \times \Delta\Phi + K_{\Omega} \times \Omega$$

where ΔL : Lateral Deviation (m)

$\Delta\Phi$: Heading Error (deg)

Ω : Angular Velocity of Vehicle (deg/s)

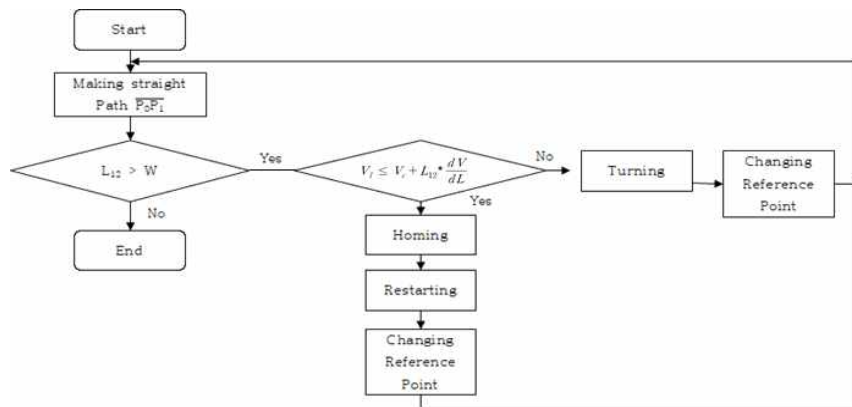
$K_{\Delta L}, K_{\Delta\Phi}, K_{\Omega}$: corresponding gain of navigation variables

[2차년도]

(1) 후진을 포함한 전역작업경로 생성 알고리즘 개발

가) 전역작업경로 생성 알고리즘 개발

- 국내에서 대다수를 차지하고 있는 직사각형 형태의 포장을 대상으로 후진을 포함한 자율 주행 콤바인 전역작업경로 생성 알고리즘을 개발
- 주요 입력변수 : 직사각형 포장의 꼭짓점 좌표(P_0, P_1, P_2, P_3), 배출 영역 좌표, 예취부 폭, 경로 오차 보정을 위한 겹침 폭(Overlap width), 목표선회 회전반경, Waypoint 간격, 곡물 탱크 용량, 단위 거리당 수확량 정보
- RDDF 파일 출력값 : Waypoint의 좌표, 각 좌표에서의 콤바인 주행방향, 작업기 상태
- 기준점(P_0, P_1, P_2, P_3)을 가지고 수확량 확인 단계를 통해 직진, 선회, 귀환, 재시작 경로를 생성함.
- 다음의 그림은 입력한 정보를 시각적으로 나타낸 것이며, 알고리즘의 Flow Chart도 함께 나타내었음.

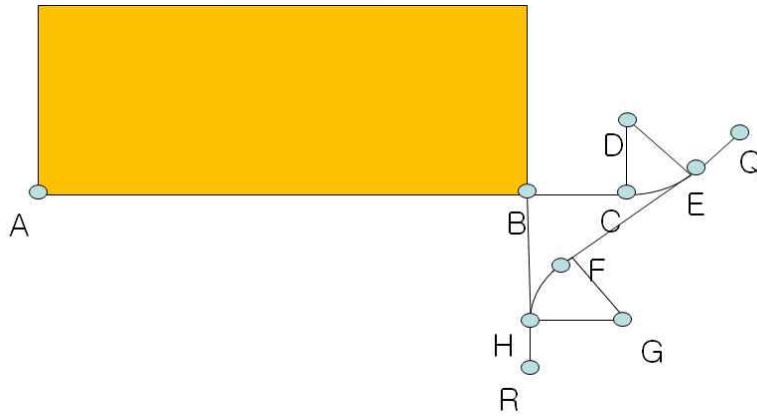


V_t 는 한계 수확량, V_t 는 현재 수확량,
 $\frac{dV}{dL}$ 는 단위 길이당 수확곡물의 부피

<전역작업경로 생성 알고리즘 Flow Chart>

나) 선회 경로 생성 알고리즘 개발

- i 번째의 선회경로 수확작업을 한 후 현재의 곡물탱크의 상태와 다음 선회경로에서 예상되는 수확량을 비교하여 곡물탱크의 용량보다 작은 경우 $i+1$ 번째의 선회경로를 생성.
- B점을 원점으로 하고 A-B 직선을 x축으로 갖는 local 좌표계에서 각 선회점을 구한 후 Homogeneous Transformation Matrix를 통해 Global 좌표계로 변환.
- Switchback turn방법으로 선회하며 Waypoint 기반 주행을 고려하여 90도 방향전환을 위한 전·후진 참조점(Q, R)을 생성.
- 다음의 그림은 선회경로 생성에 필요한 각 참조점들과 해당 점의 위치계산을 위한 수식을 나타냄.



$${}^0T_1 = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & B_x \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & B_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$X = B_x - A_x, Y = B_y - A_y$$

if $X < 0$

$$\theta = \pi + \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

else

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$N_{G_x} = {}^0T_1 N_{L_x}, N_{G_y} = {}^0T_1 N_{L_y} \quad (N = C, D, E, F, G, H, Q, R)$$

$$C_x = l_0, C_y = 0$$

$$D_x = l_0, D_y = r$$

$$E_x = l_0 + \frac{r\sqrt{2}}{2}, E_y = r\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$$

$$F_x = r\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right), F_y = r\left(2 - \frac{3\sqrt{2}}{2}\right) - l_0$$

$$G_x = 0, G_y = r(2 - \sqrt{2}) - l_0$$

$$H_x = r, H_y = r(2 - \sqrt{2}) - l_0$$

$$Q_x = l_0 + (r + L_d)\frac{\sqrt{2}}{2}, Q_y = r\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right) + \frac{\sqrt{2}}{2}L_d$$

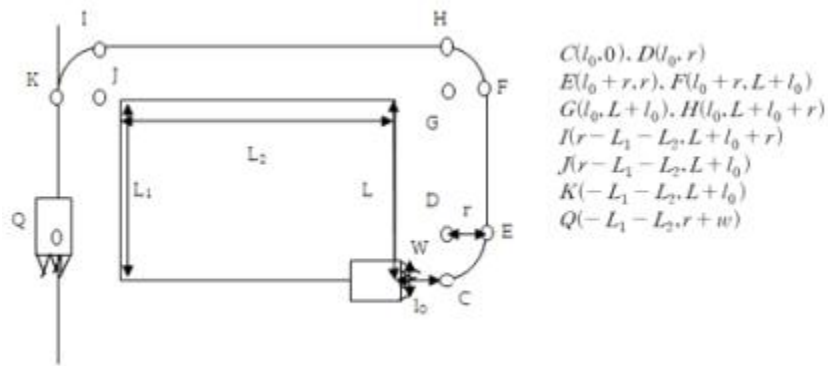
$$R_x = 0, R_y = r(2 - \sqrt{2}) - l_0 - L_d$$

$$l_0 = \text{여유거리}, r = \text{회전반경}, L_d = \text{lookahead distance}$$

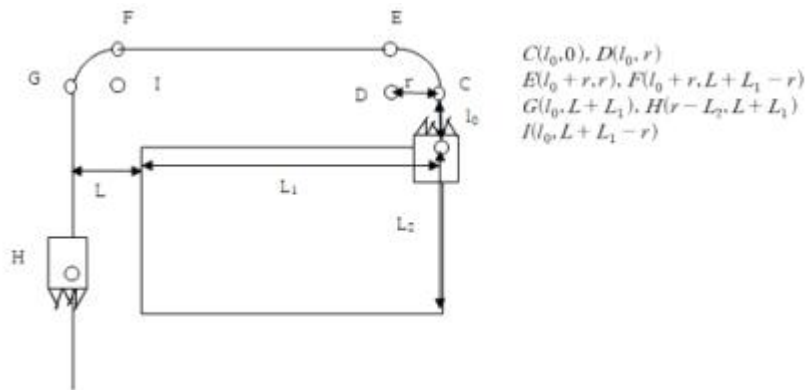
<선회 경로 생성 방법과 좌표점>

다) 곡물 배출경로 생성 알고리즘 개발

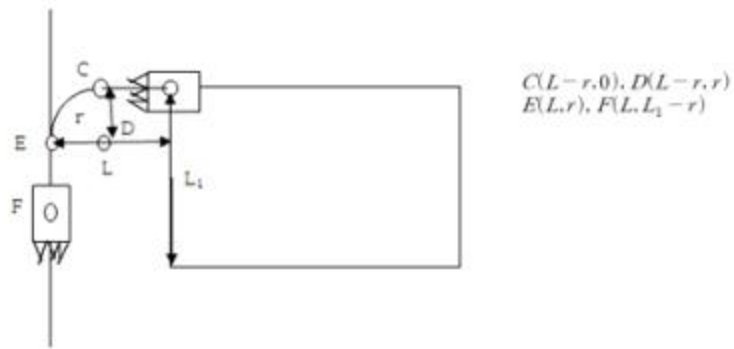
- i 번째의 선회경로 수확작업을 한 후 현재의 곡물탱크의 상태와 다음 선회경로에서 예상되는 수확량을 비교하여 곡물탱크 용량보다 같거나 많은 경우 곡물 배출경로 생성.
- 직사각형 형태의 포장에서 예상되는 곡물 배출위치별 4가지 경우에 대한 배출경로를 다음 그림과 같이 생성함.
- 재시작 경로를 생성하여 배출 후 배출장소와 가장 가까운 미수확영역으로 진입함.



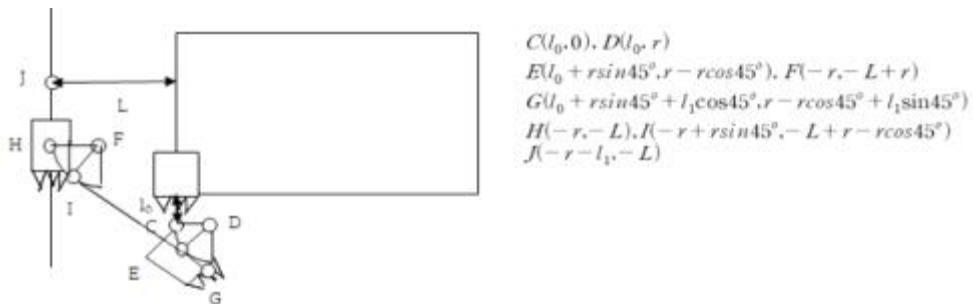
<270도 돌아가는 경로>



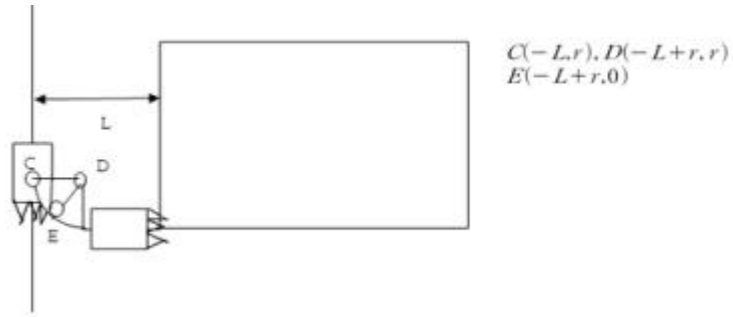
<180도 돌아가는 경로>



<90도 돌아가는 경로>



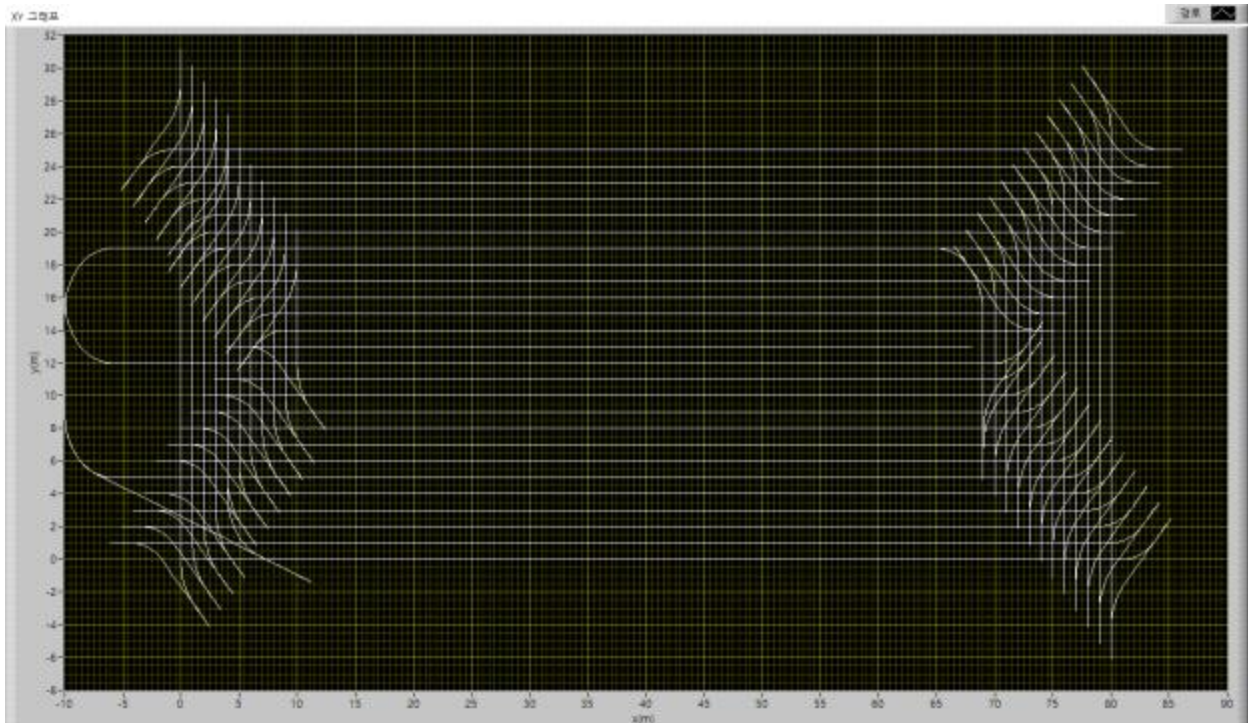
<후진해서 돌아가는 경로>



<재시작 경로>

라) 자율주행 콤바인 전역작업경로 생성 결과

- 본 차년도 연구에서 작업경로 생성 알고리즘은 PC환경에서 실행되는 Labview 2020 환경에서 운용되었으며, 다음과 같이 평가하였음.
- 80m X 25m 크기 기준 총 주행거리는 1877.57m, 곡물 배출을 위한 이동 거리는 41.05m로 총 주행거리의 2.18%이며 작업 효율은 78.2%, 경로 생성 시간의 평균은 6.54ms로 측정.
- 경로 생성 알고리즘을 통해 작업 경로점의 index, 경로점 좌표, 전 후진 상태, 작업기 제어상태를 나타내는 RDDF를 제작.



<자율주행 콤바인 전역 작업경로(알파턴)>

975	75.055635	25.187006	1	0
976	74.914214	25.328427	1	0
977	74.772792	25.469848	1	0
978	74.631371	25.611270	1	0
979	74.489949	25.752691	1	0
980	74.348528	25.894113	1	0
981	75.621320	24.621320	-1	0
982	76.368867	23.873773	-1	0
983	77.116414	23.126227	-1	0
984	77.863961	22.378680	-1	0
985	78.007244	22.244481	-1	0
986	78.158997	22.119940	-1	0
987	78.318571	22.005591	-1	0
988	78.485281	21.901924	-1	0
989	78.658415	21.809382	-1	0
990	78.837231	21.728361	-1	0
991	79.020963	21.659210	-1	0
992	79.208824	21.602223	-1	0
993	79.400010	21.557644	-1	0
994	79.593703	21.525665	-1	0
995	79.789072	21.506423	-1	0

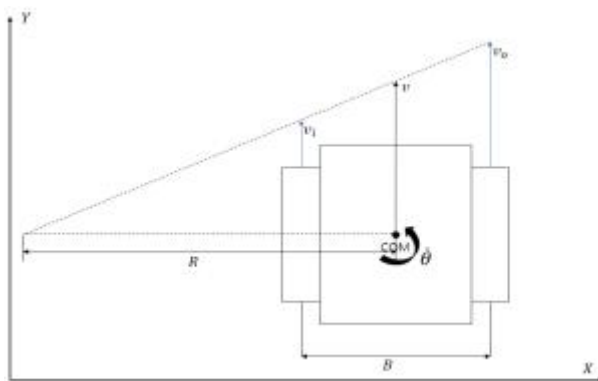
<자율주행 콤바인 전역작업경로 RDDF>

(2) 콤바인 경로추종 자율주행 알고리즘 개발

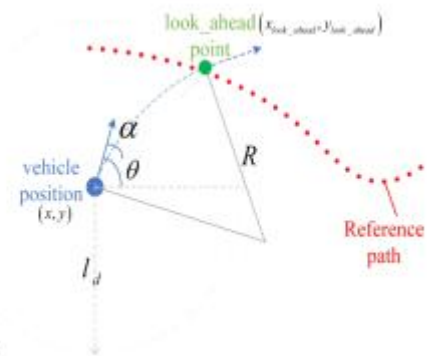
가) 조향 제어 알고리즘 개발

ㄱ. Skid Steering 및 Pure Pursuit을 이용한 조향제어 알고리즘 개발

- 자율주행 콤바인의 경로추종을 위해 waypoint 기반의 추종 알고리즘을 사용. 경로추종 시 필요한 목표점 및 조향각은 Pure Pursuit 알고리즘을 이용하여 생성. Pure Pursuit에 필요한 현재 콤바인의 위치 및 콤바인의 Heading은 GPS를 이용하여 획득.



<Principle of skid steering>



<Principle of Pure Pursuit(Rui 등, 2020)>

- 생성된 목표 조향각을 통해 좌측 궤도와 우측 궤도의 속도비 계산식은 다음과 같다.

$$R = \frac{B(1+i)}{2(1-i)}, \quad V = R\dot{\theta}, \quad i = \frac{V_o}{V_i}$$

$$i = \frac{2V - B\dot{\theta}}{2V + B\dot{\theta}}$$

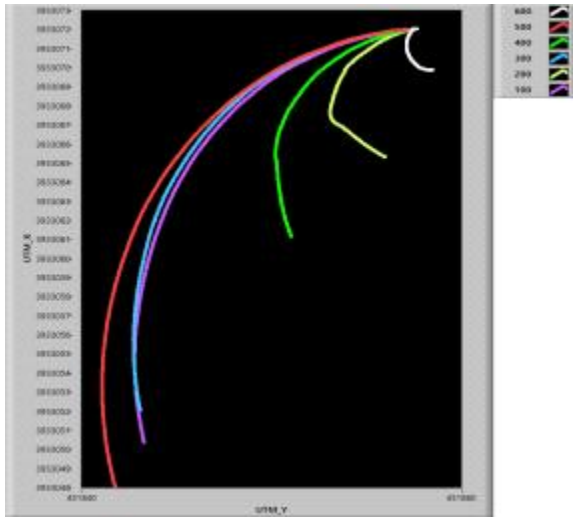
where R : Turning Radius(m)

B : Width of combine(m)

i : Speed ratio of track

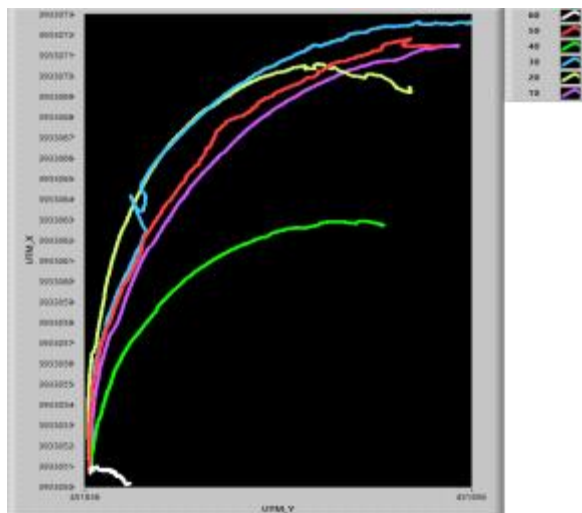
$\dot{\theta}$: Angular velocity(rad/s)

- 개발된 자율주행 콤바인은 CAN Protocol을 통하여 조향출력 값을 콤바인 제어기에 전달 하면 조향이 이루어지는 방식을 사용. 따라서 계산된 속도비로 콤바인을 주행시키기 위하여 조향출력대비 선회특성 및 선회반경을 측정하기 위한 시험을 진행하였음.
- 1차 테스트는 대동 창녕연구소 내부에 있는 주행시험장에서 진행하였으며 조향출력값을 10% 간격으로 변화시키면서 좌조향, 우조향 특성을 시험하였음.
- 다음의 그림은 조향출력 대비 측정된 콤바인의 선회반경을 나타냄.



조향출력	회전반경(R)
600	1m
500	19m
400	9m
300	16m
200	6m
100	15m

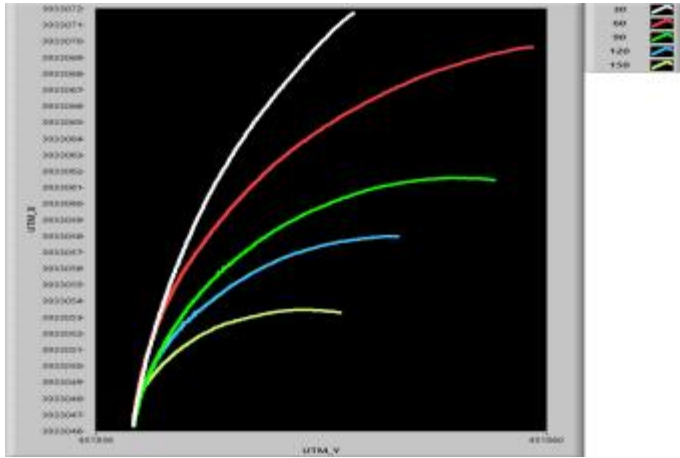
<콤바인 좌 조향 테스트결과, 1차>



조향출력	회전반경(R)
600	1m
500	21m
400	13m
300	20m
200	21m
100	21m

<콤바인 우 조향 테스트결과, 1차>

- 콤바인의 조향관련 제어시스템의 추종성능을 높이기 위하여 제어시스템 개선 및 조향 출력값의 분해능을 높인 후 선회하는 궤적을 측정하는 2차 시험을 진행. 2차 시험으로부터 측정된 콤바인의 주행 궤적으로부터 조향출력에 따른 회전반경 계산, 위의 식을 통한 궤도의 속도비를 계산하였으며 계산된 결과를 이용하여 조향출력과 궤도의 속도비 관계식 도출하였으며, 도출된 식은 아래와 같다.



조향 출력(s)	회전 반경(R)	궤도의 속도비(i)
30	35	0.933
60	26	0.911
90	16	0.858
120	12	0.816
150	8	0.736

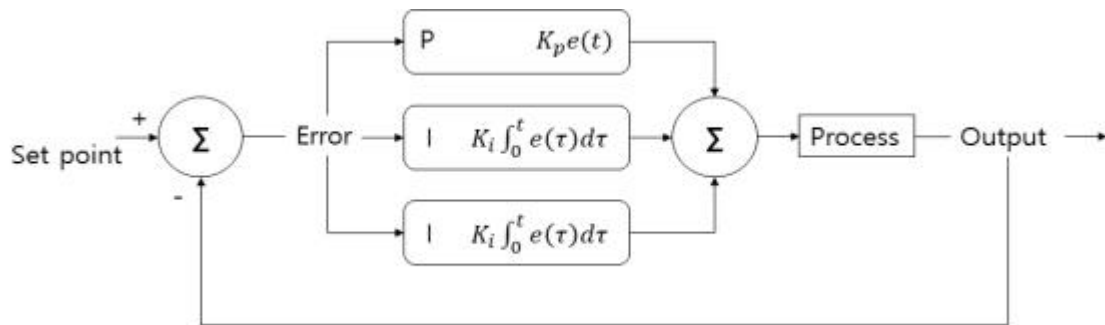
<조향출력에 따른 상관관계>

$$s = 1049i^3 - 2795.85i^2 + 2407i - 660.35$$

나) 속도제어 알고리즘 개발

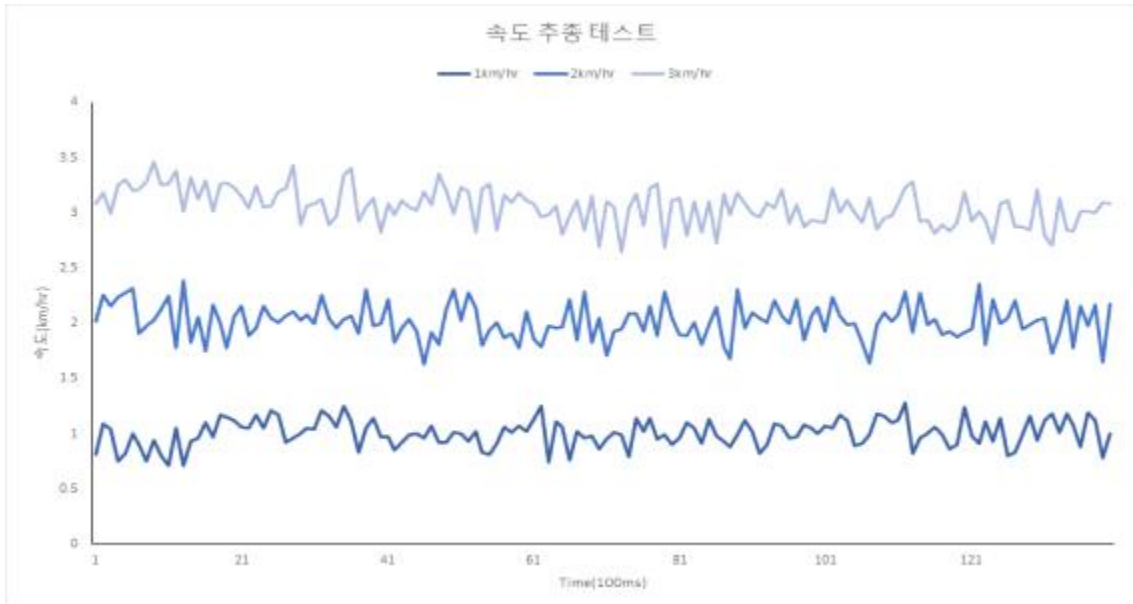
ㄱ. PID 제어를 이용한 속도제어 알고리즘 개발

- 속도 제어 알고리즘은 Set point로 정해진 속도를 현재 주행중인 플랫폼의 GPS 속도와 비교하여 정해진 속도를 유지하기 위해서 PID 제어기 사용



<Principle of PID Control>

- 개발 중인 자율주행 콤바인의 경우 아직까지 속도제어 기능구현을 위한 개발이 진행 중 이므로 궤도형 로봇 플랫폼을 이용하여 운동장 환경에서 모사 테스트를 진행. 1km/hr 추종 시 평균 속도 0.99km/hr, RMS 속도 1.01km/hr로 추종. 2km/hr 추종 시 평균 속도 2.01km/hr, RMS 속도 2.01km/hr로 추종, 3km/hr 추종 시 평균 속도 3.05km/hr, RMS 속도 3.06km/hr로 추종.
- 추종 결과 1~2km/hr에서는 평균, RMS 속도 둘 다 0.01km/hr의 오차, 3km/hr에서는 평균, RMS 속도 둘 다 0.05km/hr의 오차 발생. 속도가 빨라질수록 오차가 증가. 하지만 작업 속도에 비해 오차가 작아 목표 속도를 잘 추종.



<속도 추종 알고리즘 테스트 결과>



<모사 시험에 사용된 궤도형 로봇 플랫폼>

ㄴ. 콤바인 직진 주행

- 콤바인의 직진 경로 추종 성능 테스트 진행. 대동 창녕연구소 내의 아스팔트 주행시험로에서 진행하였으며 직진 경로 60m를 주행. 직진 주행 결과 최대 경로 오차는 6번의 테스트 동안 10.4cm 내외이며 평균 경로 오차 및 RMS 경로 오차 5cm보다 미만이었음. 다음의 그림은 주행시험로, 시험에 사용된 자율주행 콤바인 및 시험중 자율주행 콤바인의 주행경로를 측정된 GPS 좌표를 나타냄.
- 자율주행 시험에 사용된 GPS는 u-Blox사의 F9P이며 두 개의 GPS를 이용하여 Moving RTK를 구성하였으며, LTE 통신을 이용하여 VRS로 보정하였음. LTE통신을 통한 VRS 보정한 경우 정지위치정밀도는 15cm미만이었음.



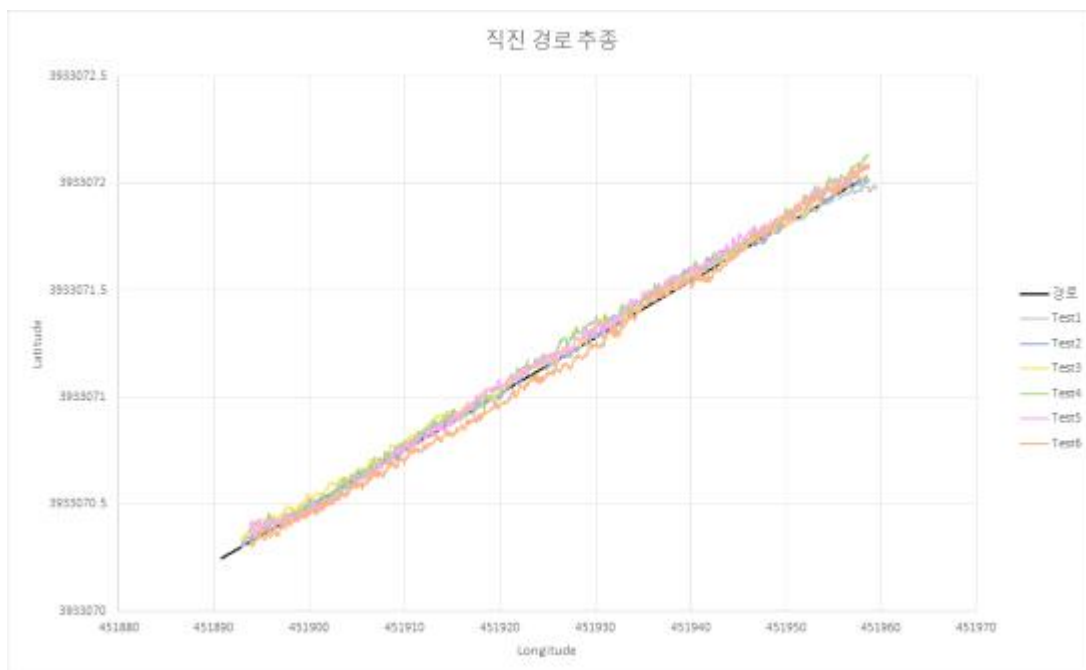
<대동 창녕연구소 내 아스팔트 도로>



<테스트에 사용된 자율주행 콤바인>

<콤바인 직진 주행 경로 오차>

	평균 경로 오차(m)	RMS 경로 오차(m)	최대 경로 오차(m)
1회	0.01613	0.02068	0.08579
2회	0.02061	0.02526	0.07029
3회	0.03126	0.03487	0.08257
4회	0.03903	0.04550	0.10448
5회	0.03387	0.03878	0.08905
6회	0.03336	0.03791	0.08436



<자율주행 경로추종 결과>

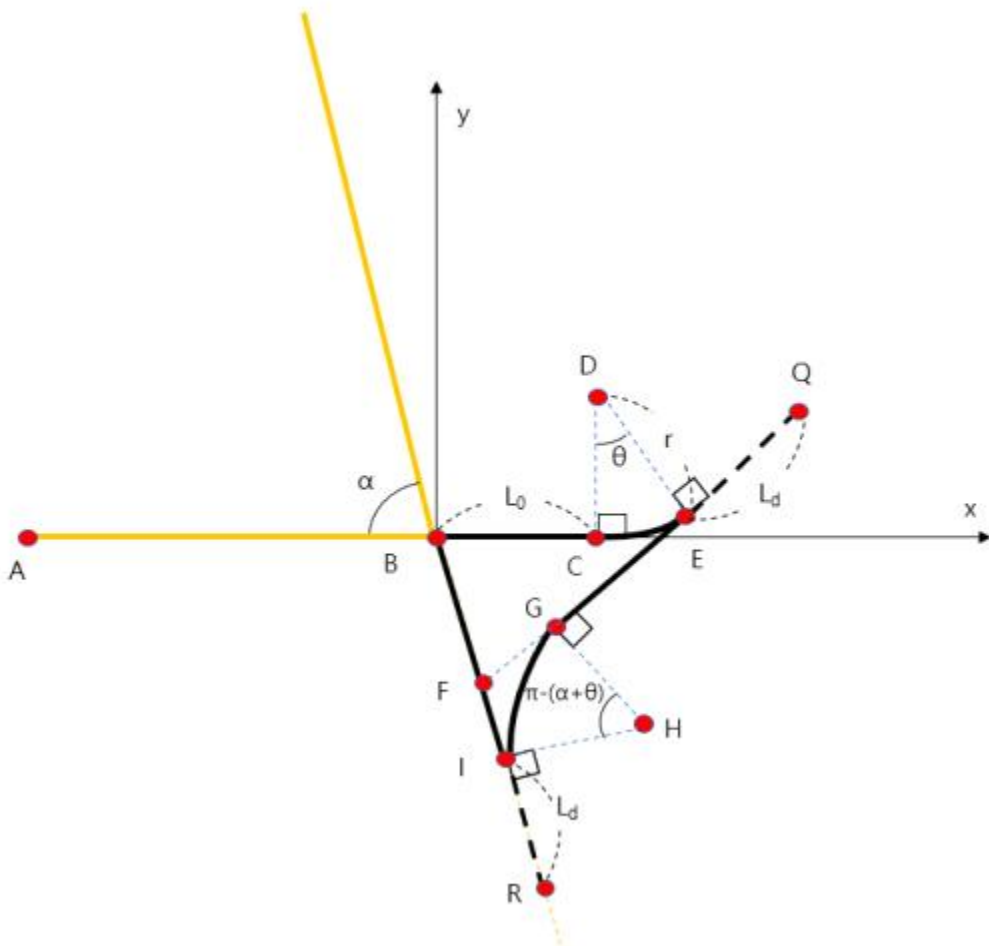
[3차년도]

(1) 콤바인 작업 경로 생성 알고리즘 최적화

가) 선회 경로 생성 알고리즘 최적화

ㄱ. 다변형 환경에서의 선회 경로 생성 알고리즘 개발

- 선회 경로 생성은 미 수확 작물 훼손 및 논둑을 넘지 않게끔 하는 제한 조건과 콤바인의 기구학적 모델을 고려하여 직선과 원호로 이루어진 Dubin's Path 형태로 생성.
- 직교형 논 환경뿐만 아니라 다변형 논 작업 환경에서의 선회도 가능한 경로를 생성하기 위해, 모서리의 각도가 90° 가 아닌 경우도 선회 작업 경로를 생성하도록 알고리즘 보완.
- α 턴 선회 경로는 그림 2.3과 같이 점 B에서 시작하여 Over-run 거리 L_0 만큼 직진하는 경로(B-C), 점 D를 중심으로 선회 회전 반경 r 과 선회 각도 θ 만큼의 원호를 따라 선회하는 경로(C-E), 전 후진 전환 시 Look ahead distance를 고려한 연장 경로(E-Q), 직선 후진 경로(E-G), 후진 선회 경로(G-I), 후진 연장경로(I-R), 직진 경로(I-B)로 구성.
- 직선 경로는 Waypoint 간격만큼 직선 선형 보간을 하여 경로점을 생성하였고 선회 경로는 원호의 길이를 Waypoint 간격으로 나누어 각을 등분한 후 선회 중심을 기준으로 선회 경로 시작점을 등분한 각도만큼 회전 변환하여 경로점을 생성.

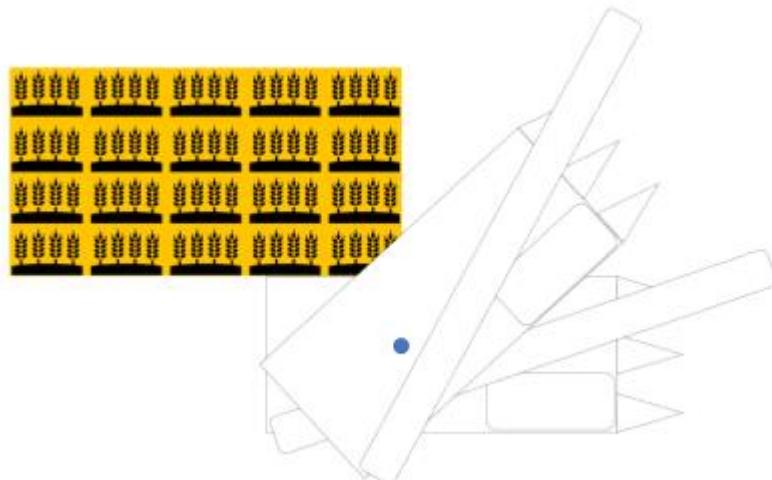


< α 턴 선회 경로>

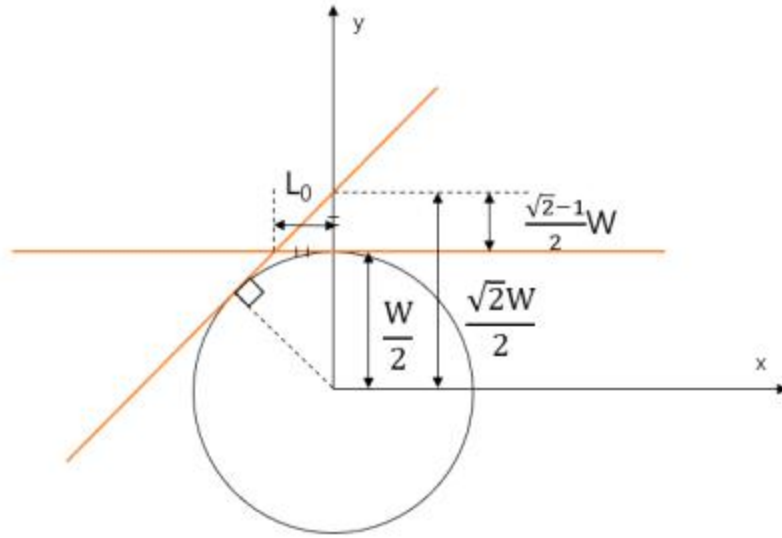
$$\begin{aligned}
x_c &= L_0, y_c = 0 \\
x_d &= L_0, y_d = r \\
x_e &= L_0 + r\sin(\theta), y_e = r(1 - \cos(\theta)) \\
x_q &= L_0 + r\sin(\theta) + L_d\cos(\theta), y_q = r(1 - \cos(\theta)) + L_d\sin(\theta) \\
x_f &= \frac{\tan(\theta)(L_0 + r\sin(\theta)) - r(1 - \cos(\theta))}{\tan(\theta) + \tan(\alpha)}, \\
y_f &= -\tan(\alpha) \frac{\tan(\theta)(L_0 + r\sin(\theta)) - r(1 - \cos(\theta))}{\tan(\theta) + \tan(\alpha)} \\
x_g &= x_f + r\tan\left(\frac{\pi - (\theta + \alpha)}{2}\right)\cos(\theta), y_g = y_f + r\tan\left(\frac{\pi - (\theta + \alpha)}{2}\right)\sin(\theta) \\
x_i &= x_f + r\tan\left(\frac{\pi - (\theta + \alpha)}{2}\right)\cos(\alpha), y_i = y_f - r\tan\left(\frac{\pi - (\theta + \alpha)}{2}\right)\sin(\alpha) \\
x_h &= x_i + r\cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right), y_h = y_i + r\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \\
x_r &= x_i + L_d\cos(\alpha), y_r = y_i - L_d\sin(\alpha)
\end{aligned}$$

ㄴ. 선회 경로 생성 알고리즘에 사용되는 매개변수 최적화

- Over-run 거리 L_0 , 선회 회전 반경 r , 선회 각도 θ 에 따라 선회 경로의 형태와 작업 효율이 달라지므로 해당 매개변수 설정이 중요.
- L_0 의 값이 작으면 선회 시 미 수확 작물을 훼손시키고 L_0 의 값이 크면 전체적인 선회 경로 길이가 길어져 작업 효율이 떨어져 적절한 L_0 의 값을 설정하는 것이 중요.
- 콤바인이 수확 경로 끝점에서 45° 제자리 선회를 한다는 가정으로 미 수확 작물을 훼손시키지 않는 최소 거리를 그림 2.5와 같이 산출.
- 콤바인 폭이 2m이므로 최소 L_0 의 값은 0.41m지만 통신 지연, GPS 오차 등을 고려하여 실험적 방법에 의하여 L_0 의 값은 0.8m로 설정.



<수확 경로 끝점에서 45° 선회 모습>



<Over-run 거리 계산>

$$L_0 \geq \frac{\sqrt{2}-1}{2} W$$

L_0 : over-run distance (m)

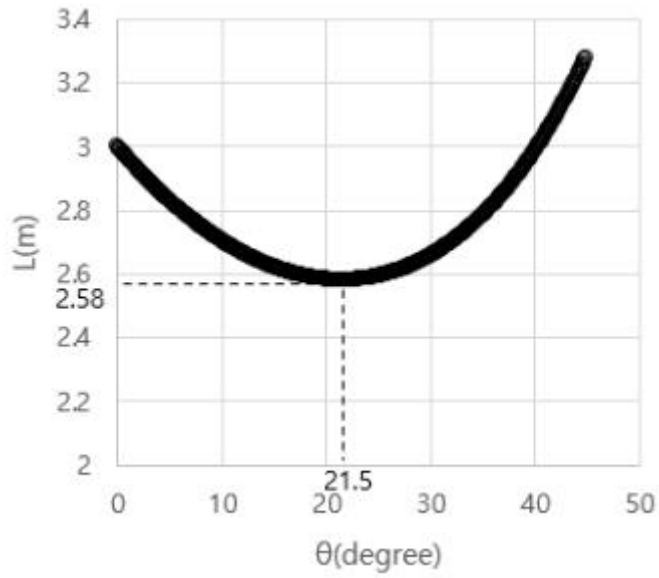
W : combine width (m)

- 선회 회전 반경이 커지면 선회 거리가 커져 작업 효율성이 감소하고, 선회 회전 반경이 작아지면 선회 경로 추종 시 제자리 선회 형태의 선회가 되기 때문에 토양의 손상이 발생할 수 있고 경로 추종성이 낮아짐.
- 선회 각도 θ 값에 따라 선회 경로 형태와 선회 시 필요 여유 공간의 크기가 달라짐.
- 후진 선회 시 최대로 후진한 위치 좌표를 통해 θ 값에 대한 후진 거리 식을 도출한 후 후진 거리의 최솟값을 갖는 θ 값을 산출.
- θ 값에 대한 후진 거리 식은 아래의 식과 같고 위에서 정한 L_0 , r 을 대입하고 직교형 작업 환경이라 가정하여 α 에 90° 를 대입한 θ 값에 대한 후진 거리 그래프임. 그래프를 확인하였을 때 θ 값이 21.5° 일 때 최소 후진 거리 2.58m가 나옴. 타 연구에서의 설정 선회 각도인 45° 일 때 후진 거리가 3.28m이며 θ 값을 조절함에 따라 선회 작업 시 필요 공간을 줄일 수 있다는 것을 보임.

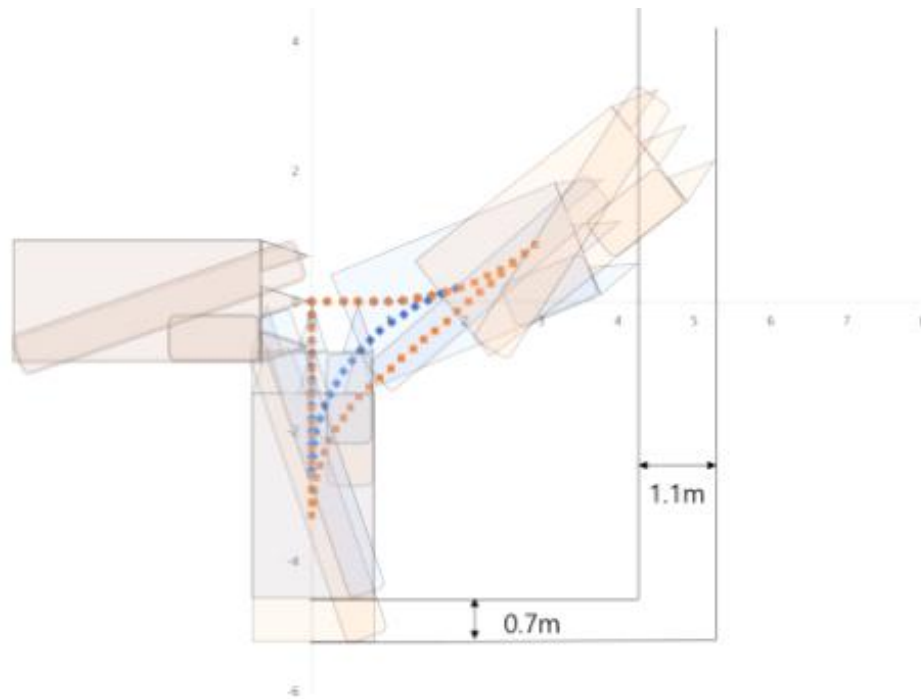
$$L = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$$

$$x_i = \frac{\tan(\theta)(L_0 + r\sin(\theta)) - r(1 - \cos(\theta))}{\tan(\theta) + \tan(\alpha)} + r \tan\left(\frac{\pi - (\theta + \alpha)}{2}\right) \cos(\alpha)$$

$$y_i = -\tan(\alpha) \frac{\tan(\theta)(L_0 + r\sin(\theta)) - r(1 - \cos(\theta))}{\tan(\theta) + \tan(\alpha)} + r \tan\left(\frac{\pi - (\theta + \alpha)}{2}\right) \sin(\alpha)$$



<선회 각도 θ 에 대한 후진 거리 L 그래프>



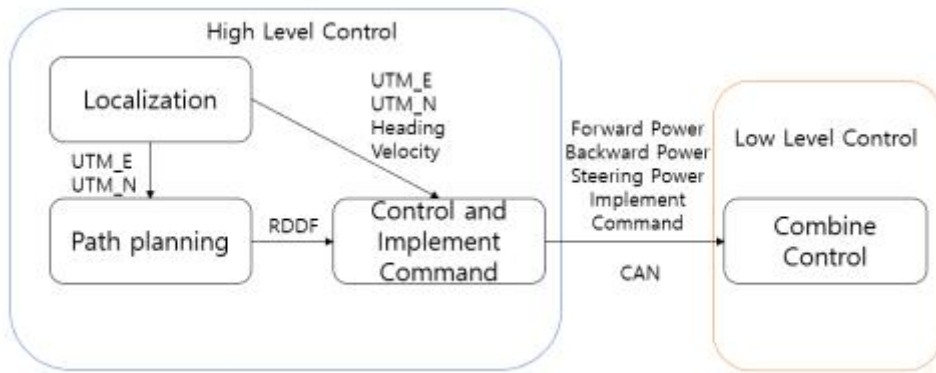
<선회 시 필요 공간 비교>

(2) 주행 제어 알고리즘 실증 및 최적화

가) 자율주행 콤바인 시스템 구성

ㄱ. 자율주행 콤바인 제어 시스템 구성

- 자율주행 콤바인 시스템은 크게 상위 제어 시스템, 하위 제어 시스템으로 나눔.
- 상위 제어 시스템은 측위 시스템, 경로 생성 시스템, 경로 추종 및 작업기 제어 시스템으로 구성하였고 하위 제어 시스템은 제어 시스템으로 구성.



<자율주행 콤바인 시스템 구성도>

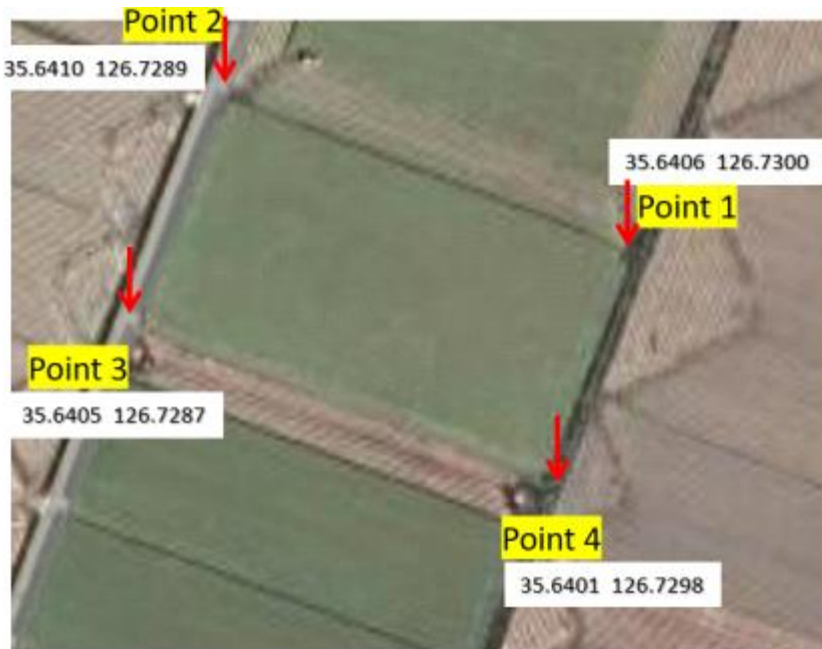
ㄴ. 측위 시스템

- 측위 시스템은 Moving base RTK-GNSS를 이용해 콤바인의 위치 정보 및 방향각 정보, 속도 정보를 경로 생성 시스템과 경로 추종 시스템에 제공.
- 콤바인의 위치 정보는 RTK-GNSS에서 받은 경위도 좌표를 평면 직각 좌표계인 UTM 좌표로 변환하여 사용.
- 사용된 측위 시스템 사양은 아래와 같음

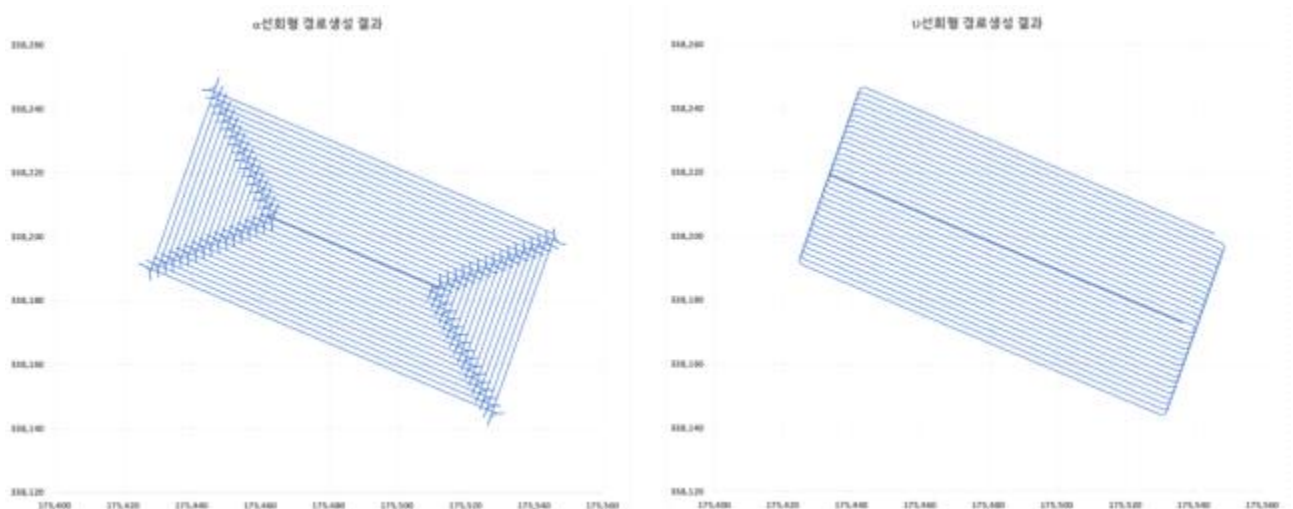
ITEM		Specification
GNSS features	ENGINE	uBloxZED-F9P x 2EA
	GNSS	BeiDou, Galileo, GLONASS, GPS / QZSS
	GNSS Bands	L1, L2, B1, B2
	Heading	True Heading
	Update Rate	5 Hz
	Pos. Accuracy	0.01m with RTK
	Heading Accuracy	0.4 deg.
Interface	Communication	LTE, CAT/M1
	Data	CAN 2.0B Extended
Dimension	Rover (mm)	180 x 162 x 96
	Base (mm)	140 x 140 x 96
	Weight (kg)	1.7 (Rover : 1.0, Base 0.7)

ㄷ. 경로생성 시스템

- 경로생성 시스템은 측위 시스템에서 받은 좌표 데이터를 통해 작업경로 데이터를 생성.
- 작업 경로 데이터는 RDDF(route data definition file)의 형태로 표현되며, RDDF의 첫 번째 열은 경로점 인덱스를 나타내고 두 번째 열은 경로점의 UTM_E 좌표, 세 번째 열은 UTM_N 좌표, 네 번째 열은 콤바인 입력 속도 값, 마지막 다섯 번째 열은 작업기 상태를 나타냄.
- α 선회형 경로의 경우 후진경로를 포함하고 있고 이로인한 전후진 과정에서 작업시간이 길어지는 단점이 있으며 좁은 공간에서 반복적인 선회로 인한 토양전단의 문제를 보완하고자 U선회형 경로생성 알고리즘을 추가로 개발
- 다음은 임의 포장을 대상으로 α 선회형 경로와 U선회형 경로를 생성한 결과이다.



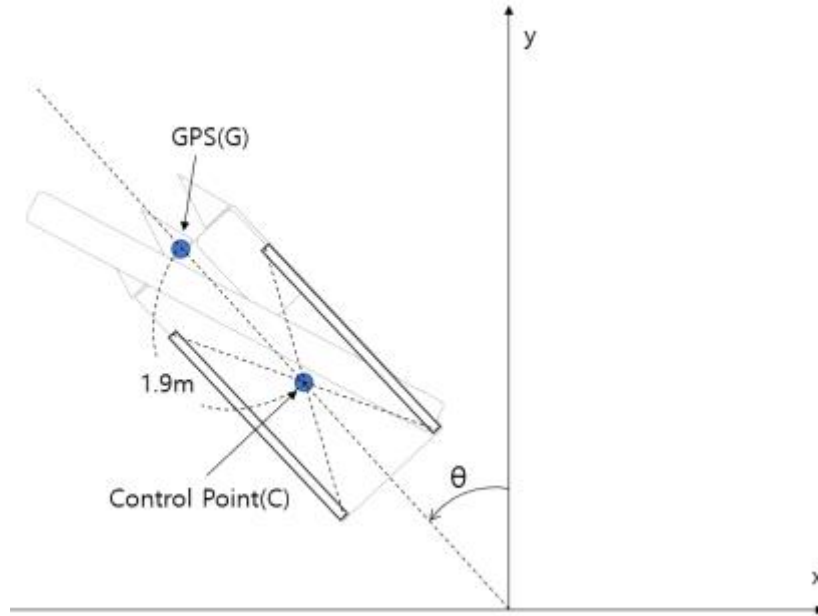
<경로생성 포장>



<α선회형 경로(左)와 U선회형 경로(右) 생성결과>

ㄹ. 경로 추종 및 작업기 제어 시스템

- 경로 추종 및 작업기 제어 시스템은 측위 시스템에서 받은 콤바인의 위치 데이터와 경로 생성 시스템에서 받은 RDDF를 통해 목표 위치를 결정하고 전진 출력, 후진 출력, 조향 출력, 작업기 명령값을 제어 시스템에 CAN 통신을 통해 하위 제어기로 전달.
- 측위 시스템에서 받은 콤바인 GPS 위치 좌표를 콤바인의 방향각과 이격 거리인 1.9m를 이용해 제어점으로 평행이동하여 보정함.
- 콤바인 제어점은 양 궤도의 끝점을 대각선으로 이은 두 선의 교점인 궤도형 플랫폼의 회전 중심이 되는 점으로 지정.



<GPS 좌표 평행이동>

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_g \\ y_g \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L \sin(\theta) \\ L \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

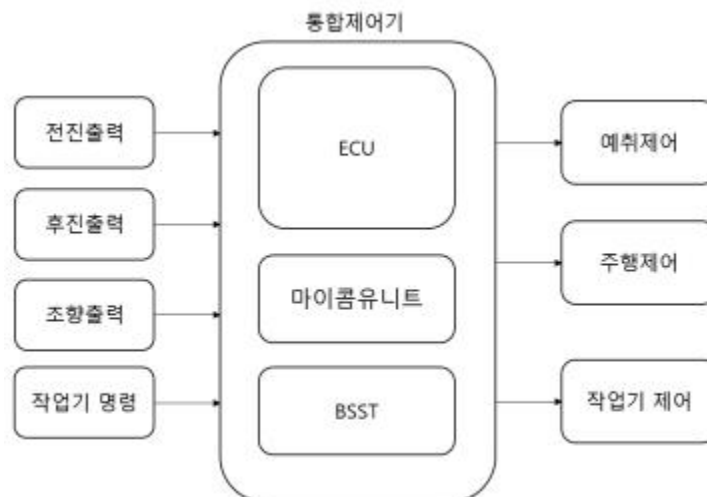
x_c : 제어점 x 좌표, y_c : 제어점 y 좌표

x_g : GPS x 좌표, y_g : GPS y 좌표

L : 제어점과 GPS좌표와의 이격 거리(m)

□. 제어 시스템

- 경로 추종 및 작업기 제어 시스템에서 전진 출력, 후진 출력, 조향 출력, 작업기 명령 값을 CAN 통신을 통해 전달받아 제어기를 통해 콤바인의 주행 및 예취, 작업기 상승, 하강 움직임을 제어.



<제어 시스템 구성도>

나) 주행 제어 알고리즘 실증

ㄱ. 자율주행 콤바인 주행 실증

- 경상남도 창원군 대지면 본초리 730 (90m x 20m)와 전남 나주시 반남면 서동흥복길 227 (65m x 15m) 실제 작업 필지에서 자율주행 콤바인 경로 생성 및 주행 테스트를 진행.



<경상남도 창원군 대지면 농지 (90m x 20m)>



<전남 나주시 반남면 농지 (65m x 15m)>

ㄴ. 자율주행 콤바인 주행 실증 결과

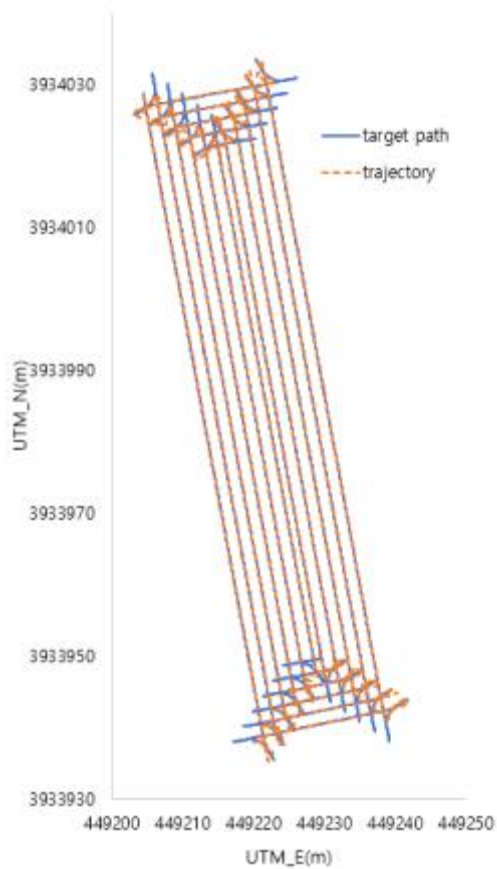
- 해당 필지에서 사람이 3바퀴 가베기 작업을 한 상태로 자율주행 콤바인으로 α 턴 선회 방식의 작업 경로를 생성한 후 주행 시험 진행.
- 수확 작업 시 속도는 3~5km/h이고 선회 작업 시 속도는 1km/h이고 작업 영역의 크기는 90m x 20m 이고 맑은 날씨에 테스트를 진행.
- 경로 생성 시간은 0.336 초가 걸렸으며 기준 목표인 0.5초를 달성함.

511	163106.659558	214782.147903	1	1
512	163106.813740	214781.496002	1	0
513	163106.901591	214780.916073	1	0
514	163107.153902	214780.386570	1	0
515	163107.548973	214779.953034	1	0
516	163111.958885	214778.199639	1	0
517	163112.134558	214778.127175	1	0
518	163112.310232	214778.054711	0	0
519	163112.485905	214777.982247	1	0
520	163113.032226	214778.118236	1	0
521	163113.519002	214778.401094	1	0
522	163113.907661	214778.808406	1	0
523	163114.167407	214779.307897	1	0

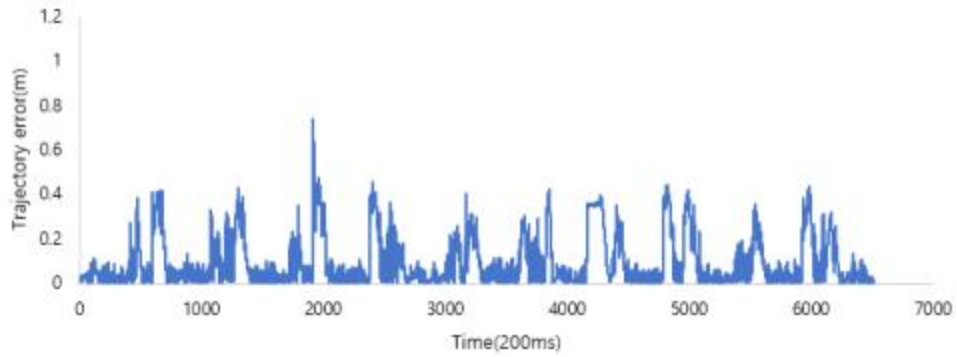
Process Start at : 3372 msec
 Process Finished at : 3708 msec
 Total Processing Time : 336.000000 msec

<경로 생성 시간>

- 경상남도 창녕군 대지면 본초리 730 (90m x 20m) 필지에서의 테스트 결과 전역경로에서의 RMS 경로추종오차는 0.145m이며 직선구간인 수확작업에서의 RMS 경로추종오차는 0.06m이며 목표인 0.15m를 달성함.

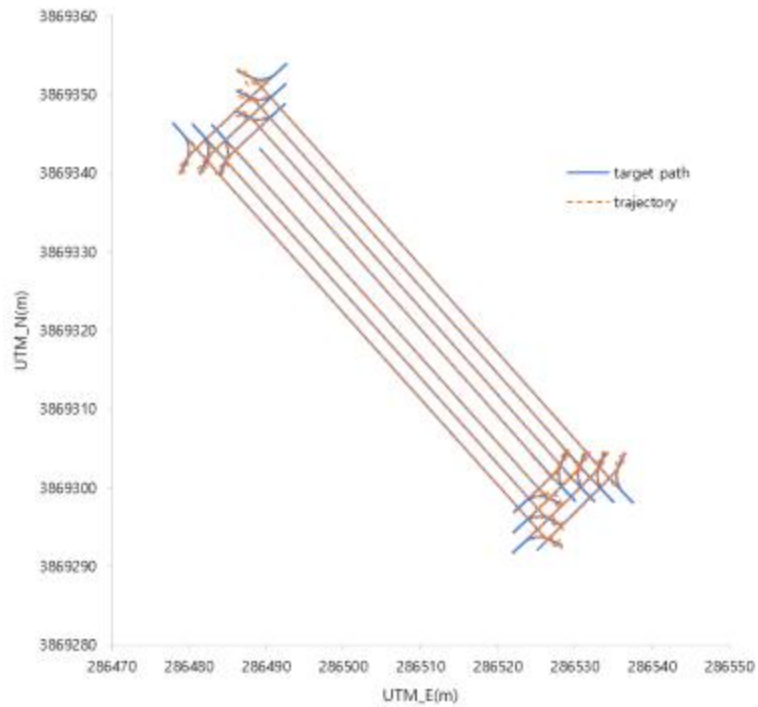


<생성 경로 및 주행 궤적 그래프>

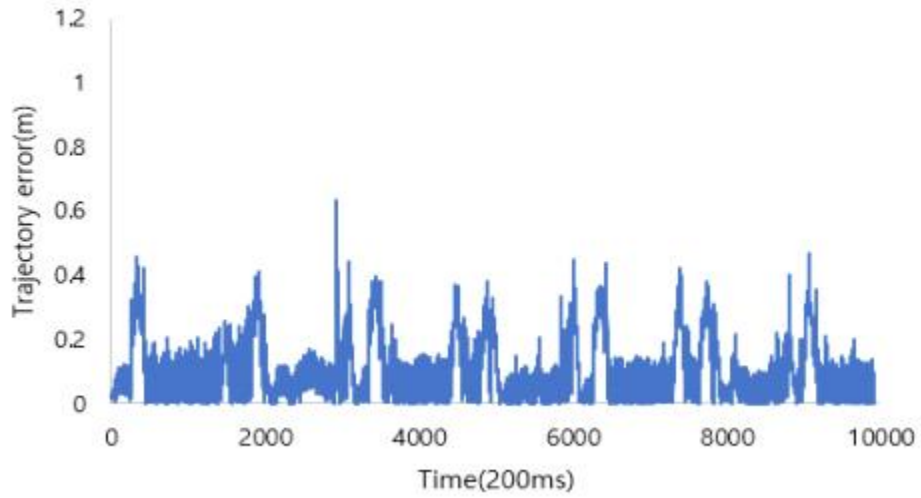


<경로 오차 그래프>

- 전남 나주시 반남면 서동흥복길 227 (65m x 15m) 필지에서의 첫 번째 테스트 결과 작업구간에서의 RMS 경로추종오차는 0.133m이며 목표인 0.15m를 달성함.

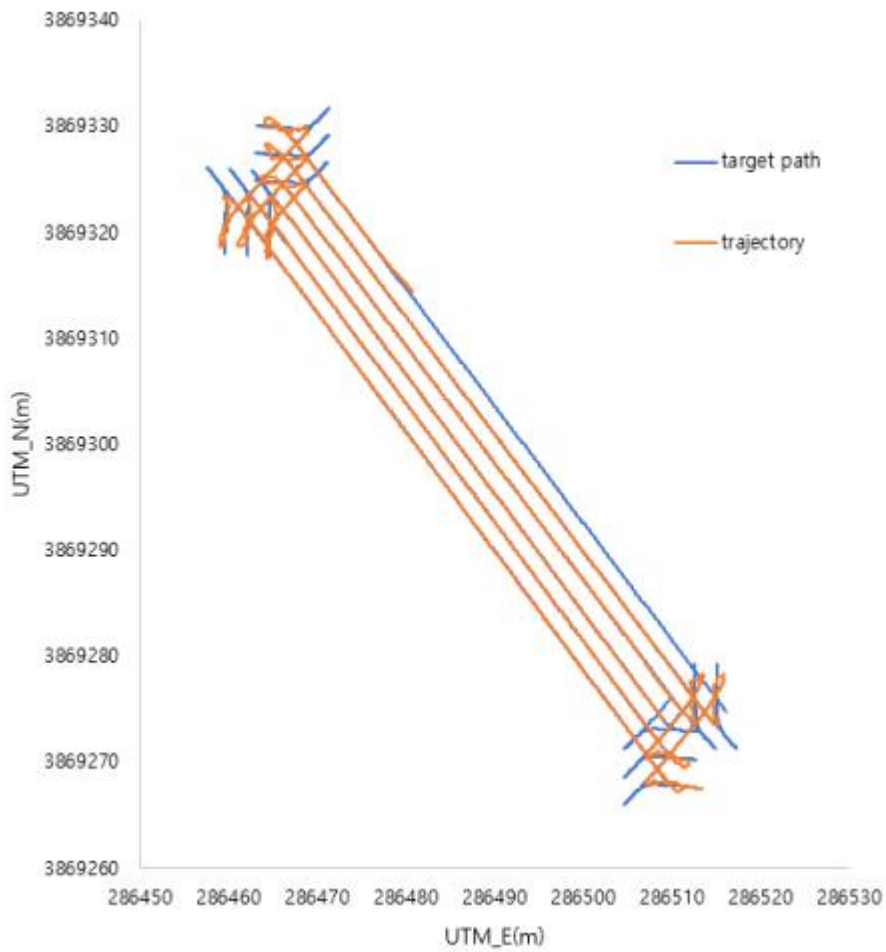


<생성 경로 및 주행 궤적 그래프>

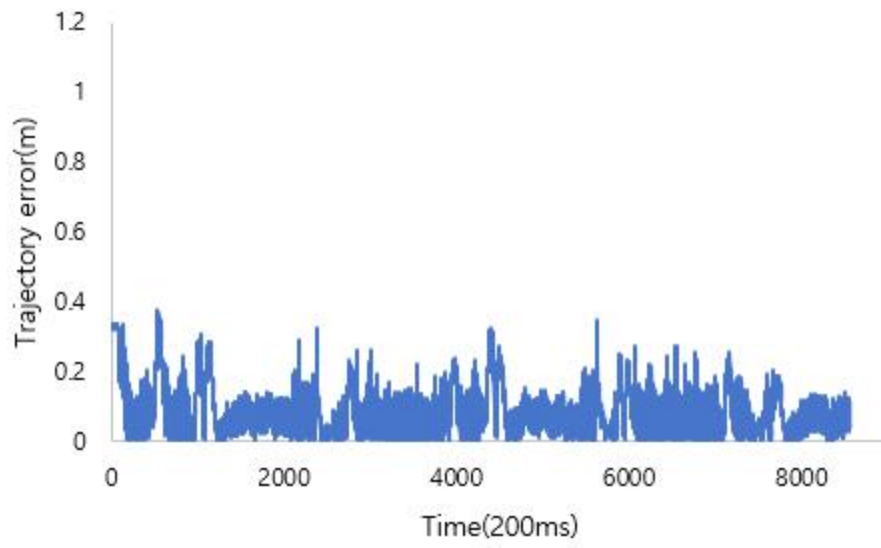


<경로 오차 그래프>

- 전남 나주시 반남면 서동흥복길 227 (65m x 15m) 필지에서의 두 번째 테스트 결과 작업구간에서의 RMS 경로추종오차는 0.102m이며 목표인 0.15m를 달성함.



<생성 경로 및 주행 궤적 그래프>



<경로 오차 그래프>

1) 연구개발 수행내용

[1차년도]

(1) 자율주행 콤바인 주행부 시뮬레이션 모델 개발

가) 시뮬레이션 설계 인자 도출 및 주행부 3D 모델 개발

ㄱ. 3D 모델링 구성

A. 3D 모델을 구성하기 위해 콤바인의 주행부 구성을 분석하였음.

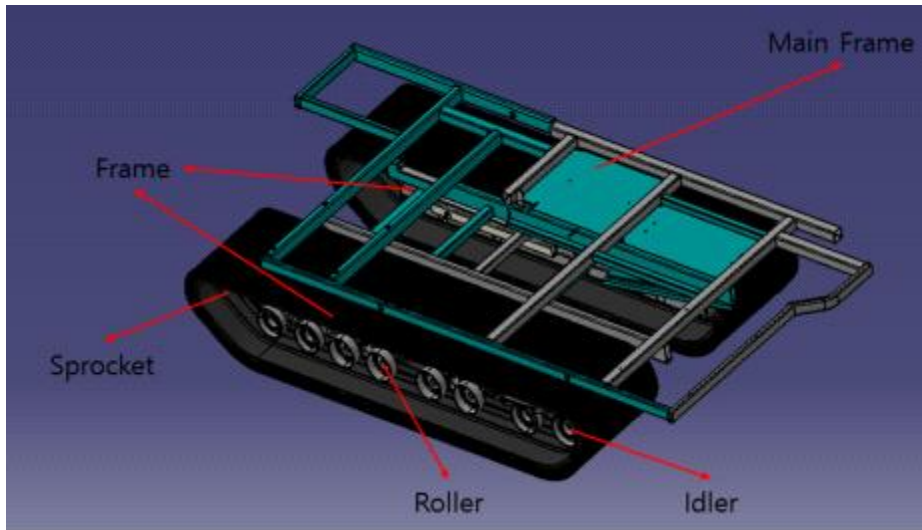
a. 콤바인의 궤도 시스템은 유압모터로부터 동력을 전달받아 주행부를 구동시키는 Sprocket 과 궤도의 상부 및 하부를 지지하는 Roller와 궤도 후방에서 장력 조절을 수행하여 정상 적으로 궤도가 구동되게 해주는 Idler로 구성되어 있음.



<콤바인 주행부 궤도 시스템 구성>

B. 3D 시뮬레이션 모델을 구성하기 위해 궤도 시스템의 간소화를 수행하였음.

a. 궤도 시스템을 간소화하기 위해서 구동의 불필요한 부분을 제거하였으며, Sprocket, Roller 및 Frame, Idler를 제외하고는 모두 제거하였음.



<간소화된 3D 모델>

ㄴ. 3D 시뮬레이션 모델 개발

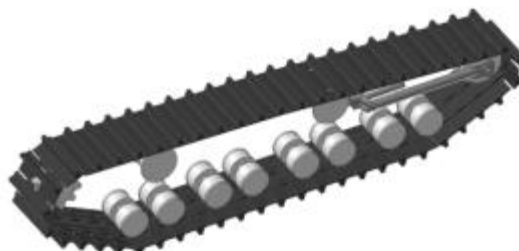
A. 3D 모델의 개발은 Recurdyn V9R3를 이용하여 수행되었음.

a. Recurdyn 프로그램의 결괏값들은 라그랑주 운동 방정식을 기반으로 계산되며, 관계식은 아래와 같이 구성되어 있음.

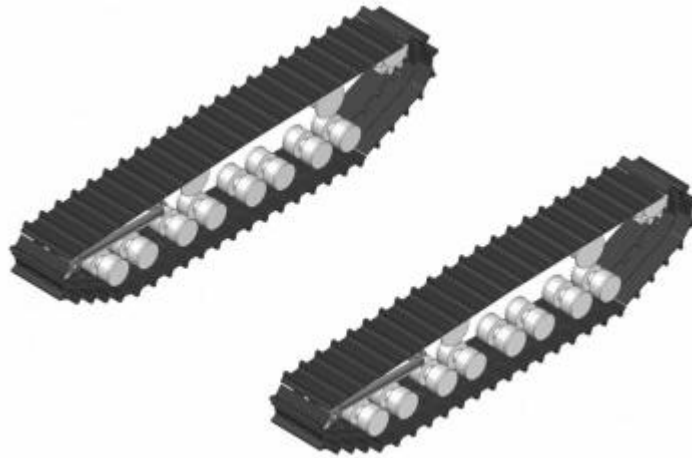
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\delta T}{\delta \dot{q}_i} \right) = \frac{\delta T}{\delta q_i}$$

where, T is the kinetic energy
 q_i is generalized
 coordinates
 t is time

b. 시뮬레이션 모델은 Recurdyn의 Track LM(Low Mobility) 툴킷을 이용하여 구성하였음. Track LM 툴킷은 트랙 구성품(Sprocket, Roller, Idler 및 Link(궤도) 등)에 대한 위치, 속도, 가속도 등을 출력할 수 있음.

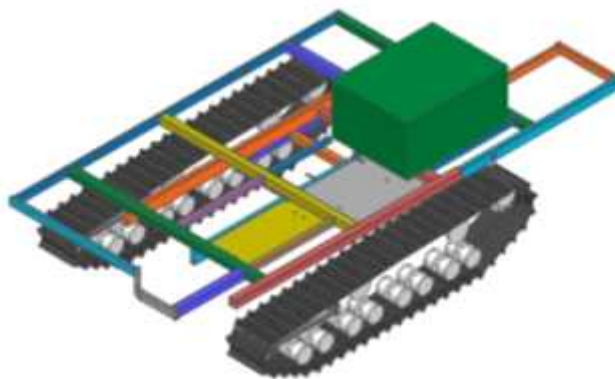


<단일궤도 시스템의 구성>



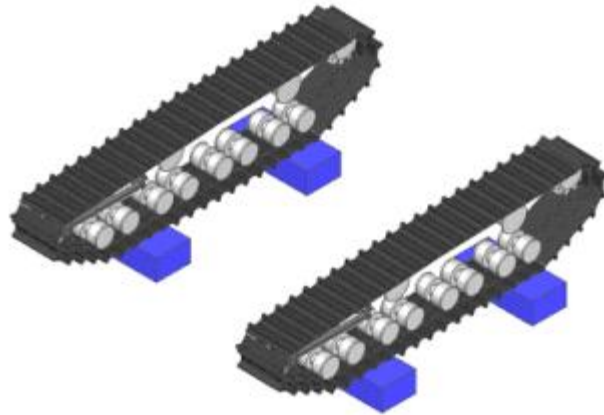
<양쪽 궤도 시스템의 구성>

- c. 콤바인 상부의 구성은 직육면체로 단일화하여 구성하였으며, 위치는 무게 배분비 측정을 통해서 선정하였음.
- 무게 배분비 측정은 궤도의 전방 좌측, 전방 우측, 후방 좌측 및 후방 우측에 저울을 설치하여 측정하였음. 공차중량은 4,695 kg 으로 측정되었으며, 전후 무게 배분비는 전방 73%, 후방 27%로 측정되었음. 좌우 무게 배분비의 경우 좌측 50%, 우측 50%로 측정되었음. 전방 좌측 무게 배분비의 경우 전체 무게의 47%, 전방 우측 무게 배분비의 경우 전체 무게의 27%, 후방 좌측 무게 배분비의 경우 전체 무게의 3%, 후방 우측 무게 배분비의 경우 전체 무게의 23%로 측정되었음.



<상부 시스템 구성 후 시뮬레이션 모델>

- d. 모델 검증을 위해 무게 측정 시 저울이 위치와 같은 곳에 직육면체 지오메트리를 구성하였으며 시험조건과 동일하게 시뮬레이션 모델을 구성하였음. 해당 시스템의 공차 시 하중을 부여하였으며, 지오메트리에 발생하는 반력 결괏값을 이용하여 실차 결괏값의 비교 및 분석을 통해 모델 검증을 수행하였음.
- 시뮬레이션 결과 전방 좌측에서 15.2 kN, 전방 우측에서 13.2 kN, 후방 좌측에서 9.5 kN, 후방 우측에서 10.6 kN으로 나타남. 하중 측정 결과는 전방 좌측에서 16.1 kN, 전방 우측에서 12.5 kN, 후방 좌측에서 9.1 kN, 후방 우측에서 10.9 kN으로 나타남.



<무게 측정 시스템 포함한 시뮬레이션 모델>

<무게 측정 결과값>

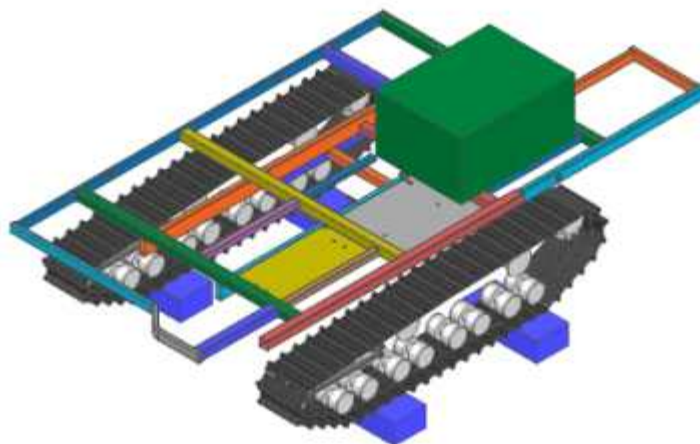
(단위 : kN)

위치	시뮬레이션 모델		실차 측정값	
	좌측	우측	좌측	우측
전방	15.2	13.2	16.1	12.5
후방	9.5	10.6	9.1	10.9

<무게 측정 결과값 및 비교 분석>

(단위 : %)

위치	오차	
	좌측	우측
전방	5.6	5.6
후방	4.4	2.8



<전체 시뮬레이션 모델 구성>

나) 주행부 조인트 강성계수 예측 모델 개발

ㄱ. 강성계수

A. 강성계수는 힘에 따른 변화량을 정의하는 수치이며, 관련 식은 아래와 같이 구성됨.

$$k = \frac{F}{\delta}$$

where, F is force on a body

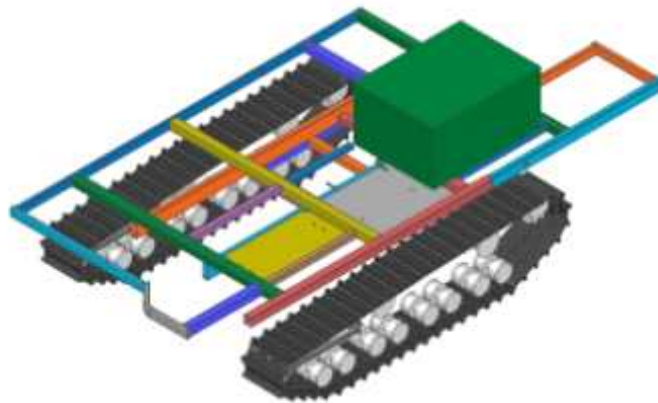
δ is displacement

k is stiffness

coefficient

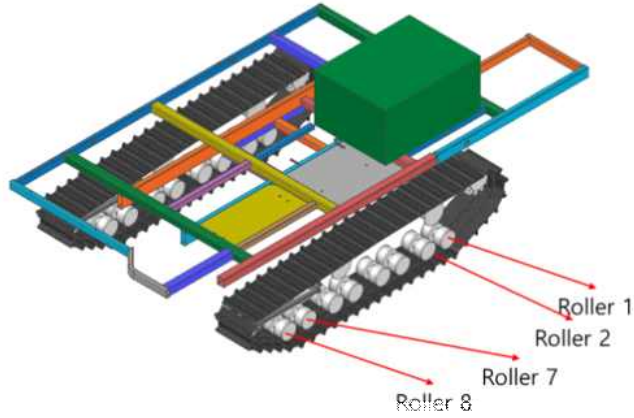
B. 여러 부품으로 구성된 콤바인의 궤도 시스템은 궤도, Roller, Sprocket 및 Idler 등 여러 조인트 및 구성품으로 구성되기 때문에 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 궤도 시스템을 구성하고, 이를 이용하여 조인트에 발생하는 힘을 예상하여 강성계수를 예측할 수 있음.

a. 시뮬레이션 모델은 자중에 의한 부하만 각 조인트에 발생하도록 구성하였음. 궤도와 지면과의 접촉을 정의하고, 각 조인트에 발생하는 반력 결괏값을 도출하였음.



<조인트 계수 측정용 모델>

b. 각 Roller의 명칭은 전방 롤러부터 Roller 1 ~ Roller 8로 구성하였으며, 아래 그림과 같이 지정하였음. 결괏값은 아래 표와 같이 나타남.



<각 롤러의 명칭>

<각 조인트에 발생하는 부하> (단위 : kN)

	좌측	우측
Sprocket	2.7	1.6
Roller 1	3.2	1.8
Roller 2	3.4	2.2
Roller 3	3.5	3.5
Roller 4	3.5	3.4
Roller 5	2.9	3.3
Roller 6	2.5	2.8
Roller 7	1.7	1.9
Roller 8	1.3	1.6
Idler	0.7	1.2

- c. 차후 해당 데이터들을 이용하여, 각 조인트에서 발생하는 변화량을 측정하여 각 조인트에 강성계수를 선정 및 예측할 수 있음.

(2) 작업환경 분석 및 환경 인식 기술 설계

가) 환경정보 수집을 위한 센서 시스템 구성 및 영상, 공간정보 등 주요 데이터 수집

ㄱ. 환경정보 수집을 위한 선행연구 조사

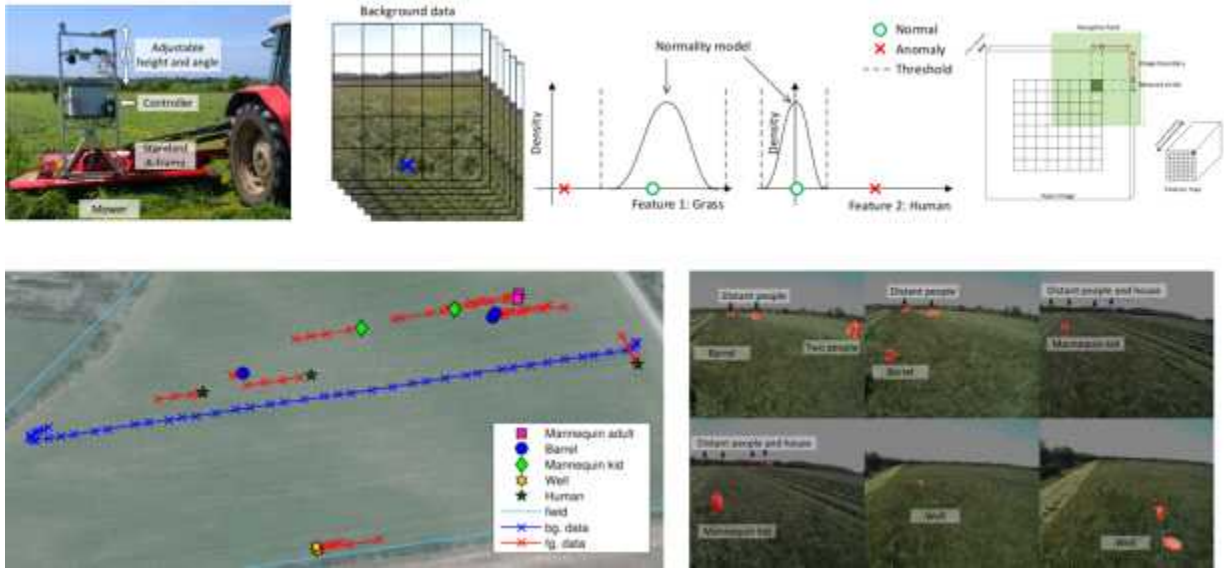
A. DeepAnomaly: Combining Background Subtraction and Deep Learning for Detecting Obstacles and Anomalies in an Agricultural Field (Christiansen et al., 2016)

a. CNN (convolutional neural network) 기반의 객체 검출을 활용하여 다양한 조건에 있는 장애물(멀리 떨어져 있거나, 차폐가 심하거나, 확인이 어려운 등) 인식을 수행하였음: 영상 내 45-90 m 거리영역, 40 fps의 성능을 보여줌

- 시스템 구성 : 스테레오 비전, IMU (inertial measurement unit), GPS, Lidar, etc.
- 합성신경망(CNN) 구성 : 227×227 input image, 6×6×256 feature maps

b. 객체들의 동차 특성(homogeneous characteristics)을 이용하여 농경지 내 객체를 검출하

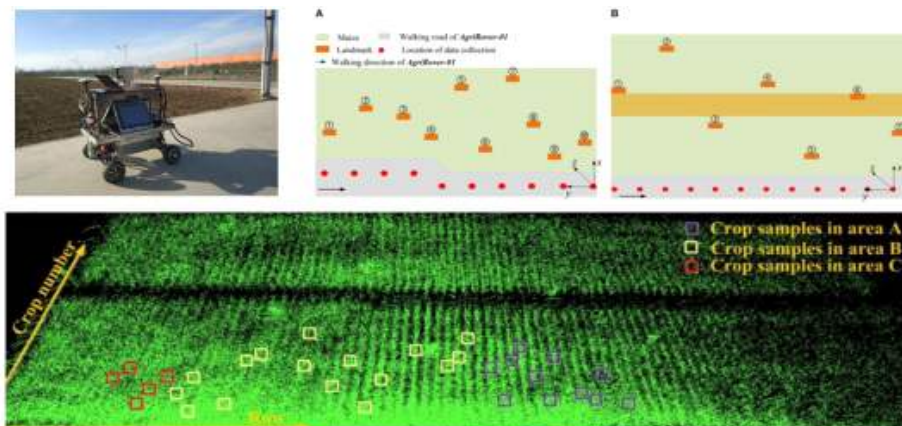
는 기술로 작은 학습데이터로 기술 구현이 가능하며, 기존의 RCNN 등의 방식에 비해 빠른 응답성의 장점이 있음



<배경 제거 및 딥러닝 기술을 이용한 농작업 시 장애물 검출 기술>

B. Field-Based High-Throughput Phenotyping for Maize Plant Using 3D LiDAR Point Cloud Generated With a “Phenomobile” (Qiu et al., 2019)

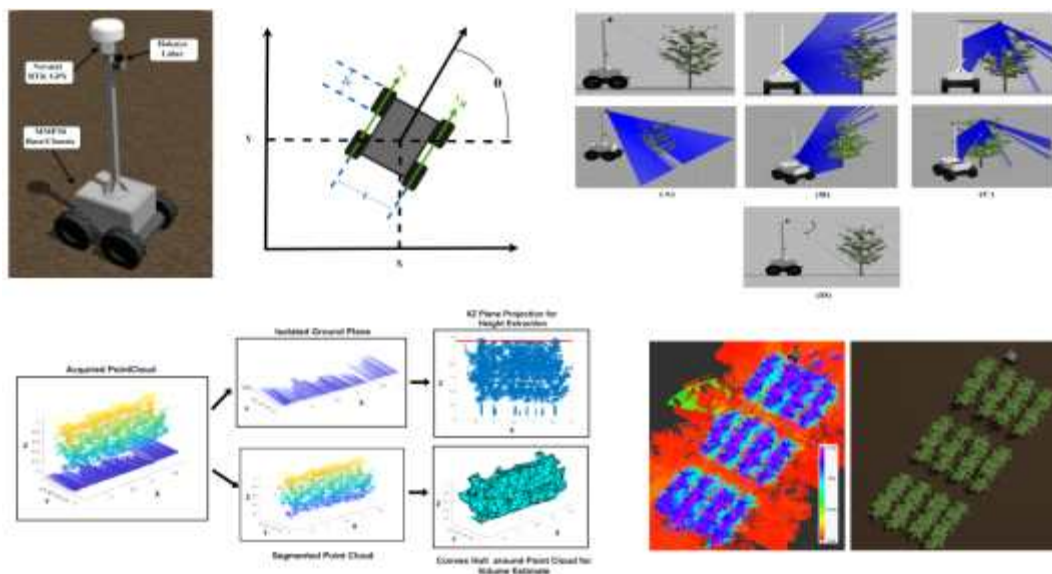
- a. LiDAR (Velodyne HDL64-S3) 기반의 모바일 로봇인 "phenomobile"을 개발하였으며, 높은 처리량의 표현형 분석 기술을 선보임
- b. 360° 스캐닝을 통해 전방향의 depth 정보를 수집하여 point cloud 생성 및 이를 기반으로 작물 그룹을 자동으로 인식하였음
 - Point cloud 정보를 랜드마크(landmarks)를 기반으로 군집화(grouping)하였으며, 최소거리 기반 필터링을 반복하여 정확도를 향상시켰음
 - 옥수수의 영역을 거리 기반 히스토그램 분석과 수평 누적 밀도를 이용하여 형태학적 표현형을 계산하였으며, 이를 통해 내비게이션을 위한 가이드 정보를 제공함



<3D Lidar를 이용한 옥수수 필드의 표현형 분석>

C. Simulation of an Autonomous Mobile Robot for LiDAR-Based In-Field Phenotyping and Navigation (Iqbal et al., 2020)

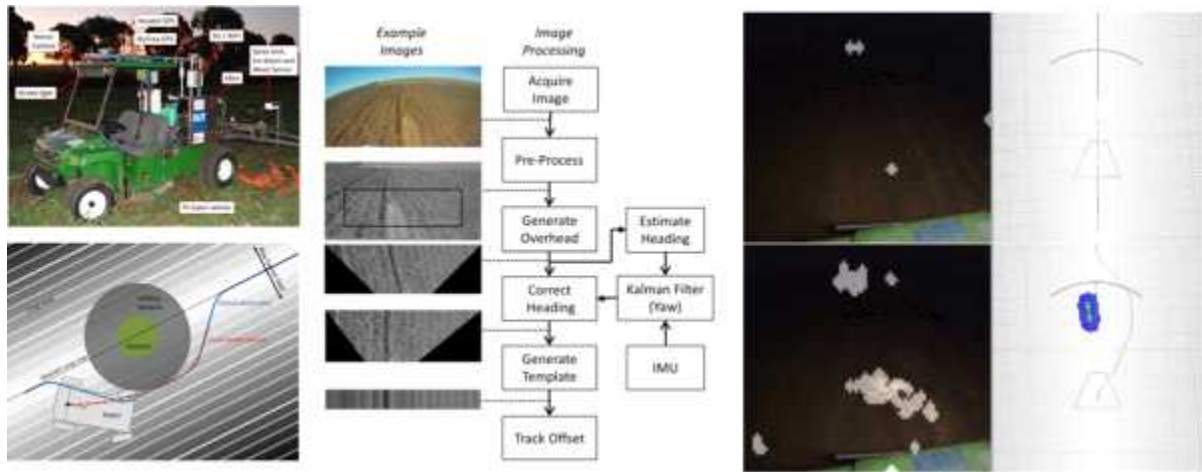
- a. 자율주행 및 다양한 표현형 분석을 위한 모바일 필드 로봇 및 시뮬레이션 플랫폼을 제안함
- b. "Nodding"을 이용한 LiDAR 기반 센서 시스템을 이용하였으며 2D의 point cloud 정보를 이용하여 경로 정보를 인식함
 - GPS 웨이포인트와 Nodding-LiDAR를 이용한 하이브리드 내비게이션 전략을 제시하였으며 작물 열 사이로 주행한 결과 RMS 0.0778 m (0.2%)의 성능을 보였음
 - 시뮬레이션 기반으로 수행된 연구로 실제 필드 적용을 위한 검증이 필요한 것으로 판단되며, 2-way 전략에 대한 검토 필요



<모바일 필드 주행 로봇 자율주행 시뮬레이션 환경>

D. Vision-based Obstacle Detection and Navigation for an Agricultural Robot (Ball et al., 2016)

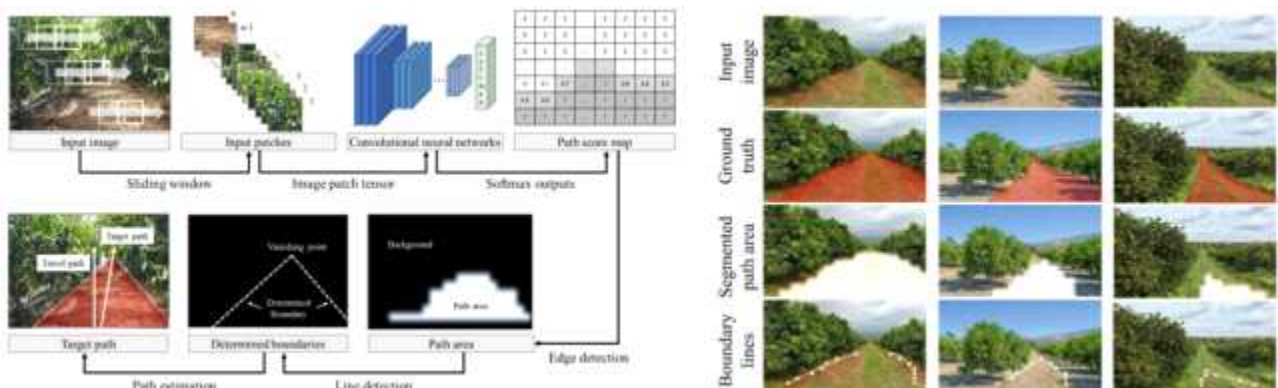
- a. 기계 시각을 이용한 객체 검출 및 자율주행 시스템 개발하였음
- b. 저가의 GPS (global positioning system)와 기계 시각이 포함된 관성 항법 시스템 (inertial navigation system)을 이용하여 시스템을 구성하였음
 - 2가지 방식의 기계 시각을 이용: monocular (2D 영상) → Localization, stereo (3D 영상) → obstacle detection
 - Novelty-based obstacle detection, visually-aided guidance, collision-free kinematically feasible paths의 3가지 주요 특징 기술 포함



<복합 영상 기반 자율주행 및 장애물 검출 기술 프로세스>

E. Path detection for autonomous traveling in orchards using patch-based CNN (Kim et al., 2020)

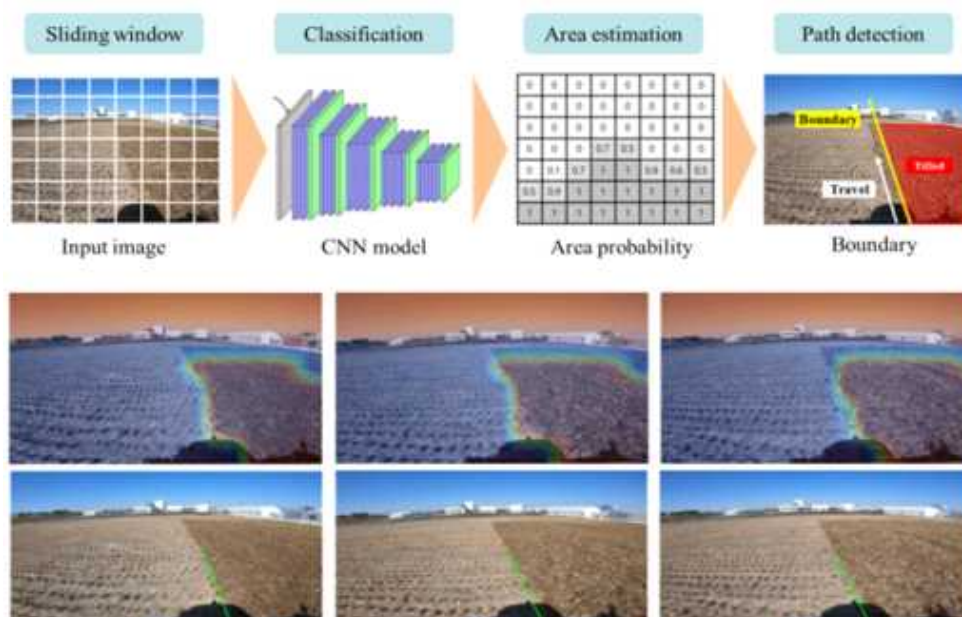
- a. 감귤과수원 자율주행을 위한 CNN (convolutional neural network) 기반의 경로 인식 기술을 제시하였음
- b. 농작업 시 정면의 단조로운 영상 특징을 이용하여 작은 규모의 데이터 세트로 효과적인 세분화(segmentation)가 가능한 경로 인식 기술 파이프라인을 제시함
- c. CNN을 이용한 구역별(patch) 분류 작업이 가능한 모델을 설계하였으며, 구역별 분류 점수를 이용한 경로 점수를 맵핑한 후 이를 후처리하여 경로를 검출하였음
 - 제안된 기술을 이용하여 다양한 영상을 대상으로 성능 평가한 결과 경로 오차는 횡 방향 5.1%, 각도 7.8°로 나타났음
 - 학습에 이용된 환경 외 다양한 과수원, 오솔길 등의 유사한 영상을 이용하여 직진 및 곡선 길에도 기술을 적용하였음
 - 추가적인 학습 없이 R2는 약 0.9, IoU는 약 0.65로 평가됨



<CNN의 구역분류를 이용한 경로 세분화 및 진행 방향 검출>

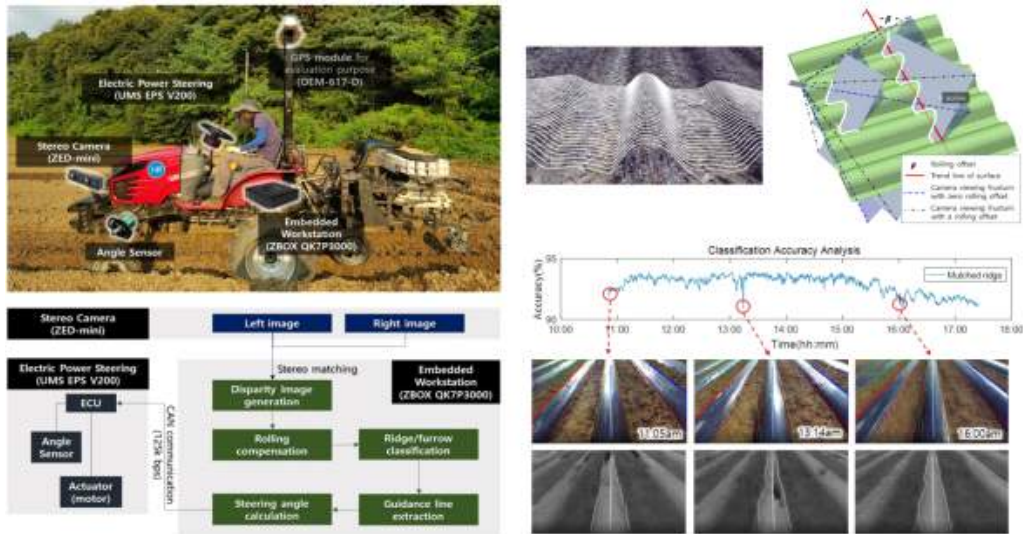
F. Tillage boundary detection based on RGB imagery classification for an autonomous tractor (Kim et al., 2020)

- a. 무인 자율트랙터 개발을 위해 2D 기계 시각을 이용하여 트랙터 경운작업 시 주행기준선을 자동으로 검출하는 기술을 개발하였음
- b. 딥러닝을 이용하여 경작 전, 후의 영역을 구분하였으며, Hough line을 이용하여 작업 경계선을 검출하였음
 - 영역 분류학습 결과 F1-score 약 0.92를 보였으며, 이를 기반으로 영상 내 영역 분류 및 경계를 검출한 결과 150 ms의 처리 속도를 보임
 - 경계 검출의 성능은 각도 오차가 8~9.8°, 횡 방향 오차가 11.0~12.6 cm 수준으로 관찰됨
 - GPS 등의 기존 트랙터 자율주행을 위한 고가 시스템의 대체가 가능하다는 점에서 실용성이 높은 것으로 판단됨



<트랙터 경운작업 시 자동 경계 검출 기술>

- G. Stereo vision-based Ridge-Furrow Detection and Tracking System for Autonomous Seeding (Yun, 2020)
 - a. 스테레오 카메라를 통해 얻은 3차원 정보를 이용하여 두둑의 높낮이 특성으로 두둑과 고랑을 구분하고 자율주행 트랙터의 주행 기준선을 추출하는 알고리즘을 개발
 - b. 스테레오 카메라의 3D 정보를 Blurring 기법과 Canny Edge 기법을 이용하여 Contour 라인의 기울기 정보를 통해 예측하고, 이를 얻어진 깊이 데이터에 반영함
 - c. 고랑과 두둑을 Row-by-Row Segmentation 방법과 Otsu's Thresholding을 통해 구분, 두둑의 중앙값을 이용한 선형 회기 분석으로 최종적인 주행 기준선을 추출
 - 두둑 검출률 분석 결과 평균 94.2%의 정확도를 보였으며 횡 변위 오차는 사람의 표식과 비교한 결과 1.79 pixel RMSE를 보였음

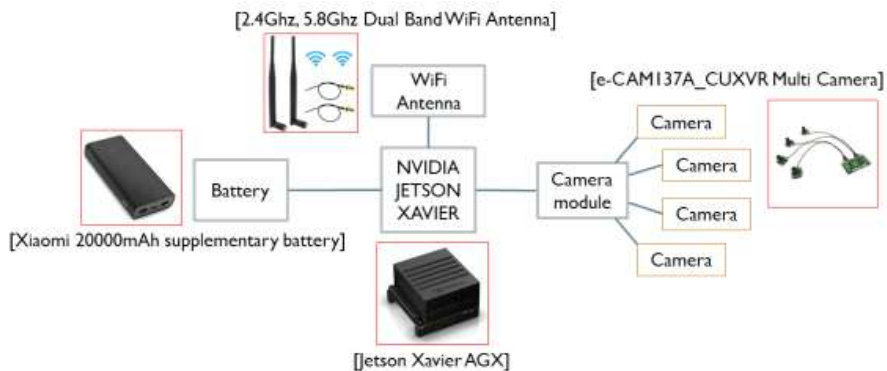


<스테레오 비전 기반 자동 두둑 감지 기술>

L. 센서 시스템 구성 및 데이터 수집·분석

A. RGB 기반 영상 수집

- a. 콤바인 작업 시 RGB-D 영상 수집을 위한 센서 시스템을 아래 그림과 같이 구성하였으며, 작업 정면의 RGB 및 거리 정보, 작업 측면의 RGB 정보를 실시간 수집 가능하도록 구성하였음
- b. 영상 수집을 위한 카메라는 총 4개로 구성되어 있으며, 정면에 2개, 측면에 각각 1개씩 배치되어 있음
- c. 정면에 수집되는 영상은 콤바인 수확 작업 시 주요 FOV (field of view)로 시각적인 RGB 정보뿐만이 아니라 2개의 monocular camera를 통해 stereo 영상을 수집하고 거리 정보의 측정이 가능하게 하였음
- d. 콤바인과 연결하여 지속적인 영상 수집이 가능하며, 계측 효율성 향상을 위해 배터리 기반으로 우선 계측시스템을 제작하였음



<영상 수집 시스템 레이아웃>

e. 하드웨어 구성 및 사양

- 하드웨어는 영상 학습이 가능하도록 GPU 기반의 single board computer (Jetson AGX Xavier, NVIDIA, USA)를 사용하였음
- 주요 사양은 512 코어의 GPU, 32GB 메모리로 구성되어 있으며, 쿨링 및 케이스를 제외한 보드 자체의 크기는 105 mm x 105 mm x 65 mm 임

<Jetson AGX Xavier 주요 사양>

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

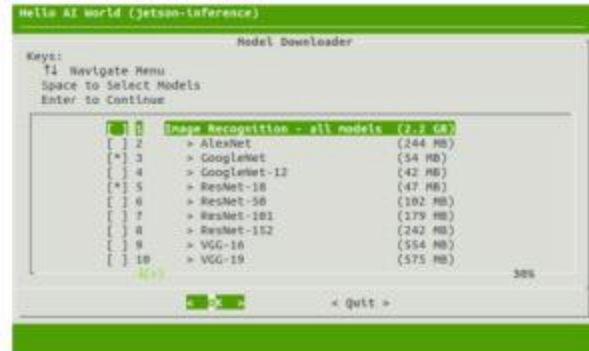
- 4개의 카메라 USB 카메라(See3CAM_CU135, e-con Systems, USA)는 13.0 MP의 최대 해상도를 가지며, 해상도에 따라 20~120 fps의 속도로 영상 수집이 가능함
- 사용되는 GPU board와 높은 호환성을 지니며 관련 라이브러리가 제공되어 개발이 높은 편의성을 가짐
- 정면의 2개 카메라는 단일 RGB 영상뿐만 아니라 Baseline, 화각 등의 계산을 통해 스테레오 매칭할 수 있으며, 영상 간의 거리인 disparity map 생성을 통해 거리 정보로 환산, 3D 좌표구현이 가능함

<See3CAM_CU135 주요 사양>

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

f. 소프트웨어 설정

- Jetson board는 NVIDIA에서 제공하는 SDK (software development kit)인 JetPack과 SDK manager를 이용하여 환경을 설정하였음
- 딥러닝 학습 기반 영상 인식 기술 설계를 위해 VGG, RESNET 등 성능이 검증된 다양한 모델을 구성함



<Xavier 환경설정 및 학습모델 구성>

- 딥러닝 프레임워크는 직관적으로 작성 및 디버깅이 쉬운 pytorch를 이용하여 구성하였으며, 영상처리 작업의 효율성을 위해 torchvision을 추가로 구성하였음
- 계측시스템 구동 및 영상 수집을 위한 프로그래밍은 python 언어를 이용하여 아래 그림과 같이 개발하였으며, 코딩을 위한 플랫폼은 Visual code (version 1.50, Microsoft, USA)를 이용하였음
- 4개의 영상 채널에서 수집된 영상은 별도의 JPEG 파일 및 30 FPS의 영상으로 SSD 저장매체에 실시간으로 저장할 수 있도록 개발되었음

```

import cv2
import numpy as np
import time
print(cv2.__version__)
timeMark=time.time()
dtFIL=0
video_size = (1280, 960)
save = False
font=cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX

cam1=cv2.VideoCapture('/dev/video0')
cam2=cv2.VideoCapture('/dev/video1')
cam3=cv2.VideoCapture('/dev/video2')
cam4=cv2.VideoCapture('/dev/video3')

result = cv2.VideoWriter('video1.avi',
                        cv2.VideoWriter_fourcc('H264'),
                        30, video_size)

while True:
    → frame1 = cam1.read()
    → frame2 = cam2.read()
    → frame3 = cam3.read()
    → frame4 = cam4.read()
    frame_upnp=np.hstack((frame1,frame2))
    frame_downnp=np.hstack((frame3,frame4))
    frame=np.vstack((frame_down,frame_up))

    # save
    if cv2.waitKey(1)==ord('s'):
        save = True
    elif cv2.waitKey(1)==ord('a'):
        save = False
    if save == True:
        result.write(frame)

    # time
    dt=time.time()-timeMark
    timeMark=time.time()
    dtFIL= 9*dtFIL + .1*dt
    fps=1/dtFIL

    # fps text
    cv2.rectangle(frame,(0,0),(400,40),(0,0,255),-1)
    cv2.putText(frame, 'fps: '+str(round(fps,1)) +
                ' save: '+str(save)
                ,(8,38),font,1,(0,255,255),2)
    print('fps: ',fps)

    # window
    cv2.imshow('Cam',frame)
    #cv2.moveWindow('Cam',0,450)

    if cv2.waitKey(1)==ord('q'):
        break

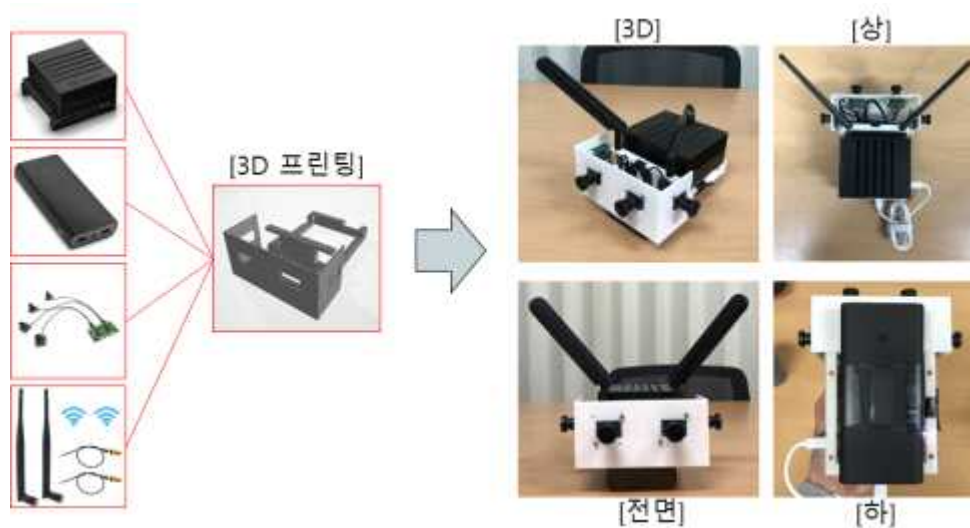
cam.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

<영상 수집을 위한 파이썬 프로그래밍>

g. 시작품 제작

- 시작품 제작 결과는 아래 그림과 같으며, 각각의 하드웨어 통합 및 고정을 위해 CAD 설계 및 3D 프린팅을 이용하여 시작품 케이스를 제작하였음
- 전력 공급은 배터리를 이용하여 이동성을 용이하게 하였으며, 정면의 스테레오 영상 및 측면의 모노 영상들의 측정이 가능함
- 본 시작품을 기준으로 필드 시험에 용이한 설계변경을 진행하고 있으며, 방열 및 방진, 방수를 고려한 케이스 재구성 및 콤팩트 배터리와 효율적으로 연결할 수 있는 전력 시스템을 구성할 계획임



<수집 시스템 시작품 구성 및 제작 결과>




<제작된 시작품의 주요 부품 구성>

B. LiDAR 기반 영상 수집

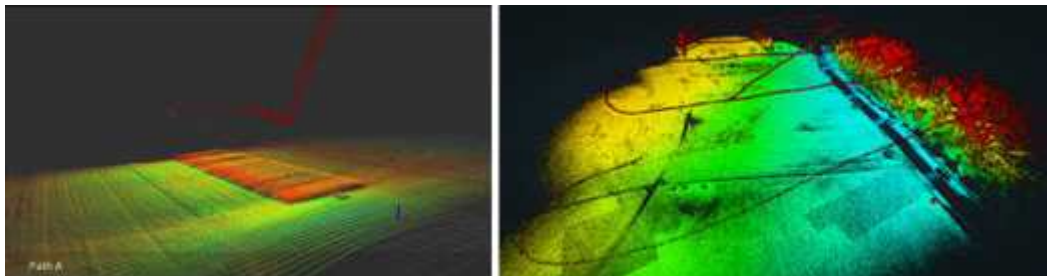
- a. RGB 및 스테레오 영상뿐만 아니라 콤팩트 작업 시 주변 환경의 지도화를 위해 LiDAR 기반의 3D 공간정보를 측정할 계획임
- 현재 Valodyne社의 VLP-16 모델을 확보하여 영상 수집 시스템의 시작품과 통합을 진행할 계획이며, 이를 기반으로 다양한 객체의 공간정보 매칭을 통해 실시간 고정확도의 환경 인식을 가능케 하고자 함

- VLP는 16 채널의 라이더 스캐닝이 가능한 제품으로 최근 가격 저하와 효과적인 SDK 제공으로 다양한 연구개발에 많이 활용되고 있음

<VLP-16 Puck 주요 사양>

Image	Items	Specification
	Sensors	Time of flight distance measurement 16 channels Measurement range up to 100 meters Accuracy: +/- 3 cm (typical) Field of view (vertical): 30° (+15° to -15°) Rotation rate: 5 - 20 Hz
	Laser	Class 1 - eye safe (905 nm wavelength)
	Power consumption	8 W (typical)

- SLAM (simultaneous localization and mapping) 기술은 GPS와 같이 고정적인 좌표 및 지도가 주어지지 않은 상태에서 아래 그림과 같이 현재 주변의 환경을 검출하여 맵을 만들고 내비게이션을 수행하는 기술임
- SLAM을 이용하면 콤바인 수확 시 주변의 환경을 실시간 인식하여 필드에 대한 맵을 만들 수 있을 뿐만 아니라, 영상 및 딥러닝 기술과 융합하여 다양한 작업 파라미터 평가 및 장애물 회피 등의 지능화 기술 구현이 가능할 것으로 판단됨



<라이더를 이용한 SLAM (simultaneous localization and mapping)>

나) 작업환경 분석을 통한 자율주행 콤바인 환경 인식 요소 선정 및 레이아웃 설계

ㄱ. 콤바인 작업환경 요소

- A. 콤바인 작업은 작물을 수확하는 과정으로 포장을 이동하면서 작물의 예취, 탈곡, 선별을 동시에 수행함
 - a. 수확 과정에서 콤바인 주변에 위치하는 다양한 영역 및 객체가 있으며, 아래 그림과 같이 주요 관심 영역인 작물이 존재하는 필드와 그 외 다양한 배경 및 장애물들로 구성됨
 - 대상 작물이 존재하는 필드는 콤바인 수확 작업 전과 후의 영역으로 나뉘게 되며, 수확 전 영역은 현재 작업 대상 작물 열을 포함하고 있으며, 수확 후 영역은 작물이 잘려 일부만 땅에 존재하게 됨
 - 작물 영역 외 배경은 하늘, 산, 도로, 비닐 등의 구조물과 장애물 등으로 구성됨



<콤바인 수확 작업의 전경 및 주요 구성 요인>

- b. 콤바인 수확 작업 시 주행 중 정면의 영상은 아래 그림과 같이 고도별로 다소 차이가 발생하며, 수확 전, 후의 경계면을 기준으로 가장 가까운 수확 전 작물 영역이 일반적으로 다음 수확 대상임
- c. 따라서, 수확 전, 후의 영역을 구분하고 경계면을 이용하면 자율주행 경로의 제공이 가능하며, 콤바인의 예취부 폭 및 스테레오 영상을 이용한 3D 정보 융합을 통해 수확량의 실시간 평가가 가능함.
- d. 본 연구에서는 해당 영역에 대해 딥러닝 기반 검출 기술을 적용하여 다양한 객체를 인식해봄으로써 영상 기반 환경 인식의 가능성을 평가하였음

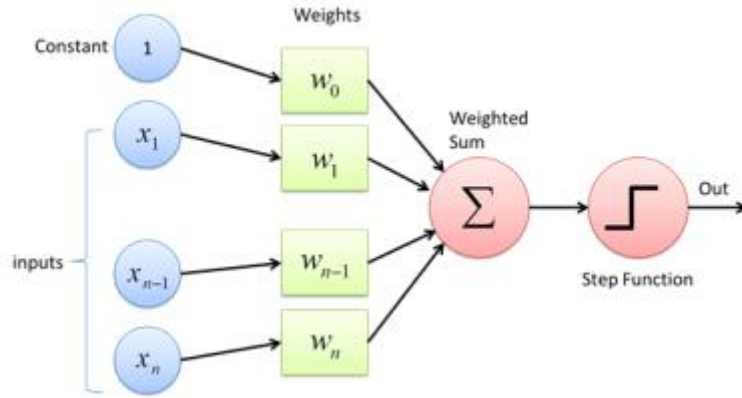


<콤바인 수확 작업 시 다양한 높이별 작업 정면의 영상>

ㄴ. 환경 인식 기술 설계

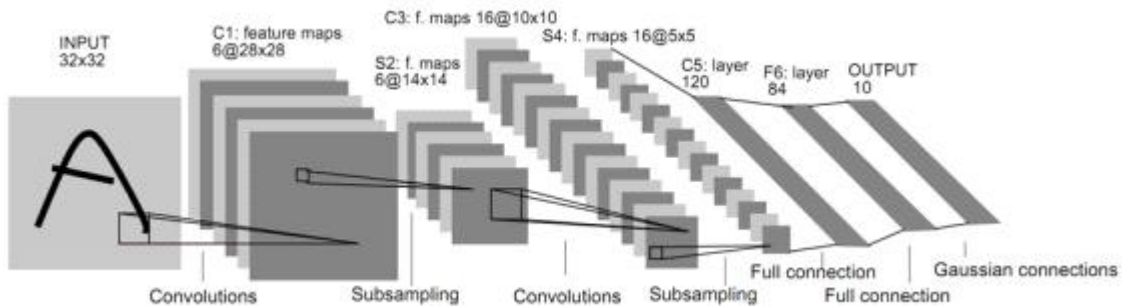
A. 딥러닝 학습모델 개요

- a. 본 연구에서는 영상 기반 실시간 콤바인 작업환경을 인식하기 위해 인공신경망 모델 (Artificial Neural Networks, ANN)을 이용하였으며, ANN은 인간의 뇌 구조를 모방한 구조의 machine learning 방법으로 비선형 문제 해결에 효과적임



<인공신경망 구조>

- 특히 최근 컴퓨터 하드웨어 기술의 비약적 발전에 따라 GPU를 이용한 deep neural network의 신속한 학습이 가능할 뿐만 아니라 convolution neural network (CNN)구조 개발로 인해 고성능의 영상기반 학습이 가능함
- 기존 영상 학습은 pixel 단위의 특징을 이용하였지만, CNN 구조는 영상의 spatial 특징을 이용하여 feature extraction에 효과적이며 학습을 통한 feature extraction이 가능함 (LeCun et al., 1998)



<합성곱 인공신경망(CNN) : LeNet-5(LeCun et al, 1998)>

- ILSVRC (Imagenet Large Scale Visual Recognition Challenge)는 영상 학습모델의 인식 성능을 95% 이상까지 향상시켰으며, object detection을 위한 빅데이터 기반을 마련하였음
- 따라서 최근에는 다양한 영상에 대한 분류가 학습된 ILSVRC의 모델 등을 기반으로 모델을 구성하고 이미 학습된 파라미터를 연구목적 데이터집합에 적합하도록 일부를 추가로 학습하는 전이학습(transfer learning) 방법이 많이 사용되고 있음
- 전이학습은 빠른 학습의 장점을 가지고 상대적 작은 데이터 규모의 지도학습에 효과적임 (Ramcharan et al., 2017). 본 연구의 경우에도 사물체 인식에 비해 작물 데이터가 상대적으로 작은 규모로 전이 학습을 활용하였음
- 본 연구에서는 비교적 가벼운 구조로 높은 영상 인식이 가능한 VGG 16 (Simonyan and Zisserman, 2014) architecture를 이용하여 전이학습을 수행하였음
- 객체 검출(object detection) 기술은 대상체의 클래스 분류 및 위치정보까지 검출해야 하므로 학습을 위해서는 모든 영상을 대상으로 포함된 객체의 클래스와 위치정보를 별도로

작성해야 함

- 이러한 주석(annotation) 작업의 경우 데이터양이 방대한 경우 노동력 및 비용투입이 매우 크게 되며, 본 연구의 작물의 병충해 영역은 주변과의 경계가 모호하여 정확한 판단이 어려움
- 따라서 본 연구에서는 영상 내에 객체의 존재 여부만의 정보로만 객체 검출이 가능한 약지도 학습(weakly supervised learning) 방법을 이용하였음(Zhou, 2015)
- 약지도 학습은 합성곱 층(convolution layer)을 거쳐 나온 최종 특징맵(feature maps)의 정보에 아래의 식과 같은 GAP (global average pooling)을 연결하여 특징맵 각각의 중요도를 학습하는 방법임

$$G_k = \frac{\sum_{x,y} f_k(x,y)}{N}$$

where, G_k is global average pooling of the k th feature map

$f_k(x,y)$ is pixel value at x th row- y th column in k th feature map

N is total number of pixels in the feature map

- 해당 영상 각각의 클래스에 대한 점수는 아래와 같이 중요도 가중치와 GAP 값을 이용하였음

$$S_c = \omega_k^c GAP_k$$

where, S_c is the score of the c^{th} class,

ω_k^c is importance parameter of k th feature map for c^{th} class

- 분류는 클래스 점수와 아래의 식의 softmax 분류기를 이용하였음

$$P_c = \frac{\exp(S_c)}{\sum_c \exp(S_c)}$$

Where, P_c is the probability of the c^{th} class

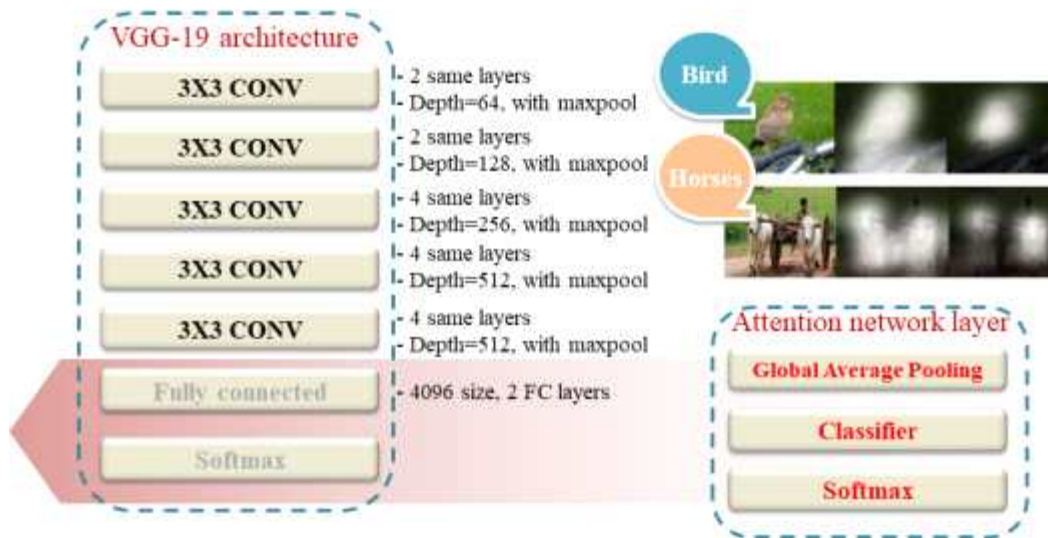
- 영상 검출은 아래의 식과 같이 각각의 특징맵별 가중치와 곱한 뒤 전체를 합한 값을 이용하였으며, 각각의 픽셀의 활성화도에 따라 검출 위치 및 범위를 결정하였음. → class activation map (CAM)

$$M_c(x,y) = \sum_k \omega_k^c f_k(x,y)$$

Where, $M_c(x,y)$ is activation value at (x, y) pixel for c^{th} class

- 아래 그림은 disease severity identification을 위한 VGG 기반의 deep neural network architecture로 feature extraction을 위한 Convolutional layers와 image-level

localization을 위한 GAP (global average pooling) 및 classification을 위한 fully connected layers로 구성되었음



<질병 인식을 위한 약지도 학습모델 구조>

B. 학습데이터 구성 및 모델 설계

- 학습데이터는 경남 창녕군에서 일반적인 스마트폰 카메라를 이용하여 수집하였으며, 사람이 이동하거나, 콤바인에 탑재하여 작업하면서 촬영을 하여 다양한 형태의 영상을 수집하였음(2020년 10월 ~ 11월 촬영)
- 영상에서 검출할 대상은 크게 작업 전, 후의 필드의 2가지 영역과 그 외 분리되어야 할 배경 및 장애물(하늘, 장애물, 비닐, 그 외 배경 등)로 선정하였음

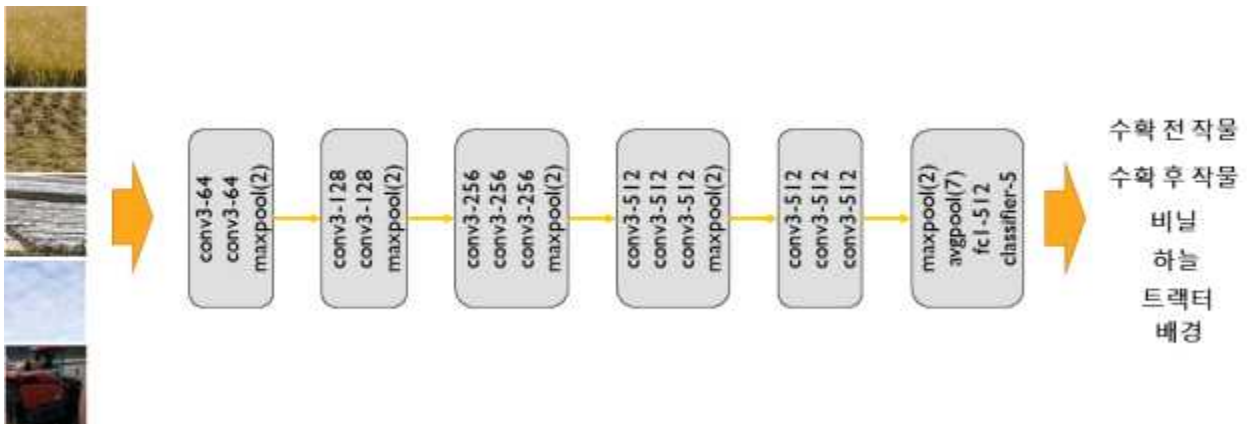


<콤바인 작업 시 정면 영상의 주요 환경 인자>

- 촬영된 병충해 영상은 고화질 영상으로 각각의 영상 장비로부터 측정된 원 영상(raw image)은 증상 부위를 중심으로 224x224 픽셀(pixels)의 일관된 영상 크기로 잘라내었음
- 영상을 잘라내는 샘플링(sampling) 작업은 하나의 원 영상에 대해 임의의 위치에서 여러 번 작업을 수행하여 다양한 학습데이터를 확보하였으며, 영상 샘플링을 통해 만들어진 영상의 학습데이터는 훈련 집합(training set), 검증 집합(validation set) 및 테스트 집합(test set)으로 분류하였음
- 훈련 집합은 모델을 학습시키기 위해서 사용되며 검증 집합은 모델의 학습이 적절하게 수행되고 있는지 판단하기 위한 검증에 사용되며, 마지막으로 테스트 집합은(test Set)

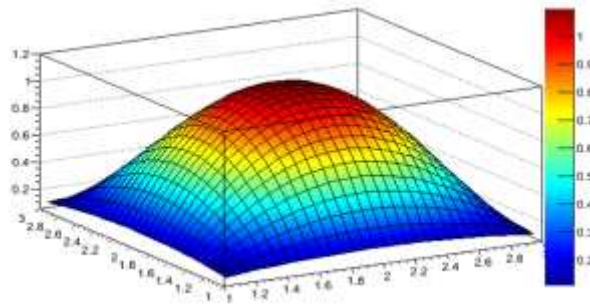
학습된 모델의 미지 데이터에 대한 성능을 평가하기 위해 사용됨

- 본 연구에서 사용된 영상은 사물 인식 등 기존분야에서 모델 학습에 사용된 데이터에 비해 비교적 작은 규모로 과적합(overfitting) 등의 문제가 발생하기 쉬우며 이를 해결하기 위해 교차검증(cross-validation) 방법을 사용하여 학습 성능을 검증하였음
- 교차검증은 훈련 집합을 k개의 부분집합(k-fold)으로 나눈 후 전체 데이터를 훈련과 검증에서 사용할 수 있으므로 작은 규모의 데이터 학습에 효과적인 강점을 가지며 검증에 사용되는 부분집합을 변경해가며 학습하기 때문에 다양한 모델 학습이 가능하여 학습의 효과를 극대화할 수 있음
- 본 연구에서는 학습효율 향상을 위해 전이학습을 수행하였으며, 기반 구조로 아래 그림과 같은 VGG16을 이용하였으며(Simonyan and Zisserman, 2014), 이때 VGG16 학습모델은 비교적 가벼운 구조로 일반적인 하드웨어 환경에서 쉽게 학습이 가능할 뿐만 아니라 사물 인식에서 높은 성능의 가짐
- 마지막 합성곱 신경망 이후 콤바인 영상의 주요 부류(class)로 분류하기 위해 기존의 네트워크를 수정하였으며, 1개의 완전연결 계층(fully connected networks)과 분류기(classifier)인 소프트맥스로 구성하였음(소프트맥스의 출력, 부류의 개수는 총 6개)



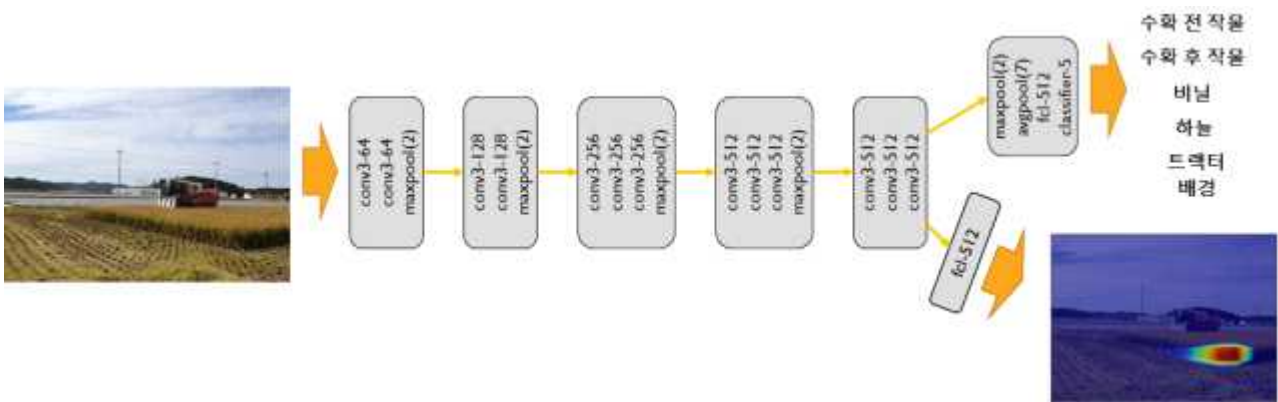
<VGG16 기반 환경요소 검출 딥러닝 모델 구성>

- 약지도 학습은 영상 단위의 라벨링으로 객체의 분류뿐만 아니라 지역화가 필요하며 이를 위해서는 지역화(localization)를 위한 방법이 필요함
- 영상 내 객체의 지역화는 class activation map (CAM)을 이용하여 수행하였으며, 이때 CAM은 영상에서 해당 객체의 특징이 높은 정도를 표현하며 픽셀 단위로 계산됨
- 본 연구에서는 합성신경망의 최종 네트워크층으로부터 출력되는 최종 feature map에 GAP (global average pooling)의 가중치를 곱하고 전체 맵을 합산, 정규화를 해줌으로써 CAM을 작성하였음(시각화는 jet color-map을 이용하였음)



<jet colormap을 활용한 표현 예시>

- CAM을 이용한 객체의 활성화맵에서 학습모델이 객체를 검출하기 위해 관심을 가지는 영역이 높은 activation을 나타내며, 붉은색에 가까울수록 대상 객체로 높게 인식되는 것이며, 푸른색일 경우 반대의 경우임)
- 임계처리를 이용한 객체 검출은 해당 부류의 activation pixels을 임계처리 한 후 군집화를 통해 평가하였으며, 군집된 영역을 포함하는 최소면적의 bounding box를 생성함
- 임계처리를 위한 임계값(threshold)은 pixel의 activation 최댓값의 85%로 선정하였음



<시각화를 위한 CAM 레이어 추가>



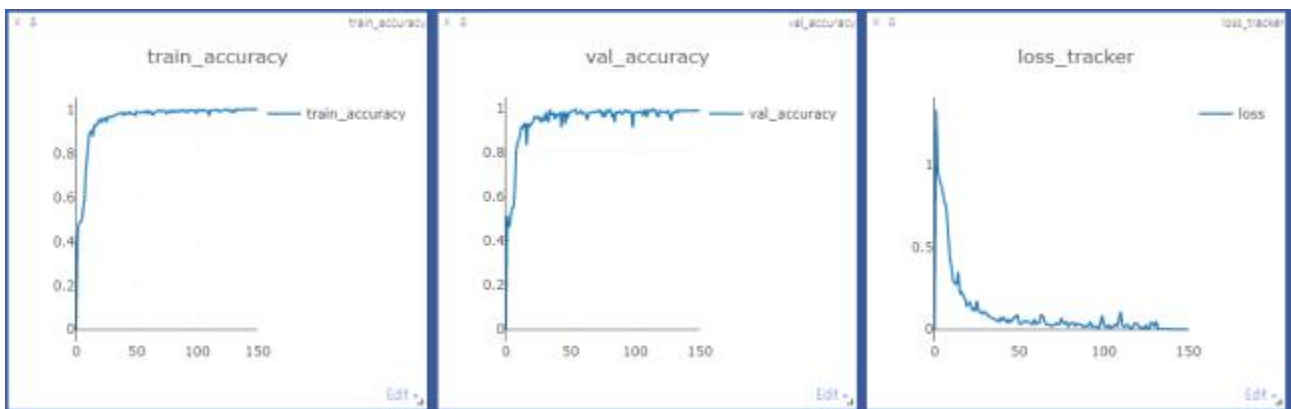
<약지도 학습 기반 객체 검출을 위한 bounding box 방법>

- 딥러닝 학습모델은 GPU (GeForce 1080 ti, NVIDIA, Santa Clara CA USA) 기반의 시스템을 구성하여 학습시켰으며, 기능 구현을 위한 프로그램은 python 3.7 및 pytorch 1.1을 이용하였음
- 학습을 위한 파라미터는 batch size 32, 학습률(learning rate) 0.00005, SGD (stochastic gradient descent) 최적화기 등의 값을 활용하였음

ㄷ. 주요 결과

A. 학습 결과

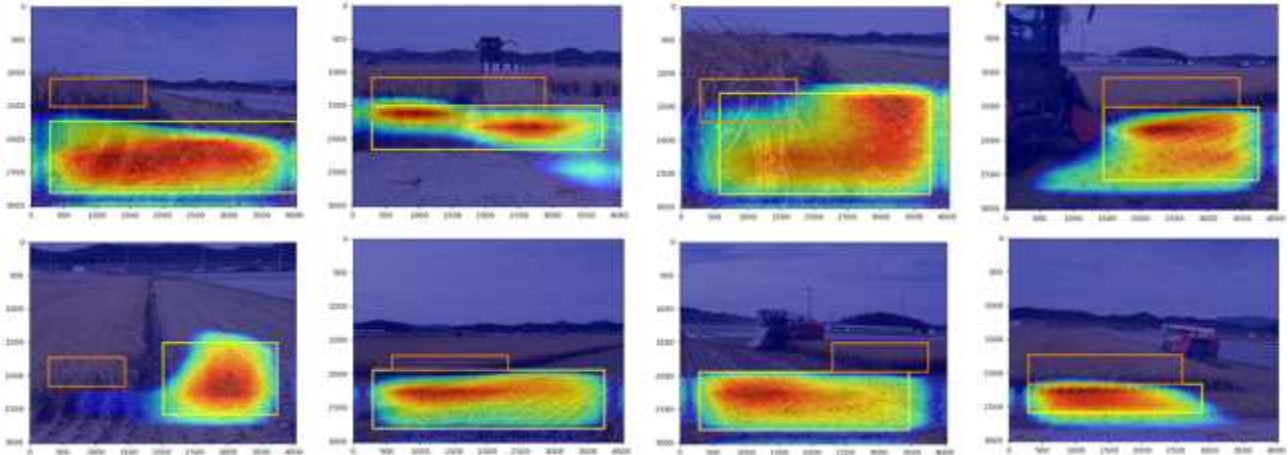
- a. 인공지능망 모델 학습모델은 과적합(overfitting) 효과를 최소화하기 위해 검증 데이터의 분류 성능이 가장 좋을 때 학습을 종료하였음(Kim et al., 2020).
 - 반복 학습에 따른 손실(loss) 및 정확도는 아래 그림과 같이 나타났으며, 학습 정확도의 경우 학습데이터에서는 꾸준히 상승하는 경향을 보이지만 검증 데이터에서는 다소 진동 되는 현상을 보였음
 - 학습종료 시 검증 데이터의 분류 정확도는 약 96% 수준으로 높게 나타났으며, 이는 딥러닝 기반 농업 영상 내 객체 분류 및 검출 연구에서 정확도가 약 92% 수준임을 고려하면 만족할만한 성능으로 평가됨



<반복 학습에 따른 모델의 손실 및 정확도>

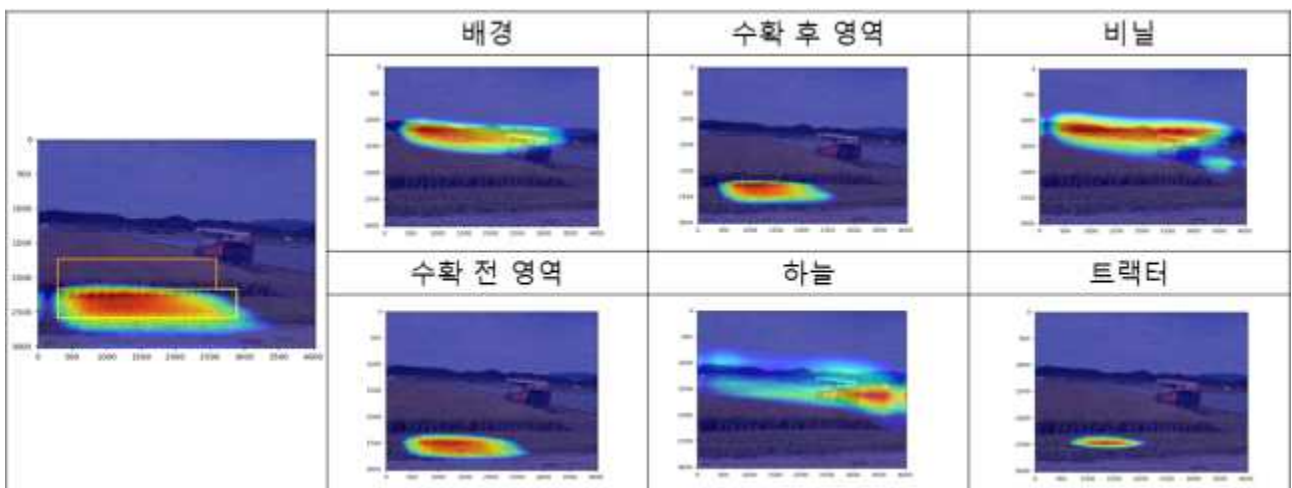
B. 환경요소 검출 결과

- a. 8개의 대표적인 콤바인 작업환경 영상에서 작업 전, 후의 필드 영역을 검출한 결과는 아래 그림과 같으며, 해당 영역에 대한 CAM 및 bounding box들로 표현되었음
 - 그림의 노란색 bounding box는 작업 후의 영역을 표시하고 있으며, 주황색 bounding box는 작업 전(수확 대상) 영역을 나타냄
 - CAM 결과가 수확 전, 후의 영역의 일부분에 겹치고 있으며, 이를 통해 해당 영역의 검출이 어느 정도 가능함을 알 수 있음
 - 하지만 각각의 영역에 대해 일부분의 영역에 높은 활성화 값을 보여 전체 영역에 비해 오차가 매우 높게 관찰되고 있어 이를 해결하기 위한 딥러닝 모델 개선이 필요할 것으로 판단됨
 - 수확 후 부분의 경우 작물이 수확되고 남은 부분으로 인해 패턴화된 영상을 보여주고 있으며, 원근에 따라 특징 검출에 성능 차이를 보여 전체적인 영역의 검출이 어려운 것으로 판단됨
 - 전체 영상이 아닌 각각의 구역별로 부류를 검출하고 이를 통합할 수 있는 모델 구조 개선을 통해 성능 향상이 가능할 것으로 판단됨

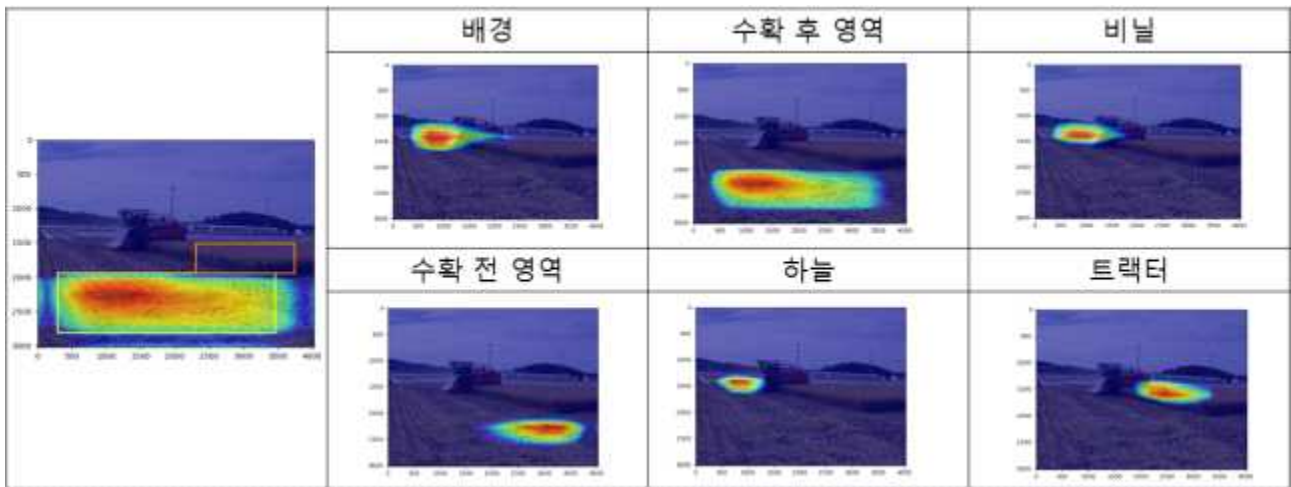


<대표적인 샘플에 대한 작업영역 검출 결과>

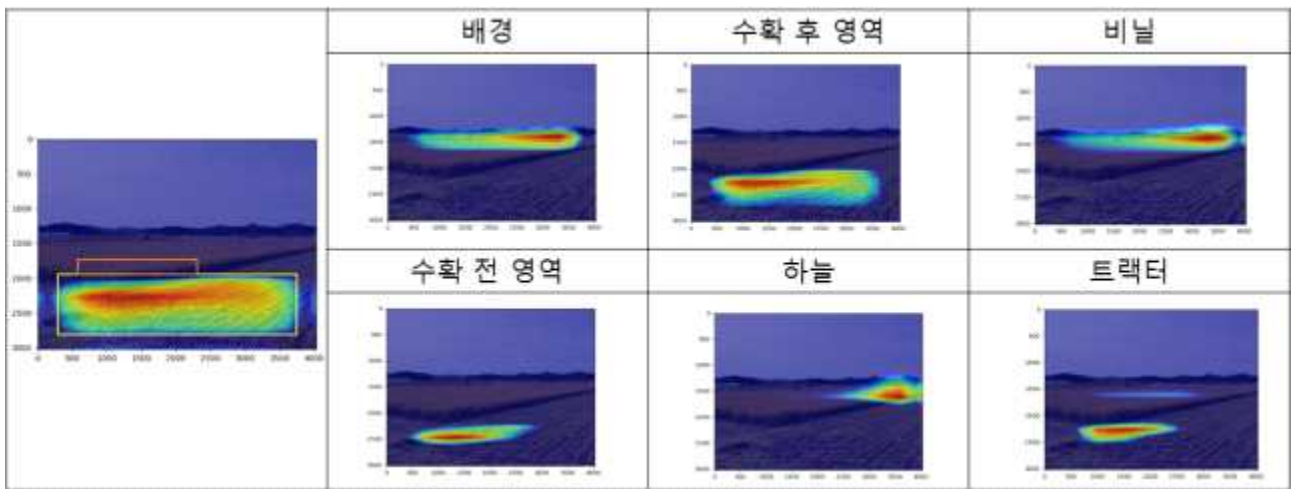
- 샘플 영상에 대해 부류별 CAM을 표현한 결과 아래 그림들과 같이 나타났음
- 배경의 경우 4번째 샘플을 제외하고 대부분 수평으로 길게 뻗어진 영역의 원활한 검출이 가능하였으며, 일부의 경우 도로에 주차된 장애물 등으로 인해 구역이 좁게 평가됨을 알 수 있음
- 수확 후 영역은 위에서 언급한 바와 같이 해당 영역 내 CAM의 높은 값들이 집중되어 있지만 전체 영역에 대한 검출은 어려웠으며, 이는 패턴화된 영상 특징의 원인에 따른 차이에 따른 것으로 판단됨
- 비닐, 트랙터(콤바인) 등의 장애물의 경우에는 해당 영역에 대한 검출이 가능한 것도 존재하였지만 그렇게 하지 않은 샘플도 다수 존재하여 성능 개선이 필요할 것으로 판단됨



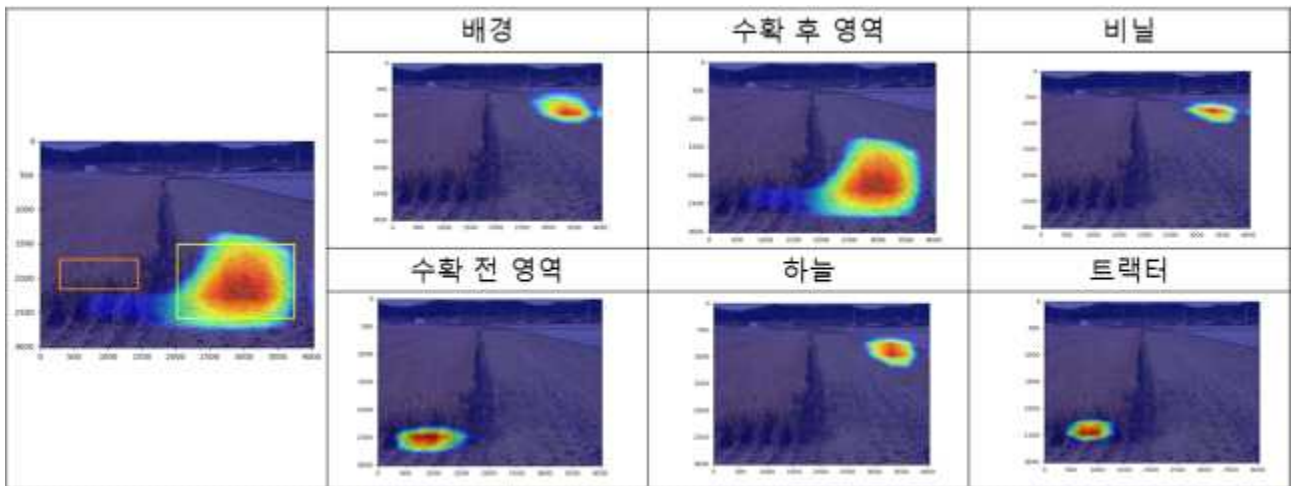
<부류별 CAM 작성 결과(샘플 1)>



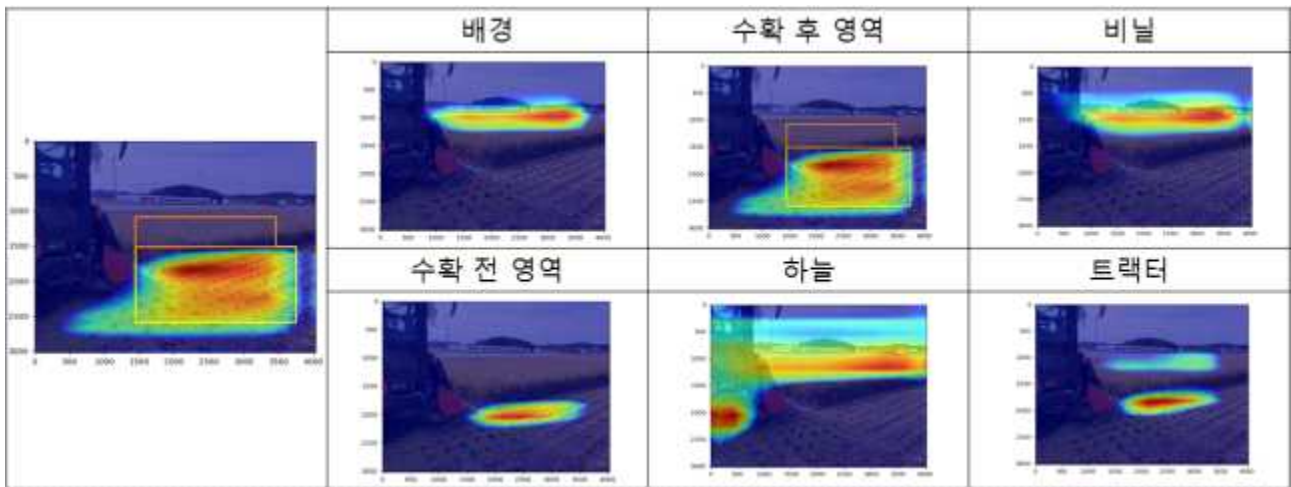
<부류별 CAM 작성 결과(샘플 2)>



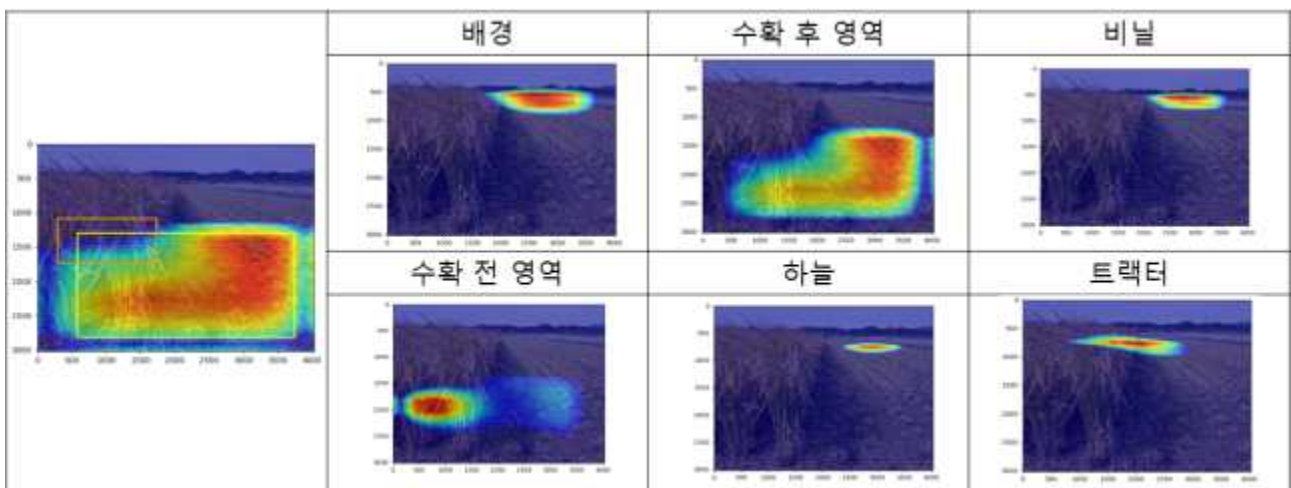
<부류별 CAM 작성 결과(샘플 3)>



<부류별 CAM 작성 결과(샘플 4)>



<부류별 CAM 작성 결과(샘플 5)>



<부류별 CAM 작성 결과(샘플 6)>

[2차년도]

(1) 작업 부하에 따른 주행부 시뮬레이션 모델 해석 및 검증

가) 실차모델 제원을 이용한 주행부 시뮬레이션 모델 보완

ㄱ. 모델 보완을 위한 3D 모델 좌표 측정 작업 수행

A. 3D 모델 좌표 확인을 통한 모델 보완 및 수정

- a. 3D 동역학 모델 개발을 위해서 제조사에서 제공해준 3D 모델 분석을 수행하였음. 궤도 부의 구성 용품들의 좌표를 추출하고, 해당 위치에 궤도 구성에 필요한 부품들을 구성하였음.
- b. 콤바인의 궤도는 Sprocket, Idler, Roller 등으로 구성이 되며, 콤바인의 경우 8개의 Roller 와 구동을 위한 Sprocket 1개, 그리고 궤도 지지를 위한 2개의 Idler로 구성되어 있음. 또한, 궤도 장력 조절을 위해 궤도 맨 뒷부분에 장력 조절 장치가 부착되어 있음.
- c. 각 파트에 좌표를 추출하고, 상용 프로그램인 Recurdyn (V9R4, Functionbay, Korea)에 서 궤도 해석이 가능한 TrackLM 툴킷을 이용하여 모델을 구성하였음. Roller의 경우 Single 롤러로 시스템을 구성하고, Sprocket의 경우 Sprocket 롤러로 구성하고, 장력조절장치는 Center로 구성하였음.
- 3D 모델에서의 좌표계는 아래와 같이 추출되었음.

<3D 모델에서 추출한 좌표계>

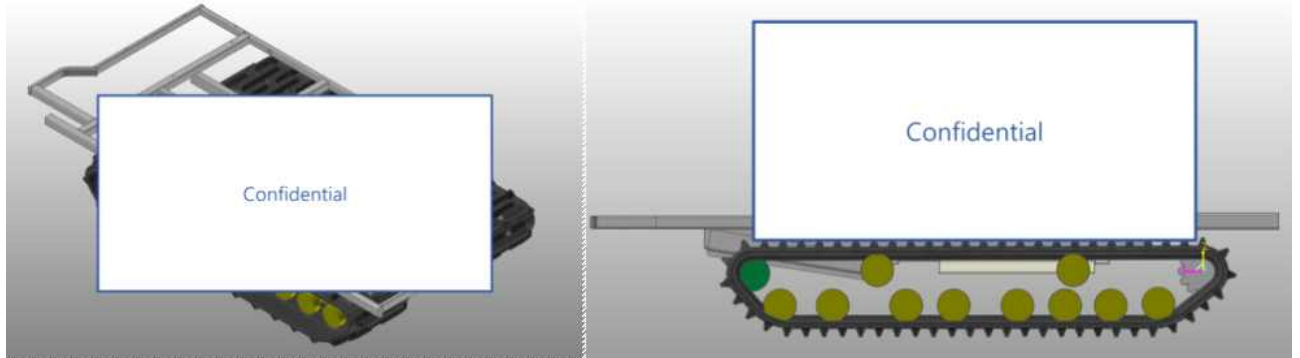
		sprocket	Rolle_r_1	Rolle_r_2	Rolle_r_3	Rolle_r_4	Rolle_r_5	Rolle_r_6	Rolle_r_7	Rolle_r_8	Tension	Idler_1	Idler_2
Right	X	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598
	Y	0	220	455	680	915	1,229	1,464	1,826	2,086	2,225	640	1,606
	Z	0	-160	-169	-169	-169	-169	-169	-159	-145	-10	5	5
Left	X	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598	-598
	Y	0	220	455	680	915	1,229	1,464	1,826	2,086	2,225	640	1,606
	Z	0	-160	-169	-169	-169	-169	-169	-159	-145	-10	5	5

- d. 또한, 3D 모델의 각 부품들의 세부 제원을 추출하였으며, 해당 제원을 이용하여 궤도 부품들을 구성하였음. 각 Roller 및 Sprocket 들의 경우 Revolute 회전 조건을 부여하여 1축 회전 자유도를 부여하였음. 해당 조건의 경우 구동 조건을 부여할 수 있으며, Sprocket에 구성된 Revolute 조인트에 구동 조건을 부여하였음.

- 시뮬레이션 모델의 입력조건은 Sprocket의 회전속도로 설정하였으며, 해당 조건에 따라 Sprocket에 발생하는 토크를 예측할 예정임. 해당 토크를 측정한 데이터와 비교 및 분석하여 모델 검증을 수행할 예정임.
- 모델의 강성계수의 경우 선행연구들을 참고하여 10,000 수준으로 설정하였으며, 대부분의 연구가 댐핑 계수는 1/1000을 수준으로 설정하기 때문에 해당 수치로 각 조인트에 입력하였음. 궤도 모델의 경우, 동역학 해석 특성을 고려하여 고무 물성치는 구현할 수 없으나,

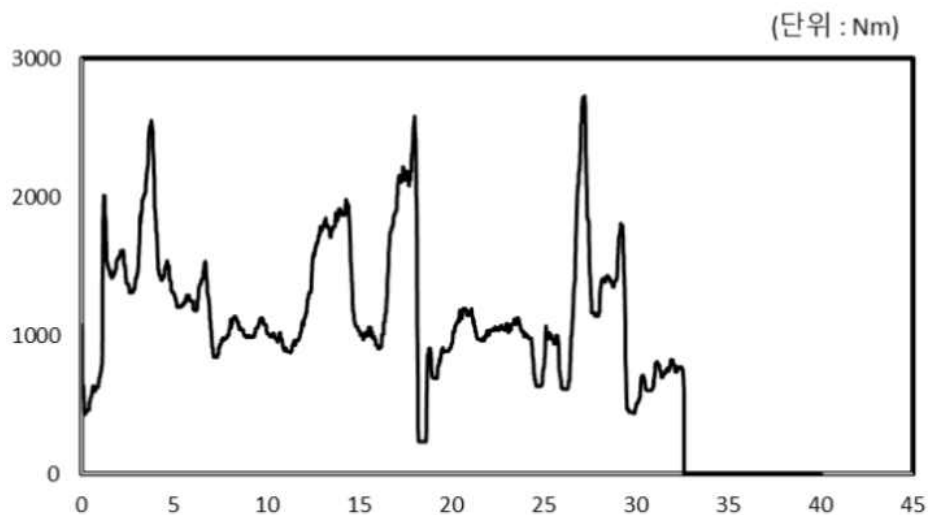
최대한 각 파트를 작게 분할하고 강성계수를 낮춤에 따라서 고무의 변형을 고려할 수 있는 수준으로 구성하였음.

- 궤도의 크기의 경우 차체를 들었을 때 궤도 중앙점에서 약 5 cm 수준의 변형이 발생하는 것을 참고하여 해당 수준과 유사하게 궤도의 길이 및 계수들을 선정하였음.
- 차체의 무게중심점 및 무게배분비는 제조사로부터 전달받아 해당 수치를 참고하여 모델을 구성하였으며, 곡물탱크 위치에는 사각형 박스를 구성하고 무게를 부여하는 식으로 무게 배분비를 수정하였음.



<콤바인 시뮬레이션 모델>

- 시뮬레이션 결과 아래 그림과 같은 결괏값이 발생하였으며, 해당 결괏값의 경우 계측 데이터와 유사한 경향을 보이고 있음. 차량 속도에 따라 부하가 급격하게 발생하고 감소하는 것을 확인할 수 있음.
- 시뮬레이션 결과 작업구간(이동구간) 내에서 최소 236 Nm, 최대 2,724 Nm, 평균 1,133 Nm 로 나타났으며, 분산은 480 Nm로 나타났음. 해당 수치는 차후 계측값과 비교 및 분석하여 모델 검증을 수행할 예정임.



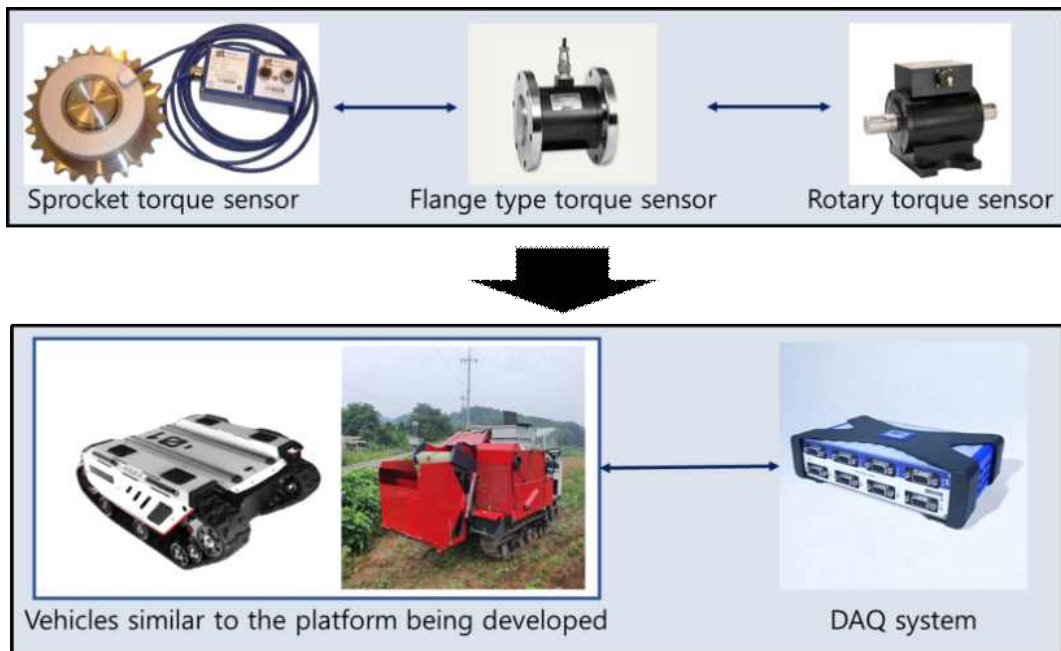
<시뮬레이션 수행에 따른 Sprocket 토크 부하 결괏값>

나) 실차계측 및 작업 부하에 따른 주행부 시뮬레이션 모델 검증

ㄱ. 실차 계측시험 수행을 위한 계측시험 수행

A. 부하 계측시스템 개발

- a. 콤바인 궤도부의 부하 계측시험 수행을 위한 다양한 방안의 검토를 수행하였음.
- b. 콤바인을 이용한 부하 계측시스템 개발을 위하여 콤바인에 적용 가능한 센싱 방식을 검토하고, 유사 플랫폼을 이용하여 농작업을 수행하며 적용 가능성에 대한 검토를 수행하였음.



<콤바인 부하 계측시스템 개발을 위한 센서 인터페이스 선정 과정>

- 콤바인 부하 계측을 수행하기 위해서 각종 센서 인터페이스 대한 분석을 수행하였음. 콤바인 스프라켓부에 부착 가능성을 검토한 센서 타입들은 플랜지 타입, 로타리 타입, 스프라켓 타입 등을 고려하였음. 플랫폼 및 로타리 타입의 경우 스프라켓에 부착하기 위해서는 병렬적인 시스템 구성이 수행되어야 했으나, 콤바인의 궤도 특성을 고려하면 해당 타입의 적용은 불가능할 것으로 판단하였음. 이에 따라 개선방안을 통해서 스프라켓 타입의 센서 인터페이스가 선정되었음.



<본 연구에서 고려된 센서 인터페이스 타입>

- 스프라켓 타입의 토크 센서를 부착하기 위해 각종 센서를 고려하였으나, 상용품의 경우 내구성 및 형상의 차이로 인하여 부착이 어려울 것으로 판단되었음. 이에 따라, 개선방안으로 스프라켓을 직접적으로 가공하고 게이지 및 교정 작업을 수행하는 것이 최적의 방안으로 도출되었음.
- 회전체의 계측 데이터를 수집하기 위해 앰플리파이어가 내장된 라디오 방식의 무선 텔레메트리 장비 (WS-TAS1-STG, WS-ENG, Daejeon, Korea)를 선정하였음.

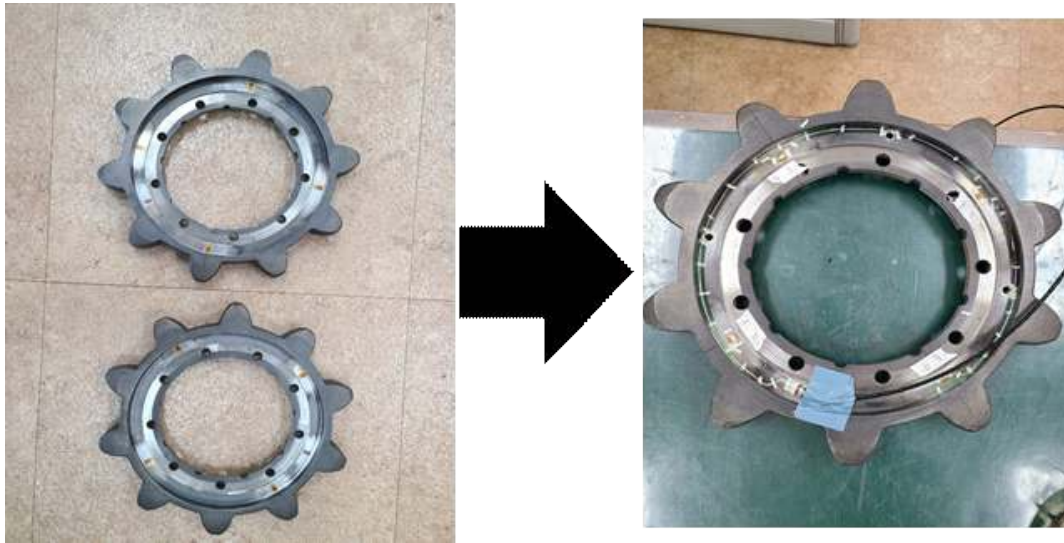


<라디오 타입의 무선 텔레메트리 장비 (WS-TAS1-STG)>

<라디오 타입의 무선 텔레메트리 장비 (WS-TAS1-STG)의 제원>

Features	Value
Strain gauge	Full bridge(350Ω)
Excitation	2.13V(changeable)
Gain	125-9000(selectable from receiver side)
Operating temperature	0-10 to + 80 °C
Sampling rate	1.2kHz (Max)
Resolution	16bit (ADC)
Dimensions	40 x 41 x 18.30mm (adhesion flange)
Weight	64grams
Recharge Power	5.0V
Internal Battery	470mA
Power consumption	0.5 W

- c. 콤바인의 경우 농작업을 수행할 수 있는 기간이 한정적이기 때문에 여러 방안의 시험방법을 수행할 수 없음. 이에 따라 유사 플랫폼을 이용하여 농작업 조건에서 작업을 수행하고, 발생하는 문제점을 확인하여 계측시스템을 개선하고자 시험을 수행하였음.
- 본 연구에서 선정한 스프라켓 방식의 센서를 이용하여 계측시험을 수행하고자 관련 작업을 수행하였음. 고추 수확 작업을 수행할 수 있는 고추 수확기 (CH-751, TYM, Iksan, Korea) 모델을 선정하였으며, 충남 당진(36°52'16.7"N, 126°40'17.7"E)에 위치한 농장에서 수확 작업을 수행하였음.
 - 스프라켓 센서 인터페이스 제작을 위해서 차량에 부착되어 있는 스프라켓을 탈거하였으며, 일부 위치에 가공을 하여 게이지가 부착 가능하게 하였음.



<스프라켓 가공 및 게이지 부착 작업>



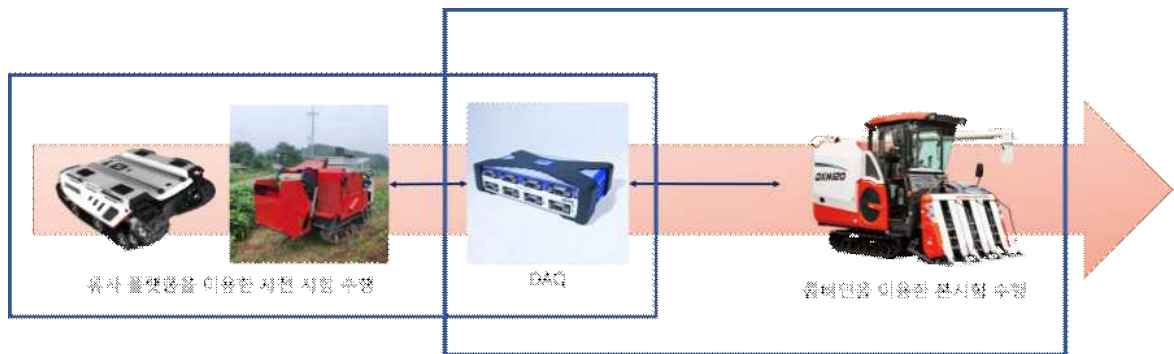
<계측시스템이 구비된 차량 및 무선 앰플리파이어>

- 농작업 조건의 경우 기상 조건에 따라서 토양 수분함량이 다르며, 이에 따라 토양 침하량 등 작업의 방해 조건들이 다양하게 나타날 수 있음.
- 유사 플랫폼을 이용한 시험 수행 결과, 농작업 간에 외부 센서 인터페이스에 토양들이 접촉되는 현상들이 발생하였음. 지속적인 작업을 수행한 결과, 센서 인터페이스가 각종 노이즈 및 고장 현상들을 일으키면서 정상적인 작업 수행이 불가능하였음.



<계측시험 간 센서 인터페이스>

- 이를 개선하기 위해서 방수 및 방진 시스템이 구비된 센서 인터페이스를 구축하는 방안과 CAN (Controller Area Network) 통신을 이용한 동력계 부하 측정 방식이 제시되었음. 전자의 경우 현재 단계에서는 비용 및 시간적 제한 때문에 불가능할 것으로 판단되었으며, 이에 따라 후자인 CAN 통신을 이용한 계측시스템 개발을 수행하였음.



<부하 계측시스템 개발 흐름도>

- 농업용 차량 엔진의 경우 SAE(Society of Automotive Engineers)의 J1939를 CAN 통신 규격으로 선정하여 사용하고 있음. J1939는 트럭, 버스, 중장비 및 농업용 차량에서 ECU(Engine Control Unit) 및 전자 제어 장치 사이의 통신 규격을 정의하고 있음. J1939는 다양한 데이터들을 포함하고 있으며, 이 중에 차량의 부하를 측정할 수 있는 엔진 토크, 회전속도 및 연료 소모량 등을 송출하고 있음.
- 계측시스템 개발을 수행하기 위하여 계측기(QuantumX 840B, HBM, Germany) 및 GPS (Global Positioning System) (Duro Inertial, Swiftnav, USA)를 선정하였음. GPS는 RS-232 통신을 이용하여 계측기와 연결되었으며, ECU로부터 데이터 수신을 받기 위하여 계측기와 배선을 연결하였음. 계측시스템의 전체 구성도는 아래 그림과 같이 구성되었음.



<계측시스템 구성도>

- CAN 데이터는 250,000 bps 로 설정하여 수집되었으며, CAN 데이터를 포함한 모든 계측 데이터는 200 Hz 수준으로 설정하여 수집하였음.



<계측시험에 사용된 계측시스템(좌), GPS (우상) 및 DAQ (우하)>

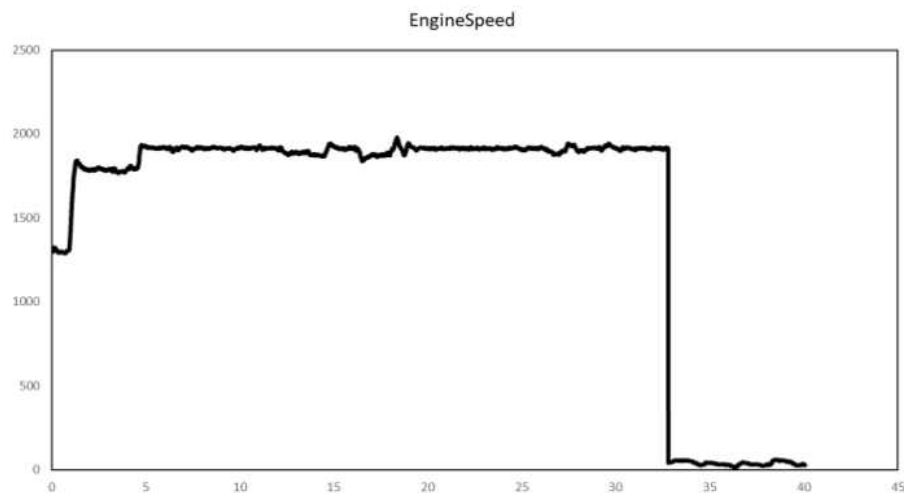
B. 부하 계측시험 및 결과

- 부하 계측은 충남 당진(36°55'49.1"N, 126°37'57.3"E)에 위치한 수도작 필드에서 계측 시험을 수행하였음. 작업패턴은 C 타입 패턴으로 수행하였음.
- 부하 계측시험은 3.5 km/h 조건 및 5.0 km/h 조건에서의 작업 조건에서 반복 시험을 수행하였으며, 무부하 단순 주행 조건에서도 부하 계측시험을 수행하였음.



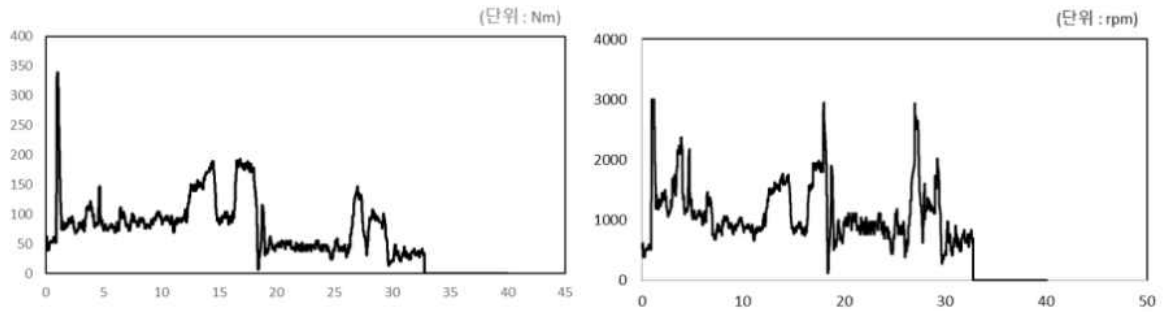
<부하 계측시험 필드(좌) 및 계측시험 콤바인(우)>

- 금년도 목표 연구내용인 주행 부하에 따른 모델 검증을 수행하기 위해서 작업 조건은 제외하고 데이터 분석을 수행하였음.
- 단순 주행 조건에서 데이터 분석은 차량 속도, 최종 구동축 스프라켓 토크, 스프라켓 회전속도, 엔진 토크 및 엔진 회전 속도에 대한 분석을 수행하였음.
- 엔진 회전속도는 작업 조건 rpm인 1800 rpm으로 고정하여 작업을 수행하였음. 작업 종료에 따라 시동을 종료시킴에 따라 rpm이 0으로 수렴하였음.



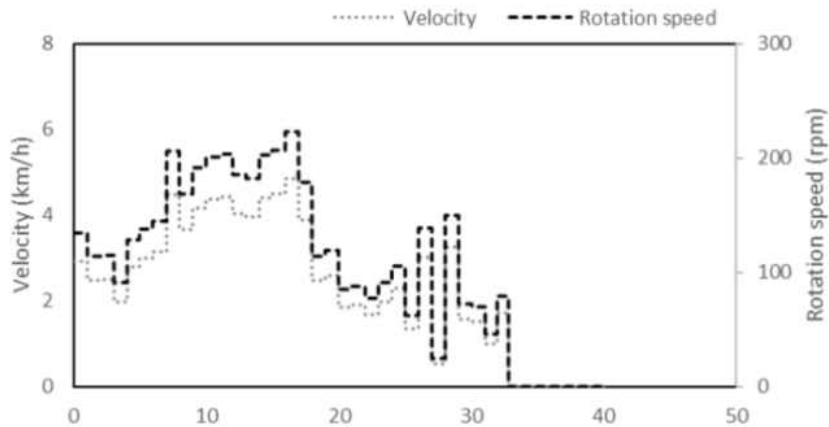
<단순 주행 간 엔진 회전속도>

- 엔진 토크는 차량이 출발함에 따라 최대 토크인 350 Nm로 수렴하였으며, 주행 조건에 따라 지속적으로 변화하였음. 스프라켓 토크는 차량 출발에 따라 상승하였다가 차량 속도 조건이 변화함에 따라 변화하는 것으로 확인되었음.



<단순 주행 간 엔진(좌) 및 스프라켓 토크(우)>

- 차량이 출발함에 따라 3~5 km/h의 속도 분포를 보이며 주행을 수행하였으며, 작업이 종료됨에 따라 0 km/h로 수렴하였음. 스프라켓의 회전속도는 140 rpm으로 출발하였으며, 차량 속도 조건에 따라 최대 225 rpm 까지 상승하는 것으로 확인되었음.



<차량 속도 및 스프라켓 회전속도>

- h모델의 입력조건은 스프라켓의 회전속도로 설정하였으며, 회전속도 변화에 따라 스프라켓 단의 토크 결괏값과 계측값을 비교하여 모델 검증을 수행하였음.

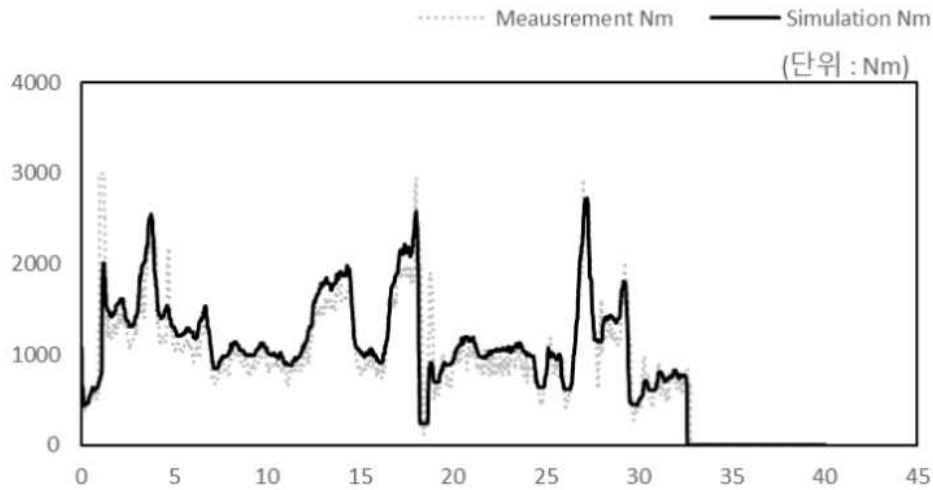
C. 부하 계측시험 및 결과

- 시뮬레이션 모델 검증은 계측값 및 시뮬레이션 모델 결괏값 비교 분석을 통해서 수행하였음.

- 계측값의 경우 작업 구간 내 최소 118 Nm, 최대 2,950 Nm, 평균 1,064 Nm 로 나타났으며, 시뮬레이션의 경우 최소 236 Nm, 최대 2,724 Nm, 평균 1,133 Nm 로 나타났음. 또한, 표준편차의 경우 계측값에서는 465 Nm, 시뮬레이션 결괏값의 경우 480 Nm 수준으로 나타났음. 최솟값을 제외한 나머지 수치들에서는 10% 내외의 수치를 보이고 있음.

- 그래프 개형도 유사한 형태로 나타남을 확인할 수 있으며, 이는 Sprocket의 회전속도를 입력값으로 선정하였기 때문으로 판단됨.

- 모델이 적절하게 구성된 것으로 판단되며, 차년도에는 다양한 로드 조건에 따른 시뮬레이션을 수행할 예정이다.



<시뮬레이션 및 계측값 비교 분석 결과>

<계측 및 시뮬레이션 결과표>

	Measurements()	Simulation (Nm)	Error (%)
min	118.1	236.9	100
max	2,950.4	2,724.1	8
average	1,064.5	1,133.3	6
stdev	465.9	480.7	3

(2) 자율주행 콤바인 지능형 환경 인식 기술 개발

가) 학습 기반 지능형 객체 인식 및 주요 영역 분할 기술 개발

ㄱ. 학습 기반 지능형 객체 인식 개요

A. 기술 개발 개요

a. 1차년도 약지도 학습 기반 영역검출 기술을 설계하였으며, 이를 기반으로 콤바인 작업환경에서 주요 영역을 정의하고 이를 정밀하게 검출하였음.

- 일반적으로 딥러닝 기반 영역검출을 위해서는 object detection 혹은 semantic segmentation을 이용하여야 하며 이는 객체(object) 혹은 픽셀(pixel) 단위로 라벨링이 필요함 → 데이터양이 방대한 경우 노동력 및 비용투입이 매우 크며, 본 연구 영역의 경우 기반 데이터가 부족하며, 목표영역의 경계가 모호하여 주석 작업에 더 어려움이 있음.
- 약지도 학습은 영상 단위의 라벨링으로 해당 영역에 대한 지역화(localization)에 대한 학습까지 가능한 방법으로 본 연구에서 효율적으로 활용이 가능함.

B. 기술 개발을 위한 주요 환경설정

- a. 콤바인 수확 작업은 아래 그림과 같이 주로 작물 영역(crop area)과 수확된 영역(harvested area)의 경계에 맞춰 작물을 예취하는 과정으로 진행되며, 따라서 자율주행을 위해서는 경계선 가이드 제시가 필요함.
- b. 콤바인 수확 중 작업자(탑승자)는 작물과 수확된 영역의 경계선을 따라 조향을 제어하며, 따라서, 자율주행을 위한 환경 인식을 위해서는 작물 영역, 수확된 영역의 구분 및 배경(장애물 등)의 주요 영역의 분할이 수행되어야 함.



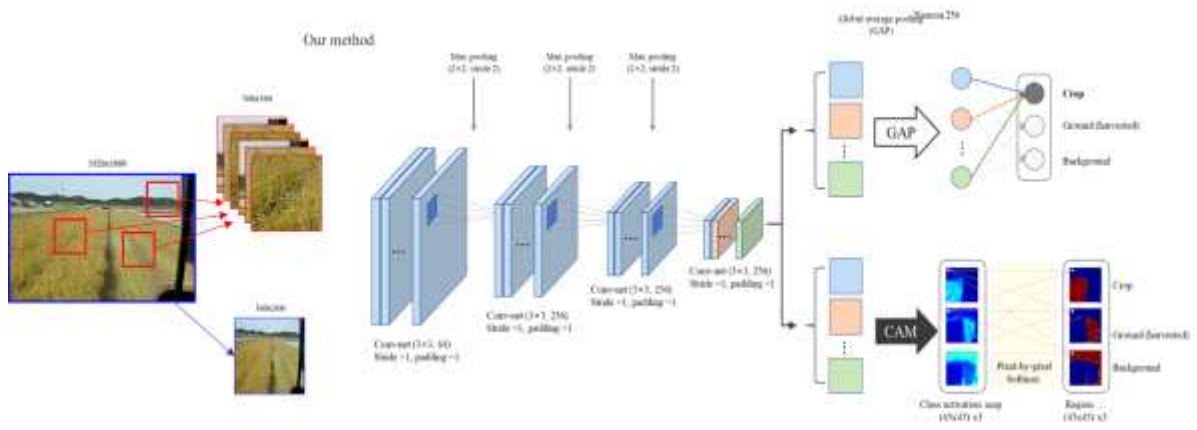
<차량 속도 및 스프라켓 회전속도>

L. 주요 영역 분할 기술 설계

A. 영역 분할을 위한 딥러닝 모델 설계

- a. 본 연구에서는 주요 영역 분할을 위해 약지도 학습(weakly supervised learning) 기반 딥러닝 모델을 사용하였으며, 이는 학습데이터 구축이 쉬울 뿐만 아니라 분류학습과 동시에 내재적인 지역화 정보의 동시 습득이 가능함.
 - b. 콤바인 작업환경의 주요 영역 분할을 위해서 약지도 학습 방법 중 모델의 분류학습 후 최상위 특징맵의 결과의 가중치 된 합(weighted sum)을 지역화(localization) 정보로 활용하는 방식을 이용하였으며, 부류 활성화 맵(class activation map, CAM)을 통해 시각화하였음.
- 아래 그림은 제안된 콤바인 작업환경 영역분할 방법을 보여주며, 전체 구조는 학습과 추론의 2개 단계로 구분할 수 있음.
 - 학습 단계에서는 3개의 부류(작물 영역, 수확된 영역, 배경 및 장애물)에 대해 부류 학습을 수행하며, 이를 위해 학습데이터 입력으로 해당하는 영상 단위 라벨(image-level label) 정보를 기반으로 모델 가중치를 조정함.
 - 학습모델은 추론 속도 향상을 위해 얕은층(shallow layers)으로 구성되었으며 총 4개의 합성곱신경망층(convolutional layer)을 이용하여 특징정보를 추출하였으며, 각각의 층에는 비선형 활성화 함수인 rectified linear unit (ReLU)와 max pooling이 추가되어 있음.

- 마지막 합성곱신경망의 경우 max pooling 대신 global average pooling (GAP)을 사용하였으며, 이는 추론단계에서 지역화 정보 추출을 위한 특징맵의 가중치로 활용됨.
- 추론단계에서는 학습 단계에서 최적화된 분류모델의 내부 결과 중 마지막 층의 특징 맵 (feature maps)들을 이용하여 영역분할 정보를 획득하며, 이는 각각의 특징 맵에 가중치를 할당하여 합한 후 해당 부류의 활성화도를 기반으로 영역을 추출하는 과정임.
- 추론의 결과는 3개 부류에 대한 CAM 정보로 나타낼 수 있으며, 이를 각각의 정보에 대한 상대점수로 표현하기 위해 비선형 활성화 함수인 softmax를 채널 방향으로 수행하였음 → 이를 통해 각각의 픽셀에 대한 3개의 CAM 정보는 확률값으로 변환됨.



<콤바인 자율주행 시 환경 인식을 위한 딥러닝 기반 영역분할 기술.>

B. 실험방법

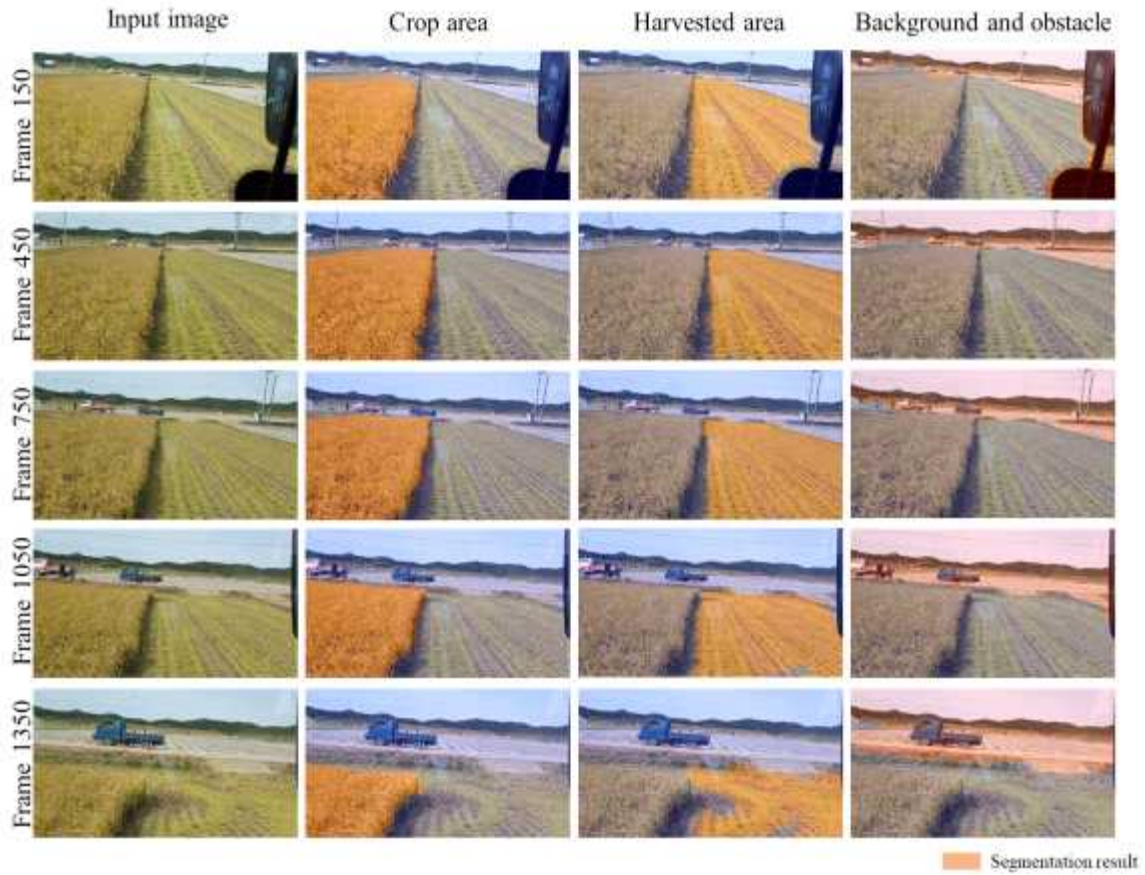
- 주요 영역 분할 방법의 성능평가를 위해 콤바인 수확 작업 영상을 수집하였으며, 실험은 경상남도 창녕군(35°32'20.2"N, 128°28'14.7"E)에서 85마력급 자탈형 콤바인 (DXM85GF, Daedong Co., Ltd., Daegu, Korea)을 이용하여 실시되었음.
- 콤바인 수확 영상을 캐빈 내부에서 촬영되었으며, 주행 정면 영상을 30 fps의 속도로 촬영 및 저장하였으며, 이때 영상의 크기는 Full-HD (1920 × 1080 pixels)를 가짐.
 - 딥러닝 모델 학습을 위해 수집된 비디오 영상을 샘플링하여 총 1,200개의 원 영상을 구성하였으며, 학습데이터 구축을 위해 전체 데이터를 각각 600, 480, 120개의 학습, 검증 및 실험 데이터 세트로 나누었음.
 - 학습 시 하나의 영상에 대해 각각의 부류에 해당하는 영역을 임의로 추출한 후 학습모델의 입력인 크기인 360 × 360 pixels로 리사이즈 후 사용하였으며, Mean squared error (MSE) 손실함수 및 Adam 최적화기(optimizer)를 이용하여 학습하였음. 이때 학습률은 0.0001로 설정함.
 - 추론 시는 하나의 영상 전체를 입력 크기인 360 × 360 pixels로 리사이즈 후 사용하였으며, 각각의 영역에 대한 변환된 CAM 값을 이용하여 분할을 실시하였음. 이때 분할된 영역의 노이즈 제거를 위해 connected component labelling을 통해 픽셀 군집화를 실시하였음.
 - 딥러닝 모델은 GPU (Titan RTX, NVIDIA, Santa Clara CA, USA) 기반으로 시스템으로

학습시켰으며, 기능 구현을 위한 프로그램은 python 3.7 및 Pytorch 1.0을 이용하였음.

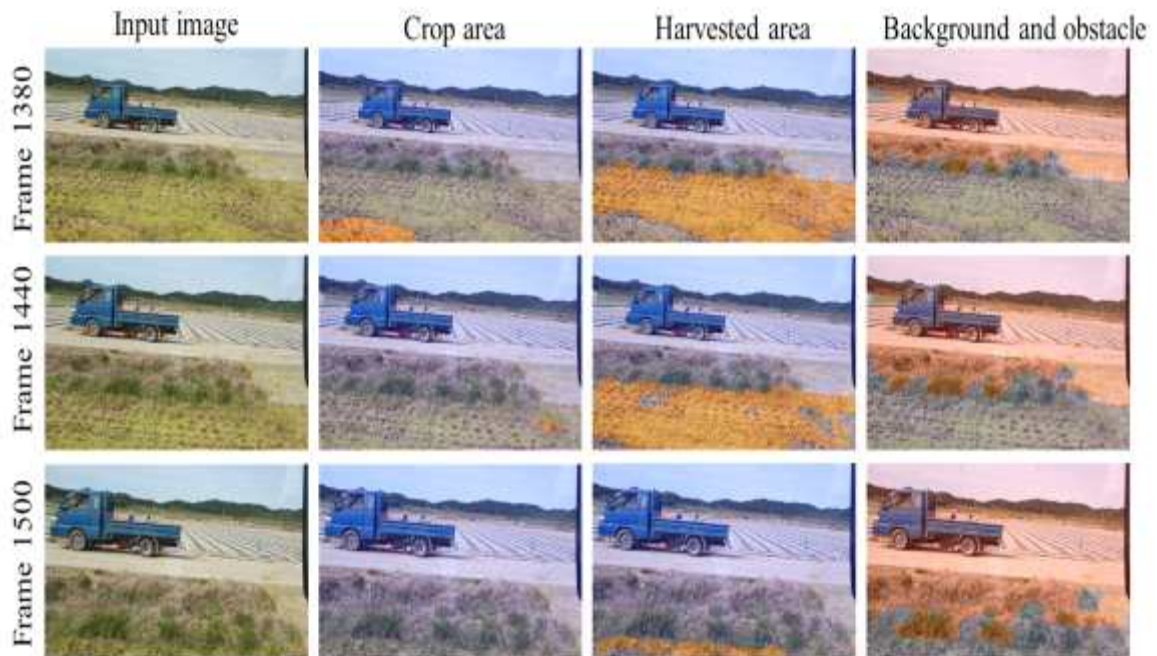
ㄷ. 결과

A. 영역분할 결과 시각화

- a. 콤바인 작업환경의 주요 영역을 분할한 결과 대표적으로 아래 첫 번째 그림과 같이 나타났으며, 각각의 작업구간에서의 영상프레임(150 ~ 1350)을 샘플링한 결과이며, 열은 왼쪽부터 입력 영상, 분할결과(작물영역, 수확된 영역, 배경 및 장애물)을 나타냄.
 - 작업구간에서 3개의 영역이 모두 원활하게 인식되었을 뿐만 아니라, 선회 진입 구간인 높은 영상 프레임에서도 해당 영역의 분할이 잘 수행되었음을 알 수 있음
 - 배경 및 장애물 부류 결과(마지막 열)에서 콤바인의 사이드미러 등도 원활히 검출되었으며, 이를 통해 장애물들을 별도의 독립적인 부류로 할당하여 모델 크기를 키우지 않더라도 넓은 범위에서 장애물 인식이 가능할 것으로 판단됨.
 - 작물 영역과 수확된 영역 사이에서 발생하는 그림자 영역의 경우 어느 영역에도 포함되지 않았으며, 이는 임계치 처리의 최적화를 통해 수확된 영역으로 포함할 수 있을 것으로 판단되나, 본 연구에서는 수확을 위한 경계 검출을 우선 수행하므로 작물 영역 분할 결과만을 이용하는 것으로 충분함.
 - 아래 두 번째 그림은 작업완료 후 또한 선회를 위해 작물 영역의 범위 밖으로 전진한 영상에 관한 결과를 보여주며, 애매한 영역이 3개 영역 중 하나로 검출되는 경우가 발생함 → 추후 환경 인식 기술의 적용 구체성 협의를 통해 인식 기술의 방향성 결정 후 최적화할 계획임.



<콤바인 작업환경 주요 영역분할 대표적인 결과(작업 중)>



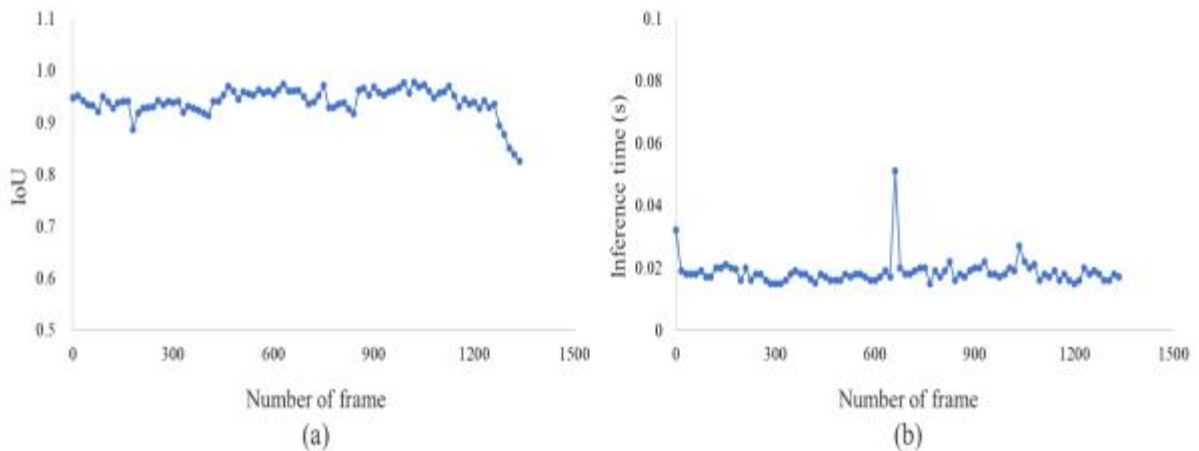
<콤바인 작업환경 주요 영역분할 대표적인 결과(종료 시)>

B. 성능분석 결과

a. 콤바인 수확 환경의 주요 영역의 실시간 분할성능을 모니터링 한 결과 아래 그림과 같이

나타났으며, 좌, 우 그래프 각각은 프레임별 분할성능과 인식 속도를 보여줌.

- b. 분할성능은 IoU (intersection of union) 방법을 이용해서 평가하였으며, 인식 속도는 각 프레임 내 영역분할에 드는 전체 영상처리 시간을 소프트웨어 타이머를 이용하여 계산하였음.
- 분할성능은 구간 대부분에서 0.9 이상의 높은 정확도를 보여주었으며, 작업구간의 마지막인 1200 프레임 이후에서 0.8 수준까지 감소하였는데, 이는 영상에 포함되는 작물이 근접 영역으로 점차 바뀔에 따라 작물의 형상이 반영이 된 것과 학습된 특징 외의 다양한 특성들의 존재로 인한 것으로 판단됨.
- 인식 속도는 일부 구간에서 일부 차이가 있었지만, 대부분에서 0.1초 이내로 관찰되었으며, 최소 15 fps 이상의 처리로 실시간성을 확보할 수 있었음.



<콤바인 작업환경의 주요 영역분할 성능평가(a:분할성능, b:인식 속도)>

나) 복합정보의 실시간 맵핑 및 실시간 환경 인식 기술 개발

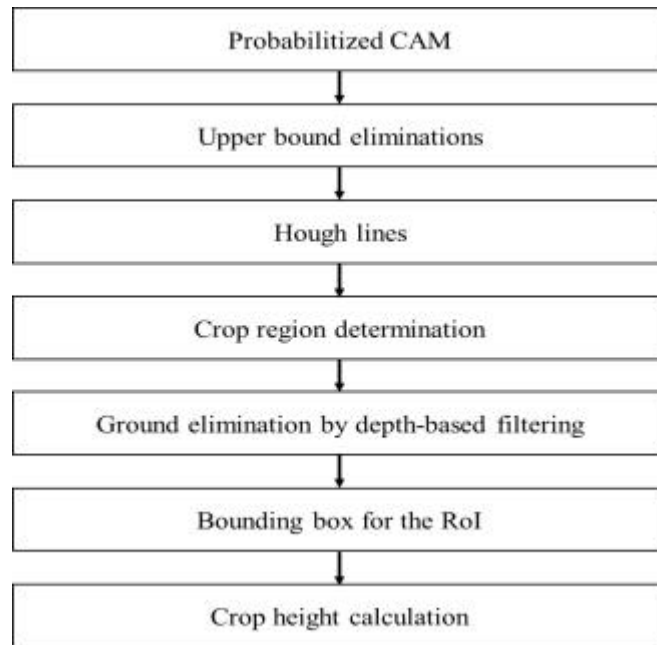
ㄱ. 환경 인식 기술 설계

A. 콤바인 수확 경로 안내를 위한 경계선 검출

a. 검출된 영역 중 작물 영역 분할 결과를 이용하여 콤바인 수확 시 실시간 경계 정보를 자동으로 제공하였으며, 이를 위해 영상처리 기술을 아래 그림과 같이 설계하였음.

- 분할된 작물 영역이 가지는 경계 중 수확된 영역과 맞닿아 있는 경계는 검출하는 것이 목적으로 이를 위해 우선 작물 영역의 윤곽선을 검출한 후 수확된 영역과 맞닿은 측면 경계의 에지(edge)들을 이용하여 대표적인 직선을 허프변환(Hough transformation)을 이용하여 생성하였음.
- 윤곽선 검출은 Canny edge 검출기를 이용하였으며, 검출된 윤곽선은 크게 좌, 우, 위, 아래의 경계 모서리를 가지고 있음
- 본 연구에서는 오른쪽 모서리가 수확된 영역과 맞닿아 있는 목표 경계이므로, 필터링을 통해 위, 아래 경계를 제거하여 오른쪽 경계의 검출을 용이하게 하였음.
- 필터된 윤곽선의 에지 정보를 이용하여 허프 변환 후 대표적인 직선들을 생성하였으며,

이를 평균한 값을 최종 경계 직선으로 선정하였음.



<콤바인 작업환경의 주요 영역분할
성능평가(a:분할성능, b:인식 속도)>

B. 성능평가 방법

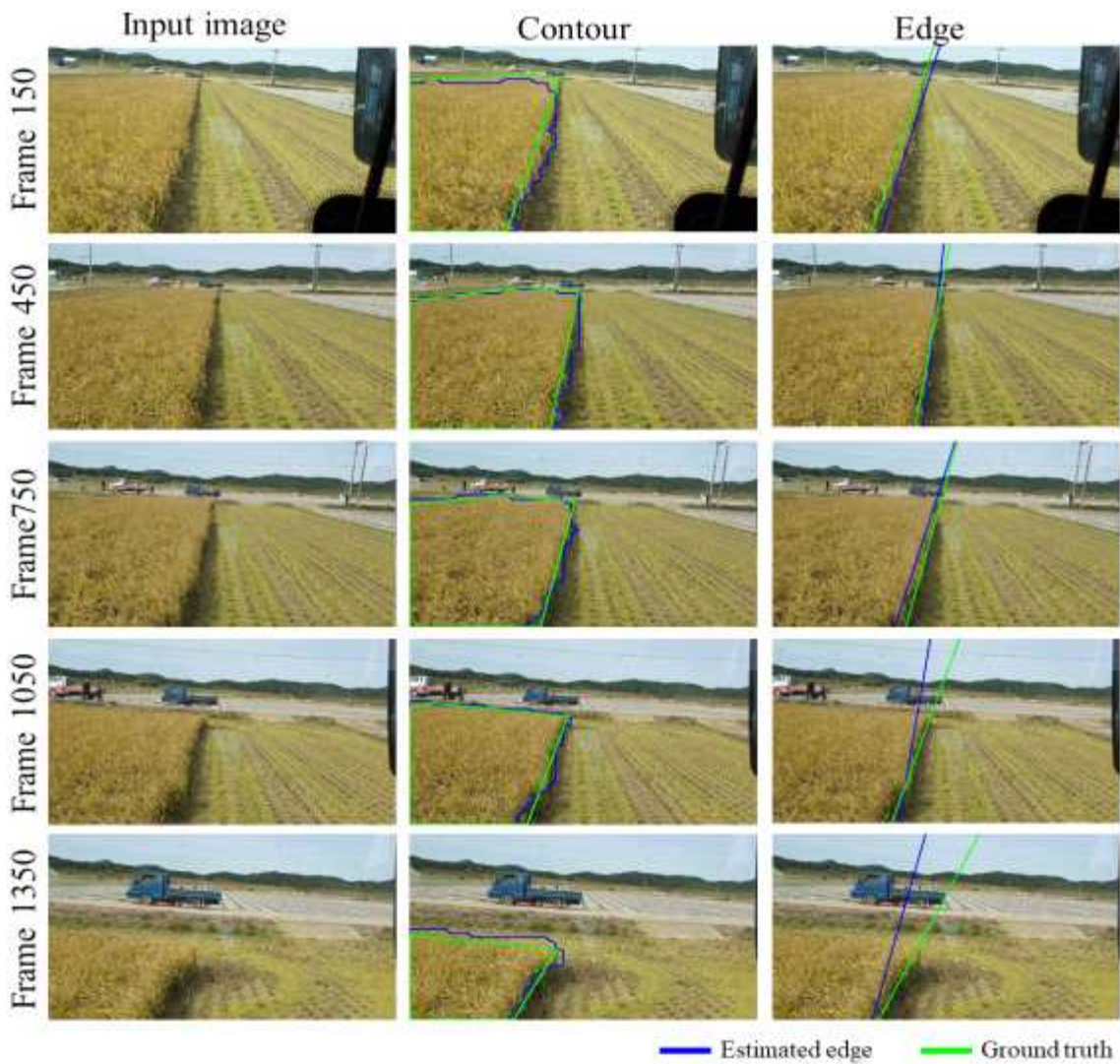
- a. 검출된 경계의 성능을 평가하기 위해 횡 방향 오차(lateral error)와 각도 오차(angular error)를 평가하였으며, 기준값 작성을 위해 평가에 사용된 영상 프레임의 경계 직선을 수동으로 작성 후 영상처리를 통해 해당 직선의 픽셀 정보를 확보하였음.
- 본 연구에서 사용되는 영상은 2D RGB 정보를 가지고 있어, 실제 좌표 및 거리, 각도에 대한 평가가 어려움
- 따라서, 횡 방향 오차는 전체 영상 수평 픽셀 크기에 대한 두 직선의 픽셀 거리의 상댓값을 이용하였으며, 이때 픽셀은 콤바인과 가장 가까운 최하단 값을 이용하였음. 또한, 각도 오차는 두 직선이 이루는 예각을 계산하여 사용하였음.

L. 결과

A. 작물 영역 윤곽선 및 경계 검출 시각화

- a. 작물 영역 분할 결과를 이용하여 윤곽선 및 콤바인 작업을 위한 경계를 검출하였으며 대표적인 결과를 시각화 결과는 아래 그림과 같이 나타남.
- 작물 영역의 목표 윤곽선과 경계는 각각의 프레임 영상에 대해 수동으로 결정 및 녹색으로 표현되었으며, 푸른색은 본 개발 기술을 통해 검출된 윤곽선과 경계임.
- 작업 진행 중 영상 대부분에서 작물 영역의 윤곽선을 검출할 수 있었으며, 직선으로 표현된 목표와는 달리 작물의 형상 때문에 굴곡이 다소 나타남을 알 수 있음.

- 윤곽선의 에지를 허프변환을 통해 대표직선, 즉 경계를 검출한 결과는 가장 오른쪽 열에 표현되었으며, 목표 경계와 유사하게 나타났으나 작업영역의 끝부분에 가까워질수록 각도 오차가 커지는 것을 관찰할 수 있음.
- 이는 위에서 언급한 바와 같이 작물이 근접한 부분만 남게 되어 형상에 의한 효과가 많이 반영되었으며, 또한 작물 자체가 영상에 포함된 비율이 낮아져 측면 경계의 선형성을 결정하기 어려운 원인으로 볼 수 있음.

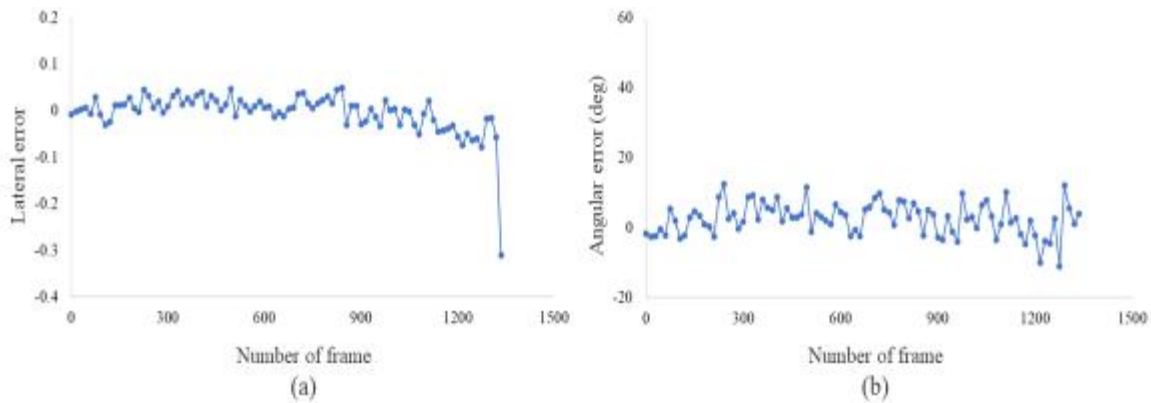


<콤바인 작업환경 인식의 대표적인 결과.>

B. 경계 검출 성능평가

- 콤바인 자율주행의 경계를 실시간 검출한 결과 분석을 위해 횡 방향 및 각도 오차를 계산하였으며, 작업시간에 따른 성능은 아래 그림과 같이 나타났음.
- 작업 영상의 1200 프레임까지 횡 방향 오차의 범위는 $-0.05 \sim 0.05$ 수준으로 낮게 나타났으며, 1200 프레임 이후, 즉 작업구간이 종료되어가는 시점에서 0.3의 크기까지 증가하였음 → 경계 검출의 시각화로부터 알 수 있듯이 작업구간이 진행될수록 작물 영역의 수직 방향 비율이 낮아져 허프변환에 따른 선형성 판단이 어려움.

- 각도 오차의 경우 작업 진행에 따라 목표 경계와 검출된 경계의 차이가 최대 20°까지 증가하였지만(횡 방향 오차와 마찬가지로 1200 프레임 이후의 영상 특성으로 인해 발생) 구간 대부분에서 10° 미만을 보여주었음.



<콤바인 작업환경 인식 성능평가(a: 횡 방향 오차, b: 각도 오차).>

다) 종합성능 및 향후 추진계획

ㄱ. 분할성능

- A. 작업영역 분할의 경우 영상의 부류 및 프레임에 따라 IoU가 0.716 ~ 0.978의 범위를 보여주었으며, 평균 0.938로 나타나 2D 영상에서 콤바인 작업의 주요 영역인 작물, 토양, 배경 및 장애물의 인식이 가능하다는 것을 알 수 있음.
 - a. 또한, 처리 속도가 평균 0.05 s 이하로 나타났으며, 이는 고성능의 GPU를 기반으로 측정된 결과지만, 최적화를 통해 싱글보드 혹은 임베디드 적용을 통해 10 fps 이상의 실시간성을 확보할 것으로 판단됨.

ㄴ. 경계 검출 성능

- A. 작물 영역의 분할 결과를 이용하여 수확된 영역과의 경계를 검출한 후 선형화 한 결과, 목표 경계와의 평균오차가 횡 방향 0.028, 각도 4.4°로 나타났음.
 - a. 횡 방향 오차의 경우 영상의 가장 하단의 라인을 기준으로 계산하였으며, 전체 입력 영상의 수평 픽셀에 대한 목표 직선과 검출 직선의 픽셀 거리의 비율로 평가함. 각도 오차는 두 직선이 이루는 각 중 예각의 값을 이용하였음.
 - b. 횡 방향 오차는 0 ~ 0.311 범위의 오차를 보였으며, 각도 오차는 0.074 ~ 20.769의 범위를 보여줌.
- B. 본 연구 결과를 통해 개발된 영역 검출은 정밀한 콤바인 작업환경 인식이 가능하였으나, 다음과 같은 개선 필요성이 있는 것으로 판단됨.
 - a. 검출 영역의 분할성능과 처리 속도는 만족할만한 수준을 보였으나, 영역 경계 간의 직선 인식에 대한 알고리즘은 개선이 필요하며, 이를 통해 대표성 있는 직선 도출 및 강인한 성능 확보가 필요

- b. 작업의 마지막 구간에 대한 별도의 처리 알고리즘 제시와 상단부 경계면 인식을 통해 선 회에 대한 알고리즘 적용이 필요할 것으로 판단됨.
- c. 다양한 장애물이 포함된 영상을 이용하여 성능을 평가하고 이를 검증할 방법 제시 필요

<콤바인 작업환경 인식 성능 종합 평가>

	Segmentation		Edge detection	
	IoU	Processing time	Lateral error	Angular error
Min.	0.716	0.015	0.000	0.074
Max.	0.978	0.051	0.311	20.769
Avg.	0.938	0.018	0.028	4.401
Std.	0.036	0.004	0.042	3.420

㉔. 통합 시스템을 위한 모듈화

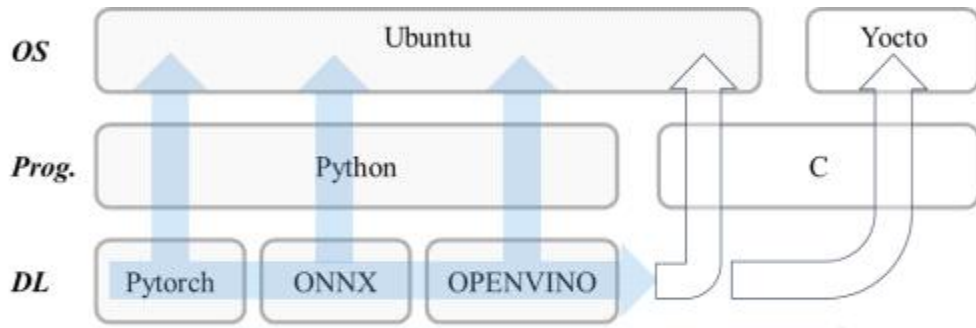
- A. 콤바인 작업환경 인식 기술의 자율주행 콤바인 적용을 위해 소프트웨어 모듈화 및 NVIDIA 임베디드 컴퓨터에 적용 수행.
 - a. 대상 임베디드 컴퓨터는 NVIDIA Jetson Nano이며, 약 10만 원 수준의 저가로 환경 인식 적용 및 실용화 가능성이 큰 장비임.
- B. 임베디드의 경우 컴퓨팅 사양이 개발환경에 비해 현저히 떨어지기 때문에 소프트웨어 모듈화 및 속도 향상을 위한 최적화가 필요함 → TENSORRT 등을 이용하여 최적화 수행하여 임베디드에서 동작성을 확보할 계획임.



<하드웨어 및 소프트웨어 모듈화>

- C. NVIDIA 임베디드 외 다양한 하드웨어에 적용(INTEL 기반 컴퓨터 등)하기 위해, 딥러닝 모델을 이기종 하드웨어 플랫폼에서 공통으로 사용할 수 있는 OpenVINO 인터페이스사용 가능(최적화된 버전의 OpenCV 및 OpenVX 비전 처리 API와 라이브러리를 포함)
- D. 콤바인 환경 인식 기술을 통합에 용이한 형태로 개발 가능 → 추후 기관 협의를 통해 계

획 수립



<제어기 장착을 위한 최적화 방안>

[3차년도]

(1) 경사지 주행에 따른 주행부 동역학 시뮬레이션 모델 개발 및 성능 검증

가) 노지 및 경사지에서의 동역학 시뮬레이션 모델 개발

ㄱ. 콤바인 다물체 동역학 시뮬레이션 모델 개발

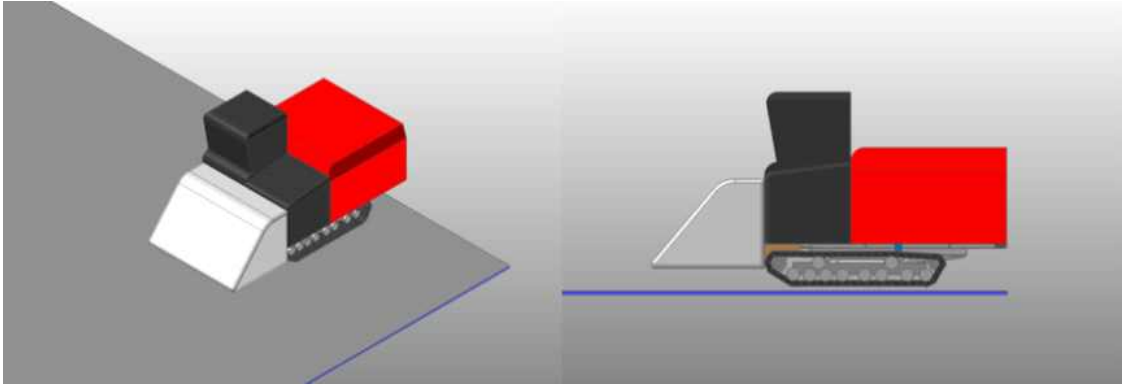
A. 콤바인 3D 다물체 동역학 시뮬레이션 모델 개발

- a. 시뮬레이션 모델은 동역학 분석 소프트웨어인 RecurDyn(V9R4, FunctionBay社)를 이용하여 3D 다물체 동역학 모델로 개발하였음. 시뮬레이션 모델은 콤바인 모델과 경사지 노면을 구현한 후 콤바인 모델을 구동하여 경사 노면을 등판하도록 하였으며, 시험 결과로는 경사지 노면 등판 시 출력과 토크를 도출하고 이를 분석하였음.
- b. 시뮬레이션의 콤바인은 국내 6조 콤바인(DXM120GS, 대동공업社)의 제원을 참고하여 제작하였으며, DXM120GS의 상세제원은 다음과 같음.

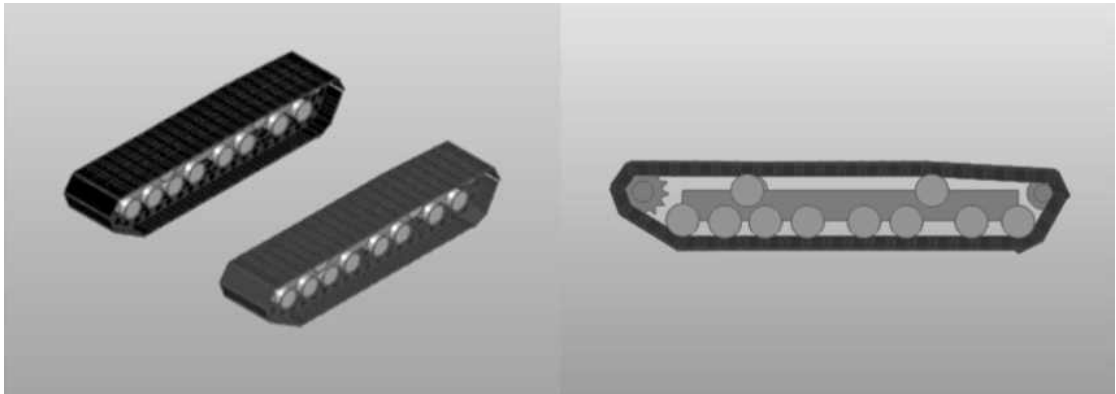
<국내 6조 콤바인(DXM120GS, 대동공업社)의 상세제원>

항목	단위	사양
모델명	-	DXM120GS
호칭마력	kW	87
길이	mm	4,980
폭	mm	2,430
높이	mm	2,705(2,780)
중량	kg	4,605(4,735)
최저지상고	mm	190
작업속도	m/s	1.7
변속방식	-	유압 무단 변속 Servo-HST

- c. 시뮬레이션의 콤바인 모델은 주행부와 차체로 구성되어 있으며, 주행부는 두 개로 구성된 한쌍의 평행한 궤도로 구성하였음. 차체의 경우 차량의 관성을 구현하기 위해 콤바인과 유사한 형상의 차체 상부 솔리드와 차체 하부 솔리드 그리고 무게 배분비 구현을 위한 차체 내부 솔리드로 구성되어 있음.
- d. 시뮬레이션 모델의 궤도는 Recurdyn 소프트웨어의 Track(LM) 툴킷을 이용하여 제작하였으며, Sprocket, Roller, Idler, Tension, Tracklink, Trackbody로 구성되어 있음. 각 궤도는 길이 약 2,365 mm, 폭 약 348 mm, 높이 약 326 mm이며, 무게는 궤도 하나당 약 470 kg으로 설정하였음.

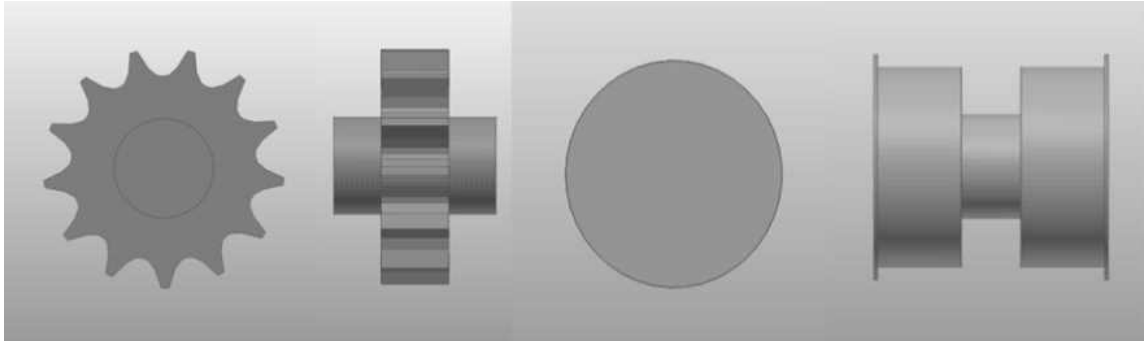


<시뮬레이션의 콤바인 모델>

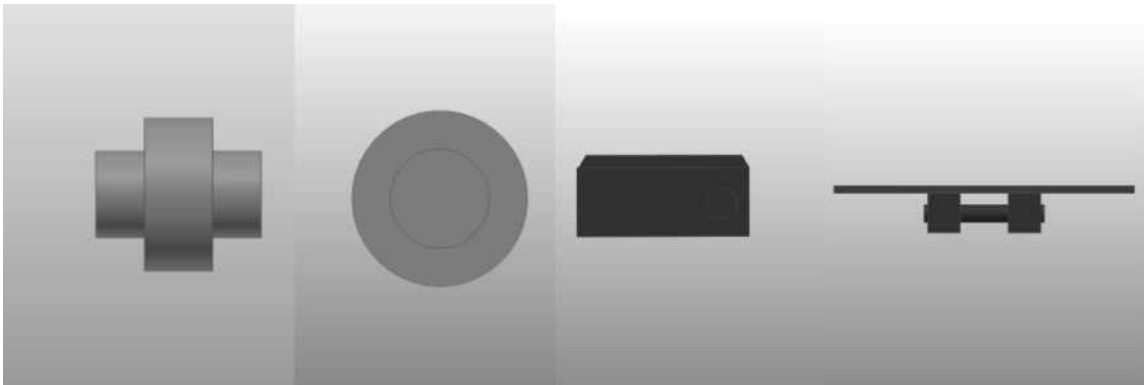


<시뮬레이션 모델의 궤도 쌍>

- e. Sprocket은 각 궤도의 전방에 1개로 구성되어 위치하며, 회전하며 톱니를 통해 Tracklink에 구동력을 전달함. Sprocket은 치의 개수 13, 이 뿌리 반지름 107 mm, 피치원 반지름 122 mm, 두께 79 mm의 제원을 가지도록 설정하였으며, 물성은 강철로 무게는 37 kg으로 설정하였음.
- f. Roller 및 Idler는 Tracklink를 지지하며, Roller는 궤도 하단에 8개, Idler는 상단에 2개로 구성되어 있음. Roller 및 Idler 외각에서부터 플런지, 휠, 허브로 구성되는 대칭 형상이며, Roller 및 Idler의 제원은 동일함. Roller 및 Idler의 제원은 허브 간격 50 mm, 휠 두께 190 mm, 총 두께 195 mm, 허브 반지름 41.5 mm, 휠 반지름 80 mm, 플런지 반지름 90 mm의 제원으로 설정하였으며, 재질은 강철로 무게는 25.21 kg으로 설정하였음.
- g. Tension은 궤도의 후방에 위치하며 궤도의 장력 조정하는 장치임. Tension은 플런지 두께 78 mm, 총 두께 190 mm, 플런지 반지름 88.6 mm, 휠 반지름 50 mm의 제원을 가도록 설정하였으며, 재질은 강철로 무게는 22 kg으로 설정하였음.
- h. Tracklink는 서로 핀으로 연결되어 무한궤도를 구성하는 부품으로 한 궤도에 45개로 구성되어 있음. Tracklink의 제원은 Sprocket, Tension, Roller 및 Idler와 간섭없이 결합하도록 구성하였으며, 재질은 고무로 Tracklink 개당 무게는 2.46 kg으로 설정하였음.



<시뮬레이션 모델의 Sprocket(좌), Roller 및 Idler(우)>



<시뮬레이션 모델의 Tension(좌), Tracklink(우)>

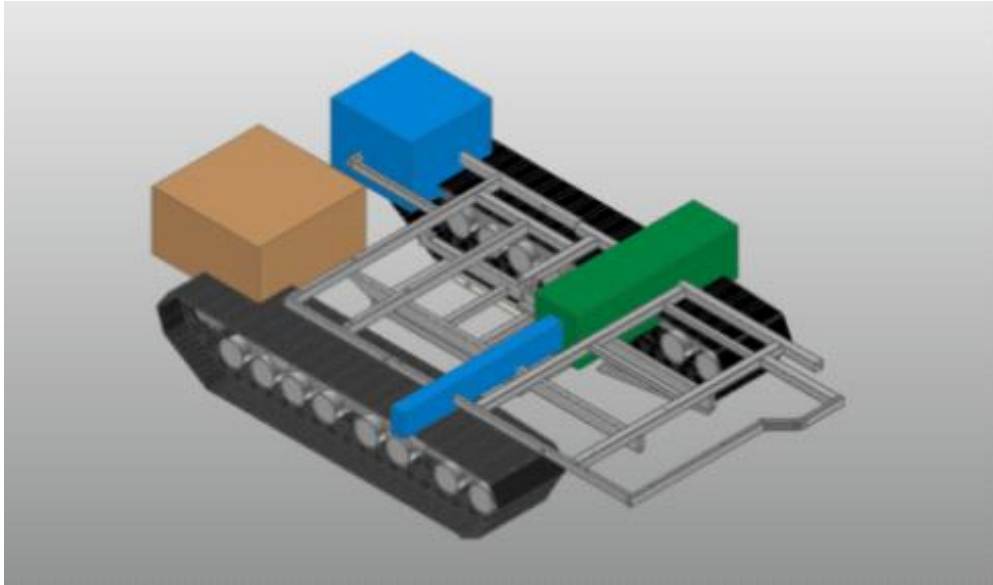
- i. 궤도 모델에는 고정 및 회전 구속조건을 적용하여 궤도의 구동을 구현하였음. 고정 구속 조건은 움직임이 없는 대상에 고정을 부여하는 구속조건으로 Roller, Idler 및 Tension와 Trackbody사이, Trackbody와 Motherbody에 부여하여 Tracklink들이 안정적으로 지지될 수 있도록 하였으며, 회전 구속조건은 물체에 회전을 부여하는 구속조건으로 Trackbody를 기준으로 Sprocket에 부여하여 Sprocket의 회전을 구현하였음.
- j. 시뮬레이션 모델의 무게 배분비를 구현하기 위해 6조 콤바인의 전후, 좌우 무게를 측정하였으며, 최종적으로 전후 약 7.3 : 2.7, 전방 좌우 약 6.4 : 3.6, 후방 좌우 약 1.3 : 8.7의 무게 배분비를 확인하였음.

<국내 6조 콤바인(DXM120GS, 대동공업社)의 무게 측정 데이터>

		좌측		우측		합계	비율
		중량	비율	중량	비율		
공차	전	2,190	64%	1,256	36%	3446	73%
	후	161	13%	1,088	87%	1249	27%
	계	2,351	50%	2,344	50%	4695	100%

- k. 무게 배분비를 시뮬레이션 모델에 구현하기 위해 콤바인 차체 전후좌우의 각 위치에 맞게 솔리드를 추가하였으며, 각 솔리드의 무게를 설정하여 무게 배분비를 구현하였음.

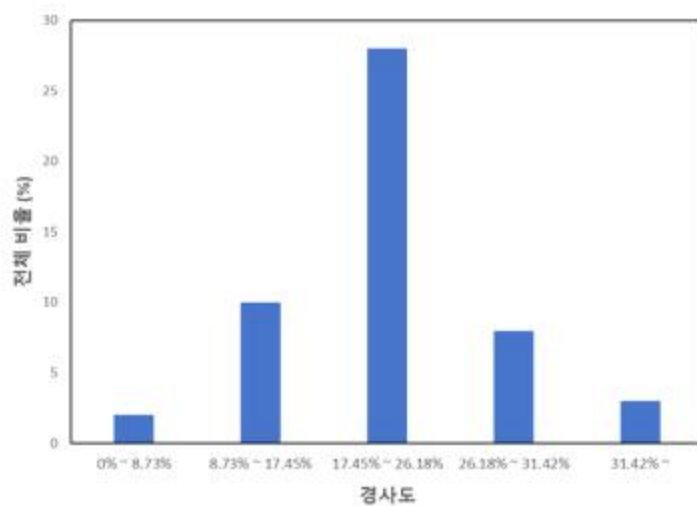
- I. 각 솔리드는 강철 재질이며 전방 좌우측 솔리드의 무게는 각각 좌측 약 2190.46 kg, 우측 약 1257.57 kg, 후방 좌우측 솔리드의 무게는 각각 좌측 약 158.8 kg, 우측 약 1057.36 kg으로 설정하였음.



<시뮬레이션 모델의 무게 배분비 구현 예시>

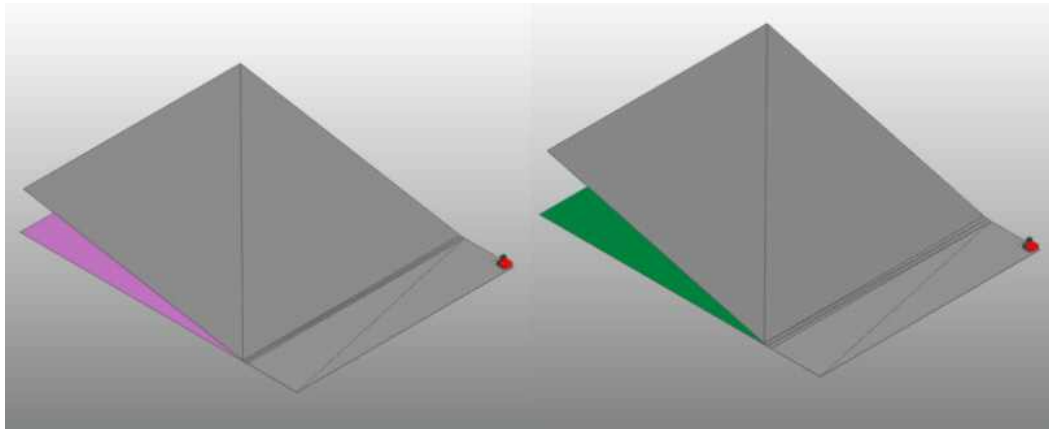
B. 시뮬레이션 노면 구현

- a. 일반적으로 국내 대구획 논 진입로는 약 10°(17.45%) 와 약 15°(26.18%)의 경사도를 가진 진입로가 전체의 54.9%를 차지한 것으로 확인되었으며, 이에 따라 두 경사도 범위에 최저값 및 최고값인 약 10°(17.45%), 약 15°(26.18%) 및 평지 조건인 0°(0%)의 경사도를 시뮬레이션 토양의 노면 경사도 조건으로 선정하였음.



<국내 대구획 논 진입로 경사 분포>

- b. 주행 노면은 Ground를 이용하였으며, 한 개의 평판과 기울임 판을 만든 후 기울임 판의 각도를 조절하는 방식으로 경사도를 구현하였다. 기울임 판의 크기는 평판의 종단부터 주행속도가 1.7 m/s에 도달하는 y 지점까지의 길이를 기울임 판의 길이로 설정하도록 하였으며, 폭과 높이는 평판과 동일하게 하였음. 또한 기울임 판은 1.7 m/s에 도달하는 y 지점을 회전축으로 기울여 경사도를 구현하도록 하였음.
- c. 주행속도가 1.7 m/s에 도달하는 y 지점을 도출하기 위해 기울기가 0%인 평평한 평판에서 시뮬레이션을 구동하였음. 구동결과 20초이후 평균 1.7 m/s의 속도를 확인하였으며, 이때의 y좌표는 -18,848이었음. 평판의 종단이 -100,000임으로 이와 결과적으로 본 모델은 81,000 × 103,400 × 50 mm 크기의 평판과 801,000 × 81,152 × 50 mm 크기의 기울임 판으로 구성되어 있으며, 경사도는 약 10° ~ 약 15°로 구현하였음.
- d. 주행 노면을 구현하기 위해서는 Road Data를 포함해야 하며, 본 연구에서는 Face 툴을 이용하여 미리 구현해놓은 평판의 평면을 Road Data로 구현하였음.



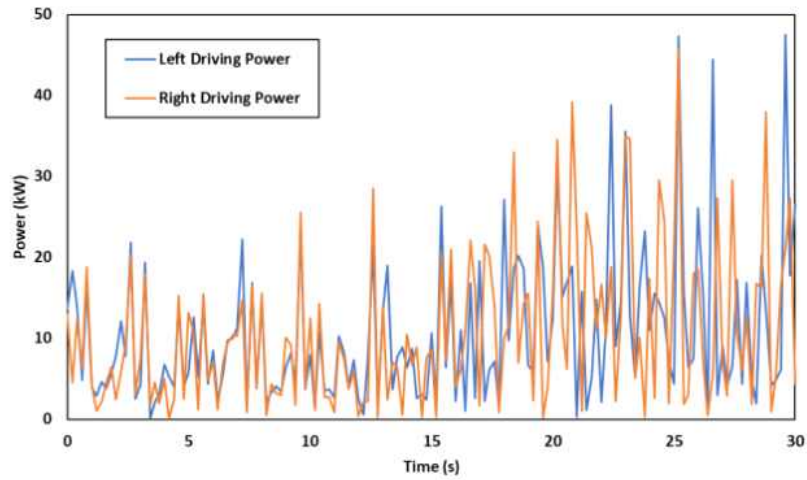
<시뮬레이션 상의 경사도 구현 10°(좌), 15°(우)>

나) 시뮬레이션 모델을 이용한 주행조건에 따른 성능 검증

ㄱ. 시뮬레이션 모델 수행 및 성능 검증

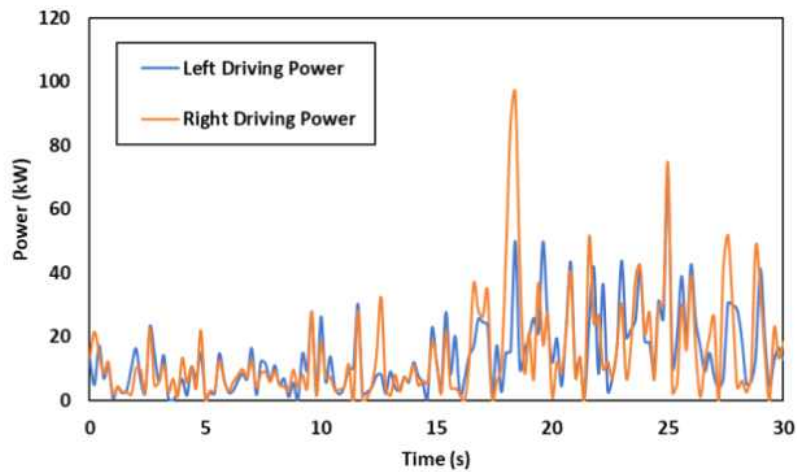
A. 시뮬레이션 수행 결과

- a. 시뮬레이션 모델은 경사도 조건에 따라 0°, 10°, 15°의 경사도를 가지는 총 3가지 모델로 개발하였으며, 시뮬레이션 수행 조건은 콤바인의 주행속도에 따라 총 1.7 m/s, 0.8 m/s의 두 가지 주행속도 조건에서 시뮬레이션을 수행하였음.
- b. 1.7 m/s 주행속도에서는 0° 경사지 모델에서 각 궤도 출력은 좌측 약 14.47 kW, 우측 약 15.22 kW가 확인되었으며, 총 출력은 29.69 kW로 확인되었음.



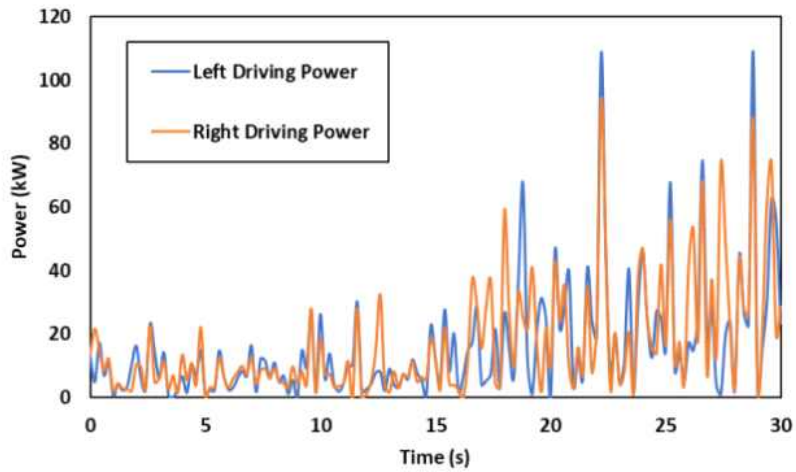
<1.7 m/s 주행속도, 0° 경사지 모델에서의 출력>

- c. 1.7 m/s 주행속도에서는 10° 경사지 모델에서 각 궤도 출력은 좌측 약 20.54 kW, 우측 약 20.60 kW가 확인되었으며, 총 출력은 41.14 kW로 확인되었음.



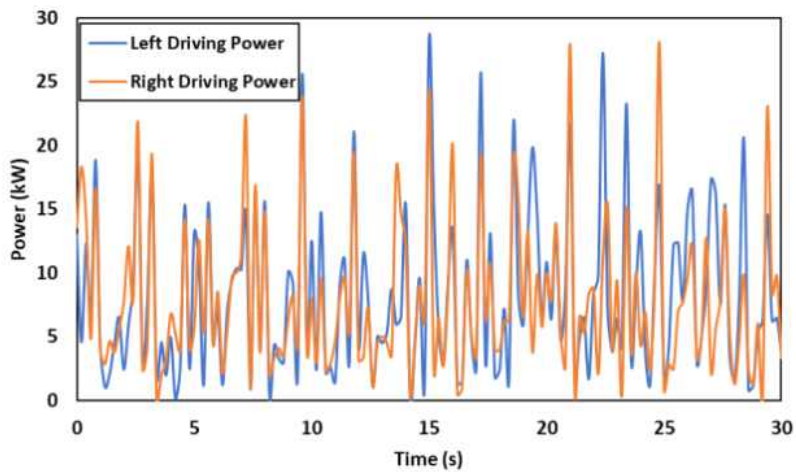
<1.7 m/s 주행속도, 10° 경사지 모델에서의 출력>

- d. 1.7 m/s 주행속도에서는 15° 경사지 모델에서 각 궤도 출력은 좌측 약 27.04 kW, 우측 약 28.93 kW가 확인되었으며, 총 출력은 55.97 kW로 확인되었음.



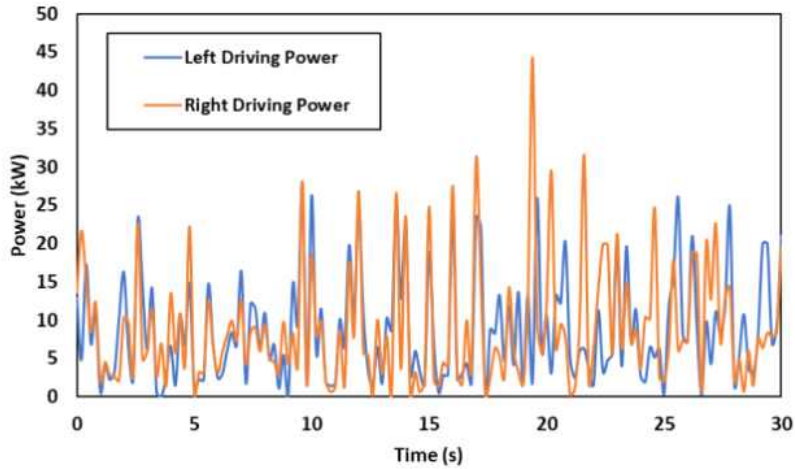
<1.7 m/s 주행속도, 15° 경사지 모델에서의 출력>

- e. 0.8 m/s 주행속도에서는 0° 경사지 모델에서 각 궤도 출력은 좌측 약 8.78 kW, 우측 약 7.63 kW가 확인되었으며, 총 출력은 16.41 kW로 확인되었음.



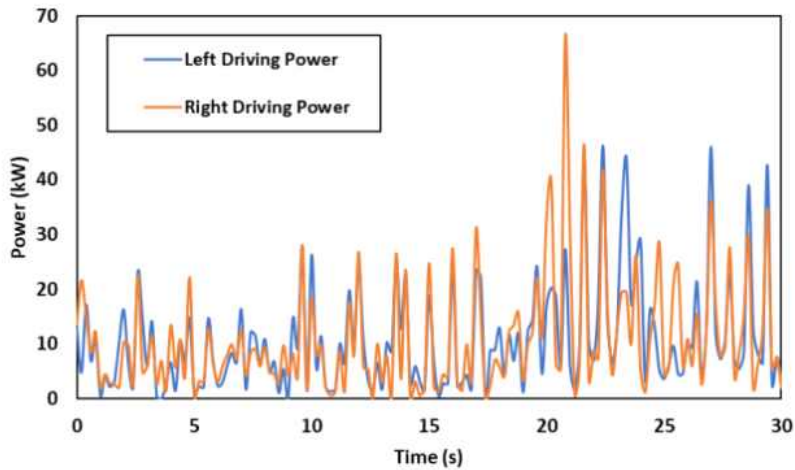
<0.8 m/s 주행속도, 0° 경사지 모델에서의 >

- f. 0.8 m/s 주행속도에서는 10° 경사지 모델에서 각 궤도 출력은 좌측 약 9.30 kW, 우측 약 10.44 kW가 확인되었으며, 총 출력은 19.74 kW로 확인되었음.



<0.8 m/s 주행속도, 10° 경사지 모델에서의 출력>

- g. 0.8 m/s 주행속도에서는 15° 경사지 모델에서 각 궤도 출력은 좌측 약 15.32 kW, 우측 약 15.76 kW가 확인되었으며, 총 출력은 31.08 kW로 확인되었음.



<0.8 m/s 주행속도, 15° 경사지 모델에서의 출력>

B. 성능검증 결과

- a. 시뮬레이션은 경사도 및 주행속도에 따라 총 6가지 조건에서 수행되었으며, 시뮬레이션 결과는 콤바인의 총 출력으로 도출하였음. 각 조건에 따른 시뮬레이션 결과는 다음과 같음.

<시뮬레이션 조건별 출력 결과>

		경사도		
		0°	10°	15°
주행 속도	1.7 m/s	29.69	41.14	55.97
	0.8 m/s	16.41	19.74	31.08

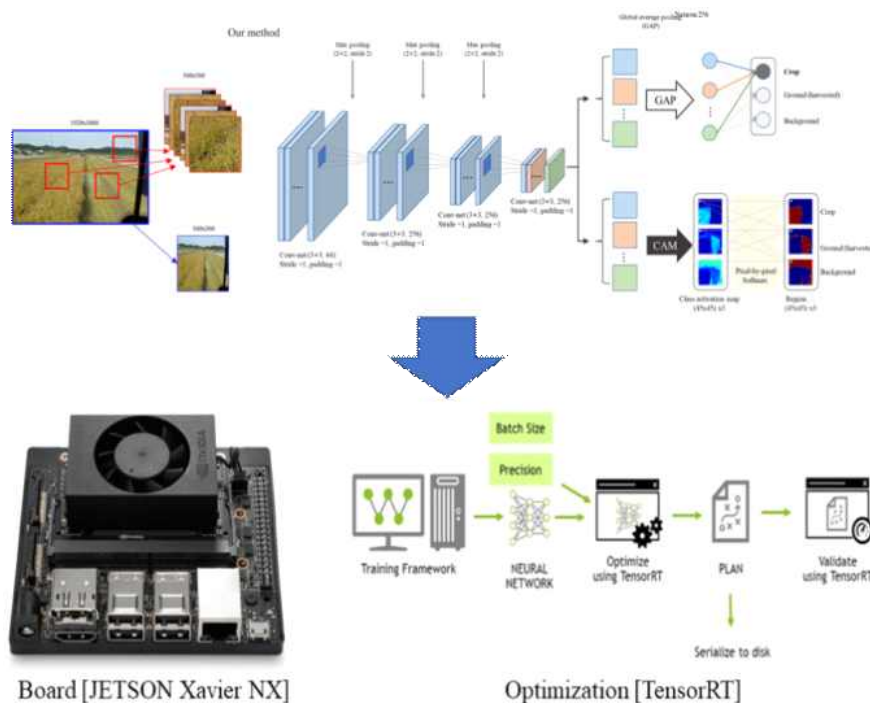
- b. 모든 조건에서의 출력이 시뮬레이션 모델 대상 콤바인의 87 kW 출력보다 낮음으로, 플랫폼이 15° 경사도까지의 등판이 가능한 것으로 확인되었음.

(2) 자율주행 콤바인 지능형 환경 인식 기술 개발

가) 비정형 작업환경 및 장애물 인식 기술 개발

ㄱ. 작업환경 및 장애물 인식 기술 설계

- 비정형 작업환경 및 장애물 인식을 위해서 기존 개발된 약지도 학습 모델을 수정하여 작물영역과 장애물 영역에 대한 지역화로 확장하였으며, 실제 콤바인 작업 영상을 이용하여 기존 모델의 정확성을 개선하였음
- 현재 사용되는 모델의 경우 실시간성을 위해 얇은층 모델 활용 등 최적화가 되어 있지만 딥러닝 모델에서는 기본적으로 파라미터의 수가 높기 때문에 실차 활용성 향상을 위해서는 목적PC에 맞는 최적화가 추가로 수행되어야 함
- TensorRT는 딥러닝 모델의 구조 최적화 수행주며 이를 통해 정밀도 감소 및 그래프 최적화가 가능하기 때문에 속도를 비약적으로 상승시킬 수 있으며, 현재 공개되어 있는 다양한 popular 모델(vgg 등) 기반으로 최적화 성능을 검증받고 있음
- Target 보드에 적용을 위해 NX development kit 에서 테스트 수행되며(384 NVIDIA CUDA co., cores and 48 Tensor cores), 본 모델의 경우에서도 변환을 위한 함수 개발 등으로 TensorRT 적용하여 성능을 평가하였음

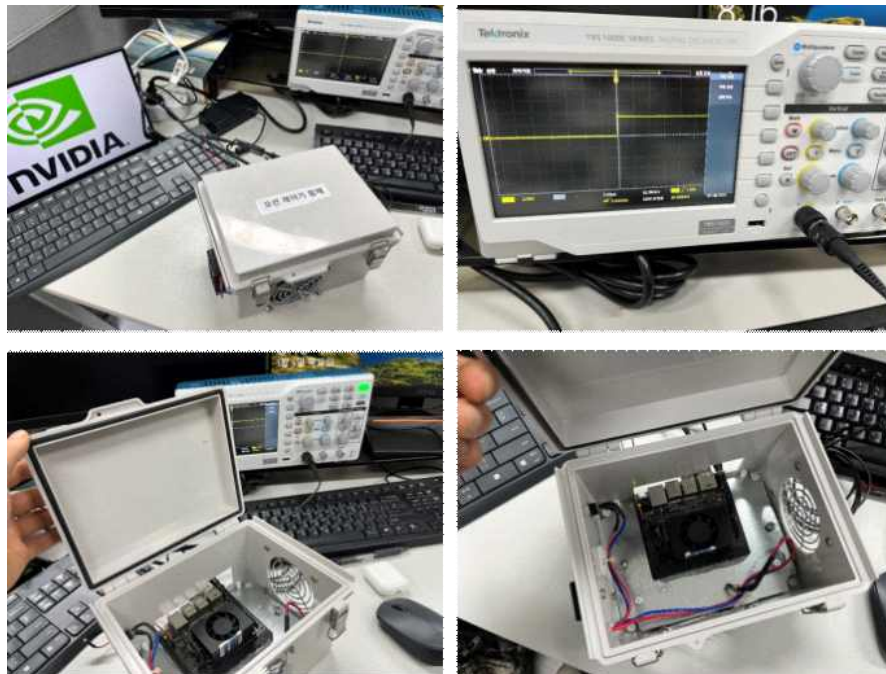


<TensorRT를 이용한 모델 추론 속도 향상>

ㄴ. 실차 기반 영상수집 및 성능평가

A. 시험 장비 구성 및 사양

- 환경 인식 기술이 적용을 위한 시스템(모듈)은 아래 그림과 같이 제작되었으며, 카메라는 별도의 부착형태로 콤바인에 장착가능하며, 메인 모듈은 운전석 하단 혹은 설계 변경을 통해 장착 가능함
- 전원의 경우 별도의 배터리를 통해 단독 구동 및 콤바인으로부터 커넥터 연결을 통한 구동의 2가지 방법이 가능하도록 설계되었으며, 시스템 성능은 위해 아래와 같이 소프트웨어 측정장치 및 오실로스코프 등을 이용하여 검증하였음



<콤바인 환경 인식 장치 및 기술 구성도.>

- 콤바인 환경인식 장치의 주요 성능은 아래 표와 같으며, 카메라의 경우 광각으로 넓은 인식이 가능할 뿐만 아니라 환경인식 목적 및 기술범위에 따라 다양하게 조정 가능함

<콤바인 환경 인식 장치 주요 사양>

구분		규격사항
Camera	Sensor	AR0521 from ON Semiconductor
	Resolution	FHD (1920 × 1080)
	DFOV	5MP - 140.5° (with the lens provided by e-con)
	Focus Type	Fixed focus
Single board PC	CPU	6-core NVIDIA Carmel ARM®v8.2 64 bit CPU 6 MB L2 + 4 MB L3
	GPU	NVIDIA Volta architecture with 384 NVIDIA CUDA® cores and 48 Tensor cores
	Memory	8 GB 128-bit LPDDR4x @ 51.2 GB/s
	Dimension	103 mm × 90.5 mm × 34.66 mm
	Power	10-15 W (9~19 V)

B. 시험 방법 및 조건

- 시험은 실제 환경에서 녹화된 영상을 사용하며 영상은 콤바인의 직진-선회 작업 동안 30 fps 속도로 촬영되었음(전체길이: 352초, 총 프레임 수: 10560)
- 녹화영상의 프레임을 224×224 크기로 조정한 후 순차적, 연속적으로 입력하여 환경인식을 수행하며 환경인식속도와 인식율을 계산함
- 콤바인이 정지(준비) 상태인 2100 이전 프레임을 제외한 2100 ~ 10560 프레임을 대상으로 성능을 평가하였음
- 환경인식속도의 측정 기준은 영상 입력부터 작물 및 장애물 검출 완료까지이며 1초 동안 처리된 영상 프레임 수(frame per second, fps) 계수하였으며 대상 프레임의 평균값을 최종 결과로 이용함
- 측정을 위해 작물 및 장애물 검출 완료 시 외부 PIN으로 1 PULSE를 출력하게 하였으며 (자세히는, 영상입력 시 LOW→HIGH, 검출 완료 시 HIGH→LOW의 디지털 신호출력), 데이터수집장치를 통해 1 KHz의 속도로 PULSE 신호를 수집 및 1초 동안 측정된 펄스 수(Hz)를 실시간 계수(저장)하였음

$$\text{환경인식속도}(Hz) = \frac{\text{펄스수(처리 프레임 수)}}{\text{측정시간}(s)}$$

- 환경인식율은 30프레임 당 1개씩 대상 프레임으로 선정(sampling)하여 총 프레임 번호 2100~10560에서 30 프레임 간격으로 총 283개를 이용하여 평가하였음. 프레임별로 사전에 정의된 작물 영역, 장애물 존재 유무의 검출 결과를 비교하여 아래의 accuracy를 작물, 장애물 별로 계산한 뒤 평균값을 이용함

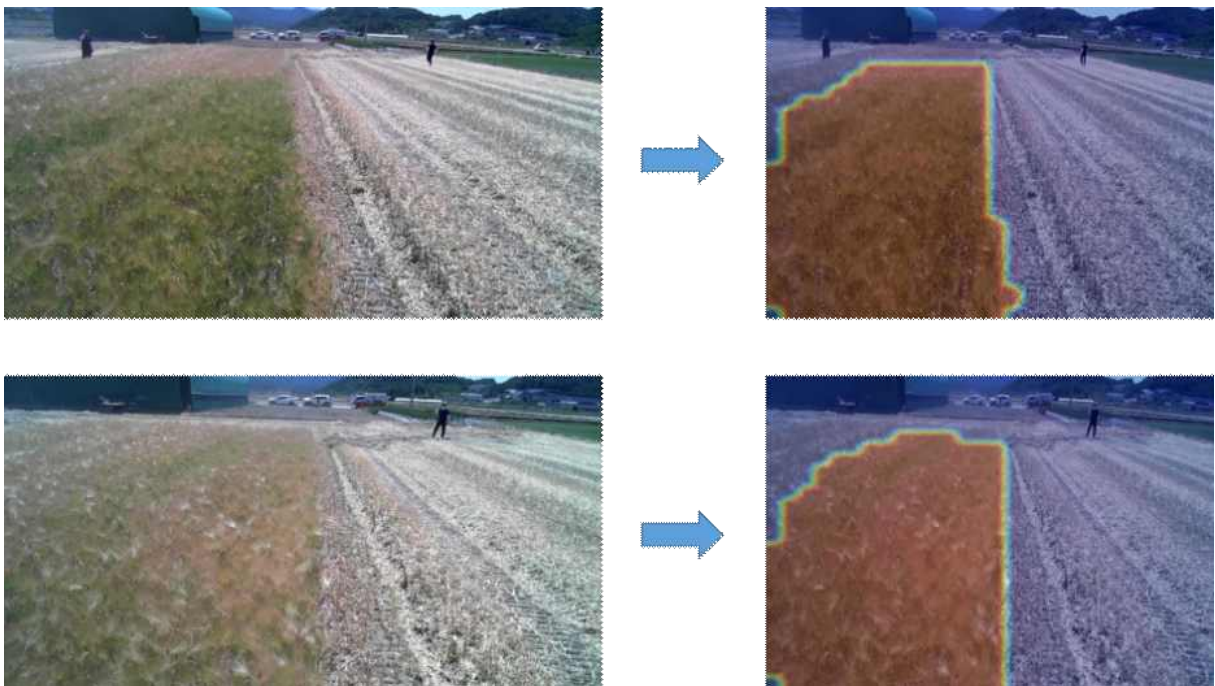
$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

- TP는 목표부류(target class)를 정확히 인식한 경우, TN은 목표 외 부류를 각각에 해당하는 부류로 정확히 인식한 경우, FP는 목표부류를 다른 부류로 인식한 경우, FN은 목표 외 부류를 목표부로 인식한 경우의 수

C. 인식 결과

a. 콤바인 작업 시 영역 및 장애물 검출 결과

- 실제 현장에 맞춰 비정형 환경 및 장애물 검출을 위해 보정된 모델의 영역 결과는 아래 그림과 같이 나타났음
- 작물 영역의 경우 작물의 표현형(끝부분 색상)이나 거리에 의한 왜곡에 따라 성능의 변화가 있었지만 대부분 작업 대상 영역에 대해서는 원만한 검출이 가능하였음
- 장애물의 경우 작업 중 보행자에 대해 검출을 수행하였으며, 객체의 명확한 카운트는 모델의 신속성을 고려한 파라미터 수 감소로 인해 추가 학습이 어렵지만 관련 영역에 대해서는 검출이 지속적으로 가능하였음



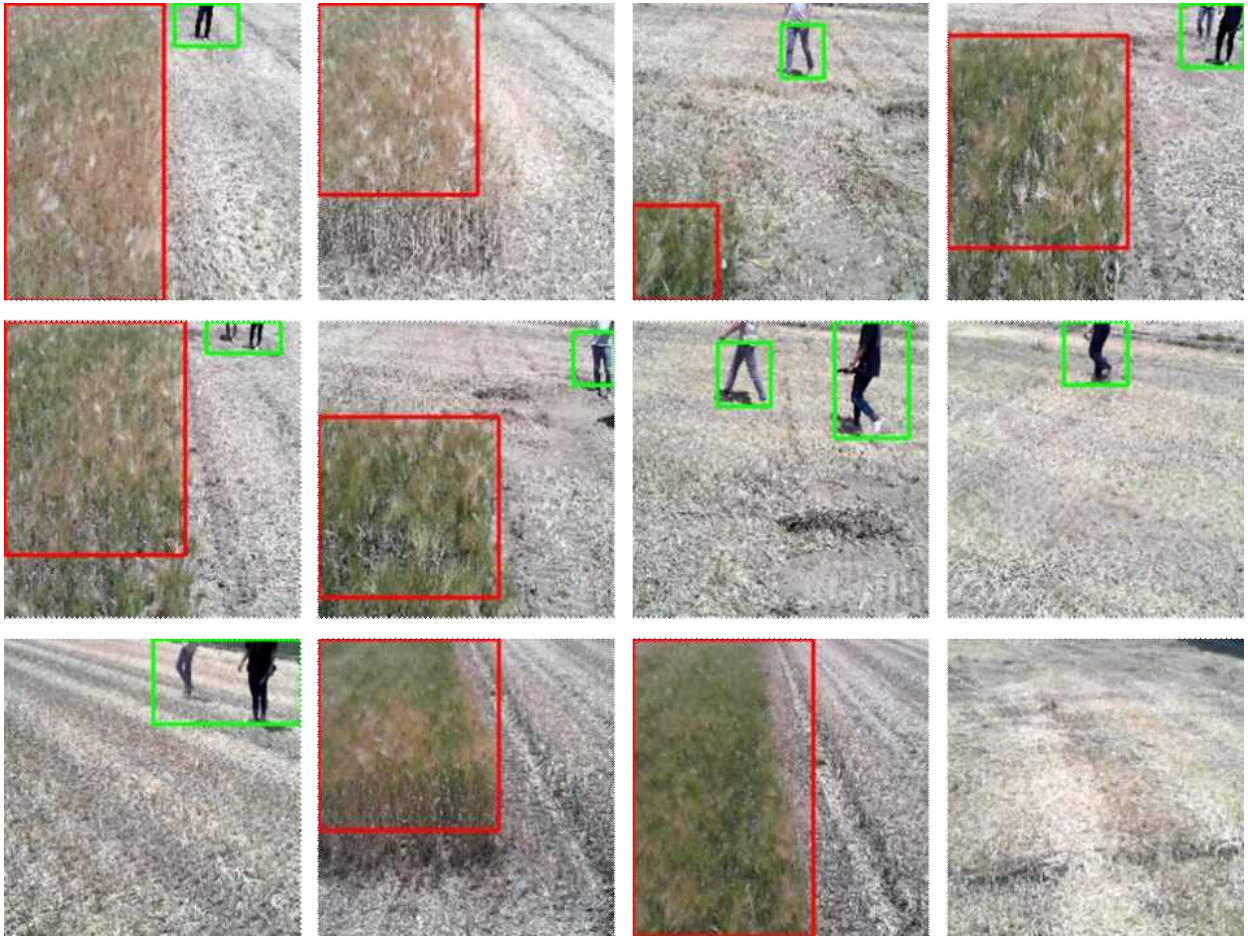
<작업 중 작물 영역 검출의 대표적인 결과.>



<작업 중 장애물 검출의 대표적인 결과.>

b. 검출 영역 임계치 및 최종 선정

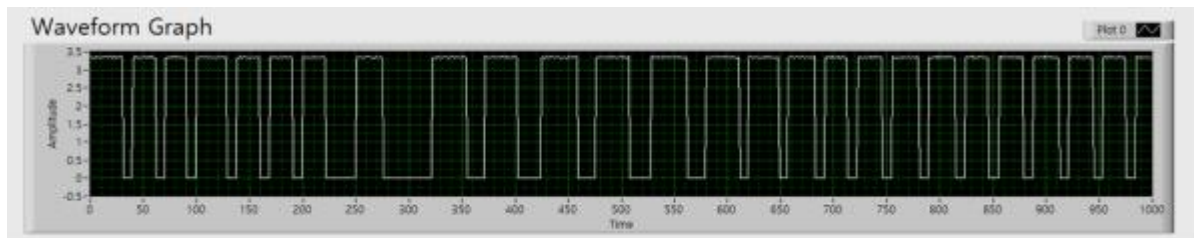
- CAM으로부터 검출된 영역을 이용하여 작업자 혹은 전체 시스템의 상위제어기의 의사결정을 위해 결정경계를 작성하여 아래 그림과 같이 표현하였음
- 붉은색 박스는 작물 영역, 녹색 박스는 장애물 영역을 표현하며, 연속적인 프레임에 대해 정상적인 검출이 가능하였으며, 본 결과를 이용하여 자율주행 의사결정 혹은 추가 알고리즘 적용을 통해 경로 제시 혹은 알람 등의 기능이 가능할 것으로 판단됨
- 본 결과는 자율주행 콤바인에서 신속한 인식 정보를 전달하기 위해 최적화가 되어있으며, 하드웨어 최적화 및 후처리 알고리즘 등을 통해 다양한 목적기술로 확장 가능할 것으로 판단됨.



<경계박스 처리 한 최종 환경인식의 대표적인 결과.>

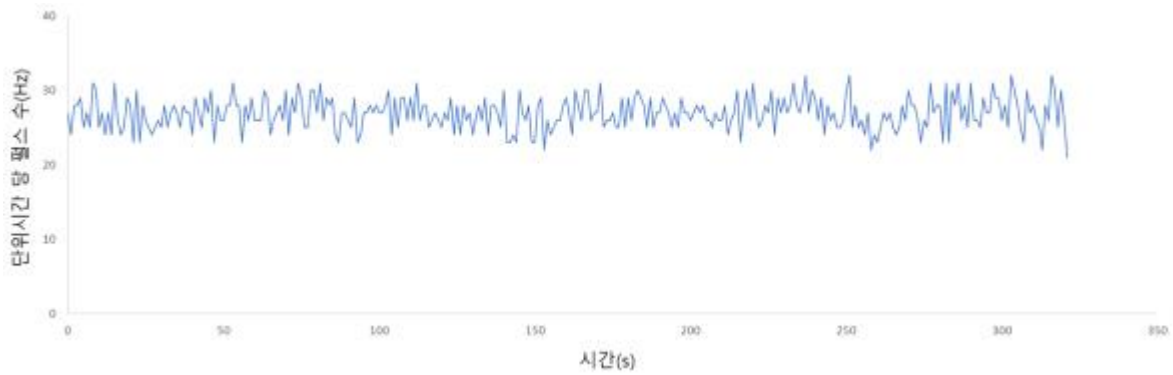
c. 성능 분석

- 환경인식 기술에 대한 정량적 성능은 인식 속도와 인식율에 대해서 평가하였으며, 인식 속도의 경우 프레임 처리에 따른 펄스 발생을 카운트 하여 fps를 계산하였음
- 아래 그림은 펄스 측정에 대한 결과의 예시이며 대부분 일정한 성을 보여주고 있지만 포함된 객체에 따라 다소 성능의 차이가 발생됨을 알 수 있음



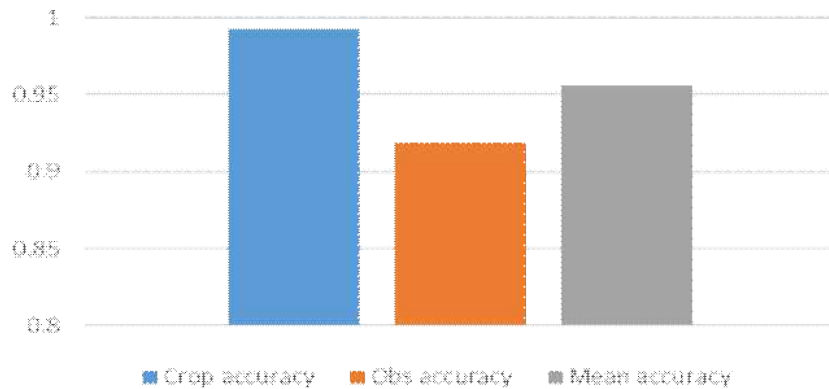
<1초간 펄스 측정 샘플>

- 아래 그림은 프레임 처리에 따른 펄스 계수를 수행한 결과이며 대부분 25-40 Hz로 나타나 프레임 처리 속도도 약 30 fps의 평균적인 성능을 가짐을 알 수 있음



<입력프레임에 따른 환경인식속도>

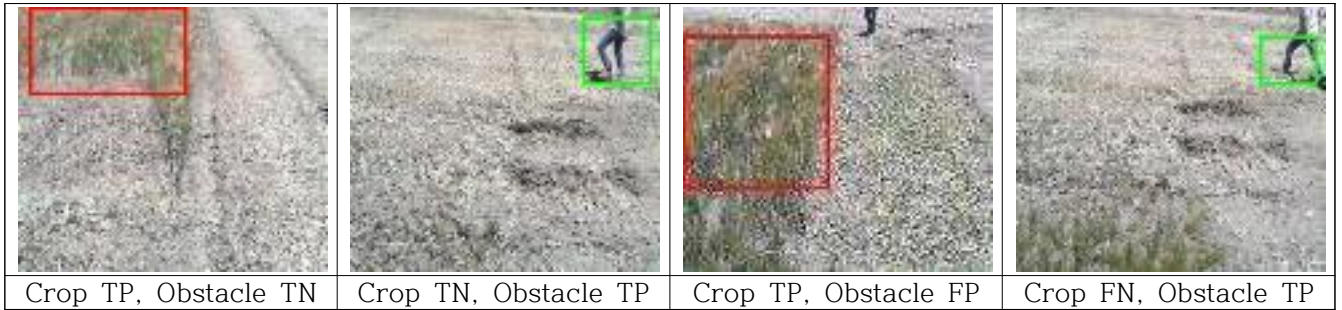
- 환경인식율은 아래 그림과 같이 작물과 장애물 객체에 대한 성능에 대해 분석하고 전체 결과는 평균으로 표현되었음
- 작물의 경우 대부분의 영역 검출에서 높은 인식율을 보였으며, 장애물의 경우 0.90 이상이지만 작물에 비해 다소 낮은 인식율을 보여주었음
- 장애물의 경우 다양한 경우에 대한 영상 데이터 확보가 능동적으로 어렵기 때문에 추후 데이터 세트 확장을 통해 성능 향상 및 일반화성을 강화할 수 있을 것으로 예상됨



<환경인식 기술의 객체별 인식 성능.>

- 실제 수확 중 영상에서 환경인식 성능을 평가하였으며, 평가 결과를 정량적으로 제시하기 위해 아래와 같이 혼동행렬(confusion matrix)를 이용하여 각각에 대한 인식율을 평가하였음
- 혼동행렬로부터 계산된 정확도는 분류정확도(classification accuracy)를 사용하였으며 작물의 경우 99.3%, 장애물의 경우 91.9%의 성능을 보여주었음
- 2 객체에 대한 인식율의 평균은 95.6%로 본 연구의 최종목표 인식율인 95% 수준 이상으로 만족된 결과를 보여주었음

<대표적인 환경인식 결과 예시>



<Confusion matrix for crop>

		Prediction	
		N(-)	P(+)
Real	N(-)	TN = 133	FP = 0
	P(+)	FN = 2	TP = 148

$$\text{대상인식율(분류 정확도), \%} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100 = \frac{148 + 133}{148 + 133 + 0 + 2} \times 100 = 99.3$$

<Confusion matrix for obstacle>

		Prediction	
		N(-)	P(+)
Real	N(-)	TN = 186	FP = 6
	P(+)	FN = 17	TP = 74

$$\text{대상인식율(분류 정확도), \%} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100 = \frac{74 + 186}{74 + 186 + 6 + 17} \times 100 = 91.9$$

<환경인식 성능 결과>

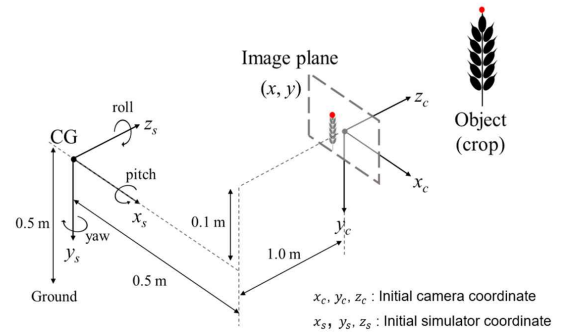
항목	단위	평균	최대	최소
환경인식속도	Hz	26.9	32	21
환경인식율	%	95.6	-	-

d. 환경인식 기반 위험 대처 전략

- 본 연구에서는 2D 기반 환경 인식을 통해 작물 수확전, 수확후 영역을 구분할 수 있으며, 경계 가이드와 더불어 작물 외 장애물(사람 등)의 존재 여부에 대한 정보를 포함하고 있음
- 카메라의 주요시야 내 장애물은 박스형태로 검출이 가능하며 박스의 제일 하단부위는 지면과 닿아있는 부분으로 기준 수평선이 될 수 있음
- 카메라의 기구학적 설치 위치, 자세 등을 고정시키고 기준선의 수평적 위치가 카메라의

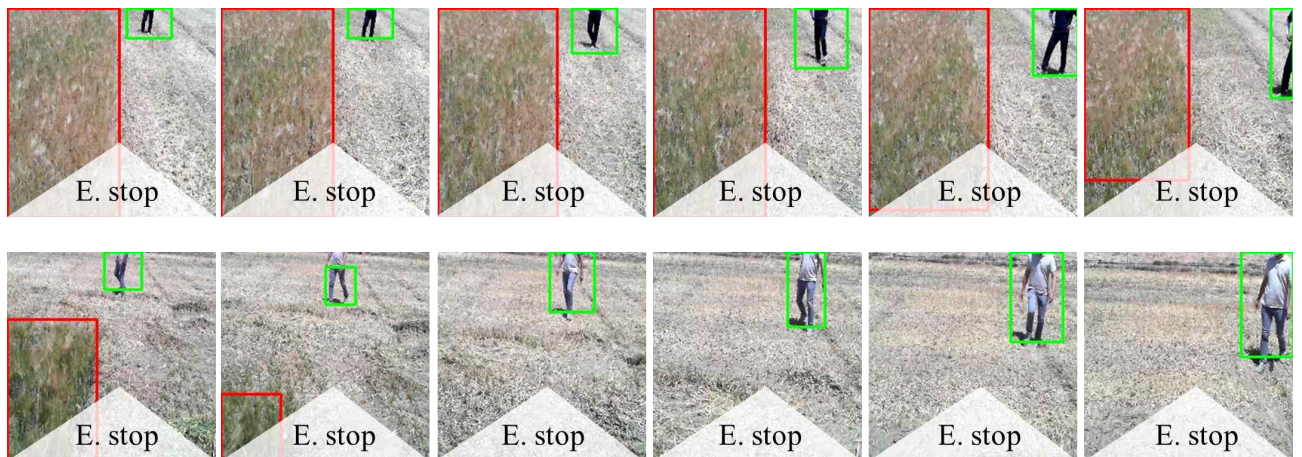
설치 높이 기준과 동일하면 거리를 추정할 수 있으며 이를 통해 검출된 박스의 점유면적을 평가할 수 있음

- 따라서, 2D 영상 내 검출된 장애물은 영상내 점유 픽셀과 실제 면적 추정 값, 기준선의 위치 등의 추가적인 정보로 변환이 가능하며 이를 임계치 처리와 근접별 단계를 지정하여 알람 혹은 비상정지 전략에 활용 가능함



<2D 영상-객체 기구학적 관계 기반 실제좌표 추정: (a) 장애물 인식 (b) 좌표변환>

- 본 연구에서는 아래와 같이 연속적으로 검출되는 작물영역 및 장애물(본 예시에서는 사람이며, 작물 외 타 구성이 작물 영역에 존재할 경우 장애물로 모두 인지)을 박스처리 후 이를 위치-면적별 임계치 설정을 통해 알람신호 등을 메인 컨트롤러에 전달 가능함 (일반적으로 알람의 수준 혹은 온/오프로 전달하여 콤바인의 비상정지 혹은 알람 동작으로 활용이 가능)
- 또한, 최근접 영역에는 비상정지(emergency stop) 영역으로 지정하여 장애물이 해당 영역을 침범하면 작업 및 운행 정지를 위한 신호 혹은 직접적인 정지를 할 수 있도록 제어 반영이 가능함.
- 다양한 장애물 추가 및 실증을 통해 실제 현장에서 일어날 수 있는 상황에 대한 위험 알람 혹은 비상정지로서 활용성의 평가가 가능할 것으로 판단되며, 자율작업 경로와 연계하여 회피를 위한 제어 전략 수립으로 활용할 계획임



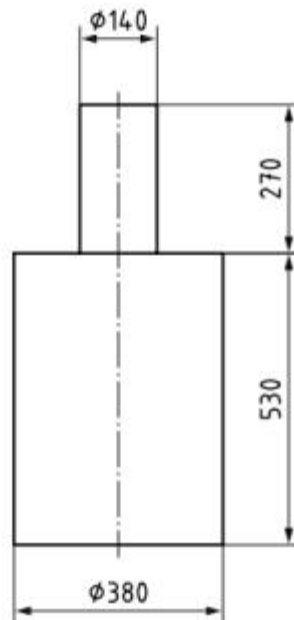
<환경인식 기술 기반 장애물 인식 연속 결과 예시>

1) 연구개발 수행내용

[1차년도] 자율주행 및 핵심 기술 성능평가 방법 개발

(1) 자율주행 농업기계 관련 국제표준 조사

- 가) KS B ISO 12188-1 농림업용 트랙터 및 기계 — 농업용 위치인식 및 유도장치에 대한 시험 절차 — 제1부: 위성기반 위치인식장치의 동적 시험 분석 및 리뷰
- ㄱ. GPS, GLONASS, Galileo 또는 이와 유사한 Global Navigation Satellite System(GNSS)을 기반으로 하는 위치인식장치를 사용하여 결정한 항법데이터의 정확도를 평가하고 보고하는 절차를 제공하는 표준으로 국내 실정 및 제도에 부합하도록 일부 수정 반영
- ㄴ. 직진과 선회를 포함하는 표준이나, 국내 제조사 및 전문가 협의회 결과 선회에 대해서는 현재로서 적용이 어려워 1차년도 마련(안)에서 제외
- 나) ISO 18497 Agricultural machinery and tractors — Safety of highly automated agricultural machines — Principles for design
- ㄱ. 고도로 자동화된 농업기계의 안전에 대한 통칙 및 장애물



ㄴ. 안전시스템 요구사항

- A. 경고 구역에서 장애물 (예 : 사람 또는 동물)이 식별되는 경우 예를 들어 청각 또는 시각적 경보로 경고를 제공
 - B. 자동화 된 모든 기능을 중지하고 위험 구역에서 장애물이 식별되면 기계가 정의 된 안전 상태 (이동 및 작업 기능)로 전환
- 다) 자동차 사고예방 안전성 평가방법 조사(KNACP)

- ㄱ. 농업기계 적용을 위해 전문가 자문 등 검토 결과 자동차와 주행목적 및 환경이 달라 적용에는 무리가 있음
- ㄴ. 농업기계의 안전성 평가를 위해서 추가 연구 필요
 - A. 사각지대감시장치 시험방법 및 평가방법
 - B. 차로유지지원장치 시험방법 및 평가방법
 - C. 보행자감지모드 비상자동제동장치 시험방법 및 평가방법

(2) 자율주행 농업기계 성능 시험방법(안) 마련

가) 자율주행 농업기계 위치 오차 측정 방법 및 속도 오차 측정 방법(안) 마련

ㄱ. 위치 오차 측정 방법

가. 위치 오차

- (1). 시험전 협의된 주행 경로와 속도 값을 설정한다.
- (2). 정지상태에서 시작점을 출발하여 종료지점까지 자율주행모드로 이동하며 이동 시 공시기의 주행정보를 기록한다.
- (3). 주행은 4번을 실시하며 주행 데이터를 기반으로 주행 오차 평균을 다음 식으로 산출한다.

$$E_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|ax_i + by_i + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

여기서 E_{avg} : 자율주행 오차 평균 (m)

x, y : 자율주행 시험기대의 위성좌표

a : A-B라인의 x항 계수

b : A-B라인의 y항 계수

c : A-B라인의 상수항

n : 1회 시험 주행 중 획득한 위성좌표 개수

ㄴ. 속도 오차 측정 방법

나. 속도 오차

- (1). 직진 자율주행 위치 오차 시험 시 획득한 위치 및 시간데이터를 기반으로 속도오차를 다음식으로 산출한다.

$$V_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n \frac{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}{\Delta t}$$

$$V_e = V_{avg} - V$$

여기서 V_{avg} : 자율주행 평균 속도 (m/s)

V : 자율주행 속도 제시값 (m/s)

V_e : 자율주행 속도 오차 (m/s)

x, y : 자율주행 시험기대의 위성좌표

Δt : 두 지점사이의 시간변위

n : 1회 시험 주행 중 획득한 위성좌표 개수

(3) 자율주행 농업기계 안전성 시험방법(안) 마련

가) 자율주행 농업기계 안전장치 및 기능안전 기준

ㄱ. 위치 오차 측정 방법

4. 안전성시험

2-1. 안전장치 공통사항

가. 자율주행 기능의 해제(오프모드) 수단은 자율주행 기능의 작동(작동모드) 수단과 동일한 수단으로서 조종자가 1회의 명확한 조작 또는 2회의 독립된 조작으로 해제(오프모드)할 수 있어야 할 것.

나. 자율주행 기능은 다음을 만족하여야 한다.

(1) 의도적으로 작동시키는 행위가 있을 경우에만 작동 하여야 할 것.

(2) 운행에 필요한 모든 기능이 정상적으로 작동 하여야 할 것.

(3) 다음의 조종자 조작이 있는 경우 자동으로 해제 되어야 할 것.

- 조종자의 조향입력

- 조종자의 제동페달 조작

- 조종자의 농업기계 이탈 후 30초 이내

(4) 작동 시 조종자가 인지할 수 있는 청각 혹은 시각신호를 지속적으로 발생 시켜야 할 것.

2-2. 주행경로 이탈상황 안전장치

가. 자율주행 농업기계가 주행경로를 이탈할 시 정지(동력차단에 의한 정지 등) 및 경고(시각, 촉각, 청각 등)가 발생할 것

2-3. 위치추종신호 수신불가

가. 자율주행 중 위치추종신호가 10초 이상 수신불가 시 정지(동력차단에 의한 정지 등) 및 경고(시각, 촉각, 청각 등)가 발생할 것

2-4. 이외의 안전성 관련 사항은 규칙 별표 10 안전장치의 구조 및 성능기준에 따라 조사할 수 있다.

(4) 자율주행 농업기계 이동경로 측정 시스템 정확도 향상을 위한 기지국 구축

가) 자율주행 경로추종 시험을 위한 RTK GPS 정확도 향상을 위한 보정 시스템 구축



<RTK GPS 정확도 향상을 위한 보정 기지국>

- ㄱ. 시험평가 시 RTK GPS로 실제 주행경로 정보를 획득 할 예정으로 RTK GPS의 정확도를 향상 시키기 위하여 위치 보정 기지국 설치
 - A. 검정용 GPS의 위치 정확도를 향상시키기 위하여 수신되는 GPS 위치정보의 보정(위치, 시간)이 필요
 - B. 일반 GPS신호는 평균적으로 오차 범위는 1 m 내외로 알려져 있으며 이는 검정 장비로 정확도가 매우 낮기 때문에 사용이 불가함
 - C. 따라서 보정을 위한 고정형 GPS 지상국 설치 및 실시간 보정신호 송수신 하여 보다 정밀한 위치에 대한 정보를 취득
 - D. 고정 기지국은 한국농업기술진흥원 내 야외시험장에 설치하여 검정 장비의 정확도 향상
 - E. 재단보유 RTK GPS위치 보정 성능향상을 확인하였으며, 자율주행 무인콤바인 전용 RTK GPS 구성 시 활용 예정

자율주행 농업기계 규격 및 성능 설명서

1 자율주행 농업기계

조사항목

- 본체
 - 제조자/형식명/형식 :
 - 검정번호 :
- 자동주행 작업속도 (km/h) :
- 자동주행 주행속도 (km/h) :
- 메인컨트롤러
 - 제조사 :
 - 형식명 :
 - 입력전압 :
 - 소비전력 :
 - 기타 :
- 부착 센서
 - GPS
 - 가) 제조사 :
 - 나) 형식 및 규격 :
 - 다) 크기 :
 - 라) 안테나 개수 :
 - 마) 사용전압 :
 - 바) 정확도, 정밀도 :
 - 사) 수신 속도 :
 - 레이저스캐너
 - 가) 제조사 :
 - 나) 형식 및 규격 :
 - 다) 크기 :
 - 라) 개수 :
 - 마) 사용전압 :
 - 바) 사용범위 :
 - 사) 부착위치 :
 - 아) 측정범위(제조사 제시) :
 - 자) 통신방식(RS232, RS485 등) :
 - 관성측정장치

- 가) 제조사 :
- 나) 형식 및 규격 :
- 다) 크기 :
- 라) 개수 :
- 마) 사용전압 :
- 바) 사용범위 :
- 사) 부착위치 :
- 아) 측정범위(제조사 제시)
 - (1) X-Y-Z 축(degree) :
- 자) 통신방식(RS232, RS485 등) :

- 초음파 센서

- 가) 제조사
- 나) 형식 및 규격
- 다) 크기
- 라) 개수
- 마) 사용전압
- 바) 사용범위
- 사) 부착위치
- 아) 측정범위(제조사 제시)
- 자) 통신방식(RS232, RS485 등)

○ 디스플레이 모니터

- 크기 (길이 × 폭 × 높이) :
- 입력 전압
- 통신 방식
- 해상도

○ 전동기

- 제조사
- 형식명
- 형식 및 규격
- 전동기의 형식 (정격전압, 정격출력)
- 구동 방식(직류식 또는 교류식)
- 개수

○ 통신장치

- 형식 (CAN, RS-485 등)
- 기타(통신속도 등)
- 형식명(모델명)
- 사용전압

안전장치 주요 규격

1. 계기장치

- 자율주행 작동 시각신호(표시등)

2. 경보장치

- 자율주행 경고음, 진동 등

3. 자율주행 기능

- 자율주행 작동 장치(스위치, 버튼 등), 의도하지 않은 기체 제어장치의 조작으로 해제방지 장치 또는 구조

4. 기타(안전표시, 형식표지판 등)

자율주행 농업기계 검정방법

00 자율주행 농업기계

1. 적용범위

이 검정방법은 다양한 센서(위치인식장치, 관성측정장치, 영상장치 등)로 농작업 환경을 인지하여 가상의 경로를 생성하고 추종제어 하는 자율주행·작업이 가능하도록 설계된 농업기계 (트랙터, 콤바인, 이앙기 등)에 대하여 적용한다.

2. 용어의 뜻

2-1. 전장비

작업을 하는데 필요한 모든 장비를 부착한 상태를 말한다.

2-1. 경로추종

시험기대의 현재 위치에서 다음 위치로 이동하기 위하여 자세, 방향, 속도 등을 제어하는 것을 말한다.

2-2 위치인식장치(GPS : Global Positioning System)

위성기반 무선향법신호를 이용하여 안테나 중심점의 지리좌표 위치를 실시간으로 결정하고 알려주는 장치를 말한다.

2-3. 관성측정장치

관성측정장치는 가속도계와 회전 속도계, 때로는 자력계의 조합을 사용하여 자기장을 측정하고 방위 변화를 측정하는 센서를 말한다.

2-4. 레이저 위치 추종 시스템

레이저를 활용하여 시험기대를 실시간으로 추적하고 상대 위치를 식별 할 수 있는 측량 시스템을 말한다.

2-6. 초음파 센서

사람의 귀에 들리지 않을 정도로 높은 주파수(약 20 KHz 이상)의 소리인 초음파가 가지고 있는 특성을 이용하여 물체와의 거리를 측정하는 센서를 말한다.

2-7. 레이저스캐너

레이저 빛을 이용하여 측정하고자하는 목표물에 주사하여 반사되어온 빛의 왕복시간을 측정하여 빛의 속도를 반영한 거리정보와 스캔각도 정보를 반영하여 3차원 공간좌표를 획득하는 장비를 말한다.

2-10. 전동기

전기 에너지로부터 회전력을 얻는 기계. 회전자의 코일에 흐르는 전류와 고정자의 자기장 사이에 작용하는 힘에 의하여 회전력이 발생하며, 교류식과 직류식이 있다.

2-6. A-B라인

포장주행궤적을 설정하기 위하여 사용하는 두 임의 지점 A와 B를 통과하는 가상 의 직선을 말한다.

2-7. 조종자

시험기대를 작동하거나 감시하는 사람을 말한다.

2-8. 외부환경측정장비

검정 중 온도, 습도, 풍속 등의 외부환경을 측정 및 기록할 수 있는 장치를 말한다.

2-9. 돌발상황

자율주행 또는 작업 중 사람, 동물, 장애물 등이 자율주행 작업경로에 있거나 접근하여 충돌 할 가능성이 있는 상황을 말한다.

2-10. 비상자동제동장치

주행 및 작업 중 전방충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌을 완화하거나 회피할 목적으로 기대를 감속하기 위해 자동으로 제동장치를 작동 시키는 장치를 말한다.

가. 비상자동제동기능 : 전방의 충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌 완화 및 회피를 위해 운전자에게 경고를 한 후, 운전자 미 반응 시 자동으로 제동 장치를 작동시키는 기능

나. 자동제동기능 : 전방의 충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌 완화 및 회피를 위해, 자동으로 제동장치를 작동시키는 기능

다. 제동력지원기능 : 전방의 충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌 완화 및 회피유도를 위해 운전자에게 경고하고, 운전자의 제동압력이 부족할 경우 자동으로 제동력을 증가시키는 기능

2-11. 전방충돌경고

주행 중 전방충돌 상황을 감지하여 충돌을 완화하거나 회피하기 위해 운전자에게 청각, 시각 또는 촉각(진동, 제동 등)의 방법으로 경고를 주는 기능을 말한다.

2-12. 비상자동제동

주행 중 전방충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌을 완화하거나 회피할 목적으로 차량을 감속하기 위해 자동으로 제동장치를 작동 시키는 기능을 말한다.

2-14. 주행경로

대상농업기계 중심선이 이동한 경로를 말한다.

2-17. 장애물

비상자동제동장치가 장착된 농업기계 주행경로상에 감지대상이 되는 0.5 m² 이상의 장애물(바위, 동물, 나무) 모형을 말한다.

2-19. 충돌

시험기대와 장애물이 접촉되는 순간을 말한다.

2-21. 전방충돌경고작동시간(TFCW)

전방충돌 상황을 감지하여 충돌을 완하 하거나 회피하기 위해 조종자에게 청각 또는 촉각 경고를 발생한 시점을 말한다.

2-22. 비상자동제동작동시간(TAEB)

장애물과의 충돌을 회피 또는 완화하기 위해 제동장치가 자동으로 작동된 시간을 말하며, 규정필터를 사용한 종방향 감속도의 값이 -1m/s^2 을 최초로 초과한 시점부터 그이전 구간 중 -0.3m/s^2 을 초과한 가장 근접한 시점을 말한다.

2-23. 충돌속도(Vimpact)

시험기대가 장애물과 충돌한 시점의 속도를 말한다.

2-25. 시험종료지점

시험기대가 장애물과 충돌한 지점 또는 충돌 전·후 완전히 정지한 지점을 말한다.

2-26. 사각지대감지장치

접근하는 물체 또는 사각지대에 위치한 물체에 대한 정보를 운전자에게 제공하는 장치를 말한다.

2-27. 사각지대 경고기능

대상농업기계가 인접지역에 있는 물체를 감지하고 운전자에게 경고를 주는 기능으로 정의된다.

3. 시험항목

3-1. 구조조사

3-2. 성능시험

3-2-1. 위치 오차

3-2-1. 속도 오차

3-3. 조작의 난이도시험

3-4. 안전성시험

3-4-1. 돌발상황 비상자동제동

3-4-1. 사각지대 감지

4. 시험조건

4-1. 공시기의 정비 및 준비운전

가. 시험에 사용되는 농업기계는 신품으로서 충분히 길들임 운전을 실시한 것으로 간주하며 시험 전에 정상상태로 정비하고 준비운전은 2시간 이내로 한다.

나. 모든 펌웨어 및 신청자가 구성할 수 있는 설정은 기본 값으로 재설정 하여야 한다.

다. 사용자가 구성할 수 있는 설정 변경은 위의 재설정 과정 후 변경이 허용되며, 초기화 기간 전에 변경한 후 전체 시험 중에는 변경하지 않아야 한다.

라. 수정된 모든 설정들에 대해서는 명확하게 문서화 해야한다.

4-2. 연료 및 윤활유

시험에 사용하는 연료 및 윤활유는 시판되고 있는 것으로 하고 공시기 제조자가 규격 및 성능설명서에서 정하는 것으로 한다.

4-3. 운전조건

대기조건이나 기타 여건에 의한 시험결과의 수정은 하지 않는다. 대기압은 96.6 kPa 보다 낮지 않은 상태에서 실시하며 경사도가 없는 평지의 시험포장에서 수행한다.

4-4. 시험 포장

자동주행을 수행하는 포장은 콘크리트 포장노면 및 비포장에서 진행되며 비포장의 포장상태는 신청자가 성능시험 전 경운하여 준비한다.

4-5. 시험경로

경로는 구배 없이 평탄하여야 하며, 수평서보다 10도 이상 높은 곳에 위치한 위치인식 장치 안테나의 높이에서 시험 경로의 어떤 지점을 보든 위성 신호를 방해하거나 차단할 수 있는 장애물이 없어야 한다. 시험 주행 구간은 최소 50m 길이로 구성되어있어야 한다.

4-5. 주행 속도

신청자가 제시한 일정한 주행 속도에서 수행되어야 하며, 시험 데이터가 기록 되는 시험 경로 구간을 이동하는 동안 조종자의 조작은 허용되지 않는다.

4-6. 시험계기

시험 전 시험기대의 모든 구성요소가 올바르게 설치 및 작동이 되어야한다.

5. 구조조사

5-1. 조사목적

이 조사는 자율주행 장치가 적용된 농업기계의 구조, 주요치수, 질량 및 장치의 주요제원 등을 확인하는 것을 목적으로 한다.

5-3. 측정 및 조사방법

조사항목에 대한 세부적인 측정 및 조사항목과 방법은 요령 별표6의 농업기계 구조조사 방법에 의한다.

크기, 중량 등 주요 제원 및 고유 제원은 기 실시된 종합검정을 인용하여 조사 할 수 있다.

5-4. 사용계측기

위치측정장치, 레이저 위치 추종 시스템, 외부환경측정장비, 제원 측정 장치(줄자, 로드셀 등)

6. 성능시험

6-1. 직진경로 추종 시험

6-1-1. 시험목적

이 시험은 자율주행 농업기계의 직진 경로추종의 주행 오차를 확인 하는 것을 목적으로 한다.

6-1-2. 시험조건

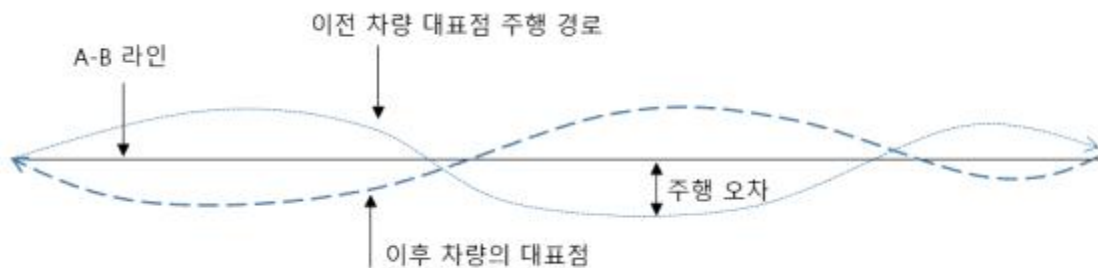
- 가. 시험은 시험소의 시험포장에서 진행한다.
- 나. 시험 경로는 시험자가 제시하는 A-B라인으로 하되 A지점과 B지점의 위치 정보를 제공하는 것으로 한다.
- 다. A-B 라인은 시험경로를 따라 시험 차량을 수동으로 주행하거나, 명시된 지리좌표를 입력하며 첫 번째 시험 주행 순서보다 적어도 1시간 전에 설정해야한다.
- 마. 비상시 정지를 위한 조작 이외에 시험 중 운전자의 조작은 허용하지 않는다.

6-1-3. 측정 및 조사항목

- 가. 위치 오차
- 나. 속도 오차

6-1-4. 시험방법

- 가. 위치 오차
 - (1) 시험전 협의된 주행 경로와 속도 값을 설정한다.
 - (2) 정지상태에서 A지점을 출발하여 B지점까지 무인으로 이동하며 이동시 공시기의 주행정보를 기록한다.
 - (3) 주행은 4번을 실시하며 주행 데이터를 기반으로 주행 오차 평균을 다음 식으로 산출한다.



$$E_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|ax_i + by_i + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

여기서 E_{avg} : 자동주행 오차 평균 (m)

x, y : 자동주행 농기계의 위성좌표

a : A-B라인의 x항 계수

b : A-B라인의 y항 계수

c : A-B라인의 상수항

n : 1회 시험 주행 중 획득한 위성좌표 개수

나. 속도 오차

(1) 직진 자동주행 위치 오차 시험 시 획득한 위치 및 시간데이터를 기반으로 속도오차를 다음식으로 산출한다.

$$V_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n \frac{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}{\Delta t}$$

$$V_e = V_{avg} - V$$

여기서 V_{avg} : 자동주행 평균 속도 (m/s)

V : 자동주행 속도 제시값 (m/s)

V_e : 자동주행 속도 오차 (m/s)

x, y : 자동주행 농기계의 위성좌표

Δt : 두 지점사이의 시간변위

n : 1회 시험 주행 중 획득한 위성좌표 개수

6-1-5. 시험장비 및 계측기

위치측정장치, 통합스테이션, 외부환경측정장비

7. 조작의 난이도시험

7-1. 시험목적

이 시험은 의 조작 및 취급의 난이를 확인하는데 목적이 있다.

7-2. 시험조건

이 시험은 다양한 센서(위치인식장치, 관성측정장치, 영상장치 등)를 장착하여 GPS기반 경로 추종할 수 있도록 설계된 농업기계 (트랙터, 콤바인, 이앙기 등)에 대하여 실시하며 시험장소는 시험소 내의 시험포장을 이용한다.

7-3. 측정 및 조사항목

- (1) 자율주행 동작 및 해제 조작난이
- (2) 자율작업 동작 및 해제 조작난이
- (3) 비상정지 및 해제 조작난이
- (4) 기타 시험이 필요하다고 인정되는 부위의 조작난이

7-4. 시험방법

시험자가 사용설명서에 의해 작업을 실시하면서 트랙터의 각종 조작레버 및 장치에 대한 조작취급의 난이를 조사한다.

8. 안전성시험

8-1. 돌발상황 비상자동제동

8-1-2. 시험목적

이 시험은 자율주행 및 작업도중 돌발상황(사람, 동물, 장애물 등)에 대한 안전성과 위험의 우려가 있는 부위에 대한 안전장치, 안전방호장치 및 안전표시 등을 확인하는데 있다.

8-2-2. 시험조건

가. 공시기는 전장비 상태에서 신청자가 규격 및 성능설명서에서 제시한 상태로 한다.

나. 시험은 시험소의 시험포장에서 진행한다.

(1) 대상농업기계의 주행경로의 좌우 각 3.0 m와 시험종료지점 10 m 이후에는 본시험과 관계없는 농업기계, 시설 등의 장애물이 없어야 한다.

다. 기상조건

(1) 대기온도 : 5 ℃이상 40 ℃ 이하

(2) 포장온도 : 10 ℃이상 50 ℃ 이하

(3) 시험시간 : 일출 후 2시간에서 일몰 전 2시간으로 하며, 주변밝기는 2,000Lux이상으로 한다. 단, 사전시험은 제외한다.

라. 시험 경로는 시험자가 제시하는 A-B라인으로 하되 A지점과 B지점의 위치 정보를 제공하는 것으로 한다.

바. 비상시 정지를 위한 조작 이외에 시험 중 운전자의 조작은 허용하지 않는다.

사. 안전장치, 안전방호장치 및 안전표시는 공시기의 성능, 조작의 난이도시험 등을 완료한 후 안전장치 등을 조사한다.

아. 운전자가 비상자동제동장치의 성능을 조절할 수 있는 장치가 있는 경우, 그 장치의 설정은 중간값으로 한다. 단, 중간값 설정이 불가능한 경우에는 중간값에서 비상자동제동장치의 작동이 한단계 낮은 값을 사용한다.

8-2-3. 측정 및 조사항목

가. 돌발상황 비상자동제동

나. 사각지대 감지

8-2-4. 시험방법 및 조사방법

가. 돌발상황 비상자동제동

(1) 시험순서

장치종류	기종	비상자동제동기능 또는 자동제동기능	비 고
25% 오프셋 충돌	농업용트랙터	5 ~ 8 km/h	FCW 동작 확인시험
	콤바인	4 ~ 6 km/h	
	이앙기	4 ~ 6 km/h	
작업자 정면 충돌	농업용트랙터	5 ~ 8 km/h	
	콤바인	4 ~ 6 km/h	
	이앙기	4 ~ 6 km/h	
작동해제 시험	농업용트랙터	정차시험	
	콤바인		
	이앙기		

(2) 시험조건

(가) 각각의 시험은 전방충돌경고작동시간(TFCW) 및 비상자동제동작동시간(TAEB) 까지 대상농업기계와 목표농업기계는 아래의 조건을 만족하여야 한다.

② 차대 장애물 시험

㉠ 시험기대 속도 : 시험속도 + 0.5 km/h

㉡ 대상농업기계의 주행경로 : 횡방향 거리 $\pm 0.05\text{m}$ 이내

㉢ 요레이트 : $\pm 1.0\text{deg/s}$ 이내

㉣ 조향속도 : $\pm 15.0\text{deg/s}$ 이내

(다) 대상농업기계의 경로추종 기능을 켜 놓은 상태로 한다.

(라) 각각의 시험은 아래의 조건에서 종료한다.

① 대상농업기계의 속도가 0 km/h인 경우

③ 대상농업기계가 목표대상과 충돌한 경우

④ 대상농업기계가 시험종료 지점에 도달한 경우

(바) 각 시험간격은 앞선 시험종료후 90초이상 10분 미만을 유지하며 시작한다.

(자) 각 시험간 “자동제동모드”평가에서는 대상농업기계 주행경로제어를 위한 조향장치 조작외에는 어떠한 조작도 허용되지 않는다.

(차) 대상농업기계의 비상자동제동장치 제어값을 조정할 수 있는 경우에는 중간 이상으로 설정값 또는 제작사 제시하는 설정값을 사용한다.

(3) 시험방법

㉠ 장애물 정면 충돌

- 장애물은 정지 상태로 한다.

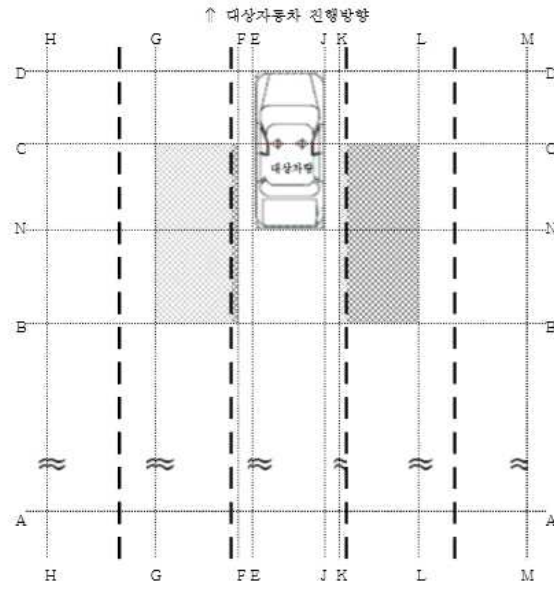
- 충돌위치 기준점은 대상농업기계 차폭의 중심으로 한다.



나. 사각지대 감지

(1) 사각지대 경고요건

(가) 경고요건에 대한 표시 영역은 아래 그림과 같다.



(2) 시험방법

(가) 시험자가 사용설명서에 의해 작업을 실시하면서 대상농업기계의 사각지대 목표장애물 감지 여부를 조사한다.

다. 안전장치, 안전방호장치 및 안전표시 등

자율주행 농기계 검정기준

00 자율주행 농업기계

1. 구조조사

별표7 농업기계 구조기준에 따른다.

2. 성능시험

2-1. 직진경로 추종 시험

- 가. 직진 자동주행의 최대 주행 오차는 0.5 m 이하일 것
- 가. 직진 자동주행의 평균 주행 오차는 0.25 m 이하일 것
- 나. 직진 자동주행의 속도 오차는 제시값의 $\pm 15\%$ 이내일 것

3. 조작의 난이도시험

- (1) 각 부의 조작 및 조정이 용이할 것
- (2) 안정성이 있을 것
- (3) 정비, 주유가 용이할 것

4. 안전성시험

2-1. 안전장치 공통사항

가. 자율주행 기능의 해제(오프모드) 수단은 자동운전기능의 작동(작동모드) 수단과 동일한 수단으로서 운전자가 1회의 명확한 조작 또는 2회의 독립된 조작으로 해제(오프모드)할 수 있어야 할 것.

나. 자율주행 기능은 다음을 만족하여야 한다.

- (1) 의도적으로 작동시키는 행위가 있을 경우에만 작동 하여야 할 것.
- (2) 운행에 필요한 모든 기능이 정상적으로 작동 하여야 할 것.
- (3) 다음의 운전자 조작이 있는 경우 자동으로 해제 되어야 할 것.

- 조종자의 조향입력
- 조종자의 제동페달 조작
- 조종자의 가속페달 조작
- 조종자의 운전석 이석 후 30초 이내

(4) 해제 시 운전자 충격 없이 정지 하여야 할 것.

(5) 운전자가 의도하지 않은 기체 제어장치의 조작으로 해제되지 않아야 할 것.

(6) 작동 시 운전자가 인지할 수 있는 경고음을 지속적으로 발생 시켜야 할 것.

2-2. 돌발상황 비상자동제동

2-1-1. 장애물

가. 대상농업기계가 목표농업기계에 충돌하지 않아야 한다.

나. 대상농업기계가 목표농업기계에 접근할 때 적어도 비상자동제동 개입

전 0.8초 이전에 충돌경고 발생되어야 한다. 다만, 전방 충돌상황이 해제될 경우 충돌경고는 중지될 수 있다.

다. 전방충돌경고장치를 위한 경고를 위해서는 시각, 청각, 또는 그 조합에 의한 수단을 사용할 수 있으며, 청각이나 촉각(진동, 제동 등)에 의한 수단을 최소한 1개 이상 포함하여야 한다.

라. 비상자동제동장치 작동 시 자율주행 시스템은 정지(OFF) 상태를 유지하여야 하며, 수동으로 해제하여야 한다.

2-3. 사각지대 감지

가. 대상농업기계의 사각지대 장애물을 감지하여야 한다.

2-4. 이외의 안전성관련 사항은 농업기계화촉진법 시행규칙 별표 13 안전장치의 구조 및 성능기준에 따라 조사 할수 있다.

자율주행 농기계 구조조사 방법

조사항목

- 본체
 - 제조자/형식명/형식
 - 검정번호
- 자동주행 작업속도 (km/h) :
- 자동주행 주행속도 (km/h) :
- 메인컨트롤러
 - 제조사 :
 - 형식명 :
 - 입력전압 :
 - 소비전력 :
 - 기타 :
- 부착 센서
 - GPS
 - 가) 제조사 :
 - 나) 형식 및 규격 :
 - 다) 크기 :
 - 라) 안테나 개수 :
 - 마) 사용전압 :
 - 바) 정확도, 정밀도 :
 - 사) 수신 속도 :
 - 레이저스캐너
 - 가) 제조사 :
 - 나) 형식 및 규격 :
 - 다) 크기 :
 - 라) 개수 :
 - 마) 사용전압 :
 - 바) 사용범위 :
 - 사) 부착위치 :
 - 아) 측정범위(제조자 제시) :
 - 자) 통신방식(RS232, RS485 등) :
 - 관성측정장치
 - 가) 제조사 :
 - 나) 형식 및 규격 :
 - 다) 크기 :

- 라) 개수 :
- 마) 사용전압 :
- 바) 사용범위 :
- 사) 부착위치 :
- 아) 측정범위(제조사 제시)
 - (1) X-Y-Z 축(degree) :
- 자) 통신방식(RS232, RS485 등) :
 - 초음파 센서
 - 가) 제조사
 - 나) 형식 및 규격
 - 다) 크기
 - 라) 개수
 - 마) 사용전압
 - 바) 사용범위
 - 사) 부착위치
 - 아) 측정범위(제조사 제시)
 - 자) 통신방식(RS232, RS485 등)
- 디스플레이 모니터
 - 크기 (길이 × 폭 × 높이) :
 - 입력 전압
 - 통신 방식
 - 해상도
- 전동기
 - 제조사
 - 형식명
 - 형식 및 규격
 - 전동기의 형식 (정격전압, 정격출력)
 - 구동 방식(직류식 또는 교류식)
 - 개수
- 통신장치
 - 형식 (CAN, RS-485 등)
 - 기타(통신속도 등)
 - 형식명(모델명)
 - 사용전압
- 본체
 - 형식은 2륜구동형, 4륜구동형, 무한궤도형 등으로 구분한다.
 - 규격
 - 가) 크기
 - (1) 길이
 - 기체의 전후 끝에 접하고 기체 중심면에 직교하는 두 수직면 사이의 거리로 하며 기체의 모든 부분, 특히 트랙터 전후의 돌출부(견인봉 등)는 이

두 평면에 포함되고, 조정 가능부위는 최소로 한다. 다만, 착탈이 가능한 전후의 히치부는 포함하지 않는다

(2) 폭

기체 중심면에 평행하며, 기체 양측의 최외측 점에 접하는 두 수직면 사이의 거리로 한다. 다만, 조정 가능부위는 최소로 한다.

(3) 높이

지면과 기체의 최상단부에 접하는 수평면 사이의 거리. 단, 조정 가능부위는 최소로 한다.

나) 중량은 연료탱크를 만재, 윤활유, 작동유 및 냉각수는 규정량을 채우고 규정된 휴대공구와 기타 부속품은 장착된 상태에서 측정하며, 운전자는 75kg의 중량으로 대신한다.

다) 구동륜 개수를 조사

라) 제조번호는 규격 및 성능설명서에 따른다.

- 작업속도는 규격 및 성능설명서를 참고한다
- 주행단수별 속도를 측정하고 최고주행속도 측정은 최고주행단수에서 조속레버를 최대로 개방하여 측정한다. 다만, 전륜, 후륜이 분리되는 4륜구동형은 구동륜만 구동하여 시험한다.
- 메인컨트롤러
 - 부착된 메인컨트롤러는 규격 및 성능설명서에 의거 조사한다.
- 부착 센서
 - 부착센서는 공시기에 부착되어 있는 센서별로 명판 또는 규격 및 성능설명서에 의거 센서별 조사
- 전동기
 - 부착 전동기는 형식, 상용전압, 정격출력, 상용회전속도를 전동기 명판에 기재한 사항을 확인 한다.

자율주행 농기계 구조기준

00 자율주행 농기계

- 보호구조물에 부착된 돌기물이나 내장품 등은 전도시 운전자에게 위해를 주지 않도록 커버 및 방호 장치를 설치할 것
- 구동축전지, 전력변환장치, 구동전동기 등의 전기장치는 다음 기준에 적합하여야 한다.
 - 전기장치 간 전기배선의 피복(전기배선에 보호기구를 설치한 경우에는 보호기구를 말한다)은 주황색으로 할 것
 - 전기장치 간 전기배선이 차실 내 및 차체 외부에 노출되는 부분에는 금속이나 플라스틱 재질의 덮개 등 보호기구를 설치할 것
 - 전기장치 간 전기배선은 노출된 활선도체부가 없고 중간에 이음부가 없을 것
 - 전기장치와 전기배선은 접속 시 극성이 바뀌지 아니하도록 접속단자의 극성을 다른 색상으로 표시하여야 하며, 표시는 쉽게 지워지거나 분리되지 아니하도록 할 것. 다만, 극성이 바뀔 수 없는 구조인 경우에는 그러하지 아니하다.
 - 전기장치의 외부 또는 보호기구에는 감전에 대한 경고표시가 쉽게 변색되거나 지워지지 않고 쉽게 식별이 가능하도록 표시되어있을 것
 - 전기장치는 공구를 사용하지 아니하면 쉽게 개방·분해·제거가 되지 않는 구조일 것
- 구동용축전지는 축전지별 KS규격에서 규정한 방전종지전압(방전마침 전압)에 도달된 경우에도 12시간 이내에 완충될 수 있을 것. 다만, 과방전방지장치가 부착된 경우에는 과방전방지장치가 작동되는 전압을 방전종지전압으로 간주한다.
- 공시기에 부착된 센서는 공구를 사용하지 않으면 개방·분해·제거가 되지 않는 구조일 것
- 축전지는 자동 충전되는 구조일 것

(6) 자율주행 농업기계 검정방법 제조업체 의견수렴 협의회

가) 자율주행 농업기계 검정방법(안) 마련을 위한 자문회의 개최

일자리가 성장이고 복귀입니다



농업기술실용화재단

수신 수신자 참조

(경유)

제목 자율주행 농업기계 검정방법 및 기준 마련을 위한 전문가협의회 참석 요청

우리 재단에서 추진하고 있는 『자율주행 농업기계 검정방법(안)』의 마련을 위해 전문가 협의회를 개최하고자 하오니 참석하여 주시기 바랍니다.

- 1. 일 시 : 2020.06.18.(목) 15:00 ~ 18:00
- 2. 장 소 : 농업기술실용화재단 스마트농업본부 회의실
- 3. 회의안건 : 자율주행 농업기계 검정방법 및 기준 검토

붙임 : 자율주행 농업기계 검정방법(안) 1부(별송) 1쪽

농업기술실용화재단이사장



수신자 : 농촌진흥청(별첨농자재육성팀장), 국립농업과학원(스마트농업실용화팀장), 국립농업과학원(발동농기계 시험구팀장), 경상대학교, 충남대학교, 국제통합기계학, LS원천연구(이석영팀장), 동양물산기업부

연주번호 ICT기자재검 2020.6.12

발신국립농업과학원 정원장 김병래

발표자

시행 ICT기자재검정원-727 (2020.6.12) 접수

우 54667 전라북도 익산시 병문로 467, 농업기술실용화재단 (송착동) / www.fact.or.kr

전화번호 065-919-1753 팩스번호 065-919-1669 kimeunkuh@fact.or.kr / 비공개(6,7)

국민과 함께하는 농생명 기술사업화 중심 기관

자율주행 농업기계 검정제도 마련을 위한 자문회의

‘20.06.18, ICT기자재검정팀 백선욱

□ 개요

- 목적 : 자율주행 농업기계 검정제도 마련을 위한 자문회의 실시
- 일시 및 장소 : 2020.06.18.(목) 15:00~18:00 농업기술실용화재단 스마트팜사업팀 회의실
- 참석자 : 농촌진흥청 진호준 사무관, 국립농업과학원 김국환, 유승화 연구사, 한국농기계조합 장길수 팀장, 경상대학교 심성보 교수, 동양물산기업 한종규 책임연구원, LS엠트론 최학호 수석연구원, 대동공업 김재옥, 김성규 팀장, 농업기술실용화재단 김영태 팀장 외 3명

□ 주요 내용

- 자율주행 농업기계 검정방법 및 검정 기준 논의
- 성능시험은 직진자율주행 성능의 위치오차, 속도오차 시험 협의
 - 위치 오차 검정 기준 : 직진 평균 오차 20 cm이내일 것
 - 속도 오차 검정 기준 : 신청자 제시값 $\pm 15\%$
- 돌발상황 비상자동제동, 사각지대감지 시험항목 삭제
 - 시판된 자율주행 및 유통 중인 농업기계의 대부분은 기계식 브레이크 장치를 사용하며 자동제동기능을 추가할 경우 기계적 장치가 필요
 - 전자식 브레이크가 적용 및 자율주행 레벨 상승 시 시험방법을 추가하여 검정 방법 진행 협의
- 안전성 시험방법 추가
 - 자율주행 모드 중 주행 경로 이탈시 안전성에 대한 시험 신설
 - 위치추종신호 수신불가 상황에서의 안전성에 대한 시험 신설
- 기타 용어정리 및 단서조항 추가

□ 차후 계획

- 2020.06.22. 협의된 수정안 배포 후 서면답변 요청(대학, 기관, 기업)
- 8월 말 시험방법 제정 예정

<첨부 사진>



다) 자율주행 농업기계 검정방법(안) 마련을 위한 자문회의 의견수렴

[붙임]

자율주행농업기계 검정제도(안) 자문위원회 의견서

I. 자문위원회 개요

- 일시/장소 : 2020. 06. 18.(목) 14:00 ~ / 농업기술실용화재단 스마트농업본부 회의실
- 참석자 : 국립농업과학원 농업공학부 김국환 연구사, 유승화 연구사, 농촌진흥청 첨단농기재육성팀 진호준 사무관, 한국농업기계협동조합 장길수 이사, 충남대학교 이대현 교수, 경상대학교 심성보 교수, 국제 대동, 동양, LS, 농업기술실용화재단 ICT기재검정팀 김영태 팀장 등 10명
- 주요내용
 - 자율주행농업기계 검정제도(안) 마련을 위한 자문회의

II. 자문위원 의견

- 외자 범위의 축소 필요
- 외자 범위의 특정 방법 정함
- 용어상의 경우 장애용크기 검토 필요

가도 별다른 다른 강요 사항 확인과 검토.

2020년 06월 18일

김지영 (서명)

[붙임]

자율주행농업기계 검정제도(안) 자문위원회 의견서

I. 자문위원회 개요

- 일시/장소 : 2020. 06. 18.(목) 14:00 ~ / 농업기술실용화재단 스마트농업본부 회의실
- 참석자 : 국립농업과학원 농업공학부 김국환 연구사, 유승화 연구사, 농촌진흥청 첨단농기자재육성팀 진호준 사무관, 한국농업기계협동조합 장길수 이사, 충남대학교 이대현 교수, 경상대학교 심성보 교수, 국제 대동, 동양 LS, 농업기술실용화재단 ICT기자재검정팀 김영태 팀장 등 10명
- 주요내용
 - 자율주행농업기계 검정제도(안) 마련을 위한 자문회의

II. 자문위원 의견

✓ 중의 산업 발전 등을 위해 단계별 자율주행 기준
을 마련할 필요가 있음

✓ 기타 제안된 기점이 공감함.

· 각종의 영상기 A되는 기록기 이 (GPS, 카메라)
선정기 신도

2020년 06월 18일

심성보 (서명) 

[붙임]

자율주행농업기계 검정제도(안) 자문위원회 의견서

I. 자문위원회 개요

- 일시/장소 : 2020. 06. 18(목) 14:00 ~ / 농업기술실용화재단 스마트농업본부 회의실
- 참석자 : 국립농업과학원 농업공학부 김국환 연구사, 유승화 연구사, 농촌진흥청 첨단농기자재육성팀 진호준 사무관, 한국농업기계협동조합 장길수 이사, 충남대학교 이대현 교수, 경상대학교 심성보 교수, 국제, 대동, 동양, LS, 농업기술실용화재단 ICT기자재검정팀 김영태 팀장 등 10명
- 주요내용
- 자율주행농업기계 검정제도(안) 마련을 위한 자문회의

II. 자문위원 의견

- 단계별 자율주행 경쟁력 마련이 절실히 필요
- 재검과 기검의 구분 조정이 필요
- 안전 관련 경쟁 사항은 전(주)로 되게 하길
- 구조조사 기준의 기 성능인 경쟁력
인식 하는 것이 중요
- 경쟁력 마련 시 상품성 각을 갖기 위한
선진성 확보 방안 필요

0. 정권 지수극한 최대 인자는 근사 해로 갖게 되므로 다만,
(정권 인자 의미가 없도록 만들어라.) $\Rightarrow \pm 0.2$ 이내
가정해라 한다면

2020년 06월 18일

김국환 (서명)

[붙임]

자율주행농업기계 검정제도(안) 자문위원회 의견서

I. 자문위원회 개요

- 일시/장소 : 2020. 06. 18(목) 14:00 ~ / 농업기술실용화재단 스마트농업본부 회의실
- 참석자 : 국립농업과학원 농업공학부 김국환 연구사, 유승화 연구사, 농촌진흥청 첨단농기자재육성팀 진호준 사무관, 한국농업기계협동조합 장길수 이사, 충남대학교 이대현 교수, 경상대학교 심성보 교수, 국제, 대동, 동양, LS, 농업기술실용화재단 ICI기자재검정팀 김영태 팀장 등 10명
- 주요내용
- 자율주행농업기계 검정제도(안) 마련을 위한 자문회의

II. 자문위원 의견

0. 주목할 만한 사항

- 부정행위 ⇒ Data 조작 및 쿼리 (query) 정보 조작
통신망리 ⇒ 데이터 전송 장치로 명칭 변경, 데이터 전송 속도 향상
(ex. 서기선, 광리통신망, 위성 등)

0. 안전관리 주요 사항

2. 정보관리 ⇒ 정보 전달 방식 : 자체 안보, P2P, ^{인간}망 활용 시물리적으로 전달
→ 불가.

0. 통기 ⇒ 추후 정기시험 전만 (인포어전)

0. 자율주행 농업기계로 #인증안을 만들거는 업체에 기술현황이 낮음.

⇒ ~~제~~현 기술수준은 자율주행농기계로 인증안을 만들지 못함

"국산 주행 보조장치" 이 같은 자율주행기술 중 현 상황에 적용가능한
검정방안으로 접근하는 것이 맞을 것이라 판단됨.

~ 단계별 및 기술 분야에 따른 경험(연) 추가 정보

2020년 06월 18일

유승화 (자명)

[붙임]

자율주행농업기계 검정제도(안) 자문위원회 의견서

I. 자문위원회 개요

- 일시/장소 : 2020. 06. 18.(목) 14:00 ~ / 농업기술실용화재단 스마트농업본부 회의실
- 참석자 : 국립농업과학원 농업공학부 김국환 연구사, 유승화 연구사, 농촌진흥청 첨단농기기자재육성팀 진호준 사무관, 한국농업기계협동조합 장길수 이사, 충남대학교 이대현 교수, 경상대학교 심성보 교수, 국제, 대동, 동양, LS, 농업기술실용화재단 ICT기자재검정팀 김영태 팀장 등 10명
- 주요내용
 - 자율주행농업기계 검정제도(안) 마련을 위한 자문회의

II. 자문위원 의견

1. 용어, 조사항목 등.
 - 각계종이나 특정센서를 모두나열하여 정제하는 것보다 용도,목적에 맞춰 그룹핑 필요. 그룹핑 후 세부형식, 성능 등본 제시.
 - 장애물: "비상제동장치"가 장착된"삭제"필요. 장치의위축나 약감여부(용어). 간격없이 "장애물"이란 용어정의 필요. 또한 장애물크기등은 성능기준(장치비)에서 제시하는 것이 적절함.
2. 장애물시험방법은 ISO 또는 카탈리엔 연구보고서 등을 충분히검토하여 설정 필요.
3. P20.2성능시험. 2. 직진경로 추종 시험에서행모차(차대,행구) 재설정 필요.
 - 재설정 필요.
4. 로공자 모적이 자동 해제 되는 경우의 "연속성 이속속 30초 이내"는 이암기어공주도 별도단서 필요.

안전성 감의 권

2020년 06월 18일

김기수

- 2 -

ㄱ. 의견수렴 결과 검토 후 시험방법 및 기준에 반영

[2차년도]

(1) 자율주행 무인콤바인 추종 시스템 개발

가) 경로 추종 시스템 제원

ㄱ. TS(Total station) 시스템

항 목		조 건	범 위
ANGULAR MEASUREMENT	Accuracy 1 Hz and V	Absolute, continuous, diametrical	1'' (0.3 mgon), 2'' (0.6 mgon) 3'' (1 mgon), 5'' (1.5 mgon)
DISTANCE MEASUREMENT	Range 2	Prism (GPR1, GPH1P) 3 Non-Prism / Any surface 4	1.5 m to 3500 m R500: 1.5 m to >500 m, R1000: 1.5 m to >1000 m
	Laser dot size	At 50 m	8 mm x 20 mm
GENERAL	Processor	TI OMAP4430 1GHz Dual-core ARM® Cortex™ A9 MPCore™	Operating system - Windows® EC7
	Power management	Exchangeable Lithium-Ion battery	Operating time 8 - 10 h
	Data storage	Internal memory 2 GB SD card 1 GB or 8 GB	On field controller (Leica CS20)
	Interfaces	RS232, USB, Bluetooth®, WLAN	
	Environmental specifications	Working temperature range Dust / Water (IEC 60529) / Humidity	-20°C to +50°C IP55 / 95%, non-condensing

나) 시험 결과

- 테스트는 이양기에 TS 시스템과 RTK 시스템을 장착하여 재단 내 야외시험장에서 직진 테스트를 진행



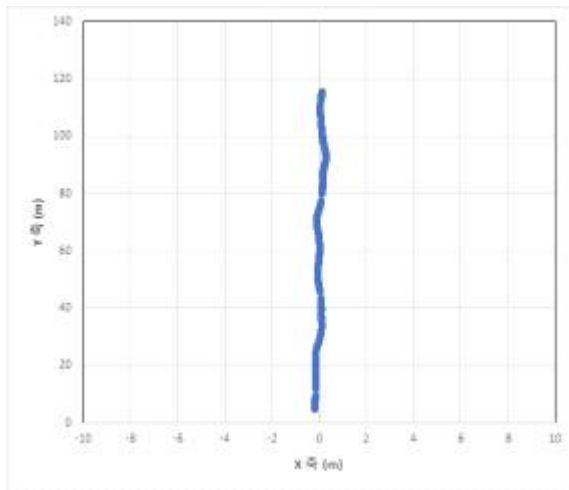
< 장비 성능시험 >



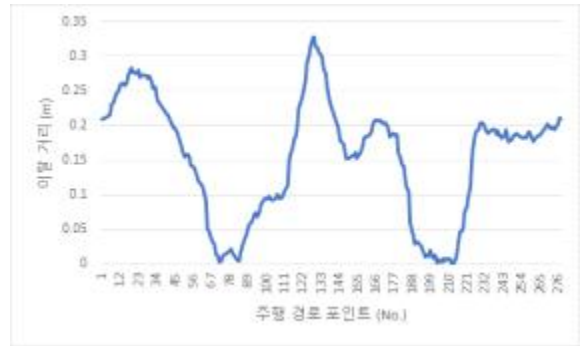
< 야외시험장 >

- 각 독립시험으로 진행하였으며 향후 두 시스템을 동시 탑재하여 두 장비의 성능비교 예정이며 시험 결과는 아래와 같음 두 장비 모두 우수한 성능으로 이양기의 위치를 추종가능

ㄱ. TS 시스템

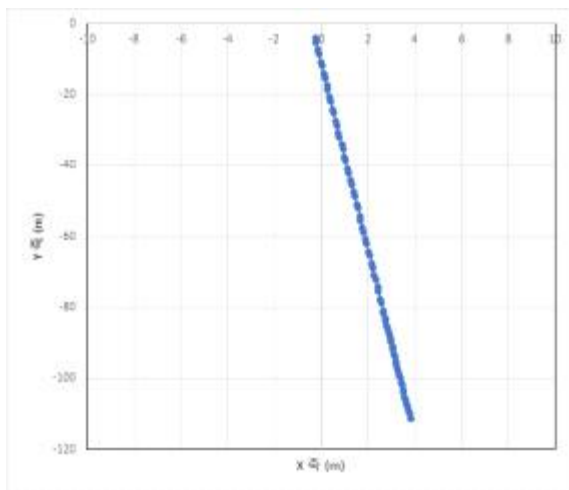


이앙기 주행경로

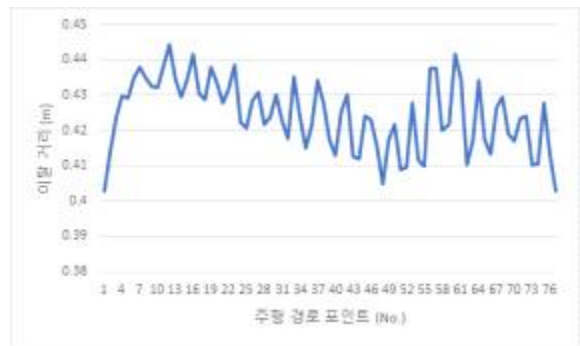


주행 중 측방 이탈거리

ㄴ. RTK 시스템



이앙기 주행경로



주행 중 측방 이탈거리

다) 자율주행 기체 이동경로 측정 정확도 향상을 위한 RTK GPS 정확도 향상을 위한 보정 시스템 구축

ㄱ. 시험평가 시 RTK GPS로 실제 주행경로 정보를 획득 할 예정으로 RTK GPS의 정확도를 향상 시키기 위하여 위치 보정 기지국 설치 완료

자율주행 농업기계 검정방법

00 자율주행 농업기계

1. 적용범위

이 검정방법은 다양한 부착 센서(위치인식장치, 관성측정장치, 영상장치 등)로 농작업 환경을 인지하여 가상의 경로를 생성하고 추종제어 하는 자율주행 작업이 가능하도록 설계된 농업 기계(트랙터, 콤바인, 이앙기 등)에 대하여 적용한다.

2. 용어의 뜻

2-1. 전장비

작업을 하는데 필요한 모든 장비를 부착한 상태를 말한다.

2-1. 경로추종

시험기대의 현재 위치에서 다음 위치로 이동하기 위하여 자세, 방향, 속도 등을 제어하는 것을 말한다.

2-2 위치인식장치(GPS : Global Positioning System)

위성기반 무선향법신호를 이용하여 안테나 중심점의 지리좌표 위치를 실시간으로 결정하고 알려주는 장치를 말한다.

2-3. 관성측정장치

관성측정장치는 가속도계와 회전 속도계, 자력계의 조합 등을 사용하여 자기장을 측정하고 방위 변화를 측정하는 센서를 말한다.

2-4. 레이저 위치 추종 시스템

레이저를 활용하여 시험기대를 실시간으로 추적하고 상대 위치를 식별 할 수 있는 측량 시스템을 말한다.

2-5. 초음파 센서

사람의 귀에 들리지 않을 정도로 높은 주파수(약 20 KHz 이상)의 소리인 초음파가 가지고 있는 특성을 이용하여 물체와의 거리를 측정하는 센서를 말한다.

2-6. 레이저스캐너

레이저 빛을 이용하여 측정하고자 하는 목표물에 주사하여 반사되어온 빛의 왕복시간을 측정하여 빛의 속도를 반영한 거리정보와 스캔각도 정보를 반영하여 3차원 공간좌표를 획득하는 장비를 말한다.

2-7. 전동기

전기 에너지로부터 회전력을 얻는 기계, 회전자의 코일에 흐르는 전류와 고정자의 자기장 사이에 작용하는 힘에 의하여 회전력이 발생하며, 교류식과 직류식이 있다.

2-8. A-B라인

포장주행궤적을 설정하기 위하여 사용하는 두 임의의 지점 A와 B를 통과하는 가상의 직선

을 말한다.

2-9. 조종자

시험기대를 작동하거나 감시하는 사람을 말한다.

2-10. 외부환경측정장비

검정 중 온도, 습도, 풍속 등의 외부환경을 측정 및 기록할 수 있는 장치를 말한다.

2-11. 돌발상황

자율주행 또는 작업 중 사람, 동물, 장애물 등이 자율주행 작업경로에 있거나 접근하여 충돌 할 가능성이 있는 상황을 말한다.

2-12. 비상자동제동장치

주행 및 작업 중 전방충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌을 완화하거나 회피할 목적으로 기대를 감속하기 위해 자동으로 제동장치를 작동 시키는 장치를 말한다.

가. 비상자동제동기능 : 전방의 충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌 완화 및 회피를 위해 조종자에게 경고를 한 후, 조종자 미 반응 시 자동으로 제동 장치를 작동시키는 기능

나. 자동제동기능 : 전방의 충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌 완화 및 회피를 위해, 자동으로 제동장치를 작동시키는 기능

다. 제동력지원기능 : 전방의 충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌 완화 및 회피 유도를 위해 조종자에게 경고하고, 조종자의 제동압력이 부족할 경우 자동으로 제동력을 증가시키는 기능

2-13. 전방충돌경고

주행 중 전방충돌 상황을 감지하여 충돌을 완화하거나 회피하기 위해 조종자에게 청각, 시각 또는 촉각(진동, 제동 등)의 방법으로 경고를 주는 기능을 말한다.

2-14. 비상자동제동

주행 중 전방충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌을 완화하거나 회피할 목적으로 차량을 감속하기 위해 자동으로 제동장치를 작동 시키는 기능을 말한다.

2-15. 주행경로

시험기대 중심선이 이동한 경로를 말한다.

2-16. 장애물

비상자동제동장치가 장착된 농업기계 주행경로상에 감지대상이 되는 0.5 m² × 1.0 m 이상의 장애물(바위, 동물, 나무 등) 모형을 말한다.

2-17. 충돌

시험기대와 장애물이 접촉되는 순간을 말한다.

2-18. 전방충돌경고작동시간(TFCW)

전방충돌 상황을 감지하여 충돌을 완화 하거나 회피하기 위해 조종자에게 청각 또는 촉각 경고를 발생한 시점을 말한다.

2-19. 비상자동제동작동시간(TAEB)

장애물과의 충돌을 회피 또는 완화하기 위해 제동장치가 자동으로 작동된 시간을 말하며, 규정필터를 사용한 종방향 감속도의 값이 -1m/s^2 을 최초로 초과한 시점부터 그이전 구간 중 -0.3m/s^2 을 초과한 가장 근접한 시점을 말한다.

2-20. 충돌속도(Vimpact)

시험기대가 장애물과 충돌한 시점의 속도를 말한다.

2-21. 시험종료지점

시험기대가 시험경로 말단에 도달하거나 장애물과 충돌한 지점, 충돌지점 전·후 완전히

정지한 지점 을 말한다.

2-22. 사각지대감지장치

접근하는 물체 또는 사각지대에 위치한 물체에 대한 정보를 조종자에게 제공하는 장치를 말한다.

2-23. 사각지대 경고기능

시험기대가 인접지역에 있는 물체를 감지하고 조종자에게 경고를 주는 기능으로 정의된다.

3. 시험항목

3-1. 구조조사

3-2. 성능시험

3-2-1. 위치 오차

3-2-1. 속도 오차

3-3. 조작의 난이도시험

3-4. 안전성시험

3-4-1. 돌발상황 비상자동제동

3-4-1. 사각지대 감지

4. 시험조건

4-1. 시험기대의 정비 및 준비운전

가. 시험에 사용되는 시험기대는 신제품으로서 충분히 길들임 운전을 실시한 것으로 간주하며 시험 전에 정상상태로 정비하고 준비운전은 2시간 이내로 한다.

나. 모든 펌웨어 및 신청자가 구성할 수 있는 설정은 기본 값으로 재설정 하여야 한다.

다. 사용자가 구성할 수 있는 설정 변경은 위의 재설정 과정 후 변경이 허용되며, 초기화 기간 전에 변경한 후 전체 시험 중에는 변경하지 않아야 한다.

라. 수정된 모든 설정들에 대해서는 정보를 제공 하여야 한다.

4-2. 연료 및 윤활유

시험에 사용하는 연료 및 윤활유는 시판되고 있는 것으로 하고 공시기 제조자가 규격 및 성능설명서에서 정하는 것으로 한다.

4-3. 운전조건

대기조건이나 기타 여건에 의한 시험결과의 수정은 하지 않는다. 대기압은 96.6 kPa 보다 낮지 않은 상태에서 평지의 시험포장에서 수행한다.

4-4. 시험 포장

자율주행을 수행하는 포장은 콘크리트 포장노면 및 비포장에서 진행되며 비포장의 포장상태는 신청자가 성능시험 전 경운하여 준비한다.

4-5. 시험경로

경로는 구배 없이 평탄하여야 하며, 위치인식장치 안테나의 높이에서 시험 경로의 어떤 지점을 보든 위성 신호를 방해하거나 차단할 수 있는 장애물이 없어야 한다. 시험 주행 구간은 최소 50m 길이로 구성되어있어야 한다.

4-6. 주행 속도

신청자가 제시한 일정한 주행 속도에서 수행되어야 하며, 시험 데이터가 기록되는 시험

경로 구간을 이동하는 동안 조종자의 조작은 허용되지 않는다.

4-7. 시험계기

시험 전 시험기대의 모든 구성요소가 올바르게 설치 및 작동이 되어야한다.

5. 구조조사

5-1. 조사목적

이 조사는 자율주행 장치가 적용된 농업기계의 구조, 주요치수, 질량 및 장치의 주요제원 등을 확인하는 것을 목적으로 한다.

5-2. 측정 및 조사방법

조사항목에 대한 세부적인 측정 및 조사항목과 방법은 요령 별표6의 농업기계 구조조사 방법에 의한다. 크기, 중량 등 주요 제원 및 고유 제원은 기 실시된 종합검정을 인용하여 조사 할 수 있다.

5-3. 사용계측기

위치측정장치, 레이저 위치 추종 시스템, 외부환경측정장비, 제원 측정 장치(줄자, 로드셀 등)

6. 성능시험

6-1. 직진경로 추종 시험

6-1-1. 시험목적

이 시험은 자율주행 농업기계의 직진 경로추종의 주행 오차를 확인 하는 것을 목적으로 한다.

6-1-2. 시험조건

가. 시험은 시험소의 시험포장에서 진행한다.

나. 시험경로는 시험자가 제시하는 A-B라인으로 하되 A지점과 B지점의 위치 정보를 제공하는 것으로 한다.

다. A-B 라인에 따라 시험기대를 수동으로 주행하거나, 명시된 지리좌표를 입력하며 첫 번째 시험 주행 순서보다 적어도 1시간 전에 설정해야한다.

마. 비상시 정지를 위한 조작 이외에 시험 중 조종자의 조작은 허용하지 않는다.

6-1-3. 측정 및 조사항목

가. 위치 오차

나. 속도 오차

6-1-4. 시험방법

가. 위치 오차

(1). 시험전 협의된 주행 경로와 속도 값을 설정한다.

(2). 정지상태에서 A지점을 출발하여 B지점까지 무인으로 이동하며 이동 시 공시기의 주행정보를 기록한다.

(3). 주행은 4번을 실시하며 주행 데이터를 기반으로 주행 오차 평균을 다음 식으로 산출한다.

$$E_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|ax_i + by_i + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

여기서 E_{avg} : 자율주행 오차 평균 (m)

x, y : 자율주행 시험기대의 위성좌표

a : A-B라인의 x항 계수

b : A-B라인의 y항 계수

c : A-B라인의 상수항

n : 1회 시험 주행 중 획득한 위성좌표 개수

나. 속도 오차

(1). 직진 자율주행 위치 오차 시험 시 획득한 위치 및 시간데이터를 기반으로 속도오차를 다음식으로 산출한다.

$$V_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n \frac{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}{\Delta t}$$
$$V_e = V_{avg} - V$$

여기서 V_{avg} : 자율주행 평균 속도 (m/s)

V : 자율주행 속도 제시값 (m/s)

V_e : 자율주행 속도 오차 (m/s)

x, y : 자율주행 시험기대의 위성좌표

Δt : 두 지점사이의 시간변위

n : 1회 시험 주행 중 획득한 위성좌표 개수

6-1-5. 시험장비 및 계측기

위치측정장치, 통합스테이션, 외부환경측정장비

7. 조작의 난이도시험

7-1. 시험목적

이 시험은 자율주행 시험기대의 조작 및 취급의 난이를 확인하는데 목적이 있다.

7-2. 시험조건

이 시험은 다양한 부착 센서(위치인식장치, 관성측정장치, 영상장치 등)를 장착하여 GPS 기반 경로 추종할 수 있도록 설계된 농업기계 (트랙터, 콤바인, 이앙기 등)에 대하여 실시하며 시험장소는 시험소 내의 시험포장을 이용한다.

7-3. 측정 및 조사항목

가. 자율주행 동작 및 해제 조작난이

나. 자율작업 동작 및 해제 조작난이

다. 비상정지 및 해제 조작난이

라. 기타 시험이 필요하다고 인정되는 부위의 조작난이

7-4. 시험방법

시험자가 사용설명서에 의해 작업을 실시하면서 트랙터의 각종 조작레버 및 장치에 대한 조작취급의 난이를 조사한다.

(2) GPS 수신율 , CAN-Bus 통신호환성 검정시스템개발

가) CAN Bus 통신호환성 통신 시스템 제작

ㄱ. 장치구성 및 인터페이스



< CAN Bus 통신호환성 통신 확인 시스템 >

ㄴ. 시험 결과

A. CAN 통신 결과 다음과 같은 정보를 획득 할 수 있었으며, 인터페이스를 통해 항목별 결과 값을 확인할 수 있었음

< 통신 결과 >

ID	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5	Data6	Data7	Data8
0C000017	D5	80	25	FF	FF	FF	FF	2
03FA0014	0	4	0	0	0	0	0	0
03FA0003	0	0	0	0	0	0	0	0
0CF00400	8	FF	7D	0	0	17	FF	7D
0C000017	D5	80	25	FF	FF	FF	FF	13
03FA0009	D5	1	D8	1	34	1	0	0
0CFF0006	90	4C	80	25	FF	FF	FD	7
18FF6106	FF	FF	FF	FF	FF	3F	FF	77
0CF00400	8	FF	7D	0	0	17	FF	7D
0C000017	D5	80	25	FF	FF	FF	FF	24
03FA0009	D5	1	D8	1	34	1	0	0

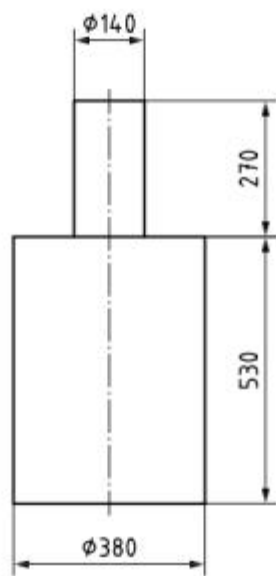
B. CAN-Bus 통신은 ISO11783: Serial control and communications data network을 따르고 있음

C. 콤바인의 특성상 별도의 부착 작업기를 사용하지 않음으로 통신프로토콜은 표준에 따르지 않고 자체 개발 프로토콜을 개발하여 사용 중임 확인하였음

(3) 안전성 평가 시스템 개발

가) ISO 18497 Agricultural machinery and tractors — Safety of highly automated agricultural machines — Principles for design에 따른 장애물 제작

ㄱ. 제작 도면 및 실물



< ISO 18497 장애물 >

ㄴ. 3차년도 안전성 관련 장애물 인식 시험 시 활용 예정

안전장치 주요 규격

1. 계기장치
 - 자율주행 작동 시각신호(표시등)
2. 경보장치
 - 자율주행 경고음, 진동 등
3. 자율주행 기능
 - 자율주행 작동 장치(스위치, 버튼 등), 의도하지 않은 기체 제어장치의 조작으로 해제방지 장치 또는 구조
4. 기타(안전표시, 형식표지판 등)

자율주행 농업기계 검정방법

8. 안전성시험

8-1. 돌발상황 비상자동제동

8-1-2. 시험목적

이 시험은 자율주행 및 작업도중 돌발상황(사람, 동물, 장애물 등)에 대한 안전성과 위험의 우려가 있는 부위에 대한 안전장치, 안전방호장치 및 안전표시 등을 확인하는데 있다.

8-2-2. 시험조건

가. 공시기는 전장비 상태에서 신청자가 규격 및 성능설명서에서 제시한 상태로 한다.

나. 시험은 시험소의 시험포장에서 진행한다.

(1) 시험기대의 주행경로의 좌우 각 3.0 m와 시험종료지점 10.0 m 이후에는 본시험과 관계없는 농업기계, 시설 등의 장애물이 없어야 한다.

다. 기상조건

(1) 대기온도 : 5 °C이상 40 °C 이하

(2) 포장온도 : 10 °C이상 50 °C 이하

(3) 시험시간 : 일출 후 2시간에서 일몰 전 2시간으로 하며, 주변밝기는 2,000Lux이상으로 한다. 단, 사전시험은 제외한다.

라. 시험 경로는 시험자가 제시하는 A-B라인으로 하되 A지점과 B지점의 위치 정보를 제공하는 것으로 한다.

바. 비상시 정지를 위한 조작 이외에 시험 중 조종자의 조작은 허용하지 않는다.

사. 안전장치, 안전방호장치 및 안전표시는 공시기의 성능, 조작의 난이도시험 등을 완료한 후 안전장치 등을 조사한다.

아. 조종자가 비상자동제동장치의 성능을 조절할 수 있는 장치가 있는 경우, 그 장치의 설정은 중간값으로 한다. 단, 중간값 설정이 불가능한 경우에는 중간값에서 비상자동제동장치의 작동이 한단계 낮은 값을 사용한다.

8-2-3. 측정 및 조사항목

가. 돌발상황 비상자동제동

나. 사각지대 감지

8-2-4. 시험방법 및 조사방법

가. 돌발상황 비상자동제동

(1) 시험순서

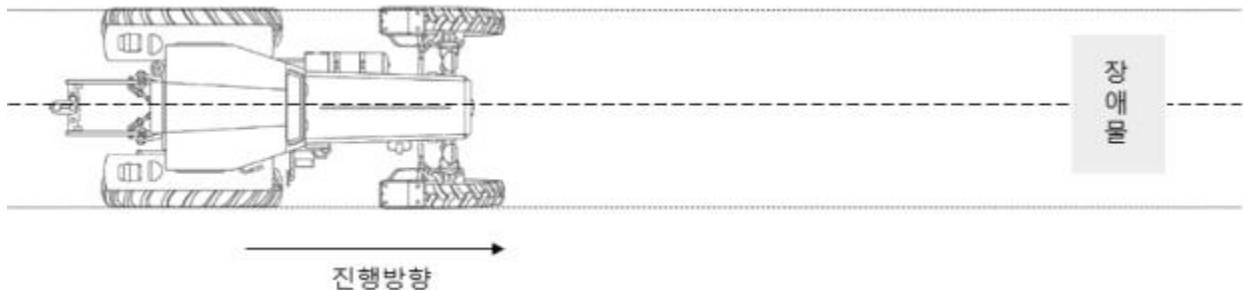
장치종류	기종	비상자동제동기능 또는 자동제동기능	비 고
25% 오프셋 충돌	농업용트랙터	5 ~ 8 km/h	FCW 동작 확인시험
	콤바인	4 ~ 6 km/h	
	이앙기	4 ~ 6 km/h	
작업자 정면 충돌	농업용트랙터	5 ~ 8 km/h	
	콤바인	4 ~ 6 km/h	
	이앙기	4 ~ 6 km/h	
작동해제 시험	농업용트랙터	정차시험	
	콤바인		
	이앙기		

(2) 시험조건

- a. 각각의 시험은 전방충돌경고작동시간(TFCW) 및 비상자동제동작동시간(TAEB) 까지 시험기대와 장애물은 아래의 조건을 만족하여야 한다.
- b. 시험기대 대 장애물 시험
 - ㉞ 시험기대 속도 : 시험속도 + 0.5 km/h
 - ㉟ 시험기대의 주행경로 : 횡방향 거리 ±0.05m 이내
 - ㊱ 요레이트 : ± 1.0deg/s 이내
 - ㊲ 조향속도 : ± 15.0deg/s 이내
- c. 시험기대의 경로추종 기능을 켜 놓은 상태로 한다.
- d. 각각의 시험은 아래의 조건에서 종료한다.
 - ㉞ 시험기대의 속도가 0 km/h인 경우
 - ㉟ 시험기대가 시험종료 지점에 도달한 경우
- e. 각 시험간격은 앞선 시험종료후 90초이상 10분 미만을 유지하며 시작한다.
- f. 각 시험간 “자동제동모드”평가에서는 시험기대 주행경로제어를 위한 조향장치 조작외에는 어떠한 조작도 허용되지 않는다.
- g. 시험기대의 비상자동제동장치 제어값을 조정할 수 있는 경우에는 중간 이상으로 설정값 또는 제작사 제시하는 설정값을 사용한다.

(3) 시험방법

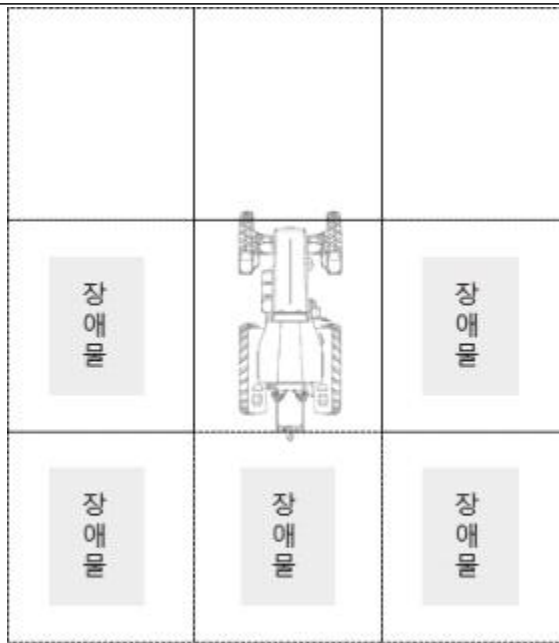
- a. 장애물 정면 충돌
 - ㉞ 장애물은 정지 상태로 한다.
 - ㉟ 충돌위치 기준점은 시험기대 차폭의 중심으로 한다.



나. 사각지대 감지

(1) 사각지대 경고요건

- a. 경고요건에 대한 표시 영역은 아래 그림과 같다.



*트랙터 시계 관련 표준 반영 후 수정 예정

(2) 시험방법

- a. 시험자가 사용설명서에 의해 작업을 실시하면서 시험기대의 사각지대 장애물 감지 여부를 조사한다.

다. 안전장치, 안전방호장치 및 안전표시 등

[3차년도] 농업기계 자율주행 성능시험 방법 및 검정기준(농식품부 고시) 제정

(1) 농업기계 자율주행 성능시험 방법 제정 내규 개정 공표('21.1.28.)

가) 자율주행 농업기계 구조조사 방법

97 자율주행 시스템

1. 조사항목

(1) 부착농업기계

(가) 제조자/형식명/형식 :

(2) 메인컨트롤러

(가) 제조사 :

(나) 형식명 :

(다) 입력전압 :

(라) 소비전력 :

(마) 기타 :

(3) 위치인식장치

(가) 제조사 :

(나) 형식명 :

(다) 입력전압 :

(라) 소비전력 :

(마) 측정 범위 :

(바) 개수 :

(사) 추종 방식 :

(아) 통신 방식 :

(4) 자동조향 장치

(가) 제어방식 (전동식, 유압식 등) :

(나) 제조사 :

(다) 형식명 :

(라) 통신 방식 :

(5) 속도제어 장치

(가) 제어방식 (전동식, 유압식 등) :

(나) 제조사 :

(다) 형식명 :

(라) 통신 방식 :

2. 조사방법

(1) 부착농업기계

(가) 형식은 기종과 함께 2륜구동형, 4륜구동형, 무한궤도형 등으로 구분한다.

(2) 주행단수별 속도를 측정하고 최고주행속도 측정은 최고주행단수에서 조속레버를 최대로 개방하여 측정한다. 다만, 전륜, 후륜이 분리되는 4륜구동형은 구동륜만 구동하여 시험한다.

(3) 메인컨트롤러

(가) 부착된 메인컨트롤러는 규격 및 성능설명서에 따라 조사한다.

(4) 자동조향 방식

(가) 조향장치는 운전자의 수동조작이 아닌 자동으로 조향제어를 보조하는 장치의 부착식, 탑재식 등을 조사

(5) 통신방식

(가) 차량의 위치 추종장치의 신호 및 구동부의 제어 신호를 수집, 전달하는 장치의 규격 및 데이터 형태 조사

나) 자율주행 농업기계 검정방법

86 자율주행 시스템

1. 적용범위

이 검정방법은 센서(위치인식장치, 관성측정장치, 영상장치 등)로 농작업환경을 인지하거나 미리 설정된 혹은 만들어진 가상의 경로를 주행하여 작업 하도록 설계된 농업기계(트랙터, 콤바인, 이앙기 등)에 대하여 적용한다.

2. 용어의 뜻

2-1. 전장비

작업을 하는데 필요한 모든 장비를 부착한 상태를 말한다.

2-2. 경로추종

시험기대의 현재 위치에서 다음 위치로 이동하기 위하여 자세, 방향, 속도 등을 제어하는 것을 말한다.

2-3. 위치인식장치(GNSS : Global Navigation Satellite System)

위성기반 무선항법신호를 이용하여 안테나 중심점의 지리좌표 위치를 실시간으로 결정하고 알려주는 장치를 말한다.

2-4. 경로이탈오차

실제 이동경로에서 직각방향으로 벗어난 횡평차를 말한다.

2-5. 주행경로 (A-B Line)

포장주행궤적을 설정하기 위하여 대부분의 자동유도장치에서 사용하는 두 임의의 지점 A와 B를 통과하는 가상의 직선을 말한다.

2-6. 조종자

시험기대를 작동하거나 감시하는 사람을 말한다.

2-7. 외부환경측정 및 기록 장치

시험 중 온도, 습도, 풍속 등의 외부환경을 측정 및 기록할 수 있는 장치를 말한다.

2-8. 차량대표점

자동유도차량의 위치를 대표하는 다음의 고정점을 말한다.

가. 트랙터 : 하부링크 수평방향 중심점

나. 콤바인 : 전방 구동륜의 중심점

다. 이앙기 : 식부장치 좌우 중심점

2-9. 시험종료지점

시험기대가 시험경로 말단에 도달하거나 완전히 정지한 지점 을 말한다.

3. 시험항목

3-1. 구조조사

3-2. 성능시험

3-2-1. 직진경로 추종 성능 시험

3-2-2. 속도제어 성능 시험

3-3. 조작의 난이도시험

3-4. 안전성시험

4. 시험조건

4-1. 시험기대의 정비 및 준비운전

가. 시험에 사용되는 시험기대는 신품으로서 충분히 길들임 운전을 실시한 것으로 간주하며 시험 전에 정상 상태로 정비하고 준비운전은 2시간 이내로 한다.

나. 모든 펌웨어 및 신청자가 구성할 수 있는 설정은 기본 값으로 재설정 하여야한다.

다. 사용자가 구성할 수 있는 설정 변경은 위의 재설정 과정 후 변경이 허용되며, 변경한 후 전체 시험 중에는 변경하지 않아야 한다.

라. 수정된 모든 설정들에 대해서는 정보를 제공 하여야 한다.

4-2. 연료, 윤활유 및 배터리

시험에 사용하는 연료, 윤활유 및 배터리는 시판되고 있는 것으로 하고 시험기대 제조자가 규격 및 성능설명서에서 정하는 것으로 한다.

4-3. 운전조건

대기조건이나 기타 여건에 의한 시험결과 수정은 하지 않는다. 대기압은 96.6 kPa 보다 낮지 않은 상태에서 평지의 시험포장에서 수행한다.

4-4. 시험경로

한국농업기술진흥원 농업기계 야외시험장 내의 평탄한 콘크리트 노면에서 진행한다.

4-5. 시험경로

경로는 구배 없이 평탄하여야 하며, 위치인식장치 안테나의 높이에서 시험 경로의 어떤

지점을 모든 위성 신호를 방해하거나 차단할 수 있는 장애물이 없어야 한다. 시험 주행 구간은 100 m 이상의 길이로 구성되어있어야 한다.

4-7. 시험계기

시험 전 시험기대의 모든 구성요소가 올바르게 설치 및 작동이 되어야한다.

5. 구조조사

5-1. 조사목적

조사는 자율주행 시스템의 구조, 주요치수, 질량 및 장치의 주요제원 등을 확인하는 것을 목적으로 한다.

5-2. 측정 및 조사방법

조사항목에 대한 세부적인 측정 및 조사항목과 방법은 요령 별표6의 농업기계 구조조사 방법에 의한다.

자율주행 시스템이 부착된 농업기계의 크기, 중량 등 주요 제원 및 고유 제원은 기 실시된 종합검정을 인용하여 조사 할 수 있다.

6. 성능시험

6-1. 직진경로 추종 성능 시험

6-1-1. 시험목적

이 시험은 자율주행 농업기계의 직진 경로추종의 주행 오차를 확인하는 것을 목적으로 한다.

6-1-2. 시험조건

가. 주행시험은 야외시험장에서 수행한다.

나. 시험구간은 직선거리 100 m 이상으로 한다.

다. 주행경로의 고도변화는 1 m 이내로 한다.

라. 경로로부터 반경 50 m 이내에 다중 경로 간섭을 유발하는 금속 등이 없어야 한다.

마. 시험경로를 따라 시험기대를 수동으로 주행하거나, 명시된 지리좌표를 입력하며 첫 번째 시험 주행 전에 설정해야한다.

바. 비상시 정지를 위한 조작 이외에 시험 중 조종자의 조작은 허용하지 않는다.

사. 자율주행 속도는 다음의 속도로 각각 진행한다. 단, 검정제품이 저속과 고속의 조건을

만족하지 못하는 경우 저속은 자율주행이 가능한 최저속도, 고속은 최대속도로 시험을 진행하며 해당속도를 명기 한다.

(1) 저속 : (0.1 ± 0.05) m/s 또는 최저 속도

(2) 중속 : (2.5 ± 0.2) m/s

(3) 고속 : (5 ± 0.2) m/s 또는 최고 속도

6-1-3. 측정 및 조사항목

가. 경로이탈 오차의 평균

나. 경로이탈 오차의 표준편차

다. 경로이탈 오차의 최대값

라. 경로이탈 오차의 누적분포 50%, 95% 값

나. 주행속도

6-1-4. 시험방법

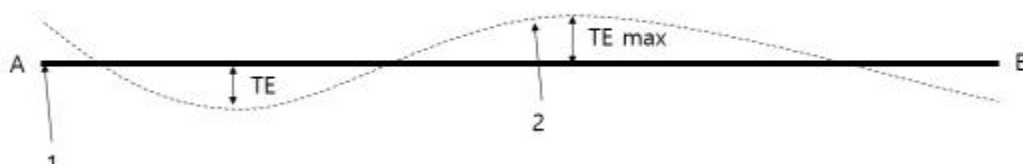
가. A-B 라인은 시험경로를 따라 시험 차량을 수동으로 주행하거나, 명시된 지리좌표를 입력하는 첫번째 시험 주행 순서보다 적어도 1시간 전에 설정해야 한다. A점과 B점은 가장 긴 시험경로 구간의 대략적인 시작점과 끝점을 나타낸다.

나. 시험경로를 수동으로 설정하는 기대는 A-B라인의 시작점에서 정지상태로 출발하며, 명시된 지리좌표를 입력하는 기대는 A-B라인 시작점 최소 20 m 전에서 주행을 시작하여 A-B라인의 시작점을 진입하여 종료지점까지 자율주행모드로 경로주행을 실시한다. 단, 두가지 설정이 모두 가능한 기대는 두가지 방법으로 각각 수행한다.

다. 데이터 샘플링 속도는 10 Hz 이상으로 측정된 결과의 경로 이탈오차 평균값 및 표준편차를 산출한다.

라. 주행은 저·중·고속으로 각각 3번 실시하고 연속되는 시험 주행 순서 사이에는 1시간 이상 차이를 두며, 처음과 마지막 시험 주행 순서 사이에는 24시간 이상의 시간단 주행 데이터를 기반으로 경로이탈 오차의 평균, 경로이탈 오차의 표준편차, 경로이탈 오차의 누적분포 50%, 95% 값 및 최대값을 산출한다.

마. 본 시험방법에서 기술하지 않은 사항은 ISO-12188-2에 따른다.



1 : A-B 라인

2 : 측정된 차량대표점 주행경로

TE(Track Error) : 경로이탈 오차

TE max : 최대 경로이탈 오차

6-2. 속도제어 성능 시험

6-2-1. 시험목적

이 시험은 자율주행 농업기계의 속도제어 오차를 확인 하는 것을 목적으로 한다.

6-2-2. 시험조건

가. 6-1-2.와 동일한 조건으로 직진경로 추종 성능 시험 중 속도데이터를 취득한다.

6-2-3. 측정 및 조사항목

가. 자율주행 농업기계의 등속구간 속도

6-2-4. 시험방법

가. 최소 1 m이상의 등 간격을 보유한 임의구간 50지점을 선정하여 순간 속도를 측정하여 다음식에 의해 산출한다.

라. 속도오차는 주행 속도별로 실시하며 속도별 3번 반복하여 산출된 속도오차 중 최대값으로 한다.

$$V_e = \frac{V_m - V_s}{V_s} \times 100$$

여기서 V_e : 속도오차(%)

V_s : 설정 속도값 (m/s)

V_m : 측정 속도값 평균 (m/s)

7. 조작의 난이도시험

7-1. 시험목적

이 시험은 자율주행 시스템의 조작 및 취급의 난이를 확인하는데 목적이 있다.

7-2. 시험조건

이 시험은 자율주행 시스템이 설치된 농업기계에 대하여 실시하며 시험장소는 시험소 내의 시험포장을 이용한다.

7-3. 측정 및 조사항목

- 가. 자율주행 동작 및 해제 조작난이
- 나. 비상정지 및 해제 조작난이
- 다. 기타 시험이 필요하다고 인정되는 부위의 조작난이

7-4. 시험방법

시험자가 사용설명서에 의해 작업을 실시하면서 레버, 버튼, 스위치 등 조작장치에 대한 조작취급의 난이를 조사한다.

8. 안전성시험

8-1. 시험목적

자율주행농업기계의 비상시 안전성을 확보 및 위험의 우려가 있는 부위에 대한 안전장치, 안전방호장치 및 안전표시 등을 확인하는데 있다.

8-2. 시험조건

- 가. 시험기대는 전장비 상태에서 신청자가 규격 및 성능설명서에서 제시한 상태로 한다.
- 나. 주행시험은 야외시험장에서 수행한다.
- 다. 시험경로를 따라 시험기대를 수동으로 주행하거나, 명시된 지리좌표를 입력하며 첫 번째 시험 주행 순서보다 적어도 1시간 전에 설정해야한다.
- 마. 비상시 정지를 위한 조작 이외에 시험 중 조종자의 조작은 허용하지 않는다.
- 다. 성능, 조작의 난이도시험 등을 완료한 후 안전장치 등을 조사한다.

8-3. 측정 및 조사항목

- 가. 주행경로 이탈 긴급정지 및 경보장치
- 나. 1회 조작으로 정지할 수 있는 기능 또는 장치 유무

(2) 농업기계 자율주행 선회 성능시험 방법 내규 개정 추진 중

가) 기 제정된 자율주행 시스템 시험방법에 추가하여 '23년 5월 개정 목표로 추진 중

나) 선회경로 추종 성능 시험

(1) 시험목적

이 시험은 자율주행 농업기계의 직진 경로추종의 주행 오차를 확인하는 것을 목적으로 한다.

(2) 시험조건

(가) 주행시험은 야외시험장에서 수행한다.

(나) 시험구간은 직선거리 100 m 이상으로 한다.

(다) 주행경로의 고도변화는 1 m 이내로 한다.

(라) 경로로부터 반경 50 m 이내에 다중 경로 간섭을 유발하는 금속 등이 없어야 한다.

(마) 시험경로를 따라 시험기대를 수동으로 주행하거나, 명시된 지리좌표를 입력하며 첫 번째 시험 주행 전에 설정해야한다.

(바) 비상시 정지를 위한 조작 이외에 시험 중 조종자의 조작은 허용하지 않는다.

(사) 자율주행 속도는 다음의 속도로 각각 진행한다. 단, 검정제품이 저속과 고속의 조건을 만족하지 못하는 경우 저속은 자율주행이 가능한 최저속도, 고속은 최대속도로 시험을 진행하며 해당속도를 명기 한다.

① 저속 : (0.1 ± 0.05) m/s 또는 최저 속도

② 중속 : (2.5 ± 0.2) m/s 또는 권장작업 속도

③ 고속 : (5 ± 0.2) m/s 또는 최고 속도

(3) 측정 및 조사항목

(가) 경로이탈 오차의 평균

(나) 경로이탈 오차의 표준편차

(다) 경로이탈 오차의 최대값

(라) 경로이탈 오차의 누적분포 50%, 95% 값

(마) 주행속도

(4) 시험방법

(가) A-B 라인은 시험경로를 따라 시험 차량을 수동으로 주행하거나, 명시된 지리좌표를 입력하는 첫번째 시험 주행 순서보다 적어도 1시간 전에 설정해야 한다. A점과 B점은 가장 긴 시험경로 구간의 대략적인 시작점과 끝점을 나타낸다.

(나) 시험경로를 수동으로 설정하는 기대는 A-B라인의 시작점에서 정지상태로 출발하며, 명시된 지리좌표를 입력하는 기대는 A-B라인 시작점 최소 20 m 전에서 주행을 시작하여 A-B라인의 시작점을 진입하여 종료지점까지 자율주행모드로 경로주행을 실시한 후 연속해서 그림 86-1의 예시와 같이 2번, 3번, 4번 경로를 주행한다. 단, 두가지 설정이 모두 가능한 기대는 두가지 방법으로 각각 수행한다.

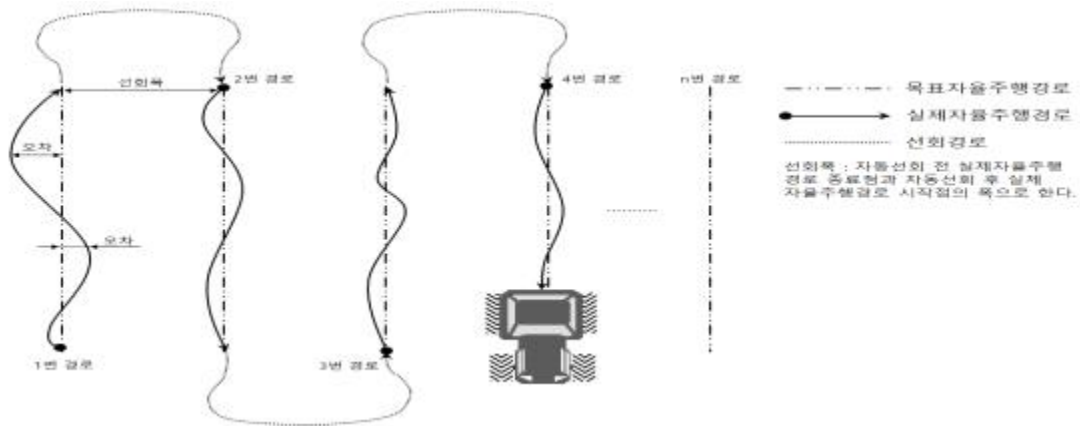
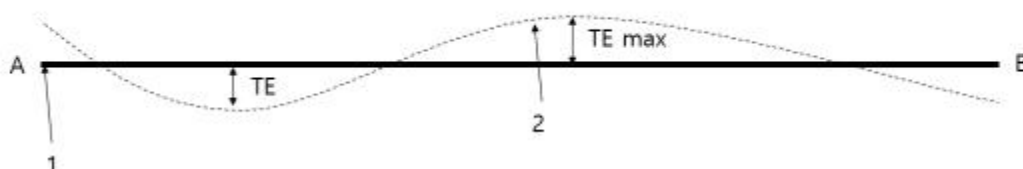


그림 97-2 - 선회경로 추종 성능 시험 시험경로 (예시)

(다) 데이터 샘플링 속도는 10 Hz 이상으로 측정된 결과의 경로 이탈오차 평균값 및 표준편차를 산출한다.

(라) 주행은 저·중·고속으로 각각 3번 실시하고 연속되는 시험 주행 순서 사이에는 1시간 이상 차이를 두며, 처음과 마지막 시험 주행 순서 사이에는 24시간 이상의 시간둔 주행을 데이터로 기반으로 2번, 3번, 4번 경로를 주행을 경로의 이탈 오차의 평균, 경로의 이탈 오차의 표준편차, 경로의 이탈 오차의 누적분포 50%, 95% 값 및 최대값을 산출한다.

(마) 본 시험방법에서 기술하지 않은 사항은 ISO-12188-2에 따른다.



여기에서

1 : A-B 라인

2 : 측정된 차량대표점 주행경로

TE(Track Error) : 경로의 이탈 오차

TE max : 최대 경로의 이탈 오차

그림 97-3 - 경로의 이탈오차의 정의

(3) 농업기계 검정기준(농식품부 고시) 제정

● 농림축산식품부 공고 제2022-402호

「농업기계 검정기준」 고시 일부를 개정하는데 있어, 그 개정이유와 주요내용을 국민에게 미리 알려 이에 대한 의견을 듣기 위하여 「행정절차법」 제46조에 따라 다음과 같이 공고합니다.

2022. 10. 26.

농림축산식품부장관

「농업기계 검정기준」 고시 일부개정안 행정예고

1. 개정이유

정부의 스마트팜 정책 및 탄소중립 정책에 맞춰 자율주행 농업기계 및 전기 농업기계 등이 개발됨에 따라 농업현장에 보급하기 위한 검정기준(성능 및 안전성 등)을 마련하고, 농업용트랙터의 후사경 설치를 좌측에만 하도록 하던 것을 운전자의 안전을 위해 좌·우측에 각각 설치하도록 개선하는 등 운영상 나타난 일부 미비점을 보완하려는 것임

2. 주요내용

<중략>

타. 자율주행 농업기계 농작업시 안전기준 마련(안 [별표 2] 공동안전기준 제12호 신설)

○ 위급상황 및 제어불가 상태에 대처할 수 있는 기능·장치 부착 기준설정

<생략>

<농업기계 검정기준 일부개정안 행정예고문>

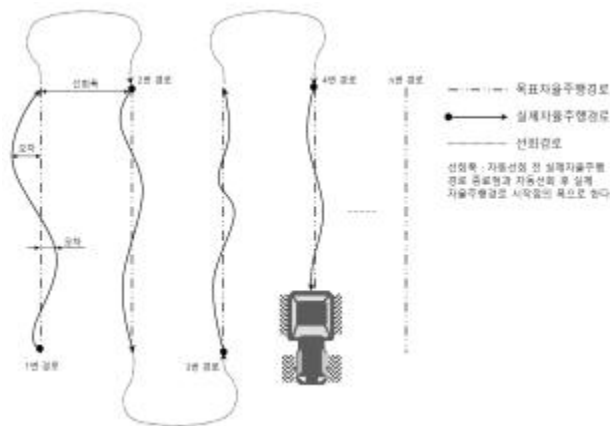
[별표 1]

농업기계 검정기준(제4조 관련)

1. 농업용 트랙터

다. 성능기준

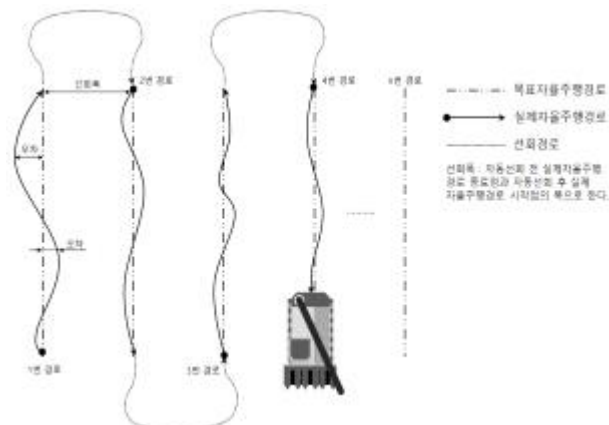
- 7) 자율주행장치를 활용하여 지정된 경로주행이 가능한 경우 목표자율주행경로와 실제 자율주행 경로(작업기 승강장치 하부링크에서 측정)의 오차는 70mm이하일 것 (오차 데이터 누적도수 중 상위 5%의 데이터 개수는 포함하지 않으며, 자동선회가 가능한 제품의 시험경로는 선회를 3회 이상 포함하여야 하며, 선회폭은 설정폭의 $\pm 70\text{mm}$ 이하일 것)



3. 콤바인

다. 성능기준

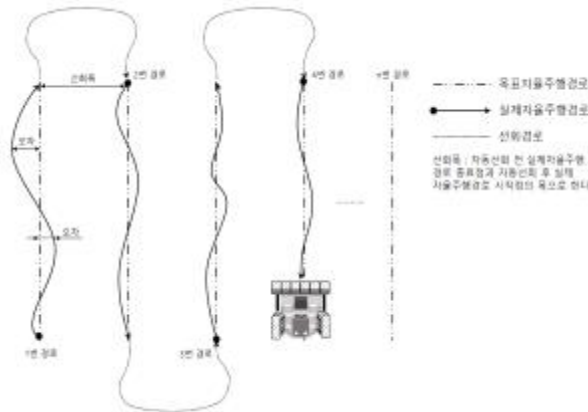
- 5) 자율주행장치를 활용하여 지정된 경로주행이 가능한 경우 목표자율주행경로와 실제자율주행 경로(예취부 중심에서 측정)의 오차는 70mm이하일 것 (오차 데이터 누적도수 중 상위 5%의 데이터 개수는 포함하지 않으며, 자동선회가 가능한 제품의 시험경로는 선회를 3회 이상 포함하여야 하며, 선회폭은 설정폭의 $\pm 70\text{mm}$ 이하일 것)



4. 이양기

다. 성능기준

- 5) 자율주행장치를 활용하여 지정된 경로주행이 가능한 경우 목표자율주행경로와 실제자율주행 경로(식부장치 중심에서 측정)의 오차는 70mm이하일 것(오차 데이터 누적도수 중 상위 5%의 데이터 개수는 포함하지 않으며, 자동선회가 가능한 제품의 시험경로는 선회를 3회 이상 포함하여야하며, 선회폭은 보유한 조수×조간거리의 $\pm 70\text{mm}$ 이하일 것)



[별표 2]

공통안전기준(제4조 관련)

12. 자율주행장치

- 가. 장치의 현재상태(작동불능, 작동가능, 활성)를 보여주는 시각신호장치가 있을 것
나. 장치가 활성상태로 되거나 활성상태에서 벗어날 때 운전자가 인식할 수 있는 청각 신호를 발생할 것
다. 다음 조건 중 하나에 따라 장치는 자동으로 활성상태에서 작동가능 또는 작동불능상태로 변경되어야 한다.
1) 작업자가 조향 또는 제동장치를 조작할 경우
2) 위성신호에만 의존하는 경우 위성신호가 차량 위치를 결정하기에 불충분한 신호를 제공할 경우
3) 위성신호에만 의존하지 않는 경우 모든 신호가 끊어진 경우
라. 운전자가 자율주행장치의 상태 전환을 위한 스위치가 있을 것
마. 엔진 시동 시 자율주행장치는 작동불능상태일 것
바. 10초이상 운전자가 감지되지 않는 경우 경보음이 발생될 것
사. 목표 자율주행 경로 중심선으로부터 150mm 이상 벗어난 경우 경보음이 발생될 것

<농업기계 검정기준 일부개정안 고시 내용>

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

1) 주관연구기관 : (주) 대동

- 가) 자율주행 기술이 접목가능한 콤바인 하드웨어를 개발하였고, 주행 이외 조작자를 대신할 피드백 방식의 시스템을 기 개발 완료함.
- 나) 자체 필드시험 및 시연회를 통해 개발 기술 출시 선언을 진행하였고, 대외적인 박람회 및 연사회 참관을 통해 홍보 및 기술에 대한 신뢰도를 입증함.
- 다) 자율주행 이외 콤바인의 작업 및 관리에서 편의성을 증대시킬수 있는 ICT 기술을 접목시켰으며, 해당 기술이 접목 가능하도록 하드웨어 시스템을 맞춤 개발함.

2) 공동연구기관 : 편진

가) 자율주행 컨트롤러 개발

- ㄱ. 당사 자율주행 컨트롤러는 유럽 전자파 방출량 규정인 'ECE R10 Rev 3' 및 자동차전장품 전자파적합성 시험 인 'ISO 10605:2008'를 시험을 통과, EMC (전자파 시험, Electromagnetic Compatibility) 및 ESD (정전기 시험, Electrostatic discharge) 에 있어 국제규격에 준하는 성능확보를 검증 하였음
- ㄴ. 자가진단프로토콜 / 공용프로토콜 부분에 있어, 공인입회시험을 통해 각 콤바인 기능 유닛과의 통신품질 및 자가진단기능에 대한 성능을 검증 받았음

3) 공동연구기관 : 홍익대학교

- 가) 국내 최초로 수전작업 특성에 최적화 된 α 선회형과 U선회형 2종의 자율작업 경로 생성 알고리즘을 개발하였으며, 알고리즘을 통하여 생성된 경로생성 결과를 자율주행 콤바인에 적용하여 실제포장에서 수확작업을 통하여 실증함으로써 효율성을 입증하였음.
- 나) 현재까지 개발된 대부분의 농기계 자율주행 기술에서 GNSS를 이용한 정밀측위기술과 방위각 측정을 위한 센서를 복합적으로 이용하거나 또는 움직이는 GNSS 위치 궤적으로부터 진행 방향을 획득하는 기술이 사용된 반면 본 개발에서는 두 개의 GPS를 이용한 True Heading을 이용한 자율주행 기술을 구현함으로써 초기 작업도입부에서 목표 경로로의 궤도수렴 성능 및 궤도형 차량의 방향전환시 경로추종 성능에서 우수한 성능을 나타내었으며 개발 목표인 경로추종오차 15cm 미만을 달성하였음.

4) 공동연구기관 : 충남대학교

가) 자율주행 콤바인 시뮬레이션 모델 개발

- ㄱ. 콤바인의 실차 제원 및 차체 무게 배분비와 주행부의 궤도를 적용하여 주행 시뮬레이션을 위한 동역학 시뮬레이션 모델을 개발하였음. 또한 해당 시뮬레이션과 콤바인의 제원을 기반으로 콤바인의 성능 검증을 수행하였음.
- ㄴ. 국내 농업 환경을 기반으로 경사지 제원을 선정하고 시뮬레이션 상에 구현하였으며, 콤바인 동역학 모델과 결합하여 경사지 주행 시뮬레이션을 수행하였음. 시뮬레이션 결과를 기반으로 콤바인의 등판 성능 검증을 수행하였음.

나) 자율주행 콤바인 환경인식 기술 개발

- ㄱ. 영상을 이용하여 콤바인 주행(작업) 시 전방에 위치한 작물영역과 장애물 등 주요 객체들의 인식을 성공적으로 수행했으며, 모듈화하여 콤바인에 탈부착이 용이한 상태로 제작하였으며 실시간성을 가져 효과적임
- ㄴ. 작물영역 인식 기술은 콤바인 작업 시 기준 경계선(경로)를 제시할 수 있으며, 본 결과를 이용하여 학술적(SCIE 2건)을 달성하였음. 개발된 기술은 95%의 정확도로 20 fps 이상의 속도로 구현이 가능하여 적용 가능성이 높음

5) 공동연구기관 : 한국농업기술진흥원

가) 자율주행 및 핵심 기술 성능평가 방법 개발

- ㄱ. 한국농업기술진흥원 내규 ‘농업기계 검정 및 안전관리 세부 실시요령’에 ‘자율주행 시스템’ 검정방법 및 구조조사방법 제정 완료

나) 안전성 평가 방법 개발

- ㄱ. 농림축산식품부고시 제2023-1호 [별표1] 농업기계 검정기준에 농업용트랙터, 콤바인, 이앙기 자율주행 성능 기준 및 [별표2] 공통안전기준에 자율주행장치 안전기준 도입

다) 자율주행 콤바인 추종 시스템 개발

- ㄱ. TS(Total station) 시스템 구축으로 자율주행 농업기계의 직진 및 선회 경로 위치 추종
- ㄴ. GPS 수신율 및 CAN-Bus 통신호환성 검정시스템 개발

마) 자율주행 무인콤바인 성능 및 안전성 시험방법(안) 실증 및 고도화

- ㄱ. 자율주행 시스템 성능시험 성적 발행 및 운영

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

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)		단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치				목표설 정 근거
				보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1차년도 (2020)	2차년도 (2021)	2차년도 (2022)	달성 여부	
1	경로생성 시간	초	5	미국/Johndeere	0.5 sec	5 sec	1	0.8	0.5	달성	
2	경로추종 오차	cm	10	일본/Kubota	15 cm	40 cm	-	20	15	달성	
3	환경 및 작물 인식속도	hz	10	미국/Johndeere	20 Hz	15 hz	-	15	15	달성	
4	환경 및 작물 인식률	%	5	미국/Johndeere	95 %	60 %	-	80	95	달성	
5	콤바인 거동 해석 예측 정확도	%	5	일본/안마	90%	70%	-	80	95	달성	
6	공용 프로토콜 개발	건	5	-	-	-	-	3	4	달성	
7	자가진단 항목 개발	건	5	-	-	-	1	2	4	달성	
8	ESD(정전 기시험)	kv	5	-	-	-	1	-	CLASS4	달성	
9	EMC(전자 파시험)	MHz	5	-	-	-	-	-	ECE R 10.03	달성	
10	작업오차	cm	5	미국/Johndeere	15 cm	35 cm	-	-	15	달성	
11	작업 정확도	%	5	미국/Johndeere	미경작 5%↓	미경작 10↓	-	-	5	달성	
12	작업능률	a/hr	10	87	87	50.6	-	82 이상	87 이상	달성	
13	수확작업 속도	m/s	5	일본/Kubota	1.9	1.7	-	1.7 이상	1.9 이상	달성	
14	곡물 손실율	%	5	일본/Kubota	20이하	3	-	2.5 이하	1.0 이하	달성	
15	수확량 측정 정확도	%	15	-	-	-	-	80 이상	95 이상	달성	

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

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	A study on autonomy level classification for self-propelled agricultural machines	Korean journal of agricultural science	남규철	48(3)	한국	Korean journal of agricultural science	비SCI	2021.08.18	2466-2402	충남대 (100)
2	One-shot classification-based tilled soil region segmentation for boundary guidance in autonomous tillage	Computers and electronics in agriculture	김완수	189	미국	Computers and electronics in agriculture	SCI	2021.08.11	-	충남대 (100)
3	Weakly Supervised Crop Area Segmentation for an Autonomous Combine Harvester	Sensors	김완수	21(14)		Sensors	SCI	2021.03.03	-	충남대 (100)
4	농작업 부하데이터를 활용한 44 kW급 전기구동 트랙터의 E-driving 시스템 설계 검증	유공압건설기계학회	백승운	19(4)		드라이브 컨트롤	비SCI	2022.12.27	-	충남대 (100)

*** 비 SCI 및 SCI 논문 미달항목 종료 후 추가 달성 예정

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	드라이브 컨트롤 2020년 춘계 학술대회	전현호	2020.07.16	금오공과대학교	한국
2	한국농기계학회 2020년 춘계 학술대회	한승훈	2020.10.30.	온라인개최	한국
3	대한기계학회	전현호	2020.07.23	온라인개최	한국
4	2020 정밀농업학회 추계 학술대회	김은국	2020.11.25	온라인개최	한국
5	NNUAL INTERNATIONAL MEETING	전현호	2021.07.12	온라인개최	한국
6	한국농업기계학회	전현호	2021.10.27	소노벨 제주	한국
7	한국농업기계학회	최효혁	2021.10.29	소노벨 제주	한국
8	한국농업기계학회	강경민	2021.04.30	농촌진흥청	한국
9	대한기계학회 IT융합부문 2022년도 춘계 학술대회	전현호	2022.05.26	안동 그랜드호텔	한국
10	2022 ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING	이준호	2022.07.19	MARRIOTT MARQUIS HOUSTON	미국

[기술적 성과]

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

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	자율주행 콤바인의 곡물 배출 보조장치	한국	충남대 산학 협력단	20.02.20	10-2020 -002083 8	-	-	-	-	충남대 (100)	-
2	자율주행 콤바인의 곡물 배출 보조장치	한국	-	-	-	-	충남대 산학 협력단	20.07.08	10-2133 940	충남대 (100)	-
3	콤바인의 곡물 유입량 측정장치	한국	(주)대동	21.11.29	10-2021 -016648 4	-	-	-	-	대동 (100)	√
4	콤바인의 곡물 유입량 측정장치	한국	-	-	-	-	(주)대동	22.08.17	10-2470 736	대동 (100)	-
5	크롤러주행장치	한국	(주)대동	22.09.29	10-2022 -012473 8	-	-	-	-	대동 (100)	-
6	크롤러주행장치	한국	(주)대동	22.09.29	10-2022 -012473 7	-	-	-	-	대동 (100)	-

○ 지식재산권 활용 유형

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

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		
1	기술 성능인증	한국생산기술연구원	자율주행 콤바인 성능시험	C21N920036-01-0 1-(00-00)	2021.11.04	대한민국
2	기술 성능인증	한국생산기술연구원	콤바인 자율주행 환경인식 및 속도성능시험	C21N920034-01-0 1-(00-00)	2021.11.09	대한민국
3	기술 성능인증	한국생산기술연구원	자율주행 콤바인 프로토콜	C21N920035-01-0 1-(00-00)	2021.11.11	대한민국
4	기술 성능인증	농업기술실용화재단	콤바인 자율주행 경로생성기 성능 인증	20-FACTMP-311	2020.12.09	대한민국
5	기술 성능인증	한국생산기술연구원	콤바인 작업성능 인증평가	C22N920041-01-0 1-(00-00)	2022.11.10	대한민국
6	기술 성능인증	부산테크노파크	자율주행 제이기 경로생성시간, 경로추 종오차, 작업오차, 작 업정확도 성능 인증시험	REC-2022-0927	2022.11.22	대한민국
7	기술 성능인증	에이치시티	자율주행 제이기 EMC, ESD인증	HCT-AU-2212-ET0 03	2022.12.16	대한민국

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	자율주행 콤바인	2022.05.20	(주)대동	(주)대동	실작업(수확)	1~2년	-	-
2	DH6135	22.12.31	(주)편진	(주)대동	필드 시험 및 자율주행 기능 구현용	1년		

□ 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	특허	자율주행 무인콤바인 개발	(주)대동	23.01.01	58,800,000원	-
2	노하우, 프로그램	자율주행 무인콤바인 개발	(주)대동	23.01.01		-

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자가실시	신제품 개발	국내	자율주행 콤바인 개발	DXM120-A	(주)대동	-	-	23.09 예상	-
2	자가실시	신제품 개발	국내	자율주행 제어기 개발	콤바인 자율주행 제어기	편진	-	-		

* 1) 기술이전 또는 자기실시

* 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등

* 3) 국내 또는 국외

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과		자율주행 무인콤바인			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	1			
	소요예산(천원)	5,000,000(예상가)			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		0	4,200,000	7,200,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
			0		
0			0	0	
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		자율주행 트랙터, 전투입 콤바인			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
		0	0	0	
	수출	0	0	0	

성과		자율주행 무인콤바인 컨트롤러			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	1			
	소요예산(천원)	500,000(예상가)			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		0	52,500	90,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
			0	0	0
0			0	0	
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		자율주행 트랙터 or 기타 컨트롤 필요 시스템			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
		0	0	0	
	수출	0	0	0	

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			2020년	2021년	2022년	
1	자율주행 콤바인 개발	(주)대동	2	0	0	2
3		(주)편진	2	1	0	3
4		한국농업기술진흥원	0	0	1	1
합계			4	1	1	6

□ 고용 효과 (컨소시엄 모두포함)

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	51
		생산인력	35
	개발 후	연구인력	63
		생산인력	45

[사회적 성과]

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용
1	제안	농업기계 검정기준 고시 일부개정	농림축산식품부 첨단기자재종자과	2022.12.31	-

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	-	2021		1			1			1			
2	-	2022		5			5		4	1			

□ 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원
1	자율주행 콤바인 현장 운용 및 이론 관련 교육	자율주행 콤바인과 관련된 현장 교육지도를 수행	충남대학교	1	8	3명

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	제품설명회	첨단 무인화 농업생산 시범단지 조성사업 전시회	전시회 출품	2022.10.13
2	전시회	대한민국국제농기계자재박 람회(KIEMSTA)	전시회 출품	2022.11.02
3	SNS 홍보	YOUTUBE	[콤바인50년토크1~6]정 밀농업으로 쌀 생산량 늘린다	2021.09.20
4	SNS 홍보	INSTAGRAM	[콤바인50년토크1~6]정 밀농업으로 쌀 생산량 늘린다	2021.10.20

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

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

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

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

해당사항 없음

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

해당사항 없음

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 자율주행 작업 연동 차량 제어 시스템 개발	○ 예취 HST, 예취 지면대응, 곡물배출, 차속제어, 수확량 모니터링과 같은 자율주행 연계기술 개발	○ 100%
○ 자율주행시스템 차량 어플리케이션 기술 개발	○ 자율주행시스템 차량 어플리케이션 관련 전장 시스템 개발 및 차량 검증	○ 100%
○ 자가고장진단 기술 개발	○ 자가고장진단 시스템 개발	○ 100%
○ 통합제어시스템 성능 검증	○ 통합제어시스템 성능 개발 및 검증	○ 100%
○ 부하감응 반응 및 탈곡부 개발	○ 부하감응 반응 및 탈곡시스템 개발 및 최적화	○ 100%
○ 자율주행 제어기 H/W 개발	○ 자율주행 제어기 H/W 개발 완료	○ 100%
○ 공용프로토콜 인증시험	○ 공용프로토콜 기능 KTC공인인증획득 완료	○ 100%
○ 자가진단기능 인증시험	○ 자가진단기능 기능 KTC공인인증획득 완료	○ 100%
○ EMC 인증획득	○ EMC인증(ECE R10 Rev 3) 획득 완료	○ 100%
○ ESD 인증획득	○ ESD인증(ISO 10605:2008) 획득 완료	○ 100%
○ 자율주행 콤바인 전역작업경로 생성 알고리즘 개발	○ 4변형 형태의 논에서 자율작업 가능한 2종의 (U선회형, α 선회형) 전역경로생성 알고리즘 개발완료 ○ 개발된 알고리즘의 경로생성시간은 0.35초로 개발목표 0.5초 이하를 달성	○ 100%
○ 콤바인 자율주행 제어 알고리즘 개발 및 실증	○ 전역경로 추종제어 및 작업알고리즘 개발완료 ○ 개발된 자율주행 콤바인의 경로추종오차는 3.58cm로 개발목표 15cm이하를 달성 ○ 경남, 전남 등에서 자율주행 알고리즘을 이용한 실증 시험 및 시연 완료	○ 100%
○ 자율주행 콤바인 시뮬레이션 모델 및 작업환경 인식 기술 개발	○ 자율주행 콤바인의 실차 제원을 이용한 다물체 동역학 시뮬레이션 개발을 완료하였으며, 경사지를 구현하여 주행 시뮬레이션을 수행하고 이를 기반으로 콤바인의 성능 검증을 완료하였음 ○ 자율주행 콤바인 환경인식 기술 개발은 자율작업을 위한 주요객체(작물, 경작 후, 배경, 장애물 등)의 인식이 가능하며 모듈화로 콤바인에 탈부착이 용이함 ○ 개발된 기술은 95%의 정확도로 20 fps 이상의 속도로 구현이 가능하며 관련 성능의 시험 성적서 발급 완료	○ 100%

○ 자율주행 및 핵심 기술 성능 평가 방법 개발.	○ 자율주행 농업기계 성능시험 방법 마련 및 농진원 내규 ‘농업기계 검정 및 안전관리 세부 실시요령’에 반영 개정 - 자율주행 성능평가 시험장비 개발 및 활용 - 자율주행 정밀도 향상을 위한 자체 기지국 설치	○ 100%
○ 안전성 평가 방법 개발	○ 농식품부 고시 ‘농업기계 검정기준’ [별표2]공통안전기준에 자율주행 관련 안전기준 신설 추진 - 안전기준(안) 마련 및 신설 건의 - 규제영향 분석 등 후속 행정조치 지원 등	○ 100%

3) 연구계획 대비 결과 매핑

가. 1차년도 연구계획 대비 결과 매핑

기관명	연구목표	연구결과	해당 페이지
주관기관 (주)대동	-경쟁사 벤치마킹, 특허동향 및 대응방안 검토	- 경쟁사 자율주행 기능 벤치마킹 진행 - 경쟁사 특허동향 및 대응방안 검토 진행 - 수확량 모니터링 특허 및 기술조사	P17 P19 P25
	-개발모듈 Lay-out설계 및 S/W 제어로직 구성	- 예취HST 모듈 유압회로도 및 3D Lay-out 설계 - 예취높이지능제어시스템 컨셉 사양 선정 - 부하감응형 차속제어 시스템 Lay-out 및 S/W 컨셉 설계	P23 ~ P25
	-자율주행 차량어플리케이션 시스템 개발	- 자율주행 콤바인 전장시스템 개발 - 자율주행 콤바인 CAN통신 시스템 개발 - 자율주행 콤바인 GPS 모듈 레이아웃 설계	P29 ~ P31
	-통합제어시스템 개발	- 통합제어기 시스템 개발 및 기능 설계	P31
	-선진사 부하감응기술 조사	- 선진 일본업체 K, I, Y 3개사 부하감응기술 동향 조사	P33
	-부하감응형 반송 및 탈곡 시스템 Lay-out설계	- 탈곡시스템 동력전달 계통도 Lay-out 설계 - 탈곡시스템 부하저감형 변경 아이템 수립 및 Lay-out 설계 - 선별부 부하저감 기술 적용 - 부하감응형 보조반송장치 Lay-out 설계	P34 ~ P38
	-탈곡통 급치형상 및 배열 Lay-out설계	- 탈곡통 급치배열 이론계산식 수립 - 급치 종류별 배치분석	P35 ~ P36
	-탈곡부 부하감지 센서류 선정	- 탈곡부 부하감지를 위한 회전센서 장착부 선정 - 탈곡부 부하센싱 구성도 초안 수립	P38
협동 연구기관	- 환경 및 작물 인식/추종 컨트롤러 샘플보드 개발	- 환경 및 작물인식/추종 컨트롤러 샘플보드 설계 - 환경 및 작물인식/추종 컨트롤러 샘플보드 구성품 수립	P137 ~ P140

(편진)		- 메인보드, 확장보드 스펙 사양 결정	
	- 환경인식, 경로생성 알고리즘 이식 개발	- 환경 및 작물인식/추종 컨트롤러 보드 Bring-up 및 BSP 개발 - 컨트롤러 보드 MCU 제어기능 구현 - 컨트롤러 보드 환경 및 작물인식 탑재를 위한 운영환경 구성	P141 ~ P142
협동 연구기관 (홍익대)	- 직진주행 작업경로 생성 알고리즘 개발	- 수확작업경로 패턴조사 및 분석 - 정방향 표준포장에 대한 직진주행 작업경로 생성 알고리즘 개발	P163 ~ P166
	- 궤도형 차륜장치를 위한 주행제어 모델 개발	- 궤도형 차륜을 갖는 콤바인의 주행장치 분석 및 제어요인시험 - 콤바인 주행제어모델 개발	P167 ~ P169
협동 연구기관 (충남대)	- 자율주행 콤바인 주행부 시뮬레이션 모델 개발	- 시뮬레이션 설계 인자 도출 및 주행부 3D 모델 개발 - 주행부 조인트 강성계수 예측 모델 개발	P192 ~ P197
	- 작업환경 분석 및 환경인식 기술 설계	- 환경정보 수집을 위한 센서 시스템 구성 및 영상, 공간정보 등 주요 데이터 수집 - 작업 환경 분석을 통한 자율주행 콤바인 환경 인식 요소 선정 및 레이아웃 설계	P197 ~ P216
협동 연구기관 (한국농업 기술진흥원)	- 자율주행 및 핵심 기술 성능평가 방법 개발	- 자율주행 농업기계 관련 국제 표준조사 - 자율주행 농업기계 성능 시험방법(안) 마련 - 자율주행 농업기계 이동경로 측정 시스템 정확도 향상을 위한 기지국 구축	P254 ~ P257
	- 안전성 평가 방법 개발	- 자율주행 농업기계 안전성 시험방법(안) 마련	P256

나. 2차년도 연구계획 대비 결과 매핑

기관명	연구목표	연구결과	해당 페이지
주관기관 ((주)대동)	- 시제품 기대 제작 및 성능 평가	- 1차 Pilot 기대 제작 - 1차 Pilot 성능 검증을 위한 공인인증시험 진행 (기술지도검정 : 정도시험, 작업능력시험) - 수확량 모니터링 공인인증시험	P79 ~ P82
	- 개발모듈 제작 및 성능평가	- 예취 HST 시스템 레이아웃 설계 및 상세설계 - 예취구동 HST 구성품 및 모듈 시제품 제작 - 예취구동 HST 모듈 성능시험평가 - 예취높이 지능제어 시스템 제작 및 성능평가 - 부하감응형 차속제어 전상시스템 개발 및 차량 탑재 - 곡물배출 오거 자동제어 전장시스템 컨셉 및 알고리즘 개발/ 제어 설계 진행 - 수확량 모니터링 시스템 컨셉 확정 및 H/w 레이아웃 및 알고리즘 개발	P39 ~ P66

	-자율주행 차량어플리케이션 시스템 차량 적용	- 자율주행 콤바인 전장 시스템 개발 - 전장부 설계 주요 부품 리스트 항목 수립 - 콤바인 CAN 통신 시스템 개발 및 차량 매칭 - 자율주행 시스템 어플리케이션 관련 조작 및 부착 장치 설계	P67 ~ P71
	-통합제어시스템 성능최적화	- 통합제어기 기능 및 하드웨어 개발	P71
	-부하감응형 반송 및 탈곡 제작 및 모듈 성능 평가	- 보조 반송장치 속비 개선 검토 - 보조 반송장치 시제품 제작 및 차량 탑재 - 보조 반송장치 조립성 및 필드 성능평가	P73 ~ P75
	-부하감응형 탈곡통 제작 및 성능평가	- 개선 탈곡통 시제품 제작 - 탈곡 선별부 제어 사양 확정	P76 ~ P77
	-탈곡부하감지 센싱신뢰검증	- 탈곡부 동력전달계통에 따른 센싱 위치 확정 및 벤치 테스트를 통한 신호점검 확인	P78
협동 연구기관 (편진)	- 환경 및 작물 인식/추종 컨트롤러 시제품 개발	- 환경 및 작물 인식/추종 컨트롤러 Interface 설계 - 환경 및 작물 인식/추종 컨트롤러 시제품 제작	P142 ~ P145
	- 환경인식, 경로생성/추종 제어기술 개발	- 환경인식, 경로생성/추종 제어기술 탑재형 컨트롤러 개발 (제어기술 : 협동기관) - CAN통신 프로토콜 자가진단 항목 개발 - 자율주행 시스템 및 환경인식 센서부 CAN 통신 시스템 개발	P142 ~ P149
	- 1차 필드검증	- 1차 Pilot 차량 탑재하여 컨트롤러 동작 검증	P150
협동 연구기관 (홍익대)	-후진을 포함한 전역작업경로 생성 알고리즘 개발	- 전역작업경로 생성 알고리즘 개발 - 선회 경로 생성 알고리즘 개발 - 곡물 배출경로 생성 알고리즘 개발 - 자율주행 콤바인 전역작업경로 생성 결과 평가	P170 ~ P174
	-자율주행 콤바인 주행제어 알고리즘 개발	- 조향제어 알고리즘 개발 - 속도제어 알고리즘 개발	P174 ~ P179
협동 연구기관 (충남대)	-작업 부하에 따른 주행부 시뮬레이션 모델 해석 및 검증	- 실차 모델 제원을 이용한 주행부 시뮬레이션 모델 보완 - 실차 계측 및 작업 부하에 따른 주행부 시뮬레이션 검증	P217 ~ P226
	-자율주행 콤바인 지능형 환경인식 기술 개발	- 학습 기반 지능형 객체 인식 및 주요 영역 분할 기술 개발 - 복합정보의 실시간 맵핑 및 실시간 환경 인식 기술 개발 - 종합성능평가 진행	P226 ~ P236
협동 연구기관	-자율주행 콤바인 추종 시스템 개발	- 경로 추종 시스템 도입 및 시험 평가	P289

(한국농업 기술진흥원)	-GPS 수신율 및 CAN-Bus 통신호환성 검정시스템 개발	- CAN Bus 통신 호환성 통신시스템 제작	P296
	-안전성 평가 방법 개발	- 안전성 평가용 장애물 제작	P297

다. 3차년도 연구계획 대비 결과 매핑

기관명	연구목표	연구결과	해당 페이지
주관기관 (주)대동	-시작품 기대 제작	- 개선부품 탑재형 시작품 기대 제작 - 시작품 자율주행 필드시험평가 - 공인인증시험진행	P125 ~ P129
	-개발모듈 개선 및 현장평가	- 예취구동 HST 1차 개발 사양 부적합부 반영 개선 개발 - 예취HST 구동 링크구조 변경 및 작동성능 및 제어/내구 성능 평가 - 예취높이 지능제어 시스템/센서/배선/제어기 사양 산정 및 소프트웨어 보정 - 예취높이 지능제어 필드 시험 평가 및 신뢰성 시험 평가 - 부하감응형 차속 컨트롤러 개선개발 및 차량시험을 통한 알고리즘 수정 개발 및 적용 - 부하감응형 차속제어 시스템 벤치시험평가 및 필드시험평가 - 곡물배출 경로 생성 시스템 구현을 위한 CAN 프로토콜 구축 - 수확량 모니터링 센서 및 데이터 수집부 Lay-out 최적화 - 수확량 모니터링 개선품 제작 및 시험평가	P83 ~ P119
	-자율주행 차량어플리케이션 시스템 현장 적응성 평가	- 자율주행 콤바인 전장시스템 개발 및 최적화 - 자율주행 콤바인 CAN 통신시스템 개선개발 - 위치인식 모듈 개발품 현장 실증평가	P120 ~ P124
	-필드실증시험	- 자율주행 콤바인 하곡시즌 현장시험평가 - 자율주행 콤바인 추곡시즌 현장시험평가	P125 ~ P129
	-자가고장진단 기술 개발	- 콤바인 시스템 이상부위인식 및 진단을 위한 자가고장진단 시스템 개발	P130
	-통합제어시스템 성능 검증	- 자율주행 조작 디스플레이장치 개발	P107 ~ P112
	-부하감응형 반송 및 탈곡부 개선품 제작 및 필드 평가	- 부하감응형 반송 시스템 개선품 분기 탑재평가 - 예취 및 탈곡 속도 연계 시 적합성 검토	P131 ~ P132

	-최적급치배열 탈곡통 현장 평가를 통한 최적사양 결정	- 탈곡 급치 배열 최적화 이론검증 및 필드시험 평가	P133 ~ P136
협동 연구기관 (편진)	- 환경 및 작물 인식/추종 컨트롤러 시작품 개발	- 사양 부적합부 개선사항 및 내환경성 개선항목 도출	P151
	- 현장 적응성 평가	- 콤바인 적용 실증 시험평가 및 환경시험 공인인증을 통한 현장 적응성 평가	P157 P161 P162
	- 환경인식 및 경로생성/추종 제어기술 최적화	- 환경 및 작물인식/추종 컨트롤러 메인보드 시작품 사양 최적화	P151 ~ P154
	- 2차 필드검증	- 콤바인 적용 실증 시험평가	P157
	- 자가고장진단 스마트폰 연동 기술 개발	- CAN 통신 공용 프로토콜 개발 - 자가진단항목 개발 - 컨트롤러 공용프로토콜 및 자가진단기능 검증 - 자가진단 검증 공인인증시험 진행	P155 ~ P160
협동 연구기관 (홍익대)	-콤바인 작업경로 생성 알고리즘 최적화	- 다변형 환경에서의 선회 경로 생성 알고리즘 개발 - 선회경로생성 알고리즘에 사용되는 매개변수 최적화	P180 ~ P183
	-주행제어 알고리즘 실증 및 최적화	- 자율주행 콤바인 제어 시스템 구성 - 측위 시스템 사양 선정 - 경로생성 시스템 개발 및 평가 - 경로추종 및 작업기 제어 시스템 개발 - 주행제어 알고리즘 실증	P183 ~ P191
협동 연구기관 (충남대)	-경사지 주행에 따른 주행부 동역학 시뮬레이션 모델 및 최적 주행 기술 개발	- 노지 및 경사지에서의 동역학 시뮬레이션 모델 개발 - 시뮬레이션 모델을 이용한 주행조건에 따른 성능검증	P237 ~ P244
	-환경인식 기술 성능평가 및 고도화	- 비정형 작업환경 및 장애물 인식 기술 개발 - 시험 모듈 개발 및 실차장착 - 필드시험 평가	P245 ~ P253
협동 연구기관 (한국농업 기술진흥원)	-자율주행 무인콤바인 성능 및 안전성 시험방법(안) 실증 및 고도화	- 농업기계 자율주행 성능시험 방법 및 검정기준 제정	P302 ~ P314

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

해당사항 없음

2) 자체 보완활동

해당사항 없음

3) 연구개발 과정의 성실성

1) 주관연구기관 : (주) 대동

- 가) 분기별 각 기관별 전체 회의를 통해 진행사항을 검토하고 일정의 변경 및 지연이 발생하는 부분에 대해 기관별 내용 공유를 진행함.
- 나) 연구노트 작성을 각 섹션별 개발 담당자별 진행함으로써 개발 기종의 개발 이력을 문서화 하였음.
- 다) 1차 Pilot 기대 제작 이후 각종 벤치 시험평가를 진행하며, 내부 제어 컨트롤러의 프로그램 변경 내용을 문서화 하여 정비 및 프로그램 변경, 시험일정 등을 문서 관리 하였음.

2) 공동연구기관 : 편진

- 가) 자율주행 콤바인용 경로 생성/추종 컨트롤러 하드웨어 개발을 완료함
- 나) 공용프로토콜 및 자가진단 기능에 대한 공인시험으로 기능을 검증 받음
 - ㄱ. KTC공인입회시험으로 공용프로토콜 및 자가진단 기능 검증을 완료 함
- 다) EMC / ESD 에 있어 국제규격에 준하는 성능확보를 검증 받음
 - ㄱ. 유럽 전자파 방출량 규정인 'ECE R10 Rev 3' 시험을 통과, EMC 에 있어 국제규격에 준하는 성능확보를 검증
 - ㄴ. 자동차전자장품 전자파적합성 시험 인 'ISO 10605:2008'를 시험을 통과, ESD (정전기 시험, Electrostatic discharge) 에 있어 국제규격에 준하는 성능확보를 검증

3) 공동연구기관 : 흥익대학교

- 가) 주관기관과의 빈번한 소통을 통하여 자율주행 콤바인을 이용한 요인시험 및 실증시험을 차질 없이 진행하였으며, 시험 중 발견되는 문제점 및 요구사항을 함께 분석하여 개발 적용함으로써 성공적으로 개발을 수행하였음. 주관기관과 함께 시연에 적극 참여하여 기술의 홍보 및 사업화에 협력하였음.

4) 공동연구기관 : 충남대학교

- 가) 자율주행 콤바인의 시뮬레이션 모델과 환경인식 기술 개발을 수행하였으며, 관련 성능 확보를 위한 자체실험과 공인시험을 수행하여 정량적 성과를 충실히 달성하였음. 특히, 시험과 관련하여 자체적으로 필드를 구하여 수행하며 성능에 대한 신뢰성을 확보하였음.
- 나) 본 과제를 수행하며 특허출원-등록 등의 기술적 성과 뿐만 아니라 학술적인 성과(SCIE 2건, KCI 1건 등)도 달성하였으며, 특히, SCIE 1건은 해당분야 10% 이내 학술지에 게재되는 높은 성과임. 추가적으로 관련 과제 수행인력 배출 등 전문인력을 양성하여 본 과제 수행을 성실하였다고 판단함.

5) 공동연구기관 : 한국농업기술진흥원

- 가) 자율주행 농업기계 검정방법 및 기준 마련 시 관련 업계 의견 청취를 실시하였으며, 관계기관에 관련 자율주행 농업기계 관련 기준이 마련될 수 있도록 대응하였음.
- ㄱ. 자율주행 농업기계 검정기준 제정 건의(농식품부)
- ㄴ. 자율주행 농업기계 검정기준 도입 시 규제영향 분석 등 행정 지원

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

콤바인은 작업 특성상 작물의 운반을 위해 2인작업이 요해지고, 적기 수확이 요해지기 때문에 수확시기의 작업인원의 결원은 농가입장에서는 치명적임. 또한 농촌의 노동력은 매년 고령화와 인구감소로 인해 심각해지는 추세로 노동력 대체 가능한 기계의 출현이 불가피함. 이러한 농업 실정에서 자율주행 무인콤바인의 개발은 노동력 대체 및 작업의 편의성 측면에서 다방면의 효과를 나타 낼 것으로 판단됨. 현재 자율주행 무인콤바인 개발 기술은 안전성과 일부 튜닝 작업을 제외하고 상용화 가능한 수준으로 기술개발이 진행되었음. 상용화 및 양산 기준으로 농업기계에서는 이양기 직진자율주행 이외의 자율주행 기술이 탑재되어 양산판매가 전무하기 때문에 여러 가지 측면에서 자율주행 무인콤바인 기술개발과 사업화는 의미가 있음. 이는 국내 농업기계 기술의 기술력 제고가 될 것이고, 이를 통해 여타 유사기술의 파급효과가 급진적으로 이루어질 것으로 판단됨.

농업기계에 접목할 수 있는 4차 산업 기술 중 자율주행 기술은 일부분이므로 기술 확보와 신뢰성을 바탕으로 한 상용화가 이루어진다면 연계기술의 출현 및 확장도 연쇄적으로 발생할 것으로 기대됨.

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

1) 주관연구기관 : (주) 대동

- 가) 자율주행 콤바인 기술개발을 통한 콤바인 작업 노동 투하량 저감 도모 가능. 또한 자율주행 콤바인 기술 KIT사업을 통해 자율주행 기술 요구 수요에 따른 옵션 판매로 소비자의 선택폭을 늘릴 수 있을 것으로 판단됨.
- 나) 콤바인 기술 개발 이후 전투입 콤바인 및 트랙터, 이앙기 등 요소기술 변경을 통해 자율주행 기술 확대적용이 가능 할 것으로 판단됨.
- 다) 해당 연구과제를 통해 개발한 내용을 토대로 필드별 데이터를 수집하고 품질안정화가 진행되면 카메라, 레이더, 라이다 등 다양한 센서를 활용하여 고가 GPS 사용을 대체하여 원가절감을 통한 사업성을 추가 확보하고자 함.

2) 공동연구기관 : 편진

- 가) 자율주행 콤바인의 핵심인 자율주행 제어기를 개발하여 자율주행이 가능한 콤바인을 제작함으로써 인구가 지속적으로 감소하는 농촌 환경에서 자율주행 무인 콤바인을 활용하여 생산력 향상 및 비용 절감이 가능할 것으로 판단 됨

3) 공동연구기관 : 홍익대학교

- 가) 향후 기대되는 수확용 자율주행 플랫폼 개발에 개발 기술이 적용될 수 있으며 농업용 로봇 개발등에 응용될 수 있음. 향후 정밀위치기반의 수확량 측정 기술과 연동하여 작업데이터를 축적하고 활용하는 정밀농업 구현을 위한 기반이 될 것으로 기대됨.

4) 공동연구기관 : 충남대학교

- 가) 본 연구를 통해 궤도형 플랫폼의 동역학 모델을 개발하였으며, 경사 노면을 구현하여 플랫폼의 성능 예측 모델을 제작하였음. 향후 이를 기반으로 농작업 차량뿐 아니라 여러 궤도형 플랫폼에 모델을 변형하여 적용 가능할 것으로 판단되며, 성능 예측 모델을 기반으로 차후 농작업 차량에 대한 성능 예측 모델 개발에 적용 가능할 것으로 판단됨.
- 나) 본 연구를 통해 딥러닝 기반 영상인식 시스템을 개발하였으며, 알고리즘을 활용하여 경작지 및 미경작지 구분이 가능할 것으로 판단됨. 또한 장애물 인식 및 경로인식, 미경작지 인식 등의 알고리즘을 개발하여 영상기반 자율주행 플랫폼에도 활용 가능할 것으로 판단됨
- 다) 환경인식 연구결과를 토대로 향후 심층하여 GPS 및 IMU 기반 장비와 통합하여 향후 고도화된 자율주행 기술 개발에 활용하고자함.

5) 공동연구기관 : 한국농업기술진흥원

- 가) 자율주행 농업기계 종합, 성능, 기술지도 검정 등 농업기계 검정제도 활용
 - ㄱ. 자율주행 농업기계 종합검정 시 직진 성능 및 안전성 검정 실시
 - ㄴ. 자율주행 농업기계 선회 성능 시험 추가 개발 및 검정 실시
-

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE					
	비SCIE					
국내논문	SCIE					
	비SCIE		1			
특허출원	국내		1			
	국외					
특허등록	국내					
	국외					
인력양성	학사					
	석사	1	1	1	1	
	박사				1	
사업화	시제품개발	1				
	상품출시	2				
	기술이전	2				
	공정개발					
	매출액(단위 : 천원)	1,215,000	2,480,000	3,795,000	5,060,000	6,325,000
	기술료(단위 : 천원)	750	1,500	2,250	3,000	3,750
비임상시험 실시						
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상				
		2상				
		3상				
	의료기기					
진료지침개발						
신의료기술개발						
성과홍보		1		1		
포상 및 수상실적						
정성적 성과 주요 내용						

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
내용없음	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단농기계산업화기술개발사업 자율주행 무인콤바인 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 첨단농기계산업화기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		320026-3	
사업구분	농기계 산업 혁신기술사업				
연구분야	농업기계			과제구분	단위
사업명	첨단농기계산업화기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	자율주행 무인 콤바인 기술 개발			과제유형	(개발)
연구개발기관	(주)대동			연구책임자	이종순
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2020.04.29.~ 2020.12.31	600,000,000	400,000,000	1,000,000,000
	2차년도	2021.01.01.~ 2021.12.31	800,000,000	534,000,000	1,334,000,000
	3차년도	2022.01.01.~ 2022.12.31	800,000,000	305,000,000	1,105,000,000
	계	총 3년(33개월)	2,200,000,000	1,239,000,000	3,439,000,000
참여기업	편진, 홍익대학교, 충남대학교, 한국농업기술진흥원				
상대국	-	상대국연구개발기관	-		

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2023. 02. 16

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
(주) 대동	부사장	이종순

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	
----	--

[별첨 1]

I. 연구개발실적

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

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

자율주행 콤바인 기술 개발은 국내 진행 이력이 극소수이며, 개발된 기술을 상용화한 사례는 국내 최초로 연구개발결과에 대한 가치는 우수한 것으로 판단됨. 자율주행 기능뿐 아닌 자율주행 구현에 필요한 기능들에 대한 개발과 매칭되는 하드웨어 시스템을 구현함. 더불어 자율주행 콤바인 성능시험을 위한 법안 정책제안까지 추가 진행되었음.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 보통

자율주행 기술이 접목된 콤바인이 상용화되면 농가의 부족한 노동력을 대체 할 수 있는 획기적인 수단이 될 수 있음. 하지만 상용화 이후 시장 보급까지 시간이 소요되며, 보급수준에 따라 파급효과가 정확하게 가늠 할 수 있다고 판단됨. 이 외 기술적 가치로 타기종, 타산업 영향을 고려한다면 일정수준의 파급효과를 가질 것으로 판단됨.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

자율주행 무인 콤바인 기술은 앞서 언급한 바와 같이 단순 기술 개발이 아닌 상용화를 목적으로 개발된 기술로 금년도 양산 보급 예정으로 기술 활용가치는 우수함. 또한 요소기술로 개발된 HST 및 컨트롤러 제어기와 같은 모듈은 콤바인 타기종, 트랙터 접목 검토를 진행중에 있으며 타산업에 기술 확대적용하여 기술확장이 가능 할 것으로 판단됨.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

기술 개발 과정 동안 컨소시엄간 긴밀한 소통을 위해 주기적인 회의 및 워크샵이 진행되었고, 개발과정 에 문제가 발생되었을 때 기관별 협업을 통해 문제를 단계별로 해결함. 또한 당초 목표한 정량적성과 달성 실적이 우수하며, 목표 이외 홍보, 시제품 개발 등 내용을 달성하였음.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

해당 기술개발을 토대로 논문 투고 및 학술발표가 다수 진행되었고, 특허출원 및 등록을 통한 지적재산권 확보도 진행됨. 또한 기술 개발 기간 내 개발 콤바인의 홍보 및 사회공헌을 위해 농림부 주관의 연사회 참관을 진행하였고, 전시회 출품을 통한 기술 소개도 진행한 이력이 있음.

II. 연구목표 달성도

* 세부연구목표는 주요 핵심기술만 기술함.

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
자율주행 작업 연동 차량 제어시스템 개발	10	10	자율주행 연동을 위한 예취HST 및 지면대응센서, 차속제어, 수확량 모니터링 기술 등 개발 완료
자율주행시스템 차량 어플리케이션 기술 개발	20	20	자율주행 차량 적용을 위한 통신, 전장시스템 개발 및 시험평가를 통한 적합성 확인 완료
자가고장진단 기술 개발	5	3	자가고장진단 기술 개발완료. 추후 텔레메틱스 연동 기술구현 예정
통합제어시스템(모니터) 성능 검증	10	10	통합제어를 위한 자율주행 모니터 개발 적용 완료
부하감응 반송 및 탈곡부 개발	5	5	부하감응형 반송시스템 개발 및 시험평가를 통한 적응성 확인 완료
환경 및 작물 인식/추종 컨트롤러 개발	15	15	경로추종, 환경인식용 컨트롤러 개발 및 기대 장착 평가 완료
직진주행 작업경로 생성 알고리즘 개발 및 최적화	15	15	경로 생성 알고리즘 개발 및 필드 실증시험을 통한 신뢰성 확인 완료
자율주행 콤바인 지능형 환경인식 기술 개발	10	8	환경 및 작물 인식/추종기술 개발완료, 필드 연속작업시간이 다소 작아 모니터링을 통한 적응성 추가 확인 필요
자율주행 무인콤바인 성능 및 안전성 시험방법(안) 실증 및 고도화	10	10	자율주행 성능 및 안전성 시험방법 정책제안 완료
합계	100점	96점	추가 필드 모니터링 필요항목 이외 개발수준 양호

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

일부 필드 추가적인 모니터링에 대한 데이터 확보를 통한 신뢰성 부분의 일부를 제외하고, 기술개발의 관점에서는 개발수준 우수함.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

콤바인 특성상(작업방법, 구조 등) 요구되는 기술 수준과 한계에 대해 고려 필요.
(예로 회행작업으로 인한 경로추종 필요 등)

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

향후 논문 게재 등 학술활동을 통한 기술교류 활동과 지적재산권 확보를 통한 선진업체로부터 기술보호를 진행 할 예정임. 또한 금년도 기준으로 초도양산 및 판매 예정임. 추후 검토를 통해 개발 요소기술을 타 기종, 타 산업 확대적용하는 방안을 통해 공용화 플랫폼 구축 예정임.

IV. 보안성 검토

해당 기술은 개발 이력이 국내에 거의 전무한 실정이기 때문에 기술분쟁과 개발 기관들의 기술보호를 위한 개발내용 보안이 필요하다고 판단됨.

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

연구개발을 통해 기술 상용화를 위해 컨소시엄간 긴밀한 소통과 기술 교류가 이루어졌으며, 그 결과 대다수의 기술 개발 항목을 달성하였음. 일부 기술은 기술 개발 관점에서는 완료되었지만 시험평가 시간이 적어 상용화 및 기술 적용 기대 판매를 고려하였을 때, 신뢰성 확보가 어려워 추가적인 시험이 필요할 것으로 판단됨.
기술개발도 당초 계획대비 초과 달성한 항목들도 다수 있으며, 대외적인 활동을 통한 홍보가 기술개발기간에 이루어져 금년도 양산 및 기대 판매에 좋은 영향을 미칠 것으로 기대됨.

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

일부 필드 추가적인 모니터링에 대한 데이터 확보를 통한 신뢰성 부분의 일부를 제외하고, 기술개발의 관점에서는 개발수준 우수함.

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	농기계 산업혁신 기술	
연구과제명	자율주행 무인콤바인 개발			
주관연구개발기관	(주) 대동		주관연구책임자	이 종 순
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	2,200,000,000	1,239,000,000	-	3,439,000,000
연구개발기간	2020.04.29. ~ 2022.12.31. (33개월)			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(자체 활용:사업화) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 자율주행 작업 연동 차량 제어시스템 개발	자율주행 연동을 위한 예취HST 및 지면대응센서, 차속제어, 수확량 모니터링 기술 등 개발 완료
② 자율주행시스템 차량 어플리케이션 기술 개발	자율주행 차량 적용을 위한 통신, 전장시스템 개발 및 시험평가를 통한 정합성 확인 완료
③ 자가고장진단 기술 개발	자가고장진단 기술 개발완료. 추후 텔레메틱스 연동 기술구현 예정
④ 통합제어시스템(모니터) 성능 검증	통합제어를 위한 자율주행 모니터 개발 적용완료
⑤ 부하감응 반응 및 탈곡부 개발	부하감응형 반응시스템 개발 및 시험평가를 통한 적응성 확인 완료
⑥ 환경 및 작물 인식/추종 컨트롤러 개발	경로추종, 환경인식용 컨트롤러 개발 및 기대 장착 평가 완료
⑦ 직진주행 작업경로 생성 알고리즘 개발 및 최적화	경로 생성 알고리즘 개발 및 필드 실증시험을 통한 신뢰성 확인 완료
⑧ 자율주행 콤바인 지능형 환경인식 기술 개발	환경 및 작물 인식/추종기술 개발완료, 필드 연속 작업시간이 다소 작아 모니터링을 통한 적응성 추가 확인 필요
⑨ 자율주행 무인콤바인 성능 및 안전성 시험방법 (안) 실증 및 고도화	자율주행 성능 및 안전성 시험방법 정책제안완료

* 세부연구목표는 주요 핵심기술만 기술함.

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타 (타연구 활용등)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문				학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
													S C I	비 S C I						
단위	건	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건			
가중치	15	10			15	10	20			10				10		3	2	5		
최종 목표	3	1			3	245	2			5		2	5		8		2	1	1	
당해 년도	목표	3	1		3	245	2			5	0	2	5		8		2	1	1	
	실적	4	2		2	58	2			6	20	2	2		10		5	1	4	
달성률 (%)	133	200			67	24	100			120	-	100	40		125		250	100	400	

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	자율주행 무인콤바인 연동 및 차량 어플리케이션 개발 기술
②	콤바인 자가고장진단 및 통합제어기술(모니터) 개발
③	환경인식 및 경로 추종 컨트롤러 개발 기술
④	콤바인 작업경로 추종 기술 개발
⑤	콤바인 환경인식 기술개발
⑥	자율주행 무인콤바인 성능 및 안전성 시험방법(안) 실증 및 고도화

5. 연구결과별 기술적 수준

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

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	자율주행 콤바인 적용 판매 예정 및 타기종·타산업 확대적용 가능성 기대
②의 기술	자율주행 콤바인 적용 판매 예정 및 타기종·타산업 확대적용 가능성 기대
③의 기술	자율주행 콤바인 적용 판매 예정 및 타기종·타산업 확대적용 가능성 기대
④의 기술	자율주행 콤바인 적용 판매 예정 및 타기종·타산업 확대적용 가능성 기대
⑤의 기술	기술개발 내용 학술 활용 및 기술교류를 통한 국내 환경인식 기술력 제고 기대
⑥의 기술	정책실시 및 국내 자율주행 콤바인 성능, 안전화 평가 방안 마련

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 활용비)		
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	S M A R T	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문				학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시	
											SCI		비SCI	논 문 평 균 I F							
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건				
가중치	15	10			15	10	20			10				10		3	2	5	10		
최종목표	3	1			3	245	2			5				2	5	8		2	1	1	1
연구기간내 달성실적	4	2			2	58	2			6		20		2	2	10		5	1	4	
연구종료후 성과장출 계획	1	1						360		1					3	1		1		1	1

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	해당사항없음		
이전형태	해당사항없음	기술료 예정액	해당사항없음
이전방식 ²⁾	해당사항없음		
이전소요기간	해당사항없음	실용화예상시기 ³⁾	해당사항없음
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	해당사항없음		

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)