

117011-03

보안 과제(), 일반 과제(✓) / 공개(✓), 비공개()발간등록번호()
첨단생산기술개발사업 제3차 연도 최종 보고서

발간등록번호

11-1543000-003124-01

유선 비행
로봇
기반의
농업기계
주행 지능
고도화를
위한
인공지능
센싱
플랫폼
개발

유선 비행 로봇 기반의 농업기계 주행 지능 고도화를 위한 인공지능 센싱 플랫폼 개발 최종보고서

최
종
보
고
서

2020.02.15.

2020

농
림
식품
기술
기획
평가
원

주관연구기관 / 전남대학교(1세부)
협동연구기관 / 전남대학교(2세부)
유콘시스템(주)(1협동)
(주)에이오비(2협동)

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “첨단생산기술개발사업”(개발기간 : 2017. 04. 21 ~ 2019. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 2. 15.

주관연구기관명 : 전남대학교 산학협력단 (대표자) 김 재 국 (인)

참여기관명 : 유콘 시스템 (주) (대표자) 송 재 근 (인)

참여기관명 : (주) 에이오비 (대표자) 노 재 상 (인)

주관연구책임자 : 이 경 환
세부·협동연구책임자 : 오 상 언
김 상 한
노 재 상

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	117011-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2017.04.21 ~ 2019. 12. 31	단 계 구 분	3차년도/ (총 3년 차)
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	유선 비행 로봇 기반의 농업기계 주행 지능 고도화를 위한 인공지능 센싱 플랫폼 개발			
	세부 과제명				
연구책임자	이 경 환	해당년차 참여연구원 수	총: 29명 내부: 29명 외부: 00명	해당년차 연구개발비	정부: 300,000천원 민간: 100,000천원 계: 400,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 72명 내부: 72명 외부: 00명	총 연구개발비	정부:825,000천원 민간:275,000천원 계:1,100,000천원
연구기관명 및 소속부서명	전남대학교 지역·바이오시스템공학과		참여기업명 유콘 시스템(주), (주)에이오비		
국제공동연구	상대국명: (해당사항 없음)		상대국 연구기관명: (해당사항 없음)		
위탁연구	연구기관명: (해당사항 없음)		연구책임자: (해당사항 없음)		

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반과제 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의 4에 해당하지 않음
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

203page

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유선 비행 로봇 기반의 영상 정보를 통해 주변 환경을 자동 인식하고 농업기계 작업 및 주행의 지능 고도화를 위한 인공지능형 센싱 플랫폼 개발 - 모바일 농업기계 전용 유선 비행 로봇 시스템 개발 - 영상획득 및 분석 임베디드 시스템 개발 - 안전주행과 작물 및 농경지 특성 분석을 위한 인공지능 알고리즘 개발 - 유선 비행 로봇과 모바일 농업기계의 시스템 통합 및 현장 성능 시험 				
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자율주행 농업용 차량 <ul style="list-style-type: none"> - RTK-GPS, Angular sensor, IMU, 방향제어와 속도 제어용 모터와 모터 드라이버를 탑재하여 Way-point 추종 기반 자율주행이 가능하도록 구성함 (평지 농경지 L자형 도로에서 RMS 오차 1.13~6.30cm) - 자율주행 농업용 차량에의 시스템 통합을 위한 유선 비행 로봇의 도킹스테이션 및 촬영 임무장비 브라켓 설계 및 탑재 ○ 유선 비행 로봇 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 일정고도 장시간 비행(최대비행시간 240분)과 실시간 정보 획득 가능 장비 개발 및 유선 비행 로봇 시험기 제작 - 유선 비행 로봇 제어장치 및 지상 통제장치 개발 - 자율주행 농업용 차량과의 시스템 통합 및 체계시험을 진행하여 유선 비행 로봇 성능 개선(자동 착륙 정확도 CEP: 0.3m이내, 원치동작 정확도: 99%, IP-54 인증 획득) ○ 영상획득 및 분석 임베디드 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - TX2 EVM 보드를 이용한 영상처리 임베디드 시스템 설계 및 외부 인터페이스용 보드 제작 - 고온/저온/습도/진동의 환경시험 통과한 영상분석 임베디드 시스템 제작 ○ 농경지 특성 분석 인공지능 알고리즘 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 딥러닝을 활용하여 농경지 환경의 장애물 객체 인식 알고리즘 및 도로 인식 알고리즘의 통합 설계 (장애물 인식 정확도: 80.76%, 도로 인식 정확도: 93.70%) - 농경지 환경 정보 제공을 위한 거리 측정 알고리즘과 온톨로지 기반의 상황 판단 알고리즘 설계 및 프로그램 통합 제작 ○ 특허, 기술이전, 매출액 성과 <ul style="list-style-type: none"> - 특허 출원 및 등록 7건 : '무인 항공기용 다기능 원치 장치' 외 6종 - 기술이전 1건 : '유선 비행 로봇 시스템 개발' - 개발 제품 사업화 6건, 사업화 매출액 100.9백만원 				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주행형 농업기계의 지능화와 유선 비행 로봇에 기반한 인공지능형 영상 분석 환경인식 알고리즘 등을 활용하여 단기간에 기존 농기계에 쉽게 플러그인 할 수 있는 기술을 확보함 ○ 대단위 영농인/영농법인, 지자체, 지역농협을 대상으로 개발 제품을 이용한 운전의 편의성과 농기계 안전사고 예방을 홍보하고 적용을 확대하고자 함. ○ 현장 실증사업을 추진하여 현장 요구 반영이 가능한 맞춤형 소프트웨어 적용을 통한 부가가치 창출하며, 신기술 농기계 등록을 통한 정부지원에 따른 판매 정책과 후속지원 체계 구축 ○ 세계 농기계 시장 규모는 지난 1999년부터 연평균 5.0% 지속적으로 성장하여 1,490억불 시장을 형성하고 있기 때문에 향후 개발 제품의 수출 파급효과는 매우 클 것으로 기대됨 				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>센싱 플랫폼</p>	<p>자율주행</p>	<p>유선 비행 로봇</p>	<p>인공지능</p>	<p>영상처리보드</p>
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>sensing platform</p>	<p>autonomous driving</p>	<p>wired UAV</p>	<p>artificial intelligence</p>	<p>image processing board</p>

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<본문목차>

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
1-1. 연구개발 목적	1
1-2. 연구개발의 필요성	4
2. 연구수행 내용 및 결과	5
2-1. 연구수행 내용	5
2-2. 세부, 협동기관별 연구수행 내용 및 결과	8
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	198
3-1. 목표	198
3-2. 목표 달성여부	199
4. 연구결과의 활용 계획 등	201
4-1. 연구결과 활용 가능성	201
4-2. 연구개발 활용 목표 및 경쟁력 분석	202
4-3. 수익 확보 전략	202

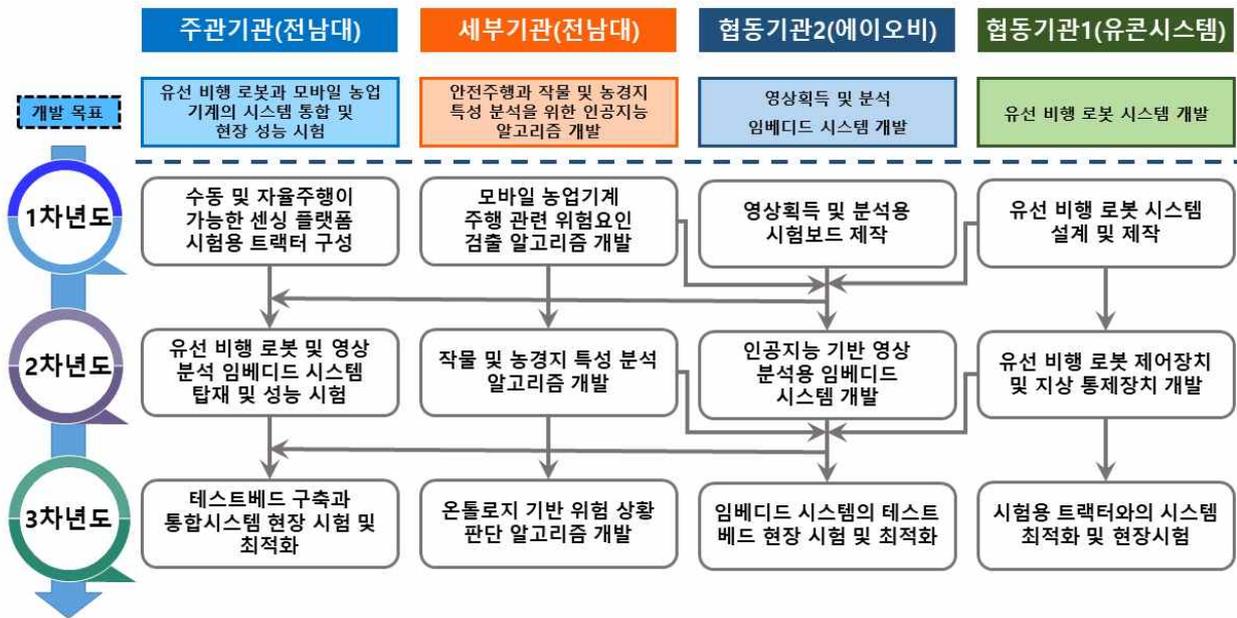
1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

가. 최종 목표

- 유선 비행 로봇 기반의 영상 정보를 통해 주변 환경을 자동 인식하고 농업기계 작업 및 주행의 지능 고도화를 위한 **인공지능형 센싱 플랫폼 개발**
 - 모바일 농업기계 전용 **유선 비행 로봇 시스템** 개발
 - **영상획득 및 분석 임베디드 시스템** 개발
 - 안전주행과 작물 및 농경지 특성 분석을 위한 **인공지능 알고리즘** 개발
 - **유선 비행 로봇과 모바일 농업기계의 시스템 통합** 및 현장 성능 시험

유선 비행 로봇 기반의 농업기계 지능 고도화를 위한 인공지능 센싱 플랫폼 개발



나. 연차별 연구목표 및 연구내용

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도	2017년	1세부 <ul style="list-style-type: none"> • 수동 및 자율주행이 가능한 센싱 플랫폼 시험용 트랙터 구성 	<ul style="list-style-type: none"> - 운전자 보조 시스템으로서 센싱 플랫폼의 성능 시험을 위한 시스템 구성 - 센서 및 제어장치의 트랙터 탑재에 의한 자율주행 차량 구성 - 평지 및 경사지 농경지에서의 자율주행을 위한 알고리즘 개발
		2세부 <ul style="list-style-type: none"> • 모바일 농업기계 주행 관련 위험요인 검출 알고리즘 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 장애물 인식 및 추적 알고리즘 설계 - 데이터 셋 구성 및 성능 평가 - 알고리즘의 성능 평가

		1협동	<ul style="list-style-type: none"> 유선 비행 로봇 시스템 설계 및 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 일정고도 장시간 비행과 실시간 정보 획득 가능 장비 개발 유선 비행 로봇 시험기 제작
		2협동	<ul style="list-style-type: none"> 영상획득 및 분석용 시험보드 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 영상 분석 상용보드를 이용한 임베디드 시스템 설계 외부 인터페이스용 보드 제작
2차년도	2018년	1세부	<ul style="list-style-type: none"> 유선 비행 로봇 및 영상 분석 임베디드 시스템 탑재 및 성능 시험 	<ul style="list-style-type: none"> 유선비행 로봇의 도킹스테이션 제작 및 탑재 유선비행 로봇의 촬영 임무장비 브라켓 설계 및 탑재 유선비행 로봇의 통합 시스템 구성
		2세부	<ul style="list-style-type: none"> 작물 및 농경지 특성 분석 알고리즘 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 3D Point-cloud 기반의 도로 및 주변환경 인식 3D Point-cloud의 Elevation 기반 경사도 파악 도로인식 프로그램 설계
		1협동	<ul style="list-style-type: none"> 유선 비행 로봇 제어장치 및 지상 통제 장치 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 유선 비행 로봇 제어장치 개발 유선 비행 로봇 지상 통제장치 개발
		2협동	<ul style="list-style-type: none"> 인공지능 기반 영상 분석용 임베디드 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 메인보드 제작을 위한 영상처리 모듈 회로도 제작 TX2 모듈을 이용한 메인 보드 제작
3차년도	2019년	1세부	<ul style="list-style-type: none"> 테스트베드 구축과 통합시스템 현장 시험 및 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> 자율주행 트랙터 현장 시험 유선 비행 로봇 트랙터 현장시험 최적화를 위한 알고리즘 구현
		2세부	<ul style="list-style-type: none"> 온톨로지 기반 위험 상황 판단 알고리즘 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 농기계 주행 시 위험상황 판단 알고리즘 설계 농경지 환경 정보 제공을 위한 거리 측정 알고리즘 설계 프로그램 통합 및 실증테스트 진행
		1협동	<ul style="list-style-type: none"> 시험용 트랙터와의 시스템 최적화 및 현장 시험 	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 통합 및 체계시험 지원 유선 비행 로봇 성능 개선
		2협동	<ul style="list-style-type: none"> 임베디드 시스템의 테스트베드 현장 시험 및 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> TX2용 보드 설계 환경시험 진행

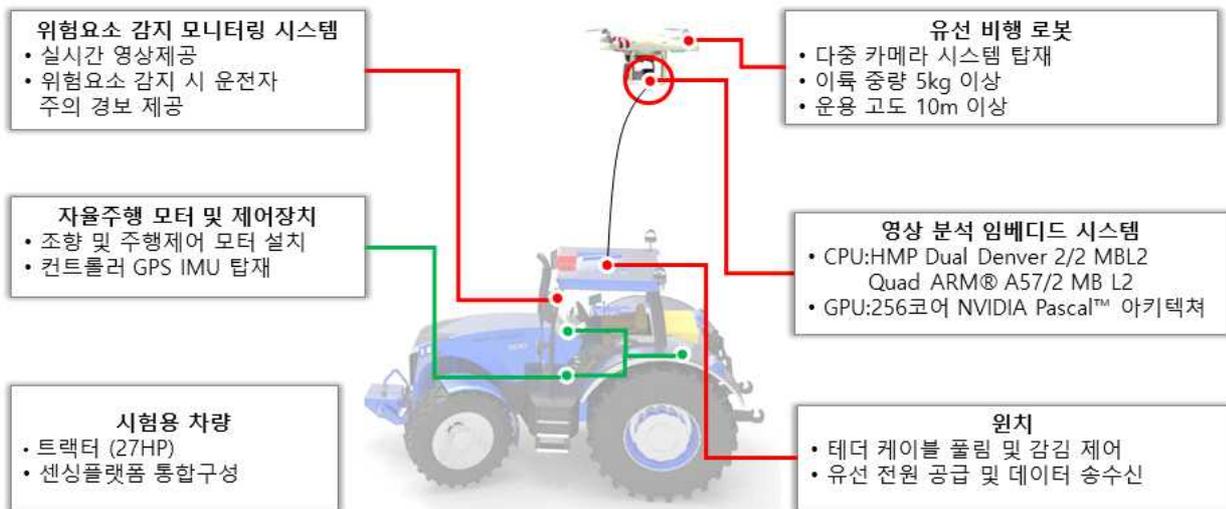
다. 목표 개발 제품

○ 유선 비행 로봇 시스템

- 다중 카메라 시스템을 탑재하고 있으며 지상의 모바일 농업기계로부터 유선을 통해 전원을 공급받고 데이터를 전송할 수 있음. 비행 로봇에 연결된 테더 케이블의 풀림 및 잠김 제어를 원치를 설치함
- 이륙중량 5kg 이상, 운용 고도 10m 이상, 다중 카메라 시스템 Full HD(1920*1280) 영상 제공

○ 영상 획득 및 분석 임베디드 시스템

- 유선 비행 로봇에 탑재된 다중 카메라로부터 영상을 획득하고 실시간 분석
- CPU: Quad ARM A57/2 MLB 2, GPU: 256코어 NVIDIA Pascal 아키텍처
- 안전주행과 작물 및 농경지 특성 분석을 위한 인공지능 알고리즘
 - 정적 및 동적 장애물 인지, 농로 검지, 농경지 경사도 예측과 함께 상황판단
 - 장애물 인지 에러를 15% 이내
- 유선 비행 로봇과 모바일 농업기계의 시스템 통합 및 현장 성능 시험
 - 시험용 차량에 유선 비행 로봇 시스템, 영상분석 임베디드 시스템을 통합하여 구성
 - 농로의 위험성과 농경지의 경사도 및 등고선의 복잡도 등을 고려하여 발작물 재배 농경지를 테스트베드로 구축하고 현장 시험



라. 성과 목표

(단위 : 건수, 백만원)

성과목표	연구기반지표																	
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용홍보	
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보전시
												SCI	비SCI					
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건		
가중치	15	10				30	20		10				5		5		5	
최종목표	3	3		1		1	20		5		2	2	5		2		4	
1차년도	1												1					

2차년도	1	1								1	1		2		1		1	
3차년도	1	1		1		1	10		3		1	1		2		1		1
소 계	3	2		1		1			3		2	2		5		2		2
종료 1차년도		1																1
종료 2차년도							10		2									1
종료 3차년도																		
소 계		1					20		2									2
합 계	3	3		1		1	20		5		2	2		5		2		4

1-2. 연구개발의 필요성

- 국내 농기계산업이 국제 경쟁력을 갖추기 위해서는 고성능, 융복합 기술에 기반한 스마트 농기계 핵심 요소 기술을 확보하고 이를 상용화해야 함
- 세계 메이저 농기계 업체들은 4차 산업혁명 시대를 맞이하여 농기계 상호간의 초연결성과 초지능화를 추진하고 있음. 특히 드론과 협업을 통해 농기계의 시야를 광대역으로 확대하면서 군집 농기계의 역할분담에 의한 농작업 효율성 극대화 및 농기계 안전사고를 예방하고 있음
- 주행형 농업기계(트랙터, 콤바인, 이앙기, 관리기 등)의 지능화에 의한 안전사고 예방 및 농작업 효율성 극대화를 위해 드론 영상 분석에 기반한 인공지능형 환경인식 센싱 플랫폼과 이를 기존 농기계에 쉽게 플러그인 할 수 있는 기술 개발이 필요함
- 이러한 기술은 점차 대형화되어 가는 주행형 농기계의 지능형 운전자 보조시스템으로 활용되어 고령자, 여성 농업인의 농기계 조작 범위를 확대할 수 있고 농기계 안전사고를 예방할 수 있음. 또한 4차 산업혁명 시대의 농업생산 기술의 핵심인 인공지능형 모바일 농업용 로봇과 빅데이터 수집용 모바일 플랫폼의 핵심 요소기술로 활용될 수 있음
- 현재 4차 산업혁명으로 인한 초연결성과 초지능화를 기반으로한 세계 농업의 ICT기술과의 융합이 가속화되고 있음. 한국 농업은 농업인구 고령화와 감소로 농업인구 절대 부족현상과 세계 각국과의 자유무역협정으로 인한 소농 붕괴됨. 농작형태가 소규모 필지 농업에서 대규모 필지 농업으로 바뀌어 가는 추세임
- 대규모 필지 농업에서의 작업은 노동시간의 증가로 이어지며 이는 향후 자율주행기술의 중요성이 높아짐과 동시에 필수 불가결할 것으로 예측됨
- 시스템이 자율주행으로 점차 바뀌어 가면서 안전성에 대한 이슈가 하나의 큰 문제점으로 급부상 할 것으로 예측됨. 기존 트랙터의 안전사고를 분석 결과 시야확보가 불가능한 사각지대에서의 트랙터의 전복 사고 및 충돌사고가 대부분을 차지함
- 이를 예방하기 위한 하나의 방안으로써 드론의 광범위한 시야각을 이용한 안전사고 예방

2. 연구수행 내용 및 결과

2-1. 연구수행 내용

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용 및 결과
1차 년도 (2017. 04.01 -2017. 12.31)	주관연구기관 : 수동 및 자율주행이 가능한 센싱 플랫폼 시험용 트랙터 구성	<ul style="list-style-type: none"> 운전자 보조 시스템으로서 센싱 플랫폼의 성능 시험을 위한 시스템 구성 	<ul style="list-style-type: none"> 센싱 플랫폼 탑재가 가능하며 다양한 센서 장비로부터 정보습득이 가능한 범용연구용 Main controller 제작 및 설치
		<ul style="list-style-type: none"> 센서 및 제어장치의 트랙터 탑재에 의한 자율주행 차량 구성 	<ul style="list-style-type: none"> RTK-GPS, Angular sensor, INS 및 제어 장치 설치 RTK-GPS로 절대위치, 운전방향 데이터 획득 및 Angular sensor로 차량의 조향각 정보 획득
		<ul style="list-style-type: none"> 평지 및 경사지 농경지에서의 자율주행을 위한 알고리즘 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 횡방향 제어를 위한 pure pursuit steering 알고리즘 적용 자율주행 실험 결과 평지 L자형 도로에서 RMS 오차 1.13-6.30cm, 경사지 L자형 도로에서 RMS오차 2.03-10.52cm 발생
	위탁연구기관 : 영상 획득 및 분석용 시험보드 제작	<ul style="list-style-type: none"> 영상 분석 상용보드를 이용한 임베디드 시스템 설계 	<ul style="list-style-type: none"> TX2 EVM 보드를 사용한 임베디드 시스템을 설계하고, TX2 Evaluation Board를 이용하여 성능 알고리즘 적용여부 확인 독립 파워 설계 Power warning or error check 펌웨어 소프트웨어 설계 기본 입출력 인터페이스 펌웨어 소프트웨어 설계 및 일반 전기 회선 이외의 독립 전원 시스템 기본 입출력 확인
		<ul style="list-style-type: none"> 외부 인터페이스용 보드 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 독립 파워용 제어 Interface 보드설계 및 시제제작 Dual core ARM Coretex-A9 APU와 Artix-7 FPGA를 하나의 칩에 구현한 Xilinx사의 Zynq를 이용한 모듈 개발 시제보드 제작 후 무인항공기 컨트롤 장비로 적용 외부 통신용 Interface Part 설계 및 시제제작
	세부연구기관 : 모바일 농업기계 주행 관련 위험요인 검출 알고리즘 개발	<ul style="list-style-type: none"> 장애물 인식 및 추적 알고리즘 설계 	<ul style="list-style-type: none"> faster R-CNN 기반의 대상객체 인식 알고리즘을 설계하여 객체 인식 객체 검출을 위한 특징 추출에 대한 레이어 설계 RPN 및 classifier의 레이어 구조 설계
		<ul style="list-style-type: none"> 데이터 셋 구성 및 성능 평가 방법 	<ul style="list-style-type: none"> 영상 데이터 셋 구성을 위해 드론에 멀티 카메라를 장착하여 농경지 촬영 진행 알고리즘의 검출 성능 평가를 위한 요구사항 고려하여 precision, recall, F1 score를 알고리즘 성능 평가에 반영
		<ul style="list-style-type: none"> 알고리즘의 성능 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 학습 성능 평가를 진행하여 loss값을 획득 PASCAL VOC를 활용하여 일반 객체 검출 성능을 확

			<ul style="list-style-type: none"> 인 농경지에서 촬영한 데이터 셋을 활용하여 객체 검출 성능을 확인
협동연구기관 : 유선 비행 로봇 시스템 설계 및 제작	<ul style="list-style-type: none"> 일정고도 장시간 비행과 실시간 정보 획득 가능 장비 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 지상에서 전원 공급 가능한 유선 비행로봇 시스템 하드웨어를 설계하여 10m 이상 고도에서 장시간 비행 시스템 테스트 완료 지상에서 AC-DC전원 테더케이블을 통해 전원을 비행체로 안정적인 공급이 가능함을 이론적 도출함 유선비행에 적합한 비행제어 로직 설계 	
	<ul style="list-style-type: none"> 유선 비행 로봇 시험기 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 1차년도 정량적 목표인 고도 10m, 최대이륙중량 6.5kg급 폴딩형 비행체 개발 1시간 이상 전원공급 가능한 1KW급 탑재전원공급장치(PCM) 개발 및 안정성 확인 지상에서 전원공급 및 통신이 가능한 시험용 원치케이블 및 1.5SQ x 15m 테더케이블 제작 기체진동을 상쇄시킬 수 있는 설계화질 FHD 이상, 30FPS 카메라 및 외란에 강건하 고성능 김발 선정 및 제작 감고/풀기 가능한 1.5KW전원공급 및 데이터 전송 케이블원치 제작 	
2차 년도 (2018)	주관연구기관 : 유선 비행 로봇 및 영상 분석 임베디드 시스템 탑재 및 성능시험	<ul style="list-style-type: none"> 유선비행 로봇의 도킹스테이션 제작 및 탑재 	<ul style="list-style-type: none"> 원치, 자율주행 컨트롤러, RTK-GPS, IMU 등을 탑재 드론 도킹 스테이션과 드론 고정 장치 설계 및 제작 드론 착륙 자동 중앙 배열 시스템 설계 및 제작
		<ul style="list-style-type: none"> 유선비행 로봇의 촬영 임무장비 브라켓 설계 및 탑재 	<ul style="list-style-type: none"> 드론 촬영 임무장비 선정 및 멀티카메라 브라켓 제작 드론 촬영 비행 테스트 진행 및 브라켓 보완
		<ul style="list-style-type: none"> 유선비행 로봇의 통합 시스템 구성 	<ul style="list-style-type: none"> 영상처리보드, 유선 드론과 멀티카메라 브라켓의 통합 구성 스마트 원치 시스템과 자율주행 트랙터의 통합 구성 유선 드론과 드론 도킹 스테이션의 통합 구성
	세부연구기관 : 작물 및 농경지 특성 분석 알고리즘 개발	<ul style="list-style-type: none"> 3D Point-cloud 기반의 도로 및 주변환경 인식 	<ul style="list-style-type: none"> 항공 이미지를 활용해 특징점을 추출 및 매칭하고 객체를 구현하여 고밀도 Point-cloud 생성 Point-cloud 기반 3차원 영상 분류 알고리즘을 통한 농경지 주변환경 인식하고 크기조정 및 좌표참조를 통해 위치 정확도 향상 3차원 Point-cloud 기반 Classification 알고리즘
	<ul style="list-style-type: none"> 3D Point-cloud의 Elevation 기반 경사도 파악 	<ul style="list-style-type: none"> 항공영상으로부터 얻어낸 3차원 포인트 클라우드를 이용하여 농경지 표면의 위치 정보를 표현 델로네 삼각법을 이용하여 Triangulated irregular network(TIN) 생성 각 대상 플롯의 평균 경사도는 모든 셀들의 경사도 값을 평균하여 산출 	
	<ul style="list-style-type: none"> 도로인식 프로그램 설계 	<ul style="list-style-type: none"> SGSN의 학습을 이용하여 두 개의 대칭 네트워크로 아키텍처를 구성하여 도로 검지 및 분할 드론으로 촬영한 항공 영상에서 GSD를 계산하여 도로폭을 계산함 	

	협동연구기관 1 : 유선 비행 로봇 제어장치 및 지상 통제장치 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 유선 비행 로봇 제어장치 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 유선비행로봇 제어장치 개념 설계 및 하드웨어 제작 - 센서 선정 및 I/F 설계, 비행제어장치 PCB 회로 설계 및 비행제어장치 I/F시험 진행 - 비행제어장치 검증용 디버깅 프로그램 및 유선비행로봇 비행프로그램(OFP) 제작
		<ul style="list-style-type: none"> • 유선 비행 로봇 지상 통제장치 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 통제장비 개념 설계 및 CSCI 및 CSC를 이용한 지상 통제 장비 제작(자동착륙 정확도 CEP 0.326m 검증) - I/F 설계 및 PBX 회로 설계 및 제작(비행시간 100분 이상 검증) - 원치장비 개선 설계 및 원치 디버깅 프로그램 제작(원치 정확도 93% 확인)
	협동연구기관 2 : 인공지능 기반 영상 분석용 임베디드 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 메인보드 제작을 위한 영상처리 모듈 회로도 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - TX2 모듈을 이용하여 성능 영상인식 임베디드 보드 제작을 위한 회로도 설계
		<ul style="list-style-type: none"> • TX2 모듈을 이용한 메인 보드 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - TX2 모듈을 이용하여 Main Board 제작 - 독립 파워 제작 및 Power warning or error check 펌웨어 소프트웨어 설계 - 기본 입출력 인터페이스 펌웨어 소프트웨어 제작 및 일반 전기 회선 이외의 독립 전원 시스템 기본 입출력을 확인
3차 년도 (2019)	주관연구기관 : 테스트베드 구축과 통합시스템 현장 시험 및 최적화	<ul style="list-style-type: none"> • 자율주행 트랙터 현장 시험 	<ul style="list-style-type: none"> - 평지와 경사지 L자형 도로에서 자율주행 정확도 시험 진행 - 주행속도 0.3와 0.5 m/sec에서 RMS, 최소, 최대 오차를 조사
		<ul style="list-style-type: none"> • 유선 비행 로봇 트랙터 현장시험 	<ul style="list-style-type: none"> - 유선 비행 로봇과 자율주행 트랙터 통합 시스템의 농경지 도로에서의 실험 - 영상 인식 플랫폼 제작과 정보에 따른 트랙터 속도 변화 시험
	세부연구기관 : 온톨로지 기반 위험 상황판단 알고리즘 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 농기계 주행 시 위험 상황 판단 알고리즘 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 드론의 영상에서 생성된 객체들의 상황정보에 대해 상호운용성의 유지 기법을 활용 - 움직이는 방향에 따라 도로 네트워크를 검색하여 지리공간과 객체에 대한 정보를 검색 - 객체의 중심점 좌표가 농기계 주위의 위험 영역에 포함되는지 여부를 판단하여 제어 시그널 생성
		<ul style="list-style-type: none"> • 농경지 환경 정보 제공을 위한 거리 측정 알고리즘 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 드론의 위치를 기반하여 장애물과 농기계 사이의 거리를 계산 - 카메라의 화각, 높이 해상도 등의 특성을 이용하여 실제 크기와의 관계를 추정
		<ul style="list-style-type: none"> • 프로그램 통합 및 실증 테스트 진행 	<ul style="list-style-type: none"> - 객체 인식과 도로 인식의 프로그램 통합 - 거리 측정 알고리즘을 활용하여 전체적인 통합 프로그램을 제작 - 테스트 진행을 통해 통합 프로그램이 제어시그널이 맞게 생성되는지를 확인
	협동연구기관 1 : 시험용 트랙터와의	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 통합 및 체계 시험 지원 	<ul style="list-style-type: none"> - 원치의 안전로직을 개선하도록 설계하여 원치 정확도 99%가 되도록 적용 - 체계시험을 지원하여 최대비행시간 240분 이상, 자동

시스템 최적화 및 현장 시험		착륙 정확도 CEP 0.3m 이내, 유선통신대역폭 80Mbps 이상을 검증하고 IP-54 인증 획득
	<ul style="list-style-type: none"> 유선 비행 로봇 성능 개선 	<ul style="list-style-type: none"> PCM 1kW에서 3kW로 성능 개선 및 향상 PCM 전원의 노이즈 감소
협동연구기관 2 : 임베디드 시스템의 테스트 베드 현장 시험 및 최적화	<ul style="list-style-type: none"> TX2용 보드 설계 	<ul style="list-style-type: none"> 1차, 2차 테스트 보드를 통해 회로 보완 및 노이즈 고려한 최종 보드 제작 기타 회로를 추가하여 제작된 보드와 결합 후 케이스와 결합
	<ul style="list-style-type: none"> 환경시험 진행 	<ul style="list-style-type: none"> 저온 및 고온 운용 시험을 진행하여 시험 결과 정상 판정 획득 진동 시험을 진행하여 시험 결과 정상 판정 획득

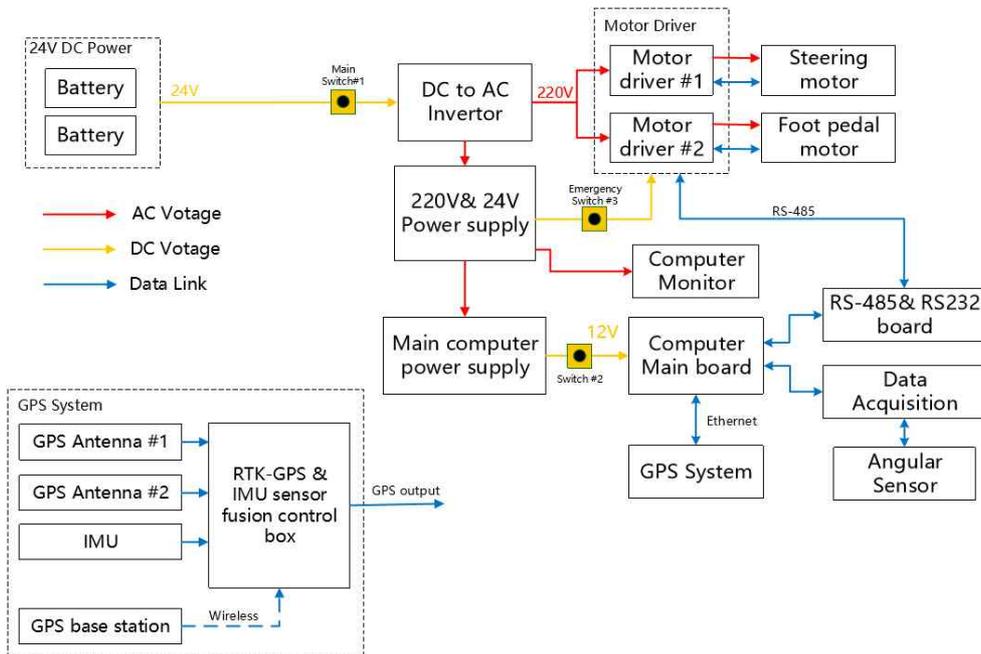
2-2. 세부, 협동기관별 연구수행 내용 및 결과

■ 주관연구기관(전남대학교) 과제 연구내용 및 결과

(1) 1차년도 연구내용 및 결과

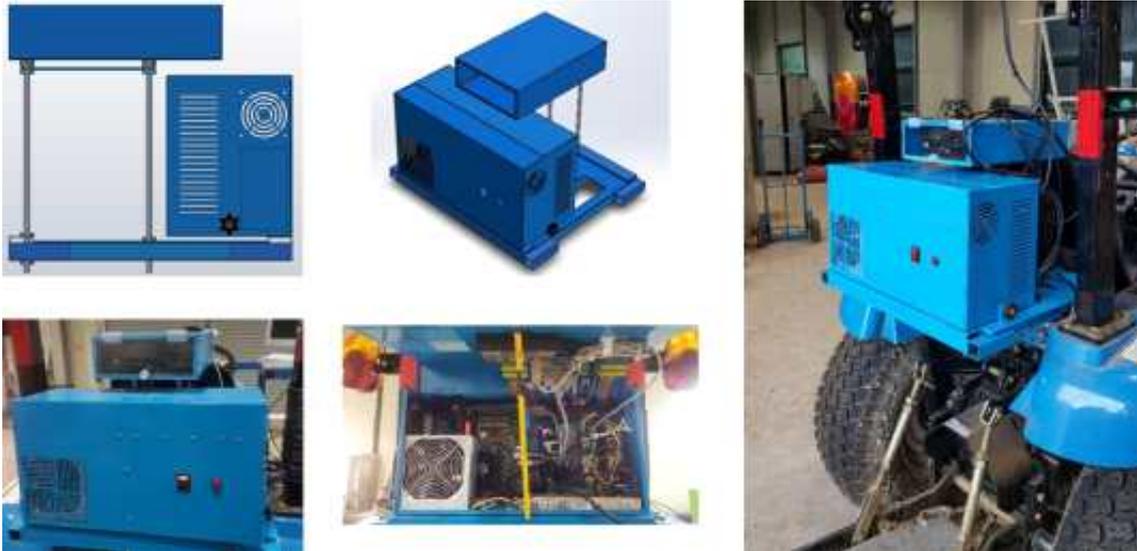
가. 운전자 보조 시스템으로서 센싱 플랫폼의 성능 시험을 위한 시스템 구성

- 주행형 농업기계의 운전 편의성 제공 및 안전사고 방지를 위한 센싱 플랫폼의 성능 시험용 구성품을 탑재하기 위한 시스템을 구성함
- 전체적인 시스템 개략도는 아래 그림과 같음. 2개의 배터리로부터 DC 전압을 공급받고 이를 DC-to-AC 인버터를 통해 AC 220전압을 공급함
- 센서에서 입력되는 데이터를 수집하기 위해서 PCI-1718HDU 데이터 수집 보드를 사용함
- 구성품 간의 통신 인터페이스 지원을 USB-to-RS-232/422/485 컨버터 모듈박스를 설치함



<자율주행 트랙터 구성 개략도>

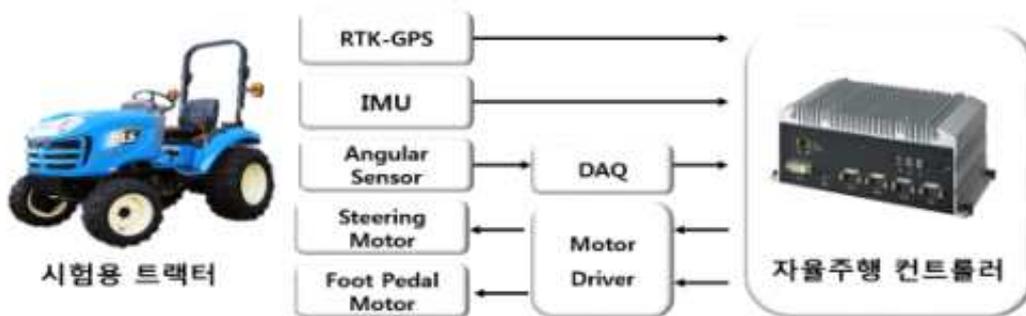
- 시스템의 효율성과 안정성 확보를 위해 메인 컴퓨터, 전원 공급장치, 제어 보드, 모터 드라이버기, 데이터 수집 장치 등을 제어 박스함에 구성하고 트랙터 후방에 탑재함



<Main control box 3d설계 및 제작>

나. 센서 및 제어장치의 트랙터 탑재에 의한 자율주행 차량 구성

- 자율주행 차량시스템은 RTK-GPS, Angular sensor, IMU, 방향제어와 속도 제어용 모터와 모터 드라이버를 탑재하여 Way-point 추종 기반 자율주행이 가능하도록 구성함



<자율주행 차량 개략도>

○ 자율주행 차량 플랫폼

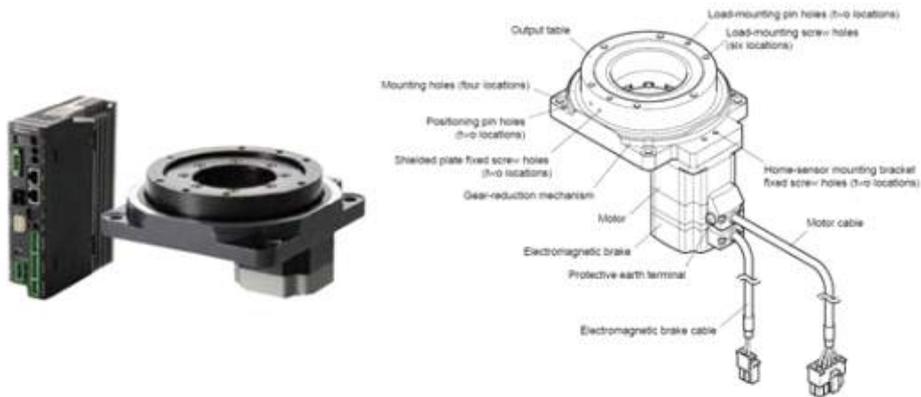
- 자율주행 차량 플랫폼으로는 LS엠트론의 27마력급 J2030H모델 소형 트랙터를 사용함. 본 차량은 Hydrostatic Transmission (HST)이 장착되어 엑셀 페달의 위치 제어에 의해 전후진 방향 및 주행속도 제어가 가능함. 차량의 총 중량은 719kg이며 중앙과 후방에 각각 PTO가 장착되어 있음



<자율주행 트랙터 플랫폼>

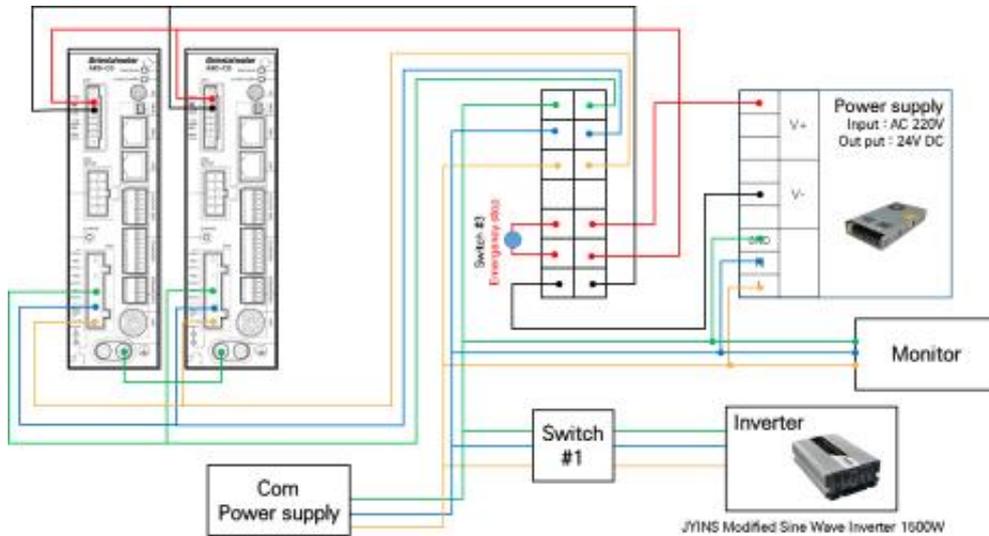
○ 모터와 모터 드라이버

- 차량의 방향 및 속도 제어를 위해 핸들과 엑셀 페달에 모터를 설치함. 본 연구에서 사용한 모터는 오리엔탈 모터사의 중공축형 로터리 스텝 모터 (Model : DGM130R-30R-ARAC)로서 최대 부하 하중은 204kg, 중공축의 프레임 사이즈는 130mm 이며 AC 220V를 입력 전압으로 사용함



<핸들과 엑셀 페달 제어용 모터>

- 모터 드라이버는 모터 제어와 각종 알람 및 에러를 모니터링 할 수 있음. 구동 전압은 DC 24V 이며 제어부와 인터페이스를 위해 RS-485통신을 사용함. 모터구동을 위한 AC 220V가 드라이버로 인가되며 위급 상황이 발생하였을 때 모터의 전원을 즉시 차단 가능하도록 긴급 정지 버튼을 설치함



<모터와 드라이버 연결 개략도>

○ 모터 설치 기구부 제작

- 모터를 트랙터의 핸들과 엑셀 페달에 장착하기 위하여 별도의 기구부를 설계, 제작함. 기구부는 사용자에게 의한 수동 운전 조작에 불편함이 없도록 제작하였으며, 트랙터의 기본 구조를 변형하지 않은 상태에서 설치할 수 있도록 함
- 차량의 핸들에 모터를 장착하여 차량의 방향을 제어함. 모터의 중공축에 핸들의 축이 위치하도록 함. 핸들의 허브에 4개의 축을 만들어 모터 기구부의 홈과 같은 위치에 일치하게 하여 모터 기구부의 홈과 핸들의 축이 맞물려 회전할 수 있도록 설계 및 제작함
- 엑셀 페달에 모터를 설치하여 차량의 전후진 및 주행 속도를 제어함

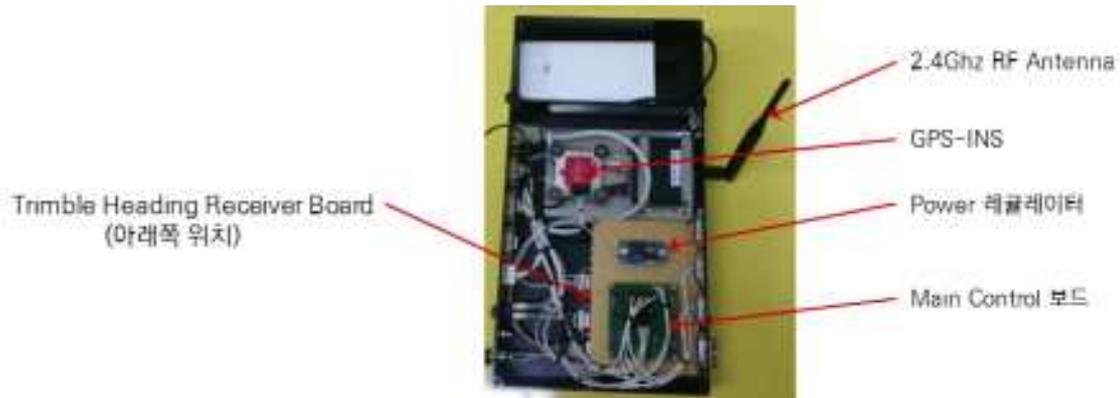


<조향 제어와 페달 제어 기구부>

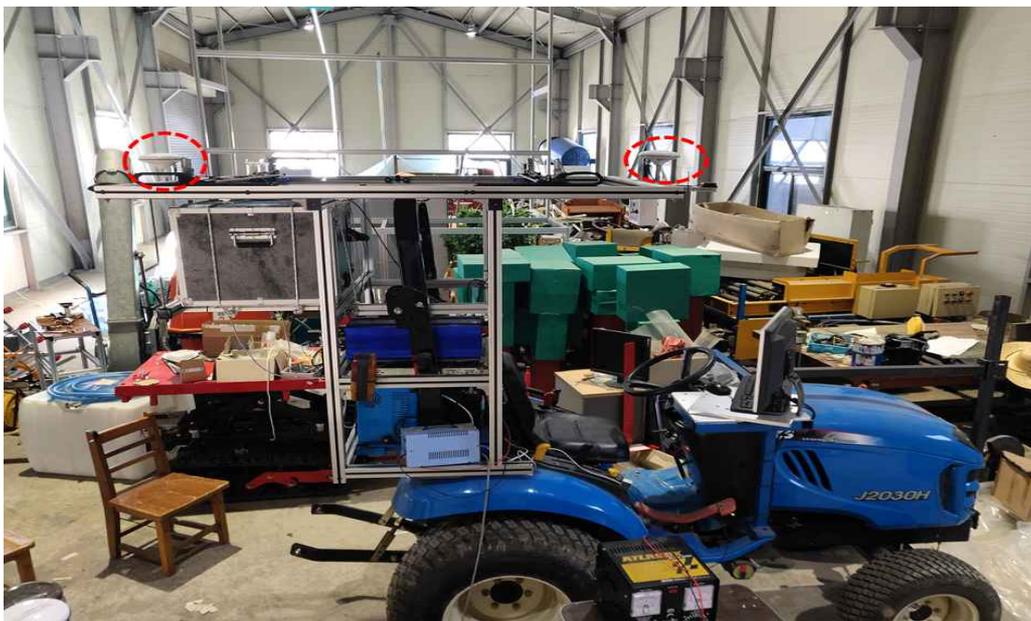
○ RTK-GPS와 IMU

- 본 연구에서는 사용한 RTK-GPS는 Trimble사와 Novatel사 부품을 조합하여 제작하였으며, 수신부와 Base station으로 구성함

- 수신부는 이동 차량에 장착하였으며, 안테나는 차량의 절대위치와 운전 방향을 수집할 수 있도록 차량의 드론 도킹 스테이션 전방과 후방에 각각 설치함
- 수신부는 Trimble Heading Receiver Board, Main Control Board, Power Regulator, GXM 2.4GHz RF modem and Antenna, 배터리로 구성되어 있음. 또한 GPS-INS(Inertial Navigation System)를 포함하여 차량의 자세 정보를 획득할 수 있도록 함. RTK-GPS 수신부 구성품은 정밀한 전자 소자이므로 트랙터의 진동 흡수와 방수, 방진을 위해 보호 케이스를 제작함



<RTK-GPS 수신부의 주요 구성품>



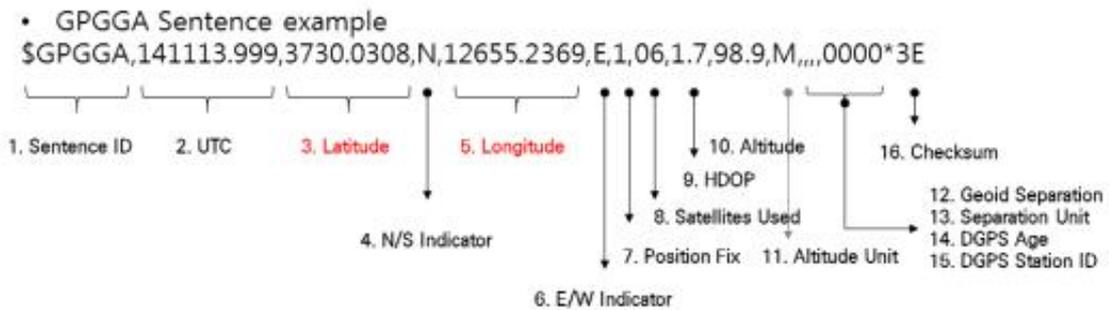
<트랙터의 RTK-GPS 안테나 설치 위치>

- RTK-GPS의 Base station은 자율주행 경로 근방에 설치하여 위치오차 보정을 위한 신호를 수신부로 보내줌. Base station은 전원 공급을 위한 배터리, GXM 2.4GHz RF modem and antenna, Novatel OEM615 & interface board, GNSS Antenna로 구성됨.

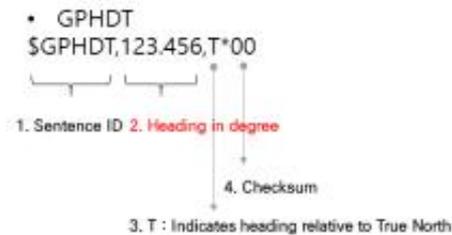


<RTK-GPS의 base station 구성도>

- GPS의 데이터는 NMEA 0183 규격의 GPGGA, GPHDT를 사용하였으며, 각각 차량의 위도/경도, 주행 방향 정보를 획득하였음. GPS에서의 샘플링 주파수는 10Hz로 설정함.



<GPGGA 문장 규칙 및 Field별 데이터의 종류>



<GPHDT 문장 규칙 및 Field별 데이터종류>

○ RTK-GPS의 정적 테스트

- GPS의 정적 정확도 테스트를 위해 CEP(Circular Error Probable)방법을 사용함. 이는 GPS 측정값의 50%를 포함하는 최소 원의 그리고 그 원의 반경을 GPS의 정확도로 사

- 용함. GPS 스트링 출력 주파수는 10Hz로 설정함.
- GPS의 정적 테스트 정확도는 1.12cm임을 알 수 있었음.

○ Angular sensor

- Angular sensor는 차량의 앞 바퀴 축에 연결되어 바퀴의 회전각을 측정함. 본 연구에서는 Mouser Electronics사의 BEI 9900시리즈 로터리 센서를 사용함. 측정범위는 $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ 이며, 0.5v~4.5v 전압으로 출력함. 또한 한계각도 값 이상으로 회전시 모터의 작동을 정지시키는 2개의 리미드 스위치와 핸들의 원점복귀 스위치를 장착함.

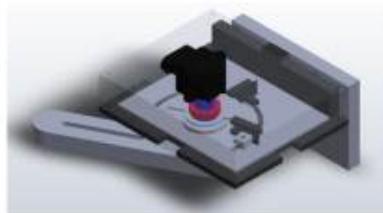


<Angular sensor>

Device	Angular Sensor
Company	Mouser Electronics, Inc. , Texas, USA
Model	BEI9900 Series rotary sensor

Specification

Mechanical Travel	-90° to $+90^{\circ}$
Frequency Response	1,000Hz minimum
Weight	40g Maximum
Input Voltage	5.0V \pm 0.25 VDC
Sensor 1 OUTPUT	0.5V ~ 4.5V
Sensor 2 OUTPUT	0.25V ~ 2.25V
Accuracy	\pm 2.0% of full scale at room temperature \pm 3.0% of full operating temperature range



(a)



(b)



(c)



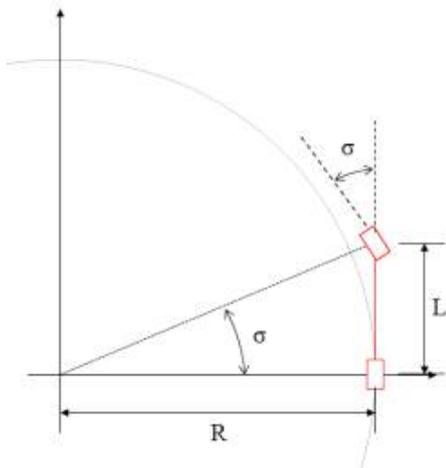
(d)

<Angular sensor 설치: (a) 설치도면, (b) 장착모습 (정면)
(c) 센서 하단 모습, (d) 링크를 이용해 바퀴축과 센서 연결>

다. 평지 및 경사지 농경지에서의 자율주행을 위한 알고리즘 개발

○ Pure Pursuit steering algorithm

- Pure pursuit 은 차량의 뒷축 중심에서 Way point로 구성된 경로상의 목표점까지 연결되는 직선을 찾아 두 점이 연결된 원의 곡률을 이용하여 차량의 방향각을 구하는 방법임
- 차량의 현재 위치에서 추종하고자하는 목표점까지의 거리를 Look ahead distance라고 불리며 Pure pursuit알고리즘에서 중요한 요인으로 작용함. Look ahead distance가 과도하게 크면 차량과 목표점을 지나는 원의 곡률이 커져 경로 추종 성능이 저하되고 반대로 짧게 설정을 하면 곡률이 매우 작아서 차량은 fish tail 현상처럼 좌우로 심하게 진동을 함. 따라서 적절한 Look ahead distance를 결정하는 것이 경로 추종의 정확도에 중요한 영향을 미침.

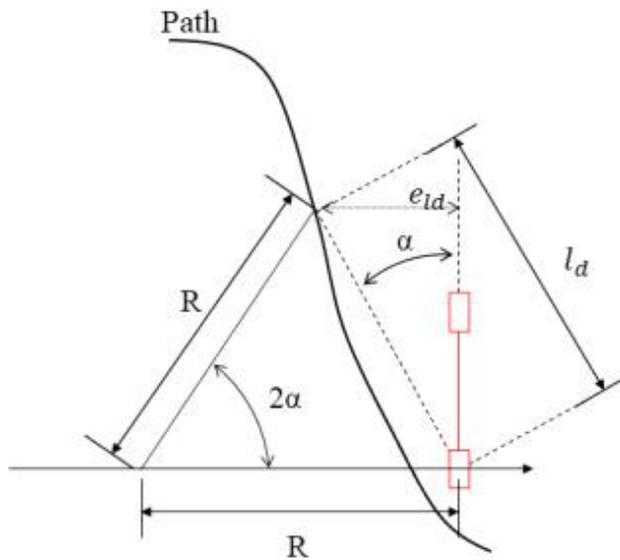


$$\tan(\sigma) = \frac{L}{R} \dots\dots(1)$$

σ = steering angle

L = distance between the front and rear axes

R = radius of circle



<Pure pursuit steering algorithm>

$$\frac{l_d}{\sin(2\alpha)} = \frac{R}{\sin(\frac{\pi}{2} - \alpha)}$$

$$\frac{l_d}{2\sin(\alpha)\cos(\alpha)} = \frac{R}{\cos(\alpha)}$$

$$\frac{l_d}{\sin(\alpha)} = 2R$$

$$k = \frac{2\sin(\alpha)}{l_d} \dots\dots(2)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{e_{ld}}{l_d} \dots\dots(3)$$

l_d = look ahead distance
 α = angle between vehicle's heading vector and look ahead vector

- 식 (2)번과 (3)번을 이용하여 식(4) 도출함

$$k = \frac{2}{l_d^2} e_{ld} \dots\dots(4)$$

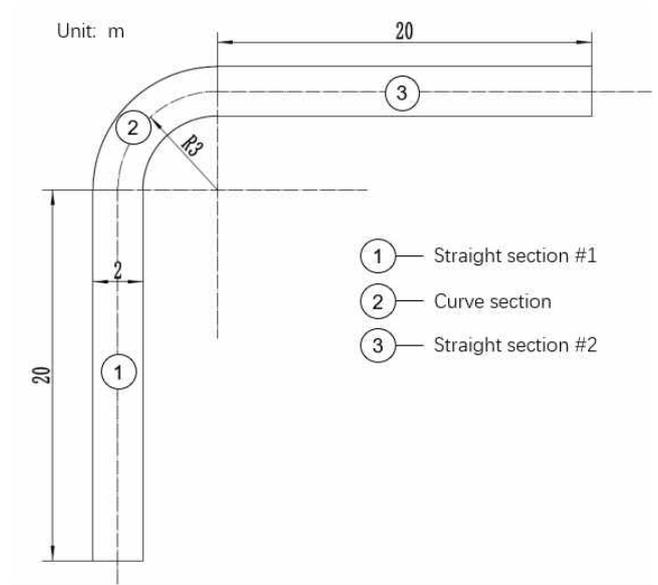
- 식 (4)번과 (1)번을 이용하여 (5)와 같은 최종적인 steering 각도를 계산함

$$\sigma = \tan^{-1}\left(\frac{2}{l_d^2} e_{ld} L\right) \dots\dots\dots(5)$$

- 본 연구에서의 L (차량이 앞바퀴와 뒷바퀴 사이의 거리) 는 1.5m임

○ 자율주행 트랙터 성능시험 조건

- 자율주행 트랙터 성능시험은 운동장에 설치된 L자 경로에서 직선부와 곡선부에서 동일한 주행속도와 다른 주행속도 조건에서 진행함. 직선부와 곡선부에서 동일한 주행속도 0.5, 0.7, 0.9 m/s과 직선부와 곡선부의 다른 주행속도 조합 (0.5, 0.3 m/s), (0.7, 0.5 m/s), (0.9, 0.5 m/s)에서 주행주행 RMS오차, 최소 오차, 최대 오차를 조사함



<평지 운동장 시험경로 조건>

○ 자율주행 트랙터 성능시험 결과

- 자율주행 오차는 주행속도가 증가함에 따라 커졌으며, 직선부보다는 곡선부에서 더욱 커졌음. 전반적으로 곡선부에서 저속으로 속도 가변이 이루어지면 오차가 다소 감소하였음. 직선부와 곡선부의 동일한 주행속도 0.5-0.9 m/s에서 RMS 오차는 6.36-15.53cm 였음.

<평지 운동장 L형 경로에서의 자율주행 오차>

주행속도 (m/s)		RMS 오차 (cm)	최소 오차 (cm)	최대 오차 (cm)
직선부	곡선부			
0.5	0.5	6.36	1.71	10.85
0.7	0.7	6.71	1.67	11.87
0.9	0.9	15.53	1.67	24.88
0.5	0.3	8.56	1.68	15.38
0.7	0.5	3.81	1.67	5.69
0.9	0.5	4.18	1.67	6.32



<직선부 ① 직진구간>



<곡선부 진입 직전>



<곡선부>



<직선부 ② 직진구간>

(2) 2차년도 연구내용 및 결과

가. 유선비행 로봇의 도킹스테이션 제작 및 탑재

○ 드론 도킹스테이션 설계시 고려사항

- 트랙터의 외관 설계 중 고려사항은 다음과 같음
 - 1) 운전 및 사고 발생 시 운전자의 안전성 확보
 - 2) 운전자의 트랙터 수동 조작 시 운전 중 불편 최소화
 - 3) 스마트 윈치, 전력공급시스템, RTK-GPS 모듈, 메인컨트롤러 등 각 요소 시스템의 배치 공간 확보
- 트랙터에 부착된 U자형 안전 바는 외부의 충격 및 하중에도 견딜 수 있도록 트랙터의 메인 프레임과 견고히 체결됨
- 운전자의 안전을 고려하여 트랙터에 부착된 안전 바를 철거 하지 않고 유지하는 방향으로 설계됨
- 현재 연구 중인 차량은 완전한 자율주행시스템이 갖추어지기 전 단계이기 때문에 운전자의 수동운전이 병행됨
- 운전자는 트랙터의 운전 시 외관 구조물로 인한 시야확보의 어려움 또는 운전 방해되는 요소가 없도록 충분한 공간을 두고 설계됨
- 연구에 사용한 Sub-Compact 트랙터는 소형이며 추가적으로 하드웨어를 설치 및 배치

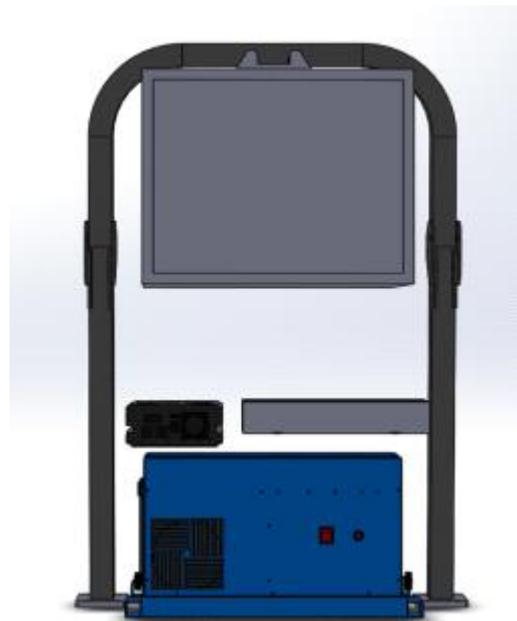
할 수 있는 구조적 공간이 매우 협소하여 추가적인 시스템을 탑재할 수 있는 공간을 확보함.

○ 드론 도킹스테이션 설계 및 제작

- 트랙터의 외관 제작에 사용한 자재는 AL프로파일로 제작됨
- 자재는 40*40cm의 AL프로파일을 사용하였으며 프로파일 하나가 버틸 수 있는 최대 인장강도는 23kgf/mm²임
- AL프로파일의 재질은 A6N01-T5으로 자체 강도가 뛰어나며 철 앵글과 비교 시 1.2배 이상의 강도를 가지며 중량은 1/3이하로 설계
- 구조의 안정성을 위해 트랙터 메인프레임과 외관구조를 체결하여 외부 충격과 탑재될 장비의 하중을 충분히 버틸 수 있게 설계함
- 최종 외관 사이즈는 1563 * 1200 * 2110 mm크기로 트랙터 캐빈 형태를 모사하여 제작됨
- 트랙터에 탑재되는 요소기술 하드웨어는 아래와 같음
 - 1) 자율주행을 위한 메인 컨트롤러
 - 2) RTK-GPS & IMU 모듈
 - 3) DC to AC 인버터 & 차량용 배터리 2개
 - 4) 스마트원치구동을 위한 발전기
 - 5) 스마트 원치 시스템
 - 6) 모니터
- 위 시스템을 모두 탑재 시 필요한 공간 확보를 위해 운전자석 뒤쪽에 추가적인 구조물을 설치하여 배치함

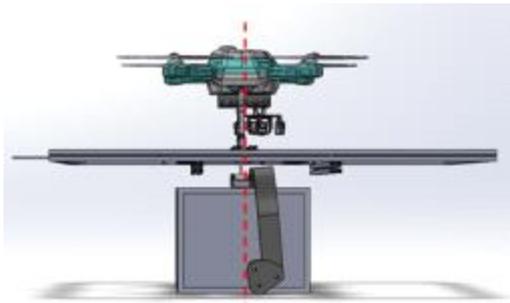


<요소 하드웨어 배치 공간>

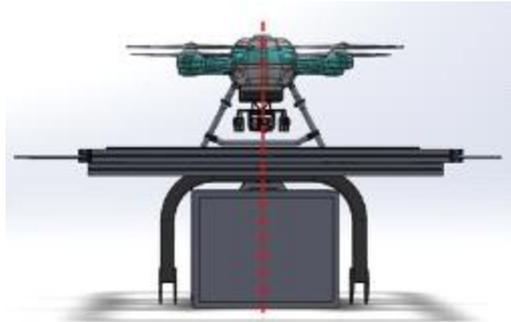


<차량 후방 배치 공간 확보>

- 스마트 윈치 시스템의 작동 원리는 드론의 고도 변화에 따른 전력케이블의 인장력 변화를 측정하여 테더 케이블의 길이를 제어하기 때문에 외부의 추가적인 부하에 민감함
- 윈치박스 중앙과 드론의 착륙지점이 일직선상에 배치하여 부하를 최소화 하여 스마트 윈치 시스템의 오차를 줄일 수 있음

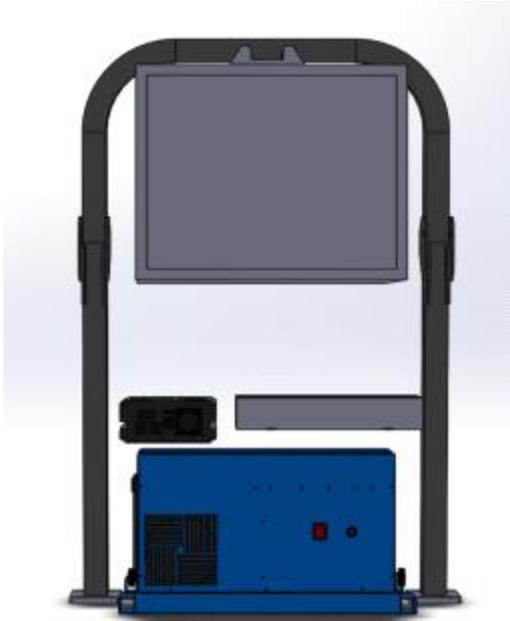


<윈치박스와 드론 배열 (측면)>



<윈치박스와 드론 배열 (정면)>

- 스마트 윈치 시스템은 드론의 비행에 필요한 전력을 공급하는 핵심 부품으로 안정적 전력공급 불가 시 사고로 이어질 수 있음
- 트랙터에 설치된 전력 시스템은 메인컨트롤러, 조향 및 패달 모터, 기타 센서들을 구동하기 위한 전력을 공급하지만 드론의 비행에 필요한 전력을 지속적으로 공급하기에는 부족함
- 따라서, 안정적인 전력 공급을 위해 추가로 혼다사의 2KW급 발전기를 설치하여 전력공급의 안전성을 확보함
- 장비의 배치 및 도킹 스테이션을 고려한 외관 설계는 3D 프로그램을 사용하여 사전배치 및 설계하였으며 도면에 기반하여 최종 제작 및 설치함



<요소 하드웨어 배치 계획>



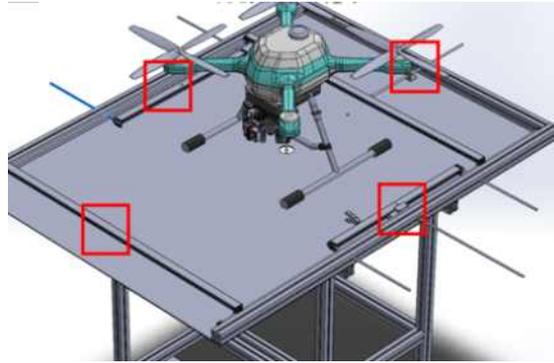
<요소 하드웨어 배치>

○ 드론 도킹 스테이션 설계

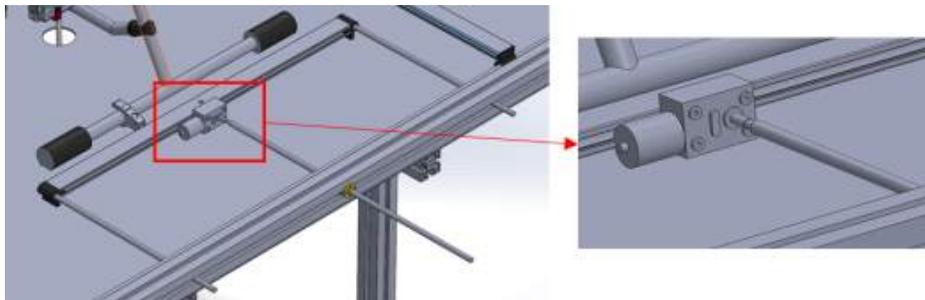
- 도킹 스테이션은 드론 착륙 및 자세교정, 고정, 충격 흡수의 임무를 수행함
- 드론은 임무 수행 후 스테이션에 착륙하여 고정된 상태로 트랙터와 함께 이동
- 이동시 트랙터의 진동 및 도로의 상태에 따른 주행 충격에 의해 드론이 스테이션에서 도로로 낙하하거나 파손되는 경우를 고려해야함
- 도킹 스테이션은 트랙터 외관 구조 상단에 설치하며 스테이션의 위치는 스테이션과 스마트 원치의 중앙이 일직선이 되도록 함

○ 드론 착륙 후 자동 중앙 배열 시스템

- 드론의 임무 수행 후 도킹 스테이션 착륙 시 드론의 자세는 일정치 않음
- 드론을 고정하기 위한 장치가 작동되기 위해서는 스테이션의 중앙에 정렬하는 것이 필요하기 때문에 드론 착륙자세를 교정할 수 있는 추가적인 장치가 필요함
- 자세를 교정하기 위한 장치는 4개의 바(bar)와 2개의 모터를 사용
- 4개의 바는 스테이션의 좌우앞뒤에 ㄱ형태를 취하며 드론이 착륙 후에 井형태로 변형하여 드론의 랜딩기어를 교정 및 1차 고정함

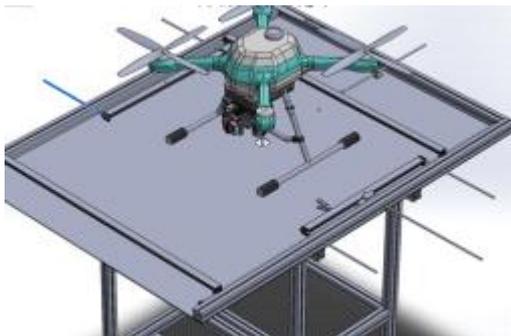


<드론 중앙 배열 시스템 동작을 위한 모터 위치>

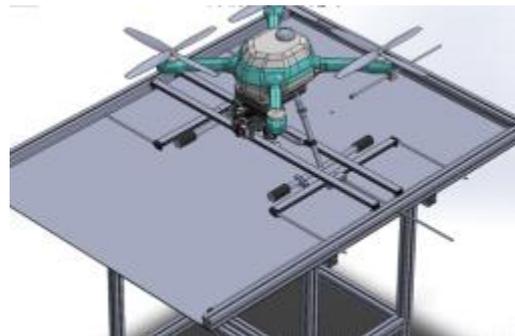


<모터 상세 위치 및 동작 형태>

- 4개의 바 중 좌우에 위치한 교정바가 먼저 작동하여 드론의 착륙자세를 정방향으로 교정하며 이 후 앞뒤 교정바가 작동하여 드론을 중앙 위치로 이동함
- 4개의 교정바를 통해 드론의 착륙자세는 정위치로 교정되어 정렬됨



<드론 자세교정 전 형태>



<드론 자세교정 후 형태>

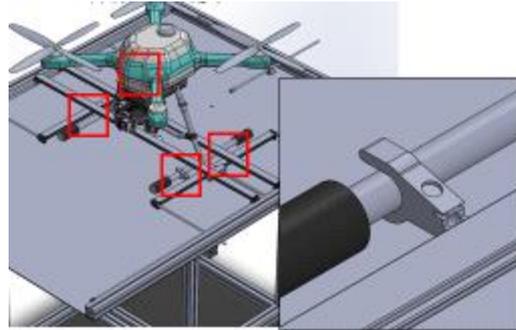
○ 드론 고정 장치

- 트랙터 주행 진동으로 드론이 파손되거나 낙하를 방지하기 위해 추가적으로 드론 고정 장치가 필요함
- 고정 장치는 좌우 교정 바에 각각 2개씩 위치하여 드론의 랜딩 기어에 체결되어 단단히 고정됨
- 드론기체를 트랙터의 진동으로부터 보호하기 위해 서스펜션 역할을 할 수 있는 장치가

필요하기 때문에 고정 장치에 네오디뮴 자석을 설치하여 서스펜션 작동을 모사하여 설치함



<드론 랜딩기어 고정 장치>

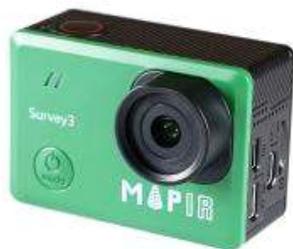


<드론 랜딩기어 고정 장치>

나. 유선비행 로봇의 촬영 임무장비 브라켓 설계 및 탑재

○ 카메라

- 카메라는 Mapir사의 Survey 3W Color Camera와 GoPro사의 Hero 7 Black을 사용함
- 카메라의 선택 기준 아래와 같음
 - 1) 5개의 임무장비 장착 시 드론의 비행 유효하중을 벗어나지 않을 것
 - 2) 고해상도의 동영상 및 디지털 셔터를 통한 촬영 가능 여부
 - 3) 드론과의 호환성



<MAPIR Survert3W Camera Visible Light RGB>



<GoPro Hero 7 Black Camera>

- 카메라의 추가적인 옵션을 제외하고 드론에 맞게 경량화한 제품으로 동영상 및 일반촬영이 가능함
- 총 5대의 임무장비를 드론에 탑재할 예정이며 드론의 비행 유효 하중을 고려할 때 Survey 3W의 총 무게는 250g, 고프로의 총 무게는 530g으로 허용범위 내임
- Survey 3W는 SONY Exmor R IMX117(RGB) 센서를 채용하고 있으며 12 MPixel의 분해능과 왜곡이 적은 렌즈를 사용하고 있으며, GoPro Hero 7 Black은 GP1 프로세서를 장착하여 효과적인 HyperSmooth 기능이 있으며 4K의 화질이 지원되는 렌즈를 사용함

○ 멀티카메라 브라켓 설계 및 제작

- 5대의 카메라를 드론에 탑재하기 위한 브라켓을 설계 및 제작함
- 설계 시 비행진동에 의한 카메라 떨림을 최소화하고 비행 유효하중을 고려함.
- 드론의 유효하중은 최대 1kg이며 영상처리보드와 임무장비를 합친 무게(750g)를 제외한 250g 내에서 멀티카메라 브라켓을 설계함
- 브라켓의 경량화와 제작의 용이성을 위해 3D 프린터를 통해 제작함

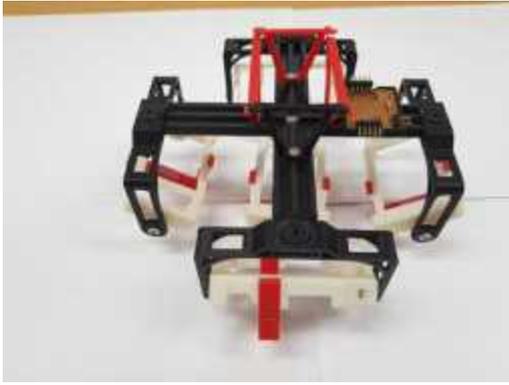


<CUBICON Single Plus 3D 프린터>

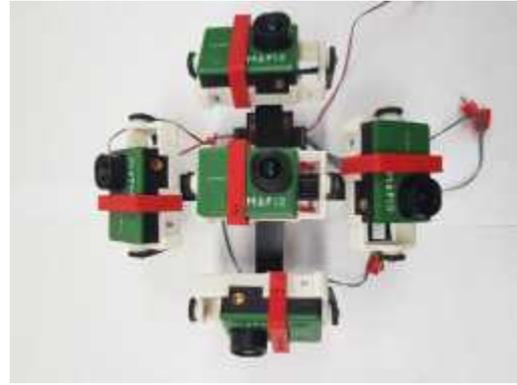


<멀티브라켓 부품 출력>

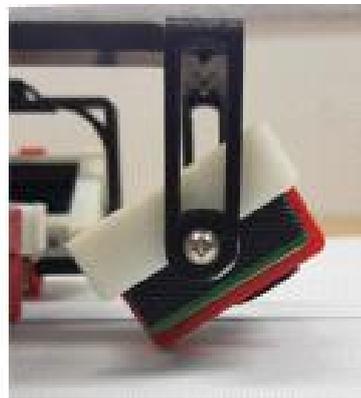
- 제작한 멀티카메라 브라켓은 카메라의 탈부착이 가능하며 경우에 따라 촬영 각도 변환이 자유롭게 조정이 가능함



<멀티카메라브라켓 제작>

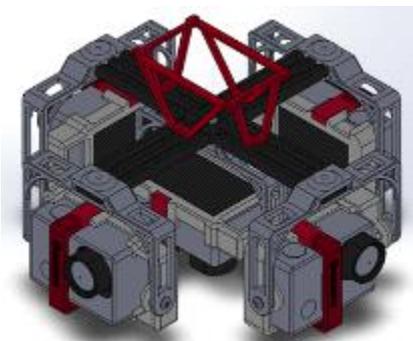


<멀티카메라브라켓에 카메라 장착>



<카메라브라켓 각도 조정>

- 멀티카메라 브라켓은 3D 프린터를 사용하여 제작하였고 사용된 필라멘트는 ABS재질의 플라스틱으로 내충격성과 내열성이 크다는 장점이 있음
- 금속 브라켓과 비교하여 강도는 약하나 3D프린터를 사용하여 제작하는데 30분 내외로 빠르게 출력이 가능하고 구조수정이 자유로움
- 결정적으로 금속 브라켓의 경우 강도는 우수하나 비행 유효 하중을 크게 벗어나기 때문에 사용이 불가함



<멀티카메라브라켓 설계 도면>



<멀티카메라브라켓과 드론 결합>



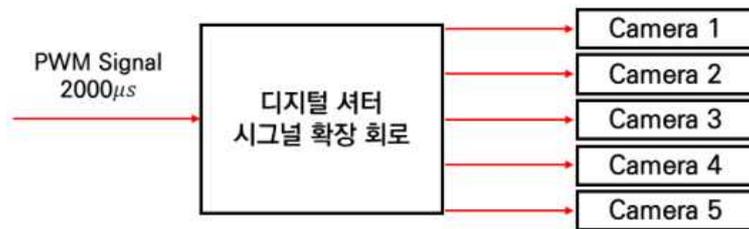
<GoPro용 브라켓 좌측 카메라>



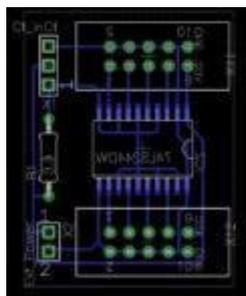
<GoPro용 브라켓 정면 카메라>

○ 영상획득 회로설계

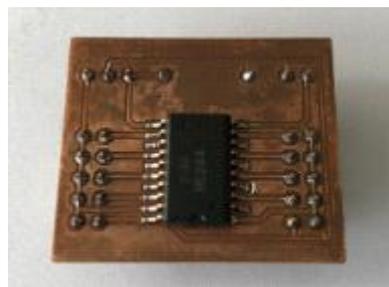
- PWM방식의 셔터시그널을 임무 장비의 HDMI 포트를 통해 인가하는 전자셔터 방식의 촬영 시스템 구축
- 5대의 카메라를 동시에 촬영하기 위해서는 드론의 메인보드에서 나오는 1개의 셔터 시그널을 확장하여 5개의 임무장비에 동시에 입력해주는 별도의 회로가 필요함



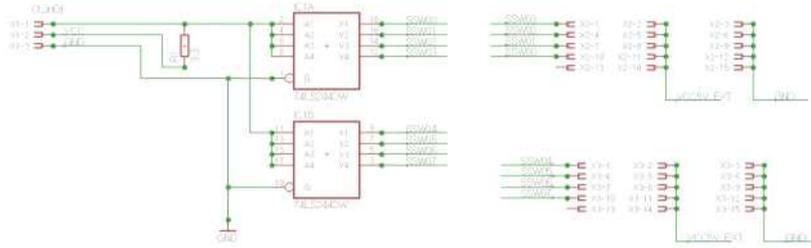
<디지털 셔터 시그널 확장 회로 블록 다이어그램>



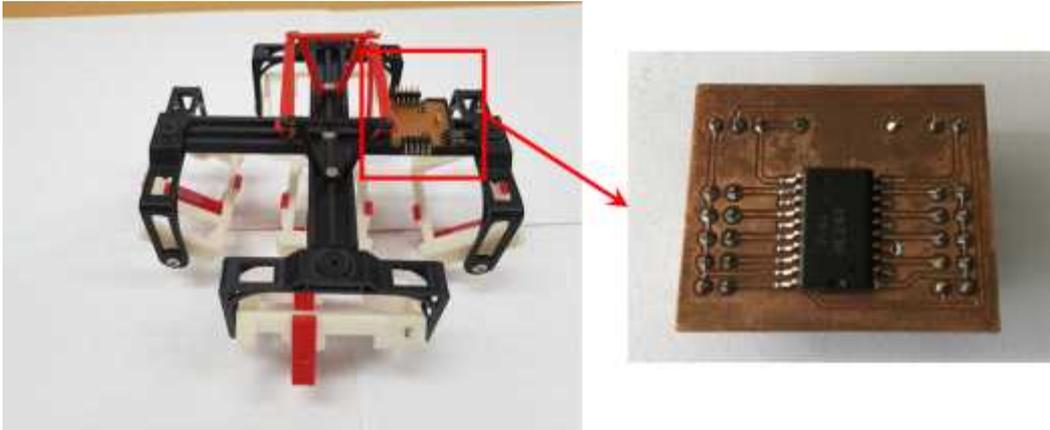
<회로 설계도면>



<실제 제작 사진>



<멀티 셔터 회로도>



<멀티카메라브라켓 회로 장착 위치>

○ 비행 촬영 테스트

- 제작한 멀티카메라브라켓의 성능평가를 위해 필드테스트를 진행하여 무게 및 무게중심에 의한 드론 비행 오류, 비행 진동이 영상에 미치는 영향, 촬영 시그널 오류 여부를 테스트함
- 필드테스트는 3DR SOLO 제품의 드론 하단부에 제작한 멀티카메라 브라켓과 임무장비를 장착하여 비행 및 촬영 테스트를 진행함

○ 비행테스트 결과

- 비행 테스트는 수동 조작과 계획비행을 수행하였으며 비행 시 브라켓 무게로 인한 비행 가능 여부 판단, 브라켓 장착 시 무게 중심 변화에 의한 비행오차 여부를 검사함
- 3DR SOLO 드론의 경우 비행 유효 하중은 420g이며 수동비행과 계획비행이 가능한 기체임
- 멀티카메라 브라켓은 5대의 카메라와 케이블, 회로기판, 브라켓으로 구성되며 총 무게는 432g으로 드론의 비행 유효 하중을 12g 벗어나기 때문에 수동 및 계획 비행 시 문제가 발생할 여지가 있음
- 멀티카메라 브라켓을 장착 시 드론의 무게중심 변화에 의한 비행오차 가능성 여부를 테스트함
- 수동 비행 컨트롤 결과 브라켓 무게에 의한 비행에는 문제점이 없다고 판단됨
- 계획 비행 시 브라켓의 무게로 인한 체공시간이 약 4분 정도 단축됨을 확인하였으며

무게중심 변화로 인한 비행오차는 일반 계획 비행 시 생기는 오차 범위 내임

○ 비행촬영 테스트 결과

- 비행 테스트와 겸하여 촬영테스트를 진행함
- 비행촬영 시 드론 진동에 의한 영상 흔들림, 명암, 대비, 밝기의 적절성 여부를 테스트 함
- 제어 가능 인자로는 Shutter speed, Exposure, ISO, Color가 있으며 초기 비행 시 카메라의 Default값 사용
- 비행 조건은 비행고도 6m, 비행속도 2m/s, 전남대학교 내 작업포장에서 테스트를 진행 함
- 동일한 환경 조건에서 카메라 옵션을 다양하게 변경하면서 최적에 조건을 찾음
- 선정된 카메라 옵션은 shutter speed 1/1000, expousre time 2/3, ISO Auto 로 설정됨

다. 유선비행 로봇의 통합 시스템 구성

○ 장비 통합

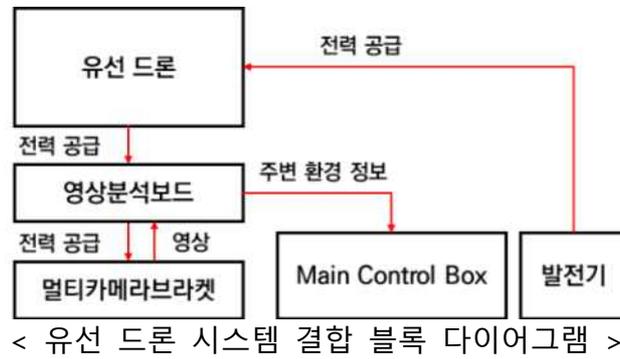
- 2차 년도 연구 결과 각 세부 과제별 도출한 1차 결과물은 다음과 같음

		2차 년도 기관별 도출 결과물
세부1	전남대학교	자율주행트랙터, 드론 도킹 스테이션, 멀티카메라브라켓
세부2	전남대학교	주변 환경 검지 알고리즘
세부3	유콘시스템	스마트원치 시스템 및 유선 드론 시스템
세부4	AOB	영상분석 임베디드 보드

- 각 기관별 2차년도 결과를 하나의 통합 시스템으로 결합하는 작업이 필요
- 결과물의 결합 순서는 다음과 같음
 - 1) 유선드론 본체와 영상처리보드, 멀티카메라 브라켓
 - 2) 스마트 원치 시스템과 자율주행 트랙터
 - 3) 유선드론 및 드론 도킹 스테이션
 - 4) 기타

○ 영상처리보드+유선 드론+멀티카메라

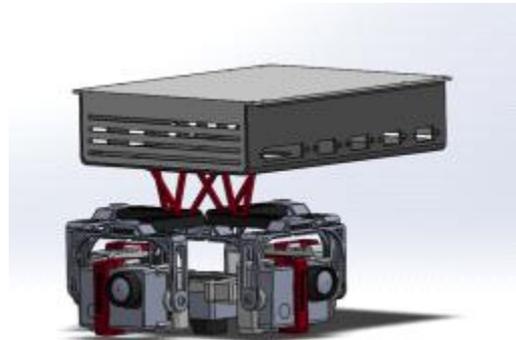
- 유선드론에는 카메라에서 들어오는 영상을 전송받아 실시간으로 분석하는 영상처리 보드와 다수의 임무장비를 탑재하는 멀티카메라 브라켓이 장착됨



- 멀티카메라 브라켓은 1차적으로 영상처리 하단부에 장착되며 카메라에서 수신되는 영상정보를 보드에 전달
- 유선드론은 영상처리보드가 작동하기 위한 전력을 제공하며 유선드론 하단부에 보드가 장착할 수 있도록 탭을 내어 드론과 영상보드가 체결이 가능하도록 함



<유선드론, 영상처리보드 체결>



<영상처리보드, 멀티카메라 브라켓 체결>



<유선드론, 영상처리보드, 멀티카메라 브라켓 통합>



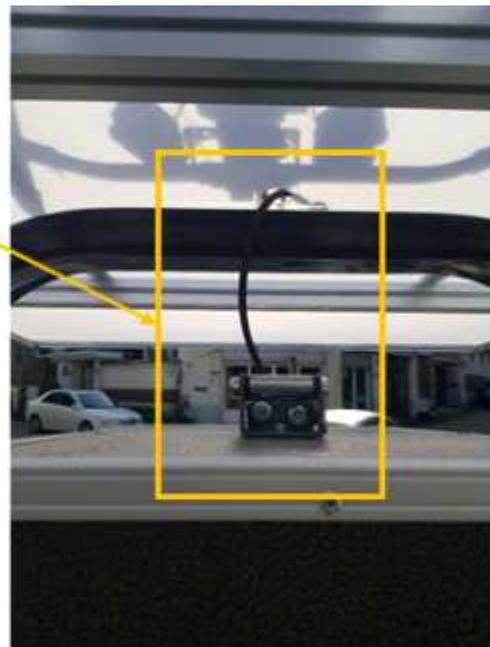
<유선드론, 영상처리보드, 멀티카메라가 통합된 드론 시스템>

○ 스마트원치 시스템 + 자율주행 트랙터

- 스마트 원치 시스템 중앙을 기준으로 드론스테이션을 설치함
- 드론스테이션에 테더 케이블이 지나갈 수 있는 홈 내어 스마트 원치와 유선드론을 결합함
- 유선드론의 랜딩기어에 테더 케이블을 1차 고정시키며 테더 케이블의 끝단의 전력선과 데이터케이블을 각각 드론과 영상보드에 체결함



<스마트 원치박스과 트랙터 결합>



<스마트원치의 테더 케이블>

○ 유선드론 및 드론 도킹 스테이션

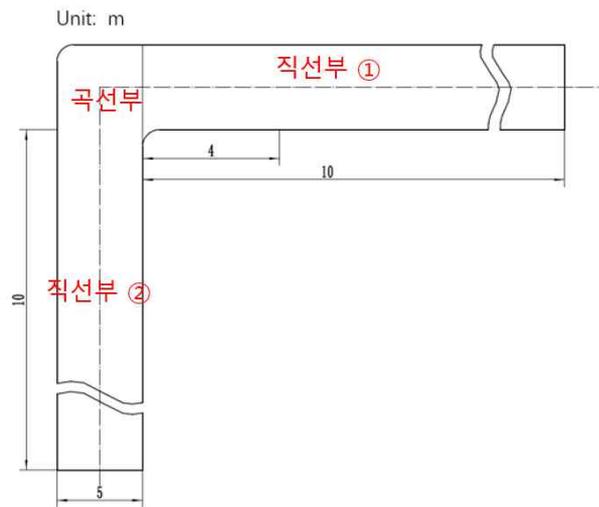
- 유선드론은 차량의 도킹스테이션에 위치하며 스테이션에 설치된 중앙배열 고정 장치와 결합함

- 스테이션을 거쳐서 올라오는 테더 케이블의 전력선과 데이터 케이블을 각각 드론의 전력 시스템과 영상보드의 데이터 커넥터에 연결함
- 차량의 발전기에서 생성되는 전력을 유선드론에 전달하며 영상보드에서 출력되는 데이터를 차량의 메인컨트롤러에 전달함

(3) 3차년도 연구내용 및 결과

가. 농경지에서의 자율주행 성능 시험

- 평지의 농경지 도로에서의 자율주행 실험 조건과 실험 결과
 - 평지의 L자형 농경지 도로에서의 주행속도 0.3과 0.5 m/sec에서 아래 그림과 같은 경로에서 자율주행 실험을 수행함



<평지 L자형 농경지의 경로>



<직선부 ② 구간>



<곡선부 구간>

- 주행속도 0.3 m/sec에서 직선부의 RMS 오차는 1.13-1.27cm였고, 곡선부의 RMS 오차는

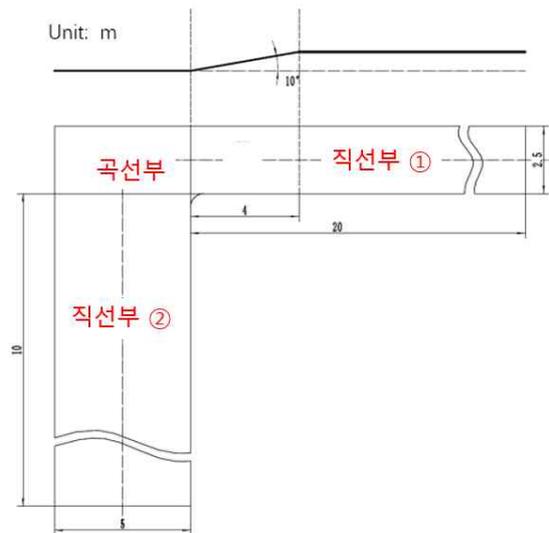
3.01cm였으며, 0.5 m/sec에서 직선부의 RMS 오차는 4.87-5.52cm였고, 곡선부의 RMS 오차는 6.30cm였음.

<평지 L자형 농경지 도로에서의 자율주행 오차>

주행속도 (m/s)		RMS 오차 (cm)			최대 오차 (cm)			최소 오차 (cm)		
직선부	곡선부	직선 1	곡선	직선 2	직선 1	곡선	직선 2	직선 1	곡선	직선 2
0.3	0.3	1.27	3.01	1.13	1.38	3.20	1.18	1.21	1.60	1.04
0.5	0.5	5.52	6.30	4.87	7.79	5.05	5.59	3.27	3.35	3.17

○ 경사지의 농경지 도로에서의 자율주행 실험 조건과 실험 결과

- 경사지의 L자형 농경지 도로에서의 주행속도 0.3과 0.5 m/sec에서 아래 그림과 같은 경로에서 자율주행 실험을 수행함



<경사지 L자형 농경지의 경로>



Video 01_slope

<직선부 ②>



Video 01_slope

<곡선부 진입>



Video 01_slope



Video 01_slope

<경사지>



<직선부 ①>

- 주행속도 0.3 m/sec에서 직선부의 RMS 오차는 2.03-5.33cm였고, 곡선부의 RMS 오차는 3.75cm였으며, 0.5 m/sec에서 직선부의 RMS 오차는 4.11-10.52cm였고, 곡선부의 RMS 오차는 9.30cm였음.

<경사지 L자형 농경지 도로에서의 자율주행 오차>

주행속도 (m/s)		RMS 오차 (cm)			최대 오차 (cm)			최소 오차 (cm)		
직선부	곡선부	직선 1	곡선	직선 2	직선 1	곡선	직선 2	직선 1	곡선	직선 2
0.3	0.3	5.33	3.75	2.03	6.21	4.64	2.80	4.64	2.58	1.49
0.5	0.5	10.52	9.30	4.11	13.79	13.05	5.59	5.27	5.35	2.17

○ 기존 자율주행 시스템과 유선 드론 기반의 자율주행 시스템의 비교 분석

- 유선 드론기반의 자율주행 시스템은 기존 자율주행 시스템에 비해 광대역의 주변 환경인지가 용이하며, 이에 따라 군집 자율주행 트랙터의 협업이 가능함

<기존 자율주행 시스템과 유선 드론기반 자율주행 시스템의 비교>

	기존 자율주행 시스템	유선 드론 기반 자율주행 시스템
구성품	-환경인지 센서: 카메라, 라이다 -환경인자 분석: 임베디드 컴퓨터 -위치인식 센서: RTK GPS -자율주행 제어기: 임베디드 컴퓨터	-환경인지 센서: 멀티 카메라 -환경인자 분석: 임베디드 컴퓨터 -위치인식 센서: RTK GPS -자율주행 제어기: 임베디드 컴퓨터 -센싱 플랫폼: 드론 -드론운용 구성품: 비행 제어기, 스마트 윈치, 스테이션 등
기술적 특성	-주변환경 인지 시야 폭이 좁으며, 농작업 모니터링이 쉽지 않음 -다수의 자율주행 시스템과 협력 구축을 위한 시스템 구성이 쉽지 않음 -구축 비용이 상대적으로 높지 않음	-주변환경 인지 시야 폭이 넓으며, 농작업뿐만 아니라 주변 환경 3D 분석이 용이함 -다수 자율주행 시스템의 군집 작업을 위한 커멘더의 역할 수행 가능 -구축 비용이 상대적으로 높음
비용	약 700-1,000만원	약 1,500-2,000만원

○ 드론기반의 자율주행 시스템의 향후 운용 방안

- 현재 상용화된 자율주행 트랙터는 농경지까지 유인으로 운전하여 농경지 내에서 직진과 선회가 가능한 수준(Level 1-2)으로 농업 노동력을 절감하는 수준임.
- 하지만 자율주행 트랙터의 효율성을 높이기 위해서는 차고지에서 농경지까지 그리고 농경지 간의 이동이 완전 무인화(Level 3-4) 되어야 함. 이를 위해서는 안전사고 방지를 위한 기술 고도화뿐만 아니라 법규 제정이 필요함.
- 드론 기반의 자율주행 시스템은 드론에 탑재된 센서에 의해 광대역 관찰이 가능하며 관찰 정보를 트랙터와 공유함으로써 트랙터의 지능 및 운용 범위를 확대할 수 있음
- 드론기반의 자율주행 시스템은 대규모 농경지(5ha 이상)에서 다수의 농기계가 동시에 운용하면서 협동하는 시스템에서 효율성이 높을 것으로 생각됨. 또한 드론에 의해 농작업을 모니터링하면서 그 결과를 트랙터에 피드백해 줄 수 있음.
- 향후 사업화를 위해서는 트랙터에 탑재된 드론이 주변 환경 관찰뿐만 아니라 시비·방제를 동시에 수행하면서 트랙터와 협력하는 시스템을 구축해야 하며 이를 위해서는 드론 비행의 안정성이 고도화되어야 함.

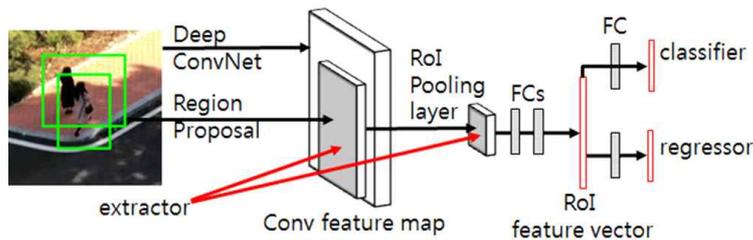
■ 세부연구기관(전남대학교) 과제 연구내용 및 결과

(1) 1차년도 연구내용 및 결과

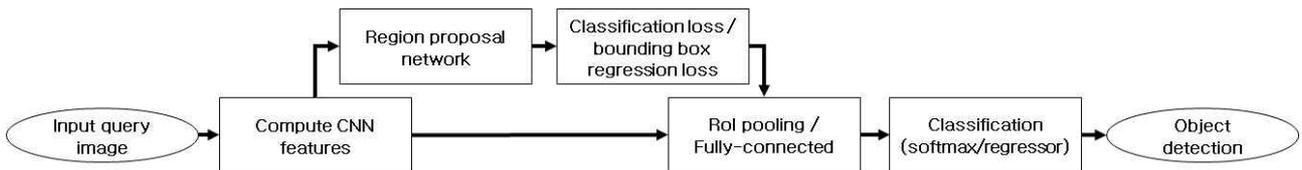
가. 장애물 인식 및 추적 알고리즘 설계

○ faster R-CNN 기반의 장애물 검출 알고리즘

- 이미지 분류의 문제는 미리 정의된 레이블 중에서 이미지의 레이블을 예측하는 것으로 이미지에 관심 대상이 하나뿐이며 이미지의 상당 부분을 차지한다고 가정하고, 이미지에서 추출한 다른 하위 윈도우나 패치 영역에서 분류를 수행하여 인식을 수행
- 확률이 높은 패치는 해당 영역의 클래스일 뿐만 아니라 임시적으로 이미지의 위치도 제공함
- 이미지를 통해 서로 다른 크기의 패치를 슬라이드하여 형성된 하위창에 분류를 시행한 후에 각 하위창들이 CNN을 적용하고 해당 영역의 특성을 계산하게 됨



<기본 R-CNN 구조>



<설계한 알고리즘의 기본 흐름도>

- Faster R-CNN기반 Multi-scale 대상객체 인식 알고리즘은 크게 두 단계로 구분되는데, 영상의 객체를 판별하기 위해 영상의 픽셀 단위로 convolution과 pooling의 단계를 거쳐 영상들의 객체 특징 맵을 구성하는 feature extraction과 객체가 예상되는 지점에 영역을 설정하는 Region Proposal Network (RPN) 후 데이터베이스와의 연관성을 비교하여 대상 객체를 검출하는 RPN&Classification으로 구성됨
- 실시간 처리의 용이성을 위해 5th convolution layer 앞에서는 max pooling layer를 제거하여 알고리즘의 처리 시간을 줄이고 객체를 판별하는 feature map을 구성할 때 세밀함을 보완하기 위해 학습 모델의 분류 조건을 좀 더 다양하게 구성함
- R-CNN의 객체 영역은 고정 크기(227X227)의 픽셀로 뒤틀려서 배경 및 클래스에 속한 영역의 개별 확률을 제공하는 분류 컨볼루션 네트워크에 제공되며, 컨볼루션 네트워크 학습 중에 배경으로 표시되는 적절한 영역에 feed를 생성하며 객체 클래스와 관련이 없는 무작위 영역이 배경으로 제공되면 네트워크는 객체 영역과 객체를 부분적으로 포함하는 영역을 구분할 수 없음

- 객체와 0.5보다 큰 IOU가 있는 영역은 해당 객체의 클래스로 표시되고 오버랩이 0.3미만인 객체는 배경으로 표시됨. R-CNN에서는 지표 좌표에 대하여 예측된 좌표의 오차를 최소화함으로써 대상의 범위 좌표를 향상시키는 것을 포함함
- 선형 회귀 레이어에서 분류를 위해 네트워크를 미세 조정 한 후 Convolutional 레이어의 최상부에서 최적화됨. 학습은 분류와는 별도로 수행되기 때문에 Convolutional 레이어 계층과 그 앞의 계층들은 가중치가 최적화되면 미세 조정하기 어려움
- 학습의 효율성을 위해 분류 네트워크와 영역설정 네트워크를 동일한 네트워크로 사용하게 되며, 동일 영역으로 예측되는 겹침 영역을 병합하기 위해 NMS(Non Maximal Suppresion)를 사용함

<faster R-CNN을 이용한 장애물 검출 알고리즘의 특징추출 구조>

Layer	Filters	Kernel	Stride	Padding
Input				
1st Convolutional	64	3*3*3	1*1	1*1
2nd Convolutional	64	3*3*64	1*1	1*1
Max pooling	1	2*2*1	2*2	0*0
1st Convolutional	128	3*3*64	1*1	1*1
2nd Convolutional	128	3*3*128	1*1	1*1
Max pooling	1	2*2*1	2*2	0*0
1st Convolutional	256	3*3*128	1*1	1*1
2nd Convolutional	256	3*3*256	1*1	1*1
3rd Convolutional	256	3*3*256	1*1	1*1
Max pooling	1	2*2*1	2*2	0*0
1st Convolutional	512	3*3*256	1*1	1*1
2nd Convolutional	512	3*3*512	1*1	1*1
3rd Convolutional	512	3*3*512	1*1	1*1
1st Convolutional	512	3*3*512	1*1	1*1
2nd Convolutional	512	3*3*512	1*1	1*1
3rd Convolutional	512	3*3*512	1*1	1*1

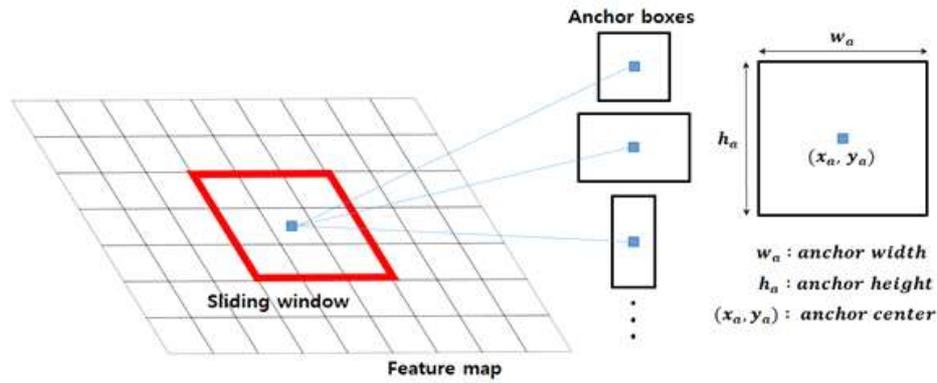
- 특징을 추출하는 부분은 convolutional layer와 max pooling layer를 여러 겹 쌓는 형태로 구성되는데, Convolutional layer는 입력 데이터에 필터를 적용 후 활성화 함수를 반영하는 필수 요소임
- Convolutional layer 다음에 위치하는 max pooling layer는 선택적인 레이어로 출력 데이터의 크기를 줄이거나 특정 데이터를 강조하는 용도로 사용됨. Pooling layer는 정사각 행렬의 특정 영역 안에 값의 최대값을 모으거나 특정 영역의 평균을 구하는 방식으로 동작되는데, CNN에서는 대개 최대값을 모으는 max pooling을 이용함
- 입력 데이터에 대한 필터의 크기와 stride 크기에 따라서 feature map의 크기가 결정되

는데, 출력 데이터의 크기 계산식의 결과는 항상 자연수로 나와야 하며, convolutional layer 다음에 max pooling layer가 있도록 설계되었다면 feature map의 행과 열의 크기는 max pooling layer 크기의 배수여야 함

- 이 조건을 만족하도록 filter의 크기, stride의 간격, max pooling layer의 크기 및 패딩 크기를 조절하여 설계함
- Max pooling layer의 사이즈는 stride와 같은 크기로 만들어서, 모든 요소가 한번씩 pooling될 수 있도록 만듦. 입력 데이터의 행 크기와 열 크기는 max pooling layer 사이즈의 배수이며, 결과적으로 max pooling layer의 출력 데이터의 크기는 행과 열의 크기를 pooling 사이즈로 나눈 몫이 됨
- 각 레이어는 이전 행의 레이어 출력을 입력 데이터로 취하기 때문에 입력데이터와 출력데이터의 크기를 설정하는 것이 중요함
- Max pooling layer를 거친 데이터의 출력의 크기는 변하지만 후속 레이어가 ReLU, softmax, drop-out layer일 때 출력의 크기는 변하지 않음
- feature extraction은 다중 대상 객체를 포함한 이미지를 수신하여 이를 여러 차례의 convolutional layer, ReLU, max-pooling layer를 통과시켜 feature map을 생성함. 생성된 feature map의 저해상도 문제를 해결하기 위해 5번째 층의 max-pooling layer를 제거하여 해상도를 높임
- feature extraction의 출력은 RPN과 classification의 입력으로 사용됨

○ Region Proposal Network를 이용한 Region Of Interesting(ROI) 설정

- CNN구조의 딥러닝 알고리즘 설계에서 생성된 feature map을 기반으로 하여 장애물들을 분류하여 ROI 영역을 설정. faster R-CNN은 선택적 검색을 CNN 자체로 대체하여 짧은 시간에 RPN(Region Proposal Network)을 생성함
- 인식 네트워크의 컨볼루션 레이어를 사용하므로 여러 공간 위치에서 영역을 생성하기 위해 First Convolution 레이어와 병렬로 두 개의 컨볼루션 레이어를 도입함으로써 수행됨
- 전환층을 공유하기 때문에 처리 시간이 늘어나지 않고 관련 필터 시간이 상대적으로 적은 두 개의 전환층이 추가로 필요함
- RPN의 경우 커널 크기가 3X3인 소규모 네트워크가 최종 컨볼루션 기능 맵을 통해 실행되는데, RPN의 역할은 영역과 같은 잠재적 객체를 생성하기 위한 것이기 때문에 분류 레이어는 배경과 전경에 대해 두 개의 출력만을 가짐
- 임의의 크기 또는 종횡비일 수 있는 대상의 좌표에 대한 예측을 위해 고정된 3X3 픽셀의 크기를 가짐. 앵커 박스는 처음에 훈련시키기 전에 이미지에서 객체가 각각의 앵커에 맞는지 아닌지 분류 작업을 하고 작업이 끝나면 분류된 데이터를 가지고 반복 학습을 시키는 것임



- 세 가지의 크기를 가지는 세트와 3 세트의 가로, 세로 비율을 가지는 사각형을 앵커박스라고 하며 슬라이딩 윈도우의 중앙에 배치됨. Ground True 박스와 가장 겹치는 앵커 박스는 대상으로 표시되어서 오버랩 비율이 높은 박스(>0.7)는 전경으로 표시되며 오버랩 비율이 0.3미만인 모든 앵커 박스는 배경으로 레이블이 지정됨
- 트레이닝 비트는 RPN과 검지 네트워크가 독립적으로 학습될 때의 처리 시간을 줄이기 위해 공유된 컨볼루션 레이어는 전환 레이어에 대해 서로 다른 가중치를 설정하기 때문에 교차 접근법을 활용함
- 첫 번째 RPN이 학습되고 얻어진 영역이 검지 네트워크를 학습시키는데 사용되며, 그 후 다음 RPN은 재학습이 되지만 검지 네트워크의 전환 부분에서 가중치로 초기화되는 방법을 사용함
- 새로 추가된 전환 레이어만 RPN에 대해 미세 조정되며 이로 인해 전환 레이어가 검지 네트워크와 동일한 가중치를 갖게 되며, 마지막으로 새로운 RPN을 사용하여 영역을 생성하고 First Convolution 계층만 미세 조정되는 검지 네트워크의 학습을 받음

<faster R-CNN을 이용한 장애물 검출 알고리즘의 RPN 구조>

Layer	Filters	Kernel	Stride	Padding
input	512	3*3*512	1*1	1*1
1st Convolutional	512	3*3*512	1*1	1*1
Classification convolutional	18	1*1*512	1*1	0*0
Regression convolutional	36	1*1*512	1*1	0*0

<faster R-CNN을 이용한 장애물 검출 알고리즘의 ROI 영역값을 포함한 분류기 구조>

Layer	output size
input	90*113*512
ROI pooling	7*3*512*100
1st Fully connected	4096*100
2nd Fully connected	4096*100
Classification fully connected	2*100
Regression fully connected	4*100
Output	

- classification은 feature extraction에서 얻은 마지막 feature map과 RPN에서 얻은 제안 박스를 입력으로 사용하며, 각각 추출된 위치의 제안 박스는 크기가 다르기 때문에 Roi 풀링이 수행되어 크기가 균일해 짐
- Roi 풀링 모양에 대해 기존의 사각형 상자 대신 대상 객체의 종류에 따라서 변형된 사각형 상자를 사용하는데 이는 bounding box regression 벡터에 의해 정제된 제안 박스는 여전히 다른 모양을 가지고 있기 때문이며, Roi 풀링 크기를 절반 이상으로 줄임으로써 faster R-CNN 네트워크의 총 파라미터 수 또한 절반으로 줄일 수 있었음
- 대부분의 파라미터가 1차 fully connected 레이어에 존재하기 때문에 overfitting과 메모리 사용이 감소함
- Roi 풀링 후 Roi의 특성이 fully connected 레이어를 통과하여 대상 영역에 대한 정보인 bounding box regression 벡터와 Roi가 대상 개체로 판정되는 확률값을 얻음. bounding box regression 벡터는 제안 박스를 예측 박스로 정제하기 위해 다시 사용되며, NMS에 의해 겹치는 예측 박스는 제거되고 검출 결과를 얻음

○ Region Proposal Network의 Loss 함수

- 보다 빠르게 객체 학습을 시키기 위해 RPN 네트워크와 분류기 네트워크를 교대로 훈련하는 4단계 교대법을 채택하였으며, faster R-CNN을 기반으로 다중 클래스 검출용으로 고안하였기 때문에, 분류기 네트워크에서 각각의 proposal을 다중 클래스로 분류함
- RPN에서 2개의 클래스(객체 및 배경)를 분류하고 분류기에서 다중 클래스 분류를 수행하게 되며, 알고리즘의 빠른 수행을 위해 RPN과 분류기 네트워크는 loss function을 통해 mini batch의 각 앵커 박스 또는 제안 박스에 대해 동일한 손실 함수를 최소화할 수 있도록 훈련됨

$$L(p_i, t_i) = \frac{1}{N_{cls}} \sum_i L_{cls}(p_i, p_i^*) + \lambda \frac{1}{N_{reg}} \sum_i p_i^* L_{reg}(t_i, t_i^*)$$

- 좌측은 오브젝트의 로스이며, 우측은 경계박스에 대한 로스를 나타냄. p는 1 또는 0

- 로 오브젝트이면 1, 오브젝트가 아닐 경우 0의 값을 가지며, *은 Ground Truth를 나타냄
- 경계박스의 로스에서 오브젝트를 곱하는 부분은 오브젝트가 아니면 경계박스의 로스를 구하지 않고 오직 오브젝트인 것에 대해서만 경계박스 예측을 함
- $\frac{1}{N_{cls}}$ 와 $\frac{1}{N_{reg}}$ 는 단순한 평균연산이며 λ 는 양쪽의 밸런스를 맞추는 하이퍼 파라미터로 10정도의 값을 주게 됨. 경계박스 로스항에 t^* 에 가까운 t 를 예측하는 것이 목표이며, t 는 식으로 정리되어 경계박스와 앵커박스의 차이를 의미함

$$t_x = (x - x_a)/w_a, t_y = (y - y_a)/h_a, t_w = \log(w/w_a), t_h = \log(h/h_a),$$

$$t_x^* = (x^* - x_a)/w_a, t_y^* = (y^* - y_a)/h_a, t_w^* = \log(w^*/w_a), t_h^* = \log(h^*/h_a)$$

- 로스 p는 앵커박스의 오브젝트의 여부를 나타내며, 로스 t는 4 코디네이트(x, y, h, w)의 예측 박스를 의미함. a항은 사용자 파라미터로 학습전에 결정이 되므로 2번째 줄의 *항은 학습 전이 이미 결정되어 있어서 t^* 들은 이미 주어진 상수이며, 주어지지 않은 상수들은 1행의 x, y, w, h 들이기 때문에 4개가 최종 목표이며, 네트워크는 t를 예측해야 함
- 네트워크가 t를 예측하면 그것과 앵커로부터 1행의 식을 이용해서 x, y, w, h를 얻을 수 있음. 경계박스를 직접 예측하여 t라는 항을 없애게 된다면 식이 훨씬 단순해 질 수 있지만 경계박스를 얻기 위해 9개의 앵커박스를 사용하는 것의 이점이 큼
- 네트워크에서 경계박스를 직접 예측하는 것은 어렵지만, 주어진 앵커 박스를 기준으로 경계박스가 어디에 있는지 찾는 게 훨씬 쉽기 때문에 x^*, y^*, w^*, h^* 을 직접 예측하는 것이 아니라 정답과 앵커박스와의 차이만을 예측하는 것임
- 경계박스를 예측한 이후 특징맵에서 예측한 경계박스들을 각각 잘라내서 ROI Pooling 클래스를 분류함

나. 데이터 셋 구성 및 성능 평가 방법

○ 영상 촬영 방법 및 데이터 셋의 구성

- 영상 데이터 셋의 구성을 위해 3DR 사의 Solo quadcopter 드론에 Mapir 사의 Survey3W 멀티 카메라를 장착하여 촬영함. Survey3W 카메라는 87°의 HFOV를 가지는 Sony Exmor R IMX117 12MP(bayer RGB) 센서를 사용하며, 영상의 해상도는 FHD (2,560*1,440 pixel)로 설정
- 1m/s의 속도로 이동하는 드론에서 PWM의 remote trigger 신호를 이용하여 자동으로 촬영이 되도록 하였으며, 촬영 장소는 농경지를 비롯하여 농가일대에서 진행

<실험 데이터 셋의 세부 분류>

대상객체	분류 조건	촬영 고도(m)
사람	서있기/걷기/굽히기/앉기	10, 15, 20
동물	소/개/염소/말	10, 15, 20
차량	일반 차량/농기계	10, 15, 20
건물	농가/농업시설	10, 15, 20

- 농지 및 농가 상황을 배경으로 하여 실제 농업 환경에서 고려해야 할 객체들을 선정하여 학습할 수 있도록 데이터 셋을 구성함. 객체들은 사람, 동물, 차량, 건물로 구성되었으며, 총 1834장의 영상이 준비되었으며, 영상의 대상 객체들은 다양한 크기로 촬영되어 분류별로 정리함

<영상 데이터 셋의 구성 정보>

분류	대상 객체 크기 (픽셀의 수)	총 대상 객체의 수
사람	1,188~17,882	1282
동물	988~11,968	894
차량	34,566~460,682	529
건물	90,756~1,175,086	257

○ 성능 평가 방법

- 실시간 영상 해석은 입력된 영상을 처리하여 다양한 환경에도 강하고 재연성이 높은 특징을 추출 및 처리하여 목적에 맞는 객체가 존재하는 영역을 검출하고 객체를 다양한 클래스로 분류한 다음 적절한 객체로 인식하는 기능을 수행
- 성능 평가 모델에 따라서 자체평가를 실시하였으며, 결과에 맞추어 프로그램을 설계함

<실시간 영상 해석 자체평가 요구사항>

검색의 정확성	디스크립터는 질의 영상 내의 동일한 부류의 객체를 포함하고 있는 비디오 영상의 정합, 검색 및 순위결정을 할 수 있어야 한다. 이 경우 관심 객체는 평면/비평면이거나, 정형 혹은 부분적으로 정형이거나, 전체가 같은 질감을 갖거나 혹은 부분적으로 같은 질감을 가질 수 있다.
디스크립터의 독립성	디스크립터는 정합을 하는데 있어서 디스크립터 이외의 다른 정보를 필요로 하지 않는다.
이미지/비디오 포맷의 독립성	디스크립터는 이미지나 비디오의 포맷과 독립적이어야 한다.
영상 전처리(강조, 보정 등)와의 독립성	디스크립터는 영상의 전처리(강조, 어안렌즈 영상의 왜곡보정 등)와 독립적이어야 한다.
영상 속 객체 추적 능력	디스크립터는 비디오 프레임 속의 객체를 지속적으로 추적하여 검색을 할 수 있는 성능이 있어야 한다.
디스크립터의 경량성	디스크립터는 통신 및 처리의 효율성을 위해 일정한 크기보다 작아야 한다.
디스크립터 크기의 가변성	디스크립터는 그 크기가 적용 분야나 환경에 따라 가변적이어야 한다. 또, 서로 다른 크기의 디스크립터 간에도 동작이 되어야 한다.
작은 메모리 및	디스크립터 추출을 위해서는 메모리 사용량과 계산량이 작아야 한다.

계산량	
디스크립터의 강인성	디스크립터는 시점 변화, 카메라 파라미터 변화, 밝기 변화나 객체의 가려짐, 영상 편집(해상도 변화, 프레임률 변화 등)에도 강인해야 한다.

- 기술의 자체 평가는 크게 검색 평가와 쌍대 비교평가가 존재함. 검색 평가는 질의 영상에 대해 전체 실험 영상 DB로부터 적절한 영상을 찾아내는 실험 평가이고, 쌍대 비교 평가는 질의 영상과 질의 영상에 대응하는 참조 영상을 일대일로 비교하여 참조 영상 내의 객체를 제대로 찾는지를 평가하는 실험임
- 대상 객체는 Negative로 판별되어야 할 객체가 없기 때문에 드론의 촬영 영상에 대한 객체의 검출 결과는 precision과 recall, 그리고 F1 score를 채택하여 평가에 이용함. precision은 장애물 객체를 positive로 검출한 경우에 대하여 장애물 객체를 올바르게 예측한 경우의 비율을 의미함. 장애물로 예상했던 것들 중 진짜 장애물인 것들의 비율을 의미
- recall은 실제 장애물 객체에 대하여 장애물 객체를 올바르게 예측한 경우의 비율을 의미함. 진짜 장애물 중에 장애물로 예측한 경우의 비율을 의미
- 데이터 자체에 positive 또는 negative가 많을 경우에는 비율 자체가 편향되어 있는 경우가 많기 때문에 precision과 recall의 조화 평균인 F1 score를 이용함

$$Precision = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Positive}$$

$$Recall = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Negative}$$

$$F1\ Score = \left(\frac{Recall^{-1} + Precision^{-1}}{2} \right)^{-1} = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}$$

- precision과 recall, 그리고 F1 score 은 0.0~1.0 사이의 값 또는 백분율로 나타내며 높을수록 좋은 알고리즘으로 평가됨

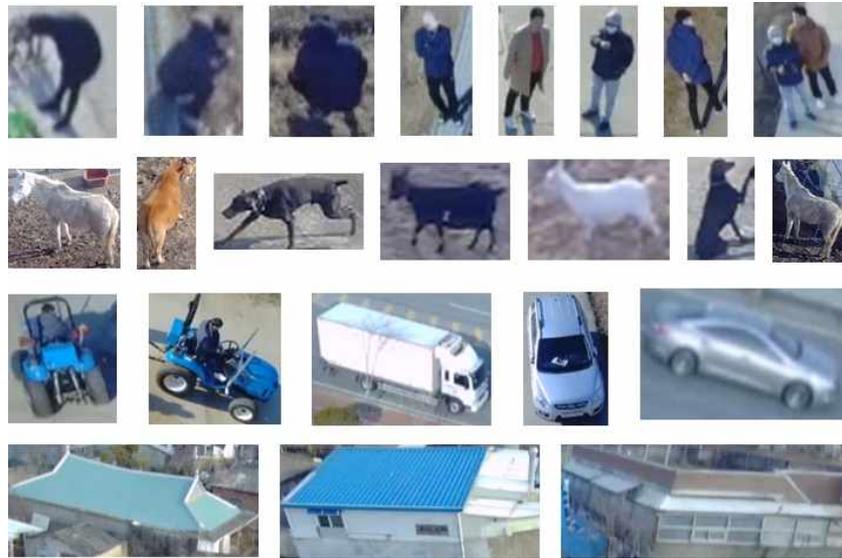
다. 알고리즘의 성능 평가

○ 성능 실험 데이터

- 성능 실험은 객체 인식에 적합한 PASCAL VOC의 test 이미지들과 직접 농경지에서 촬영한 동영상 데이터를 이용하여 검출된 장애물을 대상으로 평가를 진행함. 알고리즘을 평가하기 위한 방법으로, 주관적인 평가와 객관적인 평가를 병행함
- 주관적인 평가는 검색된 결과를 시각적으로 직접 확인하여 검출된 장애물들이 얼마나 정확하게 검출되었는지를 직접 판단하였으며, 객관적인 평가는 평가 척도인 재현율, 검출율과 F1 Score를 사용함
- 장애물 객체의 상황에 따른 분류 결과 평가와 높이에 따른 분류 결과 평가, 그리고 객체의 실시간 검출 평가, 마지막으로 다른 알고리즘과의 비교 평가가 이루어짐



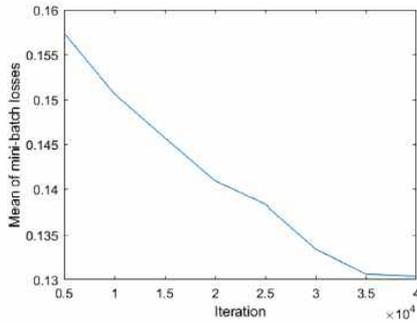
<PASCAL VOC의 검출 이미지 예시>



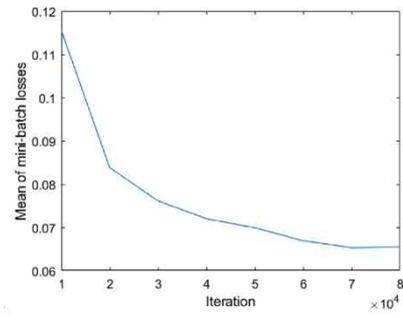
<제작한 데이터 셋의 검출 이미지 예시>

○ 학습 성능 평가

- 학습에는 확률적 경사 강하(SGD) 방법이 사용됨. 3개의 RPN 훈련 단계에서 SGD 반복을 40,000회, 3개의 분류기 훈련 단계에서 40,000회씩, 총 80,000회 실시함
- 총 6단계에서 학습이 완료되면, 다음 단계의 교육을 위해 현재 단계에 저장된 모델 중에서 검증 오류가 가장 적은 모델을 선택함. 두개 이상의 장애물 객체가 있는 이미지들이 학습에서 배경 손실에 너무 가중치를 주지 않도록 사용됨
- 그래프는 각각 마지막 RPN과 분류기 학습 단계의 미니 배치 손실 평균의 감소를 보여줌. 학습 후 손실 값이 매우 낮은 값으로 수렴됨을 볼 수 있으며, 이는 수정된 faster R-CNN이 충분히 훈련되었음을 나타냄
- 분류기의 손실은 RPN의 손실보다 높는데, 이는 RPN이 거친 객체 후보들을 사용하여 미리 분류되어 최종 분류 결과를 제공하는 분류기보다 더 쉬운 학습 과제를 수행하였기 때문임



(a)RPN



(b)classifier

<iteration에 따른 RPN and classifier의 minibatch losses>

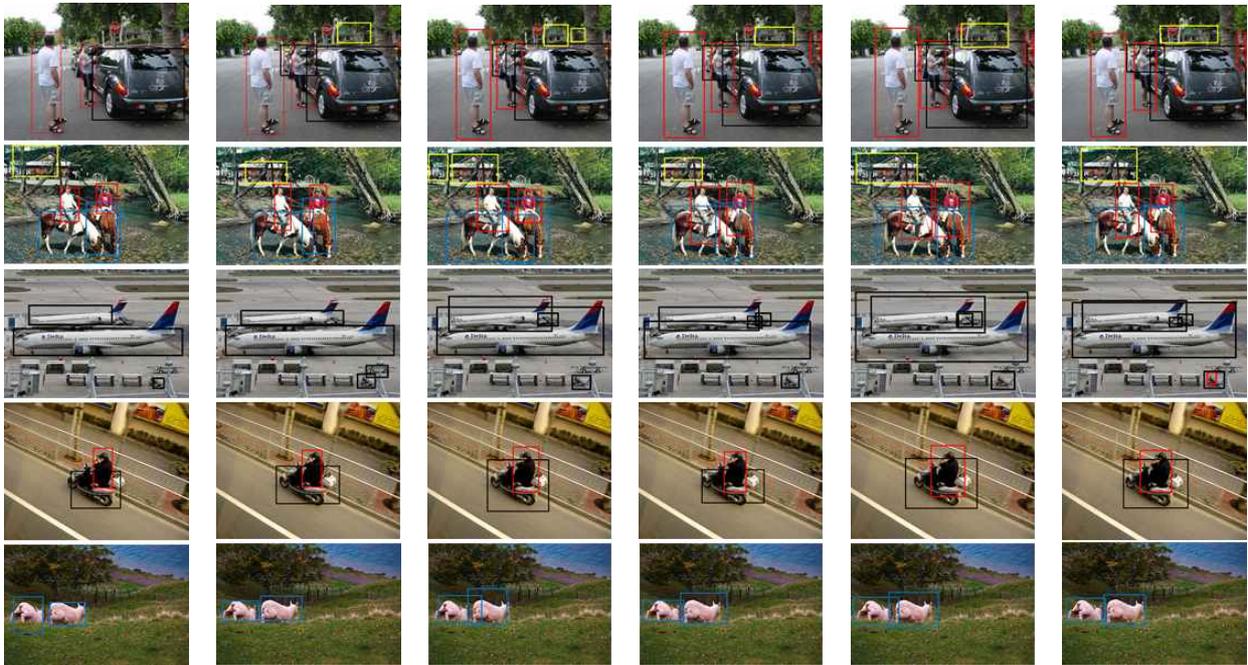
○ PASCAL VOC 데이터셋을 이용한 검출 성능 평가

- 검출해야할 Ground Truth 및 검출 이후의 True Positive, False Positive를 나타내었으며, 이를 토대로 평가 방법을 통해 측정된 Recall, Precision, F1 Score 및 이미지당 평균 실행 시간을 나타냄
- 비교를 위해 YOLO, R-CNN, fast R-CNN, faster R-CNN, 그리고 MS-CNN을 추가하여 같은 데이터 셋을 학습시키고 검출을 진행함

<PASCAL VOC 데이터셋을 이용하여 테스트한 검출 성능 평가>

방법	Ground Truth	True Positive	False Positive	Recall	Precision	F1 Score	Time / Image
YOLO	17,125	11,792	7,339	68.85	61.64	65.05	0.084
R-CNN	17,125	13,442	3,729	78.49	78.28	78.39	0.332
fast R-CNN	17,125	14,174	3,055	82.77	82.27	82.52	0.290
faster R-CNN	17,125	15,375	2,458	89.78	86.22	87.96	0.175
MS-CNN	17,125	15,907	1,733	92.89	90.18	81.51	0.493
proposed	17,125	15,088	2,889	88.11	83.93	85.97	0.108

- YOLO는 처리속도를 중요시 하는 만큼 precision이 매우 낮았게 나왔으며, R-CNN은 YOLO와 비교하여 약간의 검출 성능의 향상이 있었지만, RPN을 직렬로 처리하는 방법 인만큼 처리 속도에서 좋지 않은 성능을 보였음
- R-CNN 기반 방식은 평균 precision 측면에서 YOLO보다 좋은 성능을 보였는데, 이는 R-CNN이 region proposal을 통한 객체 제안 영역 생성, deep feature 추출 및 training 과 관련되어 YOLO보다 더 많은 다중 레이어들을 이용하여 훈련되었기 때문임
- fast R-CNN과 faster R-CNN은 RPN의 방식 차이를 통해 이미지당 평균 실행 시간에서 성능 향상을 보였으며, 다른 방법들과 비교하여 MS-CNN은 좋은 검출기 성능을 보이지만 이미지당 평균 실행 시간에서는 매우 좋지 않은 성능을 보였음
- 다른 알고리즘들은 통합 엔드투엔드 검출기(end-to-end detector)인 반면에 설계한 알고리즘은 RPN을 병렬로 같이 처리하면서 속도와 검출율 면에서 좋은 결과를 보였음



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

<PASCAL VOC 데이터 셋을 이용한 검출 성능 평가 (a)YOLO, (b)R-CNN, (c)fast R-CNN, (d)faster R-CNN, (e)MS-CNN, (f)proposed>

- 설계한 알고리즘은 원격 감지 영상에서 큰 물체뿐만 아니라 작은 크기의 물체를 탐지하는 데에서도 좋은 성능을 보임. 설계한 알고리즘은 대부분의 물체의 종류에 대해 최적의 또는 최적인 검출 성능값을 달성했는데, 이것은 제안하는 알고리즘이 다양한 크기의 물체를 탐지하는 데 효과적이라는 것을 보여줌
- MS-CNN은 유사한 탐지 성능을 얻었으나, 이는 더 많은 레이어 구조 때문에 이미지당 처리 속도가 매우 떨어짐
- 설계한 알고리즘은 faster R-CNN을 기반으로 설계되었지만 레이어의 배열 차이로 인해 같은 방식의 알고리즘 기법을 사용하였어도 설계한 알고리즘은 faster R-CNN보다 이미지당 처리속도에서는 이미지당 0.067s의 처리속도 차이를 보임
- 최근의 처리 알고리즘들을 채택하여 PASCAL VOC 데이터 셋에서 처리한 결과 예측한 영역 박스와 재설계된 deep feature extraction이 검출 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있음을 보였음
- MS-CNN은 다단계 레이어 구조로 인해 검출율은 좋지만 처리 속도 면에서 비효율적인 반면에 나머지 4개의 비교 알고리즘들과 제안하는 알고리즘은 거의 실시간 검출에 근접했음. YOLO가 가장 빠르지만, 검출 정확도가 어느 정도 절충된 방법이며 설계한 알고리즘은 검출 정확도와 속도를 더 잘 절충했음

○ 제작한 데이터셋을 활용한 검출 성능 평가

- 농업 환경에서 제안한 알고리즘의 적용 가능성 평가를 위해 드론 시스템을 이용하여 촬영한 이미지들을 학습시키고 테스트를 진행함. 실험이 진행된 장소는 농경지, 주변 농가, 동물 사육장 등이며, 사람, 동물, 차량, 건물들을 10m, 15m, 20m 등의 다양한 높

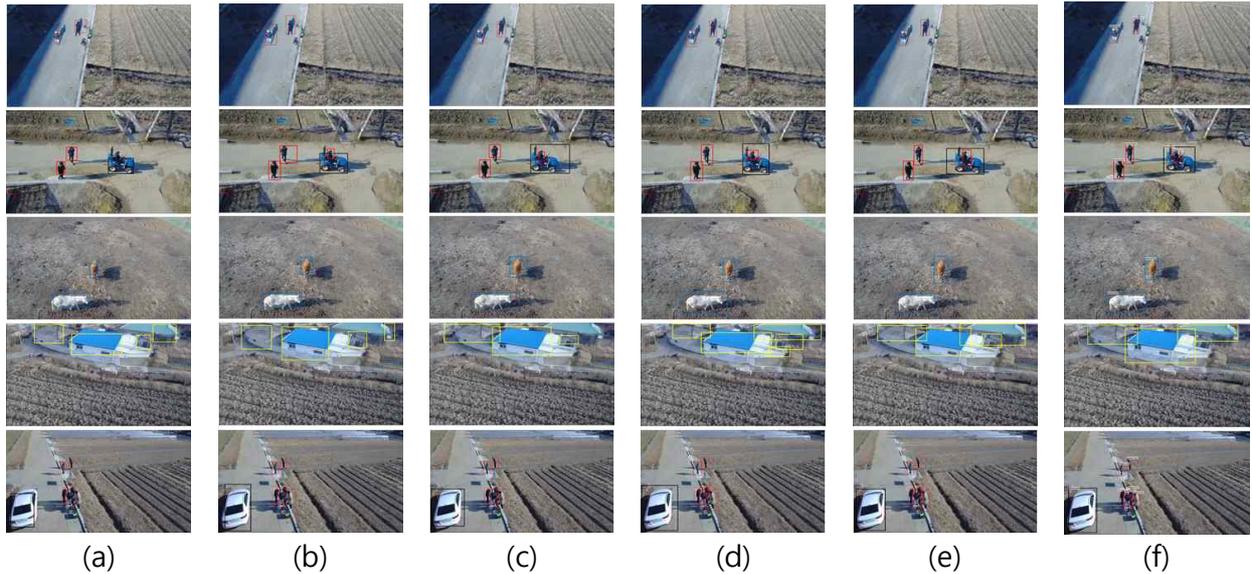
이로 여러 차례 촬영을 진행하였으며, 비교 대상은 PASCAL VOC 데이터셋에서 비교한 알고리즘들로 동일하게 구성하였으며, 객체의 검출율과 이미지당 처리 속도를 비교함

<제작한 데이터셋을 이용하여 테스트한 검출 성능 평가>

Method	Ground Truth	True Positive	False Positive	Recall	Precision	F1 Score	Time / Image
YOLO	2,962	1,910	1,544	64.48	55.29	59.53	0.142
R-CNN	2,962	2,276	884	76.83	72.02	74.34	0.487
fast R-CNN	2,962	2,317	1,063	78.22	68.55	73.06	0.405
faster R-CNN	2,962	2,394	572	80.82	80.71	80.76	0.296
MS-CNN	2,962	2,308	285	77.92	89.00	83.09	0.656
proposed	2,962	2,411	597	81.39	80.15	80.76	0.212

- PASCAL VOC 데이터 셋에서의 성능 평가 비교 결과와 비슷하게 YOLO는 Recall율이 64.48, Precision이 55.29로 객체를 오검출하는 숫자도 많아서 객체를 인식하는 다양성과 정확성이 매우 낮은 성능을 보였지만 이미지당 처리 속도는 다른 평가 알고리즘들에 비해서 매우 뛰어난 성능을 보였음
- R-CNN 기반의 알고리즘들인 R-CNN, fast R-CNN, faster R-CNN은 각각 76.83, 78.22, 80.82의 Recall 값을 가져 Ground truth를 검출해 내는 데에 좋은 성능을 보였지만, faster R-CNN이 80.71의 Precision 값을 보이는 것에 비해 R-CNN은 72.02, fast R-CNN은 68.55의 Precision 값을 보여 오검출이 많음
- R-CNN 기반의 방식들이 작은 객체를 인식하는 부분에 있어서 region proposal을 통한 객체 제안 영역 생성, deep feature 추출 및 training과 관련되어 다중 레이어들에서 학습되는 과정에서 많은 학습 데이터들을 필요로 하기 때문임
- 농업환경 영상에서 R-CNN 기반의 알고리즘들의 RPN의 처리방법에 따라서 이미지당 처리속도가 차이가 나는 것을 볼 수 있음
- RPN의 처리방법이 특성 검출과 병렬로 처리되어 처리시간이 감소되는 방식일수록 처리속도에서 많은 성능 향상을 보였음
- MS-CNN은 PASCAL VOC의 결과와는 다르게 농업환경에서의 Recall은 77.92, Precision은 89.00의 값을 가져서 객체 검출 성능은 다소 떨어지는 모습을 보였음
- MS-CNN 알고리즘이 학습하는 객체의 개체 수가 적은 경우에는 객체 특징을 보다 다양하게 검출하지 못하는 특징이 있어서 True positive의 개수가 낮게 나타났으며, 오검출하는 false positive의 수도 적기 때문에 농업환경 영상을 이용한 결과에서 MS-CNN은 낮은 Recall 값과 높은 Precision 값을 가졌음
- 설계한 알고리즘은 농업환경 영상에서 비교 알고리즘들 중에서 가장 높은 True positive 값을 가지는데, 이는 적은 개체의 객체 학습에서도 제안 알고리즘이 높은 객체 검출율을 보인다는 점으로 볼 수 있음
- MS-CNN과 비교하여 설계한 알고리즘은 오검출율이 많기 때문에 낮은 Precision값을 가지지만 ground truth를 더 잘 검출하기 때문에 높은 Recall값을 보였음
- 설계한 알고리즘은 레이어 구성의 변화를 통해 다른 CNN의 알고리즘들보다 빠른 처리

속도를 보여 YOLO의 처리속도에 근접하는 것을 볼 수 있음. CNN의 방식이 오검출율을 줄이고 검출 정확도를 높이는 데에 중점을 두고 있다면 설계한 알고리즘은 R-CNN의 검출율을 그대로 유지하면서 실시간 처리를 위한 이미지당 처리 속도를 보완한 것임



<제작한 농업환경 영상을 이용한 검출 성능 평가 (a)YOLO, (b)R-CNN, (c)fast R-CNN, (d)faster R-CNN, (e)MS-CNN, (f)proposed>

(2) 2차년도 연구내용 및 결과

가. 3D Point-cloud 기반의 도로 및 주변환경 인식

- Point-cloud 기반 3차원 영상 분류 알고리즘을 통한 농경지 주변 환경 인식
 - 아래 그림과 같이 농경지는 크게 논과 논 가장자리에 경계를 이루는 두둑이 있으며 논에 물을 대기 위한 수로와 농작업기가 이동할 수 있는 도로로 이루어져 있음
 - 논, 도로, 수로는 육안으로 구분이 가능할 정도로 높낮이가 확연히 구분됨
 - 무인 항공기를 이용하여 얻은 항공 이미지를 활용하여 Point-cloud를 획득하고, 좌표 특징을 기준으로 분류한다면 2차원 영상만 가지고 분류했을 때 보다 정확도가 높아짐



<농경지, 도로, 수로에 따라 표면의 높낮이가 확연히 구분되는 일반 농경지의 모습>

○ 촬영 시스템 구성

1. 드론: 3DR Solo



2. 카메라: Mapir



화소	12MP
센서	RGB 센서
촬영방식	PWM 트리거
입출력 단자	PWM, USB, HDMI, & SD
치수	59 x 41.5 x 36mm
무게	50g

3. 카메라 멀티 모듈 구성

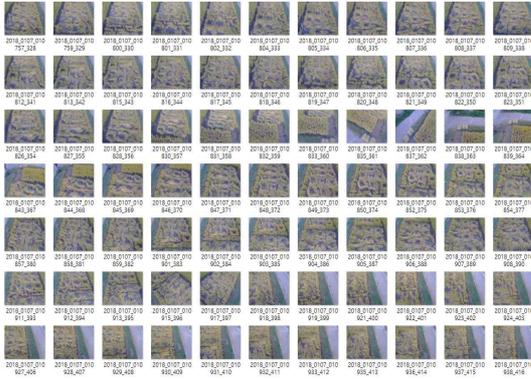


4. 영상 촬영 장면

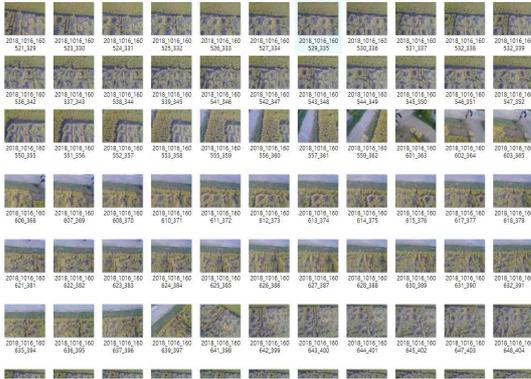


<항공 영상 촬영 시스템 구성>

1번 카메라



3번 카메라

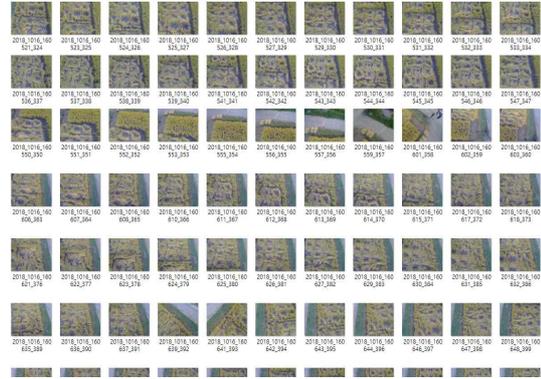


5번 카메라

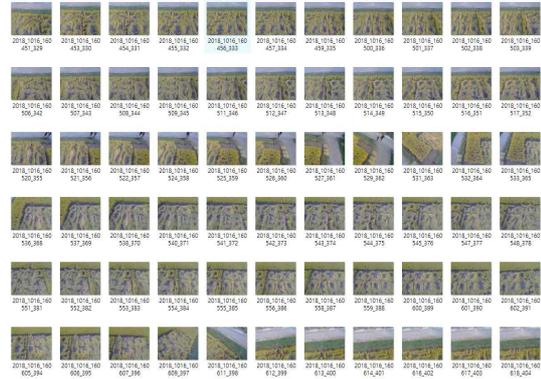


<각 카메라 별 촬영 영상>

2번 카메라

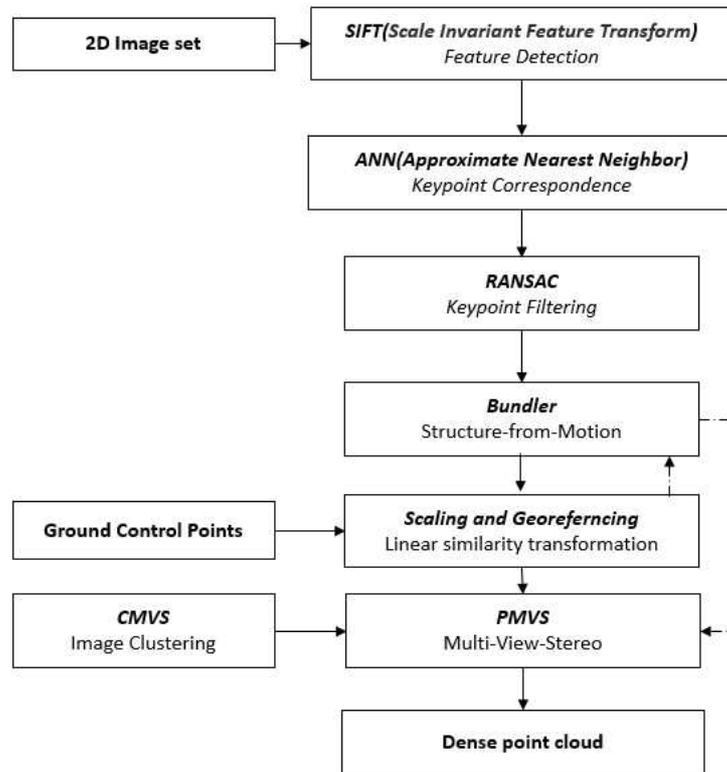


4번 카메라



○ 항공 이미지를 활용한 특징점 추출 및 매칭

- 농경지 주변 도로 및 환경을 인식하기 위해 가장 처음 수행하는 작업으로 영상에서 특징점들을 찾아 영상 간에 겹치는 객체를 식별하고 매칭하는 단계임



<항공영상을 이용한 Point-cloud 생성 순서도>

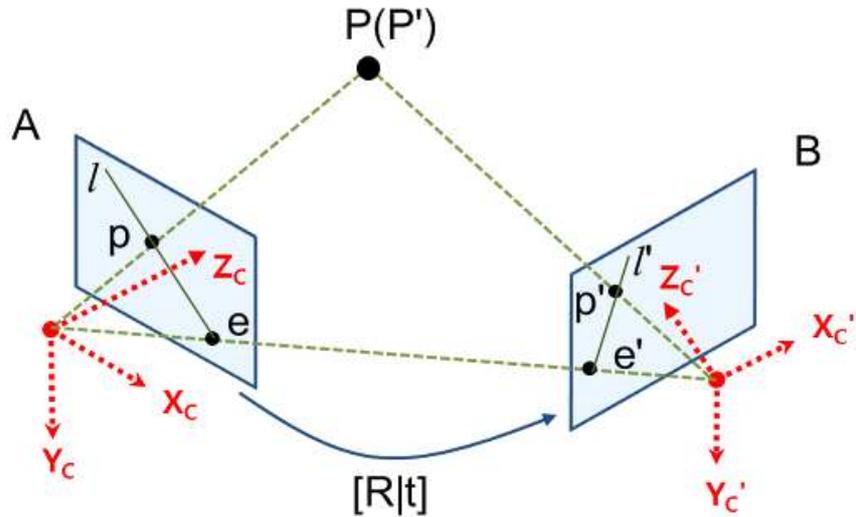
- 특징점 추출을 위해 2차원 항공 이미지들을 등록하고 적합한 포인트들을 일치시키는 알고리즘이 이용됨
- 특징점 추출에 주로 사용되는 알고리즘인 Scale Invariant Feature Transform(SIFT)를 사용함
- SIFT는 이미지의 크기와 회전에 불변하는 특징을 추출하는 알고리즘으로 서로 다른 두 이미지에서 SIFT 특징을 각각 추출한 다음에 서로 가장 비슷한 특징끼리 매칭해주면 두 이미지에서 대응되는 부분을 찾아냄
- 본 알고리즘에서 SIFT는 항공 이미지 등록, 추적 및 영상들 간에 가장 비슷한 특징점을 매칭하기 위한 주요 기능들을 식별함



<항공 이미지간의 특징점 추출 및 매칭 결과>

- 항공 이미지로부터 얻은 특징점들 간의 관련성 식별
 - SIFT를 통해 얻은 각 특징점이 오차가 발생할 수 있으며, 이미지들에 표시된다는 보장이 없으므로 특징점들 간의 관련성을 식별하는 단계임
 - Approximate Nearest Neighbor(ANN)은 가장 가까운 인접 지역을 식별하는 데 상대적인 오류를 허용하며 상위 후보만 검색하여 상당한 시간을 절약할 수 있음
 - 가장 가까운 이웃의 유클리드 거리(Euclidean distance)와 두 번째로 가까운 거리의 비율을 '거리 비율'이라고 하며, 모든 매칭이 정확하게 식별될 가능성을 높이기 위해 최소값을 지정함
 - 대략적인 일치율을 위해 수정된 k차원 트리는 거리비율에 의해 특징점 공간은 분할하고 상대적인 오류를 허용하여 선정된 상위 후보만을 검색해 효율적으로 특징점들 간의 관련성을 식별함

- 추가적인 필터링을 통한 오류 수정
 - 이 단계에서는 앞서 식별한 특징점에 추가 필터를 적용하여 남아있는 잘못된 매칭점들을 제거함
 - 여러 개의 공통 특징점이 있는 영상 쌍을 이용하면, Epipolar geometry를 이용하여 Fundamental matrix를 계산할 수 있음
 - Epipolar geometry는 동일한 사물 또는 장면에 대한 영상을 서로 다른 두 지점에서 획득했을 때, 영상 A와 영상 B의 매칭쌍들 사이의 기하학적 관계를 다룸



점 e, e' : 두 카메라 원점을 잇는 선과 이미지 평면이 만나는 점.
 점 p, p' : 점 $P(P')$ 에 대한 각 영상에서의 좌표, 투영점.
 $[R|t]$: 두 카메라 위치 사이의 기하학적 관계.

<영상에서의 매칭쌍들간의 기하학적 관계>

- 3D 공간상의 한 점 P 가 영상 A에서는 점 p 에 투영되고, 영상 B에서는 점 p' 에 투영됐다고 하면 두 영상 좌표 p 와 p' 사이에는 다음 관계를 만족하는 행렬이 항상 존재한다는 것이 Epipolar geometry의 핵심이고, 점 p, p' 은 정규화된 이미지 평면에서의 동차좌표임

$$p'^T E p = 0 \text{ --- (1)}$$

$$[u' \ v' \ 1] E \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = 0 \text{ --- (2)}$$

- 위 식에서 행렬 E 는 Essential matrix로 정규화된 이미지 평면에서의 매칭쌍들 사이의 기하학적 관계를 설명하고 다음 식에서의 행렬 F 는 Fundamental matrix로 카메라 파라미터까지 포함한 두 이미지의 실제 픽셀 좌표 사이의 기하학적 관계를 표현

$$p_{img}'^T F p_{img} = 0 \text{ --- (3)}$$

$$[x' \ y' \ 1] F \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = 0 \text{ --- (4)}$$

- 이미지 A에 대한 카메라 내부 파라미터 행렬을 K , 이미지 B에 대한 카메라 행렬을 K' , 이미지 A, B 사이의 Essential matrix를 E 라 하면 Fundamental matrix F 는 다음과 같이 주어짐

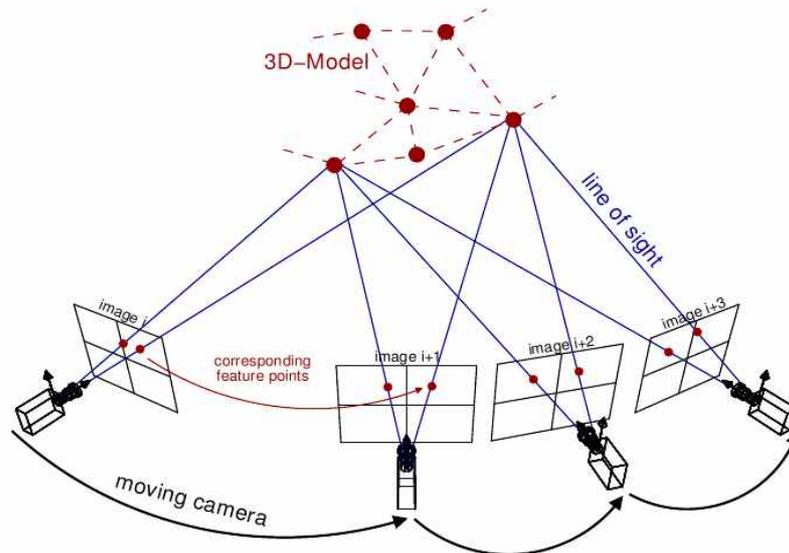
$$E = K^T F K \text{ ---- (5)}$$

$$F = (K^T)^{-1} F K^{-1} \text{ ---- (6)}$$

- Fundamental matrix는 RANdom SAMple Consensus 방법으로 평가되며, 이 방법에서는 Fundamental matrix의 구성에 사용된 특징점을 무작위로 추출하고 반환된 Fundamental matrix와 다른 특징점이 반환하는 매트릭스간의 차이를 계산함
- 임계값을 벗어난 특징점은 '이상점'으로 간주되며 모델의 일부에서 제외되고, 특징점 집합 내에 이상점의 비율이 5%이하가 될 때까지 추출을 반복함

○ 항공 이미지들을 통해 추출한 특징점을 이용한 객체 구현

- 앞서 SIFT, ANN 및 RANSAC 방법을 통해 추출한 특징점을 사용하여 객체를 구현하는 삼차원 포인트 클라우드를 생성
- Structure from motion(SFM)은 카메라를 이동시키며 대상 객체를 다양한 위치에서 찍어 3차원으로 객체를 구현하는 방법임
- 이 단계에서는 SIFT로 정합된 영상을 광속조정법(Bundle adjustment)을 사용하여 촬영 당시의 영상 기하관계로 재구성함으로써 각 픽셀을 3차원 포인트 클라우드로 생성함
- 광속조정법은 블록에 포함되어 있는 관측 지상 기준점의 절대 좌표와 지상 기준점 및 연결점, 접합점 또는 중복 촬영된 임의의 점에 대한 사진 좌표들을 이용하여 각 사진의 외부 표정 요소(촬영 시 카메라의 3차원 절대 좌표 및 사진의 회전량)와 주어진 사진 좌표들에 대응하는 절대 좌표를 결정함



<Structure from motion(SFM) 방법>

○ 크기조정 및 좌표참조를 통한 3차원 포인트 클라우드의 위치 정확도 향상

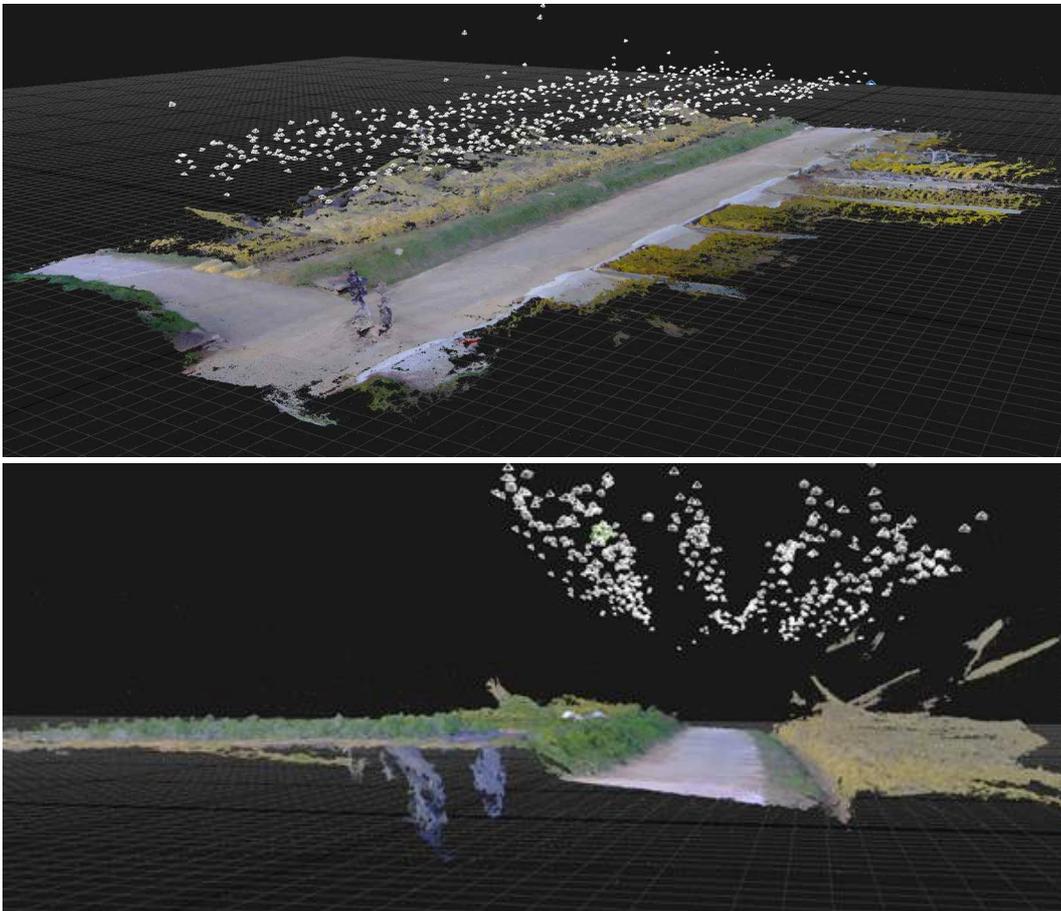
- SFM 방법으로부터 얻은 3차원 포인트 클라우드는 희소하고 좌표 및 크기가 세밀하게

조정되어 있지 않음

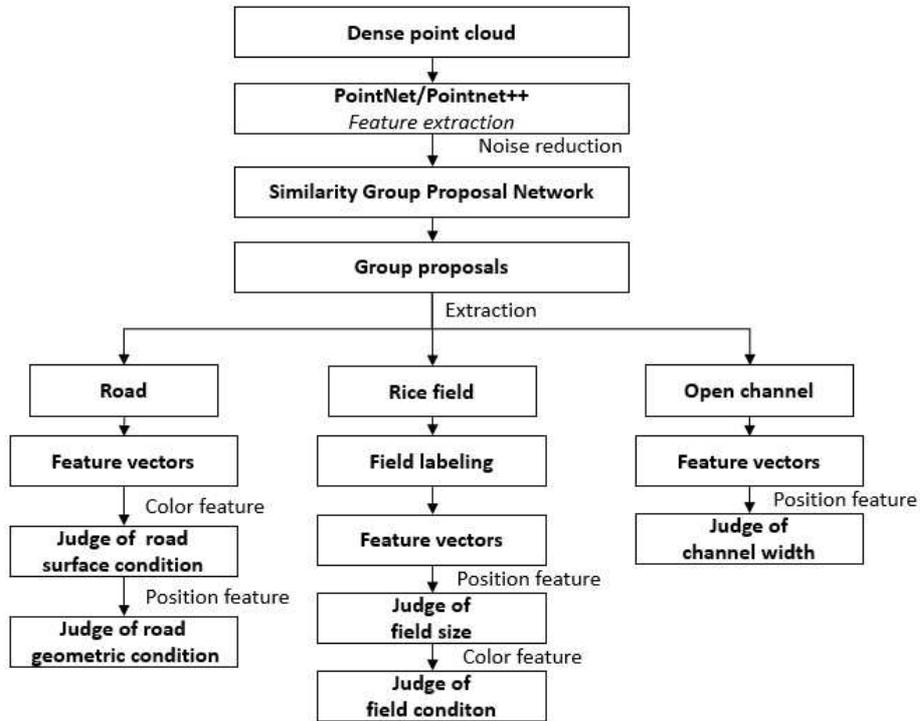
- 크기를 조정하고 좌표 참조하기 위해 최소 3개의 지상기준점(Ground Control Point;GCP)이 필요
- 지상기준점은 영상 좌표계와 지도 좌표계 사이의 좌표 변환 식을 구하기 위해 사용하는 기준점으로 절대 표정에 사용하는 이미 알고 있는 좌표점을 사용함
- 최소 개수는 조사 지역의 크기에 따라 다르지만, 영역의 전체 범위를 포괄하고 지역 전체에 잘 분포되어야 함

○ 고밀도 포인트 클라우드 생성

- 마지막 단계는 Multi-View-Stereo(MVS) 방법을 조정된 3차원 포인트 클라우드에 적용하여 고밀도의 포인트 클라우드를 생성함
- 작은 패치 또는 표면 요소 집합이 객체를 나타내는 Patch based MVS(PMVS) 방법은 3D 상에서 비활성 포인트 픽셀의 이웃 픽셀의 정보들을 바탕으로 새롭게 픽셀의 정보를 생성하여 조밀한 포인트 클라우드를 생성함



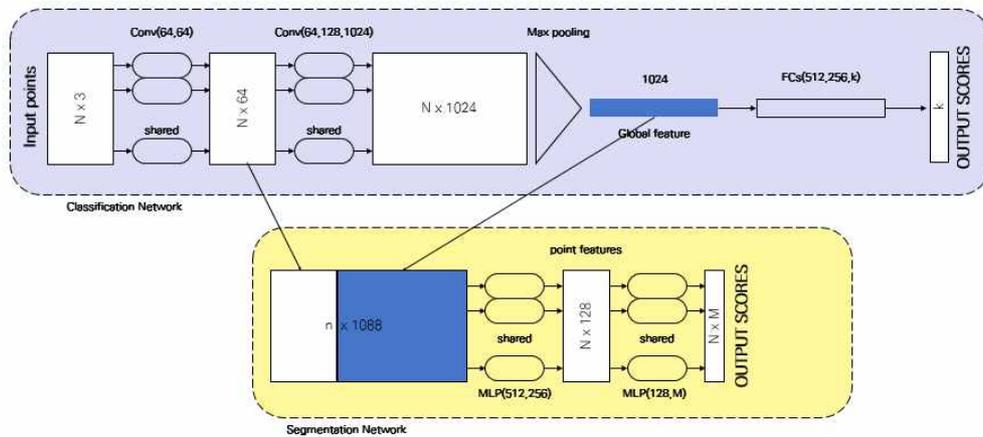
<고밀도 포인트 클라우드 생성 결과>



<포인트 클라우드를 이용한 인공지능 기반 농경지 특성 분석>

○ 3차원 포인트 클라우드 기반 Classification 알고리즘

- 앞선 방법으로 생성된 3차원 포인트 클라우드로부터 객체(논, 도로, 수로 등)를 인식하기 위해서 PointNet 딥러닝 알고리즘을 사용함
- 많은 연구자들은 점군을 복셀(voxel) 형식으로 변환하지만 복셀은 점군을 요약하기에는 좋으나, 빈공간이 많이 발생하여, 비효율적인 부분이 있음.
- PointNet은 입력 시 포인트 순열의 불변성을 이용하여, 이 알고리즘을 통해 객체 분류, 세그멘테이션, 스캔 장면의 의미 해석 등에 필요한 아키텍처를 제공함
- PointNet은 간단하지만, 매우 효율적으로 3차원 점군에서 객체를 인식함
- PointNet 신경망 구조는 n 개 포인트 클라우드를 입력하여 특징 변환을 수행 하고, max pooling을 통해 특징을 일반화함
- 출력으로 m 개 클래스 스코어가 분류된다. 신경망 구조는 분류(classification), 세그멘테이션(segmentation) 네트워크로 구성되어 있고, 세그먼트 네트워크는 분류 네트워크를 확장함
- Batchnorm(Batch Normalization)은 ReLU 함수를 적용하고, Dropout은 분류 네트워크의 마지막 mlp(multi layer perception. 다층 레이어 퍼셉트론)에만 적용



<Pointnet 기반 농경지 분류 알고리즘>

- 분류 네트워크 구조

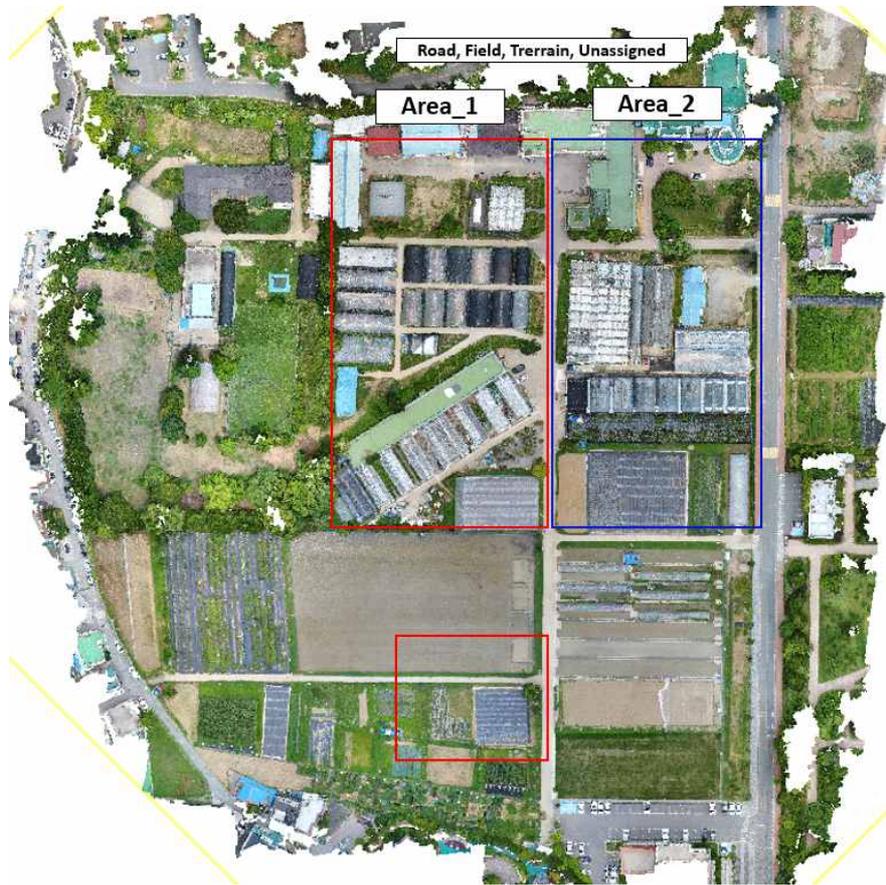
1. 변환된 $n \times 3$ 데이터가 mlp 64x64로 전달되어, $n \times 64$ 텐서로 출력됨
2. feature transform을 통해 계산된 $n \times 64$ 텐서 출력
3. mlp 64x128x1024 로 변환되어 $n \times 1024$ 텐서로 출력
4. max pooling 을 통해 일반화된 특징 벡터 1024 출력
5. mlp 512 x 256 x k 로 출력해 score 벡터 k 계산

- 세그먼트 네트워크 구조

1. 분류 네트워크의 1 ~ 4번까지 그래프 구조는 재활용됨
2. $n \times 1088$ 텐서가 mlp 512x256을 통해 point feature 텐서 $n \times 128$ 로 출력
3. $n \times 128$ 텐서가 mlp 128 x m 을 통해 $n \times m$ 텐서로 출력

○ PointNet기반 농경지 분류 알고리즘 학습을 위한 훈련데이터 구성

- 3차원 포인트 클라우드를 활용한 PointNet 기반 농경지 분류 알고리즘은 실험 포장 영역의 주변 환경을 분류함
- 알고리즘 학습을 위해 그림의 Area 1 영역과 같이 농업 환경이 다양하게 구성돼있는 3차원 포인트 클라우드를 훈련데이터로 구성함
- 학습된 알고리즘을 시험하기 위해 그림의 실험 영역에서 Area 2 영역을 테스트 데이터로 구성함
- 트랙터 자율주행을 위한 3D 공간 맵 제작을 고려하여 농업 환경을 그림과 같이 도로, 농경지, 농경지 구분, 시설물 및 작물로 구분하고 세부 항목을 작성함

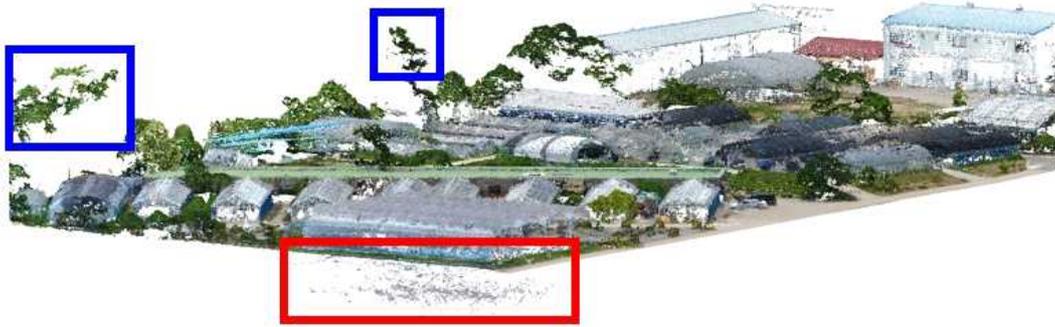


<3차원 포인트 클라우드 정사투영 영상 및 실험 영역>



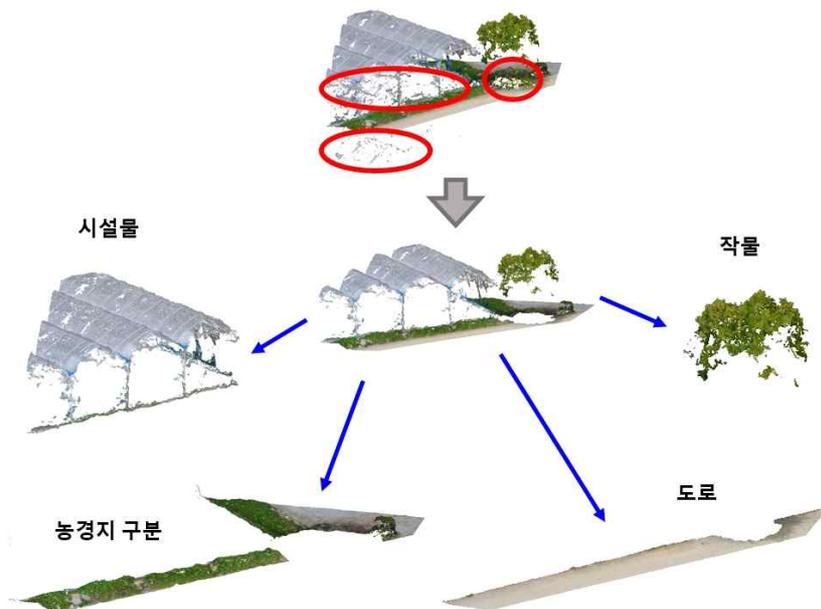
<실험 포장 내 농업 환경 분류 기준>

- 훈련데이터 생성에 앞서 항공 영상측량을 통해 얻은 원시 3차원 포인트 클라우드 데이터는 측량기술 및 센서의 특성상 에러가 발생함
- 영상 간의 매칭점을 기반으로 3차원 포인트 클라우드 추출하는 항공 영상측량의 특성상, 시간에따라 위치 변화가 생기는 작물 및 식생의 경우에는 그림의 파란색 영역과 같이 나뉘거나 또는 잎을 구성하는 3차원 포인트 클라우드의 위치 정보에 에러가 생김
- 광학 센서 기반의 항공 영상측량 특성상, 유리온실 및 비닐하우스와 같은 투명 또는 반투명 구조로 이루어진 시설의 경우 빛의 투과로 인해 그림의 빨간색 영역과 같이 3차원 포인트 클라우드의 위치 정보에 에러가 생김



<Area 1 영역의 3차원 포인트 클라우드 에러 부분>

- 학습의 정확도를 높이기 위해 학습데이터의 전처리 과정이 필요하며 그림의 빨간 영역과 같이 3차원 포인트 클라우드 에러가 생긴 부분을 제거하는 과정을 거침
- 에러가 제거된 3차원 포인트 클라우드를 농업 환경 분류 기준에 맞추어 도로, 농경지 구분, 시설물 및 작물로 재구성함



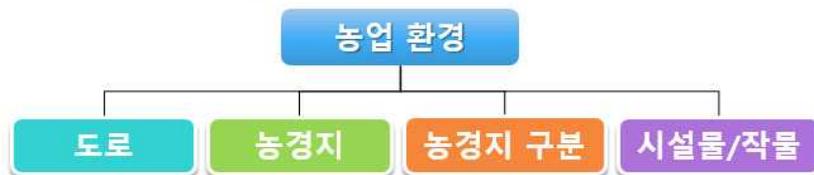
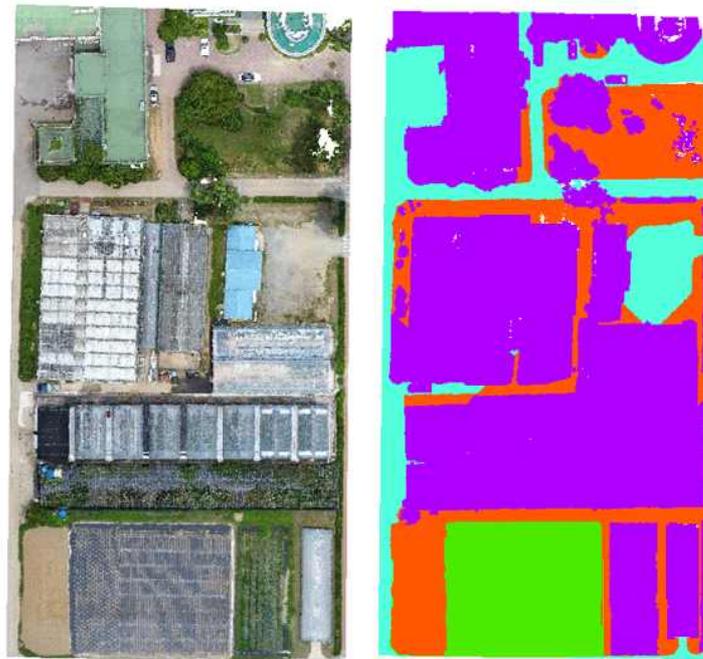
<학습데이터 구성을 위한 에러 제거 및 분류 대상 구분>

- 재구성된 3차원 포인트 클라우드는 xyz 위치 정보를 포함하고 있으며, 위치 정보를 알고리즘의 학습데이터로 입력함
- 각 학습데이터 당 4,096개 포인트의 위치 정보로 구성되었으며, 알고리즘은 15,633개의 학습데이터로 훈련됨

○ PointNet기반 농경지 분류 알고리즘 학습을 위한 훈련데이터 구성

- 대상 포장 내에서 Area 2 영역의 3차원 포인트 클라우드를 테스트 데이터로 사용함

- 분류 대상은 도로, 농경지, 농경지 구분, 시설물 및 작물로 그림 4-11에서 보는 것과 같이 도로는 청록색, 경작지는 녹색, 농경지 구분은 주황색, 시설물 및 작물은 자색으로 분류 대상을 표현함
- 그림과 같이 도로와 경작지의 경우, 육안으로 보는 것과 비슷한 결과를 추출함
- 그림과 같이 조밀하게 위치한 비닐하우스 및 유리온실의 경우, 시설물과 시설물 사이의 토지를 모두 시설물 및 작물로 분류하여 정확도가 떨어짐
- 3차원 포인트 클라우드의 위치 정보를 활용한 PointNet 기반 농경지 분류 알고리즘을 시험한 결과, 그림1-16과 같이 나무에 의해 가려진 도로 부분을 잘 분류함



<Area 2 영역의 3차원 포인트 클라우드 분류 결과>



Area 2 영역 내의 비닐하우스 3차원 포인트 클라우드 원시 데이터 영상

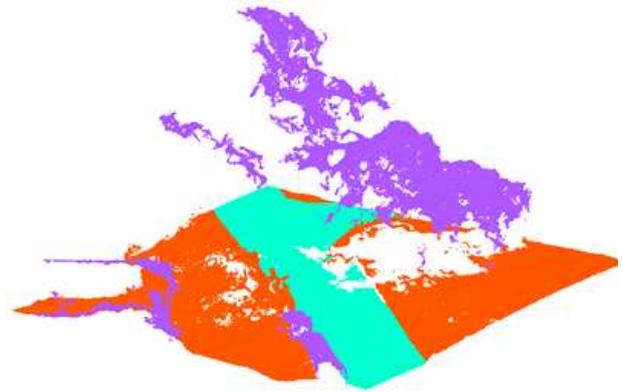


Area 2 영역 내의 비닐하우스 3차원 포인트 클라우드 분류 영상

<Area 2 영역의 분류 오차 영상>



복합지역 분류 정사투영 영상



복합지역 분류 측면 영상

<복합지역 내 도로 분류 결과 영상>

- 아래 표는 3차원 포인트 클라우드 분류 결과로, 4개의 클래스(도로, 농경지, 농경지구분, 시설물/작물)를 기준으로 mean IoU(Intersection over Union)과 분할 정확도를 계산함

<3차원 포인트 클라우드 분류 결과>

	평균 IoU (%)	overall accuracy (%)
PointNet 분류 알고리즘	51.18	64.71

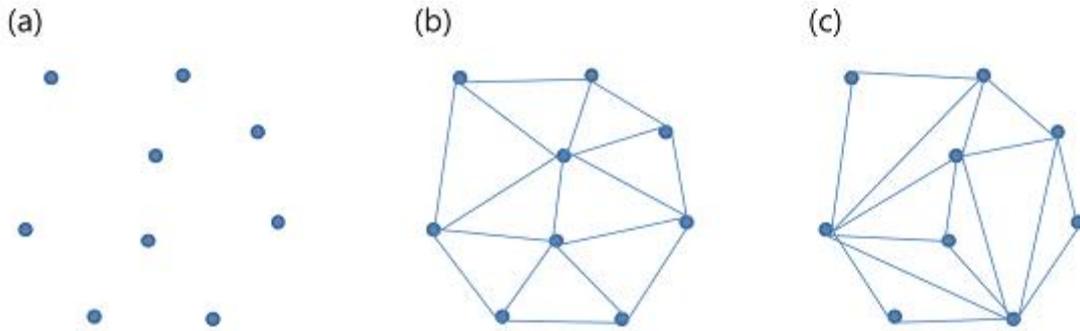
- 학습 데이터를 준비하기 위해 먼저 점을 Area 2 영역을 4분할한 다음 0.5m x 0.5m 크기의 블록으로 나눔. 분할된 블록을 기준으로 검출 가능한 클래스의 개수(# instance)와 클래스 별 mean IoU 결과를 표로 정리함
- 아래 표의 네트워크 결과값은 농경지 3차원 포인트 클라우드 분할 결과의 임계값이 0.5로 설정된 평균 정밀도임

<실험포장 내 클래스 검출 정확도 결과>

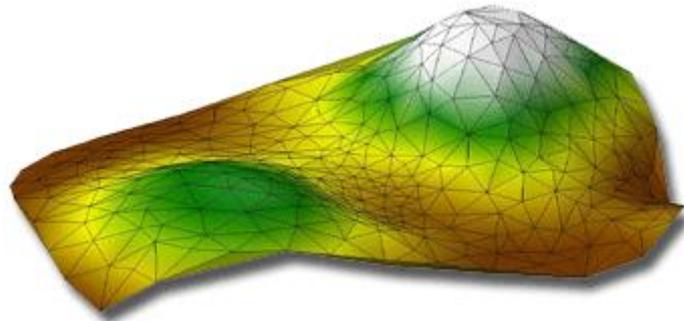
	도로	농경지	농경지구분	시설물/작물	평균
클래스의 개수	153	89	127	216	
accuracy (%)	74.38	69.94	50.07	64.45	64.71

나. 3차원 포인트 클라우드의 Elevation 기반 경사도 파악

- Geographic information system(GIS)에 의한 평균경사도 산출방법
 - 항공영상으로부터 얻어낸 3차원 포인트 클라우드는 농경지 표면의 위치 정보를 표현하고 있어 Geographic information system(GIS)에 포함됨
 - 평균경사도를 산출하는데 있어 Triangulated irregular network(TIN) 생성방식은 델로네 삼각법을 이용
 - Triangulated irregular network(TIN) 모델은 삼각망 형성방법에 따라 같은 표본점에서도 다양한 형태의 삼각망이 추출될 수 있음
 - 본 연구에 사용된 델로네 삼각법은 현재 표본점으로부터 삼각형 네트워크를 생성하는데 가장 널리 사용되는 방법이며, 삼각형 분할방식이 포인트의 처리순서에 영향을 받지 않아 일관적인 삼각망을 추출할 수 있음
 - 델로네 삼각법은 평면 위의 점들을 삼각형으로 연결하여 공간을 분할할 때, 이 삼각형들의 내각의 최솟값이 최대가 되도록 하는 분할이며, 어떤 삼각형의 외접원도 그 삼각형의 세 꼭짓점을 제외한 다른 어떤 점도 포함하지 않는 특징이 있음



- 위 그림에서 (a)와 같이 포인트 클라우드가 있을 때 이 점들을 연결하여 삼각형을 만드는 방법은 (b), (c)와 같이 다양함
- 델로네 삼각법의 특징에 따라 이러한 여러 삼각형 중에서 (b)와 같이 각각의 삼각형들이 최대한 정삼각형에 가까운 삼각형들이 나오게 됨



<델로니 삼각법에 의한 TIN 모델>

- 델로네 삼각법을 통해 생성된 Triangulated irregular network(TIN)을 그리드로 전환하여 수치고도모델(Digital Elevation Model; DEM)을 생성하였으며 이를 바탕으로 각 그리드 셀의 경사도를 계산
- 두 점 P, Q 사이의 경사도 계산에서 거리 척도는 유클리디안 거리법을 이용하여 계산
- 유클리디안 거리는 n차원 공간에서 두 점 사이의 최단 거리를 구하는 공식으로 공식은 피타고라스 정리를 이용한 거리측정 방법

$$L_2 = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2}$$

$$P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$$

$$Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$$

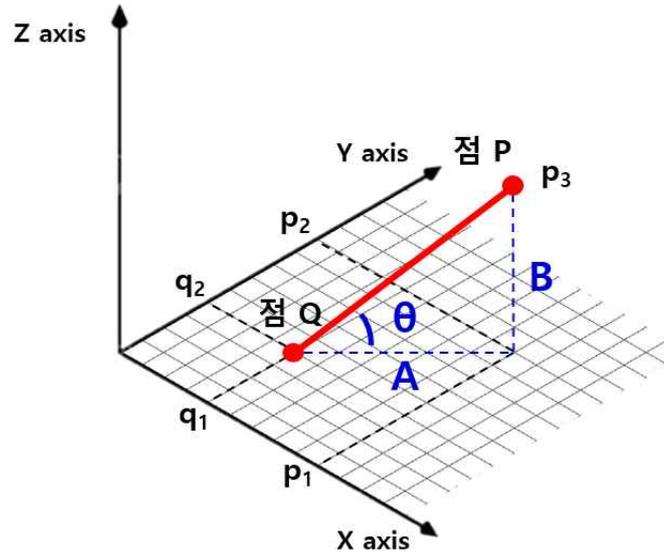
- 위치 정보를 가지고 있는 3차원 포인트 클라우드 간의 경사도는 다음과 같음

$$\text{경사도 (\%)} = \frac{B}{A} \times 100$$

$$\text{경사각}(\theta) = \tan^{-1}\left(\frac{B}{A}\right)$$

A = xy평면상에서 두 점 사이의 최단 거리

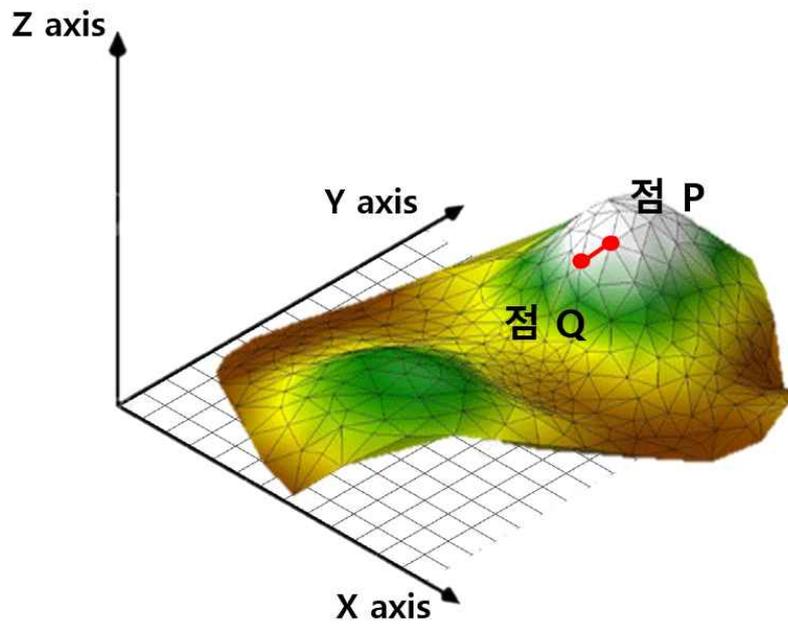
B = 두 점에서 p3와 q3의 차



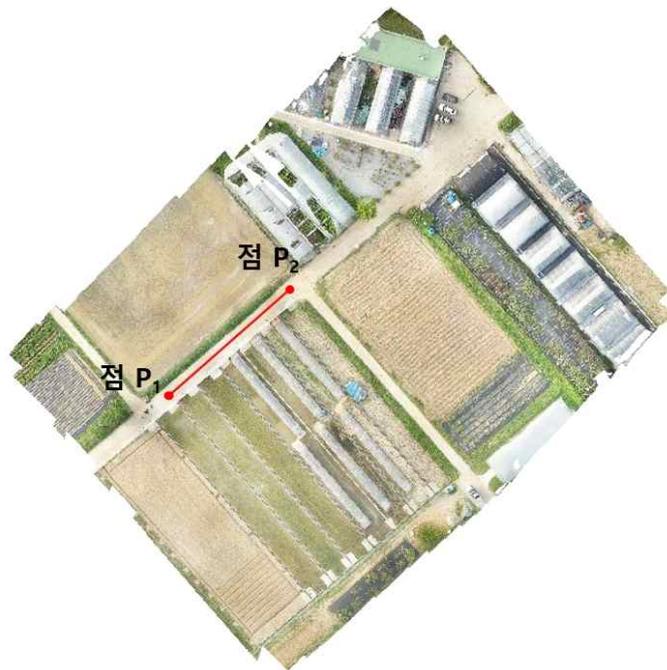
<3차원 공간에서의 경사도 계산>

- 최종적으로 각 대상 플롯의 평균 경사도는 플롯 경계 안에 포함된 모든 셀들의 경사도 값을 평균하여 산출

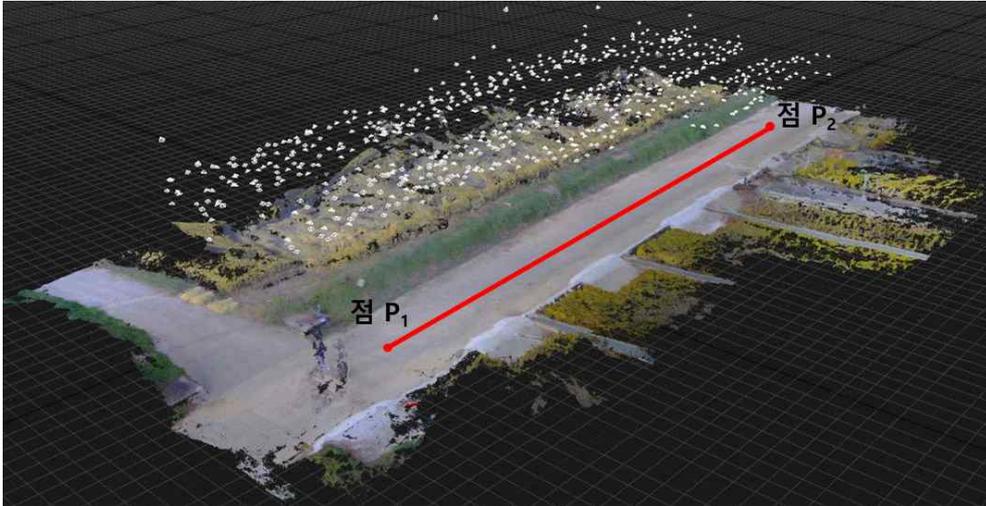
$$\text{평균 경사도 (\%)} = \frac{\sum \text{셀별 경사도 (\%)}}{\text{셀의 수}}$$



<3차원 공간상의 두 포인트 사이의 거리>

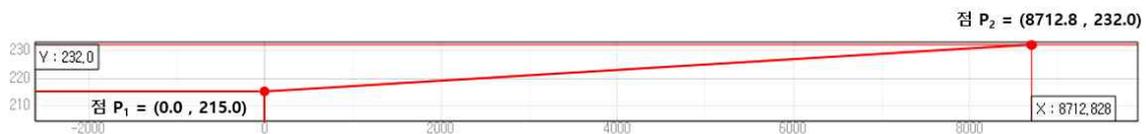


<대상포장에서 도로위의 두 점 P1과 P2>



< 두 점 주위의 3차원 o포인트 클라우드 모델 >

- 실제 지형에서 두 점 P1과 P2 사이의 평균 경사도는 다음과 같음

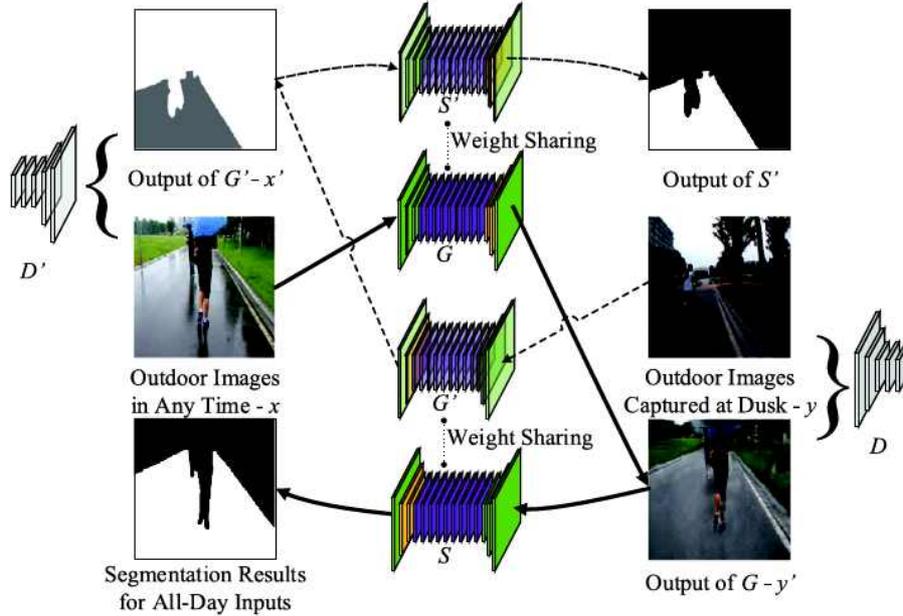


< 두 포인트 간의 경사도 >

다. 도로인식 프로그램 설계

o 도로 감지 및 분할

- 실외 로봇 운영을 위한 도로 감지 및 분할은 어렵고 중요한 문제이며 이것을 해결하기 위한 효과적인 방법을 제안함. 데이터 집합이 두 가지 범주로 가정함. 첫 번째 범주에는 모든 실외 이미지를 포함하며 X 집합으로 표현하고 두 번째 범주는 의미정보가 풍부한 실외 이미지를 포함하며 Y 집합으로 표현함
- 그림과 같이 SGSN(Supervised Generative Segmentation Network)이라고 하는 아키텍처를 두 개의 대칭 네트워크로 구성함. 첫 번째 네트워크는 순방향 모델이며 generative network G와 segmentation network S로 구성하고 두 번째 네트워크는 역방향 모델로 아키텍처는 순방향 모델과 동일하며 두 네트워크를 G'와 S'로 표현함



<Framework of SGSN algorithm>

- 알고리즘 학습 과정에서 역방향 모델은 순방향 모델과 함께 네트워크 G와 S를 학습하고, G는 $X \rightarrow Y$ 대응함수 역할 수행을 위해 사용됨. 네트워크 G의 결과는 S로 보내지며, 이때 G의 결과는 흐릿하고 도로의 경계 부분이 유지되지 않음. 이 문제를 해결하기 위해, 역방향 모델은 네트워크 G의 감독을 수행하도록 고안됨
- 그림의 점선과 같이 역방향 모델인 네트워크 G'에 의해 역대응 $Y \rightarrow X$ 을 수행하고 G'의 결과는 네트워크 S'로 보내짐. 두 네트워크 G와 S' 사이의 가중치 공유를 통해 학습하고 마찬가지로 네트워크 G'와 S 사이에서도 가중치 공유가 이루어짐
- Generative Adversarial Network(GAN) 알고리즘을 기반으로 대응을 보다 성공적으로 수행하기 위해 식별기 D와 D'를 학습 과정에 추가함. 순방향 모델을 수행하기 위해 네트워크 G의 입력값은 집합 X에 포함되었으며 해당 semantic label은 l_x 로 가정하고, 역방향 모델을 수행하기 위해 네트워크 G'의 입력값은 집합 Y에 포함되었으며 해당 semantic label은 l_y 로 가정함

네트워크 G, S의 손실함수

$$L_1(G, S) = E_{x \sim P_{data}(x)} [\| S(G(x)) - l_x \|_1]$$

네트워크 G, D의 손실함수

$$L_{GAN}(G, D) = E_{y \sim P_{data}(y)} [\log D(y)] + E_{x \sim P_{data}(x)} [\log(1 - D(G(x)))]$$

네트워크 G', S'의 손실함수

$$L_1(G', S') = E_{y \sim P_{data}(y)} [\| S'(G'(y)) - l_y \|_1]$$

네트워크 G', D'의 손실함수

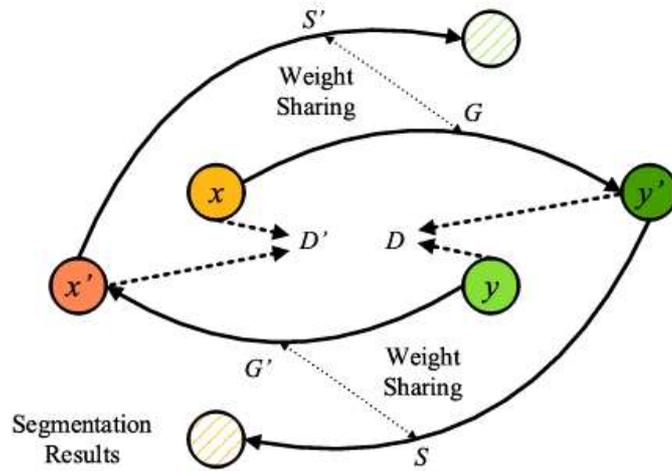
$$L_{GAN}(G', D') = E_{x \sim P_{data}(x)} [\log D'(x)] + E_{y \sim P_{data}(y)} [\log(1 - D'(G'(y)))]$$

전체 네트워크 손실함수

$$L(G, G', S, S', D, D') = L_{GAN}(G, D) + L_{GAN}(G', D') + \lambda(L_1(G, S) + L_1(G', S'))$$

$$G^*, S^* = \arg \min \max L(G, G', S, S', D, D')$$

- 역방향 모델을 구성하기 위해 역대응을 수행하는 generative network G' 를 설정했고, 네트워크 G' 는 S 와 가중치를 공유함. 순방향 및 역방향 모델과 가중치 공유를 통해 정보를 추가하고 도로 경계 부분의 정보를 집합 X 에 저장함. 학습알고리즘 아키텍처는 그림과 같이 대칭을 이루고 있으며 SGSN은 도메인 대응과 도로 세분화를 통합 아키텍처로 결합함



<대칭 구조의 가중치 공유 흐름도>

- 그림과 같이 네트워크 G 의 첫 번째 요소는 3개의 convolution layer로 구성했고 입력은 2개의 stride-2 convolution layer로 다운샘플링됨. 두 번째 요소는 9개의 2-layer residual block으로 구성했으며 이 residual block에서 데이터의 차원은 일관됨. 세 번째 요소에서 데이터는 2개의 stride-2 deconvolution layer로 업샘플링되며 이어지는 convolution layer는 출력을 반환함. 마지막 layer를 제외한 모든 convolution 및 deconvolution layer 뒤에 ReLu와 batch normalization을 배치함. 마지막 convolution layer에서 활성화함수로 Tanh 함수를 적용함

Network Architecture of S , G , S' and G'	
Type	Output Size
Convolution + BatchNorm + ReLU	$256 \times 256 \times 64$
Convolution + BatchNorm + ReLU	$128 \times 128 \times 128$
Convolution + BatchNorm + ReLU	$64 \times 64 \times 256$
2-Layer Residual Block	$64 \times 64 \times 256$
2-Layer Residual Block	$64 \times 64 \times 256$
2-Layer Residual Block	$64 \times 64 \times 256$
2-Layer Residual Block	$64 \times 64 \times 256$
2-Layer Residual Block	$64 \times 64 \times 256$
2-Layer Residual Block	$64 \times 64 \times 256$
2-Layer Residual Block	$64 \times 64 \times 256$
2-Layer Residual Block	$64 \times 64 \times 256$
2-Layer Residual Block	$64 \times 64 \times 256$
2-Layer Residual Block	$64 \times 64 \times 256$
Deconvolution + BatchNorm + ReLU	$128 \times 128 \times 128$
Deconvolution + BatchNorm + ReLU	$256 \times 256 \times 64$
Convolution + Tanh	$256 \times 256 \times 3$
Network Architecture of D and D'	
Type	Output Size
Convolution + LeakyReLU	$128 \times 128 \times 64$
Convolution + BatchNorm + LeakyReLU	$64 \times 64 \times 128$
Convolution + BatchNorm + LeakyReLU	$32 \times 32 \times 256$
Convolution + BatchNorm + LeakyReLU	$32 \times 32 \times 512$
Convolution	$32 \times 32 \times 1$

<SGSN 알고리즘 아키텍처>

- SGSN의 학습 과정은 그림과 같고 batch size는 1번의 epoch당 50으로 이루어짐. 네트워크 G 와 G' 의 입력은 256×256 크기의 RGB영상이며, 손실함수 L_1 의 중요성을 높이기 위해 λ 을 10으로 설정함
- Adam optimizer를 활용하고 20번의 epoch를 반복하는 동안 학습률은 0.0002로 고정하고 남은 epoch를 반복하는 동안은 학습률을 선형으로 감소시킴

Algorithm 1 Training process of SGSN.

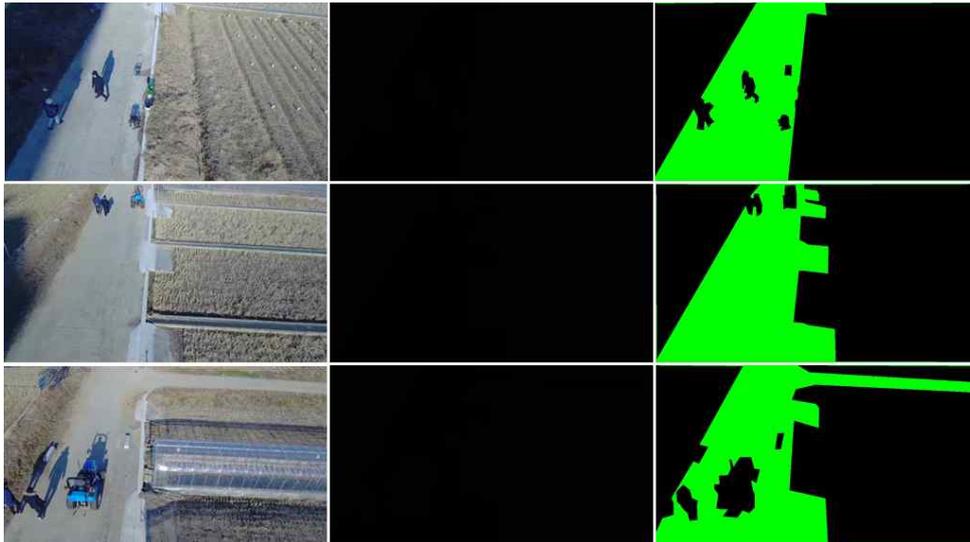
Input: training set T .
Output: the trained S and G .

- 1: Initialize all trainable variables for S , G , S' , G' , D and D' .
- 2: **for** $i = 1, 2, \dots, 50$ **do**
- 3: Get a randomly sorted training set T_i .
- 4: **for all** $x, y, l_x, l_y \in T_i$ **do**
- 5: Compute $G(x)$ and $S(G(x))$.
- 6: Copy the trainable variables from S and G to S' and G' , respectively.
- 7: Compute $G'(y)$ and $S'(G'(y))$.
- 8: Compute $D(G(x), l_x)$, $D(y, l_y)$, $D'(G'(y), l_y)$ and $D'(x, l_x)$.
- 9: Compute $\mathcal{L}(G, G', S, S', D, D')$ according to Eq. (9).
- 10: Update the trainable variables of D and D' .
- 11: Update the trainable variables of S , G , S' and G' .
- 12: **end for**
- 13: **end for**
- 14: **return** the trained S and G .

<SGSN 알고리즘 훈련과정>

- 학습 데이터 집합은 10에서 20m 고도에서 드론으로 촬영된 실험 포장 영상으로 구성함. 영상의 크기는 1080×600 임. 그림1-5과 같이 Matlab에서 제공하는 label tool을 이

용하여 그림과 같이 라벨링하여 학습 데이터를 구성함. 마지막으로 원본 영상에서 256 x 256 크기의 작은 영상을 무작위로 추출함. 훈련 데이터 집합 표본은 그림과 같음. 학습을 완료한 후, 작은 영상을 원래 크기의 큰 영상으로 병합함



<Original image, label image and visual image in original dataset>

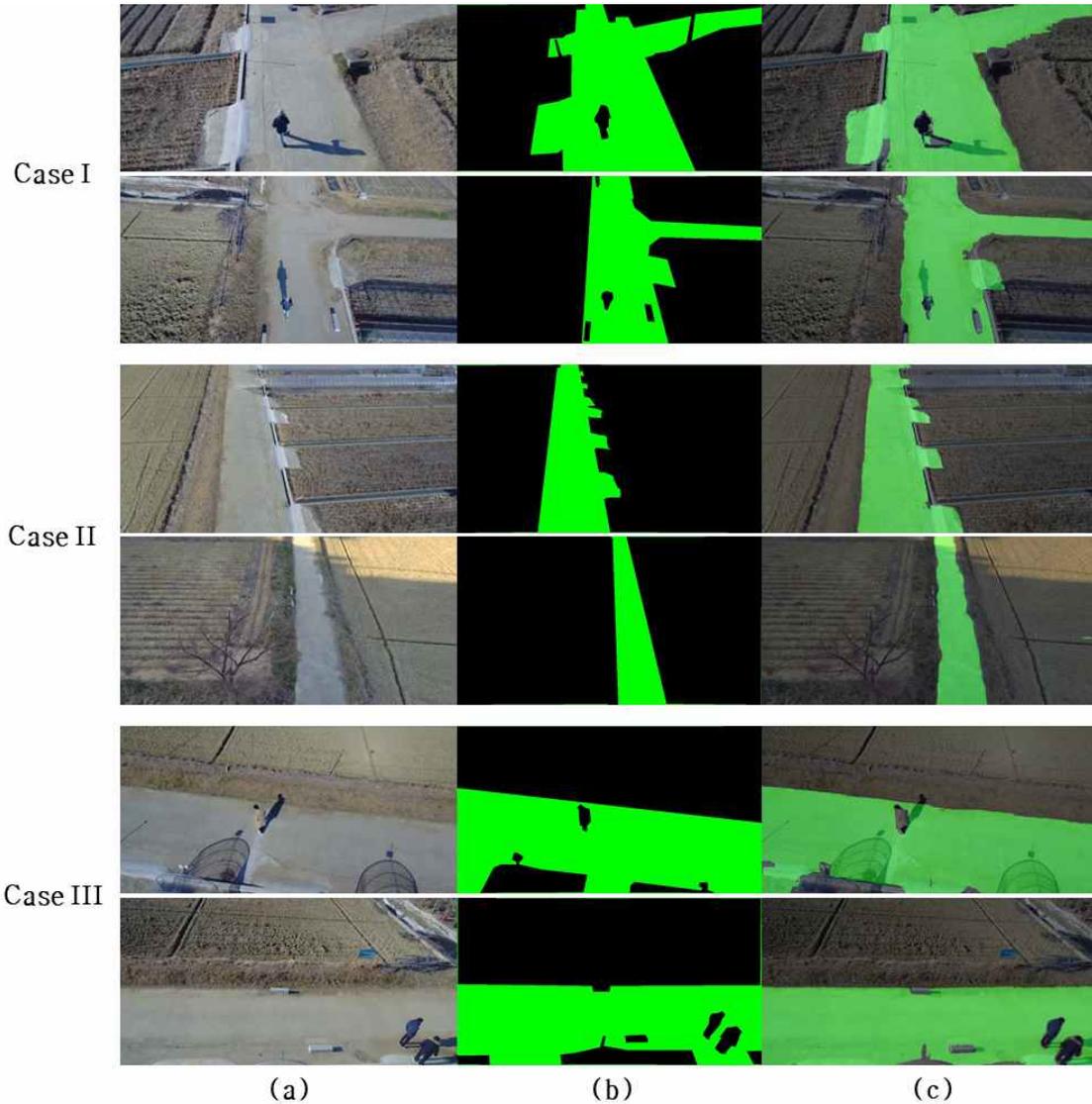


<Original image, label image and visual image in processed dataset>

- 표와 같이 PA (Pixel Accuracy), MPA (Mean Pixel Accuracy) and MIoU (Mean Intersection over Union)를 사용하여 학습된 모델의 테스트 결과 정확도를 측정함. 테스트 결과 영상은 그림과 같고 육안으로도 높은 정확도의 결과를 보임

<case별 도로 검지 및 분할의 결과>

Case	PA (%)	MPA (%)	MIoU (%)
I : 도로의 코너 부분	95.22	93.49	90.69
II : 수직 직선 도로 부분	98.59	95.77	
III : 수평 직선 도로 부분	97.75	97.34	94.63
평균	97.19	96.27	93.70



<도로 검지 및 분할의 결과; (a) 원본 영상 (b) Ground truth (c) 검출 영상>

○ 도로 폭 계산

- 다양한 도로에서 트랙터의 주행속도 제어를 위해 주행로의 폭 정보가 필요함.
- 드론으로 촬영된 항공 영상에서 GSD를 계산하여 트랙터 앞부분과 영상의 수평 중심선을 기준으로 도로폭을 계산함. 항공 영상에서 도로 폭을 계산하는 위치는 그림과 같음. 매 초당 도로의 폭을 계산하여 폭의 값에 따라 좁아지면 트랙터의 주행속도를 줄임

도로 폭 계산식

$$W = \frac{N_{road} * b * H_{flight} * \tan(Ang_{camera})}{l_{focallength}}$$

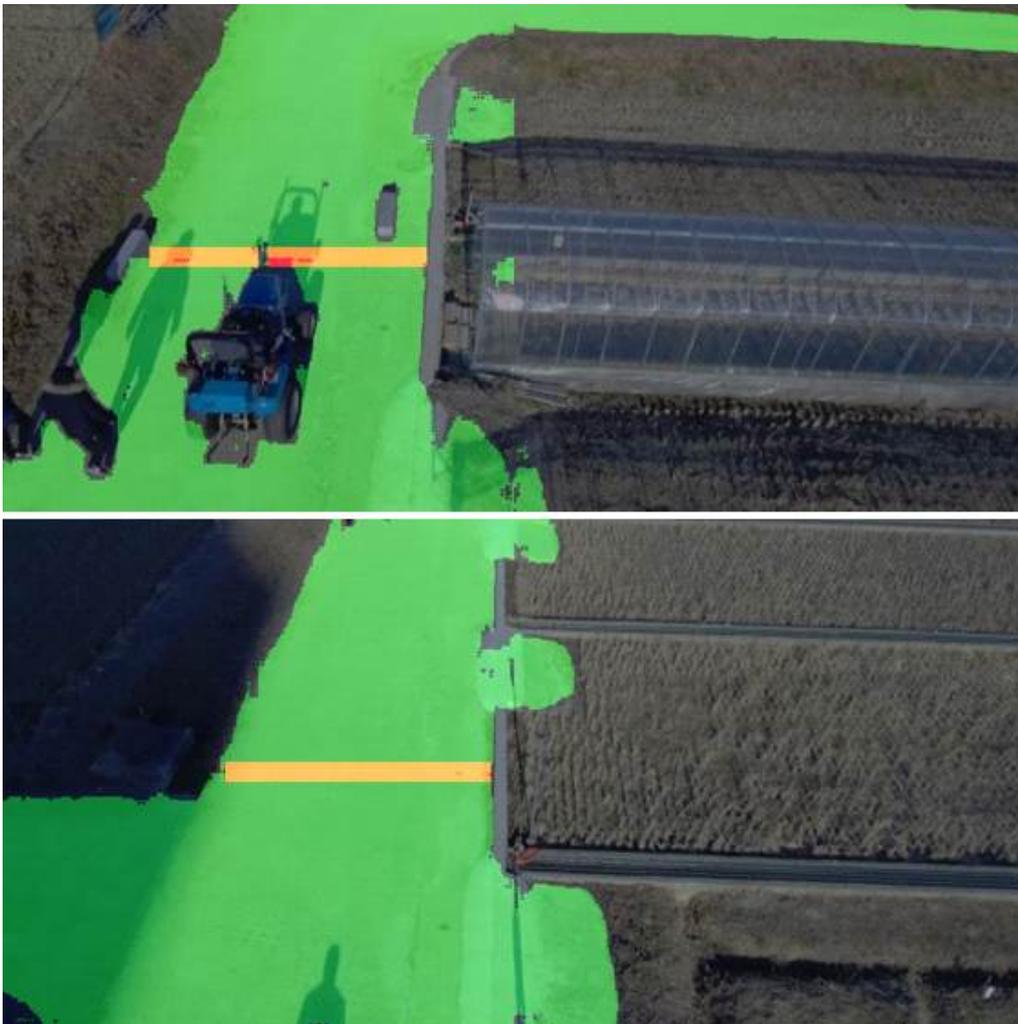
N_{road} : 영상 내 수평 중심선 상의 도로 픽셀 개수;

b : 영상의 픽셀 크기;

H_{flight} : 드론의 비행고도;

Ang_{camera} : 카메라의 촬영 각도;

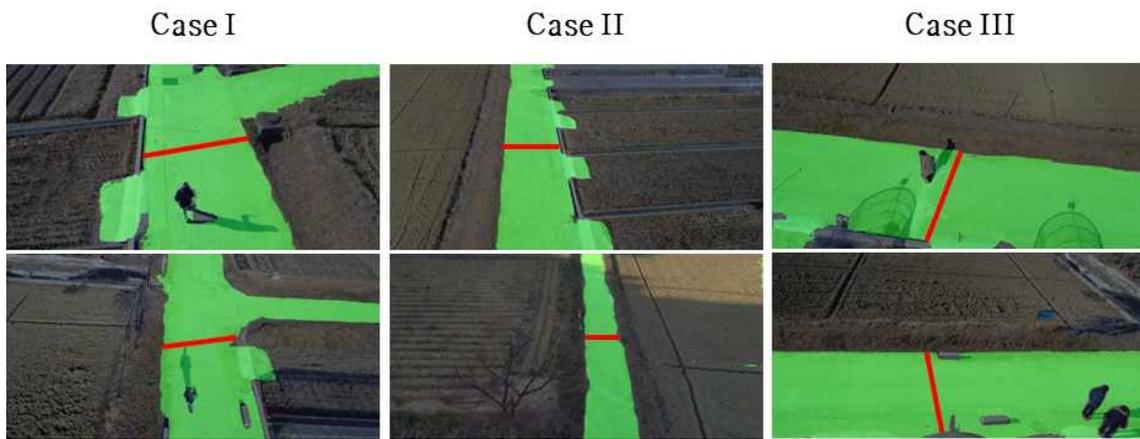
$l_{focallength}$: 카메라의 초점거리;



<도로 폭 계산의 실제 적용 결과>

<도로의 폭 계산 및 실제와의 비교 결과>

Case		계산 결과 (m)	실제 폭 (m)	차이 $ \Delta $ (m)	정확도 (%)
I	도로의 코너 부분	4.79	5.00	0.21	95.80
II	수직 직선 도로 부분 1	4.79	4.90	0.11	97.76
	수직 직선 도로 부분 2	2.61	2.70	0.09	96.67
III	수평 직선 도로 부분 1	4.85	5.00	0.15	97.00
	수평 직선 도로 부분 2	4.63	4.80	0.17	96.45
평균		-	-	0.146	96.74



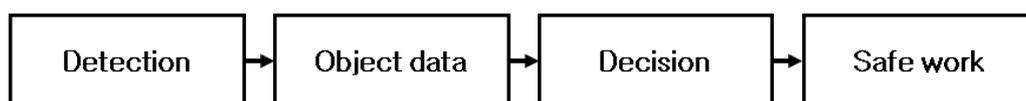
<도로(코너, 수직, 수평)의 폭 계산 영상>

(3) 3차년도 연구내용 및 결과

가. 농기계 주행 시 위험 상황 판단 알고리즘 설계

○ 현장 테스트를 위한 가정

- 농기계와 작업자가 혼재된 환경에서 부주의에 의한 사고를 예방하기 위하여 가장 필요한 것은 정보의 공유임. 작업 상황 정보를 드론으로부터 받아들여서 객체를 인지하고 이를 농기계와 공유하여 안전사고를 예방할 수 있도록 주행에 반영하는 시스템 설계를 목적으로 함
- 레이저나 UWB 같은 센서에 비해 알고리즘이 복잡하지만 영상을 이용한 측정 센서를 사용하였기 때문에 유일하게 객체 인식 기술 적용이 가능함. 실시간으로 받아들여지는 영상을 처리하는 알고리즘을 바탕으로 객체로 인식된 부분을 판단하여 농기계 쪽으로 정보를 넘겨주는 세부 기능이 필요

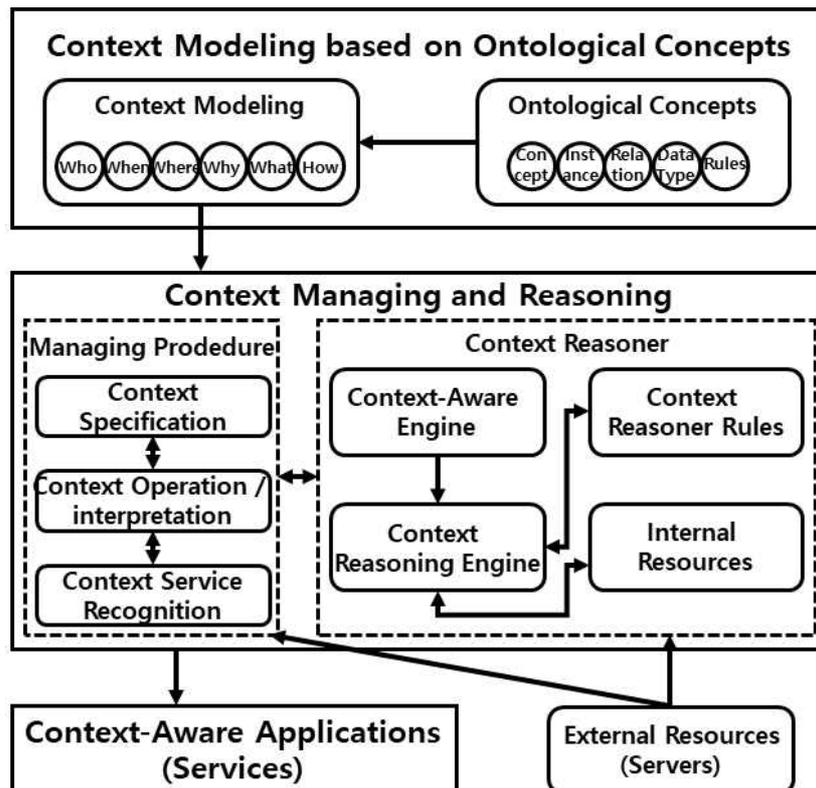


<농기계 안전주행 시스템의 기본 구조>

- 인식 정보를 바탕으로 상황 판단을 할 수 있는 기준을 수립하여 농기계의 주행 중에 위험 상황을 판단하기 위한 알고리즘을 설계

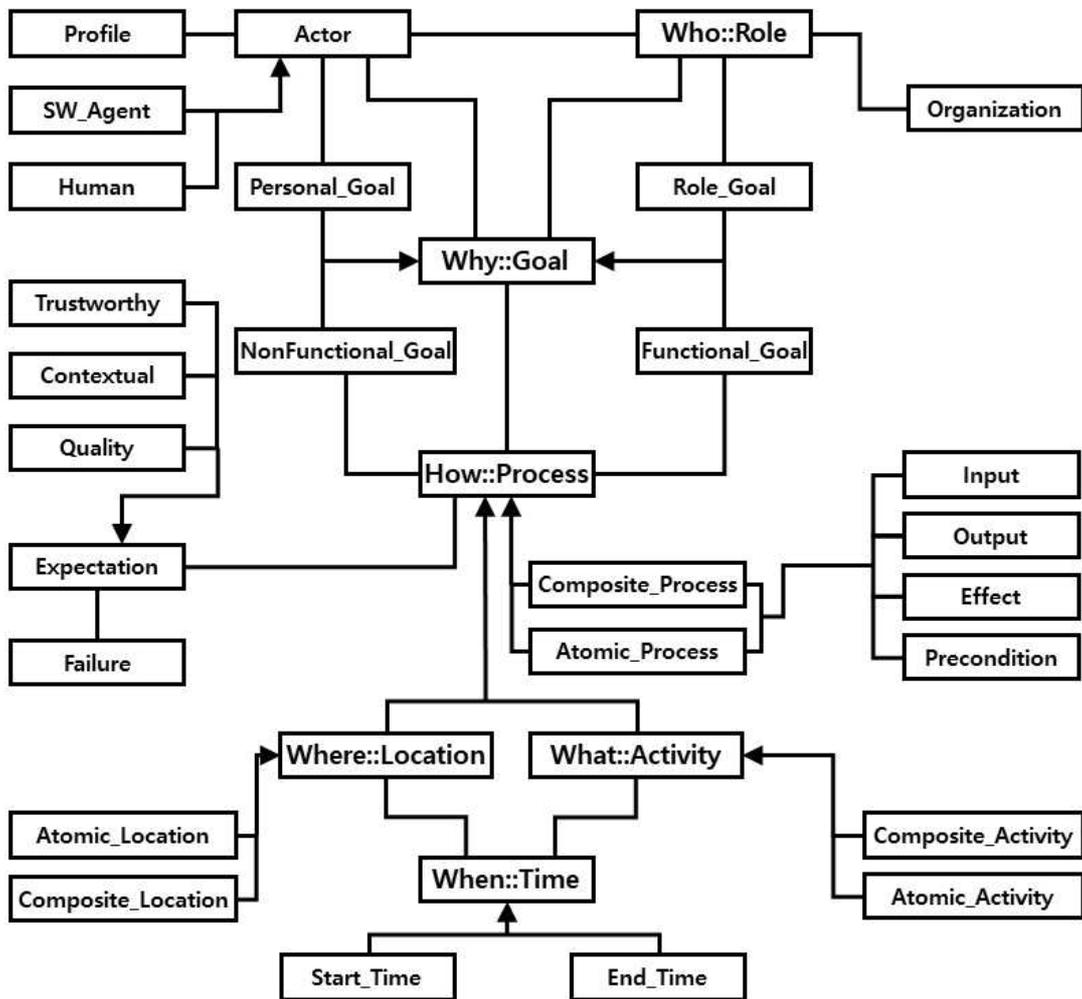
○ 온톨로지 기반의 상황인지 모델 설계

- 온톨로지 기반의 상황인지 모델 개발에 있어 상황인지에 대한 모델링 수준이 가장 중요하며, 드론의 영상에서 생성된 객체들의 상황정보에 대해 상호운용성의 유지 기법을 활용함
- 상황응용(A상황을 통해 B상황 발생)과 상황조합(A상황에서, B상황+C상황=D상황)에 대한 처리는 지능화된 서비스를 지원하기 위한 중요한 이슈로 농업환경에서 존재하는 방대한 상황정보를 선택적으로 수집하고 상황에 맞는 지능적인 서비스 제공을 위한 모델링 기법과 상황정보 처리, 관리 및 추론에 대한 연구를 진행함
- 상황인지는 지식의 특정한 형태로 상황에 대한 모델링에 있어 중요한 고려사항으로 상황정보에 대한 표현력과 복잡성에 대한 트레이드오프를 들 수 있는데, 이는 상황처리를 위한 지식 표현과 추론의 능력을 결정짓는 중요한 구성요소임
- 상황인지 모델링에 대한 트레이드오프를 해결하기 위한 방안으로 온톨로지를 활용하였으며, 개념과 개념간의 관계 정의에서 풍부하고 다양한 표현을 기반으로 상황처리 시에 자동화된 추론을 지원함
- 의미적인 상황에 대한 해석과 추상화를 지원하기 위한 방법으로 육하원칙을 적용한 온톨로지 기반의 모델링 기법을 정의함
- 상황정보에 대한 표현에서 온톨로지 개념에서 사용되는 정형화된 풍부한 관계성을 정의할 수 있으며, 온톨로지 프로퍼티를 활용한 복잡성을 간단히 정의할 수 있음



<상황인지 모델 구조 및 흐름도>

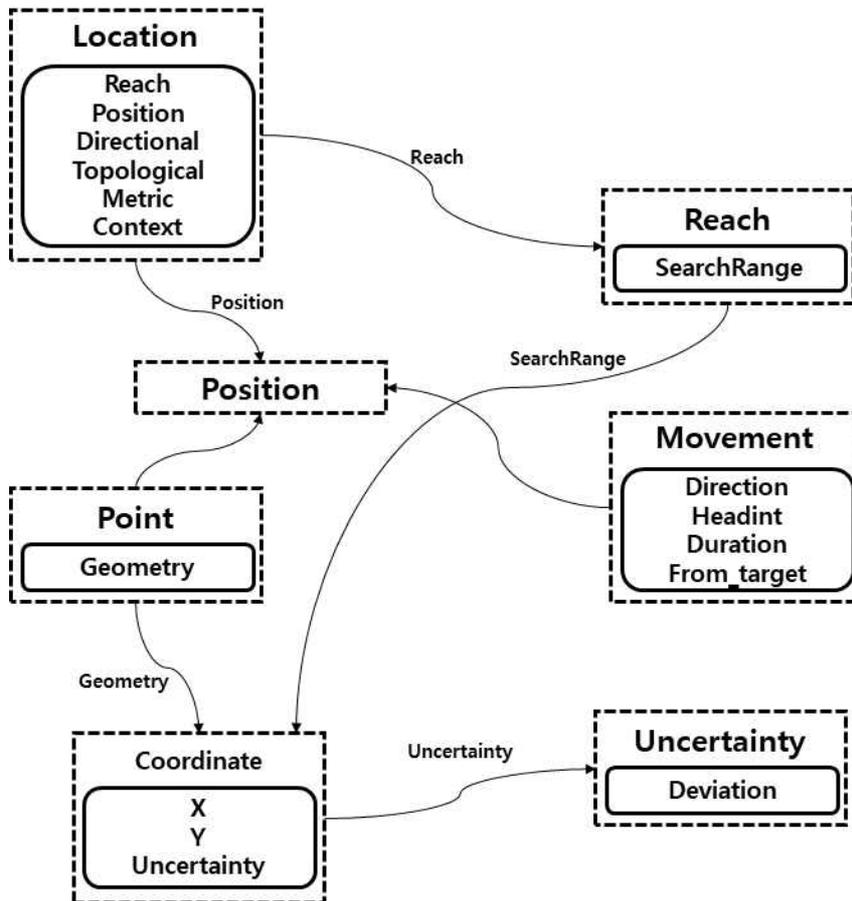
- 상황인지 모델에서는 온톨로지와 상황인지 처리 모델을 별도의 컴포넌트로 모듈화하여 정의하는데, 이는 개발된 다양한 온톨로지의 상황인지 적용에 효과적이며 상황인지 모델에 대한 독립성과 재사용성을 가능하게 함
- 상황인지 모델의 구성요소인 Concepts와 Instances는 기존 온톨로지에서 정의된 특성을 제안 모델에 수용하고, Contexts는 육하원칙을 구성하는 속성들로 구성되며, 상황인지 처리를 위한 구성요소로 Role, Goal, Process, Action, Location, 그리고 Time과 같은 6개의 클래스로 정의된 육하원칙의 속성과의 사상관계를 가짐
- 육하원칙의 속성과 상황인지 정의에서 필수적으로 요구되는 구성요소 사이의 사상방법 및 모델을 정리할 필요가 있으며, 상황인지 모델에서 하나의 상황정보를 처리하기 위해서는 상황에 대한 구성요소와 육하원칙과의 사상관계는 why::Goal, who::Role, how::Process, what::Activity, where::Location, when::Time으로 정의
 - Why::Goal: 상황인지 처리의 최종 목표로 육하원칙의 why에 해당되며, Personal_Goal, Functional_Goal, NonFunctional_Goal, Role_Goal로 구성됨
 - Who::Role: Why:Goal을 처리하기 위한 역할을 정의한 것으로 Role_Goal, Organization, Actor가 가지는 roles를 정의함. Who::Role은 육하원칙의 who에 해당되며, Actor의 역할을 정의하기 위해 하위클래스로 Profile과 SW_Agent 등을 가짐
 - How::Process: 육하원칙의 how에 해당하는 속성 클래스로서 상황인지 서비스의 처리 절차를 나타냄. How::Process는 Why::Goal이 실현될 수 있도록 상황인지 처리 단계를 나타내며, Expectation, Atomic_Process, Composite_Process를 가짐
 - What::Activity: 상황 객체가 가지는 센싱이 가능한 고유한 특성으로 육하원칙의 what에 해당되며, Atomic_Activity와 Composite_Activity로 나타냄
 - Where::Location: 육하원칙의 where에 해당하는 클래스로 상황의 위치와 관련한 정보를 제공함
 - When::Time: 육하원칙의 when에 해당되는 것으로 Start_Time과 End_Time으로 구성되어 상황인지에 대한 처리를 가능하게 하는 속성 요소로 사용됨



<상황인지 모델 구성도>

○ 온톨로지 기반의 Movement 모델 설계

- 움직이는 객체의 정보 검색은 좌표만으로 결정할 수 없기 때문에 객체의 좌표, 접근성, 이동 방향 등에 따라 검색되는 정보에 따라 바뀌게 됨
- '자율주행 농기계와 유선 드론이 같은 GPS의 위치에 있다'라는 것을 가정하고, 이 위치를 기반으로 일정 반경 내의 객체 정보를 검색함. 이 방법은 자율주행 농기계의 움직임, 이동방향, 목적방향의 정보에 대한 고려가 되지 않음
- 설계한 온톨로지 기반의 Movement 모델은 Movement 클래스, Position 클래스, Location 클래스, Point 클래스, Reach 클래스로 구성되며 자율주행 농기계의 움직임과 방향에 따라 검색반경이 변하게 됨
- 농기계의 움직임이 없는 경우 작은 반경의 위험 지역을 가지며, 농기계가 방향성을 가지고 움직일 경우 더 넓은 반경의 위험 지역을 가지게 되며, 움직이는 방향에 따라 도로 네트워크를 검색하여 앞으로 만나게 될 지리공간과 객체에 대한 정보를 검색하게 됨

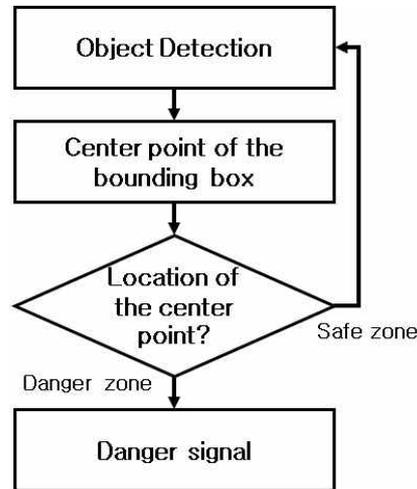


<Movement 모델 구성도>

- Movement클래스가 Position클래스와 연결되며, 이는 Location클래스와 Reach클래스와 연결되어 자율주행 농기계의 움직임에 따라 검색반경의 변경을 결정하게 되며, 위치는 Coordinate클래스를 통해 좌표로 계산됨

○ 위험 상황 판단 알고리즘 설계

- 일반적인 농기계의 경우 급격한 좌우 선회가 많지 않으므로 전방의 경로에 위험 상황이 발생할 경우에 가장 중점을 두었으며, 대부분 저속으로 운행하기 때문에 10m 내에 있는 상황을 주의 깊게 볼 필요성이 있음
- 위험 상황을 판단하기 위해서 드론과 트랙터 그리고 객체를 인식한 위치를 기반으로 거리를 계산하여, 드론의 비행 높이를 기반으로 트랙터 주위의 위험 지역으로 객체가 검출되었을 경우 위험 신호를 발생함



<위험 상황 판단 알고리즘의 흐름도>

- 기 개발된 인공지능 객체 프로그램을 통해 입력된 영상에서 사람, 동물, 차량, 건물 등의 장애물 객체를 인식하고, 인식한 결과는 바운딩 박스의 형태로 표시되며, 직사각형 모양을 가지는 박스의 중심점 좌표를 구하여 데이터화함
- 이 중심점의 좌표가 농기계 주위의 위험 영역에 포함되는지 여부를 판단하여, 포함될 경우 위험 상황을 알리는 시그널을 생성하게 됨

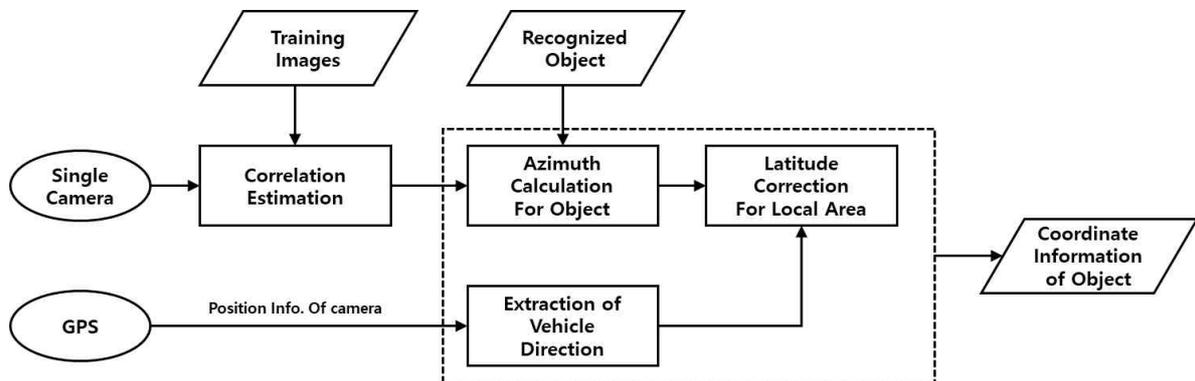
나. 농경지 환경 정보 제공을 위한 거리 측정 알고리즘 설계

○ 영상 처리를 이용한 거리 측정

- 장애물 인식의 결과는 자율주행 농기계의 위험 상황 판단을 적용하기 위해 장애물이 인식된 위치의 좌표를 이용하여 드론의 위치를 기반으로 장애물과 농기계 사이의 거리를 계산하는 방식을 적용함
- 거리 추정을 위한 계산 복잡도를 고려한다면 스테레오 및 단일 카메라를 사용하는 방식이 우수함
- 단일 카메라를 이용한 방식들 중 일반적인 렌즈를 사용하고 센서면에 곤충의 겹눈과 같은 집합렌즈 배열을 두어 각각의 렌즈를 핀홀카메라와 같은 역할을 수행하도록 하고 감광소자 배열에 렌즈로 입사되는 빛의 분포가 감광되는 방식이나 단일 렌즈와 하나의 센서만을 사용하지만 카메라 조리개의 구조를 바꾸어 센서에 닿는 빛의 경로를 변화시켜 거리정보를 유추하는 기법들의 경우 일반적인 단일 카메라와 달리 부가적인 기계장치를 추가해야 하며 계산 복잡도는 높아지거나 화면의 해상도는 단일 카메라에 비해 줄어드는 단점들을 가지고 있음
- 스테레오 카메라 방식은 카메라와 근거리의 객체에 대한 깊이 정보 산출에는 높은 정확도를 보이나 실내가 아닌 야외 환경에서 원거리에 있는 객체들에 대해서는 정확도가 떨어지며 단일 카메라에 비해 두배의 입력 영상 정보를 가지기 때문에 계산 복잡도가 높을 뿐만 아니라 깊이 정보를 산출하는 과정에서 요구되는 카메라 교정 및 카메라 세팅 과정은 단일 카메라에 비해 매우 복잡함
- 단일 카메라가 가지는 속성 정보인 높이, 화각, 해상도 등의 특성들을 이용하여 학습용 영상들로부터 실제 객체의 크기와 영상 내 해당 화소의 크기간의 관계식을 유추한 후,

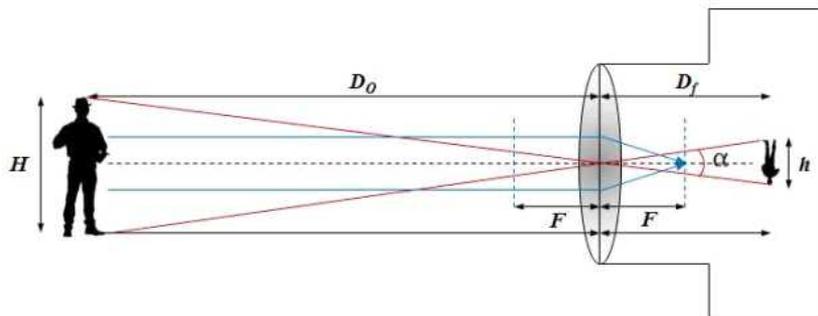
영상 내 소실점 및 화소 크기, 방향각 등을 이용하여 카메라와 객체간의 상대적인 거리를 추정함

- 카메라의 GPS 좌표 값과 추정한 상대 거리, 카메라의 이동 방향을 감안하여 영상 내 객체의 좌표를 산출하도록 함
- 단일 카메라는 기본적으로 양안 시차를 통한 깊이 정보 획득이 불가능해 카메라와 영상 내 객체간 거리에 대한 정보를 얻을 수 없지만 특정한 카메라가 가지는 카메라의 높이, 화각, 해상도 등의 여러 가지 특성들을 알고 있다고 가정한다면 단일 카메라로부터 획득한 영상으로부터 소실점 및 영상 내 객체의 화소 크기 등을 이용하여 카메라와 객체간의 상대적인 거리를 추정하는 것이 가능함
- 상대적 거리 추정을 위해 프레임들로부터의 픽셀 크기와 실제 객체의 크기 사이의 관계 방정식을 찾는 것이 필요함. 관계 방정식을 취득하면, 측정된 픽셀 길이로부터 물체의 실제 거리를 추정할 수 있게 됨



<영상 내 객체의 상대적 거리 추정을 위한 알고리즘 흐름도>

- 카메라에 의해 촬영되는 포착 영역은 카메라 렌즈의 시점에 따른 시야각에 의하여 결정됨



<핀홀 카메라 모델>

- D_o 는 카메라 렌즈와 객체간의 거리를 나타내며, D_f 는 렌즈와 카메라 센서 간의 거리이며, F 는 렌즈의 초점 길이이고, 이 세가지의 관계는 아래의 식과 같으며 이를 통해 관계식을 얻을 수가 있음

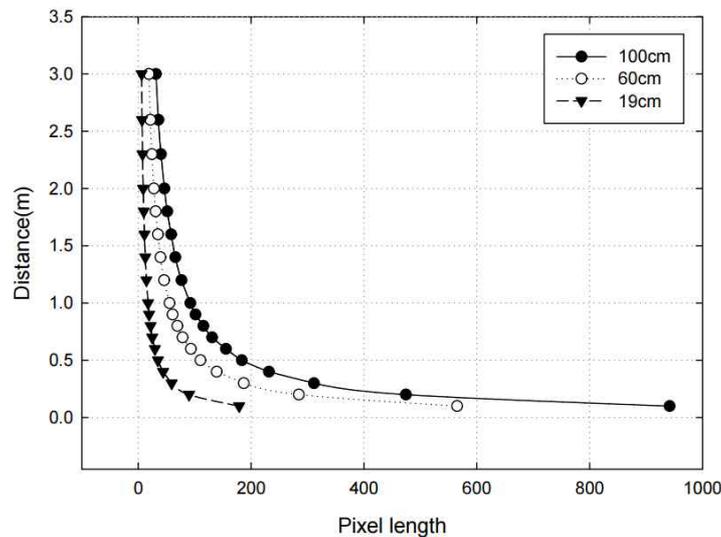
$$\frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_f} = \frac{1}{F}$$

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{h}{2D_f}$$

- 렌즈의 초점 길이와 화각을 알고 있고 뷰의 각 또한 알고 있다면, 관계식으로부터 h 에 대응하는 D_o 를 다시 계산하여 구할 수 있음

$$D_o = \frac{F(h/2\tan(\alpha/2))}{(h/2\tan(\alpha/2)) - F}$$

- 상에 맺힌 객체들의 경우, 소실점이 위치하는 중앙부에서 떨어진 곳에서 위치하거나 카메라와 실제 사물간의 위치가 먼 경우에는 위 관계식을 통해서 얻어지는 사물과 카메라간 거리인 D_o 가 정확하지 않으므로 이를 보정하는 방법을 추가함
- 영상 내 소실점을 기점으로 거리 값들의 변화가 지수 함수와 같이 변하다가 무한대에 수렴하게 되므로 실제 객체의 크기와 촬영 거리별 관계를 학습영상을 통해 추정하여 거리별 객체 크기와 화소 크기에 대한 관계식을 도출함
- 객체의 실제 크기와 카메라 내 픽셀 크기에 대해 거리 간 상관관계를 구하게 되는데 사용할 카메라에 대한 특성 값은 카메라 교정을 통해 알고 있기 때문에 객체의 실제 크기별 화소 크기의 변화를 추적함



<객체의 크기별 카메라와 객체의 거리와 픽셀 크기의 상관관계>

- 추정 거리를 바탕으로 객체의 실제 좌표 정보를 산출하게 되는데 좌표를 수신하는 GPS는 자율주행 농기계 또는 드론에서 수신된 좌표 위치를 같은 것으로 간주하고 산출 작업을 시작함
- 자율주행 농기계와 드론이 함께 움직이기 때문에 정지 상태의 카메라로부터 획득한 영상이 아니기 때문에 객체의 좌표 정보 산출을 위해서는 단일 카메라를 통해 획득한 거

리 정보뿐만 아니라 GPS로부터 좌표 및 방향 정보를 같이 수신함

- 0도에서 객체의 방위각을 계산하기 위해서, 중심으로부터 표지판까지의 거리 벡터를 x 축과 y 축 성분으로 분해하여 분리되는 정도가 어디까지인지 계산해야 함. 또한 카메라 화면의 수평 영역(FOV)의 절반을 나누어서 왼쪽 방향은 음수, 오른쪽 방향은 양수로 취급하여 방위각(Azimuth)을 추정함

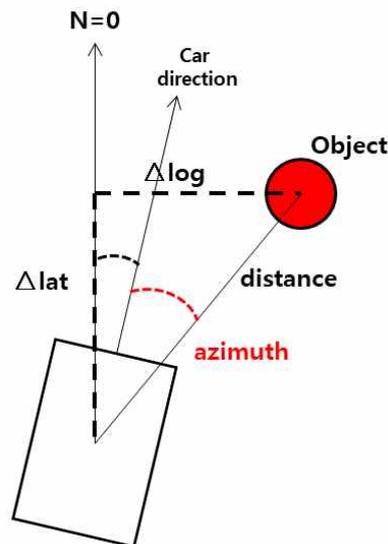
$$Azimuth = \frac{dx}{R_c} \times \frac{FOV}{2}$$

- R_c 는 카메라 해상도의 x 좌표의 중심점을 의미하며, dx 는 R_c 와 객체 사이의 x 좌표의 거리를 의미함
- 산출된 카메라와 객체 간의 방위각을 이용하여 영상의 x 축과 y 축 벡터 성분별로 거리 보정을 다시 수행함

$$\begin{aligned} dx &= distance \times \sin(az) \\ dy &= distance \times \cos(az) \end{aligned}$$

- 좌표 정보를 산출하려면 자율주행 농기계의 움직이는 방향을 알 수 있어야 하므로 국제 표준 네비게이션 시스템에 따라 0도를 기준 방향인 북으로 두고 카메라와 영상 내 객체 간 상대적인 방위각에 GPS로부터 수신한 차량의 방향 정보를 추가함

$$\begin{aligned} \Delta \log &= distance \times \sin(car_direction + az) \\ \Delta lat &= distance \times \cos(car_direction + az) \end{aligned}$$

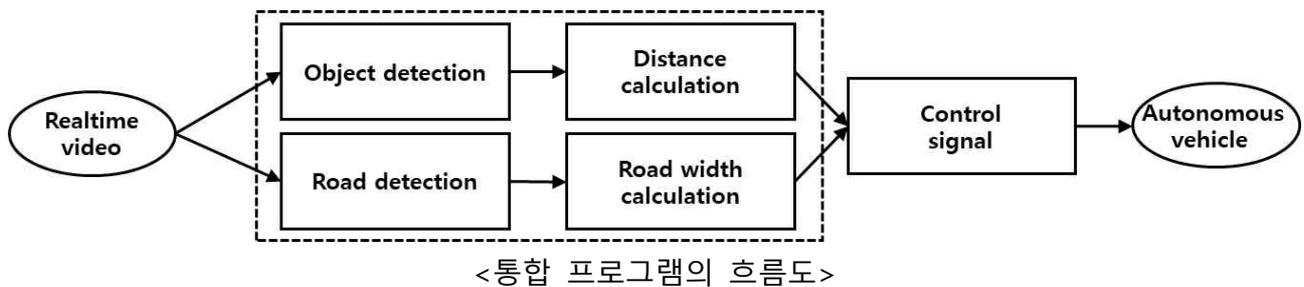


<객체와 자율주행 차량의 방향에 따른 거리와 방위각의 상관관계>

다. 프로그램 통합 및 실증 테스트 진행

○ 프로그램 통합

- 장애물 인식 프로그램과 도로 인식 프로그램의 구동 방식이 서로 다르기 때문에 인식 결과를 서로 공유하도록 통합하는 과정이 필요함. 이에 영상의 학습은 서로 다르게 진행하지만 인식된 결과는 하나로 출력이 되도록 설정함
- 장애물 인식 프로그램은 거리 측정 알고리즘을 같이 구동되도록 설정되어 있으며, 트랙터의 위험 반경에 들어오게 되면 제어시그널을 생성하여 자율주행 농기계로 전송되도록 함. 또한 도로 인식 프로그램은 도로의 폭을 계산하여 자율주행 농기계가 안전하게 지나갈 수 있는 길인지 아닌지에 대한 판단을 진행하고 제어시그널을 생성하게 됨



- 제어시그널은 자율주행 농기계의 주행에 도움이 되는 정보로 제공이 되며, 이는 주행 속도에 맞춰서 신호를 적용할지에 대한 판단을 진행하게 됨

○ 1차 실증 테스트

- 드론과 영상처리보드의 통합 후 자율주행 농기계와의 통합 진행 시에 프로그램을 포팅하여 테스트를 진행함
- 장애물과 도로의 인식을 통해 통합된 프로그램이 맞는 제어시그널을 생성하는지에 대한 것을 확인함



<비행 테스트>



<드론의 영상처리>



<객체와 도로의 인식 결과>



<객체의 거리로 인한 제어시그널 생성>



<객체의 거리로 인한 위험상황 판단>



<영향이 없는 환경에서의 제어시그널>

○ 2차 실증 테스트

- 통합된 프로그램을 포팅한 영상처리보드를 드론에 장착하여 객체의 인식 및 도로의 상황에 따라 상황을 판단하고 그에 따른 제어 신호를 올바르게 자율주행 농기계로 전송하는 지에 대한 테스트를 진행함
- 제어 신호는 거리 측정 알고리즘에 따라 계산된 자율주행 농기계와 객체 사이의 거리와 도로의 인식 결과 및 도로의 폭에 따라 결정이 됨. 제어 신호는 시리얼 통신으로 자율주행 트랙터와 연결이 되어 있으므로, 문자열을 Hex code로 변환하여 전송이 됨
- 제어 신호의 구성은 위험 상황이 없는 상황에서는 '0h'로 정상동작(Normal)하도록 신호를 주며, 인식된 객체의 거리가 가까워져 오거나, 도로의 폭이 줄어들고 있는 상황에서는 '1h'로 감속(Slow) 신호를 주게 됨. 마지막으로 인식 객체가 자율주행 농기계와 너무 가깝거나 도로의 폭이 자율주행 농기계가 지나갈 수 없는 경우에는 '2h'로 정지(Stop) 신호를 전송하도록 프로그래밍 하였음



<객체의 거리로 인한 위험상황 판단>



<도로의 폭으로 인한 위험상황 판단>

- 위험상황 판단의 정확도는 통합된 프로그램의 도로 인식 정확도와 객체 인식 정확도를 통해 나타낼 수 있으며, 이에 도로 상황과 객체의 거리로 위험 상황을 인식하고 이에 따른 제어 신호를 생성하는 부분을 정리함

<통합된 실시간 프로그램의 성능 평가>

구분	성능 평가 (%)		
	Precision	Recall	F1 score
장애물 인식 정확도	74.51	77.42	75.97
	PA	MPA	MIoU
도로 인식 정확도	79.35	77.86	72.44

- 통합된 실시간 프로그램은 장애물 객체/도로 인식과 거리 및 도로 폭 측정이 함께 처리 되기 때문에 프로세서의 부하를 줄이고자 초당 처리 프레임의 수를 줄였음. 이에 인식의 정확도가 소폭 감소하였으나 위험상황 판단에는 무리가 없음

○ 향후 보완 사항

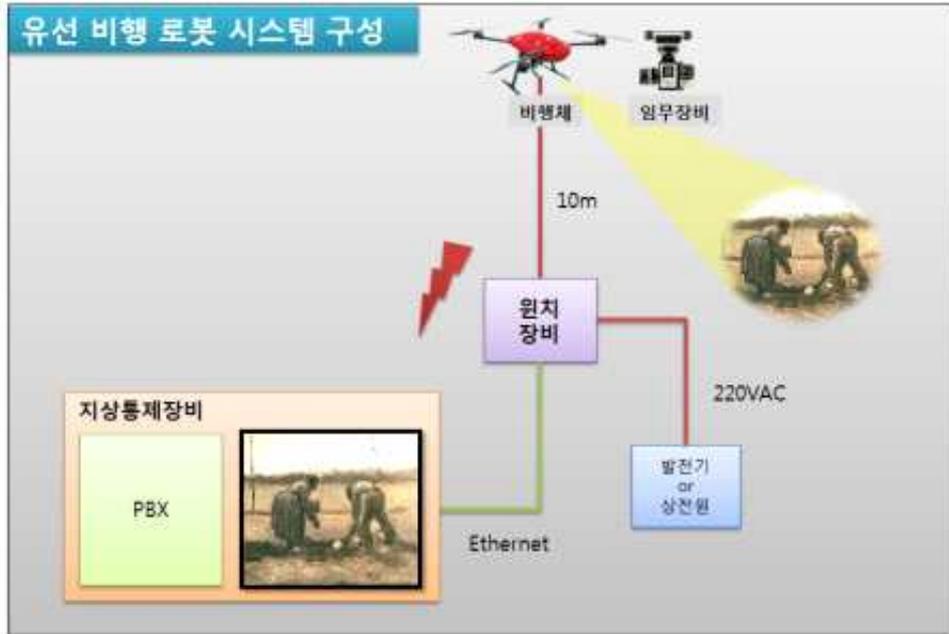
- 영상 시스템에서 인식한 장애물은 주로 정지되었거나 예견된 장애물로서 이를 분석하고 자율주행 트랙터를 통해 제어하는데 문제는 없었음.
- 하지만 갑작스런 장애물 출현, 비·눈 등의 악천후, 트랙터 오작동 등의 상황에서는 충분히 테스트가 이루어지지 않았으며, 향후 이에 대한 보완 실험 및 시스템 보완이 필요할 것으로 생각됨.

■ 협동연구기관1(유콘시스템(주)) 과제 연구내용 및 결과

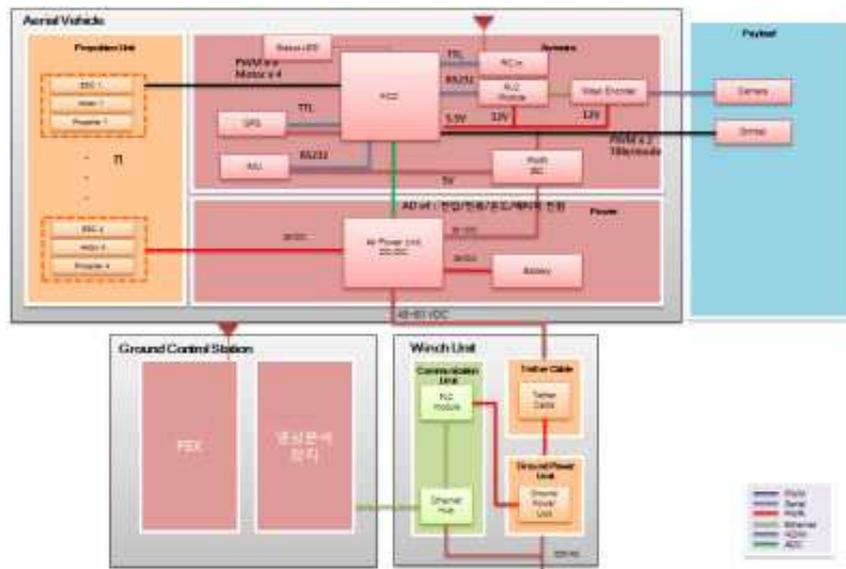
(1) 1차년도 연구내용 및 결과

가. 유선 비행 로봇 시스템 구성

- 유선 비행 로봇 시스템은 드론의 정지비행의 장점과 짧은 비행시간을 보완하여 장시간 10m 고도에서 비행 가능한 시스템을 개발하였음
- 유선 비행 로봇 시스템은 비행체, 임무장비, 원치장비, 지상통제장비로 구성

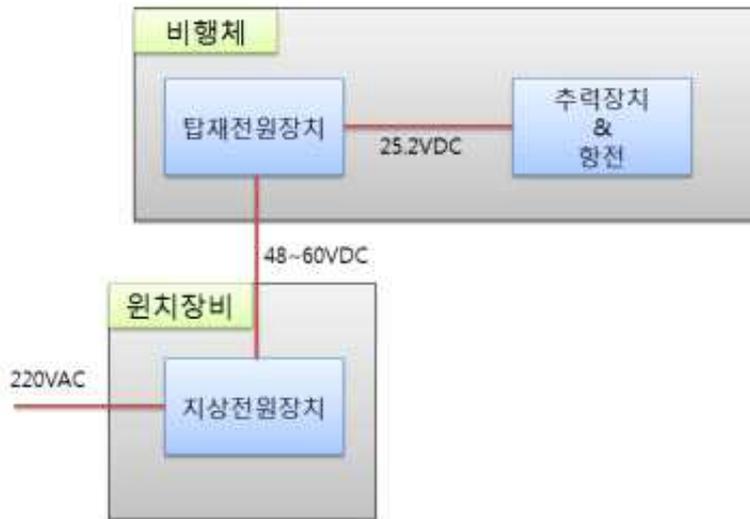


<유선 비행 로봇 체계 구성도>



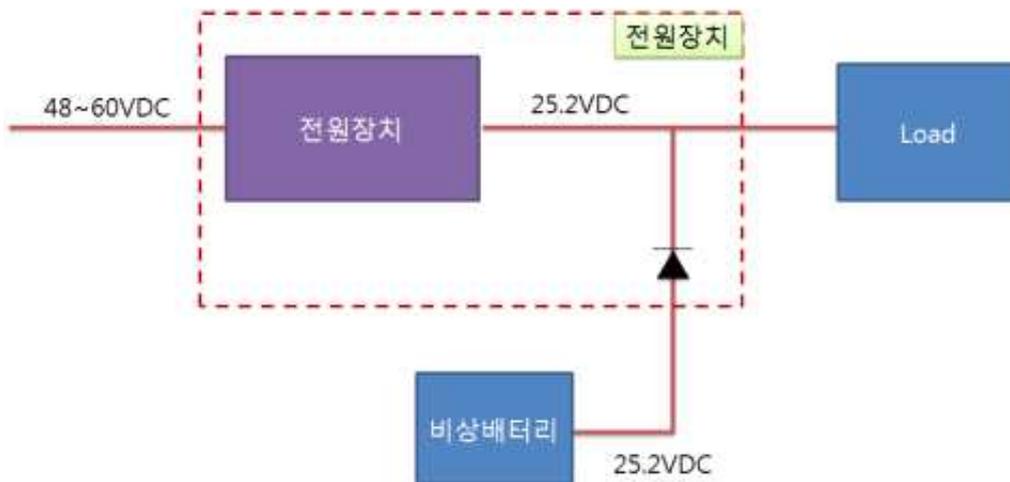
<유선 비행 로봇 신호 및 전원 구성도>

- 전원장치는 테더케이블 길이에 따른 전력손실을 최소화하기 위해 지상전원공급장치에서 48~60VDC 출력된 전압을 테더케이블을 통해 비행체에 전원을 공급함
- 비행체 전원장치인 탑재전원공급장치에서 비행체 구동전압인 25.2V로 DC-DC Convertor 스위칭변압 방식을 채택하였으며, 95%이상 높은 효율을 가짐



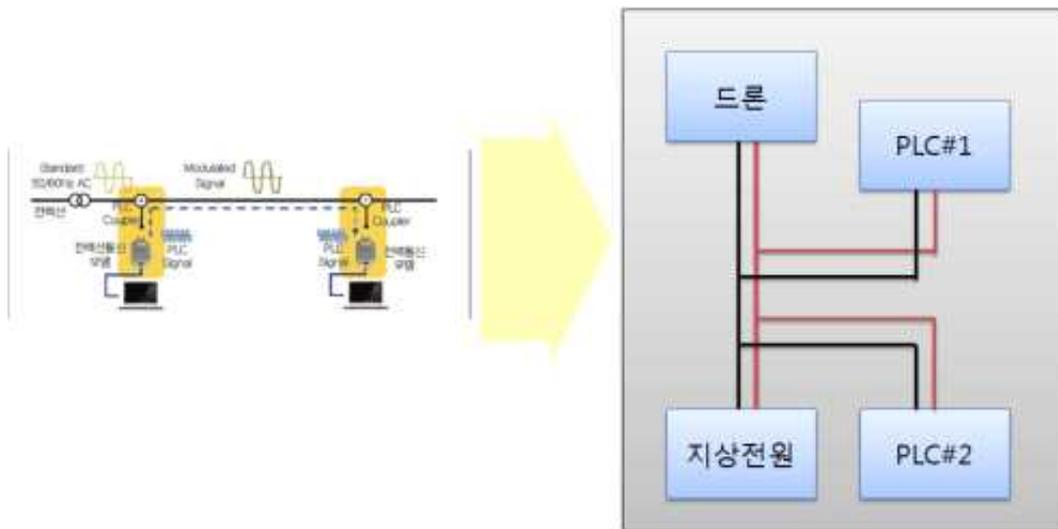
<전원공급장치 개념 설계>

- 유선 비행 로봇의 전원이 차단되더라도 비상배터리가 장착되어 비행체를 안전하게 회수할 수 있도록 설계
- 10m 낮은 고도를 고려하여 1~2분 정도 비행 가능한 고출력 리튬폴리머 배터리를 선정하였으며, 전원장치의 상태를 모니터링 가능하도록 AD 채널로 입력전압, 출력전압, 출력전류, 전원장치 온도를 출력할 수 있도록 설계함



<비상전원 개념 설계>

- 고해상도의 영상을 안정적으로 전송하기 위해서는 무선전송 보다 유선으로 활용하는 방식으로 설계 진행
- 전원라인만으로 100Mbps 이상의 전송 가능한 전력선통신장치 방식을 선택함
- 이더넷 통신 방식을 사용할 경우에 전원라인 x 2core , 이더넷라인 최소 x 4core로 최소 6 core가 필요하여, 전력선통신 방식 대비 테더케이블에서 4core를 감량하는 효과가 발생. 이더넷과 달리 이더넷허브 없이 전력선통신장치가 전원라인에만 연결하여 통신장치 확장이 가능함

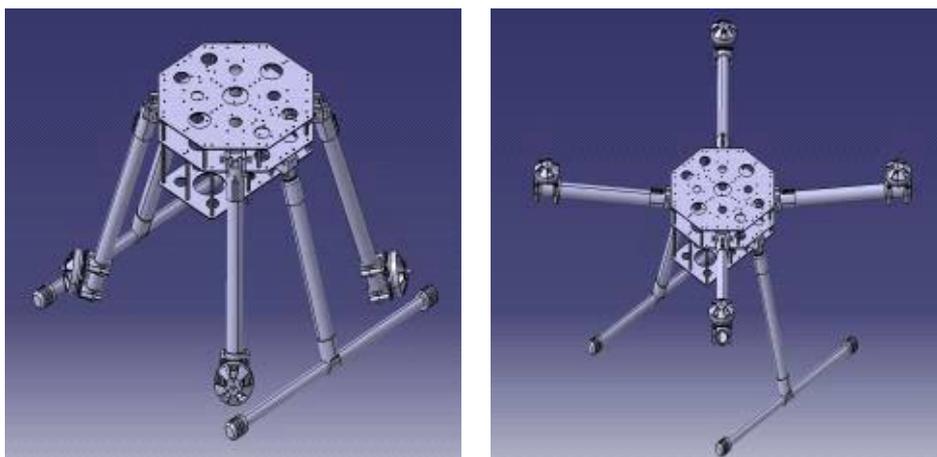


<전력선통신(PLC) 개념도>

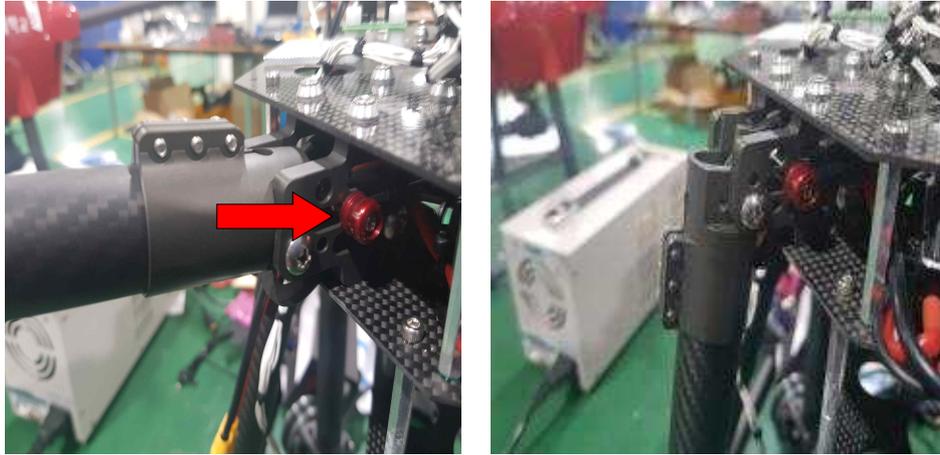
나. 유선 비행 로봇 설계 및 시제기 제작

○ 암폴딩 시스템

- 암폴딩 시스템을 적용하여 기체의 보관 및 이동을 용이하게 하기 위해 암폴딩이 가능하도록 기체를 설계 제작함. 암폴딩을 위해 모터암에 폴딩킷을 장착하였고 폴딩킷의 빨간 레버를 화살표 방향으로 누르면 모터암을 접고 펼 수 있게 설계 및 제작함

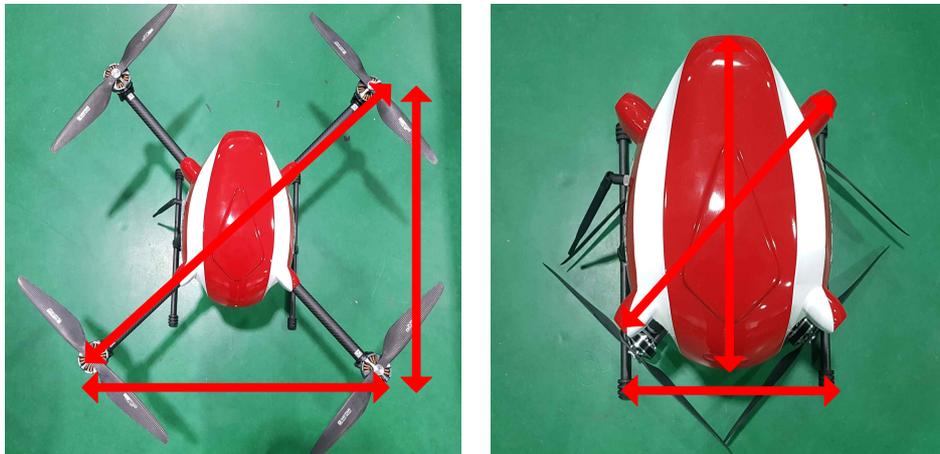


<기체 프레임 설계>



<폴딩킷>

- 암폴딩일 경우 암폴딩이 아닐 경우 보다 가로 길이는 약 52%, 세로 길이는 약 40%, 대각선길이는 약 56% 줄어들어 공간 활용도가 높아짐



<기체 실제 형상 및 길이>

<크기 비교>

	가로(mm)	세로(mm)	대각선(mm)
암폴딩일 경우	300	380	375
암폴딩이 아닐 경우	630	630	860

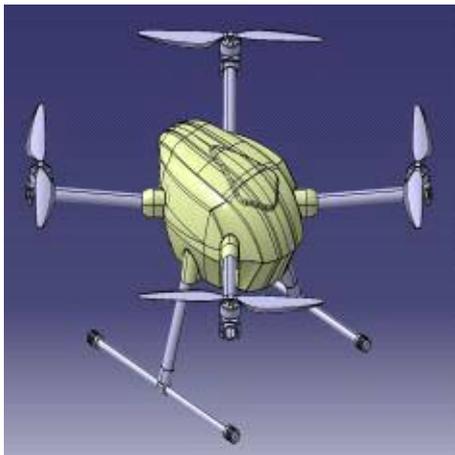
- 프레임에 카울을 장착할 경우, 카울의 암 커버때문에 폴딩킷의 레버를 누를 수 없음. 문제점 해결을 위해 폴딩킷 아래에 고리를 달아 카울을 장착해도 폴딩이 가능하게 변경함. 고리를 화살표 방향으로 당기면 대각선 반대쪽 암을 접고 펼 수 있음



<앰플딩 고리>

○ 방수 설계 및 제작

- 카울의 곡선과 경사를 이용하여 물이 흘러내릴 수 있게 제작함. 또한, 카울을 최대한 맞물리게 설계하여 물이 내부로 들어가는 것을 최대한 막을 수 있게 제작



<유선 비행 로봇 비행체 전체 설계 형상 및 실제 형상>



<기체 정면 및 측면 형상>

- 암 가드 및 랜딩기어 가드, 배터리 커버의 설계, 임무장비 장착을 위한 홀의 크기를 최소한으로 뚫어 물의 침입을 최소화함



<배터리 커버>



<기체 하부>

- 추력시스템은 모터, 프로펠러, 변속기로 구성 됨. 고효율 모터 1종을 기준으로 3종의 프로펠러 성능을 비교하여 최적의 제품 선정을 위한 시험을 진행함

<시험형상>

No	시 험 장 비	모 델 명	수 량	비 고
1	모터	MN5208-11 340KV	1	
2	프로펠러	CF Prop 17x5.8R, CF Folding Prop 16.2x5.3R, CF Prop 15x5R	3	
3	파워서플라이		1	
4	변속기	Flame 60A	1	
5	RPM 측정기	TURNIGY Micro Tacho	1	
6	PWM 신호기	Hitec HFP-25	1	
7	추력 측정기	Tahmazo Thrust Meter	1	
8	추력시험 지지대		1	



<시험형상 사진>

- 시험은 모터가 회전하는 구간인 1200us 구간부터 100us 단위로 증가 시키며, 각 구간별 추력 및 RPM, 전류를 측정함
- 시험조건
 - 입력전압 22.2VDC
 - 제한 전류 35A
- 추력시험의 결과는 아래와 같음

<15인치 프로펠러>

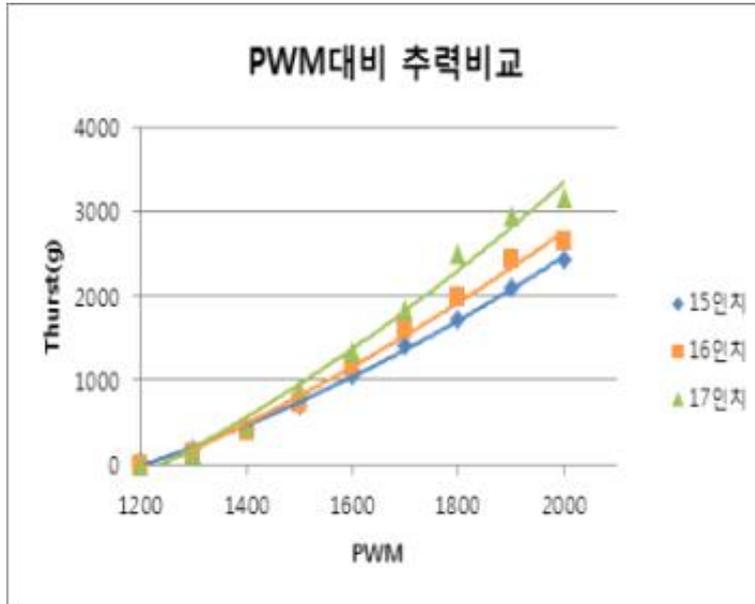
PWM	Thrust(g)	A	RPM	Watt	g/W	비고
1200	35	0.4	1625	8.88	3.94	
1300	181	0.9	2330	19.98	9.06	
1400	420	1.8	3046	39.96	10.51	
1500	711	3.3	3830	73.26	9.71	
1600	1060	5.4	4545	119.88	8.84	
1700	1403	8	5215	177.6	7.90	
1800	1713	11.1	5813	246.4	6.95	
1900	2100	14.9	6407	330.78	6.35	
2000	2430	17.8	6750	395.16	6.15	

<16인치 프로펠러>

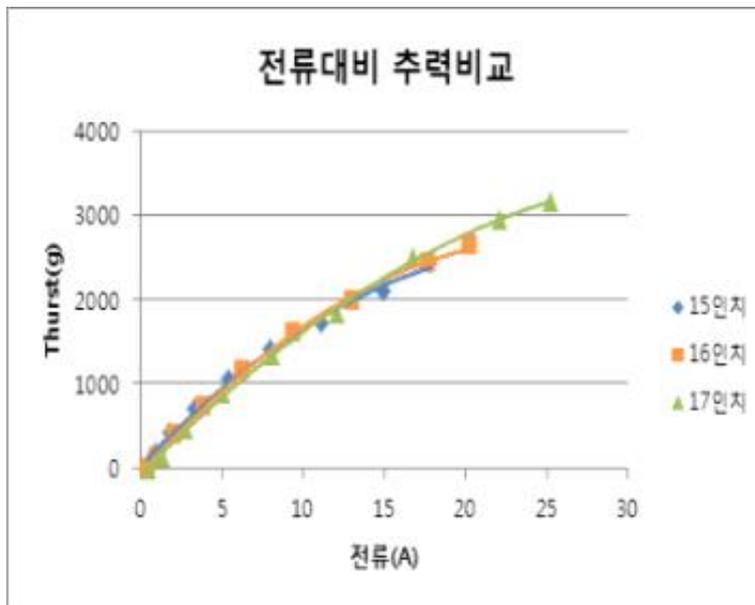
PWM	Thrust(g)	A	RPM	Watt	g/W	비고
1200	0	0.4	1560	8.88	0.00	
1300	140	1	2308	22.2	6.31	
1400	392	2.1	3009	46.62	8.41	
1500	730	3.9	3750	86.58	8.43	
1600	1160	6.3	4440	139.86	8.29	
1700	1610	9.4	5070	208.68	7.72	
1800	1992	13	5660	288.6	6.90	
1900	2425	17.7	6238	392.94	6.17	
2000	2632	20.3	6518	450.66	5.84	

<17인치 프로펠러>

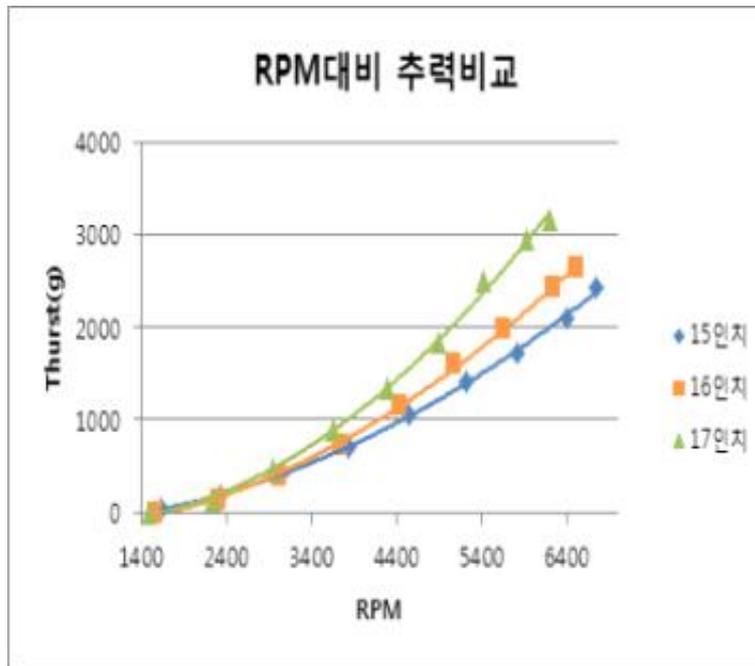
PWM	Thrust(g)	A	RPM	Watt	g/W	비고
1200	0	0.4	1485	8.88	0.00	
1300	139	1.3	2224	28.86	4.82	
1400	465	2.7	2942	59.94	7.76	
1500	888	5	3651	111	8.00	
1600	13332	8.1	4293	179.82	7.41	
1700	1830	12.1	4890	268.62	6.81	
1800	2491	16.7	5421	370.74	6.72	
1900	2950	22.1	5923	490.62	6.01	
2000	3156	25.2	6196	559.44	5.64	



<PWM대비 추력비교>



<전류대비 추력비교>



<RPM대비 추력비교>

- 시험결과 17인치 프로펠러의 경우 시험 구간 내 가장 높은 최대 추력을 가지며, RPM 대비 추력이 높은 것으로 나타남. 소모전력의 효율은 전반적으로 유사하였으나 비행체의 응답성과 추력대중량비가 0.6 이상인 16인치 프롭을 선택함
- 프로펠러의 형상은 폴딩 프로펠러로 선정하여, 보관 시 프로펠러의 보호와 용의성이 증대됨



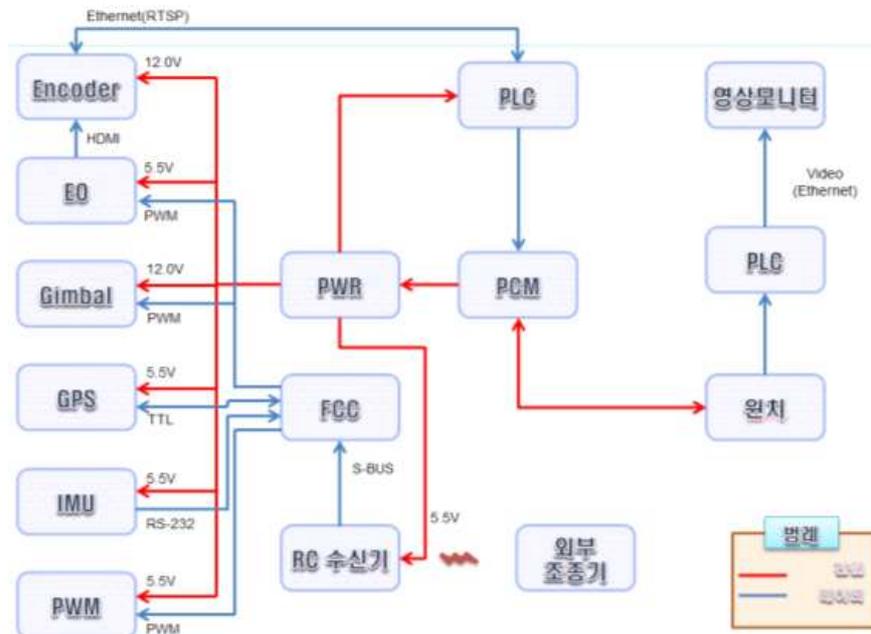
<프로펠러 형상>

- 변속기는 농경지와 같은 외부환경에서도 먼지와 비에 견딜 수 있도록 방진방우 기능을 고려하여 IP57의 제품을 선정



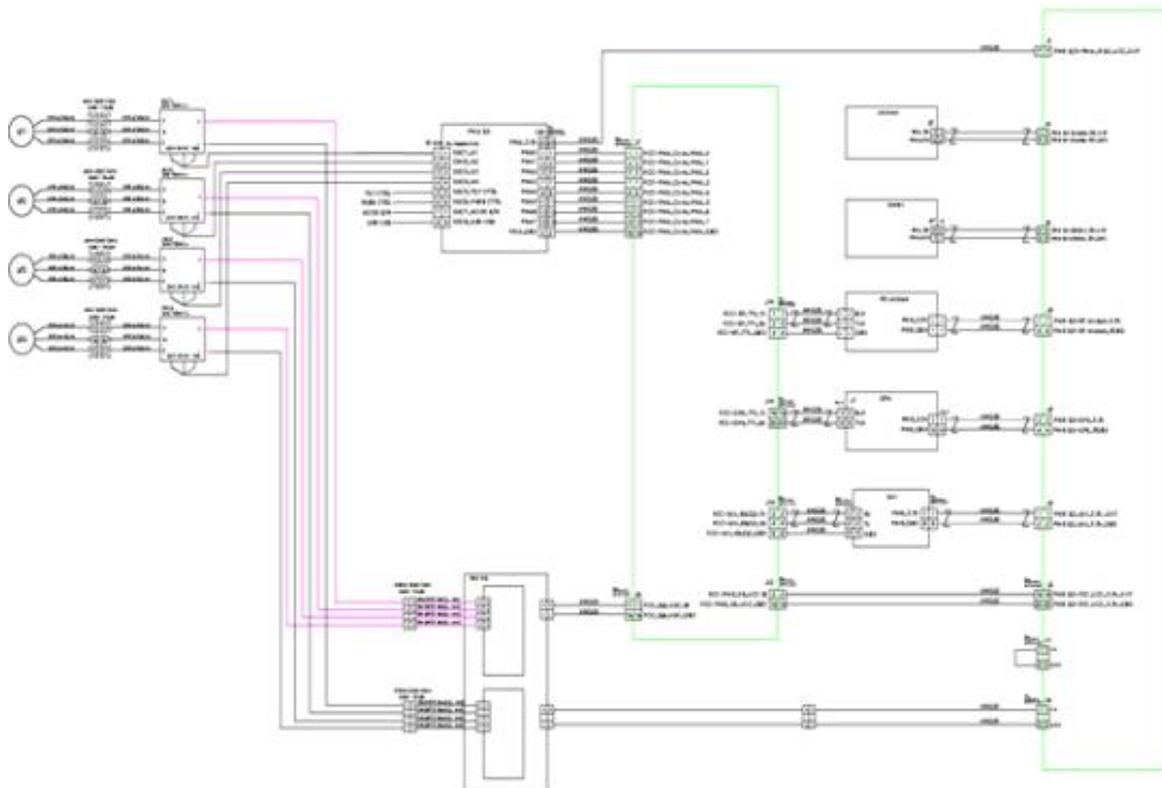
<변속기 형상>

- 항전시스템을 모듈화 및 최적화 설계하여 제작 시 발생할 수 있는 인적실수에 대한 위험성을 해소함



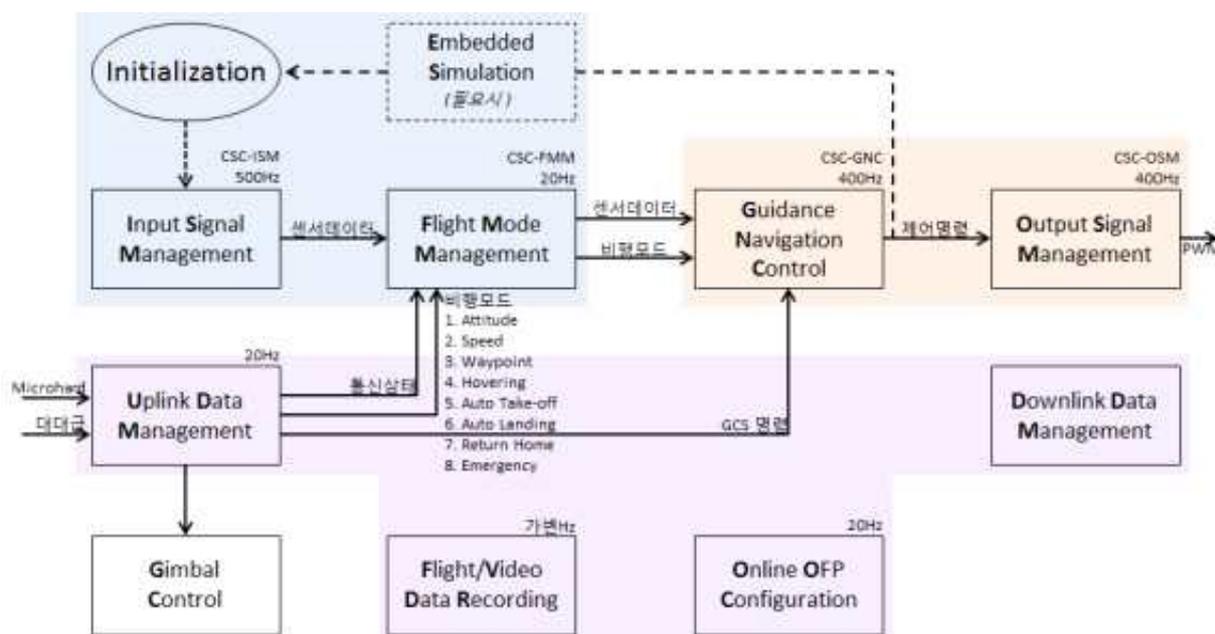
<항전 W/H 설계>

- 각 모듈별 신호 및 전원에 대한 와이어하네스 설계를 진행



<항전 W/H 도면>

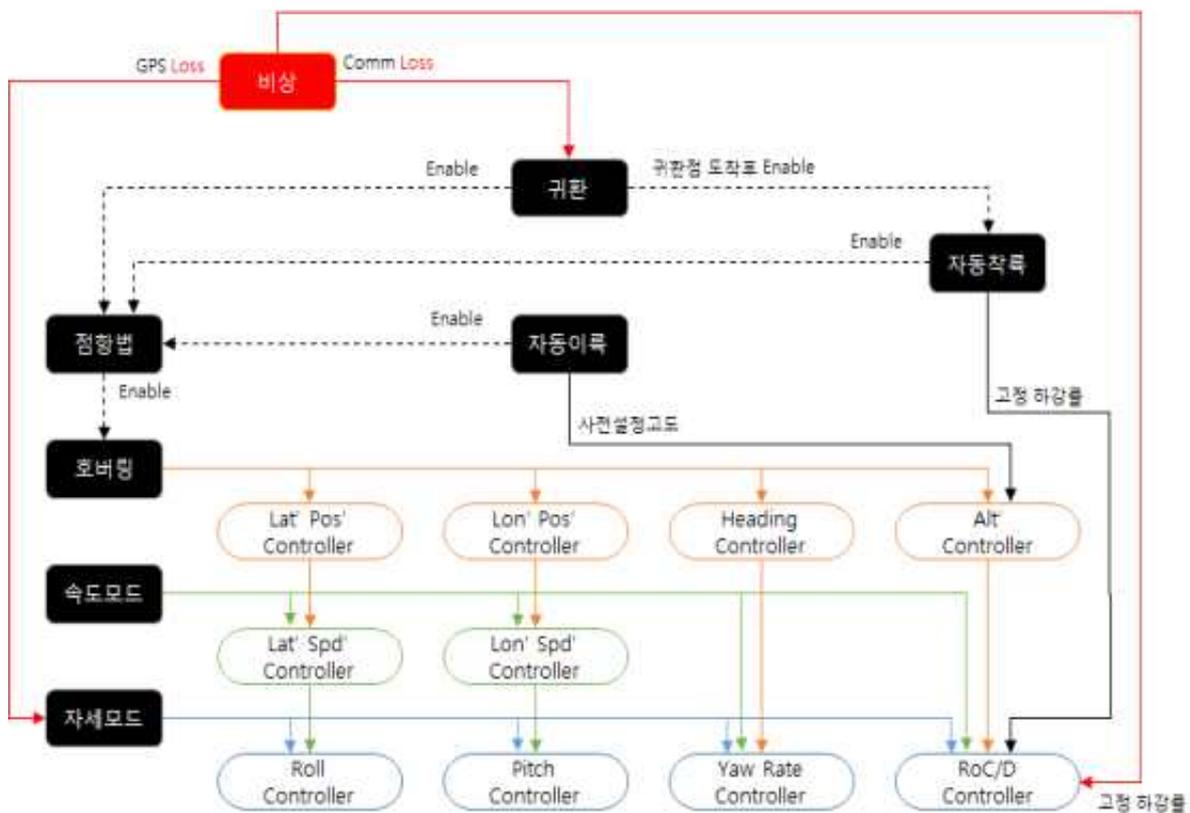
- 비행운용 프로그램(OPF) 개발. OPF(Operational Flight Program)란 항공기 응용소프트웨어로 비행운용 프로그램을 말함
- CSC(Computer Software Component)



<CSC(Computer Software Component)>

- CSC를 설계/작성하여 각 CSU(Computer Software Unit)별 규격화 및 OFP 설계를 진행함. CSC는 ISM, FMM, GNC, OSM, UDM, DDM, GC, ES, FVDR, OOC의 CSU로 구성됨
 - ISM(Input Signal Management)은 IMU, GPS 등 센서의 신호를 처리
 - FMM(Flight Mode Management)은 드론의 비행 모드를 결정
 - GNC(Guidance Navigation Control)은 유도항법제어로 실제 드론의 움직임을 제어
 - OSM(Output Signal Management)은 GNC에서 나온 제어 값을 각 변속기에 PWM 값으로 변환하여 전송
 - UDM(Uplink Data Management)는 GCS와 통신하여 드론의 제어정보를 생성
 - DDM(Downlink Data Management)는 드론의 정보를 GCS와 통신
 - GC는 UDM에서 전달된 신호로 Gimbal을 제어
 - FVDR(Flight/Video Data Recording)는 GCS의 명령에 따라 가변적으로 데이터를 저장
 - OOC(Online OFP Configuration)은 본 드론시스템 개발시 진행된 부분으로 OFP의 실시간 환경설정 변경으로 최적의 OFP 시스템을 구현

○ CSC-GNC(Guidance Navigation Control)



<CSC-GNC(Guidance Navigation Control)>

- CSU중 GNC(유도항법제어)를 설계하여 현재의 위치로부터 목표 위치까지 속도, 회전 및 가속도의 변경을 통하여 원하는 경로를 결정하고, 주어진 시간에 자세, 속도(상대백터) 및 위치의 결정 하며 안정성을 유지하면서 경로를 조정하도록 함. 각 비행모드는 GNC를 통하여 비행체를 이동시키게 됨

○ 회전의 자세제어 개요

- 멀티로터는 동역학적으로 불안정한 기체이므로, 자동제어 이론을 통한 비행제어가 필수적인 요소로 작용함
- 회전의 자세제어를 위해서는 하드웨어의 경우, 비행체의 자세를 측정하는 센서, 그리고 비행제어 알고리즘을 실행하는 비행제어 컴퓨터, 그리고 멀티로터의 각각의 모터를 제어하기 위한 신호인 PWM(Pulse Width Modulation) 신호를 생성하는 PWM 모듈이 필요하며, 비행제어 알고리즘은 프로그래밍 언어를 통하여 컴파일 되어 비행제어 컴퓨터 위에서 동작

○ 운동방정식

- 모멘트 방정식은 3차원 공간상에서 운동하는 물체의 각속도를 오일러 각으로 표현하면 식 1과 같이 쓸 수 있음

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -S_\theta \\ 0 & C_\phi & C_\theta S_\phi \\ 0 & -S_\phi & C_\theta C_\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix}$$

- 4중 로터 비행로봇은 xz평면과 yz평면에 대해서 대칭인 형상이므로 관성곱들은 모두 0으로 가정할 수 있음. 따라서 관성모멘트는 I_x, I_y, I_z 만 유효함. 위 식의 관계를 이용해 회전운동에너지와 위치에너지를 표현하면 각각 다음의 식들과 같음

$$T = \frac{1}{2}I_x(\dot{\phi} - \dot{\psi}S_\theta)^2 + \frac{1}{2}I_y(\dot{\theta}C_\phi + \dot{\psi}S_\phi C_\theta)^2 + \frac{1}{2}I_z(\dot{\theta}S_\phi - \dot{\psi}C_\phi C_\theta)^2$$

$$U = \int xdm(x)(-gS_\theta) + \int ydm(y)(gS_\phi C_\theta) + \int zdm(z)(gC_\phi C_\theta)$$

- 위 식들의 에너지를 라그랑즈 방정식을 이용하여 유도하면 운동방정식을 구할 수 있음. 라그랑즈 방정식은 라그랑즈 연산자를 도입하여 표현하면 아래의 식과 같이 약간 수정된 형태로 나타낼 수 있음

$$L(q_i, \dot{q}_i) = T - U$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = F_i$$

- q_i 는 일반화된 좌표이며, F_i 는 일반화된 힘을 나타냄. 라그랑즈 방정식으로 유도된 회전 운동의 운동방정식은 다음과 같음

$$\begin{aligned}\ddot{\phi} &= \dot{\theta}\dot{\psi} \left(\frac{I_y - I_z}{I_x} \right) \\ \ddot{\theta} &= \dot{\phi}\dot{\psi} \left(\frac{I_z - I_x}{I_y} \right) \\ \ddot{\psi} &= \dot{\phi}\dot{\theta} \left(\frac{I_x - I_y}{I_z} \right)\end{aligned}$$

- 일반적으로 사용되는 6자유도 운동방정식 중 모멘트 방정식은 다음과 같음

$$\begin{aligned}L_T &= I_x \dot{p} - I_{xz} \dot{r} + qr(I_z - I_y) - I_{xz} pq \\ M_T &= I_y \dot{q} + rp(I_x - I_z) + I_{xz}(p^2 - r^2) \\ N_T &= -I_{xz} \dot{p} + I_z \dot{r} + pq(I_y - I_x) + I_{xz} qr\end{aligned}$$

- 멀티콥터는 XY평면, XZ평면 및 YZ평면을 중심으로 모두 대칭형상 이므로 관성곱은 무시

$$I_{xy} = 0, I_{yz} = 0, I_{xz} = 0$$

- 위 식을 이차미분방정식 형태로 표현하면 다음과 같음

$$\begin{aligned}\ddot{\phi} + \left(\frac{I_z - I_y}{I_x} \right) \dot{\theta}\dot{\psi} &= \frac{L_T}{I_x} \\ \ddot{\theta} + \left(\frac{I_x - I_z}{I_y} \right) \dot{\phi}\dot{\psi} &= \frac{M_T}{I_y} \\ \ddot{\psi} + \left(\frac{I_y - I_x}{I_z} \right) \dot{\phi}\dot{\theta} &= \frac{N_T}{I_z}\end{aligned}$$

- 위의 식은 관성모멘트만 고려된 것이고, 다음의 가정을 고려하면 아래의 식과 같음
 - : 롤운동과 피치운동은 서로 자이로 효과의 영향을 받음
 - : 자세 변화 시 공기역학적인 항력이 존재
 - : 동체에는 질량 불균형이 존재

$$\begin{aligned} \ddot{\phi} + \left(\frac{I_z - I_y}{I_x} \right) \dot{\theta} \dot{\psi} + \frac{I_p}{I_x} \dot{\theta} \Omega + \frac{c_x}{I_x} \dot{\phi} + \frac{k_x}{I_x} &= \frac{L_T}{I_x} \\ \ddot{\theta} + \left(\frac{I_x - I_z}{I_y} \right) \dot{\phi} \dot{\psi} + \frac{I_p}{I_y} \dot{\phi} \Omega + \frac{c_y}{I_y} \dot{\theta} + \frac{k_y}{I_y} &= \frac{M_T}{I_y} \\ \ddot{\psi} + \left(\frac{I_y - I_x}{I_z} \right) \dot{\phi} \dot{\theta} + \frac{c_z}{I_z} \dot{\psi} &= \frac{N_T}{I_z} \end{aligned}$$

- I_p 는 프로펠러의 관성모멘트, c_i 와 k_i 는 각각 감쇠계수와 강성계수, l_i 은 프로펠러 추력에 대한 모멘트 암을 나타냄. m_e 는 질량 불균형에 해당하는 유효질량, g 는 중력가속도, l_i 는 유효질량에 대한 모멘트 암을 나타내며, 자세각이 거의 0이라고 가정하면 강성계수를 식 11과 같이 축약해서 쓸 수 있음

$$\begin{aligned} k_x &= m_e g (l_y + \phi l_z) \\ k_y &= m_e g (l_x + \theta l_z) \end{aligned}$$

- 축간 간섭영향을 배제하고(decoupled) 표준 형태로 표현하면 다음과 같음

$$\begin{aligned} \ddot{\phi} + 2\xi\omega_n \dot{\phi} + \omega_n^2 \phi &= u_\phi(t) \\ \ddot{\theta} + 2\xi\omega_n \dot{\theta} + \omega_n^2 \theta &= u_\theta(t) \\ \tau \dot{\psi} + k_s \psi &= u_\psi(t) \end{aligned}$$

- 자이로 효과(코리올리 효과)를 초래하는 모터의 속도 차이는 다음과 같음

$$\begin{aligned} \Omega &= \Omega_1 - \Omega_2 + \Omega_3 - \Omega_4 \quad (\text{for QUAD}) \\ \Omega &= \Omega_1 - \Omega_2 + \Omega_3 - \Omega_4 + \Omega_5 - \Omega_6 \quad (\text{for HEXA}) \\ \Omega &= \Omega_1 - \Omega_2 + \Omega_3 - \Omega_4 + \Omega_5 - \Omega_6 + \Omega_7 - \Omega_8 \quad (\text{for OCTO}) \end{aligned}$$

○ 힘 방정식(Force Equation)

- 일반적인 항공기의 힘 방정식은 small perturbation theory를 통하여 다음과 같은 형태로 선형화됨

$$\begin{aligned} \Delta \dot{u} &= X_u \Delta u + X_w \Delta w + g \Delta \theta \cos \theta_0 + X_{\delta_e} \Delta \delta_e + X_{\delta_r} \Delta \delta_r \\ \Delta \dot{v} &= Y_v \Delta v + Y_p \Delta p + (Y_r - u_0) \Delta r + g \Delta \phi \cos \theta_0 + Y_{\delta_r} \Delta \delta_r \\ \Delta \dot{w} &= Z_u \Delta u + Z_w \Delta w + (Z_q + u_0) \Delta q - g \Delta \theta \sin \theta_0 + Z_{\delta_e} \Delta \delta_e + Z_{\delta_r} \Delta \delta_r \end{aligned}$$

- 멀티콥터는 동체좌표계의 x 축 및 y 축 방향의 힘을 유발하는 요소가 없기 때문에 다음

과 같이 단순해짐

$$\begin{aligned}\Delta \dot{u} &= g \Delta \theta \cos \theta_0 \\ \Delta \dot{v} &= g \Delta \phi \cos \theta_0 \\ \Delta \dot{w} &= -g \Delta \phi \sin \phi_0 - g \Delta \theta \sin \theta_0 + Z_{\delta_T} \Delta \delta_T\end{aligned}$$

- 트림상태에서 $\phi_0 = 0, \theta_0 = 0$ 이므로, 다음과 같이 더욱 단순해짐

$$\begin{aligned}\Delta \dot{u} &= g \Delta \theta \\ \Delta \dot{v} &= g \Delta \phi \\ \Delta \dot{w} &= Z_{\delta_T} \Delta \delta_T\end{aligned}$$

○ 항법 방정식(Force Equation)

- 기체고정좌표계의 힘 방정식은 오일러 좌표변환을 통하여 다음과 같이 지면좌표계에 표현될 수 있음

$$\begin{bmatrix} \frac{dX}{dt} \\ \frac{dY}{dt} \\ \frac{dZ}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\theta C\psi & S\phi S\theta C\psi - C\phi S\psi & C\phi S\theta C\psi + S\phi S\psi \\ C\theta S\psi & S\phi S\theta S\psi + C\phi C\psi & C\phi S\theta S\psi - S\phi C\psi \\ -S\theta & S\phi C\theta & C\phi C\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}$$

○ 추력배분(Force Equation)

- Quad-copter의 경우 시스템의 제어입력 u_i 는 다음의 식들과 같이 정의

$$\begin{aligned}u_\phi &= c_t (-\Omega_2^2 + \Omega_4^2) \\ u_\theta &= c_t (\Omega_1^2 - \Omega_3^2) \\ u_\psi &= c_t (-\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ u_h &= c_t (\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2)\end{aligned}$$

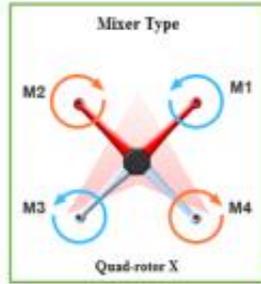
- $c_t = dT/d\Omega^2$ 는 추력과 RPM2과의 비례계수

$$\begin{aligned}u_\phi &= -T_2 + T_4 \\ u_\theta &= T_1 - T_3 \\ u_\psi &= -T_1 + T_2 - T_3 + T_4 \\ u_h &= T_1 + T_2 + T_3 + T_4\end{aligned}$$

- 시뮬레이션을 위한 운동모델용 추력변환행렬로 표현하면 다음과 같음

$$\begin{bmatrix} u_\phi \\ u_\theta \\ u_\psi \\ u_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix}$$

$$\text{MotorOut} = C_1 * C_A * (d_{rot} - SA_{rot}) + C_2 * C_E * (d_{ele} - SA_{ele}) + C_3 * C_R * (d_{rud} - SA_{rud}) * C_{dir} + \text{Throttle}$$



	$C_A > 0$	$C_E > 0$	$C_R > 0$
M1~4	0.25	0.25	0.50~0.75

	C_1 (Ail)	C_2 (Ele)	C_3 (Rud)
M1	-1.0	+1.0	+1.0
M2	+1.0	+1.0	-1.0
M3	+1.0	-1.0	+1.0
M4	-1.0	-1.0	-1.0

T145G Gyro1(Ail) 50%, Gyro2(Ele) 50%, Gyro3(Rud) 17.5%(0.75) or 25%(0.50)
 $C_{dir} = 1$ for NAZA Type, $C_{dir} = -1$ for Opposite Type

<추력분배 형상>

○ 회전의 자세제어 개요

- 자세제어기는 피치 축과 롤 축 운동을 동일하게 보고 설계함. 피치 축 운동에 대한 전달함수를 아래와 같이 유도할 수 있음

$$\ddot{\theta} + 2\zeta\omega_n\dot{\theta} + \omega_n^2\theta = b_u PWM$$

$$PWM = K\tilde{p}_i(\dot{\theta}_c - \dot{\theta}_m) + K\tilde{i}_i \int_0^t (\dot{\theta}_c - \dot{\theta}_m) dt$$

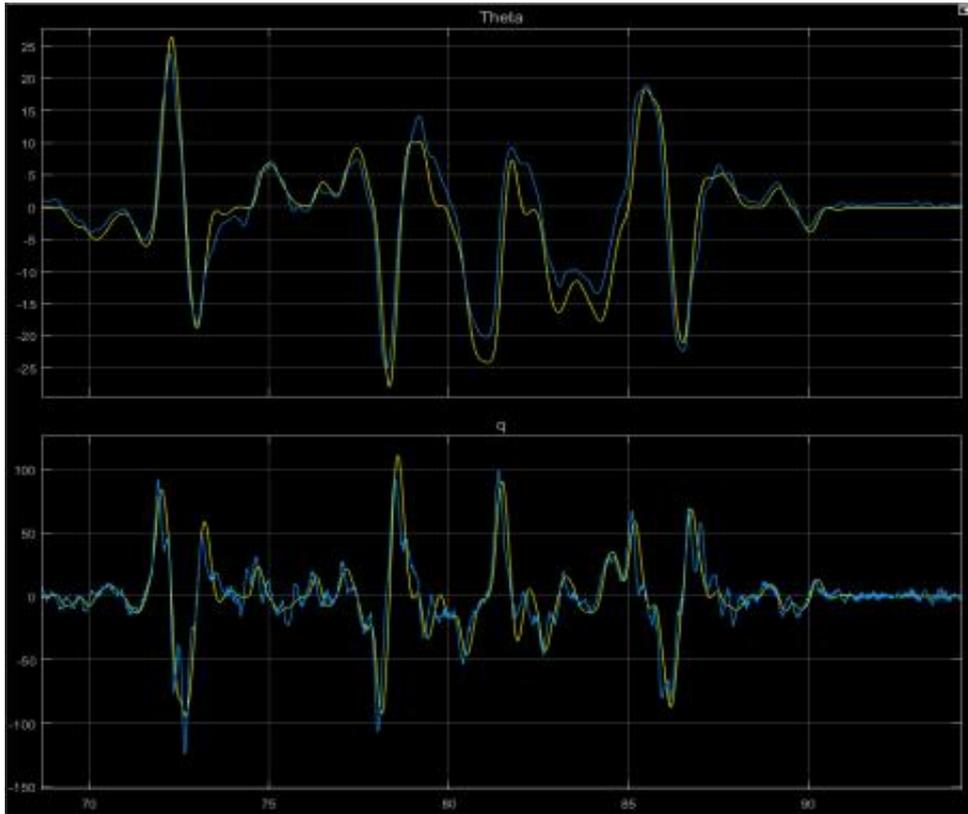
$$\dot{\theta}_c = K\tilde{p}_o(\theta_c - \theta_m) + K\tilde{i}_o \int_0^t (\theta_c - \theta_m) dt$$

$$\ddot{\theta} + 2\zeta\omega_n\dot{\theta} + \omega_n^2\theta = b_u [K\tilde{p}_i(\dot{\theta}_c - \dot{\theta}_m) + K\tilde{i}_i \int_0^t (\dot{\theta}_c - \dot{\theta}_m) dt]$$

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} + 2\zeta\omega_n\dot{\theta} + \omega_n^2\theta = b_u [& K\tilde{p}_i(K\tilde{p}_o(\theta_c - \theta_m) + K\tilde{i}_o \int_0^t (\theta_c - \theta_m) dt) - \dot{\theta}_m \\ & + K\tilde{i}_i \int_0^t ((K\tilde{p}_o(\theta_c - \theta_m) + K\tilde{i}_o \int_0^t (\theta_c - \theta_m) dt) dt)] \end{aligned}$$

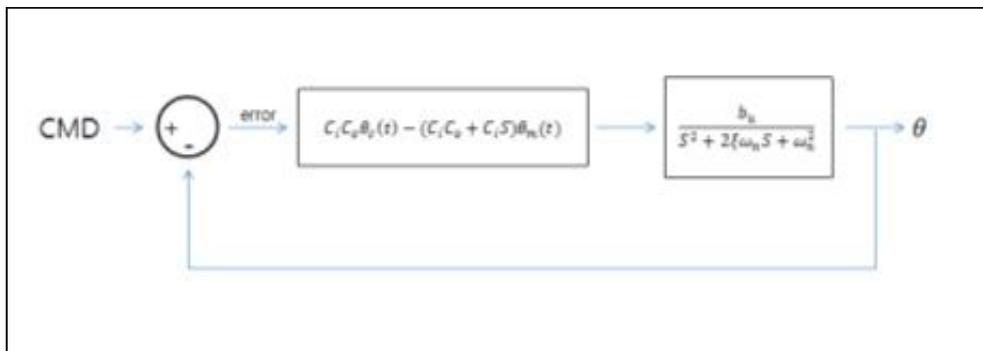
- 위와 같이 유도된 전달 함수는 최종적으로 아래와 같이 표현할 수 있고 비행체의 가상 운동 모델을 구현하는데 사용함
- 이 모델을 사용하여 최적의 제어 게인 값을 찾기 위한 시뮬레이션을 수행

$$\frac{\theta}{\theta_c} = \frac{(b_u Kp_i Kp_o)S^2 + (b_u Kp_i K\hat{i}_o + b_u K\hat{i}_i Kp_o)S + (b_u K\hat{i}_i K\hat{i}_o)}{S^4 + (2\zeta\omega_n + 2b_u)S^3 + (\omega_n + b_u Kp_i Kp_o)S^2 + (b_u Kp_i K\hat{i}_o + b_u K\hat{i}_i Kp_o)S + (b_u K\hat{i}_i K\hat{i}_o)} \quad 95$$



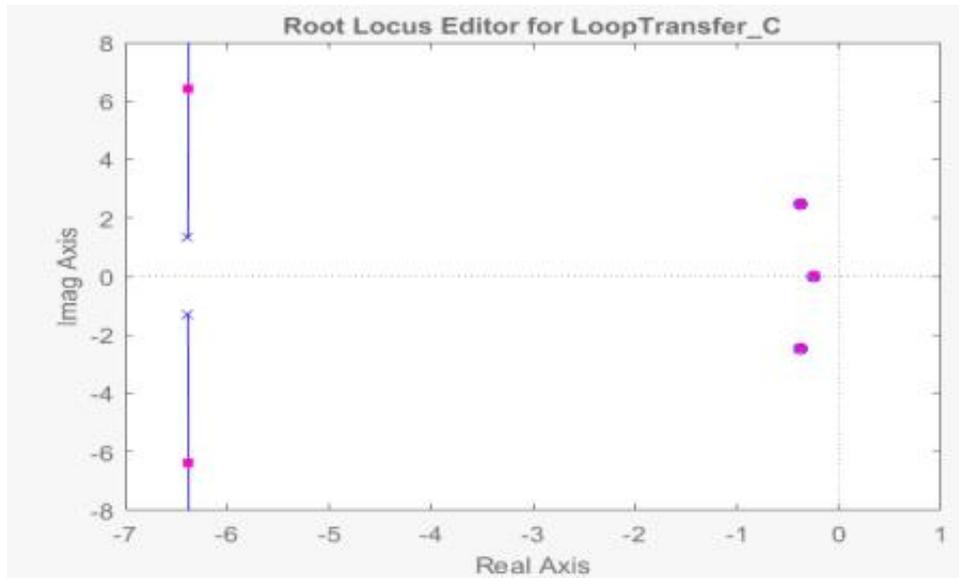
<시뮬레이션 비교 검증>

- 비행 실험을 통해 피치 축과 롤 축의 운동특성을 파악하고 모델을 결정하였고 그 결과를 비교하면 위의 그림과 같음. 여기서 노란색은 가상 운동모델을 통한 시뮬레이션 결과이며 파란색은 실제 비행체의 운동결과임



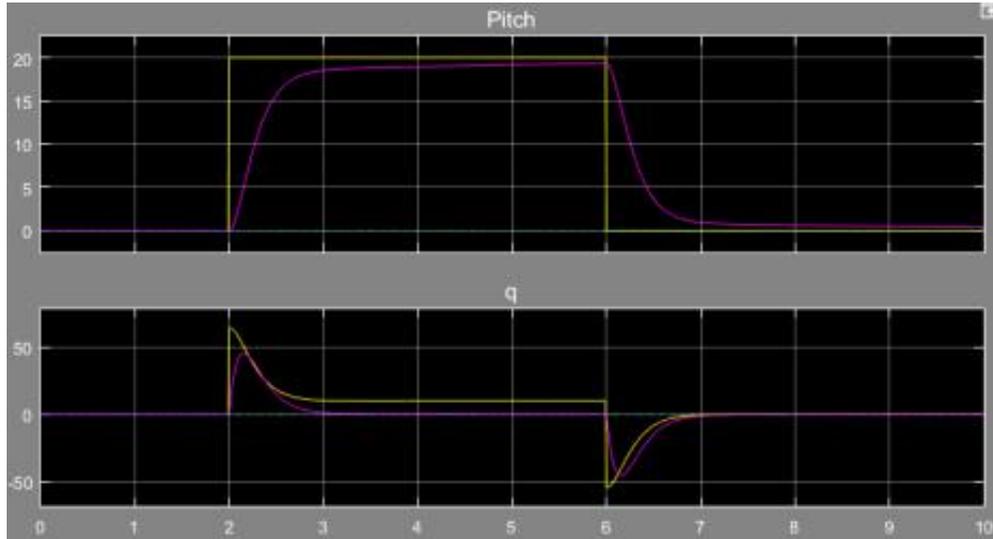
<자세제어기 구조>

- 자세제어기는 위의 그림과 같이 multi loop의 형태로 구성됨. 여기서 C_i는 inner loop 제어기, C_o는 outer loop 제어기를 나타냄. outer loop에서 자세를 피드백 받아 제어하고 inner loop에서 각속도를 피드백 받아 제어



<자세 제어기 Root Locus>

- 모델을 바탕으로 제어 gain 값을 찾고 안정성 분석을 위해 Root Locus를 그려보면 위의 그림과 같음. 이를 바탕으로 제어기가 설계된 대상 모델은 0.706의 Damping과 9.03 rad/sec의 특성을 갖고 있음을 알 수 있음



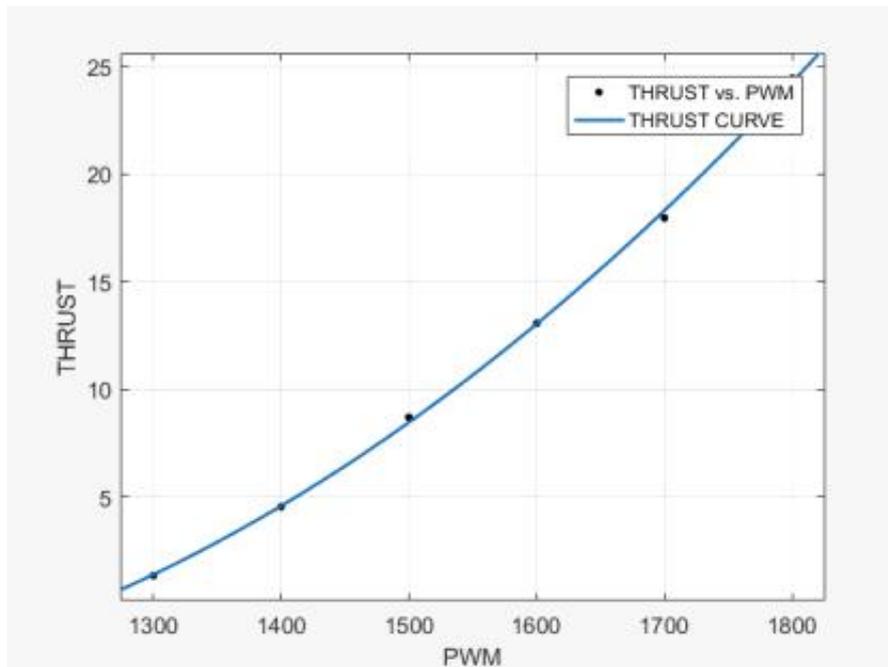
<자세 제어 시뮬레이션>

- 설계된 제어기를 가상시뮬레이션 모델에 적용하여 테스트하면 위의 그림과 같은 결과를 나타냄. 여기서 노란색은 20 Degree의 명령을 스텝으로 준 모습이고 보라색은 제어기를 통해 이를 추종해 가는 모습임
- 비행체의 형상은 피치 축과 롤 축이 거의 동일하기 때문에 같은 제어기 구조와 Gain 값으로 설계

- 고도 제어기 설계를 위해 ROC(Rate Of Climb) 모델이 필요하여, 이를 위해 추력시험을 통해 그 결과를 도출

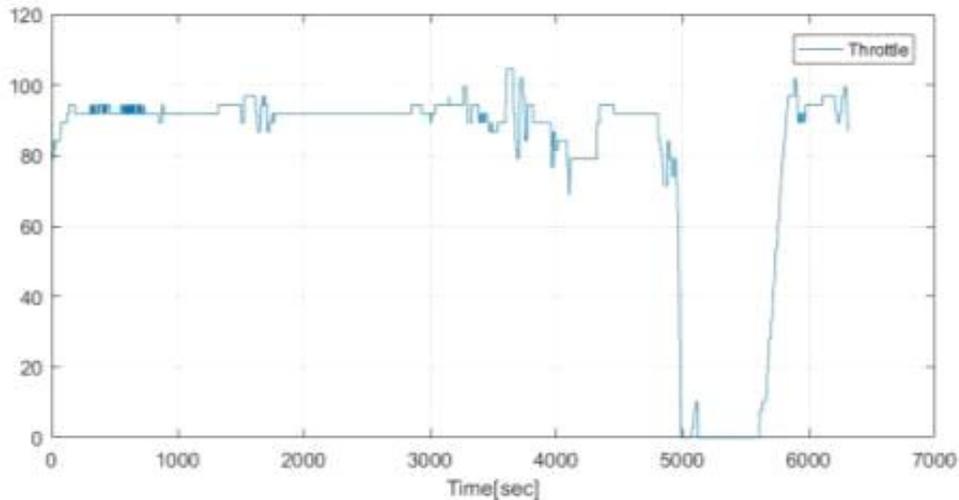
<추력시험 자료>

PWM	Thrust	A	RPM	Watt	g/W
1200	0	0.4	1485	8.88	0.00
1300	139	1.3	2224	28.86	4.82
1400	465	2.7	2942	59.94	7.76
1500	888	5	3651	111	8.00
1600	1332	8.1	4293	179.82	7.41
1700	1830	12.1	4890	268.62	6.81
1800	2491	16.7	5421	370.74	6.72
1900	2950	22.1	5923	490.62	6.01
2000	3156	25.2	6196	559.44	5.64



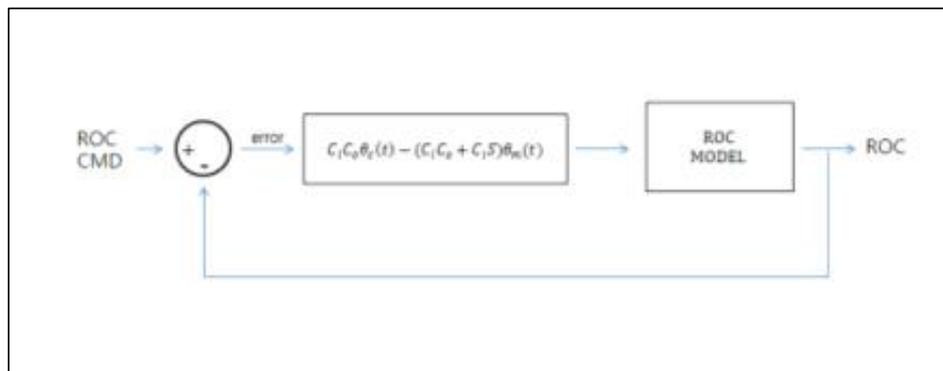
<호버 쓰로틀 구간>

- 추력곡선 방정식과 비행체의 중력을 이용하여 ROC모델을 구성하였으며 이를 바탕으로 ROC제어기를 설계하고 그 상위에 고도 제어기를 설계



<호버 쓰로틀 구간>

- 비행테스트를 통해 비행체가 어느 Throttle 구간에서 호버링 하였는지 짐작할 수 있음. 위의 그림과 같이 90정도의 Throttle 구간에서 호버링 하였음을 알 수 있었고 이 값을 고도제어기에 반영하여 설계



<수직속도 제어기>

- ROC제어기도 자세제어기와 마찬가지로 이중루프의 형태를 갖고 있으며 위의 그림과 같이 구성됨
 - 수직속도 제어기 앞에는 고도제어기를 설계하여 사용자가 원하는 고도를 입력했을 때 수직속도 제어기를 통해 원하는 고도를 제어 할 수 있도록 설계
- 위치/속도 제어기는 역시 고도/ROC제어기의 형태와 같이 설계됨
 - 사용자가 원하는 위치를 명령받아 GPS 기반의 현 위치와 비교하고 이를 단일루프 형태의 P제어기로 제어함
 - 제어 결과 값은 속도제어기의 명령으로 들어가고 현재의 속도를 명령 값으로 제어함
 - 속도제어기의 제어 결과는 최종적으로 자세제어기에 명령을 주게 됨
 - 임무장비는 3축(팬/틸트/롤) 김발과 FHD급 카메라, 영상처리장치로 구성됨
 - 임무장비는 비행체의 최대이륙중량과 크기를 고려하여 700g 미만으로 설정하였으며, 최

종적으로 다음과 같이 선정하였음

- 카메라는 FHD 이상의 화질을 HDMI출력이 가능하며, 최대 128GB까지 자체 저장 기능과 생활방수 기능을 가지는 카메라를 선정함. 또한 최대 4K/ 30FPS까지 저장 가능

Video Resolution (RES)	FPS (NTSC/PAL) ¹	FOV	Screen Resolution	Aspect Ratio
4K	30/25	Wide	3840x2160	16:9
4K	24/24	Wide, SuperView	3840x2160	16:9
2.7K	60/50 48/48 24/24	Wide, Medium, Linear	2704x1520	16:9
2.7K	30/25	SuperView, Wide, Medium, Linear	2704x1520	16:9
2.7K 4:3	30/25	Wide	2704x2028	4:3
1440p	80/80 60/50 48/48 30/25 24/24	Wide	1920x1440	4:3
1080p	120/120	Wide, Narrow	1920x1080	16:9
1080p	90/90	Wide	1920x1080	16:9
1080p	80/80	SuperView	1920x1080	16:9
1080p	60/50 48/48 30/25 24/24	SuperView, Wide, Medium, Linear, Narrow	1920x1080	16:9

<카메라 해상도>

- 본 과제에 적용한 FHD 카메라와 호환 가능한 김발을 선정하였으며, 기본적으로 3축(팬, 틸트, 롤)의 하드웨어적 기능을 통하여 영상안정화를 최적화 시켜 고품질 영상을 확보할 수 있는 보정 장치임

Adaption	Suitable For Gopro4 / Gopro3+ / Gopro3 or the camera with the similar size
Tilting Angle	115°
Rolling Angle	90°
Panning Angle	360°
Tilting Increments	2°/s - 75°/s
Panning Increments	2°/s - 75°/s
Firmware Upgrade	√
Charging for Sports camera	√ Supports the sports camera with mini USB port
Compatible with Accessories	√
Weight	167g (Not including camera)
Working Voltage	7v - 17v Standard 5.4v
Overload Current Protection	800mA
Static Attitude Tracking Accuracy	0.01 - 0.05
Motion Attitude Tracking Accuracy	0.1 - 0.5

<김발 사양>



<임무장비 장착 형상>

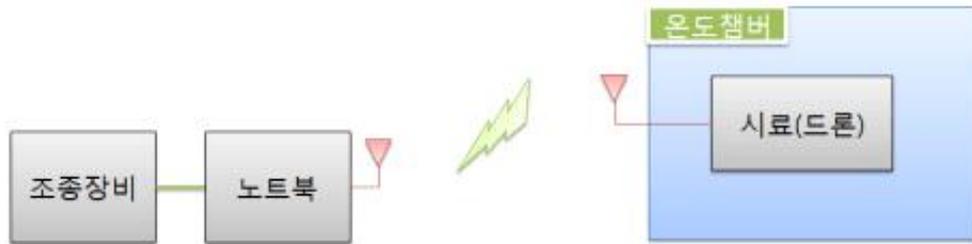
- 영상처리 장치는 카메라에서 전송되는 HDMI영상을 내부회로를 거쳐 H.264 포맷으로 고화질을 영상을 압축하는 기능을 함
- 출력은 RJ-45 포트를 통해 RTSP통신으로 안정적인 영상을 출력해줌. 또한, 다양한 옵션 기능을 내장하고 있어 타 장비와의 호환성 및 확장성을 가짐



<영상처리장치 형상>

- 온습도는 국내 온도환경을 고려하여 $-10\sim 60^{\circ}\text{C}$ 와 습도 80% 기준으로 시험을 진행하였으며, 아래의 시험 조건을 고려하여 진행함
 - 임무장비를 제외한 비행체만 시험
 - 시험의 안전을 고려하여 프로펠러 제거
 - Thermal Shock을 고려하여 온도변화율은 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (상승), $-2.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (하강)으로 이내로 설정

- 운용시간을 고려하여 저온/고온 각 1시간 진행



<온습도시험 형상>



<온습도챔버 실동작 프로파일>



<실 온습도 시험 사진>

○ 저온/고온환경에 따른 비행체 점검항목을 모두 만족함. 또한 운용시간을 고려하여 저온과 고온에서 각 1시간씩 시험함으로써 본 드론장비의 저온과 고온 내성을 확인

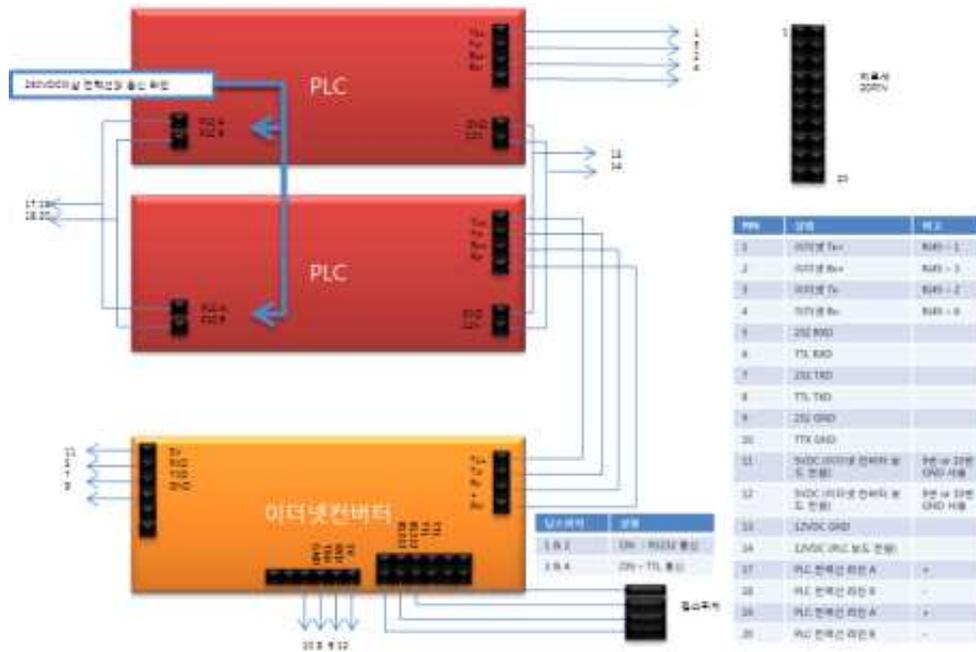
<저온시험(-10°C) 시험결과>

항목	기준치	0분	30분	60분	비고
비행체 배터리상태	배터리전압, 잔량 LED 확인	○	○	○	
모터 구동상태 확인	모터 On 버튼을 활성화하여 모터 동작 상태 확인	○	○	○	
조종면 동작 확인	점검자 판단 조종면 조작에 따른 모터 응답 확인	○	○	○	
비행체 응답속도	점검자 판단	○	○	○	

<고온시험(60°C) 시험결과>

항목	기준치	0분	30분	60분	비고
비행체 배터리상태	배터리전압, 잔량 LED 확인	○	○	○	
모터 구동상태 확인	모터 On 버튼을 활성화하여 모터 동작 상태 확인	○	○	○	
조종면 동작 확인	점검자 판단 조종면 조작에 따른 모터 응답 확인	○	○	○	
비행체 응답속도	점검자 판단	○	○	○	

- 전력선 모듈의 인터페이스는 이더넷 방식(TX+, TX-, RX+, RX-)과 시리얼 방식(RX, TX, GND)을 선택가능하여 사용할 수있게 설계하였음
- 최대 200Mbps 광대역 통신이 가능하며, 또한 최대 64개의 전력선통신장치와 통신 가능함
- 이더넷통신 1:1통신 일 경우, 최대100Mbps를 가능함. 본 유선 비행 로봇에 적용하기 위해 2세트의 전력선통신장치를 적용하였으며, 영상처리장치와의 호환을 위해 이더넷 인터페이스 1채널과 비행체의 데이터 전송을 목적으로 시리얼통신(TTL or RS232) 방식 1채널로 설계 제작하였음



<전력선통신(PLC) W/H 형상>



<전력선통신(PLC) 제작 형상>

- 전력선통신장치에 적합여부를 검토하기 위해 영상 데이터량을 분석하였으며, H.264_primer 압축방식 기준, High Motion에서 약 17.5 Mbps 요구됨을 Adobe社 H264_perimer 참고하여 분석하였으며, 그내용은 아래와 같음
 - 기준 Frame rate : 30 fps
 - 기준 Motion Rank : 4
 - 전송량 계산식 : $\text{Pixel} \times \text{Pixel} \times \text{fps} \times \text{Motion Rank} \times 0.07$
 $= 1920 \times 1080 \times 30 \times 4 \times 0.07 = 17,418,240 \text{ bps}$

- **Low motion** is a video that has minimal movement. For example, a person talking in front of a camera without moving much while the camera itself and the background is not moving at all.
- **Medium motion** would be some degree of movement, but in a more predictable and orderly manner, which means some relatively slow camera and subject movements, but not many scene changes or cuts or sudden snap camera movements or zooms where the entire picture changes into something completely different instantaneously.
- **High motion** would be something like the most challenging action movie trailer, where not only the movements are fast and unpredictable but the scenes also change very rapidly.

<Adobe社 H.264 모션 기준>

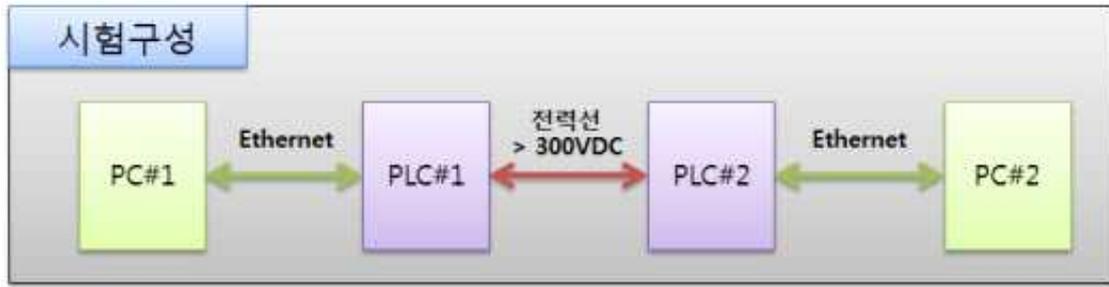
※ Reference : H264_primer(Adobe社)

○ 전력선통신장치는 전원라인의 길이에 따라 최대 100Mbps이며, 거리가 70m 일 경우, 약 33Mbps의 전송속도를 가지며, 이에 따른 70m일 때의 전력선통신장치의 평균속도를 확인하였으며, 그 결과 송수신 대역폭이 약 38.2Mbps의 값을 확인하여, 영상전송에 필요한 대역폭을 확보하였음을 검증함

- 시험툴 : iperf3
- 시험시간 : 60초
- 케이블간 거리 : 70m



<전력선통신(PLC) 시험 사진>



```

4 | 52.01-53.01 | sec | 4.62 MBytes | 38.7 Mbits/sec
4 | 53.01-54.01 | sec | 4.50 MBytes | 37.6 Mbits/sec
4 | 54.01-55.02 | sec | 4.62 MBytes | 38.7 Mbits/sec
4 | 55.02-56.01 | sec | 4.50 MBytes | 38.0 Mbits/sec
4 | 56.01-57.01 | sec | 4.62 MBytes | 38.7 Mbits/sec
4 | 57.01-58.00 | sec | 4.50 MBytes | 38.1 Mbits/sec
4 | 58.00-59.01 | sec | 4.50 MBytes | 37.6 Mbits/sec
4 | 59.01-60.01 | sec | 4.50 MBytes | 37.6 Mbits/sec

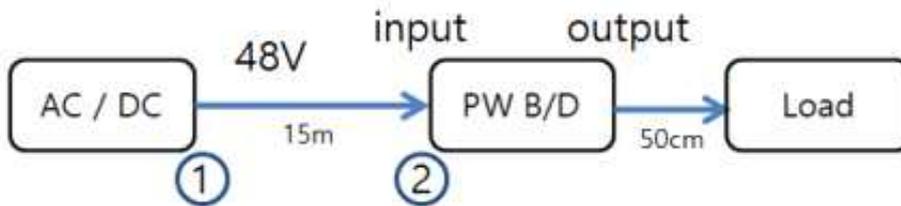
```

ID	Interval	Transfer	Bandwidth	sender	receiver
4	0.00-60.01 sec	273 MBytes	38.2 Mbits/sec		
4	0.00-60.01 sec	273 MBytes	38.2 Mbits/sec		

<전력선통신(PLC) 시험 형상 및 결과>

다. 테더 및 전원 시스템 설계 및 제작

- 적절한 테더케이블(15m) 선정을 위한 전압강하 테스트를 진행
- 지상전원공급장치(AC/DC)에서 48V 출력을 5분간 지속적으로 공급하고 각각의 실리콘 케이블(12,14,16 AWG)의 전압강하를 측정 후 적합한 케이블을 선정
- 실험결과 케이블의 무게와 전압강하율을 고려해 보았을 때 가장 효율적인 케이블 규격은 15~16AWG 사이가 적합하다는 결론이 나옴. 실제 장비에 사용할 테더케이블 제작은 0.75SQ X 4CORE X 15M 로 제작을 진행

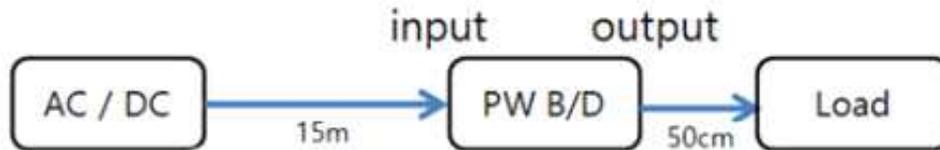


<시험용 케이블 시험형상>

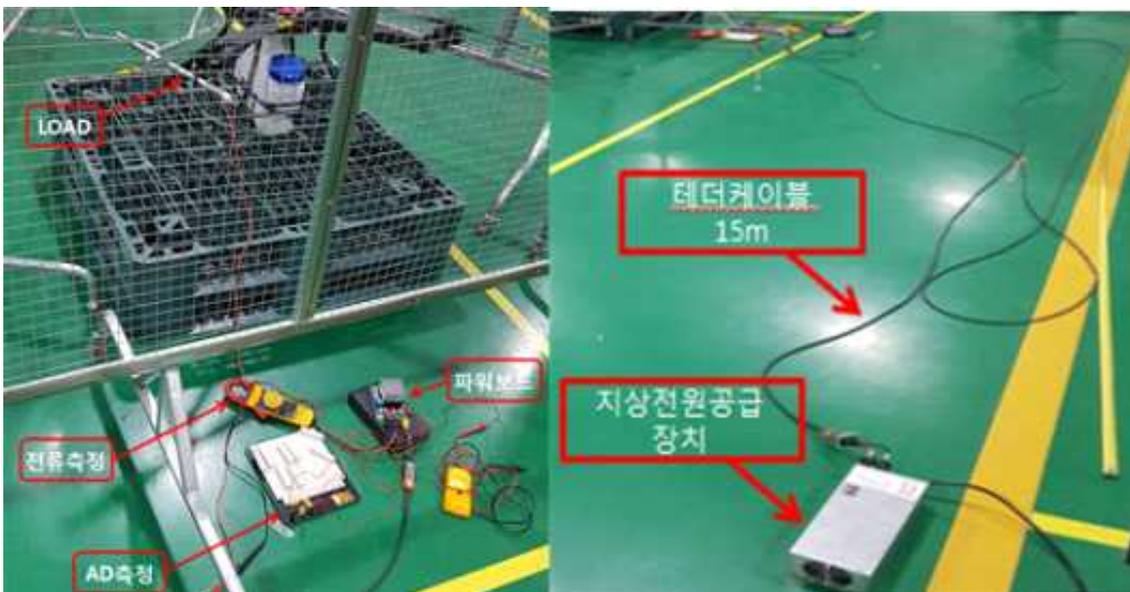
<시험용 케이블 시험>

NO.	초기전압 (AC/DC)	전류1 (AC/DC)	전압 input	예상전압강하	전압강하	예상전압강하 - 측정값 (오차값)
12AWG	48.22	25.7	44.17	-4	-4.05	0.05
14AWG	48.19	25.1	41.29	-6.5	-6.9	0.4
16AWG	48	25	37	-10.1	-11	0.9

- 실제 장비에 운용될 테더케이블(0.75SQ X 4CORE X 15M)과 지상전원공급장치 (rsp1500-48)의 신뢰성 및 내구성 시험을 진행함
- 위의 표와 같이 지상전원공급장치(rsp1500-48)는 안정적으로 출력을 내주고 있음을 확인. 테더케이블의 예측전압강하량과 측정된 전압강하의 오차율이 2% 이내로 신뢰성과 내구성을 확인
- 전압강하율과 케이블의 무게를 보았을 때 테더케이블(0.75SQ X 4CORE X 15M)이 적합하다는 결론이 나옴



<지상전원시험 구성도>



<지상전원시험 형상>

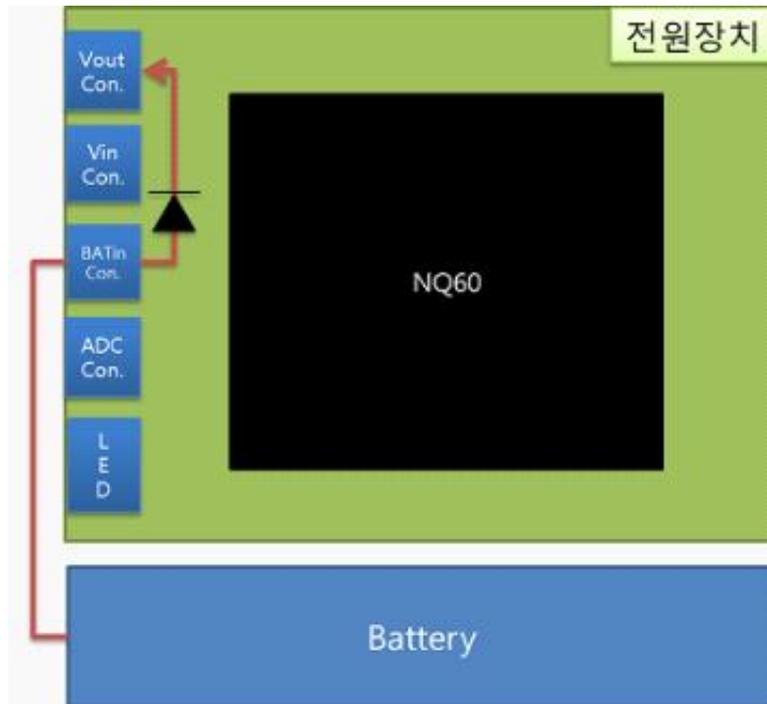
<테더케이블의 전압강하량 및 지상전원공급장치 신뢰성 테스트>

시간	초기전압 (AC/DC)	전류1 (AC/DC)	전압 input	예상전압강하	전압강하	예상전압강하 - 측정값 (오차값)
초기	53.5	-	53.5	0	0	0
18:43	53.5	18.3	46.8	6.7	6.7	0%
18:52	53.5	18.3	46.7	6.7	6.8	2%
19:01	53.5	18.4	46.7	6.7	6.8	1%
19:22	53.5	18.3	46.7	6.7	6.8	2%
19:47	53.5	18.3	46.7	6.7	6.8	2%

- 최대이륙중량에서 양적 전원 공급 가능한 전원장치 설계는 안정적으로 기체에 전력이 공급될 수 있는 내구성과 신뢰성을 기준으로 개발요구도를 구상
- 입력전압 20~60VDC 범위에서 출력전압이 25VDC±0.1로 일정하고 안정적으로 출력해 주어야함. 효율은 95%이상이어야 하며, 기체를 운용할 때 보통 600W로 운용을 한다는 가정 하에 안전마진을 주어서 최대 1000kW 까지 출력이 가능해야하며, 온도에 따라서도 안정적으로 출력을 내주어야 하므로 -10~50°C(외기 온도 기준)정도 범위에서도 신뢰성을 유지해야함
- 전원장치의 정확한 모니터링을 위해 AD 4CH (입력전압, 출력전압, 소모전류, 파워보드 온도)이 있다. 또한 비행 중 지상전원공급이 차단되었을 때 비상용 배터리를 이용한 비행이 가능해야하고, 중량은 300g 미만이며 크기는 200 x 90 x 40(mm)(가로x세로x높이) 미만으로 구상함
- 초기 시험용 파워보드(SynQor EVAL-1000014)를 대여해서 내구성과 신뢰성 시험을 진행

<전원장치 개발 요구도>

NO.	요구도
입력전압	20~60VDC
출력전압	25VDC±0.1
효율	>95%
소모전력	>1000KW at 25VDC
사용모듈	NQ60
온도환경	-10~60°C(외기 온도 기준)
요구기능	AD출력 : 4CH(입력전압, 출력전압, 소모전류, 파워보드 온도) LED상태 비상등 비상배터리연동(비행시간 2분) 방열기능
중량	300g 미만
크기	200 x 90 x 40(mm)(가로x세로x높이) 미만/작을수록 좋음



<탭재전원공급장치(탭재전원공급장치) 기본 설계 형상>

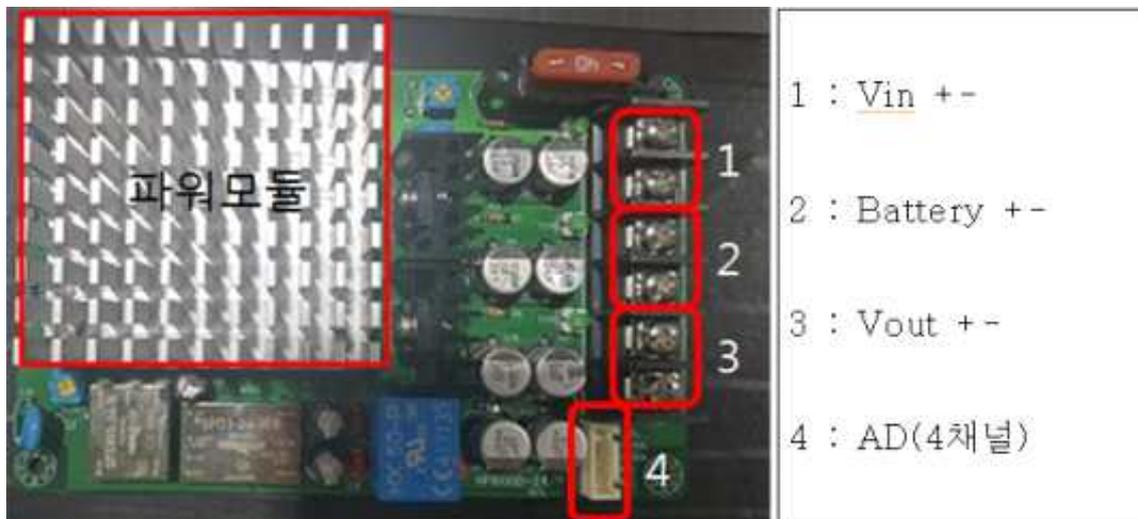


<시험용 파워보드 형상>

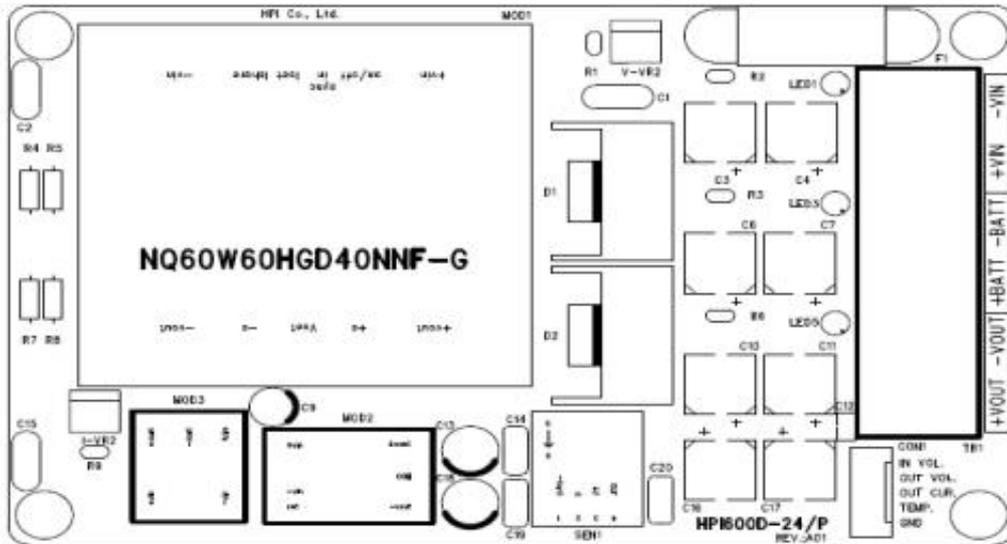
- 시험용 파워보드(SynQor EVAL-1000014)로 테스트한 결과 만족하는 결과가 나옴. 이를 기반으로 실제 장비에 장착할 파워보드를 설계 및 제작을 하고, 신뢰성 및 내구성 시험을 진행함. 시험 목적은 파워보드/테더케이블/지상전원공급장치 내구성 시험이고, 시험조건은 기준출력 800W 연속구동시간 1시간 이상임
- 시험장비는 테더케이블(0.75SQ X 4CORE X 15m), 지상전원공급장치(rsp1500-48), 파워보드로 구성되어있음. 시험 내용은 출력전압(VDC)이 53.5V 로 1시간 이상 구동에도 안정성 있게 출력을 내주는 것을 확인함으로써 지상전원공급장치(RSP1500-48)의 신뢰성과 내구성을 확인하였고, 파워보드에서 출력되는 출력전압이 25.2V(±0.5) 800W까지 안정적

으로 출력되는 것을 확인

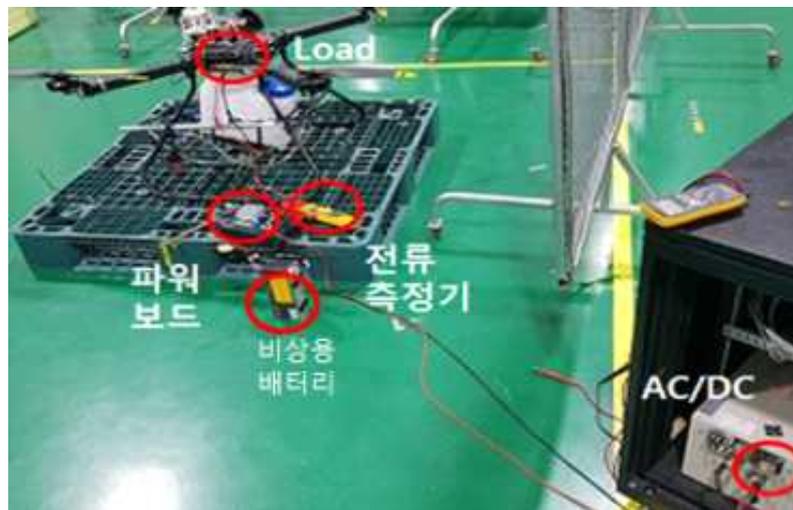
- 파워보드의 상황을 정확히 모니터링하기 위해 파워보드의 AD 4CH(입력전압, 출력전압, 출력전류, 온도) 값과 실측값의 비교를 해본 결과 온도를 제외한 나머지 부분들에 대해선 ± 0.1 이내의 오차값이므로 신뢰성을 확인
- 온도의 오차가 큰 이유는 프로펠러 후류, 온도측정 방법 및 외기환경 등 다양한 변수들이 존재하므로 정확한 측정에 의한 데이터 획득이 힘들다고 판단됨. 하지만 실제 장비에 운용이 되어도 문제가 발생 할 정도의 오차가 아니라 판단됨
- 비상용 배터리는 지상전원공급장치에서 파워보드로 들어가는 전력이 차단되었을 때 비상배터리(Li-Po 6s 1500mAh)로 파워보드로 전력을 공급하여 비행이 가능하도록 하여 비상착륙이 가능하게 하는 것임
- Li-Po 6s 배터리는 최대충전 전압이 25.2V이고 공칭전압은 22.2V인데, 파워보드의 출력전압이 배터리 전압보다 낮아지면 지상전원공급장치에서 나오는 출력을 사용하는 것이 아니라 비상용 배터리의 전압을 쓰기 때문에 파워보드 출력전압을 25.2V로 맞추었고, 전류가 배터리로 과충전이 되는 것을 방지하기 위해 파워보드 설계 시 비상용 배터리에서 파워보드 한 방향으로만 이동하도록 설계함



<탑재전원공급장치 구성도>



<탑재전원공급장치(탑재전원공급장치) 외형도>



<탑재전원공급장치(탑재전원공급장치) 시험 형상>

<파워보드 신뢰성 및 내구성 테스트>

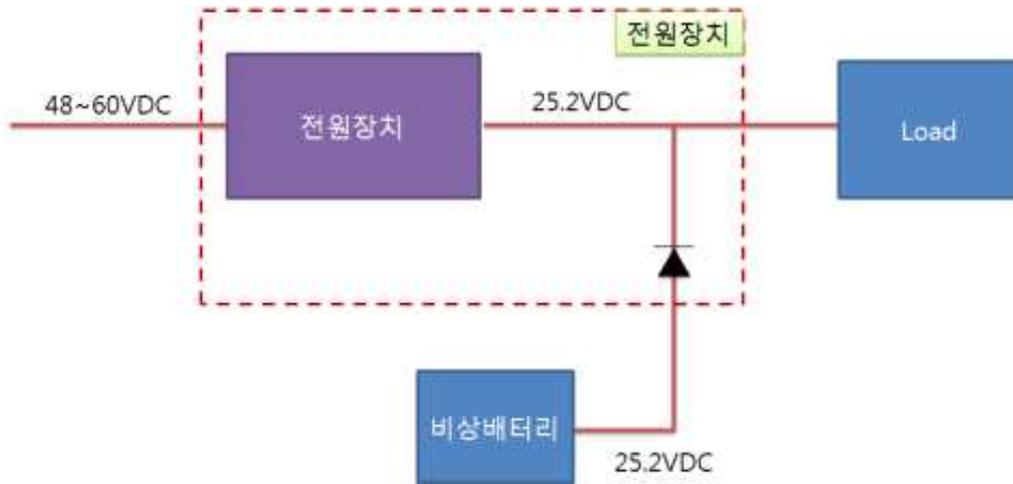
시간	초기전압 (AC/DC)	전류 (AC/DC)	공급전력(W)	입력전압(VDC)	출력전압(VDC)	출력전류(A)	출력(W)
초기	53.5	-	0	53.5	25.2	0.3	7.6
18:43	53.5	18.3	979.1	46.8	24.7	32.4	800.3
18:52	53.5	18.3	979.1	46.7	24.7	32.8	810.2
19:01	53.5	18.4	984.4	46.7	24.7	32.6	805.2
19:22	53.5	18.3	979.1	46.7	24.7	32.7	807.7
19:47	53.5	18.3	979.05	46.7	24.7	32.8	810.2

시간	케이블 온도	파워보드 온도	AD Vin	AD Vout	AD TEMP	AD CURR	예측AD Vin	예측AD Vout	예측AD CURR	예측AD TEMP
초기	19	26	4.87	2.29	0.76	0.017	4.835	2.288	0.024	0.7696
18:43	19	26	4.2	2.25	0.67	2.6	4.232	2.243	2.562	0.7696
18:52	22	31	4.2	2.25	0.68	2.6	4.223	2.243	2.594	0.8176
19:01	21	31	4.2	2.25	0.72	2.6	4.223	2.243	2.578	0.8176
19:22	21	34.5	4.2	2.25	0.75	2.6	4.223	2.243	2.586	0.8512
19:47	21	35	4.24	2.25	0.64	2.5	4.223	2.243	2.594	0.856

<AD 측정값과 예측값의 비교>

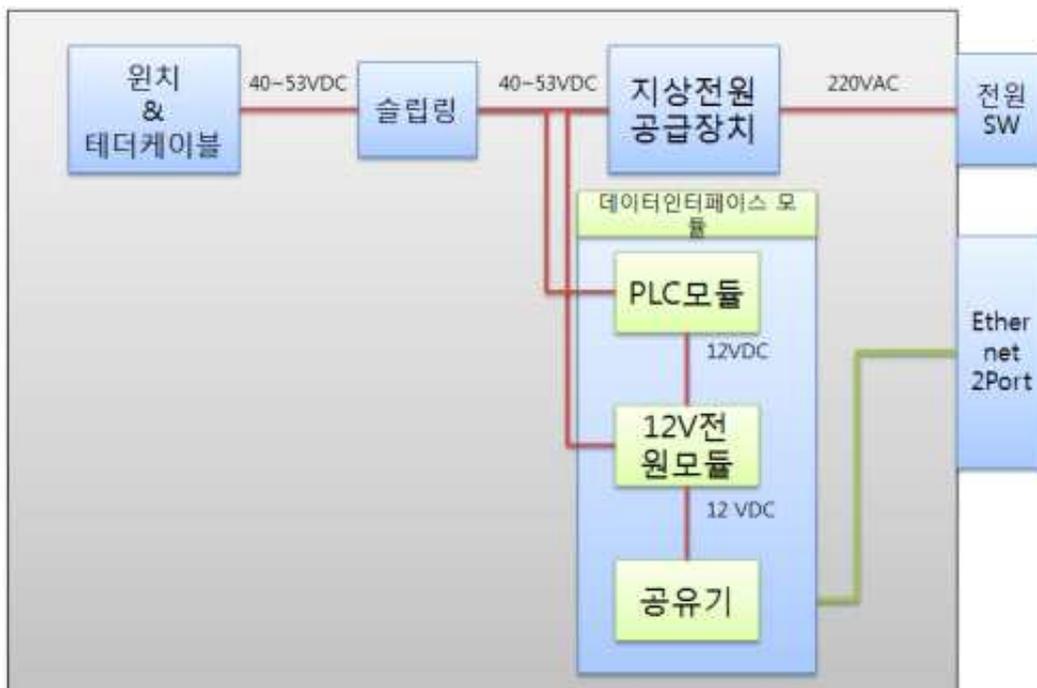
시간	AD Vin (예측값/측정값)	AD Vout (예측값/측정값)	AD TEMP (예측값/측정값)	AD CURR (예측값/측정값)
초기	4.835 / 4.87	2.288 / 2.29	0.7696 / 0.76	0.024 / 0.017
18:43	4.232 / 4.2	2.243 / 2.25	0.7696 / 0.67	2.562 / 2.6
18:52	4.223 / 4.2	2.243 / 2.25	0.8176 / 0.68	2.594 / 2.6
19:01	4.223 / 4.2	2.243 / 2.25	0.8176 / 0.72	2.578 / 2.6
19:22	4.223 / 4.2	2.243 / 2.25	0.8512 / 0.75	2.586 / 2.6
19:47	4.223 / 4.24	2.243 / 2.25	0.856 / 0.64	2.594 / 2.5

시간	AD Vin (예측값-측정값)	오차율 (%)	AD Vout (예측값-측정값)	오차율 (%)	AD TEMP (예측값-측정값)	오차율 (%)	AD CURR (예측값-측정값)	오차율 (%)
초기	-0.035	0.7	-0.002	0.08	0.0096	1.2	0.007	29
18:43	0.032	0.7	-0.007	0.3	0.0996	12	-0.038	1.4
18:52	0.023	0.5	-0.007	0.3	0.1376	16	-0.006	0.2
19:01	0.023	0.5	-0.007	0.3	0.0976	11	-0.022	0.8
19:22	0.023	0.5	-0.007	0.3	0.1012	11	-0.014	0.5
19:47	-0.017	0.4	-0.007	0.3	0.216	25	0.094	3.6



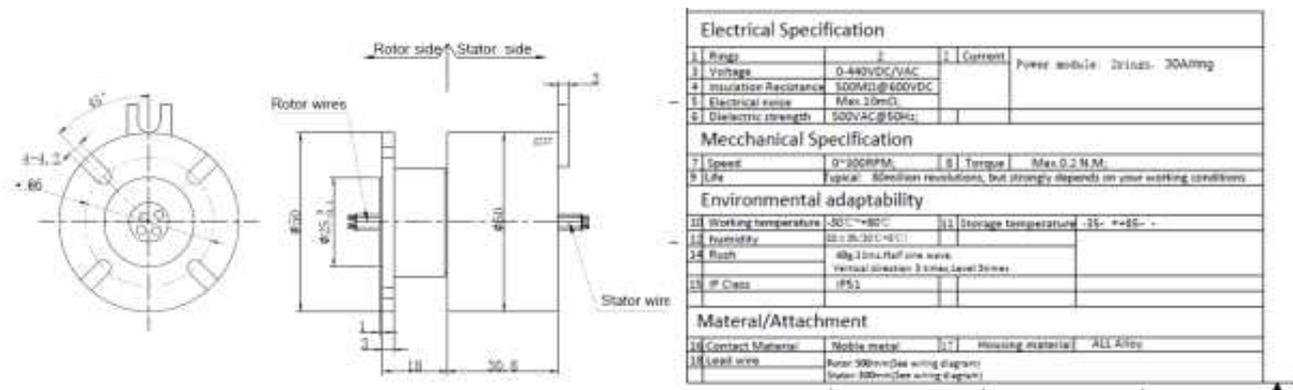
<비상전원 설계 형상>

- 테더케이블을 쉽게 감고 풀며 안정적 전원을 공급 가능한 원치장비는 비행체에 안정적인 전원공급과 영상과 통신을 외부장비와 연결 시켜주는 허브역할을 하는 장비로 테더케이블과 테더케이블을 꼬임 없이 감고/풀어 주는 케이블원치, 전원을 공급하는 지상전원공급장치, 데이터를 주고 받는 역할을 하는 인터페이스 모듈로 설계함



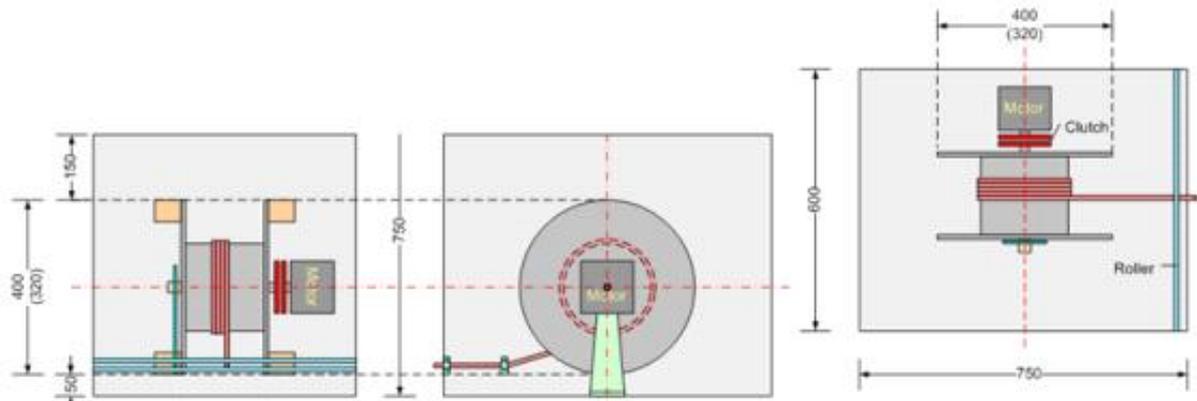
<케이블원치장비 형상>

- 원치는 테더케이블가 꼬임이 없도록 슬립링을 적용하였으며, 소모전류가 약 20A 미만임을 감안하여 고전류가 공급 가능한 수은식 30A 슬립링을 선택하여, 케이블의 꼬임 방지와 원활한 전원을 공급함을 확인 함
- 지상전원공급장치의 전원이 60VDC 이하 임을 감안하여 운용전압 440VDC/VAC에서 동작 가능하며, 300RPM 미만의 회전에서도 원활한 전원을 공급함



<슬립링 도면 및 사양>

- 케이블원치는 테더케이블길이와 최소곡률반경 99mm의 사양을 고려하여 320mm 이상의 직경을 가진 케이블 원치를 제작하였음



<케이블원치 형상>

- 데이터 인터페이스 모듈은 전력선통신장치의 전원을 공급하며, 전력선통신장치를 획득/또는 전송 데이터를 외부 장비를 연동할 수 있도록 신호인입반을 장착하여 손쉽게 데이터를 주고받을 수 있도록 설계 제작함

라. 유선 비행 로봇 시스템 연동시험

○ 유선 비행 로봇의 체계시험은 시스템의 기능의 정상 동작여부를 확인하였으며, 항목은 PBX상태, 비행체 상태, 전원장치 상태, 시스템 상태, 비행모드로 구분하여 기준에 맞게 시험을 진행함

- 시험 장소 : 자체시험장, 풍속 3.5m/s max. ('17.11.14)

- 시험 형상

<시험형상>

No	항목	형상	수량	비고
1	비행체	Type : quad FCC Ver. : 171114.01	1	
2	PBX	14ch 2.4Ghz	1	
3	영상수신장치	노트북 CPU : Intel i7급 RAM : 8GB	1	
3	임무장비	FHD급/3축김발	1	
4	비상배터리	1500mAh, 22.2VDC	1	
5	케이블원치	0.75SQ X 15m	1	

○ 유선 비행 로봇 체계비행시험에서 점검항목을 모두 만족함을 아래와 같이 확인 함

<시험결과>

세부시험내역		기준치	시험결과	비고
PBX	비행모드 SW	채널 동작 모니터 확인(5ch) 상 : StickAuto 중 : Atti 하 : Hovering	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	차동착륙 SW	채널 동작 모니터 확인(8ch)	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	임무장비 틸트 SW	채널 동작 모니터 확인(7ch)	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	조종면 스틱 롤/피치/요/스로틀	채널 동작 모니터 확인 ch1 : 롤, ch2 : 피치 ch3 : 스로틀, ch4 : 요	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
비행체 상태	프로펠러 상태	프롭 장착 방향 및 조임 확인 1,3번 : CCW 2,4번 : CW	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	테더케이블 상태	테더케이블 체결 상태 확인	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
전원장치	비상배터리 전원	25.0VDC 이상 확인 측정값 : VDC	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	지상전원장치 전원	48 ~ 60VDC 이상 확인 측정값 : VDC	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	

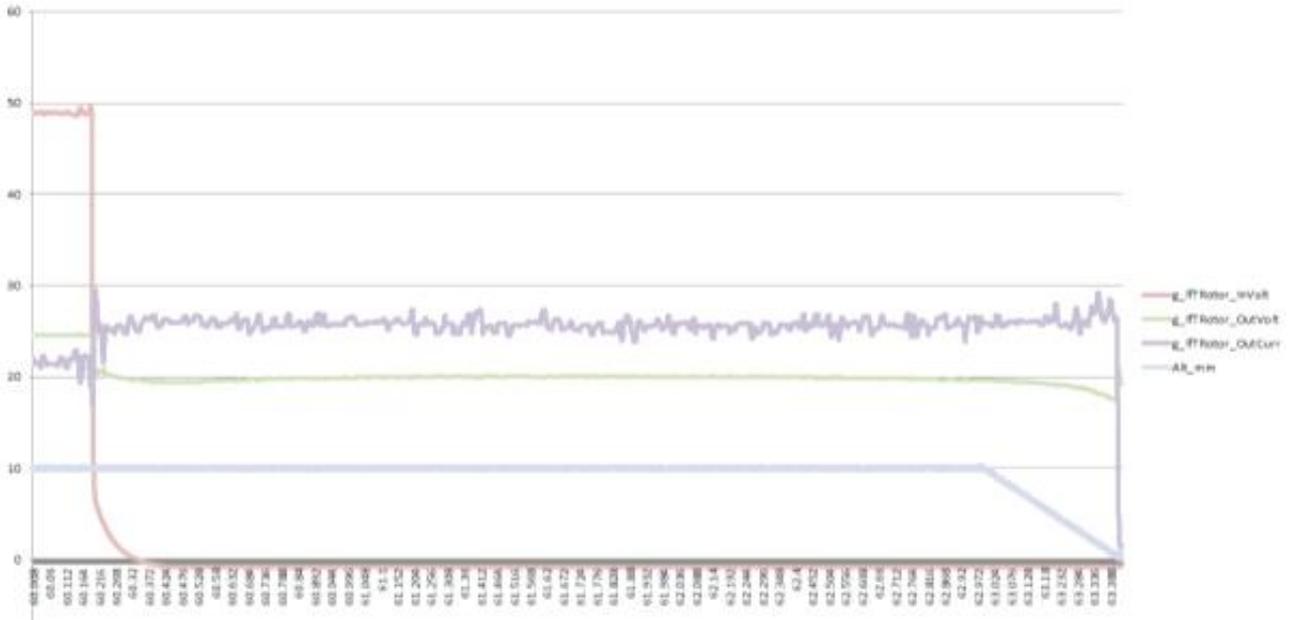
시스템	초기화 상태	약 11초 후, LED 0.5초 간격 점멸 확인	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	통신 상태	LED 상태 확인 정상 : Blue 2회 연속 점멸 두절 : LED 점멸 중지	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	GPS 상태	LED 상태 확인 정상 : Green 2회 연속 점멸 5개 미만 :Green&Red 교차 점멸	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	전원 상태	LED 상태 확인 정상 : Green 2회 연속 점멸 5개 미만 :Green&Red 교차 점멸	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	모터 On/Off	모터의 동작 상태 확인 1,3번 : CCW 2,4번 : CW	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	영상	영상수신장치에 실시간 영상 상태 확인	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	틸트	PBX 명령에 따른 틸트 응답 확인	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
비행모드 (0.StickAuto)	롤	점검자 판단 비행체 롤+/- 응답	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	피치	점검자 판단 비행체 피치+/- 응답	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	요	점검자 판단 비행체 요+/- 응답	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	스로틀	점검자 판단 전체 모터 회전량 증가/감소	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
비행모드 (1.Atti)	롤	점검자 판단 비행체 롤+/- 응답	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	피치	점검자 판단 비행체 피치+/- 응답	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	요	점검자 판단 비행체 요+/- 응답	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	ROC/고도	상 : 고도상승 확인 중 : 호버링유지 확인 하 : 고도하강 확인	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	

비행모드 (2.Hovering)	Vside	Vside+/- 좌우 이동 확인	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	Vfwd	Vfwd+/- 전후 이동 확인	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	요	점검자 판단 비행체 요+/- 응답	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
	ROC/고도	상 : 고도상승 확인 중 : 호버링유지 확인 하 : 고도하강 확인	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
비행모드 (3.AutoLanding)	자동착륙	이륙위치 자동착륙 후, 모터 자동컷오프	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
고도		10m 유지 비행 가능 여부	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	



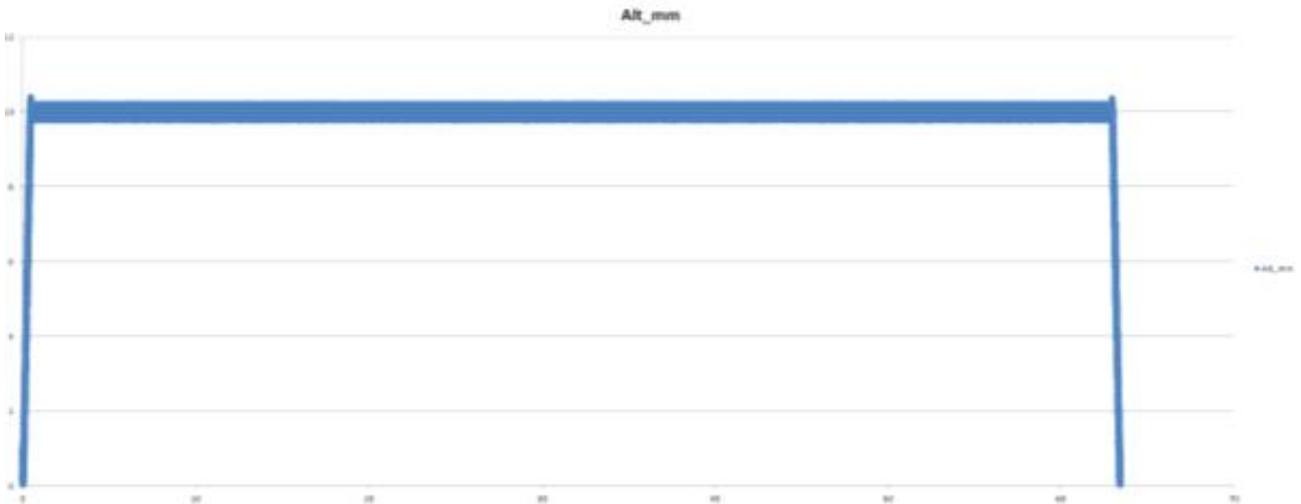
<유선 비행 로봇 체계비행시험 사진>

- 유선 비행로봇 메인전원차단 시험은 10m 고도에서 1시간 이상 비행 성능 시험 후 약60 분 216초에 실행 하였으며 탑재전원 공급장치 입력 약 49V(g_lfTRotor_InVolt)에서 메인 전원 차단 후 0V로 떨어지는 그래프와 함께 g_lfTRotor_OutVolt가 25V에서 dir 20V로 하강 하는 그래프임
- 약 3분 후인 63분 972초에 배터리가 소진되며 기체 하강 시작하여 착륙함(Alt_mm 참조)



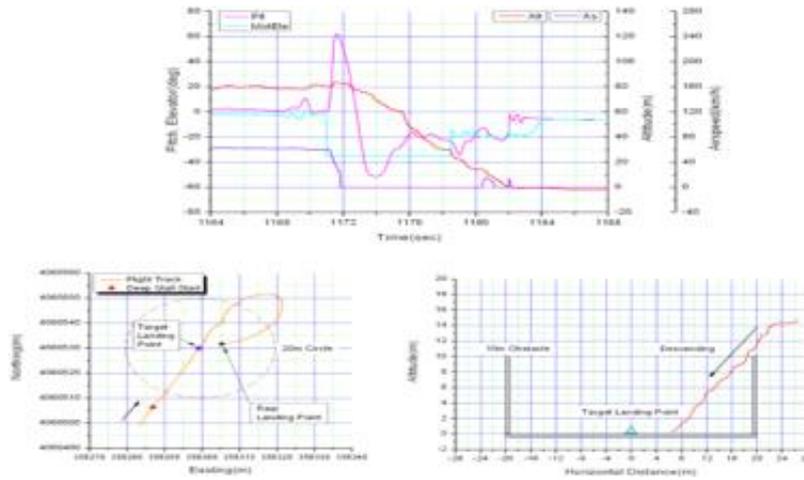
<전원상태 그래프>

- 10m 고도에서 1시간 이상 비행 성능시험
 - 총 63분 비행 고도 약 9.8~10.2m 사이 비행
 - X축 시간, Y축 고도
- 1차년 정략적 목표치인 40분 보다 20분 이상 오랜시간 체공 가능함을 확인



<고도 및 비행시간 성능시험 데이터 그래프>

- 자동착륙 위치 정확도 시험(CEP 1m)
 - 제자리 비행 자세유지 제어 로직과 제자리 위치 추종 모델링 성능해석을 수행하고, 비행시험을 통해 검증
 - 착륙 정확도 CEP 1m 기준을 만족하기 위한 비행시험을 통한 자동착륙 알고리즘 최적화 설계



<CEP 착륙정확도 시험결과 그래프>

○ 자동착륙 위치 정확도 시험 방법

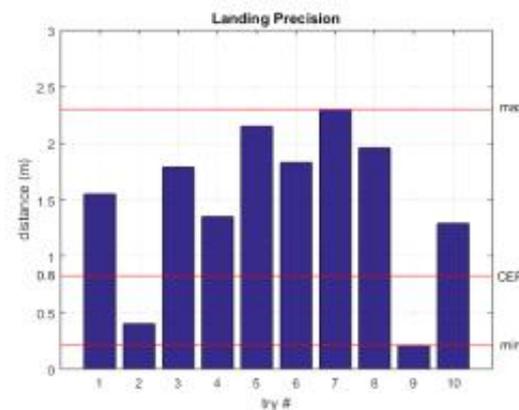
- 표준 임무장비를 장착하고 비행 실시 후 기록된 관련데이터를 이용하여 분석 수행
- 항상 동일한 이륙위치에 헬리패드 또는 적절한 표시를 한 후, 비행체를 자동이륙
- 비행체가 자동 착륙한 후 줄자를 이용하여 실 거리를 측정
- 자동이륙 고도 및 이격 거리를 다르게 하여 10회 이상 반복 수행
- CEP(Circular Error Probability)에 의하여 수직착륙 정확도를 평가

○ 자동착륙 위치 정확도 시험 결과

- 시험 장소 : 자체시험장, 풍속 5.5m/s max. ('17.11.15)
- 실측 데이터

<착륙정확도 실측 시험 데이터>

회수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
거리 (m)	1.550	0.400	1.790	1.350	2.150	1.830	2.300	1.960	0.210	1.290



<CEP 착륙 정확도 시험 그래프>

$$CEP = \begin{cases} \sigma_L (0.67 + 0.8w^2) & \text{if } 0 < w < 0.5 \\ 0.59\sigma_L (1 + w) & \text{if } 0.5 \leq w \leq 1 \end{cases}$$

$$\sigma_L = \text{Maximum}[\sigma_{dx}, \sigma_{dy}]$$

$$\sigma_S = \text{Minimum}[\sigma_{dx}, \sigma_{dy}]$$

$$w = \sigma_S / \sigma_L$$

$$\therefore CEP = 0.8258m$$

<CEP 착륙 정확도 계산식>

- 원치장비 정확도 시험은 원치장비가 정상적으로 테더케이블을 감김/풀림이 원활한지를 확인하는 시험으로 20회 반복시험을 통하여 풀림에서 2회 실패하여 총 90%의 정확도를 확인

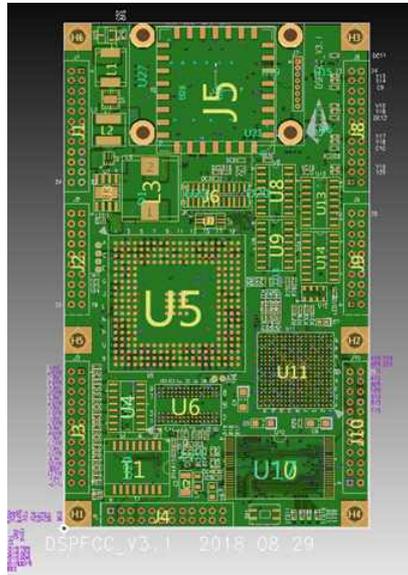
<시험결과>

세부시험내역	기준치	시험결과	비고
원치 감김	원치가 정지되지 않고 정상적으로 감김 확인(30회 반복) 정상 횟수 : 30 회 비정상 횟수 : 0 회	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
원치 풀림	원치가 정지되지 않고 정상적으로 풀림 경우(30회 반복) 정상 횟수 : 30 회 비정상 횟수 : 3 회	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
슬립링 상태	슬립링이 정상동작 여부 확인	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	

(2) 2차년도 연구내용 및 결과

가. 유선 비행 로봇 제어장치 개발

- 비행제어장치 하드웨어 구성
 - 유선 비행로봇 제어장치는 고성능 프로세서인 DSP6713과 FPGA를 동시 탑재함
 - FPGA는 센서와 데이터 저장, 메모리와 인터페이스하는 용도로 활용하였으며, DSP 프로세서는 FPGA에서 센싱한 데이터를 서로 상호 통신하여 유선비행로봇의 비행제어프로그램을 500Hz 연산하는 역할
 - 제어에 가장 큰 영향을 미치는 항법센서를 보드에 내장하여 하네스에서 발생할 수 있는 휴먼에러를 최소화하여 신뢰성을 향상시켰으며, 중량 및 크기를 최소화하였음
 - 추가적으로 발생 가능한 스페어 통신포트를 추가함

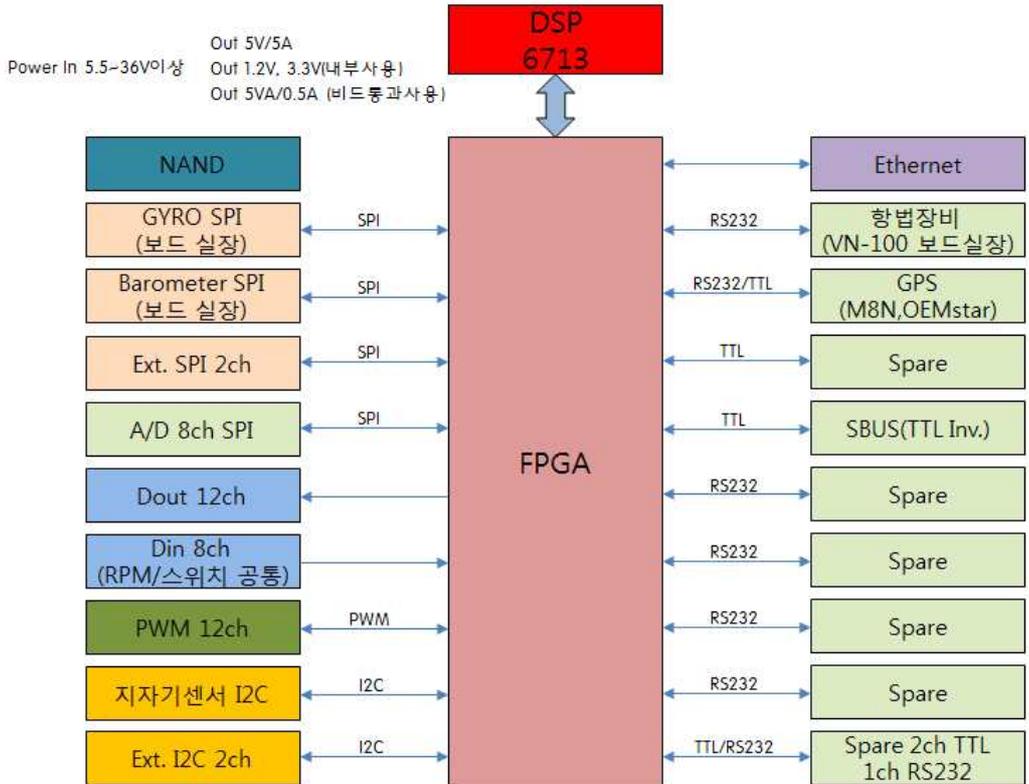


<PCB 설계 및 개발품>

<비행제어장치 하드웨어 사양>

Part	Item	Value	Unit	Remark
Processor & Memory	DSP 프로세서	TMS320C6713 - Highest-Performance Floating-Point Digital Signal Processor - CPU Clock 200MHz - 4K-Byte L1P Program Cache - 4K-Byte L1D Data Cache (2-Way) - 256K-Byte L2 Memory Total - 32-Bit EMIF - 16 Independent Channels (EDMA)		
	Data Memory	16	MB	
	Program Memory	4	MB	
	NAND Memory	512	KB	
A/D	Channel	8	Ch	
	Resolution	16	Bit	
	Input Range	0 ~ 5	Volt	
UART	Channel	10	Ch	
	Signal level	10	Ch	
	Baud Rate	250	kbps	Max
	Tx/Rx FIFO	64	Bytes	Max
Discrete IO	Channel	Input : 8 Output : 12	Ch	
	Level	TTL		
Sensor	Angular Rate	±2000	deg/sec	
	Accelerometer	±16	g	

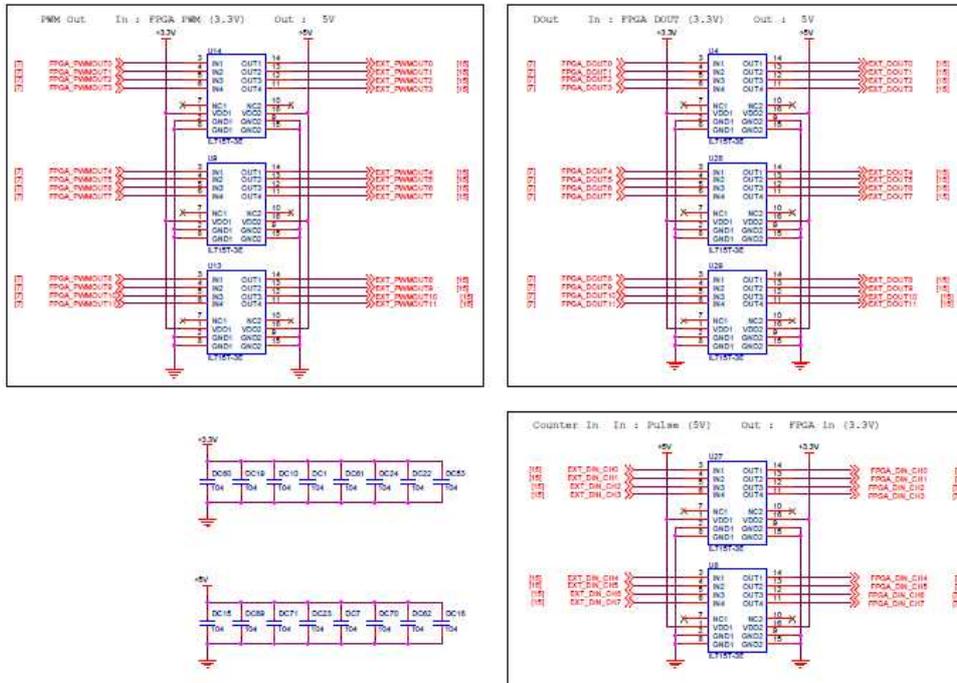
Range	Magnetometer	±2.5	gauss	
Mechanical Characteristics	Size	60(W)×100(L)×30(H)	mm	
	Weight	100	gram	
Electrical Characteristics	Input Voltage	DC +5.5 ~ +36	V	
	Consumption Power	< 5	W	Normal
Environmental Characteristics	Operating Temperature	-40 ~ +75	°C	



<비행제어장치 구성도>

○ 비행제어장치 전원부

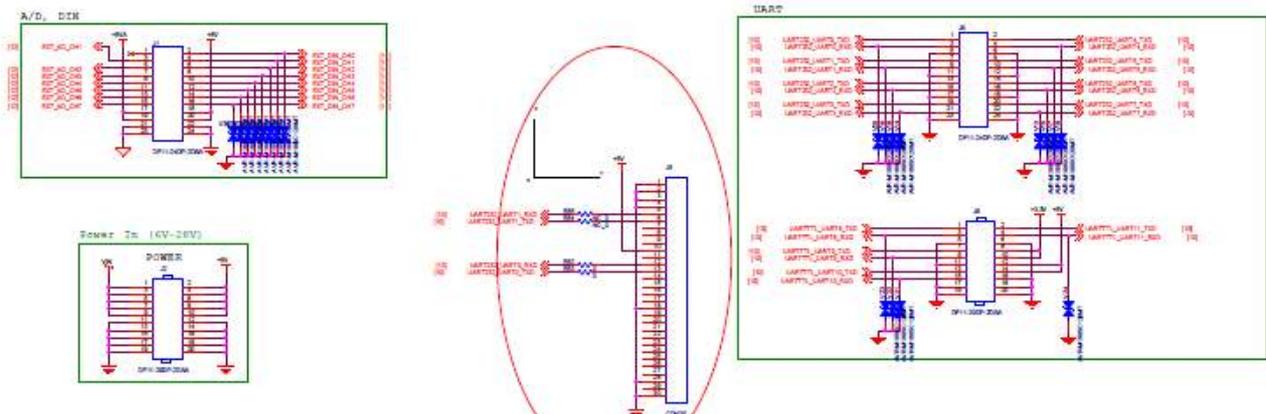
- Main Power는 최대 93%의 고효율 특성을 가진 TPS5450 스위칭 레귤레이터를 적용하여 전력소모를 개선하고 발열을 크게 줄였음
- 5.5 ~ 36 V의 넓은 입력 전원 범위로 리튬폴리머 배터리 기준 8Cell까지 직접 입력이 가능하게 설계 제작함
- 최대 5A의 출력으로 안정적 전력을 공급하여 전원부에 대한 신뢰성을 향상시킴
- 내부 전원은 5V -> 3.3V, 2.5V, 1.2V로 출력
- 1.2V와 1.2A는 DSP와 FPGA Core의 전원을 입력하도록 설계



<DIO 및 PWM 설계도>

○ ADC 및 통신포트 설계

- AD채널은 8개로 구성되어 있으며, 16 bits의 해상도 성능을 가지고 있어 저전압 출력전압을 가진 센서라 할지라도 신뢰성 있는 데이터 획득이 가능하며, 총 10채널의 시리얼 RS232 및 TTL 레벨의 통신포트를 내장하고 있어 센서 및 인터페이스 확장이 용이함



<ADC 및 통신포트 설계도>

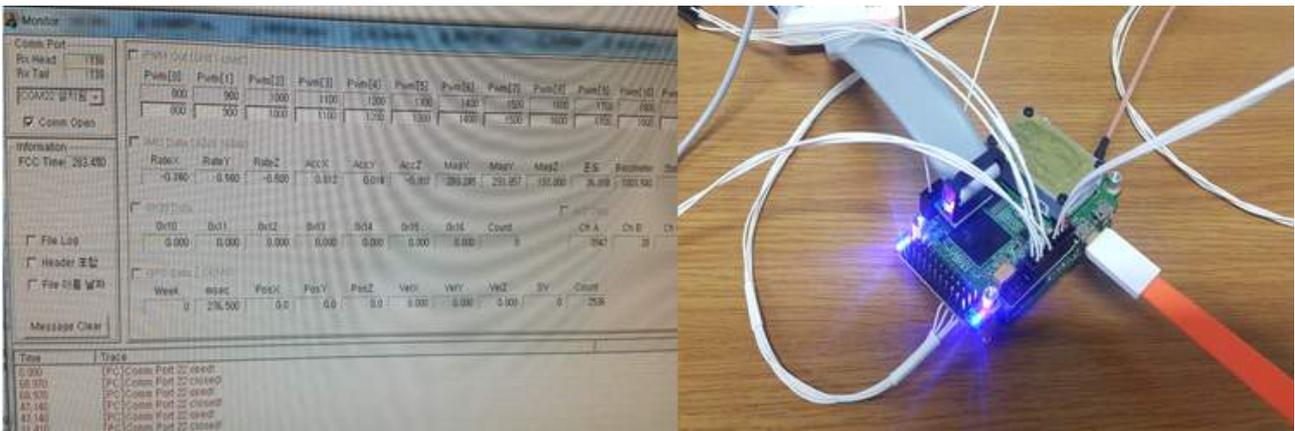
○ 비행제어장치 소프트웨어 개발환경

- 비행제어장치의 소프트웨어는 CCS(Code Composer Studio) 3.3 및 XDS510 USB 디버깅 툴 개발환경에서 개발됨

○ 비행제어장치 검증 및 디버깅 프로그램 개발

- 제작된 보드는 각각의 채널에 대한 입출력을 각각 툴을 활용하여 점검하였으며, 모니터

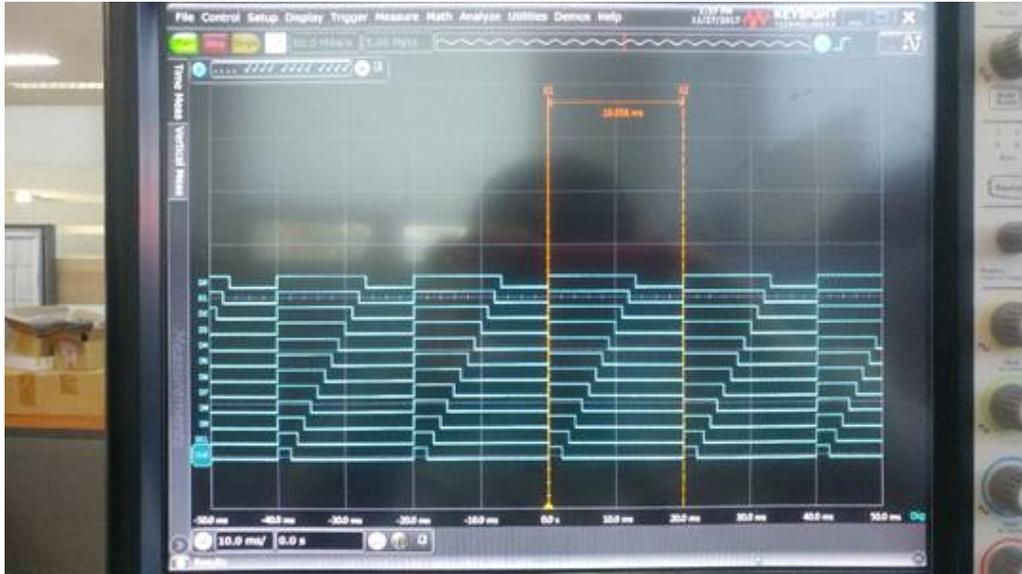
로 확인 가능하도록 디버깅 프로그램 또한 개발함



<비행제어장치 디버깅 시험>

Expression	Type	Value	Expression	Type	Value
wait_cnt	unsigned int	3671	wait_cnt	unsigned int	7978
main_loop_cnt	unsigned int	28818	main_loop_cnt	unsigned int	5634
I2C_Data	float[7]	{2.05999994, 2.11999989, 2.16999984, ...}	I2C_Data	float[7]	{2.05999994, 2.1099999, 2.16999984, ...}
Gyroin	struct	{Diag_state=128, Gyro_X=-0.19999998, ...}	Gyroin	struct	{Diag_state=128, Gyro_X=0.0, Gyro_Y=0.0, ...}
Diag_state	unsigned int	128	Diag_state	unsigned int	128
Gyro_X	float	0.0	Gyro_X	float	-0.359999985
Gyro_Y	float	0.239999995	Gyro_Y	float	0.879999995
Gyro_Z	float	-0.119999997	Gyro_Z	float	-0.319999993
Acc_X	float	0.032499988	Acc_X	float	0.033333313
Acc_Y	float	-0.076666681	Acc_Y	float	-0.082499958
Acc_Z	float	-1.0041666	Acc_Z	float	-1.00333333
Mag_X	float	-463.285706	Mag_X	float	-465.0
Mag_Y	float	22.7142849	Mag_Y	float	25.1428566
Mag_Z	float	518.571411	Mag_Z	float	527.857117
Temperature	float	93.0	Temperature	float	87.0
Barometer	float	-288.600006	Barometer	float	-288.5
CRC_16	unsigned int	255	CRC_16	unsigned int	255
ADC_In	struct	{resulta=221, resultb=220, resultc=228}	ADC_In	struct	{resulta=4095, resultb=4095, resultc=4095}
resulta	int	222	resulta	int	4095
resultb	int	220	resultb	int	4095
resultc	int	237	resultc	int	4095

<AD 채널 테스트 결과>



<PWM 출력 오실로스코프 시험 결과>

○ 비행운용 프로그램(OFP) 개발

- 유선비행로봇 비행제어 소프트웨어는 크게 시스템 관리, 비행관리, 입출력 관리로 구성됨

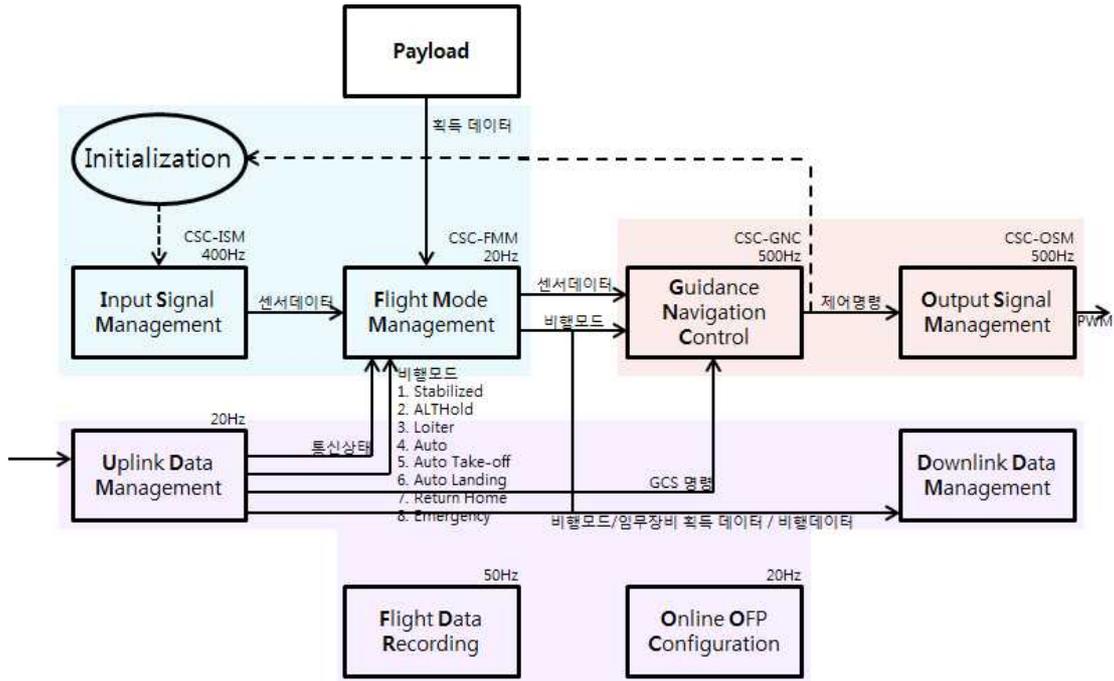


OFP : Operational Flight Program
 CSCI : Computer Software Configuration Item
 CSC : Computer Software Component
 CSU : Computer Software Unit
 BIT : Built-In Test

<OFP 소프트웨어 구성도>

○ CSC(Computer Software Component) 개발

- CSC를 설계하여 각 CSU(Computer Software Unit)별 규격화 및 OFP 설계를 진행함
- CSC는 ISM, FMM, GNC, OSM, UDM, DDM, PC, ES, FDR, OOC의 CSU로 구성됨



<CSU(Computer Software Unit) 구성도>

<CSU(Computer Software Unit) 구성표>

CSU	내용	비고
ISM(Input Signal Management)	IMU, GPS 등의 센서 신호 처리	
FMM (Flight Mode Management)	드론의 비행 모드 관리	
GNC (Guidance Navigation Control)	유도항법제어로 실제 드론의 움직임을 제어	
OSM (Output Signal Management)	GNC에서 나온 제어 값을 각 추력장치에 PWM값으로 변환하여 전송	
UDM (Uplink Data Management)	지상통제장비와 통신하여 드론 및 임무장비의 제어정보 생성	
DDM (Downlink Data Management)	드론 및 임무장비의 제어정보를 GCS와 통신	
PC (Payload Control)	임무장비 제어 및 상태 데이터 획득	
FDR (Flight Data Recording)	비행데이터를 실시간 획득 및 저장	

OOC (Online OFP Configuration)	드론시스템 개발시 진행된 부분으로 OFP의 실시간 비행제어변수를 관리	
-----------------------------------	--	--

나. 유선 비행 지상 통제장비 개발

○ 지상통제장비의 구성

- 유선 비행 지상통제장비는 유선비행로봇과 원치장비를 제어하고 비행체의 비행상태를 실시간 모니터링 가능한 장비임
- 하드웨어 구성은 지상통제컴퓨터, 외부조종기(PBX), GNSS모듈로 구성됨



<지상통제장비의 구성>

<지상통제장비 구성 및 기능>

항목	내용	비고
지상통제컴퓨터	<ul style="list-style-type: none"> - 실시간 비행체 상태도시 및 비행제어 - 원치장비 제어 및 상태 도시 - 임무장비 영상 도시 - 실시간 데이터 저장 기능 - 임무계획 기능 - 비행모드(Stabilized, AltHold, Loiter, 경로항법, 점항법, 자동착륙, 자동비행, Follow me 등) 	
외부조종기	<ul style="list-style-type: none"> - 비행제어용 조종기 - 4채널의 조종면 김발스틱과 1채널의 비행모드 스위치로 구성 - 비행조종 및 비행모드 제어 용도 - 통신 : 19200bps, 20바이트, 20Hz 	
GNSS모듈	<ul style="list-style-type: none"> - 지상이동체의 위치 실시간 수신 - Follow me 모드 사용 용도 	

- 지상통제컴퓨터는 외부환경에서 안정적으로 구동 가능한 Rugged 컴퓨터 형상으로 충격과 진동에 강하며, 방우방진 기능을 가지고 있으며, 고휘도 디스플레이로 밝은 외부

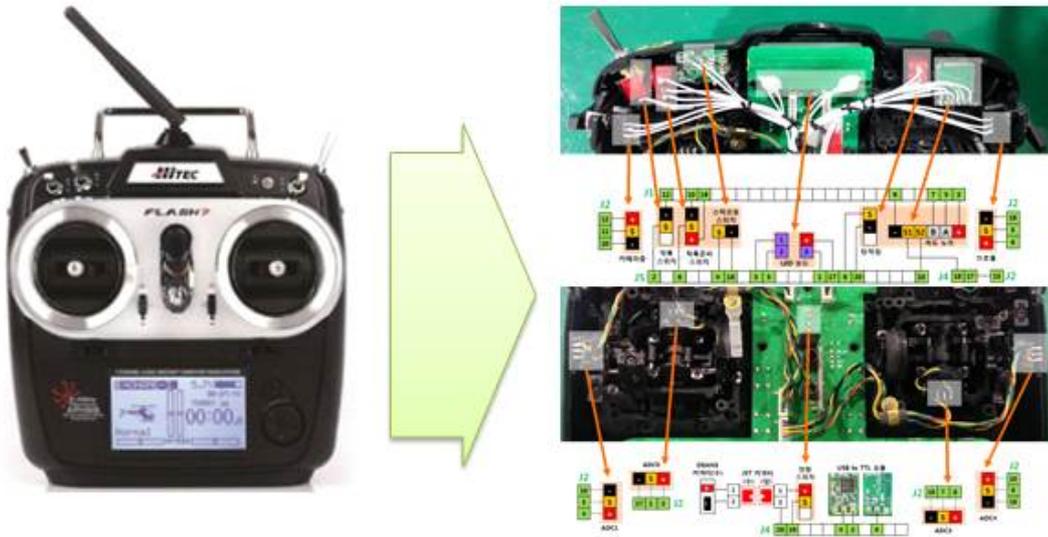
환경에서도 선명하게 볼 수 있음



LCD	14" TFT LCD Full HD (1920 x 1080) 800nits display with sunlight readable multi-touch screen
외관 사양 및 견고성	마그네슘 합금 케이스 사용, Handle MIL-STD810G, IP52 착탈식 HDD & Battery
운영체제	Windows 10 Professional 64bit
CPU	Intel® Core™ i3-6100U Processor 2.3GHz 3MB Intel Smart Cache
RAM	4GB DDR3
그래픽 컨트롤러	Intel® HD Graphics 520
하드 디스크	SATA HDD 500GB
입력 장치	Membrane Keyboard Glide touchpad with scroll bar
확장 슬롯	SD Card Reader x 1
통신 인터페이스	10/100/1000 base-T Ethernet Intel® Dual Band Wireless-AC 8260, 802.11ac Bluetooth (v4.2)
보안기능	USB 3.0 x 3, USB 2.0 x 1, HDMI TPM (Trusted Platform Module, TCG V.2.0) Kensington lock
관련	AC adapter (65W, 100-240V) Li-Ion smart battery (4200mAh)
규격	350 x 293 x 34.9 mm, 2.2kg
Warranty	3 Years

<지상통제컴퓨터 사양>

- 비행조종컴퓨터는 상용 RC조종기를 지상통제컴퓨터와 연동 가능하도록 하드웨어 및 소프트웨어를 개조



<외부조종기 설계 형상>

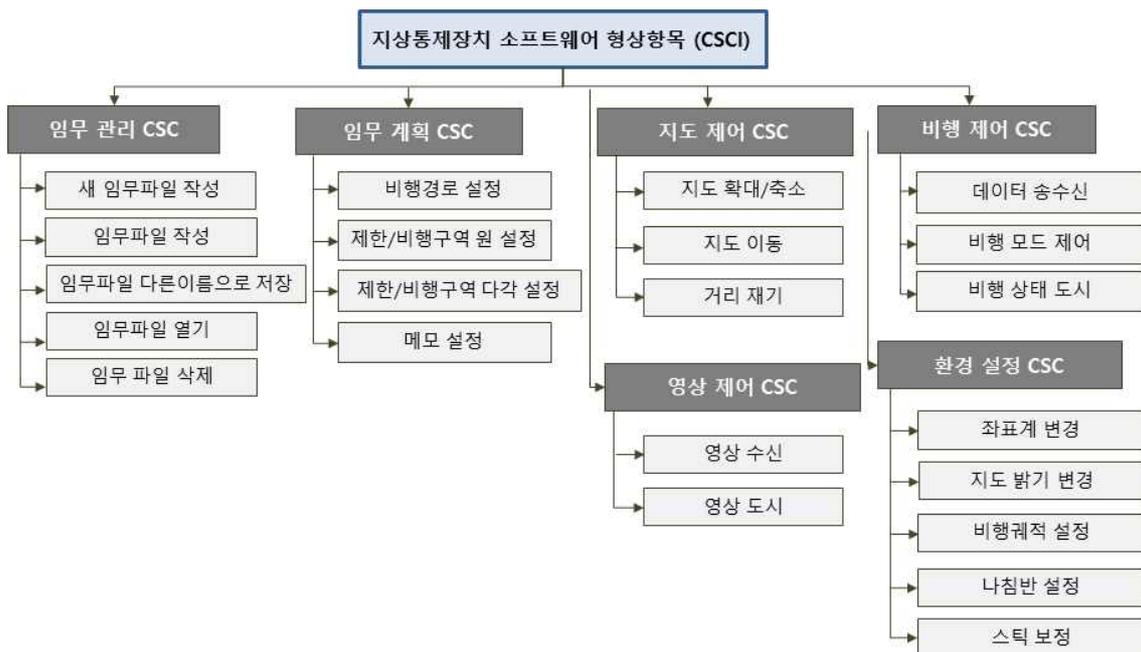
○ 지상통제장비 IU 설계

- 소프트웨어는 통합관제 형상으로 임무계획, 비행상태도시, 비행제어, 비행모드 전환, 경고알림, 지도제어를 한 화면에서 운용할 수 있도록 함



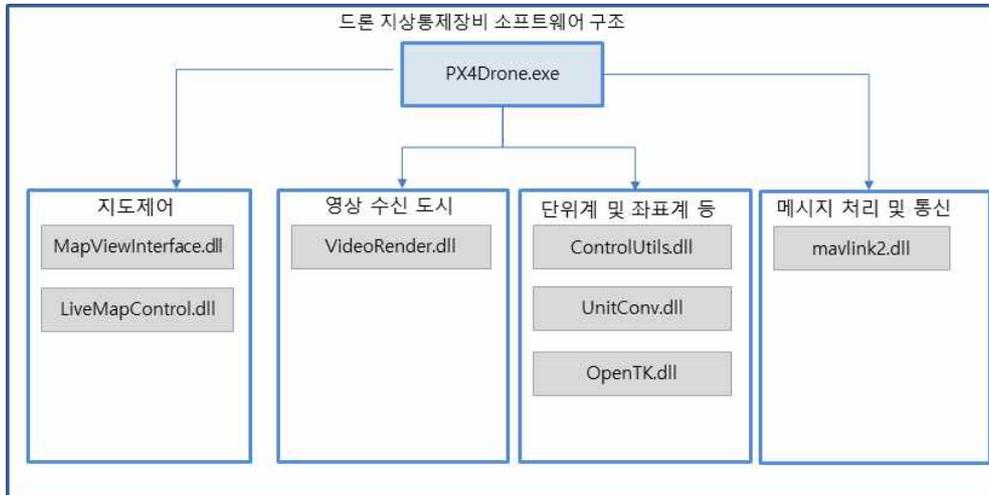
<지상통제장비 UI 형상>

- 소프트웨어 형상항목 구조설계
 - 소프트웨어 형상 구조는 CSCI와 같이 구성되어 있음



<지상통제장치 소프트웨어 형상항목(CSCI)>

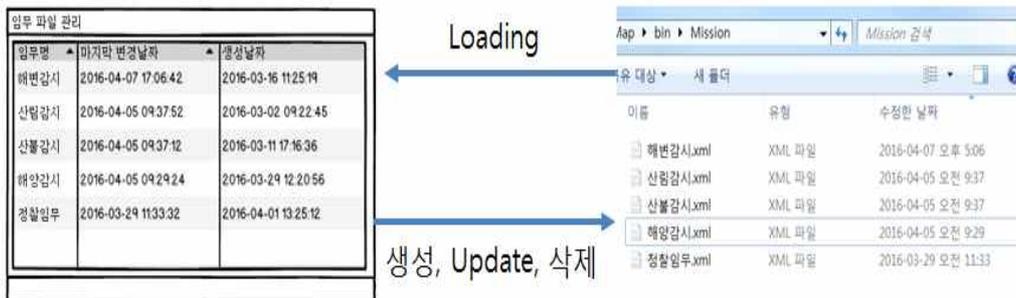
- 소프트웨어 구조는 지도제어, 영상수신 도시, 단위계 및 좌표계, 메시지 처리 및 통신으로 구분함



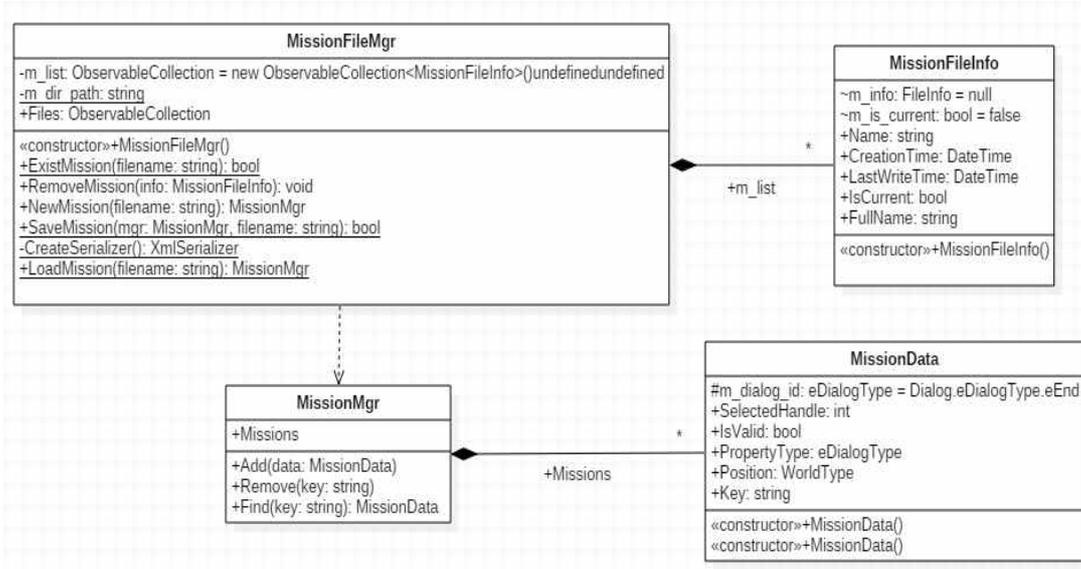
<소프트웨어 구조>

○ 소프트웨어 형상항목 상세설계-임무관리 CSC

- 임무계획 파일은 실행파일 위치의 Mission폴더에 임무명.xml 이름으로 저장됨
- 임무계획 파일 저장 폴더 경로는 환경설정파일에 저장됨



<임무파일 관리 개념>



<임무 관리 Class Diagram>

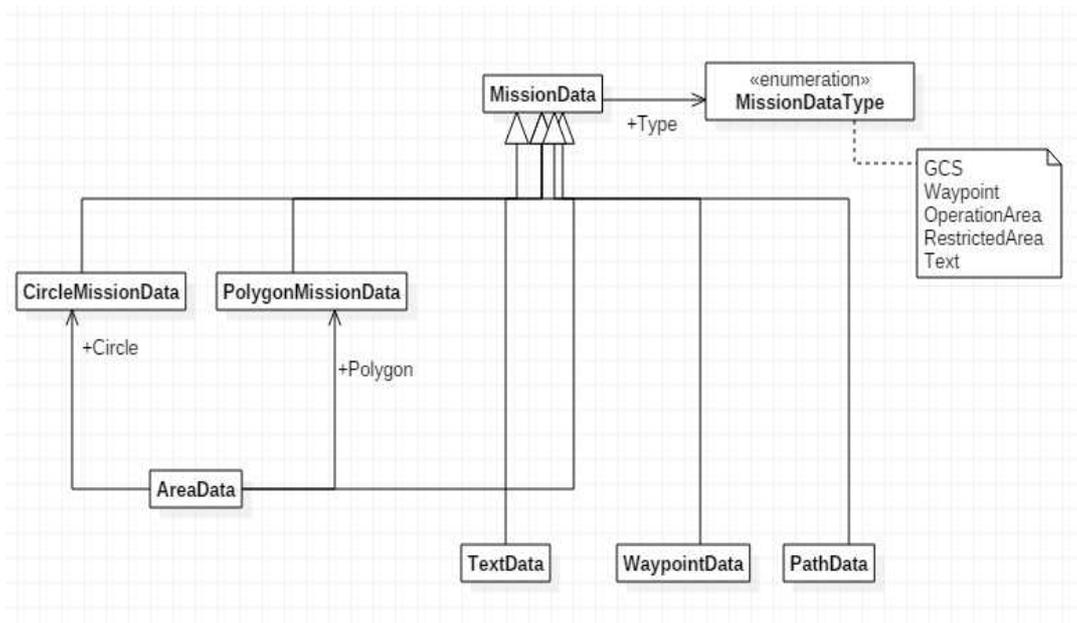
○ 소프트웨어 형상항목 상세설계-임무계획 CSC

- 임무에 필요한 객체를 임무 객체로 정의하고 드론을 통제하기 위한 임무객체를 지상장비, 비행경로, 제한구역, 비행구역, 메모로 식별하여 정의함

<임무객체 필요 데이터 식별>

임무객체	설명	필요 데이터	
지상장비	지상장비의 위치	좌표	
비행경로	임무를 수행할 경로점들	다수의 좌표 각 좌표에서의 고도, 속도	
제한구역	비행 제한구역	원	중심점 반지름 최고/최고 비행제한고도
		다각	다각점의 좌표들 최고/최고 비행제한고도
비행구역	비행 허가 구역	원	중심점 반지름 최고/최고 비행제한고도
		다각	다각점의 좌표들 최고/최고 비행제한고도
메모	운용자 메모	좌표 텍스트	

- 임무 객체를 표현하기 위한 기본 클래스 MissionData를 정의하고, MissionData에서 상속받은 TextData, PathData, AreaData를 설계함



<임무객체 클래스 정의>

○ 소프트웨어 형상항목 상세설계-지도제어 CSC

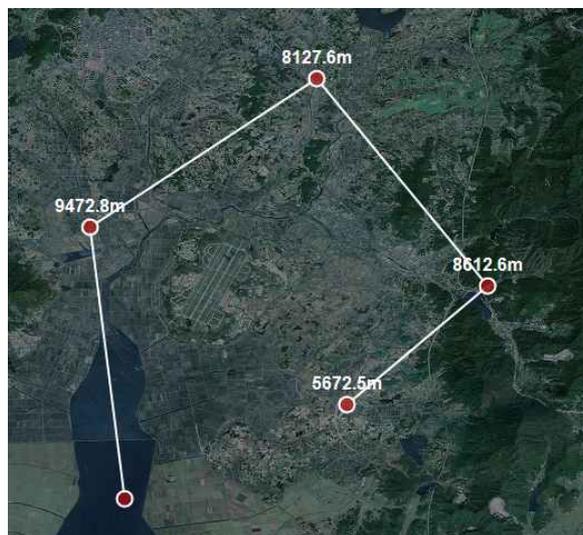
- 지도 제어는 확대/축소, 지도의 이동, 거리재기로 나뉘어 설계 및 제작함
- 지도는 위성지도로 인터넷 연결 시 자동 다운되도록 설계됨



지상체 위치로 이동

드론 위치로 이동 및 추적

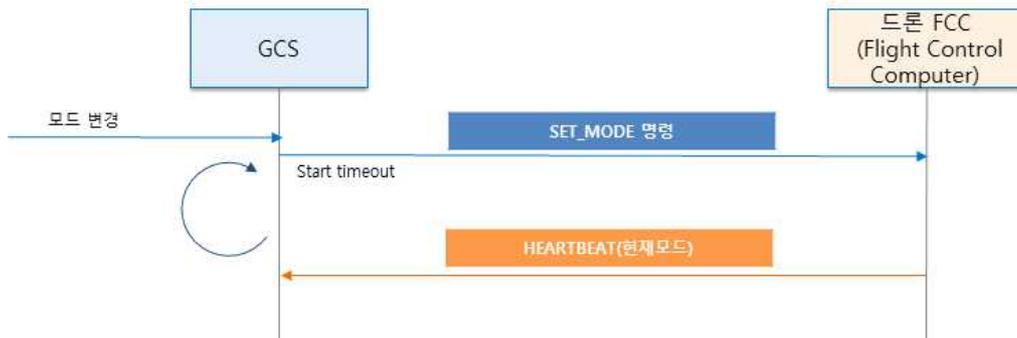
<지상체 및 드론 위치로 이동>



<거리 재기 예시>

○ 소프트웨어 형상항목 상세설계-비행제어 CSC

- 유선비행로봇의 데이터는 통신장비를 통해 데이터를 자체 ICD를 통하여 송수신하며, 통신방식은 Handshaking 방식으로 GCS의 명령이 있어야 비행체에서 상태데이터를 내려 보내줌



<비행모드 제어 절차>



<비행상태도시>

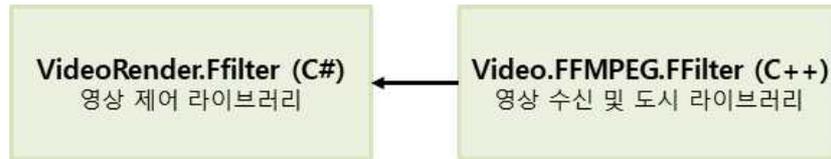
- 비행모드는 Auto, RTL, Stabilize, Land, AltHold, Loiter, Guided로 정의함

<비행모드 정의>

비행모드	정의된 값	설명
Auto	3	자동 모드(경로 비행 모드)
RTL	6	Return to Launch
Stabilize	0	피치, 롤, 요, 스로틀 모두 사용자가 수동조작
Land	9	기체가 천천히 하강하여 자동으로 착륙함
AltHold	2	기압계를 이용하여 스스로 고도를 유지함
Loiter	5	위치고도를 유지
Guided	4	특정위치로 이동

○ 소프트웨어 형상항목 상세설계-영상제어 CSC

- 영상수신은 Video.FFMPEG.FFiterdll의 영상 라이브러리를 이용해 영상을 도시



<영상 수신 라이브러리 구조>

○ 소프트웨어 형상항목 상세설계-환경설정 CSC

- 프로그램에서 사용하는 경고설정, 비행체 제어, 환경 설정, 지도 설정, 비행 궤적 삭제, 나침반 설정 등을 관리하는 파트임

GP 좌표계 도시 예	125°44'08.75"E 36°51'37.91"N (DTED 0m)
UTM 좌표계 도시 예	51S 4081517N 743490 (DTED 0m)
MGRS 좌표계 도시 예	51SYA 81371N 43699 (DTED 0m)

<좌표계 도시 예>



<지도 밝기 변경>



<비행 궤적 설정>

다. 유선 비행 로봇 비행체 개조 개발

○ 비행체 프레임 구조 개선

- 기 제작된 시험기를 비탕으로 기체 구조를 개선함
- 메인 프레임과 추력암, 카울로 구분되어 있던 기존 형상을 일체형으로 변경
- 메인 프레임과 추력암, 카울을 일체형으로 변경함으로써 기체의 형상의 고급화하였고 조립용 지그를 제작하여 제작 완성도를 높임



1차년도 형상



2차년도 형상



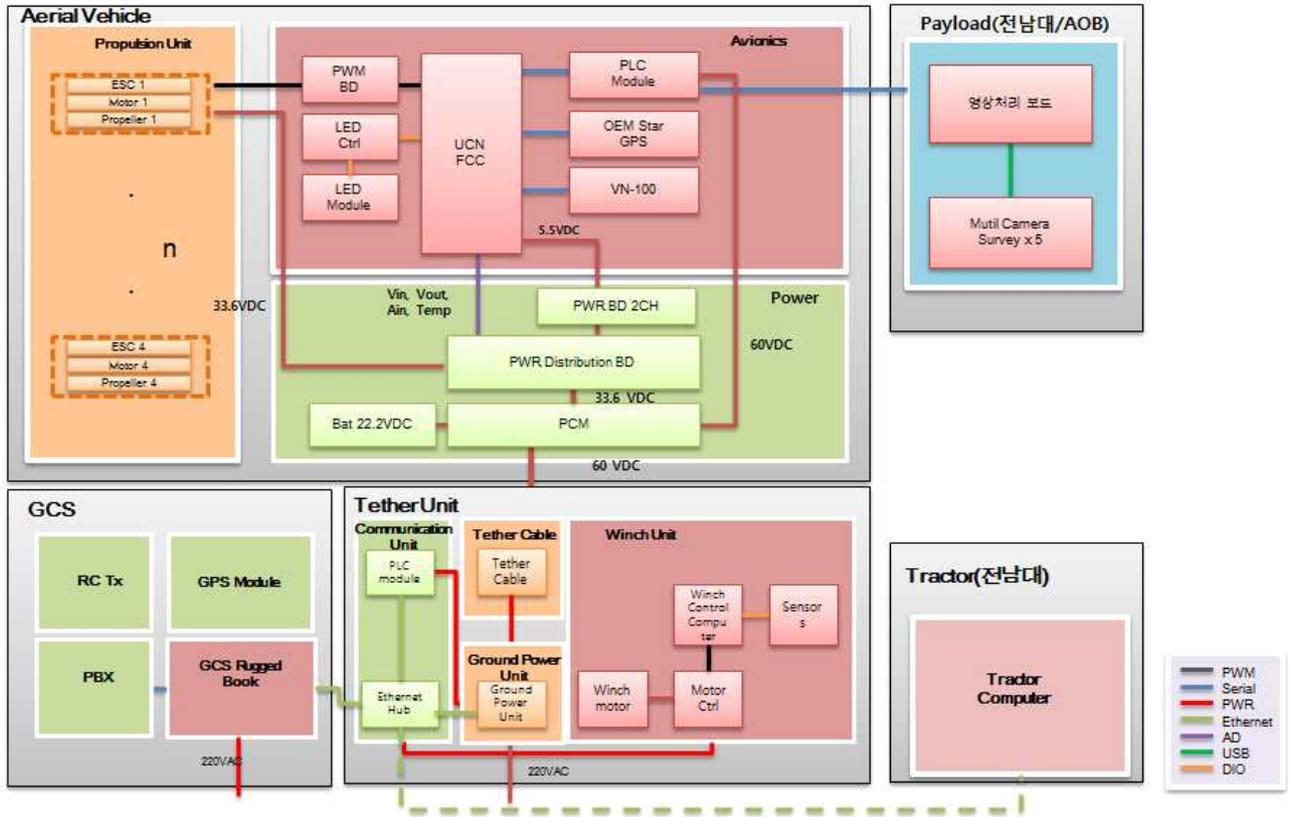
<1차년도와 2차년도의 기체 형상 비교>

<비행체 사양>

항목	내용	비고
형상	Quad Rotor	
크기(W x L x H)	605 x 605 x 460 mm	
이륙중량	5kg 이상	임무장비 제외
소모전력	800 W	
운용고도	10 m	
운용시간	120분 이상	
임무중량	1kg	

○ 시스템 구성

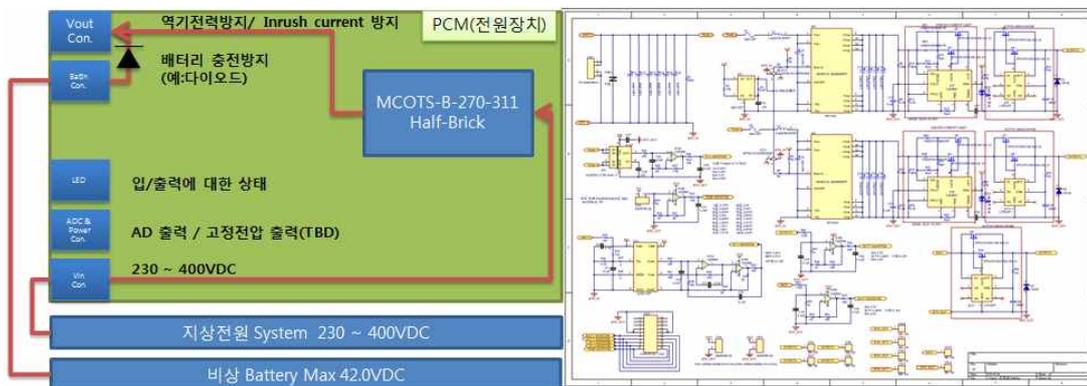
- 유선비행로봇은 비행체와 지상통제장비, 원치장비로 구성되어 있음



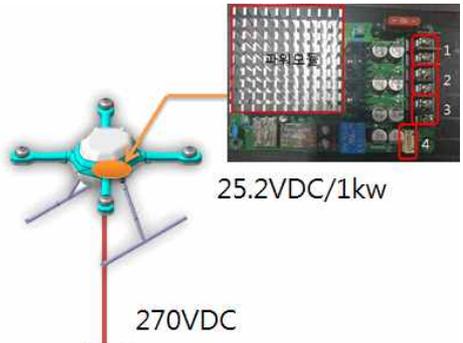
<유선비행로봇 하드웨어 구성도>

○ 고전압 변환 전원공급장치 설계

- 전원장치는 테더케이블 길이에 따른 전력손실을 최소화하기 위해 지상전원공급장치에서 270VDC 출력된 전압을 테더케이블을 통해 비행체에 전원을 공급함
- 비행체 전원장치인 탑재전원공급장치에서 비행체 구동전압인 25.2VDC로 스위칭변압하는 방식을 선택하여 95% 이상의 높은 효율을 가짐
- 입력전압, 입력전류, 출력전압, 온도, 비상배터리 전압을 실시간 모니터링 가능하도록 5V의 AD 신호를 출력하도록 설계하였고, 전원이 끊길 경우 비상배터리를 통해 자동 전환되어 비행체를 안전하게 회수 가능하도록 설계함



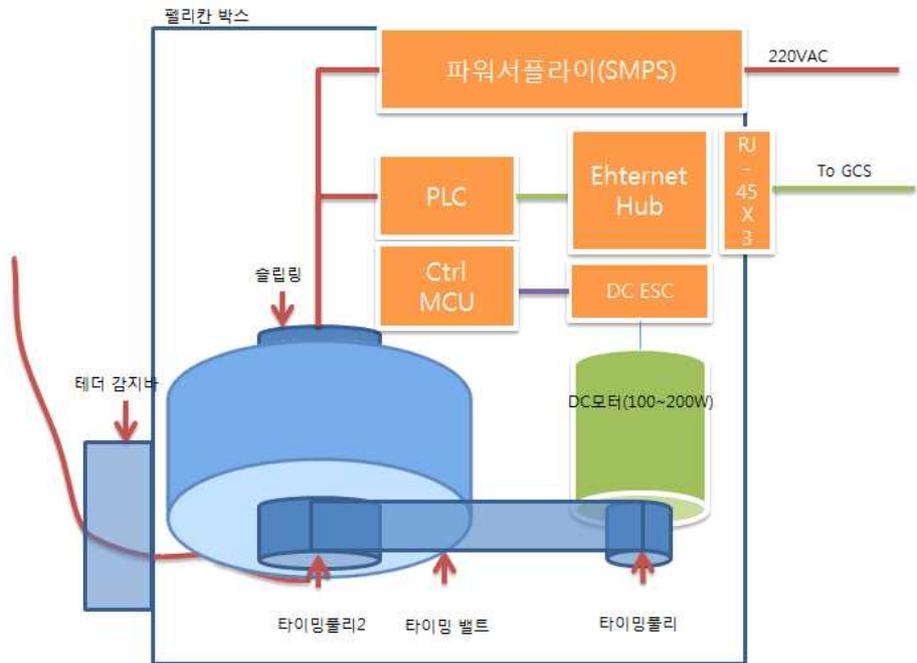
<전원공급장치의 설계도>



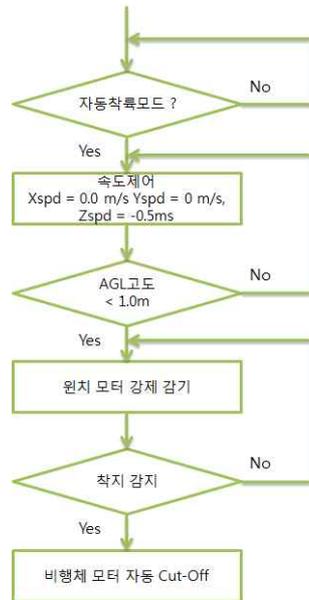
<전원공급장치 형상>

○ 원치장비 개선

- 유선비행로봇의 착륙정확도를 높이기 위해 원치장비를 개선함
- 테더케이블의 장력을 인식하여 비행체의 고도에 따라 실시간 자동 감김 풀림 기능이 동작하게 하였으며, GCS와 연동하여 비행체 상태값을 실시간 모니터링하여 자동착륙모드에 돌입할 경우, 일정 고도(0.5 m)에서 감제 감기를 통하여 착륙의 정확도를 높임



<원치장비 설계 형상>

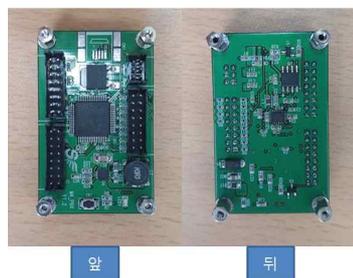


<자동 착륙 로직 diagram>



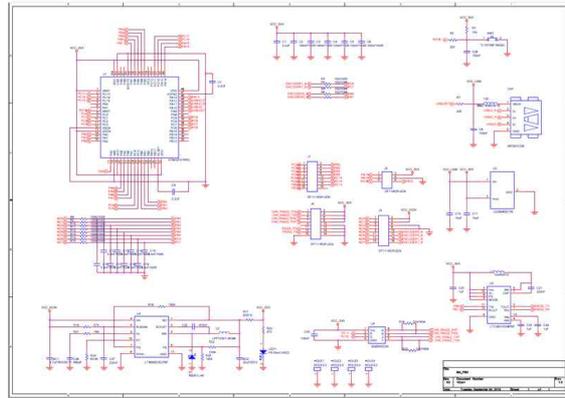
<원치동작시험>

- 원치 신호제어보드를 설계/제작하여 테더케이블 자동 감김/풀림 기능뿐만 아니라 GCS와 연동 가능하도록 제작하였으며, 시험모니터링 가능하도록 테스트프로그램을 제작함

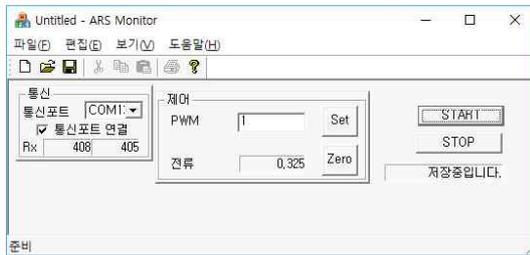


DIS 스펙
 CPU : STM32F415RGT6
 외부 IO :
 - RS-232 1CH
 - PWM 1CH
 - 입력전압 : 5~36V

<원치 신호제어보드 형상>



<원치 신호제어보드 설계도>



- START 버튼을 눌러 저장 시작
- "저장중입니다." 표시
- STOP 버튼을 눌러 저장 종료
- 실행파일 폴더내에 파일 생성

time	Current	PWM
0.047	0.00	1.00
0.141	0.03	1.00
0.235	0.00	1.00
0.344	0.03	1.00
0.438	0.03	1.00
0.547	0.03	1.00
0.625	0.00	1.00
0.750	0.00	1.00
0.844	0.05	1.00
0.938	0.03	1.00
1.047	0.00	1.00
1.156	-0.03	1.00
1.235	0.03	1.00
1.344	0.00	1.00
1.438	0.00	1.00
1.547	0.03	1.00
1.641	0.03	1.00
1.735	-0.03	1.00
1.828	0.00	1.00
1.953	-0.03	1.00
2.047	0.00	1.00
2.141	0.00	1.00
2.235	0.00	1.00
2.344	0.00	1.00
2.438	0.05	1.00
2.547	-0.03	1.00
2.625	0.00	1.00
2.735	0.00	1.00
2.844	0.03	1.00
2.938	0.00	1.50
3.047	0.00	1.50

저장 파일

<원치장비 신호제어보드 모니터링 프로그램>

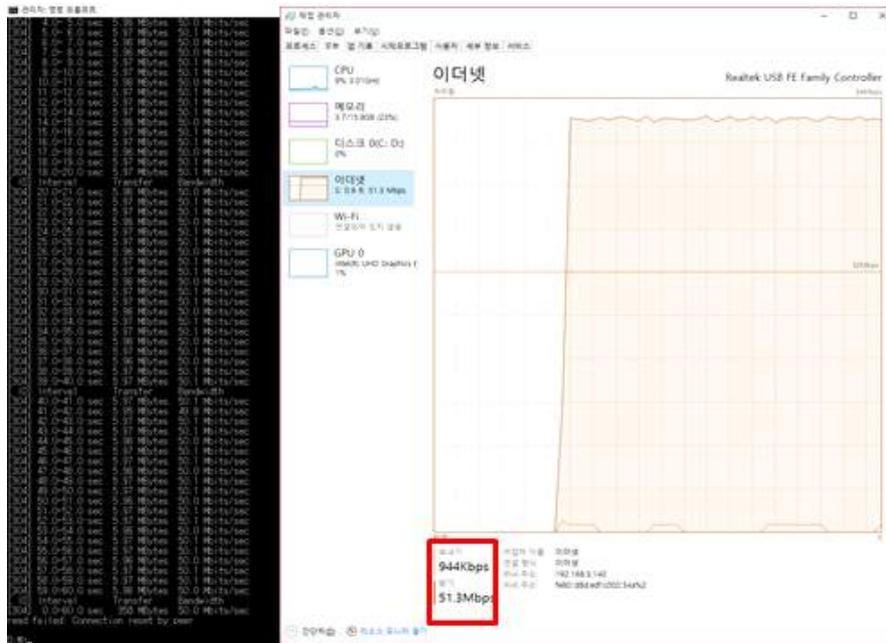
라. 유선 비행 로봇 검증시험

○ 데이터 대역폭시험(50Mbps)

- 전력선통신장치는 전원라인의 길이에 따라 최대 100Mbps이며, 거리가 70m 일 경우, 약 33Mbps의 전송속도를 가지며, 이에 따른 15m일 때의 전력선통신장치의 평균속도를 확인하였으며, 그 결과 송수신 대역폭이 약 51.3Mbps 이상임을 확인함
- 정량적 목표 : 50Mbps 이상
- 시험툴 : iperf3
- 시험시간 : 60초
- 케이블간 거리 : 15m



<Bandwidth 시험 사진>



<Bandwidth 시험>

- 자동 착륙 위치 정확도 CEP 0.326m 확인
 - 표준 임무장비를 장착하고 비행 실시 후 기록된 관련데이터를 이용하여 분석 수행
 - 항상 동일한 이륙위치에 헬리패드 또는 적절한 표시를 한 후, 비행체를 자동이륙
 - 비행체가 자동 착륙한 후 자를 이용하여 실 거리를 측정
 - 자동이륙 고도 및 이격 거리를 다르게 하여 10회 이상 반복 수행
 - CEP(Circular Error Probability)에 의하여 수직착륙 정확도를 평가



회수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
거리 (m)	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.4	0.2	0.75	0.3	0.25

<착륙 정확도 실 실측 시험 데이터>

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$\exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) = 0.5$$

$$-\left(\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) = \ln(0.5)$$

$$R^2 = 0.69315(2\sigma^2)$$

$$R = 1.1774\sigma$$

$$CEP = 1.1774\sigma$$

$$CEP = 1.1774 \times 0.7765 = 0.326(m)$$

○ 원치 감김풀림 93%(30회 반복)

- 본 시험은 원치장비가 정상적으로 테더케이블을 감김/풀림이 원활한지를 확인하는 시험으로 30회 반복시험을 통해 풀림과 감김에서 각 1회 실패하여 93%정확도를 확인함

<원치 감김/풀림 시험 결과>

세부시험내역	기준치	시험결과	비고
원치 감김	원치가 정지되지 않고 정상적으로 감김 확인(30회 반복) 정상 횟수 : 30 회 비정상 횟수 : 1 회	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	

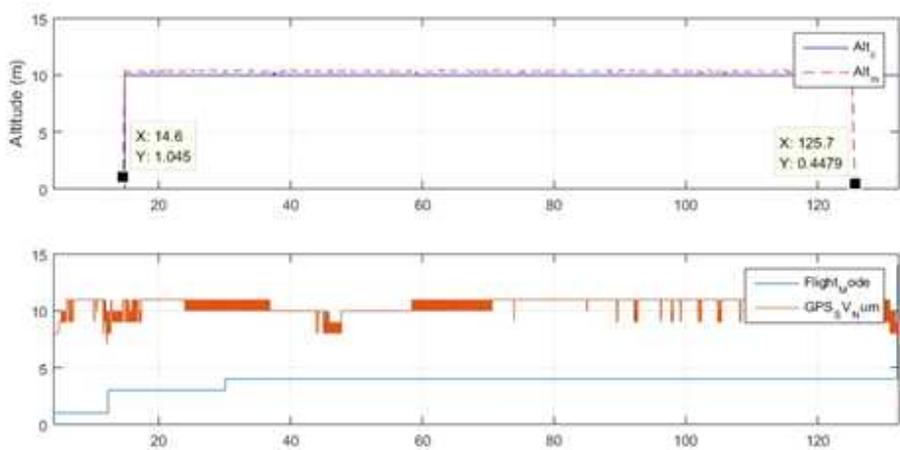
원치 폴림	원치가 정지되지 않고 정상적으로 폴림 경우(30회 반복) 정상 횟수 : 30 회 비정상 횟수 : 1 회	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	
슬립링 상태	슬립링이 정상동작 여부 확인	Pass <input checked="" type="checkbox"/> Fail <input type="checkbox"/>	

○ 최대비행시간 검증시험

- 정량적 목표 최대비행시간 : 100분
- 실비행시간 : 111분(at AGL 10m)



<최대비행시간 검증시험 사진>



<최대비행시간 비행데이터 분석 그래프>

(3) 3차년도 연구내용 및 결과

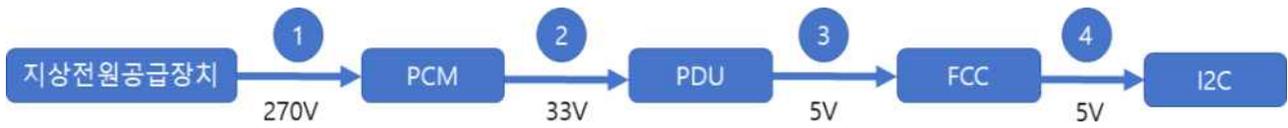
가. 유선 비행 로봇 성능 개선

○ PCM 전원 노이즈 감소

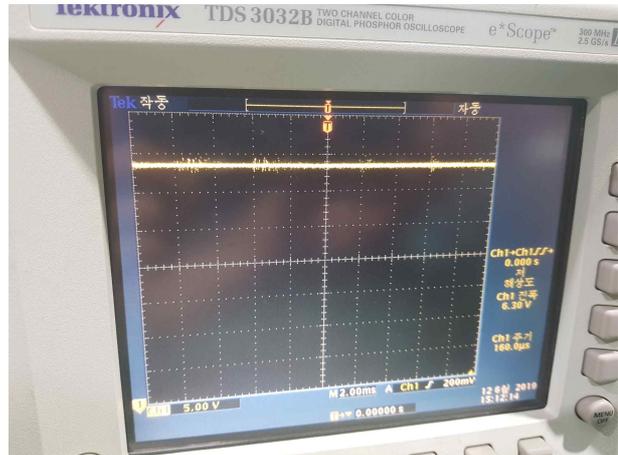
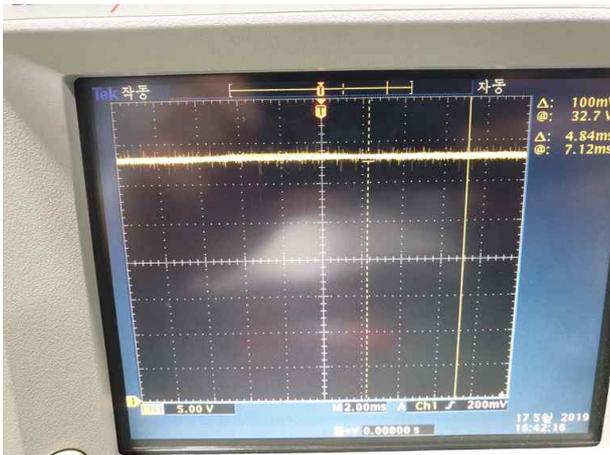
- DC전원 270VDC -> 33VDC Convert 시 전원 노이즈 발생으로 간헐적 Lidar 센서 오류

발생

- PCM 회로 수정/보완 - 노이즈 필터 추가
- 수정된 PCM 회로에 노이즈 필터 장착 후 노이즈 감소 후 Lidar 센서 정상 작동 확인



<시험 구성도>



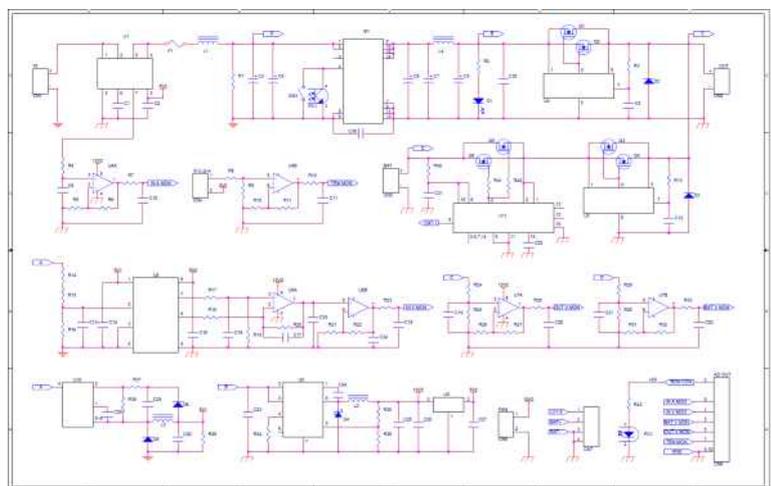
<전원 노이즈 오실로스코프 시험(왼쪽 : 필터 장착 전, 오른쪽 : 필터 장착 후)>

○ PCM 성능 향상

- 유선 비행 로봇 비행에 필요한 일반적인 전력은 800W
- 급격한 기동 시, 1kW를 넘는 경우가 발생
- 1kW -> 3kW로 PCM 용량 향상
- 용량 향상 후 안정적으로 비행 가능



<수정된 PCM 형상>



<수정된 PCM 회로도 >

- 안전을 위해 추가된 원치 작동 로직
 - 비행 중 강제감기가 불가능하도록 하기 위한 로직
 - 기체가 착륙하였으면 테더선 감기가 멈추게 하기 위한 로직
 - 추가된 안전로직 적용으로 원치 작동 및 신뢰성 향상

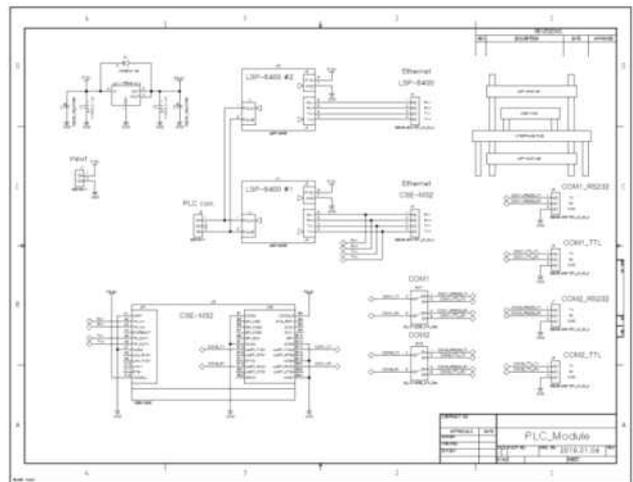
No	내용
1	원치 자동감기는 원치스틱이 최고점을 한번 찍어야 작동 시작
2	강제 감기는 기체와 통신이 연결되지 않고 원치 재부팅해야 작동
3	기체가 일정 고도 이하이면 자동감기 기능 작동중지(RangeFinder : 0.6m)

나. 체계 시험 및 성능 확인

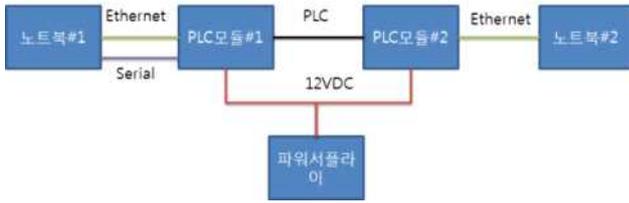
- 유선통신 대역폭 시험
 - 유선통신 대역폭의 정량적 목표는 80Mbps이며, 시험결과 83.8Mbps(3회 평균)임으로 만족
 - PLC모듈 네트워크 동작 및 iperf를 이용한 대역폭 시험
 - PLC모듈 이더넷 to 시리얼 동작시험
 - PLC모듈의 네트워크 대역폭이 80Mbps 이상(3회 평균 83.8Mbps)임을 확인



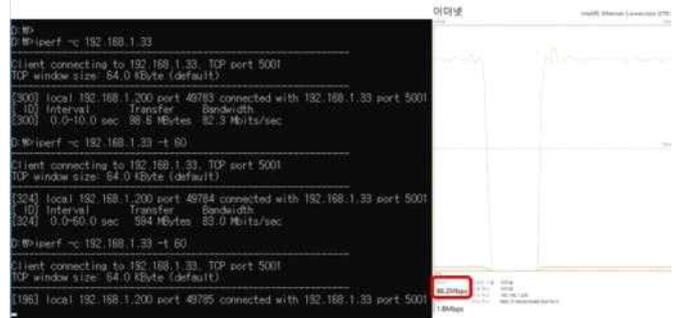
<PLC모듈 형상>



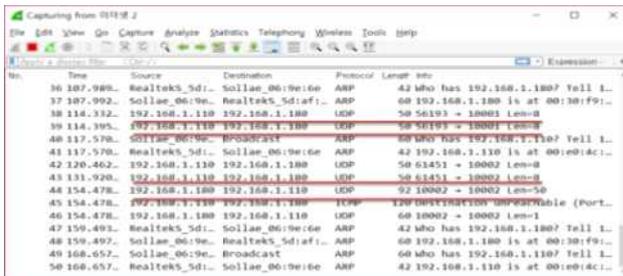
<PLC 모듈 Schematic>



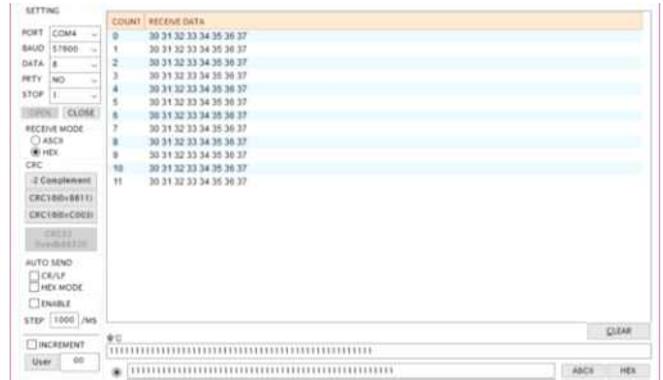
<시험 구성도>



<PLC모듈 네트워크 동작 및 대역폭시험>



<이더넷 데이터 송수신 모니터링>



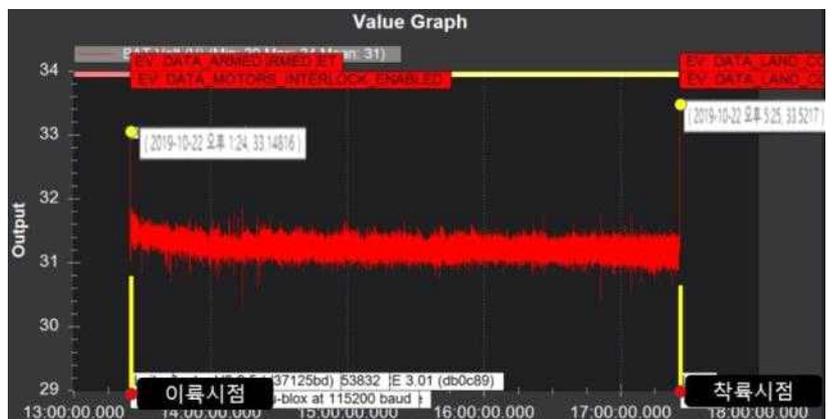
<시리얼통신 송수신 모니터링>

○ 최대비행시간 검증시험

- 최대비행시간의 정량적 목표는 240분이며, 시험결과는 241분으로 만족
- 실 최대비행시간 : 241분 (이륙: '19년10월22일 오후 1:24분, 착륙: 오후 5:25분)



<최대비행시간 검증시험>

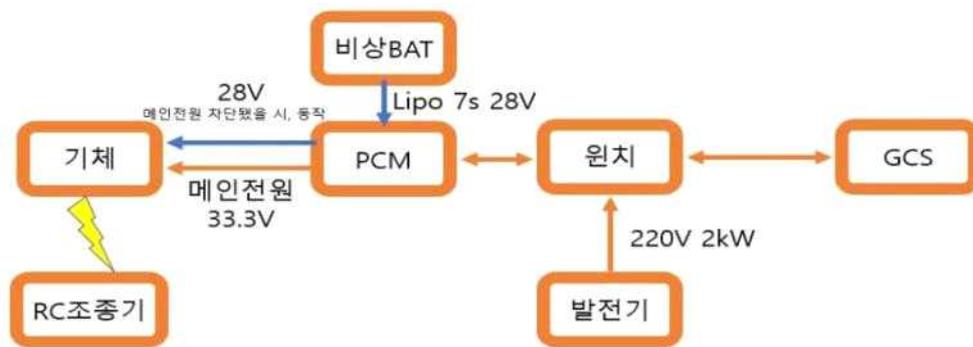


<최대비행시간 비행데이터 분석 그래프>

- 240분 비행 동안의 출력 안정성 확인으로 원치, 테더선, PCM 신뢰성 확인
- 시간대와 상관없이 동일한 호버링 성능 확인으로 추력시스템의 신뢰성 확인
- 메인전원으로 장시간 비행할 때 비상배터리 전원을 사용하지 않아 메인전원 차단 시, 안정적으로 비상배터리 전원을 공급받을 수 있음을 확인
- 시험결과 정량적 목표 최대비행시간 240분 충족

○ 자동착륙 위치 정확도 검증시험

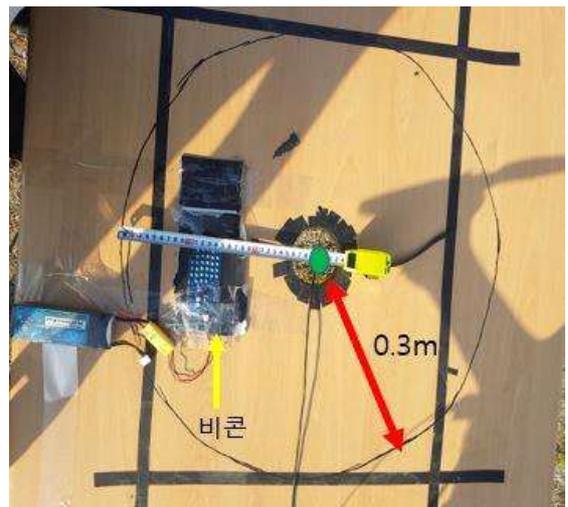
- 자동착륙 위치 정확도의 정량적 목표는 CEP(원형공산오차, Circular Error Probable) 0.3m이내이며, 시험결과는 CEP 0.179m로 만족



< 자동착륙 위치 정확도 시험구성도 >



<시험 형상>



<CEP 0.3m 테이블 및 비콘>

- 자동착륙 정확도 시험절차
 - 1) 이륙
 - 2) 비행체 고도 10m 상승
 - 3) 비행체 이동(착륙위치와 약5m 이격)
 - 4) 자동착륙 모드 인가

- 5) 착륙위치 이동 후 고도하강 및 착륙 확인
- 6) 착륙 정확도 실측 (반지름 0.3m 원의 중심과 비행체 중심으로부터 거리)

- 자동착륙 위치 정확도를 향상시키기 위해 원치 시스템 개선 및 비행 제어 게인 튜닝 수행
- Beacon, Rangefinder, IR-LOCK 센서를 사용하여 정밀착륙 유도방식 적용
- 자동착륙 위치 정확도의 정량적 목표치인 CEP 0.3m 이내를 충족함을 확인
- 10회 반복시험 수행하여 결과를 구함

[단위: m]

착륙오차	1소티	2소티	3소티	4소티	5소티	6소티	7소티	8소티	9소티	10소티	평균	CEP
2차년도	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.4	0.2	0.75	0.3	0.25	0.45	0.326
3차년도	0.13	0.25	0.21	0.08	0.3	0.2	0.15	0.57	0.09	0.4	0.24	0.179

< 자동착륙 정확도 시험결과 >

- CEP(원형공산오차, Circular Error Probable)는 아래의 수식을 사용하여 계산함

$$Q(F, \sigma) = \sigma \sqrt{-2 \ln(1 - F/100)}$$

σ = 표준편차

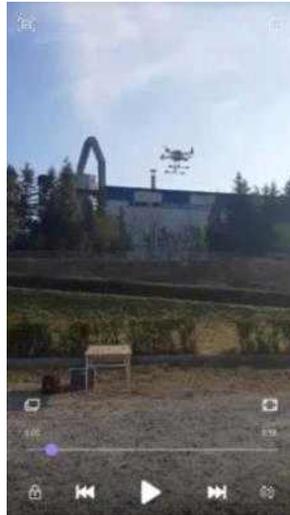
F = 백분위수, $F_{CEP} = 50$



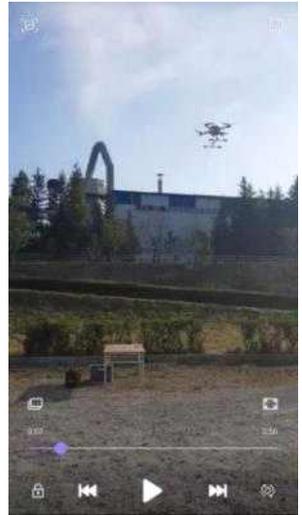
①



②



③



④



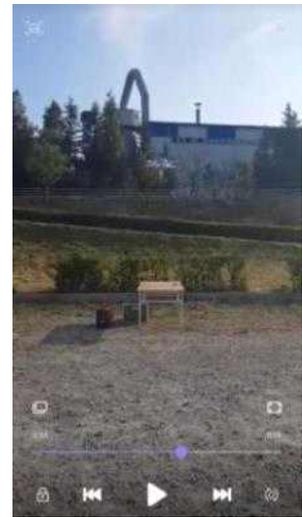
⑤



⑥



⑦



⑧



⑨



⑩



⑪

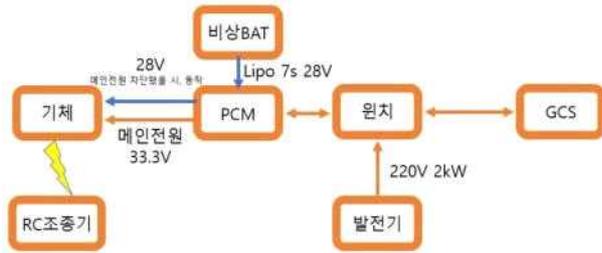


⑫

< 자동착륙 정확도 시험 >

○ 원치 정확도 시험

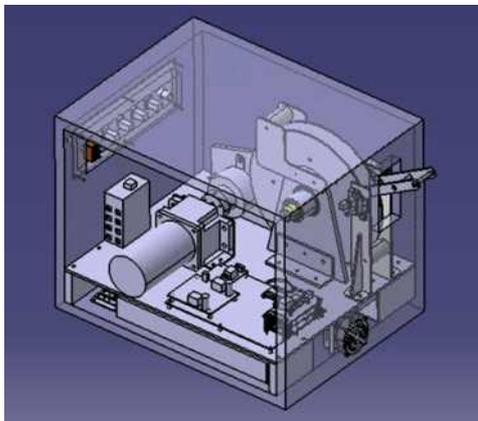
- 원치의 케이블 감김/풀림 작동 정확도의 정량적 목표는 99%이고, 30회 반복 시험한 결과 비행체의 상승/하강에 따라서 감김/풀림이 모두 정상 작동하여 만족



<시험 구성도>



<무게 추 장착>



<원치 3D 모델링 형상>



<원치 형상>

- 테더 케이블이 도킹스테이션의 테더케이블 홀에 걸려 감기지 않는 현상을 방지하기 위해 여러번의 시험을 수행하여 원치 스틱에 무게 추 150g을 장착
- 테더 케이블이 풀리거나 감을 때의 속도와 타이밍이 비행안정성에 영향을 끼치지 않으면서, 테더 케이블이 바닥에 닿지 않고 적절한 텐션을 유지하는 최적 값으로 세팅 완료
- 적절한 원치 작동 로직 추가와 원치스틱의 무게 추로 인해 원치 정확도가 향상됨
- 30회의 테스트 결과 원치의 감김/풀림이 비행체의 상승/하강에 맞추어 정상 작동 확인

○ 방진·방수 시험

- KS C IEC 60529 : 2006, 외함의 밀폐 보호등급 구분(IP코드) 시험방법에 의한 방진·방수 시험
- 시험기관 : 한국로봇산업진흥원
- IP코드 : IP54



<실내 시스템 통합시험>



<야외 체계통합시험>

- 유선비행로봇-원치-트랙터 간 IF확인 및 연동시험 수행
- 정밀착륙시 유선비행로봇 자세안정성 저하되어 제어기 튜닝

○ 2차 시스템 통합 및 체계통합시험



[이륙]

[이동]

[이동]

[하강]

[착륙]

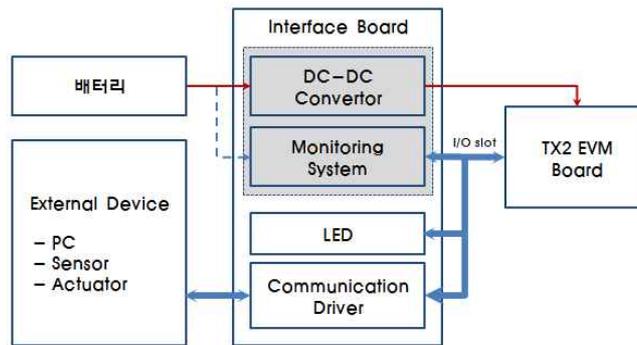
- 유선비행로봇 네트워크 구성 정보 설정 및 데이터 전송 시험
- 야외 유선비행로봇 - 원치 - 트랙터 - 기능 비행, 1차 시험 보완사항 확인
- 영상처리 장치 & 카메라 장착 후 기능비행 및 영상획득
- 테더 케이블이 도킹 스테이션 위에 쌓이는 현상으로 인한 원치 동작 오류 발생하여 원치 스틱부에 무게 추를 장착함
- IR-Lock, Lidar 센서의 방수를 위해 케이스 제작 및 장착
- DC-DC Converter에서 발생하는 전원노이즈로 인해 Lidar 센서 데이터가 튀는 현상이 발생하여, PCM에 노이즈 방지 필터를 추가함

■ 협동연구기관2((주)에이오비) 과제 연구내용 및 결과

(1) 1차년도 연구내용 및 결과

가. 영상분석 상용보드를 이용한 임베디드 시스템 설계

○ TX2 임베디드 시스템



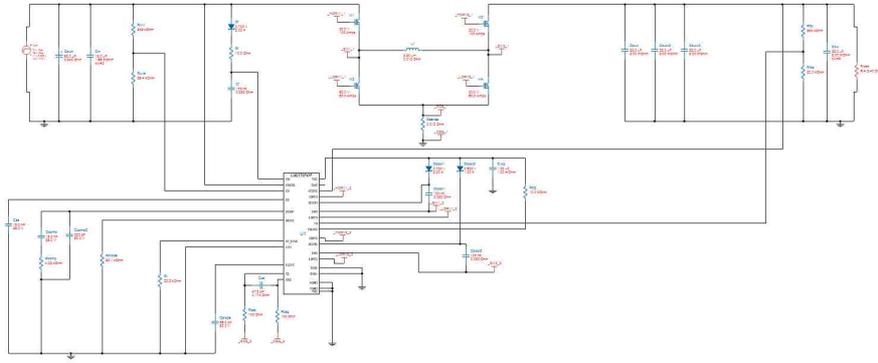
- TX2 임베디드 시스템의 외부 장치 연동

: Communication Driver 및 LED 구동부

- LED 관측과 외부 통신을 통한 임베디드 시스템의 연동성을 운용자가 식별할 수 있도록 함
- Serial 통신을 이용하여 파워 상태 관측 및 각종 데이터 입출력 확인을 할 수 있도록 함
- I/O Slot의 내장 기능을 활용함
- UART, SPI, I2C 등의 통신 지원을 진행
- 필요에 따라 485, 422, 232 등의 프로토콜 지원 가능
- 임베디드 시스템의 안정화 및 소형화를 위해 불필요한 통신 기능을 최대한 제거하되 반드시 필요한 기능만 선별적 내장하여 모듈을 최적화
- 해당 Serial Protocol을 사용하는 당해 과제에 필요한 장비용 Hardware Driver 제작하며 각각 통신 라인은 외부와 절연하도록 설계
- 필요시 Jumper 설정에 따라 외부로의 전원 공급이 가능하도록 설계
- LED에 연결된 I/O Port는 커넥터를 통해 외부 입출력 가능
- 해당 커넥터에 스위치 및 기타 Digital 입출력 Device를 연결하여 제어가 가능
- USB 등 EVM Board에 기본적으로 내장된 기능은 보유하도록 설계
- 초기 System 안정성을 위해 EVM Board 내장 기능 적극 활용하여 보유하도록 설계

- 파워 관리 시스템

: 전원 상태에 민감한 TX2 EVM Board의 안정적인 동작을 위해 DC-DC Convertor를 사용하여 전원공급을 하도록 함



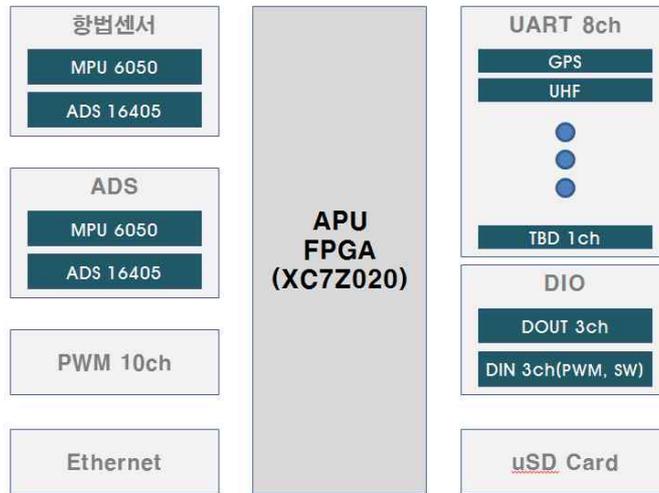
<전원공급 회로도(예시)>

- 별도의 전원공급을 하여 Battery 전압 모니터링을 통해 정상 가동에 영향을 줄 수 있는 Emergency 상황 대응함
- Battery의 방전 기점 전압을 기준으로 입력 전압이 해당 기준 전압보다 떨어지면 Error 신호 발생하여 경고를 발생
- 전원공급에 대한 정보를 I/O slot을 통해 TX2 EVM Board로 사전에 전달하여 Shutdown시 피해 최소화하도록 설계
- Error 신호가 TX2에 입력 시 필요한 각종 데이터를 비휘발성 메모리에 저장하도록 설계
- Error 검출시 EVM Board Halt 상태로 진입하도록 설계
- 모듈상태 확인과 통신 등의 목적으로 소형 MCU를 내장하도록 설계
- 통신을 통해 Interface Board의 Power Part를 제어
- 필요시 내장 ADC를 활용한 외부 Analog Signal 입력 기능을 가지도록 설계
- 필요시 내장된 Timer/Counter 기능을 활용한 PWM 출력 기능을 가지도록 설계

나. 외부 제어용 인터페이스 보드 시제품 제작

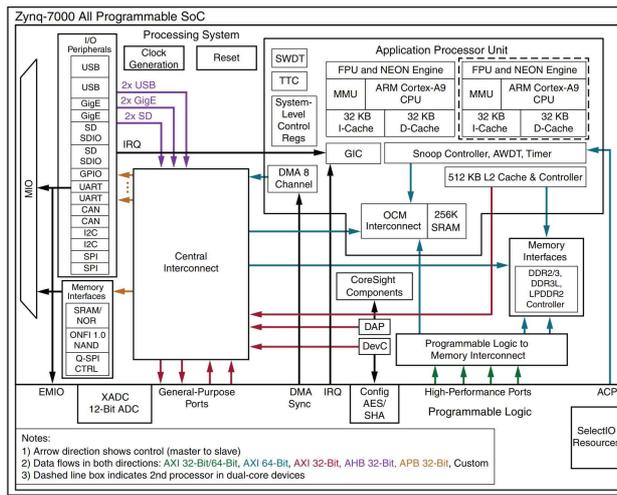
- 외부 인터페이스용 보드는 각종 장치들과의 여러 종류의 인터페이스를 원활하게 동작하기 위한 인터페이스 보드로서 메인 프로세서로는 Xilinx사의 Zynq를 사용함
- Xilinx사의 Zynq는 Dual core ARM Coretex-A9 APU와 Artix-7 FPGA를 하나의 칩에 구현한 SOC로서 RTOS이 용이하면서 각종 외부장치 인터페이스를 지원 가능한 프로세서임
- DDR3 메모리, uSD카드, RS-232, Ethernet, 외부 ADC, DIO를 이용 가능하도록 제작하여 본 과제이외의 일반 로봇 제어용 보드로 개발하여 무인항공기에도 적용할 수 있도록 시제품으로 제작하여 통신용 제어보드로 적용하여 용역개발에도 적용함

○ 외부 인터페이스용 보드 블록 다이어그램



○ 메인 프로세서

- 메인 프로세서는 Xilinx 사의 Zynq(XC7Z020)을 선정함
- XC7Z020은 두 개의 Cortex-A9 코어와 FPGA를 하나의 칩에 내장하고 있어서 여러 가지 다양한 인터페이스가 가능함과 동시에 APU를 가지고 있어서 손쉽게 프로그래밍 할 수 있는 장점을 가지고 있음
- 아래 그림은 선정한 메인 프로세서의 내부 구성도를 보여주며 메인 프로세서의 자세한 사양은 아래 표와 같음



<Zynq Architectural Overview>

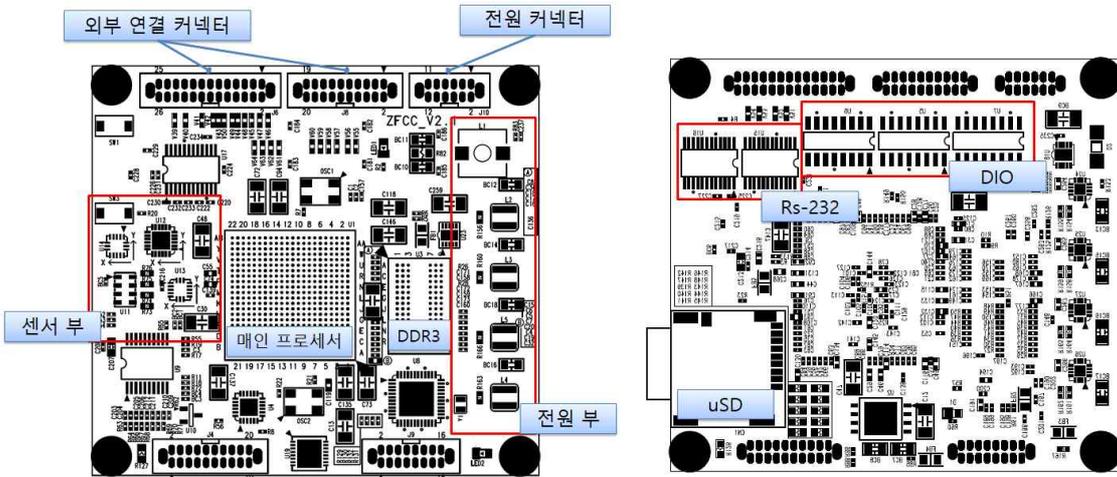
Processing System(PS)	ARM	• 2.5 DMIPS/MHz per CPU
	Cortex-A9	• CPU frequency: Up to 1 GHz
Based Application Processor Unit (APU)		• Coherent multiprocessor support
		• ARMv7-A architecture
		• TrustZone® security
		• Thumb®-2 instruction set

	<ul style="list-style-type: none"> • Jazelle® RCT execution Environment Architecture • NEON™ media-processing engine • Single and double precision Vector Floating Point Unit (VFPU) • CoreSight™ and Program Trace Macrocell (PTM) <ul style="list-style-type: none"> • Timer and Interrupts • Three watchdog timers • One global timer • Two triple-timer counters
Caches	<ul style="list-style-type: none"> • 32 KB Level 1 4-way set-associative instruction and data caches (independent for each CPU) • 512 KB 8-way set-associative Level 2 cache (shared between the CPUs) • Byte-parity support
On-Chip Memory	<ul style="list-style-type: none"> • On-chip boot ROM • 256 KB on-chip RAM (OCM) • Byte-parity support
External Memory Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • Multiprotocol dynamic memory controller • 16-bit or 32-bit interfaces to DDR3, DDR3L, DDR2, or LPDDR2 memories • ECC support in 16-bit mode • 1GB of address space using single rank of 8-, 16-, or 32-bit-wide memories • Static memory interfaces <ul style="list-style-type: none"> • 8-bit SRAM data bus with up to 64 MB support • Parallel NOR flash support • ONFI1.0 NAND flash support (1-bit ECC) • 1-bit SPI, 2-bit SPI, 4-bit SPI (quad-SPI), or two quad-SPI (8-bit) serial NOR flash
8-Channel DMA Controller	<ul style="list-style-type: none"> • Memory-to-memory, memory-to-peripheral, peripheral-to-memory, and scatter-gather transaction support
I/O Peripherals and Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • Two 10/100/1000 tri-speed Ethernet MAC peripherals with IEEE Std 802.3 and IEEE Std 1588 revision 2.0 support <ul style="list-style-type: none"> • Scatter-gather DMA capability • Recognition of 1588 rev. 2 PTP frames • GMII, RGMII, and SGMII interfaces • Two USB 2.0 OTG peripherals, each supporting up to 12 Endpoints <ul style="list-style-type: none"> • USB 2.0 compliant device IP core • Supports on-the-go, high-speed, full-speed, and low-speed modes • Intel EHCI compliant USB host • 8-bit ULPI external PHY interface

		<ul style="list-style-type: none"> • Two full CAN 2.0B compliant CAN bus interfaces <ul style="list-style-type: none"> • CAN 2.0-A and CAN 2.0-B and ISO 118981-1 standard compliant • External PHY interface • Two SD/SDIO 2.0/MMC3.31 compliant controllers • Two full-duplex SPI ports with three peripheral chip selects • Two high-speed UARTs (up to 1 Mb/s) • Two master and slave I2C interfaces • GPIO with four 32-bit banks, of which up to 54 bits can be used with the PS I/O (one bank of 32b and one bank of 22b) and up to 64 bits (up to two banks of 32b) connected to the Programmable Logic • Up to 54 flexible multiplexed I/O (MIO) for peripheral pin assignments
	Interconnect	<ul style="list-style-type: none"> • High-bandwidth connectivity within PS and between PS and PL • ARM AMBA® AXI based • QoS support on critical masters for latency and bandwidth control
Programmable Logic (PL)	Xilinx 7 Series Programmable Logic Equivalent	Artix-7 FPGA
	Programmable Logic Cells	85K
	Look-Up Tables (LUTs)	53,200
	Flip-Flops	106,400
	Block RAM (# 36 Kb Blocks)	4.9 Mb (140)
	DSP Slices (18x25 MACCs)	220
	Peak DSP Performance (Symmetric FIR)	276 GMACs
	Analog Mixed Signal (AMS) / XADC	2x 12 bit, MSPS ADCs with up to 17 Differential Inputs
	Security	AES and SHA 256b for Boot Code and Programmable Logic Configuration, Decryption, and Authentication

○ 보드 설계

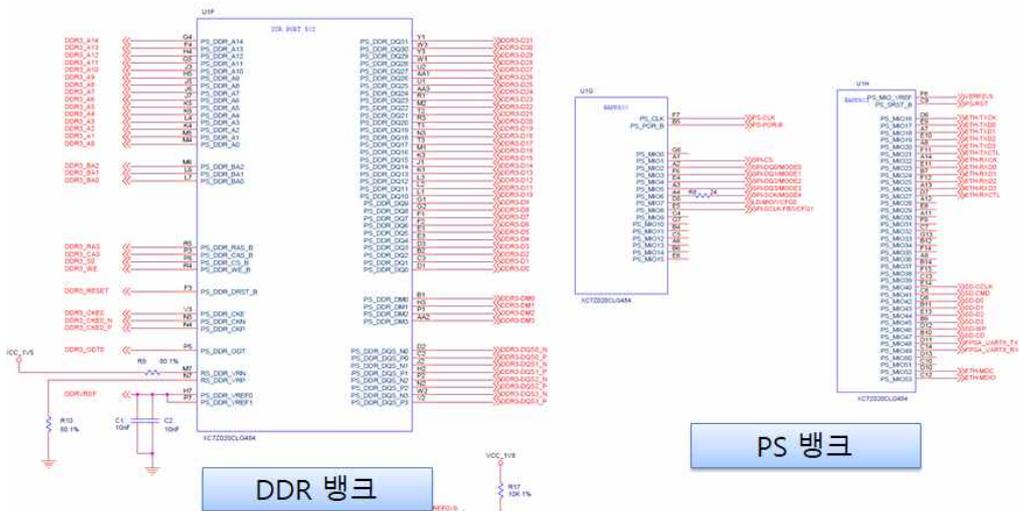
- 외부 인터페이스용 보드는 외부에서 들어오는 UART 입력을 수신 받아서 처리 하도록 제작되었음



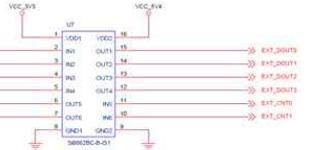
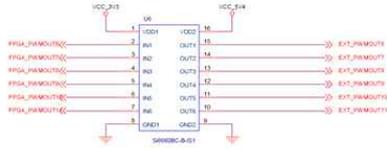
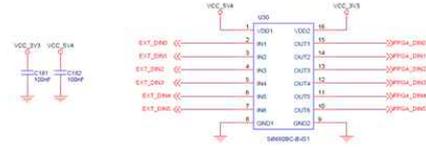
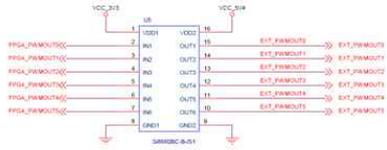
<외부 인터페이스용 보드 설계(앞면)>

<외부 인터페이스용 보드 설계(뒷면)>

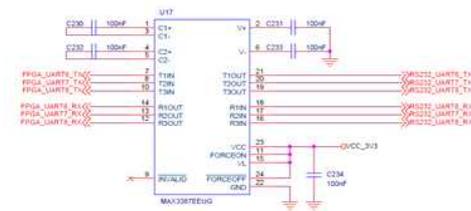
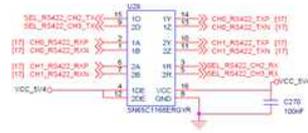
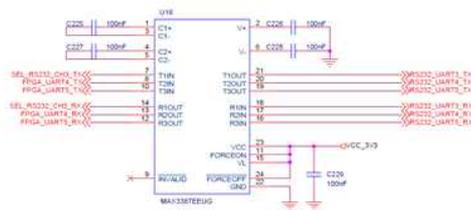
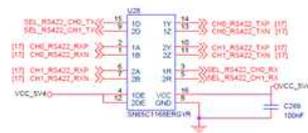
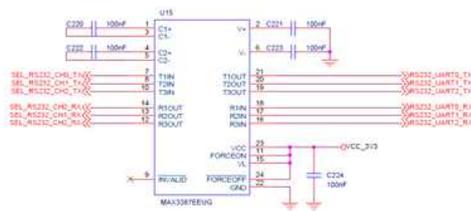
- Zynq는 각 बैं크별로 기능할당이 가능하지만 PS유닛에 해당하는 बैं크와 메모리용 बैं크는 지정된 핀만을 사용하도록 되어있음



- UART 및 DIO는 각 인터페이스에 해당하는 드라이버를 사용하여 설계
- PWM과 DOUT은 FPGA를 이용하여 유저가 선택하여 사용할 수 있도록 설계 및 제작

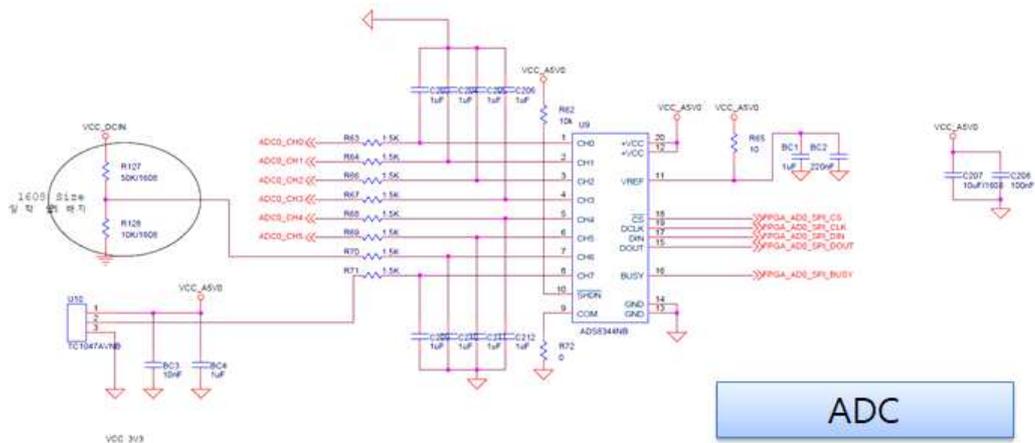


DIO



UART

- ADC는 16bit ADC 전용 소자를 사용하여 고성능의 ADC를 구현함



○ 보드 제작

- 완성된 외부 인터페이스 보드는 아래 그림과 같은 외형을 가지고 있음



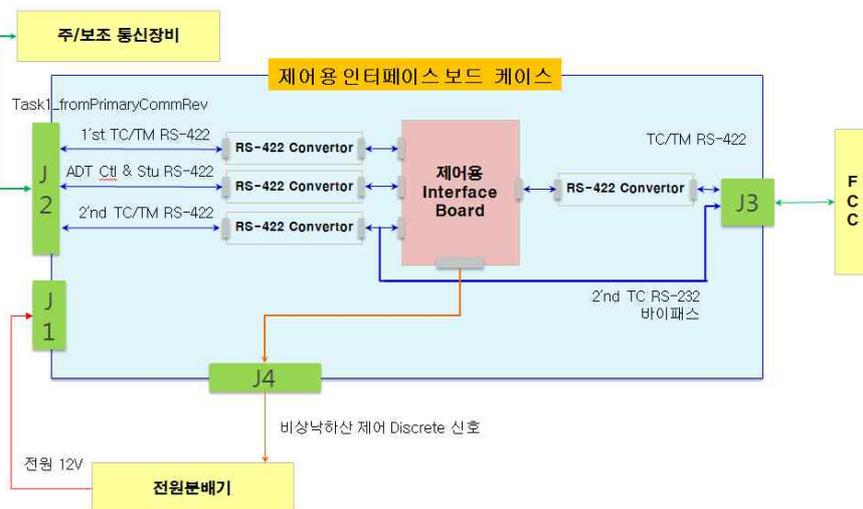
<외부 인터페이스 보드 앞면>



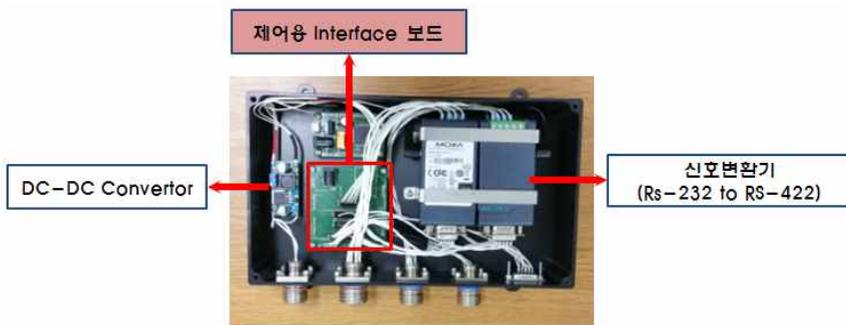
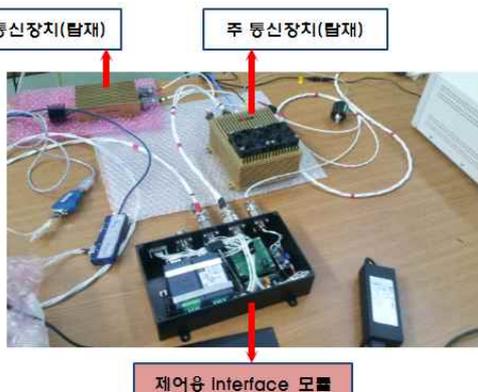
<외부 인터페이스 보드 뒷면>

○ 적용 사례

- 외부 제어용 인터페이스 보드 시제품을 제작하여 무인항공기의 통신용 제어기로 적용하여 시험에 적용하여 용역을 수행함



- 무인항공기의 주/보조 통신장비로부터 송수신 데이터를 시제품으로 제작한 제어용 Interface 보드를 이용하여 처리를 하여 Flight Control Computer로 송수신하는 기능을 수행하는데 시제품을 이용하여 장착시험을 실시함
- 보유한 채널 중에서 UART 통신과 Discrete Signal 처리만을 이용하였으나 추가로 탑재한 기능을 이용한다면 Direct로 주행차량을 제어할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었음

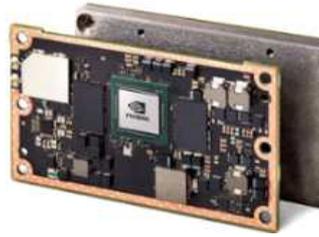
항 목	사 진
제작품	
인터페이스 시험	

(2) 2차년도 연구내용 및 결과

가. 로봇 영상분석 임베디드 메인보드 설계

- 로봇에 필요한 기능 집중형 임베디드 메인보드 설계 수행
 - TX2 모듈을 장착한 임베디드 메인보드 설계
 - 로봇에 필요한 기능 집중형 임베디드 메인보드 설계 수행
 - 예측된 TX2 기반으로 설계할 경우 Jetson TX2 모듈을 장착 할 수 있는 필요기능만 보유한 최적화 한 메인보드를 제작하며 향후 확장성을 고려하여 채널을 추가할 수 있도록 설계 반영
 - 메인보드는 Power Supply기능을 포함하여 Stand alone으로 동작 가능하도록 하며 보드 내부에 외부장치를 제어할 수 있는 인터페이스 기능 보유
 - 하드웨어 구조는 Jetson TX2모듈을 장착하여 영상분석의 결과에 따라서 실시간으로

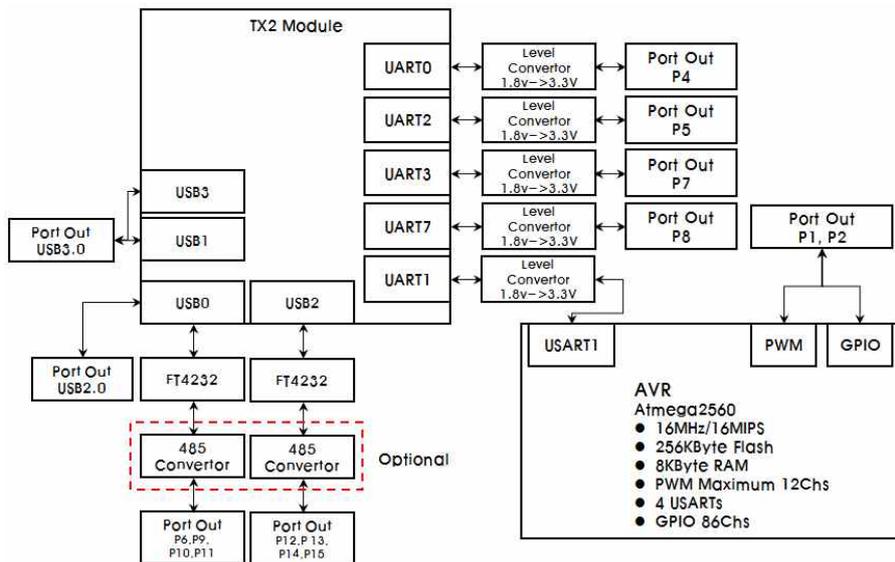
제어할 수 있는 기능 보유



JETSON TX2	
GPU	256코어 NVIDIA Pascal™ 아키텍처
CPU	HMP Dual Denver 2/2 MB L2 + Quad ARM® A57/2 MB L2
메모리	8 GB 128 bit LPDDR4 58.3 GB/s
CSI	Up to 6 Cameras (2 Lane) CSI2 D-PHY 1.2 (2.5 Gbps/Lane)
디스플레이	2x DSI, 2x DP 1.2 / HDMI 2.0 / eDP 1.4
Connectivity	1 Gigabit Ethernet, 802.11ac WLAN, Bluetooth
PCIE	Gen 2 1x4 + 1x1 OR 2x1 + 1x2
저장공간	32 GB eMMC, SDIO, SATA
기타	CAN, UART, SPI, I2C, I2S, GPIOs

<CPU 모듈 사양 정보 (Jetson TX2 Module)>

○ 로봇에 필요한 기능 집중형 임베디드 메인보드 회로도



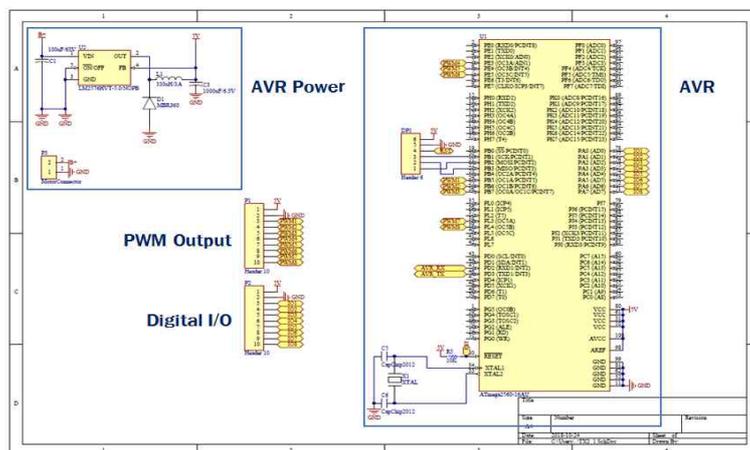
· TX2모듈에서 지원되는 외부 인터페이스 제어항목은 안정성을 유지하기 위하여 사용

- 제어신호 중에서 PWM과 GPIO 신호는 AVR을 이용하여 생성되도록 하여 로봇을 제어할 수 있도록 확장성을 보장

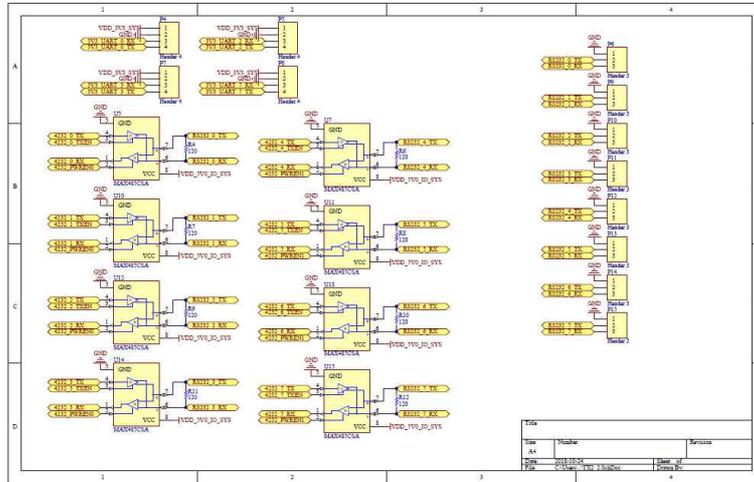
- AVR CPU 사양

: High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller

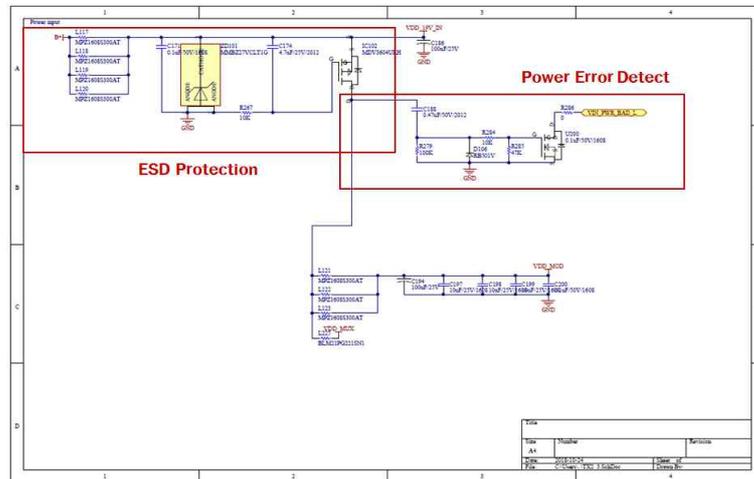
- Advanced RISC Architecture
 - 135 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 × 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
 - On-Chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 256KBytes of In-System Self-Programmable Flash
 - 4Kbytes EEPROM
 - 8Kbytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles:10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
- In-System Programming by On-chip Boot Program
- True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Endurance: Up to 64Kbytes Optional External Memory Space
- Temperature Range:
 - 40°C to 85°C Industrial
- Ultra-Low Power Consumption
 - Active Mode: 1MHz, 1.8V: 500µA
 - Power-down Mode: 0.1µA at 1.8V
- 0 ~ 16MHz @ 4.5V - 5.5V



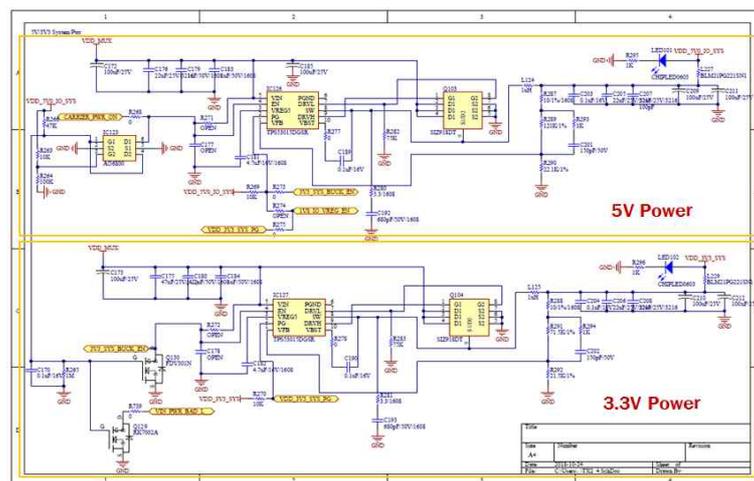
<AVR CPU, AVR Power, PWM Output & Digital I/O 회로도>



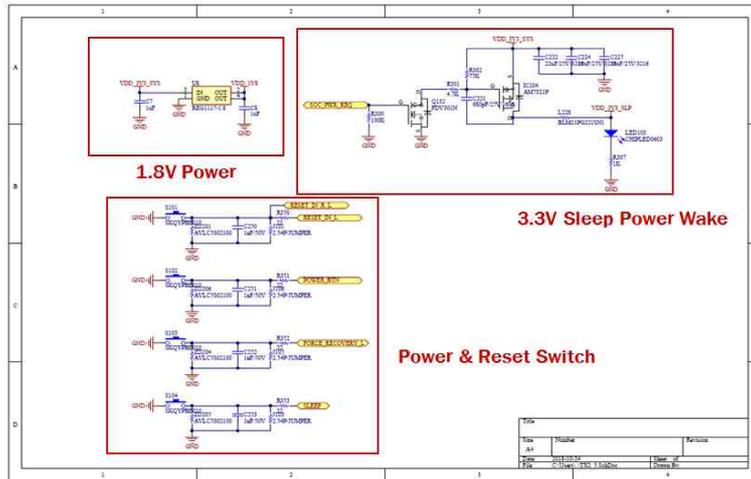
<시리얼 통신 회로도: 485 Convertor & RS-232/485>



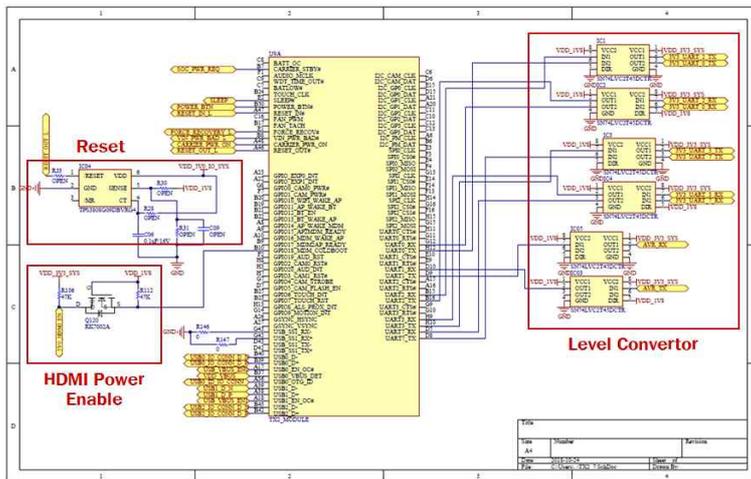
<Power Input 회로도>



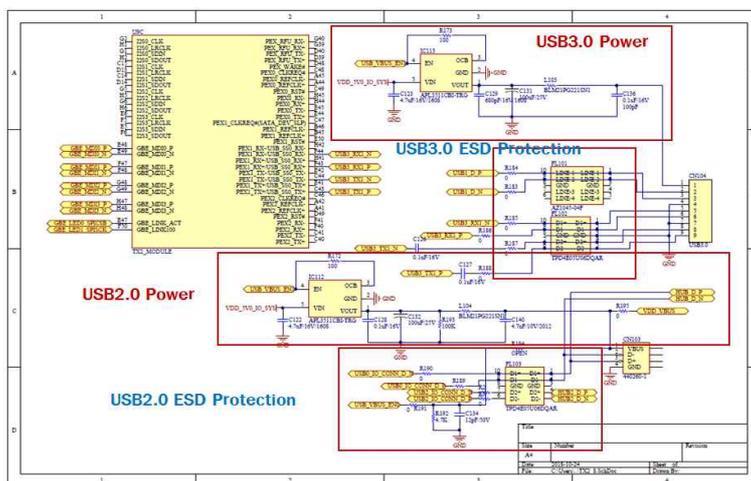
<5V Power/3.3V Power 회로도>



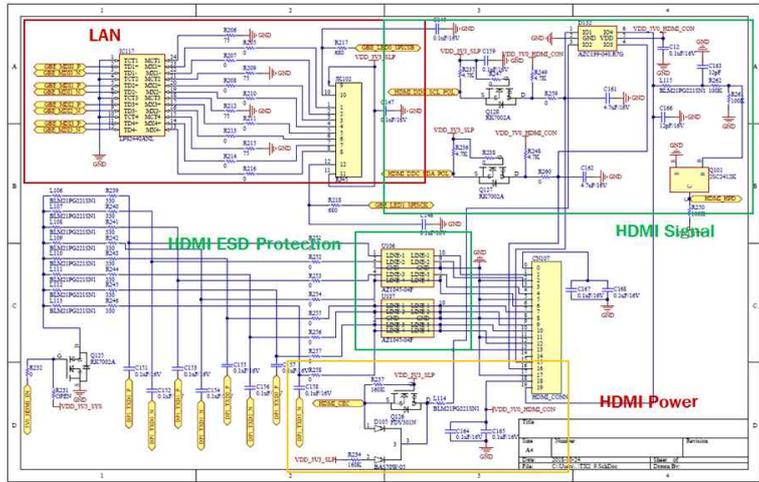
<1.8V Power/3.3V Sleep Power Wake/Power & Reset 스위치 회로도>



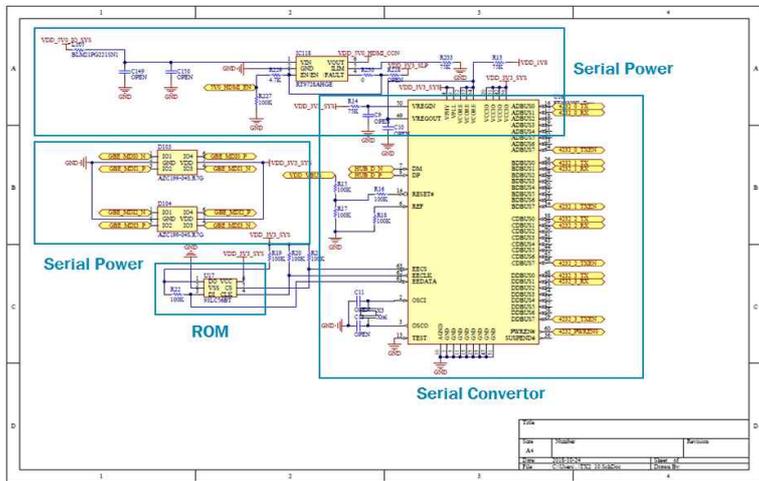
<Reset & Level converter 회로도>



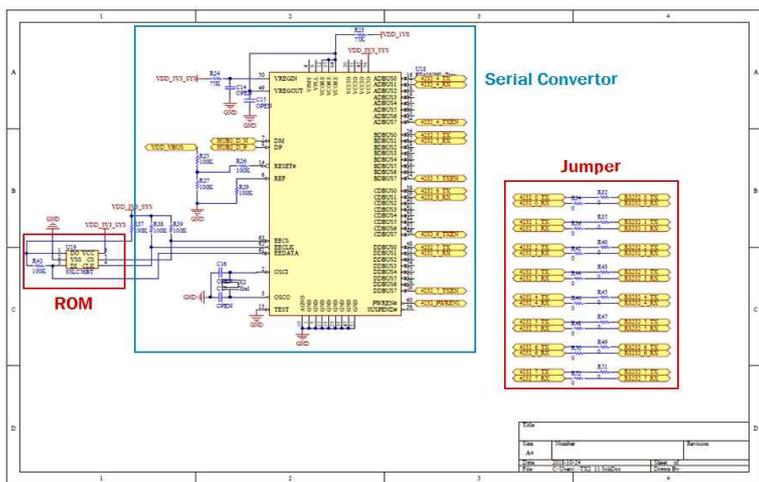
<USB 회로도>



<LAN & HDMI 회로도>



<Serial Converter & LAN ESD Protection 회로도>

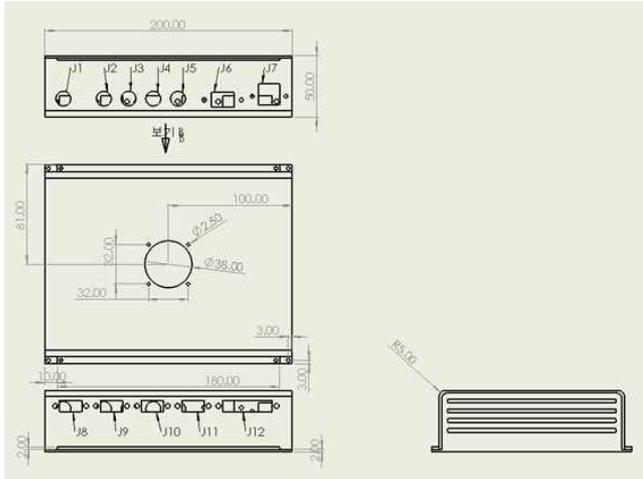


<Serial Converter & Jumper 회로도>

- 전원, 영상입력 및 각종 센서/제어 인터페이스 신호 입출력을 위한 커넥터를 케이스 외

곽에 장착할 수 있도록 제작

- 커넥터 종류
 - 외부전원 인가
 - 시리얼 통신 포트
 - USB3.0
 - LAN 통신 포트
 - Digital IO & PWM 신호



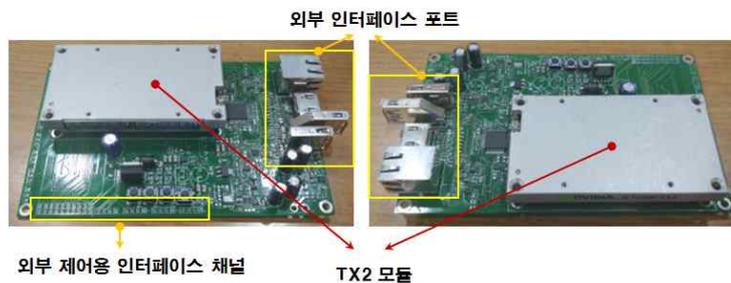
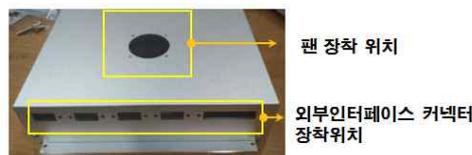
<케이스 도면>



<케이스 형상>

나. 영상분석 상용보드를 이용한 임베디드 모듈 제작

- TX2 임베디드 모듈이 영상분석 및 외부제어용 Interface를 확보하여 제어가 가능하도록 제작



<영상분석 임베디드 모듈 제작 형상>

- TX2 임베디드 시스템의 외부제어용 Interface 채널 Spec.
 - Serial 통신을 이용하여 파워 상태 관측 및 각종 데이터 입출력 확인을 할 수 있도록

함

- I/O Slot의 내장 기능을 활용
- UART, SPI, I2C 등의 통신 지원
- 필요에 따라 RS-485, RS-232 등의 프로토콜 지원이 가능하도록 제작
- 임베디드 시스템의 안정화 및 소형화를 위해 불필요한 통신 기능을 최대한 제거하되 반드시 필요한 기능만 선별적 내장하여 모듈을 최적화
- 해당 Serial Protocol을 사용하는 당해 과제에 필요한 장비용 Hardware Driver 제작하며 각각 통신 라인은 외부와 절연하도록 제작
- LED에 연결된 I/O Port는 커넥터를 통해 외부 입출력 가능
- USB 등 EVM Board에 기본적으로 내장된 기능은 보유하도록 제작
- 외부 인터페이스 채널

Digital IO 8ch

PWM output 8ch

UART 4ch

RS232 or RS485 8ch

USB3.0 1ch

USB2.0 1ch (RS232 or RS485 4ch과 공유)

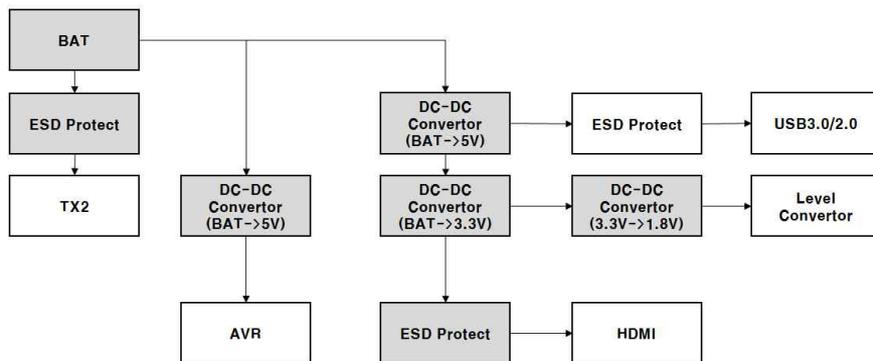
Ethernet 1ch

WIFI 1ch(TX2 모듈 내장)

HDMI output 1ch

- 파워 관리 시스템

: 전원 상태에 민감한 TX2 EVM Board의 안정적인 동작을 위해 DC-DC Converter를 사용하여 전원공급을 함

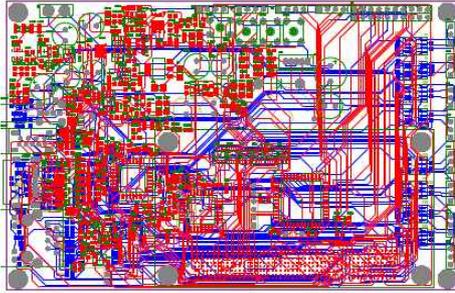


<전원공급 구성도>

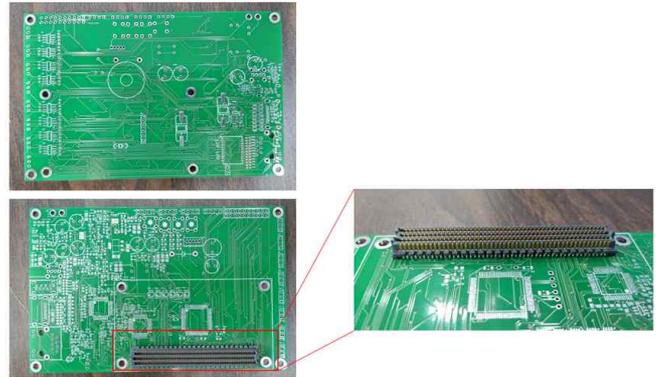
- 별도의 전원공급을 하여 Battery 전압 모니터링을 통해 정상 가동에 영향을 줄 수 있는 Emergency 상황 대응
- Battery의 방전 기점 전압을 기준으로 입력 전압이 해당 기준 전압보다 떨어지면 Error 신호 발생하여 경고를 발생
- 전원공급에 대한 정보를 I/O slot을 통해 TX2 EVM Board로 사전에 전달하여

Shutdown시 피해를 최소화

- Error 신호가 TX2에 입력 시 필요한 각종 데이터를 비휘발성 메모리에 저장
- 모듈상태 확인과 통신 등의 목적으로 소형 MCU를 내장
- 통신을 통해 Interface Board의 Power Part를 제어
- 필요시 내장 ADC를 활용한 외부 Analog Signal 입력 기능을 가짐
- 필요시 내장된 Timer/Counter 기능을 활용한 PWM 출력 기능을 가짐



<PCB 설계 회로도>



<제작 회로 기판>



제품 형상(앞면)



제품 형상(뒷면)

다. 영상분석 임베디드 모듈 소프트웨어 시험

- 오픈소스 컴파일 화면

```
nvidia@tegra-ubuntu: ~/Documents/BY
nvidia@tegra-ubuntu:~/Documents/BY$ nvcc SampleCode.cu -o SampleCodeOut
nvcc warning : The 'compute_20', 'sm_20', and 'sm_21' architectures are deprecated, and may be removed in a future release (Use -Wno-deprecated-gpu-targets to suppress warning).
nvidia@tegra-ubuntu:~/Documents/BY$
```

- 외부인터페이스 입출력 예제 코드 화면

: 외부 인터페이스 입출력에 대한 Digital IO, PWM, 시리얼통신에 대한 시험을 하기 위하여 예제 소프트웨어를 이용하여 시험하였음

```

Open  ▾
#include <stdio.h> // standard input / output functions
#include <stdlib.h>
#include <string.h> // string function definitions
#include <unistd.h> // UNIX standard function definitions
#include <fcntl.h> // file control definitions
#include <errno.h> // Error number definitions
#include <termios.h> // POSIX terminal control definitions

/* Open File Descriptor */
int USB = open( "/dev/ttyUSB0", O_RDWR | O_NONBLOCK | O_NODELAY );

/* Error Handling */
if ( USB < 0 )
{
    cout << "Error: " << errno << " opening " << "/dev/ttyUSB0" << ": " << strerror( errno ) << endl;
}

/* *** Configure Port *** */
struct termios tty;
memset( &tty, 0, sizeof tty );

/* Error Handling */
if ( tcgetattr( USB, &tty ) != 0 )
{
    cout << "Error: " << errno << " from tcgetattr: " << strerror( errno ) << endl;
}

/* Set Baud Rate */
cfsetospeed( &tty, B9600 );
cfsetispeed( &tty, B9600 );

/* Setting other Port Stuff */
tty.c_cflag &= ~PARENB; // Make 8nt
tty.c_cflag &= ~CSIZE;
tty.c_cflag &= CS8;
tty.c_cflag &= ~CRTSCTS; // no flow control
tty.c_lflag &= 0; // no signaling chars, no echo, no canonical processing
tty.c_oflag &= 0; // no remapping, no delays
tty.c_cc[VTIME] &= 0; // read doesn't block
tty.c_cc[VMIN] &= 5; // 0.5 seconds read timeout

tty.c_cflag |= ERFAD | CLOCAL; // turn on READ & ignore ctrl lines
tty.c_lflag &= ~(IXON | IXOFF | IXANY); // turn off s/w flow ctrl
tty.c_lflag &= ~(ICANON | ECHO | ECHOE | ISIG); // make raw
tty.c_oflag &= ~OPOST; // make raw

```

(3) 3차년도 연구내용 및 결과

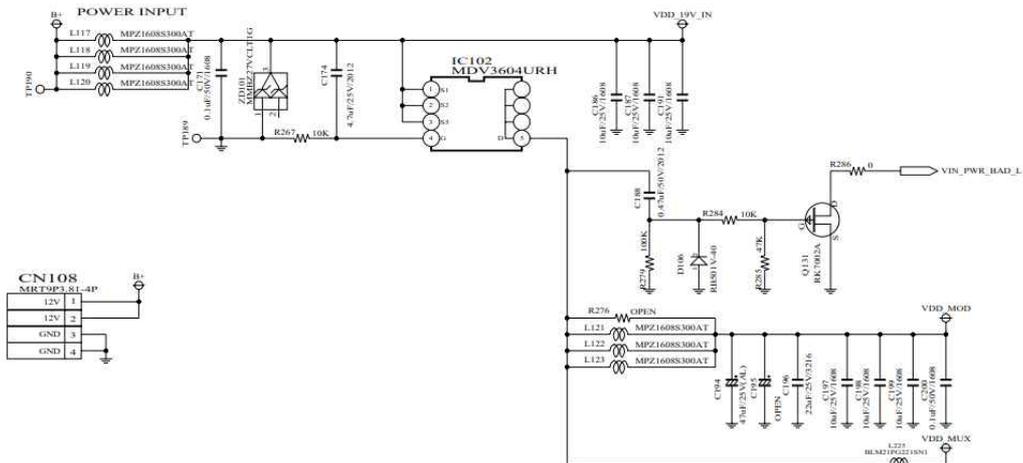
가. TX2용 보드 설계

○ 1차 테스트 보드

- TX2 모듈의 정상 부팅 및 메인 파워의 정상 동작 여부를 테스트함



<1차 테스트 보드 외형>



<메인 파워 회로>

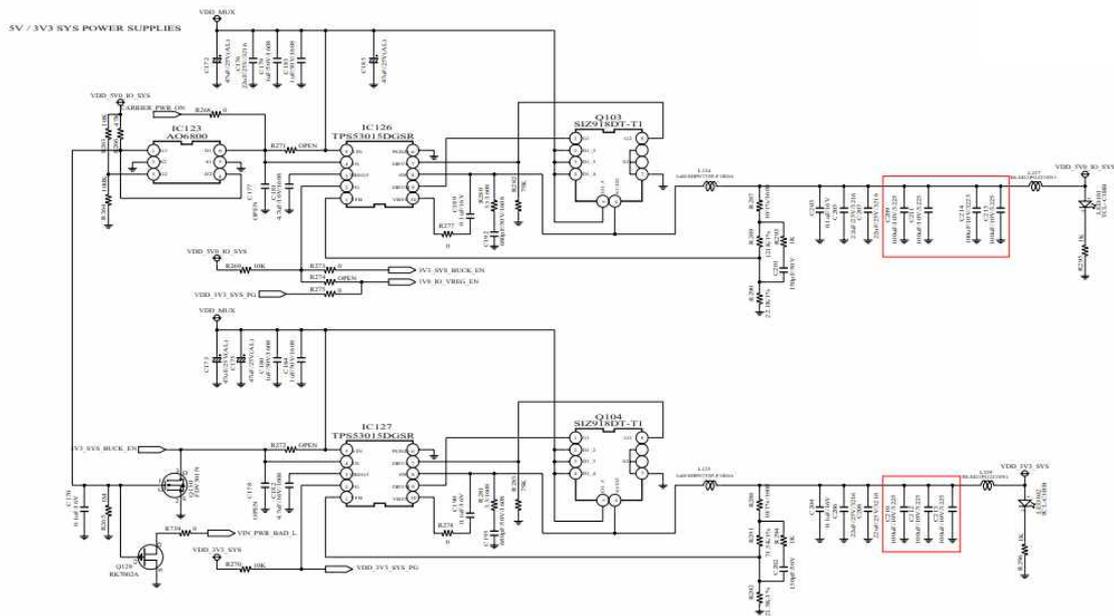
- 현재 파워 상태를 TX2 모듈에 피드백하여 TX2가 정상 부팅 할 수 있게 함
- 부팅 테스트
 - : 주변 장치용 회로의 비정상 동작으로 직접 모니터 및 입력 장치 연결 불가, TX2 내부의 와이파이 기능을 사용하여 원격으로 정상 부팅 여부를 확인

○ 2차 테스트 보드

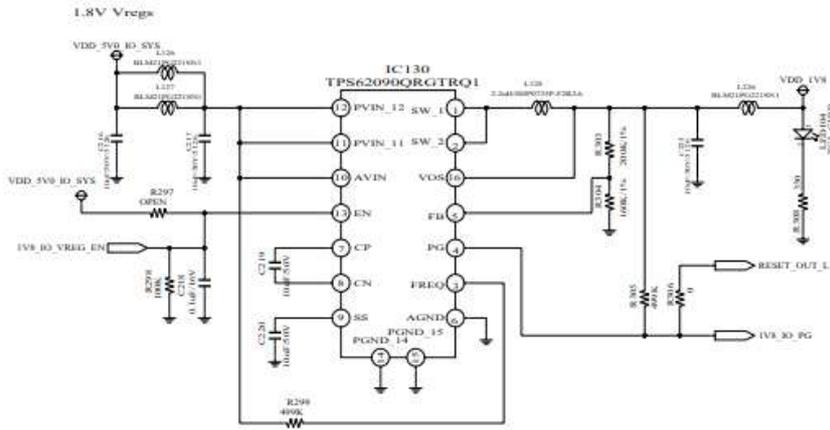
- 주변 입출력 장치의 파워 및 기능 정상 동작 여부를 테스트함



<2차 테스트 보드 외형>



<주변 장치용 파워 회로1>



<주변 장치용 파워 회로2>

- 기능 테스트

- : USB2.0 정상 동작 확인(외부 파워 인가), USB3.0 동작 불가, USB3.0 및 2.0 파워 출력 불가, 유선 이더넷 비정상 동작(잘은 연결 끊김), HDMI 비정상 출력
- : 주변 장치 파워용 추가 회로 보완 및 6층 이상의 PCB 패턴 설계를 통한 고주파용 패턴 설계 필요
- : 전원 On/Off 시 TX2 보드의 입출력 포트 파손 현상 확인

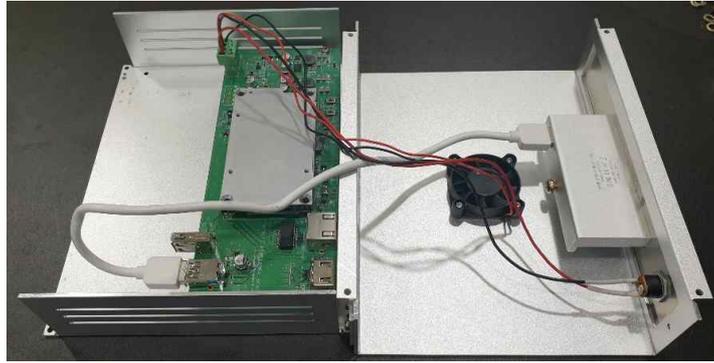
○ 최종 보드

- 기타 회로 보완 및 노이즈 고려 패턴 설계 전문가를 활용하여 최종 보드를 출도 함
- 최종보드 완료



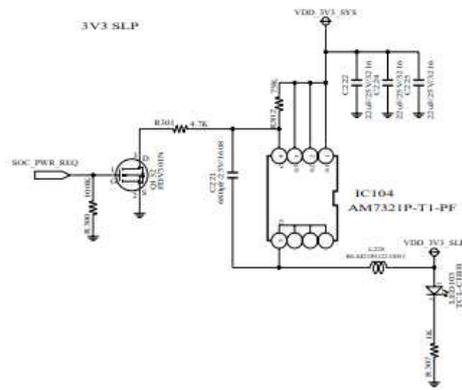
<최종 제작된 보드>

- 최종 보드와 케이스 조립 및 테스트

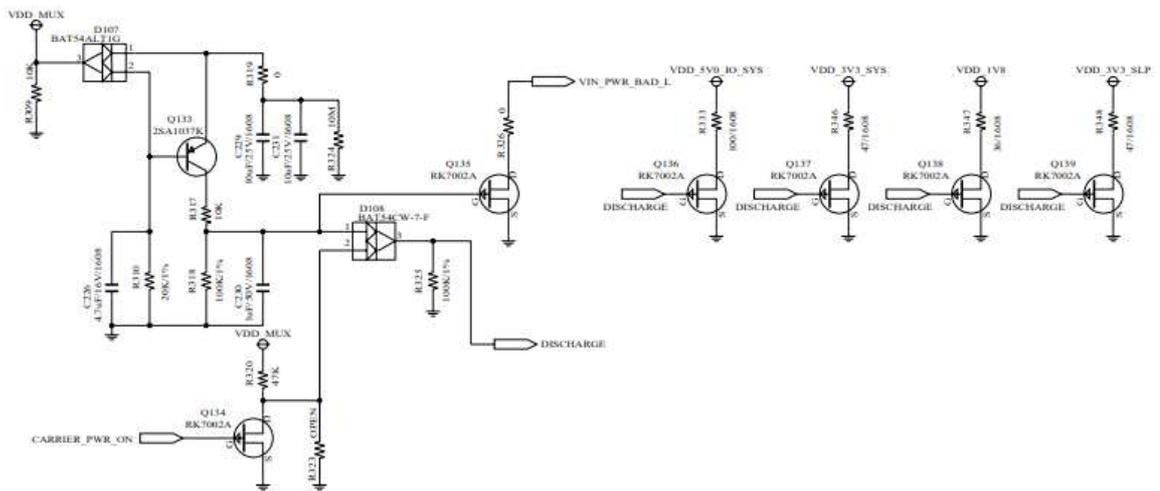


<제작된 보드와 케이스 결합>

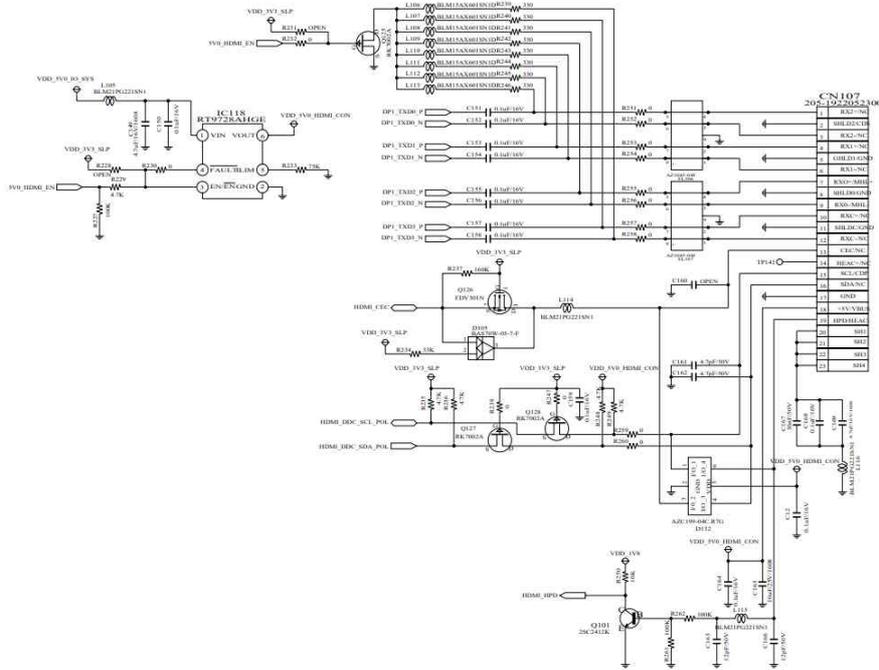
- 추가 회로



- HDMI 전원 프로토콜용 3.3V Sleep 회로 추가



- 전원 Off시 주변 회로 보호 및 비정상 동작 예방용 Rail Discharge 회로 추가



- 다층 PCB용 스펙 재정의
- : 패턴간 임피던스 매칭을 위한 상세 두께 스펙 정의

Spec Thickness: 1.575
Tolerance: +0.15/-0.15

Name	Negative Artwork	Layer Usage	Material	Thickness
TOP	<input type="checkbox"/>	Signal Layer	Air	
L2	<input type="checkbox"/>	Plane Layer	Soldermask	0.018
L3	<input type="checkbox"/>	Signal Layer	Copper .5oz (Plated)	0.043
L4	<input type="checkbox"/>	Signal Layer	Prepreg 0.0027 1080	0.069
L5	<input type="checkbox"/>	Plane Layer	Copper 1oz	0.03
BOTTOM	<input type="checkbox"/>	Signal Layer	Core 0.004 1x2116	0.102
			Copper 1oz	0.03
			Filler 0.039	0.991
			Copper 1oz	0.03
			Core 0.004 1x2116	0.102
			Copper 1oz	0.03
			Prepreg 0.0027 1080	0.069
			Copper .5oz (Plated)	0.043
			Soldermask	0.018
			Air	

- 보드 정상 동작 확인
 - USB3.0 정상 인식 및 속도 측정 시 고속 데이터 이동 확인
 - USB3.0 전원 인가를 위한 별도 TX2 내부 리눅스 커널 수정
 - HDMI 정상 출력 확인, 유선 이더넷 정상 동작 확인

- 배터리 전원 인가 상태에서의 TX2 정상 부팅 및 기타 기능 정상 동작 확인

나. 환경시험 결과

○ 저온/고온 운용 시험



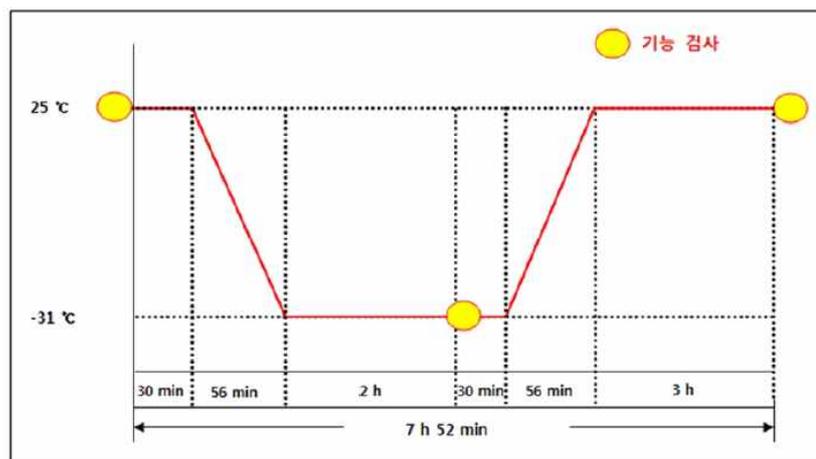
- 저온 운용 시험

: 시험 조건

- 시험온도 : (-31 ~ 25) °C
- 시험시간 : 7 h 52 min
- 점검시간 : 시험 전, 중, 후 확인
- 제품상태 : ① 비포장 상태 ② 비동작 상태 (기능 검사 구간에서 전원 인가)
- 입력전원 : DC 12.6 V

: 시험방법

- 온도 변화 Cycle



- 시험 전: 대상 시료의 외관 상태 및 동작 상태를 확인
- 챔버 내부에 시료를 설치한 후 "온도 변화 Cycle" 에 따라 7 시간 52 분 시행

- 시험 중: -31 °C 유지 구간 끝나기 30 분 전에 대상 시료의 동작 상태를 확인
- 시험 후: 대상 시료의 외관 상태 및 동작 상태를 확인

: 시험 사진



: 시험결과

순번	점검 항목	시험 결과
1	기구물 외관 확인(육안 검사) - 변색 및 변형 유무 확인	정상
2	기능 동작 확인 - 전원 버튼 켜짐 확인 - Fan 작동 확인	정상

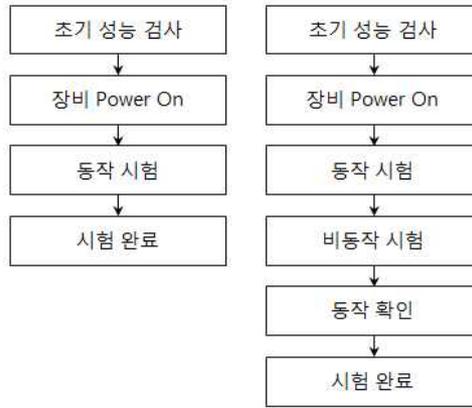
- 고온 운용 시험

: 시험 조건

- 시험온도 : (23 ~ 43) °C
- 시험주기 : 3 주기(24 h/주기)
- 시험시간 : 72 h 20 min
- 점검시간 : 시험 전, 중, 후 확인
- 제품상태 : ① 비포장 상태 ② 비동작 상태 (기능 검사 구간에서 전원 인가)
- 입력전원 : DC 12.6 V

: 시험 방법

- 온도 변화 Cycle

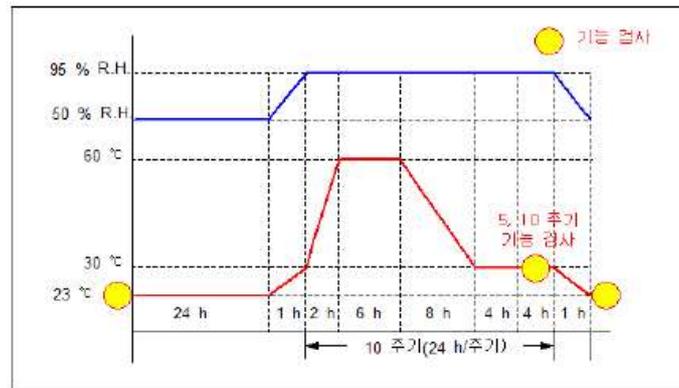


: 시험 조건

- 시험온도 : (23 ~ 60) °C
- 시험습도 : (50 ~ 95) % R.H.
- 시험주기 : 10 주기(24 h/주기)
- 시험시간 : 266 h
- 점검시간 : 시험 전, 중, 후 확인
- 제품상태 : ① 비포장 상태 ② 비동작 상태

: 시험방법

- 온습도 변화 Cycle



- 시험 전: 대상 시료의 외관 상태 및 동작 상태를 확인
- 챔버 내부에 시료를 설치한 후 "온습도 변화 Cycle" 에 따라 10 주기 시행
- 시험 중: 기능검사 구간에서 대상 시료의 동작 상태를 확인
- 시험 후: 대상 시료의 외관 상태 및 동작 상태를 확인

: 시험 사진



순번	점검 항목	시험 결과
1	기능 검사 - 동작 상태 확인	정상
2	기구물 외관 확인(육안 검사)	외관 변형 및 변색 없음.

○ 진동시험



: 시험 조건

- Test Type : Random
- 주 파 수 : (5 ~ 500) Hz
- 가 속 도 : Vertical - 4.43 gn r.m.s. (43.414 m/s² r.m.s.)
 Transverse - 1.30 gn r.m.s. (12.74 m/s² r.m.s.)
 Longitudinal - 2.86 gn r.m.s. (28.028 m/s² r.m.s.)
- 시험시간 : 총 1 h 36 min (각 축당 32 min)
- 시험 축 : Vertical, Transverse, Longitudinal

: 시험실 환경 조건 : (24 ± 1) °C, (35 ± 1) % R.H.

: PSD Level

Vertical		Transverse		Longitudinal	
Frequency, Hz	PSD, g ² /Hz	Frequency, Hz	PSD, g ² /Hz	Frequency, Hz	PSD, g ² /Hz
5	0.2252	5	0.0736	5	0.0521
8	0.5508	6	0.0438	7	0.1046
10	0.0509	7	0.0761	8	0.1495
13	0.0253	13	0.0130	13	0.0140
15	0.0735	15	0.0335	16	0.0303
17	0.0301	16	0.0137	18	0.0200
18	0.0319	21	0.0102	19	0.0342
19	0.0402	23	0.0268	20	0.0160
20	0.0366	25	0.0090	23	0.0378
43	0.1004	28	0.0090	27	0.0079
50	0.0308	30	0.0137	30	0.0208
102	0.0740	34	0.0055	32	0.0100
109	0.1924	37	0.0081	33	0.0267
117	0.0319	46	0.0039	35	0.0065
138	0.0869	51	0.0068	51	0.0040
150	0.0286	55	0.0042	53	0.0081
190	0.0605	106	0.0033	56	0.0035
263	0.0613	108	0.0045	59	0.0066
332	0.0097	111	0.0033	63	0.0037
360	0.0253	148	0.0030	65	0.0127
452	0.0053	163	0.0054	73	0.0026
500	0.0045	175	0.0023	93	0.0117
		235	0.0013	109	0.1635
		262	0.0028	120	0.0180
		265	0.0025	132	0.0320
		317	0.0016	138	0.0738
		326	0.0057	153	0.0236
		343	0.0009	158	0.0549
		384	0.0018	164	0.0261
		410	0.0008	185	0.0577
		462	0.0020	257	0.0062
		500	0.0007	280	0.0032
				304	0.0068
				323	0.0045
				343	0.0193
				386	0.0014
				444	0.0054
				476	0.0018
				490	0.0046
				500	0.0014

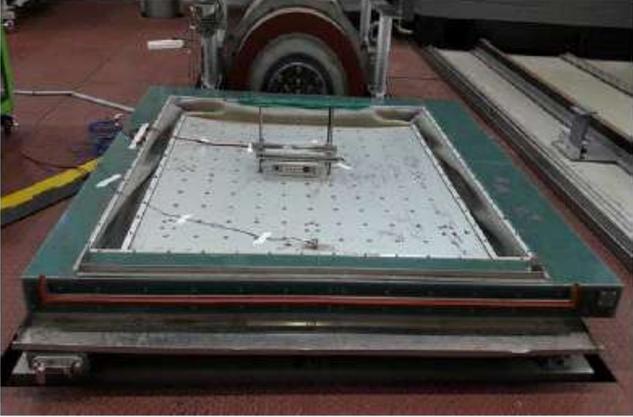
rms = 4.43 g

rms = 1.30 g

rms = 2.86 g

: 시험 사진

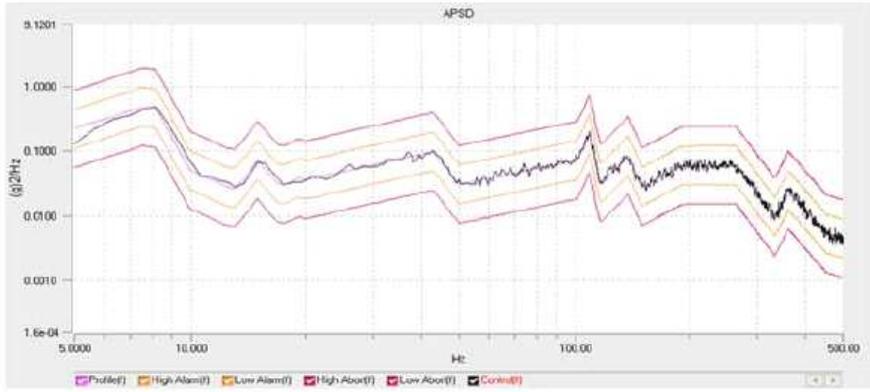
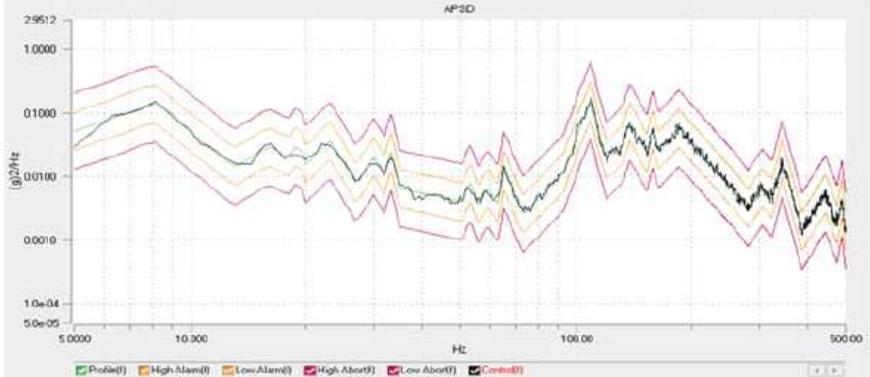
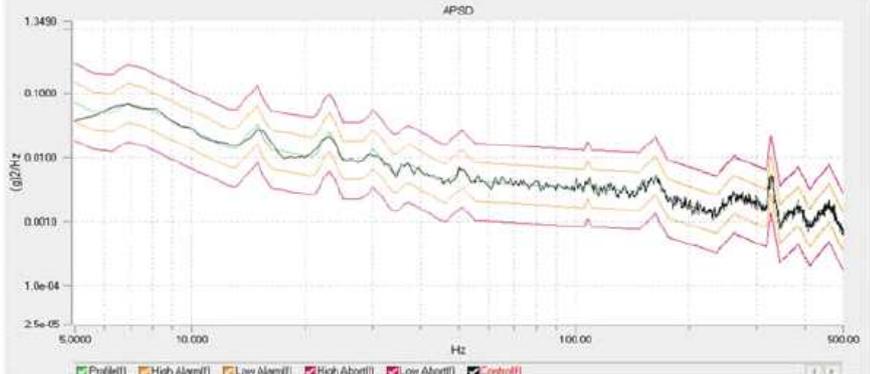
구분	시험 사진
Vertical	

Longitudinal	
Transverse	

: 시험 결과

순번	점검 항목	시험 결과
1	1. 외관 상태 확인 (육안 검사) - 변형 및 Crack 확인 - 부품 이탈 확인 - Screw 풀림 확인	내부 Main Board 고정 Screw 풀림
2	2. 기능 동작 확인 - 전원 버튼 켜짐 확인 - Fan 작동 확인	정상

: 진동시험 Data

구분	시험 사진
Vertical	 <p> APSD Current Level: 0.00 dB Demand RMS: 4.467 g Control RMS: 4.481 g Frame Time: 1.6000 (s) Lines: 800 dF: 0.6 Hz DOF: 120 Current Level Time: 00:32:00 Remaining Time: 00:00:00 Data was saved as a file at time: 2019-10-23 PM 02:23:32 Begin Time: 2019-10-23 PM 01:59:45 End Time: 2019-10-23 PM 02:23:32 </p>
Longitudinal	 <p> APSD Current Level: 100.00 % Demand RMS: 2.876 g Control RMS: 2.884 g Frame Time: 1.6000 (s) Lines: 800 dF: 0.6 Hz DOF: 120 Current Level Time: 00:32:00 Remaining Time: 00:00:00 Data was saved as a file at time: 2019-10-23 PM 03:12:45 Begin Time: 2019-10-23 PM 02:39:48 End Time: 2019-10-23 PM 03:12:45 </p>
Transverse	 <p> APSD Current Level: 100.00 % Demand RMS: 1.305 g Control RMS: 1.297 g Frame Time: 1.6000 (s) Lines: 800 dF: 0.6 Hz DOF: 120 Current Level Time: 00:32:00 Remaining Time: 00:00:00 Data was saved as a file at time: 2019-10-23 PM 03:56:14 Begin Time: 2019-10-23 PM 03:23:12 End Time: 2019-10-23 PM 03:56:14 </p>

2-3. 연구개발 성과

성과 목표	사업화지표											연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화						기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용-홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술 료	제품 화	매출 액	수출 액	고용 창출	투자 유치	논문		학술 발표	정책 활용	홍보 전시						
											SCI					비 SCI			논문 평균 IF		
단위	건	건	건	건	백만 원	백만 원	백만 원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	건	명	건	건				
가중치	15	10				30	20		10					5		5		5			
최종목표	3	3	-	1	-	1	20	-	5	-	-	2	2	-	5	-	2	-	4	-	
1차 연도	목표 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
	실적 1		-	-	-	1	8	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	수상1	
2차 연도	목표 1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	2	-	1	-	1	-	
	실적 2	1				2	40.2		1					8		1		2	수상1		
3차 연도	목표 1	1	-	1	-	1	10	-	3	-	-	1	1	-	2	-	1	-	1	-	
	실적 1	2	-	1	2.31	3	52.7	-	4	-	-	2	-	-	4	-	1	-	1	-	
소 계	목표 3	2	-	1	-	1	10	-	3	-	-	2	2	-	5	-	2	-	2	-	
	실적 4	3	-	1	2.31	6	100.9	-	5	-	-	2	-	-	18	-	2	-	3	2	
종료 1차연도	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
종료 2차연도	-	-	-	-	-	-	10	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
종료 3차연도	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
소 계	-	1	-	-	-	-	10	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
합 계	3	3	-	1	-	1	20	-	5	-	-	2	2	-	5	-	2	-	4	-	

(1) 국내외 논문 게재

No	논문명	학술지명	주저 자명	호	국명	발행 기관	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	Detection of proline using a novel paperbased analytical device for on-site diagnosis of drought stress in plants	Review of scientific instruments	Young-Soo Choi	90(4)	미국	American Institute of Physics	SCI	2019.04.10	
2	Rice yield estimation based on K-means clustering with graph-cut segmentation using low-altitude UAV images	Biosystems engineering	MD Nasim REZA	177	미국	Elsevier Inc.	SCI	2019.01.02	

(2) 국내 및 국제 학술회의 발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	The 13 th IEEE International Conference on Intelligent Environments 2017 "Automatic Rice Yield Estimation Using Image Processing Technique"	MD Nasim REZA	2017.08.21.~25.	서울 중앙대학교	대한민국
2	한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2017년 추계 공동학술대회 "비행 로봇 영상정보를 이용한 딥 러닝 기반 보행자 움직임 추적 알고리즘 개발"	오상언	2017.10.27.	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
3	The International Tri-Conference for Precision Agriculture in 2017	백선욱	2017.10.16	Hamilton	New Zealand
4	Intelligent Environments 2017	Tean CHEN	2017.08.22	서울	대한민국
5	한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2017년 추계 공동학술대회	이미라	2017.10.27	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
6	2017 ASABE Annual International meeting	Md Nasim Reza	2017.07.18	Spokane, Washington	U.S.A
7	(사)한국정밀농업학회 학술대회	오상언	2018.04.13	상주	대한민국
8	CIGR(The International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering)	오상언	2018.04.24	Kyrenia	Northern Cyprus
9	CIGR(The International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering)	백선욱	2018.04.24	Kyrenia	Northern Cyprus
10	ISMAB2018(The 9th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering)	오상언	2018.05.29	제주도	대한민국
11	한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2018년 추계 공동학술대회	오상언	2018.10.19	서울대학교	대한민국
12	한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2018년 추계 공동학술대회	백선욱	2018.10.19	서울대학교	대한민국
13	(사)한국정밀농업학회 추계학술대회	김도환	2018.11.13	전라북도 익산 농업기술실용화 재단	대한민국
14	(사)한국정밀농업학회 추계학술대회	오상언	2018.11.13	전라북도 익산 농업기술실용화 재단	대한민국
15	2019 춘계공동학술대회	김도환	2019.05.09	경상대학교 GNU 컨벤션센터	대한민국
16	2019 춘계공동학술대회	MD Nasim Reza	2019.05.09	경상대학교 GNU 컨벤션센터	대한민국
17	2019 춘계공동학술대회	Xu-Hua Dong	2019.05.09	경상대학교 GNU 컨벤션센터	대한민국
18	Proceedings of the KSAM & ARCs 2019 Autumn Conference	김도환	2019.10.17	엘리시안 강촌	대한민국

(3) 생명자원(생물자원)/화합물: 해당사항 없음

(4) 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국 명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	다층구조의 환경장애 진단용 종이센서	대한민국	전남대학교 산학협력단	2017.12.01.	10-2017-0164186				40%
2	무인 항공기용 다기능 원치 장치	대한민국	유콘시스템 주식회사	2018.10.19	10-2018-0124845				100%
3	작물의 병해를 진단하기 위한 종이 기반 PG 검출센서 및 그 제조방법과 이를 이용한 PG 검출방법	대한민국	전남대학교 산학협력단	2018.10.22	10-2018-0126127				30%
4	다층구조의 환경장애 진단용 종이센서 및 이의 제작방법	대한민국				전남대학교 산학협력단	2018.08.31	10-1896007	40%
5	가물 진단용 종이기반 전기화학적 바이오센서	대한민국	전남대학교 산학협력단	2019.02.27	10-2019-0023337				20%
6	가물 진단용 종이기반 전기화학적 바이오센서	대한민국				전남대학교 산학협력단	2019.06.03	10-1987200	20%
7	작물의 병해를 진단하기 위한 종이 기반 PG 검출센서 및 그 제조방법과 이를 이용한 PG 검출방법	대한민국				전남대학교 산학협력단	2019.09.30	10-1987198	30%

(5) 저작권(소프트웨어, 서적 등): 해당사항 없음

(6) 전문연구 인력양성

No	분류	기준 년도	현 황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1	인력양성	2018		1				1					1	
2	인력양성	2019		1			1						1	

(7) 산업기술 인력양성: 해당사항 없음

(8) 기술거래(이전) 등

No.	기술이전 유형	기술실시계약명	기술실시 대상기관	기술실시 발생일자	기술료 (당해연도 발생액)	누적 징수현황
1	영리법인 직접 실시	유선 비행 로봇 시스템 개발	유콘시스템(주)	2019.12.27	2,310,000	

(9) 사업화 투자실적

(10) 사업화 현황

No	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생년도	기술 수명
							국내	국외		
1	물품제작	제작 납품	대전	충돌회피 시스템 안테나 추적기 콘트롤러 제작	안테나 추적기 모듈 제작	KARI	8백만원	-	2017	5년
2	자기실시	기술 용역	국내	초경량 비행장치 특성에 따른 소각행위 탐지능력 분석	유선비행 로봇을 활용한 야간소각 탐지	유콘시스템(주)	33백만원	-	2018	-
3	물품제작	제작 납품	국내	TX2모듈을 탑재한 비행조종장치 제작	영상인식 기능을 보유한 비행조종장치 하드웨어 납품	(주)넥스컴스	7.2백만원	-	2018	5년
4	물품제작	제작 납품	국내	5G드론기체구매	Security Device 개발	에스케이텔레콤(주)	27.2백만원	-	2019	5년
5	물품제작	제작 납품	국내	회전익 드론	회전익 드론 최종제작	국방과학연구소	13.5백만원	-	2019	5년
6	물품제작	제작 납품	국내	영상인식 보드	영상인식 보드 납품	(주)이지테크	12백만원	-	2019	5년

(11) 표준화: 해당사항 없음

(12) 기술요약정보: 해당사항 없음

(13) 보고서 원문: 해당사항 없음

(14) 기타

(가) 전시회(3건)

- 1) 농업용 드론 활성화 심포지엄 및 현장 페스티벌. 농촌진흥청. 2018.10.01.
- 2) 2018 로보월드. 산업통상자원부. 2018.10.10.
- 3) 2019 스마트국토엑스포. 국토교통부. 2019.08.06.

(나) 수상(2건)

- 1) 우수논문상. 한국농업기계학회 2017년 추계공동 학술대회. 2017.10.27.

- 2) Excellent Presentation Award. 9th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering. 2018.05.29.

2-4. 연구개발 결과

(1) 기술적 성과

- 차량에 RTK-GPS, Angular sensor, INS 및 Main control Board를 탑재하여 자율주행 차량 시스템을 구성하고, Way-point 추종 알고리즘에 기반하여 자율주행이 가능하도록 함.
- 운동장과 농로 조건에서 경로를 추종하면서 고정밀도로 자율주행할 수 있는 시스템을 구성함.
- 유선 드론이 트랙터에서 이착륙할 수 있고, 주행중 유선 드론을 고정화 할 수 있는 도킹 스테이션을 제작하여 트랙터에 설치함.
- 유선 드론과 자율주행 트랙터간의 상호 정보 교환이 가능하고, 자율주행 운영을 최적화 할 수 있는 유선 드론-자율주행 트랙터 통합 시스템을 구성함.
- 5대의 카메라를 드론에 탑재하기 위한 브라켓을 설계·제작함. 브라켓은 카메라 떨림을 최소화하면서 드론의 유효하중(1kg)을 고려하여 경량화할 수 있는 재질을 사용하여 250g 이내의 하중이 되도록 함.
- 영상의 객체를 판별하기 위해 영상의 픽셀 단위로 convolution과 pooling의 단계를 거쳐 영상들의 객체 특징 맵을 구성하는 feature extraction과 객체가 예상되는 지점에 영역을 설정하는 Region Proposal Network (RPN) 후 데이터베이스와의 연관성을 비교하여 대상 객체를 검출하는 RPN&Classification으로 구성되는 Faster R-CNN기반 대상객체 인식 알고리즘을 설계함
- 설계한 알고리즘은 레이어 구성의 변화를 통해 다른 CNN의 알고리즘들보다 빠른 처리 속도를 보여 YOLO의 처리속도에 근접하는 것을 볼 수 있음. CNN의 방식이 오검출율을 줄이고 검출 정확도를 높이는 데에 중점을 두고 있다면 설계한 알고리즘은 R-CNN의 검출율을 그대로 유지하면서 실시간 처리를 위한 이미지당 처리 속도를 보완함
- SIFT는 이미지의 크기와 회전에 불변하는 특징을 추출하는 알고리즘으로 서로 다른 두 이미지에서 SIFT 특징을 각각 추출한 다음에 서로 가장 비슷한 특징끼리 매칭해주면 두 이미지에서 대응되는 부분을 찾아냄. 본 알고리즘에서 SIFT는 항공 이미지 등록, 추적 및 영상들 간에 가장 비슷한 특징점을 매칭하기 위한 주요 기능들을 식별함
- 작은 패치 또는 표면 요소 집합이 객체를 나타내는 Patch based MVS(PMVS) 방법은 3D 상에서 비활성 포인트 픽셀의 이웃 픽셀의 정보들을 바탕으로 새롭게 픽셀의 정보를 생성하여 조밀한 포인트 클라우드를 생성함
- 드론으로 촬영된 항공 영상에서 GSD를 계산하여 트랙터 앞부분과 영상의 수평 중심선을 기준으로 도로폭을 계산함. 매 초당 도로의 폭을 계산하여 폭의 값에 따라 좁아지면 트랙터의 주행속도를 줄임
- 위험 상황을 판단하기 위해서 드론과 트랙터 그리고 객체를 인식한 위치를 기반으로 거리를 계산하여, 드론의 비행 높이를 기반으로 트랙터 주위의 위험 지역으로 객체가 검출 되었을 경우 위험 신호를 발생하는 인식 정보를 바탕으로 상황 판단을 할 수 있는 기준을 수립하여 농기계의 주행 중에 위험 상황을 판단하기 위한 알고리즘을 설계함

- 트랙터의 위험 반경에 들어오게 되면 제어시그널을 생성하여 자율주행 농기계로 전송되도록 함. 또한 도로 인식 프로그램은 도로의 폭을 계산하여 자율주행 농기계가 안전하게 지나갈 수 있는 길인지 아닌지에 대한 판단을 진행하고 제어시그널을 생성하게 됨. 이와 같이 장애물 인식 프로그램은 거리 측정 알고리즘을 같이 구동되도록 설계함
- 유선 비행 로봇 시스템은 드론의 정지비행의 장점과 짧은 비행시간을 보완하여 장시간 10m 고도에서 비행 가능한 시스템을 개발하였음
- 암폴딩 시스템을 적용하여 기체의 보관 및 이동을 용이하게 하기 위해 암폴딩이 가능하도록 기체를 설계 제작함. 암폴딩을 위해 모터암에 폴딩킷을 장착하였고 폴딩킷의 레버를 화살표 방향으로 누르면 모터암을 접고 펼 수 있게 설계 및 제작함
- 테더케이블을 쉽게 감고 풀며 안정적 전원을 공급 가능한 윈치장비는 비행체에 안정적인 전원공급과 영상과 통신을 외부장비와 연결 시켜주는 허브역할을 하는 장비로 테더케이블과 테더케이블을 꼬임 없이 감고/풀어 주는 케이블윈치, 전원을 공급하는 지상전원공급장치, 데이터를 주고 받는 역할을 하는 인터페이스 모듈로 설계함
- 입력전압, 입력전류, 출력전압, 온도, 비상배터리 전압을 실시간 모니터링 가능하도록 5V의 AD 신호를 출력하도록 설계하였고, 전원이 끊길 경우 비상배터리를 통해 자동전환되어 비행체를 안전하게 회수 가능하도록 설계함
- 테더케이블의 장력을 인식하여 비행체의 고도에 따라 실시간 자동 감김 풀림 기능이 동작하게 하였으며, GCS와 연동하여 비행체 상태값을 실시간 모니터링하여 자동착륙모드에 돌입할 경우, 일정 고도(0.5 m)에서 강제 감기를 통하여 착륙의 정확도를 높임
- DDR3 메모리, uSD카드, RS-232, Ethernet, 외부 ADC, DIO를 이용 가능하도록 제작하여 본 과제이외의 일반 로봇 제어용 보드로 개발하여 무인항공기에도 적용할 수 있도록 시제품으로 제작함.

(2) 경제적 성과

- 세계 농기계 시장 규모는 지난 1999년부터 연평균 5.0% 지속적으로 성장하여 1,490억불 시장을 형성하고 있음
- 국내 농기계 산업의 해외 수출 확대를 위해서는 농기계 자체의 수출도 중요하지만 차세대 스마트 농기계의 핵심 요소 기술을 적극적으로 개발하고 이와 관련된 후방 산업을 적극적으로 육성한다면 농기계 산업의 양적 질적 성장을 동시에 가져올 수 있음
- 유선 비행 로봇은 IR 카메라를 장착하여 인질 상황 및 용의자를 지속적으로 추적하여 이동 경로를 확보하여 테러 대응에 활용할 수 있으며, 산불의 진행 상황을 추적하여 수월하게 진화할 수 있도록 정보를 제공하고 대규모 산업재해 현장에서 인명을 보호하는 동시에 재해 지역을 조사하기 위해 활용될 수 있음
- 비행 로봇의 전 세계 시장 규모는 2019년 기준 약 114억 달러에서 2025년에는 약 202억 달러까지 성장할 것으로 전망되며, 특히 장시간 비행이 가능한 유선 비행 로봇 시장은 매년 지속적으로 성장할 것으로 추정됨
- 인공지능 기반의 영상 분석 시스템은 빅데이터와 사물인터넷 등이 접목될 수 있어서 AI 시장에서의 '지능정보기술'로 인한 국내 경제 효과는 신규 매출 증대와 비용 절감 등을 합쳐 2030년에는 최대 460조원에 이를 것으로 전망되어 그 경제적 가치가 큼
- 영상분석용 임베디드 보드는 카메라의 해상도가 높아짐에 따라 고용량의 이미지 데이터

를 처리할 수 있는 고성능의 시스템이 필요해져서 ARM에 의해 옹호되는 에너지의 효율적인 설계와 칩의 지속적인 처리능력의 증가가 이루어지고 있음

- 영상분석용 임베디드 보드의 개발을 통해 전 세계 임베디드 시장 규모는 2020년 2100억 달러를 넘어설 것으로 예상되며 임베디드 시장에서 하드웨어가 차지하는 비중이 90%가 넘기 때문에 국내 임베디드 시장에서 큰 경쟁력을 갖출 것으로 예상됨
- 인공지능형 환경인식 센싱 플랫폼이 성능이 고도화되어 주행형 농업기계에 탑재될 수 있다면 그 경제적, 산업적 가치는 매우 높을 것으로 생각됨
- 드론-자율주행 트랙터 통합 시스템이 상용화 된다면 지능형 농업기계의 영역을 더욱 확대할 수 있고, 농업기계의 경제적 효과를 더욱 높일 수 있음

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표
1차년도 (2017)	수동 및 자율주행이 가능한 센싱 플랫폼 시험용 트랙터 구성(1세부)	<ul style="list-style-type: none"> - 운전자 보조 시스템으로서 센싱 플랫폼의 성능 시험을 위한 시스템 구성 - 센서 및 제어장치의 트랙터 탑재에 의한 자율주행 차량 구성 - 평지 및 경사지 농경지에서의 자율주행을 위한 알고리즘 개발
	영상 획득 및 분석용 시험보드 제작(위탁)	<ul style="list-style-type: none"> - 장애물 인식 및 추적 알고리즘 설계 - 데이터 셋 구성 및 성능 평가 - 알고리즘의 성능 평가
	모바일 농업기계 주행 관련 위험요인 검출 알고리즘 개발(2세부)	<ul style="list-style-type: none"> - 일정고도 장시간 비행과 실시간 정보 획득 가능 장비 개발 - 유선 비행 로봇 시험기 제작
	유선 비행 로봇 시스템 설계 및 제작(1협동)	<ul style="list-style-type: none"> - 영상 분석 상용보드를 이용한 임베디드 시스템 설계 - 외부 인터페이스용 보드 제작
2차년도 (2018)	유선 비행 로봇 및 영상 분석 임베디드 시스템 탑재 및 성능시험(1세부)	<ul style="list-style-type: none"> - 유선비행 로봇의 도킹스테이션 제작 및 탑재 - 유선비행 로봇의 촬영 임무장비 브라켓 설계 및 탑재 - 유선비행 로봇의 통합 시스템 구성
	작물 및 농경지 특성 분석 알고리즘 개발(2세부)	<ul style="list-style-type: none"> - 3D Point-cloud 기반의 도로 및 주변환경 인식 - 3D Point-cloud의 Elevation 기반 경사도 파악 - 도로인식 프로그램 설계
	유선 비행 로봇 제어장치 및 지상 통제 장치 개발(1협동)	<ul style="list-style-type: none"> - 유선 비행 로봇 제어장치 개발 - 유선 비행 로봇 지상 통제장치 개발
	인공지능 기반 영상 분석용 임베디드 시스템 개발(2협동)	<ul style="list-style-type: none"> - 메인보드 제작을 위한 영상처리 모듈 회로도 제작 - TX2 모듈을 이용한 메인 보드 제작

3차년도 (2019)	테스트베드 구축과 통합시스템 현장 시험 및 최적화(1세부)	<ul style="list-style-type: none"> - 자율주행 트랙터 현장 시험 - 유선 비행 로봇 트랙터 현장시험 - 최적화를 위한 알고리즘 구현
	온톨로지 기반 위험 상황판단 알고리즘 개발(2세부)	<ul style="list-style-type: none"> - 농기계 주행 시 위험상황 판단 알고리즘 설계 - 농경지 환경 정보 제공을 위한 거리 측정 알고리즘 설계 - 프로그램 통합 및 실증테스트 진행
	시험용 트랙터와의 시스템 최적화 및 현장 시험(1협동)	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 통합 및 체계시험 지원 - 유선 비행 로봇 성능 개선
	임베디드 시스템의 테스트 베드 현장 시험 및 최적화(2협동)	<ul style="list-style-type: none"> - TX2용 보드 설계 - 환경시험 진행

3-2. 목표 달성여부

구분 (연도)	연구목표	연구내용	달성도
1차년도 (2017)	수동 및 자율주행이 가능한 센싱 플랫폼 시험용 트랙터 구성(1세부)	<ul style="list-style-type: none"> - 센싱 플랫폼 탑재가 가능하며 다양한 센서 장비로부터 정보습득이 가능한 범용연구용 Main controller 제작 및 설치 - RTK-GPS, Angular sensor, INS 및 제어 장치 설치 - pure pursuit steering 알고리즘에 의한 횡방향 제어 	100%
	영상 획득 및 분석용 시험보드 제작 (위탁)	<ul style="list-style-type: none"> - TX2 Evaluation Board를 이용하여 성능 알고리즘 적용여부 확인 - 독립 파워 설계 - Power warning or error check 펌웨어 소프트웨어 설계 - 기본 입출력 인터페이스 펌웨어 소프트웨어 설계 - 독립 파워용 제어 Interface 보드설계 및 시제품제작 - 외부 통신용 Interface Part 설계 및 시제품제작 	100%
	모바일 농업기계 주행 관련 위험요인 검출 알고리즘 개발 (2세부)	<ul style="list-style-type: none"> - faster R-CNN 기반의 장애물 검출 알고리즘 설계 - 영상 데이터 셋 구성을 위해 농경지 촬영 진행 - 알고리즘의 검출 성능 평가를 위한 요구사항 고려 - 객체 인식에 적합한 PASCAL VOC 및 구성된 데이터 셋을 이용하여 알고리즘 성능 비교 평가 진행 	100%
	유선 비행 로봇 시스템 설계 및 제작(1협동)	<ul style="list-style-type: none"> - 지상에서 전원 공급 가능한 유선 비행로봇 시스템 하드웨어 설계 - 유선비행에 적합한 비행제어 로직 설계 - 1차년도 정량적 목표인 고도 10m 비행체 개발 - 1시간 이상 전원공급 가능한 전원장치 시스템 개발 - 지상에서 전원공급 및 통신이 가능한 시험용 원치케이블 개발 - 기체진동을 상쇄시킬 수 있는 FHD급 임무장비 최적화 설계 - 감고/풀기 가능한 원치 개발 	100%

2차년도 (2018)	유선 비행 로봇 및 영상 분석 임베디드 시스템 탑재 및 성능시험(1세부)	<ul style="list-style-type: none"> - 트랙터 외관 설계 및 제작 - 드론 도킹 스테이션 설계 및 제작 - 멀티카메라 브라켓 설계 및 제작 - 멀티셔터 회로 설계 및 제작 - 드론 촬영 비행 테스트 - 유선 드론의 통합 시스템 구성 - 자율주행 트랙터의 통합 시스템 구성 	100%
	작물 및 농경지 특성 분석 알고리즘 개발(2세부)	<ul style="list-style-type: none"> - 고밀도 Point-cloud 생성 - Point-cloud 기반 3차원 영상 분류 알고리즘을 통한 농경지 주변환경 인식 - 3차원 Point-cloud 기반 Classification 알고리즘 - GIS에 의한 평균경사도 산출 - 델로네 삼각법을 이용한 삼각형 네트워크 생성 - 도로 검지 및 분할 - 도로 폭 계산 	100%
	유선 비행 로봇 제어장치 및 지상 통제 장치 개발(1협동)	<ul style="list-style-type: none"> - 유선비행로봇 제어장치 개념 설계 - 센서 선정 및 I/F 설계 - 비행제어장치 PCB 회로 설계 - 비행제어장치 I/F시험 - 통제장비 개념 설계 - 하드웨어선정 및 I/F 설계 - PBX 회로 설계 및 제작 - 지상통제 CSCI 및 CSC 설계 - 원치장비 개선 설계 	100%
	인공지능 기반 영상 분석용 임베디드 시스템 개발(2협동)	<ul style="list-style-type: none"> - TX2 모듈을 이용하여 성능 영상인식 임베디드 보드 제작을 위한 회로도 설계 - TX2 모듈을 이용하여 Main Board 제작 - 독립 파워 제작 - Power warning or error check 펌웨어 소프트웨어 설계 - 기본 입출력 인터페이스 펌웨어 소프트웨어 제작 	100%

3차년도 (2019)	테스트베드 구축과 통합시스템 현장 시험 및 최적화(1세부)	<ul style="list-style-type: none"> - 경로 1 : 평지 L 경로 추정 시험 - 경로 2: 평지 S 경로 추정 시험 - 경로 3: 평지와 경사지에서의 경로 추정 시험 - 드론 통합 농경지 실험 - 영상 인식 플랫폼 제작과 정보에 따른 트랙터 속도 변화 시험 - Tuning 요인에 따른 GPS 경로와 실제 경로의 오차 다이 나믹 최소화를 통해 경로 추정 최적화 알고리즘 구현 - 장애물과 도로 폭 인식 용 드론 통합 자율 주행 트랙터 속도 제어 알고리즘 구현 	100%
	온톨로지 기반 위험 상황판단 알고리즘 개발(2세부)	<ul style="list-style-type: none"> - 온톨로지 기반의 상황인지 모델 설계 - 온톨로지 기반의 Movement 모델 설계 - 위험상황 판단 알고리즘 설계 - 영상 처리를 이용한 거리 측정 - 프로그램 통합 - 1차 실증 테스트 	100%
	시험용 트랙터와의 시스템 최적화 및 현장 시험(1협동)	<ul style="list-style-type: none"> - 원치 안전로직 설계 - 체계시험 지원 - PCM 성능 개선 	100%
	임베디드 시스템의 테스트 베드 현장 시험 및 최적화(2협동)	<ul style="list-style-type: none"> - 최종 보드 제작 - 제작 보드와 케이스 결합 - 저온/고온 운용 시험 - 진동 시험 	100%

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등): 해당사항 없음

4. 연구결과의 활용 계획 등

4-1. 연구결과 활용 가능성

- 세계 농기계 시장 규모는 지난 1999년부터 연평균 5.0% 지속적으로 성장하여 1,490억불 시장을 형성하고 있음. 지역별로는 북미, 서유럽의 안정적인 성장과 더불어 2006년 이후 중국, 인도 등에서의 급속한 증가세를 보이고 있음
- 국내 농기계 시장은 내수 시장 판매 약화와 수출 정체로 인해 어려움에 직면해 있음. 중국, 인도 업체들의 저가 공세와 일본 업체들의 기술적 우위 속에서 국내 농기계 산업의 국제 경쟁력은 점차 약화되어 가고 있음
- 국내 농기계산업이 국제 경쟁력을 갖추기 위해서는 중국, 인도 제품과는 기술적 차별성을 부각해야 하며, 선진국 제품과는 혁신적인 아이디어 발굴을 통해 농기계의 범용성을 확대할 수 있고 조작의 편의성과 안전성을 담보할 수 있는 새로운 기능을 탑재해야 함
- 국내 농기계 산업의 해외 수출 확대를 위해서는 농기계 자체의 수출도 중요하지만 차세대 스마트 농기계의 핵심 요소 기술을 적극적으로 개발하고 이와 관련된 후방 산업을 적극적으로 육성한다면 농기계 산업의 양적 질적 성장을 동시에 가져올 수 있음
- 본 연구에서 개발한 요소 구성품과 통합 시스템을 모바일 농기계의 스마트화의 후방 산업으로 육성 가능함

4-2. 연구개발 활용 목표 및 경쟁력 분석

(1) 연구결과 활용 목표

- 모바일 농업기계(트랙터, 콤바인, 이앙기, 관리기 등)의 고지능화에 의한 안전사고 예방 및 농작업 효율성 극대화를 위해 드론 영상 분석에 기반한 인공지능형 환경인식 센싱 플랫폼과 이를 기존 농기계에 쉽게 플러그인 할 수 있는 기술

(2) 경쟁력 분석

- 유선연결 비행로봇 : 국내 특허 보유
- 드론이 농업분야에 다양하게 응용되고 있지만 이러한 드론은 배터리 전원을 사용함으로 비행시간이 15분 내에 한정되는 되는 취약점이 있음. 하지만 본 연구에서 개발한 유선 드론은 지속적인 전원공급이 가능함으로 주위 환경감시 임무수행에 최적임. 유선 드론은 일부 국방 분야에서 연구된바 있지만 농업분야의 활용은 국내 최초 사례임
- 현재까지 생육정보 모니터링과 농약 방제를 위한 드론의 활용과 자율주행 농업용 차량에 대한 각각의 연구는 진행되었으나, 드론과 농업용 자율주행 차량의 협업에 관한 국내 연구는 전무함
- 트랙터를 이용하여 다양한 농작업이 이루어지고 있으나 드론을 통해 주위 환경인식과 함께 수행한 농작업의 특성을 파악하고 이를 트랙터에 피드백하여 농작업의 효율성을 극대화할 수 있는 시스템은 없었음
- 드론을 이용한 광역권의 시야를 확보하고 인공지능 영상 분석 기법을 통해 정적 및 동적 장애물 인지, 농로 검지, 농경지 경사도 예측 등을 종합적으로 판단하여 모바일 농업 기계의 운행 가능성을 인지하고 경로 재설정을 통해 모바일 농업기계의 운행을 최적화 하는 시스템 개발 사례는 없음
- 목표 시장 내에서 국내에서 본 연구 개발 결과와 유사한 경쟁기업은 전무하기 때문에 국방, 공공, 농업용으로 상용화를 진행 시 뛰어난 경쟁력을 지닐 것으로 분석됨

4-3. 수익 확보 전략

(1) 주요 고객군

- 국내 및 해외 농업기계 메이저 기업을 통해 개발 제품의 모바일 농기계 탑재를 추진함
- 대단위 영농인/영농법인, 지자체, 지역농협을 대상으로 개발 제품을 이용한 운전의 편의성과 농기계 안전사고 예방을 홍보하고 기존 모바일 농업기계에 플러그인 할 수 있도록 함
- 국가적으로 농업용 로봇 상용화를 추진하고 있는 국내 및 해외 기업을 대상으로 개발 제품을 홍보하고 탑재할 수 있도록 함

(2) 수익창출 방안

- 첨단기술 인증을 통한 공공조달 시장 제품등록 및 시장 발굴
- 현장 실증사업을 추진하여 현장 요구 반영이 가능한 맞춤형 소프트웨어 적용을 통한 부가가치 창출
- 국내 전국 대리점 구축, 신기술 농기계 등록을 통한 정부지원에 따른 판매 정책과 후속 지원 체계 구축
- 지속적인 홍보(언론매체), 전국단위 시연 행사, 기존의 농기계 판매점과 연계한 제품 판매

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.