

714002-07

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)

농식품기술융합 창의인재양성사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004198-01

농업생산
무인
자동화
연구센터

농업생산 무인자동화 연구센터

최
종
보
고
서

2022. 10. 31

2021

주관연구기관 / 전남대학교 (1-1세부)

협동연구기관 / (주)공간정보 (1-1협동)

충남대학교 (1-2협동)

LS엠트론(주) (1-3협동)

전남대학교 (1-2세부)

고려대학교 (2-1세부)

(주)씨슬프라이머스 (2-1협동)

전남대학교 (2-2협동)

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농업생산 무인자동화 인력 양성 및 연구”(개발기간 : 2014.09.18.~ 2021.12.31.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

주관연구기관명 : 전남대학교 산학협력단 (대표자) 민 정 준 (인)

협동연구기관명 : ㈜공간정보 (대표자) 김 석 구 (인)

충남대학교 산학협력단 (대표자) 정 종 울 (인)

LS엠트론㈜ (대표자) 신 재 호 (인)

고려대학교 산학협력단 (대표자) 조 석 주 (인)

㈜세솔프라이머스 (대표자) 이 관 호 (인)

주관연구책임자 : 이경환

협동연구책임자 : 김종전

김용주

최종민

김우영

정우진

이관호

김장호

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

| 최종보고서 | | | | 보안등급 | | | | | | |
|-------------------------|----------------|-----------------|---|--------------------------------------|----------------|---------------------|---------|-----------|-----------|----------------------------|
| | | | | 일반[✓], 보안[] | | | | | | |
| 중앙행정기관명 | 농림축산식품부 | | 사업명 | 사업명 | | 농식품기술융합 창의인재양성사업 | | | | |
| 전문기관명 (해당 시 작성) | 농림식품기술기획평가원 | | | 내역사업명 (해당 시 작성) | | - | | | | |
| 광고번호 | | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | | - | | | | | |
| | | | 연구개발과제번호 | | 714002-07 | | | | | |
| 기술분류 | 국가과학기술 표준분류 | 1순위 소분류 코드명 | % | 2순위 소분류 코드 명 | % | 3순위 소분류 코드명 | % | | | |
| | 농림식품과학기술분류 | 1순위 소분류 코드명 | % | 2순위 소분류 코드 명 | % | 3순위 소분류 코드명 | % | | | |
| 총괄연구개발명 (해당 시 작성) | | 국문 | - | | | | | | | |
| | | 영문 | - | | | | | | | |
| 연구개발과제명 | | 국문 | 농업생산 무인자동화 인력 양성 및 연구 | | | | | | | |
| | | 영문 | Education and Research on Agricultural Automation | | | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | 전남대학교 산학협력단 | 사업자등록번호 | 409-82-11942 | | | | | |
| | | 주소 | (우)광주 북구 용봉로 77 | 법인등록번호 | 206371-0001063 | | | | | |
| 연구책임자 | | 성명 | | 이경환 | 직위 | 교수 | | | | |
| | | 연락처 | 직장전화 | | | 휴대전화 | | | | |
| | | | 전자우편 | | | 국가연구자번호 | | | | |
| 연구개발기간 | | 전체 | | 2014. 09. 18 - 2021. 12. 31 (7년 3개월) | | | | | | |
| | | 단계 (해당 시 작성) | 1단계 | 2014. 09. 18 - 2017. 09. 17 (3년 개월) | | | | | | |
| | | | 2단계 | 2017. 09. 18 - 2021. 12. 31 (4년 3개월) | | | | | | |
| 연구개발비 (단위: 천원) | 정부지원 연구개발비 | 기관부담 연구개발비 | | 그 외 기관 등의 지원금 | | | | 합계 | | 연구 개발 비 외 지원 금 |
| | | | | 지방자치단체 | 기타(대학) | | | | | |
| | 현금 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 합계 |
| 총계 | 6,815,000 | 267,000 | 2,394,000 | | | 1,842,000 | | 8,924,000 | 2,394,000 | 11,318,000 |
| 1단계 | 1년차 | 975,000 | 50,000 | 450,000 | | | 500,000 | 1,525,000 | 450,000 | 1,975,000 |
| | 2년차 | 975,000 | 33,000 | 300,000 | | | 417,000 | 1,425,000 | 300,000 | 1,725,000 |
| | 3년차 | 975,000 | 50,000 | 450,000 | | | 417,000 | 1,442,000 | 450,000 | 1,892,000 |
| 2단계 | 4년차 | 812,000 | 28,000 | 248,000 | | | 127,000 | 967,000 | 248,000 | 1,215,000 |
| | 5년차 | 812,000 | 28,000 | 248,000 | | | 127,000 | 967,000 | 248,000 | 1,215,000 |
| | 6년차 | 802,000 | 28,000 | 248,000 | | | 127,000 | 957,000 | 248,000 | 1,205,000 |
| | 7년차 | 1,464,000 | 50,000 | 450,000 | | | 127,000 | 1,641,000 | 450,000 | 2,091,000 |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | | 기관명 | 책임자 | 직위 | 휴대전화 | 전자우편 | 비고 | | | |
| 공동연구개발기관 | | (주)공간정보 | 김종전 | 팀장 | | | 역할 | 기관유형 | | |
| | | 총남대학교 | 김용주 | 교수 | | | 공동 | 중소기업 | | |
| | | LS엠트론(주) | 최종민 | 책임연구원 | | | | 공동 | 대학 | |
| | | 전남대학교 | 김우영 | 연구교수 | | | | 공동 | 대기업 | |
| | | 고려대학교 | 정우진 | 교수 | | | | 공동 | 대학 | |
| | | (주)씨슬프라이머스 | 이관호 | 대표 | | | | 공동 | 중소기업 | |
| | | 전남대학교 | 김장호 | 부교수 | | | | 공동 | 대학 | |
| 연구개발담당자 실무담당자 | | 성명 | | 김우영 | 직위 | | 연구교수 | | | |
| 연락처 | | 직장전화 | | | 휴대전화 | | | | | |
| | | 전자우편 | | | 국가연구자번호 | | | | | |

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

2022년 7월 22일

연구책임자: 이 경 환



주관연구개발기관의 장:전남대학교 산학협력단



공동연구개발기관의 장:(주)공간정보 대표이사



충남대학교 산학협력단



LS엠트론(주) 대표이사



고려대학교 산학협력단



(주)세솔프라이머스 대표이사



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

| | | | | | | | | |
|------------------------|------------------|---|--|---|---|--------------------------|---|-----------|
| 사업명 | | 농식품기술융합 창의인재양성사업 | | | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | | - |
| 내역사업명 (해당 시 작성) | | - | | | | 연구개발과제번호 | | 714002-07 |
| 기술 분류 | 국가과학기술 표준분류 | 1순위 소분류 코드명 | % | 2순위 소분류 코드명 | % | 3순위 소분류 코드명 | % | |
| | 농림식품 과학기술분류 | 1순위 소분류 코드명 | % | 2순위 소분류 코드명 | % | 3순위 소분류 코드명 | % | |
| 총괄연구개발명 (해당 시 작성) | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 | | 농업생산 무인자동화 인력 양성 및 연구 | | | | | | |
| 전체 연구개발기간 | | 2014. 09. 18 ~ 2021. 12. 31 (87개월) | | | | | | |
| 총 연구개발비 | | 총 11,318,000천원 (정부지원연구개발비: 6,815,000천원, 기관부담연구개발비 : 4,503,000천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원) | | | | | | |
| 연구개발단계 | | 기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[] | | 기술성숙도 (해당 시 기재) | | 착수시점 기준() 종료시점 목표() | | |
| 연구개발과제 유형 (해당 시 작성) | | | | | | | | |
| 연구개발과제 특성 (해당 시 작성) | | | | | | | | |
| 연구개발 목표 및 내용 | 최종 목표 | | 농작업 로봇 자동화 및 농업시설 환경 자동화 기반기술 확립 을 통한 생산성 향상, 고품질화, 품질 규격화 및 핵심인력 양성 | | | | | |
| | 전체 내용 | | <ul style="list-style-type: none"> ○ 노지 농업생산 무인자동화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 드론 기반 농경지 및 작물 정보화 기술 개발 - 영농관리 의사결정 지원 솔루션 개발 - 트랙터 동력 모니터링 및 시뮬레이션 기술 개발 - 자율작업 트랙터 및 텔레매틱스 시스템 개발 ○ 온실 환경 등의 농업시설 무인자동화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 스마트 시설 환경 자동화 기술 개발 - 온실 환경 이송 작업을 위한 자율주행 로봇 기술 개발 - 온실 작물 재배관리 로봇 플랫폼 개발 - 서방형 방제 시스템 개발 | | | | | |
| | 1단계 (해당 시 작성) | | 목표 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업 적용 기술 개발 (1핵심) ○ 농업시설 에너지 환경 자동화 기반기술 개발 (2핵심) | | | | |
| | 1단계 (해당 시 작성) | | 내용 | <ul style="list-style-type: none"> - 스마트 농작업을 위한 작물, 환경 등의 정보화 및 무인 농업 단지 인프라 구축 - 농작업 환경 및 작물 계측을 통한 지능형 농작업 기계 제어 기술 개발 - 스마트 농작업 기계 상용화 및 현장 적용 기술 개발 - 스마트 시설 환경 자동화 기술 개발 - 온실 환경 이송 작업을 위한 자율주행 플랫폼 - 작물 생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현 | | | | |
| 2단계 (해당 시 작성) | | 목표 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 노지 농업생산 무인자동화 구현을 위한 Connected Farming 기반 기술 개발 (1핵심) ○ 농업시설 무인자동화 기반기술 개발 (2핵심) | | | | | |
| 2단계 (해당 시 작성) | | 내용 | <ul style="list-style-type: none"> - 드론 기반 농경지 및 작물 정보화 기반 기술 개발 | | | | | |

| | | |
|--|--|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> - Connected Farming 영농 관리 의사결정 지원 솔루션 개발 - Connected Farming 기반 트랙터 동력 모니터링 시스템 개발 - 한국형 원격 제어 트랙터 및 텔레매틱스 시스템 개발 - 온실환경 이송 작업을 위한 자율주행 플랫폼 - 자율형 로봇 스마트팜 플랫폼 개발 - 온실환경 작업 최적화를 위한 스마트 방제시스템 개발 |
|--|--|--|

| | |
|--------|---|
| 연구개발성과 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업적용 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 드론 기반의 농경지 정보화, 벼 수확량 측정 기술 개발 - 자율주행 트랙터 및 농작업기 제어 시뮬레이션 모델 개발 - 자율주행 콤바인 제어 기술 개발 ○ 농업시설 에너지 환경 자동화 기반기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 온실환경 계측용 RICT융합 어플리케이션 개발 - 온실 환경 자율주행 플랫폼 개발 - 파프리카 검출/수확용 로봇 플랫폼 개발 ○ 노지 농업생산 무인자동화 구현을 위한 Connected Farming 기반 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 드론 활용 농경지 3D 모델링 - 의사결정 지원 솔루션 플랫폼 개발 - 트랙터 농작업 모니터링 시스템 개발 - 한국형 자율작업 트랙터 개발 및 상용화 ○ 농업시설 무인자동화 기반기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 온실 내 물류 운반을 위한 자율 주행 플랫폼 개발 - 재배 자동화 로봇 개발 - 서방형 농약 방출 플랫폼 개발 ○ 연구성과를 활용하여 특허 출원 및 등록 86건, 매출액 1,184(백만원), 인력양성 77건 등의 실적을 달성함 |
|--------|---|

| | |
|---------------------|---|
| 연구개발성과 활용계획 및 기대 효과 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 노지 스마트팜 핵심원천 기술인 드론 기반 환경 분석 기술 및 영농관리 의사결정 솔루션은 농작업의 효율을 높여 농업인의 작업환경을 개선하고 농가의 수익을 증대시킬 수 있음 ○ 위치인식기술, 경로추종기술, 제어기통합제어기술 등의 자율주행기술은 자율주행 콤바인, 이앙기 등 다른 농업기계의 무인 자율화 개발에 확대 적용하여 활용 가능 ○ 온실환경 이동작업을 위해 개발된 장애물 감지 기술의 경우 레이저 센서의 종류, 바닥 데이터의 특성에 대해 추가 연구를 수행함으로써, 산업용 자율주행 로봇, 병원로봇 및 안내로봇 등의 서비스 로봇 분야에 활용 가능 ○ 서방형 방출 플랫폼은 생체 적합한 소재로 개발되었으며, 약물의 서방형 방출이 가능하기 때문에, 바이오 메디컬 분야로의 응용 연구가 가능할 것으로 여겨짐 ○ 차세대 스마트 농업/농기계의 핵심 요소 기술 및 인력 양성/개발이 이와 관련된 산업의 육성과 맞물려 농업의 양적/질적 성장 기대 |
|---------------------|---|

연구개발성과의 비공개여부 및 사유

| 연구개발성과의 등록·기탁 건수 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구 시설·장비 | 기술 요약 정보 | 소프트웨어 | 표준 | 생명자원 | | 화합물 | 신품종 | |
|-----------------------|-----------------|----------|-------------------|----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|----------------|-----|-----|----|
| | | | | | | | | 생명 정보 | 생물 자원 | | 정보 | 실물 |
| | 89 | 86 | | | | 1 | | | | | | |
| 연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황 | 구입 기관 | 연구시설·장비명 | 규격 (모델명) | 수량 | 구입 연월일 | 구입가격 (천원) | 구입처 (전화) | 비고 (설치장소) | ZEUS 등록번호 | | | |
| 국문핵심어 (5개 이내) | 농업생산 자동화 | | 커넥티드 팜িং | | 농업용 드론 | | 농업용 로봇 | | 스마트 방제 | | | |
| 영문핵심어 (5개 이내) | Farm automation | | Connected farming | | Agricultural drone | | Agricultural robot | | Smart spraying | | | |

< 목 차 >

| | |
|--------------------------------|-----|
| 1. 센터의 개요 | 8 |
| 2. 국내외 기술개발 동향 | 20 |
| 3. 연구개발내용 및 인력양성 프로그램 운영 | 21 |
| 4. 센터 운영 성과(1·2단계) | 35 |
| 4-1. 핵심기술개발 성과 및 활용성과 | 35 |
| 4-2. 인력양성 및 활용성과 | 659 |
| 5. 목표달성도 및 관련 분야 기여도 | 663 |
| 6. 연구성과의 활용계획 | 671 |
| 7. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보 | 677 |
| 8. 연구개발결과의 보안등급 | 679 |
| 9. 연구개발과제의 대표적 연구실적 | 679 |

1. 센터의 개요

1-1. 연구개발 목적

가. 최종 목표

| | |
|-----------|--|
| 비전 | 농업생산 무인 자동화를 위한 핵심 원천기술 개발 및 우수인력 양성 |
| 목표 | 농작업 로봇 자동화 및 농업시설 에너지 환경 자동화 기반기술 확립을 통한 생산성 향상, 고품질화, 품질 규격화 및 핵심 인력 양성 |

■ 1단계 목표현황

| 단계 | 제1핵심 | 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업적용 기술개발 | |
|-----|---|--|---|
| 1단계 | 세부과제 | 연차 | 연구 목표 |
| 1단계 | 1-1세부: 스마트 농작업을 위한 작물, 환경 등의 정보화 및 무인 농업단지 인프라 구축 | 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 경운정지 작업을 위한 환경 분석 - 작업 환경 분석 - 작물 인식 시스템 설계 |
| | | 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 수확 작업을 위한 작물 인식 및 환경 계측 기술 개발 - 작물 인식 기술 개발 - 환경 계측 기술 개발 - 작물 인식 시스템 개발 |
| | | 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 수확량 모니터링 및 품질 측정 기술 개발 - 품질 측정 기술 개발 - 수확량 모니터링 시스템 설계 |
| | 1-1협동: 농작업 환경 및 작물 계측을 통한 지능형 농작업기계 제어 기술 개발 | 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 농작업별 최적 운행 제어 기술 개발 및 작물환경/성분 요소 도출 |
| | | 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 농작업별 최적 운행 제어 모델 설계 및 수확작물 성분 분석 방법 |
| | | 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 자율주행 시뮬레이션 기술 최적화 및 성능평가 / 스마트 농작업기계의 system integration 기술 개발 |
| | 1-2협동: 스마트 농작업기계 상용화 및 현장 적용 기술 개발 | 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 자율주행 application의 콤바인 적용을 위한 System Integration 기술개발 |
| | | 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 궤도형 자율주행 차량의 조향제어 특성 및 최적화 연구 |
| | | 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 자율주행 콤바인 제어 시스템 개선연구 |

| 단계 | 제2핵심 | 농업시설 에너지환경 자동화 기반기술 개발 | |
|-----|--|------------------------|---|
| 1단계 | 세부과제 | 연차 | 연구 목표 |
| 1단계 | 2-1세부: 스마트 시설 환경 자동화 기술 | 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 농업시설 에너지 계측 및 모델링 기술 - 농업시설 환경 인자 자동 계측 기술 - 농업시설 에너지 환경 모델링 |
| | | 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 농업시설 에너지 절감 및 자동화 제어 기술 - 농업시설 환경 인자 자동 제어 기술 - 농업시설 에너지 절감 제어 기술 |
| | | 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 반자동 생육환경 최적 제어 application 개발 - 에너지 절감형 생육환경 최적 제어 기술 및 실용화 (토마토) - RICT 융합 온실 환경 계측, 제어 application 개발 |
| | 2-1협동: 온실환경 이 동작업을 위 한 자율주행 플랫폼 | 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 온실작업용 경로생성 장애물 감지 및 회피제어 온실환경정보 기반 위치추정기술 |
| | | 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 온실작업용 경로생성 작업지점의 정밀위치제어 온실환경정보 인식 |
| | | 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 작업지점의 정밀위치제어 온실환경정보 기반 위치추정기술 온실환경정보 인식 |
| | 2-2협동: 작물생산 관 리를 위한 원격제어 및 보조지능 기 반 Robotic S mart Farmin g System 구 현 | 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 영상 및 센서데이터 송수신 획득 모바일 시스템 구축 원격제어 작업을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 모듈 설 계 및 Ancillary Intelligence 기술을 활용한 알고리즘 구축 시설의 특성에 따른 Robot Platform 설계/모델 구축 로봇작업관리를 위한 원격 작업환경 인자 계측시스템 구축 |
| | | 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 영상 및 센서 데이터 송수신 및 획득 처리용 모바일 플 랫폼 개발 Convolutional Neural Network를 활용한 개체 인식 알고 리즘 개발 모바일 원격 제어모듈 개발 각 센서 인터페이스 실내요인 실험 |
| | | 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 파프리카 인식용 로봇 플랫폼 구축 CNN 기반 파프리카 인식 기술 고도화 제어 통합 시스템 구축 파프리카 실내 테스트 베드 구축 |

■ 2단계 목표현황

| 단계 | 제1핵심 | 노지 농업생산 무인자동화 구현을 위한 Connected Farming 기반 기술 개발 | |
|-----|--|---|--|
| 2단계 | 세부과제 | 연차 | 연구 목표 |
| 2단계 | 1-1세부: 드론 기반 농 경지 및 작물 정보화 기반 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 드론 기반 농경지 및 작물 공간정보 분석 시스템 개발 - 농경지 분석 모니터링을 위한 드론 시스템 구축 - 드론을 이용한 고해상도 영상 획득 및 작물 모니터링 - 농경지 및 작물의 3D 정보화 드론 시스템 현장 적용 시험 |

| | | |
|--|------|--|
| 기술 개발 | | - 농경지 및 주위 환경의 3D 공간 맵 구성 |
| | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 농경지 및 작물의 모폴로지 특성 파악 및 예측 모델링 - 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 및 분석 |
| | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 농경지 상태 파악 및 농작업 시기 예측 시스템 개발 - 영상 분석을 통한 농경지의 좌표화 및 결주율 파악 - 딥러닝을 통한 농경지 특성분석에 따른 최적의 농작업 시기 결정 |
| | 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 드론 기반 작물 수확량 모니터링 및 맵핑 시스템 개발 - 작물 개체의 낱알 분석 시스템 개발 - 작물 개체별 수확량 모니터링 및 맵핑 시스템 - 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 알고리즘 고도화 및 현장 실증 시험 - 농경지 및 주위 환경의 3D 공간 맵 고도화 및 실증 시험 |
| 1-1협동: Connected Farming 영농 관리 의사결 정 지원 솔루션 개발 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · DB 및 서비스 모델 구축(기상정보, 2D, 3D 정사영상, 식생지수 맵 등의 각종 공간정보 데이터) · 유효 DB 검증을 통한 최적 촬영 센서 제시 · 플랫폼 업로드 항목 선정 · 클라우드 서비스 플랫폼 전략 수립 |
| | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · DB 및 서비스 모델 구축(면적, 배수정보, 3D모델 분석, 작황, 토양정보) · 드론 성과와 클라우드 플랫폼 서비스 연계성 검토 · 클라우드 서비스 플랫폼 시스템 설계 |
| | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · DB 및 서비스 모델 구축(식생지수 분석, 질소함유량, 단백질함량 파악) · 클라우드 서비스 플랫폼 구축 |
| | 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 클라우드 서비스 플랫폼 상용화 · 솔루션 사용을 통한 개선사항 수정 및 고도화 · 솔루션 각종 오류 및 버그 수정 · 개발된 솔루션 홍보 및 수요처 조사 |
| 1-2협동: Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링(작 업 부하, 연 료소비) 시스 템 개발 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링(작업부하, 연료소비) 시스템 개발 - Connect farming에 적합한 트랙터 동력 센싱 기술 개발 : 실시간 동력 센싱을 위한 차축, PTO, 유압 등의 소요 동력 센싱 기술 개발 - 실시간 트랙터 동력 모니터링을 위한 인터페이스 및 계측 시스템 개발 : 동력 모니터링 시스템의 센서 융합 및 데이터 수집을 위한 인터페이스 및 계측 시스템 개발 |
| | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 농작업 조건에 따른 트랙터 동력 측정 및 분석 - 다양한 트랙터 작업에 따른 실시간 동력 데이터 수집 : 쟁기, 로타리, 베일러 등 다양한 농작업 조건과 주행 |

| | | |
|---|------|---|
| 1-3협동: 한국형 원격 제어트랙터 및 텔레매틱스 시스템 | 6차년도 | 조건, 변속단수에 따른 농작업 데이터 수집 - 트랙터 작업별, 작업 조건별 동력 데이터 분석 : 농작업 종류 및 작업 조건에 따른 주요 핵심부품별 부하 데이터 분석 |
| | | • 동력 모니터링을 통한 트랙터 주요 부품 신뢰성 평가 기술 개발 - 트랙터 동력 모니터링을 통한 신뢰성 평가 기술 개발 : 동력 모니터링을 통한 주요부품 신뢰성 분석 기술 개발 - 트랙터 주요부품 신뢰성 평가를 위한 사용자 인터페이스 개발 : Telematics 기반 신뢰성 분석 HMI 개발 |
| | | • Connected farming 기반 실시간 트랙터 동력 모니터링 시스템 신뢰성 성능평가 - Connected farming 실증을 위한 동력 모니터링 시스템 성능평가 : 실시간 트랙터 농작업에 따른 신뢰성 모니터링 시스템 개발 - 동력 모니터링 시스템 검증 : 실시간 동력 모니터링 시스템과 실내 시험장치, 시뮬레이션 등과의 비교 분석을 통한 동력 모니터링 시스템 검증 |
| | 4차년도 | • Telematics 트랙터 시스템 환경 구축 - 트랙터용 Telematics 시스템 환경 구축 : 해외 선진 업체 Telematics 시스템 벤치 마킹 : Telematics 트랙터 데이터 서버 구축 - Telematics 트랙터의 작업 환경 센싱 기술 개발 : Telematics Remote Controller 개발 |
| | | • Telematics 트랙터 시스템 개발 - Telematics 트랙터 모니터링 시스템 개발 : 트랙터 주요 핵심부품의 모니터링 시스템 개발 : 트랙터용 Telematics 데이터 계측 및 통신을 위한 제어 시스템 개발 |
| | | • Telematics 트랙터의 농작업 모니터링 기술 개발 - 트랙터 농작업 모니터링 기술 개발 : 트랙터의 작업 면적, 작업 부하, 연료소비, 작업 경로, 사용이력 등의 모니터링 시스템 개발 - 작업부하에 따른 트랙터 운행 및 농작업기 변량제어 시스템 개발 : 작업부하에 따른 트랙터의 최적 운행 의사결정 시스템 개발 |
| | | • 한국형 Telematics 트랙터 시작품 및 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 - 한국형 Telematics 트랙터 시작품 개발 : 작업 부하에 따른 최적 농작업 가이드 기술 개발 - 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 : 농업경영인 관리용 트랙터 Telematics HMI 개발 : Telematics 트랙터 고장진단 시스템 개발 |
| | 5차년도 | • Telematics 트랙터 시스템 개발 - Telematics 트랙터 모니터링 시스템 개발 : 트랙터 주요 핵심부품의 모니터링 시스템 개발 : 트랙터용 Telematics 데이터 계측 및 통신을 위한 제어 시스템 개발 |
| | | • Telematics 트랙터의 농작업 모니터링 기술 개발 - 트랙터 농작업 모니터링 기술 개발 : 트랙터의 작업 면적, 작업 부하, 연료소비, 작업 경로, 사용이력 등의 모니터링 시스템 개발 - 작업부하에 따른 트랙터 운행 및 농작업기 변량제어 시스템 개발 : 작업부하에 따른 트랙터의 최적 운행 의사결정 시스템 개발 |
| | 6차년도 | • Telematics 트랙터의 농작업 모니터링 기술 개발 - 트랙터 농작업 모니터링 기술 개발 : 트랙터의 작업 면적, 작업 부하, 연료소비, 작업 경로, 사용이력 등의 모니터링 시스템 개발 - 작업부하에 따른 트랙터 운행 및 농작업기 변량제어 시스템 개발 : 작업부하에 따른 트랙터의 최적 운행 의사결정 시스템 개발 |
| | | • 한국형 Telematics 트랙터 시작품 및 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 - 한국형 Telematics 트랙터 시작품 개발 : 작업 부하에 따른 최적 농작업 가이드 기술 개발 - 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 : 농업경영인 관리용 트랙터 Telematics HMI 개발 : Telematics 트랙터 고장진단 시스템 개발 |
| | 7차년도 | • 한국형 Telematics 트랙터 시작품 및 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 - 한국형 Telematics 트랙터 시작품 개발 : 작업 부하에 따른 최적 농작업 가이드 기술 개발 - 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 : 농업경영인 관리용 트랙터 Telematics HMI 개발 : Telematics 트랙터 고장진단 시스템 개발 |
| • 한국형 Telematics 트랙터 시작품 및 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 - 한국형 Telematics 트랙터 시작품 개발 : 작업 부하에 따른 최적 농작업 가이드 기술 개발 - 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 : 농업경영인 관리용 트랙터 Telematics HMI 개발 : Telematics 트랙터 고장진단 시스템 개발 | | |

| | | | |
|--|--|--------------|--|
| | 1-2세부: 농업생산무인 자동화기술을 배양한 인력 양성 | 4 ~ 7차 년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 다양한 환경 계측 및 작업 관리 시스템 구축을 목표로 하는 정밀 농업관련 기술 개발, 무인화/첨단화를 위한 정밀 농업 관련 전문가 양성 및 다수의 핵심 인력배출을 목표로함 · 자율주행을 위한 운행 제어, 작업 최적화, 제어 알고리즘 개발, 변량 제어 기술 개발 등의 자동화 기술을 배양한 인력 양성을 목표로함 · 본 과제에 참여하는 대학원생은 산업체가 요구하는 학문적 지식과 연구방법에 대한 실질적 경험을 갖춘 무인화/자동화 연구의 전문 연구 인력 양성을 목표로함 · 농업 시설 관리에 대한 기술적 전문성을 갖춘 인력양성을 통하여 농업 분야에서의 기술적 한계극복을 통한 신산업 창출을 목표로함 · 원격제어 기반 작물생산 자동화 시스템의 연구성과를 통해 생물생산 자동화 기술 향상을 목표로함 · 산학 연계 기술개발 및 워크샵 등의 경험을 바탕으로 산학 협력을 통한 실무능력 향상을 목표로함 · 산학연의 협력연구를 통해 분야별 전문성 및 현장 기술의 접목을 통해 핵심 기술 및 사업화단계별 요소기술의 실무능력을 향상하여 현장 문제 해결능력 배양을 목표로함 |
|--|--|--------------|--|

| 단계 | 제2핵심 | 농업시설 무인자동화 기반기술 개발 | |
|-----|---|--------------------|---|
| 2단계 | 세부과제 | 연차 | 연구 목표 |
| 2단계 | 2-1세부: 온 실환경 이송 작업을 위한 자율주행플랫 폼 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 물류운반 작업 특성 분석 및 효율적 임무관리기술 · 적재 및 하역을 위한 정밀위치제어기술 · 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술 · 개별 기술 현장 시험 |
| | | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 물류운반을 위한 물류제어기술 최적화 · 적재 및 하역을 위한 정밀위치제어기술 검증 및 최적화 · 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술 최적화 · 개별 기술 현장 시험 |
| | | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 실시간 환경정보 모니터링 기술 · 실시간 자율주행 플랫폼 원격제어기술 · 통합 자율주행 S/W 모듈 구현 · 기술 통합 및 현장 시험 |
| | | 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 실증 시험 및 서비스 연계 · 자율주행 플랫폼 상용화 |
| | 2-1협동: 시설 내 파프 리카 자동 수 확을 위한 로 봇 시스템 개 발 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 영상 시스템을 이용한 파프리카 속도(익은 정도) 구별 알고리즘 개발 |
| | 2-1협동: 자율형 로봇 스마트팜 플 랫폼 개발 | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 재배 자동화 셔틀로봇 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 재배 자동화 로봇 운영체계 개발 - 베드 최적화 적재를 위한 셔틀 링크 구조 개발 - 딥러닝을 통한 작물인식 및 최적 수확시기 선별 |

| | | | |
|--|-------------------------------------|------|--|
| | | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> • 이식 자동화 로봇 시스템 개발 - 이식 자동화 로봇 운영체계 개발(다관절 로봇암 제어) - 다관절 로봇암 개발(육묘 베드를 재배 랙으로 이동 하기 위한 로봇 - 적재를 위한 적재 툴(Gripper) 개발 - 육묘 불량을 인식하기 위한 이미지 프로세싱 기술 개발(Real Sense Camera 장착 및 Computer Vision 기반 SW기술 개발) |
| | | 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> • 수확자동화 로봇 시스템 개발 - 수확 자동화 로봇 운영 체계 개발 - 딥러닝을 통한 중량 선별 및 외관품질 선별 시스템 개발 |
| | 2-2협동: 온실환경 작업 최적화를 위한 스마트 방제시스템 개발 | 4차년도 | • 생체 및 화학비료 방제를 위한 서방형 방출 플랫폼 개발 |
| | | 5차년도 | • 서방형 방출 플랫폼을 활용한 생체 및 화학비료 방제 조절기술 개발 |
| | | 6차년도 | • 서방형 방출 플랫폼을 활용한 작물 생장·생육 촉진 기술 개발 |
| | | 7차년도 | • 온실환경 작업 최적화를 위한 서방형 생체 및 화학비료 방제시스템 개발 |

나. 단계·연차별 성과목표

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|---------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|------|------|------|------|----|------|------|------|----|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | | 인력양성 | | | 정책활용 | | 기타 |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | 홍보전시 | |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | | 명 | 명 | 명 | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | | 10 | 10 |
| 최종목표 | 22 | 19 | | 9 | | 6 | | | | | | 34 | 16 | 16 | 26 | 7 | 27 | | 5 | 7 |
| 1차년도 | 2 | - | | - | | - | | | | | | 1 | 1 | 1 | 2 | - | 2 | | - | - |
| 2차년도 | 3 | 2 | | 1 | | - | | | | | | 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 4 | | - | - |
| 3차년도 | 3 | 3 | | 2 | | 2 | | | | | | 5 | 2 | 2 | 4 | 2 | 5 | | 1 | 1 |
| 1단계 | 8 | 5 | | 3 | | 2 | | | | | | 11 | 5 | 5 | 9 | 3 | 11 | | 1 | |
| 4차년도 | 3 | 3 | | - | | - | | | | | | 5 | 2 | 2 | 3 | - | 3 | | - | 1 |
| 5차년도 | 3 | 3 | | 1 | | - | | | | | | 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 4 | | - | 1 |
| 6차년도 | 3 | 3 | | 2 | | 1 | | | | | | 5 | 2 | 2 | 4 | 1 | 4 | | 1 | 1 |
| 7차년도 | 2 | 3 | | 2 | | 2 | | | | | | 5 | 2 | 2 | 4 | 2 | 5 | | 1 | 1 |
| 2단계 | 11 | 12 | | 5 | | 3 | | | | | | 20 | 8 | 8 | 14 | 4 | 16 | | 2 | 4 |
| 소 계 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | | 3 | 5 |
| 종료 1차년도 | 1 | 1 | - | - | | - | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | - | 1 |
| 종료 2차년도 | 1 | - | - | - | | - | | | | | | 1 | 1 | - | 1 | | | | 1 | - |
| 종료 3차년도 | - | 1 | - | 1 | | 1 | | | | | | - | - | 1 | - | | | | - | |
| 종료 4차년도 | 1 | - | - | - | | - | | | | | | 1 | 1 | - | 1 | | | | 1 | 1 |
| 종료 5차년도 | - | - | - | - | | - | | | | | | - | - | 1 | - | | | | - | - |
| 소 계 | 3 | 2 | | 1 | | 1 | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | 2 | 2 |
| 합 계 | 22 | 19 | | 9 | | 6 | | | | | | 34 | 16 | 16 | 26 | | | | 5 | 7 |

1-2. 연구개발의 필요성

1. 국내·외 농업 환경의 변화

가. 글로벌 식량 위기: 국제 곡물가격 급등 및 식량의 무기화

- (1) OECD와 FAO의 장기전망에 따르면 향후 10년간 농산물 생산 증가율은 과거 10년의 2.6%보다 낮은 1.7%에 그칠 전망이다, 이에 따라 국제 곡물가격은 과거 10년 대비 20% 이상 상승할 것으로 예상
- (2) 우리나라는 세계4위 곡물수입국으로 곡물수입의 80% 이상을 미국, 프랑스, 아르헨티나, 호주, 캐나다, 브라질 등 소수 곡물 수출국에 의존하고 있어 세계 곡물 공급 부족 시 곡물가격 폭등으로 인한 물가 불안 뿐만 아니라 식량 무기화 사태에 휘말릴 수 있음
- (3) 앞으로 예견되는 세계적인 식량난은 한국 농업에 대한 새로운 도전이며, 최고의 과학기술에 기반하여 농업을 신성장 동력으로 육성할 필요가 있음

나. 국내 농업경영 환경 악화: 경지면적 감소 및 농가소득 저하

- (1) 경지면적은 2000년 1,888 천ha에서 2012년 1,730 천ha로 약 8.4% 감소하였으며 GDP에서의 농업비중은 2000년 4.2%에서 2012년 2.3%로 감소하였음
- (2) 농가부채는 지난 10년간 35% 증가하였고 도시가구 소득 대비 농가소득 비율은 2000년 80.6%에서 2012년 57.6%로 감소

| 구분 | 2000년 | 2005년 | 2010년 | 2012년 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| 경지면적 (천ha) | 1,888 | 1,824 | 1,715 | 1,730 |
| GDP에서의 농업비중 (%) | 4.2 | 3.0 | 2.3 | 2.3 |
| 가구당 농가부채 (만원) | 2,021 | 2,721 | 2,721 | 2,726 |
| 농가소득/도시가구소득 (%) | 80.6 | 78.2 | 66.8 | 57.6 |

- (3) 농업의 경영 개선을 위해서는 기존의 농업생산 방식을 탈피하고 ICT, 로봇 등 첨단기술을 이용하여 생산비 절감, 환경오염 최소화, 부가가치 제고 등 농업의 혁신을 이루어야 함

다. 농업인구의 고령화 : 농업생산여건 악화

- (1) 2018년 한국은 고령인구 14% 이상의 고령 사회에서 2026년 고령인구 20% 이상의 초고령 사회로 진입이 예상되며, 65세 이상 농가 인구 비율 또한 점차 증가하여 2022년에는 43.5%에 이르러 농촌 고령화는 더욱 심화될 전망
- (2) 농촌의 고령화는 피할 수 없는 현실이며 이로 인한 대구획화 농업에서의 생산성 유지를 위해서는 농업생산 시스템의 자동화, 로봇화가 요구됨

라. 농업생산성 한계: 식량부족 및 식량 자급률 저하

- (1) 현 농산업을 이루는 다수성 품종, 농약, 비료 등의 농자재, 농기계 등의 대규모 상업화로 인해 곡물생산량이 크게 증가하였으며 이로 인해 식량의 과잉공급으로 각국에서는 농업생산을 위한 투자를 감소시켰으며 생산성이 둔화됨
- (2) 2000년대 들어 이상기상으로 인한 농작물 피해, 개발도상국들의 곡물소비량 증가 등으로 인해 식량부족 사태가 빈발하면서 농업을 국가의 운명을 좌우하는 생존의 문제로 인식하고 농업에 대한 투자를 확대하기 시작
- (3) 농업생산 한계 및 환경적 문제를 해결함과 동시에 급속도로 변화하는 농업환경에 대응하

기 위해서는 정보화·자동화가 가능한 첨단 농업 생산시스템이 요구됨

2. 4차 산업혁명 시대 대비 농업의 대응

가. 4차 산업혁명의 의미와 특징



- (1) 인류의 산업혁명이 기계혁명(1차) → 전기혁명(2차) → IT혁명(3차) 형태로 진화되고 왔고 4차 산업혁명은 지능정보기술 기반으로 하는 생산 최적화 키워드임
- (2) 4차 산업혁명은 물리적 노동력을 넘어 인간의 지능까지 기계가 대체하는 지능형 산업 시대의 도래를 의미함
- (3) 모든 정보는 데이터화 되어 실시간으로 수집·처리되고, 기계에 의한 딥러닝(Deep learning)을 통해 고차원적인 의사결정이 가능한 사회로 전환됨
- (4) 기계의 지능화를 통해 생산성·효율성이 고도로 향상되어 기존 생산요소를 압도하는 변화를 야기함
- (5) 모든 사물이 연결되어 네트워크화 되고 , 사회적 불확실성에 대해서도 인공지능 기술을 통해 인간의 의사판단 영역까지 확장됨
- (6) 모든 사람과 사물이 연결되는 초연결 시대, 인공지능을 통해 점점 똑똑해지는 초지능을 통해 모든 것이 융합되는 사회로의 발전을 의미함

나. 4차 산업혁명시대 농업의 변화

- (1) 4차 산업혁명은 단순한 기술혁신 수준을 뛰어 넘어 농업·농촌 경제, 사회전반에 걸쳐 근본적인 변화를 가져올 것으로 예상됨
- (2) 지능정보기술에 의해 농산업 관련 주체들이 최적으로 연결되어 과거의 경험 기반 농업에서 데이터 기반 지능형 농업으로 전환됨
- (3) 농축산물의 생산에서 소비까지의 가치사슬 전 단계에 걸쳐 지능정보기술 접목은 생산자에게는 최고의 수익을, 소비자는 최적의 소비를 가능케 함
- (4) 생산, 관리 등의 농업 관련 노동을 로봇으로 대체하게 될 경우 생활 인프라는 물론 농산업구조의 대폭적인 변화를 가져올 것으로 예상됨
- (5) 따라서 빅데이터·인공지능으로 도출/분석된 데이터는 로봇, 드론, 3D 프린터 등의 어플리케이션 기술과 융합하여 농업인력 부족 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라 고도의 의사결정을 통해 농업생산성, 효율성을 극대화시킬 수 있음

〈4차 산업혁명에 따른 농업의 변화〉

| 구분 | 경험 기반 전통농업 | 데이터 기반 지능형 농업 |
|-------|--|---|
| 파종 | - 주관적 품종 선택 - 파종시기 경험 의존 | - 목적 지향적 품종개발/선택 - 환경데이터 기반 파종시기 결정 |
| 재배/관리 | - 농부 경험 의존 비료/관수 - 인력의존 농작업 - 징후 확인 후 병해충 관리 | - 비료/관수 정밀예측, 제어 - 자동화/기계화 농작업 - 징후 예찰 동시관리 |
| 수확/저장 | - 경험기반 수확시기 결정 - 노동력 의존 수확 | - 품질/유통정보 기반 수확 결정 - 자동화 선별/포장작업 |
| 가공/유통 | - 육안의존 품질 판단 - 경험 기반 유통/판매 | - 제품화 기준 품질 규격화 - 실시간 시장정보기반 유통/판매 |
| 종합 | - 농부의 경험과 노하우 의존 - 비효율적 농작물 관리 - 기후, 환경, 시장변화 수동적 대응 | - 축적된 데이터 기반 정밀 예측 - 농작업 정밀 예찰, 효율적 관리 - 기후, 환경, 시장상황 능동 대처 |

다. 4차 산업혁명시대 농업용 로봇 기술

- (1) 농업용 로봇은 인간의 개입을 최소화하고 스스로 제어하며 효율을 극대화할 수 있는 지능형 무인 농업생산시스템으로 농업자동화를 가능하게 함
- (2) 최근 4차 산업의 도래에 따라 농업용 로봇은 센서, 통신, Big data 등의 기술이 적용된 connected agriculture vehicle 등을 아우를 수 있는 의미로 변화함
- (3) 지능형 무인 농업생산시스템은 클라우드 컴퓨터 기반으로 정보를 수집하여 농업 전체를 진단, 관리함으로써 농업기계 및 농작물의 종합적인 관리 수행
- (4) IT 기술과 농업기계의 융합체인 농업용 로봇은 상시 네트워크 통신이 가능하며, 외부 DB, 주변 농기계, 포장이 인프라 등과의 실시간 소통을 통해 안전하고 편리한 작업을 가능하도록 함
- (5) 농업용 로봇을 이용한 무인농업생산시스템은 농업용 로봇 간의 동기화 시스템을 적용하여 다수의 로봇 간의 협업을 통해 효율을 극대화하여 농업생산량을 향상시킬 수 있음

1-3. 연구개발 범위

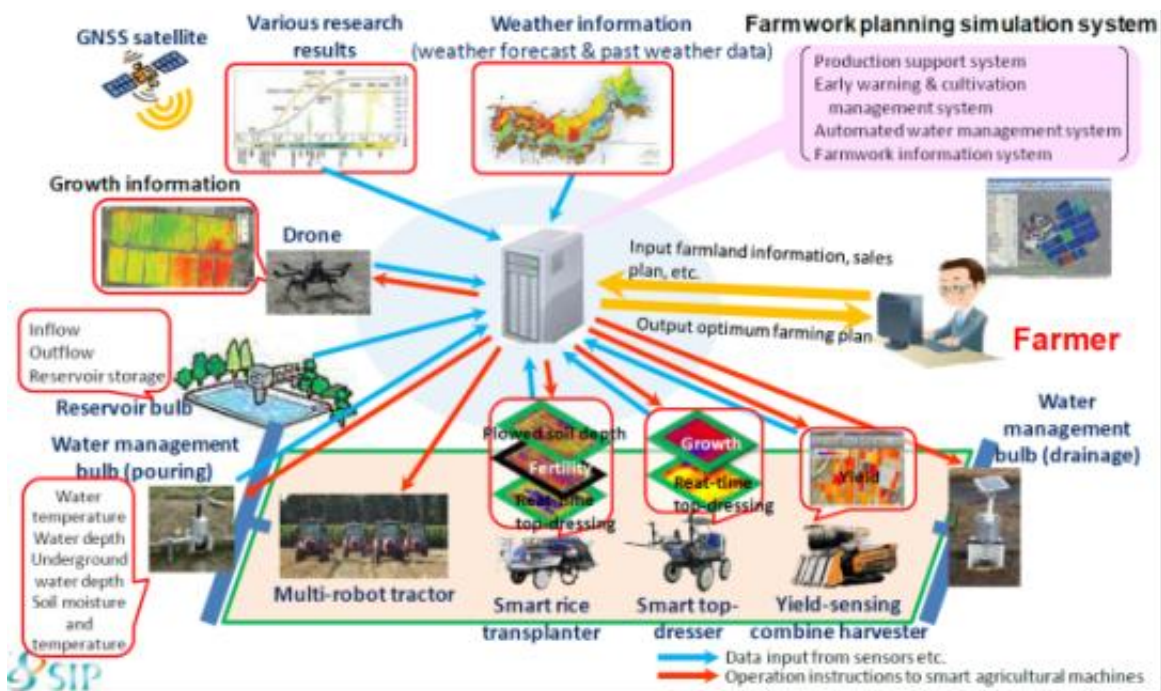
가. 연구과제 목록

| 단계 구분 | 과제 구분 | 연구과제명 | 연구책임자 성명 | 총연구개발비 | 참여 기업체명 |
|-------|----------------|--|---------------|-------------|---|
| | | | 연구책임자 소속 | | |
| 1단계 | 제1핵심과제 | 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업적용 기술개발 | 이경환 전남대학교 | 3,083,500천원 | |
| | 제1-1 세부연구과제 | 스마트 농작업을 위한 작물, 환경 등의 정보화 및 무인 농업단지 인프라 구축 | 이경환 전남대학교 | 1,261,000천원 | 한아에세스 (참여) 죽암기계 (참여) 선인씨엔에스(협동) |
| | 제1-1 협동연구과제 | 농작업 환경 및 작물 계측을 통한 지능형 농작업기계 제어 기술 개발 | 김용주 충남대학교 | 1,156,000천원 | |
| | 제1-2 협동연구과제 | 스마트 농작업기계 상용화 및 현장 적용 기술 개발 | 김정훈 동양물산기업 | 666,000천원 | |
| | 제2핵심과제 | 농업시설 에너지환경 자동화 기반기술 | 이동훈 충북대학교 | 1,174,500천원 | |
| | 제2-1 세부연구과제 | 스마트 시설 환경 자동화 기술 | 이동훈 충북대학교 | 419,000천원 | 해표산업 (참여) |
| | 제2-1 협동연구과제 | 온실환경 이동작업을 위한 자율주행플랫폼 | 정우진 고려대학교 | 250,000천원 | |
| | 제2-2 협동연구과제 | 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현 | 황현 성균관대학교 | 505,000천원 | 센서아이 (협동) 나래트랜드(협동) |
| 단계 구분 | 과제구분 | 연구과제명 | 연구책임자 성명 | 총연구개발비 | 참여 기업체명 |
| | | | 연구책임자 소속 | | |
| 2단계 | 제1핵심과제 | 노지 농업생산 무인자동화 구현을 위한 Connected Farming 기반기술 개발 | 이경환 전남대학교 | 3,882,695천원 | 공간정보, LS엠트론 |
| | 제1-1 세부연구과제 | 드론 기반 농경지 및 작물 정보화 기반기술 개발 | 이경환 전남대학교 | 384,000천원 | |
| | 제1-1 협동연구과제 | Connected Farming 영농 관리 의사결정 지원 솔루션 개발 | 김종전 공간정보 | 830,345천원 | 공간정보 |

| | | | | | |
|--|----------------------------|--|----------------------|-------------|-------------|
| | 제1-2 협동연구과제 | Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링(작 업 부하, 연료소비) 시스템 개발 | 김용주 충남대학교 | 384,000천원 | |
| | 제1-3 협동연구과제 | 한국형 무인자율트랙터 및 텔레매틱스 시스템 개발 | 최종민 LS엠트론 | 1,554,150천원 | LS엠트론 |
| | 제1-2 세부연구과제 | 농업생산무인자동화기술을 배양한 인력양성 | 김우영 전남대학교 | 730,200천원 | |
| | 제2핵심과제 | 농업시설 무인자동화 기반기술 개발 | 정우진 고려대학교 | 1,335,305천원 | 에스피투로보틱스 |
| | 제2-1 세부연구과제 | 온실환경 이동작업을 위한 자율주행플랫폼 | 정우진 고려대학교 | 384,000천원 | |
| | 제2-1 협동연구과제 (4차년도) | 시설 내 파프리카 자동 수확을 위한 로봇 시스템 개발 | 박성준 로보틱스 | 118,720천원 | 에스피투로보틱스 |
| | 제2-1 협동연구과제 (5~7차년도) | 자율형 로봇 스마트팜 플랫폼 개발 | 썬슬 프라이머스 | 448,585천원 | 썬슬 프라이머스 |
| | 제2-2 협동연구과제 | 온실환경 작업 최적화를 위한 스마트 방제시스템 개발 | 김장호 전남대학교 | 384,000천원 | |

2. 국내외 기술개발 동향

- (1) 국내에서는 농업용 로봇 및 무인 농업생산시스템에 관한 연구는 부족하며, 국내 농업환경이 주로 첨단 기술 보다는 경제형 모델이 주를 이루기 때문임
- (2) 세계적인 농기계 선진사(John Deer, CNH) 등은 기존의 농기계 회사에서 탈피하여 Smart Farm, 농업 자동화 시스템을 제공하는 토탈 솔루션 제공 기업으로 변모
- (3) 농업용 로봇을 이용한 무인농업생산시스템은 Trimble사의 경우 Connected Farm 솔루션, Newholland의 경우 PLM(Precision Land Management), CaseIH는 AFS(Advanced Farming System)라는 이름으로 통합 솔루션 기술 보유
- (4) 일본의 Kubota사는 NIT(일본전신전화)와 기술 제휴하여 농작물의 생육상태를 빅데이터로 분석하여, 수확량이나 농약살포 등의 작업을 스마트폰 등으로 상태 파악 가능한 시스템을 2018년 목표로 개발 진행 중임. 헨, 수확량 예측, 기상정보는 NIT가 제공, Kubota는 농업용 로봇을 이용하여 생육상태 분석과 비료 또는 농약 살포를 가능한 total solution을 제공 중임



〈일본 SIP 프로그램의 농업생산 무인자동화〉

- (5) 일본은 미래사회 5.0 대비 농업발전을 위한 기술 개발을 추진하고 있으며, 정부기관을 비롯한 대학, 국공립 연구소, 민간 기업체가 참여한 SIP(Gross-Ministerial Strategic Innovation Promotion) 프로그램을 운영하고 있음
- (6) SIP 프로그램에서는 농업생산의 전 단계에 있어서 무인자동화를 추구하고 있으며 농경지와 작물의 상태를 인공위성과 드론 영상을 통해 획득하고 이를 농업정보 클라우드 서버 시스템에서 분석하여 최적의 의사결정을 수행하며 이후 농업용 로봇을 통해 고효율의 농작업을 수행하고 이 모든 과정을 통합 솔루션 플랫폼을 통해 관리하고 일본 정부는 농업생산 무인 자동화 시스템을 조기에 상용화하여 농업생산의 기본 프레임을 혁신하고자 함

3. 연구개발 내용 및 인력양성 프로그램 운영

(1) 연구내용

■ 1단계

| 과제 | | 연구내용 |
|--|--|--|
| 제1핵심: 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업적용 기술 개발 | 1-1세부: 스마트 농작업을 위한 작물, 환경 등의 정보화 및 무인 농업작업 단지 인프라 구축 | - 경운정지 작업을 위한 환경 분석 - 수확 작업을 위한 작물 인식 및 환경 계측 기술 개발 - 수확량 모니터링 및 품질 측정 기술 개발 |
| | 1-1협동: 농작업 환경 및 작물 계측을 통한 지능형 농작업기계 제어 기술 개발 | - 농작업별 최적 운행 제어 기술 개발 및 작물환경/성분 요소 도출 - 농작업별 최적 운행 제어 모델 설계 및 수확작물 분석 방법 개발 - 자율주행 시뮬레이션 기술 최적화 및 성능평가 - 자율주행 application의 트랙터 적용을 위한 system integration 기술개발 |
| | 1-2협동: 스마트 농작업기계 상용화 및 현장 적용 기술 개발 | - 자율주행 application의 콤바인 적용을 위한 system integration 기술개발 - 자율주행 경로추종 정확도 향상을 위한 조향제어기술 개발 |
| 제2핵심: 농업시설 에너지환경 자동화 기반기술 | 2-1세부: 스마트 시설 환경 자동화 기술 | - 농업시설 환경 계측 및 모델링 기술 - 농업시설 에너지 절감 및 자동화 제어 기술 - 반자동 생육환경 최적 제어 application 개발 및 현장실증 |
| | 2-1협동: 온실환경 이동작업을 위한 자율주행플랫폼 | - 온실환경 자율주행 플랫폼 요소기술 개발 - 온실환경 자율주행 플랫폼 정밀도 향상기술 개발 |
| | 2-2협동: 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현 | - CNN 기반 파프리카 인식 기술 고도화 - 파프리카 인식용 로봇 플랫폼 구축 |

■ 2단계

| 과제 | | 연구내용 |
|---|--------------------------------------|---|
| 제1핵심: 노지 농업생산 무인 자동화 구현을 위한 Connected Farming 기반기술 개발 | 1-1세부: 드론 기반 농경지 및 작물 정보화 기반기술 개발 | - 드론 기반 농경지 및 작물 공간정보 분석 시스템 개발 - 농경지 및 작물의 모폴로지 특성 파악 및 예측 모델링 - 농경지 상태 파악 및 농작업 시기 예측 시스템 개발 - 드론 기반 작물 수확량 모니터링 및 맵핑 시스템 개발 |
| | 1-1협동: | - DB 및 서비스 모델 구축(기상정보, 2D, 3D 정 |

| | | |
|---|--|--|
| | <p>Connected Farming 영농관리 의사결정 지원 솔루션 개발</p> | <p>사 영상, 식생지수 맵 등의 각종 공간정보 데이터)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 드론 성과와 클라우드 플랫폼 서비스 연계성 검토 - 클라우드 서비스 플랫폼 시스템 설계 - 클라우드 서비스 플랫폼 구축 - 솔루션 사용을 통한 개선사항 수정 및 고도화 |
| | <p>1-2협동: Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링(작업 부하, 연료 소비) 시스템 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링 (작업부하, 연료소비) 시스템 개발 - 농작업 조건에 따른 트랙터 동력 측정 및 분석 - 동력 모니터링을 통한 트랙터 주요 부품 신뢰성 평가 기술 개발 - Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링 시스템 신뢰성 성능평가 |
| | <p>1-3협동: 한국형 무인자율트랙터 및 텔레매틱스 시스템 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 트랙터용 Telematics 시스템 환경 구축 - 트랙터용 Telematics 시스템 및 주행 안전장치 개발 - 한국형 농작업 모니터링 기술 및 장애물 능동 회피 기술 개발 - 한국형 Telematics 트랙터 시작품 및 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 |
| | <p>1-2세부: 농업생산무인자동화 기술을 배양한 인력양성</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 무인화/첨단화를 위한 정밀 농업관련 전문가 양성 - 농업 자동화 기술을 배양한 인력 양성 - 실무 경험을 갖춘 무인자동화 연구의 전문 연구인력 양성 |
| <p>제2핵심: 농업 시설 무인자동화 기반기술 개발</p> | <p>2-1세부: 온실환경 이동작업을 위한 자율주행 플랫폼</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 물류운반 작업 특성 분석 및 효율적 임무관리기술 개발 - 적재 및 하역을 위한 정밀위치제어기술 개발 - 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술 개발 - 물류운반을 위한 물류제어기술 최적화 - 적재 및 하역을 위한 정밀위치제어기술 검증 및 최적화 - 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술 최적화 - 실시간 환경정보 모니터링 기술 개발 - 실시간 자율주행 플랫폼 원격제어기술 개발 |
| | <p>2-1협동: 시설 내 파프리카 자동 수확을 위한 로봇 시스템 개발 (4차년도)</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 영상 시스템을 이용하여 파프리카의 모양 및 색깔을 인지 - 크기 및 색깔을 판단하여 속도에 따라 수확 가능한 여부를 판단하는 알고리즘을 개발 - 수확 가능한 파프리카에 대한 좌표를 계산 |
| | <p>2-1협동: 자율형 로봇 스마트팜 플랫폼 개발 (5차년도 ~ 7차년도)</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 재배 자동화 로봇 운영체계 개발 - 베드 최적화 적재를 위한 셔틀 링크 구조 개발 - 덤러닝을 통한 작물인식 및 최적 수확시기 선별 - 이식 자동화 로봇 운영체계 개발(다관절 로봇암 제어) - 다관절 로봇암 개발(육묘 베드를 재배 랙으로 이동 하기 위한 로봇 - 적재를 위한 적재 툴(Gripper) 개발 - 육묘 불량을 인식하기 위한 이미지 프로세싱 기술 개발(Real Sense Camera 장착 및 Comput |

| | | |
|--|--|---|
| | | er Vision 기반 SW기술 개발) - 수확 자동화 로봇 운영 체계 개발 - 딥러닝을 통한 중량 선별 및 외관품질 선별 시스템 개발 |
| | 2-2협동: 온실환경 작업 최적화 를 위한 스마트 방제 시스템 개발 | - 다양한 생체재료 (alginate, gelatin, eggshell membrane, PCL) 기반의 서방형 방출 플랫폼 개발 - 서방형 방출 플랫폼을 활용한 농약 방제 조절 기술 개발 - 서방형 방출 조절기술 확립 및 최적화 - 모델 작물 이용 서방형 방출 플랫폼 최적화 - 서방형 방출 플랫폼을 사용한 모델 작물의 생장·생육 분석 - 서방형 방제 플랫폼 기반 방제 시스템 개발 - 서방형 방제 플랫폼 기반 방제 시스템 최적화 |

(2) 인력양성 프로그램 운영

- 센터에서 지원하는 인력양성 교육을 통해서 석·박사 인력양성 및 배출
 - 우수학생 선발, 상호교류, 협동연구수행 및 최신연구기술을 훈련시켜 경쟁력을 갖춘 인력배출 (박사 9명, 석사 33, 취업 35명)
 - 학위 취득 대학원생은 대기업, 중견기업 및 국가연구소 등 취업연계
 - * 취업 현황 : 국립농업과학원, 삼성전자, 현대중공업, 동양물산기업, 연구소등
 - 석/박사 양성 성과 현황(박사:9명, 석사:33명)

| 연번 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|-----|--------|------|------|
| 1 | 윤광덕 | 강원대학교 | 2015 | 석사 |
| 2 | 이정호 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 |
| 3 | 김태정 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 |
| 4 | 이현민 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 |
| 5 | 백선욱 | 전남대학교 | 2015 | 석사 |
| 6 | 장희수 | 전남대학교 | 2015 | 석사 |
| 7 | 이대현 | 성균관대학교 | 2015 | 박사 |
| 8 | 정다운 | 고려대학교 | 2015 | 석사 |
| 9 | 김성준 | 강원대학교 | 2016 | 석사 |
| 10 | 정진태 | 전남대학교 | 2016 | 석사 |
| 11 | 김밝금 | 전남대학교 | 2016 | 석사 |
| 12 | 조효주 | 고려대학교 | 2017 | 석사 |
| 13 | 이우식 | 고려대학교 | 2017 | 석사 |
| 14 | 유승화 | 전남대학교 | 2017 | 박사 |
| 15 | 한용철 | 서울대학교 | 2017 | 박사 |

| 연번 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|----------------------|-------|------|------|
| 16 | 박선호 | 전남대학교 | 2018 | 석사 |
| 17 | 유정환 | 고려대학교 | 2018 | 석사 |
| 18 | 김지웅 | 고려대학교 | 2018 | 박사 |
| 19 | 김완수 | 충남대학교 | 2018 | 석사 |
| 20 | 이바울 | 충남대학교 | 2018 | 석사 |
| 21 | 임민규 | 전남대 | 2019 | 석사 |
| 22 | 김택진 | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 23 | 김우찬 | 전남대학교 | 2019 | 석사 |
| 24 | 진지용 | 고려대 | 2019 | 박사 |
| 25 | 김두한 | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 26 | 정연준 | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 27 | 장정훈 | 충남대학교 | 2018 | 석사 |
| 28 | 박성용 | 고려대 | 2019 | 석사 |
| 29 | Md abu ayub siddique | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 30 | 김기태 | 고려대학교 | 2021 | 석사 |
| 31 | 이남규 | 충남대학교 | 2021 | 석사 |
| 32 | 백승윤 | 충남대학교 | 2020 | 석사 |
| 33 | 백승민 | 충남대학교 | 2020 | 석사 |
| 34 | 문석표 | 충남대학교 | 2021 | 석사 |
| 35 | 김연수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 |
| 36 | 김완수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 |
| 37 | 이정호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 |
| 38 | 하승호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 |
| 39 | 김다운 | 전남대학교 | 2020 | 석사 |
| 40 | 이준기 | 고려대학교 | 2020 | 석사 |
| 41 | 이현석 | 고려대학교 | 2020 | 박사 |
| 42 | Reza MD Nasim | 전남대학교 | 2020 | 박사 |

- 취업 성과 현황(총 35명)

| 연번 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 최종학위 | 취업처 |
|----|-----|--------|------|------|---------|
| 1 | 이현민 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 | 선인씨엔에스 |
| 2 | 이정호 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 | 생명공학연구소 |
| 3 | 김태정 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 | 생명공학연구소 |
| 4 | 장희수 | 전남대학교 | 2015 | 석사 | 동양물산기업 |
| 5 | 이대현 | 성균관대학교 | 2015 | 박사 | 농업과학연구소 |
| 6 | 정다운 | 고려대학교 | 2015 | 석사 | 현대중공업 |


| 연번 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 최종학위 | 취업처 |
|----|--------------------------|-------|------|------|---------------------------|
| 7 | 봉선주 | 충남대학교 | 2015 | 석사 | 동국제약 |
| 8 | 김성준 | 강원대학교 | 2016 | 석사 | 밸류테크 |
| 9 | 유승화 | 전남대학교 | 2017 | 박사 | 국립농업과학원 |
| 10 | 이우식 | 고려대학교 | 2017 | 석사 | 차세대기계설계 기술연구소 |
| 11 | 김연수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 | 한국생산기술연구원 |
| 12 | 조효주 | 고려대학교 | 2017 | 석사 | 삼성전자 |
| 13 | 김지웅 | 고려대학교 | 2018 | 박사 | 기계공학 연구교수 |
| 14 | 김밖금 | 전남대학교 | 2016 | 석사 | 국립농업과학원 |
| 15 | 이바울 | 충남대학교 | 2018 | 석사 | 언맨드솔루션 |
| 16 | 김두한 | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 대동공업주식회사 |
| 17 | 임민규 | 전남대 | 2019 | 석사 | 디에스시동탄 |
| 18 | 장정훈 | 충남대학교 | 2018 | 석사 | 엘에스엠트론 |
| 19 | 박성용 | 고려대 | 2019 | 석사 | 차세대기계설계 기술연구소 |
| 20 | 진지용 | 고려대 | 2019 | 박사 | 현대자동차 |
| 21 | 정연준 | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 아르젠터보 |
| 22 | 유정환 | 고려대학교 | 2018 | 석사 | 삼성전자 |
| 23 | 한웅철 | 서울대학교 | 2017 | 박사 | 강원대학교 |
| 24 | 이현석 | 고려대학교 | 2020 | 박사 | 국방과학연구소 |
| 25 | 정진태 | 전남대학교 | 2016 | 석사 | 현대건설기계 |
| 26 | 이준기 | 고려대학교 | 2020 | 석사 | 엘지이노텍 |
| 27 | 이남규 | 충남대학교 | 2021 | 석사 | 건설기계부품연구원 |
| 28 | 문석표 | 충남대학교 | 2021 | 석사 | 한국기계연구원 |
| 29 | 김완수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 | 농업과학연구소 |
| 30 | Md abu ayu b siddique | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 티와이엠아이씨티 |
| 31 | 이정호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 | 삼성전자 |
| 32 | 하승호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 | 엘지씨엔에스 |
| 33 | 김택진 | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 동양물산기업 |
| 34 | 김기태 | 고려대학교 | 2021 | 석사 | 고려대학교 산학협력단 |
| 35 | 김다운 | 전남대학교 | 2020 | 석사 | 전라남도생물산업진흥재단 나노바이오연구센터 |

○ 1단계 인력양성 프로그램 운영

* 2단계 프로그램 운영 내용은 2단계 1-2세부과제(농업생산 무인자동화 기술을 배양한 인력 양성에) 정리하여 기술함

① 농업기계 및 농업 에너지 농업기계 및 농업에너지기술의 무인자동화 기술을 습득할 수 있는 다양한 교육지원 프로그램 운영

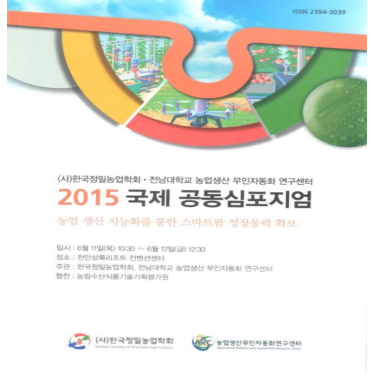
| 번호 | 프로그램명 | 교육기간 | 교육장소 (교육기관) | 참여자 | 관련 자료 |
|----|---------------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|---|
| 1 | 연구자 기술사업화 역량강화 교육 (R&D기획) | 2015.01.28. ~ 2015.01.30. | 전남대학교 산학협력단 | 백선욱, 정진태, 김밖금 (전남대) |  |
| 2 | LabVIEW 교육 | 2015.07.21. | | 유승화, 백선욱 (전남대) |  |
| 3 | 로봇서비스 융합소프트웨어 오픈아카데미 | 2014.12.29. ~ 2015.02.25. | 광운대학교 로봇SW 교육원 | 장효 (전남대) |  |
| 4 | 농과계 대학농기계교육 | 2015.06.29. ~ 2015.07.03. | 농촌진흥청 | 박종서, 윤태현, 황인범 (전남대) |  |

| | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|--|--|---|
| 5 | DAQ & SC Course | 2014.12.15. ~ 2014.12.17. | | 박수곤, 김완수 (충남대) |  |
| 6 | Carsim basic training | 2015.03.26. ~ 2015.03.27. | | 이바울, 김연수 (충남대) |  |
| 7 | PRIMEX 국제 전시회 참관 | 2015.06.18. ~ 2015.06.20. | Richmond valley events center, Australia | 이바울 의 3명 (충남대) |  |
| 8 | 무인 농기계 제어기 실습 교육 | 2016.08.08. ~ 2016.08.12. | 충남대학교 | 백선욱 의 6명 (전남대) 김연수 의 6명 (충남대) |  |


| | | | | | |
|----|--|------------------------------|-----------|--|---|
| 9 | 초급 무인기 운용 교육 | 2016.01.18. ~ 2016.01.22. | (주)공간정보 | 유승화, 백선욱, MD Reza Nasim (전남대) |  |
| 10 | 초급 LabVIEW교육 | 2016.02.01. ~ 2016.02.03. | 랩뷰교육원 | 이바울 (충남대) |  |
| 11 | 중급 LabVIEW교육 | 2016.02.17. ~ 2016.02.19. | 랩뷰교육원 | 김완수 (충남대) |  |
| 12 | LabVIEW 모터제어 | 2016.04.14. ~ 2016.04.16. | 랩뷰교육원 | 김완수, 김연수 (충남대) |  |
| 13 | LabVIEW 이미지 수집 및 분석 | 2016.05.11. ~ 2016.05.13. | 랩뷰교육원 | 김연수 (충남대) |  |
| 14 | Simulink for System and Algorithm Modeling | 2016.02.18. ~ 2016.02.19. | MathWorks | 김연수 (충남대) |  |

| | | | | | |
|----|--|------------------------------|----------------|-----------------------------------|---|
| 15 | 농과계대학생 농업기계 교육 | 2017.06.26. ~ 2017.06.30 | 농촌진흥청 | 곽철우 (전남대) |  |
| 16 | 위즈넷 아카데미 아두이노 과정 | 2017.05.16. | 위즈넷 아카데미 | 유정환 (고려대) |  |
| 17 | KG 아이티뱅크 강남점 C언어 | 2017.05.13. ~ 2017.06.04. | 케이지 아이티뱅크 | 유정환, 조수현 (고려대) |  |
| 18 | KG 아이티뱅크 강남점 C++ | 2017.06.10. ~ 2017.07.02. | 케이지 아이티뱅크 | 유정환, 조수현 (고려대) |  |
| 19 | KG 아이티뱅크 종로 본점 C++ | 2017.06.07. ~ 2017.07.04. | 케이지 아이티뱅크 | 성지훈, 형승호 (고려대) |  |
| 20 | KG 아이티뱅크 종로 본점 자료구조 | 2017.06.10. ~ 2017.07.02. | 케이지 아이티뱅크 | 성지훈, 박성용, 형승호 (고려대) |  |
| 21 | Apache hadoop으로 구축하는 분산처리 빅데이터 플랫폼 camp: 과제관련 빅 데이터 분석을 위 한 실기교육 과정 | 2017.05.24. ~ 2017.07.12. | Fast campus | 이동구, 김태정, 이정호 (성균관 대) |  |

② 국내외 학술회의 개최

| 번호 | 회의명 | 개최일 | 장소 | 주관 | 관련 자료 |
|----|---|---------------------------|----------------|----------------------------------|--|
| 1 | 사)한국정밀농업학회 · 전남대학교 농업생산 무인자동화 연구센터 2015 국제 공동심포지움 | 2015.06.11. ~ 2015.06.12. | 천안 상록리조트 컨벤션센터 | 한국정밀 농업학회, 전남대학교 농업생산 무인자동화 연구센터 |  <p>2015 국제 공동심포지움 농업 생산 지능화를 위한 스마트팜 성장동력 확보</p> <p>전시 : 6월 11일(화) 10:30 ~ 6월 12일(수) 12:00 발표 : 6월 12일(수) 13:00 ~ 14:00 주관 : 한국정밀농업학회, 전남대학교 농업생산 무인자동화 연구센터 협찬 : 농업수산과학기술기획평가원</p> |

③ 농작업 로봇 및 농업시설 에너지 · 환경 자동화 기술 동향 파악을 위한 국제 심포지움 개최

| 번호 | 행사명 | 개최일 | 장소 | 참여대상 | 관련 자료 |
|----|------------------------------|-------------|--------------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 2014년 농업생산 무인자동화 연구센터 국제심포지움 | 2014.11.28. | 일산 KINTEX 제1전시장 3층 | ARC 참여연구진, 참여기업, 학회 및 관련 기업 관계자 등 |  |

④ 국내외 학회 참가지원 프로그램 운영



| 번호 | 학회명 | 대상기관 | 지원내용 |
|----|---|-------------------|--|
| 1 | 한국농업기계학회 2014년 추계학술대회 (국내) | 전남대 | “NIR sensitive digital color camera의 영상 분석을 이용한 잔디 생육 인자 예측” 논문 외 5편의 논문 지원 |
| 2 | 한국정밀농업학회 2014 국제심포지움 (국내) | 전남대 충남대 충북대 | “NIR 감도 디지털 컬러 카메라를 이용한 작물 생육 지수 예측” 논문 외 3편의 논문 지원 “트랙터 플라우 경운작업의 작업 사이클 개발” 논문 1편 지원 “자율주행형 측정장치를 이용한 온실환경변수 공간 분포 측정” 논문 1편 지원 |
| 3 | 2014 11 th International Conference on Ubiquitous Robots and Amb | 고려대 | “Localization of an outdoor mobile robot considering the uncertainty model of the road curb” 논문 외 2편의 논문 지원 |




| 번호 | 학회명 | 대상기관 | 지원내용 |
|----|---|--------------------------|---|
| | ient Intelligence (국외) | | |
| 4 | 한국농업기계대회 2015년 춘계공동학술 대회 (국내) | 전남대 충남대 충북대 | “수집형 두류 수확기의 나물 콩 수확작업 성능” 논문 외 3편의 논문 지원 “자동조향 제어 시스템을 이용한 평행주차 성능 평가” 논문 1편 지원 “빅데이터와 MATLAB/Simulink를 이용한 온실 난 방비 분석기술” 논문 외 3편의 논문 지원 |
| 5 | 한국정밀농업학회 전남대학교 농업생산 무인자동화 연구센터 2015 국제 공동 심포 지엄 (국내) | 전남대 충남대 서울대 충북대 | “트랙터 탑재형 변량 시비 시스템 개발” 논문 외 3편의 논문 지원 “자율주행을 위한 카메라의 경사에 따른 영상 보 정 장치 설계” 논문 외 1편의 논문 지원 “확장기구모델 기반의 트랙터 주행 시뮬레이터 개발” 논문 외 1편의 논문 지원 “빅데이터와 유한요소법을 이용한 다연동 온실의 열이동 특성 분석” 논문 1편 지원 |
| 6 | 제어로봇시스템학회 학술대회 (국내) | 고려대 | “다양한 환경조건에 강인한 이동로봇의 라이더 센서기반 위치추정기술” 논문 외 1편의 논문 지원 |
| 7 | 한국로봇종합학술대회 (국내) | 고려대 | “3차원 깊이센서를 이용한 주행장애물 검지기법 에의 단일평면추출의 적용” 논문 외 1편의 논문 지원 |
| 8 | 2015 American Societ y of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting (국외) | 전남대 | “An autonomous tractor for turfgrass mowing an d variable-rate fertilization” 논문 1편 지원 |
| 9 | International Confere nce on Engineering and Applied Science 2015 (국외) | 고려대 | “An ultrasonic beacon-based localization scheme considering motion uncertainty of mobile robots” 논문 외 1편의 논문 지원 |
| 10 | 한국농업기계학회 2015년 추계학술대회 (국내) | 전남대 충남대 | “무인항공기를 이용한 배 생육 예측” 논문 외 1편의 논문 지원 “Carsim을 이용한 트랙터 주행 성능 평가시뮬레 이션” 논문 외 3편의 논문 지원 |
| 11 | 2015 International Workshop on Bionic Engineering (국외) | 전남대 | “Application of bionic engineering to smart agric ulture” 논문 1편 지원 |
| 12 | 2015 6 th Asian Confe rence on Precision Agriculture (국외) | 전남대 충남대 | “Monitoring of crop growth using unmanned aerial vehicle” 논문 1편 지원 “Study on the driving performance evaluation of |

| 번호 | 학회명 | 대상기관 | 지원내용 |
|----|---|--------------------|---|
| | | | unmanned tractor using carsim” 논문 외 2편의 논문 지원 |
| 13 | 2015 11 th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (국외) | 고려대 | “Position estimation using multiple low-cost GPS receives for outdoor mobile robots” 논문 외 1편의 논문 지원 |
| 14 | 한국농업기계대회 2016년 춘계공동학술대회 (국내) | 충남대 서울대 성균관대 | “Carsim을 이용한 트랙터 주행 속도가 타이어력에 미치는 영향 분석” 논문 1편 지원 “자율주행 콤바인을 위한 Laser scanner 기반의 작물 가장자리 열 검출 알고리즘 연구” 논문 1편 지원 (서울대학교) “컴퓨터 시각 기술을 이용한 파프리카 중량 예측 알고리즘 개발” 논문 외 1편의 논문 지원 |
| 15 | The 7 th Joint Symposium (국외) | 충남대 서울대 충북대 | “Effect of tractor travelling speed on time force” 논문 1편 지원 “자율주행을 위한 카메라의 경사에 따른 영상 보정 장치 설계” 논문 외 1편의 논문 지원 “확장기구모델 기반의 트랙터 주행 시뮬레이터 개발” 논문 외 1편의 논문 지원 “빅데이터와 유한요소법을 이용한 다연동 온실의 열이동 특성 분석” 논문 1편 지원 |
| 16 | 제11회 한국로봇종합학술대회 (국내) | 고려대 | “이동로봇의 강인한 위치추정을 위한 라이더 센서기반 관측모델 설계” 논문 1편 지원 |
| 17 | 2016 American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting (국외) | 충남대 | “Study on driving performance evaluation of un manned tractor using carsim” 논문 1편 지원 |
| 18 | 한국농업기계학회/한국정밀농업학회 2016년 추계공동학술대회 (국내) | 전남대 충남대 성균관대 | “생물학적 분석을 위한 종이기반의 밀폐된 미세 유체센서의 제작” 논문 외 1편의 논문 지원 “트랙터 주행속도가 타이어 슬립에 미치는 영향 시뮬레이션” 논문 1편 지원 “최소저크레적과 X축-스웨이를 이용한 4족 보행 로봇의 안정적 걸음새 연구” 논문 외 2편의 논문지원 |
| 19 | 2017년 춘계 한국정밀농업학회 (국내) | 전남대 | “Detection of abnormal area on paddy field using K-mean algorithm” 논문의 1편의 논문지원 |
| 20 | 한국농업기계학회/발 농업기계개발 연구센터 2017년 춘계 공동학술 | 전남대 성균관대 | “Lab color space based rice yield prediction using low altitude UAV field image” 논문 1편 지원 “영상기반의 딥러닝을 활용한 드론-실내고도유지 |


| 번호 | 학회명 | 대상기관 | 지원내용 |
|----|--|------|---|
| | 대회 (국내) | | 알고리즘 개발” 논문 1편 지원 |
| 21 | 한국정밀공학회 2017 춘계학술대회 (국내) | 전남대 | “작물의 가뭄스트레스의 현장 진단을 위한 마이크로 히터 및 온도 센서가 집적화된 모듈을 사용한 종이기반 센서의 제작” 논문 1편 지원 |
| 22 | ICROS 2017 (국내) | 고려대 | “저가의 다중 GNSS 수신기의 정밀한 센서 모델링을 통한 실외 위치 추정 성능향상 기법” 논문의 2편의 논문 지원 |
| 23 | URAI 2017 (국외) | 고려대 | “Odometry calibration for car-like mobile robots” 논문의 1편의 논문 지원 |
| 24 | 2017 American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting (국외) | 전남대 | “Color based image segmentation to predict rice yield using low altitude UAV images” 논문의 2편의 논문 지원 |

⑤ 산학연 협력을 통한 실무능력 향상을 위한 농업 자동화 전문 인력 양성 프로그램 및 취업 연계 프로그램 운영

| 번호 | 프로그램명 | 기간 | 참여자 | 관련 자료 |
|----|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|---|
| 1 | 삼성드림클래스 여름캠프 (인턴쉽) | 2015.07.24. ~ 2015.08.13. | 황인범 (전남대) |  |
| 2 | 농촌진흥청 국립농업과학원 현장실습교육과정 (인턴쉽) | 2015.06.22. ~ 2015.07.19. | 임민규, 김용명, 김성찬 (전남대) |  |
| 3 | 해표산업 인턴쉽 프로그램1 | 2014.12.20. ~ 2015.02.28. | 이희웅 외 7명 | |

| 번호 | 프로그램명 | 기간 | 참여자 | 관련 자료 |
|----|----------------|------------------------------|----------------------|--|
| | | | (충북대) |  |
| 4 | 해표산업 인턴쉽 프로그램2 | 2015.07.20. ~ 2015.08.14. | 사재원 외 3명 (충북대) |  |
| 5 | 해표산업 인턴쉽 프로그램3 | 2016.01.18. ~ 2016.02.17. | 김수아 외 4명 (충북대) |  |

⑥ 글로벌 인재육성을 위한 해외 우수대학 해외 탐방 프로그램 운영

| 번호 | 프로그램명 | 방문 일자 | 방문 장소 | 방문 목적 | 관련 자료 |
|----|-------------------|------------------------------|---|------------------------------|---|
| 1 | 위싱턴대학교 탐방 프로그램 | 2017.07.19. ~ 2017.07.20. | 위싱턴대학교 생명공학과, 항공우주공학과 (시애틀,미국) | 연구실 견학 및 공동연구 내용 논의 |  |

4. 센터 운영 성과(1·2단계)

4-1. 핵심기술개발 성과 및 활용성과

가. 사업수행실적 총괄

(1) 정량적 성과(총괄)

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----------|-----|------------|-----|------|------|--------|------|------|---------|----|----|---------|------|----|------|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | | 홍보전시 |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | 10 | 10 | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | 3 | 5 | |
| 1단계 | 목표 | 8 | 5 | 3 | | 2 | | | | | | 11 | 5 | 5 | 9 | 3 | 11 | 1 | 1 | |
| | 실적 | 28 | 12 | 5 | 68 | | 158 | | | | | 22 | 8 | 67 | 12 | 3 | 10 | | 14 | 7 |
| 2단계 | 목표 | 11 | 12 | 5 | | 3 | | | | | | 20 | 8 | 8 | 14 | 4 | 16 | | 2 | 4 |
| | 실적 | 24 | 22 | 10 | 21 9.6 | 7 | 102 6.8 | | 16 | | | 47 | 12 | 75 | 21 | 6 | 25 | | 3 | |
| 최종 | 목표 | 19 | 17 | 8 | | 5 | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | | 3 | 5 |
| | 실적 | 52 | 34 | 15 | 28 7.6 | 7 | 118 4.8 | | 16 | | | 69 | 20 | 14 2 | 33 | 9 | 35 | | 17 | 7 |

(가) 논문게재 성과 (총 89건 게재, SCI 69건, 비SCI 20건)

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|---|-----|------|------|---|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| 2014 | 동적 장애물의 속도를 고려한 이동로봇의 궤적 재생성 기법 | 문창배 | 정우진 | | The Korea Society of Mechanical Engineers | 38(11) | 국내 | 비SCI |
| 2015 | Anthocyanin and Carotenoid Contents in Different Cultivars of Chrysanthemum (Dendranthema grandiflorum Ramat.) Flower | 박창하 | 박상언 | 김용주 | Molecules | 20(6) | 국외 | SCI |
| 2015 | Path planning for autonomous lawn mower tractor | 송밍장 | 하종규 | 이경환 | CNU Journal of agricultural science | 42(1) | 국내 | 비SCI |
| 2015 | Multiscale engineered hierarchical structures with precisely controlled si | 배원규 | 김장호 | - | Materials letters | 159 | 국외 | SCI |

| | | | | | | | | |
|------|--|---------------|-----|------------|--|-------|----|------|
| | zes for bio-inspired cell culture | | | | | | | |
| 2015 | Analysis of the PTO load of a 75 kW agricultural tractor during rotary tillage and baler operation in Korean upland fields | 이대현 | 김용주 | - | Journal of terramechanics | 60 | 국외 | SCI |
| 2016 | Eggshell membrane: Review and impact on engineering | 박선호 | 김장호 | 이경환 | Biosystems engineering | 151 | 국외 | SCI |
| 2016 | Evaluation of tractor fuel efficiency using dynamometer and baler operation cycle | 이대현 | 김용주 | - | Journal of terramechanics | 61(1) | 국외 | SCI |
| 2016 | Accurate calibration of systematic errors for car-like mobile robots using experimental orientation errors | 정다운 | 정우진 | 성지훈 문창배 | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 17(9) | 국내 | SCI |
| 2016 | Hierarchical sample-based joint probabilistic data association filter for following human legs using a mobile robot in a cluttered environment | 성윤창 | 정우진 | - | IEEE transactions on human-machine systems | 46(3) | 국외 | SCI |
| 2016 | Localization of a Mobile Robot using a Laser Range Finder in a Glass-walled Environment | 김지웅 | 정우진 | - | IEEE transactions on industrial electronics : a publication of the IEEE Industrial Electronics Society | 63(6) | 국외 | SCI |
| 2016 | Practical probabilistic trajectory planning scheme based on the Rapidly-Exploring Random Trees for two-wheeled mobile robots | 문창배 | 정우진 | - | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 17(5) | 국내 | SCI |
| 2016 | Recent studies on ursolic acid and its biological and pharmacological activity | 이숙영 | 박상언 | 김용주 | EXCLI Journal | 15 | 국외 | SCI |
| 2016 | Development of simulation model for fuel efficiency of agricultural tractor | 김완수 | 이대현 | 김용주 | Development of simulation model for fuel efficiency of agricultural tractor | 43(1) | 국내 | 비SCI |
| 2016 | Development of a plow tillage cycle of agricultural tractor | 이대현 | 김용주 | - | Transactions of the ASABE | 59(2) | 국외 | SCI |
| 2016 | Music symbol recognition by a LAG-based combination model | 나인섭 | 나인섭 | 김수형 | Multimedia Tools and Applications | - | 국외 | SCI |
| 2017 | PCA22 acts as a suppressor of atrzf1 to mediate proline accumulation in response to abiotic stress in Arabidopsis | 김아름 | 이경환 | | Journal of Experimental Botany | 68(7) | 국외 | SCI |
| 2017 | Automatic Counting of Rice Plant Numbers After Transplanting Using | Reza MD Nasim | 이경환 | | International journal of contents | 13(3) | 국내 | SCI |

| | | | | | | | | |
|------|--|-----|-----|-------------------|--|-------|----|------|
| | Low Altitude UAV Images | | | | | | | |
| 2017 | Expression Levels of Carotenoid Biosynthetic Genes and Carotenoid Accumulation in Callus of <i>Scutellaria Baicalensis</i> Exposed to White, Blue, and Red Light-Emitting Diodes | 박상언 | 김용주 | - | Biological Chemistry | 60(6) | 국외 | SCI |
| 2017 | Iron Oxide Nanoparticle-incorporated Alginate Capsules as Magnetic Field-assisted Potential Delivery Platforms for Agriculture Pesticides and Biocontrol Agents | 이도현 | 김장호 | | Journal of Biosystems Engineering | 42 | 국내 | 비SCI |
| 2017 | Local positioning technology using multiple illumination sensors under indoor single light source | 김택성 | 김택성 | 우상희 황영수 | CNU Journal of agricultural science | 33(1) | 국내 | 비SCI |
| 2017 | Relationship between the characteristics of the series of greenhouse growth factors and strawberries | 이현규 | 이동훈 | 이정규 김수아 정동욱 | CNU Journal of agricultural science | 33(1) | 국내 | 비SCI |
| 2017 | Research about relationship between performance of wireless communication and excessive moisture condition in greenhouses | 김태균 | 오정우 | 박소정 송정원 | CNU Journal of agricultural science | 33(1) | 국내 | 비SCI |
| 2017 | Research about structural interruption affecting performance characteristics of wireless communication in greenhouse | 권구범 | 권구범 | 이재현 연윤호 | CNU Journal of agricultural science | 33(1) | 국내 | 비SCI |
| 2017 | A Heuristic for a Heterogeneous Automated Guided Vehicle Routing Problem | 배정연 | 정우진 | - | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 18(6) | 국외 | SCI |
| 2017 | Development of a low-cost GPS/INS integrated system for tractor automatic navigation | 한응철 | 김학진 | 전찬우 | Int J Agric & Biol Eng | 10(2) | 국외 | SCI |
| 2017 | RECENT STUDIES ON RESVERATROL AND ITS BIOLOGICAL AND PHARMACOLOGICAL ACTIVITY | 김용주 | 박상언 | - | EXCLI Journal | 16 | 국외 | SCI |
| 2017 | Determination of the Optimal Nitrogen Concentration in Pre-planting Fertilizers for the Cultivation of Tomato Plug Seedlings | 이동훈 | 최종명 | 이지원 박명선 | 원예과학기술지 | 35(4) | 국내 | SCIE |
| 2015 | An Updated Review of Cucurbitacins and Their | 정선옥 | 박상언 | 김용주 | EXCLI Journal | 14 | 국외 | SCI |

| | | | | | | | | |
|------|---|------------|------------------|--|--|----------|----|--------|
| | Biological and Pharmacological Activities | | | | | | | |
| 2015 | Abscisic acid receptor PYRABACTIN RESISTANCE-LIKE 8, PYL8, is involved in glucose response and dark-induced leaf senescence in Arabidopsis | 이하늘 | 김철수 | 이경환 | Biochemical and Biophysical Research Communications | 463(1-2) | 국외 | SCI |
| 2015 | The CONSTANS-like 4 transcription factor, AtCOL4, positively regulates abiotic stress tolerance through an abscisic acid-dependent manner in Arabidopsis | 민지희 | 김철수 | 이경환 | Journal of integrative plant biology | 57(3) | 국외 | SCI |
| 2015 | Pre-processing of load data of agricultural tractors during major field operations | 류밍지 | 하종규 | 이경환 | CNU Journal of agricultural science | 42(1) | 국내 | 비SCI |
| 2017 | Controlled extracellular topographical and chemical cues for acceleration of neuronal development | 박선호 | 김장호 | | Journal of Industrial and Engineering Chemistry | 59 | 국외 | SCI |
| 2018 | A heuristic for path planning of multiple heterogeneous Automated Guided Vehicles | 배정연 | 정우진 | | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 19(12) | 국내 | SCI(E) |
| 2018 | Self-Diagnosis of Localization Status for Autonomous Mobile Robots | 김지웅 | 정우진 | 박주영 | Sensors | 18(9) | 국외 | SCI(E) |
| 2018 | Terrain Classification for Mobile Robots on the basis of Support Vector Data Description | 이현석 | 정우진 | | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 19(9) | 국내 | SCI(E) |
| 2018 | Iron Oxide Nanoparticle-incorporated Alginate Capsules as Magnetic Field-assisted Potential Delivery Platforms for Agriculture Pesticides and Biocontrol Agents | 이도현 | 박선호 | 김장호 | Journal of biosystems engineering | 42 | 국내 | 비SCI |
| 2018 | Optimization of the ninhydrin reaction and development of a multiwell plate-based high-throughput proline detection assay | Mi Rha Lee | Kyeon-g-Hwan Lee | | Analytical biochemistry | 556 | 국외 | SCI |
| 2018 | Nanopatterned scaffolds for neural tissue engineering and regenerative medicine | Sunho Park | Jangho Kim | Daun Kim Sungmin Park Dohyeon Lee Woochan Kim | Advanced in experimental medicine and biology | 1078 | 국외 | SCI |
| 2017 | Arabidopsis Basic Helix- | 민지희 주현우 | 김철수 | 이경환 | Frontiers in Plant Science | 8 | 국외 | SCI |

| | | | | | | | | |
|------|--|------------|---------------------------------|-----|---|-----------|----|------|
| | Loop-Helix 34(bHLH34) Is Involved in Glucose Signaling through Binding to a GAGA Cis-Element | | | | | | | |
| 2017 | Loss of Ribosomal Protein L24A (RPL24A) suppresses proline accumulation of Arabidopsis thaliana ring zinc finger 1 (atrzf1) mutant in response to osmotic stress | 박승현 | 김철수 | 이경환 | Biochemical and Biophysical Research Communications | 494 (3~4) | 국외 | SCI |
| 2017 | Reduced expression of Gongdae Ring Zinc Finger 1 (GdRZF1) enhances drought stress tolerance in watermelon (Citrullus lanatus) | 박승현 | 김철수 | 이경환 | Horticultural Science and Technology | 35(5) | 국외 | SCI |
| 2018 | 4차 산업혁명과 농업 | 성제훈 | 이경환 | | 한국멀티미디어학회지 | 21(3) | 국내 | 비SCI |
| 2017 | Engineering lotus leaf-inspired micro- and nanostructures for the manipulation of functional engineering platforms | 김우찬 | 김장호 | | Journal of Industrial and Engineering Chemistry | 61 | 국외 | SCI |
| 2018 | Engineering nanowrinkled microfibrils composed of eggshell membrane and graphene | 박선호 | 김장호 | 최경순 | Materials letters | 229 | 국외 | SCI |
| 2019 | Leaf-inspired micro- and nanoengineered surfaces for controlled hydrophilic and hydrophobic properties | 김다운 | 김장호 | | Macromolecular Research | 28(1) | 국내 | SCI |
| 2019 | Strength Analysis on the Compound Planetary Gear of the Hydro-Mechanical Transmission for an Agricultural Tractor | 백승민 | - | 박성운 | 정밀농업과학기술지 | 1(1) | 국내 | 비SCI |
| 2019 | 78 kW급 농업용 트랙터의 로타리 경운 작업에 따른 등가 토크 분석 | 백승민 | 김완수 박성운 | 김용주 | 한국정보전자통신기술학회 논문지 | 12(4) | 국내 | 비SCI |
| 2019 | Graphene-Layered Eggshell Membrane as a Flexible and Functional Scaffold for Enhanced Proliferation and Differentiation of Stem Cells | Sunho Park | Jangho Kim | | Acs applied bio materials | 2(10) | 국외 | SCI |
| 2019 | Strength Analysis of a PTO (Power Take-Off) Gear-Train of a Multi-Purpose Cultivator during a Rotary Ditching Operation | 김연수 | 이바울 김완수 권오원 김창원 이경환 | 김용주 | Energies | 12(6) | 국외 | SCI |
| 2019 | 생체 내 세포 이동 모델링을 위한 멀티스케일 생체모사 플랫폼 | 박선호 | 김장호 | | 대한기계학회 저널 | 59(2) | 국내 | 비SCI |

| | | | | | | | | | |
|------|---|----------------------|-----|--------------------------|--|---|--------|----|--------|
| 2019 | Obstacle Avoidance of Two-Wheel Differential Robots Considering the Uncertainty of Robot Motion on the Basis of Encoder Odometry Information | 진지용 | 정우진 | | | Sensors | 19(2) | 국외 | SCI(E) |
| 2019 | Efficient path planning for multiple transportation robots under various loading conditions | 배정연 | 정우진 | | | International Journal of Advanced Robotic Systems | 16(2) | 국외 | SCI(E) |
| 2019 | Rice yield estimation based on K-means clustering with graph-cut segmentation using low-altitude UAV images | Md Nasim Reza | 이경환 | | | Biosystems engineering | 177 | 국외 | SCI |
| 2019 | Detection of proline using a novel paperbased analytical device for on-site diagnosis of drought stress in plants | 최영수 | 이경환 | 이미라 | | Review of scientific instruments | 90(4) | 국내 | SCI |
| 2020 | Analysis of the Axle Load of a Rice Transplanter According to Gear Selection | Md Abu Ayub Siddique | 김용주 | 김완수 백승윤 박성창 최영수 | | Journal of Drive and Control | 17(4) | 국내 | 비SCI |
| 2020 | Development of an accelerated life test procedure considering the integrated equivalent load of an implement working pump for an agricultural tractor | 문석표 | 김용주 | 백승민 정선욱 박영준 한태호 | | Korean Journal of Agricultural Science | 47(4) | 국내 | 비SCI |
| 2019 | 3D Microfluidic Bone Tumor Microenvironment Comprised of Hydroxyapatite/Fibrin Composite | 안정호 | 김장호 | | | Frontiers in bioengineering and biotechnology | 7 | 국외 | SCI |
| 2019 | Heuristics for Two Depot Heterogeneous Unmanned Vehicle Path Planning to Minimize Maximum Travel Cost | 배정연 | 정우진 | | | Sensors | 19(11) | 국외 | SCI(E) |
| 2020 | Highly sensitive enclosed multilayer paper-based microfluidic sensor for quantifying proline in plants | 최영수 | | 임민규 이미라 김철수 이경환 | | Analytica chimica acta : an international journal devoted to all branches of analytical chemistry | 1105 | 국외 | SCI |
| 2020 | Paper-based colorimetric sensor for easy and simple detection of polygalacturonase activity aiming for diagnosis of Allium white rot disease | 최영수 | | 이미라 양광열 김철수 이경환 | | Analytica chimica acta : an international journal devoted to all branches of analytical chemistry | 1113 | 국외 | SCI |
| 2020 | Human-Leg Detection in 3D Feature Space for a Person-Following Mobile Robot Using 2D LiDARs | 차동근 | 정우진 | | | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 21(7) | 국내 | SCI(E) |
| 2020 | Graphene Oxide-Assisted Promotion of Plant Growth | 박선호 | 김장호 | 최경순 김수진 | | nanomaterials | 10 | 국외 | SCI |

| | | | | | | | | |
|------|---|-----|--------------------------|---|--|--------|----|------|
| | rowth and Stability | | | 권용현 | | | | |
| 2020 | Lithographically-Fabricated HA-Incorporated PCL Nanopatterned Patch for Tissue Engineering | 장경제 | 김장호 | 김수진 박상배 김우찬 권용현 박선호 임기택 HoonSeonwoo | applied sciences | 10 | 국외 | SCI |
| 2020 | Analysis of Tillage Depth and Gear Selection for Mechanical Load and Fuel Efficiency of an Agricultural Tractor Using an Agricultural Field Measuring System | 김연수 | 김완수 김김용주 | 박성운 백승민 김영주 김이상대 | Sensors | 20(9) | 국외 | SCI |
| 2019 | Development of a Real-Time Tillage Depth Measurement System for Agricultural Tractors: Application to the Effect Analysis of Tillage Depth on Draft Force during Plow Tillage | 김연수 | 김택진 김용주 김상대 박성운 | 김완수 | Sensors | 20(3) | 국외 | SCI |
| 2020 | Development of Control System for Automated Manual Transmission of 45-kW Agricultural Tractor | 김완수 | 김용주 김김연수 | 백승민 백승현 이대현 남규철 김태범 이효재 | Applied sciences | 10(8) | 국외 | SCI |
| 2019 | 스마트포장을 위한 나노기술의 연구동향과 전망 | 박선호 | | 김장호 | 농업생명과학연구동향 | 57 | 국내 | 비SCI |
| 2020 | Graphene-Chitosan Hybrid Dental Implants with Enhanced Antibacterial and Cell-Proliferation Properties | 박선호 | | 김장호 | applied sciences | 10 | 국외 | SCI |
| 2020 | Development of a Simulation Model for HMT of a 50 kW Class Agricultural Tractor | 백승민 | 백승민 김용주 | 김완수 김연수 | Applied sciences | 10(12) | 국외 | SCI |
| 2020 | Path detection for autonomous traveling in orchards using patch-based CNN | 김완수 | 이대현 | 김용주 김태형 황록연 이효재 | Computers and Electronics in Agriculture | 175 | 국외 | SCI |
| 2020 | Power Transmission Efficiency Analysis of 42 kW Power Agricultural Tractor According to Tillage Depth during Moldboard Plowing | 김연수 | 박성운 김김용주 | 김완 Md. Abu Ayub Siddique 백승민 백승현 천수환 이상대 이경환 홍동혁 | Agronomy | 10(9) | 국외 | SCI |
| 2020 | 55kW급 농업용 트랙터 정유압 기계식 변속기 설계 | 백승민 | 김용주 | 김완수 김연수 김백승 | Journal of Drive and Control | 17(2) | 국내 | 비SCI |

| | | | | | | | | |
|------|---|-------------|------------|--|--|--------|----|--------|
| 2020 | Reduced-Order Algorithm for Eigenvalue Assignment of Singularly Perturbed Linear Systems | 유헌종 | 이경환 | | Mathematical Problems in Engineering | 2020 | 국외 | SCI |
| 2020 | Development of a real-time crop recognition system using a stereo camera | 백승민 | 남규철 이대현 | 김완수 김용주 김정선 | Korean Journal of Agricultural Science | 47(2) | 국내 | 비SCI |
| 2020 | A Review of the Applications of the Internet of Things (IoT) for Agricultural Automation | 김완수 | 이원석 | 김용주 | Journal of Biosystems Engineering | - | 국내 | 비SCI |
| 2020 | Nanoscale manufacturing as an enabling strategy for the design of smart food packaging systems | 박선호 | 김장호 | | Food Packaging and Shelf Life | 26 | 국외 | SCI |
| 2021 | Synergistic effects of gelatin and nanotopographical patterns on biomedical PCL patches for enhanced mechanical and adhesion properties | Sujin Kim | Jangho Kim | Yonghyun Gwon Sunho Park Woochan Kim Yubin Jeon Taeseong Han Hoon Eui Jeong | Journal of the mechanical behavior of biomedical materials | 11 | 국외 | SCI |
| 2021 | HD Map Update for Autonomous Driving With Crowdsourced Data | 김기태 | 정우진 | 조수현 | IEEE Robotics and Automation Letters | 6(2) | 국외 | SCI(E) |
| 2021 | Heat and pressure-assisted soft lithography for size-tunable nanoscale structures | Woochan Kim | Jangho Kim | Sunho Park Yonghyun Gwon Hongnam Kim | Materials letters | 299 | 국외 | SCI |
| 2021 | Eggshell membrane as a bioactive agent in polymeric nanotopographic scaffolds for enhanced bone regeneration | Daun Kim | Jangho Kim | Yonghyun Gwon Sunho Park Woochan Kim Kwidug Yun | Biotechnology and Bioengineering | 118 | 국외 | SCI |
| 2021 | Evaluation of the fatigue life of a tractor's transmission spiral bevel gear | 김완수 | 김용주 | 김연수 박성운 이경환 홍동혁 최창현 | Journal of Terramechanics | 94 | 국외 | SCI |
| 2021 | Trajectory Planner CDT-RRT* for Car-Like Motion | 권현기 | 정우진 | 차동근 성지훈 | Sensors | 21(14) | 국외 | SCI(E) |

| | | | | | | | | |
|------|--|----------------------|------------|--|--|--------|----|-----|
| | ble Robots toward Narrow and Cluttered Environments | | | | | | | |
| 2020 | Simulation of Design Factors of a Clutch Pack for Power-Shift Transmission for an Agricultural Tractor | Md Abu Ayub Siddique | 김용주 박성운 | 김완수 김연수 백승민 최창현 | Sensors | 20(24) | 국외 | SCI |
| 2021 | Stereo-vision-based crop height estimation for agricultural robots | 김완수 | 이대현 | 김용주 김태원 최창현 | Computers and Electronics in Agriculture | 181 | 국외 | SCI |
| 2021 | Estimation of Axle Torque for an Agricultural Tractor Using an Artificial Neural Network | 김완수 | 이대현 김용주 | 김연수 박성운 | Sensors | 21(6) | 국외 | SCI |
| 2021 | Radially patterned transplantable biodegradable scaffolds as topographically defined contact guidance platforms for accelerating bone regeneration | 권용현 | 김장호 | 박선호 김우찬 한태성 김효성 | Journal of biological engineering | 15 | 국외 | SCI |
| 2021 | A freezing and thawing method for fabrication of small gelatin nanoparticles with stable size distributions for biomedical applications | 권용현 | 김장호 | 김우찬 박선호 홍세운 | Tissue engineering and regenerative medicine | | 국외 | SCI |
| 2021 | Plasma-assisted multiscale topographic scaffolds for soft and hard tissue regeneration | 김우찬 | 김장호 | 권용현 김양경 박선호 강성주 박형규 김명선 | npj regenerative medicine | 6 | 국외 | SCI |
| 2021 | Rebirth of the eggshell membrane as a bioactive nanoscaffold for tissue engineering | 박선호 | 김장호 | 권용현 박선호 김우찬 | ACS biomaterials science & engineering | 7 | 국외 | SCI |

(나) 특허 성과 (총 86건, 출원 52건, 등록 34건)

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|--|--------------|-----|-----------------|--------|--|--------------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2014 | METHOD FOR EXTRACTING CURB OF ROAD USING LASER RANGE FINDER AND METHOD FOR LOCALIZING OF MOBILE ROBOT USING CURB INFORMATION OF ROAD | 고려대학교 산학협력단 | 미국 | 14/521,699 | 2016 | METHOD FOR EXTRACTING CURB OF ROAD USING LASER RANGE FINDER AND METHOD FOR LOCALIZING OF MOBILE ROBOT USING CURB INFORMATION OF ROAD | 고려대학교 산학협력단 | 미국 |
| 2014 | 태양전지 패널용 세척 로봇 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2014-0188585 | 2015 | 태양전지 패널용 세척 로봇 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 온실 내 공간의 3차원 온도 분포 측정시스템 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0005511 | 2016 | 온실 내 공간의 3차원 온도 분포 측정시스템 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 태양전지 패널용 세척 로봇 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0014376 | 2015 | 태양전지 패널용 세척 로봇 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 역방향 탐색으로 시간지연을 보정하는 주행식 계측 장치 및 주행식계측방법 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0025064 | 2016 | 역방향 탐색으로 시간지연을 보정하는 주행식 계측 장치 및 주행식계측방법 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 위치 오차 보정이 가능한 경로 추종 자율주행 장치 및 자율주행 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0025063 | 2015 | 위치 오차 보정이 가능한 경로 추종 자율주행 장치 및 자율주행 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 변위센서를 이용한 트랙터 자동변속 시스템 및 그 제어방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0060186 | 2015 | 변위센서를 이용한 트랙터 자동변속 시스템 및 그 제어방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 트랙터용 GPS 모듈 | 동양물산기업 주식회사 | 한국 | 10-2015-0088266 | | | | |
| 2015 | 자동화 수동변속기가 구비된 트랙터의 변속 슬립 제어시스템 및 그 제어방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0102125 | | | | |
| 2015 | 농업기계의 실시간 연비 및 작업가능 면적 표시장치 및 그 방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128357 | | | | |
| 2015 | 변위센서를 이용한 트랙터의 조향각 측정장치 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128373 | | | | |
| 2015 | 핸들 조향각기반 선회구간에서 작업기 자동제어장치 및 그 방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128417 | | | | |
| 2015 | 트랙터 PTO축 어댑터를 이용한 PTO기어 잔여수명 예측장치 및 그 방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128454 | 2015 | 트랙터 PTO축 어댑터를 이용한 PTO기어 잔여수명 예측장치 및 그 방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |

| | | | | | | | | |
|------|--|--------------|----|-----------------|------|---------------------------------|-------------|----|
| 2015 | 농용 작업차량용 캐빈 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128432 | 2016 | 농용 작업차량용 캐빈 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 자율주행 콤바인의 영상시각 평가장치 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128393 | 2016 | 자율주행 콤바인의 영상시각 평가장치 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 다중 저가형 GPS를 이용한 농업용 무인 트랙터의 자율주행형 위치추정방법 및 시스템 | 서울대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0136975 | | | | |
| | | | | 10-1620290-0000 | 2016 | 복수의 이동 로봇 간의 충돌 회피를 위한 경로 생성 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2016 | METHOD FOR EVALUATING DISTANCE TYPE OF MEASURED DISTANCE MEASURED BY LASER RANGE FINDER AND METHOD FOR LOCALIZATION OF MOBILE ROBOT USING THE SAME | 고려대학교 산학협력단 | 미국 | 15/105,337 | | | | |
| 2016 | 자율주행 콤바인 | 동양물산기업 주식회사 | 한국 | 10-2016-0078067 | | | | |
| 2016 | 트랙터용 EPS 모듈 장착장치 | 동양물산기업 주식회사 | 한국 | 10-2016-0078804 | | | | |
| 2016 | RFID를 이용한 한우 유통관리 ICT웹/모바일기반 관리시스템 및 관리방법 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2016-0091158 | | | | |
| 2016 | 쇠고기 등급판정 솔루션 및 유통 시스템 사용에 따른 렌탈결제시스템 및 방법 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2016-0091161 | | | | |
| | | | | 10-1699667 | 2017 | 탈부착형 센서모듈을 구비한 환경장애 예방용 진단키트 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2017 | 레이저 거리 센서의 측정 거리에 대해 추정된 거리 유형의 신뢰성을 평가하는 방법 및 이를 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0010953 | | | | |
| 2017 | GNSS 기반의 위치 추정의 불확실성을 측정하는 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0020479 | | | | |
| 2017 | 형태적 연산과 연결 연산을 이용한 벡터 모중 자동 개수 세는 방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0023420 | | | | |
| 2017 | 가뭄 진단용 종이 기반 전기화학적 바이오 센서 및 그 제조 방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0051881 | | | | |

| | | | | | | | | | |
|------|---|-------------|----|--------------------|------|---|-------------|----|--|
| 2017 | 환경장애 진단용 종이 센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0051872 | | | | | |
| 2017 | 가뭄 진단용 전기화학 적 바이오 센서 및 그 제조방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0051877 | | | | | |
| 2017 | 자율주행 농업기계의 작업안전을 위한 속도 제어장치 및 방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0090394 | | | | | |
| 2017 | 트랙터 원격 제어 시스템 | 엘에스엠트론 | 한국 | 10-2017-0160167 | 2021 | 트랙터 원격 제어 시스템 | 엘에스엠트론 | 한국 | |
| 2017 | 히터 및 온도센서가 집적된 다층구조의 환경장애 진단용 종이 센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0172977 | 2018 | 히터 및 온도센서가 집적된 다층구조의 환경장애 진단용 종이 센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | |
| 2017 | GNSS 기반의 위치 추정의 불확실성을 측정하는 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 국제 | PCT/KR 2017/014982 | | | | | |
| | | | | 10-2017-0051872 | 2018 | 환경장애 진단용 종이 센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | |
| | | | | 10-1821094 | 2018 | 가뭄 진단용 전기화학 적 바이오 센서 및 그 제조방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | |
| 2018 | 레이저 거리 센서의 측정 거리에 대해 추정된 거리 유형의 신뢰성을 평가하는 방법 및 이를 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 미국 | 15/876511 | | | | | |
| 2018 | 트랙터 쟁기의 경심 제어장치 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2018-0019584 | 2018 | 트랙터 쟁기의 경심 제어장치 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | |
| 2018 | 농업용 작물의 생육 정보 구축시스템 | 주식회사 공간정보 | 한국 | 10-2018-0061970 | 2021 | 농업용 작물의 생육 정보 구축시스템 | 주식회사 공간정보 | 한국 | |
| 2018 | 과실 수확 로봇 장치 | 에스피투로보틱스 | 한국 | 10-2018-0061589 | | | | | |
| 2018 | 원격탐사 성과물과 클라우드 기반 플랫폼과의 연계 시스템 | 주식회사 공간정보 | 한국 | 10-2018-0061971 | 2020 | 원격탐사 성과물과 클라우드 기반 플랫폼과의 연계 시스템 | 주식회사 공간정보 | 한국 | |
| | | | | 10-1888295 | 2018 | 레이저 거리 센서의 측정 거리에 대해 추정된 거리 유형의 신뢰성을 평가하는 방법 및 이를 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 | |
| 2018 | 작물의 병해를 진단하기 위한 종이 기반 PG 검출센서 및 그 제조방법과 이를 이용한 PG 검출 방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2018-0126127 | 2019 | 작물의 병해를 진단하기 위한 종이 기반 P G 검출센서 및 그 제조방법과 이를 이용한 P G 검출 방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | |
| | | | | US 10,1 | 2018 | Method for evaluatin | 고려대학교 | 미국 | |

| | | | | | | | | |
|------|--|-------------|----|-------------------|------|--|-------------|----|
| | | | | 07,897 B2 | | g type of distance measured by laser range finder and method for estimating position of mobile robot by using same | 교산학협력단 | |
| | | | | 10-1921483 | 2018 | G N S S 기반의 위치 추정의 불확실성을 측정하는 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2018 | 위치 추정 상태 진단 방법 및 이를 수행하는 자율주행로봇 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2018-0149336 | 2020 | 위치 추정 상태 진단 방법 및 이를 수행하는 자율주행로봇 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2019 | 2륜이동로봇의 운동 불확실성을 고려한 충돌회피 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2019-0005019 | 2020 | 2륜 이동 로봇의 속도 제어 불확실성을 이용한 충돌 회피 경로 생성 방법 및 이를 이용한 2륜 이동로봇 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2019 | 농용 트랙터의 룬거 조절형 휠 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2019-0051877 | 2019 | 농용 트랙터의 룬거 조절형 휠 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2019 | 가뭄 진단용 종이 기반 전기화학적 바이오 센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2019-0023337 | 2019 | 가뭄 진단용 종이 기반 전기화학적 바이오 센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2019 | 농작업차량 자동제어 시스템 | 엘에스엠트론 | 한국 | 10-2019-0027561 | 2019 | 농작업차량 자동제어 시스템 | 엘에스엠트론 | 한국 |
| | | | | 10-1967652 | 2019 | 가뭄 진단용 종이 기반 전기화학적 바이오 센서 및 그 제조방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2019 | 농업용 농경지 정보를 연계한 영농 관리 시스템 | 공간정보 | 한국 | 10-2019-0053518 | 2021 | 농업용 농경지 정보를 연계한 영농 관리 시스템 | 공간정보 | 한국 |
| | | | | 15/245.425 (등록번호) | 2019 | method for detecting floor obstacle using laser range finder | 고려대학교 산학협력단 | 미국 |
| 2019 | 작업자 탑승이 가능한 안전 트랙터용 쟁기 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2019-0113443 | 2020 | 작업자 탑승이 가능한 안전 트랙터용 쟁기 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2020 | 식물 생육 모니터링 제어 시스템 및 식물 생육 모니터링 제어 방법 | 썬슬라이머스 | 한국 | 10-2020-0039434 | 2021 | 식물 생육 모니터링 제어 시스템 및 식물 생육 모니터링 제어 방법 | 썬슬라이머스 | 한국 |
| 2020 | 농업용 트랙터의 견인 제어 유압시스템 및 이를 이용한 견인 제어 방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2020-0178660 | | | | |
| 2019 | 자율 주행 시스템을 위한 복수의 3차원 라이다 센서의 외부파리미터 보정 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2019-0122310 | 2021 | 자율 주행 시스템을 위한 복수의 3차원 라이다 센서의 외부파리미터 보정 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2020 | 나노소재로 코팅된 | 전남대학 | 한국 | 10-2020- | | | | |

| | | | | | | | | |
|------|--|-------------|----|-----------------|------|--------------|---------|----|
| | 난각막을 포함하는 생체 소재 | 교산학협력단 | | 0017133 | | | | |
| 2020 | 농업 정밀 관리를 위한 농기계 연동형 플랫폼 시스템 | 주식회사 공간정보 | 한국 | 10-2020-0029622 | | | | |
| 2020 | Extrinsic Calibration Method of Multiple 3D Lidar Sensors for Autonomous Navigation System | 고려대학교 산학협력단 | 미국 | 17060710 | | | | |
| | | | | 10-2272510 | 2021 | 트랙터 원격제어 시스템 | 엘에스엠 트론 | 한국 |
| 2021 | 젤라틴 가교입자의 제조 방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2021-0111023 | | | | |
| 2021 | 드론을 활용한 영농 관리의 의사결정지원 시스템 | 공간정보 | 한국 | 10-2021-0191019 | | | | |

(다) 기술료징수 현황 (백만원)

| 기 징수액 | 당해연도 징수액 | 향후 징수액 | 합계 |
|-------|----------|--------|-------|
| 287.6 | 287.6 | - | 287.6 |

- 기술이전 및 기술지도 내용 (총 15건)

| 연번 | 계약일자 | 유상/무상 | 기술료 (백만원) | 공급기관명 | 대상기관명 | 기술이전 계약명 | 비고 |
|--------------|-----------|-------|-----------|-------------|-----------|-----------------------------------|----|
| 1 | 14.10.01. | 유상 | 22 | 고려대학교 | (주)단암시스템즈 | 이동로봇의 위치추정 방법 | |
| 2 | 15.08.18. | 유상 | 5 | 충남대학교 | BNR | 평 기어 설계 신뢰성 확보를 위한 시뮬레이션 해석기술 개발 | |
| 3 | 15.08.27. | 유상 | 15 | 충남대학교 | BNR | 영상처리 시뮬레이션 설계기술 | |
| 4 | 15.11.11. | 유상 | 1 | 충북대학교 | 해표산업 | IOT 컨버전스 기술 | |
| 5 | 16.12.01. | 유상 | 25 | 고려대학교 | (주)원익로보틱스 | 공공서비스로봇을 위한 자율주행기술 | |
| 6 | 18.12.05 | 유상 | 7 | 충남대학교 | 주식회사진트 | 트랙터의 농작업에 따른 부하 프로파일 정량화 기술 | |
| 7 | 19.02.22 | 유상 | 7 | 충남대학교 | 센서아이 | 영상처리시스템을 이용한 실시간 농작물인식 및 보정 기술 | |
| 8 | 19.02.25 | 유상 | 20 | 충남대학교 | 비엔알 | 스파이럴 베벨기어 해석 기술 개발 | |
| 9 | 19.12.20 | 유상 | 1 | 전남대학교 (1세부) | 엘엔에스 | 농경지 주변 환경인식을 위한 인공지능 머신비전 시스템 노하우 | |
| 10 | 19.12.20 | 유상 | 1 | 전남대학교 (1세부) | 슈닉스 | 농경지 주변 환경인식을 위한 인공지능 머신비전 시스템 노하우 | |
| 11 | 19.12.20 | 유상 | 1 | 전남대학교 (1세부) | 공간정보 | 농경지 주변 환경인식을 위한 인공지능 머신비전 시스템 노하우 | |
| 12 | 19.12.27 | 유상 | 40 | 충남대학교 | 비엔알 | 영상기반 트랙터 자동 조향 기술 | |
| 13 | 19.12.31 | 유상 | 100 | 충남대학교 | 주식회사진트 | 농기계용 텔레매틱스 서버 플랫폼 구축 기술 관련 노하우 | |
| 14 | 19.07.23 | 유상 | 2.6 | 공간정보 | 공간정보 | Connected farming 영농관리 의사결정지원 솔루션 | |
| 15 | 21.10.21 | 유상 | 40 | 충남대학교 | 비엔알 | 베일 압력 측정장치 | |
| 기술료 합계 (백만원) | | | 287.6 | | | | |

(라) 사업화 성과 및 매출 실적

| 연번 | 해당 년도 | 구분 | 사업화명 | 제품명 | 업체명 | 매출액 (백만원) |
|-------------|----------|---------|------------------------------------|------------------------------------|---------|--------------|
| 1 | 2019 | 사업 화 | Alpha Farm | | 썬슬프라이머스 | 33 |
| 2 | 2019 | 사업 화 | 라이스팜 사업 | | 공간정보 | 5.5 |
| 3 | 2015 | 사업 화 | 반딧불이 | | 나래트렌드 | 158 |
| 4 | 2015 | 사업 화 | 자율주행 트랙터 보급사업 | | 동양물산기업 | 0 |
| 5 | 2019 | 제품 화 | ARC-EZ Farm 방제관리 솔루션 | ARC-EZ Farm 방제관리 솔루션 | 공간정보 | 5 |
| 6 | 2021 | 제품 화 | ARC-EZ Farm 영농관리 의사결정 지원 솔루션 | ARC-EZ Farm 영농관리 의사결정 지원 솔루션 | 공간정보 | 65 |
| 7 | 2021 | 제품 화 | CESL-ConT01 (컨테이너 팜) | CESL-ConT01 | 썬슬프라이머스 | 58.4 |
| 8 | 2021 | 제품 화 | CESL-ConV01 (실내형 컨베어 컬처) | CESL-ConV01 | 썬슬프라이머스 | 6.4 |
| 9 | 2021 | 제품 화 | CESL-VF01 (실내형 수직 재배시설) | CESL-VF01 | 썬슬프라이머스 | 8.5 |
| 10 | 2021 | 제품 화 | 자율작업 트랙터 | XP7102-SMART2.0 | LS엠트론 | 350 |
| 11 | 2021 | 제품 화 | 자율작업 트랙터 | XP7102-SMART2.5 | LS엠트론 | 495 |
| 매출액합계 (백만원) | | | | | | 1,184.8 |

■ ARC-EZ Farm 방제관리 솔루션

| 항 목 | 세부 항목 | 성 과 | | | |
|-------------|--------------------------------|---------------------------|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 2년 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 200 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 0.05 | 2 | 4 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | - | 15% | 30% |
| 국외 | | | 5% | 7% | |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | 방제드론 연계 플랫폼, 선별적 자동방제 시스템 | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | - | - | - | |
| | 수 출 | | 1 | 1 | |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 | |
|--------|-------------|---------------------|-----------|---------------------|------|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 0.05억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 2억원 | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 억원 | |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 15% 국외 : 5% | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % 국외 : % | |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | | -위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | | 100위 |

■ ARC-EZ Farm 영농관리 의사결정 지원 솔루션

| 항 목 | 세부 항목 | 성 과 | | | |
|-------------|--------------------------------|---------------------------|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 4년 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 300 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 0.65 | 3 | 6 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | 5% | 10% | 30% |
| 국외 | | - | 3% | 5% | |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | 농지분석 AI모델, 무인농기계 자동 제어플랫폼 | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | - | - | - | |
| | 수 출 | - | 1 | 4 | |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 |
|-----|------|------|----------|--------|
| 사업화 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 0.65억원 |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 |
|-------------|---------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| 성과 | 시장 점유율 | 관련제품 | 향후 3년간 매출 | 3억원 |
| | | | 개발후 현재까지 | 억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 억원 |
| | | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : 5% 국외 : -% |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 10% 국외 : % |
| | | | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % |
| | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | 위 |
| 세계시장 경쟁력 순위 | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | 100위 | | |

■ XP7102-SMART2.0

| 항 목 | 세 부 항 목 | | 성 과 | | |
|--------------------------------|--------------|---|--------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | | 3년 | | |
| | 소요예산(백만원) | | 40,000 | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | | 3.5 | 30 | 50 |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | | | |
| 국외 | | | | | |
| 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | | 현재 자율작업 및 Telematics 시스템 100마력급 중형 Utility 트랙터에 적용하여 판매되고 있음. 향후, 개발 진행중인 140마력급 및 50~60마력대 (대형 Utility 및 소형) 트랙터에 확대 적용 계획 수립 中 | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | 3.5 | 20 | 30 | |
| | 수 출 | - | 10 | 20 | |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 |
|--------|--------|------|-----------|-------------------|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 3.5 억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 20 억원 |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 0 억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 10 억원 |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % 국외 : % |
| | | | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % 국외 : % |
| | | | 세계시장 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 |

| | | |
|--------|---------------------|------|
| 경쟁력 순위 | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | 10 위 |
|--------|---------------------|------|

■ XP7102-SMART2.5

| 항 목 | 세부 항목 | 성 과 | | | |
|-------------|--------------------------------|--|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 3년 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 40,000 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 4.95 | 30 | 50 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | | | |
| 국외 | | | | | |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | 현재 자율작업 및 Telematics 시스템 100마력급 중형 Utility 트랙터에 적용하여 판매되고 있음. 향후, 개발 진행중인 140마력급 및 50~60마력대 (대형 Utility 및 소형) 트랙터에 확대 적용 계획 수립 중 | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | 4.95 | 20 | 30 | |
| | 수 출 | - | 10 | 20 | |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 | |
|--------|-------------|---------------------|-----------|------------------|------|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 4.95 억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 20 억원 | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 0 억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 10 억원 | |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % 국외 : % | |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | | 0 위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | | 10 위 |

■ CESL-VF01(실내형 수직 재배시설)

| 항 목 | 세부 항목 | 성 과 | | | |
|--------|--------------------------------|-----------------------------------|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 3 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 800 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 0.4 | 20 | 40 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | - | 8 | 10 |
| 국외 | | - | 3 | 5 | |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | 재배자동화에 수확자동화가 결합된 스마트팜 자동화 플랫폼 개발 | | | |
| 무역 수지 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |

| | | | | |
|-------|----------|-----|----|----|
| 개선 효과 | 수입대체(내수) | 0.4 | 10 | 20 |
| | 수출 | - | 20 | 40 |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 | |
|-----------|----------------|---------------------|-----------|--------------------|-----|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 0.4억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 15억원 | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 0.4억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 5억원 | |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : -% | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 3% 국외 : 1% | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : 1% | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 5% 국외 : 2% | |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | | -위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | | 30위 |

■ CESL-ConV01(실내형 컨베어 컬처)

| 항 목 | 세부 항목 | 성 과 | | | |
|----------------|--------------------------------------|-------|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 2년 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 500 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 0.3 | 10 | 15 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | - | 5 | 8 |
| | | 국외 | - | 3 | 5 |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | 0.3 | 2 | 5 | |
| | 수출 | - | 5 | 8 | |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 |
|-----------|-----------|------|-----------|--------------------|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 0.3억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 8억원 |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 0.3억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 8억원 |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : -% |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 5% 국외 : 1% |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : -% |

| | | | | |
|--|----------------|---------------------|-----------|--------------------|
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 8% 국외 : 5% |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | -위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | 35위 |

■ CESL-ConT01(컨테이너 팜)

| 항 목 | 세부 항목 | 성 과 | | | |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------------|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 3년 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 1000 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 0.9 | 30 | 50 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | - | 10 | 20 |
| 국외 | | - | 5 | 10 | |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | 재배자동화 및 수확자동화 시스템을 갖춘 컨테이너팜 | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | 0.9 | 10 | 20 | |
| | 수 출 | - | 20 | 40 | |

| 항목 | 세부항목 | | 성 과 | |
|-----------|----------------|---------------------|-----------|----------------------|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 0.9억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 30억원 |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | -억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 30억원 |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : -% |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 20% 국외 : 10% |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : -% |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 30% 국외 : 15% |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | -위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | 20위 |

(마) 학술 및 국제협력 성과 (총 142건)

| 연번 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|---------------------------|--|--|---|-----------------------------------|
| 1 | 2015 | 학술발표 | 서울대 | 한응철 | 확장기구모델 기반의 트랙터 주행 시뮬레이터 개발 | 한국정밀농업학회 | 천안상록리조트 컨벤션센터 |
| 2 | 2015 | 학술발표 | 서울대 | 전찬우 | 칼만필터를 이용한 다중저가형 GPS 오차개선 알고리즘 연구 | 한국정밀농업학회 | 천안상록리조트 컨벤션센터 |
| 3 | 2015 | 학술발표 | 성균관대 | 탁해윤 | 로타리 작업사이클을 이용한 트랙터 성능 시뮬레이션 | 한국농업기계학회 | 변산 대명리조트 |
| 4 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 | 다양한 환경조건에 강인한 이동로봇의 라이다 센서기반 위치추정기술 | 2015 제30회 제어로봇시스템학회 학술대회 | 대전 컨벤션센터(DCC) |
| 5 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 성지훈 | 이동 로봇의 위치추정을 위한 인공 표식의 설계 및 추출 | 2015 제30회 제어로봇시스템학회 학술대회 | 대전 컨벤션센터(DCC) |
| 6 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 조수현 | 레이저거리센서를 이용한 RA NSAC 기반의 선 추출 기법 | 2015 제10회 한국로봇종합학술대회 | 대전 컨벤션센터(DCC) |
| 7 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 차동근 | 3차원 깊이센서를 이용한 주행장애물 검지기법에의 단일 평면추출의 적용 | 2015 제10회 한국로봇종합학술대회 | 대전 컨벤션센터(DCC) |
| 8 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 | An Ultrasonic Beacon-Based Localization Scheme Considering Motion Uncertainty of Mobile Robots | 2015 International Conference on Engineering and Applied Science | 일본 삿포로, Renaissance Sapporo Hotel |
| 9 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 조효주 | Tracking Human Legs for an Indoor Mobile Robot with a Single Laser Range Finder | 2015 International Conference on Engineering and Applied Science | 일본 삿포로, Renaissance Sapporo Hotel |
| 10 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 이우식 | Position Estimation Using Multiple Low-Cost GPS Receivers For Outdoor Mobile Robots | The 12th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2015) | KINTEX, Goyang city, Korea |
| 11 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 조효주 | One of the main challenges in field of service robots is the development of human-following technology. There are many potential applications of human | The 12th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2015) | KINTEX, Goyang city, Korea |
| 12 | 2015 | 학술발표 | 충남대 성균관대 전남대 강원대 | 이대현 최창현 정선옥 이경환 신범수 김용주 | 자동조향 제어 시스템을 이용한 평행주차 성능평가 | 한국농업기계학회 | 한국 농업과학원 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|--------------------|--|---|--|------------------|
| 13 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 박수곤 | 자율주행을 위한 카메라의 경사에 따른 영상 보정장치 설계 | 한국정밀농업학회 | 천안상록리조트 컨벤션센터 |
| 14 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 김연수 | 트랙터 주행 성능 시뮬레이션을 위한 Carsim 모델 개발 | 한국정밀농업학회 | 천안상록리조트 컨벤션센터 |
| 15 | 2015 | 학술발표 | 충남대 성균관대 전남대 | 이대현 김연수 주우석 정선욱 창현 최이경 환 | Carsim을 이용한 트랙터 주행 성능 평가 시뮬레이션 | 추계 농업기계학회 학술대회 | 대명 변산리조트 |
| 16 | 2015 | 학술발표 | 충남대 성균관대 전남대 | 이대현 주우석 고창현 최이경 김완수 | 농업용 트랙터의 연비 시뮬레이션 | 추계 농업기계학회 학술대회 | 대명 변산리조트 |
| 17 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 이대현 | 자율주행을 위한 카메라의 경사에 따른 영상 보정 장치 설계 | 추계 농업기계학회 학술대회 | 대명 변산리조트 |
| 18 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 박수곤 | Image Calibration Device depending on Camera Tilt for an Autonomous Guidance System | The Sixth Asian Conferences on Precision Agriculture | Guangzhou, China |
| 19 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 김완수 | Simulation of the fuel consumption of an agricultural tractor | The Sixth Asian Conferences on Precision Agriculture | Guangzhou, China |
| 20 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 김연수 | Study on the Driving Performance Evaluation of Unmanned Tractors Using CarSim | The Sixth Asian Conferences on Precision Agriculture | Guangzhou, China |
| 21 | 2015 | 학술발표 | 전남대 충남대 공간정보 | 유승화 백선욱 장효주 김정선 구경환 김석영 | 지상영상과 항공영상에 의한 잔디 생육정보 비교 | 한국정밀농업학회, 전남대학교 농업생산무인자동화연구센터 국제공동심포지엄 | 천안상록리조트 컨벤션센터 |
| 22 | 2015 | 학술발표 | 전남대 공간정보 | 장효주 백선욱 김석영 | 벼 생육정보 특징을 위한 무인비행 시스템 | 한국정밀농업학회, 전남대학교 농업생산무인자동화연구센터 국제공동심포지엄 | 천안상록리조트 컨벤션센터 |
| 23 | 2015 | 학술발표 | 전남대 충남대 | 백선욱 유승화 장효주 김정선 구경환 | 트랙터 탑재형 변량 시비 시스템 개발 | 한국정밀농업학회, 전남대학교 농업생산무인자동화연구센터 국제공동심포지엄 | 천안상록리조트 컨벤션센터 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-------------|---------------------------------|--|---|---|
| 24 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | 정진태 김박경 이경환 | 저전압 폴리이미드 기반 마이 크로 히터의 최적화 설 | 한국정밀농 업학회, 전 남대학교 농업생산무 인자동화연 구센터국제 공동심포 지엄 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 25 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | Sun-W ook Baek | An Autonomous Tractor for Turfgrass Management | The Sixth A sian Confer ences onPrecision Agriculture | Guangzhou, China |
| 26 | 2015 | 학술발표 | 전남대 공간정보 | 유승화 백선욱 이인구 김석규 이경환 | 무인항공기를 이용한 벼 생육 예측 | 한국농업기 계학회 추계 학술대회 | 변산 대명리 조트 |
| 27 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | 이경환 | Application of Bionic Engineer ing to Smart Agriculture | 2015 Intern ational Wor kshop on BionicEngi neering(IWBE 2015) | Beijing, Chin a |
| 28 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | 이경환 | Monitoring of Crop Growth us ing Unmanned Aerial Vehicl e. | 6th Asian C onference o n Precision Agriculture (ACPA2015) | South China University, Guanzhou, C hina |
| 29 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 이희웅 이동훈 민재기 | 빅데이터와 유한요소법을 이 용한 다연동 온실의 열 이동 특성 분석 | 한국정밀농 업학회 전남 대학교 농업생산무 인자동화연 구센터2015 국제공동심 포지엄 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 30 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 이희웅 이동훈 민재기 | 적외선 다중 센서 실내 온도 분 에 따른 상토와 쿵의 온도 분 석 | 한국정밀농 업학회 전남 대학교 농업생산무 인자동화연 구센터2015 국제공동심 포지엄 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 31 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 이동훈 | IoT 기반 토양 현장 진단 키 트와 흙토람 서비스 연동 방 법 연구 | 한국정밀농 업학회 전남 대학교 농업생산무 인자동화연 구센터2015 국제공동심 포지엄 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 32 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 강신형 윤호현 이재현 민재기 이동훈 | 온실의 구조적 장애물에 따른 무선통신 통신을 분석 | 한국농업기 계학회 | 한국 농업과 학원 |
| 33 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 이희웅 김태균 | 온실내부 무선통신 노드 토폴 로지와 과습 조건에 따른 통 | 한국농업기 계학회 | 한국 농업과 학원 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|------------|--|--|--|-----------------------|
| | | | | 송정원 이동훈 | 신성능 분석 | | |
| 34 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 이희웅 김태균 송정원 이동훈 | 빅데이터와 유한요소법을 이 용한 온실의 열이동 특성 분 석 | 한국농업기 계학회 | 한국 농업과 학원 |
| 35 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 강신형 이희웅 이동훈 | 빅데이터와 MATLAB/Simulink 를 이용한 온실 난방비 분석 기술 | 한국농업기 계학회 | 한국 농업과 학원 |
| 36 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | Kyeong -Hwan Lee | An autonomous tractor for tu rfgrass mowing and variable- rate fertilization | 2015 ASABE International Meeting | New Orea ns, USA |
| 37 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | Kyeong -Hwan Lee | Unmanned aerial vehicle appl ications in Korea | The 7th Int ernational Workshop o n Precision Agriculture andAerialSpr ayingTechn ology | Nanjing, Chi na |
| 38 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | Kyeong -Hwan Lee | Estimation of rice crop growt h using unmanned aerial syst ems | The Joint In ternational Conferences on IntelligentAg riculture. | Beijing, Chin a |
| 39 | 2016 | 학술발표 | 전남대 | 임민규 이미라 수마야 최영수 이경환 | 생물학적 분석을 위한 종이기 반의 미세유체센서의 제작 | 한국농업기 계학회/한국 정밀농업학 회 | 천안 상록리 조트 |
| 40 | 2016 | 학술발표 | 전남대 | MD Na sim Re za 나인섭 백선욱 이경환 | The Analysis of Rice Transpl ant Characteristics byusingLowAltitudeUAVImages | 한국농업기 계학회/한국 정밀농업학 회 | 천안 상록리 조트 |
| 41 | 2016 | 학술발표 | 충남대 전남대 | 김연수 정선욱 최창환 김용주 | Carsim을 이용한 트랙터 주행 속도가 타이어력에 미치는 영 향 분석 | 한국농업기 계학회 | 국립농업과 학원 농업과 학부 |
| 42 | 2016 | 학술발표 | 서울대 | 전찬우 김진철 한용희 | 자율주행 콤바인을 위한 Lase r Scanner 기반의 작물 가장 자리 열 검출 알고리즘 연구 | 한국농업기 계학회 | 국립농업과 학원 농업과 학부 |
| 43 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 조효주 정우진 | Preliminary Research on Rob ust Leg-Tracking IndoorMobileRobotsbyCombini ngtheKinect andtheLaserRangeFinderInfor mation | URAI 2015 | 고양 킨텍스 |
| 44 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 이우식 정우진 | Position Estimation Using Mul tiple Low-Cost GPSReceiversForOutdoorMobil eRobots | URAI 2015 | 고양 킨텍스 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|--------------------|--|---|---|--------------------------|
| 45 | 2016 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 김정우 | 이동로봇의 강인한 위치추정 을 위한 라이더 센서기반 관 측모델 설계 | 제11회 한국 로봇종합학 술대회 | 휘닉스파크 |
| 46 | 2016 | 학술발표 | 성균관대 | 김선정 김재우 김성진 최선 황헌 | 컴퓨터 시각 기술을 이용한 복숭아 선별 알고리즘 개발 | 한국농업기 계학회 | 국립농업과 학원 농업과 학부 |
| 47 | 2016 | 학술발표 | 성균관대 | 김선정 김재우 김성진 최선 황헌 | 컴퓨터 시각 기술을 이용한 파프리카 중량 예측알고리즘 개발 | 한국농업기 계학회 | 국립농업과 학원 농업과 학부 |
| 48 | 2016 | 학술발표 | 전남대 성균관대 | 김연수 정선욱 최창현 한주 김용주 | Effect of Tractor Travelling Speed on Tire Force | The 7th Joi nt Symposiu m between SYAUandCN U | Shenyang U niv. China |
| 49 | 2016 | 학술발표 | 전남대 | 이경환 선욱 유승화 이인 김석구 | Multi-temporal Imaging using and Unmanned AerialVehicleforMonitoringRic eCropGrowth | 2016 ASABE | Orlando, Flo rida |
| 50 | 2016 | 학술발표 | 충남대 | 김연수 김용주 정선욱 최창현 이경환 | Study on Driving Performanc e Evaluation of Unmanned T ractor Using Carsim | 2016 ASABE | Orlando, Flo rida |
| 51 | 2016 | 학술발표 | 충남대 성균관대 전남대 | 김연수 탁해운 최창현 이경환 김용주 | 트랙터 주행속도가 타이어 슬 립에 미치는 영향 시뮬레이션 | 한국농업기 계학회/한국 정밀농업학 회 | 천안 상록리 조트 |
| 52 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | Tean Chen 나인섭 백선욱 이인 이경환 | Detection of Abnormal Area on Paddy Field using K-mean Algorithm | 농촌진흥청 / 한국농업 기계학회 / 한국정밀 농업학회 | 농촌진흥청 농촌인적자 원개발센터 |
| 53 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | Md Na sim Re za 나인섭 백선욱 이인 이경환 | Rice Leaves Detection in Lo w Altitude UAV Field Image | 농촌진흥청 / 한국농업 기계학회 /한국정밀농 업학회 | 농촌진흥청 농촌인적자 원개발센터 |
| 54 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | Md Na sim Re za 나인섭 백선욱 이경환 | Color Based Image Segmentat ion to Predict Rice Yield usin g Low Altitude UAV Images | 2017 ASABE | Spokane, W ashington |
| 55 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | 임민규 이미라 Sumaiy a Islam 최영수 이경환 | Low-cost fabrication of fully enclosed microfluidic paper-b ased analyticalsensorsfordiagnosing droughtstress | 2017 ASABE | Spokane, W ashington |
| 56 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | 백선욱 | Analysis of Transplant Chara | 2017 ASABE | Spokane, W |

| | | | | | | | |
|----|------|------|------------|--|--|---------------------------------|--|
| | | | | 나인섭 이경환 | cteristic using Hough Transform and Hierarchical Clustering in a Paddy Field | | ashington |
| 57 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | Md Na sim Re za 나인섭 백선욱 이인 이경환 | Lab Color Space based Rice Yield Prediction using Low Altitude UAV Field Image | 한국농업기계학회 / 발 농업기계개 발연구센터 | 경북대학교 계발농업기 계발연구센 터 |
| 58 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | 최영수 이미라 임민규 심안나 이경환 | 작물의 가뭄 스트레스 현장 진단을 위한 마이크로 히터 및 온도 센서가 집적화된 모듈을 사용한 종이 기반 센서의 제작 | 한국정밀공 학회 | 라마다프라 자제주호텔 |
| 59 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 이우식 정우진 | 저가의 다중 GNSS 수신기의 정밀한 센서 모델링을 통한 실외 위치 추정 성능 향상 기법 | ICROS 제 어·로봇· 시스템학회 | 대명 텔피노 리조트 (속 초) |
| 60 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 형승호 차동근 정우진 | 레이저거리센서를 장착한 자율주행자동차를 위한 주변 차량량과 보행자에 대한 강인한 인식기술 | ICROS 제 어·로봇· 시스템학회 | 대명 텔피노 리조트 (속 초) |
| 61 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 김주엽 이현석 정우진 | 실내·외 도시생활 환경용 자율주행 로봇의 설계 | ICROS 제 어·로봇· 시스템학회 | 대명 텔피노 리조트 (속 초) |
| 62 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | Jihoon Seong Daun Jung Woojin Chung | Odometry Calibration for Car-like Mobile Robots | URAI 2017 | Hotel Maison Glad Jeju, J eju, Korea |
| 63 | 2017 | 학술발표 | 고려대 전남대 | 권현기 Seongy ong Park Chang- bae Moon 정우진 | Trajectory Planning for Mobile Robot with Kinodynamic Constraints | URAI 2017 | Hotel Maison Glad Jeju, J eju, Korea |
| 64 | 2016 | 학술발표 | 성균관대 | 신우현 이동구 김태정 이정호 김재우 최선 조성호 황헌 | 최소저크 궤적과 X축-스웨이 를 이용한 4족 보행로봇의 안 정적 걸음새 연구 | 한국농업기 계학회 / 한 국정밀농업 학회 | 천안상록리 조트 |
| 65 | 2016 | 학술발표 | 성균관대 | 신우현 이동구 김태정 이정호 김재우 최선 조성호 황헌 | Convolutional Neural Network 기반 실시간 작물 탐지 시스 템 개발 | 한국농업기 계학회 / 한 국정밀농업 학회 | 천안상록리 조트 |
| 66 | 2016 | 학술발표 | 성균관대 | 이동구 김태정 이정호 김재우 | Deep learning Semantic Segmentation을 사용한 최고기 등심 영역 분리 | 한국농업기 계학회 / 한 국정밀농업 학회 | 천안상록리 조트 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-----------|---|--|--|----------------------------------|
| | | | | 최선 조성호 황헌 | | | |
| 67 | 2017 | 학술발표 | 성균관대 | 김재우 이동구 김태정 이정호 김선정 최선 황헌 | 영상기반의 딥러닝을 활용한 드론-실내고도유지 알고리즘 개발 | 한국농업기 계학회 / 발 농업기계개 발연구센터 | 경북대학교 개발연구센 터 |
| 68 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 | Robust LiDAR-Based Localiza tion on the basis of AccurateModelingofOpticalCha racteristics | IEEE/RSJ In ternational Conference on Intelligen t Robots and Systems (I ROS) | 캐나다, 밴쿠 버 |
| 69 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 형승호 | Vehicle detection using a las er range finder on the basisofSVDD(SupportVectorDat aDescription) | 17th Interna tional Confe rence on C ontrol, Auto mation and Systems (IC CAS 2017) | 제주도 |
| 70 | 2017 | 학술발표 | 전남1세 부 | Md Na sim Re za | Detection Of Rice Grain Usin g Low Altitude Uav Images at t Growing Stage | 7thAsian-Au stralianconf erenceonPre cision Agriculture | HAMILTON, NEW ZEAL AND |
| 71 | 2017 | 학술발표 | | Tean Chen | Detection of Abnormal Regio n for Pest Prediction in Paddy Field | 1st Internati onal Works hop on Intel ligent SystemsforA griculturePr oductionand Environment protection | 한국 서울 |
| 72 | 2017 | 학술발표 | | 최영수 | Fabrication of a paper-based sensor using module integratedwithmicro-heaterand temperaturesensor foron-sitediagnosisofdroughtst ressincrops | 한국정밀공 학회 2017년 도 춘계 학술 대회 | 한국 |
| 73 | 2017 | 학술발표 | 전남1세 부 | 백선욱 | Simulation of Optimal Path Pl anning Using Modified MinimumSpanningTreeforAuto nomousAgriculturalMobileRobo t | 7th Asian-A ustralian co nference on Precision A griculture | Hamilton, N EW ZEALA ND |
| 74 | 2017 | 학술발표 | | 임민규 | Low-cost fabrication of fully enclosed microfluidic paper-basedanalyticalsensorsf ordiagnosingdroughtstress | ASABE 2017 Annual inte rnational m eeting | Spokane, W ashington, U SA |
| 75 | 2017 | 학술발표 | 전남1세 부 | 임민규 | FABRICATION OF NOVEL PA PER-BASED BIOSENSOR FOR DIAGNOSISOFDROUGHTSTRE SSINPLANTS | 7th Asian-A ustralian co nference on Precision A griculture | Hamilton, N EW ZEALA ND |
| 76 | 2017 | 학술발표 | 전남1세 부 | 오상언 | 비행 로봇 영상 정보를 이용 한 딥 러닝 기반 보행자 움직임 | 한국농업기 계학회/농업 | 광주 김대중 컨벤션센터 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-------|------------|---|--|---------------------|
| | | | | | 임 추적 알고리즘 개발 | 생산무인자동화연구센터 2017년 추계 공동학술대회 | |
| 77 | 2018 | 학술발표 | 충남대 | 김두한 | Analysis torque for multi-purpose cultivator during field operation | The 8th Joint Symposium between Chungnam National University and Shenyang Agriculture University | 대전 인터시티호텔 |
| 78 | 2018 | 학술발표 | 충남대 | 김두한 | 소형 관리기의 로타리 작업에 따른 PTO 기어 부하 분석 | 한국정밀농업학회 2018년 춘계학술대회 | 경상북도 상주시농업기술센터(대강당) |
| 79 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 형승호 | Vehicle detection using a laser range finder on the basis of SVDD(Support Vector Data Description) | 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems | 제주 라마다호텔 |
| 80 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | 박성용 | 강화학습 기법을 이용하여 다양한 환경에 스스로 적응할 수 있는 자율주행로봇의 경로생성 및 운동제어 기법 | 제13회 한국로봇종합학술대회 | 강원도 웰리힐리파크 |
| 81 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | 유정환 | 3차원 라이다 센서의 거리 측정값에 대한 통계적 오차 분석 | 제13회 한국로봇종합학술대회 | 강원 웰리힐리파크 |
| 82 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | 조수현 | 인공표식 위치 기반 2D 지도 정합 | 제13회 한국로봇종합학술대회 | 강원 웰리힐리파크 |
| 83 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | 형승호 | 생활도로에서 자율주행자동차의 정밀한 위치추정을 위한 운동모델 구축 | 제13회 한국로봇종합학술대회 | 강원도 웰리힐리파크 |
| 84 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 | Robust localization of mobile robots considering reliability of LiDAR measurement | IROS 2017 | Vancouver, BC |
| 85 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 | Robust LiDAR-Based localization on the basis of accurate modeling of optical characteristics | ICRA 2018 | 호주, Brisbane |
| 86 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Jangho Kim | Agricultural Bioresources and Biofabrication as an Enabling Strategy for Agricultural and Biological Applications | World Congress of the International Commission of Agriculture and Biosystems Engineering | Antalya, Turkey |
| 87 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sunho Park | Engineering Eggshell Membranes for Manipulation of Nanotopographically-defined Functional Platforms | International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Bios | 제주, 대한민국 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-------|-------------|--|---|--------------------|
| | | | | | | systems Engineering | |
| 88 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sunho Park | Engineered Nanomaterials as an Enabling Bionic Strategy for Acceleration of Plant Growth | International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering | 제주, 대한민국 |
| 89 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Dohyeon Lee | Iron Oxide Nanoparticles incorporated Alginate Capsules as Magnetic Field-assisted Potential Delivery Platforms of Agriculture Pesticides and Biocontrol | 2018 International Symposium on Machinery Agricultural and Biosystems Engineering | 제주, 대한민국 |
| 90 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Daun Kim | Development of Leaves-inspired Micro- and Nanostructures for the Manipulation of Functional Engineering Platforms | 2018 International Symposium on Machinery Agricultural and Biosystems Engineering | 제주, 대한민국 |
| 91 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sujin Kim | Mechanobiological Regulation of Cells by Nanotopographically-defined Biomimetic Scaffolds for Animal Tissue Engineering | 2018 International Symposium on Machinery Agricultural and Biosystems Engineering | 제주, 대한민국 |
| 92 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 백선욱 | UAV 영상 기반 심층 학습을 이용한 벼 작물의 이양 특성 분석 | 한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2018년 추계 공동학술대회 | 서울대학교 농업생명과학대학 201 |
| 93 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 오상언 | UAV 영상 정보를 이용한 개선된 R-CNN 기반 주변환경 장애물 인식 및 추적 알고리즘 | 한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2018년 추계 공동학술대회 | 서울대학교 농업생명과학대학 201 |
| 94 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 김도환 | 포인트 클라우드와 인공지능 기반 농경지 지형 분석 | 한국정밀농업학회 2018 추계학술대회 | 농업기술실용화재단 |
| 95 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 백선욱 | Faster R-CNN 기반 항공영상의 벼 작물 인식 및 이양 특성 분석 | 한국정밀농업학회 2018 추계학술대회 | 농업기술실용화재단 |
| 96 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 오상언 | 개선된 R-CNN 기반 비행로봇 주변 환경의 장애물 영상 인식 및 추적 알고리즘 | 한국정밀농업학회 2018 추계 | 농업기술실용화재단 |

| | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|---------------|---|---|--------------------------|
| | | | | | | 학술대회 | |
| 97 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 임민규 | 식물 가뭄스트레스 현장진단을 위한 종이기반의 밀폐된 미세유체 센서의 제작 | 한국정밀농업학회 2018 추계학술대회 | 농업기술실용화재단 |
| 98 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | Hyunki Kwon | Dual Tree RRT for Car-linked mobile robots with parent search | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems | Madrid, Spain |
| 99 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | Hyunsuk Lee | LiDAR-based Traversability Analysis on the basis of Supervised Learning Approach | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems | Madrid, Spain |
| 100 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | Junghwan Yoo | Extrinsic Calibration of Multiple 3D LiDARs using Plane Normals | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems | Madrid, Spain |
| 101 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | Seungho Hyeon | Practical Modeling of GNSS and Wheel Odometry for an Autonomous Vehicle in Urban Environments | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems | Madrid, Spain |
| 102 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sunho Park | Development of eggshell membrane based-nano-engineered platforms | 2018 ASABE | DETROIT, USA |
| 103 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Jangho Kim | Agricultural biosources and biofabrication as an enabling strategy for agricultural and biological applications | 2018 ASABE | Detroit, USA |
| 104 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Daun Kim | Multiscale Patterned Stem Cell Patches for Tissue Regeneration | Emerging Technologies in Mechanical Engineering 2018 | 제주도, 대한민국 |
| 105 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sunho Park | Suspended graphene nanopatterns for engineering structure and function of stem cells | Emerging Technologies in Mechanical Engineering 2018 | 제주도, 대한민국 |
| 106 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sujin Kim | Hydroxyapatite/Eggshell Membrane Composites for Healthcare Applications | 한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2018년 추계 공동학술대회 | 서울대학교 농업생명과학대학 201동/대한민국 |

| | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|---------------|---|---|---------------------------|
| 107 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sunho Park | ECM-mimetic topographic substrates as cell chips for in vitro cytotoxicity test platforms | 2018 한국공업화학회 추계 총회 및 학술대회 | 제주도/대한민국 |
| 108 | 2018 | 학술발표 | LS엠트론 | 최종민 | 자율주행 트랙터를 위한 자세 측정센서 사양 선정에 관한 연구 | 대한기계학회 2018년도 학술대회 | 강원랜드 컨벤션센터, 대한민국 |
| 109 | 2018 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | 로타리 작업 시 78kw급 농업용 트랙터의 등가부하 분석 | 한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2018년 추계 공동학술대회 | 서울대학교 농업생명과학대학 201동/대한민국 |
| 110 | 2018 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | 75kW급 농업용 트랙터 PTO 강도해석 | 한국정밀농업학회 초청 세미나 및 추계학술대회 | 농업기술실용화재단/대한민국 |
| 111 | 2018 | 학술발표 | 충남대 | 백승윤 | Traction analysis of an agricultural tractor according to slip ratio during plow tillage | Japan China Korea Graduate Student Forum 2018 | University of Tsukuba, 일본 |
| 112 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 이진원 | 자율주행로봇의 충전 전략 | 제14회 한국로봇종합학술대회 | 휘닉스 평창(강원도 평창군), 대한민국 |
| 113 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 하승호 | 장애물이 많은 환경에서 GNS S센서와 오도메트리 정보를 이용한 위치추정기법 | 제14회 한국로봇종합학술대회 | 휘닉스 평창(강원도 평창군)/대한민국 |
| 114 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 배정연 | 다 개체 이종 운반로봇을 위한 업무 분담 및 경로생성 알고리즘의 개발 | 제14회 한국로봇종합학술대회 | 휘닉스 평창(강원도 평창군), 대한민국 |
| 115 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | Xu-Hua Dong | Optimization of configuration parameters for 3D reconstruction in multicameras-based UAV system | 한국농업기계학회/2019년 추계공동학술대회 | 엘리시안 강촌 |
| 116 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | MD Nasim Reza | Geo-located position and counting of rice plants in UAV images | 한국농업기계학회/2019년 추계공동학술대회 | 엘리시안 강촌 |
| 117 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | M.N. Reza | RGB image based rice plant positioning in the field | (사)한국정밀농업학회 2019년 추계 학술대회 | 농촌진흥청 농촌인적자원개발센터 (새롬홀) |
| 118 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | Y.S. Choi | Plant-cell Based Artificial Photosynthesis System | (사)한국정밀농업학회 2019년 추계 학술대회 | 농촌진흥청 농촌인적자원개발센터 (새롬홀) |
| 119 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | X.H. Dong | 3D Reconstruction Using Multi Cameras-based UAV System | (사)한국정밀농업학회 2019년 추계 학술대회 | 농촌진흥청 농촌인적자원개발센터 (새롬홀) |
| 120 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 배정연 | A Heuristic for Coordination of two Heterogeneous mobile | Ubiquitous Robots 2019 | 제주 메종글래드호텔 |

| | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|-----|---|--|-----------------------|
| | | | | | robots while minimizing maximum travel cost | (UR2019) | |
| 121 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 김기태 | Limitations of 3D LIDAR Applications for Autonomous Vehicles under the consideration of the uber pedestrian accident | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 122 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 차동근 | Segment Extraction for detecting human legs in two-dimensional range data | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 123 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 이현석 | LIDAR-based traversability mapping on the basis of supervised learning approach in urban environment | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 124 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 진지용 | collision avoidance of two-wheel differential robots considering the motion uncertainty | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 125 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 권현기 | RRT based path planner for car-like mobile robots | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 126 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 하승호 | GNSS sensor-based localization in an urban environment | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 127 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 이정호 | Design of a semi-autonomous mobile robot with collaborative control in hazardous environments | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 128 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 이진원 | Design of a charging system for autonomous mobile robots | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 129 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 성지훈 | LiDAR sensor-based global localization using anonymous reflectors | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 130 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 박성용 | Design and Implementation of a robotic software architecture for autonomous mobile robot for delivery service in a cluttered public environment | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 131 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 배정연 | A heuristic for task allocation and routing of heterogeneous robots while minimizing maximum travel cost | 2019 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2019) | Montera, Canada |
| 132 | 2019 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | 농업용 트랙터 PTO 기어 치면 하중 분포 분석 | 2019 추계공동학술대회 | 엘리시안 강촌 |
| 133 | 2019 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | 농업용 트랙터 변속기의 베어링 예압에 따른 내구수명 분석 | 2019 드라이브·컨트롤 추계학술대회 | 한국기술교육대학교 제1캠퍼스 담현실학관 |
| 134 | 2020 | 학술발표 | 전남1세부 | 동슈아 | 3D Reconstruction of Trees in Apple Orchard using a Multi Camera-based UAV System | (사)한국농업기계학회/2020년 춘계공동학술대회 | 온라인 |
| 135 | 2020 | 학술발표 | 전남1세 | 관티엔 | Caterpillar Equipped mobile R | (사)한국농 | 온라인 |

| | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|----------|---|--|------------------------|
| | | | 부 | 유엔 | obot Wokring on Rough Terrain based on DynamicWindowApproach | 업기계학회/2020년 춘계 공동학술대회 | |
| 136 | 2020 | 학술발표 | 전남1세부 | 관티엔 유엔 | Counting of Dense Onions using Improved YOLOv3 Model for Onion Picking Robot | (사)한국농업기계학회/2020년 춘계 공동학술대회 | 온라인 |
| 137 | 2020 | 학술발표 | 전남1세부 | 조철현 | 들깨잎의 자동수확을 위한 잎몸 길이를 추정하는 근사형의 설계 | (사)한국농업기계학회/2020년 추계 공동학술대회 | 온라인 |
| 138 | 2020 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | 50 kW급 트랙터 변속기의 베어링 예압 조건에 따른 베어링 내구수명 분석 | (사)한국농업기계학회/2020년 춘계 공동학술대회 | 대한민국 온라인 |
| 139 | 2020 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | Analysis of Load Distribution of Hydro-Mechanical Transmission byMicro-GeometryOptimization | ASABE2020 Annual International Meeting | 미국 온라인 |
| 140 | 2020 | 학술발표 | 전남2협동 | 한태성 | Biodegradable Nanoporous Films as an Enabling Strategy for DesignandFabricationofFoodPackagingSystems | (사)한국농업기계학회/2020년 추계 공동학술대회 | 대한민국 온라인 |
| 141 | 2021 | 학술발표 | 전남2협동 | 박선호 | Elabrately designed nanopik e patch as anti-pathogenic scaffoldforregulatingstemcellbehaviors | 2021 KSIEC spring Meeting | 백스코 F발표장 |
| 142 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | C. Tea n | Navigation of a mobile robot in the indoor environment based on visual odometry particle filter and SLAM-Gampping Algorithm | (사)한국정밀농업학회 2019년 추계 학술대회 | 농촌진흥청 농촌인적자원개발센터 (새롭홀) |

(바) 홍보 및 전시 성과

① 홍보실적

| 번호 | 기관 | 홍보유형 | 매체명 | 홍보 제목 | 연도 | 비고 |
|----|---------|----------------|------------|--|------|----|
| 1 | 동양물산 기업 | 지방TV방송 | 전북생생TV | 첨단 농생명 수도 전북! 농업용 로봇 산업 청사진 마련 | 2015 | |
| 2 | 동양물산 기업 | Internet/PC 통신 | AVING.NET | [로보유니버스 2015] 동양물산기업, 농업용 무인자율주행트랙터 'TX803' 전시 | 2015 | |
| 3 | 충남대 | 기타 | 정밀농업학회 창간호 | 농작업 환경 및 작물 계측을 통한 지능형 농작업기계 제어 기술 개발 | 2015 | |
| 4 | 성균관대 | 기타 | 월드IT쇼 2016 | WIS 2016 전시회 | 2016 | |
| 5 | 성균관대 | Internet/PC 통신 | AVING news | [월드IT쇼 2016] 성균관대학교 로봇 및 영상처리연구실, 파프리카 자동인식 기술 선보여 | 2016 | |
| 6 | 성균관대 | Internet/PC | AVING news | [월드IT쇼 2016] 짧은 영상, | 2016 | |

| | | 통신 | | 파프리카 자동인식 기술 | | |
|----|-----|----------------|------------------|---|------|--|
| 7 | 전남대 | 중앙전문지 | 제어로봇시스템학회지 ICROS | 전남대학교 농업생산무인자동화연구센터 소개 및 홍보 | 2016 | |
| 8 | 전남대 | 중앙일간지 | 한국농기계신문 | ICT, 로봇, 드론, 인공지능 등 첨단 기술을 활용한 농기자재의 신산업화 전략 필요 | 2016 | |
| 9 | 전남대 | 중앙전문지 | Nano Insight | 차세대 스마트 농업의 핵심, 나노기술 | 2016 | |
| 10 | 전남대 | Internet/PC 통신 | AI타임스 | AI농업테크 시대 여는 전남대학교, AI농부로 선진농업 및 첨단농업 실현 | 2020 | |

② 전시실적

| 번호 | 기관 | 유형 | 행사명칭 | 전시품목 | 장소 | 연도 | 비고 |
|----|------|-----|---|----------------------------|--|------|----|
| 1 | 충남대 | 전시회 | Norco Primex Primary Industry Exhibition 2015 | 축산기계, 트랙터, 트럭, 자동차, 농업 서비스 | Richmond Valley Events Centre, Bruxner Highway, Casino, NSW, | 2015 | |
| 2 | 성균관대 | 전시회 | 2015 창조농생명대전 | T스마트팜 반딧불이 | 서울 경마공원 | 2015 | |
| 3 | 전남대 | 박람회 | 국제농업박람회 | 드론을 활용한 농업모니터링 | 전라남도농업기술원 | 2015 | |
| 4 | 성균관대 | 박람회 | 대한민국국제농기계자재박람회 | 태양전지 패널 세척 로봇, 계란 품질 계측 장치 | 천안 | 2016 | |
| 5 | 성균관대 | 전시회 | 농식품 과학기술 미래전망대회 | 기술상담 | 서울 삼성역코엑스 | 2017 | |
| 6 | 공간정보 | 박람회 | 제2회 대한민국 지방정부 일자리정책 박람회 | 영농관리 의사결정 지원 솔루션 | COEX Hall D, 서울 | 2019 | |
| 7 | 공간정보 | 전시회 | 2021 DRONE SHOW KOREA | 부스 설치 및 솔루션 홍보 | 부산 | 2021 | |

(사) 기타 성과

| 번호 | 구분 | 기관 | 교육 및 컨설팅명 | 연도 | 비고 |
|----|-------------|-------|---|------|----|
| 1 | 교육 및 컨설팅 | 고려대학교 | 이동로봇 (Mobile Robotics) | 2015 | |
| 2 | 교육 및 컨설팅 | 고려대학교 | 마이크로프로세서 프로그래밍 (Microprocessor programming) | 2015 | |
| 3 | 교육 및 컨설팅 | 충남대학교 | CarSim Basic Training | 2015 | |
| 4 | 교육 및 컨설팅 | 충북대학교 | 직무역량강화 세미나 - 농업분야의 ICT 융복합 핵심기술 및 향후 전망 | 2015 | |
| 5 | 교육 및 컨설팅 | 고려대학교 | 지능제어 (Intelligent Control) | 2015 | |
| 6 | 교육 및 컨설팅 | 고려대학교 | 전기전자공학개론 (Introduction to Electrical Engineering) | 2015 | |
| 7 | 저작권 (소프트웨어) | 전남대학교 | 드론 영상기반 벼 형상의 중심점을 이용한 이앙 벼의 개수를 자동으로 세는 프로그램 | 2017 | |

나. 세부과제별 사업수행 실적 - 1단계

나. 세부과제별 사업수행 실적

■ 1단계

● 제 1핵심연구과제

| 과제번호 | 제 (1) 핵심과제 | | | | | |
|------------------|--|---|--------------|-----------------|---------------|----|
| 핵심 연구과제명 | 국문 | 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업적용 기술개발 | | | | |
| | 영문 | Agricultural automation and robotics technology for agricultural production | | | | |
| 핵심 연구책임자 | 한글성명 | 이경환 | 영문성명 | kyeong-Hwan Lee | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 전남대 | 부서명 (학과명) | 지역바이오시 스템공학과 | 직위 | 교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2014년 9월 18일 부터 ~ 2017년 9월 17일 까지 (3년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 합계 | |
| | 정부출연금 | 605,000 | 665,000 | 685,500 | 1,955,500 | |
| | 기업부담금 | 410,000 | 271,000 | 447,000 | 1,128,000 | |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 합계 | 1,015,000 | 936,000 | 1132,500 | 3,083,500 | |
| 참여연구인력 (단위:명) | 세부과제책임자 | 책임급 | 선임급 | 원급이하 | 합계 | |
| | 3 | 10 | 16 | 43 | 72 | |
| 세부 연구책임자 | 구분 | 성명 | 소속 | 전공 | | |
| | 제1-1세부과제 | 이경환 | 전남대학교 | 농업기계 | | |
| | 제1-1세부-협동 | 양원준 | 선인CNS | 농업기계 | | |
| | 제1-1-1참여과제 | 주제황 | 한아에세스 | 기계공학 | | |
| | 제1-1-2참여과제 | 김한중 | 죽암기계 | 기계공학 | | |
| | 제1-1위탁과제 | 이인 | 전남농업기술원 | 작물학 | | |
| | 제1-1협동과제 | 김용주 | 충남대학교 | 농업기계 | | |
| | 제1-1협동-위탁1 | 최창현 | 성균관대학교 | 농업기계 | | |
| | 제1-1협동-위탁2 | 신범수 | 강원대학교 | 농업기계 | | |
| | 제1-2세부과제 | 김정훈 | 동양물산기업(주) | 농업기계 | | |
| 제1-2세부-위탁 | 김학진 | 서울대학교 | 농업기계 | | | |

(1) 제 1-1 세부과제

① 연구개요

| | | | | | | |
|---------------|--|--|-----------|-----------------|------------|----|
| 세부과제번호 | 제 (1-1)세부과제 | | | | | |
| 세부 연구과제명 | 국문 | 스마트 농작업을 위한 작물, 환경 등의 정보화 및 무인 농업단지 인프라 구축 | | | | |
| | 영문 | Infrastructure construction of unmaned agricultural district for smart farming | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 이경환 | 영문성명 | Lee Kyeong-Hwan | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 전남대학교 | 부서명 (학과명) | 지역바이오 시스템공학과 | 직위 | 교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2014년 9월 18일 부터 ~ 2017년 9월 17일 까지 (3년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 합계 | |
| | 정부출연금 | 267,000 | 307,000 | 261,000 | 835,000 | |
| | 기업부담금 | 250,000 | 56,000 | 120,000 | 426,000 | |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 합계 | 517,000 | 363,000 | 381,000 | 1,261,000 | |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | | 선임급 | | 원급이하 | |
| | 7 | | 12 | | 19 | |
| | | | | | | 합계 |
| | | | | | | 38 |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|---|
| 1단계 | 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 경운정지 작업을 위한 환경 분석 - 작업 환경 분석 - 작물 인식 시스템 설계 |
| | 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 수확 작업을 위한 작물 인식 및 환경 계측 기술 개발 - 작물 인식 기술 개발 - 환경 계측 기술 개발 - 작물 인식 시스템 개발 |
| | 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 수확량 모니터링 및 품질 측정 기술 개발 - 품질 측정 기술 개발 - 수확량 모니터링 시스템 설계 |

| | | |
|--|--|---|
| 제1핵심 | 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업적용 기술개발 | |
| 제1-1세부 | 스마트 농작업을 위한 작물, 환경 등의 정보화 및 무인 농업단지 인프라 구축 | |
| 1 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 1단계 연구목표 : 경운 정지 작업을 위한 환경 분석 1년차 (2014) | ○ 작업 환경 분석 | <ul style="list-style-type: none"> - 작업환경 인자 선정 - 인자별 연계 분석 - 다양한 조건별 인자 정량화 분석 |
| | ○ 작물 인식 시스템 설계 | <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 layout 설계 - 핵심부품 개발 - 단품 성능 시험 및 신뢰성 확보 |
| 1단계 연구목표 : 수확 작업을 | ○ 작물 인식 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 작물 인식 요소 선정 - 인식 알고리즘 개발 |
| | ○ 환경 계측 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 환경요소 선정 및 알고리즘 개발 |

| | | |
|--|-------------------|--|
| 위한 작물 인식 및 환경 계측 기술 개발 2년차 (2015) | ○ 작물 인식 시스템 개발 | - 모듈별 검증 및 통합 설계 - 성능평가 및 최적화 |
| 1단계 연구목표 : 수확량 모니터링 및 품질 측정 기술 개발 3년차 (2016) | ○ 품질 측정 기술 개발 | - 수확량 측정 및 관리 기술 개발 - 품질 평가 기준 도출 - 모니터링 및 품질 측정 테스트 |
| | ○ 수확량 모니터링 시스템 설계 | - 시스템 layout 설계 - 핵심부품 개발 - 단품 성능 시험 및 신뢰성 확보 |

(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|------|------|------|----|----|---------|------|----|------|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | | 홍보전시 |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | | 명 | 명 | 명 | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | | 10 | 10 |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | | 3 | 5 |
| 1단계 | 목표 | 3 | 1 | | | | | | | | | 5 | 2 | 12 | 4 | 1 | 5 | | 3 | |
| | 실적 | 4 | 1 | | | | | | | | | 7 | 2 | 21 | 4 | 1 | 2 | | 4 | 1 |
| 최종 | 목표 | 3 | 1 | | | | | | | | | 5 | 2 | 12 | 4 | 1 | 5 | | 3 | |
| | 실적 | 4 | 1 | | | | | | | | | 7 | 2 | 21 | 4 | 1 | 2 | | 4 | 1 |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|---|-----|------|------|-------------------------------------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| 2015 | Path planning for autonomous lawn mower tractor | 송명장 | 하종규 | 이경환 | CNU Journal of agricultural science | 42(1) | 국내 | 비SCI |
| 2015 | Multiscale engineered hierarchical structures with precisely controlled sizes for bio-inspired cell culture | 배원규 | 김장호 | - | Materials letters | 159 | 국외 | SCI |
| 2016 | Eggshell membrane: Review and impact on engineering | 박선호 | 김장호 | 이경환 | Biosystems engineering | 151 | 국외 | SCI |
| 2016 | Music symbol recognition | 나인섭 | 나인섭 | 김수형 | Multimedia Tools a | - | 국외 | SCI |

| | | | | | | | | |
|------|--|---------------|-----|-----|---|----------|----|------|
| | on by a LAG-based combination model | | | | nd Applications | | | |
| 2017 | PCA22 acts as a suppressor of atrzf1 to mediate proline accumulation in response to abiotic stress in Arabidopsis | 김아름 | 이경환 | | Journal of Experimental Botany | 68(7) | 국외 | SCI |
| 2017 | Automatic Counting of Rice Plant Numbers After Transplanting Using Low Altitude UAV Images | Reza MD Nasim | 이경환 | | International journal of contents | 13(3) | 국내 | SCI |
| 2015 | Abscisic acid receptor PYRABACTIN RESISTANCE-LIKE 8, PYL8, is involved in glucose response and dark-induced leaf senescence in Arabidopsis | 이하늘 | 김철수 | 이경환 | Biochemical and Biophysical Research Communications | 463(1-2) | 국외 | SCI |
| 2015 | The CONSTANS-like 4 transcription factor, AtCOL4, positively regulates abiotic stress tolerance through an abscisic acid-dependent manner in Arabidopsis | 민지희 | 김철수 | 이경환 | Journal of integrative plant biology | 57(3) | 국외 | SCI |
| 2015 | Pre-processing of load data of agricultural tractors during major field operations | 류명지 | 하종규 | 이경환 | CNU Journal of agricultural science | 42(1) | 국내 | 비SCI |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|-------------------------------------|-------------|-----|-----------------|--------|------------------------------|-------------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| | | | | 10-1699667 | 2017 | 탈부착형 센서모듈을 구비한 환경장애 예방용 진단키트 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2017 | 형태적 연산과 연결 연산을 이용한 벼 모종 자동 개수 세는 방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0023420 | | | | |
| 2017 | 가뭄 진단용 종이 기반 전기화학적 바이오 센서 및 그 제조 방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0051881 | | | | |
| 2017 | 환경장애 진단용 종이 센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0051872 | | | | |
| 2017 | 가뭄 진단용 전기화학적 바이오 센서 및 그 제조방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0051877 | | | | |

③ 석/박사 양성 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|-----|-------|------|------|
| 1 | 백선욱 | 전남대학교 | 2015 | 석사 |

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|-----|-------|------|------|
| 2 | 장희수 | 전남대학교 | 2015 | 석사 |
| 3 | 정진태 | 전남대학교 | 2016 | 석사 |
| 4 | 김박금 | 전남대학교 | 2016 | 석사 |
| 5 | 유승화 | 전남대학교 | 2017 | 박사 |

④ 취업 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 최종학위 | 취업처 |
|----|-----|-------|------|------|---------|
| 1 | 장희수 | 전남대학교 | 2015 | 석사 | 동양물산기업 |
| 2 | 유승화 | 전남대학교 | 2017 | 박사 | 국립농업과학원 |

⑤ 학술발표 성과

| 번호 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|-----|---|---|--|-----------------------|
| 1 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | 유승화 백선욱 장희수 김용주 김정선 김석구 김경환 | 지상영상과 항공영상에 의한 잔디 생육정보 비교 | 한국정밀농 업학회, 전 남대학교 농업생산무 인자동화연 구센터국제 공동심포지 공동심포지 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 2 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | 장희수 유승화 백선욱 김석구 김경환 | 벼 생육정보 특징을 위한 무 인비행 시스템 | 한국정밀농 업학회, 전 남대학교 농업생산무 인자동화연 구센터국제 공동심포지 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 3 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | 백선욱 유승화 장희수 김용주 김정선 김경환 | 트랙터 탑재형 변량 시비 시 스템 개발 | 한국정밀농 업학회, 전 남대학교 농업생산무 인자동화연 구센터국제 공동심포지 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 4 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | 정진태 김박금 이경환 | 저전압 폴리이미드 기반 마이 크로 히터의 최적화 설계 | 한국정밀농 업학회, 전 남대학교 농업생산무 인자동화연 구센터국제 공동심포지 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 5 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | Sun-W ook Ba ek | An Autonomous Tractor for Turfgrass Management | The Sixth A sian Confer ences on Precision Agriculture | Guangzhou, China |
| 6 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | 유승화 | 무인항공기를 이용한 벼 생육 | 한국농업기 | 변산 대명리 |

| | | | | 백선욱 이인 김석구 이경환 | 예측 | 계학회 추계 학술대회 | 조트 |
|----|------|------|-----|--------------------------------------|--|--|---|
| 7 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | 이경환 | Application of Bionic Engineering to Smart Agriculture | 2015 International Workshop on Bionic Engineering(IWBE 2015) | Beijing, China |
| 8 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | 이경환 | Monitoring of Crop Growth using Unmanned Aerial Vehicle. | 6th Asian Conference on Precision Agriculture (ACPA2015) | South China University, Guanzhou, China |
| 9 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | Kyeong-Hwan Lee | An autonomous tractor for turfgrass mowing and variable-rate fertilization | 2015 ASABE International Meeting | New Orleans, USA |
| 10 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | Kyeong-Hwan Lee | Unmanned aerial vehicle applications in Korea | The 7th International Workshop on Precision Agriculture and Aerial Spraying Technology | Nanjing, China |
| 11 | 2015 | 학술발표 | 전남대 | Kyeong-Hwan Lee | Estimation of rice crop growth using unmanned aerial systems | The Joint International Conferences on Intelligent Agriculture. | Beijing, China |
| 12 | 2016 | 학술발표 | 전남대 | 임민규 이미라 수마야 최영수 이경환 | 생물학적 분석을 위한 종이 기반의 미세유체센서의 제작 | 한국농업기계학회/한국정밀농업학회 | 천안 상록리 조트 |
| 13 | 2016 | 학술발표 | 전남대 | MD Nazim Reza 나인섭 백선욱 이경환 | The Analysis of Rice Transplant Characteristics by using Low Altitude UAV Images | 한국농업기계학회/한국정밀농업학회 | 천안 상록리 조트 |
| 14 | 2016 | 학술발표 | 전남대 | 이경환 백선욱 유승화 이인 김석구 | Multi-temporal Imaging using and Unmanned Aerial Vehicle for Monitoring Rice Crop Growth | 2016 ASABE | Orlando, Florida |
| 15 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | Tean Chen 나인섭 백선욱 이인 이경환 | Detection of Abnormal Area on Paddy Field using K-mean Algorithm | 농촌진흥청 / 한국농업기계학회 / 한국정밀농업학회 | 농촌진흥청 농촌인적자원개발센터 |
| 16 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | Md Nazim Reza 나인섭 백선욱 이인 | Rice Leaves Detection in Low Altitude UAV Field Image | 농촌진흥청 / 한국농업기계학회 / 한국정밀농업학회 | 농촌진흥청 농촌인적자원개발센터 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-----|---|--|------------------------|--------------------------|
| | | | | 이경환 | | | |
| 17 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | Md Nasim Reza 나인섭 백선욱 이경환 | Color Based Image Segmentation to Predict Rice Yield using Low Altitude UAV Images | 2017 ASABE | Spokane, Washington |
| 18 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | 임민규 이미라 Sumaiya Islam 최영수 이경환 | Low-cost fabrication of fully enclosed microfluidic paper-based analytical sensors for diagnosing drought stress | 2017 ASABE | Spokane, Washington |
| 19 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | 백선욱 나인섭 이경환 | Analysis of Transplant Characteristic using Hough Transform and Hierarchical Clustering in a Paddy Field | 2017 ASABE | Spokane, Washington |
| 20 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | Md Nasim Reza 나인섭 백선욱 이인 이경환 | Lab Color Space based Rice Yield Prediction using Low Altitude UAV Field Image | 한국농업기계학회 / 발농업기계개발연구센터 | 경북대학교 발농업기계 개발연구센터 |
| 21 | 2017 | 학술발표 | 전남대 | 최영수 이미라 임민규 심안나 이경환 | 작물의 가뭄 스트레스 현장 진단을 위한 마이크로 히터 및 온도 센서가 집적화된 모듈을 사용한 중이 기반 센서의 제작 | 한국정밀공학회 | 라마다프라 자제주호텔 |

⑥ 홍보 실적

| 번호 | 기관 | 홍보유형 | 매체명 | 홍보 제목 | 연도 | 비고 |
|----|-----|-------|------------------|---|------|----|
| 1 | 전남대 | 중앙전문지 | 제어로봇시스템학회지 ICROS | 전남대학교 농업생산무인자동화연구센터 소개 및 홍보 | 2016 | |
| 2 | 전남대 | 중앙일간지 | 한국농기계신문 | ICT, 로봇, 드론, 인공지능 등 첨단 기술을 활용한 농기자재의 신산업화 전략 필요 | 2016 | |
| 3 | 전남대 | 중앙전문지 | Nano Insight | 차세대 스마트 농업의 핵심, 나노기술 | 2016 | |

⑦ 전시 실적

| 번호 | 기관 | 유형 | 행사명칭 | 전시품목 | 장소 | 연도 | 비고 |
|----|-----|-----|---------|----------------|-----------|------|----|
| 1 | 전남대 | 박람회 | 국제농업박람회 | 드론을 활용한 농업모니터링 | 전라남도농업기술원 | 2015 | |

⑧ 기타 성과

| 번호 | 구분 | 기관 | 교육 및 컨설팅명 | 연도 | 비고 |
|----|-------------|-------|--|------|----|
| 1 | 저작권 (소프트웨어) | 전남대학교 | 드론 영상기반 벼 형상의 중심점을 이용한 이앙 벼의 개수를 세는 프로그램 | 2017 | |

(나) 정성적 성과

| 구분 | | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|-----|------|---------------------------------|--|
| 1단계 | 1차년도 | · 경운 정지 작업을 위한 환경 분석 | <ul style="list-style-type: none"> · 작업 환경 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 작업환경 인자 선정 - 인자별 연계 분석 - 다양한 조건별 인자 정량화 분석 · 작물 인식 시스템 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 layout 설계 - 핵심부품 개발 - 단품 성능 시험 및 신뢰성 확보 |
| | 2차년도 | · 수확 작업을 위한 작물 인식 및 환경 계측 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> · 작물 인식 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 작물 인식 요소 선정 - 인식 알고리즘 개발 · 환경 계측 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 환경요소 선정 및 알고리즘 개발 · 작물 인식 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 모듈별 검증 및 통합 설계 - 성능평가 및 최적화 |
| | 3차년도 | · 수확량 모니터링 및 품질 측정 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> · 품질 측정 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 수확량 측정 및 관리 기술 개발 - 품질 평가 기준 도출 - 모니터링 및 품질 측정 테스트 · 수확량 모니터링 시스템 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 layout 설계 - 핵심부품 개발 - 단품 성능 시험 및 신뢰성 확보 |

(다) 기타 주요연구 성과

■ 경운정지 작업을 위한 환경 분석

1. 경운정지 작업을 위한 환경 조사

가. 기존 환경 분석 기술 벤치마킹을 통한 분석 방향 도출.

- 경운정지 작업에 영향을 미치는 주요 물리적 변수들에 대해 국내외에 보고 된 기존 연구 결과를 토대로 수집하고 관련 모델을 조사, 분석하였음.

(1) 토양특성에 따른 최적 경운작업시스템 연구 조사(건국대학교, 농림부 지원, 2006년)

- 경운정지 작업에 영향을 미치는 토양의 주요 물리적 요인 조사를 위한 토양-작업기 모델 및 자료 분석으로 W. Soehne의 토양-금속 마찰력, 전단파괴력, 전단 파괴되고 있는 토양블록의 가속력, 그리고 토양 절단저항 등을 이용하여 토양-작업기 역학 모델을 분석하였음. Rowe와 Barnes이 여기에 부착력을 첨가하여 제시한 새로운 모델을 분석하였고, 토양특성에 따른 관행 경운작업 시스템을 분석하기 위해 국내 주요 수도재배지역을 현

- 장 방문하여 농민들이 관행적으로 수행해오던 경운작업 체계를 조사 분석하였음. 또한 논토양 작토층의 물리적 특성의 측정 및 분석을 통하여 지역별 토양자료를 분석하였음.
- 토양의 물리적 특성에 따른 최적 경운작업시스템을 개발하는 것을 그 목표로 수행된 이 보고서의 구체적 결과는 연구개발의 내용과 범위와 관련하여 다음과 같이 요약할 수 있다.
 - 경운작업의 성능에 영향을 미치는 주요 물리적 요인은 토양점착력과 내부마찰력, 토양-금속마찰력, 토양-금속부착력, 토양 비중과 토양수분함량으로 분석.
 - 수도재배의 대표적 지역에 대하여 전체 70개 조사 농가 중 96%는 쟁기작업을 하였으며, 대부분 농가의 경운작업시스템은 쟁기작업 1회, 로타리작업 1-2회, 씨레작업을 1회 수행하는 것으로 조사.
 - 논토양 작토층에 대해 토양의 물리적 특성을 측정한 결과, 점착력은 5~15kPa, 내부마찰각은 30~60도, 토양-금속 마찰계수는 0.3~0.8, 토양-금속 부착력은 0.6~3.0 kPa, 토양수분함량은 주로 20~40%, 겉보기밀도는 1500~1700 kg/m³로 나타났음.
 - 국내 논토양의 경반 형태는 크게 6가지형태로 분류가 가능하였으며 경반의두께는 6cm~41cm, 평균 토양경도는 1MPa~3.2MPa로 분석 됨.
 - 여러 경운작업조합에 대해 CI는 경운 후 5-9 kgf/cm² 정도의 개선이 보였으며, 내부마찰각은 35-39o부터 25%(7-8o)정도가 줄었으며, 점착력은 약50%인 1N/cm² 정도가 개선되었음.
 - 의사결정시스템에 장착 가능한 역거리 가중치법, 크리깅법, TIN법을 분석하였으며 그 중 가장 우수한 보간 예측력을 나타내는 TIN 보간법을 의사결정 시스템에 탑재하였음.
 - 토양 물리성 정보 DB는 최적화된 E-R 모델로 하여 포장소유주, 포장, 샘플링 포인트, 내부마찰각, 토양경도, 전단력, 경반 두께, 수분함량 등의 8가지 정보를 기본으로 구축되었음.
 - 본 연구에서 개발된 의사결정시스템은 계층분석적 의사결정론(AHP)을 바탕으로 혼합형 인공지능망에 휴리스틱 유전알고리즘이 장착된 형태로 구현되었고 토양강도 목적함수와 최소 경운비용 목적함수를 기반으로 최적 경운 시스템을 선정하였음.

(2) 토양 경도 측정 방법간 비교연구 조사(농촌진흥청, 한국토양비료학회지, 2011년)

- 연구대상 지점은 사토에서 식양토로 다양한 토성을 포괄한 밭 16개 지점 으로 선정하였고, 물리성 측정은 NIAST (2000)의 방법을 따랐음. 측정에 사용한 관입식 경도계(DIK-5521, Japan)의 사양은 측정범위 2.5 MPa 이하, Cone top angle 30° , Cone cross section area 2 cm² 였음. 두 경도계의 비교를 위한 측정 깊이는 토심 20 cm로 하였으며 측정은 5반복으로 하여 평균과 표준편차를 구하여 분석하였음.
- 연구대상지점에서 측정된 토양경도의 범위는 산중식경도 8.0-24.5 mm, 관입식 경도 Cone index 0.3-2.5 MPa로 나타냈고 산중식 경도의 현장측정값은 원추후진길이 mm 값으로 이를 압력값 MPa로 변환하였을 때, 경도가 18 mm 이상으로 높은 Site 1, 2, 7에서는 평균값대비 표준편차, 즉 변이계수가 경도가 낮은 지점에 비해 약 2-3 배 증가하는 것으로 분석하였음.
- 산중식경도 mm단위에서 MPa 단위로의 변환그래프가 지수적으로 증가하는 형태를 그려 경도가 낮을 때보다 높을 때 기울기가 크기 때문으로 판단하였음. 회귀분석을 통해 산중식경도와 관입식경도의 관계식을 구하였으며 이 회귀식으로부터 산중식경도 18 mm는

Coneindex 1 MPa에, 23 mm는 Cone index 2 MPa에 해당하는 것으로 추정하였음. 산중식 정도 23 mm는 밭작물 뿌리의 생육이 불량한 정도로 보고되어 있어 Silver et al. (1994)의 기준과 유사하다 유추하였고 과수 뿌리뻗음 제한 정도인 산중식 정도 25 mm는 회귀식의 적용범위를 벗어나 있어 본 회귀식을 적용하지 못 하였음.

2. 작물 생육 정보 측정 시스템 조사

- 작물 인식 시스템을 개발하기 위하여 농작물의 생육 분류 체계를 데이터 기반으로 정보 분류 체계 구성하고 작물 인식을 위한 계측 시스템의 layout 구성 및 상세 사양 확정 후 주요 핵심부품 개발 수행, 핵심부품 단품 시험 및 연계 시험을 통해 기본 부품의 성능 신뢰성 확보하고자 함.

가. 농작물의 생육 모니터링 시스템 구성 요건 및 작물 생육 정보 예측 인자 조사

- 농작물의 인식 및 생육 상태를 모니터링하는 시스템을 개발하기 위하여 기 수행 되었던 주요 연구 토대로 작물 생육 인식 시스템의 구성 및 주요 요건들을 살펴봄. 작물 성장 측정 시스템에 있어서, 작물의 성장을 주/야간 촬영하는 복수개의 카메라; 풍향계, 풍속계, 일조계, 일사계, 온습도계 및 강우감지기가 하나의 축대에 설치되어, 카메라가 설치된 특정 지역의 풍향, 풍속, 일조시간, 일사의 강도, 온도, 습도, 강우감지 및 강우량을 측정하는 AWS 카메라에서 촬영된 영상을 저장하며, AWS에서 전송된 기상 데이터를 저장함
- 저장된 작물의 영상을 분석하는 데이터로거, 데이터 로거와 카메라의 동작을 원격 제어하고, 데이터 로거에서 분석된 영상이 입력되면 입력된 영상을 저장하며 동시에 디스플레이 함으로써 특정 지역의 작물 성장을 원격 감시함과 아울러 특정 지역에 따른 작물 성장 정보를 제공하는 메인서버, 메인서버에서 작물의 성장 영상과 분석된 영상 데이터가 입력되면, 입력된 데이터를 일정시간 간격으로 저장하고, 동시에 작물이 촬영된 동일 시점에서 AWS에서 측정된 기상 데이터를 저장하는 DB서버 및 인터넷을 통해 메인서버에 접속하여 특정 지역에 대한 작물 성장 정보를 확인하거나 감시할 수 있는 클라이언트로 구성되어, 원격감시가 가능하여 특정 지역에 대한 작물 성장 정보를 신속하게 수집함과 아울러 정보 수집에 소요되는 시간과 비용을 최소화 할 수 있고, 작물 생육 정보에 따라 생산량도 예측할 수 있음
- GIS기반 GPS를 이용한 농작물 작황 조사 모바일 시스템의 경우, 모바일 장치를 이용하여 현장의 농작물 중 벼의 생육 정보 및 생산 정보를 조사하고, GPS를 이용하여 사용자의 위치 정보 및 벼의 위치 정보를 수치지도 상에 보여 주고, 조사된 농작물 정보와 위치정보를 서버에 있는 DB에 저장하는 시스템을 구축함. 사용자의 권한별로 DB의 접근을 제한 할 수 있는 사용자관리 모듈, 작물 정보를 서버에 있는 DB에 저장 및 검색 할 수 있는 작물관리 모듈, 수치지도 상에 사용자와 벼의 위치정보를 보여주는 맵 모듈, GPS로부터 수신된 위치정보를 변환하기 위한 위치정보관리 모듈, GPS와 모바일 장치, 모바일 장치와 DB간 데이터 전송 및 수신을 위한 통신 모듈로 구성되었다. 연구의 결과는 농작물 작황 조사 모바일 시스템을 구축함으로써 현장에서 효율적으로 농작물의 생육 정보를 조사하고 관리하는데 기여할 수 있을 것이다.
- 센서 기반의 농산물 환경 모니터링 및 품질측정에 관한 연구는 센서 네트워크 기술을 기반으로 농산물의 유통 및 저장환경을 모니터링하고 농산물의 실제 품질을 측정하여

유통 및 저장환경이 농산물의 품질에 어떤 영향을 미치는지에 대해서 연구하였다. 이를 위한 물리적 장치로 센서 노드, 허브, 통신유닛, 관제 시스템을 설계, 구현하였으며 얻어진 유통 및 저장환경 요소 자료를 기반으로 농산물의 품질을 판정하는 방법을 제안하였다. 또한 이를 바탕으로 사과 품종에 대한 온도, 습도라는 품질인자를 기반으로 하는 저장 한계기간 및 손실률 그리고 저장 중 중량감소율 및 예측식을 도출하여 농산물의 신선도 유지를 확보하여 상품성을 확보하며 예측식을 활용하여 최적의 출하시기를 결정한다.

나. 무인비행 시스템을 이용한 농작물의 생육 모니터링 시스템

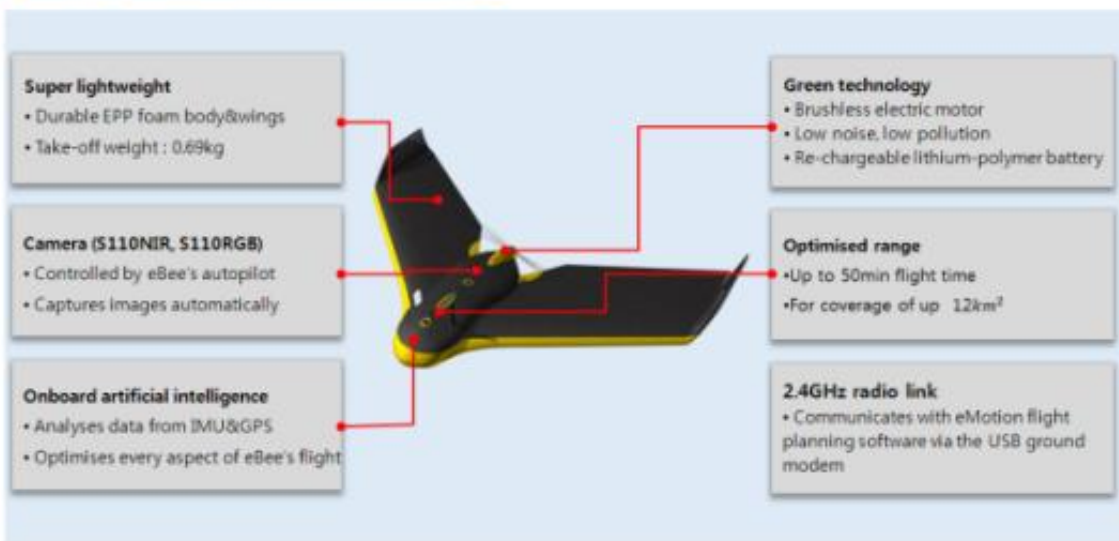
- 현재 공간정보 분야에서 UAV 관련하여 국내외에서 다양한 측면에서 연구가 시도가 되고 있지만 활용분야는 아직 미비하며 연구수준도 초기단계에 있는 상황임. 대부분의 연구들은 UAV가 갖고 있는 물리적 특성 및 장점인 경제성과 신속성 등을 최대한 살려 다양한 분야에 적용하기 위한 가능성에 대한 연구, 즉 UAV의 활용도를 넓히기 위한 연구가 주를 이루고 있으며, 세부적으로 UAV를 다양한 영역에서 적용 및 활용하기 위한 연구로 크게 UAV를 활용한 공간정보취득 분야에 대한 연구와 취득된 공간정보의 활용에 대한 분야로 나누어 볼 수 있음.
- 공간정보 취득 부분에서는 UAV를 이용하여 보다 다양한 유형의 공간정보 취득 센서를 탑재 및 이를 통해 취득된 데이터에 대한 이론적 체계를 구축하기 위한 공간정보 데이터로서 활용 가능성에 대한 연구가 주를 이루고 있음. 취득된 공간정보의 활용분야는 재해 관리 분야, 문화재 분야, 산림 및 농어업 분야 등 다양한 분야에서 실험적 연구가 수행되고 있음.
- 농업분야의 저비용의 UAV의 사진측량의 활용 가능성에 관한 연구에서 총무게가 5kg 미만의 소형의 UAV는 임업과 농업분야에 활용되고 있으며 항공기를 이용한 측량과 비교하여 UAV는 날씨의 구애를 덜 받고 유연하게 활용할 수 있음.
- 본 연구의 대상인 수도작 벼의 생육을 모니터링하기 위해 대상지의 고해상도 영상취득 장비인 무인항공기(UAV)는 크게 두 가지로 하나는 고정익 무인항공기와 회전익 항공기를 이용하여 각각의 생육 영상을 수집하였으며 무인항공기(UAV)의 제원은 아래 표와 같음.

| 종류 | 고정익 무인항공기 | 회전익 무인항공기 |
|--------|---|--|
| 사진 |  |  |
| 제품명 | SwingletCAM | Geo-X10 |
| 제조사 | 센스플라이, 스위스 | (주)공간정보, 한국 |
| 무게 | 0.5kg | 3.5kg |
| 길이 | 80cm | 100cm |
| 비행시간 | 30분 | 30분 |
| 비행속도 | 10m/s | 8m/s |
| 비행면적 | 0.5~1.0km ² | 0.5~1.0km ² |
| 수신거리 | 1km | 3km |
| 해상도 | 5cm내외 | 5cm내외 |
| 이·착륙 | 수동이륙, 자동착륙 | 자동 이·착륙 |
| 최대비행고도 | 1.5km | 1.5km |
| 비행형식 | 자동경로비행 | 자동경로비행 |

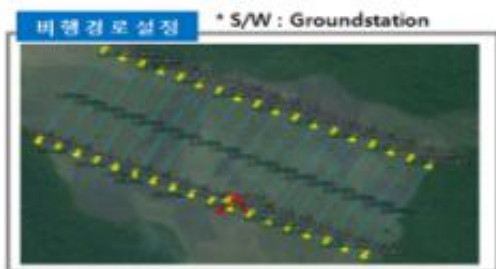
(1) 무인항공기(UAV) 시스템 구성

- 고정익 무인항공기인 ‘SwingletCAM’ 이라는 장비는 스위스의 센스플라이사에서 제작하였으며 무게는 0.5kg의 UAV로서 길이는 80cm, 비행시간은 30분, 비행속도는 초당 10m의 속도로 비행이 가능하며 1회 비행시 비행면적은 0.5~1.0km²이고 이착륙은 수동 이륙이나 착륙은 자동으로 가능하고 비행형식은 사전에 입력된 정보에 의한 자동경로 비행이 가능.
- 회전익 무인항공기는 (주)공간정보에서 자체 제작한 장비로서 무게는 3.5kg의 UAV로서 길이는 100cm, 비행시간은 30분, 비행속도는 초당 8m의 속도로 비행이 가능하며 1회 비행시 비행면적은 0.5~1.0km²이고 이착륙은 모두 자동으로 가능하고 비행형식은 사전에 입력된 정보에 의한 자동경로 비행이 가능.

● 시스템 구성 (스위스 SenseFly eBee Ag)



● 시스템 사양



비행조건설정

- 비행 고도 : 15 m, 약 4mm/Pixel 내외
- 비행 속도 : 약 3 m/s 내외
- 사진 매수 : 150 매 ~ 200 매
- 비행 시간 : 15 분 ~ 20 분

수집자료

- 영상 (RGB, NIR)
- GPS 좌표
- 자세 정보 (Roll, Pitch, Yaw)



담지센서

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Resolution : 2048 X 1536 • Lens : 8.5 mm • USB 1.1 interface • Image format : NIR |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Resolution : 5472 X 3648 • size : 23.5 X 15.7 mm • Type : CMOS • Image format : R, G, B |

(2) 무인항공기 시스템 촬영, 데이터 처리 절차

- 무인항공기(UAV)를 활용한 데이터 취득 및 처리흐름은 무인항공기(UAV)의 종류인 고정

익과 회전익과의 차이는 있지 않고 둘다 공통적으로 크게 계획(Planning) → 지상기준점 관측(Observed GCP) → 무인비행촬영 (A Shotting by UAV) → DSM 산출 (DSM Calculating) →외부표정 (Outside Orientation) → 정사모자이크 영상 생성 (Generating Mosaic Image) → 정사영상 생성(Generating Orthophoto)의 순서로 진행됨.



(3) 무인 비행 시스템 수도작 벼 생육 영상 수집

- 무인 비행시스템을 이용하여 벼 생육 측정은, 전라남도 나주시에 위치한 전라남도농업기술원 식량작물연구소 내 수도작 실험 포장에서 벼 육묘 이앙 직 후부터 15일 간격으로 총 5회에 걸쳐 RGB Color 영상과 NIR 영상을 수집하였다. 시험 포장은 아래 그림과 같이 구성하였고 시험구 배치는 각각의 생육 특성이 다른 4개의 품종을 이앙 하였으며 질소 분시 수준은 10a 당 9g과 13g으로 2수준으로 하였다. 이와 같이 총 8개의 시험구 면적은 2,160 m^2 로 시험구당 270 m^2 로 구성하였으며, 품종 간 시험구 사이는 약 60 cm의 간격을 두어 품종 간 구분을 하였다. 그리고 수도작 벼의 생육에 필요한 성분의 시비는 질소를 제외하고 인산, 칼륨 성분의 비료를 각각 10a 당 4.5g, 5.7g을 시험구에 동일하게 시비하였다.

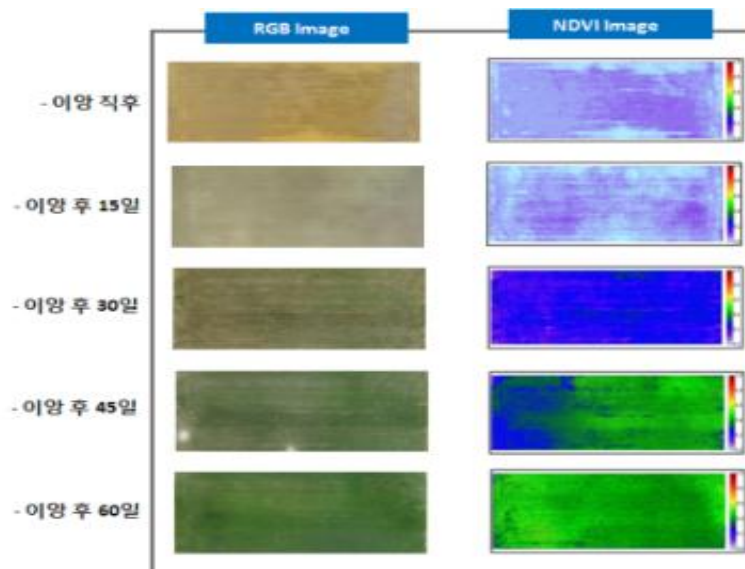
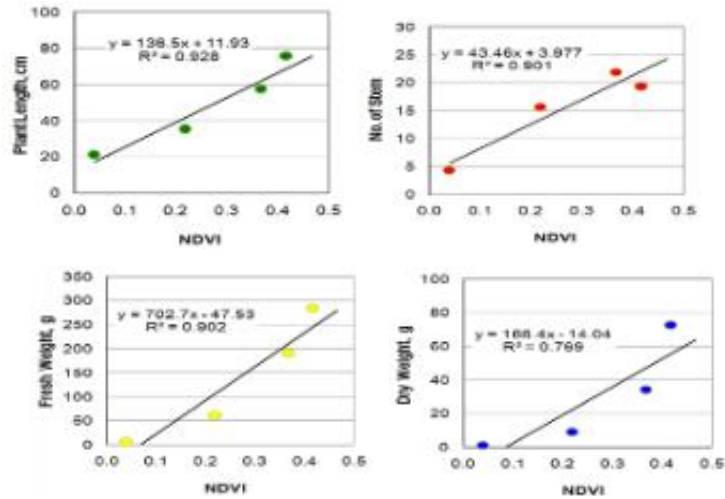
포장시험

현장사진

| 품종 수 | 질소수준 | 총 구수 | 구당 면적 | 시험구 면적 |
|-----------|-------------|-------------|------------|-------------|
| 4 | 2 | 8 | 270 m^2 | 2,160 m^2 |
| 시험구 외 면적 | 총 소요면적 | 재식거리 | 시비량(g/10a) | |
| 420 m^2 | 2,580 m^2 | 30 X 15(cm) | P_2O_5 | K_2O |
| | | | 4.5 | 5.7 |

(4) 무인 비행 시스템 수집 영상 분석

- 고정익 무인 비행시스템을 이용하여 수집한 RGB 컬러 영상과 NIR 영상은 아래 그림과 같다. 이앙 직후에는 작물의 생육상태를 확인하기 어려웠으나, 이앙 30일 이후에는 작물의 생육 변화 상태를 확인 할 수 있었다. 또한 NIR 영상을 이용하여 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 영상 분석하였다. 분석한 NDVI를 영상화 하여 표현한 결과 벼의 생장이 점차적으로 증가함을 알 수 있었으며, 그 결과는 아래 그림과 같다.
- 또한 NIR 영상으로 분석한 NDVI를 지상 조사한 자료와 비교하였다. 지상조사는 무인비행시스템의 영상 수집간격과 동일하게 이앙 후 15일 간격으로 수집하였으며, 수집한 자료는 초장, 경수, 생체중, 건물중 등 4 종을 수집하였다. 초장과 경수 자료는 시험구당 20주 3반복 수집하였으며 생체중과 건물중 자료는 시험구당 3주 3반복하여 수집하였다. 이와 같이 각각 수집한 자료는 평균하여 각각의 인자를 대표하는 값으로 사용하였다. NDVI와 지상 조사한 자료를 각각 비교한 결과는 아래의 표와 같으며, 각각의 비교 성능을 상관계수(R^2)로 나타내었다. 그 결과 각각의 상관계수 R^2 는 0.928, 0.901, 0.902, 0.769로 나타났다.



■ 환경 및 작업에 따른 작물 관리 기술개발 [위탁 : 전라남도농업기술원]

1. 연구개발 수행내용 및 목표

가. 연구개발의 최종목표

- (1) 벼 육묘단계부터 수확까지 생육 특성 측정시스템 개발
- (2) 벼농사 토양조건 및 작업환경 측정시스템 개발

나. 연차별 연구개발 목표 및 내용

| 세부과제명 | 사업연도 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 |
|-----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 환경 및 작업에 따른 작물관리 기술개발 | 1차년도 (2014/15년) | 벼 생육단계별 센싱 기술개발 | 벼 생육단계별 생육 정보 측정 |

다. 당해연도 세부연구내용

- (1) 시험 품종 : 신동진(수중형), 일미(수수형), 새누리(장간), 현품(단간)
- (2) 질소시비량 : 9, 13kg/10a
- (3) 재배법

| 과종기 (월.일) | 이앙기 (월.일) | 재식거리 (cm) | 시비량(kg/10a) | | 질소분시비율(%) (기비-분얼비-수비) |
|-----------|-----------|-----------|-------------|-----|-----------------------|
| | | | P2O5 | K2O | |
| 4.25 | 5.25 | 30×15 | 4.5 | 5.7 | 50 - 20 - 30 |

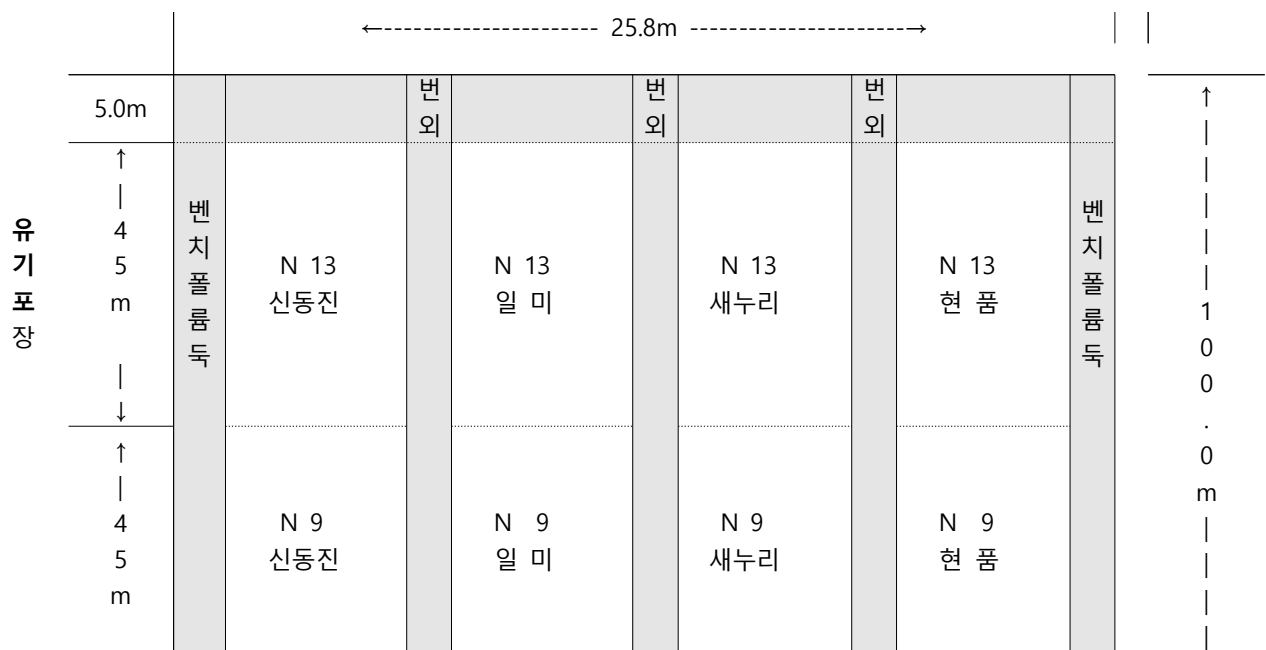
※ 인산 및 칼리 분시비율(%) : 인산(전량기비), 칼리(기비-수비 : 70-30)

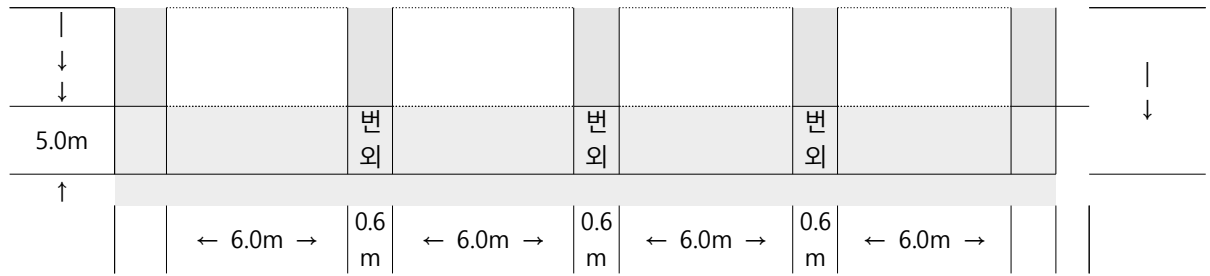
라. 시험구 배치 : 단구제

마. 세부시행 계획

- (1) 시험구 배치(포장번호 : 수도재배 25-B블럭 포장)

현품 증식포장





시험구당 45 × 6.0m =270㎡

수도포장 중앙농로

(2) 시험구 면적

| 품종수 | 질소수준 | 총구수 | 구당면적 | 시험구 면적 | 시험구외 면적 | 총소요면적 |
|-----|------|-----|------|--------|---------|--------|
| 4 | 2 | 8 | 270㎡ | 2,160㎡ | 420㎡ | 2,580㎡ |

(3) 종자 소요량

| 품종수 | 품종당 상자수 | 상자당 종자파종량 | 품종별 종자소요량 | 총 종자소요량 |
|-----|---------|-----------|-----------|---------|
| 4 | 30 | 130g | 3.9kg | 15.6kg |

(4) 세부시행일정

| 작업내용 | 작업시기(월.일) | 비 고 |
|-----------------------|-----------------------------|--------------|
| 토양시료채취, 소표찰제작 | 3월 중순 | |
| 종자정선 | 4월 중순 | |
| 종자소독·침종 | 4. 21 | |
| 종자최아 | 4. 24 | |
| 종자파종 | 4. 25 | |
| 마당 치상 | 4. 28 | |
| 기비시용, 정지작업 | 5. 20 | |
| 이앙 및 모소질 조사 | 5. 25 | 초장, 엽수, 성묘율 |
| 제조제 처리 | 6. 5 | |
| 1, 2, 3, 4, 5차 벼 생육조사 | 6.25, 7.10, 7.25, 8.9, 8.24 | 초장, 생체중, 건물중 |
| 1차 병해충방제 | 7월 하순 | 혹명나방 등 |
| 수비 시용 | 7월 중순~하순 | 출수 전 24일 |
| 6, 7차 벼 생육조사 | 8.28, 9.12 | 초장, 생체중, 건물중 |
| 2차 병해충방제 | 8월 하순 | |
| 출수기조사 | 8월 중순~하순 | |
| 간장, 수장, 수수 | 9월 중순 | |
| 수량구성요소조사 | 10월 중순 | |
| 토양 및 미질분석 | 11월 상순 | |
| 자료분석 및 평자자료작성 | 11월 중순 | |

2. 시험성적

가. 이양당시 모소질

| 품종 | 초장(cm) | 엽수(매) | 성묘율(%) | 건물중(mg/개체) |
|----------|--------|-------|--------|------------|
| 신동진(수중형) | 16.2 | 4.2 | 88.0 | 23.2 |
| 일 미(수수형) | 12.6 | 4.1 | 89.0 | 19.8 |
| 새누리(장 간) | 15.7 | 3.8 | 90.8 | 21.8 |
| 현 품(단 간) | 12.2 | 4.1 | 87.7 | 20.7 |

나. 이양 후 초장 및 경수변이

| 품종 | 질소 시비량 (kg/10a) | 초장(cm) | | | | 경수(개/주) | | | |
|----------|-----------------------|------------|-----|-----|-----|------------|------|------|------|
| | | 이양후 15일 | 30일 | 45일 | 60일 | 이양후 15일 | 30일 | 45일 | 60일 |
| 신동진(수중형) | 9 | 21 | 37 | 60 | 77 | 3.7 | 12.8 | 17.3 | 16.7 |
| | 13 | 25 | 42 | 69 | 86 | 4.4 | 15.9 | 20.3 | 18.0 |
| 일 미(수수형) | 9 | 20 | 32 | 52 | 72 | 3.8 | 13.9 | 20.9 | 19.2 |
| | 13 | 23 | 36 | 59 | 76 | 4.4 | 20.1 | 25.9 | 20.6 |
| 새누리(장 간) | 9 | 20 | 36 | 60 | 81 | 4.5 | 15.2 | 22.6 | 20.6 |
| | 13 | 23 | 39 | 64 | 84 | 4.8 | 15.5 | 20.7 | 17.6 |
| 현 품(단 간) | 9 | 17 | 29 | 45 | 61 | 4.3 | 13.9 | 21.5 | 19.5 |
| | 13 | 20 | 33 | 51 | 68 | 4.6 | 17.6 | 26.2 | 22.6 |

다. 이양 후 생체중 및 건물중 변이

| 품종 | 질소 시비량 (kg/10a) | 생체중(g/3주) | | | | 건물중(g/3주) | | | |
|----------|-----------------------|------------|-----|-----|-----|------------|------|-----|-----|
| | | 이양후 15일 | 30일 | 45일 | 60일 | 이양후 15일 | 30일 | 45일 | 60일 |
| 신동진(수중형) | 9 | 6.9 | 53 | 159 | 302 | 1.20 | 7.6 | 28 | 77 |
| | 13 | 7.7 | 61 | 184 | 320 | 1.23 | 9.6 | 32 | 79 |
| 일 미(수수형) | 9 | 4.7 | 36 | 140 | 218 | 0.82 | 5.6 | 27 | 63 |
| | 13 | 5.7 | 69 | 221 | 317 | 0.96 | 5.7 | 42 | 78 |
| 새누리(장 간) | 9 | 6.1 | 67 | 187 | 300 | 1.11 | 9.4 | 32 | 76 |
| | 13 | 6.5 | 72 | 226 | 317 | 1.18 | 10.2 | 42 | 76 |
| 현 품(단 간) | 9 | 4.9 | 50 | 178 | 234 | 0.83 | 7.2 | 33 | 64 |
| | 13 | 5.6 | 56 | 226 | 262 | 1.03 | 7.7 | 38 | 68 |

라. 병 발생상황

| 품종 | 질소 시비량 (kg/10a) | 키다리병 (0~9) | 잎집무늬 마름병 (0~9) | 흰잎 마름병 (0~9) | 줄무늬 잎마름병 (0~9) | 이삭 누룩병 (0~9) | 이삭 도열병 (0~9) |
|----------|-----------------------|---------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 신동진(수중형) | 9 | 1 | - | - | 0 | - | - |
| | 13 | 1 | - | - | 0 | - | - |
| 일 미(수수형) | 9 | 0 | - | - | 0 | - | - |
| | 13 | 0 | - | - | 0 | - | - |
| 새누리(장 간) | 9 | 0 | - | - | 0 | - | - |
| | 13 | 0 | - | - | 0 | - | - |
| 현 품(단 간) | 9 | 1 | - | - | 0 | - | - |
| | 13 | 1 | - | - | 0 | - | - |

* 키다리병 : 이양후 45일 조사

마. 해충 발생상황

| 품종 | 질소 시비량 (kg/10a) | 물바구미 (0~9) | | 이화명나방 (0~9) | | 흑명나방 (0~9) | | 벼멸구 (0~9) | |
|----------|-----------------------|---------------|----|----------------|----|---------------|----|--------------|----|
| | | 1차 | 2차 | 1차 | 2차 | 1차 | 2차 | 1차 | 2차 |
| 신동진(수중형) | 9 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |
| | 13 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |
| 일 미(수수형) | 9 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |
| | 13 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |
| 새누리(장 간) | 9 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |
| | 13 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |
| 현 품(단 간) | 9 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |
| | 13 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |

3. 재료 및 방법

- 본 시험은 전라남도 농업기술원 수도 포장에서 2015년에 수중형 신동진, 수수형 일미, 장간 새누리, 단간 현품을 공시하여 수행하였다. 4월 25일 중묘기계이앙 상자에 130g씩 인력으로 파종하였으며 출아 후 마당에서 30일 부직포 육묘하여 5월 26일에 재식거리 30×15cm로 평당 70주로 기계이앙 하였다.
- 질소시비량을 10a당 9, 13kg의 2수준으로 하였고 질소분시비율은 기비-분얼비-수비를 각각 50%, 20%, 30%로 하였다. 인산 및 칼리의 시비량은 10a당 각각 4.5, 5.7kg으로 하였으며 인산은 전량 기비, 칼리는 기비-수비를 70%, 30%로 분시하였다. 제초 방제는 2번, 씨레질 직전 및 이앙 후 12일에 체계처리 하였다. 모소질은 이앙직전 초장 및 엽수 20개체, 건물중 50개체씩 3반복 조사하였다. 지상부의 생육 상황을 알아보기 위하여 이앙 후 15일 간격으로 초장 및 경수는 20주 3반복, 생체중 및 건물중은 3주 3반복 조사하였다. 병해충은 시험포장에서 가장 많이 발생한 시기에 달관 조사하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 모소질

- 이앙 전 모소질은 초장 12.6~16.2cm, 엽수 3.8~4.2매, 개체당 지상부 건물중 19.8~23.2mg으로 벼 기계이앙용 중묘가 목표로 하는 초장 15~20cm, 엽수 3.5~4.0매, 개체당 지상부 건물중 20~30mg에 일미만 초장 및 건물중이 약간 미치지 못하였으나 이앙에는 크게 문제가 되지 않았다.

나. 이앙 후 초장 및 경수 변이

- 초장은 질소 13kg 수준이 9kg 수준보다 4~9cm정도 더 컸다. 경수는 품종에 관계없이 이앙 후 45일경에 최고분얼기를 보였으며 이앙 후 15일에서 30일 사이에 급격한 증가가 나타났다. 특히, 일미를 제외하고 이앙 후 45일경의 경수는 질소수준이 높을수록 증가하였고, 질소 13kg 수준이 9kg 수준보다 주당 3~5개 정도 많았다.

다. 이앙 후 생체중 및 건물중 변이

- 생체중은 질소 13kg 수준이 9kg 수준보다 더 무거웠다. 건물중은 품종에 관계없이 이앙

후 15일에서 30일에 7~9배, 30일에서 45일에 3배, 45일에서 60일에 2배 가량 증가하는 경향을 보였다. 특히, 이양 후 45일경의 건물중은 질소수준이 높을수록 증가하였고, 질소 13kg 수준이 9kg 수준보다 3주당 4~15g정도 무거웠다. 특히 이양 후 30일까지 왜소하게 자란 일미가 45일, 60일경에는 초장 및 경수 증가에 따라 현저하게 증가하는 경향을 보였다.

라. 병해충 발생상황

- 지금까지 키다리병을 제외하고 별다른 병해충 발생하지 않았다. 키다리병은 육묘기간에는 발병하지 않았으나 본답에서 신동진 1, 현품 1정도 발병하였다.

■ 수확 작업을 위한 작물인식 및 환경 계측 기술 개발

1. 무인항공 시스템을 이용한 농작물 및 환경 모니터링 시스템 구축

- 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicles:UAV) : 조종사가 탑승하지 않고 원격으로 통제되는 항공기를 지칭함
- 본디 군사적 목적으로 개발되어 사용되었으나 최근 재해 관리 분야, 문화재 분야, 산림 및 농어업 분야 등 민간용으로 그 영역이 점차적으로 확대됨
- 무인항공기의 종류에는 크게 고정익 무인항공기와 회전익 무인항공기로 나누어짐
- 고정익 무인항공기의 경우 추력발생장치와 양력발생장치가 분리되어 전진방향으로 가속을 얻으면 고정된 날개에서 양력을 발생하여 비행을 하며 구조가 단순하고 고속비행 및 작은 용량의 배터리로도 긴 비행시간이 가능한 고효율 비행이 가하다는 장점을 가짐
- 반면 회전익 무인항공기의 경우 효율, 속도, 거리 등에 있어서 고정익 무인항공기보다 불리하나 이착륙 및 정지비행이 가능함
- 당해 연도 실험에서는 고정익 무인항공기와, 회전익 무인항공기를 이용하여 고정익으로는 실험 포장을 비롯한 광범위 지역을 촬영하고 회전익으로는 근접촬영을 통해 실험포장의 고해상도의 영상을 취득하여 농작물 및 작업포장의 환경 모니터링 시스템을 구축함
- 본 연구의 대상작물인 벼의 생육 및 주변 환경을 모니터링 하기위해 사용된 고정익과 회전익 및 사용한 이미지 센서 재원은 아래와 같음



Fixed-wing UAV
(eBee Ag by SenseFly)



Rotary-wing UAV
(DJI-S1000; Geospatial Information Co. Ltd.)

(가) 고정익 무인 항공기(Fixed-wing UAV)

- 고정익은 senseFly회사의 eBee Ag모델로 몸체와 날개는 내구성이 뛰어난 EPP foam으로 구성되어있고 총중량은 0.71kg이며 자체적으로 IMU와 GPS를 이용한 자동비행 기능을 탑재

재하여 비행 중 자동으로 영상취득이 가능함

- 비행가능 시간은 최대 45분 비행속도는 40-90km/h이며 1회 비행시 1,000ha의 지역의 데이터를 수집할 수 있으며 고정익에 탑재된 영상센서는 캐논사의 S110 RGB, S110 NIR 이미지센서를 탑재하여 RGB(Red, Green, Blue), NIR(850nm, Red, Green)영상 데이터를 수집함

(나) 회전익 무인 항공기(Rotary-wing UAV)

- 회전익 무인 항공기는 Geospatial Information회사의 DJI-S1000기체를 사용함
- 이 회전익 기체는 8개의 프로펠러가 장착된 옥타콥터 드론이며 총 중량은 4.2kg, 비행시간은 15분, IMU와 GPS를 이용한 자동비행기능이 탑재가 되어있으며 적재중량은 6~11kg 임
- 영상수집에 이용된 카메라는 SONY사의 알파5100이며 APS-C형식의 CMOS이미지 센서가 장착되어있고 약2470만 픽셀의 고해상도의 RGB영상을 촬영할 수 있음
- 회전익을 이용한 영상 수집은 지상에서 약 11m 높이, 전진방향으로의 속도는 2.5m/s로 비행하며 진행하며 이때 획득한 영상의 픽셀 사이즈는 0.2cm/pixel 임
- 아래 표는 회전익과 고정익의 비행특성에 관해 비교한 표임

고정익과 회전익의 비행인자 및 성능

| Parameter | Fixed wing | Rotary wing |
|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Altitude(m) | 60 | 11 |
| Cruse speed(m/s) | 12 | 2.5 |
| Ground sampling distance(cm/pixel) | 2 | 0.2 |
| Time for image acquisition(min/ha) | 2 | 16 |
| Max. flight time(min) | 50 @11.1V/2150mAh battery | 15 @22.1V/10000mAh battery 2ea |

(다) 무인 항공기 시스템 영상수집 및 분석 절차

- 고정익과 회전익을 활용한 영상 데이터 수집 절차는 동일하며 공통적으로 계획(Planning), 지상기준점 관측(Observed GCP), 무인비행촬영(A Shotting by UAV), DSM 산출(Generating Mosaic Image), 2D&3D 정사영상 생성(Generating 3D Orthophoto)의 절차로 진행됨
- 본 연구에서는 회전익과 고정익 비행 시스템을 통 영상 데이터 수집하였으며 고정익은 지상에서 11m의 높이, 2.5m/s의 속도로 비행하며 벼 작물의 RGB영상데이터를 수집하고 회전익은 지상 60m의 높이에서 작업포장을 비롯한 구역 전체 포장의 RGB, NIR 영상 데이터를 수집함
- 영상데이터의 정합을 위해서는 영상과 영상을 획득한 Waypoint에서의 기체의 GPS Position과 자세데이터가 필요함

- 따라서 비행시 영상자료를 비롯한 IMU, GPS데이터를 저장하여 정합에 이용함
- 수집 후 AGI SOFT사의 Photo scan 프로그램을 이용하여 각 Point의 영상 데이터를 기체의 자세 데이터와 GPS데이터를 이용하여 하나의 영상자료로 정합하여 작물의 생육 분석 자료로 사용함

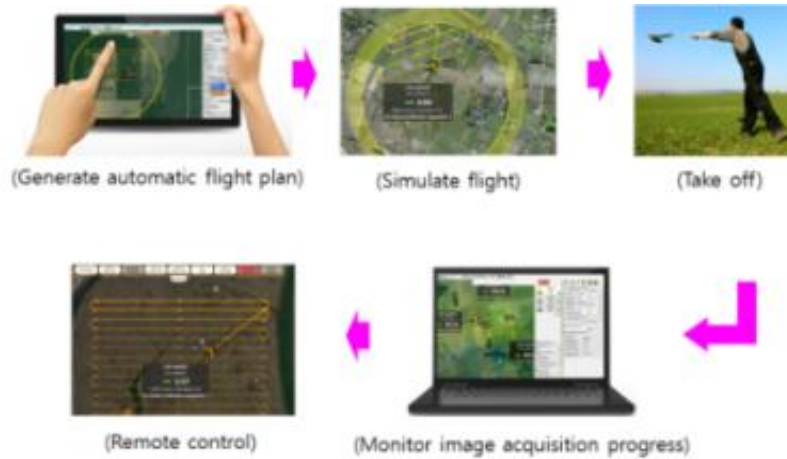
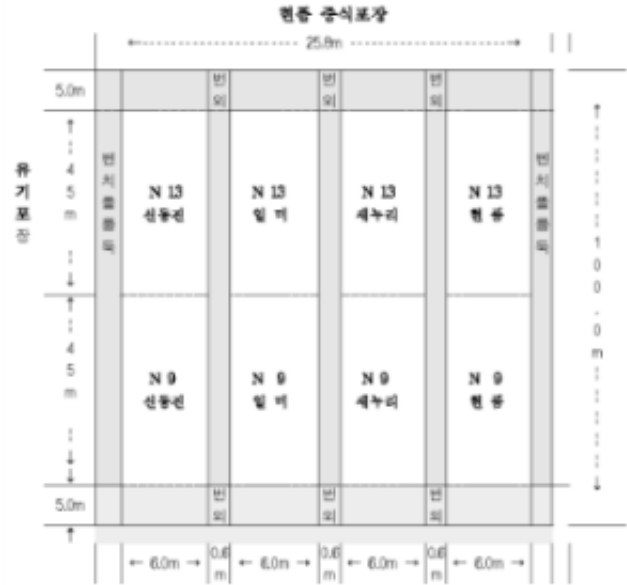


Photo scan을 이용한 정합 및 3D모델링 절차

2. 고정익을 이용한 작물생육 정보 측정 분석(2015년 하반기)













- 무인 비행시스템을 이용하여 벼 생육 측정은, 전라남도 나주시에 위치한 전라남도농업기술원 식량작물연구소 내 수도작 실험 포장에서 벼 육묘 이앙 직 후부터 15일 간격으로 현재까지 총 5회에 걸쳐 RGB Color 영상과 NIR 영상을 수집함
- 시험 포장은 아래 그림과 같이 구성하였고 시험구 배치는 각각의 생육 특성이 다른 4개의 품종을 이앙 하였으며 질소 분시 수준은 10a 당 9g과 13g으로 2수준으로 함
- 이와 같이 총 8개의 시험구 면적은 2,160m²로 시험구당 270m²로 구성하였으며, 품종 간 시험구 사이는 약 60 cm 의 간격을 두어 품종 간 구분함
- 그리고 수도작 벼의 생육에 필요한 성분의 시비는 질소를 제외하고 인산, 칼륨 성분의 비료를 각각 10a 당 4.5g, 5.7g을 시험구에 동일하게 시비함
- 시험구의 위치 및 배치와 이앙 후 주요 지수 변이는 아래 그림과 같음



이양 후 주요 지수 변이

| 종종 | 필수 시비량 (kg/ha) | 초장(cm) | | | | | | 경수(개/수) | | | | | | 생체중(g/3주) | | | | | | 건물중(g/3주) | | | | | | | | | |
|-----------|----------------|----------|----|----|----|-----|-----|---------|----------|----|----|----|----|-----------|-----|----------|----|-----|-----|-----------|-----|-----|----------|-----|----|----|-----|-----|-----|
| | | 이양 후 15일 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 이양 후 15일 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 이양 후 15일 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 이양 후 15일 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 |
| 신동진 (우수형) | 9 | 21 | 37 | 60 | 77 | 88 | 101 | 98 | 5.7 | 12 | 17 | 16 | 15 | 12 | 11 | 6.9 | 50 | 169 | 302 | 577 | 500 | 648 | 1.2 | 7.5 | 28 | 77 | 156 | 188 | 223 |
| | 13 | 25 | 42 | 69 | 86 | 103 | 111 | 107 | 4.4 | 15 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 7.7 | 61 | 184 | 320 | 540 | 545 | 482 | 1.2 | 9.6 | 32 | 79 | 165 | 185 | 110 |
| 잎 미 (우수형) | 9 | 20 | 32 | 52 | 72 | 82 | 87 | 95 | 5.8 | 13 | 20 | 19 | 17 | 13 | 12 | 4.7 | 36 | 140 | 218 | 531 | 530 | 430 | 0.8 | 5.5 | 27 | 61 | 148 | 173 | 112 |
| | 13 | 23 | 36 | 59 | 76 | 94 | 102 | 99 | 4.4 | 20 | 26 | 20 | 19 | 18 | 14 | 5.7 | 59 | 221 | 317 | 621 | 797 | 482 | 0.9 | 5.7 | 42 | 76 | 161 | 220 | 109 |
| 세누리 (양과) | 9 | 20 | 36 | 60 | 61 | 87 | 102 | 101 | 4.5 | 15 | 22 | 20 | 18 | 14 | 13 | 6.1 | 67 | 167 | 300 | 601 | 596 | 487 | 1.1 | 9.4 | 32 | 76 | 159 | 188 | 125 |
| | 13 | 23 | 35 | 64 | 64 | 101 | 114 | 90 | 4.8 | 16 | 20 | 17 | 16 | 14 | 12 | 5.5 | 72 | 226 | 317 | 604 | 594 | 477 | 1.1 | 10 | 42 | 76 | 163 | 173 | 112 |
| 현종 (양과) | 9 | 17 | 29 | 45 | 61 | 66 | 82 | 80 | 4.3 | 13 | 21 | 19 | 18 | 13 | 11 | 4.9 | 50 | 178 | 234 | 485 | 477 | 388 | 0.8 | 7.2 | 33 | 64 | 141 | 160 | 108 |
| | 13 | 20 | 33 | 51 | 68 | 80 | 91 | 90 | 4.6 | 17 | 26 | 22 | 20 | 17 | 16 | 5.6 | 56 | 226 | 282 | 606 | 655 | 477 | 1.0 | 7.7 | 38 | 68 | 152 | 190 | 112 |

- 이양직후부터 15일 간격으로 대상작물인 벼의 초장, 경수, 생체중, 건물중 등 실측 데이터를 수집하여 기록함
- 이양직후 고정익을 이용하여 수집한 RGB, NIR 영상 데이터는 아래와 같음
- 이양 후 6월부터 9월까지 15일 간격으로 고정익 시스템을 이용하여 두 가지 타입의 데이터를 수집하였으며 NIR영상을 이용하여 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 영상 분석함

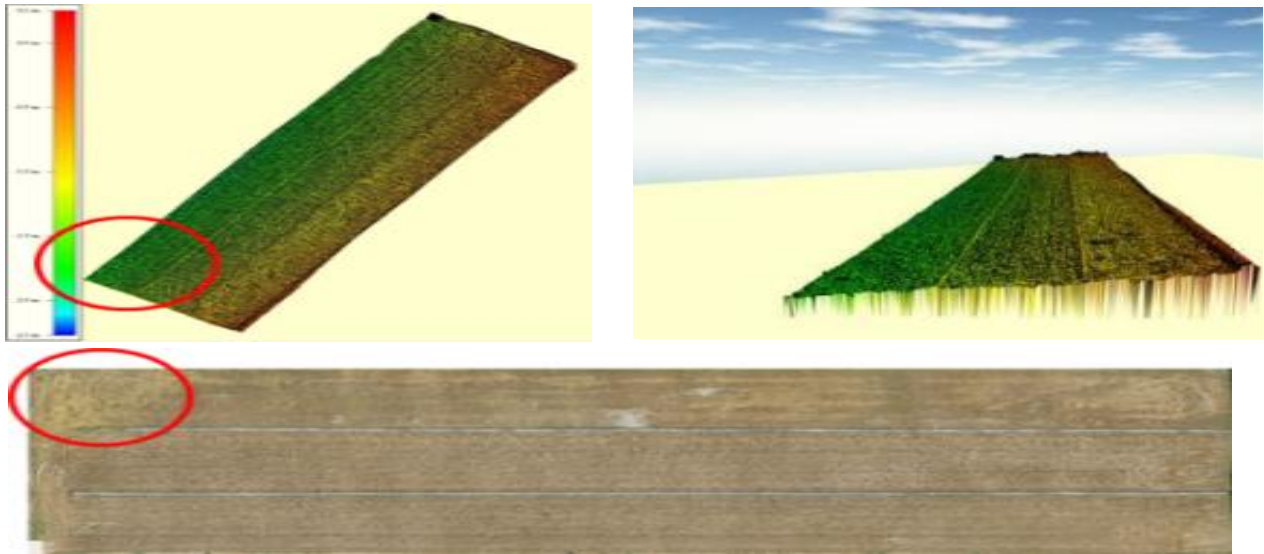
| Date of image acquisition | RGB image | NIR image |
|--|---|--|
| June 29, 2015 (28 days after) |  |  |
| July 14, 2015 (49 days after) |  |  |
| July 25, 2015 (60 days after) |  |  |
| August 14, 2015 (80 days after) |  |  |
| September 1, 2015 (98 days after) |  |  |
| September 11, 2015 (108 days after) |  |  |

- 영상분석에 사용한 Vegetation Index는 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), GNDVI(Green Normalized Difference Vegetation Index), OSAVI(Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index) 3개를 사용함
- 이양직후 수집한 영상데이터와 전라남도 농업기술원에서 실측한 데이터를 비교하여 영상분석 성능을 검증하였으며 각 인자별로 방정식과 값에 의한 추정 목적은 아래 표와 같음

| Vegetation index | Equation | Estimation |
|--|---|--|
| NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) | $(R_{NIR} - R_{red}) / (R_{NIR} + R_{red})$ | Dry weight, Plant height, N content, Yield |
| GNDVI (Green normalized difference vegetation Index) | $(R_{NIR} - R_{green}) / (R_{NIR} + R_{green})$ | Crop biomass, Leaf area index, Leaf chlorophyll content |
| OSAVI (Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index) | $(1 + 0.16) (R_{NIR} - R_{red}) / (R_{NIR} + R_{red} + 0.16)$ | Crop biomass, Fresh weight, Dry weight |
| TGI (Triangular greenness index) | $-0.5[(\lambda_r - \lambda_b)(R_r - R_g) - (\lambda_r - \lambda_g)(R_r - R_b)]$ | Leaf area index, Crop biomass, Chlorophyll concentration |

- 영상데이터 분석 값과 실측값을 비교하여 측정한 계측 결과 NDVI, GNDVI, OSAVI, TGI의 생육 계측 성능 결과 상관계수가 모든 인자 값에 대하여 0.9이상임을 확인하였음

3. 회전익을 이용한 작물 생육 정보 분석(2016년 상반기)

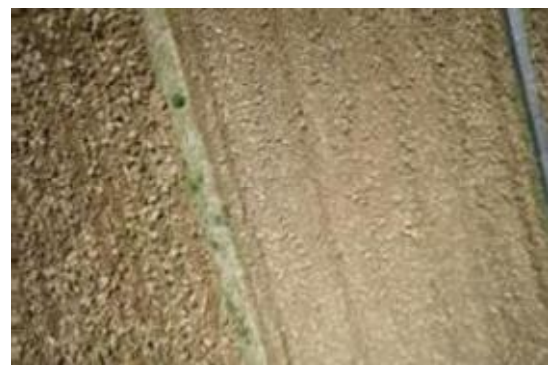


경운상태 (Field No.02)

- 당해 연도 연구에서는 회전익을 이용하여 영상데이터를 수집함
- 회전익의 비행 시 인자 설정은 지상 11m, 직진속도 2.5m/s, Stop and Turn방식이며 WayPoint 자율비행 방식으로 대상작물의 작업포장 위를 비행하며 영상데이터를 수집함
- 대상작물의 생육상태확인 이전에 경운상태 확인을 하기 위해 4월 08일 촬영을 시작하였고 Global mapper를 이용하여 작업포장의 경운상태 및 경사도를 측정함



좌측 하단 포장 사진



우측 작업 포장 사진

- Global mapper는 래스터 영상, 수치고도 자료 및 벡터 데이터를 디스플레이 해주는 뷰어 기능뿐만 아니라 자료 변환, 편집, 출력, GPS 추적 기능 등을 제공하는 위성영상처리 및 GIS 소프트웨어 임
- 경운 후 Field No.02의 작업포장 경사도 측정 결과 전반적으로 포장의 좌측이 경사가 낮았으며 실제로도 높이가 낮은 지역은 물이 고여 있음을 확인 함
- 반대로 경사가 전반적으로 높은 우측의 및 우상측의 경우 좌측에 비해 토양의 수분함량 정도가 눈에 떨 정도로 잘 말라있음을 알 수가 있음

회전익을 이용한 작업포장 영상정합 데이터

확대영상

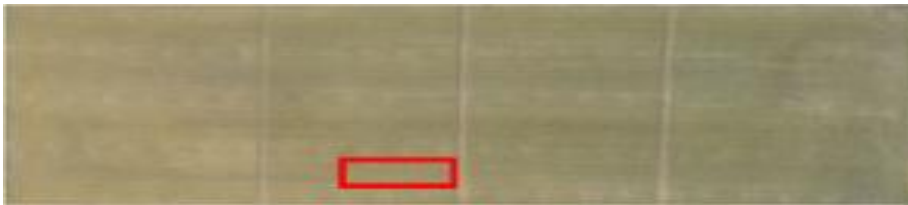
April 5, 2016



May 27, 2016



June 17, 2016

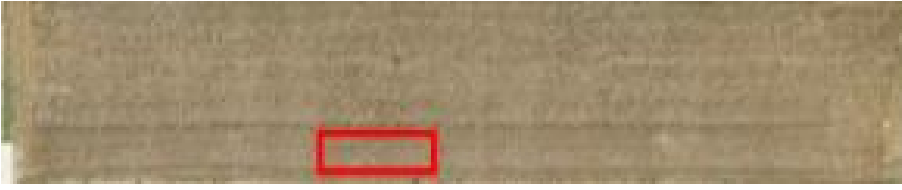


June 27, 2016



회전익을 이용한 작업포장 영상정합 데이터

❖ April 08, 2016 (Tillage image from an altitude of 11m)



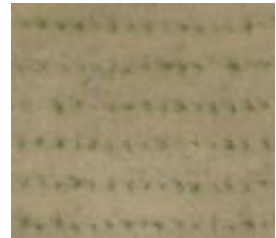
확대영상



❖ May 13, 2016



❖ May 27, 2016



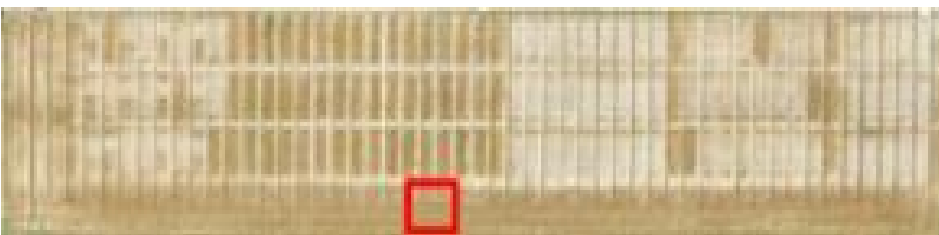
❖ June 17, 2016



❖ June 27, 2016



❖ 수확량 측정 시스템을 위한 보리작물 데이터 획득 영상
회전익을 이용한 작업포장 영상정합 데이터



확대영상



■ 환경 및 작업에 따른 작물관리 기술개발 (위탁기관1: 전라남도농업기술원)

○ 벼 육묘단계부터 수확까지 생육 정보 측정시스템 개발

(가) 연구수행 내용

- 1) 재배양식별 품종 : 조기재배(조명), 보통기 재배(일미)
- 2) 질소시비량 : 0, 5, 9, 13kg/10a
- 3) 재배양식별 재배법

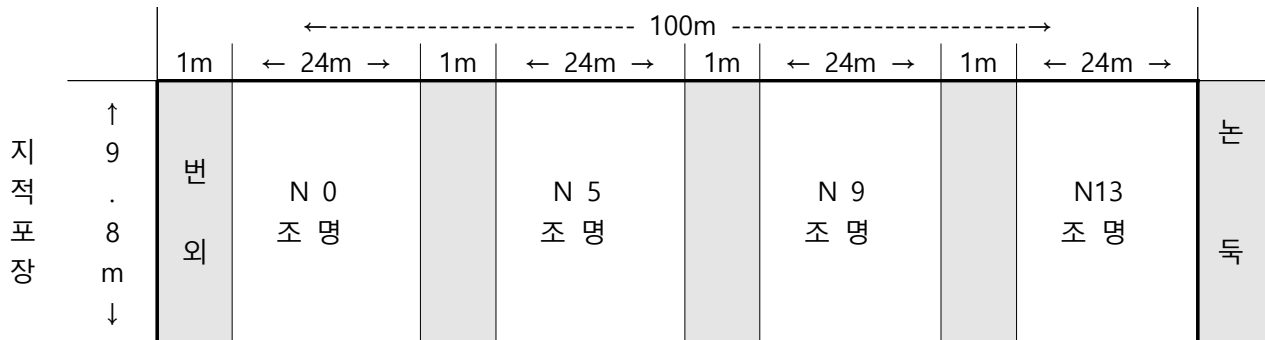
| 재배양식 | 파종기 (월.일) | 이앙기 (월.일) | 시비량(kg/10a) (P - K) | 질소분시방법 (기비-분얼비-수비) |
|------|--------------|--------------|------------------------|-----------------------|
| 조 기 | 3.26 | 4.25 | 4.5-5.7 | 70 - 0 - 30 |
| 보통기 | 4.25 | 5.25 | 4.5-5.7 | 50 - 20 - 30 |

※ 인산 및 칼리 분시비율(%) : 인산(전량기비), 칼리(기비-수비 : 70-30)

- 4) 시험구 배치 : 단구제
- 5) 주요 조사항목 : 생육단계별 바이오매스(초장, 경수, 생체중), 엽색도, 병해충, 수량

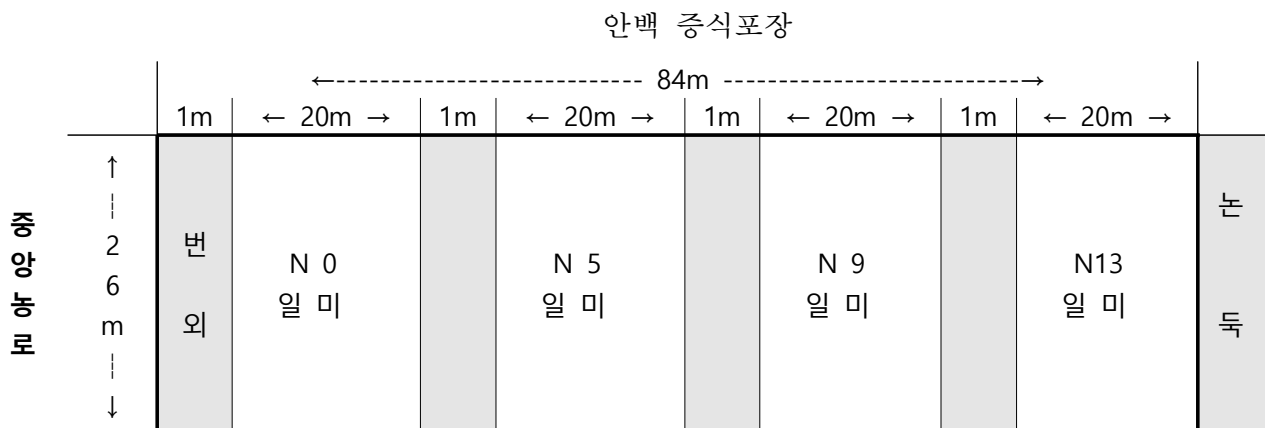
(나) 시험구 배치 및 세부일정

- 1) 시험구 배치
- 2) 조기재배 포장번호 : 수도재배 10-A 블록 포장



시험구당 25 × 9.8m =245㎡

- 3) 보통기 포장번호 : 수도재배 25-B 블록 포장



시험구당 21 × 26m =546㎡

실제 시행일정

| 작업내용 | 작업시기(월.일) | |
|------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| | 조 기 | 보 통기 |
| 종자정선 | 3월 중순 | 3월 중순 |
| 유기질비료 살포 및 경운 작업 | 2. 17 | 4. 5 |
| 종자소독·침종 | 3. 21 | 4. 22 |
| 종자최아 | 3. 24 | 4. 24 |
| 종자파종 | 3. 25 | 4. 25 |
| 마당 치상 | 3. 29 | 4. 28 |
| 기비시용, 정지작업 | 4. 20 | 5. 21 |
| 병해충 방제(관주처리) | 4. 23 | 5. 24 |
| 이앙 및 모소질 조사 | 4. 25 | 5. 26 |
| 제초제 처리 | 5. 8 | 6. 6 |
| 벼 생육조사 | 5.26(1차), 6.10(2차), 6.23(3차) | 6.23(1차) |
| 수비 시용 | 6. 25 | 7월 하순 |
| 추후 벼 생육조사 | 7. 9, 7. 25, 8. 10, 8. 25 | 7.10, 7.25, 8.10, 8.25, 9.10, 9.25 |
| 출수기조사 | 7월 중순 | 8월 중순 |
| 간장, 수장, 수수 | 8월 중순 | 9월 중순 |
| 수량 및 수량구성요소조사 | 8월 하순 | 10월 중순 |

(다) 결과

1) 조기재배 이앙 후 초장 및 변이

| 품 종 | 질소 시비량 (kg/10a) | 초장(cm) | | | 경수(개/주) | | | |
|-----|-----------------------|------------|-----|-----|---------|------------|-----|-----|
| | | 이앙후 30일 | 45일 | 60일 | 75일 | 이앙후 30일 | 45일 | 60일 |
| 조명 | 0 | 24 | 38 | 53 | 6 | 15 | 16 | |
| | 5 | 24 | 39 | 53 | 7 | 16 | 17 | |
| | 9 | 26 | 39 | 53 | 8 | 17 | 17 | |
| | 13 | 27 | 42 | 56 | 8 | 19 | 18 | |

2) 조기재배 이앙 후 생체중 및 엽색도

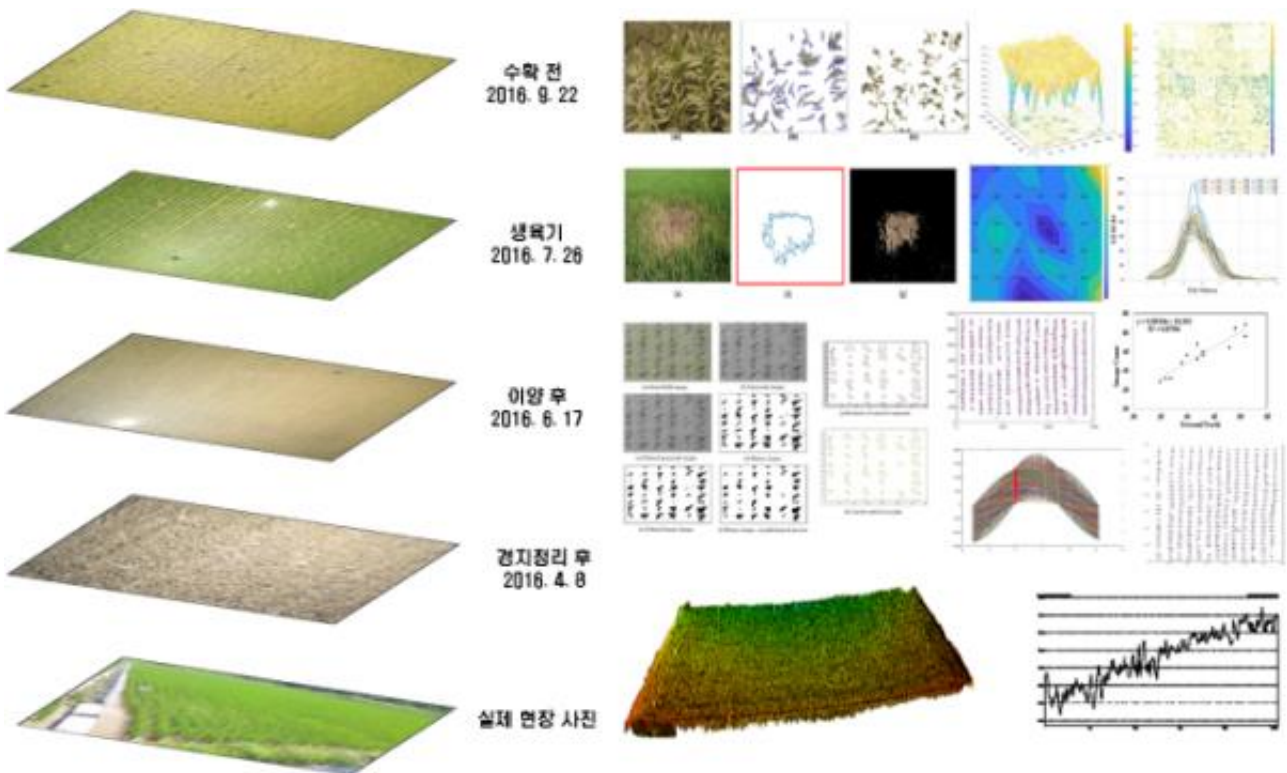
| 품 종 | 질소 시비량 (kg/10a) | 3주 생체중(g) | | | | 엽색도 | | | |
|-----|-----------------------|------------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|
| | | 이양후 30일 | 45일 | 60일 | 75일 | 이양후 30일 | 45일 | 60일 | 75일 |
| 조명 | 0 | 11 | 81 | 157 | | 35 | 41 | 34 | |
| | 5 | 12 | 85 | 164 | | 35 | 41 | 35 | |
| | 9 | 12 | 88 | 183 | | 35 | 41 | 35 | |
| | 13 | 13 | 92 | 199 | | 36 | 42 | 36 | |

※ 엽색도 : SPAD-502이용하여 상위 2엽 중간부위에서 조사

3) 연구결과 요약

- 가) 조기재배에서 경수는 이양 후 45일에서 60일 사이에 최고분얼기를 보였으며 이양 후 30일에서 45일 사이에 급격한 증가가 나타났다.
- 나) 조기재배에서 생체중은 질소 수준이 높을수록 증가하였으며 엽색도는 질소 수준이 높을수록 약간 높은 경향을 보였음

■ 수확량 모니터링 및 품질 측정 기술 개발



1. 벼 생육 관찰과 수확량 예측을 위한 전주기 모니터링

이 연구에서는 벼 전주기에 대해 모니터링 하여 작물 생육과 수확량을 예측하는 시스템을 제안한다. 벼의 생육단계를 총 4단계로 구분하여 실험을 진행하며 세부단계는 경운직후, 이양직후, 생육단계, 수확직전으로 구성된다. 대상 포장은 나주시에 위치한 전라남도 농업기술원 식

량작물 연구소 내 수도작 실험포장을 사용하였으며 벼 생육 모니터링에 필요한 필드 정보는 저고도 드론을 이용하여 지상 10m에서 테스트 필드의 영상정보 취득하여 영상분석을 통해 수확량 예측에 필요한 데이터를 취득 하였다.

가. 경운직후 표고정보획득 및 균평량 측정

(1) 표고데이터 획득 및 데이터 보간

- 표고정보 획득을 위해 드론으로 촬영한 영상을 SfM(Structure from Motion), SIFT(Scale Invariant Feature Transform)을 이용하여 아래 그림 농지1과 농지2와 같이 영상정합을 실시하였다.
- 정합된 영상을 표고정보 추출을 위해 아래 그림과 같이 간격 1m의 (x,y,z)좌표 값을 지닌 정보로 Virtual Surveyor를 이용하여 변환하였다.
- 노지의 표면을 입체화하기 위해, 형식 $z=f(x,y)$ 의 곡면을 벡터(x,y,z)의 표고 데이터로 피팅한 후, (xq, yq)로 지정된 1m 보간 지점에서 곡면을 보간하고 보간된 값을 zq로 반환 하였다.

○ 경운 후 대상 농지1



경운 후 대상 농지1 원 영상



대상 농지 확대영상(Fiel 1-1 ~10)

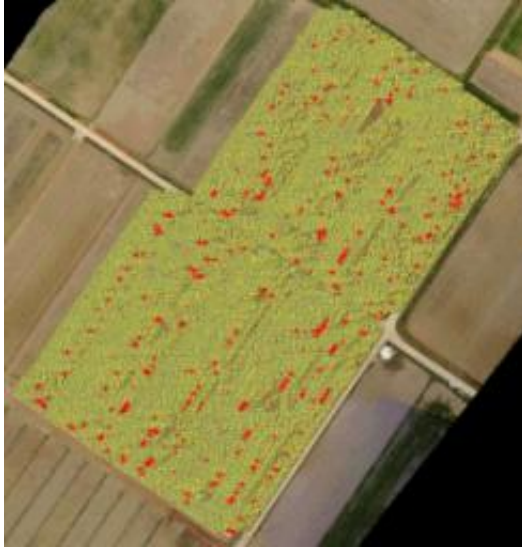
○ 경운 후 대상 농지2



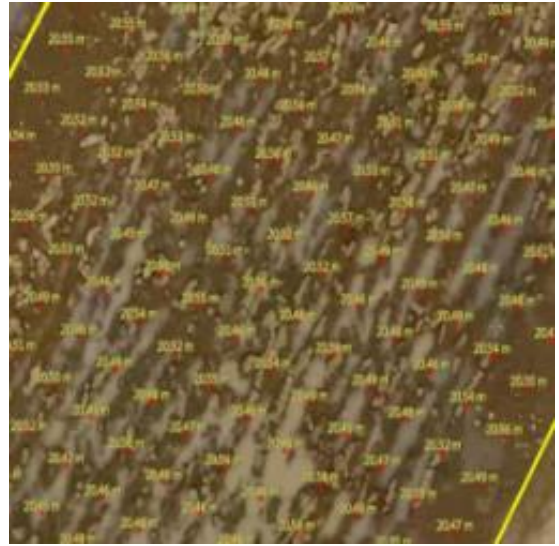
경운 후 대상 농지2 원 영상



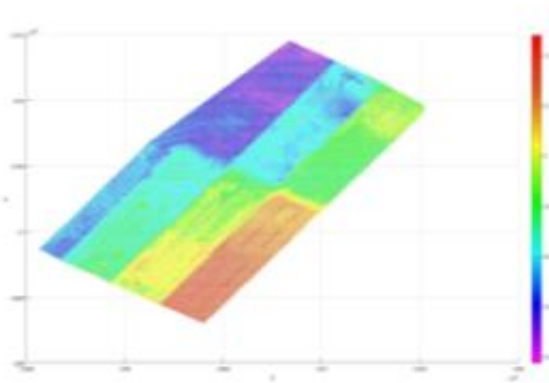
대상 농지2 확대 영상



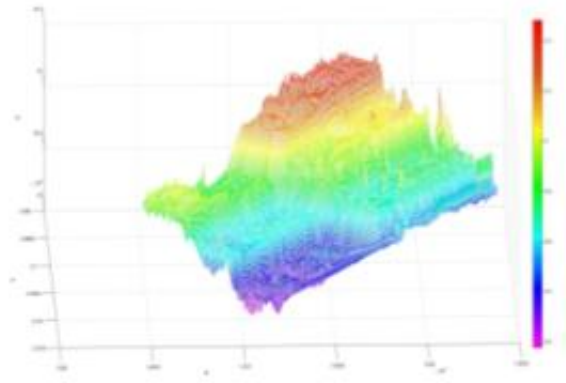
경운 후 대상농지 획득된 표고정보



표고정보 확대영상



경운 후 농지 표고 3D Map

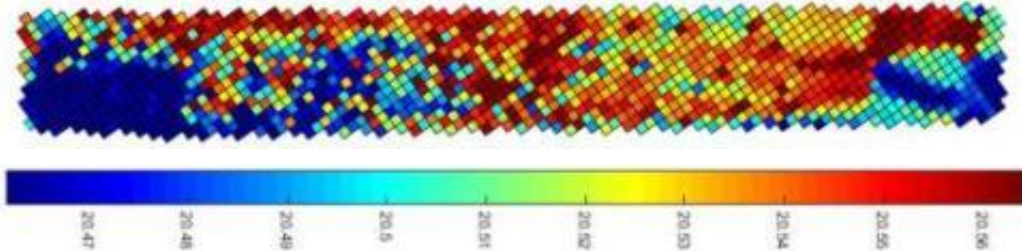


농운 후 농지 표고 3D Map 회전영상

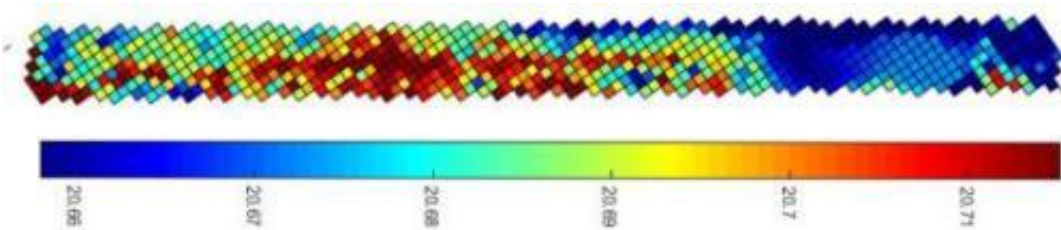
(2) 농경지 표고데이터 맵핑

- 농경지에서는 경운작업 후에도 농경지의 깊이 차이가 최소 0.24m에서 최대0.46m까지 불균일성을 보였다.
- 작업포장 전반의 높이 편차가 생길시 관개작업 후 구획별 관개된 물의 깊이 차이가 발생하여 부분 침수지역 발생하게 되며 이에 따라 구획별 생산량 차이로 이어진다.
- 따라서 경운 후 농경지의 균평도는 생산량을 증가시킬 수 있는 중요한 요인 중 하나이다.
- 농경지 표고데이터 맵핑의 컬러영역은 표고 데이터의 하위 10%이하와 상위 10% 이상을 제외한 표준 데이터를 분석대상으로 하였다.
- 농경지 표고데이터 맵핑을 통해 대상 농경지의 표고차이를 시각적으로 구분 지을 수 있다.
- Field 1-1을 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정된 결과, 평균 높이는 20.52m이고 최대 20.41m, 최소 20.87m로 최대 차이는 0.46m로 나타났다.
- Field 1-2를 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정된 결과, 평균 높이는 20.69m이고 최대 20.80m, 최소 20.56m로 최대 차이는 0.24m로 나타났다.
- Field 1-3을 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정된 결과, 평균 높이는 20.71m이고 최대 20.99m, 최소 20.53m로 최대 차이는 0.46m로 나타났다.

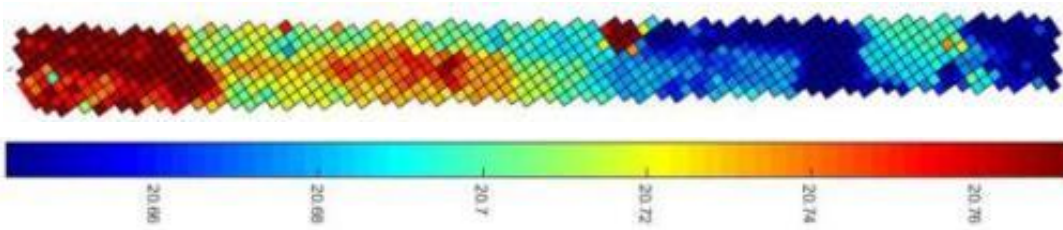
- Field 1-4를 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정 결과, 평균 높이는 20.69m이고 최대 20.88m, 최소 20.51m로 최대 차이는 0.37m로 나타났다.
- Field 1-5를 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정 결과, 평균 높이는 20.96m이고 최대 21.22m, 최소 20.75m로 최대 차이는 0.47m로 나타났다.
- Field 1-6을 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정 결과, 평균 높이는 21.00m이고 최대 21.17m, 최소 20.82m로 최대 차이는 0.35m로 나타났다.



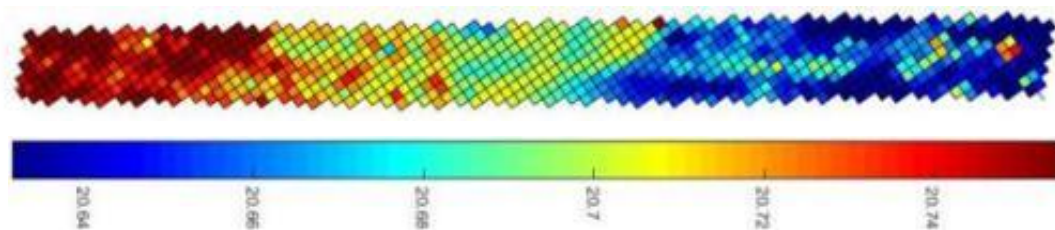
Field 1-1 농경지 표고데이터 맵핑



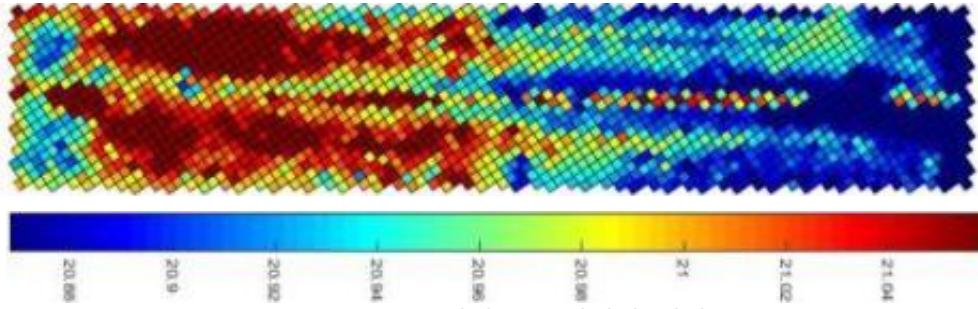
Field 1-2 농경지 표고데이터 맵핑



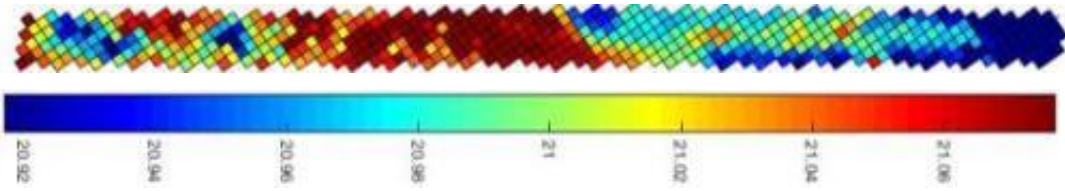
Field 1-3 농경지 표고데이터 맵핑



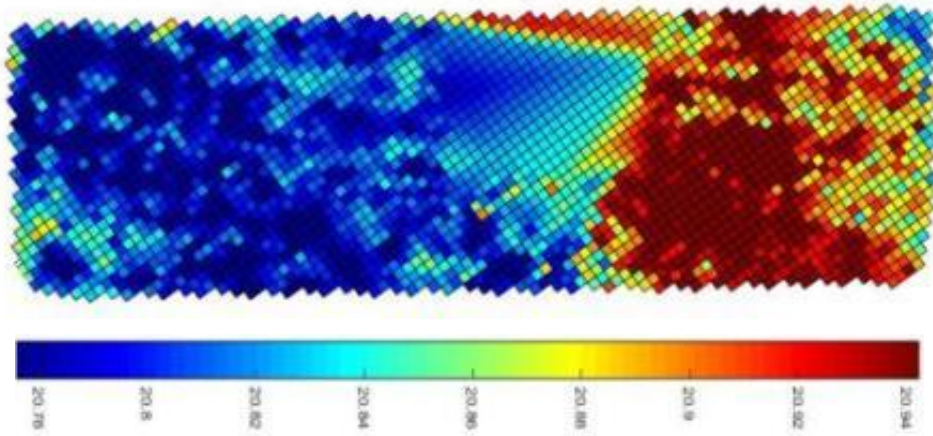
Field 1-4 농경지 표고데이터 맵핑



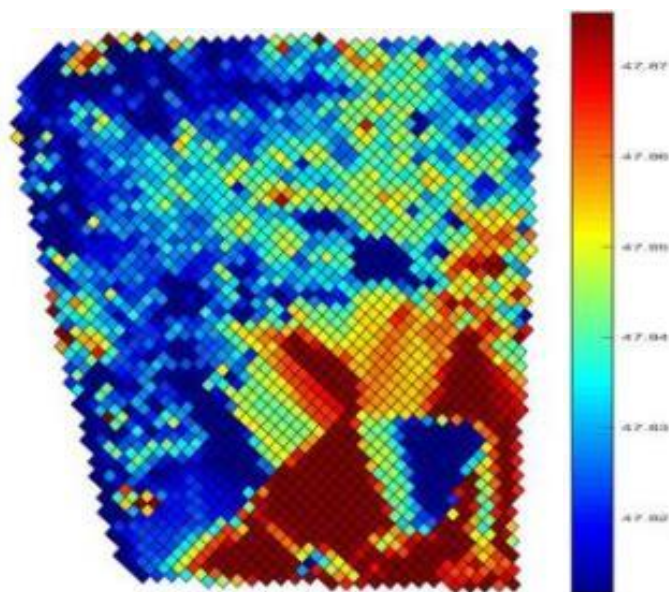
Field 1-5 농경지 표고데이터 맵핑



Field 1-6 농경지 표고데이터 맵핑



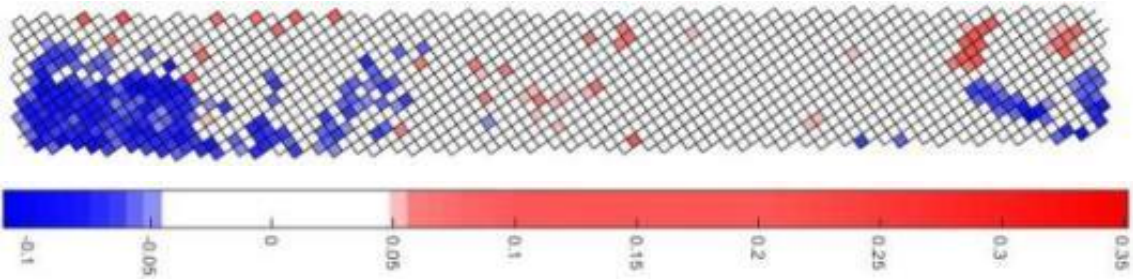
Field 1-10 농경지 표고데이터 맵핑



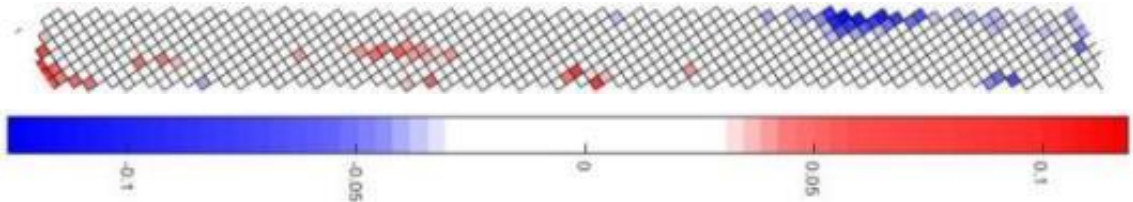
Field 2 농경지 표고데이터 맵핑

(3) 균형대상영상

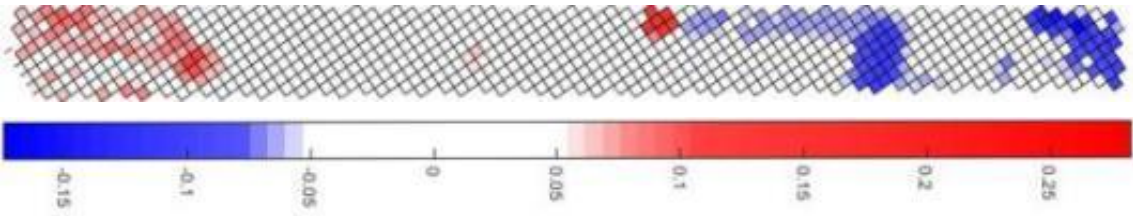
- 한 작업포장의 표고 데이터를 바탕으로 균형 대상 영역을 검출하기 위해서는 표고의 표준편차를 측정하여 표준편차 범위 밖 즉, 비정상적으로 높고 낮은 영역을 균형 대상 영역으로 판단하고 처리한다.
- 작업포장에서 붉은 영역은 솟은 부분으로 평균 표고 기준 표준편차 이상인 영역이고, 푸른영역은 파인 부분으로 평균 표고 기준 표준편차 이하인 영역이다.
- 균형대상영역의 표고 차이의 기준은 표고의 평균이며, 평균 표고값을 '0'으로 하여 다른 높이와의 차이를 표현하였다.
- 균형 대상량 측정은 전반적인 작업포장의 표고 편차를 줄이는 것을 목적으로 하며, 균형 대상량이란 작업포장의 표고가 비정상적으로 높은 영역과 비정상적으로 낮은 영역을 말한다.
- 비정상지역의 체적 즉, 균형 대상량은 1m간격으로 보간된 각 지역에 각 표고높이데이터를 참고하여 계산한다.
- Field 1-1을 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정한 결과, 붉은 영역(비정상적으로 높은 영역)의 체적은 $10.66m^3$ 이고, 푸른 영역(비정상적으로 낮은 영역의 영역, 파인 영역)의 체적은 $14.74m^3$ 이다.
- Field 1-2을 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정한 결과, 붉은 영역(비정상적으로 높은 영역)의 체적은 $3.70m^3$ 이고, 푸른 영역(비정상적으로 낮은 영역의 영역, 파인 체적)의 체적은 $4.63m^3$ 이다.
- Field 1-3을 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정한 결과, 붉은 영역(비정상적으로 높은 영역)의 체적은 $10.91m^3$ 이고, 푸른 영역(비정상적으로 낮은 영역의 영역, 파인 체적)의 체적은 $10.98m^3$ 이다.
- Field 1-4을 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정한 결과, 붉은 영역(비정상적으로 높은 영역)의 체적은 $9.86m^3$ 이고, 푸른 영역(비정상적으로 낮은 영역의 영역, 파인 체적)의 체적은 $11.05m^3$ 이다.
- Field 1-5을 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정한 결과, 붉은 영역(비정상적으로 높은 영역)의 체적은 $35.09m^3$ 이고, 푸른 영역(비정상적으로 낮은 영역의 영역, 파인 체적)의 체적은 $38.02m^3$ 이다.
- Field 1-6을 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정한 결과, 붉은 영역(비정상적으로 높은 영역)의 체적은 $10.01m^3$ 이고, 푸른 영역(비정상적으로 낮은 영역의 영역, 파인 체적)의 체적은 $9.76m^3$ 이다.
- Field 1-10을 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정한 결과, 붉은 영역(비정상적으로 높은 영역)의 체적은 $28.98m^3$ 이고, 푸른 영역(비정상적으로 낮은 영역의 영역, 파인 체적)의 체적은 $53.50m^3$ 이다.
- Field 1-2을 대상으로 드론데이터 기반 표고 측정한 결과, 붉은 영역(비정상적으로 높은 영역)의 체적은 $11.22m^3$ 이고, 푸른 영역(비정상적으로 낮은 영역의 영역, 파인 체적)의 체적은 $17.42m^3$ 이다.



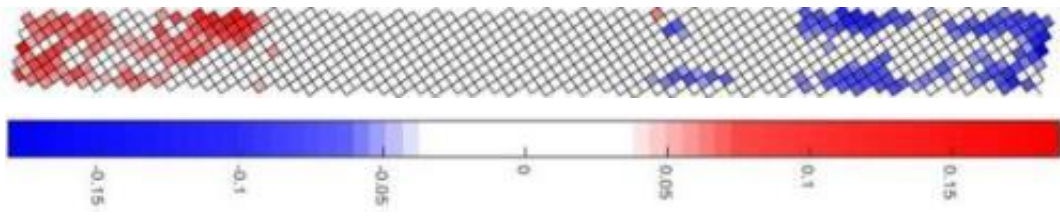
Field 1-1 균평대상영상



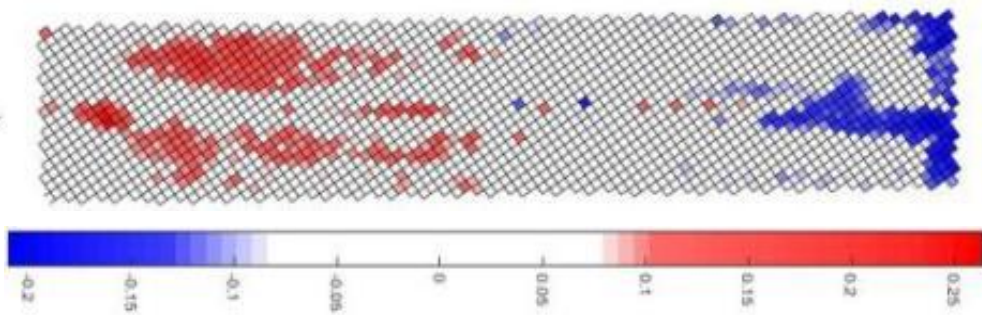
Field 1-2 균평대상영상



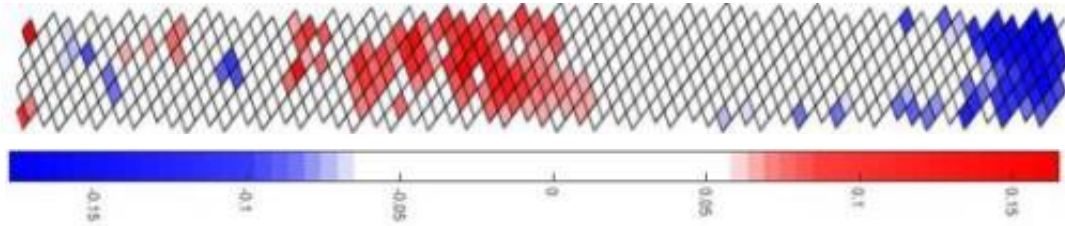
Field 1-3 균평대상영상



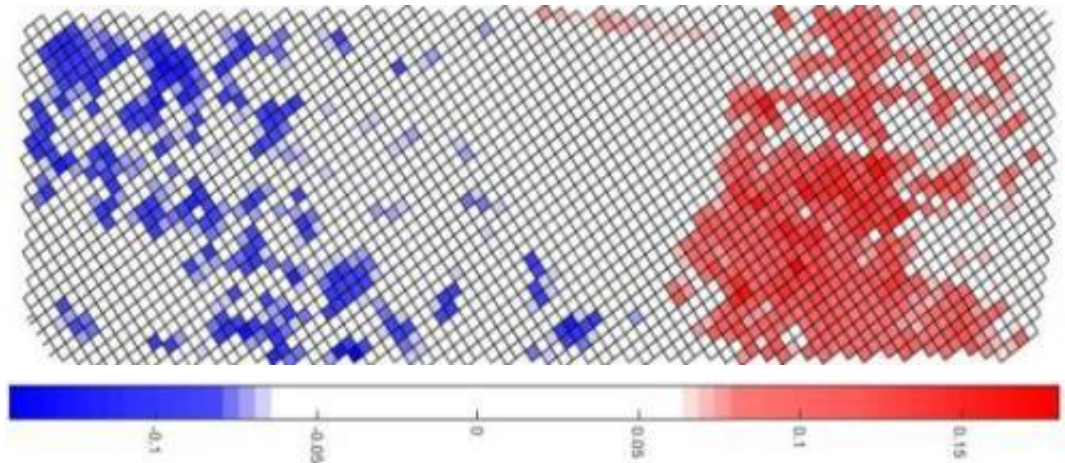
Field 1-4 균평대상영상



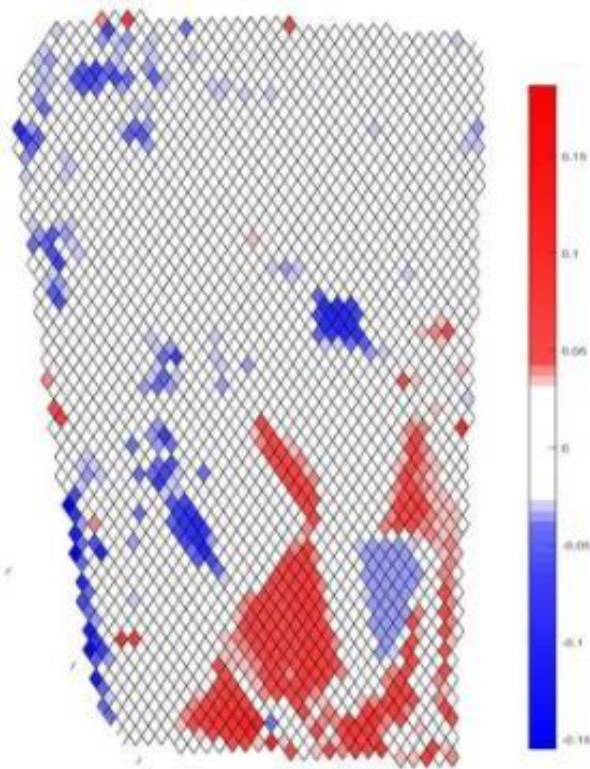
Field 1-5 균평대상영상



Field 1-6 균평대상영상



Field 1-10 균평대상영상



Field 2 균평대상영상

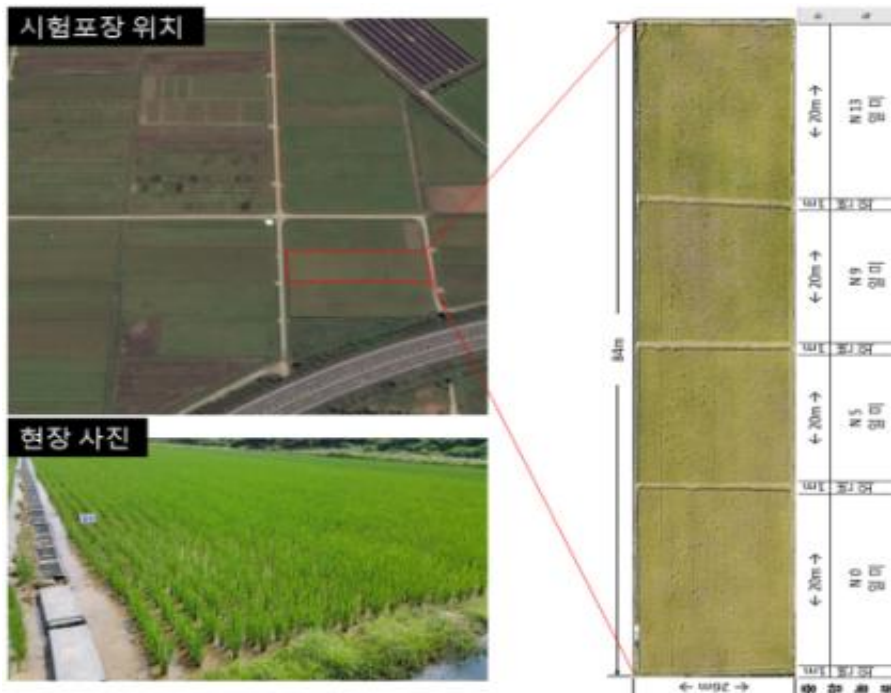
- **균형 대상량을 측정한 결과 각 농지별 균형 대상량은 아래 표와 같이 측정되었다.**

| 대상 | 표준편차(m) | 푸른 영역(파인 영역) | | 붉은 영역(솟은 영역) | |
|-----------|---------|---------------|--------|--------------|--------|
| | | 깊이(m) | 균형 대상량 | 높이(m) | 균형 대상량 |
| Field1-1 | 0.05 | -0.11 ~ -0.05 | -14.74 | 0.05 ~ 0.35 | 10.66 |
| Field1-2 | 0.03 | -0.13 ~ -0.03 | -3.70 | 0.03 ~ 0.12 | 4.63 |
| Field1-3 | 0.05 | -0.17 ~ -0.05 | -10.91 | 0.05 ~ 0.28 | 10.98 |
| Field1-4 | 0.05 | -0.18 ~ -0.05 | -9.86 | 0.05 ~ 0.19 | 11.05 |
| Field1-5 | 0.08 | -0.21 ~ -0.08 | -35.09 | 0.09 ~ 0.26 | 38.02 |
| Field1-6 | 0.06 | -0.18 ~ -0.06 | -10.01 | 0.06 ~ 0.17 | 9.76 |
| Field1-7 | 0.07 | -0.17 ~ -0.07 | -55.38 | 0.07 ~ 0.23 | 43.12 |
| Field1-8 | 0.05 | -0.19 ~ -0.05 | -27.80 | 0.05 ~ 0.12 | 29.98 |
| Field1-9 | 0.05 | -0.20 ~ -0.05 | -31.99 | 0.05 ~ 0.17 | 22.80 |
| Field1-10 | 0.06 | -0.15 ~ -0.06 | -28.98 | 0.06 ~ 0.18 | 53.50 |
| Field2 | 0.03 | -0.16 ~ -0.03 | -11.22 | 0.03 ~ 0.19 | 17.42 |

나. 시험 포장 정보 및 정밀 분석을 위한 실험포장 분할

(1) 시험 포장 정보

저고도 무인 비행시스템을 이용한 벼 생육 측정은, 전라남도 나주시에 위치한 전라남도농업기술원 식량작물연구소 내 수도작 실험 포장에서 경운 직 후부터 15일 간격으로 시험포장의 영상을 수집하였다. 시험 포장은 아래 그림과 같이 구성하였고 시험구의 4개의 구획에는 ‘일미’ 품종을 이앙 하였으며 질소 분시 수준은 10a 당 0g, 5g, 9g과 13g 4수준으로 하였다. 이와 같이 총 8개의 시험포장 면적은 26*84m²로 시험구당 21*26m²(546m²)로 구성하였으며, 질수시비량에 따른 시험구 사이는 약 1m의 간격을 두어 샘플 간 구분을 하였다. 그리고 수도작 벼의 생육에 필요한 성분의 시비는 질소를 제외하고 인산, 칼륨 성분의 비료를 각각 10a 당 4.5g, 5.7g을 시험 구에 동일하게 시비하였다.



전라남도농업기술원 식량작물연구소 시험포장, 전라남도 나주시

| 재배양식 | 질소수준 | 구당면적 | 시험구 면적 | 총소요면적 |
|------|------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 보통기 | 4 | 546m ² | 2,184m ² | 2,184m ² |

(2) 보통기재배

| 구분 | 비중 | | 분시비율 | 10a당 시비량 (kg) | | | | 구당 시비량(g/546m ²) | | | |
|-----|-------------------------------|----|--------------|---------------|-------|-------|-------|------------------------------|--------|-------|-------|
| | | | | 계 | 기비 | 분얼비 | 수비 | 계 | 기비 | 분얼비 | 수비 |
| 성분량 | N | 0 | 50 - 20 - 30 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | 5 | | 5.0 | 2.5 | 1.0 | 1.5 | 2,730 | 1,365 | 546 | 819 |
| | | 9 | | 9.0 | 4.5 | 1.8 | 2.7 | 4,914 | 2,457 | 983 | 1,474 |
| | | 13 | | 13.0 | 6.5 | 2.6 | 3.9 | 7,098 | 3,549 | 1,420 | 2,129 |
| | P ₂ O ₅ | | | 4.5 | 4.5 | - | - | 2,457 | 2,457 | - | - |
| | K ₂ O | | | 5.7 | 4.0 | - | 1.7 | 3,112 | 2,184 | - | 928 |
| 단비량 | 요소 | 0 | 50 - 20 - 30 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | 5 | | 10.86 | 5.43 | 2.17 | 3.26 | 5,930 | 2,965 | 1,185 | 1,780 |
| | | 9 | | 19.56 | 9.78 | 3.91 | 5.87 | 10,680 | 5,340 | 2,135 | 3,205 |
| | | 13 | | 28.26 | 14.13 | 5.65 | 8.48 | 15,430 | 7,715 | 3,085 | 4,630 |
| | 요소 합계 | | | 58.68 | 29.34 | 11.73 | 17.61 | 32,040 | 16,020 | 6,405 | 9,615 |
| | 용성인비(중토비 17%) | | | 26.47 | 26.47 | - | - | 14,453 | 14,453 | - | - |
| | 염화가리 | | | 9.50 | 6.67 | - | 2.83 | 5,187 | 3,642 | - | 1,545 |

※ 비료 소요량 합계 : 요소(32.0kg), 용성인비(57.8kg), 염화가리(20.8kg)

※전체량의 1/3을 계산 평량하여 반복별로 시비














(3) 저고도 무인항공기를 이용한 실험포장의 생육영상수집

(가) 회전익 무인 항공기(Rotary-wing UAV)

- 회전익 무인 항공기는 Geospatial Information회사의 DJI-S1000기체를 사용.
- 8개의 프로펠러가 장착된 옥타콥터 드론이며 총 중량은 4.2kg, 비행시간은 15분, IMU와 GPS를 이용한 자동비행기능이 탑재가 되어있으며 적재중량은 6~11kg이다.
- 영상수집에 이용된 카메라는 SONY사의 알파5100이며 APS-C형식의 CMOS이미지 센서가 장착되어있고 약2470만 픽셀의 고해상도의 RGB영상을 촬영할 수 있다.
- 회전익을 이용한 영상 수집은 지상에서 약 11m 높이, 전진방향으로의 속도는 2.5m/s로 비행하며 진행함. 이때 획득한 영상의 픽셀 사이즈는 0.2cm/pixel이다.
- 데이터는 5월 17일 경운 후부터 수확 전까지 15일 간격으로 무인항공기를 이용하여

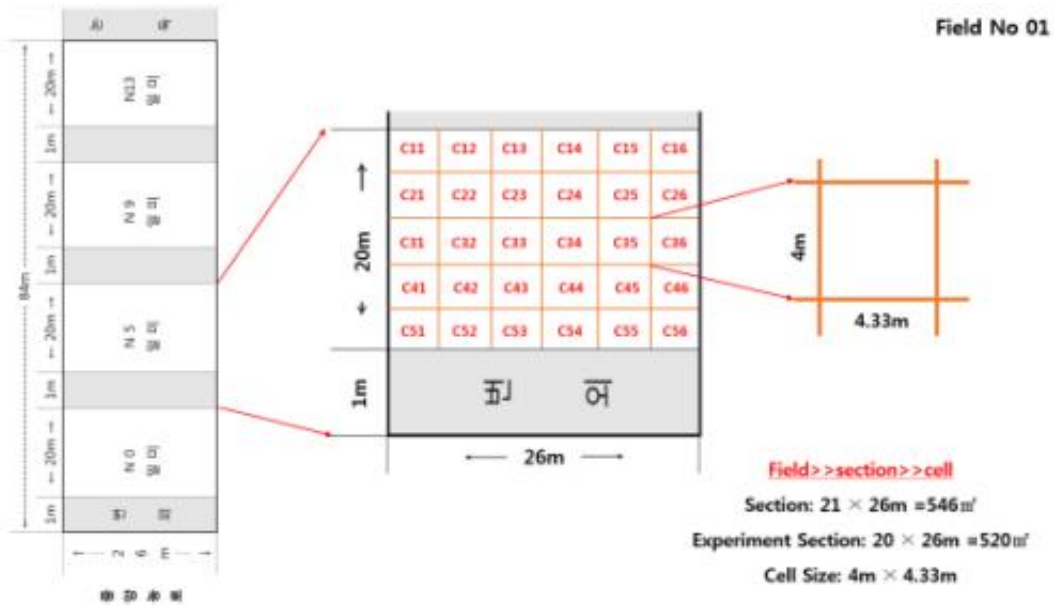
영상데이터를 수집.

❖ Field No.01의 RGB, NIR 영상데이터

| Date of image acquisition | RGB image | NIR image |
|---------------------------|---|--|
| 2016.0408 |  |  |
| 2016.0527 |  |  |
| 2016.06.17 |  |  |
| 2016.06.27 |  |  |
| 2016.07.08 |  |  |
| 2016.07.26 |  | |
| 2016.08.05 |  | |
| 2016.08.25 |  | |

(4) 구획별 생육 모니터링을 위한 실험포장 분할

- 작물의 생육상태나 토양조건은 한 포장 내에서도 위치마다 다르므로 이러한 변이에 따른 적합한 처방을 위해서는 실험 포장의 구획 화를 통한 정밀 모니터링기술이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 대상포장(Field)을 질소시비량에 따른 4개의 sub_Section으로 분리하고 각각 Section은 5*6의 sub_Cell로 분할하여 관찰 및 분석을 진행하였다.



다. 실험 포장 데이터 분석

(1) 생육 모니터링 및 추적을 위한 이양 직후 식물 좌표 획득

- 이양 직후 개별 작물의 위치를 구분하는 것은 사람의 눈으로 매우 쉽게 할 수 있다. 하지만 생육이 진행됨에 따라 작물의 크기가 커지고 잎 수 늘어남에 따라 작물 잎이 겹쳐지기 때문에 개별 작물의 위치확인이 불가능해진다.
- 따라서 이양 직후 무인기를 이용하여 실험포장의 영상데이터를 무인항공기를 이용하여 수집 후 영상데이터를 기반으로 식물의 위치좌표 데이터를 추출하고 위치 좌표를 기반으로 이양 초기부터 수확직전까지의 작물 생육 전주기에 대하여 개별 작물의 위치를 추적하고 이양특성분석과 개별 Cell에 대하여 생육 및 수확량 예측에 사용한다.

(가) 영상분석을 이용한 작물의 위치데이터 획득

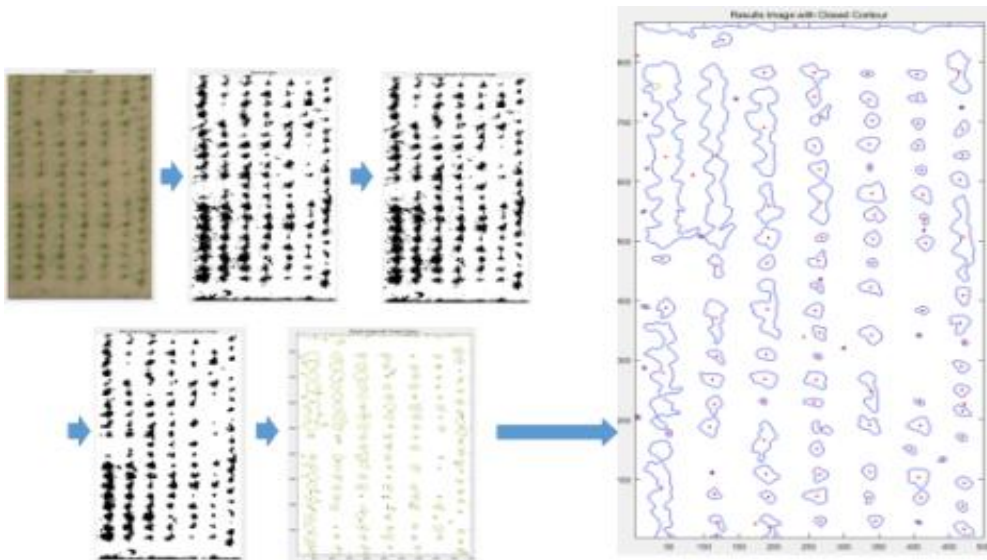
- 영상분석을 통해 작물의 개별 위치좌표를 획득하기 위해 다음과 같은 영상처리 기법을 이용하였다.
- Gray scale & adaptive median filter
- 첫 번째 단계는 일반적인 논 영상인 RGB영상을 그레이 스케일 영상으로 변환하는 것이다. 여기서는 트루 컬러 영상인 RGB영상을 흑백 명암으로 변환한다. 이미지의 밝기를 유지하면서 색상과 채도를 제거함으로써 변환이 이루어진다. RGB영상을 그레이 스케일 영상으로 변환한 후에는 adaptive median filter를 사용하여 영상의 왜곡을 제거한다. 그리고 이진화를 통해 그레이 스케일 영상을 이진 영상으로 변환한다.
- Morphological Image Processing
- ‘Morphological image processing’은 영상의 형태 또는 형태적 특성과 관련된 비선형 처리단계이며 특징 탐지, 분할, 노이즈 제거 및 객체 구분과 같이 영상 처리 방법에 광범위하게 사용된다. 우리는 영상으로부터 양호한 형태의 벼 작물 형상을 얻기 위해 ‘The closing Morphological image processing’ 알고리즘을 사용한다. 이 작업은 윤곽이 그려진 부분을 매끄럽게 하고, 작은 균열과 길고 얇게 갈라진 구멍을 결합한다. 또

한 작은 구멍을 제거하고 윤곽선의 틈을 메운다. 그런 다음 더 많은 노이즈를 제거하기 위해 적응 미디언 필터가 다시 적용된다.



An illustration of morphological closing. (a) Original filtered binary image, (b) After morphological closing operation.

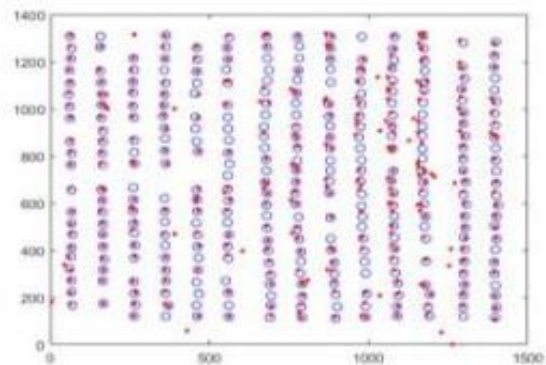
- 마지막 단계에서는 구성요소들을 연결해 준다 (Connected Component). 영상에서 픽셀 연결 또는 연결된 구성 요소를 개별 및 독립개체라고 한다. 이렇게 연결된 각 구성요소의 경계를 그린 다음 연결된 각 구성요소에 대한 중심 포인트를 생성한다. 각 중심 포인트는 벡터 작물 수로 계수한다. 이것은 총 작물 수를 의미한다. 마지막으로 그 결과가 표시된다.



영상분석 순서에 따른 결과

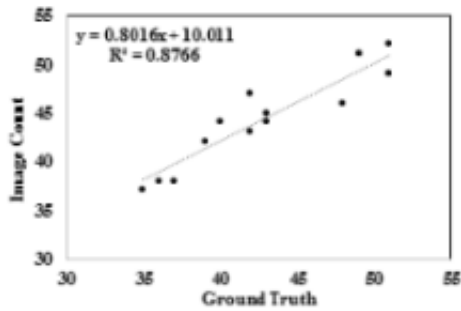


F01S02C0101D160617 영상



결과

- 실험 결과 Ground Truth와 영상분석을 통해 얻어진 작물의 위치좌표와의 상관관계 계수는 0.8766으로 만족스러운 결과를 나타내었다.

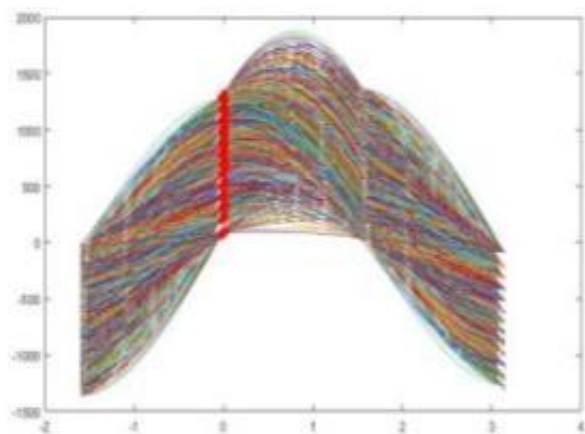
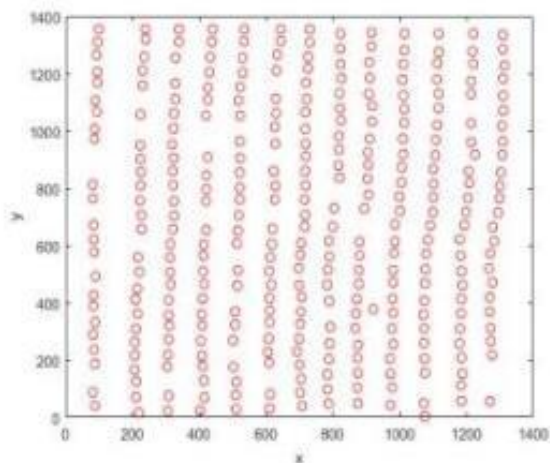


| Sample | Ground truth | No of plant | TP | FP | FN | Recall | Precision | F-measure |
|---------|--------------|-------------|----|----|----|--------|-----------|-----------|
| Im 01 | 37 | 38 | 31 | 6 | 5 | 0.86 | 0.84 | 0.85 |
| Im 02 | 43 | 44 | 38 | 6 | 6 | 0.86 | 0.86 | 0.86 |
| Im 03 | 43 | 45 | 35 | 5 | 6 | 0.85 | 0.88 | 0.86 |
| Im 04 | 36 | 38 | 33 | 6 | 5 | 0.87 | 0.85 | 0.86 |
| Im 05 | 35 | 37 | 33 | 4 | 3 | 0.92 | 0.89 | 0.90 |
| Im 06 | 40 | 44 | 38 | 6 | 4 | 0.90 | 0.86 | 0.88 |
| Im 07 | 48 | 46 | 42 | 8 | 5 | 0.89 | 0.84 | 0.87 |
| Im 08 | 42 | 43 | 36 | 6 | 2 | 0.95 | 0.86 | 0.90 |
| Im 09 | 51 | 49 | 43 | 4 | 2 | 0.96 | 0.91 | 0.93 |
| Im 10 | 49 | 51 | 42 | 9 | 3 | 0.93 | 0.82 | 0.88 |
| Im 11 | 51 | 52 | 47 | 6 | 3 | 0.94 | 0.89 | 0.91 |
| Im 12 | 51 | 49 | 45 | 7 | 5 | 0.90 | 0.87 | 0.88 |
| Im 13 | 49 | 51 | 43 | 4 | 2 | 0.96 | 0.91 | 0.93 |
| Im 14 | 39 | 42 | 36 | 4 | 2 | 0.95 | 0.90 | 0.92 |
| Im 15 | 42 | 47 | 37 | 7 | 4 | 0.90 | 0.84 | 0.87 |
| Average | | | | | | 0.91 | 0.87 | 0.89 |

(2) 작물 주변 라인 검출 및 클러스터링

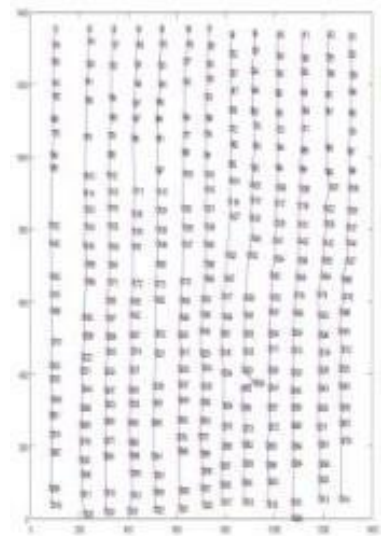
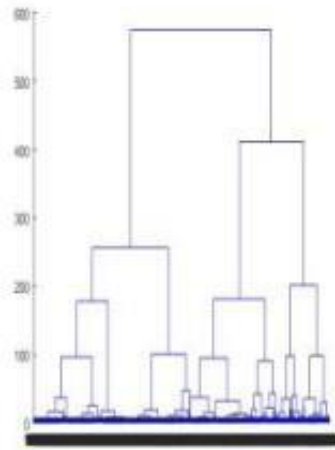
(가) Hough transform.

- 개별 Cell에서 작물이 구성하고 있는 라인을 검출하기 위해서 Hough transform을 이용하여 각각의 작물위치 좌표(x-y 좌표계)를 r-θ 좌표계로 변환 후에 수직 성분에 대해서 라인검출을 실시하였다.



(나) Hierarchical clustering

- Hough transform에서 x - y 좌표를 r - θ 좌표계로 변환 후 수직성분에 해당하는 범위의 교점 데이터집합에서 각 라인별로 세부 클러스터링을 위해 Hierarchical clustering을 사용하였다.
- 응집형 계층적 클러스터링은 주어진 데이터에서 개별 데이터 하나하나를 독립된 하나의 클러스터로 가정하고 이들을 특정 알고리즘에 의해 병합하여 상위단계 클러스터를 구성한다. 이렇게 구성된 상위단계 클러스터를 특정 알고리즘에 또 다시 병합하여 최종적으로 데이터 전체를 멤버로 하는 하나의 클러스터로 구성하는 방법이다.
- 이 연구에서는 단순연결(single linkage)방법을 이용하여 한 cell에 구성된 개별 작물라인을 클러스터링 하였다. 단순연결 기법은 2개의 클러스터에서 각 클러스터에 속하는 멤버 사이의 거리가 가장 가까운 거리를 모두 계산하고, 이 값들 중 가장 작은 값을 가지는 2개의 클러스터를 병합하여 상위 단계 클러스터를 구성하는 방법이다.



Hierarchical clustering

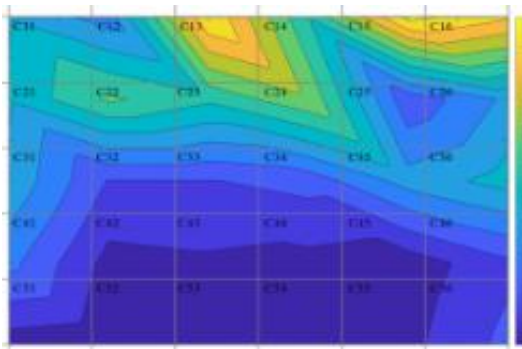
(3) 주간 간격, 결주율, 작물 밀도, 생산량 예측, 이상치 검출

(가) 주간 간격

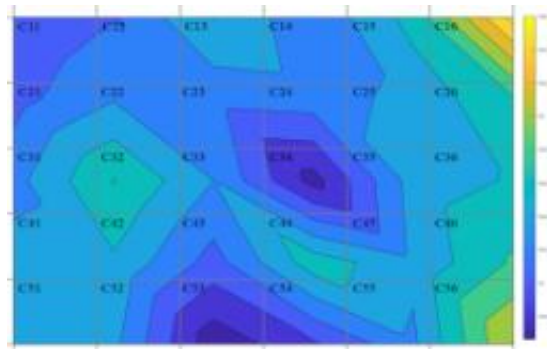
- 각 Cell단위에서 구해진 작물 좌표 값을 통해 작물과 작물사이의 개별거리와, 평균 거리를 계산하여 이앙 및 생육 특성을 분석하였다.
- 정부에서 제안하는 재식밀도는 벼의 경우 14×30 cm 이며 밀식을 하게 되면 벼 군락 내의 통풍이 나빠지고 공기습도가 높아져 이와 같은 병해충의 발생을 더욱 조장하는 결과를 초래하게 되고 이는 생산량 감소로 이어지게 된다.
- 소식을 하게 되면 단위 면적당 이삭수가 적어져 이 또한 생산량의 감소로 이어진다.
- 따라서 단위면적당 적정 재식 수 조절과 적절한 재식밀도는 생산량을 증가시킬 수 있는 하나의 중요 요인이다.
- Section1의 결주 위치를 제외한 평균 주간거리는 15.86559cm 최대 19.6cm, 최소 14.01인

것으로 나타났다. 주간거리가 가장 넓은 구역과 좁은 구역은 각각 C15, C54이다.

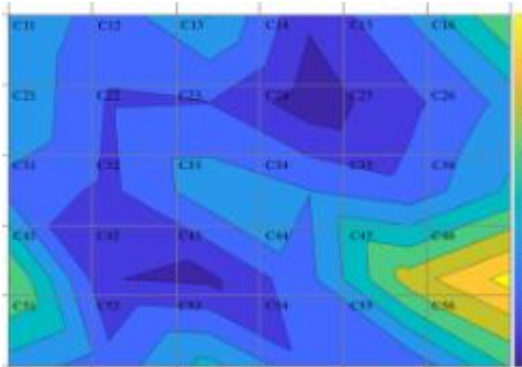
- Section2의 결주 된 곳을 제외한 평균 주간거리는 14.44cm이고 가장 주간거리가 좁은 곳은 C53구역으로 평균 주간 거리가 13.66cm으로 좁다. 주간거리가 가장 넓은 구역은 SC16로 15.67cm인 것으로 나타났다.
- Section3의 평균 주간간격은 14.64cm이며 주간간격이 넓은 구역은 C46구역으로 15.67cm이고 좁은 곳은C24 구역으로 14.08cm인 것으로 나타났다.
- Section4의 평균 주간간격은 15.08cm이며 주간간격이 넓은 구역은 C42구간으로 16.41cm이며 최저 값은 C12구역 13.94cm인 것으로 나타났다.
- 전체적으로 결주를 제외한 작물간의 평균 거리는15cm 간격으로 이양되어있음을 알 수 있다.



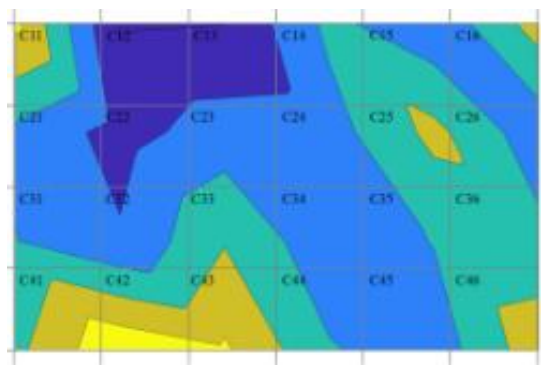
Section1 평균 주간거리



Section2 평균 주간거리



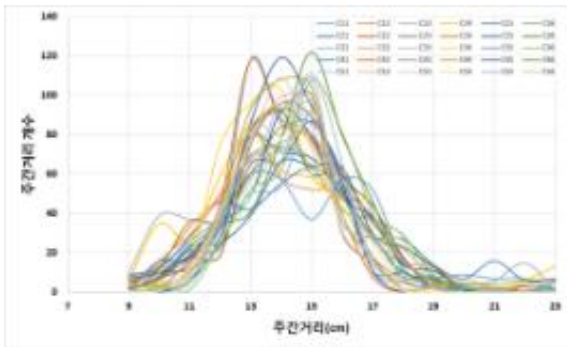
Section3 평균 주간거리



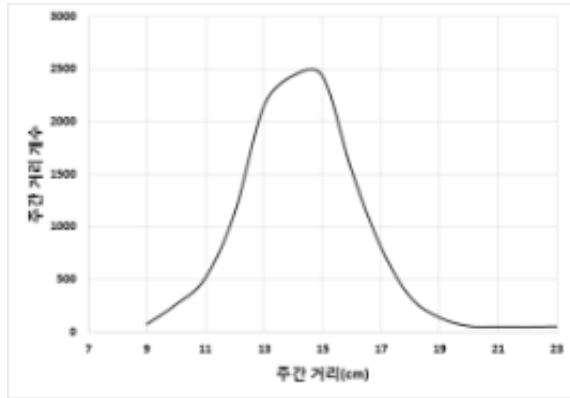
Section4 평균 주간거리

| | Average(cm) | Min(cm) | | Max(cm) | |
|----------|-------------|---------|----------|---------|----------|
| | | value | location | value | location |
| Section1 | 15.86 | 14.01 | C54 | 19.6 | C15 |
| Section2 | 14.44 | 13.66 | C53 | 15.67 | C16 |
| Section3 | 14.64 | 14.08 | C24 | 15.67 | C46 |
| Section4 | 15.08 | 13.94 | C12 | 16.41 | C42 |
| average | 15.005 | 13.92 | | 16.83 | |

- 주간 거리별 작물 사이의 거리 개수에 따른 분포도 결과는 다음 그래프와 같다.

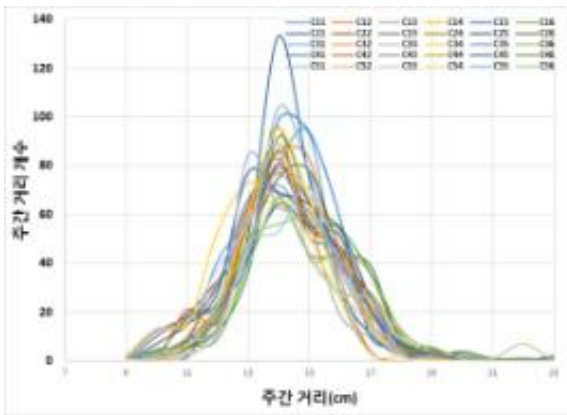


Cell

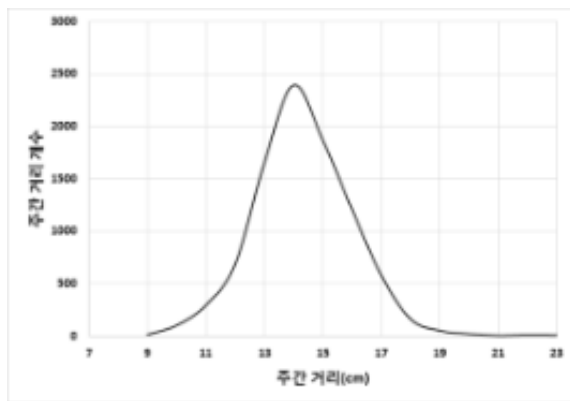


Section

Section1 주간 거리에 따른 거래 개수

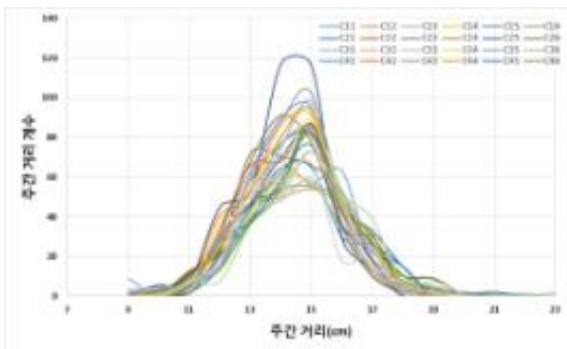


Cell

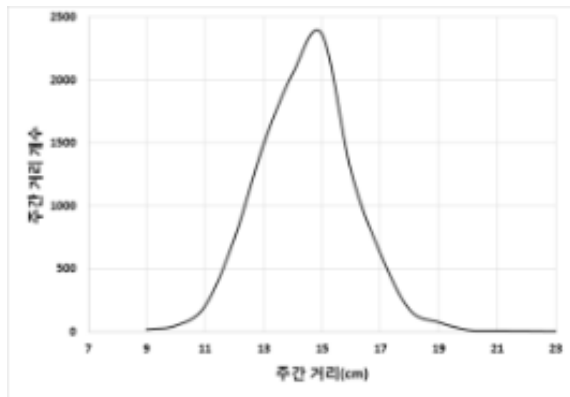


Section

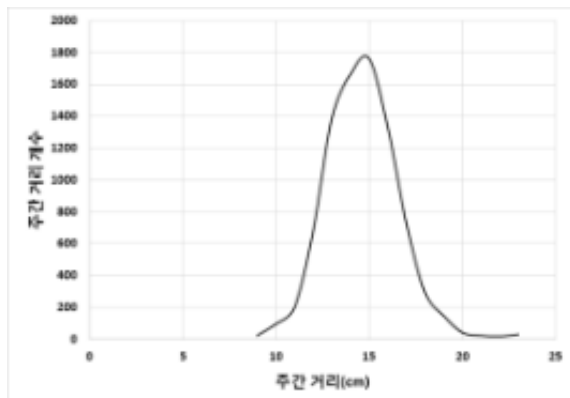
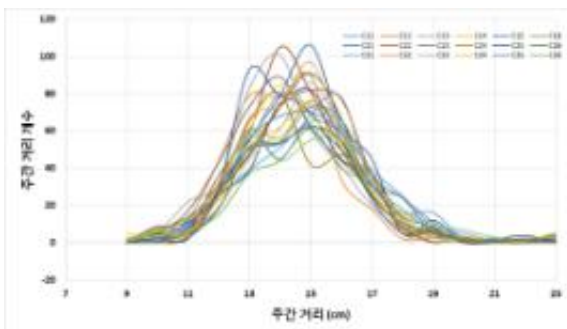
Section2 주간 거리에 따른 거래 개수

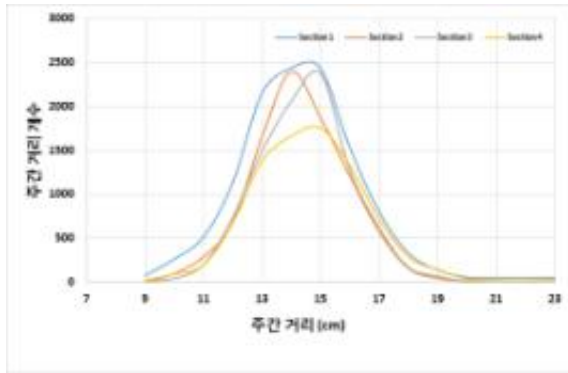


Cell

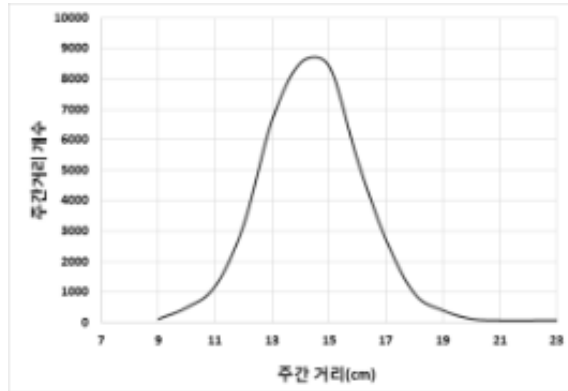


Section





Section



Field

(나) 결주율 및 결주개수

- 한 라인의 관측된 각각의 주간 거리를 바탕으로 결주 개수 및 결주율을 구하기 위해서는 관측된 작물의 주간거리를 측정하여 도출한 결과 중에서 이상치 데이터 즉, 작물과 작물사이의 거리가 전체데이터와 비교했을 때 비정상적으로 큰 부분을 결주가 된 부분으로 판단하고 처리한다.
- 통계학에서 이상치 데이터는 관측된 데이터의 범위에서 75%이상의 값으로 정의하고 있으며 이에 기반을 두어 이상치 데이터의 판단 유무를 결정한다.
- 이상치 데이터를 구하기 위해서는 수식 (1)과 (2)를 통해 ‘제1 사분위수’와 ‘제 3 사분위수’를 먼저 구한 후 구해진 결과 값을 바탕으로 수식 (3)의 ‘사분위 범위’를 계산하여 이상치 데이터의 범위를 정의한다.

$$first\ quartile = \frac{Number\ of\ data + 1}{4} \dots\dots\dots(1)$$

$$third\ quartile = \frac{3 * (Number\ of\ data + 1)}{4} \dots\dots\dots (2)$$

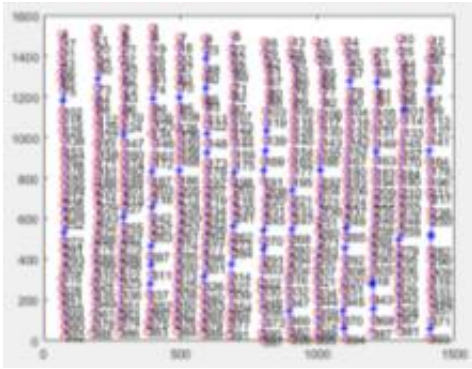
$$range\ of\ quartile = third\ quartile - first\ quartile \dots\dots\dots (3)$$

range of outlier

$$outlier_{min} = first\ quartile - 1.5 * range\ of\ quartile$$

$$outlier_{max} = third\ quartile + 1.5 * range\ of\ quartile$$

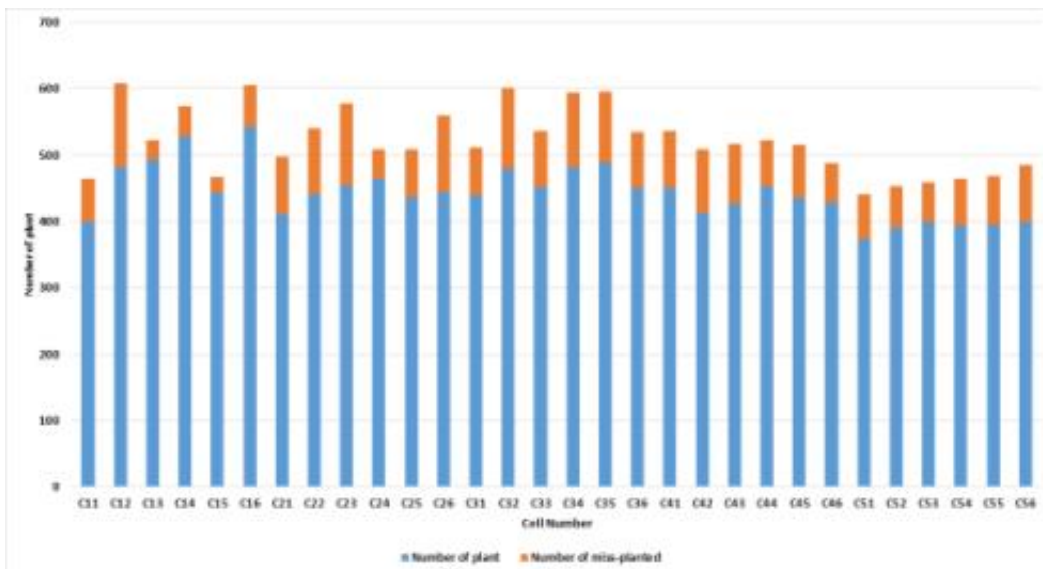
- 관측된 데이터 중 $outlier_{max}$ 보다 큰 데이터는 이상치로 판단하고, 이상치 데이터를 결주된 위치로 판단, 이상치의 크기에 따라 결주 개수를 산출할 수가 있다.
- 각 주별 작물의 개수를 산출하고, 이상치 값을 기반으로 결주 위치와 결주 개수 결주율을 계산한다.
- 각 Cell별 결주 위치 또한 파악이 가능하며 각각의 결주 위치는 아래 그림과 같이 파란색 별모양으로 표시되어있다.



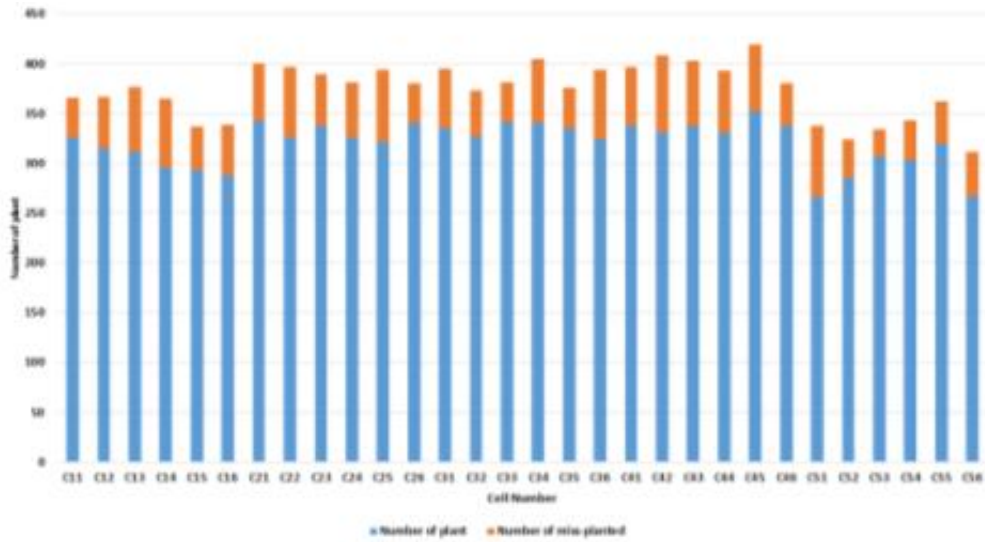
Section4-Cell13,14 결주 위치

- 알고리즘을 적용하여 각 Section과 Cell별 작물개수와 결주개수에 대한 결과 값은 아래 표에 요약되어있다.
- field1 전체 결주율은 15.17%이며 결주율이 가장 적은 Cell은 Section1에 C15구역 4.925%이며 가장 결주율이 가장 높은 구역은 Section4의 C33구역 22.44%로 나타났다.
- Section1~4의 평균 결주율은 각각 15.02%, 14.42%, 14.5%, 16.75%

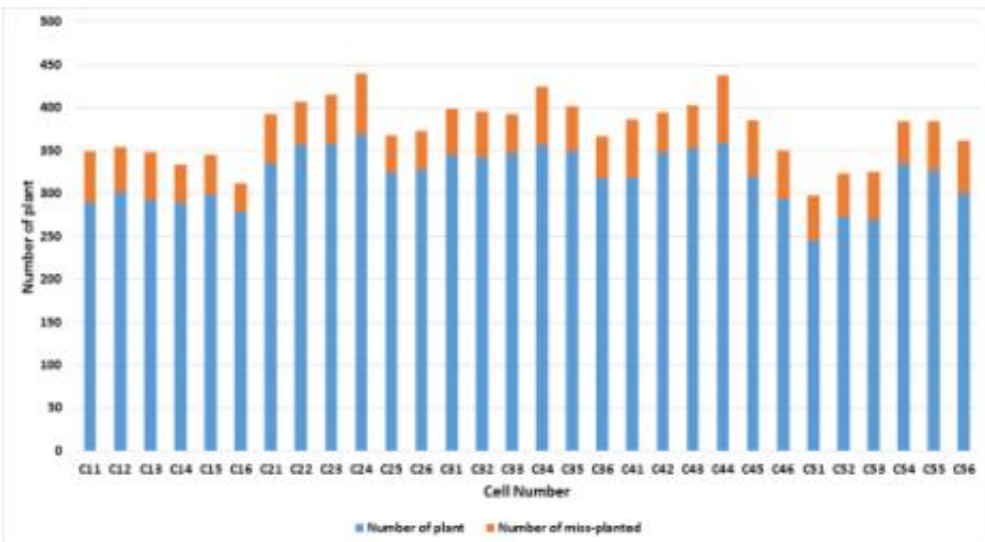
| | Miss Planted rate (%) | Min (%) | | Max (%) | |
|----------|-----------------------|---------|----------|---------|----------|
| | | value | location | value | location |
| Section1 | 15.024 | 4.925 | C15 | 21.28 | C23 |
| Section2 | 14.42 | 8.08 | C53 | 21.3 | C51 |
| Section3 | 14.5 | 10.46 | C25 | 18.03 | C44 |
| Section4 | 16.72 | 11.42 | C14 | 22.44 | C33 |
| average | 15.17 | 8.7 | | 20.75 | |



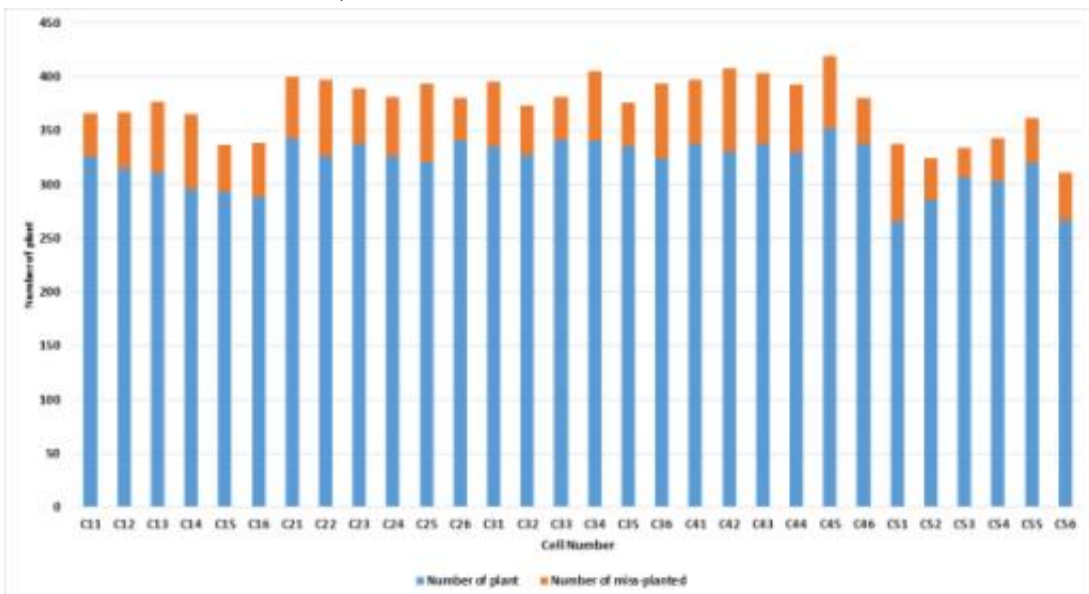
Section 1, 각 Cell의 작물 개수와 결주 된 작물 개수.



Section 2, 각 Cell의 작물 개수와 결주 된 작물 개수.



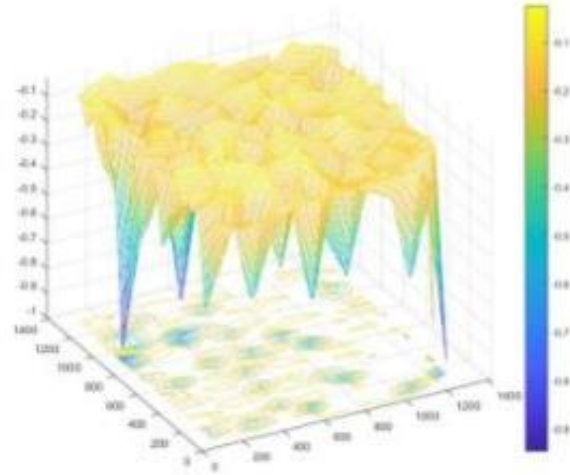
Section 3, 각 Cell의 작물 개수와 결주 된 작물 개수.



Section 4, 각 Cell의 작물 개수와 결주 된 작물 개수.

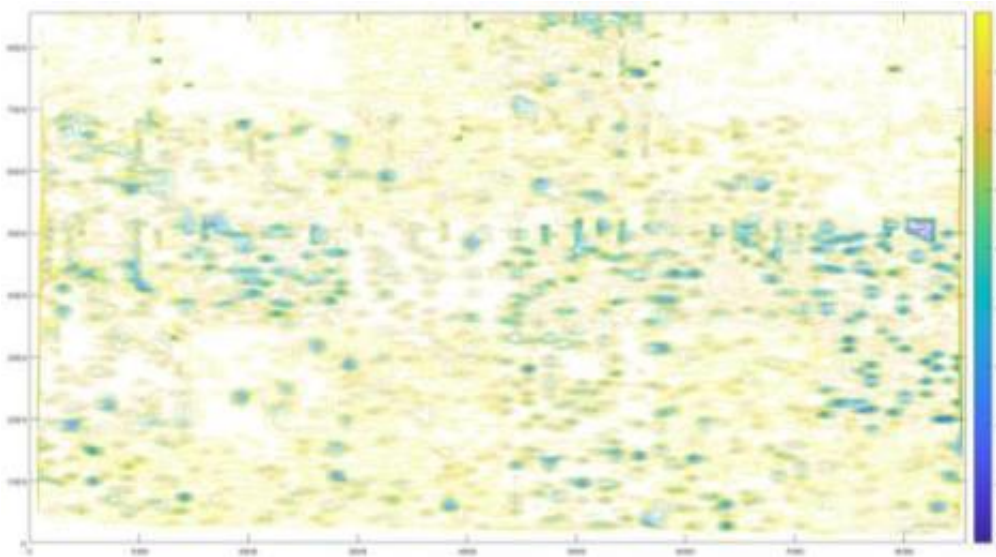
(다) 작물 밀도

- 위의 결과를 토대로 각 Cell별 작물의 밀도를 시각화 하였다. 작업은 cell단위로 작물의 밀도를 계산하고 section 전체에 대한 밀도 그래프를 산출하여 시각화 작업을 진행하였다.
- 그래프의 노란색 부분은 작물이 밀도가 높은 부분이며 파란색으로 갈수록 밀도가 낮다는 것을 의미한다.

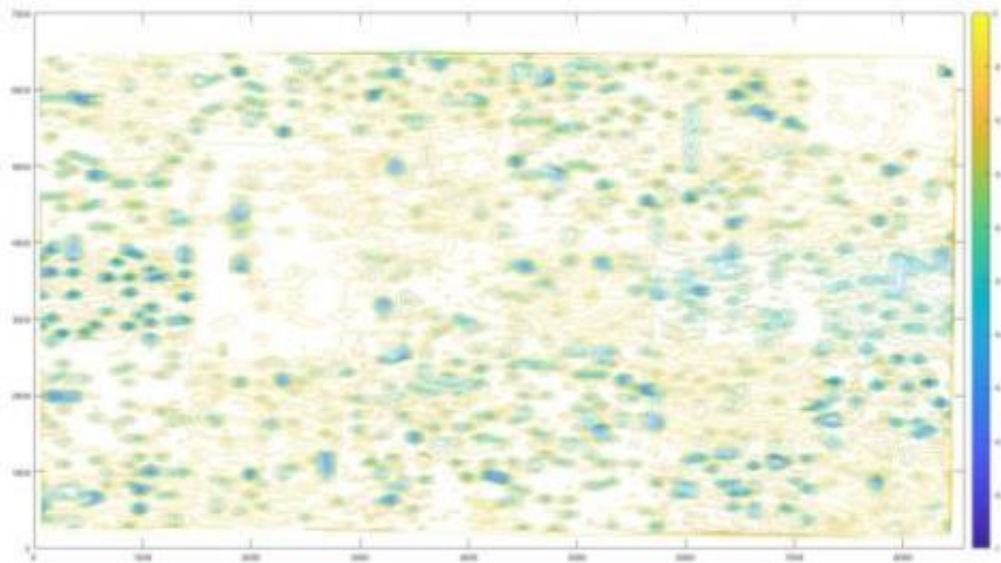


작물 밀도 수치

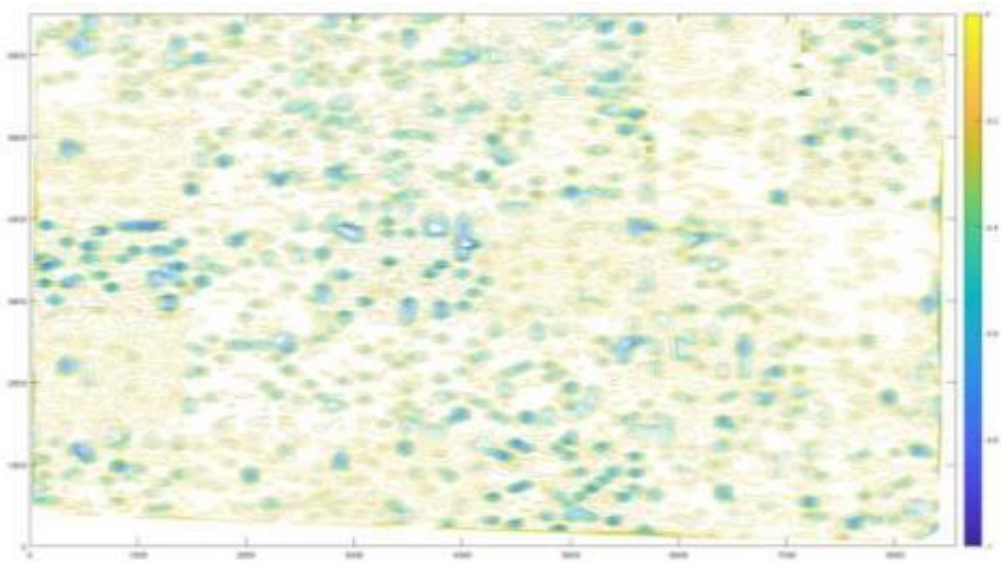
○ Section1-4의 전체 구역별 작물 밀도 분포도는 아래 그림과 같다.



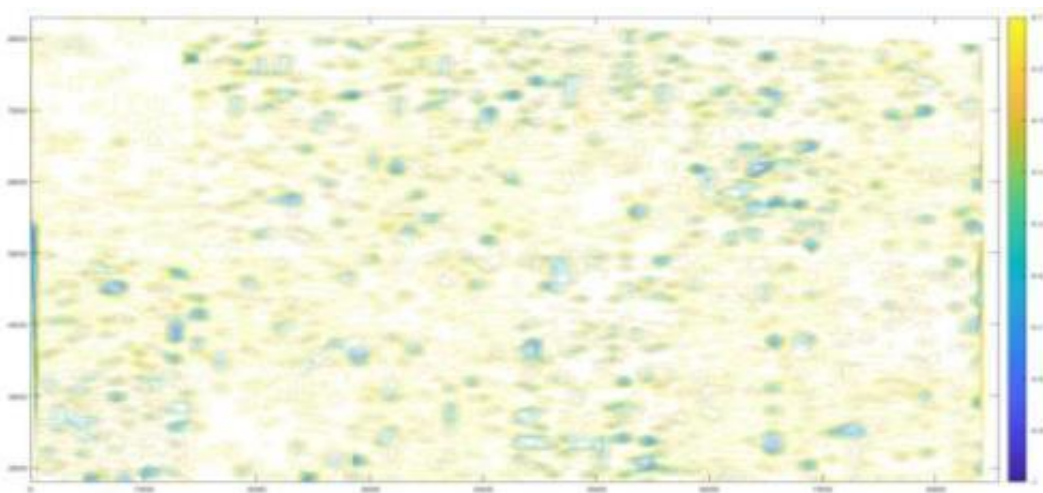
Section1 작물 밀도 분포



Section2 작물 밀도 분포



section3의 작물 밀도 분포



Section4의 작물 밀도 분포

라. 식물생육 중 이상 영역 추출

(1) 이상영역의 정의

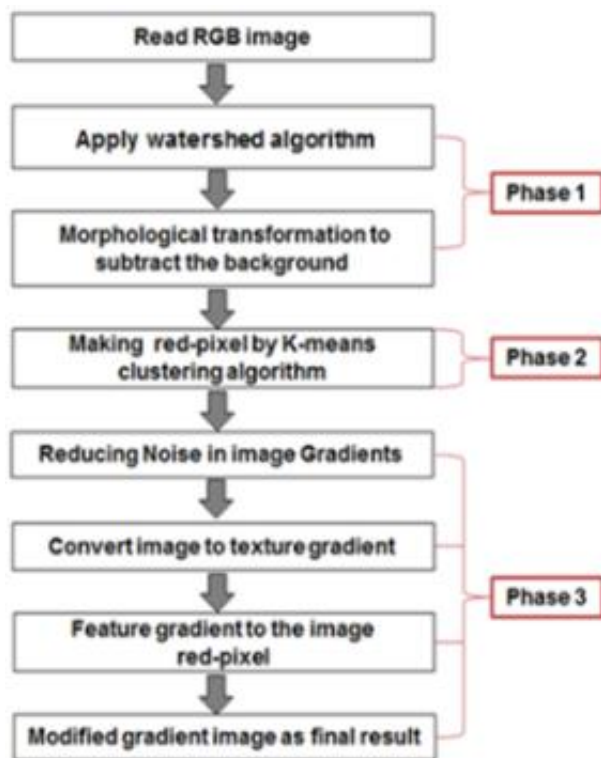
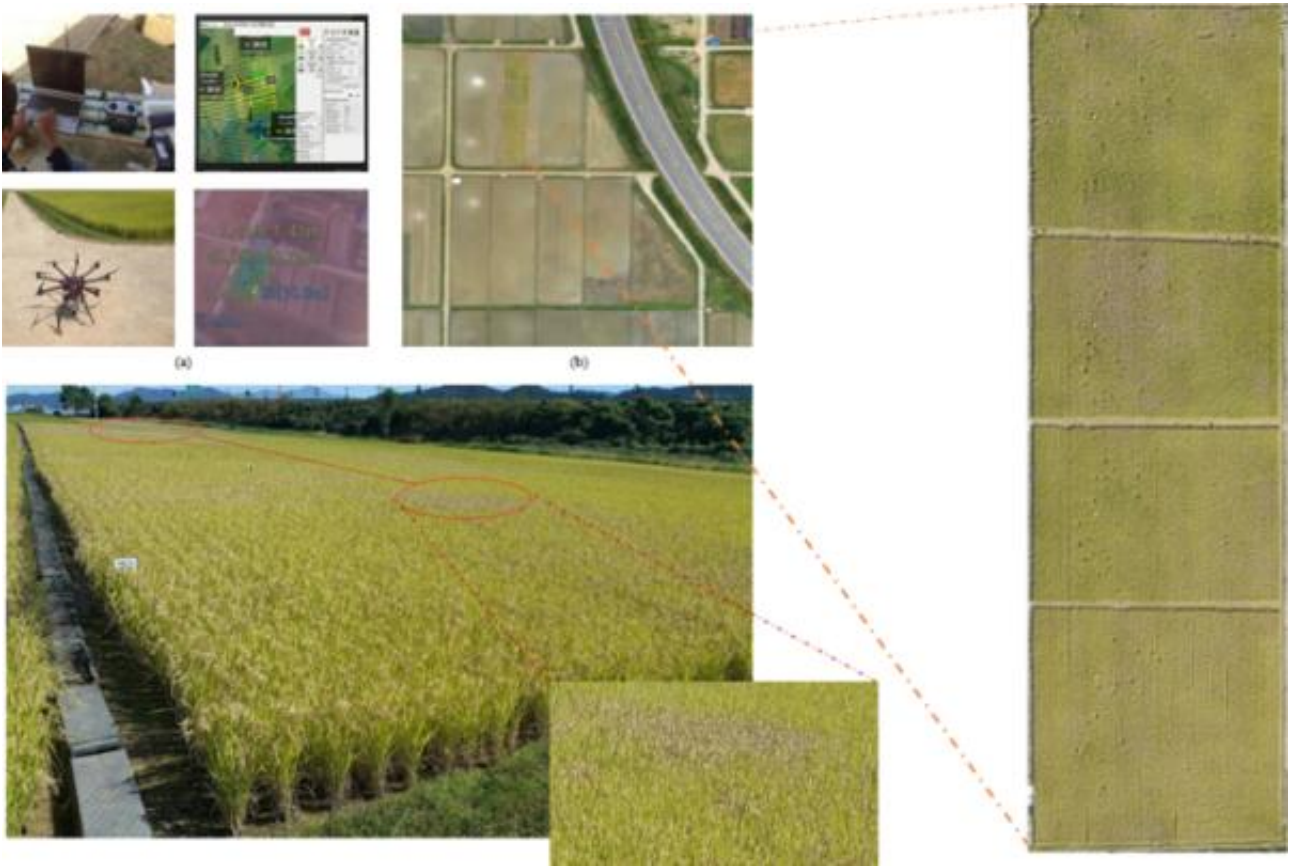
- 농지에 병, 해충과 풍수 등의 영향으로 특정 영역의 색상이 상이한 곳을 이상 영역으로 정의한다.

(2) 이상영역 추출

- 농지에 병, 해충과 풍수등의 영향으로 주변의 벼 색상과 다른 영역을 워터셰드 알고리즘과 모폴로지컬 알고리즘을 통해 배경영상을 제거하고 잡음을 제거한 후에 수정된 그라디언트 영상을 통해 이상영역을 결정한다.



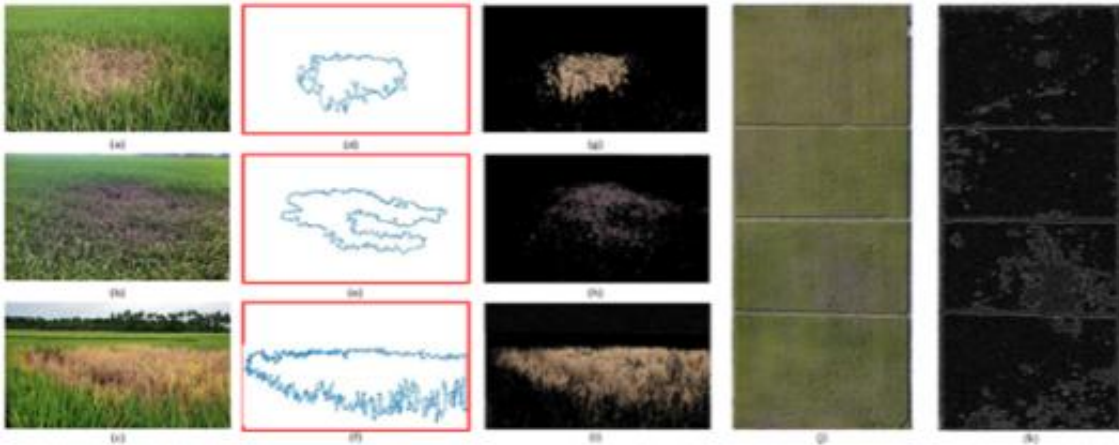
생육기간 중 농지 내 이상영역 추출 대상



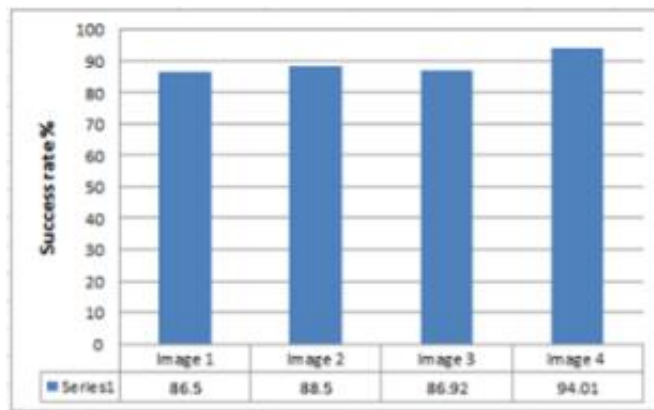
제안 방법의 흐름도

- 아래 그림 (a)은 대상 농지의 이상영역 원본영상이며, (b)는 추출하고자하는 그라운드트루

영상이다. 그리고 (c)는 제안된 방법에 의해 추출된 이상영역 영상이다. (d) 영상은 전체 대상 농지의 영상이고 (e)는 이상영역을 추출한 영상이다. 전체 영상에 대해 88.98%의 정확도를 획득하였다.



단계별 이상영역 획득 결과



이상영역 검출 정확도

마. 생육기 및 수확전후 낱알 검출 및 수확량 예측

기 간: 수확전 생육기

방 법: Color based segmentation, graphcut segmentation, K mean clustering

대 상:

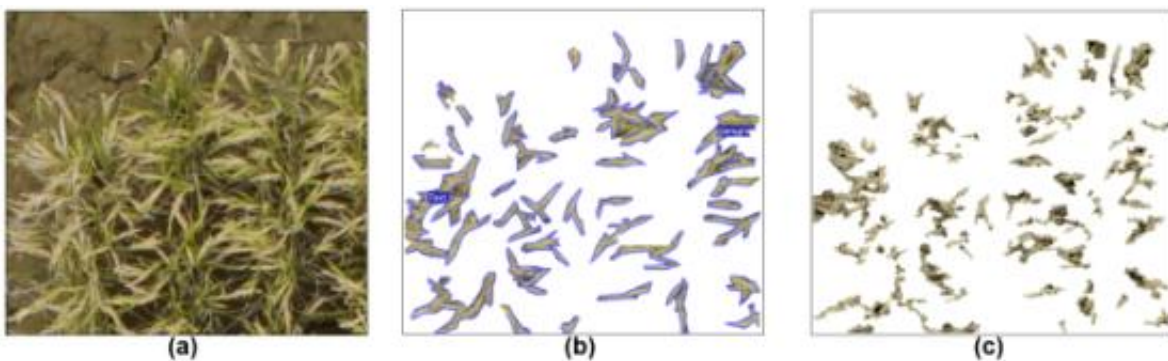


그림. (a) 기존 RGB 이미지. (b) RGB 이미지 실측자료. (c) 벼 이삭 부분 이미지.

○ 측정영역

- 이 연구는 전라남도 나주에 위치한 전라남도농업기술원 식량작물연구소 내 실험 포장에서 실시함.
- 2580m² 크기의 벼를 생육하는 포장이며 이앙 날짜로부터(2016년 5월 25일) 15일 간격으로 실험포장의 생육상태를 저고도 드론을 이용하여 RGB영상을 획득함.

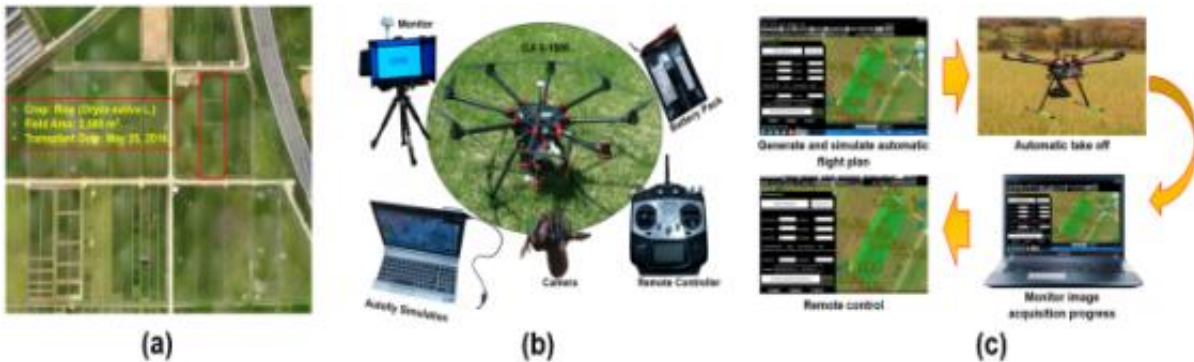


그림 1. (a) 연구 필드. (b) 회전익 UAV (model: DJI-S1000). (c) UAV 자동 비행 경로 시뮬레이션.

○ 데이터 획득 시스템

- 실험포장의 생육 영상은 회전익 방식의 드론(model: DJI-S1000; Geospatial Information Co. Ltd.)을 이용하여 지상으로부터 11m의 고도와 2.5m/s의 속도로 비행하며 촬영하였으며 24MP의 CMOS 타입의 이미지센서가 장착된 Sony Alpha a5100을 사용함.
- 실험에 사용한 드론과 카메라의 자세한 사항은 표 1과 같음.

표 1. 필드 내 데이터 획득을 위해 사용된 UAV 와 카메라의 파라미터

| 회전익 UAV | | 카메라 (Sony Alpha a5100) | |
|----------------------|-----|------------------------|----------|
| 고도 (m) | 11 | 이미지 센서 | CMOS |
| 비행 속도 (m/s) | 2.5 | F-stop | f/1.8 |
| 지상 샘플링 거리 (cm/pixel) | 0.2 | 노출 시간 | 1/2500 s |
| 이미지 획득 시간 (min/ha) | 15 | ISO | 200 |
| 최대 비행 시간 (min) | 15 | 초점 거리 | 50 mm |

○ 이미지 묘사 및 실측자료

- 수집된 영상의 해상도는 6000*4000pixel (Figure 2a). 수집된 영상 전체에서 임의로 20개의 이미지를 선택하고 각각의 이미지에서 임의로 4부분을 600*400 (Figure 2b) 크기로 추출하여 80개의 테스트 영상을 확보.
- 테스트영상 80개에 대해 Ground truth를 Aletheia Pro (version 3.1.906) (Prima tools, supported by University of Salford, Manchester, UK) 소프트웨어를 이용하여 나락 부분을 추출하여 실험결과의 정확도를 측정하기 위해 사용.

- 각 영상에서 작물의 나락부분에 다각형 모양 (그림 2c) 의 영역을 생성하고 다각형의 면적을 계산하여 실험결과와 비교함.

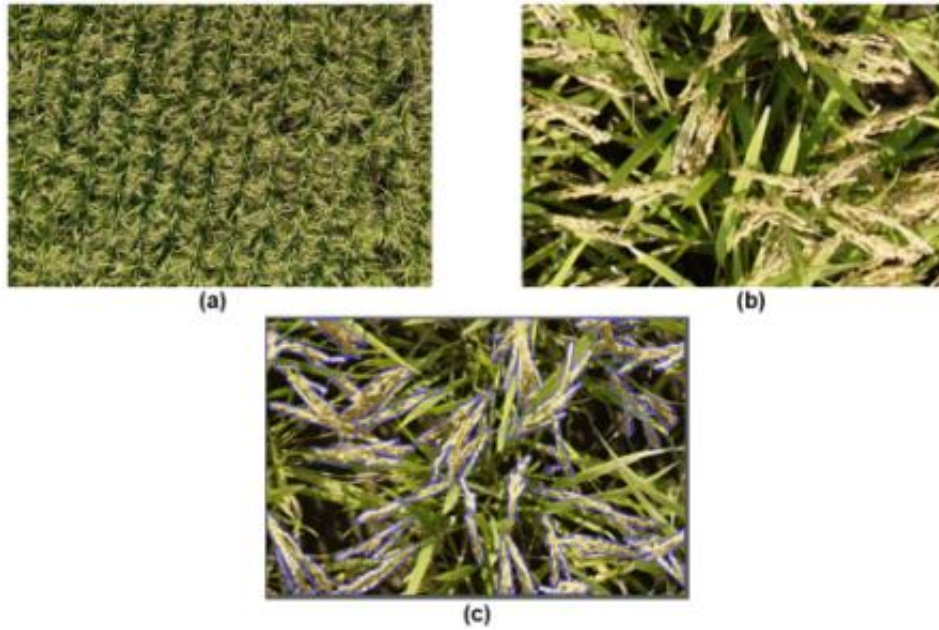


그림 2. (a) 필드 기존 이미지(6000×4000). (b) 추출 이미지(600×400); (c) 벼 이삭의 다각형 영역 실측자료 이미지.

○ 이미지 세그멘테이션

- remote sensing에서 image segmentation method는 이미지의 유사영역에 대한 탐색과정과 유사영역에 대한 분류를 수행한다. 주어진 이미지를 ‘I’ , 이미지에서 image segmentation 과정을 통해 만들어진 분할된 구획을 ‘n’ 으로 정의하며 분할된 구획들은 아래 수식에 의해 표현된다. (Burney and Tarik, 2014) :

$$U_{i=1}^n R_i = I \quad (1)$$

$$R_i \cap R_j = \emptyset \quad \text{with } i \neq j \quad (2)$$

$$H(R_i) = TRUE \quad \forall I \quad (3)$$

$$H(R_i \cup R_j) = FALSE \quad \forall R_i \text{ and } R_j \text{ adjacent} \quad (4)$$

- 수식 (1)과 (2)는 이미지 ‘I’ 에서 분할된 영역의 형태를 설명함.
- 수식 (3)과 (4)는 유사한 역영과 상이한 영역의 분할 성분 특성을 설명한다.

○ K-mean Clustering

- 이 알고리즘은 centroid 집합으로 표현되는 K clusters (C1, C2, C3, ……., Ck)로 데이터 집합을 분류하는 쉽고 간단한 방법이며 수식(5)로 표현됨.

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - C_j\|^2 \quad (5)$$

$\|x_i^{(j)} - C_j\|^2$ where, is a chosen distance measure between a data point and a cluster center C_j , is the index of the distance for n data point from their particular cluster centers.

□ 제안방법 (Color based Segmentation using K mean Clustering)

○ RGB to Lab Color Space Conversion

- 이 연구에서 제안한 방법의 순서도는 Figure 3과 같음.
- 제안한 방법의 첫 번째 단계는 UAV를 통해 수집한 영상을 불러온 후 Median filter를 적용하여 노이즈를 제거하고 두 번째로 노이즈가 제거된 true color영상을 Lab color space 영상으로 변환함.
- Lab space는 광도층 L과 색도층 a,b로 구성되어 있으며 각각 red-green축과 blue-yellow축을 따라 색상이 떨어지는 지점을 나타냄.
- 계수를 계산하기위한 변환 공식은 수식 (6), (7), (8)과 같음(Wu et al., 2007).

$$X = 0.4303R + 0.3416G + 0.1784B \quad (6)$$

$$Y = 0.2219R + 0.7068G + 0.0713B \quad (7)$$

$$Z = 0.0202R + 0.1296G + 0.9393B \quad (8)$$

- Lab color space는 수식 (9), (10), (11)에 의해 계산됨.(Gul-Mohammed et al., 2014)

$$L = 116 \left(h \left(\frac{Y}{Y_s} \right) \right) - 16 \quad (9)$$

$$a = 500 \left(h \left(\frac{W}{W_s} \right) \right) - h \left(\frac{Y}{Y_s} \right) \quad (10)$$

$$b = 200 \left(h \left(\frac{Y}{Y_s} \right) - h \left(\frac{Z}{Z_s} \right) \right) \quad (11)$$

$$h(q) = \begin{cases} \sqrt[3]{q} & q > 0.008856 \\ 7.787q + \frac{16}{116} & q \leq 0.008856 \end{cases} \quad (12)$$

where, Y_s , W_s , and Z_s are the standard stimulus coefficients.

- 모든 색상 정보는 a 및 b layer에 포함되며 따라서 본 연구에서 제안한 방법은 a,b공간에 색상을 할당하기 위한 k-means clustering을 사용함.
- 관심영역을 포함하는 1차 segment영역이 선택되며 Euclidean distance metric에 기반을 두어 두 색상 간의 차이를 측정.

○ k-means clustering 을 이용한 ‘ab’ 공간의 색상 분류

- K-means clustering은 주어진 데이터를 k개의 클러스터로 묶는 알고리즘으로, 각 클러스터와 거리차이의 분산을 최소화하는 방식으로 동작함.
- 색상정보가 ‘ab’ 공간에 남아 있기 때문에 객체 픽셀은 ‘a’ 및 ‘b’ 값을 가진다. 이 연구에서는 Euclidean distance metric에 기반을 둔 K-means를 사용하여 객체를 3개로 클러스터링함.

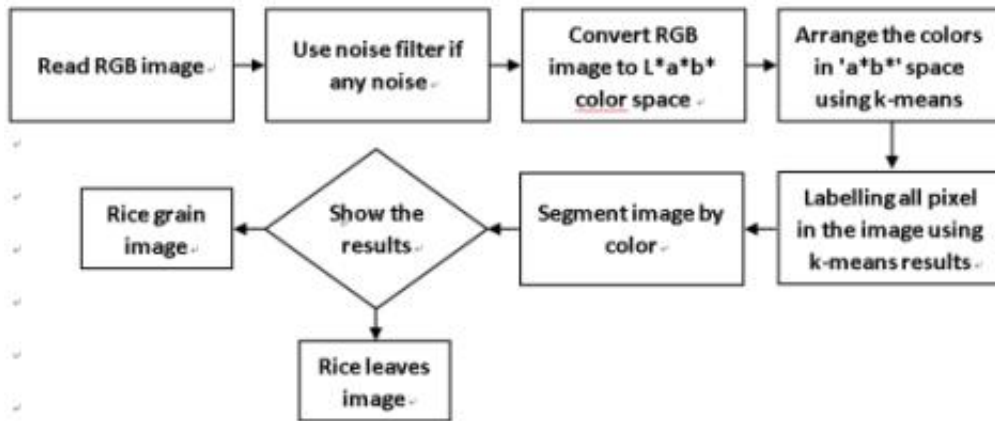


그림 3. Flow chart of rice grain area segmentation algorithm.

○ Label pixels and Segment Image by Color

- 입력의 경우 k-means는 cluster에 해당하는 index를 반환하여 cluster index를 사용하여 영상의 픽셀 label을 지정.
- 픽셀 label 지정을 통해 이미지의 객체를 색상별로 구분이 가능.

○ 분할된 벼 이삭 이미지와 면적 측정

- segmentation과정을 수행 후에 쌀의 곡물과 벼 잎을 이미지 배경에서 분리가 가능함. 분리된 영상에서 곡물의 영역의 면적을 계산하여 Ground truth와 비교.

○ 성능 평가

- 알고리즘을 사용한 결과이미지에서의 곡물 영역과 테스트 샘플에서 생성한 Ground truth 곡물 영역을 Shoelace algorithm을 이용하여 곡물 영역의 면적을 측정함. 이 알고리즘은 직교좌표계에서 정점들로 이루어진 단순 다각형의 면적을 계산하는 방법이다.



그림 4. 벼 이삭의 다각형 영역 이미지.

- Shoelace algorithm은 아래와 같은 수식으로 표현.

$$A = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{n-1} x_i y_{i+1} + x_n y_1 - \sum_{i=1}^{n-1} x_{i+1} y_i - x_1 y_n \right|$$

$$A = \frac{1}{2} |x_1y_2 + x_2y_3 + \dots + x_{n-1}y_n + x_ny_1 - x_2y_1 - x_3y_2 - \dots - x_ny_{n-1} - x_1y_n|$$

where,

A is the area of the polygon,

n is the number of sides of the polygon, and

(x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ are the vertices (or “corners”) of the polygon

또는

$$A = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n x_i(y_{i+1} - y_{i-1}) \right| = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n y_i(x_{i+1} - x_{i-1}) \right| = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i \right| = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n \det \begin{pmatrix} x_i & x_{i+1} \\ y_i & y_{i+1} \end{pmatrix} \right|$$

where,

$$x_{n+1} = x_1 \text{ and } x_0 = x_n, \text{ as well as } y_{n+1} = y_1 \text{ and } y_0 = y_n$$

- 알고리즘의 성능평가를 위해 Precision, Recall, and F-Measure 항목에 대하여 결과를 측정하였다. 각 항목에 대한 수식은 아래와 같다. (Gul-Mohammed et al., 2014)

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (13)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (14)$$

$$F = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (15)$$

- 여기서 TP는 곡물의 검출 정확도를 나타내며 TN은 곡물이 아닌 영역을 검출하지 않는 정확도를 표시한다. 마지막으로 FP는 곡물이 영역을 검출하지 못하는 에러를 나타낸다.

Percent Error Calculation

- 에러의 백분율은 original value와 measured value 사이의 차이로 계산되며 수식은 아래와 같다.

$$\% \text{ Error} = \frac{|Original \ value - Measured \ value|}{Original \ value} \times 100$$

□ 실험 결과

○ 데이터 세트

- 실험에 사용된 영상은 UAV를 이용하여 벼 작물 상공 11m높이에서 촬영하였으며 수집한 영상에서 80개의 테스트 이미지를 랜덤 방식으로 추출하고 Aletheia Pro 소프트웨어를 이용하여 Ground truth를 생성하여 제시한 알고리즘의 결과와 비교하였다. 이 연구에 사용된 알고리즘을 통해 곡물의 영상을 segment화하고 곡물의 영역을 자동으로 추출하여 생산량 예측하였으며 알고리즘을 통한 곡물의 면적추산과 Ground truth를 통한 곡물의

면적추산 대비는 표 3.에 정리하였다.

○ 이미지 분할

- 영상분석 알고리즘의 세 번째 단계까지는 이미지의 기본 변환과 노이즈제거를 위한 필터 사용에 관한 것이다(그림 5a, 4b).
- RGB영상은 Lab공간 (그림 4c)으로 변환되고 a,b공간에 색상 배치와 clustering index를 사용하여 각 픽셀에 label을 지정한며(그림 4d)
- 마지막으로 segment된 영상은 색상 clustering을 사용하여 원본영상에서 배경을 분리하였다.

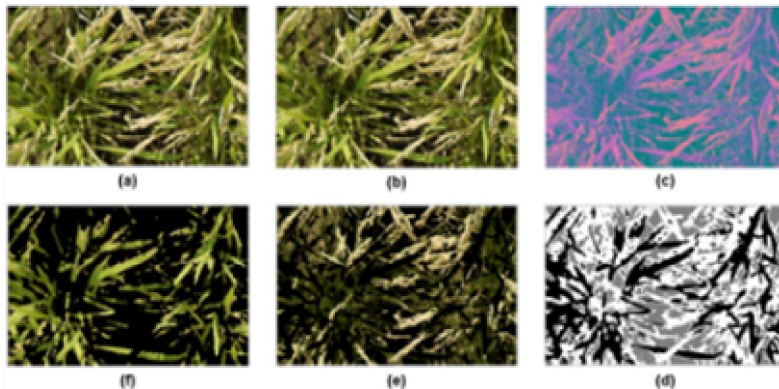


그림 5. (a) 기존 RGB 이미지. (b) 필터 처리 된 RGB 이미지. (c) Converted Lab spaced image; (d) Labelled image by cluster index; (e) 분할된 벼 이삭 이미지. (f) 분할된 벼 잎 이미지.

○ 성능 평가

- 테스트 영상을 무작위로 선별하여 벼 작물에서 곡물인식에 대한 true positive, false positive, and false negative를 테스트 하였다.
- Ground truth와 알고리즘의 결과에 의한 곡물 수는 Table 2에 정리되어있으며 이를 토대로 Recall, Precision, F-measure를 계산하였다.
- 실험결과 F-measure, Precision, Recall의 결과는 각각 87%, 94%, 90%로 나타났으며 Ground truth와 제안한 방법의 결과 사이의 R²값은 0.931로 높은 상관관계를 보였다.

표 2. Comparison of Rice grain panicle number by ground truth and image count.

| Sample | Ground truth | No of grain panicles | True positive | False positive | False negative | Recall | Precision | F-measure |
|----------|--------------|----------------------|---------------|----------------|----------------|--------|-----------|-----------|
| Image 01 | 21 | 24 | 20 | 1 | 3 | 0.87 | 0.95 | 0.91 |
| Image 02 | 22 | 20 | 18 | 3 | 2 | 0.90 | 0.85 | 0.87 |
| Image 03 | 26 | 24 | 20 | 5 | 4 | 0.83 | 0.80 | 0.81 |
| Image 04 | 23 | 23 | 22 | 2 | 1 | 0.95 | 0.91 | 0.93 |
| Image 05 | 25 | 27 | 22 | 5 | 4 | 0.84 | 0.81 | 0.83 |
| Image 06 | 44 | 44 | 38 | 6 | 4 | 0.90 | 0.86 | 0.88 |

| | | | | | | | | |
|----------|----|----|----|---|---|------|------|------|
| Image 07 | 32 | 38 | 29 | 6 | 4 | 0.87 | 0.82 | 0.85 |
| Image 08 | 31 | 35 | 29 | 6 | 3 | 0.90 | 0.82 | 0.86 |
| Image 09 | 28 | 27 | 24 | 5 | 3 | 0.89 | 0.82 | 0.85 |
| Image 10 | 18 | 20 | 17 | 4 | 3 | 0.85 | 0.80 | 0.82 |
| Image 11 | 20 | 22 | 19 | 4 | 2 | 0.90 | 0.82 | 0.86 |
| Image 12 | 23 | 25 | 21 | 4 | 2 | 0.91 | 0.84 | 0.87 |
| Image 13 | 26 | 24 | 22 | 6 | 3 | 0.88 | 0.78 | 0.83 |
| Image 14 | 33 | 36 | 30 | 6 | 4 | 0.88 | 0.83 | 0.85 |
| Image 15 | 41 | 45 | 38 | 7 | 4 | 0.90 | 0.84 | 0.87 |
| Image 16 | 36 | 38 | 34 | 4 | 2 | 0.94 | 0.89 | 0.91 |
| Image 17 | 33 | 36 | 31 | 5 | 1 | 0.96 | 0.86 | 0.91 |
| Image 18 | 33 | 34 | 32 | 3 | 1 | 0.96 | 0.91 | 0.94 |
| Image 19 | 29 | 33 | 27 | 6 | 4 | 0.87 | 0.81 | 0.84 |
| Image 20 | 37 | 39 | 34 | 6 | 3 | 0.92 | 0.85 | 0.88 |
| Image 21 | 22 | 25 | 18 | 6 | 3 | 0.85 | 0.75 | 0.80 |
| Image 22 | 37 | 40 | 34 | 5 | 3 | 0.91 | 0.87 | 0.89 |
| Image 23 | 33 | 36 | 30 | 6 | 3 | 0.91 | 0.83 | 0.86 |
| Image 24 | 34 | 37 | 31 | 6 | 4 | 0.88 | 0.83 | 0.86 |
| Image 25 | 27 | 30 | 24 | 6 | 2 | 0.92 | 0.8 | 0.85 |
| Average | | | | | | 0.90 | 0.84 | 0.87 |

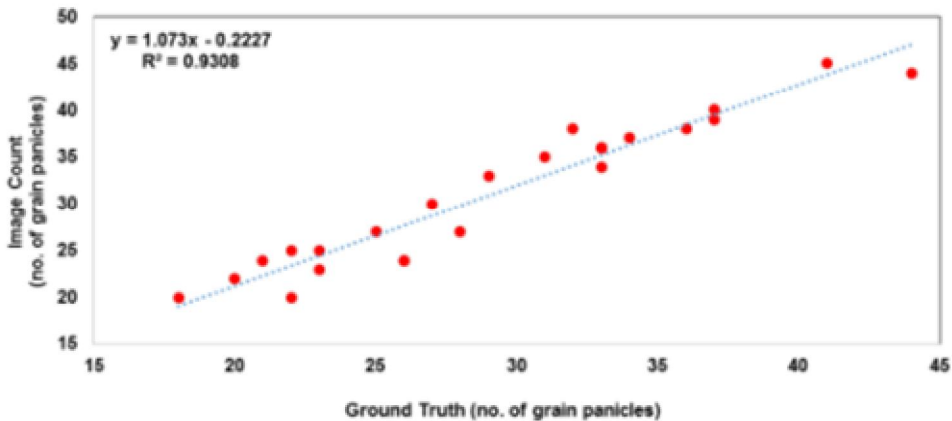


그림 5. 벼 이삭 수에 따른 실측자료와 제안된 알고리즘의 관계

- 이 연구에서는 영상에서 자동으로 곡물부분만을 추출하여 다각형의 영역을 생성한 후 곡물부분만의 면적을 계산고 이를 통해 생산량예측을 할 수 있는 한 가지 방법에 대하여 제안을 하였다. 제안한 방법의 결과는 Ground truth와 비교하여 알고리즘의 정확도를 평가하였다. 실험결과 두 값의 상관계수는 0.842로 높은 상관관계를 보였다.

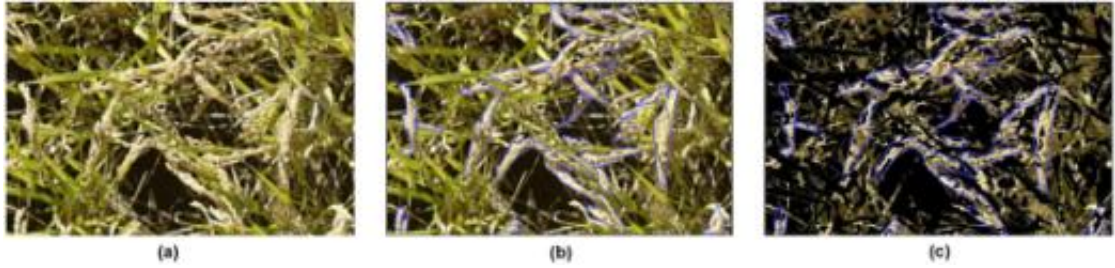


그림 6. (a) 기존 RGB 이미지 (b) 기존 실측 자료 © 분할된 이미지 (실측자료와 오버랩된 결과)

표 3. 실측 자료와 제안된 이미지 분할방법 간의 결과 비교.

| Image Area | Ground truth (pixel) ² | Image segmented Area (pixel) ² | Ground truth Area (mm) ² | Image segmented area (mm) ² |
|------------|-----------------------------------|---|-------------------------------------|--|
| Area 1 | 1115 | 1276 | 467.5 | 534.9 |
| Area 2 | 1690.5 | 1327 | 708.7 | 556.3 |
| Area 3 | 548.5 | 398 | 229.9 | 166.9 |
| Area 4 | 2862 | 2509 | 1199.9 | 632.7 |
| Area 5 | 3883.5 | 2632.5 | 1628.2 | 684.4 |
| Area 6 | 570 | 707.5 | 238.9 | 296.6 |
| Area 7 | 804 | 712.5 | 337.1 | 298.7 |
| Area 8 | 1121.5 | 1148 | 470.2 | 481.3 |
| Area 9 | 207 | 182 | 86.7 | 76.3 |
| Area 10 | 1131.5 | 831.5 | 474.4 | 264.8 |
| Area 11 | 5919 | 5147 | 2481.6 | 2157.9 |
| Area 12 | 813.5 | 719 | 341.1 | 301.4 |

* 1 pixel=0.647 mm; RMSE=1.8 cm.

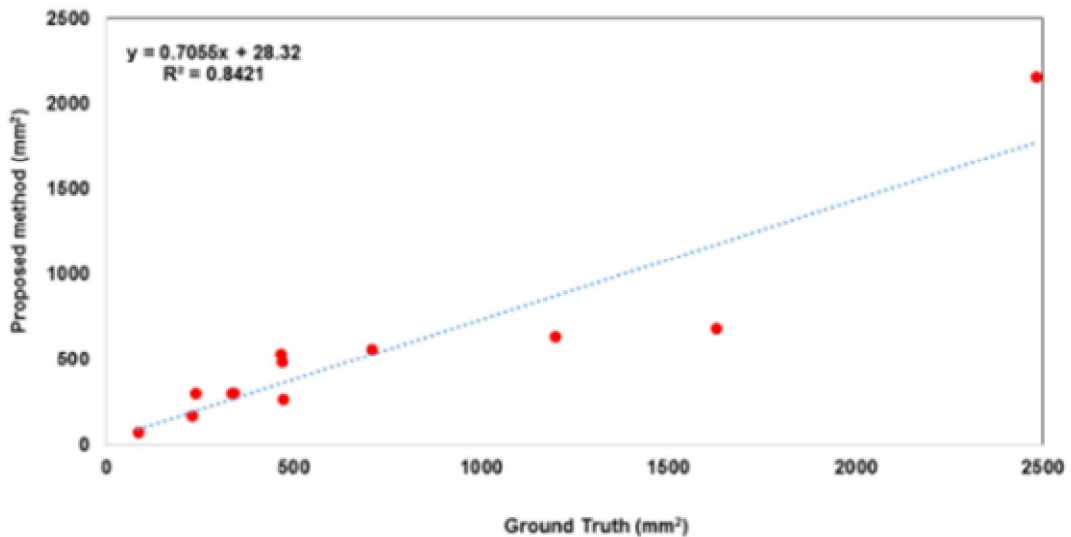


그림 7. 실측자료와 제안된 이미지 분리 결과의 상관관계.

아래 표 4 와 그림 8 은 식물 성장 단계별로 낱알 추정을 위한 영역 획득 결과이다. 측정결과 평균 약 69.1%의 정확도를 나타내고 있다.

표 4. Area Calculation % during different growing stage

| Stages | Ground truth (pixel) ² Average | Image segmented Area (pixel) ² Average | Ground truth Area (mm) ² Average | Image segmented Area (mm) ² Average | Average (%) |
|--------------|---|--|--|---|----------------|
| Milk stage | 3090.8 | 1825.7 | 1305.8 | 771.3 | 59.1 |
| Dough stage | 2091.2 | 1673.4 | 883.5 | 707.01 | 80.02 |
| Mature stage | 1393.3 | 952.4 | 584.2 | 399.2 | 68.35 |

* 1 pixel=0.647 mm; RMSE=1.8 cm.

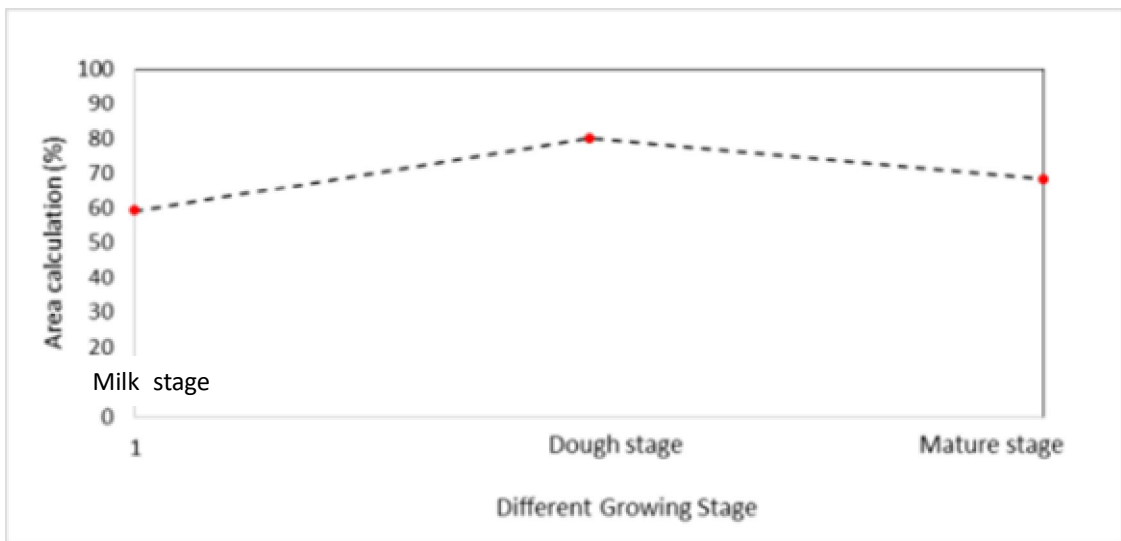


그림 8. 벼 이삭 수에 따른 실측자료와 제안된 방법의 관계.

□ 제안방법

Graph cut segmentation 방법을 이용하여 작물과 배경을 분리한 후 k-means clustering 과 lab color space 를 이용하여 Rice grain 과 Rice leaves 를 분리.

- Apply graph cut segmentation (pre-processing) to the RGB image.
- Convert RGB image to Lab color space.
- Apply k-means clustering to organize the layers and
- Labelling of pixels by cluster index.
- Segment the images using color information.

Graph Cut algorithm

- Graph Cut 기술은 보다 신속한 segmentation을 위해 이미지 처리에 그래프 이론을 적용한다.
- 각 픽셀 사이에 가중치가 부여된 선들로 연결된 이미지의 그래프를 생성한다. 여기서 가중치는 픽셀이 관련 될 확률이 높을수록 높아진다.
- 알고리즘은 가중치가 낮은 부분을 분할하여 이미지상의 객체를 구별한다. (그림 10)

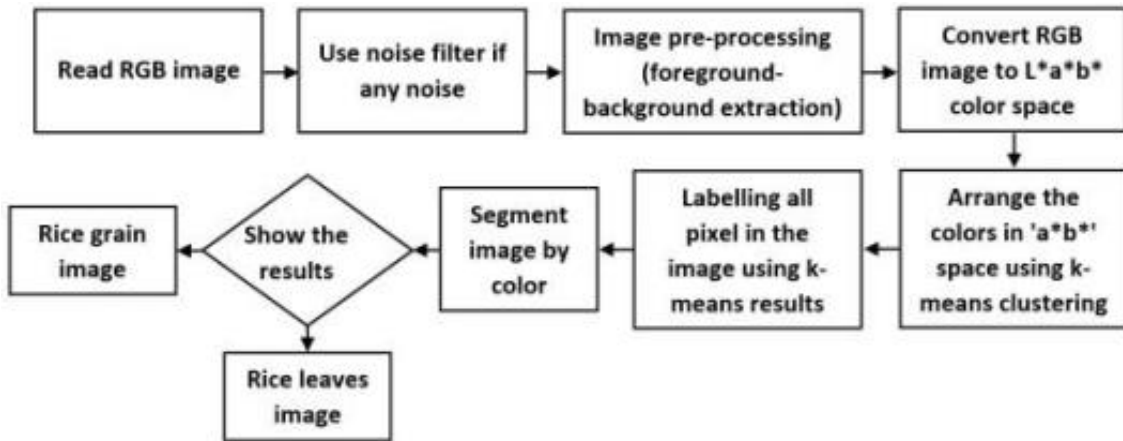


그림 9. 수정된 벼 이삭 영역 분할 알고리즘의 흐름도.

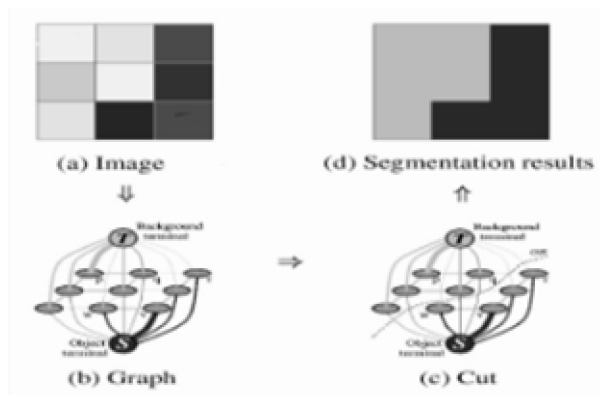


그림 10. Example segmentation of a very simple 3-by-3 image, (a) Original image, (b) graph of the image (a), (c) cut of the image between foreground and background and (d) segmentation result.

- 그래프를 $Z = \{V, E, W\}$ 라고하면, V 는 노드를, E 는 edge 를, W 는 affinity matrix 를 나타내며, E 는 각 edge 에 가중치를 연결한다.
- 그래프를 잘라내는 것은 V 를 두 개의 부분 집합 A 와 B 로 나누는 것을 통해 그래프를 잘라낸다.
- 일반적으로 graph cut 알고리즘에서 가장 많이 사용되어지는 방법은 min-cut이며 서로 다른 그룹 사이에 가중치의 합이 최소화되도록 하는 방법이다.

□ 실험결과 (50mm lens)

- 50mm 렌즈를 이용하여 획득한 작업포장의 이미지를 이용하여 실험에 사용함.
- 분할하는 과정사이에 이미지를 RGB (그림 11a)에서 Lab 색 공간으로 변환하기 전에 Graph cut segmentation 을 적용.
- Graph cut 을 사용하여 원본 이미지에서 물체와 배경을 추출함. (그림 11b).
- RGB 이미지를 Lab 색상 공간 (그림 11c)으로 변환 한 다음 'a * b *'공간에 색상을 배치하고 Clustering index(그림 11d)을 이용하여 픽셀에 레이블을 지정한다.

- 마지막으로, color segmentation 을 이용하여 원본이미지에서 곡물부분(그림 11e 및 11f)만을 추출하였다.

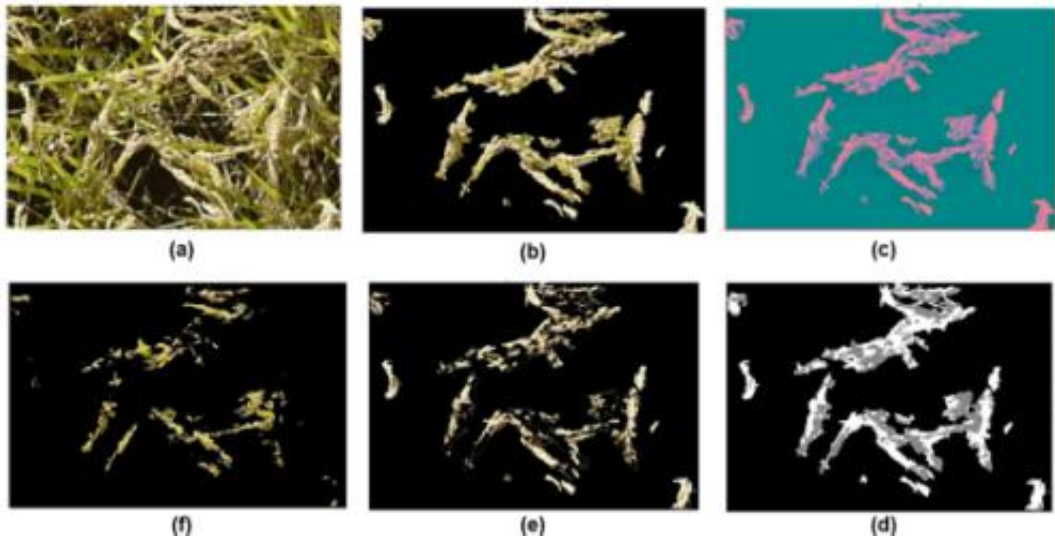


그림 11. (a) 기존 RGB 이미지. (b) 전-처리 (전경 배경 추출). (c) 변환된 Lab 이미지. (d) Labelled image by cluster index; (e) 분할된 벼 이삭 이미지. (f) 분할 된 벼 잎 이미지.

- 분할 된 이미지를 사용하여 각 부분의 면적을 계산하고 Ground truth 결과와 비교하여 표 5에 정리 하였다.
- 표 5는 graph cut segmentation(전처리) 유무에 따른 결과를 보여고 있으며 graph cut segmentation를 적용한 알고리즘은 사용하지 않았을 경우와 비교하여 60-70%의 오차를 줄이는 결과를 보여주었다

표 5 : Error Comparison of color based segmentation and graphcut segmentation results with ground truth

| Image | Ground Truth (pixel) ² | Ground truth Area (mm) ² | Color segmentation (pixel) ² | Color segmentation Area (mm) ² | Graph cut segmentation (pixel) ² | Graph cut segmentation Area (mm) ² | Color segmentation Error (%) | Graph cut segmentation Error (%) |
|--------|-----------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|---|------------------------------|----------------------------------|
| Area 0 | 1115 | 471.1 | 1276.5 | 539.3 | 1196.5 | 505.5 | 14.48 | 7.30 |
| Area 1 | 1690.5 | 714.2 | 1327.5 | 560.8 | 1432 | 6711.5 | 21.47 | 5.98 |
| Area 2 | 548.5 | 231.7 | 398 | 168.1 | 469 | 198.1 | 27.43 | 14.49 |
| Area 3 | 2862 | 1209.2 | 1509 | 637.5 | 1916.5 | 809.7 | 47.27 | 33.03 |
| Area 4 | 3883.5 | 1640.8 | 1632.5 | 689.7 | 2837.5 | 1198.8 | 57.96 | 26.93 |
| Area 5 | 570.5 | 241.0 | 707.5 | 298.9 | 624 | 263.6 | 24.01 | 9.377 |
| Area 6 | 804 | 339.7 | 712.5 | 301.1 | 777.5 | 315.2 | 11.38 | 7.19 |
| Area 7 | 7530 | 3181.4 | 5290 | 2235 | 6327.5 | 2673.4 | 29.74 | 15.96 |

| | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|--------|------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Area 8 | 1121.5 | 473.8 | 1148 | 485.0 | 1020 | 430.9 | 2.36 | 9.05 |
| Area 9 | 207 | 87.6 | 182 | 76.8 | 200.5 | 84.7 | 12.07 | 3.14 |
| Area 10 | 5919 | 2500.8 | 5147 | 2174.6 | 5217.5 | 2204.4 | 13.043 | 11.85 |
| * 1 pixel=0.647 mm; RMSE=1.8 cm. | | | | | | | | |

방 법 : k-means 클러스터링을 이용한 LAB 색상 공간 기반 Graph Cut 분할

- 적용대상 : 정합된 전체 필드 영상.
- 적용대상의 영상전체의 크기는 12850×45000 pixel².
- 전체 필드 영상은 4 개의 각기 다른 Section 으로 분할. 각 Section 은 5*6 의 cell 의 개수로 균등하게 다시 분할되며 다시한번 4*4 크기의 sub-cell 로 균등 분할된다. (그림 12)

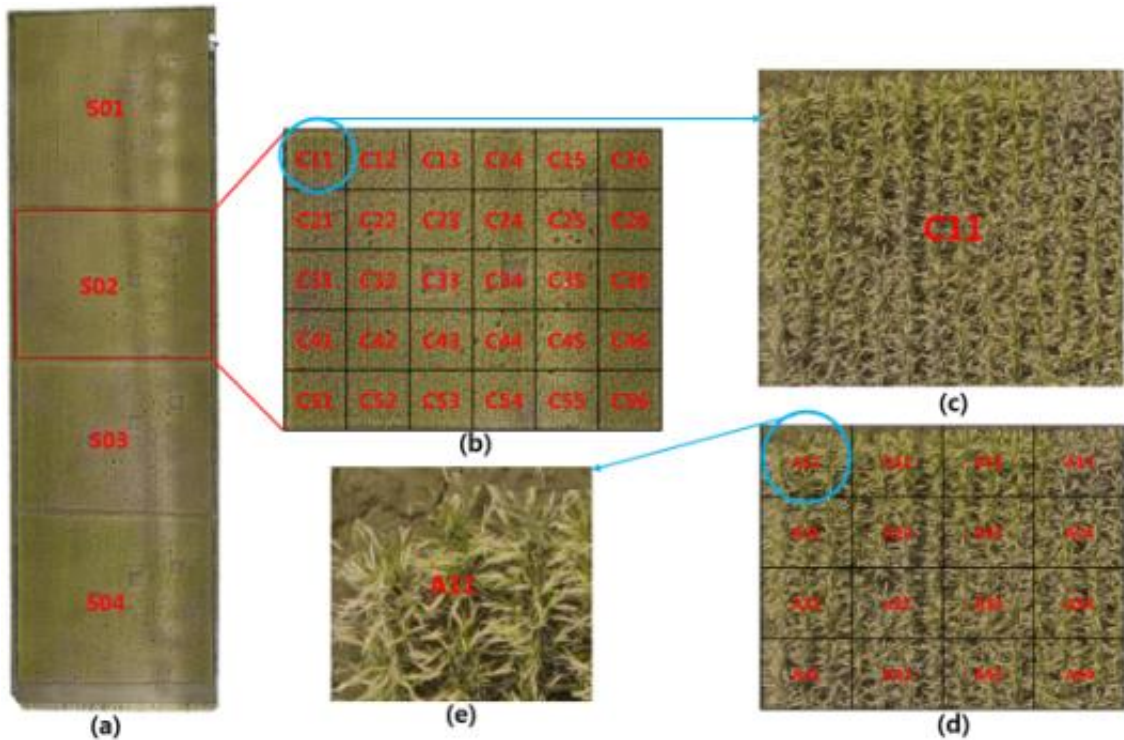


그림 12: (a) 정합된 전체 필드 이미지. (b) 셀 이미지로 분할된 이미지. (c) 분할된 이미지. (d) 분할된 이미지를 하위 셀 이미지로 분할. (e) 하위 셀 이미지

□ 분할결과 (16mm, accumulated image)

- 16mm lens 를 이용하여 작업포장의 이미지 및 정보를 획득하고, 전체 작업포장 영상을 정합한 후에 그림 12.의 방법으로 영상을 분할함.
- 각 서브 셀 이미지에 제안 된 알고리즘을 적용하여 결과를 분석을 실시.
- 그림 13 은 Graph cut 분할 과정의 모든 단계 결과를 보여준다.

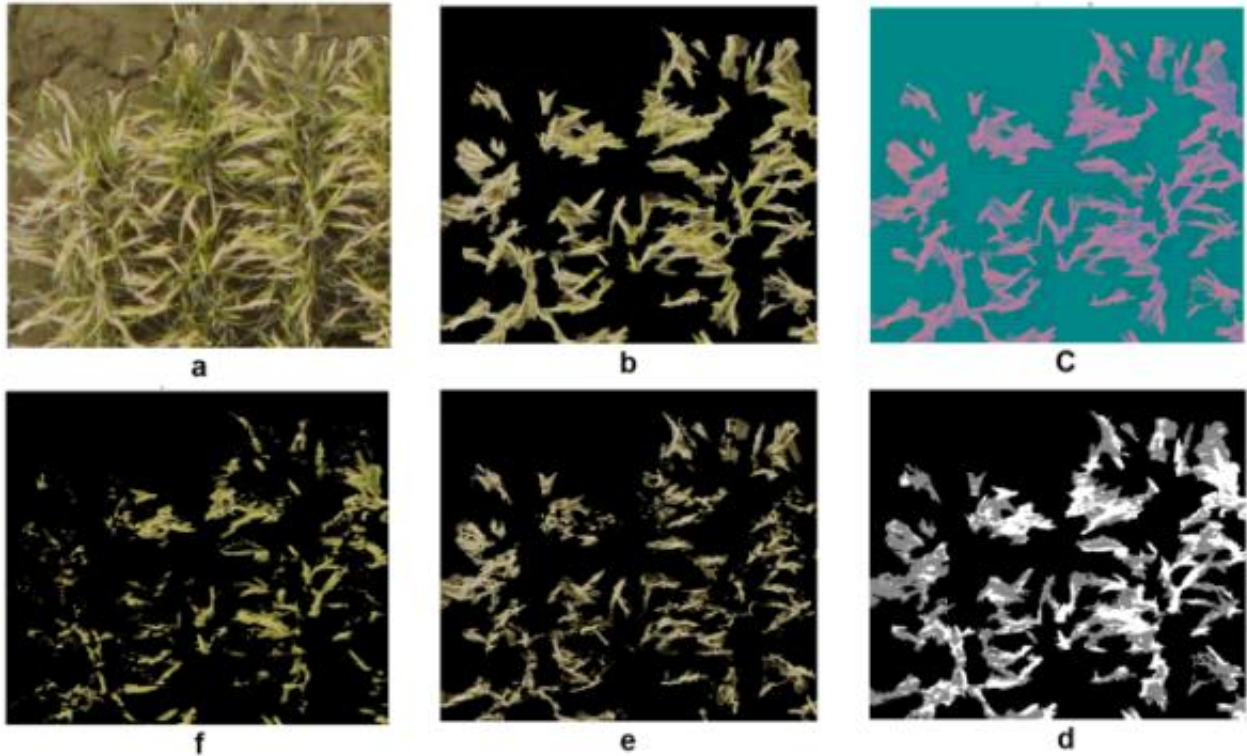


그림 13. (a) 하위 셀의 기존 RGB 이미지. (b) 전처리 과정 (전경 배경 추출). (c) Converted Lab spaced image; (d) Labelled image by cluster index; (e) 분할된 벼 이삭 이미지. (f) 분할된 벼 잎 이미지.

□ 각 section-cell 별 알고리즘 적용 결과

- 우리는 제안된 알고리즘을 각 섹션에 적용하고 분할된 Grain 영역을 계산하고 각 section에 대한 Ground truth를 계산하여 비교하여 표 6,7,8,9에 정리하였다.
- 작업포장은 section1에서 section4까지 4개의 section으로 구성되어있다.
- section 1,2,3 및 4의 제안한 알고리즘을 이용한 grain area 인식 오차는 각각 21.18%, 24.48%, 27.46% 및 30.53%로 나타났으며 이러한 오차의 한 가지 요인으로 성장 조건 및 비료, 해충에 의한 성장변이로 판단되어진다.
- section3 과 4의 경우 일부 질병으로 인한 오차로 인해 정확도가 낮은 것으로 나타났다.

표 6. Section 01 결과

| Images | Ground Truth | | Segmentation Results | | Error (%) |
|--------------|--------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-----------|
| | Area (pixel) | Area (mm ²) | Area (pixel) | Area (mm ²) | |
| S01C11A11 | 58918.0 | 233321.40 | 46964.00 | 185982.14 | 20.29 |
| S01C11A22 | 61740.0 | 244496.57 | 47678.5 | 188811.63 | 22.78 |
| S01C11A33 | 60492.5 | 239556.35 | 48319.0 | 191348.07 | 20.12 |
| S01C11A44 | 59674.0 | 236315.01 | 46823.0 | 185423.76 | 21.54 |
| Average | 60206.13 | 238422.33 | 47446.13 | 187891.40 | 21.18 |
| Full section | 1806183.75 | 7152669.98 | 1423383.75 | 5636741.99 | 21.18 |

표 7. Section 02 결과

| Images | Ground Truth | | Segmentation Results | | Error (%) |
|--------------|--------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-----------|
| | Area (pixel) | Area (mm ²) | Area (pixel) | Area (mm ²) | |
| S01C11A11 | 47639.5 | 188657.61 | 34697.5 | 137403.37 | 27.17 |
| S01C11A22 | 104057 | 412077.2 | 79991.5 | 316773.83 | 23.13 |
| S01C11A33 | 49768 | 197086 | 3939.5 | 151703.81 | 23.03 |
| S01C11A44 | 51946.00 | 205709.00 | 38412.5 | 152113.38 | 26.05 |
| Average | 63352.6 | 250882.4 | 39260.2 | 189498.5 | 24.84 |
| Full Section | 1900578.75 | 7526473.57 | 1177807.5 | 5684957.92 | 24.48 |

표 8. Section 03 결과

| Images | Ground Truth | | Segmentation Results | | Error (%) |
|--------------|--------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-----------|
| | Area (pixel) | Area (mm ²) | Area (pixel) | Area (mm ²) | |
| S03C11A11 | 63287.00 | 250622.85 | 51839.50 | 205289.60 | 18.09 |
| S03C11A22 | 89583.50 | 354759.62 | 68210.50 | 270120.40 | 23.86 |
| S03C11A33 | 76783.00 | 304068.36 | 52306.50 | 207138.97 | 31.88 |
| S03C11A44 | 93879.00 | 371770.23 | 60077.50 | 237912.91 | 36.01 |
| Average | 80883.13 | 320305.26 | 58108.50 | 230115.47 | 27.46 |
| Full Section | 2426493.75 | 9609157.89 | 1743255 | 6903464.12 | 27.46 |

표 9. Section 04 결과

| Images | Ground Truth | | Segmentation Results | | Error (%) |
|--------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------|
| | Area (pixel ²) | Area (mm ²) | Area (pixel ²) | Area (mm ²) | |
| S04C11A11 | 92641.00 | 366867.62 | 72216.00 | 285982.58 | 22.05 |
| S04C11A22 | 88949 | 352246.93 | 60804 | 240789.92 | 31.64 |
| S04C11A33 | 94565.5 | 374488.84 | 61632.5 | 244070.86 | 34.83 |
| S04C11A44 | 97985.5 | 388032.38 | 65061.5 | 257650.05 | 33.60 |
| Average | 93535.25 | 370408.94 | 64928.50 | 257123.35 | 30.53 |
| Full Section | 2806057.5 | 11112268.31 | 1947855 | 7713700.586 | 30.53 |

- 생육기간별 수확량 예측결과는 다음 표 10에 정리된 것과 같이 평균 약 73.9%의 정확도를 나타내고 있다.

표 10. 각 section별 생산량 예측 결과

| Section | Ground truth Grain Area (10a) | Ground Truth Yield (kg/10a) | Estimated Grain Area (10a) | Estimated Yield (kg/10a) | (%) Accuracy |
|------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
| Section 01 | 13.75 | 586 | 10.83 | 461.40 | 78.74 |
| Section 02 | 14.42 | 674 | 10.92 | 510.42 | 75.73 |
| Section 03 | 18.46 | 740 | 13.27 | 531.86 | 71.88 |
| Section 04 | 21.36 | 774 | 14.83 | 537.11 | 69.4 |

(2) 제 1-1 협동과제

① 연구개요

| 세부과제번호 | 제 (1-1)협동과제 | | | | | |
|---------------|--|--|-----------|--------------|------------|----|
| 세부 연구과제명 | 국문 | 농작업 환경 및 작물 계측을 통한 지능형 농작업 기계 제어 기술 개발 | | | | |
| | 영문 | Development of control technology for smart agricultural machinery | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 김용주 | 영문성명 | Kim Yong Joo | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 충남대학교 | 부서명 (학과명) | 바이오시스템 기계공학과 | 직위 | 교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | | E-mail | - |
| 연구기간 | 2014년 09월 18일 부터 ~ 2017년 09월 17일 까지 (3년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 합계 | |
| | 정부출연금 | 238,000 | 258,000 | 278,500 | 774,500 | |
| | 기업부담금 | 0 | 55,000 | 327,000 | 382,000 | |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 합계 | 238,000 | 313,000 | 605,500 | 1,156,500 | |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | 선임급 | | 원급이하 | | 합계 |
| | 4 | 1 | | 19 | | 24 |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|--|
| 1단계 | 1차년도 | · 농작업별 최적 운행 제어 기술 개발 및 작물환경/성분 요소 도출 |
| | 2차년도 | · 농작업별 최적 운행 제어 모델 설계 및 수확작물 성분 분석 방법 |
| | 3차년도 | · 자율주행 시뮬레이션 기술 최적화 및 성능평가 / 스마트 농작업기계의 system integration 기술 개발 |

| | | |
|--|--|---|
| 제1핵심 | 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업적용 기술개발 | |
| 제1-1협동 | 농작업 환경 및 작물 계측을 통한 지능형 농작업기계 제어 기술 개발 | |
| 1 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 1단계 연구목표 : 농작업별 최적 운행 제어 기술 개발 및 작물환경/성분 요소 도출 1년차 (2014) | ○ 작물 환경 및 성분 요소 선정 | - 작업성 분석을 위한 요소 선정 |
| | ○ 작업 운행 제어 기술 개발 | - 작업 운행 패턴 분석 - 작업 운행 방안 설계 - 운행 제어 알고리즘 개발 |
| | ○ 농작업기 주행 모델 개발 | - 요소별 모델 설계 - 동역학 주행 모델 개발 |
| | ○ 제어기 모듈 layout 설계 | - In/out 구성 및 spec. 선정 - 기능별 회로 설계 |
| 1단계 연구목표 : 농작업별 최적 운행 제어 기술 개발 및 작물환경/성분 요소 도출 2년차 (2015) | ○ 수확작물 성분 분석 방법 개발 | - 작업성 평가용 분석 방법 개발 |
| | ○ 운행 제어 모델 설계 | - 요소별 구성 컨셉 설계 - 운행 최적화를 위한 모델 개발 |
| | ○ 주행 모델 시뮬레이션을 통한 경로 추종 최적화 | - 장애물 감지, 회피 알고리즘 개발 - 조건별 주행 환경 선정 - 시뮬레이션을 이용한 성능평가 |
| | ○ 제어기 기능별 구현 및 성능평가 | - 기능별 알고리즘 구현 - 주요 회로 설계 |
| 1단계 | ○ 자율주행 시뮬레이 | - 마찰 계수에 따른 자율주행 시뮬레이션 |

| | | |
|--|-----------------|---|
| 연구목표 : 농작업별 최적 운행 제어 기술 개발 및 작물환경/성분 요소 도출 3년차 (2016) | 선 기술 최적화 및 성능평가 | - 실제 작업 특성을 고려한 자율주행 시뮬레이션 최적화 - 자율주행 플랫폼 개발 및 system integration 시뮬레이션 검증 및 성능평가 - 세부과제 간 연계 기술 개발 (1세부과제 드론 등 활용) |
|--|-----------------|---|

(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|------|------|------|------|----|------|---------|------|----|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술 인증 | 학술성과 | | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | 홍보전시 | |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | | 명 | 명 | 명 | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | | 10 | 10 |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | | 3 | 5 |
| 1단계 | 목표 | 3 | 1 | | | | | | | | | 5 | 2 | 4 | 3 | 1 | | | | |
| | 실적 | 9 | 4 | | 2 | 20 | | | | | | 9 | 1 | 14 | 2 | | 2 | | 2 | 1 |
| 최종 | 목표 | 3 | 1 | | | | | | | | | 5 | 2 | 4 | 3 | 1 | | | | |
| | 실적 | 9 | 4 | | 2 | 20 | | | | | | 9 | 1 | 14 | 2 | | 2 | | 2 | 1 |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|---|-----|------|------|---------------------------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| 2015 | Anthocyanin and Carotenoid Contents in Different Cultivars of Chrysanthemum (<i>Dendranthema grandiflorum</i> Ramat.) Flower | 박창하 | 박상언 | 김용주 | Molecules | 20(6) | 국외 | SCI |
| 2015 | Analysis of the PTO load of a 75 kW agricultural tractor during rotary tillage and baler operation in Korean upland fields | 이대현 | 김용주 | - | Journal of terramechanics | 60 | 국외 | SCI |
| 2016 | Evaluation of tractor fuel efficiency using dynamometer and baler operation cycle | 이대현 | 김용주 | - | Journal of terramechanics | 61(1) | 국외 | SCI |
| 2016 | Recent studies on ursolic acid and its biological and pharmacological | 이숙영 | 박상언 | 김용주 | EXCLI Journal | 15 | 국외 | SCI |

| | | | | | | | | |
|------|--|-----|-----|-----|---|-------|----|------|
| | activity | | | | | | | |
| 2016 | Development of simulation model for fuel efficiency of agricultural tractor | 김완수 | 이대현 | 김용주 | Development of simulation model for fuel efficiency of agricultural tractor | 43(1) | 국내 | 비SCI |
| 2016 | Development of a plow tillage cycle of agricultural tractor | 이대현 | 김용주 | - | Transactions of the ASABE | 59(2) | 국외 | SCI |
| 2017 | Expression Levels of Carotenoid Biosynthetic Genes and Carotenoid Accumulation in Callus of <i>Scutellaria Baicalensis</i> Exposed to White, Blue, and Red Light-Emitting Diodes | 박상언 | 김용주 | - | Biological Chemistry | 60(6) | 국외 | SCI |
| 2017 | RECENT STUDIES ON RESVERATROL AND ITS BIOLOGICAL AND PHARMACOLOGICAL ACTIVITY | 김용주 | 박상언 | - | EXCLI Journal | 16 | 국외 | SCI |
| 2015 | An Updated Review of Cucurbitacins and Their Biological and Pharmacological Activities | 정선옥 | 박상언 | 김용주 | EXCLI Journal | 14 | 국외 | SCI |
| 2017 | Development of a low-cost GPS/INS integrated system for tractor automatic navigation | 한용철 | 김학진 | 전찬우 | Int J Agric & Biol Eng | 10(2) | 국외 | SCI |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|--|-------------|-----|-----------------|--------|---------------------------------|-------------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2015 | 변위센서를 이용한 트랙터 자동변속 시스템 및 그 제어방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0060186 | 2015 | 변위센서를 이용한 트랙터 자동변속 시스템 및 그 제어방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 자동화 수동변속기가 구비된 트랙터의 변속 슬립 제어시스템 및 그 제어방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0102125 | | | | |
| 2015 | 농업기계의 실시간 연비 및 작업가능 면적 표시장치 및 그 방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128357 | | | | |
| 2015 | 변위센서를 이용한 트랙터의 조향각 측정장치 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128373 | | | | |
| 2015 | 핸들 조향각기반 선 회구간에서 작업기 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128417 | | | | |

| | | | | | | | | |
|------|--|-------------|----|-----------------|------|--|-------------|----|
| | 자동제어장치 및 그 방법 | | | | | | | |
| 2015 | 트랙터 PTO축 어댑터를 이용한 PTO기어 잔여수명 예측장치 및 그 방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128454 | 2015 | 트랙터 PTO축 어댑터를 이용한 PTO기어 잔여수명 예측장치 및 그 방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 농용 작업차량용 캐빈 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128432 | 2016 | 농용 작업차량용 캐빈 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 자율주행 콤바인의 영상시각 평가장치 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0128393 | 2016 | 자율주행 콤바인의 영상시각 평가장치 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2017 | 자율주행 농업기계의 작업안전을 위한 속도제어장치 및 방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0090394 | | | | |

③ 기술료징수 현황

| 기 징수액 | 당해연도 징수액 | 향후 징수액 | 합계 |
|-------|----------|--------|----|
| 20 | 20 | - | 20 |

- 기술이전 및 기술지도 내용

| 번호 | 계약일자 | 유상/무상 | 기술료 (백만원) | 공급 기관명 | 대상 기관명 | 기술이전 계약명 | 비고 |
|----|-----------|-------|-----------|--------|--------|----------------------------------|----|
| 1 | 15.08.18. | 유상 | 5 | 충남대학교 | BNR | 평 기어 설계 신뢰성 확보를 위한 시뮬레이션 해석기술 개발 | |
| 2 | 15.08.27. | 유상 | 15 | 충남대학교 | BNR | 영상처리 시뮬레이션 설계기술 | |

④ 석/박사 양성 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|-----|-------|------|------|
| 1 | 윤광덕 | 강원대학교 | 2015 | 석사 |
| 2 | 김성준 | 강원대학교 | 2016 | 석사 |

⑤ 취업 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 최종학위 | 취업처 |
|----|-----|-------|------|------|------|
| 1 | 봉선주 | 충남대학교 | 2015 | 석사 | 동국계약 |
| 2 | 김성준 | 강원대학교 | 2016 | 석사 | 밸류테크 |

⑥ 학술발표 성과

| 번호 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|------|--|---|--|----------------------|
| 1 | 2015 | 학술발표 | 성균관대 | 탁해윤 | 로타리 작업사이클을 이용한 트랙터 성능 시뮬레이션 | 한국농업기계학회 | 변산 대명리 조트 |
| 2 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 이대현 최정선 옥경환 수주 김범수 김용주 | 자동조향 제어 시스템을 이용한 평행주차 성능평가 | 한국농업기계학회 | 한국 농업과 학원 |
| 3 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 박수곤 | 자율주행을 위한 카메라의 경사에 따른 영상 보정장치 설계 | 한국정밀농업학회 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 4 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 김연수 | 트랙터 주행 성능 시뮬레이션을 위한 Carsim 모델 개발 | 한국정밀농업학회 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 5 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 이대현 김연수 김용주 최정선 옥경환 이경환 | Carsim을 이용한 트랙터 주행 성능 평가 시뮬레이션 | 추계 농업기계학회 학술대회 | 대명 변산리 조트 |
| 6 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 이대현 김용주 최정선 옥경환 이경환 수주 김완수 | 농업용 트랙터의 연비 시뮬레이션 | 추계 농업기계학회 학술대회 | 대명 변산리 조트 |
| 7 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 이대현 | 자율주행을 위한 카메라의 경사에 따른 영상 보정 장치 설계 | 추계 농업기계학회 학술대회 | 대명 변산리 조트 |
| 8 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 박수곤 | Image Calibration Device depending on Camera Tilt for an Autonomous Guidance System | The Sixth Asian Conferences on Precision Agriculture | Guangzhou, China |
| 9 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 김완수 | Simulation of the fuel consumption of an agricultural tractor | The Sixth Asian Conferences on Precision Agriculture | Guangzhou, China |
| 10 | 2015 | 학술발표 | 충남대 | 김연수 | Study on the Driving Performance Evaluation of Unmanned Tractors Using Carsim | The Sixth Asian Conferences on Precision Agriculture | Guangzhou, China |
| 11 | 2016 | 학술발표 | 충남대 | 김연수 최정선 옥경환 수주 김범수 김용주 | Carsim을 이용한 트랙터 주행 속도가 타이어력에 미치는 영향 분석 | 한국농업기계학회 | 국립농업과 학원 농업과 학부 |
| 12 | 2016 | 학술발표 | 충남대 | 김연수 최정선 옥경환 수주 김범수 김용주 | Effect of Tractor Travelling Speed on Tire Force | The 7th Joint Symposium between SYAU and CN U | Shenyang Univ. China |
| 13 | 2016 | 학술발표 | 충남대 | 김연수 김용주 | Study on Driving Performance Evaluation of Unmanned T | 2016 ASABE | Orlando, Florida |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-----|---|--------------------------------|-------------------|----------|
| | | | | 정선옥 최창현 김연수 최창현 김연수 최창현 김연수 | tractor Using Carsim | | |
| 14 | 2016 | 학술발표 | 충남대 | 김연수 최창현 김연수 최창현 김연수 | 트랙터 주행속도가 타이어 슬립에 미치는 영향 시뮬레이션 | 한국농업기계학회/한국정밀농업학회 | 천안 상록리조트 |

⑦ 홍보 실적

| 번호 | 기관 | 홍보유형 | 매체명 | 홍보 제목 | 연도 | 비고 |
|----|-----|------|---------------|---------------------------------------|------|----|
| 1 | 충남대 | 기타 | 정밀농업학회 창간호 | 농작업 환경 및 작물 계측을 통한 지능형 농작업기계 제어 기술 개발 | 2015 | |

⑧ 전시 실적

| 번호 | 기관 | 유형 | 행사명칭 | 전시품목 | 장소 | 연도 | 비고 |
|----|-----|-----|---|----------------------------|--|------|----|
| 1 | 충남대 | 전시회 | Norco Primex Primary Industry Exhibition 2015 | 축산기계, 트랙터, 트럭, 자동차, 농업 서비스 | Richmond Valley Events Centre, Bruxner Highway, Casino, NSW, | 2015 | |

⑨ 기타 성과

| 번호 | 구분 | 기관 | 교육 및 컨설팅명 | 연도 | 비고 |
|----|----------|-------|-----------------------|------|----|
| 1 | 교육 및 컨설팅 | 충남대학교 | CarSim Basic Training | 2015 | |

(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|-----|---|--|
| 1단계 | 1차년도 · 농작업별 최적 운행 제어 기술 개발 및 작물환경/성분 요소 도출 | - 작물 환경 및 성분 요소 선정 : 작업성 분석을 위한 요소 선정 - 작업 운행 제어 기술 개발 : 작업 운행 패턴 분석 : 작업 운행 방안 설계 : 운행 제어 알고리즘 개발 - 농작업기 주행 모델 개발 : 요소별 모델 설계 : 동역학 주행 모델 개발 - 제어기 모듈 layout 설계 : In/out 구성 및 spec. 선정 : 기능별 회로 설계 |
| | 2차년도 · 농작업별 최적 운행 제어 모델 설계 및 수확작물 성분 분석 방법 | - 수확작물 성분 분석 방법 개발 : 작업성 평가용 분석 방법 개발 - 운행 제어 모델 설계 : 요소별 구성 컨셉 설계 : 운행 최적화를 위한 모델 개발 |

| | | |
|------|--|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> - 주행 모델 시뮬레이션을 통한 경로 추종 최적화 <ul style="list-style-type: none"> : 장애물 감지, 회피 알고리즘 개발 : 조건별 주행 환경 선정 : 시뮬레이션을 이용한 성능평가 - 제어기 기능별 구현 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> : 기능별 알고리즘 구현 : 주요 회로 설계 |
| 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 자율주행 시뮬레이션 기술 최적화 및 성능평가 / 스마트 농작업기계의 system integration 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 자율주행 시뮬레이션 기술 최적화 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> : 마찰 계수에 따른 자율주행 시뮬레이션 : 실제 작업 특성을 고려한 자율주행 시뮬레이션 최적화 : 자율주행 플랫폼 개발 및 system integration : 시뮬레이션 검증 및 성능평가 : 세부과제 간 연계 기술 개발 (1세 부과제 드론 등 활용) - 자율주행 콤바인 제어 시스템 개선 연구 - 차륜형 구동특성을 고려한 자율주행 시스템 개발 및 성능평가 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

■ 농작업별 최적 운행 제어 기술 개발 및 작물 환경/성분 요소 도출]

1. 작물 환경 및 성분 요소 선정

- 농작업기계 운행 시 토양 상태, 기후 조건 등 주변 환경과 수확일 경우 작물의 상태 등 여러 가지 요인들이 영향을 미치며 이에 따라 작업성, 능률 등 결과물이 상이하게 나타남.
- 고효율의 농작업의 목적뿐만 아니라 자동화, 무인화 등의 첨단 기술을 농업기계에 적용시키기 위해서는 트랙터, 콤바인, 이식기 등 농업기계 사양 및 동작 특성을 고려해야 하지만 이보다 사용하는 장소의 작업 환경의 요인 분석이 우선시되어야 함.
- 특히, 트랙터 등 주요 농업기계는 주로 도로가 아닌 노외(off-load)에서 사용되므로 작업 장소의 토양 특성에 의해 그 성능이 크게 차이가 나며 토양 조건에 따라 발생하는 부하의 조건은 설계 시 중요한 요인임.
- 따라서, 다양한 농작업지에서 작업 부하 분석을 통해 농작업의 부하 특성을 정량화하고 이를 기준으로 농작업기계를 무인화, 자동화하기 위한 시스템 및 알고리즘들이 개발되어야 하므로 국내 대표적인 농업기계인 트랙터를 대상으로 다양한 작업 조건(토양)에서 발생하는 작업 부하를 분석하였음.
- 트랙터의 부하 분석은 주요 작업인 로타리 경운작업을 대상으로 수행하였으며, PTO 동

력계를 통해 기어의 피로 수명 시험을 실시하여 S-N (stress-number) 선도를 작성한 후, 로타리 경운작업 시 PTO 부하를 측정하여 PTO의 가혹도를 분석하는 것을 목적으로 실시하였음.

가. 작업 부하 분석 방법

□ 트랙터 제원

- 본 연구에서는 표 1과 같이 크기 3,359(L) × 1,100(W) × 2,415(H) mm, 무게 1,584 kg의 30 kW급 4륜 구동 트랙터를 사용하였음. 엔진의 정격토크는 회전수 2,600 rpm에서 110.2 N·m이며, 이때 PTO의 정격토크는 회전수 585 rpm에서 457.3 N·m이다. 또한 PTO는 3개의 변속단수를 가지며, 각각의 회전속도는 1단 585 rpm, 2단 756 rpm, 3단 1,110 rpm임.

표1. Specifications of the tractor used in the study

| Item | | Specification |
|------------------------------|--------------------------------|---|
| Length × Width × Height (mm) | | 3,359 × 1,100 × 2,415 |
| Weight (kg) | | 1,584 |
| Engine | Rated power (kW)/ torque (N·m) | 30/110.2 @2600 rpm |
| PTO | Rated power (kW)/ torque (N·m) | 28/457.3 @585 rpm |
| | Gear (rotational speed) | 1 (585 rpm), 2 (756 rpm), 3 (1,110 rpm) |

□ PTO 피로 수명 시험

- 피로 수명 시험 장치는 그림 1과 같이 트랙터 엔진, PTO 동력계(dynamometer), 테스트 기어가 포함된 PTO 기어박스로 구성하였음. 엔진은 시험용 트랙터와 동일한 30 kW를 사용하였으며, PTO 동력계(MGS-130, Schenk, Germany)는 110 kW의 EC (Eddy Current) 동력계를 사용하였음.
- PTO 기어의 S-N 선도는 재료의 열처리 상태, 특징, 재질 등의 차이가 있어 기존 문헌의 S-N 선도를 시험 트랙터 PTO에 적용할 수 없으므로 별도로 피로 수명 시험을 수행하였으며 시험에 사용된 PTO 기어는 그림 2와 같이 PTO 변속 단수에 상관없이 항상 작동하는 PTO 최종축의 구동기어를 이용하였음.
- 시험 기어는 PTO 최종축의 구동기어를 수정 없이 사용하는 것이 좋으나 시험 시간이 오래 걸리고 PTO 변속기를 구성하는 다른 기어가 먼저 파손되는 경우도 발생하므로 PTO 최종 구동축과 시험용 기어를 연결하는 별도의 기어박스를 제작하여 사용하였음.
- S-N 선도는 재료가 반복적인 힘을 받아 N 사이클에서 피로 파괴가 발생했을 때, 반복되는 응력(stress)과 수명(number)의 관계를 나타낸 곡선으로 피로수명을 예측할 때 사용되는 가장 기본적인 곡선임.
- 기어의 수명은 크게 이의 파괴와 잇면의 파괴로 나뉘며, 잇면의 파괴는 피치점 부근에서 발생하는 점부식(pitting)으로 정확한 시점을 파악하기가 어려우므로 일반적으로 S-N 선도는 기어 이에 작용하는 굽힘 응력을 이용하여 작성함.

- 본 연구에서 S-N 선도는 파단 시간과 PTO 최종축 구동기어의 회전수를 곱한 수명과 계산된 굽힘 응력을 상용대수로 변경하는 ASTM E739-80 (ASTM, 1981) 방법을 이용하여 선형적으로 작성하였음. 기어의 굽힘 응력 계산을 위해 식(1)과 같이 일반적으로 변속기 기어의 굽힘 응력 계산에 사용되는 Lewis식의 변형인 Almen-Straub식을 이용함.

$$S_b(MPa) = \frac{3 \times \pi \times T}{N \times Z_a \times F \times X} \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

where, T = Driving torque (N · m)
 N = Number of teeth
 Z_a = Line of action (mm)
 F = Face width (mm)
 X = Tooth form factor (mm)

- 피로 수명 시험은 EC 동력계의 작용토크가 최대 800 N · m인 점을 고려하여 PTO 최종 구동기어의 치폭을 줄이는 방법으로 굽힘응력을 증가시켰으며, 실제 기어의 허용 굽힘응력 범위내에서 치폭 3 수준(10 mm, 11 mm, 12 mm), 작용 토크 3 수준(578 N · m, 676 N · m, 774 N · m)의 총 9 수준으로 기어에 전달되는 굽힘 응력을 변화시키면서 기어가 파손될 때까지의 시간과 회전속도를 PTO 동력계를 이용하여 측정하였음.

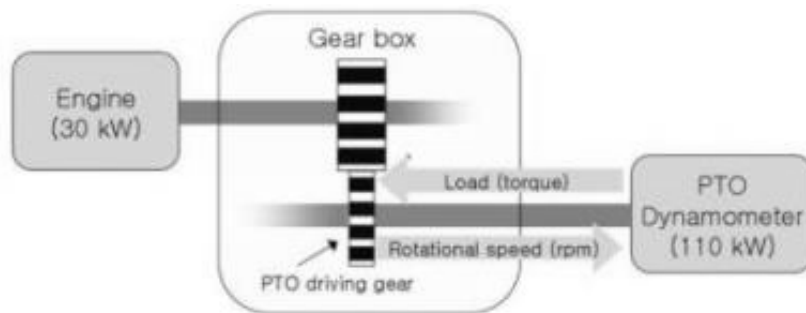


그림1. schematic diagram of the fatigue life test with PTO dynamometer>



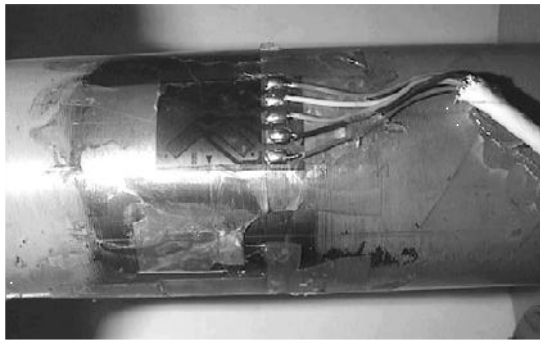
그림2. PTO driving gear used in the fatigue life test

□ 로타리 경운작업 시 PTO 부하 측정

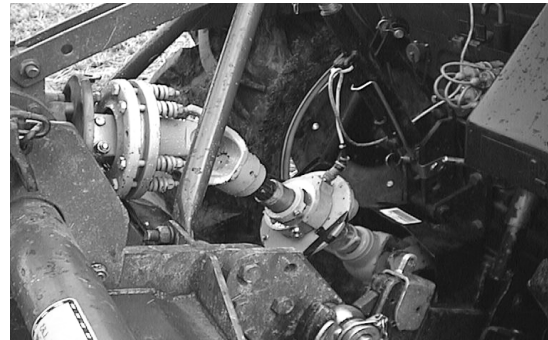
- PTO 부하는 그림 3과 같이 PTO축에서 작업기로 동력을 전달하는 PTO 중간축에 작용하는 토크를 이용하여 측정하였음.
- 토크 신호는 그림 3(a)와 같이 굽힘 모멘트의 영향을 최소화시키기 위해 Four element full-bridge 스트레인게이지(CEA-06-250US-350, Micro Measurement Co., USA)를 축 방향

에 대해 45°로 부착하고(Nahmgung, 2001) 그림 3(b)와 같이 원형의 중공이 있어 PTO 중간축 안으로 삽입이 가능한 슬립링(B6-2, MI-Scientific Co., USA)을 사용하여 측정하였음.

- 트랙터 PTO의 부하 계측 시스템은 최대 19.2 kHz의 샘플링 속도와 24 bit의 분해능을 가지며, 자체적으로 고속의 잡음제거 필터가 내장된 FPGA (Field Programmable Gate Array)와 아날로그 데이터 수집장치(MGC, HBM, Germany)를 이용하였음.
- 측정된 센서 신호는 파이어와이어(firewire) 통신으로 실험용 노트북에 전송하였으며, 계측 프로그램은 신호 처리 및 측정이 용이한 Labview (version 2009, National Instrument, USA)를 이용하여 개발하였음.



(a) Strain-gage



(b) Slip ring

그림3. <Installation of strain-gage and slip ring for torque measurement of PTO axle>

- 로타리 경운작업에 따른 가속도 시험은 엔진 회전수 2,600 rpm에서 주행 속도를 3 km/h (주변속 2단, 부변속 2단)로 설정하고(Nahmgung, 2001) 각각 10개의 논과 밭에서 5회 반복 실험하였음. 이때 PTO 변속 단수는 1, 2단의 2수준에 대해 실시하였음.
- 시험 포장의 토양 조건은 10개의 논과 밭 각각에 대해 임의의 네 곳을 선정하여 토성, 수분 함량, 원추 관입지수를 3반복 측정하였음.
- 토성은 전북 농업기술원에 의뢰하여 미농무성(USDA)법에 따라 분석하였고 원추 관입지수는 soil compaction meter (SC900, Spectrum Technology, E Plainfield, USA)를 이용하여 0 ~ 25 cm 범위에서 5 cm 간격으로 측정하였으며 수분 함량 측정은 토양 채취관을 이용하여 토양을 채취한 후 오븐 건조법을 이용하였음.
- 시험 포장의 토성은 사양토(이천, 완주)와 양토(수원)로 수분 함량과 원추 관입지수는 표 2와 같이 논은 각각 15.7 ~ 28.4%, 167 ~ 2,451 kPa 밭은 각각 13.6 ~ 18.8%, 81 ~ 2,451 kPa의 다양한 범위로 나타남.

표2. Site description for field experiments

| Field | Site | Soil Type | Water content (wb, %) | Cone Index (kPa) by depth | | | | | |
|--------|------|------------|--------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 0cm | 5cm | 10cm | 15cm | 20cm | 25cm |
| Paddy | 1 | Sandy loam | 15.7 | 850 | 948 | 1,894 | 1,470 | 1,208 | 1,208 |
| | 2 | Loam | 22.6 | 262 | 326 | 588 | 718 | 980 | 1,241 |
| | 3 | Sandy loam | 28.4 | 588 | 784 | 1,666 | 2,450 | - | - |
| | 4 | Loam | 24.5 | 980 | 1,099 | 2,275 | 2,438 | - | - |
| | 5 | Loam | 21.3 | 1,796 | 2,124 | 2,285 | 2,445 | 2,451 | - |
| | 6 | Loam | 26.5 | 718 | 752 | 850 | 1,992 | - | - |
| | 7 | Loam | 17.7 | 167 | 392 | 1,992 | 1,992 | - | - |
| | 8 | Loam | 27.3 | 588 | 816 | 1,208 | 2,026 | - | - |
| | 9 | Sandy loam | 22.9 | 849 | 1,153 | 2,406 | - | - | - |
| | 10 | Sandy loam | 23.0 | 1,502 | 1,470 | 1,666 | - | - | - |
| Upland | 1 | Sandy loam | 17.6 | 81 | 392 | 1,242 | 1,862 | 2,188 | - |
| | 2 | Loam | 18.8 | 948 | 1,600 | 1,732 | 1,992 | 2,451 | - |
| | 3 | Loam | 17.5 | 718 | 1,306 | 1,666 | 1,928 | 2,286 | 2,384 |
| | 4 | Loam | 13.6 | 620 | 816 | 176 | 1,666 | 1,666 | 1,830 |
| | 6 | Sandy loam | 14.0 | 654 | 1,078 | 1,306 | 1,502 | 1,698 | 2,058 |
| | 6 | Sandy loam | 15.9 | 980 | 1,403 | 2,090 | 2,323 | 2,450 | - |
| | 7 | Sandy loam | 16.2 | 167 | 588 | 1,176 | 1,568 | - | - |
| | 8 | Sandy loam | 17.2 | 620 | 1,012 | 1,862 | 2,329 | 2,406 | - |
| | 9 | Loam | 17.3 | 164 | 1,242 | 1,046 | 1,242 | 1,242 | 1,340 |
| | 10 | Loam | 17.9 | 196 | 228 | 948 | 1,085 | 1,208 | - |

□ PTO 가혹도 분석

- 로타리 경운작업에 따른 PTO의 상대 가혹도(severeness)는 그림 4와 같이 부하 신호의 측정, 부하 스펙트럼 작성, S-N 선도에 의한 손상 합(damage sum) 계산의 과정을 거쳐 분석하였음.
- 트랙터 PTO에 작용하는 부하는 포장 및 작업 조건 등에 따라 변화되는 변동하중이므로, 이를 부하의 크기와 빈도수의 규칙적인 신호로 단순화하기 위하여 측정된 부하의 최대, 최소값을 기준으로 32 등분한 후, 낙수계수법(rainflow counting)을 이용하여 부하 스펙트럼을 작성하였음.
- 부하 스펙트럼은 평균부하를 고려하여야 하므로 식 (2)의 SWT (Smith-Watson-Topper)법을 이용하여 공칭토크를 계산한 후, PTO 정격 토크에 대한 측정된 토크의 비로 나타내었음.
- 손상 합은 식(1)을 이용하여 굽힘 응력으로 변환한 후에 피로한도 이하의 응력 고려가 가능한 누적 손상 법칙인 식(3)의 수정 마이너 법칙(modified Miner rule)을 이용하였으며, 가혹도는 논과 밭의 시험 포장에 대해 각각의 손상 합이 가장 작은 지역에 대한 상대적인 비율인 상대 가혹도로 나타내었음.

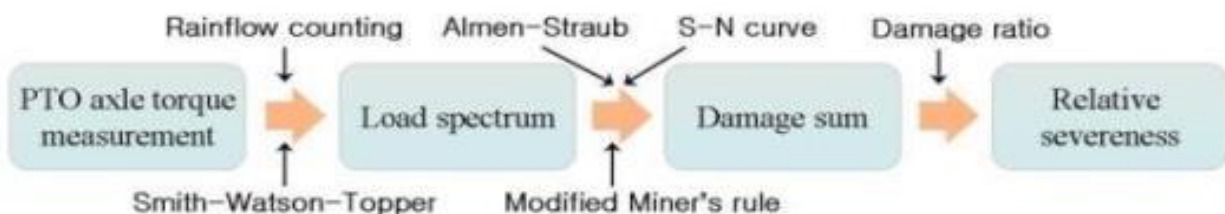


그림4. <Block diagram explaining procedure for severeness evaluation of tractor PTO during rotary tillage operation>

$$T_e = \sqrt{(t_a + t_m)t_a} \dots \dots \dots \text{식 (2)}$$

where, T_e = equivalent torque (N · m)

t_a = amplitude of torque (N · m)

t_m = mean of torque (N · m)

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = D_t \dots \dots \dots \text{식 (3)}$$

where, D_t = Damage sum

n_i = Number of cycles

N_i = Fatigue life (cycles)

나. 작업 부하 분석 결과

□ PTO 피로 수명

- 피로 수명 시험 결과, PTO 최종축 구동기어는 파단되는 순간 큰 핑음과 함께 회전수가 급격히 증가하고 토크가 감소하였으며, 이때 기어의 형상은 그림 5와 같이 하나의 기어 치가 파손되면서 기어간의 물림이 어긋남에 따라 연속적으로 파손된 형태를 보여주었음.
- PTO 최종축 구동기어의 피로 수명 시험 결과는 표 3과 같이 식(1)을 이용하여 치폭과 작용토크에 따른 굽힘 응력을 계산하였으며, 기어의 파단 시간과 회전속도를 곱하여 피로 수명을 나타내었음.
- 피로 수명은 치폭의 감소 혹은 작용 토크의 증가에 따라 기어에 작용되는 굽힘 응력이 감소하여 치폭과 작용 토크가 각각 10 mm와 774 N · m인 경우에 218,418회로 가장 작게 나타났으며, 각각 12 mm와 578 N · m인 경우에는 2,857,500회로 가장 크게 나타남.
- PTO 최종축 구동기어의 S-N 선도는 계산된 굽힘 응력과 피로 수명 측정 결과를 이용하여 그림 6과 같이 작성하였음. S-N 선도의 응력과 수명과의 관계는 선형적으로 나타났으며, 결정계수(r^2)는 0.97로 작성된 S-N 선도를 이용하여 PTO 최종축 구동기어의 피로 수명 예측이 가능함.

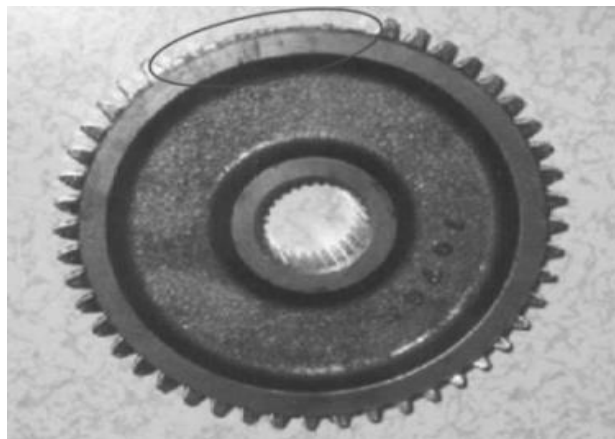


그림5. <Photo of the broken PTO driving gear by the fatigue life test>

표3. Results of fatigue life test of PTO driving gear

| Test | Tooth width (mm) | Torque (N·m) | Bending stress (MPa) | Rotational speed (rpm) | Breakage time (minute) | Fatigue life (cycle) |
|------|------------------|--------------|----------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | 10 | 578 | 396 | 635 | 1,500 | 952,000 |
| 2 | 10 | 676 | 464 | 612 | 600 | 367,148 |
| 3 | 10 | 774 | 531 | 490 | 445 | 218,418 |
| 4 | 11 | 578 | 360 | 635 | 2,400 | 1,524,000 |
| 5 | 11 | 676 | 421 | 612 | 900 | 550,800 |
| 6 | 11 | 774 | 483 | 490 | 549 | 269,010 |
| 7 | 12 | 578 | 330 | 635 | 4,500 | 2,857,500 |
| 8 | 12 | 676 | 386 | 612 | 1,800 | 1,101,600 |
| 9 | 12 | 774 | 442 | 490 | 1,800 | 882,200 |

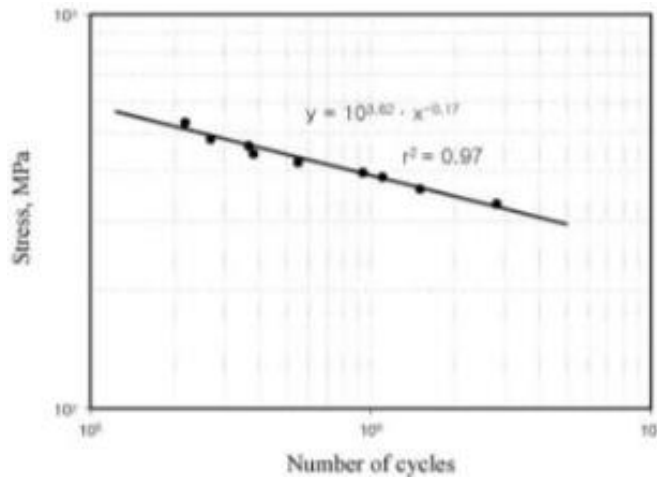


그림6. <S-N curve of PTO driving gear by fatigue life test>

□ 작업환경에 따른 PTO 가혹도 평가

- 로타리 경운작업에 대한 논 지역의 PTO 부하 스펙트럼 및 가혹도는 그림 7과 같이 나타났으며 부하 스펙트럼은 그림 7(a)와 같이 PTO 단수에 상관없이 모든 논 지역에서 부하의 크기가 작을수록 빈도수가 증가하는 유사한 형태를 보여 주었음.
- PTO 2단의 부하 스펙트럼이 1단에 비해 전체적으로 다소 높게 나타났으며, 최대 부하는 PTO 1단과 2단이 각각 정격토크의 약 2배와 2.3배로 로타리 경운작업 시 PTO의 회전속도가 증가할수록 더 큰 부하가 작용함을 알 수 있음.
- 상대 가혹도는 그림 7(c)와 같이 손상 합이 가장 작은 PTO 1단의 논 2지역을 기준으로 나타내었으며, PTO 2단이 1단에 전체적으로 높게 나타났음.
- 상대 가혹도는 PTO 1단에서 평균 1.96으로 1.00 ~ 2.70의 범위를 보여 주었으며, PTO 2단에서는 평균 3.34로 2.02 ~ 4.21의 범위로 나타나 PTO의 회전속도를 30% 증가시켰을 때, 가혹도는 평균 175%, 최대 251% 증가함을 알 수 있음.
- 로타리 경운작업에 대한 밭 지역의 PTO 부하 스펙트럼 및 가혹도는 그림 8과 같이 나타

타났다. 부하 스펙트럼은 그림 8(a)와 같이 논 지역의 부하 스펙트럼과 유사한 경향을 보이고 있으나 전체적으로 낮게 나타나 실험한 논 지역이 밭 지역 보다 더 큰 부하가 작용함을 알 수 있음.

- 상대 가속도는 그림 8(c)와 같이 손상 합이 가장 작은 PTO 1단의 밭 2지역을 기준으로 나타냈으며, 논 지역과 마찬가지로 PTO 2단이 1단에 비해 전체적으로 높게 나타났음.
- 상대 가속도는 PTO 1단에서 평균 1.36으로 1.00 ~ 1.75의 범위를 보여 주었으며, PTO 2단에서는 평균 2.51로 1.98 ~ 3.55의 범위로 나타나 PTO의 회전속도를 30% 증가시켰을 때, 가속도는 논 지역보다 다소 높은 평균 185%, 최대 243% 증가함을 알 수 있음.
- 로타리 경운작업에 따른 부하는 시험 포장의 조건에 따라 차이가 있었으나 전체적으로 밭 지역에 비해 논 지역이 더 높은 것으로 나타났으며, 가속도는 PTO 2단이 1단에 비해 현저히 높게 나타나 PTO의 회전을 저속하여 작업하는 것이 PTO 기어의 수명에 더 유리한 것을 알 수 있음.

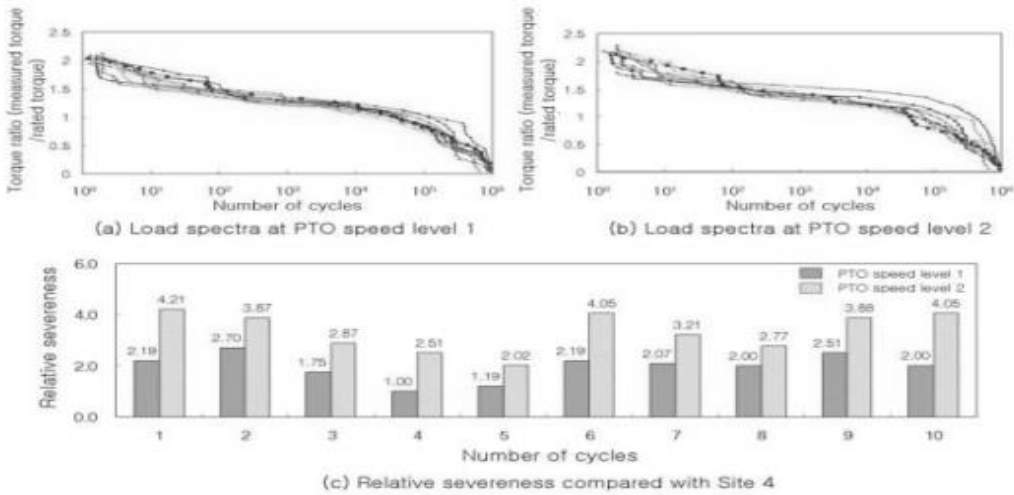


그림7. <Results of severeness evaluation of tractor PTO during rotary tillage operation at different PTO speeds and paddy field sites>

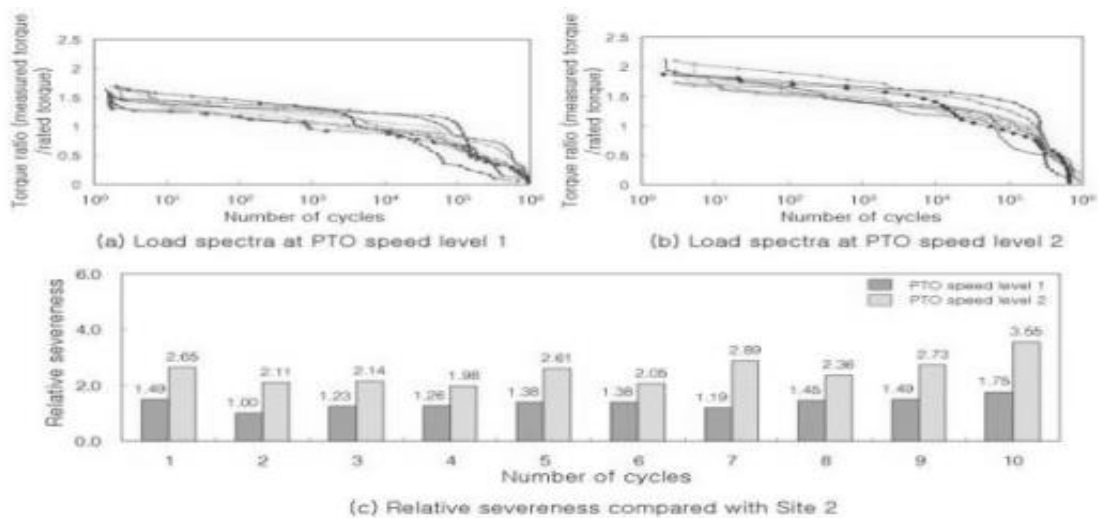


그림8. <Results of severeness evaluation of tractor PTO during rotary tillage operation at different PTO speeds and upland field sites>

2. 농작업기 시뮬레이션 모델 개발

- 농작업기의 자율주행 기술 및 운행 제어 알고리즘 개발을 위해 농작업기의 시뮬레이션 모델을 개발하는 것을 목표로 연구를 진행하였으며, 농작업기 중 가장 많이 사용되고 있는 트랙터를 대상으로 하였음.
- 트랙터의 주요 요소를 선정 및 사양을 분석한 후 각각의 요소별 모델링을 수행하였으며, 모델 간의 입/출력 연결과 모델 통합을 통해 트랙터 전체 모델을 개발하였음.

가. 트랙터 주요 요소

- 트랙터의 동력 전달 시스템은 일반적인 차량의 동력 전달 시스템과 같은 원리이나 세부적으로는 많은 특이성을 가지고 있음.
- 일반 차량은 포장도로에서 주행하는 것을 목적으로 하지만 트랙터의 경우 논 등 노외의 환경에서 차체의 추진과 함께 중량물의 견인이나 이동작업을 실시하여야 하며 포장 등의 연약지나 정지가 되지 않은 곳에서 운행에 견딜 수 있고 정지작업에서도 이용되어야 하므로 주요 장치로는 엔진을 비롯하여 변속기 등의 동력전달 장치, 주행 및 조향장치, 동력 취출장치, 유압장치, 3점 히치 등으로 나눌 수 있음.

□ 엔진

- 동력 전달 장치의 주체로 디젤기관을 원동력으로 장착한다. 일반적으로 4행정기관이 탑재되어 있으며, 실린더 수는 2, 3, 4등의 대기통으로서 배열법에는 수평식, 직렬식 등이 있으나 가장 많은 것은 4실린더 직렬식으로 점화 폭발은 표 4와 같이 두 가지 순서로 진행된다.

표4. Tractor Diesel Engine 4 stroke cycle

| | | | | |
|-----------|----|----|----|----|
| 실린더 번호 | 1 | 2 | 4 | 3 |
| | 1 | 3 | 4 | 2 |
| 점화 순서와 행정 | 폭발 | 압축 | 배기 | 흡입 |
| | 배기 | 폭발 | 압축 | 배기 |
| | 흡입 | 배기 | 폭발 | 압축 |
| | 압축 | 흡입 | 배기 | 폭발 |

- 트랙터 엔진의 연료 공급 방식은 연료탱크를 높은 곳에 위치하여 중력에 의해 공급하는 중력식이 널리 이용됨. 그림 31과 같이 연료탱크의 연료는 연료필터에서 여과된 후 인젝션 펌프에 보내져 인젝터로 펌핑되며, 이때 여분의 연료는 연료필터로 되돌아가며 인젝터에서 분사되고 남은 연료 역시 연료탱크로 되돌려짐.
- 연료 분사펌프의 종류는 분배형, 단독형, 열형 등이 있으며 트랙터에서는 분배형이 사용되고 있으며 분사 펌프에서 보내온 고압의 연료를 엔진의 연소실 내로 안개모양으로 분사시켜주는 노즐은 다공형이 이용됨.

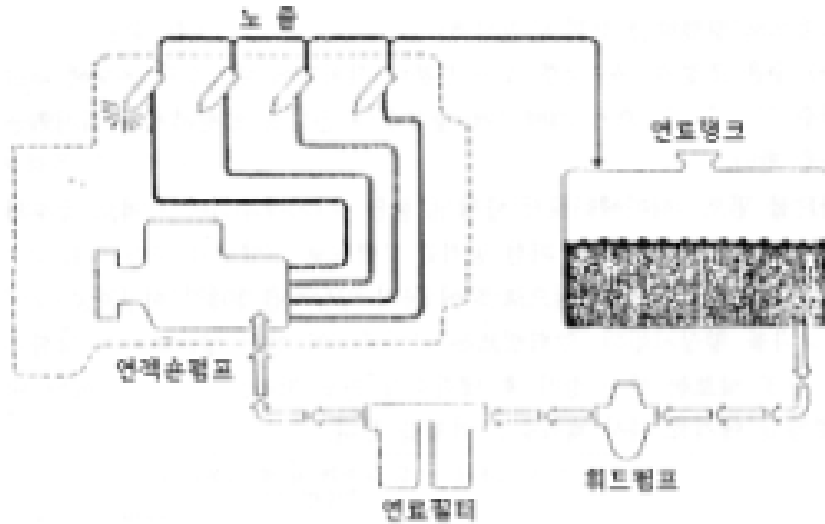


그림9. <Tractor Engine Fuel Cycle>

- 트랙터 엔진의 냉각계통은 그림 10과 같이 크랭크축에 의하여 구동되는 워터펌프로 라디에이터 하부의 물을 강제로 물 자켓에 밀어 넣어 순환되는 냉각수가 엔진의 열을 라디에이터에서 대기 중으로 방열하는 강제 순환식이 사용됨.
- 수온 조절기는 물 자켓 출구 부분에 설치되어 냉각수의 온도에 따라 냉각수 통로를 자동으로 개폐하여 냉각수의 온도를 일정하게 유지시키는 작용을 함.
- 물 펌프의 경우 라디에이터에서 냉각된 물을 물 자켓 부위에 강제로 송수하는 펌프로 크랭크축의 회전 동력을 V벨트로 전달 받아 구동되며 라디에이터 캡은 가압식으로 물의 비등점을 100℃ 이상으로 높여 냉각효과를 향상시킴.
- 압력밸브는 라디에이터의 안전밸브로서 역할을 하며 진공밸브는 엔진 정지 후 냉각수의 온도 저하로 인한 라디에이터 내의 부압을 대기압으로 다시 채워주는 역할을 함.

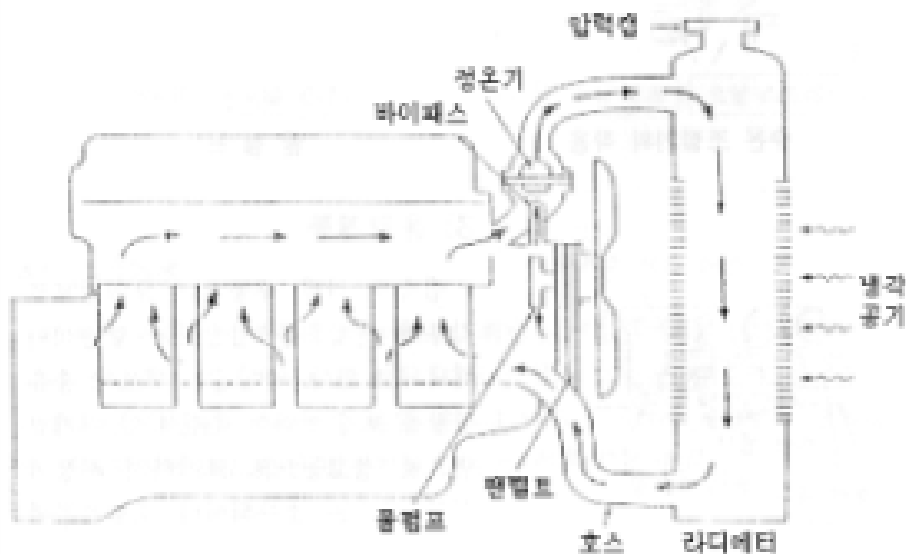


그림10. <Tractor Engine Cooling System>

□ 변속기

- 변속기란 엔진에서 발생하는 동력을 속도에 따라 필요한 회전력으로 바꾸어 전달하는 변속장치로 운동하는 기관의 속도를 필요한 속도로 변화시켜 주는 기계장치임.
- 운동하는 기관은 처음 출발할 때 회전 속도는 느리지만 큰 힘이 필요하고, 가속이 붙은 다음에는 큰 힘이 필요하지 않지만 빠른 회전 속도가 필요함. 따라서 크기가 서로 다른 기어를 맞물림으로써 기관의 속도와 힘을 조절 한다.
- 동기의 속력이나 회전력을 바꾸는 장치인 변속기는 기어에 의하여 회전수와 방향을 바꾸며 입력 회전수와 출력 회전수의 비를 변속비라고 함.
- 필요시에 따라 충분한 힘과 속력을 얻기 위하여 변속비를 바꾸는 것이 필요하며 내연기관의 변속비는 엔진이 몇 번 회전했을 때 변속기의 출력축이 한번 회전하는가를 표시하는 것이 일반적임.
- 또한 변속기와 구동차륜의 차축과의 사이에는 감속기어가 있다. 엔진이 몇 번 회전하면 구동차륜이 한번 회전하는가를 총감속비라고 하고, 이는 변속기의 변속비와 감속기어의 감속비와의 곱으로 표시됨.
- 트랙터의 변속기 구조는 그림 11과 같으며 일반 상용차량과 달리 변속기어 부부분이 주 변속, 부변속, 전/후진, PTO변속으로 나누어져 있으며 주변속의 경우 일반적으로 1, 2, 3, 4단으로 되어 있으며 트랙터의 운행 시 사용되는 변속임.
- 부변속은 Low, Middle, High의 3단으로 되어 있으며 트랙터의 작업시 사용되는 변속이며 주변속과 부변속의 조합으로 총 12단의 변속단수가 있으며 전/후진 포함시 24단, 부변속 기어가 4단인 경우 총 32단의 변속이 가능함.

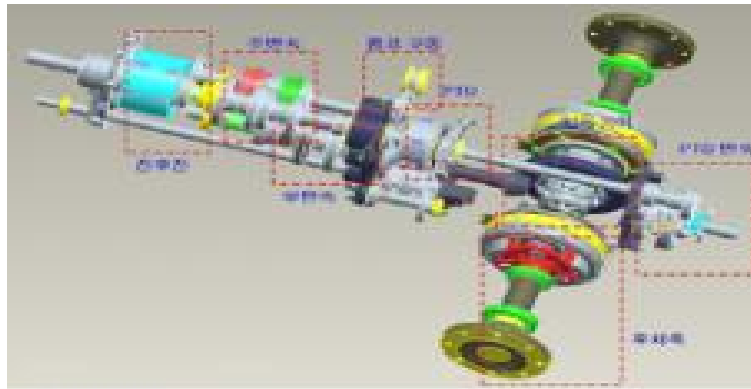


그림11. <Structure of tractor transmission>

- 변속기에는 여러 가지 기능이 있다. 즉, 트랙터의 전진, 후진, 중립 등의 동작 기능과 기관의 토크와 속도를 차량의 외부부하에 적합한 수준으로 변환하는 기능을 가지고 있음.
- 트랙터의 변속기는 수행할 작업이나 견인 부하에 따라 작업속도를 효과적으로 조절할 수 있도록 광범위한 속도비를 가져야 하며 기관의 토크와 속도는 식 (4), (5)을 사용하여 차축의 토크와 속도로 변환됨.

$$N_a = \frac{N_e}{G_{pt}} \dots \dots \dots \text{식 (4)}$$

where, N_a : Axle rotation speed, rpm

N_e : Engine rotation speed, rpm

G_{pt} : Transmission gear ratio \times Differential gear ratio \times Final reduction gear ratio

$$T_a = G_{pt}\eta_{pt}T_e \dots\dots\dots\text{식 (5)}$$

where, T_a : Axle torque, Nm

G_{pt} : Transmission gear ratio \times Differential gear ratio \times Final reduction gear ratio

η_{pt} : Transmission efficiency \times Differential gear efficiency \times Final reduction gear efficiency

□ PTO (power take off)

- PTO 장치란 동력 취출장치를 말하며 트랙터로부터 로터리 경운기(rotary tiller), 모어, 베일러 등 구동 작업기로 동력을 전달하기 위한 것으로 PTO축과 이를 구동하기 위한 동력전달장치를 말함.
- PTO 장치는 동력전달방식에 따라 변속기 구동형(transmission driven) PTO, 상시 회전형(continuous running) PTO, 독립형(independent) PTO, 속도 비례형(ground speed) PTO로 구분됨.
- 변속기 구동형 PTO는 트랙터의 주클러치와 변속기를 통하여 동력이 전달되며, PTO축은 주클러치가 연결된 경우에만 회전하고 트랙터가 정지하면 PTO축도 동시에 정지함.
- 상시 회전형 PTO는 주클러치가 2단 연속 클러치로 되어 있으며, 1단 클러치는 변속기용으로, 2단 클러치는 PTO용으로 사용됨.



그림12. <(a) Transmission driven PTO>

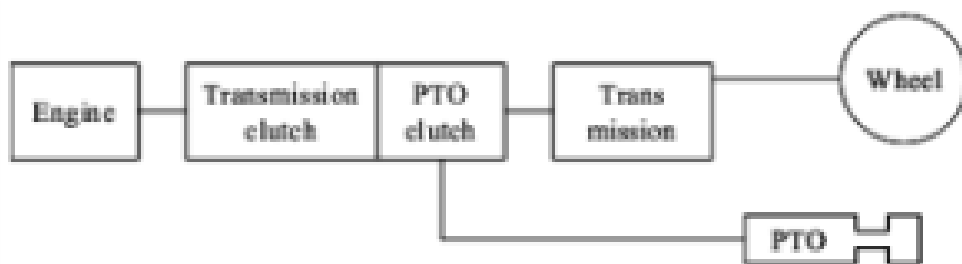


그림13. <Continuous running PTO>

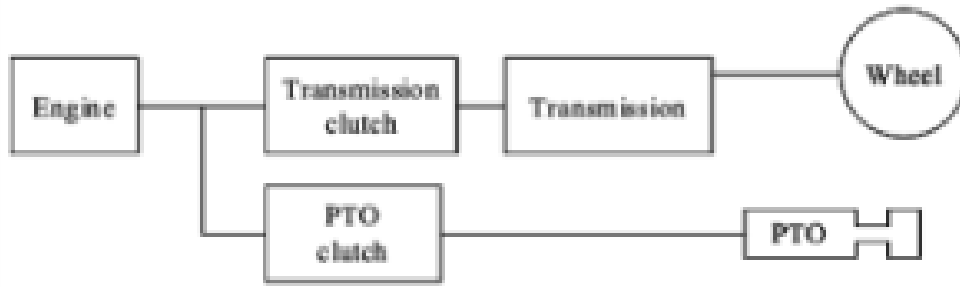


그림14. <(c) Independent PTO>
Type of PTO (Power Take Off).

- 또한 트랙터가 정지하더라도 PTO축으로 동력을 전달할 수 있음.
- 독립형 PTO는 변속기 클러치와 별도로 PTO 클러치가 설치되어 있으며, 트랙터의 주행과 정지에 관계없이 PTO축으로 동력을 전달하거나 차단할 수 있고 속도 비례형 PTO는 트랙터의 주행속도와 PTO축의 회전속도가 비례하도록 만든 형식임.
- 그림 15는 엔진 간접 연결식 PTO의 동력전달 구조를 나타낸 것으로 PTO 동력은 전/후진 변속부에서 분기되며 중공축으로 이루어진 부변속 장치의 동력축을 통하여 PTO 변속부로 전달되고, PTO 변속부로 전달된 동력은 PTO축을 통하여 부착 작업기로 전달됨.
- 그림 16은 엔진 직결식 PTO의 동력전달 구조를 나타낸 것으로 엔진 직결식 PTO 장치는 엔진 출력이 분기되지 않고 직접 PTO 변속부로 전달된다. PTO 동력은 PTO 클러치에 의해서 단속됨.

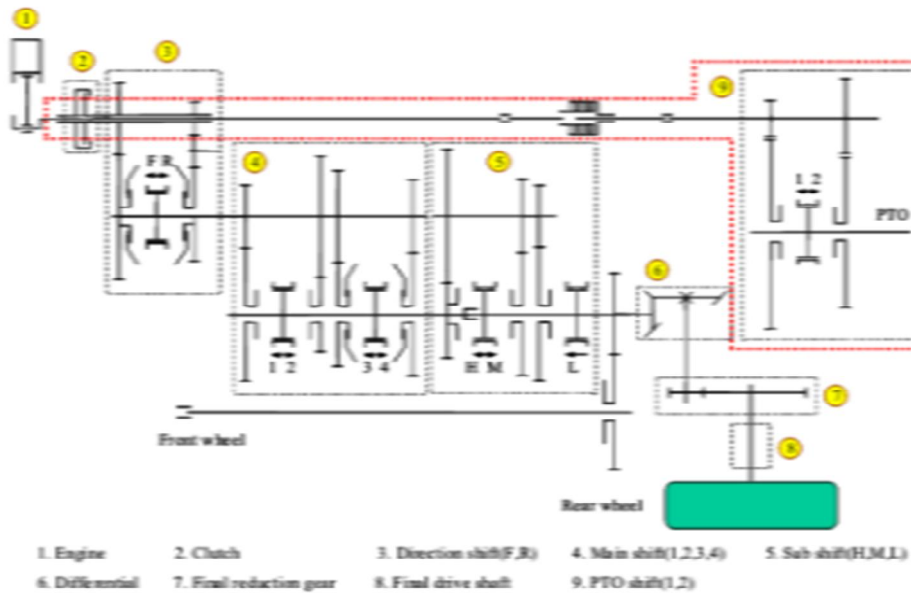


그림15. <Power drive line of tractor with an indirect engine-driven PTO>

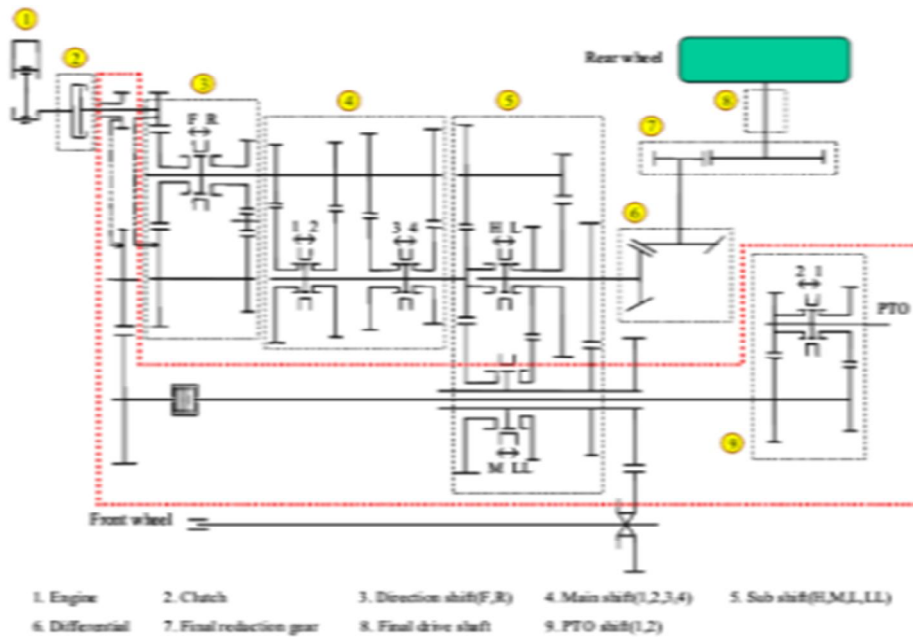


그림16. <Power drive line of tractor with an direct engine-driven PTO>

□ 유압장치

- 트랙터의 유압장치에는 차량의 파워 스티어링을 위한 조향장치와 작업기의 승·하강을 조작하기 위해 사용됨.
- 유압장치에 사용되는 펌프에 관성부하가 작용하는 경우 가속시에는 큰 토크가 필요하기 때문에 큰 압력이 작용하고, 또 감속시에는 큰 토크를 단시간에 감소시키기 위해 충격압력을 수반한다. 펌프축을 회전시키는 데 소요되는 이론토크는 식 (6)으로 나타낼 수 있음.

$$T_t = \frac{\Delta p D_p}{2\pi} \dots\dots\dots(6)$$

where, T_t : Theory torque, Nm

Δp : Pressure increase by pump, MPa

D_p : Pump stroke volume, cm³/rev

- 펌프의 내부마찰로 인하여 펌프축을 회전 시키는 데 요구되는 실제토크는 이론토크보다 크므로 펌프의 토크효율이 결정되면 실제토크는 식 (7)로 계산할 수 있음.

$$T_a = \frac{\Delta p D_p}{2\pi\eta_T} \dots\dots\dots(7)$$

where, T_a : Actuality torque, Nm

η_t : Torque efficiency

- 조향장치는 차량의 속도가 증가함에 따라 실제 조향각이 감소하고 구동력 증가에 대한 반력이 발생하거나 양력 항력에 의한 조향축 하중의 감소 등의 이유로 조향휠을 조향 시 타이어와 노면 사이의 접지 저항은 작아짐.
- 따라서 고속 주행 시에는 조향 안전성이 떨어져 불안하게 되는데 차량의 속도가 증가할 수록 조향휠이 무겁고 속도가 낮을수록 가볍게 할 필요가 있는데 이렇게 조향력을 변화시키는 장치가 전자제어 동력 조향장치임.
- 이를 실현하기위해 가벼운 조향핸들조작력을 차량의 속도에 따라 엔진으로 구동되는 유압펌프의 유압을 동력원으로 하는 동력 조향장치를 전자제어를 통해 주행속도의 상승에 따라 동력조향장치에 공급유량을 감소시켜 조향력을 제어하는 방식이 주종을 이룸.
- 그림 17은 속도감응 방식(유량제어방식) 조향장치로 솔레노이드 밸브나 전동기를 주행 속도와 기타 조향력에 필요한 정보에 의해 작동하여 고속과 저속 모드에 필요한 유량을 제어하는 방식임.



그림17. <Speed Sensitive Power Steering>

- 그림 18은 패스 밸브와 통로를 두고 주행속도의 상승에 따라 바이패스 밸브의 면적을 확대하여 실린더 작용 압력을 감소시켜 조향력을 제어하는 방식임.
- 이 방식에서는 바이패스 밸브 내의 흐름 방향이 조향 방향에 따라 역회전하므로 좌우의 특성을 갖추기 위해 설계면 제조면에서 배려가 이루어지고 있음.

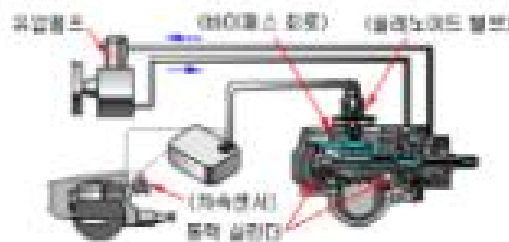


그림18. <by-pass Device of cylinder steering>

- 그림 19는 유압 반력 제어방식 조향장치를 나타낸 것으로 동력 조향장치의 밸브 부분에 유압 반력 제어 기구를 두고 유압 반력 제어밸브에 의해 주행속도의 상승에 따라 유압 반력실에 도입하는 반력 압력을 증가시켜 반력기구의 강성을 가변 제어하여 직접적으로 조향력을 제어하는 방식임.

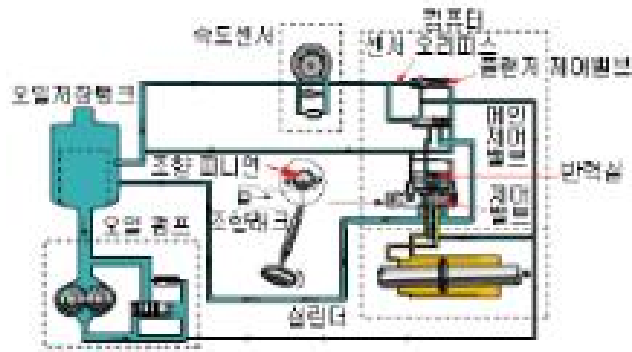


그림19. <Hydraulic Reaction Control Seering>

- 트랙터의 작업기 승·하강 장치는 기관의 회전 동력으로 유압펌프를 구동시키고 유압펌프에서 생긴 유압의 오일을 조작 밸브로 하여금 유압실린더로 보내어 그 압력으로 피스톤을 밀어 작업기를 들어 올림.
- 그림 20은 트랙터의 작업기 위치제어를 나타낸 것으로 유압조정레버를 조작하는 것만큼 작업기를 오르내리게 하여 트랙터와 작업기와의 상대적 위치를 일정하게 유지시킬 때 이용됨.

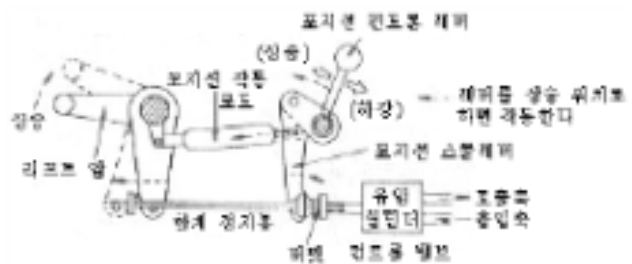


그림20. <Farm Working Machinery Position Control>

나. 시뮬레이션 모델 개발

- CAE(Computer Aided Engineering) 기술 활용은 비용 절감 및 개발 기간의 단축이라는 점에서 매우 중요하며, 현재 많은 제품 개발에 해석 기술이 활용되고 있음.
- 본 연구에서는 트랙터 시뮬레이션 모델을 이용한 연비평가를 위해 독일 ITI GmbH에서 개발한 Multi-Domain 시뮬레이션 프로그램인 Simulation X를 이용하였음. Simulation X는 복합적인 시스템의 물리적 작용을 모델링, 해석 및 분석을 할 수 있는 종합적인 CAE Tool임.

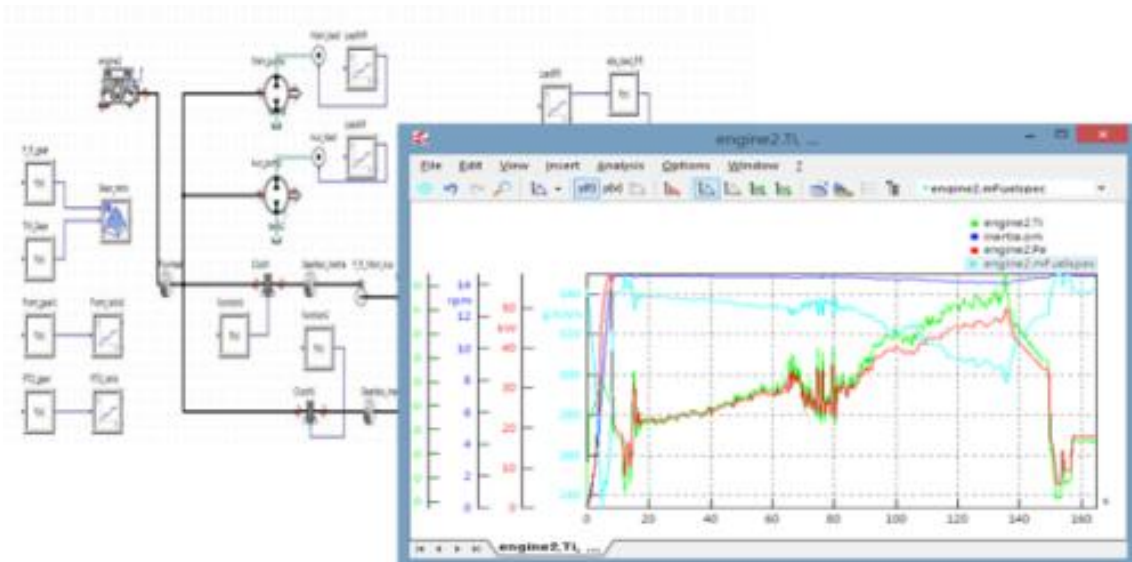


그림21. <Tractor Simulation Modeling Software>

- 트랙터 시뮬레이션의 구성은 동력전달 계통의 주요 구성은 그림 22와 같으며 엔진에서 발생하는 동력이 변속기를 거쳐 휠 및 PTO로 전달되고 엔진에서 직접 3점 히치와 조향 장치의 펌프로 동력이 전달되는 구조임.

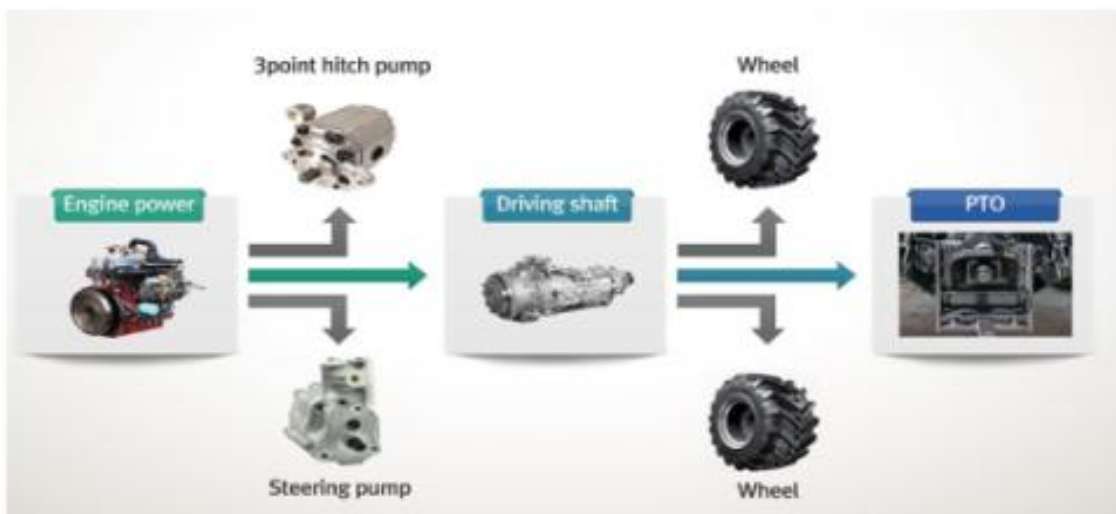


그림22. <Structure of Tractor Power Train System>

□ 엔진

- 트랙터가 농작업을 할 때, 변속단수 및 엔진 속도는 작업부하에 따라 결정되므로 변속단수 및 엔진속도를 결정하기 위해서는 엔진의 정확한 모델링이 필요함.
- 엔진의 모델링은 스로틀 열림량과 엔진속도 뿐만 아니라 많은 지표를 고려해야하므로 본 연구에서는 실제 포장작업 데이터 계측시 사용한 트랙터의 엔진사양을 표 5와 같이 적용하였음.

표5. Specification of Field Test Tractor

| | |
|----------------------|---------------|
| Types of Engine | Diesel Engine |
| Rated Power | 71 kW |
| Rated Engine Speed | 2300 rpm |
| Initial Engine Speed | 800 rpm |

- 엔진 모델은 엔진 종류, 정격파워, 정격 엔진회전수, 초기 엔진회전수, 스로틀 열림량, 엔진 회전수에 따른 토크 맵 및 연료소모량 맵을 시뮬레이션 모델에 적용하였음.
- 본 연구에서는 실제 데이터 측정 시 최대 스로틀로 작업을 실시하였기 때문에 스로틀 열림량은 100%로 고정하였음. 는 엔진 토크 맵과 연료소모량 맵을 나타낸 것이며 그림 24는 엔진 사양이 적용된 엔진 모델 구성임.

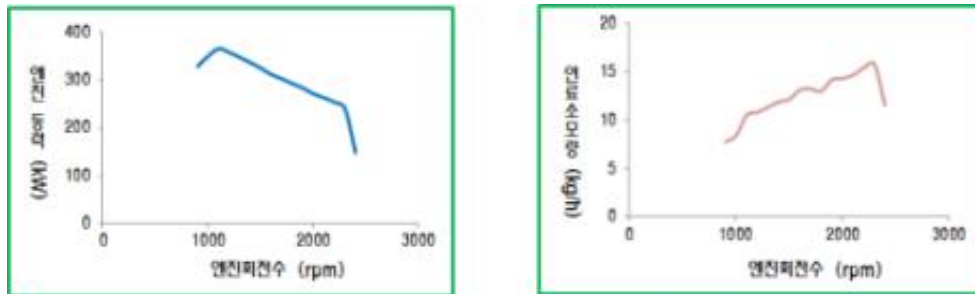


그림23. <Engine Torque Map and Fuel Consumption Map of Field Test Tractor>

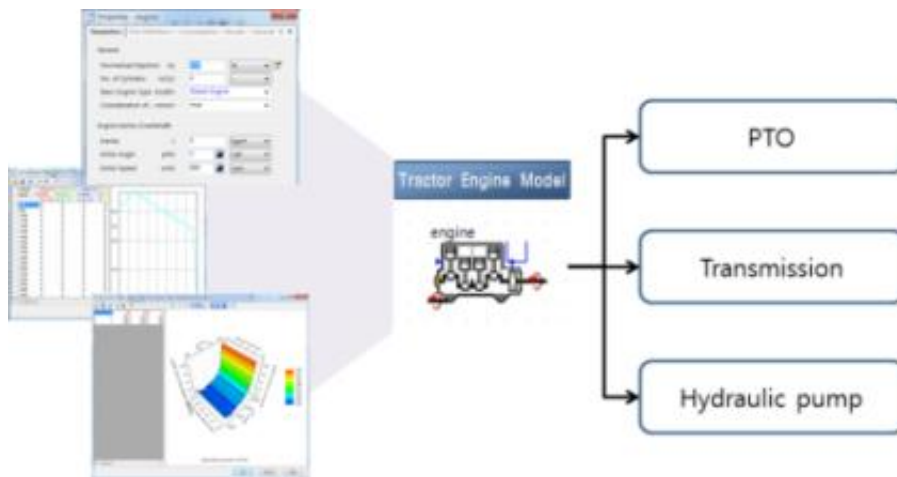


그림24. <Tractor Engine Model>

□ 변속기

- 변속기 모델은 엔진으로부터 전달된 토크와 엔진속도를 차축으로 전달하는 역할을 하는 장치로 실측 시험 시 사용된 변속 단수를 설정하고 변속기 축 후방에 외부 부하를 입력할 수 있도록 구성하여 생성된 작업 사이클을 입력하여 시뮬레이션을 진행하였음.
- 엔진과 변속기의 연결을 위해 클러치 모델을 선정하였으며 실측 시험 시 단수를 고정하여 작업을 진행하였기 때문에 시뮬레이션이 진행되는 동안 클러치 모델은 항상 연결이

되어 있도록 설정하였음.

- 아래 그림은 변속기 모델의 구성에서 클러치 연결과 외부부하가 입력되는 것을 나타내고 있음.

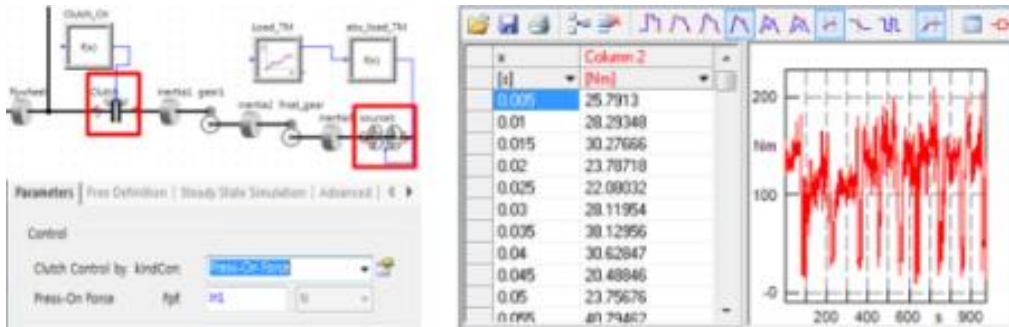


그림25. <Clutch Model and Application of Transmission Working cycle>

- 아래 그림은 변속기 모델 구성에서 기어 부분으로 기계식 기어 모델을 설계하여 단순 기어 모델에 기어비를 입력하였으며 기어비는 전/후진 각각 입력하였으며 주변속 및 부변속 조합으로 총 12단의 기어비를 입력하였음.
- 또한 변속기 축의 물성 적용을 위해 각 축마다 시험 트랙터의 변속기축 관성 모멘트를 설정하였음.

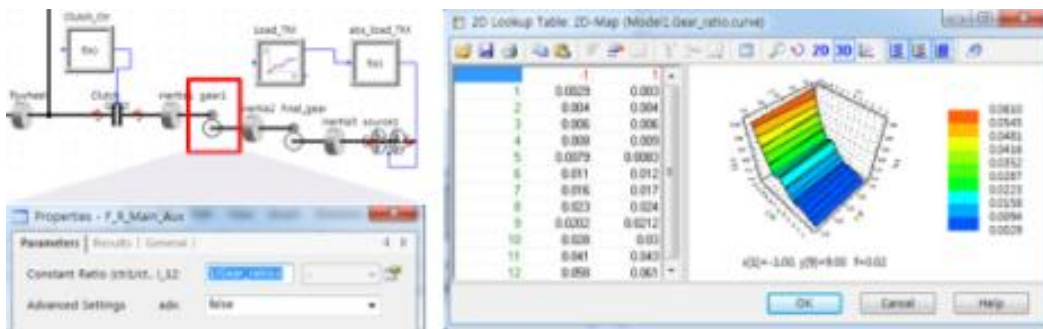


그림26. <Transmission Gear Ratio>

□ PTO 및 유압시스템

- 아래 표6은 실측 트랙터의 PTO 및 유압 사양을 나타낸 것이며 PTO 동력이 변속기, 유압 동력과 합산하여 엔진 소요동력으로 계산 될 수 있도록 독립형 PTO로 선정하였고 엔진 직접 연결식이므로 클러치와 기어를 구성하고 기어비를 입력하였음.
- 작업기 승·하강 및 조향을 위한 유압펌프는 트랙터에서 가장 많이 사용되는 기어식 유압펌프를 선정하여 유압펌프 최대 압력 및 토출량 등을 설정하였으며 아래 그림27은 사양을 적용한 모델 구성도임.

표6. Field Test Tractor PTO and Hydraulics Specification

| | Item | Specification |
|------------|----------------------------|--------------------------|
| PTO | Rated Power (kW) | 65 |
| | No. of Pump | 2 (Main, Auxiliary) |
| Hydraulics | Max. Pressure (MPa) | 20.6 |
| | Pump Displacement (cc/rev) | 12 (Main), 6 (Auxiliary) |
| | Volumetric Efficiency (%) | 95 |

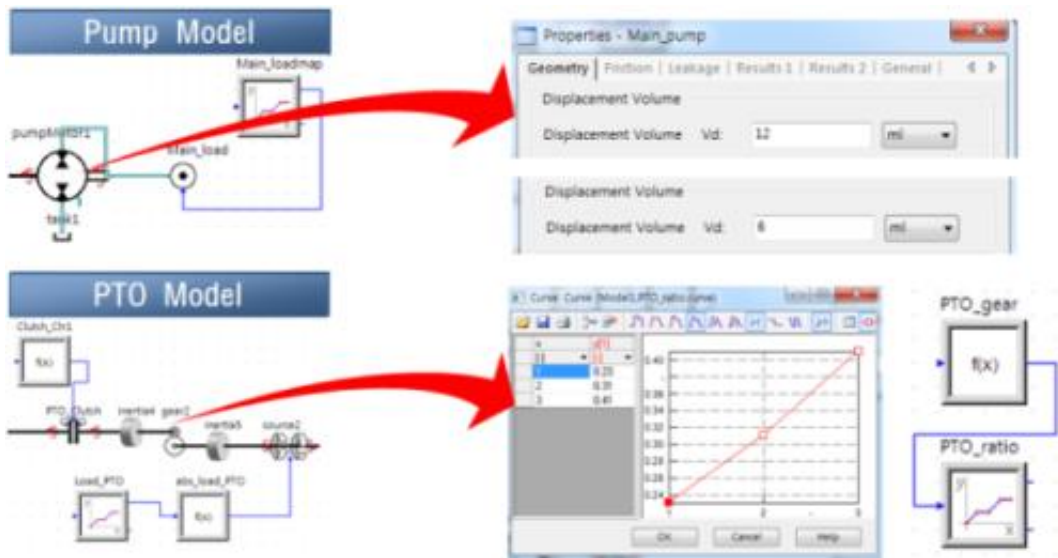


그림27. <PTO (Power Take Off) and Pump Model>

다. 동역학 주행 모델 구성

- 본 연구에서는 자율주행 기술의 시뮬레이션을 위해 차량의 동역학 주행 모델을 구성하였다.
- 4개의 바퀴를 가진 전륜구동 차량의 기구학적 모델은 그림 28과 같이 2차원 평면상의 x, y 좌표를 이용하여 차량의 전후 방향 중심축과 x 축이 이루는 각도(θ_t), 차량 앞바퀴 축 중심(F), 미소 위치 변화량(s)와 차륜각(ϕ)으로 나타낼 수 있음.
- 차량 앞바퀴 축의 중심, 차량의 미소 위치 변화량 및 차륜각은 차량의 다음 위치와 자세를 결정하는 요인임.
- 전륜구동 차량의 위치와 자세는 뒷바퀴 축의 중심(R)을 기준으로 표현되며, 뒷바퀴 축의 중심은 뒷바퀴 축의 위치 변화량($\Delta x_R, \Delta y_R$), 차량의 전후 방향 중심축과 x 축과의 각도의 변화량($\Delta \theta_t$) 및 회전반경(r)은 식 (8)과 같이 계산됨.
- 또한 식 (31)을 이용하여 차량의 다음 위치(x_{R+1}, y_{R+1}), 전후 방향 중심축과 x 축과의 각도(θ_{t+1}), 차량 앞바퀴 축의 중심(x_F, y_F)을 식 (9)를 이용하여 산출 할 수 있음.

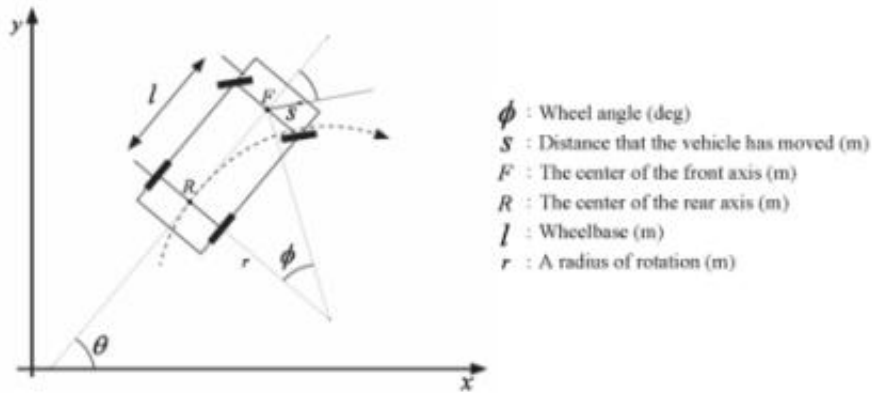


그림28. <Kinetics model of a conventional vehicle>

$$\begin{cases} \Delta x_R = s \cos\phi \cos\theta \\ \Delta y_R = s \cos\phi \sin\theta \\ \Delta\theta = \frac{s}{l} \sin\phi \\ r = \frac{l}{\sin\phi} \end{cases} \dots \dots \dots \text{식 (8)}$$

$$\begin{cases} x_{R+1} = x_R + s \cos\phi \cos\theta \\ y_{R+1} = y_R + s \cos\phi \sin\theta \\ x_F = x_R + l \cos\theta \\ y_F = y_R + l \sin\theta \\ \theta_{t+1} = \theta_t + \frac{s}{l} \sin\phi \end{cases} \dots \dots \dots \text{식 (9)}$$

- 콤팩트, 트랙터 등의 농작업기가 직선 작업 후 다음 경로 진입을 위해서는 후진 및 조향의 복합 제어가 필요함.
- 이를 위해 농작업기의 초기 위치와 최종 목표점까지의 경로 생성을 통해 실시되며 이는 장애물과의 충돌 등 차량의 주차에 대한 제한 요소를 고려하여야 함.
- 작업 경로 진입을 위한 경로 생성은 그림 29와 같이 반경이 r이고 서로 외접하는 동일한 두 개의 원을 이용하여 나타낼 수 있으며 원의 반경은 농작업기가 장애물에 충돌하지 않는 범위에서 최소의 반경을 가짐.
- 전체 경로는 직선 주행을 위해 조향각을 0°로 제어해야 하는 $\overline{P_0P_1}$ 구간, 최소 회전 반경을 위해 조향각을 최대로 하여 시계방향, 반시계방향으로 제어해야 하는 $\overline{P_1P_2}$, $\overline{P_2P_3}$ 구간으로 나누어지며 후진만으로 다음 경로 진입을 완료함.
- 시작위치와 목표위치는 각각 $P_0(D_x, D_y)$ 와 $P_3(0, 0)$ 로 나타낼 수 있으며, P_1, P_2 는 조향각이 바뀌는 점의 좌표임. 두 원의 중심 좌표 C_1, C_2 는 식 (10)과 같이 두 원이 접하는 것을 이용하여 계산할 수 있으며, 이 때 P_1, P_2 의 좌표는 식 (11)과 같이 나타낼 수 있음.

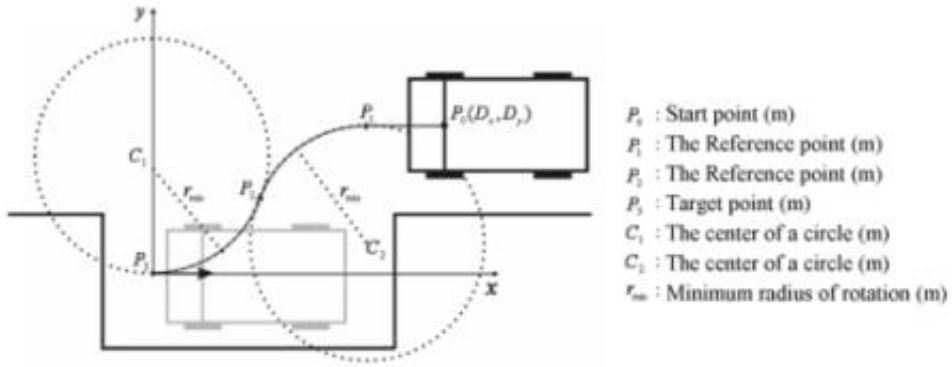


그림29. <Ideal path for a parallel parking>

$$\begin{cases} C_1 = (0, r) \\ C_2 = (\sqrt{4rD_y - D_y^2}, D_y - r) \end{cases} \dots \dots \dots \text{식(10)}$$

$$\begin{cases} P_1 = (\sqrt{4rD_y - D_y^2}, D_y) \\ P_2 = (\frac{\sqrt{4rD_y - D_y^2}}{2}, \frac{D_y}{2}) \end{cases} \dots \dots \dots \text{식(11)}$$

3. 제어기 모듈 layout 설계

가. 제어용 신호처리 시스템

□ 임베디드 시스템 개요

- 신호처리를 위한 제어 장치는 크게 임베디드 하드웨어를 이용하거나 윈도우 소프트웨어를 이용하는 방법이 있음.
- 소프트웨어를 이용하는 방법인 마이크로프로세서는 사용자가 원하는 목적에 따라 명령어 집합을 재구성하여 프로그래밍 하는 방법으로 하드웨어를 변화시키지 않고 다양한 분야에 적용이 가능한 장점이 있으나 메모리로부터 명령어를 읽고 해석한 후에 실행하므로 속도가 느린 단점이 있음.
- 하드웨어 방법으로는 고속의 신호처리가 가능한 ASIC (Application Specific Integrated Circuit)이나 ASSP (Application-Specific Standard Products)가 있으며 이는 일반적인 DSP (Digital Signal Processing) 프로세서로 구현할 수 없는 높은 성능을 발휘 할 수 있는 장점이 있기 때문임.
- ASIC는 주로 PC에 사용되는 마이크로프로세서나 메모리칩 등의 일반 집적회로와 달리 특정한 전자·정보통신 제품에 사용할 목적으로 설계된 비메모리 반도체 칩으로 자체품을 제조하는 업체가 반도체 설계 업체에 개발을 주문하는 형태로 제작되므로 고속의 신호처리가 가능하지만, 특정 응용에만 이용이 가능하도록 설계된 것인 만큼 다양한 분야에 응용할 수 있는 융통성에는 많은 제약이 있음.
- 반면 DSP 프로세서는 ASIC이나 ASSP과 비교했을 때 성능은 떨어지지만, 거의 모든 응용 분야에 사용될 수 있을 만큼 융통성이 뛰어난 장점으로 인해 널리 사용되어져 왔음.

- 이처럼 수년전까지의 DSP 기술은 낮은 성능대신 높은 융통성을 제공하는 DSP 프로세서와, 낮은 융통성 대신 높은 성능을 제공하는 ASSP, ASIC으로 양분되어 있었으며 이와 같이 Programmable device들은 그림 30과 같이 융통성과 속도가 반비례하게 됨.

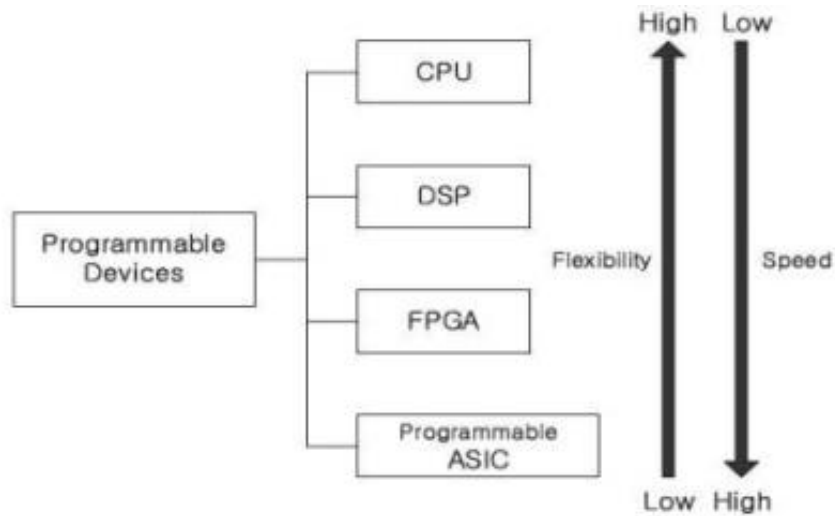


그림30. <Special feature of baseband digital signal process element>

- 농작업기 자율주행을 위한 제어기의 설계에서는 다양한 센서 신호의 입력과 분석을 위하여 고속의 신호처리가 필요한 동시에 사용자의 요구에 따라 하위 시스템을 쉽게 추가할 수 있는 자료수집 장치가 필요함.
- 그림 31과 같이 FPGA는 칩 내부에 작은 입출력 블록(I/O blocks)과 논리 블록(logic blocks)의 논리 모듈(logic module)과 배선 영역(interconnect)으로 구성되며, 전기적 신호로 논리모듈을 조합시켜 재구성이 가능한 하드웨어 장치로 고속의 신호처리가 가능함.

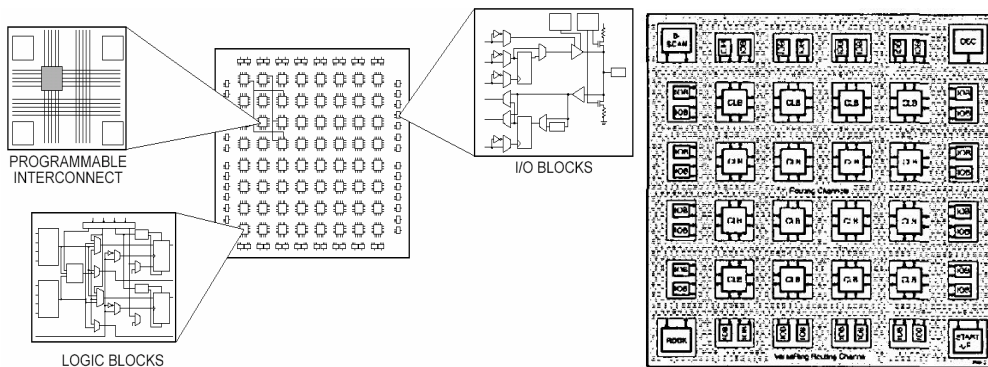


그림31. <Schematic diagram of field programmable gate array>

- 또한 표7과 같이 설계환경이 간편하여 다른 ASIC 보다 개발 기간이 매우 짧고 소프트웨어 방법과 마찬가지로 사용자의 요구에 따라 변경할 수 있어 설계 및 제작의 융통성이 높다는 장점이 있음.

표7. Comparison of software and hardware types of data acquisition board

| Item | Software | Hardware | |
|------------------|---------------|------------|-------------|
| | | ASIC | FPGA |
| Flexible | Possible | Impossible | Possible |
| Inspection | Easy | Hard | Easy |
| Development time | Short | Long | Moderate |
| Price | License price | Expensive | Inexpensive |

- 최근 FPGA의 수요는 2001년 15,232천 건에서 2004년 24,318천 건으로 약 38% 증가하였으며, PDP (Plasma Display Panel), LCD (Liquid Crystal Display) 등의 디지털 TV, 유비쿼터스를 기반으로 하는 무선 제어, DVD (Digital Video Disk), 복사기, 스캐너, MP3 등의 여러 산업 분야에 적용이 늘어나고 있는 추세임.
- FPGA는 주로 사용자의 목적에 따라 가변적으로 변화가 가능하고 고속의 신호처리를 필요로 하는 영상 처리 분야에서 사용되었으며, 현재 로봇, 의공학 등의 진단 시스템 분야에 활발히 적용되고 있음.

□ FPGA

- FPGA의 종류는 하드웨어를 설계하는 프로그램의 방법에 따라 Anti-fuse 방식, EPROM (Erasable and Programmable Read Only Memory) 혹은 EEPROM (Electrically EPROM) 방식, SRAM (Static RAM) cells 방식이 있으며, 각각의 방식은 사용자가 용도 및 환경에 적합하게 개발해야 함.
- Anti-fuse방식은 3개의 단면층으로 구성되는데 가장 아래층은 n형, 반도체, 유전체로 이루어진 중간 절연층, 최상층의 폴리실리콘 전도층으로 이루어지며 이 구조에서 비교적 높은 18 V 의 전압을 Anti-fuse 터미널에 인가하고 5 mA 정도 되는 전류를 흐르게 하면 중간층의 유전체가 열에 의하여 녹게 되어 최상층과 하층사이에 전기적인 연결이 이루어짐.
- 퓨즈가 파괴된 후 연결되는 두 개의 전도층은 각각 전도성이 좋은 금속층과 연결되어 약 300-500 Ω의 낮은 저항값을 가지게 되며 Anti-fuse방식의 FPGA 프로그래밍을 위하여 별도의 마스크 제조 공정이 필요하나 프로그래밍을 위한 칩 면적은 매우 적음.
- EPROM을 포함한 프로그래밍 방식은 Select 와 Floating 두 개의 게이트를 가진 구조로 두 게이트사이는 전기적으로 연결되지 않은 상태이며 프로그래밍이 되지 않은 상태에서 Floating 게이트에 전하가 존재하지 않아서 이 트랜지스터는 보통의 경우와 동일하게 Select 게이트에 의하여 ON 시킬 수 있음.
- 이러한 방법으로 EPROM은 프로그래밍 스위치로 사용한다. 프로그래밍된 EEROM 소자는 비휘발성이나 자외선을 일정시간 조사하게 되면 포획된 전하를 잃어버리게 되므로 재프로그래밍이 가능하고 칩 면적이 매우 적다는 장점이 있음.
- SRAM 구조에서는 프로그래밍하기 위한 연결 스위치 점이 SRAM셀에 의하여 조정되어지는 멀티플렉서 등을 사용함. SRAM방식에서는 연결점을 제어하기 위한 배열 정보가 SRAM 셀에 저장되어 있는데 이것은 동작전원이 꺼지면 그 정보를 유실하는 휘발성소자임.

- 따라서 이 방식을 사용하는 시스템에서는 FPGA의 배열정보를 영구히 보존하기 위한 별도의 저장매체가 필요하고 다른 방식에 비하여 SRAM구조는 비교적 면적을 많이 차지하나 재프로그래밍이 시스템 안에서 장착된 채로 이루어질 수 있으며 표준 CMOS 공정을 사용하여 제조할 수 있다는 장점이 있음.
- 전원이 꺼지면 데이터가 지워지고 전원이 켜지면 EEPROM 에서 FPGA로 데이터를 전송하는 방식으로 많은 입출력 포트를 제공하므로 많은 입출력을 필요로 하는 시스템에 효과적임.

가. CAN 인터페이스

□ CAN 개요 및 활용

- 최근 자동차 전자제어 기술이 발달하고 마이크로 컨트롤러의 성능이 향상되면서 자동차 내의 전자제어 장치(Electric Control Unit, ECU)의 수가 점차 증가하고 있음.
- 전자제어 장치는 그림 54와 같이 자동차의 엔진, 변속기, ABS (Anti-lock Brake System, 자동차가 급제동할 때 바퀴가 잠기는 현상을 방지하기 위해 개발된 특수 브레이크) 따위의 상태를 제어하는 장치로서 애초의 개발 목적은 엔진의 점화시기, 연료분사, 공회전 등 핵심 기능을 정밀하게 제어하는 것이었으나 차량과 컴퓨터의 성능이 발전함에 따라 자동변속기의 제어를 비롯한 구동, 제동, 조향 등 차량의 모든 부분을 제어하는 역할까지 하고 있음.
- 그러나 각 전자제어 장치들은 서로의 정보를 전달하기 위해 각각 다른 연결 방법을 가지고 있어 각 제어 장치끼리의 연결에 필요한 배선의 증가와 확장성의 문제를 일으켜 차량 개발의 효율성을 감소시킴.
- 또한 신차의 개발기간이 점차 짧아지고 차량의 개발 및 생산 비용 절감과 제어 성능 향상 등에 대한 요구 또한 커지고 있음. 이러한 요구를 만족하기 위해 각 전자제어 장치들의 모듈화가 이루어져야하며 효과적이고 체계적인 개발 프로세스와 최적의 시스템 구성이 필요하다. 이를 위해 CAN (Controller Area Network) 통신 프로토콜이 개발되기 시작하였음.

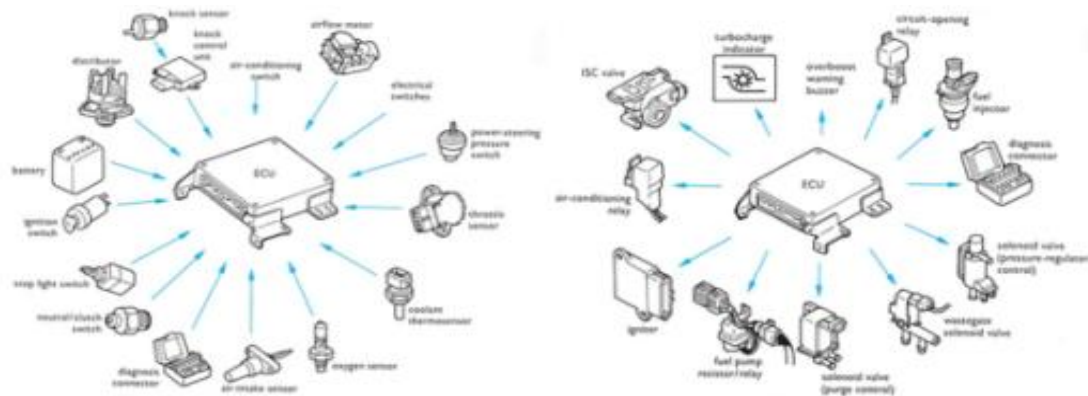


그림32. <ECU의 입출력 신호>

- CAN 통신이란, 1988년 Bosch 사와 Intel 사에서 자동차내의 각종 계측제어 장비들 간의

디지털 직렬 통신을 제공하기 위하여 개발한 시리얼 네트워크 통신방식으로 처음에 ‘Car Area Network’라는 명칭으로 시작된 만큼 차량 내에 적합하도록 개발되었음.

- 여러 개의 전자제어 장치들을 병렬로 연결하여 각각의 전자제어 장치들 간에 원활한 정보교환이 가능하다는 장점이 있고 여러 개의 장치를 단 2개의 선으로 제어할 수 있다는 장점이 있음.
- 또한 다른 자동화 통신망들에 비하여 가격 대 성능비가 우수하며, 지난 수년간 차량내의 열악한 환경에서 성공적으로 동작되어 신뢰도가 검증된 통신망임.
- 신뢰도가 검증된 만큼 기존 차량에서도 승용차, 트럭, 버스 등 엔진 관리 시스템, 미끄럼 방지 브레이크, 기어제어, 활성 서스펜션 등과 같은 전자제어 장치들 사이의 커뮤니케이션 Power Train에 이용되고 있음.
- 또한 외부 전자파나 노이즈에 강해 자동차뿐만 아니라 산업 자동화, 건물 자동화, 의료 장비, 열차, 중장비 차량 등 표 8과 같이 다양한 분야에서 활용되고 있음.

표8. CAN 통신의 활용 분야

| Application Field | Contents |
|---------------------|---|
| General vehicle | <ul style="list-style-type: none"> • Communicate between ECU • Control the dashboard, light, air conditioner, windows, center lock, air bag, safety belt |
| Heavy vehicle | <ul style="list-style-type: none"> • Power train and control the water pressure for construction vehicle, forklift, tractor |
| Train | <ul style="list-style-type: none"> • Exchange data between electronic system |
| Industry automation | <ul style="list-style-type: none"> • Connect the control equipments • Initialize, up/download the program and parameter, exchange the measurement/actual value • Printing equipment, control the paper and fiber • Transport system |
| Medical appliance | <ul style="list-style-type: none"> • MRI, X-ray, wheel chair |
| Building automation | <ul style="list-style-type: none"> • Control the heater, air conditioner, light, elevator, escalator |

- 차량 내에서 CAN 네트워크는 CAN의 메시지 전송 속도에 따라 표 17과 같이 고속 CAN 네트워크와 저속 CAN 네트워크로 분류할 수 있음.
- 고속 CAN 네트워크는 엔진 및 변속기의 파워트레인 시스템과 ABS 및 ESP (Electronic Stability Program) 등의 차시(chassis) 시스템과 같이 고속의 데이터 전송이 필요한 통신 네트워크에 제공되며 Bit rate는 125 Kbit/s부터 최대 1 Mbit/s를 제공함.
- 더불어 자동차와 같이 다양하고 심각한 노이즈가 많은 환경에 적합하도록 여러 검출 및 여러 보정의 기능이 있음.
- 저속 CAN 네트워크는 편의 장치 위주의 바디 시스템과 같이 속도에 덜 영향을 받는 통

신 네트워크에 제공되며 Bit rate는 최대 125 Kbit/s를 제공하고 고속 CAN과 달리 전송 속도에 구애를 받지 않아 많은 수의 노드 허용이 가능함.

표9. 속도에 따른 CAN 통신 분류 및 비교

| Section | High Speed CAN | Low Speed CAN |
|--------------|--|---------------------------------------|
| CAN Class | Class C (125 Kbit/s ~ 1 Mbit/s) | Class B (~ 125 Kbit/s) |
| Standard ISO | ISO 11898-2 | ISO 11519-2 |
| Transceiver | Philips 82C250/251 TJA 1040/1041/1050 | Philips 82C252 TJA 1050/1054/1054A |
| Topology | Line topology | Various topology |
| Signals | Approx.500-800 | Approx.1200-2500 |
| Messages | Approx.30-50 | Approx.250-350 |
| Nodes | Approx.2-10 | Approx.30-50 |
| Part | Power train Engine control | Body CAN Comfort features |

□ CAN의 농작업기 활용

- CAN은 일반 승용 자동차 및 특수 차량에서 전선의 무게 감소와 각 유닛들의 효율성을 높이며 자동화 등에 큰 기여를 하고 있음.
- 국내에 일반 승용 자동차 분야는 CAN 기반의 내부 시스템의 많은 발전이 있었으나 농경지 등에서 사용되는 트랙터는 아직 그에 못 미치고 있음.
- CAN은 통신선을 트위스트 꼬임으로 하여 주변 노이즈에 강하므로 농업 환경에서 적용성이 가장 좋은 통신방법이며 농용 트랙터와 임업 작업기에서의 CAN은 ISO 11783에서 규정되어 있음.
- ISO 11783의 내용을 살펴보면, CAN에 의해 데이터가 교환될 때 어떠한 전자제어 장치들도 주소화되지 않고 메시지의 내용에 의해서 정해짐.
- ID는 메시지의 내용뿐만 아니라 우선순위도 결정하는데, 이것은 여러 개의 전자제어 장치들이 동시에 버스에 접근하려고 할 때 버스 할당을 위하여 중요함.
- 전송되는 메시지의 우선순위는 해당 메시지의 ID에 의해 결정되는데 시스템을 설계하는 동안 결정되며 이진법에 의해 표현되고 동적으로 변할 수 없으며 가장 낮은 이진수를 갖는 ID가 가장 높은 우선순위를 가짐.

■ 농작업별 최적 운행 제어 모델 설계 및 수확 작물 분석 방법 개발

1. 운행 최적화를 위한 모델 개발

1. 연구 목표 및 내용

1) 연구 개발의 필요성

- 국내 농업은 세계적인 곡물 부족 현상 및 경영상태 악화, 인구 고령화 등의 문제로 인한 노동력 부족현상과 3D 기피현상이 갈수록 심화되고 있음.
- 전 세계적으로 농업기계는 점점 대형화, 자동화, 시스템화 되고 있는 추세이며, 정밀농업과 같은 고효율 농법을 실현하기 위한 효율적인 시스템 운용기술에 관한 농민들의 관심 및 수요가 급증하고 있는 실정임.
- 국내 농가 인구의 비율은 1985년 약 20%에서 지속적으로 감소하여 2008년 6.6%로 나타났으며, 2020년에는 4.6%까지 하락될 전망이다. 또한 농가인구 중 65세 이상의 고 연령층의 비율은 1985년 약 24%에서 2008년 43%로 급격히 증가했으며, 2020년에는 44.7%까지 증가할 전망이다.
- 국내 경지면적은 2000년 1,888 천ha에서 2012년 1,730 천ha로 약 8.4% 감소하였고 GDP에서의 농업비중은 2000년 4.2%에서 2012년 2.3%로 감소하였으며, 최근 국제적 FTA, 쌀 수입 개방 확대 등에 국제무역체제가 개편됨에 따라 국내 시장에서도 농산물의 가격 경쟁력 저하로 농업 문제는 더욱 심화되고 있음.
- 이와 같은 문제 해결을 위해 콤팩트, 트랙터 등 다양한 농업기계 보급 및 기술 개발이 증대되고 있지만 고령화, 여성화 등으로 인해 농업기계와 기술의 실제 이용에 어려움이 크므로 자동화, 무인화 기술 개발을 통해 농작업 효율 향상이 필요한 실정임.

2) 농업기계의 운행 제어 기술

- 농촌인구의 감소와 고령화로 농작업의 생산성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 편리한 기계조작을 위한 자동화 기술, 더 나아가 작업자를 대체할 수 있는 무인화, 지능화, 로봇 기술에 대한 요구가 증가하고 있음.
- 이에 따라 위성항법시스템, 무단변속기, 자동 조향제어 기술 등의 발달로 인해 농업기계의 자동화, 무인화에 관한 연구들이 활발히 진행 중이며, 농업기계는 특성상 포장에서의 작업이 많은 비중을 차지하므로 농업용 차량의 자율주행은 농업기계의 무인화에 반드시 필요한 기술임.
- 첨단 지능화된 농업기계 자율주행을 위한 운행 제어 및 작업기 제어기술은 작업의 생산성과 효율성을 높일 수 있을 뿐만 아니라 작업자의 노동부하를 경감시키고, 심지어 작업자가 필요 없는 무인화 기술의 토대를 제공함.
- 최근 자동화, 지능화된 농업기계에 대한 수요가 증가하고 있으나 국내 기술수준은 미국, 일본 등 선진국에 비해 낮아 자동화, 지능화 농업기계 수입이 가속화 되고 있음.
- 지능화 기술로 각광받는 자율주행 기술의 연구는 주로 상용 자동차 분야에서 활발히 진행되어 왔으며 최근에는 항법과 경로생성 등 무인자율주행에 필요한 요소기술의 발전이 비약적으로 이루어지고 있음. 하지만, 고속으로 운전하고 많은 장애물을 고려해야 하는 현실적인 문제로 실용화하기에는 여전히 어려운 문제가 있음.
- 이에 비해 농업기계분야에서는, 넓은 포장에서 농작업에 사용되는 농업용 차량, 트랙터, 콤팩트 등은 저속으로 운전되고 장애물이 비교적 큰 문제가 되지 않을 뿐만 아니라 직선 또는 완만한 곡선 경로를 따라 작업이 이루어지고 이웃한 열에 일정 간격을 유지하면서 반복적으로 이루어지기 때문에 자율주행 또는 자동화 기술 적용이 유리한 조건임.
- 국내 농업기계는 선진국에 비해 대형 기계보다는 비교적 중소형이 대부분이고, 농작업

조건의 경우도 미국의 경우는 밭작물을 대상으로 10 ha 이상의 대규모 작업용인데 반해 우리나라는 1 ha 미만의 상대적으로 작은 포장에서 기계가 사용됨. 따라서, 외국에서 개발된 다양한 운행 제어 알고리즘과 차량 제어기술은 국내 조건에 적용하기 어려우며 이를 국내 농업환경 실정에 맞게 개량 보완하는 연구가 필요함.

- 이를 위해, 국내 작업 조건별 주행 환경을 설정하고, 시뮬레이션을 이용한 성능평가 및 수확작물 성분 분석 등을 통해 국내 농업환경 실정에 맞는 농작업별 최적 운행 제어 모델을 설계함.

2. 연구 방법

가. 동력학 시뮬레이션 연구의 필요성

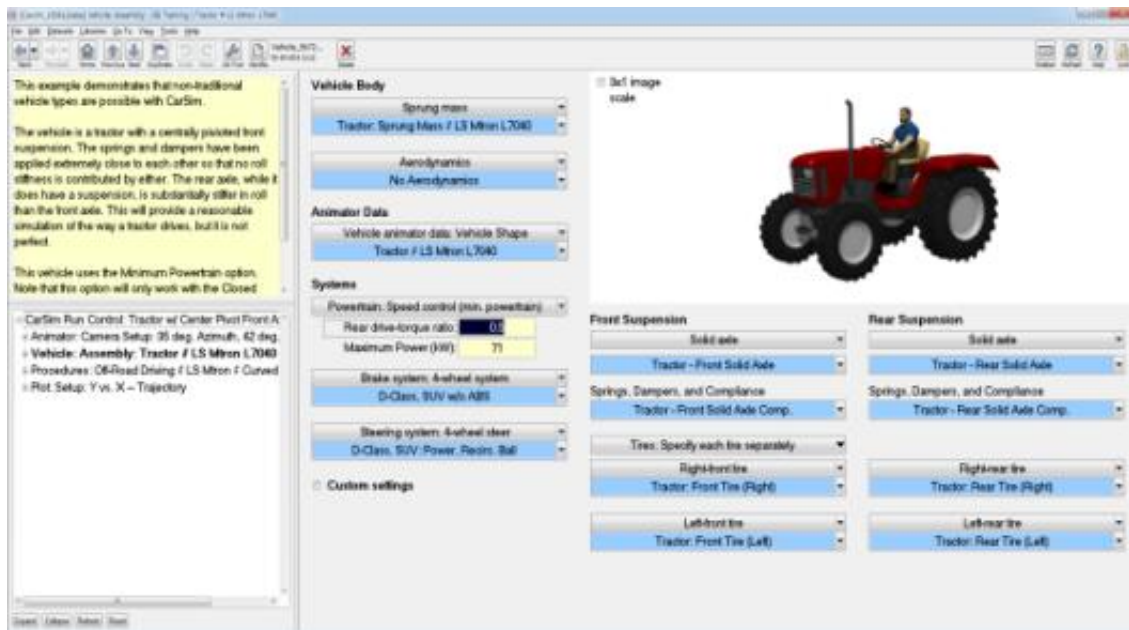
- 당해 연도에는 농작업별 최적 운행 제어 모델 설계 및 경로 추종 최적화를 위해 조건별 주행 환경 설정 후 시뮬레이션을 실시하였으며, 농작업기 중 가장 많이 사용되고 있는 트랙터를 대상으로 하였음.
- 국내 선진사의 트랙터 주요 요소를 선정 및 사양을 분석한 후 시뮬레이션을 위한 각각의 요소별 사양 설정을 하였으며, 트랙터의 경로 추종에 영향을 미치는 요소에 대한 분석을 하였음.
- 트랙터의 동력학적 시스템은 일반적인 상용 차량의 동력학적 시스템과 같은 원리를 가지고 있으나, 세부적으로는 많은 환경적인 특이성을 지니고 있음.
- 일반 상용 차량은 포장도로(paved road)에서 주행하는 것을 목적으로 하지만 트랙터의 경우 논이나 밭 등의 노외지(off-road)의 환경에서 차체의 추진과 함께 중량물의 견인이나 이동작업을 실시하므로 농작업 장소의 토양 등 환경 특성에 의해 그 성능이 크게 차이가 나며, 토양 조건에 따른 제어 설정은 트랙터 주행 시 중요한 요인임.
- 따라서, 다양한 농작업 환경으로 시뮬레이션을 실행하여, 이를 기준으로 농업기계를 무인화, 자동화하기 위한 알고리즘들이 개발되어야하므로 대표적 농업기계인 트랙터를 대상으로 시뮬레이션을 실시하여 경로 추종에 미치는 영향분석을 실시함.
- 트랙터는 포장 등의 연약지나 정지가 되지 않은 곳에서 목표로 하는 경로를 추종하는데 가속, 제동, 변속, 조향 등의 제어가 필요함. 따라서 환경 설정에 따라 목표지점까지의 경로추종에 영향을 미치는 요인들을 분석하기 위해서 토양의 마찰계수(soil friction coefficient), 주행 경로(path condition), 트랙터 주행속도(tractor travelling speed)의 조건에 따라 시뮬레이션을 실시함.
- 주행 시뮬레이션은 트랙터 대표 작업인 쟁기 작업(plow tillage)과 로타리 경운작업(rotary tillage)의 대표속도 구간을 포함하는 2 ~ 12 km/h 구간의 travelling speed range를 설정하여 2 km/h 마다 총 6단계의 속도구간에서 실시하였음.

나. 시뮬레이션 모델링 및 사용 프로그램

1) 시뮬레이션 프로그램

- 시뮬레이션은 차량 동적 거동의 모의 테스트 및 차량 무인화 분야에 많이 사용되는 프로그램인 Carsim(ver9.01, Mechanical Simulation Corporation, USA)을 이용하였음. 다음

그림은 본 연구에서 사용한 Carsim 소프트웨어의 직관적인 인터페이스 모습으로 차량 모델, 도로 모델, 운전자 모델 등의 다양한 분석옵션을 설정 가능함.



Carsim software used for the simulation

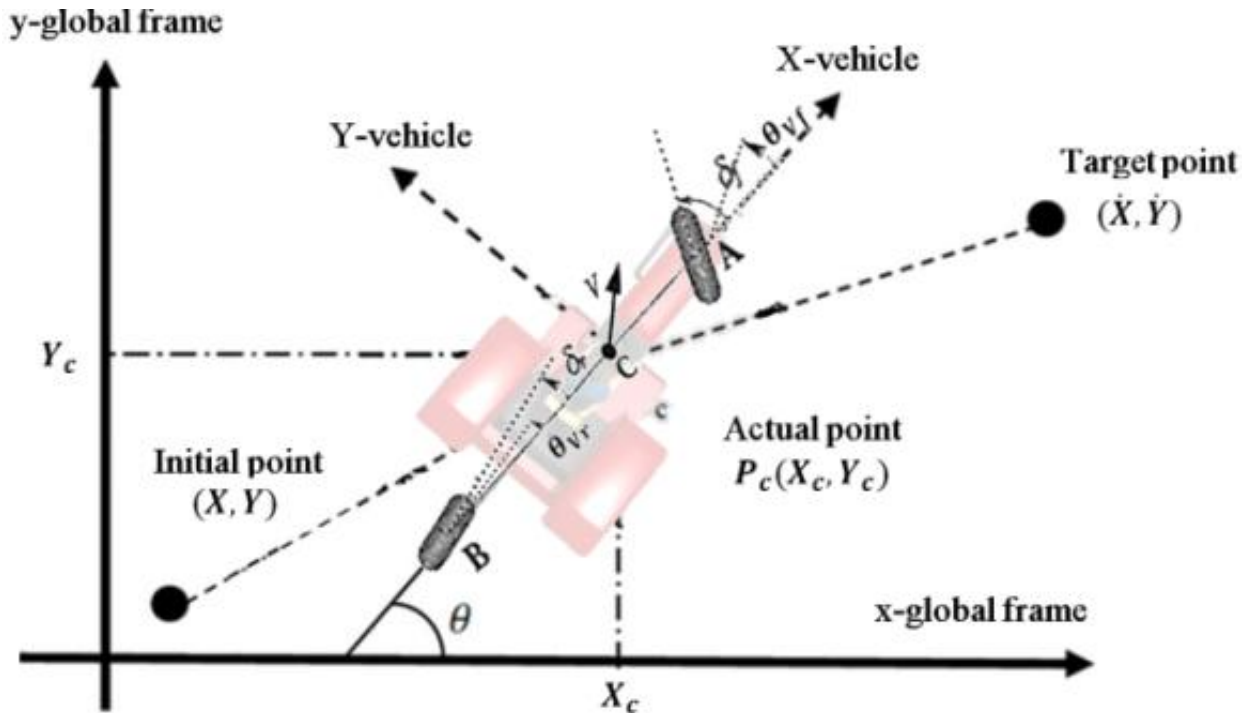
2) 차량 모델

- 본 연구에서는 크기 4,000×2,677×2,640(length×width×height) mm, 무게 3,260 kg의 71 kW급, 엔진의 정격토크는 회전수 2300 rpm에서 300 N·m이며, 1.87 ~ 37.8 km/h 범위의 16단 수동 변속기를 장착한 4륜구동 트랙터(L7040, LS Mtron, Korea)를 사용하였고, 그 세부 사항은 다음 표와 같음.

Specification of vehicle configuration

| Item | Specification |
|--------------------------|-------------------------------|
| Length×Width×Height (mm) | 4,000×2,677×2,640 |
| Weight | 3,260 |
| Engine | Rated power (kW) |
| | 71 @2300rpm (torque : 300 Nm) |
| Manual Transmission | 16 stage (1.87 ~ 37.8 km/h) |
| PTO | Rated power |
| | 65 |

- Carsim에서는 기본으로 제공되는 2 자유도 선형 모델(Bicycle model)을 사용하는데 다음 그림과 같음. 일반적으로 극한의 주행상태에서의 차량의 동적 특성을 해석하기 위해서는 비선형 차량 모델이 필요함. 그러나 일반적인 주행특성을 해석하는 경우에, 즉 횡 가속도가 약 4 m/s^2 이하에서는 2 자유도 선형 모델에 의해서도 비선형 모델의 결과와 근사한 결과를 얻을 수 있음.



Kinematics of lateral vehicle motion

- 이러한 선형 모델에서는 차축의 좌·우측 바퀴를 하나의 등가 바퀴로 대체 시키고 있으며, 현가장치, 횡력 전달, 종 방향의 가속, 감속 등을 무시하고 있기 때문에 차량의 동적 성능을 쉽게 계산할 수 있음. 이때의 상태 변수는 차량의 횡방향 속도(Lateral velocity)와 요 속도(yaw rate)가 됨.

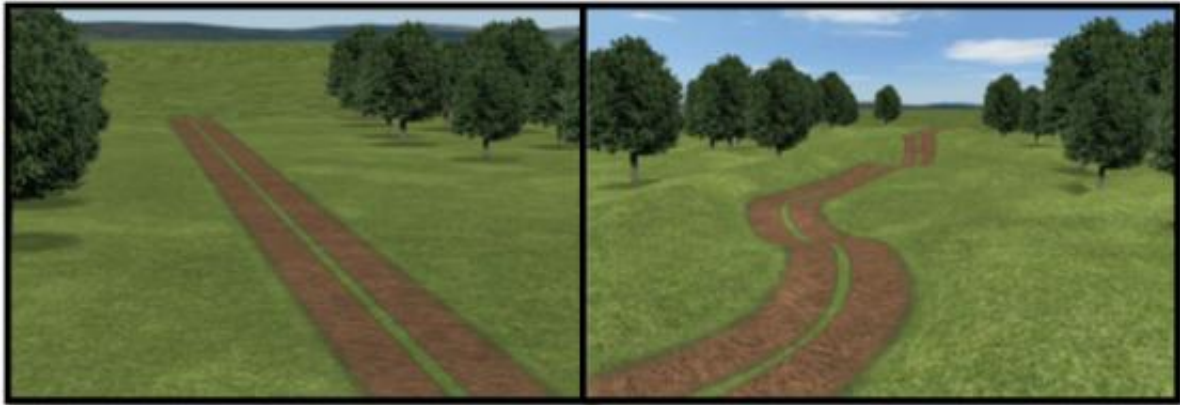
3) 운전자 모델

- Carsim의 운전자 모델에서 제공하는 주요 제어기는 가속, 제동, 변속, 조향으로 크게 4가지로 구성됨. 본 연구에서는 제동, 변속의 제어는 사용하지 않고, 가속 및 조향 제어방법을 설정함
- 가속 제어 방법으로는 초기속도로 운전을 시작하여 속도제어 없이 throttle 값을 0~1사이 임의로 설정하는 open loop 가속제어 방법과 시간에 따라 타겟 차속을 추종하도록 제어하는 closed loop 가속제어 방법이 있음. 본 연구에서는 일반적으로 농민들이 국내에서 사용하는 가속제어방식인 full throttle으로 설정하였음.
- 제동 제어 방법으로는 master cylinder 압력 제어, braking pedal force 압력 제어 방법이 있음. 본 연구에서는 일정 travelling speed의 정속 주행을 하므로 별개의 제동 제어를 하지 않음.
- 변속 제어 방법으로는 open loop 변속하고자 하는 timing에 변속신호를 입력하는 open loop 제어 방법과 변속기에서 정해진 변속 스케줄 설정대로 제어되는 closed loop 제어 방법이 있음. 본 연구에서는 별개의 변속 제어를 하지 않음.
- 조향 제어 방법으로는 원하는 timing에 조향각(deg)과 조향 토크(N·m)를 입력하는 open loop 조향 제어 방법과 조향각을 제어하여 지정된 path를 따라 가도록 조향하는 closed loop 조향 제어 방법이 있음. 본 연구에서는 지정된 경로를 따라 조향하는 closed loop

제어로 설정하여, target path와 vehicle path 간의 tracking error를 확인함.

4) 도로 모델

- 시뮬레이션 도로 모델은 다음 그림과 같이 X축 좌표의 길이가 200m인 직선경로 및 임의의 곡선 경로에서 진행하였으며, 노면의 마찰계수는 차량 동적 거동에 영향을 미치는 중요한 요소 인데, 본 연구에서의 dry off-road 조건, wet off-road 조건으로 각각 0.6, 0.5로 설정함.

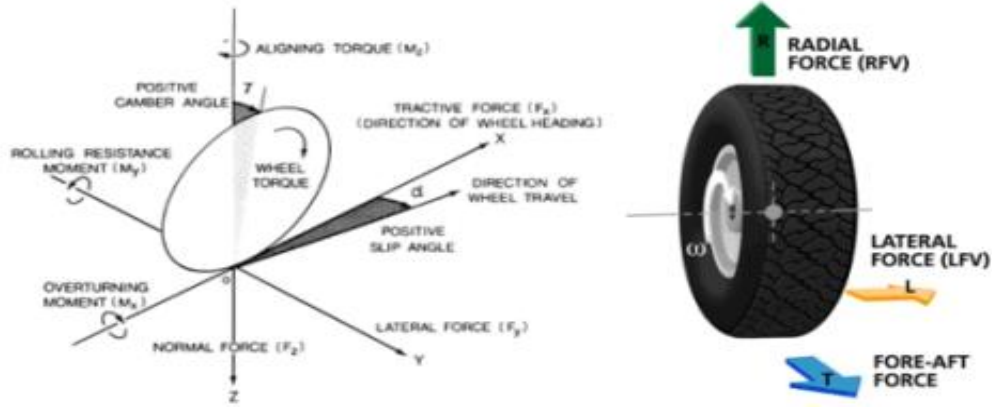


Driving path used in the simulation

다. 주요 분석 요소

1) Tire force

- 시뮬레이션을 통해 분석할 data는 크게 3가지로 tire force와 tire kinematics 및 tracking error에 관하여 진행함. 그 중 tire force 종류로는 longitudinal force와 lateral force, vertical force가 있으나 본 연구에서 vertical force는 제외함.
- Longitudinal force는 종력으로, 노면 내에서 노면으로부터 타이어에 가해지는 힘의 성분으로 노면과 바퀴평면이 교차하여 이루어진 선과 평형을 이루게 됨. Lateral force는 횡력으로, 노면 내에서 노면으로부터 타이어에 가해지는 힘의 성분으로 노면과 바퀴평면이 교차한 선과 수직을 이루고 있음. Tire force에 관한 그림은 다음과 같고, longitudinal force와 lateral force를 구하는 수식은 식 (1), (2)와 같음.



Tire force of the coordinate system

$$F_{xf} = C_{\sigma f} \sigma_{xf}$$

$$F_{xr} = C_{\sigma r} \sigma_{xr} \dots \dots \dots (1)$$

- 여기서 $C_{\alpha f}$: cornering stiffness of front tire
- $C_{\alpha r}$: cornering stiffness of rear tire
- σ_{xf} : Slip ratio of front tire
- σ_{xr} : Slip ratio of rear tire

$$F_{yf} = 2C_{\alpha f} (\delta - \theta_{Vf})$$

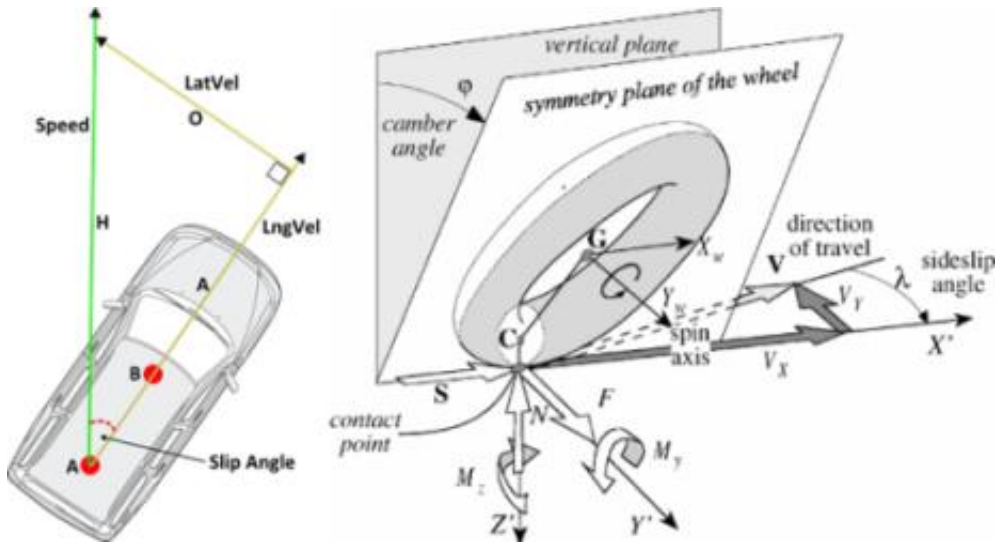
$$F_{yr} = 2C_{\alpha r} (-\theta_{Vr}) \dots \dots \dots (2)$$

- 여기서 $C_{\alpha f}$: cornering stiffness of each front tire
- δ : front wheel steering angle
- θ_{Vf} : front tire velocity angle
- $C_{\alpha r}$: cornering stiffness of each rear tire
- θ_{Vr} : rear tire velocity angle

2) Tire kinematics

- 시뮬레이션을 통해 분석할 tire kinematics는 크게 2가지로 slip angle과 slip ratio임. 그 중 tire force 종류로는 longitudinal force와 lateral force, vertical force가 있으나 본 연구에서 vertical force는 제외함.
- Slip angle은 미끄럼 각도로, 차량 코너링 시 원심력에 의해 생기는 차의 방향과 타이어의 방향 사이의 각도로, 차의 진행 방향과 타이어의 방향 차이로 인한 미끄럼 각도에 의해 차량이 미끄러지기 쉽게 됨.
- Slip ratio는 타이어에 동력이나 제동력이 걸려있는 상태로서, 타이어와 노면 사이에 생기는 미끄럼 정도를 나타내는 것을 말하는데, 주행 속도와 타이어 주속도의 차이를 타이어 주속도로 나눈 수치로, 여기에 100배하여 %로 나타낸 것을 말함. Tire kinematics에 관한

그림은 다음과 같고, slip angle과 slip ratio를 구하는 식은 식 (3), (4)와 같음.



Tire kinematics

$$\alpha_f = \delta - \theta_{Vf}$$

$$\alpha_r = -\theta_{Vr} \dots \dots \dots (3)$$

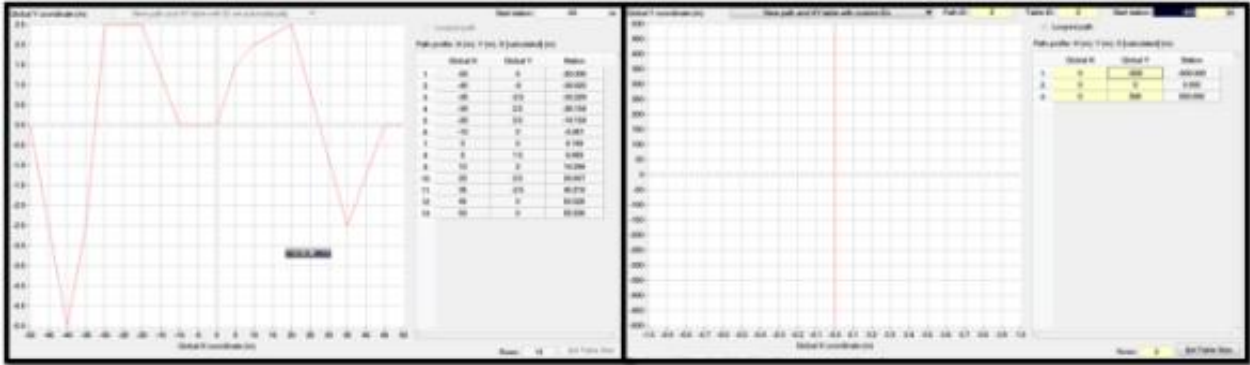
여기서 θ_{Vf} : angle that the velocity vector of front tire
 θ_{Vr} : angle that the velocity vector of rear tire
 δ : velocity vector

$$\sigma = \left(1 - \frac{r\omega}{V}\right) \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

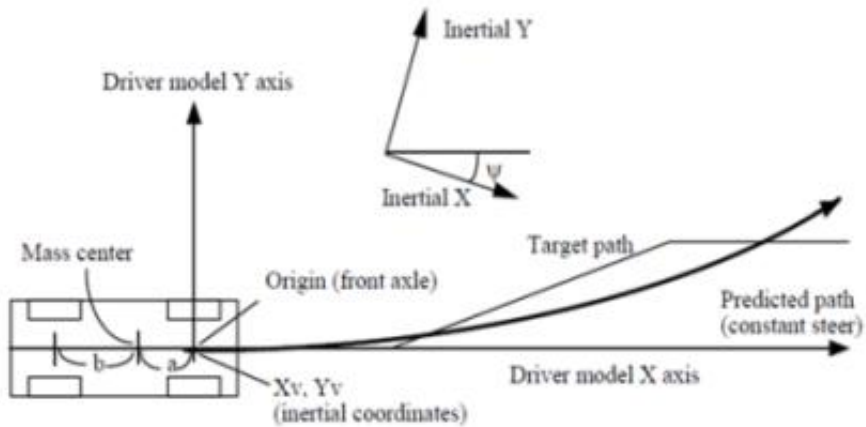
여기서, r : effective radius of rotating tire
 ω : angular speed of wheel
 V : longitudinal vehicle velocity

3) Tracking error

○ Tracking error는 프로그램 내에서 설정한 경로를 target path라고 했을 때, 그 경로를 추종하여 주행하는 tractor의 무게 중심점이 지나는 점을 vehicle path라고 할 수 있음. 이때 target path의 좌표가 (X, Y), vehicle path의 좌표가 (\dot{X}, \dot{Y})라고 하면 두 점사이의 거리를 계산하여 경로 추종오차가 계산되어짐.



Driving path and XY tables



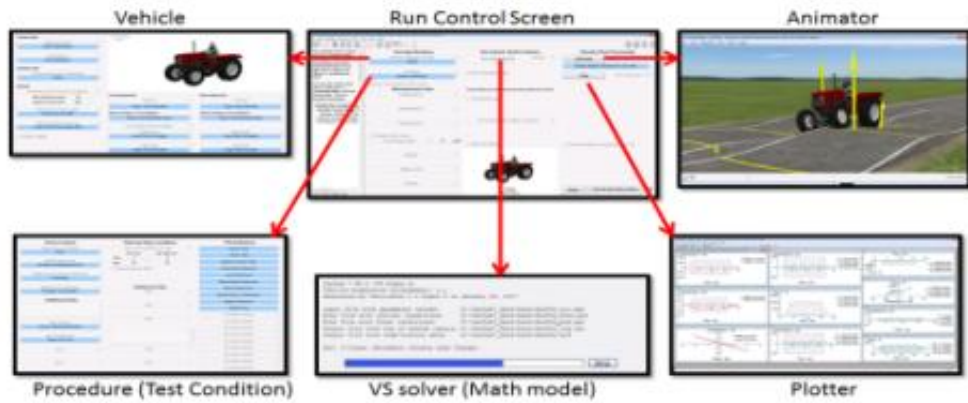
Axis system of steering controller

$$\text{Tracking error} = \sqrt{(X - \dot{X})^2 - (Y - \dot{Y})^2} \dots \dots \dots \\
 \dots \dots (5)$$

- 여기서, X : X-coordinate of initial point
 \dot{X} : X-coordinate of target point
 Y : Y-coordinate of initial point
 \dot{Y} : Y-coordinate of target point

라. 시뮬레이션 결과

○ 시뮬레이션을 통해 분석할 data 선정 후 시뮬레이션을 하면 다음 그림과 같은 순서로 Carsim 내에서 결과값이 계산되어짐. Vehicle configuration과 procedure condition 설정이 끝나고 시뮬레이션을 하면, 프로그램 내의 자체 solver로 계산되어지고 그 결과값은 animator와 plot창으로 나오게 됨.



Process of simulation in Carsim

2. 주행 시뮬레이션을 통한 경로 추종 최적화

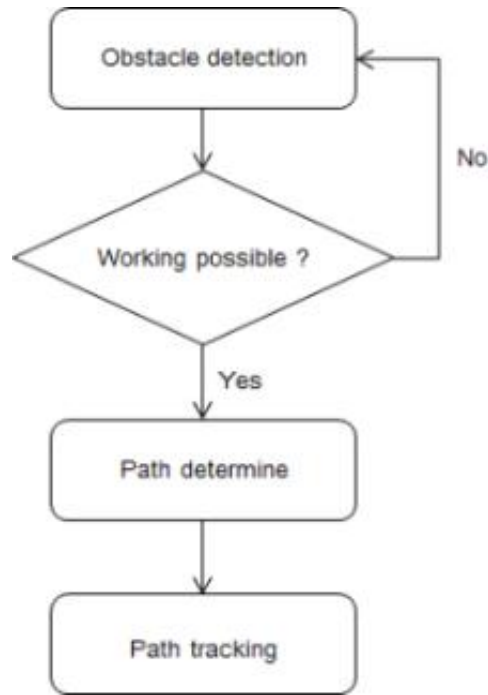
1. 연구목표 및 내용

- 해외에서는 장애물 감지 및 회피 알고리즘/시스템 개발이 활발하게 이루어지고 있음. 장애물 감지 및 회피 알고리즘/시스템은 차량 운전자의 의도와 상관없이 속도와 조향각을 동시에 자동제어하는 방법과 운전자가 경험과 주변 상황에 따라 속도를 조절하고 조향각만 자동제어하는 방법으로 나뉨.
- 장애물감지를 위한 자동 조향제어시스템에 관한 연구는 활발히 진행되고 있으나, 대부분 시뮬레이션 혹은 실험용 로봇 등에 적용되고 있어 아직까지 농업용 트랙터에 적용하여 성능을 평가한 연구는 부족한 실정.
- 따라서 본 연구에서는 초음파센서를 이용하여, 장애물 감지 및 공간인식 알고리즘을 개발하였음.

2. 연구 방법

가. 장애물 회피 알고리즘

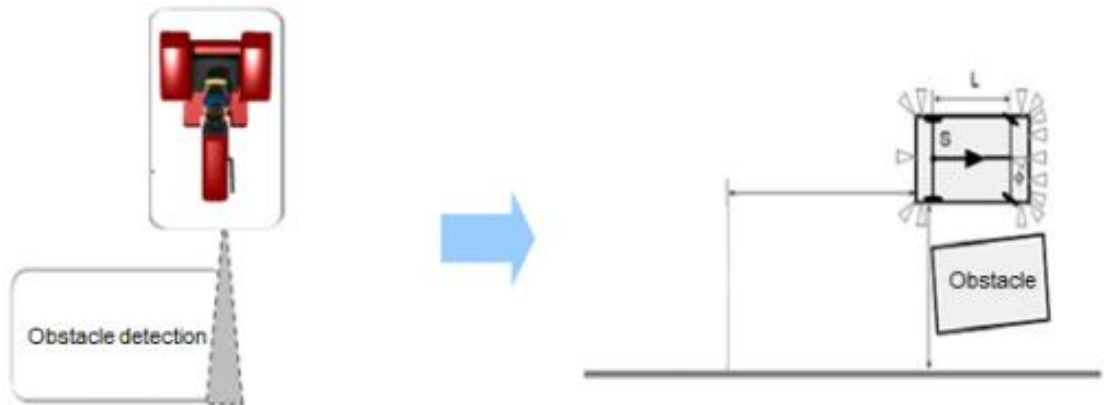
- 자동 조향 제어시스템을 이용한 장애물 감지, 회피는 다음 그림과 같이 차량이 이동하면서 초음파센서를 통해 측면의 주행 공간을 인식하고 2차원 좌표를 측정하는 공간 산출 (space recognition), 인식된 공간과 차량 위치의 2차원 좌표 및 기구학적 모델을 이용한 경로 생성(path generation)으로 구성됨.



Procedure of automatic steering system

1) 장애물 인식

- 주행 공간의 2차원 좌표는 다음 그림과 같이 차량이 전진하면서 측면에 부착된 초음파 센서로 진행 방향 길이와 측면 방향의 폭을 측정하여 공간의 면적을 산출하였음. 진행 방향의 길이는 차륜 반경에 따른 회전속도와 진행 시간으로부터의 이동거리로 계산하였으며, 측면 방향의 폭은 초음파센서에 의한 측면 장애물까지의 거리로 측정함.

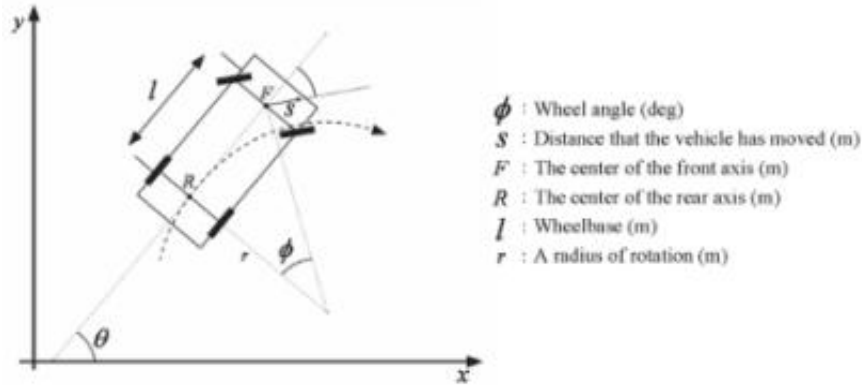


Obstacle detection using ultrasonic sensor

- 장애물 감지 및 인식은 차량이 진행하면서 측정되는 측면 공간의 폭이 장애물 회피를 위한 최소 폭보다 클 경우 주행 가능 경로로 인식을 시작하게 되며, 그 이후 차량의 이동거리가 를 위한 최소 길이 이상이 될 때까지 측면 공간이 최소 폭 이상을 유지하면 장애물 회피 주행 가능 경로로 결정하게 됨.
- 감지된 장애물은 오차에 의하여 균일하지 못하므로 직사각형으로 가정하여 데이터를 보정한 후, 2차원 좌표를 산출하였음.

2) 주행 경로 생성

- 4개의 바퀴를 가진 전륜구동 차량의 기구학적 모델은 다음 그림과 같이 2차원 평면상의 x, y좌표를 이용하여 차량의 전후 방향 중심축과 x축이 이루는 각도(θ), 차량 앞바퀴 축 중심(F), 미소 위치 변화량(s)와 차륜각(ϕ)으로 나타낼 수 있음.



Kinematics model of a vehicle

- 차량의 위치와 자세는 뒷바퀴 축의 중심(R)을 기준으로 표현되며, 뒷바퀴 축의 중심은 뒷바퀴 축의 위치 변화량($\Delta x_R, \Delta y_R$), 차량의 전후 방향 중심축과 x축과의 각도의 변화량($\Delta\theta$) 및 회전반경(r)은 다음 식 (1)과 같이 계산됨.

$$\begin{cases} \Delta x_R = s \cos\phi \cos\theta \\ \Delta y_R = s \cos\phi \sin\theta \\ \Delta\theta = \frac{s}{l} \sin\phi \\ r = \frac{l}{\sin\phi} \end{cases} \dots \dots \dots (1)$$

- 또한 식 (1)을 이용하여 차량의 다음 위치 (x_R', y_R'), 전후 방향 중심축과 x축과의 각도(θ'), 차량 앞바퀴 축의 중심(x_F, y_F)을 다음 식 (2)를 이용하여 산출 할 수 있음.

$$\begin{cases} x_R' = x_R + s \cos\phi \cos\theta \\ y_R' = y_R + s \cos\phi \sin\theta \\ x_F = x_R + l \cos\theta \\ y_F = y_R + l \sin\theta \\ \theta' = \theta + \frac{s}{l} \sin\phi \end{cases} \dots \dots \dots (2)$$

나. 장애물 회피 주행 성능평가

1) 장애물 인식 및 회피

- 장애물 인식 성능은 설정된 인지 공간과 초음파센서를 이용하여 측정된 장애물의 크기 비교 및 실험 종료 시 차량의 측정된 위치와 실제 위치의 오차 분석을 통해 평가하였음. 이때 측정된 장애물은 지면 상태에 따른 차량 진동 및 초음파 센서 오차로 인해 왜곡이 발생되므로 최소자승법(least square method, LSM)을 이용하여 직사각형 형태로 보정하였음.
- 장애물 인식을 위한 시작 및 종료 위치는 생성된 주행 경로의 목표점에서 뒷바퀴 중심축을 원점으로 각각 (-5 m, 3 m), (11 m, 3 m)로 선정하였으며, 주행 속도는 전진 속도 7 km/h를 기준으로 사용자의 가속을 고려하여 7~9, 9~11, 11~13 km/h의 3수준으로 설정하였음.

2) 조향각 위치 제어

- 조향각 위치 제어 성능은 조향 위치 0° 를 기준으로 60, 120, 180, 240° 의 4수준으로 변화시키며 응답특성을 측정하였으며, 실제 장애물 회피 주행 시를 고려하여 후진 7 km/h 이하의 속도를 3수준(1~3, 3~5, 5~7km/h)에서 각각 실시하였음.
- 응답 특성은 일반적인 제어 시스템의 주요 성능인 최대 오버슈트(maximum overshoot), 상승시간(rise time), 지연시간(delay time), 정착시간(settling time) 및 정상상태오차(steady state error)를 측정하였음.

3. 연구결과

가. 조향 속도 선정

- 시뮬레이션 결과 목표지점에서 뒷바퀴 중심축 및 차륜각의 목표 값에 대한 오차는 다음 Table과 같이 나타났음. 초기 위치에 따른 오차는 조향 제어 속도가 빠를수록 감소되었고, 최소유의차 분석 결과 유의수준 5% 이내에서 조향 제어 속도가 250° /s일 경우 가장 크게 나타났으며 500, 750° /s 간에는 차이가 없었음.

Results of obstacle detection simulation

| Steering control speed (°/s) | Error at the target point | | |
|------------------------------|---------------------------|-------------|--------------|
| | x (m) | y (m) | θ (°) |
| Target value | 0 | 0 | 0 |
| 250 | -0.18±0.005a | 0.21±0.001a | 2.53±0.029a |
| 500 | -0.07±0.005b | 0.06±0.002b | 1.15±0.024b |
| 750 | -0.04±0.005b | 0.03±0.002b | 0.85±0.055b |

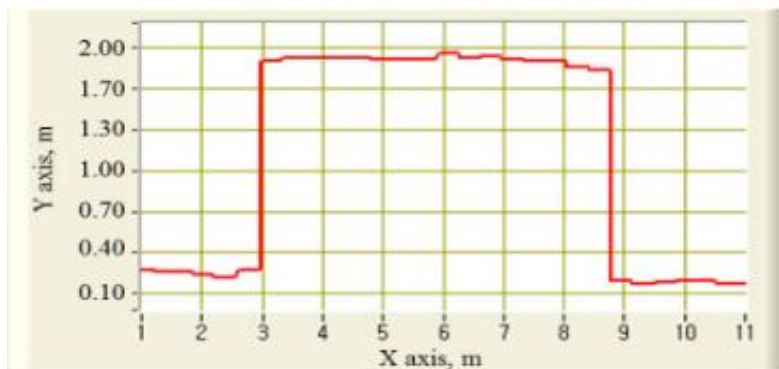
- 따라서 750° /s의 경우는 실제 차량에서 슬립을 발생시킬 수 있으므로 오차가 상대적으로 작고 차량 슬립의 위험이 적은 최소 조향 제어 속도를 500° /s로 선정하였음.

나. 장애물 인식 성능

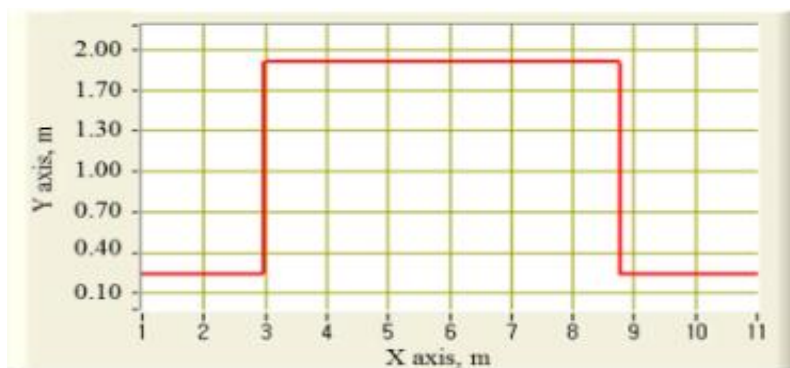
○ 장애물 거리 측정의 대표적인 결과는 다음 그림과 같이 나타났으며 그림 (a)는 측정된 원 신호, 그림 (b)는 원 신호를 직사각형 형태로 보정한 그래프임. 장애물 사이 거리 측정 오차는 다음 Table과 같이 계산되었으며 차량의 속도가 7~9 km/h 이하, 9~11 km/h, 11~13 km/h에 따른 측정 주행 공간의 면적은 길이(length)의 경우 각각 5.87, 5.84, 5.67 m이며, 폭(width)은 각각 2.03, 1.98, 1.99로 모든 경우에서 주행 공간의 크기는 실제보다 작게 측정되었음.

Results for obstacle detection using ultrasonic sensor

| Vehicle speed (km/h) | Distance (m) | | Error of vehicle position (m) | |
|-------------------------|--------------|-----------|-------------------------------|-----------|
| | Length | Width | x | y |
| Target value | 6.00 | 2.00 | 11 | 3 |
| 7 ~ 9 | 5.87±0.06 | 2.03±0.03 | 0.09±0.05 | 0.07±0.05 |
| 9 ~ 11 | 5.84±0.11 | 1.98±0.03 | 0.14±0.12 | 0.07±0.03 |
| 11 ~ 13 | 5.67±0.35 | 1.99±0.03 | 0.21±0.32 | 0.07±0.03 |



(a) raw data



(b) corrected data

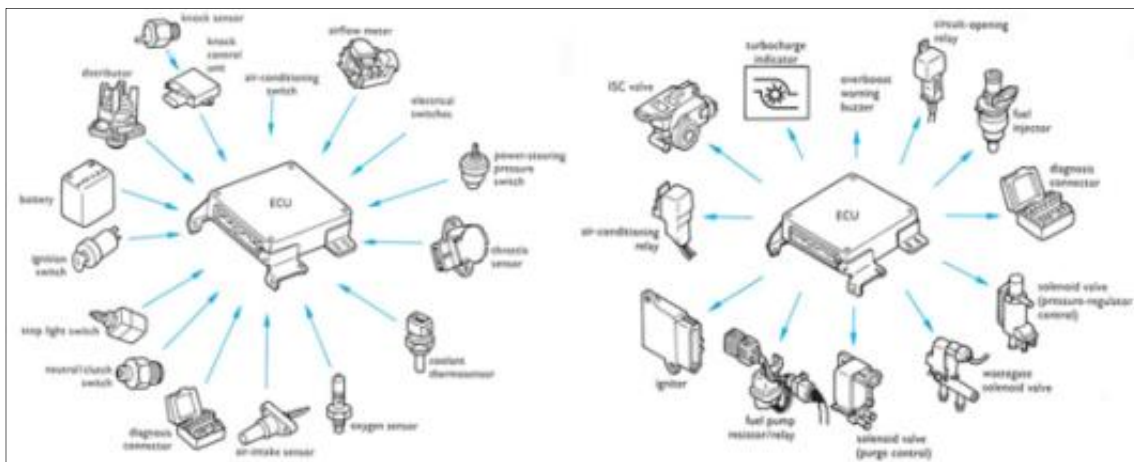
○ 실험 종료 시 차량의 측정된 위치와 실제 위치의 오차는 차량 속도 11~13km/h일 때 x축은 0.21 m로 가장 높았지만 y축의 경우 모두 약 0.7 m로 차이가 없었음. 따라서 장애물

인식 및 2차원 좌표 산출 시 차량의 속도가 느릴수록 정확히 측정 가능하며, 주행 속도가 증가할수록 오차가 증가함을 알 수 있었음.

3. 제어기 기능별 구현 및 성능평가

1. 연구목표 및 내용

- 최근 마이크로 컨트롤러의 성능이 향상되면서 자동차 분야의 전자제어 기술적용이 활발해 지고 있으며, 자동차 내 전자제어 장치(ECU)의 수가 점차 증가하고 있음. 전자제어 장치는 다음 그림과 같이 자동차의 엔진과 변속기 그리고 ABS 등 애초의 개발 목적은 엔진의 점화시기, 연료분사, 공회전 등 핵심 기능을 정밀 제어하는 것이었음.



Input and output signal of ECU

- 현재는 차량의 상태를 제어하는 장치로서 사용되며 컴퓨터와 차량의 성능이 발전함에 따라 자동변속기의 제어뿐만 아니라 구동, 제동, 조향 등 차량의 전반적인 부분을 제어하는 역할을 하고 있음.
- 그러나 각 전자제어 장치들은 각각 다른 연결 방법으로서 서로의 정보를 전달하기 때문에 제어 장치끼리의 정보 전달을 위한 배선의 증가와 확장성 문제 등의 문제들이 차량 개발의 효율성을 감소시키고 있다. 또한 신차의 개발기간이 점차 짧아지고 차량의 개발 및 생산 비용 절감과 제어 성능 향상 등에 대한 요구 또한 커지고 있음.
- 각 전자제어 장치들의 모듈화가 이루어져야 체계적이고 효과적인 개발 프로세스와 최적의 시스템 구성이 이루어질 수 있는데, 이러한 시스템 구성을 위해 통신 프로토콜 개발이 시작되었으며 개발된 것이 바로 CAN (Controller Area Network)임.
- CAN 통신은 병렬구조 연결로 여러 개의 전자제어 장치들이 각각의 전자제어 장치들 간에 원활한 정보교환이 가능하다는 장점이 있으며 단 2개의 선으로서 여러 개의 장치를 제어할 수 있다는 장점이 있음.
- 또한 가격 대비 성능비가 다른 자동차 통신망들에 비해 우수하며, 차량내의 열악한 환경에서도 지난 수년간 성공적으로 동작되어 신뢰도가 검증된 통신망으로써, 신뢰도가 검증된 만큼 많은 부분에서 사용되는데, 승용차, 트럭, 버스 등의 미끄럼 방지 브레이크, 엔

진 관리 시스템, 활성 서스펜션, 기어제어 등과 같은 전자제어 장치들 사이의 커뮤니케이션 Power Train에 이용되고 있음.

- 노이즈와 외부 전자파에 강하기 때문에 자동차, 산업 자동화, 건물 자동화, 의료 장비, 열차, 중장비 차량 등 표와 같이 다양한 분야에서 활용되고 있음.

Application field of CAN network

| Application Field | Contents |
|---------------------|---|
| General vehicle | <ul style="list-style-type: none"> • Communicate between ECU • Control the dashboard, light, air conditioner, windows, center lock, air bag, safety belt |
| Heavy vehicle | <ul style="list-style-type: none"> • Power train and control the water pressure for construction vehicle, forklift, tractor |
| Train | <ul style="list-style-type: none"> • Exchange data between electronic system • Connect the control equipments |
| Industry automation | <ul style="list-style-type: none"> • Initialize, up/download the program and parameter, exchange the measurement/actual value • Printing equipment, control the paper and fiber • Transport system |
| Medical appliance | <ul style="list-style-type: none"> • MRI, X-ray, wheel chair |
| Building automation | <ul style="list-style-type: none"> • Control the heater, air conditioner, light, elevator, escalator |

- 차량 내에서 CAN의 메시지 전송 속도에 따라 고속 CAN 네트워크와 저속 CAN 네트워크로 분류할 수 있는데 다음 표와 같음. 고속 CAN 네트워크는 Bit rate 125 Kbit/s부터 최대 1 Mbit/s를 제공하며, 엔진 및 변속기의 파워트레인 시스템과 ABS 및 ESP (Electronic Stability Program) 등의 샤시(chassis) 시스템과 같이 고속의 데이터 전송이 필요한 통신 네트워크에 제공됨.
- 더불어 자동차와 같이 다양하고 노이즈가 많은 환경에 적합하도록 에러 검출 및 에러 보정의 기능이 있다. 저속 CAN 네트워크는 Bit rate는 최대 125 Kbit/s를 제공하며, 편의 장치 위주의 바디 시스템과 같이 속도에 덜 영향을 받는 통신 네트워크에 제공됨. 저속 CAN은 고속 CAN과 달리 전송 속도에 구애를 받지 않아 많은 수의 노드 허용이 가능함.

Comparison high speed CAN with low speed CAN

| Section | High Speed CAN | Low Speed CAN |
|--------------|--|---------------------------------------|
| CAN Class | Class C (125 Kbit/s ~ 1 Mbit/s) | Class B (~ 125 Kbit/s) |
| Standard ISO | ISO 11898-2 | ISO 11519-2 |
| Transceiver | Philips 82C250/251 TJA 1040/1041/1050 | Philips 82C252 TJA 1050/1054/1054A |
| Topology | Line topology | Various topology |
| Signals | Approx.500-800 | Approx.1200-2500 |
| Messages | Approx.30-50 | Approx.250-350 |
| Nodes | Approx.2-10 | Approx.30-50 |
| Part | Power train Engine control | Body CAN Comfort features |

- CAN은 현재 일반 승용 자동차와 특수 차량에서 각 유닛들의 효율성을 높임과 동시에 전선의 무게 감소로 자동화 등에 큰 기여를 하고 있는데, 국내 일반 승용 자동차 분야

는 CAN 기반의 내부 시스템의 많은 발전이 있었던 것에 비해 농경지 등에서 사용되는 트랙터는 아직 그에 못 미치고 있음.

- CAN은 통신선을 트위스트 꼬임으로 하여 주변 노이즈에 강하기 때문에 심각한 노이즈가 많은 농업 환경에서 적용성이 가장 좋은 통신방법으로, 농용 트랙터와 임업 작업기에서의 CAN은 ISO 11783에서 규정되어 있음.
- ISO 11783은 CAN에 의해 데이터가 교환될 때 어떠한 전자제어 장치들도 주소화되지 않고 메시지의 내용에 의해서 정해짐. ID는 메시지의 내용뿐만 아니라 우선순위도 결정하는데, 이것은 여러 개의 전자제어 장치들이 동시에 버스에 접근하려고 할 때 버스 할당을 위하여 중요함.
- 전송되는 메시지의 우선순위는 해당 메시지의 ID에 의해 결정되는데 시스템을 설계하는 동안 결정되며 이진법에 의해 표현되고 동적으로 변할 수 없으며 가장 낮은 이진수를 갖는 ID가 가장 높은 우선순위를 가짐.

2. 연구 방법

가. CAN protocol 설계

- CAN 송수신은 250 kbaud의 속도로 10 ms의 메시지 주기로 정보 교환 및 제어를 실시하였다. 제어를 위한 protocol은 다른 제어기로부터 통합 제어기로 상시 받아들이거나 내보내는 상시 메시지와 요청 혹은 이벤트성으로 발생하는 request 메시지, response 메시지로 구분하여 protocol을 설계하였음.
- 상시 메시지에는 각각의 컨트롤러 상태(status), 액추에이터 회전수(actuator rpm), 전압(voltage), 모터 전류(current), 제어기 온도(MCU temperature), 모터 온도(motor temperature) 등의 제어를 위해 지속적으로 필요한 정보로 구성하였고, TCU의 요청 메시지는 fault reset, report, power off, initialization 등 상태에 대한 변경 혹은 고장 상황 등 단발적으로 발생하는 문제 관련 항목이 포함되어 있음. 또한 응답 메시지는 요청받은 메시지를 그대로 응답(echo)해주거나 필요 정보를 다시 회신하는 형식으로 전송됨.

3. 연구 결과 및 향후 계획

- 자율주행 트랙터 내부에 설치된 각종 액추에이터와 센서를 제어하고 상위 컨트롤러와 연결되어 각종 액추에이터 및 센서의 상태를 확인하고 상위 컨트롤러에서 내린 명령을 수행하는 것이 자율주행 제어기의 역할임.
- 기존에 사용된 자율주행 제어기는 자율주행 트랙터의 연구단계에서 다양한 조건에서의 실험이 가능하도록 제작된 연구용 제어기이고, 제품의 안정화 및 신뢰성을 올리기 위해 컨트롤 박스의 배선을 PCB 보드로 제작하여 복잡한 배선을 간소화 하였음.
- 지능형 농작업기계 제어 기술 개발을 위해 당해 연도에는 농작업별 최적 운행 제어 기술 개발 및 기능별 구현을 수행하였으며, 세부적으로는 기능별 알고리즘 구현하여 CAN 통신을 활용한 제어기 설계를 진행하였음.
- 제어기 성능평가는 각 연구에서 수행되는 트랙터 작업 시험에서 연구 개발의 기반 자료로 활용될 뿐만 아니라 타 연구에도 병렬 활용이 가능할 것으로 보임.

- 본 결과는 다양한 농작업기에 기본 제어기 설계법으로 범용적 활용이 가능한 장점이 있으며, 신뢰성 향상을 위해 시뮬레이션을 통한 최적화 연구가 지속적으로 수행될 예정임.
- 다음 3차년도에는 신뢰성 향상을 위한 시뮬레이션을 통해 정량화된 I/O 모듈을 이용한 제어기 시제품 개발 및 단품 성능 평가를 실시할 예정임.

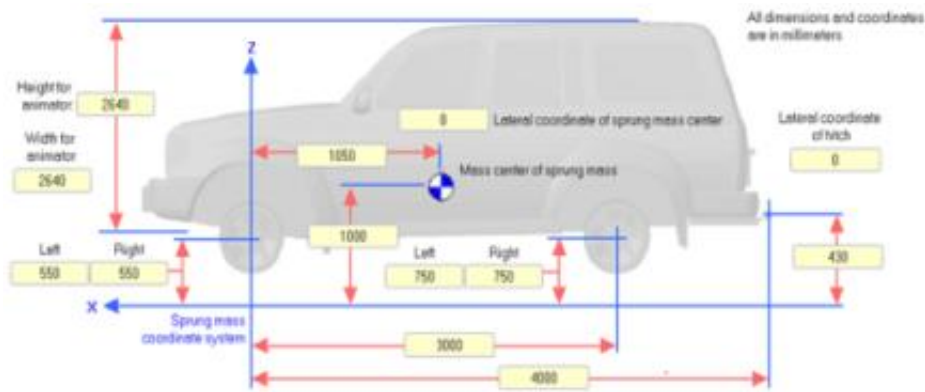
■ 자율주행 시뮬레이션 기술 최적화 및 성능평가 / 스마트 농작업기 계의 system integration 기술 개발

1. 마찰계수에 따른 자율주행 시뮬레이션

- 이상적 상태에서의 차량동역학 input/output factor 선정
- 일반 상용차량이 포장도로에서 선형적/이상적인 환경에서 주행을 하는 것과 반대로, 농업기계는 작업위주의 비선형적 환경인 off-road에서 작업을 진행하기 때문에 다른 작업 환경에 맞는 dynamic model을 선정할 필요가 있음
- 일반 상용 차량과 달리 농작업차량 동역학적 관점에서 토양과 타이어간 요소들은 제어기 Input factor에 따른 반응응답성에 영향을 주는 가장 중요한 요소임
- 토양 요소 중 마찰계수는 토양과 타이어간 반응 응답성에 가장 직접적으로 영향을 주는 요소이므로, 차량 동역학 시뮬레이션을 통하여 마찰계수 input 조건 차이에 따른 관련요소와의 상관관계를 분석하였음
- 시뮬레이션을 결과를 토대로 작업경로 추종 내비게이션 시스템에 영향을 미치는 주요 요소 선정 및 분석을 진행하여, 토양·토질 환경에 따른 내비게이션 시스템 관련 계수 선정 용이성 확보할 예정
- 이를 통해 농업작업차량 동역학모델 및 경로추종 시스템 개선에 활용함
- 시뮬레이션 소프트웨어 제원
 - Carsim (ver 9.01, Mechanical Simulation Corporation, USA)
 - 시뮬레이션은 차량 동적 거동의 모의 테스트 및 차량 동특성 해석 분야에 많이 사용되는 프로그램인 Carsim(ver9.01, Mechanical Simulation Corporation, USA)을 이용하였음
- 시뮬레이션 실행 조건
 - 본 연구에서 사용한 Carsim 소프트웨어는 차량 모델, 도로 모델, 운전자 모델 등의 다양한 분석옵션을 설정할 수 있으며, 그 구체적인 인터페이스는 다음과 같음



Carsim 차량 제원 설정 화면



Tractor Sprung Mass 제원 설정 화면

- 시뮬레이션에 사용된 트랙터 제원은 71 kW 급 모델(L7040, LS Mtron, Korea)을 사용하였고(4,000 2,677 2,640, 3,260 kg), 전륜 타이어의 effective radius는 545 mm, 후륜 타이어의 유효구름반경(effective radius)은 745 mm로 설정하였음
- 본 시뮬레이션은 2, 4, 6, 8 km/h의 4 수준에서의 트랙터 주행속도를 설정하고 진행하였는데, 4 수준의 주행속도는 트랙터 대표작업인 쟁기, 로타리 작업을 진행하는 속도범위를 포함함

○ 마찰계수의 차이에 따른 동특성 요소 상관관계 분석 조건

- 마찰계수 input 조건은 크게 2가지로 나누어 일정하게 설정함
- 마른 노지 토양조건에서의 마찰계수를 0.4로 설정함
- 젖은 노지 토양조건에서의 마찰계수를 0.6으로 설정함

| Average value of tire friction coefficient | | |
|--|-------------|---------------|
| Road surface | Peak value | Sliding value |
| Asphalt and concrete (dry) | 0.80 - 0.90 | 0.75 |
| Asphalt (wet) | 0.50 - 0.70 | 0.45 - 0.60 |
| Concrete (wet) | 0.80 | 0.70 |
| Gravel | 0.60 | 0.55 |
| Earth road (dry) | 0.68 | 0.65 |
| Earth road (wet) | 0.55 | 0.40 - 0.50 |
| Snow (hard-packed) | 0.20 | 0.15 |
| Ice | 0.10 | 0.07 |

노면 조건에 따른 타이어 마찰계수 분포표

○ 마찰계수의 차이에 따른 동특성 요소 상관관계 분석 방법

- 각각의 두 마찰계수 조건(0.4, 0.6)에서 결과값의 차이는 매우 미소하지만, 요소 간 상관관계를 명확하게 알 수 있으므로 유의미함

○ 마찰계수에 따른 시뮬레이션 분석 요소

- Input factor
: ① 트랙터 주행속도, ② 조향각, ③ 토양마찰계수

- Output factor

: ① yaw rate ω (deg/s), ② body side-slip angle β (deg), ③ Lateral error (cm)

○ 트랙터 주행속도 8km/h에서의 종합결과

| Friction coefficient | Yaw rate ω | Body sideslip angle β | Lateral error (cm) | Steering angle (deg) |
|----------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|
| 0.4 | 0.347060316 | 0.173776827 | 1.7218596 | 0.044228527 |
| 0.6 | 0.346895514 | 0.173772731 | 1.7219993 | 0.044228181 |

- Yaw rate ω 와 Body sideslip angle β 이 input factor인 조향각에 따라서 큰 결과 값의 차이를 보였는데, 조향각이 클수록 yaw rate ω 와 body sideslip angle β 의 값이 커지고, lateral force가 작아지는 경향을 보임
- 특히, 예상과 다르게 마찰계수가 작은 경우에 횡방향오차가 작고, 조향각이 큰 결과값이 나옴
- 이는 차량 drift가 커질수록 제어가 개입하여 조향을 하는 경향이 커지는데, 마찰계수가 작을수록 제어기 조향 개입이 많아져 오히려 input factor인 조향각이 더 커지면서 yaw rate ω 와 body sideslip angle β 가 더 커지고 오히려 제어성능에 따른 횡방향 오차가 더 작아진 것으로 판단됨



마찰계수조건에 따른 시뮬레이션 요소 상관관계

- Input factor로 토양마찰계수를 추가하여 시뮬레이션 진행하였지만, geometric model상의 구성 output factor로 차량 drift와 관련된 결과를 분석하기에 한계가 있는 부분도 존재함에 따라 실제 작업특성을 고려한 조건 수정 및 시뮬레이션 최적화 작업이 필요할 것으로 판단됨
- 결과값의 상관관계 분석에는 문제없었지만 주행속도가 매우 느리고, 소프트웨어 상 내장되어있는 일반 제어를 사용하여 시뮬레이션을 진행하였기 때문에 결과값의 차이가 미소했음
- 향후 트랙터 제원에 맞는 엔진맵 구성 및 설계된 제어기 import를 통한 시뮬레이션 설정 환경 개선이 필요함

2. 실제 작업 특성을 고려한 자율주행 시뮬레이션 최적화

○ Geometric model의 문제점

- Geometric model은 선형적인 상태에서의 차량 동특성을 분석하기 위해 만든 삼각법 기반의 공식임
- 대부분 불규칙적인 비선형적 환경에서 작업을 진행하는 농업차량동역학에 적용할 경우 실제 작업 특성을 고려하여 구명하기 힘든 부분이 많음
- 특히 농업차량의 경로추종에 가장 큰 영향을 미치는 vehicle drift에 관한 시뮬레이션 및 분석하는데 한계가 있음
- 이러한 문제점을 개선하기 위해 output factor인 yaw rate ω (deg/s)와 body side-slip angle β (deg/s)에 영향을 미치는 필드 계측 요소들을 포함한 Dynamic model을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였음

○ Dynamic model (Ricardo et al, 2016)

$$\omega = \left(\frac{V}{a+b}\right)\left[\frac{F_{yf}}{C_{front}} - \frac{F_{yr}}{C_{rear}} + \delta\right] \dots \dots \dots (1)$$

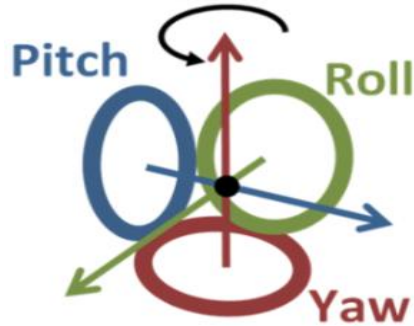
$$\beta = \frac{F_{yr}}{C_{rear}} + \left(\frac{b}{a+b}\right)\left[\frac{F_{yf}}{C_{front}} - \frac{F_{yr}}{C_{rear}} + \delta\right] \dots \dots \dots (2)$$

○ Dynamic model의 구성 인자

- Input factor
 - : ① 트랙터 주행속도, ② 조향각, ③ 토양마찰계수
- Output factor (dynamic model 구성요소적용: 4가지 요소 추가 분석)
 - : ① yaw rate ω (deg/s), ② body side-slip angle β (deg)
 - ③ Lateral error (cm) ④ Lateral force (N)
 - ⑤ Cornering stiffness (N/deg) : Lateral force vs. Slip angle.
 - ⑥ Slip angle (deg), ⑦ Slip ratio

○ Yaw rate ω (deg/s)

- 요 각속도라고 하며, 차량의 중심을 통하는 수직선 주위에 회전각이 변하는 속도를 말함
- 경로 추종하는데 있어서 가장 핵심이 되는 요소 중 하나임



Lateral force 개념도

- Body(vehicle) side-slip angle β (deg)
 - 차량 선회 시 타이어의 방향과 차량의 진행 방향의 엇갈림 각을 말함
- Lateral force (N)
 - 타이어가 어떠한 슬립 각(slip angle, α)으로 선회할 때 접지면에 발생한 마찰력 중 타이어 중심면에 직각으로 작용하는 힘을 말함
 - 슬립 각이 작은 경우
 - : 타이어의 진행 방향에 직각으로 작용하는 힘의 코너링 포스와 같다고 생각할 수 있음
 - 슬립 각이 클 경우
 - : 타이어의 구동력이나 제동력이 작용하고 있을 때 분리하여 생각해야함



Lateral force 개념도

* 사진 출처: Guillaume et al, 2009. Estimation of vehicle sideslip, tire force and wheel cornering stiffness. Control Engineering Practice.

$$F_{yf} = 2C_{\alpha f}(\delta - \theta_{Vf}) \cdot \dots \cdot \dots \cdot (3)$$

$$F_{yr} = 2C_{\alpha r}(-\theta_{Vr}) \cdot \dots \cdot \dots \cdot (4)$$

- Cornering stiffness (N/deg)
 - 타이어의 slip angle과 lateral force의 관계에 따른 슬립 각 0도에서 lateral force가 일어나는 미분값을 말함

- 일반적으로 코너링 강성은 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있는데, slip angle이 발생할 때 걸리는 lateral force의 크기로 생각하면 됨
- Cornering stiffness는 차량 경로추종, 안정성에 영향을 미치는 요소임

$$\text{Cornering stiffness} = \frac{\text{Lateral Force}}{\text{Slip angle}} \dots \dots \dots (5)$$

○ Slip angle (deg)

- 선회 상태인 타이어를 보았을 때 타이어의 진행방향과 타이어의 중심 면이 이루는 각도를 의미함
- 보통 코너링에서 타이어가 가로로 미끄러지는 각도라 할 수 있음

$$\alpha_f = \delta - \theta_{Vf} \dots \dots \dots (6)$$

$$\alpha_r = -\theta_{Vr} \dots \dots \dots (7)$$

where, θ_{Vf} : angle that the velocity vector

δ : front wheel steering angle (deg)

○ Slip ratio (%)

- 타이어에 동력이나 제동력이 걸려 있는 상태로, 타이어와 노면 사이에 생기는 미끄럼 정도를 나타냄
- 주행속도와 타이어 주속도의 차이를 주행 속도로 나눈 수치로, 여기에 100배하여 %로 나타낸 것임
- 본 연구에서는 동력이 걸려 있는 상태만 고려하여 진행하였음

$$\sigma_x = \frac{r_{eff}\omega_w - V_x}{r_{eff}V_x} \dots \dots \dots (8)$$

where, r_{eff} : effective radius of rotating tire (mm)

ω_w : angular speed of wheel (rad/sec)

V_x : longitudinal vehicle velocity (km/h)

○ 트랙터 주행속도 2 km/h에서 결과값

| 마찰계수조건 | 0.4 | 0.6 |
|---------------------------|-------------------|------------------|
| Slip angle Front | 0.387687351 | 0.387890638 |
| Slip angle Rear | 0.368206442 | 0.368208930 |
| Yaw rate | 0.436166663 | 0.435307833 |
| Body side-slip angle | 0.338272921 | 0.338276283 |
| Slip ratio | 0.228913900 | 0.228077600 |
| Lateral error | 0.524427500 | 0.524559500 |
| Steering angle | 0.049730229 | 0.049687374 |
| Cornering stiffness Front | 818060.848100000 | 610295.400500000 |
| Cornering stiffness Rear | 6012347.713000000 | 291596.025000000 |
| Cornering stiffness F-R | 5194286.864900000 | 318699.375500000 |
| Lateral force Front | 60.387502590 | 60.394858100 |
| Lateral force Rear | 67.547129430 | 67.551975060 |
| Lateral force F-R | 7.159626840 | 7.157116960 |

○ 트랙터 주행속도 4 km/h에서 결과값

| 마찰계수조건 | 0.4 | 0.6 |
|---------------------------|------------------|-------------------|
| Slip angle Front | 0.387687351 | 0.253593137 |
| Slip angle Rear | 0.368206442 | 0.245708228 |
| Yaw rate | 0.446833557 | 0.446606948 |
| Body side-slip angle | 0.182915449 | 0.182910767 |
| Slip ratio | 0.229015900 | 0.232034000 |
| Lateral error | 0.580142100 | 0.579903400 |
| Steering angle | 0.046664772 | 0.046668147 |
| Cornering stiffness Front | 945075.770800000 | 1680670.997000000 |
| Cornering stiffness Rear | 176148.015400000 | 174918.061600000 |
| Cornering stiffness F-R | 768927.755400000 | 1505752.935400000 |
| Lateral force Front | 55.210730070 | 55.207420770 |
| Lateral force Rear | 59.464622660 | 59.464145430 |
| Lateral force F-R | 4.253892590 | 4.256724660 |

○ 트랙터 주행속도 6 km/h에서 결과값

| 마찰계수조건 | 0.4 | 0.6 |
|---------------------------|------------------|-------------------|
| Slip angle Front | 0.216914538 | 0.216969946 |
| Slip angle Rear | 0.235126075 | 0.235122677 |
| Yaw rate | 0.453949967 | 0.453223718 |
| Body side-slip angle | 0.168294925 | 0.168294461 |
| Slip ratio | 0.205514100 | 0.208353200 |
| Lateral error | 1.250352000 | 1.250483600 |
| Steering angle | 0.046471728 | 0.046465439 |
| Cornering stiffness Front | 640862.236800000 | 3962968.555000000 |
| Cornering stiffness Rear | 536562.337500000 | 364449.645200000 |
| Cornering stiffness F-R | 104299.899300000 | 3598518.909800000 |
| Lateral force Front | 54.760845130 | 54.760386840 |
| Lateral force Rear | 60.227906140 | 60.227385280 |
| Lateral force F-R | 5.467061010 | 5.466998440 |

○ 트랙터 주행속도 8 km/h에서 결과값

| 마찰계수조건 | 0.4 | 0.6 |
|---------------------------|-------------------|--------------------|
| Slip angle Front | 0.189613897 | 0.189632002 |
| Slip angle Rear | 0.237502235 | 0.237478129 |
| Yaw rate | 0.418448490 | 0.418141130 |
| Body side-slip angle | 0.173776827 | 0.173772731 |
| Slip ratio | 0.198690700 | 0.195841400 |
| Lateral error | 1.721859600 | 1.721999300 |
| Steering angle | 0.044228527 | 0.044228181 |
| Cornering stiffness Front | 1493980.655000000 | 1806065.823000000 |
| Cornering stiffness Rear | 971937.130000000 | 17041738.420000000 |
| Cornering stiffness F-R | 522043.525000000 | 15235672.597000000 |
| Lateral force Front | 52.646658300 | 52.646325820 |
| Lateral force Rear | 64.625332020 | 64.619992090 |
| Lateral force F-R | 11.978673720 | 11.973666270 |

○ Dynamic model의 factor 관점에서의 상관관계

- Slip angle (deg)
 - : 등속 조건에서 마찰계수가 작을수록 작음
 - : 동일마찰조건에서는 속도가 클수록 작음
 - : Cornering stiffness가 작을수록, Lateral force가 클수록 큼
- Yaw rate ω (deg/s)
 - : 등속에서는 마찰계수가 클수록 작음
 - : 동일마찰조건에서는 속도가 클수록 큼
- Body sideslip angle β (deg)
 - : 등속에서는 마찰계수가 클수록 작음
 - : 동일마찰조건에서는 속도가 클수록 작음
- Slip ratio (%)
 - : 마찰계수나 속도보다 조향각에 따라 영향을 받음
 - : 조향각 크면 커짐(=저속에서 작아질수록 커짐)
- Lateral error (cm)
 - : 마찰계수나 속도보다 조향각에 따라 영향을 받음
 - : 조향각 크면 작아짐(=저속일수록 커짐)
- Steering angle (deg)
 - : 속도가 커질수록 작아지고, 마찰계수에는 큰 영향 없음
- Lateral force (N)
 - : Cornering stiffness, slip angle이 클수록 큼
- Cornering stiffness (Lateral force/Slip angle)
 - : Slip angle이 작을수록 큼
 - : Lateral force가 클수록 큼

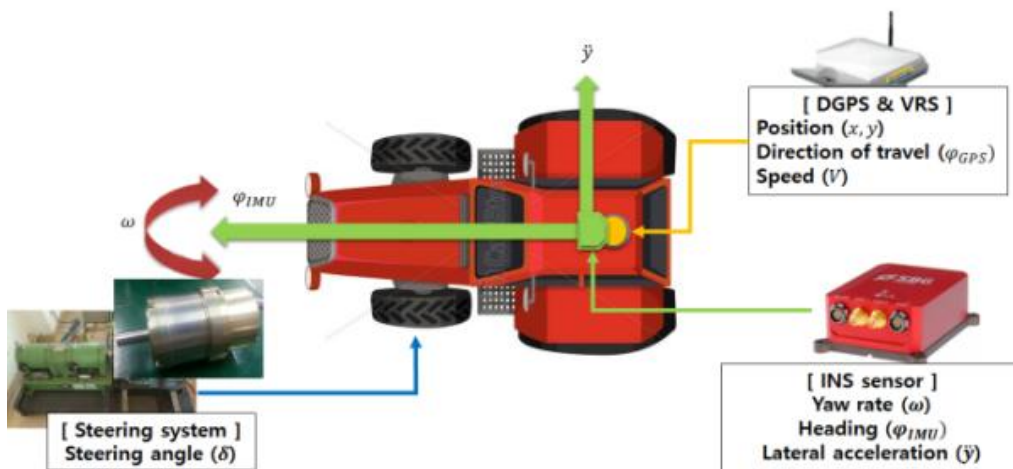
○ 펠드테스트 측정 데이터 및 실험 조건

- 측정값
: slip ratio, yaw rate, steering angle, body side-slip angle
- 실험조건
: 1 수준 cone index, 2 수준의 작업 주행 속도(쟁기, 로타리)
: 1 수준의 normal load, tire inflation pressure
- 필요 시험 장비
: 트랙터 시험 기대 (동양 M520 모델)
: 쟁기, 로타리 작업기
: 토양환경계측 센서
- 필드테스트 시험 예정 부지
: 충남대학교 농업생명과학대학교 부속 작업 농장 필지
: 약 100x30(m^2), 약 900평 부지 선정

3. 자율주행 플랫폼 개발 및 system integration

가. 구성요소

- 1) 트랙터 자율주행시스템은 크게 트랙터 위치 및 자세 검출 시스템, 최적 경로 생성 및 맵핑 시스템 (Geographic Information System, GIS), 작업 경로 안내 시스템으로 구성됨
- 2) 트랙터 위치 및 자세 검출 시스템
 - DGPS (Differential Global Positioning System), IMU (Inertial Measurement Unit), 초음파센서 등을 이용하여 트랙터의 절대 위치 및 자세를 검출하는 동시에 작업 환경 및 장애물을 검출하는 시스템
- 3) 최적 경로 생성 및 관리 시스템
 - 쟁기, 로타리, 베일러 등의 트랙터 작업조건 및 포장조건에 따라 최적 경로를 생성하고 이에 따라 경로를 맵핑하고 관리하는 시스템
- 4) 작업 경로 안내 시스템
 - 트랙터 조향각 등의 센싱을 통하여 주어진 경로를 자동 안내하는 시스템



트랙터 내비게이션 시스템의 구성

나. 주요 기술

- 1) 트랙터 작업조건에 따른 최적 주행 경로 생성 및 내비게이션 시스템 개발
 - 트랙터 작업별 주행 경로 분석
 - 최적 주행경로 생성 알고리즘 개발
 - 주행 오차 최소화를 위한 경로 추종 알고리즘 개발
 - 자동조향을 위한 저비용 고효율 전자식 액추에이터 개발
 - 조향 모터 제어 및 센서 신호 계측을 위한 자동조향 시스템 제어기 개발
 - 작업 경로 안내 및 모니터링을 통한 작업관리 기술 개발
- 2) DGPS기반의 smart-farm 환경구축 및 트랙터 적용을 통한 실용화기술 개발
 - GPS 및 트랙터와의 양방향 통신이 가능한 smart-farm 환경 구축
 - GPS, IMU, 초음파 센서 등을 이용한 트랙터 위치 및 자세 검출 기술 개발
 - MDPS(Motor Driven Power Steering) 기반 조향 시스템 활용 기술 개발
 - 내비게이션 시스템 통합 및 모듈화/소형화를 통한 트랙터 적용 기술 개발
 - 내비게이션 시스템 현지화 적응성 및 성능평가 (국내/중국)

다. 용도

- 1) Smart-farming 및 정밀농업 구현
 - 트랙터 작업 생산성 및 편의성 향상
 - 트랙터 작업 이력 관리
 - 파종, 경운 등의 농작업 직진 및 회행 운전 보조
 - 정밀 농약살포를 위한 유효 작업폭 유지

라. 적용분야

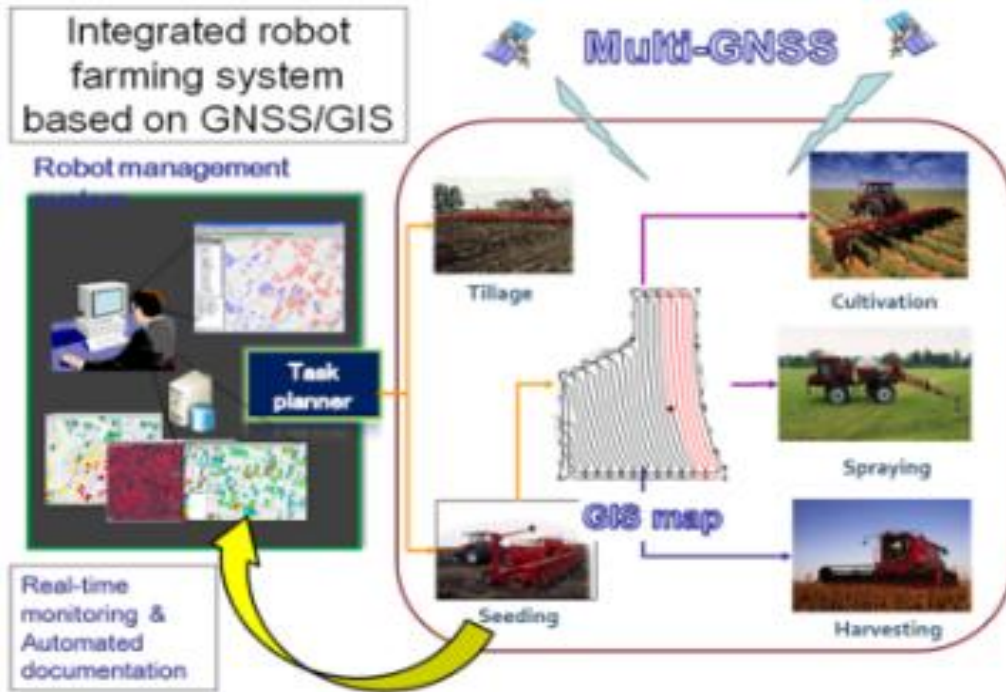
- 1) 트랙터 전기중
- 2) 이앙기 및 콤팩트 등의 농작업기계

마. 기술의 혁신성

- 1) 상용 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 농업차량동역학 기반 요소들을 분석함으로써 실제 자율주행 경로추종에 영향을 미치는 인자 선정 및 분석을 통해 상관관계를 정리하고 품질 제작에 반영함
- 2) GPS system, IMU sensor, Gyro sensor, Laser scanner 등 위치 및 자세 측정 센서 보정 기술 개발에 따라 다양한 자율주행 농업기계 개발 시 비정형적인 실제 필드조건에서도 신뢰성 있는 센서 신호 송신이 가능할 것으로 예상함
- 3) 트랙터 내비게이션 핵심부품은 단일 시스템으로도 활용이 가능하여 국내산 트랙터 탑재 및 end-market 용으로 트랙터 외 다양한 농업기계에 범용적으로 적용이 용이하게 개발하

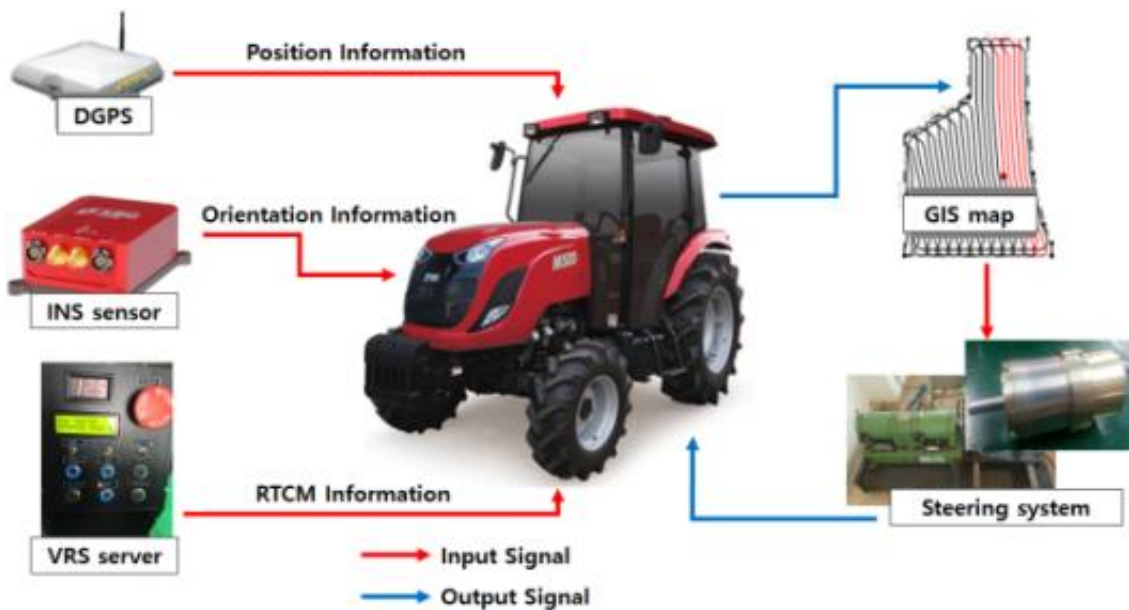
여 농업기술 개발에 이바지 할 것으로 예상됨

- 4) 본 연구에서 위치 및 자세 검출 센서등 다양한 센서 융복합 종합 계측 기술인 내비게이션 시스템 개발을 통하여 smart-farming 및 정밀농업 분야 기술발전에 이바지하여 국내·외 농업 노동력 부족현상을 완화하고, 농작물 생산성 증대에 이바지할 것으로 예상함



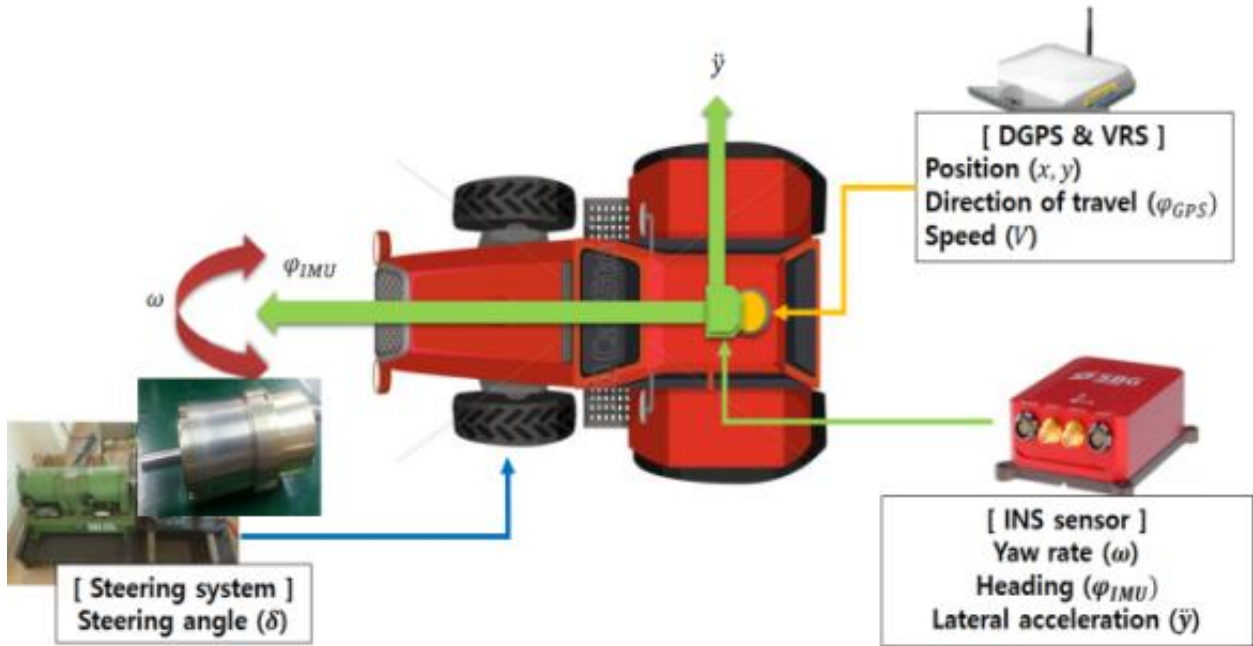
트랙터 내비게이션 시스템을 활용한 smart-farming 실현

- 시뮬레이션을 통해 분석한 dynamic property의 상관관계를 포장 필드 테스트를 통해 비교·검증 할 계획이며, 자율주행 내비게이션 시스템 구성도는 다음과 같음



자율주행트랙터 내비게이션 시스템 구성도

○ 자율주행트랙터 계측 센서 및 시스템 구성



자율주행트랙터 dynamic property 계측 시스템의 구성

4. 시뮬레이션 검증 및 성능평가

가. 작업능률 향상(%)

1) 시험방법

- 정의 : 동일한 작업면적에 대해 관행방법(t_{nol}) 대비 내비게이션을 사용 방법(t_{nav})의 작업 시간 비율 (t_{nav}/t_{nol})을 계산하여 비교하는 방법 사용
- 의미 : 내비게이션 시스템 적용에 따라 동일한 필지에 대한 작업 시간 감소 및 생산성 증대되는 효과 확인
- 방법 : 시험 대상 필지의 포장시험에 대하여 내비게이션 사용 유무에 따른 작업 시간 측정 (작업 종류: 쟁기)

2) 시험환경 구성

- 자율주행트랙터 포장작업 작업능률 향상 시험 진행을 충남대학교 농업생명과학대학 부속되어있는 100x30 (m), 약 900평 규모의 시험평가용 논필지를 선정함
- 트랙터 제원
 - 동양물산 M520 모델(52kW급)을 사용하였으며, 상세 제원은 다음과 같음



자율주행트랙터 작업효율 시험 필지 (충남대학교 농업생명과학대학 부지)




동양물산 M520 52kW급 트랙터 모습

○ 동양물산 M520 트랙터 상세 제원

| 구분 | 동양물산 M520 트랙터 제원 |
|-----------------|------------------------|
| 엔진 | 52kW(38마력) / 2,600 rpm |
| 전장 (mm) | 3,350 |
| 전폭 (mm) | 1,660 |
| 전고 (mm) | 2,735 |
| 축간거리 (mm) | 1,960 |
| 최저지상고 (mm) | 350 |
| 최대 주행 속도 (km/h) | 28.1 |
| 총 중량 (kg) | 1,945 |

○ 작업기 제원

| 구분 모델명 | 쟁기 SW-PS 1806 (세웅) |
|-----------|--|
| 사진 |  |
| 길이 (mm) | 2,075 |
| 폭 (mm) | 1,850 |
| 높이 (mm) | 1,095 |
| 경폭 (mm) | 1,865 |
| 중량 (kg) | 372 |

○ 토양환경 계측센서 제원

| 구분 모델명 | 쟁기 WT-1000 (미래센서) |
|-----------|---|
| 사진 |  |
| 길이 (mm) | 2,075 |
| 폭 (mm) | 1,850 |
| 높이 (mm) | 1,095 |
| 경폭 (mm) | 1,865 |
| 중량 (kg) | 372 |

3) 시험평가 진행

○ 정의 : 해당 필지에서 트랙터 대표작업인 쟁기, 로타리 포장에 대하여 내비게이션 사용 유무에 따른 작업 시간 측정 (작업 종류: 쟁기)

○ 의미

- 자율주행차량은 밤낮없이 작업이 가능하고, 날씨의 영향을 덜 받으며 가변적인 농작업과 변량제어가 가능함
- 자율주행트랙터를 이용하여 관행작업보다 단순주행시간은 더 오래 걸릴 수 있지만,

- 가능한 일당 작업량이 더 높으므로, 동일 면적 대비 소요작업일수는 현격히 줄어들
 - 농부의 노동 강도가 현저히 낮아져 작업 능률이 향상됨

○ 시험가정

- 1일 트랙터 작업시간
 - : 수동주행 경우=4시간(14400초)
 - : 자율주행의 경우=6시간(21600초, 야간작업이 가능하기 때문)
- 쟁기 2회 반복작업을 할 때 작업효율 비교

○ 토양환경 계측 값

| 반복횟수 | 습도 (%) | 온도 (c) |
|------|--------|--------|
| 1 | 33.8 | 30.5 |
| 2 | 30.4 | 28.8 |
| 3 | 33.4 | 28.4 |
| 4 | 30.9 | 28.2 |
| 5 | 36.4 | 28.7 |
| 6 | 34.5 | 29.0 |
| 7 | 30.0 | 28.3 |
| 8 | 29.4 | 28.7 |
| 9 | 30.7 | 27.9 |
| 10 | 31.3 | 28.6 |
| 평균값 | 32.0 | 28.7 |



토양환경 센서 계측 모습

4) 시험평가 결과

○ 트랙터 작업효율 기준 단위시간 및 작업경지크기

- 자율주행트랙터: 12시간
- 일반주행트랙터: 8시간
- 대상 작업 경지 크기: 10ha(쌀농사 농민 소유 평균 면적)

○ 쟁기작업 시 경로추종 주행성능 시험평가

- 쟁기 작업기를 장착하고, 단순 경로추종 주행성능을 시험평가하기 위해 주행했던 경로를 따라 작업 진행하였음

- 작업단수: L3단
- 작업길이 직선: 100m
- 작업폭: 2m
- 자율주행 주행시간: 142.85초
- 수동 메뉴얼 주행시간: 137.5초



단순 경로추종 주행성능 시험평가 모습

- 트랙터 내비게이션 시스템 작업능력 향상 시험평가 종합 결과
 - 쟁기 작업기를 장착하고, 단순 경로추종 주행성능을 시험평가하기 위해 주행했던 경로를 따라 작업 진행하였음

- Work rate (ha/h) 계산공식 (출처: nsw FARMERS)

$$- \text{Working rate}(ha/h) = \frac{\text{implement width}(m) \times \text{working speed}(km/h)}{\text{work factor}}$$

$$- \text{where, Work factor} = \frac{1 + \text{efficiency losses}}{\text{portion of hectare covered}}$$

- 운전모드별 단위시간당 work rate (ha/h)

| 쟁기작업 | 작업경폭 (m) | 작업속도 (km/h) | work rate (ha/h) |
|------|----------|-------------|------------------|
| 자율주행 | 2 | 2.52 | 0.427 |
| 수동주행 | 2 | 2.592 | 0.439 |

- 자율주행 work rate

$$: \text{Working rate}(ha/h) = \frac{2(m) \times 2.52(km/h)}{11.8} = 0.427(ha/h)$$

- 수동주행 work rate

$$: \text{Working rate}(ha/h) = \frac{2(m) \times 2.592(km/h)}{11.8} = 0.439(ha/h)$$

- 운전모드별 일당 work rate (ha/day)

| 쟁기작업 | 하루 가용 작업시간 | 일당 작업가능량 (ha/day) | 목표작업량(10ha) 도달 소요일 |
|------|------------|-------------------|--------------------|
| 자율주행 | 12시간 | 5.124 | 1.95일 |
| 수동주행 | 8시간 | 3.512 | 2.84일 |

○ 수동주행 작업 대비 작업능률 (수동주행 기준 1)

| 쟁기작업 | 상대 작업효율 |
|------|---------|
| 자율주행 | 1.456 |
| 수동주행 | 1 |

시험 성적서

| | | | | |
|---|-----------------------------|--------------------------------------|---|-------|
| 한국생산기술연구원 충청남도 천안시 서북구 입장면 당대기도길 89 (Tel: 041 589 8051, Fax: 041 589 8310) | | 성적서 번호: C17N020015 페이지 (13)중 (13) |  한국생산기술연구원 | |
| 1. 의뢰자 ○ 기관명 : 충남대학교 ○ 주소 : 대전광역시 유성구 대학로 99 충남대학교 농업생명과학대학 ○ 의뢰일자 : 2017.05.19 | | | | |
| 2. 시험성적서의 용도 : 과제 제출용 | | | | |
| 3. 시험대상품목 : 자율주행트랙터 | | | | |
| 4. 시험기간 : 2017년 06월 22일 | | | | |
| 5. 시험규격 : 의뢰 업체 기준 | | | | |
| 6. 시험결과 : | | | | |
| 1) 정지위치오차 측정 결과 | | | | |
| 평가기준 | 결과, cm | | | 평균값 |
| 5 cm 이내 | 1차 | 2차 | 3차 | |
| | 0.964 | 1.182 | 0.699 | 0.948 |
| 2) 자율주행오차(추종 오차) 측정 결과 | | | | |
| 평가기준 | 결과, cm | | | 평균값 |
| 15 cm 이내 | 1차 | 2차 | 3차 | |
| | 4.89 | 1.82 | 2.37 | 3.03 |
| 이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다. | | | | |
| 확인 시험자 성명: 김정길 | 승인자 직위: 기술책임자 성명: 김경수 | | | |
| 이 시험성적서는 용도 이외의 사용을 금합니다. | | | | |
| 2017. 06. 28. | | | | |
| 한국생산기술연구원장 (인) | | | | |

※ 약 45.6 %의 작업능률 향상된 결과를 보임

5. 세부과제 간 연계 기술 개발

가. 자율주행 상용화를 위한 성능평가기술

1) 추종오차 평가방법

○ 추종오차 시험 준비

- 자율주행 시작지점과 목표도달지점까지 일직선이 되도록 기준선을 그린다.
- 트랙터가 실제 주행 한 경로를 파악하기 위하여 일정한 속도로 페인트를 뿌려줄 수 있는 Drop 장치(Dropper)를 트랙터에 설치함
- 자율주행 트랙터에 자율주행 경로 정보(측정 거리 50m)를 입력함
- 트랙터에 위치인식 모듈을 장착하고 초기화 과정을 거친 뒤 정상적인 데이터 출력이 이루어지는지 확인함

2) 시험규격 및 방법

- 시험 규격: ISO 12188에 의거
- 시험 방법
 - 자율주행 트랙터가 목표 도달지점에 도달할 수 있도록 입력받은 정보를 토대로 트랙터를 주행함
 - 측정에 사용되는 직선거리는 50 m로 설정함
 - 주행 속도는 주작업 속도인 5 ± 0.7 km/h로 주행함
 - 이 때의 엔진회전수는 2,100 rpm(정격 rpm)에서 실시하며, 주행 단수는 Field 모드, 부변속 4단, 주변속(Shift 1단)으로 선정함
 - 페인트 Drop 장치의 장착위치는 GPS 수신 장치의 수직하단으로 지정함
 - 단 약간의 장착 위치 오차는 GPS 수신 장치와의 거리로 보정함
 - 주행거리 시작점부터 1m 간격으로 기준선(노란색 중앙선의 중심)과 트랙터가 실제 주행하면서 Drop 장치로 뿌려진 페인트 위치의 수직 거리를 측정한다. 이때 좌측은 음(-)의 값, 우측은 양(+)의 값으로 정함
 - 측정값들의 RMS 오차를 계산하며, 총 3회 측정하여 평균값으로 나타냄

3) 시험환경 구성

- 장소: 한국생산기술연구원 첨단농기계지원센터
- 시험주행 길이: 원형 트랙 50m구간



시험기대 트랙터에 부착된 Dropper 모습



추종오차를 측정하기 위한 원형 트랙 및 측정위치

4) 시험평가진행 및 최종결과

○ 시험평가진행



자율주행트랙터 위치오차 측정 기준

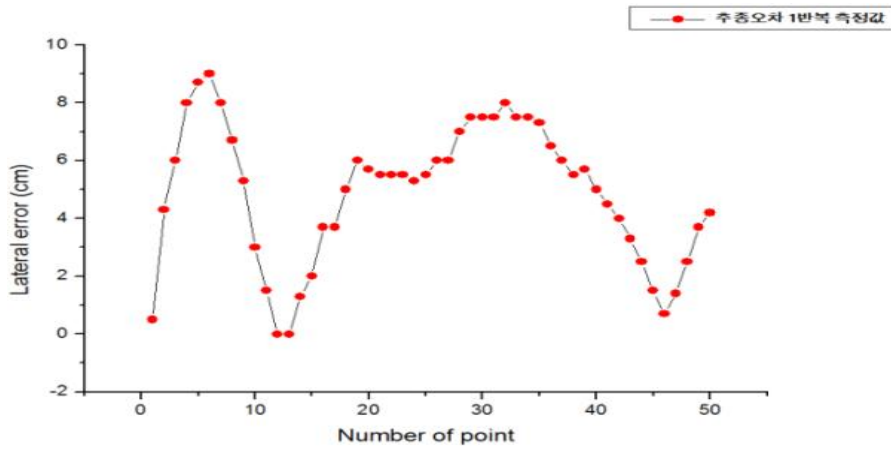


자율주행트랙터 위치오차 측정 방법(1m 기준)



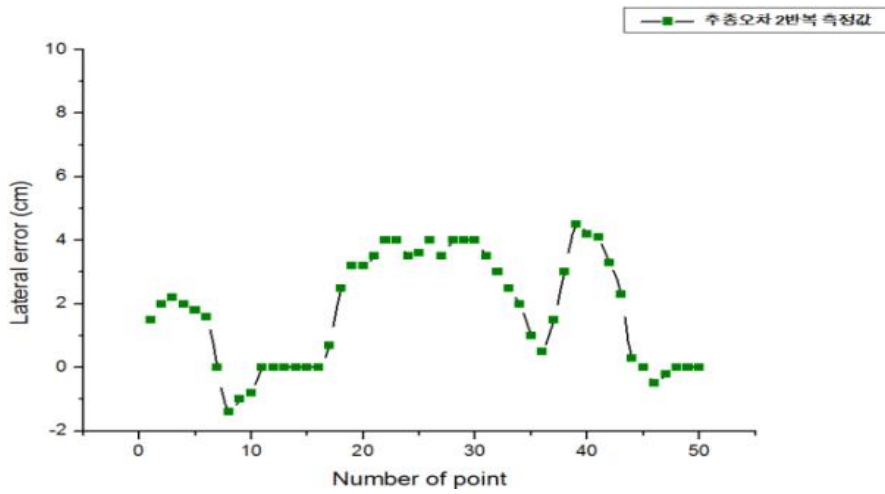
경로추종오차 시험 결과 표시 모습

- 추종오차 시험평가 1회 실시 데이터



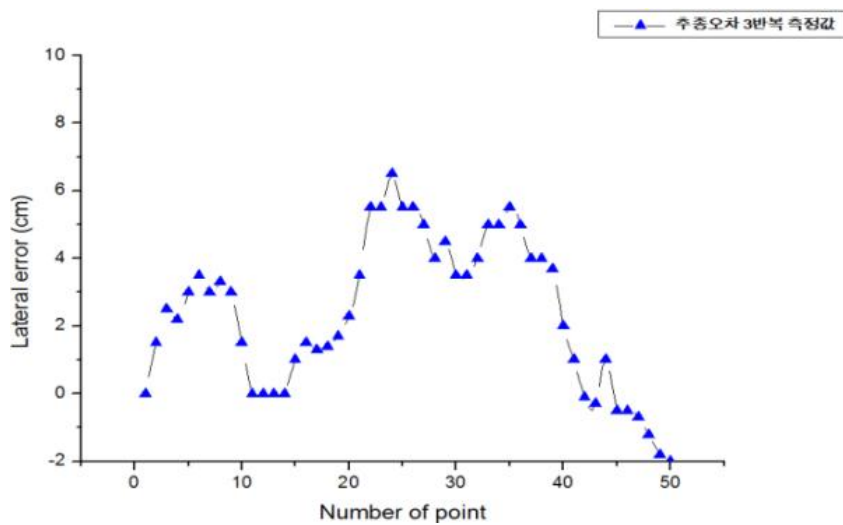
추종오차 1회 반복 오차 데이터 비교

- 추종오차 시험평가 2회 실시 데이터



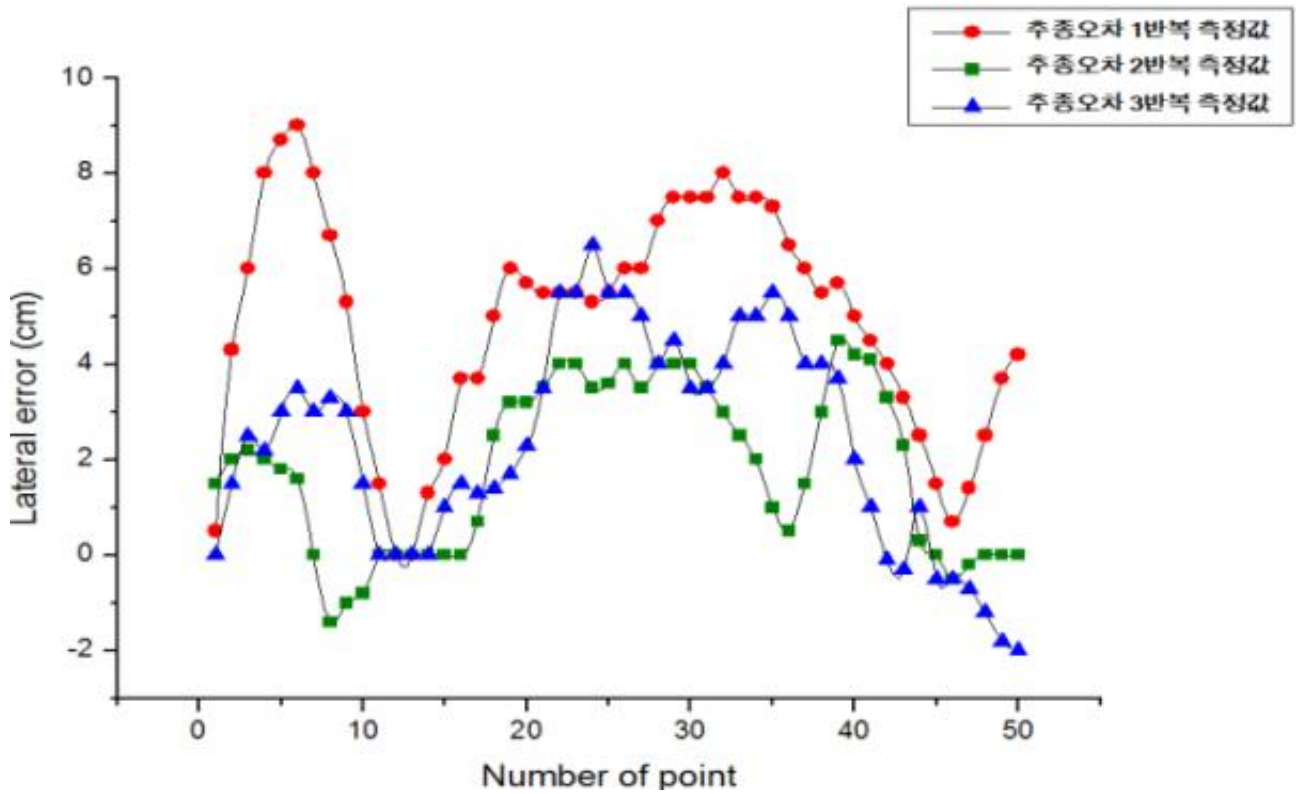
추종오차 2회 반복 오차 데이터 비교

- 추종오차 시험평가 3회 실시 데이터



추종오차 3회 반복 오차 데이터 비교

- 추종오차 시험평가 1~3회 실시 데이터 전체비교



추종오차 반복 오차 데이터 전체비교

○ 추종오차 시험결과: 3.02 (cm) (3회 반복 측정 평균값)

| | 1차 | 2차 | 3차 | 평균값 |
|-----------|------|------|------|------|
| 추종오차 (cm) | 4.89 | 1.81 | 2.36 | 3.02 |

○ 추종오차 시험 결과측정 raw data (1m 간격으로 측정 진행)

| Number of point | 1반복 | 2반복 | 3반복 |
|-----------------|-----|------|-----|
| | cm | cm | cm |
| 1 | 0.5 | 1.5 | 0 |
| 2 | 4.3 | 2 | 1.5 |
| 3 | 6 | 2.2 | 2.5 |
| 4 | 8 | 2 | 2.2 |
| 5 | 8.7 | 1.8 | 3 |
| 6 | 9 | 1.6 | 3.5 |
| 7 | 8 | 0 | 3 |
| 8 | 6.7 | -1.4 | 3.3 |
| 9 | 5.3 | -1 | 3 |
| 10 | 3 | -0.8 | 1.5 |
| 11 | 1.5 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 1.3 | 0 | 0 |

| | | | |
|----|-----|------|------|
| 15 | 2 | 0 | 1 |
| 16 | 3.7 | 0 | 1.5 |
| 17 | 3.7 | 0.7 | 1.3 |
| 18 | 5 | 2.5 | 1.4 |
| 19 | 6 | 3.2 | 1.7 |
| 20 | 5.7 | 3.2 | 2.3 |
| 21 | 5.5 | 3.5 | 3.5 |
| 22 | 5.5 | 4 | 5.5 |
| 23 | 5.5 | 4 | 5.5 |
| 24 | 5.3 | 3.5 | 6.5 |
| 25 | 5.5 | 3.6 | 5.5 |
| 26 | 6 | 4 | 5.5 |
| 27 | 6 | 3.5 | 5 |
| 28 | 7 | 4 | 4 |
| 29 | 7.5 | 4 | 4.5 |
| 30 | 7.5 | 4 | 3.5 |
| 31 | 7.5 | 3.5 | 3.5 |
| 32 | 8 | 3 | 4 |
| 33 | 7.5 | 2.5 | 5 |
| 34 | 7.5 | 2 | 5 |
| 35 | 7.3 | 1 | 5.5 |
| 36 | 6.5 | 0.5 | 5 |
| 37 | 6 | 1.5 | 4 |
| 38 | 5.5 | 3 | 4 |
| 39 | 5.7 | 4.5 | 3.7 |
| 40 | 5 | 4.2 | 2 |
| 41 | 4.5 | 4.1 | 1 |
| 42 | 4 | 3.3 | -0.1 |
| 43 | 3.3 | 2.3 | -0.3 |
| 44 | 2.5 | 0.3 | 1 |
| 45 | 1.5 | 0 | -0.5 |
| 46 | 0.7 | -0.5 | -0.5 |
| 47 | 1.4 | -0.2 | -0.7 |
| 48 | 2.5 | 0 | -1.2 |
| 49 | 3.7 | 0 | -1.8 |
| 50 | 4.2 | 0 | -2 |

(3) 제 1-2 협동과제

① 연구개요

| 세부과제번호 | 제 (1-2)협동과제 | | | | | |
|---------------|--|--|-----------|--------------|------------|-------|
| 세부 연구과제명 | 국문 | 스마트 농작업기계 상용화 및 현장 적용 기술 개발 | | | | |
| | 영문 | Development for commercialization technology of smart agricultural machinery | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 김정훈 | 영문성명 | Kim Jung Hun | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 동양물산 | 부서명 (학과명) | 중앙기술연구소 | 직위 | 책임연구원 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2014년 9월 18일 부터 ~ 2017년 9월 17일 까지 (3년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 합계 | |
| | 정부출연금 | 100,000 | 100,000 | 146,000 | 346,000 | |
| | 기업부담금 | 160,000 | 160,000 | 0 | 320,000 | |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 합계 | 260,000 | 260,000 | 146,000 | 666,000 | |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | | 선임급 | | 원급이하 | |
| | 2 | | 3 | | 5 | |
| | | | | | 합계 10 | |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|--|
| 1단계 | 1차년도 | · 자율주행 application의 콤바인 적용을 위한 System Integration 기술개발 |
| | 2차년도 | · 궤도형 자율주행 차량의 조향제어 특성 및 최적화 연구 |
| | 3차년도 | · 자율주행 콤바인 제어 시스템 개선연구 |

| 제1핵심 | 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업적용 기술개발 | |
|--|--|---|
| 제1-2협동 | 스마트 농작업기계 상용화 및 현장 적용 기술 개발 | |
| 1 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 1단계 연구목표 : 자율주행 application의 콤바인 적용을 위한 System Integration 기술개발 1년차 (2014) | ○ 콤바인 무인 조향 제어 시스템 개발 | - 콤바인 무인 조향제어 시스템 제작 탑재 |
| | ○ 콤바인 위치인식 및 무인경로추종 알고리즘 개발 | - Dual GPS 모듈을 이용한 위치인식 시스템 구축 및 경로추종제어 프로그램 개발 |
| | ○ 콤바인 자율주행 통합제어 시스템 | - 콤바인 자율주행 통합제어기 개발 탑재 |
| 1단계 연구목표 : 궤도형 자율주행 차량의 조향제어 특 | ○ 무인 주행을 위한 구동륜과 조향륜의 특성 분석 | - 자율주행 콤바인 제어알고리즘 연구 |
| | ○ 자율주행 콤바인 | - 자율주행 콤바인을 위한 Laser scanner 기반의 작 |

| | | |
|--|--|---|
| 성 및 최적화 연구 2년차 (2015) | 제어 알고리즘 개발 | 업 기준선 생성 알고리즘 개발 |
| 1단계 연구목표 : 자율주행 콤바인 제어 시스템 개선연구 3년차 (2016) | ○ 자율주행 콤바인의 경로추종 제어 시스템 개선 | - 조향제어 시스템 개선 |
| | ○ 자율주행 콤바인의 경로추종 알고리즘 개선을 통한 추종 정밀도 향상 | - 경로추종 알고리즘 개선을 통한 추종 정밀도 향상 |
| | ○ 자율주행 콤바인을 이용한 포장시험 및 성능평가 | - 성능시험은 콤바인 자율주행 시스템의 응답성능과 경로추종 성능부분으로 나누어 진행, 자율주행 시스템 응답성능은 조향제어 응답성능과 변속제어 응답성능을 평가 |

(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|------|------|------|----|----|---------|------|----|------|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | | 홍보전시 |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | 10 | 10 | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | | 3 | 5 |
| 1단계 | 목표 | 3 | 1 | | | 1 | | | | | | | | 3 | | | | | 4 | |
| | 실적 | 4 | | | | | | | | | | | | 3 | | 1 | | | 2 | |
| 최종 | 목표 | 3 | 1 | | | 1 | | | | | | | | 3 | | | | | 4 | |
| | 실적 | 4 | | | | | | | | | | | | 3 | | 1 | | | 2 | |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|-----|-----|------|------|------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|--|-------------|-----|-----------------|--------|-----|-----|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2015 | 트랙터용 GPS 모듈 | 동양물산기업 주식회사 | 한국 | 10-2015-0088266 | | | | |
| 2015 | 다중 저가형 GPS를 이용한 농업용 무인 트랙터의 자율주행형 위치추정방법 및 시스템 | 서울대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0136975 | | | | |
| 2016 | 자율주행 콤바인 | 동양물산기업 주식회사 | 한국 | 10-2016-0078067 | | | | |
| 2016 | 트랙터용 EPS 모듈 장착장치 | 동양물산기업 주식회사 | 한국 | 10-2016-0078804 | | | | |

③ 사업화(제품화) 성과 및 매출 실적

| 번호 | 해당연도 | 구분 | 사업화명 | 제품명 | 업체명 | 매출액 (백만원) |
|----|------|-----|---------------|-----|--------|-----------|
| 1 | 2015 | 사업화 | 자율주행 트랙터 보급사업 | | 동양물산기업 | 0 |

④ 석/박사 양성 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|-----|-------|------|------|
| 1 | 한웅철 | 서울대학교 | 2017 | 박사 |

⑤ 학술발표 성과

| 번호 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|-----|--------------------|---|----------|---------------|
| 1 | 2015 | 학술발표 | 서울대 | 한웅철 | 확장기구모델 기반의 트랙터 주행 시뮬레이터 개발 | 한국정밀농업학회 | 천안상록리조트 컨벤션센터 |
| 2 | 2015 | 학술발표 | 서울대 | 전찬우 | 칼만필터를 이용한 다중저가형 GPS 오차개선 알고리즘 연구 | 한국정밀농업학회 | 천안상록리조트 컨벤션센터 |
| 3 | 2016 | 학술발표 | 서울대 | 전찬우, 김학진, 한웅철, 한문희 | 자율주행 콤바인을 위한 Laser Scanner 기반의 작물 가장자리 열 검출 알고리즘 연구 | 한국농업기계학회 | 국립농업과학원 농업과학부 |

⑥ 홍보 실적

| 번호 | 기관 | 홍보유형 | 매체명 | 홍보 제목 | 연도 | 비고 |
|----|--------|-------------|-----------|--------------------------------|------|----|
| 1 | 동양물산기업 | 지방TV방송 | 전북생생TV | 첨단 농생명 수도 전북! 농업용 로봇 산업 청사진 마련 | 2015 | |
| 2 | 동양물산 | Internet/PC | AVING.NET | [로보유니버스 2015] | 2015 | |

| | | |
|----|----|-------------------------------------|
| 기업 | 통신 | 동양물산기업, 농업용 무인자율주행트랙터 'TX803' 전시 |
|----|----|-------------------------------------|

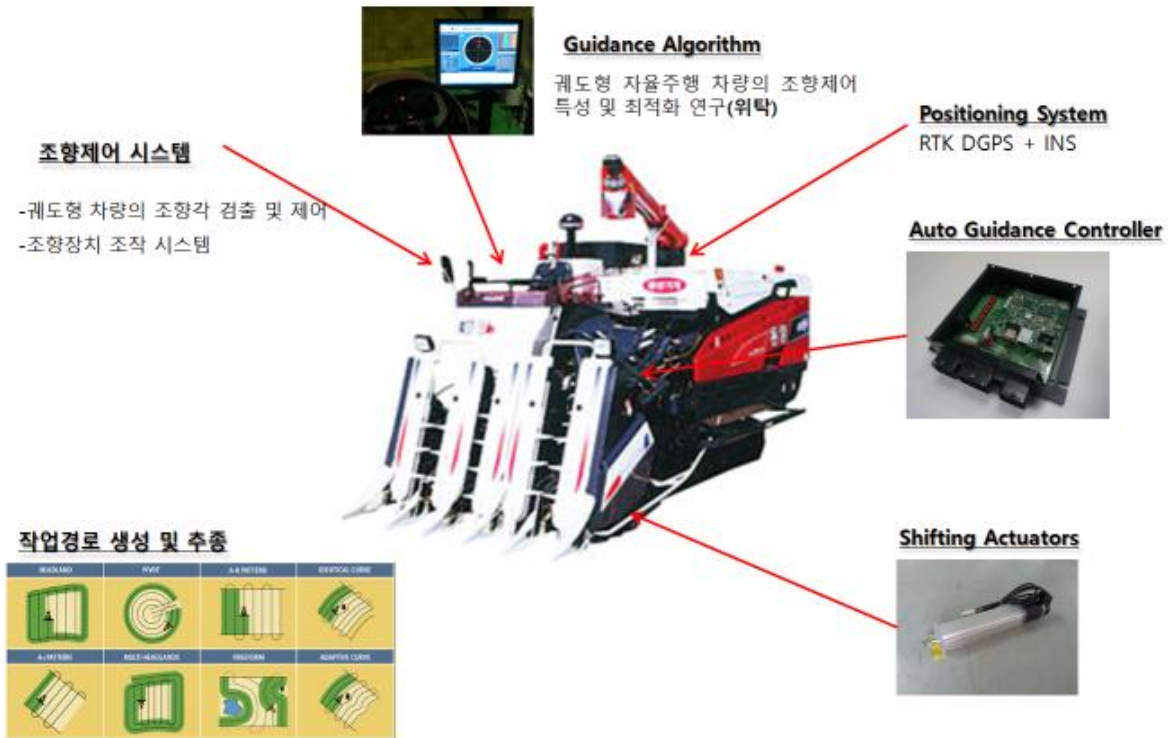
(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|-----|---|--|
| 1단계 | 1차년도 · 자율주행 application의 콤바인 적용을 위한 System Integration 기술 개발 | - 콤바인 무인 조향제어 시스템 제작 탑재 - Dual GPS 모듈을 이용한 위치인식 시스템 구축 및 경로추종제어 프로그램 개발 - 콤바인 자율주행 통합제어기 개발 탑재 |
| | 2차년도 · 궤도형 자율주행 차량의 조향제어 특성 및 최적화 연구 | - 자율주행 콤바인 제어알고리즘 연구 - 자율주행 콤바인을 위한 Laser scanner 기반의 작업 기준선 생성 알고리즘 개발 |
| | 3차년도 · 자율주행 콤바인 제어 시스템 개선연구 | - 조향제어 시스템 개선 - 경로추종 알고리즘 개선을 통한 추종 정밀도 향상 - 성능시험은 콤바인 자율주행 시스템의 응답성능과 경로추종 성능부분으로 나누어 진행, 자율주행 시스템 응답성능은 조향제어 응답성능과 변속제어 응답성능을 평가 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

1. 자율주행 콤바인 제작

- 콤바인의 자율주행 application 개발 및 경로추종제어 알고리즘 개발을 위하여 자율주행 콤바인 제작
- 자율주행 콤바인은 동양물산기업(주)에서 생산중인 기존의 85마력급 콤바인 C805모델을 대상으로 자율
- 주행 기능 구현을 위하여 관련시스템 설계, 시스템탑재설계 및 제어부 개발을 수행
- 자율주행 콤바인 구현을 위한 주요 시스템 및 개발 알고리즘의 구성은 다음과 같음.
 - Dual GPS module을 이용한 위치인식 시스템
 - 경로추종을 위한 전자조향제어 시스템
 - 주행속도 제어를 위한 변속제어 시스템
 - 콤바인 자율주행 제어기(VDC) 및 화상제어(command console) 시스템
 - 콤바인 경로생성 및 추종 알고리즘
 - 기존 콤바인 제어시스템과 자율주행 제어시스템의 통합제어를 위한 통합제어 알고리즘



자율주행 콤바인의 구성

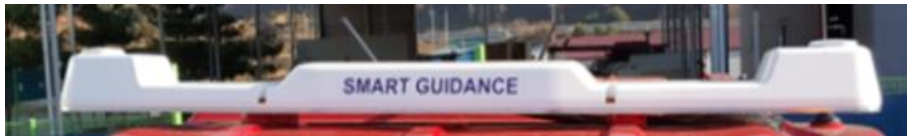
자율주행콤바인 주요제원(C805)

| 구분 | | 사양 | 구분 | | 사양 | |
|------|--------------|------------|------|----------------|------------|-------|
| 기체크기 | 길이(mm) | 4,880 | 주행부 | 주행속도(m/s) | 0~2.87 | |
| | 폭(mm) | 2,110 | | 차륜의 규격 | 500x90x52 | |
| | 높이(mm) | 2,400 | | (폭x피치x피치수)(mm) | | |
| | 중량(kg) | 3,490 | | 차륜의 거리(mm) | 1,000 | |
| | 최저지상고(mm) | 190 | | 접지면적(폭)(mm) | 500 | |
| 엔진 | 배기량(cc) | 3,318 | 작업능력 | 작업능력(a/h) | 46.80 | |
| | 기통수 | 4 | | 작업속도(m/s) | 1.6 | |
| | 연소실형식 | 직접분사식 | 예취부 | 예취폭(mm) | 1,710 | |
| | 연료탱크용량(l) | 65 | | 곡물처리 | 곡물탱크 용량(l) | 1,600 |
| | 호칭출력(kW/rpm) | 62.2/2,550 | | 탈곡부 | 탈곡방식 | 하급식 |

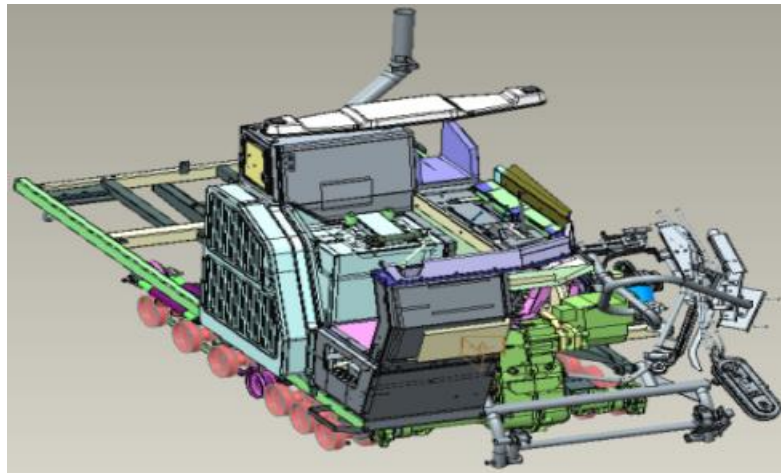
2. Dual GPS module을 이용한 위치인식 시스템 탑재

- 콤바인의 위치인식 및 경로탐색을 위하여 자율주행 트랙터에 적용된 dual GPS module을 적용
- Dual GPS module은 기존의 고가 INS를 사용하는 대신 저가의 INS를 사용하고 두 개의 GPS 안테나로부터 수신되는 위치정보를 이용하여 정확도를 보정하는 방식을 사용.
- Dual GPS module을 자율주행 콤바인에 적용하기 위한 탑재설계를 진행하였으며, 콤바인 위치인식을 위한 탑재 위치보정 실시.
- Dual GPS module의 주요 성능은 다음과 같다.
 - Roll / Pitch Angle accuracy : < 0.1° / 0.05°
 - Heading Angle accuracy : < 0.2°

- Position accuracy : RTK - < 2 cm, DGPS - < 0.4 m



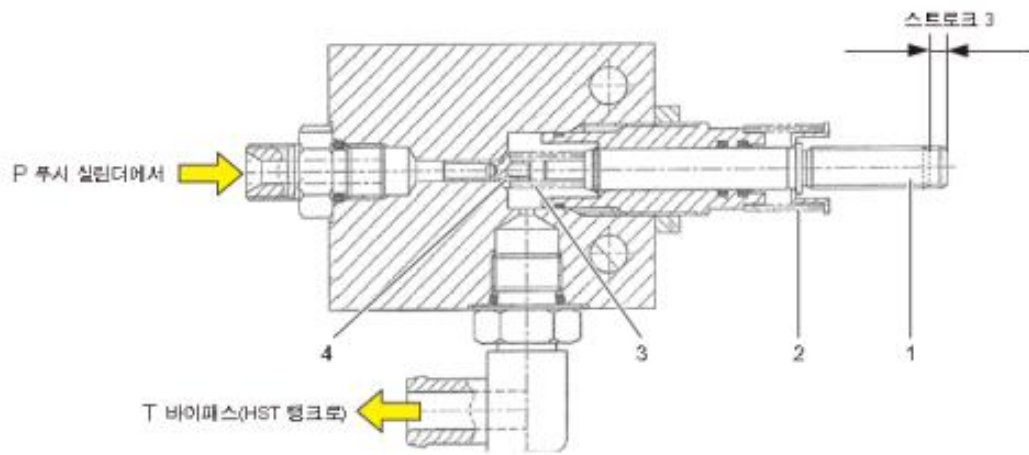
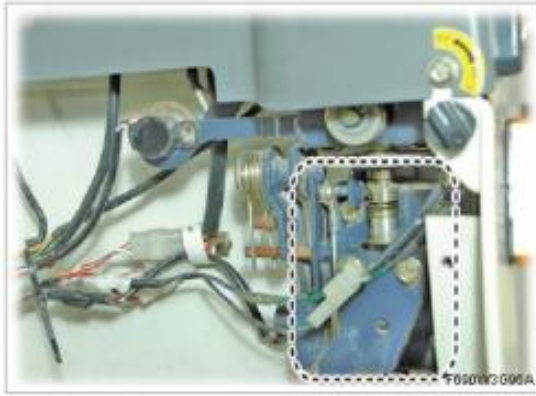
Dual GPS module



자율주행 콤바인 Dual GPS module 탑재설계

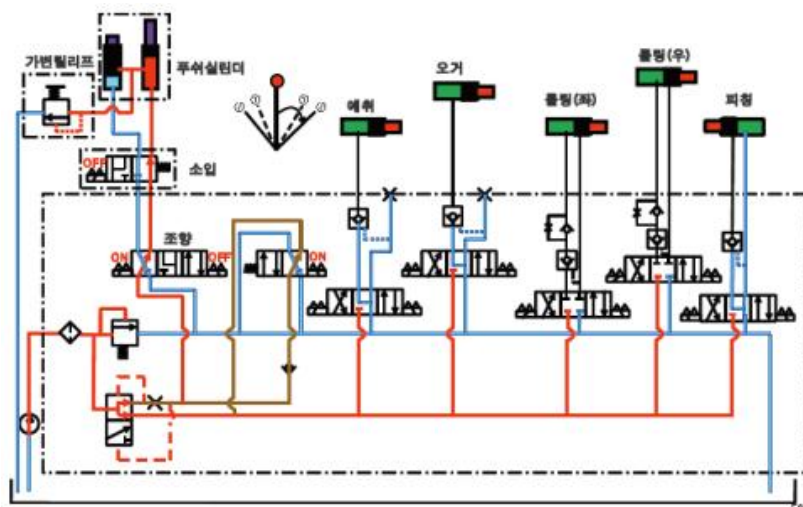
3. 경로추종을 위한 전자조향제어 시스템 개발

- 콤바인은 트랙터의 차륜형 조향시스템과 달리 궤도형 주행 시스템을 탑재
- 콤바인의 경우 조향을 위하여 좌,우 측 차륜의 동력전달을 단속함으로써 방향전환을 수행하도록 고안되어 있음
- 궤도의 방향전환은 콤바인의 조작석에 설치된 방향전환 레버에 의하여 조정되며 레버를 좌측으로 움직일 경우 좌측 동력전달 계통에 동력이 차단되어 좌선회를 수행하게 되고 우측으로 움직일 경우 우측 동력전달 계통에 동력이 차단되어 우선회를 수행
- 가변 릴리프밸브는 파워스티어링 레버 하부의 링크와 연결되어 장착되어 있으며 푸시 실린더에서 오일을 공급받아 HST탱크로 드레인 시키는 구조로 되어 있음
- 파워스티어링 레버가 중립 위치에서는 가변 릴리프밸브의 오일 흐름은 항상 바이패스되고 레버를 좌측이나 우측으로 이동하게 되면 레버의 링크 구조에 의해 가변 릴리프밸브의 피스톤이 눌러지며 내부의 포켓이 유로를 막게 됨. 따라서 내부에 유압력이 발생하게 되고 그 전단계의 푸시 실린더가 작동하여 선회를 하게 됨



가변 릴리프밸브 작동 구조

- 파워스티어링 레버의 링크 작동부에는 포텐쇼메터가 장착되어 있어 레버의 이동 변위량 만큼 조향 솔레노이드의 스톱을 작동시켜 푸시 실린더를 통한 선회량을 결정



조향레버 작동시의 유압회로 흐름도

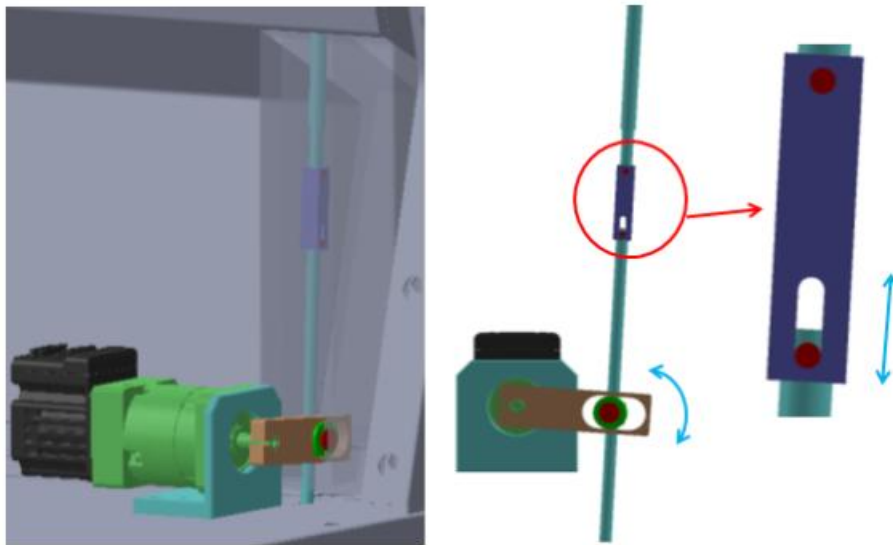
- 자율주행 콤바인의 조향시스템은 조향레버 조작에 의한 비례제어 솔레노이드 작동을 조향

제어기를 통하여 제어 조작하도록 알고리즘을 개발

○ 콤바인의 조향레버 작동 원리는 다음과 같음

- 조향레버를 좌선회시 좌측으로 우선회시 우측으로 조작하면 레버 하단에 설치된 스위치를 작동시킴
- 스위치가 작동되면 콤바인 트랜스미션의 좌, 우측에 설치되어 있는 동력전달 클러치가 분리되어 구동력을 상실하게 되며 이로 인하여 레버의 조작방향으로 콤바인이 회전
- 콤바인의 조향 속도는 레버를 짓히는 양과 비례하여 가변 릴리프밸브의 개방량을 조절함으로써 제어가 가능

○ 가변 릴리프밸브 제어를 위하여 smart actuator를 장착하여 선회각도의 크기에 따라 밸브의 개방량을 제어하도록 함

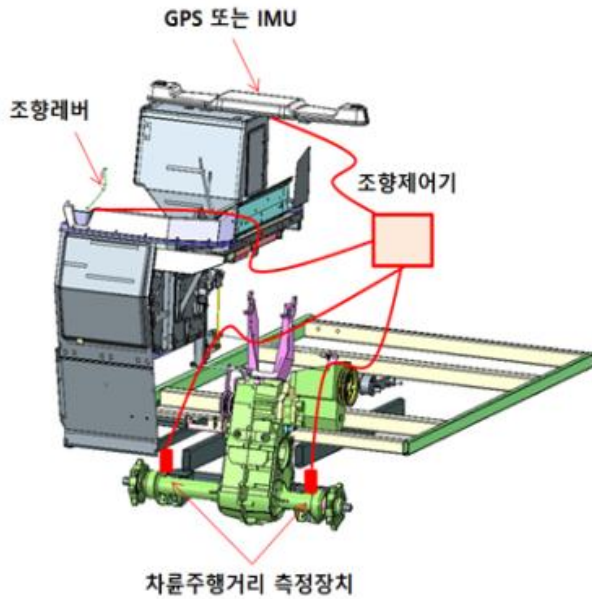


조향제어를 위한 smart actuator 설치도

콤바인 조향제어를 위한 Smart Actuator 제원

| 항 목 | 사 양 | |
|----------------------------------|--------|-------------------------|
| Continuous Torque | 0.28 | N-m |
| Peak Torque | 0.45 | N-m |
| Nominal Continuous Power | 181 | Watt |
| No Load Speed | 10,400 | rpm |
| Continuous Current@Nominal Power | 5.0 | Amps |
| Voltage Constant | 4.45 | V/krpm |
| Winding Resistance | 1.0 | ohms |
| Encoder Resolution | 4,000 | Counts/Rev |
| Rotor Inertia | 0.699 | 10^{-5}kg-m^2 |
| Weight | 0.45 | kg |
| Shaft Diameter | 6.35 | mm |
| Shaft Radial Load | 3.18 | kg |
| Shaft Axial Thrust Load | 1.36 | kg |

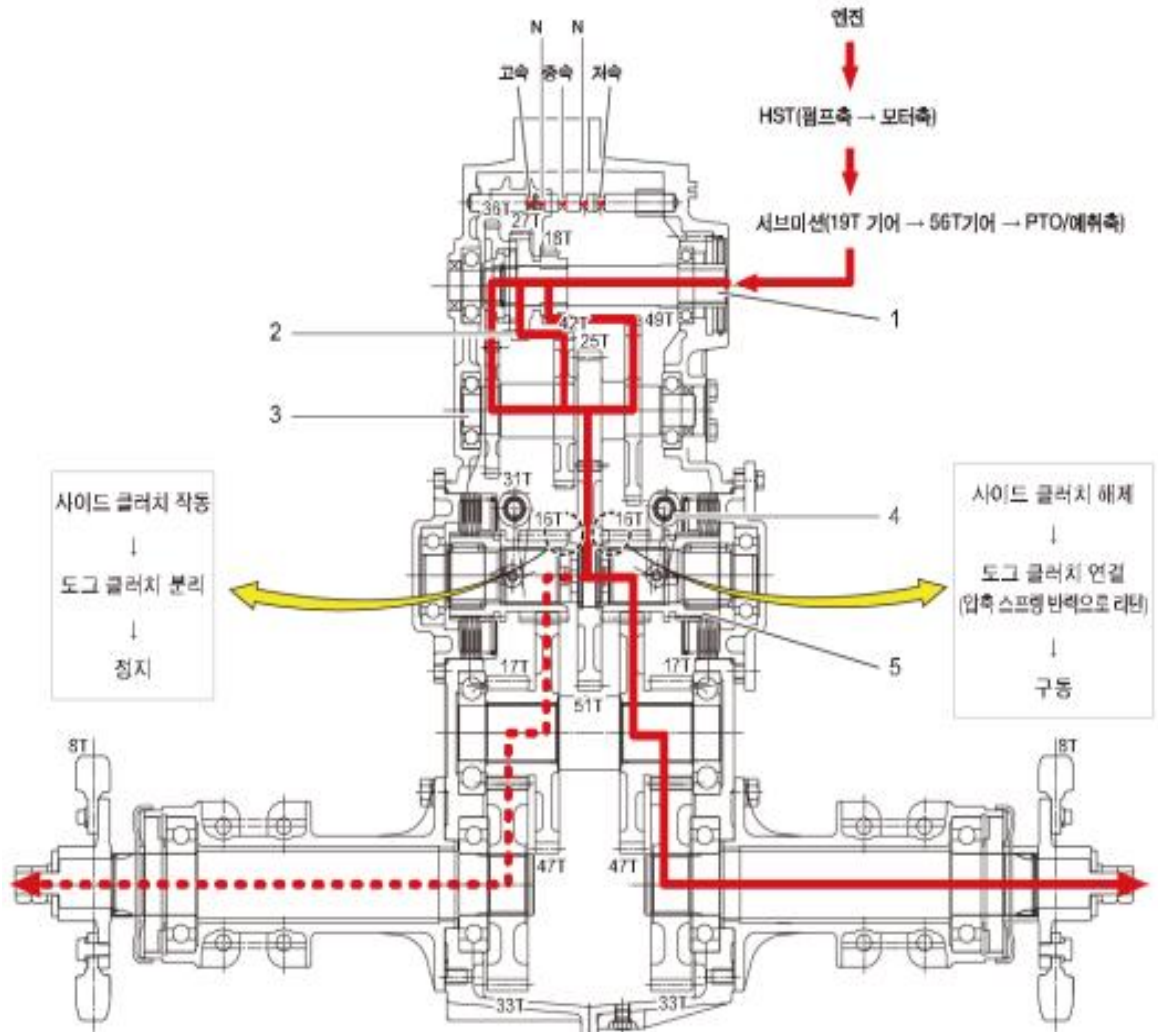
- 콤바인의 포장에서 선회작동 중 지면과 무한궤도의 슬립으로 인한 오차 및 각도측정 센서의 측정오차 발생. 따라서 정확한 조향제어를 위해서 조향각 오차를 보정하기 위한 시스템을 적용
- 콤바인의 좌, 우 구동축에 주행거리를 측정할 수 있는 측정 장치를 설치하고 조향 중 좌, 우 구동축의 주행거리를 비교하여 실제 콤바인의 회전각도를 계산할 수 있음. 계산된 회전각도와 dual GPS module을 통해 측정된 값을 비교하여 오차를 보정하는 알고리즘을 적용



자율주행 콤바인의 조향제어시스템 구성도 및 제어흐름도

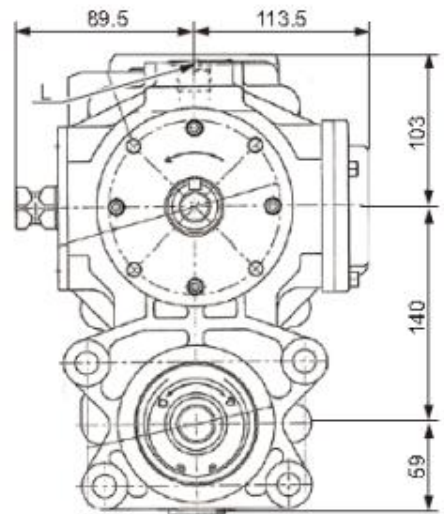
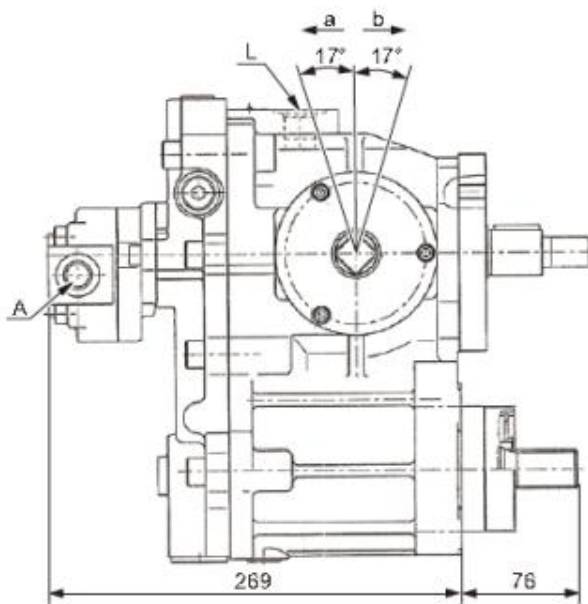
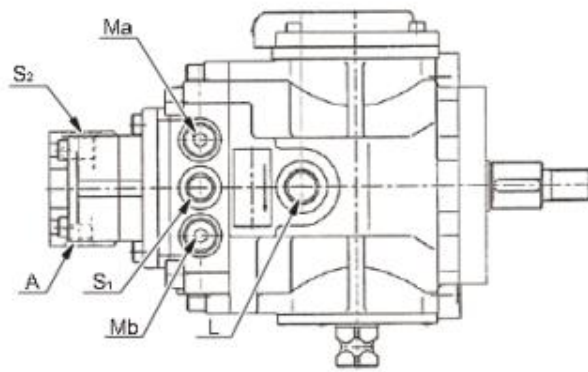
4. 주행속도 조절을 위한 변속제어 시스템 개발

- 콤바인의 속도제어는 동력전달장치의 조작을 통하여 이루어지며 동력전달장치는 유압변속 기구부와 기어변속기구부로 구성되어 있음
- 기어변속기구부는 콤바인의 작업속도 영역을 결정하며 저속, 중속, 고속의 3단으로 이루어져 있음. 통상 작업 전 작업속도를 결정하게 되며 작업중에는 기어변속기구의 변속은 이루어지지 않음. 다음의 그림은 기어변속기구부의 동력전달 흐름을 표시한 것임



콤바인 기어변속기구부의 동력전달 흐름도

- 유압변속기구는 HST를 이용하여 동력전달이 이루어짐. 콤바인의 HST는 가변펌프, 고정모터형의 제품을 사용하고 있으며, 가변펌프에 설치된 사판조절 축의 각도를 조절함으로써 주행속도를 조절
- 콤바인의 변속조절레버를 전진방향으로 밀 경우 사판조절 축은 정방향으로 움직이게 되어 콤바인이 전진하게 됨. 이때 변속조절레버의 조작향과 사판의 회전량은 비례하므로 콤바인의 주행속도 역시 비례하여 증가하게 됨. 후진의 경우 변속조절레버를 후진 방향으로 조작하면 HST의 사판조절축은 역방향으로 회전하게 되어 콤바인은 후진을 하게 됨

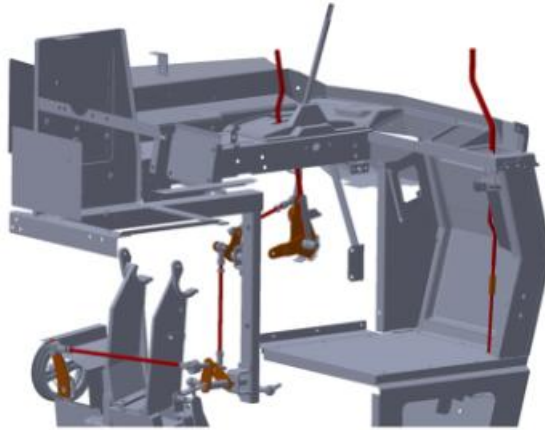


콤바인 HST의 외형도

콤바인 HST의 주요 제원

| 항 목 | 제 원 | 항 목 | 제 원 |
|----------|--------------------|---------|---------------|
| 펌프용량 | 0~41.8 cc | 사용회전 속도 | 3,000 rpm |
| 모터용량 | 45.6 cc | 회전방향 | 반시계방향(축 끝단에서) |
| 차지펌프 용량 | 6.5 cc | 최대입력동력 | 62.5 kW |
| 사판경사각 | 펌프 0°~±17°, 모터 17° | 사용온도범위 | -25°C~90°C |
| 릴리프 설정압력 | 34.3 MPa | 차지설정압력 | 0.6 MPa |

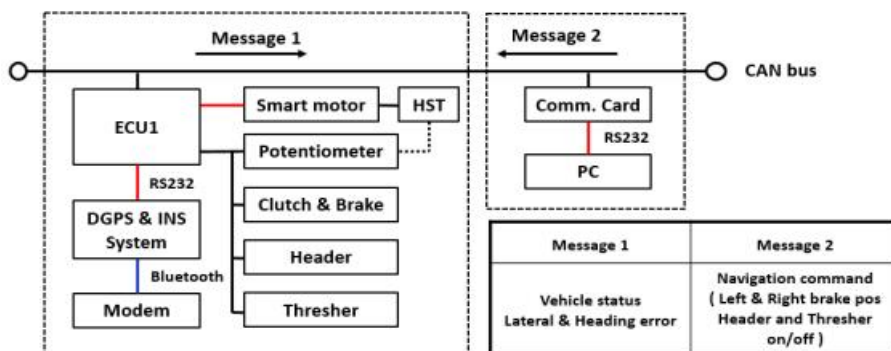
- 따라서 자율주행 콤바인의 주행속도 제어를 위하여 HST 사판조절 축의 각도를 자율주행 제어기에 의하여 제어할 수 있도록 속도조절 링크부에 smart actuator를 설치하고 자율주행 제어기에 의하여 actuator 제어를 함으로써 콤바인의 속도조정이 가능하도록 구성



콤바인의 속도제어장치 구성도

5. 콤바인 제어시스템과 자율주행 제어시스템의 통합제어를 위한 통합제어 알고리즘 개발

- 자율주행 콤바인은 콤바인 기능 구현 및 제어를 위하여 탑재되어 있는 콤바인 제어기와 자율주행 제어를 위한 자율주행 제어기 그리고 사용자 인터페이스를 담당하는 화상제어기 (command console)로 구성되어 있음
- 콤바인제어기의 주요기능은 예취부 제어, 탈곡부 제어, 콤바인의 자세제어 등과 같이 콤바인 고유기능을 구현하는 제어기임
- 자율주행제어기는 자율주행 기능구현을 위하여 위치인식 시스템, 조향제어시스템, 변속제어시스템 등을 제어
- 화상제어기(command console)는 운전자가 자율주행 콤바인의 각종 운전정보를 확인하고 작업을 위한 제어명령을 입력하며, 경로의 생성, 표시 기능을 하는 제어기임
- 자율주행 콤바인이 자율운전을 수행하는 동안 자율주행 제어기는 화상제어기로부터 운전자의 작업의도를 전달받아 콤바인을 제어함. 자율운전제어기는 콤바인 위치인식 시스템으로부터 파악된 위치정보를 바탕으로 주행경로를 추종하며 정해진 농작업을 수행하도록 콤바인을 제어함. 콤바인의 수확작업 중 콤바인 고유기능의 제어는 CAN 통신을 이용하여 자율주행 제어기로부터 콤바인 제어기로 적절한 작업부 제어명령을 전달하여 이루어짐
- 자율주행 제어기와 콤바인 제어기의 CAN 통신을 이용한 통합제어를 위하여 CAN Protocol 이 정의 되어야 함

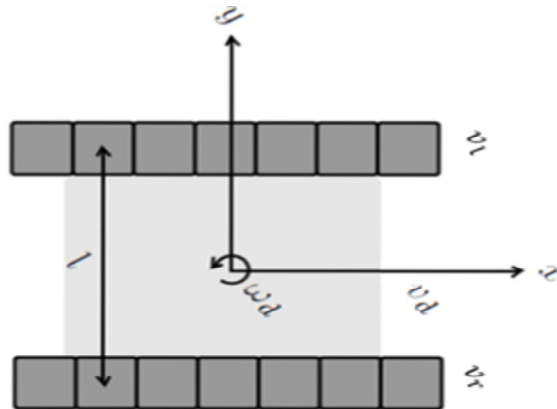


CAN 통신 기반의 통합제어시스템 구성도

6. 무인 주행을 위한 궤도형 조향륜 특성 분석 및 자율주행 콤바인 제어 알고리즘

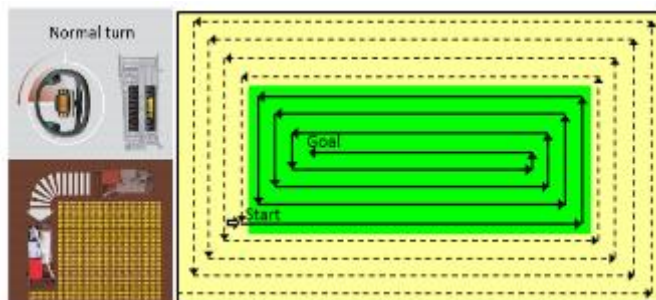
- 궤도형 차륜의 구동륜과 조향륜은 좌·우 동력전달차이에 따라 정의되며, CVT 방식을 차용하고 있는 국내 자탈형 콤바인은 좌·우 브레이크를 제어
- 전 구획 자율주행 시스템을 위해 궤도형 차륜의 특성을 고려하여 직진 및 곡선주행에 필요한 kinematic model식을 정의하고 이를 자율주행 추종 알고리즘에 적용
- 차륜형 구동체는 트랙터와 자동차와는 다르게 좌·우 차륜의 속도 차에 의해 조향륜 및 구동륜을 조작하며 자율주행 알고리즘을 적용하기 위해서는 실험적 방법 및 이론적 접근을 통하여 Steering angle, Turing radius, brake control간의 상관관계 도출이 필수적
- 이에는 다양한 방법이 있으며, 일반적으로 사용되는 방법으로는 식 (1)과 같은 Traked vehicle의 kinematic model식을 기반으로 차륜형 구동체의 움직임을 정의하고 식에 포함되는 특성치를 실험적인 방법으로 도출하여 이에 적용

$$v_d = \frac{v_r + v_l}{2}, w_d = \frac{v_l - v_r}{l} \quad \dots\dots (1)$$



Tracked vehicle kinematic model

- 궤도형 차륜 kinematic model 기반의 look-ahead 자율주행 추종 알고리즘 연구.
- Round harvesting 예취방법에 따른 선회방법을 정의
- 미리 정의 된 GPS 기반의 자율주행 경로와 콤바인의 현재위치와의 Lateral deviation, heading error 및 콤바인의 현재 속도를 고려한 좌·우 브레이크 제어 방법 연구



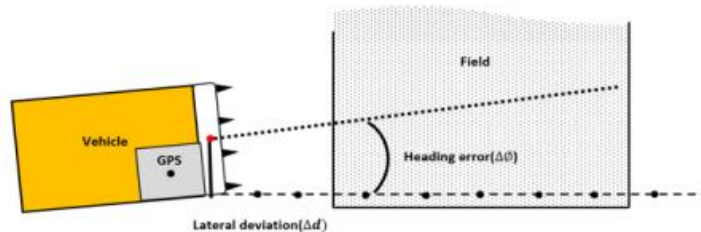
Round harvesting method

- 한국과 일본의 예취작업 패턴은 일반적으로 Round harvesting 방법을 사용
- Round harvesting은 가장 바깥 경로를 시작으로 예취작업을 시작해 점점 안쪽으로 진행하는 방법으로 90° 좌현 회전 및 직진주행으로 구성되어 있음. 따라서 90° 좌현 회전 및 직진주행을 위해 미리 정의 된 GPS 기반의 자율주행 경로와 콤바인의 현재위치와의 Lateral deviation, heading error 및 콤바인의 현재 속도를 고려한 좌·우 브레이크 제어 방법 연구가 필수적이며 이를 위해 Control value function을 새롭게 정의

$$\delta(\text{control value}) = f(\Delta d, \Delta\theta, v) \quad \dots\dots (2)$$

where, Δd : Lateral deviation, $\Delta\theta$: Heading error, v : Velocity of vehicle

- 또한 자율주행 실제 구동을 위해 Control value와 Turning Radius(90°) = $h(\delta)$ 식을 실험적으로 유도하고 좌현 90° Turning과 Brake 제어와의 Kinematic model 식 도출 후 통합 차륜형 조향제어 시스템 구성



자율주행 Control value 계산 구성도

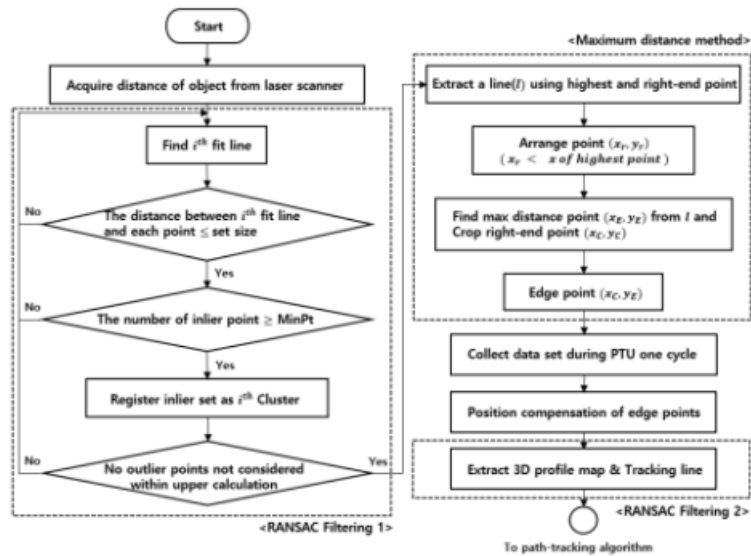
7. Laser scanner기반의 자율주행 콤바인을 위한 작업 기준선 생성 알고리즘

- Laser scanner 기반의 자율주행 알고리즘을 위해 RANSAC filtering을 이용해 외란에 강인한 Crop profile 생성
- Pan-tilt unit을 이용해 3D Crop profile을 생성하고 이를 이용해 작물의 가장자리를 추출해 이를 작업기준선으로 정의
- 콤바인은 아래 그림과 같이 일정한 열을 따라 심어져 있는 작물을 수확하는 기계로 작업 선을 기준으로 좌·우 높이차가 존재. 따라서 이러한 높이차를 야외에서도 높은 정밀도로 추출할 수 있는 2D Laser scanner와 회전 움직임으로 2D 정보를 누적시켜 3D 정보를 취득할 수 있게 하는 Pan tilt unit(PTU)을 이용해 작물의 가장자리를 인식하고 이를 작업 기준선으로 검출하는 알고리즘을 연구



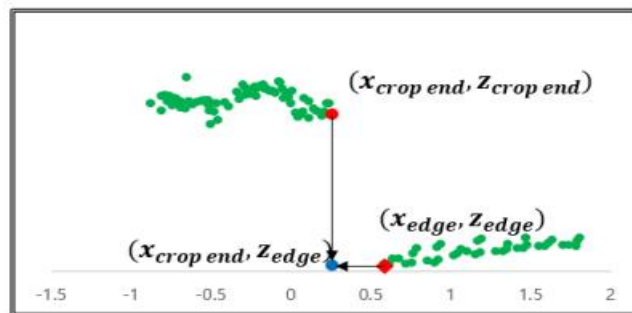
The combine harvester tracking constant row

- 작업 기준선 검출 알고리즘은 크게 4단계로 구성되어 있으며, Laser scanner로 취득 된 2D 정보에 Random sampling consensus algorithm(RANSAC filtering)을 적용해 작물 열과 포장 을 인식하고 외란을 제거. 외란이 제거 된 정보에 maximum distance method를 적용해 가장자리 점을 인식하고 이를 PTU 한 주기 동안 누적시켜 가장자리 선을 추출. 이 때, 첫 번째 RANSAC filtering에서도 제거되지 않은 외란을 제거하기 위해 두 번째 RANSAC filtering을 시행. 또한 PTU 한 주기(약 3초)동안의 구동체 움직임과 PTU 회전 움직임에 의한 기하학적 보정을 통해 정밀한 작업기준선을 추출. 추가적으로 첫 번째 RANSAC filtering 후의 2D data를 누적시켜 3d crop profile을 생성



작업기준선 추출 알고리즘 순서도

- 가장자리 점 생성 알고리즘은 구동체 기준으로 좌표 변환 된 Laser scanner dataset을 다음의 그림 과 같이 높이가 가장 높은 점과 국내 예취작업은 작물 열을 좌측에 두고 시행되기 때문에 우측 가장자리 점을 찾아낸 후 이를 이용해 직선을 생성. 그 다음 생성 된 직선과 거리가 가장 먼 점을 찾고 이를 작업 기준점이라 함. 단, 최고 높이 점을 기준으로 우측에 있는 점들만 거리를 조사. 하지만, 이러한 방법은 Laser scanner가 작업기준선 좌측에 있을 때 Laser의 직진성으로 인한 기하학적 offset이 발생. 이러한 문제를 해결하기 위해 개정 된 가장자리 점을 정의. 개정 된 가장자리 점은 다음 그림과 같이 기존의 점을 기준으로 하나 좌측에 있는 점 즉, 작물 우측 끝 점의 x좌표를 대신 이용하고 높이 인 z좌표는 원래의 것으로 정의

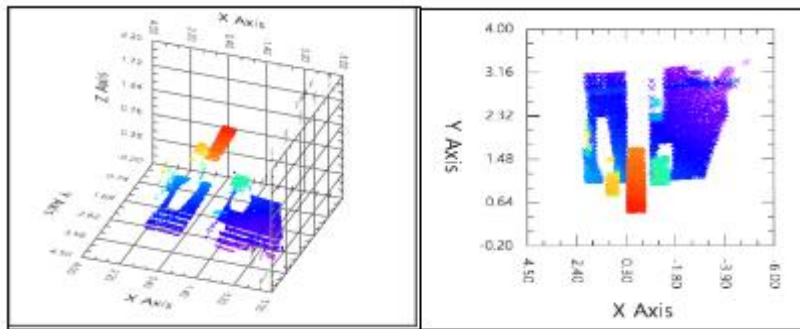


The definition of revision edge point

- 실험실 환경에서 작물을 모사하기 위해 0.6m x 0.9m x 4m의 나무상자를 사용하였으며 외란조건을 형성하기 위해 그림 (a)와 같이 주위에 여러 물체들을 위치시키고 작업기준선 추출 알고리즘 성능시험을 진행. 실험결과 아래 그림과 같이 Crop profile로 모사되는 나무상자와 주변의 물체들의 외형이 정밀하게 추출되었으며 그 이외의 더미들은 Filtering 된 것을 알 수 있음

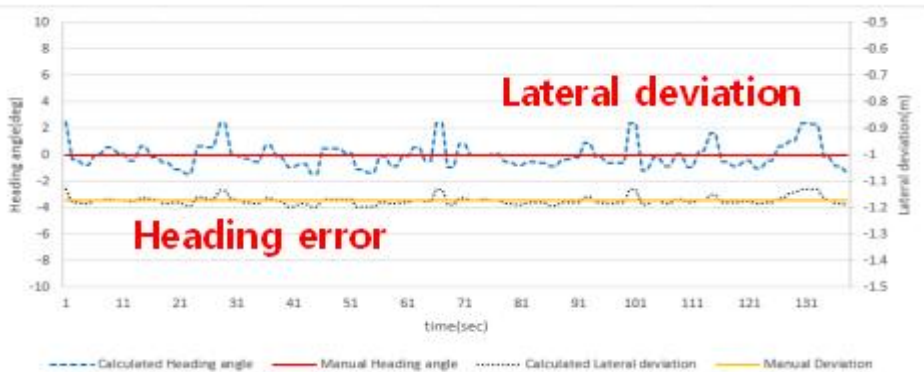


(a)

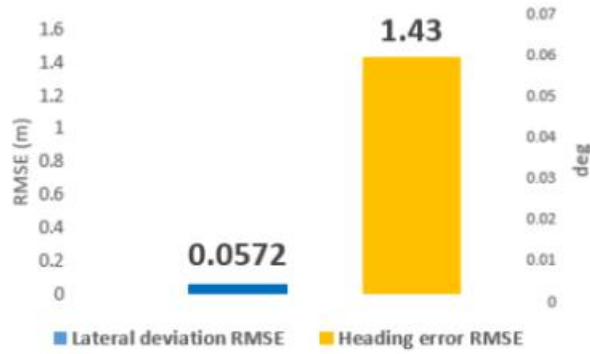


RANSAC filtering과 PTU 움직임을 이용한 3D profile 추출결과

- 위의 그림 (a)와 동일한 조건에서 실시간 작업기준선 추출 알고리즘 실험결과를 다음의 그림과 같음. 실험은 정지 상태에서 진행되었음. 실험결과 파란선의 Lateral deviation 측정값과 검정선의 Heading angle 모두 직접 측정된 Manual value 값과 각각 11cm, 2deg 이내의 값이 측정되었으며 RMS error의 경우 그림 10과 같이 각각 0.0572m, 1.43deg로 측정되었음



정지 상태에서 작업기준선 추출결과



작업기준선 추출 RMSE 결과

■ 자율주행 콤바인 제어 시스템 개선연구

1. 연구의 주안점

- 가. 자율주행 콤바인의 경로추종 제어시스템 개선
- 나. 자율주행 콤바인의 경로추종 알고리즘 개선을 통한 추종 정밀도 향상
- 다. 자율주행 콤바인을 이용한 포장시험 및 성능평가

2. 연구결과

- 2차년도 연구를 통하여 콤바인의 자율주행을 위한 actuator system을 제작설치하고 이를 제어하기 위한 차량 및 자율주행 제어를 개발하였다. 또한 자율주행 트랙터에 적용하여 성공적인 성과를 나타낸 dual GPS를 이용한 위치인식시스템을 콤바인에 적용하기위한 연구를 진행하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 3차년도 연구에서는 2차년도에 적용된 시스템의 문제점을 개선하고, 위치인식, 조향제어, 변속제어 등 각각의 제어시스템을 통합제어하기위한 자율주행 제어기의 성능 및 경로주행 알고리즘 추종제어 성능을 향상시키기 위한 연구를 수행하였다.

1) 조향제어 시스템

- 콤바인은 주행 중 방향전환을 위하여 조향레버를 조작할 때 전기적 스위치 신호에 의한 좌우 동력전달장치의 작동해제 및 가변릴리프 밸브를 이용한 좌우 트랙의 제동력을 제어하여 선회.
- 콤바인의 자율주행을 위하여 운전자에 의한 레버작동에 의하여 동작되는 동력전달 스위치는 VCU에 의하여 직접제어 되며 좌우 트랙의 제동력 제어는 가변릴리프가 비례적으로 작동하도록 하는 링크시스템에 smart actuator를 이용하여 수동 및 자동 작동이 가능하도록 개발.
- 콤바인의 조향시스템에 사용되는 가변릴리프 밸브는 동력전달장치의 좌우 구동축에 설치된 습식 제동장치에 유량을 공급하여 제동이 이루어지도록 함. 공급되는 유량에 비례적으로 제동력이 결정되며 선회 중 콤바인은 좌우트랙의 속도차이에 의하여 선회가 이루어짐

으로 제동력에 비례하여 선회속도가 결정됨. 따라서 조향제어 성능 향상을 위해선 정밀한 가변릴리프 밸브의 스펴제어어가 중요.

- 3차년도 개발에서 가변릴리프 밸브의 스펴제어 정밀도와 제어응답성능 개선을 위하여 기존 조향제어 레버를 이용한 제어방식에서 직접 스펴의 스트로크를 제어하는 방식으로 변경. 기존 방식의 경우 링크와 링크사이의 유격에 의하여 발생하는 위치제어 오차 및 운전 중 초기위치 변동으로 인한 제어의 부정확성의 문제를 개선.
- 개선된 조향제어 시스템에 사용된 actuator는 RS-485 통신방식으로 제어되며 제어기에서 actuator의 위치 초기화, 위치제어 및 비상정지 모드 등을 제어할 수 있음. actuator는 케이블에 의하여 가변릴리프밸브 스펴에 연결되며, 케이블을 당길 때 가변릴리프 밸브의 스펴을 누르도록 설계되어 있음. 가변릴리프 밸브의 스펴이 눌리면 유로가 열리고 제동력이 발생하게 됨. 이때 제동력은 유로의 열림량에 따라 변하게 되며, 유로의 열림량과 스펴의 눌림량, 케이블의 당김량은 상호 비례관계에 있다.
- 다음의 그림은 조향제어 시스템의 변경 전후의 사진을 나타내며, 변경 후 제어시스템에 사용된 actuator의 사양은 아래의 표와 같다.



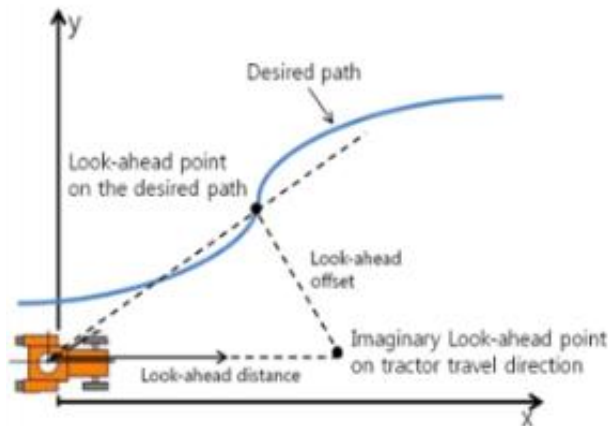
조향제어 Actuator(좌-변경 전, 우-변경 후)

조향제어 Actuator 사양

| | |
|---------------------|--|
| 무게 | 154g |
| 크기 | 40.1mm x 65.3mm x 50.1mm |
| Stall Torque (N.m) | 8.0 @14.8V |
| Stall Current (A) | 6.1 |
| No Load Speed (RPM) | 69 @14.8V |
| 최소 제어각 | 약 0.06° x 4,096 |
| 동작 범위 | 관절모드 : 251° 바퀴모드 : Endless turn |
| 사용 전압 범위 | 12~18.5V (Recommended voltage : 14.8V) |
| 동작 온도 | -5°C ~ 80°C |
| 통신프로토콜 | RS485 Asynchronous Serial Communication (8bit,1stop, No Parity) |
| Link (physical) | RS485 Multi Drop Bus |
| 통신 속도 | 7843bps ~ 1 Mbps |
| 피드백 기능 | Position, Temperature, Load, Input Voltage, etc. |
| 위치센서 | Magnetic Encoder |

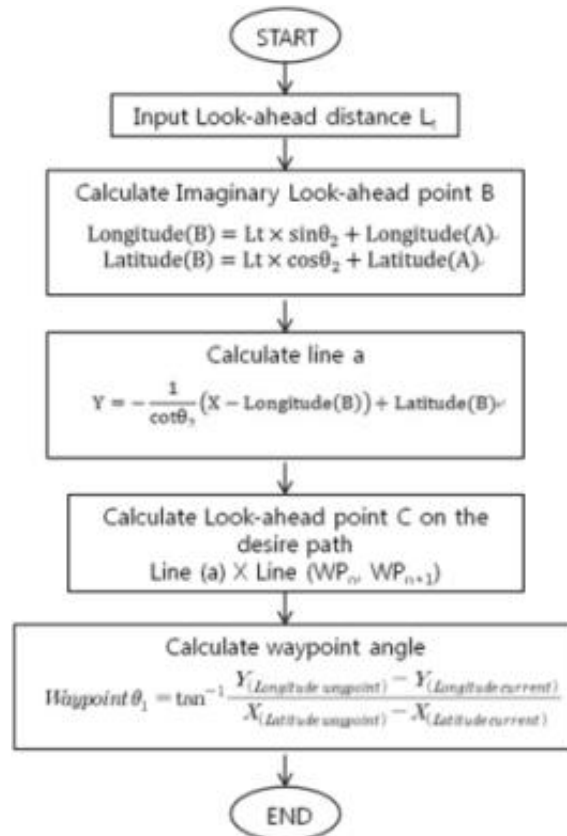
2) 경로추종 알고리즘 개선을 통한 추종 정밀도 향상

- 자율주행 콤바인은 Dual GPS 및 IMU를 통하여 획득된 위치정보를 이용하여 사전에 계획된 작업주행 경로를 추종하도록 자율주행 제어시스템을 제어하는 방식으로 자율작업을 수행.
- 작업주행 경로는 작업포장의 형태에 따라 콤바인이 최적으로 작업할 수 있는 경로상의 경유점(waypoint)을 생성하고 각각의 경유점들의 data 집합을 RDDF(Route Data Definition file) 형태로 입력하게 됨. waypoint는 전역경로 계획에 의하여 생성된 경로점이며 콤바인 경유점과 참고점의 의미로 사용. 경유점은 주행하면서 그 점을 꼭 지나야만 하는 점이며, 참고점은 참고만 할 뿐이고 반드시 지나갈 필요는 없는 점임. 이때 위치좌표는 경로탐색과 제어를 용이하게 수행하도록 TM(Transverse Mecartor) 좌표계로 변환하여 사용.
- 자율주행 트랙터의 경우 계획한 경로를 탐색하기 위하여 look-ahead 탐색 알고리즘을 적용. 적절한 look-ahead distance를 이용하여 경로상의 주행 목표점을 실시간으로 결정할 수 있고, 그 목표점을 이용하여 경로의 곡률과 주행 LD(lateral deviation)값도 함께 연산할 수 있음. 이때 주행속도와 LD를 연동하여 필요한 거리를 결정하고 계획한 경로를 탐색하기 위한 조향각을 연산 함.



Concept of Look-ahead path tracking

- 다음의 그림은 look-ahead 탐색알고리즘과 관련된 순서도임. LD변수 입력을 받아 imaginary look-ahead point 직선방정식 L1, 직선방정식 L2, look-ahead point 순서대로 계산되고 최종적으로 목표점 탐색을 위해 GPS로부터 획득한 위치정보와 주행목표정보를 이용하여 waypoint angle을 계산하여 heading 정보를 이용한 조향각을 연산함.



Flowchart of Look-ahead method

- 자율주행 트랙터에서 경로탐색을 위하여 진행해야하는 heading angle은 조향륜에 설치된 조향각 센서(steering angle sensor)를 이용하여 피드백 받아 실시간 목표 heading angle과 진행 heading angle을 계산함.
- 자율주행 콤바인의 경우 궤도를 이용하므로 트랙터와 같이 조향륜의 조향각을 이용하는 것이 불가. 따라서 콤바인의 진행방향에 대한 위치정보를 이용하여 계산된 heading angle과 IMU로부터 측정된 true-heading angle을 이용하여 heading angle을 계산.
- 따라서 설치된 GPS의 위치정밀도와 IMU의 성능이 경로추종 정밀도 향상과 밀접한 관계를 갖음. 본 연구개발에 사용된 위치인식 시스템은 두 개의 GPS안테나로부터 위치정보를 받아 true-heading을 제공하는 Dual GPS 모듈을 사용. 다음은 콤바인에 설치된 Dual GPS 모듈의 성능과 탑재된 모습을 나타냄.

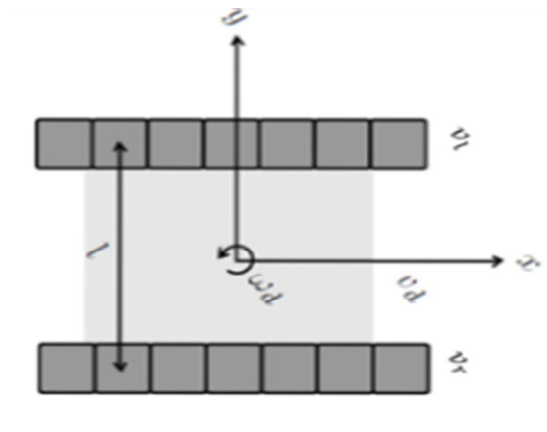
- Roll/Pitch Angle accuracy : < 0.1° / 0.05°
- Heading Angle accuracy : < 0.2°
- Position accuracy : < 2 cm



자율주행 콤파인과 설치된 Dual GPS 모듈

- 콤파인 자율주행 제어기에서 계산된 heading angle은 경로주충이 가능하도록 조향제어 시스템을 제어함. 자율주행 트랙터와 같이 차륜형 구동부를 갖는 경우 연속적인 조향각 제어가 가능함. 그러나 콤파인과 같이 궤도형 구동부를 갖는 경우 앞서 언급한 바와 같이 좌우 궤도의 속도차이를 이용한 방향전환이 가능.
- 이 경우 자율주행 알고리즘을 적용하기 위하여 실험적 방법 및 이론적 접근을 통한 조향각, 회전반경, 제동력간의 상관관계에 대한 관계식 도출이 필요. 일반적으로 사용되는 방법으로 다음의 식과 같이 tracked vehicle의 kinematic mode식을 기반으로 한 구동체의 움직임을 정의하고 실험적인 방법에 의한 접근 수행.

$$v_d = \frac{v_r + v_l}{2}, w_d = \frac{v_l - v_r}{l}$$



Tracked vehicle kinematic model

- 조향제어 인자인 가변틸리프벨브 스폴의 늘림량과 콤파인의 조향각의 상관관계를 정의하기 위하여 lateral deviation, heading error, 콤파인의 주행 속도를 고려하여 Fuzzy logic 기

반의 조향제어 알고리즘을 도입. 시험을 통하여 각각의 가중치를 결정하고 경로추종 알고리즘에 반영함.

$$F = K_{\Delta L} \times \Delta L + K_{\Delta \theta} \times \Delta \theta + K_{\phi} \times \Delta \phi$$

where, F = Fuzzy logic input parameter

$(K_{\Delta L}, K_{\Delta \theta}, K_{\phi})$ = coefficient of lateral divation, heading error and angular velocity of vehicle

ΔL = lateral deviation(m)

$\Delta \theta$ = heading error(deg)

$\Delta \phi$ = angular velocity of vehicle(rad/s)

3) 자율주행 콤바인을 이용한 포장시험 및 성능평가

- 다음의 그림은 제작된 자율주행 콤바인을 나타내며 자율주행 콤바인의 제원 및 성능은 다음의 표와 같음.



자율주행콤바인(C805)

자율주행콤바인 주요제원(C805)

| 구분 | | 사양 | 구분 | | 사양 |
|------|--------------|------------|------|--------------------------|-----------|
| 기체크기 | 길이(mm) | 4,880 | 주행부 | 주행속도(m/s) | 0~2.87 |
| | 폭(mm) | 2,110 | | 차륜의 규격 (폭x피치x피치수)(mm) | 500x90x52 |
| | 높이(mm) | 2,400 | | 차륜의 거리(mm) | 1,000 |
| | 중량(kg) | 3,490 | | 접지면적(폭)(mm) | 500 |
| | 최저지상고(mm) | 190 | | | |
| 엔진 | 배기량(cc) | 3,318 | 작업능력 | 작업능력(a/h) | 46.80 |
| | 기통수 | 4 | | 작업속도(m/s) | 1.6 |
| | 연소실형식 | 직접분사식 | 예취부 | 예취폭(mm) | 1,710 |
| | 연료탱크용량(l) | 65 | 곡물처리 | 곡물탱크 용량(l) | 1,600 |
| | 호칭출력(kW/rpm) | 62.2/2,550 | 탈곡부 | 탈곡방식 | 하급식 |

- 자율주행 콤바인의 조향제어, 변속제어, 경로추종 정확도를 확인하기 위한 성능시험을 동

양물산 시험포장에서 수행. 다음의 그림은 시험포장의 위치와 시험 모습.



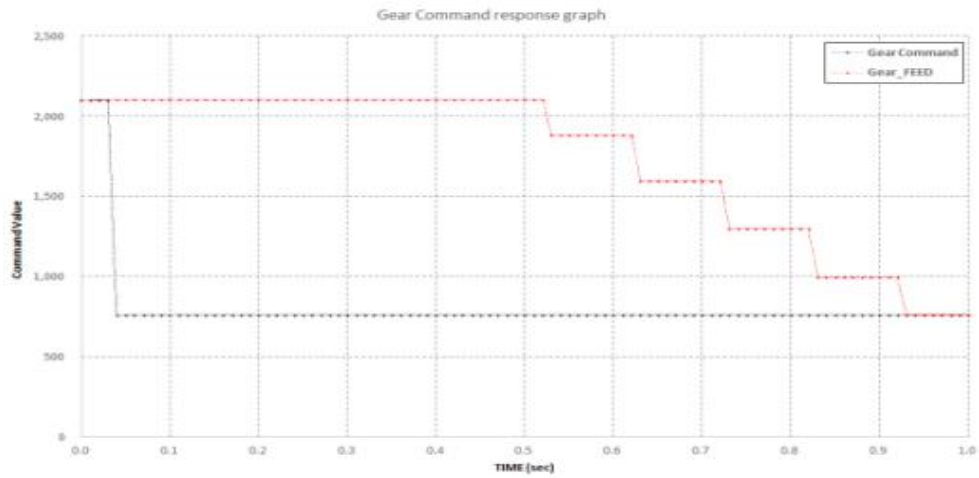
동양물산기업(주) 중앙기술연구소 시험포장



자율주행 콤바인 포장시험 전경

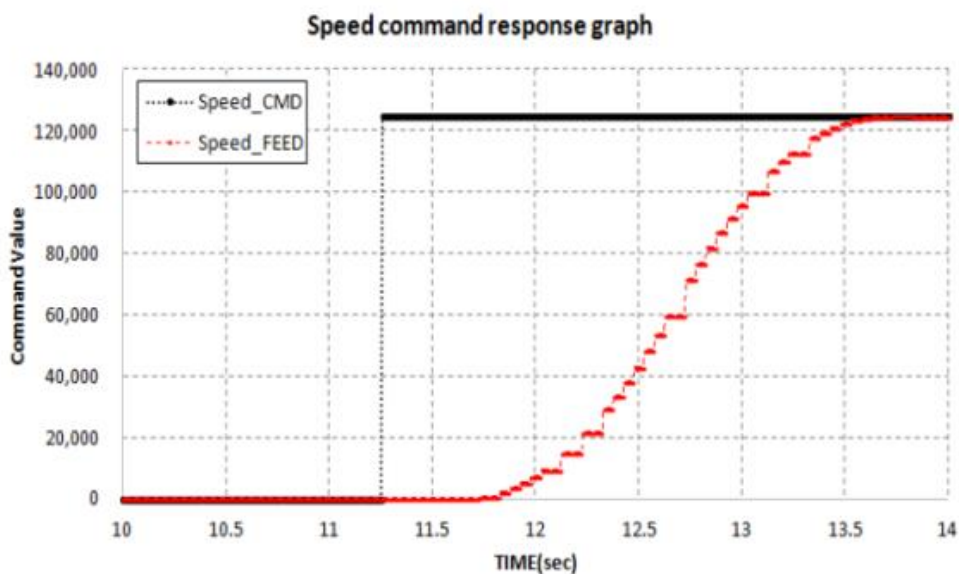
- 자율주행콤바인의 성능시험은 구동륜 형태에 따른 경로추종 정밀도에 대한 연구를 수행한 서울대학교와 공동으로 진행.
- 성능시험은 콤바인 자율주행 시스템의 응답성능과 경로추종 성능부분으로 나누어 진행하였으며, 자율주행 시스템 응답성능은 조향제어 응답성능과 변속제어 응답성능을 평가함.
- 시험 중 포장은 마른상태였으며, 균일한 시험결과를 얻기 위하여 사전에 로터리 작업을 실시하여 평탄한 상태를 유지하였음.
- 자율주행 콤바인의 변속제어 시스템의 응답성능은 자율주행 제어기로부터 변속제어명령이 실행된 후 변속제어 actuator가 반응하는 시간을 측정. 측정 샘플링 주파수는 100Hz로 수행. 다음의 그래프는 측정결과를 나타냄. 측정결과 제어명령으로부터 actuator가 반응하는 시간은 0.47초 었으며, 변속을 개시하여 완료하는 시점까지 소요된 시간은 0.4초가 소요됨.

따라서 자율주행 제어기로부터 변속 명령 개시시점으로부터 변속완료까지 총 0.87초가 소요됨.



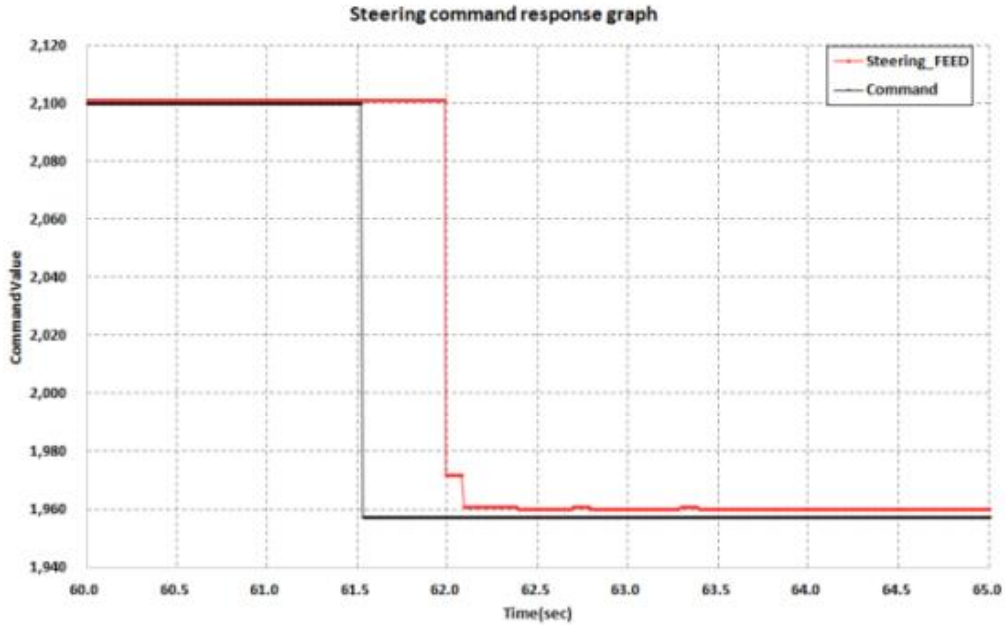
변속제어 응답성능 시험 결과

- 자율주행 콤바인의 변속명령으로부터 실제 콤바인의 주행속도가 목표속도로 동기화되기까지의 응답성능을 측정. 시험 중 목표도달속도는 정지 상태에서부터 0.9km/hr에 도달하는 속도를 측정하였으며 측정결과는 다음의 그래프와 같음. 측정결과 변속명령으로부터 콤바인이 초기 기중시점까지의 지연시간은 0.47초가 소요되었으며, 목표 속도까지 도달하기까지 소요된 시간은 2.07초 였음. 초기 지연시간은 앞서 변속제어기의 응답성능에서 측정된 초기지연시간과 동일한 결과를 나타냈음. 변속제어 actuator가 작동을 개시하여 목표량만큼 변속제어를 완료하는데 소요된 시간은 0.4초 소요된 반면 콤바인이 목표속도에 도달한 시간은 이보다 5배가량 긴 2.07초가 소요 됨. 이는 콤바인의 무게, 엔진동력의 크기 등에 영향을 받는 인자로 본 과제의 제어대상에 포함되지 않음. 따라서 변속제어 응답성능을 보다 빠르게 개선하기 위해선 초기지연시간인 0.47초를 단축해야할 필요가 있음을 시험결과로부터 확인.



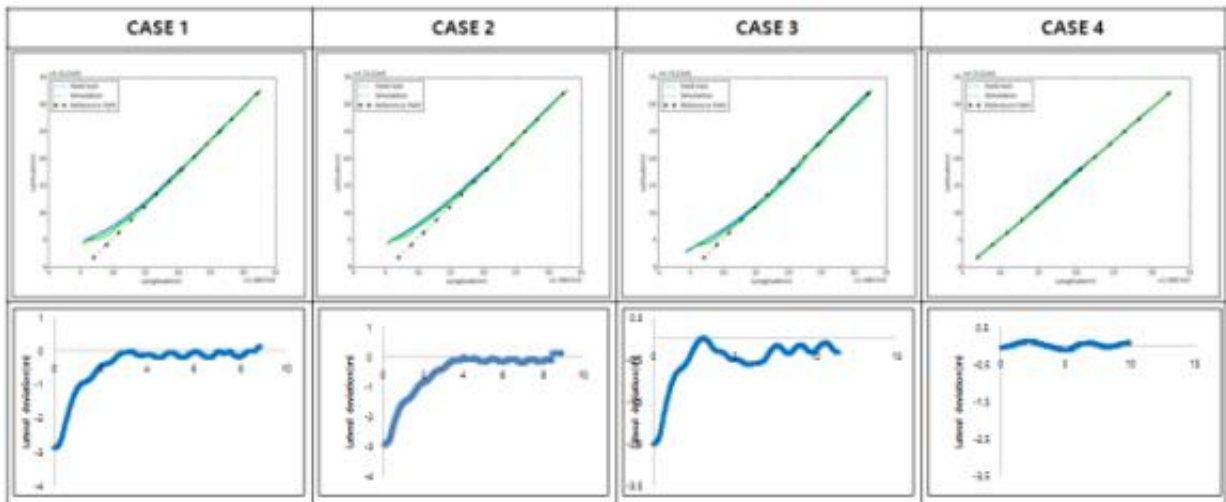
자율주행 콤바인의 속도제어 응답성능 시험 결과

- 조향제어기의 제어응답성능 시험은 자율주행 제어기의 조향제어 명령 개시로부터 조향 actuator가 작동하기까지의 시간을 측정하여 평가. 다음의 그래프는 시험결과를 나타냄. 측정결과로부터 자율주행제어기로부터 제어명령 실행으로부터 조향제어 actuator가 응답하는데 소요된 시간은 0.46초로 측정됨.



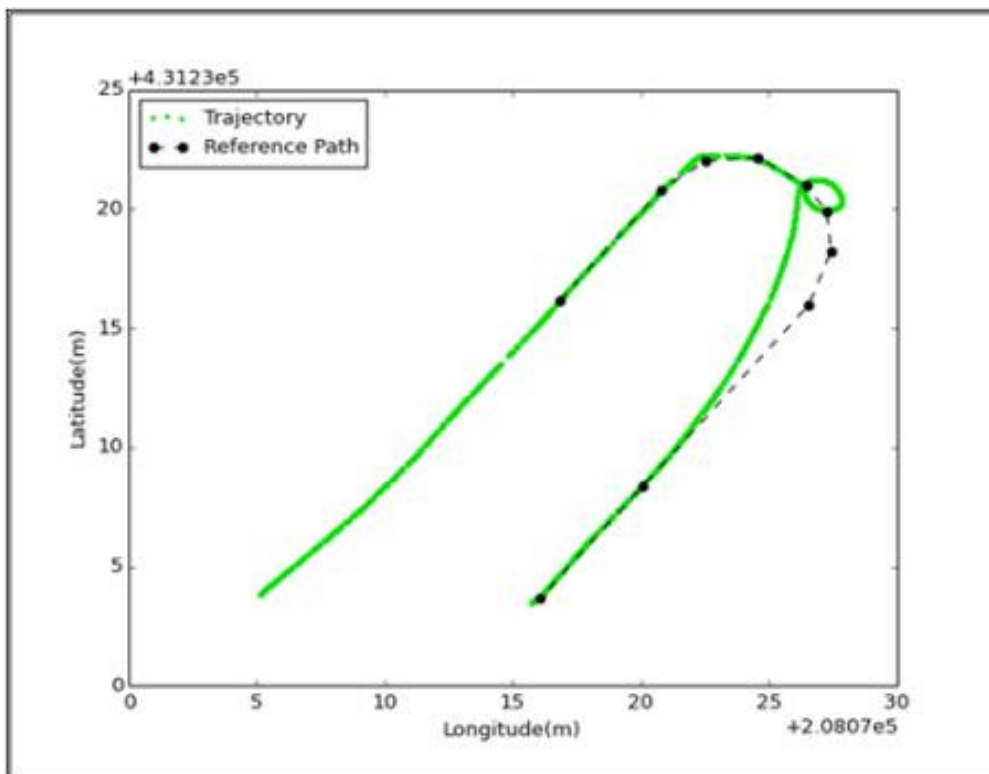
조향제어 응답성능 시험 결과

- 자율주행 콤바인의 자율주행 중 경로추종 정밀도를 Fuzzy 기반의 개별 가중치 조합 변화에 따라 시험하였다. 적용 가능한 4가지의 조합에 대하여 시험포장에 주행경로를 생성하고 이를 추종하도록 한 후 경로에서 벗어나는 오차를 측정하는 방식으로 추종정밀도를 측정하였다. 다음의 그래프는 4가지 가중치 조합에 대하여 각각 측정된 결과를 나타낸 것임. 측정결과 case4번의 조합의 추종정밀도가 가장 우수한 것으로 나타났으며, 이때의 추종 정밀도는 $\pm 0.12m$ 로 측정됨.



가중치 조합별 경로추종 정밀도 측정

- 선정된 가중치를 적용하여 자율주행 콤바인의 경로주행시험을 수행하였음. 시험경로는 180도 회전구간을 포함하며 직선경로 주행 후 논머리에서의 연속적인 90도 회전을 두 차례 실시하여 재차 직선경로에 진입하는 과정을 상정함. 이는 통상 수확시기에 콤바인을 이용한 가장 대표적인 주행방식 중 하나임. 다음의 그래프는 주행시험 결과를 나타냄. 시험결과 전체 주행경로를 따라 경로이탈이나 멈춤 없이 자율주행을 완수함. 그러나 첫 번째 90도 회전 후 두 번째 회전구간에 진입할 때 제자리에서 360도 회전하는 이상 현상이 나타남. 이는 회전구간에서의 waypoint 간격이 추종할 수 없이 조밀하여 생성된 heading angle이 지나치게 커짐으로 인한 것임. 콤바인에서 사용중인 자율주행 알고리즘은 경로주행 속도, 거리, LBO크기, 조향각 크기 등을 고려하여 목표 waypoint를 추종할 수 없는 경우 다음의 waypoint 지점으로 옮겨가는 알고리즘을 사용 중. 이 알고리즘은 트랙터에서 사용중인 것과 동일한 것으로 콤바인의 경우 조향 특성이 트랙터의 조향특성과 다르므로 이를 개선하기 위한 추가 연구가 필요. 회전구간에서의 인접한 waypoint가 지나치게 작아지지 않도록 경로생성 알고리즘의 개선이 필요하여 이때 인접한 waypoint의 최소 거리와 콤바인의 크기, 주행속도, 조향성능의 상관관계에 대한 고찰도 병행되어야 함.



자율주행 콤바인 경로주행 시험결과

● 제 2핵심연구과제

| | | | | | | |
|----------------------|--|---|--------------|---------------|---------------|-----|
| 과제번호 | 제 2 핵심과제 | | | | | |
| 핵심 연구과제명 | 국문 | 농업시설 에너지환경 자동화 기반기술 개발 | | | | |
| | 영문 | Development of automation technology for controlling energy and environment of agricultural structure | | | | |
| 핵심 연구책임자 | 한글성명 | 이동훈 | 영문성명 | Lee Dong Hoon | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 충북대학교 | 부서명 (학과명) | 바이오시스템 공학과 | 직위 | 조교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2014년 9월 18일 부터 ~ 2017년 9월 17일 까지 (3년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 합계 | |
| | 정부출연금 | 280,000 | 310,000 | 289,500 | 879,500 | |
| | 기업부담금 | 180,000 | 62,000 | 53,000 | 295,000 | |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 합계 | 460,000 | 372,000 | 342,500 | 1,174,500 | |
| 참여연구인 력 (단위:명) | 세부과제책임자 | 책임급 | 선임급 | 원급이하 | 합계 | |
| | 3 | 5 | 6 | 23 | 37 | |
| 세부 연구책임자 | 구분 | 성명 | 소속 | 전공 | | |
| | 제2-1세부과제 | 이동훈 | 충북대학교 | 농업기계 | | |
| | 제2-1협동과제 | 정우진 | 고려대학교 | 기계 | | |
| | 제2-2협동과제 | 황헌 | 성균관대학교 | 바이오메카트로닉스 | | |

(1) 제 2-1 세부과제

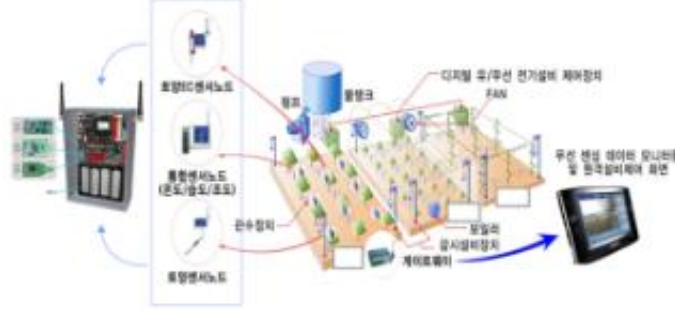
① 연구개요


| | | | | | | |
|---------------|--|--|-----------|---------------|------------|-----|
| 세부과제번호 | 제 (2 - 1) 세부과제 | | | | | |
| 세부 연구과제명 | 국문 | 스마트 시설 환경 자동화 기술 | | | | |
| | 영문 | Automation technology for smart agricultural structure | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 이동훈 | 영문성명 | Lee Dong Hoon | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 충북대학교 | 부서명 (학과명) | 바이오시스템 공학과 | 직위 | 조교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2014년 9월 18일 부터 ~ 2017년 9월 17일 까지 (3년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 합계 | |
| | 정부출연금 | 100,000 | 100,000 | 72,000 | 272,000 | |
| | 기업부담금 | 110,000 | 37,000 | 0 | 147,000 | |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 합계 | 210,000 | 137,000 | 72,000 | 419,000 | |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | 선임급 | | 원급이하 | | 합계 |
| | 4 | 2 | | 10 | | 16 |

② 연구목표 및 내용


| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|---|
| 1단계 | 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 농업시설 에너지 계측 및 모델링 기술 - 농업시설 환경 인자 자동 계측 기술 - 농업시설 에너지 환경 모델링 |
| | 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 농업시설 에너지 절감 및 자동화 제어 기술 - 농업시설 환경 인자 자동 제어 기술 - 농업시설 에너지 절감 제어 기술 |
| | 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 반자동 생육환경 최적 제어 application 개발 - 에너지 절감형 생육환경 최적 제어 기술 및 실용화 (토마토) - RICT 융합 온실 환경 계측, 제어 application 개발 |

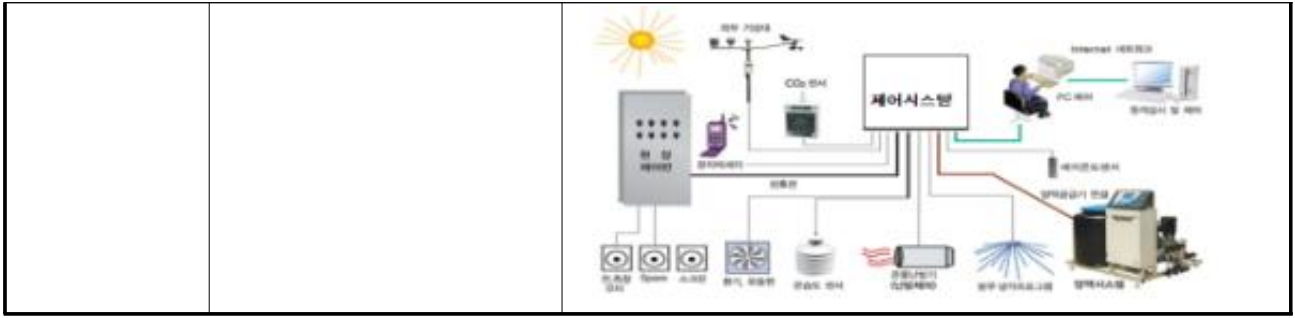
| | | |
|--|------------------------|---|
| 제2핵심 | 농업시설 에너지환경 자동화 기반기술 개발 | |
| 제2-1세부 | 스마트 시설 환경 자동화 기술 | |
| 1 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 1단계 연구목표 : 농업시설 에너지 계측 및 모델링 기술 1년차 (2014) | ○ 농업시설 환경 인자 자동 계측 기술 | <ul style="list-style-type: none"> - 센서 및 통신 기반 농업시설 환경 인자 자동 계측 기술 - 국내외 상용 H/W (컨트롤러, 로거, 센서) 사양 (신호 시스템, 편의성) 분석 및 현장 애로 조사에 의한 적정성 평가 - 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서의 입력/출력 신호 형태: 아날로그, 디지털, RS-232, 입력/출력 신호 크기별(예, mV, 5V, 12V), 인자 수별 (단일, 복합) 특성 분류 및 센서 신호처리 (증폭, 노이즈 필터링, A/D변환) - 표준통신 프로토콜 IEEE 802.15.4 (Zigbee), IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.11(Wifi), PLC(전력선통신) 활용 |

| | | |
|--|--------------------------|---|
| | |  <p style="text-align: center;"><ICT 융합 농업시설 환경인자 계측 예시></p> |
| | <p>○ 농업시설 에너지 환경 모델링</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 공간통계법, 유한요소법에 의한 농업시설 에너지 환경 모델링 - 에너지 절감 기자재 및 요인에 대한 원가 조사를 포함하는 비용 분석 - ICT 첨단 기술점목에 특화된 경제성 평가 모델 구축 - 유형별 에너지 경제성 분석모형 설정 - 불확실성을 고려하는 경제성분석 기법 모형 설정 (Monte Carlo Simulation 기반) - 지역별, 재배 작물별 농업시설 구조 규격 조사/표준화 요소 분석, 온실구조물 시공 기술 분석 |

| | | |
|--|------------------------------|---|
| 제2핵심 | 농업시설 에너지환경 자동화 기반기술 | |
| 제2-1세부 | 스마트 시설 환경 자동화 기술 | |
| 1 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| <p>1단계 연구목표 : 농업시설 에너지 절감 및 자동화 제어 기술 2년차 (2015)</p> | <p>○ 농업시설 환경 인자 자동 제어 기술</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 비선형 개방형 제어시스템 특성을 고려한 농업시설 환경 인자 자동 제어 기술 - 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 제어 인터페이스의 신호 protocol, 전송 주기 등 설정 기능, 자동/수동, 현장/원격, 비상시 대처 기능 - 계측/제어 시스템 성능시험: 센서 및 제어 요소별 정밀도, 정확도, 응답특성 평가 - 제어알고리즘: ON/OFF, PID, 인공지능(퍼지 등), 전문가시스템 시뮬레이션 및 현장 요인 실험 수행을 통한 자동제어 성능 평가 - 인터넷기반 온실환경 원격제어 시스템 무결성 검증 및 보안 - 스마트폰 원격제어 프로그램 현장 성능 검증 : 자동/수동, 현장/원격, 비상시 대처 기능, 정보 제공 우선 순위 조절 기능  |
| | <p>○ 농업시설 에너지 절</p> | <ul style="list-style-type: none"> - ICT 요소(통신, 배선, 전원)와 구조 자재 간 간섭 |

| | | |
|--|---------|--|
| | 감 제어 기술 | <p>요건 분석 및 안정성 위해 요소 분석을 통한 자재/장치 배포 기준 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> - 접목 기술의 시나리오별 경제성 분석 및 민감도 분석(Sensitivity Analysis) - 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 경제성 분석(B/C, NPV, IRR)에 접목한 기초 모형 개발 - 경제성 분석 항목에 포함되는 편익 및 비용 항목의 불확실성 (통계적 접근) 분석 - 사업 실용화에 고려되어야 할 경제성 위험분석(Risk Analysis) 실시 |
|--|---------|--|

| | | |
|---|--|---|
| 제2핵심 | | 농업시설 에너지환경 자동화 기반기술 |
| 제2-1세부 | | 스마트 시설 환경 자동화 기술 |
| 1 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| <p>1단계 연구목표 : 반자동 생육 환경 최적 제어 application 개발 3년차 (2016)</p> | <p>○ 에너지 절감형 생육 환경 최적 제어 기술 및 실용화 (토마토)</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 테스트베드(아토팜, 전남도기술원)의 토마토 재배 환경을 대상 전년도 성과물의 성능 평가 및 개선점 도출 - 테스트 베드(아트판, 전남도기술원) 현장 실증을 통한 에너지 절감형 생육환경 최적 제어 기술 평가 및 실용화 - 산업화 표준 사양 검토, 제작 사양 결정 - 개선된 센서/제어모듈 고도화 설계 및 센서 신호 처리 및 제어 알고리즘 탑재 - 사업주체 입장에서 기술보급을 위한 경제적 타당성 분석 결과 도출(실용화 단계)  |
| | <p>○ RICT 융합 온실 환경 계측, 제어 application 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 다기종 소프트웨어 개발 기법 및 RICT 융합을 통한 온실 환경 계측, 제어 application 개발 - 기술 전반에 대한 종합적인 경제성 분석 결과 도출 - 온실에너지 유형별, 기술별 불확실 요소에 대한 체계를 정립하여 이를 경제적 타당성 의사결정 판정에 적용할 수 있는 시스템 구축 |



(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|--------|-----------|------|----|------|---------|------|----|---|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 SCI | 학술발표 비SCI | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | 홍보전시 | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | 10 | 10 | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | 3 | 5 |
| 1단계 | 목표 | 2 | 5 | | 4 | | 1 | | | | | | 0 | 2 | 9 | | | | | |
| | 실적 | 3 | 3 | | 1 | | 1 | | 158 | | | | 1 | 4 | 7 | | | | | 1 |
| 최종 | 목표 | 2 | 5 | | 4 | | 1 | | | | | | 0 | 2 | 9 | | | | | |
| | 실적 | 3 | 3 | | 1 | | 1 | | 158 | | | | 1 | 4 | 7 | | | | | 1 |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|---|-----|------|-------------------|-------------------------------------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| 2017 | Local positioning technology using multiple illumination sensors under indoor single light source | 김택성 | 김택성 | 이상희 황영수 | CNU Journal of agricultural science | 33(1) | 국내 | 비SCI |
| 2017 | Relationship between the characteristics of the series of greenhouse growth factors and strawberry | 이현규 | 이동훈 | 이정규 김수아 정동욱 | CNU Journal of agricultural science | 33(1) | 국내 | 비SCI |
| 2017 | Research about relationship between performance of wireless communication and excessive moisture condition in greenhouses | 김태균 | 오정우 | 박소정 송정원 | CNU Journal of agricultural science | 33(1) | 국내 | 비SCI |
| 2017 | Research about structural interruption affecting | 권구범 | 권구범 | 이재현 연운호 | CNU Journal of agricultural science | 33(1) | 국내 | 비SCI |

| | | | | | | | | |
|------|--|-----|-----|------------|---------|-------|----|------|
| | performance characteristics of wireless communication in greenhouse | | | | | | | |
| 2017 | Determination of the Optimal Nitrogen Concentration in Pre-planting Fertilizers for the Cultivation of Tomato Plug Seedlings | 이동훈 | 최종명 | 이지원 박명선 | 원예과학기술지 | 35(4) | 국내 | SCIE |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|--|-------------|-----|-----------------|--------|--|-------------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2015 | 온실 내 공간의 3차원 온도 분포 측정시스템 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0005511 | 2016 | 온실 내 공간의 3차원 온도 분포 측정시스템 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 역방향 탐색으로 시간지연을 보정하는 주행식 계측 장치 및 주행식 계측방법 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0025064 | 2016 | 역방향 탐색으로 시간지연을 보정하는 주행식 계측 장치 및 주행식 계측방법 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 위치 오차 보정이 가능한 경로 추종 자율주행 장치 및 자율주행 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0025063 | 2015 | 위치 오차 보정이 가능한 경로 추종 자율주행 장치 및 자율주행 | 충북대학교 산학협력단 | 한국 |

③ 기술료징수 현황

| 기 징수액 | 당해연도 징수액 | 향후 징수액 | 합계 |
|-------|----------|--------|----|
| 1 | 1 | - | 1 |

- 기술이전 및 기술지도 내용

| 번호 | 계약일자 | 유상/무상 | 기술료 (백만원) | 공급 기관명 | 대상 기관명 | 기술이전 계약명 | 비고 |
|----|-----------|-------|-----------|--------|--------|-------------|----|
| 1 | 15.11.11. | 유상 | 1 | 충북대학교 | 해표산업 | IOT 컨버전스 기술 | |

④ 사업화(제품화) 성과 및 매출 실적

| 번호 | 해당연도 | 구분 | 사업화명 | 제품명 | 업체명 | 매출액 (백만원) |
|----|------|-----|------|-----|-------|-----------|
| 1 | 2015 | 사업화 | 반딧불이 | | 나래트렌드 | 158 |

⑤ 학술발표 성과

| 연번 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|-----|-------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| 1 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 이희웅 이동훈 민재기 | 빅데이터와 유한요소법을 이용한 다연동 온실의 열 이동 특성 분석 | 한국정밀농업학회 전남대학교 | 천안상록리조트 컨벤션센터 |

| | | | | | | | |
|---|------|------|-----|---------------------------------|--|---|-----------------------|
| | | | | | | 농업생산무연 인자동화연 구센터2015 국제공동심 포지 | |
| 2 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 이희웅 이동훈 민재기 | 적외선 다중 센서 실내 온도 분 에 따른 상토와 콩의 온도 분 | 한국정밀농 업학회 전남 대학교 무연 농업생산무 연구센터2015 국제공동심 포지 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 3 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 이동훈 | IoT 기반 토양 현장 진단 키 트와 휴토탐 서비스 연동 방 법 연구 | 한국정밀농 업학회 전남 대학교 무연 농업생산무 연구센터2015 국제공동심 포지 | 천안상록리 조트 컨벤션 센터 |
| 4 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 강신형 윤호현 이재기 이동훈 | 온실의 구조적 장애물에 따른 무선통신 통신을 분석 | 한국농업기 계학회 | 한국 농업과 학원 |
| 5 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 이희웅 김태균 송정원 민재기 이동훈 | 온실내부 무선통신 노드 토폴 로지와 과습 조건에 따른 통 신성능 분석 | 한국농업기 계학회 | 한국 농업과 학원 |
| 6 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 이희웅 김태균 송정원 민재기 이동훈 | 빅데이터와 유한요소법을 이 용한 온실의 열이동 특성 분 석 | 한국농업기 계학회 | 한국 농업과 학원 |
| 7 | 2015 | 학술발표 | 충북대 | 강신형 이희웅 민재기 이동훈 | 빅데이터와 MATLAB/Simulink 를 이용한 온실 난방비 분석 기술 | 한국농업기 계학회 | 한국 농업과 학원 |

⑥ 기타 성과

| 번호 | 구분 | 기관 | 교육 및 컨설팅명 | 연도 | 비고 |
|----|----------|-------|---|------|----|
| 1 | 교육 및 컨설팅 | 충북대학교 | 직무역량강화 세미나 - 농업분야의 ICT 융복합 핵심기술 및 향후 전망 | 2015 | |

(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|-------------|---------------------------|--|
| 2단계 1차년도 | · 농업시설 에너지 계측 및 모델링 기술 | - 실험적 접근 : 센서 및 통신 기반 농업시설 환경 인자 자동 계측 기술 - 현장 조사 : 국내외 상용 H/W 사양 분석 및 현장 애로 조사에 의한 적 |

| | | | |
|------|--|----------------------------------|---|
| | | | <p>정성 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - 실험적 접근 : 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서의 입력/출력 신호 신호특성 분류 및 센서 신호처리 - 실험적 접근 : 표준통신 프로토콜 활용한 요인 실험 [위탁] - 이론(정보처리) 접근 : 공간통계법, 유한요소법에 의한 농업시설 에너지 환경 모델링 - 문헌 조사 : 에너지 절감 기자재 및 요인에 대한 원가 조사를 포함하는 비용 분석 - 문헌 조사 및 이론 고찰 : ICT 첨단 기술접목에 특화된 경제성 평가 모델 구축 및 분석 모형 설정 - 현장 조사 : 지역별, 재배 작물별 농업시설 구조 규격 조사/표준화 요소 분석, 온실구조물 시공 기술 분석 [위탁] |
| 2차년도 | | <p>· 농업시설 에너지 절감 및 자동화 제어 기술</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 실험적 접근 : 농업시설 환경 인자 자동 제어 기술 현장 실험을 위하여 테스트 베드 구축 및 3차원 환경 인자 계측 시스템 과 난방기 제어시스템 구축 - 실험적 접근 : 테스트 베드에서 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 제어를 3개월 간 수행 - 실험적 접근 : 계측/제어 시스템 성능시험 및 성능 평가를 위하여 온실환경 인자 조절 성능과 작물의 성장량과의 관계 비교 및 평가 - 실험적 접근 : 인터넷기반 온실환경 원격제어 시스템의 고도와 및 상업화 [위탁] - 실험적 접근 : 스마트폰 원격제어 프로그램의 고도화 및 상업화 및 매출 발생 후 현장 검증 수행 [위탁] - 문헌고찰 및 이론적 접근: ICT 요소와 구조 자재 간 간섭 요건 분석을 위하여 선행 연구 고찰 및 현행 온실환경제어기 통신 인터페이스 TTA 표준안 분석 - 이론적 접근 : 농업시설 에너지 시뮬레이션 선행 연구 고찰 및 테스트 베드 현장 실증 실험 결과 비교 |

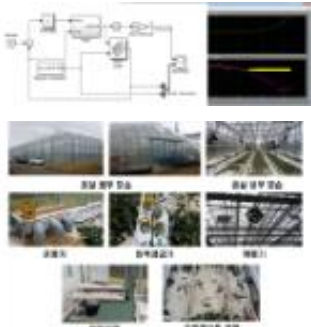
| | | | |
|------|---------------------------------|--|--|
| | | | <ul style="list-style-type: none"> - 실험적 접근 : 인터넷, 스마트폰 기반 농업 시설 에너지 절감 제어 [위탁] |
| 3차년도 | · 반자동 생육환경 최적 제어 application 개발 | | <ul style="list-style-type: none"> - 테스트베드 작물(딸기) 재배 환경 대상 선행 연구 성과물의 성능 평가 및 개선점 도출 - 스마트 온실에 적용된 센서 및 양약기 등 기자재를 고려한 복합환경 제어시스템 연동 방안 연구 - 개선된 센서/제어모듈 고도화 설계 및 센서 신호 처리 및 제어 알고리즘 탑재 및 범용 통신 모듈 연결 기능 추가 - 다기종 소프트웨어 개발 기법 및 RICT 융합을 통한 온실 환경 계측, 제어 application 개발 - RICT 융합 어플리케이션의 현장 적용성 평가 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

■ 농업시설 에너지 계측 및 모델링 기술

1. 연구결과 주안점

| | | |
|------------------------------|---|--|
| <p>○ 농업시설 환경 인자 자동 계측 기술</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 센서 및 통신 기반 농업시설 환경 인자 자동 계측 기술 -국내외 상용 H/W 사양 분석 및 현장 애로 조사에 의한 적정성 평가 -유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서의 입력/출력 신호 신호특성 분류 및 센서 신호처리 -표준통신 프로토콜 활용한 요인 실험 [위탁] | |
| <p>○ 농업시설 에너지 환경 모델링</p> | <ul style="list-style-type: none"> -공간통계법, 유한요소법에 의한 농업시설 에너지 환경 모델링 -에너지 절감 기자재 및 요인에 대한 원가 조사를 포함하는 비용 분석 -ICT 첨단 기술접목에 특화된 경제성 평가 모델 구축 및 분석 모형 설정 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--|--|----|-----|-----------|----|----|-------|----|------|-------|----|---|---------|------|-----|---|---|---------|-------|-----|---|---|---------|--------|--------|-----|---|---|-----------|--------|-----|---|---|-----------|
| | <p>-지역별, 재배 작물별 농업시설 구조 규격 조사/표준화 요소 분석, 온실구조물 시공 기술 분석 [위탁]</p> | <table border="1"> <tr> <td>구분</td> <td>시설명</td> <td>면적(㎡)</td> <td>수량</td> <td>단위</td> <td>총액(₩)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">온실</td> <td>연립온실</td> <td>1,000</td> <td>10</td> <td>㎡</td> <td>100,000</td> </tr> <tr> <td>단립온실</td> <td>500</td> <td>5</td> <td>㎡</td> <td>250,000</td> </tr> <tr> <td>다목적온실</td> <td>200</td> <td>2</td> <td>㎡</td> <td>400,000</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">온실내 장비</td> <td>자동화시스템</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>套</td> <td>1,000,000</td> </tr> <tr> <td>자동화시스템</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>套</td> <td>1,000,000</td> </tr> </table>  | 구분 | 시설명 | 면적(㎡) | 수량 | 단위 | 총액(₩) | 온실 | 연립온실 | 1,000 | 10 | ㎡ | 100,000 | 단립온실 | 500 | 5 | ㎡ | 250,000 | 다목적온실 | 200 | 2 | ㎡ | 400,000 | 온실내 장비 | 자동화시스템 | 100 | 1 | 套 | 1,000,000 | 자동화시스템 | 100 | 1 | 套 | 1,000,000 |
| 구분 | 시설명 | 면적(㎡) | 수량 | 단위 | 총액(₩) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 온실 | 연립온실 | 1,000 | 10 | ㎡ | 100,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 단립온실 | 500 | 5 | ㎡ | 250,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 다목적온실 | 200 | 2 | ㎡ | 400,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 온실내 장비 | 자동화시스템 | 100 | 1 | 套 | 1,000,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 자동화시스템 | 100 | 1 | 套 | 1,000,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

2. 연구결과

가. 농업시설 환경 인자 자동 계측 기술

1) 센서 및 통신 기반 농업시설 환경 인자 자동 계측 기술

가) 온실 내 작물의 품질, 수확량과 관련된 대표적인 환경변수는 온도, 습도, CO2 등이 있다. 온실에 투입되는 다양한 형태의 에너지 자원을 효과적으로 결정하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 본 연구에서는 온실내부 환경 중 온도, 습도, 조도, CO2를 실시간으로 측정하여 공간적으로 편차가 어느 정도 인지 계측/분석을 수행하였다.

나) 온실환경 변수 중 온도, 습도, 조도, CO2를 측정하기 위하여 해당 물리량에 상응하는 센서를 다음 그림과 같이 선정하였으며 센서를 이용하여 계측한 값을 무선통신(Zigbee)를 통해 PC에 실시간으로 전송하였다.



Figure. Select sensors and communication modules for the developed measurement system.

다) 다음 그림은 온실 내에 환경변수를 측정하기 위한 자율주행장치이다. 장애물 회피 기능과 경로 추종 기능을 포함하여 무인 주행이 가능하도록 개발하였다. 자율주행 수행과 동시에 온실환경변수를 측정하고 무선통신을 수행하기 위하여 Arduino UNO 프로그래밍을 이용한 펌웨어를 개발하였다. 또한 위치 정보를 취득/보정하기 위하여 DC모터의 속도에 따른 이동거리를 계산하였다.



Figure. Developed autonomous measuring vehicle.

라) 다음 그림은 실험환경을 도식화 한 것이다. 온실환경변수의 공간변이 정보를 측정하기 위하여 온실내부에 임의로 온풍기와 냉방기로 온도와 습도에 변이를 주었다. 또한 탄산가스 발생기를 통하여 CO₂의 변화를 주었다. 데이터 측정 주기(Sampling rate)는 1 Hz로 설정하였으며 주행 방향에 대하여 약 5cm 거리 마다 데이터를 PC로 전송하였다.

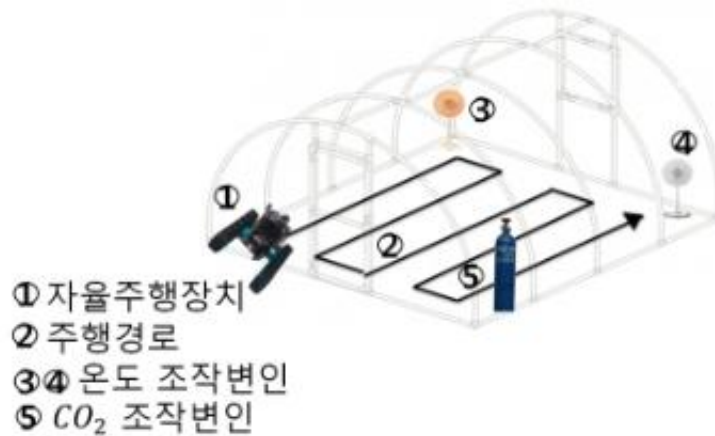


Figure. Illustration of experimental conditions.

마) 다음 그림과 같이 자율주행형 온실환경변수 측정장치를 이용하여 계측한 환경변수(온도, 습도, 조도, CO₂)를 실시간으로 한눈에 확인 할 수 있다. 탄산가스 발생기가 있는 곳에서 CO₂가 높게 나타났다. 온도와 습도 조작변이를 준 곳을 보면 온풍기가 있는 쪽의 온도는 높게 나타났고 냉방기가 있는 쪽은 온도가 낮게 나타났다. 또한 습도도 공간에 따라서 다른 것을 한눈에 확인 할 수 있다. 이를 통해 얻어진 공간변이 정보를 활용하면 필요한 공간에 적절한 에너지를 투입하고 불필요한 공간에 에너지 투입을 절감이 가능한 설계를 수행 할 수 있을 것이다. 아울러 에너지 효율성을 높이기 위한 시설적/기구적 설계 사양의 보안이 가능할 것이다.

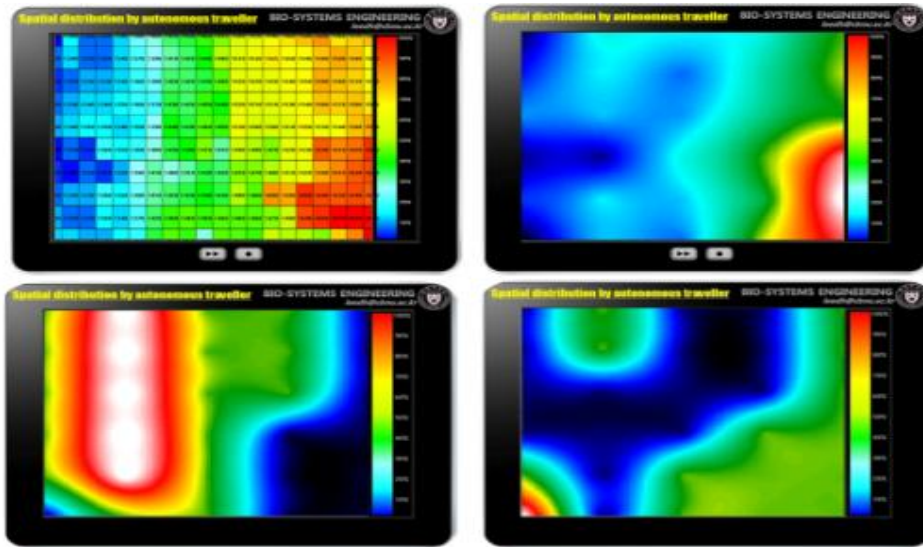


Figure. Spatial distribution of raw data of CO2 (Top left), interpolated data of CO2(top right), temperature (bottom left) and humidity (bottom right).

바) 실내 공간의 온도 분포를 측정하기 위해선 다수의 센서를 설치하는 방식과 이동이 가능한 주행장치를 이용한 방식이 가능하며, 이동이 가능한 주행장치를 이용할 경우 여러 가지 자율주행 방식이 있으나 다음 그림과 같이 온실내부의 바닥에 이미 도색이 되어 있는 경로를 따라 주행 하는 방식을 고려할 수 있다.

사) 라인트레이서라고 불리는 경로추종 주행장치는 바닥과 경로면의 빛의 반사 특성 차이를 이용하여 주행 방향을 설정하는 방식이고, 이러한 주행 장치에 온도센서(또는 습도, 조도 센서)를 장착할 경우 평면적인 공간의 온도(습도, 조도) 분포를 측정이 가능하다. 그러나 온실내의 에너지 환경이 다양해지고 평면적인 분포 뿐만 아니라 공간적인 분포에 대한 분석의 필요성이 증가함에 따라 상기 방식을 이용할 경우 온실내부의 온도를 3차원적으로 측정할 수 없는 한계가 있다.

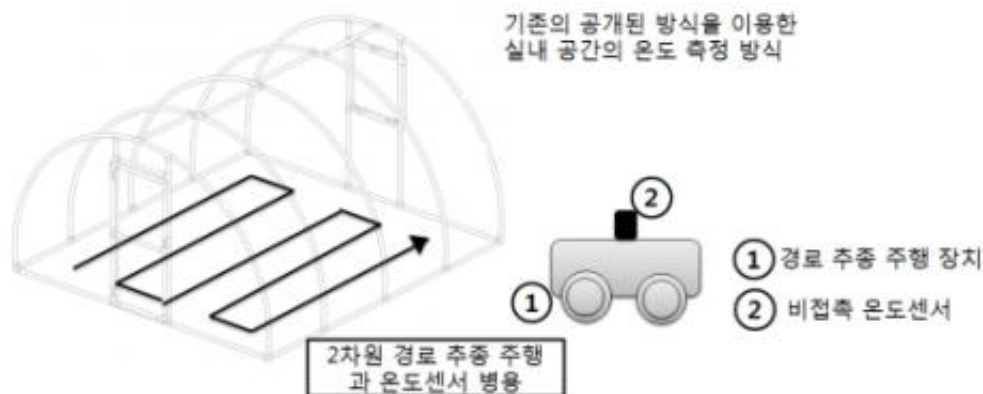


Figure. Traditional measurement method for construction of 2-dimensional distribution of various environmental properties in a protected crop facility.

아) 온실 내부의 공간의 온도분포를 3차원으로 측정하기 위하여 기존의 2차원 분포 측정 개념과 높이에 따른 온도 측정 장치를 설계하였으며 그 원리는 다음과 같다.

- (1) 첫 번째 핵심적인 부분은 이동하는 주행장치 상부에 천장 방향으로 설치된 비접촉 온도센서와 거리측정 센서이며, 둘째로 온실 천장부에서 바닥방향으로 설치된 다수의 구리판 (크기는 10 cm x 10 cm).
- (2) 비접촉 온도 센서는 경로상에서 수직으로 높이 50cm - 3m 거리에 떨어져 있는 구리판의 표면온도를 측정하여 순차적으로 온도를 저장.
- (3) 거리측정 센서는 경로상에서 수직으로 높이 50cm - 3m 거리에 떨어져 있는 구리판과 주행장치간의 거리를 측정한 후 이미 계측한 온도데이터와 짝을 이루어 저장.
- (4) 반사판을 구리 소재로 선택한 이유는 비열이 가장 낮으며 구매가 용이하기 때문이며, 비열이 낮은 소재를 선택한 이유는 주변의 온도변화에 가장 민감하고 신속하게 열평형을 이루는 소재이기 때문임.
- (5) 비접촉온도센서와 거리측정센서는 협소지향각 특성을 가지고 있는 센서를 선택함. 협소지향각의 각도 범위는 3m 떨어진 지점에서 계측 면적이 10cm 이하인 (1:30) 비율
- (6) 라인 경로 이동에 따라 2차원적으로 취득된 좌표(x-y)와 반사판의 높이 정보(z)를 3차원 좌표 (x-y-z)로 삼고 온도 데이터를 해당 지점의 온도로 기록하여 보관.
- (7) 이러한 원리를 통하여 온실내에서 열원 공급이 필요한 지점 또는 이상 열 징후가 보이는 지점을 3차원적으로 적시할 수 있음.
- (8) 이와 같은 고안을 이용하여 다수의 센서를 공간상에 설치하거나 고가의 열화상 카메라를 사용해야만 확보할 수 있는 온실내부의 3차원 온도 분포를 측정할 수 있음.

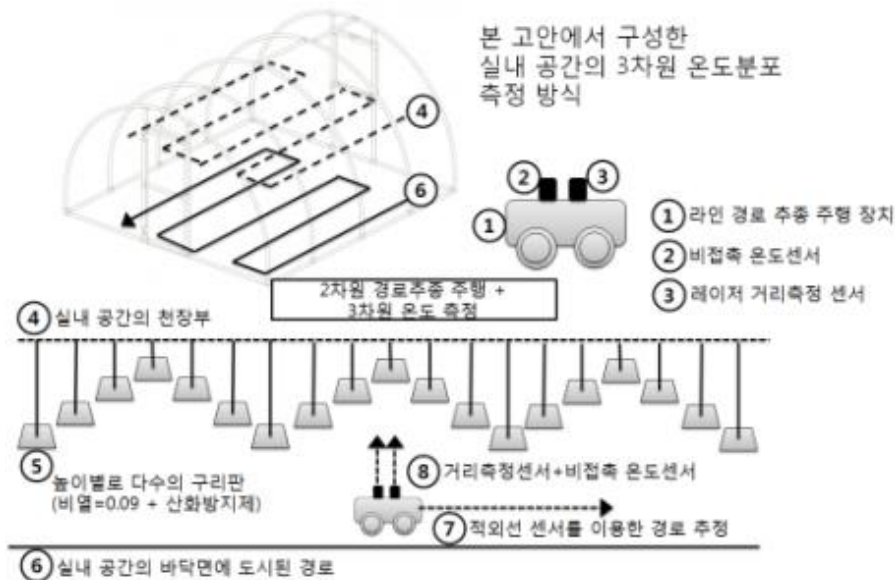


Figure. Schematic illustration of 3-dimensional measurement of various environmental properties in a protected crop facility.

자) 이와 같은 계측 방식을 이용하여 대형화, 구조화 되어가는 온실내부 공간에서 가장 효과적으로 열원을 공급하거나 효과적으로 방열을 해야 할 지점을 3차원적으로 적시할 수 있으며, 새로운 구조 설계를 위한 정량적 데이터를 제공하는데 활용할 수 있을 것이다.

- 차) 한편 실내에서 주행하는 경로 추종 자율 주행장치의 위치 오차 보정 기술 개발을 위하여 바닥에 그려진 흑백(혹은 각각 다른 색) 주행선을 반사율이 아닌 빛의 고유 파장을 분석하여 실내에서 경로를 추종하여 주행장치의 위치를 보정해주는 기술을 연구하였다.
- 카) 자율주행 장치의 유도 장치로는 유도선 유도 방식과 마그네틱 유도 방법을 주로 사용한다. 하지만, 유도선 유도 방식은 유도선인 전선을 바닥에 매설해야 하는 작업이 필요하고, 이는 설치 문제와 유지 보수 문제로 인해 비용이 많이 소요되는 문제를 발생시킨다. 그리고 마그네틱 유도 방식도 마그네틱을 바닥에 설치해야하는 문제가 있는데, 이는 유선 유도 방식의 전선 매설에 비해 큰 문제가 되지 않는 않지만 바닥에 설치한 마그네틱의 훼손 문제와 센서의 특성상 자율 주행 장치가 빠르게 주행하기 어려운 문제를 유발하고 있는 단점이 있다.
- 타) 빛을 쏘아 반사되는 빛의 양을 측정하여 흑백을 구분하는 기술은 주변 환경(자연광, 실내 내부 조명)의 영향을 많이 받을 수밖에 없으며 비슷한 반사율을 보이는 색 구간에서는 구분율이 확연하게 떨어질 수밖에 없다. 이런 상황에서 온실의 내부 환경을 측정하기 위한 자율주행 이동장치 제작에 있어서 4륜형 주행 장치는 정확한 데이터를 수집하기 위해서는 반드시 직선 주행을 하여야 하는데 기존의 방식은 미끄러짐과 자연 채광, 인공 채광과 같은 환경에서는 정확한 주행 경로를 산출하기 힘든 상황이다. 또한 사전 경로 지정 방식은 지도를 생성하는 시간이 오래 걸리며 장애물 발견 시 경로 이탈, 정확한 좌표 측정 불가의 문제점이 있다.
- 파) 이러한 문제점을 해결하고자 다음 같이 이용하여 실내에서 주행하는 경로 추종 자율 주행장치의 위치 오차 보정 기술을 설계하였다.

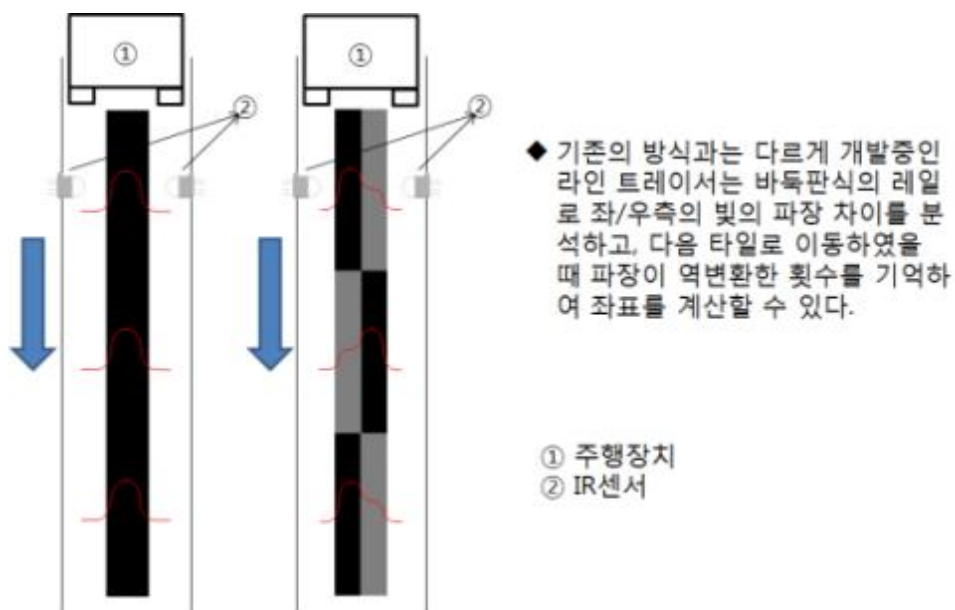


Figure. Illustration of correction method for position of moving vehicle implied realtime measurement system on path following guidance.

- 하) 위치 오차 보정이 가능한 경로 추종 자율 주행 시스템은, 본체를 주행시키기 위한 주행부와, 본체의 주행 방향의 지면의 적외선 감지하기 위한 적외선 감지부와, 적외선 감지부에서 감지한 정보로부터 주행부의 주행 동작을 제어하는 주행 제어부를 포함하는 자율 주행 장치 및 본체가 주행하려는 영역에 배치되며, 태양광 또는 태양광의 산란광에 대하여 주행 표면보다 높은 적외선 방출 지수를 가지는 물질로 제 1 영역과, 태양광 또는 태양광의 산란광에 대하여 토양 표면보다 낮은 적외선 방출 지수를 가지는 물질로 제 2 영역이 교번하는 형태를 가지는 가이드 라인을 이용하는 방식으로 구성된다.
- 거) 일부 고정밀 디지털 센서의 경우 환경 계측 후 계측 결과를 산정하는 과정에서 일정 시간이 소요되는 시스템적인 특징이 있으므로, 주행장치에 부착할 경우 측정 위치와 측정값 간의 지연이 발생하는 문제점이 있을 수 있다. 이에 본 연구를 통하여 주행식 계측 장치의 시간 지연 보정을 위한 기술을 연구하였다.
- 너) 다음 그림을 통한 설명과 같이 1차 적으로 주행 과정에서 취득한 데이터의 집합을 저장한 후 2차 역주행을 수행하여 동일한 공간의 환경 변수를 다시 한번 취득 한다. 환경 변수에 따라 일정 시간 이후에 공간상의 분포가 달라질 수 있으나, 시간 도메인 상에서 변화율이 적은 환경 변수의 경우 두 데이터의 집합 간에는 강한 상관관계가 나타날 수 있다. cross-correlation 방법을 통해서 두 신호간의 시간 차이를 구할 수 있으며 이 시간 차이를 반으로 나눈 값을 시간 지연 오차 보정에 사용한다면 측정 지점과 측정 결과 사이의 오차를 보정 할 수 있다.

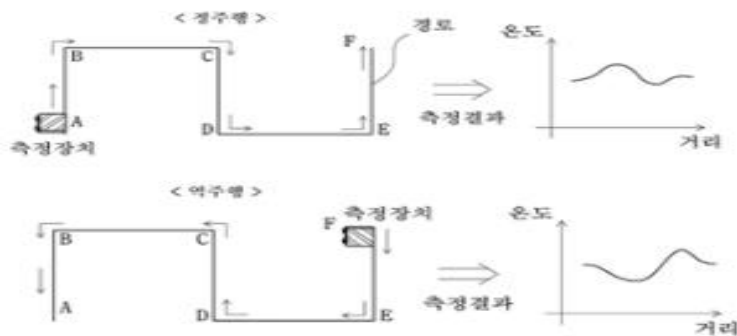






Figure. Illustration of delay time correction method by inverse travelling.

2) 국내외 상용 H/W 사양 분석 및 현장 애로 조사에 의한 적정성 평가



- 가) 마그마 (그린씨에스) : 외산 제품에 비하여 경쟁력 있으나 창 측창 개폐모터와 제어프로그램 등 회사별 차이에 따른 계측 및 제어시스템 간의 편차 심화 해결을 위한 표준화 필요성이 제기되었다.

Table. A field instances by Magma (Green CS, Inc.)

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>< 온실환경제어시스템-마그마 ></p> | <p>< 복합환경제어기 ></p> |
|  |  |
| <p>< 온실환경 관제시스템 ></p> | <p>< 양액공급장치 ></p> |

나) KT-MOS (이레ENG) : 정밀한 습기와 환기 제어가 필요하나, 모터 등의 동력 제어 기구에 의한 전기 소모 및 센서류의 교체 비용에 대한 문제점이 발견되었다.

Table. A field instance by KT-MOS (IRe ENC, Inc.)

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>< 버섯사 환경제어시스템 -KT MOS></p> | <p>< 버섯사 내부 온습도 센서부 ></p> |

다) 온실환경제어시스템 (우성하이텍) : 단동형 시스템에는 적합하나 다연동 시스템에 적용하기에 한계가 있으며, 적정 센서 설치를 통한 과학적인 습도 관리에 대한 필요성 증가.

Table. A field instance by Greenhouse environment control system (Woosung hightech, Inc.)

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>< 온실환경제어시스템-우성하이텍 ></p> | <p>< 제어판 및 경보시스템 ></p> |

라) 온실 환경 계측 및 제어 시스템의 주요 사양 조사

Table. Major specifications of greenhouse environment control system distributed at market.

| 구성요소 | 예제 | 주요규격 | 주요 기능 |
|--------|---|--|--|
| 현장제어기 |  | 크기 : 가로 103cm × 세로 185cm × 두께 31cm | <ul style="list-style-type: none"> - 독립제어용 임베디드 컴퓨터 내장 - 환기창 제어 및 구동 - 수평커튼 제어 및 구동 - 난방제어 - 배기팬/유동팬 제어 및 구동 - CO₂ 제어 - 관수모터 제어 및 구동 |
| 제어컴퓨터 |  | <ul style="list-style-type: none"> -CPU:인텔코어2듀오 2.93G -메모리: DDR2 2G*2 800Mhz -운영체제: WINDOWS XP Pro 한글 | <ul style="list-style-type: none"> - 산업용 컴퓨터(원격제어용) - 제어프로그램 탑재 |
| 제어 S/W |  | <ul style="list-style-type: none"> - 복합환경제어시스템 - 원격제어프로그램 | <ul style="list-style-type: none"> - 초기 설정기능 - 데이터 조회기능 - 그래픽화 된 모니터링 기능 - 운전상태 모니터링 기능 - 제어대상별 자동 조건설정 기능 |

| 품명 | 사진 | 규격 | 주요 기능 |
|------------------------------|---|---|--|
| 환경센서 (감우센서) |  | <ul style="list-style-type: none"> - 감우센서 . 3면 측정방식 . Delay time: 3sec . dry heater 적용 - 온도센서 . 측정범위: -40 ~ 80°C . 해상도: 0.1°C . 오차 : ±1°C | 감우센서, 외부온도측정 |
| 환경센서 (일사센서) |  | <ul style="list-style-type: none"> - 측정범위: 0~2000w/m² - 해상도: 3w/m² - 오차 : ±20w/m² | 일사량 측정 |
| 환경센서 (온습도센서) |  | <ul style="list-style-type: none"> - 온도센서 . 측정범위: -40 ~ 80°C . 해상도: 0.1°C . 오차 : ±1°C - 습도센서 . 측정범위: 5~100% . 해상도: 0.1% . 오차: ±2.5% | 온도/습도 측정 |
| 환경센서 (CO ₂ 센서) |  | <ul style="list-style-type: none"> - 측정범위: 100~5000ppm - 측정해상도: 10ppm - 오차범위: 30ppm | 이산화탄소 농도 측정 |
| 환경센서 (풍향/풍속센서) |  | <ul style="list-style-type: none"> - 풍속센서 . 측정범위: 0~70m/s . 오차범위: ±5% - 풍향센서 . 측정범위: 1~16방향 . 오차범위: ±5% | 풍향과 풍속 측정 |
| 환경센서 (토양온도/수분센서) |  | <ul style="list-style-type: none"> - 토양온도센서 . 측정범위: 0 ~ 60°C . 해상도: 1°C . 오차 : ±1°C - 토양수분센서 . 측정범위: 5~100% . 해상도: 1% . 오차: ±3% | 토양온도/토양수분 측정 |
| 배양액공급시스템 |  | <ul style="list-style-type: none"> -공급펌프: 3hp 입형다단 -양액흡입밸브 -크기: 가로100cm×세로100cm×높이135cm -전원: 3상 AC380V | <ul style="list-style-type: none"> -임베디드 컴퓨터 내장 -복합/간격/시간/수동제어 -매일/일간/주간운전 -구역별 EC,pH,유량설정 -시간/유량설정 공급 -컴퓨터연결 가능 |

마) 메타팜 (이스라엘) : 상대적으로 고가이며, 예러 발생 조치 등의 사후 지원 서비스가 미비하며 소모성 부품, 교체성 부품의 갱신비가 매우 과다하다고 판단된다.

바) 프리비아(네덜란드) : 매우 고가 (50,000,000 원 이상)로서 일반 농가에서 도입이 현실적으로 불가하다고 판단된다.

사) 스마트팜 (다이시스) : 다양한 형태의 온실 구조에 대응 가능하도록 수요자 중심의 다양한 기능 모듈화 보급 모델 개발이 절실하다.

3) 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서의 입력/출력 신호 형태 연구

가) 온실을 효율적인 제어를 하기 위해서는 유무선 센서노드의 적절한 배열이 중요하게 작용한다. 센서노드의 적절한 배열하기 위해서는 다양한 온실 환경 중에서 과습으로 인하여 발생할 것으로 예상되는 통신 장애를 규명 하고자 인공적인 과습 상태를 구성하여 무선통신 통신율을 분석하였다.

나) 다음 그림과 같이 높이 2개의 IEEE802.15.4 , 건전지(6V)와 PC를 각각 RS232 통신을 이용하여 연결하였다. 실험방법은 0 cm부터 50 cm까지 10 cm 간격으로 높이를 다르게 하였고, 거리는 10 m부터 50 m까지 통신율을 측정하였다. 노드개수에 따른 통신율 측정 실험의 구성도는 다음 그림과 같다. 통신율이 하락할 경우 중간에 노드를 추가 설치하여 실험을 수행 하였다.

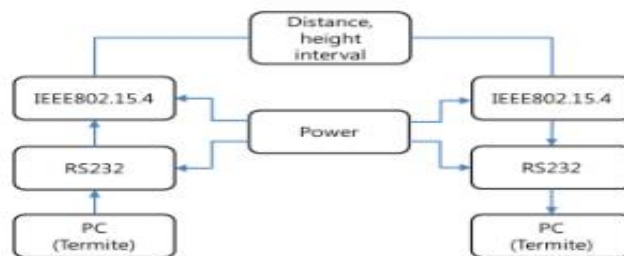


Figure. Diagram of measuring communication rate according to distance, height and interval

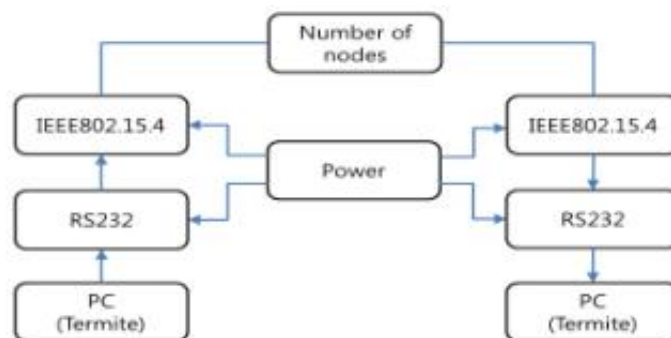


Figure. Diagram of measuring communication rate according to number of nodes

다) 습도에 따른 통신율 측정 실험의 구성도는 다음 그림과 같다. 실험방법은 위쪽과 아래쪽에 IEEE802.15.4를 놓고 중간에 장애물인 비닐을 1-3겹을 순차적으로 두고 습도를 70, 75, 80, 85, 90, 95%로 상승시키면서 통신율을 측정하였다.

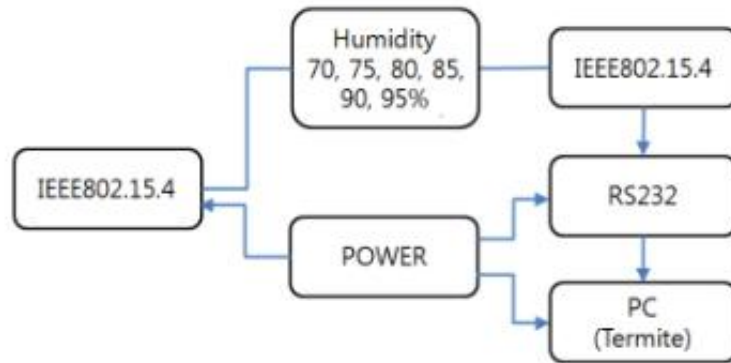


Figure. Diagram of measuring communication rate according to Humidity

라) 다음 그림을 보면 지면으로부터 최소 50cm 정도 띄워야 통신이 잘 이루어지고 60 cm 부터는 데이터의 손실이 생겼다. 거리 간격을 60m부터 100m까지 중계노드를 ON/OFF 했을 경우 통신율 결과는 다음 그래프와 같다. 70 m 일 때는 중계노드 없이 통신이 잘 이루어 졌고 80 m 부터는 중계노드가 꺼져있을 경우 전혀 들어오지 않았다. 중계노드를 설치하였을 경우 100 m까지 통신율이 100 %로 측정되었다.

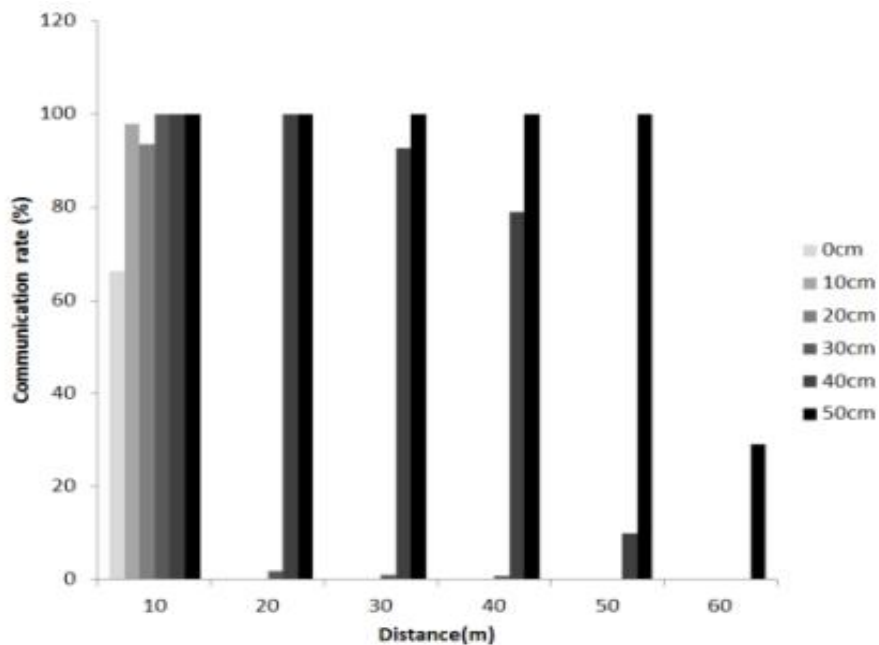


Figure. Results of measuring communication rate according to distance, height and interval

마) 습도에 따른 통신율의 결과는 다음 그림과 같다. 비닐이 1겹, 2겹, 3겹 일 때에는 손실이 일어나지 않았지만 비닐이 4겹 일 때는 손실이 발생하는 것으로 나타났다. Loss data의 개수를 비교하였을 때 습도 상승에 따라 Loss data가 증가 형태를 보이지 않고 있었다. 따라서 밀폐된 장소에서의 과습 조건은 IEEE802.15.4 간의 무선 통신 성능에 영향을 끼치지 않는 것을 확인 할 수 있다.

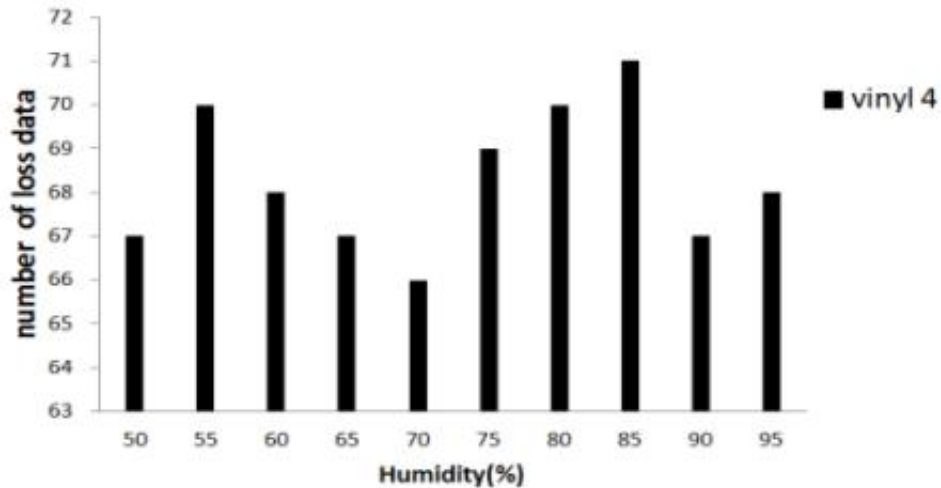


Figure. Results of measuring number of loss data according to humidity

바) 다연동 온실을 제어하거나 온실 내의 복잡한 구조물이 설치된 경우 무선통신의 신뢰성은 떨어지는 단점을 현장 애로 조사를 통하여 발견할 수 있었다. 따라서 온실 내 구조물이 무선 통신 환경에 끼치는 영향을 분석하였다. 또한 구조적 장애물의 종류에 따른 무선통신 통신율을 분석하였다.

사) 무선 통신 네트워크 환경을 구축하고 통신율을 측정하기 위한 구성도는 다음 그림과 같다. 송신부의 IEEE802.15.4에서 송신한 데이터가 수신부의 IEEE802.15.4를 통하여 PC로 전송된다. 온실 내부의 구조적 장애물에 의해 통신율이 변할 것이라고 예상하였기 때문에 온실 내부에서 흔히 사용되는 비닐, 합판, 보온재, 종이 박스, 아크릴판 다섯 가지의 장애물을 이용하여 통신율을 측정 하였다. 장애물의 개수는 각 장애물마다 1장에서 7장으로 증가시켜 가면서 통신율을 측정을 하였다.

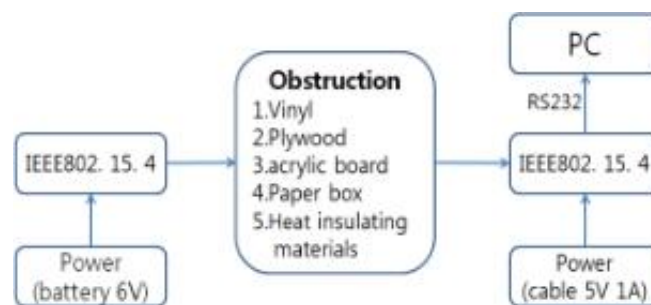


Figure. Diagram of measuring communication rate according to obstruction

아) 다음 도표는 다섯 가지의 장애물을 이용한 실험의 결과를 나타낸 것이다. 장애물에 따라 데이터양의 차이는 있지만 전체적으로 장애물의 개수가 늘어날수록 전송하는 데이터의 개수가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

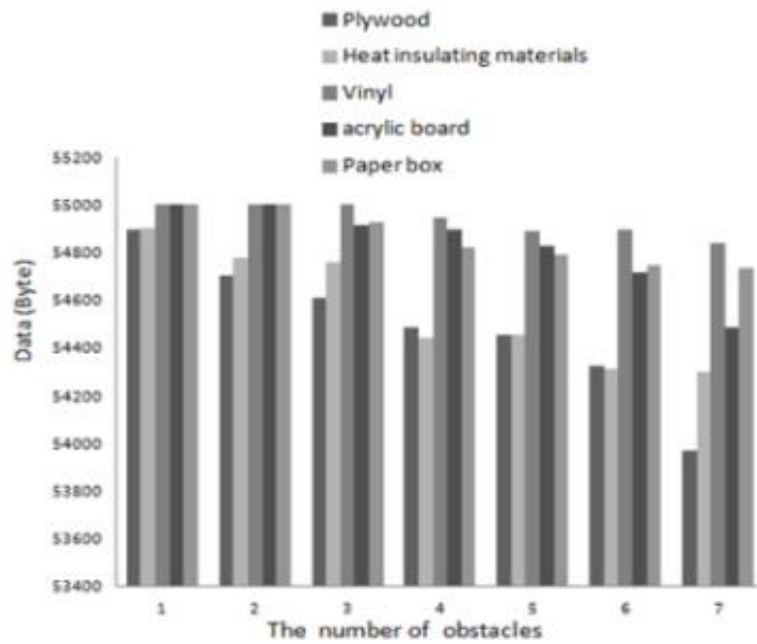


Figure. Data analysis graph of obstacles(Byte)

자) 다음 도표는 장애물에 따른 통신율을 나타낸 것이다. 이것 또한 장애물의 개수가 늘어날수록 통신율이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 추후에는 규모가 넓은 온실에서 좀 더 다양한 변수와 실험환경을 보강한 후 추가 실험이 필요할 것으로 판단된다.

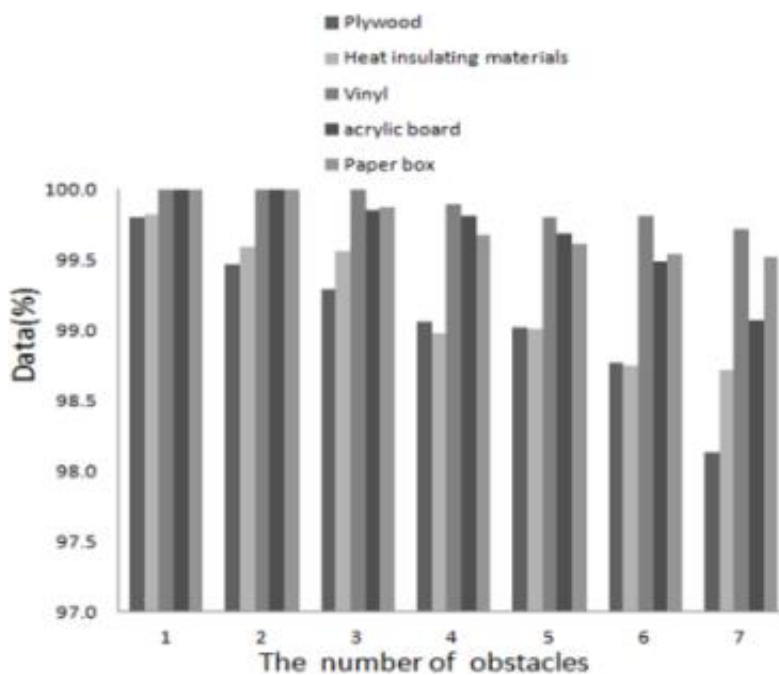


Figure. Data analysis graph of obstacles(%)

4) 표준통신 프로토콜 활용 온실 환경 계측 [위탁기관수행]

가) 본 세부 연구 수행은 위탁기관(전라남도 농업기술)에 의하여 수행되었다.

나) 위탁기관의 온실 환경 계측 요인 실험을 위하여 선정된 표준통신 프로토콜은 RS422 과 TCP/IP 프로토콜을 이용하였다. 100 m 이내에서 통신 무결성을 보장하는 RS232 보다 장거리 (100 m)이상에서 무결하게 작동하는 RS422을 선정하였다. 또한 대용량 고속 데이터의 실시간 무결성을 보장해주는 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 Web 기반 모니터링 시스템을 구축하여 요인 실험을 수행하였다.

다) 다음 그림은 온실 요인 실험이 수행된 온실의 모습이다.



라) 다음 그림은 요인 실험이 수행된 온실 내부에서 온실 환경 계측을 위하여 사용된 상용 복합 온실 환경 제어기 이다.



마) 다음 그림은 요인 실험이 수행된 온실 내에서 재배 중인 파프리카를 보이고 있으며, 지속적인 연구 수행을 통해서 최적화된 온실 환경 계측과 제어 기술이 작물의 생육에 끼치는 역학성을 장기적이고 과학적인 관점의 분석을 수행할 예정이다.



바) 다음 그림은 온실 환경 계측을 위하여 제공된 온실 환경 모니터링 S/W의 화면을 나타내고 있다. 각종 센서와 유선으로 연결되어 있는 복합 통신 제어기와 PC간의 통신 프로콜은 RS422 통신이며, 계측한 온실 환경 인자는 다음과 같다.

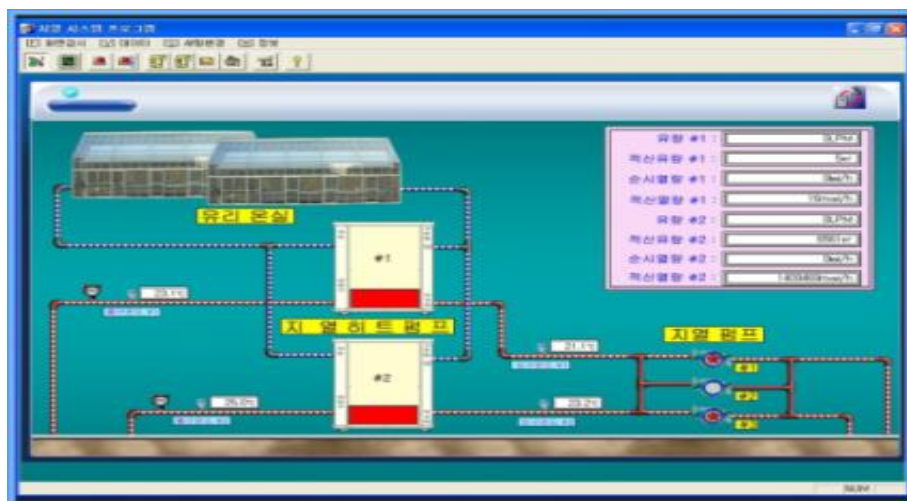
- (1) 환기온도
- (2) 내부온도
- (3) 내부습도
- (4) 내부CO2 농도
- (5) 풍향
- (6) 풍속
- (7) 일사량
- (8) 적산일사량
- (9) 유동팬의 작동 유무



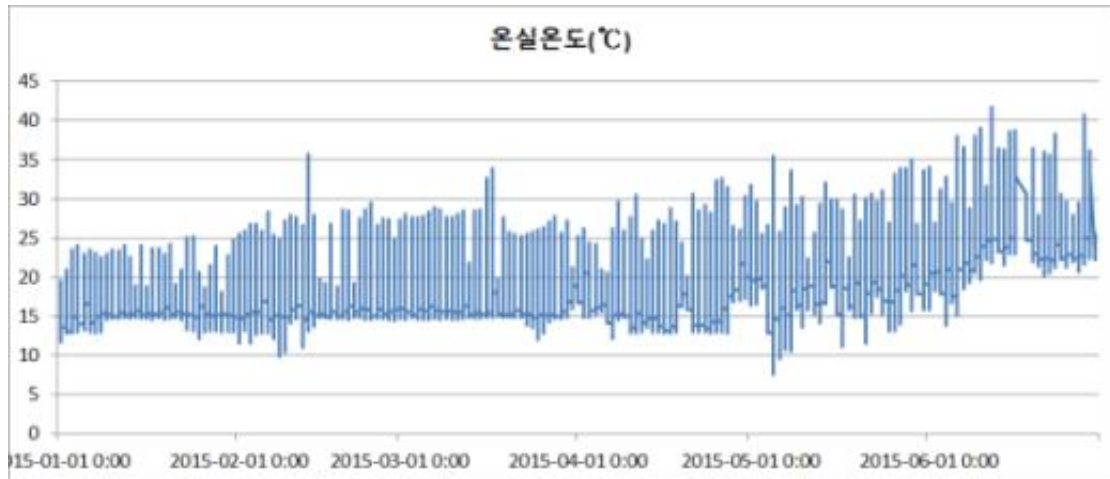
사) 요인 실험 기간은 2015년 1월 1일 ~ 2015년 6월 1일 이며 온실 환경 계측 주기는 1 Hz로 결정하여 온실 환경 인자를 계측/수집 하였다. 한편 온실의 대조군은 10개로 나누어 개별 온실 환경 인자와 재배 작목인 파프리카의 생육 정보(과장, 과폭 등)을 동시에 조사하였다.

아) 온실 환경 요인 실험 시 온실에 에너지 투입(난방)을 위하여 사용된 가온 시스템은 차세대 재활용 에너지의 한 종류인 지열 난방 시스템을 채용하였으며 다음 화면과 같은 지열 시스템 모니터링 S/W를 통해 각종 시스템의 인자를 확인할 수 있다.

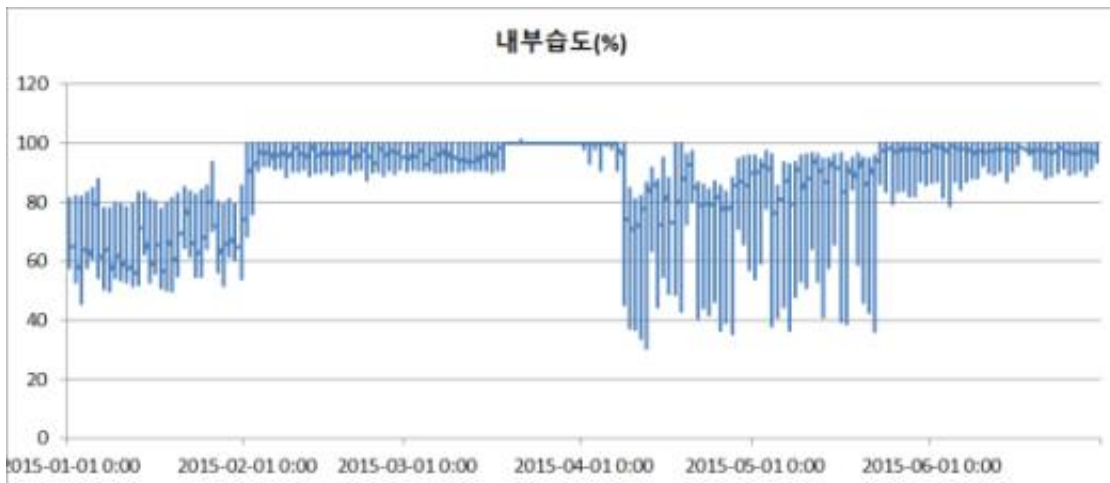
자) 지열 난방 시스템은 고속 데이터 통신을 필요로 하는 특성 상 TCP/IP 프로토콜을 이용한 패킷 데이터 전송 방식을 사용하였다.



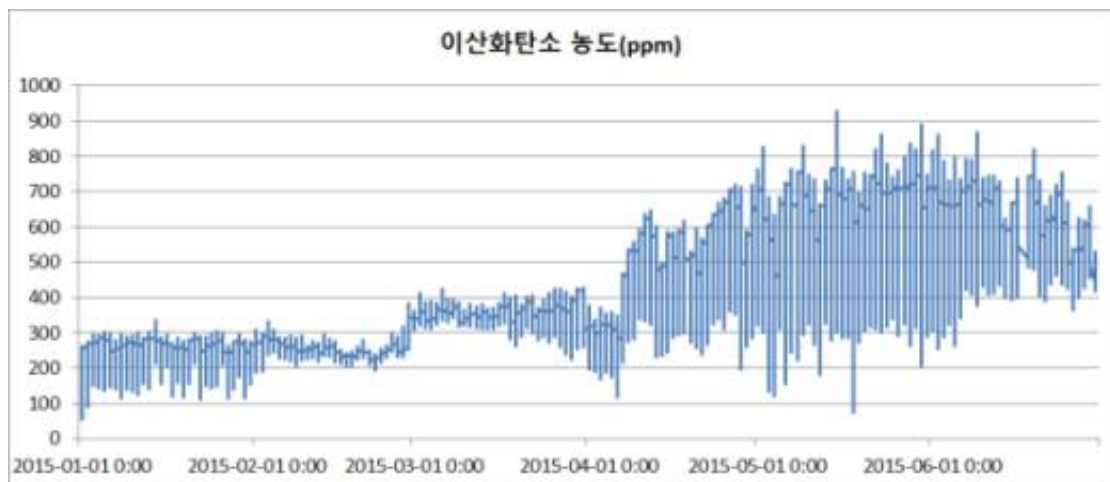
차) 다음의 도표는 요인 실험 수행 기간 계측한 내부 온도를 나타내고 있다.



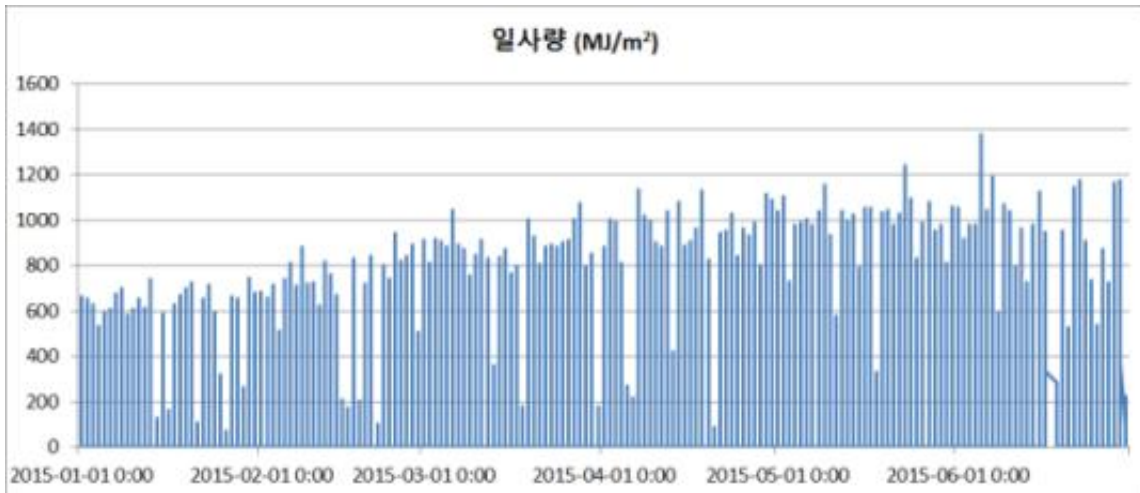
카) 다음의 도표는 요인 실험 수행 기간 계측한 내부 습도를 나타내고 있다.



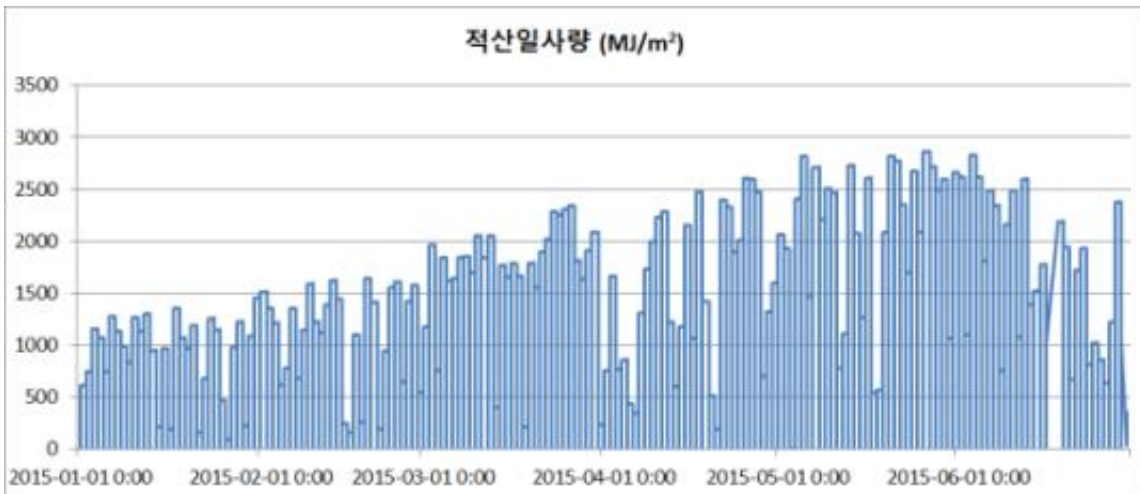
타) 다음의 도표는 요인 실험 수행 기간 계측한 내부 이산화탄소 농도를 나타내고 있다.



파) 다음의 도표는 요인 실험 수행 기간 계측한 일사량을 나타내고 있다.



하) 다음의 도표는 요인 실험 수행 기간 계측한 적산일사량을 나타내고 있다.



거) 이상과 같이 계측한 각종 온실 환경 계측 데이터는 1초에 1회 계측한 데이터로서 향후 온실의 에너지 효율 평가 및 작물 생육에 끼치는 요인 분석에 활용 될 것이다. 이러한 추후 연구 수행 과정중 계측 데이터의 용량이 증가하거나 더 빠른 계측 주기를 필요로 할 경우 현재 선정한 표준 통신 프로토콜 (RS422, TCP/IP)을 변경하거나 최적화 작업을 수행해야 할 것이다.

너) 상기 나열한 바와 같이 계측한 온실 환경 인자에 대한 지속적인 관찰과 재배 작목인 파프리카 생육 정보 간의 상호 연관성 조사를 통하여 적정한 온실 환경 인자의 계측 방법 및 표준 통신 프로토콜을 활용한 데이터 교환 방법에 대한 연구를 지속적으로 수행할 것이다.

나. 농업시설 에너지 환경 모델링

1) 공간통계법, 유한요소법에 의한 농업시설 에너지 환경 모델링

가) 열교환기는 온실 등 농업시설의 온도 조절을 위하여 냉수 또는 온수를 열매체로 이용하는 장비이다. 또한 농업시설의 에너지 환경 모델링에 있어서 필수적인 요소라 할 수 있다. 열교환 성능은 온실의 규모나 구조적 위치 등에 따라 다르게 나타나며 특히 온실의 외부 기상환경에 큰 영향을 받는다. 온실의 외부 환경 데이터인 기상데이터를 빅데이터로 처리하고 유한요소법을 이용하여 온실의 에너지 환경을 모델링할 수 있는 방안을 연구 하였다.

나) Ansys14(ANSYS Inc, USA)를 이용하여 온실의 열교환 성능 분석을 위한 모델링을 실시하였다. Ansys의 Analysis System은 Fluid Flow(FLUENT)를 사용하였다. Geometry 단계에서 온실의 규모는 복합 3동으로 하였다. 1동당 너비 × 길이 × 높이는 4m × 50m × 3m, 전체 12m × 50m × 3m 규격으로 임의의 모델을 선정하였다. Mesh단계에서 각 구역을 설정한 후 mesh size는 fine으로 설정하였다. Setup단계에서 Energy equation를 사용하였으며 Viscous Model은 Thermal Effects로 설정하였다. Material은 온실내 공기의 흐름을 알기위해 air로 설정하였다. 온실 내부의 공기흐름은 0.01m/s로 설정하였다. Boundary Conditions에서 구역을 온실 외벽과 ground로 설정하였다.

다) 온실 에너지 환경 모델에 적용할 외란에 해당하는 기상 빅데이터는 충북 청주시의 일년간 (2014년) 평균, 최저, 최고 기온 데이터를 사용하였다.

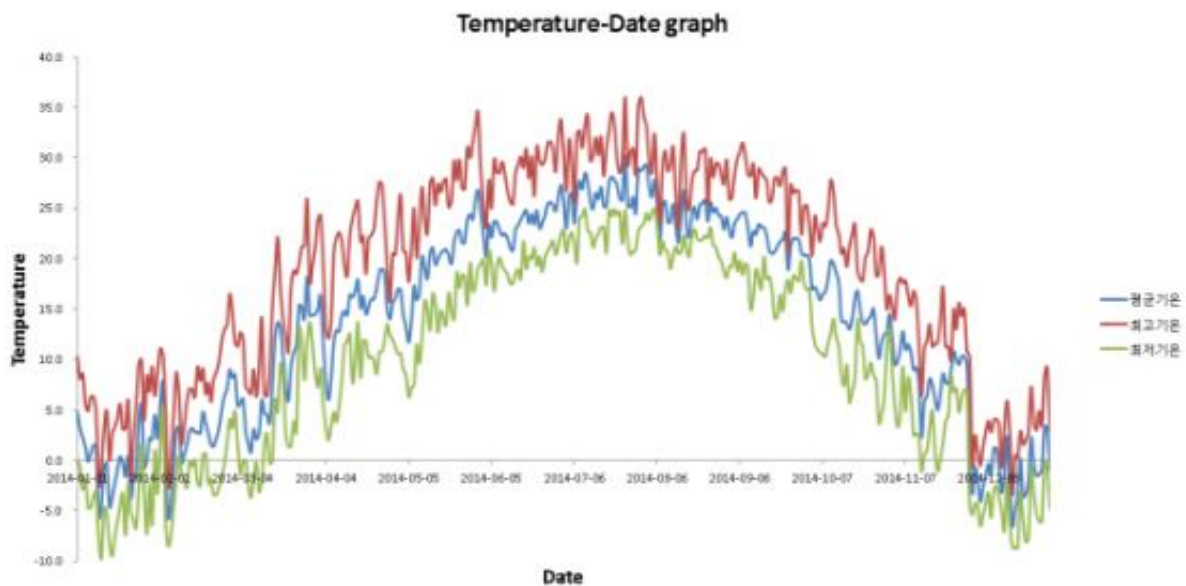


Figure. Temperature big-data in Cheongju, 2014, Korea

라) 다음 그림은 mesh처리한 온실의 모습을 나타내고 있다.

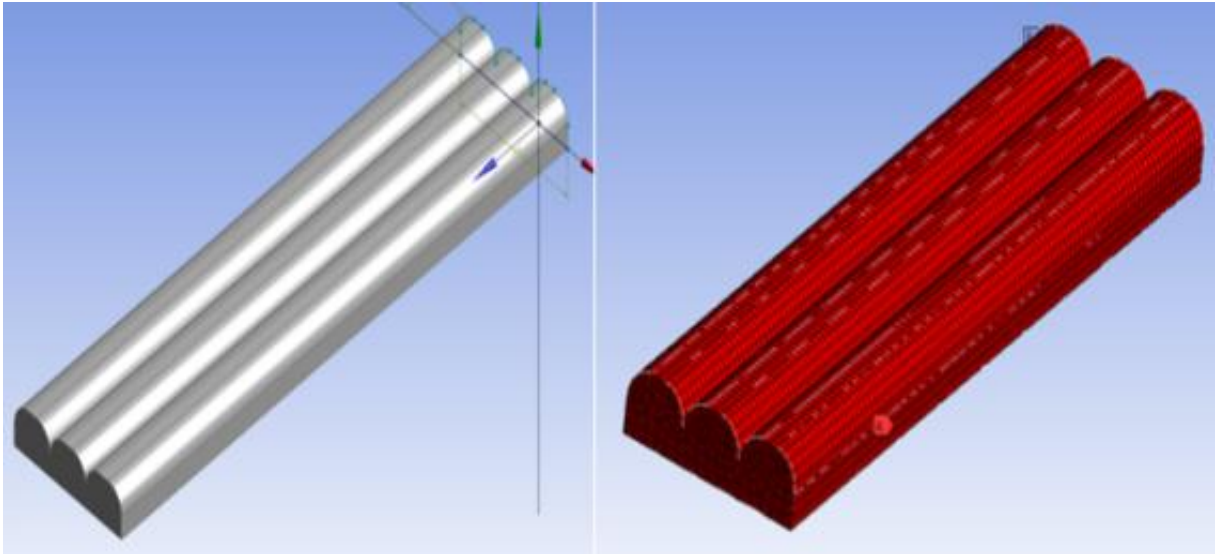


Figure. Green house modeling system using ansys14

마) 다음 그림은 외부 온도를 적용하여 유한요소법을 이용한 열 이동해석 결과의 예시이다. 1년간 외부 기상데이터 중 온도값을 빅데이터로 설정 한 후 온실 열교환 모델에 대한 유한요소 모델에 적용한 결과의 최종 평균을 다음 그림과 같이 나타낼 수 있었다.

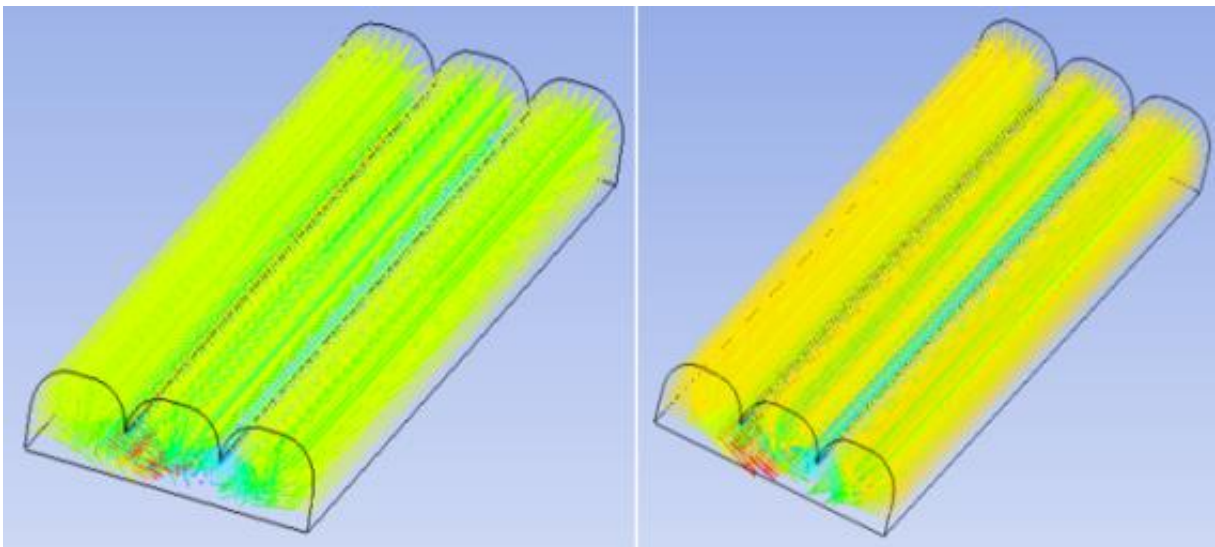


Figure. Total mean heat transfer performance with 1 year round big-data of outside temperature using ansys14

바) 이러한 분석을 통하여 특정 시점, 시기 또는 전 주기에 걸쳐 해당 온실에서 발생하는 열이동 특성을 추정할 수 있다. 아울러 온실에 투입되는 다양한 에너지원의 평형 관계에 대한 연구에도 활용할 수 있다.

사) 앞서 수행한 에너지 환경 모델링 기법을 이용하여 다연동 온실 내에서 배지를 추가로 고려하여 가상 적인 온실 환경에서의 열 이동 특성을 분석하였다.

아) 다음 그림과 각 동이 $25 \times 10 \times 4.5$ (m) (길이, 너비, 높이)로 설계하여 복합 2동으로 설계하였다. 온실 내부에는 작물을 생육 할 수 있는 배지 4개를 설계하였다. 또한 0.5×0.5 (m) 환풍구를 온실 양 끝에 한 개씩 설치하였으며 냉난방기, 온실 입구 등을 설계하였다. Mesh단계에서 각 단계의 구역을 설정하였다.(그림 3) Setup단계에서 Energy equation을 사용하였으며 온실 내 유체는 Air로 설정하였다. Boundary Conditions에서는 온실로 유입되는 온도, 환풍기, 냉난방기 등을 설정하였다. 이를 이용하여 다 연동 온실 내부에서 열 이동을 분석 하였다.

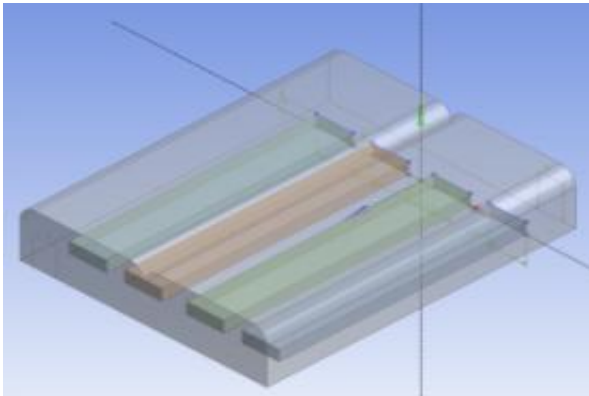


Figure. Greenhouse design using ansys14

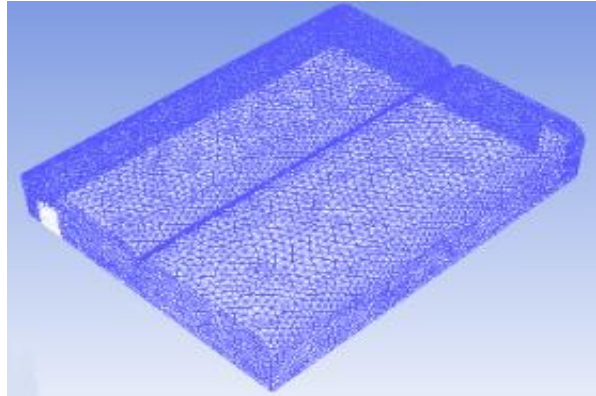


Figure. Greenhouse modeling using mesh

자) 다음 그림은 최고기온 36℃일 때 다 연동 온실 내부의 온도 분포를 나타낸 것이다. 냉방기의 온도를 20℃로 설정하였고 배지의 온도는 28℃로 설정하였는데 냉방기 앞에서 20℃로 최저 기온이 나타나고 출입구 근처에서 36℃로 최고 기온을 나타내고 있다.

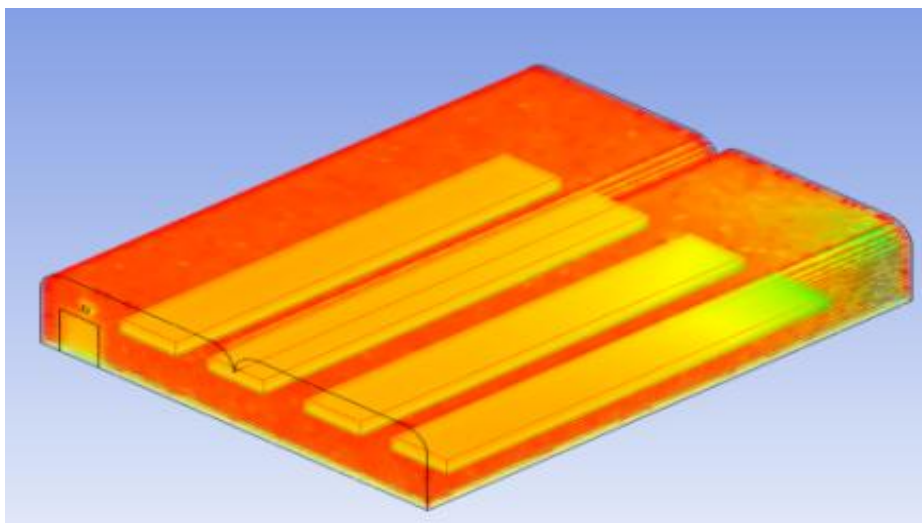


Figure. Temperature distribution at high temperature on big-data

차) 다음 그림은 최저기온 -9.7°C 일 때 온실 내부의 온도 분포를 나타낸 것이다. 온실 내부에 걸쳐 고른 온도분포를 나타내고 있다.

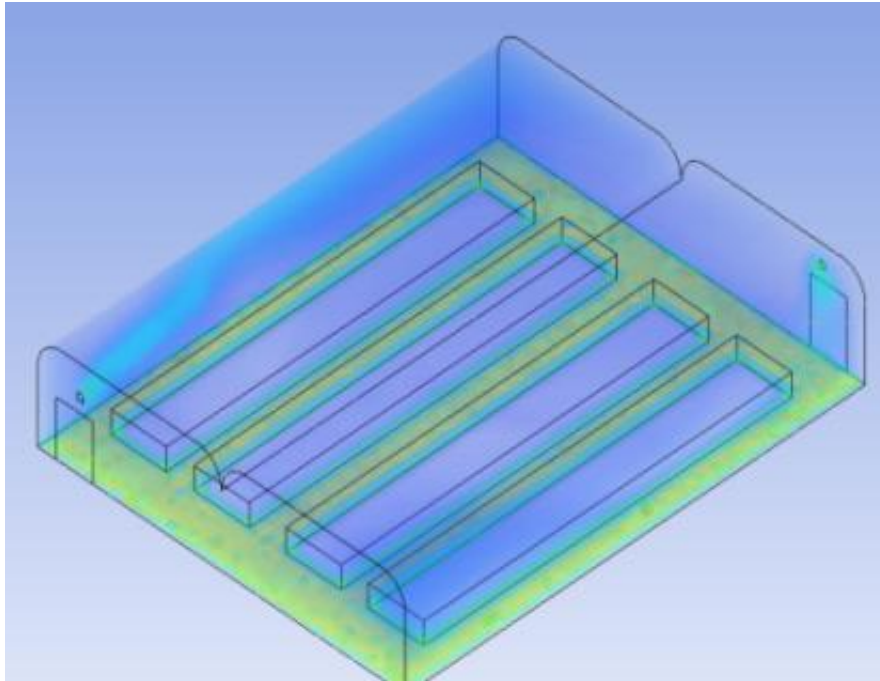


Figure. Temperature distribution at low in temperature on biq-data

카) 다음 그림은 난방기를 가동했을 때 생기는 열 이동을 나타낸 것이다. 난방기 앞에서 최고온도가 나타났으며 멀어질수록 온도가 낮아지는 경향을 나타냈다.

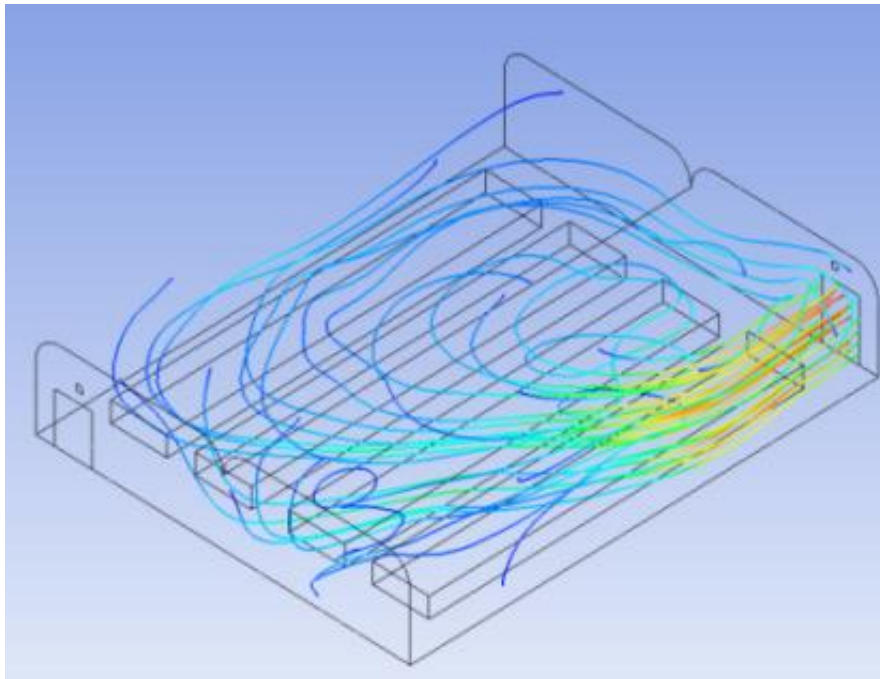


Figure. Heat transfer in greenhouse

타) 이와 같은 열 이동 특성 분석을 통하여 최적의 난방기 덕트의 개수, 위치 등에 대한 정량적인 설계 기준 마련이 가능할 것이다.

2) 에너지 절감 기자재 및 요인에 대한 원가 조사를 포함하는 비용 분석

가) 사례 1 : 국내 S 사의 1000 평 기준 시설 환경 제어 시스템 설치 비용

| 구분 | 품명 | 규격 | 단위 | 수량 | 단가 | 금액 | 비고 |
|----------------|-------------|-------------------------|-----|-----|-----------|-----------|----|
| 외부 환경 계측 | 온/습도센서 | 온도:-10~90°C 습도:0~99% | set | 1 | 550,000 | 550,000 | |
| | 풍향/풍속계 | 풍향:360° 풍속:1~60M/S | set | 1 | 1,200,000 | 1,200,000 | |
| | 일사계 | 0~1500W/m ² | set | 1 | 650,000 | 650,000 | |
| | 감우계 | 0~1(RELAY) | set | 1 | 350,000 | 350,000 | |
| 내부 환경 계측 | 온/습도센서 | 온도:0~90°C 습도:0~99% | set | 1 | 550,000 | 550,000 | |
| | 이산화탄소 센서 | 0~3000ppm | set | 1 | 600,000 | 600,000 | |
| | 난방관온도 센서 | NTC104K | set | 1 | 250,000 | 250,000 | |
| 중앙관제 장치 | 환경제어기 | SH-3000 | 식 | 1 | 3,500,000 | 3,500,000 | |
| | 운용프로그램 | 그린키퍼 | 식 | 1 | 4,000,000 | 4,000,000 | |
| 컴퓨터 | 퍼스널 컴퓨터 | WinXP | 대 | 1 | 900,000 | 900,000 | |
| | LCD모니터 | 23인치 | 대 | 1 | 350,000 | 350,000 | |
| 전기자재 | 신호선 | AWG24/8P | m | 100 | 1,250 | 125,000 | |
| | 신호선 | AWG18/20P | m | 100 | 2,860 | 286,000 | |
| | 잡자재 | RELAY 등 | 식 | 1 | 300,000 | 300,000 | |
| 노무비 | 계장공 | | 인 | 3 | 150,000 | 450,000 | |
| | 전기설비공 | | 인 | 3 | 150,000 | 450,000 | |
| | 통신설비공 | | 인 | 3 | 150,000 | 450,000 | |

나) 사례 2 : 국내 R 기관의 온실 환경 계측 시스템의 설치 비용

| 구성 | | 측정방식 | 사양/조건 | | 동급 제품의 시장 가격 |
|-------|---|--|---|--------------------|--------------|
| 온·습도 |  | 백금저항온도소자 (PT-1000 or PT100) | -40°C~+60°C(상온에서 ±0.2°C) | | 302,000 |
| | | 정전용량방식 (HUMICAP H-Chip) | 0 ~ 100 % 기온 -40°C~+60°C (±2.0%(0~90%), ±3 %(90~100%)) | | |
| 차광통 |  | 습도 센서를 눈, 비, 직사광선으로부터 보호하며 센서 주변에 적절한 통풍으로 측기반응 지연이 없도록 설계 | 내구성이 강한 백색의 강화 플라스틱 또는 유리섬유 | | 2,185,000 |
| 풍향 |  | 전위차계식 (Potentiometer type) | 0 ~ 360°(±3°이내) 0.9 ms-1 이하 순간풍속 75 ms-1 이상, 기온 -50°C ~+50°C | | |
| 풍속 | | AC Voltage (3pulses/revolution) 1800rpm | 0 ~ 60 ms-1 1 ms-1 이하 (10 ms-1 미만에서 ± 0.3 ms-1 이내, 10 ms-1 이상에서 3% 이내) 순간최대풍속 100 ms-1, 기온 -50°C ~+50°C | | |
| 강수량 |  | 전도형 | 수수구 | 직경 200mm(0.5mm 용) | 779,000 |
| | | | 백금저항온도 소자(PT-1000 or PT100) | 1회 전도량 0.5mm | |
| | | | 기전력 | | |
| 지중 온도 | | 백금저항온도소자 (PT-1000 or PT100) | -40 °C~+120 °C(상온에서 ±0.3 °C) | | |
| 일사 |  | 기전력 | 민감도 (Sensitivity) | 15µV/Wm2 | 304,000 |
| | | | 온도의존성 | ±0.1 % /°C | |
| | | | 비선형성 | ±2.5 % 이내 | |
| | | | 기온 -40 °C ~ +80 °C 0 ~ 2,000W/m² | | |
| 토양 수분 |  | 용적수분함량 (Volumetric Water Content) 또는 TDR 방식 | 측정범위 | 0 - 100% VWC (±3%) | 98,000 |
| | | | 반응시간 | 10ms | |
| | | | -40 to +120°C | | |

3) ICT 첨단 기술접목에 특화된 경제성 평가

- 가) 다양한 ICT 기술을 융복합하여 온실 내 환경을 실시간으로 정확히 계측하고 작물의 재배 조건을 최적의 상태로 제어하여 고품질의 온실 작물을 재배하기 위한 다양한 연구가 수행 중이다. 그러나 대표적인 온실 환경인자인 온도, 습도, 광량, 이산화탄소를 과학적 기준에 따라 조절하는 기술의 보급에 있어 경제적인 효과에 대한 고려가 미비한 실정이다.
- 나) 온실 내부 환경 요인의 에너지 교환 요인은 온실의 크기와 온실의 인테리어 소재, 온실 내부의 난방기의 위치 뿐 아니라 기상데이터 등의 빅데이터와 같이 매우 다양하고 방대한 요인이 있다. 본 세부 연구에서는 기상데이터와 MATLAB/Simulink를 활용하여 실험적으로 구성한 온실의 에너지 교환 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 개발한 모델을 이용하여 온실 내부의 온도 조절을 위한 난방기 운영비용을 전주기(1년)에 대하여 추정하였다.
- 다) MATLAB R2014a(MathWorks, USA) / Simulink 기능을 이용하여 온실의 열교환 모델을 구성하였다. 모델링의 주요 요소들로는 외부 온도 데이터, 서모스탯을 이용한 온실 내 난방기의 on/off 제어, 온실 내 온도 계산, 난방 비용 계산 등을 수행하였다.

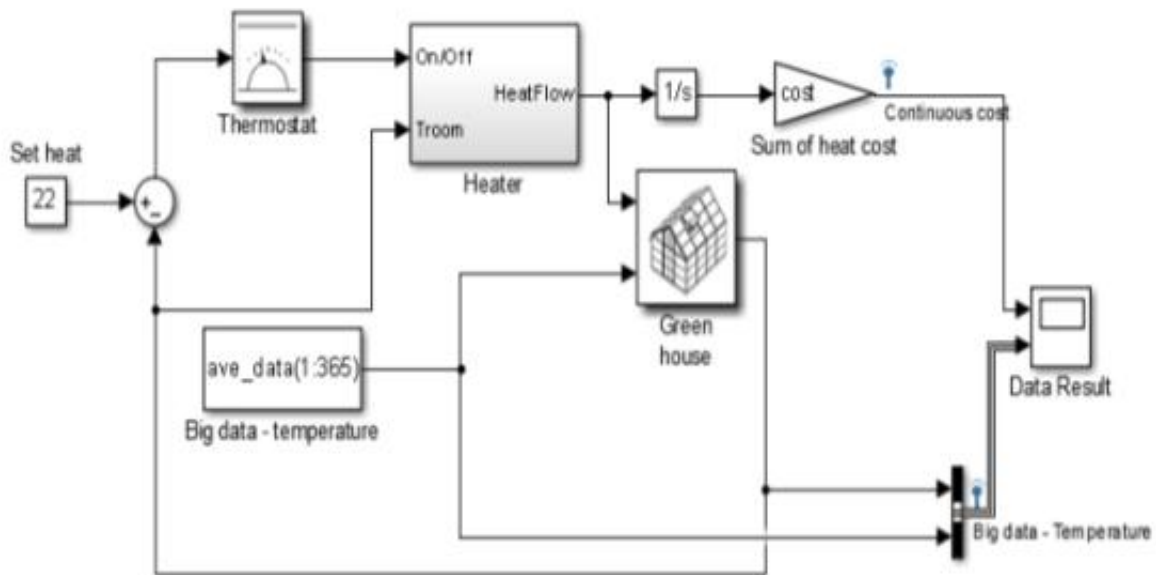


Figure. Matlab/Simulink - Greenhouse heat cost model

- 라) 외부 온도 데이터는 1년간 하루 단위로 충북 청주시의 평균기온, 최저온도, 최대온도를 기록한 기상데이터를 선정하였다. 온실 내 난방기의 on/off 제어는 서모스탯에서 설정한 온도인 22℃와 연중 해당하는 날짜의 온도를 비교하여 -1.25℃ 이상 차이 나면 난방기가 가동되도록 구성하였고 연중 온도가 22℃가 넘으면 난방기가 가동 되지 않

도록 구성하였다. 온실 내 온도는 시간이 지남에 따라 손실되는 열을 계산하여 온도를 계산하였다. 난방비 비용 계산은 난방기가 가동된 시간을 합하여 산출하였다.

마) 연중 외부 온도 변화에 따른 온실 내 난방비 모델링 분석을 한 결과 1월에서 5월 초까지는 연중 평균온도가 22℃ 미만으로 유지되어 난방비가 지속적으로 증가하는 현상을 나타내었다. 5월 초에서 9월 초는 연중 평균온도가 22℃ 이상으로 유지되어 난방비가 현상을 유지하였다. 9월 초 이후부터는 다시 22℃ 미만으로 내려가 난방비가 증가하는 현상을 보였다.

바) 시뮬레이션 결과 1년간 난방비는 약 440만원 내외가 소비되었다. 하지만 온실에서 보존 되는 열과 손실되는 열을 구체적으로 계산하지 않아 어느 정도의 오차가 있을 것이라고 판단된다. 추후 이런 점들을 보완하고 온실에서 실험을 통해 온실 내 난방기 운영을 위한 소요 비용 추정 오차를 최소화하기 위한 연구를 지속적으로 수행할 것이다.

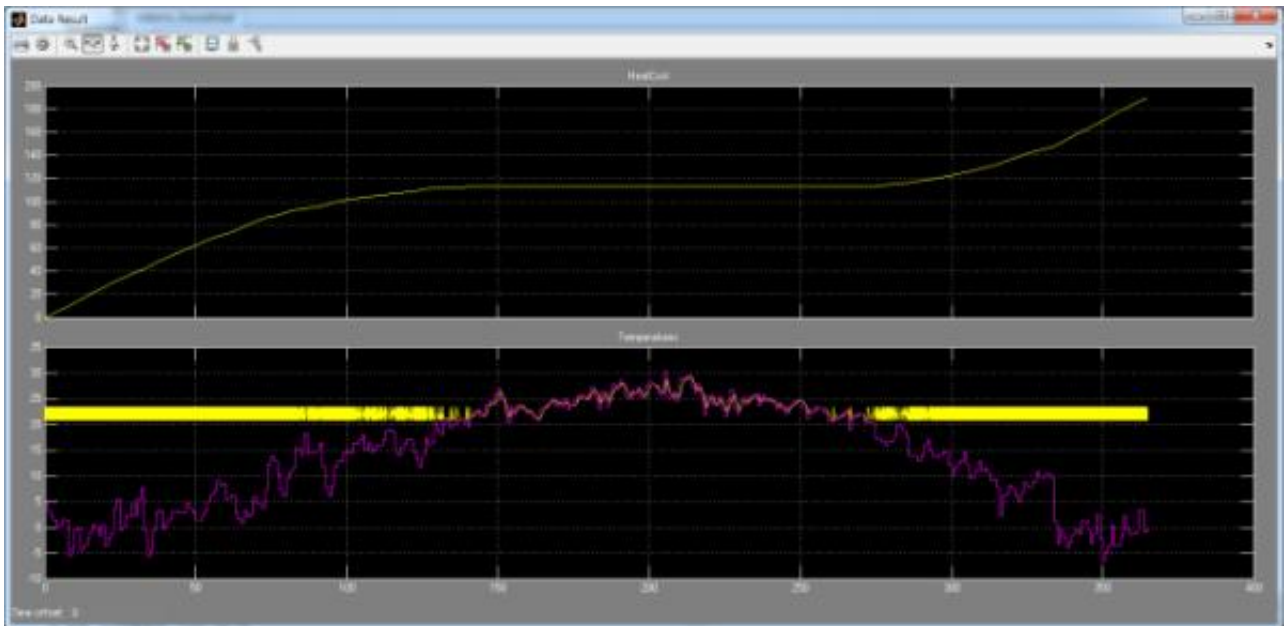


Figure. Result of heating cost analysis for annual temperature change

■ 농업시설 에너지 절감 및 자동화 제어 기술 개발

1. 연구결과 주안점

| | | |
|---------------------------------|---|--|
| <p>○ 농업시설 환경 인자 자동 제어 기술 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 농업시설 환경 인자 자동 제어 기술 - 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 제어 - 계측/제어 시스템 성능시험 및 제어알고리즘 성능 평가 - 인터넷기반 온실환경 원격제어 [위탁] - 스마트폰 원격제어 프로그램 현장 검증 [위탁] | |
| <p>○ 농업시설 에너지 절감 제어 기술 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 통신, 배선, 전원과 구조 자재 및 장치 배포 기준 분석 - 농업시설 에너지 절감 경제성 분석 - 인터넷, 스마트폰 기반 농업 시설 에너지 절감 제어 실효성 검증 [위탁] | |

2. 연구결과

가. 농업시설 환경 인자 자동 제어 기술 개발

1) 농업시설 환경 인자 자동 제어 기술

- 본 실험은 충북음성군에 소재한 베리원 딸기농장의 비닐하우스 한 동에서 수행하였다. 공시재료인 딸기의 경우 온도, 습도에 민감하므로 온·습도센서(HT-01DV, MiCoSnP, 한국)와 데이터 통신을 위하여 지그비(Xbee-pro, MaxStream, 미국)를 사용하였다. 또한 센서는 C언어 기반의 AVR Studio 5 를 이용하여 프로그래밍 하였다. 온실 내 각 지점별 세부적인 환경 조건이 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 총 면적 1000m²(10mX100m)에 걸쳐 다음 그림과 같이 18개의 녹색 지점에 1set씩 총 9구역에 센서를 베드에서 40Cm 와 140Cm 의 높이에 설치하였다. 이로 구성된 통합센서모듈을 이용하여 Zigbee에서 순차적으로 데이터 값을 수신 받아 데이터 서버로 전송 할 수 있도록 시스템을 구성하였다.



Fig. 충북 음성군 베리원 딸기 농장



Fig. Scene of the test bed.

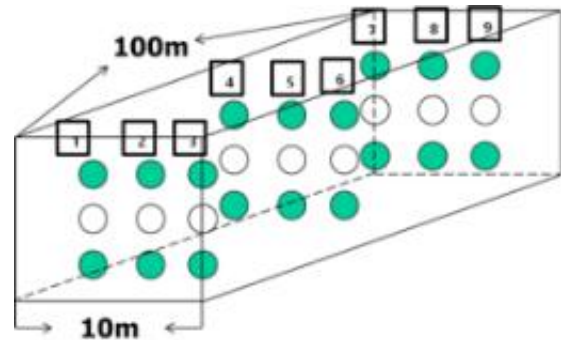


Fig. Installed location of wireless node.

- 본 연구에서 사용된 공시재료의 품종은 설향이다. 딸기 자체는 아메리카지역이 원산지이며, 우리나라에는 20세기 초 일본을 통해 들어왔다. 자세한 성분은 아래 표 딸기의 영양 성분표(품종:설향/100g 기준)에서 보는 바와 같다. 2016년 03월 06일부터 2016년 05월 01일까지 시료 채취 하여 공시 재료로 사용 하였다.

Table. 딸기의 영양성분표(품종:설향/100g 기준)

| 영양분 | 함량 | 영양분 | 함량 | 영양분 | 함량 |
|------|--------|-------|-------|-----------------|--------|
| 에너지 | 35kcal | 총식이섬유 | 1.1g | 비타민A (레티놀) | 3RE |
| 수분 | 90.1g | 칼슘 | 12mg | 비타민A (베타카로틴) | 19ug |
| 단백질 | 0.7g | 인 | 25mg | 비타민B1 | 0.08mg |
| 지질 | 0.1g | 철 | 0.2mg | 비타민B2 | 0.04mg |
| 회분 | 0.2g | 나트륨 | 3mg | 나이아신 | 0.6mg |
| 탄수화물 | 8.9g | 칼륨 | 135mg | 비타민C | 56mg |

- 온·습도센서(HT-01DV, MiCoSnP, Korea)는 온도는 -40에서 120까지 측정되며, 습도는

0%~100%까지 측정된다. 온·습도센서는 아날로그 방식의 센서로 측정값을 전압으로 변환하여 측정하도록 구성되었다. 측정된 전압값을 이용하여 온도와 습도를 변환하여 값을 측정하였다. 온·습도센서의 사양은 다음 표에 나타내었다.



Fig. Temperature & Humidity Sensor

Table. Specification of Temperature & Humidity Sensor

| 항목 | 상대습도 | | | 온도 | | |
|--------|------|-----------|--------|--------|--------|--------|
| | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max |
| 해상도 | | 14bit | | | | |
| 동작범위 | 0 | | 100%RH | -40°C | | 120°C |
| 정밀도 | | ±2%RH | | | ±0.5°C | |
| 히스테리시스 | | < ±1.5%RH | | | n/a | |
| 응답시간 | | 10 sec | | 15 sec | | 25 sec |

- 센서 모듈에 설치 되어 있는 다음 그림과 같은 무선통신 시스템 XBee-PRO 모듈이 신호를 보내 호스트 서버에 Data를 전송하는 시스템으로 구성되어 있으며, XBee-PRO의 사양은 다음 표에 나타내었다.



Fig. Xbee hardware for wireless communication

Table . Wireless communication device for data acquisition and control.

| | |
|--------------------------------|--|
| Specification | XBee-PRO |
| Indoor/Urban Range | Up to 450 ft(140m) |
| Outdoor RF line-of-sight Range | up to 1.8 mile (3 km) up to 6 miles (10 km) w/high gain antenna |
| Transmit Power Output | +17 dBm (50 mW) |
| Interface Data Rate | Up to 230 Kbps software selectable |
| RF Data Rate | 156.25 kbps |
| Receiver Sensitivity | -100 dBm (1% packet error rate) |
| Supply Voltage | 3.0 to 3.6 VDC |
| Transmit Current | 210 mA (@ 3.3 VDC) |
| Idle/Receive Current | 80 mA (@ 3.3 VDC) |
| Sleep Current | 48 μ A (typical @ 3.3 VDC) |
| (Asynchronous) | |
| Operating Frequency | Standard Variant: 902-928 MHz (ISM) |
| Band | International Variant: 916-928 MHz |
| Dimensions | 0.960" x 1.297" (2.438 cm x 3.294 cm) |
| Operating Temperature | -40 to 85 C (Industrial), 0 to 95% non-condensing |
| Antenna Options | 1/4 wave wire antenna, RPSMA RF connector, U.FI RF connector |
| Digital I/O | 13 I/O lines |
| ADC | 10-bit analog inputs |

- 생산된 딸기의 품질 측정을 위하여 당도조사를 수행하였으며, 분석을 위하여 사용한 장비의 사양은 다음 표와 같다.



Fig. Saccharimeter

Table. Specification of saccharimeter

| 모델명 | 타입 | 측정범위 | 최소단위 | 정확도 | 특징 |
|--------|-----|---------|------|-------------|--------|
| JA-032 | 당도계 | 0 ~ 32% | 0.2% | $\pm 0.2\%$ | 자동온도조절 |

- 다음 그림과 같이 온실 내 습도가 높기 때문에 Vinyl로 전원 연결부를 감싸고 센서 검침 부분에는 투명 폴리 에틸렌 필름을 붙이고 글루로 마감하여 설치 하였다. 이와 같은 방법으로 총 3 x 3 x 2 계층 매트릭스를 구성하여 다음 그림(오른쪽)과 같이 무선 센서 노드를 설치하였다.



Fig. Sensor protection



Fig. Installed wireless sensor node

- 다음 그림과 같이 데이터 서버를 설치하여 노트북과 Data 송신 안테나를 중앙에 설치하여 실험 하였다. 중앙에 센서를 설치 한 이유는 센서 Data 수신 반경을 최소화 하고, 원활한 Data Sampling을 하기 위함이었다. 초기 Pre 작동 시험을 진행 할 때 개선책으로 대비할 수 있도록 실험 하였다.

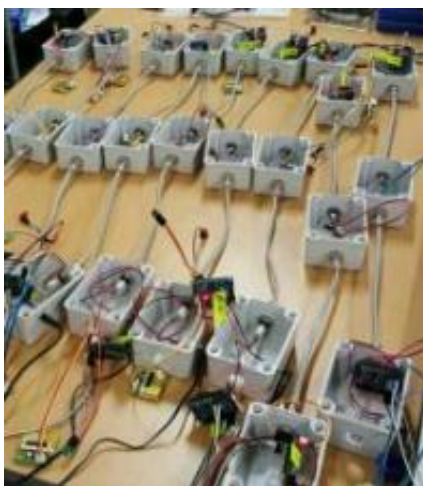


Fig. Prepared wireless sensor node

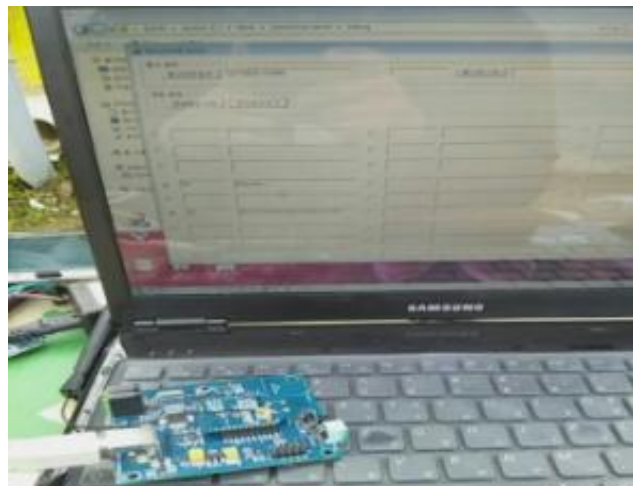


Fig. Data server for acquisition using wireless host device

- 생육 측정은 총 9개의 지점 당 10주를 표본으로 하였다. 다음 그림에서 보는 바와 같이

과실의 크기는 버니어 캘리퍼스(M609610, MITUTOYO, JAPAN)를 이용하여 과장을 측정하고, 과정은 직경이 넓은 부분과 가장 좁은 부분을 평균 값으로 보정하여 데이터를 수집하였다. 또한 전자저울(WK-4C, CAS)을 이용하여 과실의 무게를 측정하였으며, 당도계(JA-032, JACO, TAIWAN)를 통해 과육의 당도를 측정하였고, 각 구역별 평균생산량 또한 측정하였다.

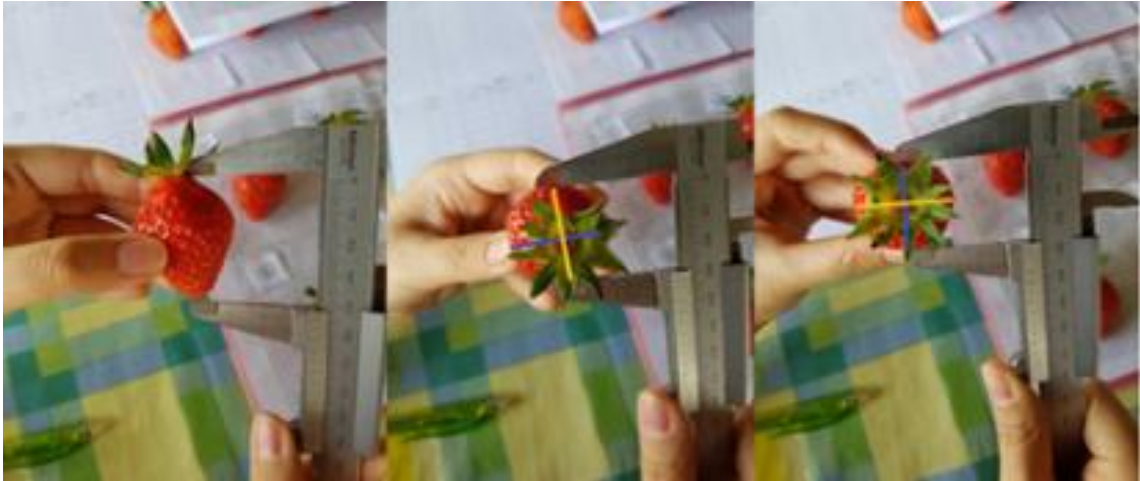


Fig. Method of measuring strawberry growth specification

2) 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 제어

- 다음 그림 (왼쪽)과 같이 인터넷 연동을 위한 Ethernet 인터페이스가 내장되어 있으며 추가로 근거리 무선 통신을 수행할 수 있는 Xbee to Serial 인터페이스를 이용하여 그림 (오른쪽)에 있는 총 27개의 센서 노드와 무선 통신을 수행하였다. 또한 환풍기팬과 난방기의 On/Off 컨트롤 기능을 기준값에 의하여 수행하는 단순 제어 방식을 우선적으로 실시하였다.



Fig. Data server for all wireless sensor node



Fig. Sensor node and control

- 다음 그림은 온습도, 조도, CO_2 농도 센서를 AVR ATmega8 보드에 연결하여 센서 모듈을 완성한 사진이며, 모듈에서 사용한 센서의 사양은 앞서 기술한 바와 같다.

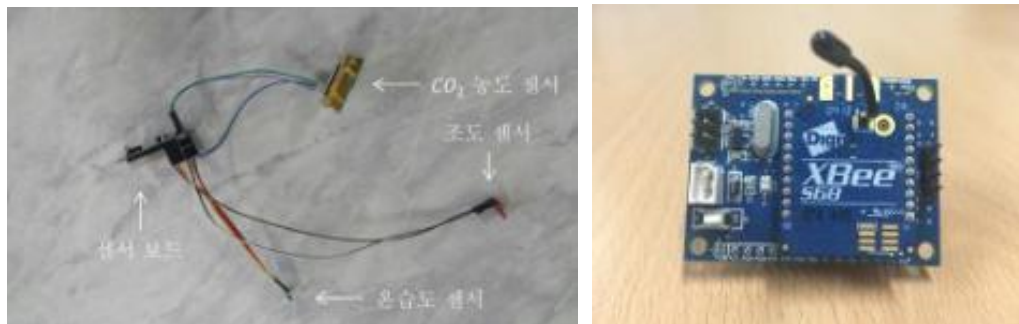


Fig. Composition of the sensor module

- 이 실험에서 사용하는 메인보드(ATmega8/88_XBee, Atmel Corporation, USA)은 지그비 모듈(XBee Series)과 연결하여 ZigBee 통신을 지원한다. ZigBee 모듈은 COM1을 통해 연결되고, ISP 통신을 통해 프로그래밍 하였다.
- 온습도, 조도, CO_2 농도 센서를 AVR ATmega8 보드에 연결하여 센서 모듈을 완성한 후 XBee를 연결하였다. 센서 모듈을 보호하기 위한 케이스들을 3개씩 연결하였다. 그림 7과 같이 케이스와 케이스가 연결되도록 선을 연결하고, 케이스 내부에는 모듈에 전원이 들어가도록 하는 선을 설치하였다.

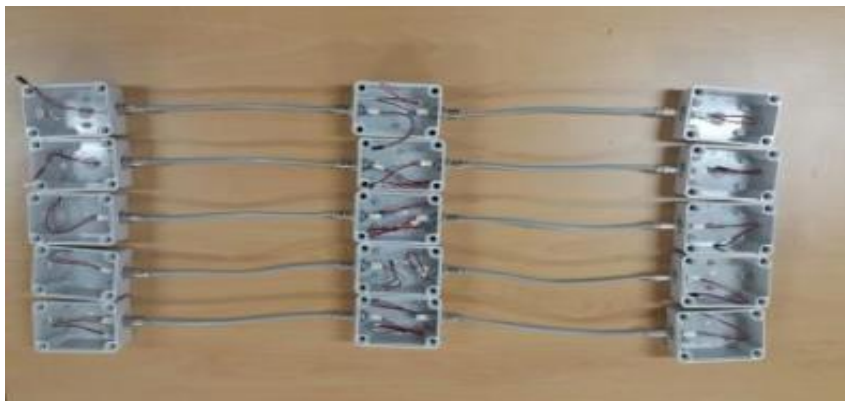


Fig. Case for protecting the module

- 그림 8와 같이 각 케이스마다 온습도, 조도, CO_2 농도 센서로 구성된 센서 모듈을 연결하고 센서 모듈에 전원이 모두 들어오는지, 각 센서들이 결선을 확인하기 위한 내부 검증 실험을 수행하였다.

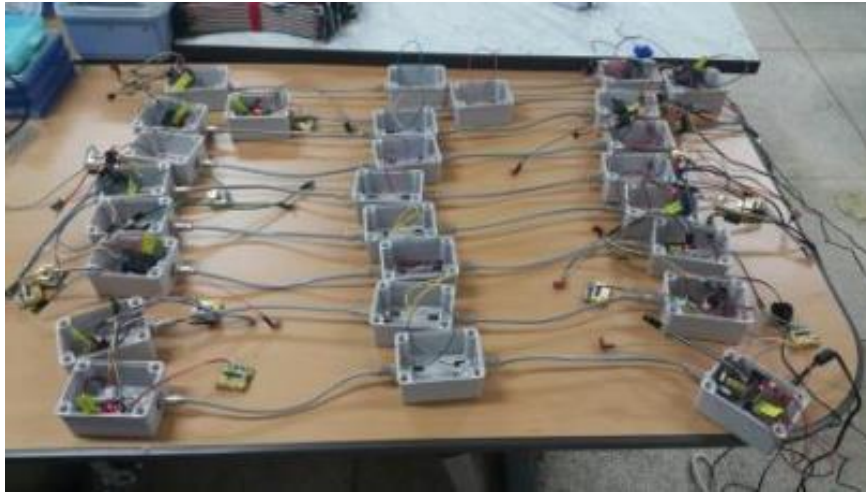


Fig. Power Test of the sensor module

- 하우징의 표면은 센서들의 정확한 측정을 위하여 미리 구멍을 뚫어놓았다. 뚜껑을 닫을 때 조도 센서는 온실의 빛의 세기를 측정해야 하므로 구멍 밖으로 빼내어 케이스 외부에 부착하도록 하였다. 그림 9와 같이 온습도 센서 역시 온실의 온도와 습도를 측정해야 하므로 케이스 밖에 부착하였다. CO_2 농도의 경우 케이스 안과 밖에서 차이가 크지 않으므로 케이스 안에 두었다. 물이 구멍을 통하여 들어감으로써 센서에 영향을 미치지 않게 하기 위해 플라스틱을 이용하여 살짝 덮게 하였다.

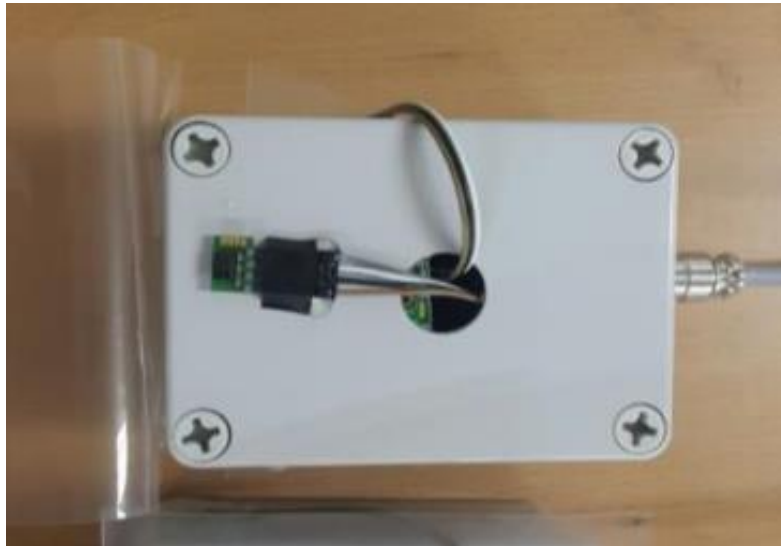


Fig. Temperature and humidity sensor attached to the case

- 그림 10과 같이 온실의 9개의 지점에서 높이를 다르게 하여 2개씩 총 18개의 센서 노드가 연결되게 설치하였다. 낮은 높이의 센서 노드들은 작물과 가까이 설치하였고, 온실의 양 끝에 설치되는 센서 노드들은 온실의 앞과 뒤에서 10m 정도 떨어진 지점에 설치하였다. 센서 노드와 노드 사이의 높이는 약 30cm 간격으로 설치하였다.

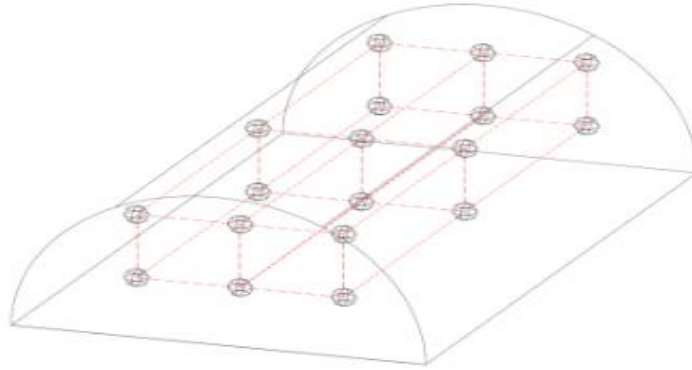


Fig. Greenhouse plan represents the position of sensor node

- 온실 환경 모니터링 시스템의 구조는 센서 부분, 서버 부분, 사용자 부분으로 구성하였다. 센서 부분은 온실 곳곳에 설치되어 있는 센서 모듈은 온습도, 조도, CO_2 농도 등의 온실 환경 데이터를 수집하여 XBee를 통해 주기적으로 서버에 전송하도록 설계하였다. 서버 부분은 들어오는 센싱정보를 차례대로 데이터베이스에 저장하도록 하며, 사용자 부분에서는 사용자 PC와 모바일에서 인터페이스를 통해 온실 환경 정보를 실시간으로 제공하도록 하였다.
- 다음 그림은 온습도, 조도, CO_2 농도 데이터를 XBee 통신으로 서버에 전송하여 저장하는 온실 환경 모니터링 시스템 프로그래밍을 수행한 결과를 예시로 도시한 것이다. 온실 환경 모니터링 시스템 프로그래밍은 AVR tudio 4를 이용하였다.

```

int main(void)
{
    cpu_setup(); // cpu초기화
    int T, H, C;
    unsigned int L;
    ADC_Init();
    //printf("Start Xbee Client Node v1.0\r\n");
    memset((void*)co1_rx_data, (int)0x0, (size_t)128);
    PORTD &= ~0x04; // Zigbee Reset
    _delay_ms(500);
    PORTD |= 0x04; // Zigbee NON Reset
    _delay_ms(1000);
    //만일 xBee의 아이디를 이미 고정 시켜 놓았다면.. 지금 부터 다음의 // --!까지는 필요없음
    /*printf("!--!");
    while(co1_rx_len == 0)
    {
        _delay_ms(100);
    };
    Debus();
    myid = 10; // XBee 마다 다른 값을 줘야 함.
    printf("ATMVXd,DL100,WR,CWR", myid);
    //!--!*/
    //myid = 0b1010001111;
    myid = 12;
    while(1)
    {
        // Place your code here31
        T = ADC_TEMP();
        H = ADC_HUMIDITY();
        C = ADC_CO();
        L = ADC_LUX();
        if(co1_rx_flg)
        {
            if(co1_rx_data[0] == '-')
            {
                printf("!--!");
                nCommand = 1;
            }
            else
            {
                if(atoi(co1_rx_data) == myid)
                {
                    printf("[Xd] [T=%Xd,H=%Xd,C=%Xd,L=%Xd] \r\n", myid, T, H, C, L);
                    nCommand = 0;
                }
                else
                {
                    if(nCommand)
                        printf(co1_rx_data);
                }
            }
            co1_rx_flg = 0;
            co1_rx_len = 0;
            _delay_ms(100);
        }
    }
    return 0;
}

```

Fig. Programming of Greenhouse environmental monitoring system

- 현장 테스트 배드 검증 수행은 2016년 2월 17일부터 5월 23일 까지 무정지로 수행되었으며, 다음 그림은 순서대로 일별 온도, 습도, CO2, 조도를 실험 전기간에 걸쳐서 도시한 그래프이다. 이를 통해서 살펴볼 수 있듯이 온실 환경 내부 인자의 일별 변이가 상당히 큼을 간접적으로 확인할 수 있다.

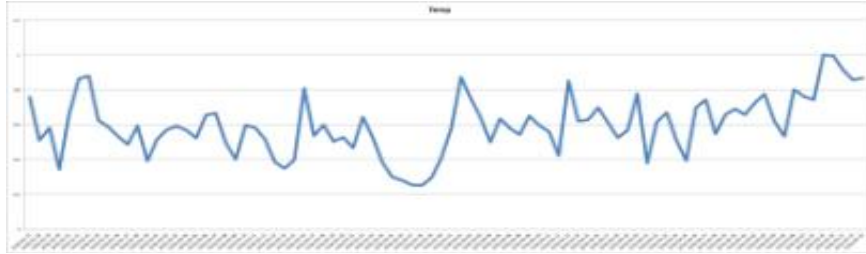


Fig. Plot of mean temperate of 1 date during 02.17 – 05.23

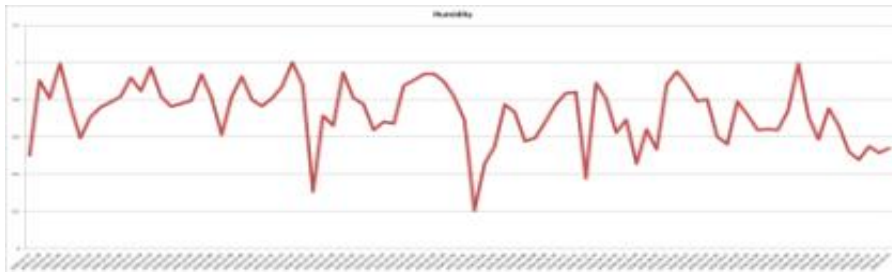


Fig. Plot of mean humidity of 1 date during 02.17 – 05.23

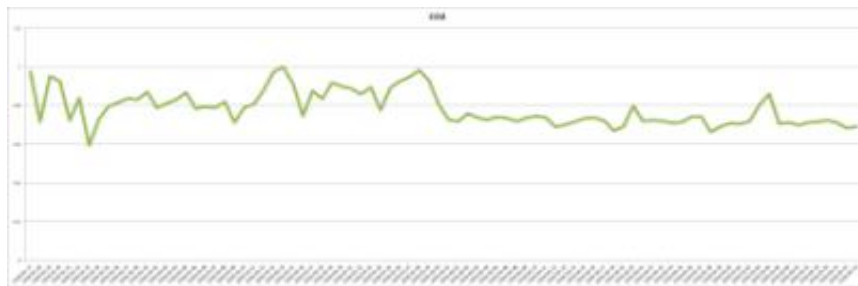


Fig. Plot of mean CO2 of 1 date during 02.17 – 05.23



Fig. Plot of mean lux of 1 date during 02.17 – 05.23

■ 반자동 생육환경 최적 제어 application 개발 및 현장실증

1. 연구결과 주안점

| | | |
|--|---|---|
| <p>○ 에너지 절감형 생육환경 최적 제어 기술 및 실용화</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 2차년도 연구 성과를 활용한 연계 현장 실험 - 테스트베드 작물(딸기) 재배 환경 대상 선행 연구 성과물의 성능 평가 및 개선점 도출 - 스마트 온실에 적용된 복합환경제어시스템 연동 방안 연구 - 개선된 센서/제어모듈 고도화 설계 및 센서 신호 처리 및 제어 알고리즘 탑재 |  |
| <p>○ RICT 융합 온실 환경 계측, 제어 application 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 다기종 소프트웨어 개발 기법 및 RICT 융합을 통한 온실 환경 계측, 제어 application 개발 - RICT 융합 어플리케이션의 현장 적용성 평가 |  |

2. 연구결과

가. 테스트베드 작물(딸기) 재배 환경 대상 선행 연구 성과물의 성능 평가 및 개선점 도출

(1) 온도 인자

- 다음 그림은 순차적으로 온실 내부의 온도 변화를 월별로 도시한 것이다. 2월부터 5월까지 오전 12시와 오후12시의 월별 평균 온도를 그래프로 나타낸 것이다. 오전의 온도는 3월이 2월보다 전체적으로 낮고, 4월과 5월에는 전체적으로 상승하는 것을 알 수 있다. 오후의 온도는 2월, 3월, 4월의 온도는 큰 차이를 보이지 않지만, 5월에는 눈에 띄게 올라간 것을 알 수 있다.

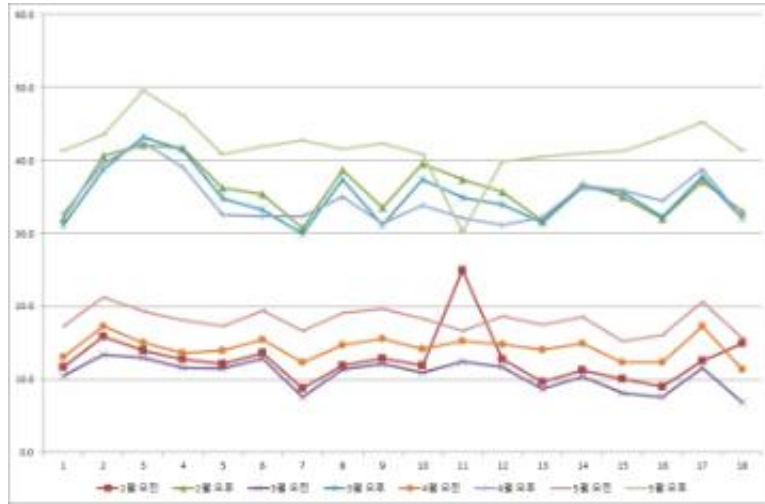


Fig. Monthly Average Temperature Graph

(2) 습도 인자

- 다음 그림은 2월부터 5월까지 오전 12시와 오후12시의 월별 평균 습도를 그래프로 나타낸 것이다. 오전의 습도는 3월이 2월보다 다소 높게 측정되었고, 4월과 5월에는 전체적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 오후의 습도는 4월과 5월에서는 큰 차이를 보이지는 않지만 2월에서 5월로 갈수록 습도가 점차적으로 낮아지는 것을 알 수 있다.

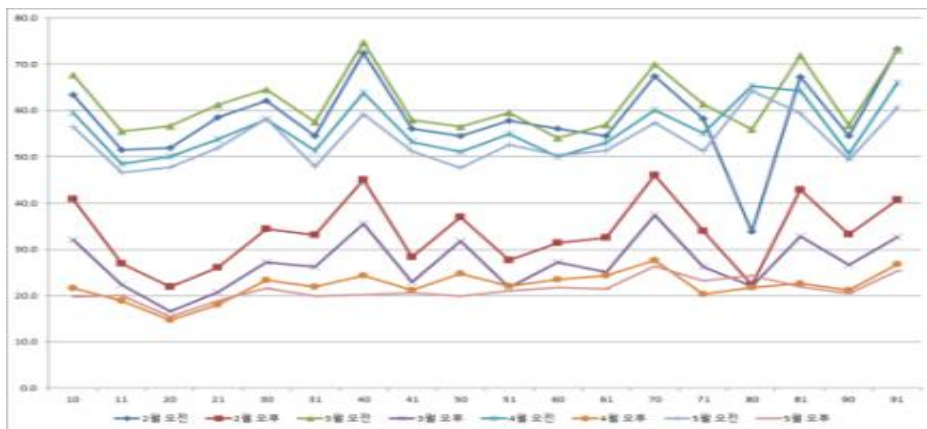


Fig. Monthly Average Humidity Graph

(3) 이산화탄소 인자

- 다음 그림은 2월부터 5월까지 오전 12시와 오후12시의 월별 평균 이산화탄소를 그래프로 나타낸 것이다. 오전의 이산화탄소는 2월에서 5월로 갈수록 점차 낮아지는 것을 볼 수 있다. 오후의 이산화탄소는 2월에서 5월의 모든 데이터에서 큰 차이를 보이지는 않는다.

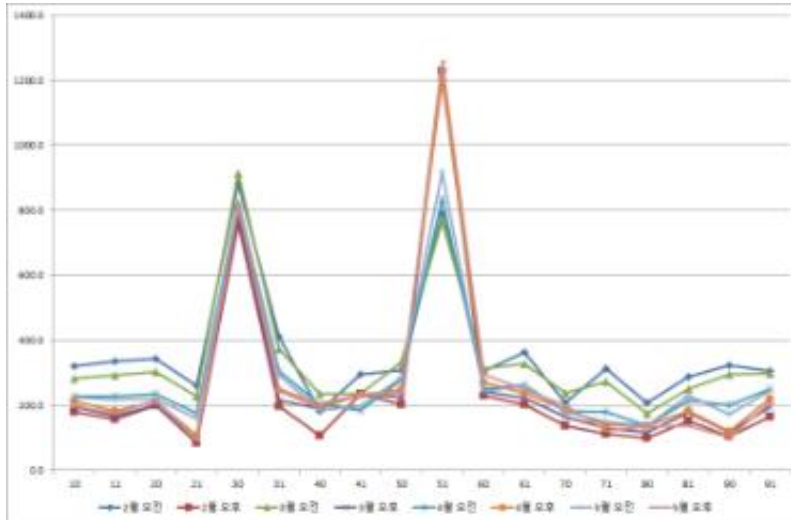


Fig. Monthly Average CO2 Graph

(4) 조도 인자

- 다음 그림은 2월부터 5월까지 오전 12시와 오후12시의 월별 평균 조도를 그래프로 나타낸 것이다. 오전의 조도는 2월에서 5월까지 대체적으로 조도가 높은 편으로 측정되었고, 차이가 크지 않다. 오후의 습도 역시 2월에서 5월까지 모든 구역에서 큰 차이를 보이지는 않지만 11, 40, 51, 60, 80 노드에서 높은 값으로 나타났다.

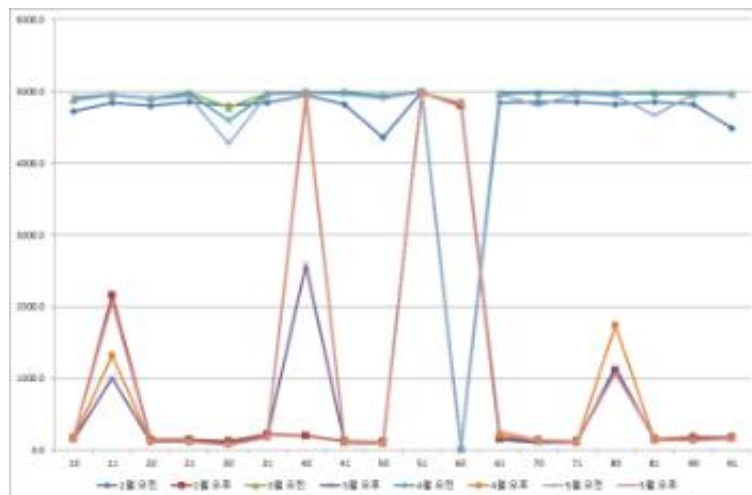


Fig. Monthly Average Illuminance Graph

(5) 스마트 온실의 환경 인자 종합 분석

- 2월부터 5월까지의 각 월의 오전 12시 평균 기온은 12.8, 10.7, 14.3, 18.1이고, 오후 12시의 평균 기온은 36.1, 35.2, 34.7, 41.9로 현격한 차이가 있는데 그 이유로는 외부 기상 조건 중 햇빛의 유무로 인하여 온실 내의 온도의 변화가 큰 것으로 판단된다.
- 2월부터 5월까지의 각 월의 오전 12시 평균 습도는 58.2, 61.8, 56, 53.5이고, 오후 12시의

평균 습도는 33.6, 27.1, 22.1, 21.2로 평균 습도 또한 현격한 차이가 있는데 그 이유로는 외부 기상 조건 중 햇빛의 유무로 인하여 온실 내의 온도의 변화가 크게 나타나게 때문에 포화수증기의 차이로 인하여 나타났다고 판단된다.

- 2월부터 5월까지의 각 월의 오전 12시 평균 이산화탄소는 357.6, 340.6, 287.1, 285.2이고, 오후 12시의 평균습도는 252.9, 271.0, 285.1, 284.4로 차이가 조금 있는데 그 이유로는 외부 기상 조건 중 햇빛의 유무로 인하여 작물의 호흡에 의하여 차이가 생겼다고 판단된다.
- 대부분의 데이터는 일반적으로 나타났지만 몇몇의 지점에서 특이점이 나타났다. 2월의 오전 온도의 변화를 나타낸 3차원 그래프를 보면 70 노드가 다른 지점보다 높게 나타났는데 이 이유로는 노드가 벽 쪽에 위치하였기 때문이라 생각한다. 온실의 앞 쪽에 난방기가 위치하였기 때문에 2, 3, 4월의 오후의 온도 그래프를 보면 11, 20, 21 노드에서 눈에 띄게 높게 나타난 것이라 생각하고, 난방기로 인해 2, 3, 4월의 오후 습도 그래프에서 11, 20, 21 노드의 데이터가 유독 낮게 나타난 것이라고 생각한다. 2, 3, 4, 5월의 오전, 오후의 이산화탄소 그래프를 보면 30 노드가 유독 높게 측정된 것 또한 난방기의 영향이라 생각한다. 2, 3, 4, 5월의 오전 조도 그래프에서 40, 70노드가 낮고, 오후 조도 그래프에서 높게 보인 것은 노드가 벽 쪽에 위치하였기 때문이라 판단된다.
- 따라서 이와 같은 공간 변이에 대한 종합적인 고려를 바탕으로 필요한 요소에 필요한 에너지를 투입하는 기술이 절실함을 알 수 있으며, 외부 기상 조건에 따른 내부 환경 요소의 제어에 있어, 각기 다른 제어 모델이 필요함을 파악할 수 있다. 이러한 실시간 대응을 위해선 현장에서 능동적으로 환경 인자의 변화에 대응할 수 있는 제어 알고리즘의 개발 필요성이 있다고 할 수 있다.

다. 센서/제어모듈 고도화 설계 및 센서 신호 처리 및 제어 알고리즘 탑재

(1) 스마트 시설 환경 변수 실시간 분석을 위한 인공지능 기법 분석

- 스마트 시설환경은 대표적으로 원예, 축산 분야 등 여러 형태의 농업현장에 정보 통신 및 데이터 분석 기술을 도입하고 있는 시설화된 생산 환경이라 할 수 있다. 근래에 하드웨어적으로 급증한 스마트 시설환경에서 생산되는 방대한 생육/환경 데이터를 올바르게 적합하게 사용하기 위해서는 일반 산업 현장과는 차별화된 분석기법이 요구된다고 할 수 있다. 소프트웨어 공학 분야에서 연구된 빅데이터 처리 기술을 기계적으로 농업 분야의 빅데이터에 적용하기에는 한계가 있을 수 있다. 시설환경 내/외부의 다양한 환경 변수는 시계열 데이터의 난해성, 비가역성, 불특정성, 비정형 패턴 등에 기인하여 예측 모델 연구가 매우 난해한 대상이기 때문이라 할 수 있다. 본 연구에서는 근래에 관심이 급증하고 있는 인공지능 연구 소프트웨어인 Tensorflow (www.tensorflow.org)와 대표적인 Open source인 OpenNN (www.opennn.net)을 스마트 시설환경 환경변수 상호간 상관성 분석에 응용하였다. 해당 소프트웨어 라이브러리의 운영환경을 살펴보면 Tensorflow는 Linux(Ubuntu 16.04.4), Max OS X(EL capitan 10.11), Windows (x86 compatible)에서 활용가능하고, OpenNN은 별도의 운영환경에 대한 바이너리를 제공하지 않고 소스코드 전체를 제공하므로, 해당 운영환경에서 바이너리 컴파일 후 활용이 가능

하다. 소프트웨어 개발 언어의 경우 Tensorflow는 python이 기본 언어이며 python(v2.7 or v3.N) 가상 환경 내에서 개발이 수행이 된다. 주의 깊게 살펴볼 부분은 이러한 개발 환경의 제약으로 인하여 Tensorflow의 주요한 장점 중에 하나인 고속 연산 기능 수행이 일부 운영 환경에 국한이 되어 제공이 된다는 점이다. GPU(Graphics Processing Unit)의 제공하는 하드웨어 가속기능은 Linux 운영체제에서 활용이 가능하다. 다음 그림과 같은 가상 개발 환경에 운영되는 한계로 인하여 실시간 정보 처리에는 한계가 따르므로 이에 대한 고려가 필요하다.

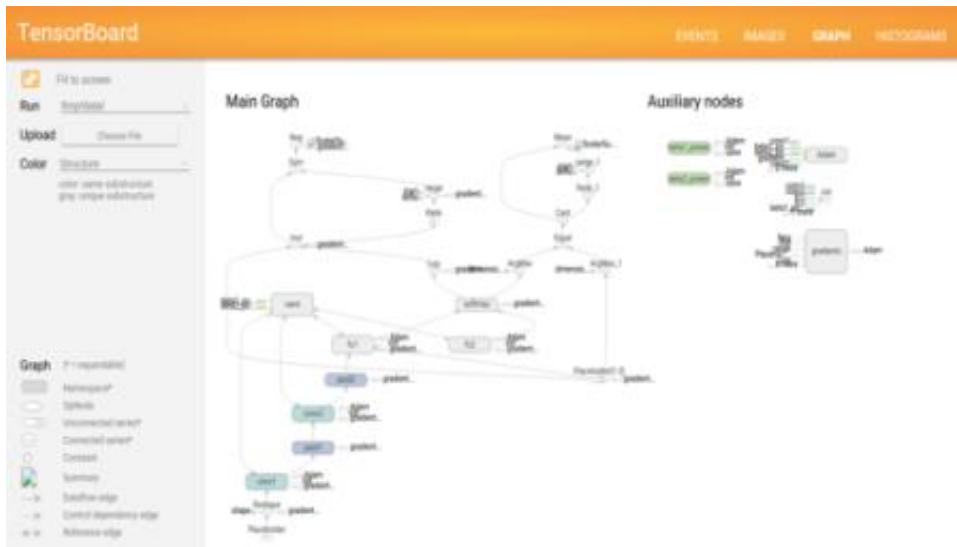


Fig. Virtual development environment proposed by Google.

- 한편 근래(2017.03)에 공개된 Tensorflow API r1.0의 경우 python, C++, Java언어와 함께 Go 라는 언어를 새로 지원하여 개발자의 활용 범위를 매우 높였다. OpenNN의 경우 C++ 언어를 기본으로 제공하며 C++ 컴파일러를 지원하는 임의의 개발 환경에서 모두 활용이 가능하다. 특징은 클러스터링 플랫폼과 연동을 통해 하드웨어 가속 기능의 부재를 일부 극복했다는 점이다. 상기 두 가지 패키지를 이용하여 2016년 2월부터 5월 까지 충북 음성군 소재 딸기 온실 내부에서 취득한 온도, 습도, 조도, CO2에 대하여 Large-scale linear model을 실험적(시간단위, 일단위, 주단위 분할)으로 적용하고, 인접한 세그먼트의 환경변수 예측 모델링을 수행하였다. 동일한 조건의 학습을 수행함에 있어, Tensorflow가 개발 소요 시간과 학습 실행 속도 측면에서 매우 우세하였다. OpenNN을 이용하여 대등한 성능을 보이기 위해선 병렬 클러스터링 기술을 활용해야 할 것이다. 오프라인 일괄(Offline batch)처리 방식의 한계가 있는 인공지능 모델링 기법과 현장 보급이 불가능한 고성능 하드웨어 연산 장치에 대한 대안 마련을 위한 연구가 필요하다.

(2) 스마트 시설환경 실시간 시뮬레이션을 위한 하드웨어 가속 기술 분석

- 자동화 기술을 통한 한국형 스마트팜의 발전이 비약적으로 이루어지고 있는 가운데 무인화를 위한 지능적인 스마트 시설환경 관찰 및 분석에 대한 요구가 점점 증가 하고 있다. 스마트 시설환경에서 취득 가능한 시계열 데이터는 온도, 습도, 조도, CO2, 토양 수분, 환기량 등 다양하다. 시스템의 경계가 명확함에도 해당 속성의 특성상 타임도메인과 공간도메인 상에서 정확한 추정 또는 예측이 난해하다. 시설 환경에 접목이 증가하고 있는 지능

형 관리 기술 구현을 위해선 시계열 공간 데이터에 대한 신속하고 정확한 정량화 기술이 필수적이라 할 수 있다. 이러한 기술적인 요구사항을 해결하고자 시도되는 다양한 방법 중에서 공간 분해능 향상을 위한 다지점 계측 매트릭스를 실험적으로 구성하였다. 50 m × 100 m의 단면적인 연동 딸기 온실을 대상으로 3 × 3 × 3의 3차원 환경 인자 계측 매트릭스를 설치하였다. 1 Hz의 주기로 4가지 환경인자(온도, 습도, 조도, CO₂)를 계측하였으며, 계측 하는 시점과 동시에 병렬적으로 공간통계법을 이용하여 미지의 지점에 대한 환경 인자들을 실시간으로 추정하였다. 선행적으로 50 cm 공간 분해능에 대응하기 위하여 Kriging interpolation 법을 횡단면에 대하여 분석한 후 다시 종단면에 대하여 분석하였다. 3 Ghz에 해당하는 연산 능력을 보유한 컴퓨터에서 1초 동안 획득한 데이터에 대한 분석을 마치는데 소요되는 시간이 15초 내외로 나타났다. 이는 해당 알고리즘의 매우 높은 시간 복잡도(Order of O = O³)에 기인하는 것으로 다양한 시설 환경의 관리 방법론에 적절히 대응하기에 한계가 있다 할 수 있다. 실시간으로 시간 복잡도가 높은 연산을 수행하기 위한 기술적인 과제를 해결하고자, 근래에 관심이 증가하고 있는 NVIDIA 사에서 제공하는 CUDA 엔진과 Apple사의 제안을 시작으로 하여 공개 소프트웨어 개발 컨소시엄인 크로노스 그룹에서 제공하는 OpenCL 엔진을 비교 분석하였다.

CUDA 엔진은 GPU(Graphics Processing Unit)에서 정보 분석 프로그램의 연산 집약적인 부분만을 담당하여 신속한 결과를 산출할 수 있는 라이브러리이며 해당 하드웨어를 구비하였을 때 사용이 가능하다. 반면, OpenCL은 CUDA 엔진이 특정 하드웨어에서 구동이 되는 한계를 극복하고자 하드웨어에 비의존적인 라이브러리를 제공하는 것이 다르며 클러스터링 기술과 연계를 통해 낮은 하드웨어 성능으로 인한 단점을 극복하고자 하였다. 본 연구에서는 CUDA 8.0(<https://developer.nvidia.com/cuda-downloads>)버전과 Pascal Titan X(NVIDIA, CA, USA)를 사용한 방법과 OpenCL 1.2(<https://www.khronos.org/opencl/>)버전과 Samsung Exynos5422 칩을 장착한 ODROID-XU4(Hardkernel, AnYang, Korea)를 사용한 방법을 비교 분석하였다. 50 cm의 공간 분해능에 대응하기 위한 4차원 행렬(100 × 200 × 5 × 4)에 대하여 정수 지수화를 위한 Quantization을 거쳐 CUDA 엔진과 OpenCL 엔진을 적용한 비교한 결과, CUDA 엔진은 1초 내외, OpenCL 엔진의 경우 5초 내외의 연산 속도를 보였다.

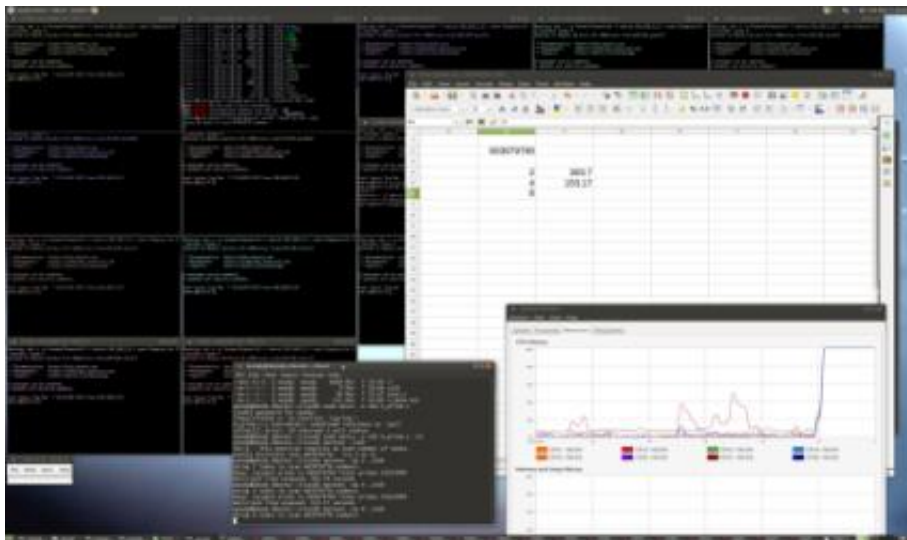


Fig. Snapshot of executing SBC clustering.

CUDA 엔진의 경우 비용측면에서 약 10배, 전력 소모 측면에서 20배 이상 소요되었다. 따라서 우선적으로 OpenCL 엔진 기반 하드웨어 가속 기술 최적화를 통해 스마트 시설환경 실시간 시뮬레이션 기술 도입이 가능하다고 판단된다.

(3) 스마트팜 빅데이터 분석을 위한 이기종간 지능형 학습기법 연구

- 구글에서 공개한 Tensorflow를 이용한 여러 학문 분야의 연구가 활발하다. 농업 시설환경을 대상으로 한 빅데이터의 축적이 증가함과 아울러 실효적인 정보 획득을 위한 각종 데이터 분석 및 마이닝 기법에 대한 연구 또한 활발한 상황이다. 한편, 타 분야의 성공적인 심층학습기법 응용사례에 비하여 농업 분야에서의 응용은 초기 성장 단계라 할 수 있다. 이는 농업 현장에서 취득한 정보의 난해성 및 완성도 높은 생육/환경 모델링 정보의 부재로 실효적인 전과정 처리 기술 도출에 소요되는 시간, 비용, 연구 환경이 상대적으로 부족하기 때문일 것이다. 특히, 센서 기반 데이터 취득 기술 증가에 따라 비약적으로 방대해진 수집 데이터를 시간 복잡도가 높은 심층 학습 모델링 연산에 기계적으로 단순 적용할 경우 시간 효율적인 측면에서 성공적인 결과 도출에 애로가 있을 것이다. 매우 높은 시간 복잡도를 해결하기 위하여 제시된 하드웨어 가속 기능의 경우 일부 개발환경에 국한이 되어 있다. 일례로, 구글의 Tensorflow는 오픈소스 기반 병렬 클러스터링 기술인 MPICH를 지원하는 알고리즘을 공개하지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 심층학습 기법 연구에 있어서, 예상 가능한 다양한 자원을 활용하여 최대한 연산의 결과를 빨리 도출할 수 있는 하드웨어적인 접근 방법을 모색하였다. 호스트에서 수행하는 일방적인 학습 알고리즘과 달리 이기종간 심층 학습이 가능하기 위해선 우선, NFS(Network File System)를 이용하여 데이터 계층이 상호 연결이 되어야 한다. 이를 위해서 고속 네트워크를 기반으로 한 NFS의 이용이 필수적이다. 둘째로 제한된 자원의 한계를 극복하기 위한 메모 공유 라이브러리가 필요하다. 셋째로 이기종간 프로세서에 최적화된 병렬 처리용 컴파일러를 이용해야 한다. 가장 중요한 부분은 이기종간의 처리 능력에 따른 작업을 고르게 분배할 수 있는 작업 스케줄링이 수행되어야 하며, 이는 처리하고자 하는 데이터의 형태에 따라 매우 가변적이므로 해당 데이터 도메인에 대한 엄밀한 사전 벤치마킹이 수행되어야 한다. 이러한 요구조건을 대부분 충족하는 Open-CL ver1.2 (<https://www.khronos.org/opencv/>)를 이용하였다. 최신의 Open-CL 버전은 2.2이나 본 연구를 위하여 준비한 4가지 이기종 시스템에서 모두 공통적으로 지원하는 버전은 1.2이다. 실험적으로 선정된 4가지 이기종 시스템은 1) Windows 10 Pro, 2) Linux-Ubuntu 16.04.4 LTS-x86_64, 3) MAC OS X 10.11 4) Linux-Ubuntu 16.04.4 LTS-ARM Cortex-A15 이다.



Fig. Heterogeneous system for hardware acceleration method.

비교 분석을 위하여 NVIDIA사에서 제공하는 Pascal Titan X 2식을 SLI로 구성한 시스템을 준비하였다. 개별 시스템에서 별도로 컴파일 된 바이너리의 이름을 통일하고, 개별 시스템의 코어수를 동일하게 균등 배분하여 100 Hz의 데이터로 입력이 되는 온도 정보와 조도 정보를 입력으로 하고 이를 습도정보에 Linear Gradient Descent Optimizer를 이용하여 Epoch 10,000회의 학습을 수행하였다. 4종의 이기종에서 총 32개의 코어를 이용한 학습에서 17초 내외로 연산 수행을 마쳤으나, 비교 시스템에서는 다음 그림과 같이 11초 내외로 연산을 마치는 결과가 나왔다. 스마트 현장에서 외부 네트워크의 도움에 의지하지 않고 지능적인 판단을 수행할 수 있는 실용적인 대안이 될 수 있을 것이다.

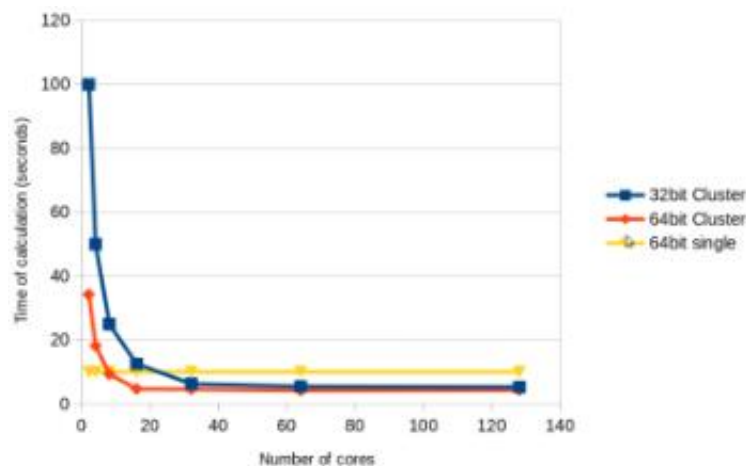


Fig. Heterogeneous system for hardware acceleration method.

(4) 스마트 시설환경 실시간 제어를 위한 마이크로 병렬 컴퓨팅 기술 분석

- 스마트 시설환경의 제어 요소는 난방기, 창 개폐, 수분/양액 밸브 개폐, 환풍기, 제습기 등 직접적으로 시설환경의 조절에 관여하는 인자와 정보 교환을 위한 통신, 사용자 인터페이스 등 간접적으로 제어에 관련된 요소들이 복합적으로 존재한다. PID 제어와 같이 하는 수학적 논리를 바탕으로 한 제어와 전문 관리자의 지식을 기반으로 한 비선형 학습 모델에 의한 제어 등이 공존할 수 있다. 이러한 다양한 요소들을 복합적으로 연동시키기 위해선 기존의 시퀀스 기반 제어 방식에는 한계가 있을 수 있다. 관행의 방식과 같이 시계열 상에서 획득한 충분한 데이터를 이용하여 제어의 양과 시점을 결정하는 방식은 예외 상황에 충분히 대처하기 어려운 단점이 있을 수 있다. 이러한 예외 상황은 자연적인 조건의 변화에 따라 불가피하게 발생하는 경우와 시스템의 오류에 기인하는 경우로 나뉠 수 있다. 본 연구에서는 실시간으로 변하는 시설환경 내의 다양한 환경요소를 실시간으로 분석하고 상응하는 제어를 수행하여 수학적이며 예측 가능한 논리에 의해 준비된 제어시스템을 보완할 방법을 연구하였다. 과거의 고성능 컴퓨팅(HPC; High Performance Computing)은 다수의 컴퓨터를 고속 네트워크로 연동하여 집적적으로 연산능력을 향상시킨 기술로 비용과 규모의 측면에서 많은 투자를 필요로 하는 첨단 고급 기술이었다. 핸드폰과 모바일 장비의 발달로 인해 소형 마이크로프로세서가 발달하여 근래 2 Ghz의 클럭 속도에 이르는 어플리케이션 프로세서(AP: Application Processor)가 등장하기도 하였다. 상대적으로 낮은 성능에도 불구하고 저전력 소모와 플랫폼의 소형화를 장점으로 한

AP를 시설환경의 실시간 제어에 응용하기 위한 방안을 연구하였다. CPU의 클럭, 메모리의 양, 코어의 수량을 다음과 그림과 같이 상이한 3가지 시스템을 비교하여 AP를 이용한 마이크로 클러스터링 기술의 성능을 비교하였다. 1) 1.5 Ghz, 8 Processors, 32 Cores, 1GByte/Processor, 32Bit Linux(ARMv71). 2) 2.0 Ghz, 4 Processors, 32 Cores, 2GByte/Processor, 32Bit Linux(ARMv71). 3) 1.5 Ghz, 8 Processors, 32 Cores, 2GByte/Processor, 64Bit Linux(Arch64).



Fig. Micro parallel computers.

병렬 컴퓨팅을 위한 개발 라이브러리로 MPICH(www.mpich.org)와 Open-MP(www.openmp.org)를 이용하였다. 2,500,000,000에 이르는 정수 중 소수를 구하는 연산에 소요된 시간은 1)17초, 2)13초, 3)3초 이었으며, 12800 × 12800 크기의 행렬에 대한 2차원 FFT 연산 소요시간은 각각 1)10초, 2)8초, 3)2초 이었다.

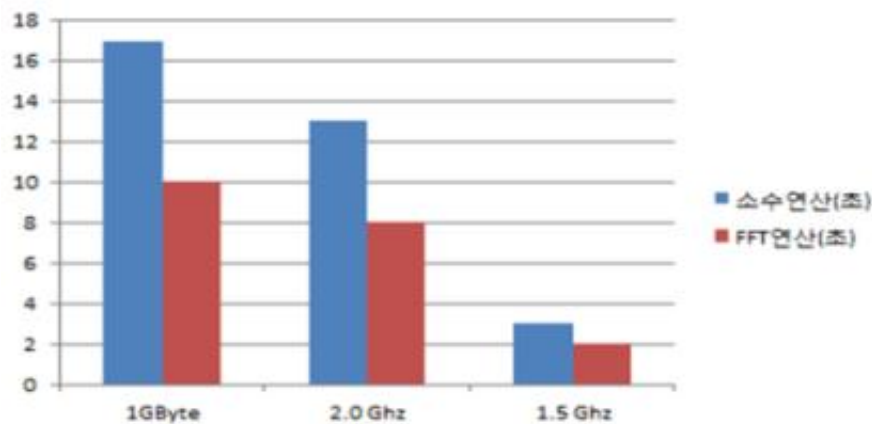


Fig. Resulted box plot from comparison of parallel computing by prototypes.

3번 경우는 클럭속도가 3Gh에 이르는 상용 데스크탑의 연산 속도보다 빠르다고 평가할 수 있다. 라이브러리의 따른 결과는 근사적으로 동일하였다. 선행 연구에서 획득한 3차원 계측 데이터를 1초 단위로 3차원 선형 보간법을 수행한 경우 코어의 수를 4개 이하로 한 경우 근소한 차이로 동일한 결과를 보였으나, 코어의 수를 8개 이상으로 한 경우 앞선 결과와 유사한 경향을 보였다. 현장 보급 가능성, 구축비용 및 전력 소모 등을 고려해볼 때 스마트 시설 환경의 제어부에서 수행하는 난이도 높은 의사결정이 가능하다고 판단할 수 있다.

(라) 다기종 소프트웨어 개발 기법 및 RICT 융합을 통한 온실 환경 계측, 제어 application 개발

○ 사용자 어플리케이션

- 개발 환경 1 : Windows, Windows10, MS™ Visual Studio™ 10.0
- 개발 환경 2 : Linux, Ubuntu 16.04-LTS, 64bit, GCC ver 4.10
- 개발 환경 3 : MacOSX, Elcapitan, Xcode with Objective-C++

○ 단말기 어플리케이션

- 개발 환경 1 : HMI LCD interface with Embedded linux (minimal Ubuntu), ARM Cortext-A9
- 개발 환경 2 : HDMI VPU with Embedded linux (minimal Ubuntu), ARM Cortext-A9

○ 주요기능

- 사용자 네트워크를 시각적으로 구성하여 온실 요소(계측/제어)간 연동 가능
- 제어 알고리즘의 종류 별로 On/Off (Delay time), PID, 비선형 기법 추가 가능
- 스마트 시설 환경 모니터링 사용자 인터페이스의 자동 생성 및 다기준 프로파일링 가능
- 표준 무선 통신 기술 (Wifi, Bluetooth, Xbee) 호환 가능 및 터널링 기법에 의한 상호 호환성



Fig. Snap shot of executing user application for smart greenhouse communication network build.

(마) RICT 융합 어플리케이션의 현장 적용성 평가

○ 테스트 베드 위치 : 충북 음성군 베리원 딸기 농장

○ 1차 현장 실험 기간 : 2016년 2월 ~ 2016년 5월 - 재배동 1개동 2차년도 수행

○ 2차 현장 실험 기간 : 2017년 2월 ~ 2017년 5월 - 재배동 1개동 대상 기수행 및 모델링

○ 3차 현장 실험 기간 : 2017년 6월 ~ 2017년 9월 (예정) - 육묘동 1개동 대상 수행

○ 주요 실험 내용

- 1차 현장 실험을 통해 획득한 내용을 바탕으로 제어로직 구성

- 2차 현장 실험 중 급변하는 환경에 대응하기 위한 지능형 응급처리 알고리즘 성능 평가

○ 주요 계측 인자

- 온도, 습도, 조도, CO₂

○ 주요 제어 인자

- 난방기, 양액 제어기, 지중 난방기, 환풍기, 측/천창 개폐기

○ 제어 컨트롤러

- 중앙처리부 : 8 Processor, 32 Core, 다중 병렬 Linear optimizer 알고리즘 적용

- 계측단말처리부 : Multiple 24bit-8Port ADC (병렬 SPI 인터페이스)

- 제어단말처리부 : AVR128, 32포트 동시 디지털 On/Off 제어



(2) 제 2-1 협동과제

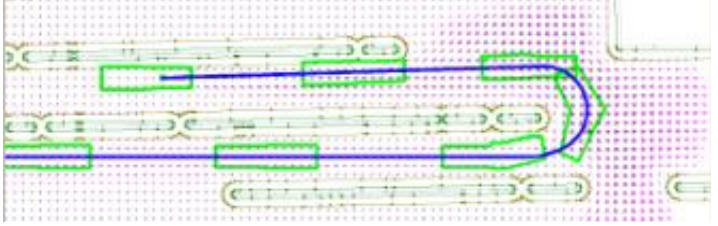

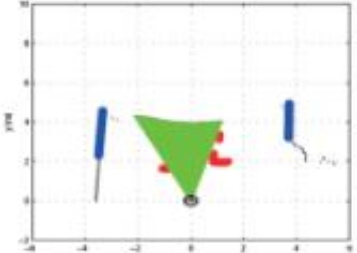
① 연구개요

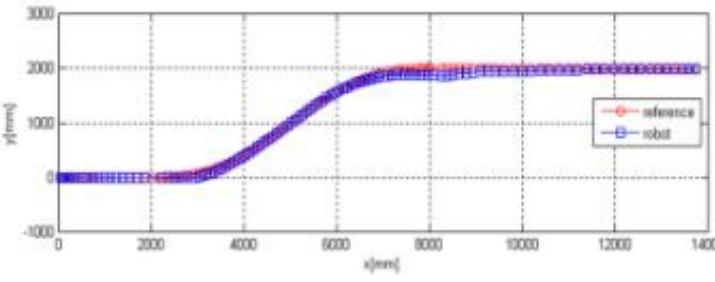
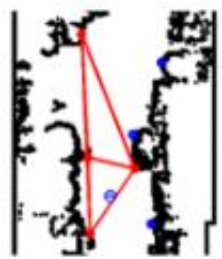


| | | | | | | |
|---------------|--|--|-----------|--------------|------------|----|
| 세부과제번호 | 제 (2 - 1) 협동과제 | | | | | |
| 세부 연구과제명 | 국문 | 온실환경 이동작업을 위한 자율주행 플랫폼 | | | | |
| | 영문 | An autonomous navigation platform for mobile applications in glasshouse environments | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 정우진 | 영문성명 | Woojin Chung | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 고려대학교 | 부서명 (학과명) | 기계공학부 | 직위 | 교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2014년 9월 18일 부터 ~ 2017년 9월 17일 까지 (3년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 합계 | |
| | 정부출연금 | 80,000 | 80,000 | 90,000 | 250,000 | |
| | 기업부담금 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 합계 | 80,000 | 80,000 | 90,000 | 250,000 | |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | | 선임급 | | 원급이하 | |
| | 1 | | - | | 12 | |
| | | | | | 합계 | |
| | | | | | 13 | |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|---|
| 1단계 | 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 온실작업용 경로생성 장애물 감지 및 회피제어 온실환경정보 기반 위치추정기술 |
| | 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 온실작업용 경로생성 작업지점의 정밀위치제어 온실환경정보 인식 |
| | 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 작업지점의 정밀위치제어 온실환경정보 기반 위치추정기술 온실환경정보 인식 |

| | | |
|---|---------------------------|--|
| 제2핵심 | 농업시설 에너지환경 자동화 기반기술 | |
| 제1-1세부 | 온실환경 이동작업을 위한 자율주행플랫폼 | |
| 1 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 1단계 연구목표 : 온실환경에서의 온·습도 등 환경정보수집을 위한 자율주행플랫폼 1년차 (2014) | ○ 환경정보수집을 위한 작업경로 생성기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 온실 내 전 영역을 효과적으로 이동하며 환경정보를 수집하기 위해 Coverage 경로계획 기술개발 - Wavefront propagation을 이용하여 국소최소가 발생하지 않는 실시간 경로계획기법으로, 장애물 정보를 이용해서 회피 경로생성이 가능 - Coverage 경로계획기에서 생성된 경로에서 waypoint를 생성하고, 선회 비용을 고려하여 최소 숫자의 waypoint 생성 기술 개발 |

| | | |
|-------------------|------------------------------------|---|
| | |  <p style="text-align: center;">〈온실 내 경로계획 기술〉</p> |
| | <p>○ 정적장애물 감지 및 회피제어</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 거리센서를 이용하여 수평 또는 바닥 장애물 정보를 획득하며, 장애물 정보를 기반으로 직교형 격자 지도에 장애물 구획을 표시 - 표시된 장애물 정보를 이용하여 국소좌표계에서 장애물 회피를 위한 알고리즘을 설계 <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">〈정적장애물 감지 결과〉</p> |
| | <p>○ 인공표식을 이용한 위치추정기술 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 온실 내 환경과 같이 주변이 정형화되지 않은 non-polygonal 환경에서 별도의 인공표식을 설치하거나 작물에 반사 테이프를 부착하는 등의 방법으로 레이저 거리센서기반 위치추정을 수행 - 인공표식에 의한 위치추정을 통해서 상대위치오차를 최소화할 수 있는 위치추정기술을 개발하고, 모의시험환경에서의 시험을 통해 위치추정 정확도를 평가 |
| <p>2년차 (2015)</p> | <p>○ 환경정보수집을 위한 작업경로 생성 기술 최적화</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 경로 계산의 간단한 파라미터조정만으로 작업시설 형태와 작업 목적에 따라 다양한 경로생성이 가능하며, 특정 작업을 위한 비용 생성 함수 모델을 통해서 최단경로 생성과 함께 작업에 따라 주행 경로의 변경이 가능한 작업 경로 생성기술을 개발 - 플랫폼의 기구학적 특징을 고려하여 waypoint로부터 작업 경로를 생성 - 모의 시험환경에서 시험을 통해 작업경로생성의 성공 여부를 평가 |
| | <p>○ 환경정보수집을 위한 위치제어기술</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 생성된 경로를 따라 주행하며 환경정보수집을 위해 해당 구역에 정확히 도달하는 위치제어기술이 필요 - 플랫폼의 기구학적 모델을 이용한 시뮬레이션 환경을 개발하고, 플랫폼 모델을 이용하여 작업경로 추종을 위한 제어기를 설계 - 모의시험환경에서 생성된 경로를 바탕으로 플랫폼의 경로 추종 시험을 수행하고, 추종 오차를 산출하여 평가 |

| | | |
|-----------------------|--------------------------------|--|
| | |  <p style="text-align: center;">〈위치제어기술 시뮬레이션 환경〉</p> |
| | <p>○ 전역위치추정을 위한 인공표식 배치 기법</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 온실 내 전역위치추정의 경우 인공표식 배치의 유사함, 인공표식 개수 등에 의해 위치추정실패가 발생 - 전체 작업경로 상에서 위치추정의 실패가 발생하지 않는 인공표식의 배치기법을 개발 |
| <p>3년차 (2016)</p> | <p>○ 환경정보수집을 위한 정밀위치제어</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 실환경 시험을 통해 개발된 운동제어기를 시험하고 작업 경로 추종오차 및 환경정보수집 지점에서 위치제어오차를 산출하여 제어기 성능을 평가 - 작업 위치에 따른 주행 위험도, 신호도를 정량적으로 모델링하고 이를 반영하여 실환경에서 강인한 위치제어기법을 구현 |
| | <p>○ 인공표식을 이용한 전역 위치추정기술</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 인공표식의 배치 기법을 활용하여 실환경에서의 인공표식기반 위치추정시험 수행 - 전체 작업경로상에서 위치 및 방향각의 오차를 분석하고, 위치추정기법의 성능을 평가 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>● : 장애물 ● : 매칭된 인공표식 ● : 인공표식 ⊕ : 이뮬로봇</p> </div> <p style="text-align: center;">〈인공표식을 이용한 위치추정〉</p> |
| | <p>○ 온실환경정보수집 및 전송기술</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 작업경로를 주행하며 구획별 온·습도 등 환경정보를 수집하여 온실 관리 시스템에 전송하는 기술을 개발 - 공조 및 전력제어 시스템과 연계하여 온실 에너지를 효율적으로 관리가 가능함 |

(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|-----|------|------|----|----|---------|------|----|------|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | 기술인증 | 학술성과 | | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | | 투자유치 | 논문 | | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | | 홍보전시 |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | 10 | 10 | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | 3 | 5 |
| 1단계 | 목표 | 1 | | 1 | | | | | | | | | 2 | 1 | 10 | 2 | | | | 1 |
| | 실적 | 4 | 2 | 2 | 47 | | | | | | | | 5 | 1 | 16 | 3 | | 2 | | 4 |
| 최종 | 목표 | 1 | | 1 | | | | | | | | | 2 | 1 | 10 | 2 | | | | 1 |
| | 실적 | 4 | 2 | 2 | 47 | | | | | | | | 5 | 1 | 16 | 3 | | 2 | | 4 |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|--|-----|------|------------|--|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| 2014 | 동적 장애물의 속도를 고려한 이동로봇의 궤적 재생성 기법 | 문창배 | 정우진 | | The Korea Society of Mechanical Engineers | 38(11) | 국내 | 비SCI |
| 2016 | Accurate calibration of systematic errors for car-like mobile robots using experimental orientation errors | 정다운 | 정우진 | 성지훈 문창배 | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 17(9) | 국내 | SCI |
| 2016 | Hierarchical sample-based joint probabilistic data association filter for following human legs using a mobile robot in a cluttered environment | 성윤창 | 정우진 | - | IEEE transactions on human-machine systems | 46(3) | 국외 | SCI |
| 2016 | Localization of a Mobile Robot using a Laser Range Finder in a Glass-walled Environment | 김지웅 | 정우진 | - | IEEE transactions on industrial electronics : a publication of the IEEE Industrial Electronics Society | 63(6) | 국외 | SCI |
| 2016 | Practical probabilistic trajectory planning scheme based on the Rapidly-Exploring Random Trees for two-wheeled mobile robots | 문창배 | 정우진 | - | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 17(5) | 국내 | SCI |
| 2017 | A Heuristic for a Heterogeneous Automated Guided Vehicle Routing Problem | 배정연 | 정우진 | - | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 18(6) | 국외 | SCI |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|--|-------------|-----|-----------------|--------|--|-------------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2014 | METHOD FOR EXTRACTING CURB OF ROAD USING LASER RANGE FINDER AND METHOD FOR LOCALIZING OF MOBILE ROBOT USING CURB INFORMATION OF ROAD | 고려대학교 산학협력단 | 미국 | 14/521,699 | 2016 | METHOD FOR EXTRACTING CURB OF ROAD USING LASER RANGE FINDER AND METHOD FOR LOCALIZING OF MOBILE ROBOT USING CURB INFORMATION OF ROAD | 고려대학교 산학협력단 | 미국 |
| | | | | 10-1620290-0000 | 2016 | 복수의 이동 로봇 간의 충돌 회피를 위한 경로 생성 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2016 | METHOD FOR EVALUATING DISTANCE TYPE OF MEASURED DISTANCE MEASURED BY LASER RANGE FINDER AND METHOD FOR LOCALIZATION OF MOBILE ROBOT USING THE SAME | 고려대학교 산학협력단 | 미국 | 15/105,337 | | | | |
| 2017 | 레이저 거리 센서의 측정 거리에 대해 추정된 거리 유형의 신뢰성을 평가하는 방법 및 이를 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0010953 | | | | |
| 2017 | GNSS 기반의 위치 추정의 불확실성을 측정하는 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0020479 | | | | |

③ 기술료징수 현황

| 기 징수액 | 당해연도 징수액 | 향후 징수액 | 합계 |
|-------|----------|--------|----|
| 47 | 47 | - | 47 |

- 기술이전 및 기술지도 내용

| 번호 | 계약일자 | 유상/무상 | 기술료 (백만원) | 공급기관명 | 대상기관명 | 기술이전 계약명 | 비고 |
|----|-----------|-------|-----------|-------|-----------|--------------------|----|
| 1 | 14.10.01. | 유상 | 22 | 고려대학교 | (주)단암시스템즈 | 이동로봇의 위치추정 방법 | |
| 2 | 16.12.01. | 유상 | 25 | 고려대학교 | (주)원익로보틱스 | 공공서비스로봇을 위한 자율주행기술 | |

④ 석/박사 양성 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|-----|-------|------|------|
| 1 | 정다운 | 고려대학교 | 2015 | 석사 |
| 2 | 조효주 | 고려대학교 | 2017 | 석사 |
| 3 | 이우식 | 고려대학교 | 2017 | 석사 |

⑤ 취업 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 최종학위 | 취업처 |
|----|-----|-------|------|------|------------------|
| 1 | 정다운 | 고려대학교 | 2015 | 석사 | 현대중공업 |
| 2 | 이우식 | 고려대학교 | 2017 | 석사 | 차세대기계설계 기술연구소 |

⑥ 학술발표 성과

| 번호 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|-----|-----|--|---|---|
| 1 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 | 다양한 환경조건에 강인한 이 동로봇의 라이다 센서기반 위 치추정기술 | 2015 제30회 제어로봇시 스템학회 학 술대회 | 대전 컨벤션 센터(DCC) |
| 2 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 성지훈 | 이동 로봇의 위치추정을 위한 인공 표식의 설계 및 추출 | 2015 제30회 제어로봇시 스템학회 학 술대회 | 대전 컨벤션 센터(DCC) |
| 3 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 조수현 | 레이저거리센서를 이용한 RA NSAC 기반의 선 추출 기법 | 2015 제10회 한국로봇종 합학술대회 | 대전 컨벤션 센터(DCC) |
| 4 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 차동근 | 3차원 깊이센서를 이용한 주 행장애물 검지기법에의 단일 평면추출의 적용 | 2015 제10회 한국로봇종 합학술대회 | 대전 컨벤션 센터(DCC) |
| 5 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 | An Ultrasonic Beacon-Based Localization Scheme Considering Motion Uncertainty of Mobile Robots | 2015 Intern ational Conf erence on Engineering and Applied Science | 일본 삿포르, Renaissance Sapporo Hot el |
| 6 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 조효주 | Tracking Human Legs for an Indoor Mobile Robot with a Single Laser Range Finder | 2015 Intern ational Conf erence on Engineering and Applied Science | 일본 삿포르, Renaissance Sapporo Hot el |
| 7 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 이우식 | Position Estimation Using Mul tiple Low-Cost GPS Receivers For Outdoor Mobile Robots | The 12th In ternational Conference on Ubiquito us Robots a nd Ambient Intelligence (URAI 2015) | KINTEX, Go yang city, K orea |
| 8 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 조효주 | One of the main challenges i n field of service robots is the development of huma n-following technology. | The 12th In ternational Conference on Ubiquito | KINTEX, Go yang city, K orea |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-----|---|---|--|-------------------------------------|
| | | | | | There are many potential applications of human | us Robots and Ambient Intelligence (URAI 2015) | |
| 9 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 조호주 정우진 | Preliminary Research on Robust Leg-Tracking Indoor Mobile Robots by Combining the Kinect and the Laser Range Finder Information | URAI 2015 | 고양 킨텍스 |
| 10 | 2015 | 학술발표 | 고려대 | 이우식 정우진 | Position Estimation Using Multiple Low-Cost GPS Receivers For Outdoor Mobile Robots | URAI 2015 | 고양 킨텍스 |
| 11 | 2016 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 정우진 | 이동로봇의 강인한 위치추정을 위한 라이다 센서기반 관측모델 설계 | 제11회 한국로봇종합학술대회 | 휘닉스파크 |
| 12 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 이우식 정우진 | 저가의 다중 GNSS 수신기의 정밀한 센서 모델링을 통한 실외 위치 추정 성능 향상 기법 | ICROS 제어·로봇·시스템학회 | 대명 델피노 리조트 (속초) |
| 13 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 형승호 차동근 정우진 | 레이저거리센서를 장착한 자율주행자동차를 위한 주변 차량량과 보행자에 대한 강인한 인식기술 | ICROS 제어·로봇·시스템학회 | 대명 델피노 리조트 (속초) |
| 14 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 김주엽 이현석 정우진 | 실내·외 도시생활 환경용 자율주행 로봇의 설계 | ICROS 제어·로봇·시스템학회 | 대명 델피노 리조트 (속초) |
| 15 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | Jihoon Seong Daun Jung Woojin Chung | Odometry Calibration for Car-like Mobile Robots | URAI 2017 | Hotel Maison Glad Jeju, Jeju, Korea |
| 16 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 권현기 Seongyong Park Changbae Moon 정우진 | Trajectory Planning for Mobile Robot with Kinodynamic Constraints | URAI 2017 | Hotel Maison Glad Jeju, Jeju, Korea |

⑦ 기타 성과

| 번호 | 구분 | 기관 | 교육 및 컨설팅명 | 연도 | 비고 |
|----|----------|-------|---|------|----|
| 1 | 교육 및 컨설팅 | 고려대학교 | 이동로봇 (Mobile Robotics) | 2015 | |
| 2 | 교육 및 컨설팅 | 고려대학교 | 마이크로프로세서 프로그래밍 (Microprocessor programming) | 2015 | |
| 3 | 교육 및 컨설팅 | 고려대학교 | 지능제어 (Intelligent Control) | 2015 | |
| 4 | 교육 및 컨설팅 | 고려대학교 | 전기전자공학개론 (Introduction to Electrical Engineering) | 2015 | |

(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 | |
|-----|------|--------------------------------|---|
| 1단계 | 1차년도 | · 온실작업용 경로생성 | <ul style="list-style-type: none"> - 온실 환경정보수집을 위한 작업경로 생성기술 개발 - 온실 형태정보 및 작업지점을 고려한 Coverage 경로 생성기법 개발 |
| | | · 인공표식을 이용한 위치추정 | <ul style="list-style-type: none"> - 레이저 빔의 특성을 고려하여 인공표식을 설계 - 레이저 센서를 이용하여 온실 내 인공표식을 인식 - 거리와 입사각에 따른 인공표식의 데이터 특징을 분석 - 검출된 인공표식을 이용하여 온실 내 로봇의 위치를 추정 - 인공표식간의 거리 및 측정오차 범위를 이용하여 저장된 인공표식과 비교함으로써 위치추정을 수행 |
| | | · 장애물 감지 및 회피 | <ul style="list-style-type: none"> - 거리센서를 이용한 바닥 장애물 감지기법 개발 - 바닥 데이터의 분포 특성을 이용하여 주행면과 바닥장애물을 분류 |
| | 2차년도 | · 환경정보수집을 위한 작업경로 생성기술 최적화 | - 시설의 형태 및 플랫폼의 기구학적 특성을 고려한 경로비용 생성 함수 개발 |
| | | · 환경정보수집을 위한 위치제어기술 | - 플랫폼의 기구학적 제한조건이 반영된 제어기 설계 |
| | | · 전역위치추정을 위한 효율적인 인공표식 배치기법 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 전체 작업 경로에서 적어도 3개의 인공표식이 측정되도록 인공표식을 배치함으로써 위치추정 실패가 발생하지 않음 - 인공표식과 레이저 센서의 특성을 고려하여 환경정보를 모델링함 - 온실 내 환경과 같이 정형화되지 않은 non-polygonal 환경에서 인공표식기반 위치추정이 가능 |
| | 3차년도 | · 환경정보수집을 위한 정밀 위치제어 | - 이륜로봇 플랫폼의 정밀위치제어 기법을 개발하고 실환경 실험을 통해 성능을 검증 |
| | | · 인공표식을 이용한 전역위치추정기술 | - 인공표식을 이용한 전역위치추정기술을 개발하고 실환경 실험을 통해 성능을 검증 |
| | | · 온실환경정보수집 및 전송기술 | <ul style="list-style-type: none"> - 온실환경정보수집 및 전송 기술을 개발하고 로봇에 탑재하여 실환경 현장 구동 시험 - 기 개발된 기술의 통합 성능을 검증하고 온실환경정보수집을 수행 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

■ 온실환경 자율주행 플랫폼 요소기술 개발

1. 연구결과 주안점

- 1) 온실작업용 경로생성기술 개발 : 작업지점의 일부가 추가·삭제될 경우 작업경로의 재생성 가능 여부
- 2) 인공표식의 설계 및 인식기술 개발 : 인공표식 위치 인식 오차 : 1cm 이내
- 3) 인공표식을 이용한 위치추정기술 개발 : 로봇 위치추정 오차 : 10cm 이하
- 4) 바닥장애물 감지기법 개발 : 사용조건 : 평탄 노면 주행, 검출가능한 장애물 높이 : 1cm 이상

2. 연구결과

1) 환경정보수집을 위한 작업경로생성기술

가) 온실작업용 경로생성

○ LKH기반의 경로생성 기법

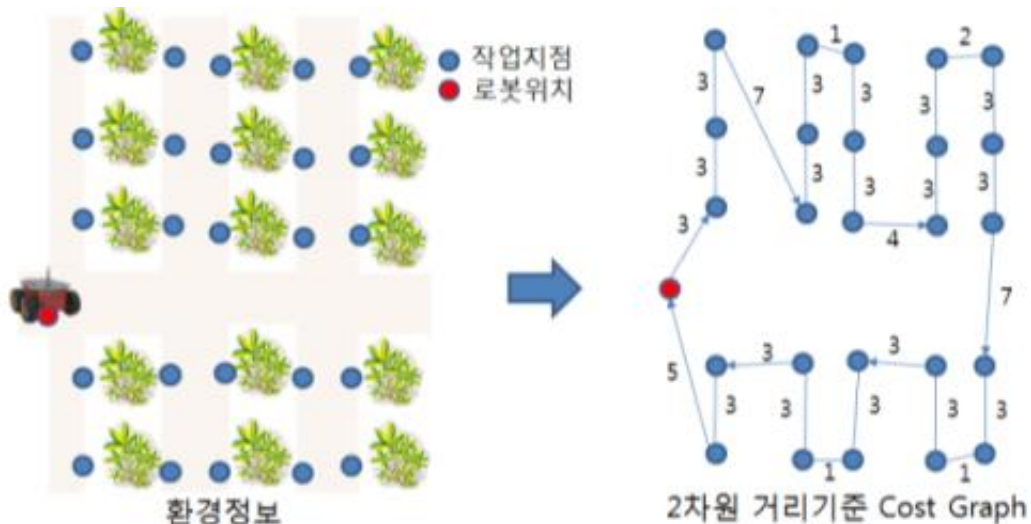


그림 1. Travelling Salesman Problem

- 온·습도 등 온실 내 환경 정보를 수집하기 위한 작업 경로생성 기법을 개발함.
- 환경정보를 수집할 작업 지점을 설정하고, 모든 작업지점을 방문하도록 하는 작업 경로 생성문제를 TSP(Travelling Salesman Problem)로 정의함.
- 최단 거리를 갖는 작업 경로 생성을 위해 TSP의 최신 해결법인 LKH(Lin-Kernighan Heuristic)을 적용함.
- 최단 거리 경로 우선에 기반한 LKH기법은 근사적인 최적 경로를 제공함.

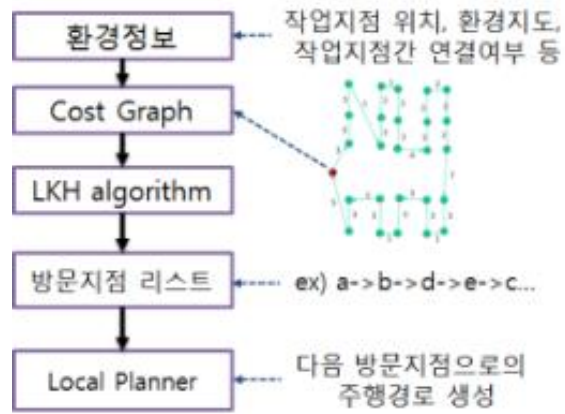
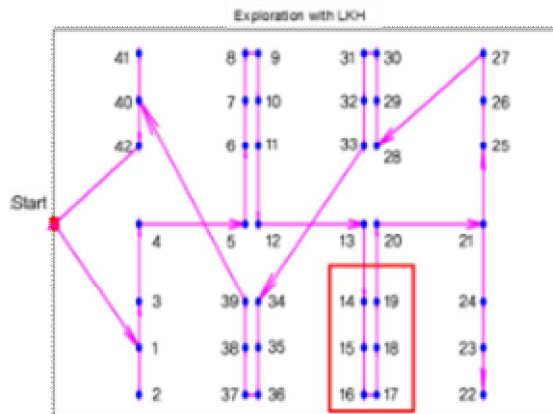
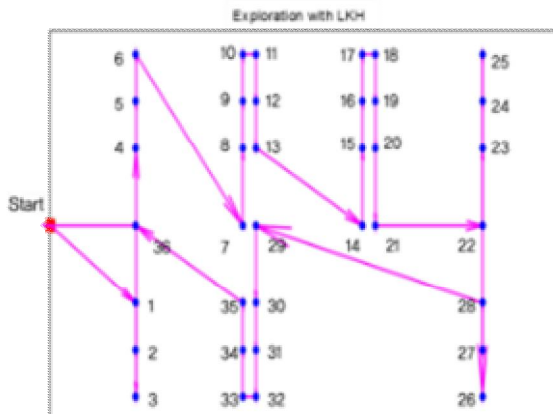


그림 2. LKH기반의 온실 작업 경로생성

- 그림 2는 LKH 기반의 온실 작업 경로생성 과정을 나타냄.
- 온실 환경지도를 기반으로 사용자가 작업지점의 위치 및 작업지점간의 연결여부 등을 수동으로 입력함.
- 연결된 작업지점간의 거리를 이용하여 연결 관계에 대한 cost graph를 작성함.
- LKH 알고리즘에 의해 주어진 작업지점에 대한 방문 순서 및 작업경로가 생성됨.
- 온실 작업용 경로생성 결과



(a)



(b)

그림 3. LKH기법으로 생성한 온실 작업경로, (a) 36개 작업지점에 대한 경로생성 결과,

(b) 6개의 작업지점 삭제 후 재생성된 작업경로

- 그림 3(a)는 임의의 온실 환경에서 36개의 작업지점에 대해 최단거리경로를 생성한 시뮬레이션 결과임.
- 주어진 모든 작업지점에 대해 방문순서 및 작업경로가 생성되었음을 확인할 수 있음.
- 그림 3(b)는 그림 3(a)의 붉은 상자 영역에 있는 6개의 작업지점을 삭제한 후 재생성된 작업경로를 나타냄.
- 주어진 환경에서 작업지점이 일부 변경되더라도 로봇 주행에 앞서 작업경로를 수정할 수 있음.

2) 인공표식을 이용한 위치추정기법

가) 온실 내 설치된 인공표식의 설계 및 인식

- 레이저 센서와 인공표식간의 측정 거리 및 입사각에 따른 인공표식 데이터 특성 분석

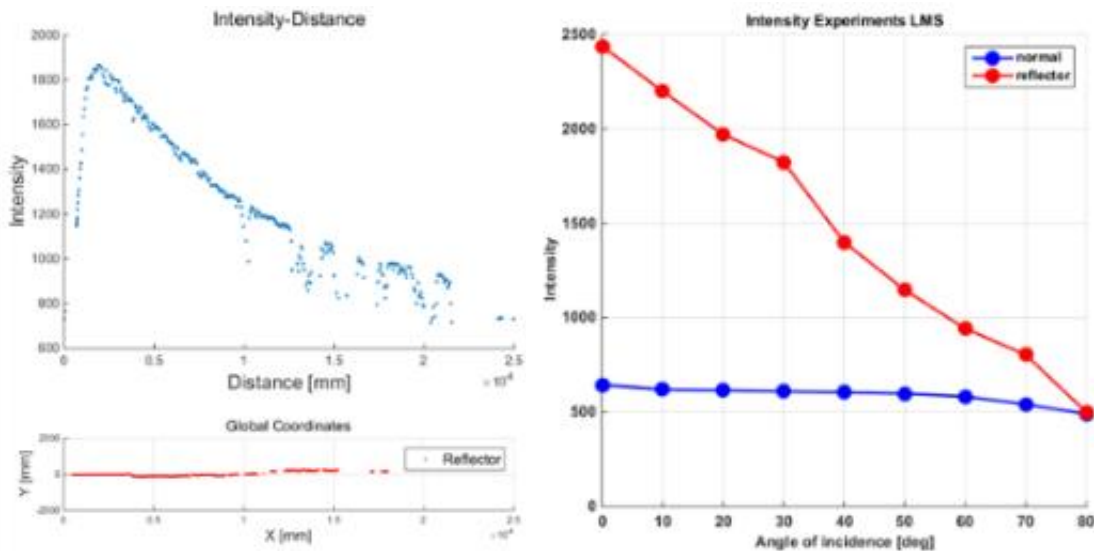


그림 4. 측정거리와 입사각에 따른 인공표식의 반사강도 특성 분석

- 인공표식을 고정 시키고 레이저 센서를 이동하면서 측정하여 측정 거리에 따른 인공표식의 반사강도 값을 얻음.
- 일정한 크기의 인공표식을 벽면에 붙이고 레이저 센서를 이동하여 입사각을 변화시키며 인공표식의 반사강도 값을 얻음.
- 측정 결과를 토대로 주변 환경과 구분해낼 수 있는 인공표식의 반사강도 값과 입사각 범위를 설정함.
- 동일한 인공표식을 측정하더라도 서로 다른 레이저 센서로 측정하면 반사강도 값이 다르게 나타나므로 레이저 센서에 따른 인공표식의 특성을 반영함.

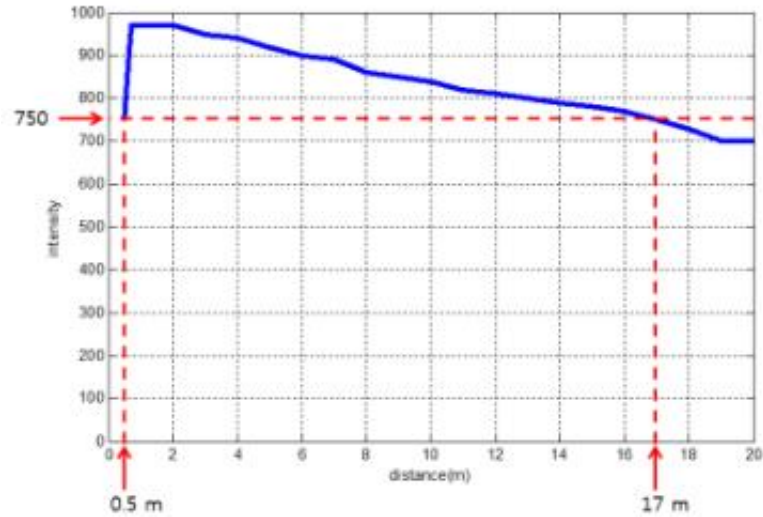


그림 5. 구분 가능한 반사강도 값과 측정거리 예

○ 레이저 빔의 특성을 고려한 인공표식 형태의 디자인

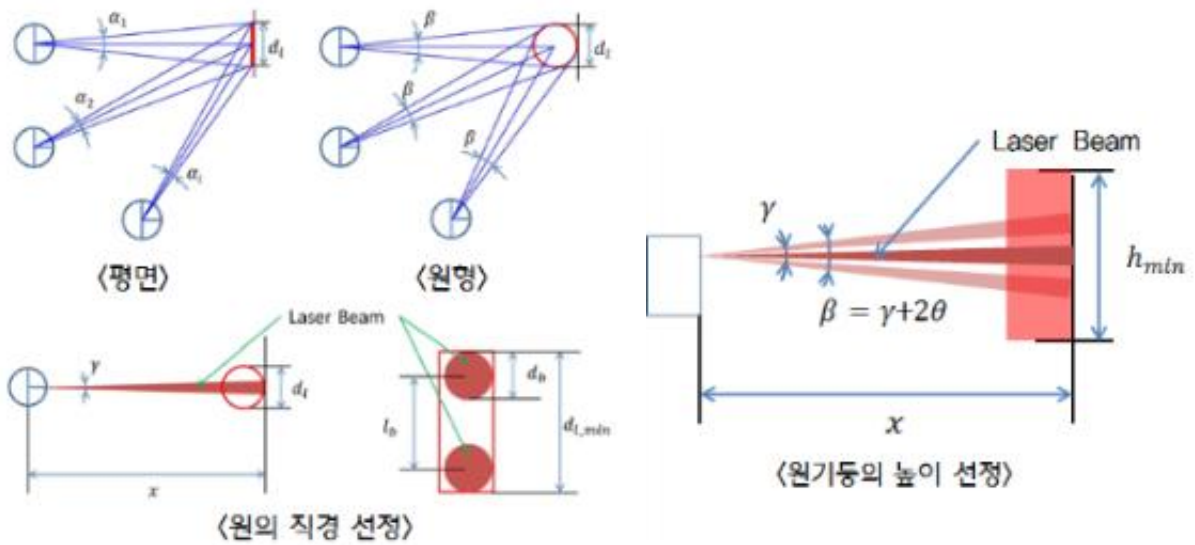


그림 6. 레이저 빔의 특성을 고려한 인공표식 형태 디자인

- 인공표식의 형태는 반사판을 평면 형태로 사용하는 방법과 원기둥 형태로 사용하는 방법으로 구분할 수 있음.
- 원기둥 형태는 측정거리가 동일한 경우 센서의 위치에 따라 입사각이 변하지 않기 때문에 일정한 반사강도를 유지할 수 있는 장점이 있음.

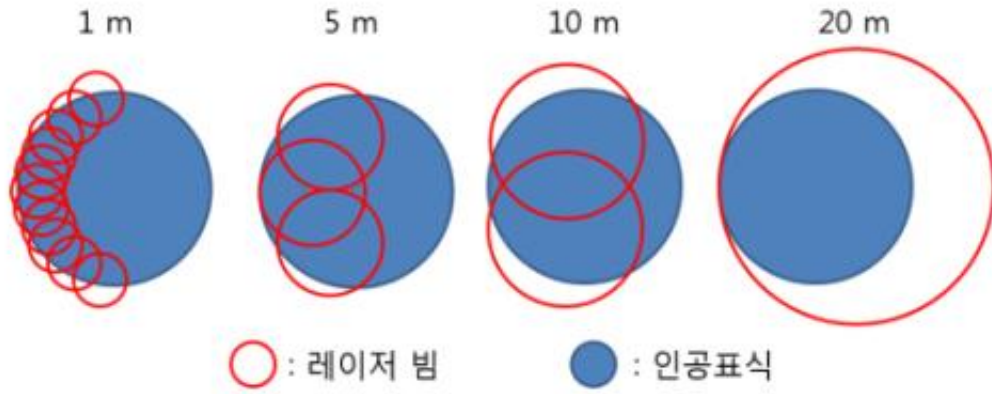


그림 7. 레이저 빔의 특성과 인공표식 크기의 관계

- 레이저 빔 크기의 거리에 따른 비례상수를 이용하여 원기둥의 지름을 설정함.
- 레이저 빔 크기의 거리에 따른 비례상수와 센서가 위아래로 흔들리는 각도를 이용하여 원기둥의 최소 높이를 설정함.
- 레이저 데이터로부터 인공표식의 중심점을 추출하여 인공표식을 인식

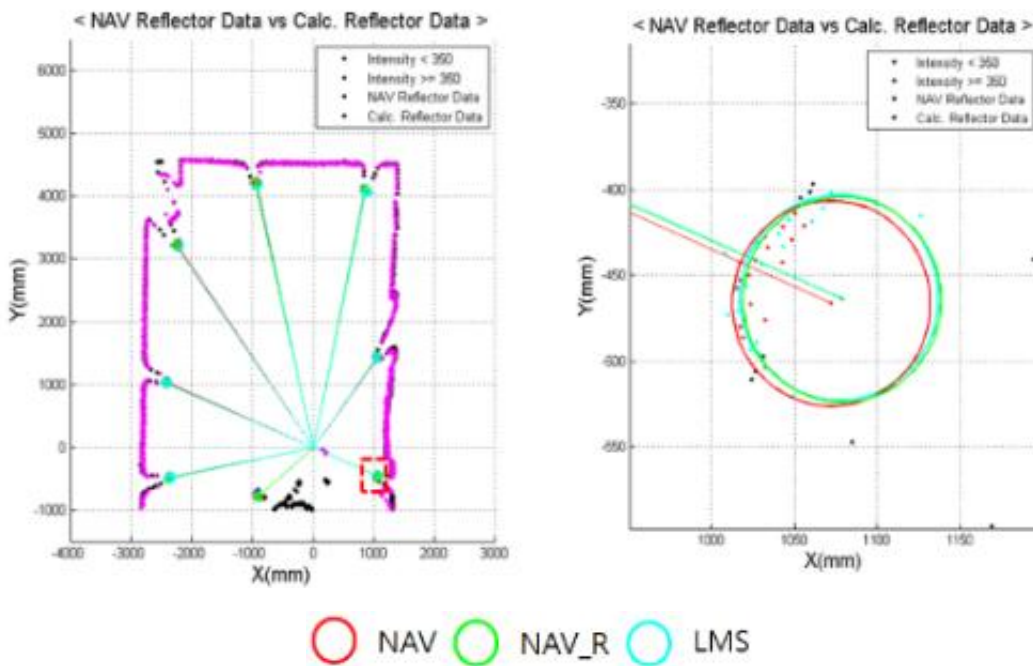


그림 8. 센서에 따른 인공표식의 중심점 추출

- 다양한 레이저 센서를 이용하여 인공표식을 측정하면 거리에 따른 각각의 반사강도 값을 얻을 수 있음.
- 각 센서에 맞는 반사강도 값의 threshold를 선정하여 인공표식과 인공표식이 아닌 것으로 분류함.
- 인공표식에 해당하는 반사강도 값은 반원 형태로 나타나므로 반원의 중심점을 추출하면

해당 인공표식의 위치가 됨.

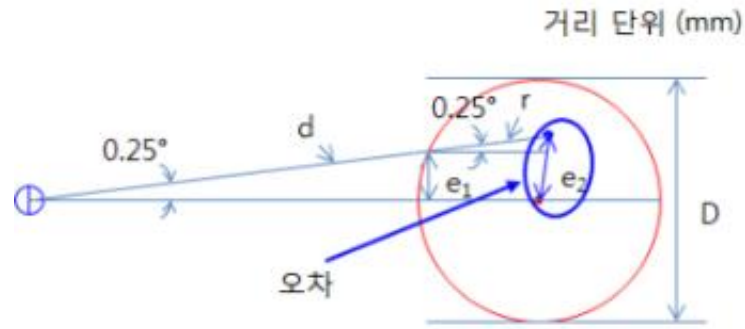


그림 9. 인공표식의 중심점 추출 오차

- 레이저 센서의 스캔 해상도 또는 측정거리는 위치인식 오차 발생의 원인이므로 오차 분석을 통해 적절한 오차 범위를 설정함.
- 인공표식 위치인식의 정확도(Accuracy)와 정밀도(Precision)를 분석함.
- 단일 인공표식 위치인식의 오차는 인공표식간의 거리 오차의 원인 중 하나이므로 분석을 통해 적절한 오차 범위를 설정함.

나) 인공표식을 이용한 위치추정

- 측정된 인공표식간의 거리와 오차 범위를 이용하여 지역좌표계에서의 로봇 위치를 계산



그림 10. 인공표식간의 거리와 오차 범위

- 인공표식의 중심점 추출 알고리즘을 통해 인식된 인공표식간의 거리는 다음 수식을 통해 구할 수 있음.

$$L_{d,ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

- 위 수식을 통해 얻은 거리는 다음과 같은 오차 범위를 가짐.

$$RE[L_{d,i,j}] \in (L_{d,i,j} - \varepsilon, L_{d,i,j} + \varepsilon)$$

- 위 수식의 ε (오차)는 측정 레이저 센서의 오차, 중심점 추출 오차, 인공표식 자체의 직

경 오차 등을 포함.

- 측정된 인공표식의 모든 위치와 인공표식간의 모든 거리를 데이터베이스에 저장하고 오차 범위를 이용하여 지역좌표계에서의 로봇 위치를 계산함.

○ 측정된 인공표식과 지도상에 저장된 인공표식을 매칭하여 로봇의 전역 위치를 계산

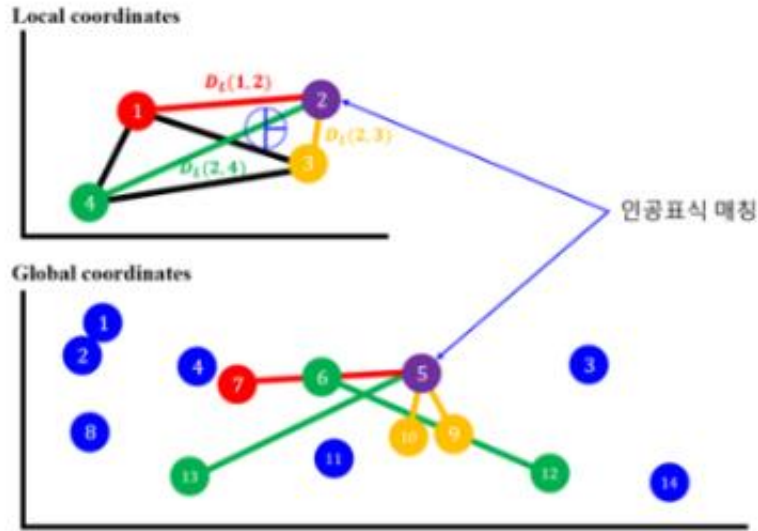
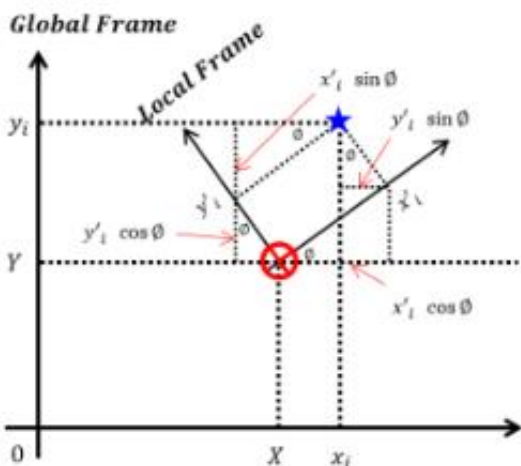


그림 11. 지역좌표계와 전역좌표계의 인공표식 매칭 방법

- 위치추정 단계는 크게 인공표식 매칭 단계와 이를 통한 로봇의 위치추정 단계로 나뉨.
- 그림 11은 인공표식 매칭 단계로 지역좌표계에서 측정된 인공표식과 지도상에 저장된 전역좌표계의 인공표식을 매칭하는 방법을 나타냄.
- 지역좌표계에서 측정된 인공표식간의 거리와 지도상에 저장된 인공표식간의 거리를 오차범위 내에서 비교하여 일치하는 거리를 찾고 이 거리를 공통으로 소유하는 인공표식을 동일한 인공표식으로 매칭하는 방법임.
- 이 방법을 실행하기 위해서는 전역 인공표식 지도 작성이 선행되어야 함.
- 전역 인공표식 지도의 정확도와 지역 인공표식의 위치 인식 정확도가 로봇의 위치추정 정확도에 큰 영향을 줌.



$$\begin{matrix}
 \text{Local Reflector} & & \text{Global Reflector} \\
 \begin{bmatrix} x'_1 & -y'_1 & 1 & 0 \\ y'_1 & x'_1 & 0 & 1 \\ x'_2 & -y'_2 & 1 & 0 \\ y'_2 & x'_2 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x'_m & -y'_m & 1 & 0 \\ y'_m & x'_m & 0 & 1 \end{bmatrix} & \text{Global Robot} & \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ \dots \\ x_m \\ y_m \end{bmatrix} \\
 A & H & b
 \end{matrix}$$

$$H = [\cos\theta \sin\theta X Y]^T = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot b$$

그림 12. 인공표식의 지역위치와 전역위치 관계

- 그림 12는 로봇의 위치추정 단계로 매칭된 인공표식의 전역 위치를 이용하여 로봇의 전역 위치를 추정하는 방법을 나타냄.
 - $AH=b$ 에서 A의 의사역행렬을 계산하여 H를 구하는 최소자승법을 이용함.
- 실내환경 위치추정 실험 결과

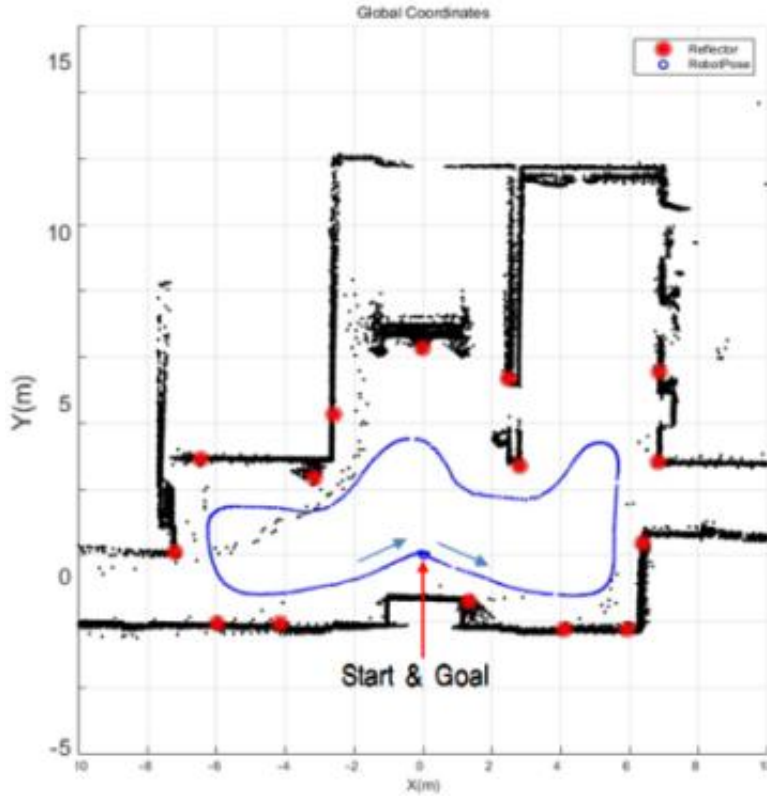
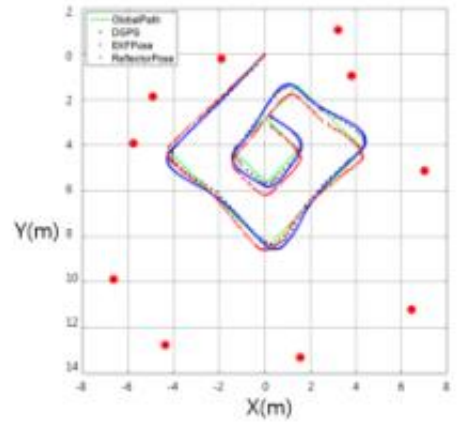
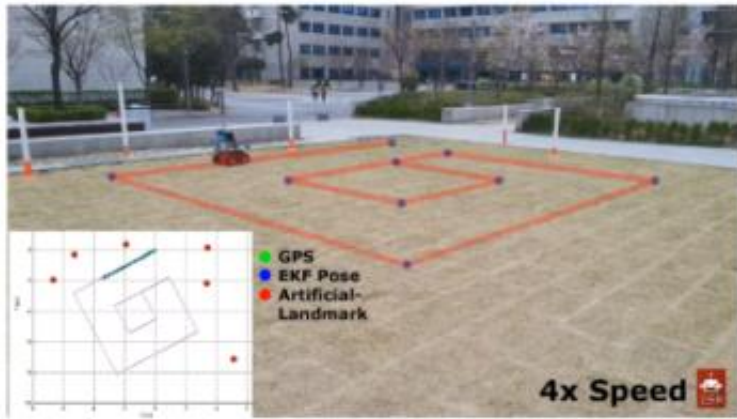


그림 13. 실내환경 인공표식 이용한 위치추정 실험

- 일반적인 로비환경의 $400m^2$ 의 면적에 15개의 인공표식을 설치한 다음 설치된 인공표식의 전역지도를 작성함.
 - 레이저 센서를 이용하여 그림 13의 Start 지점에서 우측으로 출발하여 로비 주변을 1회 전 한 후 다시 출발점으로 돌아오는 방식으로 주행하고 레이저 센서의 스캔 데이터를 저장함.
 - 저장된 스캔 데이터에 위치추정 알고리즘을 적용하면 스캔 주기마다 로봇의 위치를 추정할 수 있음.
 - 추정된 로봇의 위치에서 측정된 전체 스캔 데이터를 누적하여 그래프를 그리면 그림13과 같은 결과를 얻을 수 있음.
 - 벽에 해당하는 검은 색 점들의 분포는 로봇의 위치추정 정확도를 나타냄.
- 실외환경 위치추정 실험 결과



<인공표식 이용한 위치추정 결과>

그림 14. 실외환경 인공표식 이용한 위치추정 실험

- 잔디밭 실외환경의 300m²의 면적에 10개의 인공표식을 설치한 다음 설치된 인공표식의 전역지도를 작성함.
- 바닥이 울퉁불퉁한 환경에서 심하게 흔들거리는 로봇은 DGPS의 신호를 받아 위치를 찾고 이를 이용하여 주행함.
- 주행 중 저장된 레이저 센서의 스캔 데이터에 위치추정 알고리즘을 적용하면 스캔 주기마다 로봇의 위치를 추정할 수 있음.
- 그림 14의 우측 그래프는 오도메트리, DGPS, 오도메트리+DGPS, 인공표식 등을 이용하여 얻은 위치추정 결과이며 로봇이 많이 흔들리는 실외 환경에서도 비교적 위치추정을 잘 하였음을 나타냄.

3) 플랫폼 전복 방지를 위한 바닥 장애물 감지

가) 바닥 장애물 감지 모듈 구현

- 시스템 구성

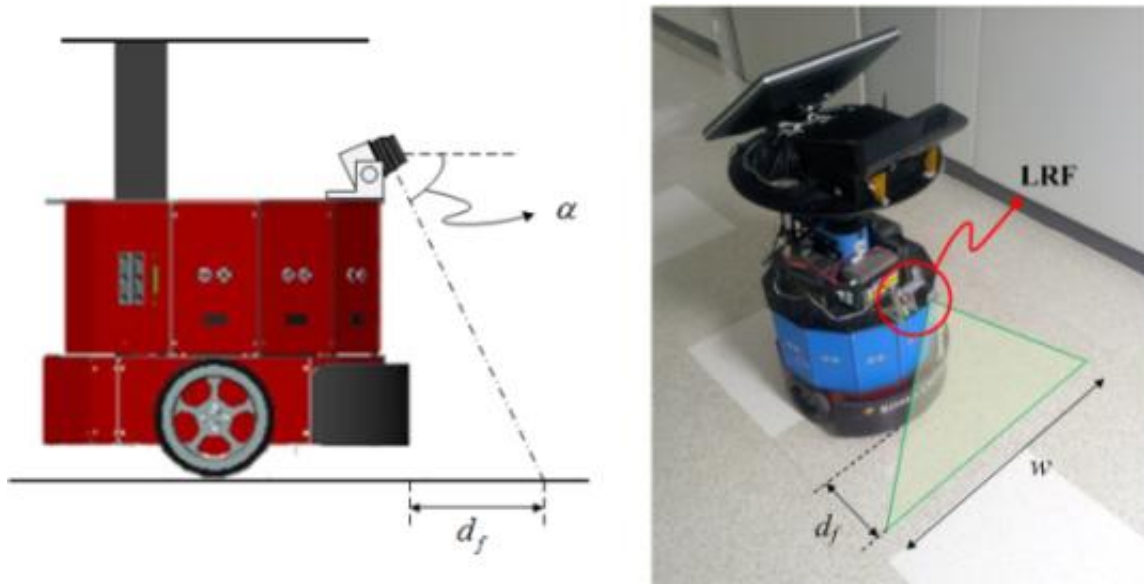
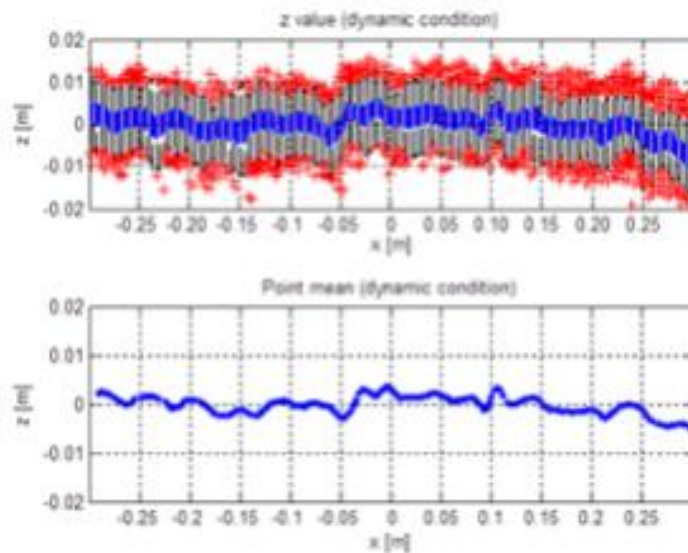


그림 15. 바닥 장애물 감지 모듈

- 로봇의 바닥면 및 바닥 장애물을 측정하기 위해 2D 레이저 거리 센서를 지면을 향해 기울여 설치함.
- 로봇의 정지거리를 감안하여 전방 감지거리를 결정하고, 로봇의 크기를 고려하여 감지 너비를 설정함.
- 바닥을 측정한 레이저 거리 데이터는 로봇의 국소 좌표계에서 3차원 좌표로 표현됨.

○ 바닥의 높이 측정 오차 분석



(a)

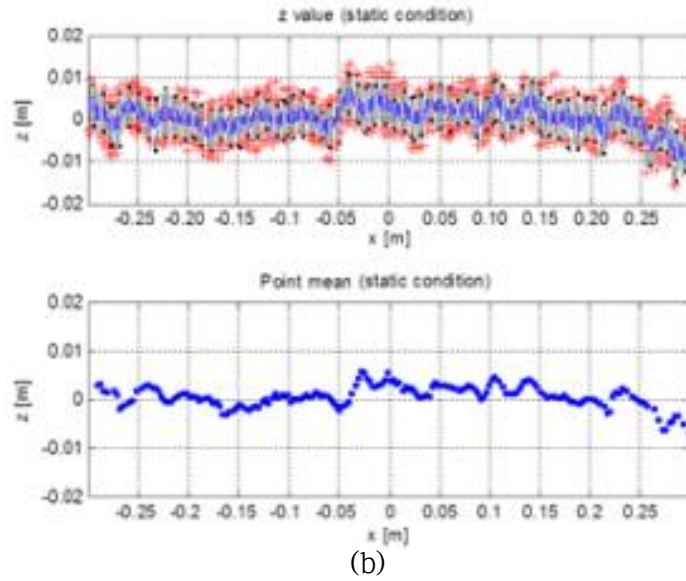


그림 16. 바닥 높이 데이터의 분포 (a)정지상황에서의 높이 데이터의 분포(상단) 및 평균(하단), (b)주행상황에서의 높이 데이터의 분포(상단) 및 평균(하단)

- 기울인 레이저 거리 센서를 이용하여 평평한 바닥을 측정하였을 때, 이상적인 측정점의 높이 값은 $N(0, \sigma^2)$ 의 분포를 가져야 함.
- 하지만, 실제로는 그림 16과 같이 레이저 거리 센서의 구조적 오차에 의해 바닥 측정점의 높이 값의 평균은 정확하게 0으로 나타나지 않음.

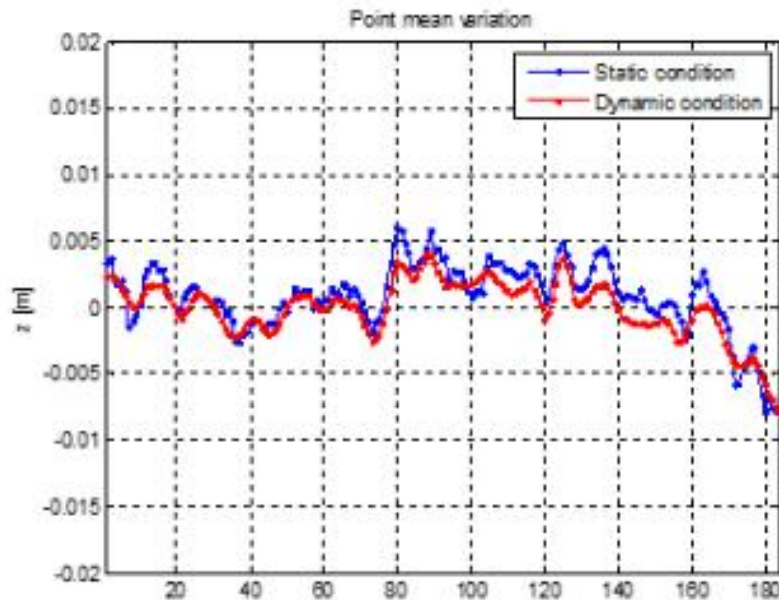


그림 17. 정지상황과 주행상황에서 바닥 높이 데이터의 평균 비교

- 그림 17은 정지상황 및 주행상황에서 측정한 높이 데이터의 평균을 비교한 결과임.
- 각 측정점에서의 높이 평균이 유사한 결과가 나타남.
- 즉, 각 측정점에서 주행유무에 관계없이 동일한 높이 측정 오차가 발생함을 알 수 있음.
- 따라서, 바닥을 정확하게 측정하기 위해서는 센서의 구조적 오차를 교정하여 정지상황

및 주행상황에서 정확한 높이값을 얻는 것이 중요함.

○ 센서의 높이 측정 오차 교정

- 정지상황 및 주행상황에서 높이 측정오차가 유사하게 발생하므로, 정지상황에서 레이저 센서의 높이 측정오차를 교정함.
- 레이저 센서의 높이 측정 오차를 보정하기 위해, 정지상황에서 일정시간동안 평평한 바닥을 측정하여 바닥의 높이 값을 축적함.
- 평평한 바닥의 이상적인 높이값은 0이므로, 축적된 바닥 높이 데이터의 평균값은 레이저 센서의 측정 오차임.
- 따라서, 레이저 센서의 측정값에서 측정 오차를 제거함으로써 센서의 구조적 오차를 교정할 수 있음.

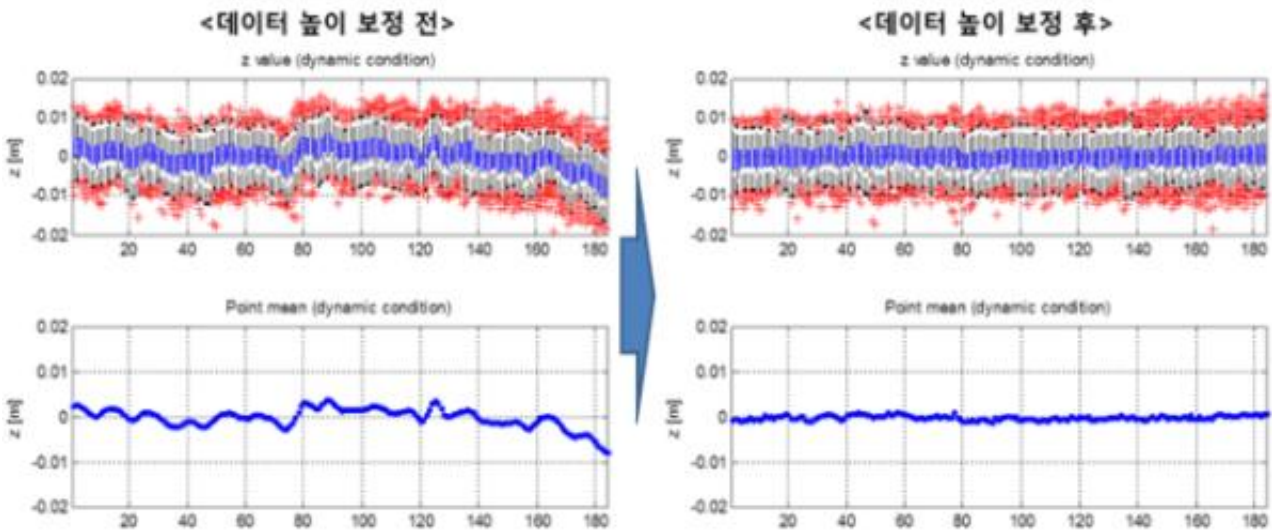


그림 18. 높이 측정오차 교정 전·후에 바닥 높이 측정값의 분포 비교

- 그림 18은 센서의 높이 측정오차 교정 전·후에 주행상황에서 바닥 높이 측정값의 분포를 비교한 결과임.
- 측정 오차 교정 전에는 평평한 바닥을 측정하였음에도 불구하고 높이 데이터의 평균이 0으로 나타나지 않아 바닥 지형을 정확하게 측정할 수 없었음.
- 반면, 측정 오차 교정 후에는 모든 측정점에서 높이 데이터의 평균이 0에 가깝게 나타나므로 바닥 지형을 보다 정확하게 측정할 수 있음.

나) 바닥 데이터 특성 분석

○ 국소 좌표의 분포

- 바닥을 측정한 레이저 거리 센서로부터 얻은 각 측정점의 [x,y,z]좌표를 축적함.
- 축적된 좌표들의 분포와 시간 t에서의 측정값 사이의 마할라노비스 거리 계산함.
- 마할라노비스 거리를 계산함으로써 시간 t에서의 측정 좌표값이 축적된 좌표들의 분포에서 벗어난 정도를 알 수 있음.

○ 바닥 선분과 데이터의 수직거리

- 시간 t 에서의 바닥 측정 데이터를 이용하여 바닥 선분을 추출함.
- 바닥 선분은 split-and-merge 기법에 의해 추출되며, 선분 추출 과정은 다음과 같음.

Algorithm 1: Split-and-Merge

- 1 Initial: set s_1 consists of N points. Put s_1 in a list \mathcal{L}
- 2 Fit a line to the next set s_i in \mathcal{L}
- 3 Detect point P with maximum distance d_P to the line
- 4 If d_P is less than a threshold, continue (go to 2)
- 5 Otherwise, split s_i at P into s_{i1} and s_{i2} , replace s_i in \mathcal{L} by s_{i1} and s_{i2} , continue (go to 2)
- 6 When all sets (segments) in \mathcal{L} have been checked, merge collinear segments.

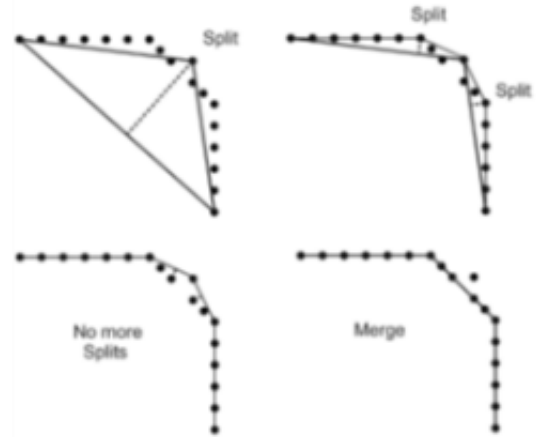
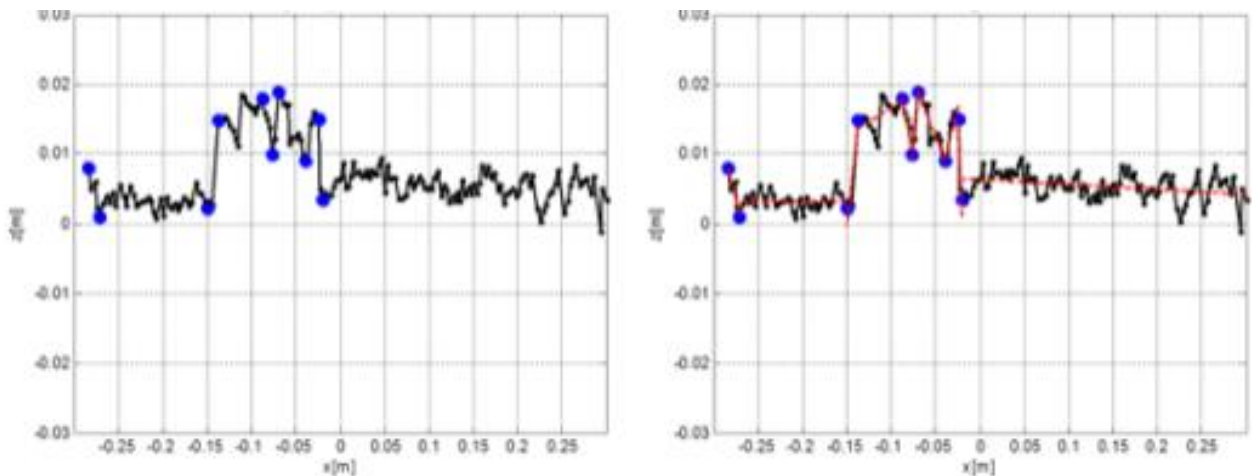


그림 19. split and merge 기반의 선분 추출 기법

- 레이저 거리 센서로부터 바닥의 측정 좌표값이 주어지면, 첫 점 s_1 과 끝 점 s_2 을 이용하여 선분의 분할과정(split)이 수행됨.
- s_1 과 s_2 를 잇는 선분 L 을 구성하고, 두 점 사이에 있는 점들과의 수직거리를 계산함.
- 두 점 사이에 있는 점들 중 선분 L 과 가장 멀리 떨어진 점 P 를 검출함.
- 만약 점 P 의 수직거리 d_p 가 정해진 임계값보다 큰 경우 점 P 에서 선분을 분할함.
- 분할된 선분은 $[s_1, p]$ 와 $[p, s_2]$ 를 끝점으로 가짐.
- 위 과정을 주어진 점들이 더 이상 분할되지 않을 때 까지 반복 수행함.
- 분할과정을 통해 많은 선분들이 추출된 후, 같은 선상에 있는 선분들을 합치는 병합과정(merge)이 수행됨.
- split-and-merge 기법에 의해 바닥 선분이 잘 추출되는지 여부를 확인하기 위해, 바닥 및 장애물이 있는 환경에서 선분추출을 수행함.



(a) (b)
그림 20. 장애물이 있는 경우 바닥 선분의 분할과정,
(a) 분할점 검출, (b) 분할점에 의해 추출된 선분

- 그림 20은 1.5cm 높이의 장애물이 있는 경우 바닥 선분의 분할 과정을 나타냄.
- 그림 20(a)의 검은색 점은 측정된 레이저 좌표를 나타내며, 파란색 점은 split 과정에 의해 얻어진 분할점들을 나타냄.
- 각각의 분할점들로부터 추출된 선분들은 그림 20(b)와 같음.
- 선분 병합과정에 의해 최종적으로 추출된 바닥 선분은 다음 그림과 같음.

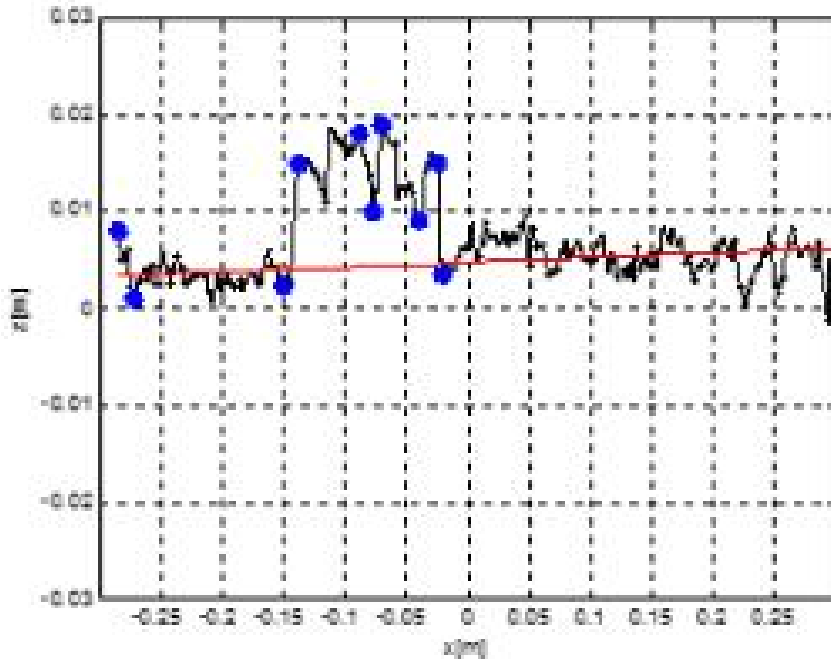


그림 21. 병합과정에 의해 추출된 바닥 선분

다) 바닥 장애물 검출 기법

○ 바닥 데이터의 특성을 고려한 장애물 데이터 검출 기법

- 국소 좌표의 마할라노비스 거리와 바닥 선분과의 수직 거리를 이용하여 2차원의 바닥 특성 데이터를 구성함.
- 바닥 특성 데이터의 분포를 기반으로 바닥 데이터와 장애물 데이터를 분류하기 위한 결정 경계를 생성하기 위해 단일 클래스 분류 기법인 Support Vector Data Description(SVDD)을 적용함.
- SVDD의 목적은 특징 공간에서 정상 데이터를 포함하는 구 형태의 결정 경계를 정의하여 비정상 데이터를 검출하는 것임.
- 정상 데이터만으로 구성된 훈련 데이터를 사용하며, 결정 경계를 기준으로 바닥 데이터와 장애물 데이터를 분류함.

○ 단일 바닥 장애물 검출 결과

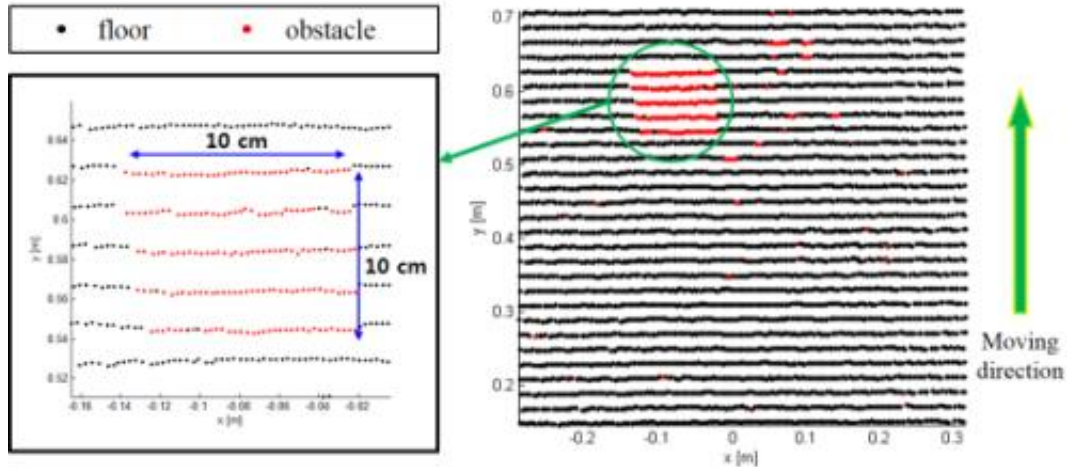
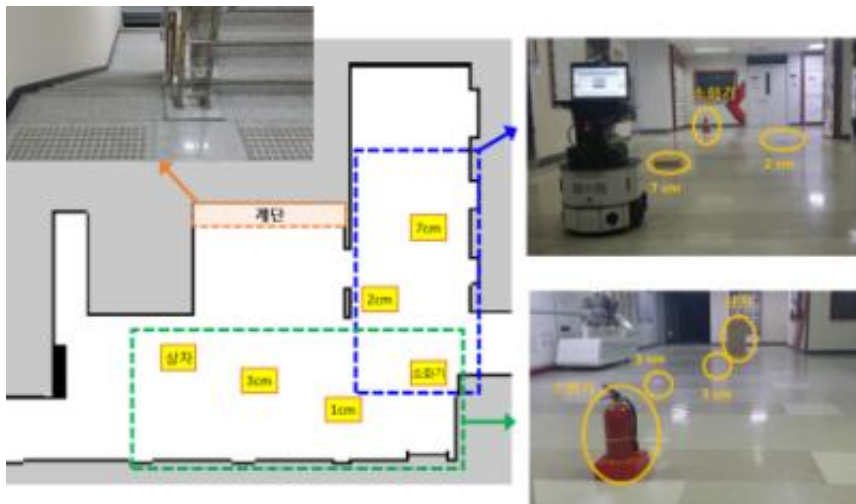
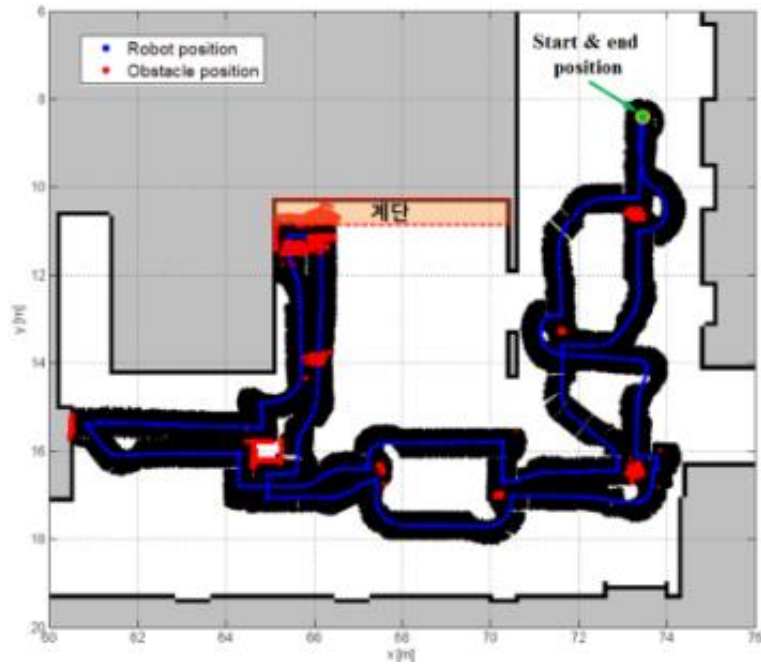


그림 22. 단일 바닥 장애물 검출 결과

- 실내 평평한 바닥 조건에서 크기 10cm×10cm, 높이 1cm의 단일 바닥 장애물을 감지하는 실험을 진행함.
 - 바닥 장애물을 로봇 전방에 설치하고 로봇을 전진시키며 전방 지형을 측정하도록 함.
 - 그림 22는 검출된 장애물을 로봇의 국소 좌표계에 나타낸 것으로 검은색 점은 바닥 데이터, 붉은색 점은 장애물 데이터를 나타냄.
 - 장애물이 존재하는 영역에서 실제 장애물의 크기와 동일하게 장애물이 검출되었음.
- 실내 환경에서의 장애물 데이터 맵핑 결과



(a)



(b)

그림 23. 장애물 데이터 맵핑 결과, (a)실험 환경, (b)장애물 맵핑 결과

- 실험이 진행된 환경은 0.5cm이상의 바닥 요철이 존재하지 않는 정형화된 실내 환경임.
- 장애물 검출 실험을 위해 해당 실내환경에서 다양한 높이의 장애물을 설치하여 그림 23(a)와 같이 인위적인 실험환경을 조성함.
- 로봇을 수동 주행하여 장애물 및 계단을 순차적으로 측정하고 장애물 검출을 수행함.
- 검출된 장애물은 로봇의 위치정보에 기반하여 환경지도상에 맵핑됨.
- 그림 23(b)는 검출된 장애물 데이터 및 바닥 데이터를 환경지도상에 맵핑한 결과임.
- 설치된 장애물의 위치에 장애물 데이터가 올바르게 검출되었음을 알 수 있음.

■ 온실환경 자율주행 플랫폼 정밀도향상기술 개발

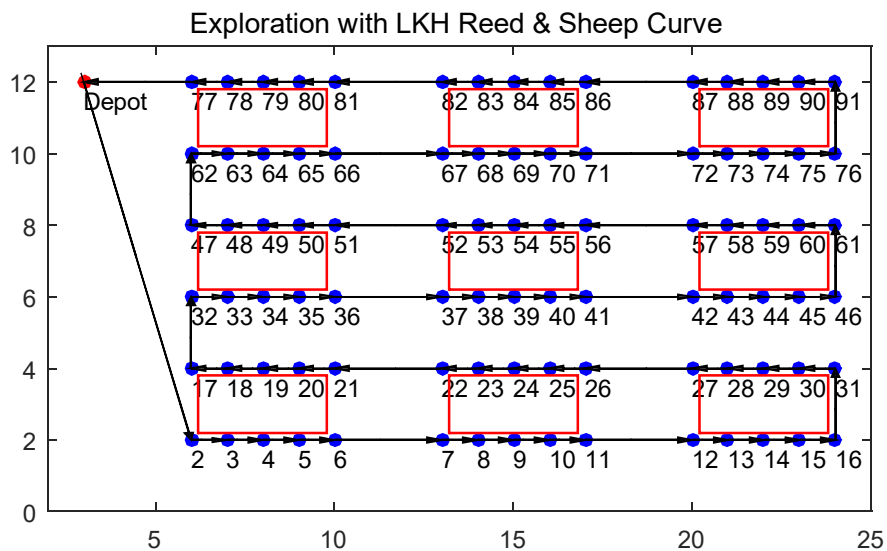
1. 연구결과 주안점

- 1) 환경정보수집을 위한 작업경로생성 기술 최적화 : 시설의 형태와 플랫폼의 기구학적 특성을 고려한 작업경로 생성 기술을 개발함.
- 2) 환경정보수집을 위한 경로추종 제어기술 개발 : 플랫폼의 기구학적 제한 조건의 반영이 가능한 제어를 설계함.
- 3) 전역위치추정을 위한 인공표식 배치기법 개발 : 좁은 복도 환경, 넓은 로비 환경 등의 주행 환경과 직선, 회전 운동 등의 주행 방법에 따른 최소 인공표식의 개수를 고려하여 인공표식을 배치함.

2. 연구결과

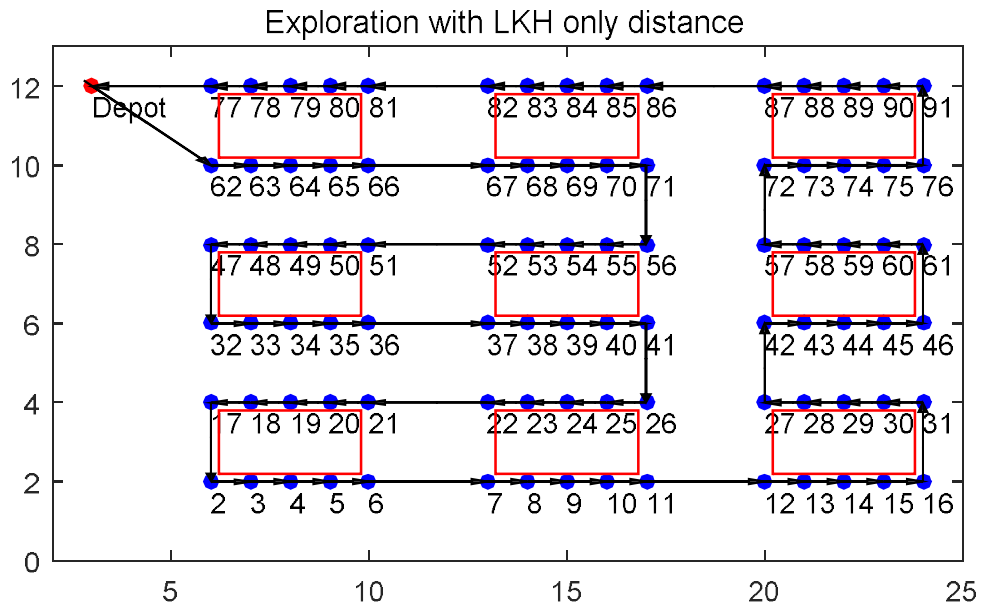
- 1) 환경정보수집을 위한 작업경로생성 기술 최적화

- 개발한 경로 계획기법을 평가하기 위해 아래와 같은 조건에서 경로생성 시뮬레이션을 수행하였음.
 - 로봇의 최대속도: 1 m/s
 - 로봇의 최대 각속도: 15 ° /s
 - 로봇이 작업지점에 정지하는 시간: 1 s
 - 작업지점의 개수: 90 개
- 작업지점의 위치와 개수, 작업지점간 연결 형태는 사용자가 임의로 지정하였으며 그래프 구조의 변경이나 추가 및 삭제를 통해 환경정보를 반영하는 것이 가능함.
- 개발된 경로 계획 기법을 위 조건에 적용하여 주행 경로를 생성한 결과는 <그림 24>와 같음.
- 로봇은 붉은 원으로 표시된 시작지점에서 출발하여 모든 작업지점을 방문하고 시작지점으로 귀환하는 경로를 생성하였음.
- 경로생성에는 플랫폼의 운동 특성을 고려한 경로비용함수를 이용하였으며, 해당 조건으로 생성된 경로를 따라 모든 작업지점을 방문하고 귀환하는 1회의 주행에 소요되는 시간은 520초로 계산됨.



<그림 24. 플랫폼의 특성을 고려한 경로생성 결과. 주행시간 520초>

- 개발된 기술의 효율을 비교하기 위하여, 로봇의 운동특성을 고려하지 않고 작업지점간의 거리만을 고려한 비용 함수를 이용하여 계산된 경로를 <그림 25>에 표시하였음.
- <그림 25>의 경로는 <그림 24>의 경로에 비해 로봇 더 많은 제자리 회전을 수행함.
- 이로 인해 플랫폼의 특성을 고려하지 않고 계산된 경로를 따라 주행하는데 총 562초의 시간이 소요되며 이는 520초가 소요된 <그림 24>의 경로보다 비효율적인 경로임.



<그림 25. 플랫폼의 특성을 고려하지 않은 경로생성 결과. 주행시간 562초>

- 두 개의 경로생성 결과 비교를 통해 본 과제에서 개발한 플랫폼의 특성을 고려한 작업경로 생성이 가능하며 해당 기술이 적용하면 더 효율적인 주행을 할 수 있음을 보였음.

평가 방법: 시설의 형태 및 플랫폼의 기구학적 특성을 고려한 경로비용 생성함수 개발여부

2) 환경정보수집을 위한 경로추종 제어기술 개발

- 본 과제를 위해 Kanayama 제어기에 기반하여 로봇을 목표 작업지점에 도착하도록 제어하는 경로추종기를 개발하였음.
- 개발한 경로추종기의 성능을 시험하기 위한 시뮬레이션을 수행한 결과는 <그림 26>에 나타내었음.

- 시뮬레이션에 사용된 로봇 플랫폼의 운동 조건은 아래와 같음.

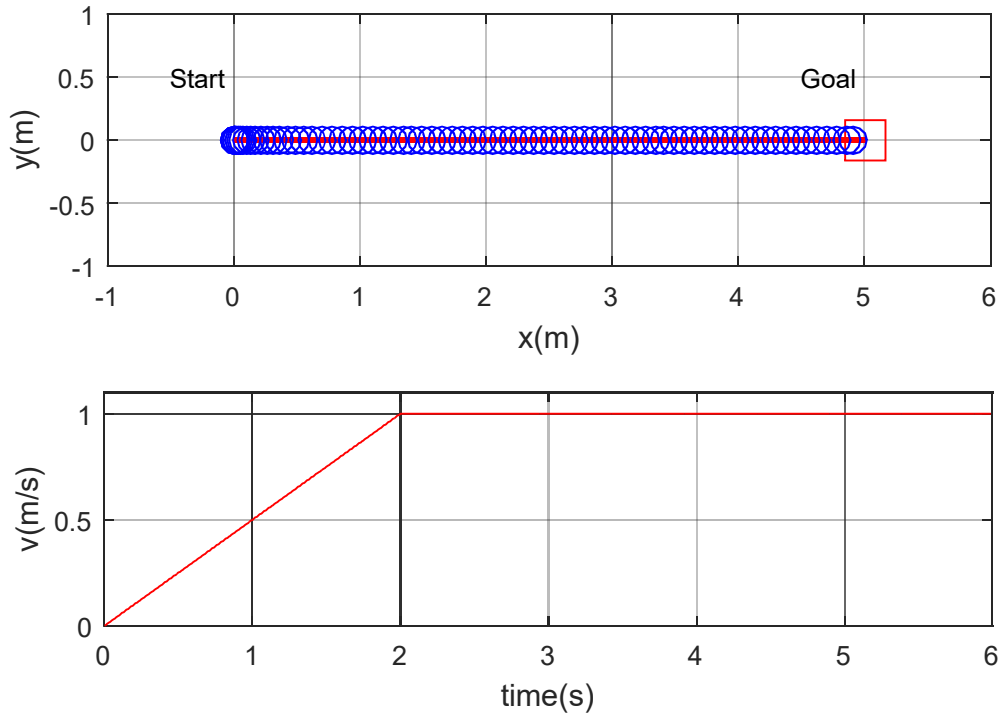
로봇의 최대속도: 1 m/s

로봇의 최대가속도: 0.5 m/s²

로봇의 최대각속도: 20 ° /s

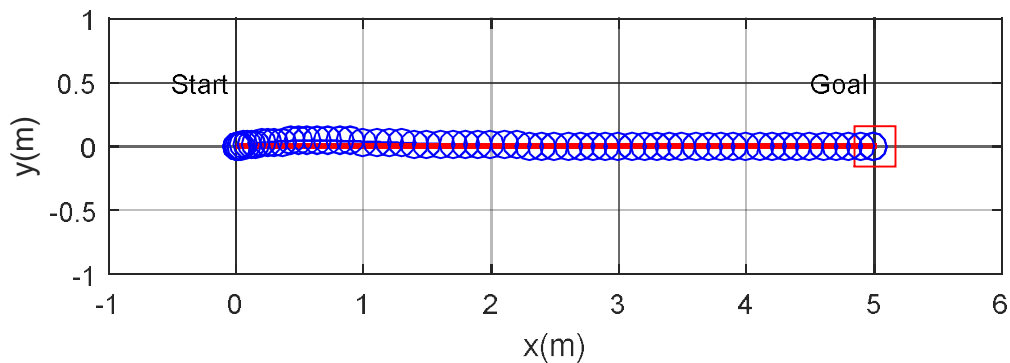
로봇의 최대각가속도: 10 ° /s²

- <그림 26>의 아래 그래프는 주행중 로봇의 속도를 나타낸 것으로, 로봇 플랫폼의 최대속도인 1 m/s를 초과하지 않으며 그래프의 기울기를 통해 가속도 또한 최대 0.5 m/s²으로 유지된 것을 알 수 있음.



<그림 26. 경로추종 시뮬레이션 결과. 초기 각도 오차: 0° (위) 주행중 로봇의 속도 v (아래)>

- <그림 27>은 로봇의 초기 위치가 $(0,0,10^\circ)$ 으로 로봇의 각도가 틀어진 상태에서 $(0,5,0)$ 를 목표로 주행한 결과임. 로봇의 최종 위치는 $(4.997,0.001,-0.044^\circ)$ 로 계산 되었음. 이를 통해 초기 각도 오차가 발생하였을 때도 해당 제어기를 이용하면 로봇이 목표 지점에 도달하는 것을 볼 수 있음.



<그림 27. 경로추종 시뮬레이션 결과. 초기 각도오차: 10° >

- 상기 결과들을 통해 개발된 제어기술을 이용하여 로봇 플랫폼의 조건을 고려하여 로봇을 목표위치에 도달하게 하도록 제어하는 기술을 개발 하는데 성공 한 것을 알 수 있음.

3) 전역위치추정을 위한 인공표식 배치기법 개발

(1)공간 정보

| | 세부 유형 | |
|-----|-----------------|-------------------------|
| 0차원 | ● 점(point) | ■ 노드(node) |
| 1차원 | — 스트링(string) | ~ 아크(ark) |
| | — 링크(link) | — 체인(chain) |
| 2차원 | ⬡ 폴리곤 (polygon) | ■ 내부에리어 (interior area) |

<그림 28. *NCDCDS의 분류에 의한 공간 객체의 유형>

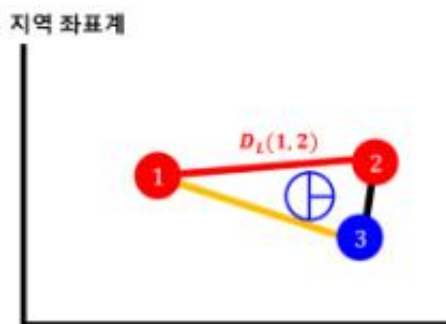
*NCDCDS(National Committee for Digital Cartographic Data Standards) 지도데이터의 표준화를 위한 미국의 국가위원회

(2) 인공표식간의 관계를 통해 얻을 수 있는 정보

- N개의 인공표식이 배치되어 있는 경우 2개를 이용하여 얻을 수 있는 거리 정보
- N개의 인공표식이 배치되어 있는 경우 3개를 선택하여 얻을 수 있는 각도 정보
- N개의 인공표식이 배치되어 있는 경우 3개 이상을 선택하여 얻을 수 있는 면적 정보
- 거리, 각도, 면적 등 인공표식간의 관계를 통해 얻을 수 있는 정보는 지역 좌표계의 인공표식과 전역 좌표계의 인공표식을 매칭할 수 있는 수단이 됨

(3) 거리 정보와 인공표식의 매칭

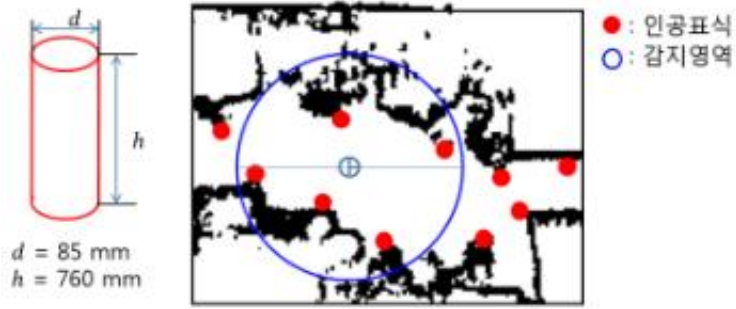
- 지역 좌표계에서 측정된 인공표식간의 거리 정보를 전역 좌표계에 저장되어 있는 인공표식간의 거리 정보와 매칭함.
- <그림 29>와 같이 적어도 3개 이상의 인공표식이 측정되어야 지역 좌표계의 인공표식과 전역 좌표계의 인공표식을 매칭할 수 있음.



<그림 29. 지역 좌표계의 인공표식간의 거리>

(4) 인공표식과 센서의 특성에 따른 인공표식의 배치기법

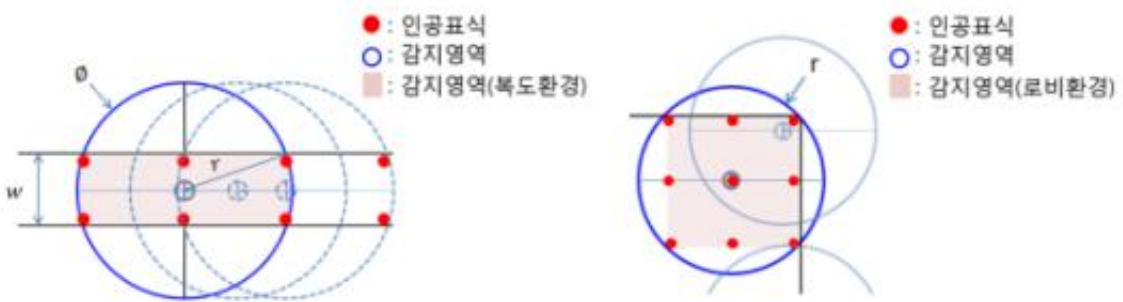
- 실린더 형태의 인공표식의 거리에 따른 반사특성 및 센서의 최대 측정 거리를 고려하여 인공표식을 배치함.



<그림 30. 센서의 감지영역에 따른 인공표식의 배치>

(5) 환경에 따른 인공표식의 배치기법

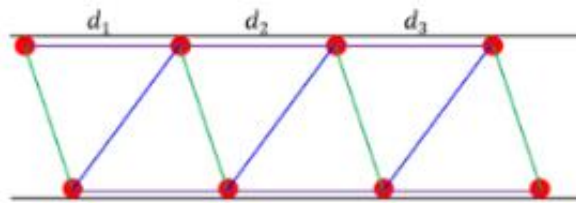
- 좁은 복도 환경, 넓은 로비 환경 등 환경에 따라 필요한 최소 인공표식의 개수를 고려함.



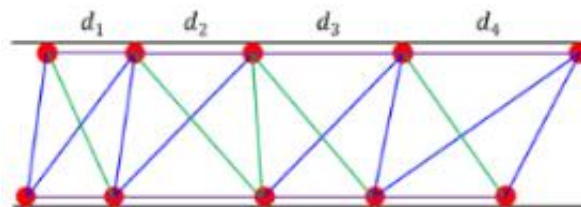
<그림 31. 환경에 따른 인공표식의 배치>

(6) 최대 거리 오차 범위와 인공표식의 배치기법

- 서로 다른 인공표식간의 거리가 최대 거리 오차 범위 안에 있지 않도록 인공표식을 배치함.



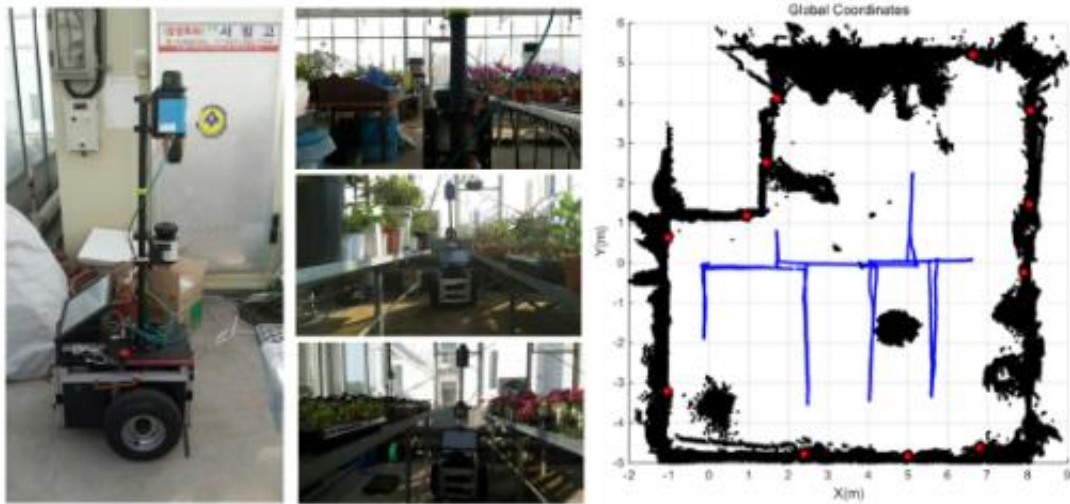
<그림 32. 거리의 구분이 불가능한 인공표식 배치>



<그림 33. 거리의 구분이 가능한 인공표식 배치>

(7) 실제 온실 환경에서 전역위치추정 실험 결과

- 전체 주행경로에서 적어도 3개 이상의 인공표식이 측정되도록 인공표식을 배치함.
- 인공표식과 센서의 특성, 주행 환경, 최대 거리 오차 범위를 고려하여 인공표식을 배치함.
- 전체 주행경로에서 인공표식기반 전역위치추정 결과 확인함.



<그림 34. 온실 환경 인공표식기반 전역위치추정 결과>

■ 온실환경 자율주행 플랫폼 현장실증 및 보완

1. 연구결과 주안점

- 1) 환경정보수집을 위한 정밀 위치제어 : 평탄 노면 주행 조건 궤적추종평균오차 8cm 이하
- 2) 인공표식을 이용한 전역 위치추정기술 : 위치추정 평균오차 5cm 이하
- 3) 온실환경정보수집 및 전송기술 : 온·습도 등의 환경정보를 측정하여 온실 관리 시스템에 전송

2. 연구결과

1) 환경정보수집을 위한 정밀 위치제어

(1) 평탄노면환경에서 로봇의 위치를 정밀하게 제어하는 실시간 궤적 추종 기술 개발

- 본 과제를 위해 2차년도에 개발한 Kanayama 제어기 기반 경로추종 제어 기술을 실제 자율주행 로봇 플랫폼에 적용하였음.
- Kanayama 제어기에서 로봇의 선속도 v 와 각속도 w 는 아래의 식을 이용하여 계산됨.

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_r \cos \theta_e + K_x x_e \\ \omega_r + v_r (K_y y_e + K_\theta \sin \theta_e) \end{bmatrix}$$

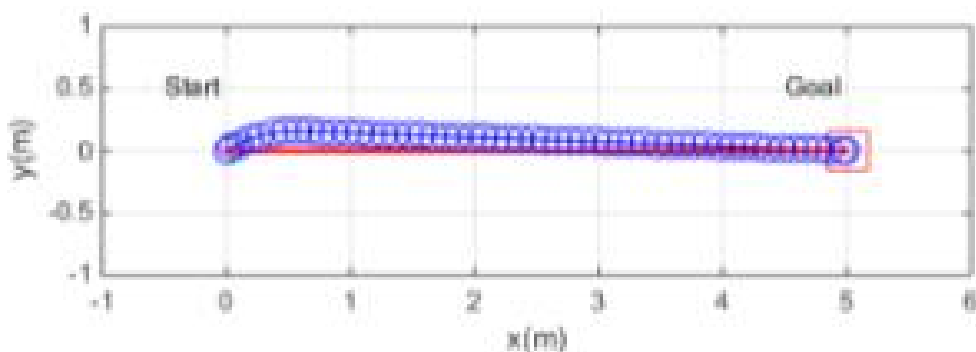
- K_x, K_y, K_θ 는 제어를 위한 고정 변수이며, x_e, y_e, θ_e 값은 로봇의 현재 위치와 추종 대상인 궤적의 차이임.
- 자율주행 로봇은 중앙 서버에서 전송한 작업지점들 사이를 방문하는 직선 경로를 생성함. 생성한 직선경로를 시간 간격으로 분할하여 로봇이 추종해야 하는 궤적의 형태로 변경함.
- 로봇은 생성된 직선 궤적을 kanayama 제어기 기반 경로추종 기술을 이용하여 주행함.
- 로봇이 궤적을 추종하여 작업 지점에 도착 하면 정지 후 제자리 회전을 통해 다음 작업 지점을 향해 방향각을 조절한 후 Kanayama 제어기 기반 경로추종 기법을 적용하여 주행함.
- 상기 주행 알고리즘을 이용하여 작업 지점마다 정지하여 환경정보를 측정하는 시스템을 설계하고 이를 보유중인 로봇 플랫폼에 탑재함.

(2) 로봇 플랫폼을 이용한 제어기 파라미터 조정 및 성능 향상



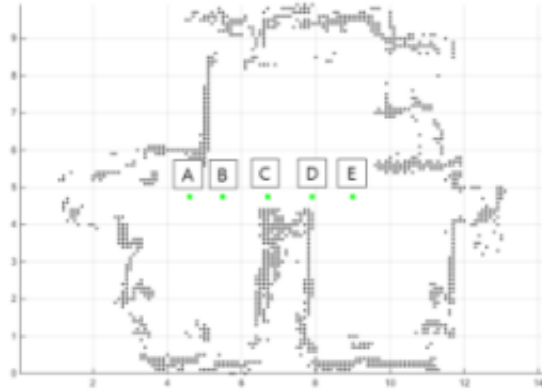
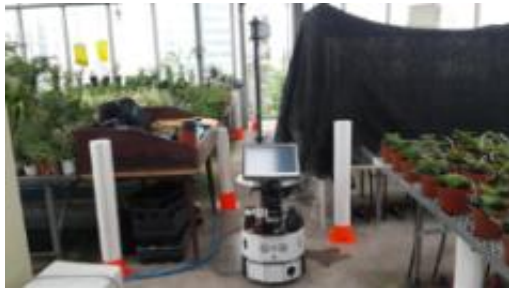
<그림 35. 환경정보 수집을 위한 자율주행 로봇>

- 온실의 좁은 환경에서 충돌 없이 동작하기 위해 보다 소형(폭 60cm)의 이륜 자율주행 플랫폼을 사용함.
- 정밀한 운동 제어를 위해 로봇 플랫폼의 운동 조건을 아래와 같이 설정함.
 최대 직선 속도: 0.2 m/s
 최대 가속도: 0.1 m/s²
 최대 각속도: 10 ° /s
 최대 각가속도: 10 ° /s
- 제어를 위한 변수는 다음과 같음.
 $K_x = 1.0$
 $K_y = 1.0$
 $K_\theta = 1.5$
- 설정된 플랫폼의 운동조건과 제어변수를 검증하기 위한 시뮬레이션을 수행함.



<그림 36. 이륜 주행로봇의 궤적추종 주행제어 시뮬레이션>

- <그림 36>은 로봇이 (0,0,35 °)에서 출발하여 (5,0,0)의 목표지점에 도착하는 궤적을 추종한 결과임. 로봇은 초기 방향각 오차 35 °를 극복하고 목표지점에 도착 하였으며, 이때 y방향으로 궤적에서 가장 떨어진 위치는 4.45 cm임. 로봇이 정지 후 목표지점과의 최종 위치추종 오차는 1.04 cm로 계산됨.
- (3) 실환경 시험을 통한 궤적추종의 평균 오차 측정 및 성능 평가
- 개발된 궤적추종기의 성능 검증을 위해 온실 실환경시험을 수행함.



A) 온실 실험 환경 사진

B) 온실환경의 격자지도와 작업지점 배치

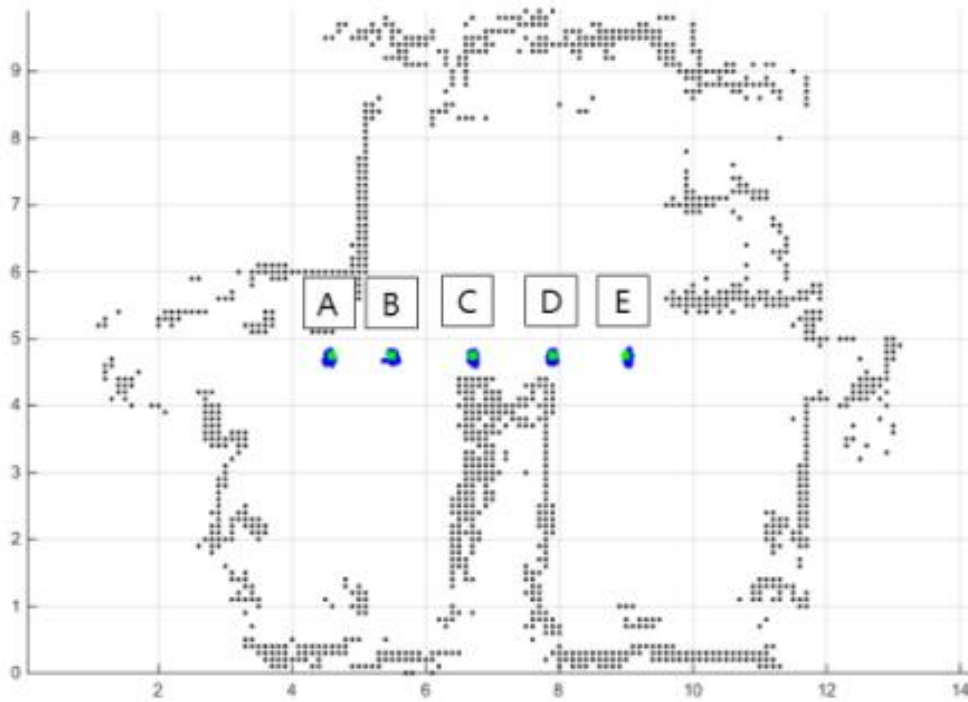
<그림 37. 온실 환경 및 작업지점 배치>

- 기 개발한 자율주행 기술이 탑재된 자율주행 로봇으로 <그림 37>과 같은 온실 환경에서 5개의 작업지점을 연속적으로 방문하는 자율주행 시험을 수행하였음.
- 로봇은 작업지점 A에서 출발하여 B, C, D, E의 측정지점을 순차적으로 방문한 후 다시 E-D-C-B-A 순서로 복귀하며 A지점에 도착 함. 이상의 1회 왕복에서 로봇은 5개의 측정 지점을 총 9번의 측정 진행하며, 로봇은 상기 왕복 주행을 일정 시간 간격으로 반복함.
- 로봇은 환경정보 측정을 위해 작업지점에 10초간 정지하며, 이때 궤적 추종의 오차를 측정하기 위해 작업지점에 얼마나 정밀히 도착 하였는지를 기록함.
- 로봇을 이용한 환경정보 측정은 총 15번의 실험을 수행하였으며 각 실험당 로봇의 왕복 횟수와 개별 측정지점의 방문 횟수는 다음과 같음.

| 실험 번호 | 왕복 횟수 | 측정지점별 측정횟수 | | | | |
|-------|-------|------------|----|----|----|----|
| | | A | B | C | D | E |
| 1 | 4 | 5 | 8 | 8 | 8 | 4 |
| 2 | 5 | 6 | 10 | 10 | 10 | 5 |
| 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 4 | 5 | 6 | 10 | 10 | 10 | 5 |
| 5 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 6 | 3 | 4 | 6 | 6 | 6 | 3 |
| 7 | 3 | 4 | 6 | 6 | 6 | 3 |
| 8 | 3 | 4 | 6 | 6 | 6 | 3 |
| 9 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 10 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 11 | 3 | 4 | 6 | 6 | 6 | 3 |
| 12 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 13 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 14 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 15 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 계 | 42 | 57 | 84 | 84 | 84 | 42 |

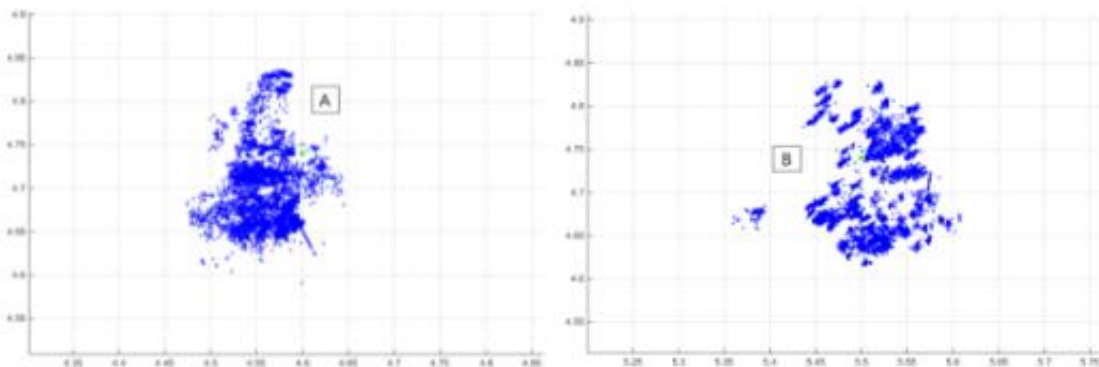
<표 1. 총 실험 횟수와 측정지점 별 측정 횟수>

- 로봇이 측정 지점에 도착 하였을 때 로봇의 위치를 표시하면 <그림 38>과 같은 형태로 나타남.

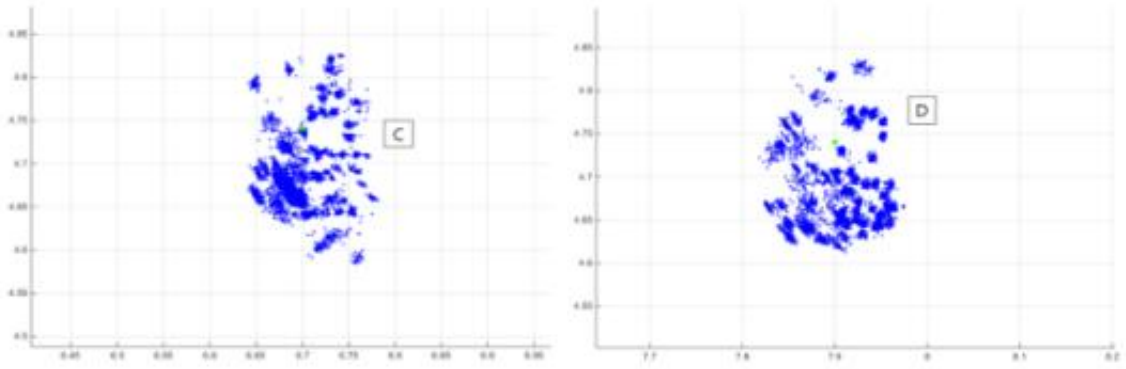


<그림 38. 궤적 추종 실험 결과>

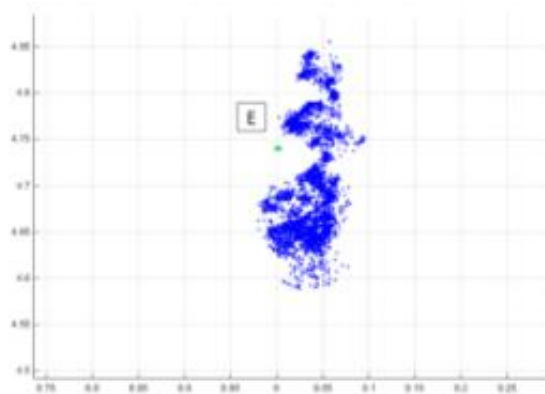
- <그림 38>에서 파란색 표시는 로봇이 측정지점에 정지 하였을 때 로봇의 좌표를 총 15 번의 실험 전체에 걸쳐 표시한 것이며, 녹색 사각형은 로봇이 측정해야 하는 지점의 좌 표임.
- 개별 측정지점에 대하여 로봇의 위치를 자세히 표현하면 아래 그림과 같음.



A) 측정지점 A에서 로봇이 정지한 위치 B) 측정지점 A에서 로봇이 정지한 위치



C) 측정지점 C에서 로봇이 정지한 위치 D) 측정지점 D에서 로봇이 정지한 위치



E) 측정지점 A에서 로봇이 정지한 위치

<그림 39. 측정지점 A,B,C,D,E에 정지하였을 때 로봇의 위치. 15개 실험의 누적 표시>

- 로봇이 A 지점에 정지하였을 때 로봇의 실제 위치와 로봇이 도착해야하는 측정지점 A의 지도상의 좌표간 거리를 궤적추종 오차로 정의하며, 각 개별 측정지점에서 15회의 실험 동안 누적된 로봇의 위치에 대해 궤적추종 오차를 계산하고 그 평균을 내면 아래 <표 2>와 같음.

단위(mm)

| 측정지점 | 측정지점별 오차의 평균 | | | | |
|-------|--------------|------|------|-------------|------|
| | A | B | C | D | E |
| 오차 평균 | 71.1 | 68.2 | 67.5 | 74.1 | 79.1 |
| 전체 평균 | 72.0 | | | 목표: 평균 80.0 | |

<표 2. 측정지점별 궤적 추종 오차의 평균>

- 5개의 측정지점에서 로봇의 궤적추종 오차의 평균은 72.0 mm 이며 이는 개발 목표인 궤적추종오차 평균 80.0 mm(8 cm)를 초과 달성한 것을 알 수 있음.

2) 인공표식을 이용한 전역 위치추정기술

(1) 온실환경에서 로봇의 위치를 정밀하게 추정하는 인공표식을 이용한 실시간 전역위치추정 기술 개발

- 본 과제를 위해 1차년도에 개발한 인공표식 기반 전역위치추정 기술을 실제 자율주행

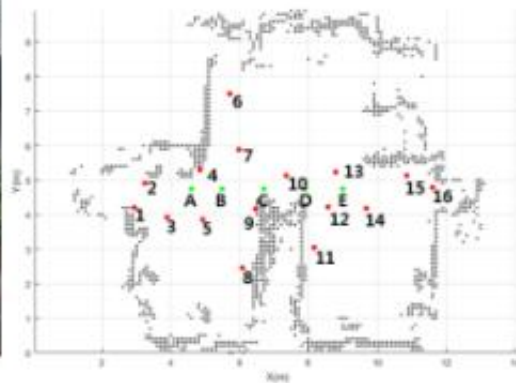
로봇 플랫폼에 적용하여 실시간 전역위치추정 기술을 개발하였음.

- 로봇의 전역위치는 아래의 식을 이용하여 계산됨.

$$\begin{array}{c}
 \text{Local Reflector} \\
 \begin{bmatrix} x'_1 & -y'_1 & 1 & 0 \\ y'_1 & x'_1 & 0 & 1 \\ x'_2 & -y'_2 & 1 & 0 \\ y'_2 & x'_2 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x'_m & -y'_m & 1 & 0 \\ y'_m & x'_m & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 A
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \text{Global Reflector} \\
 \text{Global Robot} \\
 \begin{bmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi \\ X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ \dots \\ \dots \\ x_m \\ y_m \end{bmatrix} \\
 b
 \end{array}$$

$$H = [\cos\phi \ \sin\phi \ X \ Y]^T = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot b$$

- X, Y, ϕ 값이 로봇의 현재 위치와 방향각임.
 - 자율주행 로봇은 중앙 서버에서 전송한 작업지점들 사이를 방문하는 직선 경로를 주행하면서 미리 설치된 인공표식의 위치를 측정함.
 - 측정된 인공표식이 이루는 삼각형의 면적과 거리들을 저장된 인공표식이 이루는 삼각형의 면적과 거리들에 매칭하여 측정된 인공표식의 인덱스를 찾아냄.
 - 측정된 인공표식의 위치와 저장된 인공표식의 위치쌍을 앞의 수식에 대입하여 로봇의 현재 위치와 방향각을 계산함.
 - 상기 주행 알고리즘을 이용하여 작업 지점마다 정지하여 환경정보를 측정하는 시스템을 설계하고 이를 보유중인 로봇 플랫폼에 탑재함.
- (2) 실환경 시험을 통한 인공표식 기반 전역위치추정의 평균 오차 측정 및 성능 평가
- 개발된 인공표식 기반 전역위치추정 기술의 성능 검증을 위해 온실 실환경시험을 수행함.

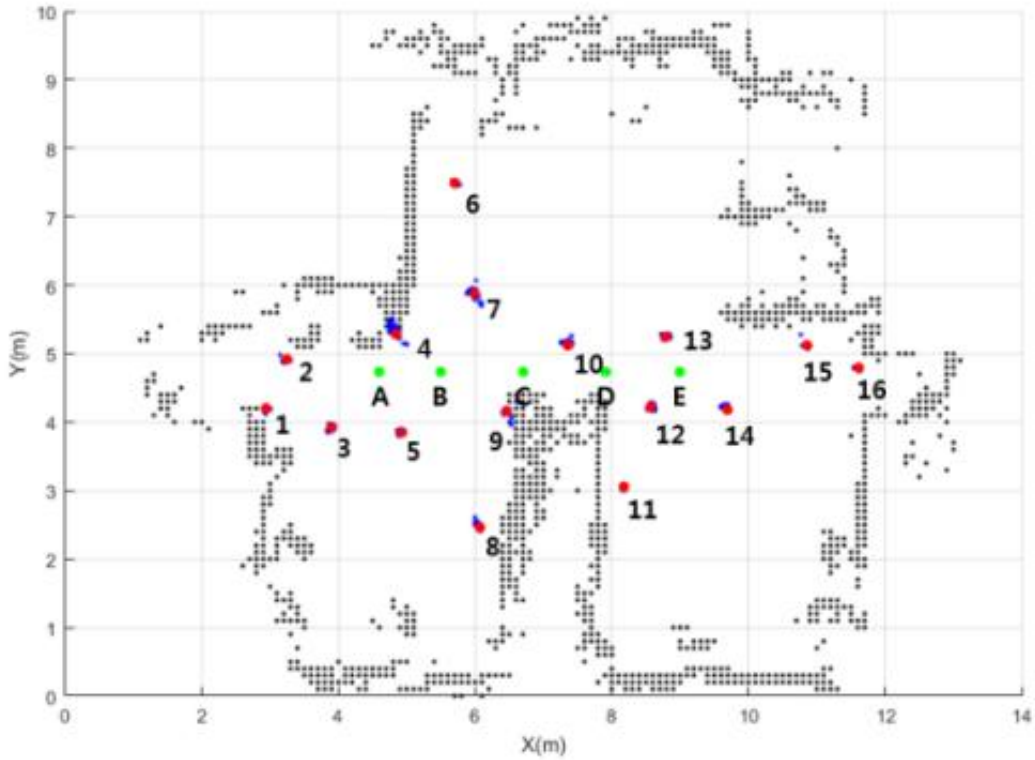


A) 온실 실험 환경 사진

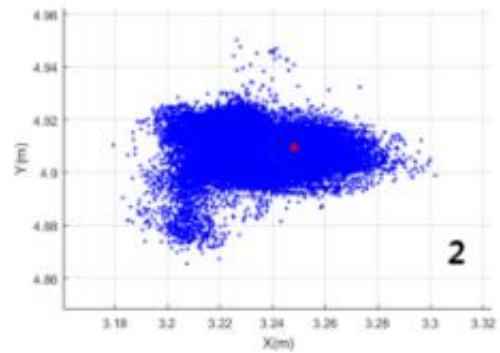
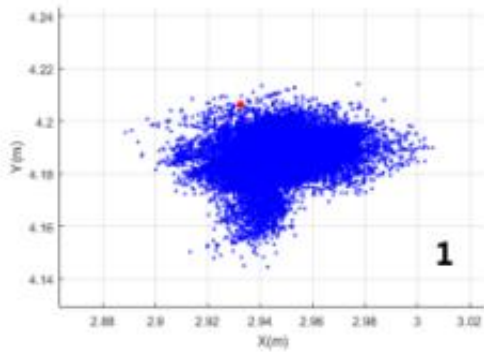
B) 작업지점 및 인공표식 배치

<그림 40. 온실 환경과 작업지점 및 인공표식 배치>

- 기 개발한 자율주행 기술이 탑재된 자율주행 로봇으로 <그림 40>과 같은 온실 환경에서 5개의 작업지점을 연속적으로 방문하는 자율주행 시험을 수행하였음.
- 로봇의 작업경로와 작업 지점은 앞의 궤적추종실험과 동일함.
- 주행 중 로봇의 모든 센서 데이터와 기 개발한 전역위치추정 알고리즘으로 계산된 로봇의 위치를 기록함.

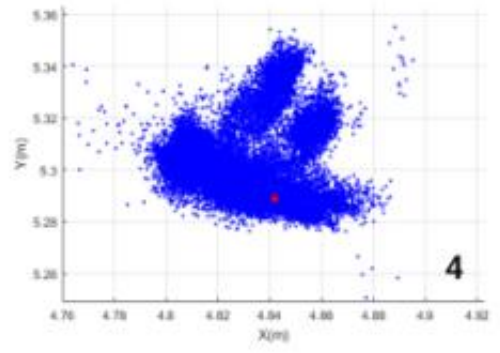
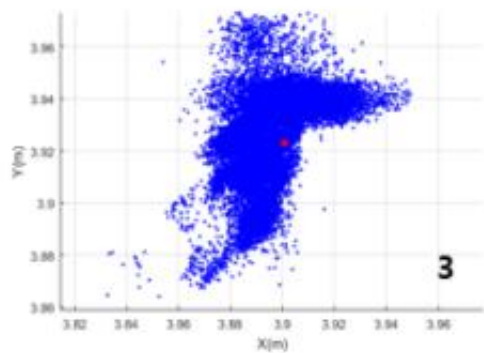


<그림 41. 인공표식 기반 전역위치추정 실험 결과>



1) 1번 인공표식(빨간점)의 측정위치(파란점)

2) 2번 인공표식(빨간 점)의 측정위치(파란점)



3) 3번 인공표식(빨간점)의 측정위치(파란점)

4) 4번 인공표식(빨간점)의 측정위치(파란점)

<그림 42. 모든 로봇의 추정된 위치에서 측정된 인공표식. 15개 실험의 누적 표시>

- 미리 설치된 인공표식의 실제 위치와 인공표식기반으로 전역위치추정 기술로 계산된 로봇의 위치에서 획득한 인공표식의 측정 위치의 거리를 전역위치추정 오차로 정의하며, 2시간 40분 동안 총 42회 작업지점을 왕복 주행하며 측정된 인공표식의 위치에 대해 전역위치추정 오차를 계산하고 그 평균을 내면 아래 <표 3>과 같음.

단위(mm)

| 인공표식별 전역위치추정 오차의 평균 | | | | |
|---------------------|------|------|-------------|------|
| 인공표식 번호 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 오차 평균 | 22.4 | 20.9 | 23.5 | 15.0 |
| 인공표식 번호 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 오차 평균 | 30.2 | 13.7 | 19.1 | 16.8 |
| 인공표식 번호 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 오차 평균 | 28.6 | 28.2 | 20.5 | 16.2 |
| 인공표식 번호 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 오차 평균 | 17.3 | 21.4 | 17.9 | 15.7 |
| 전체 평균 | 20.5 | | 목표: 평균 50.0 | |

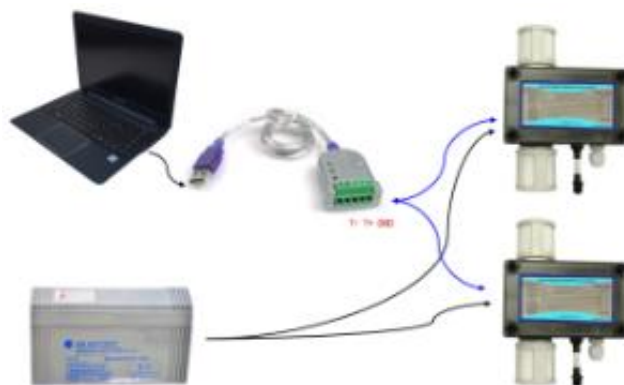
<표 3. 인공표식별 전역위치추정 오차의 평균>

- 16개 인공표식의 오차의 평균은 20.5 mm 이며 이는 개발 목표인 전역위치추정오차의 평균 50.0 mm(5 cm)를 초과 달성한 것을 알 수 있음.

3) 온실환경정보수집 및 전송기술

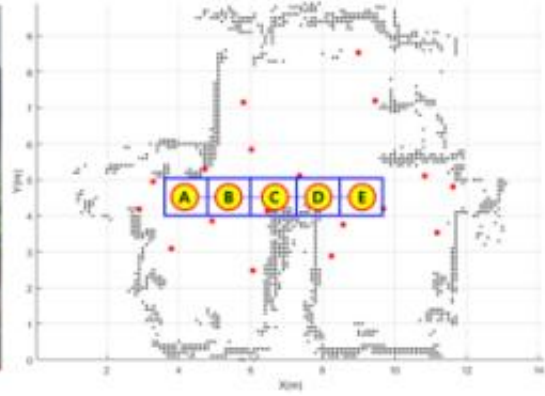
(1) 작업경로를 주행하며 온·습도 및 CO₂ 등 온실환경정보 수집 및 기록

- 높이에 따른 온·습도 및 CO₂의 변화를 보기 위해 각각 1 m, 1.8 m 높이에 측정기기를 장착함.
- 온실환경정보 측정기를 실제 자율주행 로봇 플랫폼에 적용하여 주행 중 온·습도 및 CO₂ 등 온실환경정보를 측정 기록하였음.
- 온실환경정보는 온·습도 및 CO₂ 측정기에서 USB to 485 컨버터를 통해 제어용 PC에 전송되고 기록됨.



<그림 43. 온·습도 및 CO₂ 측정 시스템>

- 자율주행 로봇은 중앙 서버에서 전송한 작업지점들 사이를 방문하는 직선 경로를 주행하면서 온실환경정보를 측정하고 로봇의 현재위치와 함께 온실환경정보를 전송함.
- (2) 실환경 시험을 통한 온실환경의 온·습도 및 CO₂ 측정 결과
 - 온실환경정보수집 및 전송기술을 확인하기 위해 온실 실환경시험을 수행함.

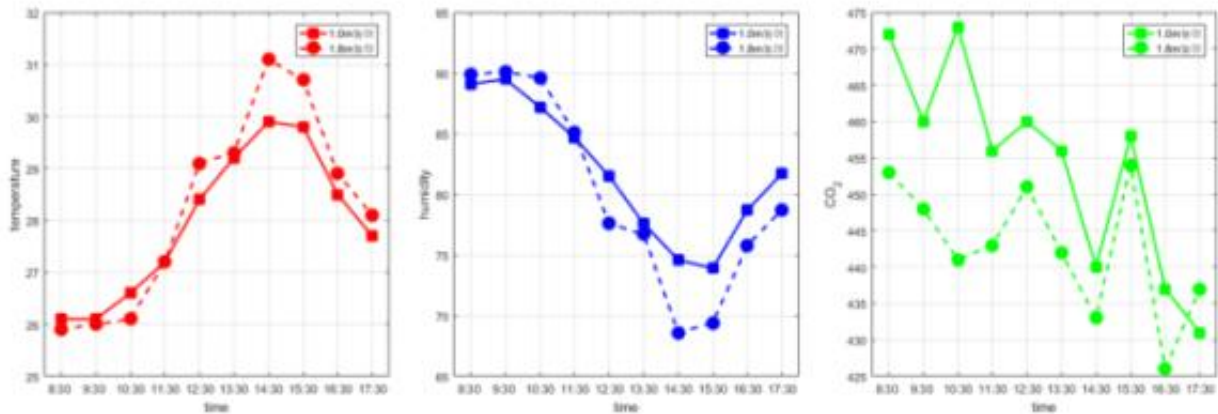


A) 온실 실험 환경 사진

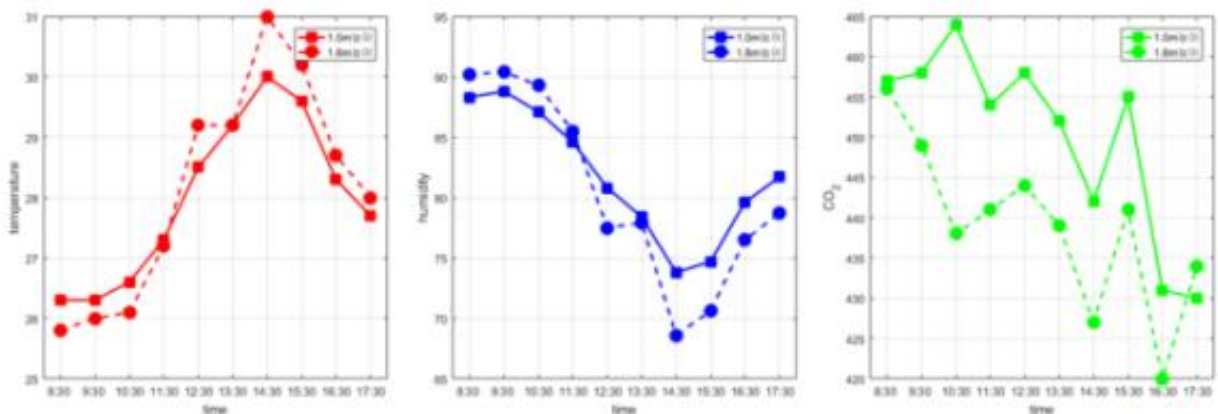
B) 작업지점 및 구획 나눔

<그림 44. 온실 환경과 작업지점 및 구획 나눔>

- 기 개발한 자율주행 기술이 탑재된 자율주행 로봇으로 <그림 44>와 같은 온실 환경에서 5개의 작업지점을 연속적으로 방문하는 자율주행 시험을 수행하였음.
- 모든 작업지점에서 로봇의 현재위치와 온실환경정보가 서버에 전송되고 기록됨.
- 오전 8시 30분부터 오후 15시 30분까지 한 시간 간격으로 측정함.
- <그림 46>과 <그림 47>에 매 시간 A,E 작업지점에서 측정한 온·습도 및 CO₂ 측정 결과를 측정 높이에 따라 구분하여 각각 그래프로 표현함.

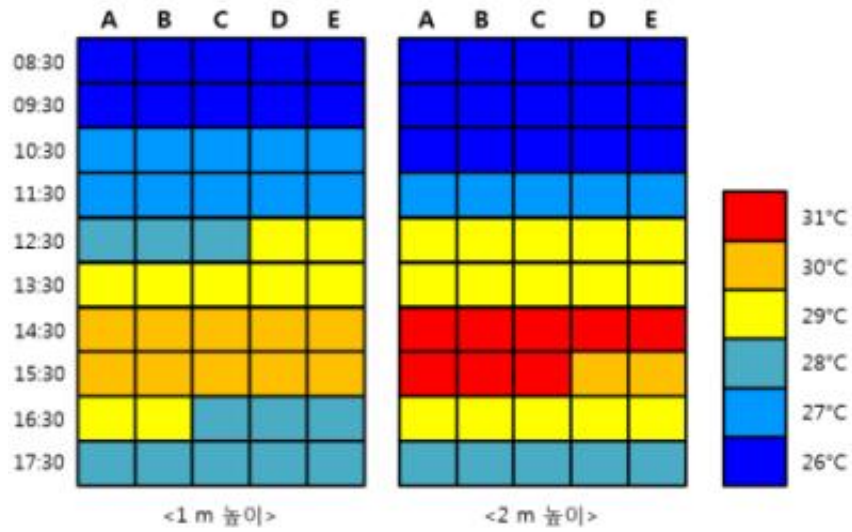


<그림 45. A 작업지점 시간별 높이에 따른 온·습도 및 CO₂ 측정 결과>



<그림 46. E 작업지점 시간별 높이에 따른 온·습도 및 CO₂ 측정 결과>

- <그림 47>에 매 시간 A,E 작업지점에서 측정한 온도 측정 결과를 측정 높이에 따라 구분하여 각각 열지도로 표현함.



<그림 47. A,B,C,D,E 작업지점 시간별 높이에 따른 온도 측정 결과>

- 온·습도 등의 환경정보를 기 개발된 정밀 위치제어기술, 인공표식 기반 전역위치추정기술 등이 통합된 자율주행 플랫폼으로 매시간 간격마다 측정함으로써 현장 구동 및 실환경 시험 검증함.

(3) 제 2-2 협동과제

① 연구개요

| | | | | | | |
|---------------|--|---|-----------|------------|------------|----|
| 세부과제번호 | 제 (2-2)협동과제 | | | | | |
| 세부 연구과제명 | 국문 | 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현 | | | | |
| | 영문 | Tele-operation and Ancillary Intelligence Based Robotic Smart Farming System for Bio-production managements | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 황헌 | 영문성명 | Hwang Heon | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 성균관대학교 | 부서명 (학과명) | 바이오메카트로닉스 | 직위 | 교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2014년 09월 18일 부터 ~ 2017년 09월 17일 까지 (3년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 합계 | |
| | 정부출연금 | 100,000 | 130,000 | 127,500 | 357,500 | |
| | 기업부담금 | 70,000 | 25,000 | 53,000 | 148,000 | |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 합계 | 170,000 | 155,000 | 180,500 | 505,500 | |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | | 선임급 | | 원급이하 | |
| | 3 | | 4 | | 6 | |
| | | | | | | 합계 |
| | | | | | | 13 |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|---|
| 1단계 | 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 영상 및 센서데이터 송수신 획득 모바일 시스템 구축 원격제어 작업을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 모듈 설계 및 Ancillary Intelligence 기술을 활용한 알고리즘 구축 시설의 특성에 따른 Robot Platform 설계/모델 구축 로봇작업관리를 위한 원격 작업환경 인자 계측시스템 구축 |
| | 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 영상 및 센서 데이터 송수신 및 획득 처리용 모바일 플랫폼 개발 Convolutional Neural Network를 활용한 개체 인식 알고리즘 개발 모바일 원격 제어모듈 개발 각 센서 인터페이스 실내요인 실험 |
| | 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 파프리카 인식용 로봇 플랫폼 구축 CNN 기반 파프리카 인식 기술 고도화 제어 통합 시스템 구축 파프리카 실내 테스트 베드 구축 |

| | | |
|---------------------------|--|---|
| 제2핵심 | 농업시설 에너지환경 자동화 기반기술 개발 | |
| 제2-2협동 | 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현 | |
| 1 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 1단계 연구목표 : 농업시설 에너지환경 자동화 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현 | <ul style="list-style-type: none"> - 영상 및 센서데이터 송수신 획득 모바일 시스템 구축 - 원격제어 작업을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 모듈 설계 및 Ancillary Intelligence 기술을 활용한 알고리즘 구축 |

| | | |
|-----------------------------------|---|--|
| 기반기술 개발 개발 1년차 (2014) | ○ 시설환경/작업 특성에 따른 Robot Platform 개발 구축 | - 시설의 특성에 따른 Robot Platform 설계/모델 구축 - 로봇작업관리를 위한 원격 작업환경 인자 계측시스템 구축 |
| 2년차 (2015) | ○ 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현 ○ 시설환경/작업 특성에 따른 Robot Platform 개발 구축 | - 영상 및 센서 데이터 송수신 및 획득 처리용 모바일 플랫폼 개발 - Convolutional Neural Network를 활용한 개체 인식 알고리즘 개발 - 모바일 원격 제어모듈 개발 - 각 센서 인터페이스 실내요인 실험 |
| 3년차 (2016) | ○ 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현 | - 파프리카 인식용 로봇 플랫폼 구축 - CNN 기반 파프리카 인식 기술 고도화 |

(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|------|------|------|----|----|---------|------|----|------|---|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 | | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | | 홍보전시 | |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | 10 | | | | | 10 | 10 | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | | 3 | 5 |
| 1단계 | 목표 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 실적 | 4 | 2 | | | | | | | | | | | 6 | 3 | 1 | 4 | | | 6 | |
| 최종 | 목표 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 실적 | 4 | 2 | | | | | | | | | | | 6 | 3 | 1 | 4 | | | 6 | |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|-----|-----|------|------|------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|--|--------------|-----|-----------------|--------|----------------|--------------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2014 | 태양전지 패널용 세척 로봇 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2014-0188585 | 2015 | 태양전지 패널용 세척 로봇 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2015 | 태양전지 패널용 세척 로봇 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2015-0014376 | 2015 | 태양전지 패널용 세척 로봇 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2016 | RFID를 이용한 한우 유통관리 ICT웹/모바일기반 관리시스템 및 관리방법 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2016-0091158 | | | | |
| 2016 | 쇠고기 등급판정 솔루션 및 유통 시스템 사용에 따른 렌탈결제 시스템 및 방법 | 성균관대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2016-0091161 | | | | |

③ 석/박사 양성 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|-----|--------|------|------|
| 1 | 이정호 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 |
| 2 | 김태정 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 |
| 3 | 이현민 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 |
| 4 | 이대현 | 성균관대학교 | 2015 | 박사 |

④ 취업 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 최종학위 | 취업처 |
|----|-----|--------|------|------|---------|
| 1 | 이현민 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 | 선인씨엔에스 |
| 2 | 이정호 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 | 생명공학연구소 |
| 3 | 김태정 | 성균관대학교 | 2015 | 석사 | 생명공학연구소 |
| 4 | 이대현 | 성균관대학교 | 2015 | 박사 | 농업과학연구소 |

⑤ 학술발표 성과

| 번호 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|------|--------------------------|-----------------------------------|----------|---------------|
| 1 | 2016 | 학술발표 | 성균관대 | 김선정 김재우 김성진 최선현 | 컴퓨터 시각 기술을 이용한 복숭아 선별 알고리즘 개발 | 한국농업기계학회 | 국립농업과학원 농업과학부 |
| 2 | 2016 | 학술발표 | 성균관대 | 김선정 김재우 김성진 최선현 | 컴퓨터 시각 기술을 이용한 파프리카 중량 예측 알고리즘 개발 | 한국농업기계학회 | 국립농업과학원 농업과학부 |
| 3 | 2016 | 학술발표 | 성균관대 | 신우현 | 최소저크레틱과 X축-스웨이 | 한국농업기계학회 | 천안상록리 |

| | | | | | | | |
|---|------|------|------|---|---|------------------------|----------------------|
| | | | | 이동구 김태정 이정호 김재우 최선호 조성호 황헌 | 를 이용한 4족 보행로봇의 안정적 걸음새 연구 | 계학회 / 한국정밀농업학회 | 조트 |
| 4 | 2016 | 학술발표 | 성균관대 | 신우현 이동구 김태정 이정호 김재우 최선호 조성호 황헌 | Convolutional Neural Network 기반 실시간 작물 탐지 시스템 개발 | 한국농업기계학회 / 한국정밀농업학회 | 천안상록리조트 |
| 5 | 2016 | 학술발표 | 성균관대 | 이동구 김태정 이정호 김재우 최선호 조성호 황헌 | Deep learning Semantic Segmentation을 사용한 쇠고기 등심 영역 분리 | 한국농업기계학회 / 한국정밀농업학회 | 천안상록리조트 |
| 6 | 2017 | 학술발표 | 성균관대 | 김재우 이동구 김태정 이정호 김선정 최선호 황헌 | 영상기반의 딥러닝을 활용한 드론-실내고도유지 알고리즘 개발 | 한국농업기계학회 / 발농업기계개발연구센터 | 경북대학교 발농업기계개발연구센터 |

⑥ 홍보 실적

| 번호 | 기관 | 홍보유형 | 매체명 | 홍보 제목 | 연도 | 비고 |
|----|------|----------------|------------|--|------|----|
| 1 | 성균관대 | 기타 | 월드IT쇼 2016 | WIS 2016 전시회 | 2016 | |
| 2 | 성균관대 | Internet/PC 통신 | AVING news | [월드IT쇼 2016] 성균관대학교 로봇 및 영상처리연구실, 파프리카 자동인식 기술 선보여 | 2016 | |
| 3 | 성균관대 | Internet/PC 통신 | AVING news | [월드IT쇼 2016] 짧은 영상, 파프리카 자동인식 기술 | 2016 | |

⑦ 전시 실적

| 번호 | 기관 | 유형 | 행사명칭 | 전시품목 | 장소 | 연도 | 비고 |
|----|------|-----|-----------------|----------------------------|-----------|------|----|
| 1 | 성균관대 | 전시회 | 2015 창조농생명대전 | T스마트팜 반딧불이 | 서울 경마공원 | 2015 | |
| 2 | 성균관대 | 박람회 | 대한민국국제농기계자재박람회 | 태양전지 패널 세척 로봇, 계란 품질 계측 장치 | 천안 | 2016 | |
| 3 | 성균관대 | 전시회 | 농식품 과학기술 미래전망대회 | 기술상담 | 서울 삼성역코엑스 | 2017 | |

(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|-----|---|---|
| 1단계 | 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> · 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현 · 시설환경/작업 특성에 따른 Robot Platform 개발 구축 | <ul style="list-style-type: none"> · 영상 및 센서데이터 송수신 획득 모바일 시스템 구축 · 원격제어 작업을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 모듈 설계 및 Ancillary Intelligence 기술을 활용한 알고리즘 구축 · 시설의 특성에 따른 Robot Platform 설계/모델 구축 · 로봇작업관리를 위한 원격 작업환경 인자 계측시스템 구축 |
| | 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> · 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현 · 시설환경/작업 특성에 따른 Robot Platform 개발 구축 | <ul style="list-style-type: none"> · 영상 및 센서 데이터 송수신 및 획득 처리용 모바일 플랫폼 개발 · Convolutional Neural Network를 활용한 개체 인식 알고리즘 개발 · 모바일 원격 제어모듈 개발 · 각 센서 인터페이스 실내요인 실험 |
| | 3차년도 <ul style="list-style-type: none"> · 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현 · 시설환경/작업 특성에 따른 Robot Platform 개발 구축 | <ul style="list-style-type: none"> · 파프리카 인식용 로봇 플랫폼 구축 · CNN 기반 파프리카 인식 기술 고도화 · 제어 통합 시스템 구축 · 파프리카 실내 테스트 베드 구축 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

■ 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현

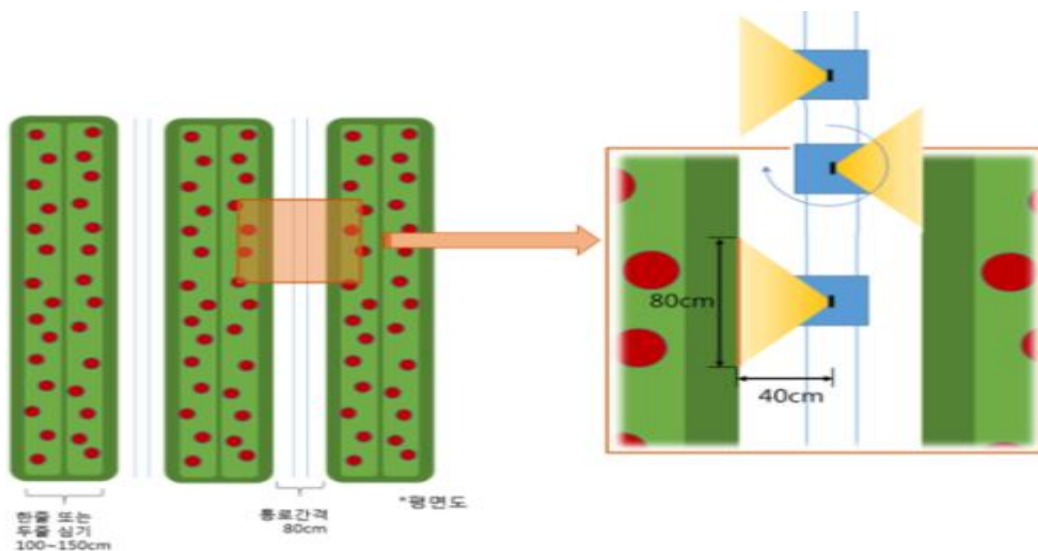
1) 대상작물 작업환경 및 로봇작업 플랫폼의 정의

- 대상 작물은 과제 계획단계에서 고려하였던 작물인 파프리카와 토마토 중에서 과실의 색깔과 형태가 다양하여 여러 가지 환경 변수에 관한 실험이 가능하고 고부가가치 작물인 파프리카로 한정함.
- 이식, 시비, 방제, 적화, 적과, 수확, 선별, 운반 등 작물재배 과정에서 수반하는 여러 종류 작업 중, 당해연구에서는 수확 작업에 우선순위를 두고 개발하는데 주력하였으며, 다른 작업들의 경우에는 추후 End-effector의 종류와 기능을 추가적으로 세분화함으로서 대응할 계획임.

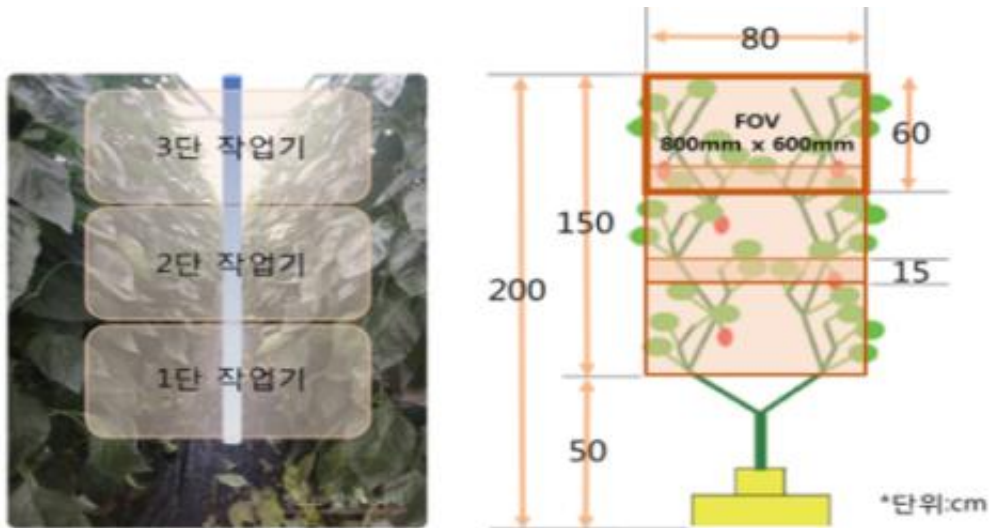


〈파프리카 생육환경〉

- 사전 조사를 통하여 여러 파프리카 하우스의 평균적 생육환경의 물리적 수치를 예상.
 - 작물의 높이는 200cm 과실이 존재하는 구간은 50cm 상부로 가정함.
 - 한 줄 또는 두 줄 심기 되어 있는 이랑의 너비는 100 ~ 150cm, 이랑 사이의 통로 간격은 80cm으로 설정함.
- 가정한 생육환경을 바탕으로 적절한 로봇 작업플랫폼의 형태를 구상.
 - 하나의 로봇작업기로는 시간당 작업량의 물리적 한계가 있으며 작업허용 반경이 좁은 편이므로, 동시적이고 병렬적인 작업이 가능하도록 소규모의 작업기를 다단(多段)으로 배치하는 것이 효율적임.
 - 한 작업기가 대략 80×60cm의 가상의 작업평면을 담당하며, 작물의 평균 높이를 고려할 때 통상 수직방향으로 3단형태의 로봇 작업플랫폼 형태가 바람직할 것으로 예상됨.
 - 작업기는 정해진 경로를 통해 움직이므로 자율주행 보다는 하우스 상단이나 통로 노지에 설치된 레일의 가이드에 따라 움직이는 로봇플랫폼을 구성하는 것이 효율적임. 작업기는 해당 위치를 원점으로 좌우로 회전가능 하도록 하여 작업반경의 확대와 공간 활용의 극대화를 도모함.



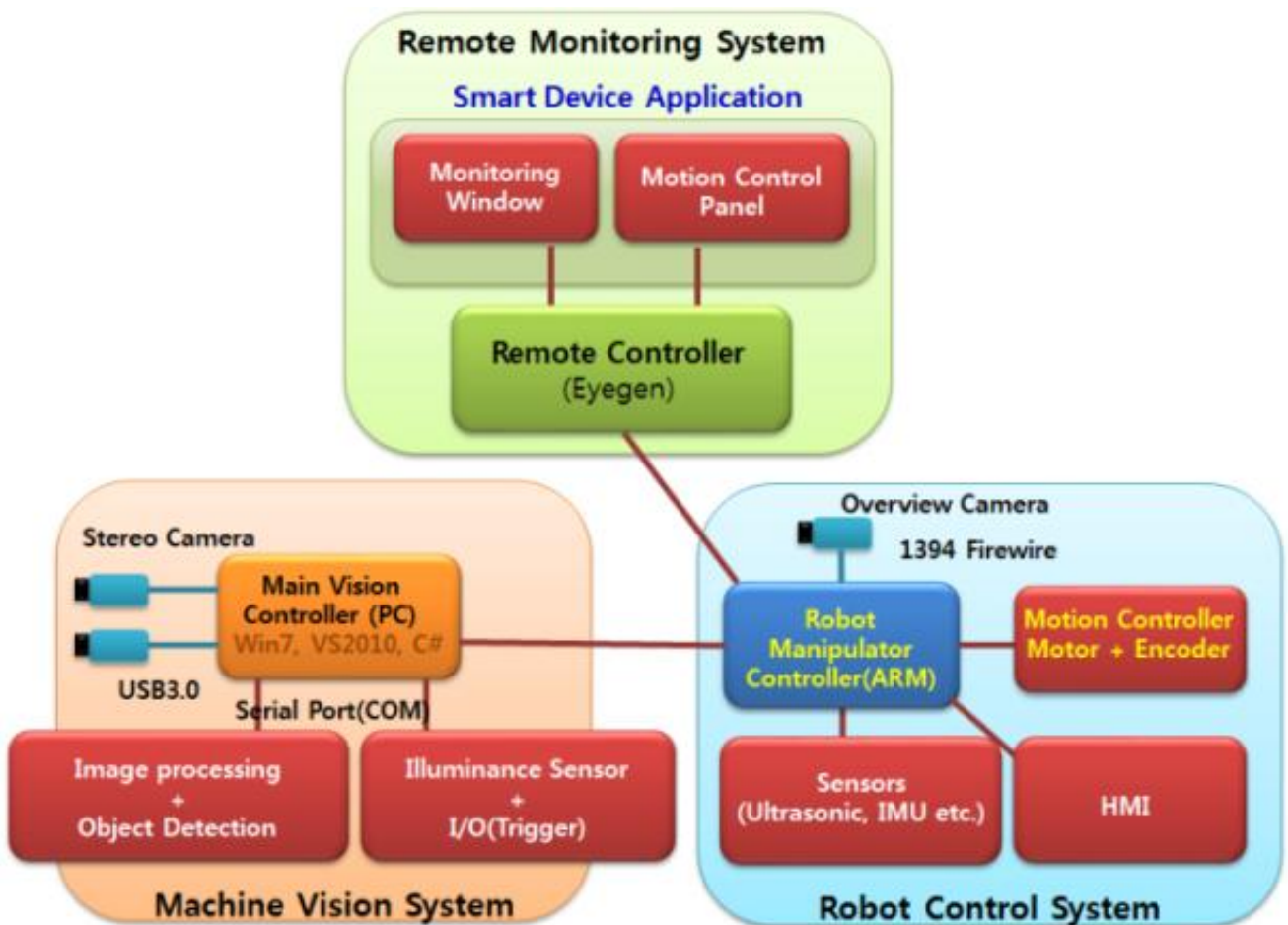
〈파프리카 생육 및 재배환경 개요도〉



<3단형 로봇작업기와 작업평면 예시>

2) 시스템 설계

- 전체 시스템은 대상 작물의 영상정보와 거리를 측정하는 컴퓨터영상처리(기계시각) 시스템과 End-effector(선단작업부)로 물리적 작업을 수행하는 로봇 작업기 시스템, 사용자가 원격으로 작업지시 및 구동모듈을 제어, 관리 감독할 수 있는 원격 작업모니터링 및 지시 시스템의 3개 모듈시스템으로 구성.

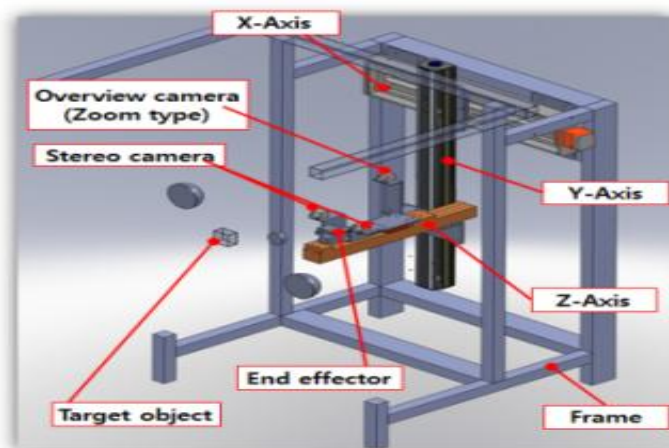


<전체 시스템 개요도>

- 기계시각시스템 : 2셋의 컬러 CCD 카메라로 구성된 스테레오시각 시스템을 이용하여 얻은 영상을 통해 과실의 형상과 생육정보를 인식하고 3차원 공간 좌표를 획득한 후, 이를 로봇제어시스템으로 전달. 초점거리 6mm의 광각 렌즈와 초 당 50 프레임 / USB 3.0 interface 카메라를 사용하여 보다 넓은 작업영역을 실시간으로 탐색할 수 있도록 구성.
- 로봇 제어 시스템 : 기계시각시스템에서 받은 영상정보를 바탕으로 로봇 작업기의 선단 작업부(End-effector)를 제어하여 실제 작업을 수행. 당해 연구과제에서는 다자유도 관절 로봇 시스템을 개발하기 위한 기초 실험을 위하여 선형 액츄에이터를 이용한 3축 로봇 시스템을 구축하였음. 전반적인 작업환경과 로봇 작업기의 구동상태를 확인할 수 있는 광역 모니터링 카메라와 여러종류의 센서류(Ultrasonic sensor, IMU 등)를 탑재하여 실시간으로 동적인 환경변화에 대응할 수 있도록 설계하여 시스템을 구축하였음.
- 원격 모니터링 시스템 : 로봇 제어 시스템으로부터 얻은 광역 모니터링 영상과 로봇 작업기에 설치된 정밀 작업영상을 통하여 전반적인 작업영역 환경과 작업기의 구동상황을 동시에 모니터링하면서 로봇의 선단작업부(End-effector)를 원격 제어할 수 있는 Human Machine Interface(HMI)를 구축하였음. 해당 HMI는 Touch pad monitor를 통해 구현되며 사용자가 Ancillary intelligence 기반의 작업을 수행함에 있어 입력수단으로 활용하였음. 추가로, Eyegen 제어를 통하여 스마트폰이나 태블릿 등 안드로이드 기반의 휴대용 기기에서도 Tele-operation 및 Remote monitoring을 수행하도록 개발하였음.

3) 실제 시스템 통합구현

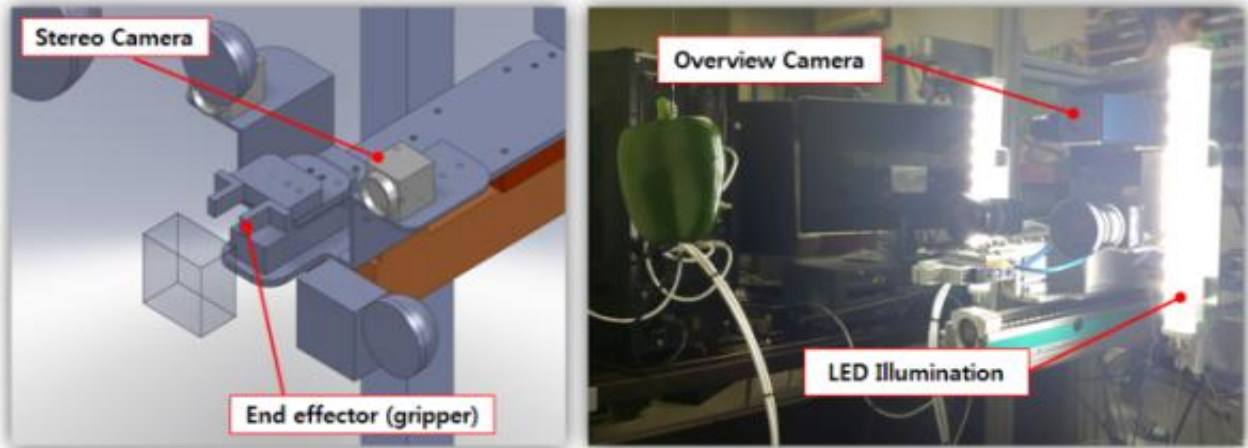
- 설계한 시스템을 바탕으로 2-3세부 각 협동기관과 협력하여 전체적인 통합시스템 시작 모델 시스템을 구현.
- 3축 로봇 매니퓰레이터 모듈
 - 기계시각 기반의 로봇플랫폼의 설계를 위한 초기 연구모델로써, XYZ-3축 선형 액츄에이터와 구동 드라이버를 포함한 제어부, 대상 객체를 거치하여 실험 가능한 고정 알루미늄 프레임, 실제 로봇 작업기의 선단에서 작업을 수행하는 전공압 그리퍼형 End-effector, 스테레오 카메라 및 Overview 카메라 등을 장착할 수 있는 Machine vision system 거치부 등으로 구성된 시험용 Manipulator robot system을 제작하였음. (제 2-3세부 협동 (주)센서아이)



<3-axis manipulator robot system의 설계도면 및 실제모습>

○ 기계시각 시스템 모듈

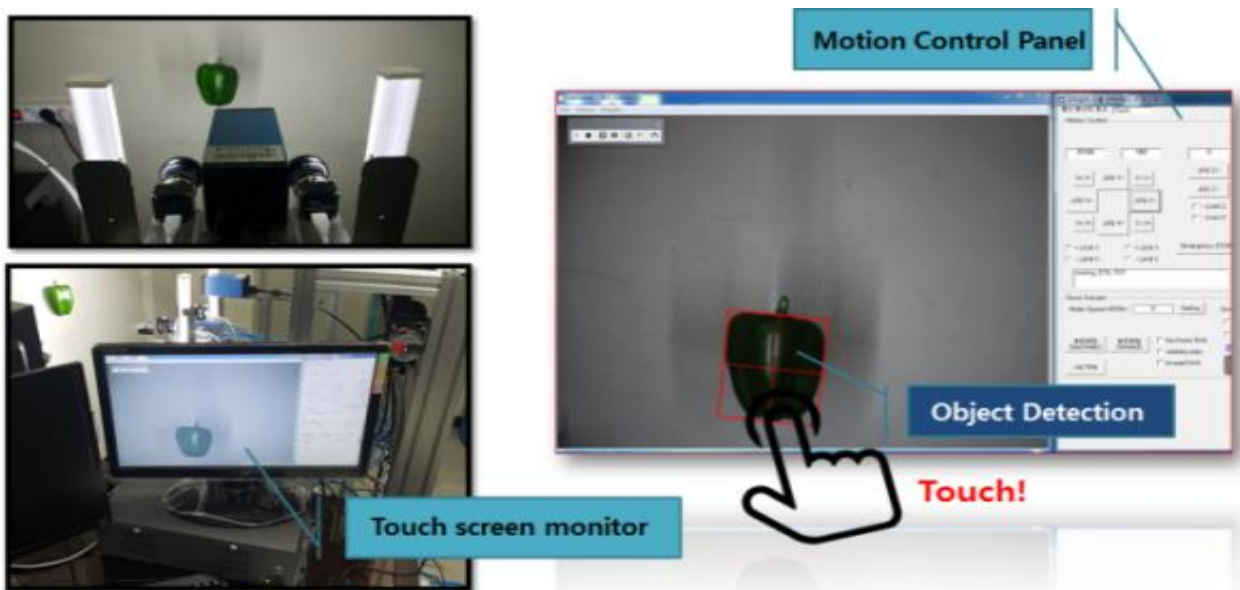
- 로봇 작업기의 선단에 위치하여 End-effector가 작업 공간 내에서 정확한 목표지점에 위치하도록 객체의 거리 값을 측정하기 위한 스테레오 비전과 후방에서 전반적인 상황을 주시하는 Overview camera, Bar type LED 조명장치로 구성된 기계시각시스템을 제작하고 이에 적용될 영상처리 S/W개발. (제 2-3세부 주관 성균관대학교)



<기계시각 모듈시스템의 설계도면 및 실제모습>

○ 원격제어 모니터링 시스템

- 기계시각시스템 모듈의 광역(overview) 카메라에서 전달받은 영상을 원거리에서 사용자가 보고 다시 원하는 제어 신호를 3축 로봇 작업기의 제어 모듈에 원격으로 전달하는 원격 모니터링 및 로봇 작업제어 시스템을 개발하였음. 터치스크린(Touch screen) 모니터 인터페이스로 사용자가 객체의 위치를 대략적으로 입력하면 그 위치를 중심으로 국부적 정밀 영상처리를 통하여 보다 정확하게 대상체를 검출하는 Ancillary Intelligence 방식을 통하여 구현함. (제 2-3세부 주관 성균관대학교, 제1협동 (주)센서아이)



<원격 모니터링 및 작업제어 시스템>

- 원격 모니터링 영상 및 제어신호를 무선으로 전송하기 위한 제어시스템인 Eyesen II를 Robot system의 제어부에 설치하여, 비디오 입력 채널(모니터링 영상), 출력 Relay 채널(제어신호), 센서 입력 채널(온습도 및 CO₂ 농도) 등의 여러 입출력 채널을 통한 원격제어가 가능하도록 하였으며, 이러한 기능들이 스마트 디바이스에서 원격으로 제어 및 관리될 수 있도록 안드로이드 기반 어플리케이션을 개발하였음. (제 2-3세부 협동 (주)나래트랜드)



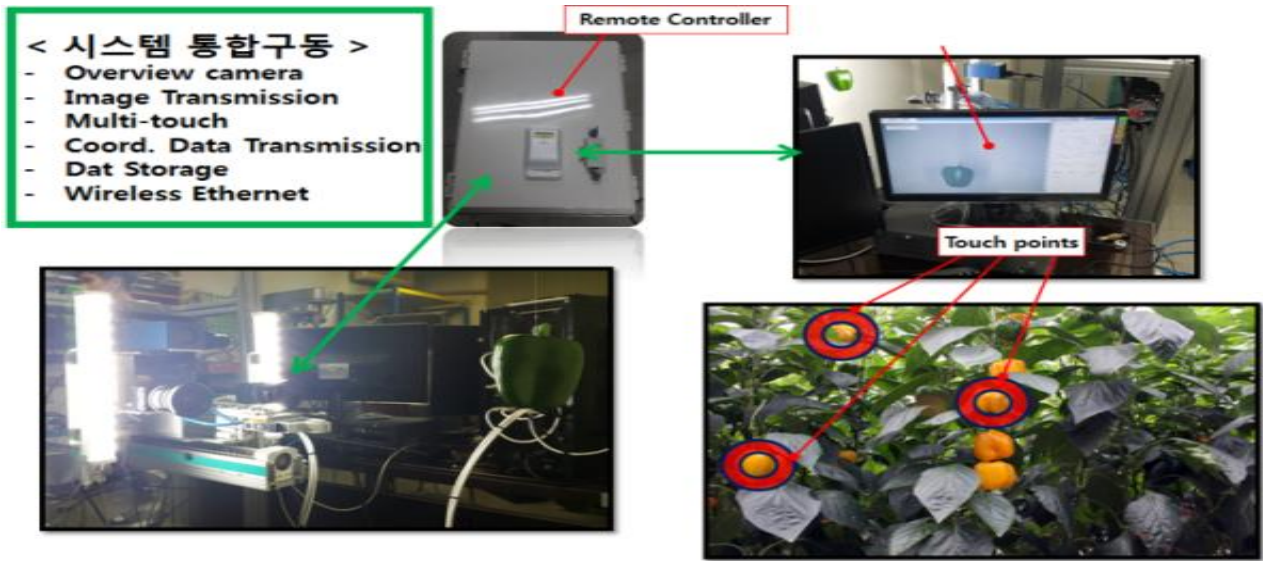
<원격 제어 관리 시스템 : Eyegen II>



<원격 제어 및 관리 시스템 : 스마트폰 어플리케이션 구동 화면>

- 상기 모듈별 개발한 시스템을 종합적으로 연동하여 전체 시스템 통합구동 시험 및 데모

를 완료하였음.

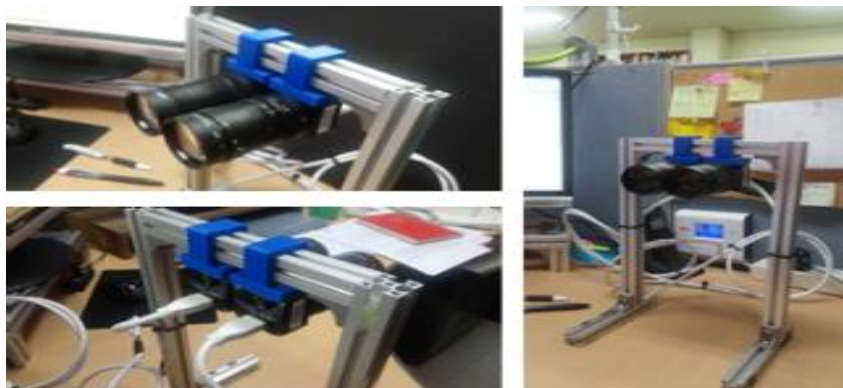


<시스템 통합구동 개념도>

1) 스테레오 비전 시스템 개발

□ 스테레오 시험용 지그(Jig) 제작

- 스테레오 알고리즘 개발 및 성능평가를 위한 소규모 시험용 지그(Jig) 제작.
- USB3.0 interface의 50fps@full resolution 카메라를 사용하여 로봇이 움직이고 있는 동안에도 실시간으로 대상 작물을 추적하고 시차지도(Disparity map)를 생성할 수 있도록 구축하였음. Global shutter와 Trigger를 사용하여 좌우의 raw image의 동조(Synchronization)를 유도하여 스테레오 정합의 성능을 향상시켰음.
- 단초점 렌즈와 왜곡보정 알고리즘을 이용하여 넓은 시야범위(Field of view, FOV)를 확보하면서도 왜곡은 최소화할 수 있도록 하였음.
- 알루미늄 프로파일과 3D 프린팅을 통해 제작된 브라켓을 이용하여 좌우의 카메라 간격을 조정할 수 있도록 제작하여 Base line의 길이 변화에 따른 스테레오 정합률 및 호로터(horopter)를 관찰할 수 있도록 설계하였음.



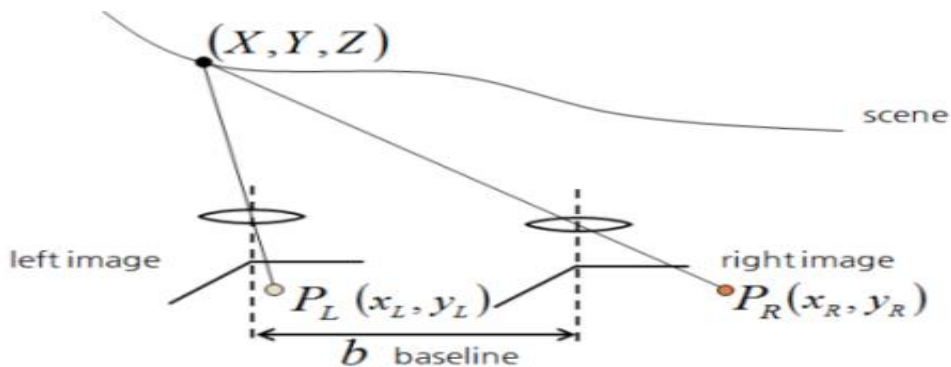
<스테레오 시험용 Jig 제작>

□ 스테레오 알고리즘 개발

○ 삼각화를 통한 객체의 깊이 값 도출

- 두 카메라의 광축(Optical axis)이 일정한 거리를 두고 떨어져서 완전히 평행하게 위치하고 있을 때, 실제 시야범위(FOV) 안에 존재하는 한 점의 깊이(Depth)는 좌우 이미지에서 해당 점의 시차(Disparity $d = x_L - x_R$)와 다른 카메라 내부 수치들을 이용하여 삼각법 공식으로 계산하였음.
- 영상 센서의 투영 중심 사이의 거리를 b (Base line), 렌즈의 초점거리를 f (Focal length)라고 할 때, 객체의 깊이 값 Z 는 비례식에 의해 다음과 같이 계산됨.

$$\frac{b - (x_L - x_R)}{Z - f} = \frac{b}{Z} \Rightarrow Z = \frac{fb}{x_L - x_R} = \frac{fb}{d}$$

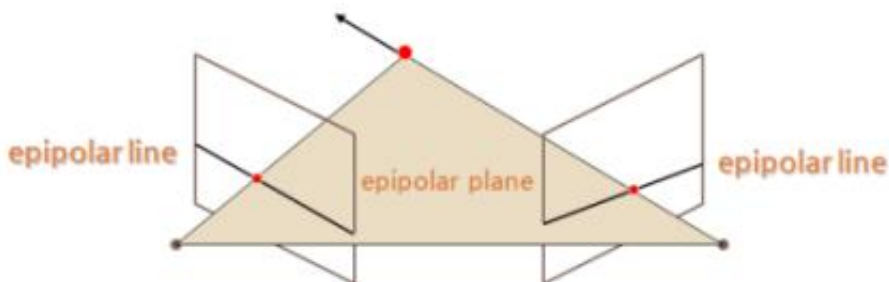


<시차와 깊이의 기하학적 비례>

- 깊이와 시차는 비선형적인 반비례 관계를 갖으며 객체의 깊이 값은 객체가 카메라에 가까울수록 더욱 민감하게 변화하므로, 깊이 값의 변화가 일정 수준이상 분별가능하게 나타나는 거리에서 객체를 관찰해야 하며 오차에 매우 민감함.

○ 에피폴라 제약(Epipolar Constraint)을 이용한 계산 비용 감소

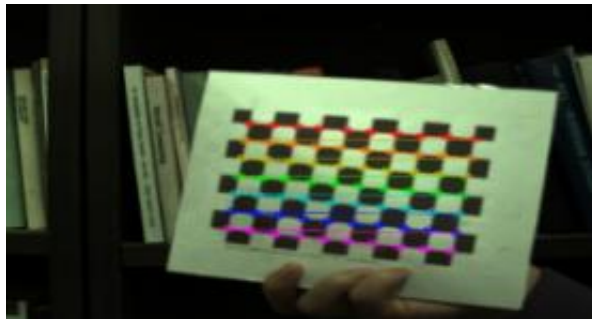
- 한 쪽 영상에서 하나의 점으로 나타나는 실제 물리세계의 포인트가 나머지 다른 영상에서 존재할 수 있는 가능성은 1차원 직선의 형태로 표현됨. 이러한 특징을 활용하여 한쪽 영상의 포인트가 나머지 영상에 해당하는 포인트를 검색할 때 2차원의 모든 점을 검색하지 않고 1차원 검색만 실행함으로써 계산 시간을 획기적으로 감소시킬 수 있을 뿐 아니라 잘못된 대응점을 찾을 확률도 줄어듦.



<에피폴라 제약>

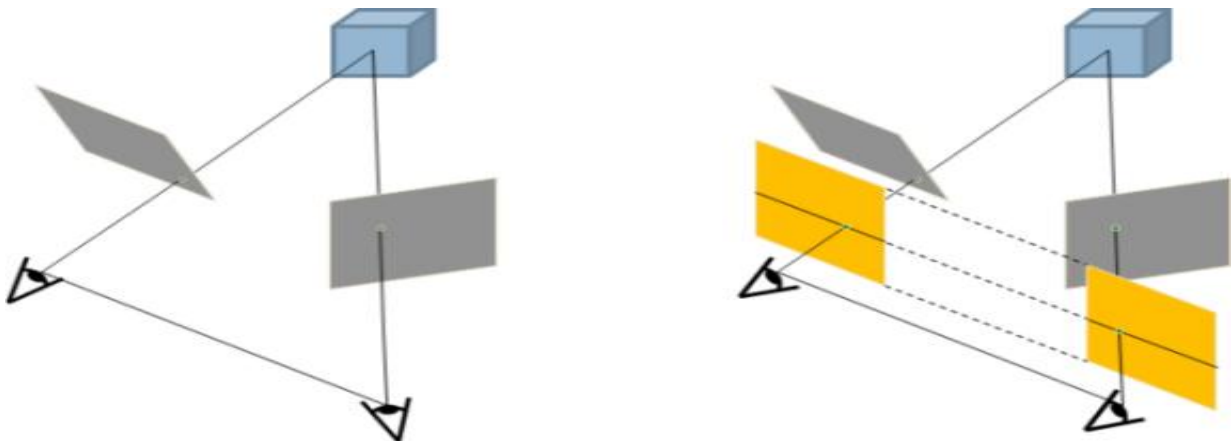
○ 스테레오 보정(Calibration)과 조정(Rectification) 알고리즘 개발

- 두 카메라의 관계를 고려하기 이전에 각각의 카메라에 일어나는 부적절한 영향들을 보정해야 함. 카메라의 기하학적 모델 보정을 위한 내부 파라미터(Intrinsic parameter)와 렌즈의 방사 왜곡(Radial distortion)과 접선 왜곡(Tangential distortion)을 보정하기 위한 왜곡 벡터(Distortion vector)를 계산.
- 실제 획득한 스테레오 영상의 경우 정밀하게 설계된 기구부를 가진다 할지라도 이상적으로 완벽하게 정렬될 수 없기 때문에 스테레오 Calibration을 통해 두 카메라 사이의 기하학적 관계(Geometrical relationship)을 계산하여 두 개의 광축(Optical axis)이 평행하고 무한대의 지점에서 교차하도록 하는 회전 행렬 R과 이동 벡터 T를 구하여 이를 보정할 수 있음.
- 본 알고리즘에서는 가로 10개 세로 7개의 코너를 가지는 체스보드를 통해 상기 두 종류의 보정을 위한 복수개의 보정행렬을 동시에 계산할 수 있도록 하며, 체스보드를 카메라의 FOV안에서 다양한 위치와 각도로 움직여주는 일련의 과정을 통해 자동적으로 보정행렬 생성을 위한 복수의 이미지 샘플을 획득할 수 있는 실시간 자동 보정 기능을 구현하였음(사용자 친화적 UI를 통해 비전문가의 영상보정에 대한 접근성을 높임).



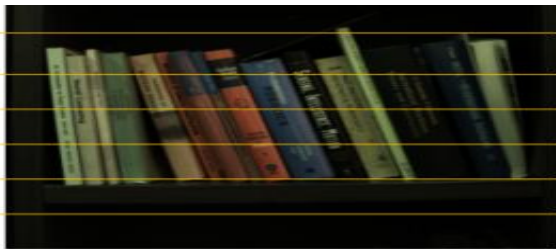
<실시간 체스보드 코너 검출 및 보정 행렬 계산>

- 에피폴라 라인에 맞추어 획득한 보정 행렬을 바탕으로 두 개의 카메라에서 얻은 이미지를 조정(Rectification)할 수 있는 룩업 지도(Lookup map)를 생성하여 실시간으로 받은 이미지가 이상적으로 정렬되어 출력될 수 있도록 하였음.



<스테레오 조정(Rectification) 개념도>

- 미리 계산한 두 스테레오 영상 사이의 회전 행렬과 이동 벡터를 바탕으로, Bouquet 알고리즘을 사용하여 두 영상에서 재투영에 의한 왜곡은 최소화하고 공통영역은 최대화된 Lookup 지도(Lookup map) 생성하여, 조정된 영상이 스테레오 이미지에서 최대의 공통 영역을 공유할 수 있도록 잘라내었음.

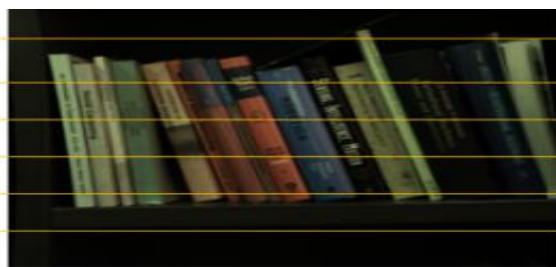


Left image



Right image

<보정(Calibration) 및 조정(Rectification) 전(前) 스테레오 이미지>



Left image



Right image

<보정(Calibration) 및 조정(Rectification) 후(後) 스테레오 이미지>

○ 스테레오 대응(Correspondence) 알고리즘 구현

- 객체를 구성하는 실세계에 존재하는 점이 보정 및 조정된 두 개의 영상에서 각각 어느 위치에 존재하는지 검색하여 매칭(Matching)하는 과정인 스테레오 대응(correspondence)을 통하여 시차(Disparity)를 구하였음.
- 대응점을 찾기 위한 방법에 따라 스테레오 대응 알고리즘을 분류할 수 있는데 당해연도 연구에서는 기존 선행연구에서 사용된 몇 가지 방법들의 매칭 알고리즘을 직접 구현하여 어떤 알고리즘이 본 연구에 적합한지에 대하여 판단하는 기초연구 단계를 수행하였음.
- Block matching, Semi-global matching, Constant space belief propagation 등의 알고리즘을 구현하여 제작한 스테레오 시험기로 시차 지도(Disparity Map) 생성 테스트를 수행하였음.



Block Matching



Semi-global Block Matching



Constant Space Belief Propagation

<스테레오 매칭 알고리즘 시차 지도 생성결과>

- 입력 영상의 전처리 필터 크기나 비용함수 윈도우 크기, 최대 시차 개수 등의 매칭 파라미터를 실시간으로 튜닝하여 적절한 값을 찾을 수 있도록 트랙바 형식의 UI를 구현하여 실험하였음.

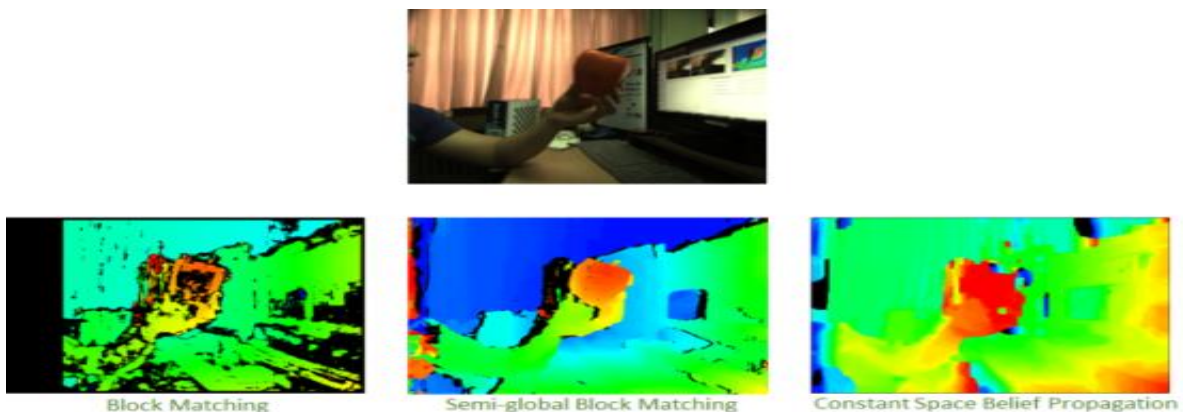


Constant Space Belief Propagation



<사용된 스테레오 파라미터 조정 UI 예시>

- Block matching의 경우 상대적으로 연산 비용이 낮고 동작속도가 빠르나 SAD window 크기가 고정되어 있어 상대적으로 질감(texture) 정보가 적은 부분에서 많은 노이즈가 발생하였음.
- Semi-global block matching의 경우, 전역적인 매칭을 부분 활용하여 Block matching에 비하여 상대적으로 노이즈가 적은 안정된 결과 값을 보였으며, 매칭 퍼포먼스와 연산 비용 사이에서 가장 우수한 밸런스를 보였음.
- Constant space belief propagation의 경우 고비용 함수로서 높은 퍼포먼스를 예상하였으나, 상대적으로 매우 부드럽고 일관적인 깊이 지도를 생성하고 호류터가 넓어 장거리의 깊이 획득에 유리한 반면, 본 연구과제에서 요구하는 물리적 환경 범위 내에서는 다른 알고리즘에 비교하여 결과의 해상도가 높지 않았음.
- 시차 지도(disparity map)의 0부터 255레벨을 Pseudo color look up table에 매칭하여 그레이 레벨보다 원근감을 시각적으로 구분하는 것이 용이하도록 구현하였음.



<수도컬러(Pseudo color) 이미지 변환 결과>

- Block matching, Semi-global matching, Constant space belief propagation의 순서대로 연산 비용이 증가하였으며, 모든 알고리즘에서 Maximum disparity number를 충분히 높이지 않으면 질감(texture)정보가 뚜렷하지 않은 위치에서는 매칭에 실패하여 노이즈가 많아졌으며, 이를 극복하기 위해 더 많은 시차를 검색할 경우에는 계산비용이 증가하여 객체의 실시간 추적이 어려워지는 Trade-off를 피할 수 없었음.
- 상기 항목에서 서술한 문제를 극복하기 위해서 GPU의 병렬처리 리소스를 활용하여 계산 처리속도를 높일 수 있는 GPGPU(General Purpose Graphics Processing Unit)기술인 CUDA(Compute Unified Device Architecture)를 사용하는 알고리즘을 추가로 개발하였음. (구현도 80%)



<구현된 CUDA 그래픽카드 상태 확인창(UI 예시)>

- CUDA의 경우 그래픽 하드웨어 자원이 필요하므로 추가비용이 발생하여 현장적용에 불리하게 작용할 수 있으므로, 기존의 멀티코어 CPU의 Multi-threading기능을 활용하여 매칭 속도 향상을 꾀하는 알고리즘 개발. (영상을 복수개의 서브 영상으로 분리하여 각 서브 영상마다 독립적인 스레드가 매칭 윈도우의 비용함수를 계산한 뒤, 그 결과를 다시 하나의 영상으로 합치는 방식으로 구성하여, 쿼드코어의 경우 기존 대비 매칭속도를 4배 향상시켰음.)



<쿼드코어의 경우 Multi-threading을 이용한 스테레오 매칭 병렬처리 예시>

□ 깊이 지도를 통한 3차원 재구성(3D Reconstruction)

○ OpenGL를 이용한 3차원 재구성

- 추후에 직접 재배하우스에 가지 않고도 원격으로 전반적인 작물생육환경과 작황상태를 모니터링 할 수 있는 3차원 가상공간 매핑을 구현하기 위한 기초단계로서 스테레오 깊이 지도를 3차원으로 복원할 수 있는 어플리케이션을 개발하였음.
- 오픈소스 그래픽 라이브러리인 OpenGL을 사용하여 획득한 깊이 맵을 3차원으로 투영하여 vertex로 구현하고 원본 스테레오 이미지의 컬러정보를 매핑하였음.

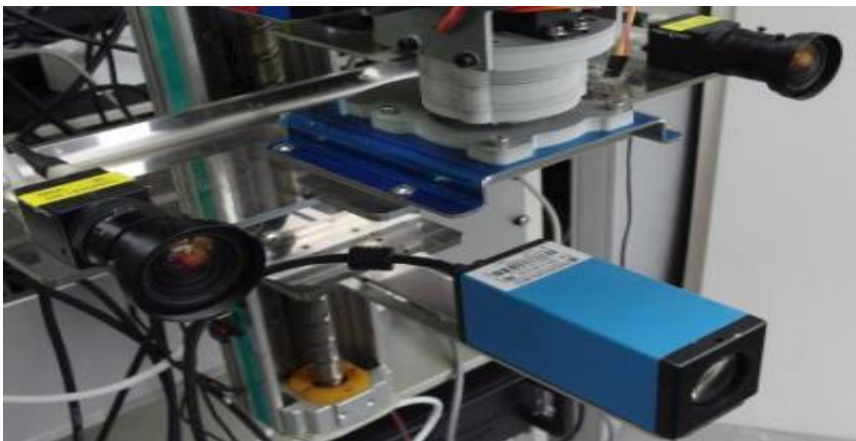
- 스테레오 매칭한 결과를 바탕으로 실시간으로 3차원 구현을 수행함으로써 추후에 V-SLAM(Visual Simultaneous Localization And Mapping) 구현을 위한 계산 비용을 사전에 테스트하였음.



<이미지 3차원 복원 결과화면>

■ 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현

- 영상 및 센서 데이터 송수신 및 획득 처리용 모바일 플랫폼 개발
 - 사용자가 원격으로 작업지시 및 구동모듈을 제어, 관리 감독할 수 있는 원격 작업모니터링 및 지시 시스템의 2개 모듈시스템으로 구성
 - 두 개의 컬러 CCD 카메라로 구성된 스테레오시각 시스템과 광역(overview) 카메라를 이용하여 얻은 영상을 통해 과실의 색과 형상 그리고 생육정보 인식하고 3차원 공간 좌표를 획득 한 후, 이를 로봇제어시스템으로 전달
 - 초점거리 6mm의 광각 렌즈와 초 당 50 프레 임 / GigE interface 카메라를 사용하여 보다 넓은 작업영역을 실시간으로 탐색 할 수 있도록 구성



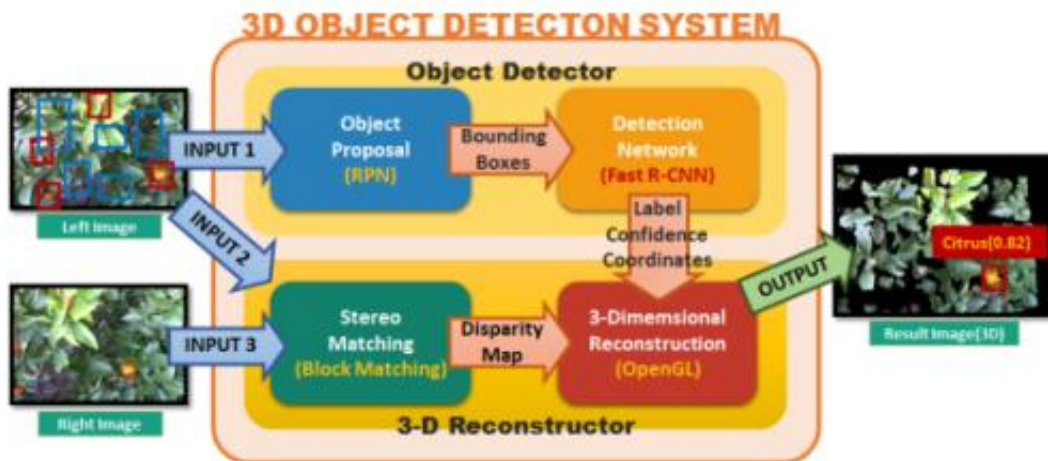
<작물 인식용 영상획득부>



<모니터링 화면>

○ Convolutional Neural Network를 활용한 개체 인식 알고리즘 개발

- 전체 시스템은 크게 물체 탐지기와 3차원 복원기의 2개의 모듈로 구성되어 있으며 다시 물체 탐지기는 물체 제안 네트워크(RPN)과 사물 탐지 네트워크(Fast R-CNN) 서브모듈로 구성되어 있음
- 3차원 복원기는 스테레오 매칭(블록매칭) 서브모듈과 3차원 재구성(OpenGL) 서브모듈로 구성되어있음
- RPN이 입력 이미지로부터 물체의 바운딩 박스 후보 군들을 추정하여 넘겨주게 되면 Fast R-CNN은 이 중에 확률이 높은 물체의 클래스를 선정하여 라벨/확률/좌표를 3차원 복원기에 넘겨주도록 구성 되어 있음
- 3차원 복원기는 스테레오 이미지에서 계산한 시차지도 정보와 물체 탐지에서 넘겨받은 정보를 합하여 그래픽 라이브러리인 OpenGL을 통해 최종적으로 3차원 이미지를 출력함



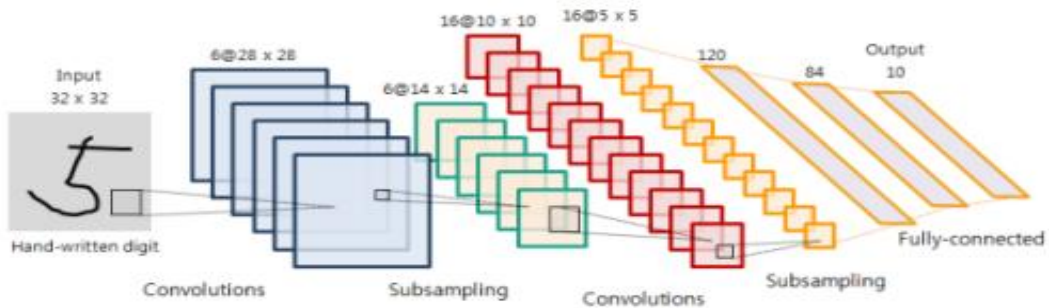
<통합 시스템 개요도>

1) 컨볼루션 뉴럴 네트워크 (Convolutional neural network) 개발

가) CNN 아키텍처를 이용한 학습

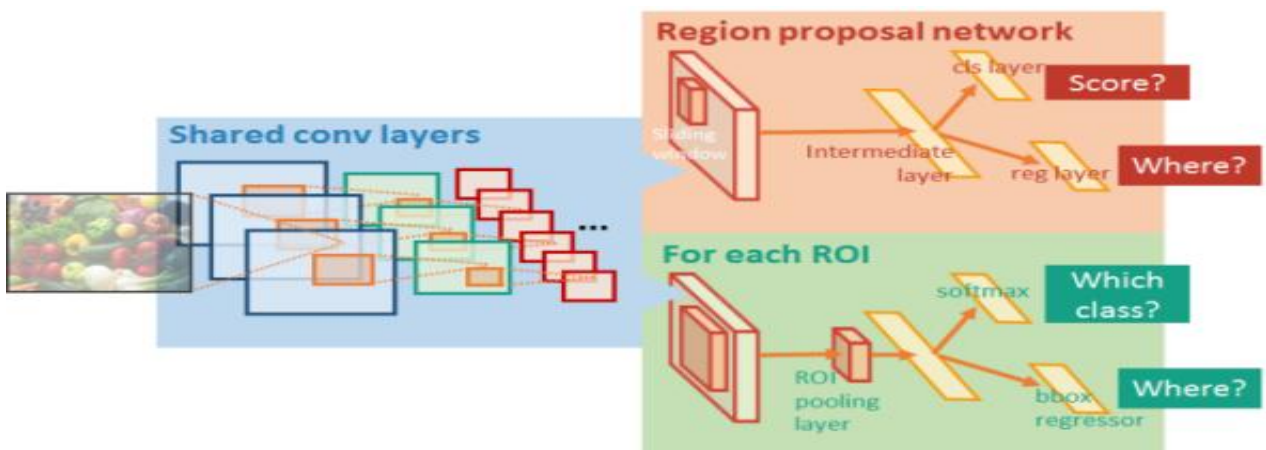
- 하나 또는 여러 개의 컨볼루션 레이어와 그 위에 올려진 일반적인 인공 신경망 레이어들

로 이루어져 컨볼루션 레이어에서 전처리를 수행하는 구조를 가진 인공신경망으로 영상과 같은 2차원 입력 데이터에 적합한 구조로 되어 있으며 학습된 내용을 기반으로 새로운 입력에 대한 해답을 도출 할수 있음



<CNN 아키텍처>

- Faster R-CNN에서는 RPN(Region Proposal Network)를 이용하여 기존의 object proposal에서 소모되었던 시간을 획기적으로 줄일 수 있어 실시간으로 물체 인식이 가능함



<Faster R-CNN의 구조>

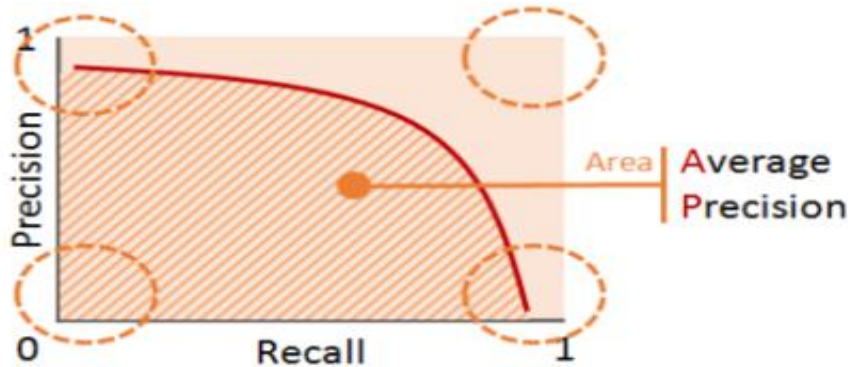
나) 성능 평가 방법

| | | |
|-----------------|------------------------|------------------------|
| 실제 결과 추론 결과 | Positive | Negative |
| Positive | tp (True Positive) | fp (False Positive) |
| Negative | fn (False Negative) | tn (True Negative) |

<실제 결과와 추론 결과의 관계>

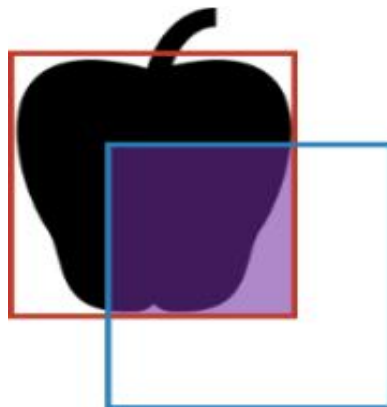
$$\text{정밀도(Precision)} = \frac{tp}{tp + fp}, \quad \text{재현율(Recall)} = \frac{tp}{tp + fn}$$

- 이미지 인식 분야의 평가 기준으로 사용되는 것은 정밀도(precision)와 재현율(recall)이며 신경망이 현재까지 테스트한 이미지들 중에서 총 n개의 물체를 탐지했고 그 들을 A, B, C 클래스 중 하나로 예측했다고 할 때, A 클래스에 대한 정밀도란 A라고 예측한 물체 중에서 실제로 A가 존재하는 비율을 나타내고, 재현율이란 실제 A 중에서 신경망이 A라고 성공적으로 예측해낸 비율로 성능 평가의 지표가 됨
- 정밀도를 재현율에 대하여 나타낸 Precision-recall 그래프는 Fig. 12와 같이 영역은 탐지한 물체들 중에 참인 비율은 높지만, 탐지하지 못하고 놓친 물체들도 역시 많으며, 우하단 영역은 거의 모든 물체를 탐지했지만 참이 아닌 여러 허위 결과들도 많이 포함되어 있는 경우가 있음
- 탐지한 물체 중에 클래스를 잘못 예측할 경우가 많아질수록 정밀도는 떨어지며 재현율이 낮은 경우는 탐지는 했지만 다른 클래스로 예측한 경우임



<Precision-recall 그래프>

- 그래프에서 모든 재현율에 대한 정밀도를 더한 값, 즉, 적분을 통해 구한 그래프 하단의 면적을 AP(Average Precision)라고 하고, 이러한 AP를 분류기의 모든 클래스에 대하여 구한 뒤 평균을 낸 값을 mAP(mean AP)라고 하며 Precision-recall 그래프는 인공지능망에 앞서 다른 모든 기계학습 분류기에서 알고리즘의 성능평가를 위해 사용해왔고, mAP는 VOC Challenge와 같은 여러 이미지 인식 관련 대회에서 사용되고 있는 성능 지표로 나타냄



<Intersection over Union (IoU)>

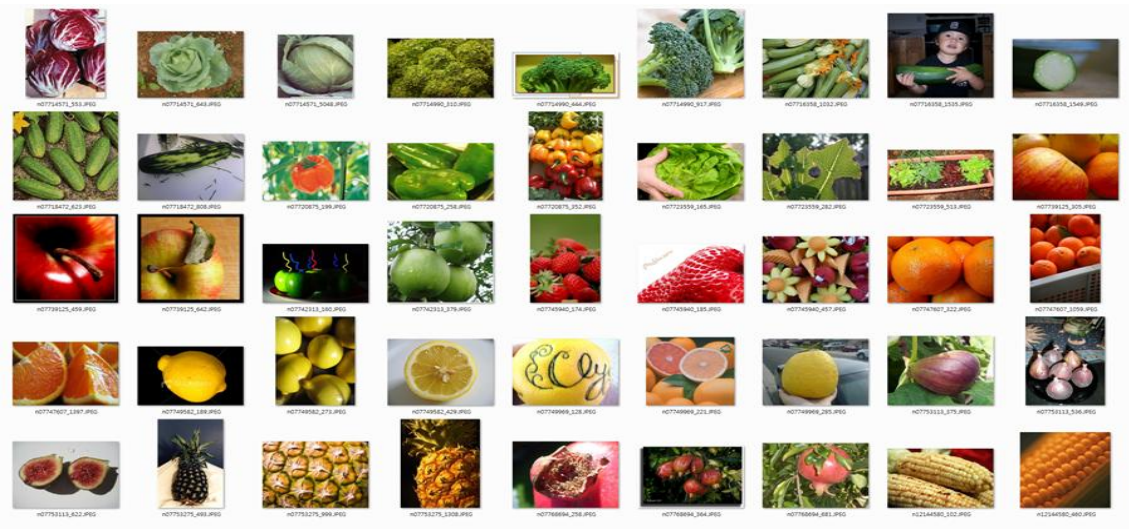
- 물체의 탐지결과 영역과 Ground-truth 영역과 정확히 일치할 확률은 매우 낮기 때문에 두 영역이 어느 정도 중첩되었을 때, positive로 볼 것인가에 대한 기준이 필요하며, 이는 IoU(Intersection over Union)으로 나타난다(Fig. 13). IoU는 영역을 집합으로 보았을 때, 합집합에 대한 교집합의 비율로 이해할 수 있으며, 일반적으로 IoU가 0.5이상일 때 positive로 판단하였음

2) 작물 인식 시스템

가) 학습을 위한 데이터셋(dataset) 생성

- 작물은 여러 색깔을 가지고 있고 보는 각도에 따라 다양한 모양이 연출되면서도, 너무 구체적인 질감정보를 가지고 있지 않은 파프리카를 선정하였음
- 비교할 2종류의 학습 데이터셋은 여러 상황에서 다양하게 만들어진 이미지 데이터셋(ImageNet dataset)과 실제 작물재배 환경과 유사한 환경에서 만들어진 이미지 데이터셋(Video annotated dataset)을 사용하였으며, 테스트 데이터는 두 번째 학습에서와 같이 실제 환경과 유사한 이미지 세트를 사용함

IMAGENET



<ImageNet 데이터베이스에 포함된 작물 이미지 예시>

나) Video annotation 데이터셋

- Video annotation dataset은 본 연구 목적으로 직접 제작한 데이터셋으로 실제 재배환경과 유사한 파프리카 이미지와 바운딩 박스를 포함한 어노테이션 데이터를 함께 가지고 있음
- 학습 데이터셋 세계 최대의 동영상 공유 사이트인 YouTube로부터 최대한 파프리카 재배 환경을 실제로 촬영한 여러 편의 동영상을 수집하였음
- 다양한 색깔과 크기를 갖는 다양한 종(種)의 파프리카를 포함하도록 하였으며, 차폐나 절단의 정도, 조명환경, 카메라 화질 및 색감, FOV(Field of View), 관찰 방향 및 각도, 촬영

거리, 렌즈 포커스 등 여러 환경의 다변성에 부합 하도록 구성하였음

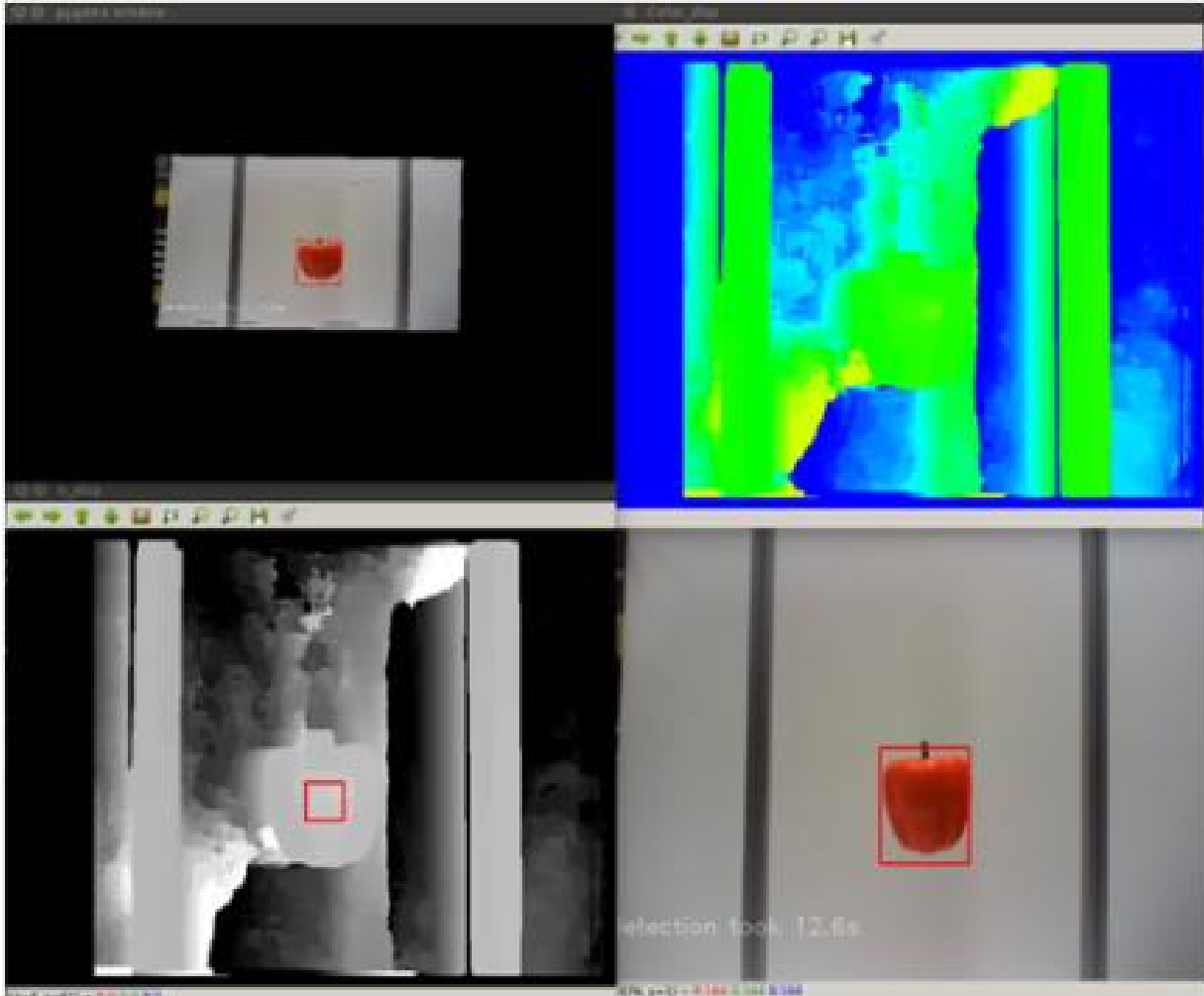
영상의 해상도는 640×480, 초당 프레임은 30, 총 프레임 수는 9800장으로 구성되었으며, 실제 트레이닝과 테스트에 사용할 이미지는 전체 프레임에서 15프레임 간격으로 추출하여, 총 653장의 이미지 데이터를 생성하였음

3) 3차원 깊이 추정

- 스테레오 영상을 통하여 3차원 깊이를 추정하고 이를 바탕으로 가상공간에 매핑하는 작업을 수행하며 획득한 작물의 탐지 바운딩 박스 좌표는 이와 같은 3차원 복원 시스템에 전달되어 실제 작물의 위치를 실제 공간상에서 매핑 할 수 있도록 개발하였음



<Video annotation 결과 화면>



<실시간 3차원 복원 시스템 구현화면>

4) 파프리카 학습 결과 분석

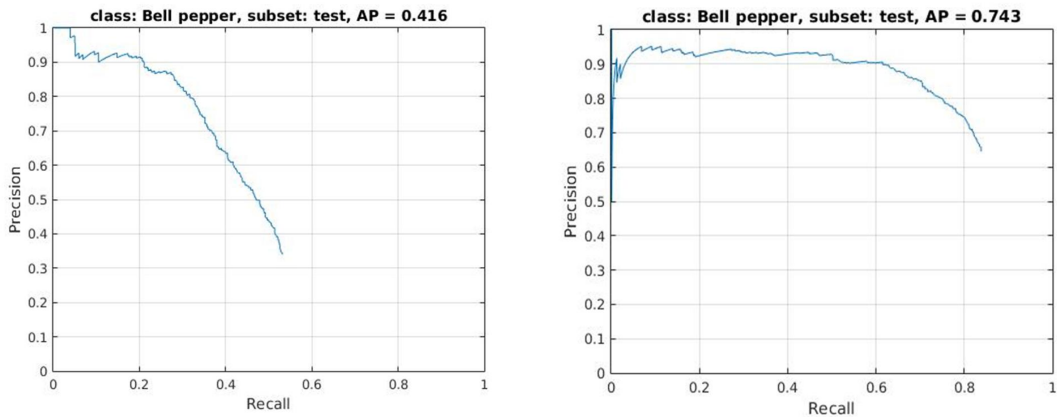
파프리카만을 대상으로 단일 클래스만을 학습하여 ImageNet 데이터셋과 Video annotation 데이터셋의 학습결과를 비교분석 하였음

가) Precision-Recall curve와 Average precision

- ImageNet 데이터셋, 아래그래프는 Video annotation 데이터셋으로 학습시킨 모델의 PR 그래프이다. 상대적으로 ImageNet 데이터셋의 경우 재현율은 끝까지 좋지 못하면서 정확도도 가파르게 감소하는 반면에, Video annotation 데이터셋의 경우 매우 안정적인 커브를 보이고 있음 앞서 ImageNet은 0.416의 AP를 기록하였는데, 같은 ImageNet 데이터셋으로 테스트를 모두 수행했을 때의 AP가 0.718이었던 것을 감안한다면, 학습 데이터양이 절반으로 줄어든 것을 고려하더라도 엄청나게 큰 낙폭을 보여줌을 알 수 있음

이로부터 ImageNet 스타일의 데이터셋으로 학습시킨 모델은 실제 재배환경과 유사한 영상에서는 그 성능이 매우 떨어진다는 것을 확인할 수 있다. 그에 반해 실제 환경과 유사한 video annotation 데이터셋으로 학습한 모델의 AP는 0.756으로 ImageNet 데이터셋 학습 모델의 기록보다 거의 2배의 차이로 앞서고 있다. 이러한 결과로는 실제 재배환경에서 파프리카를 탐지하기 위해서는, ImageNet의 다양한 이미지에서 얻을 수 있는 일반화된

(generalized) 특징보다 유사 환경 영상에서 얻는 특이성(peculiarity)을 학습하는 것이 더 유리하다는 것을 시사하고 있음



<PR curve와 AP (ImageNet dataset)>

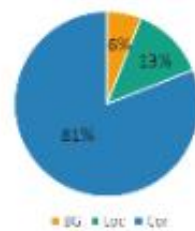
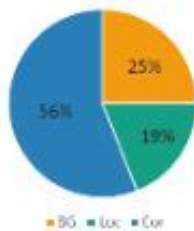
나) False Positive 분석

- False Positive 분석은 디텍터가 파프리카라고 예측했으나 틀린 경우에 대한 분석으로 Fig. 67와 Fig. 68에서 Loc는 localization 오차를 의미하며 예측한 바운딩박스과 ground-truth (사람이 annotation한 박스좌표)의 IoU 오버랩이 0.2보다 크거나 같고 0.5보다 작은 경우 물체의 위치과악에 실패한 것으로 간주하고 하나의 물체에 2개 이상의 바운딩 박스는 negative로 계산하였음

BG는 background와의 혼동을 의미하며, 다른 클래스 작물이 없기 때문에 파프리카가 아닌 곳을 positive로 잘못 탐지했을 경우를 나타내며 Cor은 Correction으로 전체 탐지 결과 개수 중에서 BG와 Loc를 제외한 비율이지만 무조건 true positive라 보장하지 않음

Localization 오차의 IoU임계값 등의 조건에 따라서 허수가 발생할 수 있기 때문이며 이 자료에서 주목할 것은 false positive가 두 학습모델에서 어떻게 차이를 보이는 가 분석함 ImageNet 학습 모델에 비하여 Video annotation 학습 모델이 BG와 Loc 모두에서 false positive가 감소하였으며, 특히 배경 혼동 문제에서 크게 개선이 되었음을 알 수 있음 상대적으로 RPN의 proposal 정확도보다 Fast R-CNN의 분류 능력이 더 많이 향상되었음을 유추할 수 있음

수치적 차이를 분석해 보면, 배경과의 혼동은 75%가량 감소한 반면 위치과악 오차는 약 32% 감소하였으며, 오히려 Video annotation 학습 모델에서는 위치과악 오차 건수가 배경 혼동 건수보다 2배 이상 증가함을 할 수 있음.



<탐지결과 비율 분석 (ImageNet dataset)>

<탐지결과 비율 분석 (Video annotation dataset)>

- 결과에 대한 보다 정성적 평가를 위해서는 실제 false positive가 어떤 이미지들로 구성되어 있는지 직접 관찰하는 것이 필요하며 배경과의 혼동은 주로 파프리카와 비슷한 실루엣을 가지는 이파리에서 발생함을 할 수 있고 위치파악의 실패는 파프리카의 전반적인 위치파악의 실패라기보다는 차폐로 인하여 정확한 과실의 경계를 찾지 못하는 것을 알 수 있었음

Localization error 중에서 가장 confidence가 높게 틀린 상위 100개의 샘플을 조사한 결과, 사람이 annotation을 직접 수행하면서 생기는 프레임간 누락이나 과실이 약 14%, 과실이 잎과 줄기에 의해 차폐되면서 과실의 경계가 사람이 보기에 판단하기 모호한 경우 약 69%, 명암에 의해 과실의 일부가 어두워지면서 경계가 모호해지는 경우 약 12% 정도로 파악됨

Background



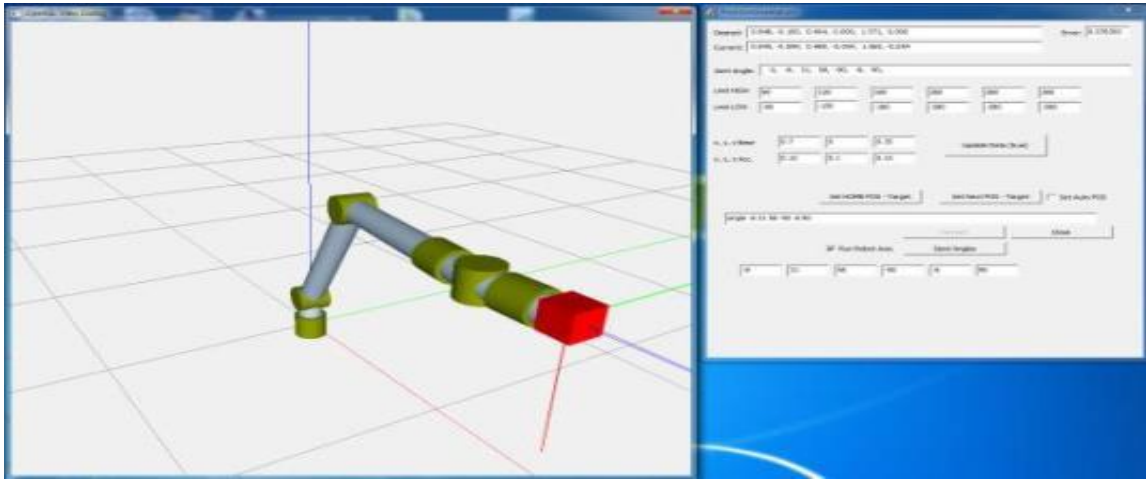
Localization



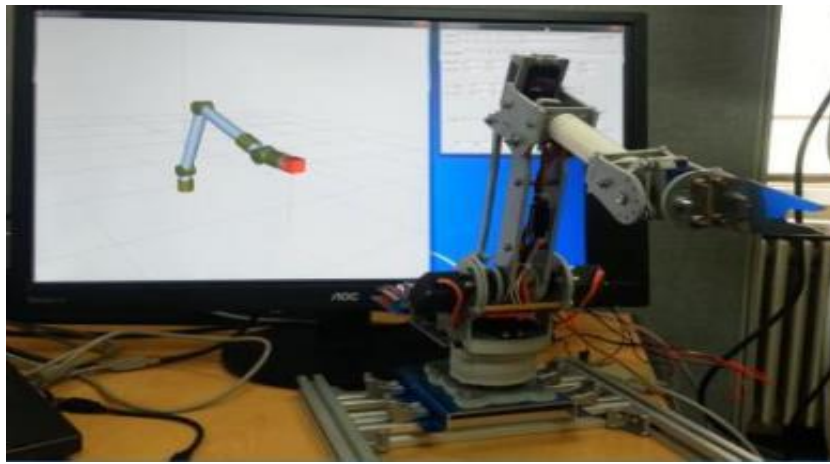
<배경과의 혼동과 위치파악 실패의 예시 (Video annotation dataset)>

○ 작업특성에 따른 End- effector의 개발.

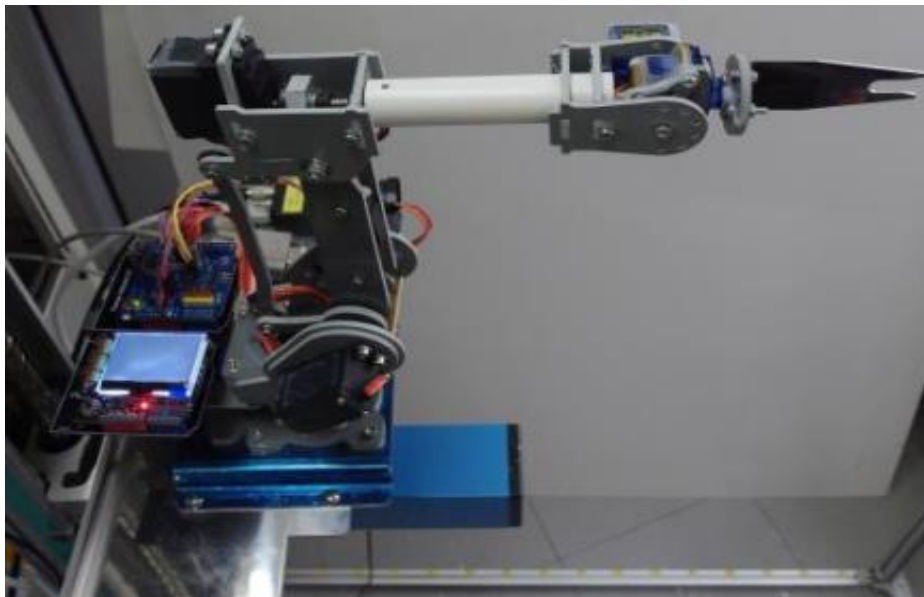
- 기계시각시스템에서 받은 영상정보를 바탕으로 로봇 작업기의 선단 작업부(End-effector)를 제어하여 실제 작업을 수행. 당해 연구과제에서는 다자 유도 관절로봇 시스템을 개발하기 위한 기초 실험을 위하여 선형 액츄에이터를 이 용한 3축 로봇 시스템을 구축하였음. 전반적인 작업환경과 로봇 작업기의 구동상태를 확인할 수 있는 광역 모니터링 카메라와 여러 종류의 센서류(Ultrasonic sensor, IMU 등)를 탑재하여 실시간으로 동적인 환경 변화에 대응할 수 있도록 설계하여 시스템을 구축하였음



<로봇암 시뮬레이터 구동 확인 모니터링 및 구동 프로그램>



<로봇 암 시뮬레이터 매칭>



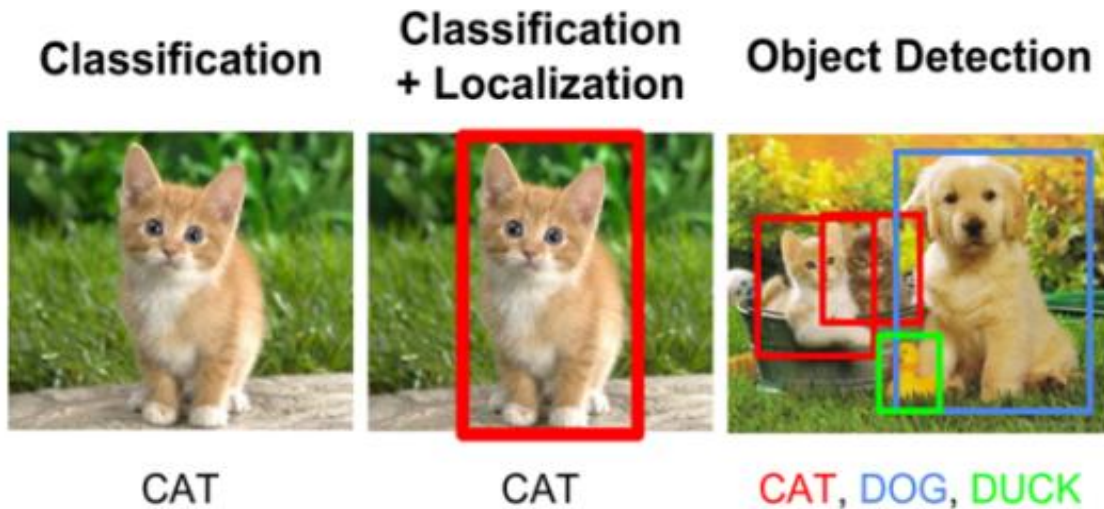
<로봇 암 장착부>

■ 작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현

□ CNN 기반 파프리카 인식 기술 고도화

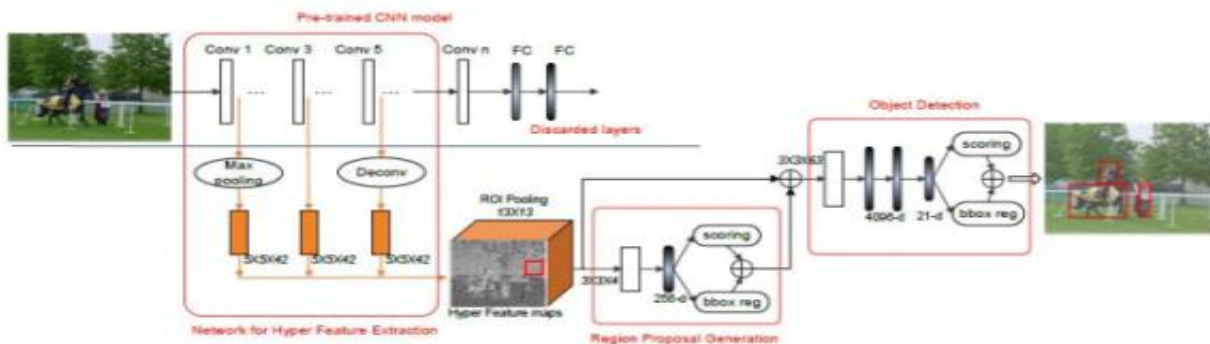
- 머신 러닝은 기본적으로 알고리즘을 이용해 데이터를 분석하고, 분석을 통해 학습하며, 학습한 내용을 기반으로 판단이나 예측을 한다. 따라서 궁극적으로는 의사 결정 기준에 대한 구체적인 지침을 소프트웨어에 직접 코딩해 넣는 것이 아닌, 대량의 데이터와 알고리즘을 통해 컴퓨터 그 자체를 ‘학습’ 시켜 작업 수행 방법을 익히는 것을 목표로 한다. 복잡한 환경 영상에서 파프리카만을 인식하는 경우 복잡한 패턴을 사람이 직접 분석, 비교하여 식별(Classification)하는 것보다 다량의 유사 패턴을 가진 파프리카 영상을 머신 러닝을 통해 직접 패턴을 찾아 인식하는 것이 더 효율적이다.

가) Object Detection



<Multi Object Detection>

- 사물의 존재 유/무를 찾는 Classification을 기반으로 물체의 위치를 각 사물별로 찾는 기법이 Object Detection이다.

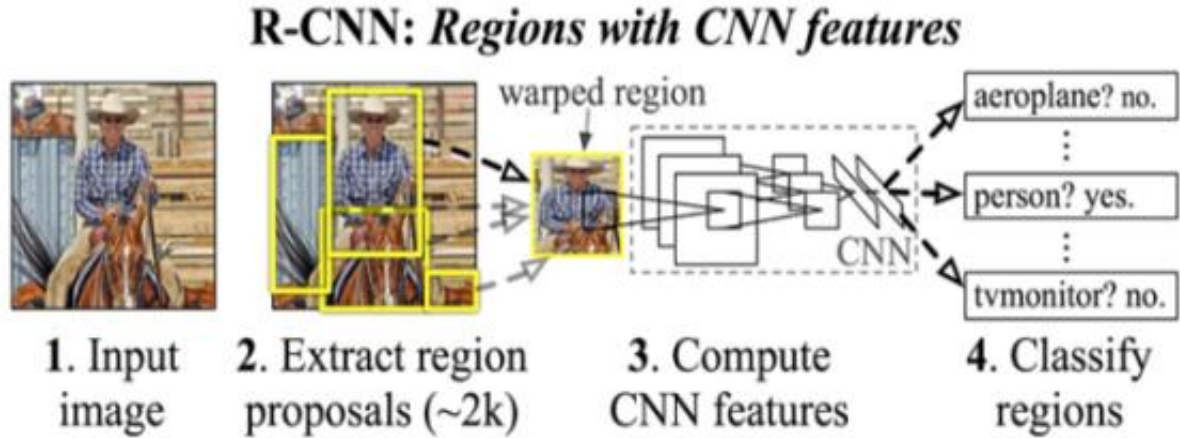


<Faster Rcnن 모델>

- Object detection은 영상 내에 특정 대상(object)의 위치를 찾는 것으로 2012년 AlexNet이

발표되면서 거의 매년 성능이 2배 정도 좋아 지고 있을 정도로 빠르게 발전하는 모델 중에 하나다.

- Object detection은 bounding box를 통해 찾고자 하는 사물의 영역을 구분하는 것까지 수행하여야 하므로 Classification에 비해 훨씬 어렵다고 볼 수 있다.



〈Faster Rcnm 모델〉

1) R-Cnn

- R-Cnn은 위 그림과 같이 입력 영상으로부터 약 2000개 이상의 후보영역을 만든다. 후보 영역 생성을 위해 사용하는 방법은 Selective search방법을 적용하여 후보 영역을 선정한다. Selective search는 Uijlings가 처음 발표를 하였으면, segmentation의 장점과 exhaustive search의 장점을 사용하며, 영상의 color나 Texture등 단순한 정보뿐만 아니라 계층 구조도 같이 활용하였다.
 - Selective search를 통해 후보 영역을 선정하면, 224 x 224의 크기로 warping 이나 crop를 사용하여 224 x 224 크기로 만들고 CNN에 입력하여 CNN Feature vector를 얻어 낸다.
 - 다음 linear SVM를 통해 해당 영역을 분류한다.
- Object detection은

R-CNN

Fast R-CNN

Faster R-CNN Region Proposal Network

YOLO: Real-Time Object Detection

순으로 발전 되었으면 파프리카 인식에 사용된 기본 모델은 Faster R-CNN을 사용하였다. 최신의 Object detection의 모델인 YOLO는 4가지의 모델 중 처리속도가 가장 빨랐으나 독자적인 소프트웨어코드와 Faster-RCNN 보다 낮은 detection 성능으로 인해 기본 모델에서 배제 되었다.

- Faster R-CNN은 장점은
 - * 특징 추출 부분을 공통화
 - * 특징 맵을 입력하여 물체 영역 후보영역을 생성하는 Region Proposal Network를 제안
 - * 300개 정도의 공간 후보로 충분한 정확도가 확보

* 1장당 0.2 ~ 0.3초에 처리가능

으로 R-CNN, Fast R-CNN과의 비교에서 처리속도 뿐만 아니라 정확도 역시 가장 좋았다.



<Faster Rcnm 모델을 통한 Bell Pepper Detection결과(실제 테스트)>

2) SLAM(Simultaneous localization and mapping)

- SLAM이란 Map이 주어지지 않은 환경에서 로봇이 주변 환경을 센서(영상,레이더)를 통해 주의 환경을 감지해 Map을 만들고 그 Map에서의 자신의 위치까지 추정하는 작업을 가리킨다. 본 연구에서 사용된 파프리카 수확기는 6축으로 설계된 기계적 암(arm)을 사용하기 때문에 이동경로에 대한 피드백으로 위치 인식이 필요하다.

○ 파프리카 인식용 로봇 플랫폼 구축

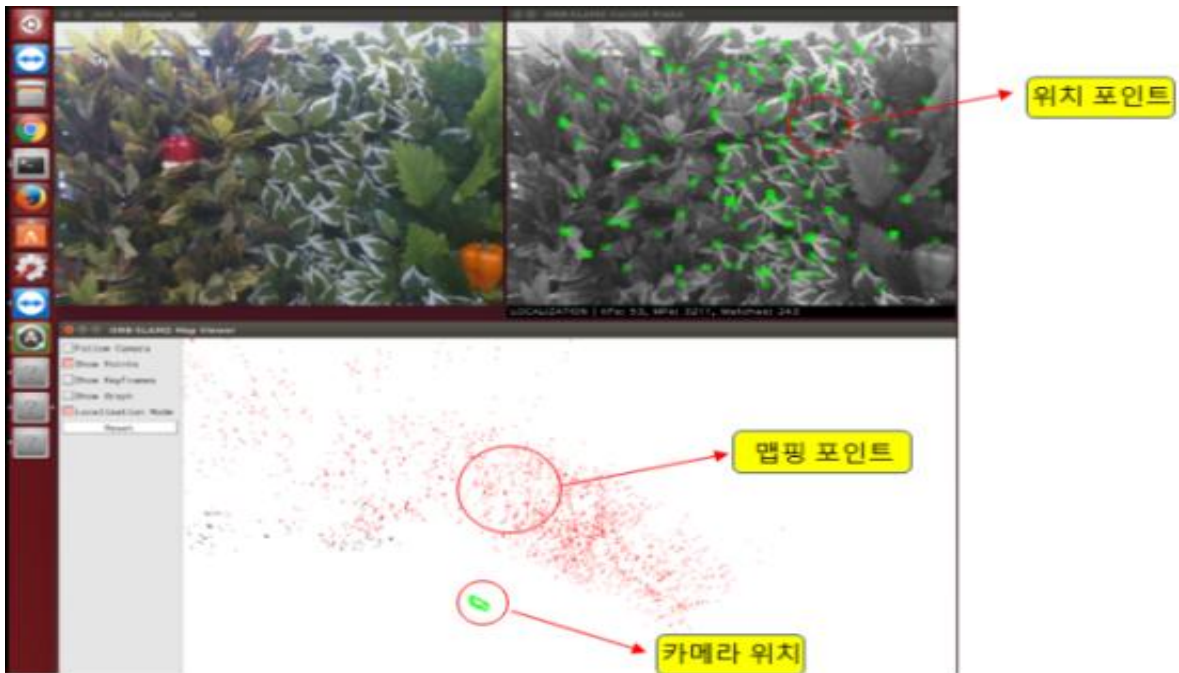
- V-SLAM을 사용한 파프리카 수확기의 엔드이펙터(End Effector) 위치 추정
- 파프리카 농장 특성상 작업기를 설치 할 수 있는 폭이 좁기때문에 근거리에서 Depth 정보를 받을 수 있는 RGB-D카메라가 필요하다.

엔드 이펙터의 근거리 위치 인식과 3D공한 맵핑을 위해 짧은 거리에서 Depth정보를 얻을 수 있는 RGB-D 카메라인 Intel RealSence카메라(SR300)을 사용하였다.



<Intel RealSence Sr300>

- Intel RealSense Sr300은 20cm to 150cm사이에서 Depth 정보를 받을 수 있고 Faster-Rcnn과 Point Cloud를 사용한 3D mapping에 필요한 빠른 프레임 속도와 고 해상도 이미지를 획득 할 수 있었으며 리눅스 환경에 뛰어난 호환성을 가지고 있어 본 연구에서 필요한 카메라 조건에 부합하였다.
- 실제 환경에서 위치 추정 테스트를 구현하기 위해 Ubuntu14.04 환경에서 소프트웨어를 구성 후 테스트를 진행 하였다. 테스트결과 정확도 높은 추정위치 결과를 얻을 수 있었다.



<V-SLAM을 사용한 카메라 위치 추정(실제 테스트)>

- 3D Mapping공간에서 Deeplearning를 활용한 Object Detection을 구현하기 위해 Point Cloud를 통한 파프리카 Mapping을 추가 구성하여 테스트를 진행 하였다.

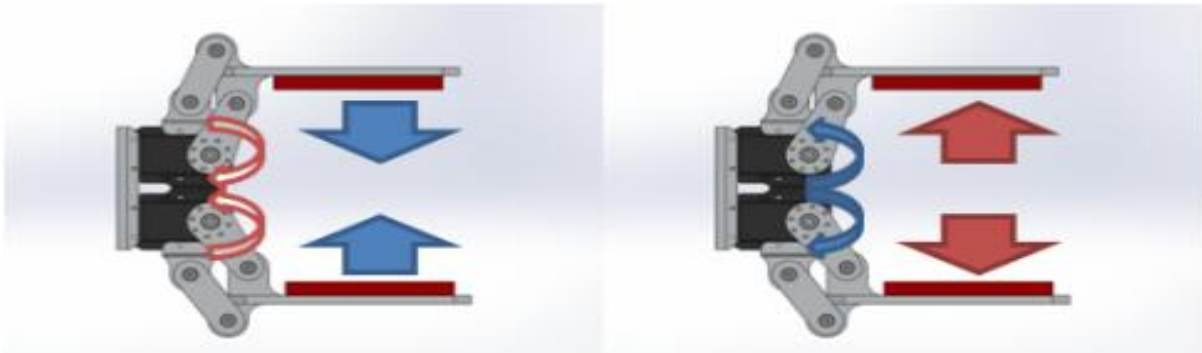


실제 테스트 환경

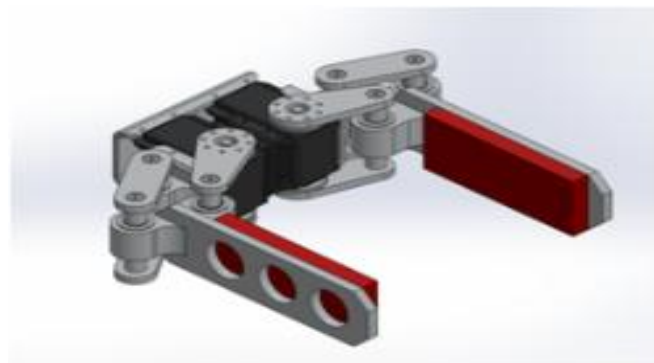
Point Cloud를 통한 3D Mapping

<V-Slam과 Point cloud를 통한 3D Mapping>

- 두 개의 서보 모터로 구성된 파프리카 수확을 위한 End effector로 모터의 회전 방향에 따라 물체를 잡을 수 있는 메커니즘으로 교체가 가능하도록 설계

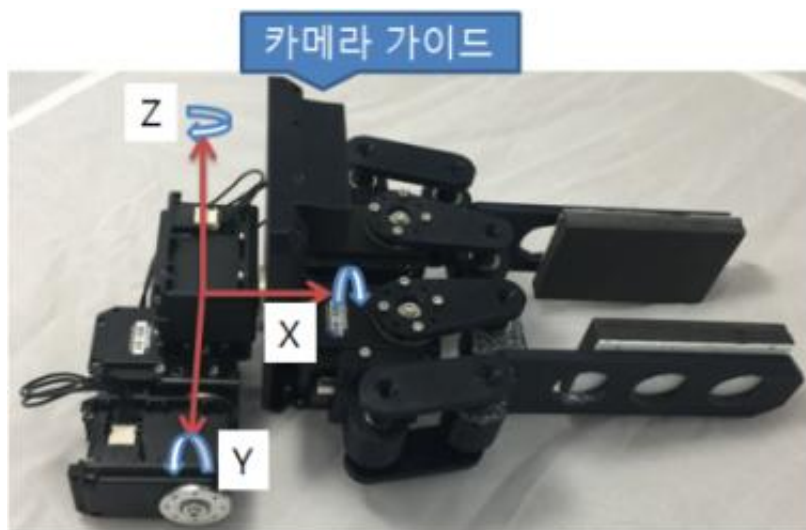


<End effector 설계>



<End effector 전체 외관>

- 설계된 End effector는 3축으로 구성 되어 있으며 모터 브라켓 상단에 카메라를 달수 있도록 구성 되었다.



<3축 End-effector 외관>

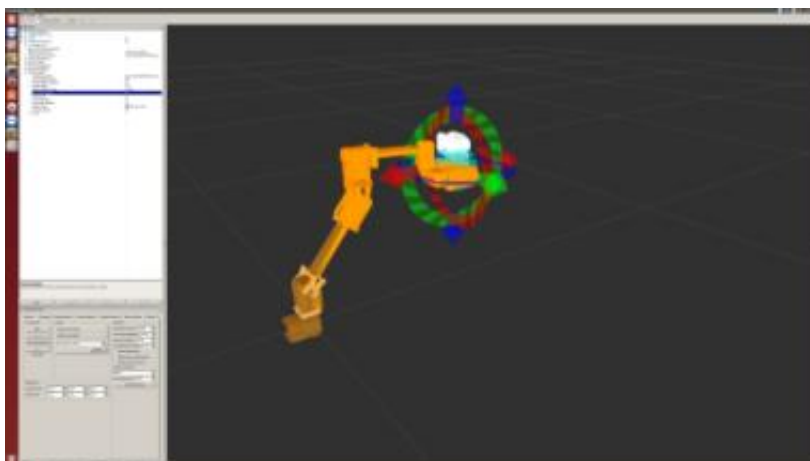
- 두번째로 설계된 End effector는 3축으로 구성 되어 있으며 기존의 End effector 대비 무

계를 감소하고 단순화 하였으며 형태 또한 파프리카의 모양에 알맞은 형태로 구성 되었다.



<2차 End effector 설계>

- 원격조작을 위해 실제 Manipulator를 모델링 하였으며 Gripper를 제외한 Manipulator로 총 6축으로 구성 되었다.



<Manipulator 와 End effector의 스탠바이 상태인 모습>

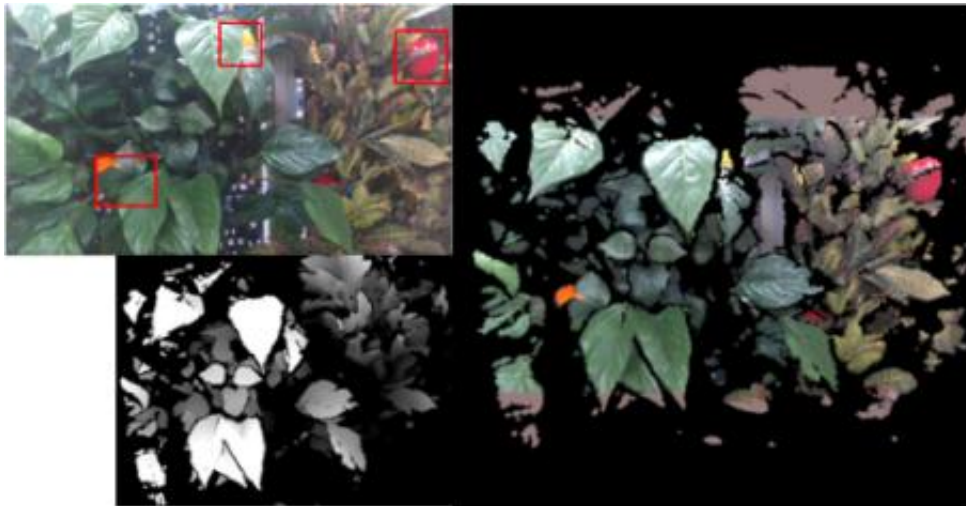


<원격작업을 통해 매뉴얼로 작물의 위치로 이동한 모습>



<깊이 정보 및 컨볼루션 뉴럴네트워크 기반 작물 인식 및 위치 이동>

○ 전체적인 뷰 영상에서 파프리카 작물을 검출



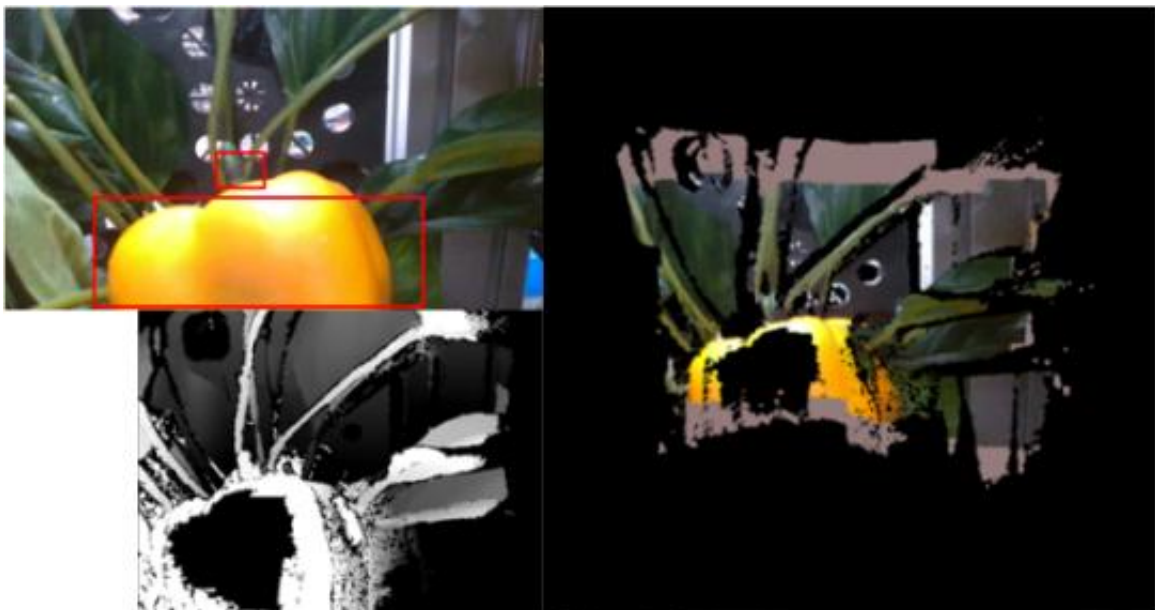
○ 깊이 정보 카메라에서 검출된 파프리카의 거리 값을 이용하여 위치를 파악하고 역기구학을 통해 작물의 위치로 이동



○ 계산된 위치 값으로 이동한 뒤 파프리카 및 파프리카의 꼭지 부분을 검출



○ 파프리카 꼭지 절단부 검출을 위한 End effector 위치 고정



■ 위탁기관 (주)센서아이

○ 파프리카 실내 테스트 베드 구축

- 아래 그림처럼 테스트 베드는 크게 3가지로 나뉘었다. 첫 번째는 파프리카 생육환경과 유사한 상황을 재현하기 위해 각기 다른 잎사귀 모양을 4가지로 구성하여 파프리카의 검출 능력을 알아보기 위해 구성 하였다. 두 번째는 리니어 모션을 사용하여 좌우 로 이동하고 그 위에 Manipulator 및 End effector 를 설치 할 수 있도록 설계되었다. 마지막으로 생육 정보 모니터링을 위한 서버 및 이동 작업을 위한 모터 제어기 등으로 구성 되어 있다.



<파프리카 생육 모델 테스트 베드 외관>

- 각기 다른 모습의 잎사귀를 갖는 4개로 구역을 나누어 구성 하였으며 Manipulator 와 잎사귀 까지의 거리는 45cm의 거리를 두었다.



○ 제어 통합 시스템 구축

- 리니어 모션의 컨트롤은 Windows 기반의 프로그램으로 제작 되었고 학습을 통한 딥러닝 기반의 프로그램들은 Ubuntu 기반으로 제작 되어져서 이를 통합 컨트롤 하는 부분이 필요하다. 이를 위해 프로그램을 수정하지 않고 개별화 되면서 또한 통합 구동이 가능한 방법을 선정하였다. 이는 프로그램의 모듈화를 통하여 TCP/IP 기반의 소켓 통신을 이용하여 미리 지정된 신호로 상호 데이터를 주고 받으며 피드백 할 수 있도록 기반 프로그램을 구성하였다. 이는 우분투 기반의 인공지능 프로그램이 메인 프로그램으로 동작하면서 윈도우 기반의 모터 컨트롤 프로그램의 데이터 신호를 주고 받으며 실시간 상호 작동을 수행한다.
- 생육 정보 모니터링을 위한 서버로 인공지능 학습이 가능 하도록 우분투 환경으로 작동하며 End effector 및 모터 제어가 가능 하도록 하였다.



<윈도우기반의 리니어 모션 컨트롤 프로그램>



<우분투 기반의 딥러닝 인공지능 시스템>

나. 세부과제별 사업수행 실적 - 2단계

■ 2단계

● 제 1핵심연구과제

| | | | | | | |
|------------------|---|---|---------|--------------------|---------------|-----------|
| 과제번호 | 제 (1)핵심과제 | | | | | |
| 핵심 연구과제명 | 국문 | 노지 농업생산 무인자동화 구현을 위한 Connected Farming 기반기술 개발 | | | | |
| | 영문 | Connected farming technology for automation of agricultural production | | | | |
| 핵심 연구책임자 | 한글성명 | 이경환 | 영문성명 | Kyeong-Hwan Lee | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 전남대학교 | 학과명 | 지역바이오시 스템공학 | 직위 | 교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2017년 09월 18일 부터 ~ 2021년 12월 31일 까지 (4년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 |
| | 정부출연금 | 572,000 | 572,000 | 565,000 | 1,032,000 | 2,741,000 |
| | 기업부담금 | 237,280 | 237,280 | 237,280 | 429,855 | 1,141,695 |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 합계 | 809,280 | 809,280 | 802,280 | 1,461,855 | 3,882,695 |
| 참여연구인력 (단위:명) | 세부과제책임자 | 책임급 | 선임급 | 원급이하 | 합계 | |
| | 5 | 8 | 13 | 21 | 42 | |
| 세부 연구책임자 | 구분 | 성명 | 소속 | 전공 | | |
| | 제1-1세부과제 | 이경환 | 전남대학교 | 농업기계 | | |
| | 제1-1협동과제 | 김종전 | 공간정보 | 해양환경 | | |
| | 제1-2협동과제 | 김용주 | 충남대학교 | 바이오메카트로닉스 | | |
| | 제1-3협동과제 | 최종민 | LS엠트론 | 농업기계 | | |
| | 제1-2세부과제 | 최영수 | 전남대학교 | 기계공학 | | |

연구 과제 내용 및 목표의 변경 근거

○ 드론 기반 농경지 및 작물 정보화 기반 기술 개발(1-1세부)

* 1단계 평가 및 보완요구사항에 드론을 활용한 기술개발의 명확한 목표 제시가 필요하다는 의견이 있었음. 이에 따라 드론을 활용한 작물 및 농경지의 상태 파악 및 농작업 시기 예측을 추가함.

| 변경 근거 | | 변경 전 |
|---------------------------------|--|-------------------------------------|
| 보완요구사항 | | ‘작물의 생육 및 환경 조건에 따른 최적 관리 기술 개발’ |
| 구분 | 평가결과 내용 | |
| | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 드론을 활용한 기술개발은 명확한 목표 제시가 필요할 것으로 판단됨 | 변경 후 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ▪ ARC 지원목적을 달성하기 위해서는 작물의 상태를 조기에 정확히 진단하는 기술이 우선되어야 하고, 환경에 피해가 적은 생체농약이나 비료를 자동시비(무인화)하는 기술개발이 필요할 것으로 사료됨(과제수행필요) | ‘농경지 상태 파악 및 농작업 시기 예측 시스템 개발’ |
| ‘1단계(3차년도) 보완요구사항 조치내용 검토’ 中 | | |

○ Connected Farming 기반 트랙터 동력 모니터링 (작업 부하, 연료소비) 시스템 개발’ (1-2협동), 한국형 원격 제어트랙터 및 텔레매틱스 시스템 (1-3협동)

* 1단계 보완요구사항 및 평가의견에 따라 자율주행 트랙터를 활용하여 실제로 사용될 수 있는 연구에 집중할 수 있도록 ‘자율주행 이양기 적용 기술 개발’ 내용은 삭제하고 아래의 연구 내용을 추가함.

| 변경 근거 | | 변경 전 |
|---------------------------------|---|---|
| 보완요구사항 | | ‘자율주행 이양기 적용 기술 개발’(1-3세부) |
| 구분 | 평가결과 내용 | |
| | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 자율 주행 트랙터의 개발 목표는 실제로 사용될 수 있는 목표 항목 제시가 필요할 것으로 판단됨 | 변경 후 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1단계 사업목표는 기초 원천기술 개발 및 인력양성이었지만, 2단계 사업목표도 역시 기초 원천기술 개발 및 인력양성에 중점을 두고 있음. 또한 기술개발보다는 인력양성에 치중되어 있음. 2단계 사업목표를 1단계와 차별화된 실용화 단계로 진전시킬 수 있도록 사업목표를 구체적으로 보완한 필요가 있음 | ‘Connected Farming 기반 트랙터 동력 모니터링 (작업 부하, 연료소비) 시스템 개발’ (1-2협동), ‘한국형 원격 제어트랙터 및 텔레매틱스 시스템’ (1-3협동) |
| ‘1단계(3차년도) 보완요구사항 조치내용 검토’ 中 | | |

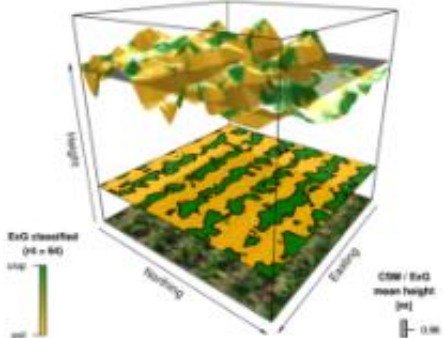
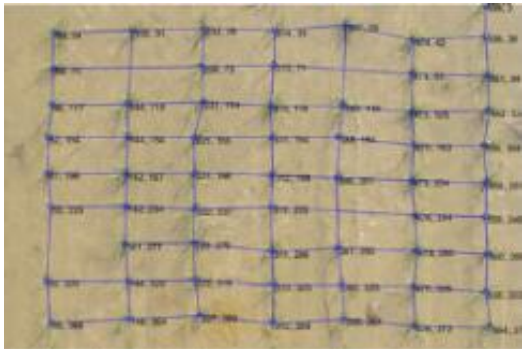
(1) 제 1-1 세부과제

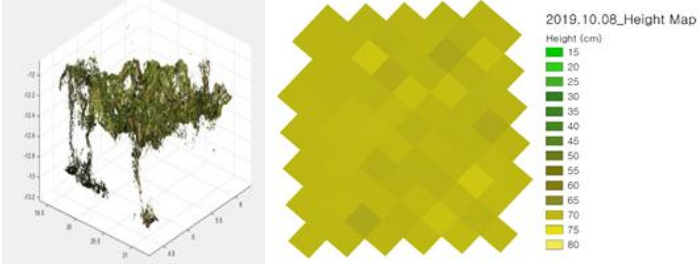

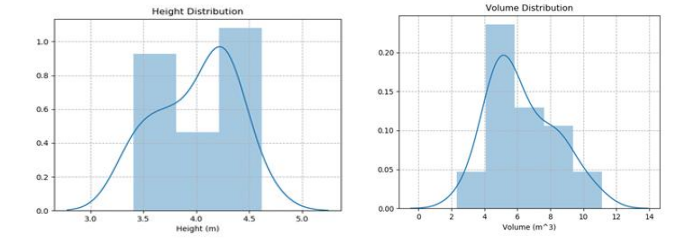
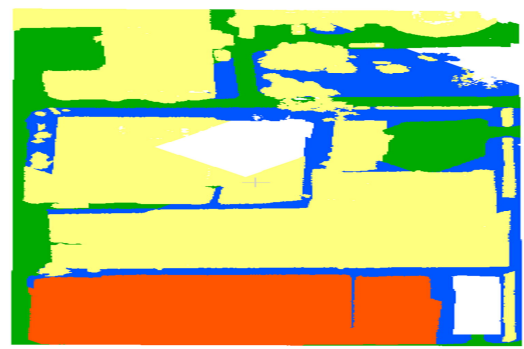
① 연구개요

| 세부과제번호 | 제 (1-1) 세부과제 | | | | | |
|------------------|---|--|--------------|--------------------|---------------|---------|
| 세부 연구과제명 | 국문 | 드론 기반 농경지 및 작물 정보화 기반 기술 개발 | | | | |
| | 영문 | Technology for informationization of farmland and crop using drone | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 이경환 | 영문성명 | Lee Kyeong-Hwan | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 전남대학교 | 부서명 (학과명) | 지역바이오 시스템공학과 | 직위 | 교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2017년 09월 18일 부터 ~ 2021년 12월 31일 까지 (4년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 |
| | 정부출연금 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 144,000 | 384,000 |
| | 기업부담금 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 합계 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 144,000 | 384,000 |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | 선임급 | | 원급이하 | | 합계 |
| | 3 | 2 | | 8 | | 13 |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|--|
| 2단계 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 드론 기반 농경지 및 작물 공간정보 분석 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> 농경지 분석 모니터링을 위한 드론 시스템 구축 드론을 이용한 고해상도 영상 획득 및 작물 모니터링 농경지 및 작물의 3D 정보화 드론 시스템 현장 적용 시험 농경지 및 주위 환경의 3D 공간 맵 구성 |
| | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 농경지 및 작물의 모폴로지 특성 파악 및 예측 모델링 <ul style="list-style-type: none"> 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 및 분석 |
| | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 농경지 상태 파악 및 농작업 시기 예측 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> 영상 분석을 통한 농경지의 좌표화 및 결주율 파악 딥러닝을 통한 농경지 특성분석에 따른 최적의 농작업 시기 결정 |
| | 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 드론 기반 작물 수확량 모니터링 및 맵핑 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> 작물 개체의 낱알 분석 시스템 개발 작물 개체별 수확량 모니터링 및 맵핑 시스템 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 알고리즘 고도화 및 현장 실증 시험 농경지 및 주위 환경의 3D 공간 맵 고도화 및 실증 시험 |

| | | |
|---|--|---|
| 제1핵심 | 노지 농업생산 무인자동화 구현을 위한 Connected Farming 기반기술 개발 | |
| 제1-1세부 | 드론 기반 농경지 및 작물 정보화 기반 기술 개발 | |
| 2 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 2단계 연구목표 : 드론 기반 농경지 및 작물 공간정보 분석 시스템 개발 4년차 (2017) | ○ 농경지 및 주위 환경의 3D 공간 맵 구성 | - 드론 기반의 항공측량기법을 이용하여 농경지와 주위 환경(주행로, 수로, 전봇대, 수목, 장애물 등)의 3D 정보를 획득  - 초저고도 드론을 이용한 작물의 3D 고해상도 영상 획득 시스템 구축 |
| 2단계 연구목표 : 농경지 및 작물의 모폴로지 특성 파악 및 예측 모델링 5년차 (2018) | ○ 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 및 분석 | - 인공구조물을 이용한 3D 모델링에서의 객체 특성 분석 - 포인트의 평균 거리, 인공 구조물의 형태적 특성, 볼륨 측정을 통해 실제 구조물과의 비교 실험 - 3D 모델링에서의 객체 특성 분석 - 작물 객체의 높이 및 작물들의 간격 측정을 통해 성능 측정 |
| 2단계 연구목표 : 농경지 상태 파악 및 농작업 시기 예측 시스템 개발 6년차 (2019) | ○ 영상 분석을 통한 농경지의 좌표화 및 결주율 파악 | - 드론을 통해 획득한 정합 영상을 이용한 농경지의 결주율 파악 알고리즘 개발 - 영상 분석 조합 알고리즘에 기반한 농경지의 좌표화  |
| 2단계 연구목표 : 드론 기반 작물 수확량 모니터링 및 맵핑 시 | ○ 작물 개체의 낱알 분석 시스템 개발 | - UAV 이용 작물 높이 및 부피 데이터 획득 - Point Cloud Method 이용 작물 높이 및 부피 추정 및 매핑 - UAV 수집 데이터 이용 매핑 시스템 |

| | | |
|---|---|---|
| | |  |
| <p>○ 작물 개체별 수확량 모니터링 및 매핑 시스템</p> | | <ul style="list-style-type: none"> - 작물 수확량 실제 측정 및 UAV 이용 획득 이미지를 통한 수확량 추정 - KCL, KCG 알고리즘 개발 - KCG 알고리즘 적용 수확량 매핑 시스템 개발  |
| <p>스텝 개발 7년차 (2020)</p> <p>○ 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 알고리즘 고도화 및 현장 실증 시험</p> | | <ul style="list-style-type: none"> - 3차원 포인트 클라우드 기반 작물 높이 추정 - Layering calculation 알고리즘 이용 작물 체적 추정 - 높이 및 체적 측정 시스템 적용  |
| | <p>○ 농경지 및 주위 환경의 3D 공간 맵 고도화 및 실증 시험</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Pointnet 알고리즘 기반 농경지형 분류 - 농경지형 학습을 위한 대용량 훈련데이터 구성 - 3D 공간 맵 고도화를 위한 지형 분류 시스템  |

(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|-----|------|----|----|---------|------|----|------|------|---|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | 기술인증 | 학술성과 | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 | | | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | | 투자유치 | 논문 | | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | | 홍보전시 | | |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | 학술발표 | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | 명 | 명 | 명 | | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | 10 | 10 | | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | 3 | 5 | |
| 2단계 | 목표 | 4 | 2 | | | | | | | | | | 2 | | 1 | 1 | 1 | 2 | | 1 | 1 |
| | 실적 | 3 | 5 | | 3 | 3 | | | | | | | 9 | 1 | 23 | 2 | 1 | 5 | | 1 | |
| 최종 | 목표 | 4 | 2 | | | | | | | | | | 2 | | 1 | 1 | 1 | 2 | | 1 | 1 |
| | 실적 | 3 | 5 | | 3 | 3 | | | | | | | 9 | 1 | 23 | 2 | 1 | 5 | | 1 | |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|--|------------|------------------|------|---|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| 2018 | Optimization of the ninhydrin reaction and development of a multiwell plate-based high-throughput proline detection assay | Mi Rha Lee | Kyeon-g-Hwan Lee | | Analytical biochemistry | 556 | 국외 | SCI |
| 2017 | Arabidopsis Basic Helix-Loop-Helix 34(bHLH34) Is Involved in Glucose Signaling through Binding to a GAGA Cis-Element | 민지희 주현우 | 김철수 | 이경환 | Frontiers in Plant Science | 8 | 국외 | SCI |
| 2017 | Loss of Ribosomal Protein L24A (RPL24A) suppresses proline accumulation of Arabidopsis thaliana ring zinc finger 1 (atrzf1) mutant in response to osmotic stresses | 박승현 | 김철수 | 이경환 | Biochemical and Biophysical Research Communications | 494 (3~4) | 국외 | SCI |
| 2017 | Reduced expression of Gongdae Ring Zinc Finger 1 (GdRZF1) enhances drought stress tolerance in watermelon (Citrullus lantus) | 박승현 | 김철수 | 이경환 | Horticultural Science and Technology | 35(5) | 국외 | SCI |
| 2018 | 4차 산업혁명과 농업 | 성제훈 | 이경환 | | 한국멀티미디어학회지 | 21(3) | 국내 | 비SCI |
| 2019 | Rice yield estimation b | Md Na | 이경환 | | Biosystems engine | 177 | 국외 | SCI |

| | | | | | | | | |
|------|--|----------|-----|--------------------------|---|-------|----|-----|
| | ased on K-means clustering with graph-cut segmentation using low-altitude UAV images | sim Reza | | | ering | | | |
| 2019 | Detection of proline using a novel paperbased analytical device for on-site diagnosis of drought stress in plants | 최영수 | 이경환 | 이미라 | Review of scientific instruments | 90(4) | 국내 | SCI |
| 2020 | Highly sensitive enclosed multilayer paper-based microfluidic sensor for quantifying proline in plants | 최영수 | | 임민규 이미라 김철수 이경환 | Analytica chimica acta : an international journal devoted to all branches of analytical chemistry | 1105 | 국외 | SCI |
| 2020 | Paper-based colorimetric sensor for easy and simple detection of polygalacturonase activity aiming for diagnosis of Allium white rot disease | 최영수 | | 이미라 양광열 김철수 이경환 | Analytica chimica acta : an international journal devoted to all branches of analytical chemistry | 1113 | 국외 | SCI |
| 2020 | Reduced-Order Algorithm for Eigenvalue Assignment of Singularly Perturbed Linear Systems | 유현중 | 이경환 | | Mathematical Problems in Engineering | 2020 | 국외 | SCI |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|--|-------------|-----|-----------------|--------|--|-------------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2017 | 히터 및 온도센서가 집적된 다층구조의 환경장애 진단용 종이센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2017-0172977 | 2018 | 히터 및 온도센서가 집적된 다층구조의 환경장애 진단용 종이센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 |
| | | | | 10-2017-0051872 | 2018 | 환경장애 진단용 종이센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 |
| | | | | 10-1821094 | 2018 | 가뭄 진단용 전기화학적 바이오 센서 및 그 제조방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2018 | 작물의 병해를 진단하기 위한 종이 기반 PG 검출센서 및 그 제조방법과 이를 이용한 PG 검출방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2018-0126127 | 2019 | 작물의 병해를 진단하기 위한 종이 기반 PG 검출센서 및 그 제조방법과 이를 이용한 PG 검출방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2019 | 가뭄 진단용 종이 기반 전기화학적 바이오 센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2019-0023337 | 2019 | 가뭄 진단용 종이 기반 전기화학적 바이오 센서 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 |

③ 기술료징수 현황

| 기 징수액 | 당해연도 징수액 | 향후 징수액 | 합계 |
|-------|----------|--------|----|
| 3 | 3 | - | 3 |

- 기술이전 및 기술지도 내용

| 연번 | 계약일자 | 유상/무상 | 기술료 (백만원) | 공급 기관명 | 대상 기관명 | 기술이전 계약명 | 비고 |
|----|----------|-------|-----------|-------------|--------|-----------------------------------|----|
| 1 | 19.12.20 | 유상 | 1 | 전남대학교 (1세부) | 엘엔에스 | 농경지 주변 환경인식을 위한 인공지능 머신비전 시스템 노하우 | |
| 2 | 19.12.20 | 유상 | 1 | 전남대학교 (1세부) | 슈닉스 | 농경지 주변 환경인식을 위한 인공지능 머신비전 시스템 노하우 | |
| 3 | 19.12.20 | 유상 | 1 | 전남대학교 (1세부) | 공간정보 | 농경지 주변 환경인식을 위한 인공지능 머신비전 시스템 노하우 | |

④ 석/박사 양성 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|---------------|-------|------|------|
| 1 | 임민규 | 전남대 | 2019 | 석사 |
| 2 | 김다운 | 전남대학교 | 2020 | 석사 |
| 3 | Reza MD Nasim | 전남대학교 | 2020 | 박사 |

⑤ 취업 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 최종학위 | 취업처 |
|----|-----|-------|------|------|------------------------|
| 1 | 김박금 | 전남대학교 | 2016 | 석사 | 국립농업과학원 |
| 2 | 임민규 | 전남대 | 2019 | 석사 | 디에스시동탄 |
| 3 | 한웅철 | 서울대학교 | 2017 | 박사 | 강원대학교 |
| 4 | 정진태 | 전남대학교 | 2016 | 석사 | 현대건설기계 |
| 5 | 김다운 | 전남대학교 | 2020 | 석사 | 전라남도생물산업진흥재단 나노바이오연구센터 |

⑥ 학술발표 성과

| 연번 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|-------|---------------|--|--|-----------------------|
| 1 | 2017 | 학술발표 | 전남1세부 | Md Nasim Reza | Detection Of Rice Grain Using Low Altitude Uav Images at Growing Stage | 7thAsian-AustralianconferenceonPrecision Agriculture | HAMILTON, NEW ZEALAND |
| 2 | 2017 | 학술발표 | 전남1세부 | Tean Chen | Detection of Abnormal Region for Pest Prediction in Paddy Field | 1st International Workshop on Intel | 한국 서울 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-------|-----|--|---|----------------------------|
| | | | | | | igent SystemsforA griculturePr oductionand Environmen tprotection | |
| 3 | 2017 | 학술발표 | 전남1세부 | 최영수 | Fabrication of a paper-based sensor using module integratedwithmicro-heaterand temperaturesensor foron-sitediagnosisofdroughtst resincrops | 한국정밀공 학회 2017년 도 춘계학술 대회 | 한국 |
| 4 | 2017 | 학술발표 | 전남1세부 | 백선욱 | Simulation of Optimal Path Pl anning Using Modified MinimumSpanningTreeforAuto nomousAgriculturalMobileRobo t | 7th Asian-A ustralian co nference on Precision A griculture | Hamilton, N EW ZEALA ND |
| 5 | 2017 | 학술발표 | 전남1세부 | 임민규 | Low-cost fabrication of fully enclosed microfluidic paper-basedanalyticalsensorsf ordiagnosingdroughtstress | ASABE 2017 Annual inte rnational m eeting | Spokane, W ashington, U SA |
| 6 | 2017 | 학술발표 | 전남1세부 | 임민규 | FABRICATION OF NOVEL PA PER-BASED BIOSENSOR FOR DIAGNOSISOFDROUGHTSTRE SSINPLANTS | 7th Asian-A ustralian co nference on Precision A griculture | Hamilton, N EW ZEALA ND |
| 7 | 2017 | 학술발표 | 전남1세부 | 오상언 | 비행 로봇 영상 정보를 이용 한 딥 러닝 기반 보행자 움직임 추적 알고리즘 개발 | 한국농업기 계학회/농업 생산무인자 동화연구센 터 2017년 추계 공동학 술대회 | 광주 김대중 컨벤션센터 |
| 8 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 백선욱 | UAV 영상 기반 심층 학습을 이용한 벼 작물의 이양 특성 분석 | 한국농업기 계학회/농업 생산무인자 동화연구센 터 2018년 추계 공동학 술대회 | 서울대학교 농생명과학대학 201 동 |
| 9 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 오상언 | UAV 영상 정보를 이용한 개선된 R-CNN 기반 주변환경 장애물 인식 및 추적 알고리 즘 | 한국농업기 계학회/농업 생산무인자 동화연구센 터 2018년 추계 공동학 술대회 | 서울대학교 농생명과학대학 201 동 |
| 10 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 김도환 | 포인트 클라우드와 인공지능 기반 농경지 지형 분석 | 한국정밀농 업학회 2018 추계학술대 회 | 농업기술실 용화재단 |
| 11 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 백선욱 | Faster R-CNN 기반 항공영상 의 벼 작물 인식 및 이양특성 분석 | 한국정밀농 업학회 2018 추계학술대 회 | 농업기술실 용화재단 |
| 12 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 오상언 | 개선된 R-CNN 기반 비행로봇 주변 환경의 장애물 영상인식 및 추적 알고리즘 | 한국정밀농 업학회 2018 추계 학술대회 | 농업기술실 용화재단 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-------|---------------|---|----------------------------|------------------------|
| 13 | 2018 | 학술발표 | 전남1세부 | 임민규 | 식물 가뭄스트레스 현장진단을 위한 종이기반의 밀폐된 미세유체 센서의 제작 | 한국정밀농업학회 2018 추계학술대회 | 농업기술실용화재단 |
| 14 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | Xu-Hua Dong | Optimization of configuration parameters for 3D reconstruction in multicameras-based UAV system | 한국농업기계학회/2019년 추계공동학술대회 | 엘리시안 강촌 |
| 15 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | MD Nasim Reza | Geo-located position and counting of rice plants in UAV images | 한국농업기계학회/2019년 추계공동학술대회 | 엘리시안 강촌 |
| 16 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | M.N. Reza | RGB image based rice plant positioning in the field | (사)한국정밀농업학회 2019년 추계학술대회 | 농촌진흥청 농촌인적자원개발센터 (새롬홀) |
| 17 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | Y.S. Choi | Plant-cell Based Artificial Photosynthesis System | (사)한국정밀농업학회 2019년 추계학술대회 | 농촌진흥청 농촌인적자원개발센터 (새롬홀) |
| 18 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | X.H. Dong | 3D Reconstruction Using Multi Cameras-based UAV System | (사)한국정밀농업학회 2019년 추계학술대회 | 농촌진흥청 농촌인적자원개발센터 (새롬홀) |
| 19 | 2020 | 학술발표 | 전남1세부 | 동슈아 | 3D Reconstruction of Trees in Apple Orchard using a Multi Camera-based UAV System | (사)한국농업기계학회/2020년 춘계공동학술대회 | 온라인 |
| 20 | 2020 | 학술발표 | 전남1세부 | 관티엔 유엔 | Caterpillar Equipped mobile Robot Working on Rough Terrain based on Dynamic Window Approach | (사)한국농업기계학회/2020년 춘계공동학술대회 | 온라인 |
| 21 | 2020 | 학술발표 | 전남1세부 | 관티엔 유엔 | Counting of Dense Onions using Improved YOLOv3 Model for Onion Picking Robot | (사)한국농업기계학회/2020년 춘계공동학술대회 | 온라인 |
| 22 | 2020 | 학술발표 | 전남1세부 | 조철현 | 들깨잎의 자동수확을 위한 잎몸 길이를 추정하는 근사형의 설계 | (사)한국농업기계학회/2020년 추계공동학술대회 | 온라인 |
| 23 | 2019 | 학술발표 | 전남1세부 | C. Tean | Navigation of a mobile robot in the indoor environment based on visual odometry particle filter and SLAM-Gampping Algorithm | (사)한국정밀농업학회 2019년 추계학술대회 | 농촌진흥청 농촌인적자원개발센터 (새롬홀) |

⑦ 홍보 실적

| 번호 | 기관 | 홍보유형 | 매체명 | 홍보 제목 | 연도 | 비고 |
|----|-----|----------------|-------|--|------|----|
| 1 | 전남대 | Internet/PC 통신 | AI타임스 | AI농업테크 시대 여는 전남대학교, AI농부로 선진농업 및 첨단농업 실현 | 2020 | |

(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|-----|---|---|
| 2단계 | 4차년도 · 드론 기반 농경지 및 작물 공간정보 분석 시스템 개발 | · 농경지 분석 모니터링을 위한 드론 시스템 구축 · 드론을 이용한 고해상도 영상 획득 및 작물 모니터링 · 농경지 및 작물의 3D 정보화 드론 시스템 현장 적용 시험 · 농경지 및 주위 환경의 3D 공간 맵 구성 |
| | 5차년도 · 농경지 및 작물의 모폴로지 특성 파악 및 예측 모델링 | · 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 및 분석 |
| | 6차년도 · 농경지 상태 파악 및 농작업 시기 예측 시스템 개발 | · 영상 분석을 통한 농경지의 좌표화 및 결주율 파악 · 딥러닝을 통한 농경지 특성분석에 따른 최적의 농작업 시기 결정 |
| | 7차년도 · 드론 기반 작물 수확량 모니터링 및 맵핑 시스템 개발 | · 작물 개체의 낱알 분석 시스템 개발 · 작물 개체별 수확량 모니터링 및 맵핑 시스템 · 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 알고리즘 고도화 및 현장 실증 시험 · 농경지 및 주위 환경의 3D 공간 맵 고도화 및 실증 시험 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

■ 농경지 분석 모니터링을 위한 드론 시스템 구축

1. 초저고도 드론 시스템 구성

- 농경지에서 작물 개체의 고해상도 근접영상을 얻기 위하여 초저고도 드론 시스템을 구성
- 4개의 프로펠러로 비행하며, 네비게이션, 고도계, 실시간 통신 기술, 비디오 출력 그리고 안전한 Wi-Fi를 위한 LINK를 관리함
- Operating Parameters가 기능의 척도가 되며, 이 한계 내에서 사용 가능

<Operating Parameters>

| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| Estimated flight time | up to 25 minutes |
| Default maximum altitude | 150ft.(46m) above ground level |
| Range | 0.8 km |
| Payload capacity | 450g |
| Cruise speed | 8m/s |
| Maximum speed | 15m/s |
| Wind speed limitation | 11m/s |

- Pixhawk2 오토파일럿과 MAVlink 통신 프로토콜에 기초한 오픈소스인 ArduPilot Copter 소프트웨어를 사용하며, Pixhawk2는 ARM Cortex-M4 STM32F427 프로세서, 2MB의 플래쉬 메모리, 256KB 램을 구동함
- CAM, I2C, SPI, PWM 그리고 UART 인터페이스와 결합되어, Pixhawk2는 비행 중에 드론의 위치와 동작을 정확하게 측정하기 위한 적합한 센서를 사용함
- 추진을 위해 880K 모터들과 자동 조임 프로펠러를 사용하며, 조종과 공기역학의 효율성을 위해 두 모터는 시계방향으로 다른 두 모터는 시계 반대 방향으로 회전함
- 공중에서의 운항은 4개의 모터에서 나오는 추진력에 의해 가동되며, 정확한 컨트롤을 할 수 있음



<초저고도 드론의 기체 및 비행 모습>

2. 작물의 특성분석을 위한 센서 탑재

- 초저고도 드론에는 촬영 위치를 기록 가능한 GPS 센서가 탑재되어 있으며, 라이트센서인 DLS가 카메라에 연결되고 DLS에 GPS가 시리얼로 연결되는 방식으로 제작
- GNSS모듈은 생략될 수 있도록 디자인되어 있으며, MAVlink를 지원하고 GNSS 데이터를 보내게 되면 카메라는 드론의 GNSS를 이용하도록 구성



<드론에 장착된 GPS와 DLS>

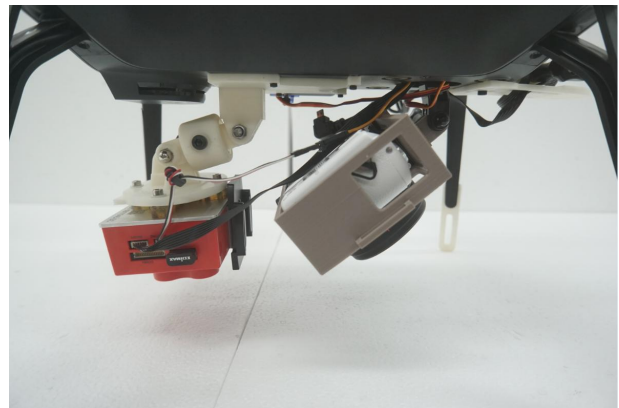
- 초저고도 드론을 이용하여 작물의 여러 가지 특성들을 추출하기 위하여 다양한 카메라

센서들을 이용할 수 있도록 구성

<드론에 장착된 카메라 센서 모듈>

| | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|
| |  |  |  |  |  |
| | RedEdge-M | Sony a5100 | Mapir Survey3 | Multi-module Camera | VR camera |
| band | RGB, red edge, NIR | RGB | RGB, NIR | RGB | RGB |
| weight | 170g | 283g | 50g | 283g | 283g |
| FOV | 47.2 | | 41 | | |
| Resolution | 1280*960 | 6000*4000 | | 3840*2160 | 5640*2816 |

- RedEdge-M은 RGB와 NIR, NRE의 5밴드를 지원하며, 글로벌 셔터를 지원하여 롤링셔터에서 생길 수 있는 이미지 왜곡의 회피가 가능함
- RGB 카메라를 사용하여 고해상도 영상을 취득하며, Multi-module Camera를 이용하여 여러번 비행하여야 얻을 수 있는 다양한 각도에서의 영상을 한 번의 비행으로 취득하는 것이 가능함



<드론에 장착된 카메라 모듈들>

■ 농경지 및 작물의 3D 정보화 드론 시스템의 현장 적용 시험

1. DJI 드론 및 멀티카메라 모듈 시스템 설정

- 높이와 지상 바이오매스(AGB)는 현장 조사를 위한 기본 아크로노믹 매개변수로서 농작물 건강 및 성장 상태와 농업 관리 실천요강의 영향을 나타내는 지표임. 현장에서 높이와 AGB를 얻는 변환 방법은 매우 어렵고 시간이 많이 걸림
- 계절적 생산을 평가하기 위해서는 잠재적 수확량을 추정하는 것도 중요함

- 정확하고 시기 적절한 평가는 가뭄이나 해충 침입, 생산 감소 등에 도움이 될 수 있으며, 수확량 감소에 대한 조기 평가는 비참한 상황을 피할 수 있고 수요를 충족시키기 위한 전략 계획에 도움이 될 수 있음
- 3d 모델링이 포함된 원격 감지 데이터는 높이, AGB 및 항복 추정치를 함께 사용할 수 있는 솔루션임
- 원격 감지 데이터는 현재 매우 많이 사용할 수 있고 저렴하며, 작물의 3d 모델은 필요한 매개변수를 추정하는 데 도움이 되는 작물에 대한 3d 정보를 제공함
- 본 연구에서는 원격 감지된 데이터에서 얻은 3d 모델 정보를 사용하여 높이, AGB 및 항복 추정치에 초점을 맞추었음
- 현장 내에 고르게 분포된 지상관제점(GCP) 8개를 사용하여 정확한 지리적 참조를 얻었으며, 줌 MRP-2000(Zoom Technology, Seoul, Korea)을 이용하여 밀리미터 정확도로 위치하였음
- 작물 높이, 간격, 행 간 거리 및 바이오매스를 표본 추출 그림에서 수동으로 측정했으며, 작물의 평균 높이는 주어진 샘플링 플롯의 캐노피 높이로 사용되었음
- 바이오매스를 가중하고 각 샘플링 플롯의 실제 식물 수를 세어 질량을 kg/m²로 재었음. 아래의 표는 현장 측정에서 얻은 데이터를 요약한 것임

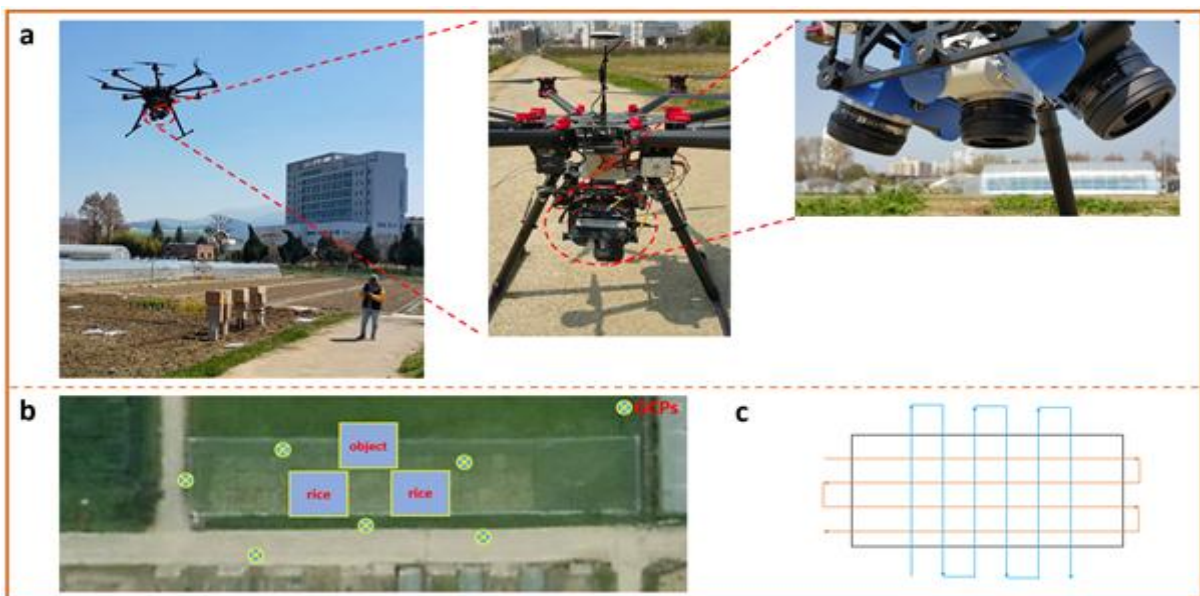
<작물 개체의 plot 1과 plot 2의 현장 측정 데이터>

| | Object | Parameters | Min | Max | Mean | CV (%) |
|--------|--------|---|-----|-----|-------|--------|
| test 1 | Plot 1 | Height (cm) | 48 | 57 | 52.73 | 4.938 |
| | | Above ground biomass (kg/m ²) | | | | |
| | | P to P spacing (cm) | 25 | 25 | 25 | |
| | Plot 2 | Row to row distance (cm) | 25 | 25 | 25 | |
| | | Height (cm) | 49 | 58 | 53.33 | 4.519 |
| | | Above ground biomass (kg/m ²) | | | | |
| test 2 | Plot 1 | Plant to Plant spacing (cm) | 25 | 25 | 25 | |
| | | Row to row distance (cm) | 25 | 25 | 25 | |
| | | Height (cm) | 47 | 56 | 52.67 | 4.225 |
| | | Above ground biomass (kg/m ²) | | | | |
| | Plot 2 | P to P spacing (cm) | 30 | 30 | 30 | |
| | | Row to row distance (cm) | 30 | 30 | 30 | |
| | | Height (cm) | 47 | 55 | 52.07 | 4.502 |
| | | Above ground biomass (kg/m ²) | | | | |
| | | Plant to Plant spacing (cm) | 30 | 30 | 30 | |
| | | Row to row distance (cm) | 30 | 30 | 30 | |

* CV(Coefficient of Variation) : 표준 편차 및 평균으로 계산된 데이터의 중심 경향 및 분산

- 디지털 이미지는 3대의 카메라를 장착한 옥토크터 DJI의 날개 S1000 UAV(DJI Technology Co, Shenzhen, China) 플랫폼으로 한 항공편에 걸쳐 수집되었음

- 디지털 이미지는 24.3 메가픽셀 소니 알파 a5100(Sony Electronics, Inc., 일본 도쿄)을 사용하여 수집되었음
- 무인정찰기 밑에 나디르 1개, 사선 2개로 카메라 3개를 설치했으며, 사선 시야는 나디르 위치에서 약 30°의 기울기로 배치된 축으로 실행되었음
- 시험장 상공의 비행 경로는 UgCS 프로 소프트웨어에 의해 설계되었으며, 전방 중첩은 80%, 측면 중첩은 80%, 비행 속도는 2.0m/s로 고정되었음
- ISO와 셔터 속도는 각각 자동으로 고정되었고 지상고(AGL) 위 비행고도는 10m이었음
- 디지털 이미지의 지상 샘플링 거리는 약 0.1958cm이었고 고정밀 3d 모형을 얻기 위해 비행은 남북과 동서로 두 개의 다른 방향으로 설정되었음. UAV 데이터 수집의 세부 사항은 아래 표에 열거되어 있음



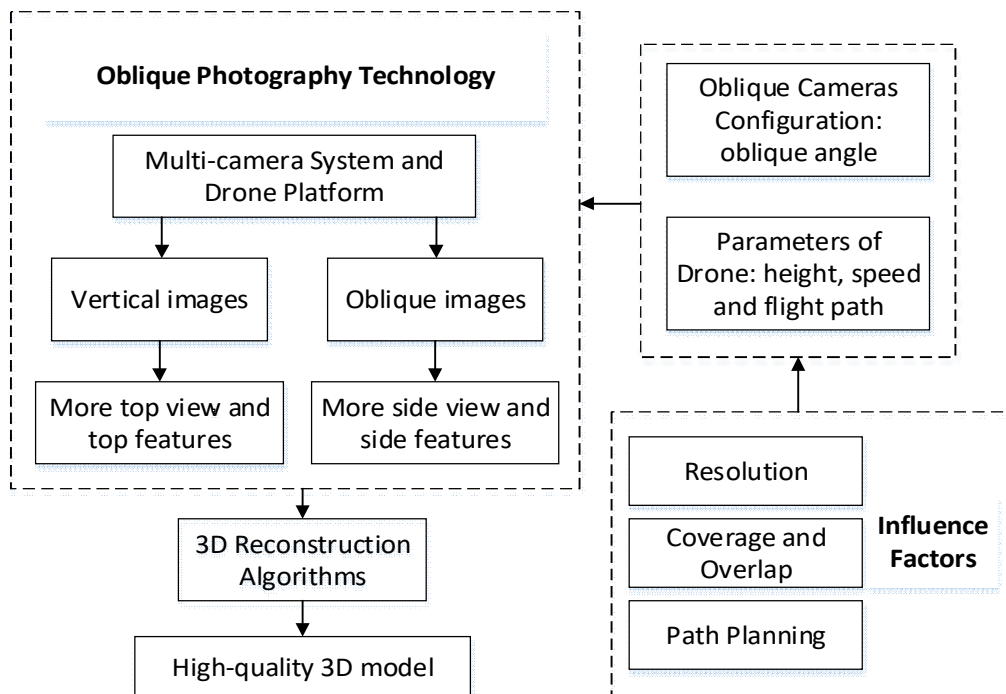
<전남대 시험포장에서 진행된 실험 정보>

- 그림에서 a는 UAV 플랫폼 및 센서정보를 보여주며, b는 실험 현장에서의 GCP 위치와 대상 작물 및 인공 구조물의 위치를 보여줌. GCP는 3D 모델의 오류를 제한하고 정확도를 향상시키기 위해 사용되는 지상 제어 지점을 뜻하며, c는 실험 현장에서 UAV의 상공 비행 방향을 보여줌

2. 3DR Solo 드론 및 멀티카메라 모듈 시스템 설정

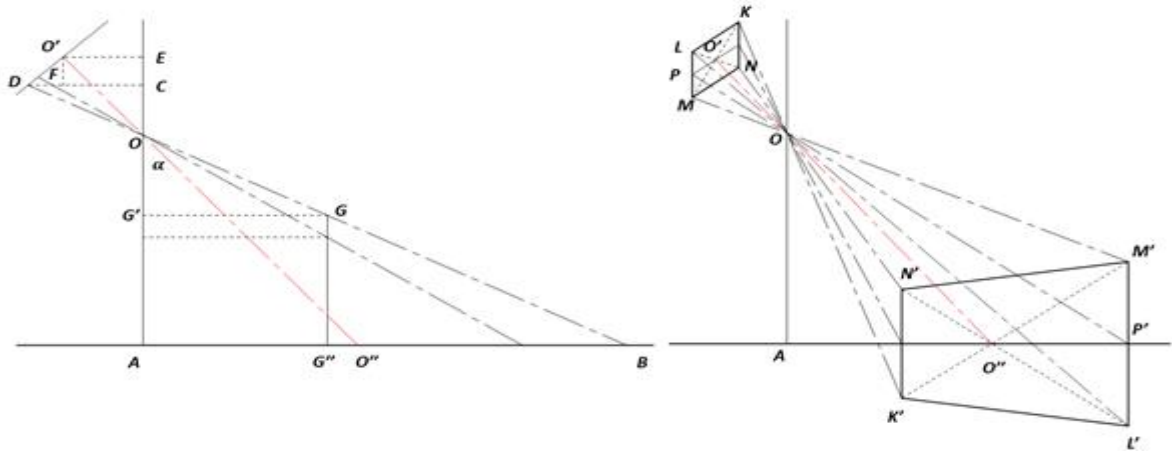
- 멀티 사선 카메라를 사용하면 독특한 시야로 지역의 전통적인 수직 사진을 보완할 수 있고 나무, 구조물 또는 형상의 각 면을 볼 수 있으며, 이전에는 수직 사진에서는 찾을 수 없었던 사각지대, 출구, 출입구를 노출시킬 수 있음
- 전통적인 수직사진은 그 자체의 엄격한 기준을 가지고 있고 각각의 매개변수는 엄격한 범위의 정의를 가지고 있으나 UAV를 기반으로 한 다중 사선 사진의 매개변수를 선택하는 데 있어서, 많은 기관의 선택은 대개 다름

- 고품질의 3D 포인트 클라우드를 얻기 위해서는 이미지의 품질도 매우 중요함
- 3D 재구성을 위한 고품질 영상을 얻기 위해 멀티 사선 촬영 시스템의 연구 구성 파라미터(비행 높이, 비행 속도, 카메라 사선각 및 오버랩)를 목표로 함
- 멀티 카메라 시스템과 사선 사진 기술을 사용하여 3D 모델을 만들고 분석한다. 기존의 수직사진 기술에 비해 사선사진은 더 큰 장점이 있음
- 더 큰 뷰를 가지고 있고 우리가 원하는 객체에 대한 더 많은 정보와 측면 뷰의 특징을 촬영할 수 있음
- 그림과 같이 3D 모델 해상도와 정확도의 일부 영향인자(해상도, 오버랩)가 있으므로 수학적 모델을 만들고 영향 인자를 분석하여 사선 카메라 구성(사선 카메라의 각도)과 드론 비행 매개변수(높이, 속도 및 비행 경로)를 최적화함



<3D 모델링 해상도와 정확도를 위한 영향 인자들>

- 원격 감지에서 공중으로부터 지면의 디지털 사진의 Ground Sample Distance(GSD)는 지상에서 측정된 픽셀 중심 사이의 거리임. GSD는 3D 재구성의 품질을 거의 결정짓기 때문에 사선사진 기술에서 3방향 GSD를 제안함
- 이미지 좌표에서 지상의 v 방향 프로젝트에 있는 픽셀로서, 기존 객체 및 언도형 지형 때문에 X 방향과 Z 방향이 2개일 것이고 이미지 좌표에서 지상의 x 방향 프로젝트에 있는 픽셀은 1방향 Y 를 가짐



<공중에서 최적 촬영각 제시를 위한 좌표 계산법>

- 영상 기하학에 따라 GSD의 공식을 세 방향으로 도출함

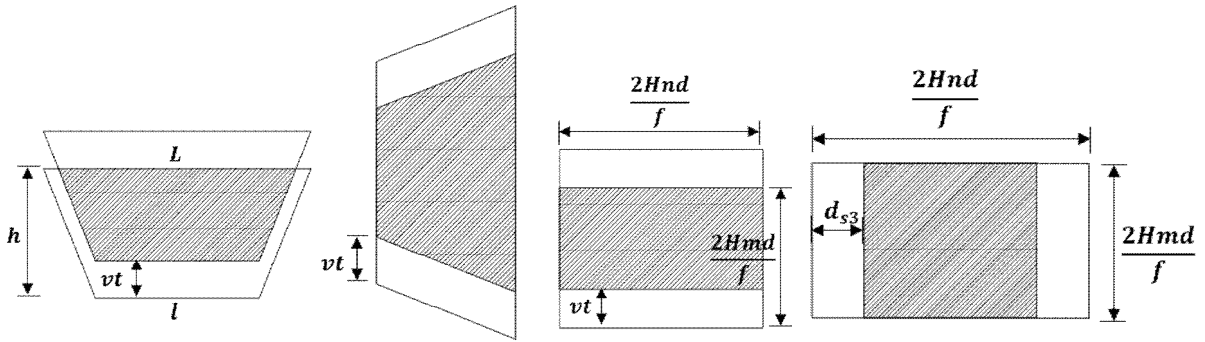
$$GSD_{ch} = \frac{Hdf}{(f \cdot \cos\alpha - md \cdot \sin\alpha^2)}$$

$$GSD_{cv} = \frac{Hdf}{(f \cdot \sin\alpha + md \cdot \cos\alpha)(f \cdot \cos\alpha - md \cdot \sin\alpha)}$$

$$GSD_{rh} = \sqrt{\frac{(H^2 + Xm^2)d^2}{f^2 + m^2d^2}}$$

$$X_m = H \cdot \frac{f \cdot \sin\alpha + md \cdot \cos\alpha}{f \cdot \cos\alpha - md \cdot \sin\alpha}$$

- GSD_{ch} 는 열-수평 해상도(X방향)을 나타내며 GSD_{cv} 는 열-수직 해상도(Z방향)을 나타내고 GSD_{rh} 는 행-수평 해상도(Y방향)을 나타냄
- f는 초점거리, d는 카메라의 픽셀 크기, H는 카메라의 높이, α 는 사선 카메라의 각도를 나타냄
- 사선 이미지는 더 많은 측면 기능을 지원할 수 있지만, 지면에 투사된 이미지의 끝부분은 큰 GSD를 가지고 있어 이미지를 일치시키고 3D 모델을 만들기 어렵기 때문에 각 영상의 모든 픽셀, 특히 개체를 포함한 픽셀에 대한 GSD를 유사하게 만들기 위해 매개변수를 분석하고 조정하는 것이 목표임
- Overlap도 중요한 지표다. 사선사진에서 다중 카메라에 의해 투사된 지면의 커버는 다르므로 앞이 겹치고 옆이 겹치는 것도 다름
- 만족스러운 설정을 만족시키는 각 카메라의 중첩이 중복되도록 멀티 카메라의 최소 중첩을 계산해야 함
- 서로 다른 카메라에 의해 투영된 다른 커버리지에 대한 중복의 공식을 도출하는 한편 사격 간격은 계산할 수 있음



<영상 기하학에 대한 일치>

- 멀티 카메라 시스템과 사진 사진 기술에서는 5대의 Survey3 카메라와 3DR SOLO 드론을 사용함



| Item | Description |
|---------------------|-----------------------------------|
| Weight[g] | 1500(With Battery) |
| Speed[km/h] | 89 |
| Flight Time(minute) | 25 |
| Battery | Lithium battery, 5200mAh, 14.8Vdc |

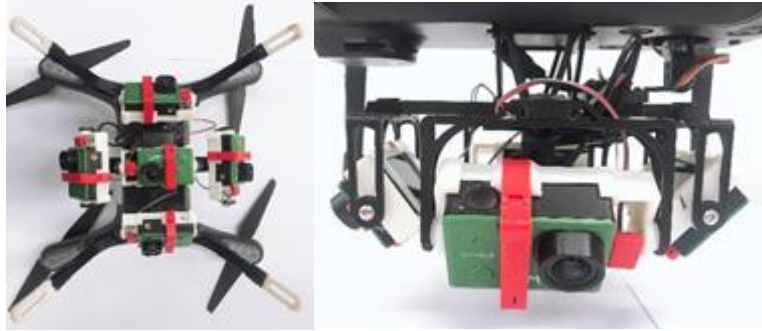
<3DR Solo 드론의 스펙>



| Item | Description |
|------------------------|--|
| Size[mm] | 59 x 41.5 x 36 (Length x Height x Depth) |
| Weight[g] | 76(With Battery) |
| Optical sensors type | CMOS |
| Image Format | RAW+JPG, JPG (RAW is 12bit per channel, JPG is 8bit per channel) |
| Image Resolution | 12 Megapixels (4,000 x 3,000 px), 8MP |
| Lens | 87° HFOV (19mm) f/2.8 Aperture |
| Focal Length (mm) | 3.37 |
| Sensor Size (mm) | 6.20 x 4.65 |
| Sensor Pixel Size (um) | 1.55 |
| Capture Interval | 0.5sec*, 1sec, 2sec, 5sec, 10sec, 30sec, 1min, 5min..... |

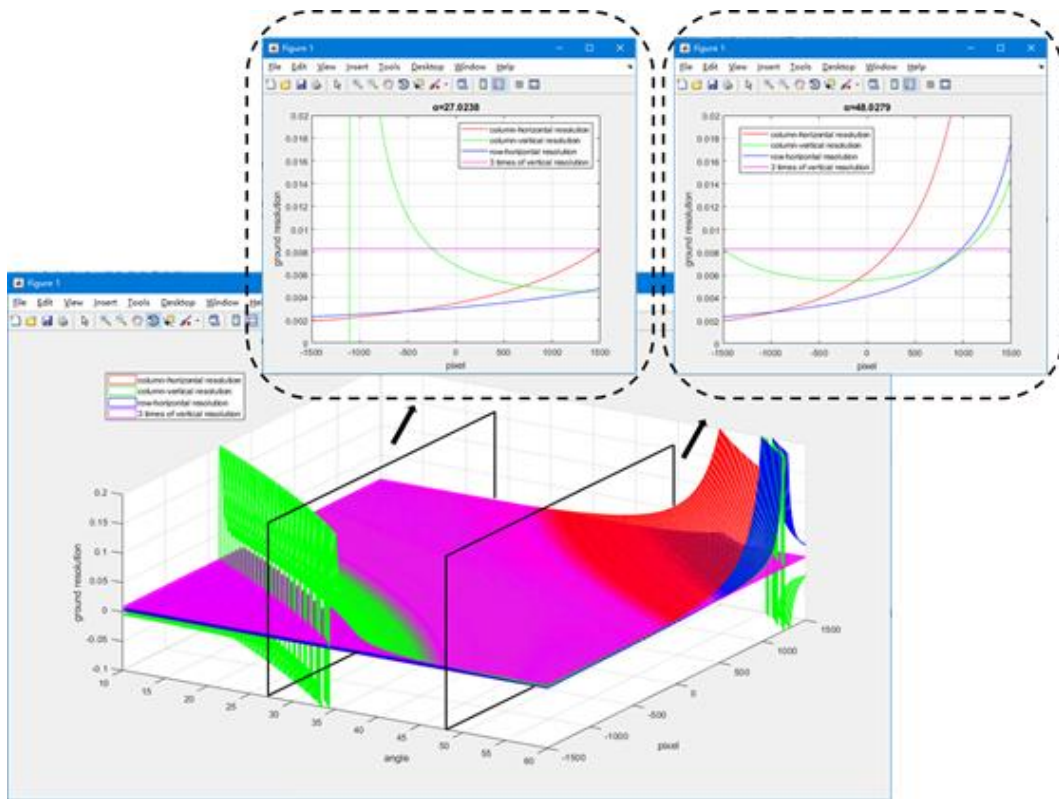
<Survey 3W 카메라의 스펙>

- 5대의 카메라를 사용하고 플라스틱 구조물을 만들어 5개의 방향으로 장착함
- 사진 카메라와 수직 카메라 사이의 거리는 8cm이고 사진 카메라 4대의 각도는 조절이 가능함
- 드론이 PWM 신호를 생성하여 카메라 촬영을 트리거함



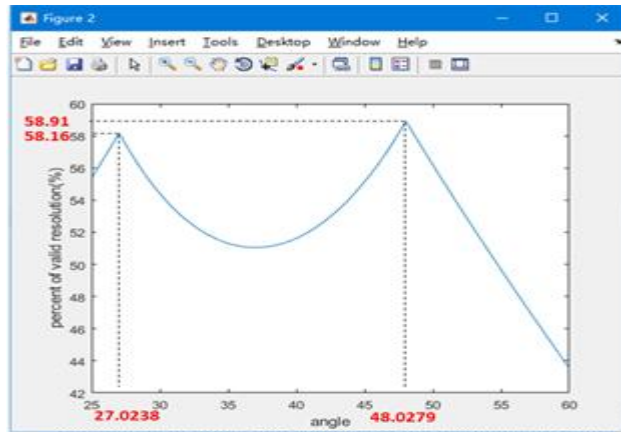
<3DR Solo의 멀티카메라 모듈>

- 필요한 해상도와 정밀도에 따라 높이를 6m로 설정한 다음 드론과 카메라의 파라미터를 수학 모델에 입력하고 MATLAB로 시뮬레이션함



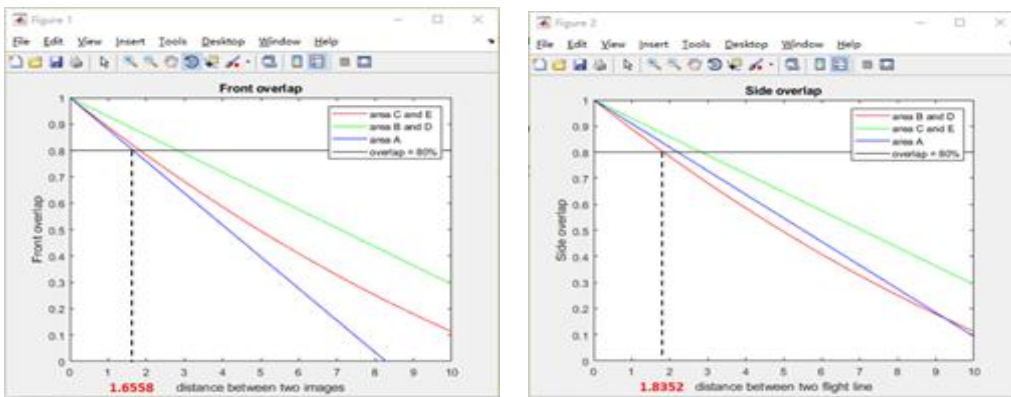
<모든 픽셀에 각도가 있는 3방향의 GSD의 변화 추세>

- 적색 표면은 열-수평 해상도(GSDch)이고 녹색 표면은 열-수직 분해능(GSDcv)이며 파란색 표면은 열-수평 해상도(GSDrh)을 나타냄
- 한 영상의 영역이 다르다는 뜻으로 두 영상의 겹치는 영역에서 차이가 크면 일치시켜 외부 방향의 요소를 구하기가 어려움
- 멀티 카메라 시스템을 분석하고 결과를 시각화한 결과 불평등을 만족시키는 픽셀을 더 많이 가지고 있는 27.0238° 와 48.0279° 가 가장 좋은 시뮬레이션 결과를 보임

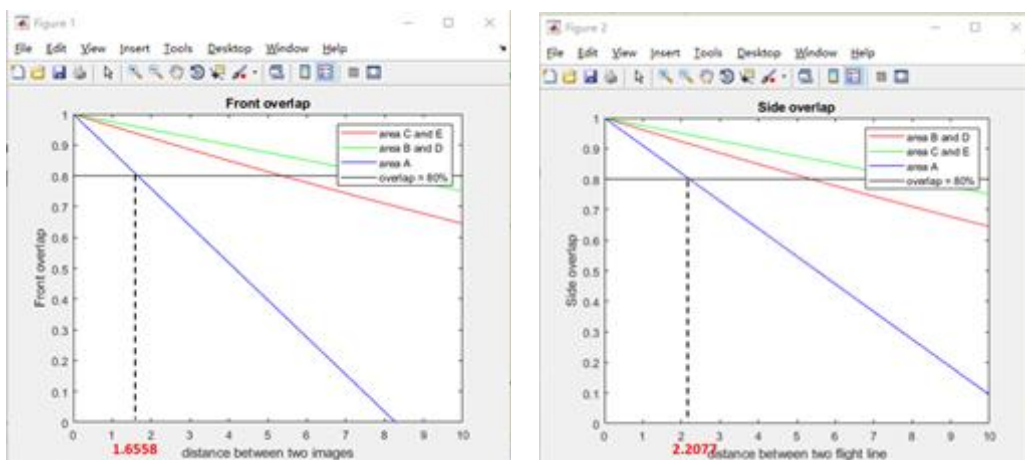


<최적 시야각을 위한 시뮬레이션 결과>

- 각도 27.0238° 의 경우 낮은 GSD_{ch} 와 GSD_{rh} 의 픽셀이 더 많으며, 높은 개체가 많지 않은 조건에서 사용하는 것이 좋음
- 각도 48.0279° 의 경우 GSD_{cv} 가 낮은 픽셀이 더 많아 높은 객체가 많은 조건에서 사용하는 것이 좋음
- 전면과 측면 중첩을 80%로 설정하여 MATLAB로 분석하여 결과를 아래의 그림과 같이 보였으며 이를 바탕으로 경로 계획을 수립함



<각도 27.0138° 에서의 중첩을 시뮬레이션 결과>



<각도 48.0279° 에서의 중첩을 시뮬레이션 결과>

- 각도 27.0138° 의 경우 촬영 간격은 1.6558m, 선로 간격은 1.8352m이며, 각도 48.0279°

의 경우 촬영 간격은 1.6558m, 선로 간격은 2.2077m일 때, 가장 좋은 중첩율을 가질 것으로 시뮬레이션 결과를 보임

■ 농경지 및 주위 환경의 3D 공간 맵 구성

1. 딥러닝 기법을 활용한 농경지 주변의 도로, 필드 등의 정보 classification

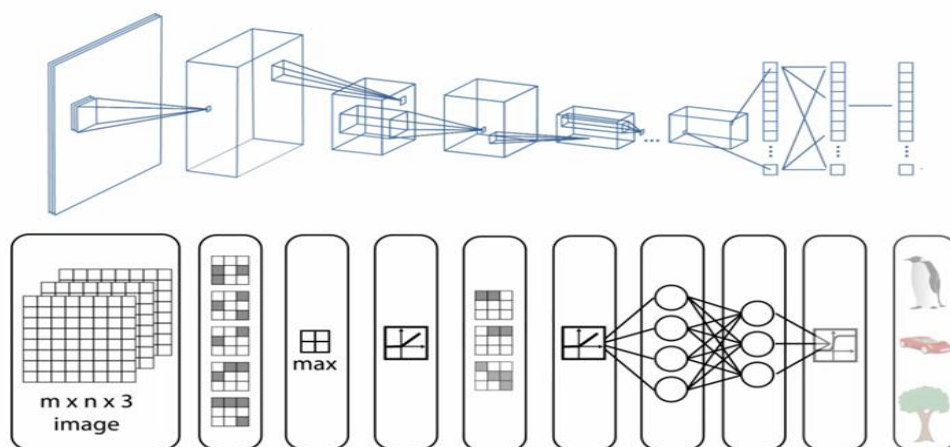
- 농업용 자율주행 정밀지도 제작을 위하여 농경지의 3D point cloud 데이터가 필요하며, 이를 classification하는 것이 중요함
- 농경지 주변의 도로, 필드, 장애물, 건물 등을 인식하고 이에 대한 판별 정보를 자율주행 농기계에 전달해주는 것이 중요함



<농업용 정밀지도 제작과정>

○ 딥러닝을 활용한 Network 구성

- 개체의 classification을 위해 딥러닝을 활용하여 network와 layer를 구성함
- 딥러닝에서는 3D영상의 top-view 이미지를 활용하여 2D로 처리하며, classification된 정보를 3D point에 넘겨주는 방식을 이용함



<딥러닝의 개요도>

- layer는 총 25단계로 구성되어 있으며, 입력데이터와 출력데이터를 제외하고 23단계의

과정을 거치게 됨

- convolution, rectified linear unit, normalization, pooling을 한 세트로 15번의 layer에 구성되어 영상을 분할해가면서 특징을 추출함
- fully connected, dropout, rectified linear unit, softmax를 한 세트로 하여 8번의 layer에 구성되어 학습된 영상들의 특징과 비교하면서 classification을 진행함

25x1 Layer array with layers:

| | | | |
|----|----------|-----------------------------|--|
| 1 | 'data' | Image Input | 227x227x3 images with 'zerocenter' normalization |
| 2 | 'conv1' | Convolution | 96 11x11x3 convolutions with stride [4 4] and padding [0 0 0 0] |
| 3 | 'relu1' | ReLU | ReLU |
| 4 | 'norm1' | Cross Channel Normalization | cross channel normalization with 5 channels per element |
| 5 | 'pool1' | Max Pooling | 3x3 max pooling with stride [2 2] and padding [0 0 0 0] |
| 6 | 'conv2' | Convolution | 256 5x5x48 convolutions with stride [1 1] and padding [2 2 2 2] |
| 7 | 'relu2' | ReLU | ReLU |
| 8 | 'norm2' | Cross Channel Normalization | cross channel normalization with 5 channels per element |
| 9 | 'pool2' | Max Pooling | 3x3 max pooling with stride [2 2] and padding [0 0 0 0] |
| 10 | 'conv3' | Convolution | 384 3x3x256 convolutions with stride [1 1] and padding [1 1 1 1] |
| 11 | 'relu3' | ReLU | ReLU |
| 12 | 'conv4' | Convolution | 384 3x3x192 convolutions with stride [1 1] and padding [1 1 1 1] |
| 13 | 'relu4' | ReLU | ReLU |
| 14 | 'conv5' | Convolution | 256 3x3x192 convolutions with stride [1 1] and padding [1 1 1 1] |
| 15 | 'relu5' | ReLU | ReLU |
| 16 | 'pool5' | Max Pooling | 3x3 max pooling with stride [2 2] and padding [0 0 0 0] |
| 17 | 'fc6' | Fully Connected | 4096 fully connected layer |
| 18 | 'relu6' | ReLU | ReLU |
| 19 | 'drop6' | Dropout | 50% dropout |
| 20 | 'fc7' | Fully Connected | 4096 fully connected layer |
| 21 | 'relu7' | ReLU | ReLU |
| 22 | 'drop7' | Dropout | 50% dropout |
| 23 | 'fc8' | Fully Connected | 1000 fully connected layer |
| 24 | 'prob' | Softmax | softmax |
| 25 | 'output' | Classification Output | crossentropyex with 'tench', 'goldfish', and 998 other classes |

<설계된 25개의 layer 구성>

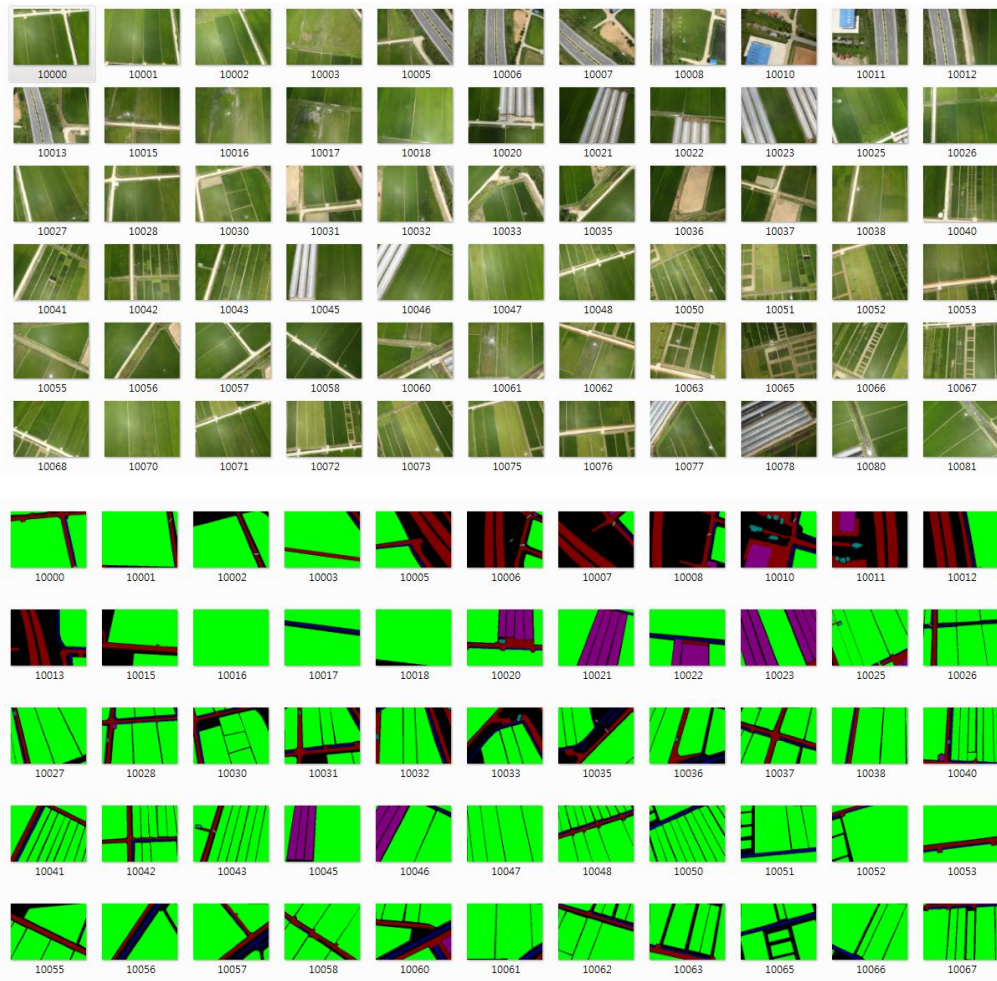
```
Initialization may take up to a minute before training begins
Training on single GPU.
Initializing image normalization.
```

| Epoch | Iteration | Time Elapsed (seconds) | Mini-batch Loss | Mini-batch Accuracy | Base Learning Rate |
|-------|-----------|---------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 | 1 | 0.28 | 2.0627 | 12.50% | 1.00e-04 |
| 2 | 50 | 7.21 | 0.8984 | 43.75% | 1.00e-04 |
| 3 | 100 | 14.01 | 0.4173 | 87.50% | 1.00e-04 |
| 4 | 150 | 20.83 | 0.4204 | 81.25% | 1.00e-04 |
| 5 | 200 | 27.73 | 0.3061 | 87.50% | 1.00e-04 |
| 6 | 250 | 34.61 | 0.1151 | 93.75% | 1.00e-04 |
| 7 | 300 | 41.46 | 0.0370 | 100.00% | 1.00e-04 |
| 9 | 350 | 48.35 | 0.0123 | 100.00% | 1.00e-04 |
| 10 | 400 | 55.20 | 0.1678 | 87.50% | 1.00e-04 |
| 11 | 450 | 61.99 | 0.0353 | 100.00% | 1.00e-04 |
| 12 | 500 | 68.76 | 0.0235 | 100.00% | 1.00e-04 |
| 13 | 550 | 75.68 | 0.0169 | 100.00% | 1.00e-04 |
| 14 | 600 | 82.44 | 0.0352 | 100.00% | 1.00e-04 |
| 16 | 650 | 89.21 | 0.0138 | 100.00% | 1.00e-04 |
| 17 | 700 | 96.07 | 0.0346 | 100.00% | 1.00e-04 |
| 18 | 750 | 102.98 | 0.0069 | 100.00% | 1.00e-04 |

<딥러닝 과정 체크>

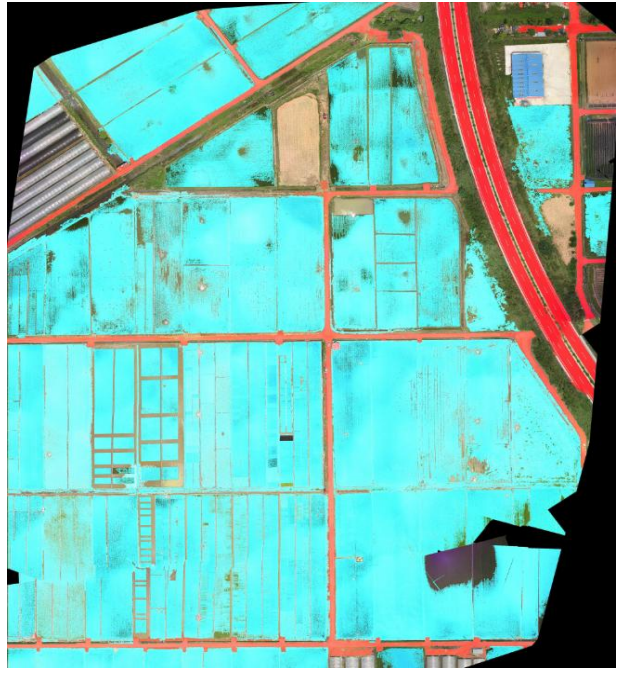
- 데이터베이스는 구분을 위해 labeling의 과정을 거쳤으며, 딥러닝의 성능과 classification

의 정확도를 판별하기 위해 도로와 필드의 두 가지 분류만 시행함

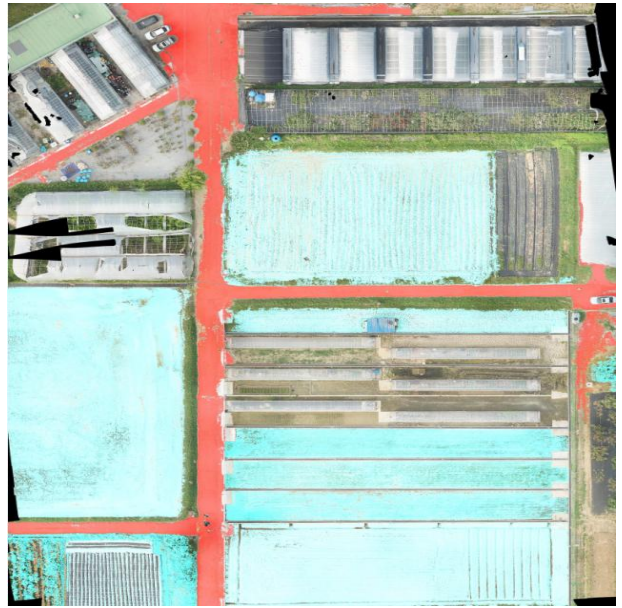


<데이터베이스 구성>

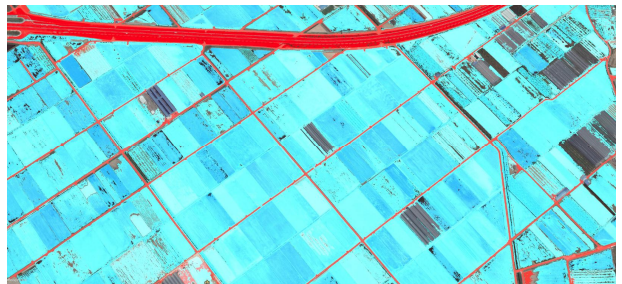
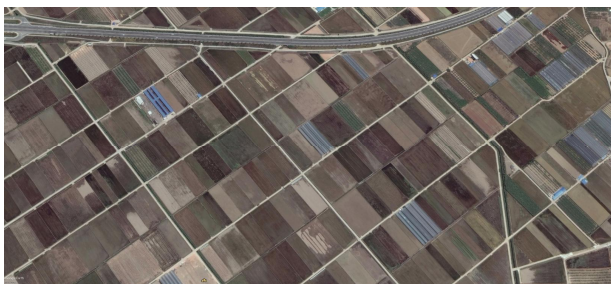
- classification의 정확도를 판별하기 위해 나주에서 촬영한 영상과 전남대학교 실험포장 필드에서 촬영한 영상과 구글어스를 통해 추출한 영상을 이용하여 실험하였으며, 결과물의 판별을 위해 필드는 파란색, 도로는 빨간색으로 표시함



<나주 촬영 영상 원본 및 결과>



<전남대학교 실험포장 촬영 영상 원본 및 결과>



<구글어스 촬영 영상 원본 및 결과>

2. 3D 모델링에서의 높이 기반 데이터화

○ 경지 정리된 농경지 주변 전경

- 농경지는 크게 논과 논 가장자리에 경계를 이루는 두둑이 있으며 논에 물을 대기 위한 수로와 작업기가 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, GPS 좌표 특징을 기준으로 분류한다면 2차원 영상만 가지고 분류했을 때 보다 정확도가 높아짐



<대상 포장 전경>



<농로 및 농경지>



<농로 및 경사 교차로>



<농로 및 논두둑>

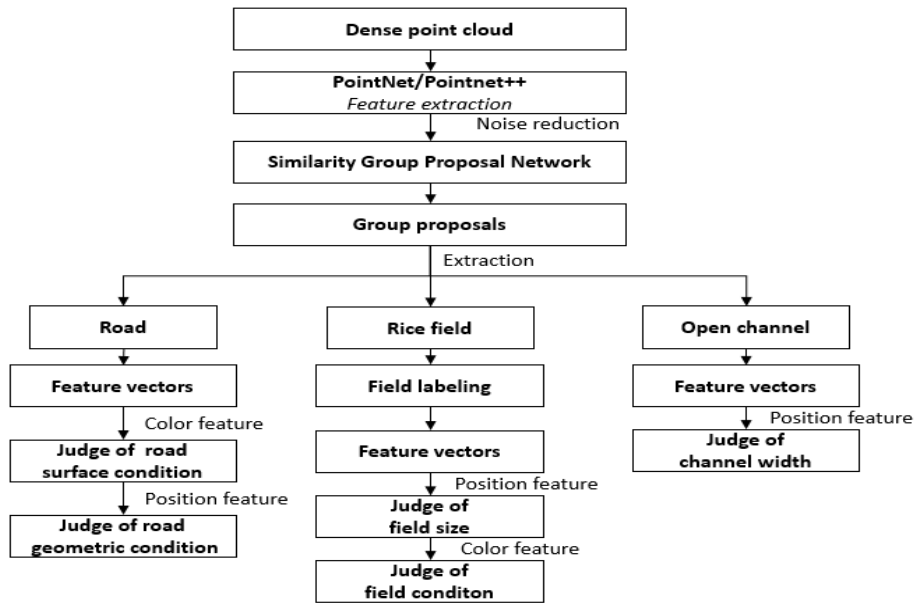


<논경지 진입로>



<논경지 진입로 및 수로>

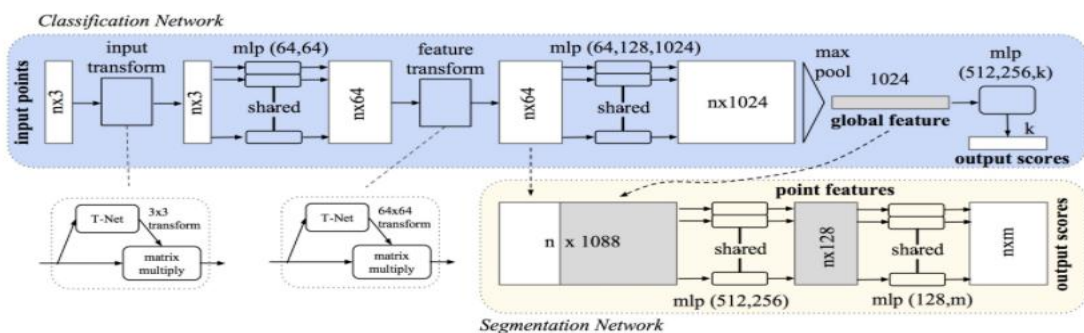
<농경지, 도로, 수로에 따라 표면의 높낮이가 확연히 구분되는 일반 농경지의 모습>



<포인트 클라우드를 이용한 인공지능 기반 농경지 특성 및 지형 분석>

○ Point-cloud 기반 3차원 데이터 분류 알고리즘을 통한 농경지 주변 환경 인식

- 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 신경망 구조>

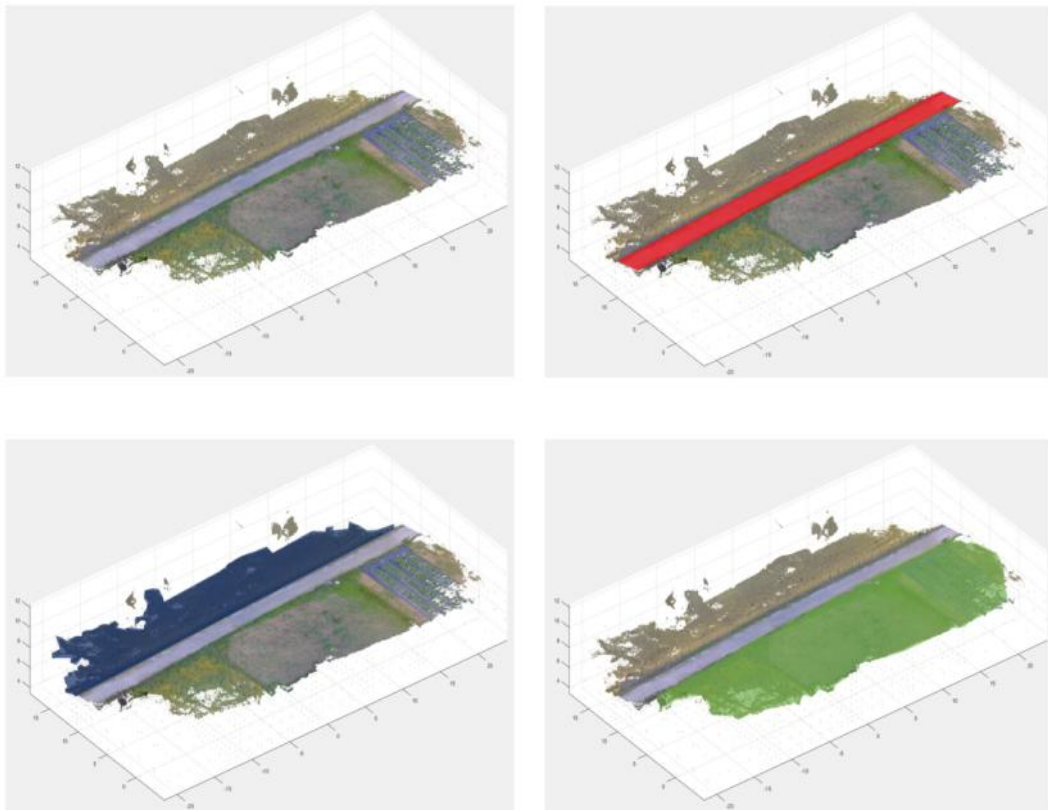
- 분류 네트워크 구조

- 1) n개의 3차원 포인트 좌표값이 input points로 입력
 - 1) T-Net 으로 3x3 텐서 변환
 - 2) matrix multiply 연산 처리
- 2) 변환된 $n \times 3$ 데이터가 mlp 64x64로 전달되어, $n \times 64$ 텐서로 출력됨
- 3) feature transform을 통해 계산된 $n \times 64$ 텐서 출력
- 4) mlp 64x128x1024 로 변환되어 $n \times 1024$ 텐서로 출력
- 5) max pooling 을 통해 일반화된 특징 벡터 1024 출력
- 6) mlp 512 x 256 x k 로 출력해 score 벡터 k 계산

- 세그먼트 네트워크 구조

- 1) 분류 네트워크의 1 ~ 4번까지 그래프 구조는 재사용됨
- 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

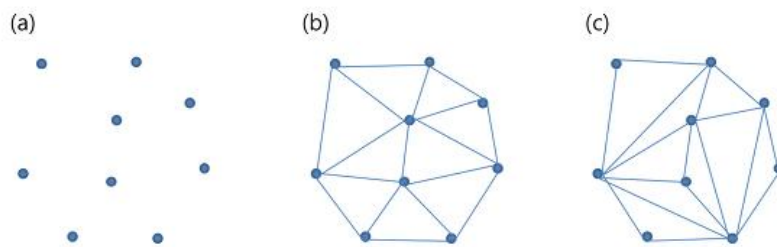
- 3차원 포인트 클라우드를 활용한 PointNet 알고리즘은 논, 도로, 수로를 분류하여 적절한 객체로 인식하는 기능을 수행



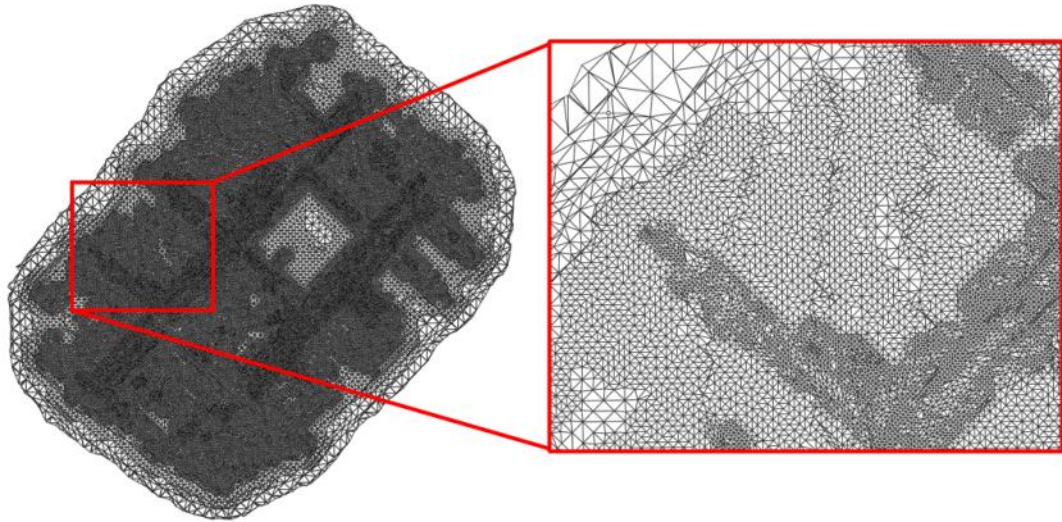
<PointNet 알고리즘 테스트>

○ Triangulated irregular network(TIN)에 의한 평균경사도 산출방법

- 항공영상으로부터 얻어낸 3차원 포인트 클라우드를 농경지 표면의 위치 정보를 표현하고 있어 Geographic information system(GIS)에 포함이 가능함
- 본 연구에서는 평균경사도를 산출하기 위해 Delaunay 삼각법을 이용한 Triangulated irregular network(TIN) 모델을 구축하고 기하 보정 및 내삽수행을 통해 Digital elevation model(DEM)을 작성함
- Triangulated irregular network(TIN) 모델은 삼각망 형성방법에 따라 같은 표본점에서도 다양한 형태의 삼각망이 추출될 수 있음
- Delaunay 삼각법은 각 점들을 연결하여 만든 삼각형의 외접원 내부에 또 다른 점이 존재하지 않도록 하는 방법임
- Delaunay 삼각법은 현재 표본점으로부터 삼각형 네트워크를 생성하는데 가장 널리 사용되는 방법이며, 삼각형 분할방식이 포인트의 처리순서에 영향을 받지 않아 일관적인 삼각망을 추출할 수 있음
- Delaunay 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
- Delaunay 삼각법의 특징에 따라 이러한 삼각형 모델 중에서 (b)와 같이 각각의 삼각형들이 최대한 정삼각형에 가까운 삼각형 모델이 선택됨
- 항공영상촬영을 통해 얻은 데이터로부터 Delaunay 삼각법을 통해 생성된 Triangulated irregular network(TIN) 모델은 다음과 같음



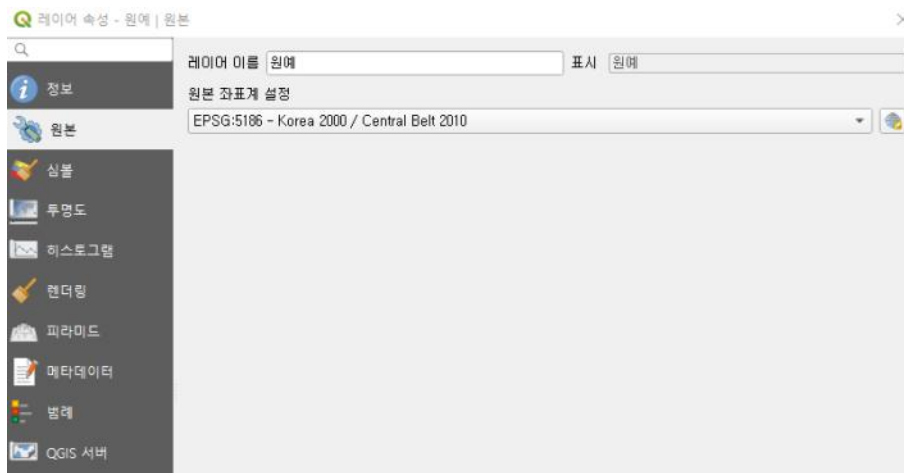
<델로니 삼각법에 의한 대상포장의 TIN 모델>

- Digital elevation model(DEM)을 작성하기 위해 Triangulated irregular network(TIN) 모델의 정위치 편집 및 타원체 모델 선정 등의 기하 보정 단계를 거침
- 정위치 편집 및 타원체 모델 선정을 통해 기존의 수치지도와 병합함에 있어서 그 정확성을 담보하는 일련의 데이터통합구축과정을 수행함
- 정위치 편집은 항공영상촬영을 통해 얻은 정합영상 및 Triangulated irregular network(TIN) 모델상의 도로, 토지, 지상시설물 등의 좌표 데이터를 기존의 수치지도와 비교하여 수정 및 일치 시키는 과정임



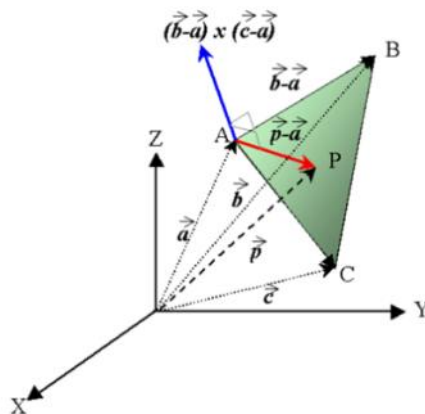
<기존 수치지도와 TIN 모델의 정위치 편집>

- 타원체 모델은 지구 내부의 밀도분포가 균일하다는 가정에서 중력장의 등포텐셜면(지오이드)에 가장 가까운 면을 회전 타원체의 형태로 가정한 것으로 위도차가 1도인 자오선 호의 길이를 여러 위도에서 측정하여 몇 개의 지구타원체 모델이 결정되어 있음
- 지구타원체 중에서 자기 나라의 지오이드에 가장 잘 맞는 것을 선택하여 특정의 위치에 고정하여 측지의 기전력으로 할 때 이를 기준타원체라 함
- 현재 국토지리정보원에서 2002년 이후 지형도에 사용 중인 기준타원체는 GRS80 타원체이며, 좌표계는 EPSG:5186이므로 이에 맞춰 Triangulated irregular network(TIN) 모델의 타원체 모델을 선정함



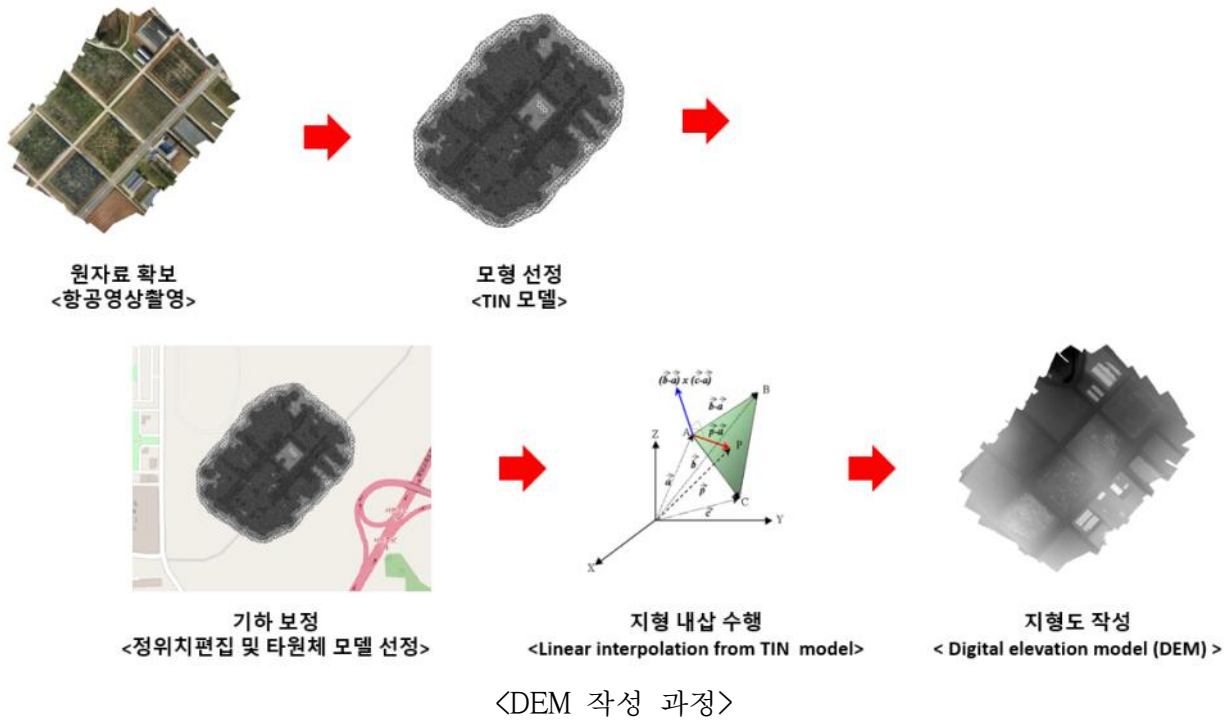
<TIN 모델의 타원체 모델 및 좌표계 설정>

- Triangulated irregular network(TIN) 모델의 각 삼각격자 고도 값은 격자의 중심 고도 값으로 함
- 삼각망 내 임의의 점에 대한 고도 값은 각 삼각형의 꼭짓점 좌표 값을 통해 얻은 평면 방정식을 이용하여 선형 보간법으로 추출 가능함



<Linear interpolation from TIN model>

- 항공영상촬영을 통해 얻은 데이터로부터 Triangulated irregular network(TIN) 모델을 작성하고 보정을 통해 Digital Elevation Model(DEM)을 생성함



- Digital elevation model(DEN)상의 각 삼각격자 간의 경사도 계산에서 거리 척도는 유클리디안 거리법을 이용하여 계산
- 유클리디안 거리는 n차원 공간에서 두 점 간의 최단 거리를 구하는 공식으로 공식은 피타고라스 정리를 이용한 거리측정 방법

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

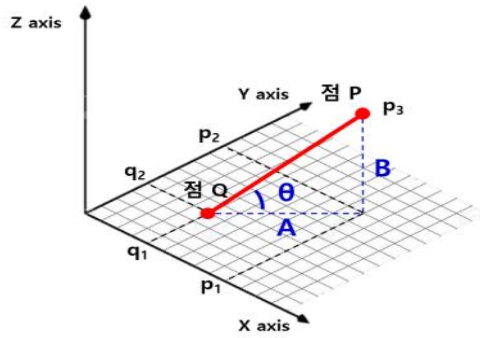
$$P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$$

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

- 위치 정보를 가지고 있는 3차원 포인트 클라우드 간의 경사도는 다음과 같으며, A는 xy평면상에서 두 점 간의 최단 거리를 나타내고 B는 두 점의 z 좌표 차를 나타냄

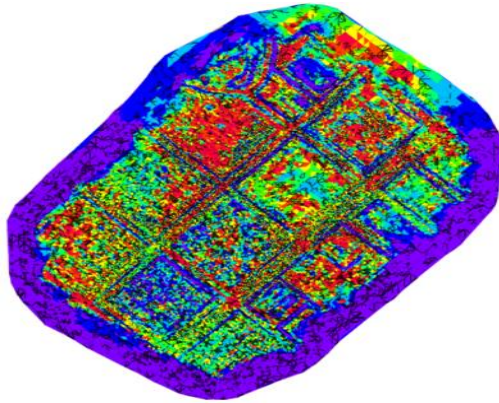
$$\text{경사도 (\%)} = \frac{B}{A} \times 100$$

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



<3차원 공간에서의 경사도 계산>

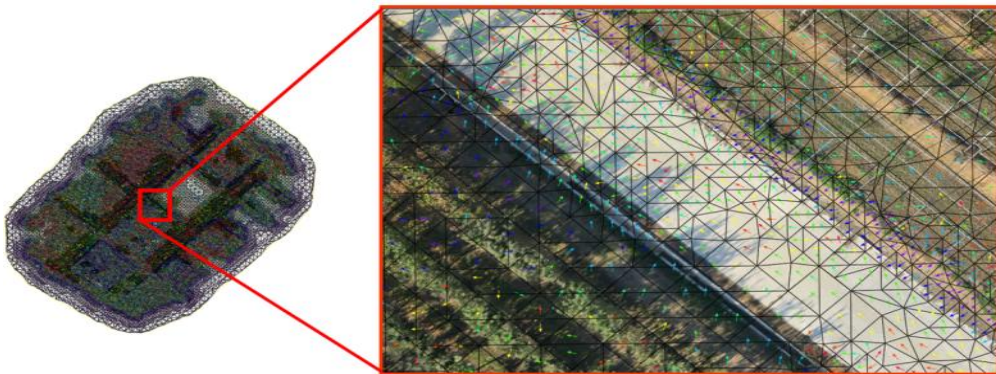
- 피타고라스 정리를 통해 계산된 각 삼각격자 간의 경사도(%)를 범위별로 구분하여 대상포장의 높낮이를 Rainbow color map으로 표현함



| 경사 테이블 | | | |
|--------|--------|-----------|-------------|
| 번호 | 최소 경사 | 최대 경사 | 색상 |
| 1 | 0.00% | 3.55% | Red |
| 2 | 3.55% | 5.37% | Orange |
| 3 | 5.37% | 7.23% | Yellow |
| 4 | 7.23% | 9.39% | Light Green |
| 5 | 9.39% | 12.68% | Green |
| 6 | 12.68% | 19.24% | Cyan |
| 7 | 19.24% | 33.87% | Blue |
| 8 | 33.87% | 14371.17% | Purple |

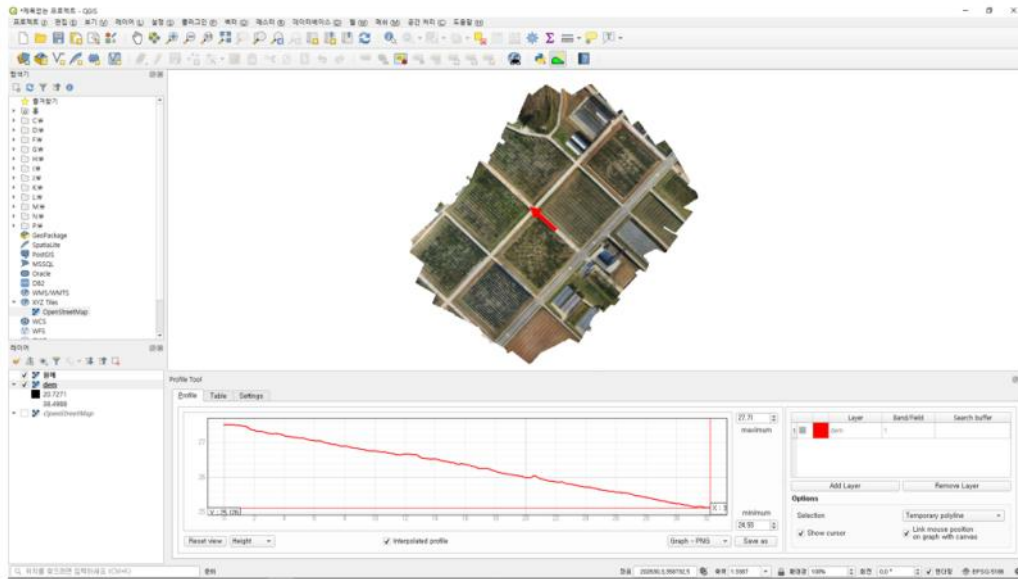
<TIN모델 기반 대상포장의 경사도(%) 분석>

- 삼각격자의 중심점의 (X, Y, Z) 값을 기반으로 각 삼각격자 간의 경사도(%) 및 경사방향을 표현 할 수 있음
- 경사방향은 화살표 형태로 표현하며, 화살표 머리 방향이 경사에서 아래 방향을 의미함
- 다음 사진은 대상포장에서 포장사이의 도로를 확대한 영상이고, 도로의 경사 방향은 오른쪽하단에서 왼쪽 상단이며 화살표 머리 방향은 왼쪽 상단으로 표현됨



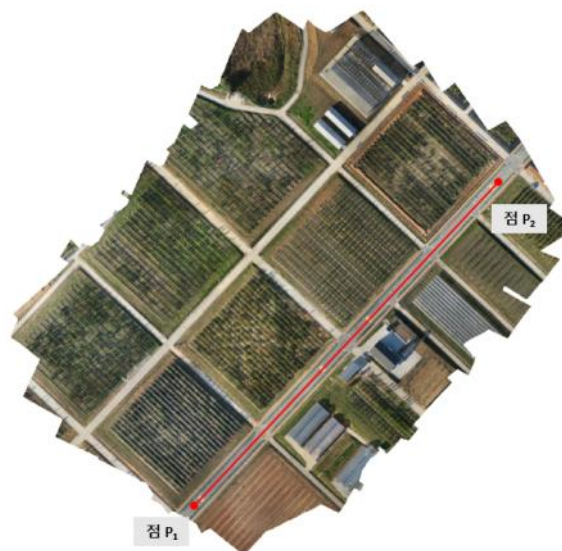
<TIN모델 기반 대상포장의 경사도(%) 및 경사방향(화살표) 분석>

- 삼각격자기준 경사방향(화살표) 분석데이터를 GIS프로그램을 이용한 DEM기준 경사 분석데이터와 비교함



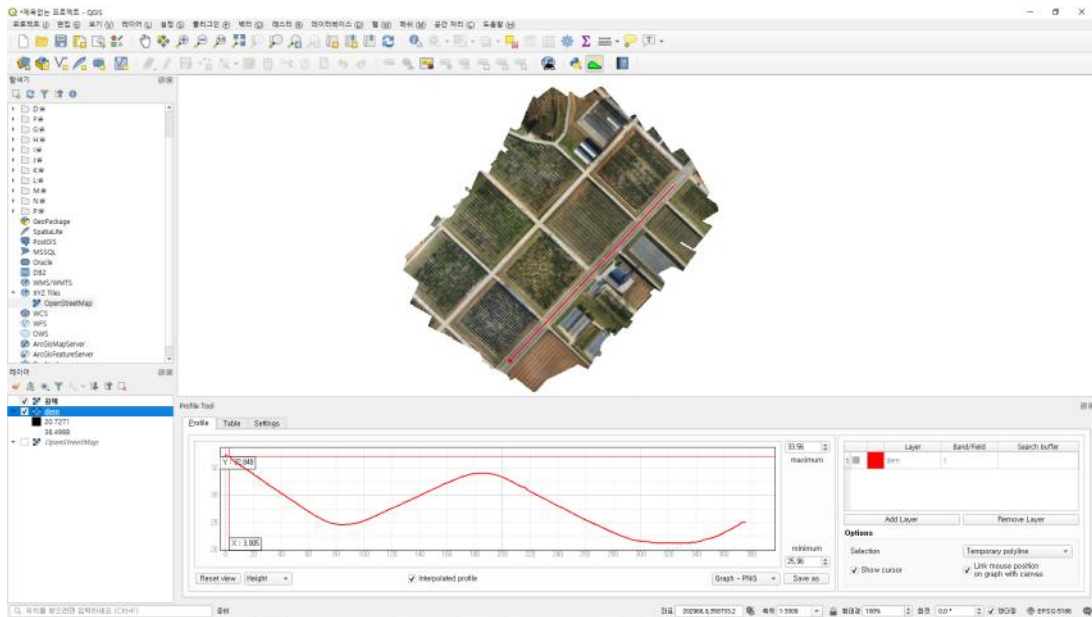
<DEM 기반 GIS프로그램을 이용한 경사 분석>

- 경사 분석데이터를 비교한 결과, Triangulated irregular network(TIN) 모델과 Digital elevation model(DEM)의 경사방향은 대부분 일치하였으며 TIN 모델의 경사도 분석데이터는 DEM의 경사도 분석데이터에 비해 표현이 복잡하고 직관성이 떨어짐
- Triangulated irregular network(TIN) 모델과 Digital elevation model(DEM)은 멀티모듈카메라 기반 항공영상촬영을 통해 얻은 3차원 포인트 클라우드 데이터를 이용함
- 시각적 직관성이 뛰어난 3차원 포인트 클라우드 모델과 Digital elevation model(DEM)을 비교함



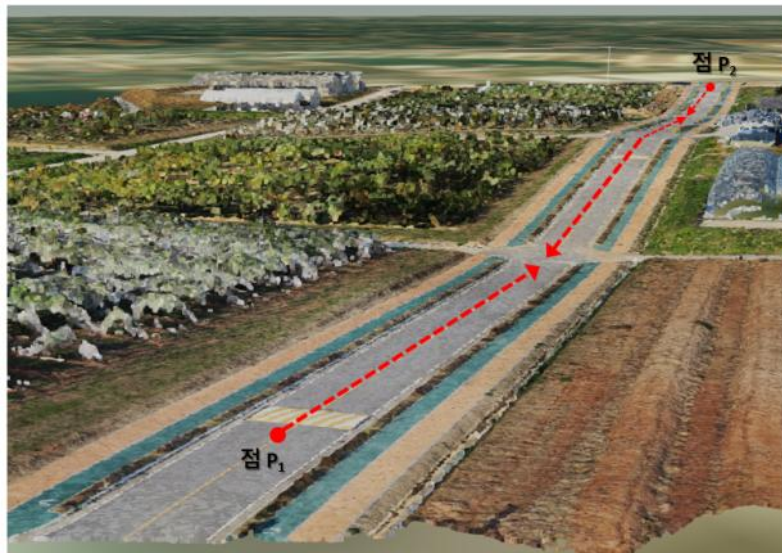
<DEM상의 두 점 P1과 P2>

- 멀티모듈카메라 기반 Digital Elevation Model(DEM)상에서 GIS프로그램을 이용하여 계산한 두 점 P_1 과 P_2 간의 대상포장의 평균 경사도는 다음과 같음



〈DEM 기반 GIS프로그램을 이용한 경사 분석〉

- 3차원 포인트 클라우드 모델의 각 포인트들은 GPS좌표 데이터를 가지고 있으므로 실제 대상포장의 환경을 3차원 가상환경으로 표현 가능함
- 다음 사진은 3차원 공간 상에서 두 점 P_1 , P_2 간의 경사를 표현하였으며, 화살표의 머리 방향은 경사에서 아래 방향을 나타냄



〈3차원 포인트 클라우드 모델상의 두 점 P_1 , P_2 〉

○ Fitting plane algorithm에 의한 평균 경사도 산출방법

- 평균 경사도를 산출하기 위하여 주어진 3차원 포인트 데이터집합으로부터 최적의 평면을 산출함

3D point dataset

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & z_n \end{bmatrix}$$

- 농경지 환경의 3차원 포인트 데이터집합은 앞선 분류알고리즘으로부터 근접한 거리와 비슷한 높이를 기준으로 분류되며 대상포장으로부터 농로의 3차원 포인트 데이터집합을 구분할 수 있음



<대상포장의 경사도에 따른 3차원 농로 포인트 데이터집합의 분류>

- 3차원 포인트 데이터집합으로부터 최적의 평면방정식은 z축 방향으로의 데이터 오차 제곱의 합이 최소가 되도록 계산함

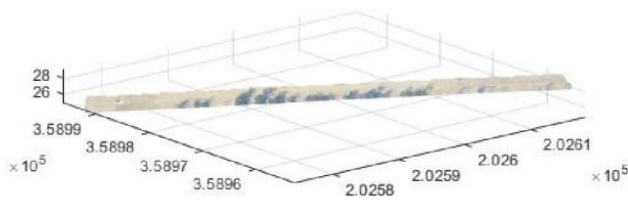
Coefficients of plane equation

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n y_i^2 & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i z_i \\ \sum_{i=1}^n y_i z_i \\ \sum_{i=1}^n z_i \end{bmatrix}$$

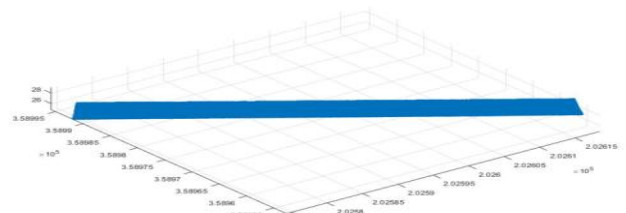
Equation of a plane

$$z(x, y) = A \cdot x + B \cdot y + C$$

- 계산식으로부터 구한 평면방정식의 계수를 이용하여 산출한 평면과 실제 3차원 포인트 데이터집합을 시각적으로 비교함



<3차원 포인트 데이터집합>



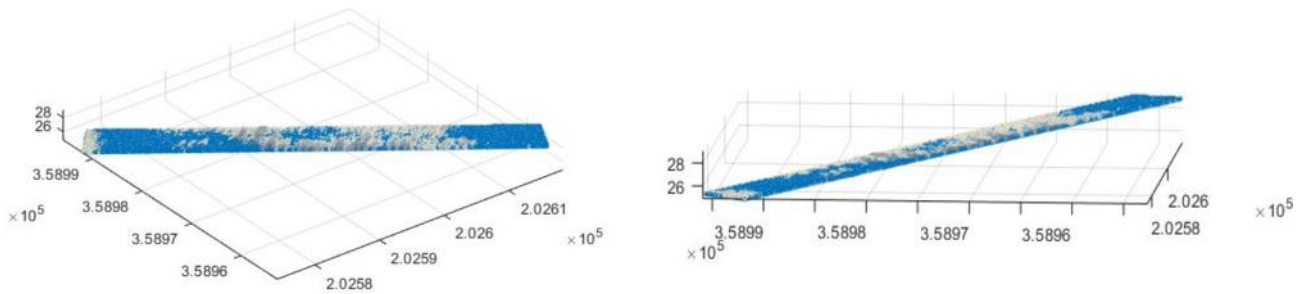
<계산식을 통해 구한 평면방정식>

- R^2 은 평면방정식의 결정계수로 회귀식의 적합도를 재는 척도가 되며, 계산식은 다음과 같음
- R^2 의 값은 0에서 1사이의 값이며, 결정계수가 1에 가까운 경우 3차원 포인트 데이터집합은 계산된 평면위에 매우 고르게 분포함을 의미함

Fit quality - Coefficient of determination = R^2

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - z(x_i, y_i))^2}{\sum_{i=1}^n (z_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i)^2}$$

- 해당 3차원 포인트 데이터집합으로부터 산출한 평면방정식의 결정계수는 0.9988로 시각적으로도 매우 일치함을 보임
- 결정계수의 값이 1에 가까울수록 3차원 포인트 데이터집합은 고른 평면을 나타내고, 농로를 의미하는 데이터집합에서는 결정계수의 값으로 농로의 표면이 고른 정도를 표현할 수 있음



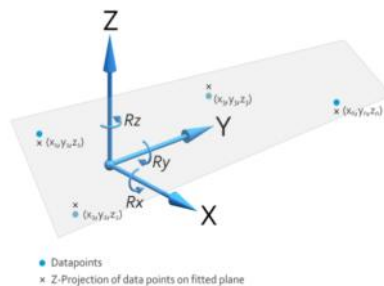
<데이터집합과 평면방정식 비교>

- 평면방정식에 각각 x, y에 관한 미분을 이용하면 x축과 y축을 기준으로 한 평면의 기울기를 구할 수 있음
- 평면방정식의 기울기 값은 농로를 의미하는 데이터집합에서 경사도를 표현할 수 있음

Tip/Tilt angles

$$R_X = \text{atan}\left[\frac{d}{dy} z(x, y)\right] = \text{atan}[B]$$

$$R_Y = \text{atan}\left[-\frac{d}{dx} z(x, y)\right] = \text{atan}[-A]$$

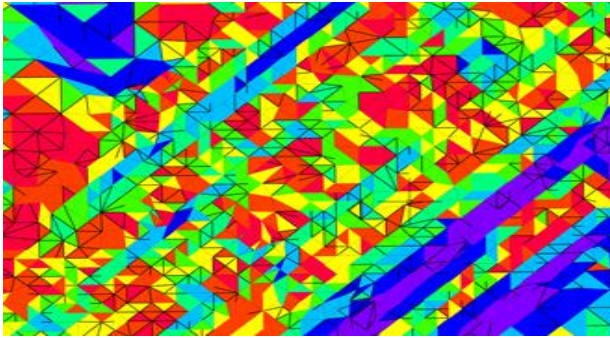


<x축과 y축을 기준으로 하는 평면방정식의 기울기>

3. GIS 정보 기반 지형 경사도/위험지역 구분 등 데이터 병합

○ 지형 경사도 및 위험지역에 대한 데이터

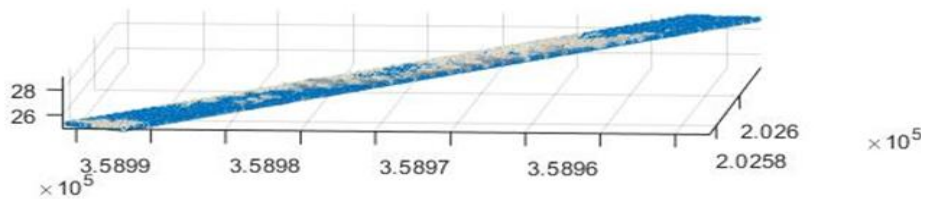
- 대상포장 지형의 경사도는 Triangulated irregular network(TIN) 모델을 통한 Digital elevation model(DEM), fitting plane algorithm등의 다양한 모델에서 산출 할 수 있음



<TIN모델 기반 컬러를 통한 경사도 분석 >



<TIN모델 기반 경사도 및 경사방향 분석>



<Fitting palne algorithm기반 평면의 경사도 분석>

- 대상포장 내 위험지역은 작업기가 노면을 이동할 수 있는지 여부에 따라 분류함
- 경사지역의 경우 작업기의 정적 및 동적 전도각을 고려하고, 일반 도로 및 농경지의 경우 노면의 고른 정도에 따라 작업기 이동여부 결정 및 주의 경보를 할 수 있도록 위험지역에 대한 정보를 작성
- 경사도 및 위험지역에 대한 데이터는 하나의 레이어로 작성하고, 이에 대한 정보가 여러 개의 파일로 구성함

| 구분 | | 설명 | 비고 |
|-----------|---------------|---------------------------------|----|
| 벡터 데이터 | shp | 기하학적 위치정보를 포함하고 있는 벡터 파일 | |
| | shx, sbx, sbn | 기하학적(shx), 공간적(sbx, sbn) 인덱스 파일 | |
| | dbf | 속성정보를 포함하고 있는 데이터베이스 파일 | |
| | prj | 투영, 좌표계 정보를 포함하는 프로젝션 파일 | |

- 좌표 체계는 현재 국토지리정보원에서 2002년 이후 지형도에 사용 중인 기준타원체는

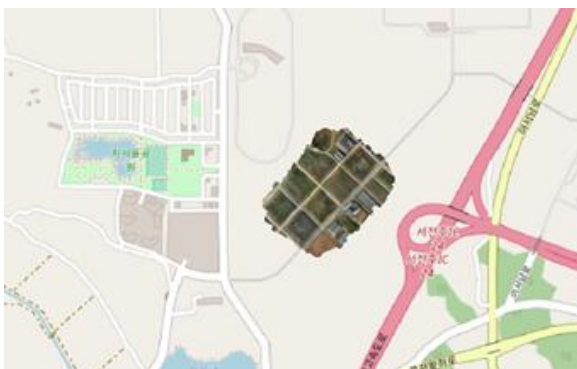
GRS80 타원체를 사용하며, 높이는 평균해수면 고도로 나타내는 지오이드를 기준으로 하는 수직 거리와 기하학적으로 정의된 타원체면에 수직인 거리를 의미하는 타원체고도로 나타냄

| 구분 | 좌표 체계 | 비고 |
|--------|----------------------------|----|
| 정밀도로지도 | - 기준타원체 GRS80, UTM-K, 정표고 | |
| | - 기준타원체 GRS80, UTM52, 타원체고 | |

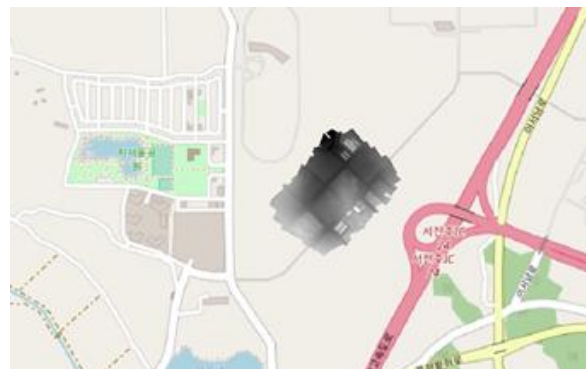
- Geographic information system(GIS)를 활용한 기존 수치지도와 데이터 병합
 - Geographic information system(GIS)란 인간의 요구에 따른 지리정보를 컴퓨터 데이터로 변환하여 효율적으로 활용하기 위한 정보시스템을 말함
 - 본 연구에서 데이터화한 3차원 경사도 및 위험지역에 대한 정보의 위치자료(spatial data)와 속성자료(attribute data)를 통합·관리하여 기존의 수치지도, 도표 및 그림들과 같은 여러 형태의 정보를 제공함
 - Geographic information system(GIS)는 모든 정보를 수치적 형태로 표현함. 모든 지리정보가 수치데이터의 형태로 저장되어 사용자가 원하는 정보를 선택하여 필요한 형식에 맞추어 출력할 수 있음
 - 기존의 종이지도의 한계를 넘어 이차원 개념의 상태를 3차원 이상의 동적인 지리정보까지 제공이 가능함



<데이터화한 위치자료와 속성자료와 기존의 수치지도 통합>



<항공영상자료와 수치지도 통합>



<DEM과 수치지도 통합>

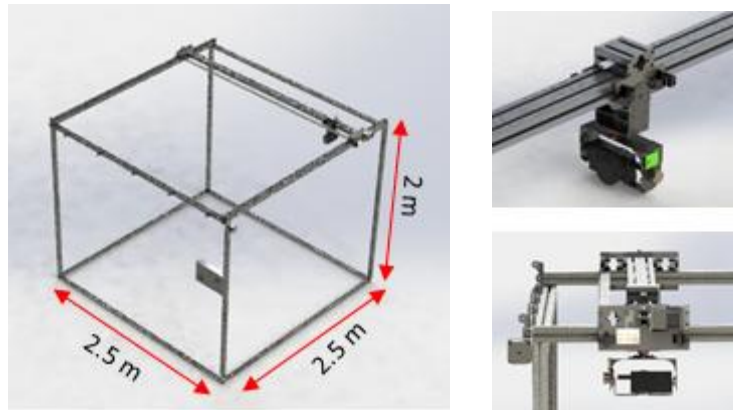
■ 작품의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 및 분석

1. 드론 시뮬레이터 구성

- 드론 촬영의 효율성과 시간을 절약을 위해 드론에 장착된 카메라의 성능 및 객체의 추출을 실내에서 실험할 수 있는 실내 시험 장치를 구성함
- 실제 드론의 비행경로에 맞추어 테스트가 가능하도록 설계하였으며, 카메라의 측정 각도 및 방향, 영상의 중첩률 등의 다양한 조건들의 변화에 따라 실험할 수 있도록 제작함. 이를 통해 객체의 보다 정밀한 3D 모델을 추출할 수 있음

○ 실내 시험 장치의 구성

- 시험 장치는 기본 프레임, x-y축의 이동이 가능한 모터, 카메라의 회전이 가능하도록 하는 짐벌, 메인 컨트롤 소프트웨어, 가상 필드로 구성
- 기본 프레임은 높이 2m, 가로/세로 폭 2.5m로 구성



<드론 시뮬레이터의 설계안>



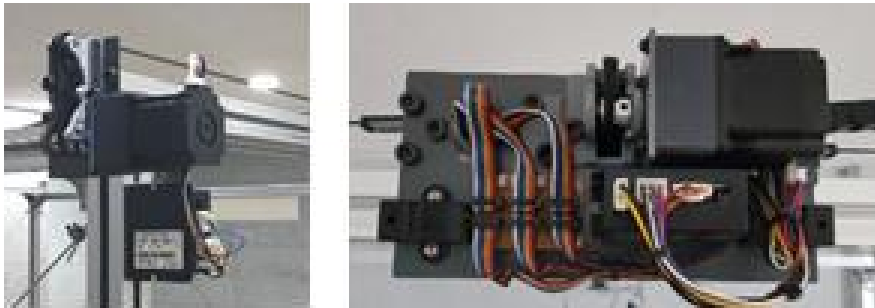
<설치된 드론 시뮬레이터의 모습>

- 드론의 움직임을 모사하도록 카메라의 위치를 x-y축으로 움직이게 하는 모터는 각각의

축에 Paix GSD-230UD의 스테핑 모터 드라이브와 스테핑 모터를 한 세트 구성하여 부착함

<스테핑 모터 드라이브의 제원>

| | |
|------------------------|------------------------------|
| Power supply | DC 15~40V |
| Max output current | Max 3.0A/Phase |
| Driving method | Unipolar constant current |
| Input pulse method | 1Clock/2Clock |
| Max response frequency | 400KHz/700KHz(photo-coupler) |
| input signal | Pulse signal(width over 1us) |
| output signal | Photo-couple, OpenCollector |



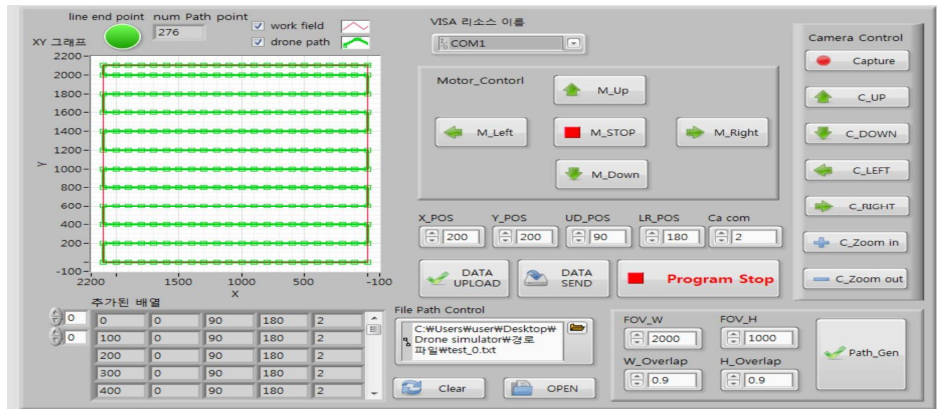
<부착된 x-y축의 스테핑 모터>

- 드론 시뮬레이터의 이동 프레임에 부착된 카메라 짐벌은 다양한 방향의 영상을 촬영할 수 있도록 360도 회전이 가능하며, 지상을 바라보는 각도를 변경하여 촬영이 가능하도록 90도의 각도 변경이 가능하도록 설계됨



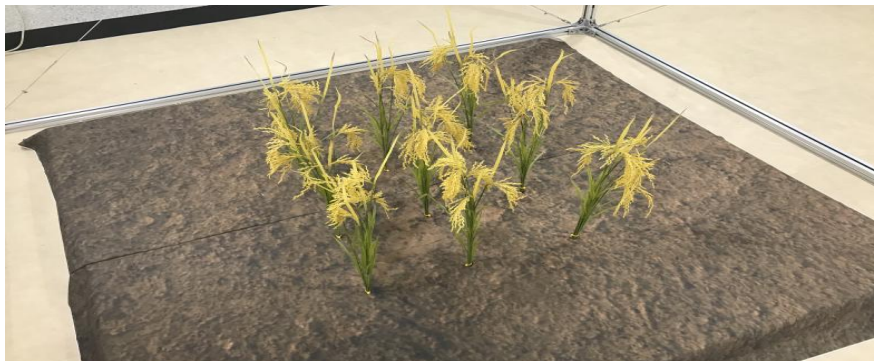
<부착된 카메라 짐벌의 모습>

- 드론 시뮬레이터의 컨트롤 소프트웨어는 실제 드론의 구동과 비슷한 방식으로 제작됨
- overlap-ratio와 Field of view의 수치를 입력하면 비행 경로를 계산하여 표시해주며, 촬영이 되어야할 포인트도 설정되어 배치됨
- 카메라의 위치나 앵글각도 뿐만 아니라 줌인/줌아웃의 기능도 수행할 수 있도록 제작됨



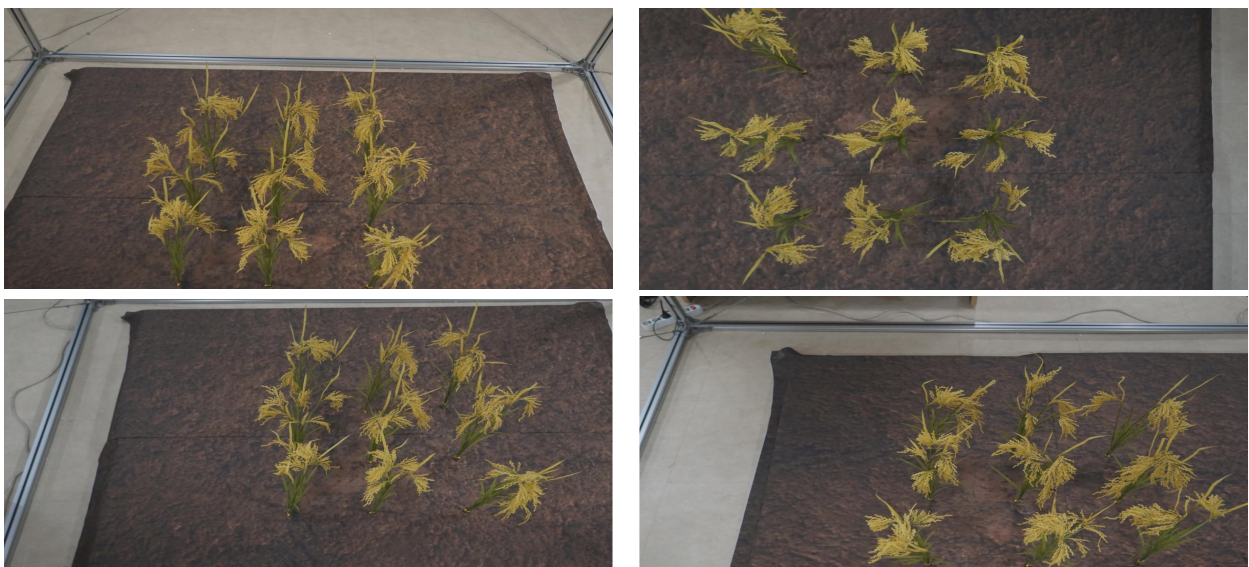
<드론 시뮬레이터 컨트롤 소프트웨어>

- 테스트 필드는 모형 벼를 선택하여 실제의 벼가 심어져 있는 것과 비슷한 환경을 구성함
- 모형 벼의 높이는 대략 55cm정도이며, 가로 30cm, 세로 20cm의 간격을 두어 설계함
- 토양의 색상은 물이 차있는 상태의 토양과 비슷한 색상을 선택하여 제작



<테스트 필드>

- 테스트 필드의 촬영은 카메라 앵글 50도, 60도, top view인 90도로 촬영하였으며 전후좌우 4 방향에 top view 영상을 추가하여 5-view 실험, 대각의 4방향을 추가한 9-view 실험을 진행함

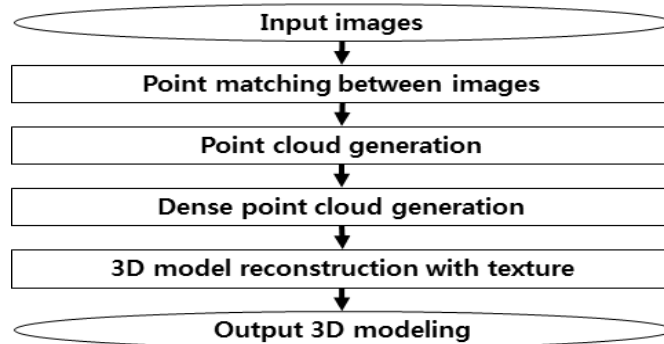


<드론 시뮬레이터로 촬영한 영상들>

<실험당 촬영 영상의 개수>

| 구 분 | 50도 5-view | 60도 5-view | 50도 9-view | 60도 9-view |
|-------|------------|------------|------------|------------|
| 영상 개수 | 435 | 495 | 665 | 778 |

2. 작물 개체의 3D Reconstruction



<작물 개체 3D reconstruction 순서도>

○ 촬영 이미지를 활용한 포인트 매칭

- 작물 개체의 3D reconstruction을 위해 가장 처음에 수행하는 작업으로 영상들의 특징 점들을 기반으로 영상끼리 겹치는 객체를 식별하고 연결하는 단계임
- 매칭 포인트들의 추출을 위해 이미지들을 등록하고 적합한 특징점들을 일치시키는 알고리즘들이 이용됨
- 가장 널리 사용되는 특징점 추출 및 식별 알고리즘 중 하나인 Scale Invariant Feature Transform(SIFT)를 이용함
- SIFT는 이미지 처리의 여러 단계를 적용하여 이미지 등록, 추적 및 특징점 연결을 위한 주요 기능들을 식별함
- 이미지들간의 특징점들을 매치시키고 그 주위 픽셀들을 분석함으로써 매칭하거나 가장 특이한 특징점을 추출하여 매칭하여 결과를 출력함



<포인트 매칭 결과>

○ 희소 포인트 클라우드 생성

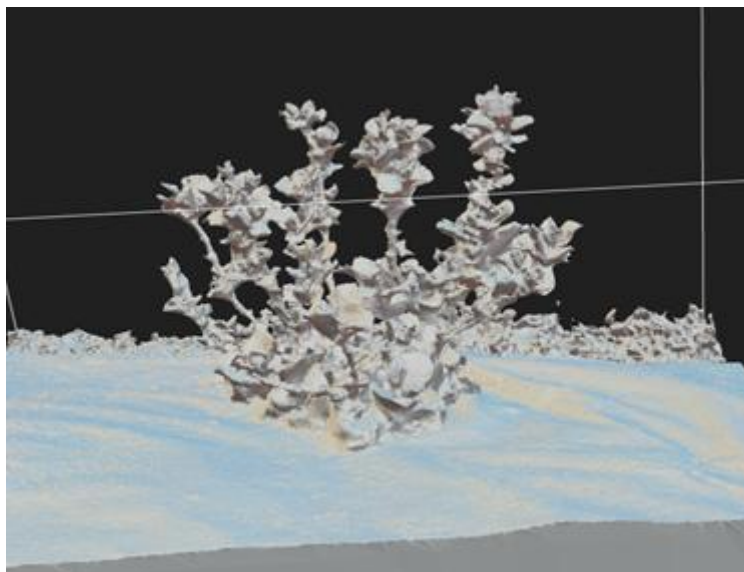
- 이 단계에서는 매칭되는 모든 특징점들의 3D 위치가 카메라 내부 보정과 모든 이미지의 위치 및 방향에 맞게 추정되고 생성됨
- 여러 개의 영상들을 통해 찍힌 동일 객체의 위치 및 거리 정보가 계산되며, 이를 바탕으로 포인트 정보들이 생성되게 됨



<희소 포인트 클라우드 생성 결과>

○ 고밀도의 포인트 클라우드 생성

- 추정된 카메라의 방향 및 위치를 사용하여 비활성 포인트 픽셀의 3D 위치를 검색하여 보정함
- 3D 상에서 비활성 포인트 픽셀의 이웃 픽셀의 정보들을 바탕으로 새롭게 픽셀의 정보를 생성하여 조밀한 포인트 클라우드를 생성함



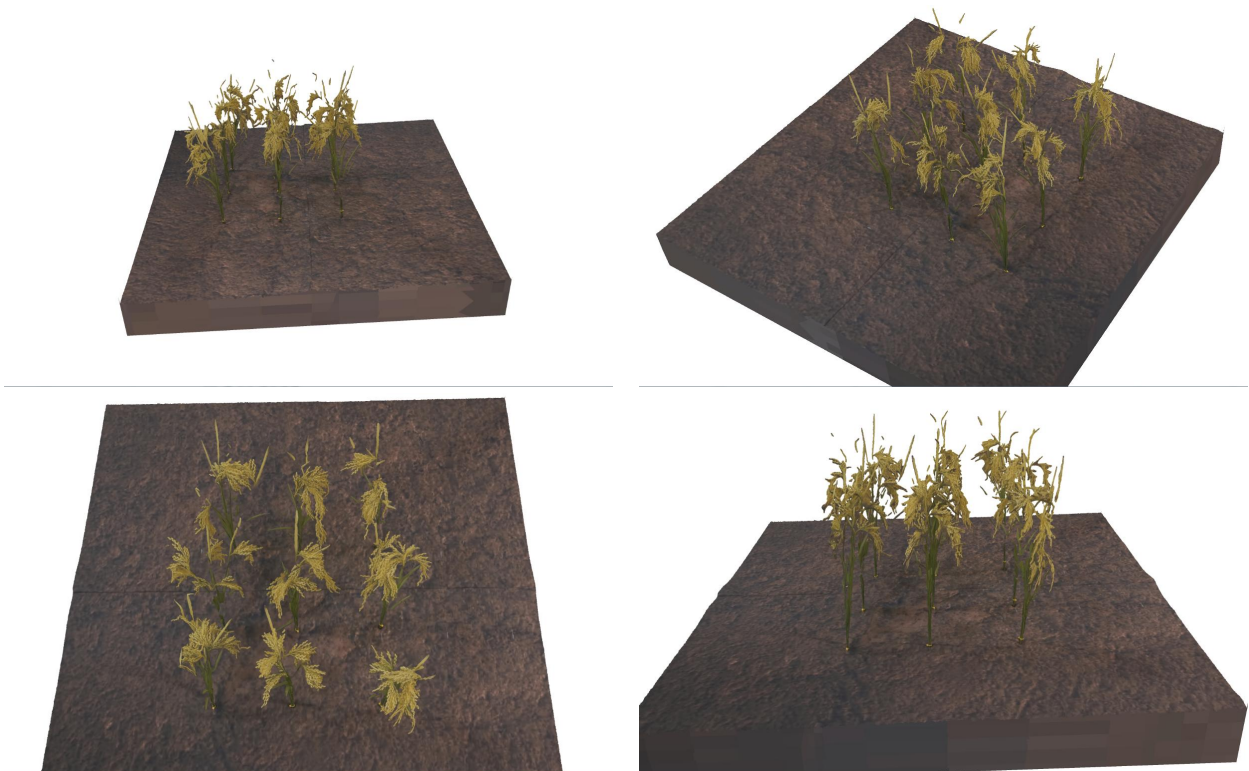
<고밀도의 포인트 클라우드 생성 결과(solid form)>

○ 텍스처 정보를 가지는 3D reconstruction

- 이 단계에서는 각 포인트들마다 인접한 세 점을 한 세트로 하여 삼각형으로 연결하고, 개체의 모델 표면에 연속적으로 메쉬를 생성함
- 마지막으로 원본 이미지가 제작된 3D 모델링에 맞추어 텍스처 맵으로 결합되고 이를 메쉬 주변으로 감싸서 원본 개체의 사실적인 모델이 제작됨



<텍스처 정보를 가지는 3D 개체 모델링 결과>



<실내 시험 장치를 이용한 작물 개체의 3D reconstruction 결과>

○ 3D 모델링을 통한 벼 작물의 분석

- 항공영상에서는 측정할 수 없었던 벼의 낱알 수와 작물 개체의 높이, 잎의 너비 등의 정보를 3D 모델링을 통하여 분석이 가능하도록 알고리즘을 구성할 예정

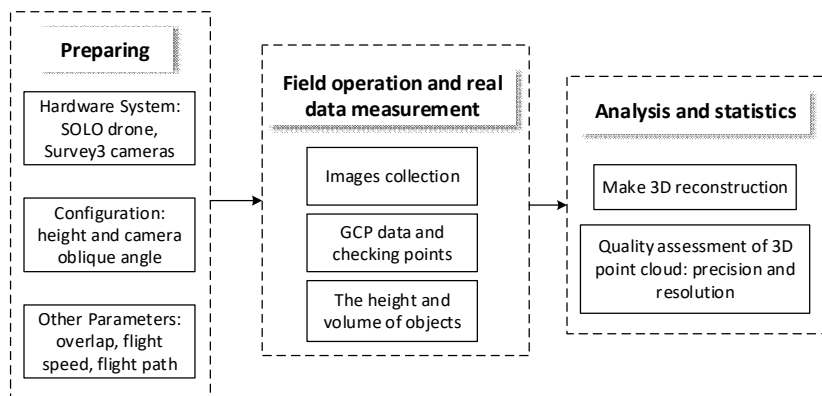
- 향후 분석 알고리즘을 과수 작물에 쉽게 적용이 가능하도록 설계
- 잡초, 병해충 발생 조기 감지 등의 연구로 과생이 가능하여 알고리즘의 발전 가능성이 매우 높음



<드론을 이용한 작물 생산량 예측 및 과수 수확량 예측>

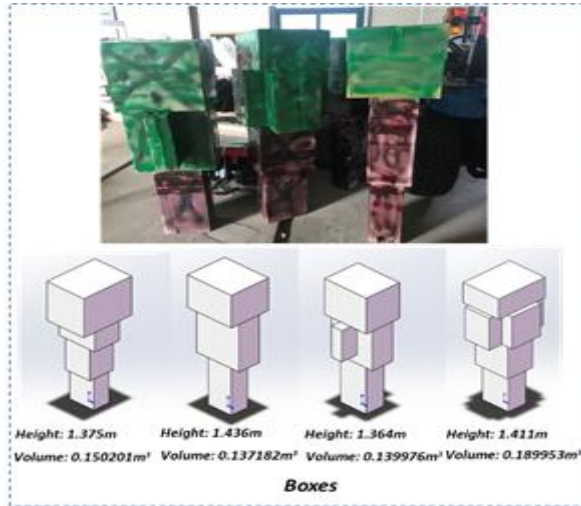
3. 인공구조물을 이용한 3D 모델링에서의 객체 특성 분석

- 공중 사선 영상 시스템의 특성을 분석하여 사선 영상에 대해 3차원 GSD를 제안하고 공식을 도출함
- 높이와 카메라 사선 각도의 다른 조합은 사선 이미지의 GSD와 3D 재구성의 이미지 매칭에 영향을 미치는 이미지 사이의 GSD 차이를 가지고 있음
- 실험을 설계하여 GSD와 카메라 사선 각도의 관계를 확인하고 특정 환경(나무, 지형)에서 고품질 3D 모델을 만들 수 있는 최적의 매개변수를 구함



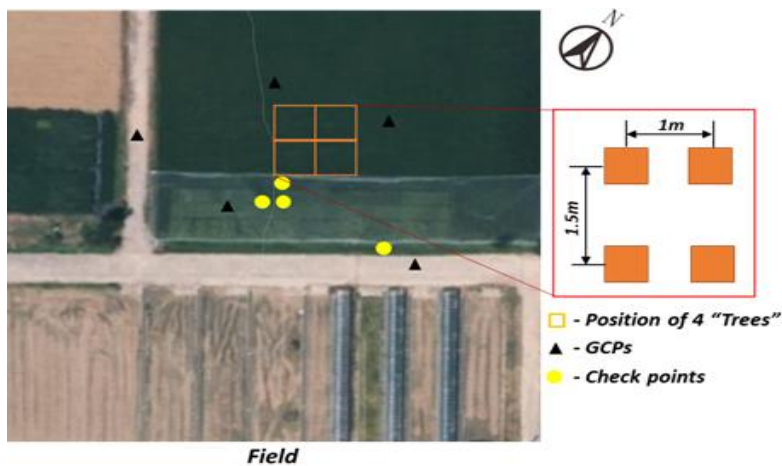
<사선 영상에 대해서 객체 특성 분석을 위한 실험 모델 흐름도>

- 수학 모델을 검증하기 위해 인공구조물 구성을 위해 몇 개의 상자를 사용함
- 객체는 여러 개의 상자로 이루어져 있으며, 아래의 그림과 같이 녹색과 작은 하단이 갈색으로 칠해져 있는 큰 상단을 가지고 있음



<인공 구조물 구성 및 볼륨 측정>

- 테스트 베드 구성은 전남대에서 진행하였으며 인공구조물을 필드에 배치하고 GCP와 체크 포인트를 설정함
- 지점들의 GPS(WGS 84)를 측정하기 위해 mrp-2000을 사용하였으며, GCP 데이터는 3D 점 구름 좌표를 실제 좌표로 변환하기 위한 참조 자료 및 3D 재구성의 정밀도를 향상 시키기 위한 데이터로 이용함



<테스트 베드 구성 및 위치 할당>

- 실험을 위한 카메라의 각도는 25° 부터 55° 까지 5° 의 간격을 두고 변경하면서 촬영 하였으며, 정밀도로 높이는 6m로 설정하고 비행 속도는 모든 시험에서 1m/s, 정면과 측면의 Overlap은 80%로 설정하여 진행함

| No. | Height (m) | Vertical Camera Focal Length(mm) | Vertical Camera Horizontal GSD(m/pixel) | Oblique Angle(°) | Oblique Camera Focal Length(mm) | Footprint (m) | Coverage area in ground(m ²) | Shooting Interval (m) | Track spacing (m) | Baseline-height Ratio |
|-----|------------|----------------------------------|---|------------------|---------------------------------|---------------|--|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | 6 | 3.37 | 0.0027596 | 25 | 3.37 | 20.6153 | 413.4262 | 1.6558 | 1.7690 | 0.2760 |
| 2 | 6 | 3.37 | 0.0027596 | 30 | 3.37 | 25.4345 | 613.4664 | 1.6558 | 1.9600 | 0.2760 |
| 3 | 6 | 3.37 | 0.0027596 | 35 | 3.37 | 32.4309 | 966.0831 | 1.6558 | 2.2077 | 0.2760 |
| 4 | 6 | 3.37 | 0.0027596 | 40 | 3.37 | 43.7323 | 1691.1196 | 1.6558 | 2.2077 | 0.2760 |
| 5 | 6 | 3.37 | 0.0027596 | 45 | 3.37 | 65.5571 | 3635.5613 | 1.6558 | 2.2077 | 0.2760 |
| 6 | 6 | 3.37 | 0.0027596 | 50 | 3.37 | 127.1593 | 13004.8808 | 1.6558 | 2.2077 | 0.2760 |
| 7 | 6 | 3.37 | 0.0027596 | 55 | 3.37 | 1728.5986 | 2272881.6314 | 1.6558 | 2.2077 | 0.2760 |

<비행의 조건 파라미터 설정>

- QGroundControl 소프트웨어를 사용하여 SOLO 드론의 지상 제어 스테이션으로 사용하였으며, 구성 매개 변수를 QGroundControl 소프트웨어로 설정하고 아래 그림과 같이 드론 비행 경로를 설정하여 진행함



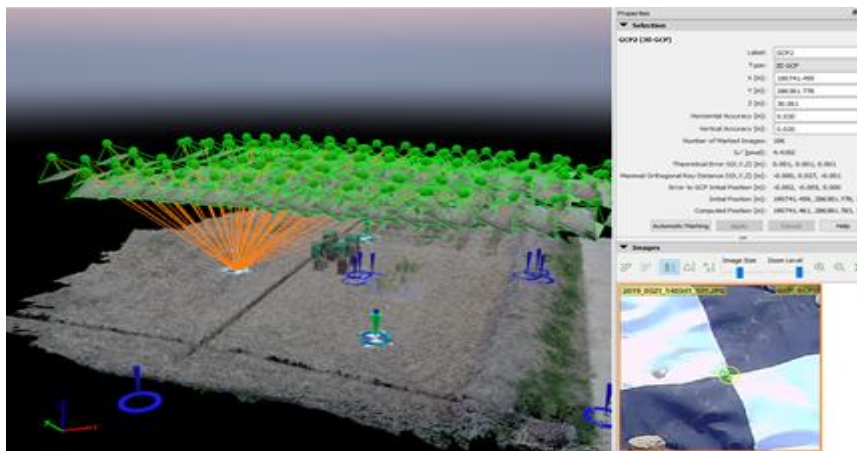
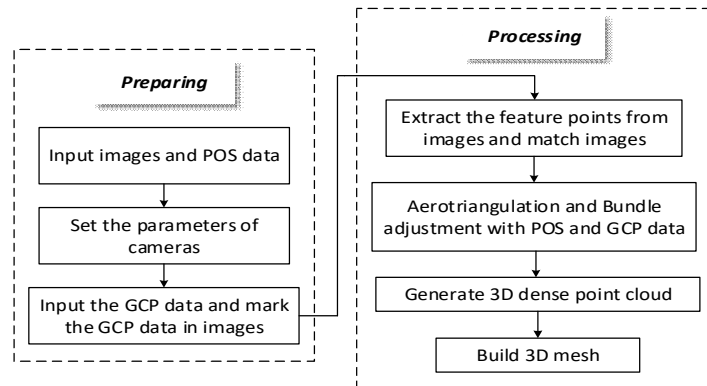
<비행경로 설정>

- QGroundControl에서 설계된 경로를 기준으로 현장에서 멀티 카메라 시스템과 드론을 테스트하였으며, 약 3시간에 걸쳐 9100개의 이미지를 수집하였음



<테스트 베드에서의 인공구조물 촬영>

- 3D 포인트 클라우드 모델링은 Pix4D 소프트웨어를 사용하였으며, 처리 흐름도는 다음과 같음









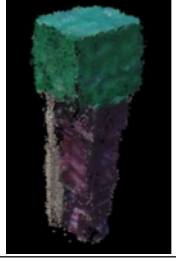









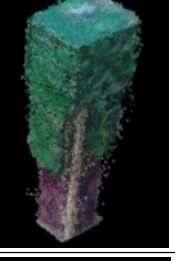







<3D 포인트 클라우드 흐름도 및 결과>

- 3D 포인트 클라우드의 결과에서 영역 성장 알고리즘을 사용하여 인공구조물 객체를 구분하고 추출하였으며, 각도 및 객체 별로 구분함

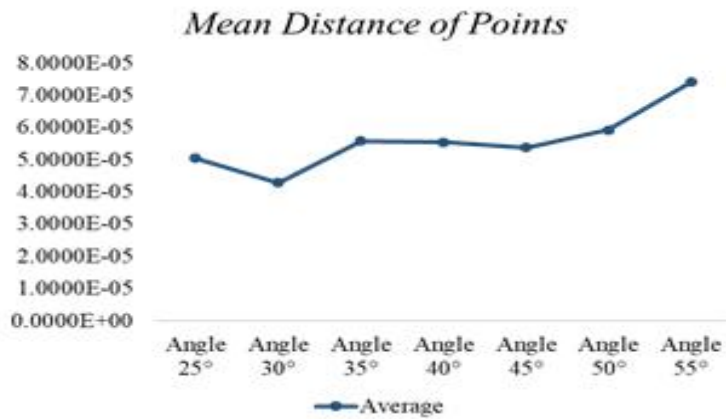
<각도 및 객체별 인공구조물 추출 결과>

| | Box 01 | Box 02 | Box 03 | Box 04 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| Angle 25° | | | | |

| | | | | |
|-----------|---|---|--|---|
| Angle 30° |  |  |  |  |
| Angle 35° |  |  |  |  |
| Angle 40° |  |  |  |  |
| Angle 45° |  |  |  |  |
| Angle 50° |  |  |  |  |
| Angle 55° |  |  |  |  |

- 객체의 해상도의 우수성을 평가하기 위해 Octree 알고리즘을 사용하여 포인트의 평균 거리를 계산함

| Configuration | Mean Distance of Points | | | | |
|---------------|-------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | Box 01 | Box 02 | Box 03 | Box 04 | Average |
| Angle 25 ° | 5.1671e-05 | 5.1004e-05 | 4.6979e-05 | 5.2340e-05 | 5.0499e-05 |
| Angle 30 ° | 4.1909e-05 | 4.3448e-05 | 4.3537e-05 | 4.2362e-05 | 4.2814e-05 |
| Angle 35 ° | 5.4436e-05 | 5.9367e-05 | 5.6023e-05 | 5.3355e-05 | 5.5795e-05 |
| Angle 40 ° | 5.4705e-05 | 5.9739e-05 | 5.2646e-05 | 5.4465e-05 | 5.5389e-05 |
| Angle 45 ° | 5.7868e-05 | 4.9561e-05 | 5.4253e-05 | 5.3289e-05 | 5.3743e-05 |
| Angle 50 ° | 5.7376e-05 | 5.9903e-05 | 6.1988e-05 | 5.7639e-05 | 5.9227e-05 |
| Angle 55 ° | 7.6535e-05 | 7.7308e-05 | 6.9689e-05 | 7.2726e-05 | 7.4065e-05 |



<객체별 포인트 평균거리 결과 그래프>

- 사선 각도가 30° 에 가까울 때 포인트의 평균 거리가 최소로 나타났으며, 이는 해상도가 가장 우수하다는 것을 의미함
- 3D 포인트 클라우드에서 좌표를 계산하여 상자의 매개변수(길이, 너비 및 높이)를 구하고 실제 값과 비교하여 루트 평균 제곱 오차(RMSE)를 계산함

| | Real Values | | | Measuring Values | | | ΔL(mm) | ΔW (mm) | ΔH(mm) |
|-------|-------------|-----------|------------|------------------|-----------|------------|--------|---------|--------|
| | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | | | |
| Box 1 | 515 | 395 | 1375 | 520 | 410 | 1390 | 5 | 15 | 15 |
| Box 2 | 460 | 390 | 1436 | 470 | 400 | 1460 | 10 | 10 | 24 |
| Box 3 | 438 | 350 | 1364 | 430 | 350 | 1390 | -8 | 0 | 26 |
| Box 4 | 510 | 390 | 1411 | 500 | 400 | 1390 | -10 | 10 | -21 |

<Angle 25° 에서의 형태적 특성 비교>

| | Real Values | | | Measuring Values | | | ΔL(mm) | ΔW (mm) | ΔH(mm) |
|-------|-------------|-----------|------------|------------------|-----------|------------|--------|---------|--------|
| | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | | | |
| Box 1 | 515 | 395 | 1375 | 510 | 390 | 1380 | -5 | -5 | 5 |
| Box 2 | 460 | 390 | 1436 | 440 | 380 | 1410 | -20 | -10 | -26 |
| Box 3 | 438 | 350 | 1364 | 430 | 350 | 1330 | -8 | 0 | -34 |
| Box 4 | 510 | 390 | 1411 | 510 | 390 | 1390 | 0 | 0 | -21 |

<Angle 30° 에서의 형태적 특성 비교>

| | Real Values | | | Measuring Values | | | $\Delta L(mm)$ | $\Delta W(mm)$ | $\Delta H(mm)$ |
|-------|-------------|-----------|------------|------------------|-----------|------------|----------------|----------------|----------------|
| | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | | | |
| Box 1 | 515 | 395 | 1375 | 510 | 400 | 1360 | -5 | 5 | -15 |
| Box 2 | 460 | 390 | 1436 | 460 | 380 | 1400 | 0 | -10 | -36 |
| Box 3 | 438 | 350 | 1364 | 430 | 360 | 1330 | -8 | 10 | -34 |
| Box 4 | 510 | 390 | 1411 | 490 | 400 | 1380 | -20 | 10 | -31 |

<Angle 35° 에서의 형태적 특성 비교>

| | Real Values | | | Measuring Values | | | $\Delta L(mm)$ | $\Delta W(mm)$ | $\Delta H(mm)$ |
|-------|-------------|-----------|------------|------------------|-----------|------------|----------------|----------------|----------------|
| | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | | | |
| Box 1 | 515 | 395 | 1375 | 490 | 390 | 1380 | -25 | -5 | 5 |
| Box 2 | 460 | 390 | 1436 | 470 | 380 | 1430 | 10 | -10 | -6 |
| Box 3 | 438 | 350 | 1364 | 440 | 370 | 1330 | 2 | 20 | -34 |
| Box 4 | 510 | 390 | 1411 | 510 | 391 | 1390 | 0 | 1 | -21 |

<Angle 40° 에서의 형태적 특성 비교>

| | Real Values | | | Measuring Values | | | $\Delta L(mm)$ | $\Delta W(mm)$ | $\Delta H(mm)$ |
|-------|-------------|-----------|------------|------------------|-----------|------------|----------------|----------------|----------------|
| | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | | | |
| Box 1 | 515 | 395 | 1375 | 500 | 390 | 1360 | -15 | -5 | -15 |
| Box 2 | 460 | 390 | 1436 | 470 | 380 | 1420 | 10 | -10 | -16 |
| Box 3 | 438 | 350 | 1364 | 420 | 350 | 1320 | -18 | 0 | -44 |
| Box 4 | 510 | 390 | 1411 | 510 | 400 | 1380 | 0 | 10 | -31 |

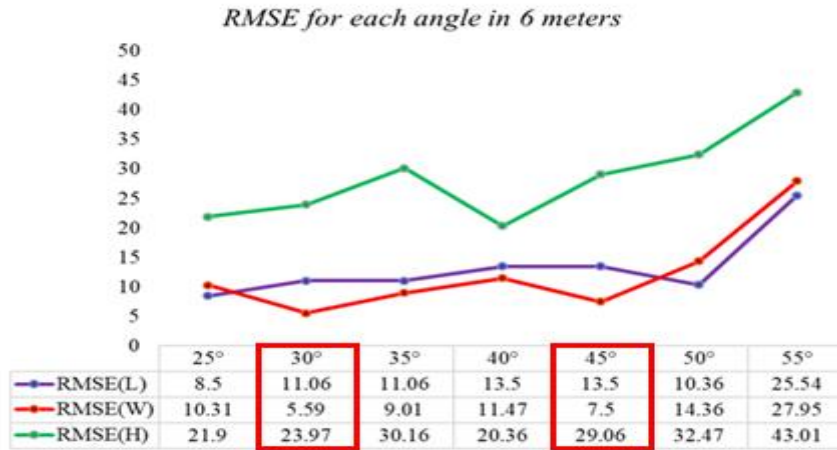
<Angle 45° 에서의 형태적 특성 비교>

| | Real Values | | | Measuring Values | | | $\Delta L(mm)$ | $\Delta W(mm)$ | $\Delta H(mm)$ |
|-------|-------------|-----------|------------|------------------|-----------|------------|----------------|----------------|----------------|
| | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | | | |
| Box 1 | 515 | 395 | 1375 | 510 | 410 | 1350 | -5 | 15 | -25 |
| Box 2 | 460 | 390 | 1436 | 460 | 400 | 1410 | 0 | 10 | -26 |
| Box 3 | 438 | 350 | 1364 | 440 | 370 | 1310 | 2 | 20 | -54 |
| Box 4 | 510 | 390 | 1411 | 490 | 380 | 1410 | -20 | -10 | -1 |

<Angle 50° 에서의 형태적 특성 비교>

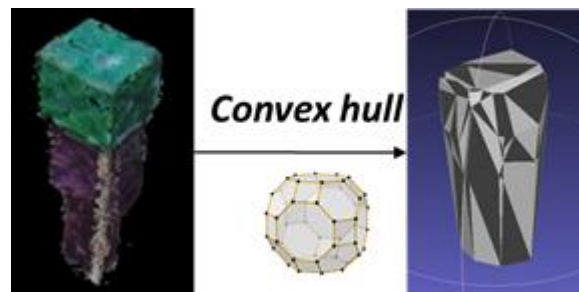
| | Real Values | | | Measuring Values | | | $\Delta L(mm)$ | $\Delta W(mm)$ | $\Delta H(mm)$ |
|-------|-------------|-----------|------------|------------------|-----------|------------|----------------|----------------|----------------|
| | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | Length(mm) | Width(mm) | Height(mm) | | | |
| Box 1 | 515 | 395 | 1375 | 510 | 380 | 1340 | -5 | -15 | -35 |
| Box 2 | 460 | 390 | 1436 | 490 | 360 | 1380 | 30 | -30 | -56 |
| Box 3 | 438 | 350 | 1364 | 410 | 330 | 1310 | -28 | -20 | -54 |
| Box 4 | 510 | 390 | 1411 | 480 | 430 | 1400 | -30 | 40 | -11 |

<Angle 55° 에서의 형태적 특성 비교>



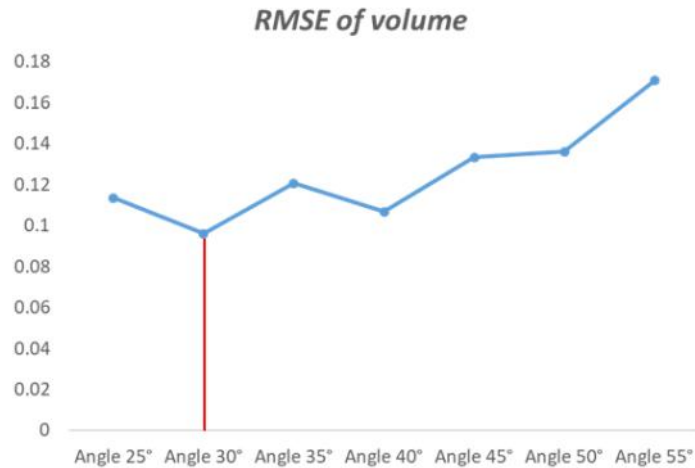
〈각도별 형태적 특성 분석 RMSE 결과 그래프〉

- 그래프와 표에서 보면 25° ~30° 와 40° ~45° 의 범위에서 2.5cm 이하의 오차를 보여 정밀도가 더 높은 것을 확인할 수 있음
- 평면의 정밀도가 높지 정밀도보다 좋은 결과를 보이는 것을 볼 수 있는데, 인공구조물 객체가 많지 않아 영상의 GSD_{cv} (Z방향)가 많은 영향을 미치지 못하고 GSD_{ch} (X방향)와 GSD_{rh} (Y방향)가 결정적인 역할을 하기 때문임
- 객체의 볼륨 측정을 위해 아래의 그림과 같이 Convex Hull을 이용하여 변환하고 이를 계산하였음



〈Convex Hull을 이용한 객체 변환〉

| Configuration | Measuring Volume | | | | Error | | | | Average | RMSE |
|---------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| | Box 01 | Box 02 | Box 03 | Box 04 | Box 01 | Box 02 | Box 03 | Box 04 | | |
| Angle 25° | 0.2711 | 0.2460 | 0.2525 | 0.3011 | 0.1209 | 0.1088 | 0.1125 | 0.1111 | 0.113325 | 0.113417 |
| Angle 30° | 0.2209 | 0.2451 | 0.2283 | 0.3019 | 0.0707 | 0.1079 | 0.0883 | 0.1119 | 0.0947 | 0.096124 |
| Angle 35° | 0.2403 | 0.2884 | 0.2584 | 0.3052 | 0.0901 | 0.1512 | 0.1184 | 0.1152 | 0.118725 | 0.120695 |
| Angle 40° | 0.2431 | 0.2273 | 0.2329 | 0.3321 | 0.0929 | 0.0901 | 0.0929 | 0.1421 | 0.1045 | 0.106737 |
| Angle 45° | 0.3246 | 0.2638 | 0.2404 | 0.3104 | 0.1744 | 0.1266 | 0.1004 | 0.1204 | 0.13045 | 0.133247 |
| Angle 50° | 0.3428 | 0.2487 | 0.2564 | 0.2952 | 0.1926 | 0.1115 | 0.1164 | 0.1052 | 0.131425 | 0.136146 |
| Angle 55° | 0.2914 | 0.2422 | 0.2650 | 0.4548 | 0.1412 | 0.105 | 0.125 | 0.2648 | 0.159 | 0.170812 |

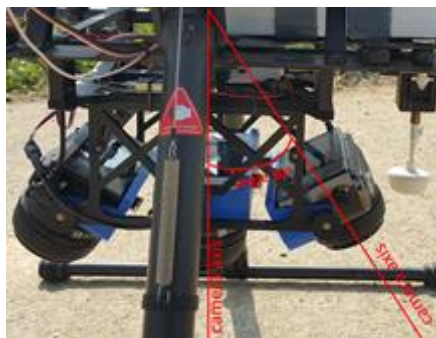


<인공구조물의 볼륨측정 비교표 및 RMSE 그래프>

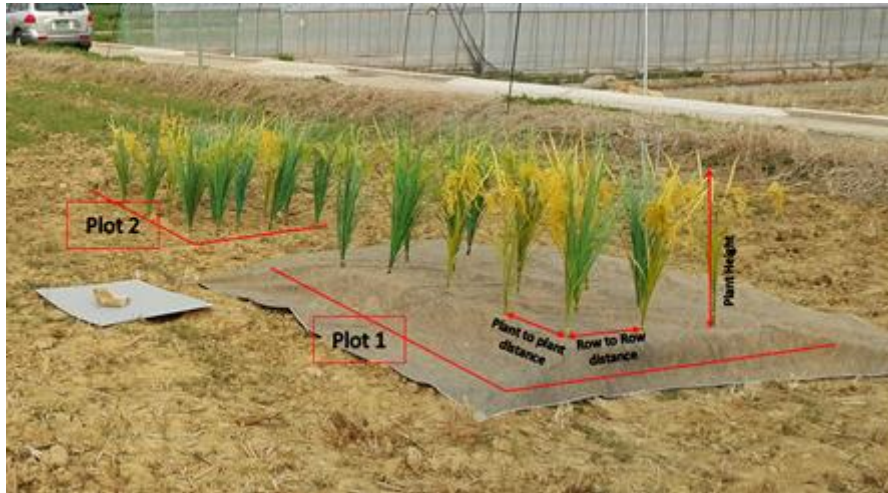
- 볼륨 측정은 각도가 30° 일 때 가장 좋은 정밀도를 가지고 있기 때문에 분해능의 결과와 평면의 정밀도와 높이에서의 결과를 바탕으로 30° 에 가까운 경사각이 가장 좋은 결과를 보인다는 것을 확인함

4. 3D 모델링에서의 작물 객체 특성 분석

- 작물 개체의 특성 분석을 위해 벼 작물에 대하여 plot 1, plot 2로 구분하여 테스트 베드를 구축
- plot 1의 구성은 인공 벼 작물과 인공 토양을 기반으로 설계하였으며, plot 2는 인공 벼 작물과 실제 토양을 기반으로 설계함
- 카메라는 DJI 드론에 장착된 3대의 멀티 모듈 카메라(SONY α5100)를 이용하였으며, 전방과 후방의 카메라 사선 촬영 각도는 30° 로 설정함
- DJI 드론의 비행은 속도 2m/s, 영상 중첩률 80%, 비행 고도 10m로 설정하여, 대상 테스트 베드가 전후좌우로 영상이 촬영될 수 있도록 하였음

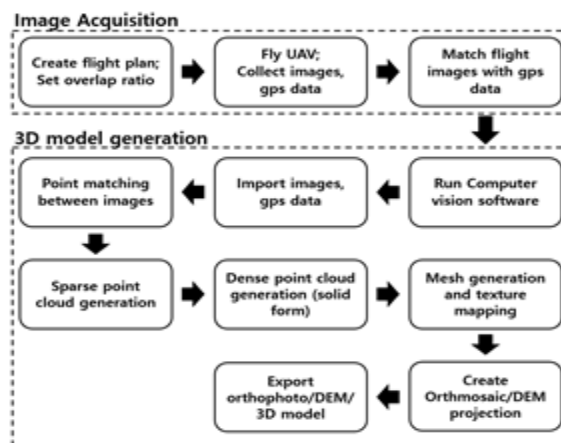


<DJI드론의 멀티모듈 카메라의 사선 촬영 각도 설정>



<실험 테스트 베드의 plot 1, plot 2>

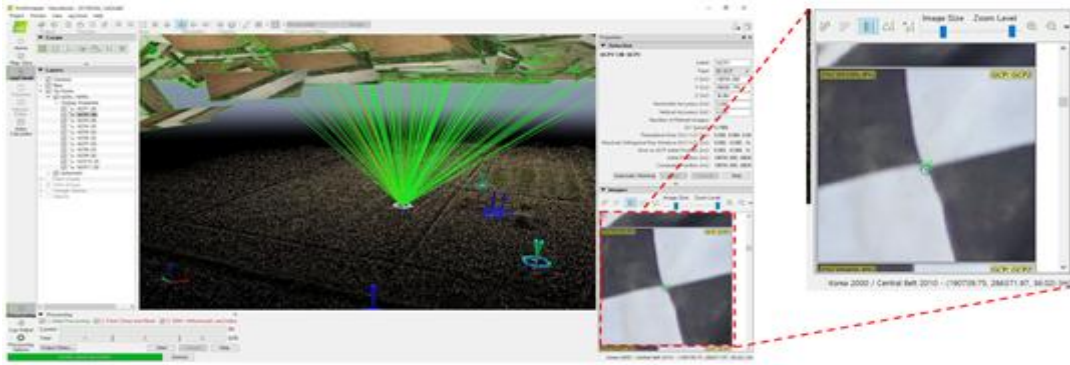
- 이미지는 Reality Capture(RC)와 Pix4D 매퍼를 사용하여 처리되었는데 두 패키지는 모두 Structure from Motion(SfM) 알고리즘을 구현하며, 일련의 중첩된 이미지에서 3D 구조를 해결할 수 있다는 입체 사진 측량법의 동일한 기본 강령으로 작동함
- SfM에서는 장면의 기하학, 카메라 위치, 방향 등이 알려진 점 없이 자동으로 해결되기 때문에 근본적으로 다름
- 중복도가 높은 여러 이미지 집합에서 자동으로 추출되는 형상의 데이터베이스를 바탕으로 고도로 중복되고 반복적인 번들 조정 절차를 사용하여 포인트를 동시에 해결하며, 접근방식은 오버랩 정도가 높은 영상 집합에 가장 적합함
- Reality Capture(RC) 및 Pix4D Mapper 워크플로우는 데이터 가져오기, 이미지 정렬, 스파스 클라우드 생성, 이미지 정렬 최적화 및 고밀도 이미지 일치, 메시 생성, 텍스처, Orthophoto 및 DEM 생성과 같은 주요 단계로 구성됨



<고도로 오버랩된 일련의 영상에서 3d 모델 생성을 위한 플로우차트>

- 이미지 처리를 위해, Reality Capture(RC)와 Pix4D 매퍼 소프트웨어는 최종 제품의 정확도와 처리 시간을 결정하는 각 처리 단계의 다양한 매개변수를 제안함

- 테스트 목적과 시간을 절약하기 위해, 두 소프트웨어에 대한 기본 설정을 사용했음



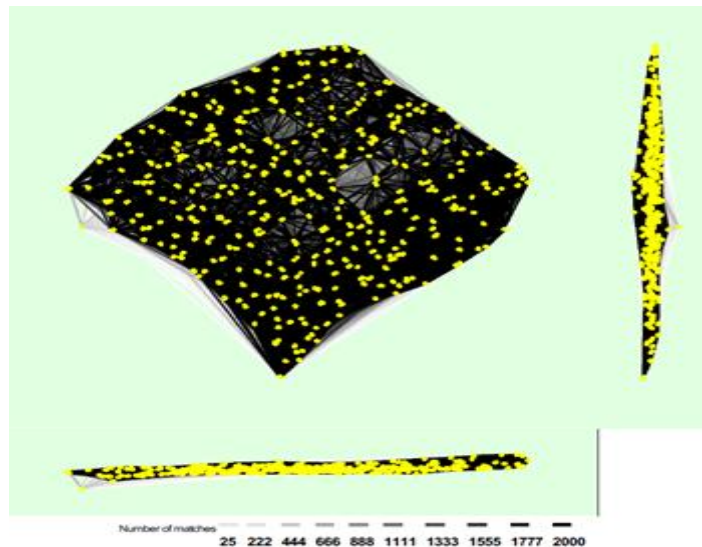
<3D 모델링 시의 GCP 포인트 매칭>

- 측정된 GCP의 데이터들은 3D 모델링에 적용되어 실제 지형과 사물에 대해 매칭이 되며, 다음의 표는 측정된 GCP 데이터의 에러 범위 및 정확도 등을 나타냄

<Ground Control Points(GCPs)의 정확도 및 에러 범위>

| GCP Name | Accuracy XY/Z [m] | Error X [m] | Error Y [m] | Error Z [m] | Projection Error [pixel] | Verified/Marked |
|---------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|-----------------|
| GCP1 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.003 | -0.000 | 0.000 | 1.164 | 8 / 8 |
| GCP2 (3D) | 0.020/ 0.020 | 0.004 | -0.003 | -0.000 | 1.268 | 8 / 8 |
| GCP3 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.001 | 0.003 | 0.000 | 1.049 | 8 / 8 |
| Mean [m] | | 0.0000 | -0.0000 | -0.0000 | | |
| Sigma [m] | | 0.002856 | 0.002740 | 0.000021 | | |
| RMS Error [m] | | 0.002856 | 0.002740 | 0.000021 | | |

- GCP당 지역화 정확도 및 세 좌표 방향의 평균 오류를 나타내며, 마지막 열은 GCP가 자동으로 확인되는 보정된 영상의 수를 수동으로 표시한 것과 비교하여 계산함



<일치하는 영상 간의 링크가 있는 영상 위치>

- 링크의 어두움은 영상 사이의 일치된 2D 키 포인트 수를 나타냄
- 밝은 링크는 약한 고리를 나타내며 수동 타이 포인트 또는 더 많은 이미지가 필요함
- DJI 드론 시스템의 3개의 카메라를 사용하는 멀티카메라 모듈을 이용하였기 때문에 사이드뷰를 찍는 카메라 2대와 직하방향을 찍는 1대의 카메라 정보가 필요함. 다음의 표는 3D 모델링을 위해 영상을 찍은 카메라의 정보 입력에 사용된 데이터들임

<정확한 3D 모델링을 위한 카메라 정보 입력 데이터>

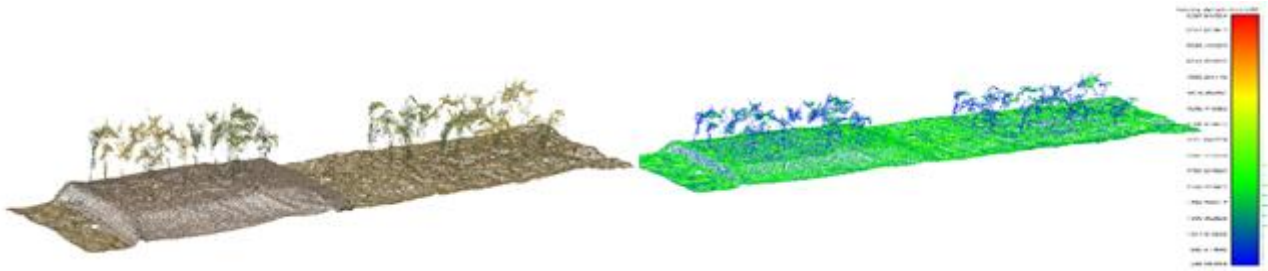
| | Focal Length | Principal Point x | Principal Point y | R1 | R2 | R3 | T1 | T2 |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|
| Initial Values | 5142.8[px] 20.00[mm] | 3000.0[px] 11.66[mm] | 2000.0[px] 7.77[mm] | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Optimized Values | 5287.2[px] 20.5[mm] | 2925.5[px] 11.3[mm] | 2017.4[px] 7.8[mm] | -0.161 | 0.139 | 0.013 | -0.00 | -0.001 |
| Uncertainties (Sigma) | 0.1[px] 0.001[mm] | 0.068[px] 0.00[mm] | 0.103[px] 0.00[mm] | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

- Initial Values는 카메라 모델의 초기 값이며, Optimized Values는 카메라 교정으로 계산되고 처리하는데 사용됨
- R1, R2, R3 는 카메라 3대 각각의 Radial distortion을 나타내며, T1, T2는 사이드뷰를 찍기 위한 2대의 카메라의 Tangential distortion을 나타냄
- 3D 모델링의 결과 분석을 위해 1대, 3대, 5대의 카메라로 촬영한 영상들을 이용하여 각각의 모델링 결과를 나타내었으며, 또한 Pix4D mapper와 Reality Capture를 이용한 결과를 비교함

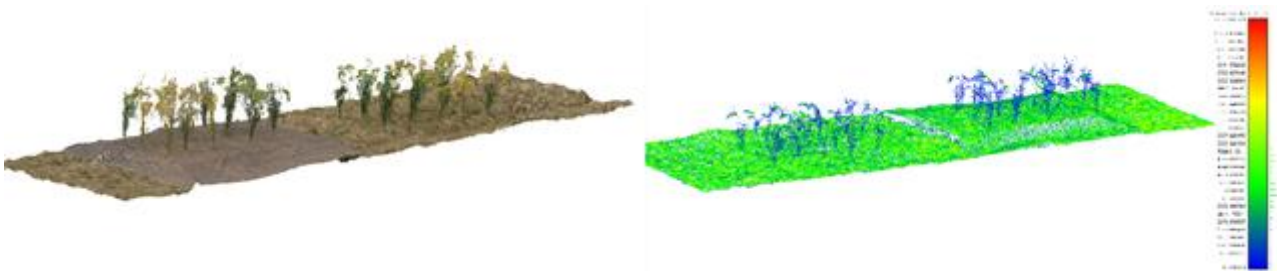
<3D 모델링 결과 비교>

| | Pix4D mapper | Reality Capture (RC) |
|----------------------|---|--|
| Single Camera |  |  |
| Multi camera (3Cam) |  |  |
| Multi camera (5 Cam) |  |  |

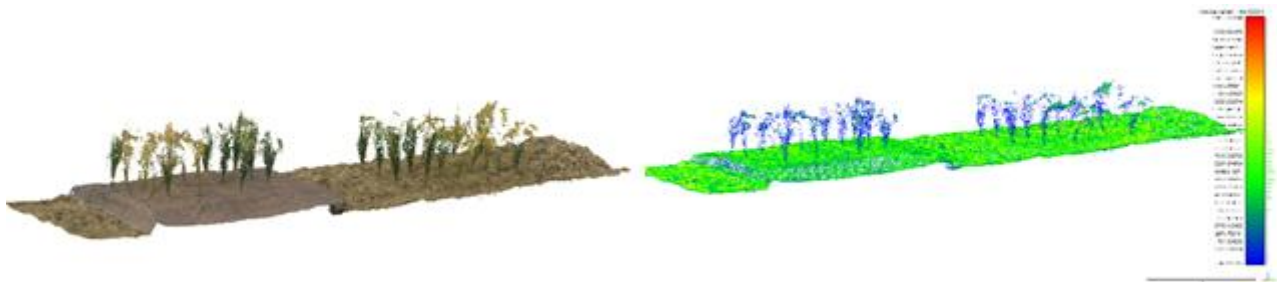
- 작물 개체의 분석을 위해 각 구역의 3D 모델링 결과를 추출하였으며, 1번 구역의 작물 개별로 분류하여 모델링 결과를 측정함



<single camera를 이용한 3D 모델링 결과물의 작물 개체 추출 영상>

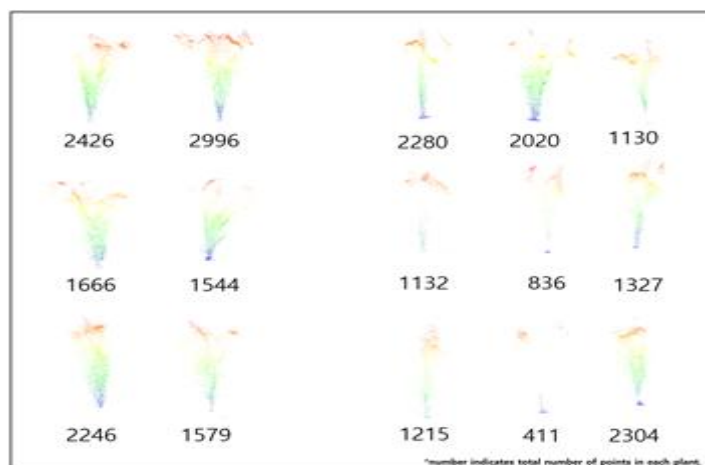


<multi camera(3대)를 이용한 3D 모델링 결과물의 작물 개체 추출 영상>



<multi camera(5대)를 이용한 3D 모델링 결과물의 작물 개체 추출 영상>

- 각 벼 작물의 포인트 클라우드를 세분화하고 서로 다른 위치에 배치된 포인트 클라우드 품질을 비교함



<벼 작물 객체의 추출>

- 숫자는 각 공장의 총 지점 수를 표시했으며, 포인트 클라우드의 색상은 지상으로부터의 높이를 나타냄
- 중간에 있는 작물이 모서리에 위치한 작물보다 포인트 수가 더 적었으며, 특징점 수도 적었음. 이는 메쉬 생성에서 좋지 않은 영향을 일으킬 수 있음

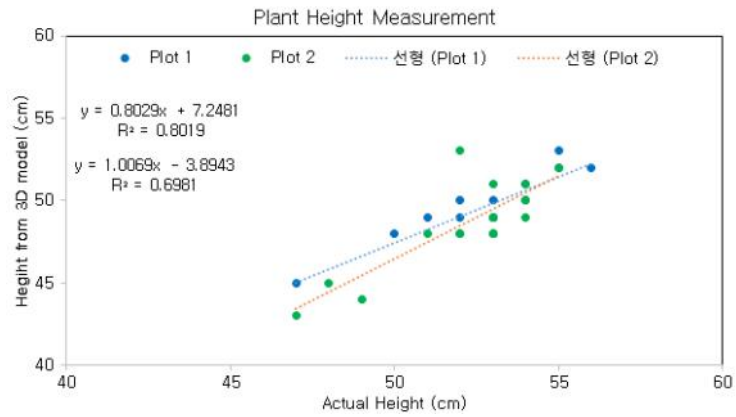


<3D 모델링된 작물의 높이 측정>

- 메쉬 처리된 3D 모델링의 결과물에서 작물 개체의 높이 측정을 진행하였으며, 이를 각각의 실제 작물과 모델링된 작물 개체의 높이를 비교함

<실제 작물과 3D 모델링 작물 개체의 높이 비교>

| Plant No. | Plot 1 | | Plot 2 | |
|-------------------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| | Actual Height | 3D Model Height | Actual Height | 3D Model Height |
| 1 | 51 | 49 | 55 | 52 |
| 2 | 47 | 45 | 53 | 49 |
| 3 | 56 | 52 | 52 | 53 |
| 4 | 50 | 48 | 53 | 48 |
| 5 | 53 | 49 | 53 | 51 |
| 6 | 55 | 52 | 54 | 50 |
| 7 | 53 | 50 | 54 | 51 |
| 8 | 53 | 48 | 48 | 45 |
| 9 | 55 | 53 | 51 | 48 |
| 10 | 52 | 49 | 53 | 49 |
| 11 | 54 | 50 | 47 | 43 |
| 12 | 52 | 50 | 54 | 49 |
| 13 | 52 | 48 | 49 | 44 |
| 14 | 53 | 49 | 53 | 48 |
| 15 | 54 | 51 | 52 | 48 |
| Min. | 47 | 45 | 47 | 43 |
| Max. | 56 | 53 | 55 | 53 |
| Mean | 52.67 | 49.53 | 52.07 | 48.53 |
| Standard Dev. | 2.225 | 1.995 | 2.344 | 2.825 |
| Coefficient of variation (CV) | 4.225 | 4.028 | 4.502 | 5.821 |



<실제 작물과 3D 모델링 작물 개체의 높이 측정 비교 그래프>

- 매쉬 처리된 3D 모델링의 결과물에서 작물 개체들 각각의 위치정보에 기반하여 작물들 간의 거리 측정을 진행하였으며, 이를 각각의 실제 작물들과 모델링된 작물 개체들의 간격을 비교함



<3D 모델링된 작물들의 간격 측정>

<실제 작물과 3D 모델링 작물 개체들의 간격 비교>

| Plot 1 | | Plot 2 | |
|----------|----------|----------|----------|
| Actual | 3D | Actual | 3D |
| distance | distance | distance | distance |
| 30 | 29 | 30 | 28 |
| 30 | 30 | 30 | 32 |
| 30 | 30 | 30 | 32 |
| 30 | 31 | 30 | 33 |
| 30 | 32 | 30 | 33 |
| 30 | 28 | 30 | 30 |
| 30 | 32 | 30 | 30 |
| 30 | 33 | 30 | 30 |
| 30 | 33 | 30 | 33 |
| 30 | 29 | 30 | 30 |
| 30 | 31 | 30 | 32 |
| 30 | 30 | 30 | 31 |
| 40 | 41 | 30 | 33 |
| 40 | 38 | 30 | 33 |
| 40 | 39 | 30 | 31 |
| 30 | 32 | 30 | 27 |
| 30 | 30 | 30 | 30 |
| 30 | 31 | 30 | 28 |
| 30 | 31 | 30 | 33 |
| 30 | 32 | 30 | 28 |
| 30 | 31 | 30 | 28 |
| 30 | 30 | 30 | 33 |

■ 농경지 상태 파악 및 농작업 시기 예측 시스템 개발

● 영상 분석을 통한 농경지의 좌표화 및 결주율 파악

- 생육 전주기 모니터링을 위한 첫 번째 단계로 개별 작물을 인식하고 좌표화 하는 것을 목적으로 함
- 대상포장 정보를 획득하기 위해 저고도 비행이 가능한 드론시스템을 구성하고 경운 직후부터 주기별로 촬영하여 데이터를 확보
- 벼 작물 특성상 생육이 일정이상 진행이 되면 개별 벼 작물을 구분 할 수 없기 때문에 이앙 직후 항공 영상 정보에 인공지능 기법 적용하여 개별 작물을 인식하고 GPS정보와 매칭 후 좌표화함
- 개별 작물을 좌표화를 통해 생육 전주기 동안 개별 작물의 추적 관리가 가능하며 이앙 직후의 이앙특성 및 결주율 등의 정보를 분석하여 포장 특성을 파악하는 게 가능

1. 시험 포장 정보 및 정밀 분석을 위한 시험포장 분할

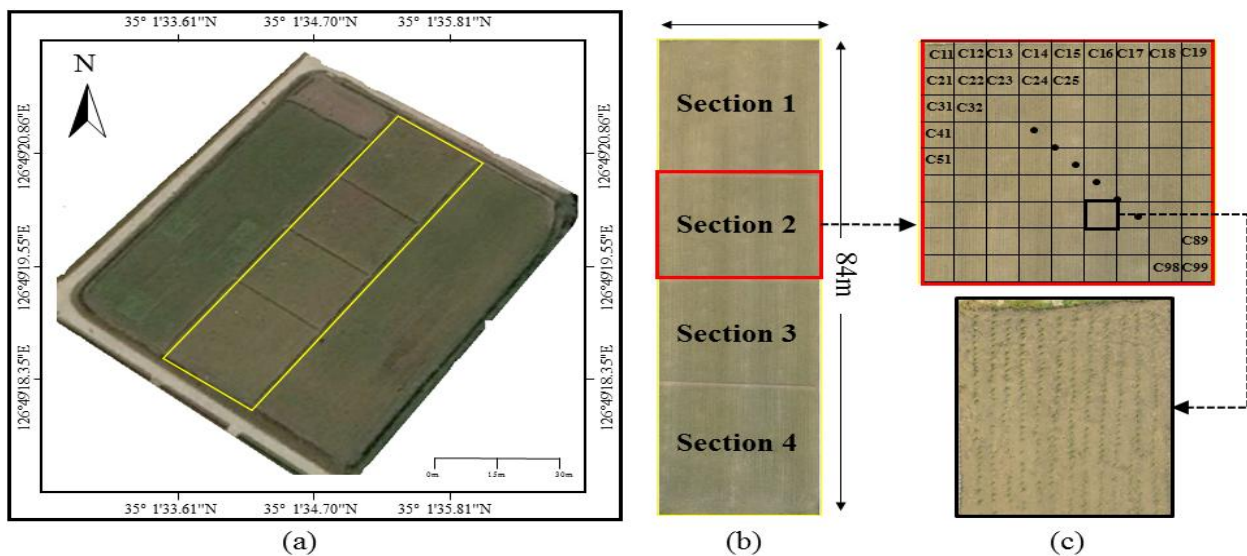
- 저고도 무인 비행시스템을 이용한 벼 생육 측정은, 전라남도 나주시에 위치한 전라남도

농업기술원 식량작물연구소 내 수도작 실험 포장에서 경운 직 후부터 15일 간격으로 시험포장의 영상을 수집하였으며, 시험 포장은 작업포장 1 (F1) 과 작업포장 2 (F2)로 구성하였으며 각각 ‘일미’ 품종을 이앙하여 재배함

- F2 작업 포장은 딥러닝 학습에 필요한 Ground_Truth 데이터를 수집을 위해 촬영하였으며 F1과 같은 품종의 벼를 재배하였으며 총 면적은 980m²으로 이앙 직후 20일 후의 생육이 진행된 상태의 벼 작물을 대상으로 하여 학습 데이터를 수집함
- F1 작업 포장은 F2의 Ground_Truth를 기반으로 학습한 딥러닝 구조체를 적용
- 작물의 생육상태나 토양조건은 한 포장 내에서도 위치마다 다르므로 이러한 변이에 따른 적합한 처방을 위해서는 실험 포장의 구획 화를 통한 정밀 모니터링기술이 필요함
- F1을 4개의 sub_Section으로 분리하고 각각 Section은 9*9의 sub_Cell로 분할하여 관찰 및 분석을 진행



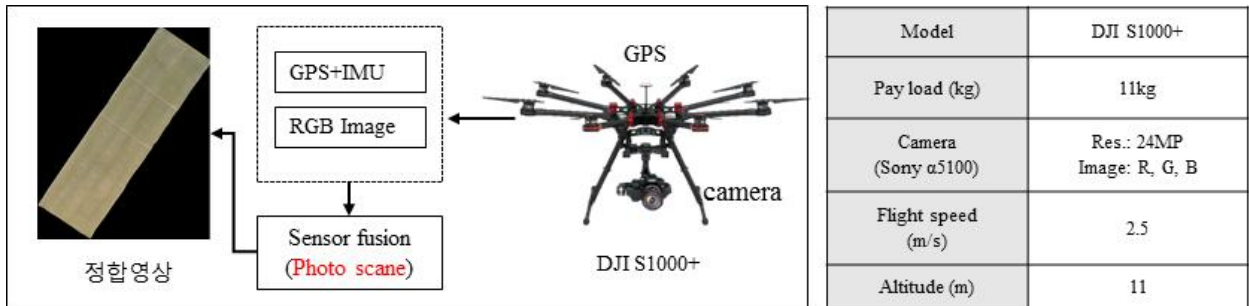
<전라남도 농업기술원 식량작물 연구소 시험포장, 전라남도 나주시>



<F1 작업포장 위치 및 구획별 생육 모니터링을 위한 실험 포장 분할 Field-Section-Cell>

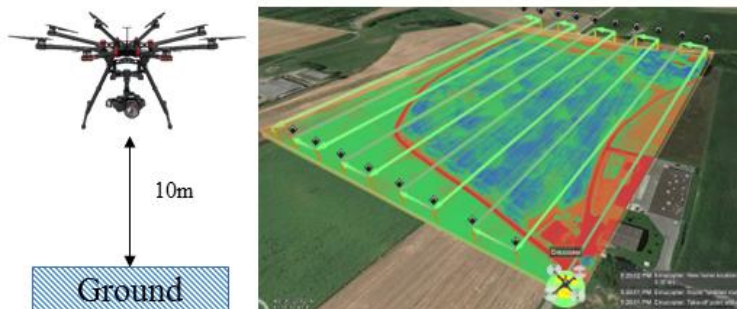
2. 실험 포장 데이터 획득

- 개별 작물을 인식하기 위해서는 고해상도의 포장 영상이 필요하므로 저고도 비행이 가능한 드론 시스템을 구성
- 고정익 드론의 경우 대상포장을 포함한 대 구획의 항공 영상 수집에 적합하며 고 고도에서 비행하며 영상을 수집하기 때문에 고해상도의 작물 이미지를 획득하기 힘들므로 회전익을 이용하여 저고도에서 비행하며 고해상도의 영상 획득
- 사용한 회전익 비행기체는 Geospatial Information회사 DJI S1000+모델로 8개의 프로펠러가 장착된 옥타콥터 드론으로 총 중량은 4.2kg, 비행시간은 15분, IMU와 GPS를 이용한 자동비행기능이 탑재가 되어있으며 적재중량은 6~11kg



<실험 포장 데이터 획득을 위한 드론 구성>

- 고해상도의 영상을 수집하기 위해 비행기체에 28.4MP해상도로 촬영이 가능한 SONY사의 알파5100을 탑재하였으며 APS-C형식의 CMOS이미지 RGB센서 및 초당 4frame 촬영이 가능
- 회전익을 이용한 영상 수집은 지상에서 약 10m 높이, 전진방향으로의 속도는 2.5m/s로 way-point 기반 계획 비행을 수행하였으며 영상정합을 위한 사진 중복도는 전진방향 90% 좌우 90%로 설정



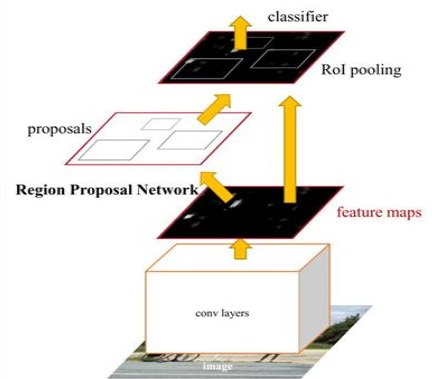
<회전익 비행 계획>

- 수집된 작업포장의 250~300여개의 영상은 개별 촬영 사진과 촬영 GPS위치 IMU정보를 결합하여 한 장의 사진으로 정합함

3. 딥 러닝을 이용한 작물 검출

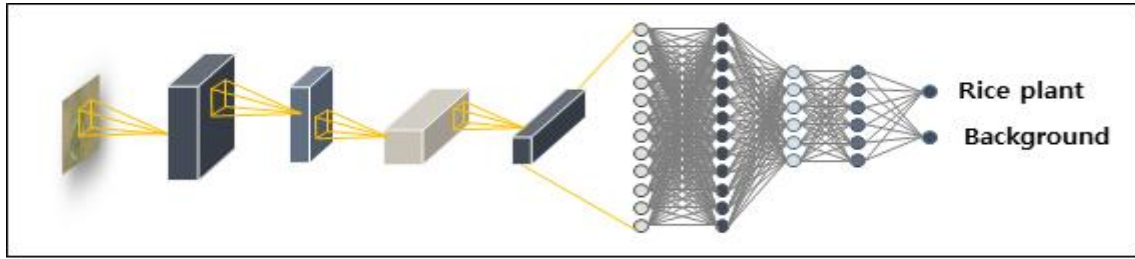
- 영상내의 존재하는 모든 카테고리 객체에 대해서 작물만 인식할 수 있게 하기 위해서 convolutional neural network(CNN) 기반의 object detection 기술을 적용

- convolutional neural network은 학습 가능한 가중치(Weight)와 바이어스(Bias)로 구성되어 있으며 각 뉴런은 입력을 받아 내적 연산(dot product)를 수행한 뒤 선택에 따라 비선형 연산을 함
- CNN구조는 입력 데이터를 이미지로 받으며 데이터가 갖는 특성들은 인코딩 및 학습하여 입력 데이터의 classification과 localization을 수행함
- sliding window 방식의 비효율성을 개선하기 위해서, 입력 영상에서 ‘물체가 있을 법한’ 영역을 빠른 속도로 찾아내는 region proposal network층을 추가하여 처리속도가 개선된 알고리즘을 적용
- region proposal network층은 selective search방법을 이용하였으며 selective search방법은 각각의 객체가 1개의 영역에 할당이 될 수 있도록 많은 초기 영역을 생성하며 이후 greedy알고리즘을 사용하여 여러 영역으로부터 가장 비슷한 영역을 선택 및 통합을 반복적으로 실시함. 이 과정을 1개의 영역이 남을 때까지 반복하여 통합된 영역을 바탕으로 후보군 영역을 생성



<좌: selective search알고리즘 예시, 우: Region proposal convolutional neural network structure>

- 사용한 CNN기반 구조는 15개 층의 레이어로 구성되어 있으며 F2에서 수집한 Ground Truth 데이터를 학습하여 F1 section2에 적용하여 대상작물의 classification과 localization을 수행함
- 구조는 크게 Convolution Layer와 Pooling레이어를 반복하여 stack을 쌓는 특징(Feature Extration)부분과 Fully Connected Layer를 구성하고 마지막 출력층에 Softmax를 적용한 분류 부분으로 나뉨
- 마지막 출력층은 rice plant를 classification하며 작물을 제외한 모든 객체를 background 판단함



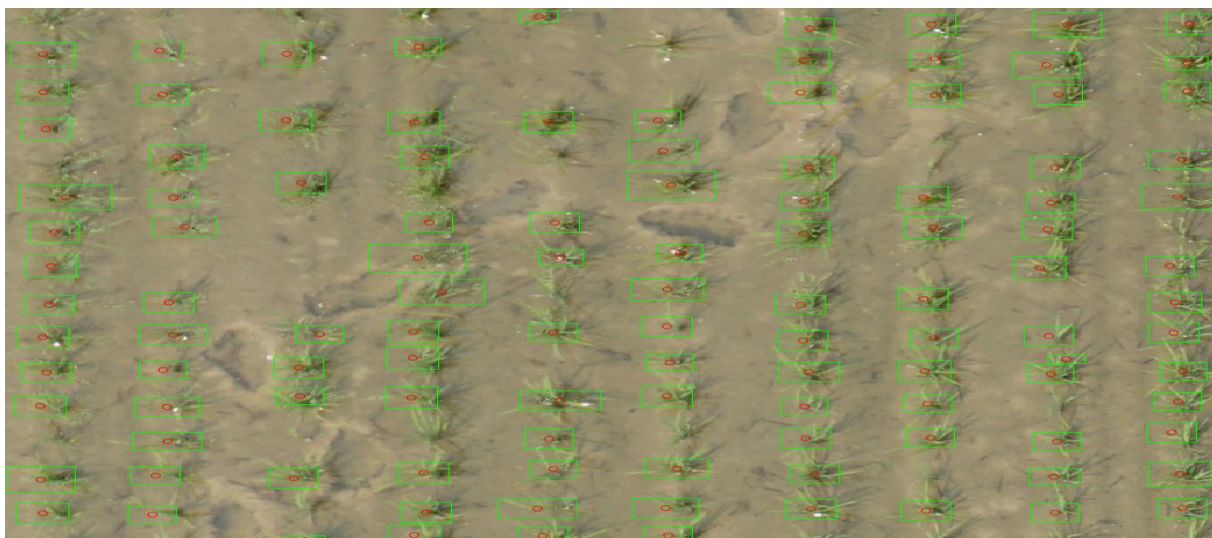
| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|------|-------------|------|-----------------|-------------|------|-----------------|-----------------|------|-----------------|---------|-----------------------|
| Image Input | Convolution | Max pooling | ReLU | Convolution | ReLU | Average Pooling | Convolution | ReLU | Average Pooling | Fully Connected | ReLU | Fully Connected | Softmax | Classification Output |
|-------------|-------------|-------------|------|-------------|------|-----------------|-------------|------|-----------------|-----------------|------|-----------------|---------|-----------------------|

<Convolution Neural Network 구조>

- Ground Truth 데이터는 F2의 이앙 후 20일의 생육을 거친 벼 작물을 대상을 수집하였으며 총 데이터 개수는 10,006개의 3채널(R,G,B) 이미지를 딥러닝 구조체에 학습시킴



<F2 & Ground Truth 학습 데이터 수집>



<딥러닝을 이용한 F1_Section2_C(6,3) 결과>

4. 작물 좌표화 결과

- 실험은 F1_Section2_C(1,1):C(9,9) 81개의 sub-cell에 대하여 수행하였으며 본 연구에 수

행한 알고리즘에 대하여 정밀도 및 재현율을 계산

- 정보 검색분야에서 흔히 사용하는 통계 방법으로 정밀도는 검색된 결과들 중 관련 있는 것으로 분류된 결과물의 비율이고, 재현율은 관련 있는 것으로 분류된 항목들 중 실제 검색된 항목들의 비율이므로 정밀도와 재현율 모두 관련도(Relevance)의 측정 기준 및 지식을 토대로 하고 있음

| | | 실제 정답 | |
|-------|----------|-----------------------------------|----------------------------------|
| | | Positive | Negative |
| 실험 결과 | Positive | True Positive | False Positive (Type I error) |
| | Negative | False Negative (Type II error) | True Negative |

$$\text{Precision} = \frac{tp}{tp + fp}$$

$$\text{True negative rate} = \frac{tn}{tn + fp}$$

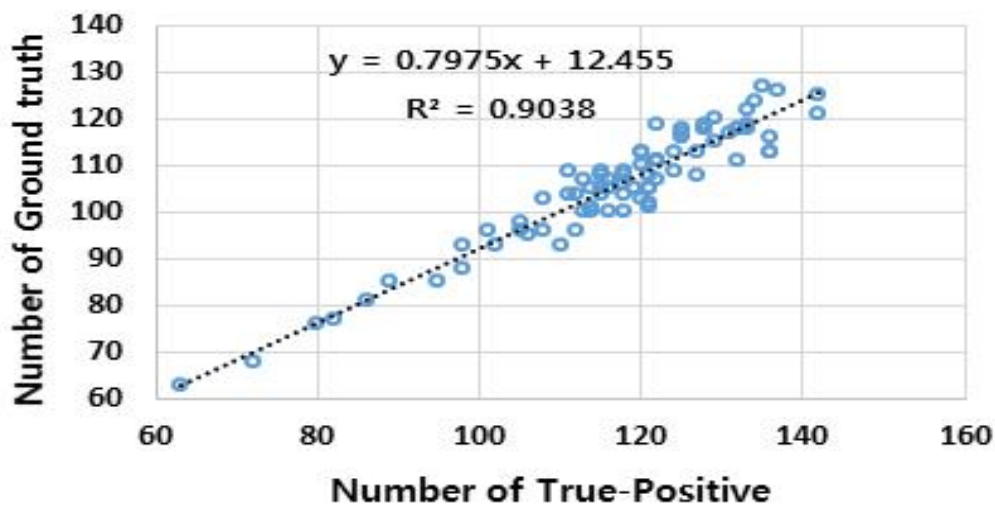
$$\text{Accuracy} = \frac{tp + tn}{tp + tn + fp + fn}$$

<정밀도 및 재현율 계산식>

- 81개의 Sub_cell분석 결과 평균 정밀도, 재현율, TRUE NEGATIVE RATE 값은 아래 표와 같음

| | PRECISION | TRUE NEGATIVE RATE | ACCURACY |
|---------|-----------|--------------------|----------|
| Average | 0.99 | 0.9 | 0.99 |

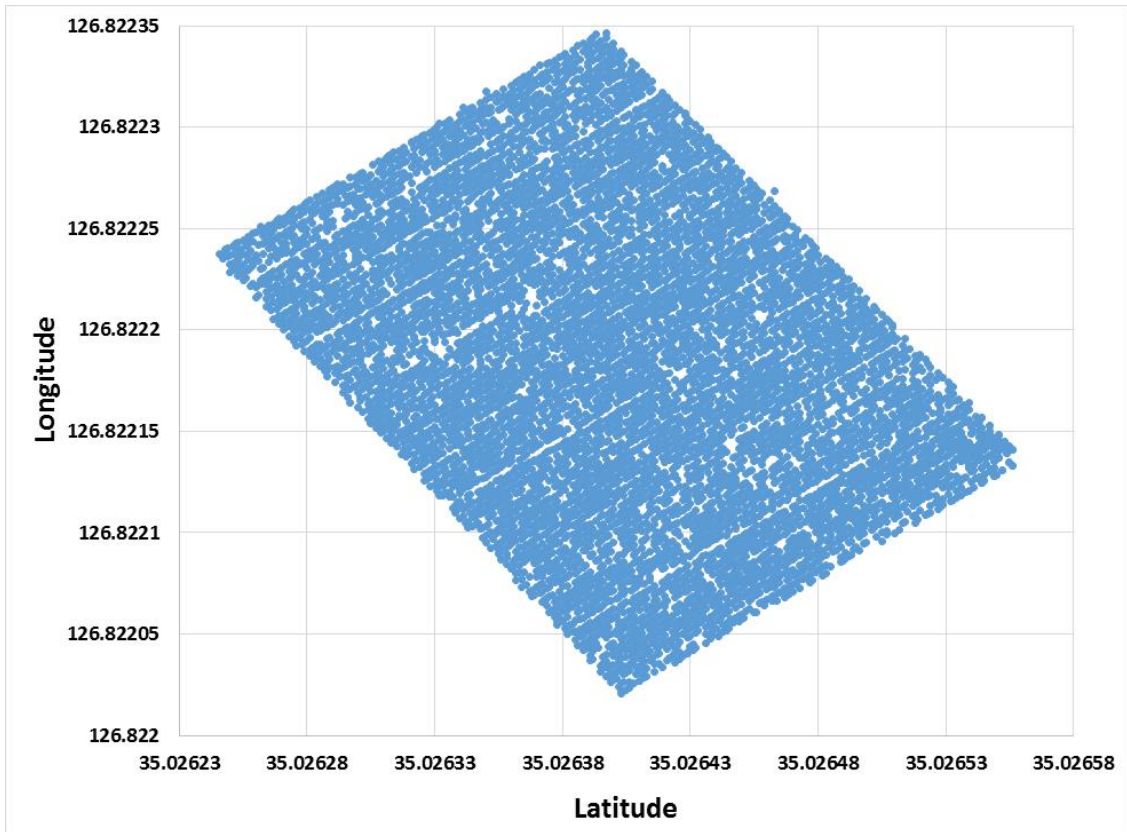
- 각 81장의 작물 인식 결과에 대하여 Ground truth와 True-Positive의 R²값은 0.9038로 높은 상관관계를 보임



<작물 인식 결과 그래프>

- 알고리즘을 통해 각 작물의 localization결과를 대상 포장의 gps정보와 매칭하여 각 작

물의 GPS위치좌표를 획득함



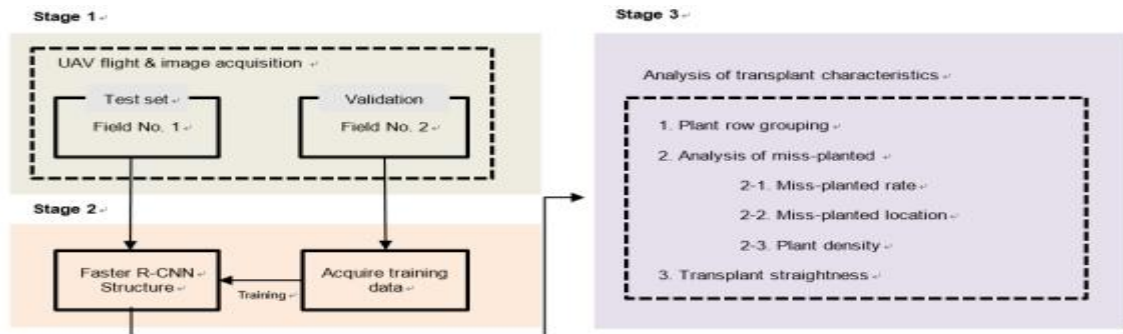
<각 작물의 대상포장에 대한 GPS 매칭 결과>

■ 작물 개체의 낱알 분석 시스템 개발

1. 영상 분석을 통한 농경지의 좌표화 및 결주율 파악

- 생육 전주기 모니터링을 위한 첫 번째 단계로 개별 작물을 인식하고 좌표화 하는 것을 목적으로 함
- 대상포장 정보를 획득하기 위해 저고도 비행이 가능한 드론시스템을 구성하고 경운 직 후부터 주기별로 촬영하여 데이터를 확보
- 벼 작물 특성상 생육이 일정이상 진행이 되면 개별 벼 작물을 구분 할 수 없기 때문에 이앙 직후 항공 영상 정보에 인공지능 기법 적용하여 개별 작물을 인식하고 GPS정보와 매칭 후 좌표화함
- 개별 작물을 좌표화를 통해 생육 전주기 동안 개별 작물의 추적 관리가 가능하며 이앙 직후의 이앙특성 및 결주율 등의 정보를 분석하여 포장 특성을 파악하는 게 가능
- 대상 포장의 이앙 특성을 파악하기 위한 전체 실험은 3stage로 구성 됨
- 첫 번째 단계는 데이터 수집단계. 이 단계 에서는 드론을 사용하여 포장 두 곳의 항공 영상을 수집한다. 포장은 이앙 특성을 분석하기 위한 실험 포장(Field 1)과 학습 데이터 획득 포장(Field 2)구성됨

- 두 번째 단계는 딥 러닝 구조체를 이용한 작물 인식 및 검출-단계이다. 작물 검출에 사용할 딥 러닝 구조체를 구성하고 및 학습 데이터 포장에서 획득한 학습데이터를 사용하여 실험 포장의 벼 작물을 인식 및 검출함
- 세 번째 단계는 딥 러닝을 통해 검출된 작물 위치를 기반으로 작물 열, 결주율, 주간 거리, 조간 거리 등 이양 특성에 대하여 분석함



< 3단계로 구성된 전체 실험 순서 블록다이어그램 >

○ 영상 분석을 이용한 이양 직후의 농경지 좌표화

- 실험 포장은 대한민국 전라남도 나주에 위치한 전라남도농업기술원 산하에 위치한 실험 포장을 사용
- 실험 포장은 2곳으로 구성되어 있으며 Field 1은 딥 러닝 알고리즘의 성능 평가 및 이양 특성 분석을 수행하는 포장이며 Field 2는 딥 러닝에 학습 시킬 학습 데이터 획득을 위한 포장임
- 포장에 이양 된 벼 품종은 일미로 이양 시 주간 15cm 조간 30cm 의 간격으로 기계식 이양기를 사용하여 이양을 수행함



< 대상 포장 위치 및 정보 >

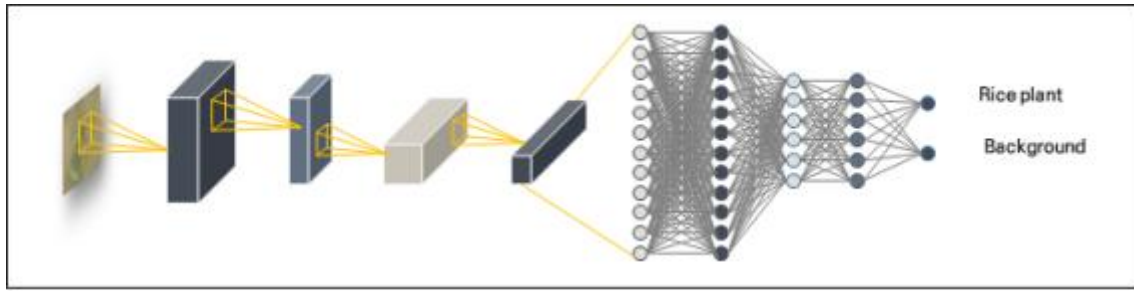
- 드론을 사용하여 대상 포장의 영상을 획득하기 위해서는 대상 포장 및 주변 환경의 특

징을 파악해야함

- 대상 포장은 평야 한가운데 위치하며 돌풍, 강풍 등의 발생 위험이 높고 무리 지어 다니는 공격성 높은 텃새가 자주 출몰하기 때문에 바람에 대한 저항력이 높고 크기가 커야 함
- 또한 이앙 15일후 작물은 시비량에 따른 차이는 있지만 평균적으로 약 21 cm 성장하며 드론의 시점에서 볼 때 매우 작은 크기이기 때문에 선명한 작물 영상을 획득하기 위해서는 저고도로 촬영이 가능하며 고해상도의 카메라가 장착되어 있어야 함
- 따라서 포장의 항공 영상 획득을 위하여 드론 시스템(model: DJI-S1000, DJI Co., China)을 사용하였으며 촬영을 위한 고해상도의 RGB카메라(model: SONY A5100, SONY Co., Japan)가 장착되어 있음
- 높은 고도에서 촬영을 수행하면 작물이 희미하게 나오며 낮은 고도에서 촬영 시 드론의 양력에 의한 영향이 작물에 영향을 끼치기 때문에 시험비행을 통해 최적의 비행 높이(10 m) 및 비행 속도(2.5 m/s)를 결정함
- 드론에 장착된 카메라는 고화질이어야 하며 비행 무게에 충족해야 된다. 따라서 미러리스타입의 약 25 Mega pixel의 고 분해능의 센서를 가진 카메라 및 화각이 넓은 20 mm 단렌즈를 장착함
- 벼 포장은 영상 정합을 위한 특징 점이 부족하기 때문에 촬영이미지의 좌우, 앞뒤의 영상 중복률은 85%이상으로 세팅

| | | |
|------------------|---------------|-----------------------|
| Drone | Model type | DJI-S1000 rotary wing |
| Camera | model | SONY α5100 |
| | Resolution | 2430만 화소 |
| | weight | 224g |
| | lens | 20mm 단렌즈 |
| Flight condition | height | 10 m |
| | Speed | 2.5 m/s |
| | Overlap ratio | 85% 이상 |

- 포장 영상내에서 벼 작물을 인식하기 위한 방법으로 딥러닝을 사용함
- 딥러닝은 근래에 사물 검지 및 인식에 많이 사용하고 있음
- 작물 검지에 사용한 딥러닝 구조체로 Faster R-CNN 작성하고 사용함
- 딥러닝을 통해 작물을 검지하기 위해서는 딥러닝 구조체와 구조체를 학습시킬 학습데이터가 필요함
- 본 연구에서는 Field2에 이앙된 벼 작물 10,000여개의 벼 작물을 학습을 위한 데이터로써 추출하고 딥러닝 구조체에 학습시킴으로 작물검지를 위한 인공지능 시스템을 구성함
- 딥러닝의 구조체는 아래 그림과 같은 단계로 구성되어있음



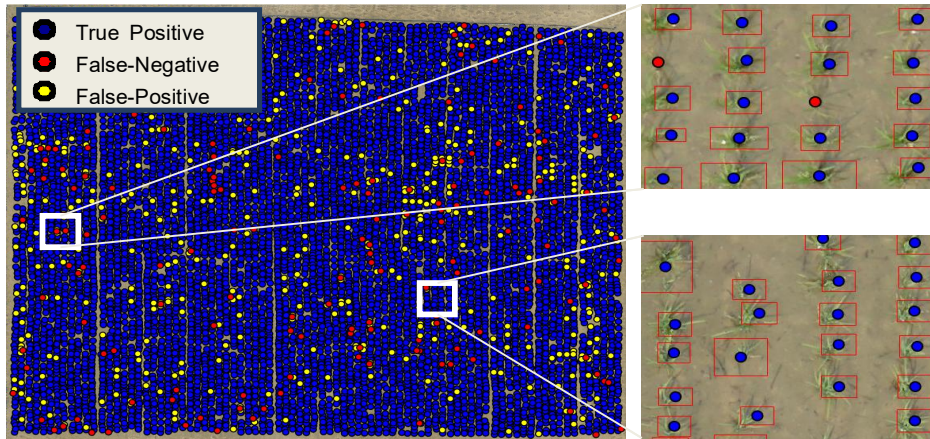
< Faster R-CNN 딥러닝 구조체 >

- 이 연구에서는 제안한 작물 인식 알고리즘의 성능 평가를 하기 위해 Precision and recall (van Rijsbergen, 1979) 모델을 성능평가 지표로 사용
- True Positive(TP)는 실제 작물이 있는 것을 모델이 있다고 판단하는 것이며, False Positive(FP)는 작물이 없는데 모델은 있다고 판단하는 경우임. False Negative(FN)는 작물이 있지만 모델은 작물이 없다고 판단하는 오류 값
- Precision은 결과 값은 모델이 생성한 결과(TP, TF) 중 정답을 올바르게 예측한 경우 (TP)의 비율 뜻하며, Recall은 실제 정답이 맞는 것들에 대한(TP, FN) 정답을 올바르게 예측한 경우(TP)의 비율을 뜻함
- 하지만 데이터 자체에 Positive 또는 Negative가 많을 경우에는 비율 자체가 편향되어 잘못된 결과를 나타낼 수 있음
- 따라서 Precision과 Recall의 조화 평균인 F1 Score를 추가적으로 계산하여 인공지능의 성능평가를 수행

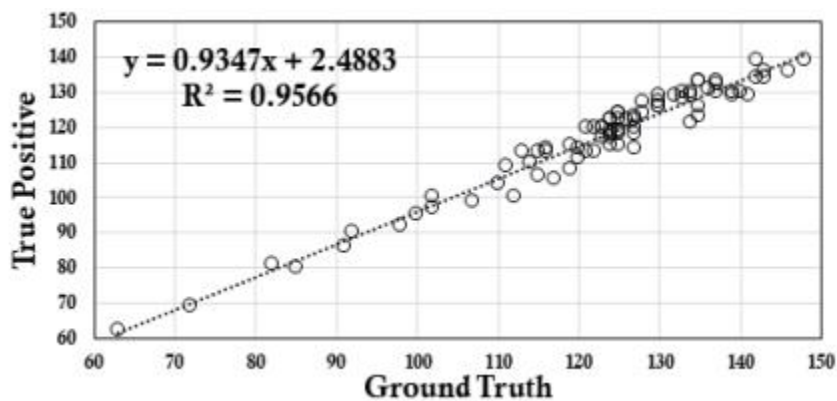
< 인공지능 기반 작물 검지 알고리즘 성능평가 >

| | Precision | Recall | F1 score |
|------------|-----------|--------|----------|
| Min value | 0.92 | 0.89 | 0.84 |
| Mean value | 0.98 | 0.96 | 0.96 |
| Max value | 1 | 1 | 0.99 |

- 인공지능 작물검지 성능평가 결과는 Precision, recall, F1 score의 평균값은 각각 0.98, 0.96, 0.96으로 매우 우수한 성능결과를 나타냄
- 또한 Ground Truth와 TP값과의 상관계수 또한 0.95로 매우 유사한 결과를 얻었으며 연구에서 사용한 작물 검지 알고리즘의 신뢰도가 매우 높음을 나타냈음



< 대상포장 내 딥러닝 작물 검지 TP, FN, FP 시각화 >



< Gournd Truth와 True Positive 간의 상관관계 >

○ 좌표화된 농경지의 이양특성 분석

- 대상 포장 내 작물은 각 열로써 그룹으로 이루어져 있으며 이양 특성을 분석하기 위한 첫 번째 작물들을 각각의 열 그룹화 하는 일임
- 열 그룹화를 함으로써 각 열에 대한 주간간격을 계산이 가능하며, 조간 거리를 계산할 수 있기 때문임
- 작물 열을 그룹화를 위해서 계층적 군집화 알고리즘을 사용함
- 계층적 군집화는 다수의 점들 사이의 최단 거리를 기준으로 그룹화를 계속적으로 수행하며 하나의 그룹화를 진행하는 알고리즘으로 기본적인 식은 다음과 같음

$$d(r,s) = \min(\text{dist}(x_{r_i}, x_{s_i})), i \in (1, \dots, n_r), j \in (1, \dots, n_s)$$

- 그룹화된 각 작물 열에서 앞뒤 작물 간격을 측정하여 주간간격이 22.1cm 이상일 때 결주가 있다고 판단함
- 결주 개수에 대한 판단은 주간 거리를 15cm로 나누었을 때 몫값에 근거하여 결주개수를 계산하며 결주 개수에 따라 내분점 공식을 사용하여 각 결주의 위치를 예측할 수가 있음

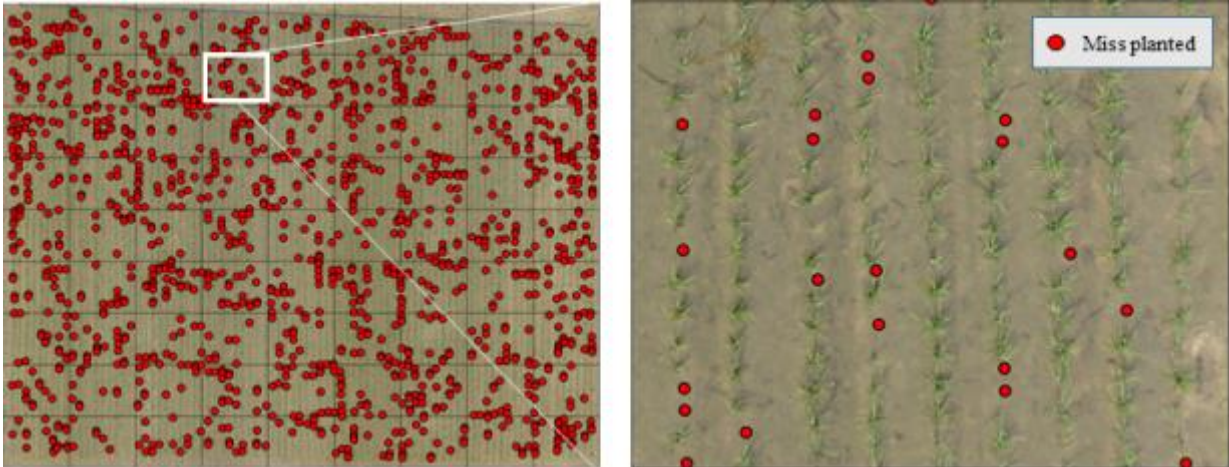
$$i = d \lfloor 15(d > 22.1) \rfloor$$

$$k \in (1, 2, \dots, i)$$

$$m_k = k$$

$$n_k = i - k + 1$$

$$P_k = \left(\frac{n_k x_q + m_k x_q}{m_k + n_k}, \frac{n_k y_{q+1} + m_k y_{q+1}}{m_k + n_k} \right)$$



< 대상 포장내 결주 위치 >

- 작물의 열을 감지하기 위한 가장 보편적인 방법은 Standard Hough Transform (SHT)이며 이미지 내에서 직선 라인을 감지하기 위한 특징 추출 알고리즘
- 앞서 구했던 개별 작물 열에 포함된 작물 좌표를 기반으로 각 작물 열에 대하여 허프 직선을 추출함
- 허프 직선을 기준으로 작물과 직선사이의 거리를 계산하고 이를 통해 작물의 좌우 이양변위를 분석할 수 있음
- 각 작물 열에 포함된 작물을 좌표가 (x_n, y_n) 일 때 허프 직선을 이루는 (ρ, θ) 는 다음 식으로 구할 수 있음

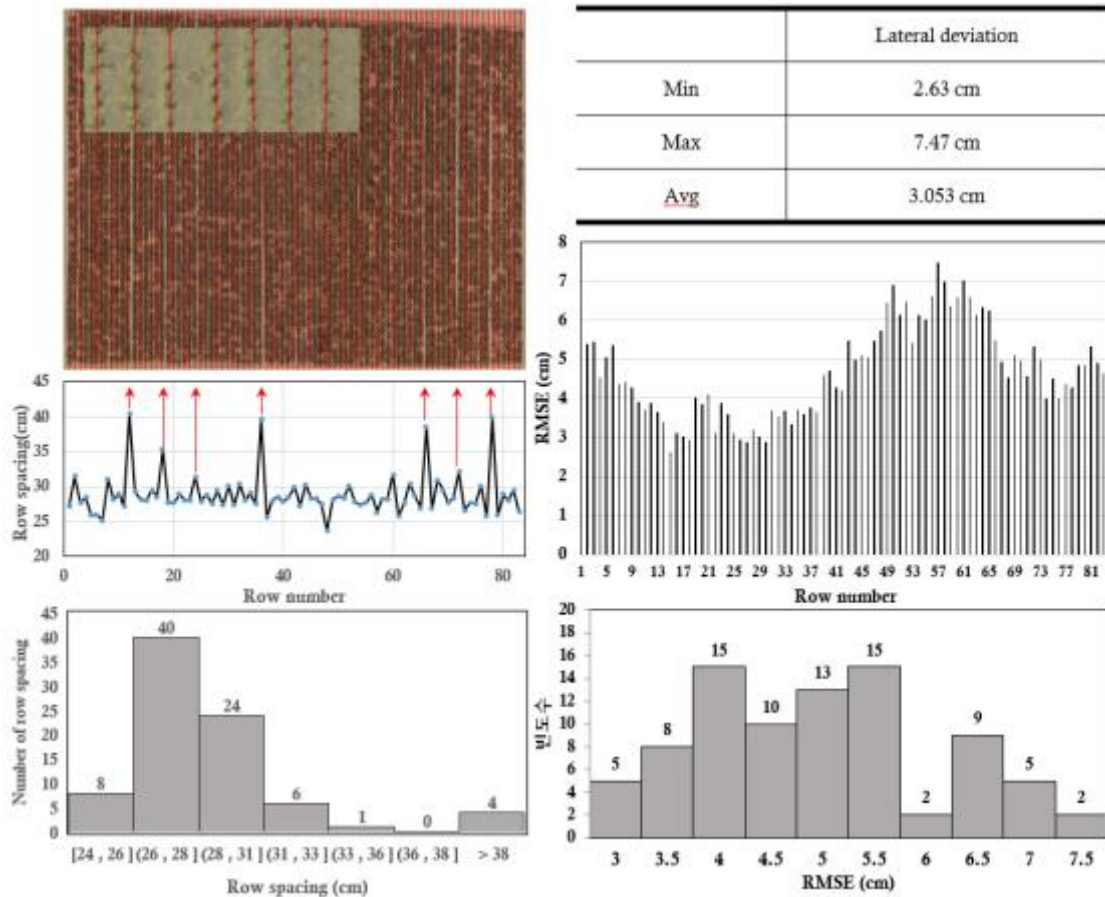
$$\rho = x_n \cos \theta + y_n \sin \theta$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}\right)$$

- 허프직선을 통해 각 작물열을 구성하는 작물에 대해 직선 라인을 추출하였으며 이를 통해 개별 작물의 좌우 이양변위, 조간거리를 측정함
- 단일 작물 열에 대해 허프 직선과 개별 작물열의 거리 값을 계산하였으며 전체 포장에

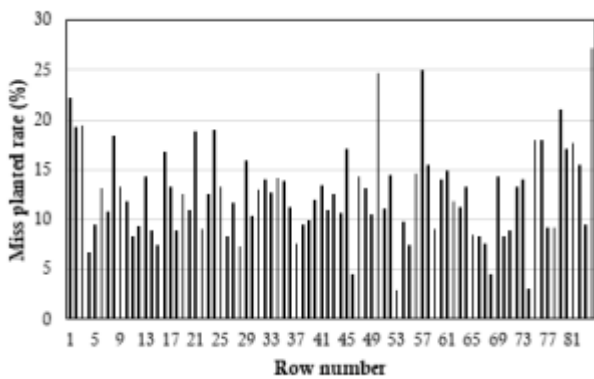
이양된 개별 작물에 대해 분석한 결과, 평균적으로 3.053cm, 최소 2.63, 최대 7.47cm의 오차율을 보임

- 조간거리는 좌우 작물 열이 이루는 거리를 100군데 측정하여 평균을 내었으며 조간거리가 26~28cm에 주로 많이 분포하였으며 이상적인 이양 기준에서 조간기준이 30cm와 비교했을 때 대상포장의 경우 평균 조간은 28.84cm로 1.16cm의 오차를 보임

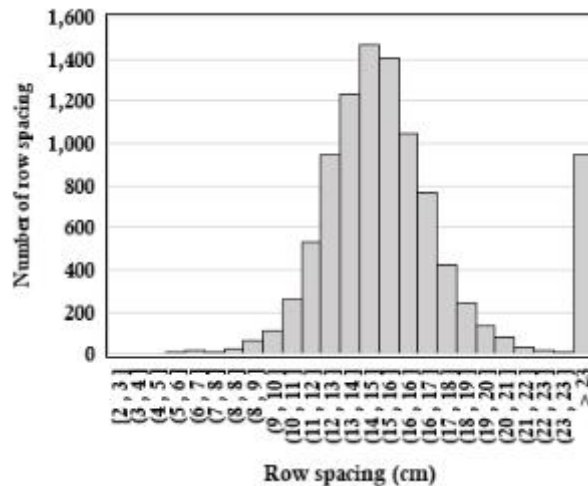


< 조간 및 조간 분포도, 조간오차, 좌우이양변위 분석 결과 >

- 결주 및 주간거리 분석을 수행함
- 인공지능기반 작물인식을 했을 때 전체 포장에 대해서 총 작물 개수는 9,866개 작물 열 수는 84개로 나타났으며 결주된 작물 개수는 1,430개로 전체의 12.6%가 미 이양 된 것으로 분석됨
- 주간간격은 히스토그램으로 분포도를 나타내었을 때 표준 정규분포도와 유사한 분포도를 보였으며 이상적인 이양 기준 주간간격이 15cm인 것과 비교하여 대상포장의 평균 주간거리는 16.04cm로 1.04cm의 오차를 보임
- 최종적으로 대상포장의 주간, 조간, 결주, 등을 고려하여 이양 효율을 분석했을 때 대상포장의 이양 효율은 92.14%로 전체적으로 이양 상태가 매우 좋은 것으로 판단됨



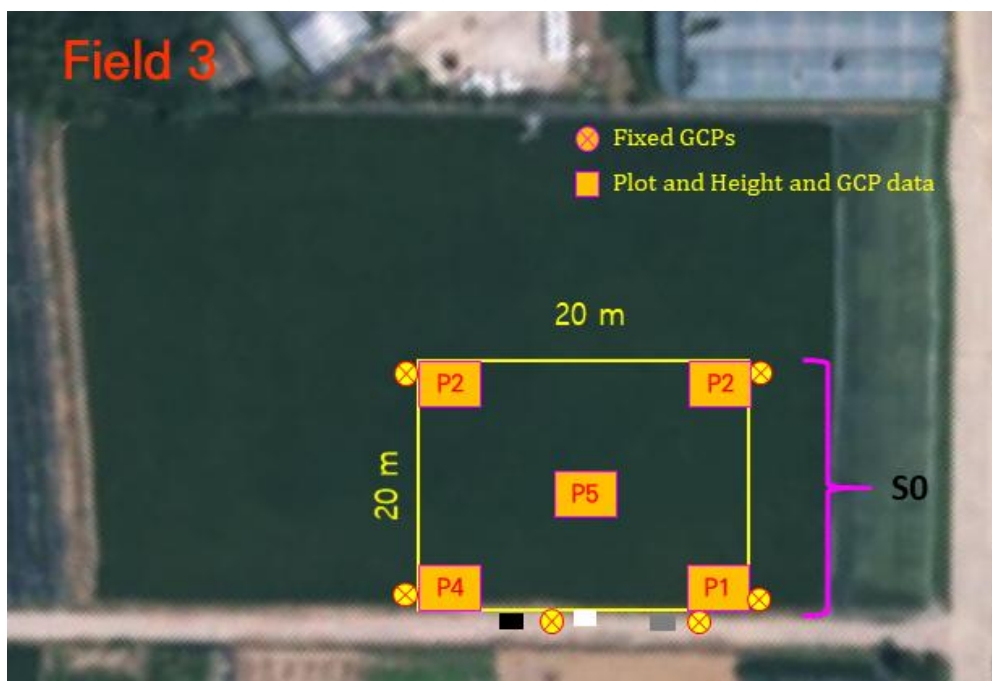
<각 작물 열별 결주 개수 >



<대상 포장 주간 간격 분포도>

| 평균 주간 | 평균 조간 | 작물 열수 | 작물 개수 | 결주 개수 | 작물 개수 (이론) | 효율 |
|-------|-------|-------|-------|-------|------------|--------|
| 16.04 | 28.84 | 84 | 9866 | 1430 | 10707 | 92.14% |

- 작물 개체의 성장 과정 데이터를 얻기 위해 표 1-1과 같은 Field 측정 조건과 그림 1-2의 무인항공기(UAV : Unmanned Aerial Vehicle), 카메라, 렌즈 등의 측정 장비를 이용하여 그림 1-1의 20 m × 20 m 노란색 영역을 측정함. 데이터 획득에 사용된 UAV와 카메라 및 렌즈 조건은 표 1-2와 같음. GCP는 Ground Control Point로서 기준점이며 GPS 좌표를 나타냄. 이 기준점을 바탕으로 P1, P2, P3, P4, P5 주위의 데이터를 수집함. UAV는 자동비행 경로가 설정되고 논 위를 자동으로 비행하여 이미지 데이터를 수집한 후 RGB 형식의 디지털 이미지가 카메라에서 노트북으로 전송되고 이미지는 추가 처리를 위해 저장됨.



<그림 1-1. UAV를 이용한 촬영 영역>

<표 1-1> 데이터 수집을 위한 Field 측정 조건

| | |
|----------|----------------------------|
| 장소 | 전남대학교 |
| 측정 면적 크기 | 20 m × 20 m |
| 작물 | 벼 |
| 이앙 날짜 | 2019. 06. 17 |
| 측정 주기 | 2 주 |
| 대지 측정 | 측정 테이프 |
| 부가적인 측정 | GCPs(Ground Control Point) |
| 측정 날씨 | 맑음 |
| 측정 시간 | 오전 11 시 ~ 오후 2 시 |



UAV : DJI-S1000

Camera : Sony Alpha
a5100

Lens : Sony E 00
mm F 2.8

<그림 1-2. 데이터 획득을 위한 측정 장비>

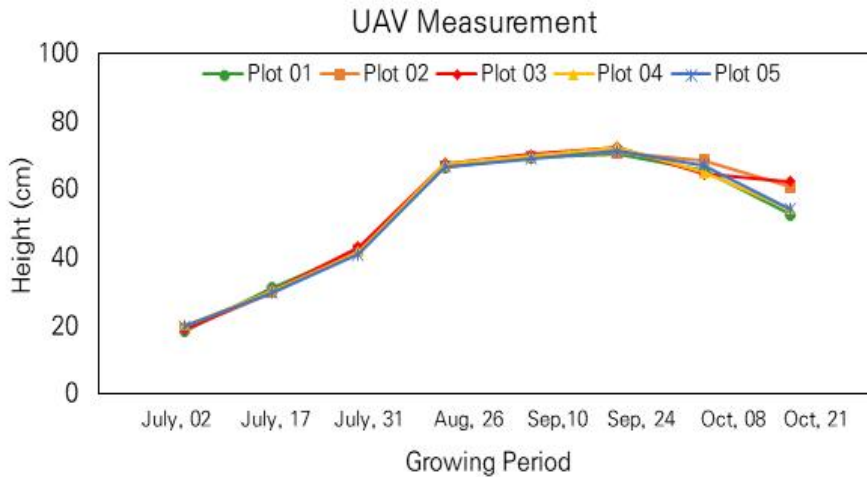
<표 1-2> 데이터 수집을 위한 측정 장비 조건

| UAV | | Camera | |
|-----------|----------------|--------|-----------------|
| 고도 | 8 m | 화소 | 24.3 Mega Pixel |
| 비행속도 | 1.0 m/s | 이미지 센서 | CMOS |
| 지상 표본 거리 | 0.156 cm/pixel | F-stop | f/2.8 |
| 이미지 획득 시간 | 15 min/ha | 노광 시간 | 1/2500 s |
| 최대 비행 시간 | 20 min | ISO | 200 |
| | | 초점 거리 | 20 mm |

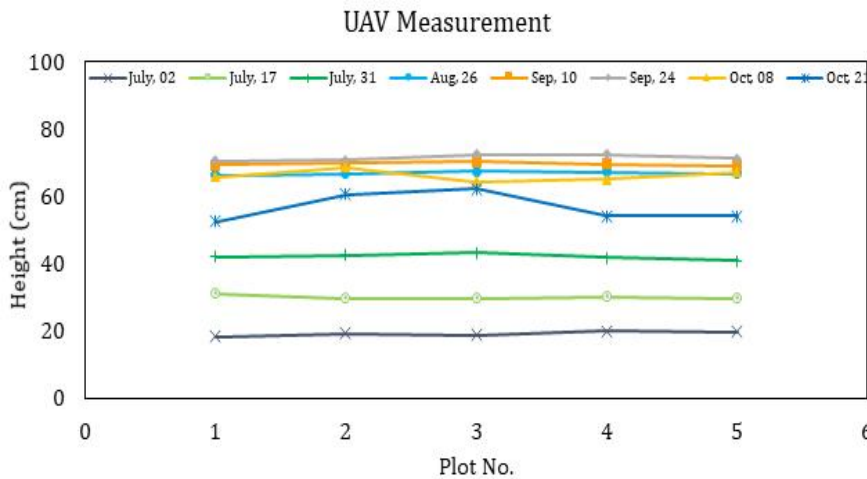
- UAV를 통해 얻은 작물 높이는 표 1-3과 같고 이것을 그림 1-3, 1-4와 같이 나타냄. UAV를 통해 얻은 데이터로 특정 지역 및 특정 기간의 작물 성장 정보를 현장 방문 없이 파악할 수 있음.

<표 1-3. UAV를 이용한 작물 높이 측정값 unit : cm>

| | 7월 2일 | 7월17일 | 7월31일 | 8월26일 | 9월10일 | 9월24일 | 10월8일 | 10월21일 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | 18.3 | 31.2 | 42.2 | 66.4 | 69.4 | 70.6 | 65.8 | 52.6 |
| 2 | 19.2 | 29.7 | 42.5 | 66.8 | 69.8 | 70.9 | 68.6 | 60.8 |
| 3 | 18.8 | 29.8 | 43.2 | 67.6 | 70.3 | 72.5 | 64.5 | 64.4 |
| 4 | 20.1 | 30.2 | 41.8 | 67.4 | 69.7 | 72.4 | 65.1 | 54.2 |
| 5 | 19.8 | 29.7 | 40.9 | 66.8 | 69.2 | 71.3 | 67.2 | 54.3 |



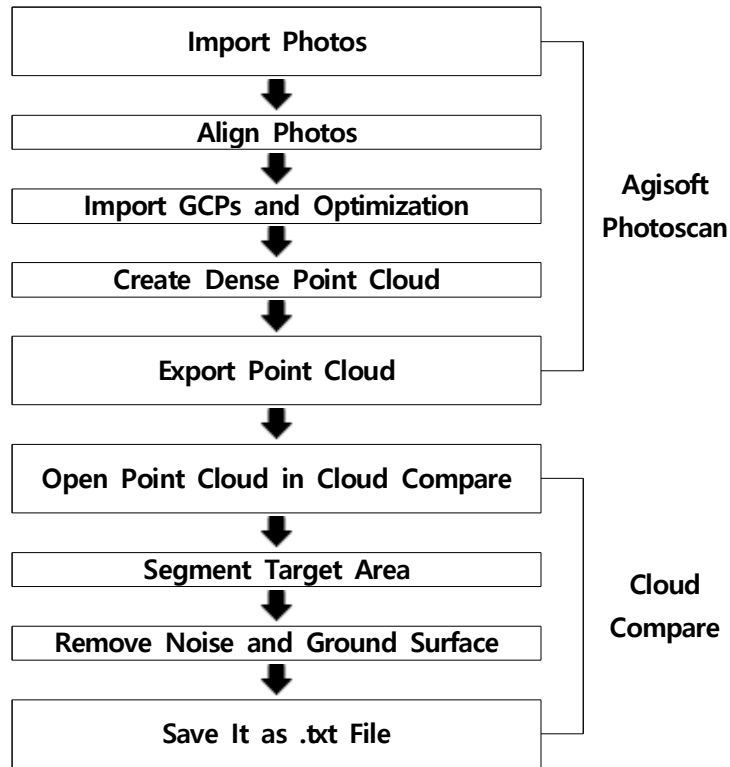
<그림 1-3. UAV를 이용한 작물 높이(기간 변화에 대한 관찰)>



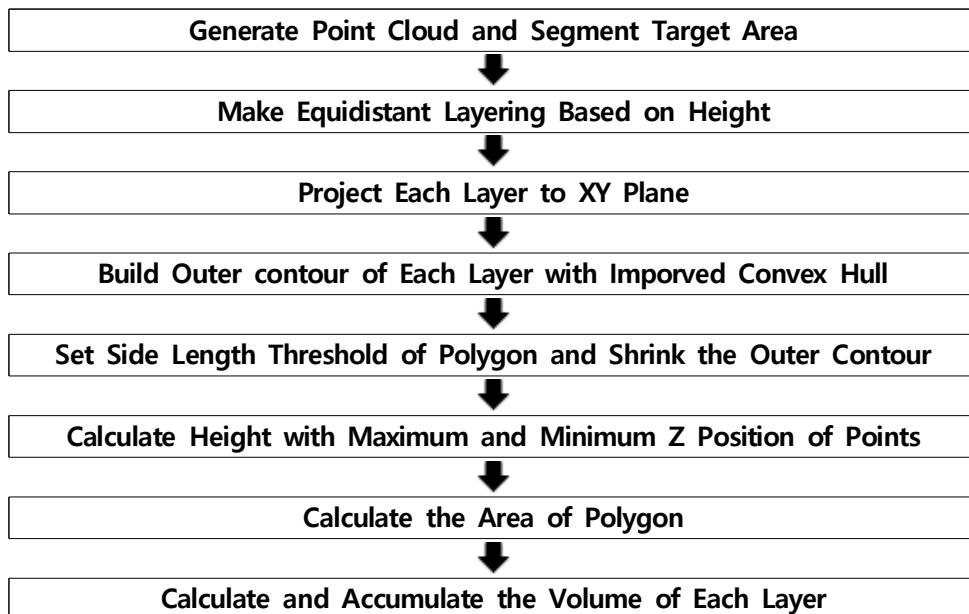
<그림 1-4. UAV를 이용한 작물 높이(장소 변화에 대한 관찰)>

- UAV를 통해 얻은 영상 정보를 바탕으로 그림 1-5, 그림 1-6과 같은 Point Cloud Method를 이용하여 20 m × 20 m 전체 영역의 데이터를 구동시킴. Point Cloud Method는 높은 비용의 레이저 스캐너와 유사한 수직 정보를 다양하게 제공하고 식생 지역에서 충분한 공간 해상도와 수직 정확도를 보장함. 이런 기능을 토대로 3D 영상을 얻을 수 있으며 그림 1-7에 나타냄.

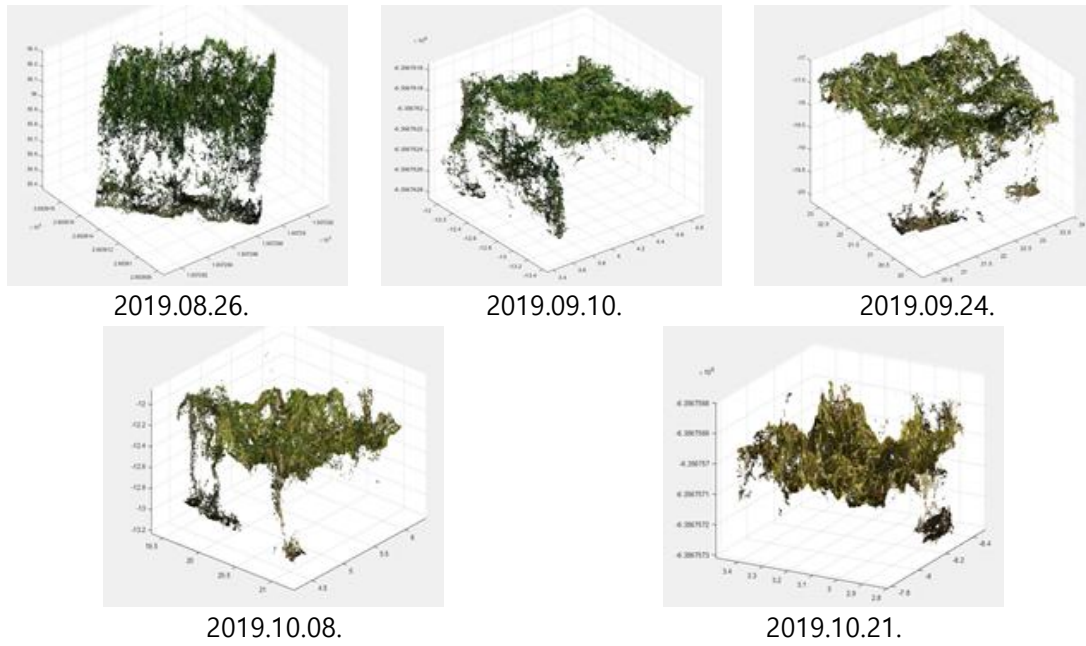
- 실용화 시 드론의 활용도를 높이기 위해 고중량의 UAV에서 더 경량화되고 장시간 비행이 가능한 UAV를 이용하여 장비 소요 비용을 감소시킬 예정임
- UAV에서의 영상 획득을 위해 같은 기종의 Sony 알파 5100 카메라를 3대 장착하여 활용하였지만, 전방위의 영상을 취득하기에는 부족한 면이 있었음. 이에 360도의 VR 카메라를 활용하여 한 번의 비행으로 모든 방위의 영상을 취득할 수 있는 효율적인 방법을 강구할 예정



<그림 1-5. Flowchart of Point Cloud Generation and Segmentation>

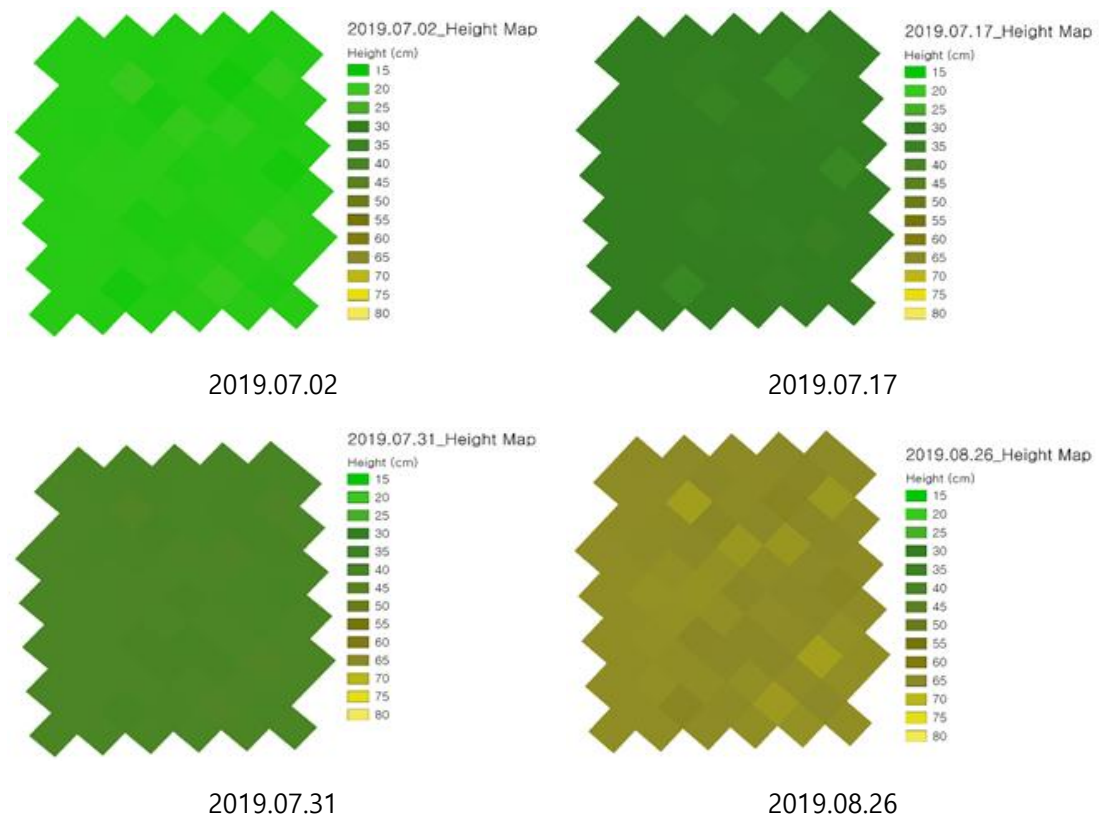


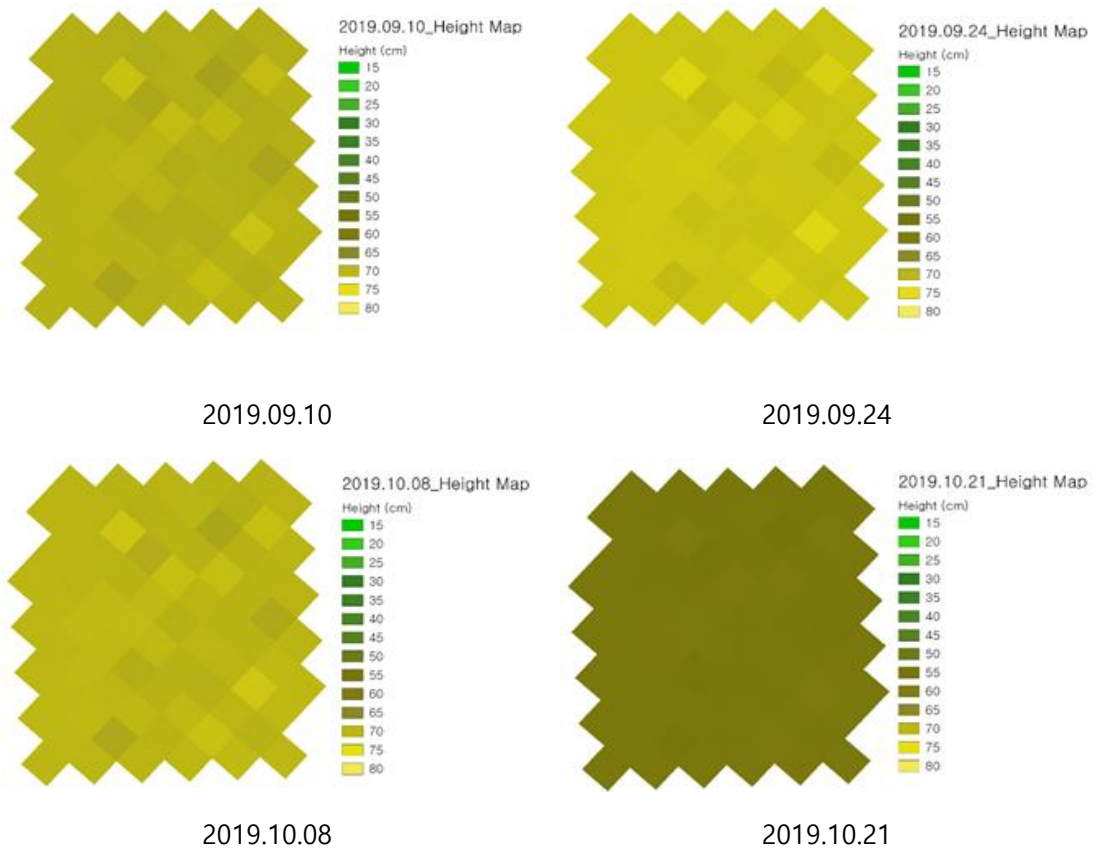
<그림 1-6. Flow chart of Height and Volume Calculation Algorithm>



<그림 1-7. Point Cloud Method를 통해 얻은 작물 성장 과정 3D 영상>

- UAV를 통해 얻은 데이터와 Point Cloud Method로 획득한 데이터를 이용하여 선택 영역의 기간 별 작물 성장 정보를 색으로 표현한 결과를 그림 1-8에 나타냄. 그림 1-8에 나타난 색을 통해 작물 성장이 미숙한 부분을 판별하여 시기적절한 원인 파악 및 조치가 가능함.



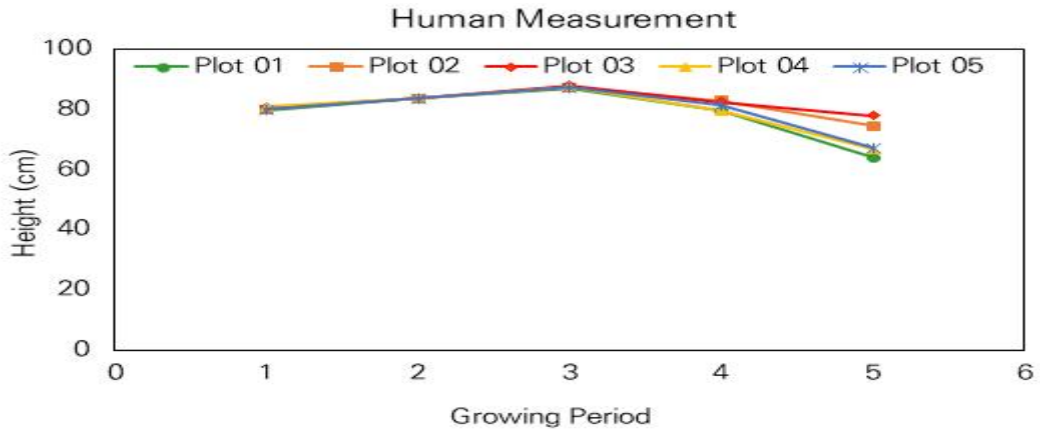


<그림 1-8. 색을 통해 나타낸 같은 기간 작물 높이 정보>

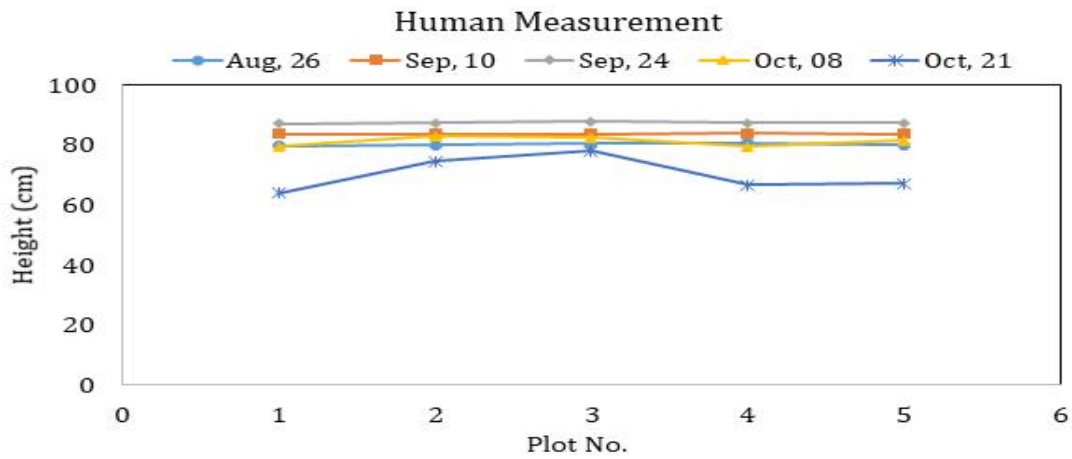
- 그림 1-1의 Plot 주위 작물을 실제 측정하여 표 1-4에 나타내고 이에 대해 그림 1-9, 1-10으로 표현함. 카메라 및 Point Cloud Method 기술 발달과 함께 추정해서 얻은 높이 데이터의 정밀도는 향상될 수 있을 것으로 판단됨.

<표 1-4. Plot 주위 작물 실제 높이 측정값 unit : cm>

| | 190826 | 190910 | 190924 | 191008 | 191021 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 79.9 | 83.7 | 87.1 | 79.5 | 64.0 |
| 2 | 80.0 | 83.6 | 87.3 | 83.9 | 74.7 |
| 3 | 80.6 | 83.8 | 87.9 | 82.4 | 78.0 |
| 4 | 80.8 | 83.9 | 87.5 | 79.5 | 66.9 |
| 5 | 80.1 | 83.6 | 87.3 | 81.5 | 67.2 |

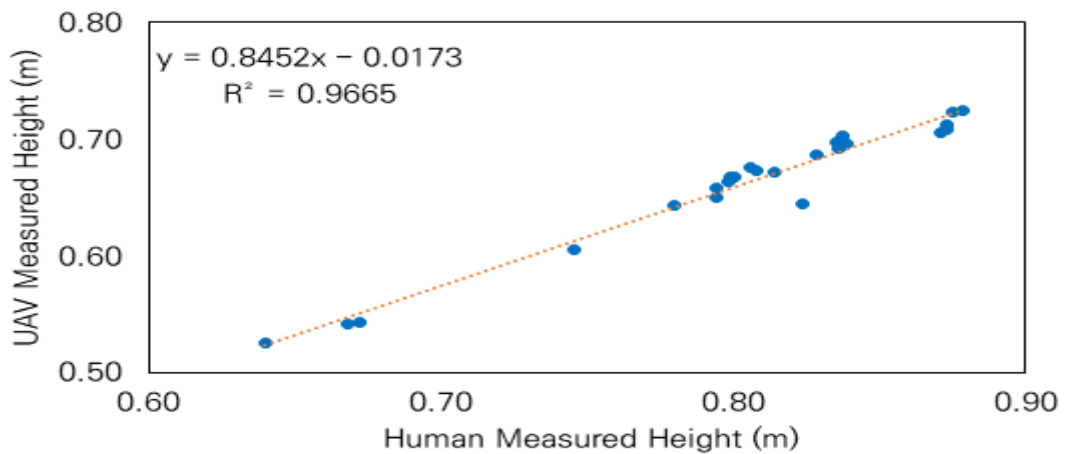


<그림 1-9. Plot 주위 작물 실제 높이 측정값(기간 변화에 대한 관찰)>

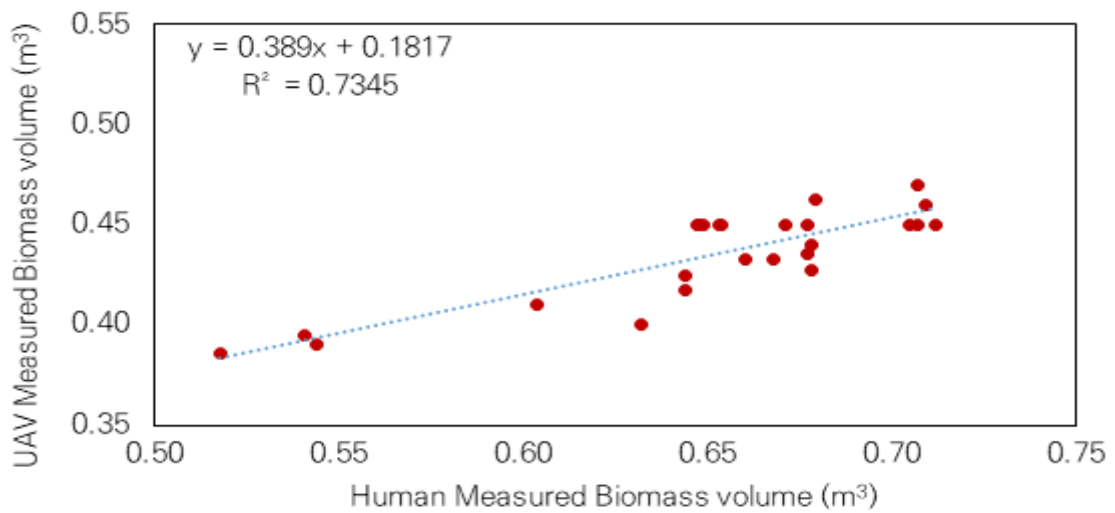


<그림 1-10. Plot 주위 작물 실제 높이 측정값(장소 변화에 대한 관찰)>

- 정해진 지역 작물 높이 및 부피 추정값과 실제값의 상관관계를 그림 1-11과 1-12에 나타냄. 높이 상관관계는 0.9665, 부피 상관관계는 0.7345임.



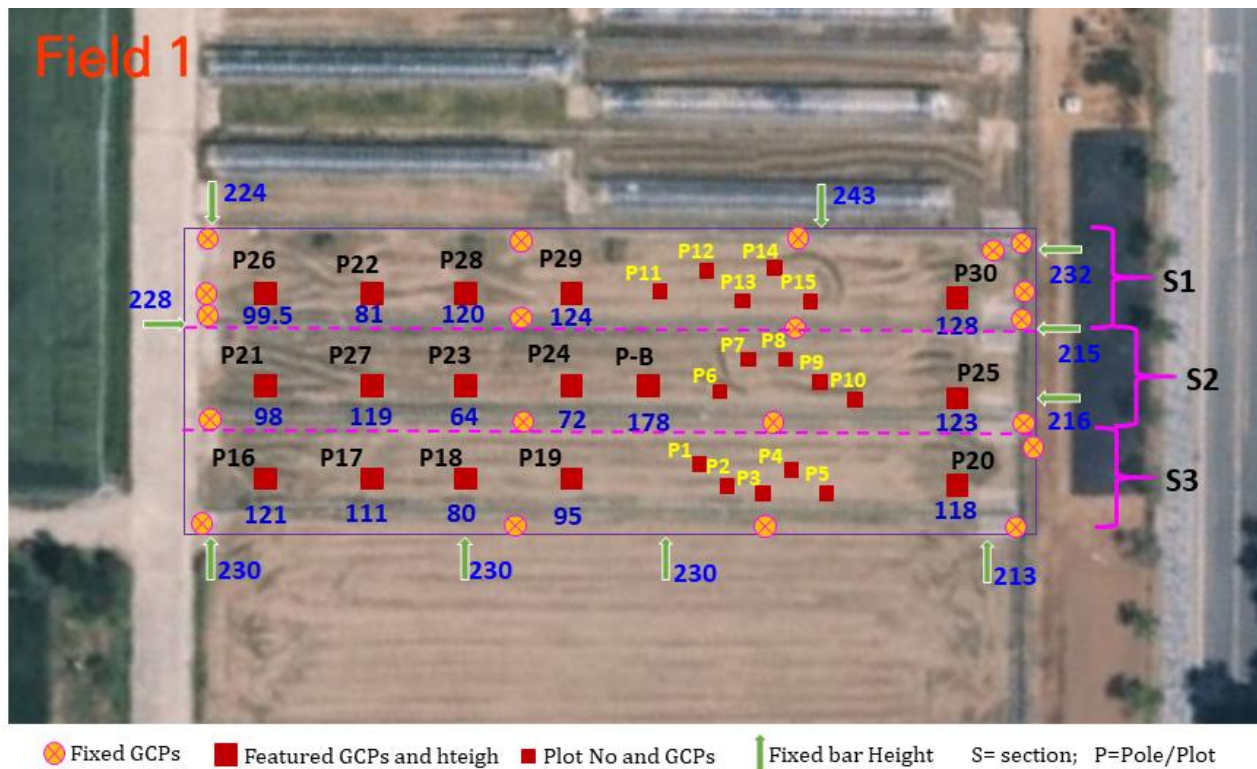
<그림 1-11. 작물 높이 추정값과 실제값 상관관계>



<그림 1-12. 작물 부피 추정값과 실제값 상관관계>

■ 작물 개체별 수확량 모니터링 및 매핑 시스템 개발

- 작물 수확량은 표 1-5와 같은 환경조건과 표 1-2의 장비조건을 가지고 측정함. 그림 1-13의 P1 ~ P15 지역은 UAV를 이용하여 측정하고 실제로도 측정하여 결과를 비교함. 이 비교결과를 바탕으로 P16 ~ P30 부분의 수확량을 추정함.



<그림 1-13. 작물 수확량 측정 지역 및 추정 지역>

<표 1-5. 작물 수확량 측정 조건>

| | |
|----------|----------------------------|
| 장소 | 전남대학교 |
| 측정 면적 크기 | 50 m × 20 m |
| 작물 | 벼 |
| 이앙 날짜 | 2019. 06. 17 |
| 측정 날짜 | 2019. 10. 21 |
| 대지 측정 | 측정 테이프 |
| 부가적인 측정 | GCPs(Ground Control Point) |
| 측정 날씨 | 맑음 |
| 측정 시간 | 오전 11 시 ~ 오후 3 시 |

- 수확량 측정 지역에서 UAV를 이용하여 촬영한 이미지는 그림 1-14와 같음. UAV는 표 1-6과 같은 조건으로 그림 1-15와 같은 UgCS software interface 비행 제어 시스템을 사용하며 이미지를 얻음. 1-14의 이미지를 얻은 후 수확량을 실제 측정하였으며 그 결과를 그림 1-16에 나타냄.

<표 1-6. UAV를 이용한 수확량 측정 이미지 획득 조건>

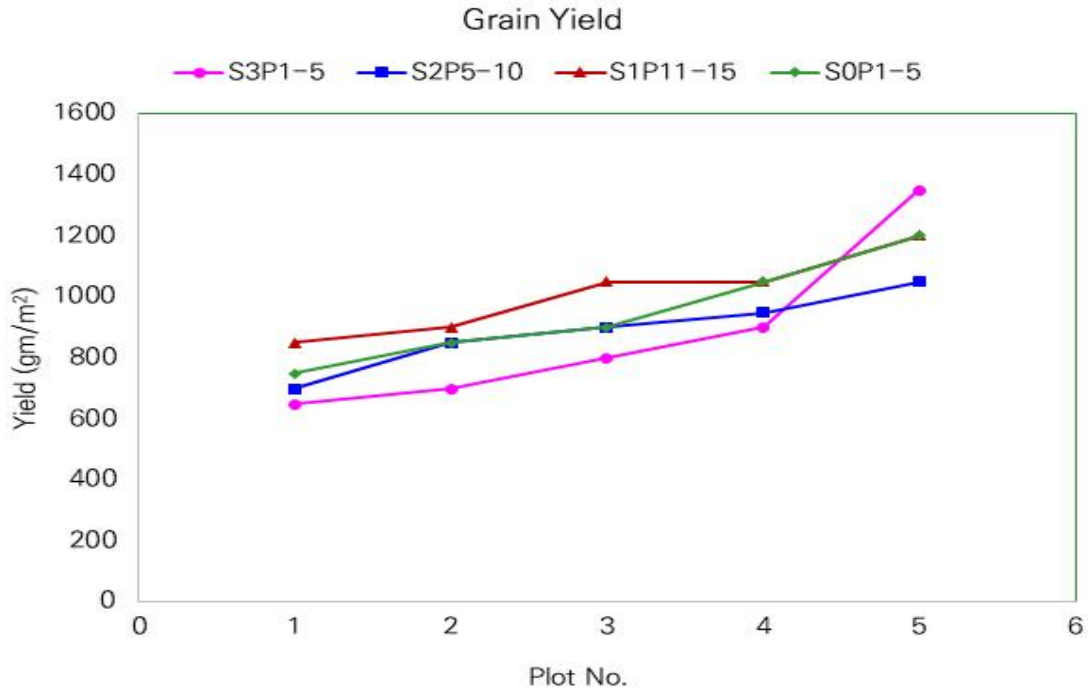
| | |
|---------------|-----------|
| Image Overlap | 70 ~ 90 % |
| UAV Speed | 1.0 m/s |
| Exposure Time | 0.4 ms |
| Flight Height | 8 m |



<그림 1-14. 작물 수확량 측정 지역 UAV를 이용하여 얻은 RGB 이미지>

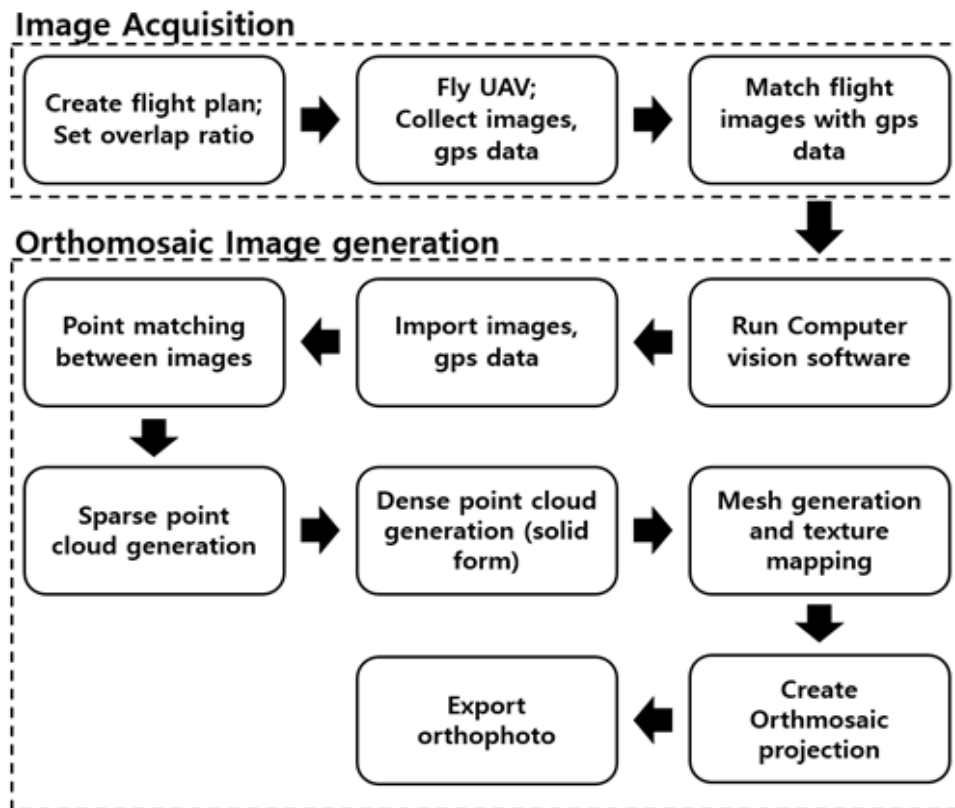


<그림 15. UgCS Software Interface>



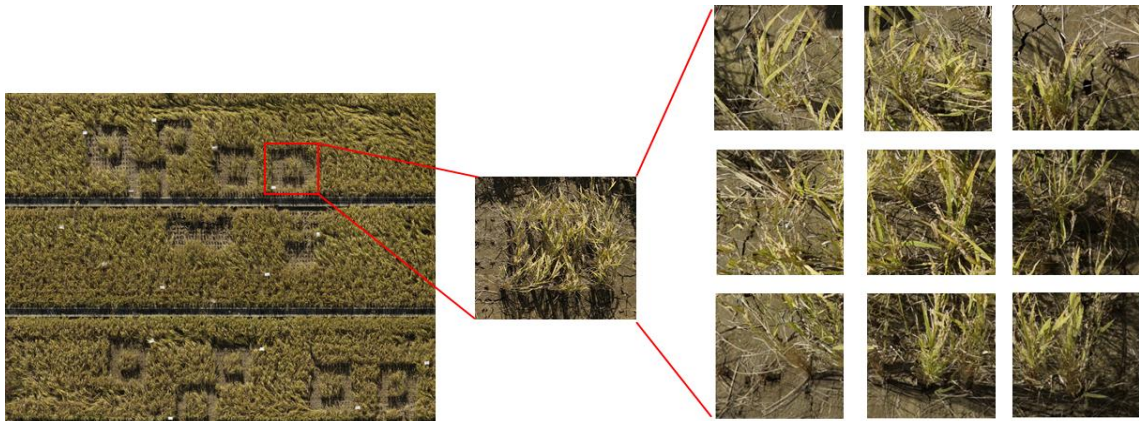
<그림 1-16. 작물 수확량 실제 측정값>

- UAV를 이용하여 얻은 이미지를 가지고 정사영상(Orthomosaic image)을 얻기 위해 Agisoft Photoscan을 이용함. 정사영상을 얻기 위한 순서는 그림1-17과 같음.



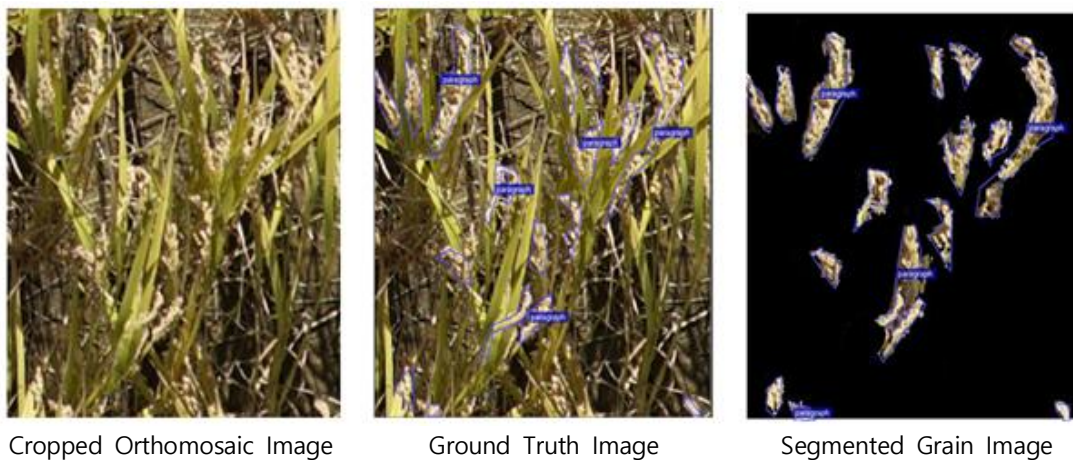
<그림 17. General Flowchart for Orthomosaic Generation>

- 그림 1-14와 같이 UAV를 통해 획득한 RGB 이미지 1800 장을 이용하여 전 체 영역 정사 영상을 얻은 후 실제 측정 영역의 정사영상을 추출함. 그 과정을 그림 1-18에 나타냄.

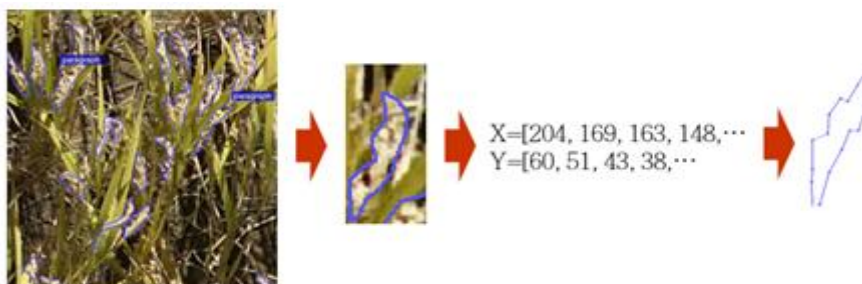


<그림 1-18. 정사영상 특정 영역 추출>

- 그림 1-18의 추출된 정상영상을 가지고 Aletheia Pro를 이용해 그림 1-19와 같이 Ground Truth Image를 생성함. 생성된 Ground Truth Image를 바탕으로 Shoelace Algorithm을 이용하여 그림 1-20과 같이 곡물 면적을 추정한 후 그림 1-21과 같이 실제 측정 영역을 픽셀에 상응하게 근사화 함.



<그림 1-19. Image Annotation Process>

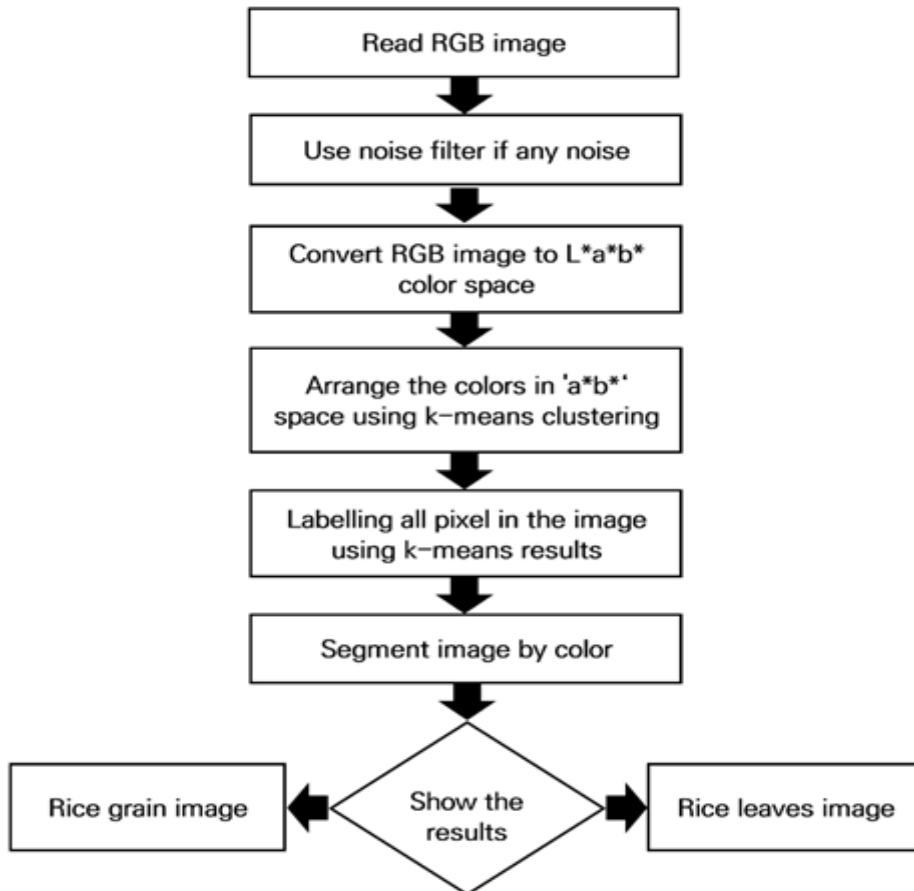


<그림 1-20. 곡물 면적 추정>



<그림 21. 픽셀 영역 근사화>

- 그림 21의 픽셀을 바탕으로 작물 상태나 field 조건에 관계없이 큰 용량의 데이터도 적용 가능한 KCL(K-means Clustering with Lab color based segmentation) Method를 제안하여 곡물 면적을 계산함. KCL은 Lab Color Space, K-Means Clustering, Image Segmentation을 조합한 방법임. KCL Method를 이용하여 곡물 자동탐지, 이미지 자동추출 및 성장 기간 동안 색의 변화에 의해 성장 상태 관찰이 가능함. 또한 KCL Method를 적용하면 RGB 이미지를 대신하여 LAB 색 공간을 사용함으로써 배경 이미지에 미치는 영향에 대한 필터링 효과를 높여 최종 분할 결과를 더 명확하게 함. 제안된 KCL 적용 곡물 면적 분할 이미지를 그림 1-23에 나타냄.



<그림 1-22. Flow Chart of KCL Method>

- Lab Color Space

$$L = 116\left(h\left(\frac{Y}{Y_s}\right)\right) - 16 \qquad W = 0.4303R + 0.3416G + 0.1784B$$

$$a = 500\left(h\left(\frac{W}{W_s}\right) - h\left(\frac{Y}{Y_s}\right)\right) \qquad Y = 0.2219R + 0.7068G + 0.0713B$$

$$b = 200\left(h\left(\frac{Y}{Y_s}\right) - h\left(\frac{Z}{Z_s}\right)\right) \qquad Z = 0.0202R + 0.1296G + 0.9393B$$

$$h(q) = \begin{cases} \sqrt[3]{q} & q > 0.008856 \\ 7.787q + \frac{16}{116} & q \leq 0.008856 \end{cases}$$

Ys, Ws, Zs는 standard stimulus coefficients임.

- K-means clustering

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \| X_i^{(j)} - C_j \|^2$$

$\| X_i^{(j)} - C_j \|^2$ 는 데이터 포인트 Xi와 클러스터 중심 Cj 사이의 거리임.

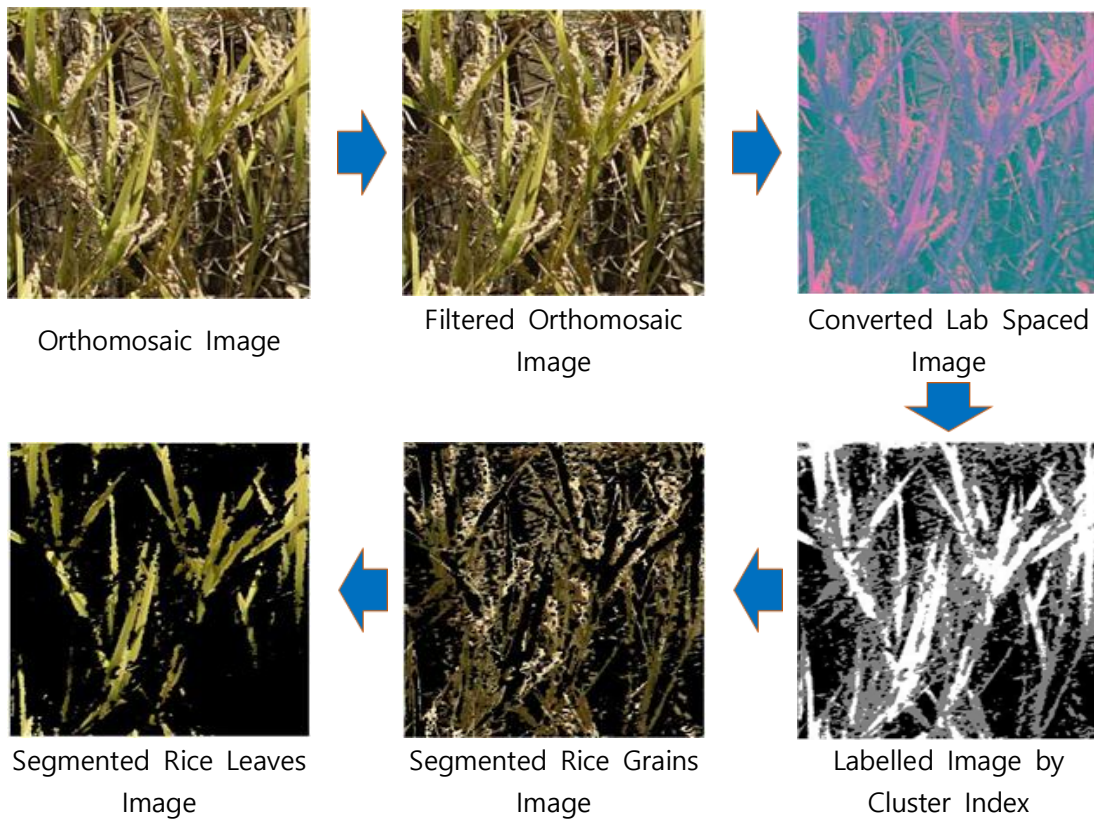
- Image Segmentation

$$U_{i=1}^n R_i = I$$

$$R_i \cap R_j = \phi \text{ with } i \neq j$$

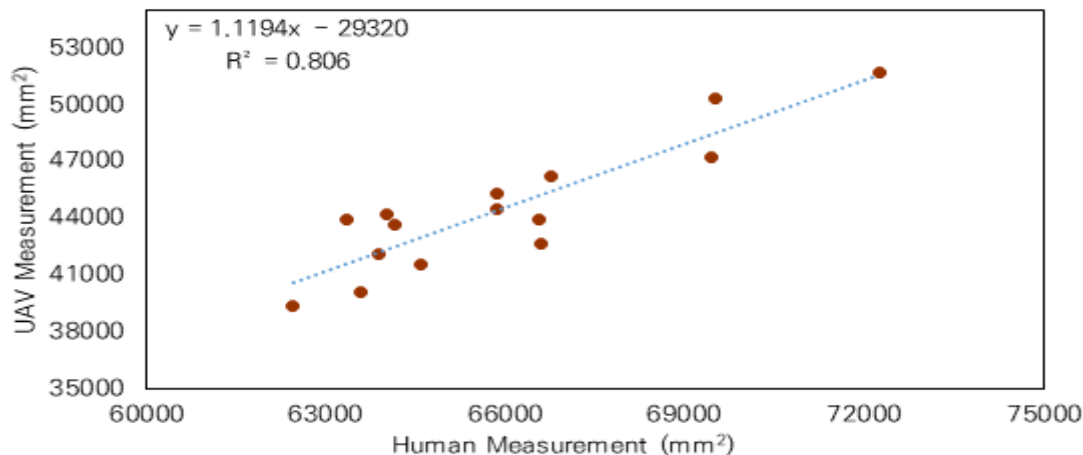
$$H(R_i) = TRUE \quad \forall i$$

$$H(R_i \cup R_j) = FALSE \quad \forall R_i \text{ and } R_j \text{ adjacent}$$



<그림 1-23. KCL 적용 곡물 면적 분할>

- 그림 1-24는 KCL 적용 곡물 면적과 실제 측정값을 비교한 것이며 상관관계 0.806을 나타냄.

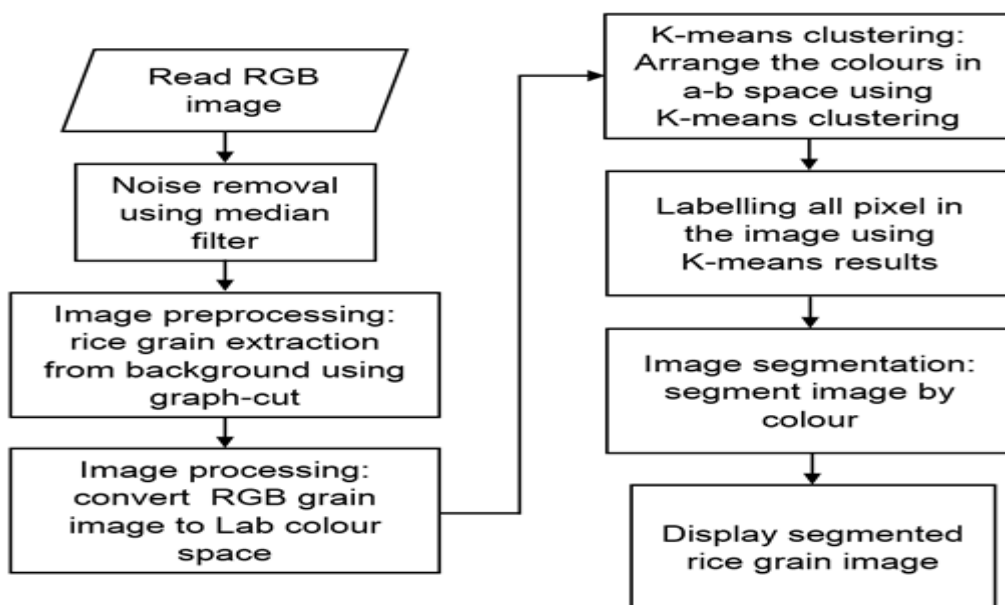


<그림 1-24. 곡물 면적 KCL 분석과 실제값 비교>

- 그림 1-24는 KCL 적용 곡물 생산량과 실제 측정값을 비교한 것이며 상관관계 0.9684를 나타냄.

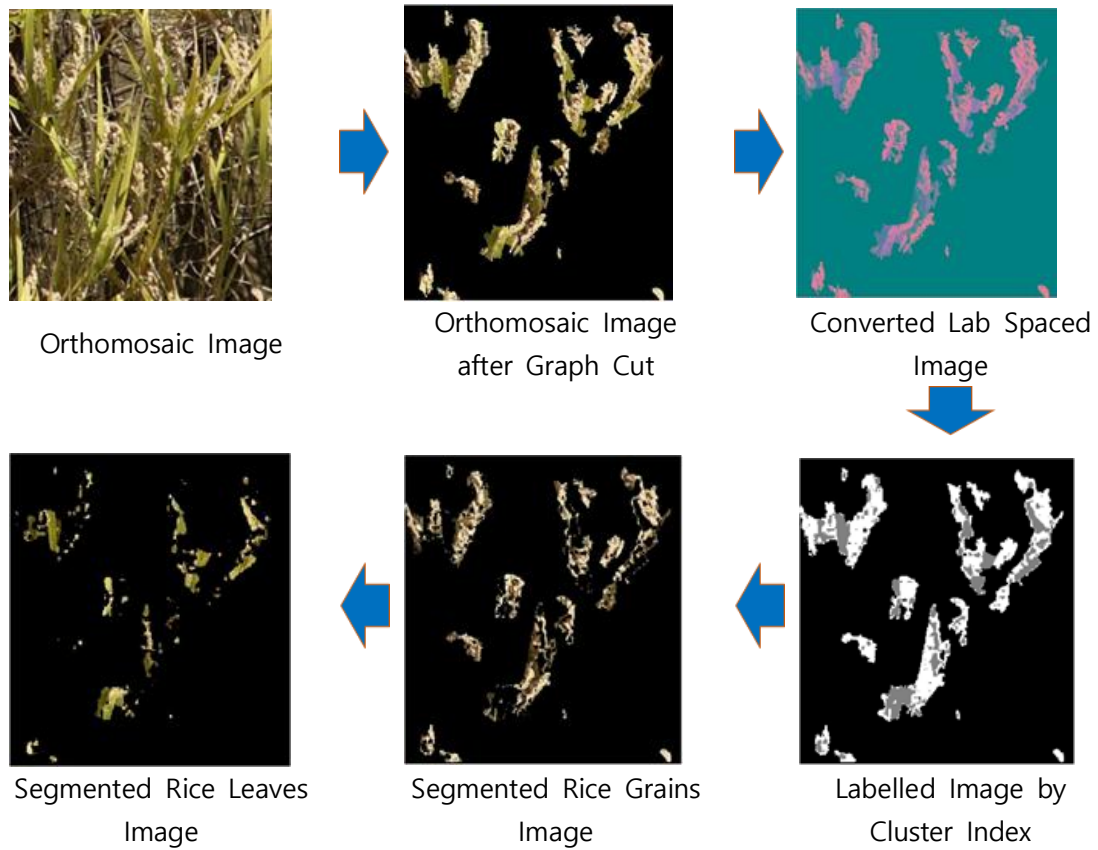
- 나지, 식물 잎, 물 등은 곡물을 정확하게 분할하는 것을 방해하는 요소임. 이런 요소를 극복하고 곡물을 더 정확하게 분할할 수 있도록 KCL Method에 Graph Cut 알고리즘을 결합한 그림 1-25와 같은 KCG Method를 제안함. 이미지 그래프는 $Z=\{V, E\}$ 로 간주되며 V 는 노드 세트이고 E 는 연결된 노드의 모서리 세트임. Graph Cut는 두 개의 하위 집합 S 와 T 로 분리하는 것을 나타냄.

$$s \in S, t \in T, S \cup T = V, S \cap T = \phi$$



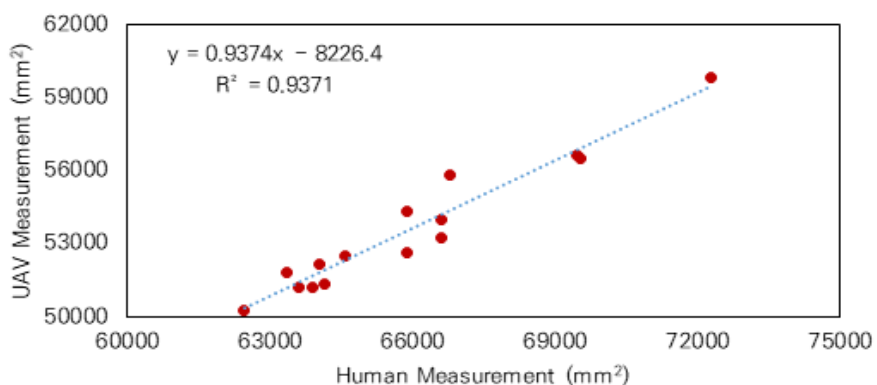
<그림 1-25. Flow Chart of KCG Method>

- 제안된 KCG 적용 곡물 면적 분할을 그림 1-26에 나타냄.



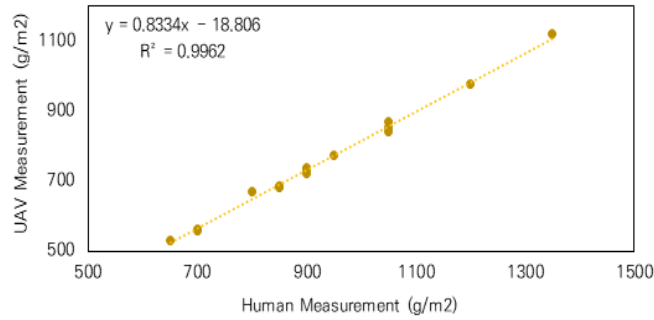
<그림 1-26. KCG 적용 곡물 면적 분할>

- 그림 1-27은 KCG 적용 곡물 면적과 실제 측정값을 비교한 것이며 상관관계 0.9371을 나타냄. KCL 적용 상관관계와 비교하여 정확도가 향상됨을 확인함.
- KCL을 적용하여 곡물의 면적을 실제 작물 수확의 측정값과 비교하여 진행하여 정확도가 향상됨을 확인하였지만, 추후 영상을 취득하여 processing된 결과와 비교할 수 있도록 알고리즘을 구성하고 IoU의 정확도를 확인할 수 있도록 고도화할 예정



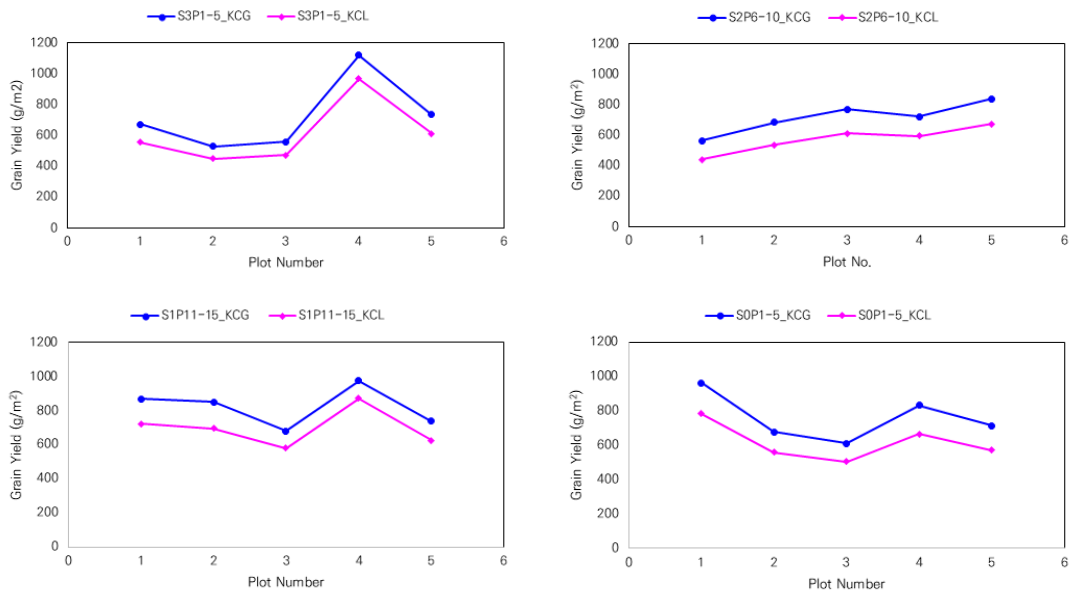
<그림 1-27. 곡물 면적 KCG 분석과 실제값 비교>

- 그림 1-28은 KCG 적용 곡물 생산량과 실제 측정값을 비교한 것이며 상관관계 0.9962를 나타냄. KCL 적용 상관관계와 비교하여 정확도가 향상됨을 확인함.



<그림 1-28. 곡물 면적 KCG 분석과 실제값 비교>

- KCL 및 KCG 분석을 통해 얻은 결과를 비교하여 그림 1-29에 나타냄. KCL분석에 비해 KCG 분석 시 정확도가 향상됨을 확인할 수 있음.



<그림 1-29. KCL vs KCG 곡물 수확량 비교>

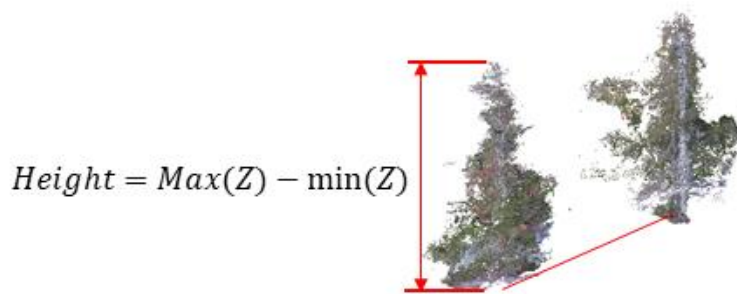
- KCG Method를 이용하여 매핑 이미지를 생성함. Field는 1 m × 1 m 셀 크기로 나누어지고 셀 수확량과 위치를 추정하여 엑셀 데이터 생성 후 공간데이터 형식으로 변환함. 수확량 맵을 준비하기 위해 IDW(Inverse Distance Weighted) 보간법을 사용함. 수정을 위한 보간 파라미터는 역률이며 표준 값으로 2를 가정함. 이렇게 생성된 맵은 그림 1-30에 나타냄.
- KCG method는 벼를 기반으로 한 식량 작물의 수확량 추정 방법으로서 사료작물에 대한 수확량 예측 연구는 진행되어 있지 않은 상태임. 추후 사료 작물에 적용이 가능하도록 연구를 진행할 예정으로 사료작물 수확량 추정 방법 연구 결과를 반영하여 보완할 예정
- IDW 보간법을 사용한 수확량 맵을 이용하여 추출한 작물 성장 매핑 결과를 전라남도 농업기술원과 협력연구를 통하여 실증하려고 모색 중임



<그림 1-30. KCG Method를 이용한 수확량 맵>

■ 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 알고리즘 고도화 및 현장 실증 시험

- 작물 단일의 3차원 포인트 클라우드 데이터들로부터 15개의 유효 데이터를 선택한 후 그림 1-31과 같이 Z 방향의 극값의 차이를 계산하여 높이 정보를 추출함.
- 유효 데이터의 위치는 그림 1-32와 같음.



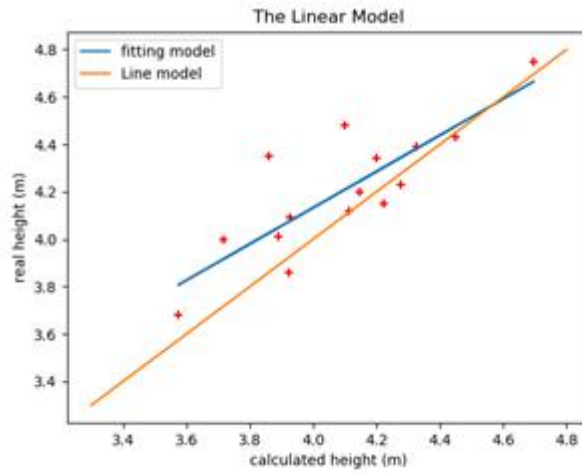
<그림 1-31. 3차원 포인트 클라우드 기반 높이 측정 방법>



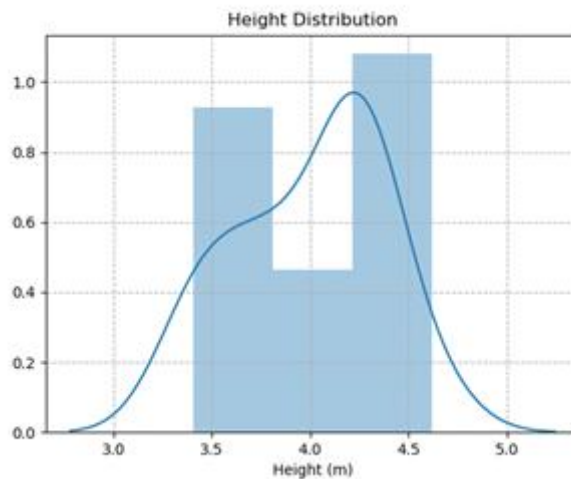
<그림 1-32. 대상 포장 내 유효 작물의 위치>

- 그림 1-33과 같이 유효 데이터의 상관계수 R^2 는 대략 0.7이며 높이 측정을 위한 계산 방법이 효율적임을 보여줌.

- 이 계산 방법을 통해 전체 작물의 3차원 포인트 클라우드를 기반으로 높이를 측정하면 그림 1-34과 같이 높이는 4.3m에 분포해 있음.



<그림 1-33. 상관 모형과 계수 $R^2 = 0.6881$ >



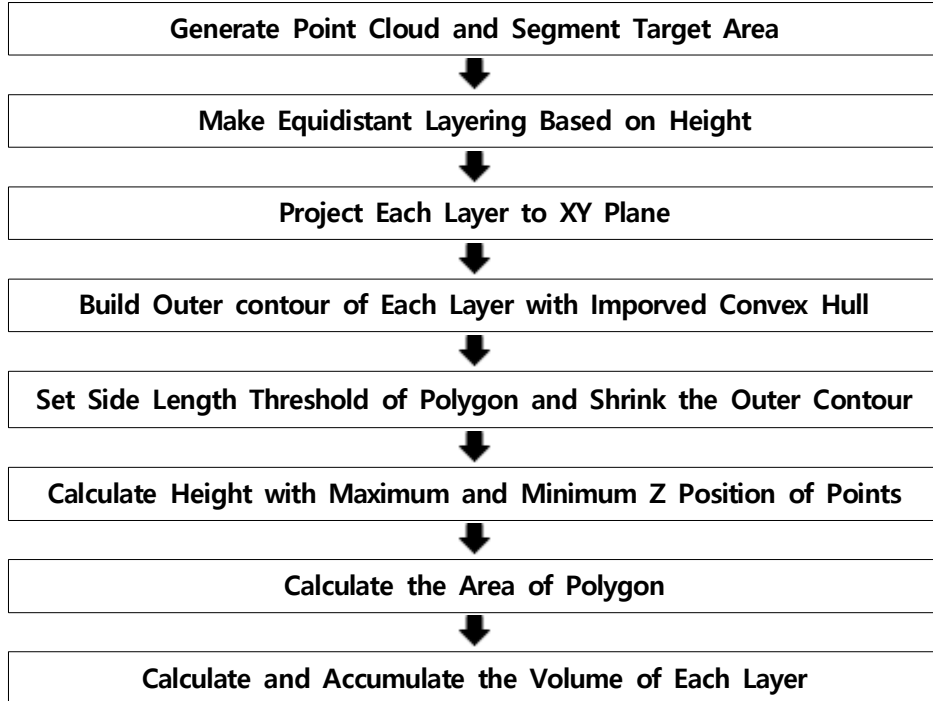
<그림 1-34. 전체 작물의 높이 분포도>

- 작물의 체적을 측정하기 위해 Layering calculation 방법을 이용함.
- 작물의 높이(Z 방향)를 기준으로 수직인 등거리 층을 나누고 각 층을 XY평면에 투영함.
- 투영된 3차원 포인트 클라우드를 기반으로 향상된 convex hull을 생성하여 외부 폴리곤을 생성한 후, 폴리곤의 면적을 계산함.
- 각 층 별 면적을 계산하고 최종적으로 면적을 산출함.
- 폴리곤의 면적 계산 방법

$$\iint_d \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) dx dy = \oint_L P dx + Q dy \xrightarrow{\text{discretization}} S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

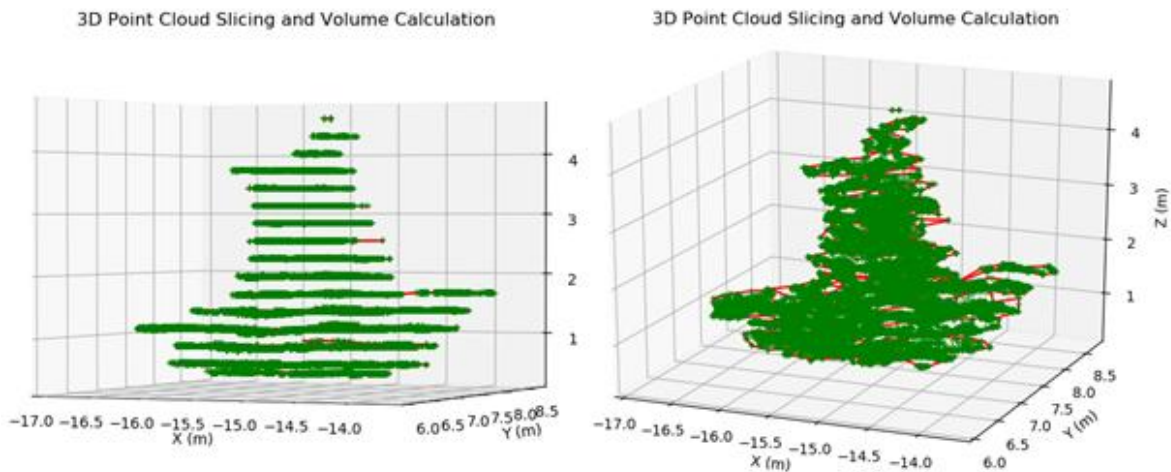
- 체적 계산 방법

$$V = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n (S_i + \sqrt{S_i S_{i+1}} + S_{i+1})$$

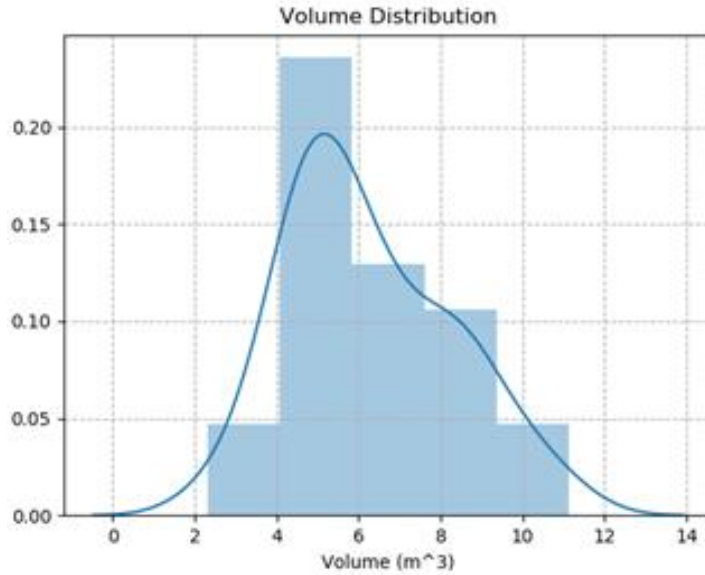


<그림 1-35. 체적 계산 알고리즘 순서도>

- 작물의 체적을 계산하기 위해 그림 1-36과 같이 알고리즘을 이용했고, 전체 작물의 체적 분포도는 그림 1-37과 같음.



<그림 1-36. 체적 계산 과정>



<그림 1-37. 전체 작물의 체적 분포도>

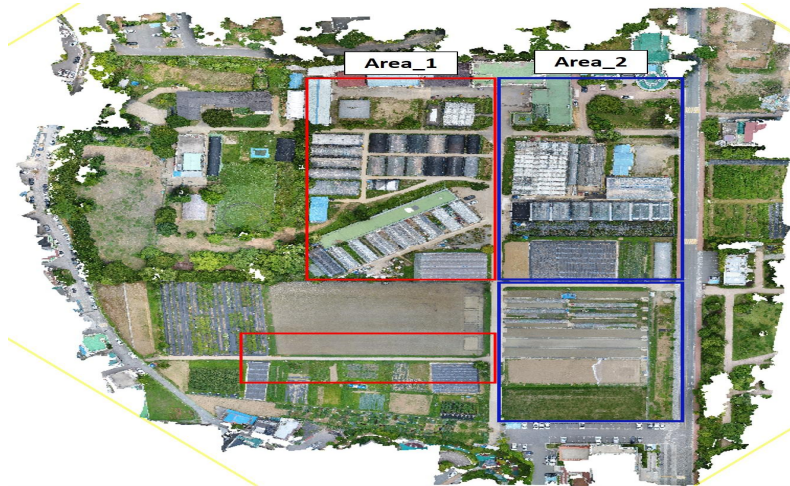
■ 농경지 및 주위 환경의 3D 공간 맵 고도화 및 실증 시험

- 농경지 3D 공간 맵 구성을 위해 다양한 데이터 학습을 할 수 있는 실험 포장을 선정함.
- 대상 포장은 도로, 토지, 비닐하우스, 건물, 시설물 등으로 이루어져 있으며 그림 1-38의 빨간색 영역의 3차원 포인트 클라우드로 pointnet 기반의 분류 알고리즘을 학습함.
- 학습된 알고리즘을 통해 그림 1-38의 파란색 영역의 3차원 포인트 클라우드에서 분류 대상을 추출하고 추출된 데이터를 기반으로 3D 공간 맵을 구성함.
- 농경지 주위 환경을 구분하기 위해 분류 대상을 도로, 경작지, 토지 그리고 그 이외의 것으로 지정하고 비닐하우스, 건물, 시설물 등이 이외에 포함됨.

<표 1-7> 데이터 수집 대상 및 측정 조건

| | |
|-------|-----------------------|
| 장소 | 전남대학교 실험 포장 |
| 측정 면적 | 37,900 m ² |
| 분류 대상 | 도로, 경작지, 토지, 이외 |
| 측정 날씨 | 맑음, 구름 조금 |

- 그림 1-39의 무인항공기(UAV : Unmanned Aerial Vehicle), 카메라, 렌즈 등의 측정 장비를 이용하여 실험 포장을 촬영함.
- 대상 포장 전체 지형을 촬영하기 위해 무인항공기의 비행속도, 비행시간 및 정합 정확도를 고려하여 80m 높이에서 영상을 취득했으며, 영상 간 중복률은 70%를 유지함.



<그림 1-38. 3차원 포인트 클라우드 정사투영 영상 및 실험 영역>

<표 1-8> 데이터 수집을 위한 측정 장비 조건

| UAV | | Camera | |
|-----------|--------|--------|-----------------|
| 고도 | 80 m | 화소 | 24.3 Mega Pixel |
| 비행속도 | 2m/s | 이미지 센서 | CMOS |
| 이미지 획득 시간 | 42 min | 초점 | Auto focus |
| 최대 비행 시간 | 15 min | 영상 중복율 | 70% |



UAV : 3DR SOLO



UAV and Camera



Camera : Sony Alpha a5100



Lens : Sony E 00 mm F 2.8

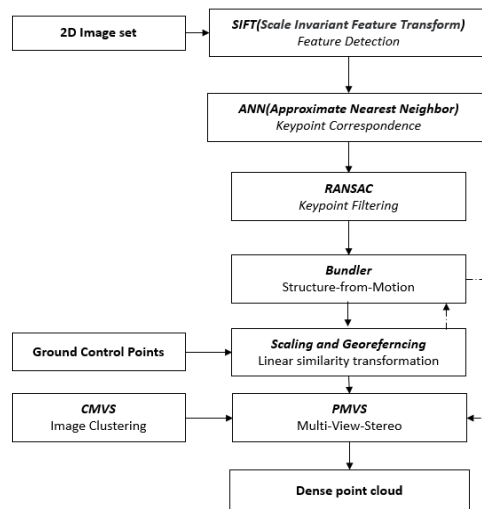
<그림 1-39. 데이터 획득을 위한 측정 장비>

- Ground Control Points (GCPs)는 지표면 상의 지점으로 GPS 위치 정보를 나타내 지리 참조에 사용되며 영상 취득 전, 대상 포장에 표시함.
- 영상정합과 3차원 포인트 클라우드 데이터의 정확도를 높이기 위해 대상 포장 내에서 지형 표고를 고려하여 다수 GCP의 위치를 결정함.



<그림 1-40. 대상 포장내 GCP 위치>

- 대상 포장의 3차원 포인트 클라우드는 그림 1-41의 과정을 거쳐 생성되며, 중첩된 항공 영상에서 매칭되는 특징점을 추출하고 필터링을 통해 오류를 수정한 후, 광속조정법 (Bundle adjustment)을 사용하여 특징점을 기하학적으로 재구성하여 위치 정보를 담은 3차원 포인트 클라우드를 생성함.



<그림 1-41. 항공 영상을 이용한 3차원 포인트 클라우드 생성 순서도>

- 3차원 포인트 클라우드 생성 결과, 대상 영역 내 Area 1의 데이터는 그림 1-42와 같으며 분류 대상인 도로, 경작지, 토지, 비닐하우스, 건물, 시설물 등을 전체적으로 잘 표현함.



<그림 1-42. 대상 포장 내 Area 1의 3차원 포인트 클라우드 측면 영상>

- 영상 간의 매칭되는 특징점을 기반으로 3차원 포인트 클라우드를 추출하는 항공 영상측량의 특성상, 시간에 따라 위치 변화가 생기는 식생의 경우에는 그림 1-45와 같이 나뭇가지 또는 잎을 구성하는 3차원 포인트 클라우드의 위치 정보에 오차가 생김.

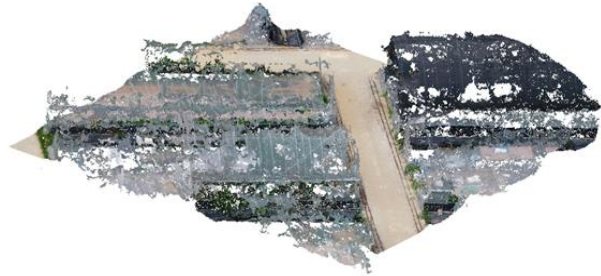


<그림 1-43. 식생 3차원 포인트 클라우드 데이터의 일부 오차 영상>

- 가시광선 영역에 반응하는 광학 센서의 특성상, 유리온실 및 비닐하우스와 같은 투명 또는 반투명 구조로 이루어진 시설의 경우에는 영상 간의 특징점이 제대로 추출되지 않아 그림 1-44와 같이 오차가 생김.
- 농경지 분류 알고리즘은 pointnet을 기반으로 그림 1-45와 같이 구성하였으며, 입력 데이터는 총 4,096개의 3차원 포인트 클라우드 xyz 위치 데이터로 Nx3의 벡터를 입력함.
- 입력 데이터는 Multi Layer Perceptron(MLP)을 거쳐 얻은 텐서를 Max pooling을 통해 일반화하여 전역 특징 벡터로 추출됨.



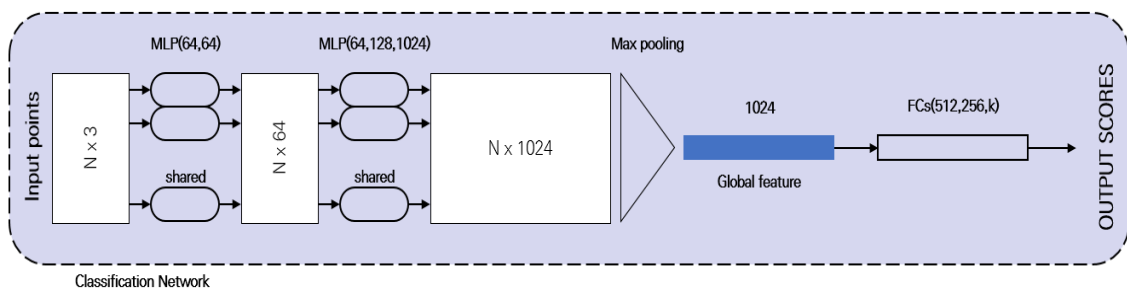
비닐하우스 영역의 정사투영 영상



비닐하우스 영역의 측면 영상

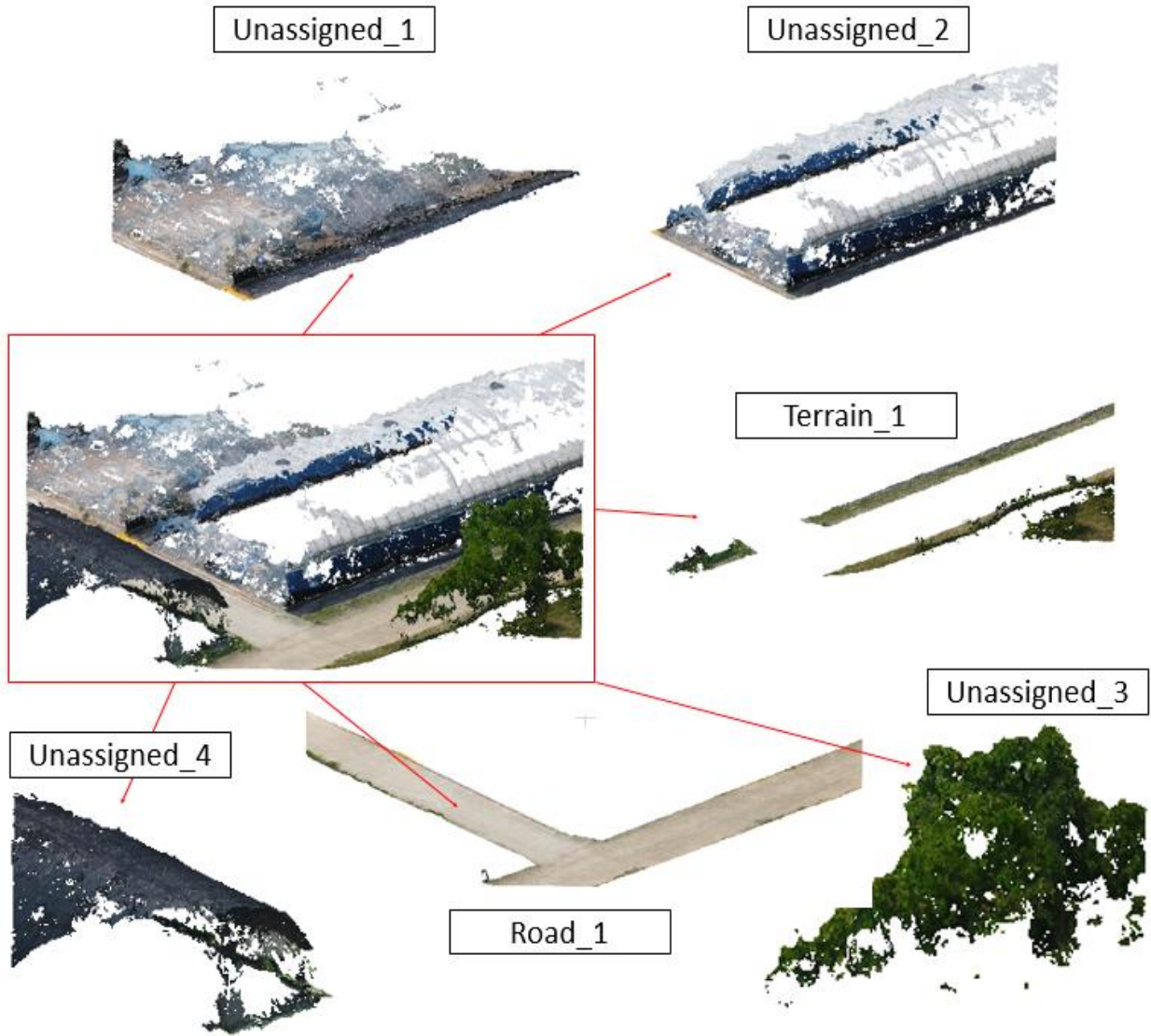
<그림 1-44. 비닐하우스 3차원 포인트 클라우드 데이터의 일부 오차 영상>

- 전역 특징 벡터는 Dropout을 적용한 Multi Layer Perceptron을 거쳐 분류 대상을 표현하는 결과를 계산하고 전역 특징 벡터는 추후 Segmentation 알고리즘에서 사용됨.
- 계산된 score는 분류 대상을 나타내며, 대상 포장으로부터 도로, 경작지, 토지 및 이외를 분류함.
- Area 1의 영역에서 13,547개의 학습데이터를 구성하여 분류 알고리즘을 학습시킴.



<그림 1-45. pointnet 기반 농경지 분류 알고리즘>

- 학습데이터를 구성하기 위해 그림 1-46과 같이 Area 1을 20m 간격으로 분할하고 각 영역으로부터 분류 대상별로 구분함.
- 총 172개의 영역으로부터 13,547개의 학습데이터를 구성하고, 각 학습데이터는 4,096개의 3차원 포인트 클라우드 데이터로 이루어져 있음.



<그림 1-46. 학습데이터 구성을 위한 영역분할 및 분류 대상 구분>

- 센서와 영상정합 특성상 식생, 비닐하우스 및 밀집된 일부 건물에서 3차원 포인트 클라우드 데이터 오차가 발생함.
- 분류 정확도를 높이기 위해 학습데이터 전처리 과정을 거쳤으며, 데이터상의 오차 부분을 제거함.
- 대상 포장 내에서 Area 2 영역의 3차원 포인트 클라우드를 테스트 데이터로 사용함.
- 분류 대상은 도로, 경작지, 토지 및 이외의 것으로 그림 1-48에서 보는 것과 같이 도로는 녹색, 경작지는 주황색, 토지는 청색, 이외는 황색으로 표현함.
- 도로와 경작지의 경우, 육안으로도 보는 것과 비슷한 결과를 추출함.
- 조밀하게 위치한 비닐하우스 및 유리온실의 경우, 건물 사이의 토지를 포함하여 모두 이외의 것으로 분류함.
- 3D point-cloud를 이용하여 시멘틱 세그멘테이션을 진행한 결과를 영상으로 표시하였으며, 이를 실제 농작업에 적용하기 위해 post processing된 결과를 임베디드로 적용하여 실

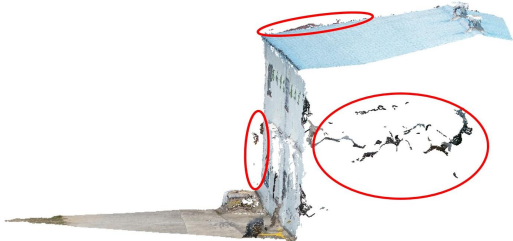
제활용이 가능하도록 실증 작업을 진행할 예정임



미곡 처리장 원시 데이터 영상



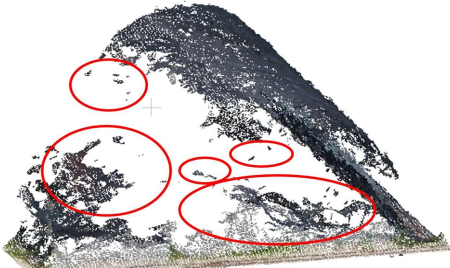
미곡 처리장 보정 데이터 영상



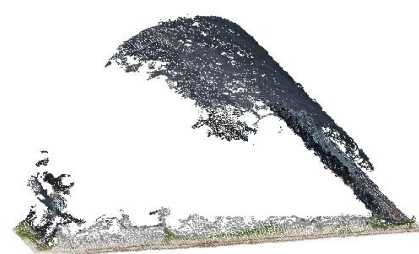
미곡 처리장 원시 데이터 측면 영상



미곡 처리장 보정 데이터 측면 영상

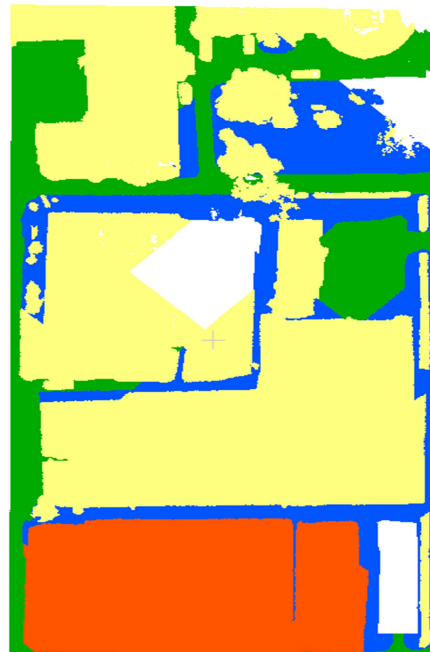


비닐하우스 원시 데이터 영상



비닐하우스 데이터 보정 영상

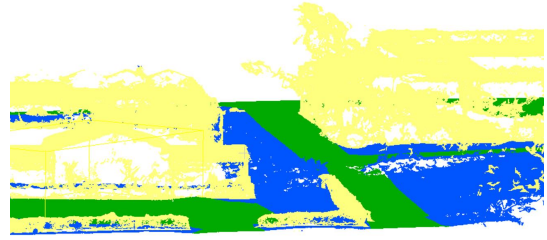
<그림 1-47. 학습데이터 구성을 위한 전처리 후 데이터 영상>



<그림 1-48. 대상 포장 내 Area 2 영역의 3차원 포인트 클라우드 분류 결과>



3차원 포인트 클라우드 원시 데이터 영상

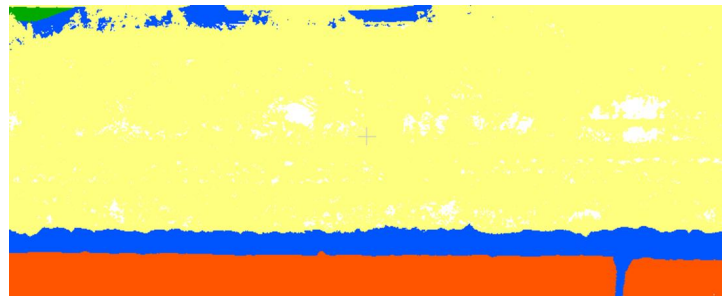


3차원 포인트 클라우드 분류 영상

<그림 1-49. 복합지형 부근 3차원 포인트 클라우드 분류 결과>



3차원 포인트 클라우드 원시 데이터 영상



3차원 포인트 클라우드 분류 영상

<그림 1-50. 비닐하우스 부근 3차원 포인트 클라우드 분류 결과 영상>

(2) 제 1-1 협동과제

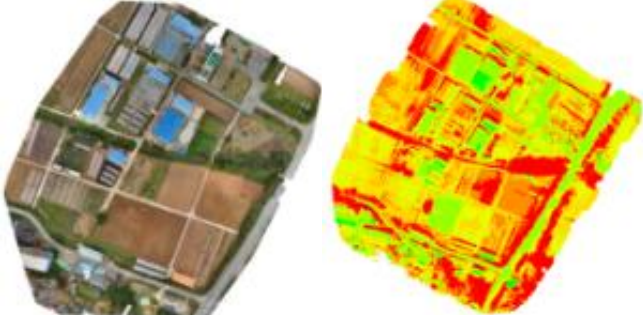

① 연구개요

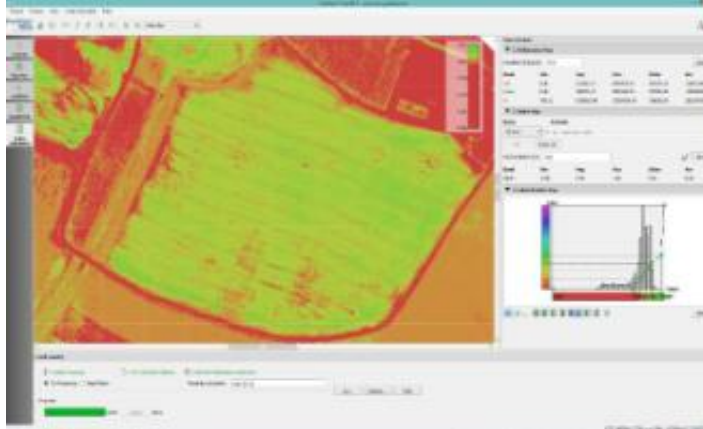

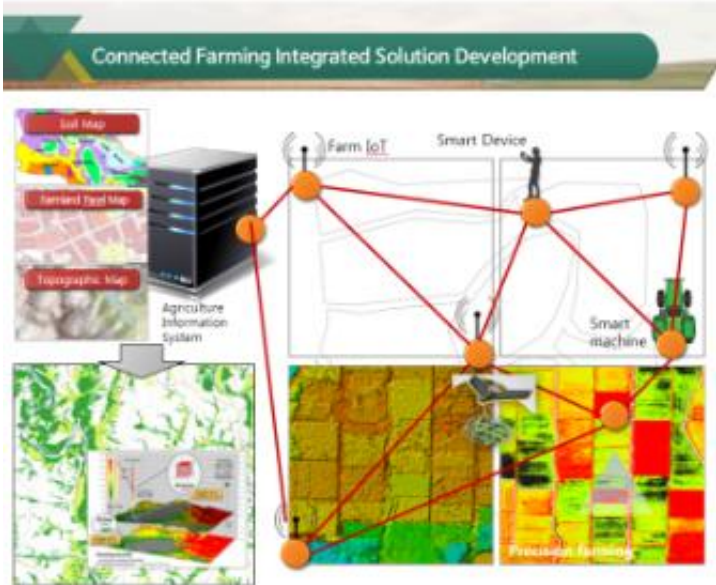
| 세부과제번호 | | | | | | | 제 (1-1) 협동과제 | | | | | | |
|---------------|--|---|-----------|---------------|------------|---------|--------------|--|--|--|--|--|--|
| 세부 연구과제명 | 국문 | Connected Farming 영농관리 의사결정 지원 솔루션 개발 | | | | | | | | | | | |
| | 영문 | Development of decision making solution for management of connected farming | | | | | | | | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 김종전 | 영문성명 | kim jong joen | 과학기술인 등록번호 | - | | | | | | | |
| | 소속기관 | (주)공간정보 | 부서명 (학과명) | 공간정보사업부 | 직위 | 부장 | | | | | | | |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - | | | | | | | |
| 연구기간 | 2017년 09월 18일 부터 ~ 2021년 12월 31일 까지 (4년) | | | | | | | | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 | | | | | | | |
| | 정부출연금 | 91,000 | 91,000 | 91,000 | 172,800 | 445,800 | | | | | | | |
| | 기업부담금 | 79,920 | 79,920 | 79,920 | 144,785 | 384,545 | | | | | | | |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | |
| | 합계 | 170,920 | 170,920 | 170,920 | 317,585 | 830,345 | | | | | | | |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | | 선임급 | | 원급이하 | | 합계 | | | | | | |
| | 1 | | 2 | | 3 | | 6 | | | | | | |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|---|
| 2단계 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> DB 및 서비스 모델 구축(기상정보, 2D, 3D 정사영상, 식생지수 맵 등의 각종 공간정보 데이터) 유효 DB 검증을 통한 최적 촬영 센서 제시 플랫폼 업로드 항목 선정 클라우드 서비스 플랫폼 전략 수립 |
| | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> DB 및 서비스 모델 구축(면적, 배수정보, 3D모델 분석, 작황, 토양정보) 드론 성과와 클라우드 플랫폼 서비스 연계성 검토 클라우드 서비스 플랫폼 시스템 설계 |
| | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> DB 및 서비스 모델 구축(식생지수 분석, 질소함유량, 단백질함량 파악) 클라우드 서비스 플랫폼 구축 |
| | 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 솔루션 사용을 통한 개선사항 수정 및 고도화 솔루션 각종 오류 및 버그 수정 개발된 솔루션 홍보 및 수요처 조사 |

| | | |
|---------------------------------------|--|---|
| 제1핵심 | 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업적용 기술개발 | |
| 제1-1협동 | Connected farming 영농관리 의사결정 지원 솔루션 개발 | |
| 2 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 2단계 연구목표 : Connected Farming 영농관리 의사결 | ○ 센서 활용 드론촬영 및 영상처리 결과 DB 구축 | <ul style="list-style-type: none"> - 1년차 소형 무인기선정 및 무인기를 활용한 농작물 센서 원격관측(RGB, 열화상, 다중분광 등) - 사용가능 한 모든 센서를 이용하여 농작물 원격관측 - 영상처리결과 시기별, 센서별 DB 구축 |

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| <p>정 지원 솔루션 개발 4년차 (2017)</p> | |  |
| | <p>○ 유효 DB 검증을 통한 최적 촬영 센서 제시</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 센서 분석 및 응용을 통한 응용분야 선정 - 3D모델 분석, 식생지수(NDVI), 질소함유량, 단백질 함량 파악 등의 성과를 이용한 다양한 서비스 모델 항목 생성 - 최적 촬영 활용센서 제시 |
| | <p>○ 클라우드 서비스 플랫폼 전략 수립</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 클라우드 서버 사용을 통한 드론원격탐사 성과 업로드 테스트 (2D 정사영상) - 3차원 모델 성과 분석 - 드론성과 서비스 가능 모델 파악 - 서비스 모델 전략 수립 |
| <p>5년차 (2018)</p> | <p>○ 센서 활용 드론촬영 및 영상처리 결과 DB 구축</p> <p>○ 드론 성과와 클라우드 플랫폼 서비스 연계성 검토</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 2년차 소형 무인기 선정 및 무인기를 활용한 농작물 센서 원격 관측(RGB, 열화상, 다중분광 등) - 영상처리 결과 시기별, 센서별 DB 구축 - GIS 기반 클라우드 서버 사용을 통한 드론원격탐사 성과 업로드 (2D, 3D 정사영상, 식생지수 맵, 각종 공간정보 데이터)  |

| | | |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| | |  |
| | <p>○ 클라우드 서비스 플랫폼 시스템 설계</p> | <ul style="list-style-type: none"> - UI 설계 - 3차원 모델 시스템 업로드 시스템 설계 - 클라우드 데이터 설계 - 서비스 모델 전략 수립 |
| <p>6년차 (2019)</p> | <p>○ 센서 활용 드론촬영 및 영상처리 결과 DB 구축</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 3년차 소형 무인기선정 및 무인기를 활용한 농작물 센서 원격 관측(RGB, 열화상, 다중분광 등) - 영상처리결과 시기별, 센서별 DB 구축 |
| | <p>○ 클라우드 서비스 플랫폼 구축</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 타일링 작업을 통한 시스템 속도 개선 - 시스템 베타버전 사용을 통한 개선사항 수정 - 클라우드 서비스 플랫폼 실증   |
| <p>7년차</p> | <p>○ 솔루션 사용을 통한</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 개발 솔루션의 다양한 사용 목적에 맞는 복제를 통 |

| | | |
|-------------|-----------------------|--|
| (2020~2021) | 개선사항 수정 및 고도화 | 해 활용 테스트 - 기능성, 편리성, 효율성 측면의 기능개선 및 고도화 |
| | ○ 솔루션 각종 오류 및 버그 수정 | - 분석기능, 농기계 정보 연동 및 기능구현 중 발생하는 오류 및 버그 수정 |
| | ○ 개발된 솔루션 홍보 및 수요처 조사 | - 홈페이지 소개자료, 브로슈어를 제작하여 관계기관 및 업체 배포 - 미래농업, 스마트팜, 플랫폼, 공간정보 등 관련산업 전시회 및 학회 참여를 통해 적극 홍보 및 수요 조사 |

(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|------|------|------|--------|------|------|------|------|----|------|---------|------|----|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | 홍보전시 | |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | | 명 | 명 | 명 | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | | 10 | 10 |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | | 3 | 5 |
| 2단계 | 목표 | 4 | 2 | | 2 | | | | 3 | | | | | | | | | | 3 | 1 |
| | 실적 | 5 | 3 | | 1 | 2.6 | 2 | 75.5 | 3 | | | | | | | | | | 2 | |
| 최종 | 목표 | 4 | 2 | | 2 | | | | 3 | | | | | | | | | | 3 | 1 |
| | 실적 | 5 | 3 | | 1 | 2.6 | 2 | 75.5 | 3 | | | | | | | | | | 2 | |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|-----|-----|------|------|------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|--------------------|-----------|-----|-----------------|--------|--------------------|-----------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2018 | 농업용 작물의 생육정보 구축시스템 | 주식회사 공간정보 | 한국 | 10-2018-0061970 | 2021 | 농업용 작물의 생육정보 구축시스템 | 주식회사 공간정보 | 한국 |
| 2018 | 원격탐사 성과물과 | 주식회사 | 한국 | 10-2018- | 2020 | 원격탐사 성과물과 클 | 주식회사 | 한국 |

| | | | | | | | | |
|------|------------------------------|-----------|----|-----------------|------|---------------------------|------|----|
| | 클라우드 기반 플랫폼과의 연계 시스템 | 공간정보 | | 0061971 | | 라우드 기반 플랫폼과의 연계 시스템 | 공간정보 | |
| 2019 | 농업용 농경지 정보를 연계한 영농 관리 시스템 | 공간정보 | 한국 | 10-2019-0053518 | 2021 | 농업용 농경지 정보를 연계한 영농 관리 시스템 | 공간정보 | 한국 |
| 2020 | 농업 정밀 관리를 위한 농기계 연동형 플랫폼 시스템 | 주식회사 공간정보 | 한국 | 10-2020-0029622 | | | | |
| 2021 | 드론을 활용한 영농 관리의 의사결정지원 시스템 | 공간정보 | 한국 | 10-2021-0191019 | | | | |

③ 기술료징수 현황

| 기 징수액 | 당해연도 징수액 | 향후 징수액 | 합계 |
|-------|----------|--------|-----|
| 2.6 | | | 2.6 |

- 기술이전 및 기술지도 내용

| 번호 | 계약일자 | 유상/무상 | 기술료 (백만원) | 공급 기관명 | 대상 기관명 | 기술이전 계약명 | 비고 |
|----|----------|-------|-----------|--------|--------|-----------------------------------|----|
| 1 | 19.07.23 | 유상 | 2.6 | 공간정보 | 공간정보 | Connected farming 영농관리 의사결정지원 솔루션 | |

④ 사업화 성과 및 매출 실적

| 번호 | 해당년도 | 구분 | 사업화명 | 제품명 | 업체명 | 매출액 (백만원) |
|----|------|-----|-----------------------------|-----------------------------|------|-----------|
| 1 | 2019 | 사업화 | 라이스팜 사업 | | 공간정보 | 5.5 |
| 2 | 2019 | 제품화 | ARC-EZ Farm 방제관리 솔루션 | ARC-EZ Farm 방제관리 솔루션 | 공간정보 | 5 |
| 3 | 2021 | 제품화 | ARC-EZ Farm 영농관리 의사결정지원 솔루션 | ARC-EZ Farm 영농관리 의사결정지원 솔루션 | 공간정보 | 65 |

■ ARC-EZ Farm 방제관리 솔루션

| 항목 | 세부 항목 | 성과 | | | |
|--------|--------------------------------|---------------------------|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 2년 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 200 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 0.05 | 2 | 4 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | - | 15% | 30% |
| | | 국외 | | 5% | 7% |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | 방제드론 연계 플랫폼, 선별적 자동방제 시스템 | | | |

| | | | | |
|-------------|----------|----|-----|-----|
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 |
| | 수입대체(내수) | - | - | - |
| | 수출 | | 1 | 1 |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 | |
|--------|-------------|---------------------|-----------|---------------------|------|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 0.05억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 2억원 | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 억원 | |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 15% 국외 : 5% | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % 국외 : % | |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | | -위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | | 100위 |

■ ARC-EZ Farm 영농관리 의사결정 지원 솔루션

| 항 목 | 세부 항목 | | 성 과 | | |
|--------------------------------|-------------|---------------------------|-------|------|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | | 2년 | | |
| | 소요예산(백만원) | | 300 | | |
| | 시장 점유율 | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | | 0.65 | 3 | 6 |
| | | | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 |
| | 국내 | 5% | 10% | 30% | |
| | 국외 | - | 3% | 5% | |
| 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | | 농지분석 AI모델, 무인농기계 자동 제어플랫폼 | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | - | - | - | |
| | 수출 | - | 1 | 4 | |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 |
|--------|--------|------|-----------|--------------------|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 0.65억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 3억원 |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 억원 |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : 5% 국외 : -% |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 10% 국외 : % |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % |

| 항목 | 세부항목 | | 성 과 |
|----|-------------|---------------------|--------|
| | | | 국외 : % |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | 위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | 100위 |

⑤ 고용창출 성과

| 고용창출연도 | 성명 | 고용기관 | 고용형태 | 비고 |
|--------|-----|-----------|------|----|
| 2020 | 김소연 | 주식회사 공간정보 | 정규직 | |
| 2021 | 심혜진 | 주식회사 공간정보 | 정규직 | |
| 2021 | 이다훈 | 주식회사 공간정보 | 정규직 | |

⑥ 전시 실적

| 번호 | 기관 | 유형 | 행사명칭 | 전시품목 | 장소 | 연도 | 비고 |
|----|------|-----|-------------------------|------------------|-----------------|------|----|
| 1 | 공간정보 | 박람회 | 제2회 대한민국 지방정부 일자리정책 박람회 | 영농관리 의사결정 지원 솔루션 | COEX Hall D, 서울 | 2019 | |
| 2 | 공간정보 | 전시회 | 2021 DRONE SHOW KOREA | 부스 설치 및 솔루션 홍보 | 부산 | 2021 | |

(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 | |
|-----|------|--|--|
| 2단계 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> DB 및 서비스 모델 구축 유효 DB 검증을 통한 최적 촬영 센서 제시 클라우드 서비스 플랫폼 전략 수립 | <ul style="list-style-type: none"> 상용 DB / 드론활용 공간정보 DB 확보 DB를 통해 센서별 최적 촬영 해상도를 제시 클라우드 서비스플랫폼을 이용한 성과 업로드 테스트 완료 3차원 모델성과 분석과 서비스 모델 전략 수립완료 |
| | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 센서 활용 드론촬영 및 영상처리 결과 DB 구축 드론성과와 클라우드 플랫폼 서비스 연계성 검토 클라우드 서비스 플랫폼 시스템 설계 | <ul style="list-style-type: none"> RGB, R, G, Red-edge, NIR, Thermo map 등 연계 가능한 다양한 DB 구축 및 위치정확도 향상하였으며, GIS기반의 영상자료로 위치정확도를 향상시킴 다양한 형태의 데이터를 플랫폼과 연계가 가능하도록 테스트 / 설계반영 고해상도, 고용량의 자료를 빠르게 처리될 수 있도록 시스템의 설계를 진행하였으며, 다양한 항목이 연계/확장 가능하도록 메인 테이블을 구성 개인정보 및 자료 보호를 위해 로그인 정보 전송시 암호화 알고리즘을 사용하였으며, OTP 인증 등의 2단계 보안시스템을 활용하는 방안으로 설계함 |
| | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> DB 및 서비스 모델 구축(식생지수 분석, 질소함유량, 단백질함량 파악) | <ul style="list-style-type: none"> 농업분석에 필요한 다양한 정보를 수집하고, 분석을 통해 도출 가능한 서 |

| | | | |
|------|---|---|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> · 클라우드 서비스 플랫폼 구축 | <ul style="list-style-type: none"> · 비스 모델을 구축 · 활용 단계별 제공 정보 및 기능 정립을 통해 서비스 모델 제시 · 협동기관의 성과에 대한 업로드 자료 리스트 작성 및 형태 검토 · 고해상도, 고용량의 자료에 대한 시스템 속도 개선(타일링 작업 등 방안 모색) · 클라우드 서비스 플랫폼 실증 |
| 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 솔루션 사용을 통한 개선사항 수정 및 고도화 · 솔루션 각종 오류 및 버그 수정 · 개발 솔루션 홍보 및 수요처 조사 | <ul style="list-style-type: none"> · 솔루션 사용 그룹별 활용기능 분석 · 영상분석기능 추가 및 성능 고도화 · 영상 가시화 속도 개선(엔진개선) · 테스터를 통한 오류 발생을 제로화 · 솔루션 홍보자료 제작 및 수요처 인터뷰 | |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

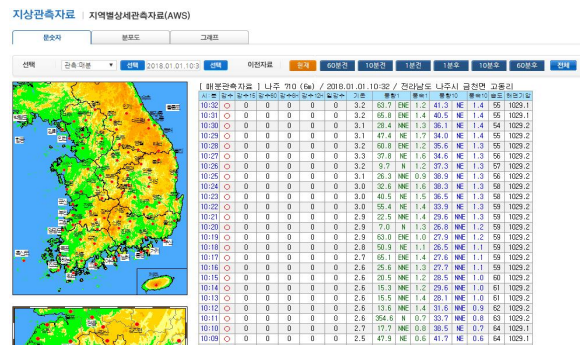
1. DB 및 서비스 모델 구축

가. 상용화된 DB 확보

- 기상청에서 제공하는 기상정보를 플랫폼에서 서비스하기 위하여 기상관측자료의 종류 및 관측시기 등의 특성파악.
- 기상관측자료의 다운로드 방법을 확인하고 자료의 형태를 파악하였으며, 웹으로 연결 방법을 검토하여 실시간 자료 연동방법 연구.



<기상관측자료 특성 분석>



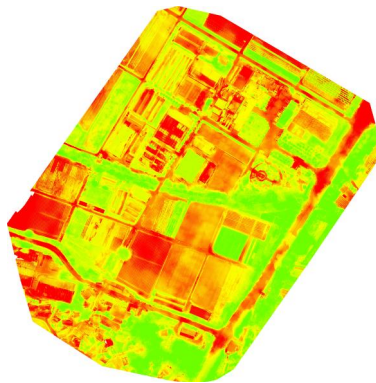
<기상관측자료 연동방법 연구>

나. 공간정보 서비스 모델 DB 확보

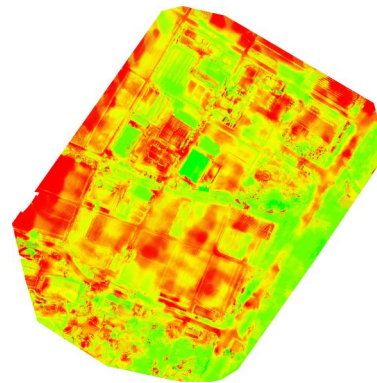
- 다양한 공간정보 데이터를 확보하기 위해 상용화된 센서를 드론에 장착하고 드론촬영을 진행하였음.
- 촬영된 자료는 영상처리를 통해 정사영상과 식생지수를 나타내는 NDVI Map과 NDRE Map의 모델을 구축하였음.



<정사영상>



<NDVI Map>

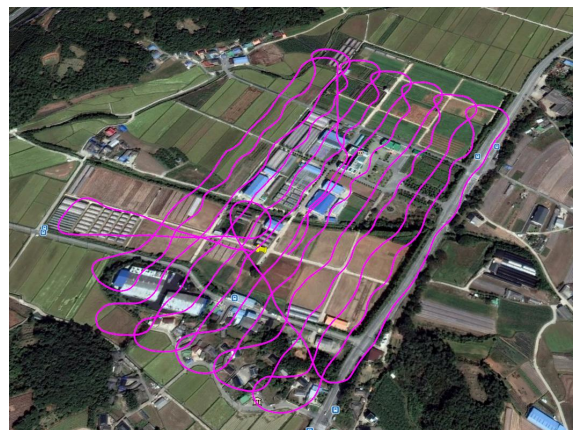


<NDRE Map>

- 드론의 이동경로를 기록한 GPS data를 분석하여 지도에 표시할 수 있도록 하였으며, 농기계의 이동경로 드론과 같은 방식으로 진행될 것으로 판단하여 생략하였음.

| fileName | latitude | longitude | altitude_wgs84 | Accuracy XY | Accuracy Z |
|---------------------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|
| EB-13-27578_0199_0001.JPG | 34.96996188 | 126.4538347 | 101.788887 | 0.753000021 | 0.977999985 |
| EB-13-27578_0199_0002.JPG | 34.96971925 | 126.4536654 | 101.3696518 | 0.773000002 | 1.016999996 |
| EB-13-27578_0199_0003.JPG | 34.969518 | 126.4535471 | 100.7575302 | 0.787000001 | 1.039000034 |
| EB-13-27578_0199_0004.JPG | 34.96932553 | 126.4534443 | 100.8954773 | 0.790000022 | 1.05400002 |
| EB-13-27578_0199_0005.JPG | 34.9691455 | 126.4533019 | 100.4785385 | 0.781000018 | 1.059999943 |
| EB-13-27578_0199_0006.JPG | 34.96893941 | 126.453142 | 101.0213242 | 0.782999992 | 1.077000022 |
| EB-13-27578_0199_0007.JPG | 34.96871833 | 126.4530164 | 101.4159317 | 0.791999996 | 1.095000029 |
| EB-13-27578_0199_0008.JPG | 34.96854851 | 126.4528503 | 101.4094543 | 0.802999973 | 1.108999968 |
| EB-13-27578_0199_0009.JPG | 34.96836526 | 126.4526924 | 100.0605011 | 0.819000006 | 1.13199997 |
| EB-13-27578_0199_0010.JPG | 34.9681662 | 126.4525973 | 100.4345551 | 0.824000001 | 1.139999986 |
| EB-13-27578_0199_0011.JPG | 34.96797043 | 126.452483 | 101.7775803 | 0.828000009 | 1.152999997 |
| EB-13-27578_0199_0012.JPG | 34.96777807 | 126.4523272 | 101.6874542 | 0.828999996 | 1.167000055 |
| EB-13-27578_0199_0013.JPG | 34.96759679 | 126.4521436 | 102.906517 | 0.83099997 | 1.174999952 |
| EB-13-27578_0199_0014.JPG | 34.96739436 | 126.4519876 | 103.9100571 | 0.834999979 | 1.18599999 |
| EB-13-27578_0199_0015.JPG | 34.96719778 | 126.4519046 | 105.0496521 | 0.847000003 | 1.194000006 |
| EB-13-27578_0199_0016.JPG | 34.96700942 | 126.4518124 | 105.9279785 | 0.839999974 | 1.192000032 |
| EB-13-27578_0199_0017.JPG | 34.96683669 | 126.4516756 | 106.2791977 | 0.837000012 | 1.190999985 |
| EB-13-27578_0199_0018.JPG | 34.96649527 | 126.4517706 | 104.029953 | 0.834999979 | 1.082999945 |
| EB-13-27578_0199_0019.JPG | 34.96660203 | 126.4518995 | 104.175087 | 0.83099997 | 1.078999996 |
| EB-13-27578_0199_0020.JPG | 34.96672026 | 126.4520001 | 103.9991302 | 0.837000012 | 1.083999991 |
| EB-13-27578_0199_0021.JPG | 34.96687033 | 126.4520661 | 103.5889435 | 0.852999985 | 1.093999982 |
| EB-13-27578_0199_0022.JPG | 34.9670572 | 126.4521175 | 103.8958511 | 0.875 | 1.111999989 |
| EB-13-27578_0199_0023.JPG | 34.96721377 | 126.4522175 | 102.8701172 | 0.879000008 | 1.116000056 |
| EB-13-27578_0199_0024.JPG | 34.96732464 | 126.4523513 | 103.068718 | 0.883000016 | 1.128999943 |

<드론 GPS 기록 분석>



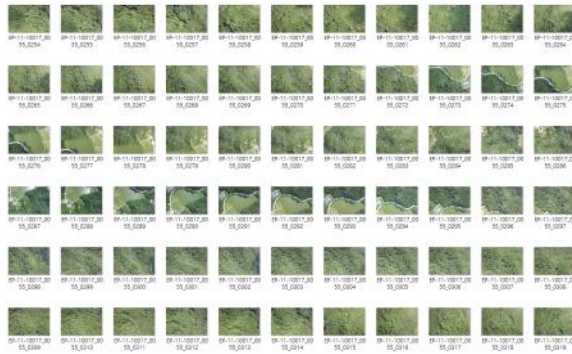
< GPS기록 가시화 >

2. 센서 활용 드론촬영 및 영상처리 결과 DB 구축

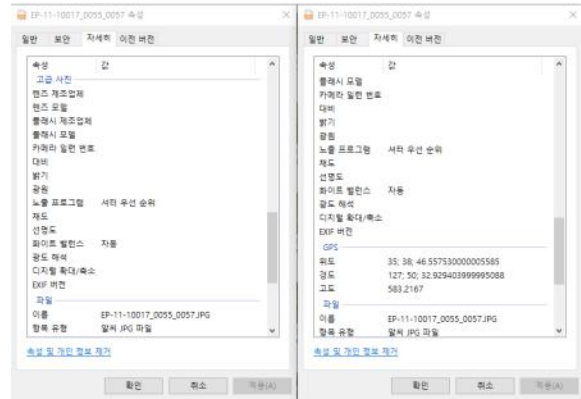
- 작물의 재배지역을 선정하여 4차년도에 선정된 센서별 해상도를 기준으로 작물의 드론촬영
- 드론촬영은 회전익 드론을 활용하여 RGB와 다중분광 영상을 촬영하며, 촬영된 영상은 정사영상과 모델 제작을 통해 DB구축
- 촬영 시기는 재배 작물의 생육 초기, 중기, 수확 전을 구분하여 촬영 진행
- 열화상 영상을 얻기 위해 고정익 드론을 활용하여 고고도 저해상도 영상 확보 및 DB구축
- DB는 시기별, 장소별 구분을 위해 데이터 정리 스토리 북 구성
- 축적 DB의 정확성 확보를 위한 공통제공 자료의 다양성 확보와 불량자료 제거방안 모색

가. 드론 촬영 및 DB 구축

- 다양한 형태로 이루어진 농경지를 선정하여 4차년도에 선정된 센서별 해상도를 기준으로 드론촬영 실시(RGB, R-B-Rededge-NIR, Thermomap)
- 촬영된 결과는 촬영원본, 전처리 자료, 영상처리 자료, 촬영성과 등으로 구분하여 DB로 구축



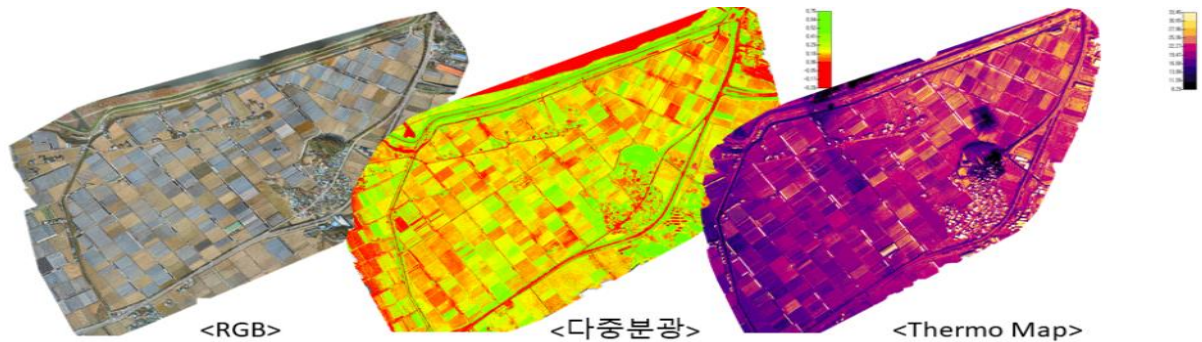
<촬영결과>



<촬영원본과 전처리 자료비교>

나. GIS 기반 대상지의 영상처리 및 연계

- 동일지역 센서별 촬영성과를 이용하여 GIS기반 영상처리를 진행하였으며, 데이터를 구축하고 위치정확도를 확보



<GIS기반 대상지 영상처리 성과>

- 영상이 매칭될 수 있도록 GIS기반 위치정확도를 확보하였으며, 다중분광영상은 R, G, Red-edge, NIR 파장의 분광영상을 이용하여 NDVI영상을 제작해 다중분광영상으로 나타내었음
- Thermo Map 영상은 영상확보시 지상온도 캘리브레이션 시간이 오래걸려 비교적 촬영면적이 작아 촬영 범위가 작았으며, 확보된 영상은 다른 센서와 동일하게 솔루션에 연계 가능한 형태로 처리 및 제작되었음.

3. DB 및 서비스 모델 구축(식생지수 분석, 질소함유량, 단백질함량 파악)

가. 농업분석에 필요한 다양한 정보를 수집하고, 분석을 통해 도출 가능한 서비스 모델을 구축

- 농업분석에 필요한 정보를 얻기 위해 해외 유사 사례 및 적용 사례를 수집하여 검토하고 국내 적용 여부를 판단하여 국내 농업환경에 맞는 형태 이외의 부분은 제외하였음.
- 사례분석을 통해 얻어진 서비스 기능 및 제공 정보에 대해서는 전문가의 자문과 기능제공 오픈소스를 검색하여 서비스 적용 여부를 먼저 판단해봤으며, 구현이 어렵거나 기능적으로 재현이 어려운 부분과 구현 가능한 부분을 나눠 목록화 하였음.
- 5차년도 임시 오픈한 서비스 모델 플랫폼을 기반으로 일부 사용자에게 한해 솔루션을 제공

하여 베타 테스트를 진행하였고, 테스트에 참여한 뒤 솔루션의 이용에 대한 설문을 통해 문제점, 개선사항, 필요기능등의 의견을 수렴하였음.

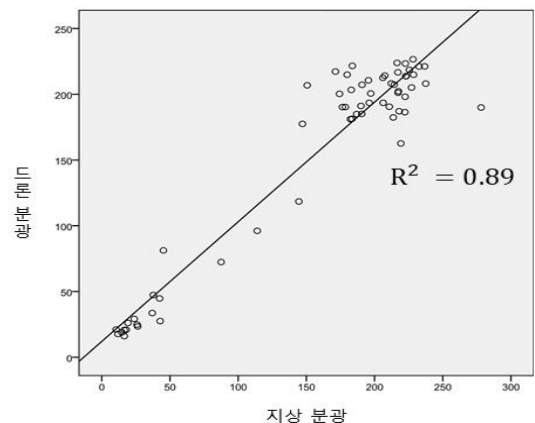


<솔루션 베타 테스트 및 의견 수렴>

- 테스터들의 의견 중 기술적인 부분은 솔루션의 보여지는 자료 중 생육지수나 식생지수맵 등의 이해하는 부분의 어려움이 많았으며, 기능실행에 대해 약간 어려움을 나타냈음.
- 농지 정보 이외에도 소유자 정보, 작년 수확량, 판매가격, 품질상태 등 필지별 고유 정보를 더 포함하여 보여줬으면 하는 부분이 컸으며, 인부를 사용하여 농업을 수행하는 영농법인인 경우 농기계 및 농지 작업량 등을 파악하는 용도의 자료도 필요하다는 의견이 있었음.
- 농경지의 경우 매년 기상정보 및 관계배수에 대한 부분이 농사의 성패를 결정하는 만큼 해당 농지의 기상 정보 및 관수정보를 보여주는것도 좋을 것 같다는 의견이 있었음.
- 영농지원 솔루션의 베타 테스트 결과를 바탕으로 솔루션 적용 가능성 검토결과와 농업의 보조 역할을 할 수 있는 플랫폼이나, 농지정보의 서비스 사례를 확인하고 영농지원 솔루션에 적용가능한 부분을 확인하여 적용하였음.

나. 드론의 분광조사와 지상 분광조사 자료의 비교 분석을 통해 모델의 정확성 확보

- 식생 분석모델, 방제 분석모델, 영상 분석모델에 활용되는 드론의 분광정보의 정확성을 확인하기 위해 드론의 분광조사 자료와 검증된 지상 분광조사 방법을 통해 생성될 모델의 정확성을 검증하였음.
- 드론의 농경지 DB 확보시 드론 분광정보 획득과 동시에 지상 분광정보를 확보하고, 동일 위치의 분광 수치를 이용하여 드론 분광정보의 정확성을 비교함.

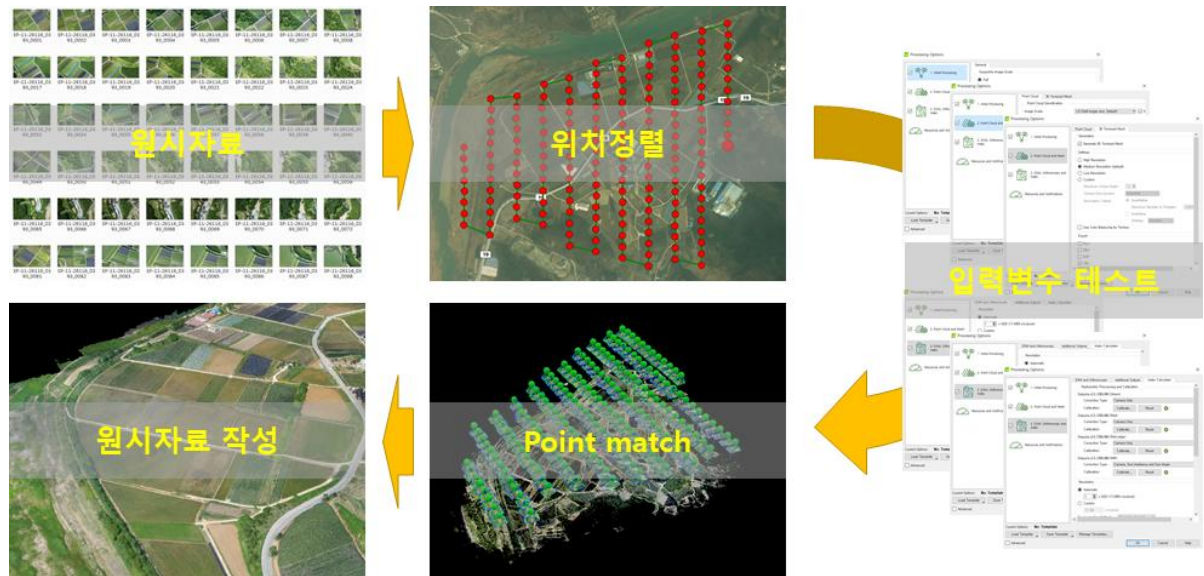


<드론 분광정보와 지상 분광정보 비교를 통한 정확성 비교>

- 지상분광과 드론분광의 위치별 파장 값에 대해 선형회귀분석을 통해 정확도를 비교하였으며, 비교 결과 정확도를 나타내는 R²값이 0.89로 비교적 높은 정확도를 나타내는 것으로 결과가 도출됨.

다. 다양한 시험분석을 통해 수집자료의 정량화 및 수치화

- 드론을 통해 얻어지는 자료와 원시자료의 영상처리를 통해 얻어지는 영상정보 등 다양한 수집자료를 솔루션에 입력하여 활용하기 위해서는 자료의 정량적 설정과 입력 자료의 수치화가 필요함.
- 원시자료에서 영상처리 과정을 거쳐 입력 자료로 작성되는 과정에서는 다양한 변수가 존재하며 솔루션입력에 타당한 자료를 도출하기 위해서는 해당변수의 정량화를 통해 입력 자료의 통일성을 갖도록 함.
- 기존에 작성된 영상 및 연계되는 업로드 자료의 경우 ‘클라우드 플랫폼 서비스 연계성 검토 결과’에 준하는 성과를 활용함.



<수집자료 정량화 과정>

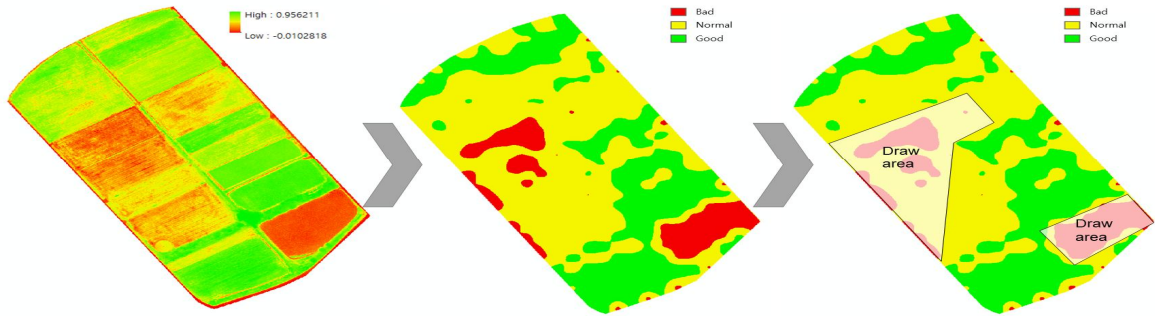
- 수집자료 정량화 과정을 거쳐 효율적인 RGB 영상 및 다중분광영상의 원시자료 작성에 필요한 입력변수의 기준값을 선정하였으며, 입력변수의 허용범위를 선정하여 정량적인 수집자료를 얻을 수 있도록 함.

라. 활용 단계별 제공 정보 및 기능 정립을 통해 서비스 모델 제시

- 영농분석에 도움이 되는 서비스 모델은 사례조사결과와 베타테스트 결과를 종합하여 해당 솔루션에 적용 가능하고 영농지원에 필요한 모델을 선정하였으며, 식생 분석모델, 방제 분석모델, 농기계 분석모델, 영상 분석모델의 4가지 분석과 기능구현이 가능할 것으로 판단된 경사분석모델과 일조분석모델을 추가하여 총 6가지의 분석모델을 선정함.
- 드론영상을 기반으로 이뤄지는 식생 분석은 Red, Yellow, blue, Red-Edge, NIR 밴드로 작

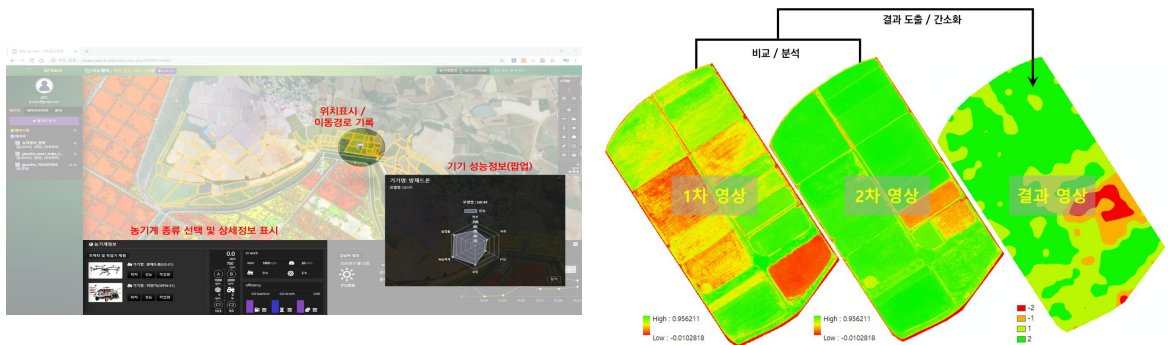
성된 영상을 입력하여 식생 분석에 필요한 수식을 통해 NDVI MAP, NDRE MAP, GNDVI MAP을 생성하고 현장 관측 정보를 통해 정량적 보정으로 식생을 표현함.

- 방제 분석은 방제 전 식생분석 자료와 방제 후 식생 분석 자료를 비교하여 방제의 효과를 분석하고 방제효과가 미비한 지역에 대해 경계 추출 및 추가 방제의 위치정보를 얻을 수 있도록 자료를 생성함.



<방제분석의 기능구현 모식도>

- 영상 분석 모델은 시기별 영상의 비교를 통해 농경지의 변화를 정량적으로 파악할 수 있는 자료를 생성하며, 지상 관측자료를 연계하여 다양한 수치모델을 생성할 수 있도록 구성함.
- 농기계 분석은 농기계에서 기록한 성능정보, 위치정보, 사용정보 등의 기록된 정보를 일별, 기간별, 면적별, 연료별 통계를 통하여 농기계에 대한 효율성 등의 분석자료를 생성함.



<농기계 분석을 위한 자료 표현>

<영상분석 모델 기능구현 모식도>

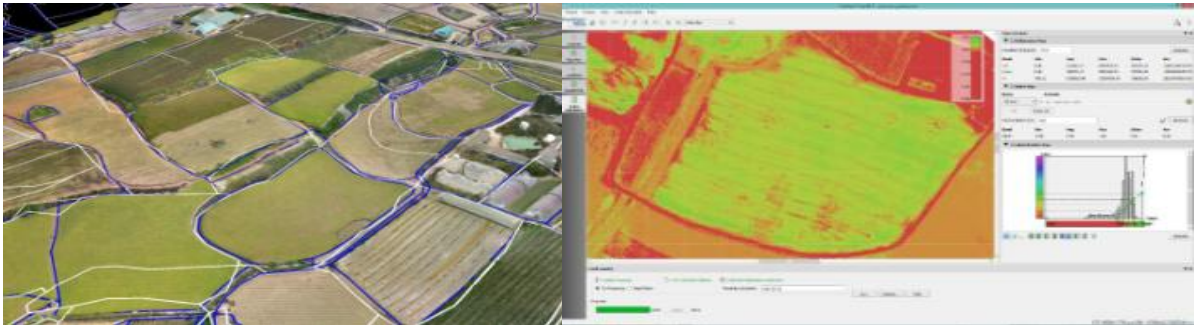
- 농기계 분석의 경우 입력된 농기계 활용 기록 정보를 이용하여 간단한 연산식을 이용하여 분석하며, 기록자료의 저장 및 연산에 사용할 수 있도록 연계하는 부분에 더 많은 비중을 두었음.
- 영농지원 솔루션은 사용자의 편리성과 관리적 차원의 효율성을 높이기 위해 자료 및 기능을 사용할 수 있는 일반모드와 데이터의 관리, 사용자 관리, 서비스 관리 등의 전체적인 솔루션 관리의 관리자모드로 분리함.
- 솔루션의 활용단계를 세분화하여 서비스 등급을 분할했으며, 서비스 등급은 서버용량과 사용 기능을 정립해 나갔으며 이에 따른 비용도 산정하였음.

4. 드론 성과와 클라우드 플랫폼 서비스 연계성 검토

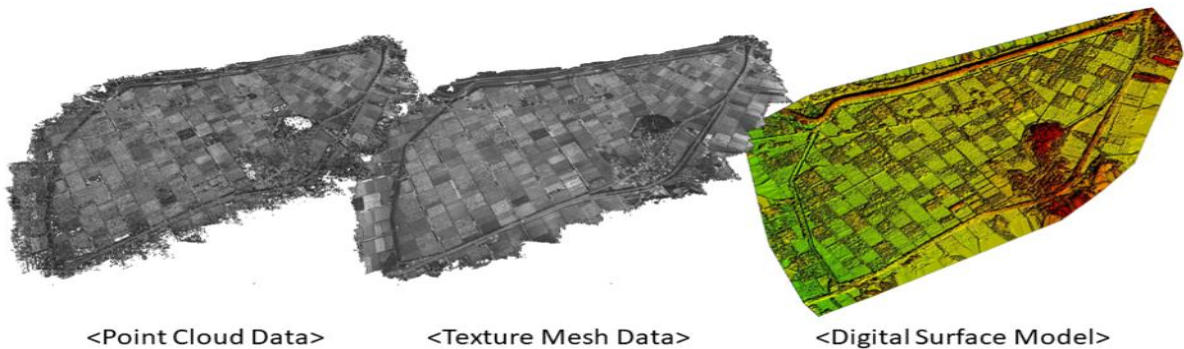
- 드론성과(2D, 3D 정사영상, 식생지수 맵, 각종 공간정보 데이터)에서 생성된 파일을 다양

한 확장자로 데이터 추출

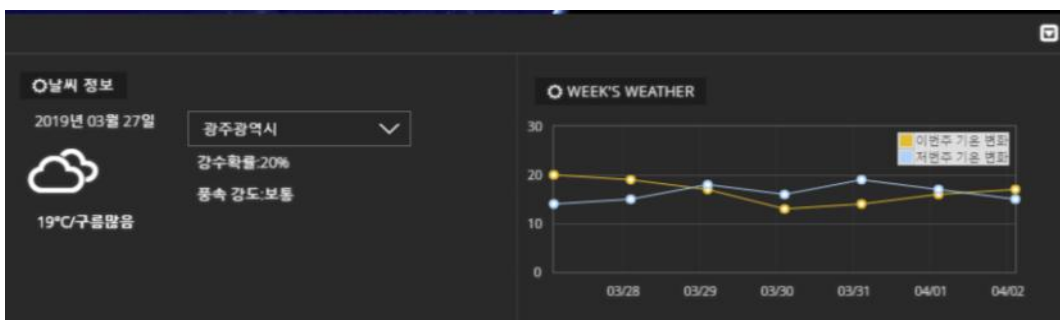
- 추출된 자료의 플랫폼 업로드 테스트 및 업로드 자료의 품질 검토
- 협동기관의 성과에 대한 업로드 자료 리스트 작성 및 형태 검토



- DB로 확보된 자료는 클라우드 플랫폼 서비스에 업로드 테스트를 진행하였으며, 업로드 되는 과정에서 문제점이 발생하는 부분은 플랫폼 설계부분을 수정하여 데이터 업로드에 문제가 발생하지 않도록 하였음
- 가시적인 영상 이외에도 드론성과 중 나타날 수 있는 다양한 형태의 데이터(Point Cloud data, 3D Texture Mesh data, Digital Surface Model)를 추출하였으며, 다양한 형태의 확장자(LAS, LAZ, PLY, XYZ, FBX, DXF, OBJ 등)로 자료를 추출하여 클라우드 플랫폼 서비스와 연계가 가능한 인자를 확인하고 가능한 가장 많은 자료가 연계 될 수 있도록 플랫폼 설계를 진행하였음



- 업로드 되는 영상의 품질은 원본영상의 해상도와 동일하게 표현되며, 높은 해상도의 데이터는 타일링을 통해 영상의 로드 시간이 줄어들지 않도록 설계에 반영하였음
- 연동 방식(P2P, API 등)에 따라 자료의 연동을 위해 다양한 방법의 연동 방식을 테스트하였음

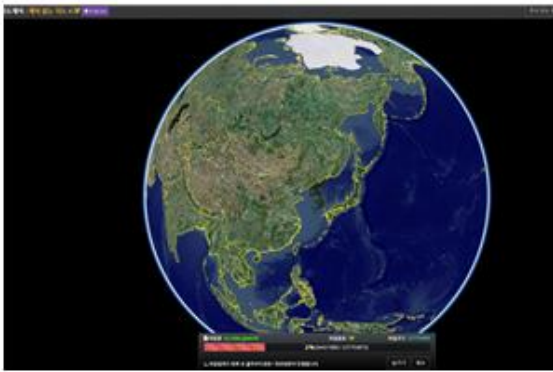


<기상청 API를 활용한 기상관측자료와 예측정보 연계성 검토>

5. 클라우드 서비스 플랫폼 전략 수립

가. 클라우드 서버를 사용한 드론성과 업로드 테스트

- 클라우드 서버를 사용하여 드론성과 업로드를 테스트하기 위해 사전에 구축된 드론성과의 좌표 체계를 클라우드 서버 좌표체계에 맞게 변경하였음.
- 좌표계가 통일된 드론성과를 클라우드 서버에 업로드 하였으며, 드론성과와 클라우드 위성영상과 매칭여부를 확인하였으며, 드론성과의 영상 깨짐, 해상도 저하, 위치오류, 드론성과간의 중첩성, 영상 업로드 속도 등을 테스트하였음.



<클라우드 서버 데이터 업로드>



<드론성과 업로드(RGB)>



<드론성과 업로드(NDVI)>



<드론성과의 중첩 점검>



<드론성과와 클라우드 항공영상의 매칭여부 확인 >



- 드론성과를 클라우드에 업로드 하였을 때 영상의 해상도 저하나 위치 오류는 발생하지

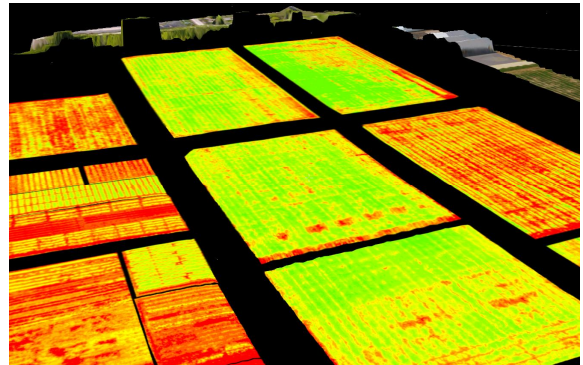
않으며, 영상이 자연스럽게 구현되는 것을 확인하였으나, 드론의 이동경로를 업로드하는 과정에서 오류가 발생하였음을 확인하였고, 이러한 부분을 플랫폼에 계획에 반영하였음.

나. 3차원 모델 성과 분석

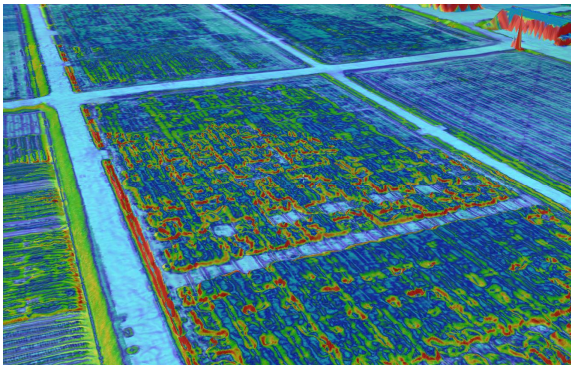
- 드론성과의 정사영상(RGB영상, 다중분광영상)을 수치표면모델(DSM)에 입혀 3차원 모델을 생성하였으며, 생성된 모델을 통해 성과 분석을 진행하였음.
- 성과분석 항목은 전문가의 조언을 통해 농경지의 경사도 분석을 통해 관개배수 분석, 등고 분석, 모델간의 중첩여부를 분석하였고, 분석된 자료의 플랫폼과 연계성을 검토하였음.



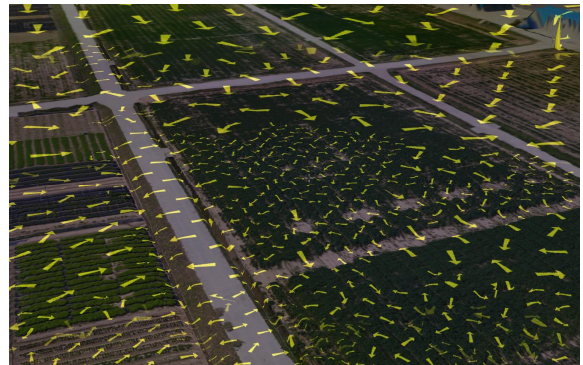
<3차원 모델 생성(RGB)>



<3차원 모델 생성(다중분광)>



<농경지 경사도 분석>



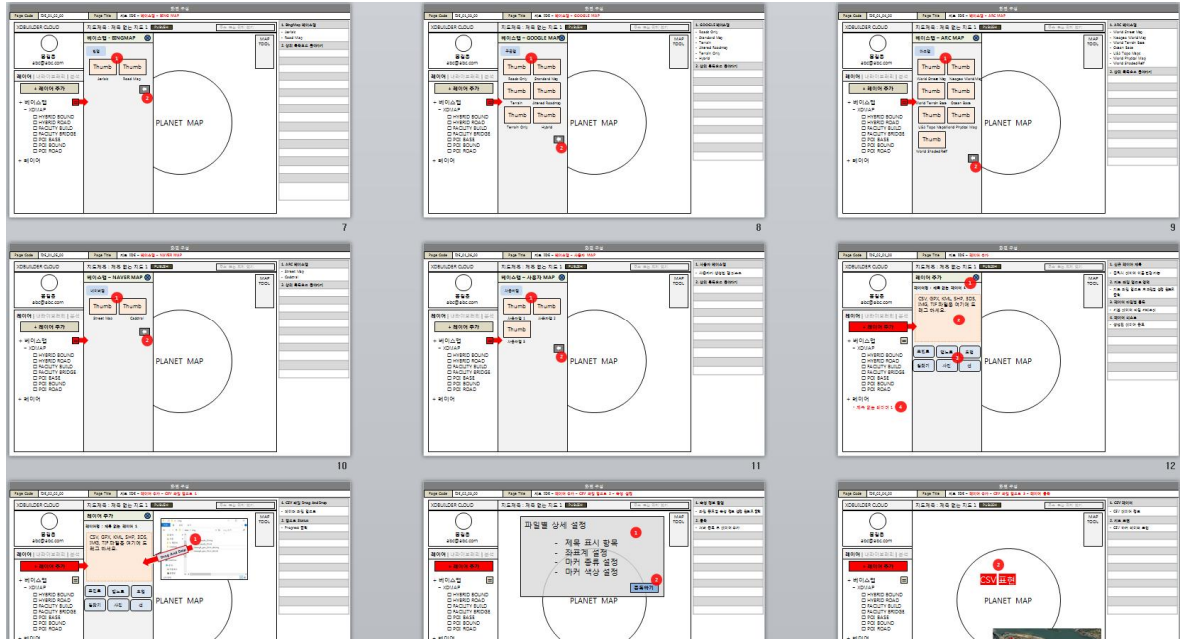
<농경지 관개배수 분석>

- 3차원 모델 생성과정에서 RGB영상의 경우 농경지의 모델생성이 양호하게 생성되는 반면, 다중분광 영상의 경우 농경지 이외의 영역이 검정색으로 표현되어 나타남. 2D 영상의 경우 농경지 이외의 지역이 값을 가지고 있지 않아 투명하게 표시되지만 3차원 모델에서는 수치표고 값과 매칭되어 검정색으로 나타나는 것으로 판단됨.
- 농경지의 경사도 분석을 통해 지형의 높고 낮음을 판단 할 수 있으며, 관개배수 분석을 통해 농수로의 이동경로 또는 농경지의 평탄화 작업에 활용될 데이터로 판단됨. 그러나 경사도 분석과 관개배수 분석의 자료가 파일형태로 추출되지 않아 이를 플랫폼과 연계할 수 있는 방법에 연구가 더 필요함.

다. 서비스 모델 전략 수립

- 클라우드 서비스 플랫폼을 개발하기 위하여 다양한 성과와 연계성을 테스트한 결과와

이러한 자료들을 확인하고 스케치 하는데 필요한 기능을 수집하여 플랫폼 개발을 위해 프로그램 화면구성 스토리보드를 작성하였음.

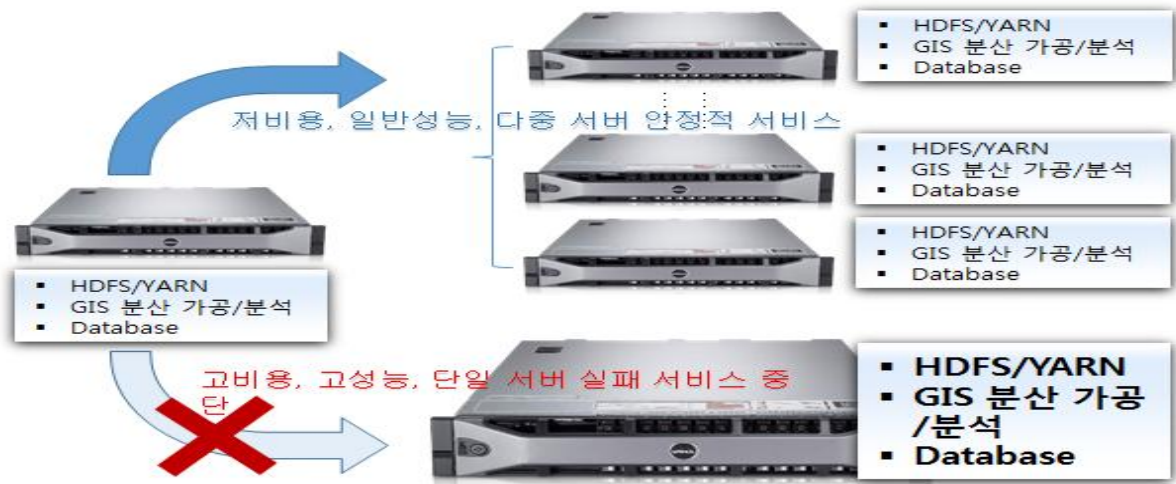


〈플랫폼 전략 수립을 위한 스토리 보드 작성〉

- 스토리보드는 화면 구성방법, 데이터의 뷰잉 방법, 화면의 표시 기능 및 버튼 위치, 레이어의 구성방법, 파일의 형태, 배너 창의 활용 유무 등을 구성하기 위한 보드로 전체적인 시스템에 대한 부분을 작성하였으며, 업로드 될 데이터의 추가 부분과 연계성을 테스트하여 수정 보완할 것임.

6. 클라우드 서비스 플랫폼 시스템 설계

- 플랫폼에서 필요로 하는 기능과 제공해야 할 정보를 자문 및 연구를 통해 결정
- 플랫폼의 UI설계를 위해 작성된 스토리보드의 내용을 구체화하고, 세부 항목 작성 및 수정
- 3차원 모델의 생성가능한 다양한 파일의 정보를 분석 및 다양한 확장자로 데이터 추출
- 추출한 자료를 시스템에 업로드 가능성을 테스트하여 설계 반영
- 클라우드 업로드 자료의 저장공간 확보 및 위치 선정, 저장자료 구분 방법 및 정렬방법 정립

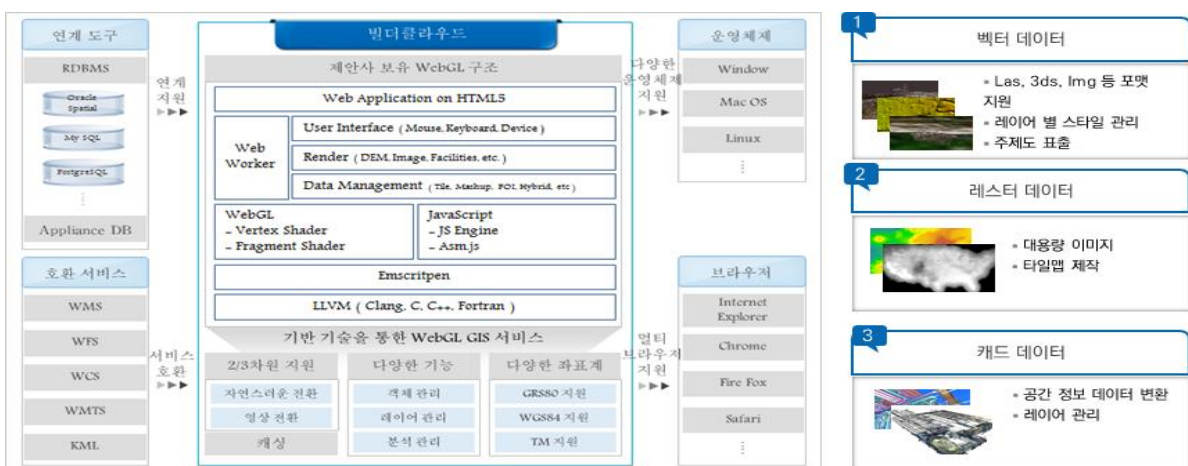


- Scale out 서버 수평확장방식 선택
- 복제를 통한 서버확장방식 선택
- 서버 확장에 따른 원활한 서비스 제공 방법 모색
- 분산처리 기반의 GIS 데이터 가공 및 분석을 통해 서비스 속도 향상 방안 확보

- 개발 플랫폼의 사용자 서비스 방법 및 개인정보 보호 방법 연구, 방화벽 및 암호화 기능 테스트, 개인 저장자료 접근방법 확립 등 사용자의 편의성과 개별성 연구 및 개발
- 플랫폼 서비스 공통자료 활용방안 및 시스템 관리 주기 설정

가. 클라우드 서비스 플랫폼 시스템의 UI 설계

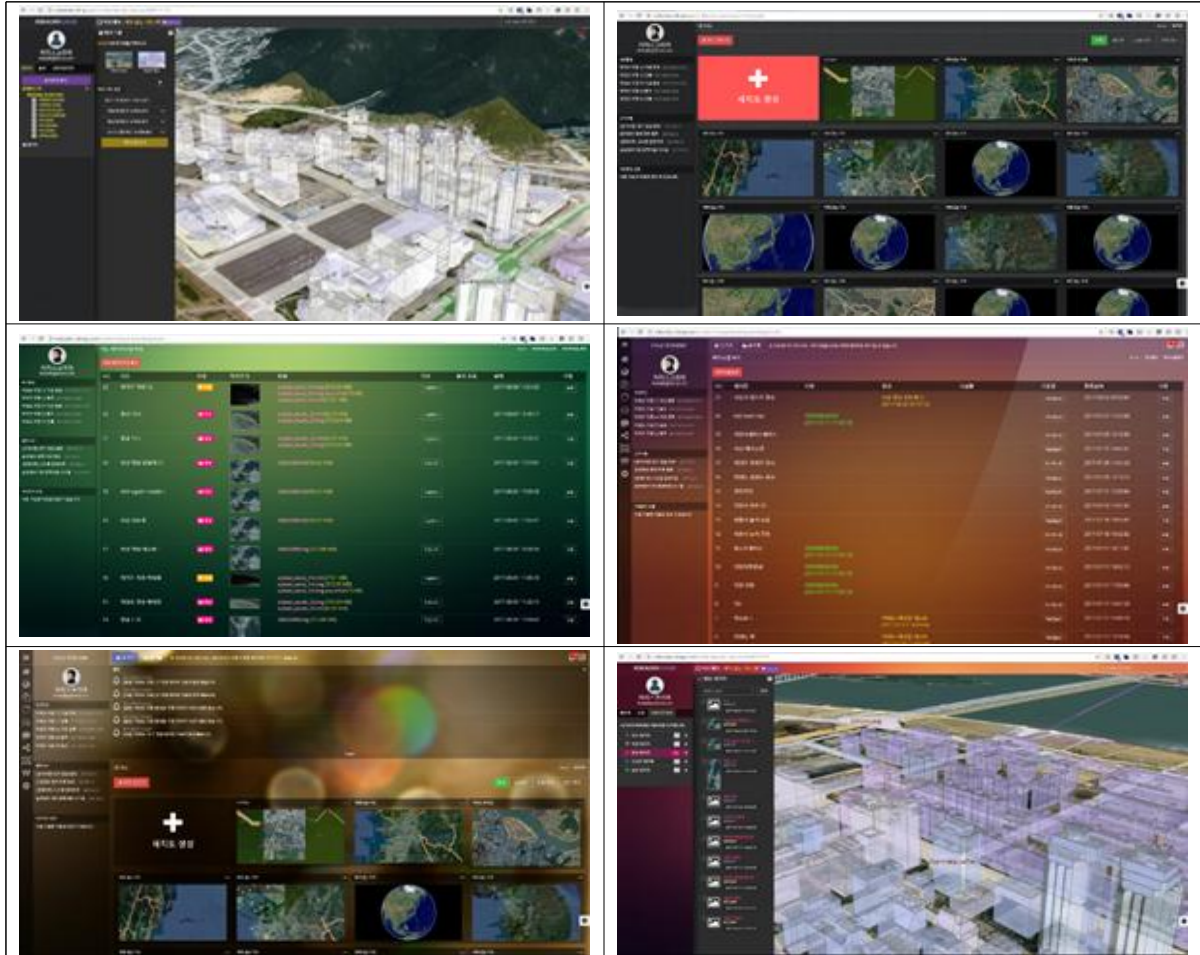
- 클라우드 서비스 플랫폼에서 필요로 하는 기능과 제공해야 할 정보를 토대로 시스템을 설계하였으며, 연계 및 호환, 사용 운용체제, 연동 브라우저 등을 고려하여 시스템 설계에 반영하였음



<플랫폼 UI 설계>

- 웹 기반의 그래픽 라이브러리로 OpenGL ES 2.0 기반의 2차원, 3차원 그래픽을 위한 프로 그래밍 인터페이스를 제공하도록 설계
- 2차원 영상과 3차원 모델이 동시에 활용될 수 있도록 플랫폼 사용 범위 확장

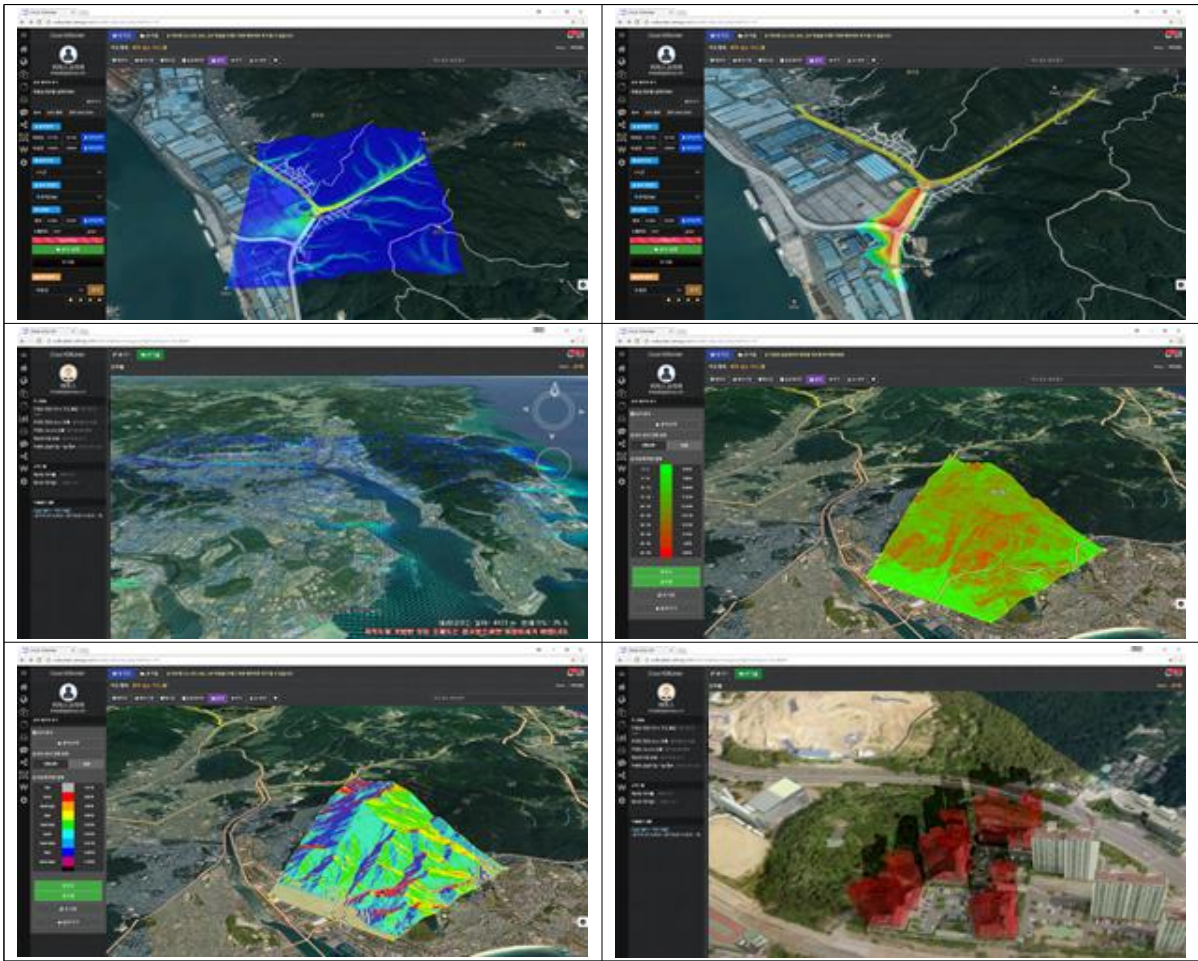
- 사용자의 등록데이터를 확인하기 쉽도록 미리보기 기능을 추가하여 설계하였으며, Dropdown을 통해 데이터 융합이 보다 편리 하도록 설계함
- 객체 단일 공간의 속성, 레이어 전체 공간의 속성의 스타일 적용이 가능하도록 속성 정보 변경 및 스타일 변경 부분을 추가하여 설계



<플랫폼 UI설계 적용화면>

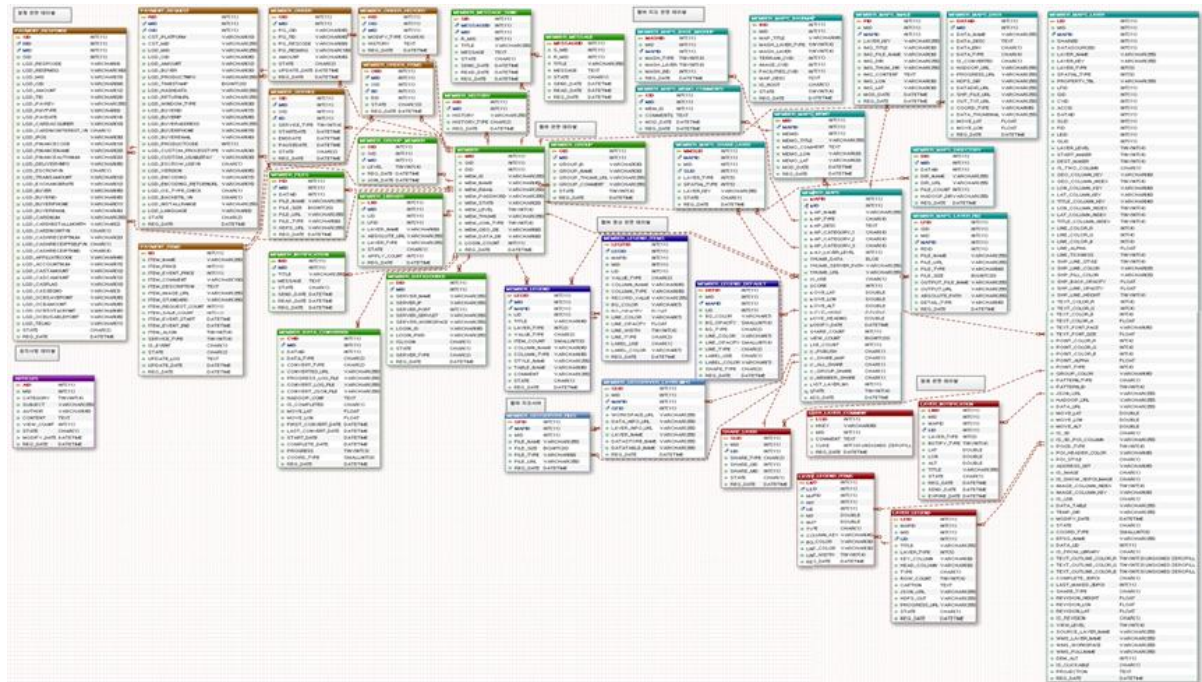
나. 플랫폼 구조 설계 및 DB 분석

- 추출자료의 다양한 업로드 상태 확인을 위하여 자료 업로드 테스트 및 영상 정보 확인
- 고정밀, 고해상도 대용량 영상, 지형 데이터 표현 테스트
- 분산 가공 및 관리를 통한 원활한 서비스 제공방안 확보
- 자동 좌표계 변환을 통해 위경도 좌표계 기반의 데이터 표현
 - 시계열 데이터의 위치정확도 확보를 위해 좌표계 통일 및 자동 변환



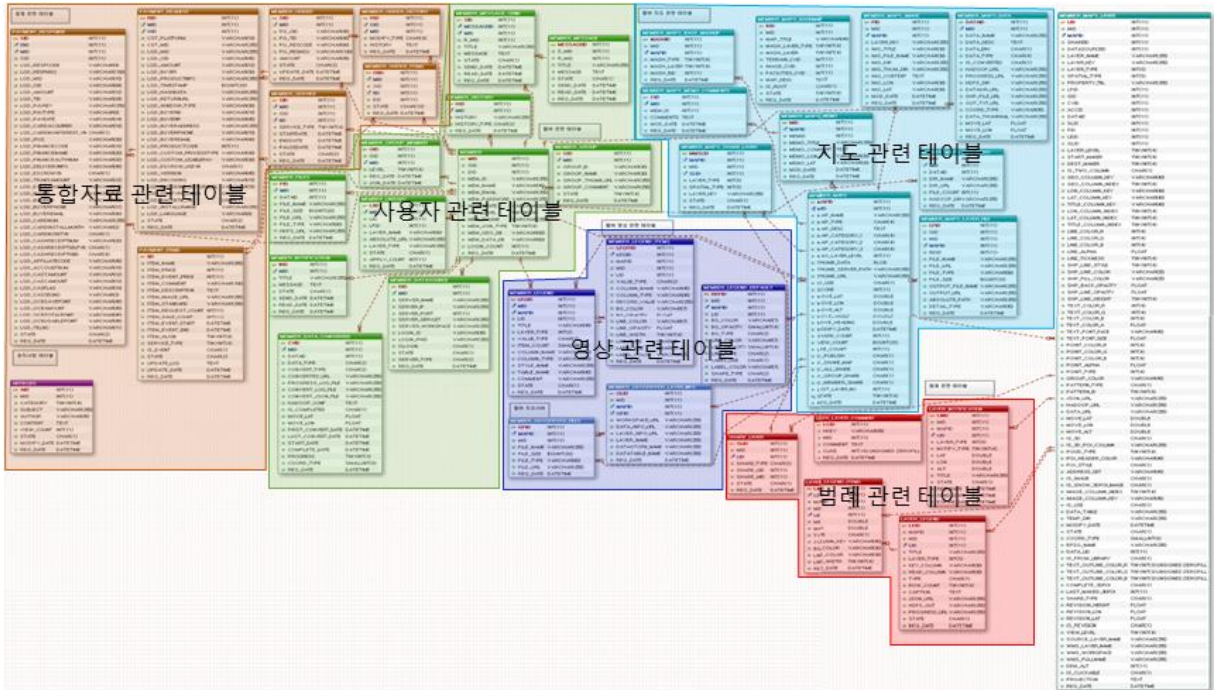
〈플랫폼 자료 업로드 테스트〉

- DB분석과 플랫폼 구조도 테이블 설계



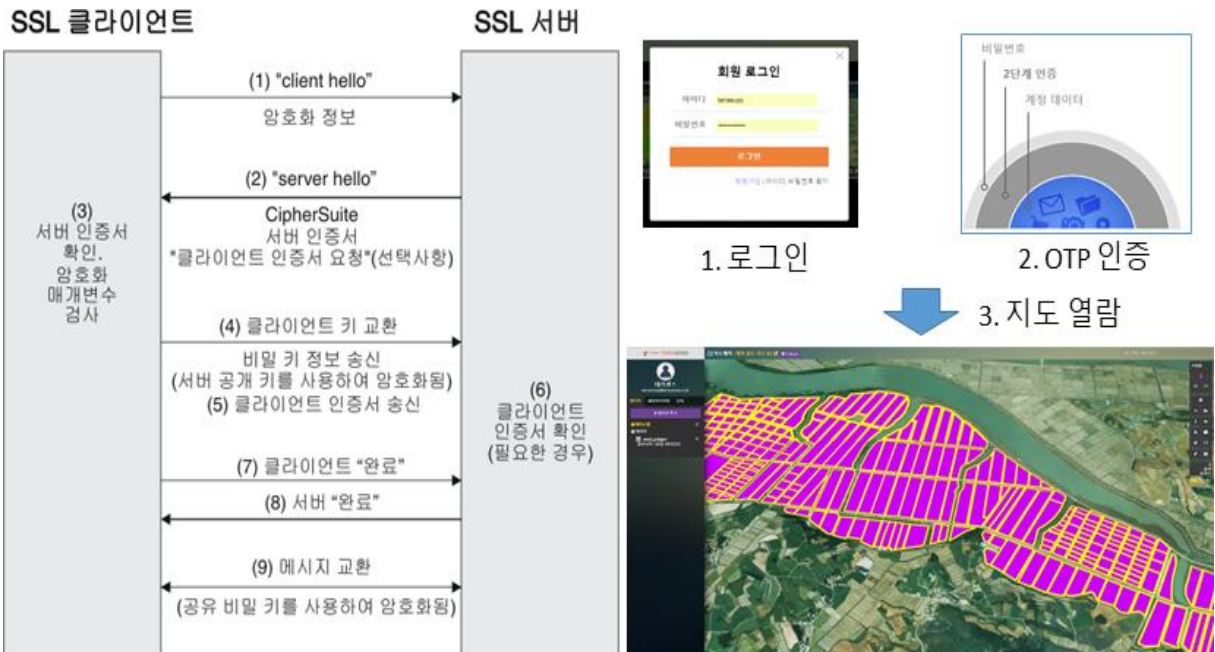
〈DB분석과 플랫폼 구조도 테이블 설계도〉

- 플랫폼의 확장성을 위하여 활용 및 연계 가능한 부분을 포함하여 메인 테이블을 설계하였으며, 설계된 세부 테이블을 작성하였음



<테이블 설계도 설명>

- 개인정보와 개인자료의 유출을 막기위해 보호를 위하여 2단계 보안인증 방법으로 설계
 - 로그인 정보를 서버로 전송할 때 암호화 알고리즘을 활용
 - ID 및 패스워드 노출로 인해 보호단계를 통과하더라도 휴대전화나 보안키로 계정 보호 방법 활용



7. 클라우드 서비스 플랫폼 구축

가. 드론성과 다양화 및 연동 테스트

- 드론 성과에서 생성되는 일반영상과 분광영상의 원시자료를 *.Tiff, *.tif, *.jpg, *.las, *.laz, *.ply, *.xyz, *.fbx, *.obj 등 다양한 확장자 형태로 추출하여 영상 자료로 작성하였고, 연계에 필요한 자료의 형태인 *.dxf, *.shp 자료도 작성하여 업로드 테스트를 통해 품질을 테스트 함.

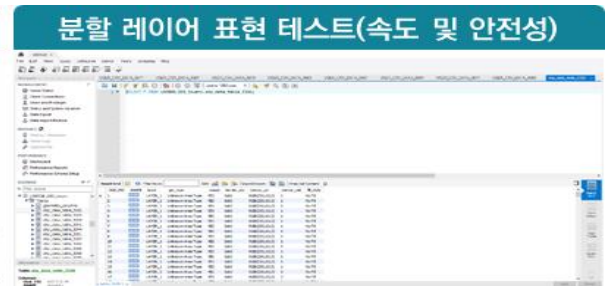


<드론 성과 원시자료 다양한 형태 추출>

- 생성자료 중 2D로 이루어진 자료는 *.tif와 *.Tiff, *.shp 가 업로드시 높은 품질로 표현되었으며, *.jpg의 경우 영상의 해상도가 낮게 나타나고 경계의 배경색이 표현되는 문제점이 발생하기도 함.
- 모든 자료는 좌표계 정보가 포함된 *.prj파일과 영상의 크기정보를 포함한 *.tfw파일이 함께 업로드 되어야 위치와 비율이 정확하게 표현되며, 좌표 정보의 경우 ‘Korea 2000 / Central Belt 2010(EPSG:5186)’ 을 사용하였을 경우 가장 정확한 위치에 표현되었으며, 다른 좌표계로 입력하여도 좌표 변환을 통해 입력이 가능하지만 변환에 대한 일부 오차가 발생하는 경우도 나타남.
- 3D로 이루어진 자료는 좌표위치와 형태가 독립적인 파일로 이루어져 있으며, 생성당시 입력된 위치정보와 크기정보를 모두 포함하고 있어 최초 생성시 호환 될 수 있도록 생성해야 함.
- 업로드는 *.obj, *.las 형태가 가장 높은 해상도로 업로드 되었으며, *.dxf의 경우 2D vector data로 인식하는 오류가 간혹 발생하였고 다른형태의 경우 업로드에 문제는 없지만 외형의 공백이 발생하는 현상이 발생하기도 함.
- 3D 자료의 경우 낮은 해상도로 제작되거나 Mash 형태로 제작되지 않은 경우 일부 픽셀의 표현이 안되어 공백으로 나타나는 현상을 확인하였으며, 솔루션 엔진의 표현방법의 수정을 통해 오류를 수정할 수 있는 방법을 연구 중임.

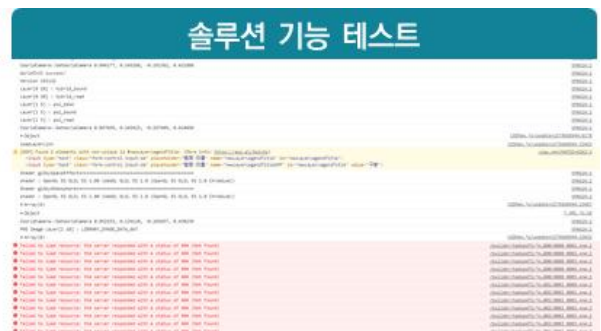
나. 고해상도, 고용량의 자료에 대한 시스템 속도 개선

- 클라우드 서비스 플랫폼인 영농지원 솔루션은 영상자료 및 기타 분석 및 연계를 위한 엔진이 구성되어 있으며, 자료의 가시화 및 기능 연계를 위한 웹 설계로 구성되어 있음.
- 서비스 모델 및 분석에 필요한 기능구현을 위해서 엔진에 대한 기능을 추가하였으며, 자료의 표현과 기능 실행 등의 웹 구성은 웹 설계 및 디자인을 통해 별도로 진행하였음.
- 클라우드 서비스 솔루션에 사용하는 엔진의 경우 구축된 서버에서 구동되지만 솔루션의 사용이 인터넷 환경에서 이루어지므로 구동 명령 및 데이터의 이동이 인터넷의 속도에 영향을 받음.



<속도 개선을 위한 엔진 수정 및 테스트>

- 엔진단에 포함된 기능구현 과정에서 불필요한 과정이 수행되지 않도록 엔진 수정을 통해 최적의 단계만 거쳐 기능이 실행 되도록 하였으며, 불필요하게 생성되고 연산되는 자료를 줄이는 방법을 통해 속도 및 기능을 개선함.
- 영농지원 솔루션의 이용방법의 변화에 따라 DB구성을 새롭게 진행하였으며, 기존의 데이터 종류별 DB구분에서 해당 필드 또는 구역별 DB구분으로 DB구성을 변경하면서 분할 레이어의 정상적인 표현에 대한 속도 및 안전성의 테스트를 진행하였음.
- 사용자의 등급별 분류, 사용형태의 분류, 자료의 DB 구성요소 분할로 자료 로딩에 소요되는 구조가 복잡해지고 다양화 되어 속도의 저하요인으로 나타났으며, 이에 따른 구성요소 정렬과 DB연계 최적화 과정을 테스트하면서 사용속도를 향상시킬 수 있는 방안으로 개선함.
- 엔진 수정에 대한 테스트를 마친 뒤 인터넷환경을 이용하여 솔루션의 DB의 분할된 레이어 검토 및 오류를 점검하였으며, 솔루션을 통해 변경된 기능의 테스트를 진행하고 오류에 대한 수정을 수행하였음.

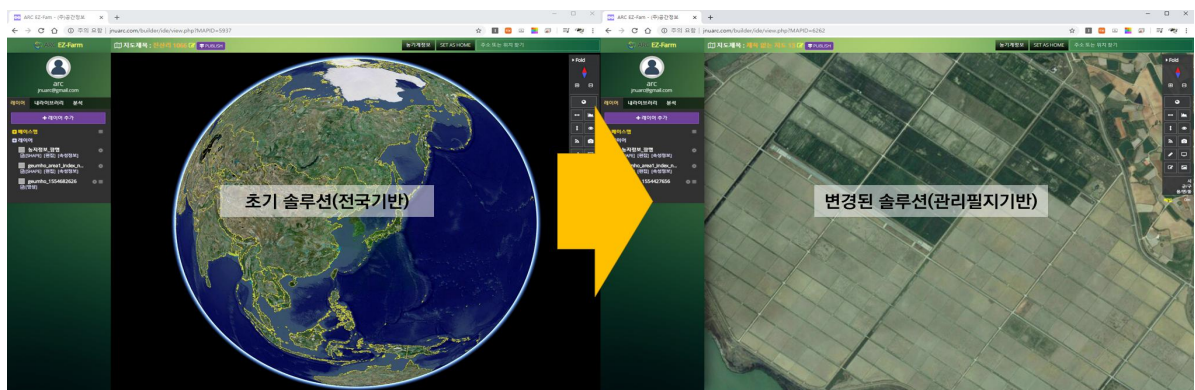


<인터넷환경에서 솔루션 점검>

- 인터넷 환경 기반의 테스트 중 엔진과 연동된 기능의 경우 솔루션과 엔진에서 동시에 테스트를 진행하여 오류의 원인을 쉽게 찾을 수 있도록 수행하였으며, 엔진을 거치지 않고 연동되는 웹연동, API data 연동의 경우는 단독적으로 테스트를 진행하였음.
- 구축된 서비스 모델 및 베타 테스트를 통해 기능적으로 필요한 부분을 영농지원 솔루션에 적용 가능하도록 엔진 및 웹 설계 변경을 실시하였음.

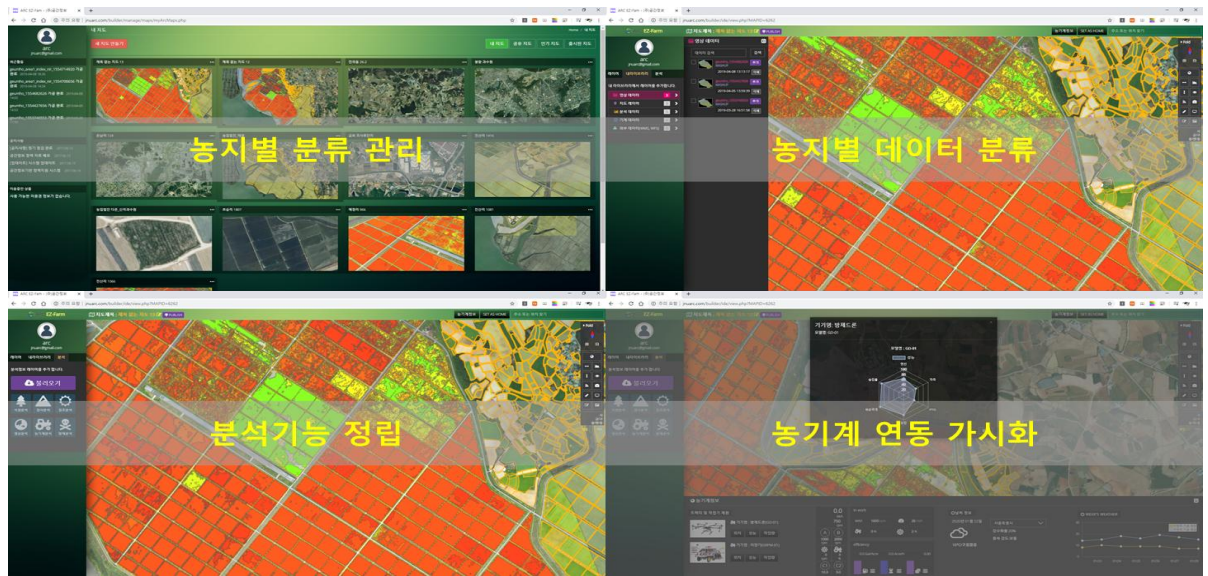
다. 클라우드 서비스 플랫폼 기능 향상 및 실증

- 일반모드는 기존에 사용하던 전국 기반의 정보 서비스 개념에서 사용자 소유의 필지 관리에 대한 개념으로 변경하여 솔루션 진입시 정보 확인을 위한 개인 필드 위치를 찾아가야 하는 불편함이 있었으나, 관리필지 기반으로 수정하여 쉽게 사용자 관리자료를 확인할 수 있도록 함.
- 일반모드에서 불필요한 기능과 관리에 사용되는 기능은 관리자 모드로 이동시켜 일반모드에서 보이지 않도록 하였으며, 부여되는 계정의 등급에 따라 일반모드에서 나타나는 기능 및 서비스 내용을 제안할 수 있도록 하였음.



<솔루션 활용 기반 수정>

- 사용자가 지정하는 필지의 위치화면을 지정할 수 있도록 기능을 추가하였으며, 최초 목록에 등록된 경우 지속적으로 필지에 대해 자료 분류 및 작업내용이 저장되어 목록으로 나타날 수 있도록 개선함.
- 위에서 정립한 서비스 모델을 분석기능으로 솔루션에 적용하였으며, 분석에 필요한 자료를 입력하여 엔진에서 분석하여 표현하는 기능에 대해서 지속적인 테스트를 진행하였으나, 영상적으로 표현하기 위해서 더 많은 테스트가 필요함.
- 농기계 연동은 기존의 단일 농기계 표현에서 다중 농기계 표현으로 변경하였으며, 지도에 최신 위치표시와 작업량, 성능 분석을 표현할 수 있도록 가시화 하였음.



<일반 모드에 추가된 기능>

- 관리자 모드의 기능은 전체적인 이용 그룹을 관리할 수 있는 항목과 서버 사용량 관리, 서비스 등급 결정 관리, 업로드 된 서버의 자료와 분석자료의 수정 및 추가제거를 할 수 있는 항목을 추가하였음.



<관리자 모드에 생성된 기능>

8. 솔루션 사용을 통한 개선사항 수정 및 고도화

가. 사용자 그룹을 분할하여 솔루션 활용 테스트

- 우리나라 농업의 형태에 맞춰 솔루션의 활용도를 높이기 위해 전문가 및 농업인을 대상으로 솔루션의 활용테스트를 진행하였음.
- 활용성을 높이기 위해 농업의 규모와 농업운영규모를 구분하여 테스트 그룹을 독자적으로 사용하는 개인, 소수 인원이 공동으로 사용하는 개인(소수), 소형의 그룹, 대형의 그룹

으로 구분하여 솔루션 활용 테스트를 진행하였음.

- 활용테스트는 반복실행과 주기적인 사용시 발생하는 문제점, 불편사항, 사용에 있어 기능적으로 편리한 사항에 대해 테스트 그룹별 자료를 종합하여 솔루션에 적용하고자 함.

| 사용자 그룹 | 솔루션 구성 | 테스트 중점사항 |
|--------|--|---|
| 개인 | <ul style="list-style-type: none"> • Cloud data base 솔루션 • 서버 운영자에 의한 관리 • 사용자는 의사결정 정보만 활용 | <ul style="list-style-type: none"> • 사용자 편의성, 편리성, 활용성 • 영농의사결정 기술 • 기능별 활용분석, 오류사항 테스트 • 그룹별 활용형태에 분석 • 현장실증을 통한 상용화 방안 모색 • 장기간 사용이 솔루션 구성에 따른 문제점 파악 / 보완 • 시스템 상용화의 다양성 추구 |
| 개인(소수) | <ul style="list-style-type: none"> • Cloud data base 솔루션 • 사용자 모드와 관리자 모드 • 동시접속 및 솔루션 활용 | |
| 단체(소형) | <ul style="list-style-type: none"> • 자체 data base 솔루션 • 서버 운영자에 의한 관리 • 동시접속 및 솔루션 활용 | |
| 단체(대형) | <ul style="list-style-type: none"> • 자체 data base 솔루션 • 사용자 모드와 관리자 모드 • 동시접속 및 솔루션 활용 | |

- 사용자 그룹 중 개인은 전체적인 솔루션을 운영하기 어려운 개인(농업인)을 대상으로 선정하였으며, 서버 운영자를 별도로 지정하고 운영자에 의해 정보를 수집/분석하여 사용자가 정보를 확인하는 형태의 솔루션으로 구성하였음.
- 사용자 그룹 중 개인(소수)는 소규모 그룹(작목반)이 시스템을 구성하지 않지만, 여러명이 솔루션을 활용할 수 있도록 구성하였으며, 자체적으로 사용자와 관리자를 구분하여 활용하는 형태의 솔루션으로 구성하였음.
- 사용자 그룹 중 단체(소형)는 자체적으로 data base를 갖추고 솔루션을 구성하여 사용하지만, 서버 운영자가 data base에 접속하여 정보를 수집/분석하여 사용자 그룹이 정보를 확인하는 형태의 솔루션으로 구성하였음.
- 사용자 그룹 중 단체(대형)는 자체적으로 data base를 갖추고 솔루션을 구성하여 사용하며, 분야별 인원을 구분하여 활용하는 형태의 규모가 있는 솔루션으로 구성하였음.
- 그룹별 솔루션 테스트 결과는 아래 표와 같음.

| 사용자 그룹 | 테스트 결과 | 비고 |
|---------|--|----|
| 개인 | <ul style="list-style-type: none"> • 농작업 전후의 영상 비교가 많이 이뤄지나 두 개의 영상을 비교하기가 어려움. • 로그인을 하기 위해서 여러단계의 페이지를 거쳐가는 것이 사용에 불편함. • 배경지도를 바꿀수 있도록 기능을 추가했으면 함. • 분석에서 너무 고정된 분석으로 되어있어 사용이 제한됨, 다양한 수식을 넣어서 분석결과를 볼 수 있도록 해주면 좋을 것 같음 • 분석시 field map에 올려진 레이어를 같이 볼 수 있도록 해주면 좋을 것 같음(Field map의 가시화 데이터 제어가 안됨). • 분석결과가 이미지 말고 그래프나 도표로 출력되면 좋을 것 같음. | |
| 개인 (다수) | <ul style="list-style-type: none"> • 데이터의 업로드 하는 경우 위치에 대한 설정이 맞지 않아 중첩이 되지 않는 경우가 많음. • 관리자가 데이터를 올릴 때 너무 많은 항목을 입력해야하며, 전문적 용어가 많아 사용에 어려움이 있음. • 작업한 레이어와 영상을 올린 레이어가 뒤섞여 너무 복잡함. | |
| 단체 (소형) | <ul style="list-style-type: none"> • 관리자가 올려준 데이터의 항목이 내필지의 어떤 데이터인지 확인하기 어려움. • 데이터를 불러왔을 때 내 농지의 위치와 맞지 않은 것들이 많이 있어 보기 불편함. • 데이터의 분석이나 사용을 누가 했는지 무슨 내용을 수행했는지 알수가 없음. | |
| 단체 (대형) | <ul style="list-style-type: none"> • 내가 사용하지 않는 메뉴가 너무 많이 노출되어 있어 시스템이 복잡해 보임. • 관리자와 사용자를 쉽게 구별할 수 있으면 좋을 것 같음. • 농작업이 이뤄지는 필드는 1개이고 관리하는 사람은 여러명인데 각각 데이터를 따로 확인하도록 되어있어 서로 공유하기가 어려움 • 데이터 올리는 사람과 농작업자가 구분되어 있는데 사용자의 세부 분할이 더 필요할듯함. • 간단한 측정이나 기록할 수 있는 기능이 필요함. • 솔루션 사용자 간의 의사소통이 가능한 기능이 있으면 좋을 것 같음. | |

나. 기능개선 및 고도화

- 기능개선 및 고도화를 위해서 앞에서 제시한 사용자 그룹을 구분하고 실 사용을 통해 기능의 편리성과 활용적인 측면의 기능 개선을 수행하였으며, 솔루션의 확장성과 연계하여 안정적인 솔루션 구동을 위해 주요 기능의 반복 테스트를 통해 기능 고도화를 진행하였음.

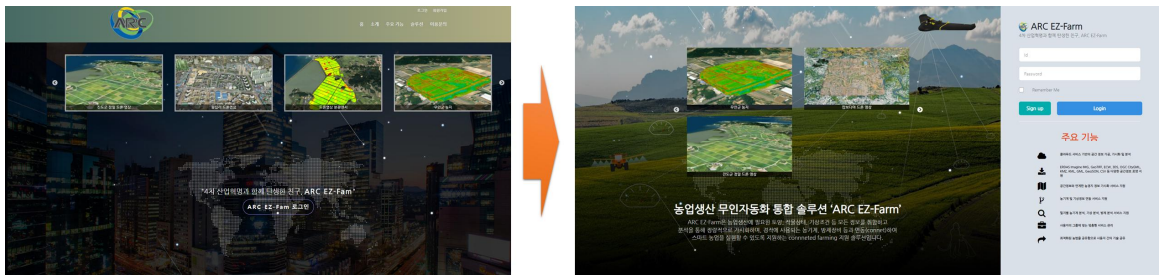
- 테스트 결과에 의한 기능 개선

- 사용자 그룹의 테스트에 의한 기능개선은 대다수의 의견은 반영하여 수정하였으며, 일부 그룹에서만 발생하는 문제점이나 불편사항은 그룹적인 특징으로 분류하여 별도의 기능 개선보다는 주기적인 사용으로 기능의 적용문제로 판단하여 수정을 진행하지 않았음.

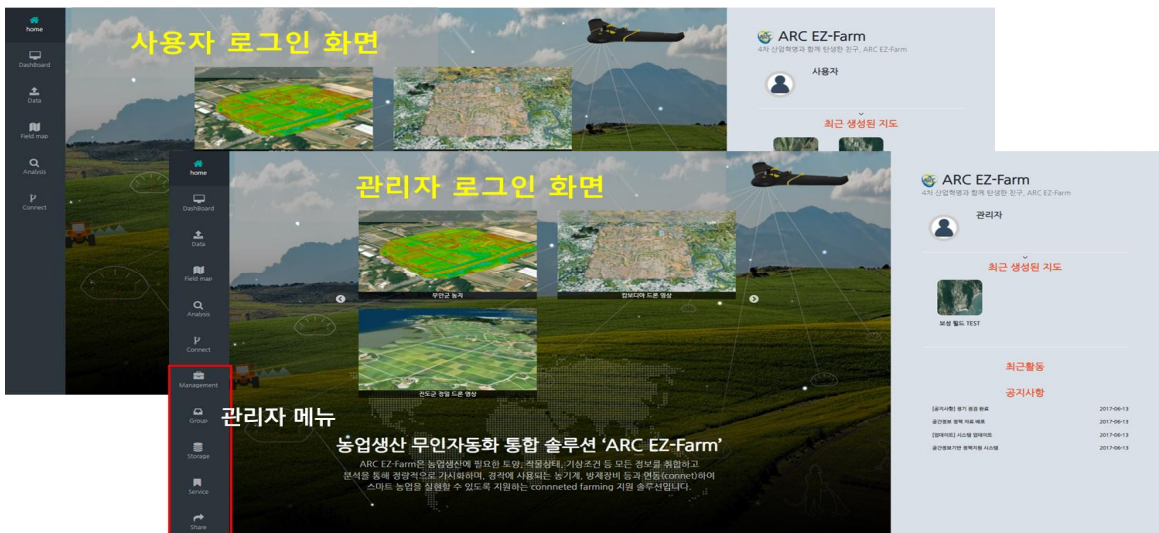
[Home]

- 첫 페이지의 내용이 다른 솔루션 사용자의 공유정보를 보여주는 내용으로 구성되어 있어 실제 사용자가 사용하기 위해서는 [로그인 페이지 이동 - 로그인 - 솔루션 입장]의

단계를 거쳐야 하는 번거로움을 불필요한 기능을 축소하고 첫 페이지에서 바로 로그인할 수 있도록 로그인 단계를 간소화하였음.



- 솔루션 로그인 후 단계별 진행[관리필지 선택 - 데이터 선택 - 분석항목 선택]되는 방식에서 로그인 후 바로 좌측화면에 전체 메뉴 바를 추가하여 자유롭게 페이지 이동이 가능하도록 하였음.
- 솔루션의 관리자와 사용자를 아이디로 구분하여 로그인 아이디에 따라 관리 메뉴를 사용자에는 표시되지 않도록 하였음.

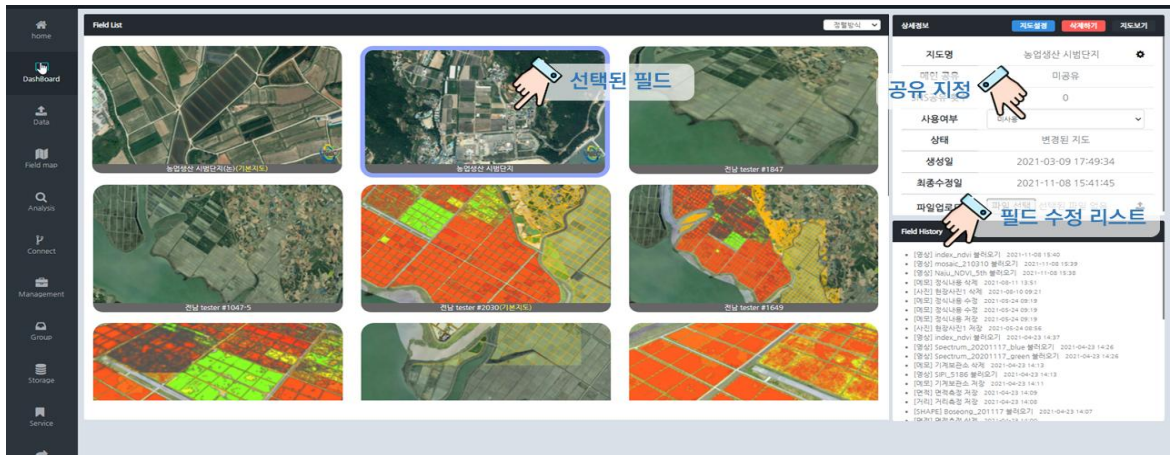


[Dash Board]

- 사용자 중심의 필드 관리 리스트를 필드 중심의 관리 리스트로 변경하였음.
- Field List는 사용자가 지정한(혹은 사용자가 구축한 데이터 위치)를 기준으로 데이터 리스트가 통합될 수 있도록 하였으며, 그룹 내 다양한 사용자가 모든 데이터를 공유할 수 있도록 리스트를 구분하였음.
- 필드는 리스트 중 1개를 활성화할 수 있도록 하였으며, 활성화된 필드는 사용되는 모든 메뉴와 연계될 수 있도록 시스템 설계 구성을 변경하였음.
- 필드의 확인이 쉽도록 리스트 아이콘을 대상지의 항공영상으로 지정할 수 있도록 기능을 개선하였으며, 항공영상의 확대정도를 사용자가 직접 지정하여 이미지로 변경될 수 있도록 함.
- 선택된 필드의 상세정보와 수정사항을 쉽게 확인할 수 있도록 화면을 분할하여 가시화 하였으며, 개인 사용자는 수정내용만 표시하게 되고, 다수가 이용하는 그룹 사용자는

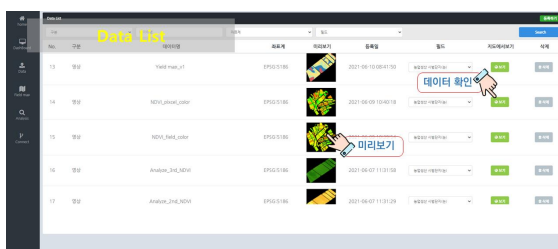
수정내용과 수정한 ID를 같이 표시할 수 있도록 하였음.

- 필드 관리기술 및 데이터 분석 기능 등 데이터 농업방법을 그룹 이외의 솔루션 사용자와 공유할 수 있도록 기능을 추가하였으며, 공유의 기준을 필드단위로 지정하였음.



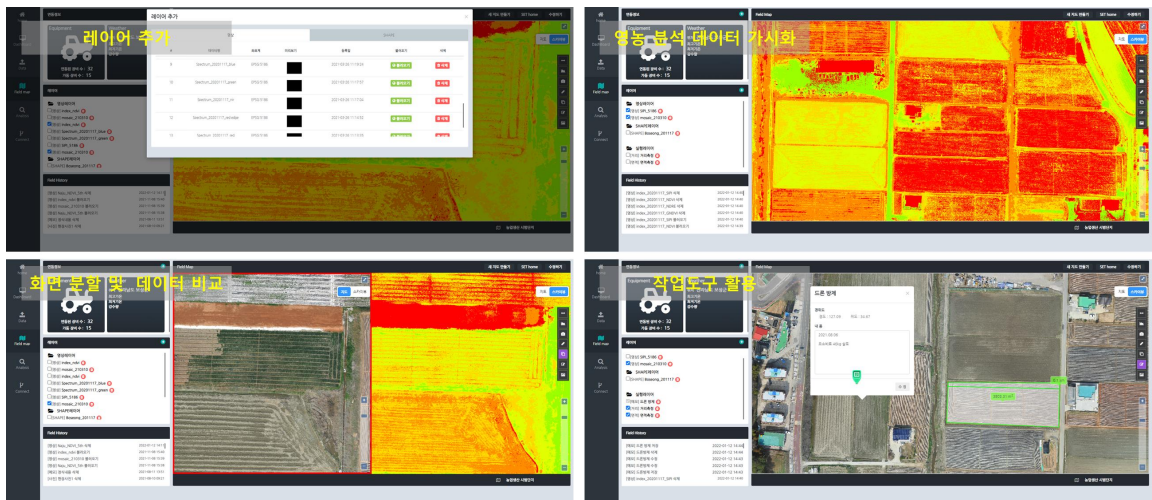
[Data / Upload]

- 데이터 항목에는 활성화된 필드의 데이터를 리스트로 볼 수 있도록 별도의 탭으로 구성하였으며, 리스트는 GIS기반의 영상 데이터와 점, 선, 면, 숫자 등의 메타데이터로 구분하여 표현할 수 있도록 구분하였으며, 데이터의 미리보기 기능을 적용하여 구분이 쉽도록 구현하였음.
- 미리보기 기능으로 구분이 어려운 데이터는 실제 지도에서 바로 확인할 수 있도록 별도의 확인버튼을 추가하여 빠르게 확인할 수 있도록 함.
- 원하는 데이터를 쉽게 찾기 위해서 구분되는 항목을 세분화하여 검색기능을 추가함.
- 데이터의 등록은 쉽고 빠르게 진행될 수 있도록 시스템을 구성하였으며, 등록하고자 하는 파일을 솔루션에 drag & drop 하는 경우 데이터의 속성정보를 자동으로 읽어 데이터를 구분할 수 있도록 시스템을 고도화하였음.
- 데이터 업로드시 발생하는 위치 불일치, 데이터 업로드 실패 등의 문제를 보완하기 위해서 데이터내 속성정보를 최대한 자동입력되도록 하였으며, 사용자가 입력하는 데이터를 줄이고 선택할 수 있도록 구분항목을 리스트화 하였음.
- 업로드될 데이터의 속성정보와 사용자가 선택한 설정정보가 다를 경우 팝업을 통해 재확인가능하도록 기능을 구현함.
- 데이터 업로드는 자동 Tiling 기능을 고도화하여 데이터는 솔루션의 활용 속도 및 가시화의 속도를 개선함.



[Field map]

- 지도 위주의 화면에서 연동정보, 레이어, 작업내역을 가시화할 수 있도록 화면구성을 16:4비율로 분할하였음.
- 연동정보에는 ‘Connect’ 메뉴의 일부정보를 간략하게 요약하여 보여줄 수 있도록 구현하였으며, 버튼형태로 구성하여 클릭시 연동정보 탭으로 이동할 수 있도록 기능 구현하였음.
- 레이어정보창은 화면에 보여주는 레이어를 리스트로 정리하여 보여주며, 데이터의 형태에 따라 자동 분류 되어 들어갈 수 있도록 시스템을 수정 및 구현하였음.
- 작업내역은 현재 탭에서 수행하는 모든 행위를 기록하며, 기록의 편집이 불가능하도록 하였으며, 개인사용자는 작업내역만 표시되며, 다수의 사용자가 있는 그룹은 작업내역에 사용자명이 표시되도록 함.
- 사용중인 솔루션에 불러와진 영상레이어, 실행레이어, 등의 작업환경을 그대로 저장하기 위해 우측상단에 ‘수정하기’ 버튼을 생성하였으며, 저장된 작업환경을 그대로 유지될 수 있도록 기능을 구현하였음.

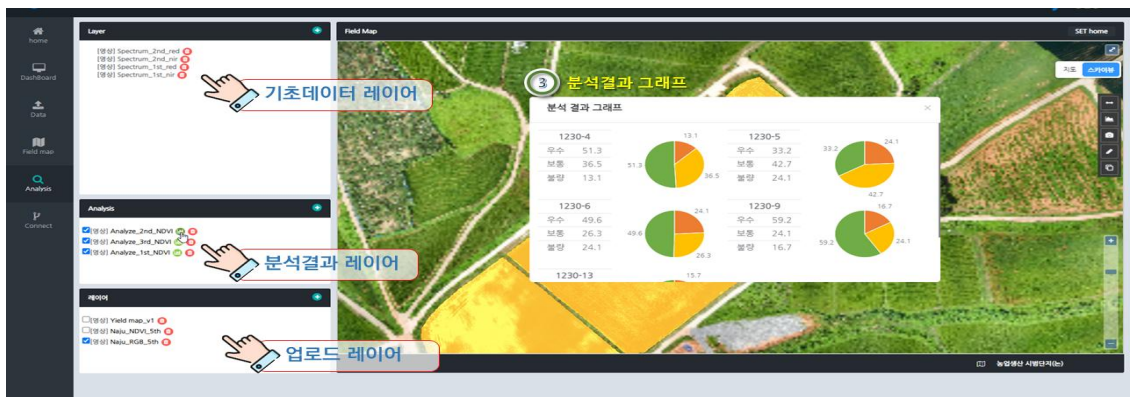


- 작업화면의 Base map을 일반지도와 위성지도로 선택할 수 있도록 스위치형 버튼을 추가하였으며, 간단한 작업도구(거리측정, 면적측정, 메모작성, 사진등록, 화면캡처, 화면분할 등)를 버튼식으로 추가하였으며, 기능 고도화를 수행하였음.
- 화면분할기능의 경우 전체 화면구성에서 레이어 4 : 좌측화면 8 : 우측화면 8 의 구성 비율로 분할하였으며, 화면의 레이어를 별도로 사용하지 않고 1개의 레이어창을 공유하기 위해 화면선택 방식으로 시스템을 고도화하였음.
- 좌측화면과 우측화면은 위치동기화를 수행하여 확대, 축소, 이동시 동일하게 움직일 수 있도록 설계/구성하였음.

[Analysis]

- 개발자가 고정한 분석방법이 분석의 다양성을 제약하고 있어 자유로운 분야와 인원이 분석할 수 있도록 수식입력방식의 분석방법으로 시스템 개편

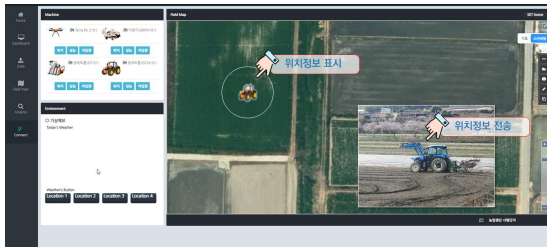
- 분석에 필요한 기초데이터와 분석결과가 생성되는 레이어를 별도로 구분하였으며, 기존에 분석되고 업로드 된 자료를 확인하기 위한 레이어를 유지하여 3개의 레이어 창으로 구분함.
- 기초데이터 레이어에 추가된 데이터는 분석 창에 자동으로 동기화되어 나타나게 구현하였으며, 데이터와 연산자는 클릭을 통해 수식을 완성할 수 있도록 하였으며, 별도의 코드는 키보드 입력이 가능하도록 분석창을 구성/고도화 하였음.
- 분석결과는 영상데이터로 생성되며, 수치를 포함하여 수치연산도 가능하도록 하였음. 연산된 수치를 별도의 그래프로 표현 가능하도록 설계하였으며, 특정부분에 대해서만 그래프화 하도록 설계/구현하였음.



[Connect]

- 농경지에서 운용되는 농기계 및 작업 장비의 정보를 가시화하기 위해 일부 장비를 활용하여 데이터 연동 기능을 구현함.
- 농기계가 운용되는 시간, 위치 등 운용정보를 실시간으로 솔루션 서버에 저장하여 자동 가시화될 수 있도록 시스템을 고도화하였음. 농기계의 특성상 많은 정보를 외부로 노출되지 않아 일부 정보 전달장치를 외부에 부착하고 전송된 정보를 솔루션 내 DB에 기록, 저장하는 방식으로 기능을 구현함.
- 장비가 구동되지 않을 때에는 가장 마지막에 구동된 위치가 표시되도록 하였음.
- 농기계의 정보들을 숫자로 표현되는 부분을 그래프로 변경하였으며, 변경된 그래프에서 시간대별 수치를 직접 확인할 수 있도록 기능을 고도화하였음.

- 텔레메트릭스 기술을 이용하여 농경지에 설치된 기상관측장비의 관측정보를 솔루션내 서버로 자동전송하여 저장하며, 저장된 정보를 가시화할 수 있도록 기능을 구현함.



<농기계 정보 연동>



<농경지 기상정보 연동>

- 시스템내 ‘Location’ 번호와 저장되는 정보를 연동하여, 관측 위치를 표시할 수 있도록 하였으며, 표시된 아이콘을 클릭하여 관측정보를 그래프 형태로 볼 수 있도록 설계/구현하였음.
- 가시화된 그래프에서 마우스 커서를 이용하여 특정 시간대의 관측 수치를 확인할 수 있도록 하였음.

다. 각종 솔루션 오류 및 버그 수정

- 대부분에 오류 및 문제가 되는 부분은 솔루션 활용 테스트를 통해 개선하였으며, 해당 부분은 상위 부분 이외의 자체적인 테스트를 통해 나타난 오류 및 버그에 대한 수정 부분을 기록하였음.
- 데이터 업로드시 간헐적으로 100%에서 완료가 되지 않는 현상이 발생하여 원인이 되는 서버내 저장장치 변경(저장속도 상향), 인터넷 회선 교체, 임시저장소를 별도로 추가하여 시스템을 개선하였음.
- Field map, Analysis, Connect, 탭에서 사용하는 배경지도 중 항공영상을 불러오는 과정에서 특정 LOD(Level of Detail)단계가 제외되는 현상이 확인되어, basemap의 캐시파일 저장 및 갱신 주기를 업데이트하였으며, 오류검토를 통해 재갱신 가능한 프로토콜을 추가하였음

라. 개발 솔루션 홍보 및 수요처 조사

- 솔루션의 다양한 활용을 위해 고도화된 솔루션을 기반으로 온/오프라인의 솔루션 홍보를 수행하였으며, 코로나19로 인한 온라인 홍보를 중점적으로 수행하였음.
- 2021년 코로나19의 완화로 인해 개최한 ‘2021 드론쇼 코리아’ 전시회에 참가하여 원격탐사분야와 농업에 관련있는 불특정 다수에게 솔루션을 홍보하였음.
- 홍보를 위해 솔루션의 기능 및 특징을 설명할 수 있는 판넬을 별도로 제작하여 전시장에 부착하고 Brochure를 제작하여 배포함.

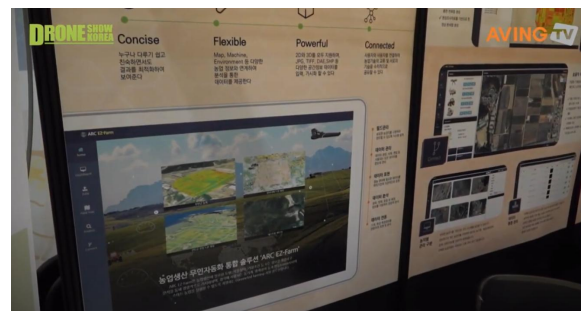


<솔루션 홍보자료>



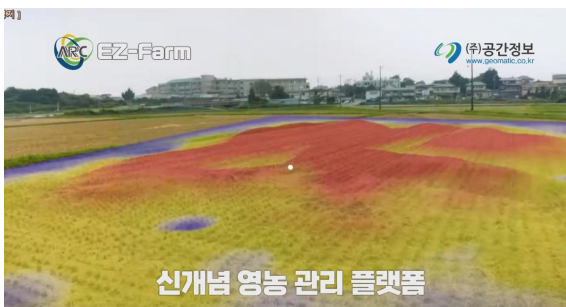
<오프라인 전시회 결과>

- 홍보와 동시에 농업관련자를 대상으로 솔루션 테스터를 모집하여 실제 솔루션을 사용할 수 있는 기회를 제공하였음.
- 오프라인 홍보에서는 참여자가 한정적이므로 더 많은 홍보를 위해 오프라인 홍보의 내용을 온라인에서도 홍보할 수 있도록 'Aving korea Live 인터뷰'를 통해 솔루션을 홍보할 수 있는 인터뷰를 진행하고 이 영상을 Aving korea 온라인 커뮤니티에 게재 하였음.

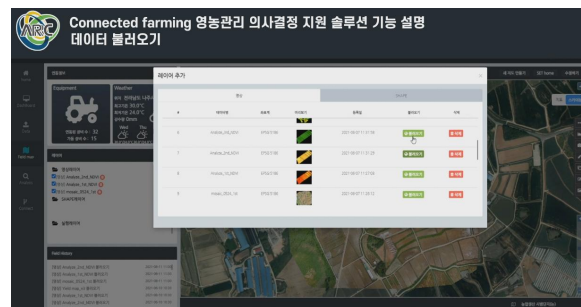


<온라인 커뮤니티 Live 인터뷰를 통한 홍보>

- 온라인 홍보와 수요조사를 위해 관리 Connected Farming 영농관리 의사결정 지원 솔루션의 홍보영상과 기능구현 영상을 자체적으로 제작하였으며, 제작된 영상을 통해 농업관련기관, 연구기관, 산업체, 농업법인 등 수요가 예상되는 개인 및 단체에 배포 하였음.
- 제작된 홍보영상은 온라인 동영상 플랫폼에 게재하여 다양한 사람이 볼 수 있도록 하였으며, 폐사에서 참여한 온라인 전시회 및 행사에서 일정시간 재생되도록 하였음.



<홍보영상 화면>



<기능구현 영상 화면>

(3) 제 1-2 협동과제

① 연구개요



| | | | | | | |
|---------------|--|--|----------|--------------|-----------|---------|
| 세부과제번호 | 제 (1-2) 협동과제 | | | | | |
| 세부 연구과제명 | 국문 | Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링(작업 부하, 연료소비) 시스템 개발 | | | | |
| | 영문 | Development of control technology for smart agricultural machinery | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 김용주 | 영문성명 | Kim Yong Joo | 과학기술인등록번호 | - |
| | 소속기관 | 충남대학교 | 부서명(학과명) | 바이오시스템 기계공학과 | 직위 | 교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2017년 09월 18일 부터 ~ 2021년 12월 31일 까지 (4년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 |
| | 정부출연금 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 144,000 | 384,000 |
| | 기업부담금 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 합계 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 144,000 | 384,000 |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | 선임급 | | 원급이하 | | 합계 |
| | 1 | 5 | | 7 | | 10 |

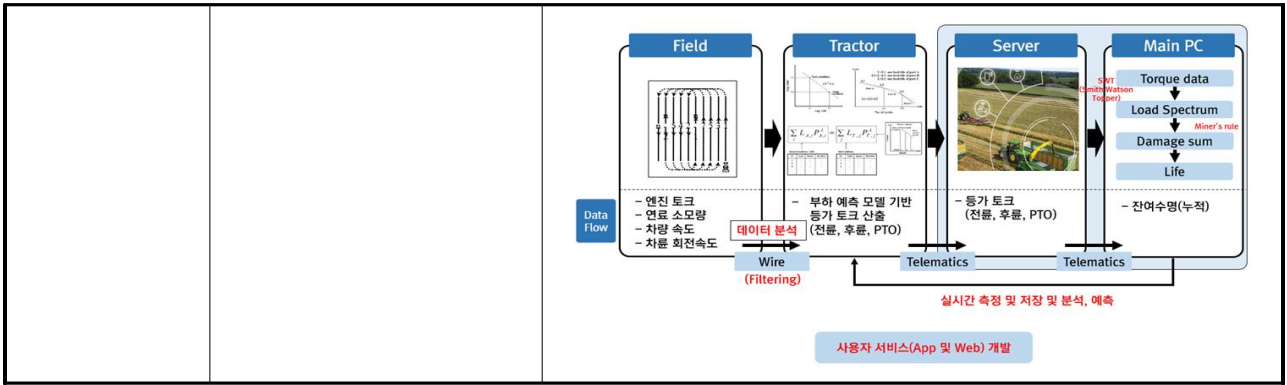
② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|---|
| 2단계 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> Connect farming에 적합한 트랙터 동력 센싱 기술 개발 - 트랙터 요소별 동력 센싱 시스템 (차축 토크 및 회전속도, PTO 토크 및 회전속도, 주유압, 보조유압) - 실시간 트랙터 동력 모니터링을 위한 인터페이스 및 계측 시스템 개발 |
| | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 다양한 트랙터 작업에 따른 실시간 동력 데이터 수집 - 쟁기, 로타리, 베일러 등 다양한 농작업 조건과 주행조건, 변속단수에 따른 농작업 데이터 수집 포장시험을 통한 작업환경/조건/수준 및 작업기별 부하 데이터 수집 - 농작업에 따른 동력 모니터링 기술 개발 - 실시간 모니터링을 이용한 트랙터 요소별 부하 데이터 측정 및 수집 작업기별 부하 데이터 분석 - 농작업에 따른 작업조건별 부하 데이터 분석 - 각 작업에 따른 주요 핵심부품별 부하 데이터 분석 |
| | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 텔레메틱스 기반 트랙터 수명 예측 기술 개발 - 트랙터 수명 예측 기술 개발 텔레메틱스 기반 무선 데이터 송수신 시스템 개발 트랙터 동력전달시스템 시뮬레이션 모델 개발 - 트랙터 동력전달시스템(기계식) B/M을 통한 구조 분석 - 동력전달시스템 시뮬레이션 모델의 레이아웃 구성 - 동력전달구조에 따른 요소부품 모델 개발 |
| | 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> Connected farming 실증을 위한 동력 모니터링 성능평가 - 신뢰성 모니터링 시스템 개발 - 농작업에 따른 신뢰성 모니터링 시스템 성능평가 |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> · 동력 모니터링 시스템 검증 - 동력 모니터링 시스템과 실내 시험장치, 시뮬레이션 등과의 비교 분석을 통한 동력 모니터링 시스템 검증 |
|--|--|

| 제1-2 협동 2 단계 | Connected farming 기반 지능형 농작업기계 모니터링 기술 개발 | 연구내용 | 연구 방법 |
|-----------------|--|---|-------|
| 4년차 (2017) | ○ Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링 (작업부하, 연료소비) 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - Connect farming에 적합한 트랙터 동력 센싱 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 트랙터 요소별 동력 센싱 시스템 (차축 토크 및 회전속도, PTO 토크 및 회전속도, 주유압, 보조유압) - 실시간 트랙터 동력 모니터링을 위한 인터페이스 및 계측 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 동력 모니터링 시스템의 센서 융합 및 데이터 수집 장치 개발 (데이터 수집장치, GPS, Telemetry 방식의 동력 계측시스템 구축) : 실내 동력 모니터링 시스템 설치 | |
| 5년차 (2018) | ○ 농작업 조건에 따른 트랙터 동력 측정 및 분석 | <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 트랙터 작업에 따른 실시간 동력 데이터 수집 <ul style="list-style-type: none"> : 쟁기, 로타리, 베일러 등 다양한 농작업 조건과 주행조건, 변속단수에 따른 농작업 데이터 수집 - 포장시험을 통한 작업환경/조건/수준 및 작업기별 부하 데이터 수집 <ul style="list-style-type: none"> : 농작업에 따른 동력 모니터링 기술 개발 : 실시간 모니터링을 이용한 트랙터 요소별 부하 데이터 측정 및 수집 - 작업기별 부하 데이터 분석 <ul style="list-style-type: none"> : 농작업에 따른 작업조건별 부하 데이터 분석 : 각 작업에 따른 주요 핵심부품별 부하 데이터 분석 | |

| | | |
|-----------------------|--|--|
| | |  |
| <p>6년차 (2019)</p> | <p>○ 동력 모니터링을 통한 트랙터 주요 부품 신뢰성 평가 기술 개발</p> | <p>- 텔레메틱스 기반 트랙터 수명 예측 기술 개발 : 트랙터 수명 예측 기술 개발 : 텔레메틱스 기반 무선 데이터 송수신 시스템 개발</p> <p>- 트랙터 동력전달시스템 시뮬레이션 모델 개발 : 트랙터 동력전달시스템(기계식) B/M을 통한 구조 분석 : 동력전달시스템 시뮬레이션 모델의 레이아웃 구성 : 동력전달구조에 따른 요소부품 모델 개발</p>  |
| <p>7년차 (2020)</p> | <p>○ Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링 시스템 신뢰성 성능평가</p> | <p>- Connected farming 실증을 위한 동력 모니터링 성능평가 : 신뢰성 모니터링 시스템 개발 : 농작업에 따른 신뢰성 모니터링 시스템 성능평가</p> <p>- 동력 모니터링 시스템 검증 : 동력 모니터링 시스템과 실내 시험장치, 시뮬레이션 등과의 비교 분석을 통한 동력 모니터링 시스템 검증</p> |



(가) 정량적 성과(총괄)

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|----|-----|------|------|----|---------|------|------|------|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | 기술인증 | 학술성과 | | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | | 투자유치 | 논문 | SCI | 비SCI | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | | 정책활용 |
| | | | | | | | | | | SCI | | | | | | | | | 비SCI | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | | 10 | 10 |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | | | 3 | 5 |
| 2단계 | 목표 | 4 | 2 | | | | | | | | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 7 | | | 1 | 1 |
| | 실적 | 4 | 3 | | 6 | | 21 | | | | 11 | 7 | 9 | 11 | 2 | 10 | | | | |
| 최종 | 목표 | 4 | 2 | | | | | | | | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 7 | | | 1 | 1 |
| | 실적 | 4 | 3 | | 6 | | 21 | | | | 11 | 7 | 9 | 11 | 2 | 10 | | | | |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|---|-----|------------------------|------|------------------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| 2019 | Strength Analysis on the Compound Planetary Gear of the Hydro-Mechanical Transmission for an Agricultural Tractor | 백승민 | - | 박성운 | 정밀농업과학기술지 | 1(1) | 국내 | 비SCI |
| 2019 | 78 kW급 농업용 트랙터의 로타리 경운 작업에 따른 등가 토크 분석 | 백승민 | 김완수 박성운 | 김용주 | 한국정보전자통신기술학회 논문지 | 12(4) | 국내 | 비SCI |
| 2019 | Strength Analysis of a PTO (Power Take-Off) Gear-Train of a Multi-Purpose Cultivator during a | 김연수 | 이바울 김완수 권오원 김 | 김용주 | Energies | 12(6) | 국외 | SCI |

| | | | | | | | | |
|------|---|----------------------|--------------------------|--|--|--------|----|------|
| | Rotary Ditching Operation | | 창원경환 | | | | | |
| 2020 | Analysis of the Axle Load of a Rice Transplanter According to Gear Selection | Md Abu Ayub Siddique | 김용주 | 김완수 백승민 박최영 | Journal of Drive and Control | 17(4) | 국내 | 비SCI |
| 2020 | Development of an accelerated life test procedure considering the integrated equivalent load of an implement working pump for an agricultural tractor | 문석표 | 김용주 | 백승민 승선영 정박한 | Korean Journal of Agricultural Science | 47(4) | 국내 | 비SCI |
| 2020 | Analysis of Tillage Depth and Gear Selection for Mechanical Load and Fuel Efficiency of an Agricultural Tractor Using an Agricultural Field Measuring System | 김연수 | 김완수 김용주 | 박성운 백승민 김영주 김상대 | Sensors | 20(9) | 국외 | SCI |
| 2019 | Development of a Real-Time Tillage Depth Measurement System for Agricultural Tractors: Application to the Effect Analysis of Tillage Depth on Draft Force during Plow Tillage | 김연수 | 김택진 김주상 김용이 박성운 | 김완수 | Sensors | 20(3) | 국외 | SCI |
| 2020 | Development of Control System for Automated Manual Transmission of 45-kW Agricultural Tractor | 김완수 | 김용주 김연수 | 백승민 승민현 이대규 남철범 김태효 | Applied sciences | 10(8) | 국외 | SCI |
| 2020 | Development of a Simulation Model for HMT of a 50 kW Class Agricultural Tractor | 백승민 | 백승민 김용주 | 김완수 김연수 | Applied sciences | 10(12) | 국외 | SCI |
| 2020 | Path detection for autonomous traveling in orchards using patch-based CNN | 김완수 | 이대현 | 김용주 김태형 김황록 이효재 | Computers and Electronics in Agriculture | 175 | 국외 | SCI |
| 2020 | Power Transmission Efficiency Analysis of 42 kW Power Agricultural Tractor According to Tillage Depth during Moldboard Plowing | 김연수 | 박성운 김용주 | 김완수 Md. Abu Ayub Siddique 백승민 백승천 승민환 천수환 이경환 홍동혁 | Agronomy | 10(9) | 국외 | SCI |
| 2020 | 55kW급 농업용 트랙터 정유압 기계식 변속기 설계 | 백승민 | 김용주 | 김완수 김연수 김백승 | Journal of Drive and Control | 17(2) | 국내 | 비SCI |

| | | | | | | | | |
|------|--|-----------------|------------|---------------------------------|--|--------|----|------|
| 2020 | Development of a real-time crop recognition system using a stereo camera | 백승민 | 남규철 이대현 | 김완수 김용주 김정선 | Korean Journal of Agricultural Science | 47(2) | 국내 | 비SCI |
| 2020 | A Review of the Applications of the Internet of Things (IoT) for Agricultural Automation | 김완수 | 이원석 | 김용주 | Journal of Biosystems Engineering | - | 국내 | 비SCI |
| 2021 | Evaluation of the fatigue life of a tractor's transmission spiral bevel gear | 김완수 | 김용주 | 김연수 박성환 이경희 홍동철 최창현 | Journal of Terramechanics | 94 | 국외 | SCI |
| 2020 | Simulation of Design Factors of a Clutch Pack for Power-Shift Transmission for an Agricultural Tractor | Md Abu Siddique | 김용주 박성운 | 김완수 김연수 박승민 최창현 | Sensors | 20(24) | 국외 | SCI |
| 2021 | Stereo-vision-based crop height estimation for agricultural robots | 김완수 | 이대현 | 김용주 김태형 이원석 최창현 | Computers and Electronics in Agriculture | 181 | 국외 | SCI |
| 2021 | Estimation of Axle Torque for an Agricultural Tractor Using an Artificial Neural Network | 김완수 | 이대현 김용주 | 김연수 박성운 | Sensors | 21(6) | 국외 | SCI |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|--|-------------|-----|-----------------|--------|------------------------|-------------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2018 | 트랙터 쟁기의 경심 제어장치 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2018-0019584 | 2018 | 트랙터 쟁기의 경심 제어장치 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2019 | 농용 트랙터의 룬거 조절형 휠 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2019-0051877 | 2019 | 농용 트랙터의 룬거 조절형 휠 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2019 | 작업자 탑승이 가능한 안전 트랙터용 쟁기 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2019-0113443 | 2020 | 작업자 탑승이 가능한 안전 트랙터용 쟁기 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2020 | 농업용 트랙터의 견인 제어 유압시스템 및 이를 이용한 견인 제어 방법 | 충남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2020-0178660 | | | | |

③ 기술료징수 현황

| 기 징수액 | 당해연도 징수액 | 향후 징수액 | 합계 |
|-------|----------|--------|-----|
| 214 | 214 | - | 214 |

- 기술이전 및 기술지도 내용

| 번호 | 계약일자 | 유상/무상 | 기술료 (백만원) | 공급 기관명 | 대상 기관명 | 기술이전 계약명 | 비고 |
|----|----------|-------|-----------|--------|---------|--------------------------------|----|
| 1 | 18.12.05 | 유상 | 7 | 충남대학교 | 주식회사 긴트 | 트랙터의 농작업에 따른 부하 프로파일 정량화 기술 | |
| 2 | 19.02.22 | 유상 | 7 | 충남대학교 | 센서아이 | 영상처리시스템을 이용한 실시간 농작물인식 및 보정 기술 | |
| 3 | 19.02.25 | 유상 | 20 | 충남대학교 | 비엔알 | 스파이럴 베벨기어 해석 기술 개발 | |
| 4 | 19.12.27 | 유상 | 40 | 충남대학교 | 비엔알 | 영상기반 트랙터 자동 조향 기술 | |
| 5 | 19.12.31 | 유상 | 100 | 충남대학교 | 주식회사 긴트 | 농기계용 텔레매틱스 서버 플랫폼 구축 기술 관련 노하우 | |
| 6 | 21.10.21 | 유상 | 40 | 충남대학교 | 비엔알 | 베일 압력 측정장치 | |

④ 석/박사 양성 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|----------------------|-------|------|------|
| 1 | 김완수 | 충남대학교 | 2018 | 석사 |
| 2 | 이바울 | 충남대학교 | 2018 | 석사 |
| 3 | 김택진 | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 4 | 김두한 | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 5 | 정연준 | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 6 | 장정훈 | 충남대학교 | 2018 | 석사 |
| 7 | Md abu ayub siddique | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 8 | 이남규 | 충남대학교 | 2021 | 석사 |
| 9 | 백승윤 | 충남대학교 | 2020 | 석사 |
| 10 | 백승민 | 충남대학교 | 2020 | 석사 |
| 11 | 문석표 | 충남대학교 | 2021 | 석사 |
| 12 | 김연수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 |
| 13 | 김완수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 |

⑤ 취업 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 최종학위 | 취업처 |
|----|-----------------------|-------|------|------|-----------|
| 1 | 김연수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 | 한국생산기술연구원 |
| 2 | 이바울 | 충남대학교 | 2018 | 석사 | 언맨드솔루션 |
| 3 | 김두한 | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 대동공업주식회사 |
| 4 | 장정훈 | 충남대학교 | 2018 | 석사 | 엘에스엠트론 |
| 5 | 정연준 | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 아르젠터보 |
| 6 | 이남규 | 충남대학교 | 2021 | 석사 | 건설기계부품연구원 |
| 7 | 문석표 | 충남대학교 | 2021 | 석사 | 한국기계연구원 |
| 8 | 김완수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 | 농업과학연구소 |
| 9 | Md abu ayu b siddique | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 티와이엠아이씨티 |
| 10 | 김택진 | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 동양물산기업 |

⑥ 학술발표 성과

| 연번 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|-----|-----|--|--|---------------------------|
| 1 | 2018 | 학술발표 | 충남대 | 김두한 | Analysis torque for multi-purpose cultivator during field operation | The 8th Joint Symposium between Chungnam National University and Shenyang Agriculture University | 대전 인터시티호텔 |
| 2 | 2018 | 학술발표 | 충남대 | 김두한 | 소형 관리기의 로타리 작업에 따른 PTO 기어 부하 분석 | 한국정밀농업학회 2018년 춘계학술대회 | 경상북도 상주시농업기술센터(대강당) |
| 3 | 2018 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | 로타리 작업 시 78kw급 농업용 트랙터의 등가부하 분석 | 한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2018년 추계 공동학술대회 | 서울대학교 농업생명과학대학 201동/대한민국 |
| 4 | 2018 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | 75kW급 농업용 트랙터 PTO 강도해석 | 한국정밀농업학회 초청 세미나 및 추계학술대회 | 농업기술실용화재단/대한민국 |
| 5 | 2018 | 학술발표 | 충남대 | 백승윤 | Traction analysis of an agricultural tractor according to slip ratio during plow tillage | Japan Korea Graduate Student Forum 2018 | University of Tsukuba, 일본 |
| 6 | 2019 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | 농업용 트랙터 PTO 기어 치면 하중 분포 분석 | 2019 추계공동학술대회 | 엘리시안 강촌 |
| 7 | 2019 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | 농업용 트랙터 변속기의 베어링 예압에 따른 내구수명 분 | 2019 드라이브·컨트롤 | 한국기술교육대학교 제 |

| | | | | | 석 | 추계학술대회 | 1캠퍼스 담 현실학관 |
|---|------|------|-----|-----|---|--|----------------|
| 8 | 2020 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | 50 kW급 트랙터 변속기의 베어링 예압 조건에 따른 베어링 내구수명 분석 | (사)한국농업기계학회/2020년 춘계공동학술대회 | 대한민국 온라인 |
| 9 | 2020 | 학술발표 | 충남대 | 백승민 | Analysis of Load Distribution of Hydro-Mechanical Transmission by Micro-Geometry Optimization | ASABE2020 Annual International Meeting | 미국 온라인 |

(나) 정성적 성과

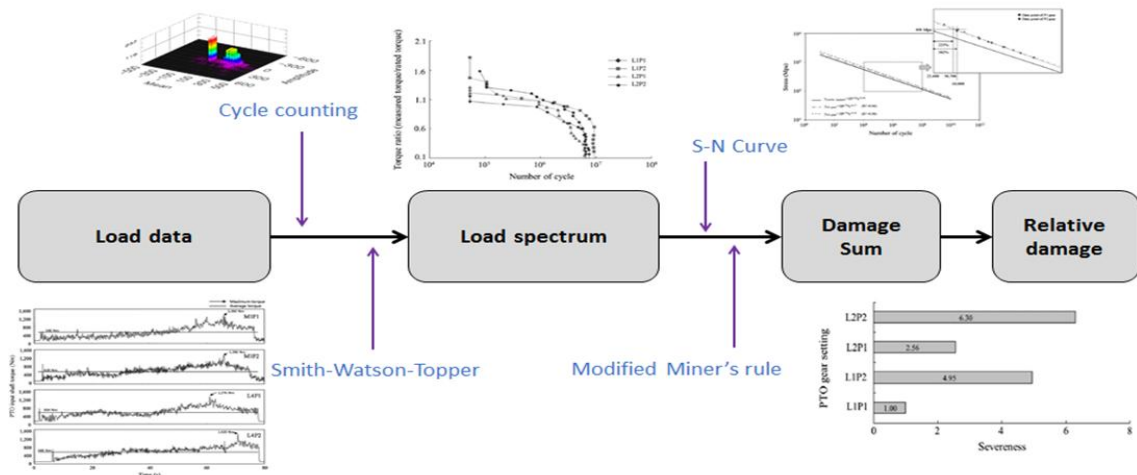
| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|-----|--|---|
| 2단계 | 4차년도 · Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링 (작업부하, 연료소비) 시스템 개발 | · Connect farming에 적합한 트랙터 동력 센싱 기술 개발 · 실시간 트랙터 동력 모니터링을 위한 인터페이스 및 계측 시스템 개발 |
| | 5차년도 · 농작업 조건에 따른 트랙터 동력 측정 및 분석 | · 다양한 트랙터 작업에 따른 실시간 동력 데이터 수집 · 포장시험을 통한 작업환경/조건/수준 및 작업기별 부하 데이터 수집 · 농작업에 따른 작업조건별 부하 데이터 분석 |
| | 6차년도 · 동력 모니터링을 통한 트랙터 주요 부품 신뢰성 평가 기술 개발 | · 텔레매틱스 기반 트랙터 수명 예측 기술 개발 · 트랙터 동력전달시스템 시뮬레이션 모델 개발 |
| | 7차년도 · Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링 시스템 신뢰성 성능평가 | · Connected farming 실증을 위한 동력 모니터링 성능평가 · 동력 모니터링 시스템 검증 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

■ 텔레매틱스 기반 트랙터 수명 진단 기술 개발

1. 트랙터 수명 진단 기술 개발

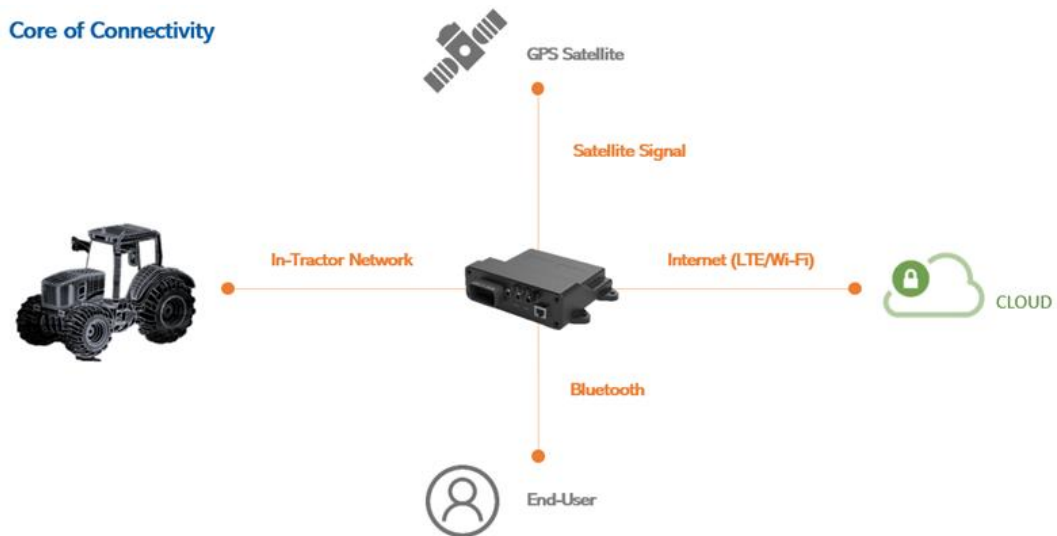
- 5차년도에 필드 테스트에서 계측된 엔진 토크, 엔진 소모량, 차량속도, 차륜 회전속도를 이용하여 등가 부하로 계산함
- Rainflow Counting, Smith Wastson Topper, S-N Curve, Miner's rule 수식을 이용하여 가혹도 분석을 수행하여, 작업부하가 기계/부품의 피로에 미치는 영향을 분석함



<트랙터 농작업에 따른 손상합(Damage sum) 분석 프로세스>

2. 텔레메틱스 기반 무선 데이터 송수신 시스템 개발

- 트랙터에서 계측된 부하 데이터를 송수신할 수 있는 서버를 구축하였으며, 단말기 프로토 타입을 개발하였음
- 개발된 단말기 프로토 타입은 트랙터 내부에 설치되어 통신 작업을 수행하며, 클라우드 서버, GPS 인공위성, 트랙터 네트워크, 사용자 네트워크와 연결됨
- 개발된 단말기는 3개의 채널로 구성되어 있으며, 트랙터 수명, 차속, GPS 정보 등이 송수신 가능함. 단말기 프로토 타입의 상세제원은 아래와 같음
- 향후 채널을 추가할 경우, 고장 상태, 연료 상태, 유온, 냉각수 온도 등 다양한 정보를 활용할 수 있을 것으로 판단됨



<계측 데이터 송수신을 위한 서버 시스템 구조>

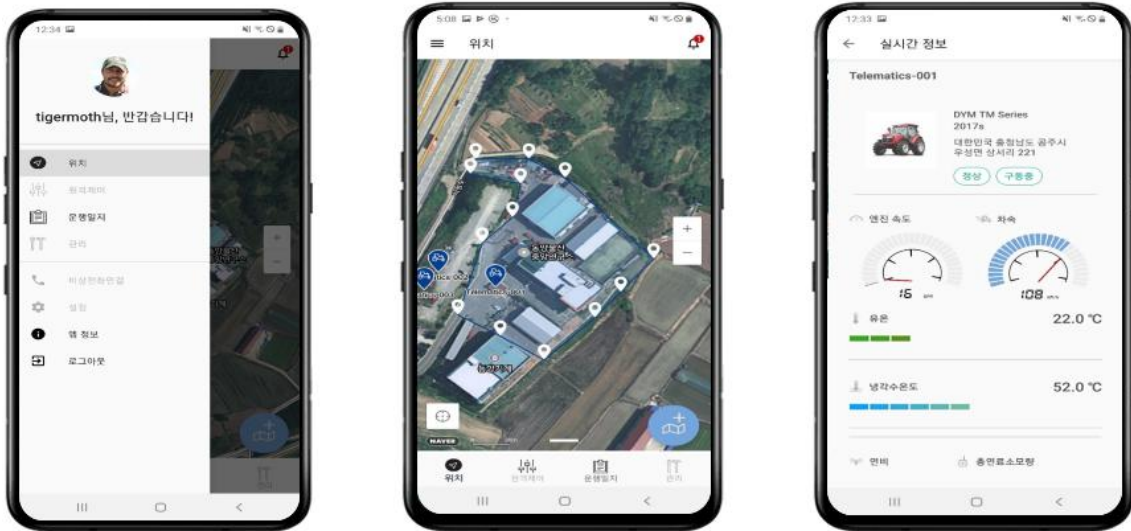
표. 단말기 프로토 타입의 제원

| Item | Specification |
|----------------------------------|--|
| Flash memory (MB) | 16 |
| RAM (MB) | 256 |
| Mobile communications in Korea | LTE Cat1 (T.B.D) |
| Positioning | BeiDou, Galileo, GLONASS, GPS/QZSS |
| CAN interfaces | 2 |
| Ethernet interfaces | 1 |
| Serial communications interfaces | 1 |
| Input | 3 ADC/ 3 Digital or PWM |
| Digital Outputs | 2 (High side) |
| Optional equipment | WiFi/ BT/ Backup Battery |
| Rated Voltage (VDC) | 12/24 |
| Real-time clock | yes |
| Connector type | AMPSEAL/ FAKRA/ RJ45 |
| 3-axis accelerometer | yes |
| Temperature rage (°C) | -40 to 85 (Storage) -20 to 60 (Operating) |
| IP rating | IP67 (T.B.D) |

- 본 연구에서는 차량의 위치, 속도, 작업 상태 등을 사용자의 모바일 APP 또는 인터넷 웹을 이용하여 확인하기 위해 GPS를 설치함
- 차량의 속도 및 위치를 측정하기 위한 방법으로 다음 그림과 같은 OEM 방식의 고감도 센서가 사용된 GPS(GPS 18x 5 Hztm, GARMIN, USA)장치를 이용하였으며 트랙터의 캐빈 상부에 장착함
- 트랙터의 주행 및 위치 정보를 수집 및 저장하기 위하여 데이터수집장치(QuantumX 840B, HBM, Germany)를 이용하여 다음 그림과 같이 구성하였으며 데이터 수집 시의 샘플링 속도는 100 Hz로 설정함
- 트랙터의 작업 시 진동에 의해 파손되지 않도록 별도의 지그(Jig)를 제작하여 데이터 수집 장치(Data acquisition, DAQ), Amplifier, PC 등을 장착함
- 트랙터 내부에는 다음 그림과 같이 농작업에 따른 트랙터의 주행 및 위치 데이터를 확인할 수 있는 소프트웨어가 설치된 컴퓨터와 모니터가 설치되어있으며, 이를 통해 실시간으로 측정되는 데이터의 확인 및 저장이 가능함



<트랙터 캐빈 설치용 GPS>

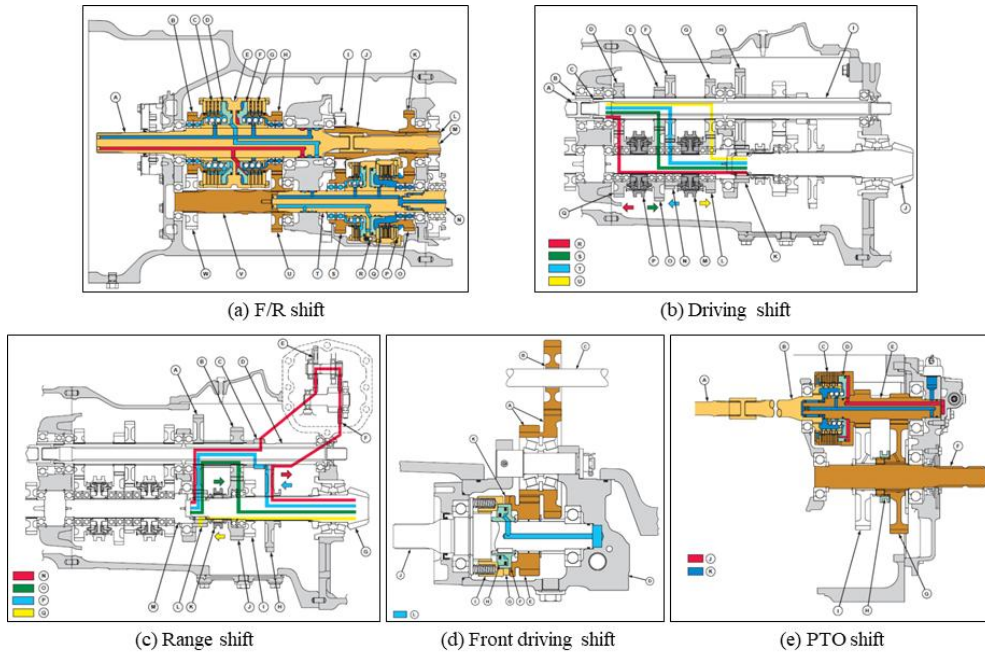


〈텔레매틱스 기반 트랙터 데이터 송수신 APP 구현〉

■ 트랙터 동력전달시스템 시뮬레이션 모델 개발

1. 트랙터 동력전달시스템(기계식) B/M을 통한 구조 분석

- John Deere 社 5525 모델의 동력전달시스템은 파워시프트(power-shift), 동기 물림식(synchromesh type), 상시 물림식(constant mesh type)의 변속 방식으로 구성되어 있음
- 전/후진 변속은 파워시프트 변속 방식으로, 파워시프트는 구동륜으로의 동력흐름을 방해하지 않고 변속할 수 있으며, 변속기 내에 있는 유압 작동 클러치와 브레이크가 변속하는 데 사용되기 때문에 주행 클러치가 필요 없음
- 주변속의 동기물림 기어식은 상시물림 기어식의 슬라이딩 칼라가 주축과 같은 속도에서 물릴 수 있도록 동기장치(synchronizer)를 설치한 것이며, 동기물림 기어식은 주축의 회전을 정지시키지 않고 신속히 변속할 수 있는 장점이 있음. 즉, 기어에 손상을 주지 않고 쉽게 변속되기 때문에 트랙터를 정지하지 않고서도 주행 중 변속할 수 있음
- 부변속은 상시 물림식 변속 방식이며, 상시 물림식 변속은 기어의 이빨 간의 갑작스런 마찰을 방지하고자, 기어끼리는 상시로 물려있는 상태고, 각 기어 사이의 시프터가 슬라이딩되며 출력축에 동력을 전달하는 방식으로 작동이 됨
- PTO 변속은 파워시프트 변속 방식으로, 유압 클러치를 작동하여, PTO의 회전속도를 변경할 수 있음
- 전륜에 동력을 전달하는 전륜구동의 변속 방식은 파워시프트이며, 전륜과 변속기 사이의 프로펠러 축을 통해 동력이 전달됨



<John Deere 社 5525 model의 동력 흐름>

2. 동력전달시스템 시뮬레이션 모델의 레이아웃 구성

○ 트랙터 동력전달시스템 레이아웃 분석

- 트랙터 동력전달시스템 레이아웃은 부하계측용 트랙터(동양물산, S07, Korea)의 동력전달도를 이용하여 분석함
- 시뮬레이션 모델을 구성하기 위하여 다음 그림과 같이 단수별(L3 Low, M3 Low) 동력전달 레이아웃 분석수행

: L3 Low = 로타리 작업 시 주 작업 단수, M3 Low = 쟁기 작업 시 주 작업 단수



(a) L3 low 단

(b) M3 low 단

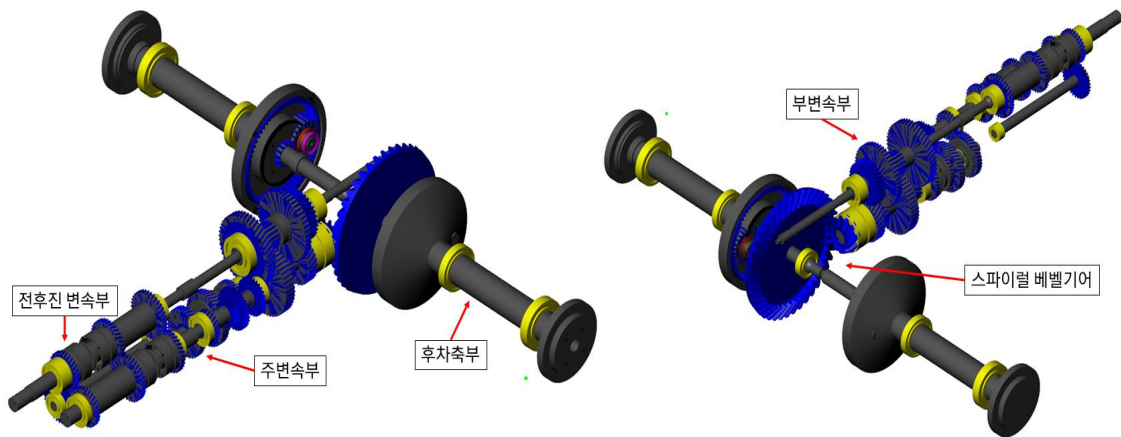
<부하계측용 트랙터의 동력전달시스템 레이아웃 분석>

- 동력전달효율은 입력 대비 출력이며 시뮬레이션 모델에서의 전체 효율은 동력전달에 영향을 미치는 기어쌍들의 효율을 모두 고려함
- 본 연구에서 동력전달효율 분석을 위하여 동력전달시스템은 변속기 입력축부터 후륜 차축까지로 정

의하였으며, PTO는 고려하지 않음

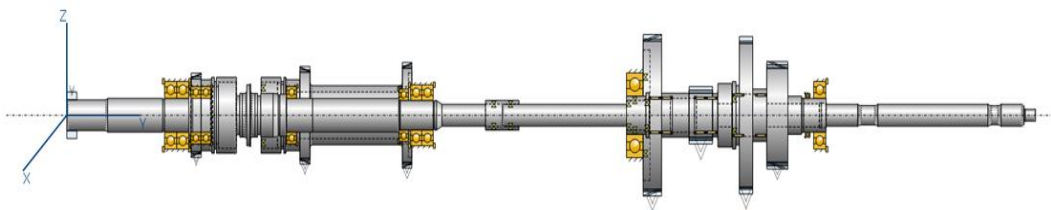
○ 시뮬레이션 모델 개발

- 동력전달효율 분석을 위한 시뮬레이션 모델 개발은 KISSsoft (KISSsoft AG, Switzerland, 03/2017)를 통하여 이루어졌으며 개발한 시뮬레이션 모델은 다음 그림과 같음
- 동력전달효율을 분석하기 위한 입력과 출력은 각각 셔틀부의 앞단과 후차축부의 2개의 유성기어의 출력인 링기어 끝단에서 출력이 나타날 수 있도록 시뮬레이션 모델을 개발하여 동력전달 효율을 계산
- 시뮬레이션 모델은 2개 단수에 따라 동력전달이 가능하도록 구성하였으며 각 단수에 따른 동력전달 효율 계산이 가능함



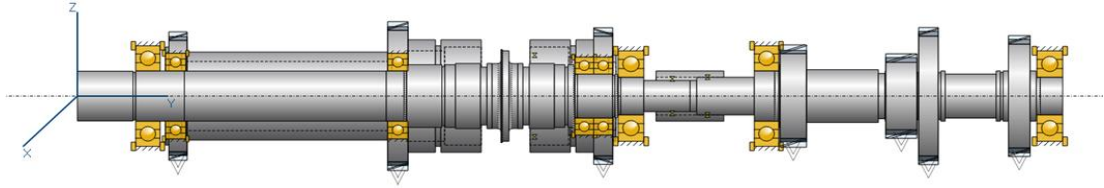
<KISSsoft를 이용하여 개발한 시뮬레이션 모델 개발>

- 모델 개발을 위한 축, 베어링, 기어 등의 세부 제원은 실제 모델 개발에 사용된 트랙터의 제원을 반영함
 - 파워 시프트 및 부변속 구동 및 PTO부의 축 모델링은 다음 그림과 같음
- : 입력 축 시뮬레이션 모델은 다음 그림과 같이 개발되었으며 전후진 변속부, 파워 시프트, 부변속 구동 및 PTO 부가 동축이며, 각 축들은 깊은 홈 볼 베어링 또는 니들케이징베어링으로 연결됨



<트랙터 변속기 입력축 시뮬레이션 모델>

- : 전후진 변속 및 주변속 축 시뮬레이션 모델은 다음 그림과 같이 개발되었으며 전후진 변속, 주변속 축이 동축으로 되어있으며 이는 커플링으로 연결되어 있음



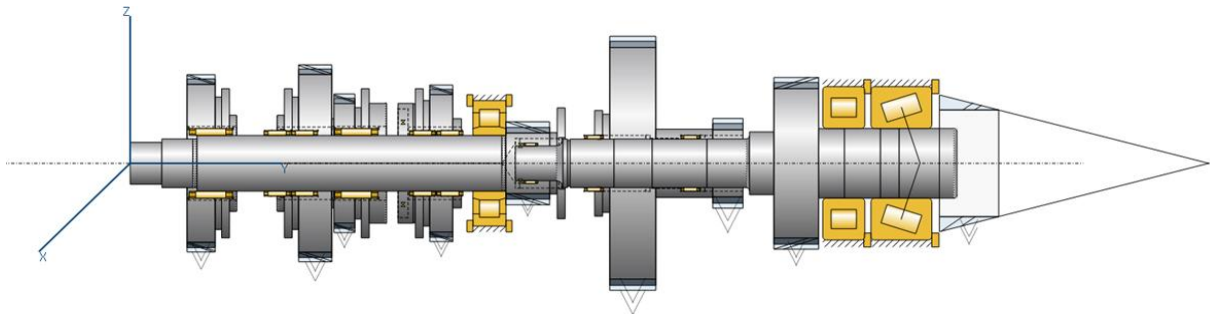
<트랙터 전후진 서틀 및 주변속부 시뮬레이션 모델>

: 후진축 시뮬레이션 모델은 다음 그림과 같이 개발되었으며, 후진축 개발에 사용된 축은 중공축



<트랙터 후진축 시뮬레이션 모델>

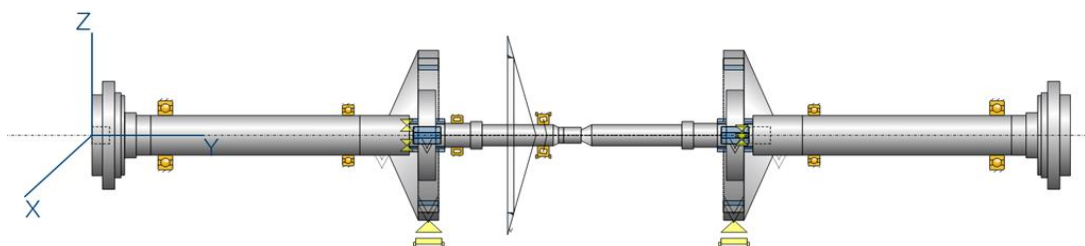
: 주변속 피동 및 부변속 구동 축 시뮬레이션 모델은 다음 그림과 같이 개발되었으며 주변속 피동 축과 부변속 구동축이 동축으로 이는 니들케이지 베어링으로 연결되어 있음



<트랙터 주변속 피동, 부변속 구동 축 시뮬레이션 모델>

: 후차축 시뮬레이션 모델은 다음 그림과 같이 개발되었으며 두쌍의 유성기어와 부변속 피동축으로부터 동력을 받는 베벨기어로 구성됨

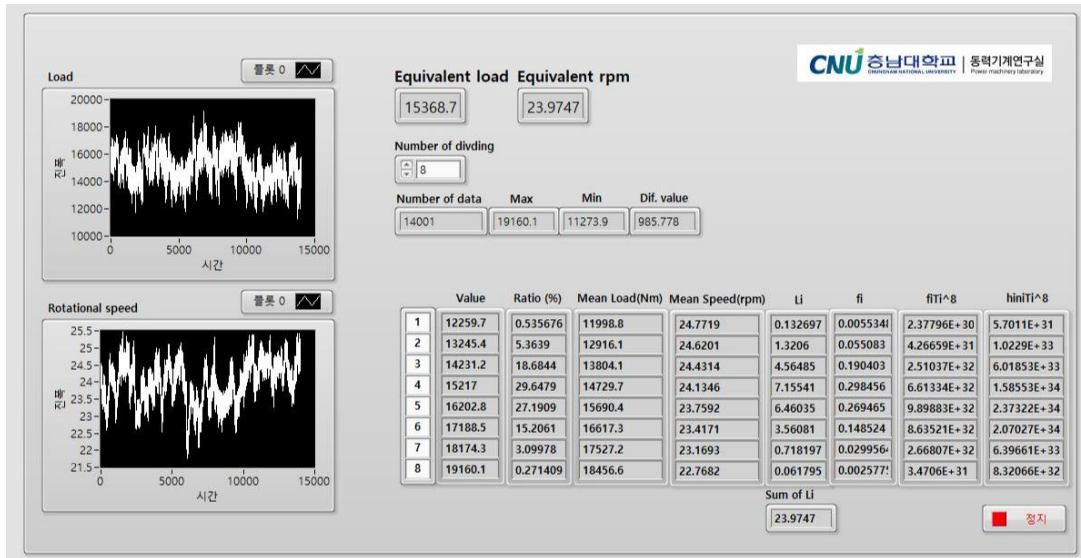
: 동력 출력은 유성기어 중 링기어 끝단과 양쪽 후차축의 연결부로 설정하였음



<트랙터 후차축 시뮬레이션 모델>

○ 시뮬레이션 해석 조건

- 시뮬레이션의 입력 부하 조건은 다음과 같이 이랑쟁기 M3 Low 단수 조건에서 실제 측정한 부하데이터를 이용하여 부하모드를 개발하고, 이를 기반으로 산출한 등가 토크 및 등가 회전속도를 이용함
- 등가 토크는 15,368 Nm이며, 등가 회전속도는 23.9747 rpm으로 나타났으며, 이를 동력전달시스템의 입력축 값으로 환산해주기 위하여, M3 Low단의 입력축-후차축 기어비인 94.2를 적용함



<동력전달효율 입력 조건 산출을 위한 이랑쟁기 M3 Low단 등가부하 분석>

- 본 연구에서는 동력전달시스템의 응력, 안전율, 효율에 대한 시뮬레이션 해석을 진행함
- 굽힘 응력 및 접촉 응력은 ISO 6336:2006 Method B 규격에 있는 식을 통하여 계산하였으며 이를 이용하여 안전율을 분석함
- 요구 시간은 내구수명, 연간 사용 일 수, 작업시간 등을 고려하여 3,112 시간으로 설정함
: 내구수명 10년 x 연간 사용 일 수 38.9일/년 (농업기계연감, 2017) x 작업시간 8시간/일
- 기어에 작용하는 응력은 이뿌리에서 모멘트로 인해 발생하는 굽힘 응력과 치면에서 면압으로 인해 발생하는 접촉 응력으로 구분할 수 있음
- 굽힘 응력의 발생으로 이의 절손, 파손 등이 발생할 수 있으며 접촉 응력의 발생으로 치면 피로 파손인 피팅(pitting)이 발생할 수 있으며, 이뿌리에서의 굽힘 응력 및 치면에서의 접촉 응력은 다음 식과 같이 계산됨

$$\sigma_F = \sigma_{Fo} K_A K_V K_{F\beta} K_{F\alpha} \dots \dots \dots (1)$$

Where, σ_F = Bending stress

σ_{Fo} = Nominal bending stress

K_A = Application factor

K_V = Dynamic factor

$K_{F\beta}$ = Face load factor
 $K_{F\alpha}$ = Transverse load factor

$$\sigma_H = \sigma_{Ho} Z_B \sqrt{K_A K_V K_{F\beta} K_{F\alpha}} \dots\dots\dots (2)$$

Where, σ_H = Contact stress
 σ_{Ho} = Nominal contact stress
 Z_B = Pinion single pair tooth contact factor

- 안전율은 기어의 강도 해석 시 중요한 지표로써, 기어를 설계할 때 굽힘 응력과 접촉 응력에 대하여 기어가 어느 정도 견딜 수 있는지를 나타내며, 기어에서 발생하는 작용 응력과 한계 응력의 비로 계산됨
- 안전율은 사용 목적 등에 따라 요구 안전율이 다르지만 일반적으로 1보다 크게 설정하며, 안전율이 1보다 작을 경우에는 기어의 내구 수명 감소 및 기어 파손 등에 의하여 운전자에게 위험을 가져오게 되므로 안전율을 신중하게 선정하여야 하며, 굽힘 안전율과 접촉 안전율은 다음 식과 같이 계산됨

$$S_F = \sigma_{FG} / \sigma_F \dots\dots\dots (3)$$

Where, S_F = Safety factor for bending stress
 σ_{FG} = Limit bending stress

$$S_H = \sigma_{HG} / \sigma_H \dots\dots\dots (4)$$

Where, S_H = Safety factor for contact stress
 σ_{HG} = Limit contact stress

- 동력 전달 효율은 동력전달시스템에 입력된 동력 대비 출력된 동력을 의미하며, 이는 다음과 같은 식을 이용하여 계산할 수 있음

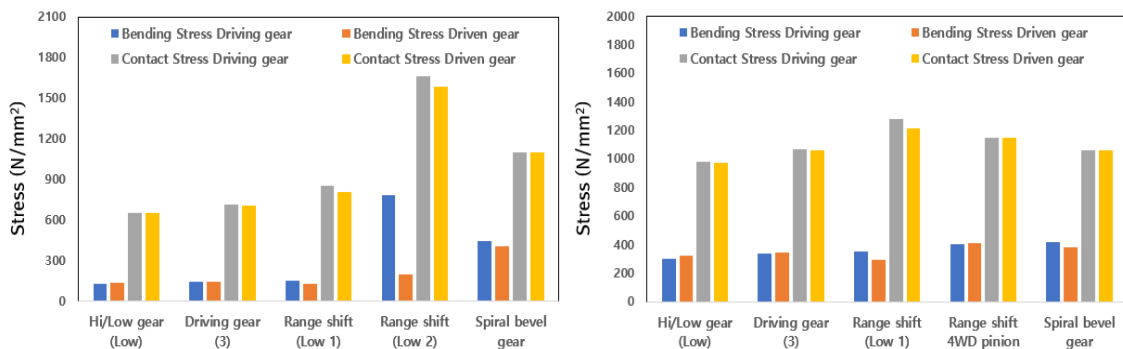
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (5)$$

Where, η = Transmission efficiency (%)
 P_{in} = Input power (kW)
 P_{out} = Output power (kW)

- 동력전달효율을 계산하기 위한 기어쌍들의 효율은 모든 기어쌍들의 시뮬레이션 모델을 각기 개발 및 각 시뮬레이션 모델의 효율 결과를 반영
- 시뮬레이션 소프트웨어에서 동력전달시스템에서 구현이 가능한 요소와 동력전달효율 계산에 영향을 미치지 않는 요소를 분석하여 시뮬레이션 모델에 반영

○ 동력전달시스템 강도 해석 결과

- L3 Low 조건에서 굽힘응력은 구동 기어에서 127.6~785.29 N/mm^2 의 범위를 보였으며, 피동 기어에서 124.32~406.91 N/mm^2 의 범위를 보임
- L3 Low 조건에서 접촉응력은 구동 기어에서 652.73~1,659.75 N/mm^2 의 범위를 보였으며, 피동 기어에서 649.43~1583.39 N/mm^2 의 범위를 보임
- L3 Low 단의 부변속 Low 2에서 가장 높은 구동기어의 굽힘 및 접촉 응력, 피동 기어의 접촉 응력을 보이는 것으로 나타남
- M3 Low 조건에서 굽힘응력은 구동 기어에서 300.88~414.76 N/mm^2 의 범위를 보였으며, 피동 기어에서 293.01~410.48 N/mm^2 의 범위를 보임
- M3 Low 조건에서 접촉응력은 구동 기어에서 976.13~1,275.72 N/mm^2 의 범위를 보였으며, 피동 기어에서 971.19~1213.58 N/mm^2 의 범위를 보임

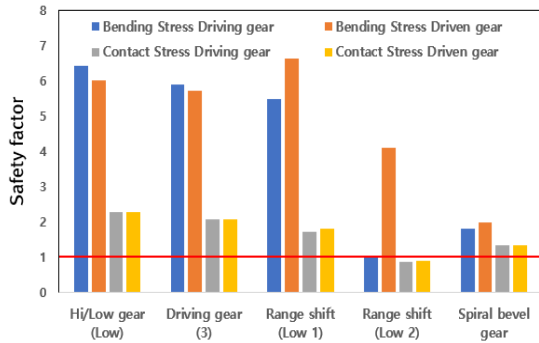


(a) L3 Low

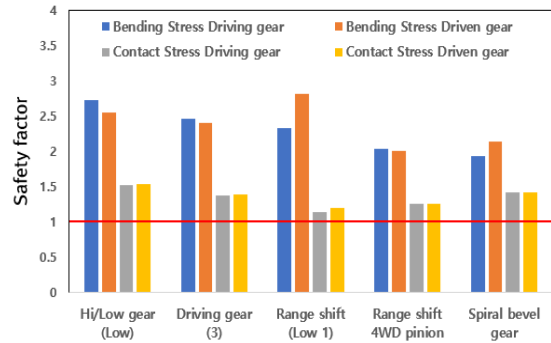
(b) M3 Low

<L3 Low 및 M3 Low 조건에서 구동 및 피동 기어의 굽힘 및 접촉 응력 결과>

- L3 Low 조건에서 안전율은 부변속 Low 2 기어를 제외하고 나머지 모든 기어에서 1 이상 나타난 것을 알 수 있었으며, 부변속 Low 2는 구동 기어에서 굽힘 안전율 1.03, 구동 및 피동 기어에서 접촉 안전율 각각 0.858, 0.899로 나타나 안전율 1 미만으로 나타난 것을 확인함
- M3 Low 조건에서 안전율은 모든 기어에서 1 이상 나타난 것을 확인함



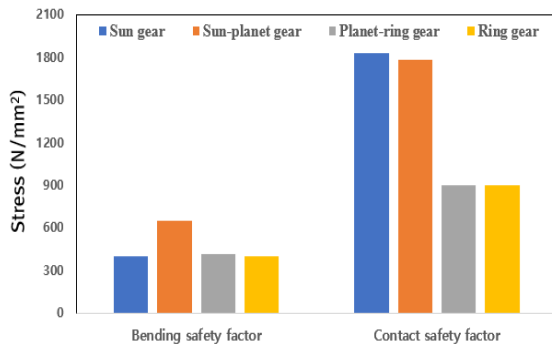
(a) L3 Low



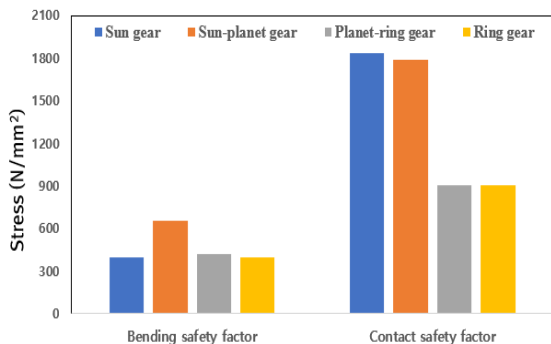
(b) M3 Low

<L3 Low 및 M3 Low 조건에서 구동 및 피동 기어의 굽힘 및 접촉 안전율 결과>

- L3 Low 조건에서 굽힘응력은 395.26~650.85 N/mm^2 의 범위로 나타났으며, 접촉 응력은 900.87~1,831.12 N/mm^2 의 범위로 나타남
- M3 Low 조건에서 굽힘응력은 398.24~655.76 N/mm^2 의 범위로 나타났으며, 접촉 응력은 903.85~1,838.09 N/mm^2 의 범위로 나타남
- 모든 단수조건에서 굽힘응력은 Sun-planet gear에서 가장 높게 나타났으며, 접촉 응력은 Sun gear 및 Sun-planet gear에서 가장 높게 나타남



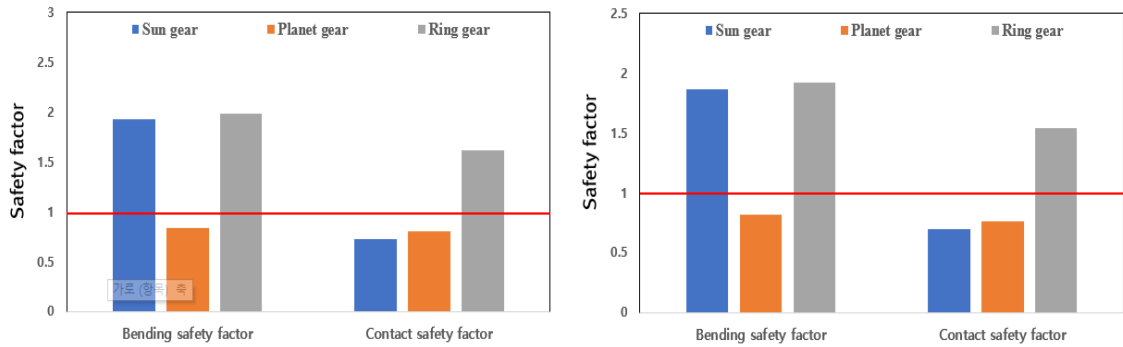
(a) L3 Low



(b) M3 Low

<L3 Low 및 M3 Low 조건에서 유성기어의 응력 결과>

- L3 Low 조건에서 유성기어의 굽힘 안전율은 Planet gear에서 0.832로 1 미만으로 나타났으며, 접촉 안전율은 Sun gear 및 Planet gear에서 각각 0.721, 0.805로 1 미만으로 나타남
- M3 Low 조건에서 유성기어의 굽힘 안전율은 L3 Low 조건과 유사하게 Planet gear에서 0.818로 1 미만으로 나타났으며, 접촉 안전율은 Sun gear 및 Planet gear에서 각각 0.699, 0.759로 1 미만으로 나타남
- 두 단수 모두 유사한 개형을 보였으나, M3 Low 단이 L3 Low 단 대비 다소 낮은 안전율을 보이는 것으로 나타남



(a) L3 Low (b) M3 Low
 <L3 Low 및 M3 Low 조건에서 유성기어의 안전율 결과>

- 본 연구에서 수행한 시뮬레이션은 트랙터의 전주기 수명 동안 선정된 단수 조건이 100% Duty 비를 갖는다는 조건하에 수행된 것으로, 이는 실제 작동 조건보다 매우 가혹한 조건에서 분석된 것임
- 따라서, 향후 실제 필드 조건을 반영하기 위하여 사용자 설문조사를 통한 각 작업별/단수별 duty 비를 반영한 시뮬레이션 분석을 수행할 예정임

○ 동력전달효율 시뮬레이션 결과

- L3 Low 조건에서 시뮬레이션 결과 입력 동력이 17.27 kW일 때, 출력이 15.25 kW로 약 88.3%의 동력전달 효율을 나타냄
- M3 Low 조건에서 시뮬레이션 결과 입력 동력이 47.69 kW일 때, 출력이 45.66 kW로 약 95.7%의 동력전달 효율을 나타냄

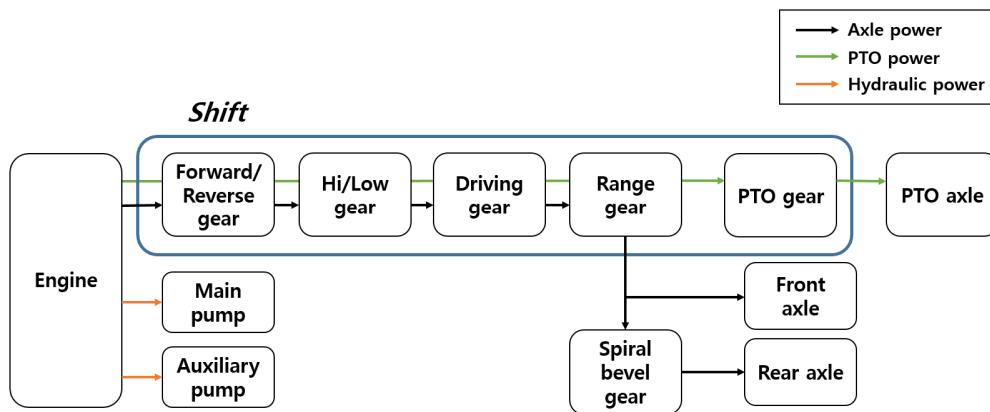
동력전달효율 시뮬레이션 분석 결과

| | L3 Low | | | M3 Low | | |
|------------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|--------------|----------------|
| | Input shaft | Output shaft | Efficiency (%) | Input shaft | Output shaft | Efficiency (%) |
| Torque (Nm) | 71.7 | 14794.92 | - | 198.0 | 14888.57 | - |
| Rotational speed (rpm) | 2,300 | 9.8433 | - | 2,300 | 29.2871 | - |
| Power (kW) | 17.27 | 15.2504 | 88.3 | 47.69 | 45.6623 | 95.7 |

3. 동력전달구조에 따른 요소부품 모델 개발

○ 1D 해석 소프트웨어 기반 트랙터 동력전달시스템 해석 모델 개발

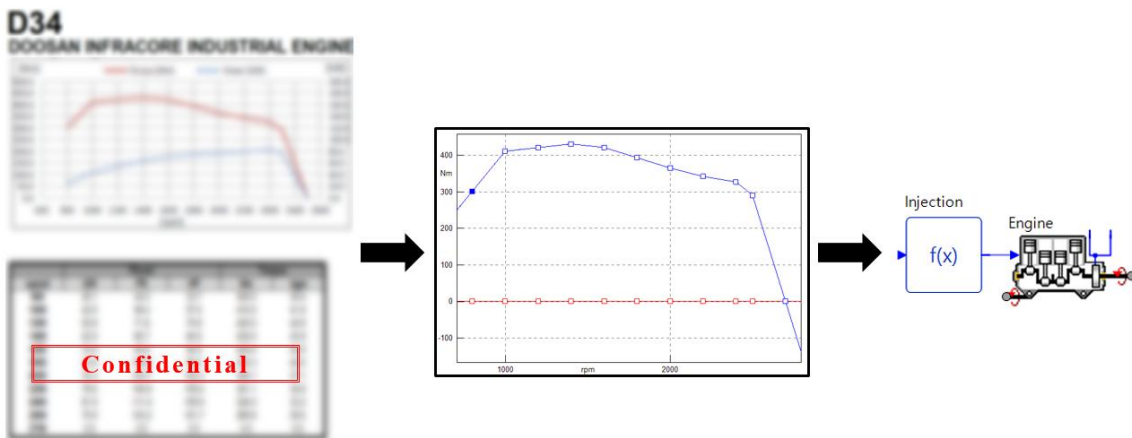
- 트랙터 동력전달시스템은 선진사 및 국내 농업기계 업체에서 개발한 시스템을 기준으로 엔진, 변속기, PTO, 유압 시스템으로 구성하였으며, 주요 동력전달 흐름도는 아래 그림과 같음
- : 차축 동력 = 엔진 -> 전/후진 -> Hi/Low 기어 -> 주변속 -> 부변속 -> (전륜 차축) -> 스파이럴베벨 기어 -> 후륜 차축
- : PTO 동력 = 엔진 출력축 -> PTO 기어박스 -> PTO 출력축
- : 유압 동력 = 엔진 출력축 -> 벨트풀리 -> 주/보조 유압펌프 입력 축



<트랙터 동력전달시스템 동력 흐름도>

○ 요소부품 시뮬레이션 모델 개발

- 트랙터 동력전달시스템 요소부품 모델 개발은 트랙터 동력전달구조도를 기반으로 엔진, 변속기, 주/보조 유압 펌프, PTO에 대하여 개발함
- [엔진 모델] 엔진 시뮬레이션 모델은 본 연구에 사용된 계측용 트랙터의 기계식 엔진 제원을 이용하여 개발함
 - : 계측용 트랙터의 기계식 엔진(D34, Doosan Infracore, Korea)은 최대속도 2,400 rpm, 최대 토크 430 Nm, 정격출력 78.6 kW (@2,200 rpm)의 제원을 가짐
 - : 엔진 시뮬레이션 모델은 엔진의 T-N (Torque-rpm) curve를 입력하였으며, Full-throttle 조건에서의 작동을 구현함
 - : 엔진 시뮬레이션 모델의 토크는 후단으로부터 입력된 부하에 따라 결정되며, 토크가 결정됨에 따라 T-N curve를 통해 엔진의 회전속도가 결정됨



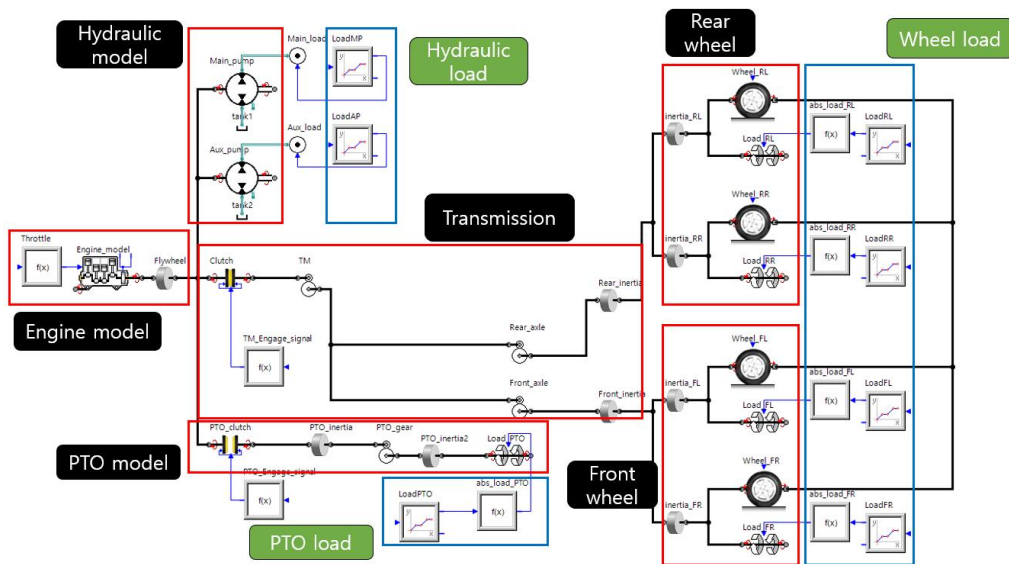
<실제 엔진 맵 기반으로 구성된 시뮬레이션용 엔진 모델>

- [변속기 모델] 변속기 시뮬레이션 모델은 기어해석 소프트웨어를 이용하여 보다 정밀한 해석이 가능하기 때문에, 통합 시뮬레이션 모델에서는 간략하게 단수에 따른 기어비 및 기어효율 등만을 고려하여 개발함
- : 변속기는 High&Low, 주변속부, 부변속부, 스파이럴-베벨기어 및 최종 감속부로 구분되며, 각 기어별

- 로 헬리컬기어, 스퍼기어, 유성기어 등 각 기어 조건별 효율을 적용하여 총 3개의 기어쌍으로 구성함
- [유압 펌프 모델] 유압 시뮬레이션 모델은 본 연구에 사용된 계측용 트랙터의 유압 펌프 제원을 이용하여 개발함
 - : 유압 시뮬레이션 모델은 주유압 및 보조유압 펌프로 구성하였으며, 배제용적은 주유압 펌프와 보조 유압 펌프 각각 24, 12 cc/rev을 입력하였으며 각 효율은 모두 90%를 적용함
 - : 유압 펌프는 엔진 직결형으로, 엔진으로 부터 동력을 전달 받아 구동되며, 각각의 펌프 출력단에 계측용 트랙터에서 측정한 펌프 압력 데이터를 입력할 수 있도록 구성함
- [PTO 모델] PTO 시뮬레이션 모델은 회전속도를 540, 750, 1,000 rpm을 출력할 수 있도록 3단으로 구성함
 - : PTO는 유압 클러치를 통해 작동되며, 유압 클러치에 프로파일을 입력할 경우 엔진과 직결되어 PTO 축으로 동력을 전달함
 - : PTO의 단수는 더블 싱크로나이즈 기어와 싱글 싱크로나이즈를 통해 입력되는 신호에 의하여 선정할 수 있도록 구성하였으며, 기어 모델을 통해 선정된 단수에 의한 PTO 회전속도를 출력함

○ 요소부품 SI를 통한 시뮬레이션 모델 개발

- 앞서 구성한 각 단품모델들을 기반으로 SI (System integration)을 통하여 다음 그림과 같이 통합 시뮬레이션 모델을 개발함
- 시뮬레이션 모델은 엔진, 변속기, PTO, 주/보조 유압 펌프, 전/후륜 차륜 모델을 이용하여 구성함
- 실제 농작업 시 발생하는 부하데이터는 4개의 차륜 및 주/보조 유압 펌프, PTO부에 입력할 수 있도록 구성함



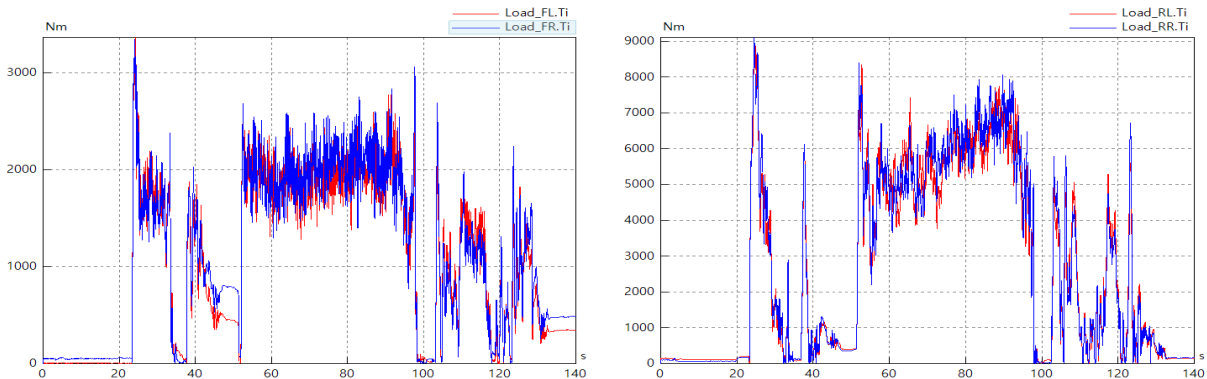
<본 연구에 사용된 트랙터 통합 시뮬레이션 모델 개발 >

○ 시뮬레이션 해석 조건

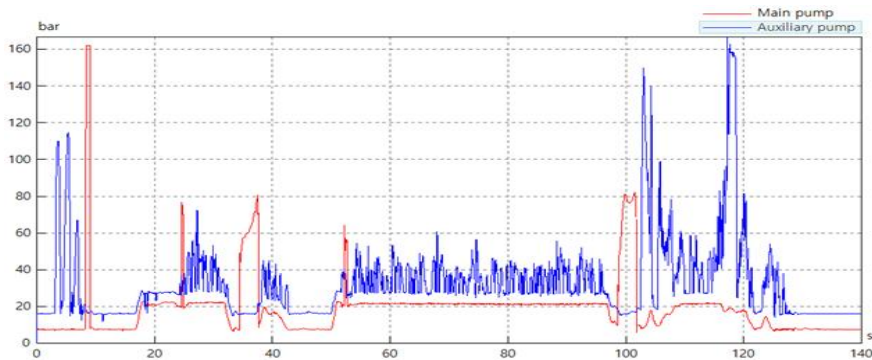
- 시뮬레이션 해석 조건은 2018년 청양 Field 1에서 이랑쟁기 작업 시 M3 Low조건에서 수집한 다음과 같은 작업 부하 데이터(4개 차축 토크 및 주/보조 유압 펌프의 압력)를 입력함
- 전륜 토크는 작업구간인 50~95 sec 사이에서 약 1500~2400 Nm의 범위를 보였으며, 후륜 토크는 약

4000~8000 Nm의 범위를 보임

- 주/보조 유압 펌프의 압력은 작업기 승·하강 및 조향에 따라 최대 160 bar를 보임



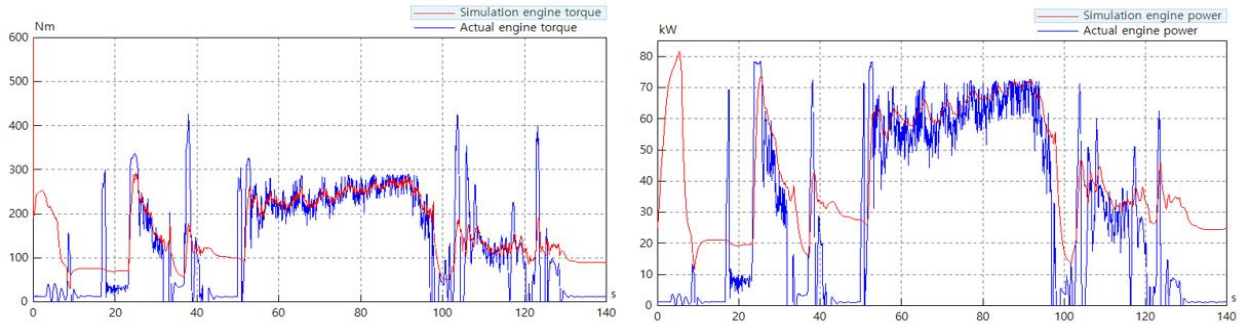
<시뮬레이션 모델의 4개 차륜 입력 부하 조건>



<시뮬레이션 모델의 주 유압 및 보조 유압의 입력 부하 조건>

○ 시뮬레이션 해석 결과

- 시뮬레이션 해석 결과에 따른 엔진 토크 및 엔진 출력과 실제 계측된 값의 비교 결과는 다음 그래프와 같음
- 전반적으로 실제 이랑쟁기 작업구간인 50~95sec 사이에서는 엔진 토크 및 엔진 출력 모두 시뮬레이션 모델의 결과가 실제 계측된 데이터와 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있음
- 다음 표와 같이 작업구간에서는 시뮬레이션과 실제 엔진 토크의 비교 분석 결과 이랑쟁기 작업구간에서는 오차가 약 0.22%로 나타났으며, 전체 작업구간에서는 약 12.44%로 나타남
- 전반적으로 작업구간 이외의 구간에서 실제 계측된 데이터가 구간마다 peak 데이터를 보이는 것을 확인할 수 있으나, 시뮬레이션에서는 이를 반영하지 못하는 것으로 나타남
- 추후 시뮬레이션 모델의 상세 튜닝 과정을 통하여, 시뮬레이션 모델의 보안을 수행할 예정임



<시뮬레이션 결과 및 실제 계측 데이터의 비교 분석 결과>

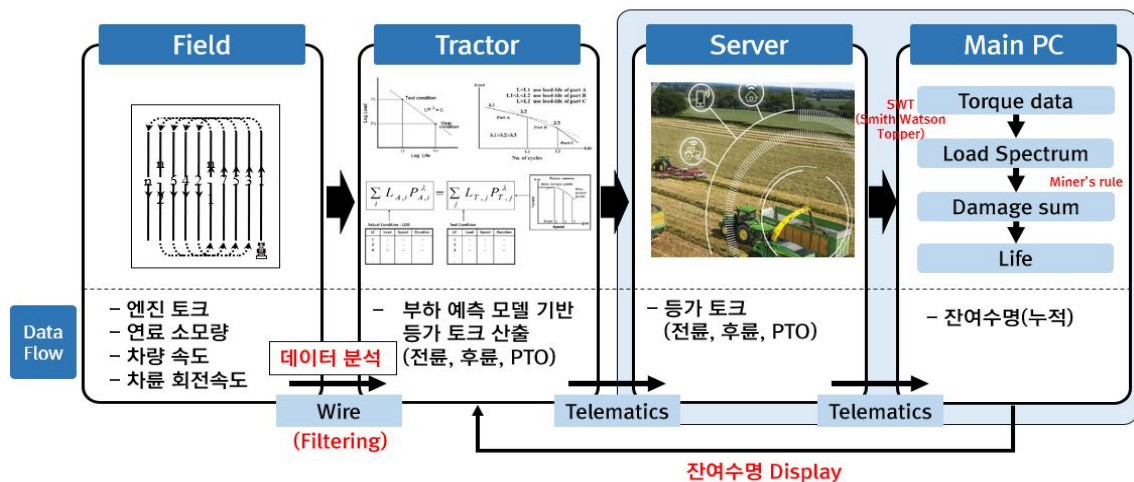
작업구간 및 전체구간에서의 시뮬레이션 및 실제 계측된 엔진 토크 값의 비교 분석

| | Plow tillage period | | | Total working period | | |
|--------------------------|---------------------|------|-----------|----------------------|-------|-----------|
| | Avg. | Std. | Error (%) | Avg. | Std. | Error (%) |
| Simulation engine torque | 248.5 | 17.3 | 0.22 | 186.2 | 65.5 | 12.44 |
| Actual engine torque | 248.0 | 25.4 | | 165.6 | 107.4 | |

■ 트랙터 농작업에 따른 신뢰성 모니터링 시스템 개발

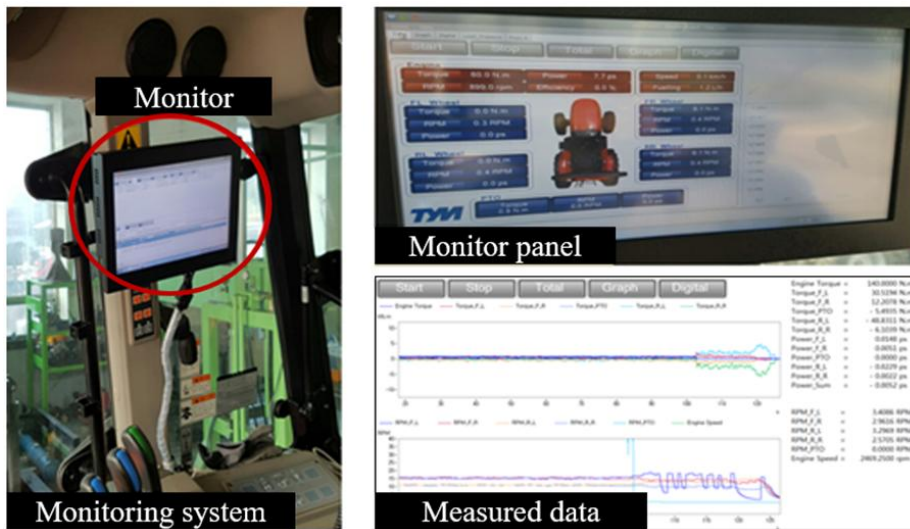
1. 신뢰성 모니터링 시스템 개발

- 6차년도에 개발한 텔레매틱스 기반 트랙터 수명 예측 기술 및 서버, 단말기를 이용하여 필드 테스트에서 데이터를 계측한 후, 계측한 부하 데이터를 트랙터 PC로 전하고 등가부하 계산 프로그램을 이용하여 데이터를 등가부하로 변환시킴
- 등가부하로 계산된 데이터는 서버에 전송되며, 전송된 데이터는 메인 PC로 전송되어 수명 예측 프로그램을 이용하여 다시 서버로 전송시켜 트랙터 정보를 확인할 수 있도록 시스템을 구성하였음
- 현재 개발된 텔레매틱스 기반 트랙터 시스템의 GPS 데이터, 차속, 작업 부하 데이터, 트랙터 수명 및 채널 수를 조정하여 데이터 송수신 안정화 작업을 수행하였음



<트랙터 신뢰성 모니터링 시스템 수명 예측 프로세스>

- 본 연구에서는 차량의 위치, 속도, 작업 상태 등을 사용자 서버를 이용하여 확인하기 위해 GPS (GPS 18x 5 Hztm, GARMIN, USA)를 설치하였으며, 트랙터의 캐빈 상부에 장착하였음
- 트랙터의 주행 및 위치 정보를 수집 및 저장하기 위하여 데이터수집장치(QuantumX 840B, HBM, Germany)를 이용하여 아래 그림과 같이 신뢰성 모니터링 시스템을 구성하였으며, 데이터 수집 시의 샘플링 속도는 100 Hz로 설정함
- 트랙터의 작업 시 진동에 의해 파손되지 않도록 별도의 지그(Jig)를 제작하여 데이터 수집 장치(Data acquisition, DAQ), Amplifier, PC 등을 장착함
- 트랙터 내부에는 농작업에 따른 트랙터의 주행 및 위치 데이터를 확인할 수 있는 소프트웨어가 설치된 컴퓨터와 모니터가 설치되어있으며, 이를 통해 실시간으로 측정되는 데이터의 확인 및 저장이 가능함



<트랙터 내부 신뢰성 모니터링 시스템>



<실시간 농작업 데이터 모니터링 기술 구성도>

2. 신뢰성 모니터링 시스템 성능평가

- 개발된 트랙터 신뢰성 모니터링 시스템으로 농작업을 실시하여 트랙터 정보 및 작업 현황에 대한 성능평가를 수행하였음

- 성능평가는 주요 농작업인 쟁기 및 로타리 경운 작업을 대상으로 선정하였으며, 전라북도 부안군 죽림길 52-29에 위치한 100 m × 40 m의 논에서 수행하였음
- 작업기는 이랑쟁기(WJSP-8, Woongin Machinery Co., Ltd., Korea)와 로타리(E260, Celli Co., Ltd., Italy)를 이용하였으며, 상세 제원은 아래 표와 같음

성능평가 작업기 제원

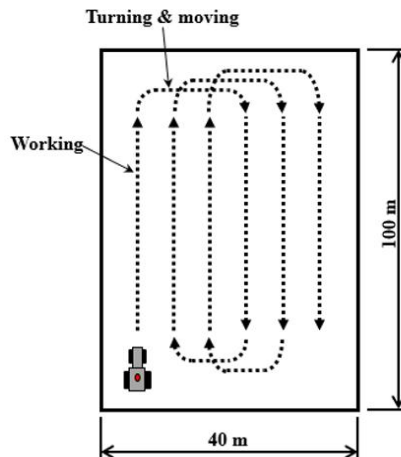
| Items | Specifications | |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|
| | Plow | Rotary |
| Company | Woongin Co., Ltd. | Celli Co., Ltd. |
| Model | WJSP-8 | E260 |
| Length × Width × Height (mm) | 2,800 × 2,150 × 1,250 | 860 × 2,760 × 700 |
| Working width (cm) | 280 | 258 |
| Weight (kg) | 790 | 715 |

- 트랙터 구동은 견인력이 높은 4륜 구동 모드로 수행하였음. 작업 시 경심은 약 15 - 20 cm로 설정하였으며, 작업 부하에 따라 제어가 가능하도록 설정하였음
- 성능평가는 작업에 따라 각각 작업 단수 2개를 선정하여 실시하였으며, 이 때 엔진 회전속도는 2,510 rpm (Full throttle)에서 수행하였음

성능평가 작업 조건

| Field operation | Gear setting | Engine speed | PTO speed | Depth |
|-----------------|---------------------|--------------|-----------|------------|
| Plow tillage | M3 Low (7.09 km/h) | 2,510 rpm | - | 15 - 20 cm |
| | M2 High (6.01 km/h) | | | |
| Rotary tillage | L3 High (2.83 km/h) | | 540 rpm | |
| | L3 Low (2.38 km/h) | | | |

- 작업 패턴은 C-type으로 전진→선회→전진의 순서로 작업을 실시하였으며, 회전 시 작업기를 상승시키고 전진 시 다시 작업기를 하강하여 작업을 수행하였음



<트랙터 신뢰성 모니터링 성능평가 작업 패턴>



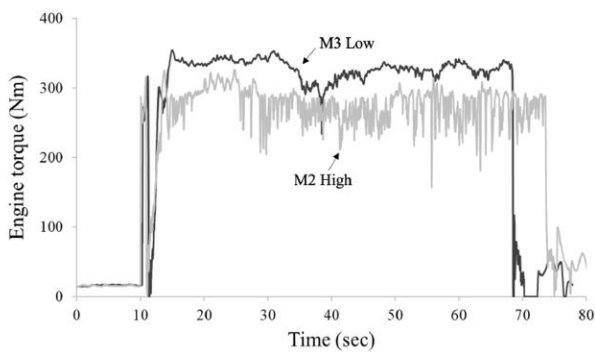
(a) Plow tillage



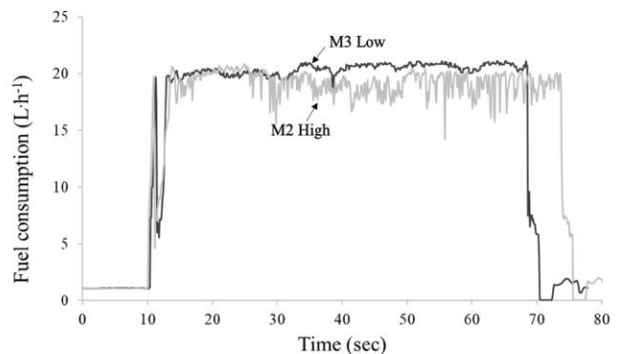
(b) Rotary tillage

<트랙터 신뢰성 모니터링 성능평가 사진>

- 쟁기 작업 시, 엔진 토크는 작업구간에서 M3 Low 단은 270 - 354 Nm의 범위로 나타났으며, M2 High 단에서 204 - 323 Nm 범위로 나타남. 엔진 정격 토크가 324 Nm인 것을 고려할 때 M3 Low 단에서 정격 토크 대비 약 83 - 109%, M2 High 단에서 약 63 - 100%의 토크를 사용한 것으로 나타남
- 연료 소모량의 평균값은 M3 Low 단에서 15.3 L/h, M2 High 단에서 14.5 L/h로 나타남. 연료 소모량은 쟁기 작업에서 모두 엔진 토크와 유사한 개형으로 나타났으며, 작업 단수가 높을수록 연료 소모량이 높게 나타남. 이는 작업 속도가 빠를수록 높은 작업 부하가 나타나고, 이에 따라 엔진에서 보다 높은 토크를 요구하기 때문에 연료 소모량이 증가하는 것으로 판단됨
- 아래 표는 쟁기 작업에 따른 트랙터 엔진 토크 및 연료 소모량을 나타냄. t-test 분석 결과, 쟁기 작업에 따른 작업 단수별 엔진 토크, 연료 소모량은 유의 수준 $p < 0.05$ 에서 모두 유의한 차이가 나타나는 것을 확인하였음



(a) Engine torque



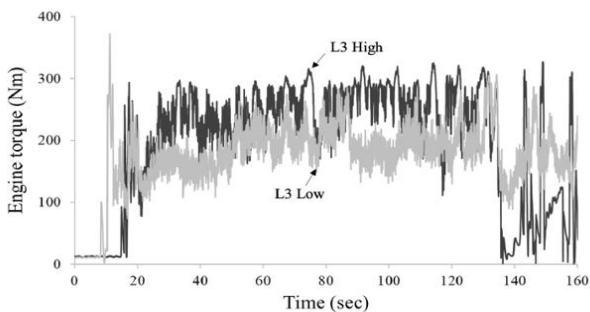
(b) Fuel consumption

<쟁기 작업 시 트랙터 엔진 토크 및 연료 소모량>

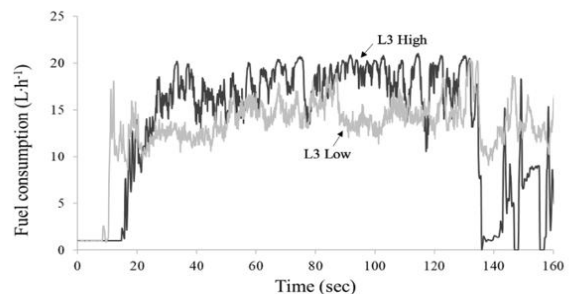
쟁기 작업 시 트랙터 엔진 토크 및 연료 소모량

| Gear stage | Engine torque (Nm) | Fuel consumption (L/h) |
|------------|---------------------------|------------------------|
| M3 Low | 244.7±134.7 ^{*a} | 15.3±8.2 ^a |
| M2 High | 211.1±110.0 ^b | 14.5±7.6 ^b |

- 로타리 작업의 경우 엔진 토크는 L3 High 단 작업구간에서 77 - 326 Nm의 범위로 나타났으며, L3 Low 단에서 102 - 285 Nm 범위로 나타남. L3 High 단에서 엔진 토크는 정격 토크 대비 약 24 - 101%, L3 Low 단에서 약 31 - 88%의 토크를 사용한 것으로 나타난 것을 확인하였음
- 연료 소모량의 평균값은 M3 Low 단에서 15.3 L/h, M2 High 단에서 14.5 L/h로 나타남. 연료 소모량은 쟁기 작업에서 모두 엔진 토크와 유사한 개형으로 나타났으며, 작업 단수가 높을수록 연료 소모량이 높게 나타남. 이는 작업 속도가 빠를수록 높은 작업 부하가 나타나고, 이에 따라 엔진에서 보다 높은 토크를 요구하기 때문에 연료 소모량이 증가하는 것으로 판단됨
- 엔진 토크 및 연료 소모량 평균값은 쟁기 작업에서 로타리 작업보다 높게 나타남. 이는 로타리 작업에서 쟁기 작업보다 더 큰 변동 부하가 발생함에 따라 연료 소모량 값의 변동 폭도 넓어진 것으로 판단됨
- 아래 표는 로타리 작업에 따른 트랙터 엔진 토크 및 연료 소모량을 나타냄. t-test 분석 결과, 로타리 작업에 따른 작업 단수별 엔진 토크, 연료 소모량은 유의 수준 p<0.05에서 모두 유의한 차이가 나타나는 것을 확인하였음



(a) Engine torque



(b) Fuel consumption

<로타리 작업 시 트랙터 엔진 토크 및 연료 소모량>

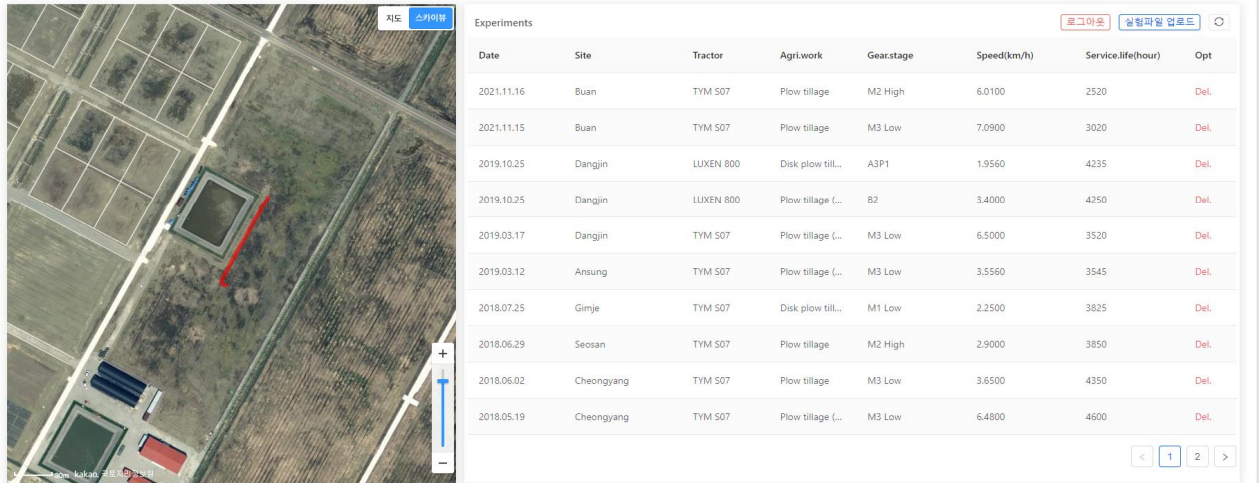
로타리 작업 시 트랙터 엔진 토크 및 연료 소모량

| Gear stage | Engine torque (Nm) | Fuel consumption (L/h) |
|------------|---------------------------|------------------------|
| L3 High | 185.6±102.1 ^{*a} | 13.1±7.0 ^a |
| L3 Low | 161.3±67.7 ^b | 12.1±4.6 ^b |

*Average ± standard deviation

a, b: Means in a column with different letters are significantly different (p<0.05).

- 트랙터 작업 데이터는 웹서버에 모두 기록되며, 개발한 변속기 수명 예측 기술을 통해서 잔여 수명이 계산됨. 아래 그림은 성능평가 시 기록된 트랙터 작업 데이터를 나타냄
- 사용자는 서버에 업로드된 GPS 데이터, 작업 단수, 작업 속도, 작업 종류, 잔여 수명을 확인할 수 있으며, 농작업에 따른 트랙터 내구 수명, 작업 및 고장 이력을 확인하고 정비가 가능할 것으로 판단됨



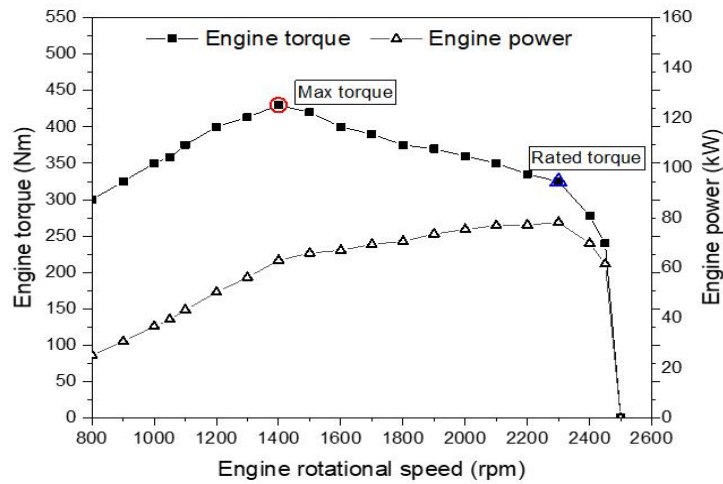
<트랙터 신뢰성 모니터링 서버>

3. 동력 모니터링 시스템과 실내 시험장치, 시뮬레이션 등과의 비교 분석을 통한 동력 모니터링 시스템 검증

가. 다이내모미터 시험

(1) 다이내모 시험조건

- 가속수명 시험은 시험 시간을 단축시킬 목적으로 사용 조건보다 가혹한 조건에서 수행하는 시험으로 가속 부하는 사용 조건에서 관측하고자 하는 고장을 유발시킬 수 있는 범위 내에서 선택되어야하며, 사용 조건에서 발생하지 않는 고장 모드를 유발시키는 가속 조건은 배제되어야 함
- 가속 부하 수준의 선택은 가속수명 시험에 중요한 요소이며, 가속 부하 수준은 트랙터의 설계 한계를 초과하지 않는 범위 내에서 부과되어야 함. 아래 그림은 본 연구에서 사용한 78 kW급 트랙터에 탑재된 엔진의 성능곡선을 나타냄. 엔진 성능 곡선에서 엔진 최대 토크는 430 Nm로 정격 토크의 약 132% 수준임. 따라서 가속수명 시험 시 부하는 트랙터 설계 한계인 엔진의 최대 토크를 초과하지 않는 범위 내에서 정격 부하의 120%로 결정하였음



<가속수명 시험 대상 엔진 성능 곡선>

- 가속수명 시험 시 스파이럴 베벨기어의 입력 회전속도는 정격 회전속도와 동일한 559.1 rpm을 적용하였으며, 출력 토크는 차축 슬립 토크와 기어비 및 동력 전달 효율을 적용하여 계산된 정격 토크 4.18 kNm의 1.2배인 5.01 kNm의 토크를 적용하였음. 시험 시 기어 박스 내의 오일 온도는 50 ± 5 °C를 유지하도록 제어하였으며, 가속수명 시험 입력 조건은 아래 표와 같음

다이나모 시험조건

| Items | Specifications |
|---------------------------------|----------------|
| Input rotational speed (rpm) | 559.1 |
| Rated output torque (kNm) | 4.18 |
| Accelerated output torque (kNm) | 5.01 |
| Rated output (rpm) | 146.4 |
| Accelerated output (rpm) | 146.4 |
| Oil temperature (°C) | 50 ± 5 |

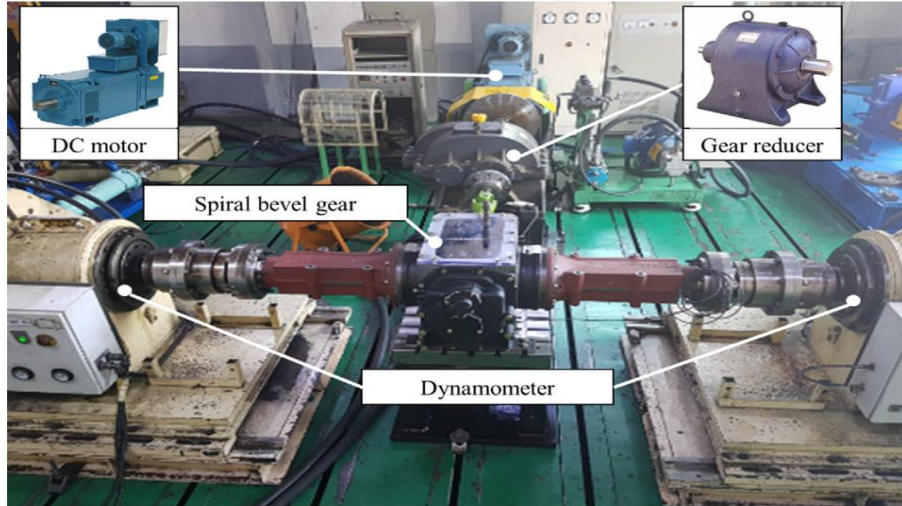
- 기어의 수명은 크게 기어 이의 파괴와 치면의 파괴로 나뉘며, 치면의 파괴는 피치점 부근에서 발생하는 피팅(Pitting)으로 정확한 시점을 파악하기 어려운 단점이 있음. 그리고 기어 이의 파괴는 이뿌리에서 생기는 응력인 이뿌리의 굽힘 강도에 의하여 기어 이가 피로 파괴될 수 있으며, 일반적으로 동력전달장치의 수명을 결정하게 됨. 기어 이 하나의 파손이 모든 기어 이의 파손으로 나타날 수 있기 때문임. 본 연구에서는 위의 대표적인 기어 손상 모드 중 급격한 성능의 변화를 동반하고 가장 기피되는 모드인 기어 이의 파손을 고장 모드로 결정하였으며, 가속수명 시험 시 기어 이가 파손이 발생하는 시점까지 시험을 진행하였음

(2) 다이나모미터 시험장치 구성

- 변속기 스파이럴 베벨기어의 부하에 따른 수명을 평가하기 위한 가속수명 시험 장치는 아래 그림과 같이 입력 모터(DC motor), 감속기(Reducer), 오일 온도 조절 장치(Oil cooler), 스파이럴 베벨기어가 포함된 기어 박스(Gear box) 및 차축 동력계(Axle

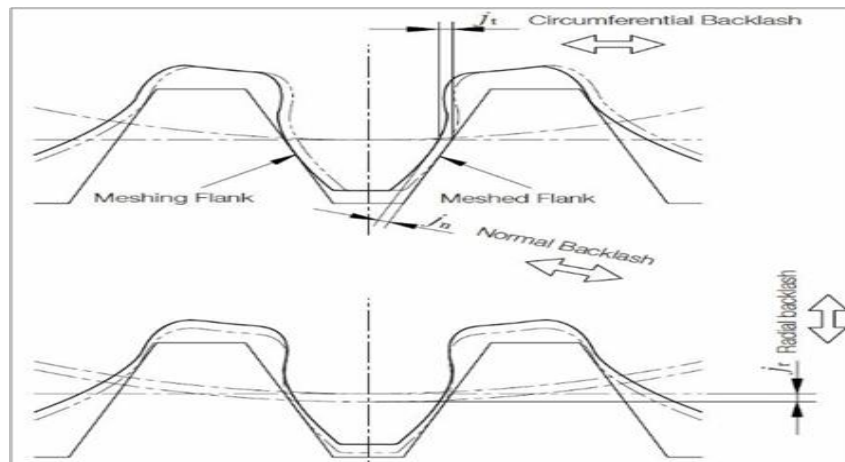
dynamometer) 등으로 구성하였음

- 스파이럴 베벨기어 박스를 구동하기 위한 입력 DC 모터의 용량은 151 kW에 토크는 810 Nm의 용량으로 기어 박스를 직접적으로 구동하기에는 토크 용량이 부족하여 모터와 기어 박스 사이에 5:1의 감속비를 갖는 감속기를 설치하였으며, 차축 동력계는 0.4~15 kNm까지 토크 제어가 가능함



<다이내모 시험장치 구성>

- 가속수명 시험 시 백래시는 반드시 고려되어야 하며, 1쌍의 기어가 부드럽게 무리 없이 회전하려면 백래시가 필요함. 백래시란 1쌍의 기어를 맞물렸을 때 치면 사이의 틈새를 말하며 백래시는 아래 그림과 같이 원주 방향 백래시(j_t), 법선 방향 백래시(j_n), 축 방향 백래시(j_r)로 분류할 수 있고, 아래의 식과 같이 백래시를 계산할 수 있음
- 기어 백래시의 조정은 심(shim)에 의해 조립거리를 조정하는 방법이 일반적이며, 조립거리를 조정할 때는 피니언 및 링기어를 균형 있게 조정하여 기어 이의 접촉을 정상으로 유지할 필요가 있음. 또한, 백래시가 너무 적으면 마찰이나 소음의 원인이 되고 너무 크면 접촉 면적이 작아져 기어가 파손되는 현상이 발생할 수 있음



<기어 백래시>

$$j_t = \frac{j_n}{\cos\alpha_n \cos\beta_m}$$

$$j_n = j_t \cos\alpha_n \cos\beta_m$$

$$j_r = \frac{j_n}{2\sin\alpha_n \sin\delta}$$

Where, j_t = Circumferential Backlash (mm)

j_n = Normal Backlash (mm)

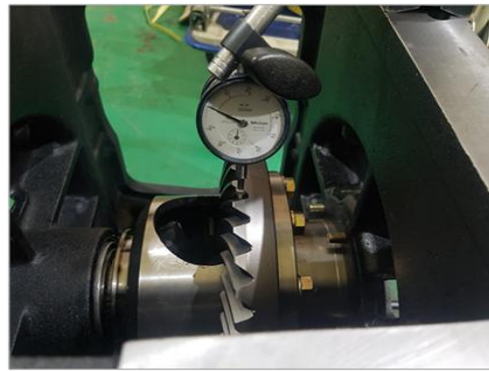
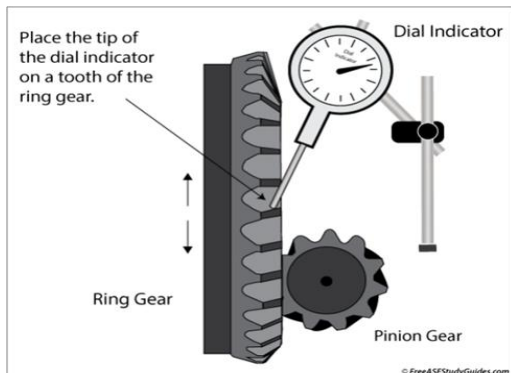
j_r = Radial Backlash (mm)

α_n = Pressure angle (°)

β_m = Helix angle (°)

δ = Pitch angle (°)

- 백래시 측정 방법은 아래 그림과 같이 링기어의 치면에 다이얼 인디케이터를 설치하고 피니언 기어를 고정한 후 링기어를 회전시켜 백래시를 측정하였으며, 실제 백래시를 측정하는 모습을 나타냄. 수명 시험 시 백래시에 따른 결과의 오차를 제거하기 위하여 모든 시험 샘플의 백래시는 동일하게 조정하였고, 조정 값은 Gleason사에서 채택하는 값인 0.18~0.23(법선 방향 백래시)을 시험 시 적용하였음. 아래 표는 Gleason사에서 채택하는 기어 모듈에 따른 법선 방향 백래시 측정값을 나타냄

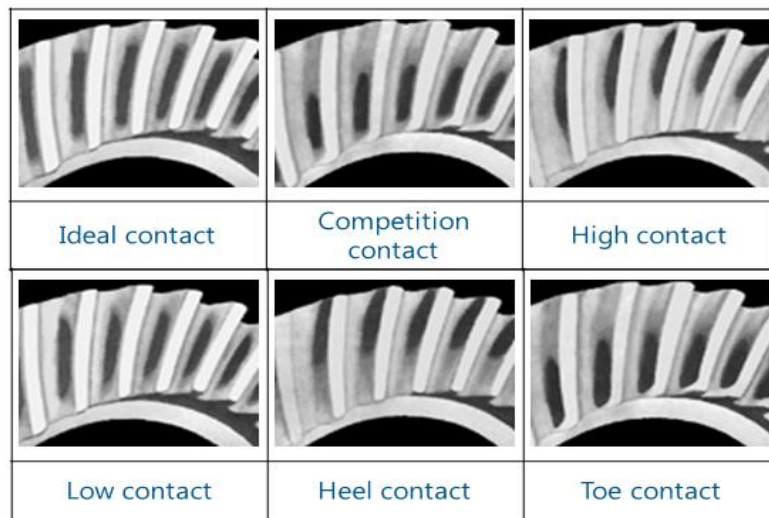


<가속수명 시험 기어 백래시 측정 방법 및 사진>

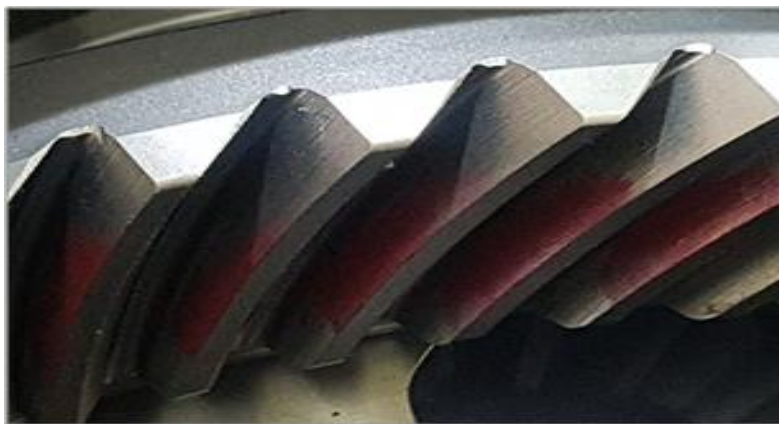
기어 모듈에 따른 법선 방향 백래시 값

| Module (mm) | Backlash (mm) | Module (mm) | Backlash (mm) |
|-------------|---------------|-------------|---------------|
| 0 ~ 1.3 | 0.03 ~ 0.08 | 7.3 ~ 8.5 | 0.20 ~ 0.28 |
| 1.3 ~ 2.5 | 0.05 ~ 0.10 | 8.5 ~ 10.2 | 0.25 ~ 0.33 |
| 2.5 ~ 3.2 | 0.08 ~ 0.13 | 10.2 ~ 12.7 | 0.30 ~ 0.41 |
| 3.2 ~ 4.2 | 0.10 ~ 0.15 | 12.7 ~ 14.5 | 0.36 ~ 0.46 |
| 4.2 ~ 5.1 | 0.13 ~ 0.18 | 14.5 ~ 16.7 | 0.41 ~ 0.56 |
| 5.1 ~ 6.4 | 0.15 ~ 0.20 | 16.7 ~ 20.3 | 0.46 ~ 0.66 |
| 6.4 ~ 7.3 | 0.18 ~ 0.23 | 20.3 ~ 25.4 | 0.51 ~ 0.76 |

- 기어의 치합은 기어의 정밀도와 함께 기어의 소음, 효율 및 수명에 큰 영향을 주는 중요한 요소라고 할 수 있음. 평기어 및 헬리컬 기어에 비해 기어 정밀도의 측정이 곤란하므로, 최종적인 기어 정밀도의 확인방법으로서 치합 검사는 매우 중요함
- 백래시를 조정한 후에 기어의 치합 상태를 확인하기 위하여 스파이럴 베벨 피니언 기어의 접촉면에 도료를 얇게 바른 후 구동축을 회전시켜 치합 상태를 확인하였음. 스파이럴 베벨기어는 부하가 커짐에 따라 치합은 치폭 중앙으로 이동함. 따라서 시험 전 치합 조정 시 Ideal contact 또는 Competition contact 형태로 치합을 조정하는 것이 중요하며, 아래 그림은 가속수명 시험을 시험 기어 치합 확인 결과를 나타냄



<기어 치면 분포 유형>



<가속수명 시험을 위한 시험 기어의 치합 확인 결과>

나. 다이내모 시험 기반 수명 평가

- 가속수명 시험은 스파이럴 베벨기어 샘플을 제작하여 진행하였고, 기어가 굽힘 피로의 영향으로 파손되는 시간을 기록하였음. 정격 부하의 120%에서 시험을 진행한 결과 32 시간 진행 후 스파이럴 베벨 피니언 기어 이의 파손이 발생하였음. 아래 그림은 가속수명 시험에 따른 기어의 파손을 나타냄



〈가속수명 시험에 따른 기어의 파손〉

- 가속 시험 결과와 역승모형의 부하-수명 관계식을 이용하여 정격 부하 조건, 트랙터 작업 중 사용 비율이 높고 고부하 작업인 쟁기 작업 등가 부하 조건의 수명을 추정하였음. 추정한 결과 정격 부하 조건에서의 수명은 정격 부하 조건 및 등가 부하 조건에서 각각 157 및 33,702 시간으로 나타남. 이는, 정격 부하 조건 및 등가 부하 조건에서 각각 Service life 대비 약 0.06 및 12배로 나타남. 아래 표는 스파이럴 베벨기어의 가속수명 시험의 수명 평가 결과를 나타냄

다이내모 시험 기반 수명 평가 결과

| Load condition | Service life (hours) |
|-----------------------------------|----------------------|
| Rated load | 157 |
| Equivalent load of plow operation | 33,702 |

다. 수명 예측 정확도 분석

- 스파이럴 베벨기어의 정격 부하 조건 및 쟁기 작업 등가 부하 조건에서의 수명평가를 위하여 시뮬레이션 모델과 누적 손상 이론 기반의 수명 결과를 산출하고, 그 결과를 비교 및 분석하였으며, 아래 표는 정격 부하 조건 및 쟁기 작업 등가 부하 조건에서 시뮬레이션 해석, 누적 손상 이론 기반 수명평가, 가속수명 시험 결과의 비교 분석 결과를 나타냄
- 시뮬레이션 해석 결과 수명은 정격 부하 조건 및 쟁기 작업 등가 부하 조건에서 각각 180.5, 35,461 시간으로 나타남
- 누적 손상 이론 기반의 수명평가 결과 수명은 정격 부하 조건 및 쟁기 작업 등가 부하 조건에서 각각 177, 36,750 시간으로 나타남
- 가속수명 시험을 통한 수명평가 결과 수명은 정격 부하 조건 및 쟁기 작업 등가 부하 조건에서 각각 157, 33,702 시간으로 나타남
- 정격 부하 조건 및 쟁기 작업 등가 부하 조건에서 시뮬레이션과 누적 손상 이론 기반

수명평가의 비교 결과 오차는 각각 2.00, 3.51%로 나타났으며, 시뮬레이션과 가속수명 시험기반 수명평가의 비교 결과 오차는 각각 15.00, 5.22%로 나타남

- 스파이럴 베벨 피니언 기어의 이끝원지름, 이뿌리 원지름의 제원 입력을 수행함으로써 이뿌리반경이 소폭 조절되었으며, 안전을 증가에 따라 기존 개발된 시뮬레이션 모델에 비하여 수명이 소폭 상승하였음
- 누적 손상 이론 기반 수명평가와 가속수명 시험기반 수명평가 기준 오차들의 평균값은 각각 2.7%, 10.1%로, 수명 예측 정확도는 각각 97.3%, 89.9%로 나타났으나, 가장 낮은 정확도를 보인 조건인 정격부하 조건에서 시뮬레이션 모델과 누적 손상 이론을 비교한 결과인 오차 15.0%를 고려하여 최종 수명 예측 정확도는 85.0%로 나타남. 이에 따라, 수명 예측 정확도는 85% 이상으로 나타남

시뮬레이션 해석, 누적 손상 이론 기반 수명평가, 가속수명 시험 결과의 비교 분석

| Load condition | Simulation results | Cumulative damage method | | Accelerated life test | |
|----------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| | | Service life | APE ^{1), 2)} (%) | Service life | APE ^{1), 3)} (%) |
| Rated load (hours) | 180.5 | 177 | 2.00 | 157 | 15,0 |
| Equivalent load (hours) | 35,461 | 36,750 | 3.51 | 33,702 | 5.22 |

* APE : Absolute percentage error

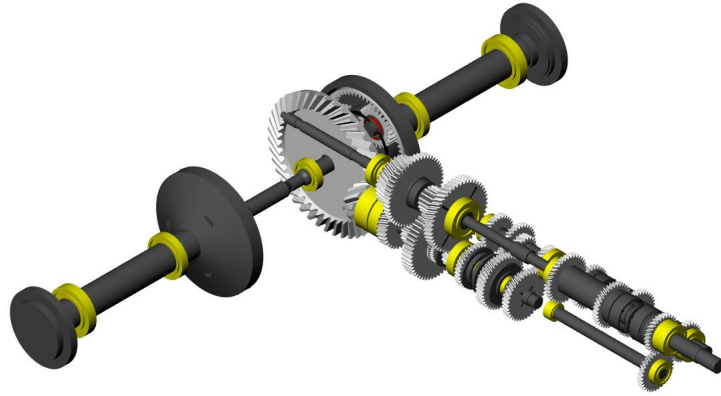
* 시뮬레이션 결과와 누적 손상 이론 기반 수명 평가 결과의 APE 분석

* 시뮬레이션 결과와 가속수명 시험기반 수명 평가 결과의 APE 분석

라. 동력전달효율 분석

(1) 트랙터 동력전달시스템 시뮬레이션 모델

- 트랙터 변속기의 동력전달시스템 시뮬레이션 모델은 6차년도에 개발한 시뮬레이션 모델을 보완 및 수정하였음
- 시뮬레이션 모델은 부하 계측용 트랙터(TYM, S07, Korea)를 대상으로 하였으며, KISSsoft (Version 2017, KISSsoft AG, Switzerland)를 이용하여 개발 및 보완하였음
- 동력전달효율은 실차 시험과 비교를 위해 트랙터가 로타리 작업과 쟁기 작업 시 주행속도를 고려해 2.38 km/h와 7.09 km/h에 대해 분석되었으며, 이는 각각 L3 low단과, M3 low단임
- L3 low단과 M3 low단은 전진 저·고속 변속, 주변속, 부변속 2쌍, 스파이럴 베벨기어 및 최종감속기어를 통해 후차축으로 동력을 전달함
- 주요 보완 사항은 이끝 높이 계수, 이뿌리 높이 계수, 치뿌리 높이 계수 및 전위계수 등을 수정하였으며, 언더컷이 발생한 주, 부변속 기어쌍이 개선되었고 이를 통해 동력전달 효율이 향상되었음
- 기존의 시뮬레이션 모델에서 주, 부변속 기어쌍은 ISO 53:1998 Profile A를 사용하였으며, 이끝 높이 계수(Addendum coefficient), 이뿌리 높이 계수(Dedendum coefficient), 치뿌리 계수(Root radius coefficient)는 각각 1.25, 1.00, 0.38 이었음



<트랙터 동력전달 시스템 시뮬레이션 모델>

(2) 시뮬레이션 해석 결과

○ L3 low단 시뮬레이션 모델 효율 결과

- 시뮬레이션 모델의 이끝 높이 계수, 이뿌리 높이 계수, 치뿌리 계수 수정을 수행하였으며, 베벨기어 수정은 수행하지 않음
- 시뮬레이션 모델의 L3 low단에서 각 기어쌍 동력전달효율은 다음 표와 같이 나타났으며, 전진 저·고속 변속, 주변속, 부변속 2쌍, 스파이럴 베벨기어 및 최종감속기어 각각 98.8%, 98.5%, 98.1%, 95.4%, 98.6%, 96.0%, 시스템 전체효율은 86.2%임

시뮬레이션 모델 각 기어쌍 및 시스템 동력전달효율 결과(L3 low)

| Gear type | Efficiency (%) |
|---------------------|----------------|
| Low · High shift | 98.8 |
| Driving shift | 98.5 |
| Range shift driving | 98.1 |
| Range shift driven | 95.4 |
| Bevel gear pair | 98.6 |
| Planetary gear set | 96.0 |
| total | 86.2 |

○ M3 Low 단 시뮬레이션 모델 효율 결과

- 시뮬레이션 모델의 이끝 높이 계수, 이뿌리 높이 계수, 치뿌리 계수 수정을 수행하였으며, 베벨기어 수정은 수행하지 않음.
- 시뮬레이션 모델의 M3 low단에서 각 기어쌍 동력전달효율은 다음 표와 같이 나타났으며, 전진 저·고속 변속, 주변속, 부변속 구동·피동 기어쌍, 스파이럴 베벨기어 및 최종 감속기어 각각 98.8%, 99.4%, 99.3%, 98.5%, 98.9%, 97.7%, 시스템 전체효율은 92.8%임.

시뮬레이션 모델 각 기어쌍 및 시스템 동력전달효율 결과(M3 low)

| Gear type | Efficiency (%) |
|---------------------|----------------|
| Low · High shift | 98.8 |
| Driving shift | 99.4 |
| Range shift driving | 99.3 |
| Range shift driven | 98.5 |
| Bevel gear pair | 98.9 |
| Planetary gear set | 97.7 |
| total | 92.8 |

(3) 다이نام로 시험 결과

- L3 Low 조건에서 실차시험 결과는 입력 동력이 17.3 kW일 때, 출력이 14.9 kW로 약 86.2%의 동력전달 효율을 나타냄
- M3 Low 조건에서 실차시험 결과는 입력 동력이 47.8 kW일 때, 출력이 44.4 kW로 약 92.8%의 동력전달 효율을 나타냄

다이نام로 시험을 통한 동력전달효율 분석 결과

| | L3 Low | | | M3 Low | | |
|------------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|--------------|----------------|
| | Input shaft | Output shaft | Efficiency (%) | Input shaft | Output shaft | Efficiency (%) |
| Torque (Nm) | 71.7 | 13,316 | - | 198.0 | 13,470 | - |
| Rotational speed (rpm) | 2,300 | 9.8 | - | 2,300 | 29.3 | - |
| Power (kW) | 17.3 | 14.9 | 86.2 | 47.8 | 44.4 | 92.8 |

(4) 동력전달효율 분석 및 검증

- 동력전달 효율 분석 및 검증은 APE (Absolute percentage error)를 계산하여 비교하였으며, 그 결과는 아래 표와 같이 나타남. 시뮬레이션 모델에서의 동력전달 효율은 L3 Low, M3 Low에서 각각 86.2%, 92.8%로 나타났으며, 다이نام로 시험에서의 동력전달효율은 각각 76.8%, 82.9%로 나타남.
- 이에 따라 시뮬레이션 모델과 다이نام로 시험 결과로부터 동력전달효율의 APE는 L3 Low, M3 Low 단계 따라 각각 10.9 %, 10.7 %로 나타남. 이러한 오차는 다이نام로 시험 중 모터에서 단일 토크와 회전속도의 구현이 불가능해 시험 결과에 영향을 미친 것으로 판단됨. 따라서, 동력전달 효율 정확도는 85% 이상을 만족하는 것으로 나타남

부하조건별 시뮬레이션 해석, 다이نام로미터 시험 동력전달 효율 비교분석 결과

| Gear stage | Power transmission efficiency (%) | | APE* (%) |
|------------|-----------------------------------|------------------|----------|
| | Simulation | Dynamometer test | |
| L3 Low | 86.2 | 76.8 | 10.9 |
| M3 Low | 92.8 | 82.9 | 10.7 |

* APE : Absolute percentage error (%)



(4) 제 1-3 협동과제

① 연구개요

| 세부과제번호 | 제 (1-3) 협동과제 | | | | | |
|------------------|---|---|--------------|--------------|---------------|-----------|
| 세부 연구과제명 | 국문 | 한국형 원격제어트랙터 및 텔레매틱스 시스템 개발 | | | | |
| | 영문 | Development of Remote Control Tractor and Telematics System | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 최종민 | 영문성명 | Choi Jongmin | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | LS엠트론 | 부서명 (학과명) | 전장/제어팀 | 직위 | 책임연구원 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2017년 09월 18일 부터 ~ 2021년 12월 31일 까지 (4년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 |
| | 정부출연금 | 167,000 | 167,000 | 164,000 | 299,000 | 797,000 |
| | 기업부담금 | 157,360 | 157,360 | 157,360 | 285,070 | 757,150 |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 합계 | 324,360 | 324,360 | 321,360 | 584,070 | 1,554,150 |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | | 선임급 | | 원급이하 | |
| | 2 | | 2 | | 2 | |
| | | | | | | 합계 |
| | | | | | | 6 |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|---|
| 2단계 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> Telematics 트랙터 시스템 환경 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 트랙터용 Telematics 시스템 환경 구축 <ul style="list-style-type: none"> : 해외 선진 업체 Telematics 시스템 벤치 마킹 : Telematics 트랙터 데이터 서버 구축 - Telematics 트랙터의 작업 환경 센싱 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> : Telematics Remote Controller 개발 |
| | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> Telematics 트랙터 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Telematics 트랙터 모니터링 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 트랙터 주요 핵심부품의 모니터링 시스템 개발 : 트랙터용 Telematics 데이터 계측 및 통신을 위한 제어 시스템 개발 |
| | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> Telematics 트랙터의 농작업 모니터링 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 트랙터 농작업 모니터링 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 트랙터의 작업 면적, 작업 부하, 연료소비, 작업 경로, 사용이력 등의 모니터링 시스템 개발 - 작업부하에 따른 트랙터 운행 및 농작업기 변량제어 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 작업부하에 따른 트랙터의 최적 운행 의사결정 시스템 개발 |
| | 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 한국형 Telematics 트랙터 시작품 및 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 한국형 Telematics 트랙터 시작품 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 작업 부하에 따른 최적 농작업 가이드 기술 개발 - 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 농업경영인 관리용 트랙터 Telematics HMI 개발 |

| 제1핵심 | 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업적용 기술개발 | |
|--|---|--|
| 제1-3협동 | 한국형 무인자율트랙터 및 텔레매틱스 시스템 개발 | |
| 2 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| <p>2단계 연구목표 : 트랙터용 Telematics 시스템 환경 구축</p> | <p>○ 트랙터용 Telematics 시스템 환경 구축</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 해외 선진 업체 Telematics 시스템 벤치마킹 : John Deere, CNH, Kubota 등 선진 업체 Telematics 시스템 B/M - Telematics 시스템 서버 구축  <p style="text-align: center;">〈일본 Kubota KSAS 시스템〉</p> |
| <p>4년차 (2017)</p> | <p>○ 원거리 트랙터의 작업 환경 센싱 기술 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 해외 선진사 조향 시스템 등 사용자 인터페이스 벤치마킹 - 원격제어 가능한 Remote Controller 개발  <p style="text-align: center;">〈Telematics 시스템 구성도〉</p> |
| <p>2단계 연구목표 : 트랙터용 Telematics 시스템 및 주행 안전장치 개발</p> <p>5년차 (2018)</p> | <p>○ 트랙터용 Telematics 시스템 개발</p> <p>○ 트랙터 주행 시 필요한 안전장치 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 트랙터의 작업 면적, 작업 부하, GPS를 통한 위치 추적 모니터링 시스템 개발 - Machine Vision 기반의 장애물 자동 감지 기술 개발 - Telematics 시스템의 안전관리를 위한 유압식 브레이크 시스템 개발 |

| | | |
|--|---|--|
| | | <p>〈스마트 카메라 장애물 감지 사례 (와 스마트 센서 우 장애물 자동 감지)〉</p>  <p>〈Machine Vision 기반 장애물 감지(예시)〉</p> |
| <p>2단계 연구목표 : 한국형 농작업 모니터링 기술 및 장애물 능동 회피 기술 개발</p> <p>6년차 (2019)</p> | <p>○ Tractor Engine RPM 모니터링 기술 개발</p> <p>○ 장애물 능동 회피 기술 개발</p> | <p>- 작업 부하별 트랙터 최적의 Engine RPM 데이터 측정 및 분석</p>  <p>〈트랙터 실차 부하 계측 시험 (예시)〉</p> <p>- Telematics 시스템의 안전관리를 위하여 Machine Vision 장애물 자동 감지 시 최적 회피 알고리즘 개발</p> |
| <p>2단계 연구목표 : 한국형 Telematics 트랙터 시작품 및 농업경영인 관리용 Application 기술 개발</p> <p>7년차 (2020)</p> | <p>○ 한국형 Telematics 트랙터 시작품 개발</p> <p>○ 농업경영인 관리용 Application 기술 개발</p> | <p>- 작업 부하에 따른 최적 농작업 가이드 기술 개발</p> <p>- 농업경영인 관리용 트랙터 Telematics HMI 개발</p>  <p>〈농업경영인 관리용 Telematics 홈페이지 (예시)〉</p> |

(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|------|------|------|----|----|---------|------|----|------|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | SCI | 비SCI | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | | 홍보전시 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | 10 | 10 | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | 3 | 5 |
| 2단계 | 목표 | 4 | 2 | | 2 | | | 5 | | | | | | | | | | | 3 | |
| | 실적 | 2 | 3 | | | 2 | 845 | 4 | | | | | 1 | | | | | | | |
| 최종 | 목표 | 4 | 2 | | 2 | | | 5 | | | | | | | | | | | 3 | |
| | 실적 | 2 | 3 | | | 2 | 845 | 4 | | | | | 1 | | | | | | | |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|-----|-----|------|------|------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|----------------|--------|-----|-----------------|--------|----------------|--------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2017 | 트랙터 원격 제어 시스템 | 엘에스엠트론 | 한국 | 10-2017-0160167 | 2021 | 트랙터 원격 제어 시스템 | 엘에스엠트론 | 한국 |
| 2019 | 농작업차량 자동제어 시스템 | 엘에스엠트론 | 한국 | 10-2019-0027561 | 2019 | 농작업차량 자동제어 시스템 | 엘에스엠트론 | 한국 |
| | | | | 10-2272510 | 2021 | 트랙터 원격제어 시스템 | 엘에스엠트론 | 한국 |

③ 사업화 성과 및 매출 실적

| 번호 | 해당연도 | 구분 | 사업화명 | 제품명 | 업체명 | 매출액 (백만원) |
|----|------|-----|----------|-----------------|-------|-----------|
| 1 | 2021 | 제품화 | 자율작업 트랙터 | XP7102-SMART2.0 | LS엠트론 | 350 |
| 2 | 2021 | 제품화 | 자율작업 트랙터 | XP7102-SMART2.5 | LS엠트론 | 495 |

■ XP7102-SMART2.0

| 항 목 | 세부 항목 | 성 과 | | | |
|-------------|--------------------------------|---|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 3년 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 40,000 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 3.5 | 30 | 50 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | | | |
| 국외 | | | | | |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | 현재 자율작업 및 Telematics 시스템 100마력급 중형 Utility 트랙터에 적용하여 판매되고 있음. 향후, 개발 진행중인 140마력급 및 50~60마력대 (대형 Utility 및 소형) 트랙터에 확대 적용 계획 수립 中 | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | 3.5 | 20 | 30 | |
| | 수 출 | - | 10 | 20 | |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 | |
|--------|-------------|---------------------|-----------|------------------|------|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 3.5 억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 20 억원 | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 0 억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 10 억원 | |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % 국외 : % | |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | | 0 위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | | 10 위 |

■ XP7102-SMART2.5

| 항 목 | 세부 항목 | 성 과 | | | |
|-------------|--------------------------------|---|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 3년 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 40,000 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 4.95 | 30 | 50 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | | | |
| 국외 | | | | | |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | 현재 자율작업 및 Telematics 시스템 100마력급 중형 Utility 트랙터에 적용하여 판매되고 있음. 향후, 개발 진행중인 140마력급 및 50~60마력대 (대형 Utility 및 소형) 트랙터에 확대 적용 계획 수립 中 | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | 4.95 | 20 | 30 | |
| | 수 출 | - | 10 | 20 | |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 |
|-----------|----------------|---------------------|-----------|------------------|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 4.95 억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 20 억원 |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 0 억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 10 억원 |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % 국외 : % |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : % 국외 : % |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : % 국외 : % |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | 0 위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | 10 위 |

④ 고용창출 성과

| 고용창출연도 | 성명 | 고용기관 | 고용형태 | 비고 |
|--------|-----|--------|------|----|
| 2019 | 김대현 | 엘에스엠트론 | 정규직 | |
| 2019 | 신인철 | 엘에스엠트론 | 정규직 | |
| 2019 | 정택훈 | 엘에스엠트론 | 정규직 | |
| 2019 | 신대건 | 엘에스엠트론 | 정규직 | |

⑤ 학술발표 성과

| 연번 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|-------|-----|-----------------------------------|--------------------|------------------|
| 1 | 2018 | 학술발표 | LS엠트론 | 최종민 | 자율주행 트랙터를 위한 자세 측정센서 사양 선정에 관한 연구 | 대한기계학회 2018년도 학술대회 | 강원랜드 컨벤션센터, 대한민국 |

(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|-----|--|---|
| 2단계 | 4차년도 · Telematics 트랙터 시스템 환경 구축 | · 한국형 자율작업 트랙터 시스템 환경 구축 완료 - 자율작업 2.0단계 트랙터에 기술 적용 |
| | 5차년도 · Telematics 트랙터 시스템 개발 | · 한국형 자율작업 트랙터 시제품 개발 완료 - 자율작업 실시간 모니터링 시스템 기술 적용 |
| | 6차년도 · Telematics 트랙터의 농작업 모니터링 기술 개발 | · 한국형 자율작업 트랙터 모니터링 기술 개발 완료 및 작업기 부하에 따른 자동변속 모델 개발 완료 |
| | 7차년도 · 한국형 Telematics 트랙터 시제품 및 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 | · 한국형 자율작업 트랙터 제품 출시 - 자율작업 2단계 SMARTREK 2.0 |

| | | | |
|--|--|--|---|
| | | | - 자율작업 2.5단계 SMARTREK 2.5 · 농업 경영인 관리용 모니터링 시스템 개발 완료 |
|--|--|--|---|

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

■ Telematics 시스템 환경 구축

1. 선진업체 Telematics 시스템 적용사례

- 4차 산업혁명으로 Telematics 시스템을 적용하고 있는 업체와 준비하고 있는 업체는 많이 증가하고 있는 추세
- 본 연구에서는 농업기계 분야와 국내의 건설업체에서 Telematics 시스템을 적용하고 있는 업체들의 적용 사례를 조사함
- 농업기계 분야에서 Telematics 시스템을 적용하고 있는 업체로는 세계적으로 가장 큰 농업기계 업체인 John Deere社와 우리나라와 농업이 비슷한 일본의 Kubota의 적용사례를 조사함
- 건설기계 분야에서는 우리나라의 Doosan 인프라코어의 적용 사례를 조사함
- Telematics 시스템의 항목을 4가지로 분류하였고 적용사례를 표로 정리

| | 적용 이점 | 업체별 적용 사례 |
|---------------------|--|---|
| 작업 위치 관리 | <ul style="list-style-type: none"> · GPS 이용 농기계 위치정보 및 운행정보 확인을 통한 도난 방지 및 안전사고 예방 · 농기계 이동경로 분석을 통한 작업효율 관리 |  <ul style="list-style-type: none"> · JDLink를 통한 작업경로 및 작업지역 실시간 확인 (Geo-fence 설정) · GPS 이용 작업지역 이탈(Geo-fence) 및 작업시간 외 운영 실시간 확인 및 작업 운영 원격 차단 · 중국 자산관리 이슈에 의한 '05년 출시 후 '14년 북미/유럽 launching |
| 부품 (소모품) 관리 | <ul style="list-style-type: none"> · Time base의 소모품 관리 및 교체를 통한 고장 사전 차단과 기계 downtime 최소화 → 순정부품 판매율 향상 → 부품서비스 정책 강화 |  <ul style="list-style-type: none"> · 필터 및 오일, 냉각수 실시간 확인 및 원격 검진을 통해 부품 서비스 실시 · KSAS 대응 기계의 작업시간/횟수 실시간 확인을 통한 부품 유지보수 진행 · 필터 7종, 오일 2종 예방정비 실시 (주기별) |
| 고장 진단 서비스 | <ul style="list-style-type: none"> · 고장진단 코드를 실시간 확인 및 알람 경고를 통해 downtime 최소화 → 서비스 대응력 향상 및 대응시간 최소화 |  <ul style="list-style-type: none"> · 엔진, TM, 온도 외 고장진단 · 원격 진단 및 원격접속을 통한 문제해결 대응 · 기계진단/진료 카드 작성 후 고객 제공 · 자체 유지보수용 체크시트, 안내서 제공 · 6종(엔진,차량,TM,Steering,통신,유탄) 고장진단 |
| 농경영/ 정밀농업 시스템 | <ul style="list-style-type: none"> · 농경영(농업) 일련의 과정에 맞는 시스템 제공/분석을 통한 작업효율 및 정밀도 향상 |  <ul style="list-style-type: none"> · 정밀농업을 위한 IoT 기술 활용 Total Solution제공 - 관리/분석시스템, 농작업 지원시스템, Data수집장치 · 쌀경작에 최적화된 농경영관리 시스템 제공 - 쌀 수확량/품질 분석 · Basic, Professional 2개 Ver. '14년 서비스시작 |

<Telematics 시스템 업체별 적용사례 분석>

- 작업 위치 관리 영역에서는 작업 면적이 상대적으로 넓은 미국과 중국을 대상으로 서비스를 시작하고 있으며, 도난 방지에 목적으로 서비스를 실시하고 있음
- John Deere社의 경우에는 Auto-Guidance 설치된 차량의 GPS(JDlink)를 활용하여 작업 경로 및 작업지역을 실시간으로 확인하고, 농기계 이동 경로 분석을 통하여 작업효율을 높이는 연구에 활용하고 있음
- 부품 또는 소모품 관리는 John Deere, Kubota, Doosan 3개사 모두 적용하고 있으며, 현재 Big-DATA 구축을 통하여 각사의 부품 또는 소모품의 유지보수를 진행하고 있음
- John Deere의 경우에는 필터 및 오일, 냉각수를 실시간으로 확인하고, 원격으로 점검하여 부품 서비스를 진행하고 있음
- 농작업 중 상대적으로 시간이 촉박한 수확기에 트랙터 및 콤바인의 기계 상태를 최적으로 유지하게 해줌으로써 사용자에게 좋은 이미지를 심어주고 있음
- 고장진단 서비스는 엔진, 트랜스미션, 차체 온도 등을 원격으로 확인하여 고장진단 코드를 확인 및 알람 경고를 통하여 사용자에게 알려주고, 대리점 및 관리자에게 통보하여 부품 및 고장 대응에 필요한 부품을 준비할 수 있도록 하고 있음
- 농업경영 및 정밀농업 측면에서는 정밀농업을 위한 Total Solution을 제공하며 농업의 관리 및 분석시스템 제공으로 농작업을 지원하고 있으며, 발생하는 DATA를 수집하여 활용하고 있음
- Kubota의 경우에는 일본 벼농사에 특화되어 있는 서비스를 제공하고 있으며, 쌀의 수확량 및 품질 향상을 위하여 품질 분석 서비스를 제공하고 있음

■ Telematics 트랙터의 작업환경 센싱 기술 개발

1. 원격리 트랙터 컨트롤러 개발



<원거리 트랙터 컨트롤러 구성>

- 해당 원거리 트랙터 컨트롤러는 트랙터의 주행 및 작업 관련 기능들을 원거리에서 무선으로 조종할 수 있는 장치임
- 컨트롤러는 크게 주행 조작부, 변속 조작부, 작업 조작부 및 보조기능부로 이루어져 있으며 각각의 기능들을 편리하게 조작할 수 있도록 배치하였음
- 주행 조작부는 조향 컨트롤러, 브레이크, 배속턴 등의 전면부에 위치시켰으며 이는 일반 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 레버, 버튼 및 스위치로 구성됨
- 조향 컨트롤러는 리턴식 레버를 이용하여, 사용자의 조작이 없을 경우에는 트랙터가 직진할 수 있도록 하며, 조향 조작을 원할 때에만 좌/우로 조작하도록 하였음
- 브레이크 기능은 만일에 발생할 수 있는 안전사고 방지를 위해서 리턴식 버튼으로 구성하여 사용자의 의도 없이는 브레이크 기능이 유지되지 않도록 하였음
- 주행이나 작업 중 일정 상태를 유지하며 사용하는 배속턴 기능은 고정식 스위치를 사용하였으며, 이는 사용자가 해당 기능을 지정 후 주행 및 작업 중 기능이 유지되도록 하였음
- 기타 작업 조작부 및 변속 조작부 또한 사용자의 편의를 고려하여 제작되었음
- 추가로 사용자가 컨트롤러 조작 시 작업이 용이하도록 어라운드 모니터를 컨트롤러에 직접 장착하여 작업이 용이하도록 구성하였음

| 구분 | 기능 | 시험항목 | 결과 |
|------|-------------|--------|----|
| ECU | 엔진속도 제어 | 다이얼 제어 | ○ |
| PSS | 전후진 제어 | 버튼 제어 | ○ |
| | 클러치 제어 | 버튼 제어 | ○ |
| EHL | 3PH 제어 | 레버 제어 | ○ |
| | 수평 제어 | 스위치 제어 | ○ |
| | PTO 제어 | 스위치 제어 | ○ |
| | EHL 모드 확인 | 모니터 제어 | ○ |
| 조향 | 조향 조절 | 레버 제어 | ○ |
| 브레이크 | 좌/우 브레이크 | 버튼 제어 | ○ |
| 보조유압 | 보조유압 IN/OUT | 스위치 제어 | ○ |
| 보조기능 | 배속턴 | 스위치 제어 | ○ |
| | AVM 보조영상 | 모니터 제어 | ○ |
| | 원격 조종기 연동 | LED 제어 | ○ |

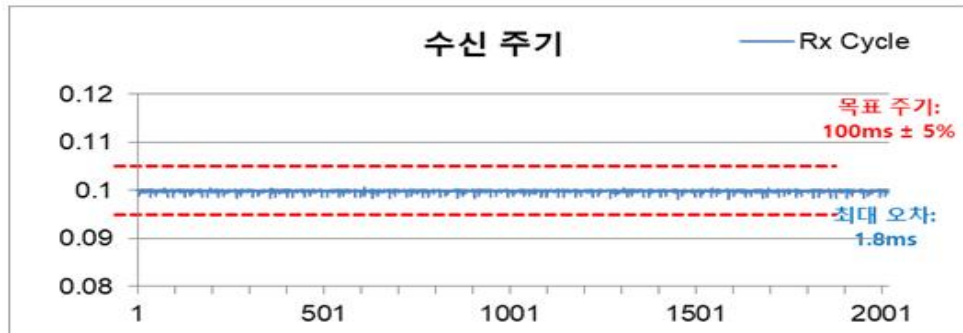
<원격제어 가능 항목>

- 제작된 원거리 트랙터 컨트롤러의 성능 시험을 위해, 각 기능 및 조작부 종류 별로 원거리 조작 기능을 시험하였음
- 각각 엔진(ECU), 변속기(PSS), 전자유압(EHL) 등의 하위제어기가 제어하는 세부기능과 연동되어야 하며, 각 기능별로 사용하기 용이한 조작부로 구성한 이후 시험을 진행하였음
- 원격제어 가능 시험 항목을 토대로 각 하위제어기 및 하위 부품과의 연동을 모두 시험 완료함



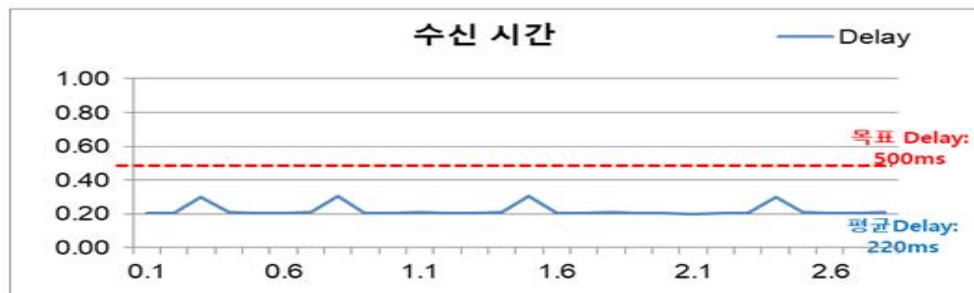
<원격제어 기능 확인 시험>

- 해당 시험은 LS엠트론 주행시험장에서 직접 진행하였으며, 트랙터 탑승 없이 시험이 진행되었으며, 직진시험을 위한 직진 주행시험 및 조향 시험을 위한 원형 시험장 등에서 원거리 조작하였음



<원거리 통신 수신 주기 확인>

- 원거리 트랙터는 무선을 이용하여 트랙터를 조작하기 때문에, 반드시 무선 신호의 신뢰성을 보장할 수 있어야 하므로 일정 조건에서 원거리 통신할 때 명령 및 상태정보를 송/수신 할 수 있어야 함은 물론이고 일정 수준 이상의 주기 및 딜레이 시간을 보장할 수 있어야 함
- 사용자의 반응속도 및 트랙터의 제어주기를 고려하여 각각 수신주기 및 수신 딜레이 조건을 선정하였고 해당 수준이 맞는지 시험을 진행하였음
- 약 150m 거리(Wide Area)에서 트랙터와 원거리 컨트롤러의 송/수신 시험을 진행하였고 이는 실제 트랙터의 동작 중 이루어졌으며 시험 결과 수신주기는 목표로 한 100ms 주기의 1~2% 이내로 수신 주기를 유지하였고 이는 트랙터 제어에 영향을 줄 수 있는 5% 기준에 적합한 결과를 보여줌



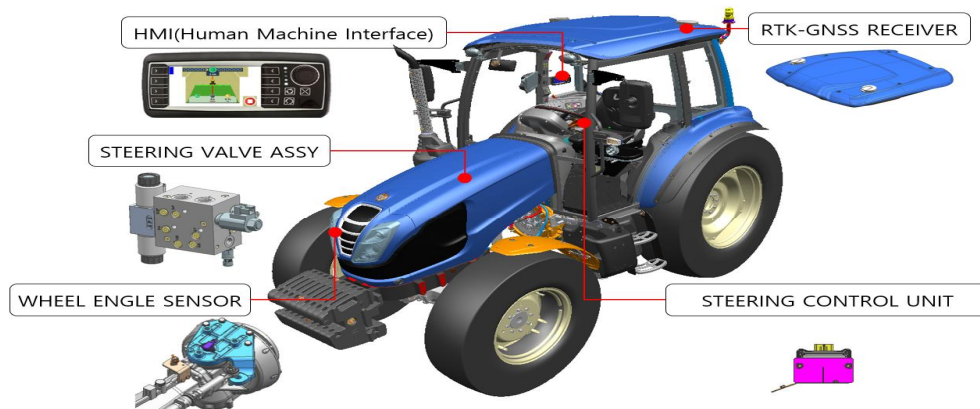
<원거리 통신 Delay 확인>

- 원거리 컨트롤러로 트랙터를 조작할 때 생길 수밖에 없는 딜레이 상태를 확인하였음
- 실제 트랙터의 원거리 조작 시 체감이 가능한 수준은 약 500ms수준이며 구성된 시스템은 평균 220ms 이하의 딜레이를 유지할 수 있음을 확인하였음

■ 한국형 Telematics 트랙터 시스템 개발

1. 한국형 자율작업 트랙터 시스템 개발

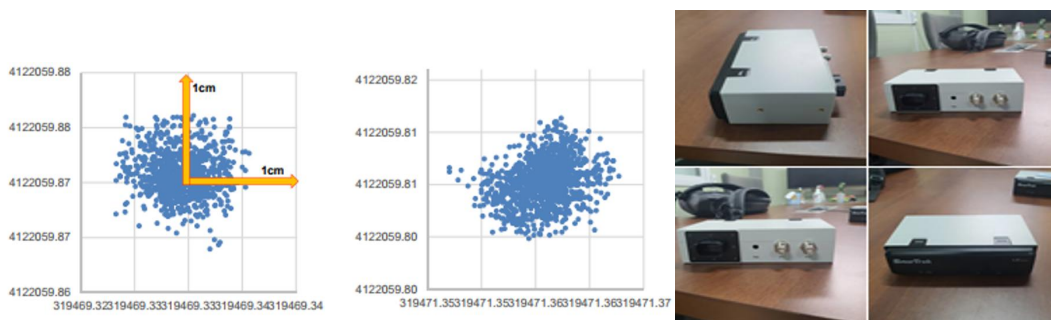
- 한국형 농작업에 적합한 자율작업 트랙터(Telematics 기능 포함)를 위하여 전자식 제어 시스템이 가장 많이 적용된 제품을 선택함. (XP7102-SPS 트랙터 : 엔진, 전자유압, PTO, 변속기 자동제어 가능)
- 자율주행을 위한 부품 개발 및 전자식 시스템 개발 적용 : 조향밸브, RTK-GNSS 시스템, Wheel Angle Sensor 개발하여 자율작업 2단계 트랙터 개발 완료함.
- 3단계 자율작업 트랙터 개발을 위하여 장애물 감지 시스템 및 주변환경 인식 시스템 개발 : 장애물 감지 시스템은 트랙터 전방에 Radar, Lidar 및 초음파 센서를 설치하였음. 트랙터의 주변환경을 인식하기 위하여 트랙터 캐빈에 4방위 Camera를 설치하였음.



<2단계 자율작업 트랙터 Layout>

가. RTK-GNSS 개발

- 자율작업 트랙터에서 위치를 파악하기 위한 RTK-GNSS를 적용하였으며, 그 정확도는 1시간 방치 시험을 통하여 1~2cm이내에 있는 것을 알 수 있었음. 제품화를 위하여 양산 금형으로 인터페이스 보드를 설계하여 제작하였으며, 전기적 시험과 환경적 시험으로 총 20개 성능시험을 진행하였음.



<RTK-GNSS 시스템 정지상태 시험 및 양산 금형 GNSS 시험>

- RTK-GNSS 시스템은 세계 농업용 GNSS 시스템 Market-share 1위를 차지하고 있는 Trimble社의 GNSS모듈을 사용하여 개발하였음. GPS, GLONASS, Beidou와 Galileo까지 수신 가능한 제품으로 한국에서만 아니라 해외에서도 사용 가능함. RTK-Network는 VRS와 FKP방식이 적용 가능하며, 보정방식은 RTCM 2.3/3.2, CMR/CMR+가 사용가능하여, 한국국토지리정보원에서 제공하는 Network RTK 시스템 적용이 가능하였음.

| | 시험항목 | 비고 |
|-----------|--|--------|
| 전기적 성능 시험 | 저온방치시험, 저온동작시험, 고온방치시험, 고온동작시험, 온도특성시험, 방수시험, 온도사이클시험, 온/습도 사이클시험, 공진내구시험, 진동내구시험 | 10개 항목 |
| 환경적 성능 시험 | 작동전압시험, 과전압시험, 변동전압시험, 순간공급 전압변동 시험, 전압강하리셋시험, 시동시 전원전압 시험, 로드덤프시험, 전원역극성 시험, 절연시험, EMC 시험 | 10개 항목 |

표. RTK-GNSS 인터페이스 보드 성능 시험 항목

나. HMI(Human Machine Interface) 시스템 개발

- HMI는 자율작업 트랙터의 경로 설정 및 자율작업 설정 그리고 진단 프로그램을 담당하는 장치로 자율작업에 필요한 데이터를 계산하고 통신하는 업무를 담당하고 있음.



- 자율작업 트랙터의 경로 설정 : A-B 직진경로 설정 및 불러오기 기능. 경로 지정(ABCD 경로설정) 및 불러오기 기능을 탑재하고 있음. 회전방식 설정은 미국, 유럽 등에서 많이 사용하고 있는 Key-hole방식의 회전 뿐만아니라 한국 지형에 적합한 K-type 회전, 그리고 물논작업에서 주로 사용되고 있는 C-type 회전 설정이 가능하도록 개발되었음.

- 자율작업 HMI에서는 각 자율작업 센서 및 트랙터의 상태를 확인할 수 있는 진단 프로그램이 개발되어 사용자도 자율작업 시스템의 진단이 가능하도록 하였음.
- HMI의 설정창에서는 트랙터의 크기, 작업기의 폭, 자동조향 감도, 장애물 감지 On/Off 및 자동보정 기능을 탑재하여 사용자가 설정 및 관리하도록 개발되어 있음.

다. 장애물 감지 시스템

- 자율작업 트랙터에서 안전사고는 무엇보다 방지해야할 중요한 센서로 자율작업의 상용화 제품에 적용되는 장애물 감지로는 자동차 업계에서도 많이 사용되고 있는 Radar와 초음파 제품으로 선정하였음.



<좌> 4개의 Radar 시스템 설치 (우) 4개의 초음파센서 설치>

- 자율작업 2.5단계 트랙터에는 4개의 Radar와 2개의 초음파 센서가 설치되었으며, 트랙터의 주 작업 방향인 전방에 집중 설치되었음. 2개의 Radar는 서로 중첩되게 설계하여, Radar 제품에서 주로 발생하는 Ghost Effect현상을 방지하고자 하였음. 4개의 초음파센서는 전방과 측면쪽 장애물 감지하는 역할로 Radar에서 미감지 영역이 생겼을 경우를 대비하여 장착되었음.
- Radar는 5미터에서 장애물을 감지하기 시작하고, 3m에서도 장애물이 있는 것으로 판단될 때, 즉시 트랙터를 정지하도록 명령되어 있음. 초음파의 경우에는 3m 이내에 감지될 경우, 바로 정지하도록 프로그램 되어 있음.



<장애물 감지 및 제동장치 시험>

- 장애물 감지와 제동 시험을 한국의 밭과 유사한 환경에서 시험 진행하였으며, 3m에서 장애물을 인식하여 제동장치로 정지 가능하도록 시험 진행하였으며, 대상이 되는 장애물에 피해 없도록 정지할 수 있었음. 정지 반응 속도 및 포장 노면 상태에 따른 정지거리는 향후 실험을 통하여 최소 안정거리에 대한 연구를 진행할 예정임.

라. 자율작업 트랙터 필드 모니터링 시험

- 한국형 농협에 적합한 자율작업 트랙터의 성능 및 적용 가능성을 파악하기 위하여 실제 포장에서 필드 모니터링 시험을 진행하였으며, 그 결과를 아래와 같이 설명함.

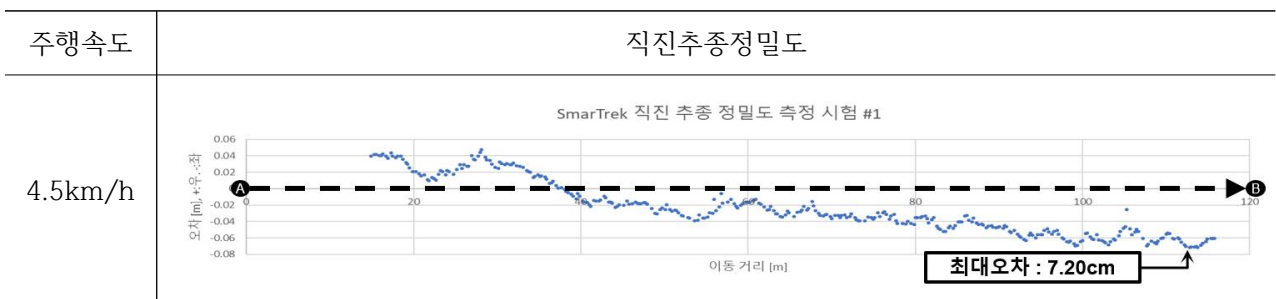


<필드 모니터링 시험, 밭>

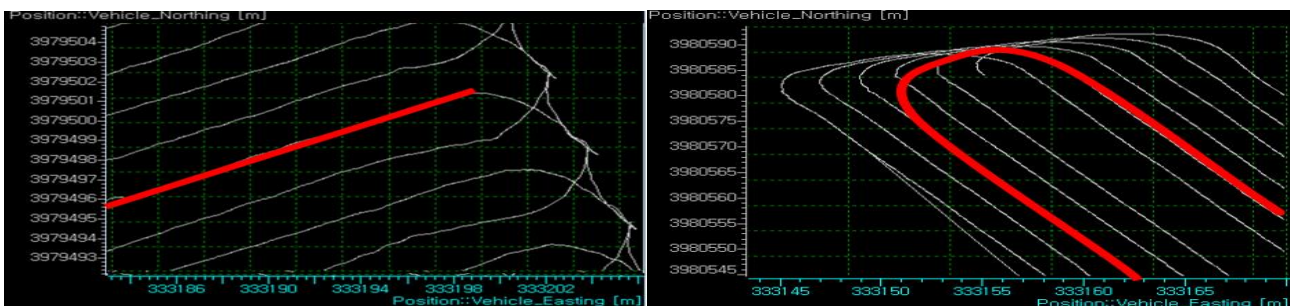


<논 필드 모니터링, 정밀도 측정>

- 시험 진행한 필드는 논과 밭에서 시험 진행하였으며, 시험 진행속도는 로터베이터를 가장 많이 사용하는 시속 4.5km/h에서 진행하였음.
- 토탈스테이션 장비를 이용하여 트랙터 후면에 장착된 프리즘을 통하여 3차원 측정으로 자율작업 트랙터의 직진추종 정밀도 시험을 진행하였음.



- 직진추종정밀도 시험의 결과, A-B 기준선에서 최대 오차 7.20cm 이내로 직진 추종하였음. A-B 기준선의 오른쪽으로 편향되어 진행하는 현상이 발견되어, 직진추종알고리즘을 개선하면 향상된 추종결과를 보일 것으로 예상됨.

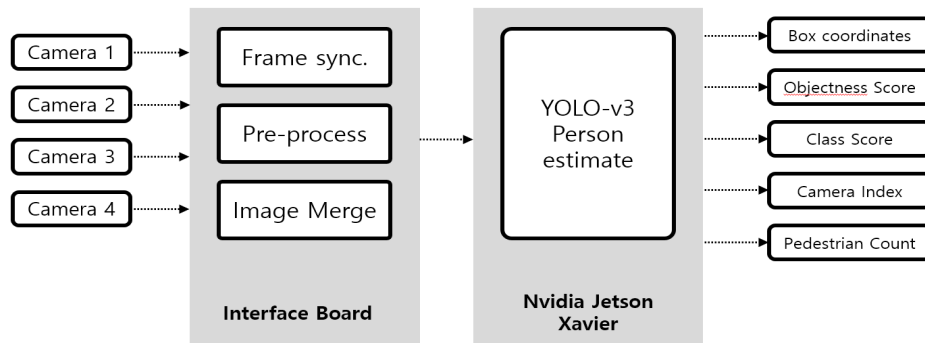


<(좌) K-type 회전 주행 경로 (우) C-type 회전 경로>

- 위 그림과 같이 K-type과 C-type 회전에서는 목표 경로를 따라 주행하는 상태를 알 수 있었으며, 직진추종이 아닌 회전에 대한 정밀도 시험방법을 개발할 필요가 있다고 판단됨. 시험방법에 대하여 향후 논의가 필요할 것으로 보여짐.

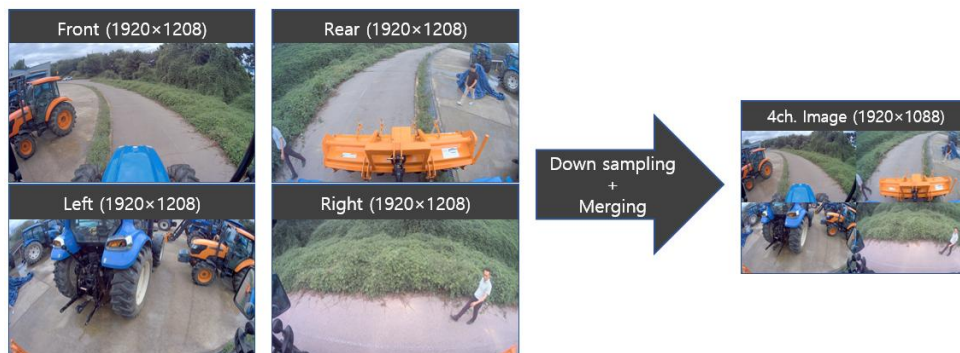
마. 주변환경 인식 시스템

- 원거리 트랙터 주변에 등장하는 사람의 안전을 확보하기 위하여 카메라를 통한 객체(특히, 사람)인식에 대한 연구가 필요하다고 판단됨. 객체 인식을 위하여 트랙터의 Cabin 상부에 4대의 카메라를 장착하여, 트랙터 주변 360° 전체 영역에 대한 데이터 취득이 가능하도록 구성하였음.



<다중 카메라 기반 사람 인식 시스템 아키텍처>

- 트랙터에 부착된 각각의 카메라로부터 1928×1208의 해상도를 갖는 이미지는 초당 30frame의 속도로 카메라 인터페이스 보드로 입력된다. 인터페이스 보드는 이미지 획득 기능을 제어하고 각각의 카메라 모듈 간 시간 지연 없이 영상을 출력할 수 있도록 설계되어있다.



<입력 이미지 다운 샘플링 및 정합>

- 이미지의 해상도는 객체 인식 알고리즘 처리속도와 높은 상관관계를 가지므로 실시간성 확보가 중요시되는 자율주행 시스템에는 이미지의 해상도를 축소하여 처리 속도를 증가시킬 수 있다. 따라서, 각각의 입력 이미지에 대하여 960×544의 해상도로 다운 샘플링

하였으며, 하나의 이미지 프레임에서 사람 인식 알고리즘을 처리할 수 있도록 4채널 영상을 하나의 프레임으로 정합하는 전처리 과정을 수행하였음.



<다중 카메라 사람 인식 결과>

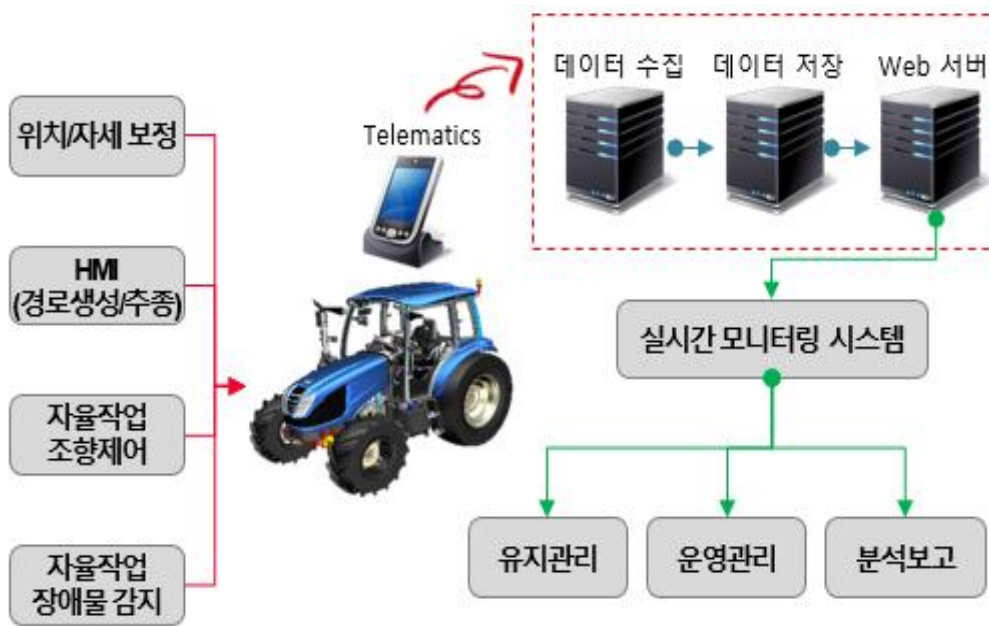
- 1920×1088 해상도인 4채널 카메라 입력 영상에 대해 YOLO-v3 기반 사람 인식 알고리즘의 출력 결과물을 나타낸다. 사람의 자세가 작물 등에 일부 가려지거나 다양한 자세에서도 높은 정확도로 인식됨을 확인하였다. 해당 알고리즘의 처리속도는 NVIDIA Jetson Xavier 플랫폼에서 평균 6.2fps 속도로 처리되었다. 이러한 이미지 처리 속도는 자율주행 트랙터의 작업 속도가 평균 3~4km/h인 점을 감안한다면 충분히 실시간으로 대응할 수 있는 수준으로 판단하였다.

바. 자율주행 작업의 종류 및 주의/교육사항

- 자율주행 트랙터를 활용한 작업은 매우 다양함. 논에서는 정밀 경운, 정지, 로터리작업 등이며, 밭에서는 경운, 정지, 복토, 파종, 정식, 수확 등 거의 모든 농작업에 활용될 수 있음. 자율주행을 통해 노동력을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 정밀한 농작업으로 작물 재배의 효율성 향상을 꾀할 수 있음. 현재는 농경지 내부까지 운전하여 이동 후 자율주행 모드에서 농작업을 수행할 수 있으나, 향후 농기계 차고에서 농경지까지 스스로 이동하여 농작업까지 수행하는 기술이 개발되고 있음. 주의사항으로 안전성을 확보하는게 가장 시급함. 이러한 내용은 자율주행 농기계 교육에 필수 사항으로 교육기관과 협력을 통해 안전한 자율주행 농기계가 농작업에 활용될 수 있도록 하고자 함.

2. Telematics 시스템 개발

- Telematics 시스템은 트랙터의 일반 정보뿐만아니라 자율작업의 정보까지 실시간 모니터링 가능하도록 개발하였다. 아래의 그림은 트랙터의 정보 및 자율작업의 정보가 Telematics 시스템을 통하여 서버에 수집, 저장되어 Web서버를 통하여 소비자에게 실시간 모니터링 되어지는 과정을 표시하였다. 저장된 데이터를 통하여 실시간 모니터링 뿐만아니라 분석을 통하여 유지관리, 운영관리, 분석보고가 가능하도록 설계되어 있다.



<자율작업 트랙터 및 Telematics 시스템 개략도>

가. 실시간 모니터링 시스템

| 번호 | 영업소 | 대리점 | 모델명 | 기대 번호 | 사용자 | 사용 시간 | 보증만료일 | 현재 위치 | 모니터링 | 상태 |
|----|-------|---------|--------|------------|----------|-------|------------|-----------------|------|----|
| 1 | 경기영업소 | 가남농기계 | XP7102 | 2306000222 | 파워시프트_1 | 0.00 | 2019-11-06 | [Location Icon] | 보기 | ⊘ |
| 2 | 경기영업소 | 가남농기계 | XP7102 | 2306000480 | MT3045 | 0.00 | 2019-11-07 | [Location Icon] | 보기 | ⊘ |
| 3 | 경기영업소 | 가남농기계 | XP7102 | 2306000481 | MT3050 | 87.30 | 2019-11-08 | [Location Icon] | 보기 | ⊘ |
| 4 | 전북영업소 | 트랙터 연구소 | XP7102 | 20181234 | rmd test | 0.00 | 2011-06-01 | [Location Icon] | 보기 | ⊘ |

- 실시간 모니터링 시스템에서는 트랙터의 현재 상태를 파악 가능하도록 디자인 되어 있음. 트랙터의 모델명, 기대번호, 사용시간 등의 기본 데이터 및 현재위치를 지도 서비스와 연계되어 현재 위치를 한눈에 파악 가능함. 운행 중인지 정지중인지를 알 수 있는 가동상태 표시로 운행/미운행의 트랙터 파악이 가능함.

나. 유지관리 시스템

<자율작업 트랙터 정보 관리>

- 유지관리 시스템에서는 트랙터의 점검 기록 및 소모품의 관리가 가능하도록 화면 구성 되어 있음. 트랙터의 점검 방법은 매뉴얼 연계를 통하여 고객이 손쉽게 가능하도록 설계되어 있음. 또한 소모품의 사용시간을 표시되어 있으며, 경과시간에 따라 관리 가능함.

다. 운영관리 시스템

- 운영관리 시스템에서는 트랙터의 고장에 대한 정보를 알 수 있도록 표현되어 있음. 트랙터 본체의 고장 정보는 계기판으로 알 수 있으나, 자세한 고장 정보는 매뉴얼을 통하여 제공되고 있음. 향후, 본 시스템에서는 고장 내용을 고장정보 매뉴얼과 연동하여 실시간 모니터링 시스템의 화면을 통하여 고객에게 제공하고자 함.

(5) 제 1-2 세부과제

① 연구개요

| | | | | | | |
|------------------|--|---|--------------|-------------------|---------------|---------|
| 세부과제번호 | 제 (1-2)세부과제 | | | | | |
| 세부 연구과제명 | 국문 | 농업생산무인자동화기술을 배양한 인력양성 | | | | |
| | 영문 | Manpower training program with unmanned automation technology for agricultural production | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 김우영 | 영문성명 | Kim Woo Young | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 전남대학교 | 부서명 (학과명) | 농업생산무인 자동화연구센터 | 직위 | 연구교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2017년 09월 18일 부터 ~ 2021년 12월 31일 까지 (4년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 |
| | 정부출연금 | 154,000 | 154,000 | 150,000 | 272,200 | 730,200 |
| | 기업부담금 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 합계 | 154,000 | 154,000 | 150,000 | 272,200 | 730,200 |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | | 선임급 | | 원급이하 | |
| | 2 | | 2 | | 0 | |
| | | | | | 합계 | |
| | | | | | 4 | |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|-------------------|--|
| 2단계 | 4차년도 ~ 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 다양한 환경 계측 및 작업 관리 시스템 구축을 목표로 하는 정밀 농업관련 기술 개발, 무인화/첨단화를 위한 정밀 농업 관련 전문가 양성 및 다수의 핵심 인력배출을 목표함 · 자율주행을 위한 운행 제어, 작업 최적화, 제어 알고리즘 개발, 변량 제어 기술 개발 등의 자동화 기술을 배양한 인력 양성을 목표함 · 본 과제에 참여하는 대학원생은 산업체가 요구하는 학문적 지식과 연구방법에 대한 실질적 경험을 갖춘 무인화/자동화 연구의 전문 연구 인력 양성을 목표함 · 농업 시설 관리에 대한 기술적 전문성을 갖춘 인력양성을 통하여 농업 분야에서의 기술적 한계극복을 통한 신산업 창출을 목표함 · 원격제어 기반 작물생산 자동화 시스템의 연구성과를 통해 생물 생산 자동화 기술 향상을 목표함 · 산학 연계 기술개발 및 워크샵 등의 경험을 바탕으로 산학 협력을 통한 실무능력 향상을 목표함 · 산학연의 협력연구를 통해 분야별 전문성 및 현장 기술의 접목을 통해 핵심 기술 및 사업화단계별 요소기술의 실무능력을 향상하여 현장 문제 해결능력 배양을 목표함 |

| | | |
|--------|--|---------------------------------|
| 제1핵심 | 농업생산 자동화 실현을 위한 농작업 로봇화 구현 및 산업적용 기술개발 | |
| 제1-2세부 | 농업생산무인자동화기술을 배양한 인력양성 | |
| 2 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 2단계 | ○ 무인화/첨단화를 위 | - 농업무인화를 위한 인공지능, 로봇, ICT 교육 프로 |

| | | |
|--|--|--|
| 연구목표 : 온실환경 이 송작업을 위 한 자율주행 플랫폼 4년차 (2017) ~ 7년차 (2020) | 한 정밀 농업관련 전문가 양성 | 그램 운영 - 국내외 전문가 초청 세미나 및 심포지움 개최 |
| | ○ 농업 자동화 기술 을 배양한 인력 양성 | - 농업생산무인자동화 ARC 연구 페스티벌 프로그램 운영 - 인력양성 교육을 통한 석·박사 인력양성 및 배출 |
| | ○ 실무 경험을 갖춘 무인자동화 연구의 전문 연구인력 양성 | - 다양한 농업생산무인 자동화기술을 배양한 인력양 성 및 산업체로 취업 - 산업화 현장에서 현장 문제를 해결할 수 있는 실 무능력이 우수한 인력양성 - 글로벌 인재육성을 위한 해외 우수대학 연구원과 의 공동 세미나 프로그램 운영 |

(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|---------|-----------|----------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------|----------|------|----------|------------------|--------|--------|------------------|------------------|--------|------------------|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술 인증 | 학술성과 | | 인력양성 | | | 정책활 용·홍 보 | | 기 타 | |
| | 특허 출원 | 특허 등록 | 품 종 등 록 | 건 수 | 기 술 료 | 제 품 화 | 매 출 액 | 수 출 액 | 고 용 창 출 | 투 자 유 치 | | 논문 | | 학 술 발 표 | 석 사 | 박 사 | 취 업 인 력 | 정 책 활 용 | | 홍 보 전 시 |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비 SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백 만 원 | 건 | 백 만 원 | 백 만 원 | 명 | 백 만 원 | 건 | 건 | 건 | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | 10 | 10 | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | 3 | 5 |
| 2단 계 | 목표 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 실적 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 최 종 | 목표 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 실적 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|--------------------------|--|---|
| 2단계 4차년도 ~ 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 무인화/첨단화를 위한 정밀 농업관련 전문가 양성 · 농업 자동화 기술을 배양한 인력 양성 · 실무 경험을 갖춘 무인자동화 연구의 전문 연구인력 양성 | <ul style="list-style-type: none"> · 농업무인화를 위한 인공지능, 로봇, ICT 교육 프로그램 운영 · 농업생산무인자동화 ARC 연구 페스티벌 프로그램 운영 · 국내외 전문가 초청 세미나 및 심포지움 개최 · 글로벌 인재육성을 위한 해외 우수대학 연구원과의 공동 세미나 프로그램 운영 · 인력양성 교육을 통한 석·박사 인력양성 및 배출 · 다양한 농업생산무인 자동화기술을 배양한 인력양성 및 산업체로 취업 · 산업화 현장에서 현장 문제를 해결할 수 있는 실무능력이 우수한 인력양성 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

■ 농업생산무인자동화기술을 배양한 인력양성

① 센터에서 지원하는 인력양성 교육을 통해서 석·박사 인력양성 및 배출

- 우수학생 선발, 상호교류, 협동연구수행 및 최신연구기술을 훈련시켜 경쟁력을 갖춘 인력 배출 (박사 6명, 석사 21명, 취업 25명)

- 학위 취득 대학원생은 박사과정 진학 및 대학교 등으로 취업연계

* 취업 현황: 국립농업과학원, 삼성전자, 현대자동차, 동양물산기업, 연구원 등


<2단계 석·박사 인력양성 성과>

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|----------------------|-------|------|------|
| 1 | 임민규 | 전남대 | 2019 | 석사 |
| 2 | 김다운 | 전남대학교 | 2020 | 석사 |
| 3 | Reza MD Nasim | 전남대학교 | 2020 | 박사 |
| 4 | 박선호 | 전남대학교 | 2018 | 석사 |
| 5 | 김우찬 | 전남대학교 | 2019 | 석사 |
| 6 | 유정환 | 고려대학교 | 2018 | 석사 |
| 7 | 김지웅 | 고려대학교 | 2018 | 박사 |
| 8 | 진지용 | 고려대 | 2019 | 박사 |
| 9 | 박성용 | 고려대 | 2019 | 석사 |
| 10 | 김기태 | 고려대학교 | 2021 | 석사 |
| 11 | 이정호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 |
| 12 | 하승호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 |
| 13 | 이준기 | 고려대학교 | 2020 | 석사 |
| 14 | 이현석 | 고려대학교 | 2020 | 박사 |
| 15 | 김완수 | 충남대학교 | 2018 | 석사 |
| 16 | 이바울 | 충남대학교 | 2018 | 석사 |
| 17 | 김택진 | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 18 | 김두한 | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 19 | 정연준 | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 20 | 장정훈 | 충남대학교 | 2018 | 석사 |
| 21 | Md abu ayub siddique | 충남대학교 | 2019 | 석사 |
| 22 | 이남규 | 충남대학교 | 2021 | 석사 |
| 23 | 백승운 | 충남대학교 | 2020 | 석사 |
| 24 | 백승민 | 충남대학교 | 2020 | 석사 |
| 25 | 문석표 | 충남대학교 | 2021 | 석사 |
| 26 | 김연수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 |
| 27 | 김완수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 |

<2단계 취업 성과>

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 최종학위 | 취업처 |
|----|--------------------------|-------|------|------|---------------------------|
| 1 | 김밖금 | 전남대학교 | 2016 | 석사 | 국립농업과학원 |
| 2 | 임민규 | 전남대 | 2019 | 석사 | 디에스시동탄 |
| 3 | 한응철 | 서울대학교 | 2017 | 박사 | 강원대학교 |
| 4 | 정진태 | 전남대학교 | 2016 | 석사 | 현대건설기계 |
| 5 | 김다운 | 전남대학교 | 2020 | 석사 | 전라남도생물산업진흥재단 나노바이오연구센터 |
| 6 | 김연수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 | 한국생산기술연구원 |
| 7 | 이바울 | 충남대학교 | 2018 | 석사 | 언맨드솔루션 |
| 8 | 김두한 | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 대동공업주식회사 |
| 9 | 장정훈 | 충남대학교 | 2018 | 석사 | 엘에스엠트론 |
| 10 | 정연준 | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 아르젠티보 |
| 11 | 이남규 | 충남대학교 | 2021 | 석사 | 건설기계부품연구원 |
| 12 | 문석표 | 충남대학교 | 2021 | 석사 | 한국기계연구원 |
| 13 | 김완수 | 충남대학교 | 2021 | 박사 | 농업과학연구소 |
| 14 | Md abu ayu b siddique | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 티와이엠아이씨티 |
| 15 | 김택진 | 충남대학교 | 2019 | 석사 | 동양물산기업 |
| 16 | 조효주 | 고려대학교 | 2017 | 석사 | 삼성전자 |
| 17 | 김지웅 | 고려대학교 | 2018 | 박사 | 기계공학 연구교수 |
| 18 | 박성용 | 고려대학교 | 2019 | 석사 | 차세대기계설계 기술연구소 |
| 19 | 진지용 | 고려대학교 | 2019 | 박사 | 현대자동차 |
| 20 | 유정환 | 고려대학교 | 2018 | 석사 | 삼성전자 |
| 21 | 이현석 | 고려대학교 | 2020 | 박사 | 국방과학연구소 |
| 22 | 이준기 | 고려대학교 | 2020 | 석사 | 엘지이노텍 |
| 23 | 이정호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 | 삼성전자 |
| 24 | 하승호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 | 엘지씨엔에스 |
| 25 | 김기태 | 고려대학교 | 2021 | 석사 | 고려대학교 산학협력단 |

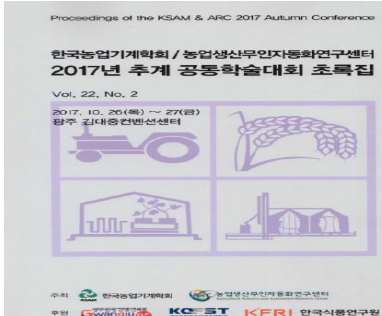
② 농작업 로봇 및 농업시설 에너지·환경 자동화 기술의 동향 파악을 위한 국내외 심포지움 개최

| 번호 | 행사명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|---------------------------|-------------|------------|---|
| 1 | 2017 김제농업기계 박람회 국제심포지움 개최 | 2017.11.08. | 김제시 농업기술센터 |  |

- 내용: 4차 산업혁명시대를 대비한 농업기계 국제화 및 수출 전략
- 참석 대상: 학회회원, 농업기계 관련 분야 교수 및 연구원, 대학원생, 농업기계 산업체 등
- 주관: (사)한국농업기계학회, 발농업기계개발연구센터, 농업생산무인자동화연구센터, 스마트 연구센터
- 후원: 한국농업기계공업협동조합, 김제시

| 번호 | 행사명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|----------------------|----------------------|-------------|--|
| 2 | 2018 ISMAB 국제심포지움 개최 | 2018.05.28. ~ 05.30. | 제주도, KAL 호텔 |  |


- 내용: 정밀농업, 생물공학, 센서기술, 무인자동화
- 참석 대상: 학회회원, 농업기계 관련 분야 교수 및 연구원, 대학원생, 농업기계 산업체 등
- 주관: KOFST, 발농업기계개발연구센터, 농업생산무인자동화연구센터, 스마트팜연구센터, JEJU CVB

| 번호 | 행사명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|---|----------------------|---------------|---|
| 3 | 한국농업기계학회/농업 생산무인자동화연구센터 2017년 추계 공동학술대회 | 2017.10.26. ~ 10.27. | 광주, 김대중 컨벤션센터 |  |


- 내용: 정밀농업, 생물공학, 센서기술, 무인자동화
- 참석 대상: 학회회원, 농업기계 관련 분야 교수 및 연구원, 대학원생, 농업기계 산업체 등
- 주관: 한국농업기계학회, 농업생산무인자동화연구센터

| 번호 | 행사명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|---|-------------------------|----------------------------|---|
| 4 | 한국농업기계학회/농업 생산무인자동화연구센터 2018년 추계 공동학술대회 | 2018.10.18. ~ 10.19. | 서울대학교 농업생명과학 대학 201동 |  |


- 내용: 정밀농업, 생물공학, 센서 기술, 무인자동화
- 참석 대상 : 학회회원, 농업기계 관련 분야 교수 및 연구원, 대학원생, 농업기계 산업체 등
- 주관: 한국농업기계학회, 농업생산무인자동화연구센터, 경북대학교 농업기계개발연구센터, 스마트팜 연구센터

| 번호 | 행사명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|---|-------------------------|---------|---|
| 5 | 한국농업기계학회/농업 생산무인자동화연구센터 2019년 추계 공동학술대회 | 2019.10.17. ~ 10.18. | 엘리시안 강촌 |  |


③ 과제간의 효율적인 연구운영 및 인력양성을 위한 정기세미나 프로그램 개최

| 번호 | 프로그램명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|--------------------------|-------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 4차년도 Kick-off meeting | 2018.01.15. | 전남대학교 농업생명과학 대학 1호관 중회의실 |  |


- 내용 : 4차년도 ARC 과제간 연구협력 및 인력양성 방안
- 참석 대상 : ARC 각 세부, 협동 책임자, 관계자
- 주관 : 농업생산무인자동화연구센터

| 번호 | 프로그램명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|----------------|-------------|-----------------|--|
| 2 | 4차년도 중간 평가회 | 2018.05.09. | 전라북도 익산역 국회실 |  |


- 내용 : 4차년도 ARC 과제 진행 현황, 성과달성 및 인력양성 방안
- 참석 대상 : ARC 각 세부, 협동 책임자, 관계자
- 주관 : 농업생산무인자동화연구센터

| 번호 | 프로그램명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|--------------------------|-------------|-----------------------------------|---|
| 3 | 5차년도 Kick-off meeting | 2018.08.21. | 전남대학교 농업생명과학 대학 1호관 중회의실 |  |


- 내용 : 5차년도 ARC 과제간 연구협력 및 인력양성 방안
- 참석 대상 : ARC 세부, 협동 책임자, 관계자
- 주관 : 농업생산무인자동화연구센터

| 번호 | 프로그램명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|----------------|-------------|-----------------------------------|--|
| 4 | 5차년도 중간 평가회 | 2018.11.26. | 전남대학교 농업생명과학 대학 1호관 중회의실 |  |


- 내용 : 5차년도 ARC 과제 진행 현황, 성과달성 및 인력양성 방안
- 참석 대상 : ARC 세부, 협동 책임자, 관계자
- 주관 : 농업생산무인자동화연구센터

| 번호 | 프로그램명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|------------------|-------------|-----------------------------------|--|
| 5 | 5차년도 2차 연구협의회 | 2019.03.05. | 전남대학교 농업생명과학 대학 1호관 중회의실 |  |

- 내용 : 5차년도 ARC 과제 진행 최종 점검, 성과달성 및 인력양성 방안
- 참석 대상 : ARC 세부, 협동 책임자, 관계자
- 주관 : 농업생산무인자동화연구센터

| 번호 | 프로그램명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|--------------------------|-------------|-----------------------------------|---|
| 6 | 6차년도 Kick-off meeting | 2019.07.16. | 전남대학교 농업생명과학 대학 1호관 중회의실 |  |

- 내용 : 6차년도 ARC 과제간 연구협력 및 인력양성 방안
- 참석 대상 : ARC 세부, 협동 책임자, 관계자
- 주관 : 농업생산무인자동화연구센터

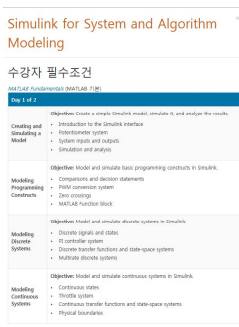
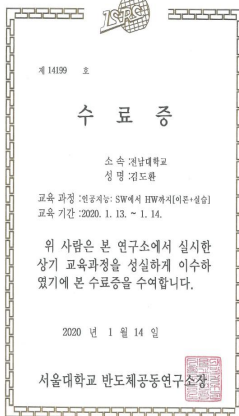
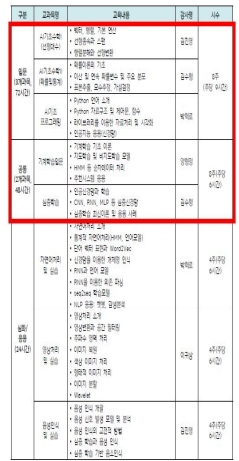
| 번호 | 프로그램명 | 개최일 | 장소 | 관련 자료 |
|----|---------------|-------------|-----------------------------------|--|
| 7 | 6차년도 연구협의회 | 2020.01.08. | 전남대학교 농업생명과학 대학 1호관 중회의실 |  |

- 내용 : 6차년도 ARC 과제 진행 현황, 성과달성 및 인력양성 방안
- 참석 대상 : ARC 세부, 협동 책임자, 관계자
- 주관 : 농업생산무인자동화연구센터

④ 글로벌 인재육성을 위한 해외 우수대학 탐방 프로그램 운영

| 번호 | 프로그램명 | 방문 일자 | 방문 장소 | 참석자 | 방문 목적 | 관련 자료 |
|----|--|---------------------------------|---|----------------------|--|---|
| 1 | 일본 동경대학, 동경공업대, 시설원에 식물공장 전시회 및 스마트 애그리 전시회 탐방 | 2018.07.10. ~ 2018.07.14. | 동경대학, 동경공업대 (도쿄,일본) | 전남대, 고려대 ARC 참여 대학원생 | 연구실 견학 및 공동연구 내용 논의 |  |
| 2 | 홋카이도 대학교 탐방 프로그램 | 2018.06.23. ~ 2018.06.26. | 홋카이도 대학교 Vehicle Robotics laboratory (홋카이도, 일본) | 충남대 ARC 참여 대학원생 | 자율주행 트랙터 관련 자료 수집 및 시험 참관 |  |
| 3 | 일본 동경 빅사이트전시장 및 미래과학관 로봇관련 전시회 탐방 프로그램 | 2019.01.16. ~ 2019.01.19. | 동경 빅사이트 전시장, 동경 미래과학관 (도쿄,일본) | 고려대 ARC 참여 대학원생 | 선진 무인 자동화기술의 동향 파악 및 기술 습득 |  |
| 4 | 교토 대학교 탐방 프로그램 | 2019.04.26. ~ 2018.04.28. | 교토 대학교 콘도 교수 연구실 (교토,일본) | 충남대 ARC 참여 대학원생 | Connected Farming 기반 트랙터 동력 모니터링 시스템 자료 수집 및 시험 참관 |  |

⑤ 농업기계 및 농업 에너지 농업기계 및 농업에너지기술의 무인자동화 기술을 습득할 수 있는 다양한 교육지원 프로그램 운영

| 번호 | 프로그램명 | 교육기간 | 교육기관 | 내용 | 참여자 | 관련 자료 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|--|---------------------------------------|---|-----------------|--|----|-----|------|----|----|-------------|---------|-------------------------------------|-----|----|---------|---------------------------------|-----|----|-------------|-----------|--|-----|----|--------|--|-----|----|-------------|-----|------------------------------------|-----|----|--------|------------------------|-----|----|
| 1 | Simulink for System and Algorithm Modeling 교육 | 2018.06.25. ~ 2018.06.26. | Math Works | 기본적인 모델링 기법과 Simulink 블록 다이어그램 개발을 위한 도구 교육 | 전남대 ARC 참여 대학원생 |  <p>Simulink for System and Algorithm Modeling</p> <p>수강자 필수조건</p> <p>MATLAB ACQUISITION TOOLBOX (1년)</p> <p>Step 1 of 7</p> <p>Objective Model and simulate basic programming constructs in Simulink.</p> <p>Modeling, Programming, Construct</p> <p>Objective Model and simulate discrete systems in Simulink.</p> <p>Modeling, Discrete Systems</p> <p>Objective Model and simulate continuous systems in Simulink.</p> <p>Modeling, Continuous Systems</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 인공지능 : SW에서 HW까지 [이론+실습] | 2020.01.13. ~ 2020.01.14. | 서울대 반도체 공동 연구소 | AI를 위한 machine learning and deep learning, AI 응용을 위한 HW/SW 통합 최적화 | 김도환 (전남대) |  <p>수료증</p> <p>소속: 전남대학교 성명: 김도환</p> <p>교육 과정: 인공지능: SW에서 HW까지 [이론+실습]</p> <p>교육 기간: 2020. 1. 13. ~ 1. 14.</p> <p>위 사람은 본 연구소에서 실시한 상기 교육과정을 성실하게 이수하였기에 본 수료증을 수여합니다.</p> <p>2020년 1월 14일</p> <p>서울대학교 반도체공동연구소장</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 매치업 AI 프로그램 | 2018.04.25. ~ 2018.04.26. | 전남대 사회 맞춤형 산학 협력 선도 대학 (LINC+) 육성 사업단 | AI 입문과정 (AI기초수학1, AI기초수학2, AI 기초프로그래밍, 기계학습입문, 심층학습) | 김도환 (전남대) |  <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>교과명</th> <th>교과내용</th> <th>강사</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">입문 과정 (4시간)</td> <td>AI기초수학1</td> <td>* 벡터, 행렬, 미분 * 선형대수학 * 행렬의 곱셈</td> <td>김도환</td> <td>필수</td> </tr> <tr> <td>AI기초수학2</td> <td>* 행렬의 역 * 행렬의 곱셈 * 행렬의 곱셈</td> <td>김도환</td> <td>필수</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">입문 과정 (4시간)</td> <td>AI기초프로그래밍</td> <td>* Python 언어 소개 * Python 기초 문법, 변수, 연산자, 조건문, 반복문, 함수 * Python 라이브러리 소개 * Python 응용 프로그램</td> <td>김도환</td> <td>필수</td> </tr> <tr> <td>기계학습입문</td> <td>* 기계학습 소개 * 지도학습 (선형 회귀, 로지스틱 회귀) * 비지도학습 (클러스터링, PCA)</td> <td>김도환</td> <td>필수</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">심층 학습 (4시간)</td> <td>딥러닝</td> <td>* 딥러닝 소개 * 딥러닝의 구조 * 딥러닝의 응용</td> <td>김도환</td> <td>필수</td> </tr> <tr> <td>딥러닝 응용</td> <td>* 딥러닝의 응용 * 딥러닝의 응용</td> <td>김도환</td> <td>필수</td> </tr> </tbody> </table> | 구분 | 교과명 | 교과내용 | 강사 | 비고 | 입문 과정 (4시간) | AI기초수학1 | * 벡터, 행렬, 미분 * 선형대수학 * 행렬의 곱셈 | 김도환 | 필수 | AI기초수학2 | * 행렬의 역 * 행렬의 곱셈 * 행렬의 곱셈 | 김도환 | 필수 | 입문 과정 (4시간) | AI기초프로그래밍 | * Python 언어 소개 * Python 기초 문법, 변수, 연산자, 조건문, 반복문, 함수 * Python 라이브러리 소개 * Python 응용 프로그램 | 김도환 | 필수 | 기계학습입문 | * 기계학습 소개 * 지도학습 (선형 회귀, 로지스틱 회귀) * 비지도학습 (클러스터링, PCA) | 김도환 | 필수 | 심층 학습 (4시간) | 딥러닝 | * 딥러닝 소개 * 딥러닝의 구조 * 딥러닝의 응용 | 김도환 | 필수 | 딥러닝 응용 | * 딥러닝의 응용 * 딥러닝의 응용 | 김도환 | 필수 |
| 구분 | 교과명 | 교과내용 | 강사 | 비고 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 입문 과정 (4시간) | AI기초수학1 | * 벡터, 행렬, 미분 * 선형대수학 * 행렬의 곱셈 | 김도환 | 필수 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | AI기초수학2 | * 행렬의 역 * 행렬의 곱셈 * 행렬의 곱셈 | 김도환 | 필수 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 입문 과정 (4시간) | AI기초프로그래밍 | * Python 언어 소개 * Python 기초 문법, 변수, 연산자, 조건문, 반복문, 함수 * Python 라이브러리 소개 * Python 응용 프로그램 | 김도환 | 필수 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 기계학습입문 | * 기계학습 소개 * 지도학습 (선형 회귀, 로지스틱 회귀) * 비지도학습 (클러스터링, PCA) | 김도환 | 필수 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 심층 학습 (4시간) | 딥러닝 | * 딥러닝 소개 * 딥러닝의 구조 * 딥러닝의 응용 | 김도환 | 필수 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 딥러닝 응용 | * 딥러닝의 응용 * 딥러닝의 응용 | 김도환 | 필수 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

⑥ 국내외 학회 참가지원 프로그램 운영


| 번호 | 학회명 | 대상기관 | 지원내용 |
|----|---|---------|---|
| 1 | 7 th Asian-Australian Conference on Precision Agriculture (국외) | 전남대 충남대 | “Simulation of optimal path planning using modified minimum spanning tree for autonomous agricultural mobile robot” 논문 외 2편의 논문 지원 “트랙터 주행속도가 타이어 슬립에 미치는 영향 |

| 번호 | 학회명 | 대상기관 | 지원내용 |
|----|--|------------|--|
| | | | 시뮬레이션” 논문 지원 |
| 2 | 한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2017년 추계 공동학술대회 (국내) | 전남대 | “비행로봇 영상정보를 이용한 딥 러닝 기반 보행자 움직임 추적 알고리즘 개발” 논문지원학교) |
| 3 | The International Tri-Conference for Precision Agriculture in 2017 (국외) | 전남대 | “Development of real-time onion disease monitoring system using machine vision” 논문지원 |
| 4 | The 14 th International Joint Symposium between Japan and Korea (국외) | 전남대 | “Performance evaluation of real-time environmental field monitoring system” 논문지원 |
| 5 | 2018 한국정밀농업학회 춘계학술대회 (국내) | 전남대 충남대 | “작물에서 프롤린을 검출하기 위한 저파워 소모의 특징을 가진 종이기반 센서의 제작” 논문 외 1편의 논문지원 “소형 관리기의 로타리 작업에 따른 PTO 기어 부하 분석” 논문지원 |
| 6 | The 9 th ISMAB Conference (국외) | 전남대 | “Fabrication of a paper-based sensor with low power consumption for field diagnosis of drought stress” 논문 외 1편의 논문지원 |
| 7 | CIGR 2018 (국외) | 전남대 | “Deep-learning based obstacle recognition and tracking using drone image” 논문 외 1편의 논문지원 |
| 8 | The 8 th Joint Symposium between Chongnam National University and Shenyang Agriculture University | 충남대 | Analysis torque for multi-purpose cultivator during field operation “ 논문지원 |
| 9 | 2017 17 th International Conference on Control, Automation and Systems | 고려대 | “Vehicle detection using a laser range finder on the basis of SVDD(Support Vector Data Description)” 논문지원 |
| 10 | 제13회 한국로봇종합학술대회 | 고려대 | “강화학습 기법을 이용하여 다양한 환경에 스스로 적응할 수 있는 자율주행로봇의 경로생성 및 운동제어기법” 논문 외 3편의 논문지원 |
| 11 | 2018 IEEE | 고려대 | “Robust localization of mobile robots considering |

| 번호 | 학회명 | 대상기관 | 지원내용 |
|----|---|-------------------------------|--|
| | International Conference on Robotics and Automation | | \reliability of LiDAR measurements” 논문지원 |
| 12 | 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems | 고려대 | Robust LiDAR-based localization on the basis of accurate modeling of optical characteristics” 논문지원 |
| 13 | 한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2018년 추계 공동학술대회 (국내) | 전남대 1-1세부 충남대 전남대 2-2협동 | “UAV 영상 기반 심층 학습을 이용한 벼 작물의 이앙 특성 분석” 논문 외 1편의 논문 지원 “로타리 작업 시 78kw급 농업용 트랙터의 등가 부하 분석” 논문 지원 “Hydroxyapatite/Eggshell membrane coposites for healthcare applications” 논문 지원 |
| 14 | 2018 (사)한국정밀농업학회 초청세미나 및 추계학술대회 (국내) | 전남대 1-1세부 충남대 | “포인트 클라우드와 인공지능 기반 농경지 지형 분석” 논문 외 3편의 논문지원 “75kW급 농업용 트랙터 PTO 강도해석” 논문 지원 |
| 15 | Japan China Korea Graduate Students Forum 2018 (국제) | 충남대 | “Traction analysis of an agricultural tractor according to slip ratio during plow tillage” 논문지원 |
| 16 | The 6 th IFAC Conference on Bio-Robotics (국제) | 충남대 | “Analysis of driving performance evaluation for an unmanned tractor” 논문 외 1편의 논문지원 |
| 17 | 제14회 한국로봇종합학술대회 (국내) | 고려대 | “장애물이 많은 환경에서 GNSS센서와 오도메트리 정보를 이용한 위치추정기법” 논문 외 2편의 논문지원 |
| 18 | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2018 (국제) | 고려대 | “Dual tree RRT for car-like Mobile robots with parent search” 논문 외 3편의 논문지원 |
| 19 | 2018 한국공업화학회 추계 총회 및 학술대회 (국내) | 전남대 2-2협동 | “ECM-mimetic topographic substrates as cell chips for in viro cytotoxicity test platforms” 논문지원 |
| 20 | ASABE 2018 Annual International Meeting (국제) | 전남대 2-2협동 | “Development of eggshell membrane based-nano-engineered platforms” 논문지원 |

| 번호 | 학회명 | 대상기관 | 지원내용 |
|----|--|------------------------------|--|
| 21 | Emerging Technologies in Mechanical Engineering 2018 (국제) | 전남대 2-2협동 | “Multiscale patterned stem cell patches for tissue regeneration” 논문 외 1편의 논문지원 |
| 22 | 5 th TERMIS World Congress 2018 (국제) | 전남대 2-2협동 | “Iron oxide nanoparticles-incorporated large scale alginate capsules for biomedical applications” 논문 외 1편의 논문지원 |
| 23 | 한국농업기계학회/농업생산무인자동화 연구센터 2019년 추계 공동학술대회 (국내) | 전남대 1-1세부 충남대 전남대2-2협동 | “Optimization of configuration parameters for 3D reconstruction in multi cameras-based UAV system” 논문 외 1편의 논문 지원 “농업용 트랙터 PTO 기어 치면 하중 분포 분석” 논문 지원 “Bio-instructive nanospine patch as a multifunctional platform for agricultural and biomedical applications” 논문 외 3편의 논문 지원 |
| 24 | 2019 (사)한국정밀농업학회 초청세미나 및 추계학술대회 (국내) | 전남대 1-1세부 | “RGB image based rice plant positioning in the field” 논문 외 3편의 논문지원 |
| 25 | 드라이브·컨트롤 2019 추계학술대회 (국내) | 충남대 | “농업용 트랙터 변속기의 베어링 예압에 따른 내구수명 분석” 논문지원 |
| 26 | 2019 전남대학교 농업축제 (국내) | 전남대 2-2협동 | “Designing soluble eggshell membrane-based nano-patched for bone regeneration” 논문 외 1편의 논문지원 |
| 27 | Ubiquitous Robots 2019 (국내) | 고려대 | “Limitations of 3D LiDAR applications for autonomous vehicles under the consideration of the uber pedestrian accident” 논문 외 10편의 논문지원 |
| 28 | 정보 및 제어 학술대회 2019 (국내) | 고려대 | “이동로봇의 사람추적을 위한 파티클 기반 확률론적 필터의 데이터 결합 기법의 구현” 논문지원 |
| 29 | IEEE International Conference on Robotics and Automation 2019 (국제) | 고려대 | “A heuristic for task allocation and routing of heterogeneous robots while minimizing maximum travel cost” 논문지원 |
| 30 | ASABE 2019 Annual International Meeting (국제) | 전남대 2-2협동 | “Graphene as s new way to accelerate plant growth” 논문 외 1편의 논문지원 |

⑦ 취업 연계 프로그램 운영

| 번호 | 프로그램명 | 개최일 | 관련 자료 |
|----|----------------|------------|--|
| 1 | 드림 런웨이 프로그램 개최 | 2018.06.04 |  |

- 장소: 전남대학교 농업생명과학대학 1호관 1층
- 내용: 원활한 산업체 취업을 위한 취업교육 세미나
- 참석 대상: 전남대학교 지역바이오시스템학과 대학원생
- 주관: 농업생산무인자동화연구센터

⑧ 농업 및 기업인 대상 교육지도 및 컨설팅



<6차 농업기계 활용 교육>



<7차 농업기계 활용 교육>



<식물공장 관람 및 적용기술 설명>



<드론 기반 영농관리 지원 솔루션 설명>

● 제 2핵심연구과제

| | | | | | | |
|------------------|---|---|--------------|-----------------|---------------|-----------|
| 과제번호 | 제 2 핵심과제 | | | | | |
| 핵심 연구과제명 | 국문 | 농업시설 무인자동화 기반기술 개발 | | | | |
| | 영문 | Development of automation technology for agricultural structure | | | | |
| 핵심 연구책임자 | 한글성명 | 정우진 | 영문성명 | Woojin Chung | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 고려대학 교 | 부서명 (학과명) | 기계공학부 | 직위 | 교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2017년 09월 18일 부터 ~ 2021년 09월 17일 까지 (4년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 |
| | 정부출연금 | 240,000 | 240,000 | 237,000 | 432,000 | 1,149,000 |
| | 기업부담금 | 38,720 | 38,720 | 38,720 | 70,145 | 186,305 |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 합계 | 278,720 | 278,720 | 275,720 | 502,145 | 1,335,305 |
| 참여연구인력 (단위:명) | 세부과제책임자 | 책임급 | | 선임급 | 원급이하 | 합계 |
| | 3 | 3 | | 0 | 21 | 24 |
| 세부 연구책임자 | 구분 | 성명 | 소속 | | 전공 | |
| | 제2-1세부과제 | 정우진 | 고려대학교 | | 기계정보공학 | |
| | 제2-1협동과제 | 박성준 | 로보틱스 | | 기전공학 | |
| | 제2-2협동과제 | 김장호 | 전남대학교 | | 바이오시스템공학 | |

(1) 제 2-1 세부과제

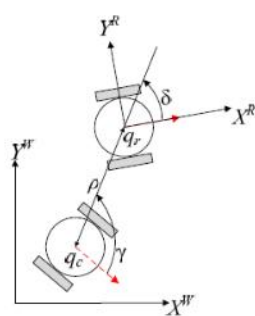
① 연구개요

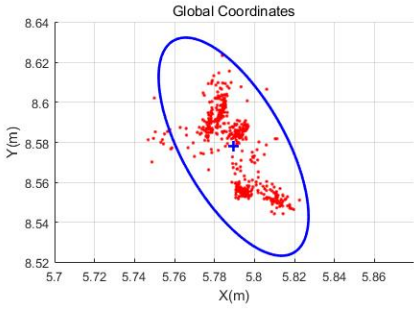
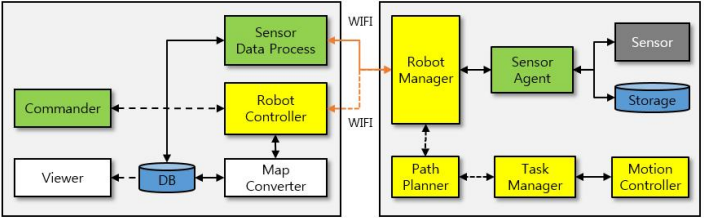
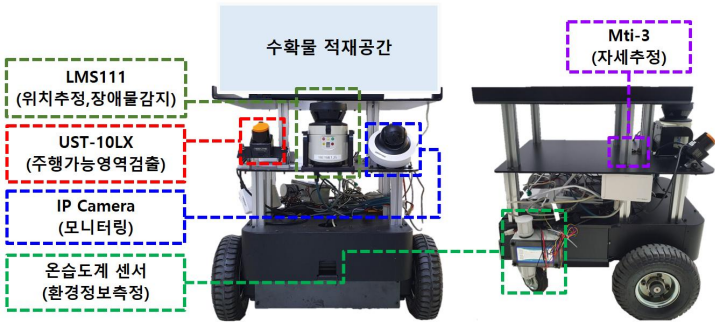
| | | | | | | |
|---------------|---|--|-----------|--------------|------------|---------|
| 세부과제번호 | 제 (2-1)세부과제 | | | | | |
| 세부 연구과제명 | 국문 | 온실환경 이동작업을 위한 자율주행플랫폼 | | | | |
| | 영문 | An autonomous navigation platform for mobile applications in glasshouse environments | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 정우진 | 영문성명 | Woojin Chung | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 고려대학교 | 부서명 (학과명) | 기계공학부 | 직위 | 교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2017년 09월 18일 부터 ~ 2021년 12월 31일 까지 (4년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 |
| | 정부출연금 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 144,000 | 384,000 |
| | 기업부담금 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 합계 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 144,000 | 384,000 |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | | 선임급 | | 원급이하 | |
| | 1 | | 0 | | 11 | |
| | | | | | | 합계 |
| | | | | | | 12 |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|--|
| 2단계 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 물류운반 작업 특성 분석 및 효율적 임무관리기술 · 적재 및 하역을 위한 정밀위치제어기술 · 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술 · 개별 기술 현장 시험 |
| | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 물류운반을 위한 물류제어기술 최적화 · 적재 및 하역을 위한 정밀위치제어기술 검증 및 최적화 · 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술 최적화 · 개별 기술 현장 시험 |
| | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 실시간 환경정보 모니터링 기술 · 실시간 자율주행 플랫폼 원격제어기술 · 통합 자율주행 S/W 모듈 구현 · 기술 통합 및 현장 시험 |
| | 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 실증 시험 및 서비스 연계 · 자율주행 플랫폼 상용화 |

| | | |
|------------------------------------|-------------------------------|---|
| 제2핵심 | 농업시설 무인자동화 기반기술 개발 | |
| 제2-1세부 | 온실환경 이송작업을 위한 자율주행플랫폼 | |
| 2 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 2단계 연구목표 : 온실환경 이송 작업을 위한 자율주행 플랫폼 | ○ 물류운반 작업 특성 분석 및 효율적 임무 관리기술 | <ul style="list-style-type: none"> - 적재/이동/하역 등 물류 운반 과정의 특성 분류하고 작업별 소요시간 예측 - 가능한 작업 순서의 배열을 계산하고 운반 작업 전체의 소요시간을 단축할 수 있는 효율적 작업 순서를 찾는 임무관리 기술 개발 |
| | ○ 적재 및 하역을 위한 | - 온실내 물류운반 플랫폼의 정밀위치제어 시스템 설계 |

| | | |
|---------------|---------------------------------|---|
| 4년차 (2017) | 정밀위치제어기술 | <ul style="list-style-type: none"> - 기 개발한 이륜로봇 플랫폼의 제어기를 이용하여 로봇의 제어주기, 최대속도, 가속도 등을 고려하여 목표위치에 도달하는 제어입력 계산 - 개발된 제어기를 실제 로봇에 적용하여 실시간으로 로봇의 위치를 제어하며 동작하는 제어 시스템 개발 - 실환경 실험을 수행하고 제어 시스템 개선  $\rho = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ $\gamma = \text{atan2}(\Delta y, \Delta x) - \theta + \pi$ $\delta = \gamma + \theta$ $\dot{\mathbf{u}} = \begin{bmatrix} \dot{\gamma} \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 \rho \cos \gamma \\ k_2 \gamma + k_1 \frac{\sin \gamma}{\gamma} (\gamma + k_3 \delta) \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;">〈각좌표계 기반 정밀 위치제어 기술〉</p> |
| | ○ 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술 | <ul style="list-style-type: none"> - 온실 내 환경에서 위치추정 정확도를 향상시키기 위해 인공표식과 함께 온실 내 자연표식정보를 조합하는 위치추정기술 개발 - 온실 내 환경에서 위치추정에 사용할 수 있는 자연표식에 대해 조사하고, 자연표식의 관측 모델 설계기법 개발 |
| 5년차 (2018) | ○ 물류운반을 위한 물류제어기술 고도화 | <ul style="list-style-type: none"> - 2종의 대표 작업환경을 정의 하고 환경지도와 물류작업의 위치, 횡수 등을 가상으로 구현 - 정의된 가상의 대표 작업환경에서 작업경로생성 및 임무 할당기술의 동작 여부를 확인하고 작업 성능을 시험 |
| | ○ 적재 및 하역을 위한 정밀위치제어기술 검증 및 고도화 | <ul style="list-style-type: none"> - 온실 내에서 적재 및 하역 작업을 수행하는 로봇을 상정하고 정해진 경로를 따라 정밀주행하는 로봇의 위치 오차를 측정하여 제어 성능을 평가 - 작업 수행과정에서 임의의 동적 장애물에 대응하기 위해 로봇 주변 장애물을 감지하고 충돌을 방지하는 기술을 개발 |
| | ○ 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술 고도화 | <ul style="list-style-type: none"> - 온실 내 오검출된 Outlier의 특성 분석 후 판별 및 제거 기술 개발 |

| | | |
|---------------|------------------------------|--|
| | |  <p style="text-align: center;">Global Coordinates</p> <p style="text-align: center;">Y(m) 8.64 8.62 8.6 8.58 8.56 8.54 8.52</p> <p style="text-align: center;">X(m) 5.7 5.72 5.74 5.76 5.78 5.8 5.82 5.84 5.86</p> <p style="text-align: center;">〈오 검출된 Outlier 판별〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 온실 환경 내 하역지점, 적재지점, 경유지점, 일반주행 경로, 정밀주행경로 등을 지정하여 장시간 반복 자율주행 수행 |
| 6년차 (2019) | <p>○ 실시간 환경정보 모니터링기술</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 실내 환경에서 작업 경로를 주행하며 온습도, CO2 등의 환경정보와 영상정보를 실시간 모니터링하는 기술을 개발 - 미리 작성된 지도 내 경로를 로봇이 주행하면서 IP카메라에서 영상을 실시간으로 송출 |
| | <p>○ 실시간 자율주행 플랫폼 원격제어기술</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 수동 제어 부분을 추가하여 원격지에서 카메라로 송출된 영상을 확인하면서 사람이 직접 로봇을 제어할 수 있도록 원격제어 시스템 구성 - 실시간으로 전송되는 영상정보와 위치정보를 이용하여 자율주행 플랫폼을 원격제어하는 기술을 개발  <p style="text-align: center;">〈원격제어 시스템 아키텍처〉</p> |
| | <p>○ 통합 자율주행 S/W 모듈 구현</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 개발된 개별요소기술간의 유기적 결합을 통한 통합 자율주행 S/W 모듈 구현 - 개발된 개별요소기술이 통합된 S/W에서 동작하는지 확인 |
| 7년차 (2019) | <p>○ 현장 실증 시험 및 서비스 연계</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 물류이송을 위한 통합 플랫폼 구축  <p style="text-align: center;">〈ISR-M3 물류이송용 자체 제작 플랫폼〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 실제 다양한 온실 환경에서의 실증 시험을 통해 자율 |

| | | |
|----------------|--|--|
| | | 주행 성능 평가 및 서비스 연계 실시 |
| ○ 자율주행 플랫폼 상용화 | | - 개발된 자율주행 플랫폼의 수요처를 조사하고 기술이전 또는 상용화 실시 |

(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|----|----|----------|-------|----|-------|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | 인력양성 | | | 정책 활용·홍보 | | 기타 | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책 활용 | | 홍보 전시 |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | 10 | 10 | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | | 3 | 5 |
| 2단계 | 목표 | 4 | 2 | | | | | | | | | 5 | 2 | 4 | 4 | 2 | 6 | | 1 | 1 |
| | 실적 | 6 | 7 | | | | | | | | | 9 | | 28 | 6 | 3 | 10 | | | |
| 최종 | 목표 | 4 | 2 | | | | | | | | | 5 | 2 | 4 | 4 | 2 | 6 | | 1 | 1 |
| | 실적 | 6 | 7 | | | | | | | | | 9 | | 28 | 6 | 3 | 10 | | | |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|--|-----|------|------|--|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| 2018 | A heuristic for path planning of multiple heterogeneous Automated Guided Vehicles | 배정연 | 정우진 | | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 19(12) | 국내 | SCI(E) |
| 2018 | Self-Diagnosis of Localization Status for Autonomous Mobile Robots | 김지웅 | 정우진 | 박주영 | Sensors | 18(9) | 국외 | SCI(E) |
| 2018 | Terrain Classification for Mobile Robots on the basis of Support Vector Data Description | 이현석 | 정우진 | | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 19(9) | 국내 | SCI(E) |
| 2019 | Obstacle Avoidance of Two-Wheel Differential Robots Considering the Uncertainty of Robot Motion on the Basis of Encoder Odometry Information | 진지용 | 정우진 | | Sensors | 19(2) | 국외 | SCI(E) |
| 2019 | Efficient path planning for multiple transportation robots under various loading conditions | 배정연 | 정우진 | | International Journal of Advanced Robotic Systems | 16(2) | 국외 | SCI(E) |

| | | | | | | | | |
|------|---|-----|-----|------------|--|--------|----|--------|
| 2019 | Heuristics for Two Dependent Heterogeneous Unmanned Vehicle Path Planning to Minimize Maximum Travel Cost | 배정연 | 정우진 | | Sensors | 19(11) | 국외 | SCI(E) |
| 2020 | Human-Leg Detection in 3D Feature Space for a Person-Following Mobile Robot Using 2D LiDARs | 차동근 | 정우진 | | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing | 21(7) | 국내 | SCI(E) |
| 2021 | HD Map Update for Autonomous Driving With Crowdsourced Data | 김기태 | 정우진 | 조수현 | IEEE Robotics and Automation Letters | 6(2) | 국외 | SCI(E) |
| 2021 | Trajectory Planner CD T-RRT* for Car-Like Mobile Robots toward Narrow and Cluttered Environments | 권현기 | 정우진 | 차동근 성지훈 | Sensors | 21(14) | 국외 | SCI(E) |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | 등록된 특허 | | | | |
|--------|---|-------------|-----|--------------------|------|--|-------------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2017 | GNSS 기반의 위치 추정의 불확실성을 측정하는 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 국제 | PCT/KR 2017/014982 | | | | |
| 2018 | 레이저 거리 센서의 측정 거리에 대해 추정된 거리 유형의 신뢰성을 평가하는 방법 및 이를 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 미국 | 15/876511 | | | | |
| | | | | 10-1888295 | 2018 | 레이저 거리 센서의 측정 거리에 대해 추정된 거리 유형의 신뢰성을 평가하는 방법 및 이를 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 |
| | | | | US 10,107,897 B2 | 2018 | Method for evaluating type of distance measured by laser range finder and method for estimating position of mobile robot by using same | 고려대학교 산학협력단 | 미국 |
| | | | | 10-1921483 | 2018 | GNSS 기반의 위치 추정의 불확실성을 측정하는 방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2018 | 위치 추정 상태 진단 방법 및 이를 수행하는 자율주행로봇 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2018-0149336 | 2020 | 위치 추정 상태 진단 방법 및 이를 수행하는 자율주행로봇 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2019 | 2륜이동로봇의 운동 | 고려대학교 | 한국 | 10-2019- | 2020 | 2륜 이동 로봇의 속도 | 고려대학교 | 한국 |

| | | | | | | | | |
|------|--|-------------|----|-------------------|------|--|-------------|----|
| | 불확실성을 고려한 충돌회피 | 교산학협력단 | | 0005019 | | 제어 불확실성을 이용한 충돌 회피 경로 방법 및 이를 이용한 2륜 이동로봇 | 교산학협력단 | |
| | | | | 15/245,425 (등록번호) | 2019 | method for detecting floor obstacle using laser range finder | 고려대학교 산학협력단 | 미국 |
| 2019 | 자율 주행 시스템을 위한 복수의 3차원 라이다 센서의 외부파리미터 보정방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2019-0122310 | 2021 | 자율 주행 시스템을 위한 복수의 3차원 라이다 센서의 외부파리미터 보정방법 | 고려대학교 산학협력단 | 한국 |
| 2020 | Extrinsic Calibration Method of Multiple 3D Lidar Sensors for Autonomous Navigation System | 고려대학교 산학협력단 | 미국 | 17060710 | | | | |

③ 석/박사 양성 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|-----|-------|------|------|
| 1 | 유정환 | 고려대학교 | 2018 | 석사 |
| 2 | 김지웅 | 고려대학교 | 2018 | 박사 |
| 3 | 진지용 | 고려대 | 2019 | 박사 |
| 4 | 박성용 | 고려대 | 2019 | 석사 |
| 5 | 김기태 | 고려대학교 | 2021 | 석사 |
| 6 | 이정호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 |
| 7 | 하승호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 |
| 8 | 이준기 | 고려대학교 | 2020 | 석사 |
| 9 | 이현석 | 고려대학교 | 2020 | 박사 |

④ 취업 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 최종학위 | 취업처 |
|----|-----|-------|------|------|---------------|
| 1 | 조효주 | 고려대학교 | 2017 | 석사 | 삼성전자 |
| 2 | 김지웅 | 고려대학교 | 2018 | 박사 | 기계공학 연구교수 |
| 3 | 박성용 | 고려대학교 | 2019 | 석사 | 차세대기계설계 기술연구소 |
| 4 | 진지용 | 고려대학교 | 2019 | 박사 | 현대자동차 |
| 5 | 유정환 | 고려대학교 | 2018 | 석사 | 삼성전자 |
| 6 | 이현석 | 고려대학교 | 2020 | 박사 | 국방과학연구소 |
| 7 | 이준기 | 고려대학교 | 2020 | 석사 | 엘지이노텍 |
| 8 | 이정호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 | 삼성전자 |
| 9 | 하승호 | 고려대학교 | 2020 | 석사 | 엘지씨엔에스 |
| 10 | 김기태 | 고려대학교 | 2021 | 석사 | 고려대학교 산학협력단 |

⑤ 학술발표 성과

| 연번 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|-----|-----|---|---|---------------|
| 1 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 | Robust LiDAR-Based Localization on the basis of Accurate Modeling of Optical Characteristics | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) | 캐나다, 밴쿠버 |
| 2 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 형승호 | Vehicle detection using a laser range finder on the basis of SVDD (Support Vector Data Description) | 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2017) | 제주도 |
| 3 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 형승호 | Vehicle detection using a laser range finder on the basis of SVDD (Support Vector Data Description) | 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems | 제주 라마다 호텔 |
| 4 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | 박성용 | 강화학습 기법을 이용하여 다양한 환경에 스스로 적응할 수 있는 자율주행로봇의 경로생성 및 운동제어 기법 | 제13회 한국로봇종합학술대회 | 강원도 웰리힐리파크 |
| 5 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | 유정환 | 3차원 라이다 센서의 거리 측정값에 대한 통계적 오차 분석 | 제13회 한국로봇종합학술대회 | 강원 웰리힐리파크 |
| 6 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | 조수현 | 인공표식 위치 기반 2D 지도 정합 | 제13회 한국로봇종합학술대회 | 강원 웰리힐리파크 |
| 7 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | 형승호 | 생활도로에서 자율주행자동차의 정밀한 위치추정을 위한 운동모델 구축 | 제13회 한국로봇종합학술대회 | 강원도 웰리힐리파크 |
| 8 | 2017 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 | Robust localization of mobile robots considering reliability of LiDAR measurement | IROS 2017 | Vancouver, BC |
| 9 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | 김지웅 | Robust LiDAR-Based localization on the basis of accurate modeling of optical characteristics | ICRA 2018 | 호주, Brisbane |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-----|---------------|--|---|-----------------------|
| 10 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | Hyunki Kwon | Dual Tree RRT for Car-linked mobile robots with parent search | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems | Madrid, Spain |
| 11 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | Hyunsook Lee | LiDAR-based Traversability Analysis on the basis of Supervised Learning Approach | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems | Madrid, Spain |
| 12 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | Junghwan Yoo | Extrinsic Calibration of Multiple 3D LiDARs using Plane Normals | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems | Madrid, Spain |
| 13 | 2018 | 학술발표 | 고려대 | Seungho Hyeon | Practical Modeling of GNSS and Wheel Odometry for an Autonomous Vehicle in Urban Environments | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems | Madrid, Spain |
| 14 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 이진원 | 자율주행로봇의 충전 전략 | 제14회 한국로봇종합학술대회 | 휘닉스 평창(강원도 평창군), 대한민국 |
| 15 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 하승호 | 장애물이 많은 환경에서 GNSS 센서와 오도메트리 정보를 이용한 위치추정기법 | 제14회 한국로봇종합학술대회 | 휘닉스 평창(강원도 평창군)/대한민국 |
| 16 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 배정연 | 다 개체 이종 운반로봇을 위한 업무 분담 및 경로생성 알고리즘의 개발 | 제14회 한국로봇종합학술대회 | 휘닉스 평창(강원도 평창군), 대한민국 |
| 17 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 배정연 | A Heuristic for Coordination of two Heterogeneous mobile robots while minimizing maximum travel cost | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 18 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 김기태 | Limitations of 3D LIDAR Applications for Autonomous Vehicles under the consideration of the uber pedestrian accident | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 19 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 차동근 | Segment Extraction for detecting human legs in two-dimensional range data | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-----|-----|---|--|-----------------|
| | | | | | | | |
| 20 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 이현석 | LIDAR-based traversability mapping on the basis of supervised learning approach in urban environment | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 21 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 진지용 | collision avoidance of two-wheel differential robots considering the motion uncertainty | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 22 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 권현기 | RRT based path planner for car-like mobile robots | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 23 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 하승호 | GNSS sensor-based localization in an urban environment | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 24 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 이정호 | Design of a semi-autonomous mobile robot with collaborative control in hazardous environments | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 25 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 이진원 | Design of a charging system for autonomous mobile robots | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 26 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 성지훈 | LiDAR sensor-based global localization using anonymous reflectors | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 27 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 박성용 | Design and Implementation of a robotic software architecture for autonomous mobile robot for delivery service in a cluttered public environment | Ubiquitous Robots 2019 (UR2019) | 제주 메종글래드호텔 |
| 28 | 2019 | 학술발표 | 고려대 | 배정연 | A heuristic for task allocation and routing of heterogeneous robots while minimizing maximum travel cost | 2019 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2019) | Montera, Canada |

(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|-------------|---|--|
| 2단계 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 물류운반 작업 특성 분석 및 효율적 임무관리기술 · 적재 및 하역을 위한 정밀위치제어기술 · 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술 | <ul style="list-style-type: none"> · 적재/이동/하역 등 물류 운반 과정의 특성을 분류하고 작업별 소요시간을 예측 · 가능한 작업 순서의 배열을 계산하고 운반 작업 전체의 소요시간을 단축할 수 있는 효율적 작업 순서를 찾는 임무관리 기술을 개발 · 온실물류로봇의 실시간 위치제어기술 개발 · 개발한 위치제어기술 실환경 시험 수행 · 온실 내 환경에서 위치추정 정확도를 향상시키기 위해 인공표식과 함께 온실 내 자연표식정보를 조합하는 위치추정 기술을 개발 · 온실 내 환경에서 위치추정에 사용할 수 있는 자연표식에 대해 조사하고, 자연표식의 관측 모델 설계기법을 개발 |
| 2단계 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 물류운반을 위한 물류제어기술 고도화 · 적재 및 하역을 위한 정밀위치제어기술 검증 및 고도화 · 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술 고도화 | <ul style="list-style-type: none"> · 적재 및 하역 작업에 소요되는 시간 및 정밀제어구간 주행시간 추가 반영을 통한 업무 할당 및 작업 경로생성 · 작업수행 순서에 따라 로봇 간의 충돌 회피를 고려한 작업 스케줄링기술 개발 · 실환경에서 정밀하게 동작하는 제어 기술을 검증 · 정적 및 동적 장애물 감지 및 회피기술 개발 · Outlier 판별 및 제거를 통한 위치추정 기술의 정확도 향상 · 인공표식을 포함한 자연표식 기반 위치추정기술의 정확도 및 정밀도 향상 |
| 2단계 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 실시간 환경정보 모니터링 기술 · 실시간 자율주행 플랫폼 원격제어기술 · 통합 자율주행 S/W 모듈 구현 · 기술 통합 및 현장 시험 | <ul style="list-style-type: none"> · 온습도, CO2 센서에서 송출된 환경정보와 로봇에 설치된 카메라에서 송출하는 영상정보를 원격지의 서버 컴퓨터에서 실시간 모니터링 시연 · 수집된 온도를 지역에 따른 열지도로 표현 · 온실 환경에서 실시간으로 전송되는 영상정보와 위치정보를 이용하여 자율주행 플랫폼 원격제어 수행 · 자율주행 모드와 수동주행 모드(원격제어) 전환 수행 |

| | | |
|------|---|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> · 1차년도 연구인 바닥 장애물 감지 기술과 7차년도에 결합 예정 · 온실 환경 내 실시간 모니터링 및 원격 제어 포함한 자율주행 성능 확인 · 장시간 s/w 통합 플랫폼 자율주행 수행 |
| 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 현장 실증 시험 및 서비스 연계 · 자율주행 플랫폼 상용화 | <ul style="list-style-type: none"> · 실제 다양한 온실 환경에서의 실증 시험을 통해 자율주행 성능 평가 및 서비스 연계 실시 · 개발된 자율주행 플랫폼의 수요처 조사 및 기술이전 상담 진행 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

■ 물류 운송 시스템 개발

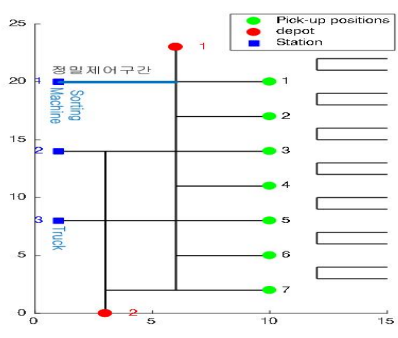
1. 연구결과

가. 물류운반을 위한 물류제어기술 고도화

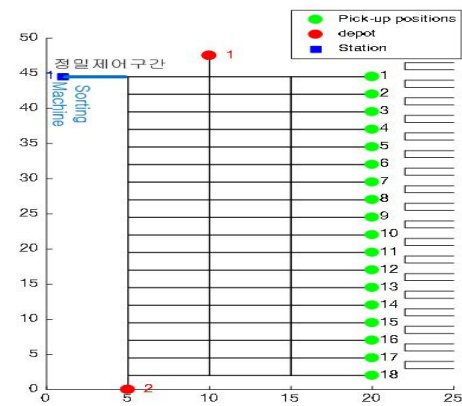
1) 물류운반 작업특성 분석을 통한 최적 작업경로 생성 및 소요시간 예측

- 2종의 대표 작업환경에 대하여 지정된 차고지에서부터 출발하여 각 적재지점으로부터 하역지점까지 작업을 수행하기 위하여 각 적재/하역 작업 및 각 작업을 노드로 설정
- 적재 및 하역 작업의 평균 소요시간 및 로봇의 이동특성 및 평균 주행속도, 정밀 주행구간 주행속도 등을 반영하여 improved A* 알고리즘을 기반으로 각 로봇별로 주어진 두 작업을 순차적으로 수행하기 위한 최적경로를 생성하고 그 경로를 주행하는 데에 필요한 최소 소요시간을 예측
- 소요시간 예측을 위해 반영된 변수들은 다음과 같음

| 변수 | 값 | 변수 | 값 |
|-----------|----------|-----------|--------|
| 일반 주행속도 | 0.5 m/s | 적재작업 소요시간 | 10 sec |
| 일반 회전속도 | 15 °/s | 하역작업 소요시간 | 15 sec |
| 정밀구간 주행속도 | 0.05 m/s | | |
| 정밀구간 회전속도 | 5 °/s | | |



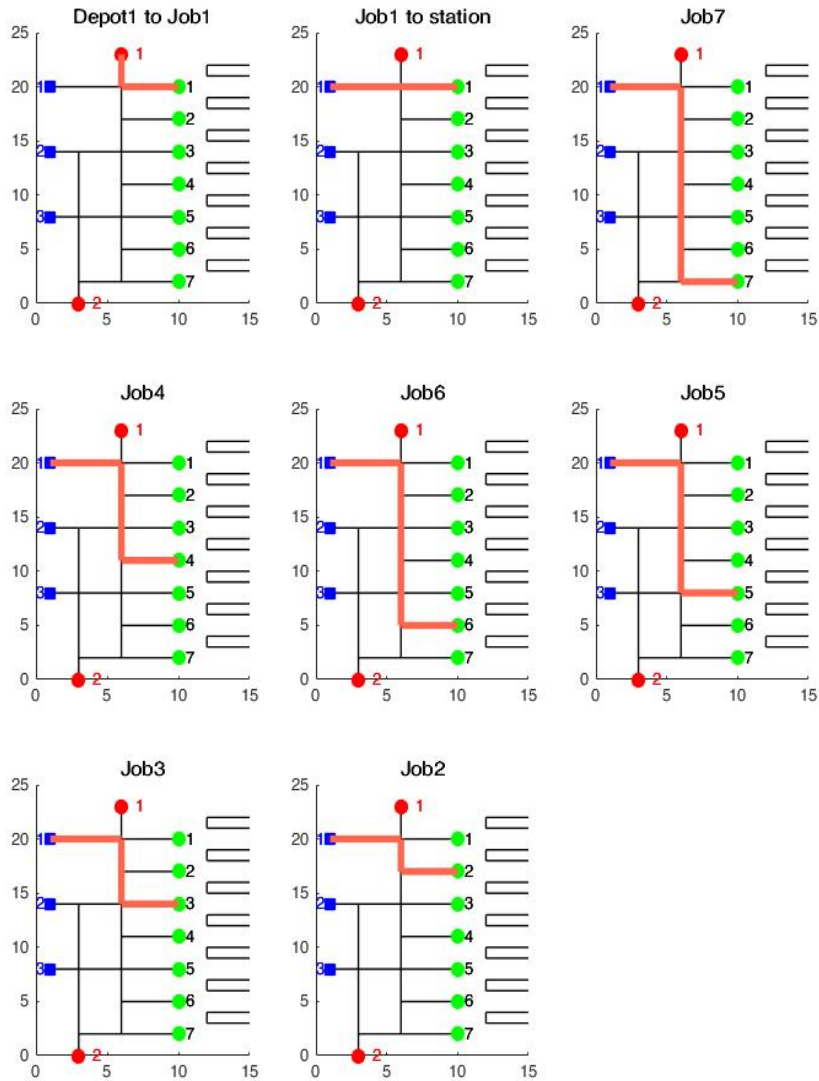
<대표 작업환경 #1>



<대표 작업환경 #2>

2) 효율적 작업순서결정 및 최적경로생성 결과

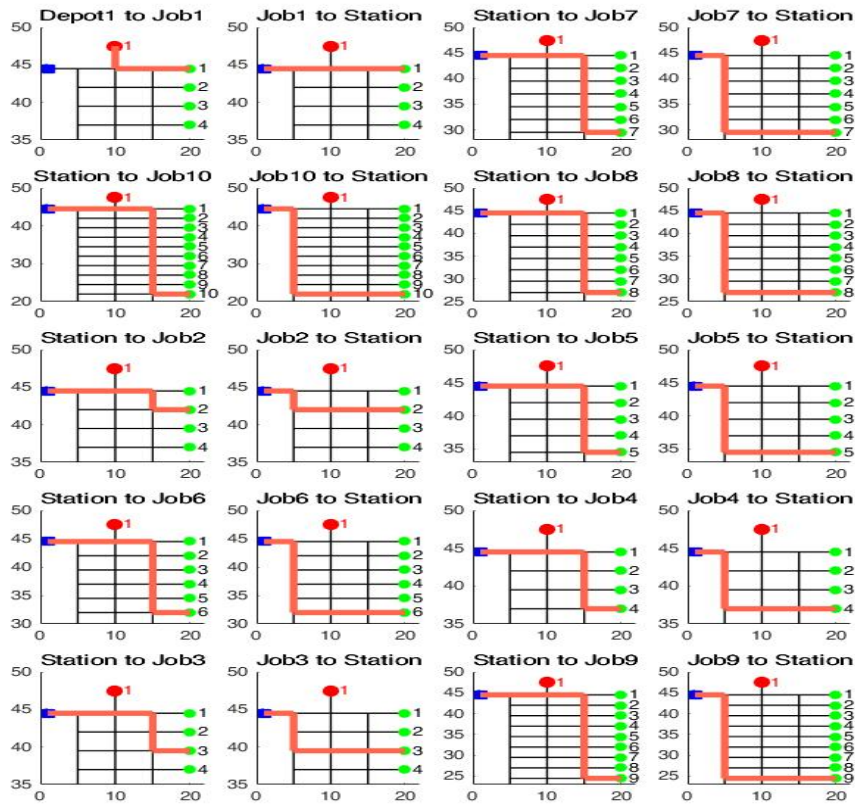
- 대표 작업환경#1에 대한 적재 및 하역 작업에 대한 예상소요시간을 반영하여 Asymmetric Traveling Salesman Problem (ATSP)로 문제를 정의하고 유전기반 알고리즘으로 짧은 시간 내에 TSP 문제에 대하여 최적에 가까운 근사해를 도출하는 경험적 알고리즘인 LKH를 활용하여 작업순서를 결정하고, 최적 경로를 생성함
- 시뮬레이션 결과 로봇1은 출발지로부터 1→7→4→6→5→3→2 순으로 작업을 수행



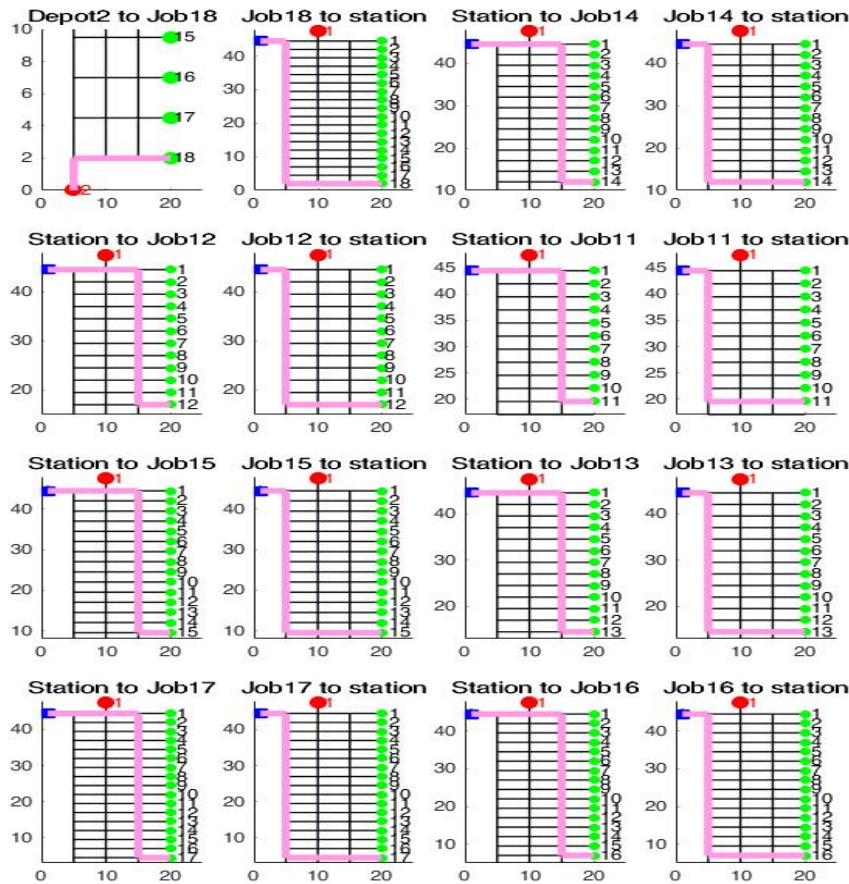
<대표 작업환경#1에 대한 로봇1의 작업순서 및 최종 주행경로>

3) 물류운반 작업 임무 할당 및 주행경로 생성

- 대표 작업환경#2에 대하여 예측된 소요시간 및 구간별 최적경로를 기반으로 아래 그림과 같은 과정을 통하여 작업 임무를 할당하고 최종 주행경로를 생성함
- 로봇1은 1→7→10→8→2→5→6→4→3→9 순으로 운반거리가 짧은 10개의 작업을 수행
- 로봇2는 18→14→12→11→15→13→17→16 순으로 운반거리가 긴 8개의 작업을 수행



<로봇1의 배분된 작업 수행순서 및 최종 이동경로>



<로봇2의 배분된 작업 수행순서 및 최종 이동경로>

4) 물류운반 작업 스케줄링

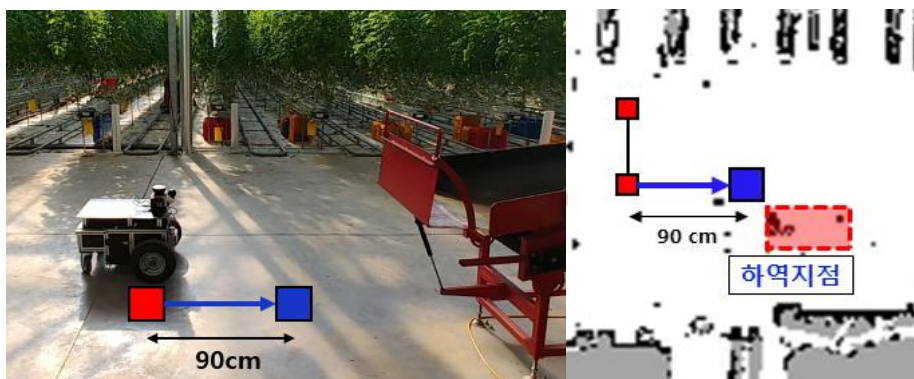
- 대표 작업환경#2에 대하여 결정된 각 로봇의 최종 작업 경로를 기반으로 각 시간별 로봇의 위치를 확인하고, 충돌 위험이 있는 경우 다음과 같은 전략에 따라 충돌을 방지하도록 스케줄링 작업을 수행
- (1) 하역노드에 근접한 노드에 도착하면 하역노드 및 정밀주행구간의 작업수행 여부를 확인하여 다른 로봇이 작업 중인 경우, 다른 로봇이 작업을 종료하고 빠져나갈 때 까지 현재 노드에서 대기
- (2) 매 step마다 로봇간의 거리를 업데이트하여 거리가 설정값 이하인 경우, 로봇의 진행방향에 따라 후방에 있는 로봇이 일정 시간동안 대기
- 스케줄링 전 경로에 따라서 이동했을 경우, 7번 이상의 개체 간 충돌위험이 존재함.
- 다음과 같은 충돌방지 과정이 추가됨

| time(sec) | action | reason |
|-----------|------------|---------------|
| 282 | 로봇2 제자리 대기 | 로봇1 하역구간 작업 중 |
| 498 | 로봇1 제자리 대기 | 충돌 위험 |
| 1716 | 로봇1 제자리 대기 | 로봇2 하역구간 작업 중 |
| 2145 | 로봇1 제자리 대기 | 충돌 위험 |
| 2167 | 로봇1 제자리 대기 | 로봇2 하역구간 작업 중 |
| 2614 | 로봇1 제자리 대기 | 로봇2 하역구간 작업 중 |
| 3017 | 로봇1 제자리 대기 | 충돌 위험 |
| 3062 | 로봇1 제자리 대기 | 충돌 위험 |
| 3083 | 로봇1 제자리 대기 | 로봇2 하역구간 작업 중 |
| 3505 | 로봇1 제자리 대기 | 충돌 위험 |

- 스케줄링 과정으로 총 393초가 추가되었으며 스케줄링 후, 충돌 없이 모든 작업을 완료하도록 시간별 주행경로 생성 완료

나. 적재 및 하역을 위한 정밀위치제어기술 검증 및 고도화

1) 정밀 위치제어기술의 실환경 주행 시험



<좌: 정밀제어 실환경주행 시험 수행, 우: 주행 시험 지도>

- 개발한 정밀위치제어기술을 실제 로봇에 적용하고 이를 검증하기 위해 대형 토마토 온실 내에서 주행 시험을 수행함
- 로봇이 적재와 하역작업을 수행하는 것을 상정하여 농작물이 위치한 레일과 선별기 근

처에 각각 적재와 하역을 위한 노드를 설정함

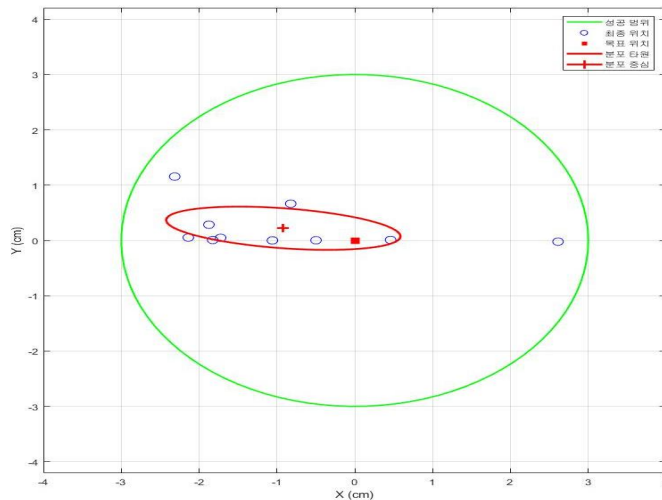
- 하역 지점에서 높은 반복정밀도를 확보하기 위해 제어기의 파라미터를 최적화하는 작업을 수행함
- 인공표식을 이용하여 하역 지점에 도달했을 때 로봇의 위치정밀도를 측정하고, 동일한 실험을 10회 이상 반복함
- 제어기 성능 평가 기준을 수립하고, 측정한 실험 데이터를 통해 개발한 제어기의 성능을 평가함

2) 실환경 주행 시험 성능 검증 및 평가

| 횟수 | 실환경 정밀 주행 시험 오차 | |
|----|-----------------|-----------|
| | 거리 오차(cm) | 방향각 오차(°) |
| 1 | 2.59 | 1.64 |
| 2 | 1.72 | 1.65 |
| 3 | 2.61 | 2.04 |
| 4 | 1.90 | 2.61 |
| 5 | 1.06 | 0.16 |
| 6 | 0.46 | 2.24 |
| 7 | 0.50 | 1.09 |
| 8 | 1.06 | 2.95 |
| 9 | 2.14 | 1.61 |
| 10 | 1.83 | 0.03 |
| 평균 | 1.59 | 1.60 |

<실환경 정밀 주행 시험 오차 표>

- 로봇에 탑재된 레이저 센서의 측정 정밀도인 3cm를 제어기 성능 평가 기준으로 설정함
- 실환경 정밀 주행 시험을 10회 반복한 결과 하역을 위한 목표 노드로부터의 거리오차는 평균 1.59cm, 평균 방향각 오차는 1.60°로 나타남
- 측정 결과를 성능 평가 기준과 비교한 결과는 위 표와 같으며, 모든 시험에서 성공적으로 정밀위치제어가 수행되었음을 확인함



<실환경 정밀 주행 시험 결과>

3) 정적 및 동적 장애물 감지 및 회피 기술 개발 및 적용

- 상기와 동일한 환경에서 지도상에 존재하지 않는 정적 및 동적 장애물을 임의로 배치한 후 주행을 시행함
- 전방 레이저 센서를 통해 정적 및 동적 장애물을 감지하고 회피하는 것을 확인함

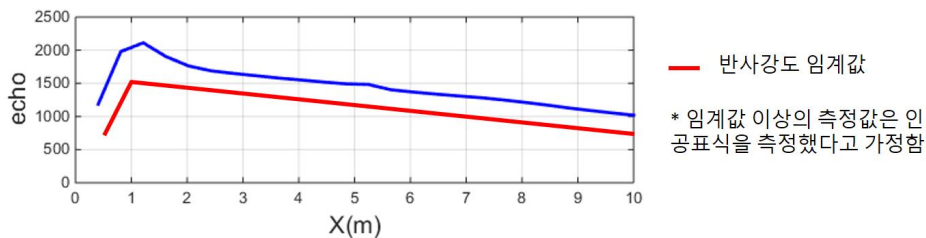


<정적 및 동적 장애물 회피 주행>

다. 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술 고도화

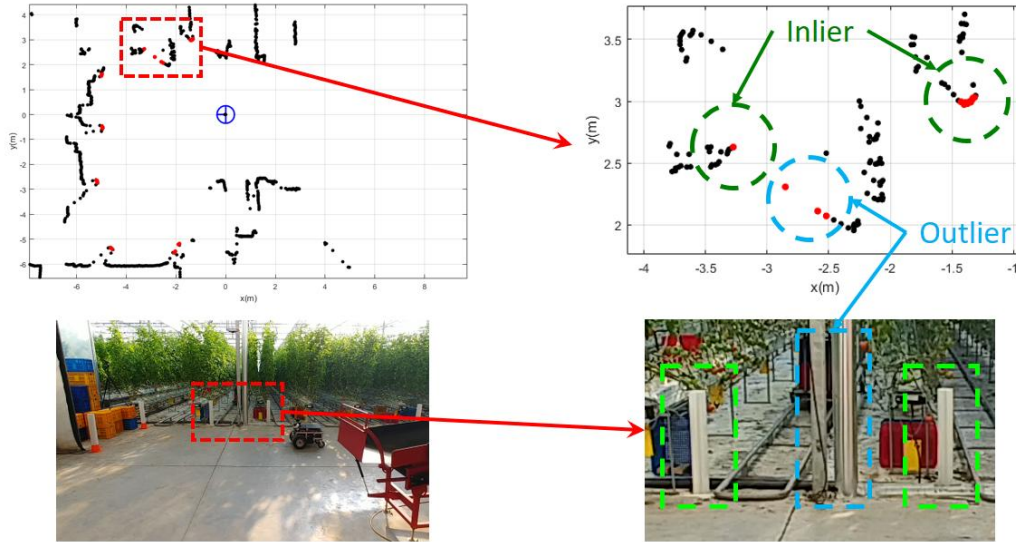
1) 오 검출된 Outlier의 특성을 이용하여 판별 및 제거기술 개발 및 적용

- 인공표식의 측정 거리에 따른 반사강도 특성을 알기 위해 레이저 센서를 이동하며 인공 표식의 거리와 반사강도를 측정함
- 주변 환경의 사물과 구별되는 인공표식의 반사특성을 이용하여 인공표식의 반사강도 임계값을 설정하고 이를 인공표식의 중심점 추출 알고리즘에 반영함



<측정 거리에 따른 인공표식의 반사강도 특성>

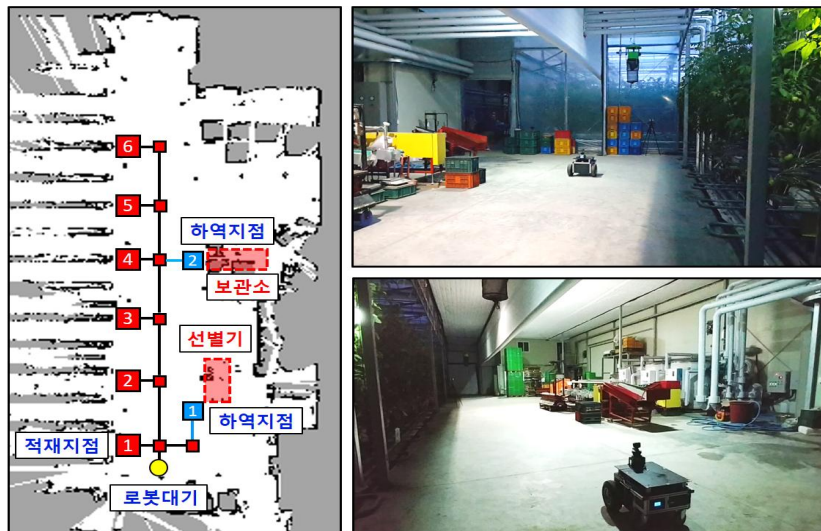
- 실환경에서 주행하며 측정한 레이저 스캔 로그와 실환경 사진을 비교하여 오 검출된 아웃라이어의 특성을 분석함
- 인공표식의 중심점 추출 단계에서 측정 거리에 따른 반사강도가 낮거나 스캔 포인트가 부족한 표식은 오 검출된 아웃라이어로 판별하고 제거함 → 지도작성 및 인공표식 기반 위치추정 기술 성능 개선
- 인공표식의 매칭 단계에서 측정 거리에 따른 반사강도에 가중치를 부여하여 오 검출된 아웃라이어를 판별하고 제거함 → 인공표식 기반 위치추정 기술 성능 개선
- 오 검출된 아웃라이어 판별 및 제거기술을 지도작성 및 위치추정 알고리즘에 적용 시 지도작성 및 위치추정 기술의 개선된 성능을 평가함



<오 검출된 Outlier의 실환경 사진과 레이저 스캔 로그>

2) 온실 환경 내 작업지점 및 주행경로 선정 후 장시간 반복 자율주행 수행

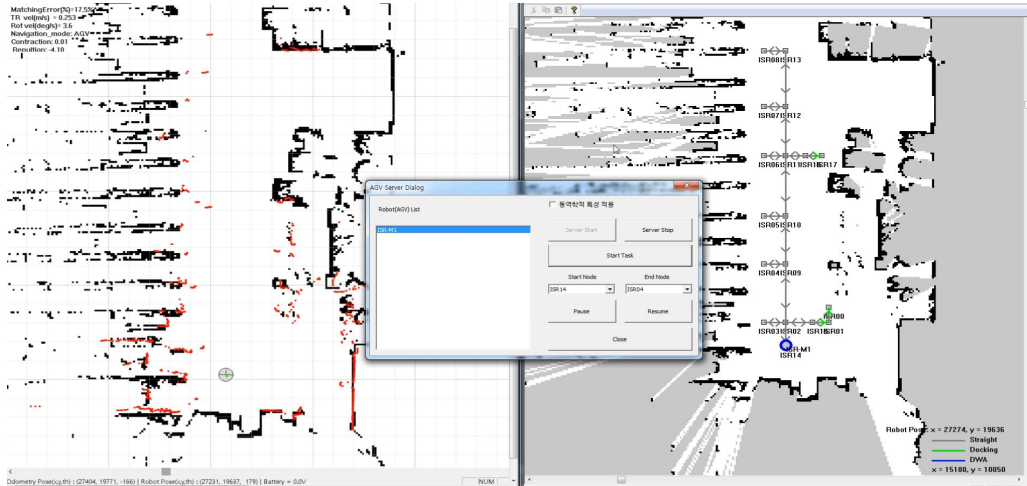
- 온실 환경 내 주행 경로 주변에 인공표식을 설치하고 이동로봇을 수동주행함
- 인공표식 기반 SLAM 기법을 이용하여 자연표식을 포함하는 격자 지도를 작성함
- 인공표식을 포함한 자연표식 기반 위치추정기술을 실제 로봇에 적용하고 이를 검증하기 위해 대형 토마토 온실 내에서 장시간 반복 자율주행을 수행함
- 수확물을 적재하는 레일 근처는 적재지점, 수확물을 하역하는 선별기와 보관소는 하역지점으로 설정하고 로봇 대기 장소에서 출발하여 주행경로에 따라 작업지점을 장시간 반복 자율주행함
- 하역지점 두 곳을 방문할 때는 정밀위치제어기술을 활용하여 정밀주행을 수행함



<온실환경 내 통합 자율주행 및 위치추정 성능 평가>

3) 실환경 주행 시험을 통한 위치추정 성능 평가

- 작업 수행 : 로봇 대기 장소 → 적재지점 → 하역지점 → 로봇 대기 장소



<좌 : 격자 지도 및 이동로봇 위치추정 결과, 우 : 서버 작업 노드 및 이동로봇 현재 위치>

- 인공표식의 중심점 추출 단계에서 측정 거리에 따른 반사강도가 낮거나 스캔 포인트가 부족한 표식은 오 검출된 아웃라이어로 판별하고 제거하여 지도 정확도 개선
- 인공표식의 매칭 단계에서 측정 거리에 따른 반사강도에 가중치를 부여하여 오 검출된 아웃라이어를 판별하고 제거하여 개선된 인공표식 기반 위치추정 기술 성능

| | 아웃라이어 제거기술 반영 전후 차이 | 개선율 |
|-----------|------------------------------|----------|
| 위치추정 정밀도 | 거리 오차 : 6 mm 방향각 오차 : 0.08 ° | 동일한 수준 |
| 위치추정 연산시간 | 56 ms/step → 17 ms/step | 2.3배 개선됨 |

<아웃라이어 제거기술 반영 전후 위치추정 기술 성능 개선율>

- 전체 지점에서 인공표식 기반 위치추정 결과를 기준으로 자연표식 기반 위치추정 결과의 오차를 아래 표에 작성함
- 평균 거리 오차 93 mm, 평균 방향각 오차 0.83 ° 의 결과를 나타내므로 최대 거리 오차 30 mm 미만의 정밀주행제어를 위해 인공표식 기반 위치추정 결과를 사용해야 함을 알 수 있음

| | 오차 | |
|------|--------|--------|
| | 거리(mm) | 방향각(°) |
| max. | 213 | 9.15 |
| avg. | 93 | 0.83 |
| std. | 39 | 1.26 |

<전체 지점에서 자연표식 기반 위치추정의 오차>

■ 원격모니터링 및 제어 시스템 개발

1. 연구결과

가. 실시간 환경정보 모니터링 기술

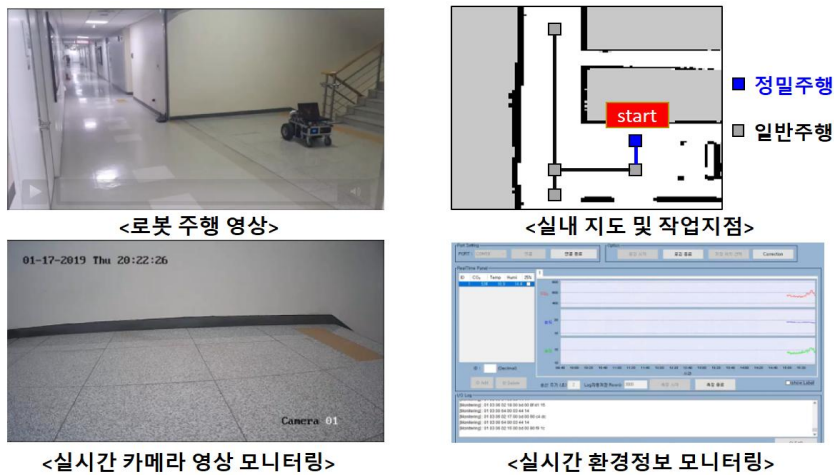
- 1) 환경정보 측정을 위한 온·습도·CO₂ 센서 및 영상정보 측정을 위한 카메라 장착

- 작업지점에 따른 온·습도·CO₂의 변화를 측정하기 위해 자율주행 로봇 플랫폼에 센서를 장착하고 제어용 PC에 유선 연결함
- 온실환경정보는 온·습도 및 CO₂ 측정기에서 USB to 485 컨버터를 통해 제어용 PC에 전송되고 저장됨
- 주행 중 영상정보 측정을 위해 자율주행 로봇 플랫폼에 IP카메라를 장착하고 제어용 PC에 유선 연결함
- 온실 내 영상정보는 로봇 플랫폼에 장착된 IP카메라 측정된 후 제어용 PC에 전송되고 저장됨



2) 실내 환경 환경정보 실시간 모니터링 기술

- 실내 환경에서 미리 작성된 지도에 작업 지점 및 경로를 설정하고 로봇을 주행함
- 서버 PC에서 로봇 PC에 원격접속하여 실시간으로 환경정보를 모니터링함
- 측정된 정보를 활용하기 위해 시간에 따른 온·습도·CO₂ 및 영상정보를 PC에 저장함



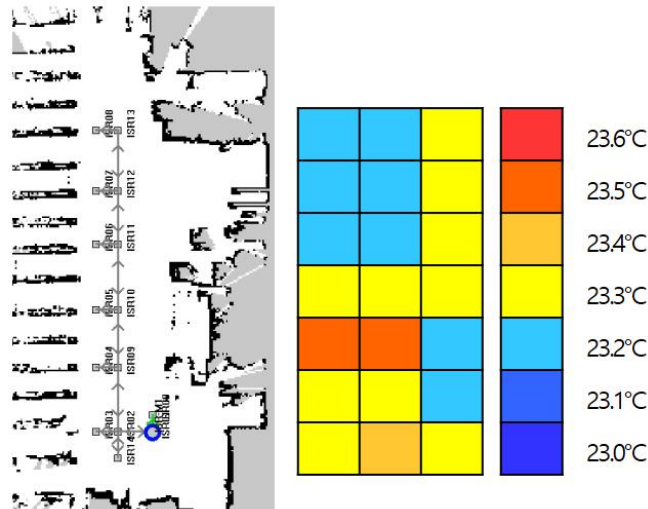
3) 온실 환경 환경정보 실시간 모니터링 기술

- 온실 환경은 실내 환경에 비해 공간이 넓고 장애물이 많이 존재하므로 고성능 네트워크 시스템을 구축해야 함
- 온실환경에서 측정된 온·습도·CO₂는 작물의 최적 성장 환경을 제공하기 위해 필요하며, 측정된 영상은 작물의 성장 속도 및 수확 시기를 결정할 수 있도록 하고 자율주행 플랫폼의 원격제어를 돕는 역할을 함



〈실시간 카메라 영상 모니터링〉

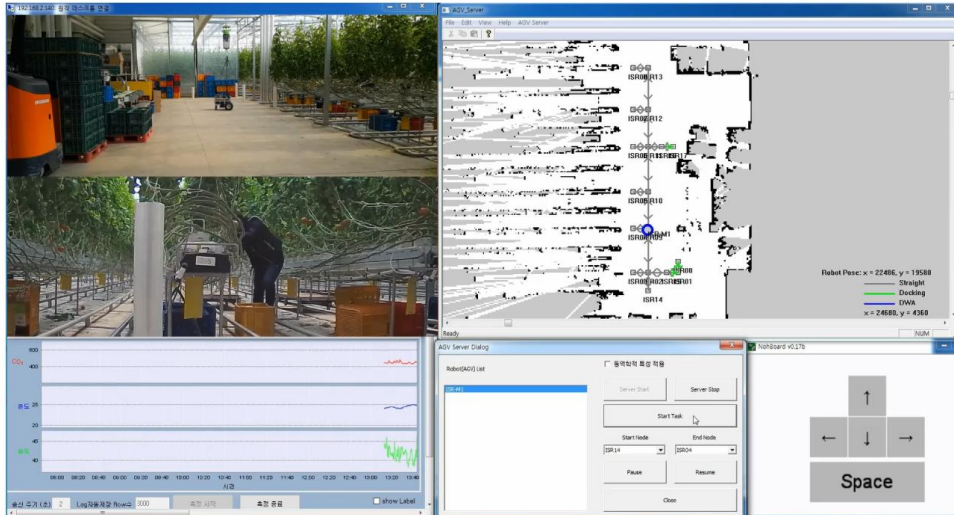
- 온실환경에서 미리 작성된 지도에 작업 지점 및 경로를 설정하고 로봇을 주행함
- 시간과 위치에 따른 온·습도·CO₂ 정보를 통해 다음과 같이 각 작업 지점에서의 온도 열지도로 표현 가능함



〈각 작업 지점에서의 온도 열지도 표현〉

4) 자율주행 시스템과 실시간 모니터링 기술의 통합

- 기존의 자율주행 시스템은 서버 지도에 표시되는 로봇의 위치정보만 알 수 있었지만 실시간 모니터링 기술과 통합함으로써 서버 PC 모니터에서 현재 위치에서의 온·습도·CO₂ 정보 및 촬영된 영상정보를 실시간으로 볼 수 있음
- 기술 통합의 효과로 원격지에서 작물의 성장 상태를 파악할 수 있음, 고가의 온·습도·CO₂ 센서를 여러 대 구입하지 않아도 원하는 작업 지점의 환경정보를 원격지에서 측정할 수 있음, 로봇이 비상 상황으로 정지한 경우 현장에 직접 가지 않아도 주변 상황을 파악할 수 있음, 원격제어 기술과 결합하면 실시간으로 원격 상황을 모니터링하면서 로봇을 원격제어할 수 있음
- 결과적으로 자율주행 기술만으로는 100% 안전성과 신뢰성을 확보하지 못하는 것을 실시간 모니터링 기술과 통합함으로써 가능하게 하고 실질적인 상용화가 가능함

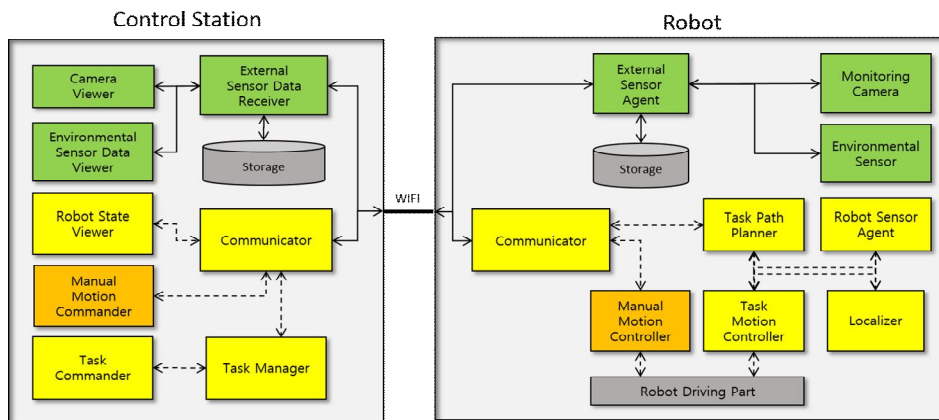


<서버 PC 모니터에 표시되는 로봇 플랫폼의 환경정보 및 위치정보>

나. 실시간 자율주행 플랫폼 원격제어기술

1) 시스템 아키텍처 설계

- 현재까지 개발한 자율주행 플랫폼에 원격제어 시스템을 추가한 시스템 아키텍처를 설계함
- 시스템은 크게 두 부분인 로봇과 컨트롤 스테이션으로 나뉘어 있고, 이 두 모듈은 서로 WiFi를 이용하여 정보를 전달



<시스템 아키텍처>

2) 실제 온실 환경에서의 동작 시험

- 실제 온실환경에는 작물이나 카트 등 장애물 들이 로봇의 이동 경로 상에 존재함
- 이러한 장애물로 인해 경로가 막히거나 여러가지 비상 상황이 발생했을 때 원격지에서 카메라 영상을 보고 사람이 판단하여 수동주행으로 제어하거나 자율주행 모드로 전환하는 작업을 수행할 수 있는지 시험함
- 아래 그림은 온실 환경에 존재하는 작물을 회피하는 주행임. 자율 주행 모드에서 안전한 회피 주행을 위해 수동 주행 모드로 전환하여 주행한 후 다시 자율주행 모드로 전환하였음



→ : 자율 주행 경로

<자율 주행 중인 로봇(좌) 및 장애물을 확인한 조종자(우)>



→ : 자율 주행 경로 → : 수동 회피 주행 경로

<원격 제어를 이용한 수동 회피 주행>



→ : 자율 주행 경로 → : 수동 회피 주행 경로

<회피 주행을 마치고 자율 주행 모드로 전환>

- 아래 그림은 물웅덩이를 회피하는 주행. 물웅덩이 같은 경우는 높이가 없으므로 장애물로 인식이 안 될 수 있지만, 땅이 움푹 패인 곳에 물이 고여 있는 경우 로봇이 지나가면 사고 발생 가능성이 높음
- 작물을 회피한 주행과 같이 자율 주행 모드로 주행하다가 물웅덩이를 회피하는 수동 주행 모드로 전환한 후 다시 자율 주행 모드로 주행하였음



→ : 자율 주행 경로

<자율 주행 중인 로봇(좌) 및 물웅덩이를 확인한 조종자(우)>



→ : 자율 주행 경로 → : 수동 회피 주행 경로

<원격 제어를 이용한 수동 회피 주행>



→ : 자율 주행 경로 → : 수동 회피 주행 경로

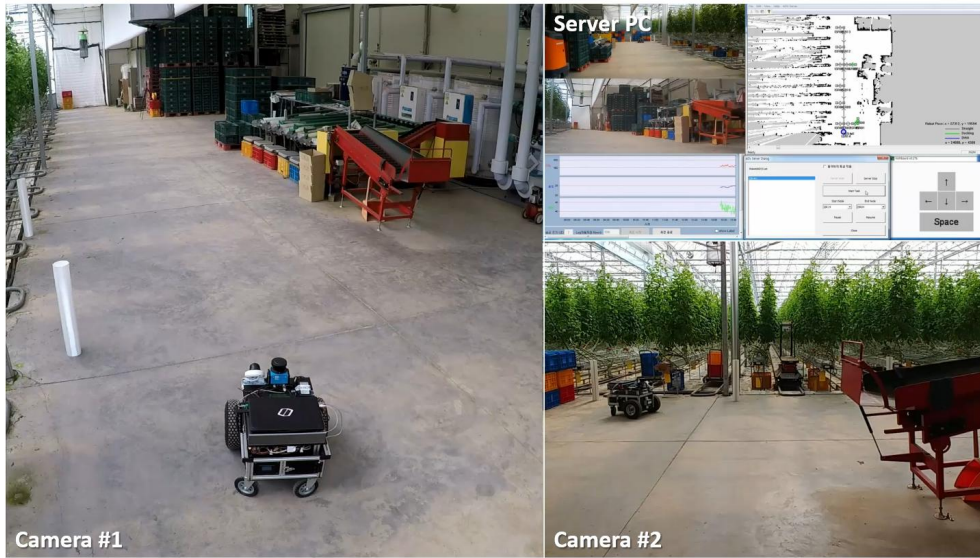
<회피 주행을 마치고 자율 주행 모드로 전환>

다. 통합 자율주행 S/W 모듈 구현

- 1) 기 개발된 개별요소기술이 통합된 S/W에서 동작하는지 확인
 - 4-5차년도에 개발된 정밀 위치제어기술을 통합하고 실환경 주행 시험을 통해 제대로 동작하는지 확인
 - 4-5차년도에 개발된 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정기술을 통합하고 실환경 주행 시험을 통해 제대로 동작하는지 확인
 - 3,6차년도에 개발된 온실환경정보 수집 및 실시간 환경정보 모니터링 기술을 통합하고 실환경 주행 시험을 통해 제대로 동작하는지 확인
 - 6차년도에 개발된 실시간 자율주행 플랫폼 원격제어 기술을 통합하고 실환경 주행 시험을 통해 제대로 동작하는지 확인

- 2) 온실 환경 내 작업지점 및 주행경로 선정 후 장시간 반복적인 자율주행 수확물 이송작업 수행

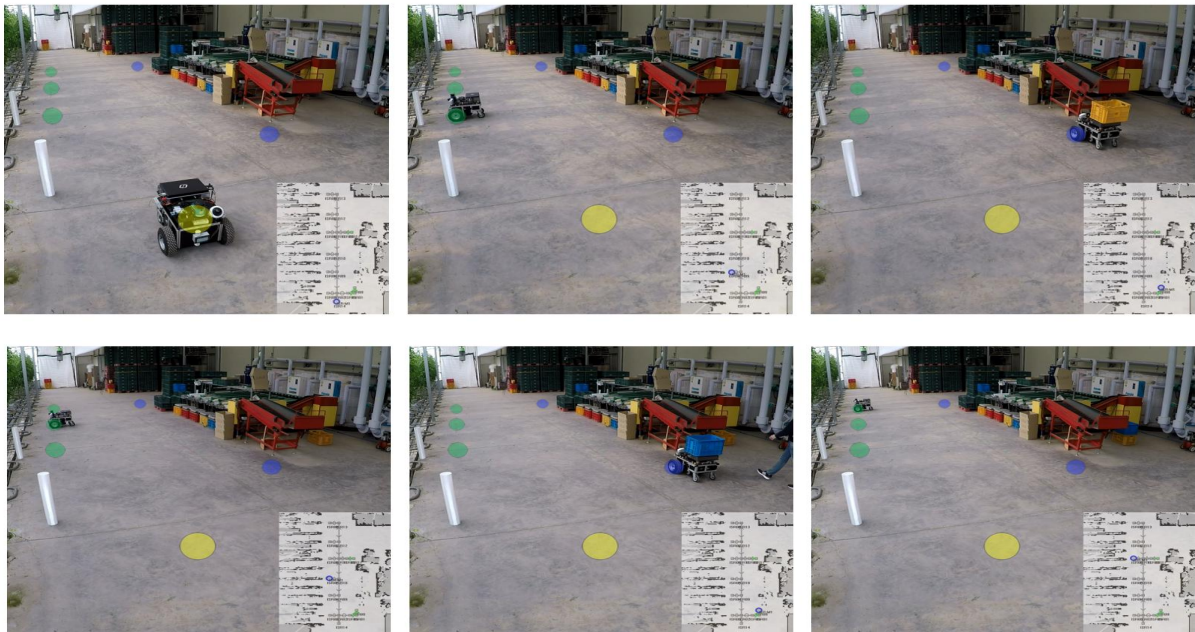
- 온실 환경 내 주행 경로 주변에 인공표식을 설치하고 이동로봇을 수동주행함
- 인공표식 기반 SLAM 기법을 이용하여 자연표식을 포함하는 격자 지도를 작성함
- 통합 자율주행 S/W 모듈을 실제 로봇에 적용하고 이룸 검증하기 위해 대형 토마토 온실 내에서 장시간 반복 자율주행을 수행함
- 수확물을 적재하는 레일 근처는 적재지점, 수확물을 하역하는 선별기와 보관소는 하역지점으로 설정하고 로봇 대기 장소에서 출발하여 주행경로에 따라 작업지점을 장시간 반복 자율주행함
- 하역지점 두 곳을 방문할 때는 정밀위치제어기술을 활용하여 정밀주행을 수행함

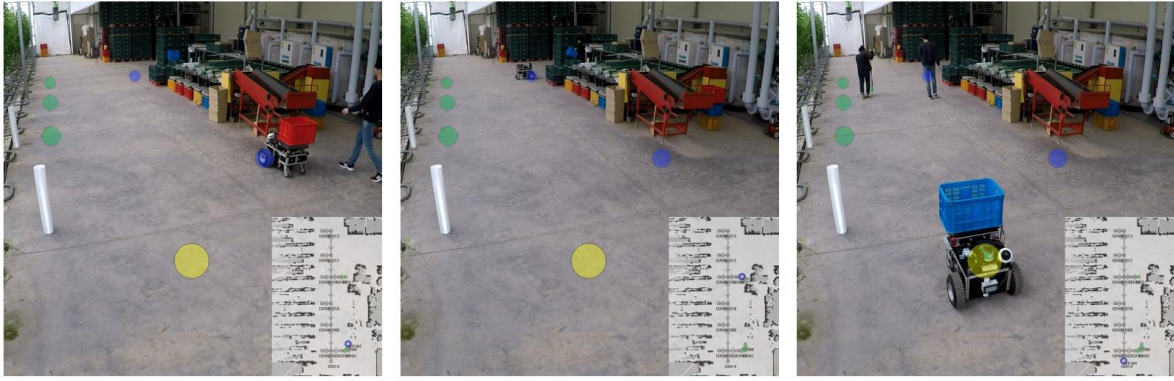


<실시간 모니터링 포함한 자율주행 수행>

3) 실환경 주행 시험을 통한 자율주행 성능 평가

- 작업 수행 : 로봇 대기 장소 → 적재지점 → 하역지점 → 로봇 대기 장소





<왼쪽 위부터 우측 아래까지 순서로 주행>

- 전체 지점에서 인공표식 기반 위치추정 결과를 기준으로 자연표식 기반 위치추정 결과의 오차를 아래 표에 작성함
- 평균 거리 오차 0.047 m, 평균 방향각 오차 0.86 ° 의 결과를 나타내므로 최대 거리 오차 0.030 m 미만의 정밀주행제어를 위해 인공표식 기반 위치추정 결과를 사용해야 함을 알 수 있음

| | 오차 | |
|------|-------|--------|
| | 거리(m) | 방향각(°) |
| max. | 0.182 | 9.44 |
| avg. | 0.047 | 0.86 |
| std. | 0.027 | 1.25 |

<전체 지점에서 자연표식 기반 위치추정의 오차>

■ 현장 실증 시험 및 자율주행 플랫폼 상용화

1. 연구결과

가. 현장 실증 시험 및 서비스 연계

1) 물류이송을 위한 통합 플랫폼 구축

① 물류이송용 자체 제작 플랫폼 H/W 구축

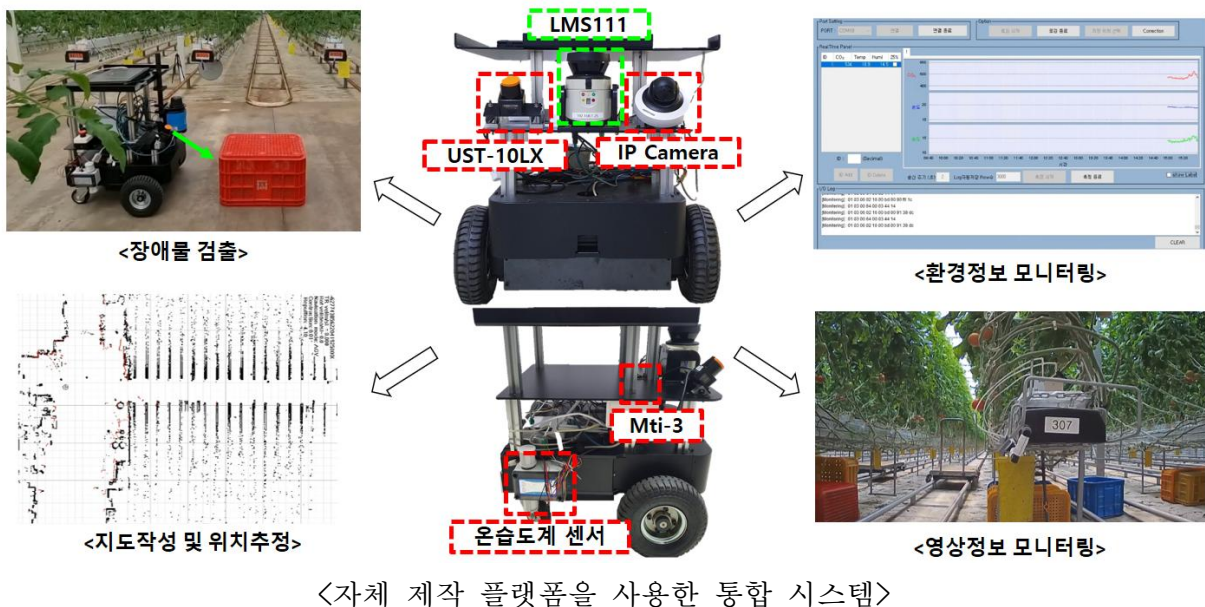
- 다양한 환경에서 범용적으로 사용 가능한 이동로봇 플랫폼 자체 제작함.
- 제자리회전이 가능한 이륜차동구동형 로봇 설계로 목표지점까지의 최단경로 주행, 정밀 주행 용이함.
- 로봇의 자율주행을 위해 2D 라이다와 IMU 센서를 탑재하고 온실작업 시 원격 모니터링을 위한 IP camera, 온습도계 센서를 탑재함.
- 물류 이송 작업에 필요한 수확물 적재공간을 확보함.
- 주행환경과 목적에 따라 모듈화된 개별 구성 요소의 수정이 용이하도록 설계되어 기존 온실 및 신규 스마트팜에도 적용할 수 있는 신뢰성을 확보함.

② 자체 제작 플랫폼 통합 시스템 구성

- 주어진 경로로 로봇이 주행 시 지도상에 없는 정적 및 동적 바닥 장애물을 감지하기 위

해 자율주행 로봇 플랫폼 전방에 기울인 2D 라이다와 IMU 센서를 설치하고 제어용 PC에 유선 연결함.

- 작업지점에 따른 온·습도·CO₂의 변화를 측정하기 위해 자율주행 로봇 플랫폼에 온·습도 및 CO₂ 측정기를 설치하고 제어용 PC에 유선 연결함.
- 온실환경정보는 온·습도 및 CO₂ 측정기에서 USB to 485 컨버터를 통해 제어용 PC에 전송되고 저장됨.
- 로봇 주행 시 실시간 영상정보 측정을 위해 자율주행 로봇 플랫폼 전방에 IP카메라를 설치하고 제어용 PC에 유선 연결함
- IP카메라로 측정된 온실 내 영상정보는 제어용 PC에 전송되고 저장됨
- 로봇 주행 시 로봇의 위치를 추정하기 위한 환경 지도 작성과 환경 지도를 기반의 로봇 위치 추정을 위해 자율주행 로봇 플랫폼 전방에 2D 라이다를 설치하고 제어용 PC에 유선 연결함.
- 2D 라이다로 측정한 로봇의 주변 환경정보는 제어용 PC에 전송되고 저장함.



③ 시스템 네트워크 연결 구성

- 원격제어 시 서버 PC와 Client PC는 WIFI를 이용하여 통신함.
- 자율주행 로봇 플랫폼에서 2D 라이다와 IP camera는 LAN 허브를 거쳐 유선으로 Client PC에 센서 정보를 보냄.
- 전방 장애물 검출로 인한 비상정지 시 경고음을 내는 스피커는 Client PC와 $\phi 3.5$ 잭으로 연결됨.
- 로봇 주행 시 모터에 명령어를 내리는 모터 아두이노, 환경정보 모니터링을 위한 온습도계 센서, 자율주행에 필요한 센서인 Mti-3는 Client PC와 USB 연결로 데이터 통신을 함.

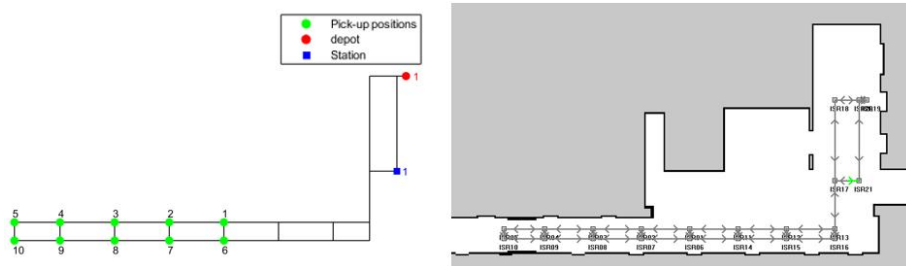
2) 다중목표지점 최적 경로 성능 실험

① 효율적 작업순서 결정 및 최적 경로 생성

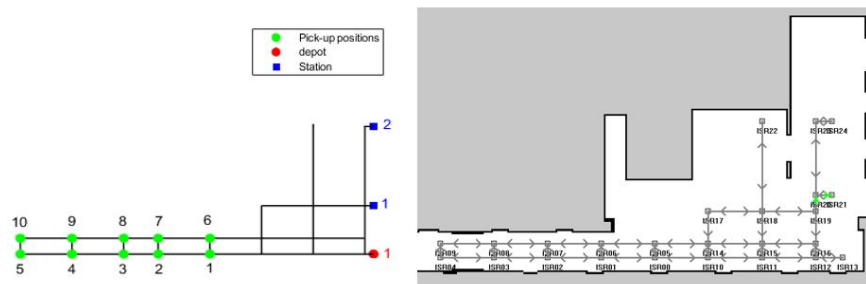
- 4,5차년도 개발기술인 물류운반 작업특성 분석 및 효율적 임무관리기술을 활용하여 온실 내 다중목표지점 물류작업에 대한 효율적인 작업순서분배 및 최적경로생성을 수행함.

② 사전 실험 및 실증 실험을 통한 주행경로 성능 평가

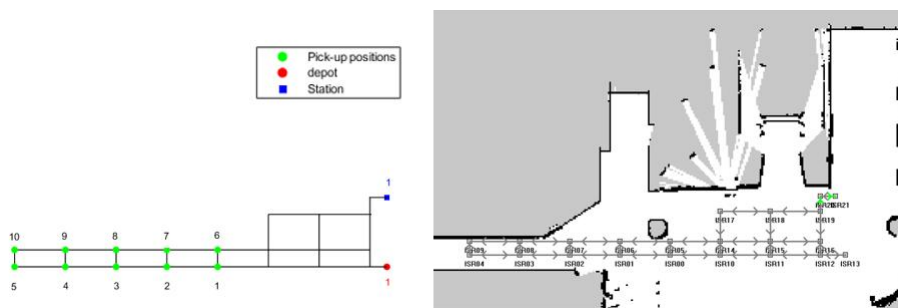
- 로봇은 출발지(depot)로부터 4개의 적재지점(Pick-up positions)에서 수확물을 적재하여 선별기(station)에 운반하는 작업을 수행
- 작업환경에 대해 improved A* 및 LKH를 이용한 최적경로를 실험군으로 설정 및 A*를 이용한 최적경로를 대조군으로 설정.
- 총 주행시간을 주행경로 성능 평가 기준으로 설정, 대조군 대비 실험군의 최적경로 성능을 단축된 주행시간으로 평가
- 작업환경 및 환경설정에 변화를 주어 사전실험 3번, 실증 실험 2번을 진행하였고 각 실험에 대한 작업환경 구성은 아래 그림과 같음.
- 시뮬레이션을 통해 작업환경을 구성한 후 실험서버에 해당 작업환경을 구현함.



(가) 사전실험 1

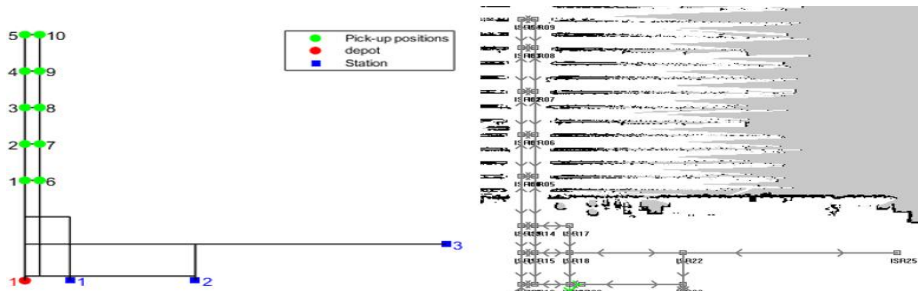


(나) 사전실험 2

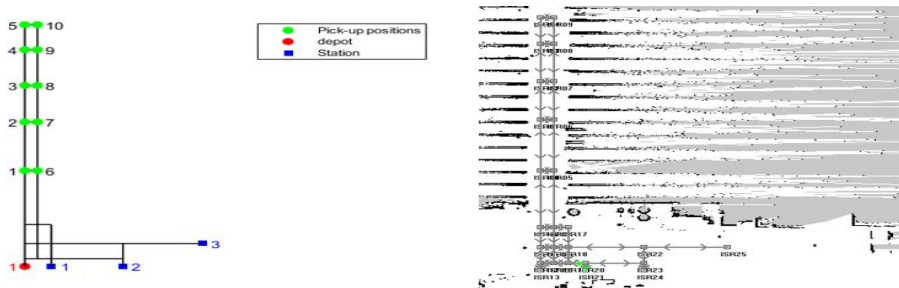


(다) 사전실험 3

<사전실험 작업환경, (가), (나), (다)의 왼쪽은 시뮬레이션을 통해 구성한 작업환경, 오른쪽은 실험서버를 통해 구현한 작업환경>



(가) 실증실험 1



(나) 실증실험 2

〈실증실험 작업환경 구성, (가), (나)의 왼쪽은 시뮬레이션을 통해 구성된 작업환경, 오른쪽은 실험서버를 통해 구현한 작업환경〉

- 아래 표는 각각 사전실험 및 실증실험의 대조군과 실험군을 비교한 결과
- 작업환경의 특성 및 구성에 따라 대조군 대비 실험군의 성능은 일부 차이가 있음. 하지만 대부분 improved A*와 LKH를 적용한 실험군이 A*를 활용한 대조군보다 주행시간 부분에서 최적의 주행경로를 제공하는 것을 확인할 수 있음.

| | 환경 설정 | | 대조군 총 주행 시간 | 실험군 총 주행 시간 | 대조군 대비 실험군 성능 |
|-------|-------|----|----------------|----------------|--------------------|
| | 노드 | 작업 | | | |
| 사전실험1 | 20 | 4 | 9'01" | 8'25" | 36초 단축약 7% 향상 |
| 사전실험2 | 21 | 4 | 11'50" | 9'20" | 2분 30초 단축 약 21% 향상 |
| 사전실험3 | 22 | 4 | 9'58" | 8'38" | 1분 20초 단축 약 13% 향상 |

〈사전실험 결과〉

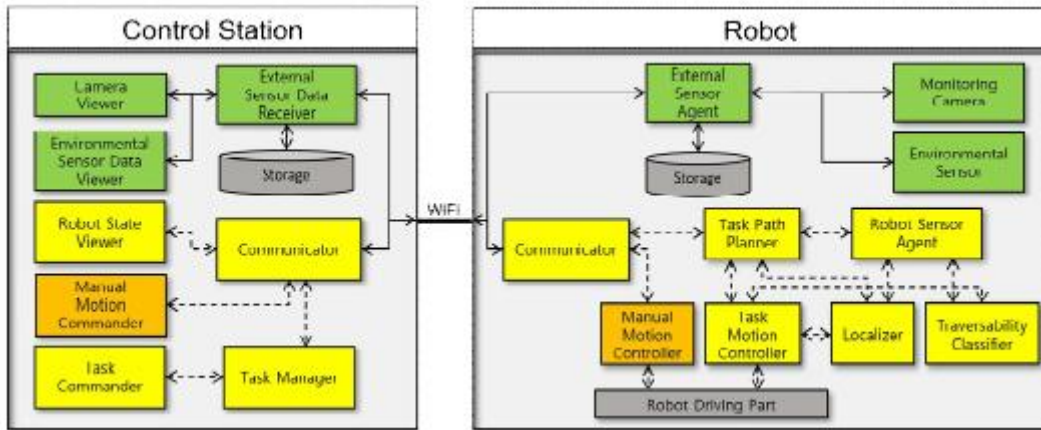
| | 환경 설정 | | 대조군 총 주행 시간 | 실험군 총 주행 시간 | 대조군 대비 실험군 성능 |
|-------|-------|----|----------------|----------------|--------------------|
| | 노드 | 작업 | | | |
| 실증실험1 | 25 | 4 | 12'44" | 9'56" | 2분 48초 단축 약 22% 향상 |
| 실증실험2 | 25 | 4 | 13'57" | 11'30" | 2분 27초 단축 약 18% 향상 |

〈실증실험 결과〉

3) 통합 원격제어 모듈

① 시스템 아키텍처 설계

- 1차년도 개발 기술인 바닥 장애물 감지 기술과 6차년도 개발 기술인 원격제어 및 모니터링 기술을 통합한 통합 원격제어 모듈을 설계함.
- 시스템은 크게 두 부분인 로봇과 컨트롤 스테이션으로 나뉘어 있고, 이 두 모듈은 서로 WIFI를 이용하여 정보를 전달함.



<시스템 아키텍처>

② 컨트롤 스테이션 구성

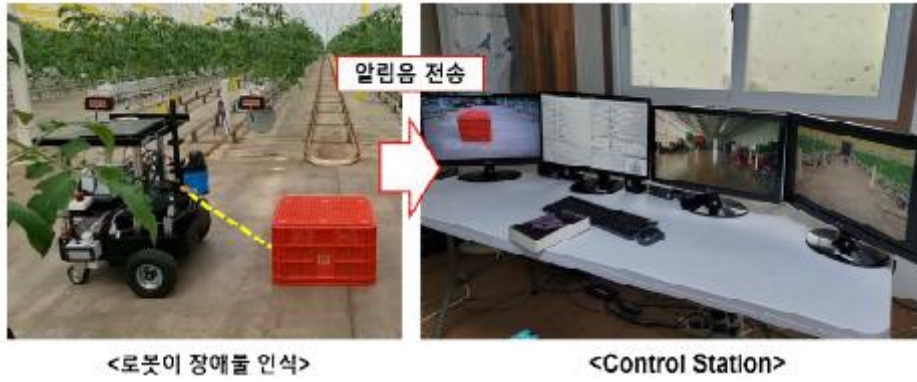
- 아래 그림은 조종자의 시선에서 바라본 컨트롤 스테이션임.
- 중앙 모니터는 서버를 표시함. 현재 로봇에서 보내오는 로봇의 위치, 상태, 장애물을 파악할 수 있고 로봇에게 수동 혹은 자율주행의 명령을 보낼 수 있음.
- 좌측 모니터에서는 로봇 시야의 카메라를 확인할 수 있음. 이는 수동 제어에 도움을 주고, 장애물 및 상황 확인 시 유용하게 사용이 가능함.



<컨트롤 스테이션>

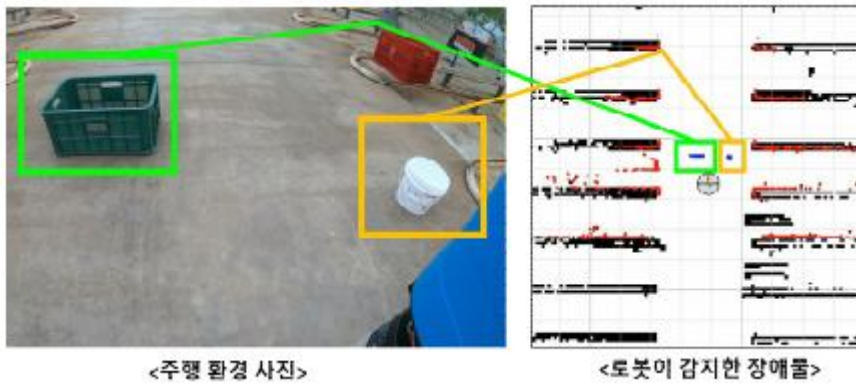
③ 바닥 장애물 감지 기술과 결합

- 본 과제 1차년도에서 개발한 레이저 센서를 통해 장애물을 감지하는 기술을 통합하여 로봇 스스로 장애물을 감지하고 판단한 뒤에 컨트롤 스테이션에 알람을 통해 알려주는 작업을 수행.
- 기울인 레이저 센서를 사용하여 장애물 및 낙차 검출.



<바닥 장애물 감지 기술과 원격제어 및 모니터링 기술 통합>

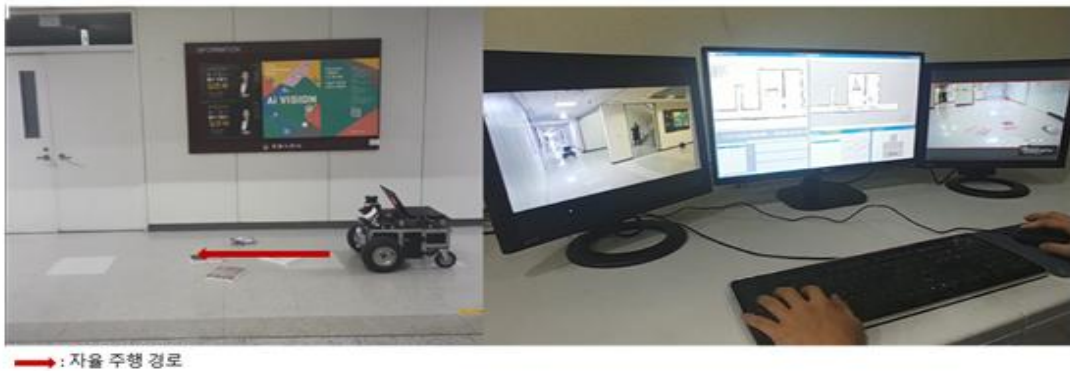
- 아래 그림은 실제 온실환경에서의 바닥 장애물들과 이를 시스템에서 감지한 모습을 보여줌.



<온실 환경에서의 바닥 장애물과 시스템 상 로봇이 감지한 장애물>

④ 온실 환경에서의 동작 시험

- 온실 환경에서 실시간으로 전송되는 영상정보와 위치정보를 이용하여 자율주행 플랫폼 원격제어 수행.
- 장애물 감지에 따라 자율주행 모드와 수동주행 모드(원격제어) 전환을 수행함.
- 실제 온실환경에 존재하는 작물, 박스, 카트 등 장애물로 인해 경로가 막히거나 여러가지 비상 상황이 발생했을 때 시스템이 적절하게 장애물을 감지하는지를 시험함.
- 또한, 이를 원격지에 알림으로 전달하여 원격지에서 카메라 영상을 보고 사람이 판단하여 수동주행으로 제어하거나 자율주행 모드로 전환하는 작업을 수행할 수 있는지 시험함.



<자율주행 중인 로봇(좌) 및 컨트롤 스테이션(우)>



→ : 자율 주행 경로

<바닥 장애물을 인식한 로봇이 컨트롤 스테이션의 조종자에게 알림 전송>



→ : 자율 주행 경로 → : 수동 회피 주행 경로

<원격제어를 이용한 수동 회피 주행>



→ : 자율 주행 경로 → : 수동 회피 주행 경로

<회피 주행을 마치고 자율주행 모드로 전환>

4) 다양한 온실 현장 실증 시험

① 통합 자율주행 S/W 모듈 구현

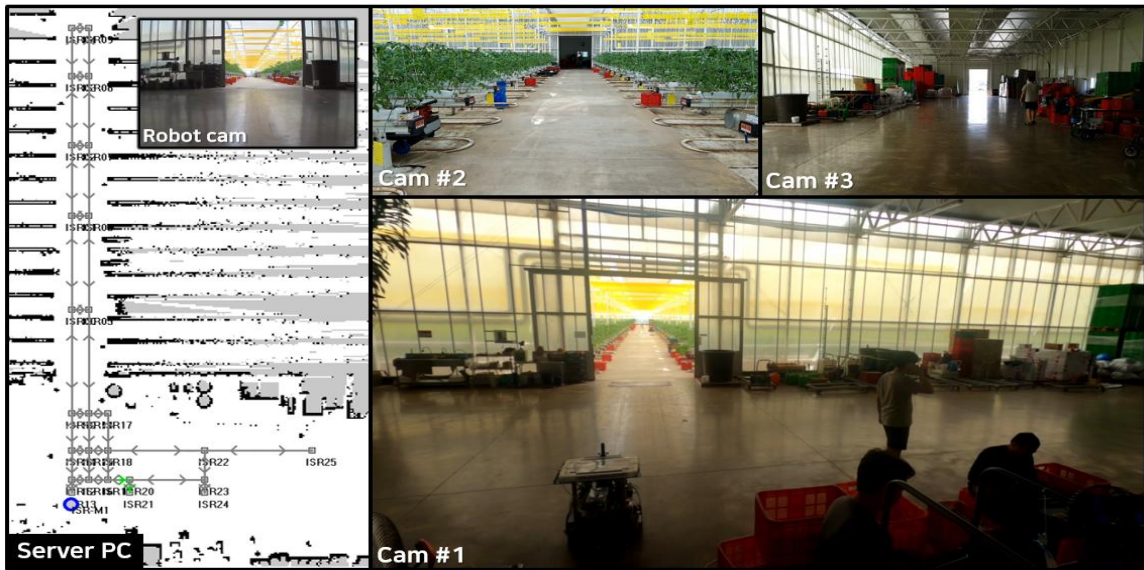
- 1~6차년도에 개발된 개별요소기술이 통합된 S/W에서 동작하는지 확인
- 오프라인에서 시뮬레이션으로 수행되는 물류운반을 위한 물류제어 기술 확인
- 바닥 장애물 감지 기술, 경로생성 및 운행제어 기술, 위치추정 기술, 정밀위치 제어 기술, 인공표식을 포함한 자연표식기반 위치추정 기술, 실시간 환경정보 원격모니터링 및 원격제어 기술 등을 통합 자율주행 시스템에서 확인

② 온실 환경 내 작업지점 및 주행경로 선정 후 장시간 반복적인 자율주행 수확물 이송작업 수행

- 수확물을 적재하는 레일 근처는 적재지점, 수확물을 하역하는 선별기와 보관소는 하역지점으로 설정하고 로봇 대기 장소에서 출발하여 주행경로에 따라 작업지점을 장시간 반

북 자율주행함

- 선별기 하역지점을 방문할 때는 정밀위치제어기술을 활용하여 정밀주행을 수행함



<온실 환경 자율주행 수확물 운송작업 수행>

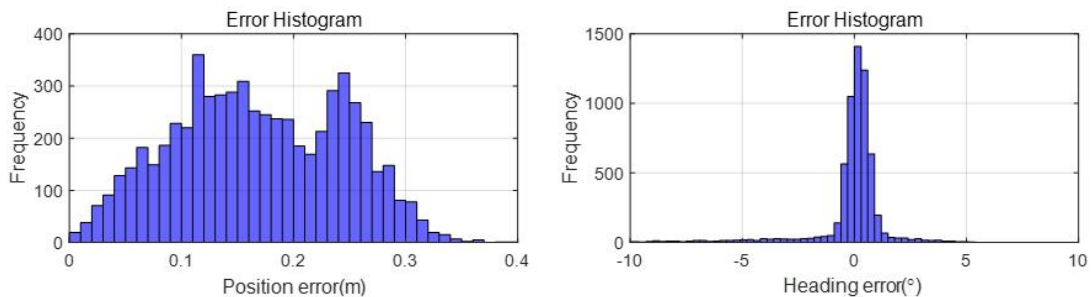
③ 실환경 주행 시험을 통한 자율주행 성능 평가

- 작업 수행 : 로봇 대기 장소 → 적재지점 → 하역지점 → 로봇 대기 장소
- 전체 지점에서 인공표식 기반 위치추정 결과를 기준으로 자연표식 기반 위치추정 결과의 오차를 아래 표에 작성함
- 평균 거리 오차 0.168 m, 평균 방향각 오차 0.93 °의 결과를 나타내므로 최대 거리 오차 0.030 m 미만의 정밀주행제어를 위해 인공표식 기반 위치추정 결과를 사용해야 함을 알 수 있음

| | 오차 | |
|------|-------|--------|
| | 거리(m) | 방향각(°) |
| max. | 0.402 | 13.53 |
| avg. | 0.168 | 0.93 |
| std. | 0.075 | 1.80 |

<전체 지점에서 자연표식 기반 위치추정의 오차>

- 전체 지점에서 오차의 분포를 나타내기 위해 거리 오차와 방향각 오차를 아래 그래프에 히스토그램으로 나타냄



<전체 지점에서 거리 오차(좌)와 방향각 오차(우) 히스토그램>

(2) 제 2-1 협동과제 (4차년도)

① 연구개요

| | | | | | | |
|---------------|---|---|-----------|-----------------------------|------------|---------|
| 세부과제번호 | 제 (2-1)협동과제 | | | | | |
| 세부 연구과제명 | 국문 | 시설 내 파프리카 자동 수확을 위한 로봇 시스템 개발 | | | | |
| | 영문 | Development of robotics system for automatic harvesting of sweet pepper in greenhouse | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 박성준 | 영문성명 | Sungjun Park | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | (주)에스피투로 보틱스 (SP2 Robotics) | 부서명 (학과명) | (주)에스피투로 보틱스 (SP2 Robotics) | 직위 | 대표 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2017년 09월 18일 부터 ~ 2021년 09월 17일 까지 (4년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 |
| | 정부출연금 | 80,000 | | | | 80,000 |
| | 기업부담금 | 38,720 | | | | 38,720 |
| | 기타 | 0 | | | | 0 |
| | 합계 | 118,720 | | | | 118,720 |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | 선임급 | | 원급이하 | | 합계 |
| | 1 | 0 | | 2 | | 3 |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|---------------------------------------|
| 2단계 | 4차년도 | 영상 시스템을 이용한 파프리카 속도(익은 정도) 구별 알고리즘 개발 |

| | | |
|--|---|---|
| 제2핵심 | 농업시설 무인자동화 기반기술 개발 | |
| 제2-1협동 | 시설 내 파프리카 자동 수확을 위한 로봇 시스템 개발 | |
| 2 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 2단계 연구목표 : 영상 시스템을 이용한 파프리카 속도(익은 정도)구별 알고리즘 개발 4년차 (2017) | ○ 영상 시스템을 이용하여 파프리카의 모양 및 색깔을 인지 | - HSV데이터를 이용하여 색상 및 속도를 판별 - 외곽선 추적 후 모멘트를 통해서 중심점 좌표 추출 |
| | ○ 크기 및 색깔을 판단하여 속도에 따라 수확 가능한 여부를 판단하는 알고리즘을 개발 | |
| | ○ 수확 가능한 파프리카에 대한 좌표를 계산 | |

(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|------|------|------|----|----|---------|------|----|------|---|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 | | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | | 홍보전시 | |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | | 10 | 10 | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | | 3 | 5 |
| 2단계 | 목표 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 실적 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 최종 | 목표 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 실적 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|-----|-----|------|------|------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | 등록된 특허 | | | | |
|--------|-------------|----------|-----|-----------------|------|-----|-----|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2018 | 과실 수확 로봇 장치 | 에스피투로보틱스 | 한국 | 10-2018-0061589 | | | | |

(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|----------|---------------------------------|--|
| 2단계 4차년도 | · 시설 내 파프리카 자동 수확을 위한 로봇 시스템 개발 | · 시장 조사 및 수익성 검토 · 영상 시스템을 이용한 파프리카 속도 (익은 정도) 구별 알고리즘 개발 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

1. 시장 조사 및 수익성 검토

- 개발하고자 하는 파프리카 수확용 로봇이 실제 농가에서 필요로 하는 기술인지에 대한 수요조사를 위해 시장조사를 수행함
- 농가에서 필요로 하는 기술이 어떤 기술이고, 그 기술이 개발되어야하는 수준에 대한 조사도 같이 수행함

가. 현장 대면 인터뷰

- 전국 각지의 파프리카 농장 및 농업 기술 센터 등을 다니며 대면 인터뷰를 수행함



<대면 인터뷰 수행>

- 현장 방문 인터뷰를 통해 파악한 파프리카 농가 및 농업기술센터의 의견은 아래 표와 같음

| 구 분 | 의 견 |
|--------|--|
| 농장 대표 | <ul style="list-style-type: none"> - 인력을 구하는데 어려움이 있을 뿐만 아니라 충분한 보수를 주어야 하는 어려움이 있음 - 6000평 규모의 농가 기준 15-20명의 상시 인력 필요 - 인건비가 지출에서 가장 많은 비율을 차지 (일주일에 2회 수확 작업) - 다수의 전동 카트 사용 중 (대당 400만원 수준) - 좋은 장비/설비 등을 들여오기 위해 돈을 싸들고 농업박람회 등을 다녀도 좋은 제품이 없음 - 주변 농가에서 좋은 장비/설비를 들여올 경우, 서로 도입하려는 경향이 있음 |
| 농장 종업원 | <ul style="list-style-type: none"> - 시설 내 작업 시 너무 더워서 어지러움증이 발생하는데 이는 카트에서 떨어질 위험이 있음 - 높은 곳의 파프리카를 수확하기 위해 카트의 리프트로 올라갈 때 카트 자체의 흔들림과 더위로 인한 어지러움이 동반되어 무서움을 느낌 (안전 사고 발생가능) |

| | |
|------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - 파프리카를 잡고 수확하는 과정에서 과실을 보호해야하기 때문에 근육통 증 유발 - 과실 수확 시 꼭지를 남겨 상품성 있게 수확하는 것이 중요함 |
| 농업기술센터 담당자 | <ul style="list-style-type: none"> - 농업 자동화 기술 등이 제품화 되고 성능이 좋으면 알려줄 경우 시범사업으로 선정 후 테스트 요망 - 시범 사업이 성공적으로 마무리 될 경우 농가 보급 사업도 있기 때문에 제품의 완성도가 높으면 정부 지원을 통해 제품 판매는 어렵지 않을 것 |

- 시장 조사를 통해 파프리카 수확 시 많은 노동력(주 2회 수확)이 투입 된다는 것을 확인함
- 대부분의 노동자가 외국인 노동자로서 불안정한 노동력이고, 수확인력만 따로 있는 것이 아니라 수확인력이 다른 업무도 수행하기 때문에 수확에 대한 노동력만 줄여준다고 농가의 노동비가 절감되는 효과는 없을 것이라는 의견이 있었음
- 심도 있는 인터뷰를 통해 착과가 한 번에 열리는, 일시적이지만 주기적인 피크시기라는 것이 발생한 다는 것을 알게 되었는데, 이때 수확해야할 파프리카를 다 수확하지 못하면, 이후 착과량이 줄어들게 되고, 이는 농가 수입에 피해를 입힌다는 것을 알게 됨
- 피크시기를 극복하기 위해 외국인 노동자들에게 야근을 요청하지만 거절당하는 경우가 대부분이기 때문에 가족들이 동원되는 등 농가의 고통을 확인함

나. 비즈니스 모델

- 국내외 파프리카 농가(고객)에 수확용 로봇을 판매함으로써 피크시기에 노동력 부족 현상을 해결해 줄 수 있고, 안정적인 수확량 및 농가수입의 보장에 대한 가치를 제공할 수 있음

| | | | | |
|--|--|--|--|---|
| <p>핵심 파트너</p> <p>[정부기관]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 농업기술센터 ■ 생산기술연구원 <p>[제품화]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 성일산업 ■ 진테크놀로지 | <p>핵심 활동</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 연구비 획득 ■ 기술 개발 ■ 시제품 제작 ■ 홍보 <p>핵심 자원</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Lab. Spin off ■ Lab 자원 투입 ■ 수확용 엔드이펙터 특허 | <p>가치 제안</p> <p>[파프리카 농장]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 피크 시기에 노동력 부족 현상 해결 ■ 안정적인 수확량 및 농가 수입 <p>[정부 기관]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 협업을 통한 실적 ■ 실용적인 장비 제공 및 성공적인 시범사업을 통한 신뢰도 향상 | <p>고객 관계</p> <p>[각 농장 또는 자조회/조합의 네트워크망]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 한국파프리카생산자자조회: 한국 농원 ■ 드곡파프리카조합(전남) ■ 진주파프리카농장 ■ 각 지역의 농업기술 센터 <p>채널</p> <p>[B to C]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 성일산업의 판촉로 ■ 진테크놀로지의 판촉로 ■ 파프리카 영농법인들 <p>[B to G]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 농업기술센터 | <p>고객 세그먼트</p> <p>[B to C]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 국내 파프리카 농장 ■ 해외 파프리카 농장 <p>[B to G]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 농기계 은행 |
| <p>비용구조</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 인건비 (연구인력, 행정인력) ■ 제작비 ■ 홍보비 | | <p>수익원</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 로봇플랫폼 판매 수익 ■ 임대 수익 | | |

<비즈니스 모델>

다. 시장이 필요로 하는 기술 및 상용화 수준

- 현재 파프리카 농가에서 필요로 하는 수확용 로봇의 수준은 수확 도우미 역할을 할 수 있는 로봇이면 충분함
- 수확 가능한 파프리카를 100% 수확할 수 있는 로봇이면 좋겠지만, 이는 기술적으로도 어려울 뿐만 아니라 기술적으로 가능하더라도 가격이 비싸질 가능성이 있음
- 수확 도우미용 파프리카 수확용 로봇은 피크시기에 파프리카 농가의 노동력을 안정화 시켜줄 수 있고, 수확량을 안정화 시켜줌으로 농가의 수입을 안정화 시킬 수 있음



- 기존 레일 및 카트를 그대로 사용 (**활용 자원**)
- 노동자가 직접 카트를 움직여 레일 교체 작업을 해 줌
- 수확용 로봇은 수확하기 쉬운 파프리카만 수확함
- 노동자는 수확용 로봇이 수확을 마친 레일에 투입되어 나머지 수확작업

<상용화 시나리오>

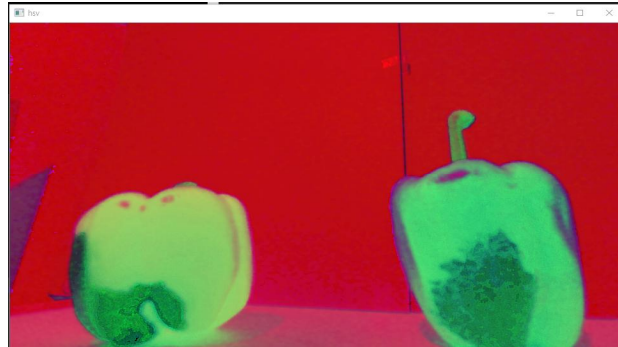
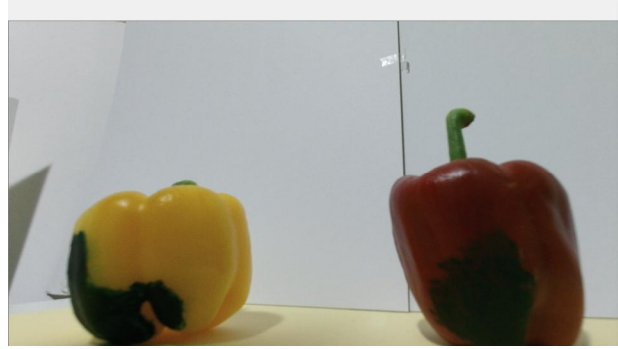
| 개발 기술 | 성능 지표 | 개발 목표 |
|-----------|--------------|-------------|
| 이동용 플랫폼 | 위치 제어 | 10cm |
| 로봇팔 | 위치 제어 | 1cm |
| | 최소 자유도 | 4자유도 이하 |
| 엔드이펙터 | 손상도 | 1% 이하 |
| | 파지가능 크기 및 무게 | 10cm, 0.5kg |
| 영상 인식 시스템 | 속도 판별 | 95% |
| | 위치 인식 정확도 | 1cm |
| 통합 시스템 | 내구성 | 5년 이상 사용 가능 |

<필요 기술 및 개발 목표>

2. 영상 시스템을 이용한 파프리카 속도(익은 정도) 구별 알고리즘 개발

가. 이미지 처리를 통한 파프리카 추적 및 속도체크

- RGB 카메라로부터 얻어낸 영상을 실시간으로 HSV(색상, 채도, 명도)로 변환
- RGB의 조합으로 색상을 표현하는 것과 달리 연속적 수치로 색상표현이 가능하고 밝기에 따른 오차를 크게 줄일 수 있음



<HSV 데이터를 기반으로 한 이미지 처리>

- HSV 영상에서 H(색상), S(채도), V(명도) 각각의 값의 범위를 제한하고 제한된 범위를 만족하는 영역 표시
- 찾고자 하는 파프리카를 항상 인식하면서 주변 장애물을 가능하면 제거할 수 있는 영역 선정
- 외부 환경(장애물, 태양광, 반사광 등)에 의해 발생할 수 있는 noise 제거
- 특정 규모 이하의 영역을 메꾸거나 제거하는 방식
- 잡음이 제거된 영상에서 모양과 크기를 바탕으로 영역을 나누어 파프리카 영역을 추정



<파프리카 영역 인식>

- 파프리카 추정 영역에서 완전히 속성된 부분과 그렇지 않은 부분의 비율을 바탕으로 각각의 파프리카 영역에 대해 속도를 체크

(3) 제 2-1 협동과제 (5~7차년도)

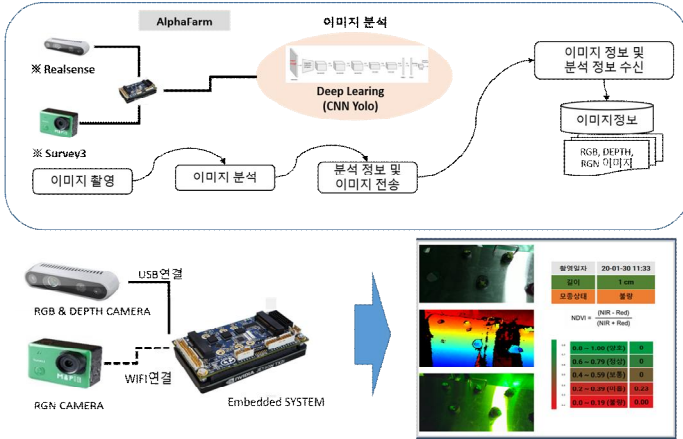
① 연구개요

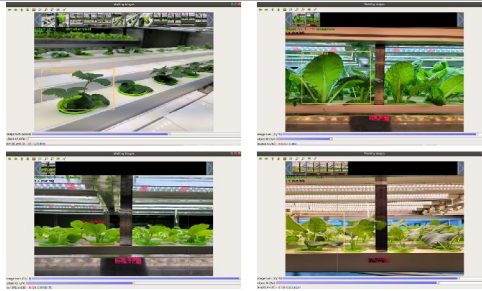
| | | | | | | |
|---------------|--|---|-----------|------------|------------|---------|
| 세부과제번호 | 제 (2-1)협동과제 | | | | | |
| 세부 연구과제명 | 국문 | 자율형 로봇 스마트팜 플랫폼 개발 | | | | |
| | 영문 | The development of Autonomous Robot Smart-farm Platform | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 이관호 | 영문성명 | KwanHo Lee | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 씨슬프라이머스 | 부서명 (학과명) | 씨슬프라이머스 | 직위 | 대표 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2018년 07월 18일 부터 ~ 2021년 12월 31일 까지 (3년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | 구분 | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 |
| | 정부출연금 | - | 80,000 | 77,000 | 144,000 | 301,000 |
| | 기업부담금 | - | 38,720 | 38,720 | 70,145 | 147,585 |
| | 기타 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 합계 | - | 118,720 | 115,720 | 214,145 | 448,585 |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | | 선임급 | | 원급이하 | |
| | 1 | | 1 | | 1 | |
| | | | | | 합계 | |
| | | | | | 3 | |

② 연구목표 및 내용

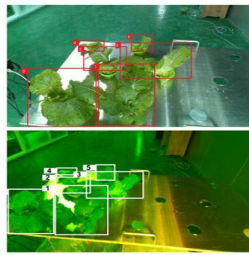
| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|--|
| 2단계 | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 재배 자동화 셔틀로봇 시스템 개발 - 재배 자동화 로봇 운영체제 개발 - 베드 최적화 적재를 위한 셔틀 링크 구조 개발 - 딥러닝을 통한 작물인식 및 최적 수확시기 선별 |
| | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 이식 자동화 로봇 시스템 개발 - 이식 자동화 로봇 운영체제 개발(다관절 로봇암 제어) - 다관절 로봇암 개발(육묘 베드를 재배 랙으로 이동 하기 위한 로봇 - 적재를 위한 적재 툴(Gripper) 개발 - 육묘 불량을 인식하기 위한 이미지 프로세싱 기술 개발(Real Sense Camera 장착 및 Computer Vision 기반 SW기술 개발) |
| | 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> 수확자동화 로봇 시스템 개발 - 수확 자동화 로봇 운영 체제 개발 - 딥러닝을 통한 중량 선별 및 외관품질 선별 시스템 개발 |

| | | |
|-------------------------------------|---|--|
| 제2핵심 | 농업시설 에너지환경 자동화 기반기술 개발 | |
| 제2-1협동 | 자율형 로봇 스마트팜 플랫폼 개발 | |
| 2 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 5년차 (2018) 연구목표 : 재배자동화 셔틀로봇 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 재배자동화 로봇 운영체제 개발 ○ 베드 최적화 적재를 위한 셔틀 링크 구조 개발 ○ 딥러닝을 통한 작물 인식 및 최적 수확시 | <ul style="list-style-type: none"> · 자동화 로봇선정 : 아마존 창고 자동화 시스템인 ki va AGV 방식의 Shelf lifter 로봇을 기반으로 레이저 혹은 QR코드 Guidance 적용 · 재배자동화 단계 분석 : 모종을 이식하는 단계인 Transplanting, Rack을 이송하는 Transport 등 5 단계로 나눔 · 재배관리 시스템과 연동 : 운송위치(From A to B), |

| | | |
|---|--|--|
| | 기 선별 | <p>적재 혹은 하역 등 명령 전달</p> <ul style="list-style-type: none"> · 자동화 재배실 구조설계 : 고정부 및 운송부 구분 <ul style="list-style-type: none"> - 고정부 : 5층 LED광원 및 급/배수, 저수조 1식 - 운송부 : 5단 랙, 베드 · 작물 크기 별 베드 설계 : 엽채소류(14개포트), 허브류(51개포트) · 급/배수 및 저수조 설계 : 양액 순환식 구조(Recycle), 각 층별 급/배수 제어 |
| <p>6년차 (2019) 연구목표 : 이식자동화 로봇 시스템 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 이식 자동화 로봇 운영체계 개발(다관절 로봇암 제어) ○ 다관절 로봇암 개발 (육묘 베드를 재배랙으로 이동하기 위한 로봇) ○ 적재를 위한 적재틀(Gripper)개발 ○ 육묘 불량률 인식을 위한 이미지 프로세싱 기술 개발(Real SenseCamera 장착 및 Computer Vision 기반 SW기술 개발) | <ul style="list-style-type: none"> · RM5X 협동 로봇 개발 : 6축 다관절, 6kg 중량까지 로드 가능, 70cm 내 거리에서 작업 가능, 재배 베드 포트에 이식 작업 수행 · XEG-32 적재틀 구성 : 스텝모터, 단일 축 로봇, 그리퍼 컨트롤러로 구성된 적재틀 완성 · 아이센서 : DL processor 보드, Depth 및 분광 카메라의 영상 데이터를 기계 학습하여 의사결정 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 하드웨어 및 DL 프레임워크 자체개발 - SDK 및 어플리케이션 회로 개발 완료 - Deep Learning Processor 업체 디자인 엔지니어 협업을 통해 Proto Type Working 보드 개발  |
| <p>7년차 (2020) 연구목표 : 수확자동화 로봇 운영 시스템 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 엽채소 수확용 아이센서 소프트웨어 개발 ○ 수확시기 예측 알고리즘 개발 ○ 적재틀 개발 ○ 수확자동화 플랫폼 개발 | <ul style="list-style-type: none"> · 이미지 데이터 수집 및 라벨링 |



- 진행 작물 : 딸기, 쌈채, 케일, 청경채
- 수확시기 예측 알고리즘 개발

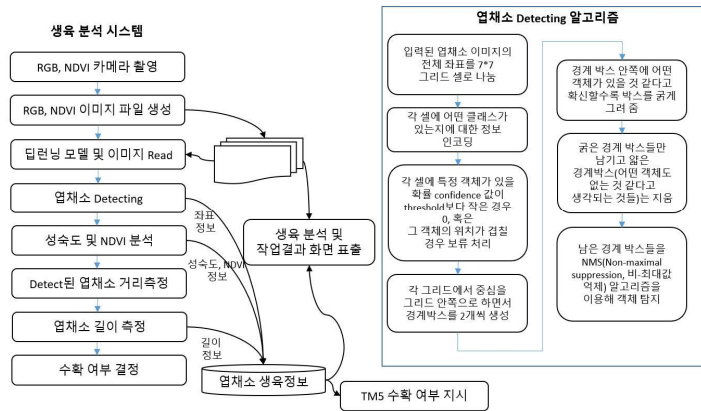


| | |
|------|----------------|
| 촬영일자 | 20-10-08 15:55 |
| 엽채소수 | 6개 |

| 객체 | 작업상태 | 발육 | 위치(x,y,z) |
|----|--------|-----|-----------------|
| 0 | 수확 | 95% | 404, 528, 0,320 |
| 1 | 수확 | 95% | 526, 540, 1,340 |
| 2 | 수확 | 95% | 418, 263, 2,574 |
| 3 | 수확 | 95% | 660, 320, 3,546 |
| 4 | bypass | 30% | 314, 171, 4,675 |
| 5 | bypass | 30% | 431, 186, 5,687 |

| 객체 | -0 | -0.19 | -0.39 | -0.59 | -0.79 | -1.0 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 0 | 62.55 | 24.91 | 5.17 | 0.80 | 0.32 | 6.25 |
| 1 | 76.21 | 15.38 | 3.36 | 0.54 | 0.23 | 4.28 |
| 2 | 79.90 | 15.55 | 3.77 | 0.56 | 0.28 | 3.94 |
| 3 | 70.97 | 18.27 | 4.56 | 0.70 | 0.24 | 5.26 |
| 4 | 52.68 | 35.06 | 5.18 | 0.81 | 0.46 | 5.80 |
| 5 | 52.15 | 34.15 | 5.48 | 1.06 | 0.41 | 6.76 |

- NDVI 분류 : Random Forest 알고리즘 fine tuning 하여 식생지수 Classification
- 엽채소 이미지+NDVI+발육 데이터의 상관 관계 분석 알고리즘(Random Forest) 개발
- 시스템 구성도



- 엽채소 Detecting 알고리즘이 적용된 생육분석 시스템 개발을 통한 수확자동화 플랫폼 구현



(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----------|------|------|--------|------|------|------|----|----|---------|------|----|------|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 | |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | | 홍보전시 |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | | 10 | | 10 | | | 10 | 10 | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | 3 | 5 |
| 2단계 | 목표 | 4 | 2 | | 2 | | | | 2 | | | | | | | | | | | 3 |
| | 실적 | 1 | 1 | | | | 3 | 10 6.3 | | 9 | | | | | | | | | | |
| 최종 | 목표 | 4 | 2 | | 2 | | | | 2 | | | | | | | | | | | 3 |
| | 실적 | 1 | 1 | | | | 3 | 10 6.3 | | 9 | | | | | | | | | | |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|-----|-----|------|------|------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|-------------------------------------|---------|-----|-----------------|--------|-------------------------------------|---------|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2020 | 식물 생육 모니터링 제어 시스템 및 식물 생육 모니터링 제어방법 | 씨슬프라이머스 | 한국 | 10-2020-0039434 | 2021 | 식물 생육 모니터링 제어 시스템 및 식물 생육 모니터링 제어방법 | 씨슬프라이머스 | 한국 |

③ 사업화 성과 및 매출 실적

| 번호 | 해당연도 | 구분 | 사업화명 | 제품명 | 업체명 | 매출액 (백만원) |
|----|------|-----|---------------------------|-------------|---------|-----------|
| 1 | 2019 | 사업화 | Alpha Farm | | 씨슬프라이머스 | 33 |
| 2 | 2021 | 제품화 | CESL-ConT01 (컨테이너 팝) | CESL-ConT01 | 씨슬프라이머스 | 58.4 |
| 3 | 2021 | 제품화 | CESL-ConV01 (실내형 컨베이어 컬처) | CESL-ConV01 | 씨슬프라이머스 | 6.4 |
| 4 | 2021 | 제품화 | CESL-VF01 (실내형 수직 재배시설) | CESL-VF01 | 씨슬프라이머스 | 8.5 |

■ CESL-VF01(실내형 수직 재배시설)

| 항 목 | 세부 항목 | 성 과 | | | |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------------|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 3 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 800 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 0.4 | 20 | 40 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | - | 8 | 10 |
| 국외 | | - | 3 | 5 | |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | 재배자동화에 수확자동화가 결합된 스마트팜 자동화 플랫폼 개발 | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | 0.4 | 10 | 20 | |
| | 수 출 | - | 20 | 40 | |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 | |
|--------|-------------|---------------------|-----------|--------------------|-----|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 0.4억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 15억원 | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 0.4억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 5억원 | |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : -% | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 3% 국외 : 1% | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : 1% | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 5% 국외 : 2% | |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | | -위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | | 30위 |

■ CESL-ConV01(실내형 컨베어 컬처)

| 항 목 | 세부 항목 | 성 과 | | | |
|-------------|--------------------------------|-------|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 2년 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 500 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 0.3 | 10 | 15 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | - | 5 | 8 |
| 국외 | | - | 3 | 5 | |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | 0.3 | 2 | 5 | |
| | 수 출 | - | 5 | 8 | |

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 |
|-----|------|------|----------|-------|
| 사업화 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 0.3억원 |

| | | | | |
|----|-------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 성과 | 시장 점유율 | 관련제품 | 향후 3년간 매출 | 8억원 |
| | | | 개발후 현재까지 | 0.3억원 |
| | | 개발제품 | 향후 3년간 매출 | 8억원 |
| | | | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : -% |
| | 관련제품 | 향후 3년간 매출 | 국내 : 5% 국외 : 1% | |
| | | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : -% | |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | -위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | 35위 |

■ CESL-ConT01(컨테이너 팜)

| 항 목 | 세부 항목 | 성 과 | | | |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | 3년 | | | |
| | 소요예산(백만원) | 1000 | | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 | |
| | | 0.9 | 30 | 50 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | - | 10 | 20 |
| 국외 | | - | 5 | 10 | |
| | 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | 재배자동화 및 수확자동화 시스템을 갖춘 컨테이너팜 | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | 현재 | 3년후 | 5년후 | |
| | 수입대체(내수) | 0.9 | 10 | 20 | |
| | 수 출 | - | 20 | 40 | |

| 항목 | 세부항목 | | 성 과 | |
|-------------|---------------------|------|-----------|----------------------|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 0.9억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 30억원 |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | -억원 |
| | | | 향후 3년간 매출 | 30억원 |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : -% |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 20% 국외 : 10% |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : -% 국외 : -% |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 30% 국외 : 15% |
| 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | -위 | |
| | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | 20위 | |

④ 고용창출 성과

| 고용창출연도 | 성명 | 고용기관 | 고용형태 | 비고 |
|--------|-----|---------|------|----|
| 2019 | 이재중 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2019 | 윤정일 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2020 | 정대균 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 김정록 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 박시욱 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 변규섭 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 최범식 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 유병용 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 한준원 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |

(나) 정성적 성과

| 구분 | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|-----|---|---|
| 2단계 | 5차년도 · 재배 자동화 셔틀로봇 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> · 재배 자동화 로봇 운영체계 개발 · 베드 최적화 적재를 위한 셔틀 링크 구조 개발 · 딥러닝을 통한 작물인식 및 최적 수확 시기 선별 |
| | 6차년도 · 이식 자동화 로봇 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> · 이식 자동화 로봇 운영체계 개발(다관절 로봇암 제어) · 다관절 로봇암 개발(육묘 베드를 재배 랙으로 이동 하기 위한 로봇) · 적재를 위한 적재 툴(Gripper) 개발 · 육묘 불량을 인식하기 위한 이미지 프로세싱 기술 개발 (Real Sense Camera 장착 및 Computer Vision 기반 SW기술 개발) |
| | 7차년도 · 수확 자동화 로봇 운영체계 개발 · 딥러닝 통한 중량선별 및 외관품질 선별 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> · 다관절 로봇암을 이용한 정식 및 수확 기술 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 정식 관련 다관절 Gripper 기술 개발 - 수확 기술 고도화 · Depth 센서를 활용한 작물 생육/속도/품질 모니터링 기술 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 품질 판단에 기초가 되는 이미지 데이터 분석 시스템 개발 - 생육/발육 모니터링 기술 개발 예정 · 지능형 기반의 전 주기 통합 제어 SW 솔루션개발 <ul style="list-style-type: none"> - AGV/다관절 로봇암/Gripper 등이 통합 제어되는 SW 솔루션 개발 - 머신러닝 기반의 품질/생육/발육 모니터링 시스템 고도화 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

1. 재배 자동화 로봇 운영체계 개발

- 자율형 로봇 스마트팜은 작물의 파종에서 수확까지 전 과정을 로봇이 자율적인 의사결정에 의해 운영하는 것으로 자율형 로봇은 크게 파종 및 정식, 재배, 수확로봇 등으로 구분됨
- 재배 자동화 로봇 개발 과제의 향후 사업화 성공을 위해 창고 자동화 전문업체인 유도로보틱스, 국내 최대 규모의 식물공장을 운영하고 있는 팜에이트 (구 미래원)과 함께 식물공장 스마트 팜 자동화 시스템 개발관련 지적재산권 공동소유와 마케팅 협업 등과 관련된 업무협약을 체결하였음
- 기업 별 주요담당 업무로 유도는 로봇 자동화 시스템, 당사는 로봇 자동화 재배플랫폼, 미래원은 자동화 베드와 Rack 및 생육 프로파일 DB 구축 등을 담당하기로 함. 각 기업은 추가하여 협력 기업의 역할을 수행할 수 있으며, 이에 따른 개발 결과물도 동일 기준으로 공유하기로 함
- 재배 자동화 로봇은 Amazon Kiva 시스템과 동일 방식인 AGV(Automated Guided Vehicle) 로봇을 선정하였으며 유도에서도 Tagon이라는 자체 제품을 보유하고 있어 당 연구에 활용 가능함
- 재배 자동화는 다음과 같이 5단계로 나눌 수 있음

1) Transplanting : Infeed Line에서는 입고되는 재배 Bed를 Rack에 옮겨주는 공정으로 로봇을 통해 입고 절차가 자동화 될 예정임



2) Transport : AGV가 Rack을 들어 올려 재배를 위해 광원과 급배수 시스템이 설치되어 있는 스테이션으로 이송됨



- 3) Storage : 한정된 공간에 많은 수량의 Rack을 저장할 수 있으며, 개별 단위 제어로 다품종 작물 재배가 가능함



- 4) 재배 단계 : 보관 위치에 도착한 Rack은 LED 라이팅 시스템 및 급배수 장치와 결합되고 층별 재배 Bed에 빛과 영양분을 공급함



- 5) Harvesting : 수확할 시기가 된 작물은 AGV를 통해 출고라인으로 이송됩니다. 재배 Bed는 로봇을 통해 수확(출하) 될 예정임



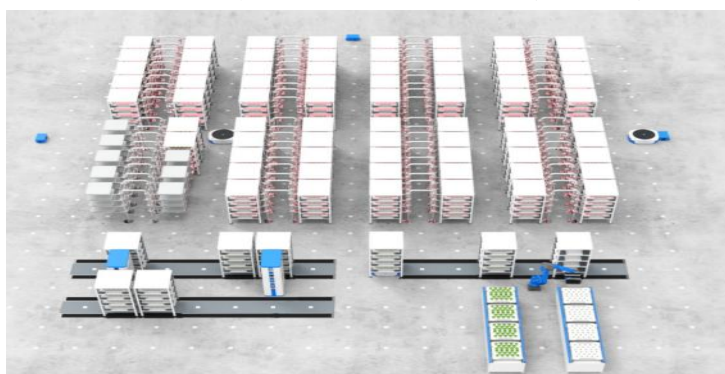
- 웨어하우스 자동화에서 운영되는 AGV는 독립된 운영소프트웨어와 서버로 구성되어 있으나, 이를 스마트팜 재배관리 시스템과 통합하여 구축비용을 절감하고 의사결정의 신뢰성을 향상시키고자 함
- AGV 운영서버의 기능을 분석하여 당사 재배관리 시스템과 사용자 인터페이스를 일원화하고 재배관리 시스템에서 운송 위치(From A to B), 적재 혹은 하역 (Load or Unload) 등 명령을 하달하여 AGV를 효율적으로 제어할 수 있도록 함



<스마트 팜 AGV 운영체제>

2. 베드 최적화 적재를 위한 링크 구조 개발

- 전 세계적으로 4차 산업 혁명과 함께 농업 분야에 로봇(robot)을 도입함으로써, 농업의 자동화를 위한 연구 개발이 다양하게 진행되고 있음. 전 세계 인구의 지속적으로 증가함에 따른 식량 부족 문제가 대두되고 있어 농산물의 생산량을 높이기 위해 농업을 자동화하는 것이 필요함
- 식물공장의 경우 광원, 베드, ICT 제어장비 등 많은 첨단시설이 투입되는 데 반하여 농작업의 경우 여전히 사람의 노동력에 의존하고 있어 생산성 저하 및 비용 상승의 주요 원인이 되고 있음
- 작물을 (예를 들어, 상추, 허브류, 방울토마토 등) 재배하는 작업을 자동화하면, 작물 수확량을 높일 수 있고, 소요 비용을 낮출 수 있음
- 차년도 이식 자동화를 위한 유니버설 로봇 제어 시스템이 완성되면 별도 개발 중인 Vegi-eye와 같은 생육 모니터링 장치를 연결하여 더욱 경쟁력이 있는 자동화 시스템을 개발 하고자 함
- 식물공장 자동화 뿐 아니라 Rack를 사용하는 버섯사, 곤충사 등 대형화를 통한 자동화에 당 시스템이 도입될 수 있도록 추진 중임
- 자동화 재배실의 전체 구성도면은 다음과 같음



Space Size

19M x 21M

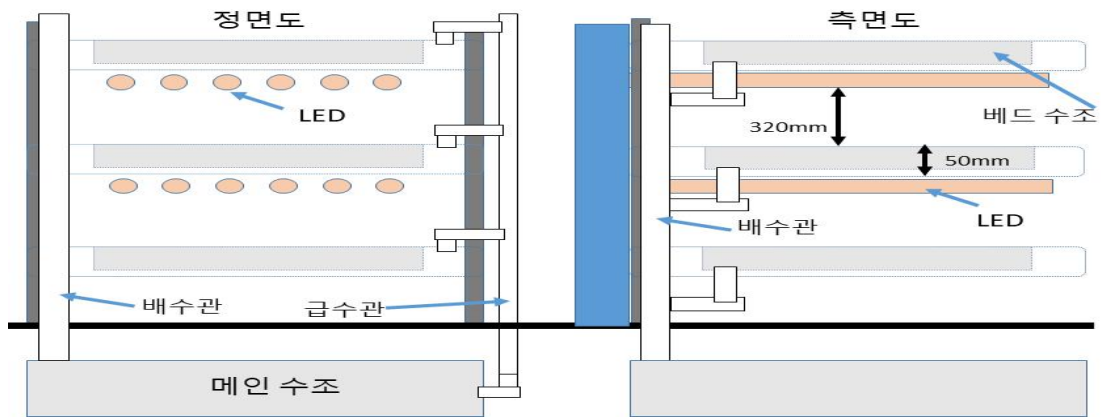
System Configuration

| | |
|------------------------------|-----|
| Rack | 80 |
| Level of rack | 4 |
| Farming Bed | 320 |
| AGV | 3 |
| AGV Charger | 3 |
| Water & Drain station | 1 |
| Receiving & Outgoing station | 1 |

<스마트 팜 전체구성 도면>

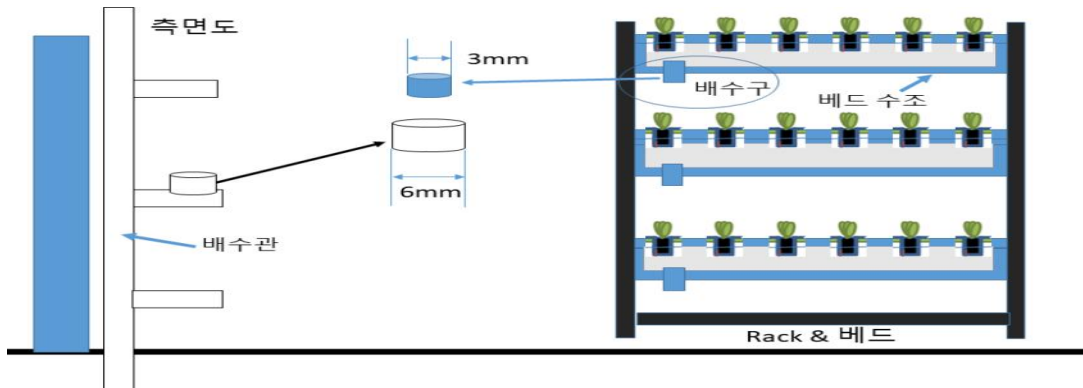
- 자율형 로봇 스마트 팜은 묘를 베드에 정식하여 Rack에 탑재하여 광원과 급배수 시설이 있는 스테이션으로 이송하는 기능이 필요하므로, 작물 베드를 운송할 수 있는 적재함을 가진 Rack 설계를 완료하였음

1) LED 및 급배수 스테이션

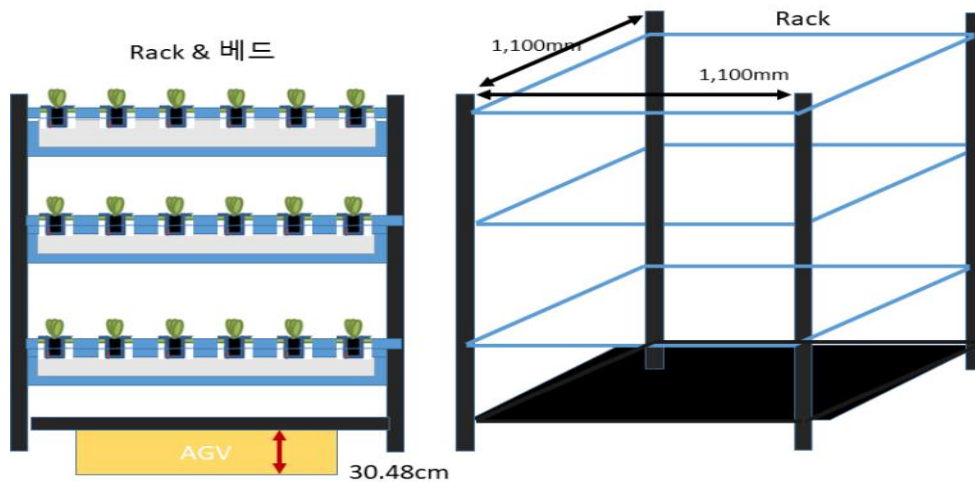


- 급수는 솔레노이드 밸브 1개로 전체 층을 자동 제어하며 배수는 저수조가 차면 자동으로 흘러 나가는 구조임

2) 스테이션 및 수조 배수구조



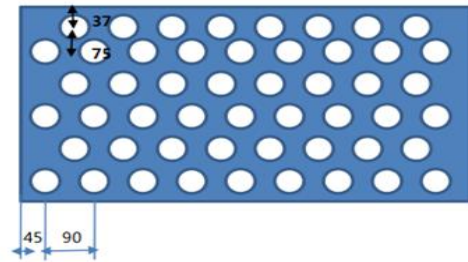
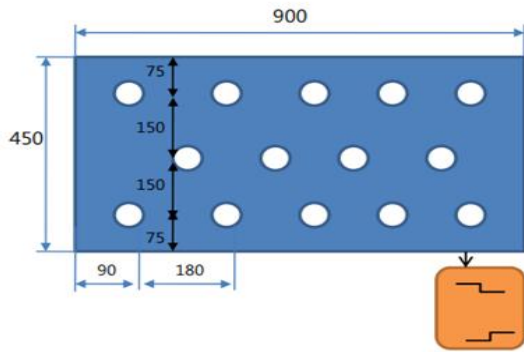
3) 랙 수조 및 베드 배치도



- 작물 베드의 사이즈는 단위면적 당 효율성을 결정하는 중요한 요소이므로 수확량과 셔틀 이송능력 간 분석과 검토를 통해 결정하였고, 작물은 종류 및 성장단계에 따라 매우 다양한 모양과 크기를 갖기 때문에 작물 베드를 파지하여 작물에 대한 손상 없이 베드를 이송할 수 있도록 링크구조를 설계하였음

1) 베드 판넬 구조

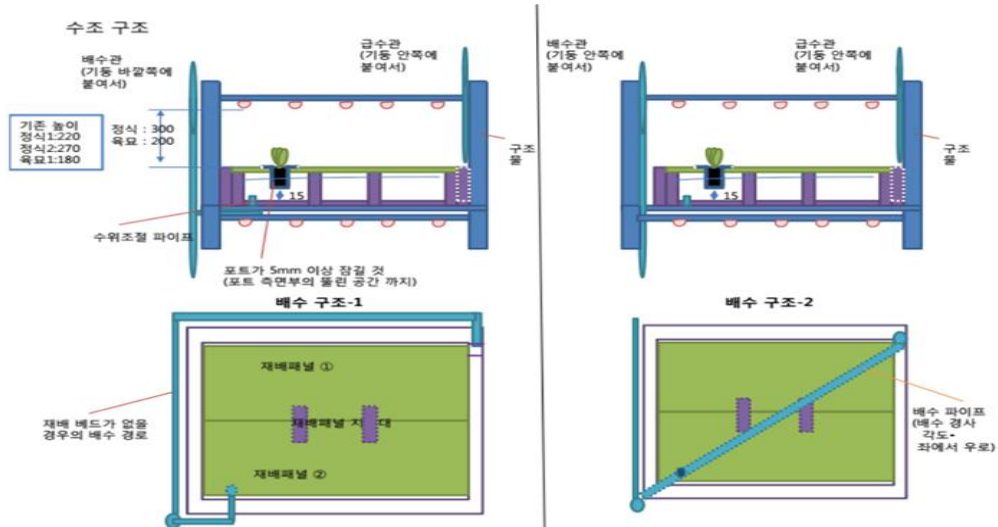
베드 구조
(수조에 2장씩 투입)



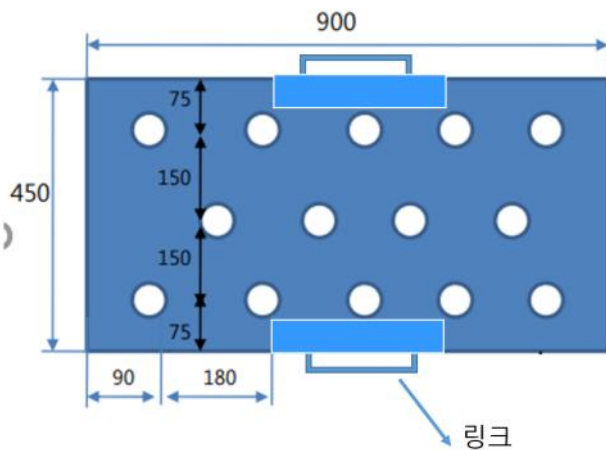
(엽채류 - 14홀)
- 1패널당 작물 무게 : 3kg (200gram*14홀)
- 2패널 일체형으로 할 경우의 작물 무게 : 6kg

(허브류 - 51홀)
(육묘용 베드)

2) 수조 구조



3) 링크 구조



<베드 링크 및 적재로봇 동작도>

4) 시제품 사진



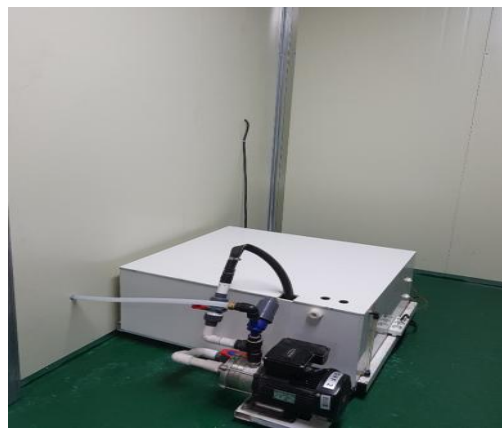
<랙 및 스테이션 시제품>



<배수구>



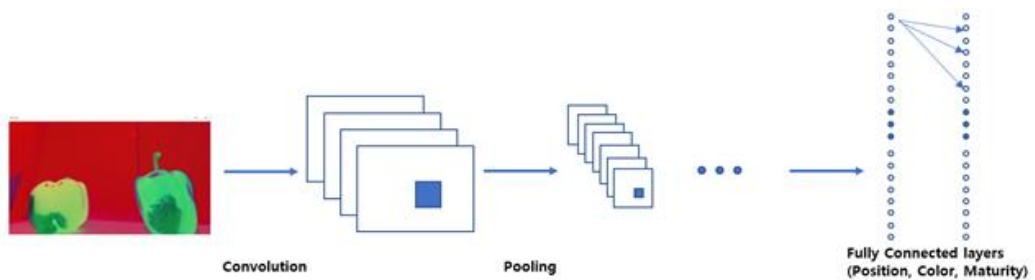
<급수구>



<메인 저수조>

3. 베드 최적화 적재를 위한 링크 구조 개발

- HSV 이미지를 기반으로 CNN 모델링하여 최종적으로 작물의 종류, 색깔, 속도에 대한 정보를 출력 (주변 환경, 다양한 noise에 대해서 기존 이미지 처리에 비해 안정적으로 작동)



<CNN(Convolutional Neural Network) 모델링>

- 딥러닝 학습을 위해서는 라벨링이 된 수많은 이미지 데이터가 필요하므로 기 구축한 식물공장 테스트 베드에서 버터헤드, 이자 트릭스 등 유럽상추에 대한 생육 데이터 구축 중
- 고해상도 카메라 이미지 수집 기술을 활용하여 재배작물 영상정보 획득하고 생육 환경 로그 데이터 및 작물의 중량, 품질 데이터 등과 매칭 예정

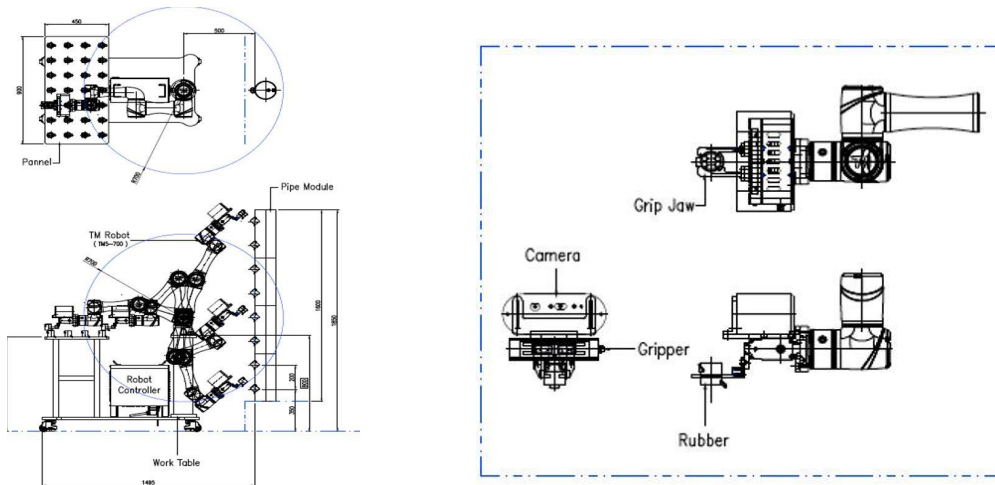
| 기간 | 이미지 | 무게 | 비고 |
|--------------|---|------------|--|
| 정식 후 7일차 |  | 20 ~ 30g | EC 1.6 ~ 1.8 ds/m pH 5.7 ~ 6.5 Temp 22°C Humidity 80% CO2 900ppm |
| 14일차 |  | 40 ~ 60g | 결구 진행 |
| 21일차 |  | 80 ~ 100g | 외측 잎 성장 |
| 정식 후 28일차 |  | 110 ~ 130g | 수확 시기 |

<버터헤드 생육시기 별 성장상태>

4. 자율형 로봇 스마트팜 플랫폼 개발

가. 다관절 로봇암을 이용한 정식 및 수확 기술 확보

- 6축 다관절 로봇 활용 : 6kg 중량 로딩 가능, 70cm 거리 작업, 재배 베드 포트 이식 작업 수행

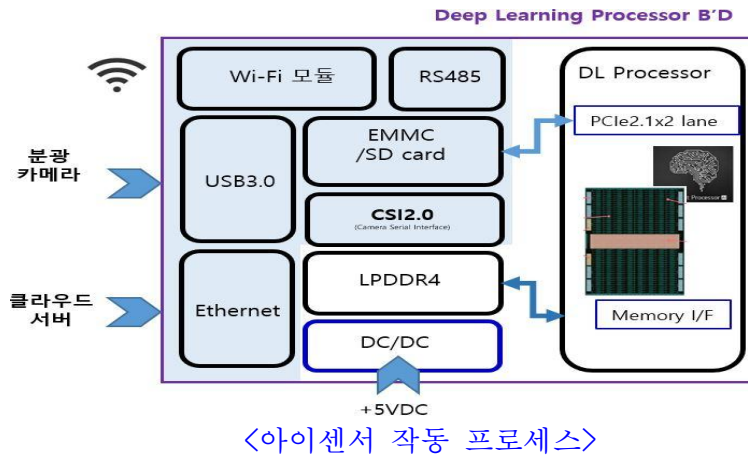


<로봇 구성도 및 작동원리>

- 수직재배 베드에 러버 포트 정식 작업 수행
- 러버 포트를 정식하기 위한 그리퍼 설계 및 제작
- 자체 개발한 아이센서 장착 후 작업

나. Depth 센서를 활용한 작물 생육/속도/품질 모니터링 기술 고도화

- 생육진단을 위한 영상 취득 시스템 고도화

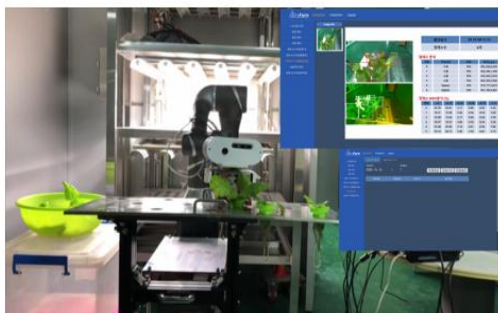


- 장점 및 특징
 - . 클라우드에서 통신연결 및 대기시간, 대역폭 제약을 보완
 - . 자체 생성된 데이터로 훈련하고 학습을 통해 추론할 수 있는 기계학습능력 보유
 - . 히트 싱크가 필요없는 저전력으로 Eye Sensor 모듈 소형화 및 저가격화 구현
- 하드웨어 및 DL 프레임워크 자체 개발
- SDK 및 어플리케이션 회로 개발
- Deep Learning Processor 업체 디자인 엔지니어 협업을 통해 proto type working 보드 개발



<기능 구현 모델>

- 다. 지능형 기반의 전주기 통합제어 SW솔루션 개발
- AGV/다관절 로봇암/Gripper 등이 통합 제어되는 SW솔루션 개발
 - 머신러닝 기반의 품질/생육/발육 모니터링 시스템 고도화



(4) 제 2-2 협동과제

① 연구개요

| 세부과제번호 | 제 (2-2)협동과제 | | | | | |
|---------------|---|--|-----------|--------------|------------|---------|
| 세부 연구과제명 | 국문 | 온실환경 작업 최적화를 위한 스마트 방제시스템 개발 | | | | |
| | 영문 | Development of a smart system for controlled delivery of agriculture pesticides in greenhouse environments | | | | |
| 세부 연구책임자 | 한글성명 | 김장호 | 영문성명 | Jangho Kim | 과학기술인 등록번호 | - |
| | 소속기관 | 전남대학교 | 부서명 (학과명) | 지역·바이오시스템공학과 | 직위 | 교수 |
| | 전화번호 | - | 팩스번호 | - | E-mail | - |
| 연구기간 | 2017년 09월 18일 부터 ~ 2021년 12월 31일 까지 (4년) | | | | | |
| 연구개발비 (단위:천원) | | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 |
| | 정부출연금 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 144,000 | 384,000 |
| | 기업부담금 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 기타 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 합계 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 144,000 | 384,000 |
| 참여연구인력 (단위:명) | 책임급 | | 선임급 | | 원급이하 | |
| | 1 | | 0 | | 7 | |
| | | | | | | 합계 |
| | | | | | | 8 |

② 연구목표 및 내용

| 단계 | 연차 | 연구목표 |
|-----|------|--|
| 2단계 | 4차년도 | 생체 및 화학비료 방제를 위한 서방형 방출 플랫폼 개발 |
| | 5차년도 | 서방형 방출 플랫폼을 활용한 생체 및 화학비료 방제 조절기술 개발 |
| | 6차년도 | 서방형 방출 플랫폼을 활용한 작물 성장·생육 촉진 기술 개발 |
| | 7차년도 | 온실환경 작업 최적화를 위한 서방형 생체 및 화학비료 방제시스템 개발 |

| 제2핵심 | 농업시설 에너지환경 자동화 기반기술 개발 | |
|------------|----------------------------------|--|
| 제2-2협동 | 온실환경 작업 최적화를 위한 스마트 방제 시스템 개발 | |
| 2 단계 | 연구내용 | 연구 방법 |
| 4년차 (2017) | ○ 생체 및 화학비료 방제를 위한 서방형 방출 플랫폼 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 생체재료 (alginate, gelatin, eggshell membrane, PCL) 기반의 서방형 방출 플랫폼 개발 - Acoustic vibration frequency (AVF) system을 이용한 alginate microcapsule, gelatin microcapsule - electrospray를 이용한 eggshell membrane nanoparticle, emulsion method를 이용한 PCL microsphere - desolvation method를 이용한 gelatin nanoparticle, syringe handling technique을 이용한 alginate microsphere |
| | | |

4차년도 생체 및 화학비료 방제를 위한 서방형 방출 플랫폼 개발

서방형 방출 플랫폼

Algae, Cartilage, Eggshell membrane, Alginate, Gelatin, Eggshell powder

Gelatin nanoparticle, Alginate microcapsule / PCL microcapsule, Eggshell membrane nanoparticles

○ 생체 및 화학비료 방제를 위한 서방형 방출 플랫폼 개발, 서방형 방출 조절기술 확립 및 최적화

- 서방형 방출 플랫폼을 활용한 농약 방제 조절기술 개발
- 서방형 방출 조절기술 확립 및 최적화

5차년도 서방형 방출 플랫폼을 활용한 생체 및 화학비료 방제 조절기술 개발

5년차 (2018)

Gelatin nanoparticle, Alginate microcapsule / PCL microcapsule, Eggshell membrane nanoparticles

캡슐에 담지된 농약의 양, 담지된 농약의 방출 속도

○ 서방형 방출 플랫폼을 활용한 작물 성장·생육 촉진 기술 개발

- 모델 작물 이용 서방형 방출 플랫폼 최적화
- 서방형 방출 플랫폼을 사용한 모델 작물의 성장·생육 분석

6차년도 서방형 방출 플랫폼을 활용한 작물 성장·생육 촉진 기술 개발

6년차 (2019)

논 재배 작물, 밭 재배 작물

7년차 ○ 온실환경 작업 - 서방형 방제 플랫폼 기반 방제 시스템 개발

최적화를 위한 서방형 농약 방출 플랫폼 기반 무인 자동화 방제시스템 개발

- 서방형 방제 플랫폼 기반 방제 시스템 최적화

(2020)

7차년도 온실환경 작업 최적화를 위한 서방형 생제 및 화학비료 방제시스템 개발



(가) 정량적 성과

| 성과지표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|------|------|----|------|------|------|---------|----|----|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | | 인력양성 | | | 정책활용·홍보 | | 기타 |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품종등록 | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | 학술발표 | 석사 | 박사 | 취업인력 | 정책활용 | 홍보전시 | | |
| | | | | | 건 | 백만원 | 백만원 | 백만원 | 백만원 | 건 | SCI | 비SCI | 건 | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | | 명 | 명 | 명 | | | | |
| 가중치 | 20 | 20 | | 10 | | 10 | | | | | | 10 | | 10 | | | | 10 | 10 | |
| 최종목표 | 19 | 17 | | 8 | | 5 | | | | | 31 | 13 | 13 | 23 | 7 | 27 | | 3 | 5 | |
| 2단계 | 목표 | 2 | 1 | | | | | | | | 4 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | | 1 | | |
| | 실적 | 2 | | | | | | | | | 18 | 4 | 14 | 2 | | | | | | |
| 최종 | 목표 | 2 | 1 | | | | | | | | 4 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | | 1 | | |
| | 실적 | 2 | | | | | | | | | 18 | 4 | 14 | 2 | | | | | | |

① 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|---|-----|------|------|-----------------------------------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| 2017 | Iron Oxide Nanoparticle-incorporated Alginate Capsules as Magnetic Field-assisted Potential Delivery Platforms for Agriculture Pesticides and Biocontrol Agents | 이도현 | 김장호 | | Journal of Biosystems Engineering | 42 | 국내 | 비SCI |

| | | | | | | | | |
|------|---|------------|------------|--|---|-------|----|------|
| 2017 | Controlled extracellular topographical and chemical cues for acceleration of neuronal development | 박선호 | 김장호 | | Journal of Industrial and Engineering Chemistry | 59 | 국외 | SCI |
| 2018 | Iron Oxide Nanoparticle-incorporated Alginate Capsules as Magnetic Field-assisted Potential Delivery Platforms for Agriculture Pesticides and Biocontrol Agents | 이도현 | 박선호 | 김장호 | Journal of biosystems engineering | 42 | 국내 | 비SCI |
| 2018 | Nanopatterned scaffolds for neural tissue engineering and regenerative medicine | Sunho Park | Jangho Kim | Daun Kim Sungmin Park Dohyeon Lee Woochan Kim | Advanced in experimental medicine and biology | 1078 | 국외 | SCI |
| 2017 | Engineering lotus leaf-inspired micro- and nanostructures for the manipulation of functional engineering platforms | 김우찬 | 김장호 | | Journal of Industrial and Engineering Chemistry | 61 | 국외 | SCI |
| 2018 | Engineering nanowrinkled microfibers composed of eggshell membrane and graphene | 박선호 | 김장호 | 최경순 | Materials letters | 229 | 국외 | SCI |
| 2019 | Leaf-inspired micro- and nanoengineered surfaces for controlled hydrophilic and hydrophobic properties | 김다운 | 김장호 | | Macromolecular Research | 28(1) | 국내 | SCI |
| 2019 | Graphene-Layered Eggshell Membrane as a Flexible and Functional Scaffold for Enhanced Proliferation and Differentiation of Stem Cells | Sunho Park | Jangho Kim | | Acs applied biomaterials | 2(10) | 국외 | SCI |
| 2019 | 생체 내 세포 이동 모델링을 위한 멀티스케일 생체모사 플랫폼 | 박선호 | 김장호 | | 대한기계학회 저널 | 59(2) | 국내 | 비SCI |
| 2019 | 3D Microfluidic Bone Tumor Microenvironment Comprised of Hydroxyapatite/Fibrin Composite | 안정호 | 김장호 | | Frontiers in bioengineering and biotechnology | 7 | 국외 | SCI |
| 2020 | Graphene Oxide-Assisted Promotion of Plant Growth and Stability | 박선호 | 김장호 | 최경순 김수진 권용현 | nanomaterials | 10 | 국외 | SCI |
| 2020 | Lithographically-Fabricated HA-Incorporated PCL Nanopatterned Patch for Tissue Engineering | 장경제 | 김장호 | 김수진 박상배 김우찬 권용현 박선호 임기택 HoonSe | applied sciences | 10 | 국외 | SCI |

| | | | | | | | | |
|------|--|-------------|------------|---|--|-----|----|------|
| | | | | onwoo | | | | |
| 2019 | 스마트포장을 위한 나노기술의 연구동향과 전망 | 박선호 | | 김장호 | 농업생명과학연구 동향 | 57 | 국내 | 비SCI |
| 2020 | Graphene-Chitosan Hybrid Dental Implants with Enhanced Antibacterial and Cell-Proliferation Properties | 박선호 | | 김장호 | applied sciences | 10 | 국외 | SCI |
| 2020 | Nanoscale manufacturing as an enabling strategy for the design of smart food packaging systems | 박선호 | 김장호 | | Food Packaging and Shelf Life | 26 | 국외 | SCI |
| 2021 | Synergistic effects of gelatin and nanopographical patterns on biomedical PCL patches for enhanced mechanical and adhesion properties | Sujin Kim | Jangho Kim | Yonghyun Gwon Sunho Park Woohan Kim Yubin Jeon Taeseong Han Hoon Eui Jeong | Journal of the mechanical behavior of biomedical materials | 11 | 국외 | SCI |
| 2021 | Heat and pressure-assisted soft lithography for size-tunable nanoscale structures | Woochan Kim | Jangho Kim | Sunho Park Yonghyun Gwon Hwang Nam Kim | Materials letters | 299 | 국외 | SCI |
| 2021 | Eggshell membrane as a bioactive agent in polymeric nanopographic scaffolds for enhanced bone regeneration | Daun Kim | Jangho Kim | Yonghyun Gwon Sunho Park Woohan Kim Kwidug Yun | Biotechnology and Bioengineering | 118 | 국외 | SCI |
| 2021 | Radially patterned transplantable biodegradable scaffolds as topographically defined contact guidance platforms for accelerating bone regeneration | 권용현 | 김장호 | 박선호 김우찬 한태성 김효성 | Journal of biological engineering | 15 | 국외 | SCI |
| 2021 | A freezing and thawing method for fabrication of small gelatin nanoparticles with stable size distributions for biomedical applications | 권용현 | 김장호 | 김우찬 박선호 홍세운 | Tissue engineering and regenerative medicine | | 국외 | SCI |
| 2021 | Plasma-assisted multisc | 김우찬 | 김장 | 권용현 | npj regenerative | 6 | 국외 | SCI |

| | | | | | | | | |
|------|---|-----|-----|---------------------------------|--|---|----|-----|
| | ale topographic scaffolds for soft and hard tissue regeneration | | 호 | 김양경 박선호 강성주 박형규 김명선 | medicine | | | |
| 2021 | Rebirth of the eggshell membrane as a bioactive nanoscaffold for tissue engineering | 박선호 | 김장호 | 권용현 박선호 김우찬 | ACS biomaterials science & engineering | 7 | 국외 | SCI |

② 특허 성과

| 출원된 특허 | | | | | 등록된 특허 | | | |
|--------|----------------------------|-------------|-----|-----------------|--------|-----|-----|-----|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원(등록)번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 |
| 2020 | 나노소재로 코팅된 나노각막을 포함하는 생체 소재 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2020-0017133 | | | | |
| 2021 | 젤라틴 가교입자의 제조 방법 | 전남대학교 산학협력단 | 한국 | 10-2021-0111023 | | | | |

③ 석/박사 양성 성과

| 번호 | 성명 | 소속 | 졸업연도 | 취득학위 |
|----|-----|-------|------|------|
| 1 | 박선호 | 전남대학교 | 2018 | 석사 |
| 2 | 김우찬 | 전남대학교 | 2019 | 석사 |

④ 학술발표 성과

| 번호 | 연도 | 구분 | 기관 | 이름 | 제목 | 학술회의명 | 장소 |
|----|------|------|-------|------------|---|---|-----------------|
| 1 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Jangho Kim | Agricultural Bioresources and Biofabrication as an Enabling Strategy for Agricultural and Biological Applications | World Congress of the International Commission of Agriculture and Biosystems Engineering | Antalya, Turkey |
| 2 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sunho Park | Engineering Eggshell Membranes for Manipulation of Nanotopographically-defined Functional Platforms | International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering | 제주, 대한민국 |
| 3 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sunho Park | Engineered Nanomaterials as an Enabling Bionic Strategy for Acceleration of Plant Growth | International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering | 제주, 대한민국 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-------|-------------|--|---|--------------------------|
| | | | | | | ystems Engineering | |
| 4 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Dohyeon Lee | Iron Oxide Nanoparticles incorporated Alginate Capsules as Magnetic Field-assisted Potential Delivery Platforms of Agriculture Pesticides and Biocontrol | 2018 International Symposium on Machinery Agricultural and Biosystems Engineering | 제주, 대한민국 |
| 5 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Daun Kim | Development of Leaves-inspired Micro- and Nanostructures for the Manipulation of Functional Engineering Platforms | 2018 International Symposium on Machinery Agricultural and Biosystems Engineering | 제주, 대한민국 |
| 6 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sujin Kim | Mechanobiological Regulation of Cells by Nanotopographically-defined Biomimetic Scaffolds for Animal Tissue Engineering | 2018 International Symposium on Machinery Agricultural and Biosystems Engineering | 제주, 대한민국 |
| 7 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sunho Park | Development of eggshell membrane based-nano-engineered platforms | 2018 ASABE | DETROIT, USA |
| 8 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Jangho Kim | Agricultural biosources and biofabrication as an enabling strategy for agricultural and biological applications | 2018 ASABE | Detroit, USA |
| 9 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Daun Kim | Multiscale Patterned Stem Cell Patches for Tissue Regeneration | Emerging Technologies in Mechanical Engineering 2018 | 제주도, 대한민국 |
| 10 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sunho Park | Suspended graphene nanopatterns for engineering structure and function of stem cells | Emerging Technologies in Mechanical Engineering 2018 | 제주도, 대한민국 |
| 11 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sujin Kim | Hydroxyapatite/Eggshell Membrane Composites for Healthcare Applications | 한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2018년 추계 공동학술대회 | 서울대학교 농업생명과학대학 201동/대한민국 |
| 12 | 2018 | 학술발표 | 전남2협동 | Sunho Park | ECM-mimetic topographic substrates as cell chips for in vitro cytotoxicity test platforms | 2018 한국공업화학회 추계 총회 및 학술대회 | 제주도/대한민국 |
| 13 | 2020 | 학술발표 | 전남2협동 | 한태성 | Biodegradable Nanoporous Films as an Enabling Strategy for | (사)한국농업기계학회/2020년 추계 | 대한민국 온라인 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-------|-----|---|---------------------------|----------|
| | | | | | DesignandFabricationofFoodPackagingSystems | 공동학술대회 | |
| 14 | 2021 | 학술발표 | 전남2협동 | 박선호 | Elabrately designed nanopik e patch as anti-pathogenic scaffoldforregulatingstemcellbehaviors | 2021 KSIEC spring Meeting | 벡스코 F발표장 |

(나) 정성적 성과

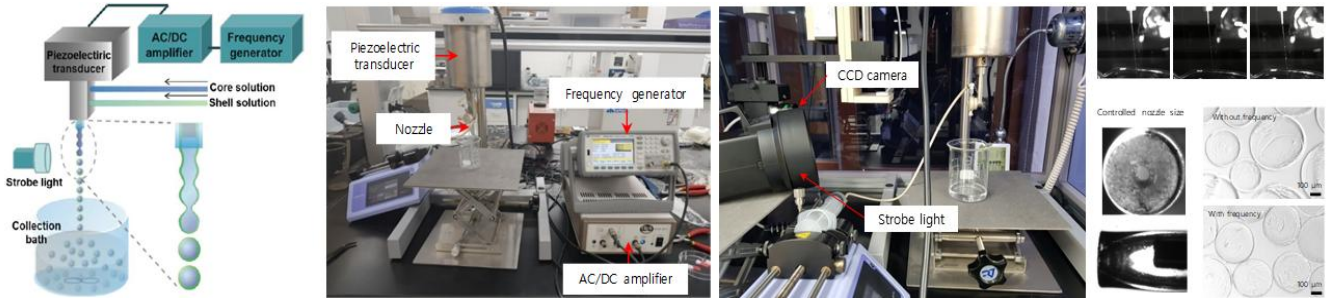
| 구분 | | 연구목표 | 주요 연구 성과 |
|-----|------|--|--|
| 2단계 | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 화학 및 생물농약 방제를 위한 서방형 방출 플랫폼 개발 · 생체재료(alginate, gelatin,chitosan,eggshell membrane 등) 기반 농약 서방형 방출 플랫폼 개발 · 농약 서방형 방출 플랫폼 특성분석 | <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 서방형 방출 플랫폼 개발을 위한 시스템 구축 (4종) - 다양한 소재의 서방형 방출 캡슐/파티클 형태의 플랫폼 구축 (4종 이상) - 개발된 서방형 방출 플랫폼의 구조적, 화학적, 물리적 특성 분석 |
| | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 서방형 방출 플랫폼을 활용한 농약 방제 조절기술 개발 · 서방형 방출 조절기술 확립 및 최적화 | <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 농도의 서방형 방출 플랫폼의 방제 조절 기술 및 모델링 구축 - 다양한 농도의 서방형 방출 플랫폼의 세포 독성 평가 - 나노 소재를 이용한 식물 및 작물의 생장·생육 촉진 기술 구축 |
| | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 서방형 방출 플랫폼을 활용한 작물 생장 생육 촉진 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 모델 작물을 이용한 서방형 방출 플랫폼 기능 최적화 - 서방형 방출 플랫폼 기반 모델 작물의 생장·생육 분석 |
| | 7차년도 | <ul style="list-style-type: none"> · 서방형 농약 방출 플랫폼의 온실환경 작업을 위한 방제기 개발 · 무인 온실환경 작업 최적화를 위한 서방형 화학 및 생물농약 방제시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 방제기를 이용한 서방형 농약 방출 플랫폼의 효능 검증 - 방제기를 이용한 서방형 농약 방출 플랫폼의 방제 메커니즘 규명 - 서방형 농약 방출 플랫폼 기반 농약 (살충제, 제초제) 효율 분석 |

(다) 기타 주요연구 성과 (자유 기술)

1. 생체 및 화학비료 방제를 위한 서방형 방출 플랫폼 개발

가. 화학 및 생물농약 방제를 위한 서방형 방출 시스템 개발

(1) AVF system

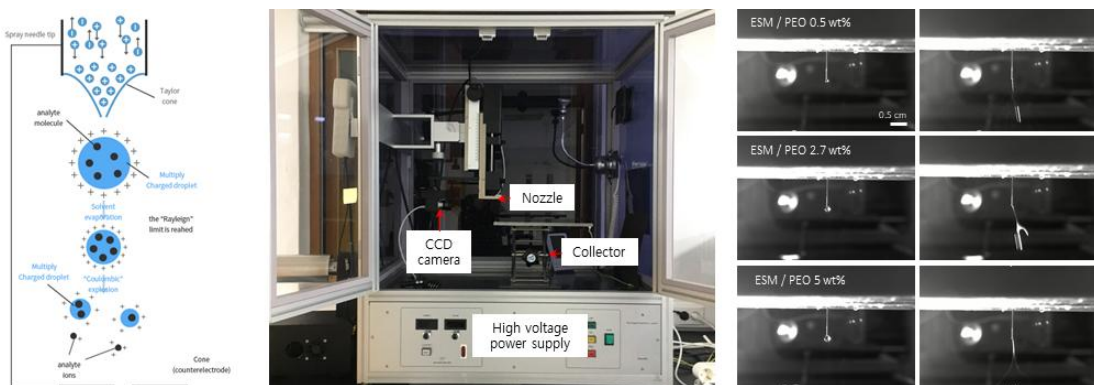


<AVF system과 custom micronozzle>

- 서방형 방출 플랫폼의 균일한 생산 및 대량화를 위하여 AVF system을 구축함
- AVF system은 유압과 진동을 조절함으로써 원하는 직경의 capsule을 얻을 수 있으며, 균일한 size control이 가능하다는 장점을 가짐
- 본 연구에서는 연구진이 보유하고 있는 고유 기술로 제작한 custom micronozzle을 이용하여 보다 균일하며 정밀하게 capsule을 제작함
- Frequency generator와 piezoelectric transducer로 마이크로노즐에 진동을 줄 수 있으며, syringe pump를 통해 마이크로노즐에 압력을 가하여 노즐에 가해지는 진동과 압력으로 균일한 capsule이 제작됨
- 이러한 과정을 strobe light와 CCD 카메라를 통해 초당 제작되는 capsule을 시각적으로 확인 가능함

나. 화학 및 생물농약 방제를 위한 서방형 방출 시스템 개발

(1) Electrospray



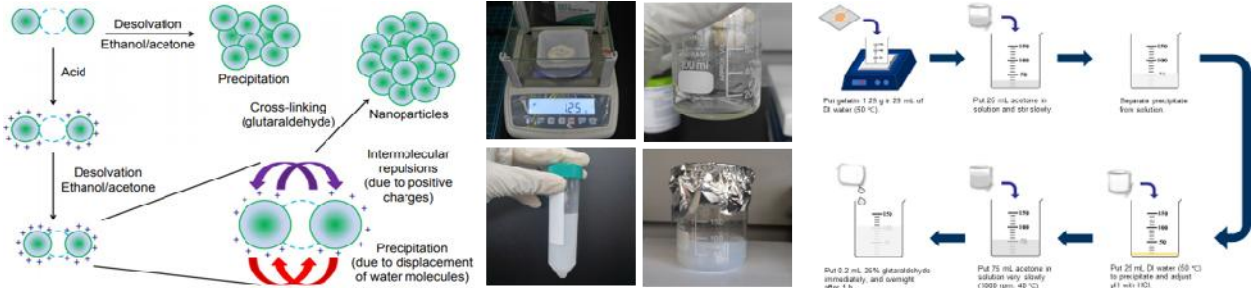
<Electrospray system과 taylor cone 형성 이미지>

- 나노 스케일의 파티클 및 캡슐을 얻기 위하여 Electrospray를 이용함
- Electrospray는 고전압에서 발생하는 정전기력을 이용해 고분자 용액의 테일러 콘 형성을 가능케 하여 particle 및 fiber를 형성할 수 있는 기법임

- High voltage power supply로 microneedle에 고전압을 가하며, syringe pump를 통해 flow rate를 설정할 수 있음. 테일러 콘으로부터 형성된 particle 및 fiber는 collector에 수집됨

다. 화학 및 생물농약 방제를 위한 서방형 방출 시스템 개발

(1) Emulsion method

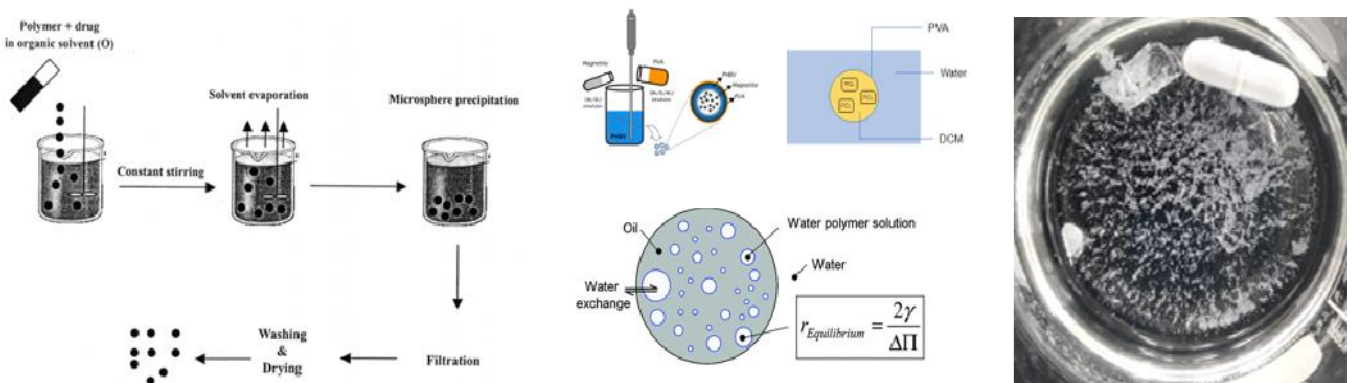


<Emulsion method 모식도와 제작된 PCL microsphere>

- 유기용매에 녹는 고분자인 polycaprolactone (PCL)으로 microsphere를 제작하기 위해 oil in water emulsion기법을 사용함
- Emulsion은 서로 섞이지 않는 두 종류의 액체 중 한 편이 다른 쪽에 작은 입자 상태로 분산된 상태를 말하며, particle을 얻기 위해 그 상태에서 계면활성물질을 넣어서 분산된 상태를 고정시키는 방법을 emulsion method라고 함
- 서로 섞이지 않는 두 액체를 교반기에서 교반할 때 emulsion 상태를 확인할 수 있으며, 교반 속도에 따라 particle의 직경이 달라짐
- 물 질량 80,000의 PCL과 유기용매인 dichloromethane (DCM)에 녹인 용액을 0.25 % Polyvinylalcohol (PVA) 용액과 교반하여 microsphere를 만듦
- 선행 연구 및 연구 결과를 참고해 유기용매와 물의 비율이 1:50일 때 가장 최적의 조건임을 확인 하였음
- 본 연구에서는 syringe handling 기법과 desolvation 방법을 이용해 particle을 제작함

라. 화학 및 생물농약 방제를 위한 서방형 방출 시스템 개발

(1) Desolvation method



<Desolvation method 모식도와 제작된 gelatin nanoparticle>

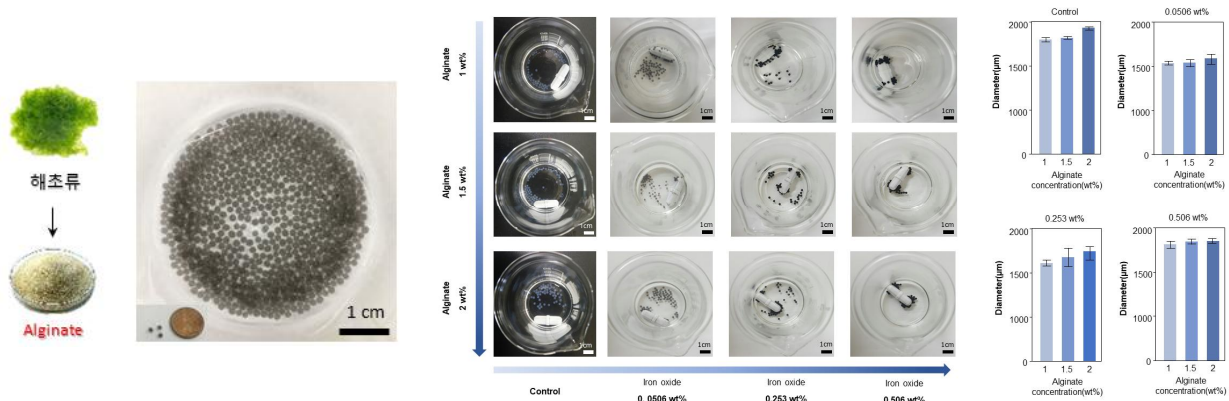
- 물질의 특성을 기반으로 큰 장비 없이 capsule 및 particle을 만들 수 있는 desolvation 기법을 사용함
- Desolvation은 용매화층을 제거하는 것을 의미하며, 이 과정을 통해 단백질의 소수성 아미노산 부

분이 내부로 함입되어 균질한 응집체를 생성할 수 있음

- Desolvation method를 통해 particle을 얻는 과정은 탈용매제가 첨가되는 속도와 용액의 pH에 의해 영향을 받음
- Gelatin을 물에 녹이고, 아세톤을 이용해 탈용매화하는 방식으로 particle을 제작함
- 균일한 particle을 얻기 위해 높은 물질량의 gelatin을 선별하기 위해 gelatin (Type A, Bloom 300)을 이용하여 2번의 교반작업과 3번의 washing을 통해 제작된 nanoparticle을 수집함

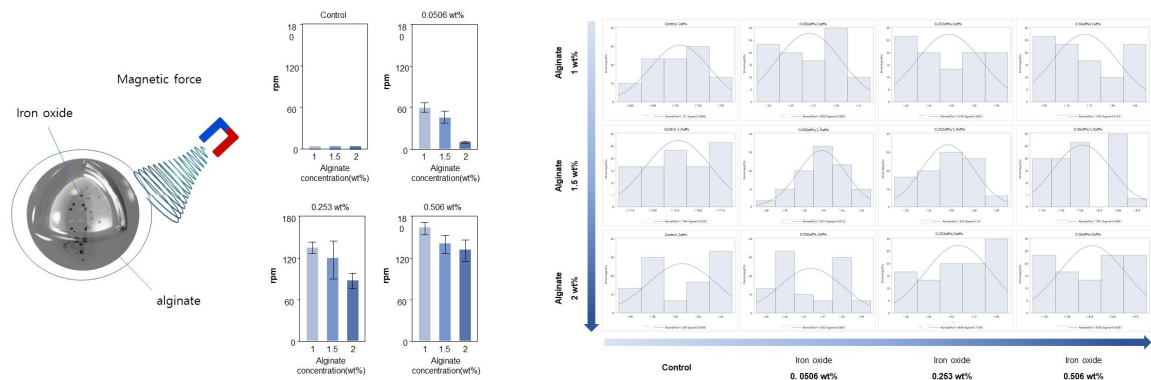
마. 생체재료 기반 농약 서방형 방출 플랫폼 개발 및 특성분석

(1) Alginate

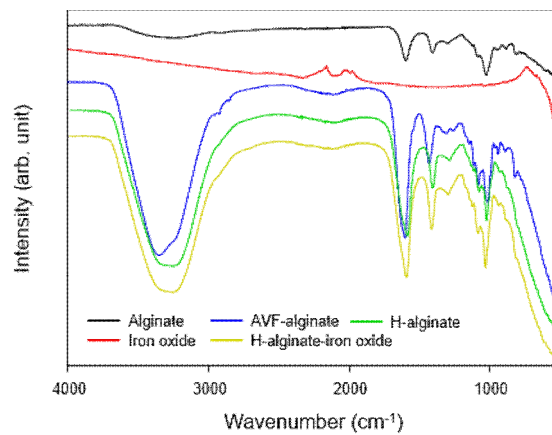


<Alginate 기반 micro-capsule과 농도에 따른 직경 분석>

- 갈조류에서 추출하여 빨리 경화되며 물에 녹지 않기 때문에 물의 온도에 따라 경화 시간을 조절할 수 있으며 원하는 점도로 제작이 용이함
- 본 연구에서는 calcium chloride와의 결합을 통해 capsule을 형성하였으며, alginate의 농도를 1, 1.5, 2 wt%로 다르게 설정하였음
- 다양한 농도에서 calcium chloride와 잘 결합했으며, 농도가 증가할수록 capsule의 직경도 증가하였음
- Magnetic force에 반응해 이동이 가능한 capsule을 제작하기 위하여 0.05, 0.25, 0.5 wt% Iron oxide를 용액에 추가하여 capsule을 제작함
- Iron oxide의 농도가 증가할수록 직경이 증가하였고, magnetic field를 주어 회전수를 측정하였더니, alginate의 농도가 증가할수록 회전수가 감소하였고, iron oxide 농도가 증가할수록 회전수는 크게 상승함
- 본 연구를 통해 alginate와 iron oxide의 농도를 조절해 capsule의 크기와 반응성을 조절할 수 있으며, 추후 온실내의 농약 서방형 방출 플랫폼으로 가능성을 확인함



<Iron-oxide의 농도에 따른 alginate microcapsule 회전수와 직경 분포>



<Alginate microcapsule (AVF system, syringe handling technique) 특성 분석>

- 아무 처리하지 않은 alginate는 carboxylate salt ion에 의해 1649 cm^{-1} 와 1460 cm^{-1} 에서 peak이 나타났으며, pyranosyl ring의 C-O stretching, C-C-H와 C-O-H 변형에 의해 C-O stretching을 1107 cm^{-1} 과 935 cm^{-1} peak을 확인함
- Iron oxide는 576 cm^{-1} peak은 iron에 의해 나타나며, 1620 cm^{-1} peak는 산화철 표면에 흡착된 물의 진동을 나타내며, 2354 cm^{-1} peak는 C-H stretching를 나타냄
- AVF-alginate, H-Alginate와 H-alginate-iron oxide는 공통적으로 $3000\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ peak에서 alginate의 O-H stretching를 나타내며 1649 and 1460 cm^{-1} peak에서 carboxylate salt ion에 의해 나타나는 peak가 나타남. 또한, AVF-alginate는 $2920\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ peak에서 aliphatic C-H stretching를 나타냄

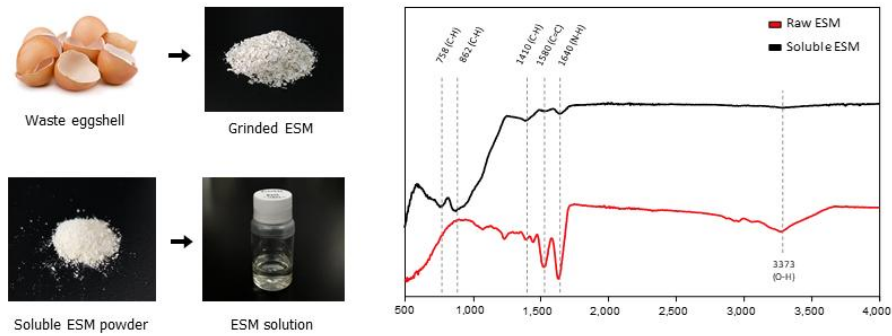
바. 생체재료 기반 농약 서방형 방출 플랫폼 개발 및 특성분석

(1) Eggshell membrane

- 버려지는 계란 껍질에서 얻은 난각막을 3-mercaptopropionic acid를 이용해 단백질 구조를 끊어 난각막 용액을 제작함
- 난각막 용액이 난각막이 가진 풍부한 화학 작용기를 유지하고 있음을 FT-IR 분석을 통해 확인함
- 특히 난각막의 아민 화학 작용기가 잘 유지되는 것을 확인하였고, 아미노산을 이용해 난각막 용

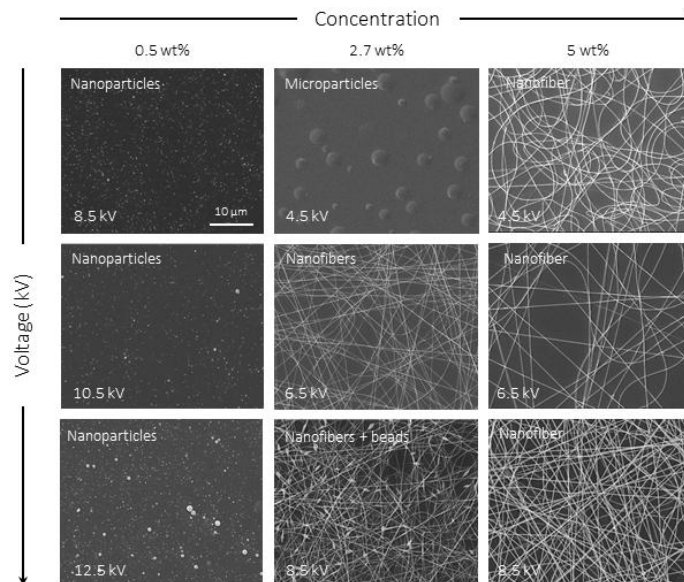
액을 제작하였기 때문에 700-900 cm^{-1} 에서 새로운 작용기가 확인됨

- 난각막 용액의 점도가 매우 낮기 때문에 물에 녹는 성질을 가진 PEO를 섞어 nanoparticle 제작함



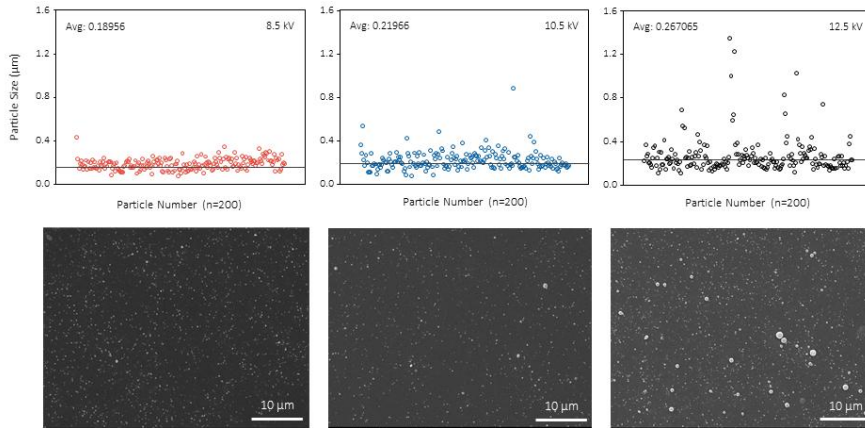
<Electrospray를 위한 난각막 기반 용액 제작과 화학 분석>

- Electrospray 조건은 다음과 같음: 0.5 wt%, 2.7 wt%, 5 wt% 농도의 난각막 용액, 4.5 ~ 12.5 kV의 전압, 0.1 ml/h의 flow rate, 15 cm의 분사 간격, 0.26 mm의 니들 직경, 21~25 도의 온도, 28~32%의 습도



<Electrospray를 이용한 다양한 난각막 기반 nanoparticle, nanofiber>

- 난각막 용액의 비율이 높을수록 nanoparticle이 제작되고 비율이 낮을수록 nanofiber를 확인함
- 농약 서방형 방출 플랫폼을 개발해야 하기 때문에, nanoparticle의 직경 분석 및 균일성을 확인함

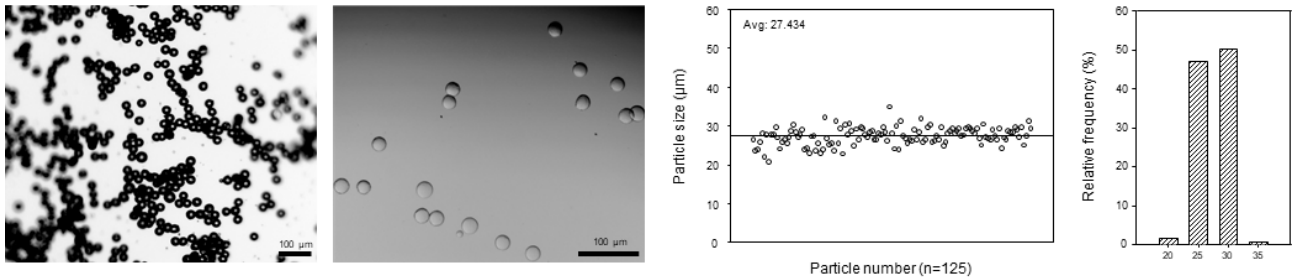


〈Nanoparticle 직경 및 균일도 분석〉

- Electrospray를 통해 가해지는 전압이 낮을수록 nanoparticle 사이즈의 균일성이 높았으며, 전압이 높을수록 nanoparticle 사이즈 균일성이 낮았음
- Eggshell membrane nanoparticle의 직경은 150~1300 nm로 제작되는 것을 확인하였고, 균일성을 고려하였을 때, 8.5 kV에서 제작된 nanoparticle이 평균 190 nm로 서방형 방출 플랫폼으로 가장 적합할 것이라고 예상됨

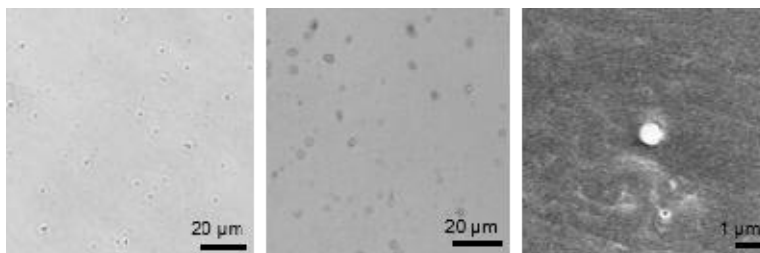
사. 생체재료 기반 농약 서방형 방출 플랫폼 개발 및 특성분석 - Gelatin

- 본 연구에서는 농약 서방형 방출 플랫폼을 gelatin (type A)을 AVF 시스템을 이용하여 제작하고, glutaraldehyde를 이용해 물에 쉽게 녹지 않는 microcapsule을 제작함



〈Gelatin microparticle (좌)과 팽윤된 gelatin microparticle (우), 직경 분포도〉

- 직경 분석을 시행하였을 때, 완전히 건조된 microcapsule은 20~30 µm의 균일한 직경을 가진 것으로 확인됨. 또한 물에 팽윤되었을 때도 그 균일함이 유지되는 것을 확인함

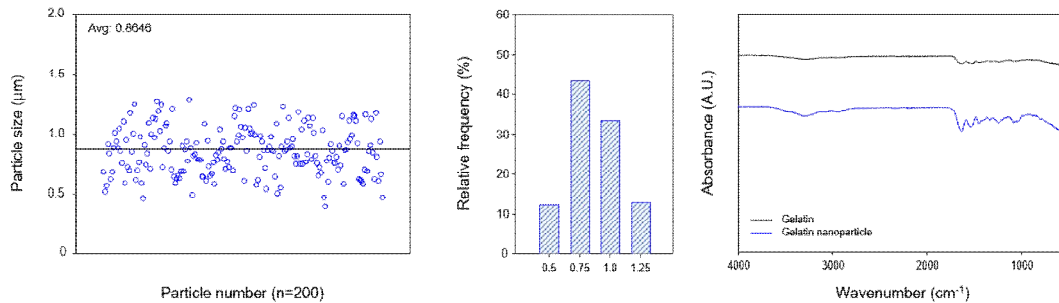


〈Gelatin nanoparticle 광학 현미경 사진 (좌, 중), 전자 현미경 사진 (우)〉

- 또한, nanoparticle을 제작하기 위하여 gelatin (type A)을 아세톤과 물을 이용해 침전시키고,

glutaraldehyde를 이용해 단백질을 가교하여 얻었음

- 직경 분석을 시행하였을 때 팽윤된 gelatin nanoparticle은 평균 800-900 nm의 직경을 가지는 것을 확인하였으며, 균일성이 어느 정도 유지되는 것을 확인함
- 제작된 nanoparticle이 아무 처리되지 않은 gelatin이 가진 풍부한 화학 작용기를 유지하고 있음을 FT-IR 분석을 통해 확인함

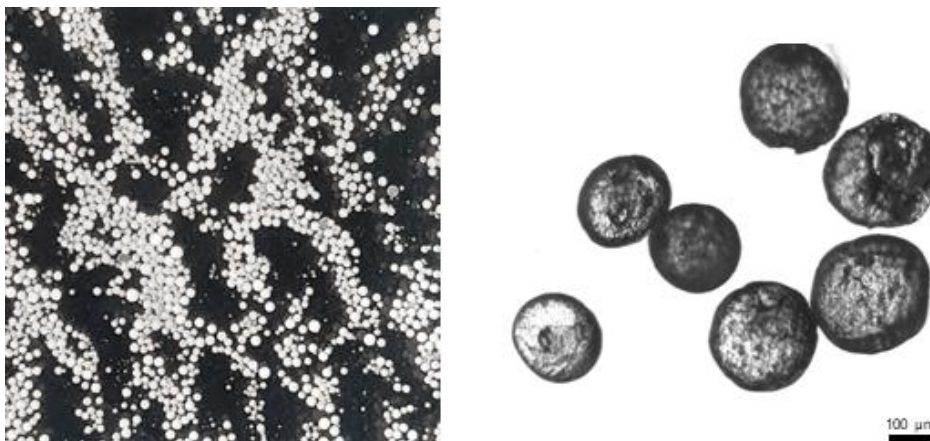


<Gelatin nanoparticle의 직경 및 균일성 분석과 화학 분석>

- Gelatin과 gelatin nanoparticle에서 공통적으로 amide I을 의미하는 1626 cm^{-1} peak과 amide II를 의미하는 1533 cm^{-1} peak, C=N stretching vibration에 의한 1447 cm^{-1} peak이 나타남
- Nanoparticle에서는 추가적으로 1335 cm^{-1} , 1238 cm^{-1} , 그리고 1037 cm^{-1} 의 peak들이 나타났는데, 이는 각각 C-C stretching, C-O stretching, C-OH stretching vibration을 의미하며, 이러한 peak들은 particle 형성 과정에서 첨가한 glutaraldehyde에 의해 나타난 것으로 보임

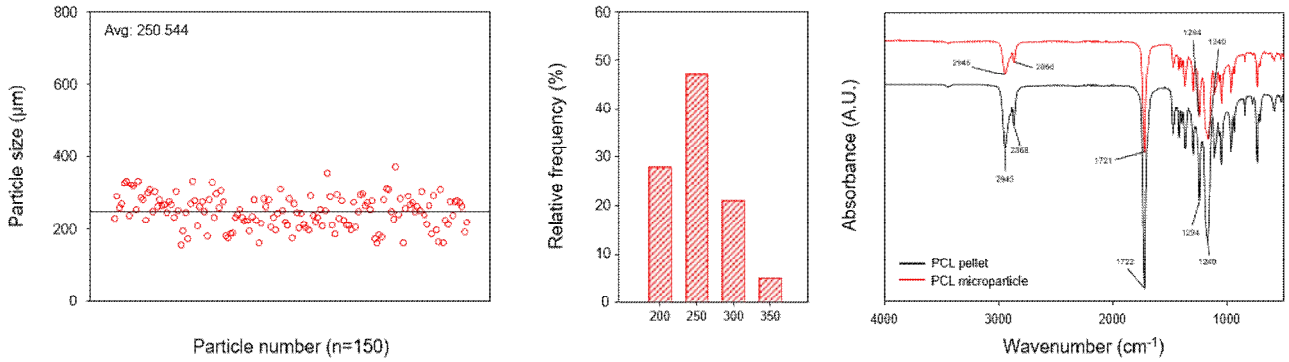
아. 생체재료 기반 농약 서방형 방출 플랫폼 개발 및 특성분석

(1) Polycaprolactone



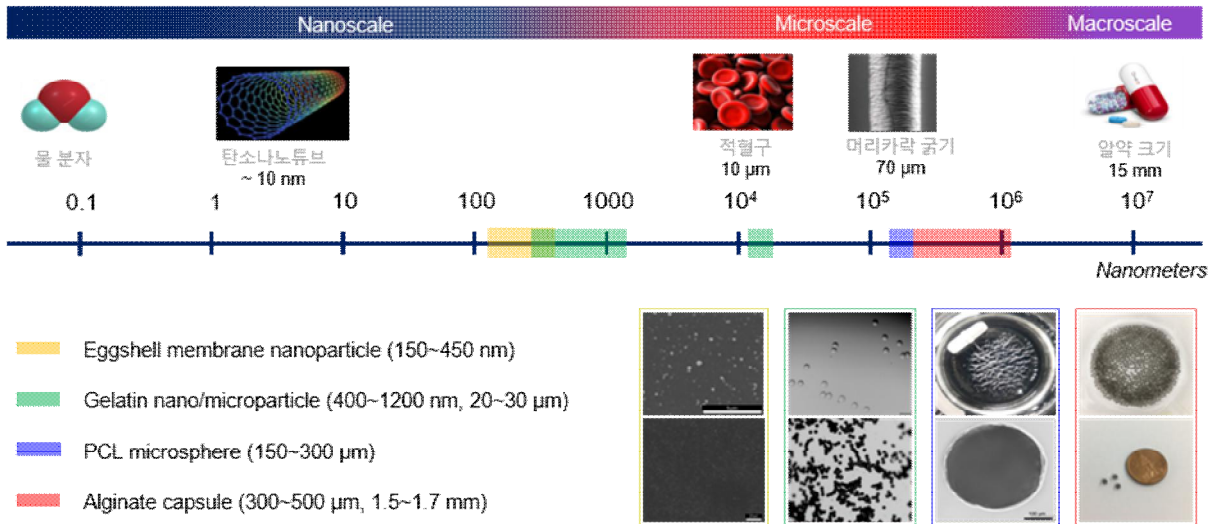
PCL 기반 microsphere 이미지

- PCL을 dichloromethane에 녹임으로써 PCL 용액을 만들고, 해당 용액을 PVA aqueous solution에 한 방울씩 천천히 넣어주어 microsphere을 제작함
- PCL solution을 투입할 때의 교반속도가 높을수록 작은 직경을 가진 microsphere가 제작됨을 현미경을 통해 확인함
- 제작된 PCL microsphere은 250 μm 의 평균 직경을 가지며 균일성이 가지는 것을 확인함



<PCL microsphere의 직경 분석과 화학 분석>

- PCL microsphere가 아무처리 되지 않은 PCL의 작용기를 유지하고 있음을 FT-IR 분석을 통해 확인할 수 있었으며, 공통적으로 2945 cm⁻¹, 2868 cm⁻¹, 1722 cm⁻¹, 1294 cm⁻¹, 1240 cm⁻¹의 peak들이 나타났는데, 이는 각각 asymmetric CH₂ stretching, symmetric CH₂ stretching, carbonyl stretching, C-O and C-C stretching, asymmetric COC에 의해 나타나는 peak임



<본 연구팀이 개발한 다양한 사이즈의 농업용 서방형 방출 플랫폼>

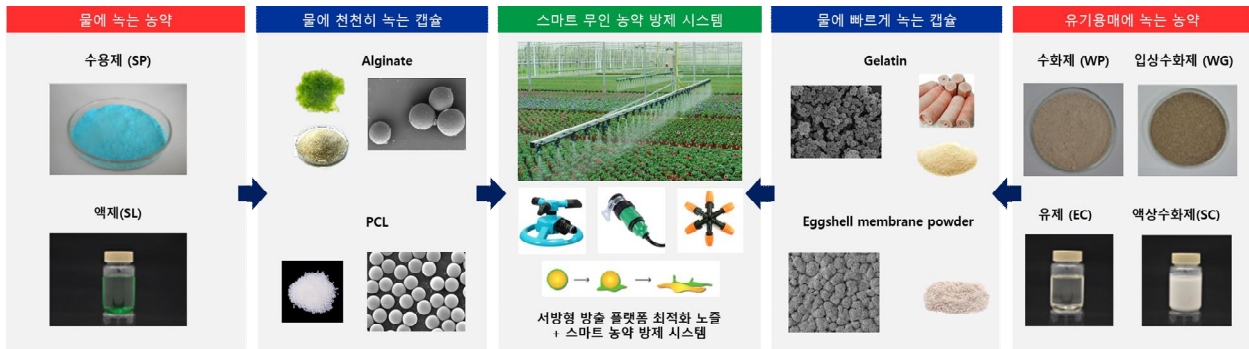
- 본 연구팀은 다양한 생체소재를 이용하여 나노스케일에서 마이크로스케일까지의 서방형 방출 플랫폼을 개발함
- 개발된 서방형 방출 플랫폼의 직경 분포는 다음과 같음. eggshell membrane nanoparticle - 150~450 nm, gelatin nanoparticle - 400~1200 nm, gelatin microcapsule - 20~30 μm, PCL microsphere 150~300 μm, alginate capsule - 300~500 μm, 1.5~1.7 mm

자. 화학 및 생물농약 서방형 방제를 위한 접근법 제시

- 농촌인구의 급격한 감소와 초고령화로 인한 농촌 노동력 부족현상으로 소량의 농약을 이용해 현장에 효과적으로 살포할 수 있는 시스템에 대한 필요성이 대두되고 있음
- 이에, 서방형으로 방출되어 약효를 조절하여 살포할 수 있는 제 3세대 제형의 플랫폼을 제시함
- 농약의 특성에 따라 물에 바로 녹는 약제는 alginate, PCL nanoparticle과 같이 상대적으로 녹는

속도가 느린 캡슐에 담지하고 유기용매에 녹는 약제는 gelatin, eggshell membrane nanoparticle과 같이 상대적으로 녹는 속도가 빠른 캡슐에 담지하여 보다 효과적으로 농약을 살포할 수 있는 방제 시스템을 구축할 수 있음

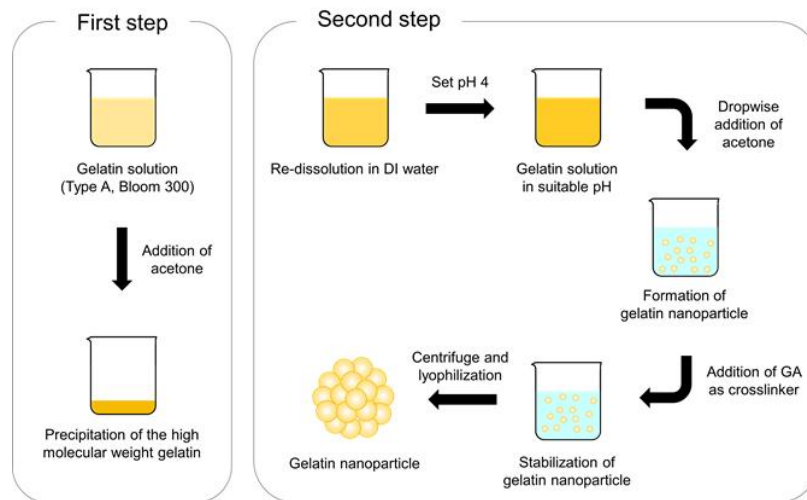
- 또한, 캡슐 및 particle 형태의 농약 제제를 통해 장기간 보관 가능성과 약제의 특성 유지, 우수한 물성을 유지하는 목적의 방제 시스템이 가능함



<개발된 서방형 방출 플랫폼을 이용한 스마트 무인 농약 방제 시스템 접근법>

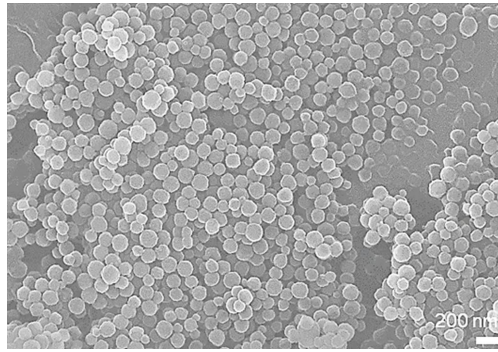
2. 서방형 방출 플랫폼을 활용한 생체 및 화학비료 방제 조절기술 개발

가. 생체재료 기반 농약 서방형 방출 플랫폼 기능성 평가 - Gelatin nanoparticle



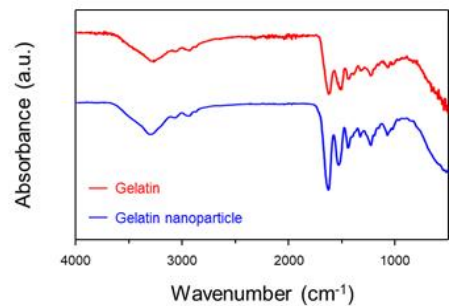
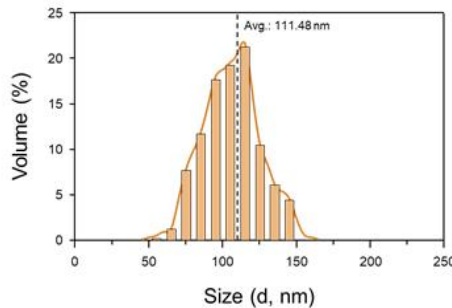
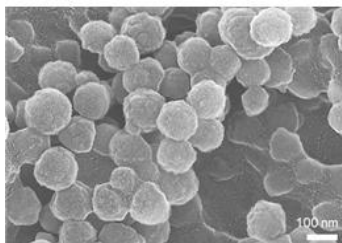
<젤라틴 나노캡슐 기반 서방형 방출 플랫폼의 제작 과정 및 모식도>

- 4차년도에 진행된 연구를 기반으로 젤라틴 나노캡슐을 서방형 농약 방출 플랫폼으로 선정함
- 젤라틴은 콜라겐으로부터 가수분해되어 얻어지는 소재로, 인체를 구성하고 있으며 온도에 따라 가역적으로 변화가 가능해 약물 담지 플랫폼으로 각광받고 있음
- 본 연구에서는 젤라틴 나노캡슐을 제작하기 위하여 type A (콜라겐을 산처리하여 추출), bloom 300의 젤라틴을 사용하였음
- 젤라틴 나노캡슐을 제작하기 위하여 two desolvation 기법을 이용하였으며, 아세톤과 물을 이용해 고분자량의 젤라틴만 모아 침전시키고, glutaraldehyde를 이용해 단백질을 가교하였음



<제작된 젤라틴 나노캡슐의 전자 현미경 확대 이미지>

- 젤라틴 나노캡슐의 구조를 우선적으로 확인하기 위하여 전자 현미경을 이용함
- 그림 2와 같이 젤라틴 나노캡슐이 대체로 균일한 크기를 가지며, 완벽한 구형을 가져 약물을 담지하기 용이한 구조를 가지는 것을 확인함



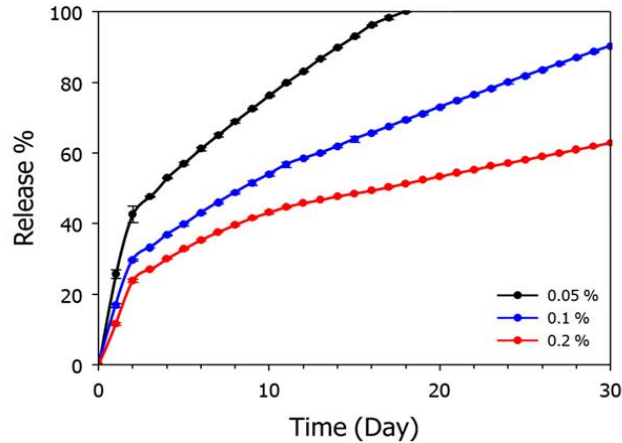
<제작된 젤라틴 나노캡슐의 특성 분석 - 구조적, 화학적 분석>

- 젤라틴 나노캡슐의 직경 크기를 분석하기 위하여 전자 현미경 이미지를 Image J 소프트웨어를 이용하였음
- 젤라틴 나노캡슐은 평균 111.48 nm의 직경을 가졌으며 50 nm ~ 150 nm의 직경을 가지며, 대체로 균일한 크기를 가지는 것을 확인함
- FT-IR 분석을 통해 제작된 젤라틴 나노캡슐이 젤라틴 화학적 작용기를 유지하고 있는지를 확인하였음
- 분석 결과 아무처리하지 않은 젤라틴과 젤라틴 나노캡슐에 공통적으로 amide I을 의미하는 1626 cm^{-1} peak과 amide II를 의미하는 1533 cm^{-1} peak, C=N stretching vibration에 의한 1447 cm^{-1} peak이 나타남
- 또한 젤라틴 나노캡슐에서는 추가적으로 1335 cm^{-1} , 1238 cm^{-1} 그리고 1037 cm^{-1} 의 peak들이 나타났는데, 이는 각각 C-C stretching, C-O stretching, C-OH stretching vibration을 의미하며, 이러한 peak들은 particle 형성 과정에서 첨가한 glutaraldehyde에 의해 나타난 것으로 보임



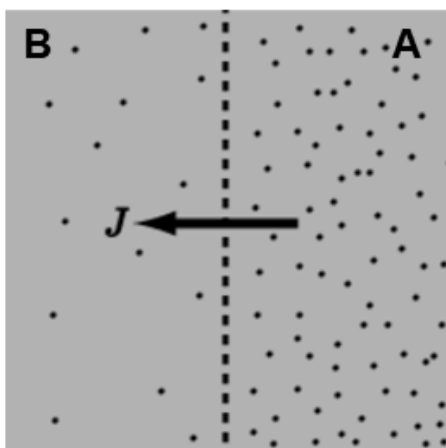
<시간에 따른 젤라틴 나노 캡슐의 모델 농약 방출 이미지>

- 젤라틴은 물에 존재할 때 팽윤되기 때문에, 약물을 효과적으로 내부로 담지할 수 있음. 그렇기 때문에, 제작된 캡슐형태의 젤라틴 나노캡슐에 모델 약물을 담지하여 방출 실험을 진행함
- 개발된 서방형 방출 플랫폼의 방출을 확인하기 위해서 일반적으로 약물의 방출 모델로 사용되는 trypan blue를 농약 모델로 설정함
- 초기 값을 설정하기 위하여 다양한 농도의 trypan blue를 이용해 0일차에서 나타나는 파장 강도를 spectrometer로 측정하고 control 값으로 설정함 (5반복의 평균값)



<농약 모델의 농도에 따른 서방형 방출 플랫폼 방출 경향>

- 원심분리 후에 고르게 방출된 농약 모델 (상등액)을 이용하여 파장 값을 측정함
- 농약 모델이 담지된 젤라틴 나노 파티클은 초기에 짙은 파란색을 띠며, 시간이 지남에 따라 농약 모델 방출에 의해 용액의 색이 점차 열리는 것을 확인함
- 약물 방출에 따른 용액의 색 변화를 정량적으로 분석하기 위해 spectrometer를 이용하여 595 nm의 파장에서 측정하였음
- 0day에 측정 하였던 control 값과 시간이 지남에 따라 측정된 파장 값을 비교하여 분석함
- 농약 모델이 담지된 서방형 방출 플랫폼의 농약 방출 속도를 확인하기 위해 다양한 농도의 농약 모델 방출 실험을 수행함
- 농약 모델의 농도가 높을수록 방출 속도가 느려졌고, 이를 통해 농약의 농도의 조절에 따라 농약의 방출 속도를 제어할 수 있다는 것을 확인함
- 특히 저농도 (0.05%)의 농약 모델이 담지된 경우 3주 내에 모든 농약이 방출되었음을 확인함



One-dimensional diffusion equation.

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2}$$

C_A Concentration of matter ($\text{mol} \cdot \text{cm}^{-3}$)

D_{AB} Diffusion coefficient from A to B ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

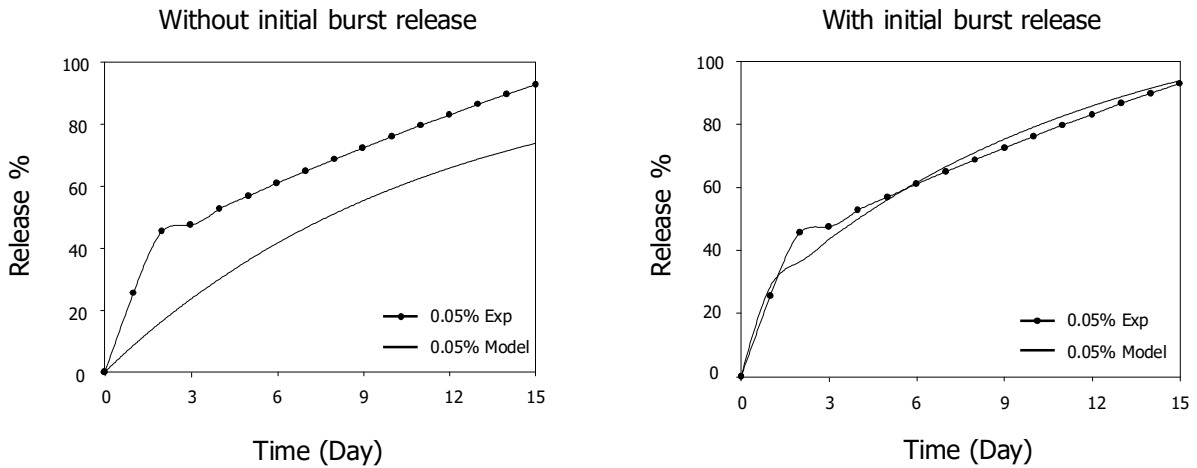
A The inside of the particles

B The outside of the particles (solution)

J Diffusion flux ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

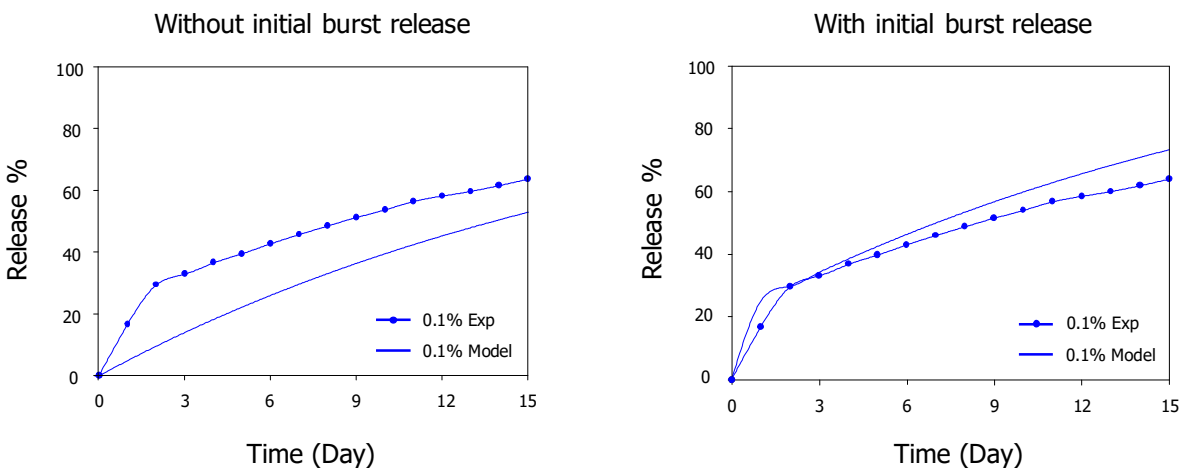
<모델링에 사용한 1차원 확산방정식 개념도와 수식>

- 픽스의 2법칙인 확산방정식을 이용하여 개발된 서방형 방출 플랫폼의 농약 모델 방출을 1차원적 모델링 진행함
- 픽스의 2법칙인 확산방정식은 픽의 제1법칙과 연속방정식으로부터 유도되는 밀도의 시간에 따른 변화를 나타내는 편미분 방정식으로 시간 변화에 따른 물질의 농도변화를 나타내는 식임
- 0~3일 사이의 방출 데이터를 기반으로 확산방정식으로부터 개발된 서방형 방출 플랫폼의 확산계수를 구하고 모델링을 진행함
- 모델링한 모델링 값과 실제 30일간 측정된 실제 측정값의 방출 경향을 비교함



<초기 방출을 고려하지 않은 (좌), 고려한 (우) 0.05% 젤라틴 나노캡슐 방출 모델링>

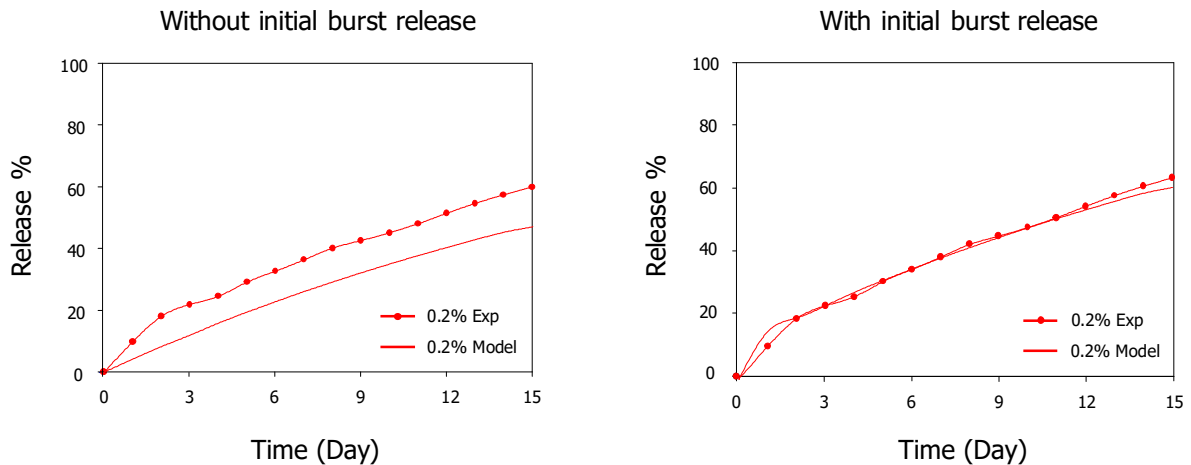
- 약물 방출 실험에서 제작된 젤라틴 나노캡슐은 1-3일차에서 초기 방출량이 크게 다른 것을 확인하여, 이를 고려한, 고려하지 않은 방출 모델링을 모두 진행함
- 0.05% 젤라틴 나노캡슐 모델링에서 초기 방출을 고려하지 않았을 때, 약 10-30%의 오차가 있는 것을 확인할 수 있었으며, 고려한 모델링은 실제 결과와 상당히 유사한 결과를 확인함
- 이는 저농도에서는 초기 방출을 고려해서 실험을 진행해야함을 보이며, 추후 모델링 실험을 진행할 때 고려하여 실험을 진행하고자 함



<초기 방출을 고려하지 않은 (좌), 고려한 (우) 0.1% 젤라틴 나노캡슐 방출 모델링>

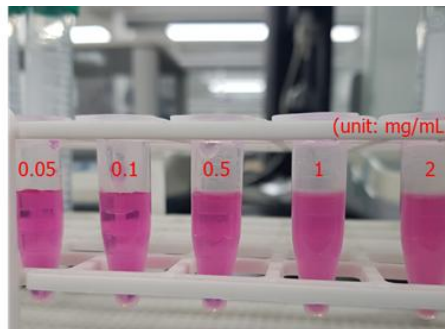
- 0.1% 젤라틴 나노캡슐 모델링에서도 초기 방출을 고려하지 않은 모델링은 약 10-20%의 오차가 있는 것을 확인할 수 있었음

- 반대로, 초기 방출을 고려한 모델링은 실제 방출 값과 유사함을 확인할 수 있음



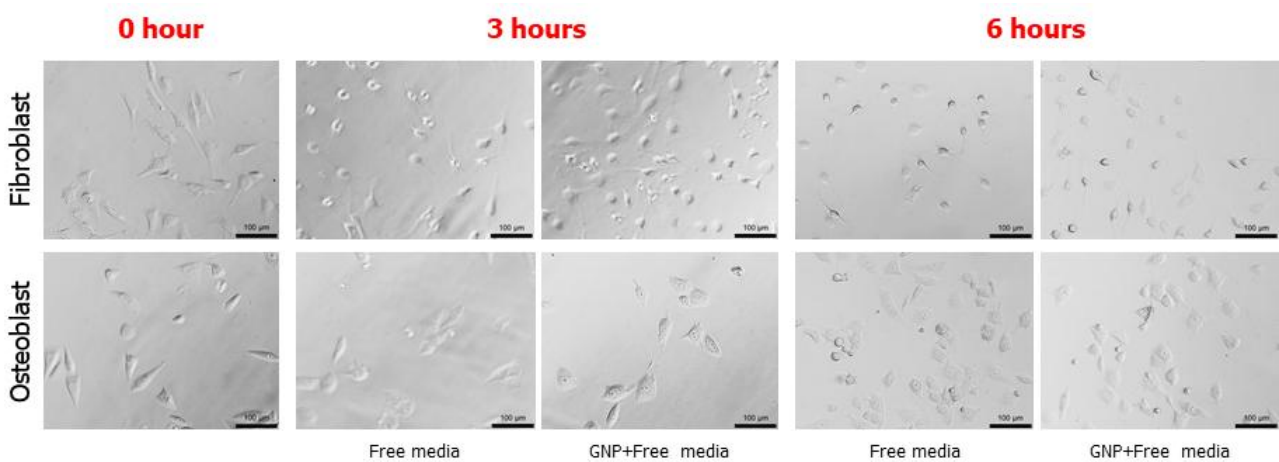
<초기 방출을 고려하지 않은 (좌), 고려한 (우) 0.1% 젤라틴 나노캡슐 방출 모델링>

- 0.2% 젤라틴 나노캡슐 모델링은 저농도 (0.05%), 중농도 (0.1%)보다 초기 방출을 고려하지 않은 모델링이 작은 차이를 보였음
- 또한, 초기 방출을 고려한 모델링에서 실제 결과와 거의 유사한 결과를 보이는 것을 확인함
- 확산 방정식을 이용한 모델링이 실제 결과값과 유사한 결과를 보이는 것을 확인하였고, 이러한 모델링을 진행할 때 초기 방출 값을 고려해야함을 확인함



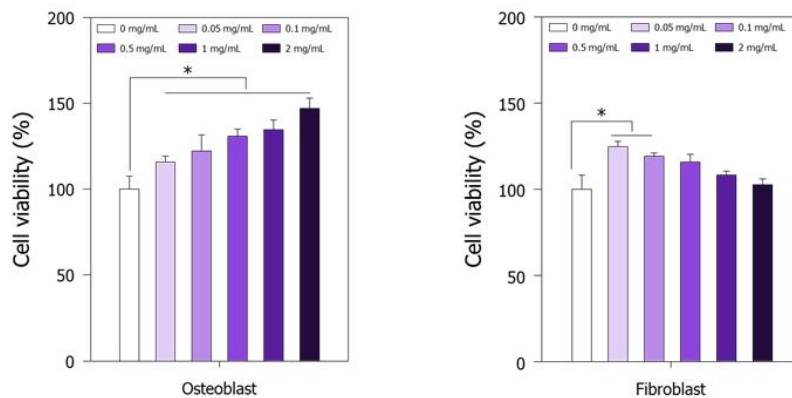
<독성 평가용 젤라틴 나노캡슐 세포 배지 제작>

- 개발된 젤라틴 나노캡슐의 유효성 평가를 위해 세포 독성 평가를 진행함
- 다양한 농도의 젤라틴 나노캡슐을 무혈청 배지에 혼합하여 독성 평가용 젤라틴 나노캡슐 세포 배지를 제작함
- 제작된 독성 평가용 젤라틴 나노캡슐 세포 배지에 세포를 배양한 후 24시간 뒤의 세포 생존율을 측정하여 세포 독성을 측정함
- wst-1 용액을 배양된 세포에 주입 후에 spectrometer를 이용해 540 nm 파장에서 세포 생존율을 분석함
- 세포 생존율을 측정하기 앞서, 시간에 따른 세포의 구조를 확인하기 위하여 무혈청 배지를 주입 3시간, 6시간 후 현미경을 이용해 세포 이미지를 촬영함



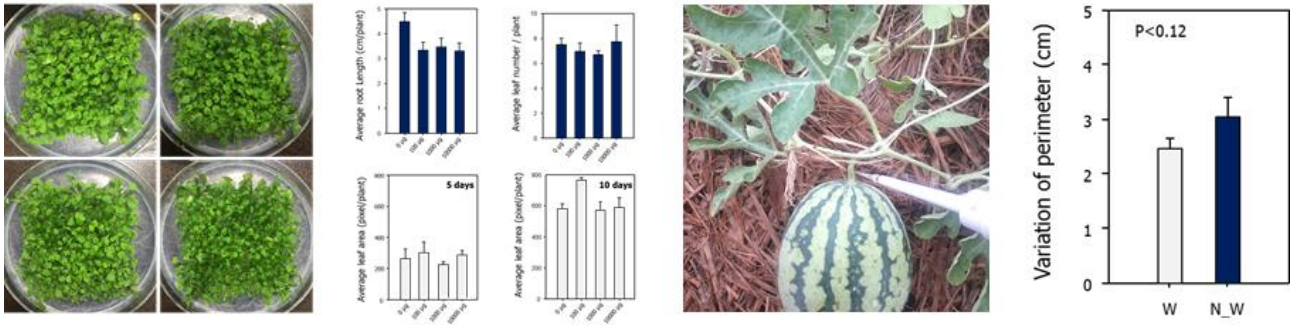
<시간에 따른 섬유아세포, 골아세포 이미지>

- 시간이 흐를수록 세포의 모양이 동그랗게 변하며, 점차 부착되어 있는 세포의 양이 줄어드는 것을 확인할 수 있음
- 젤라틴 나노캡슐이 포함된 무혈청 배지에 세포가 존재할 때 오히려 더욱 부착한 부분이 넓고 기존 모양을 보다 오래 유지하고 있음을 확인할 수 있음
- 이러한 세포 구조의 변형이 있어서는 골아 세포보다 섬유아세포의 변형이 큰 것을 보임



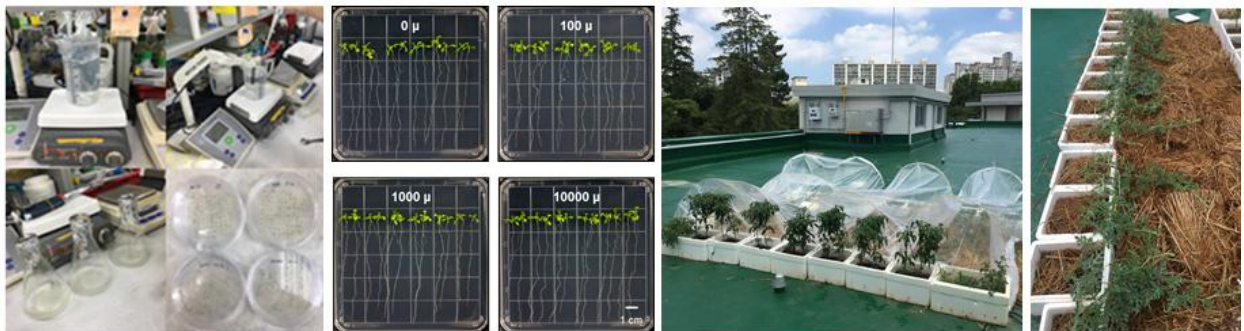
<젤라틴 나노캡슐 농도에 따른 세포 독성 평가>

- 배양 배지에 포함된 젤라틴 나노캡슐은 세포 종류에 관계없이 세포 생존에 긍정적인 영향을 주는 것을 확인함
- 골아세포의 경우 더 높은 농도의 젤라틴 나노캡슐이 존재할 때 세포 생존률이 높으며, 섬유아 세포는 반대의 경향이 나타났음
- 특히, 고농도 (2 mg/ml)의 젤라틴 나노캡슐에 노출되었을 때도 독성이 거의 나타나지 않음을 확인할 수 있었음
- 이는, 제작된 젤라틴 나노캡슐 서방형 방출 플랫폼이 생체적합한 젤라틴 소재로 제조되었기 때문 이라고 사료됨



<나노과티클 기반 식물 및 작물 성장·생육 촉진 기술 개발>

- 탄소기반 나노물질인 그래핀의 농도를 다르게 설정하여 모델식물과 작물의 성장·생육을 확인하였음
- 모델 식물에는 아가 배지와 접목해 간접적으로 실험에 적용하였으며, 주입 10일 후 식물의 뿌리 길이, 잎의 넓이를 측정하였음
- 모델 작물에는 수박 줄기에 직접 주입을 하여 2주 후 수박의 둘레 차이를 측정하였음
- 모델 식물과 모델 작물 테스트 플랫폼에서 모두 나노 물질의 농도에 따라 민감히 모델 식물의 성장 생육이 달라지는 것을 확인하였으며, 나노 물질이 존재할 때 식물 및 작물의 성장·생육이 다소 높아지는 경향을 확인할 수 있음
- 이는, 적절한 나노소재의 농도의 중요성을 보여주며, 나노 소재를 이용하여 식물 및 작물의 성장·생육을 어느정도 조절할 수 있음을 확인함

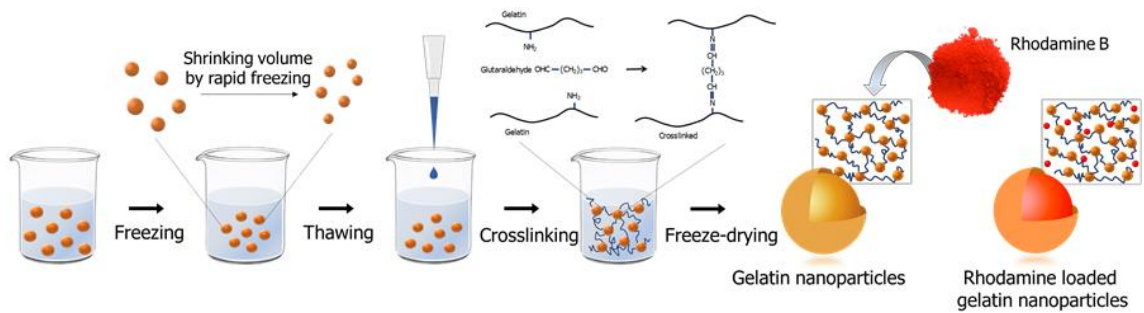


<제작된 서방형 방출 플랫폼을 식물에 적용할 수 있는 테스트 플랫폼 구축 및 평가>

- 6차 연도에 연구를 진행하기 앞서 평가를 진행할 수 있는 테스트 플랫폼을 구축하고 성능을 평가하였음
- 당해 연도에는 모델 식물을 애기장대, 모델 작물을 수박으로 선정하였으며, 애기장대의 아가배지 플랫폼과 수박의 토양재배 플랫폼을 구축함
- 농약의 직접 살포와 살포된 후 토양 내 잔류하는 농약의 효과를 확인하기 위하여 2가지 플랫폼 모두 구축하였음

3. 서방형 방출 플랫폼을 활용한 작물 성장·생육 촉진 기술 개발

가. 형광 이미지를 이용한 서방형 자동 플랫폼의 분포 분석



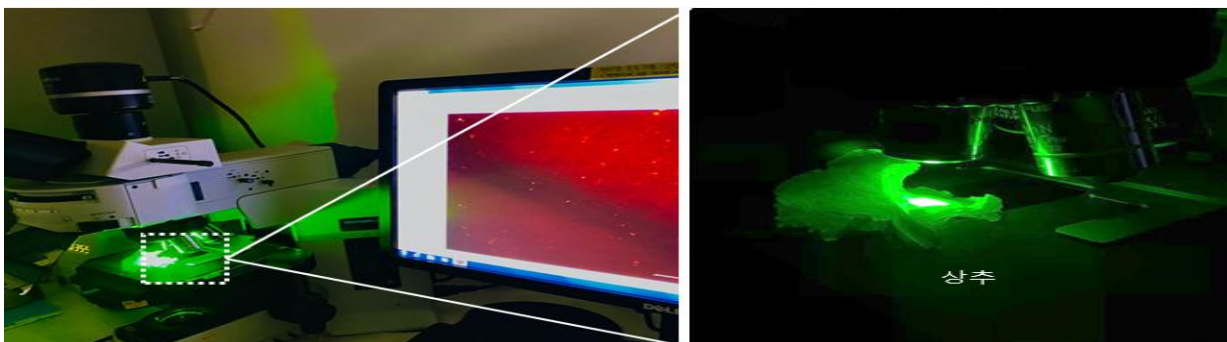
〈젤라틴 나노캡슐 기반 형광 물질 담지 과정 및 모식도〉

- 4-5차년도에 진행된 연구를 기반으로 젤라틴 나노캡슐을 서방형 농약 방출 플랫폼으로 선정함
- 젤라틴은 콜라겐으로부터 가수분해되어 얻어지는 소재로, 인체를 구성하고 있으며 온도에 따라 가역적으로 변화가 가능해 약물 담지 플랫폼으로 각광받고 있음
- Glutaraldehyde를 이용하여 젤라틴 나노캡슐을 완전히 가교시킨 후 동결 건조를 진행함
- 젤라틴 나노캡슐의 분포를 확인하기 위하여 형광 물질로 알려진 Rhodamine을 담지함
- 5차년도의 연구 결과를 기반으로 약물 초기 방출을 고려해 워싱 3회 후 젤라틴 나노캡슐을 실험에 사용함



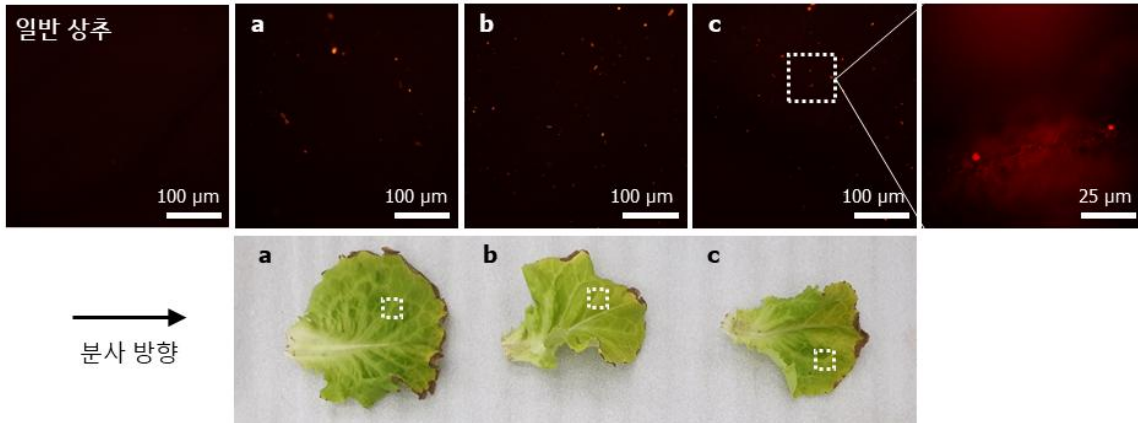
〈형광 물질이 담지된 젤라틴 나노캡슐과 모델 작물 상추〉

- 젤라틴 나노캡슐을 1 mg/ 10 ml로 희석하여 사용함
- 젤라틴 나노파티클의 부착 분포도를 확인하기 위하여 모델 작물을 상추로 선정하였음
- Rhodamine이 담지된 젤라틴 나노캡슐을 분무기를 이용하여 1회씩 분무를 진행함
- 젤라틴 나노캡슐이 담긴 용액을 30 cm의 상단에서 모델 작물을 향해 분사를 함



〈형광 이미지 분석 과정〉

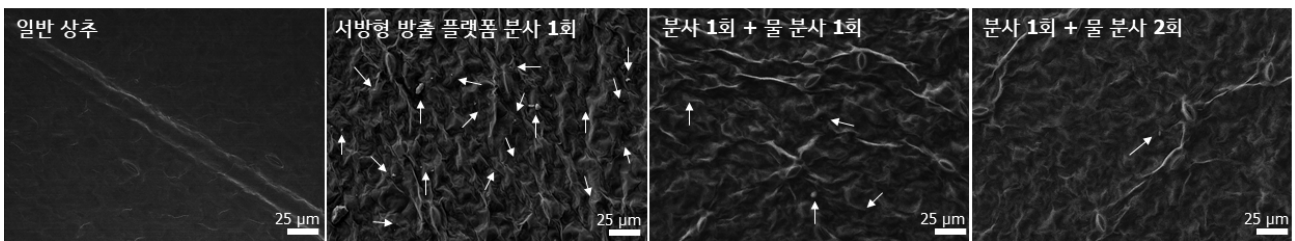
- 상추 표면에 수분이 완전히 건조된 후 (약 30분 후), 형광 현미경을 이용하여 젤라틴 나노캡슐의 분포를 확인함
- 상추 표면이 현미경이 향하게 한 후, 700-800 nm의 파장을 이용해 형광 이미지를 확인함



<젤라틴 나노캡슐 분무 과정과 형광 이미지 분석 과정>

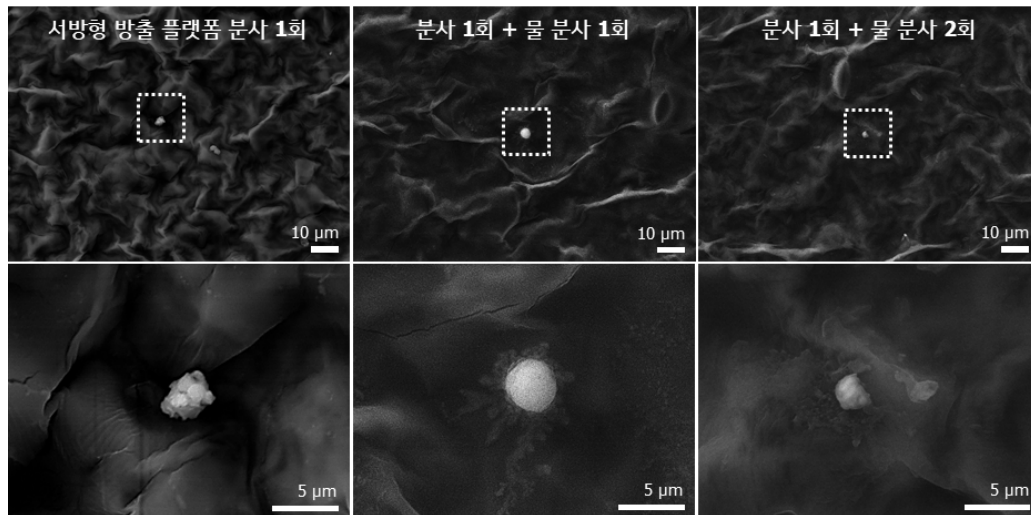
- 아무 처리하지 않은 상추와는 다르게 젤라틴 나노 캡슐을 분사한 상추 표면에 형광이 더욱 발현 되는 것을 확인할 수 있음
- 형광 현미경으로는 저배율 확인만 가능하며, 어느 정도 뭉쳐있는 젤라틴 나노 캡슐을 확인함
- 젤라틴 나노파티클이 어느 정도 크기를 유지하고 있으나, 뭉쳐 있는 형태로 존재함을 확인함
- 분사거리에 따라서 상추 표면에 부착되어 있는 젤라틴 나노파티클의 평균 크기에 차이가 있음을 확인할 수 있었음
- 확대된 이미지를 통해 젤라틴 나노파티클이 상추 표면에 어느 정도 부착이 잘 되어 있는 것을 확인함
- 젤라틴 나노파티클의 부착을 확인하기 위하여 고배율로 촬영이 가능한 전자현미경 분석을 함

나. 전자 현미경 이미지를 이용한 서방형 자동 플랫폼의 부착 및 용출 분석



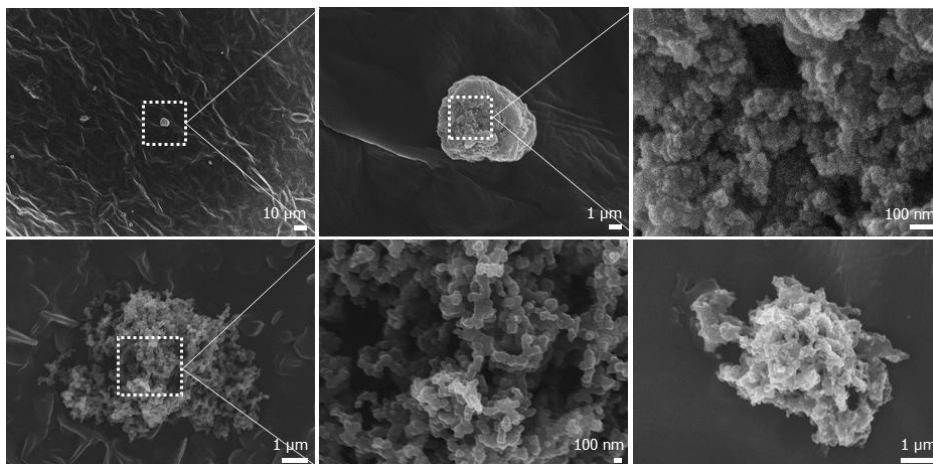
<젤라틴 나노캡슐 부착 전자 현미경 이미지 (저배율)>

- 젤라틴 나노파티클이 물 분사 이후에도 부착이 되어 있는지를 확인하기 위하여 젤라틴 나노파티클 분사 후, 물 분사 1, 2회를 실시함
- 깨끗한 표면을 가진 일반 상추와 다르게 젤라틴 나노파티클을 분사한 상추에는 보다 거친 표면을 가지고 있음을 확인함
- 저배율에서는 뭉쳐 있는 젤라틴 나노파티클만 확인이 되나, 확대를 하였을 때 작은 크기의 젤라틴 나노파티클이 잘 부착되어 있음을 확인함
- 물 분사 후에 표면에 건조된 젤라틴 나노파티클의 형태가 어느 정도 사라지는 것을 확인할 수 있었음



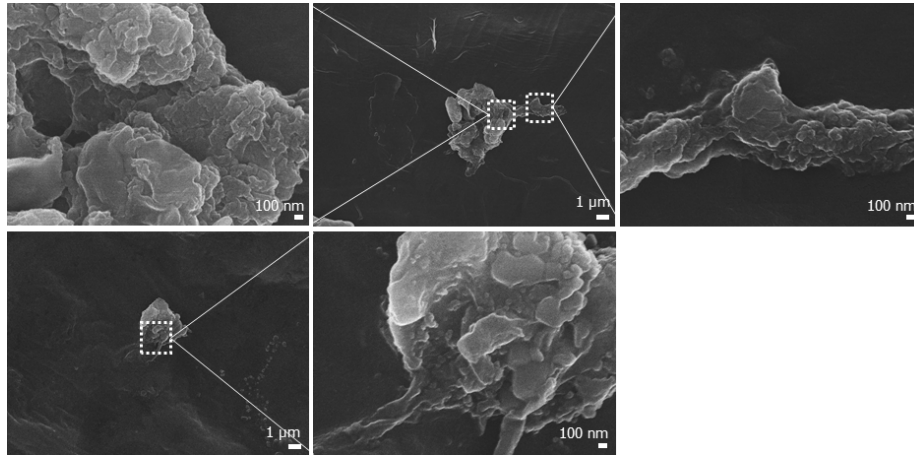
<젤라틴 나노캡슐 부착 전자 현미경 이미지 (고배율)>

- 젤라틴 나노파티클의 부착 및 용출을 확인하기 위하여 고배율로 확대하여 이미지를 얻음
- 물 분사 2회에도 젤라틴 나노파티클이 상추 표면에 부착이 되어 있음을 확인함
- 물의 분사 여부에 따라서 젤라틴 나노파티클이 용해되어 표면에 녹아 있는 자국을 확인할 수 있었음
- 젤라틴 나노파티클이 물 분사에 따라 용해가 되고 표면에 남아있어 서방형 방출이 계속 가능한 것을 확인함



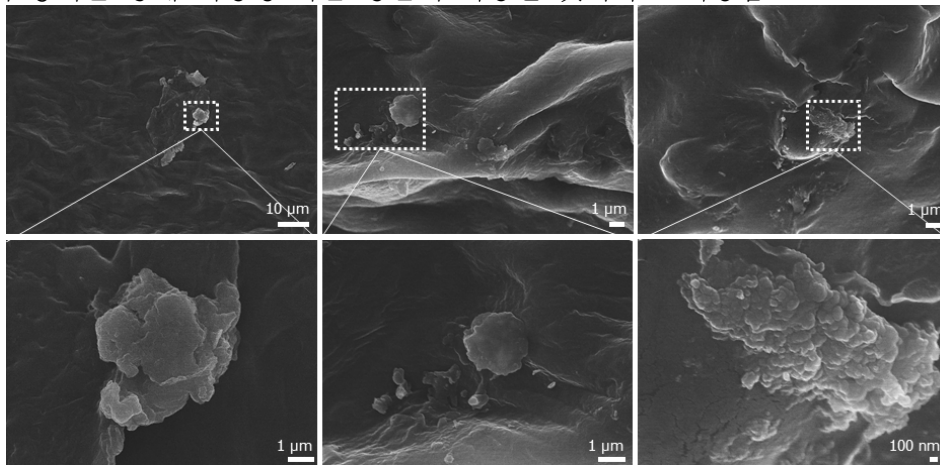
<젤라틴 나노파티클 부착 고배율 전자 현미경 이미지>

- 젤라틴 나노파티클이 부착 후에도 나노 캡슐 형태를 유지하고 있는지 확인하기 위하여 FE-SEM 을 이용하여 고배율의 전자 현미경 이미지를 얻음
- 상추 표면에 부착된 젤라틴 나노파티클을 확대하니, 기존에 제작된 젤라틴 나노 캡슐의 형태를 유지하고 있는 것을 확인함



<물 분사 1회 후, 젤라틴 나노파티클 용출 고배율 전자 현미경 이미지>

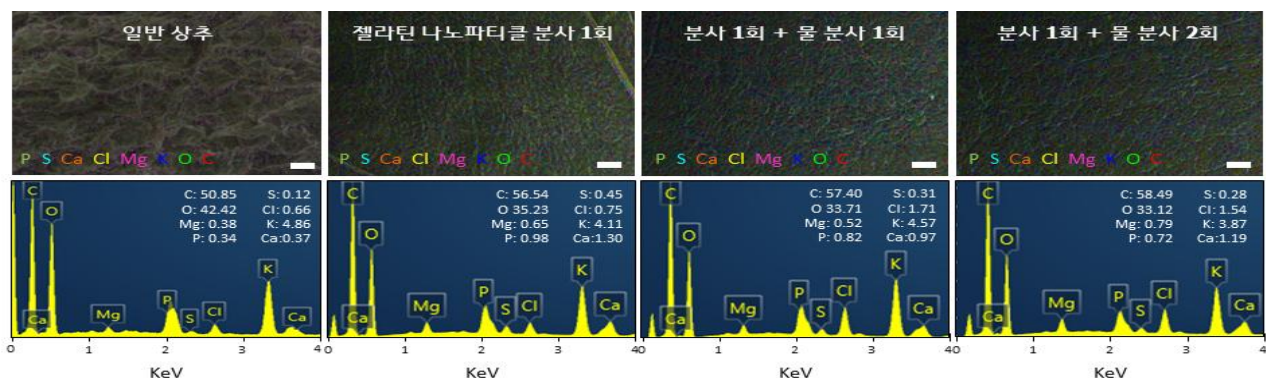
- 물 분사 1회가 진행된 후에도 젤라틴 나노파티클이 상추 표면에 잘 부착되어 있었으며, 젤라틴 나노캡슐이 용해되며 기존 형태를 살짝 잃고 흐르거나 흩어져 있는 모습을 확인할 수 있었음
- 이러한 형태 붕괴를 통해 서방형 약물 방출이 가능할 것이라고 예상됨



<물 분사 2회 후, 젤라틴 나노파티클 용출 고배율 전자 현미경 이미지>

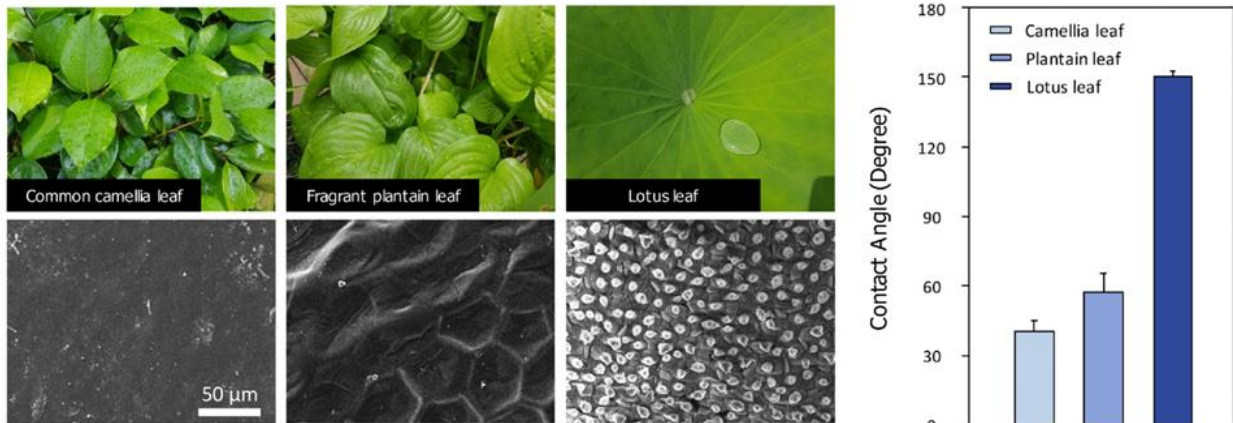
- 물 분사 2회 후, 젤라틴 나노파티클의 모양이 거의 사라지거나, 부분부분 용해되어 있음을 확인할 수 있음
- 젤라틴 나노파티클이 용해되어 있으나, 상추 표면에 더욱 단단히 부착되어 있음을 확인함

다. EDX analysis를 이용한 서방형 자동 플랫폼의 부착 및 용출 분석



<젤라틴 나노파티클 부착 및 용출의 화학적 분석>

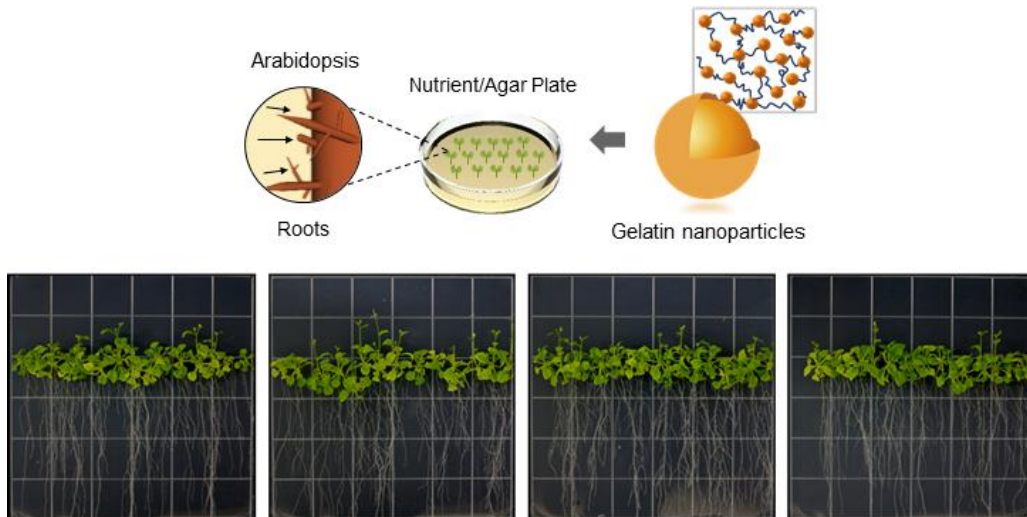
- 젤라틴 나노파티클의 분사 후 원소 분포에 차이가 있는지를 확인하기 위하여 EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) analysis를 실시함
- 젤라틴 나노파티클의 분사 유무에 따라서 C (탄소) 함량이 높아지고 O (산소) 함량이 낮아짐을 확인함
- 젤라틴 나노파티클의 소재인 젤라틴의 영향으로 상추 표면의 탄소 함량이 다소 높아진 것을 확인함
- 물의 분사 유무에 따라서는 큰 차이는 없어 젤라틴 나노파티클이 작물 표면에 부착되어 쉽게 떨어지지 않고 잘 부착되어 있음을 확인할 수 있었음



<실제 식물의 전자현미경 구조 분석, contact angle 측정 >

- 실제 식물의 표면은 다양한 구조를 가지며, 물에 대한 다른 특성을 가지므로 이를 이해하고 젤라틴 나노파티클을 적용하는 것이 중요할 것이라 예상됨
- 예를 들어, 식물의 표면의 구조를 확인해 보았을 때, 동백나무의 잎의 경우 평편한 표면을 가지고 있는 반면, 연잎의 경우 마이크로/나노의 계층적인 구조를 가지고 있음을 확인함
- 이와 같은 구조와 표면의 성분 차이로 인해, 물에 대한 젖음성에 차이가 있음을 확인할 수 있음
- 각 잎의 contact angle을 측정하였을 때, 동백나무 잎은 40.48° , 옥잠화 잎은 57.82° , 연잎은 150.90° 로 초소수성을 가짐
- 각 식물의 표면 구조와 특성을 이해하고 젤라틴 나노파티클을 적용하는 것이 매우 중요할 것으로 여겨짐

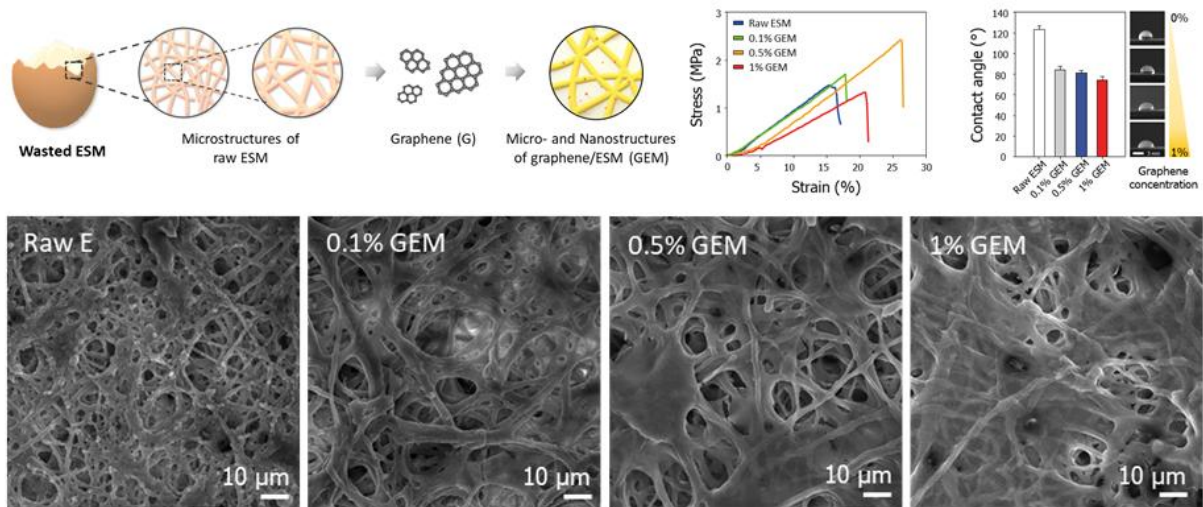
라. 젤라틴 나노파티클의 방제효과/생장·생육효과 확인



<젤라틴 나노파티클 기반 모델 작물 성장·생육 분석>

- 개발된 젤라틴 나노파티클에 대한 성장·생육 확인을 위하여 모델식물로 애기장대를 이용함
- 젤라틴 나노파티클의 농도를 다양하게 설정하여 모델식물의 성장·생육 실험
- 추가적으로 모델 작물을 이용한 젤라틴 나노파티클의 방제효과를 확인하기 위하여 모델작물 상추와 진딧물을 설정하여 실험

마. 서방형 방출 소재 개발을 위한 난각막 기반 나노 플랫폼 개발

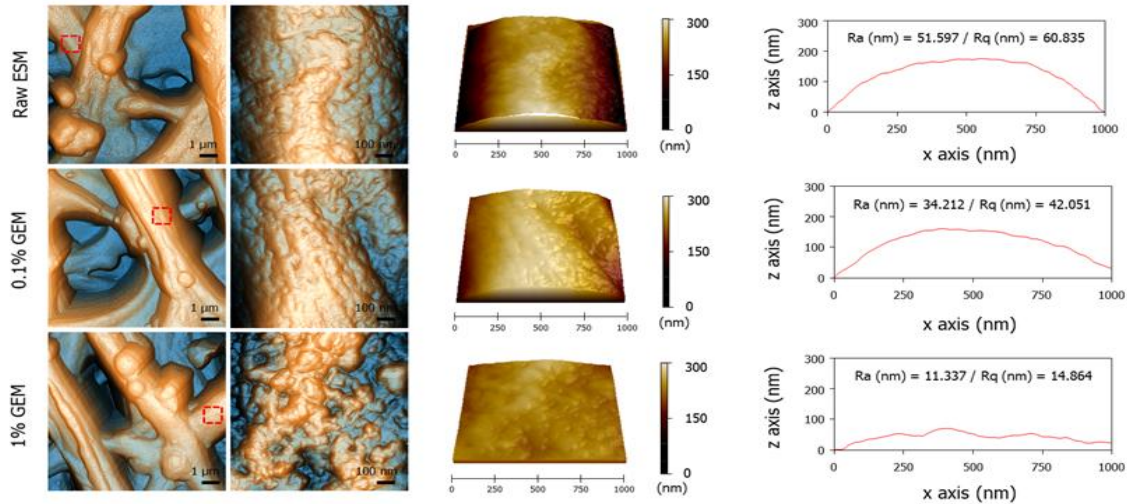


<난각막 기반 나노 플랫폼 개발>

- 나노 플랫폼의 농도에 따른 부착 최적화 조건 확립을 위해 농도를 0, 0.1, 0.5, 1%로 설정함
- 농도에 따라서 물질의 강도가 달라지며 농도가 높아질수록 강도가 증가하다 감소하는 경향을 확인함
- 농도가 높아질수록 표면의 친수성이 증가하며, water contact angle 값이 감소하는 것을 확인할 수 있음
- 농도에 따라서 표면에 코팅되는 나노 물질의 양이 많아지며, 기공 사이사이에 코팅되는 것을 확인함
- 나노 플랫폼의 농도에 따른 나노물질 부착 최적화 조건 확립을 위해 AFM (atomic force

microcopy) 분석을 실시함

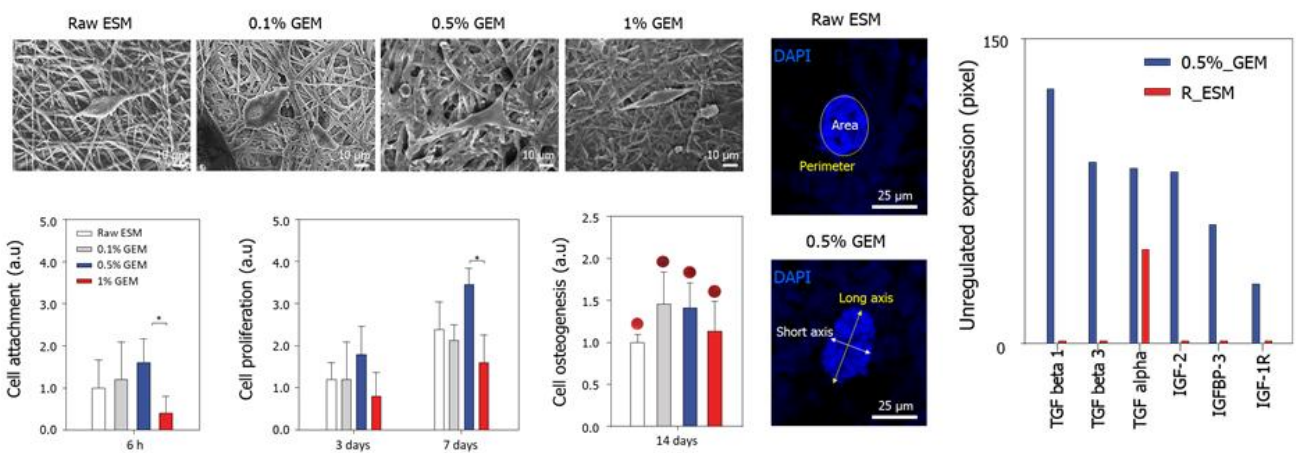
- 나노 수준으로 확대하였을 때 농도가 높아질수록 표면에 코팅되는 양이 많아져 기존 표면보다 거칠기가 낮아짐을 확인함
- 기존의 난각막 구조를 어느 정도 유지하기 위해서는 1% 이내의 적당한 농도로 코팅하는 것을 확인함



<난각막 기반 나노 플랫폼의 나노물질 부착 분석>

바. 나노 플랫폼이 부착된 기관을 이용한 세포 독성 평가 - 생체적합성

- 나노 플랫폼이 부착된 기관을 이용하여 치주유래 줄기세포 기반 세포 독성 평가를 진행함
- 개발된 난각막 기반 나노 플랫폼에 세포를 배양하고 6시간 후 세포 부착, 3일, 7일 증식, 14일 분화능을 확인함
- 세포 배양 6시간 후, 나노 물질의 농도에 따라 세포 부착에 차이가 있음을 확인할 수 있었음



<난각막 기반 나노 플랫폼의 세포 독성 및 생체적합성 평가>

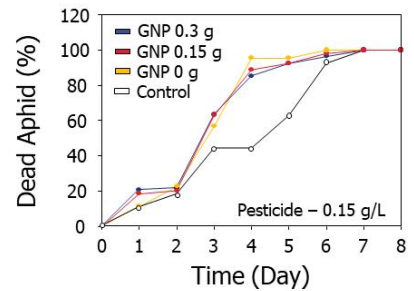
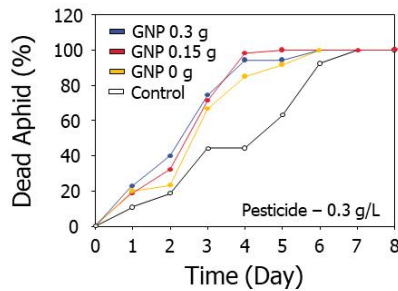
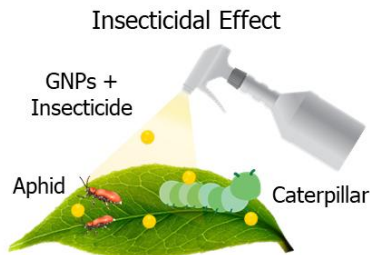
- 나노 물질의 농도가 높아질수록 세포의 부착이 어느 정도 증가하다가 1%의 나노 물질 농도에서 부착이 억제되는 것을 확인할 수 있음
- 이는 높은 농도의 나노 물질에서는 세포의 부착을 억제하고 세포 모양과 기능에 영향을 미칠 수 있음을 보임
- 3일, 7일 후 세포의 증식에 있어서도 부착과 유사한 결과를 확인할 수 있었으며, 나노 물질의 농

도가 너무 높을 때는 세포의 증식이 오히려 줄어들어 추세를 확인할 수 있었음

- 반대로 0.5%의 적당한 농도에서는 세포의 부착과 증식이 모두 활성화 되는 것을 확인할 수 있음
- 세포의 분화에서는 0.1%, 0.5%의 나노 물질 농도에서 촉진되는 것을 확인할 수 있었으며, 나노 물질이 존재할 때 세포의 분화능이 더욱 증가하는 것을 확인할 수 있었음
- 나노 물질의 농도에 따라서 세포의 부착 정도가 달라지며, 표면에 존재하는 나노 물질의 영향에 따라 부착된 세포 모양이 달라짐
- 구체적으로, 나노 물질로 인한 친수성이 증가해 세포의 부착이 촉진되며, 나노 물질의 구조적, 화학적 자극이 세포의 모양에 영향을 미치게 됨
- 결과적으로 세포의 기능이 활성화되고 세포가 내뿜는 성장인자 분비가 촉진되어 주변 세포의 기능 또한 활성화되는 것을 확인함
- 즉, 서방형 농약 방출뿐만이 아니라 작물의 성장 및 생육을 촉진시키는 원천소재 플랫폼 개발을 지속적으로 하고자 함

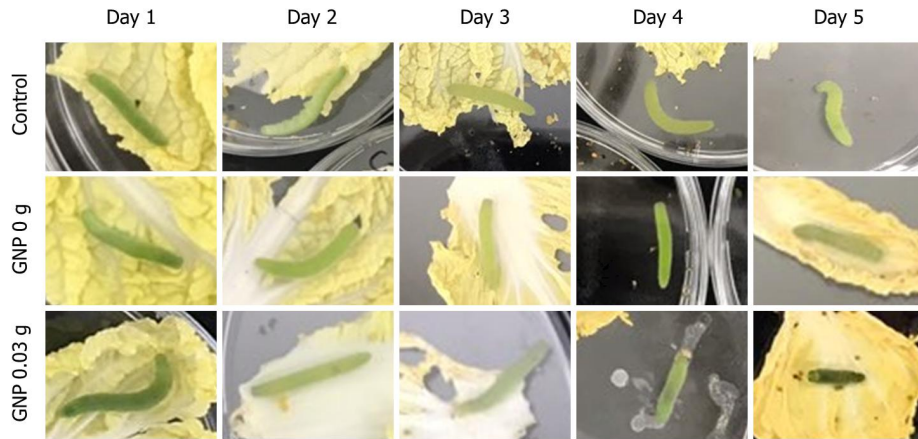
4. 생체재료 기반 서방형 농약 방출 플랫폼 기능 평가

- 젤라틴 기반 서방형 방출 플랫폼은 작물 잎의 표면에 잘 부착할 수 있으며, 용출 효과를 통해 농약을 서방형으로 방출하고 효과를 지속시킬 수 있었음
- 이를 기반으로, 젤라틴 농약 (제초제, 살충제) 서방형 방출 플랫폼을 모델 작물/해충 (고추진딥물, 배추흰나비 애벌레, 잡초 등)에 적용해 효능을 확인함



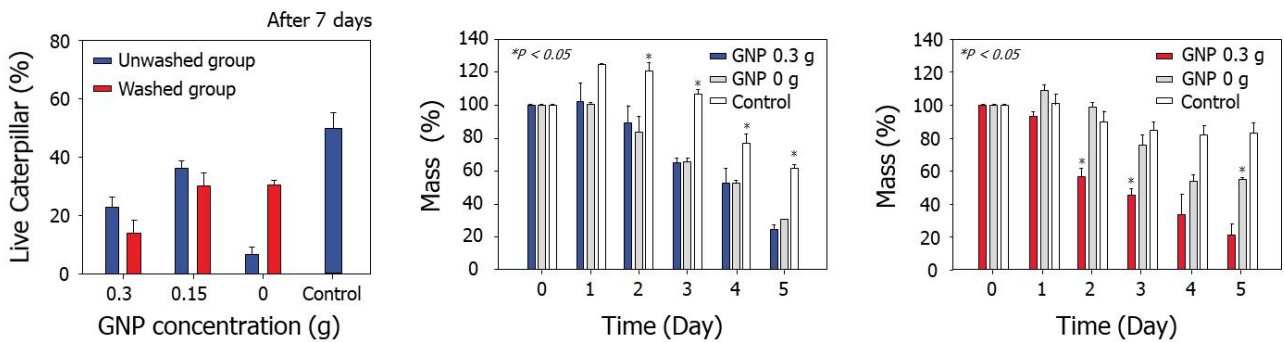
<서방형 농약 방출 플랫폼을 이용한 고추진딥물 살충 효과 확인>

- 농약 농도에 따른 살충 효과를 확인하기 위하여, 권장된 양과 권장된 양 절반의 농약을 이용해 실험을 진행함
- 권장된 양의 농약을 사용하였을 때, 서방형 방출 플랫폼이 존재함에 따라 살충 효과가 2일차부터 빨라지는 것을 확인할 수 있었으나, 권장 양 절반의 농약을 사용하였을 때는 서방형 방출 플랫폼이 존재할 때 4일차 이후 살충 효과가 약해지는 것을 확인함



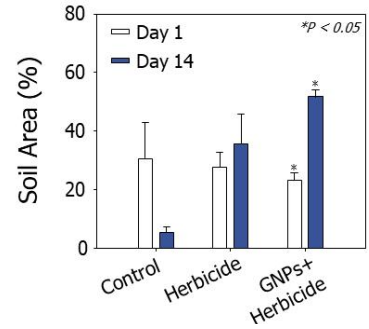
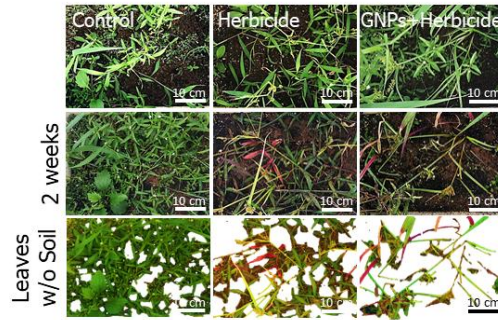
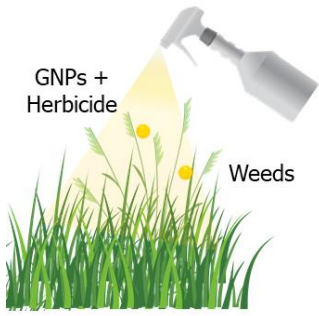
<서방형 농약 방출 플랫폼을 이용한 배추흰나비에벌레 살충 효과 확인>

- 서방형 농약 방출 플랫폼이 권장된 양에서 효과가 있음을 확인하여, 배추흰나비에벌레를 이용하여 추가적으로 실험을 진행함
- 기존 농약의 경우 물에 의해 쉽게 씻겨져 나가 땅에 축적되는 문제가 있지만, 서방형 방출 플랫폼은 잎의 표면에 위싱 후에도 부착이 가능하기 때문에 다른 살충 효과를 보일 것으로 예상함. 이를 확인하기 위하여, 농약을 살포한 뒤 위싱 과정을 진행하거나 하지 않은 그룹으로 살충 효과를 확인함



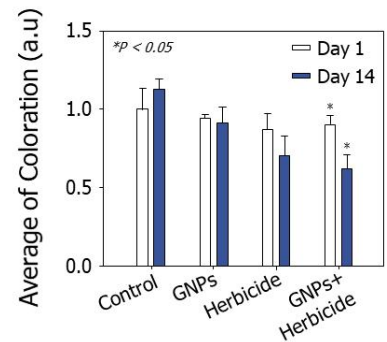
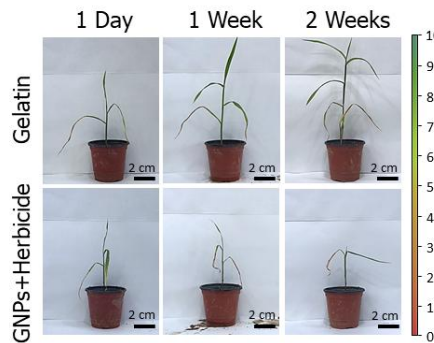
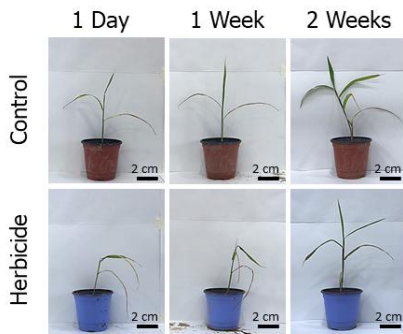
<서방형 농약 방출 플랫폼 기반 배추흰나비에벌레 살충 효과 및 질량 변화 확인>

- 위싱이 진행되지 않은 농약의 살충 효과로는 서방형 방출 플랫폼보다 농약만 처리된 그룹에서 애벌레가 많이 죽은 것을 확인할 수 있었으나 위싱 후에는 농약만 처리한 그룹보다 서방형 방출 플랫폼을 함께 처리한 그룹에서 더 높은 살충률을 보이는 것을 확인함
- 애벌레의 경우 질량 변화가 살충에 중요한 역할을 하기 때문에, 질량 변화를 구체적으로 확인하여 보았을 때, 서방형 방출 플랫폼이 존재할 때 질량 감소 폭이 큰 것을 확인하며, 서방형 방출 플랫폼이 위싱 후에 더 좋은 살충 효과를 보일 뿐만이 아니라, 지속적으로 살충 효과를 줄 수 있음을 확인함



<서방형 농약 방출 플랫폼 기반 제초 효과 확인>

- 잡초는 생존력이 매우 강하기 때문에, 농업에 있어 문제가 되는 요인 중 하나이며 잡초를 제거하기 위해 많은 양의 농약이 사용되기도 함
- 서방형 방출 플랫폼의 높은 지속력을 통해 제초제의 효과를 극대화할 수 있을 것이라 생각되어 제초제와 서방형 방출 플랫폼이 함께 존재하는 용액을 실제 잡초에 처리함
- 농약을 처리하지 않은 부분에서는 잡초가 무수하게 자라나는 반면, 제초제가 있는 그룹들에서는 잡초가 자라나지 못 하고 잎 표면이 갈색으로 변하며 죽어가는 모습을 확인함
- 또한, 서방형 방출 플랫폼이 존재할 때 더 많이 잡초가 제거가 되며, 잡초가 제거가 되어 더 넓은 땅의 모습이 드러나는 것을 육안으로도 확인할 수 있었음



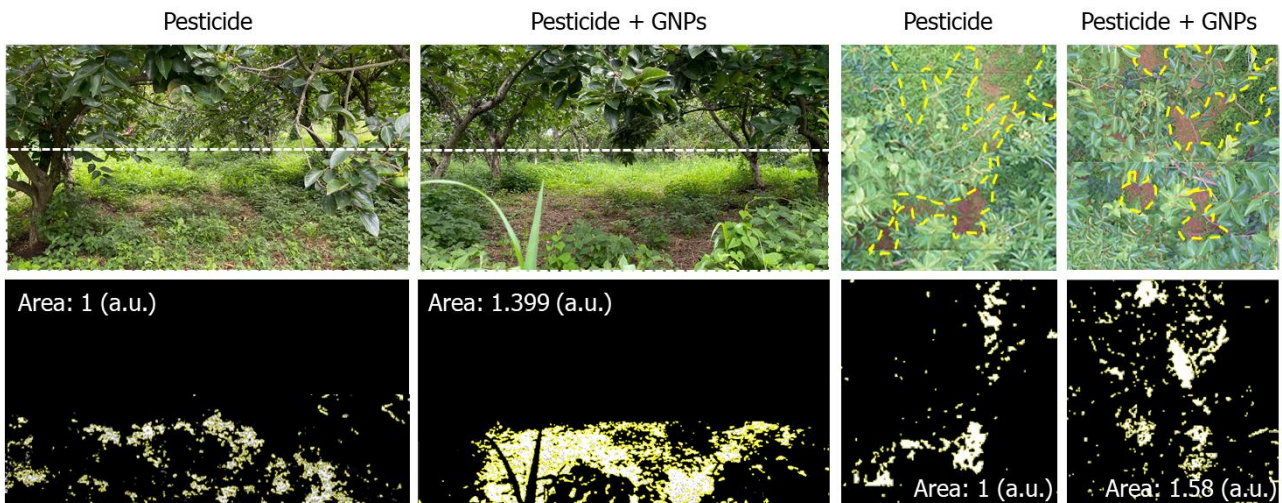
<서방형 농약 방출 플랫폼 기반 제초 효과 확인>

- 서방형 농약 방출 플랫폼의 제초 효과를 구체적으로 확인하기 위하여, 잡초를 하나씩 키워 효과를 확인함
- 아무 처리하지 않은 잡초와 서방형 방출 플랫폼만 처리한 그룹에서는 잡초가 죽지않고 더욱 잘 자라나는 것을 확인하였음
- 반면에 제초제를 처리한 그룹에서는 1일 이후에 바로 잡초의 상태가 좋지 않았으나 2주가 지난 후 잡초의 생명력으로 다시 살아나는 것을 확인함
- 서방형 농약 방출 플랫폼은 1일 후부터 제초 효과를 보이는 것을 확인하였으며, 2주가 지났을 때는 잡초의 잎이 갈색으로 변해 광합성을 할 수 없는 상태를 가지고 있었음
- 잎의 색 변화를 수치화하였을 때도 서방형 방출 플랫폼이 존재할 때 유의하게 색 변화가 일어났음



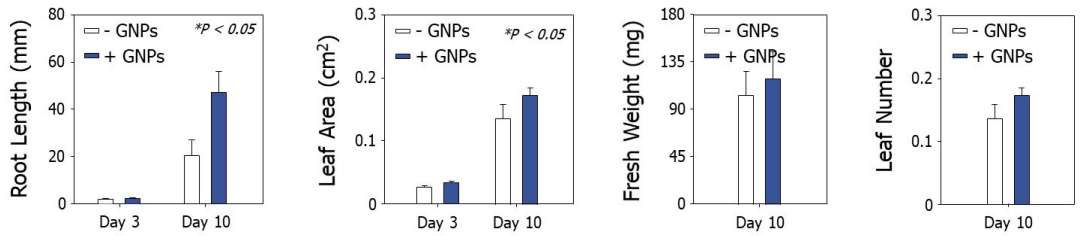
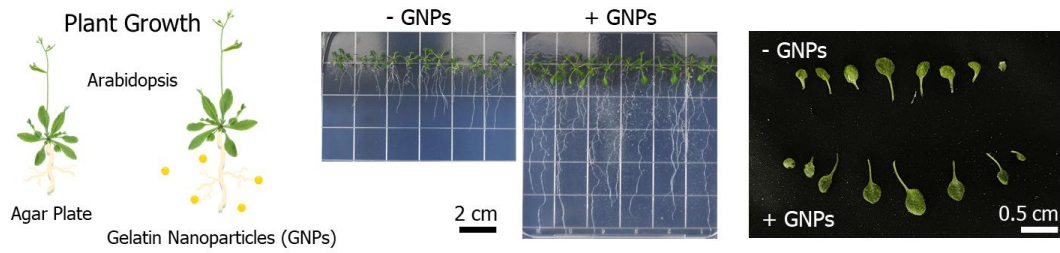
<방제기를 이용한 서방형 농약 방출 플랫폼의 방제>

- 서방형 농약 방출 플랫폼은 기존 스프레이를 통해서도 분사할 수 있었으며, 농사 시에 사용되는 방제기에도 적용 가능할 것이라 여겨져 방제기를 이용해 분사를 진행함
- 서방형 농약 방출 플랫폼의 방제기의 방사를 방해하지 않고 오히려 더 많이 분사되는 듯한 모습을 확인함



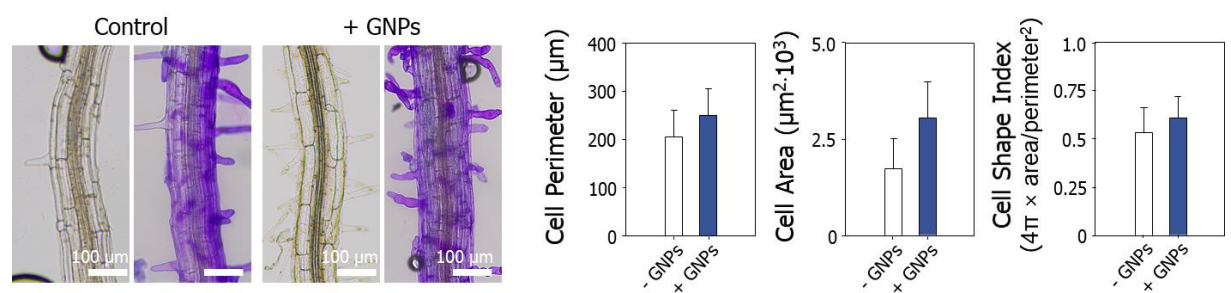
<방제기 기반 서방형 농약 방출 플랫폼의 제초 효과 확인>

- 방제기를 이용한 서방형 농약 방출 플랫폼의 효과를 확인하기 위하여 농약 처리 후 2달 뒤 잡초 제거 경향을 확인하였음
- 사진에서 볼 수 있듯이, 서방형 농약 방출 플랫폼이 처리된 곳에서 더 넓게 잡초가 형성되지 못함
- 또한, 서방형 농약 방출 플랫폼이 과수원의 과실과 나뭇잎을 손상 주지 않았음
- 서방형 방출 플랫폼은 젤라틴을 기반으로 하였기 때문에, 신체를 구성하고 있는 성분 중 하나로 생체적합하다고 알려져 있음
- 서방형 방출 플랫폼의 단독 사용은 젤라틴의 생체적합한 특성을 통해 식물의 성장·생육을 방해하지 않고 오히려 좋은 효과를 줄 수 있을 것이라 생각되어 애기장대 식물 모델을 이용해 성장·생육 효과를 확인함



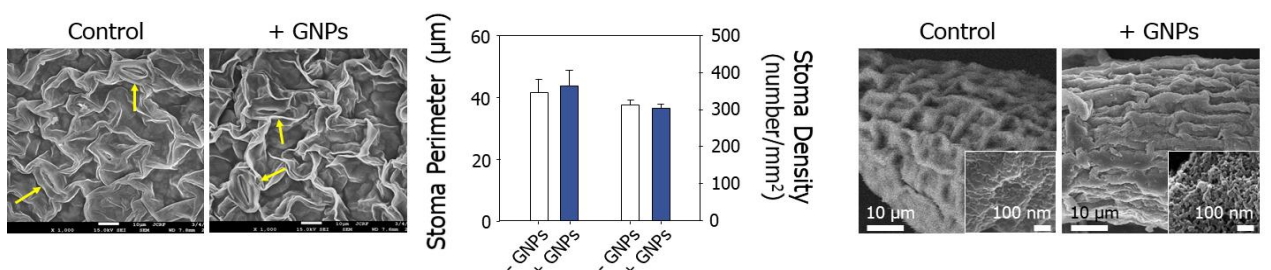
<서방형 방출 플랫폼을 이용한 애기장대 성장·생육 효과 확인>

- 애기장대의 성장·생육을 확인하기 위하여, 젤라틴을 추가하여 아가 플레이트를 제작함
- 서방형 방출 플랫폼이 있음에 따라 애기장대의 뿌리가 확연히 길어졌으며, 잎의 면적 또한 넓어짐을 보임
- 정량화를 통하여 서방형 방출 플랫폼 추가가 애기장대 뿌리 길이, 잎 면적, 무게, 잎 개수에 영향을 주며, 성장·생육을 촉진함을 알 수 있었음



<서방형 방출 플랫폼의 애기장대 뿌리에 미치는 효과>

- 서방형 방출 플랫폼의 처리에 따라 애기장대의 성장·생육이 촉진되었기 때문에, 뿌리에 미치는 효과를 우선적으로 확인함
- 서방형 방출 플랫폼이 존재할 때 뿌리 세포의 면적이 넓어지며, 둥근 모습을 보였음
- 또한, 뿌리 표면에 잔 뿌리가 많이 형성되어 있는 것을 확인함. 이는 서방형 방출 플랫폼이 애기장대 뿌리 표면에 양분 흡수를 촉진하며, 흡수된 양분이 뿌리 세포를 통해 전달됨을 알 수 있음

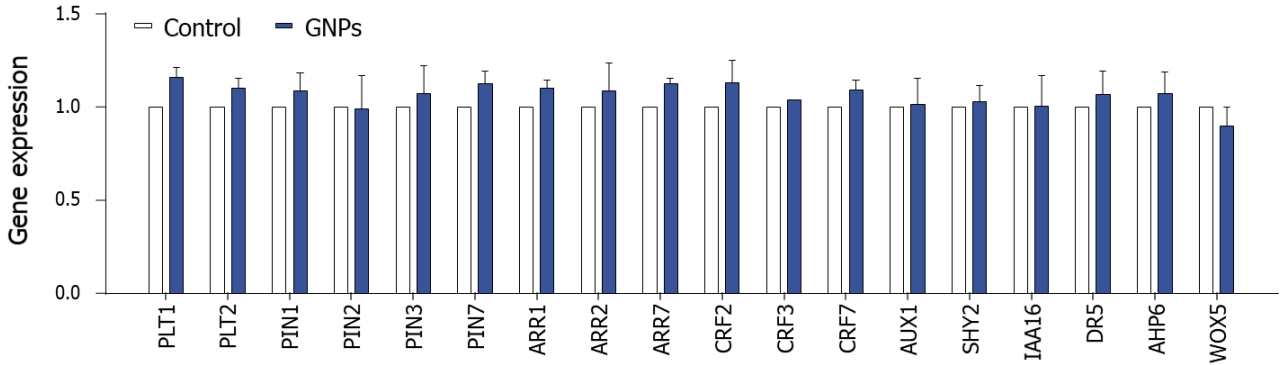


<서방형 방출 플랫폼의 애기장대 잎 기공, 뿌리에 미치는 효과>

- 서방형 방출 플랫폼이 애기장대 뿌리 표면의 양분 흡수를 촉진하였기 때문에, 잎에 영향을 줄 수

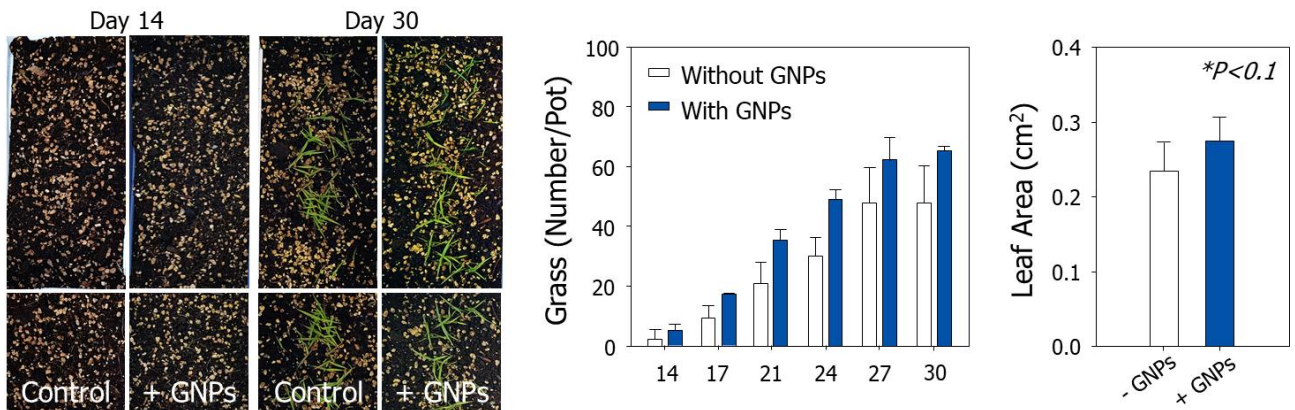
있을 것이라 생각되어 잎의 표면을 전자현미경을 이용해 확인함

- 잎의 표면의 기공은 식물의 호흡을 진행하는 부분으로 기공의 크기와 밀도를 통해 식물의 환경 적응성을 확인할 수 있음
- 하지만, 서방형 방출 플랫폼 처리에 따른 기공 변화는 크게 차이가 나지 않았음
- 서방형 방출 플랫폼의 뿌리 내 흡수를 확인하기 위하여 전자현미경을 이용해 이미지를 얻었으며, 애기장대 뿌리 표면에 서방형 방출 플랫폼이 흡수되면서 표면에 부착되어 있었음



<서방형 방출 플랫폼 처리에 따른 애기장대 뿌리 관련 유전자 발현 확인>

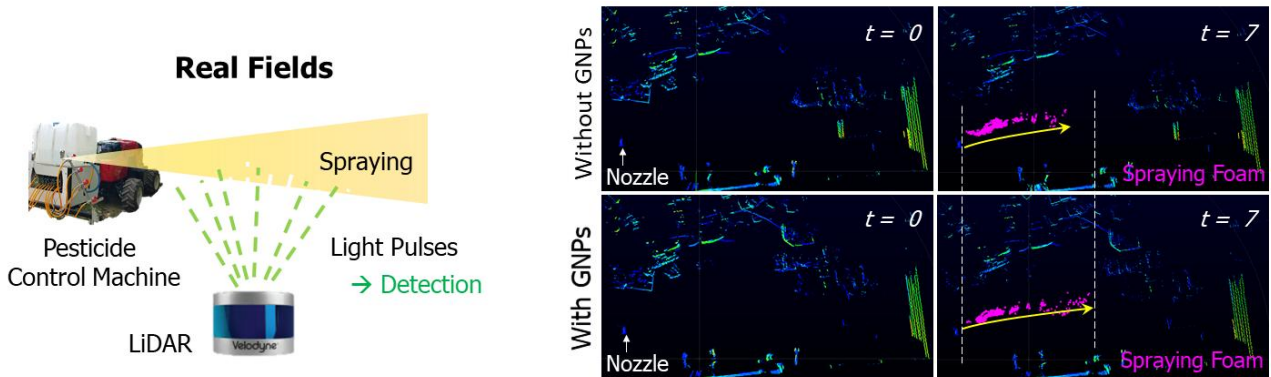
- 서방형 방출 플랫폼 처리로 애기장대 뿌리에 미치는 영향이 큼을 확인할 수 있었음
- 뿌리 성장과 관련된 유전자 발현 확인을 통해 서방형 방출 플랫폼이 다른 화학적 인자 처리를 하지 않았음에도 뿌리 성장을 촉진하고 있음을 보임
- 이는, 서방형 방출 플랫폼이 애기장대 뿌리 성장을 촉진시키며, 양분 흡수를 통해 애기장대의 성장까지 영향을 미침을 알 수 있었음



<서방형 방출 플랫폼 처리에 따른 잔디 성장 확인>

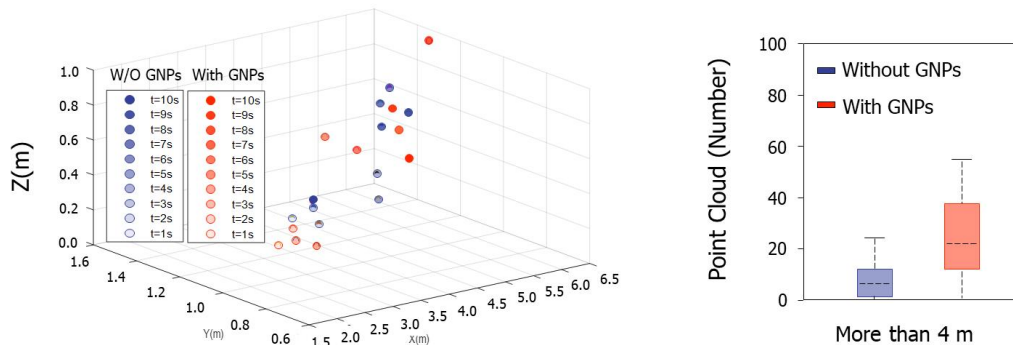
- 잔디는 발아가 더디며 발아율이 낮고 관리하기가 어려운 식물이라고 알려졌기 때문에, 잔디를 이용해 서방형 방출 플랫폼의 효과를 확인하였음
- 2주 후 서방형 방출 플랫폼이 처리된 그룹에서 잔디의 발아가 더 많이 진행되었으며, 4주 뒤에는 약 1.5배 더 높은 잔디 형성을 확인함
- 또한, 자라난 잔디의 잎 면적을 분석해 보았을 때도 유의하게 서방형 방출 플랫폼이 처리된 잔디의 잎 면적이 높아짐을 알 수 있었음
- 서방형 방출 플랫폼의 처리가 식물 및 작물에 독성이 없을 뿐만 아니라, 뿌리의 높은 양분 흡수

를 따라 식물의 성장·생육이 촉진됨을 알 수 있음



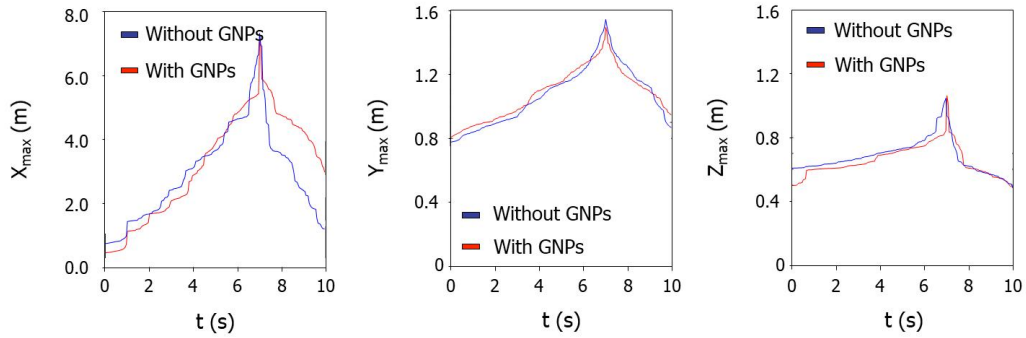
<서방형 방출 플랫폼 유무에 따른 방사 형태 분석>

- 방제기를 이용한 제초제 분사 실험에서 서방형 방출 플랫폼이 존재하였을 때, 분사가 더 멀리 퍼지는 듯한 형상을 확인하여 라이다를 이용해 방사 형태를 분석함
- 라이다는 레이저 펄스를 발사하여 빛이 물체에 반사되어 돌아오는 것을 인식하고 측정해 주변의 모습을 정밀하게 그려내는 장치로, 나노 수준의 감지는 어렵지만 서방형 방출 플랫폼 유무에 따라 인식되는 방사 형태가 다를 것이라고 여기며 실험을 진행함
- 라이다로 인식된 이미지에서 서방형 방출 플랫폼이 없을 때보다 서방형 방출 플랫폼이 존재할 때 최종 시간대에 더 멀리 물줄기가 방사되는 것을 확인함



<서방형 방출 플랫폼 유무에 따른 포인트 클라우드 분석>

- 라이다를 통해 수집된 포인트 클라우드 분석을 통해 시간에 따른 최대 분사 위치를 확인함
- 서방형 방출 플랫폼이 존재할 때, 방제기로부터 힘을 받는 곳으로 더 넓은 범위로 분사되었으며, 4 m를 기점으로 분사 폭이 넓어짐
- 이 점을 착안해, 포인트 클라우드의 범위를 4 m 이상으로 책정하였을 때, 개수를 분석함
- 그래프에서 확인할 수 있듯이, 서방형 방출 플랫폼이 존재할 때 4 m 이상의 포인트 클라우드 개수가 많이 측정되며 방제기를 통해 서방형 방출 플랫폼이 분사될 때 더 멀리 분사되는 것을 알 수 있음



<서방형 방출 플랫폼 유무에 따른 시간-거리 분석 >

- 앞선 결과에서 방제기의 분사 방향으로 서방형 방출 플랫폼 존재에 더 멀리 방사되는 것을 확인 함
- 시간에 따른 x, y, z축으로의 최대 거리 평균을 분석을 하였을 때, 서방형 방출 플랫폼이 존재함에 따라 x축으로 분사되는 거리가 시간이 지나도 높음을 확인할 수 있었으나, y, z축으로는 크게 차이가 없는 것을 보임
- 이는, 서방형 방출 플랫폼이 방제기의 분사 방향으로 강한 압력을 받으면서 더 많이 공기 중에 존재함을 알 수 있음



<서방형 방출 플랫폼 유무에 따른 방사 모식도>

- 앞선 결과를 종합해 보았을 때, 서방형 방출 플랫폼이 존재할 때 방사 방향으로 더 많이 분사가 되는 것을 확인하였음. 선행 연구들을 참고하였을 때, 서방형 방출 플랫폼의 나노 수준의 크기가 용액과 함께 존재하면서 고압으로 분사가 되면서 대기 중에서 용액이 증발되거나 건조되고 서방형 방출 플랫폼의 공기저항에 의해 대기 중에 더 머무르게 되어 더 멀리 분사되게 보임
- 서방형 방출 플랫폼이 존재하고 방제기를 이용할 때 더 멀리 분사할 수 있을 것이며, 조금 더 넓은 범위에 농약 처리가 가능할 것이라 보임

4-2. 인력양성 및 활용성과

(1) 인력양성 주요 성과

| 연번 | 양성연도 | 성명 | 양성내용 | 기관 | 취업처 | 비고 |
|----|------|------------------------------|---------|--------|-----|----|
| 1 | 2015 | 윤광덕 | 석사학위 취득 | 강원대학교 | | |
| 2 | 2015 | 이정호 | 석사학위 취득 | 성균관대학교 | | |
| 3 | 2015 | 김태정 | 석사학위 취득 | 성균관대학교 | | |
| 4 | 2015 | 이현민 | 석사학위 취득 | 성균관대학교 | | |
| 5 | 2015 | 백선욱 | 석사학위 취득 | 전남대학교 | | |
| 6 | 2015 | 장희수 | 석사학위 취득 | 전남대학교 | | |
| 7 | 2015 | 이대현 | 박사학위 취득 | 성균관대학교 | | |
| 8 | 2015 | 정다운 | 석사학위 취득 | 고려대학교 | | |
| 9 | 2016 | 김성준 | 석사학위 취득 | 강원대학교 | | |
| 10 | 2016 | 정진태 | 석사학위 취득 | 전남대학교 | | |
| 11 | 2016 | 김밧금 | 석사학위 취득 | 전남대학교 | | |
| 12 | 2017 | 조효주 | 석사학위 취득 | 고려대학교 | | |
| 13 | 2017 | 이우식 | 석사학위 취득 | 고려대학교 | | |
| 14 | 2017 | 유승화 | 박사학위 취득 | 전남대학교 | | |
| 15 | 2017 | 한응철 | 박사학위 취득 | 서울대학교 | | |
| 16 | 2018 | 박선호 | 석사학위 취득 | 전남대학교 | | |
| 17 | 2018 | 유정환 | 석사학위 취득 | 고려대학교 | | |
| 18 | 2018 | 김지웅 | 박사학위 취득 | 고려대학교 | | |
| 19 | 2018 | 김완수 | 석사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 20 | 2018 | 이바울 | 석사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 21 | 2019 | 임민규 | 석사학위 취득 | 전남대 | | |
| 22 | 2019 | 김택진 | 석사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 23 | 2019 | 김우찬 | 석사학위 취득 | 전남대학교 | | |
| 24 | 2019 | 진지용 | 박사학위 취득 | 고려대 | | |
| 25 | 2019 | 김두한 | 석사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 26 | 2019 | 정연준 | 석사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 27 | 2018 | 장정훈 | 석사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 28 | 2019 | 박성용 | 석사학위 취득 | 고려대 | | |
| 29 | 2019 | Md abu a yub siddiq ue | 석사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 30 | 2021 | 김기태 | 석사학위 취득 | 고려대학교 | | |
| 31 | 2021 | 이남규 | 석사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 32 | 2020 | 백승윤 | 석사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 33 | 2020 | 백승민 | 석사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 34 | 2021 | 문석표 | 석사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 35 | 2021 | 김연수 | 박사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 36 | 2021 | 김완수 | 박사학위 취득 | 충남대학교 | | |
| 37 | 2020 | 이정호 | 석사학위 취득 | 고려대학교 | | |
| 38 | 2020 | 하승호 | 석사학위 취득 | 고려대학교 | | |
| 39 | 2020 | 김다운 | 석사학위 취득 | 전남대학교 | | |
| 40 | 2020 | 이준기 | 석사학위 취득 | 고려대학교 | | |
| 41 | 2020 | 이현석 | 박사학위 취득 | 고려대학교 | | |

| | | | | | | |
|----|------|------------------------------|---------|-------|---------------------------|--|
| 42 | 2020 | Reza MD Nasim | 박사학위 취득 | 전남대학교 | | |
| 43 | 2015 | 이현민 | 취업 | | 선인씨엔에스 | |
| 44 | 2015 | 이정호 | 취업 | | 생명공학연구소 | |
| 45 | 2015 | 김태정 | 취업 | | 생명공학연구소 | |
| 46 | 2015 | 장희수 | 취업 | | 동양물산기업 | |
| 47 | 2015 | 이대현 | 취업 | | 농업과학연구소 | |
| 48 | 2015 | 정다운 | 취업 | | 현대중공업 | |
| 49 | 2015 | 봉선주 | 취업 | | 동국제약 | |
| 50 | 2016 | 김성준 | 취업 | | 밸류테크 | |
| 51 | 2017 | 유승화 | 취업 | | 국립농업과학원 | |
| 52 | 2017 | 이우식 | 취업 | | 차세대기계설계 기술연구소 | |
| 53 | 2021 | 김연수 | 취업 | | 한국생산기술연구원 | |
| 54 | 2017 | 조효주 | 취업 | | 삼성전자 | |
| 55 | 2018 | 김지웅 | 취업 | | 기계공학 연구교수 | |
| 56 | 2016 | 김밖금 | 취업 | | 국립농업과학원 | |
| 57 | 2018 | 이바울 | 취업 | | 언맨드솔루션 | |
| 58 | 2019 | 김두한 | 취업 | | 대동공업주식회사 | |
| 59 | 2019 | 임민규 | 취업 | | 디에스시동탄 | |
| 60 | 2018 | 장정훈 | 취업 | | 엘에스엠트론 | |
| 61 | 2019 | 박성용 | 취업 | | 차세대기계설계 기술연구소 | |
| 62 | 2019 | 진지용 | 취업 | | 현대자동차 | |
| 63 | 2019 | 정연준 | 취업 | | 아르젠터보 | |
| 64 | 2018 | 유정환 | 취업 | | 삼성전자 | |
| 65 | 2017 | 한웅철 | 취업 | | 강원대학교 | |
| 66 | 2020 | 이현석 | 취업 | | 국방과학연구소 | |
| 67 | 2016 | 정진태 | 취업 | | 현대건설기계 | |
| 68 | 2020 | 이준기 | 취업 | | 엘지이노텍 | |
| 69 | 2021 | 이남규 | 취업 | | 건설기계부품연구원 | |
| 70 | 2021 | 문석표 | 취업 | | 한국기계연구원 | |
| 71 | 2021 | 김완수 | 취업 | | 농업과학연구소 | |
| 72 | 2019 | Md abu a yub siddiq ue | 취업 | | 티와이엠아이씨티 | |
| 73 | 2020 | 이정호 | 취업 | | 삼성전자 | |
| 74 | 2020 | 하승호 | 취업 | | 엘지씨엔에스 | |
| 75 | 2019 | 김택진 | 취업 | | 동양물산기업 | |
| 76 | 2021 | 김기태 | 취업 | | 고려대학교 산학협력단 | |
| 77 | 2020 | 김다운 | 취업 | | 전라남도생물산업진흥재단 나노바이오연구센터 | |

<고용창출 현황> - 총16명

| 고용창출연도 | 성명 | 고용기관 | 고용형태 | 비고 |
|--------|-----|-----------|------|----|
| 2020 | 김소연 | 주식회사 공간정보 | 정규직 | |
| 2021 | 심혜진 | 주식회사 공간정보 | 정규직 | |
| 2021 | 이다훈 | 주식회사 공간정보 | 정규직 | |
| 2019 | 김대현 | 엘에스엠트론 | 정규직 | |
| 2019 | 신인철 | 엘에스엠트론 | 정규직 | |
| 2019 | 정택훈 | 엘에스엠트론 | 정규직 | |
| 2019 | 신대건 | 엘에스엠트론 | 정규직 | |
| 2019 | 이재종 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2019 | 윤정일 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2020 | 정대균 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 김정록 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 박시욱 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 변규섭 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 최범식 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 유병용 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |
| 2021 | 한준원 | 세슬프라이머스 | 정규직 | |

(2) 정량적 성과

| 단계 | 기관 | 지원 총인원 | 지원 대상 (학위별, 취득자) | | | | 성별 | | 지역별 | | |
|-----|---------------------------------|-----------|---------------------|----|----|----|----|---|-----|----|----------|
| | | | 박사 | 석사 | 학사 | 취업 | 남 | 여 | 수도권 | 대전 | 기타 지역 |
| 1단계 | 제1-1세부 전남대학교 | 7 | 1 | 4 | | 2 | 4 | 3 | | | 7 |
| | 제1-1협동 충남대학교 (위탁 : 강원대학교) | 4 | | 2 | | 2 | 3 | 1 | 1 | | 3 |
| | 제1-2세부 동양물산 (위탁 : 서울대학교) | 1 | 1 | | | | 1 | | 1 | | |
| | 제2-1세부 충북대학교 | | | | | | | | | | |
| | 제2-1협동 고려대학교 | 5 | | 3 | | 2 | 2 | 3 | 4 | | 1 |
| | 제2-2협동 성균관대학교 | 8 | 1 | 3 | | 4 | 8 | | 8 | | |
| 2단계 | 제1-1세부 전남대학교 | 8 | 1 | 2 | | 5 | 7 | 1 | 1 | | 7 |
| | 제1-1협동 공간정보 | | | | | | | | | | |
| | 제1-2협동 충남대학교 | 23 | 2 | 11 | | 10 | 23 | | 1 | 1 | 21 |
| | 제1-3협동 LS엠트론 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----|---|----|--|----|----|----|----|---|----|
| 제1-2세부 전남대학교 | | | | | | | | | | |
| 제2-1세부 고려대학교 | 19 | 3 | 6 | | 10 | 18 | 1 | 16 | | 3 |
| 제2-1-(1)협동 (4차년도) 에스피투로보틱스 | | | | | | | | | | |
| 제2-1-(2)협동 (5~7차년도) 쎄슬프라이머스 | | | | | | | | | | |
| 제2-2협동 전남대학교 | 2 | | 2 | | | 1 | 1 | | | 2 |
| 합계 | 77 | 9 | 33 | | 35 | 67 | 10 | 32 | 1 | 44 |

| 구 분 | 목표 (14년~21년) | 실 적 | | | | | | | | |
|----------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|
| | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 6차년도 | 7차년도 | 합계 | |
| 우수 연구 인력 | 박사(명) | 7 | 1 | | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 9 |
| | 석사(명) | 23 | 4 | 1 | 2 | 5 | 8 | 8 | 5 | 33 |
| | 취업(명) | 27 | 6 | 1 | 3 | 5 | 5 | 7 | 8 | 35 |

(3) 장·단기 인력양성 프로그램 활용성과

| 장기 (2월 이상) | | 단기 (2월 미만) | |
|------------|----|------------|----|
| 국내 | 국외 | 국내 | 국외 |
| | | 78 | 25 |

(4) 산업기술인력 양성 성과

| 프로그램명 | 프로그램 내용 | 교육기관 | 교육 개최회수 | 총 교육시간 | 총 교육인원 |
|-------|---------|------|---------|--------|--------|
| | | | | | |
| | | | | | |

- 산학강좌, 산업기술인력 양성실적 내용

※ 명칭, 관련기업명, 교육훈련대상, 훈련내용 및 방법, 소요경비부담, 협력조건 등

(5) 인력양성의 경제사회 파급효과

| 산업지원 성과 (단위 : 건) | | | | 고용창출 성과 (단위 : 명) | | | |
|------------------|------|------|----|------------------|-----------|----|----|
| 기술지도 | 기술이전 | 기술평가 | 합계 | 창업 | 기업 취 업 | 기타 | 합계 |
| | 15 | | 15 | | 16 | | 16 |

5. 목표달성도 및 관련분야 기여도

(1) 목표달성도

| 단계 | 구분 | 연구목표 | 가중치 (%) | 내용 | 달성도 (%) |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|---------|
| 1 단계 | 전남대학교 (1-1세부) | · 경운 정지 작업을 위한 환경 분석 | 20 | - 드론을 활용한 계측 기술 개발 - 농경지, 작물, 수확량 모니터링 기술 개발 | 100 |
| | | · 수확 작업을 위한 작물 인식 및 환경 계측 기술 개발 | | | |
| | | · 수확량 모니터링 및 품질 측정 기술 개발 | | | |
| | 충남대학교 (1-1협동) | · 농작업별 최적 운행 제어 기술 개발 및 작물 환경/성분 요소 도출 | 15 | - 트랙터 자율주행 시뮬레이션 모델 개발 - 자율 주행 시스템 개발 - 자율주행 트랙터 개발 | 100 |
| | | · 농작업별 최적 운행 제어 모델 설계 | | | |
| | | · 자율주행 시뮬레이션 기술 최적화 및 성능평가 / 스마트 농작업 기계의 system intergration 기술 개발 | | | |
| | 동양물산기업 (1-2협동) | · 자율주행 application의 콤바인 적용을 위한 system intergration 기술 개발 | 15 | - Engineering sample 개발 - 자율 주행 콤바인 개발 | 100 |
| | | · 웨도형 자율주행 차량의 조향 제어 특성 및 최적화 연구 | | | |
| | | · 자율주행 콤바인 제어 시스템 개선연구 | | | |
| | 충북대학교 (2-1세부) | · 농업시설 에너지 계측 및 모델링 기술 | 20 | - 스마트팜 환경 계측 및 모델링 기술 개발 - 스마트팜 실시간 에너지 효율 평가 기술 개발 - 반자동 생육 제어 기술 개발 - 온실환경 계측용 RICT 융합 어플리케이션의 개발 | 100 |
| · 농업시설 에너지 절감 및 자동화 제어 기술 | | | | | |
| · 반자동 생육환경 최적 제어 application 개발 | | | | | |
| 고려대학교 (2-1협동) | · 온실 작업용 경로 생성 기술 개발 | 15 | - 온실 작업용 작업 경로 생성 기술 개발 - 작업 지점의 정밀위치제어 기술 개발 - 장애물 감지 및 매핑 기술 개발 - 인공표식기반 위치 추정 기술 개발 - 온실 환경 자율주행 플랫폼 개발 | 100 | |
| | · 작업 지점의 정밀위치제어 기술 개발 | | | | |
| | · 온실 환경 자율주행 플랫폼 현장 실증 및 보완 | | | | |
| 성균관대학교 (2-2협동) | · 영상 및 센서 데이터 송수신 획득 모바일 시스템 구축 | 15 | - AI(CNN) 기반 실시간 파프리카 인식과 검출 - SLAM 기반 개체 위치/자세 정보 획득 - 파프리카 검출/수확용 로봇 플랫폼 개발 및 구축 | 100 | |
| | · 영상 및 센서 데이터 송수신 및 획득 처리용 모바일 플랫폼 개발 | | | | |
| | · 파프리카 검출/수확용 로봇 플랫폼 구축 | | | | |

| 단계 | 구분 | 연구목표 | 가중치 (%) | 내용 | 달성도 (%) |
|----------------------|--|--------------------------------------|---|--|---------|
| 2 단 계 | 전남 대학교 (1-1세부) | · 드론 기반 농경지 및 작물 공간정보 분석 시스템 개발 | 20 | - 드론을 이용한 고해상도 영상 획득 및 수확량 측정 시스템 개발 - 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 및 분석 - 작물 영양장애 및 질병 진단용 영상 획득 드론 시스템 구성 및 분석 알고리즘 개발 - 드론을 활용한 농경지 3D 공간 맵 생성 및 고도화 | 100 |
| | | · 농경지 및 작물의 모폴로지 특성 파악 및 예측 모델링 | | | |
| | | · 농경지 상태 파악 및 농작업 시기 예측 시스템 개발 | | | |
| | | · 드론 기반 작물 수확량 모니터링 및 맵핑 시스템 개발 | | | |
| | 공간정보 (1-1협동) | · DB 및 서비스 모델 구축 | 10 | - 드론 활용 공간정보 DB 확보 - 고해상도, 고용량의 자료 처리 속도 향상을 위한 시스템 설계 - 클라우드 서비스 플랫폼 실증 - 영농 관리 의사결정 지원 솔루션 개발 | 100 |
| | | · 클라우드 서비스 플랫폼 시스템 설계 | | | |
| | | · 클라우드 서비스 플랫폼 구축 | | | |
| | | · 클라우드 서비스 플랫폼 상용화 | | | |
| | 충남 대학교 (1-2협동) | · 트랙터 동력 센싱 기술 개발 | 10 | - 트랙터 동력전달시스템 시뮬레이션 모델 개발 - 트랙터 농작업 모니터링 및 수명 예측 기술 개발 - 텔레매틱스 기반 무선 데이터 송수신 시스템 개발 | 100 |
| | | · 농작업 조건에 따른 트랙터 동력 측정 및 분석 | | | |
| | | · 동력 모니터링을 통한 트랙터 주요 부품 신뢰성 평가 기술 개발 | | | |
| | | · 트랙터 동력 모니터링 시스템 신뢰성 성능평가 | | | |
| LS엠트론 (1-3협동) | · Telematics 트랙터 시스템 환경 구축 | 10 | - 한국형 자율작업 트랙터 모니터링 기술 개발 - 농업 경영인 관리용 모니터링 시스템 개발 완료 - 한국형 자율작업 트랙터 제품 출시 | 100 | |
| | · Telematics 트랙터 시스템 개발 | | | | |
| | · Telematics 트랙터의 농작업 모니터링 기술 개발 | | | | |
| | · 한국형 Telematics 트랙터 시제품 및 농업경영인 관리용 Application 기술 개발 | | | | |
| 전남 대학교 (1-2세부) | · 무인화/첨단화를 위한 정밀 농업 관련 전문가 양성 | 20 | - 국내외 전문가 초청 세미나 및 심포지움 개최 - 농업무인화를 위한 인공지능, 로봇, ICT 교육 프로그램 운영 - 인력양성 교육을 통한 석·박사 인력 양성 및 배출 | 100 | |
| | · 농업 자동화 기술을 배양한 인력 양성 | | | | |
| | · 실무 경험을 갖춘 무인자동화 연구의 전문 연구인력 양성 | | | | |
| 고려 대학교 (2-1세부) | · 물류 운반 작업 특성 분석 및 정밀위치제어기술 개발 | 10 | - 온실 환경용 위치 추정 및 주행제어기술, 물류 운송 시스템 개발 - 자율주행 플랫폼 원격제어 기술 개발 및 적용 - 온실내 물류 운반을 위한 | 100 | |
| | · 물류 운반을 위한 물류 제어기술 최적화 | | | | |
| | · 실시간 환경정보 모니터링 기술 및 | | | | |

| | | | | |
|------------------------|---|----|---|-----|
| | <ul style="list-style-type: none"> 자율주행 플랫폼 원격제어기술 개발 · 현장 실증 시험 및 서비스 연계 자율주행 플랫폼 상용화 | | <ul style="list-style-type: none"> 자율 주행 로봇 개발 | |
| 췁슬프라 이머스 (2-1협동) | <ul style="list-style-type: none"> · 재배 자동화 셔틀 로봇 시스템 개발 · 재배 자동화 로봇 운영체계 개발 · 이식 자동화 로봇 시스템 개발 | 10 | <ul style="list-style-type: none"> - 재배 자동화 로봇 운영체계 개발 - 베드 최적화 적재를 위한 셔틀 링크 구조 개발 - 다관절 로봇암을 이용한 정식 및 수확 기술 확보 - 재배 자동화 로봇 상용화 | 100 |
| | <ul style="list-style-type: none"> · 재배, 이식, 수확 자동화 로봇 상용화 | | | |
| 전남 대학교 (2-2협동) | <ul style="list-style-type: none"> · 생체 및 화학비료 방제를 위한 서방형 방출 플랫폼 개발 | 10 | <ul style="list-style-type: none"> - 서방형 농약 방출 플랫폼 개발 - 개발된 서방형 방출 플랫폼의 구조적, 화학적, 물리적 특성 분석 - 나노 소재를 이용한 식물 및 작물의 생장·생육 촉진 기술 구축 | 100 |
| | <ul style="list-style-type: none"> · 서방형 방출 플랫폼을 활용한 생체 및 화학비료 방제 조절 기술 개발 | | | |
| | <ul style="list-style-type: none"> · 서방형 방출 플랫폼을 활용한 작물 생장·생육 촉진 기술 개발 · 온실 환경 작업 최적화를 위한 서방형 생체 및 화학비료 방제 플랫폼 개발 | | | |

(2) 평가의 착안점에 따른 목표달성 자체평가

| 단계 | 구분 | 평가의 착안점 | 자체평가 |
|-----|-----------|--|--|
| 1단계 | 1-1 세부 | <ul style="list-style-type: none"> · 경운정지 작업을 위한 환경 분석 · 수확 작업을 위한 작물 인식 및 환경 계측 기술 개발 · 수확량 모니터링 및 품질 측정 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 드론을 기반으로 농경지 환경 및 작물 개체 인식한 연구를 수행함 - 드론 영상 분석을 통해 벼의 수확량을 예측함 |
| | 1-1 협동 | <ul style="list-style-type: none"> · 농작업별 최적 운행 제어 기술 개발 및 작물환경/성분 요소 도출 · 농작업별 최적 운행 제어 모델 설계 및 수확작물 분석 방법 개발 · 자율주행 시뮬레이션 기술 최적화 및 성능평가 | <ul style="list-style-type: none"> - 농업기계의 농작업별 최적 운행 제어를 위한 모델을 개발함 - 또한 농업기계의 노면 마찰과 실제 작업환경 속에서 자율주행 최적화를 위한 시뮬레이션을 실시함 |
| | 1-2 협동 | <ul style="list-style-type: none"> · 반자동/자동 자율주행 application의 트랙터 적용을 위한 SI기술 개발 · 반자동/자동 자율주행 application의 콤바인 적용을 위한 SI기술 개발 · 콤바인 자율주행 포장성능시험 및 성능개선연구 | <ul style="list-style-type: none"> - 자율주행 트랙터의 SI를 통해 시작기를 제작함 - 자율주행 콤바인의 SI를 통해 시작기를 제작함 - 콤바인에 대해서는 다양한 포장 조건에서의 자율주행 성능 시험이 필요함 |
| | 2-1 세부 | <ul style="list-style-type: none"> · 농업시설 환경 계측 및 모델링 기술 · 농업시설 에너지 절감 및 자동화 제어 기술 · 반자동 생육환경 최적 제어 | <ul style="list-style-type: none"> - 농업시설의 환경 계측 및 모델링을 위한 시스템을 구축함 - 농업시설의 에너지 절감을 위한 자동화 기술을 개발함. |

| | | | |
|-----------|--|---|--|
| | | application 개발 및 현장실증 | |
| 2-1 협동 | | <ul style="list-style-type: none"> · 온실환경 반자동/자동 자율주행 플랫폼 요소기술 개발 · 온실환경 반자동/자동 자율주행 플랫폼 정밀도향상기술 개발 · 온실환경 반자동/자동 자율주행 플랫폼 현장실증 및 보완 | - 온실환경 내에서 자율주행이 가능한 모바일 플랫폼을 개발하고 정밀도 향상을 꾀함 |
| 2-2 협동 | | <ul style="list-style-type: none"> · 영상 및 센서 데이터 획득용 모바일 플랫폼 개발 · CNN 기반 개체인식 알고리즘 개발 · 파프리카 인식용 로봇 플랫폼 구축 | - CNN을 이용하여 파프리카의 색상에 상관없이 개체인식할 수 있는 기술을 확보함. |

| 단계 | 구분 | 평가의 착안점 | 자체평가 |
|-----|-----------|---|---|
| 2단계 | 1-1 세부 | <ul style="list-style-type: none"> · 스마트 농작업을 위한 작물, 환경 등의 정보화 · 드론 기반 Connected Farming 요소 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 농경지 및 주위 환경의 3D 공간 맵 구성 수행 - 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 및 분석 - 작물 개체의 낱알 분석 시스템 개발 - 작물의 3D 정보 기반 형태적 특성 검출 알고리즘 고도화 및 현장 실증 시험 |
| | 1-1 협동 | <ul style="list-style-type: none"> · 영농관리 의사결정을 위한 다양한 농경지 정보(DB)를 구축/연계 기술 개발 · 고해상도, 고용량의 데이터를 웹기반의 솔루션에서 빠르게 처리되도록 기술 고도화 · 별도의 시설이 필요없는 웹기반의 클라우드 서비스 솔루션 개발/구축 · 국내 농업 형태에 맞춰 솔루션의 형태 다양화 및 활용 편리성 고도화 | <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 농경지의 정보를 취득하고 data set을 구축하고, 다양한 형태의 자료를 도출하여 솔루션에 연계할 수 있도록 기술을 개발함 - 업로드 데이터의 저장구조 변환, 표현의 방식 변환을 통해 가시화되는 고용량의 데이터를 빠르게 처리할 수 있도록 기술 고도화 수행 - 클라우드를 통해 데이터의 분석 및 활용할 수 있도록 솔루션 개발/구축 - 사용자 중심의 솔루션에서 소유 농경지가 고정적인 부분을 고려하여 농경지 중심의 솔루션 이용방법으로 편리성 고도화 - 소작농, 기업농, 연구자 등 다양한 농업종사자를 대상으로 기능 테스트를 진행하고 불편사항을 개선/고도화 함 |
| | 1-2 협동 | <ul style="list-style-type: none"> · Connect farming에 적합한 트랙터 동력 센싱 기술 개발 · 다양한 트랙터 작업에 따른 실시간 동력 데이터 수집 · 텔레메틱스 기반 트랙터 수명 예측 기술 개발 · Connected farming 실증을 위한 동력 모니터링 성능평가 | <ul style="list-style-type: none"> - 78 kW급 트랙터에 엔진, 차축, 유압 시스템, PTO 등 주요 동력원에 대해서 부하 계측 시스템을 개발하였음 - 쟁기, 로타리, 베일러 등 주요 농작업에 대해서 조건에 따른 필드 테스트를 수행하고 이를 분석하였음 - 트랙터 수명 예측 기술을 개발하였으며, 동력 모니터링 성능평가를 수행하였음 |
| | 1-3 | <ul style="list-style-type: none"> · 한국형 Telematics 트랙터 시스템 개발 | - 한국형 Telematics 트랙터 시스템 개 |

| | | |
|--------|---|---|
| 협동 | <ul style="list-style-type: none"> · 자율작업 트랙터의 농작업 모니터링 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 발은 자율작업 트랙터와 Telematics 시스템 적용 트랙터로 구분하여 개발 수행함. - 자율작업 트랙터를 단계별로 구분하여 개발 완료하여 1단계는 시장성을 고려하여 바로 2단계 상품으로 제품 출시하였으며, Telematics 시스템은 트랙터의 상태를 모니터링 가능하도록 개발 완료하여 모니터링이 가능한 상태로 현재 시범 운영중에 있음. |
| 1-2 세부 | <ul style="list-style-type: none"> · 농업생산무인자동화 기술을 배양한 인력양성 | <ul style="list-style-type: none"> - 센터에서 지원하는 인력양성 교육을 통해서 석·박사 인력양성 및 배출 - 농작업 로봇 및 농업시설 에너지·환경 자동화 기술의 동향 파악을 위한 국내외 심포지움 개최 - 과제간의 효율적인 연구운영 및 인력양성을 위한 정기세미나 프로그램 개최 - 글로벌 인재육성을 위한 해외 우수대학 탐방 프로그램 운영 - 농업기계 및 농업 에너지 농업기계 및 농업에너지기술의 무인자동화 기술을 습득할 수 있는 다양한 교육지원 프로그램 운영 - 농작업 로봇 및 농업시설 에너지·환경 자동화 기술의 동향을 파악을 위한 국내외 학회 참가지원 프로그램 운영 |
| 2-1 세부 | <ul style="list-style-type: none"> · 물류운반 작업 특성을 고려한 효율적인 작업분배 및 경로설정 알고리즘 개발 · 온실환경 내 자율주행 플랫폼의 정밀 제어 및 강인한 위치추정기술 개발 · 실시간 환경정보 모니터링기술 및 원격제어기술 개발 · 자율주행 S/W모듈 통합 · 다양한 온실 환경에서 실증 시험 | <ul style="list-style-type: none"> - 온실환경 내에서 수확물 이송이 가능한 자율주행 플랫폼 개발 및 정밀도 향상 - 효율적 임무관리기술, 정밀위치제어기술, 강인한 위치추정기술, 실시간 환경정보 모니터링기술 및 원격제어기술을 개발하고 s/w 모듈 통합 - 실제 다양한 온실 환경에서 실증 시험 및 자율주행 성능 확인 |
| 2-1 협동 | <ul style="list-style-type: none"> · 재배 자동화 셔틀로봇 시스템 개발 · 이식 자동화 로봇 시스템 개발 · 수확 자동화 로봇 운영체제 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 재배 자동화 로봇 운영체제 개발 수행 - 베드 최적화 적재를 위한 셔틀 링크 구조 개발 수행 - 이식 자동화 로봇 운영체제 개발 수행 (다관절 로봇암 제어) |
| 2-2 협동 | <ul style="list-style-type: none"> · 생체재료 기반 농약 서방형 방출 플랫폼 개발 및 특성 분석 · 서방형 방출 플랫폼 기반 농약 방제 조절기술 개발 및 최적화 · 서방형 방출 플랫폼 기반 작물 성장생육 촉진기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 생체재료 기반 서방형 방출 플랫폼을 개발하고 특성 분석을 완벽하게 진행함. 농업 분야의 적용을 위해 제안된 생체재료 기반 서방형 방출 플랫폼은 최초 보고로 예상됨 - 가장 작은 수준의 젤라틴 기반 서방 |

| | | |
|--|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> · 서방형 방출 플랫폼의 온실환경 작업을 위한 방제기 개발 | <p>형 방출 플랫폼 개발기술을 구축하였음. 이를 기반으로 하여, 모델 농약 방출 분석을 진행하였으며, 모델링을 통해 농약 서방형 방출 조절기술을 최초로 확립함</p> <ul style="list-style-type: none"> - 나노소재를 이용해 작물의 생장 생육 촉진 기술을 발표함. 과일 작물을 이용해 최초로 생장·생육 촉진기술을 소개하였으며, 나노소재의 농도에 따른 작물 생장·생육 촉진기술 최적화를 발표함 - 방제기를 이용한 서방형 방출 플랫폼의 농업현장 환경 적용을 실현함. 나노수준의 플랫폼의 농업 현장 적용은 아직 보고된 바 없으며, 효과를 확인한 연구결과가 보고되지 않았음 |
|--|--|---|

(3) 관련분야 기여도

| 세부과제명 | 내용 |
|---|---|
| <p>스마트 농작업을 위한 작물, 환경 등의 정보화 및 무인 농업단지 인프라 구축</p> | <ul style="list-style-type: none"> · 농경 작업 시 환경에 대한 인식, 작물의 생육 정보 등을 고려한 관리 시스템 개발을 통해 기존 시스템에 비해 높은 작업 효율, 고품질의 수확, 재배가 가능함. 이와 같은 정밀 농업 기술 분야의 기술 개발을 통해 국내 농업 기술의 첨단화, 고정밀화를 가져다줌. · 관리 및 이력 시스템은 대규모의 데이터베이스 구축이 가능하여 축적된 정보를 이용하여 다양한 상황 및 조건에 대해서도 빠른 기술력 및 제품의 확보가 가능하여 해외 시장에서 경쟁력을 강화할 수 있음. · 첨단 정밀 농업 기술 개발을 통해 국내 농업기계 시장을 활성화시키며, 나아가 해외 현지에 적합한 시스템, 인프라 구축을 통해 국내 기술 홍보 및 수출 향상, 시장 선점 등의 높은 경제적 효과를 가져다 줌. · 다양한 환경 계측 및 관리 기능 및 차별화된 프로세스를 통해 농업인의 만족도 및 작업성 향상을 가져다 줌. · 차량 분야, 건설기계 분야 등에 비해 상대적으로 위축된 국내 농업기계 시장 활성화를 가져다주며, 이를 통해 농업 종사자의 생활을 더욱 윤택하게 해줄 수 있음. · 본 연구는 다양한 환경 계측 및 작업 관리 시스템 구축을 목표로 하는 정밀 농업 관련 기술 개발로써, 무인화/첨단화를 위한 정밀 농업 관련 전문가 양성 및 다수의 핵심 인력 배출 |

| | |
|--|---|
| | <p>이 가능할 것으로 판단됨.</p> <ul style="list-style-type: none"> · 무인 자율주행 트랙터의 상용화 기술 개발로 향후 농업기계 분야에서 무인화 자동화기술을 활용한 농용 로봇관련 기술개발이 활발해 질 것으로 예상됨. · 자율주행 트랙터 개발에 필요한 실시간 위치정보 검출과 경로 자동 탐색 시스템은 요소기술로 활용될 수 있으며 센서퓨전 기술을 통하여 다양한 형식의 데이터와 호환할 수 있는 인터페이스 기술의 발전이 이루어질 것임. · 농기계를 위한 GPS와 IMU 센서 시스템 통합기술의 개발로 트랙터 외에 제초기, 이앙기, 콤바인 등의 다른 농기계의 자율주행에 필요한 자동제어기술로 활용도가 높아질 것임 · 최근 농가 인구의 감소와 고령화에 의한 농업기피현상에서 편리한 기계 조작이 가능한 자동화 기술로 인식되면서 다양한 첨단 공학기술 적용이 가속화 될 것임 |
| <p>스마트 농작업기계 상용화 및 현장 적용 기술 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> · 농업 시설 에너지 자동화 관리 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 농업 시설 환경 계측, 제어, 에너지 효율 평가, 에너지 절감 기술 등 다양한 모듈별 재구성이 가능하여 다양한 환경과 작업의 변화에 대응 가능한 확장성있는 농업 시설 에너지 자동화 관리 기술 도출 가능함. · 농업시설 에너지 환경 자동화 기술의 표준화, 실용화 및 사업화 <ul style="list-style-type: none"> - 에너지 자원의 고갈, 기후 변화, 내재해 대응 기술의 부재에 대응 가능한 현장 애로 해결 기술 제공을 통해 관련 산업의 부가 가치 창출에 부응 가능. - 외산 제품에 의존하고 있는 다양한 농업 시설 환경 제어 기술을 대체할 수 있는 국산 제품(하드웨어, 소프트웨어) 보급을 통해 농가의 경영 여건 개선과 아울러 맞춤형, 고효율, 선택형 제품 출시를 통해 후발 농업 개발 도상국 대상 수출 경쟁력 강화 가능. |
| <p>스마트 시설 환경 자동화 기술</p> | <ul style="list-style-type: none"> · 본 연구에서 개발된 coverage 경로계획기법은 온실 내 설정된 모든 작업지점의 방문이 가능한 경로를 제공함. 본 기술을 활용하여 온·습도 등 온실 내 환경 정보의 수집을 위한 경로생성에 활용될 수 있음. · 본 연구에서 개발된 위치추정기술은 인공표식을 이용함으로써 온실 환경과 같이 비정형화된 환경에서 위치추정 정확도를 높일 수 있음. · 본 연구에서 개발된 장애물 감지 기술은 수평 레이저 센서로 감지하기 어려운 바닥 장애물과의 충돌 및 바닥 단차에 의한 플랫폼의 전복 등의 상황을 방지하여 주행 안전성을 확보할 수 있음. 또한, 온실 내 환경을 주행할 경우 발생할 수 있는 작물의 손상, 온실시설의 파손 등을 방지할 수 있음. |
| <p>온실환경 이동작업을 위한 자율주행플랫폼</p> | <ul style="list-style-type: none"> · 원격제어기반 로봇기술의 상용화 <ul style="list-style-type: none"> - 원격제어기술은 완전 자율지능 로봇 한계를 극복하고 미래 로봇기술의 실용화를 위한 핵심 기술로서 차세대 로봇 시장의 형성에 지대한 영향을 끼칠 것으로 예상됨. - 특히 원격제어 기술은 산업용 로봇의 한계를 극복하는 Rob |
| <p>작물생산 관리를 위한 원격 제어 및 보조지능 기반 Robotic Smart Farming System 구현</p> | <ul style="list-style-type: none"> · 원격제어기반 로봇기술의 상용화 <ul style="list-style-type: none"> - 원격제어기술은 완전 자율지능 로봇 한계를 극복하고 미래 로봇기술의 실용화를 위한 핵심 기술로서 차세대 로봇 시장의 형성에 지대한 영향을 끼칠 것으로 예상됨. - 특히 원격제어 기술은 산업용 로봇의 한계를 극복하는 Rob |

| | |
|---|--|
| | <p>otic Smart Work의 핵심기술로서 미래 산업의 혁신을 가져올 기술로 전체 산업에 걸친 파급효과가 매우 클 것으로 기대됨</p> |
| <p>Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링(작업 부하, 연료소비) 시스템 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 본 과제는 트랙터 부하 데이터 측정 관련 기술(계측 시스템 구성, 실시간 측정 기술, 부하 통계 분석)에 관한 것으로 트랙터 신뢰성 향상 및 설계 및 최적화 과정에 기여할 수 있을 것으로 판단됨 • 시뮬레이션 모델은 실내 시험 프로세스를 구축함으로써 기존 포장시험을 대체할 수 있으며 이에 따라 시험에 소요되는 시간 및 비용 등 투입 자원을 절감 가능할 것으로 판단됨 • 트랙터 전체 비용의 30% 이상을 차지하고 있는 동력전달 시스템은 트랙터의 성능을 결정짓는 중요한 요소이며, 본 과제에서 개발한 기술을 통해 동력전달 시스템의 요소 부품 및 전체 시스템의 최적 설계가 가능할 것으로 판단됨 • 기술 이전을 통해 농업기계 이외에 다른 기계 제작 관련하여 현장 애로 해결을 도울 것으로 판단되며, 관련 기술을 통해 부가 가치 창출이 가능할 것으로 판단됨 |
| <p>자율형 로봇 스마트팜 플랫폼 개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 정밀 농업 정보 구축을 위해 표준화된 데이터 수집에 대한 기술 진보 • 농장 규모에 탄력적으로 대응이 가능한 영상과 DB 기반 작물 생육 이미지의 자동 분석, 수집 및 활용을 위한 도구(Tool)로서 다관절 로봇암을 적용, 노동력 부족현상 보완과 농업 생산성 개선에 기여할 수 있음 • 작물 분석(생체정보, 생리활성지표, 품질)을 위한 빅데이터 플랫폼 기반 조성 • 생육진단(생식, 영양생장, 생리장해 등)을 위한 기술 고도화 • 아이센스는 수확자동화를 위한 과일, 엽채소 좌표, 크기, 당도 등 측정을 구현 가능케 함 |

6. 연구성과의 활용계획

| 세부과제명 | 항목 | 내용 |
|--|------------|--|
| 스마트 농작업을 위한 작물, 환경 등의 정보화 및 무인 농업단지 인프라 구축 | 타 연구에의 응용 | <ul style="list-style-type: none"> · 다양한 작업 및 환경에서 적용 가능한 운행 제어, 작업기 제어 기술 개발 등의 지능형 자율주행 제어의 원천 기술을 확보함으로써 첨단 기술 선점 및 국내 농업기계 기술 관련 분야에 적극 활용 가능함 · 농작업의 효율을 높여 농업인의 작업환경을 개선하고 농가의 수익을 증대시킬 수 있으며, 또한 국내 골프장 등의 잔디관리 산업에도 적용 가능하므로 관련 비용 절감을 통해 고품질의 잔디 관리가 가능함 |
| | 추가 연구의 필요성 | <ul style="list-style-type: none"> · 작물 인식 시스템 개발 결과는 본 과제에 적용되는 농업기계뿐만 아니라 다양한 농업기계 및 타 산업분야에 적용성이 높기 때문에 추후 지속적인 확대를 진행 할 계획임 |
| 농작업 환경 및 작물 계측을 통한 지능형 농작업기계 제어 기술 개발 | 타 연구에의 응용 | <ul style="list-style-type: none"> · 자율주행 운행 및 작업 제어 알고리즘 개발 결과는 본 과제에 적용되는 농업기계뿐만이 아니라 다양한 농업기계 및 타 산업분야에 적용성이 높기 때문에 추후 지속적인 확대를 진행할 계획임 |
| | 기업화 추진 방안 | <ul style="list-style-type: none"> · 지능형 농작업기 제어 기술을 이용하여 농업기계 시장에서 최초의 정밀농업형 작업기로 첨단 기술 확보를 통한 참여기업의 이미지 상승이 가능함. 이와 함께 국내외 시장공략 진행을 위한 실용화 연구가 추가로 필요함 |
| 스마트 농작업기계 상용화 및 현장 적용 기술 개발 | 타 연구에의 응용 | <ul style="list-style-type: none"> · 자율주행 트랙터에 활용되는 위치인식 인식기술, 경로 추종기술, 제어기통합제어기술 등의 원천기술을 자율주행 콤바인, 자율주행 이앙기 등 다른 농업기계의 무인 자율화 개발에 확대 적용하여 활용 가능함 |
| 스마트 시설 환경 자동화 기술 | 기업화 추진 방안 | <ul style="list-style-type: none"> · 성능, 비용 측면에서 효과적인 온실 환경 계측 및 제어 기술 이전 · 온실 에너지 절감 기술을 이용한 다양한 에너지 절감 장비의 산업화 · 고효율, 고부가가치 온실 작물 생산 시스템에 적용 가능한 지능형 온실 환경 및 제어 시스템 보급을 통한 국제적인 원예 작물의 경쟁력 제고 가능 |
| 온실환경 이동작업을 위한 자율주행플랫폼 | 타 연구에의 응용 | <ul style="list-style-type: none"> · 레이저거리센서를 온실에서 사용할 경우 온실유리에서의 투과나 정반사 등의 다양한 광학적 특성으로 인하여 안정적인 환경인식이 어려움. 기존 거리센서를 기반으로 한 대부분의 기술은 벽이나 기둥 등의 특징적인 형상인식을 가정하고 있으나, 온실 환경에서는 작물의 형상이 정형화 되지 않은 경우가 많기 때문에 기존 기술을 적용하기 어려움 · 본 연구에서 개발된 위치추정기술은 비정형화된 환경에서 별도의 인공표식을 설치하거나 작물에 반사 테이프를 부착하는 등의 방법으로 위치추정의 정확도를 높일 수 있음 · 본 연구에서 개발된 장애물 감지 기술은 레이저 거리센서를 기반으로 바닥상의 장애물을 감지함으로써 플 |

| | | |
|---|-------------------|---|
| | | <p>플랫폼과 장애물의 충돌을 방지할 수 있으며, 계단과 같은 바닥 단차에 의해 플랫폼이 전복되는 상황을 방지하는 등 주행 안전성을 확보할 수 있음. 또한, 온실 내 환경을 주행할 경우 발생할 수 있는 작물의 손상, 온실시설의 파손 등을 방지하며 주행하는 것이 가능함. 레이저 센서의 종류, 바닥의 재질 및 종류에 따른 바닥 데이터의 특성에 대해 추가 연구를 수행함으로써 산업용 자율주행 로봇, 병원로봇 및 안내로봇 등의 서비스 로봇 분야에 활용할 수 있음</p> |
| <p>작물생산 관리를 위한 원격제어 및 보조기능 기반 Robotic Smart Farming System 구현</p> | <p>타 연구에의 응용</p> | <ul style="list-style-type: none"> 컴퓨터 영상 기반의 센서융합을 통한 위치인식 정밀도 향상 모듈 및 시스템 통합기술 - 비전 기반 센서 융합을 통한 농업 분야 대상 작물 인식 및 수확기 위치인식에 관한 수확 관련 신기술 분야에 뿌리 기술로 활용. 특히 3차원 mapping을 통한 실내공간의 대상작물에 관해 원격으로 3차원적으로 실시간 확인 및 관리할 수 있는 기술을 통해 식물공장 등 실내 환경 인식 분야에 넓게 활용이 가능 |
| <p>Connected Farming 영농관리 의사결정 지원 솔루션 개발</p> | <p>추가 연구의 필요성</p> | <ul style="list-style-type: none"> 영농관리 의사결정 지원 솔루션은 농경지의 다양한 수집 정보를 제공하여 사용자가 농작업에 대한 내용을 판단할 수 있도록 지원함. 그러나 사용자의 판단을 최소화하기 위해 인공지능(AI)기술을 적용하여 다양한 판단 사례 및 데이터 분석을 통해 최적의 농작업 내용을 제시해줄 수 있는 기능이 필요하다고 판단됨 |
| <p>Connected farming 기반 트랙터 동력 모니터링(작업 부하, 연료 소비) 시스템 개발</p> | <p>추가 연구의 필요성</p> | <ul style="list-style-type: none"> 전 세계적으로 농업기계가 전동화됨에 따라 동력전달 시스템 해석 모델에 기존의 내연기관 조건에서 전동모터 조건으로 적용시키는 것이 필요할 것으로 판단됨 본 연구는 78 kW급 트랙터 모델을 대상으로 동력전달 시스템 시뮬레이션 모델을 개발하고 해석을 수행하였으며, 이를 다양한 마력대의 트랙터로 확대시키는 것이 필요할 것으로 판단됨 본 연구에서 개발된 텔레메틱스 기반 트랙터 수명 진단 기술과 트랙터 신뢰성 모니터링 시스템은 향후 LS 엠트론의 세부과제인 한국형 원격제어 트랙터의 사업화와 지속 연계하여 작업성의 증대 및 최적화를 위한 노력과 연구를 진행할 예정이며, 이를 위한 생산성 검증 및 성능평가 또한 지속 진행할 계획임 |
| | <p>타 연구에의 응용</p> | <ul style="list-style-type: none"> 본 연구에서 개발된 트랙터 농작업 부하에 따른 기어 박스의 설계 및 성능 검증 기술은 트랙터뿐만 아니라 농업기계 및 건설기계 등 다양한 기계 산업 분야에서 활용 가능할 것으로 기대됨 기어 박스 성능 검증 기술을 통해 트랙터 동력전달 장치의 최적 설계가 가능해지며, 이를 통해 기존 트랙터에 비해 기술의 첨단화, 고정밀화를 가져다 줄 것으로 기대됨 기술 이전을 통해 농업기계 이외에 다른 기계제작 관련하여 현장 애로 해결을 도울 것으로 판단되며, 관련 |

| | | |
|----------------------------|------------|--|
| | | <p>기술을 통해 부가 가치 창출에 부응 능할 것으로 판단됨</p> <ul style="list-style-type: none"> • 기존의 경험적인 방법에 의존하여 개발한 변속기는 농작업 환경/조건의 반영 없이 설계되어 기어류, 베어링, 케이스 등 관련 부품의 파손 시 정확한 원인 분석이 불가하고 제품의 신뢰성이 낮기 때문에 대체 방법이 필요한 실정이었음 • 본 과제는 트랙터 부하 데이터 측정 관련 기술(계측 시스템 구성, 실시간 측정 기술, 부하 통계 분석)에 관한 것으로 트랙터 신뢰성 향상 및 설계 및 최적화 과정에 기여할 수 있을 것으로 판단됨 • 기존의 트랙터 제조회사는 다이내모미터 테스트 장비를 구축하여 변속기 내구성에 대한 신뢰성 평가를 자체적으로 실시하고 있으며, 본 연구에서 개발된 동력 전달 시스템 시뮬레이션 모델 및 해석 기술을 통해 시험에 소요되는 시간 및 비용 등 투입 자원을 절감 가능할 것으로 판단됨 • 기술 이전을 통해 농업기계 이외에 다른 기계 제작 관련하여 현장 애로 해결을 도울 것으로 판단되며, 관련 기술을 통해 부가 가치 창출이 가능할 것으로 판단됨 |
| | 기업화 추진 방안 | |
| 한국형 원격제어트랙터 및 텔레매틱스 시스템 개발 | 추가 연구의 필요성 | <ul style="list-style-type: none"> • 자율주행 트랙터의 다양한 주행 패턴과 농작업 방법이 참여업체인 LS엠트론을 통해 개발되고 있음. 차후 지속적인 협력을 통해 상용화를 촉진하도록 노력하고자 함 • 자율주행 트랙터의 수출을 위해서는 선진사 수준의 자율주행 농작업 정확도 및 효율성 향상이 필요함. 또한 수출 대상국의 농업환경 조사, 해외 특허 및 논문 게재 등을 통한 신뢰성 확보, 국가 해외 개도국 지원 사업을 통한 보급 및 해외 현지 KOTRA 협력을 통한 판로 개척등이 요구됨. LS엠트론은 이런 내용을 지속적으로 추진하면서 수출을 확대하고자 노력하고 있음 |
| | 기업화 추진 방안 | <ul style="list-style-type: none"> • LS엠트론의 직진 주행 가능한 자율주행 트랙터는 이미 상용화 하였으며, 현재 약 12대가 보급되어 있음. 추후 선회 및 농업경영인 관리용 Application 기술, Telematics HMI 기술, 트랙터 공장진단 시스템, 최적 농작업 가이드 기술 등을 추가하여 자율주행 트랙터의 성능을 고도화 하고자 함. 이를 위해 LS엠트론 에서는 지속적인 투자와 노력을 기울일 예정임 |
| 농업생산 무인자동화 기술을 배양한 인력양성 | 추가 연구의 필요성 | <ul style="list-style-type: none"> • 본 과제에서 양성한 취업 인력의 대다수는 첨단 농업 분야에 취업하였으며, 향후 ‘BK21 글로벌 스마트팜 혁신인재 양성사업단’ 등의 사업을 통해 지속적으로 첨단 농업 전문 인력을 양성하고자 함 |
| 온실환경 이동작업을 위한 자율주행플랫폼 | 추가 연구의 필요성 | <ul style="list-style-type: none"> • 온실 모바일 로봇의 수출 확대를 위해서는 다양한 온실 환경에서 지속적인 성능 검증이 필요하여, 이러한 노력이 스마트팜 혁신밸리 등 대형 온실 환경에서 지속적으로 진행되고 있음 |

| | | |
|-------------------------------|------------|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> · 또한 온실 모바일 로봇의 적용 확대를 통한 수출을 위해 창고 내 상품운반로봇, 노지 물류 운반로봇, 호텔 내 배달 서비스로봇, 공항 내 청소/안내로봇 등으로 확대하고자 연구를 지속하고 있음 |
| 자율형 로봇 스마트팜 플랫폼 개발 | 추가 연구의 필요성 | <ul style="list-style-type: none"> · MEMS 미리 스캐닝 기술 활용을 통한 정밀 3D 스캐닝 이미지 분석을 통한 중량 예측 · 열화상 분석을 통한 작물 생육 상태 분석 및 병해충 예찰 기능 구현 · 다관절 로봇암의 기능 강화를 위한 정보 처리 기술 고도화 |
| | 타 연구에의 응용 | <ul style="list-style-type: none"> · 타 기관의 병해충 빅데이터와 이미지 분석 기술의 융합으로 병해충 예찰을 구현하여 작물 재배 안전성 확보 필요 · 다관절 로봇암 및 자율주행 드론을 통한 생육진단 기능 적용의 다변화 |
| | 기업화 추진 방안 | <ul style="list-style-type: none"> · Depth 센서를 활용한 작물 생육/속도/품질 모니터링의 토털 솔루션 공급 · 자동 수확 플랫폼의 상용화로 스마트팜(수직농장 포함) 내 노동력 보완과 작업 용이성 구현 · 작물 생육 모니터링의 고도화를 통한 농업 진입 장벽 해소 |
| 온실환경 작업 최적화를 위한 스마트 방제 시스템 개발 | 타 연구에의 응용 | <ul style="list-style-type: none"> · 서방형 방출 플랫폼 기반 농업 응용 <ul style="list-style-type: none"> - 서방형 방출 플랫폼을 이용해 다양한 분석 등을 통해 효과를 증명하였으나, 실제 농업에 적용하여 그 효과를 추가적으로 증명해야할 것으로 보임. 잔류농약 분석, 작물 생장·생육 확인 등 더욱 많은 현장 수준의 분석이 필요할 것으로 보임 · 최첨단 나노기술 기반 서방형 방출 플랫폼 응용 <ul style="list-style-type: none"> - 개발된 서방형 방출 플랫폼은 생체적합한 소재로 개발되었으며, 약물의 서방형 방출이 가능하기 때문에 의료소재로도 적용 가능할 것으로 여겨짐. 이에, 서방형 방출 플랫폼을 이용해 바이오메디컬 분야로 응용 연구를 진행할 계획임 |

추가 활용계획

□ 첨단 무인자동화 농업생산시범단지

- 첨단 무인자동화 농업생산시스템 구축 및 국내외 보급을 위한 노지 스마트농업 모델 제시
- 본 과제의 목표는 노지 스마트 농업 구현을 위한 핵심 요소기술 개발과 온실 스마트팜 3세대 로봇 기술 개발임. 본 연구를 통해 개발한 노지 스마트 농업 요소기술은 시범단지 조성 사업을 통해 통합 기술화되어 현장 적용성을 검토하고 있으며, 온실 로봇은 스마트팜 혁신 벨리 등 대단위 온실 시설에서 시험되고 있음

· 사업기간: 2020 - 2023년 (총 4년) · 사업면적: 54.3ha (논 30.5ha, 밭 20.6ha, 건축 3.2ha)

· 사업내용

- 미래형 논, 밭농경지 조성
- 자율주행 농기계 시스템 및 통합플랫폼 구축
- 시범단지 관리 첨단 시설물 구축 (관제센터, 농기계 보관창고, 육묘장 등)

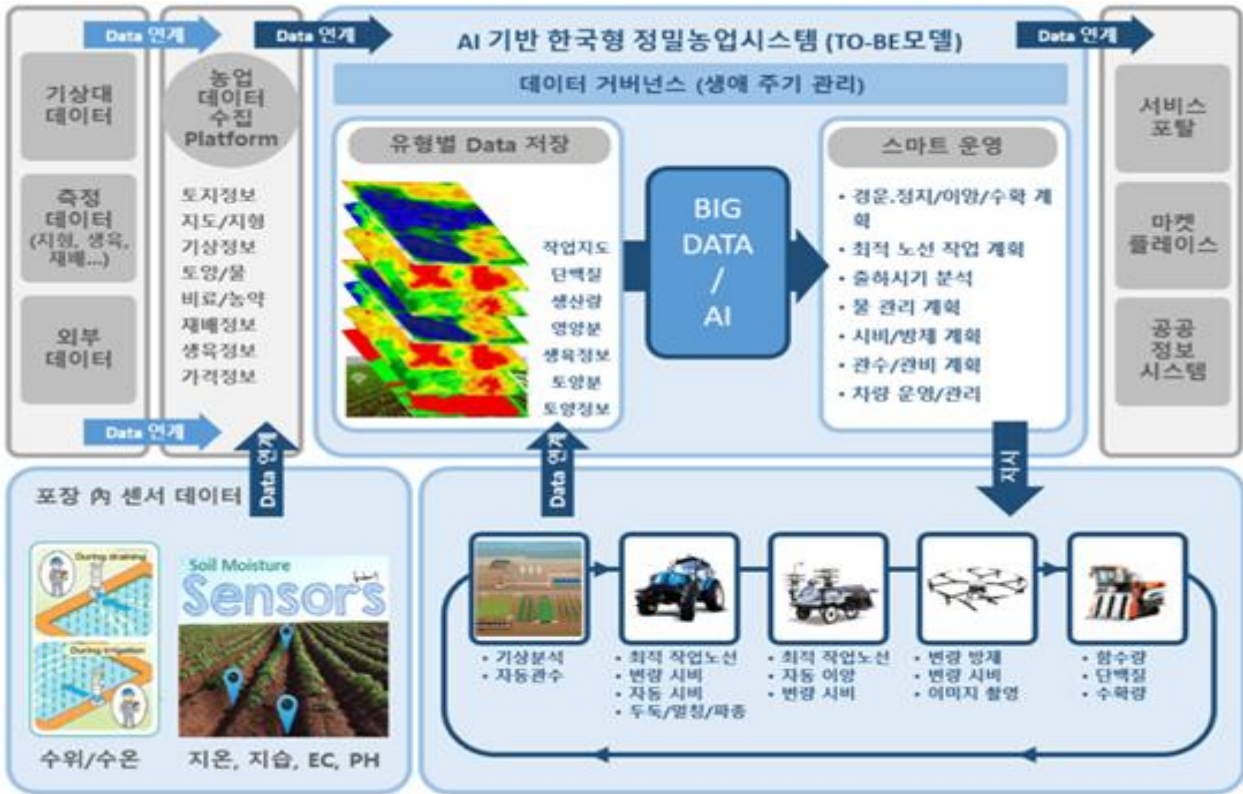


〈첨단 무인자동화 농업생산시범단지 개요〉

○ 활용계획

- 본 과제에서 개발된 요소 기술들은 전남 나주에 조성중인 첨단 무인자동화 농업생산시범단지(약 50ha)에 적용되어 첨단 농업을 구현할 것이며, 관련 사업화를 촉진하고자 함
- 드론 기반의 벼 수확량 모니터링 시스템은 관련 기술 개발에 중점을 두었으며, 향후 노지 스마트 농업 시범단지에서 다양한 품종 및 속도에 따라 추가적으로 시험을 진행할 예정임
- ‘영농관리 의사결정 솔루션’ 도 시범단지 관제센터에 적용되어 다양한 센서로부터 정보를 수집하고, 이에 따른 농작업 의사결정 및 농기계를 제어하고, 외부 유통 시스템과 연결되는 개방형 플랫폼으로 확대되고 있음

□ 첨단 무인자동화 농업생산 시스템



<첨단 무인자동화 농업생산 시스템 개념도>

○ 활용계획

- 본 연구에서 개발한 내용은 노지 스마트농업 구현을 위한 핵심 요소기술임. 이러한 기술을 전남 나주에 조성 중인 첨단 무인자동화 농업생산시범단지(약 50ha)에 적용하여 통합 기술로서의 성능을 검증할 계획임. 또한 이러한 기술을 활용하여 벼, 양파, 마늘, 콩을 재배하여 노지 스마트팜 모델을 개발하고자 함

7. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

○ 자율작업 트랙터 상용화 현황

- John Deere는 Telematics 기반 데이터 공유로 군집/연합 작업 가능한 제품을 출시



<Telematics 기반 데이터 공유>

- John Deere, CASE IH, Fendt 등은 완전 무인 자율작업 트랙터 Proto 개발 완료 및 상용화 목전

Autonomous Concept Tractors



[John Deere]



[CASE IH]



[Fendt]

<완전 무인 자율작업 트랙터>

- John Deere는 자율주행 시스템과 Camera 기술을 추가, 작물열을 인식하여 그사이로 주행하여 직진추종 정밀도/작업 속도 향상 및 작물 손실 감소 기술을 적용



<작물열 인식 기술 적용>

○ 자율주행 플랫폼의 기술 동향

- 최근 들어 우편물 배송, 음식 배송이라든지 아니면 지역사회 물품 택배와 같은 배송 로봇 기술의 개발과 사업화가 활발히 이루어지고 있음
- 스타업 로봇의 경우 음식 배송에 있어서 가장 뛰어난 기술력을 보이고 있으며 이외에도 아마존, 페덱스 같은 대형 물류회사에서도 배송 로봇을 개발하고 있음
- 농업용 로봇으로는 구글 출신 엔지니어들이 설립한 아이언 옥스의 식물공장 로봇이 있고, 토마토를 수확하고 운반하는 메토모션의 온실 로봇 등이 있음
- 자율주행 기술이 연구단계에서 머물지 않고 물류 운송이나 서빙, 안내 등의 서비스를 제공하는 이동로봇은 국내외에 상용화된 제품이 등장하고 있으며, 그 외 여러 다양한 응용 분야에서도 폭발적인 성장이 기대됨

■ 선진 기술 – Starship, Amazon 배송 로봇



■ 선진 기술 – Iron Ox, MetoMotion 온실 로봇



<이송작업을 위한 자율주행 플랫폼 선진기술 동향>

○ 농업용 로봇의 제품 현황

- Harvest Croo Robotics는 딸기 수확부터 포장까지 자동 처리 가능한 수확용 딸기 로봇을 개발
- Agrobot Robotic Harvesters는 원격 조종이 가능하고 수확 과정 모니터링이 가능하며, 수확용 로봇팔을 최대 24개 장착 가능한 로봇을 개발
- Abundant Robotics는 세계 최초로 상업용 사과 수확 로봇을 개발



Harvest Croo Robotics



Agrobot Robotic Harvesters

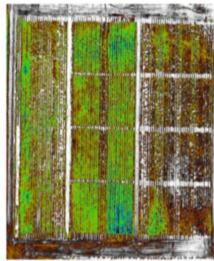


Abundant Robotics

< 농업용 로봇 제품 >

○ 수확량 측정 및 지도화 기술

- 체코의 Workswell은 열화상 영상을 활용하여 농작물 스트레스 지수 매핑 기반의 수확량 지도, 관개 최적화, 수자원 관리등의 정보를 제공
- New Holland는 정밀농업 종합 솔루션인 Precision Land Management (PLM)를 개발하여 토양 지도, 수확량 지도, 처방 지도 등 토양 매핑 정보를 제공



Workswell

New Holland

<해외 수확량 측정 및 지도화 기술>

8. 연구개발결과의 보안등급

○ 일반과제

- 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의 4에 해당하지 않음

9. 연구개발과제의 대표적 연구실적

| 기관 | 세부과제명 | 내용 |
|-------|---|----------------------------------|
| 전남대 | 드론 기반 농경지 및 작물 정보화 기반기술 개발 | ○ 드론기반 농경지 및 작물 3D 모델링에 의한 특성 추출 |
| 공간정보 | Connected Farming 영농관리 의사결정 지원 솔루션 개발 | ○ 영농관리 의사결정 지원 솔루션 개발 및 사업화 |
| 충남대 | Connected Farming 기반 트랙터 동력 모니터링(작업 부하, 연료소비)시스템 개발 | ○ 트랙터 부하 모니터링 시스템 개발 |
| LS엠트론 | 한국형 무인자율 트랙터 및 텔레매틱스 시스템 개발 | ○ 자율작업 트랙터 상용화 기술 개발 및 제품 출시 |
| 고려대 | 온실환경 이동작업을 위한 자율주행 플랫폼 | ○ 온실내 물류운반을 위한 자율주행 로봇 개발 |

주 의

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