

보안과제(), 일반과제(O)

과제번호 109052-3

발간 등록 번호

11-1541000-001379-01

IT융합 친환경 배 재배관리 정보화 및 생력화 시스템 개발

(Development of IT Oriented Environment Friendly
Cultivation and Mechanization for a Pear Orchard)

연구기관

성균관대학교

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “IT융합 친환경 배 재배관리 정보화 및 생력화 시스템 개발에 관한 연구” 과제(세부과제 “IT 융합 친환경 배 재배관리 정보화를 위한 센서 인터페이스 및 통합 모니터링 시스템 개발”, “배 재배 관리용 생력화 안전 고소 작업기 개발”)의 보고서로 제출합니다.

2012 년 4 월 9 일

주관연구기관명 : 성균관대학교

주관연구책임자 : 황 현

세부연구책임자 : 이 규 승

연 구 원 : 김 시 찬

연 구 원 : 조 성 호

연 구 원 : 최 선

연 구 원 : 이 동 구

연 구 원 : 조 용 진

연 구 원 : 김 택 성

요 약 문

I. 제 목

IT융합 친환경 배 재배관리 정보화 및 생력화 시스템 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리나라 농업은 WTO 체제 출범 이후 국가 간 무역장벽이 없어지고 세계가 하나의 시장화가 됨으로 상대적으로 타 산업분야 보다 경쟁력이 취약하여 많은 어려움에 직면한 실정이다.

그리고 이러한 농업 환경의 변화는 피할 수 없으므로 우리는 농업의 과감한 경영혁신 및 생산비 절감, 고품질 농산물 생산을 통하여 경쟁력 향상을 필히 시켜야겠다.

이러한 변화 속에서 우리나라 배 생산 산업은 타 과실에 비하여 비교적 소득이 높고 재배가 용이하여 경쟁력이 높아 급속히 성장하여왔다. 그러나 수입과실과의 경쟁이 더욱 치열해지고 또한 생산물의 안정성에 대한 소비자들의 요구가 증가되면서 농약과 화학비료의 사용을 최소화하는 친환경 재배관리가 필수적인 요소로 대두되고 있다.

그간 재배환경은 주로 신고라는 단일품종에 편중된 재배를 해 왔으며, 다수확, 고품질화를 목표로 하여 무분별한 농약, 화학비료에 의존한 재배를 수행하였으나 점차적으로 친환경 재배관리에 대한 관심의 고조로 목초액, 키토산, 활성탄 등과 같은 유기농 재료를 이용한 재배가 활발하다.

현재 국내외에서 일부 농용 고소작업차가 개발되어 국내 과수원 및 다양한 분야에서 사용되고 있으나 아직 개발 초기 단계이고, 주행 및 작업 안정성에 대한 연구가 부족한 실정이며, 경사지에서 주행 및 작업 시 전복의 위험이 있기 때문에 그 사용은 극히 저조한 실정이다. 따라서 본 연구에서 수행하는 사용자 입장을 고려한 안전 고소작업차의 개발을 위한 기계의 안전성 분석이 반드시 필요하다.

본 연구 과제는 우선 생산체계로 볼 때 수작업의 비중이 전체 작업공정에 걸쳐 높은 비율을 차지하고, 타 작목에 비해 고부가가치를 갖는 배 과수를 대상으로 하여 효율적 경영을 가능하게 하는 **재배관리 정보화 및 생력화 시스템을 개발**함을 목적으로 두고 있다.

이러한 정보화 및 생력화는 고품질, 수율 안정성 확보를 위한 과수의 개체관리를 가능하게 하고, 정밀 무인 방제 및 비료 살포 등과 같이 친환경 및 자원절감형 건강 영농을 이루도록 정보 및 시스템을 체계적으로 지원할 수 있다.

지금까지의 영농에서의 생육환경 관리방법과 달리 정밀 이러한 데이터를 시, 공간적인 재배환경 요인 획득, 정량화 데이터 획득 및 축적을 통하여 개체별 생육 상태 모니터링 및 데이터를 활용할 수 있도록 할 필요가 있다.

과수생산 작업을 대상으로 하는 설비 및 작업기계의 개발은 전정, 전지, 적과 및 봉지 씌우기 등 섬세한 작업을 요구하기 때문에 과수 생산규모에 따른 경제성과 과수작업의 난이성과 다양성을 해결할 수 있는 새로운 개념의 생력화 도입이 필요하다. 노동력이 많이 투입되는 전정, 적과, 봉지 씌우기, 수확 작업의 경우 대부분 인력에 의존하므로 작업자의 편이성을 강조하는 보조할 수 있는 작업시스템 구축이 반드시 필요하다.

본 과제는 다음과 같은 목표를 두고 있다.

1. IT 융합 친환경 배 재배관리 정보화를 위한 센서 인터페이스 및 통합 모니터링 시스템 개발
2. 다양한 지형의 과수원에서 사용이 가능한 현장 투입용 신개념 배 재배 관리용 생력화 안전 고소 작업기 개발 및 생력화를 위한 편이장비를 활용할 수 있는 편이장비 시스템 구축

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구과제는 우선 생산체계로 볼 때 수작업의 비중이 전체 작업공정에 걸쳐 높은 비율을 차지하고, 타 작목에 비해 고부가가치를 갖는 배 과수를 대상으로 연구를 한다. 배 재배 관리에 있어서 재배관리를 효율적 경영을 가능하게 하는 정보화 및 생력화를 위하여 먼저 정보화를 위한 센서 인터페이스 체계를 연구하고 유비쿼터스 IT 기반 기술을 접목한 시스템이 접목된 정보 수집용 로봇 개발 및 수집된 정보의 데이터베이스화 할 수 있는 소프트웨어를 개발한다. 그리고 이것을 운용할 수 있는 사용자 인터페이스 및 모니터링 시스템을 개발한다. 또한 이에 연동된 배 재배 관리를 위한 생력화 장비로 실질적인 현장 투입용 신 개념의 고소 작업기를 개발하여 작업 가동시간의 최대화, 작업 손실의 최소화, 작업자의 안전을 최우선 목표로 하는 일관 생력화가 가능하도록 함에 과제 목표가 있다.

본 과제에서 목표로 하는 연구 개발의 내용 및 범위는 다음과 같다.

[제 1 세부 과제]

: IT 융합 친환경 배 재배관리 정보화를 위한 센서 인터페이스 및 통합 모니터링 시스템 개발

- 배 과수재배 환경 종합 모니터링을 위한 기초 연구
 - 친환경 배 재배를 위한 최적 관리 방안 연구
 - 배 과수재배 환경 감시 및 처방 항목 선정
 - 적정 센서 선정
 - 배 재배환경에 적합한 환경인자 수집 시스템 모듈 개발

- 배 재배관리 정보화를 위한 무선 원격 주행로봇 개발
 - 주행경로 설정 및 탐색 시스템 개발
 - 자율 주행 로봇의 위치 및 자세 정보 획득 시스템 개발
 - 환경요인 감지 모듈(센서부, 주행부, 무선송수신부, 통합시스템제어부)간의 연동을 위한 입출력 설계
 - 자율 주행 로봇의 전력 관리 시스템 개발
 - 노지 주행을 위한 자율주행 로봇 차체 개발

- 통합 모니터링 및 데이터베이스 시스템 개발
 - 종합 환경모니터링 시스템 개념 설계
 - 통합 데이터 수집 및 처리 소프트웨어 설치, 운영 및 보완
 - 터치스크린과 무선 영상을 이용한 GUI (graphical user interface) 환경 하의 사용자 친화형 작업 인터페이스 및 작업수행, 시스템 진단, 통합 작업 관리용 소프트웨어 모듈 개발

및 데이터베이스 엔진 설계

[제 2 세부 과제]

: 배 재배 관리용 생력화 안전 고소 작업기 개발

- 배 재배관리 생력화를 위한 현장요인 분석 및 시스템 개념 설계 및 단위장치 구성
 - 실외 실증 실험 환경 이력 조사 및 최적 생력화 방안 분석
 - 다기능 작업을 위한 전체 시스템 개념설계 및 모듈별 인터페이스 설계
 - 단위장치 연동(주행부, 고소작업부)을 위한 기능사양 분석 및 설계

- 주행부와 고소 작업부의 안전성 확보 요인 분석/개념 설계 및 세부 모듈(주행부, 고소 작업부) 간 통합 설계 사양 분석
 - 이론적 고찰 및 요인실험장치 설계/제작
 - 실험장치 구축 및 요인실험장치 실내 실험

- 원격제어장치를 고려한 궤도 주행 과수재배 통합 생력화 작업기 제작
 - 시스템 통합 제어기 설계 제작 시험
 - 원격 운전부/조작부 Unit 및 부속작업기 매거진 제작

- 통합 생력화 작업기 시험 구동 및 현장 요인 실증 실험 및 문제점 분석
 - 통합 시작기 실외 요인 실험 (배 과수원 3개소, 21회 이상)
 - 모듈별 통합 설계 사양 및 적합성 검토를 위한 실내 성능 실험 (공유 인터페이스, 동력 소모, 제어부 통합)

- 통합 생력화 작업기 편이장비 시험 구동 및 현장 요인 실증 실험
 - 세부 모듈 통합 구성 및 시작기 및 편이장비 시험 구동
 - 통합 시작기 문제점 분석 및 개선을 통한 상용화 스펙 도출

IV. 연구개발결과

본 과제에서 목표로 하는 연구 개발의 결과는 다음과 같다.

[제 1 세부 과제]

: IT 융합 친환경 배 재배관리 정보화를 위한 센서 인터페이스 및 통합 모니터링 시스템 개발

○ 배 과수재배 환경 종합 모니터링을 위한 기초 연구

- 친환경 배 재배를 위한 최적 관리 방안 연구로 문헌 조사 및 자료 수집 분석을 통하여 배 과수재배 환경 감시 및 처방 항목으로 기온, 습도, 일조량, 토양 온도, 토양 수분, 토양 EC로 선정하였다.
- 적정 센서 선정을 위해 상기 감시항목에 대한 센서 정보를 수집하고 분석하여 적정 센서를 설정하고 검토하여 대기 온습도는 반도체식 센서를, 토양 센서로는 토양 수분, 온도, EC값이 한꺼번에 획득되도록 하였으며, 또한 일조량 센서의 경우 위치에 따라 장애물 등으로 인하여 일관된 계측이 어려워 이동 계측을 하지 않고 일조량 계측 시 장애물이 없는 고정위치에서 계측하도록 하였으며,
- 필요에 따라 배 재배환경에 적합한 환경인자 수집 시스템 모듈을 개발하였다.

○ 배 재배관리 정보화를 위한 무선 원격 주행로봇 개발

- 주행경로 설정 및 탐색 시스템 개발을 위해 기하학적 데이터 수집 시스템을 별도로 구축하여 그 정보를 수집할 수 있도록 하였으며, 수집된 정보를 외곽 정보, 과수 위치 정보, 주행 경로 계획 정보, 그 외의 장애물 위치 및 형상정보와 같이 경계정보 또는 위치정보로 구분하여 자료를 분석할 수 있도록 하였다. 그리고 이 정보를 가시화하기 위하여 구글 맵을 이용하여 실제의 지도와 연동되게 하였다.
- 생육 환경 센서 시스템 통합 관리 및 정보를 데이터 서버 전송 시스템 개발 의 결과 센서 네트워크를 구축하여 센서 간 정보 교환을 통하여 1km 이상 장거리 전송이 가능하였다.
- 로봇의 위치 및 자세 정보 획득을 위한 DGPS, INS, VRS, 센서 융합기술을 활용한 고정밀, 초저가 센서 시스템 개발하여 위치 정확도 2m, 속도 정확도 0.05m/s를 구현했다.
- 환경요인 감지 모듈(센서부, 주행부, 무선송수신부, 통합 시스템 제어부)간의 연동을 위한 입출력 설계로 CAN 통신, RS232통신, EATHER NET 통신과 같은 다양한 인터페이스에 대한 연구를 수행하였으며, 외부 환경에 적용될 수 있는 안정성 및 성능을 고려한 인터페이스를 설계하였다.
- 자율 주행 로봇의 전력 관리 시스템 개발을 위해 전원 구조를 블록화 하여 고 전력 전원, 저 전력 전원, 정밀 전원으로 나누었으며, 이것을 구동계 전원과 제어계 전원으로 크게 구분하여 상호 간섭이 없는 관리를 할 수 있도록 하여 구동 전원이 고갈 되더라도 서

버에 현재 상태를 전송하여 사후 관리를 할 수 있도록 하였다.

- 노지 주행을 위한 자율주행 로봇 차체 개발을 위해 3차에 걸쳐 안정적인 운전, 저 중량, 고 성능의 4륜구동 로봇 시스템 차체를 개발 하였다.

○ 통합 모니터링 및 데이터베이스 시스템 개발

- 종합 환경모니터링 시스템 개념 설계를 위해 환경감시 및 처방 항목에 대한 수집 인자를 검토하였으며, 이러한 정보를 수집하고 분석 및 데이터베이스화하기 위한 소프트웨어를 개발하였다.
- 통합 데이터 수집 및 처리 소프트웨어 설치, 운영 및 보안을 위하여 정보 수집을 위한 하드웨어 인터페이스를 구축하고 구축된 모듈로부터 수집된 정보를 통합 수집할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 그리고 수집된 데이터를 분류, 분석하여 데이터베이스화하기 위한 사용자 인터페이스 또한 구축하였다.
- 터치스크린과 무선 영상을 이용한 GUI (graphical user interface) 환경 하의 사용자 친화형 작업 인터페이스 및 작업수행, 시스템 진단, 통합 작업 관리용 소프트웨어 모듈을 개발하였으며, 이러한 소프트웨어를 통하여 실질적으로 응용이 될 수 있도록 데이터베이스 엔진을 설계하였다.

[제 2 세부 과제]

： 배 재배 관리용 생력화 안전 고소 작업기 개발

○ 배 재배관리 생력화를 위한 현장요인 분석 및 시스템 개념 설계 및 단위장치 구성

- 현장 환경 조사 및 최적 요인 점검을 통하여 과수관리 작업자의 안전을 도모하고 작업 효율을 높이기 위해서는 인력에 의해 이루어지는 기존의 관리 작업 방식을 기계화, 생력화로 개선할 필요성을 점검하였다.

○ 주행부와 고소 작업부의 안전성 확보 요인 분석/개념 설계 및 세부 모듈(주행부, 고소 작업부) 간 통합 설계 사양 분석

- 개발된 고소작업기에 편이장비 시스템을 구축하여 작업자의 작업 편의성을 높이고자 하였으며, 고소작업기의 사용시 작업자의 안전과 효율적인 기계사용을 위하여 고소작업기의 정적, 동적 안정성 분석을 수행하였다.
- 과수원용 고소작업차의 안정성 분석은 고소작업차의 높이에 따른 주행시 전복에 대한 안정성을 분석은 실제적 접근 실험 및 시뮬레이션을 통하여 수행되었다.

○ 원격제어장치를 고려한 궤도 주행 과수재배 통합 생력화 작업기 제작

- 시스템 통합 제어기 설계를 통하여 기본적인 시스템을 설계하였으며 원격 운전부/조작부 Unit 및 부속작업기 매거진 제작 및 구축하였다.

- 생력화 고소작업기 제어부 수동 컨트롤러를 설계 및 구성하여 주행시 전진, 후진, 중립으로 조향은 클러치 온오프로 설계 및 구성하였다. 편이장비 시스템의 작업부의 수평제어, 작업부의 승하강은 파워팩의 유압제어식을 사용하였다.
- 주행 시스템과 구동제어기 성능평가 및 보완 및 최종 생력화 작업기계의 현장 연시 및 작업 성능 평가
- 과수원용 고소작업차의 높이와 적재하중에 따른 전복각을 분석하고 전복각에 대한 고소작업차의 주행 안정영역을 설정하였다. 작업대에 적재하중이 없을 때 높이별 주행 안정영역의 크기를 비교하면 최저높이에서 안정영역 크기를 100%로 설정하였을 때, 중간높이의 안정영역의 크기는 41.4%, 최대높이의 안정영역의 크기는 13.5%로 나타낼 수 있었다. 작업대에 220kg의 최대적재하중이 부과되었을 때 높이별 안정영역의 크기를 비교하면 최저높이에서 안정영역의 범위를 100%로 설정하였을 때, 중간높이의 안정영역 크기는 28.8%, 최대높이의 안정영역 크기는 8.0%로 나타났다. 이는 작업대의 높이가 상승함에 따라 고소작업차의 무게중심이 상승하면서 안정영역의 크기가 크게 감소하게 되었음을 알 수 있었으며, 작업대 적재하중에 따라 무게중심의 위치 변경으로 인해 안정영역이 또한 감소함을 알 수 있었다.
 - 고소작업차의 등판성능 시험결과 18%, 21%, 28%, 32%의 구배를 갖는 경사면에 고소작업차량을 전진 1단, 전진 2단, 후진 1단으로 속력을 고정하여 주행할 때 등판 및 하강시의 속력과 등판저항을 측정하고 이를 실제 속력과 비교하여 슬립율을 구하였다.
- 통합 생력화 작업기 편이장비 시험 구동 및 현장 요인 실증 실험
- 과수원용 고소작업차를 사용하는 작업자의 작업 편이성을 높이고자 편이장비 시스템을 구축하였다. 작업대는 수직 승강식으로 지면을 기준으로 하였을 때 최대 3090mm, 최저 640mm까지 승하강이 가능하며, 작업대는 좌우 300mm까지 확장이 가능한 구조로 이루어졌다. 작업대는 경사면에서도 수평 상태로 작업이 가능하도록 편측 최대 12°까지 기울어질 수 있도록 하였다. 또한 공압컴프레셔와 같은 공압시스템을 구축하여 공압전지가 위, 공압전정톱과 같은 공압기기를 사용하여 작업자의 작업 편이성을 높이고자 하였다
 - 작업자의 평균 신장을 1,700mm라고 가정할 때, 본 연구에서 사용된 고소작업차를 탑승하였을 때 수직 방향으로 최대 5,000mm까지 수평방향으로 최대 3,000mm까지 작업이 가능하였다. 이러한 작업반경은 시설재배형식의 과수원에서 작업 시 과수 사이에서 양측의 과수 모두에 작업이 가능하였다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

○ 산업화 측면

- 본 연구를 통하여 정제되어 있는 배 재배관리 기계화의 일관 생력화가 가능하다. 수작업 위주의 배관리(수확, 봉지 씌우기/벗기기, 적과, 전정, 방제)등 재배관리의 생력기계화를 통하여 부족한 노동력을 대체하고 생산성의 향상을 실현할 수 있어 기업형 과수농을 실현할 수 있다.
- 수확, 봉지 씌우기/벗기기, 적과, 전정, 전지등의 작업에 단일 설비로서 공통적으로 투입되어 배 재배관리의 일관 생력작업화를 가능하게 하여 기계설비 비용을 절감하고 기계 가동율을 향상시켜 배의 재배관리 및 수확작업에 범용으로 적용할 수 있는 생력 기계화 시스템의 상용화가 급속히 촉진될 것이다.

○ 실용화 측면

본 과제에는 작업기 생산업체인 한성T&I(티앤아이)와 기업형 과수농의 전환을 원하는 과수농이 같이 참여하므로 개발한 시스템의 현장 적용 및 산업화가 구체적이며 현실적이어서 개발 시스템의 확산 보급이 효율적으로 진행될 것이다.

- 1) 연구개발 직후 (주)한성티앤아이에 바로 기술이전이 가능하여 산업화를 위한 추가적인 인력, 비용, 시간 투입 최소화
- 2) 연구과제 완료 후 친 환경 배 재배 생력화 작업기에 본 연구팀에서 개발한 기술인 유/무인 자율주행기술을 적용가능
- 3) 연구 개발 완료 후 (주)한성티앤아이에서 상용화하여 노동력 절감과 생산 품질, 가격 경쟁력의 우위를 통해 개발시스템의 해외 수출이 가능
- 4) 배 과수 농가의 기업형 전환을 위한 기술기반 제공

- 장기적으로 볼 때 개발된 IT 융합 생력화 설비 및 재배관리 정보화 시스템 설비 및 기술의 수출을 촉진하게 된다.

SUMMARY

System and technology development of the IT oriented environment friendly cultivation and mechanization for an orchard allows to change of the agricultural production paradigm, to increase the production efficiency including flexible labor, and the safety of farm operation.

In order to gather the environment information of fruit production of orchard, three research topics were carried out such as (1) development of the IT oriented cultivation management system via monitoring environment growth factors such as temperature, moisture, light flux, and soil characteristics via utilizing spatio-temporal sensors and wireless interfaces (2) development of the autonomous mobile robot system which allows environment monitoring and real time collection and wireless communication of sensory data (3) building the integrated control software and database.

And in order to realize orchard mechanization and automation following researches were also carried out. (1) to develop a aerial lift vehicle and construct the convenient equipment system attachable to orchard aerial lift vehicle and evaluate its performance (2) to evaluate the dynamic and static stability of orchard aerial lift.

As measuring factors for the environment monitoring, temperature, moisture, light flux, soil temperature, soil moisture, and soil EC were selected. Sensor network system was built and more than 1 km remote data transmission of environment sensory data was achieved. Mobile robot system with an accuracy of maximum 2m and average 0.6m accuracy with 0.05m/sec speed control utilizing the combined technologies of DGPS, INS, VRS, and sensor fusion. Block power structure were established to allow the isolated independent maintenance of power for control and motion. And the integrated monitoring system with functions of data collection and storage was developed.

The stability analysis of the orchard aerial lift was conducted with 220kgf weight on the aerial operation plate and without weight. Three degree of freedom modelling was performed using SolidWorks and dynamic simulation was carried out using the soil and soil surface parameters. To verify the effectiveness of the model, climbing and driving performance test of the orchard aerial lift was performed for the ground slope conditions of 18, 21, 28 and 32% on the field test yard of 'Foundation of Agri. Tech. Commercialization & Transfer'(FACT) located in Hwa Sung city.

To conduct the management operations such as Pruning, Disbudding, Fruit thinning and Bagging efficiently, a convenient equipment system was constructed using Pneumatic pruning shears, tilting system for sloped area, Pneumatic secateurs and air compressor. This system was tested its performance in orchard. It was performed by the center of gravity measure test for the validation of stability analysis and simulation result of orchard aerial lift. The result was $(x, y, z) = (577.929, 411.924, 486.700 \text{ mm})$.

The safety working area was analyzed by comparing rollover test and simulation test. It was found that there had error each medium(1,750mm) and maximum(3,090mm) height of working

table. But there had no error in the minimum(640mm) height.

In climbing case, hill-climbing ability results had more than 10% slip ratio because of hill climbing resistance and reduced traction by ground tilt angle. In downhill case, it had below 10% slip ratio by driving force for hill climbing resistance.

Working table for convenient equipment system was possible to lift the maximum 3,090mm, the minimum 640mm as the height from the ground. It was also able to expand 300mm to the left and right. Using hydraulic system was used to control inclination angle adjustment to 12°.

CONTENTS

Chapter 1 Summary of Research	22
Section 1 Objective	22
1. Final Objective	22
2. Sub Objective	22
Section 2 Needs of Research	25
1. Technical Aspect	25
2. Economical . Industrial Aspect	26
3. Social . Cultural Aspect	27
Chapter 2 Worldwide Survey on Technology Development	28
1. Domestic Survey	28
2. Worldwide Survey	29
3. Survey of Aerial Lift Vehicle	29
Chapter 3. Contents and Result of R&D	31
Section 1 Basic Study	31
1. Basic Study for monitoring of cultivation for a Pear Orchard	31
2. Investigation of Pear Cultivation in Korea	46
3. Present Status of Pear Cultivation in Korea	49
Section 2 Concept Design of Information for Cultivation Pear Orchard	51
1. Design Concept for a System	51
Section 3 Development of Wireless Remote Control Robot for Pear Orchard ..	53
1. Development of Navigation Path and Searching System	53
2. Development of Position and Attitude Information system	55
3. Development of 1 st Prototype Mobile Robot	61
4. Development of 2 nd Prototype Mobile Robot	65
5. Development of 3 rd Prototype Mobile Robot	71
Section 4 Development of Total Monitoring and Database System	86
1. Analysis of System Design Specification.	86
2. User Interface for Remote Control	87
3. Collecting System for Environment Information	88
4. Informationize of Measurement Data of Environment	88
5. Terminal System for Data Feedback	89
6. Test for Acquisition of Environment Data	90
Section 5 Concept Design of Aerial Lift Vehicle	91
1. Concept Design of Aerial Lift Vehicle	91
2. Analysis of Specification of Design for Aerial Lift Vehicle	94
3. Forecasting of Tractive Ability of Aerial Lift Vehicle	97
Section 6 Design and Construction of Aerial Lift Vehicle	102
1. Design of Autonomous Aerial Lift Vehicle	102

2. Design and Making of Interfacing Device for Control	114
Section 7 Performance of Aerial Lift Vehicle for Autonomous Cultivation of Pear Orchard	117
1. Stability of Aerial Lift Vehicle via Simulation method	117
2. Test of Performance for Aerial Lift Vehicle	134
3. Performance of Convenience Device	147
Section 8 Conclusion and Summary	149
Chapter 4 Degree of Achievement and Contribution of R&D	151
Section 1 Degree of Achievement by year	151
Section 2 Degree of Contribution of Same Part	154
Chapter 5 Future Application of R & D	155
Chapter 6 Information about Foreign Science and Technology Acquired from R&D Process	158
Chapter 7 Reference	160

목 차

<제목 차례>

제 1 장 연구개발과제의 개요	22
제 1 절 연구 목표	22
1. 최종 연구 목표	22
2. 최종 연구 개발 사업 세부 목표	22
제 2 절 연구의 필요성	25
1. 기술적 측면	25
2. 경제, 산업적 측면	26
3. 사회, 문화적 측면	27
제 2 장 국내외 기술개발 현황	28
1. 국내 기술 개발 현황	28
2. 국외 기술 개발 현황	29
3. 고소작업차량에 대한 기술개발 현황	29
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	31
제 1 절 기초연구	31
1. 배 과수재배 환경 종합 모니터링을 위한 기초 연구	31
2. 배 재배 실태 조사	46
3. 국내 배 재배 실태	49
제 2 절 IT 융합 친환경 배 재배관리 정보화 시스템 개념 설계	51
1. 시스템 개념 설계	51
제 3 절 배 재배관리 정보화를 위한 무선 원격 주행로봇 개발	53
1. 주행경로 설정 및 탐색 시스템 개발	53
2. 자율 주행 로봇의 위치 및 자세 정보 획득 시스템 개발	55
3. 자율 주행 로봇의 전력 관리 시스템 개발	61
제 4 절 통합 모니터링 및 데이터베이스 시스템 개발	86
2. 원격제어 사용자 인터페이스	87
3. 환경 정보 수집 시스템	88
4. 환경 계측데이터 정보화	88
5. 데이터 피드백 단말기 시스템	89
5. 데이터 수집 성능 시험	90
제 5 절 배 재배 관리 생력화 고소작업기 개념 설계	91
1. 생력화 고소작업기 개념 설계	91
2. 생력화 고소작업기 개념 설계 사양 분석	94
3. 생력화 고소작업기 견인성능 예측	97

제 6 절 배 재배 관리 생력화 고소작업기 설계 및 제작	102
1. 배 재배 관리 생력화 고소작업기 개념설계	102
2. 배 재배 관리 생력화 고소작업기의 제어부 인터페이스 설계 제작	114
제 7 절 배 재배 관리 생력화 고소작업기의 성능	117
1. 시뮬레이션에 의한 생력화 고소작업기의 안정성	117
2. 실증실험에 의한 생력화 고소작업기의 성능평가	134
3. 생력화 작업을 위한 편이장비 시스템의 성능	147
제 8 절 결론 및 요약	149
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	151
제 1 절 연도별 연구목표 및 달성도	151
제 2 절 관련분야의 기술발전예의 기여도	154
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	155
제 1 절 실용화,산업화 계획	155
제 2 절 교육, 지도, 홍보 등 기술확산 계획	156
제 3 절 특허, 연구 등 지식재산권 확보계획	157
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	158
제 7 장 참고문헌	160

<표 차례>

Table 1	Production Work System of Orchard and How Mechanized Works are on Going.	26
Table 2	The type of thermocouple and specification	41
Table 3	Specification of Illuminometer	43
Table 4	Spec of soil sensor module	44
Table 5	Types of Various Pears	46
Table 6	Types of Pruning	47
Table 7	Signal of GPS	56
Table 8	Kind of GPS error	58
Table 9	Specification of driving motor	78
Table 10	Motor driver protocol	80
Table 11	Spec of Orchard Aerial Lift	92
Table 12	A method of Calculating Height	92
Table 13	An Adequate Heights on each Works	93
Table 14	Terrain values	101
Table 15	The specification of engine	103
Table 16	The specification of crawler	104
Table 17	The specification of Transmission	104
Table 18	The specification of lift	106
Table 19	The Specification of Aerial Lift	108
Table 20	The Specification of Working Part	109
Table 21	The Specificaton of Engine	109
Table 22	Properties of simulation model	118
Table 23	The result of the aerial lift vehicle model (Case.1)	124
Table 24	Compare of the safety zone (Case.1)	124
Table 25	The result of the aerial lift vehicle model (Case.2)	129
Table 26	Compare of the safety zone (Case.2)	129
Table 27	Demonstration Tests results for tilt of static falling down.(Case.1)	140
Table 28	Demonstration Tests results for tilt of static falling down.(Case.2)	141
Table 29	Length of the slope and Tilt angle	144
Table 30	Operations available area of Aerial lift (Unit : m)	148

<그림 차례>

Fig. 1 Scissor type platform lift.	30
Fig. 2 Boom-type platform lift.	30
Fig. 3 Effectiveness of nitrogen for the plant growth	39
Fig. 4 Integrated Temperature and Humidity Sensor	40
Fig. 5 Block diagram for T-H sensor	40
Fig. 6 Illuminometer and logger.	42
Fig. 7 Soil sensor module for EC, moisture, temperature	44
Fig. 8 3D drawing for linear motion	45
Fig. 9 2D drawing for linear motion	45
Fig. 10 Outline of Pruning	47
Fig. 11. Thin out of the young fruit	48
Fig. 12. Bagging pears	48
Fig. 13 Shape of Tree	49
Fig. 14 Process of Cultivation	49
Fig. 15 Diagram of Shape of Tree in Orchard for Peal	49
Fig. 16 Figure of Grown Outdoors	50
Fig. 17 System block diagram for IT Oriented Environment Friendly Cultivation and Mechanization for a Pear Orchard	52
Fig. 18 Figure of position data collector and collection software.	53
Fig. 19 Figure of google map for searching position via GPS(skku).	55
Fig. 20 Configuration of navigation message	57
Fig. 21 PSK modify	57
Fig. 22 Observation post for VRS in korea	60
Fig. 23 Procedure of VRS services.	60
Fig. 24 Log on dialog box for VRS server	60
Fig. 25 Dialog box for NTRIP client	60
Fig. 26 System concept	61
Fig. 27 Stereo image processing system	62
Fig. 28 1St Prototype mobile robot system.	63
Fig. 29 Construct of sensor fusion and major parts.	64
Fig. 30 GUI Interface for 1st mobile robot	65
Fig. 31 2nd Prototype mobile robot system.	66
Fig. 32 Power transmission system for mobile robot.	67
Fig. 33 Construct of sensor fusion part.	68
Fig. 34 Image Part(IP camera with pan/tilt + web cam)	69
Fig. 35 System control part and circuit of local controller	69
Fig. 36 Flow chart for traveling algorithm	70
Fig. 37 GUI user interface for 2nd mobile system	70
Fig. 38 Graphic result for visual tracing	71

Fig. 39 Figure of 3rd mobile robot	72
Fig. 40 Block diagram for system control part.	73
Fig. 41 Structure of communication system.	74
Fig. 42 Method of interface for communication type.	75
Fig. 43 Wireless LAN Modules	75
Fig. 44 Block diagram for zigbee wireless module(master/slave)	76
Fig. 45 Zig bee network and connection method	76
Fig. 46 Inner block diagram for zigbee module	76
Fig. 47 Flow chart for Zigbee module control	77
Fig. 48 Zigbee interface board	77
Fig. 49 Schematic of driving wheel	78
Fig. 50 Motor driver and circuit	79
Fig. 51 Figure of CAN connection	79
Fig. 52 Motor driving test program	80
Fig. 53 Circuit for system power control	81
Fig. 54 Block diagram for system control part	82
Fig. 55 GPS and triangle antenna system	83
Fig. 56 AHRS module	83
Fig. 57 Circuit diagram for sensor node interface	84
Fig. 58 Pan/Tilt IP camera	85
Fig. 59 Wireless or Wire remote control system	85
Fig. 60 Environment information monitoring windows	87
Fig 61 GUI user interface for 3rd prototype mobile robot with touchscreen	88
Fig. 62 Environment data Inquiry window for temperature	89
Fig. 63 Graph of environment data(Air, Leaf Temp. and Solar radition)	90
Fig. 64 Conceptual Design of Orchard Aerial Lift	91
Fig. 65 Worktable Heights of the aerial lift by works.	91
Fig. 66 View of Aerial Lift	92
Fig. 67 Height factors of Orchard Aerial Lift	92
Fig. 68 Conceptual heights for Pruning	93
Fig. 69 Heights for Thin-out and Bagging	94
Fig. 70 Moving Part of Orchard Aerial Lift	94
Fig. 71 Designs for Orchard Aerial Lift	95
Fig. 72 Upper Frame of Working Equipment	96
Fig. 73 Lower Frame of Working Equipment	96
Fig. 74 Engine and Hydraulic System	97
Fig. 75 Mohr-Coulomb failure criterion	98
Fig. 76 Shearing action of a track	99
Fig. 77 Aerial lift modeling using SolidWorks	102
Fig. 78 The view of engine and 3D model	103

Fig. 79 Crawler of Driving part and 3D model	104
Fig. 80 The view of controller and 3D model	105
Fig. 81 The view of lift and 3D model	105
Fig. 82 The view of working table and 3D model	106
Fig. 83 Assembly parts using SolidWorks	107
Fig. 84 The oblique section in basic type model	107
Fig. 85 The view of vehicle's motions	107
Fig. 86 Orchard Aerial Lift	108
Fig. 87 The view of Engine	109
Fig. 88 Crawler of Driving Part	109
Fig. 89 Solenoid Power Pack	110
Fig. 90 The view of Controller and Hydraulic	110
Fig. 91 The view of Working Part	111
Fig. 92 Swivel Chair	111
Fig. 93 Air Compressor	111
Fig. 94 Conceptual Diagram For Saving of Labor	112
Fig. 95 Swivel Chair and Workable Sliding System	112
Fig. 96 The concept design of convenience equipments	113
Fig. 97 Actuator for using in slope	113
Fig. 98 The Control System	114
Fig. 99 Algorithms of Driving Part	115
Fig. 100 Algorithms of Working Part	115
Fig. 101 The Control System's Electric Circuits	116
Fig. 102 The Micro Controller(AVR)	116
Fig. 103 The view of three level of heights of vehicle	117
Fig. 104 Examples of ground slope angle	117
Fig. 105 Velocity condition of the vehicle	118
Fig. 106 Weight of working part	118
Fig. 107 Weight of load	119
Fig. 108 View of interaction between grouser and ground	119
Fig. 109 The property of ground	120
Fig. 110 Example for direction & ground slope angle	121
Fig. 111 The view of minimum height model(direction - 0°, ground - 32°)	122
Fig. 112 The view of minimum height model(direction - 0°, ground - 33°)	122
Fig. 113 The view of medium height model(direction - 0°, ground - 17°)	122
Fig. 114 The view of medium height model(direction - 0°, ground - 28°)	122
Fig. 115 The view of maximum height model(direction-0°, ground-7°)	123
Fig. 116 The view of maximum height model(direction-0°, ground-8°)	123
Fig. 117 Safety zone of Minimum-height (640 mm)	125
Fig. 118 Safety zone of Medium-height (1750 mm)	125

Fig. 119	Safety zone of Maximum-height (3090 mm)	126
Fig. 120	Safety zone of three different heights (Case.1)	126
Fig. 121	The view of minimum height model(direction-0°, ground-30°)	127
Fig. 122	The view of minimum height model(direction-0°, ground-31°)	127
Fig. 123	The view of medium height model(direction-0°, ground-15°)	127
Fig. 124	The view of medium height model(direction-0°, ground-16°)	127
Fig. 125	The view of maximum height model(direction-0°, ground-6°)	127
Fig. 126	The view of maximum height model(direction-0°, ground-7°)	127
Fig. 127	Safety zone of Minimum-height (640 mm)	130
Fig. 128	Safety zone of Medium-height (1750 mm)	130
Fig. 129	Safety zone of Maximum-height (3090 mm)	131
Fig. 130	Safety zone of three different heights vehicle (Case.2)	131
Fig. 131	Compare of the safety zone of Minimum-height (640 mm)	132
Fig. 132	Compare of the safety zone of Medium-height (1750 mm)	132
Fig. 133	Compare of the safety zone of Maximum-height (3090 mm)	133
Fig. 134	Determination of mass center of Aerial-lift in x-axis direction	134
Fig. 135	Determination of mass center of Aerial-lift in y-axis direction	135
Fig. 136	Determination of mass center of Aerial-lift in z-axis direction	136
Fig. 137	Determination of mass center of Aerial-lift in x-axis direction	136
Fig. 138	Determination of mass center of Aerial-lift in y-axis direction	137
Fig. 139	Determination of mass center of Aerial-lift in z-axis direction	138
Fig. 140	Tseter for angle of static falling down	139
Fig. 141	Simulation for angle of static falling down	139
Fig. 142	Load the weight(220kg)	139
Fig. 143	Talangle of static falling down sidelong	139
Fig. 144	Demonstration Tests results for Safety zone of three different heights vehicle (Case.1)	140
Fig. 145	Demonstration Tests results for Safety zone of three different heights vehicle (Case.2)	141
Fig. 146	Compare of Simulation and Actual(640mm)	142
Fig. 147	Compare of Simulation and Actual(1750mm)	142
Fig. 148	Compare of Simulation and Actual(3090mm)	143
Fig. 149	Ground slope (18%)	144
Fig. 150	Ground slope angle (10°)	144
Fig. 151	Slip ratio in Climbing	145
Fig. 152	Slip ratio in Descending	145
Fig. 153	Climbing test at 18% slope	146
Fig. 154	Descending test at 21% slope.	146
Fig. 155	Working used pneumatic scissor	147
Fig. 156	Cutting edge of tree branches	147

Fig. 157 Vertical working height 148
Fig. 158 Horizontal working length 148

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구 목표

1. 최종 연구 목표

[제 1 세부 과제]

: IT 융합 친환경 배 재배관리 정보화를 위한 센서 인터페이스 및 통합 모니터링 시스템 개발

[제 2 세부 과제]

: 배 재배 관리용 생력화 안전 고소 작업기 개발

2. 최종 연구 개발 사업 세부 목표

본 연구과제는 우선 생산체계로 볼 때 수작업의 비중이 전체 작업공정에 걸쳐 높은 비율을 차지하고, 타 작목에 비해 고부가가치를 갖는 배 과수를 대상으로 연구를 한다. 배 재배 관리에 있어서 재배관리를 효율적 경영을 가능하게 하는 정보화 및 생력화를 위하여 먼저 정보화를 위한 센서 인터페이스 체계를 연구하고 유비쿼터스 IT 기반 기술을 접목한 시스템이 접목된 정보 수집용 로봇 개발 및 수집된 정보의 데이터베이스화 할 수 있는 소프트웨어를 개발한다. 그리고 이것을 운용할 수 있는 사용자 인터페이스 및 모니터링 시스템을 개발한다. 또한 이에 연동된 배 재배 관리를 위한 생력화 장비로 실질적인 현장 투입용 신개념의 고소 작업기를 개발하여 작업 가동시간의 최대화, 작업 손실의 최소화, 작업자의 안전을 최우선 목표로 하는 일관 생력화가 가능하도록 함에 과제 목표가 있다.

본 과제에서의 최종 연구 개발 사업 세부 목표는 다음과 같다.

[제 1 세부 과제]

: IT 융합 친환경 배 재배관리 정보화를 위한 센서 인터페이스 및 통합 모니터링 시스템 개발

가. 배 과수재배 환경 종합 모니터링을 위한 기초 연구

- (1) 친환경 배 재배를 위한 최적 관리 방안 연구
- (2) 배 과수재배 환경 감시 및 처방 항목 선정
- (3) 적정 센서 선정
- (4) 배 재배환경에 적합한 환경인자 수집 시스템 모듈 개발

나. 배 재배관리 정보화를 위한 무선 원격 주행로봇 개발

- (1) 주행경로 설정 및 탐색 시스템 개발
- (2) 자율 주행 로봇의 위치 및 자세 정보 획득 시스템 개발
- (3) 환경요인 감지 모듈(센서부, 주행부, 무선송수신부, 통합 시스템 제어부)간의 연동을 위한 입출력 설계
- (4) 자율 주행 로봇의 전력 관리 시스템 개발
- (5) 노지 주행을 위한 자율주행 로봇 차체 개발

다. 통합 모니터링 및 데이터베이스 시스템 개발

- (1) 종합 환경모니터링 시스템 개념 설계
- (2) 통합 데이터 수집 및 처리 소프트웨어 설치, 운영 및 보완
- (3) 터치스크린과 무선 영상을 이용한 GUI (graphical user interface) 환경 하의 사용자 친화형 작업 인터페이스 및 작업수행, 시스템 진단, 통합 작업 관리용 소프트웨어 모듈 개발
- (4) 데이터베이스 엔진 설계

[제 2 세부 과제]

： 배 재배 관리용 생력화 안전 고소 작업기 개발

가. 배 재배관리 생력화를 위한 현장요인 분석 및 시스템 개념 설계 및 단위장치 구성

- (1) 실외 실증 실험 환경 이력 조사 및 최적 생력화 방안 분석
- (2) 다기능 작업을 위한 전체 시스템 개념설계 및 모듈별 인터페이스 설계
- (3) 단위장치 연동(주행부, 고소작업부)를 위한 기능사양 분석 및 설계

나. 주행부와 고소 작업부의 안전성 확보 요인 분석/개념 설계 및 세부 모듈(주행부, 고소 작업부) 간 통합 설계 사양 분석

- (1) 이론적 고찰 및 요인실험장치 설계/제작
- (2) 실험장치 구축 및 요인실험장치 실내 실험

다. 원격제어장치를 고려한 궤도 주행 과수재배 통합 생력화 작업기 제작

- (1) 시스템 통합 제어기 설계 제작 시험
- (2) 원격 운전부/조작부 Unit 및 부속작업기 매거진 제작

라. 통합 생력화 작업기 시험 구동 및 현장 요인 실증 실험 및 문제점 분석

- (1) 통합 시작기 실외 요인 실험 (배 과수원 3개소, 21회 이상)

- (2) 모듈별 통합 설계 사양 및 적합성 검토를 위한 실내 성능 실험 (공유 인터페이스, 동력 소모, 제어부 통합)

마. 통합 생력화 작업기 편이장비 시험 구동 및 현장 요인 실증 실험

- (1) 세부 모듈 통합 구성 및 시작기 및 편이장비 시험 구동
- (2) 통합 시작기 문제점 분석 및 개선을 통한 상용화 스펙 도출

제 2 절 연구의 필요성

1. 기술적 측면

- 가. 국내 사과와 배의 생산작업 체계 및 작업별 기계화 정로를 보면 <Table 3>과 같이 동계 과수관리, 전정(剪定), 시비(施肥)작업, 정지(整地)작업, 봉지 씌우기 작업, 방제(防除) 작업, 수확작업, 선별(選別)작업, 포장출하작업 등의 다양한 작업공정에 대한 생력화(Automation) 연구가 개별 작업단위로 활발히 추진되어오고 있다. 하지만, 이들 개개 단위작업의 특성은 효율적인 생력화(Automation) 시스템의 개발 및 적용에 문제가 되고 있다. 또한 단위 작업공정별 전용 작업기계의 종류가 다양해지고 단위 작업기계의 가동률은 일반 산업기계와 비교하여 현저히 떨어지기 때문에 작업 기계화 및 생력화 실현에 장애가 되고 있다. 이러한 작업의 효율 및 가동시간을 극대화하기 위해서는 생육환경에 대한 시공간적인 환경정보의 수집 및 분석이 필수이며, 또한 이러한 정보를 바탕으로 작업자가 안전하고 고 효율적으로 작업을 수행할 생력화 시스템 개발이 절실하다.
- 나. 특히 시공간적인 환경 정보를 수집하기 위한 시스템으로 자율 주행 로봇에 의한 정보 수집을 들 수 있는데 이 때 자율주행 로봇의 올바른 이동에 대한 정보로 위치 및 자세 정보의 획득에 큰 어려움이 있다. 일반적으로 정밀한 정보 수집 장치의 경우 고가의 수입품이 대부분을 차지하고 있는 실정이다.
- 다. 따라서 노지(露地)재배의 생력화를 위한 작업기 및 설비의 개발은 경제성, 실용성 그리고 작업의 난이도 및 기계 가동률 등의 문제점을 효율적으로 해결할 수 있도록 새로운 각도에서의 접근 및 그에 따른 연구 개발이 필요하다.
- 라. 수집된 생육환경 데이터는 분석을 통하여 유용한 정보로 탈바꿈하여 적절한
- 마. 배 재배 관리에 있어서 시 공간적 생육정보의 수집은 친환경 고품질 생산이 가능하게 할 수 있는 기초자료가 되며 이를 활용하여 생력화 장비에 연동하여 작업기의 효율 및 가동시간을 극대화 시킬 수 있다. 그러므로 이를 통하여 첨단기술의 실질적 농업적용이 가능해지며 시설 재배분야의 생력화 기술을 선도하게 될 것이다.
- 바. 또한 농업 생산설비와 작업기계의 개발연구 측면에서 국내의 연구 실태와 선진외국을 총괄적으로 비교하면, 우리나라의 농작업 기계는 극히 수도권 중심으로 개발 실용화되고 있을 뿐이며, 전작이나 과수생산에 있어서는 제한된 품목의 작업기만이 수입 또는 국산화 되어 있는 실정이다. 따라서, 전작 및 과수원에 분야의 생력화를 위한 설비개발 및 생력 기계화 연구가 향후 필수적으로 추진되어야 한다.

Table 3 Production Work System of Orchard and How Mechanized Works are on Going.

작목	작업체계 및 작업별 기계화 정도												
사과	동계과수관리	→	경운정지	→	전정	→	퇴비 및 시비	→	적아적심	→			
	(x) 인력		(*) 동력경운기, 관리기		(x) 인력		(-) 인력		(x) 인력				
배	적과	→	방제	→	봉지씌우기	→	제초	→	수확	→	선별 및 포장	→	신초유인
	(x) 인력		(*) 분무기,SS기		(x) 인력		(-) 관리기+예취기		(-) 인력		(-) 인력		(x) 인력

* : 기계화가 이루어진 작업, - : 기계화가 요구되는 작업, x : 기계화가 어려운 작업

2. 경제, 산업적 측면

가. 배 재배 농가의 육성을 위해서는 노동집약적 작업의 생력화(Automation) 설비개발을 통하여 시설 생산농가의 노동력 부족 및 고임금 실태에 대처하여야 하고 실질적으로 작업 생산성을 향상시킬 수 있고 기계 비용을 절감할 수 있는 효율적인 시스템으로 농업 생산 및 출하 등과 같은 전반적인 분야의 정보를 수집 체계화 하고 이를 이용한 다목적 생력화 작업기계의 개발이 필수적이다.

나. 생력화 설비의 개발을 통하여 생산성을 향상시킴으로서 국내 생산 과실류의 국제 경쟁력을 확보할 수 있고 국내 과실 농업 경영자의 경영수지를 개선할 수 있다.

다. 개발한 생육정보 모니터링 및 데이터베이스 시스템 및 다목적 생력화 작업시스템은 상호 자료의 연동을 염두해 두고 개발하여 각 단위작업 공정예의 적용이 용이하여 다양한 정보의 참고 및 교류를 할 수 있게 하여 각 작업별 생산성 및 작업정밀도를 향상시키고 고품질 과실류의 생산에 기여한다.

라. 장기적으로 볼 때 신기술의 축적을 통하여 외국기술예의 의존을 탈피하고 기술자립에 기여하며 국내 농업기계 제조업체의 설비 개발능력을 촉진시키며 국내 개발 생력화(Automation) 설비의 해외 수출을 통하여 농업기계 산업예의 활성화를 촉진하게 된다.

3. 사회, 문화적 측면

- 가. 농업기술의 첨단화로 농업이 사양 산업이라는 고정관념을 탈피하는데 기여한다.
- 나. 노지 작업의 3D((Dirty, Difficult, Dangerous) 인식 탈피 및 작업 기피 성향을 개선하게 된다.
- 다. 국민들의 관심을 유발시켜 첨단 농업으로서의 인식을 제고하고 향후 우수인력의 농업분야 유입을 촉진한다.
- 라. 단순 노동이라는 농작업의 관념을 일신시키고 전문 기술자에 의한 기술농업으로서 위치를 공고히 하게 된다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술 개발 현황

- 가. 표 3은 사과와 배의 생산 작업 체계 및 작업별 기계화 정도를 보여준다. 여기서 과수의 수확, 봉지 씌우기/벗기기, 적과, 전정, 전지, 정밀 방제 등의 작업에 생력 기계화 시스템 개발의 요구가 급증하고 있다.
- 나. 농업 생산설비와 작업기계의 개발연구 측면에서 국내의 연구실태와 선진외국을 총괄적으로 비교하면, 우리나라의 농작업기계는 극히 수도작 중심으로 개발 실용화되고 있을 뿐이며, 전작(田作)이나 시설생산에 있어서는 제한된 품목의 작업기만이 수입 또는 국산화 되어 있는 실정이다. 따라서 전작 및 과수 분야의 생력화(Automation)를 위한 설비 개발 및 기계화와 자동화 기술연구가 향후 필요하다.
- 다. 수확작업의 경우, 농업 기계화 연구소에서 토마토 수확용 로봇 및 딸기 수확 로봇의 기초 연구가 이루어졌으며, 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스 연구실에서 시작기 형태로 매니퓰레이터(manipulator)의 연구개발을 하였다. 그러나 작업여건을 고려한 현장 투입 측면에서는 기능을 비롯한 현장 적용성, 작업 다양성 등 여러 가지 측면에서 앞으로 많은 연구가 수행될 필요가 있다.
- 라. 본 연구팀은 1994년에 실험실 수준의 초음파센서를 장착하고 PC에 의해 주행이 제어되는 2륜 차동 구동 전기모터에 의해 구동되는 Mobile 로봇을 개발하였으며, 1997년 2륜 차동 구동형 소형 상용 Mobile 로봇을 이용한 원격제어 및 관련 영상처리 소프트웨어를 개발했고, 동년에 호접에 의한 과채류 자동접목장치, 건조 표고버섯 전자동 등급판정 및 선별장치를 개발하여 선별기 수준의 영상 처리 기술 및 시스템 설계 기술, 기초 무선 원격 제어 기술을 확보하였다. 그 외 시설재배에 있어서 수박과 멜론의 수확 시스템 및 시공간 정보 획득 시스템을 개발하여 IT 및 유비쿼터스 기술 등의 기술을 정밀 농업에 접목할 기술을 확보하고 있다.
- 마. 국내외적으로 노지 재배에 있어서 시공간 생육정보 수집 시스템 및 모니터링에 관한 개발 연구는 현재까지 개발되지 않았다.

2. 국외 기술 개발 현황

- 가. 포도과수원의 규모가 대규모인 프랑스와 미국의 경우에는 작업자가 운전하여 조작하는 전용기 형태의 작업기들이 개발되어 보급되고 있는데 1차 전정(剪定) 기계, 포도의 곁가지 절단 및 줄기유인(유인 후 클립으로 붙들어 땀)용 기계, 포도밭의 좌우와 위에 있는 가지를 절단하는 기계, 포도주 가공용 포도를 훑어 수확하는 포도 수확기 등이 개발되어 실용화되고 있다.
- 나. 미국, 유럽 및 일본에서 과수 분야의 무인 작업화를 위한 생력 시스템의 연구 개발이 수확작업을 중심으로 시도되었으나 실험실 수준 내지 국부적인 성능시험 정도로 아직 실용화되고 있지 않다.
- 다. 과일 수확의 경우 프랑스의 CENAGRAF에서 사과 수확용 제어를 실험실 수준으로 개발한 바 있으며, 일본의 오카야마 대학에서 실험실 수준의 포도 수확용 제어의 시작기를 개발하였다. 하지만 현장 적용측면에서는 아직 미흡한 실정이다.
- 라. 농작업용 로봇의 연구개발에 있어서는, 로봇 시비(施肥)기(Mitsubishi Co. Ltd, 1989; Matsuo, et. al., 1989), 무인 주행트랙터(Ikumot et. al., 1989), 원격제어 잔디깎기 로봇(Kubota Co. Ltd), 무인 콤파인 수확기(Kito, 1986), 로봇 이앙기(Yamashita et.al., 1990) 등의 메카트로닉스 부문 첨단기술을 이용한 연구가 활발히 추진되고 있다.
- 마. 무인 작업화 혹은 로봇을 이용한 과수 분야의 작업 시스템 개발은 선진국에서도 아직은 실험실 수준 내지 국부(局部)적인 성능시험 정도로 아직은 실용화되고 있지는 않으나, 일본을 중심으로 농업 생산 분야의 특성을 고려한 컴퓨터 시각 시스템과 정보처리기술 등의 개발을 통하여 단위 작업별로 미흡하나마 실용화 연구를 시도하고 있다. 하지만 현장 투입은 여러 가지 문제점으로 향후 10년간 어려울 것으로 판단된다.

3. 고소작업차량에 대한 기술개발 현황

- 가. 현재 국내외에서 농용 고소작업차가 개발되어 국내 과수원 및 다양한 분야에서 사용되고 있으나 아직 개발 초기 단계이고, 주행 및 작업 안정성에 대한 연구가 부족한 실정이며, 경사지에서 주행 및 작업 시 전복의 위험이 있기 때문에 그 사용률은 극히 미비한 실정이다. 특히, 신승엽(2010)은 '2010년 농업기계연감'에서 '농업기계 안전사고 실태'를 통해 농업기계 사고유형에서 추락(38%)과 전도(32%)가 전체 농업기계 사고에서 70% 를 차지한다고 설명하였다. 또한, 사고당시의 작업내용을 살펴보면 운반 또는 이동작업이 전체의 53% 로 가장 높다고 설명하였다. 이러한 사고를 예방하기 위한 대책으로는 농업기계 안전과 관련한 다양한 교육과 홍보가 우선적으로 필요하며, 무엇보다 작업자가 안전하고 편리하게 사용할 수 있는 기계 개발 시 작업 치 주행 안정성 분석이 추가적으로 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서 수행하는 사용자 입장을 고려한 안전 고소작업차의 개발을 위한 기계의 안전성 분석이 반드시 필요하다.

나. 최근에 국내외에서 개발, 제작되어 사용되고 있는 과수원용 고소작업차는 크게 붐식(그림1)과 수직 승강식(그림2)으로 구분된다. 붐식의 과수원용 고소작업차는 붐의 선단에 수직승강식의 과수원용 고소작업차의 경우 붐의 선단에 설치된 곤돌라상의 작업대가 지상고 450-3,500mm의 범위에서 원호 상으로 승강하는 방식이다. 작업대에는 작업자를 포함하여 120kg 정도의 적재가 가능하며, 차체의 주행, 차체의 주행, 작업대의 승강 및 붐의 좌우 30° 선회 등의 조작이 가능하다. 또한, 차체의 안정성을 향상시키기 위하여 궤도 중심 폭을 1,200mm에서 1,600mm로 확대 할 수도 있다. 작업대의 후부(붐측)에는 수확 상자 설치대가 있어 수확된 과실을 설치대 위에 장착된 수확상자에 수용할 수가 있다. 이러한 붐 형태의 고소작업차는 적재용량이 적으나 수관으로의 접근이 용이하고 작업범위가 넓은 것이 특징이지만(Nagaki, 1996), 경사지에서 전복의 위험을 해결하지 못하고 있다.

다. 수직 승강식 과수원용 고소작업차로서 X형의 암에 지지된 작업대는 지상고 800 - 2,000mm의 범위에서 수직으로 승강하며, 작업대는 작업자를 포함하여 350kg의 탑재능력을 가지고 작업대 위에서 차체의 주행, 작업대의 승강 등의 조작이 가능한 방식이다. 이런 종류의 작업차는 작업자가 작업대로부터 수관 내부로 이동하기 위한 디딤판이 되는 장출판이 설치되어 있고, 최근에는 인출시 장출판을 전동장치에 의해서 빼고 넣을 수 있는 것도 시판되고 있다. 이러한 타입은 작업대가 넓고 탑재력도 큰 것이 특징이고 과수원내 운반용으로도 이용 가능하지만(Nagaki, 1996), 이 또한 경사지에서 전복의 위험을 해결하지 못하고 있다.

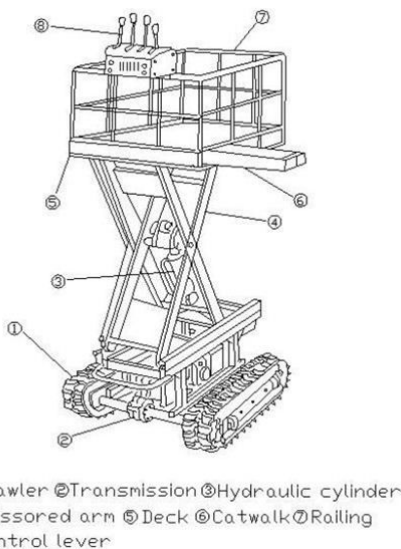


Fig. 1 Scissor type platform lift.

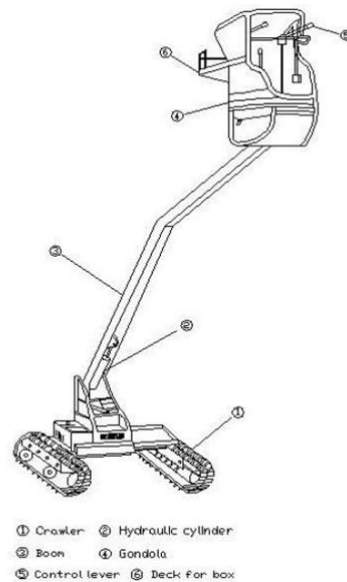


Fig. 2 Boom-type platform lift.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 기초연구

1. 배 과수재배 환경 종합 모니터링을 위한 기초 연구

가. 친환경 배 재배를 위한 최적 관리 요인 분석

(1) 적정생육환경

(가) 온도

온도는 배나무의 생육이나 과실품질에 영향을 미치므로 적절한 기상조건에서 재배하는 것이 중요하다. 일본의 배 주산단지의 기온 조사내용을 보면 연평균기온이 12~15℃, 4~10월 생육기간의 평균기온이 19~21℃, 온도가 최저가 되는 1월의 평균기온과 평균 최저온도가 0~4℃와 -5~0℃, 최고가 되는 8월의 평균기온이 24~27℃ 지역에 분포되고 있다.

따라서 배나무의 생육에 알맞은 적정온도는 이 범위에 있다고 할 수 있다. 이와 같은 기온은 과실의 숙기와 과실품질, 특히 당도와 밀접한 관계가 있으며 일반적으로 저온지대에서는 성숙이 늦어지고 과형은 장원형이 되며 산미가 강한 반면 감미는 적어진다. 이에 비해 고온지대에서는 성숙이 빨라지고 과형은 편원형이 되고 산미는 적으나 단맛은 많고 외관이 나빠진다.

또한 배나무는 개화 기간 중 늦서리에 의한 피해를 받기 쉬우므로 서리 상습피해지역은 재배를 피하는 것이 좋다.

한편 배의 동해 한계온도는 -20℃ 내외로 이보다 더 내려가는 저온지대는 동해 또는 동고병 발생빈발로 재배 상 문제가 되며, 또한 눈의 휴면타파를 위해서는 7.2℃이하의 저온에 1,300~1,500시간이 요구된다.

(나) 강수량

배나무의 원종인 돌배는 강수량이 많은 하습대가 원산지이므로 돌배를 기본종으로 하여 개량된 남방형 동양배는 이와 같은 기후에 적응하여 여름철 온도가 높고 강수량이 많은 곳에서 잘 생육하며 과실의 발육도 양호하다.

일본의 배 주산지는 연강수량이 1,200~2,000mm이고, 생육기간(4월~10월)의 강수량은 900~1,200mm인 지역에 분포되어 있으며 우리나라의 배 주산단지는 연강수량이 1,200~1,500mm, 4~10월의 강우량은 800 mm 이상인 지역에 분포되어 있다.

그러나 개화기는 강우가 많거나 강우일수가 많으면 적성병, 흑성병 등의 병해발생이 많아지고 생육후반기인 8~10월에 강우가 적으면 과실 비대가 나빠지고 석세포가 많아지는 반면

당도는 높아진다.

(다) 일조 조건

광환경은 광합성을 통하여 탄수화물생성에 관계하여 배나무생장에 영향을 미치므로 가장 기본적이고 중요한 기상인자에 속한다. 배나무의 엽은 발아, 전엽하여 광합성을 행하게 되는데 발아 후 25~30일되면 성엽화되나 6월 이후 생육기 성엽과 거의 동등한 광합성 기능을 가지고 있다.

따라서 광포화점 관점에서 발아 후 30일경의 성엽시에는 약 30~40klx이상의 광이 필요하므로 충분한 광합성산물의 축적, 이용을 위해서는 5월 이후 생육기에 광이 30~40klx 이상이 되는 지역이 고품질 과실생산이 가능한 적지라 할 수 있다.

(라) 토양 환경

배 재배에 있어서 기온, 강우(일조 및 수분) 등의 기상조건이 알맞아야 정상적인 생육이 가능하여 재배적지라 할 수 있으며 이들 기상 외에 다른 요인으로서 토양조건을 들 수 있다. 배나무는 토양에 대한 적응성이 상당히 넓으며 대개 유기질이 풍부한 토심이 깊고 배수가 좋은 토양에서 잘 자라며 약산성(pH 5.5~6.0)을 좋아한다.

또한 내수성은 비교적 다른 과수에 비해 강하지만 내건성이 약해 수분 요구도는 다른 과수에 비해 높은 쪽에 속하며 특히 배수 불량지에서는 석세포 과다, 생리장해 다발, 과실외관 불량과 생산의 원인이 된다.

한편 경토가 얇거나 보수력이 약한 사력질 토양에서는 과실 비대기의 건조에 의해 과실 비대 불량, 돌배증상 등의 여러 가지 생리장해 발생이 많아지게 된다. 따라서 배 재배에는 토성이나 비옥도보다 배수가 좋고 토심이 깊은 곳에서 생육이 잘 된다.

(2) 배나무의 생육특성과 재배관리

(가) 꽃눈 형성 및 유지가 잘된다.

우리나라 기상은 생육기 고온다습한 기상특성을 가지고 있어 대부분의 과수는 생장이 과다하여 수체영양상태가 불량해지기 쉽고 꽃눈형성이 나빠지는 원인이 된다. 그러나 배나무는 다른 과종에 비해 꽃눈형성이 잘되고 배나무에서만 볼 수 있는 단과지균(생강아)이 잘 형성 유지되어 격년 결과성이 없고 결과부위가 상승되지 않아 재배관리가 다른 과종에 비해 쉬울 뿐만 아니라 시비, 전정 등의 재배관리에 민감하게 반응하지 않아 표준생산량을 생산, 유지하기 쉬운 과종에 속한다.

그러나 질소비료의 과다 시용, 강전정 등의 재배관리상 문제가 있을 경우는 도장지의 발생이 많아지게 되고 이로 인한 수체영양 불량으로 꽃눈형성 및 충실도가 나빠지는 원인이 된다. 따라서 건전한 수체유지를 위해 과다시비 및 강전정이 되지 않도록 관리해야 한다.

(나) 도장지 발생이 많다.

배나무는 생리적으로 가지생장의 연속성이 없을 뿐만 아니라 재배시 배상형, Y자 수형 등의 개심형 형태의 수형을 이용하여 재배하므로 도장지 발생이 많은 특성을 가지고 있다. 도장지가 많이 발생하면 수관내부 광환경 불량에 의한 엽의 광합성능 저하로 수체 영양상태가 나빠질 뿐만 아니라 과실과의 양분경합에 의한 과실 비대불량 등의 원인이 된다.

이와 같은 도장지 발생원인은 질소비료의 과다 시용이 주원인이 되며 토심이 깊어 뿌리가 수직으로 깊게 뻗을 경우, 강전정에 의한 T/R율의 불균형, 토양수분 과다 또는 수형구성시 주지를 급격하게 구부러지게 유인하거나 선단부 가지생장이 약해질 경우 도장지 발생이 많아지게 된다.

따라서 도장지 발생을 방지하기 위해서는 합리적 시비에 의해 질소비료가 많지 않도록 하고 강전정을 피하고 수형 구성시 가지가 활처럼 구부러지게 유인되지 않도록 하는 동시에 모든 가지상부는 정부우세성이 유지되도록 한다.

(다) 품종에 따라 생육특성 차이가 있다.

배나무는 품종에 따라 꽃눈형성과 꽃눈유지성, 정부우세성, 가지발생량과 생육형태, 수세 등에 차이가 크므로 이들 특성을 고려하여 재배해야 한다. 품종별 꽃눈 유지성 정도는 신고, 추황배, 영산배, 황금배 등이 높고 행수, 장십랑 등은 낮은 품종에 속한다.

꽃눈유지성이 낮은 품종은 밀식적응성이 낮으므로 Y자 밀식재배 시는 나무간의 재식거리가 2~2.5m 되게 하여 장과지전정이 가능하도록 재식해야 한다.

정부우세성은 신고, 추황배, 행수, 감천배 등 대부분의 품종이 강하나 장십랑, 황금배, 풍수, 금춘추 등은 약한 품종에 속한다. 정부우세성이 약한 품종은 수관 확대가 늦어지고 가지 끝 세력이 약해지거나 주지 등의 골격성 가지가 일직선으로 자라지 못해 양수분의 흐름이 원활하지 못해 도장지 발생이 많아지게 되므로 수형구성, 전정, 유인 등에 의해 정부우세성이 약해지지 않도록 관리해야 한다.

(라) 고온다습한 기후를 좋아 한다.

배나무는 서양배와 동양배로 구분되며 동양배는 북방형과 남방형배로 나눈다. 이들 중 우리나라에서 재배되고 있는 배는 남방형배로 세계에서 우리나라와 일본에서만 재배되어 왔다. 따라서 오래전부터 고온다습한 기후에 자생되어 적응해 왔던 과수로 고온다습한 기후를 좋아하는 작물이라 할 수 있다.

생리 생태적으로 대부분의 과수는 고온다습한 기후 하에서는 꽃눈형성불량, 병해다발, 생육과다 등으로 생산성과 과실품질이 저하되어 재배관리상 어려움이 많으나 배나무는 고온다습한 기후 하에서도 꽃눈형성이 잘되고, 배나무에서 발생하는 병도 고온다습보다 저온다습에서 문제되는 병이 많다.

또한 배의 품질도 고온다습한 상태에서 과실비대가 양호해져 석세포 밀도가 낮아지므로 육질이 부드러워져 배 고유의 풍미를 낼 수 있게 된다.

(3) 생육단계별 건전한 수체관리를 위한 재배기술

배나무의 연간 중요한 생육단계는 발아, 전엽 후 저장양분에서 동화양분으로 전환되는 양분전환기, 신초생장에서 과실비대로 전화되는 신초생장 정지기, 과실비대기, 성숙기 및 수확기, 휴면기로 나누어진다. 따라서 배나무 재배 시는 이들 생육단계별 나무의 생육특성을 파악하고 특성에 따라 적절한 재배관리를 하여 건전한 수체관리를 하는 것이 고품질 과실 생산의 기본이 된다.

(가) 양분전환기

양분전환기는 지난해 만들어진 저장양분에서 당년 전엽하여 광합성에 의해 만들어진 동화양분으로 전환되는 시기로 대개 5월중순~하순 사이가 배나무의 양분전환기이다.

양분전환기는 연간 수체영양상태가 가장 불안정한 상태로 이때의 저장양분과 동화양분의 전환 시기 및 수체내 탄수화물량에 따라 유과의 소질이 결정되어 과실품질에 영향을 미치게 된다.

따라서 저장양분이 많고 발아 및 전엽이 왕성하여 초기 엽면적이 많을수록 동화양분 축적이 많아져 양분전환기가 빨라지며 수체영양상태가 좋아 유과의 소질이 좋아져 고품질 과실 생산이 가능하다.

재배적으로 초기 발아 및 전엽을 왕성하게 하기 위해서는 먼저 한정된 저장양분의 헛된 소모를 줄여 주기위해 오래된 단과지균 정리, 적퇴 및 적화, 조기적과 등을 행하는 것이 중요하며 가을기비 시용 등도 발아 후 초기생장을 좋게 하여 엽면적을 조기에 확보할 수 있어 건전한 수체관리가 가능하게 된다.

한편 봄 늦게 기비시용, 지나친 경운에 의한 세근절단, 지나친 멀칭에 의한 토양온도 저하 등의 재배관리는 초기 생장을 나쁘게 하여 양분전환시기가 늦어지고 수체영양상태가 불량해져 유과의 소질이 나빠지게 되어 품질 저하의 원인이 된다.

또한 일반적으로 저장양분이 많은 나무는 전엽 후 엽의 색이 적색이 강하고 적색상태가 오래가며 저장양분이 적거나 초기 엽면적이 적어 수체 영양상태가 불량한 나무일수록 도장 지나 발육지에서 양분전환기에 나타나는 마디 사이가 다소 좁은 현상을 보이게 된다.

(나) 신초생장 정지기

배는 가지가 늦게까지 왕성하게 자라면 과실비대가 나빠지게 되고 반대로 가지생육이 멈추게 되면 과실의 비대는 급격히 좋아지게 된다.

따라서 생육초기는 발아 및 전엽이 왕성하고, 6월에는 신초생장이 왕성하여 필요한 엽면적이 확보된 후에는 신초생육이 멈추어 엽에서 만들어진 광합성산물이 과실의 비대에 이용되어 정상적인 과실비대가 이루어져야 좋은 품질의 과실생산이 가능하다.

일반적으로 신초생장은 7월 초순경 약 80%의 신초가 생장을 멈추는 것이 좋으며 이보다 신초생장정지시기가 너무 빠르면 숙기가 빨라지고 당도는 높아지나 엽수부족에 의해 과실비대가 나빠지기 쉽고 늦어지면 과실은 만숙형이 되어 과피의 색택이 나빠지고 당도가 저하하

게 된다.

신초생장이 늦어지는 원인은 기상 및 재배환경이 큰 영향을 미치나 일반적으로 토성, 질소과다, 불합리한 토양관리, 전정 등이 크게 작용하므로 신초생장이 적기에 정지될 수 있도록 재배관리를 해야 한다

(다) 과실대비, 성숙기

신초생장이 멈추면 과실의 비대가 급속하게 진행되는데 대부분 이 시기에 과실의 크기와 맛이 결정되는데 여기에는 일조량, 토양수분, 질소함량의 세가지요소가 크게 관여한다. 기상 즉 일조량이 과실의 당도를 지배하는 힘은 재배기술 보다 상위라 할 수 있다. 따라서 성숙기 일조량이 많은 해와 적은 해의 당도차이는 1.5°Bx의 차이가 있으며 이는 재배기술로서 극복하기 어려운 것이다.

그러나 일조와 같은 기상조건은 극복하기 어려우므로 재배적으로 수관 내 광 환경을 좋게 하기위해 가지유인과 밀도, 하기전정에 의한 도장지 밀도 등의 조절에 의해 수관 내 광 투과성을 좋게 하여 엽의 광합성 능력을 증대시키면 수체의 건전한 생육을 도모하고 고품질 과실생산이 가능해진다.

과실비대기중 토양수분과 질소함량이 과실품질에 미치는 영향은 과실크기는 질소 및 토양수분이 다소 많을수록 효과적이거나 과실색택과 당도는 나빠지게 된다.

따라서 과실비대기는 질소성분과 수분이 부족하지 않도록 관리해야하나 질소비료의 경우 화학비료사용 보다 유기물, 석회사용 등에 의해 지력으로 대처하는 것이 품질향상에 효과적이며 성숙기는 토양이 다소 건조한 상태가 수분감소에 의해 질소흡수도 제한되어 당도를 높이는 조건이 되며, 특히 수분과 질소가 많을 경우는 착색불량, 당도저하의 가장 큰 원인이 된다.

(라) 수확기

과실 수확기 및 그 이후는 수체의 영양 상태를 충실하게 할 수 있는 시기로 수확 후 과실 부담이 없게 되면 엽의 동화양분은 가지 중에 축적된다. 따라서 품종에 따라 다르나 조생종은 약 70~80일 만생종은 30여 일 동안 내년의 건전한 나무 생육을 위해 준비하게 된다.

저장 양분량을 많게 하기 위해서는 건전한 엽을 유지하고 충분한 일조량이 나무의 구석구석까지 잘 들게 하는 동시에 특히 적정량의 질소가 필요하게 된다.

저장양분의 다소에 따른 과실품질에 미치는 영향을 보면 인위적으로 적엽을 하여 조기낙엽을 시킨 결과 정상적인 나무에 비하여 적엽에 의해 낙엽시기가 빠를수록 유과(幼果) 1과당 과육의 평균 세포수가 현저히 적고 유과 및 성숙기의 과실크기도 조기낙엽시기가 빠를수록 정상 수에 비해 현저히 작은 결과를 볼 수 있다

따라서 여름 생육기 동안 병해충 방제와 생리장해 발생이 없도록 하여 조기낙엽을 방지하고 질소는 엽의 동화능력을 높이고 가을철 뿌리의 발생을 왕성하게 하므로 수확직전 또는 직후 질소비료를 토양에 시용하거나 엽면 살포하여 질소가 부족하지 않게 공급해주면 저장

양분 축적량을 많게 할 수 있다.

또한 수확기 나무 생육특성은 수세판단의 중요한 시기가 되며 과실 맛, 선택, 크기, 엽의 단풍상태, 낙엽의 조만 등은 수세와 밀접한 관계가 있으므로 이들을 잘 관찰하여 다음해 시비 및 전량량, 결실조절 등의 재배관리 기준으로 삼아야한다.

(마) 휴면기

낙엽이 된 후 휴면기는 수체영양과는 관계가 없다고 생각하기 쉬우나 겨울 휴면기에도 생리적인 측면에서 양수분은 적으나마 이동된다.

특히 저온기에 생긴 가을뿌리는 겨울에 양분을 흡수하여 봄의 성장을 좋게 하는 작용을 한다.

따라서 봄 발아와 함께 뿌리가 활발히 활동하기 위해서는 겨울동안에도 통기성을 좋게 하고 배수를 좋게 하는 등의 지하부 관리가 중요하다 특히 겨울철 눈이 많은 지역은 지하부 관리에 충실해야 하며 심경, 표토중경 등에 의해서도 뿌리의 절단이 심하지 않도록 관리해야 한다.

또한 시비 시에도 가을시비, 봄 시비를 하느냐 하는 문제는 토양종류, 수세에 따라 결정해야 하며 일반적으로 수세가 약한 나무, 사력 질토를 제외하고는 대부분 가을낙엽 후 시용하는 것이 좋다.

휴면기 수체관리 중 전정도 중요한 재배기술로서 적절한 가지유인 및 배치에 의한 광 환경을 개선하고, 오래된 굵은 가지는 새 가지로 갱신하여 엽/재비를 높여준다. 그리고 나무전체 가지의 절단량, 국부적인 가지의 절단방법 등은 나무전체의 성장량과 부분적으로는 가지의 성장에 관계되므로 전정량과 전정방법에 유의하여야 하며 특히 체내 양분이동이 시작되는 2월 중순 이후의 전정은 엽수를 적게 하고 엽의 크기가 작아지게 되므로 품질저하의 요인이 될 수 있다.

(4) 생육 단계별 작업 개요

(가) 시비

과수는 한 장소에 재식되어 장기간 생육하고 매년 균일한 과실을 수확해야 하므로 적절한 생육을 유지하고 고품질의 과실을 생산하기 위해서는 합리적인 시비관리를 통하여 적당한 토양비옥도를 관리 유지해야 한다.

그러나 과수는 일년생작물에 비해 비료의 감응도가 낮아 수체내에서 양분의 과부족이 쉽게 나타나지 않고 당년의 시비량이 나무 생육에 직접적 영향을 미치는 정도가 낮아 과비가 되거나 때로는 성분에 따라 부족현상이 나타나는 경우가 많아 각종 생리장해 발생이 많아지거나 생산성 및 과실품질 저하의 원인이 되고 있다.

① 우리나라 배 과원의 토양 화학성

우리나라 배 과원의 토양 화학성을 전국 170개 농가를 대상으로 조사한 결과를 보면 토양

산도가 5.25로 산성이 강하며 극단적으로 3.4인 과원도 존재하고 있어 이와같은 과원에서는 토양산도 교정이 매우 시급한 과제라 할 수 있다.

또한 유기물함량은 2.41%로 다소 부족한 편이며 특히 유효인산은 전국평균이 802ppm으로 토양개량 목표치인 200ppm에 4배이상 많은 실정으로 인산과다로 인한 철과 같은 미량요소의 결핍이 문제될 것으로 판단된다.

한편 가리함량은 1.13me/100g(표준치 : 0.38~0.5me/100g), 칼슘함량은 4.97me/100g (표준치 : 10~15me/100g), 마그네슘함량은 1.40me/100g(표준치 : 2.47~3.29me/100g)로서 표준치에 비해 가리함량은 높고 칼슘과 마그네슘함량은 낮아 전체적으로 비료성분의 과부족현상이 심하고 농가간의 차이도 심하여 각종 생리장애의 발생이 많을 것으로 추정되고 있어 합리적인 시비의 필요성이 절실한 상태이다.

② 시비량 결정

㉠ 토양 양분 검정치에 의한 시비

토양 분석에 의한 시비량 산정은 질소의 경우 질소공급원이 되는 유기물함량을 검정하여 질소시비량을 결정하고 인산은 유효 인산함량, 칼리는 치환성 칼리함량을 검정하여 검정치의 다소에 따라 시비량을 가감한다.

㉡ 기타 엽성분 및 수세판단에 의한 시비

엽분석은 배나무 잎의 무기성분을 분석하여 나무의 영양상태를 진단하여 부족, 정상, 과다로 구분하여 시비량을 가감해야 하며 특히 질소함량은 수세를 참고하여 도장지 발생정도, 신초생장정지기, 과실 비대정도, 과실 당도, 과피색, 엽의 단풍 및 낙엽상태 등을 고려하여 시비량 결정에 참고해야 하며 결론적으로 시비량은 토양분석, 엽분석, 수세진단 상태를 종합하여 결정하는 것이 합리적이다.

(나) 잡초 관리

과수원의 잡초관리는 작업의 생력화를 위해 제초제를 이용한 청경재배 방법이 주로 이용되어 왔으나 최근에는 초생재배방법이 토양유실 방지, 잡초의 건물생산에 따른 유기물의 토양환원 및 잡초뿌리에 의한 토양 물리성 개량효과, 토양 내 무기성분 과다 시 잡초에 의한 화학성 조절용이, 토양 온도조절 효과, 토양 수분보전 및 응애류 발생감소 등에 의해 초생재배 추세로 전환되고 있다.

그러나 초생재배 시 기계에 의한 예초가 불가능한 과원은 인력에 의해 예초할 경우 노력이 많이 소요되므로 이때에는 제초제에 의한 잡초방제가 필요하다.

제초제 이용 시는 접촉형 제초제(그라목손, 바스타 등), 이행형 제초제(근사미, 유니나, 터치다운 등), 토양처리 제초제(카소론, 고을 등) 등이 이용되며 일반적으로 접촉형 제초제와 토양처리 제초제는 1년생 잡초방제에 효과적이며 이행형 제초제는 1년생 및 다년생 잡초방제에 효과적이다.

과수원의 효과적인 잡초관리는 시기에 따라 청경, 초생을 병행하여 가능한 제초제의 살포

회수를 줄이고 초종에 따라 살포농도를 달리하여 생산비를 절감할 수 있는 잡초방제체계를 강구하는 것이 중요하다.

따라서 생육초기에는 나무의 건전한 생육을 위해 경엽처리 제초제를 단용 살포하거나 토양처리 제초제와 혼용 처리하여 잡초를 방제하여 잡초에 의한 토양온도 저하를 막아 뿌리의 활성을 좋게 하는 동시에 잡초와의 양수분 경합을 막고 장마기는 충분히 잡초를 키워 토양 유실을 방지하는 동시에 7~8월 고온기는 청경재배보다 초생재배가 토양온도의 지나친 상승을 막아 수체 생육상 좋으므로 가능한 초생 재배하되 잡초가 지나치게 무성하게 자라 과원 관리작업에 문제가 될때는 살초효과가 서서히 나타나는 이행형제초제를 저농도로 살포하여 잡초의 생육을 억제하는 수준에서 잡초관리를 하는 것이 경제적으로나 토양관리측면에서도 유익하다.

특히 우리나라 과수농가는 대부분 잡초 방제 시 제초제를 고농도로 살포하여 잡초를 완전히 고사시키고 과원이 완전 나지가 되도록 잡초방제를 하는 경향이 있는데 이는 약제비용은 물론 빠른 시일 내 광발아종자의 발생으로 잡초방제 지속기간이 짧아져 연간 잡초방제 회수가 많아질 뿐만 아니라 지나친 청경으로 토양 물리성 악화, 고온기 뿌리장해 등 토양관리 측면이나 수체관리 측면에서도 바람직스럽지 않은 결과를 가져오게 되므로 연간 잡초 방제 체계를 세워 토양 및 수체생육을 고려한 합리적인 잡초관리방법을 선택해야 한다.

- 식물 성장에 미치는 요인

① 식물생장의 최적화는 자연환경 하에서는 절대로 달성할 수 없음을 캘리포니아 공과대학 Went 교수의 피토포트론(phytotron: 기후 조건을 임의로 조절할 수 있는 식물 생육 실험 관찰 장치) 실험에 의해 증명

② 과수재배 시 용도별 농약 사용경향은 살균제>살충제>제초제 순이었으며 사과의 경우 전체 사용량 중 살균제가 72%로서 해충방제가 우선인 벼 재배와는 달리 병해방제 위주의 농약사용이 나타남.

③ 살균제 중 주요 사용농약은 Mancozeb(만코제브), Propineb(프로피), Thiophanate-methyl(치오파네이트메틸)이었으며 살충제의 경우 Propagite, Omethoate(오메토에이트)가 우선적으로 사용되었다. 제형별 농약 사용량은 수화제 농약 위주의 사용경향을 나타냈으며, WP>EC>SL>SC>SP>WG순임

④ 과수별 단위면적당(a.i/ha) 농약사용량은 감귤 48.6Kg, 사과 27.1Kg, 배 18.6Kg, 감 17.5Kg, 복숭아 11.3Kg, 포도 9.2Kg임

⑤ 식물은 정상적인 생리 상태에서는 광합성색소에 의해 흡수한 광의 대부분을 광합성에 이용하며, 극히 소량의 에너지는 열이나 엽록소형광으로 방출함, 대조적으로 스트레스 환경에서는 광합성에 이용되는 빛에너지가 감소하고 엽록소형광이 증가하게 되어 광합성의 수행과 엽록소형광이 증가하게 되어 광합성의 수행과 엽록소형광의 방출은 서로 역비례한다.

나. 배 재배 환경 요소별 센서 선정 및 요인 실험 방안 선정 및 요인 실험

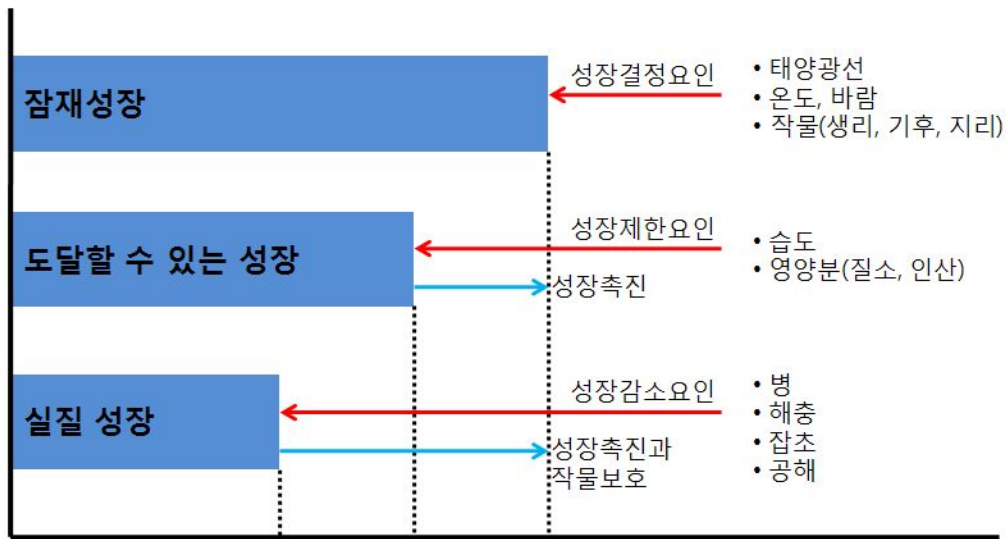


Fig. 3 Effectiveness of nitrogen for the plant growth

질소는 식물, 인간, 미생물의 성장에 필수적인 원소이며 작물의 수량을 결정하는 가장 중요한 요소임

- 질소농도 $100\text{mg} \sim 200\text{mg} \cdot L^{-1}$ 에서 정상적으로 생육, 고농도($400, 500\text{mg} \cdot L^{-1}$)에서는 엽소 현상이 발생되어 생육이 부진, $600\text{mg} \cdot L^{-1}$ 에서는 고사

- 인산이 식물 성장에 미치는 영향

인산은 토양 pH 가 강산성 또는 알칼리로 변하거나, 석회 시비량이 증가하면 불용화가 촉진되어 식물체에서 인산 결핍증상이 나타나고 생장이 저조해짐(핵산 및 단백질 합성이 억제되어 식물 전체의 생육이 매우 저조해짐)

- 매향 딸기의 경우 인산 시비 농도를 $0.5 \sim 2\text{mM}$ 범위로 조절(4mM 이상으로 조절한 처리에서 생육이 저조)

다. 요인별 적정 센서 선정

(1) 온-습도 센서

(가) 공기 중 계측 센서

* 반도체식 센서

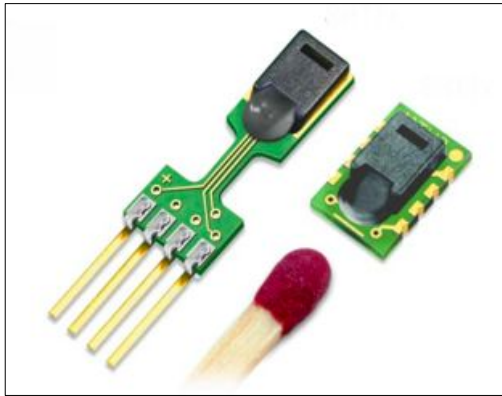


Fig. 4 Integrated Temperature and Humidity Sensor

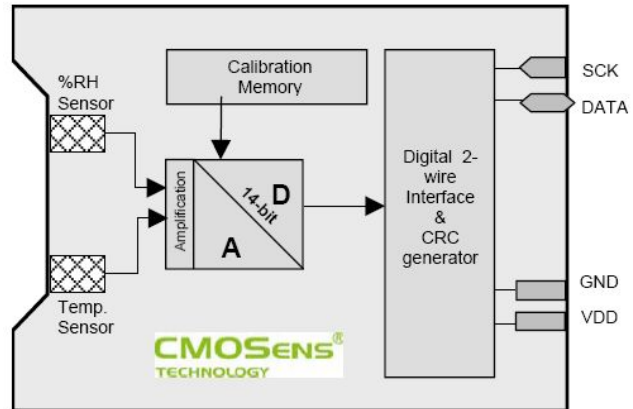


Fig. 5 Block diagram for T-H sensor

본 과제에서 선정한 공기 중 온-습도 계측 센서로는 기존의 온도와 습도를 단독으로 계측하는 것이 아니라 하나의 집적회로에서 구현한 스위스 Sensirion AG (www.sensirion.com)사에서 상표 등록한 CMOSens 기술을 바탕으로 설계된 디지털 출력 센서이다. 이 센서는 단일 CMOS 칩에 온도, 습도 센서, 14bit A/D converter, 보정값이 저장된 EPROM 그리고 디지털 2-wire 인터페이스를 3.08*1.3*0.5mm에 집적한 제 3세대 센서이다.

또한 전통적인 습도 센서의 문제점을 해결하기 위해, MEMS (Micro Electro Mechanical System) 기술을 응용한 Finger Electrode System은 정전 용량을 형성하고 그 위에 다양한 보호 층과 폴리머 커버 층을 형성하여 이전까지 구현되지 못했던 방법을 통해 인터페이스로부터 센서를 보호하는 퓨전 센서이다. 이러한 기술들은 기존의 정전 용량 및 저항형 방식의 습도 센서의 단점인 응축 및 침수 시 센서의 수명을 다하는 단점들을 극복되었다.

* 특 징

- 온도 및 습도 센서 내장 (정밀도 표1. 참조)
- 정밀한 이슬점 가능 (온도, 습도 센서 거리 0.1 μ m)
- 습도 측정 범위 및 정밀도: 0-100% RH
- 온도 측정 범위 : -40~123.8 $^{\circ}$ C
- 보정된 디지털 출력 (온도 14bit, 습도 12bit 출력), 다른 부품이 필요 없음
- 보정 없이 교환 가능
- 빠른 반응 속도 < 4 sec @ 1/e (63%)

- 저 전력 (typ. 30 μ W @ 5V, 12-bit로 매 2sec씩 측정 시)
- 센서 표면 응축 및 침수 후 변화율 +2% (신뢰성 데이터 제공)
- Self test 가능
- 자체 히터 내장 (~8mA @ 5V 사용시 5~15도 상승)
- 자동 파워 다운 기능

(나) 토양 내 온도 계측

* 열전쌍, 열전대(Thermocouple)

다양한 온도 센서가 지온을 계측할 수 있지만 정밀도, 사용 범위, 사용의 용이성을 고려하여 본 과제에서는 E형 열전대를 선정하였다.

열전대의 원리는 자유전자 밀도가 서로 다른 2종의 금속선 양단을 연결하고 폐회로를 구성하여 양 접속점을 상이한 온도로 유지하면 이 회로에는 열기전력이 발생한다. 온도차를 주면 자유전자 이동으로 전위차가 발생하고 전류가 흐름 \rightarrow 열기전력이 생기는 제백 효과(Seebeck)를 이용한 센서이다.

측정 방법 및 원리는 다음과 같다. 접점 하나를 일정온도로 유지하고(기준접점) 다른 접점(측온접점)의 온도와 열기전력과의 관계를 미리 구하여 두면, 이 열기전력을 측정함으로써 측온접점의 온도를 측정할 수 있다.

측정 원리는 서로 다른 종의 금속 A 및 B로 만들어진 회로의 두 접점에 $t_1 < t_2$ 의 온도차 (t_1, t_2 는 각 접점에서의 온도)를 주었을 때, 이 두 접점간에는 발생하는 열기전력 E는 다음 식과 같다.

$$E = a(t_2 - t_1) + \frac{1}{2}b(t_2^2 - t_1^2)$$

여기서 a와 b는 사용하는 금속에 의해서 정해지는 정수

Table 4 The type of thermocouple and specification

열전대			구성재료		사용온도범위 ($^{\circ}$ C)
명칭	JIS 기호	ANSI 기호	(+)각	(-)각	
백금로듐-백금	PR	R	87%Pt 13%Rh	Pt	0~1400
		S	90%Pt 10%Rh	Pt	
크로멜-알루멜	CA	K	90%Ni 10%Cr	94%Ni 3%Al 2%Mn 1%Si	0~1200
크로멜-콘스탄탄	CRC	E	90%Ni 10%Cr	55%Cu 45%Ni	-200~800
철-콘스탄탄	IC	J	Fe	55%Cu 45%Ni	-200~800
구리-콘스탄탄	CC	T	Cu	55%Cu 45%Ni	-200~350

열전대의 특징은 다음과 같다.

- ① 전원이 필요 없다.
- ② 원격측정이 가능하다.
- ③ 자동제어, 자동기록이 가능하다.
- ④ 선 굵기에 따라 측정범위가 다르다.
- ⑤ 장기간 사용하면 재질이 변화한다.
- ⑥ 측정범위와 사용분위기를 고려해야 한다.
- ⑦ 접촉식으로 가장 높은 온도를 측정한다.

(2) 조도 측정 센서

본 과제에서의 조도계측은 작업장 내의 태양광 조사에 방해가 없는 장소에 센서를 고정하고 조도 및 온도를 계측할 수 있는 센서를 설치하여 계측하도록 하였다.

시스템 구성은 조도 및 온도센서 모듈, 무선 센서 노드 모듈, 설치대, 축전지 및 태양전지로 구성하였다.

무선센서 모듈은 Zigbee 통신 모듈과 안테나, 신호변환 및 증폭기, 마이크로프로세서로 구성되어 센서로부터 입력되는 정보를 디지털화 하고, 임시 저장, 필터링을 거친 후 서버로부터 요청이 있을 경우 무선으로 정보를 제공하는 기능을 수행한다.

전원 시스템은 센서 노드 및 센서가 저 전력 구동이 되므로 소 전력 축전지와 태양전지로 구성하였다. 야간 또는 아주 흐린 날씨의 경우 센서노드에서 자동으로 계측을 중단하게 하여 불필요한 전력 소비를 줄이는 구조로 시스템을 구축하였다.

그림 6은 일본 T&D 사의 실내/외 조도계측이 가능한 조도계측 센서와 로거이며 사양은 표 5과 같다.

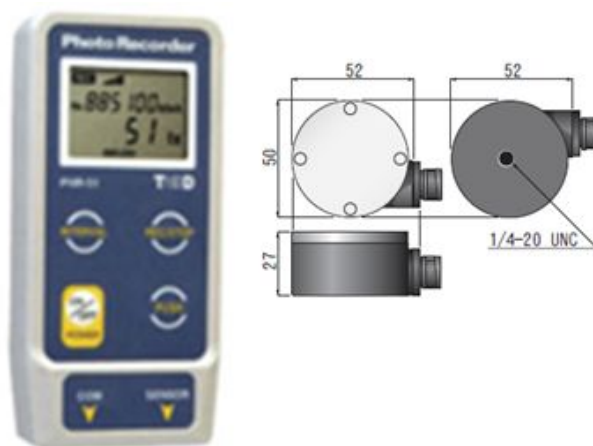


Fig. 6 Illuminometer and logger.

Table 5 Specification of Illuminometer

MODEL	PHR-51
측정범위	조도 : 0 ~ 130000lx, 적산 조도 : 0 ~ 999999klx/h
측정분해능	1 lx(3000lux 이하), 35 lx(3000~9999lux), 100 lx(10klux 이하)
측정정도 (-10~40℃에서)	본체 : ±1.5%, ±10lx(3000lux 이하), ±100lx(3000~100klux) 센서 : ±8%(100klx 이하)
기록간격	10초 ~ 60분(12단)
기억용량	순간치 : 14500 Data, Push 기록 : 500 Data
기억모드	Endless Mode / One Time Mode
표시	현재 조도, 적산 조도, Push 기록 Data수, Data 용량, 측정 기록 상태, 전지 수명 경고
전원 및 수명	리튬 전지(CR2) 1개, 순간기록 : 6개월 · Push 기록 : 1개월
통신방식	시리얼 통신(RS-232C)
규격	본체 : 123×58×33mm / 132g, 센서 : Φ50×27mm / 56g
사용환경	온도 : -10 ~ 50℃ / 습도 : 90% RH 이하(단, 결로 현상이 없을 것)
방수성	본체 : IPX4 내수형(생활 방수), 센서 : IPX6 내수형(생활 방수)
표준부속품	본체(PHR-51), 센서(PHR-5101), 연장 케이블(PHR-1C30), 전지
Option	소프트웨어 1 Copy, 통신케이블, 삼각대

(3) 토양 EC 계측 센서

토양 EC측정의 경우 샘플링계측이 일반적이거나 실시간 계측장비가 많이 개발되어있다. 그리고 실시간 계측의 경우에도 수분이 일정량 필요하여 가수 후 30분 정도 후 계측하는 것이 일반적이다. 그러나 현재 이동로봇에서 계측을 할 경우 실시간 계측이 필수적이므로 이러한 가수 장치나 시간 소요가 되어서는 안 된다. 그러므로 본 시스템에서는 완전 건조되지 않은 토양에서도 계측이 가능한 센서 시스템으로 선정하였다.

전도도 계측은 프로브와 토양의 접촉 면적이 매우 중요하므로 일정 깊이로 프로브를 토양에 삽입하여야 한다. 그래서 본 연구에서는 정밀 리니어 모션을 이용하여 토양에 삽입 할 수 있도록 로봇 후면에 삽입 기구를 이용하여 삽입되도록 하였다.



Fig. 7 Soil sensor module for EC, moisture, temperature

Table 6 Spec of soil sensor module

Signal Output (데이터출력)	Analog <ul style="list-style-type: none"> • 전압 0 - 5V, 1 - 5V, 0 - 1V, 0 - 2.5V(linear output) • 전류 4 - 20mA(linear output) Digital <ul style="list-style-type: none"> • serial TTL level 9600,N,8,1(RS-232c)
Measuring Range (측정범위)	Moisture 0 - 99.9% 토양EC 0 - 6.0dS/m Temperature 0 - 60 °C
Accuracy (오차)	Moisture ± 1% EC ± 0.1 dS/m Temperature ± 0.5 °C
Sensor type	FDR2(Frequency Domain Reflectometry)
Operating temperature Range	0 - 60 °C
Size	Probe length 11.5cm Ø 48mm
Power Supply	DC 9-15[V]
Current	25mA

그림 7은 미래 센서사의 WT1000B 센서 모듈이다. 센서 프로브는 3극 방식으로 전도도 측정을 위해 중점극을 중심으로 양쪽에서 음/양극의 전류를 방사하여 전도도를 계측하는 방식을 사용하고 있다. 모듈의 동작은 RS232 통신을 통하여 이루어지며, 계측된 데이터는 로거에 저장되며 요청에 의하여 그 값을 제공하는 구조를 갖는다.

(4) 계측 기구 설계

온/습도의 계측은 이동 로봇 상단에 센서를 장착하여 이동로봇의 이동에 따라 공간적인 계측을 수행하게 하였으며, 전도도는 토양에 계측 프로브를 삽입하는 형태를 갖기 때문에 리니어 모션 및 DC 서보 모터를 이용하여 일정한 깊이에 삽입할 수 있도록 하였다.

한 번 삽입으로 전도도값을 계측하기 위하여 프로브를 리니어 모션에 장착하게 설계하여 동시에 프로브를 삽입하도록 하였다.

계측기구는 리니어모션과 프로브 장착용 브라켓으로 구성하였으며, 그림 34는 계측기구의 리니어 모션의 입체도이며, 그림 8,9는 리니어 모션의 설계도이다.

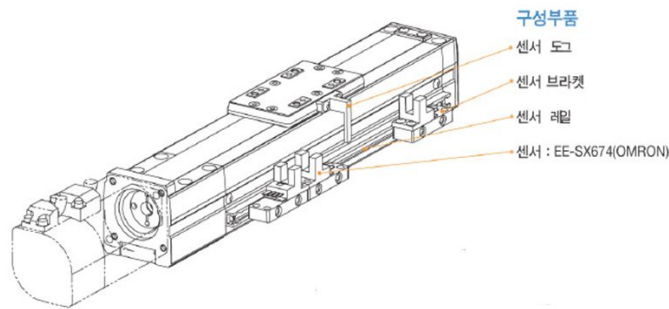


Fig. 8 3D drawing for linear motion

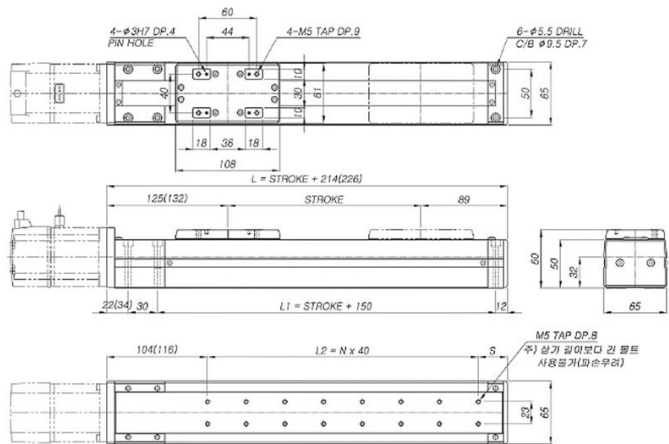


Fig. 9 2D drawing for linear motion

2. 배 재배 실태 조사

가. 배 재배 일반 현황 및 주요 관리 작업




우리나라에서 현재 재배되는 품종은 남방형 동양배(*P. pyrifolia*) 위주로서 최근에는 남방형 동양배와 북방형 동양배(*P. ussuriensis*)와의 교잡에서 생긴 품종이 등장하고 있다. 과거에 우리가 재배하던 재래종은 북방형 동양배이다. 이와 같은 우리나라의 배 재배분포는 서울 이북, 한반도 북반의 함흥을 비롯하여 남부의 울산, 나주, 보성 등 한반도 전역에 걸쳐 이루어지고 있다.

우리나라의 배의 주산지는 연평균기온은 12 ~ 15°C 범위에 있으며(일본의 과수진흥법 7°C 이상 규정), 4 ~ 10월 평균기온이 19 ~ 21°C가 많으며, 7 ~ 8월 평균기온은 24 ~ 26°C, 9월 평균기온은 18°C 이상에서 22°C인 지역이다.

경제적 재배온도는 생육기간 중 고온량지수(월평균 5°C 이상의 달에서 5°C 뺀 온도 합계)가 85°C 선이며, 한강이북 지방은 조·중생종 재배는 적합하나 만생종 특히 11월에 수확되는 극만생종은 생육기간 중의 적산온도가 부족하여 성숙미흡, 착색지연 및 식미가 떨어지는 등 과실품질 저하로 미기상이 남부처럼 배재배에 비교적 좋은 곳을 제외한다면 대체로 부적합하다.

남부지방은 기온상으로 재배적지라고 할 수 있다. 배의 주산지는 1일 평균기온 10°C 이상 일수가 215 ~ 240일이 되어야 좋다. 한국배의 자발 휴면 완료기는 12월 하순 ~ 1월 중순이다.

Table 7 Types of Various Pears

분류	동양배		서양배
	남방형	북방형	
여름기상	고온다습, 다우	고온건조	온난건조
재배적지	한국, 일본 재배 한국 : 종만생종 일본 : 조중생종	중국 : 양자강 이북	미국, 유럽, 남미, 호주, 뉴질랜드
과실외형			
수목높이	8-15 m	8-15 m	8-15 m
과실크기	장경 : 최대 18cm 단경 : 최소 8cm		
과실질량	최소 500 g		50-250 g

배 재배 관련 주요 관리 작업으로는 전정, 적아적심, 적과 봉지 씌우기 등이 있으며 대부분 인력에 의해 수행되어 지고 있다.

가. 전정

수목류를 자연 상태로 방치해 두면 성장과정에서 장애가 생기며, 형태가 과수마다 달라 기계화에 적합하지 않게 된다. 따라서 그러한 모양을 유지 시키면서 성장을 조절하는 역할을 돕도록 하는 작업이 “전정작업”이다.

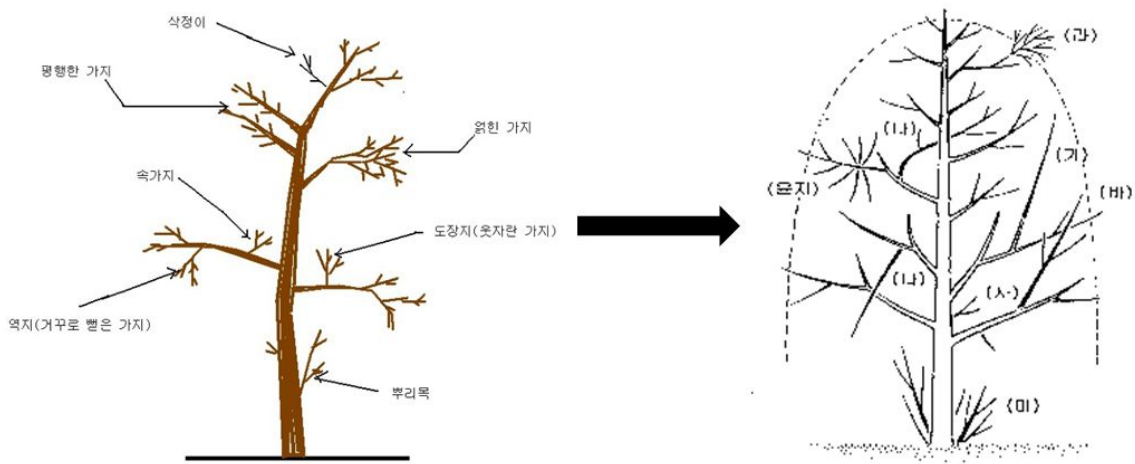


Fig. 10 Outline of Pruning

Table 8 Types of Pruning

미관상	<ul style="list-style-type: none"> ① 자연수형의 충분한 수형 가치가 있는 수종 ② 인공적으로 만든 수형(토피아리 등)
실용적	<ul style="list-style-type: none"> ① 산울타리 ,바람막이 등의 가지와 잎의 밀생을 요하는 경우 ② 태풍에 가지가 부러지거나 쓰러지는 일이 없도록 다듬는 경우 ③ 한정된 공간에 식재된 나무가 많아 재배치가 필요한 경우
생리적	<ul style="list-style-type: none"> ① 과수나 화목류의 개화 결실을 촉진시키고자 하는 경우 ② 식재 이식시 많은 뿌리가 절단되어 흡수된 수분량과 증산량 사이의 불균형을 초래한 경우 ③ 병든 고목의 수세를 회복시키기 위한 경우

나. 적아적심

성장과 결실을 조절하기 위해 나무나 농작물 줄기의 끝눈을 적아하는 일종의 전정 작업으로 볼 수 있다. 수목류에 적아적심을 함으로써 남은 부분에 많은 양분을 공급하여 성장을

왕성하게 하며 생육이 왕성한 곳에 생장을 억제하므로 개화·결실이 조절된다. 또한 결가지의 발육을 촉진시키며, 고사한 부분과 병충해를 입은 부분을 제거하여 작물체를 보호하고 작물체가 차지하는 영역을 조정한다.

다. 적과

적과는 결실량을 조절하여 과실의 크기를 증대시키며, 착색증진 등으로 품질을 높여준다. 또한 수세에 맞추어 결실을 시켜주므로써 해마다 안정적인 고품질의 과실생산을 용이케한다.



Fig. 11. Thin out of the young fruit

라. 봉지 씌우기

병해충 방제와 과실의 색택을 좋게 하여 품질을 향상시키고 농약 등으로 오염되는 것을 방지하고자 봉지 씌우기 작업을 한다. 갈색배 품종은 개화 후 40일 경이나 5월 하순경부터 실시하며, 녹색계 품종은 동녹 방지를 위해 개화 후 30일 이내에 실시한다.



Fig. 12. Bagging pears

3. 국내 배 재배 실태

배 재배관리 생력화를 위한 요인 분석을 위하여 현장방문 조사를 근거로 분석하였다. 전문적으로 배를 생산하고 있는 과수농가(시설농가)와 재래식 방식으로 배를 재배하고 있는 비시설농가(노지재배)를 각 농가에서 필요로 하는 생력화장비를 개발하기 위하여 배나무 사이의 주간 거리 및 조간거리를 조사하였다.

가. 시설 재배

시설농가에서는 재식 밀도를 높일 수 있기 때문에 Y형 수형이 많이 보급되어있다. Y형 수형은 격자모양 재배가 가능하며 작업용 차량이 통과할 수 있어 효과적인 생력관리를 할 수 있다. 배나무의 높이는 2.2m, 조간거리 6m, 주간거리 4.5m로 측정되었다.



Fig. 13 Shape of Tree

시설농가의 재배과정은 개화 → 어린 과실 정리하기 → 봉지 씌우기 → 방제 및 관리 → 수확 및 저장의 과정을 거친다.



Fig. 14 Process of Cultivation

그림 15는 배 과수원의 수목형태를 도식화 한 것이다.

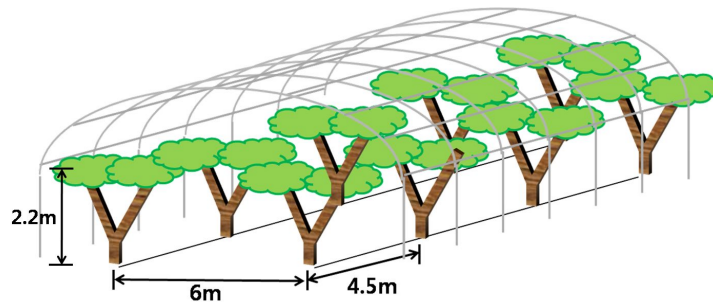


Fig. 15 Diagram of Shape of Tree in Orchard for Peach

나. 노지 재배

국내에서의 재래식 농가의 특징은 표본적인 배나무 수형으로 배상형을 주로 이용한다. 많은 농가에서 관리를 하지 않아 배나무의 형상이 다양하고 잔가지가 많아졌으며 이로 인해 과실이 늘어져 아래에서 수확하는 경우가 발생하였다. 또한 주변 관리를 하지 않아 작업기의 이동공간이나 통로가 없었다. 배나무의 높이는 1.8~2.2m, 조간거리 1.5m, 주간거리 2m로 측정되었다.



Fig. 16 Figure of Grown Outdoors

제 2 절 IT 융합 친환경 배 재배관리 정보화 시스템 개념 설계

1. 시스템 개념 설계

IT 융합 친환경 배 재배관리 정보화를 위한 시스템은 다음과 같은 구성으로 하였다.

가. 고정 정보 수집 시스템

조도 또는 일반적인 일기(기온, 습도, 강수량)에 관련된 센서의 경우 필드 내에 고정으로 설치하여 정보를 수집하여 서버로 무선 전송을 수행 하게 한다.

통신 시스템 적용에 있어서 계측점 근처에 센서 네트워크가 형성되었을 경우 Zigbee형태의 통신방식을 적용하고 그렇지 않을 경우 무선 리피터 또는 장거리 송수신용 안테나를 적용한다.

나. 이동 정보 수집 시스템

시공간적 생육정보의 획득을 위하여 무선 원격 자율주행로봇 상에 센서를 탑재하여 로봇을 이용하여 공간 이동을 수행하면서 정보를 수집하는 시스템이다. 이 시스템은 자체 위치 및 자세 검출 시스템이 있어 미리 설정된 위치로의 이동을 할 수 있다. 그러므로 미리 경로 계획을 수립하여 운용할 수 있다. 경로 계획은 서버에서 미리 정밀 계측한 작업장 자료를 바탕으로 소프트웨어적으로 설계가 가능하도록 하였으며, 수시로 경로를 수정하고 다운로드 할 수 있다. 이 때 기준 이동 위치를 정하여 그 위치에서 정지, 위치 보정을 수행하므로 누적 위치오차를 배제할 수 있도록 한다. 또한 무선 원격 영상 장비를 통하여 원격 모니터링 또한 수행이 가능하도록 한다.

전력 관리에 있어서 상시 전력을 모니터링하여 충전이 필요할 경우 작업자에게 그 사실을 알리고 충전위치로 이동하여 자동 충전이 되도록 하며 작업자에게 현재 상황을 출력한다.

다음으로 리모트 컨트롤러를 통하여 작업자가 직접 수동으로 제어가 가능하도록 하여 작업 교시, 비상사태에서의 수동 운전, 시험 운전 등을 수행할 수 있게 한다.

다. 무선 원격 모니터링 및 작업지시 시스템

무선을 통하여 원격지에 있는 자율주행 로봇에서 보내오는 각종 센서 정보 및 영상정보를 수신하여 작업자에게 그 정보를 제공하고, 또한 작업자의 지시를 송신하여 자율주행 로봇의 행동을 통제할 수 있는 시스템이다. 작업 지시는 로봇의 수동 운전, 센서계측, 카메라 제어 등이다.

라. 센서 네트워크 시스템

작업장 전반에 고정 센서, 이동형 센서 등을 구축함에 있어 데이터의 양이 많지 않으므로 기본적으로 무선의 경우 Zigbee를 사용함을 원칙으로 하며, 유선의 경우 RS485를 바탕으로 하여 데이터의 송수신이 이루어지며, 영상의 경우 데이터 양이 많으므로 무선 이더넷을 바탕으로 한 IP 카메라를 적용한다.

그 외 자율 주행 로봇 내부 시스템에서는 CAN통신을 기본으로 하며 서버와의 통신은 Zigbee를 기본으로 한다. 여기서 Zigbee는 주변 Zigbee 모듈과 연동되는 망을 형성할 수 있어 그 효율성이 높다.

마. 작업 정보 데이터베이스화 및 분석 시스템

수신된 데이터는 1차적으로 각 수신부 별로 데이터가 저장된 후 작업자의 지시에 따라 데이터베이스에 정리되어 저장, 축적이 되어야 한다.

그리고 데이터의 분석 및 관리, 열람 및 정보 제공 서비스를 위하여 손쉽게 정보를 얻을 수 있어야 한다.

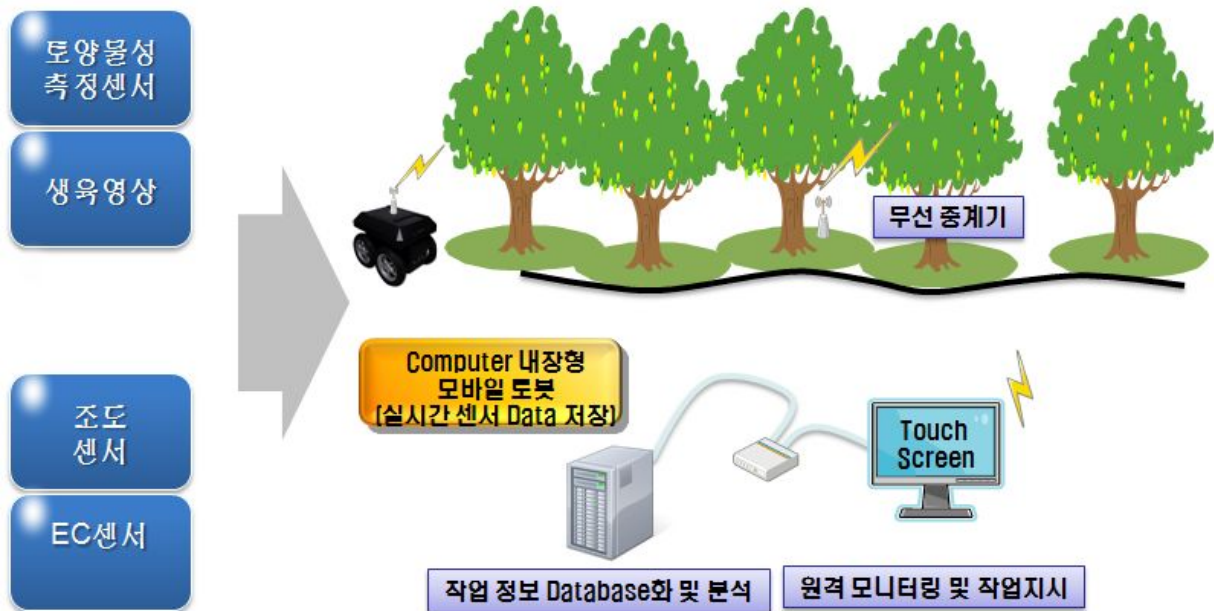


Fig. 17 System block diagram for IT Oriented Environment Friendly Cultivation and Mechanization for a Pear Orchard

제 3 절 배 재배관리 정보화를 위한 무선 원격 주행로봇 개발

1. 주행경로 설정 및 탐색 시스템 개발

자율 주행 로봇의 주행 경로 및 탐색을 위한 시스템으로 그 구성은 다음과 같다.

- DGPS 시스템 및 모바일 컴퓨터
- 스마트폰
- 분석 및 편집 시스템

가. DGPS 시스템 및 모바일 컴퓨터

주행 경로 설정을 위해서는 작업장의 외곽 경계, 작업장 내 시설에 대한 위치 및 형상 정보, 과수 위치 정보 등과 같은 기초 정보를 수집하기 위하여 정확성이 우수한 DGPS 시스템과 모바일 컴퓨터가 필요하다.

그림 18과 같이 작업자가 도보로 작업장 외곽의 변곡점의 위치에서 수동으로 현재 위치를 저장함을 반복함으로써 완성된 외곽 정보를 수집할 수 있다. 이러한 방법으로 작업장 내의 시설 및 과수 등에 대한 위치정보를 저장할 수 있다.

이러한 기초 데이터를 바탕으로 자율 주행 로봇의 경로를 정밀하고 효율적으로 편집할 수 있다.



Fig. 18 Figure of position data collector and collection software.

그림 18은 경계면 정보 또는 포인트 정보를 수집하기 위하여 GPS 안테나 및 모듈을 장착한 사진과 이 정보를 수집하기 위한 사용자 인터페이스를 갖는 모바일 컴퓨터의 화면이다. 모바일 컴퓨터는 터치 인터페이스가 가능하며 이 화면을 통하여 개별적인 경계정보 및 포인트 정보를 저장하고 파일별로 관리할 수 있다.

본 프로그램은 폴리곤(Polygon) 형태의 경계면 정보를 수집할 수 있어 작업장 및 작업장 내의 시설에 대한 외곽 정보를 획득할 수 있을 뿐 아니라 과수와 같이 점의 형태로 독립된 데이터로 구성된 것 같은 정보를 저장할 수 있다.

데이터를 저장하는 방법은 먼저 획득 모드를 선택한다. 즉 경계면 수집 또는 포인트 정보 수집 버튼을 클릭함으로써 설정된 작업 모드로 들어간다.

그리고 저장 하고자하는 위치로 이동한 후 GPS상태와 VRS상태가 모두 녹색일 때까지 기다린다. 그 동안 1초 간격으로 위치정보는 읽혀지며, 그 결과가 위치정보 분포 창에 나타난다. GPS상태와 VRS상태가 모두 녹색일 때 즉 위치정보의 분산형태가 안정적으로 바뀔 때 수집 버튼을 누름으로 우측 수집 창에 현재 위치가 등재된다.

이러한 과정으로 저장된 데이터는 선택을 통하여 부분 삭제가 가능하며 삽입 또한 가능하다. 그리고 저장된 데이터를 수정하고자 할 경우에도 저장된 파일을 읽어 수정이 가능하다.

나. 스마트폰

스마트폰은 DGPS가 VRS시스템을 이용하기 위한 인터넷 AP(access point)를 하기 위해 필요하다.

VRS를 이용하기 위해서는 국토해양부 국토지리 정보원에 사용자 등록을 한 후 NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) 클라이언트 프로그램을 통하여 vrs.ngii.go.kr로 로그인 한다. 그리고 현재 위치에서 가장 가까운 고정국을 찾아 등록함으로써 보정 정보를 수신할 수 있다. 수신된 정보는 RTCM 수신이 가능한 DGPS에 송신하면 헨 내부에서 자동으로 보정된 정보를 외부 모바일 컴퓨터에서 획득할 수 있다.

다. 분석 및 편집 시스템

수집된 데이터 파일은 경계면 검출의 경우 한 파일명으로 일련의 그룹의 위치정보를 한꺼번에 저장하나, 포인트 정보의 경우 필드명 이후 일련번호를 통하여 저장된다.

이렇게 저장된 정보는 그림 19와 같이 구글(google) 지도에 도시화 되고 포인트별로 편집이 가능하다.

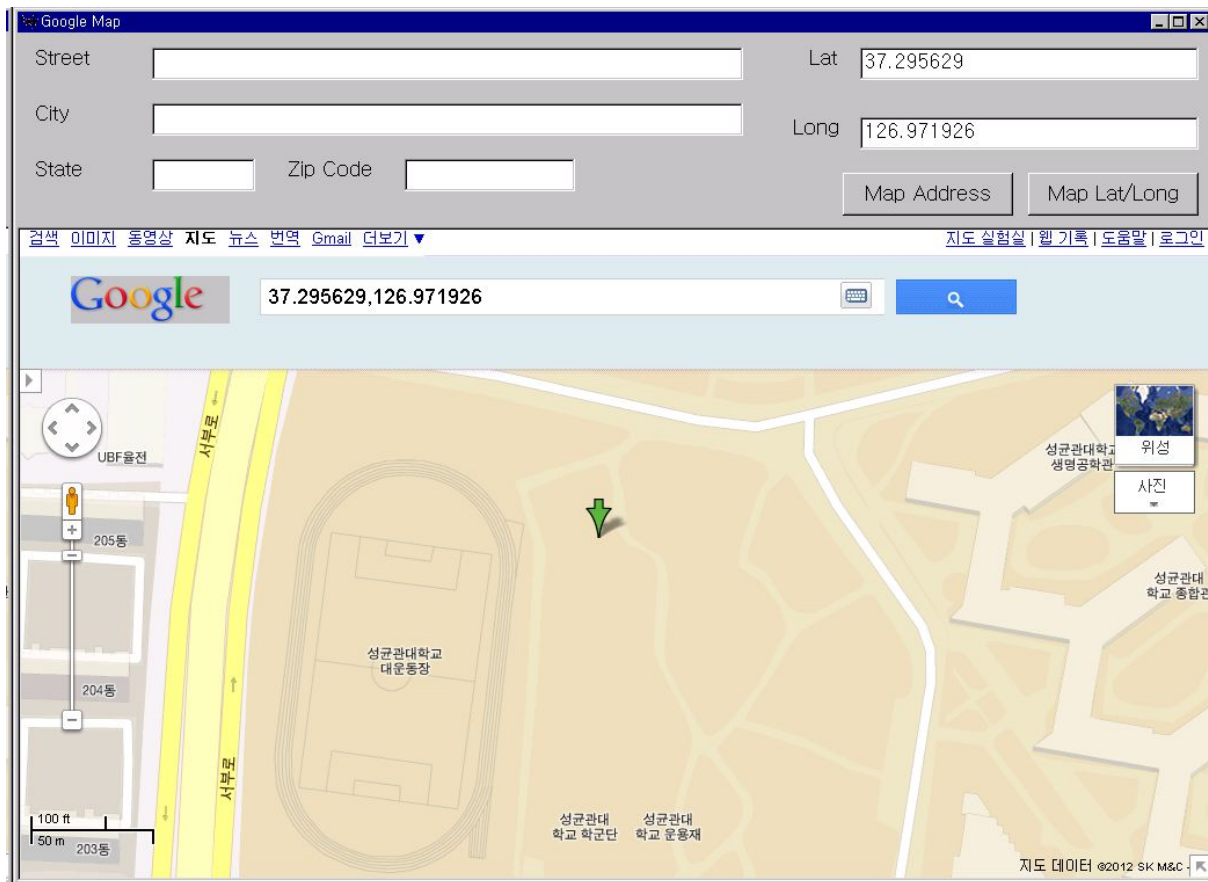


Fig. 19 Figure of google map for searching position via GPS(skku).

2. 자율 주행 로봇의 위치 및 자세 정보 획득 시스템 개발

가. 기초 이론

(1) GPS(Global Positioning System)

GPS는 인공위성을 이용하여 현재 위치, 속도, 시간을 계산할 수 있게 하는 시스템이다.

종류로는 표준측위 서비스(SPS: Standard Positioning System)과 정밀측정서비스(PPS: Precise Positioning System)이 있다. 일반적으로는 표준측위 서비스를 이용하며 이것은 수평 측위 정확도가 약 100m이다.

GPS 사용의 장점은 3차원 위치, 속도, 시간의 측정 및 장비가 간단하며, 무료이용이 가능하며, 전 세계적인 공통 좌표계를 사용함에 있다. 그리고 단점으로는 위성이 보이지 않는 곳에서는 이용이 불가능하고, 위성의 배치 및 기상 조건, 주변 환경에 따라 간섭의 영향으로 오차를 발생시킬 수 있다.

GPS의 시스템 구성으로는 위성, 지상관제, 사용자 부분으로 크게 3가지로 되어있다.

(가) 위성부분

위성 : NAVSTAR

위치 : 지상 20.2000Km 상공

주기 : 12시간

경사각: 55°

항속 : 4Km/s

위성수: 24대(6궤도 x 4대 , 예비 3대), 어느 지역이든 최소 4대 포착 가능

(나) 지상관제 부분

- 주 관제소 : Colorado Springs

각 위성의 위치계산

궤도 예측

GPS 시각의 유지 및 제어

궤도 조종 및 작동상태 감독

- 감시국 : Ascension, Diego Garcia, Kwajalein, Hawaii

4개 감시국 중 3개는 Uplink로 전송

지상 안테나

(다) 사용자 부분

위성 시각 정보와 궤도 정보를 수신하여 이것을 계산하여 수신 위치의 정보 및 시간, 속도를 산출한다.

(2) GPS의 신호

Table 9 Signal of GPS

	L1 (1575.42 Mhz)	L2 (1227.6 Mhz)
공개 여부	공개	비공개
특징	위성모두 주파수 동일 주로 C/A 코드	위성마다 코드 패턴이 틀림, 주로 P 코드
용도	민간용	군사용

변조 신호는 C/A 코드 , P 코드 , Y 코드, NAV 코드 가 있다.

(3) 항법 메시지(Navigation message)

위성의 상태와 기능의 정상 여부 알림 신호로 다음과 그림 20과 같다.

- 알머랙(almanac): 궤도정보(軌道情報)
- 이페머리스(ephemerris): 시계 보정 데이터

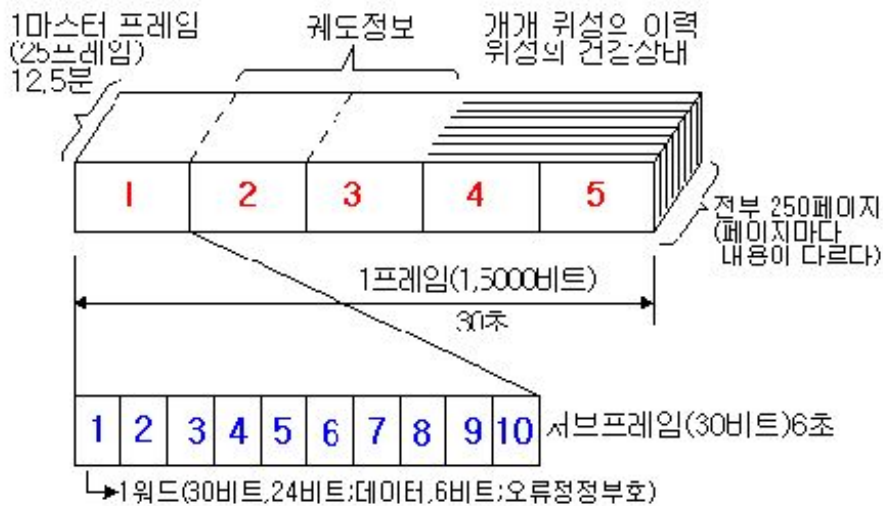


Fig. 20 Configuration of navigation message

(4) GPS 신호의 변조방식

GPS 신호는 반송파에 디지털 데이터가 변조(혼합)되어 그림 21과 같이 출력이 된다.

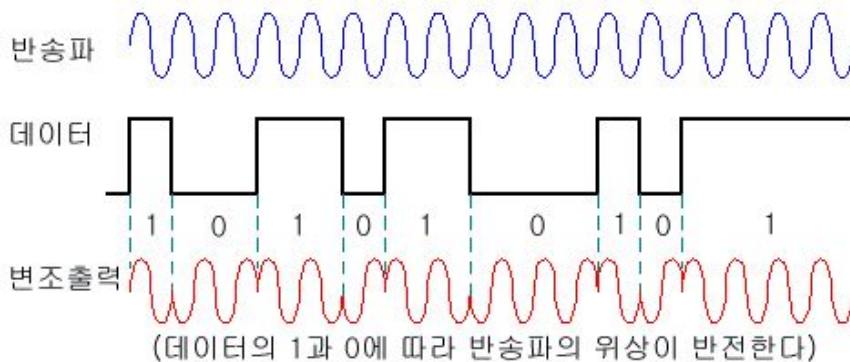


Fig. 21 PSK modify

(5) GPS의 측위 원리

거리측정방식에 의한 삼각법을 이용하고, 코드를 이용하여 위성과 수신기간 거리 다음과

같이 구한다.

- 최적 배치의 위성 추적
- 삼면법을 기초로 측위
- 수신기와 위성간의 거리 측정 : 시간차를 이용하여 측정함.
- 4개 위성을 이용하여 경,위도 및 고도 계산
- GPS수신기 시간 보정
- 궤도 정보로 위성 위치 확인
- 전리층 및 대류층 오차 보정

(6) GPS의 오차

(가) 구조적 오차

- 위성 시간 오차, 위성 궤도 오차 , 전리층과 대류권의 굴절

(나) 수신기 오차

수신기 내 잡음이나 전파의 다중 경로 수신 등의 원인으로 발생하는 오차.

(다) 기하학적 오차

위성 배치에 따라 발생하는 오차.

(라) 선택적 사용 오차

민간 부문의 사용을 제한하기 위하여 의도적으로 오차를 발생시키는 방법을 의미한다. SA가 적용된 GPS 신호를 사용한 측정에서는 수직방향으로 30 미터, 수평방향으로 10 미터 정도의 오차가 발생한다.

Table 10 Kind of GPS error

위성의 시간 오차	0 ~ 1.5m
위성의 위치 오차	1 ~ 5m
전리층의 굴절	0 ~ 30m
대류층의 굴절	0 ~ 30m
수신기 잡음	0 ~ 10m
다중경로	0 ~ 1m

(7) DGPS(Differential GPS)

DGPS는 GPS수신기를 2개 이상 사용해 상대적 측위를 하는 방법으로 좌표를 알고 있는 기지점에 베이스 스테이션용 GPS수신기를 설치하고 위성들을 모니터링해 개별 위성의 거리 오차 보정치를 정밀하게 계산 후 이를 작업 현장의 로버용 수신기의 오차 보정에 이용하는 방식이다. 따라서 DGPS는 두개의 GPS 수신기를 필요로 하며, 하나의 수신기는 정지해 있고 다른 하나는 이동하면서 위치측정을 한다. 현재는 단독측위방식으로 외부 보정신호를 이용해 보정하는 1인 시스템이 많이 보급되어 있다.

나. 센서 융합을 통한 저가 고성능 위치 및 자세 검출 시스템

(1) 개요

본 과제에서는 자율주행 로봇의 위치 정보 획득을 위하여 성능면이나 경제적으로 현실적으로 적용이 가능한 시스템을 구축하고자 3가지의 방법을 통하여 저가의 GPS를 고성능으로 운용될 수 있도록 하였다.

- 다중 GPS 시스템
- INS(Inertial navigation system) 연동 시스템
- VRS(Virtual Reference Station) 적용을 통한 Network RTK 시스템을 구현하였다.

GPS는 크게 우주공간 부분, 관제부분, 사용자 부분으로 구성된다. GPS데이터는 공간구조에서 생성되기 때문에 여러 가지 오차요인을 갖는다.

(2) 다중 GPS 시스템의 데이터 획득 알고리즘

무인 자율 차량이 출발점에서 최종 목적지까지 이동하는 데는 주행경로를 생성하고 탐색하는 항법 시스템이 요구된다. 그러므로 차량의 현재 위치와 경로의 생성 및 갱신, 목적지 도착 유무 등을 판단하는 정보를 제공하는 GPS의 데이터의 정확성이 요구된다.

본 연구에서는 3개의 저가 수신기를 이용하여 각각의 수신 데이터의 신뢰성을 판단하고, 불안정한 데이터일 경우 최종의 안정된 데이터를 이용한 추측 항법을 적용해 연속된 데이터를 얻는다.

(3) 데이터 안정화 알고리즘

물리적으로 배치된 각 GPS의 안테나의 위치정보의 삼각형(PDT)와 GPS에서 측정된 위치정보 삼각형(GDT)가 있다. 여기서 새로운 정보가 들어오면 각 삼각형의 무게중심이 같도록 위치이동을 수행한다. 그리고 각 꼭지점의 거리가 최소인 각도를 구한다. 그리고 보정을 통하여 새로운 꼭지점 좌표를 구한다.

(4) INS 연동 시스템

적용된 INS 시스템은 초기 위치로부터 자이로와 가속도센서의 각속도 및 가속도를 적분하여 현재 자세, 속도, 위치를 계산한다.

물리적으로 배치된 GPS 위치에 따른 방위각은 INS에서 얻은 방위각과 같다는 가정 하에서 입력되는 GPS값을 보정할 수 있다. 즉 로봇의 센터를 기준으로 배치한 GPS안테나의 중심과 실제 계측된 위치데이터간의 위치 이동은 보정할 수 없으나 각 GPS의 꼭지점의 위치 이동이 있으면 회전 방위각을 보정할 수 있다.

(5) 가상 기준국(VRS) 서비스를 이용한 일반 GPS의 DGPS화

RTCM신호를 받을 수 있는 저가의 GPS모듈 및 무선 인터넷을 이용하여 Network RTK를 구축하였다. 이 시스템은 국내 44개의 기준국을 이용한 위치 보정 시스템이다.

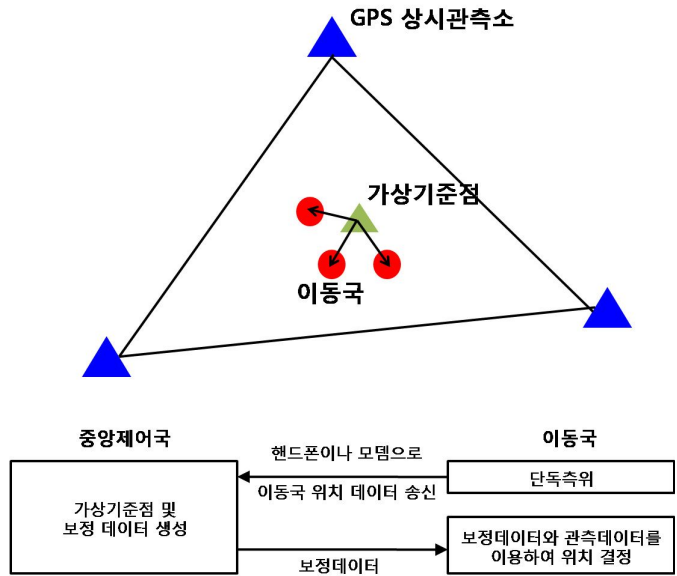


Fig. 22 Observation post for VRS in Korea Fig. 23 Procedure of VRS services.

VRS 시스템의 개념은 그림23과 같이 전국에 상시 관측 고정국을 두고 이동국이 보정을 수행하게 할 수 있는 가상 기준점을 제공하므로 이동국의 위치오차를 보정하게 한다.

아래 그림 24, 25는 본 연구에서 개발한 NTRIP Client라는 프로그램으로 VRS서버로부터 보정신호를 받을 수 있도록 한다.

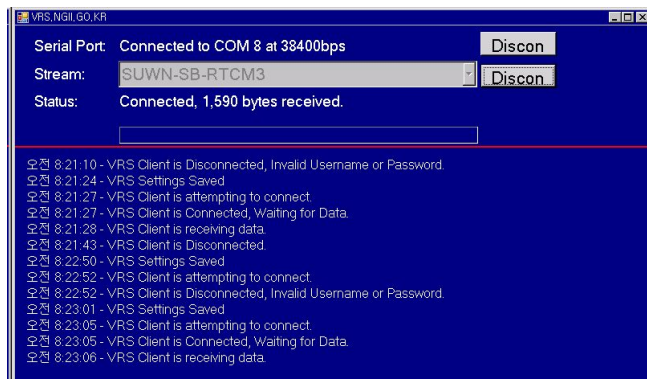
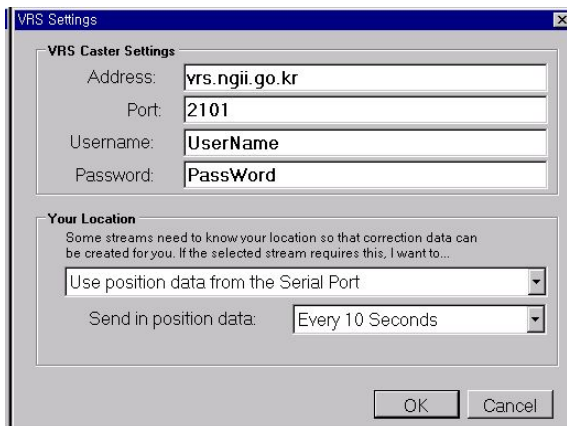


Fig. 24 Log on dialog box for VRS server Fig. 25 Dialog box for NTRIP client

3. 1차 시작기

주행 알고리즘 개발 및 센서 융합, 시스템 개념설계를 위하여 1차 시작 시스템을 개발하였다. 시스템 구성은 크게 모바일 로봇 본체와 영상 시스템, 센싱 시스템, 제어기, GPS, Compass 센서, 구동계(구동륜, 모터, 모터드라이버)로 나누었다.

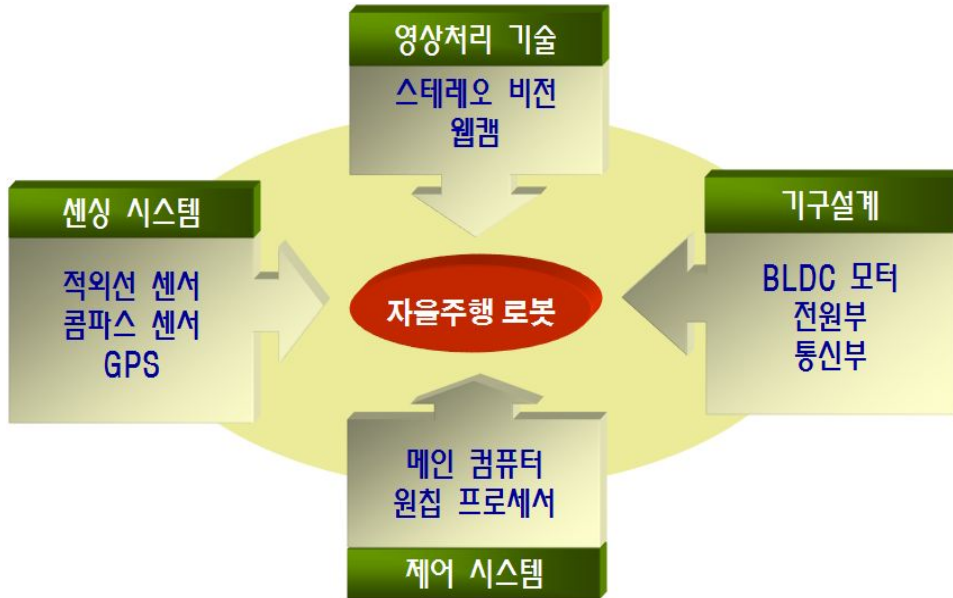


Fig. 26 System concept

가. 영상처리(스테레오 비전)

영상 내의 한 점에 대한 깊이 정보를 획득하고자 수평간격이 일정한 두 개의 카메라를 이용하여 스테레오 영상처리를 수행한다. 그림 27 임의의 점 P에 대한 영상처리 이론식과 실제 영상에 적용한 결과를 보여준다. 깊이가 얇은 점은 밝은 색으로 표현했으며, 깊은 경우 어두운 색상으로 표현 했다.

이 깊이 정보는 자율 주행 로봇의 전방부에 존재하는 물체에 대한 거리정보를 제공하여 장애물 회피, 고정 시설 인식 등에 적용될 수 있음을 알 수 있었다.

본 시스템에 적용된 모델은 Point Grey사의 Bumblebee(BB-COL-40)으로 카메라 간 간격은 120mm이며, 자율주행 로봇의 전방부에 장착하였다.

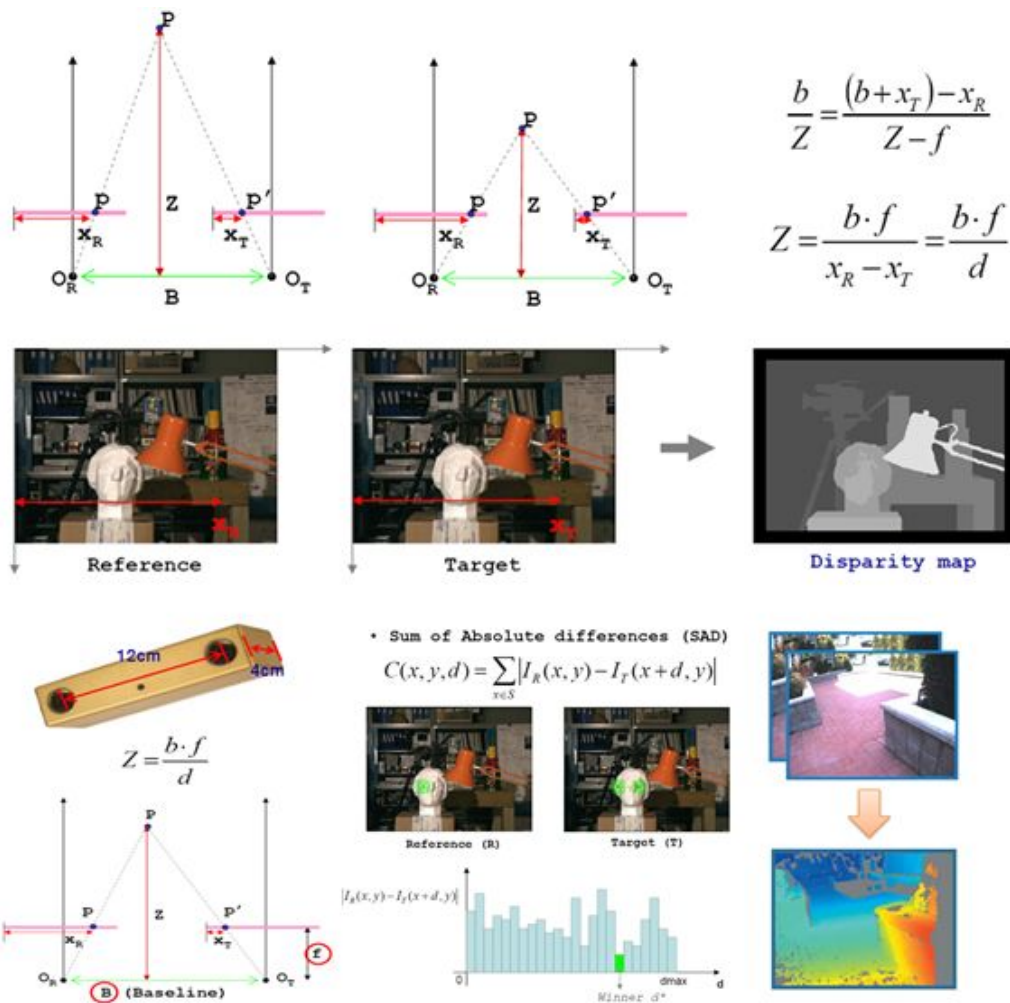


Fig. 27 Stereo image processing system

나. 시스템 본체

시스템 본체는 전장 710mm 폭 505mm로 2륜구동 방식을 사용한다. 구동륜은 100W BLDC 모터를 사용하였으며, 구동제어기 및 구동 드라이버는 슬릿형태로 설계하여 착/탈이 용이하여 유지 보수를 간단하게 할 수 있도록 하였다.

제어기는 모터제어기, 센서 인터페이스 제어기 그리고 노트북 PC를 사용하였다. 모터제어기는 메인컴퓨터로부터의 명령에 대하여 모터를 단독으로 제어하여 주 제어기의 제어 부담을 줄여 실시간 제어가 가능하며, 센서 인터페이스 제어기 또한 여러 가지 센서 입력을 주 제어기가 감당하지 않게 함으로 분산 제어를 구현할 수 있었다.

메인 제어기는 주행 경로 계획, 통합 MMI(Man Machine Interface), 무선통신, 영상 처리 등 복잡한 알고리즘을 수행하며, 원격지의 명령에 따른 정보제공, 영상정보 제공을 수행한다.

구동 시스템의 경우 228mm의 공기압 타이어를 사용한 구동 휠을 사용하였으며, BLDC 모

터를 이용하여 구동 안정성을 꾀하였다. 구동부는 전력을 가장 많이 소모하는 시스템으로 전원 절약을 위하여 PWM 방식의 디지털 구동이 될 수 있도록 하였다.

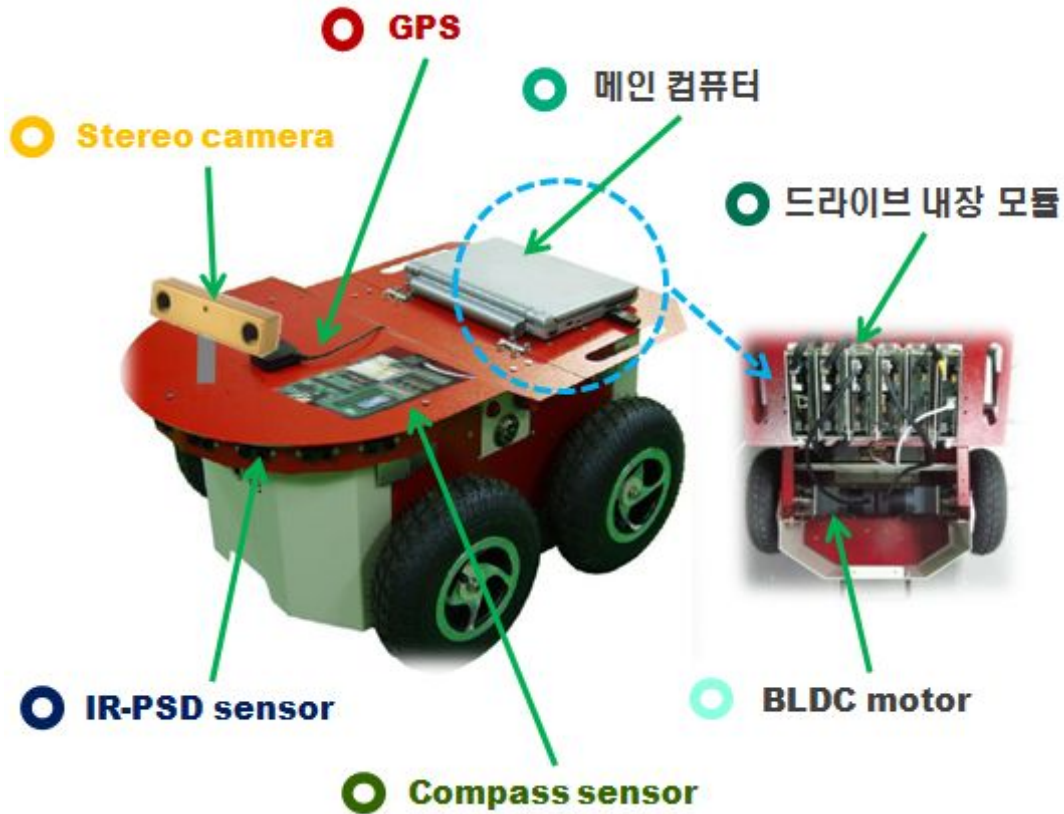


Fig. 28 1st Prototype mobile robot system.

다. 센서 융합 시스템

로컬 센서 시스템은 9개의 적외선 센서를 사용하여 전방의 근접 장애물을 감지할 수 있도록 하였으며, 원거리 장애물을 감지 겸 영상 모니터링을 위하여 1개의 스테레오 비전 시스템을 전방에 탑재하였다. 그리고 위치 인식을 위하여 1개의 GPS시스템과 지자기 센서를 이용한 Compass 센서를 적용하였다. GPS는 진행방향, 속도, 및 현재 위치를 파악할 수 있으며, Compass센서는 현재의 방위각에 대한 자세를 파악할 수 있다.

센서 모듈들은 각각을 그룹으로 나누어 정보 수집 및 처리를 하게 하였다.

전방에 장착된 적외선 센서 9개는 마이크로프로세서 기반 제어 시스템을 통하여 통제되고, 계측을 수행하게 하였으며, Compass센서는 마이크로프로세서 기반으로 SPI통신으로 계측하였다. 그리고 GPS의 경우 직렬통신을 통하여 직접 제어 시스템으로 위치 정보가 입력될 수 있도록 하였다. 카메라 모듈의 경우 직접적으로 무선 인터넷을 통하여 원격 제어 시스템으로 그 정보가 입력되도록 하였다.

각각 입력된 센서 정보는 융합되어 차체의 위치, 자세 및 주변 환경을 인식하도록 구성하였다. 주행 시 전면에 장애물 출현 시 영상시스템 및 적외선 센서가 반응을 하여 제어 서버에게 현재 상황을 전송하며 GPS와 Compass 센서는 경로 주행 시 사용된다.

❖ **센싱 시스템 - 적외선 센서**

- Sharp사의 GP2Y0A02YK
- 로봇 전면에 15° 간격으로 9개 장착



Fig. 29 Construct of sensor fusion and major parts.

전력 공급 시스템은 Deep cycle 축전지를 사용하여 1회 충전으로 80%이상 방전 시에도 운용이 될 수 있도록 하였다. 그리고 각 모듈에 필요한 전원은 DC-DC 변환기를 통하여 공급되어지는데 고효율 SMPS를 사용하여 전력 소모를 최소화 하였다.

본 시스템은 자연광 하에서 특정 마킹이 있는 환경 하에서 주행 시험을 수행하였으며 주행 속도는 0.5m/s로 주행실험을 수행하였다.

라. 제어 시스템

제어 시스템은 내부 마이크로프로세서 기반 모터 드라이버, 센서 인터페이스 보드, 전원관리 보드와 같이 하드웨어 부분과 그림24와 같이 사용자 인터페이스로 구성하였다. 사용자 인터페이스는 크게 영상 처리부(라이브 영상 보기, 저장영상 보기, 저장, 확대)와 센서 계측 및 표시부, 팬틸트 제어부, 수동 로봇 제어부로 나누어 구성하였다.

작업자는 영상 표시창을 통하여 원거리에 있는 작업장의 현황을 인지할 수 있으며, 수동으로 자율 주행 로봇의 전반적인 기능을 제어할 수 있도록 하여 자율 주행 시 오류가 나타났을 경우 수동 처리를 할 수 있도록 하였다.



Fig. 30 GUI Interface for 1st mobile robot

4. 2차 시작기

가 시스템 개요

이 시스템 개발은 실외 주행 테스트를 목적으로 그림 25와 같이 설계 제작된 시스템이다. 시스템은 지름 300mm 공기식 바퀴를 사용하였으며 바퀴 사이를 30mm로 하여 무한 궤도형과 같은 효과로 주행이 되도록 구동 휠을 구성하였다. 그리고 본 시스템은 자율 주행 보다는 무선 원격 리모트 주행(작업자 제어) 및 웹 카메라 적용을 통하여 주변 환경에 대한 모니터링 정보를 제공 및 노지 구동을 목적으로 개발 제작하였다. 각 구동륜에는 완충장치를 장착하여 불규칙한 노면에 대응 할 수 있도록 하였으며, 너비 1.0m, 길이 1.3m 높이 0.42m(카메라 제외)로 설계하였다.



Fig. 31 2nd Prototype mobile robot system.

나. 구동부 설계

시스템의 특이사항으로는 주행 안정성 및 외부 충격으로부터 본체를 보호하고자 주행륜의 지지부분에 링크 및 스프링 형식의 서스펜션 기구를 적용한 것이다 그리고 각 휠의 하중 분배 및 험지 주행 성능을 높이고자 2모터 구동, 6륜으로 구성하여 그림 26과 같이 설계, 제작하였다.

동력 전달은 모터> 체인>유니버설 조인트를 통하여 휠로 전달되게 하였다. 여기서 유니버설 조인트는 서스펜션 기구의 상하 동작이 있을 경우에도 동력이 원활하게 전달 될 수 있게 하기위하여 채용하였다. 그리고 사용된 모터는 150W DC모터이며, 감속비는 1: 36이며 구동 방식은 디지털 제어를 위해 PWM방식을 사용하였다.



Fig. 32 Power transmission system for mobile robot.

다. 센서 융합부

센서 융합부는 그림 33과 같이 로봇 주변 장애물 인식을 위하여 초음파 센서 및 적외선 센서를 적용하였으며, 사용자에게 로봇의 자세 정보를 주기 위하여 기울기 센서를 적용하였다.

원거리 장애물 탐지를 위한 초음파 센서는 전/후방 양쪽 45°방향으로 4개를 장착하였다.

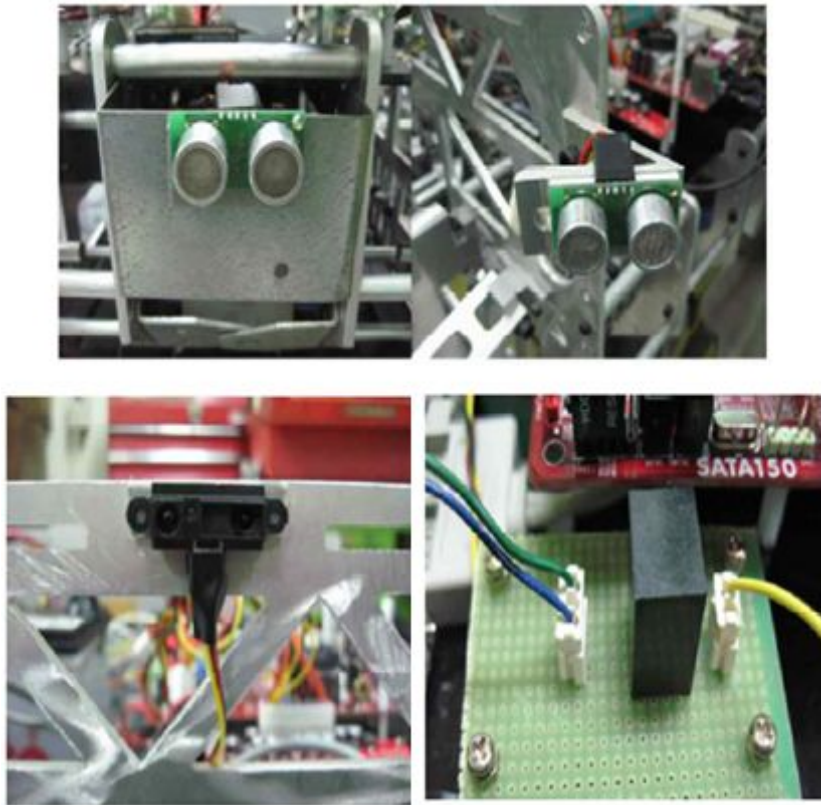


Fig. 33 Construct of sensor fusion part.

초음파 센서의 단점을 보완하고자 근거리 장애물 탐지를 위해서 4개의 적외선 센서를 본체 전/후/좌/우에 장착하였다. 초음파 센서의 경우 300mm~1500mm범위의 물체를 감지하며, 적외선의 경우 300mm이내에 존재할 수 있는 물체를 감지하도록 하였다. 그리고 동체의 전복 조기예측 및 기울기 정도 값을 얻기 위하여 1개의 정전기식 액면 기울기 센서를 장착하였다.

각종 센서는 단위별로 마이크로프로세서에 입력되고 실질적인 값으로 환산되어 직렬 통신을 통하여 주 제어기로 전송되게 하였다. 이렇게 함으로 동일한 형식으로 주 제어기가 센서 값을 처리함으로써 프로세싱 부하를 줄일 수 있었다.

라. 영상 처리부

영상처리부는 로봇 주변 환경을 모니터링 하기 위한 팬/틸트 기능이 있는 무선 IP camera를 그림 34와 같이 2개를 장착하여 구성하였다. 먼저 300mm 고정 브라켓 위에 DC 서보모터를 사용하여 팬/틸트 되게 기구를 구성한 후 그 위에 장착된 카메라의 경우 주행 중 전방 근거리의 지상 상태를 주로 파악하고자 장착하였으며, 하부의 로봇 베이스에 장착된 카메라의 경우 원거리 상황을 파악하고자 장착하였다.



Fig. 34 Image Part(IP camera with pan/tilt + web cam)

마. 제어부

제어부는 로컬제어부와 주 제어부로 구성하였다. 로컬 제어부의 경우 센서 융합에 주로 사용하였으며, 주 제어부의 경우 영상처리, 원격제어, 센서신호 분석 등 종합적인 제어를 담당하게 하였다. 로컬 제어부는 Atmel사의 ATMEGA128을 사용한 마이크로프로세서를 CPU로 사용하였으며, 주 제어부는 산업용 임베디드 PC 및 XP를 사용하였다.

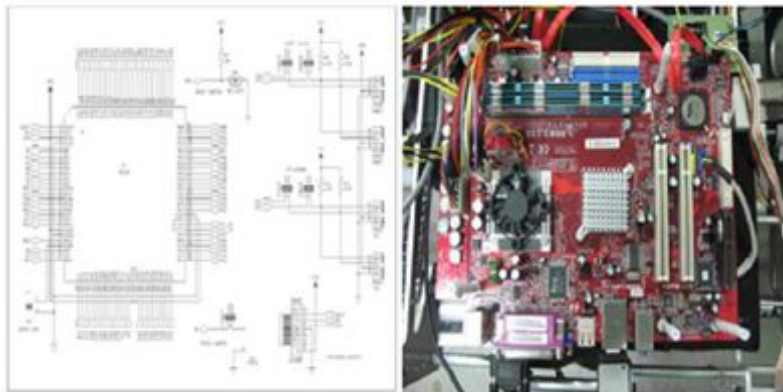


Fig. 35 System control part and circuit of local controller

시스템 제어는 크게 자율주행과 원격 사용자 제어 주행으로 나누었으며 아래 순서도 그림 36은 영상처리를 기반으로 한 자율 주행에 관한 것이며, 그림 37은 사용자 제어용 인터페이스이다.

연구실 복도에서 특정 마킹이 있는 환경 및 장애물을 임의로 설치 한 후 실험을 수행하였다. 그림 38는 주행 결과에 대한 그래프이다.

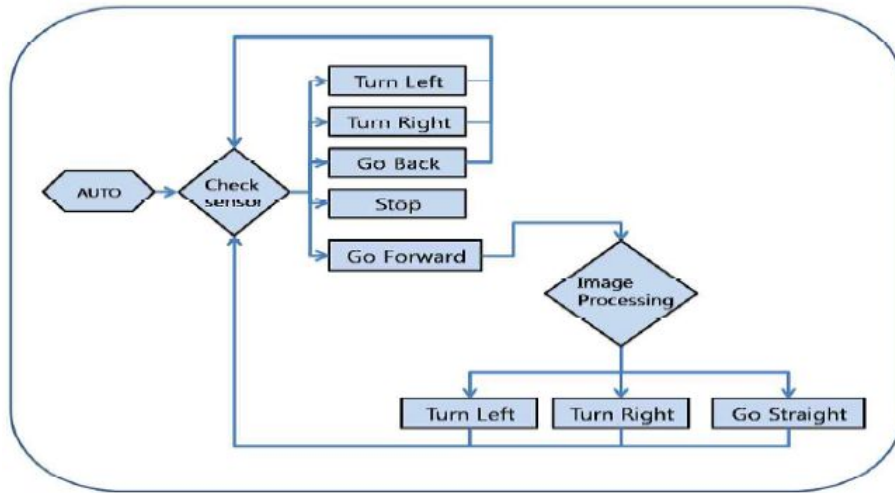


Fig. 36 Flow chart for traveling algorithm

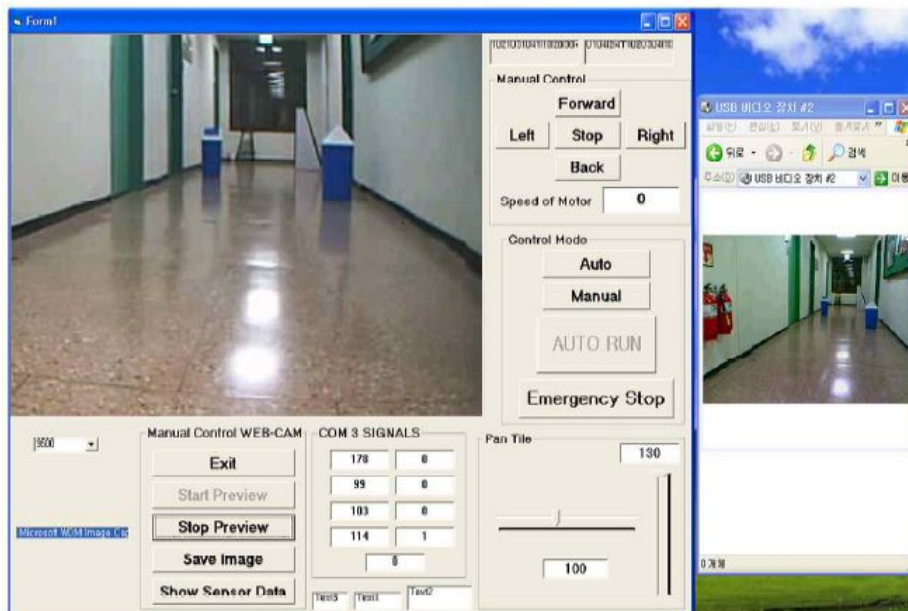


Fig. 37 GUI user interface for 2nd mobile system

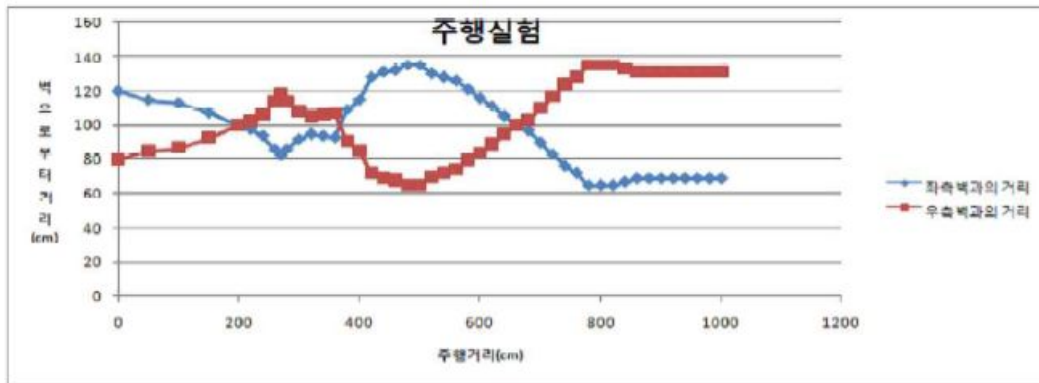


Fig. 38 Graphic result for visual tracing

바. 전원부 및 실험

전원부는 휠 구동부용 차량용 축전지와 제어용 축전지로 구분하여 채용하였는데, 이것은 구동 시 전력 불안정을 제어부에 최소화하게 하기 위해서이다.

주행 실험은 실험실 복도, 노지, 노지 언덕(등판각 10°) 정도에서 수행하였으며, 6륜 독립 구동으로 만족스러운 주행 성능을 얻을 수 있었다. 특히 요철이 심한 지면 환경 하에서도 본체에 충격을 최소화하며 주행하는 것을 볼 수 있었다.

5. 3차 시작기

가. 시스템 개요

본 시스템은 IT 융합 친환경 배 재배관리 정보화 및 생력기계화 시스템 개발에 있어서 환경정보 수집, 주행 능력 시험, 통신 시험, 환경 모니터링 및 자율 주행 경로 이동 등 종합적인 시스템 성능 시험을 위하여 시작기로 개발 하였다.

이동로봇의 구성은 다음과 같다.

- 환경데이터 수집을 위한 환경정보 수집 기구 및 센서 노드부
- 로봇 주행을 위한 센서 데이터 수집을 위한 로봇 센싱부
- 영상 모니터링을 위한 영상 정보 수집부
- 로봇의 각종 장치를 제어하기 위한 제어부
- 로봇의 주행을 위한 주행 기구부 및 구동부
- 외부 무선통신을 위한 무선통신 제어부

나. 시스템 차체

본 시스템은 경사면을 가질 수 있는 노지에서 구동하기 위한 이동로봇이므로 구조에 따라

전복이 쉬울 수 있으므로 무게 중심을 시스템 하부에 둬므로 이러한 문제를 해결하였다.

시스템 프레임은 크게 구동 모터, 휠, 감속기가 있는 구동부와 축전지, 모터 드라이버, 모터 제어기, 전력반이 있는 전력제어부와 환경계측, 로봇제어, 센싱, 통신등을 할 수 있는 시스템 제어부로 프레임을 나누어 구성하였다.

최하부에 구동부, 중간층에 전력제어부, 최상부에 시스템 제어부로 구성하여 전복 사고에 대비한 구성을 하였다.

로봇 차체는 전장 1200mm 폭 800mm 높이 750mm로 제작하였으며 휠은 직경 470mm로 공기압 타이어, 알루미늄 휠로 구성된 기성품을 사용하였다.

프레임 하부는 강철로 구성하였으며, 상부 옆면은 스텐레스 강판을 상요하여 노지의 작업에도 녹슬지 않게 하였으며, 상단은 무게를 고려하여 알루미늄 덮개를 사용하였다.

아래 그림 39는 시스템 3차 시작기 시스템의 전체 모습이다.

전, 후면에 45°각도로 적외선 센서를 장착하였으며, 전방에 팬/틸트 IP카메라를 설치하여 원격 제어를 통한 영상 모니터링을 할 수 있도록 하였다.

후면에 무선 통신용 안테나와 토양 센서를 사용할 수 있도록 직선구동 모듈을 장착하였다.

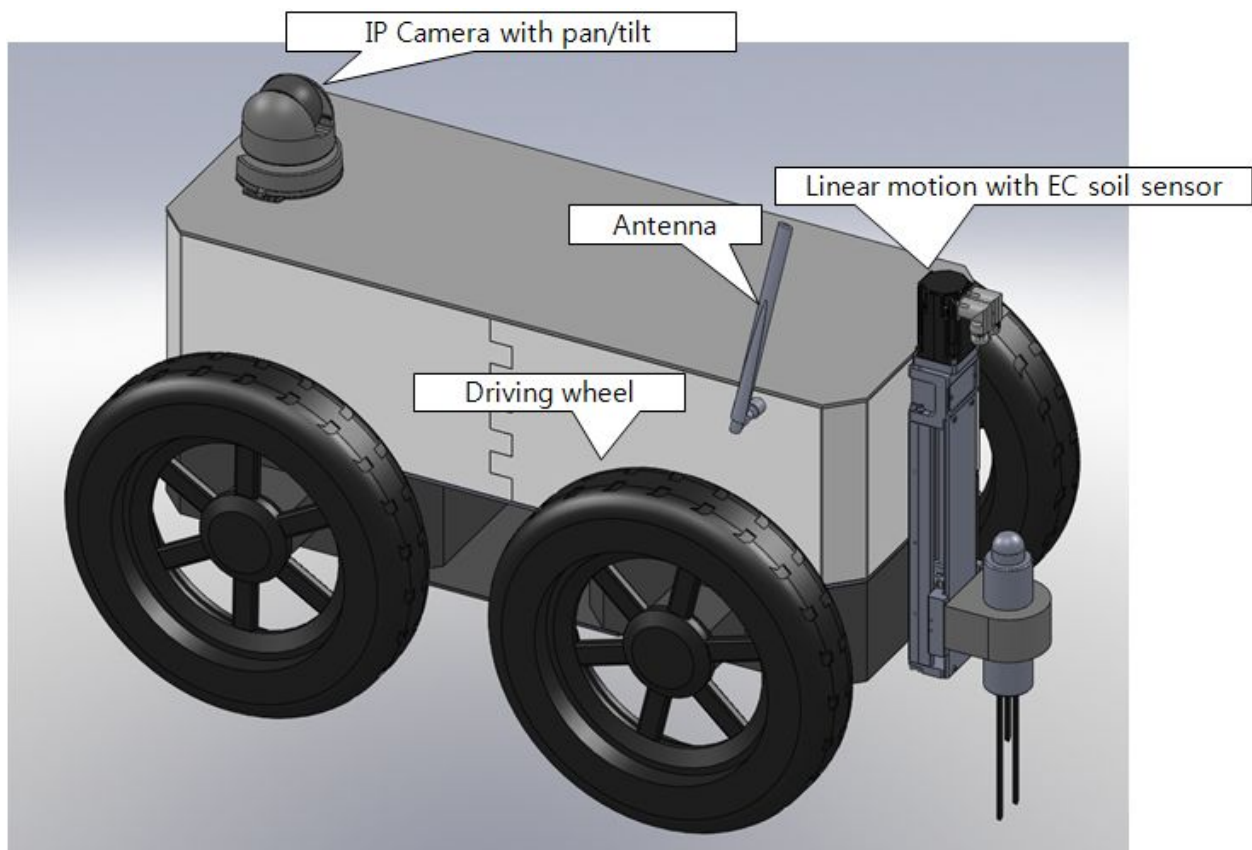


Fig. 39 Figure of 3rd mobile robot

다. 시스템 제어 구성

본 시스템은 그림 40과 같이 크게 플랫폼, 네비게이션 시스템(Navigation system), 시스템 제어 하드웨어, 소프트웨어로 구성하였다.

플랫폼에는 차체를 구동하기 위한 구동 모터 및 센서 및 전원부로 이루어진다.

네비게이션 시스템은 위치 인식을 위한 GPS, 자세 인식을 위한 AHRS(Attitude and heading reference system), 카메라 그리고 각종 감지용 센서들로 구성하였다. 정확한 위치 인식이 자율 주행로봇에 있어서 핵심 기술이며, 현재까지 완전한 시스템이 없다. 그래서 본 과제에서는 각종 네비게이션 센서들을 융합하여 위치 계측의 신뢰성을 높이도록 하였다.

시스템 제어 하드웨어는 모터 구동 및 제어를 위한 모션 컨트롤부와 센서 융합부, 영상 무선 전송 시스템, 주제어 하드웨어가 존재하며, 이것을 펌웨어 기반으로 구동한다.

전체 시스템의 총괄은 서버에 설치된 소프트웨어에 의해서 통제된다.

서버에 설치된 프로그램은 GUI기반의 인터페이스를 갖는 시스템 제어프로그램으로 사용자와의 기계간의 인터페이스를 수행한다.

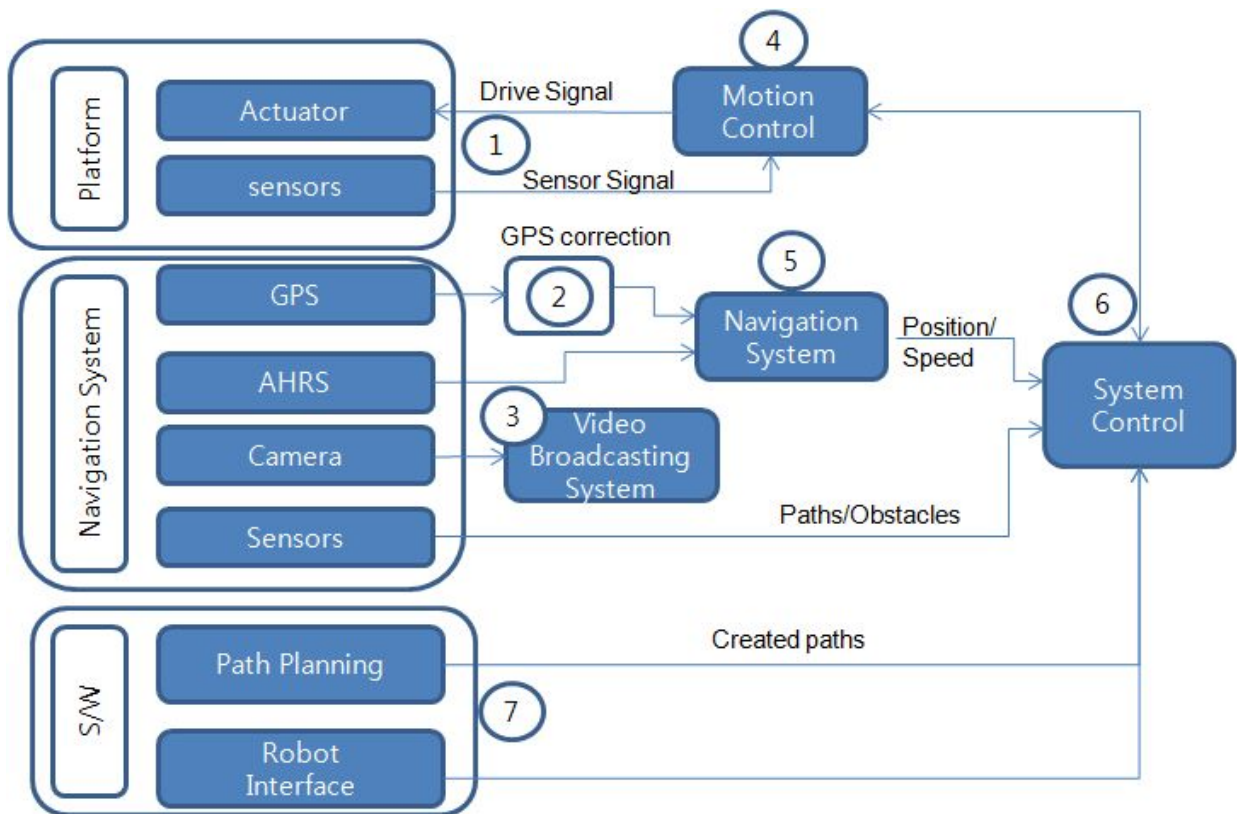


Fig. 40 Block diagram for system control part.

라. 시스템 통신망 구성

본 시스템의 내/외부 통신망 및 기본 구성은 그림 41과 같이 제어 서버와는 영상 수집에

있어서 무선 랜을 사용하였으며, 데이터 통신에는 Zigbee 통신을 이용함으로 데이터 통신 시 통신환경 변화에 따른 오류를 최소화하게 구성하였다. 그리고 내부적으로는 고속 통신에는 USB를 사용하였으며, 저속 통신은 RS232와 멀티 통신에는 마스터/슬레이브 구조의 RS485를 사용하였다. RS232통신은 종래에 많이 사용된 시리얼 통신 방법으로 지원 하드웨어 및 소프트웨어가 풍부하여 근거리 통신에서 편리하게 사용될 수 있는 방법이다. 또한 RS485의 경우 마스터 스테이션 및 다수의 슬레이브 스테이션을 두어 마스터에서 어떠한 명령을 전달하면 해당 슬레이브 스테이션에서 응답 동작을 수행하는 구조로 본 시스템에서는 센서 네트워크에 적용하여 필요한 시기에 데이터를 수집할 수 있도록 하였다.

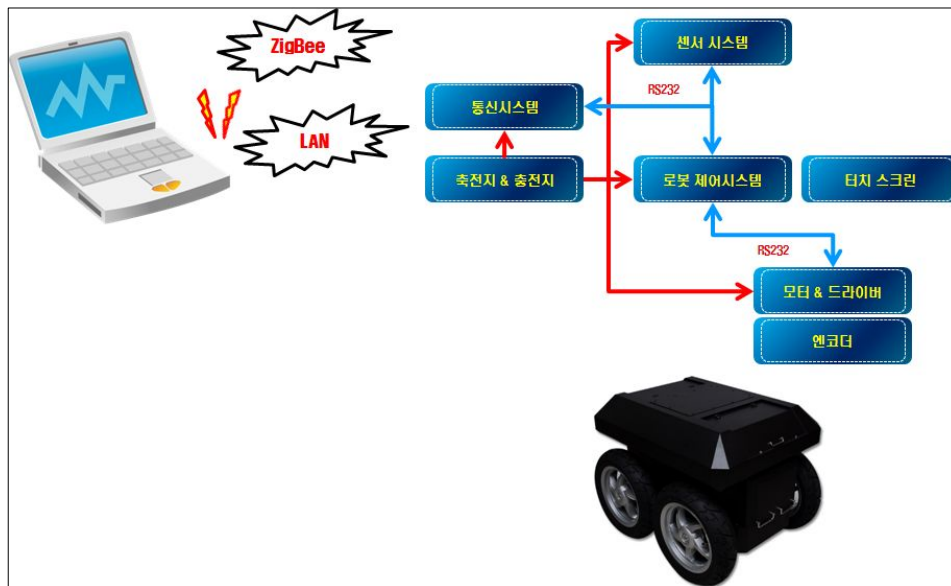


Fig. 41 Structure of communication system.

통신 방식별로 사용된 신호는 다음과 같다.

모니터링 및 영상처리를 위한 신호로 팬/틸트 제어가 가능한 카메라로부터 얻어지는 영상 신호는 무선 랜을 이용하였다. 이것은 시스템 제어에 지대한 영향을 미치지 않으므로 신호의 안정성은 낮으나 고속 통신이 가능함으로 채용하였다.

환경정보 계측신호, GPS 등 위치 인식을 위한 센서들, 로봇 제어 신호 및 자세 인식 센서 등은 로봇 제어 및 환경 계측신호이므로 시스템 제어에 중요한 요소이므로 저속이지만 원거리에서도 원활한 데이터 송/수신이 가능한 Zigbee를 이용하였다.

Zigbee 통신 방식은 868 MHz, 902-928 MHz 및 2.4 GHz에서 동작하는 무선 개인영역 통신망 규격이다. 무선 개인영역 통신망이란 주변장치 접속이 무선으로 이루어지는 개인영역 통신망을 말한다. ZigBee를 사용하면 무선 개인영역 통신망 내에서 통상 50m 이내의 거리에 떨어져 있는 주변장치들 간에 최고 250 Kbps의 속도로 데이터를 주고받을 수 있다. ZigBee는 IEEE-SA에 의해 승인된 802.15 규격에 기반을 두고 있다.

또한 ZigBee는 피어투피어, 성형, 망형 등 대부분의 네트워크 형상과 호환성이 있으며, 단일

무선 개인영역 통신망에서 최대 255개의 주변장치를 다룰 수 있다.

본 시스템에서는 안테나를 확장하여 원거리 1.2Km 이상의 거리에서도 통신을 수행할 수 있도록 구성하였다.

그림 42는 통신망 이용방식과 터치스크린을 이용한 사용자 인터페이스를 갖춘 원격 제어 서버의 화면이다.



Fig. 42 Method of interface for communication type.

(1) 무선랜 시스템

무선랜 시스템은 서버에서는 무선 AP(access point)와 대형 무지향성 실외 안테나로 구성되며 이동로봇은 무선랜카드 및 무지향성 중형 실내 안테나로 구성하여 1.2Km범위 내에서 1Mbps속도로 접속 될 수 있도록 그림 43과 같은 방식으로 구성하였다.

서버부의 무선 AP의 사양은 다음과 같다.

데이터 속도는 IEEE802.11g 표준으로 고속 데이터 송/수신이 가능하며, TKIP/AES 무선 암호화, 40비트/64비트 및 128비트 WEP 암호화를 사용하는 WPA/WPA2를 지원한다.

로봇부의 무선랜카드는 USB2.0을 이용하며, 주파수 대역은 2.412~2.4835GHz, 확산 스펙트럼 방식 통신, TKIP/AES 무선 암호화, 40비트/64비트 및 128비트 WEP 암호화를 사용하는 WPA/WPA2의 보안을 지원한다.

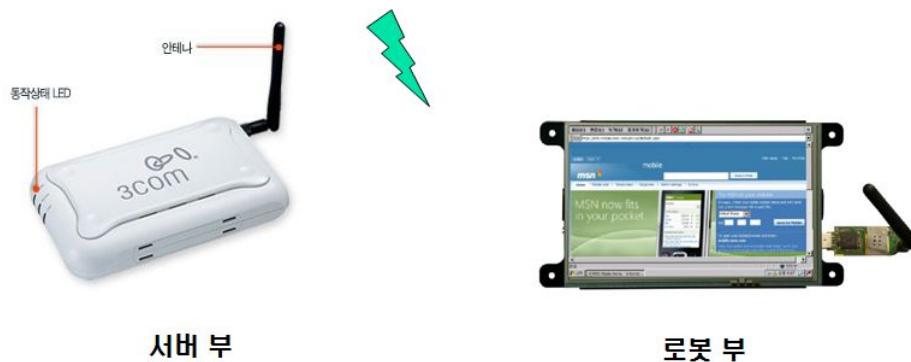


Fig. 43 Wireless LAN Modules

(2) 데이터 통신

정확한 정보전달을 위해 Zigbee 모듈을 사용하여 원거리에서 환경계측, 로봇 제어신호를 통신하게 그림 44와 같이 마스터/슬레이브 형식으로 구성하였다

하나의 마스터에 다수의 슬레이브를 구성할 수 있으며 상호 징검다리 형식으로 연결될 수 있다.

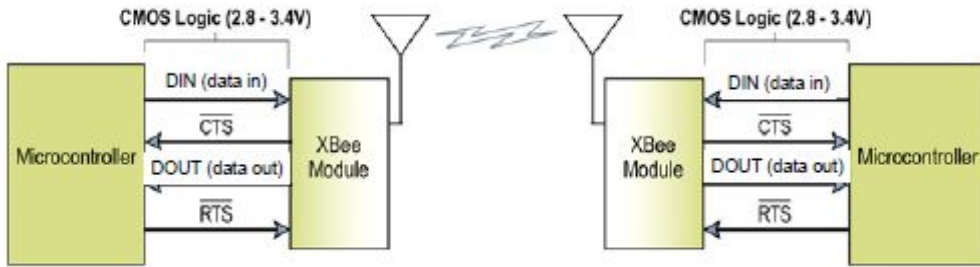


Fig. 44 Block diagram for zigbee wireless module(master/slave)

그림 45와 같이 Zigbee모듈을 구성하면 근처에 존재하는 모듈을 징검다리삼아 원거리에 존재하는 모듈에 통신이 가능하도록 자동 구성되는 것이 특징이다.

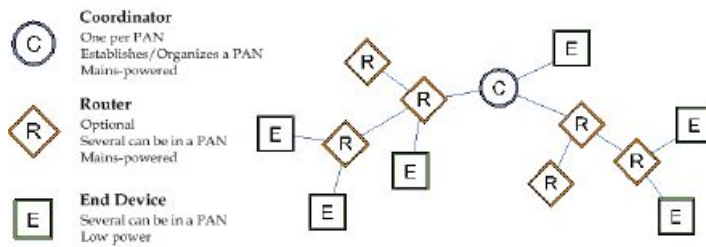


Fig. 45 Zig bee network and connection method

각 모듈의 내부는 그림 46과 같이 통신용 프로세서와 안테나 스위치로 구성되어 송/수신 시 자동으로 안테나 경로를 바꾸며 통신을 수행한다.

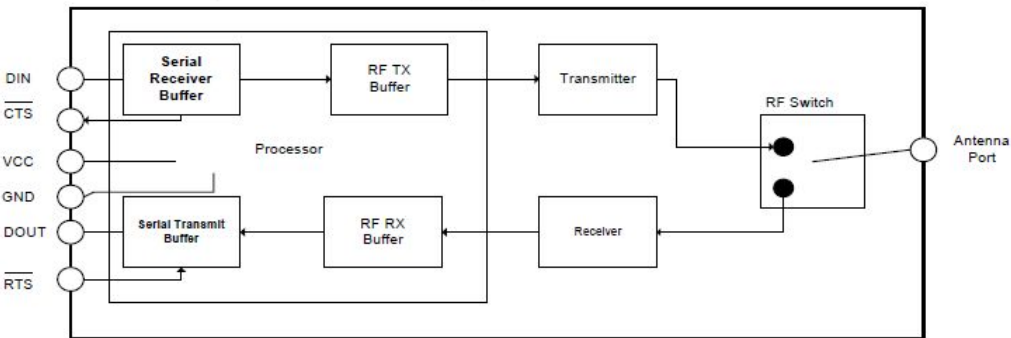


Fig. 46 Inner block diagram for zigbee module

프로세서는 통신 프로토콜을 기반으로 소프트웨어적으로 오류 검출 보정을 수행하며, 고유 ID를 초기에 설정하여 다수의 모듈을 이용하여 통신망을 구성할 수 있다.

그림 47은 각 통신모듈의 소프트웨어적인 흐름도이다.

대기 모드를 두어 최대한 전력을 절약하는 구조로 되어있어서 단독전원(건전지)을 사용하는 시스템에서 효율이 높다.

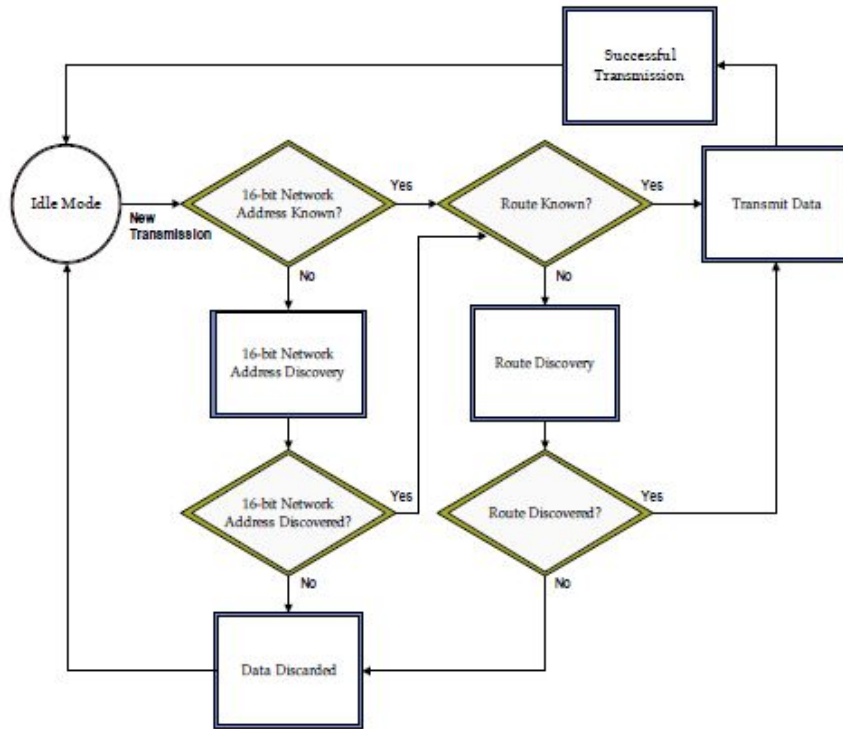


Fig. 47 Flow chart for Zigbee module control

본 시스템에서는 Zigbee 모듈을 그림 48과 같은 인터페이스 보드에 장착하여 RS232통신을 할 수 있도록 구성하였다.

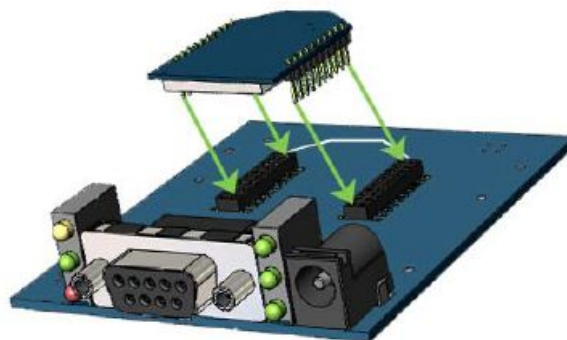


Fig. 48 Zigbee interface board

마. 구동부

구동부의 핵심으로 구동모터는 DC 전압을 이용하여 강한 구동력을 낼 수 있는 300W DC 모터를 각 휠에 4개를 사용하였으며, 감속비 30:1 감속기를 사용하였다.

모터사양은 표 11와 같으며, 휠 도면은 그림 43과 같다.

Table 11 Specification of driving motor

전압	무부하		정격부하				기동 토크	기동 전류
	회전 수	전류	출력	회전수	토크	전류		
(VDC)	(rpm)	(A)	(W)	(rpm)	(kg-cm)	(A)	(kg-cm)	(A)
24	3300	1.8	300	3000	9.74	15.5	84	135

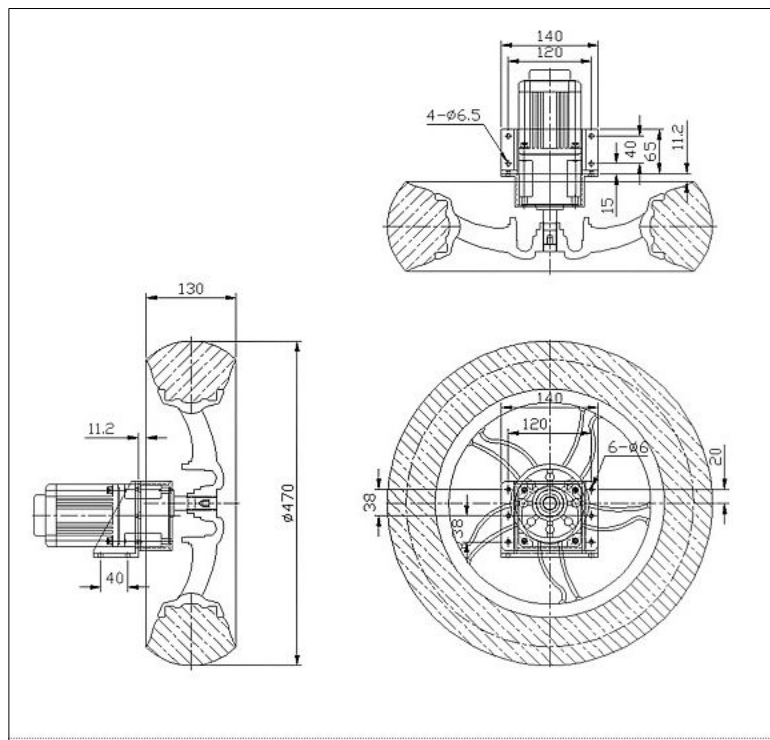


Fig. 49 Schematic of driving wheel

바. 모터 드라이버 및 제어기

모터 드라이버 및 모터 제어기는 NT-M-DCDM2430로 2개의 DC모터를 동시에 제어 할 수 있는 DC모터 전용 드라이버로 모터 제어신호를 CAN 통신 또는 RS232로 할 수 있다. 또한 전력효율을 높이고 순간 전력을 공급하기 위하여 디지털 제어 방식을 사용하였으며, 드라이버는 PWM 방식을 이용하여 모터에 전력을 공급하는 구조를 가졌다.

드라이버의 출력 구성은 H-bridge방식의 Power Mos FET를 사용하여 순간전류 100A를 출력할 수 있다.

모터의 모션을 제어하기 위하여 32bit 마이크로프로세서를 사용하였으며, 이것은 제어 명령을 해독하고, 명령에 따라 모터의 방향 및 속도 신호를 발생시킨다. 제어 신호의 입력은 아날로그 신호, RC 신호, CAN 통신 신호, RS232 통신 신호와 같이 다양한 신호를 받을 수 있다.

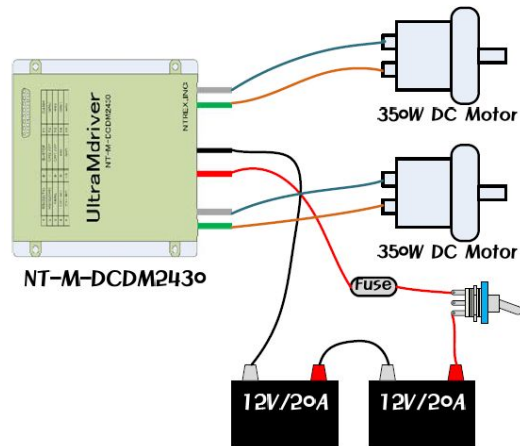


Fig. 50 Motor driver and circuit

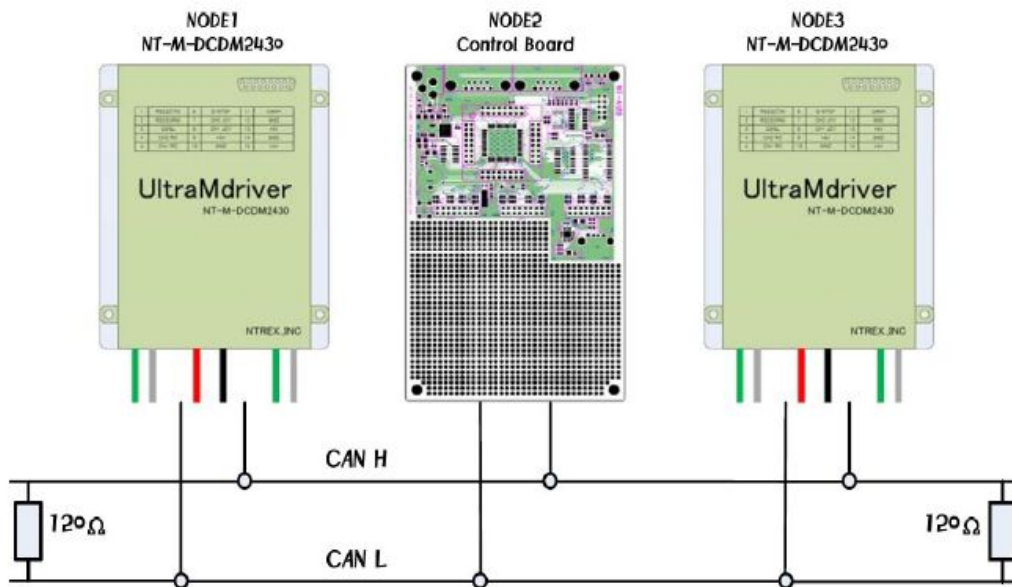


Fig. 51 Figure of CAN connection

모터 드라이버에 제어 신호를 안정되게 송/수신하기 위해 CAN통신 방식을 이용하였다. 그림 51는 멀티 마스터 방식의 CAN통신 결선도 이다. 병렬로 다수의 장치를 연결하고 CAN 통신 프로토콜을 사용하므로 자동차에서 사용된 것 같은 안정성을 얻을 수 있다.

하드웨어적인 CAN 통신 프로토콜 외에 실제 제어를 위한 프로토콜은 표 16과 같이 다양한 모터의 설정이 가능하다.

만약 오른쪽 모터의 속도를 455 수준으로 출력하려면 다음과 같은 데이터를 아스키 형태로 전송하면된다.

“<0R0455>”

Table 12 Motor driver protocol

	Command	기능	MIN~MAX	단위	예
명령 "0"	R	1CHPWM	0~999	Duty	<0R1254>
	L	2CHPWM	0~999	Duty	<0L0364>
	W	저전압경고	15~36	voltage	<0W16>
	D	데드 밴드	0~500	Duty	<0D100>
	U	RS232C 보레이트	0~3	Bps	<0U1>
	I	CAN 보레이트	0~9	Bps	<0I9>
	E	가감속 딜레이	0~10	Msec	<0E1>
	C	조이스틱 캘리브레이션			<0C>
	r	명령어에 의한 리셋			<0r>
질의 "1"	M	모터 PWM값 알림			<1M>→<R1546L0546>
	V	현재 전압값 알림			<1V>→<V24>

다음 그림 52은 모터 드라이버 구동 테스트 프로그램이다.

여기서 모터의 내부 설정을 바꿀 수 있고, 또한 모터의 구동을 시험할 수 있다. 우측 그래프는 2채널 모터의 속도에 관한 것이다.

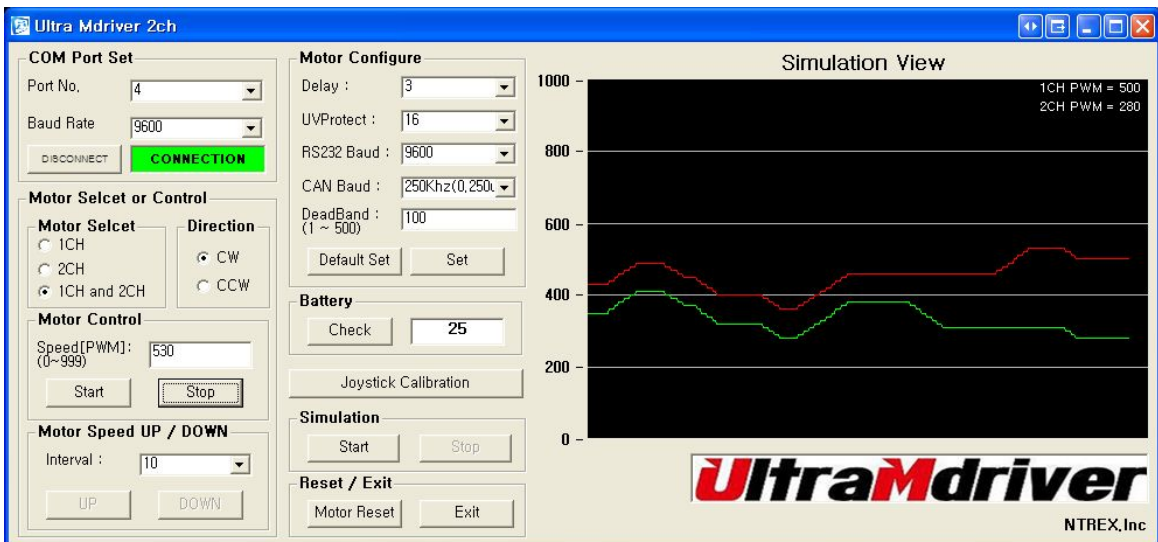


Fig. 52 Motor driving test program

바. 전원부 및 전력반

전원은 Deep cycle(심방전) 배터리로 Delkor사의 DC24 모델을 사용하였다. 배터리는 사양은 12V 70AH로 모터의 소요 전압에 따라 2개를 직렬로 사용하여 24V를 출력하도록 구성하였다. 여기서 Deep cycle 배터리의 사용은 일반 자동차용 축전지의 경우 발전기로부터 수시로 충전되는 구조로 방전이 심하게 되면 사용이 불가능할 뿐 아니라 충전이 되지 않는다. 그러나 심방전 축전지의 경우 한번 충전으로 축전지 용량의 80% 이상을 사용할 수 있으므로 이 동로봇의 사용 특성상 한 번의 충전으로 장시간 사용하는 방식에 적합하다고 할 수 있다. 그리고 축전지 용량의 50% 정도를 사용하면 10년 이상 사용할 수도 있다.

그림 53은 전력 제어부의 회로도이다.

충전 시는 외부 충전원의 인입을 감지하여 내부 회로를 자동 단절할 수 있도록 하여 충전 시 시스템을 보호하도록 하였으며, 운전 상황일 때는 24V 출력을 모터 구동원으로 사용함과 동시에 DC-DC변환기를 통하여 시스템 제어부의 충전 시스템에 전원을 공급하는 형태로 구성하였다.

모터 구동 시 과전류 차단 기능을 부여하여 구동계의 이상으로 과전류가 소요되었을 시에 축전지를 보호하도록 하였다. 그리고 대기 시 축전지 소모를 줄이기 위해 수동으로 모터 전력을 차단할 수 있도록 하였으며, 비상 차단 스위치를 설치하여 비상시 시스템을 보호할 수 있도록 하였다.

시스템 제어부는 주 축전지의 충전 시 전력이 차단되어 시스템이 셧다운되는 것을 방지하고자 자체 전원을 갖도록 구성하였다.

시스템 제어부에 사용된 전원은 리튬 이온 축전지 및 슈퍼 캐패시터를 사용하여 상시 충전 상시 사용을 하도록 하였으며, 고속 충전을 하도록 하여 항상 켜져 있는 상태를 유지할 수 있도록 하였다.

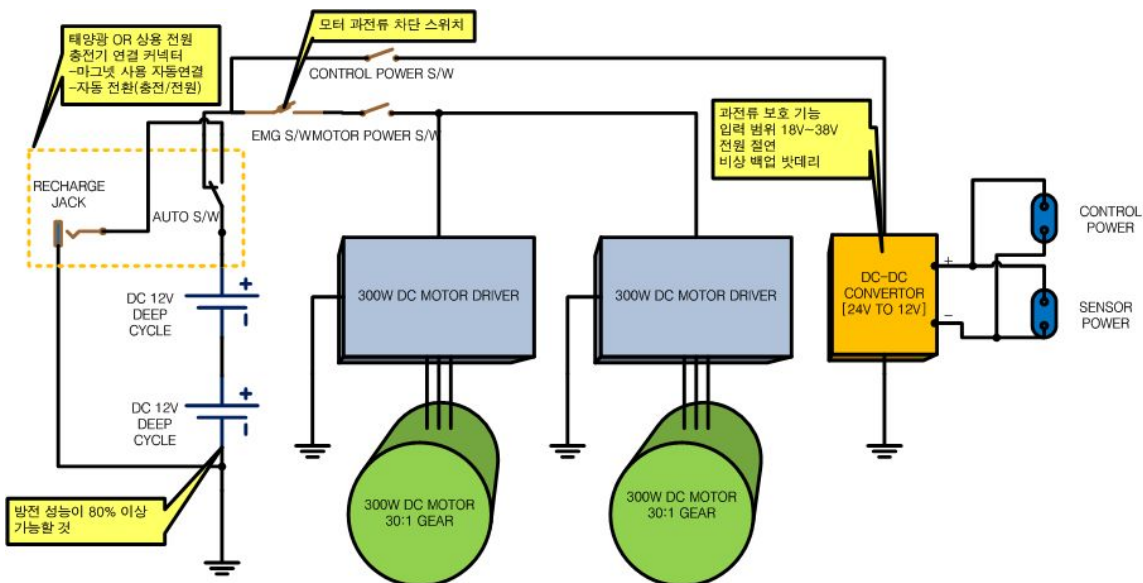


Fig. 53 Circuit for system power control

주 전원의 충전을 위한 충전기는 심방전 충전기 전용 충전기를 사용하여 충전지 수명을 보장할 수 있도록 하였으며, 자동 충전을 위하여 로봇 제어반에서 주 전원의 상태를 모니터링하여 원격제어 시스템에 그 상태를 보고할 수 있도록 하였다.

시스템 전원이 낮아져 충전을 요할 경우 원격 제어시스템에서 충전을 위한 장소로 로봇을 이동하는 명령을 수행하여 자동 충전이 될 수 있도록 구성하였다. 이 때 충전 장소와 로봇 간의 거리를 파악하여 최대 방전 용량을 결정하도록 하여 지능적으로 충전작업을 할 수 있도록 하였다.

충전 중에는 시스템을 대기하도록 원격제어시스템이 명령하며, 충전 완료 후에는 기존 작업을 계속해서 수행할 수 있도록 구성하였다.(수동 선택 명령 수행)

사. 시스템 제어부 설계

시스템 제어부는 크게 주 제어 시스템, 모터 제어 모듈, 위치 센싱 모듈(GPS, 자세 검출 센서, 로컬 센서), 환경 계측 모듈, 팬/틸트 기능이 있는 카메라 모듈, 통신 모듈(무선 LAN, Zigbee 모듈)로 그림 54과 같이 구성하였다.

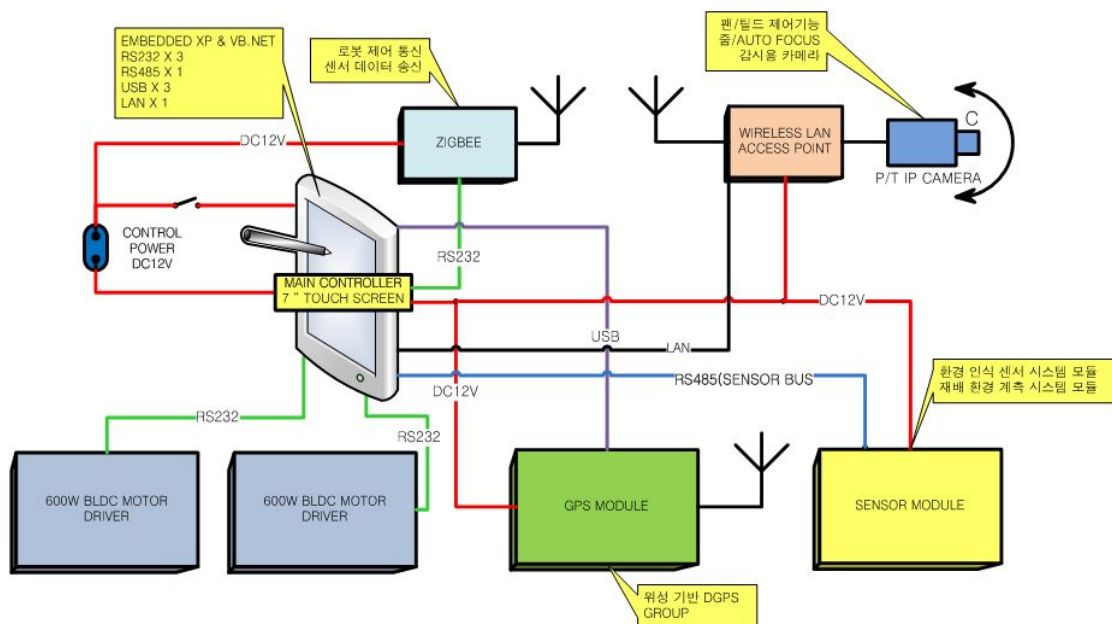


Fig. 54 Block diagram for system control part

아. 위치 및 자세 검출 시스템

(1) GPS 모듈

이동로봇의 위치 및 진행속도를 알기 위하여 Ascen Korea 사의 Akm-u1 GPS 모듈을 3개 사용하였다.

사용된 GPS는 1차적으로 SBAS(위성기반 오차보정 시스템:Satellite Based Augmentation System)을 통하여 오차를 보정하여 기존 단독 시스템에 비해 높은 출력 정도를 만들 수 있다. 그리고 2차로 3개의 GPS와 안테나를 정 삼각형으로 배치하여 수신된 위치신호를 후 보정하여 고정도 출력을 할 수 있도록 하였다. 그리고 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Services)신호를 VRS(Virtual Reference Station) 시스템을 이용하여 인터넷으로 수신하여 실시간 보정을 통하여 초고정도 출력을 할 수 있도록 시스템을 구성하였다.



Fig. 55 GPS and triangle antenna system

(2) 자세 검출 센서 모듈(AHRS: Attitude and heading reference system)

로봇의 자세를 지구에 대하여 상대적인 기울기 값 Roll과 Pitch, Yaw를 출력하는 시스템으로 e2box사의 EBIMU-9DOF를 사용했다. 이 보드는 내부적으로 3축 가속도 센서와 3축 자이로 센서, 3축 지자기 센서 및 마이크로프로세서로 구성되었으며, 출력 보정을 위한 칼만 필터 등의 알고리즘을 내장하여 출력의 흔들림을 보정하였다.

출력 범위는 roll 및 yaw는 $\pm 180^\circ$ 이며, pitch는 $\pm 90^\circ$ 이며 정확도는 $< 0.5^\circ$ 이다.

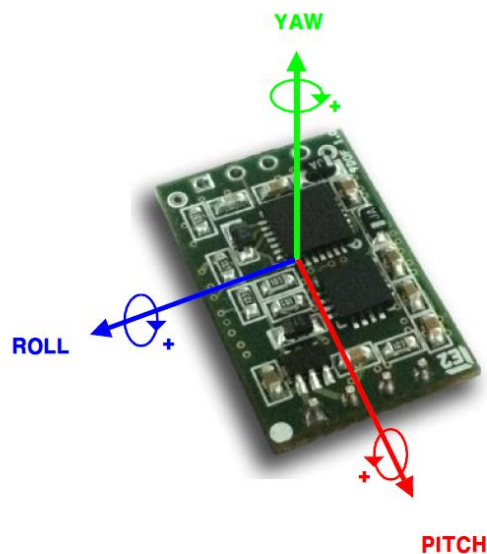


Fig. 56 AHRS module

(3) 로컬 센서 노드 모듈

초음파 센서, 적외선 센서를 본체의 4방향에 설치하여 접근하는 장애물을 감지할 수 있도록 구성하였다. 다수의 센서를 설치하므로 각 센서에 센서 노드 시스템을 적용하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

각 센서에 마이크로프로세서, 통신 모듈을 장착하여 센서 신호의 보정, 필터링 등을 개별적으로 수행하며, 마스터 프로세서의 명령에 따라 저장된 값을 제공하게 하였다.

다음 그림 57는 센서 노드에 대한 회로도이다.

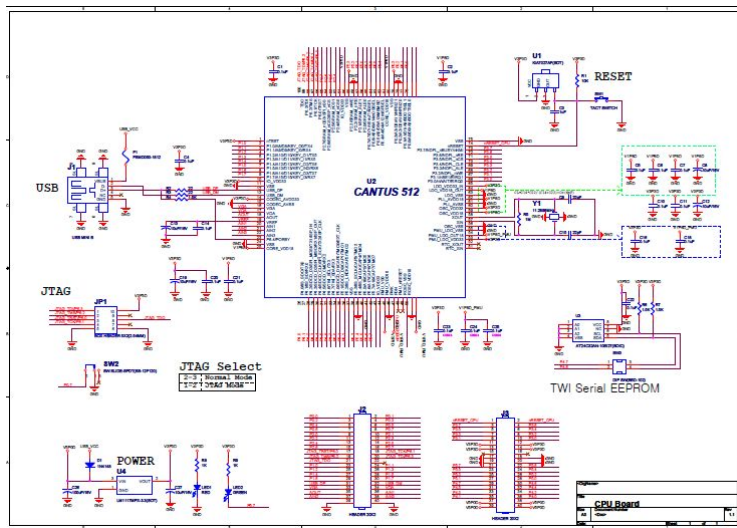


Fig. 57 Circuit diagram for sensor node interface

센서 노드의 기능은 다음과 같다.

- 센서 신호 보정, 필터링 기능 (소프트웨어로 수행)
- 데이터 임시 저장기능
- 통신 및 데이터 출력기능

이 모듈은 Zigbee를 이용하여 무선 통신도 가능하며, USB를 통한 출력도 가능하다. 그리고 임시 저장소를 두어 다수의 데이터를 수집 저장하고 이것을 후 처리 할 수 있다. 고속 32비트 마이크로프로세서를 사용하여 칼만 필터와 같이 고급 필터링을 소프트웨어로 구현하도록 구성하였다.

자. 팬/틸트 카메라 모듈

이 모듈은 팬/틸트 기능이 있어 작업자가 보고자하는 방향으로 카메라의 방향을 조작할 수 있으며, 줌 기능이 있어 확대/축소 보기를 할 수 있다.

카메라 모듈을 이용하여 로봇의 위치에서 작업자가 주변 환경을 모니터링하는 것과 같은

기능을 수행하며, 필요에 따라 이미지 프로세싱을 수행하여 작업자가 감지하지 못하는 영상을 제공하기도 할 수 있다.

적용된 시스템은 그림 58와 같이 미국 Axis 사의 AXIS 233D이다.

인터넷 웹이 사용되는 어느 곳에서도 카메라를 제어하고 모니터링 할 수 있다.

본 시스템에서는 로봇의 선단 상부에 장착하여 전, 후, 좌, 우 모니터링 가능하다.



Fig. 58 Pan/Tilt IP camera

차. 수동 원격 제어 시스템

본 시스템에서는 그림 59과 같이 유선 원격제어 시스템과/ 무선 통신을 이용한 원격제어 시스템을 구성하였다. 유선 원격제어 시스템의 경우 작업자가 로봇을 따라다니며 제어하여 성능검사, 수동 작업 상황과 같은 작업을 할 경우 사용되며, 무선 원격 제어 시스템의 경우 서버에서 로봇의 경로계획 등의 작업에 사용되도록 개발 하였다.

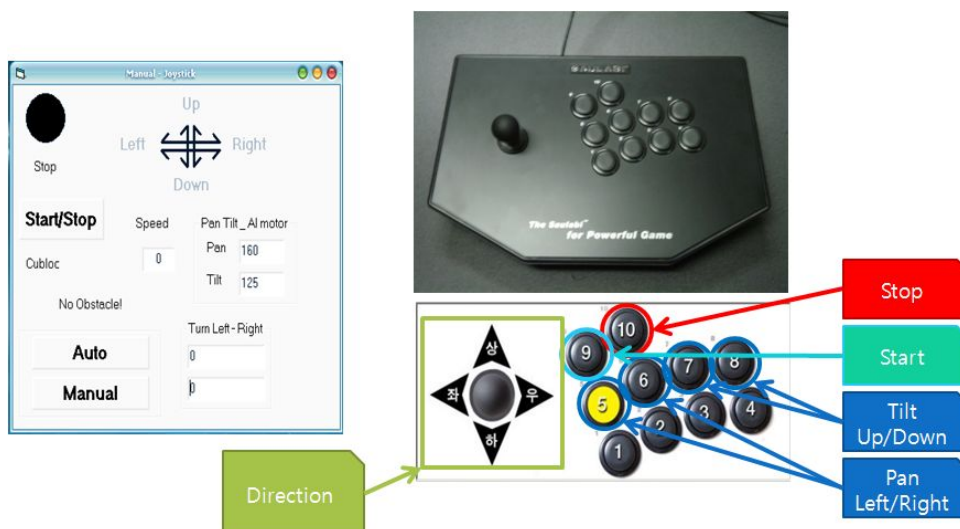


Fig. 59 Wireless or Wire remote control system

제 4 절 통합 모니터링 및 데이터베이스 시스템 개발

1. 시스템 설계 사양 분석

가. 통합 모니터링 시스템 개념 설계

과수 재배관리에 있어서 과수의 개체별 관리 및 종합 관리를 통하여 고품질 상품을 생산함은 많은 선행 연구를 통하여 그 필요성이 입증되었다. 관행의 과수 개체별 관리는 생산자의 주관적인 판단에 의해 결정되어진 것이 일반적이다. 이러한 방법은 관리 정보의 축적 및 재활용 측면에서 그 효용성이 떨어진다고 할 수 있다. 그리고 최근 식품 안정성, 고품질화 등이 이슈가 됨에 따라 생산품의 재배 이력을 추적할 수 있는 시스템 도입에 관한 연구가 대두되고 있다. 또한 “저 탄소 녹색성장”과 같은 개념이 확대되는 시점에서 생산 에너지 절감 및 효율적 관리를 위하여 생육 환경 분석이 필수적이라고 할 수 있을 것이다. 그러므로 생육환경, 생육 상태에 따른 개체별 관리 정보화가 필요하며, 이것은 시공간적인 재배환경 요인 획득 및 정량화된 데이터의 획득 및 축적이 되어야 가능할 것이다.

이러한 정보 수집 및 정보화를 위한 실제 환경 하에서의 시공간적인 데이터 수집 시스템이 필수적이며, 그 정보를 수집하고 데이터베이스화 및 전문가 시스템을 구축할 수 있는 소프트웨어 시스템이 필요할 것이다.

또한 이러한 정보를 바탕으로 현장에 투입되는 생력화 작업장치의 운용에 도움을 제공하고 재배 관리의 지침이 되는 정보 제공을 위한 관리 시스템과의 연동도 필요할 것이다.

그림 17은 배 재배관리 정보화를 위한 원격 무선 자율 주행 로봇을 이용한 국부 생육환경 정보 수집 및 모니터링 시스템의 개념도이다.

국부적인 환경정보 및 개체별 환경요인을 찾기 위하여 원격 제어 및 자율주행이 가능한 이동로봇을 이용함이 환경 적응적 운영이 가능하다.

재배 환경 계측 시스템을 이동로봇에 탑재하여 국부적인 재배환경에 대한 환경 정보를 수집하고, 영상 시스템을 통하여 실시간으로 현장을 모니터링 할 수 있다.

또한 축적된 정보를 무선 통신을 통하여 데이터베이스 서버에 저장하고 이것을 통합화, 정보화 하여 영농정보에 활용할 수 있을 것이다.

무선 자율 주행 로봇은 원격지에서 작업자가 직접 제어가 가능하여 재배지의 상태를 매뉴얼로 모니터링 할 수 있으며, 자율 주행을 위한 이동경로를 설정하고 또한 작업 수행에 어려운 지점을 지정하여 주행 위험을 미리 예방할 수 있다.

자율 주행에 있어서는 로컬 센서 시스템 및 GPS, 자세 인식 센서 등을 융합하여 시스템 위치를 정밀 계측하여 주행 계획에 따른 이동을 안정되게 수행할 수 있게 한다. 또한 충분하지 않은 작업자 이동 경로 계획에 국토지리원 등 GIS정보를 무선 원격 서버로부터 다운로드(download)하여 경로 이동에 적용할 수 있게 하여 보다 정밀하고 실질적인 주행을 수행

할 수 있게 한다.

전체적으로 이동 로봇에 탑재된 환경계측 센서 시스템, 개체별 인식을 위한 RFID 시스템, 이동로봇 및 영상 모니터링 시스템, 무선 통신 시스템, 원격 모니터링 및 작업지시 인터페이스 그리고 고정 계측 시스템으로 구성하였다. 이 통합된 시스템으로부터 제공되는 환경 정보는 데이터베이스화 및 분석시스템에서 축적되며 이 정보는 전문가 시스템 및 기타 분석 시스템을 통하여 생력화된 정밀 영농 시스템에 제공될 것이다.

2. 원격제어 사용자 인터페이스

작업자 친화형 사용자인터페이스로 작업자가 손쉽게 작업지시 및 모니터링을 수행할 수 있게 할 수 있게 하였다.

주요 기능으로 영상을 통한 로봇 주위의 작업환경 모니터링, 로봇 수동제어, 로봇에 장착된 장치(환경계측 센서, 위치정보, 자세정보, 센서정보 등)의 정보 모니터링, 로봇 시스템에 대한 모니터링(축전지 상황, 모터 속도 등)을 구성하였다.

모든 조작은 터치스크린을 바탕으로 하여 작업자가 직관적인 작업을 수행할 수 있게 하였으며, 각 작업에 대한 도움말 기능을 두어 학습 없이 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 그리고 각각의 조작 버튼은 작업 종류에 따라 활성화/비활성이 자동으로 이루어지게 하여 작업자의 실수를 미연에 방지하도록 구성하였다.

또한 여러 대의 로봇을 운영할 경우를 대비하여 로봇 시스템을 선택할 수 있게 하였으며, 모든 로봇의 정보(간략화된 영상, 수집데이터를 실시간 디스플레이)를 한 화면에 표시할 수 있게 하여 종합적인 모니터링도 수행할 수 있게 하였다.



Fig. 60 Environment information monitoring windows



Fig 61 GUI user interface for 3rd prototype mobile robot with touchscreen

3. 환경 정보 수집 시스템

환경정보 수집 시스템은 원격 이동로봇으로부터 제공되는 실시간 환경정보 및 고정 환경 정보 수집 장치로부터 입력되는 각종 정보를 저장하고 모니터링 할 수 있게 하는 시스템이다. 본 시스템은 환경 정보 및 영상정보를 작업자의 필요에 따라 정기 간격 또는 작업별, 과수별로 저장/ 디스플레이 하는 기능을 수행한다.

데이터 저장 시점은 경로 계획시 노드별 저장 방법 및 종류를 설정할 수 있으며, 고정 센서의 경우 정기적으로 설정된 간격으로 저장하게 한다. 또한 작업자가 임의의 시점에 수동으로 데이터를 저장할 수 있으며, 모니터링 데이터는 현재 실시간 입력값 또는 데이터베이스에 저장된 정보를 조회할 수 있다.

즉 로봇의 상태, 작업명, 작업 결과 데이터를 저장하는 데이터베이스와 환경계측 센서로부터 제공되는 정보를 저장하는 데이터베이스를 동시에 운영하여 로봇의 운전에 따른 결과를 손쉽게 모니터링 할 수 있게 하여 운용 계획 수립 등의 작업에 이용될 수 있도록 함과 동시에 영농 정보 제공을 위한 생육환경 정보를 저장하여 정보화 할 수 있도록 구성하였다.

4. 환경 계측데이터 정보화

데이터베이스에 저장된 환경정보를 작업자가 그 변화를 용이하게 분석할 수 있도록 시공간적으로 그래프화된 정보를 제공할 수 있게 아래 그림과 같이 프로그램을 개발하였다. 현재 개발된 시스템은 온도 및 습도에 관하여 시간적인 그래프로 정보를 제공하게 하였으며,

향후에는 고정센서, 토양센서 등 각종 센서값을 시공간적(3차원)으로 제공할 수 있는 소프트웨어를 개발할 계획이다.



Fig. 62 Environment data Inquiry window for temperature

5. 데이터 피드백 단말기 시스템

이동로봇으로부터 수집된 데이터를 저장하여 데이터베이스화하고 정보화된 데이터를 제 2 세부과제에서 개발된 생력화 작업기시스템에 탑재된 무선 정보 제공 시스템에 제공함으로써 생력화 작업기에서 보다 정확하고 정보화된 작업을 수행할 수 있게 하는 시스템이다.

이 시스템은 환경계측 시스템에서 제공하는 정보와 생력화 작업기의 작업자가 입력하는 피드백 데이터를 종합하여 데이터베이스를 갱신할 수 있으며, 이것으로 보다 정확한 데이터베이스를 구축할 수 있게 한다.

본 시스템은 기존 환경계측 이동로봇을 제어하기 위한 통신망을 계승하며, Zigbee 모듈 및 임베디드 컨트롤러, 터치스크린, 통신 안테나로 구성하였으며, 또한 과수에 설치된 RFID Tag의 정보를 읽을 수 있도록 리더기를 차량에 장착할 수 있도록 하였다. 현재 정보제공 요인분석 및 기본 소프트웨어를 개발하고 있는 중이다.

채용된 임베디드 시스템은 ARM11 마이크로프로세서를 기반으로 하는 시스템으로 내부에 GPIO포트와 RS232포트, USB포트, 터치스크린 및 Windows CE 6.0의 운영체제를 사용한다.

본 시스템의 주요 기능은 정보제공 및 피드백 정보 수집에 있으며, 작업자가 용이하게 모니터링 및 입력을 할 수 있게 하는 GUI 인터페이스를 가지게 한다.

과수에 차량이 접근했을 때 RFID로부터 과수 ID읽어 서버로 보내면 해당 과수의 재배 이력 및 특이사항을 서버로부터 제공 받을 수 있으며, 또한 현재 작업 내역을 서버로 보내 저장될 수 있도록 구성하여 정보의 피드백 및 갱신이 되도록 하였다.

6. 데이터 수집 성능 시험

데이터 수집성능을 분석하기 위하여 고정 관측에 대기 온도 및 엽온, 일사량 변화를, 그리고 이동국에서 지온, EC를 실제 환경과 유사하다고 판단된 성균관대 생명공학부 뒤편 야외 잔디밭에서 계측을 수행하였다. 계측된 데이터는 데이터베이스에 저장한 후 그래프화하여 모니터링 하게 함으로 그림과 같이 장소별, 시간별로 조회를 할 수 있도록 하여 계측 > 저장 > 정보화 > 조회(활용)의 일련의 작업이 원활이 수행 될 수 있음을 알았다. 그래프에서 나타난 것과 같이 일별, 시간별 온도차와 일조량차, 엽온 변화가 일목요연하게 표현됨을 알 수 있었다.

계측되는 데이터는 고정국과 이동국으로 나누어 전송되며 전송된 데이터는 모니터링 시스템을 거쳐 데이터베이스에 저장된다. 즉 실시간 모니터링도 가능하면서 향후에 분석 등을 하기 위하여 조회도 가능하게 구성하였다.

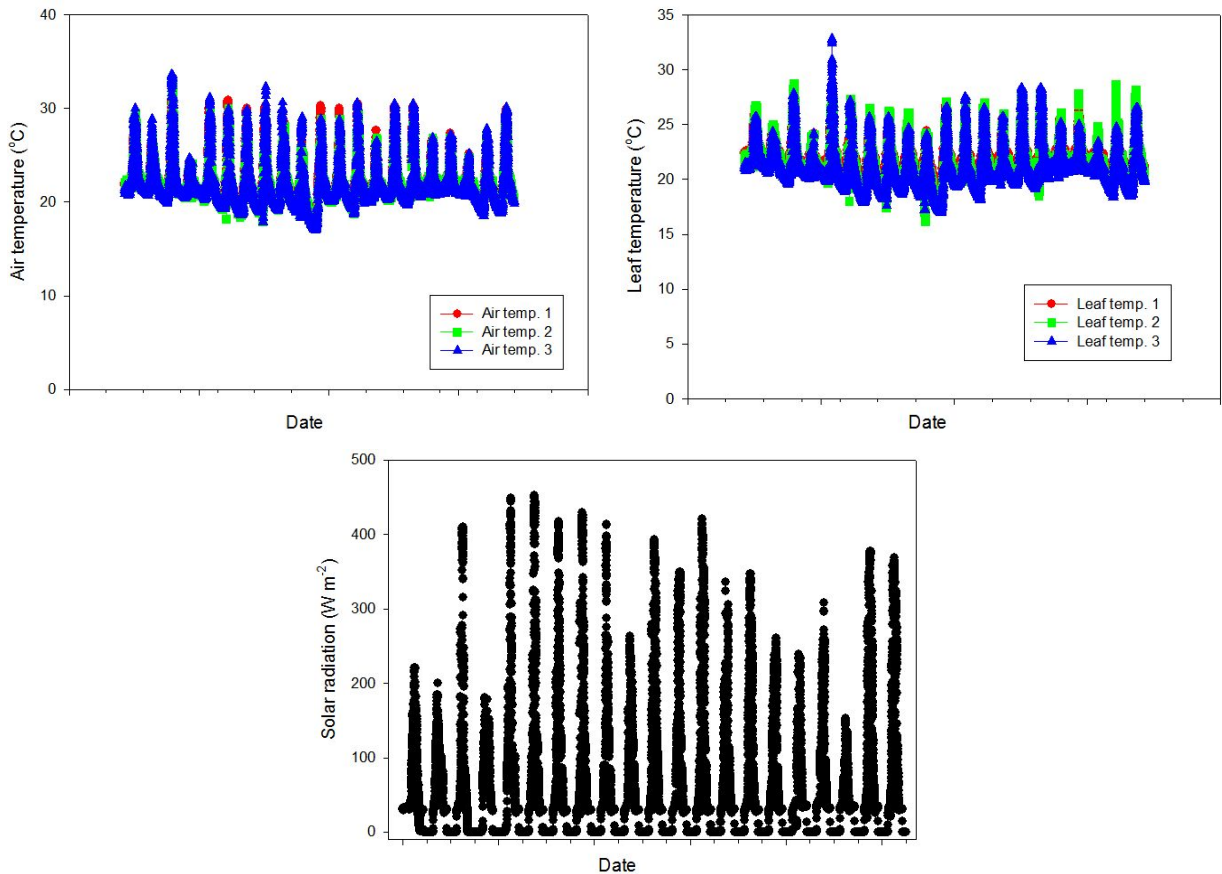


Fig. 63 Graph of environment data(Air, Leaf Temp. and Solar radiation)

제 5 절 배 재배 관리 생력화 고소작업기 개념 설계

1. 생력화 고소작업기 개념 설계

배 재배관리 생력화를 위한 요인분석을 통해 대략적인 생력화 작업기의 개념설계도를 구상하였다. 평균적인 수목의 높이는 배재배 환경실태에 근거하여 2.2m로 작업대의 높이를 달리하였다.

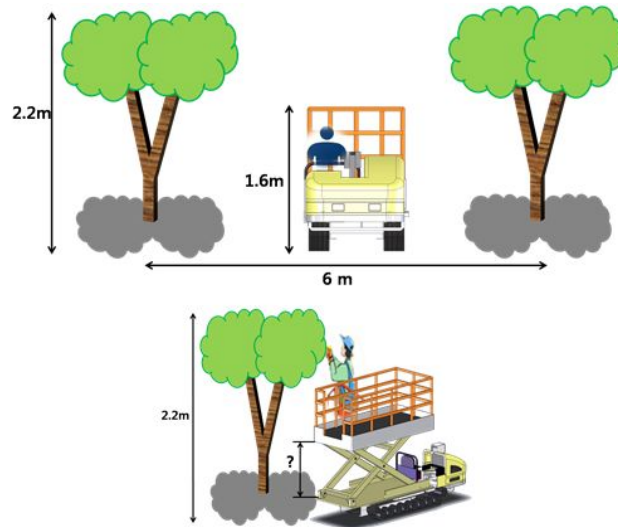


Fig. 64 Conceptual Design of Orchard Aerial Lift

다음그림은 수목의 높이에 따른 작업대의 높이를 달리 수행한 모습이다.

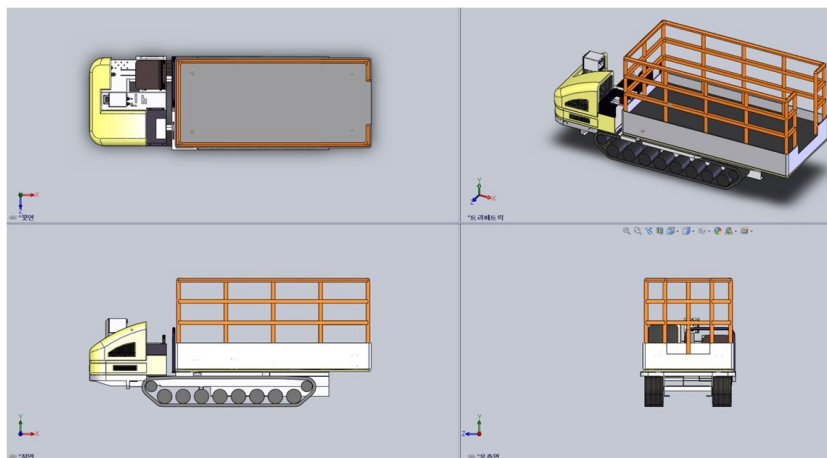


Fig. 65 Worktable Heights of the aerial lift by works.

그림 65은 배 과수원 생력화 작업 개념도를 나타내고 있다. 배 과수의 생력화 작업의 관행작업을 효율적인 생력화 방안으로 자동 수확 작업시스템 도입이 필요하다. 자동 수확 작업시스템 도입으로는 작업대 슬라이딩 및 작업의자 회전을 통하여 작업시간 감소 및 작업범위의 증대를 가져올 수 있으며, 또한 차량 주행이 어려운 장소에까지 투입하여 본 생력화 작업기 활용 범위가 넓어진다. SolidWorks 2009를 사용하여 그림 66과 같은 생력화 작업기 전체적인 개념 설계를 하였다.

Table 13 Spec of Orchard Aerial Lift

설계도구	SolidWorks™ Premium 2009 (USA)
구동방식	엔진 구동식
주행장치	궤도형 바퀴
작업 높이 조절	Scissor Lift (=X Lift) 구동
규격 (L×W×H, mm)	2600×1200×1600 최대높이 : 3000 mm

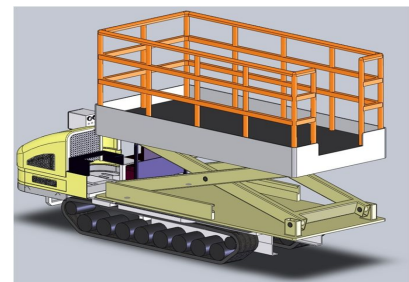


Fig. 66 View of Aerial Lift

수목의 형태와 작업기의 높이 등을 고려하여 적정 작업 높이를 산출하는 것에 목표를 두었다. 배 과수용 생력화 작업기의 높이 산출방법은 다음과 같다.

Table 14 A method of Calculating Height

차 높이 (A)	60cm (고정)
리프트 높이 (B)	각 상황에 맞는 높이 선정 (0~100cm)
작업자 (C) (키/앉은키, 고정)	남성 : 170cm / 100cm → 작업높이 : 100cm / 80cm
	여성 : 150cm / 80cm → 작업높이 : 80cm / 60cm

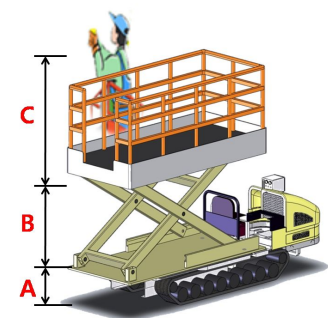


Fig. 67 Height factors of Orchard Aerial Lift

남/여의 신체구조적인 특징이 다르기 때문에 남자의 키를 170cm, 앉은키를 100cm로 가정하였고, 여자의 키를 150cm, 앉은키를 80cm로 가정하였다. 변수를 리프트 높이에 두고 차 높이와 사람 키는 고정시켜 작업 높이를 산출하였다.

배의 생산적업 체계에서 작업높이를 고려하여 작업기가 동원 되어야 하는 작업은 전정, 적아적심, 적과, 봉지 씌우기, 수확이다. 먼저, 전정, 적아적심은 전정가위를 필요로 하는 작업이므로 적과, 봉지 씌우기, 수확 등 손으로 하는 작업보다 거리를 10cm 더 멀리 잡았다. 그림 68는 전정 및 적아적심 작업 시에 따른 높이를 나타냈다.

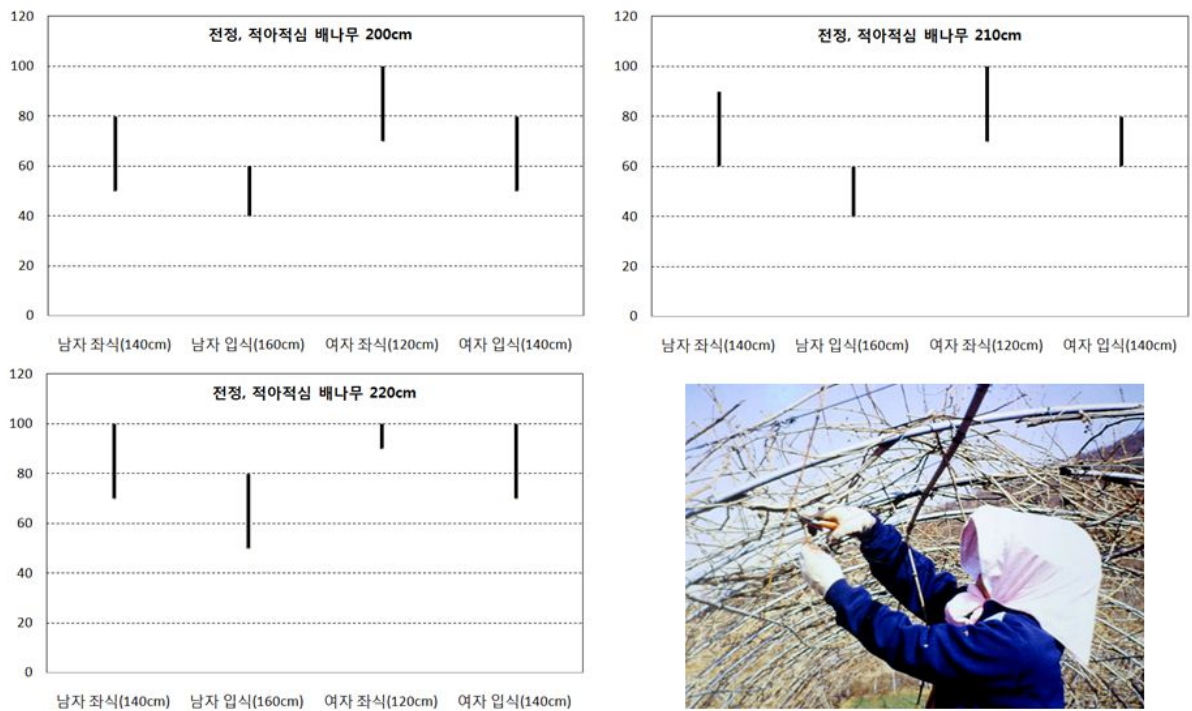


Fig. 68 Conceptual heights for Pruning

전정, 적아적심의 적정 작업 높이는 아래 그림에서 보는 바와 같이 남자좌식, 남자입식, 여자좌식, 여자입식 이렇게 4가지 유형으로 나뉜다. 가로는 작업을 할 수 있는 사람의 키와 차량의 높이를 더한 값으로 나타내고 세로는 리프트의 높이로 나타낸다. 그림 68에서 전정과 적아적심은 가지를 치는 작업으로 전정가위를 이용하여 작업을 수행하기 때문에 오차범위를 30cm로 두었다. 그렇기 때문에 남자좌식의 경우를 예로 들어보면, 가로축의 고정 값은 140cm 이고 리프트의 높이를 변수로 하여 70cm ~ 100cm 범위 내에서 작업이 가능하다는 것을 분석 할 수 있다.

마찬가지로 그림 69에서 적과, 봉지 씌우기, 수확작업의 높이는 가로축에는 사람 키와 차량의 높이를 더한 값으로 고정시키고 세로축은 리프트의 높이로 나타내었다. 단, 적과, 봉지 씌우기, 수확등의 작업은 작업자가 직접 손으로 작업을 해야 하기 때문에 오차범위를 20cm로 줄였다. 위의 결과를 토대로 남자와 여자의 적정 작업높이를 선정해보았다. 표 15, 그림 69은 적과 및 봉지씌우기 작업 시에 따른 높이를 산출한 것이다.

Table 15 An Adequate Heights on each Works

		전정, 적아적심	적과, 봉지씌우기, 수확
남자	좌식	70cm	80cm
	입식	50cm	60cm
여자	좌식	90cm	90cm
	입식	70cm	80cm

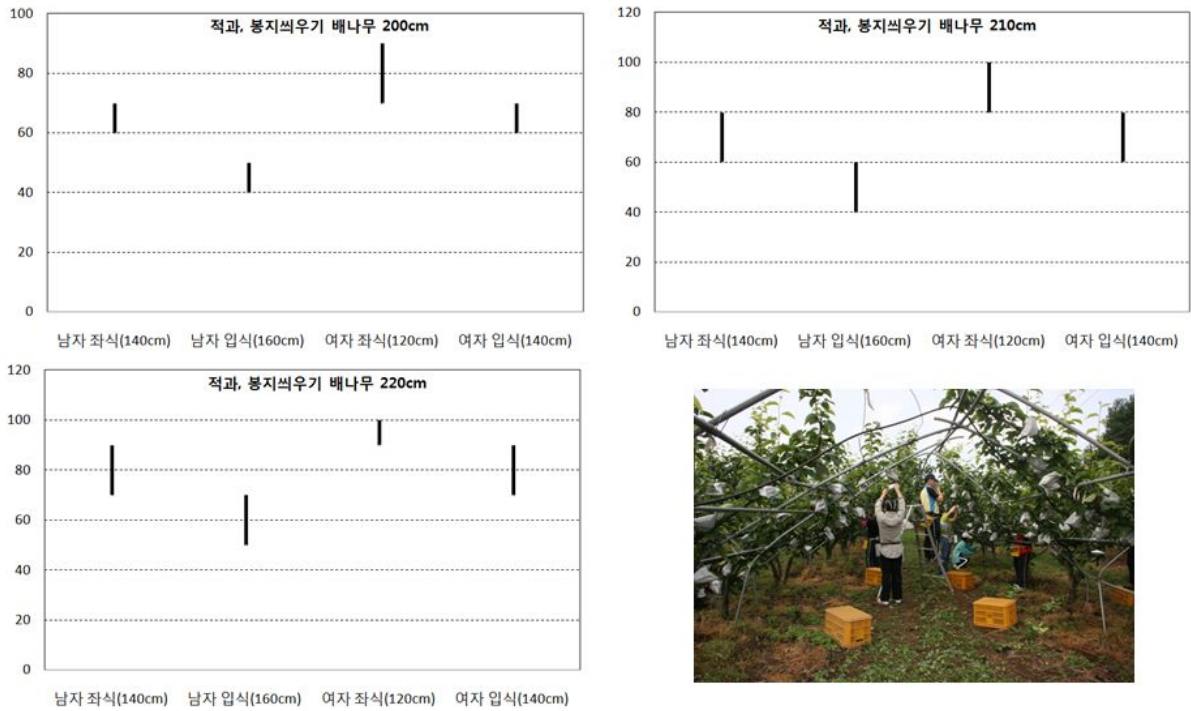


Fig. 69 Heights for Thin-out and Bagging

2. 생력화 고소작업기 개념 설계 사양 분석

배 과수용 생력화 작업기를 설계하기 위하여 AutoCadTM 프로그램을 이용하여 주행부 파트와 작업부 파트를 2차원 모델링화 하였으며, 2차원 도면으로부터 수치를 획득하였다. 그림 71은 생력화 작업기 전체 설계도면이다.

생력화 작업기의 크기(길이×폭×높이)는 2,060×1,225,×1,800(mm)이며, 최저 지상고 높이는 105mm로 설계하였다. 주행부의 동력원은 엔진구동방식이며, 주행 형식은 고무 무한궤도로서 지형 극복이 우수하여 경사지 및 척박한 환경에서도 구동이 가능하다.

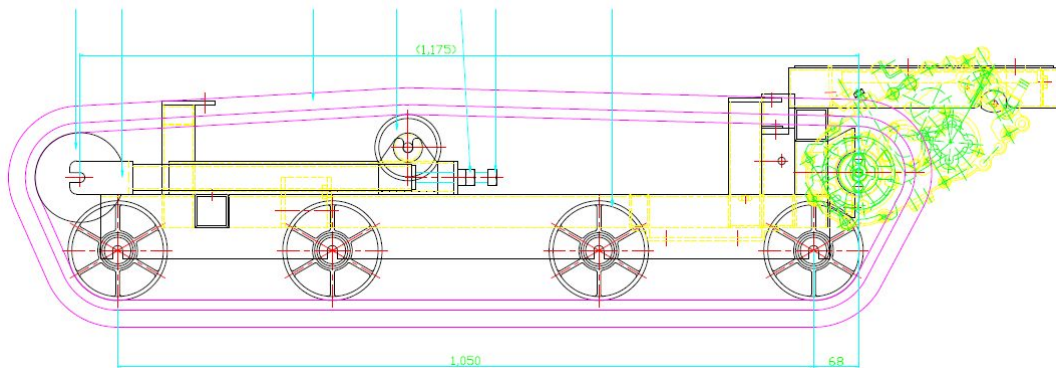


Fig. 70 Moving Part of Orchard Aerial Lift

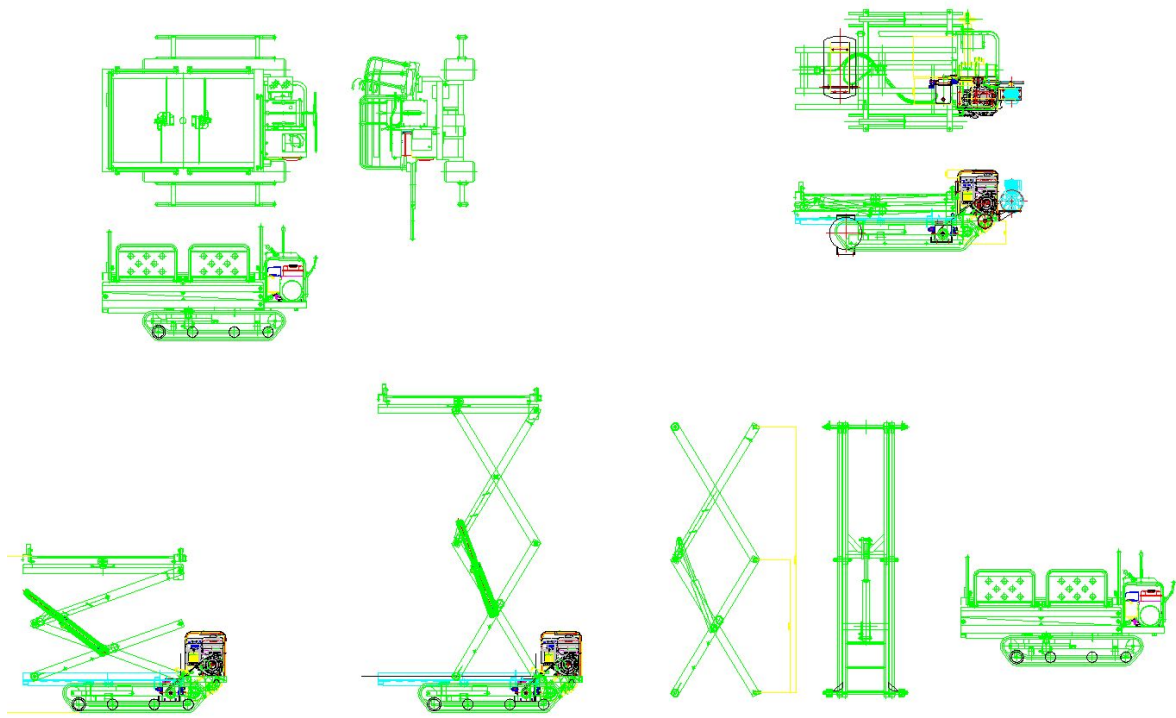


Fig. 71 Designs for Orchard Aerial Lift

그림 70는 생력화 작업기의 주행부의 설계도이다. 무한궤도의 폭은 200mm이며, 중심거리는 980mm, 무한궤도의 접지길이는 1,050mm로 설계하였다.

그림 72은 생력화 작업기의 작업부 상부프레임 설계도이다. 작업부 상부프레임에는 회전 의자부, 작업자 안전용 고리, 슬라이드형 작업 확장대, 안전바 겸 보조발판으로 구성되어 있다.

그림 73는 생력화 작업기 작업부 하부프레임 설계도이다. 작업부 하부프레임에는 X리프트 프레임부, 승/하강용 유압봉, 경사지 작업을 위한 상판 기울임용 유압봉, 유압량 조절하는 파워팩, 공압시스템 등으로 구성되어 있다.

그림 74은 생력화 작업기 엔진 및 유압장치부 설계도이다. 엔진으로부터 나오는 동력을 각 무한궤도의 스프라켓에 동력전달하게 되며 이를 회로도로 나타내고 있으며, 또한 파워팩 으로부터 각 유압봉에 연결된 유압시스템을 나타내고 있다.

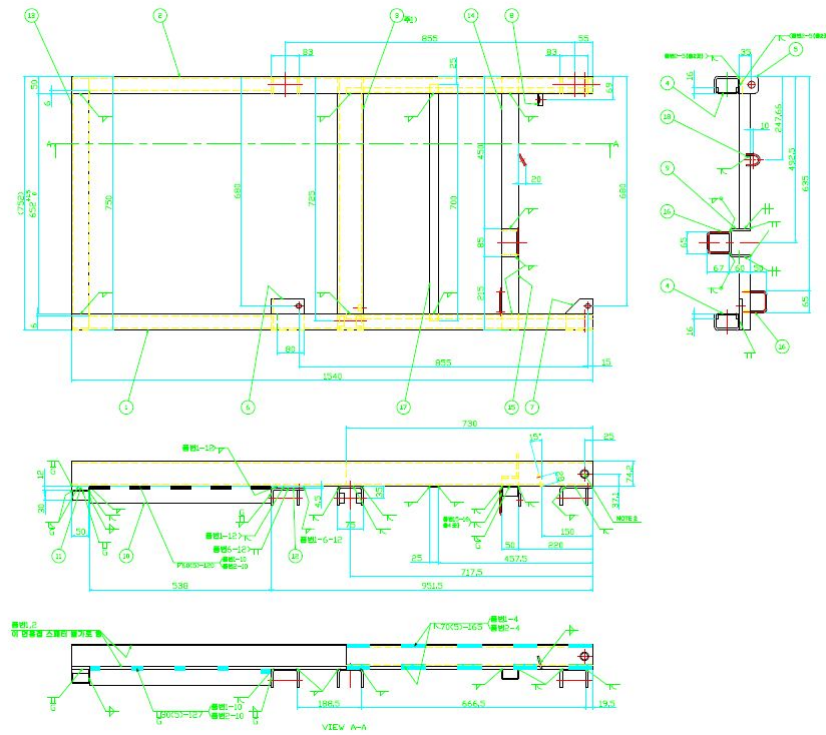


Fig. 72 Upper Frame of Working Equipment

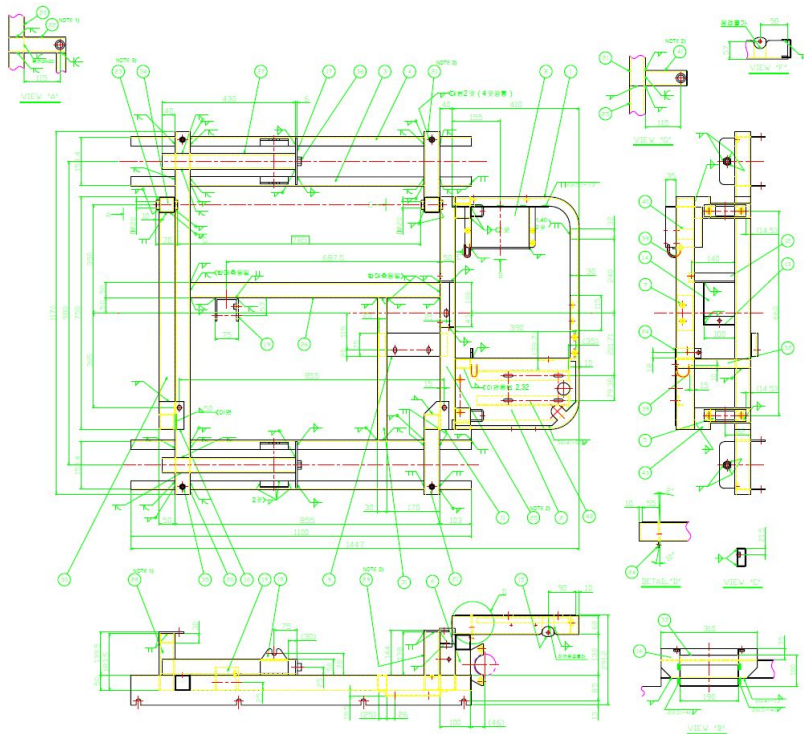


Fig. 73 Lower Frame of Working Equipment

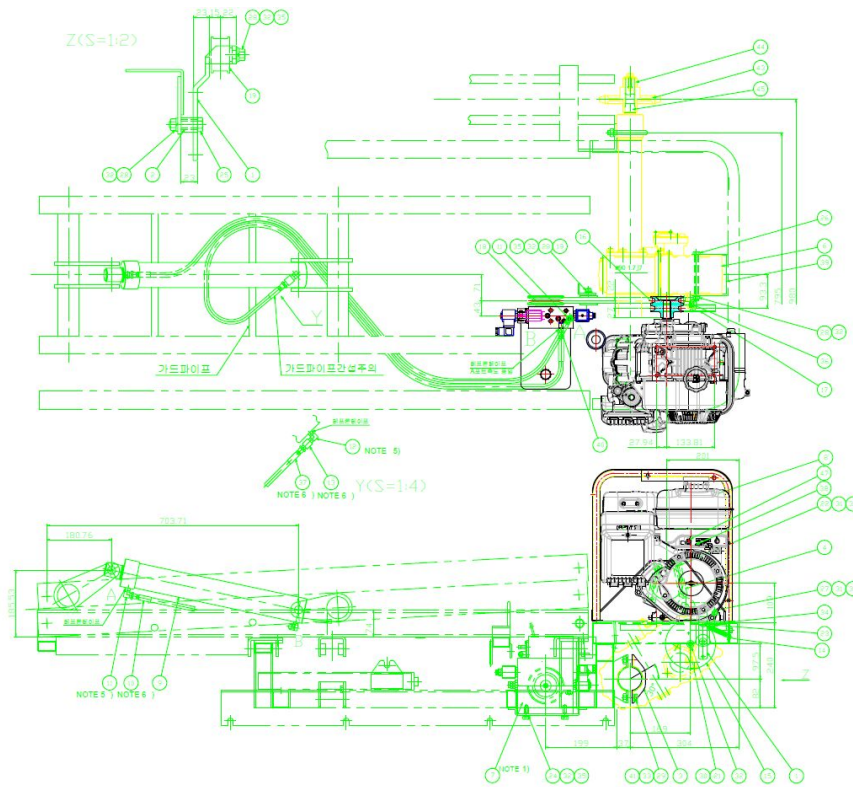


Fig. 74 Engine and Hydraulic System

3. 생력화 고소작업기 견인성능 예측

차량의 주행 및 견인성능을 나타내는 요소는 크게 토양추진력(soil thrust)과 운동저항(motion resistance)으로 대별된다. 엔진으로부터 주행장치에 전달된 구동에너지는 주행부(궤도)에 전달되고, 이것에 의한 토양추진력이 나타난다. 이러한 토양추진력은 차량이 주행 및 견인을 위해 나타낼 수 있는 최대견인력(maximum tractive force)으로서 궤도와 지면의 상호작용에 의한 토양의 전단력에 의해 나타난다. 한편 이러한 토양추진력은 모두 견인력으로 나타나지 못하고 그 일부는 주행부가 토양의 저항을 극복하는데 소비되는 운동저항으로 나타난다.

차량의 견인성능은 궤도-토양 접지면에서의 수직압력과 전단응력에 밀접한 관련이 있다. 즉, 차량의 운동저항은 주행부(궤도)의 침하를 유발하는 접지압에 관계되고, 추진력은 궤도-토양의 전단응력 특성에 관계된다. 따라서 본 연구에서는 궤도형차량의 견인성능을 예측하기 위하여 궤도형차량의 주행장치인 궤도와 토양과의 접촉면에서의 수직응력과 전단응력 분포를 예측할 수 있는 수학적 모델을 구하여, 모델로부터 궤도형차량의 견인성능을 나타내는 추진력, 운동저항, 견인력 등을 예측 할 수 있다.

강성 궤도형차량이 연약한 지반위에 놓여 있을 때, 궤도는 지면에 평평한 상태로 놓여 있게 되고 전체 궤도길이에 따른 침하는 선형적인 관계를 나타내게 된다. 그러나 연성 궤도형 차량이 연약한 지반위에 있는 경우에는, 궤도계를 통해 작용하는 수직하중은 전체 궤도계에 걸쳐 다르게 분포되어 전륜(roadwheel part : 前輪)아래 궤도부분에서 최대 침하가 나타나고, 전륜 사이의 궤도부분에서 최소 침하가 발생하게 된다. 전륜 아래 궤도부분의 형상은 전륜의 형태에 의해 영향을 받고, 전륜 사이 궤도구분의 형상은 토양-궤도변수의 상호작용, 특히 궤도장력에 크게 영향을 받아 전체 궤도계는 곡선형태를 나타내게 된다. 한편, 궤도형차량의 주행에 따른 전륜의 연속적인 통과와 궤도 아래에서 발생하는 추진력과 슬립, 그리고 견인력작용점(drawbar point)의 위치는 차량 후부(rear part)의 추가적인 침하를 유발하여 차량의 후부가 전부(front part)보다 낮아지는 상태가 된다. 따라서 궤도계의 해석은 토양변수와 차량의 설계변수, 그리고 운용조건에 따른 상호관계를 정확히 분석할 때 가능하게 된다.

토양 파괴 모형 중 가장 일반적인 모형은 모어-쿨롬모형(Mohr-Coulomb failure criterion)이다. 이 모형에 의하면 전단응력이 다음과 같은 조건을 만족할 때 토양 파괴가 발생한다.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서, τ = shear strength of the material
- c = apparent cohesion of the material
- σ = normal stress on the sheared surface
- ϕ = angle of internal shearing resistance of the material

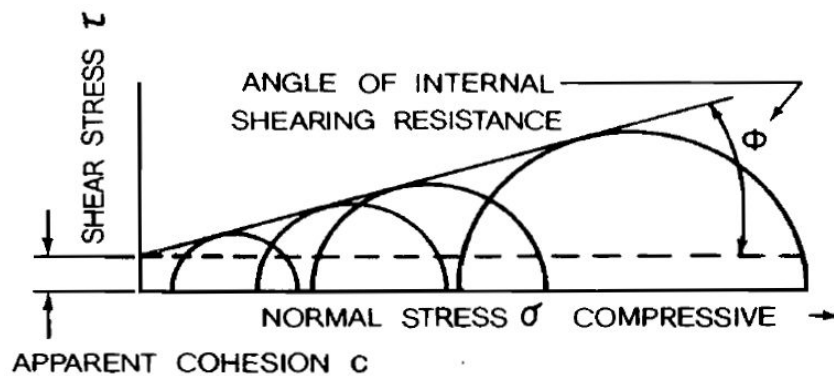


Fig. 75 Mohr-Coulomb failure criterion

궤도 차량의 경우 궤도의 스프로킷에 구동 토크가 전달되면 궤도 아래에 있는 토양의 전단 거동이 발생한다. 이 때 차량의 추진력-슬립 특성은 토양의 전단응력-전단변위 상호 작용 특성으로 결정된다.

야노시-하나모토(Janosi-Hanamoto)는 지수함수를 이용하여 전단응력-전단변위 관계를 다음과 같이 모형화 하였다.

$$\tau = \tau_{\max}(1 - e^{-j/K}) = (c + \sigma \tan \phi)(1 - e^{-j/K}) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, τ_{\max} = maximum shear stress

j = shear displacement

K = shear deformation modulus

이 모형으로부터 다음과 같이 궤도형 차량의 견인력을 결정한다.

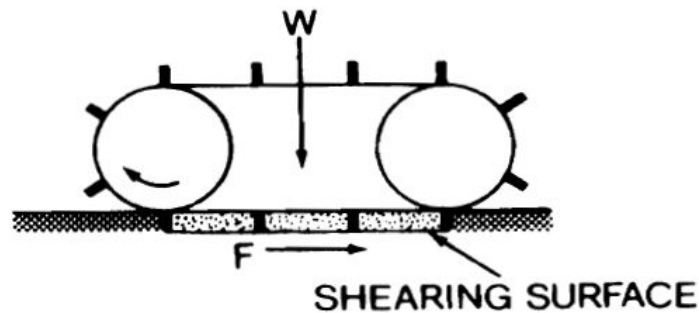


Fig. 76 Shearing action of a track

$$F = b \int_0^l \tau dx \dots\dots\dots (3)$$

$$= b \int_0^l (c + \sigma \tan \phi)(1 - e^{-j/K}) dx$$

접촉면의 수직압력이 p 로 일정하다고 가정할 경우 $p = W/bl$ 이므로, 슬립을 i 라 하면

$$F = b \int_0^l \left(c + \frac{W}{bl} \tan \phi \right) (1 - e^{-ix/K}) dx \dots\dots\dots (4)$$

$$= (Ac + W \tan \phi) \left\{ 1 - \frac{K}{il} (1 - e^{il/K}) \right\}$$

식 7과 같이 된다. 이 때, 궤도가 두 개이므로 접촉면적 $A = 2bl$ 이다. 따라서 최대 견인력 F_{\max} 는 다음 식 8과 같이 된다.

$$F_{\max} = Ac + W \tan \phi \dots\dots\dots (5)$$

$$= 2blc + W \tan \phi$$

또한, 궤도를 강체라 가정할 경우 궤도에 의한 운동 저항은 토양을 침하시키는데 소요되는 힘과 같다. 따라서 베커(Bekker)의 압력-침하 관계식으로부터 침하량 z_0 는

$$z_0 = \left(\frac{p}{k_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} = \left(\frac{W/bl}{k_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} \dots\dots\dots (6)$$

따라서 운동저항을 R_c 라 할 경우

$$\begin{aligned} R_c l &= bl \int_0^{z_0} p dz \dots\dots\dots (7) \\ &= bl(k_c/b + k_\phi) \left(\frac{z_0^{n+1}}{n+1} \right) \end{aligned}$$

식 10과의 관계가 성립하므로 궤도가 두 개인 것을 고려하면, 궤도에 의한 운동저항은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R = 2b(k_c/b + k_\phi) \frac{z_0^{n+1}}{n+1} \dots\dots\dots (8)$$

여기서, k_c = pressure-sinkage parameters

배 과수용 생력화 작업기의 총 중량 W , 궤도의 폭 b , 궤도의 길이 l 를 설계도에 따른 $W \simeq 500kg_f = 4.905kN$, $b = 200mm$, $l = 1,050mm$ 라 하고, 사양토에서의 운동저항과 최대건인력을 구할 수 있다.

국내 과수토양의 대부분은 사양토로 구성되어 있으며, 표 4에서 나타나듯이 사양토의 경우 $n = 0.7$, $k_c = 5.27kN/m^{1.7}$, $k_\phi = 1515.04kN/m^{2.7}$, $c = 1.72kPa$, $\phi = 29^\circ$ 이다.

Table 16 Terrain values

Terrain	Moisture Content (%)	n	k_c		k_ϕ		c		ϕ
			lb/in. ⁿ⁺¹	kN/m ⁿ⁺¹	lb/in. ⁿ⁺²	kN/m ⁿ⁺²	lb/in. ²	kPa	deg
Dry sand (Land Locomotion Lab., LLL)	0	1.1	0.1	0.99	3.9	1528.43	0.15	1.04	28°
Sandy loam (LLL)	15	0.7	2.3	5.27	16.8	1515.04	0.25	1.72	29°
Sandy loam Michigan (Strong, Buchele)	22	0.2	7	2.56	3	43.12	0.2	1.38	38°
Sandy loam (Wong)	11	0.9	11	52.53	6	1127.97	0.7	4.83	20°
Heavy clay (Waterways Experiment Stn., WES)	23	0.4	15	11.42	27	808.96	1.4	9.65	35°
Sandy loam (Hanamoto)	26	0.3	5.3	2.79	6.8	141.11	2.0	13.79	22°
Clayey soil (Thailand)	32	0.5	0.7	0.77	1.2	51.91	0.75	5.17	11°
Heavy clay (Wong)	38	0.5	12	13.19	16	692.15	0.6	4.14	13°
Lean clay (WES)	55	0.7	7	16.03	14	1262.53	0.3	2.07	10°
Upland sandy loam (Wong)	25	0.13	45	12.70	140	1555.95	10	68.95	34°
Rubicon sandy loam (Wong)	40	0.11	7	1.84	10	103.27	3	20.69	6°
North Gower clayey loam (Wong)	22	0.2	45	16.43	120	1724.69	10	68.95	20°
Grenville loam (Wong)	32	0.15	5	1.52	10	119.61	2	13.79	11°
Snow (U.S.) (Harrison)	0.79	32	102	42.2	5301	0.19	1.3	31.1°	
Snow (Sweden)	51	1.10	7.5	74.6	5.3	2080	0.48	3.3	33.7°
	43	0.66	3.5	6.9	9.7	752	0.54	3.7	29.8°
	46	0.73	16.3	41.6	24.5	2471	0.88	6.1	26.6°
	24	1.01	0.008	0.06	20.9	5880	0.45	3.1	29.8°
	1.6	0.07	4.37	0.08	196.72	0.15	1.03	19.7°	
	1.6	0.04	2.49	0.10	245.90	0.09	0.62	23.2°	
	1.44	0.3	10.55	0.05	66.08	0.87	6	20.7°	

$K = 50mm$ 라 할 경우 토양 침하량은 식 9와 같다.

$$z_0 = \left(\frac{p}{k_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} = \left(\frac{4.095 / (2 \times 0.2 \times 1.05)}{5.27 / 0.2 + 1515.04} \right)^{1/0.7} = 0.0007384 \approx 0.0007m \dots\dots\dots (9)$$

운동 저항은 식 13과 같다.

$$R_c = 2b(k_c/b + k_\phi) \frac{z_0^{n+1}}{n+1} = \frac{2 \times 0.2 \times (5.27/0.2 + 1515.04) \times 0.0007^{1.7}}{1.7} = 0.00157 kN \dots\dots\dots (10)$$

또한, 최대견인력은 식 14와 같다.

$$F_{max} = 2blc + W \tan \phi = 2 \times 0.2 \times 1.05 \times 1.72 + 9.81 \times \tan(29^\circ) = 6.160 kN \dots\dots\dots (11)$$

최대 주행 속도를 약 $4.0km/h$ ($\approx 1.11m/s$)라 하면 차량을 추진하는데 필요한 동력은 식 15와 같다.

$$P \approx 6.2 \times 1.11 = 6.882 kW \dots\dots\dots (12)$$

필요 동력은 위와 같이 추정되며, 총 전동효율을 70%라 가정할 경우에도 주행에 필요한 동력은 $10kW$ 이면 충분할 것으로 판단된다.

제 6 절 배 재배 관리 생력화 고소작업기 설계 및 제작

1. 생력화 고소작업기 설계

가. 설계 도구

본 연구에서는 과수원용 고소작업차를 모델링하기 위하여 SolidWorks를 사용하였는데 이는 3D모델링을 하기 위해 편리한 기능을 가지고 있으며 시뮬레이션 프로그램과의 호환성이 좋다. SolidWorks는 Dassault Systemes SolidWorks Corp에서 제작한 3D CAD 시스템이다. SolidWorks는 광학, 역학, 시네마, 플렌트, 디자인 렌더링 등 산업 전반에 대부분의 파트를 디자인 할 수 있을 뿐만 아니라 연관된 프로그램까지 연동하여 사용할 수 있는 효율적인 소프트웨어이다.

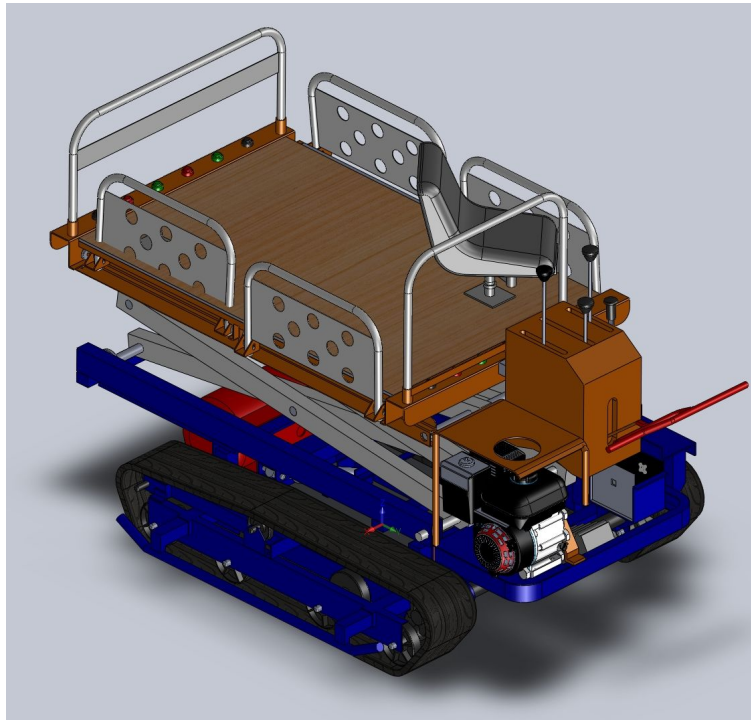


Fig. 77 Aerial lift modeling using SolidWorks

나. 생력화 고소작업기 모델 설계

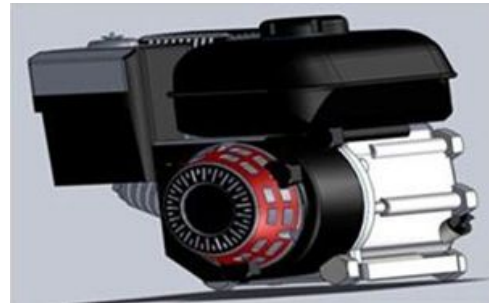
과수원용 고소작업차의 안정성 분석 시뮬레이션을 수행하기 위해 SolidWorks를 이용하여 3차원 모델링 작업을 수행하였다. 고소작업차를 여러 개의 세부 파트로 분리한 후, 각각의 파트를 모델링하여 완성된 세부 파트를 조립하여 하나로 만드는 형식으로 진행되었다. (1)부터 (5)는 각각의 파트에 대한 모델링을 나타내고 있다.

(1) 엔진부

고소작업차의 엔진은 Briggs&stratton 사에서 제작한 VANGARD 122467 가솔린 엔진이며 공랭식 단기통 4행정으로 동작된다. 4행정 사이클 엔진은 크랭크가 한번 회전할 때 흡기, 압축이 동시에, 폭발, 배기가 동시에 이루어지는 2행정에 비해 엔진크기가 크고 구조가 복잡해져 덩치가 크고 무겁고 출력(힘)이 떨어진다는 단점이 있지만 연비가 좋고 내구성이 좋아 수명이 길다는 장점이 있다. 다음 그림 78와 표 17는 엔진의 제원을 나타내었다.



(a) engine



(b) 3D model

Fig. 78 The view of engine and 3D model

Table 17 The specification of engine

Item	Specification	
Type of fuel	gasoline	
Type of engine	inclined air cooling one cylinder four-stroke engine	
Size of engine	length [mm]	400
	width [mm]	345
	height [mm]	385
	Weight [kg]	25
Power	declared power [KW]	3.7 (1,800 RPM)
	maximum power [KW]	4.4 (1,800 RPM)
Engine body	cylinder [ea]	1
	stroke number [ea]	4
	displacement [L]	0.204
	cylinder's diameter × stroke [mm]	68.3 × 55.8
	combuster type	head valve
	compression ratio	8.25:1
	starting system	both of electric and hand start
Igniter	ignition method	electronic
	spark system	electronic
	ignition level [°]	B.T.D.C 15
	capacity of storage battery[V/AH]	12 / 35

(2) 주행부 무한궤도

그림 79은 고소작업차에 사용된 무한궤도이다. 궤도의 규격은 폭 200 mm, 궤도 구동륜간의 거리는 1,050mm 이며 46개의 러그로 구성되어 있다. 궤도는 접지면적이 넓고 슬립이 적어 차륜에 비해 큰 견인력을 낼 수 있으며 안정적이고 선회 반경이 적다는 장점이 있다.



(a) crawler



(b) 3D model

Fig. 79 Crawler of Driving part and 3D model

Table 18 The specification of crawler

Item	Specification
Material	Rubber
Size [L × W, mm]	1,050 × 200
Number of lug [ea]	46

(3) 주행조작부

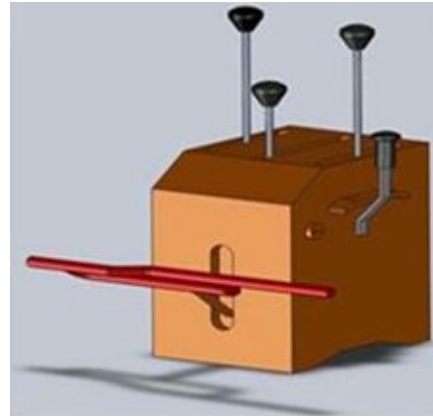
차량을 효율적으로 운행하기 위한 주행조작부로 기어식(선택물림식)의 형식이다. 가운데 클러치 레버를 중심으로, 양쪽의 주행방향조절 레버를 통해 조작성을 간편화하여 남녀노소 누구든지 편리하게 사용할 수 있다. 앞부분의 빨간 레버는 안전스토퍼로 작업자가 차량과 장애물사이에 위치해 있을 때 미연의 사고를 방지하는 장치이다. 표19은 변속기의 제원이다.

Table 19 The specification of Transmission

Item		Specification	
Transmission type		Gear	
Velocity of each Speed	Forward (2-Step)	second-speed	0.769
	[m/s]	first-speed	0.380
Transmission	Backward (1-Step)	first-speed	0.314
	[m/s]		



(a) controller



(b) 3D model

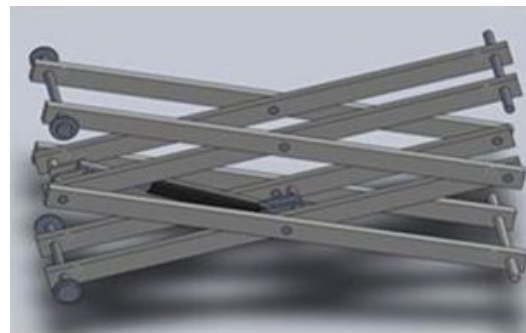
Fig. 80 The view of controller and 3D model

(4) 승강장치부

유압실린더를 이용하여 작업대를 수직상승하게 만드는 장치이다. 수직상승뿐만 아니라 측면에서의 기복각도를 0-12°로 조절을 통해 작업대를 수평상태로 유지하여 경사지에서 고소작업시 작업자의 안전을 보완할 수 있다. 표 20은 유압장치와 승강장치의 제원이다.



(a) lift



(b) 3D model

Fig. 81 The view of lift and 3D model

Table 20 The specification of lift

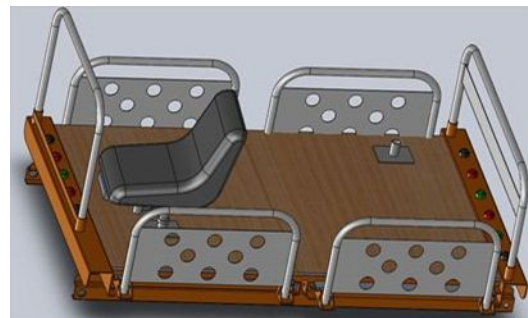
	Item	Specification
Oil pressure system	Maximum pressure [kPa]	17652
	Undulating angle [°]	0-12
	Oil pressure cylinder (diameter × stroke) [mm]	φ 50 × 150
Lift system	Operation length [mm]	2350
	Oil pressure cylinder (diameter × stroke, number)	φ 60 × 390, 1
	[mm, ea]	

(5) 작업대

양 측면 동시 슬라이드 가능으로 작업 및 적재공간을 확보하였으며, 과수에 최대한 근접하여 전정·수확작업 용이하다. 또한 작업대 전·후면에 승·하강 및 슬라이드, 시동, 정지 스위치를 부착하여 작업 편리성을 강화하였다. 작업대의 크기는 1,370 × 905mm 의 크기를 가지고 있다.



(a) working table



(b) 3D model

Fig. 82 The view of working table and 3D model

각각의 파트를 모델링한 후 어셈블리를 통하여 하나의 고소작업차로 결합하였다. 그림 83는 어셈블리를 통하여 완성된 고소작업차의 모습이고, 그림 84는 완성된 고소작업차 모델의 3상도이다. 고소작업차를 모델링 할 때, 어셈블리 작업을 수행 시 축, 바퀴, 유압장치 등 움직임이 가능한 파트는 회전이나 움직임이 가능하게 조립하여 실제 차량의 움직임을 완벽하게 재현 할 수 있도록 하였다. 그림 85은 모델링 된 고소작업차의 작업대 확장 및 작업대 높이 변화를 나타내고 있다.

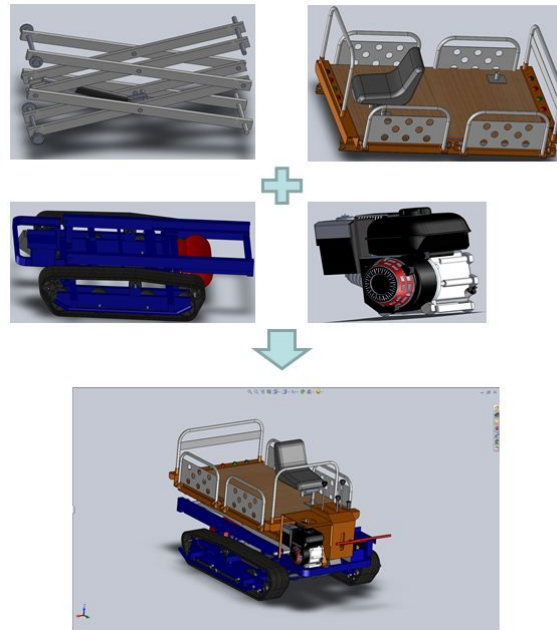


Fig. 83 Assembly parts using SolidWorks

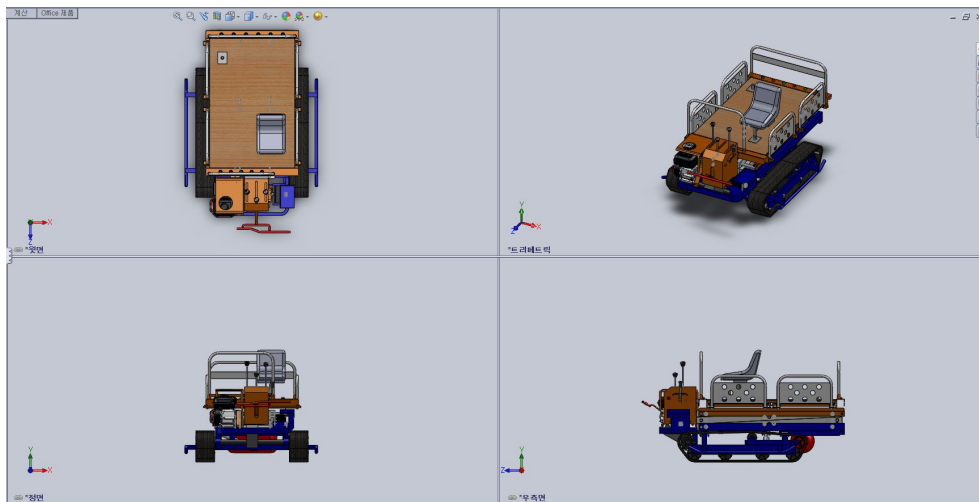


Fig. 84 The oblique section in basic type model

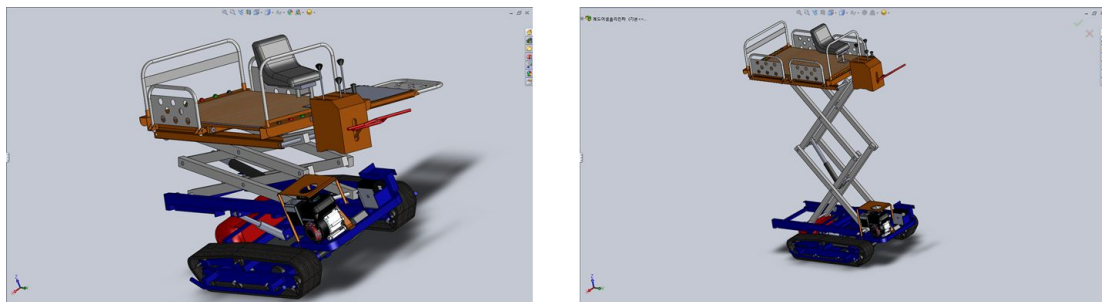


Fig. 85 The view of vehicle's motions

다. 생력화 고소작업기의 제작



Fig. 86 Orchard Aerial Lift

Table 21 The Specification of Aerial Lift

항목	내용	
형식	보행형 무한궤도식	
크기(길이×폭×높이)	2,060×1,225×1,800 (mm)	
중량	530 kg	
최저 지상고	105 mm	
주행 형식	고무 무한궤도	
클러치 형식	벨트장력식	
변속 단수	전진2단 / 후진1단	
변속 방식	기어식(선택몰림식)	
브레이크 형식	습식 내부 확장식	
무한궤도 폭	200 mm	
무한궤도 중심거리	980 mm	
무한궤도 접지길이	1,050 mm	
조향 형식	조향 클러치 레버식	
최고주행 속도(km/h)	전진	1단 : 1.7 2단 : 3.9
	후진	1.5

배 재배 관리 생력화 작업기를 설계 사양에 맞게 그림 86와 같이 제작하였으며, 배 재배 관리 생력화 작업기 주행부의 제원은 표 21과 같다.

배 재배 관리 생력화 작업기의 특징은 20L의 에어 컴프레서를 장착하였으며, 작업대가 좌/우(편측) 30cm 확장이 가능하다. 또한 탈부착용 작업 회전의자를 장착하여 작업자의 편이를 고려하였다.

표 22는 배재배 관리 생력화 작업기 작업부의 제원이다.

하중은 고소작업시 240 kg, 운반 작업시 1370 kg 까지 적재가 가능하며, 작업대의 치수는 길이 및 폭은 1370×905 mm 로서 두 사람이서 작업공간이 가능하다. 경사지가 있는 과수원을 고려하여 측면 방향의 최대 경사각도는 12도이다.

Table 22 The Specification of Working Part

항목		내용
적재하중	고소작업	240 kg
	운반작업	1370 kg
작업대 치수	길이 × 폭	1370 mm × 905 mm
슬라이드 작업대	길이	905 mm
	폭	660 mm
	슬라이드거리	편측 330 mm
보조발판	길 이	295 mm
	폭	565 mm
	중심부터 측단	1135 mm
측면방향 경사보정각도		0° 부터 12°
작업대 높이 (지면부터 작업대바닥)	최대	3000 mm
	최저	650 mm



Fig. 87 The view of Engine

Table 23 The Specification of Engine

항목	내용
엔진명	VANGARD 122467
형식	경사형 공랭 단기통 가솔린
최대출력 (kW/rpm)	4.8 kW (6.5ps) / 1,800 (1/2감속타입)
시동방식	전기시동 및 리코일시동
엔진오일 용량	0.6 L
엔진오일 종류/등급	SAE 10W-30
연료탱크 용량	4 L

다음 표 23과 그림 87는 시작기에 사용된 엔진의 모습과 제원이다.



Fig. 88 Crawler of Driving Part

그림 88는 시작기에 사용된 무한궤도이다. 크롤러 규격은 폭 1m, 심금간격은 0.36m, 심금 수는 46개로 구성되어 있다. 그림 89는 시작기에 사용된 구동부의 동력부이며 솔레노이드 파워팩으로 불린다. 솔레노이드 파워팩은 모터, 펌프, 밸브, 탱크가 일체로 구성되어 있는 것이 특징이다. 펌프 작동 압력은 140 kgf/cm^2 이다.

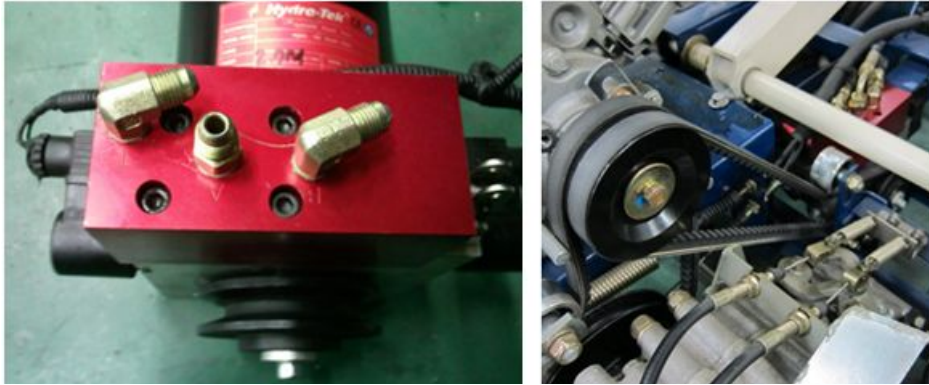


Fig. 89 Solenoid Power Pack



Fig. 90 The view of Controller and Hydraulic

그림 89은 솔레노이드 파워팩과 작업대의 조작부와 연결된 모습이며, 최대 지상고 높이 4.5m까지 확장이 가능하도록 배선을 하였다.

슬라이드형 작업 확장대의 길이 및 폭은 $905 \times 660 \text{ mm}$ 였으며, 체인구동 방식으로 편측으로 330mm 확장이 가능하다. 안전바 겸 보조발판이 있어 슬라이드 거리를 모두 포함한 최대 확장거리는 편측으로 1135 mm 까지 확장이 가능하다.



Fig. 91 The view of Working Part



Fig. 92 Swivel Chair



Fig. 93 Air Compressor

그림 92은 탈부착용 작업 회전의자로서 안전벨트를 추가하여 작업자의 안전을 고려하였으며 작업 범위가 넓고 확장이 가능하여 작업자의 작업확장성까지 고려하였다.

그림 93는 에어 컴프레셔로 그림 94의 생력화 작업부의 확장 개념설계에서 고려되었던 부분을 적용한 것으로 사용자의 작업편의성을 고려하였다. 에어 컴프레셔의 구동은 엔진동력부와 연결하여 동력원으로 사용하였다.

에어 컴프레셔의 최대 압력은 1.5Mpa, 용량은 20L이며 에어 호스를 연결하여 최대 5m 까지 확장이 가능하다. 국내에서 생산되는 에어전정가위의 에어 최대 사용량은 80L/m 이며, 에어전정톱의 경우 200 L/m 을 고려하였을 때 20L로 충분하다.

관행작업은 작업부의 높이만 조절이 가능한 수동 수확작업이었다. 또한 작업 의자가 고정되어 있었기 때문에 작업 범위가 좁았고 작업자가 한 곳에서 많은 과실을 수확할 수 있는 것이 아니라 과실의 위치에 따라 차량의 주행이 필요했기 때문에 상당히 많은 작업 시간이 소요되었다. 이로 인하여 작업자의 노동 부하가 증가되기 때문에 작업 능률이 저하되었다.

본 연구에서는 생력화 방안으로 작업부의 높이 조절과 전/후(좌/우) 조절이 가능하도록 작업대의 Sliding 방식을 도입하였다. 또한 작업 의자가 회전 할 수 있도록 설계하여 작업범위

를 확대 시켰고 작업대의 Sliding으로 인하여 작업자가 한 곳에서 많은 과실을 수확할 수 있도록 하였다. 이로 인하여 작업자의 노동 부하가 감소하여 작업 능력의 극대화를 시키는 것에 목적을 두었다. 그림 95은 생력화 작업시스템을 위한 작업대 슬라이딩 및 작업의자 회전의 개념 설계도이다.

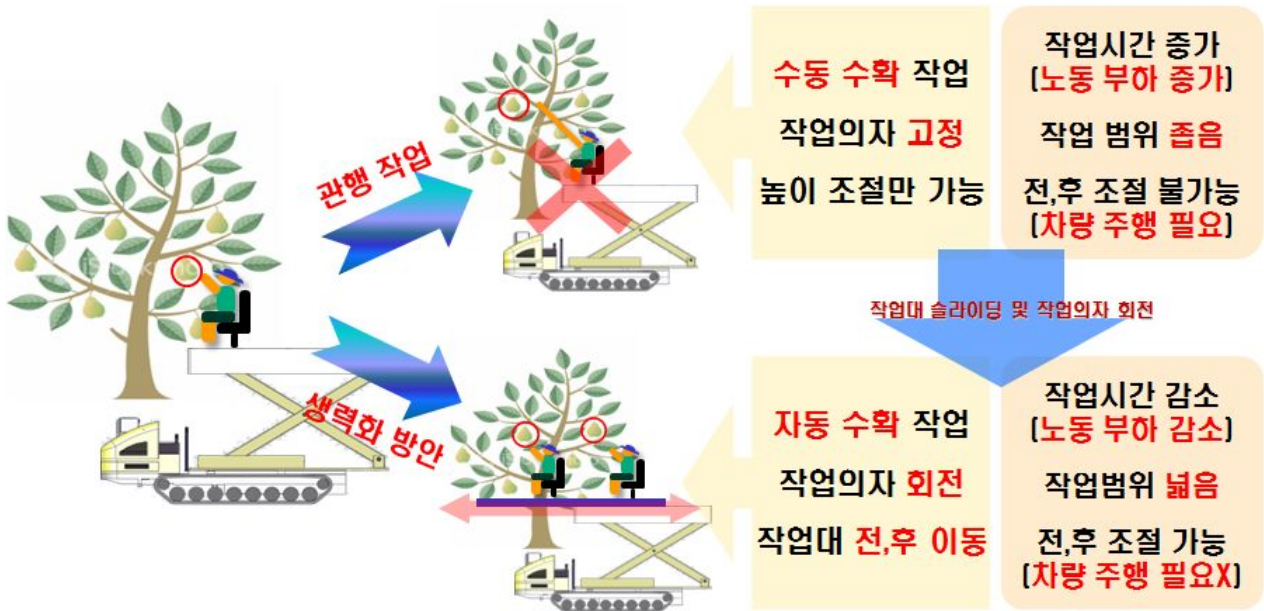


Fig. 94 Conceptual Diagram For Saving of Labor

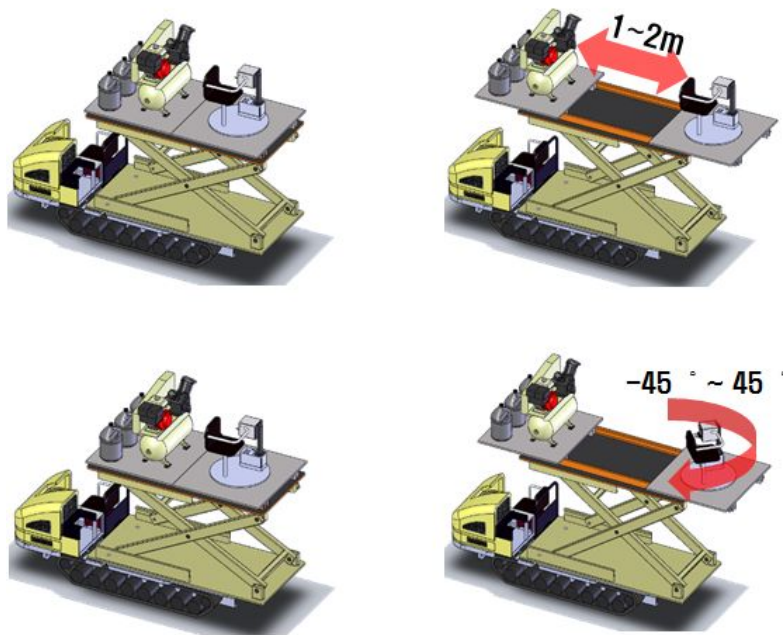


Fig. 95 Swivel Chair and Workable Sliding System



Fig. 96 The concept design of convenience equipments

일부 국내 과수원은 경사지가 있어 경사지에 적합한 생력화 기술이 요구된다. 따라서 그림은 경사지용 측면 제어 액츄에이터로서 진동이 적으며 과부하방지가 쉬운 유압식 작업대 수평 제어 시스템을 도입하였다. 작업부의 최대 측면 기울임 각도는 12도까지 되며, 차후 높이에 따라서 작업 안정영역이 바뀌게 되므로 측면 기울임에 따른 작업 안정도를 고려하여 제어시스템에 반영하여야 한다.

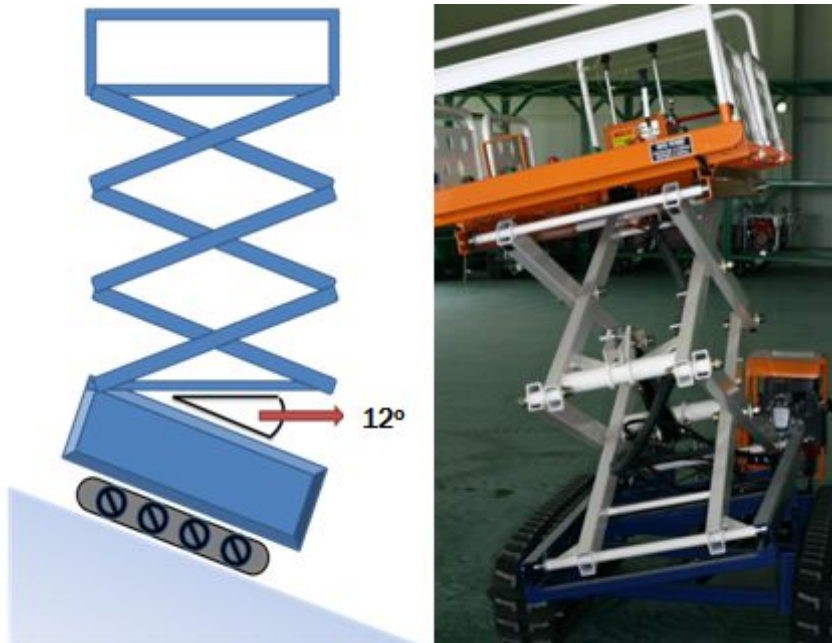


Fig. 97 Actuator for using in slope

2. 배 재배 관리 생력화 고소작업기의 제어부 인터페이스 설계 제작

가. 생력화 고소작업기 제어부 수동 컨트롤러 제작

배 재배 관리 생력화 작업기의 제어시스템은 주행부와 작업부로 나눌 수 있으며, 그림 98와 같다.

주행시 전진, 후진, 중립으로 스위치 3개로 구성되며, 조향은 클러치 차단식으로 좌회전/우회전이 가능하다. 배 재배 관리 생력화 작업기에 적용된 조향 방식은 조향 클러치식이며, 소형 농작업기계에 많이 사용되고 있다.

작업부의 수평제어, 작업부의 승하강은 파워팩의 유압제어로 이루어져 있다. 작업부의 확장대는 앞/뒤로 2개가 있으며, 체인방식으로 좌/우 330mm까지 확장이 가능하다.

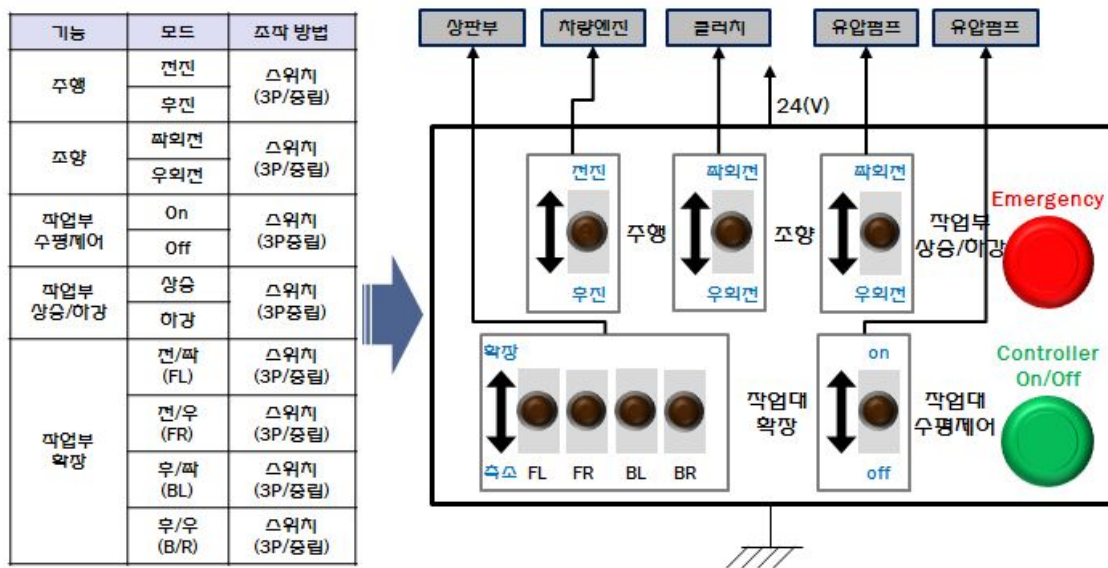


Fig. 98 The Control System

나. 생력화 고소작업기 제어부 자동 컨트롤러 설계

본 연구에서는 배 재배 관리 생력화 작업기에 자동으로 제어할 수 있는 시스템을 고려하여야 한다. 작업기에 MICOM 128을 연결하여 AVR Studio이라는 프로그램을 통한 프로그램의 이식을 용이하게 하고 ATmega 128에서 제공하는 UART와 RS-232포트를 연결하여 PC와의 시리얼통신을 가능한 시스템을 설계하였다. 그래서 실시간 데이터 처리를 가능하게 하였을 뿐 아니라 각도 센서와 가속도 센서로부터 아날로그 값을 입력 받아서 디지털 값으로 출력하여 제어대상인 주행부(엔진) 및 작업부(유압)제어가 가능도록 설계하였다. 따라서 차후 작업기의 제어부를 자동으로 컨트롤러 제작 및 성능실험이 요구된다.

다음은 생력화 작업기 제어부의 주행부 및 작업부의 알고리즘을 보여주고 있다.

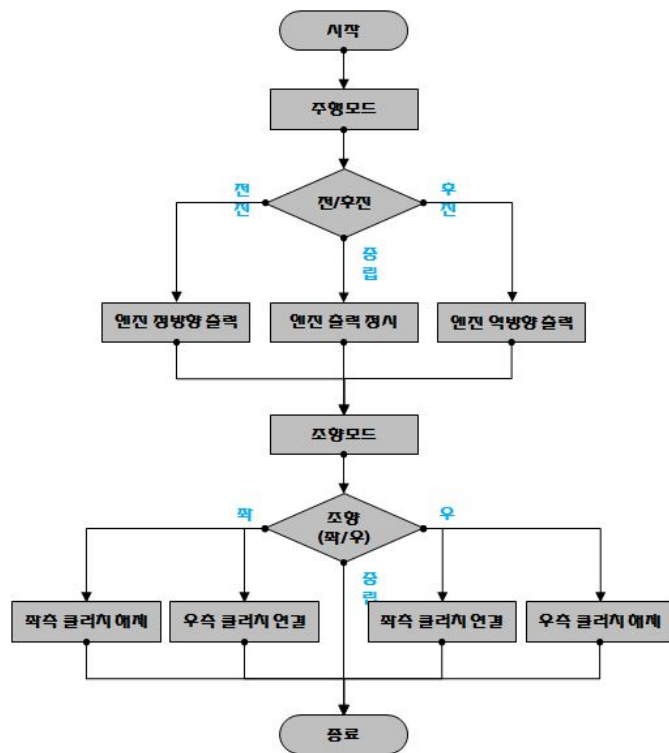


Fig. 99 Algorithms of Driving Part

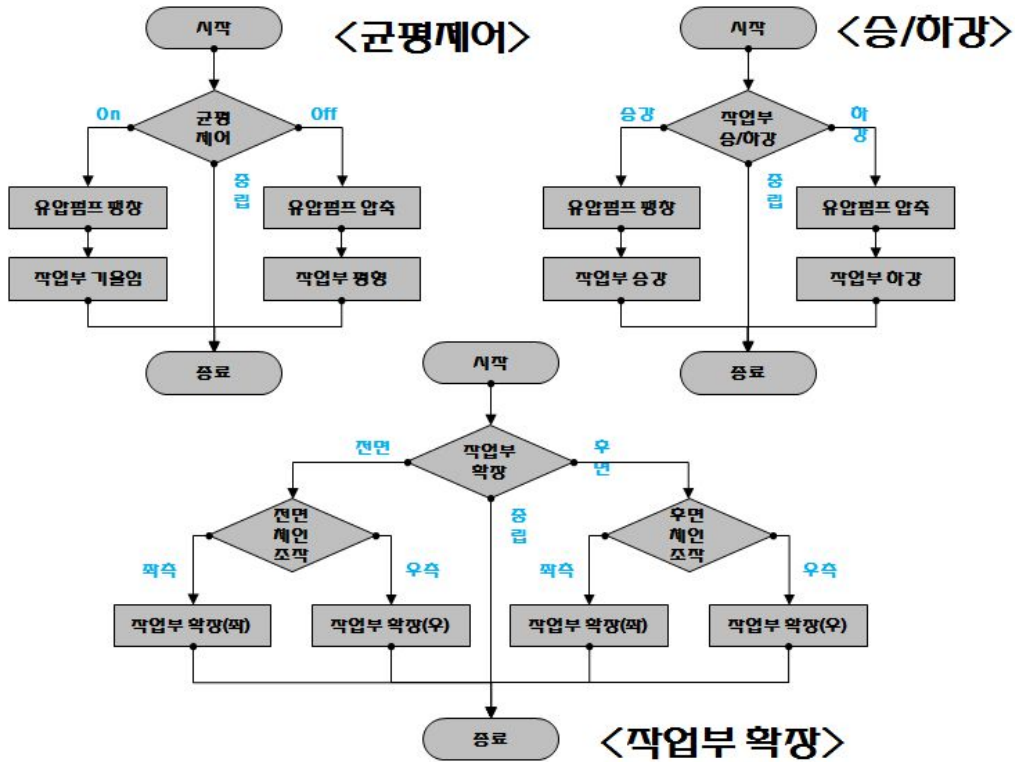


Fig. 100 Algorithms of Working Part

작업부의 알고리즘은 작업부 균형제어부, 작업부 승/하강부, 확장작업대의 구동부로 3개로 구분되어 있다.

작업부의 알고리즘을 바탕으로 한 자동 제어시스템의 회로도를 설계하면 다음과 같다. 전원은 배터리를 통하여 공급받으며, 각 각도센서 및 가속도센서로부터 받은 아날로그 신호를 그림 101과 같이 AVR(마이크로컨트롤러)에서 디지털 처리된 데이터별로 각 릴레이를 통해 솔레노이드 파워팩을 전압 제어하는 방식이다.

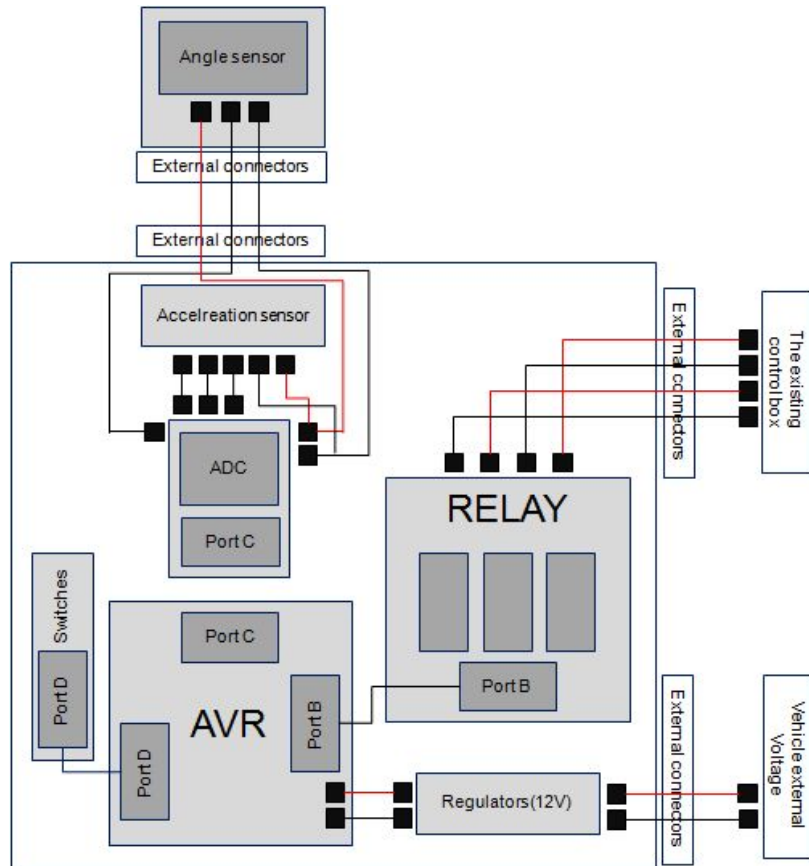


Fig. 101 The Control System's Electric Circuits

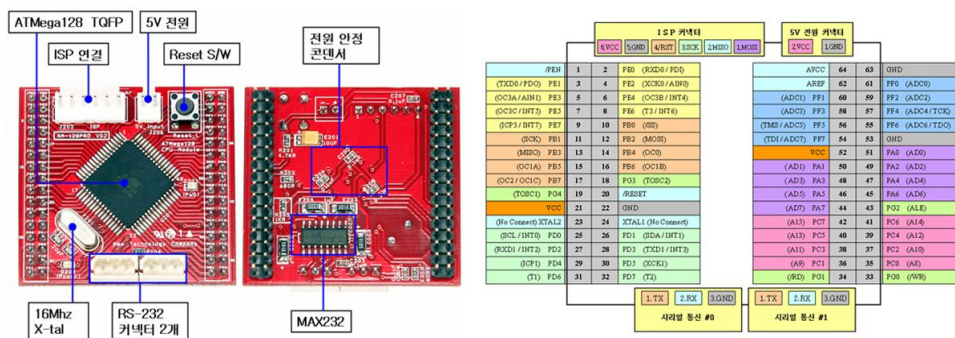


Fig. 102 The Micro Controller(AVR)

제 7 절 배 재배 관리 생력화 고소작업기의 성능

1. 시뮬레이션에 의한 생력화 고소작업기의 안정성

가. 시험 방법

SolidWork로 3차원 모델링한 모델을 RecurDyn을 통하여 동역학적 분석을 수행 하였다. 차량의 세부적인 속력이나 가속도, 무게 등을 입력하고 차량의 안정성을 분석하기 위하여 지면 조건을 부여하였다.

차량은 15° 씩 측면으로 24번 회전시켜 총 360° 를 회전하면서 차량이 전복되는 순간 지면의 경사각을 측정하였다. 이 때, 차량은 항상 지면과 수직이어야 하며 차량의 속도 및 가속도는 궤도의 구동륜에 입력하였다. 지면의 토양정보는 일반적인 토양의 정보를 지면에 입력 측정하였다.

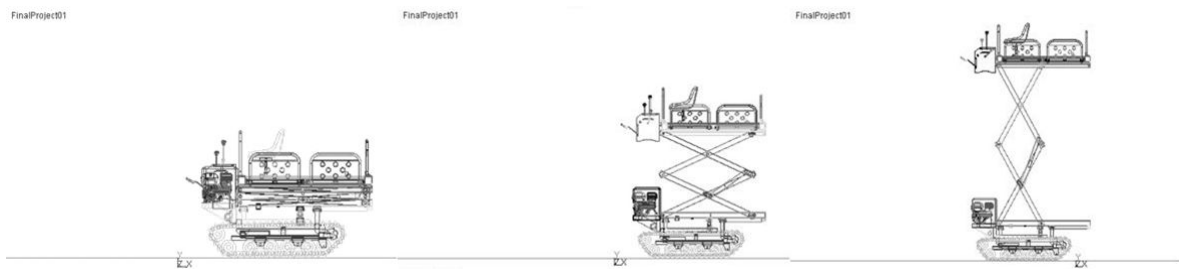


Fig. 103 The view of three level of heights of vehicle

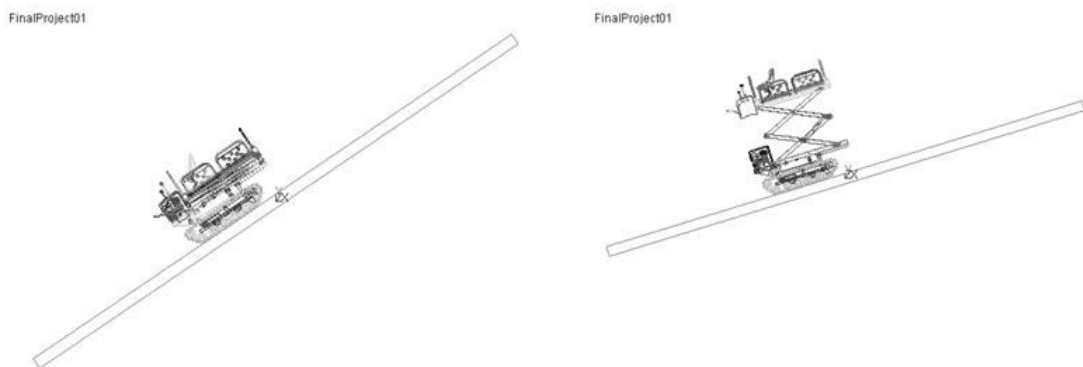


Fig. 104 Examples of ground slope angle

나. RecurDyn 구속조건

요소별 동역학적 구속(Constraints)조건은 아래와 같이 설정하여 안정성 분석을 위한 시뮬레이션을 수행하였으며 각 요소별 마찰력은 없는 것으로 간주하였다.

- Sproket joint : 궤도의 장력을 유지하기 위한 힘, 각 가속도
- Danper : 궤도와 차량 사이의 충격흡수를 위한 스프링 구속조건
- Spring constant : 10^6 (N/mm)
- Damper constant : 10^2 (N/mm)

시뮬레이션 상의 가장 큰 변수가 될 수 있는 무게중심은 각 파트별로 무게를 입력 한 후 각 파트들을 하나의 강체로 합하여 계산하였다.

고소작업차의 지면과 작업대사이의 높이는 수직상승장치 미사용 시 640 mm, 절반상승 시 1,750mm, 최대상승 시 3,090mm 의 세 종류가 있다. 주행 속력은 전진 1단 속력인 0.380m/s(=760/167 rad/s)를 공통으로 입력하여 실험을 진행하였다. 또한 적재 무게에 따른 주행 안정성 분석을 위해 작업대에 적재하중이 없는 경우(Case.1) 작업부에 220kg의 최대 적재하중이 있는 경우(Case.2)로 분류하여 실험을 수행하였다. 본 논문에서는 RecurDyn을 이용하여 과수원용 고소작업차의 안정성을 시뮬레이션을 통하여 분석하고자 한다. 주요 물성치는 표 24과 같다.

Table 24 Properties of simulation model

Item	Case 1	Case 2
velocity [m/s (rad/s)]	0.380 (760/167)	
Weight of driving part [kg]	248	
Weight of working Part [kg]	362	582
Total weight [kg]	610	830

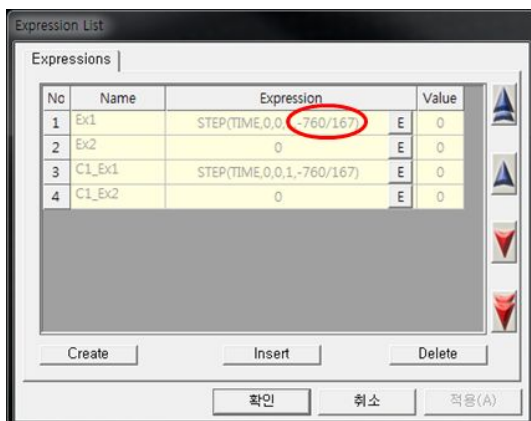


Fig. 105 Velocity condition of the vehicle

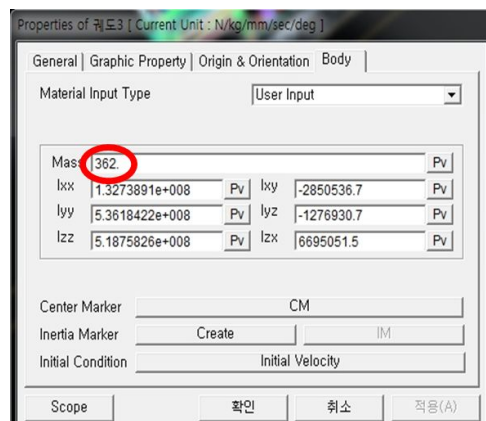


Fig. 106 Weight of working part

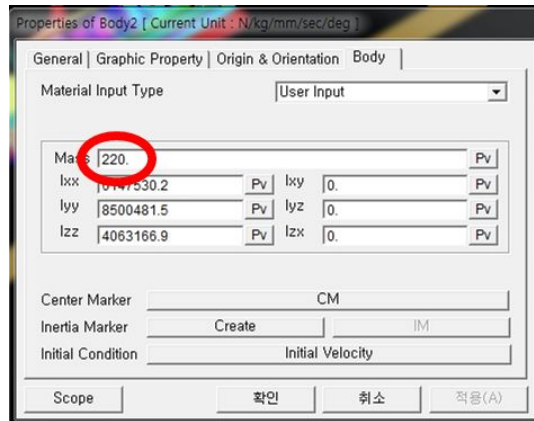


Fig. 107 Weight of load

다. 연성체도와 토양의 마찰구속조건

토양과 연성체도 사이의 접촉은 상대적으로 매우 복잡하다는 단점을 가지고 있다. 그림 108는 토양과 연성체도 사이의 접촉을 나타낸 것이다.

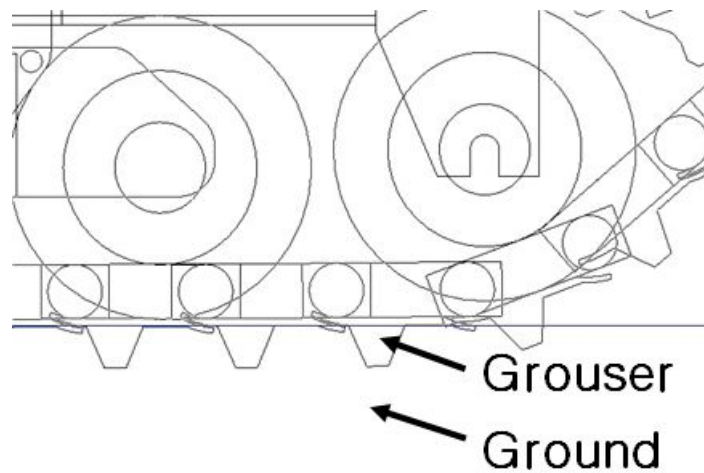


Fig. 108 View of interaction between grouser and ground

RecurDyn에서 동역학 해석을 위한 연성체도와 토양 사이의 접촉 방정식은 Bekker의 이론을 사용하였다. 지수함수로 표시된 하중과 침하의 관계식은 Bernstein(1913)의 실험식을 일반화된 것으로, 지면에 작용하는 수직압력 P 와 토양침하 Z 는 아래 수식과 같이 표현된다. 여기서, k 와 n 은 토양의 특성을 나타내는 토양 변형 상수이며, b 는 지면의 폭을 나타낸다. K_c , K_ϕ , n 은 Bekker의 토양변수이다.

- Bekker's theory

$$p = k \cdot z^n = \left(\frac{k_e}{b} + k_\phi \right) z^n$$

여기서, Terrain parameter (k_c) = 0.35124 (N/mm¹⁺ⁿ)

Terrain parameter (k_ϕ) = 1.7765e-002 (N/mm²⁺ⁿ)

Exponent of skinkage (n) = 0.3

소성 토양의 전단 응력과 전단 변위의 관계는 Janosi-Hanamoto가 제시한 모델을 사용하였으며 그 주요 변수는 다음과 같다. 여기서, c 는 토양의 점성계수, ϕ 는 토양과 궤도의 마찰 계수, j 는 변형량이며 k 는 전단변형계수를 의미한다.

- Janosi-Hanamoto model

$$\tau = (c + p \tan \phi) (1 - e^{j/k})$$

여기서, Soil cohesion (c) = 1.379e-002 (N/mm²)

Internal friction angle (ϕ) = 22 (°)

Shearing deformation modulus (k) = 25 (mm)

한편 궤도 이외의 부분에 대한 토양과의 접촉 매개변수는 무시하였으며 토양의 종류는 sandy loam(Hanamoto.)으로 설정 후 해석을 수행하였다. 이는 과수원내 토양의 특성과 가장 비슷한 토양이 사질토이기 때문이다.

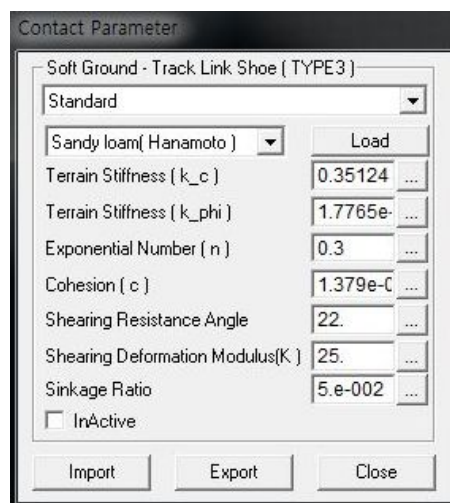


Fig. 109 The property of ground

라. 시뮬레이션 분석 방법

RecurDyn을 통하여 나온 결과는 다음과 같은 기준에 의해 분석 된다.

- (1) 크게 높이변위와 무게변위 두 경우로 구분하여 실험을 수행한다.
- (2) 적재하중이 없는 경우(Case.1) 지면과 작업대까지의 높이에 따라 640 mm, 1,755 mm, 3,090 mm의 세 분류로 구분한다.
- (3) 고소작업차의 위치각도 및 지면의 각도를 확인한다.
- (4) 차량의 전복유무를 확인한 후, 지면의 각도를 1도씩 올려 전복이 일어나는 순간의 지면의 경사각을 파악한다.
- (5) Direction angle을 15도 범위로 늘려가면서 시뮬레이션을 반복한다.
- (6) 220 kg의 최대 적재하중이 존재하는 경우(Case.2) 또한 고려해야 하므로 작업대 위에 최대 적재하중을 부여하고 2번부터 4번까지의 시험을 다시 수행 한다.

위와 같은 기준은 각각의 변위에 따라 안정성 결과 값이 서로 상이하게 나타날 것이라는 예측이 정해졌다. 차량이 위치한 정확한 각도 및 지면의 각도를 구분하기 위해 다음과 같은 내용을 정의한다.

Direction angle : 원점을 통과하는 수직선과 차량의 무게중심과 원점을 연결하는 선이 이루는 각도라 정의한다.

Ground slope angle : 지면과 지면이 이루는 각도. 본 논문에서는 두 지면 중 한 지면은 수평선과 평행인 각도라 정의한다.

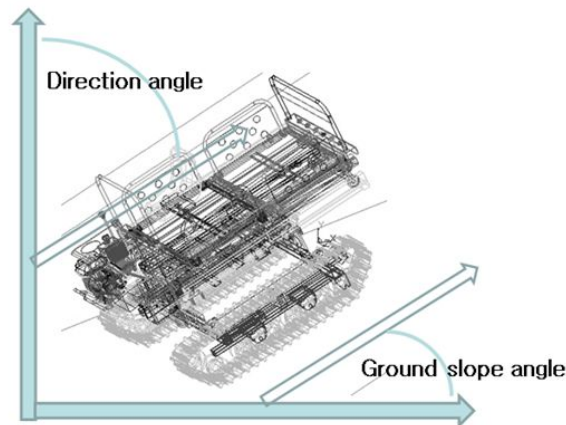


Fig. 110 Example for direction & ground slope angle

차량의 전복이 일어나는 최대 전복 Ground slope angle을 찾는 이유는 차량의 안정성 평가의 필수 조건이기 때문이다. 차량의 Direction angle이 변하면 역시 차량의 안정성 또한 변하므로 15° 각도로 Direction angle을 늘려가면서 이를 24번 반복 수행하여 360° 내에서 일어날 수 있는 모든 경우의 안정성을 평가한다.

마. 시뮬레이션 결과

(1) 생력화 고소작업기의 높이별 전복 안정성

(가) 작업대에 적재하중이 없는 경우(Case.1)

작업대에 적재하중 없는 경우의 고소작업차의 높이에 따른 최대 전복각을 측정하기 위하여 차량주행방향을 360° 범위에서 15° 간격으로 나누어 전복 시험을 실시하였다. 차량의 높이에 따라 최저(640mm), 중간(1,750mm), 최대(3,090mm) 일 때의 세 가지 모델로 변위를 주었으며 차량과 지면의 경사각이 직선상에 위치하는 경우를 0° 를 기준으로 차량을 15° 씩 회전시키면서 차량의 전복이 발생하는 순간의 지면 경사각을 측정하였다. 그림 111부터 그림 116은 높이별 전방주행시의 전복이 일어나는 순간과 전복 일어나지 않는 순간을 비교하였다. Direction은 차량의 주행각도를 나타낸 것이며, Ground는 지면의 경사각을 표시한 것이다.

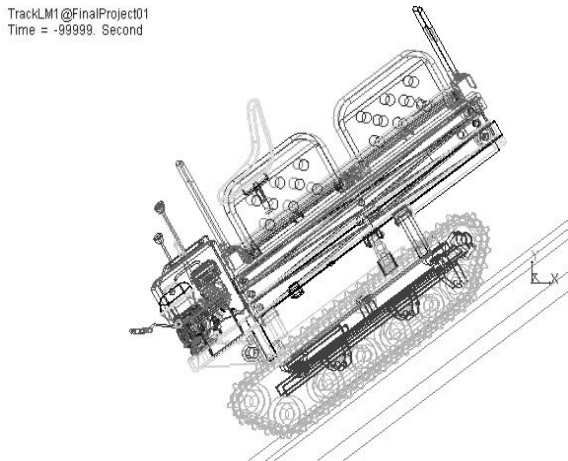


Fig. 111 The view of minimum height model(direction - 0°, ground - 32°)

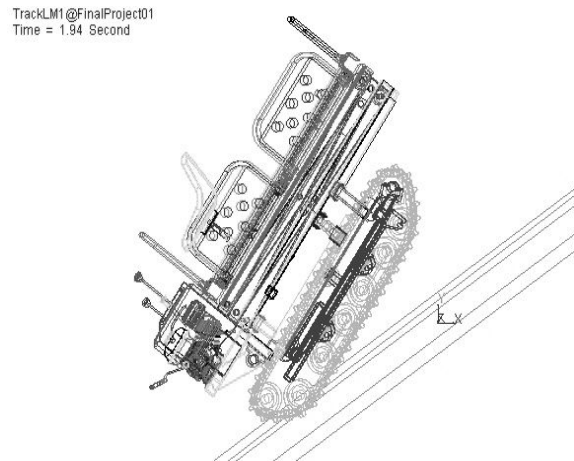


Fig. 112 The view of minimum height model(direction - 0°, ground - 33°)

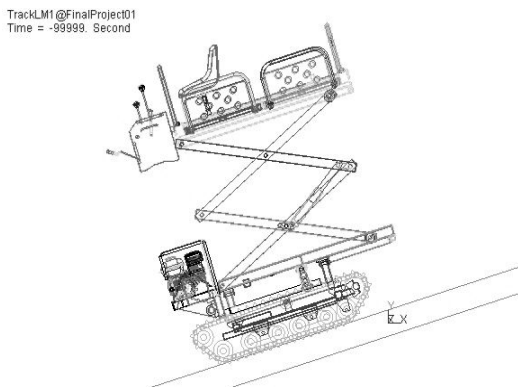


Fig. 113 The view of medium height model(direction - 0°, ground - 17°)

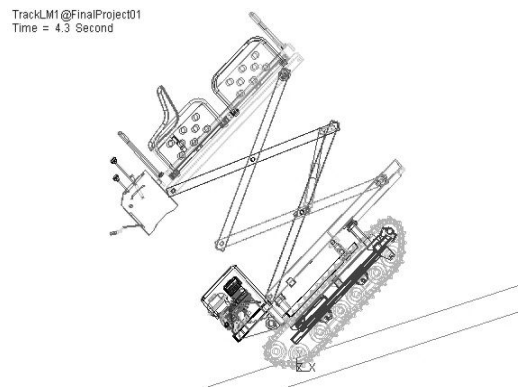


Fig. 114 The view of medium height model(direction - 0°, ground - 28°)

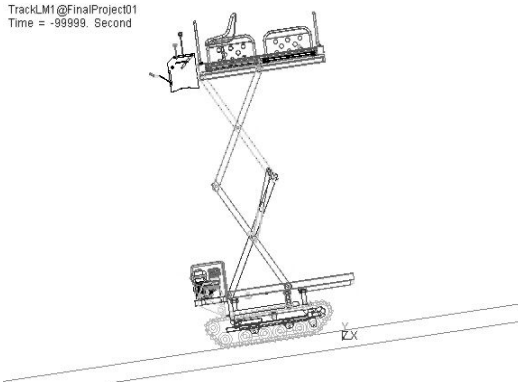


Fig. 115 The view of maximum height model(direction-0°, ground-7°)

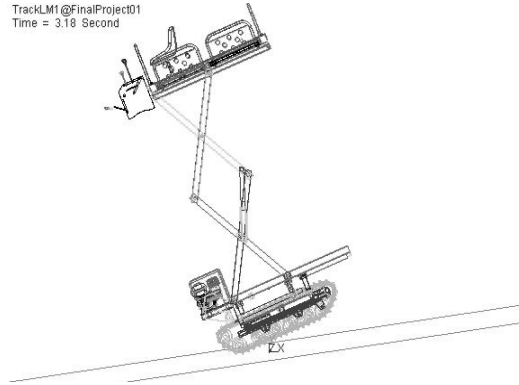


Fig. 116 The view of maximum height model(direction-0°, ground-8°)

주행 안정성 분석시험 결과, 최저높이에서 최대 전복각은 46°로 차량 주행의 방위가 120°, 240° 일 때 측정할 수 있으며 최소 전복각은 33°로 주행의 방위가 0°, 360° 일 때 측정되었다. 중간높이에서 최대 전복각은 30°로 차량 주행의 방위가 105°, 255° 일 때 측정할 수 있으며 최소 전복각은 18°로 주행의 방위가 0°, 360° 일 때 측정되었다. 최대 높이에서 최대 전복각은 19°로 차량 주행의 방위가 120°, 135°, 225°, 240° 일 때 측정할 수 있으며 최소 전복각은 8°로 주행의 방위가 0°, 360° 일 때 측정되었다. 표25은 높이에 따른 고소작업차의 전복각의 크기를 나타내었다.

차량의 주행방위를 0°에서부터 15°간격으로 360°까지 회전하면서 시뮬레이션 수행한 결과를 그래프로 나타내면 그림 66과 같은 형태의 사각형태의 방사형 구조를 이루었다. 120°, 240° 근방에서 가장 큰 안정성을 보여주었으며 작업대의 높이가 증가함에 따라 최대 전복각은 10° 이상 감소하였다. 표26에 나타난 높이별 안정영역의 크기를 비교하면 최저높이를 100%로 설정하였을 때, 중간높이의 안정영역의 크기는 41.4%, 최대높이의 안정영역의 크기는 13.5%로 나타낼 수 있었다. 그러나 전반적인 안정영역의 형태는 유사함을 확인하였다.

Table 25 The result of the aerial lift vehicle model (Case.1)

Degree	Minimum height	Medium height	Maximum height
0°	33	18	8
15°	34	20	9
30°	36	21	9
45°	40	24	10
60°	44	29	13
75°	41	29	17
90°	42	29	16
105°	43	30	17
120°	46	32	19
135°	44	29	19
150°	40	26	17
165°	38	24	16
180°	37	23	16
195°	38	24	16
210°	40	26	17
225°	44	29	19
240°	46	32	19
255°	43	30	17
270°	42	29	16
285°	41	29	17
300°	44	29	13
315°	40	24	10
330°	36	21	9
345°	34	20	9
360°	33	18	8

Table 26 Compare of the safety zone (Case.1)

	Min-height	Mid-height	Max-height
Pixels of the safety zone (ea)	26,209	10,862	3,528
The percentage of safety zone (%)	100	41.4	13.5

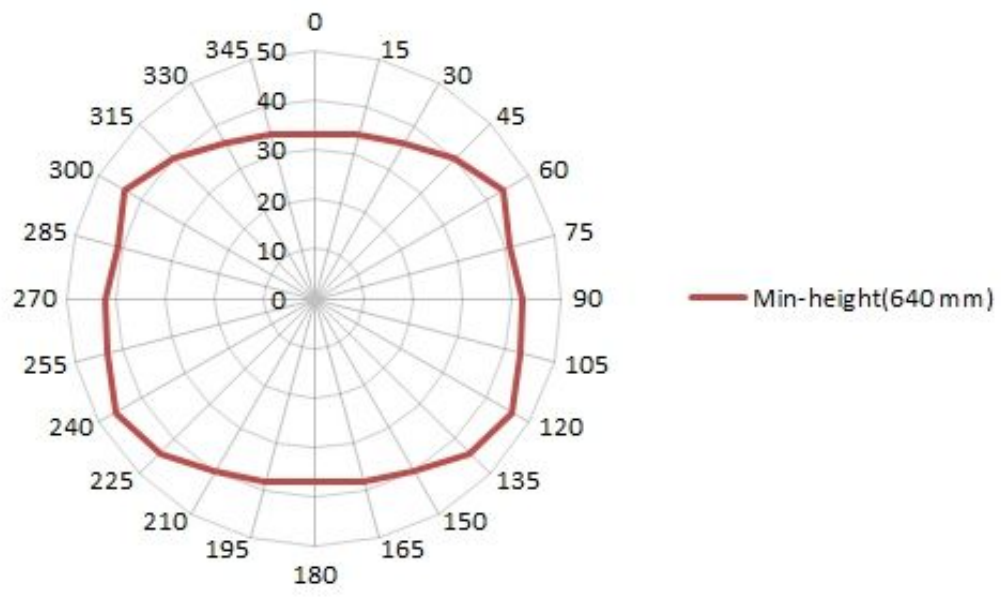


Fig. 117 Safety zone of Minimum-height (640 mm)

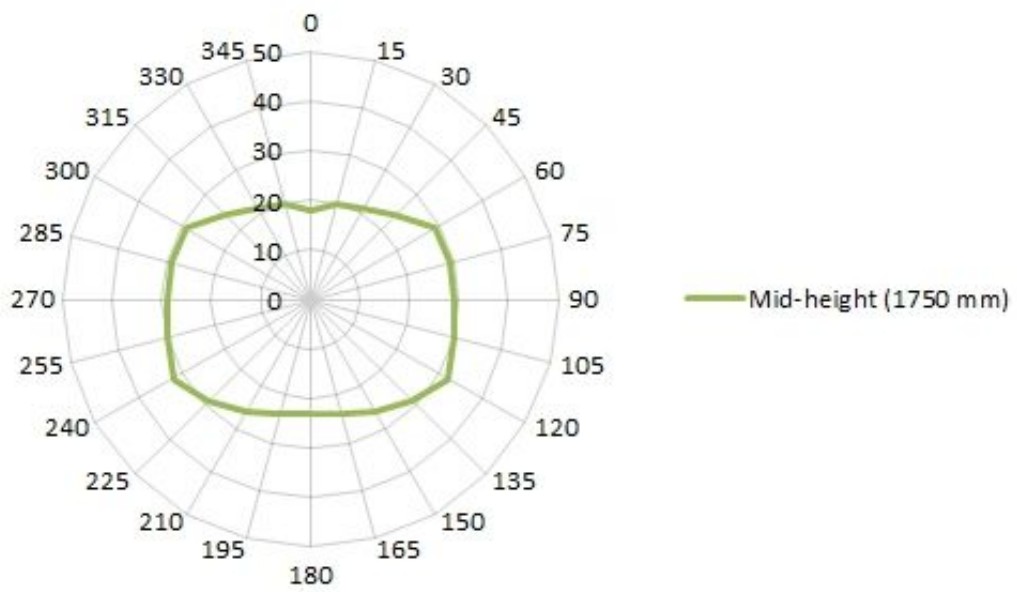


Fig. 118 Safety zone of Medium-height (1750 mm)

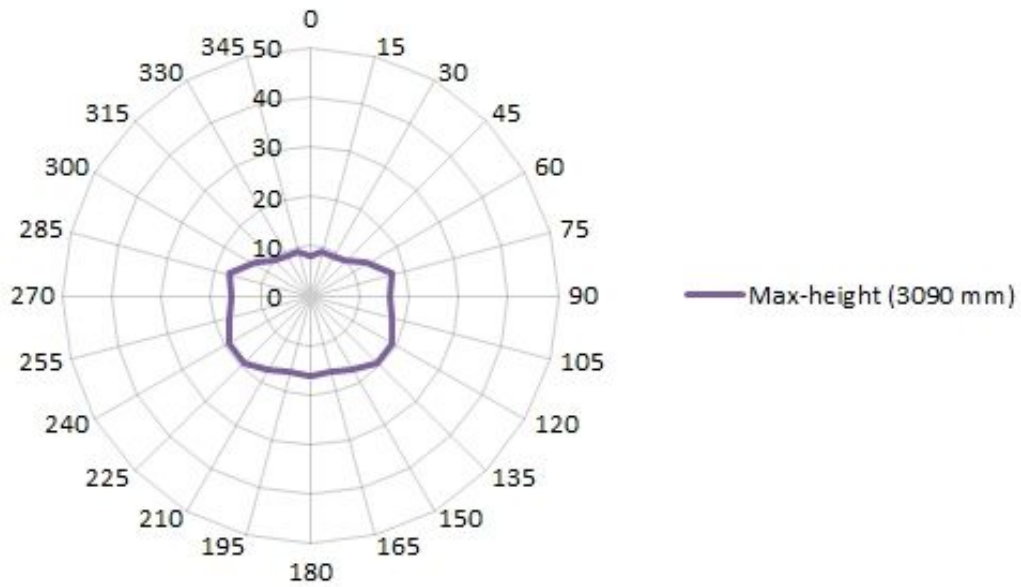


Fig. 119 Safety zone of Maximum-height (3090 mm)

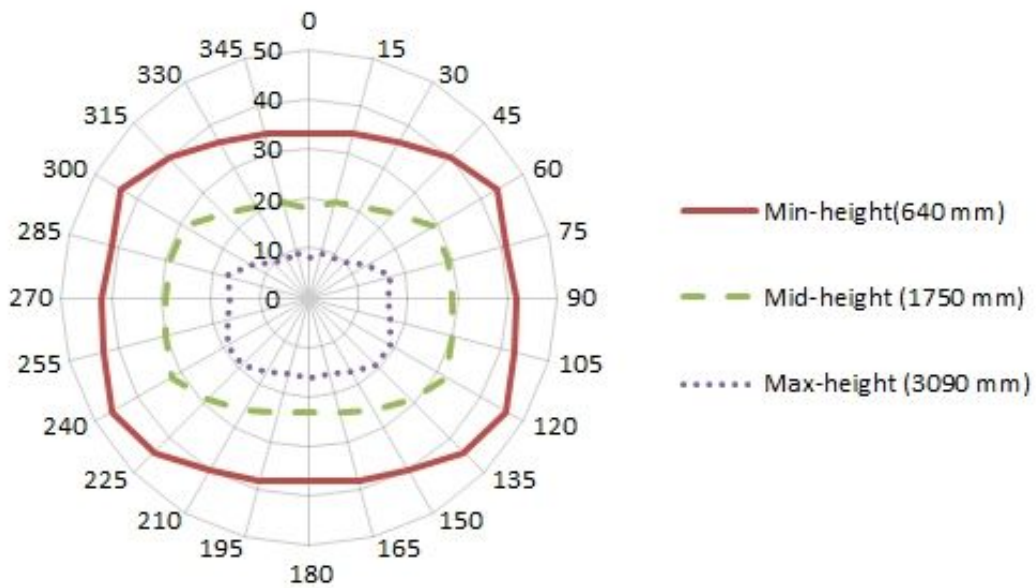


Fig. 120 Safety zone of three different heights (Case.1)

(나) 220 kg의 최대적재하중이 존재하는 경우(Case.2)

220 kg의 최대적재하중이 존재하는 경우의 고소작업차의 높이에 따른 최대 전복각을 측정하기 위하여 차량주행방향을 360° 범위에서 15° 간격으로 나누어 전복 시험을 실시하였다. 적재하중이 존재하지 않는 경우와 동일한 방법으로 시험을 수행하였으며 그림 121부터 126은 높이별 전방주행시의 전복이 일어나는 순간과 전복 일어나지 않는 순간을 비교한 그림이다. Direction은 차량의 주행각도를 나타낸 것이며, Ground는 지면의 경사각을 표시하였다.

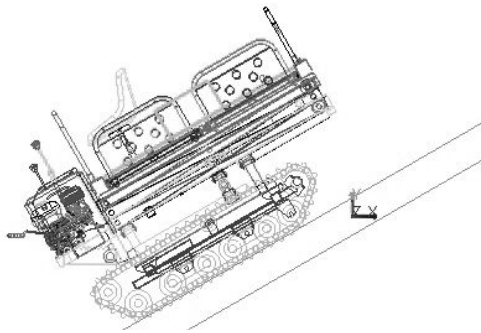


Fig. 121 The view of minimum height model(direction-0°, ground-30°)

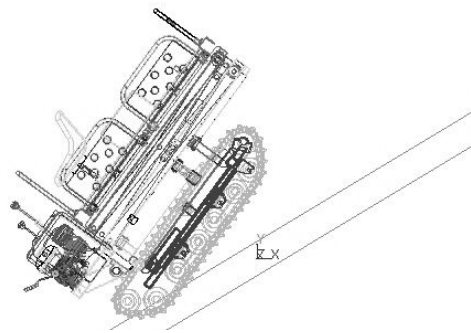


Fig. 122 The view of minimum height model(direction-0°, ground-31°)

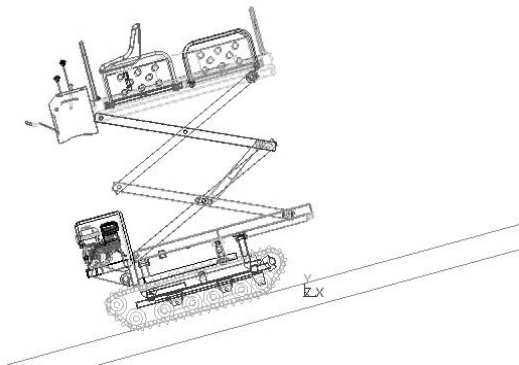


Fig. 123 The view of medium height model(direction-0°, ground-15°)

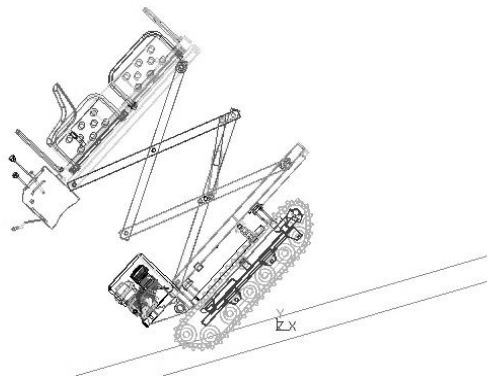


Fig. 124 The view of medium height model(direction-0°, ground-16°)

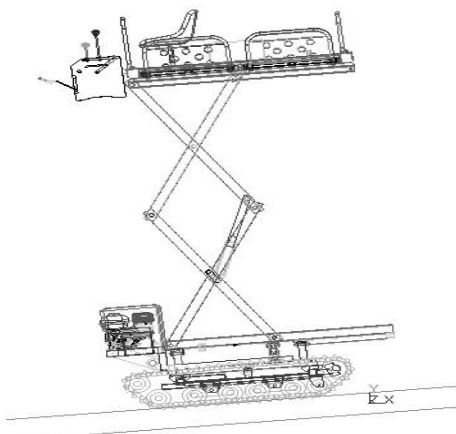


Fig. 125 The view of maximum height model(direction-0°, ground-6°)

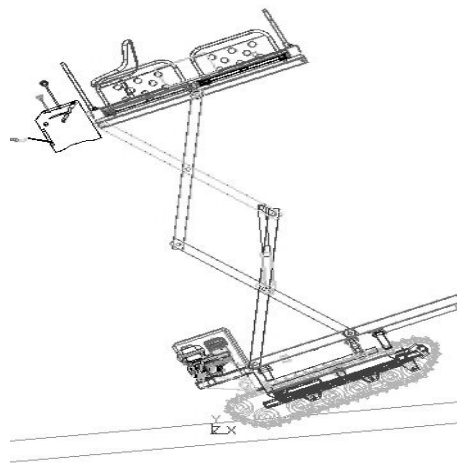


Fig. 126 The view of maximum height model(direction-0°, ground-7°)

주행 안정성 분석시험 결과, 최저높이에서 최대 전복각은 38°로 차량 주행의 방위가 60°, 120°, 210°, 240°, 300° 일 때 측정되었다. 또한 최소 전복각은 25°로 주행의 방위가 180° 일 때 측정되었다.(그림 73) 중간높이에서 최대 전복각은 23°로 차량 주행의 방위가 60°, 300° 일 때 측정되었으며, 최소 전복각은 13°로 주행의 방위가 180° 일 때 측정되었다. 최대높이에서 최대 전복각은 12°로 차량 주행의 방위가 75°, 90°, 105°, 120°, 240°, 255°, 270°, 285° 일 때 측정되었으며, 최소 전복각은 7°로 주행의 방위가 0°, 15°, 345°, 360° 일 때 측정되었다. 표 28은 최대 하중일 때 높이에 따른 고소작업차의 전복각의 크기를 나타낸 표이다.

차량의 주행방위를 0° 에서부터 15° 간격으로 360° 까지 회전하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 그래프로 나타내면 그림 76과 같은 형태의 그래프를 얻을 수 있다. 60°-120° 사이, 240°-300° 사이에서 가장 큰 안정성을 보여주었으며 작업대의 높이가 증가함에 따라 최대 전복각은 10° 이상씩 감소하였다. 표 18에 나타난 높이별 안정영역의 크기를 비교하면 최저높이를 100% 로 설정하였을 때, 중간높이의 안정영역 크기는 28.8%, 최대높이의 안정영역 크기는 8.0% 로 나타났다. 그러나 전반적인 안정영역의 형태는 작업대에 적재하중 없는 경우와 동일하게 전체적으로 유사함을 확인하였다.

Table 27 The result of the aerial lift vehicle model (Case.2)

Degree	Minimum height	Medium height	Maximum height
0°	31	16	7
15°	32	16	7
30°	34	17	8
45°	37	18	9
60°	38	23	11
75°	37	21	12
90°	36	20	12
105°	37	21	12
120°	38	21	12
135°	32	17	11
150°	28	15	9
165°	26	14	9
180°	25	13	8
195°	26	14	9
210°	28	15	9
225°	32	17	11
240°	38	21	12
255°	37	21	12
270°	36	20	12
285°	37	21	12
300°	38	23	11
315°	37	18	9
330°	34	17	8
345°	32	16	7
360°	31	16	7

Table 28 Compare of the safety zone (Case.2)

	Min-height	Mid-height	Max-height
Pixels of the safety zone (ea)	18,244	5,253	1,466
The percentage of safety zone (%)	100	28.8	8.0

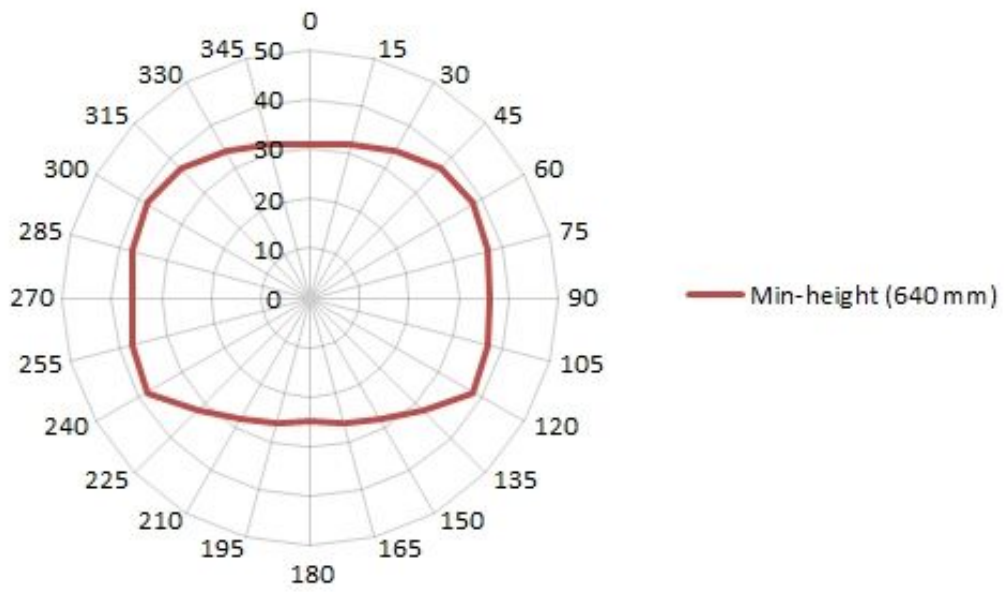


Fig. 127 Safety zone of Minimum-height (640 mm)

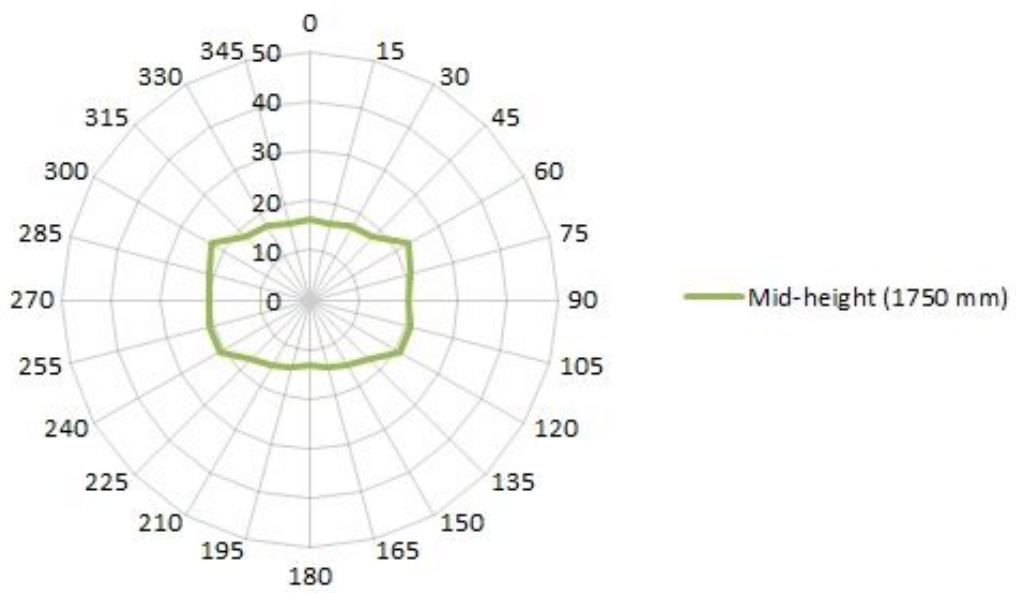


Fig. 128 Safety zone of Medium-height (1750 mm)

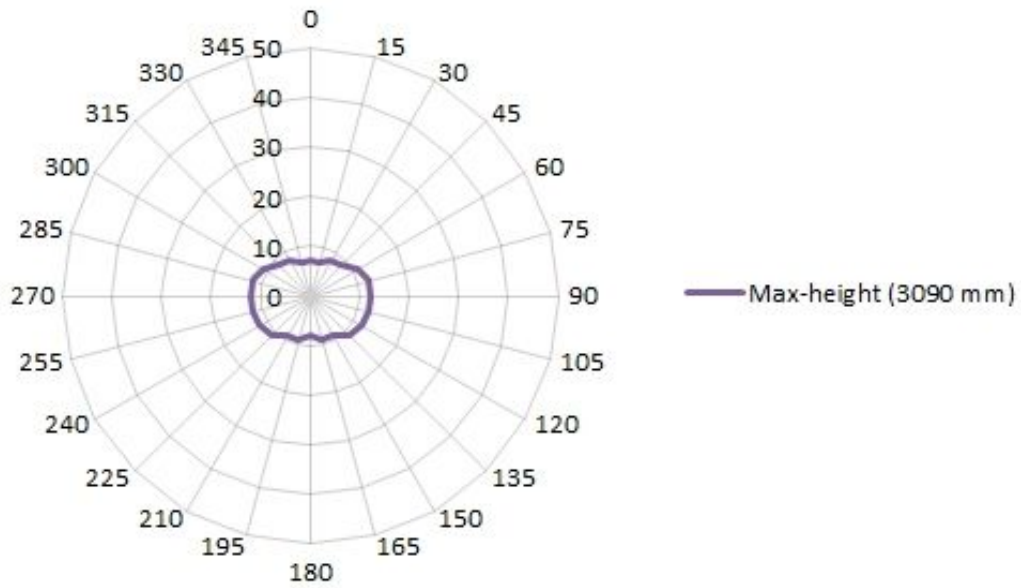


Fig. 129 Safety zone of Maximum-height (3090 mm)

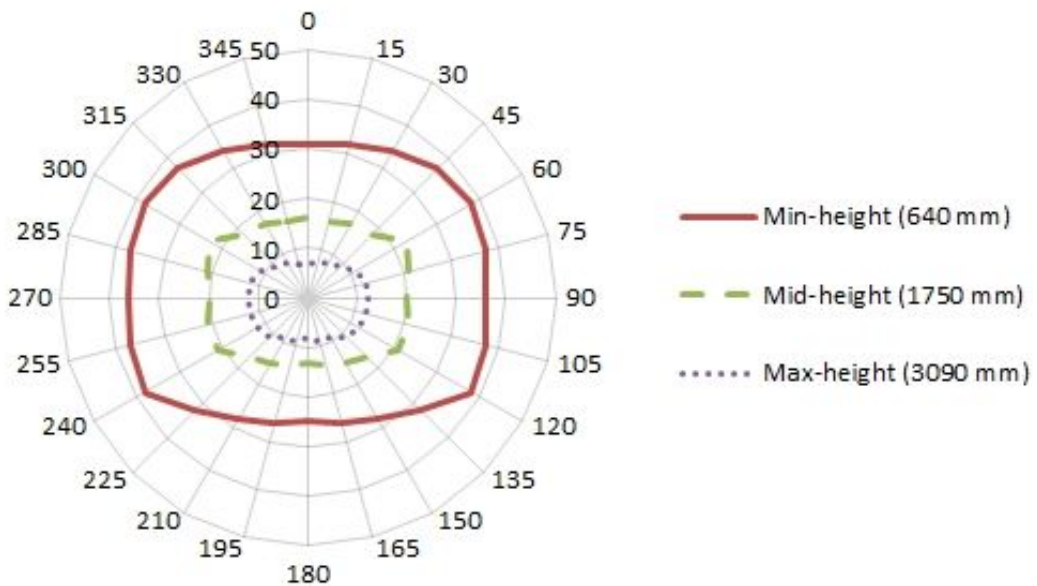


Fig. 130 Safety zone of three different heights vehicle (Case.2)

(2) 적재하중 유무에 따른 생력화 작업기의 높이별 전복 안정성 비교

작업대에 적재하중이 없는 경우(Case.1)과 작업대에 220kg의 최대적재하중이 부과되었을 경우(Case.2)에 대하여 작업대의 높이에 따른 안정영역을 비교하였다. 작업대의 높이가 최저(640mm)일 때의 안정영역을 비교하여 그림 131로 나타내었다. 전방(0°)일 때 적재하중에 따른 전복각의 크기는 약 2° 정도로 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 후방(180°)일 때는

전방의 경우와 비교하여 약 12° 정도의 차이를 나타내었다.

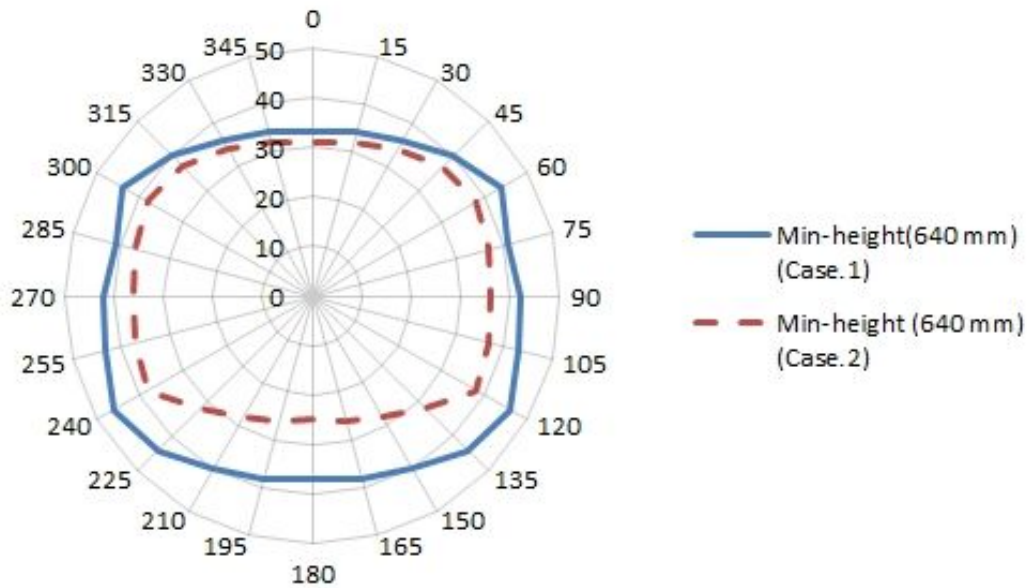


Fig. 131 Compare of the safety zone of Minimum-height (640 mm)

앞서 작업대의 최소높이에 대한 안정영역 비교와 같은 방법으로 작업대의 높이가 중간 (1,750mm)일 때의 안정영역을 비교하여 그림 132로 나타내었다. 전방(0°)일 때 적재하중에 따른 전복각의 크기는 약 2° 정도로 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 후방(180°)일 때는 전방의 경우와 비교하여 약 10° 정도의 차이를 나타내었다.

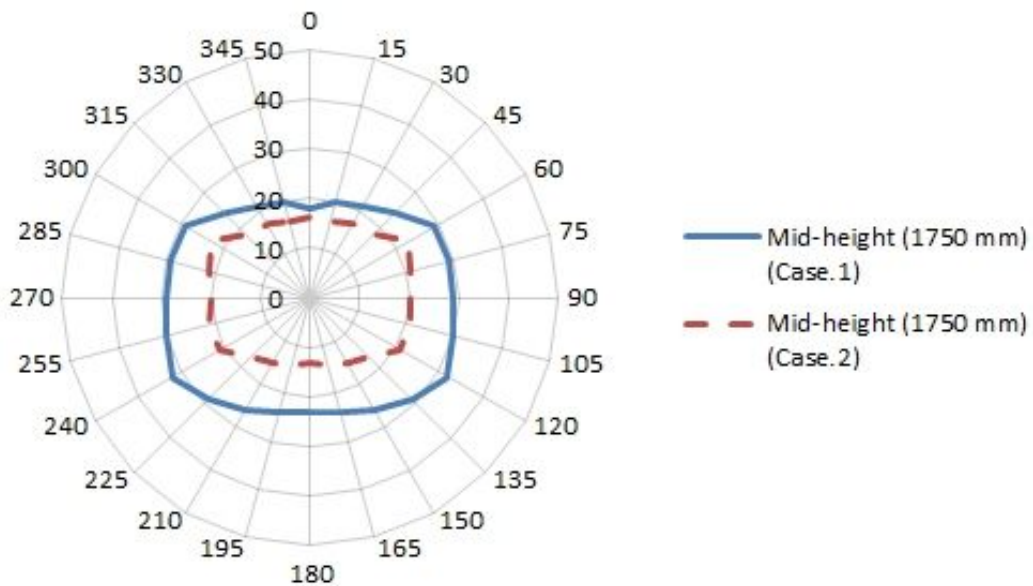


Fig. 132 Compare of the safety zone of Medium-height (1750 mm)

작업대의 높이가 최대(3,090mm)일 때의 안정영역을 비교하여 그림 133로 나타내었다. 전방(0°)일 때는 약 1° 정도로 큰 차이를 보이지 않았으나 후방(180°)일 때는 전방의 경우와 비교하여 약 8° 정도의 차이를 나타내었다. 이러한 결과가 나타난 원인은 작업대 적재 하중에 의한 무게중심의 위치 변화로 인해 차이가 발생한 것으로 판단된다.

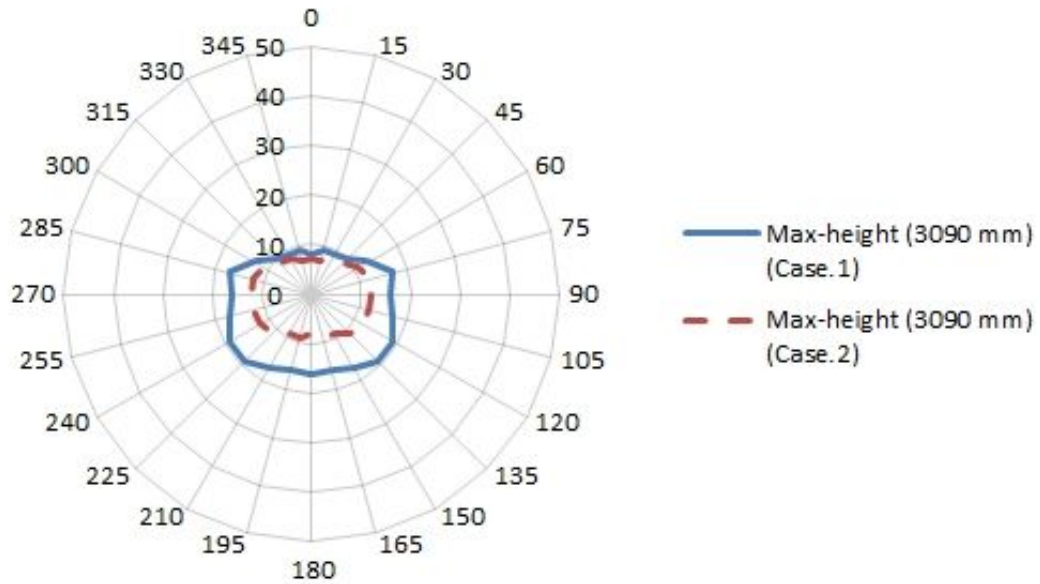


Fig. 133 Compare of the safety zone of Maximum-height (3090 mm)

2. 실증실험에 의한 생력화 고소작업기의 성능평가

가. 생력화 작업기의 무게 중심

고소작업차의 안정성을 알아보기 위해서는 정적인 측면에서 안정성을 알아보고 정적 안정성이 확보된 다음, 동적 안정성을 측정해야 한다. 정적 안정성 측정을 위해 기본적으로 차량의 무게중심의 일치 여부를 통해 유효성을 검증할 수 있다.

과수용 고소작업차의 무게중심을 측정하기 위해 궤도형 트랙터의 무게중심 측정방법(ISO 789-6)을 사용하였다. 고소작업차 무게중심의 좌표는 (x_c, y_c, z_c) 로 나타내었다.

x방향의 무게중심 x_c 는 그림 80와 같이 로드셀 위에 차량을 수평으로 올려놓고 고소작업차의 지면반력을 측정하였다. 그 후 전, 후 주행륜의 중심 사이의 거리(D_x)를 사용하여 식 1에 의해 x_c 를 구하였다.

$$x_c = D_a - \frac{D_x F}{W} \dots\dots\dots (13)$$

여기서, F = 전반부의 지면 반력

W = 고소작업차의 총 무게

D_a = 후면 구동륜에서 전반부 구동륜까지의 길이

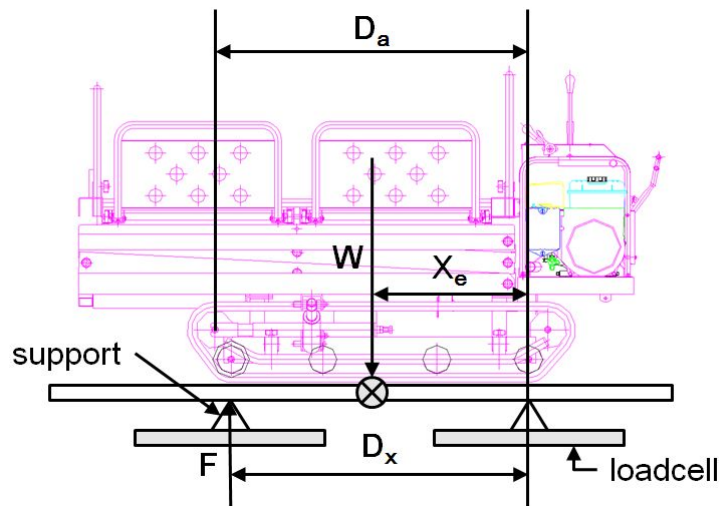


Fig. 134 Determination of mass center of Aerial-lift in x-axis direction

y방향의 무게중심 y_c 는 그림 81과 같이 고소작업차를 일정한 경사도로 들어 올려 후면 주

행륜의 지면반력을 측정하여 식 14와 식 15으로 결정하였다.

$$C = \frac{D_y F}{W} \dots\dots\dots (14)$$

$$y_c = C \sin \theta + h \dots\dots\dots (15)$$

여기서, D_y = 리프트 고리에서 후면 주행륜까지의 수평거리

W = 고소작업차의 총 무게

F = 후면 주행륜의 지면 반력

C = 리프트 고리에서 무게 중심까지의 수평거리

h = 구동륜 원점에서 리프트 고리의 작용점까지의 수직거리

θ = 리프트 고리가 들어 올린 각도

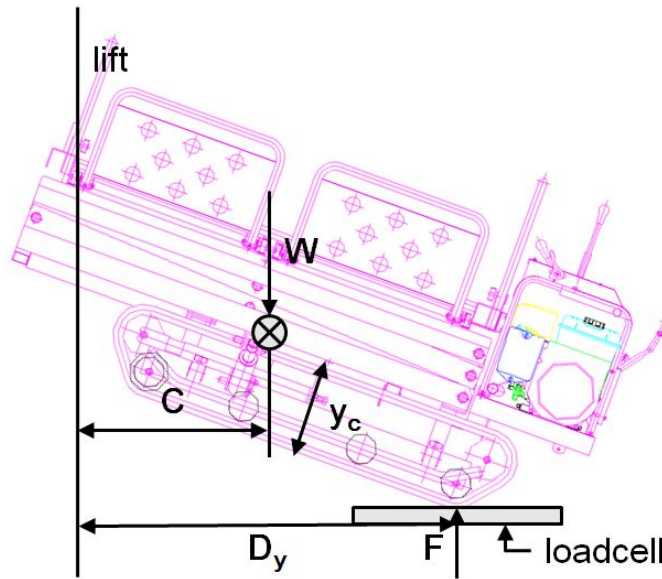


Fig. 135 Determination of mass center of Aerial-lift in y-axis direction

z 방향의 무게중심 z_c 는 고소작업차의 좌우측 지면 반력을 측정하여 식 4로 결정하였다.

$$z_c = \frac{D_z F}{W} \dots\dots\dots (16)$$

여기서, D_z = 궤도간의 폭

W = 고소작업차의 중 무게

F = 우측 궤도의 지면 반력

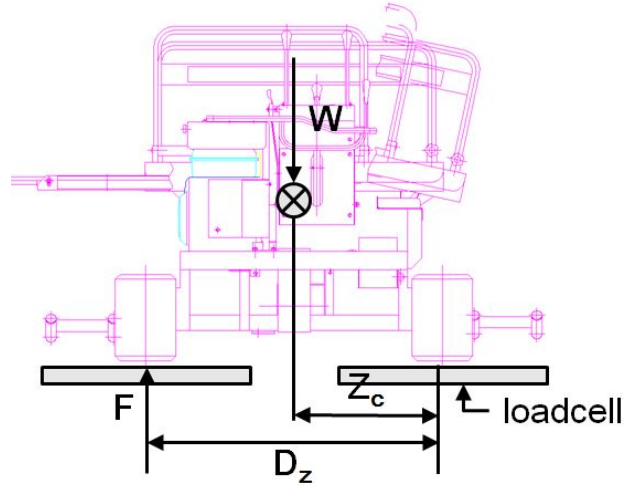


Fig. 136 Determination of mass center of Aerial-lift in z-axis direction

시작기의 무게중심 측정 시험은 실용화재단 연구시험동(경기도 수원시)에서 수행하였다.

x방향의 무게중심 x_c 는 그림 137와 같이 고소작업차를 실용화재단에 있는 로드셀 한가운데 올려두고 서포트를 사용하여 전/후/좌/우 각각 4가지 경우에 대한 지면 반력 및 고소작업차의 무게를 측정하였다. 주행륜의 중심사이의 거리(D_x)는 측정 결과 1,050mm 로 나타났으며, 후면 구동륜에서 전면 구동륜까지의 길이는 1,110mm 로 나타났다. 앞서 언급한 식 (16)를 사용하여 x방향의 무게중심 x_c 를 계산하면, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$x_c = D_a - \frac{D_x F}{W} = 1110 - \frac{1050 \times 301}{594} = 577.929 \text{ mm}$$

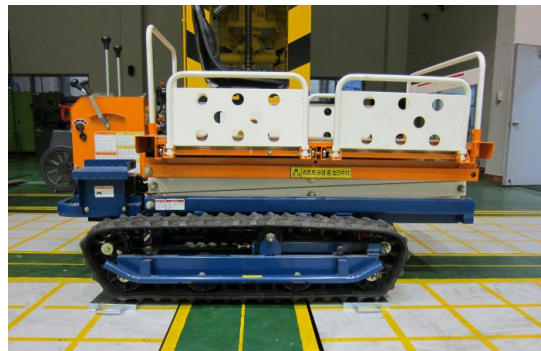


Fig. 137 Determination of mass center of Aerial-lift in x-axis direction

y방향의 무게중심 y_c 는 궤도형 트랙터의 무게중심 측정방법과 같은 방법으로 그림 84과 같이 크레인을 이용하여 고소작업차의 전면부를 약 $15^\circ(\theta)$ 정도 들어올려서 기울어진 상태에서 후면부의 지면 반력을 측정하였다. 앞서 측정한 고소작업차의 전체 무게와 리프트 고리에서 후면 주행륜까지의 수평거리 $1,425mm$ 를 토대로 하여, 식 (2)를 사용하여 리프트 고리에서 무게 중심까지의 수평거리 $C=702.9mm$ 를 구하였다. C 와 구동륜 원점에서 리프트 고리의 작용점까지의 수직거리 $h=230mm$ 를 사용하여 식 (3)을 해석하여 y방향의 무게중심 y_c 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$y_c = C\sin\theta + h = (702.9) \times \sin 15 + 230 = 411.924mm$$



Fig. 138 Determination of mass center of Aerial-lift in y-axis direction

z방향의 무게중심 z_c 는 그림 138과 같이 고소작업차의 좌우측 지면 반력을 측정하고 궤도 중심사이의 거리($D_z = 980mm$)를 사용하여 식(16)를 풀면 z방향의 무게중심 z_c 를 구할 수 있다.

$$z_c = \frac{D_z F}{W} = \frac{980 \times 295}{594} = 486.700mm$$



Fig. 139 Determination of mass center of Aerial-lift in z-axis direction

앞서 수행한 실험의 결과를 종합하면 고소작업차 무게중심의 좌표 (x_c, y_c, z_c)는 각각 (577.929, 411.924, 486.700 mm)로 나타났다. 그러나 이 좌표는 절대 좌표계에 의해 생성된 좌표가 아니라 고소작업차의 후면 좌측구동륜의 중심을 원점으로 하여 구현된 상대적인 좌표임을 명시해야 한다.

나. 생력화 고소작업기의 전도 성능

전도는 외력에 의해 발생하는 모멘트가 구조물의 평형상태를 유지할 수 있는 한계를 넘어 구조물이 넘어지는 현상을 말한다. 전도가 발생할 경우 차량안정성에 큰 문제가 발생하기 때문에 차량안정성을 평가하기 위해서는 반드시 전도각 측정이 필요한 부분이라 할 수 있다. 외력에 의해 발생하는 모멘트가 구조물을 전도시키기 위해서는 차량내부의 무게중심이 밖으로 이동해야한다. 평평한 도로에서는 차량의 무게중심이 안정적이기 때문에 전도가 일어나지 않지만 지면의 각도를 다르게 할 경우 인위적으로 무게중심을 이동시켜 구조물의 전도를 유도 할 수 있다.

(1) 시험 장치 구성

작업자가 탑승하거나 짐이 적재되어 있는 경우(작업대 상부에 220kg 추가)와 작업자 및 짐이 적재되어 있지 않은 상태의 두가지 경우와, 높이에 따른 고소작업차의 전도각을 측정하기 위해 최소높이(640mm), 중간높이(1,750mm), 최고높이(3,090mm)의 세가지 경우의 시험을 각각 수행하여 데이터를 추출하였다.



Fig. 140 Tseter for angle of static falling down

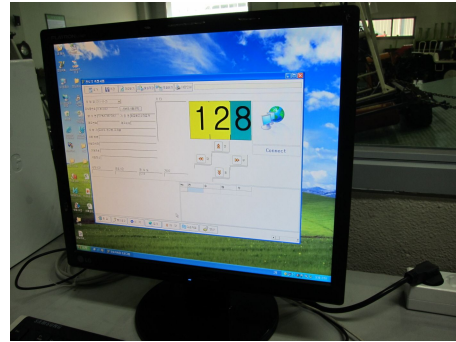


Fig. 141 Simulation for angle of static falling down



Fig. 142 Load the weight(220kg)



Fig. 143 Talangle of static falling down sidelong

(2) 전도 성능 시험 방법

구성한 시험 장치에 대한 시험은 실용화재단 연구시험동(경기도 수원)에서 수행하였다. 고소작업차의 전도가 일어 날 때까지 모터와 유압 액추에이터를 사용하여 지면에 인위적인 경사각을 생성한다. 상황실에서 지면의 경사각을 디지털화하여 수치로 볼 수 있도록 하였으며 전도가 일어나는 순간 지면의 경사각의 값을 측정하여 기록하였다.

(3) 전도 성능 시험 결과

고소작업차의 정적 상태에서의 전도각 측정시험을 수행하였다. 앞서 시뮬레이션과 동일한 방법으로 작업대에 적재하중이 없는 경우(Case.1)과 작업대에 220kg 의 최대적재하중을 부여한 경우(Case.2)로 구분하였고, 작업대의 높이에 따라 최소높이(640mm), 중간높이(1,750mm), 최고높이(3,090mm)의 3수준으로 구분하여 시험을 수행하였다. 실증 시험에 사용된 장비는 모터와 유압 액추에이터를 사용하여 지면에 인위적인 경사각을 주어 차량의 전도를 측정 할 수 있도록 구성되어 있으며 최대 40° 까지 측정이 가능하도록 되어 있다. 또한, 시험지의 특성상 15° 간격으로 모든 실험을 수행하는 것이 아니라 전방(0°), 후방(180°) 및 양 측방(90°, 270°) 이렇게 4방향에 대해서만 측정하였다.

작업대 무부하시 고소작업차의 전도각은 표 29과 같으며, 안전영역은 그림 90과 같다. 최저 높이에서는 전/후 및 양 측방 모두 최대 측정각도인 40° 에서 전도가 발생하지 않아 측

정이 불가능한 문제점이 발생하였다. 중간높이에서 최대 전도각은 전방 전도 시험 시 나타난 37.6° 이다. 최고높이에서 최대 전도각 또한 전방 전도각 측정시험 시 나타난 28° 이다. 분석한 결과 작업대가 높아질수록 전도 안정성이 크게 감소하고 있음을 알 수 있었다.

Table 29 Demonstration Tests results for tilt of static falling down.(Case.1)

Tilt angle	Minimum height (640 mm)	Medium height (1750 mm)	Maximum height (3090 mm)
0	40	37.6	28
90	40	32	23.4
180	40	36	20.9
270	40	32.7	22.3

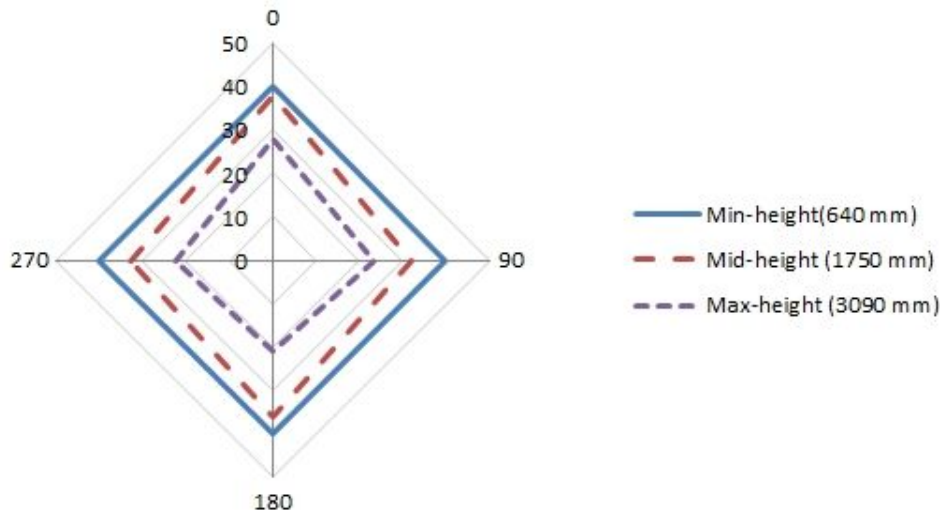


Fig. 144 Demonstration Tests results for Safety zone of three different heights vehicle (Case.1)

작업대에 220 kg의 최대적재하중 부과시(Case.2) 고소작업차의 전도각은 표 29와 같으며, 안전영역은 그림 144과 같다. 최저 높이에서는 우측 전도를 제외한 전, 후, 좌측방 모두 40° 에서도 전도가 발생하지 않아 더 이상 측정이 불가능한 문제점이 발생하였다. 중간높이에서 최대 전도각은 후방 전도 시험시 나타난 28.6° 이다. 최고높이에서 최대 전도각 또한 후방 전도각 측정시험시 나타난 14.7° 이다. 표와 안전영역을 분석한 결과 작업대의 높이가 높아질수록 전도 안정성이 크게 감소하고 있음을 알 수 있었다.

그림 145와 그림 146를 비교하면, 작업대에 무부하시에는 전방 전도각이 후방 전도각보다 높고 작업대 최대적재하중 부과시 후방 전도각이 전방 전도각보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있는데, 이는 작업대에 최대 적재하중 부여에 따른 무게중심점의 이동으로 인해 발생

한 것으로 판단된다.

Table 30 Demonstration Tests results for tilt of static falling down.(Case.2)

Tilt angle	Minimum height (640 mm)	Medium height (1,750 mm)	Maximum height (3,090 mm)
0	40	22.2	11.8
90	40	22.8	12.1
180	40	28.6	14.7
270	32.2	18.6	12.8

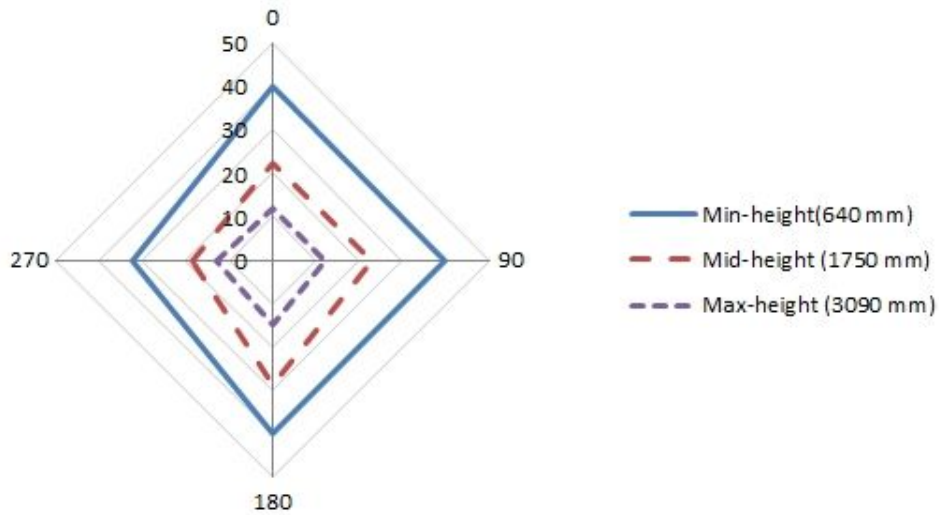


Fig. 145 Demonstration Tests results for Safety zone of three different heights vehicle (Case.2)

고소작업차의 높이에 따른 전도각 측정시험 결과와 시뮬레이션을 통해 얻은 안정영역을 비교하여 보았다. 전도각 측정시험의 결과가 전방(0°), 후방(180°) 및 양 측방(90°, 270°) 이렇게 4방향에 대해서만 측정이 가능하므로 시뮬레이션의 결과 또한 전방(0°), 후방(180°) 및 양 측방(90°, 270°) 이렇게 4방향에 대해서만 나타내었다. 다음 그림은 작업대의 높이가 최저(640mm)일 때의 비교 그래프이다. 전방의 경우 7°의 오차가 발생하였고 후방 및 양측방의 경우 오차는 2-3° 사이로 큰 차이를 보이지 않았다.

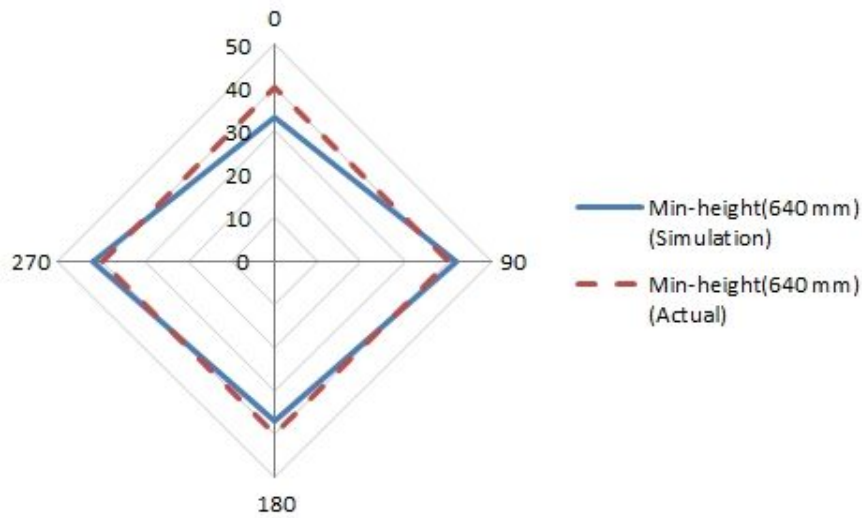


Fig. 146 Compare of Simulation and Actual(640mm)

그림 147은 작업대의 높이가 중간(1,750mm)일 때의 비교 그래프이다. 양측방의 경우 오차는 3-4° 사이로 큰 차이를 보이지 않았으나 전방의 경우 19°, 후방의 경우 13°의 오차를 보였다. 전방과 후방에서 10° 이상의 오차가 발생한 원인은 지면의 조건에 따른 마찰력의 차이와 고소작업차량이 정지한 상태와 주행한 상태에 따른 차이에 의해 발생한 것으로 판단된다. 그리고 다음 그림에서 나타나듯이 작업대의 높이가 최대(3,090mm)일 때도 같은 원인에 의해 시뮬레이션 결과가 전도각 측정시험에 비해서 전방의 경우 20°, 후방과 양측방의 경우 4-7°의 차이를 나타내고 있다.

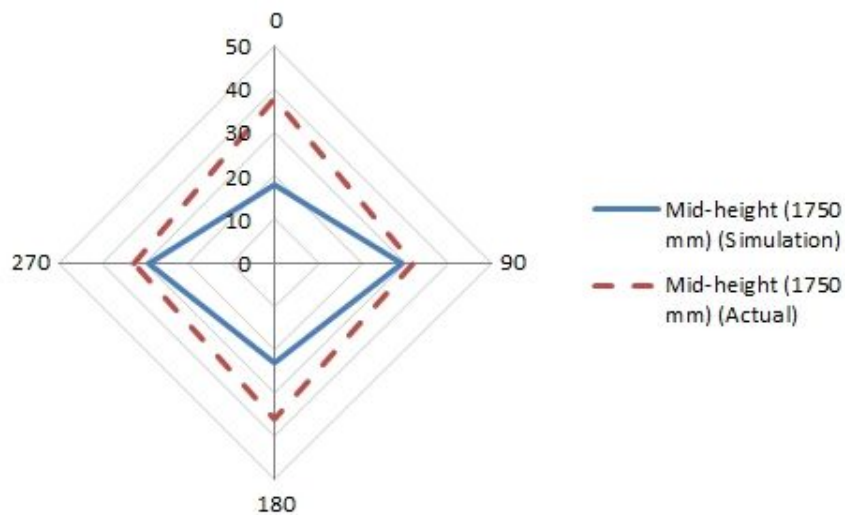


Fig. 147 Compare of Simulation and Actual(1750mm)

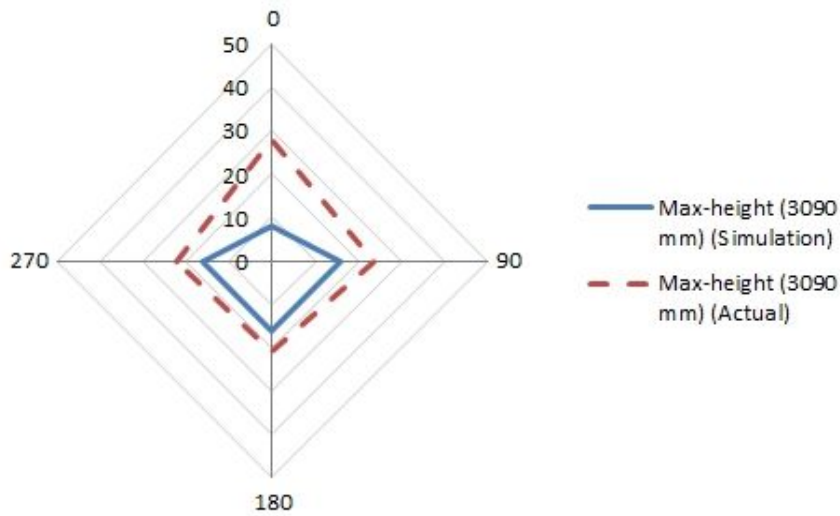


Fig. 148 Compare of Simulation and Actual(3090mm)

다. 생력화 고소작업기의 등판 성능

차량의 안정성은 기본적으로 차량성능이 뒷받침 된다는 가정 하에 분석이 된다. 과수원에 서 사용한다고 감안했을 때, 경사지를 오를 수 있는 능력인 등판성능시험이 가장 중요하다. 등판각도가 낮을 경우 험지에서의 이동이 불가능하며 전도시험은 기본적으로 특정 경사까지 이동가능하다는 전제를 한 상태에서 시험하는 것이기 때문에 등판이 불가능하면 전도시험의 의미는 줄어들 수밖에 없다.

등판능력을 평가하기 위한 측정은 실용화재단 야외시험장(경기도 화성시)에서 수행하였으며 18%, 21%, 28%, 32%의 구배를 가지는 4개의 경사면을 고소작업차의 속도(전진 1단, 전진 2단, 후진 1단)에 따라 주행하며 이때의 등판 시간을 측정하였다. 구배의 정확성을 측정하기 위해 지면의 경사각 및 경사면의 수평 길이와 수직 높이를 측정하여 계산을 통해 경사면의 길이를 구하였다. 측정한 등판 시간과 경사면의 길이를 통해 고소작업차의 속도를 측정하고 실제 차량의 속도와 비교하여 슬립율을 측정하였다. 슬립율은 아래의 식 1를 통해 구할 수 있다.

$$S = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \times 100 (\%) \dots\dots\dots (17)$$

여기서, V_0 : Initial velocity
 V : Current velocity

또한 등판 시험 수행시 차량의 슬립율과 함께 차량의 등판저항(R_g)을 분석해야 한다. 차량의 등판저항은 차량이 경사면을 주행할 때 차량 중량에 의해 경사면에 평행하게 작용하는 저항력을 의미한다. 고소작업차의 등판저항은 식 (18)를 사용하여 구할 수 있다. 이때, 차량

의 중량은 차량의 질량에 중력을 곱한 값인 5,909.4kgf 가 된다.

$$R_g = W \times \sin \theta \dots\dots\dots (18)$$

여기서, W : Weight of vehicle
 θ : Ground tilt angle



Fig. 149 Ground slope (18%)



Fig. 150 Ground slope angle (10°)

시작기의 등판성능실험은 실용화재단 야외시험장(경기도 화성)에서 각각 18%, 21%, 28%, 32%의 구배를 갖는 경사면에서 수행되었다. 각각의 구배에 대해 속도(전진1단, 전진 2단, 후진 1단)에 따른 고소작업차의 등판과 하강시의 시간을 측정하고 이를 토대로 속도를 계산하여 등판/하강 시 슬립율 및 등판저항을 계산하였다.

각각의 구배에 대한 정확한 경사면의 길이를 계산하였다. 구배의 기본 개념과 삼각 함수법을 이용하여 표 31과 같은 결과를 보여준다.

Table 31 Length of the slope and Tilt angle

Gradient (%)	Length of the slope (m)	Tilt angle (°)	Hill climbing resistance (kgf)
18	12.2	10.3	1,056.61
21	10.74	12	1,228.63
28	12	15.3	1,559.33
32	10.2	18	1,826.11

그림 152과 그림 153은 등판과 하강시 고소작업차의 슬립율을 나타내고 있다. 실험 결과 등판의 경우 속도별 슬립율은 구배 21% 인 경우를 제외하고 속도가 증가하면서 차량의 슬립이 증가함을 알 수 있었다. 그리고 전진 1단과 후진 1단의 경우 등판각이 커질수록 슬립

율이 증가하지만 구배 32% 를 제외하면 슬립율은 20% 이내이므로 전진 2단에 비해 비교적 안정적인 주행이 가능하다. 전진 2단의 경우 빠른 속력으로 인해 충분한 견인력을 얻지 못해 슬립이 발생한 것으로 예상된다.

하강의 경우 속도별 슬립률은 11% 이내로 비교적 안정한 결과를 나타내었다. 전진 1단과 후진 1단의 경우 구배 21% 를 제외하면 구배가 높아질수록 슬립율이 증가하였는데, 이는 고소작업차가 경사면을 따라 주행할 때 발생하는 등판저항에 의해 동일 방향 가속도가 발생한 것으로 판단된다.

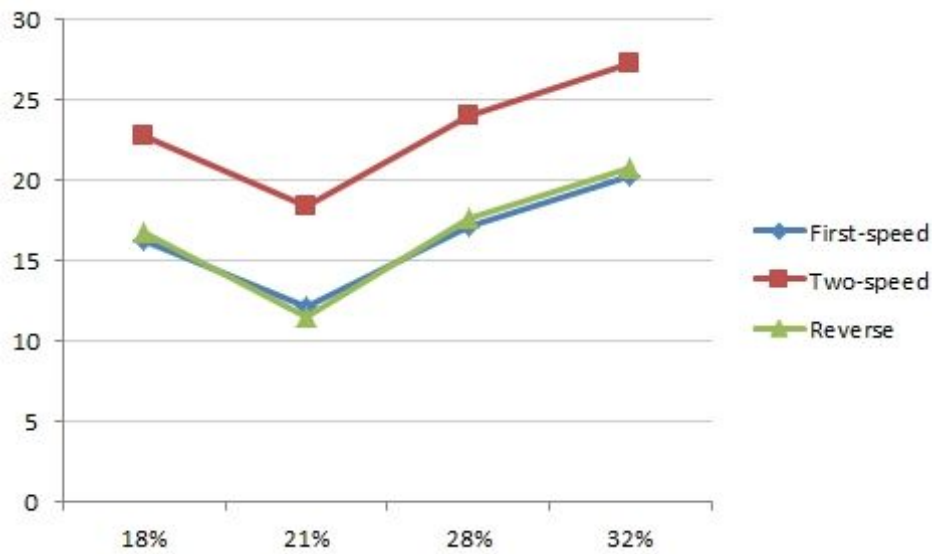


Fig. 151 Slip ratio in Climbing

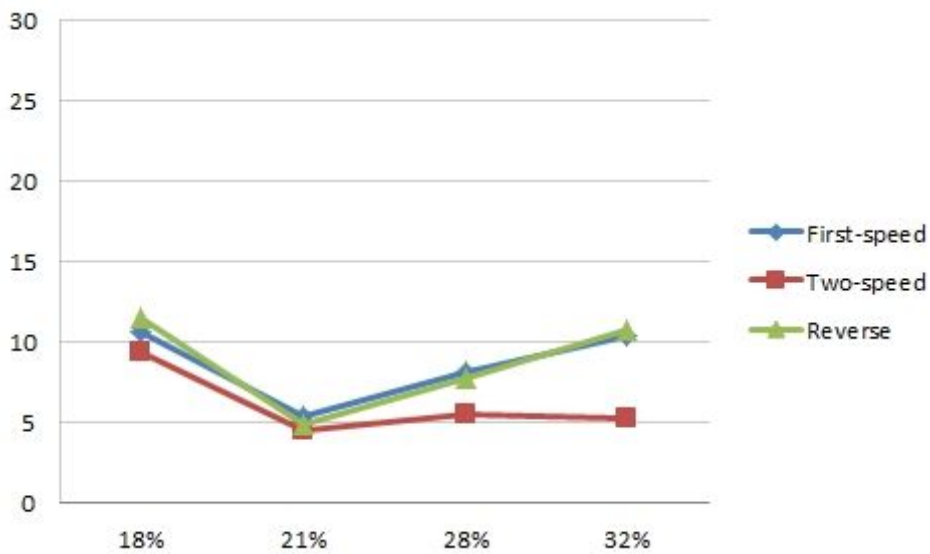


Fig. 152 Slip ratio in Descending



Fig. 153 Climbing test at 18% slope



Fig. 154 Descending test at 21% slope.

3. 생력화 작업을 위한 편이장비 시스템의 성능

가. 편이장비 작동 성능

(1) 작업대의 작동 성능

과수원용 고소작업차의 작업대의 리프트 상하 이동 거리 및 속도를 측정한 결과 작업대의 최대 승강 높이는 약 3.1m (지면 기준)이며, 작업대가 2.4m 상승하는 동안 걸린 시간은 약 19s 이므로 작업대 승강 시의 승강속도는 약 0.126m/s 이다. 또한 작업대 확장부의 이동 속도는 측정결과 0.097m/s 로 나타났다.

(2) 고소작업부의 틸팅 시스템 성능

경사면에서의 안정적인 작업을 위한 고소작업부의 틸팅 시스템 시스템은 우편측 12° 로 작동 시간은 평균 2.97s 로 나타났다.

(3) 공압용 가위 성능

공압 시스템을 사용하여 작업자의 작업편이성을 높이기 위해 기존의 전지가위와 다른 공압식 전지가위를 사용하였다. 공압식 전지가위에 일정하고 균일한 공기압을 제공하기 위하여 전지가위와 공압 탱크의 연결부위에 공압 밸브를 사용하여 항상 2bar 의 압력을 유지할 수 있도록 하였다. 공압 전지가위는 최대 25mm 의 절단 능력을 나타내었다. 그림 101은 공압용 전지가위를 사용하여 작업하는 모습을 나타내며 그림 102은 공압 전지가위에 의해 절단된 가지의 절단면이다.



Fig. 155 Working used pneumatic scissor



Fig. 156 Cutting edge of tree branches

나. 생력화 고소작업기의 작업영역

전정, 적과, 봉지 씌우기, 수확 등 작업자가 고소작업기를 이용하여 작업하는 경우 작업대의 작업 영역이 작업 능률에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서 사용되는 수직 상승형 고소작업차를 사용하여 배 과수원에서 작업영역을 조사한 결과는 표 32과 같다. 고소작업차 작업대의 최대높이는 지면에서부터 3,090mm 이며, 작업대의 수평반경은 작업대 확장 시 최대 1,560mm 이다.

Table 32 Operations available area of Aerial lift (Unit : m)

	Horizontal radius	Minimum height	Maximum height
Working space	1,560	640	3,090

표 30에 나타난 높이는 지상에서 작업대 중심 위치까지의 거리를 나타내므로 남성 작업자의 평균 신장을 1,700mm 라고 가정하면 그림 103과 같이 지상에서 최대 5,000mm 정도 높이의 과수를 관리, 수확작업이 가능하다. 또한 작업대가 확장된 상태에서 작업자의 팔 길이를 고려하면 그림 104와 같이 수평방향의 작업 반경은 최대 3,000mm 까지 작업이 가능하며, 이는 시설재배형식의 과수원에서 과수 사이에서 고소작업차를 이용하여 작업시 양 측면의 과수를 차량의 이동 없이 관리, 수확할 수 있는 거리가 된다고 판단된다.



Fig. 157 Vertical working height



Fig. 158 Horizontal working length

제 8 절 결론 및 요약

과수관리 작업자의 안전을 도모하고 작업 효율을 높이기 위해서는 인력에 의해 이루어지는 기존의 관리 작업 방식을 기계화, 생력화로 개선할 필요가 있다. 본 논문에서는 과수원용 고소작업차에 편이장비 시스템을 구축하여 작업자의 작업 편이성을 높이고자 하였으며, 고소작업차의 사용시 작업자의 안전과 효율적인 기계사용을 위하여 고소작업차의 정적, 동적 안정성 분석을 수행하였다.

과수원용 고소작업차의 안정성 분석은 작업대에 적재하중이 없는 경우와 작업대에 220kg의 최대적재하중이 부과 되었을 때 고소작업차의 높이에 따른 주행시 전복에 대한 안정성을 분석하였다. SolidWorks를 사용하여 3차원 모델링 작업을 수행하였고, RecurDyn을 이용하여 지면조건과 토양상수 같은 구속조건을 입력하여 고소작업차의 주행 안정성을 시뮬레이션을 통해 수행하였다. 또한, 실제 고소작업차의 안정성 분석과 시뮬레이션 결과의 검증을 위해 전도각 측정시험, 등판 성능시험, 무게중심 측정시험과 같은 실증 시험을 수행하였다.

과수원 내에서 전정, 적과, 봉지 씌우기, 수확 작업의 작업 효율 문제를 해결하기 위해 과수원용 고소작업차에 확장이 가능한 작업부, 경사면에 대한 틸팅 시스템, 공압 컴프레서를 비롯한 공압기기의 장착으로 공압전정가위, 공압전지가위 등을 사용하여 작업자의 작업 편이성을 높이고 고소작업차의 작업 가능 영역을 분석하였다.

본 연구의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

과수원용 고소작업차의 높이와 적재하중에 따른 전복각을 분석하고 전복각에 대한 고소작업차의 주행 안정영역을 설정하였다. 작업대에 적재하중이 없을 때 높이별 주행 안정영역의 크기를 비교하면 최저높이에서 안정영역 크기를 100%로 설정하였을 때, 중간높이의 안정영역의 크기는 41.4%, 최대높이의 안정영역의 크기는 13.5%로 나타낼 수 있었다. 작업대에 220kg의 최대적재하중이 부과되었을 때 높이별 안정영역의 크기를 비교하면 최저높이에서 안정영역의 범위를 100%로 설정하였을 때, 중간높이의 안정영역 크기는 28.8%, 최대높이의 안정영역 크기는 8.0%로 나타났다. 이는 작업대의 높이가 상승함에 따라 고소작업차의 무게중심이 상승하면서 안정영역의 크기가 크게 감소하게 되었음을 알 수 있었으며, 작업대 적재하중에 따라 무게중심의 위치 변경으로 인해 안정영역이 또한 감소함을 알 수 있었다.

고소작업차의 무게중심 측정시험을 통해 무게중심을 측정한 결과 $(x, y, z) = (577.929, 411.924, 486.700 \text{ mm})$ 로 나타났다. 이때의 무게중심은 고소작업차의 후면 좌측 구동륜의 중심을 원점으로 하는 상대적인 좌표이다.

전도 시험과 시뮬레이션 시험 결과를 비교하였을 때, 작업대의 높이가 최소(640mm)인 경우 시뮬레이션과 측정시험간의 오차가 거의 발생하지 않았으나, 중간(1,750mm), 최고

(3,090mm)의 경우 전방과 후방의 경우 오차가 크게 발생하였다. 이는 지면 조건의 차이와 무게중심 위치의 차이에 의해 발생한 것으로 판단된다.

고소작업차의 등판성능 시험을 수행하였다. 18%, 21%, 28%, 32%의 구배를 갖는 경사면에 고소작업차량을 전진 1단, 전진 2단, 후진 1단으로 속력을 고정하여 주행할 때 등판 및 하강시의 속력과 등판저항을 측정하고 이를 실제 속력과 비교하여 슬립율을 계산하였다. 등판의 경우 전진 2단의 경우 슬립율이 다른 조건에 비해 5% 이상 크게 나타났는데, 이는 고소작업차의 등판저항과 고소주행에 따른 견인력 감소로 인해 발생한 것이다. 하강의 경우에는 세 조건 모두 등판저항에 의한 추진력을 얻어 슬립율이 10% 이하로 나타났다.

과수원용 고소작업차를 사용하는 작업자의 작업 편의성을 높이고자 편이장비 시스템을 구축하였다. 작업대는 수직 승강식으로 지면을 기준으로 하였을 때 최대 3090mm, 최저 640mm까지 승하강이 가능하며, 작업대는 좌우 300mm까지 확장이 가능한 구조로 이루어졌다. 작업대는 경사면에서도 수평 상태로 작업이 가능하도록 편측 최대 12°까지 기울어질 수 있도록 하였다. 또한 공압컴프레셔와 같은 공압시스템을 구축하여 공압전지가위, 공압전정톱과 같은 공압기기를 사용하여 작업자의 작업 편의성을 높이고자 하였다.

편이 장비 구축에 따른 고소작업차의 작업 가능 영역을 분석하였다. 작업자의 평균 신장을 1,700mm라고 가정할 때, 본 연구에서 사용된 고소작업차를 탑승하였을 때 수직 방향으로 최대 5,000mm까지 수평방향으로 최대 3,000mm까지 작업이 가능하였다. 이러한 작업반경은 시설재배형식의 과수원에서 작업 시 과수 사이에서 양측의 과수 모두에 작업이 가능하다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연도별 연구목표 및 달성도

연도별 연구 목표 및 평가 착안점에 입각한 연구 목표의 달성도를 정리하면 다음 표와 같다.

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용	달성도(%)
1세부 IT 융합 배 재배관리 정보화를 위한 센서 인터페이 스 및 통합 모니터링 시스템 개발	1차 년도	<ul style="list-style-type: none"> - 친환경 배 재배를 위한 최적 관리 방안 연구. - 배 과수재배 환경감시 및 처방항목 선정. - 종합 환경모니터링 시스템 개념설계. - 적정 센서 선정 및 요인 실험 설계. - 통합 모니터링 시스템 및 본체 실증 실험을 위한 실내 요인 실험 환경 조사 - 작업자 안정성 평가 항목 선정 	<ul style="list-style-type: none"> - 과수재배 환경의 화학적 투입 자재 현황 조사 및 개선 방안 조사. - 배 재배환경 요소별 센서 선정 및 요인 실험 방안 설계 - 배 재배환경 요소의 모니터링 방안 연구 및 소프트웨어 구성 - 칼라카메라 시스템 구축 및 국부 영상처리 시스템 개념 설계 - 센서 융합에 의한 효율적 작업 공간인식 기술 개발 - 실내 요인 실험 환경 구축, 기초시험 - 작업자 작업 안정성 평가 문헌 조사 평가 항목 검토 	100
	2차 년도	<ul style="list-style-type: none"> - 배 재배환경에 적합한 최적 환경인자 탐색 알고리즘 및 시스템 모듈 개발. - 생육환경 데이터 획득용 이동 시스템의 본체 설계 및 센서 탑재용 기구부 설계 - 주행경로 설정 및 탐색 방안 연구. - 세부 모듈 실내 요인 실험 - 환경 인자 측정 시험 및 성능 평가. - 환경요인 감지 모듈간의 연동을 위한 입출력 설계. - 세부 모듈별 출력 값의 적정성 검토 및 신뢰요인 실험. - 통합 모니터링 시스템 및 	<ul style="list-style-type: none"> - 배 재배 환경 변화에 따른 생육변화에 대한 정보 수집 및 통합 인터페이스 구축 기능별 요인에 따른 시작기 설계 및 제작 정밀 위치정보 수집 방안 검토 및 실시간 위치 획득 시스템 검토 실내 환경 내에서 센서의 적용성 검토 - 무선 이더넷, Zigbee 데이터 통신 및 내부 RS232 및 CAN통신 설계 - 통합 인터페이스를 위한 신호 그룹화 연구 - 그룹별 통신 단일화 모듈 설계 및 그룹 간 인터페이스 설계 - 현장 작업 환경 조사 	100

		본체 실증 실험을 위한 실외 요인 실험 환경 구축 및 조사		
3차 년도		<ul style="list-style-type: none"> - 세부 모듈별 인터페이스 통합 및 시작기 설계. - 모니터링 시스템 성능 검증 및 보완설계. - 통합 데이터 수집 및 처리 소프트웨어 설치, 운영 및 보완. - 센서 인터페이스 및 통합 모니터링 알고리즘 개선 및 통합 시작기 제작 - 터치스크린과 무선 영상을 이용한 GUI 환경 하의 사용자 친화형 작업 인터페이스 및 작업수행, 시스템진단, 통합 작업관리용 소프트웨어 모듈 운용시험 	<ul style="list-style-type: none"> - 모듈 인터페이스 시스템 설계 제작 - 기구부 탑재 현장 실험 및 평가 - 실제 환경 하에서의 설치 및 운영 후 적용성 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 모듈별 설계 제작 - 시스템 통합(HW/SW) 성능 평가 - 모듈별 통합 설계 사양 완성 및 인터페이스 제작 (주행부, 기구부, 제어부) - 무선 영상 시스템 설계 구축 - 사용자 친화형 인터페이스 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 진단 및 작업관리용 소프트웨어 개발 - 통합 운용 시험 개선을 통한 상용화 스펙 도출 	100

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용	달성도(%)
배 재배 관리용 생력화 안전 고소 작업기 개발	1차 년도	<ul style="list-style-type: none"> - 배 재배관리 생력화를 위한 현장요인 분석 - 전체 시스템 개념 설계 및 단위장치 구성 - 생력화 작업기 실증 실험을 위한 실내 요인 실험 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 실외 실증 실험 환경 이력 조사 및 최적 생력화 방안 분석 - 다기능 작업을 위한 전체 시스템 개념설계 및 모듈별 인터페이스 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 단위장치 연동(주행부, 고소작업부)를 위한 기능사양 분석 및 설계 	100
	2차 년도	<ul style="list-style-type: none"> - 주행부와 고소 작업부의 안전성 확보 요인 분석/개념 설계 - 세부 모듈(주행부, 고소 작업부) 간 통합 설계 사양 분석 - IT 융합형 다관절 고소 작업 제어 시스템 / 구동부 제작 - 각 세부 모듈 실내 요인 실험 	<ul style="list-style-type: none"> - 이론적 고찰 및 요인실험장치 설계/제작 - 이론적 고찰 및 요인실험장치 설계/제작 - 이론적 고찰 및 요인실험장치 설계/제작 - 실험장치 구축 및 요인실험장치 실내 실험 	100
	3차 년도	<ul style="list-style-type: none"> - 통합 시스템 제어기 설계 및 제작 (원격제어장치를 고려한 궤도 주행 과수재배 통합 생력화 작업기 제작) - 통합 생력화 작업기 시험 구동 및 현장 요인 실증 실험 - 통합 시작기 문제점 분석 및 통합 설계 사양 도출 - 주행 시스템과 구동제어기 성능평가 및 보완 (정밀 재설계 보완 제작) - 최종 생력화 작업기계의 현장 연시 및 작업 성능 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 통합 제어기 설계 제작 시험 <ul style="list-style-type: none"> - 원격 운전부/조작부 Unit 및 부속작업기 매거진 제작 - 통합 시작기 실외 요인 실험 (배 과수원 3개소, 21회 이상) - 모듈별 통합 설계 사양 및 적합성 검토를 위한 실내 성능 실험 (공유 인터페이스, 동력 소모, 제어부 통합) - 모듈별 통합 설계 사양 완성 및 인터페이스 제작 (주행부, 기구부, 제어부) - 세부 모듈 통합 설계를 통한 통합 시작기 설계 완성 <ul style="list-style-type: none"> - 통합 시작기 문제점 분석 및 개선을 통한 상용화 스펙 도출 	100

제 2 절 관련분야의 기술발전예의 기여도

본 과제에서 개발된 자율 주행 로봇의 위치 및 자세 제어 시스템의 경우 기존에 장비의 가격이 고가여서 농업용 시스템에 적용 가능성이 낮았으나 저가, 고성능으로 실용성을 향상시켰다. 그리고 IT 기술 및 유비쿼터스 기술을 적용하여 과수원을 하나의 통합된 관리체제로 운용할 수 있도록 하였다. 이것을 통하여 향후 적용될 생력화 작업기, 기타 시스템과 연동 운용이 가능해 각 시스템의 효율성을 극대화 할 것을 기대한다.

또한 구축된 생육환경정보 축적 데이터베이스 시스템은 보다 나은 영농 정보를 사용자에게 제공할 것이며, 이러한 정보의 교류를 통하여 체계화된 영농을 이룰 수 있을 것이다.

배 과수원 생력화 작업기는 과수관리 작업자의 안전을 도모하고 작업 효율을 높이기 위해서는 인력에 의해 이루어지는 기존의 관리 작업 방식을 기계화함으로써 농가의 생산비를 크게 절감시키고 경쟁력을 증가시켜 결국 농가소득 증대효과를 가져오고 과수산업이 안정성을 확보하게 된다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 실용화,산업화 계획

○ 산업화 측면

기존 자율 주행 로봇 또는 생력화 시스템의 경우 장비의 적용에 있어서 장비 가격, 고가의 국외 장비 적용으로 인하여 현실적으로 실용화된 시스템이 되질 못했다. 그러나 본 과제에서는 국산 장비의 적용을 최대화 하여 가격을 현실화 하였으며, 기존 구축된 인프라를 최대한 활용한 시스템을 개발하였다.

특히 시스템의 위치 및 자세제어 시스템의 경우 저가의 국산 GPS와 국토지리원에서 제공하는 NTRIP 서비스를 이용한 네트워크 RTK를 사용하여 DGPS화하여 장비 가격의 상승 없이 시스템을 고성능화 하였으며, 국산 INS시스템을 함께 적용하여 시스템의 안정성 및 성능 향상을 추구하였다. 이러한 기술 개발을 바탕으로 단독 구동되는 자율 로봇 작업기에 실용적으로 적용될 시스템으로 활용됨을 기대한다.

다음으로 본 연구를 통하여 정채되어 있는 배 재배관리 기계화의 일관 생력화가 가능하다. 수작업 위주의 배관리(수확, 봉지 씌우기/벗기기, 적과, 전정, 방제)등 재배관리의 생력기계화를 통하여 부족한 노동력을 대체하고 생산성의 향상을 실현할 수 있어 기업형 과수농을 실현할 수 있다.

수확, 봉지 씌우기/벗기기, 적과, 전정, 전지등의 작업에 단일 설비로서 공통적으로 투입되어 배 재배관리의 일관 생력작업화를 가능하게 하여 기계설비 비용을 절감하고 기계 가동율을 향상시켜 배의 재배관리 및 수확작업에 범용으로 적용할 수 있는 생력 기계화 시스템의 상용화가 급속히 촉진될 것이다.

○ 실용화 측면

본 과제에는 작업기 생산업체인 한성T&I(티앤아이)와 기업형 과수농의 전환을 원하는 과수농이 같이 참여하므로 개발한 시스템의 현장 적용 및 산업화가 구체적이며 현실적이어서 개발 시스템의 확산 보급이 효율적으로 진행될 것이다.

- 1) 연구개발 직후 (주)한성티앤아이에 바로 기술이전이 가능하여 산업화를 위한 추가적인 인력, 비용, 시간 투입 최소화
- 2) 연구과제 완료 후 친 환경 배 재배 생력화 작업기에 본 연구팀에서 개발한 기술인 유/무인 자율주행기술을 적용가능
- 3) 연구 개발 완료 후 (주)한성티앤아이에서 상용화하여 노동력 절감과 생산 품질, 가격 경쟁력의 우위를 통해 개발시스템의 해외 수출이 가능.
- 4) 배 과수 농가의 기업형 전환을 위한 기술기반 제공

○ 장기적으로 볼 때 개발된 IT 융합 생력화 설비 및 재배관리 정보화 시스템 설비 및 기술의 수출을 촉진하게 된다.

제 2 절 교육, 지도, 홍보 등 기술확산 계획

- 노동집약적 작업들에 대한 일관 생력화 기계설비 개발을 통하여 배 생산농가의 노동력 부족 및 고임금 실태에 대처하게 되고 과수 경영자의 경영수지를 개선한다.
- 국내 배 과수농의 기업형 전환을 가능하게 함으로써 배 농가의 국제 경쟁력을 확보에 기여한다.
- 배 재배공정의 정보화 시스템 적용을 통하여 환경 보전적 친환경 과수농 경영이 가능하며 고품질 과실의 생산에 기여한다.
- 각 단위작업 공정의 생력화를 통하여 작업 능률 및 작업정밀도가 향상되고 정밀 방제 작업을 통한 농약 살포량의 최적화로 환경 보전적 영농에 기여하게 된다.
- 기업형 과수농의 전환을 통한 작업여건 개선으로 과수 재배관리를 위한 인력문제를 해소하고 사회적 관심을 고조시키는 동시에 젊은 인력의 농업 산업 유입을 촉진시킨다.
- 배 재배관리 정보화 시스템은 국내 과수농의 기업화 전환에 필수적인 요소이며 이러한 재배관리 시스템은 국내 전체 과수농에 급속하게 확산되어 환경보전 및 생산성 향상에 기여할 것이다.

제 3 절 특허, 연구 등 지식재산권 확보계획

- 본 연구과제에서 연구 개발하고자 하는 시스템은 크게 두 분야로 나눌 수 있는데 첫째는 배 재배관리 환경 및 과수 생육상태에 대한 컴퓨터 IT 기술을 이용한 정량적 데이터베이스화와 통합 무선 모니터링 시스템의 개발에 있으며 둘째, 배 재배관리 공정에 일관되게 적용할 수 있는 범용의 생력기계화 시스템 개발에 있음.
- 본 연구과제에서 연구 개발하는 시스템은 기존의 특허와는 연관성이 없는 새로운 개념의 작업시스템으로서 연구 개시와 함께 정보화 시스템 및 생력화 작업기계에 대한 개념적 설계와 기능 사양에 대한 특허 출원을 할 계획임.
- 또한 우리나라의 정보화 인프라를 바탕으로 개발하는 과수 종합 환경 무선 모니터링 및 재배관리 시스템 역시 세계적으로 이에 대한 특허는 없으며 개별 단위센서들을 조합하고 생력화 작업기계와의 인터페이스 개발을 통한 Integrated 개념의 시스템 개발로서 세계적으로 처음으로 연구 개발하는 것임. 따라서 1차년도 하반기에 전체 시스템에 대한 특허 출원을 통하여 기술을 보호할 계획임.
- 기존 논문은 단위 작업공정 특히 수확 및 방제를 대상으로 한 무인 작업차량 및 무인 작업 로봇의 개발에 중점을 두고 있으나 현 시점에서는 현장 적용 측면에서 실용성 및 제품화 가능성이 매우 낮다.
- 본 연구팀은 수년 전부터 연구력을 축적해 온 유/무인의 원격 생력작업 시스템과 원격 생력작업 인터페이스를 바탕으로 배 재배관리에 소요되는 다양한 공정에 일관되게 적용할 수 있는 그리고 기계 가동율을 최대화하고 유지보수를 저감시킨 범용의 생력 시스템을 개발할 계획이다.
- 특히, 컴퓨터의 기능과 작업자의 기능을 최대한 활용하는 작업자 친화형 작업 인터페이스와 작업자와 생력화 기계의 효율적 작업 분담에 의거한 시스템의 개발을 수행할 계획이다. 특히 과수의 생육환경에 대한 시공간적 모니터링 및 해조 및 해충으로부터 생육상태를 온전하게 보전 할 수 있는 종합 환경 모니터링 및 환경정보 데이터베이스 구축은 세계적으로 처음 시도되는 디지털 환경모니터링 시스템으로서 연구개발 성과의 전세계적 파급효과가 기대된다.
- 본 연구 수행 중 또는 수행 후 얻어지는 결과는 특허 출원으로서 연구성과를 우선적으로 보호할 것이며 ASABE Transaction, Biosystems Engineering Research, Computer and Electronics in Agriculture, Soil and Tillage, J. of Terramechanics 등의 저널을 통해 발표할 계획이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

과수용으로 외국에서 개발되어 국내에 보급되고 있는 기종은 다음 표와 같이 무인 스피드 스프레이어, 무인 방제기, 예취기, 작업차, 공기 주입기 등이 있다.

[과수용 외국 개발 국내 보급기종]

기종명	대상작물	주요규격	가격	생산회사 (모델명)
무인 스피드 스프레이어	과수	유도케이블식, 탱크용량 1,000 L 분무량 112 L/min	59,620	일본 (주)共立 KR51000
무인 방제기	과수	43 PS, 4륜구동, 4륜조타, 탱크용량 1,000 L, 3륜플런저 펌프 송출량 108 L/min, 노즐 31개, 무인주행 가능 케이블 길이 1,000m, 보조 원격조작 무선제어길이 150m	59,600	일본 안마농기(주) YAS1000DX
예취기	과수	승용 4륜 9 PS 경사 15도 이하	4,485	일본 (주)오렉크 RM82A
예취기	경사면	무선원격조작식, 크롤러형 24 PS 예취폭 120 cm, 최대제초사면경사 35°	45,300	일본, (주)久保田 AMX-5
범용 작업차	과수	작업가능높이 4.5~5 m, 작업가능 경사 15°, 최대적재량 130 kg	7,650	일본 산와차량(주) GTZ-2
범용 작업차	포도, 배, 키위	무단변속 5.5 PS, 작업정원 1인 최대적재량 150 kgf	3,700	일본 野澤製作所 TN3H
공기 토양 주입기	과수	토출 깊이 40 cm, 자주식 5 PS	4,800	일본 타이거(주) TAI-GR2-A

포도과수원의 규모가 대규모인 프랑스와 미국의 경우에는 전용 작업기계들이 보급되고 있는데 1차 전정기계, 포도의 곁가지 절단 및 줄기유인(유인 후 클립으로 붙들어 땀)용 기계, 포도밭의 좌우와 위에 있는 가지를 절단하는 기계, 포도주 가공용 포도를 훑어 수확하는 포도 수확기 등이 개발되어 실용화되고 있다.

국내외의 연구 현황을 살펴보면 다음과 같다.

○ 미국, 유럽 및 일본에서 과수 분야의 무인 작업화를 위한 생력 시스템의 연구 개발이 수확작업을 중심으로 시도되었으나 실험실 수준 내지 국부적인 성능시험 정도로 아직 실용화되고 있지 않다. 연구개발 내용과 연구성과의 활용 현황을 정리하면 다음표와 같다.

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
일본 오카야마 대학	-포도 수확 로봇 -방울 토마토 수확 로봇 -오이 수확 로봇	실험실 수준으로 현장 적용은 되고 있지 않음.
일본 교토 대학	-수박 수확 로봇 작업기 -그룹 제어형 트랙터 -무인 자율주행 트랙터	수박 수확 로봇은 실험실수준 진행. 그룹제어형 트랙터는 현장 적용시험 중임. 무인 자율주행 트랙터는 현장 적용 평가 후 기업화 단계임.
프랑스 CEMAGRAF	-사과 수확 로봇 -포도용 전정기계	과수원에서 현장 적용 시험 중
프랑스	-결가지 절단 및 줄기유인(유인후 클립으로 붙들어 맴)용 기계 -포도밭의 좌우와 위에 있는 가지를 절단하는 기계 -포도주 가공용 포도를 훑어 수확하는 포도 수확기	작업자가 운전하여 조작하는 전용기 형태의 작업기
일본 산와차량(주) 일본 野澤製作所	-다목적 고소 작업차량	현재 시판 중이며, 국내에서도 수입하여 판매 중이며 국산화가 시급한 실정임. 작업자가 수작업으로 고소에서 작업을 할 수 있도록 한 단순 작업형 차량임.
한국 성균관대학교	-시설 수박재배관리 및 수확용 범용 로봇작업시스템 -메론 재배관리 및 수확용 범용 로봇 작업시스템	현장 설치를 위한 준비 단계
한국 농업공학연구소	- 자동 접목 로봇 - 벤치형 딸기 수확 로봇	현장 적용 시험 중

제 7 장 참고문헌

1. 농업용 트랙터-무게중심 측정-. KS B ISO 789-6.
2. 김경욱. 1989. 농업용 트랙터의 안전성 분석 최종 보고서. 서울대학교 농과대학.
3. 김태한. 1999. 과수원용 자주식 원격조정 다목적 고소작업대차 개발에 관한 연구 최종 보고서. 산업자원부.
4. 류한식, 장정선, 최진환, 배대성. 2004. 웨도시스템의 웨도링크와 연약지반과의 상호 접촉 연구. 대한기계학회논문집 A권 . 28(11):1711-1718.
5. 박해권. 2005. 소형 임내 작업 차량의 안정성 분석. 서울대학교 석사학위 논문.
6. 박우풍. 2008. 자주식 심토환경 개선기 개발 최종 보고서. 농림수산식품부.
7. 이동훈, 이규승, 박원엽. 2009. 경험적 방법에 의한 트랙터의 견인력 예측에 관한 연구. 한국 농업기계학회지. 34(5):297-304.
8. 신승엽. 2010. 농업기계 안전사고 실태. 2010농업기계연감. 59-61.
9. 장익주. 2011. 작업대 수평유지식 고소작업차 개발. 바이오시스템공학 36(3):171-179.
10. Nabo, A. and Y. Yamada 1992. Accident analysis and capability to surmount obstacles of side-loaded mini-forwarders. Journal of Japanese Forest Society. 74(1): 9-17.
11. Nagaki, T. 1996. Introduction to Japanese Agricultural Machinery -Machines for roughage, vegetable, orchard, transportation and horticultural facility etc-. Japanese Society of Agricultural Machinery.
12. Mashadi B. and H. Nasrolahi. 2009. Automatic control of a modified tractor to work on steep side slopes. Journal of Terramechanics 46:299-311.
13. Ronaghi M., J. Z. Wu, C. S. Pan, J. R. Harris, D. Welcome, S. S. Chiou, B. Boehler and R. G. Dong. 2009. Scissor Lift Safety. ASSE Professional Safety. 43-48.

<부록>

높이 산출 데이터

1. 전정 / 적아적심 작업시

- 전정 가위 사용함으로 10cm 추가된다고 가정함.
- 배나무 높이 : 200cm

리프트 높이		0cm	20cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm
남자	앞기 (140cm)	×	×	×	○	○	○	○	○	×
	서기 (160cm)	×	×	○	○	○	×	×	×	×
여자	앞기 (120cm)	×	×	×	×	×	○	○	○	○
	서기 (140cm)	×	×	×	○	○	○	○	×	×

- 배나무 높이 : 210cm

리프트 높이		0cm	20cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm
남자	앞기 (140cm)	×	×	×	×	○	○	○	○	×
	서기 (160cm)	×	×	○	○	○	×	×	×	×
여자	앞기 (120cm)	×	×	×	×	×	○	○	○	○
	서기 (140cm)	×	×	×	○	○	○	○	×	×

- 배나무 높이 : 220cm

리프트 높이		0cm	20cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm
남 자	앞기 (140cm)	×	×	×	×	×	○	○	○	○
	서기 (160cm)	×	×	×	○	○	○	○	×	×
여 자	앞기 (120cm)	×	×	×	×	×	×	×	○	○
	서기 (140cm)	×	×	×	○	○	○	○	○	○

2. 적과 / 봉지 씌우기 작업 시

- 배나무 높이 : 200cm

리프트 높이		0cm	20cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm
남자	앞기 (140cm)	×	×	×	×	○	○	×	×	×
	서기 (160cm)	×	×	○	○	×	×	×	×	×
여자	앞기 (120cm)	×	×	×	×	×	○	○	○	×
	서기 (140cm)	×	×	×	×	○	○	×	×	×

- 배나무 높이 : 210cm

리프트 높이		0cm	20cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm
남자	앞기 (140cm)	×	×	×	×	○	○	○	×	×
	서기 (160cm)	×	×	○	○	○	×	×	×	×
여자	앞기 (120cm)	×	×	×	×	×	×	○	○	○
	서기 (140cm)	×	×	×	×	○	○	○	×	×

- 배나무 높이 : 220cm

리프트 높이		0cm	20cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm
남 자	앞기 (140cm)	×	×	×	×	×	○	○	○	×
	서기 (160cm)	×	×	×	○	○	○	×	×	×
여 자	앞기 (120cm)	×	×	×	×	×	×	×	○	○
	서기 (140cm)	×	×	×	×	×	○	○	○	×

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 첨단기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 첨단 기술개발사업사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.