

최 종
연구보고서

시설재배지용 저가형 자율경로 주행 무인 방제기 개발

Development a low-cost sprayer using
autonomous traveling in the greenhouse

연구기관

주관연구기관 (주) 미도테크

협동연구기관 성균관대학교

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “시설재배지용 저가형 자율경로 주행 무인 방제기 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2010 년 12 월 일

주관연구기관명 : (주)미도테크

주관연구책임자 : 이 제 용

세부연구책임자 : 이 제 용

연 구 원 : 유 한 호

협동연구기관명 : 성균관대학교

협동연구책임자 : 이 규 승

연 구 원 : 조 용 진

연 구 원 : 김 택 성

연 구 원 : 이 동 훈

요 약 문

I. 제 목

시설재배지용 저가형 자율경로 주행 무인 방제기 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

본 연구과제의 목표는 현재 시설농가에서 주로 사용되고 있는 고가형 무인 방제기를 대체 하도록 조작성이 간편하며 경로설정을 다양하게 할 수 있는 자율경로 주행형 무인방제기를 개발 을 목적으로 하고 있다.

2. 연구개발의 필요성

시설원예는 유리온실, 플라스틱하우스 등과 같이 농산물의 생육 환경 즉, 온도, 습도, 대기의 구성물, 태양 에너지 등을 생산자의 의지로 수월하게 조절이 가능하게 만든 밀폐된 재배 공간이며 노지 재배와는 달리 꾸준한 농산물의 수확을 할 수 있는 농업의 한 형태이다.

하우스내의 방제작업은 밀폐된 공간에서 인력에 의해 이루어지므로 인체에 해롭고 하우스 내의 방제 및 운반작업에 사용되는 작업기의 동력원인 기관으로부터 배출되는 유해가스는 인체뿐만 아니라 작물의 생육에도 영향을 미치고 있다.

최근에 제작되는 시설원예용 하우스는 바닥과 천장 등에 레일을 설치하는 등 첨단 시설 원예 기술을 사용하여 방제 작업 등에서의 작업환경을 개선하고 있다.

그러나 여전히 대부분의 시설원예 농가에서는 재식밀도를 최대한 높일 수 있는 재래적인 방법인 토경재배로 작물을 재배하고 있다. 토경재배를 하는 농가는 작업에 필요한 공간이 넓지 않아 바닥에 레일용 방제기나 천장에 이동식 방제기를 설치 할 수 없다. 이러한 방제기는 재배 여건이 좋은 유리 온실에서만 사용되고 있는 실정이다.

첨단의 설비를 구비한 시설원예 재배지뿐만 아니라 기존의 시설원예 재배 방식인 토경 재 배 방식에서도 원활하게 사용할 수 있는 시설 재배지용 저가형 자율경로 무인 주행 방제기를 개발함으로써 생력화에 의한 생산비 절감을 꾀하고 작업자가 힘든 노동으로부터 해방시킬 수 있으며 또한 운반작업 및 재배관리 작업용도로 사용이 가능하다.

III. 연구개발 내용 및 범위

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1세부과제 방제 및 자율주행 제어 시스템 개발 및 통합 시작기 제작	2009	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자율 주행 방제시스템 설계를 위한 시설재배지내의 작물 생육 형태 조사 분석 ○ 자율 주행 방제시스템 설계 제작 및 성능 실험 ○ 자율경로 주행 알고리즘 분석 ○ 자율 경로 주행 제어기 및 안정화 제어기 설계 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내, 국외(일본) 주요 시설재배지 현장 조사 - 관련 선행 연구 고찰 및 전문가 초청 - 제어시스템 설계, 밈 노즐 설계 및 실내 인공 대상체 대상 성능 실험 - 초음파 이용 경로 수정 알고리즘 분석 및 전달함수 설계 - 노이즈 제거 및 피드백 보정 제어 설계 및 전자 회로 제작
	2010	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자율 경로 주행 제어기 및 안정화 제어기 성능 실험 ○ 동력 전달 및 기구부의 제작 ○ 각 요소별 요인 성능 실험 ○ 통합시작기의 제작 ○ 통합시작기의 성능실험 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 자율 주행 제어기 실내 성능 실험, 실외 성능 실험 - 동력 전달부 설계 및 제작 - 기구부 설계 및 제작 - 동력 전달부 요인 성능 실험 - 기구부 요인 실험 - 통합 시작기 제작 - 통합 시작기 실외 성능 실험 - 통합 시작기 문제점 분석 및 보완
2세부과제 주행부를 포함한 방제기 본체의 설계 및 작업 안정성 분석	2009	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주행부 설계 및 본체의 안정성 분석을 위한 시설 재배지의 지표 특성 분석 ○ 주행부 설계를 위한 시설 재배지의 토양 특성 분석 ○ 자율경로 주행 메카니즘 및 본체 설계 ○ 주행부의 성능분석을 위한 요인 시험 장치 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 시설 재배지 지표 특성 분석을 위한 출장 (5개소 이상) - 토양 특성(토양마찰/추진력) 분석 - 지표 형태(고랑의 외형) 분석 - 적정 주행부 선정 및 설계 - 동력원 선정, 동력전달 메카니즘 설계 - 조향 제어 시스템 설계 - 주행부 프레임 설계 및 제작 - 주행부 성능 분석 요인 실험 장치 제작 (속도, 슬립, 침하)
	2010	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소요동력 산정 및 동력전달 계통 설계 ○ 주행부의 성능 실험 및 분석 ○ 통합시작기의 안정성 분석 ○ 통합시작기의 성능실험 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 소요동력 시뮬레이션, 검증 실험 - 본체부-주행부 간 동력전달계통 설계 - 주행부 성능 실험분석 및 문제점 보완 - 통합시작기의 주행성능, 전복 안전성 분석 - 통합 시작기 실내 성능 실험 - 통합 시작기 성능 분석 및 보완

IV. 연구개발결과

시설 하우스 농가에서 주로 사용되고 있는 고가형 무인 방제기를 대체하도록 조작성이 간편하며 경로설정을 다양하게 할 수 있는 자율경로 주행형 무인방제기를 개발을 목적으로 두고 있는 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 시설 재배지용 저가형 무인방제 주행 시스템의 설계를 위한 기초자료로 이용하기 위하여 국내 시설하우스 재배지 현지 조사를 3개월간 걸쳐서 전국적으로 수행 하였다.

- ㉠ 시설 하우스용 재배 작물은 다양한 재배형태를 띄고 있으며, 좁은 고랑의 폭 한 개를 주행하는 것이 아닌 고랑 2개에 두둑을 사이에 두고 주행하는 방식으로 접근해야 된다.
- ㉡ 시설하우스의 입구와 끝부분 0.3m 사이의 공간만이 주어져 있으므로 협소한 공간에서 방향 전환이 가능한 직각주행형 주행부 설계가 요구된다.
- ㉢ 토경재배의 시설하우스의 프레임은 중앙 지지대가 없는 것이 특징이다. 따라서 6m에 이르는 하우스 직경 커버가 가능하도록 양쪽 뿔을 통하여 방제가 가능한 시스템 설계가 이루어져야 한다.

2) 초음파 검출 기초 성능 실험

제어는 전원 스위치 ON과 함께 초기화를 수행한 후에 조작부에 의한 각종 작업 모드 선택에 따라 주행, 조향, 뿔의 자세 제어 및 약제 살포 제어 등을 수행하도록 설계되어 있다. 주행 제어에서는 자동/수동, 전/후진 및 편도/왕복 등의 선택에 따라 제어가 이루어지도록 설계되어 있으며, 조향 제어에서는 좌/우회전이, 자세 제어에서는 자동/수동 및 뿔 경사각 설정에 따라 제어가 이루어지도록 설계되어 있다. 검출거리 및 이동속도에 관계없이 로프의 가닥수 3가닥(폭 약 3cm)에서는 불안정한 센서의 검출특성을 보여주고 있으나, 5가닥(약 5cm)이상에서는 비교적 안정된 검출특성을 보여주고 있다. 동적상태에서의 초음파 센서의 거리검출 특성은 검출거리 및 이동속도보다는 검출대상인 로프의 폭에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며, 본 제어시스템의 차량 유도용 로프의 폭은 최소한 5cm 이상이 필요하다는 것을 알 수 있다.

3) 조향 제어 시스템 설계 및 제작

전/후 면부에 각 2식의 거리 측정 센서를 통하여 전/후진 가능 여부를 판단 할 수 있으며, 좌/우 측 각 1식의 거리 측정을 통하여 좌/우 진행을 판단 할 수 있는 조향 제어 메커니즘을 설계 하였다. 한편 대상 작물과 주행 공간의 구별함에 있어 거리 계측에서 발생할 수 있는 오차 및 예외 상황에 대한 대처를 위하여 전/후 면에 각각 2식 거리 계측 센서를 설치하여 입력되는 거리의 평균값을 제어 신호의 입력으로 사용하였다.

조향 제어 시스템의 중앙 처리 장치에서 수행하는 조향 제어를 위한 소프트웨어는 ANSI

C 언어로 작성이 되었으며, 초당 5회 이상의 간격으로 6채널의 초음파 센서의 펄스를 계산하여 각 방향의 거리를 측정하고, 제어 로직에 따라 릴레이 제어 신호를 출력하는 형태로 개발이 되었다.

4) 요소별 요인 성능 실험

㉠ 조향 제어 성능 실험

좌/우 차륜이 각각의 구동모터에 의해 구동됨으로 조향 방법은 2가지의 방법(브레이크 턴: 내측 차륜 브레이크, 스피드 턴: 내측 차륜 역회전)이 검토되어질 수 있다. 이 2가지의 조향 방법에 대한 조향특성을 규명하기 위해 실내에서의 조향특성 실험을 수행하였다. 브레이크 턴 방법은 설정한 곡률(1/1.15)을 따라갈 수 없어 거리가 점점 멀어졌다. 따라서 곡률반경이 1/1.15 이상이 필요하거나, 조향시 스피드 턴 방식이 요구되는 것을 확인이 가능하였다. 선회반경 및 조향 후의 차체와 유도선 사이의 거리 변화 등을 고려할 때 스피드 턴 방식이 본 제어시스템의 조향방식으로 적합하다고 판단되었다

㉡ 분각 제어 성능 실험

주행 중 차체의 Rolling현상에도 불구하고 분무 노즐이 장착되어 있는 붐의 자세는 항상 지면에 수평이 되도록 유지되어야 한다. 따라서 스텝모터를 사용하여 차체의 각도 센서 값과 붐의 각도센서 값이 일정한 범위 이내로 유지되도록 분각 제어 성능 실험이 이루어져야한다. 붐의 각도 센서와 차체의 각도 센서 값 차이가 1도 이내인 것을 확인하였다.

5) 통합 시작기의 설계 및 제작

작물에 따른 토양의 특성과 작물의 높이 등 상황에 따라 적절한 주행부는 다르기 때문에 한 가지 타입의 차륜을 적용한 모델링으로는 적절하게 대처할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 소형의 일반(타이어형) 차륜과 큰 지름을 갖는 이양기용 차륜, 즉 두 가지 서로 다른 특징을 갖는 차륜을 가지고 모델링 하였다. 설계도구는 SolidWorks 2009를 이용하였다.

㉠ 일반 차륜 모델

일반(타이어형) 차륜은 토양의 경도가 높고 수분함유량이 낮아 타이어 이동에 적절해 무리 없이 다닐 수 있는 토양에 적용된다. 토경재배보다는 시설 유리온실에 적합하다. 차륜의 지름이 400mm이기 때문에 토양부터 차량하부까지의 높이는 대략 180mm이다.

㉡ 가변형 차륜 모델

가변형(이양기형) 차륜은 토양의 경도가 낮은 사질토나 수분함유량이 많은 점질토를 필요로 하는 작물을 재배하는 토양에 적합하다. 차륜의 지름은 600mm이며, 40도마다 3개씩의 러그가 있어 수분함량이 높은 토양에서 미끄러지지 않고 잘 구동이 되는 구조되어 있다. 가변형(이양기형) 차륜을 장착한 방제기 모델은 고랑 2개를 걸쳐서 주행하는 시스템으로, 차체의 폭은 일반(타이어형) 차륜 방제차량 모델에 비해 넓기 때문에 지상고 이하의 높이인 600mm이하로 재배되는 작물이라면 그 위로 지나가면서 방제가 가능하다.

6) 통합 시작기의 성능실험

㉠ 통합시작기 등판 성능 시험

일반형(타이어) 차륜과 가변형(이양기) 차륜의 두 가지 모델, 등판각을 0도, 5도, 10도, 15도 의 네 가지 경우와 약액통의 0kg, 20kg, 40kg의 세 가지 경우를 조합해 시험을 시행하였다. 일반형 차륜의 등판 성능 결과는 약액통의 무게와 상관없이 모두 15° 이상의 등판 성능을 보여주었다. 또한 속도는 0.44 m/s 로 약액통의 무게와 상관없이 일정하였다.

가변형 차륜의 등판 성능 결과 약액통의 무게가 0kg인 경우 15° 이상의 등판 성능을 얻을 수 있었으나, 약액통의 무게가 20kg 경우와 약액통의 무게가 40kg인 경우 12° 이상의 등판은 불가능하였다.

㉡ 일반형(타이어) 시작기 주행 성능 시험

주행거리 약 10m의 온실 내에서 양액 탱크(40l, 약 40Kg)를 장착한 조건 하에서 전진 및 왕복주행에 대해 주행 속도(컨트롤러에 의한 제어신호(듀티비) 40, 60, 80 및 100%)를 변화시키면서 수행되어졌다. 주행 성능 시험 결과 편도 및 왕복에 관계없이 차량 유도용 루프를 따라 차량이 주행하고 있으며, 왕복의 경우에는 후진 센서의 검출과 동시에 자동 후진이 이루어졌다. 그러나 초음파 센서의 검출과 함께 차륜 제어가 이루어지는 순간 제어 외측 차륜의 속도도 떨어지는 것이 관측되었다. 이는 하중에 의한 제어측 차륜의 브레이크 현상에 의한 것으로 생각된다.

㉢ 가변형(이양기) 시작기 주행 성능 시험

실험용 포장은 8m 길이의 토경 재배조건에서 양액 탱크(40l, 약 40Kg)를 장착한 조건 하에서 차량 유도용 튜브를 초음파 센서와의 거리를 10cm로 하여 두둑 상에 설치하였으며, 주행 속도는 2종류(듀티비: 80 및 100%), 차체 롤링 각은 3종류(약 3, 6 및 9도)의 조건 하에서 수행되어졌다. 주행 성능 실험 결과 가변형 차륜 시작기는 주행 속도와 관계없이 차륜 제어를 통해 차량 유도용 튜브를 따라 잘 주행하였으며 또한 유리 온실에서의 실험에서 관측되었던 제어 차륜외의 차륜의 커다란 감속 현상이 관측되지 않았다. 붐 균평 제어 성능 실험의 결과, 제어 정도는 평균 약 0.5도의 범위 내에 있었다.

6) 통합 시작기의 안정성 분석

전도는 외력에 의해 발생하는 모멘트가 구조물이 평행 상태를 유지할 수 있는 한계를 넘어 구조물이 넘어지는 현상을 말한다. 전도가 발생할 경우 차량안정성에 큰 문제가 발생하기 때문에 차량안정성을 평가하기 위해서는 반드시 필요한 부분이다. 일반형 차륜모델과 가변형 차륜모델의 전도가 일어나는 지면의 최대 각도를 측정된 데이터를 토대로 차량의 전도 안전 범위를 제시할 수 있다.

통합시작기의 실증 실험으로 전도 시험을 통해 약액량에 따른 차량의 전도가 일어나는 경사각을 실측하였다. 동역학 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 차량의 전도 유무를 비교 해석함으로써 시설원예용 무인방제기의 차량 안정성을 분석하였다.

안정성 분석 결과, 일반형(타이어) 차륜 시작기의 경우 가변형(이앙기) 차륜 시작기보다 높은 안정도를 보였으며, 45도 각도에서 가장 안정적인 모습을 나타내었고 90도 각도에서 가장 낮은 안정도를 나타내었다. 가변형 무인방제기의 경우, 0도와 180도에서 가장 높은 안정도를 보였으며 또한 90도에서 가장 낮은 안정도를 보였다. 약액통의 무게에 따른 실험에서는 두 모델 모두 0L에서 가장 안정적인 결과가 확인되었고, 40L에서 가장 불안정한 결과를 보였다. 약액통의 무게중심은 비교적 높은 곳에 위치하게 되는데, 그로 인해 무게가 증가할 때면 무게중심 또한 높아지므로 위와 같은 결과가 나타났다.

시뮬레이션 데이터와 실제 측정 데이터를 비교해본 결과, 두 모델 모두 오차범위 내의 유사한 결과를 나타내었다. 이를 통해 유추된 일반형 차륜 시작기의 안정적인 작업 수행 최대 지면 경사각은 전방 35도, 측방 25도로 설정할 수 있다. 가변형 차륜 시작기의 안정적인 작업 수행 최대 지면 경사각은 전방 23도, 측방 20도로 설정할 수 있다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

- 1) 본 연구의 성과에 기대되는 일반적 효과로는 하우스내의 방제작업시 유해한 농약으로부터 사람과 작물을 보호함과 동시에 운반작업 및 재배관리 작업의 기계화, 무인화에 의해 노동생산성을 향상시킬 수 있다.
- 2) 본 연구를 통해 개발 제작한 무인 방제기를 시설재배 농가에 시범적으로 보급하여 활용하도록 함과 동시에 농민들에게 홍보한다.
- 3) 본 연구를 통해 개발한 무인 방제기 제작기술을 업체에 기술 이전 하여 농가에서 요구하는 재배작물에 맞는 차륜 별로 제작 및 판매하도록 한다.
- 4) 본 연구를 통해 개발한 무인 작업기 개발 기술을 타 농작업기의 무인화에 응용하여 무인 농작업기 개발에 활용한다.
- 5) 본 연구를 통해 개발한 배터리를 동력원으로 이용하는 기술을 향후 다른 시설원예하우스용 작업기 개발에 활용한다.

SUMMARY

I . TITLE

Development a low-cost sprayer using autonomous traveling in the greenhouse

II . OBJECTIVES AND NECESSITY

1. OBJECTIVES

The research objective is development of autonomous traveling sprayer which will be easy to operate, possible of setting various path, replacing the often used high-cost sprayer.

2. NECESSITY

Protected Horticulture, similar to glass house or plastic house, is enclosed planting area that is capable of adjusting the product's growth environment such as temperature, humidity, atmospheric constituents, solar energy, etc. The adjustment in this case should be done in easy way representing the producer's will. The agriculture of this kind has benefits in harvesting its agricultural products all year long which is impossible in field cultivation.

Spraying work in a green house was shown with some severe problems these days, such as doing harms to the workers naked to agricultural chemical who were operating with small size portable power sprayer or mist sprayer in an airtight working condition and doing harms to the health of the workers and the growth of crops because of the exhaust gas from the internal engine of the powers prayer.

Recently produced greenhouses for controlled horticulture have improvements in working environment using high-tech controlled horticultural technology such as installed rails in floors and ceiling.

But most of protected horticulture farming families are planting crops by cultivating in soil which enables the highest plant density. Farm families cultivating in soil cannot install sprayer either on the floor or at the ceiling. Such sprayers are used only in a glasshouse basis with a great planting conditions recently.

Development of the low-cost autonomous traveling sprayer for cultivation under structure that can be applied not only in high-tech protected horticultural planting area but also in traditional protected horticultural planting area, will have advantages in improving labor producing rate, minimizing producing cost by labor cost saving and improving competitive power of horticultural facility crops

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Section 1. Objectives of the project	1
Section 2. Background of the project	1
Chapter 2. Domestic & Overseas states of the technical development	2
Section 1. Domestic & overseas status of the technical development	2
Section 2. The vulnerability of the recent technology status	4
Section 3. Prospects of technical development	4
Section 4. Validity for introducing foreign technology	5
Chapter 3. Contents & Results of the project	6
Section 1. Analysis of soil surface characteristic in cultivation area under structure	6
1. Analysis of soil surface characteristic and crop growth status in domestic cultivation area under structure	6
A. Analysis of characteristic of green house in Gyeongsangnam-do	7
B. Analysis of characteristic of green house in Chungcheongnam-do, Jeollanam-do	10
2. Analysis of soil characteristic of greenhouse for designing the driving part	15
3. Analysis of soil surface characteristic for selecting the proper driving part of the autonomous sprayer and designing the steering mechanism	16
A. Analysis of soil surface characteristic and selection of crop for selecting the proper driving part	16
B. Analysis of driving part traction theory	18
C. Selection of autonomous sprayer power source & power transfer mechanism concept design ..	20
Section 2. Design of autonomous travelling sprayer system & performance test	22
1. Design of autonomous travelling sprayer system	22
A. Analysis of autonomous travelling sprayer system algorithm	22
B. Design and manufacture of controller	24
2. Manufacture of autonomous travelling sprayer system	25
A. Material & method	25
Section 3. Design & manufacture of driving part factorial test material	31
1. Design & manufacture of factor factorial test material for driving part performance analysis ..	31
A. Driving part concept design	31

B. Driving part manufacture	32
C. Control part major component	37
2. Design & manufacture of steering-control system	42
A. Design detail of steering-control system	42
B. Hardware constitution of steering-control system	42
3. Test result of factorial test tool performance	45
A. Constant distance with obstacle	45
B. Constant angle with obstacle	46
C. Perpendicular steering	47
Section 4. Performance test of autonomous travelling sprayer control part	49
1. Manufacture & performance test of autonomous travelling sprayer control part	49
A. Control part synopsis	49
B. Motor part vehicle	49
C. Sensor part & control part manufacture	50
D. System manufacture	53
E. Autonomous travelling control algorithm	53
F. Spray part self-leveling algorithm	54
G. Autonomous travelling control performance test method	55
H. Autonomous travelling control performance test result	55
I. Spray part self-leveling test result	57
Section 5. Dynamic power transmission & Production of instrument part & Factorial performance test	58
1. Production of instrument part	58
2. Factorial performance test	59
A. Prototype and test device for the test	59
B. Performance test of controlling ultrasound	59
C. Performance test of steering control	60
D. Performance test of autonomous traveling	62
E. Performance test of controlling the angle of boom	63
Section 6. Design and construction of a prototype	64
1. The choice of wheel type on driving part according to the crop planting environment	64
A. General wheel type model	65
B. Variable wheel type model	65
2. Modeling of the prototype	65
A. Design tool	65

B. Design of general wheel type model	66
C. Design of variable wheel type model	67
3. Production of the prototype	68
A. Design of general wheel type model	68
B. Design of variable wheel type model	69
C. Main components	70
Section 7. Performance evaluation & stability analysis of the prototype	75
1. Performance evaluation of the prototype	75
A. Stability evaluation of the prototype(Field test)	75
B. Climbing performance test of the prototype	78
C. Driving performance test of the prototype with general wheel type	81
D. Driving performance test of the prototype with variable wheel type	89
2. The static stability analysis of the vehicle	92
3. The static stability analysis of the vehicle using simulation	95
A. The model assembly using Solidworks	96
B. The dynamic analysis using Recurdyn	96
C. The result of the satability analysis of the unmanned sprayer	102
Chapter 4. Objective achievement & Contribution	109
Section 1. Objective achievement	109
Section 2. Self-evaluation for objective achievement	110
Section 3. Contribution to the related area	110
Chapter 5. Application plan of the project results	111
Section 1. Need for additional researches	111
Section 2. Application of the project results	111
Section 3. Commercialization plan for the prototype	111
Chapter 6. Overseas technical information	112
Chapter 7. References	113

목차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구개발의 목적	1
제 2 절 기술개발의 필요성	1
제 2 장 국내외 기술개발 현황	2
제 1 절 국내외 연구개발 내용	2
제 2 절 현 기술상태의 취약성	4
제 3 절 앞으로의 전망	4
제 4 절 기술도입의 타당성	5
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	6
제 1 절 시설 재배지의 지표 특성 분석	6
1. 국내 시설 재배지 작물생육 형태 및 지표 특성 분석	6
A. 경상남도 일대 시설하우스 재배지 특성 분석	7
B. 충청남도, 전라남도 일대 시설하우스 재배지 특성 분석	10
2. 주행부 설계를 위한 시설 재배지의 토양 특성 분석	15
3. 시설하우스용 무인방제기의 적정 주행부 선정을 위한 지표특성 분석 및 조향 메커니즘 설계	16
A. 적정 주행부 선정을 위한 작물선정 및 지표특성 분석	16
B. 주행부 견인이론 분석	18
C. 무인방제기 동력원 선정, 동력 전달 메커니즘 개념설계	20
제 2 절 자율 주행 방제시스템 설계 및 성능 실험	22
1. 자율 주행 방제 시스템의 설계	22
A. 자율 방제 시스템 알고리즘 분석	22
B. 조작부 및 컨트롤러의 설계 및 제작	24
2. 자율 주행 방제 시스템의 제작	25
A. 재료 및 방법	25
제 3 절 주행부 요인 시험장치 설계 및 제작	31
1. 주행부의 성능분석을 위한 요인 시험 장치 설계 및 제작	31
A. 주행부 개념 설계	31
B. 주행부 제작	32
C. 제어부 주요 구성 요소	37

2. 조향 제어 시스템 설계 및 제작	42
A. 조향 제어 시스템 설계 사양	42
B. 조향 제어 시스템 하드웨어 구성	42
3. 요인시험 장치 성능 시험 결과	45
A. 장애물과의 거리가 일정한 경우	45
B. 장애물과의 각도가 일정한 경우	46
C. 직각 조향	47
제 4 절 자율 경로 주행 제어기 성능 실험	49
1. 자율경로 주행 제어기 제작 및 성능실험	49
A. 제어부 개요	49
B. 구동부 차량	49
C. 계측부 및 제어부 제작	50
D. 시스템 제작	53
E. 자율주행 제어 알고리즘	53
F. 약제부의 균평 알고리즘	54
G. 자율경로 주행 제어 성능 실험 방법	55
H. 자율경로 주행 제어 성능 실험 결과	55
I. 약제부 균평제어 실험 결과	57
제 5 절 동력 전달 및 기구부 제작 및 요소별 요인 성능 실험	58
1. 동력 전달 기구부 제작	58
2. 요소별 요인 성능 시험	59
A. 실험을 위한 시작기 및 실험 장치	59
B. 초음파 제어 성능 실험	59
C. 조향 제어 성능 실험	60
D. 자동 주행 성능 실험	62
E. bumper 제어 성능 실험	63
제 6 절 통합 시작기의 설계 및 제작	64
1. 작물 재배 환경에 따른 주행부 차륜선택	64
A. 일반 차륜 모델	65
B. 가변형 차륜 모델	65
2. 통합시작기 모델링	65
A. 설계 도구	65
B. 일반 차륜 모델 설계	66
C. 가변형 차륜 모델 설계	67

3. 통합시작기 제작	68
A. 일반형 차륜 모델	68
B. 가변형 차륜 모델	69
C. 중요 구성 부품	70
제 7 절 통합 시작기의 성능실험 및 안정성 분석	75
1. 통합시작기의 성능 시험	75
A. 통합시작기의 안정성 평가(실증실험)	75
B. 통합시작기 등판 성능 시험	78
C. 일반형 차륜 시작기 주행 성능 시험	81
D. 가변형 차륜 시작기 주행 성능 시험	89
2. 정역학적 차량 안정성 분석	92
3. 시뮬레이션을 이용한 차량 안정성 분석	95
A. SolidWork를 이용한 모델 어셈블리	96
B. RecurDyn을 이용한 동역학적 분석	96
C. 무인방제기 안정성 분석 결과	102
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	109
제 1 절 목표달성도	109
제 2 절 평가 착안점에 따른 목표달성도 자체평가	110
제 3 절 관련분야에의 기여도	110
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	111
1. 추가연구의 필요성	111
2. 타 연구에의 응용	111
3. 기업화 추진방안	111
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	112
제 7 장 참고문헌	113

< 표 차례 >

표 1-1 노지재배 면적과 시설 재배 면적 비교(2006년 자료)	6
표 1-2 경상남도 재배 양식	7
표 1-3 충청남도, 전라남도 지역 조사 작물	10
표 1-4 다양한 작물에 따른 재배 특성 분석	15
표 1-5 시작기의 제작 사양	20
표 2-1 초음파센서의 제원	25
표 2-2 광센서의 제원	29
표 2-3 경사각 센서의 제원	29
표 2-4 퍼텐쇼미터의 제원	30
표 2-5 자세제어용 모터의 제원	30
표 3-1. 주행부 제원	32
표 3-2 타이밍 벨트 제원	34
표 3-3 벨트 풀리 제원	34
표 3-4. 보조차륜 제원	36
표 3-5 MCU 제원	37
표 3-6 AM-128PRO 모듈의 제원	38
표 3-7 AB-M128-B 개발보드 제원	38
표 3-8 초음파센서 제원	39
표 3-9 릴레이 제원	41
표 3-10 조향 제어 시스템의 설계 사양	42
표 3-11 센서 신호 별 주행 방향 제어 테이블	44
표 3-12 주행 방향 별 Relay 출력 극성 제어 테이블	44
표 3-13 사선 주행 테스트 결과, Unit(mm)	46
표 4-1 구동부 제원	49
표 4-2 초음파 센서(TS601)의 제원	50
표 4-3 기울기 센서(M1)의 제원	51
표 4-4 스텝모터(SE-SM9K)의 제원	52
표 5-1 초음파 센서의 제원	59
표 6-1 국내 토경재배 형태(통계청, 2007)	64
표 6-2 일반형 차륜 모델의 제원	68
표 6-3 가변형 차륜 모델의 제원	69
표 6-4 DC motor의 제원	72
표 6-5 배터리 제원	73
표 6-6 약제통 제원	73

표 6-7 스텝핑모터 제원	74
표 6-8 베어링 제원	74
표 7-1 일반형 차륜 시작기 안정성 분석 결과	104
표 7-2 가변형 차륜 시작기 안정성 분석 결과	107

<그림 차례>

그림 1-1 IMRS-2000	2
그림 1-2 Remote Controlled sprayer	2
그림 1-3 유도 케이블식 과수용 무인 방제기	3
그림 1-4 셔틀 스프레이 카	3
그림 1-1 지봉형(좌), 반원형(중), 연동아치형(우)	6
그림 1-2 하동군 기술센터 상추 시험장	7
그림 1-3 하동군 기술센터 육묘 시험장	7
그림 1-4 하동지역 가지 양액장	8
그림 1-5 하동지역 양상추 재배지	8
그림 1-6 하동지역 딸기 재배지	8
그림 1-7 하동지역 부추 재배지	8
그림 1-8 하동지역 셀러리 재배지	8
그림 1-9 하동지역 부추묘 육묘장	8
그림 1-10 김해지역 장미 재배지	9
그림 1-11 해지역 국화 재배지	9
그림 1-12 김해지역 토마토 재배지	9
그림 1-13 김해지역 토마토 재배지	9
그림 1-14 진주농림기술센터 작업용 대차	9
그림 1-15 진주농림기술센터 토마토 재배	9
그림 1-16 진주농림기술센터 파프리카 재배	10
그림 1-17 진주농림기술센터 딸기 재배	10
그림 1-18 딸기 재배지의 두둑 높이 모습	10
그림 1-19 딸기 재배지의 끝 부분 모습	10
그림 1-20 딸기 재배 양상 및 규격	11
그림 1-21 수박 재배지의 재배 모습	11
그림 1-22 수박 재배지의 끝 부분 모습	11
그림 1-23 수박 재배 양상 및 규격	11
그림 1-24 오이 재배지의 재배 모습	12
그림 1-25 오이 재배지의 끝 부분 모습	12
그림 1-26 오이 재배 양상 및 규격	12
그림 1-27 지상이동용 연무 방제기	13
그림 1-28 고정용 연무 방제기	13
그림 1-29 천장 레일용 방제기	13
그림 1-30 천장 레일용 방제기의 제어부	13

그림 1-31 수동 이동용 방제기	14
그림 1-32 천장 분무식 방제 시스템	14
그림 1-33 딸기 재배지(부여지역)	16
그림 1-34 딸기 재배지(김해지역)	16
그림 1-35 딸기 재배지 끝 부분(부여지역)	17
그림 1-36 딸기 재배지 끝 부분(김해지역)	17
그림 1-37 부여 지역에서의 고랑폭	17
그림 1-38 나주 지역에서의 고랑폭	17
그림 1-39 운반용 자작 대차의 옆모습	17
그림 1-40 운반용 자작 대차의 앞모습	17
그림 1-41 Direction of the GT on the tracks	19
그림 1-42 Direction of the GT on the wheels	19
그림 1-43 두둑 사이를 주행하기 위한 개념설계	20
그림 1-44 시설 하우스 끝 부분에서의 움직임	20
그림 1-45 최소 회전 반경	21
그림 1-46 시설하우스 끝 부분의 모습	21
그림 2-1 제어 알고리즘(주행시)	22
그림 2-2 제어 알고리즘(조향시)	23
그림 2-3 제어 알고리즘(자세 제어시)	23
그림 2-4 조작부 및 컨트롤러의 개요도	24
그림 2-5 조작부	24
그림 2-6 컨트롤러	24
그림 2-7 초음파 센서	25
그림 2-8 초음파 센서의 Calibration 결과	25
그림 2-9 로프의 종류에 대한 센서의 거리 검출 특성 실험 결과	26
그림 2-10 PP로프의 굵기 종류	26
그림 2-11 굵기에 대한 센서의 검출 특성 실험 결과	26
그림 2-12 실험 장치	27
그림 2-13 초음파 센서의 동적 검출 특성 실험결과(거리 45Cm, 차속 0.5Km)	27
그림 2-14 초음파 센서의 동적 검출 특성 실험결과(거리 55Cm, 차속 1.0Km)	28
그림 2-15 광센서	29
그림 2-16 경사각 센서	29
그림 2-17 틸각 센서의 사진	30
그림 2-18 틸 자세제어용 모터	30
그림 3-1 시설원예용 하우스 내 주행 차량 개념 설계	31
그림 3-2 주행부 요인 시험 장치 개념 설계	32
그림 3-3 주행부 사진	32
그림 3-4 주행 궤도 독립 장치	33

그림 3-5 주행 궤도 결속 후의 모습	33
그림 3-6 모터 내부 장착의 앞모습	33
그림 3-7 모터 내부 장착의 뒷모습	33
그림 3-8 모터 사진	34
그림 3-9 DC모터	34
그림 3-10 타이밍 벨트의 피치	34
그림 3-11 구동부에 결합된 모습	34
그림 3-12 모터와 샤프트의 연결	35
그림 3-13 베벨 기어 장착 전	35
그림 3-14 리니어 액츄에이터	35
그림 3-15 보조차륜 장착 모습	36
그림 3-16 자동조심 베어링 연결	36
그림 3-17 템퍼용 스프링	36
그림 3-18 컨트롤박스안 제어부 모습	37
그림 3-19 AM-128PRO 모듈	38
그림 3-20 AB-M128-B 개발보드	38
그림 3-21 NT-TS601 초음파센서	39
그림 3-22 초음파센서	40
그림 3-23 초음파센서 설치	40
그림 3-24 릴레이 회로도	40
그림 3-25 릴레이구성 모습	41
그림 3-26 릴레이 회로도	41
그림 3-27 전체 시스템 구성도	42
그림 3-28 제어 시스템 하드웨어 구성 화면	42
그림 3-29 MCU 펌웨어 Flow chart	43
그림 3-30 PC 소프트웨어 실행 화면	43
그림 3-31 6채널 거리 계측 화면	44
그림 3-32 6채널 거리 계측 결과	44
그림 3-33 직각 주행 시험 방법	45
그림 3-34 직각 주행시 좌측 초음파센서 값 측정	45
그림 3-35 직각 주행시 좌측 초음파센서 값 측정	45
그림 3-36 사선 주행 테스트 방법	46
그림 3-37 사선 주행시 초음파센서 측정값	46
그림 3-38 사선 주행시 초음파센서 측정값	46
그림 3-39 직각 조향 테스트 방법	47
그림 3-40 구간별 전방 초음파센서(좌, 우)의 거리값	48
그림 3-41 구간별 측방 초음파센서(좌, 우)의 거리값	48
그림 4-1 전체 시스템 구성도	49

그림 4-2 구동부 사진	49
그림 4-3 Atmega 128	50
그림 4-4 초음파센서(TS601)	50
그림 4-5 각도센서	50
그림 4-6 초음파센서 보정	51
그림 4-7 각도센서 보정	51
그림 4-8 스테핑모터	52
그림 4-9 릴레이 회로도	52
그림 4-10 릴레이 제어부 제작	52
그림 4-11 차량의 전체적인 모습	53
그림 4-12 제어부의 형태	53
그림 4-13 주행제어 시스템 순서도	54
그림 4-14 균평제어 시스템 순서도	54
그림 4-15 실험 트랙	55
그림 4-16 자율경로 주행 시 초음파 센서 값의 변화(Left to Right)	56
그림 4-17 자율경로 주행 시 초음파 센서 값의 변화(Right to Left)	56
그림 4-18 균평 제어 시 기울기 센서 값의 변화(Left to Right)	57
그림 4-19 균평 제어 시 기울기 센서 값의 변화(Right to Left)	57
그림 5-1 DC모터	58
그림 5-2 체인 장력 지지대	58
그림 5-3 스프라켓(모터부)	58
그림 5-4 차축 베어링	58
그림 5-5 스프라켓(차륜부)	58
그림 5-6 동력 전달 기구부	58
그림 5-7 실험 장치의 사진	59
그림 5-8 실험 장치의 사진	59
그림 5-9 초음파 센서	59
그림 5-10 초음파 센서의 Calibration 결과	60
그림 5-11 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(5도)	61
그림 5-12 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(10도)	61
그림 5-13 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(15도)	61
그림 5-14 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(20도)	61
그림 5-15 자동 주행 실험 결과(전진)	62
그림 5-16 자동 주행 실험 결과(전진)	62
그림 5-17 봄 자세제어를 위한 요소 실험장치	63
그림 5-18 우 경사 시의 실험결과	63
그림 5-19 좌 경사 시의 실험결과	63
그림 6-1 일반 차륜 모델	66

그림 6-2 일반 차륜 모델 설계 완성도	66
그림 6-3 가변형 차륜 모델	67
그림 6-4 가변형 차륜 모델 설계 완성도	67
그림 6-5 일반형 차륜 모델의 모습	68
그림 6-6 가변형 차륜 모델의 모습	69
그림 6-7 일반 도로용 차륜(left-picture, right-modeling)	70
그림 6-8 이양기용 차륜(left-picture, right-modeling)	70
그림 6-9 DC motor(left-picture, right-modeling)	71
그림 6-10 DC motor 제원	71
그림 6-11 DC motor의 특성 커브	72
그림 6-12 배터리	73
그림 6-13 약제통 사진	73
그림 6-14 스테핑모터 사진(left-picture, right-modeling)	74
그림 6-15 베어링 도면	74
그림 7-1 통합시작기 안정성 평가(실증실험)	75
그림 7-2 통합 시작기 안정성 평가 실험(좌/우 전도)	75
그림 7-3 리미트스위치와 경사각센서의 위치	75
그림 7-4 통합 시작기 전/후 전도 시험 방법	76
그림 7-5 통합 시작기 좌/우 전도 시험 방법	76
그림 7-6 일반형 차륜 모델의 전도시험 결과	77
그림 7-7 가변형 차륜 모델의 전도시험 결과	77
그림 7-8 통합시작기 등판성능 시험 방법	78
그림 7-9 일반형 차륜 모델 등판성능 시험	78
그림 10 가변형 차륜 모델 등판성능 시험	78
그림 7-11 일반형 차륜 모델(0kg, 15 degree)	79
그림 7-12 일반형 차륜 모델(20kg, 15 degree)	79
그림 7-13 일반형 차륜 모델(40kg, 15 degree)	80
그림 7-14 가변형 차륜 모델(0kg, 15 degree)	80
그림 7-15 가변형 차륜 모델(20kg, 15 degree)	81
그림 7-16 가변형 차륜 모델(40kg, 15 degree)	81
그림 7-17 실험 장치(플라스틱 판)	82
그림 7-18 실험 장치(튜브)	82
그림 7-19 실험결과(플라스틱판 : 밖에서 안으로 이동)	82
그림 7-20 실험결과(플라스틱판 : 안에서 바깥으로 이동)	83
그림 7-21 실험 결과(튜브)	83
그림 7-22 제어신호와 차륜회전수 사이의 관계	84
그림 7-23 실험 결과 (전진 : 40, 60, 100%)	84
그림 7-24 실험 결과 (후진 : 40, 60, 100%)	84

그림 7-25 실험 결과(응답성)	85
그림 7-26 실험 결과(전진)	86
그림 7-27 실험 결과(후진)	86
그림 7-28 차륜 무부하 및 부하(주행) 시의 차륜 회전수 비교	86
그림 29 시작기 주행 성능 시험 모습	87
그림 7-30 주행 속도 40%에서 전진 및 후진 후 결과	87
그림 7-31 유리 온실 내에서의 제어 성능 실험의 결과 (편도)	88
그림 7-32 유리 온실 내에서의 제어 성능 실험의 결과 (왕복)	88
그림 7-33 가변형 차륜 시작기	89
그림 7-34 실험용 포장의 모습	89
그림 7-35 비닐 온실에서의 제어 성능 실험 결과(듀티비: 80%)	90
그림 7-36 비닐 온실에서의 제어 성능 실험 결과(듀티비: 100%)	90
그림 7-37 봄의 제어 성능 실험 결과(듀티비: 80%)(위 : 6도, 아래 : 8도)	91
그림 7-38 봄 제어 성능 실험	91
그림 7-39 X축의 무게중심 결정	92
그림 7-40 Z축의 무게중심 결정	93
그림 7-41 Y축의 무게중심 결정	94
그림 7-42 RecurDyn을 이용한 다양한 동역학적 분석	95
그림 7-43 SolidWorks를 사용하여 모델링 및 어셈블리	96
그림 7-44 RecurDyn을 통한 모델링 및 분석 수행 사진	97
그림 7-45 일반형 메인바디의 질량 구속 조건	98
그림 7-46 차륜 재질 조건	98
그림 7-47 일반형 차륜의 마찰계수	99
그림 7-48 일반형 차륜의 질량조건	99
그림 7-49 일반형 차륜의 속도 조건	99
그림 7-50 일반형 차륜 등속도 구속 조건	99
그림 7-51 가변형 무인방제기 질량 조건	100
그림 7-52 가변형 무인방제기 차륜의 재질 조건	100
그림 7-53 가변형 차륜의 마찰계수 조건	100
그림 7-54 가변형 무인방제기의 차륜 질량 조건	100
그림 7-55 가변형 차륜의 속도 조건	100
그림 7-56 가변형 차륜의 등속도운동 조건	100
그림 7-57 방향각 및 지면 경사각 측정 방법	101
그림 7-58 일반형 무인방제기의 안정성 분석(direction=0°, ground=53°, 0L)	102
그림 7-59 일반형 무인방제기의 안정성 분석(direction=0°, ground=54°, 0L)	102
그림 7-60 일반형 무인방제기의 안정성 분석(direction=90°, ground=42°, 0L)	102
그림 7-61 일반형 무인방제기의 안정성 분석(direction=90°, ground=43°, 0L)	102
그림 7-62 일반형 무인방제기의 안정성 분석 (direction=0°, ground=39°, 40L)	103

그림 7-63 일반형 무인방제기의 안정성 분석(direction-0°, ground-40°, 40L)	103
그림 7-64 일반형 무인방제기의 안정성 분석(direction-90°, ground-22°, 40L)	103
그림 7-65 일반형 무인방제기의 안정성 분석(direction-90°, ground-23°, 40L)	103
그림 7-66 일반형 차륜 시작기 safetyzone 영역	104
그림 7-67 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-0°, ground-39°, 0L)	105
그림 7-68 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-0°, ground-40°, 0L)	105
그림 7-69 가변형 무인방제기 안정성 분석 (direction-45°, ground-34°, 0L)	105
그림 7-70 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-45°, ground-35°, 0L)	105
그림 7-71 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-90°, ground-27°, 0L)	106
그림 7-72 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-90°, ground-28°, 0L)	106
그림 7-73 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-0°, ground-19°, 40L)	106
그림 7-74 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-0°, ground-20°, 40L)	106
그림 7-75 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-90°, ground-22°, 40L)	106
그림 7-76 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-90°, ground-23°, 40L)	106
그림 7-77 가변형 차륜 시작기 safetyzone 영역	107

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

본 연구의 목적은 현재 원예시설농가에서 사용되고 있는 고가의 무인 방제기를 대체가능하며 다양한 형태의 시설원예용 하우스에 효과적으로 사용할 수 있는 초음파를 이용한 자율경로 주행형 무인방제기를 개발하는 것이다.

제 2 절 기술개발의 필요성

우리나라의 시설 원예 면적 또한 1980년에는 7,31ha의 면적에 그쳤지만 1991년도 30,107ha로 늘어났고 2009년에는 52,000ha까지 약 8배나 증가하였고 이런 시설원예의 증가는 계속 이어질 것으로 전망되고 있다. 시설원예는 전체 경지면적에서 5%에 불과하지만 생산액이 약 15%에 달해 전체 작물의 평균적인 토지생산성보다 3배 높다. 시설채소만을 볼 때 전체 채소면적의 약 23.5%이나 생산액은 채소전체의 43%가 되어 채소 평균적 토지 생산성보다 1.8배 정도 높다. 시설채소 재배면적은 지속적으로 늘어나고 있으며 2000년 채소 전체 재배 면적에서 23.5%를 차지하며 비중이 늘어나고 있다. 시설채소 재배면적에서도 수박, 참외, 딸기, 오이, 토마토, 풋고추, 호박 등 과채류 재배면적이 63%를 차지하고 시설채소에서 주류 분야이다. 이런 추세로 보면 앞으로의 농업관련 연구는 시설원예에 관한 연구가 더 많이 이뤄져야 할 것으로 보이고 실제로 많은 시설원예에 관련된 연구들이 진행되고 있다.

시설원예용 하우스 내에서의 작업은 실내라는 공간의 특성상 인력으로 해결하는 경우가 많으나 밀폐된 공간에서 작업은 작업자의 건강상의 피해를 발생시킨다. 특히 농촌진흥청에서 발표한 농업기술정보의 자료 중 신영숙(2004)은 '비닐하우스 작업자의 건강관리'를 통해 시설하우스의 작업 환경을 거론하며 하우스병의 원인과 증상에 관하여 설명하였고 하우스병 경감을 위한 대책으로 하우스를 대형화하고 환기 및 통풍장치의 설치, 시설 하우스 옆에 중간 휴게실 설치 등의 실천을 강조 하였다. 그러나 하우스병 경감을 위한 대책을 실천하여도 시설원예용 하우스 내에서의 작업을 인력으로 해결하는 한 피해는 계속 발생 될 것이다. 따라서 작업자에게 발생하는 피해를 완전히 방지하기 위해서는 생산을 위한 작업이 무인으로 이루어지는 무인 자동 주행 작업 장치의 개발이 필요하다. 특히 하우스 내에서의 방제 작업은 농약 노출에 의해 작업자에게 피해를 가장 많이 입히게 된다. 이를 개선하기 위해서 많은 무인 자동 방제기의 개발이 필요하며 특히 시설 하우스 내에서도와 같은 좁은 공간 내에서 효과적으로 사용될 수 있는 무인 자동 주행 장치의 개발이 절실하다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내외 연구개발 내용

국내의 기술 개발현황을 살펴보면, 방제기의 다양한 노즐 개발을 통한 효과적인 분무립의 살포에 관련된 연구는 활발히 진행되고 있으나, 방제작업의 무인 자동화에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 또한, 무인방제기에 관한 현행 연구들을 살펴보면 기술 개발의 대부분이 레일 설치를 통한 대규모 플랜트에서의 방제에 초점이 맞추어져 있는 상황이다. 현재 대다수의 소규모 원예 농가에서 사용 중인 일반 방제기들은 휴대용 소형 동분무기 및 연무기를 이용하고 있어, 사람이 직접 적과, 적심 등의 작업을 행해야 하는 소규모의 원예 시설에서는 사용 작업자의 인체에 해로울 수 있을 뿐만 아니라, 큰 노동 강도로 인해 작업 능률이 저하될 수도 있다. 그러나 국내 농기계 업체에서 현재까지 개발된 무인 자동 방제기는 기술의 대부분이 일본이나 미국 등에 의존해 있는 상황으로, 국내 상황 등에는 독자적인 기술 개발을 통한 실용화 및 상용화가 효과적으로 이루어지지 못하고 있다. 예를 들어, 이동식 전자방제기(MRS-2000, PARU)를 살펴보면 정전하 방제시스템을 채택함으로써 방제 효율을 극대화하고 하우스 천정에 행동식 레일을 설치하여 노즐 지지대 및 호스를 무인 주행 가능제기(하지만, 레일 설치로 인한 초기 설치비가 많이 들고 호스의 길이는 하우스의 폭과 길이만큼 설치 시에 설정되어 있어 방제 장소를 추가로 설정하기가 어렵다는 단점이 있다. 또 하우스무인방제기(선농)를 보면 회전식 포그 방식을 통해 상, 하향식 분사가 가능하지만, 역시나 레일 설치로 인한 초기 설치비용이 많이 든다는 단점이 있다. 따라서 대규모 하우스 시설에서만 사용가능한 것이 아닌 소규모 원예 용 하우스 시설에서도 이용 가능하며, 시설 설치비용도 적게 들고 범용성이 높은 배터리 동력 원 기반의 무인 주행 자동 방제기의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.



그림 1-1 IMRS-2000



그림 1-2 Remote Controlled sprayer

국외의 경우, 유도 케이블식 과수 무인 방제기(KIORITZ, 新農業機械實用化促進株式會社)라는 최근에 개발된 제품을 살펴보면 마그네틱 유도 센서로 과수원 사이를 주행함으로써 농약

노출이 없는 방제가 가능하며, 장애물 감지 센서에 의한 자동 정지 등의 안전장치를 장비하고 있으나, 다양한 장비들로 인한 무인 방제기 차량의 대형화와 생산 설계비가 높다는 단점이 있다. 그 외에 셔틀 스프레이카(MSC1-103DW, 丸山)는 4WD 주행형태로 전진 및 후진 자동변환이 가능하고 구동방식은 모터이며 각 노즐 방향을 자유롭게 변경 가능한 반면에 분무호스길이에 제한이 있다는 단점이 있다. 앞에서 언급했듯이, 이와 같은 방식은 구조가 복잡하고 주행 성능이 불량하며 기계의 가격이 고가가 된다는 단점이 있다. 또한 이것들은 방제 작업의 용도로만 개발되었으며, 호스 권취식으로서 방제 작업 시 동일 고랑을 전·후진하여 작업하므로 작업 능률이 크게 저하되고, 분무 노즐도 고정된 수직 분관에 배열한 입목(立木)살포 형식으로서 초장이 작은 작물의 방제에는 약액의 부착률이 일정하지 못해 효과적이지 못하다. 또한 주행유도 방식을 자율경로방식으로 채택하고 있는 것이 대부분인데 실용화를 위해 시각장치기술, 자가 위치검출 장치기술 등 핵심기술의 개발이 선정되어야 하는 문제점이 있다. 그 외의 시스템으로서는 하우스 지주에 레일을 설치하고 그 위를 주행하는 가드에 동력분무기를 탑재해서 방제작업을 하거나 연무기를 이용하는 방법 등이 개발 중에 있으며 운반용 기계로서는 모노레일방식, 승차형 자주식운반차 등에 관한 연구가 수행되고 있다.



그림 1-3 유도 케이블식 과수용 무인 방제기



그림 1-4 셔틀 스프레이 카

문헌 연구사례를 살펴보면, 우리나라에서 진행된 무인 방제기에 관한 연구는 김태한(1999)의 연구를 보면 1개의 유도파이프가 고랑에 설치되어 있어 방제차가 이 유도 파이프를 따라 움직이면서 방제를 하는 방법으로 모바일 시스템을 이용한 방법은 아니지만 파이프를 따라 움직이는 것이므로 직진 및 주행 기술이 상당히 우수해졌고 가격도 많이 낮아졌다고 말하고 있다. 또한 이런 유도파이프가 설치된 방법은 온실의 크기가 크지 않은 일본이나 우리나라에 적합한 방법이고 온실의 크기가 큰 편인 미국이나 중국의 경우에는 부적합한 측면이 있다고 논문에서 전하고 있다.

근거리 무선통신, 휴대용 무선통신 등 IT분야의 괄목할 만한 성장과 함께 산업 현장의 각종 분야에 무선통신을 이용한 자동화 장치의 발전과 보급은 급속도로 확대되어 왔다. RF기술

을 적용한 농업용 릴방제기 원격제어시스템 개발을 한 박세준(2007) 논문에서는 기존 릴 방제기를 개발하는 데에 있어서 생산/보급하는 기업의 기술력 확보와 애로사항을 해결하기 위해 기존 시스템에서 원격제어가 불가능하던 릴 구동부를 원격지(2km이내)에서 25khz대역폭을 사용한 Narrow band방식을 적용하여 제어할 수 있었다.

외국에서 연구된 무인 방제차량을 보자면 Mandow(1996)는 AURORA라는 농업용 모바일 로봇을 만들었는데 이 역시 일반적인 6륜 구동차량에 라디오신호를 기반으로 하여 외부에서 사람이 조종할 수 있게 만들었다. AURORA의 특징은 각종 센서들을 장착하여 효과적인 내비게이션을 할 수 있게 만들었다는 점이다. 실제 AURORA에는 비디오센서, 초음파센서, 감시카메라 등 다양한 센서를 달아 놓아 작물의 위치, 작물의 높이를 초음파센서로 파악하고 비디오센서와 감시카메라를 통해 AURORA 앞의 배경을 사용자가 볼 수 있게 하였다.

Bin Zhang(2009)은 일반적인 4륜구동차량에 무선신호를 보낼 수 있는 모바일시스템을 장착하여 실시간으로 밖에서 방제차량을 조종할 수 있는 장치를 만들어 내었다. 방제를 할 때, 중요한 요소가 3가지가 있는데 식물의 종류, 해충의 종류 및 밀도, 해충제의 종류가 중요한 3가지 요소이다. 이 3요소에 따라 해충제의 뿌리는 양을 결정하게 되는데 이는 사람의 힘을 빌려야 하는 요소이다. 그리하여 사람은 밖에서 방제차를 모바일시스템을 이용하여 조종하고 방제차는 그에 맞는 신호를 따라 움직이면서 방제를 하고 그 신호를 바로 보내는 피드백시스템을 이용하여 새로운 방제차를 개발하였다.

제 2 절 현 기술상태의 취약성

일본 등 해외에서 개발되어 사용되고 있는 하우스용 무인 방제기는 우리나라 시설하우스의 재배형태, 토양상태 등을 고려했을 때 우리나라에 적합하지 않은 것으로 판단된다. 시설하우스의 재배형태는 해외지역에서 재배되는 형태와 판별하게 다르다. 또한 우리나라의 토양은 해외지역에 비해 토양의 강도가 큰 사양토가 대부분이다. 따라서 우리나라에서 개발되어 사용될 수 있는 무인방제기는 재배 작목마다 변형이 가능하여 다양하게 사용될 수 있어야 하고, 사양토로 구성되어 있으며 토양강도 높은 시설원예하우스에 적응성도 좋은 기종이 개발되어야 한다.

주행부 및 작업부의 구성도 이에 적합하게 설계되어야 하나 국내에서는 아직 이에 대한 연구가 시설하우스 중 5%이내인 유리온실 내에만 적합한 연구로 극히 제한되어 있다. 구미 또는 일본에서 사용되고 있는 작업 및 주행부는 재배작목 및 포장조건이 다르므로 구성상 그대로 사용하기에는 많은 문제점이 있는 것으로 판단된다.

제 3 절 앞으로의 전망

농촌노동력의 감소에 대응하고, 농산물시장 개방에 따른 우리 농산물의 국제경쟁력을 강화시키기 위해서는 시설하우스 내 무인화는 필수적이다. 특히 시설 원예 하우스 특징상 보온

및 단열에 민감하여 통풍성이 좋지 못하여 방제작업 시 발생하는 물질은 인체 내에서 극히 유해하다. 따라서 본 연구를 통하여 시설 하우스 내 무인자율 주행이 가능한 무인방제기를 개발한다면 노동비 절감뿐만 아니라 인체에 안전을 우선시 하고 정밀 방제가 가능한 농업시스템 도입이 가능하다.

이러한 이유로 최근 시설하우스 재배 농민들의 무인방제기에 대한 요구가 늘어나고 있으며, 앞으로 이러한 추세는 계속 될 것이다. 시설 원예 하우스의 현장의 문제점을 해결하기 위하여 개발한 한국형 시설하우스용 무인방제기는 극히 제한적이었던 유리온실에서 뿐만 아니라 시설 농가의 90%이상인 토경재배에서도 사용이 가능하여 노동력절감을 통한 농민들의 가격경쟁력을 향상 시킬 수 있다. 또한 본 연구로 개발된 무인방제기의 주행부는 차후 관리기의 주행부로서 도입이 가능하며, 시설하우스 내에서 작업되는 모든 기계의 무인화에 밑바탕으로 가능하다.

제 4 절 기술도입의 타당성

우리나라에 적용될 수 있는 시설 하우스용 무인방제기는 재배 작목별 및 소규모 포장에서 기동성 있게 사용될 수 있어야 하고, 강도가 높은 토양에도 사용이 가능하도록 개발되어야 한다. 따라서 기구부의 구성도 이에 적합하게 설계되어야 하나 국내에서는 아직 이에 대한 연구가 전무한 상태이며, 구미 또는 일본에서 사용되고 있는 기구부는 구성상 그대로 사용하기에는 많은 문제점이 있는 것으로 판단되며, 국내 기술진에 의해 국내의 실정에 적합한 시설원예용 자율주행형 무인방제기를 개발하여야 한다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 시설 재배지의 지표 특성 분석

1. 국내 시설 재배지 작물생육 형태 및 지표 특성 분석

우리나라 시설농업의 발전으로 현재 많은 작물들이 시설하우스 내에서 재배되고 있다. 특히 화훼와 과채류는 대부분이 시설하우스에서 재배되고 있으며 앞으로도 재배면적이 점차 늘어날 것으로 예상된다(2008 농업기계연감). 본 연구는 다양한 주행 방식들 중 하우스 내에서 효과적인 주행 방식을 다양한 문헌을 바탕으로 결정하였다. 많은 하우스들 중 수경재배 뿐만 아니라 환경이 열악한 토경재배에서도 주행이 가능한 장치를 제작하기 위하여 시설하우스 재배지 현지 조사를 약 3개월간 걸쳐서 전국적으로 수행 하였다.

표 1-1 노지재배 면적과 시설 재배 면적 비교(2006년 자료)

작물	노지재배(ha)	시설재배(ha)
토마토	275	6,338
수박	3,7183	16,835
배추	38,134	3,901
상추	1,433	4,185
오이	1,244	4,597

시설 비닐하우스의 기본 프레임은 폭 6m인 기본적인 틀에 넓이를 다양하게 하며 6m 이상인 경우 시설하우스 내에 기둥을 설치하여 보강하게 된다. 시설하우스의 높이는 3~4m인 경우가 많으며 작물에 따라 그 높이를 달리하게 된다.

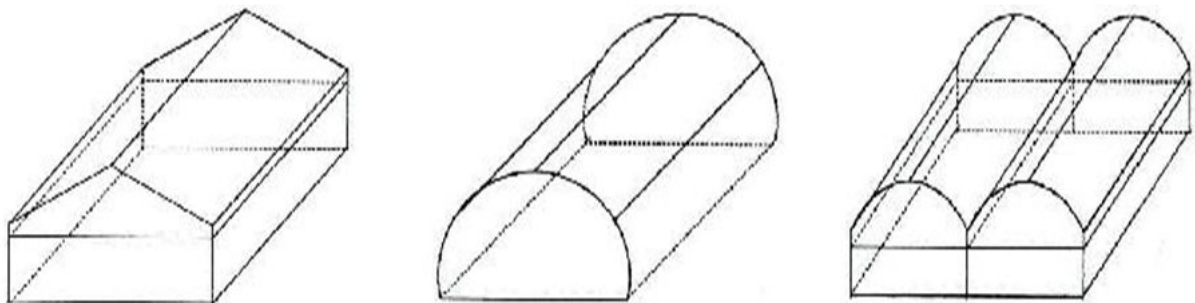


그림 1-1 지붕형(좌), 반원형(중), 연동아치형(우)

A. 경상남도 일대 시설하우스 재배지 특성 분석

경상남도 주요 시설하우스 재배지를 다니면서 고랑 사이의 폭 길이와 두둑의 높이 등을 중점으로 조사하였다. 또한, 재배 작물에 따라 재배양식이 어떻게 변화되는지도 조사하였다. 시설 하우스용 방제기가 주행이 가능한 공간의 확보 여부를 특히 조사하였다. 아래 표는 경상남도 일대 3지역에서 조사한 작물을 제시하였으며 토경재배와 수경재배에 따른 작물의 생육 여부를 조사한 자료이다.

표 1-2 경상남도 재배 양식

		하동	김해	진주
재배 작물		상추, 가지, 양배추, 딸기, 셀러리, 고추	장미, 국화, 방울토마토	가지, 딸기, 파프리카, 토마토
재배 양식	수경 재배	하우스를 이용한 수경재배가 가능한 작물 열매 채소 : 토마토, 가지, 딸기, 참외, 수박 등 잎줄기 채소 : 상추, 배추, 썩갓, 양파, 마늘 등 뿌리 채소 : 무, 당근, 감자, 우엉, 연근, 도라지 등		
	토경 재배	대부분의 작물은 토경재배로 재배 열매 채소와 잎줄기 채소가 양액재배에 제일 적합함		

1) 농업기술센터(하동, 김해)

농업기술센터의 특성상 다양한 조건에서 작물이 재배 되고 있으며 작업을 위한 공간도 충분히 확보가 된 시설하우스가 대부분 이다. 그러나 현재 직접 운영을 하는 농민의 경우 이러한 재배 시설을 갖추고 있지 않으며 시험장 또한 최적의 재배 시설을 제작하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다.



그림 1-2 하동군 기술센터 상추 시험장



그림 1-3 하동군 기술센터 육묘 시험장

2) 시설하우스 운영 농민(하동, 김해)

다양한 작물들이 재배되는 모습을 볼 수 있으며 수경 재배의 경우 선반이 있어 작업이 편하게 효적으로 가능하다. 그러나 토경재배의 경우 어떠한 기계 장치도 운영 될 수 없도록 재식 밀도가 매우 높다. 이는 생산성을 높이기 위한 방법으로 기계의 사용을 배제한 경우의 생산 방법이다.



그림 1-4 하동지역 가지 양액장



그림 1-5 하동지역 양상추 재배지



그림 1-6 하동지역 딸기 재배지



그림 1-7 하동지역 부추 재배지



그림 1-8 하동지역 샐러리 재배지



그림 1-9 하동지역 부추묘 육묘장



그림 1-10 김해지역 장미 재배지



그림 1-11 해지역 국화 재배지



그림 1-12 김해지역 토마토 재배지



그림 1-13 김해지역 토마토 재배지

3) 유리온실형 시설하우스(진주시 농림기술센터)

진주시 농업기술센터 교육장을 방문하여 미래의 시설하우스 발전 형태를 보면서 앞으로의 방제 시스템 구성에 관한 조사를 하였다. 현대화된 유리온실을 사용한 재배법으로 양분 공급 시스템, 수분 공급 시스템, 방제 설비까지 구성된 구조로 유리온실형 방제기에 적절한 개발 방향을 제시하고 있다.



그림 1-14 진주농림기술센터 작업용 대차



그림 1-15 진주농림기술센터 토마토 재배



그림 1-16 진주농림기술센터 파프리카 재배



그림 1-17 진주농림기술센터 딸기 재배

B. 충청남도, 전라남도 일대 시설하우스 재배지 특성 분석

표 1-3 충청남도, 전라남도 지역 조사 작물

	부여	나주
재배 작물	수박, 오이, 방울토마토, 딸기	딸기, 수박, 무(쌈용 열무), 부추, 방울토마토

1) 딸기 시설하우스 재배지의 재배 양식 및 형태

딸기는 작물의 높이가 0.3~0.5m 로 두둑의 높이를 높이 짓는 특성을 가진다. 따라서 방제 통을 직접 들고 세세하게 뿌려 주는 방식으로 방제를 하고 있으며 특히 앞의 뒷면을 방제하여 병충해를 예방하여야한다. 하우스 내부의 입구와 끝부분에는 소도구 등을 놓을 수 있는 최소한의 공간만 있으며 평균 0.3m 정도만 여유 공간이 있다.



그림 1-18 딸기 재배지의 두둑 높이 모습



그림 1-19 딸기 재배지의 끝 부분 모습

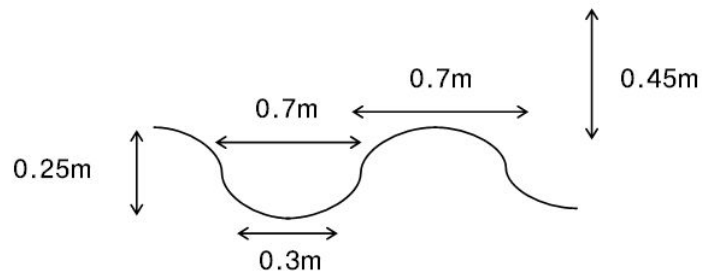


그림 1-20 딸기 재배 양상 및 규격

2) 수박 시설하우스 재배지의 재배 양식 및 형태

수박은 덩굴작물로 재배 시 방제를 자주하는 작물로 총 5회 정도 방제작업을 하고 날씨가 습할 경우 더 자주 하게 된다. 착과 후에도 방제가 가능한 작물로 재배 양식이 비교적 정립화된 작물이다. 수박작물은 두둑 중앙에 한줄 심기로 작물 재배형태를 띄고 있다. 재식밀도를 높이기 위해 마찬가지로 시설하우스의 입구와 끝부분에 여유 공간이 조금 있으며 두둑이 넓게 분포된 특징이 있음을 조사하였다.



그림 1-21 수박 재배지의 재배 모습



그림 1-22 수박 재배지의 끝 부분 모습

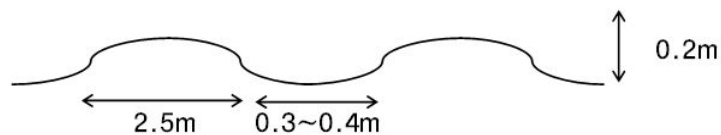


그림 1-23 수박 재배 양상 및 규격

3) 오이 시설하우스 재배지의 재배 양식 및 형태

오이의 방제작업은 2인으로 방제 작업을 하며 호스를 길게 연결하여 호스를 끌면서 방제를 한다. 오이 작물은 잎의 면적이 넓기 때문에 방제량이 많으며 특히 잎의 뒷면 방제를 위해 밑에서 위로 뿌리는 방제 방식을 취한다. 그러나 흰가루병을 예방하는 방제 같은 경우는 위에서 방제가 가능하다. 시설 하우스의 입구 및 끝 부분은 0.5m 정도의 공간으로 매우 통로가 좁다.



그림 1-24 오이 재배지의 재배 모습



그림 1-25 오이 재배지의 끝 부분 모습

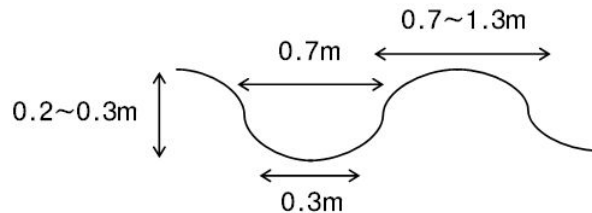


그림 1-26 오이 재배 양상 및 규격

4) 시설하우스 농민 방제기 개발요구 조건

- ㉠ 오작동을 일으켰을 때의 대책 마련
- ㉡ 500평 단위로 3개동에 약을 칠 경우 200~300L의 약제 사용 (연무식은 4L 사용)
- ㉢ 작물이 자랄 경우 고랑이 폭이 좁아짐
- ㉣ 엽채류는 순환 주기가 짧기 때문에 과채류를 목표로 함

5) 현재 농가에서 사용 되는 방제기

○ 연무식(Fog) 방제기



그림 1-27 지상이동용 연무 방제기



그림 1-28 고정용 연무 방제기

전체 방제가 가능하지만 앞의 뒷면까지 방제가 안 되는 경우 발생할 수도 있다. 또한 약 1.5m의 높이까지는 방제 효과가 좋지만 그 이상의 경우 효과가 현저히 떨어지게 된다. 따라서 오랜 시간동안 유지되고 효과가 확실한 연무식 방제기가 농가에서 선호된다.

○ 천장 레일식 방제기



그림 1-29 천장 레일용 방제기



그림 1-30 천장 레일용 방제기의 제어부

천장에 레일을 설치하여 직접 분사를 하기 때문에 앞의 뒷면까지 방제가 안 되는 경우 발생할 때도 있으나 사람이 직접 조작하지 않고 간편하게 제어가 가능하다. 그러나 초기설치 비용이 비싸고 특히 토경재배가 아직 많은 국내의 여건에는 적합하지 않다.

○ 그 외의 방제 시스템



그림 1-31 수동 이동용 방제기



그림 1-32 천장 분무식 방제 시스템

시설하우스 운영자가 직접 사용하는 방식으로 재배하는 작물에 맞게 변경하여 방제하는 경우도 가끔 있다. 손으로 밀면서 방제하는 방제기와 천장에 수분의 공급을 위한 호스를 통한 방제도 가능하다.

6) 토경 재배지에서의 방제기 주행 현재 문제점

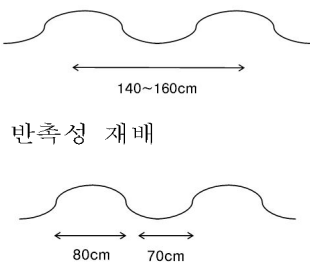
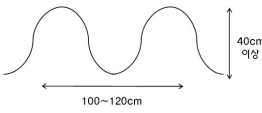
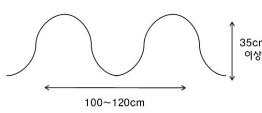

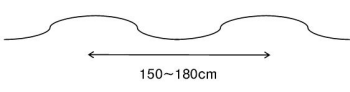
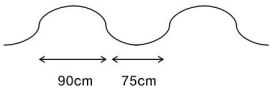
- ㉠ 수확량을 늘리기 위하여 고랑을 최소화 시킬 뿐 아니라 고랑이 없이 재배하는 경우가 많음
- ㉡ 대규모 재배지의 경우 방제 위치의 해충들이 옮겨 갔다가 다시 모이는 경우가 발생
- ㉢ 작물의 키가 낮은 경우 차량 보다 낮아서 약제가 뿌려지지 않을 수 있음
- ㉣ 직접 분사의 경우 앞의 뒷면까지 방제가 안 됨 또한 열매에 약제가 남아 있음 (농약 잔류)
- ㉤ 분사 노즐의 구멍이 막히는 경우가 종종 발생함

7) 결론

- ㉠ 시설 하우스용 재배 작물은 다양한 재배형태를 띄고 있으며, 좁은 고랑의 폭 한 개를 주행하는 것이 아닌 고랑 2개에 두둑을 사이에 두고 주행하는 방식으로 폭 길이가 가변이 가능한 방제기의 요인 실험 장치를 채택하여 제작하였다.
- ㉡ 시설하우스의 입구와 끝부분 0.3m 사이에서 이동 및 회전이 가능한 방식을 연구하였으며 직각주행이 가능한 주행부 설계가 요구된다.
- ㉢ 입구와 끝부분의 공간이 협소하므로 본체의 큰 조향을 요구하지 않는 설계가 필요하다. 토경재배의 시설하우스의 프레임은 중앙 지지대가 없는 것이 특징이므로 고랑 2개에 두둑을 사이에 두고 주행하면서 양쪽 뽕을 통하여 방제가 가능한 시스템을 설계하였다.

2. 주행부 설계를 위한 시설 재배지의 토양 특성 분석

표 1-4 다양한 작물에 따른 재배 특성 분석

	표준영농교본에 따른 두둑 및 고랑 형태	재배형태	방제기 가동 조건 및 문제점
가지, 오이	 <p>반촉성 재배</p> <p>억제 재배</p>	<p>수경재배형태</p> <p>재배 선반을 0.6m 높이에 제작하여 작물을 재배함</p> <p>작물의 높이는 1m~1.5m</p>	<p>방제 붐의 높이를 충분히 하여 전역에 고르게 방제가 가능하게 하여야 함</p>
딸기	 <p>촉성 재배</p>  <p>반촉성 재배</p>	<p>수경재배 및 토경재배</p> <p>재배 선반을 0.6m 높이에 제작하여 작물을 재배함</p> <p>작물의 높이는 0.5m 내</p>	<p>열매는 아래로 처지고 줄기가 위로 올라감</p> <p>앞 부위에 약제가 뿌려지게 하여야함</p>
국화, 장미		<p>장미, 카네이션은 양액 재배가 가능하나 국화는 토경만 가능</p> <p>수확량을 위해 고랑이 거의 없음</p>	<p>고랑의 폭이 200mm 정도</p>
상추		<p>재배 선반을 0.6m 높이에 제작하여 작물을 재배함</p> <p>작물의 높이는 0.5m 내</p>	<p>앞줄기 채소로 작물의 높이가 낮음</p> <p>방제 붐의 높이를 적절하게 조절하여야함</p>
토마토		<p>줄기는 가이드 바를 따라 계속 성장 하면서 열매를 맺음</p> <p>사람의 키보다 높아져 재배 선반 주위를 두르면서 재배</p>	<p>높아지는 작물에 맞추어서 방제 붐의 길이도 높아져야 됨</p>

3. 시설하우스용 무인방제기의 적정 주행부 선정을 위한 지표특성 분석 및 조향 메커니즘 설계

A. 적정 주행부 선정을 위한 작물선정 및 지표특성 분석

1) 딸기 농가 시설하우스 지표특성 분석

시설하우스 재배지의 출장을 통하여 특히 딸기농가에서 무인방제기 요구가 가장 높았으며, 실제 재배가 많이 이루어진다는 점이 조사되었다. 따라서 딸기 농장에 효과적으로 쓰일 수 있는 방제기의 개발을 위해 딸기 토경 재배지의 특성을 분석하였다. 딸기는 작물의 특성 상 열매가 아래로 처지는 구조 따라서 두둑의 높이를 높게 하여 열매에 피해가 없도록 재배되고 있다.

○ 딸기 재배지(토경재배) 특성 : 고랑의 깊이가 깊고 두둑의 높이가 높음



그림 1-33 딸기 재배지(부여지역)



그림 1-34 딸기 재배지(김해지역)

작물의 재배 면적을 최대화하기 위하여 작업자의 이동 및 기계의 이동에 필요한 공간은 상당히 제한적임을 현장 조사를 통하여 파악할 수 있었다. 기존의 조향 방식을 이미 보급되어 있는 시설 하우스에 적용하기에 어려움이 있을 것으로 파악되었다. 지역별, 개인별 재배 양식의 차이가 다양하여 고랑폭 및 두둑폭이 일정하지 않은 걸로 나타났다.

모든 조건에 부합되는 방제기의 개발을 위해 많은 연구가 필요하며 또한 범용으로 다양한 작물에 쓰일 수 있는 방제기의 개발에 필요한 사전 조사가 절실함을 파악할 수 있었다.



그림 1-35 딸기 재배지 끝 부분(부여지역)



그림 1-36 딸기 재배지 끝 부분(김해지역)



그림 1-37 부여 지역에서의 고랑폭



그림 1-38 나주 지역에서의 고랑폭

2) 딸기 농가 시설하우스용 무인방제기의 주행부 선정을 위한 기존 작업대차 조사

딸기 하우스 농가에서 사용되는 자작 운반용 대차로 고랑과 고랑 사이를 이동하면서 지상 고를 높여서 운반 작업하는데 상당히 유용하다. 또한 폭 조절을 위한 결속식 구조물 착용하여 편리를 추구 하였으며 조향을 위한 장치는 장착되어 있지 않다. 실제로 딸기 시설하우스 농민들 대부분은 자체적으로 제작하여 사용하고 있었다. 본 연구에서는 무인방제기의 주행부 개발 방향을 많이 사용되고 있는 운반용 자작 대차방식을 응용하여 설계하고자 한다.



그림 1-39 운반용 자작 대차의 옆모습



그림 1-40 운반용 자작 대차의 앞모습

B. 주행부 견인이론 분석

1) 궤도의 추진력

Robert Grisso(외 2명, 2006)의 논문에 의해 Brixius의 궤도 추진력 예측 모델에 근거하여 주행 장치의 운행에 필요한 모터의 용량 선정 및 고랑내 주행여부를 판단하기 위해 식 (1), (2), (3), (4)를 이용하였다.

$$B_n = \left(\frac{CI \cdot TW \cdot TL}{W \cdot (1 - e^{-CI/0.698})} \right) \cdot \left(\frac{5}{1 + 6 \cdot \left(\frac{TW}{TL} \right)} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$GT = \frac{W}{2} \cdot \left[1.10 \cdot (1 - e^{-0.025 \cdot B_n}) \cdot (1 - e^{-17 \cdot s}) + \frac{0.03}{(DWI)} \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$MR = \frac{W}{2} \cdot \left[\frac{1.75}{B_n \cdot (0.7 \cdot DWI)} + \frac{0.03}{(DWI)} + \frac{0.5 \cdot s}{\sqrt{B_n}} \right] \dots\dots\dots (3)$$

$$NT = GT - MR \dots\dots\dots (4)$$

여기서,

- B_n** : Mobility number
- GT** : Gross traction
- MR** : Motion resistance
- NT** : Net traction
- W** : Vehicle total weight
- CI** : Cone index
- TW** : Track width
- TL** : Track length
- s** : Slip (0~1)

식 (1)에서의 B_n은 Mobility number로 GT (Gross traction)와 MR (Motion resistance)을 구하기 위해 필요한 타이어 토양 상수 값이다. 모터의 용량은 주행 장치의 운행을 위해서는 무게 등 특성에 따라 계산 되는 GT값 보다 높은 추진력이 필요하다. DWI (Dynamic weight index)는 운동 저항을 계산하기 위해 필요한 변수 값으로 DWR (Dynamic weight ratio)를 이용하여 구할 수 있다. 즉, 무게 중심이 주행 장치의 앞부분과 뒷부분에 걸리는 하중의 비를 이용하여 구하는 변수 값으로 본 연구의 주행 장치에서는 외부 장치로는 하중이 가장 많이 나가는 배터리가 가운데 장착되어 앞, 뒤 모두 같은 비율로 하중이 분포하게 된다.

$$DWI = 1 - ABS \left(\frac{0.7 \cdot (DWR - 1)}{(DWR + 1)} \right) \dots\dots\dots (5)$$

앞, 뒤 모두 같은 비율로 하중이 분포하기 때문에 식에서 DWR은 1 값을 가지면 따라서 DWI 값 또한 최대값인 1이 된다. 그림 1-41는 궤도에 작용하는 GT의 모습을 표현한 그림이다.

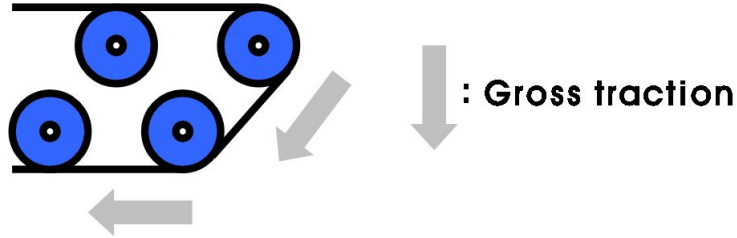


그림 1-41 Direction of the GT on the tracks

2) 차륜의 추진력

궤도에 필요한 추진력과 동시에 필요한 직각 주행용 차륜의 추진력은 Robert Grisso(외 2명, 2006)의 논문에 의해 Brixius 차륜 추진력 예측 모델에 근거하여 주행 장치의 운행에 필요한 모터의 용량을 선정하기 위해 식 (6), (7), (8), (9)을 이용하였다.

$$B_n = \left(\frac{CI \cdot b \cdot d}{W} \right) \cdot \left\{ \frac{1 + 5 \cdot (\delta/h)}{1 + 3 \cdot (b/d)} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

$$GT = \frac{W}{4} \cdot [0.88 \cdot (1 - e^{-0.1 \cdot B_n}) \cdot (1 - e^{-7.5 \cdot s}) + 0.04] \dots\dots\dots (7)$$

$$MR = \frac{W}{4} \cdot \left[\frac{1}{B_n} + 0.04 + \frac{0.5 \cdot s}{\sqrt{B_n}} \right] \dots\dots\dots (8)$$

$$NT = GT - MR \dots\dots\dots (9)$$

여기서,

- b** : Tire width
- d** : Tire diameter
- h** : Tire section height
- δ** : Tire deflection

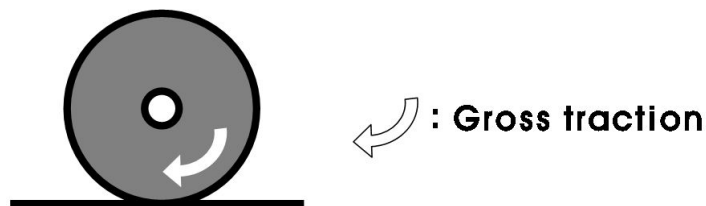


그림 1-42 Direction of the GT on the wheels

동력의 재사용으로 주 진행 방향과 직각 방향 주행은 동일한 모터를 사용하였으며 각각의 진행 방향에 따라 모터의 용량 선정이 매우 중요하다. 궤도와 차륜, 두 가지의 방법으로 주행 시 필요한 추진력을 모두 충족할 수 있는 모터의 선정을 위해서는 Brixius의 추진력 예측 모델에 기반으로 하여 선정하였다.

그림 1-42은 직각 방향으로의 주행에 쓰이는 차륜의 필요한 GT값을 나타낸 그림이다.

C. 무인방제기 동력원 선정, 동력 전달 메카니즘 개념설계

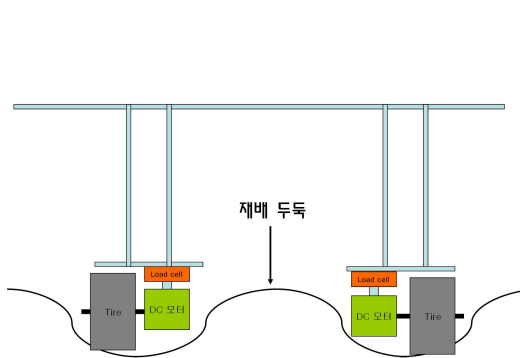


그림 1-43 두둑 사이를 주행하기 위한 개념설계

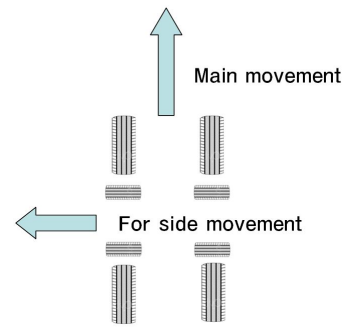


그림 1-44 시설 하우스 끝 부분에서의 움직임

표 1-5 시작기의 제작 사양

재질	알루미늄 프로파일
차륜	주 진행(궤도), 보조 진행(휠)
주행 방식	무게가 100kg 일 때 최대속도 0.5m/s
전원	24V 배터리

1) 최소 회전 반경식

차량의 폭이 0.5m 이고 길이가 1m 일 때 차량을 가장 최소화한 이상적인 경우라 가정하고 애커먼 조향 기구를 채용한 경우 아래 식을 이용하여 선회 반경을 구할 수 있다.

$$\text{최소 회전 반경} : R = \frac{L}{\sin a} + r \dots\dots\dots (10)$$

최대 회전각이 40° 인 점을 가정하여 계산한 경우 이상적으로 제작된 차량의 경우에 회전 반경이 1.5m 이상이 필요하다. 거의 모든 시설하우스 재배지는 끝부분에 공간이 협소하며 조사 결과에 의해 0.5m도 안 되는 공간이 많음을 확인하였다.

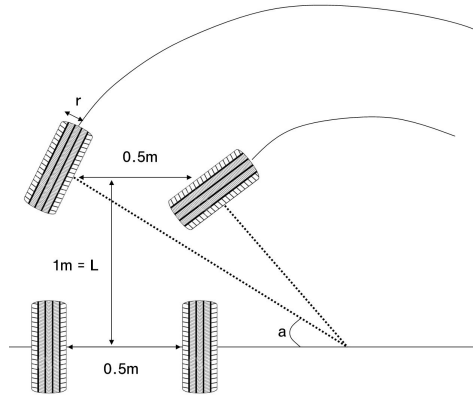


그림 1-45 최소 회전 반경



그림 1-46 시설하우스 끝 부분의 모습

상기 기술한 내용에 따라 하우스의 재배 형태 및 주행 가능 공간, 주행 방식 등에 대한 종합적인 고찰을 다음과 같이 정리할 수 있다.

2) 설계방향

시작기의 방제부가 높은 위치에 장착되기 때문에 본체의 안정성을 위하여 넓은 면적이 토양에 접촉 하도록 구성하기 위해 주 주행부를 궤도로 제작하였다. 두둑을 사이에 두고 주행하는 주행 본체로 좌우의 흔들림에 효과적으로 반응하도록 한 목적도 있다.

(1) 하우스 내에 입구와 끝부분에서의 턴을 위한 방법 문제점

- ㉠ 차륜의 회전은 회전각의 크기에 문제가 있음
- ㉡ 회전을 위한 공간이 없음
- ㉢ 킥 턴이나 차동기어를 이용한 턴은 소형 주행 장치에서의 제어의 어려움 있음
- ㉣ 가장 이상적인 방식은 직각으로 바로 턴이 가능하도록 해야됨

(2) 직각 이동이 가능한 기구적 장치의 개념

- ㉠ 주행 방향과 직각이 되는 또 다른 주행 장치로 회전이 아닌 이동의 개념
- ㉡ 하우스 내에서 좁은 공간을 활용하여 자율 주행이 가능하도록 위치 이동
- ㉢ 차륜의 폭과 관계없이 위치 이동이 가능함
- ㉣ 차체의 높이에도 관계없이 위치 이동 가능
- ㉤ 두둑의 높이에 따른 차륜의 제어로 차체가 어긋나는 경우 정상 궤도로 이동
- ㉦ 주 주행방향은 궤도를 이용하여 차량의 안정성을 높임

제 2 절 자율 주행 방제시스템 설계 및 성능 실험

1. 자율 주행 방제 시스템의 설계

A. 자율 방제 시스템 알고리즘 분석

자율 방제 시스템 제어를 위한 제어 알고리즘은 그림 2-1과 그림 2-2, 그림 3-3에 나타내었으며, 제어는 전원 스위치 ON과 함께 초기화를 수행한 후에 조작부에 의한 각종 작업 모드 선택에 따라 주행, 조향, 붐의 자세 제어 및 약제 살포 제어 등을 수행하도록 설계되어 있다. 주행 제어에서는 자동/수동, 전/후진 및 편도/왕복 등의 선택에 따라 제어가 이루어지도록 설계되어 있으며, 조향 제어에서는 좌/우회전이, 자세 제어 에서는 자동/수동 및 붐 경사각 설정에 따라 제어가 이루어지도록 설계되어 있다.

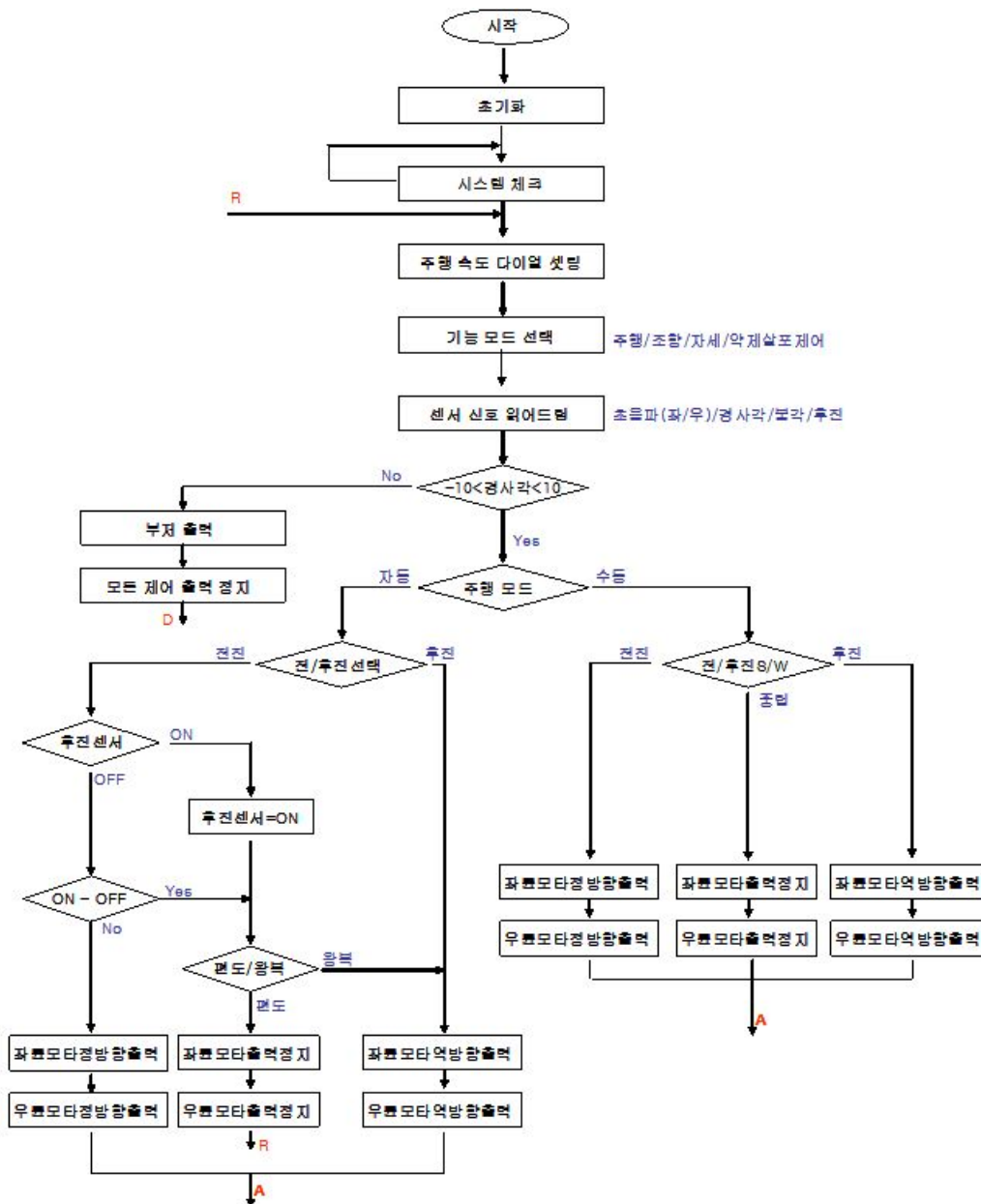


그림 2-1 제어 알고리즘(주행시)

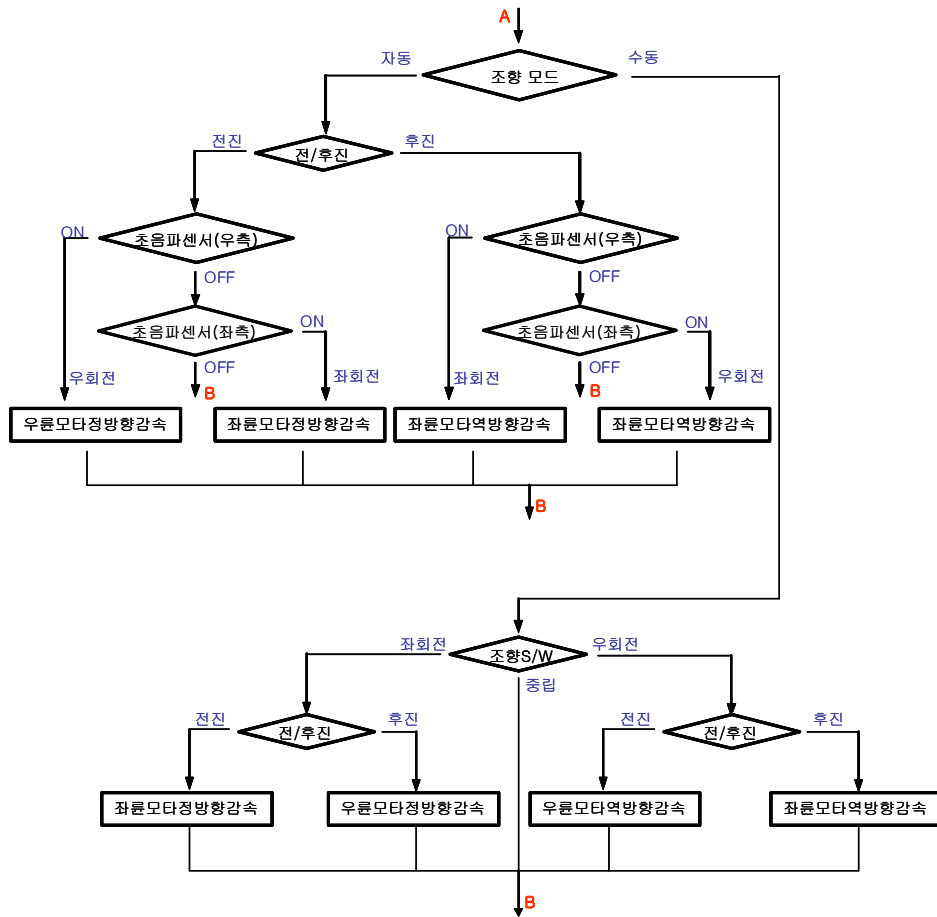


그림 2-2 제어 알고리즘(조향시)

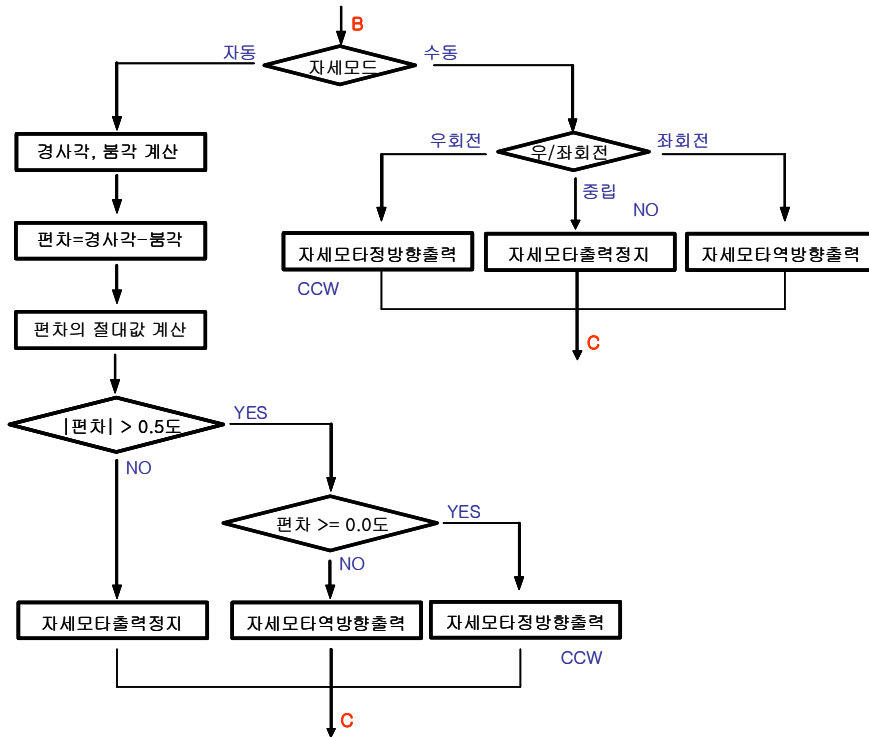


그림 2-3 제어 알고리즘(자세 제어시)

B. 조작부 및 컨트롤러의 설계 및 제작

자율 주행을 위한 제어를 위해 조작부 및 컨트롤러를 설계 및 제작하였다. 그림 2-4은 조작부 및 컨트롤러의 개요도를 나타내고 있다. 컨트롤러는 각종 센서로부터 신호를 읽어 들여 연산처리후 제어 신호를 출력하는 전자회로 및 마이크로컴퓨터 등으로 구성되는 하드웨어와 소프트웨어로 구성되어 있다. 그림 2-5와 2-6는 완성한 컨트롤러의 모습이다.

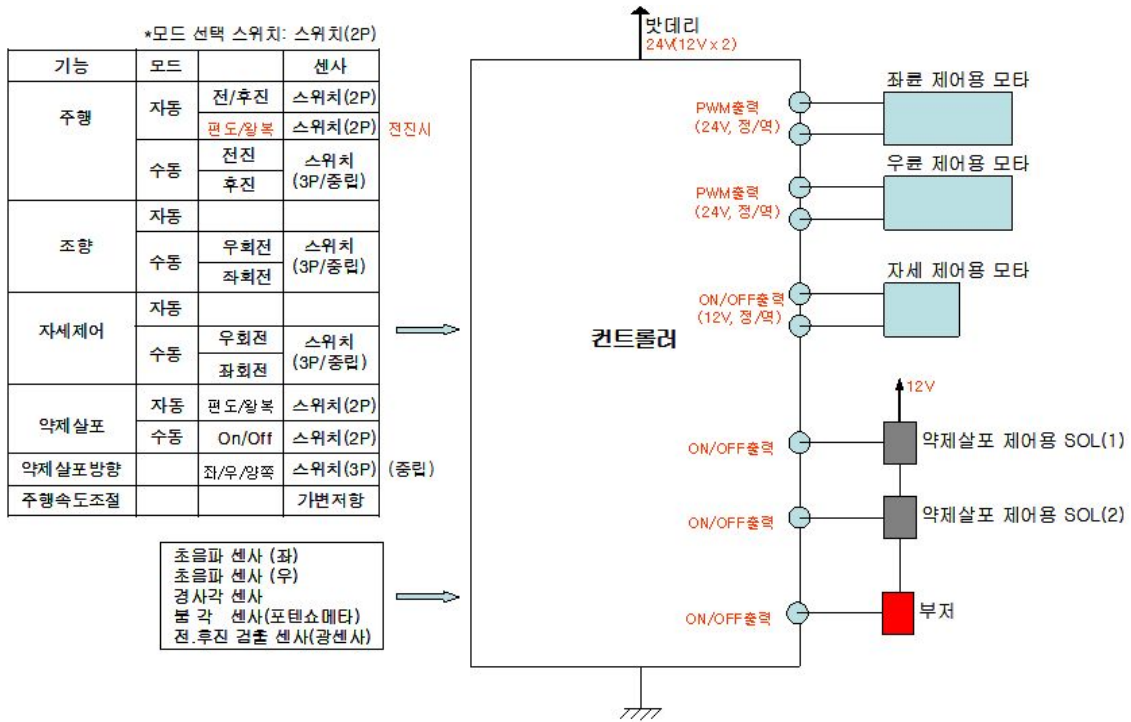


그림 2-4 조작부 및 컨트롤러의 개요도



그림 2-5 조작부

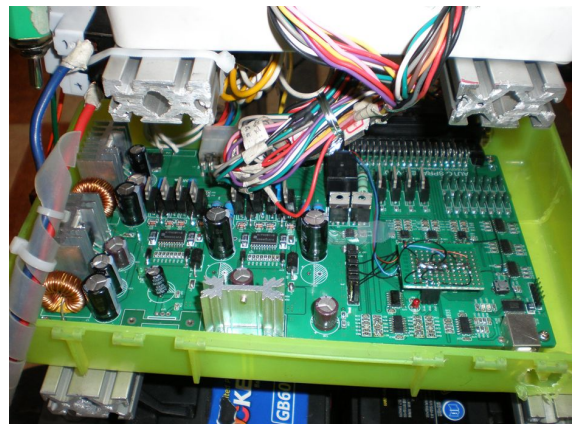


그림 2-6 컨트롤러

2. 자율 주행 방제 시스템의 제작

A. 재료 및 방법

1) 초음파 센서

무인 방제 차량의 주행 등의 상태 정보를 얻기 위한 제어 시스템의 요소로써, 지상에 설치되어 있는 차량 유도 선을 검출하기 위해 차량 유도선을 중심으로 좌/우에 각각 1개씩 설치하였다.

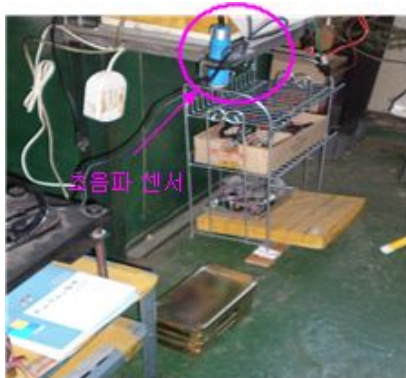


그림 2-7 초음파 센서

표 2-1 초음파센서의 제원

제조사	PIL Sensoren GmbH
Model명	P43-T4Y-2D-1C0-130E
검출거리	30~350cm
출력전압	0~10V
빔각도	8°

그림 2-8은 센서의 Calibration 결과를 나타내었다. 결과로부터 센서의 검출 거리와 출력 전압 사이에 높은 선형성($R^2=0.9995$)을 보여주고 있다.

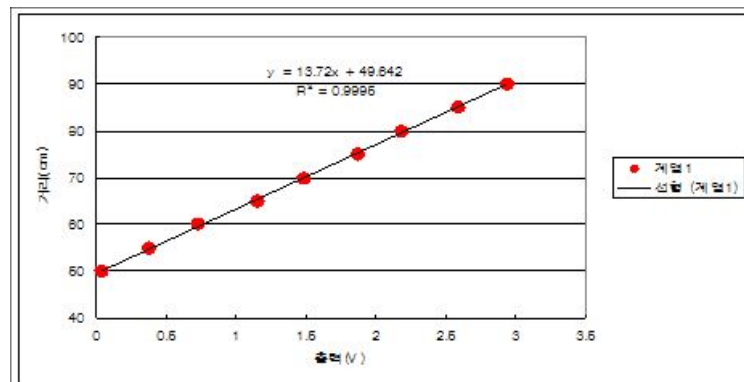


그림 2-8 초음파 센서의 Calibration 결과

① 초음파센서의 검출 특성 시험

○ 로프의 종류 및 굵기에 따른 센서의 검출 특성 실험

차량 주행 유도용 유도선으로 사용가능한 로프의 선정을 위한 로프의 검출특성 실험을 수행하였으며, 로프는 농가에 쉽게 구할 수 있는 로프, 노끈, 바인더 끈, PP로프 등을 선정하였다. 실험 장치는 로프 지지대 및 센서 지지대로 구성되어 있으며, 로프로부터 센서의 거리를 변화 시키면서 센서의 출력 전압을 측정하였다.

로프의 종류에 대한 센서 거리 검출 특성 실험결과를 그림 2-9에 나타내었다. 실험 결과로부터 센서의 거리 검출 특성은 로프의 종류에 크게 영향을 받지 않는다.

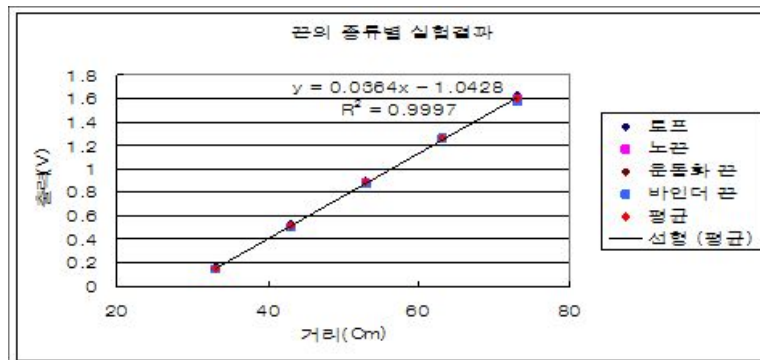


그림 2-9 로프의 종류에 대한 센서의 거리 검출 특성 실험 결과

그림 2-10 및 그림 2-11는 PP로프의 굵기 종류 및 굵기에 대한 센서의 검출 특성 실험 결과를 나타내었다. 실험 결과로부터 6 mm 이상의 굵기에서 초음파 센서의 거리 검출 특성은 로프의 굵기에 거의 영향을 받지 않는다.

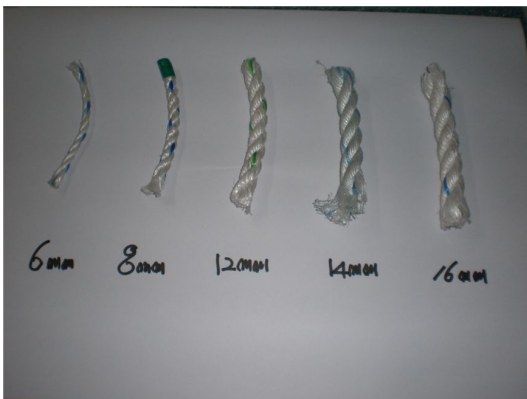


그림 2-10 PP로프의 굵기 종류

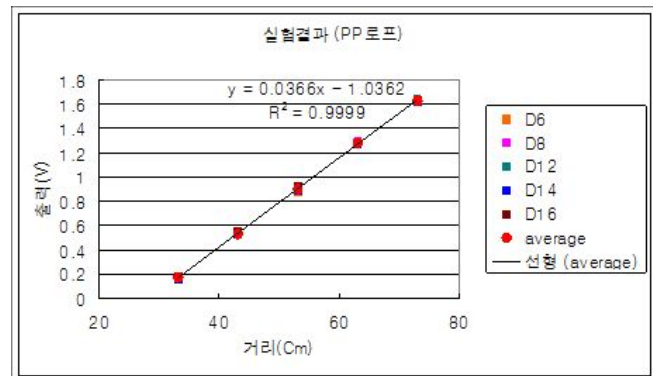


그림 2-11 굵기에 대한 센서의 검출 특성 실험 결과

○ 초음파 센서의 동적 검출 특성 실험

초음파 센서의 주행 중의 거리 검출특성을 규명하기 위한 실험을 수행하였으며, 그림 2-12은 실험을 위한 실험장치를 나타낸다. 실험 장치는 Soil bin상에 설치된 이동대차, 이동대차 상에 설치된 센서 지지대, 로프 지지대, 이동대차의 시작 및 끝 위치 검출을 위한 리미트 스위치, 이동대차 구동용 컨트롤러 및 모터, 실험 중의 데이터 Acquisition을 위한 A/D보드 및 컴퓨터 등으로 구성되어 있다. 이동대차의 이동속도는 이동대차에 장착되어 있는 로타리 엔코더에 의해 검출되었다.

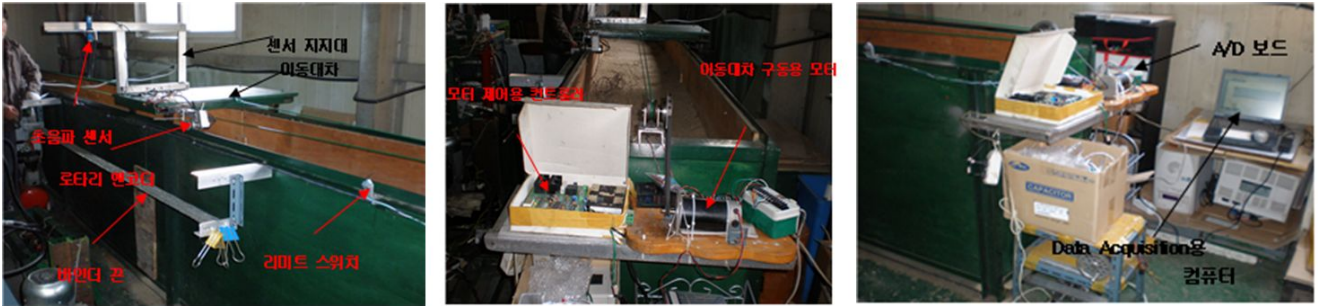


그림 2-12 실험 장치

실험은 4종류의 검출거리(45, 55, 65 및 75cm), 2종류(0.5, 1km/h)의 이동속도의 조건하에서 로프의 가닥수(폭: 1가닥-약 1cm)를 3, 5 및 7가닥으로 변화시키면서 수행되어졌다. 그림 2-13에 검출거리 45cm, 이동속도 0.5km/h에 대한 실험결과를 나타내었으며, 그림 2-14는 ‘검출거리 55cm, 이동속도 1km/h’에 대한 실험결과를 나타내었다.

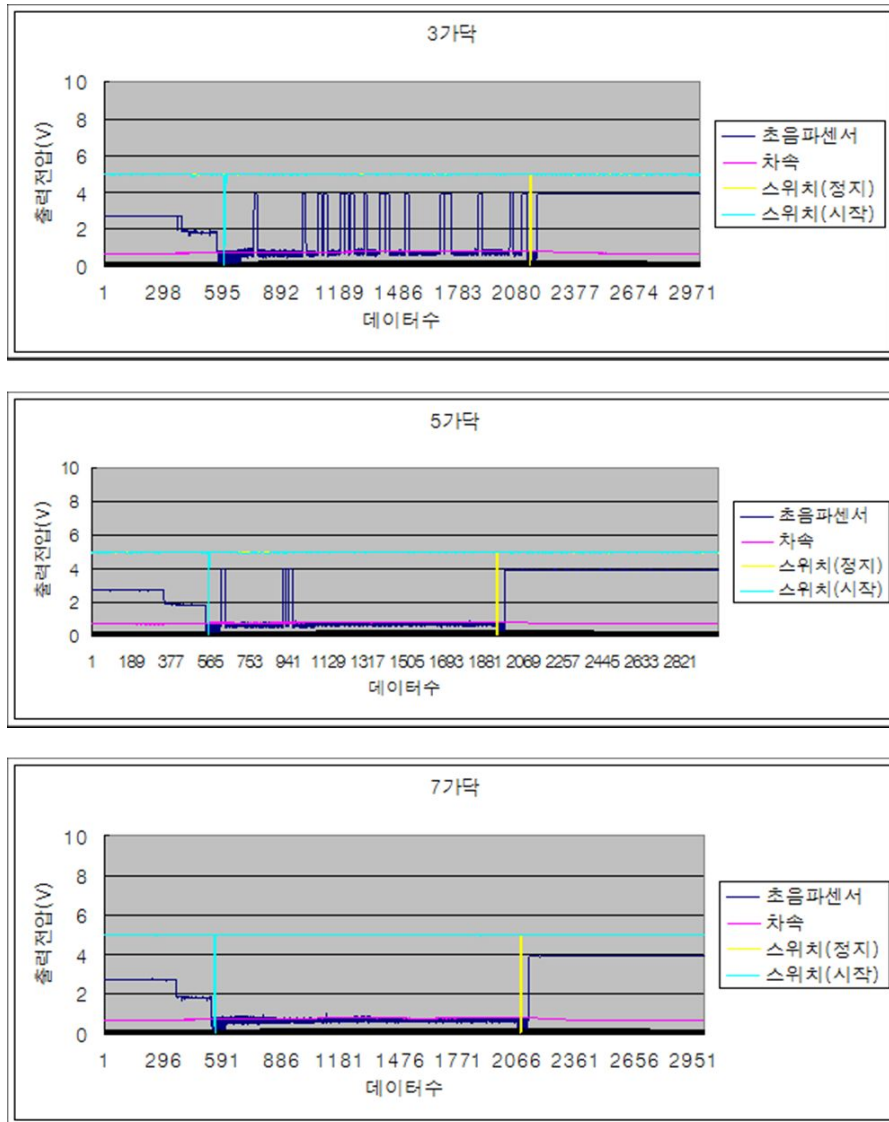


그림 2-13 초음파 센서의 동적 검출 특성 실험결과(거리 45cm, 차속 0.5Km)

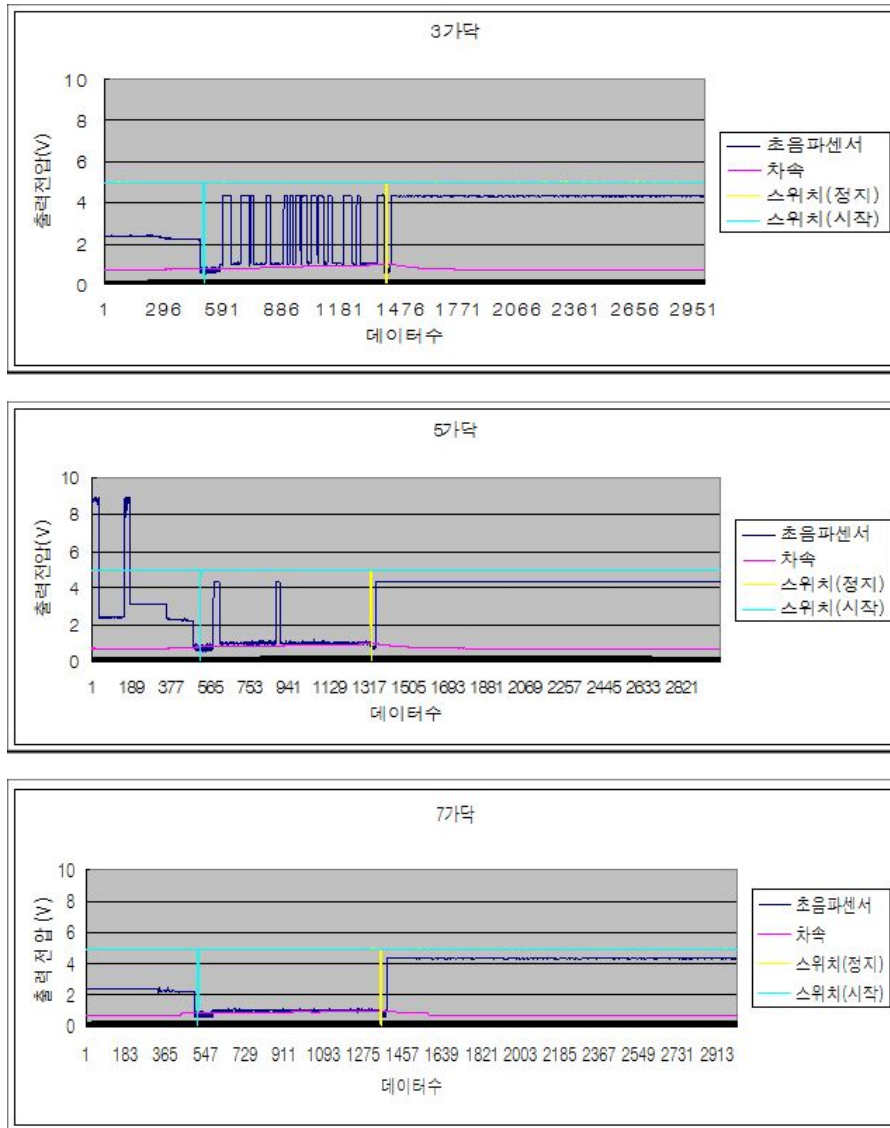


그림 2-14 초음파 센서의 동적 검출 특성 실험결과(거리 55cm, 차속 1.0Km)

검출거리 및 이동속도에 관계없이 로프의 가닥수 3가닥(폭 약 3cm)에서는 불안정한 센서의 검출특성을 보여주고 있으나, 5가닥(약 5cm)이상에서는 비교적 안정된 검출특성을 보여주고 있다. 동적상태에서의 초음파 센서의 거리검출 특성은 검출거리 및 이동속도보다는 검출대상인 로프의 폭에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며, 본 제어시스템의 차량 유도용 로프의 폭은 최소한 5cm 이상이 필요하다는 것을 알 수 있다.

2) 후진 검출용 광센서

자동 주행 중의 왕복주행 모드에서는 후진을 위한 후진 신호의 검출이 필요하며, 이를 위해 비접촉식의 광센서를 이용하였다.



그림 2-15 광센서

표 2-2 광센서의 제원

제조사	KEYENCE
Model명	PZ-41
검출거리	0.1~1.5m
사용전압	DC12~24V
광원	가시광 적색LED

3) 경사각 센서

주행 중의 차체 롤링에 의한 약제 분사용 붐의 자세제어를 위해서는 주행 중의 차체의 경사각을 검출할 필요가 있으며, 이를 위해 현재 상용화되어 있는 경사각센서를 선정하였다.



그림 2-16 경사각 센서

표 2-3 경사각 센서의 제원

Model명	PIP - 30
사용 전원	12V
검출 각도	± 15
출력전압	1 - 4V

4) 붐 각 센서

약제 살포용 붐은 차체에 장착되어 있는 붐 제어용 모터, 모터의 축과 직접 연결되어 있는 붐 지지대에 의해 고정되어 있으며, 차체의 경사에 의한 붐의 자세제어는 붐이 고정되어 있는 붐 지지대를 붐 제어용 모터에 의해 제어되도록 설계되어 있다. 붐의 자세제어를 위해서는 차체의 경사각뿐만 아니라 붐의 각도도 검출 할 필요가 있다. 붐 각 센서는 붐 지지대가 연결되어 있는 모터 축과 링크로 연결되어 있는 퍼텐쇼미터에 의해 검출되도록 설계되어 있다.



그림 2-17 붐각 센서의 사진

표 2-4 퍼텐쇼미터의 제원

제조사	창신전자(주)
Model명	PM-90
전기적 각도	90도
기계적 각도	120도

5) 붐 자세 제어용 모터

붐의 자세제어는 붐 자세제어용 모터에 의해 기어 및 벨트로 연결되어 있는 상대 기어를 제어함으로써 상대기어의 축과 직접 연결되어 있는 붐 지지대를 제어함으로써 붐의 자세가 제어되도록 설계되어 있다.

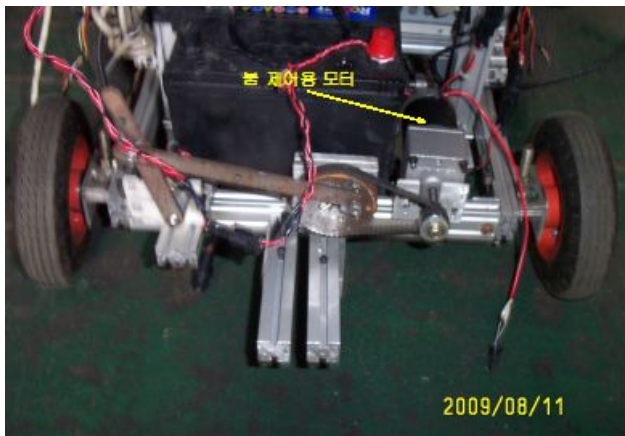


그림 2-18 붐 자세제어용 모터

표 2-5 자세제어용 모터의 제원

사용전압	DC12V
회전수	3,000RPM
전류	1.3A
Torque	2.2Kgf?cm
감속기	1:60

제 3 절 주행부 요인 시험장치 설계 및 제작

1. 주행부의 성능분석을 위한 요인 시험 장치 설계 및 제작

A. 주행부 개념 설계

조향을 위해 협소한 공간에서 효율적인 선회는 주행 장치 본체의 회전이 아닌 주행 방향에 직각으로 이동이 가능한 형태이어야 한다. 따라서 시설원예용 하우스 내에서 이용되어야 할 주행 장치는 지상고를 높여 두둑 위를 지나가면서 선회를 위해서는 차륜의 방향을 달리하여 주행 방향에 직각으로 이동이 되도록 고려하였다.

주행 장치는 주행 방향과 90° 방향으로 보조 차륜을 설치하여 직각 방향으로의 주행이 가능한 형태로 설계 제작되었다. 시설원예용 하우스 내에서 작업을 위한 주행이 완료된 후에 선회를 위하여 주 진행방향의 구동 장치를 상승시켜 90°로 설치된 보조 차륜에 의한 구동이 되도록 구성하였다. 주행부를 두 방향으로 설계 제작하여 협소한 공간에서도 선회가 가능한 방식으로 구성하였다. 그림 3-1은 주행부에 관한 개념 설명 도식이다.

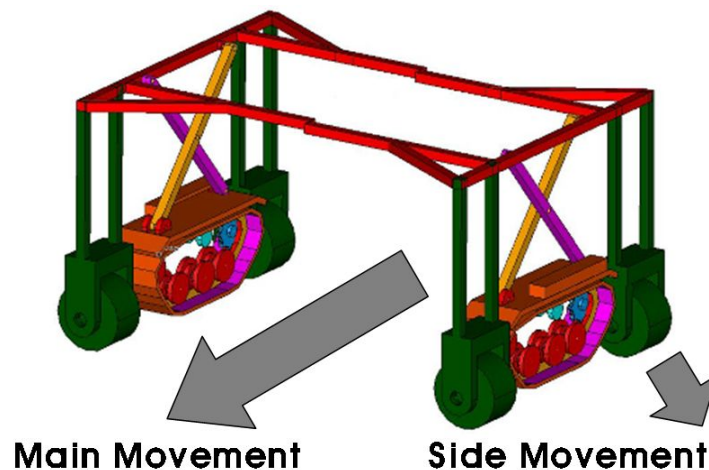


그림 3-1 시설원예용 하우스 내 주행 차량 개념 설계

고랑 방향으로의 주 진행방향 주행을 위해서는 궤도를 사용하였다. 궤도는 지면과의 마찰력을 최대한 높여 슬립 현상의 발생을 줄이며 힘을 분산시켜 안정적인 주행이 가능하다. 주행 장치 주 진행방향 주행부의 제작에 사용된 궤도는 차체의 총 중량을 경감시키기 위해 플라스틱 재질로 된 궤도를 사용하였다. 두둑을 사이에 두고 고랑을 주행하는 주행 장치를 위해서는 좌, 우측의 주행부의 너비가 고랑의 너비 보다 작아야 한다. 따라서 사전 조사된 고랑의 너비를 갖는 궤도를 선정하여 사용하였다. 고랑 방향 진행용 주행부는 고랑의 너비는 최소 250mm에서 최대 600mm 이상으로 최소 너비에 맞추어 250mm로 그림과 같이 제작 하였다. 높이는 지면에서부터 460mm로 두둑의 높이 보다 높게 제작되었다. 상판의 높이 까지 700mm로 모든 높이의 두둑을 사이에 두고 주행 할 수 있다.

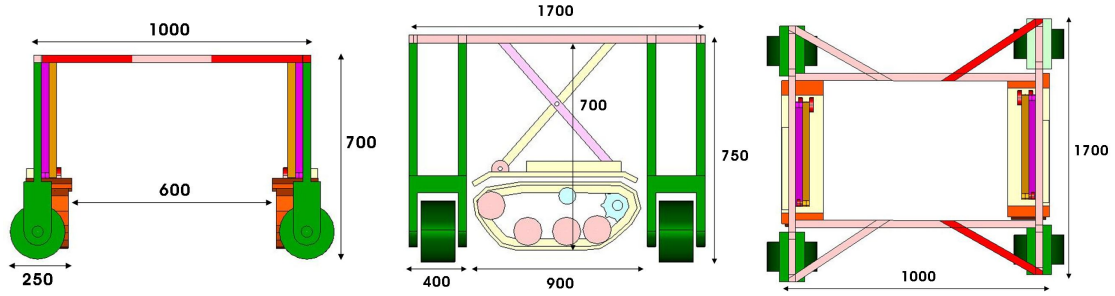


그림 3-2 주행부 요인 시험 장치 개념 설계

직각 주행을 위해서는 리니어 액추에이터 (Linear actuator)를 이용하여 차체를 올려 보조 차륜이 지면에 닿도록 하였다. 보조 차륜은 고랑을 주행 할 때의 진행 방향과 90°로 설치되어 협소한 공간에서 움직임을 가능하게 하는 역할이다. 주행 장치는 직각 방향으로 주행을 위한 동력에 주 진행 방향의 모터의 동력을 활용하여 모터의 개수를 줄였다.

또한 차체의 중량을 줄임과 동시에 효과적이고 간편한 제어를 위해 동력을 재사용하였다. 모터의 회전 방향을 바꾸기 위해서는 베벨 기어를 사용하였으며 보조 차륜과의 동력 전달은 철로 된 재질의 체인을 이용하였다. 직각 방향 주행용 보조 차륜은 고랑의 너비 보다 좁게 제작하여 고랑을 주행 할 때 고랑과의 간섭이 없도록 200mm 외경으로 제작하였다.

B. 주행부 제작

1) 주행부 제원

개념설계로부터 제작된 요인시험장치의 주행부 제원은 다음과 같다. 초기 개념 설계를 바탕으로 동력원 선정, 주행 프레임, 주행부 제작 및 동력원의 효율적 활용을 위한 동력 전달 시스템 제작과 템핑 시스템의 추가를 통하여 요인시험장치의 주행부를 제작하였다.



그림 3-3 주행부 사진

표 3-1. 주행부 제원

Item	Specification
가로×세로×높이(m)	1.5 × 1.2 × 0.7
무게(kg)	160
가동 전압(V)	24
전류(A)	15
최대 하중량(N)	3,000
모터 파워(W)	250
감속비	180/1
조향 방법	직각 조향 시스템

2) 궤도형 주행 장치

두둑을 사이에 두고 고랑 2개를 주행하는 장치로 제작이 요구되기 때문에 주행궤도 독립 장치를 선택하였다. 고랑 최소폭에 맞춰서 주 주행 궤도의 넓이는 250mm 로 제한을 하였다. 시설 하우스의 고랑폭은 대부분이 300mm 정도로 최소의 크기를 고려하여 주행폭이 결정되었다. 250mm 이하인 고랑은 기계의 운행이 불가능한 지역으로 판단되며 고랑이 없는 경우도 기계의 운행 없이 작물을 재배하는 지역으로 고려된다. 주행부 위의 상판은 방제부와 배터리 등의 장비를 실을 수 있으며 폭의 조절을 위하여 2개의 주행부를 모듈화 하여 분리가 가능하도록 제작하였다.



그림 3-4 주행 궤도 독립 장치



그림 3-5 주행 궤도 결속 후의 모습



그림 3-6 모터 내부 장착의 앞모습



그림 3-7 모터 내부 장착의 뒷모습

모터를 내부 공간에 장착하여 동력 전달을 위한 벨트의 간격을 줄임으로 주행 손실을 줄였다. 또한 안정적인 장착을 하여 어떠한 흔들림에도 안정적으로 동력이 전달 되도록 구성하였다. 스프라킷 과의 마찰이 전혀 없는 부분이므로 추후 더 많은 동력이 필요할 시 추가적으로 모터를 장착 할 수 있도록 제작하였다.

○ DC모터

토크를 높이기 위하여 아래 사양의 모터에 180/1 감속기를 설치하여 토크를 최대로 작동하도록 구성하였다. 농업용 장비는 고속의 회전을 요하는 기계가 아니기 때문에 안정성과 더불어 세심하게 작업을 하도록 모터의 스피드를 방제 작업 속도에 맞도록 조절하였다.

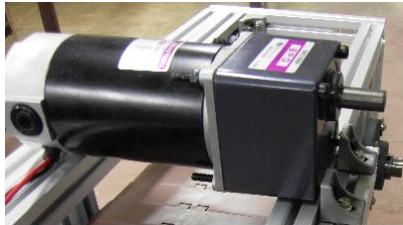


그림 3-8 모터 사진

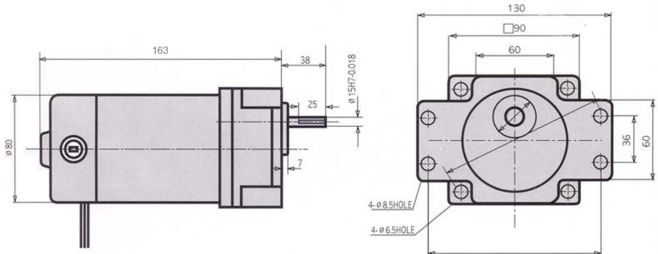


그림 3-9 DC모터

○ 타이밍 벨트 (Timing belt) 및 풀리

주행용 모터와 주행부 사이의 동력 전달을 위해서는 특히 중량의 경감과 소음을 줄이기 위하여 또한 마모시 교체의 편의성을 위해 고무 형의 타이밍 벨트를 선정하여 사용하였다. 또한 보조 차륜의 동력 전달에 쓰이는 롤러 체인과는 달리 벨트가 늘어나거나 줄어드는 동작이 없으며 고정하여 안정적으로 사용 가능하기 때문에 사용하여 주행 장치를 제작하였다.

L 형태의 풀리(Pulley)를 사용하는 벨트로 벨트는 모터와 주행 샤프트와의 거리로 인하여 203L 모델을 채택하였다. 타이밍 벨트 203L의 자세한 제원은 다음과 같다.

표 3-2 타이밍 벨트 제원

Item	Specification
Model	203L
Circumference (mm)	514.35
Width (mm)	19.05
Pitch (mm)	9.525
Teeth numbers	54

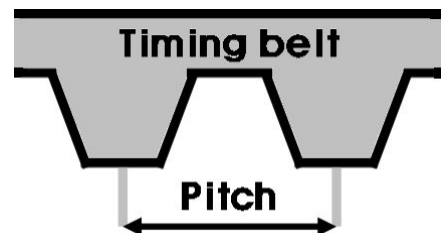


그림 3-10 타이밍 벨트의 피치

표 3-3 벨트 풀리 제원

Item	Specification
Teeth numbers	18
Internal diameter (mm)	25
External diameter (mm)	61
Pitch diameter (mm)	53.81
Outside diameter (mm)	54.57



그림 3-11 구동부에 결합된 모습

3) 직각 주행 구동 메커니즘(베벨기어)

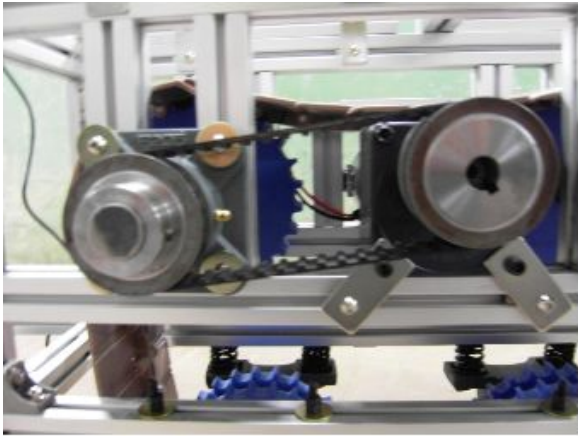


그림 3-12 모터와 샤프트의 연결

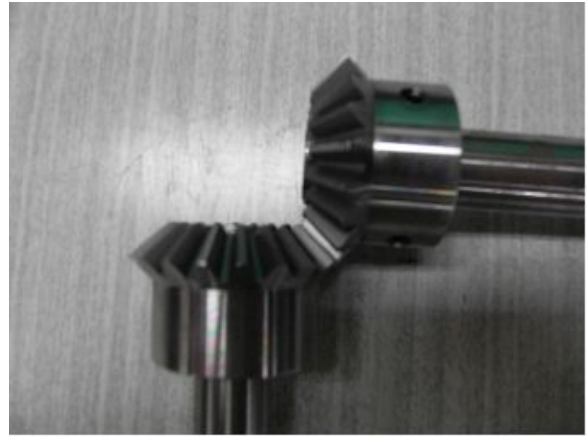


그림 3-13 베벨 기어 장착 전

모터를 동력 전달축과 근접하여 장착시켜 동력 전달의 효율을 높였으며 베벨기어를 활용하여 동력 전달 방향만 직각으로 바꾸어 추가적인 모터의 장착 없이 보조 차륜에 동력을 전달하도록 구성하였다.

4) 보조 차륜 구동을 위한 리니어 액츄에이터

고랑 방향으로의 주행에는 보조 차륜이 지면과 떨어진 상태로 주행을 하며 주행이 완료된 후 시설원예 하우스 끝부분에서는 장소 이동 및 선회를 위하여 차체에 연결된 리니어 액츄에이터가 작동하게 된다. 리니어 액츄에이터의 길이가 늘어나는 작동으로 보조차륜이 지면으로 닿으면서 궤도 주행부의 주행 장치는 공중에 뜨게 되어 고랑 방향과 직각으로 주행이 가능하게 된다.

리니어 액츄에이터는 주행 장치의 무게를 견디면서 궤도 주행부를 올릴 수 있는 힘이 필요하다. 제작된 주행 장치의 중량은 약 160 Kgf으로 약제 탱크를 실었을 때의 중량이 증가되는 것을 고려하여 전체 중량 약 200 Kgf의 하중을 견디는 리니어 액츄에이터를 선정하여 제작하였다. 그림의 리니어 액츄에이터는 750N(약 75Kgf) 까지 견딜 수 있는 것으로 주행 장치에 총 4군데 설치하여 3,000N(약 300Kgf)의 하중을 견디는 리니어 액츄에이터를 사용하여 제작하였다.



그림 3-14 리니어 액츄에이터



5) 보조 차륜 (Auxiliary wheel)

보조 차륜은 MC 가공을 통해 제작하였으며 다음과 같은 제원 사항을 보여주고 있다. 차륜의 외경은 200mm로 고랑 보다 작은 크기이며 폭은 100mm 로 지면과의 접촉 면적을 넓혀 하중을 견딜 수 있도록 차륜의 폭을 넓게 제작하였다.

표 3-4. 보조차륜 제원

Item	Specification
Diameter (mm)	200
Width (mm)	100
Weight (Kg)	7.6



그림 3-15 보조차륜 장착 모습

6) 댐핑 시스템

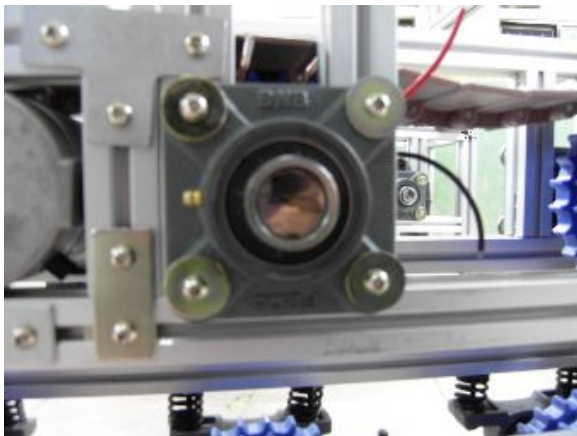


그림 3-16 자동조심 베어링 연결



그림 3-17 댐퍼용 스프링

샤프트의 고정을 위한 베어링으로 충격에도 유연하게 움직이도록 자동조심 베어링으로 구성하였다. 시설 하우스 내의 요철이 있는 지역을 주행하기 위한 장치의 방재기 안전장치로써 장착 되었다. 또한 지면과 맞닿는 궤도부는 축에 스프링을 설치하여 댐퍼 기능을 추가하였다. 스프링의 탄성계수는 100Kgf/mm^2 로 무게에 충분히 견딜 수 있도록 장착하였다.

C. 제어부 주요 구성 요소

1) 제어부 모습

다음 그림은 컨트롤 박스의 내부 모습을 보여 주는 사진이며 좌측은 수동 제어부, 우측은 자동 제어부의 모습이다.

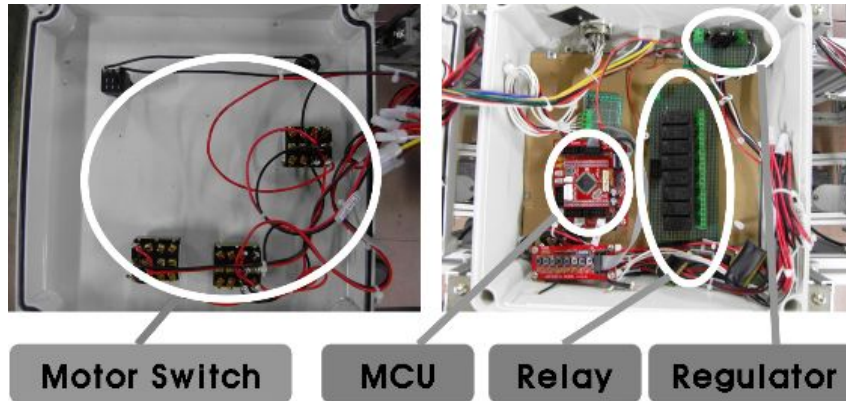


그림 3-18 컨트롤박스안 제어부 모습

2) Atmega128 칩

Atmega128은 Atmega 계열에 속하는 소형 MCU 칩셋으로 고성능 저전압의 AVR로 5V 전압에서 동작하며 8비트 마이크로 컨트롤러를 지칭하는 칩의 모델 번호로 AM-128PRO 등의 코어 파트와 AB-M128-B 등의 개발 보드의 메인칩으로 쓰이며 주행 장치의 무인 자동 주행을 제어하는데 있어 제어부를 구성하는 핵심 칩이다.

MCU는 특정 기능만 수행하면 되는 전자 제품에 등에 많이 사용되는 것으로 Micro controller unit의 약자이며 하나의 칩 안에 다양한 장치들이 있어 대부분의 기능을 수행 할 수 있는 칩을 의미한다. MCU 내의 장치에서 수행이 가능한 기능들은 다음 표와 같다.

따라서 Atmega128은 표 3-5의 기능들이 모두 가능한 MCU로써 추가적인 논리 회로 없이 모든 기능을 칩 하나로 해결 할 수 있기 때문에 PCB (Printed circuit board)의 부피를 줄이며 제어부의 제작에 있어 용이하여 선정하였다. 컨트롤러(Controller)의 명칭은 MCU의 I/O를 사용하여 주변 장치들을 제어하기 때문에 생겨난 명칭이며 Atmega128의 사용자들 사이에서는 마이크로 컴퓨터(Micro computer) 또는 마이컴 (MICOM)이라고 한다.

표 3-5 MCU 제원

Processing device	Functions
CU (Controller unit)	Device for reading the commands and analyze to control
ALU (Arithmetic logic unit)	Arithmetical and logical operation unit
Memory	Storage device
I/O (Input/Output)	Input and output device

3) AM-128PRO AVR 코어

Atmega128 칩을 사용하는 보드로 주행 장치에 직접 쓰인 제어부의 코어(Core) 모듈이며 내부 플래시 256K 바이트, 내부 RAM 32K 바이트, 2줄의 2.54 Header Pin이 양쪽으로 32핀씩 배치되어 있고, MAX232 내장으로 RS232 통신이 가능하며, 프로그램 다운로드용 ISP 연결 포트 등의 사양을 갖춘 모듈이다. 다음 그림과 표는 AM-128PRO 모듈의 자세한 제원을 표기하였다.

표 3-6 AM-128PRO 모듈의 제원

Item	Specification
Module	Atmega 128 Base module
MCU	Atmega128 16AU AVR MCU
Memory	SRAM : 256 kbit (32 kbit)
Protocol	Support RS232
Feature	Support ISP Connector to download program

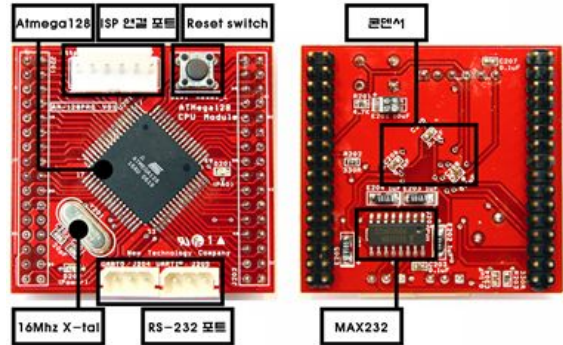


그림 3-19 AM-128PRO 모듈

4) AB-M128-B AVR 개발 보드

AM-128PRO, AM-128PL 등의 코어 모듈을 장착하여 확장 연결하며 개발 할 수 있는 Atmega128 칩용 개발 보드로 Atmega128의 모든 포트 (Port A~Port F)가 10Pin 커넥터로 연결 할 수 있도록 구성 되어 있다. AM-128PRO에 내장된 시리얼 포트를 이용하여 PC로 디버깅이 가능하며 개발 보드는 외부 전원 12V를 사용하고, 내부 동작은 5V 단일 전원이 이용된다. 다음 그림은 코어 모듈과 개발 보드가 결합된 상태의 모습으로 Atmega 128 MCU의 제어로 모든 상황을 확인하고 컨트롤 할 수 있으며 연결 포트를 편리하게 사용하여 주행 장치 제어부의 개발을 수월하게 할 수 있어 차체의 제작에 AB-M128-B 개발 보드를 사용하였다.

표 3-7 AB-M128-B 개발보드 제원

Item	Specification
Module	Atmega 128 Base board
Power	DC 12V
Output voltage	DC 5V, DC 12V
Feature	10Pin Connector (6 units)

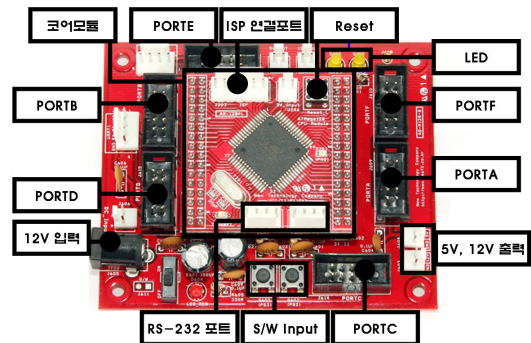


그림 3-20 AB-M128-B 개발보드

4) NT-TS601 초음파 센서

주행 장치의 위치 확인과 거리 감지를 위해 사용된 초음파 센서는 비접촉 초음파 측정 기술을 이용하는 센서 모듈로서 펄스(Pulse)의 진동수를 측정하여 거리 감지를 한다. 40kHz 로 펄스를 발생시키며 재측정을 하기 위해서는 최소 200 μ s가 필요하다. 또한 측정 최대 각도는 약 50°로 최대 각도를 넘는 방향에 있는 장애물은 거리 감지를 하지 못한다.

5V 전압으로 동작하며, TTL(Time to live) 신호 레벨에서 작동하므로 다양한 MCU와 호환성이 좋은 장점이 있다. 초음파 센서에 전압을 공급하기 위한 선 두 개와 MCU에서 제어를 위해 신호를 주거나 받는 선 한개만 요구되기 때문에 다양한 분야에서 거리 측정을 위해 사용되는 고감도 초음파 센서이다. 초음파센서의 제원은 다음과 같다.

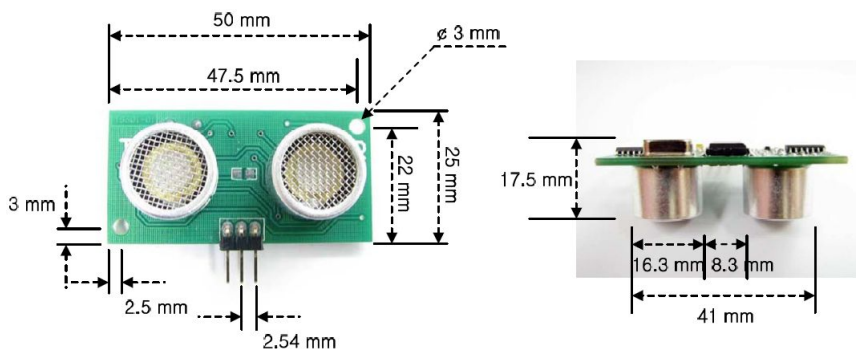


그림 3-21 NT-TS601 초음파센서

표 3-8 초음파센서 제원

Item	Specification
Measurement principle	Ultrasonic
Applications	Distance Measurement
Input power (VDC)	+5
Input current (mA)	15
Frequency (kHz)	40
Operating temperature (°C)	0 ~ 70
Weight (Kg)	0.013
Size (H × W × D) (mm)	25 × 50 × 17.5
Pin type	3-pin SIP(Single in-line package)
Distance measuring range (m)	0.02 ~ 3.3
Range of error (m)	± 0.02

초음파 센서를 주행 장치에 설치하여 실험에 사용되기 전에 실제 거리의 값과 센서로부터 출력되는 값을 비교하면서 초음파 센서의 보정 작업을 하였다. 초음파 센서에서 보내는 센서의 신호 값은 Atmega128 칩의 Input Ad resolution 10bit를 통하여 0~1024 사이의 특정한 값이 표시 되는데 수집 된 두 데이터 사이의 값을 비교하면서 분해능 (Resolution)을 구하였다. 다음 그림은 보정 작업을 위해 초음파 센서를 AVR에 연결한 모습으로 여섯 개의 센서를 주행 장치에 장착하기 위해 실험 하였다. 초음파 센서의 보정작업후 $R^2=0.9997$ 의 선형 특성에 따라 초음

파 센서의 신뢰성은 매우 높다는 사실을 확인하였다.

초음파 센서의 보정 작업 후 주행 장치의 여섯 군데에 초음파 센서를 설치하였으며 이는 시설원예용 하우스 내에서의 작물과 벽면과의 사이에 위치한 주행 장치의 위치 감지를 위하여 네 방향의 전방과 후방에는 좌, 우 측에 두 개를 초음파 센서가 각각 위치하였다. 다음 그림은 주행 장치에 초음파 센서가 설치된 모습이다.

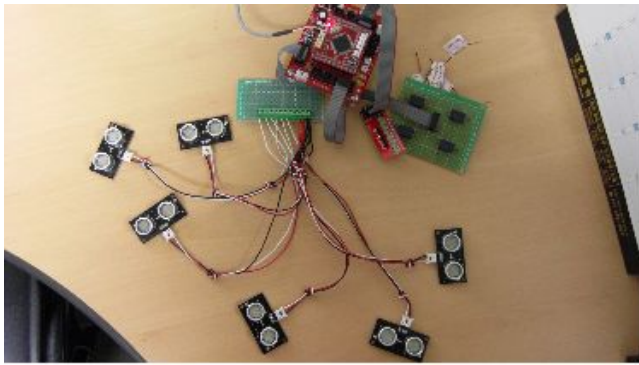


그림 3-22 초음파센서



그림 3-23 초음파센서 설치

5) 모터 제어용 릴레이

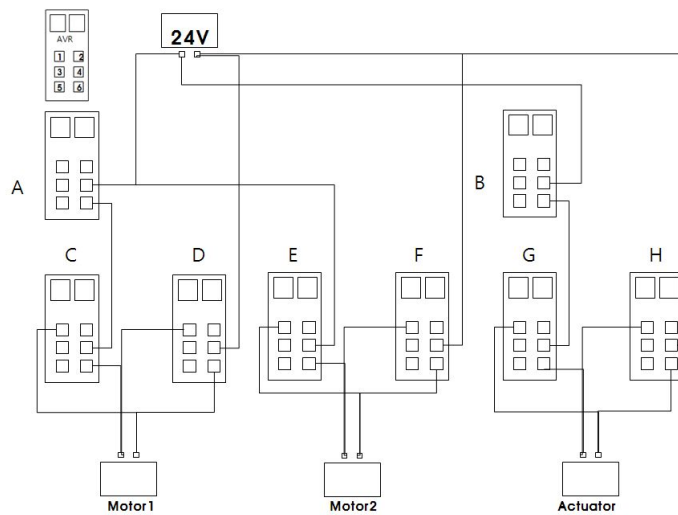


그림 3-24 릴레이 회로도

거리 감지를 하는 초음파 센서를 입력으로 하며 전, 후 주행을 위한 모터의 구동 및 좌, 우 주행을 위한 리니어 액추에이터의 구동을 제어하기 위하여 릴레이 제어 신호를 출력으로 하는 제어 시스템을 설계하였다. 또한 I/O 신호의 처리를 위한 중앙처리 장치로서 여러 분야에 널리 가장 널리 사용되는 Atmega128 MCU 칩을 사용하였다.

다음 그림은 릴레이의 회로도를 그린 그림으로 릴레이 C, D는 모터1을 제어하고 릴레이

E, F는 모터2를 제어하며 릴레이 G, H는 리니어 액추에이터의 방향을 제어한다.

릴레이 A와 B는 각각의 모터와 리니어 액추에이터의 On/Off를 제어하는 기능을 갖는 릴레이로 릴레이 A와 B에 MCU를 통해 DC 5V가 신호가 인가되면 릴레이 핀의 결선이 서로 바뀌면서 DC 24V 전압이 릴레이 C, E, G로 공급된다. 이 때 릴레이 C부터 H까지 MCU를 통해 5V의 전압이 인가되면 역시 핀이 결선 되면서 모터 1과 2, 그리고 액추에이터는 시계 방향으로 회전을 한다. 릴레이 C부터 H까지 DC 5V의 전압이 인가되지 않으면 핀의 결선이 바뀌면서 모터 1과 2, 그리고 액추에이터의 회전방향은 반시계방향이 된다.

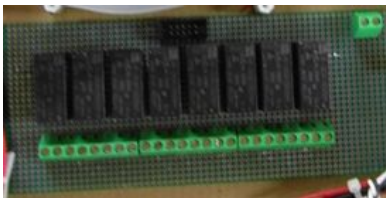


그림 3-25 릴레이구성 모습

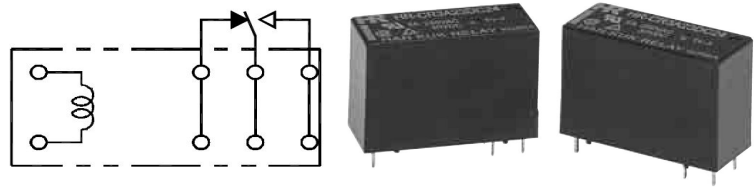


그림 3-26 릴레이 회로도

MCU를 이용하여 모터를 제어하기 위해 사용된 릴레이는 2채널 1접지 형태로 위의 그림은 릴레이의 모습과 회로도를 나타낸 그림으로 16A 까지 통과 시킬 수 있는 대용량의 릴레이이다. 주행 장치에 사용되는 배터리가 24V, 10A 이므로 릴레이가 전류를 견딜 수 있는 것으로 선정하였다. 릴레이의 자세한 제원은 다음 표와 같다.

표 3-9 릴레이 제원

Item	Specification
Initial contact resistance	100 mΩ maximum
Contact material	Ag Alloy
Rated load, resistive	10A 30VDC, 10A 250VAC
Maximum carry current (A)	16
Maximum switching capacity	DC 300W, AC 2500VA
Maximum switching voltage	250VAC
Minimum switching rating	100mA 5VDC

2. 조향 제어 시스템 설계 및 제작

A. 조향 제어 시스템 설계 사양

본 연구에서 제작 중인 주행부 본체의 조향 제어 시스템의 제작을 위한 설계를 다음과 같이 수행하였다. 하우스 내에서의 작물과 하우스 벽면과의 사이에 위치한 본체의 위치 판독을 위한 4방향의 초음파 센서를 입력으로 하고, 전/후 주행을 위한 모터의 구동 및 좌/우 주행을 위한 리니어 모터의 구동을 위한 릴레이 제어 신호를 출력으로 하는 제어 시스템을 설계하였다. 또한 입/출력 신호의 처리를 위한 중앙처리 장치로서 산업용으로 가장 널리 사용되는 AVR128 모델의 사용하였으며, 이러한 내용을 정리한 표는 다음과 같다.

표 3-10 조향 제어 시스템의 설계 사양

Term	Specification	Information
Input	Ultra sonic sensor x 2	Front distance
	Ultra sonic sensor x 2	Rear distance
	Ultra sonic sensor x 1	Left side distance
	Ultra sonic sensor x 1	Right side distance
Output	Relay output x 1	Right AC motor On/Off
	Relay output x 1	Left AC motor On/Off
	Relay output x 1	Front linear motor On/Off
	Relay output x 1	Rear linear motor On/Off
Controller	MCU : AVR128	Control logic software
	Input : 6 Digital input	Input for 6 ultrasonic signal
	Output : 4 Digital output	Output for 4 relay

B. 조향 제어 시스템 하드웨어 구성

1) 전체 시스템 구성도

전체 조향 제어 시스템의 하드웨어 구성도는 다음 그림과 같으며 실제 시작기에 탑재하기 위하여 제작된 하드웨어 구성은 그림과 같다.

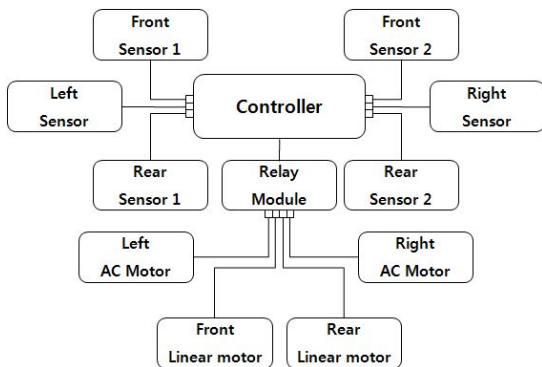


그림 3-27 전체 시스템 구성도

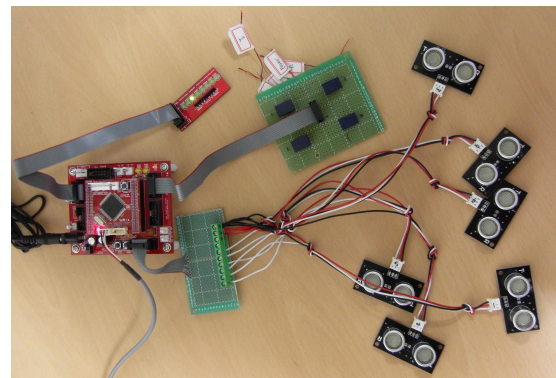


그림 3-28 제어 시스템 하드웨어 구성 화면

2) 조향 제어 시스템 소프트웨어 구성

○ MCU 펌웨어

조향 제어 시스템의 중앙 처리 장치에서 수행하는 조향 제어를 위한 소프트웨어는 ANSI C 언어로 작성이 되었으며, 초당 5회 이상의 간격으로 6채널의 초음파 센서의 펄스를 계산하여 각 방향의 거리를 측정하고, 제어 로직에 따라 릴레이 제어 신호를 출력하는 형태로 개발이 되었다. 이와 같은 소프트웨어 흐름도는 다음 그림과 같다.

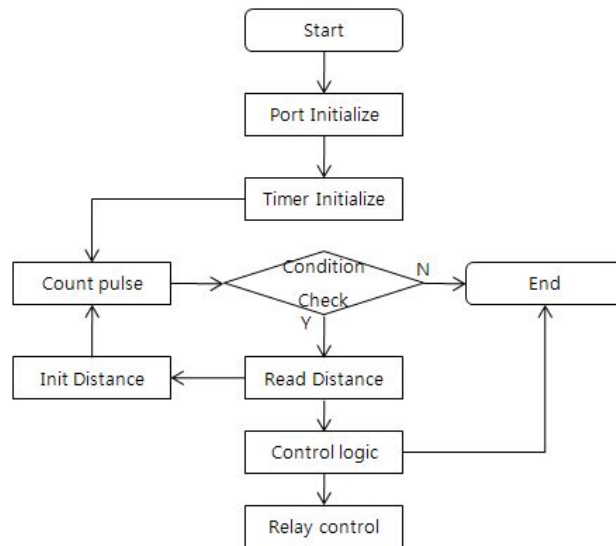


그림 3-29 MCU 펌웨어 Flow chart

○ PC 모니터링 소프트웨어 구성

조향 제어 시스템이 작동하는 동안의 측정된 거리 정보와 제어 현황을 PC화면에서 시각적으로 확인할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 제작 도구는 Visual C++ (Microsoft™) 이며 제어 시스템과 통신 방식은 RS-232이며 초당 5회 이상의 거리 정보 및 이에 따른 제어 신호를 PC화면상에서 확인할 수 있다. 다음 그림은 실내 요인 실험을 통하여 취득한 거리 정보를 그래프로 도시한 예제이다.

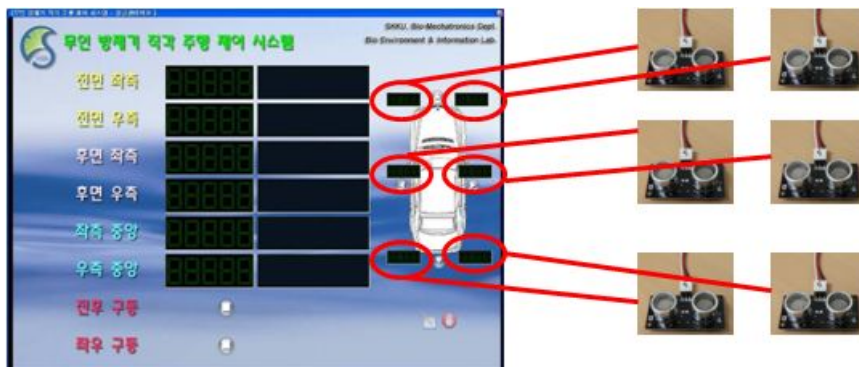


그림 3-30 PC 소프트웨어 실행 화면



그림 3-31 6채널 거리 계측 화면

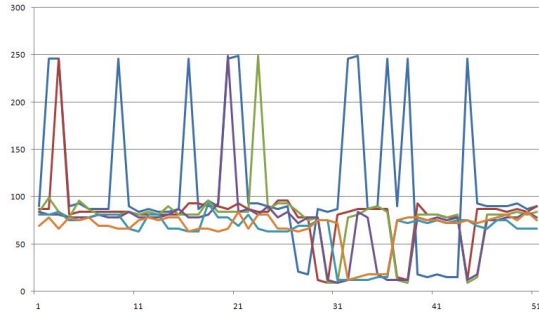


그림 3-32 6채널 거리 계측 결과

3) 조향 제어 메커니즘 설계

전/후 면부에 각 2식의 거리 측정 센서를 통하여 전/후진 가능 여부를 판단 할 수 있으며, 좌/우 측 각 1식의 거리 측정을 통하여 좌/우 진행을 판단 할 수 있는 조향 제어 메커니즘을 설계 하였다. 한편 대상 작물과 주행 공간의 구별함에 있어 거리 계측에서 발생할 수 있는 오차 및 예외 상황에 대한 대처를 위하여 전/후 면에 각각 2식 거리 계측 센서를 설치하여 입력되는 거리의 평균값을 제어 신호의 입력으로 사용하였다.

표 3-11 센서 신호 별 주행 방향 제어 테이블

Direction \ ON	Front 1	Front 2	Rear 1	Rear 2	Left	Right
Front			○	○	○	○
Rear	○	○			○	○
Left	○	○	○	○		○
Right	○	○	○	○	○	
Stop					○	

ON : 0.3m 이하로 접근해서 LED에 불이 들어온 상태

특히 상기 기술한 바와 같이 동일한 모터 동력을 이용하여 전/후 진 및 좌/우 구동을 수행할 수 있는 구조에 대응하기 위하여 모터의 방향 제어를 위한 극성 조절이 진행 방향에 따라 적절히 수행되어야 하며 이를 위한 극성 제어 테이블을 다음 표와 같이 정리하였다.

표 3-12 주행 방향 별 Relay 출력 극성 제어 테이블

Output control \ Direction	Relay1 (Left Motor)	Relay2 (Right Motor)	Relay3 (Front Linear)	Relay4 (Rear Linear)
Front	+	+		
Rear	-	-		
Stop → Left			+	+
Left	+	+		
Left → Stop			-	-
Stop → Right			+	+
Right	-	-		
Right → Stop			-	-

3. 요인시험 장치 성능 시험 결과

A. 장애물과의 거리가 일정한 경우

제작한 주행 장치의 주행 성능을 확인하기 위하여 직진 방향 주행 테스트를 실시하였다. 주행 장치를 좌측의 장애물을 따라 주행을 하고 초음파 센서로 감지된 거리 값을 저장하며 데이터를 수집하였다. 실험 방법은 다음 그림과 같이 구성하였으며 초기의 장애물과 주행 장치와의 거리는 650mm로 고정하였다.

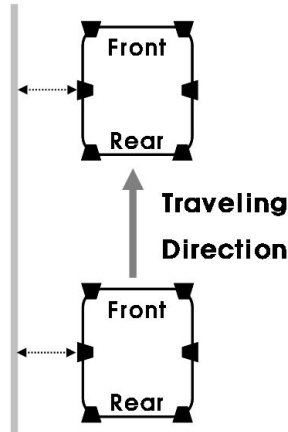


그림 3-33 직각 주행 시험 방법

좌측의 초음파 센서에서 수집한 데이터를 다음 그래프로 나타내었으며 값의 변동이 일어나는 이유는 주행 장치가 주행 중 진동으로 인하여 미세한 움직임이 발생하기 때문이다. 최대 오차는 약 100mm로 주행 장치의 고랑 방향 주행부의 너비와 고랑의 폭을 비교하였을 때 작물에 피해가 없는 거리이다.

또한 주행 장치를 제어하는 MCU의 프로그램을 통하여 좌, 우측 모터의 회전 속도를 조절하여 조향이 가능함으로 주행 장치가 어긋나는 경우 빠른 시간 내에 초기의 위치로 주행 장치가 복귀된다. 따라서 시설원예용 하우스 내에서는 방제 등의 작업을 위해 저속으로 주행 장치가 주행되기 때문에 더욱 정확한 직진 방향 주행이 가능하다.

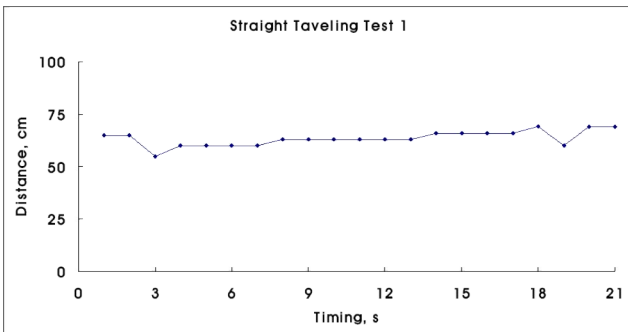


그림 3-34 직각 주행시 좌측 초음파센서 값 측정

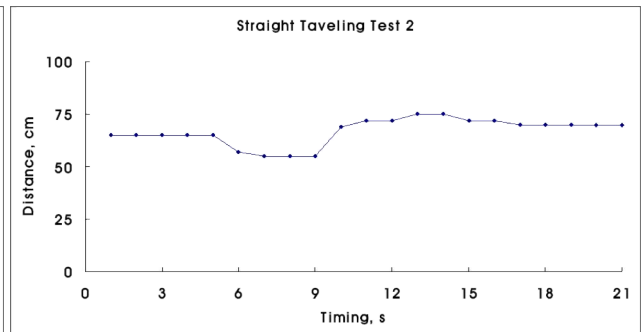


그림 3-35 직각 주행시 좌측 초음파센서 값 측정

B. 장애물과의 각도가 일정한 경우

직진 방향 주행 성능 평가에 참고의 목적으로 일정한 각도로 직진 주행을 하는 실험을 하였다. 좌측 장애물과의 거리 값을 측정하여 거리 값의 최소값과 최대값을 이용하여 각도의 동일성 여부를 판단하였다. 다음 그림은 실험 방법을 나타낸 것이다.

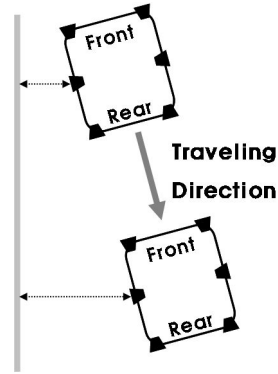


그림 3-36 사선 주행 테스트 방법

직진 성능 평가를 위해 기대 값과 실제 측정된 값과의 차이 확인을 위해 실험을 통하여 그 결과 값들을 계산하였다. 주행 장치의 성능을 검증하기 위해 측정된 거리는 최소 650mm, 최대 990mm 사이의 거리 값을 가지며 RMSE 값을 산출한 결과 최대 약 20mm 오차범위에 있음을 확인하였다. 다음 그래프는 기대 값에 의한 추세선과 실제 측정된 값을 나타낸 것이다.

따라서 제작된 주행 장치는 직진 방향으로 정확한 주행을 한다는 것을 실험을 통하여 확인하였으며 정확한 성능 평가를 위해 R^2 와 RMSE 값을 산출 값은 다음 표와 같다.

표 3-13 사선 주행 테스트 결과

Unit(mm)

	R^2	RMSE	Min	Max
Test 1	0.9599	20.93243	600	990
Test 2	0.9612	24.27019	630	990
Test 3	0.9577	23.82425	620	970

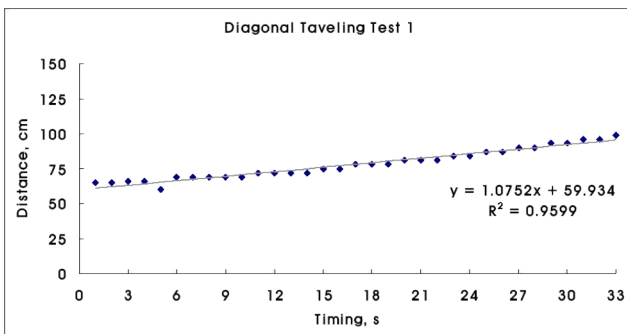


그림 3-37 사선 주행시 초음파센서 측정값

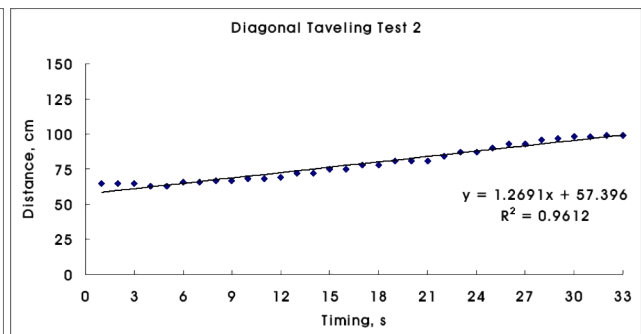


그림 3-38 사선 주행시 초음파센서 측정값

C. 직각 조향

주행 장치의 핵심 시스템인 직각 방향 조향 성능을 확인하기 위하여 직각 방향 조향 실험을 실시하였다. 실험의 절차는 다음 그림과 같이 진행하였다.

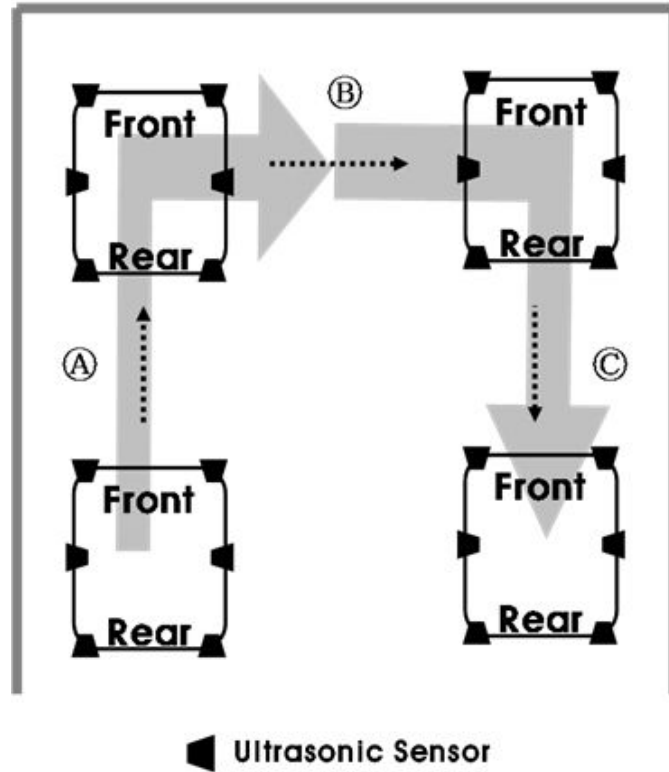


그림 3-39 직각 조향 테스트 방법

초음파 거리 측정과 직각 방향 조향의 실험 결과는 다음 그래프와 같다. 직각 조향 실험의 결과, ㉠ 구간은 정면의 장애물과 거리가 좁아지는 구간으로 전방 두 개에서 출력되는 초음파 센서의 값이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 초음파 센서의 측정 한계는 최대값이 3m로 그 이상의 거리는 최대값으로 표시된다. 그림 63의 그래프에서 ㉠ 구간을 분석하면 주행 장치는 2.5m를 주행하는데 걸린 시간이 30초 인 것으로 확인된다.

㉡ 구간은 전방의 장애물에 일정한 간격으로 거리를 벌려 수평 이동하는 구간으로서 전방의 초음파 센서의 값은 일정하게 유지되고 있으나, 좌, 우 센서의 값이 서로 반대 값을 가지며 교차되고 거리의 차이가 벌어지고 있음을 확인하였다. 그림 64의 그래프에서 ㉡ 구간은 옆으로 주행 했을 경우 2m를 이동하는데 20초의 시간이 소요됨이 확인 된다.

㉢ 구간은 ㉠의 구간을 주행 했을 때와 반대로 주행 장치의 전방이 정면의 장애물로부터 멀어지는 구간이므로, 전방 두 개의 초음파센서 값이 증가하고 후방에 위치한 초음파 센서 두 개의 거리 값은 감소하는 것을 확인할 수 있다. 리니어 액추에이터의 작동 시간은 약 7초로 짧은 시간 사이에 초음파 센서의 변화가 적다는 것 또한 확인이 가능하다.

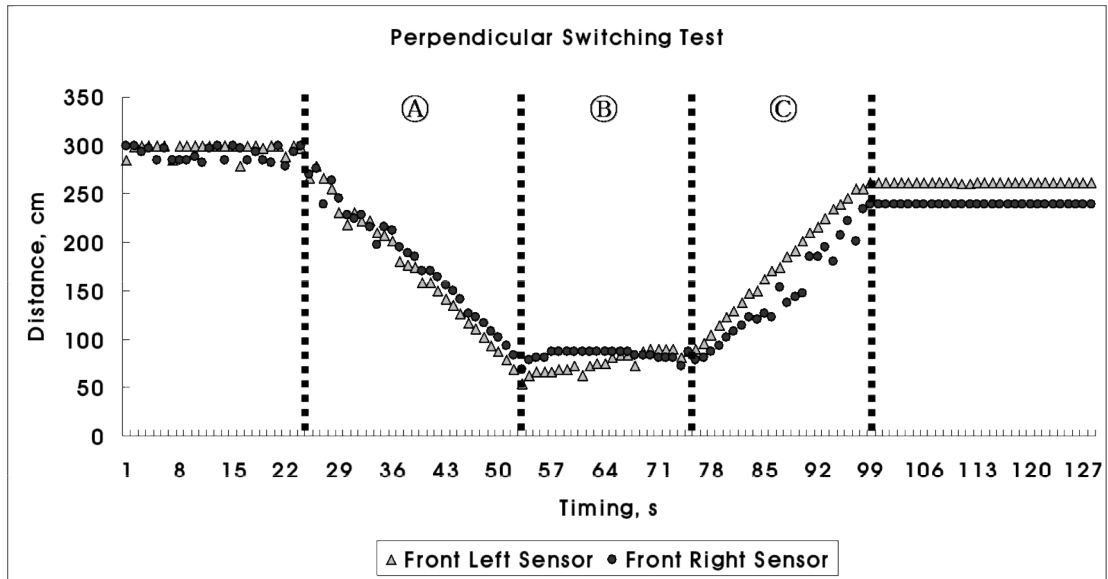


그림 3-40 구간별 전방 초음파센서(좌, 우)의 거리값

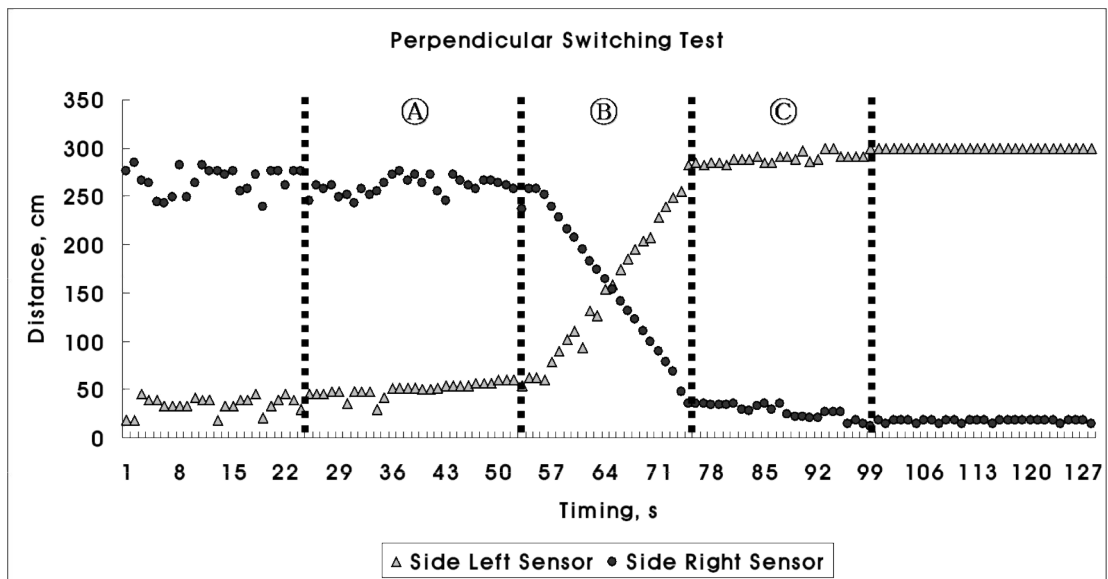


그림 3-41 구간별 측방 초음파센서(좌, 우)의 거리값

각 구간에서 초음파 센서 값이 변화가 일정하다. 따라서 실험 결과 주행 장치의 직각 조향 시스템 전, 후진 주행 및 직각 방향으로 주행이 원활하게 이루어진다는 것을 확인 할 수 있다. 오프-로드에서의 주행을 목적으로 제작된 주행 장치로 추후 시설원예용 하우스가 많은 재배 단지를 방문하여 추가적인 실험을 통해 보완이 필요하다.

제 4 절 자율 경로 주행 제어기 성능 실험

1. 자율경로 주행 제어기 제작 및 성능실험

A. 제어부 개요

본 연구에서는 최종 목표 시작기를 설계에 앞서서 소형 모델을 제작하여 제어기 성능실험 및 성능평가를 실시하였다. 모델차량을 선택한 후 차체에 초음파 Atmega128을 연결하여 UART와 RS232포트를 연결하여 PC와의 시리얼통신을 가능하게 하여 실시간 데이터 처리를 가능케 했으며, Atmega128에는 두 개의 초음파 센서를 연결하여 자율주행을 구현하였고, 한 개의 각도 센서는 차체에 또 하나의 각도 센서는 약제부에 부착하여 균형제어를 구현하였다.

자율 경로 주행 제어기의 제어부 개요도는 다음 그림과 같다.

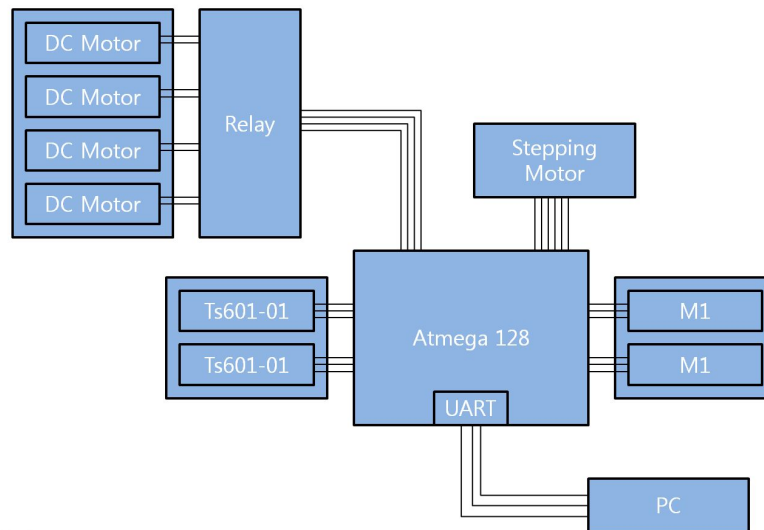


그림 4-1 전체 시스템 구성도

B. 구동부 차량

실험에 사용된 구동부의 차량의 사진 및 제원은 다음과 같다.



그림 4-2 구동부 사진

표 4-1 구동부 제원

Length(mm)	326
Width(mm)	349
Height(mm)	120
DC geared Motor	4
Off-road wheel	4
Weight(kg)	7

C. 계측부 및 제어부 제작

1) 마이크로컨트롤러

Atmel사의 AVR 계열에 속하는 8비트 마이크로 컨트롤러가 부착된 모듈이다. 2개의 8비트 타이머/카운터와 2개의 16비트 타이머/카운터, 8채널 10비트 A/D Converter, MAX232 내장으로 RS-232 통신이 가능한 2개의 UART가 있다. 여기서 마이크로 컨트롤러는 마이컴이라고도 칭하며 한 개의 칩내에 CU(Control Unit), ALU(Arithmetic Logical Unit)기능은 물론이고 일정한 용량의 메모리와 입출력 제어 인터페이스 회로까지를 내장한 것이다. CU는 명령을 해석하고 그것을 실행하는데 필요한 컴퓨터 내부의 각 유닛 사이의 데이터의 흐름을 제어하는 것이며, ALU는 가산이나 승산 등의 산술 연산과 레지스터 내의 하나 혹은 두 개의 값 사이에서 논리 연산을 행한다.



그림 4-3 Atmega 128



그림 4-4 초음파센서(TS601)



그림 4-5 각도센서

2) 초음파 센서

비접촉 초음파 측정의 기술을 이용한 모듈로서, 약 20mm에서 3.3m까지 비교적 정확하게 물체와 떨어진 거리를 측정할 수 있으며 하나의 I/O Pin으로 양방향 TTL pulse 인터페이스 방식으로 통신한다.

표 4-2 초음파 센서(TS601)의 제원

Measurement principle	Ultrasonic
Applications	Distance Measurement
Input power	+5 VDC
Input Current	15 mA
Frequency	40 kHz
Operating Temperature	0 ~ 70 ℃
Weight	13g
Size	25 mm(H) x 50 mm(W) x 17.5 mm(D)
Pin type	3-pin SIP(single in-line package)
Distance measuring range	about 20mm ~ 3.3 m
Range of error	± 20mm

초음파 센서를 실제 실험에 사용되기 이전에는 반드시 센서 보정작업이 필요하다. 따라서 실제 거리 값과 센서로부터 출력되는 값을 비교하여 보정작업을 실시하였다. 초음파 센서가 보

내는 센서값은 pulse 횟수로 출력되므로 이를 Counter하여 알 수 있으며 센서값의 resolution은 1이었다. 초음파 센서를 지지대에 고정하여 장애물과의 각도를 수직으로 유지한 채 초음파 센서와 장애물 사이의 거리를 5mm씩 증가시키면서 센서 값이 증가할 때마다 모눈종이로 실제 거리를 측정하였다. $R^2 = 0.9997$ 의 직진성을 나타내는 것으로 조사되었다.

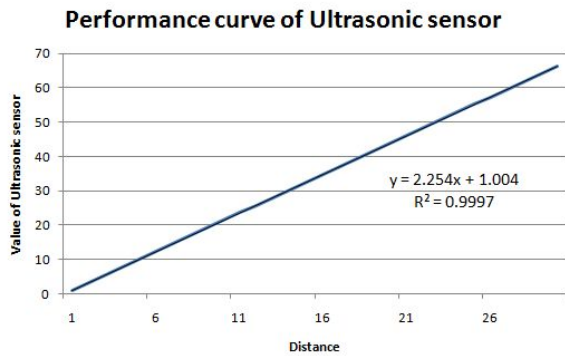


그림 4-6 초음파센서 보정

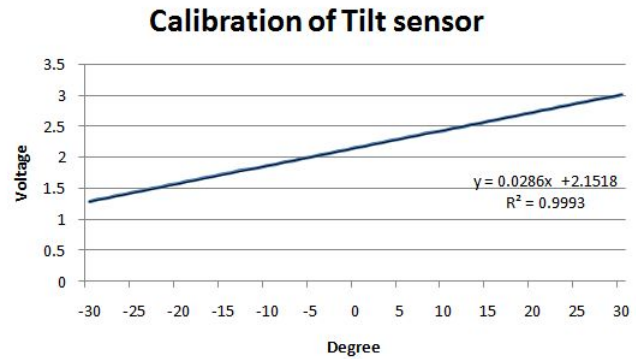


그림 4-7 각도센서 보정

3) 기울기 센서

M1은 Das의 전자식 기울기센서로서 매우 고정도의 각도측정센서이다. 집적회로가 내장된 전자식 액체충전 방식으로 설계되었으며 정밀도가 뛰어나고 장시간 사용해도 변하지 않는 매우 안정된 성능을 가지고 있다.

표 4-3 기울기 센서(M1)의 제원

Measuring range	$\pm 30^\circ$
Resolution	< 0.005 degrees
Non-linearity	$< 0.2\%$ FS
Transverse Sensitivity	$< 1\%$ at $\pm 30^\circ$ tilt
Response Time	< 0.3 second
Power supply(Regulated)	5 Vdc
Min.to Max.supply	3 to 6 Vdc
Current consumption 5V	< 1 mA
Operating Temperature	-40 to ... $+85^\circ\text{C}$
Storage Temperature	-45 to ... $+90^\circ\text{C}$
Weight	approx. 22 g
Sensitivity	approx 5mV/ $^\circ$
Zero offset at 5V	2.5 ± 0.1 Volt
Temperature Drift of sensitivity	0.12%/ $^\circ\text{K}$
Temperature Drift of Zero	± 0.025 mV/K
Output imdedance	10kOhm
Standard cable	3 high flexible wires

기울기 센서를 사용하기 전에 반드시 이루어져야하는 작업은 각도 보정작업이다. 기울기 센서가 보내는 센서 값은 Atmega128의 10bit Analog Digital Converter를 통해 0~1024 사이

의 해당되는 값을 통해 나타나게 되는데 센서의 출력이 0~5V를 나타낸다고 가정했을 때 이 값을 전압으로 변환시키면 $(\text{Bit Value} / 1024) \times 5$ 이다. 앞에서 언급된 식을 참고하여 전압 값에 관계하여 나타나는 정확한 각도 값을 알아내기 위하여 정밀각도계를 이용, $\pm 30^\circ$ 의 범위 내에서 1° 단위의 각도변화를 통해 나타나는 전압값을 측정하였다.

4) 스테핑모터

스테핑모터는 고정자와 회전자의 구조상 가변 저항형, 영구 자석형, 복합형으로 나뉘며 본 연구에서는 영구 자석형을 사용하였다. 영구 자석형은 회전자로 영구자석을 사용하며, 고정자 권선에서 만들어지는 전자력으로 회전한다. 따라서 무여자 시에도 Holding Torque가 유지되며 진동이나 오버슈트가 생기지 않는 장점이 있다.



그림 4-8 스테핑모터

표 4-4 스테핑모터(SE-SM9K)의 제원

Step Angle($^\circ$)	1.8 $^\circ$
Voltage(V)	2.3V
Current(A)	3
Resistance(Ω)	0.75 \pm 10%
Inductance(mH)	1.5 \pm 20%
Holding Torque(kg/mm)	0.9
Weight(g)	680

5) 릴레이 제어부

릴레이 A와 B는 차체의 왼편에 붙어 있는 모터 1번과 3번을 제어하며 릴레이 C와 D는 차체의 오른편에 붙어 있는 모터 2번과 4번을 제어한다. 릴레이 A에 전압이 인가되면 모터1, 3의 VCC에 5V가 인가되고 GND에 0V가 인가되어 모터 1,3은 전진하게 되고, 릴레이 B에 전압이 인가되면 VCC에 0V가 인가되고 GND에 5V가 인가되어 모터 1,3은 후진하게 된다. 릴레이 C, D 모터 2, 4번도 동일한 방법으로 제어한다.

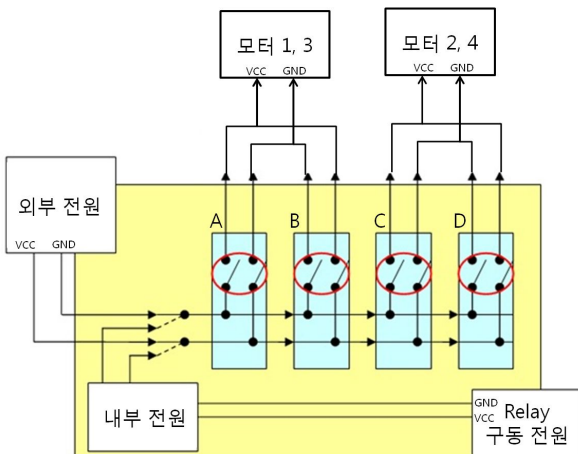


그림 4-9 릴레이 회로도

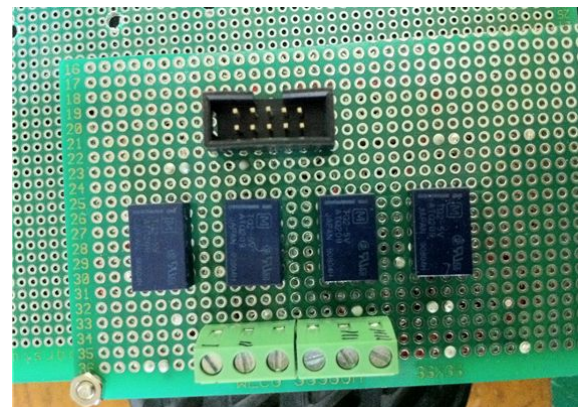


그림 4-10 릴레이 제어부 제작

D. 시스템 제작

구동부 차량위에 위에서 계측부와 제어부에서 언급된 제원을 적절히 구성하여 완성하였다. 차체의 좌우측에는 판을 세워 초음파 센서를 부착하였고 차체 상부에는 판을 올려 그 사이에 차체 차륜모터의 동력선을 정리하였다. 그 판 위에는 스텝모터와 ATmega128, Relay를 적절히 구성하여 배치하였으며 스텝모터에는 약제부를 표현하는 함석판을 잘라 Flexible Coupling을 이용하여 연결하였다. 각도 센서는 차체의 앞부분과 약제부의 함석판에 부착하여 균형제어가 가능토록 하였다.

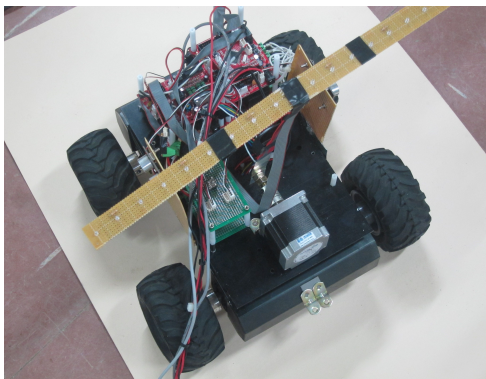


그림 4-11 차량의 전체적인 모습

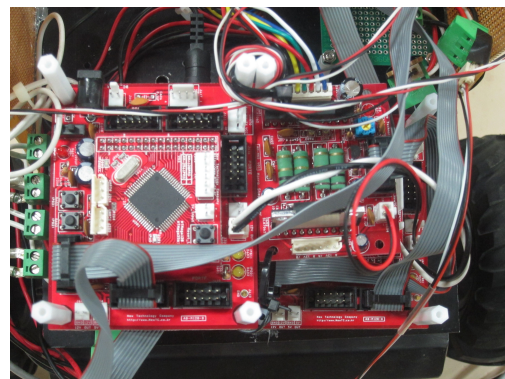


그림 4-12 제어부의 형태

E. 자율주행 제어 알고리즘

Calibration을 통해 얻은 데이터를 이용하여 200mm를 기준 값으로 잡고 이 거리를 유지하도록 구현하였다. ATmega128의 타이머를 이용하여 일정 시간마다 Interrupt를 발생시키고 Interrupt 발생할 때 마다 시그널선의 전압을 측정하는 방식으로 초음파 센서 값을 읽고 이를 기준 값으로 설정한 값과 비교하여 측정된 거리 값에 따라 일정 범위를 벗어난 경우 Skid Steering을 이용하여 회전을 하도록 구현하였다. 센서 자체의 노이즈를 제거하기 위하여 구간 평균법을 사용하였다.

회전 방식은 두 가지를 사용하였으며 한 가지 방법은 왼 쪽이나 오른 쪽 차륜을 전진을 시키고 다른 쪽은 정지시키는 방법이며, 다른 한 가지 방법은 한 쪽 차륜에 전진 신호가 들어가면 반대 편 차륜에는 후진 신호를 주는 Skid Steering 방법이다. Skid Steering 방식은 토양 파괴 및 동력 손실이 크므로 첫 번째 방법을 기본적으로 사용하고, 설정한 범위를 벗어나 빠르게 회전을 해야할 경우에만 두 번째 방법을 사용하였으며, 이를 통해 차륜의 축을 움직이는 Steering wheel방식은 사용할 수 없지만 최대한 부드러운 주행이 가능하도록 하였다.

기준 거리인 200mm를 기준으로 $\pm 40\text{mm}$ 범위 내에서는 전진을 하며 $\pm 80\text{mm}$ 범위에서는 한 쪽 차륜만을 주행하였고 그 이상의 범위에서는 Skid Steering 방식을 이용하여 회전을 하였다.

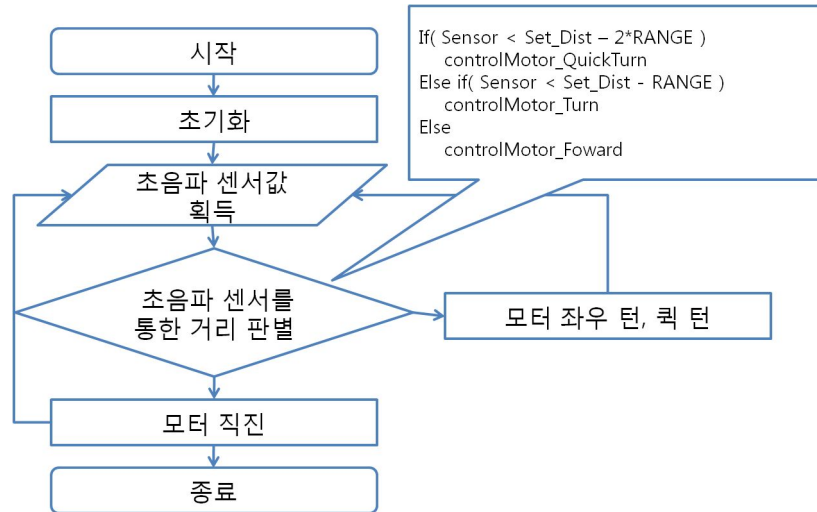


그림 4-13 주행제어 시스템 순서도

F. 약제부의 균평 알고리즘

시설하우스의 평균 경사도는 0~2도로서 거의 평형에 가깝다. 하지만 앞에서 언급한 고랑과 고랑사이를 주행하는 방식을 선택하였을 경우 고랑깊이에 따라서 방제기 본체 및 약제부에 경사가 발생할 가능성도 있다. 따라서 본 연구에서는 방제부의 효율적인 방제를 위하여 약제부의 균평 시스템을 도입하였다.

약제부에 부착된 기울기 센서의 값을 Atmega128의 Analog Digital Converter로 읽은 데이터와 Calibration을 통해 얻은 수직일 때의 센서값을 이용하여 두 값의 차가 일정 범위를 벗어나면 스텝모터에 신호를 주어 한 스텝씩 회전하도록 하였다. 스텝모터는 2상-여자 방식을 이용하여 제어하였으며 실시간으로 데이터를 얻기 위해 UART를 이용하여 PC에 Text 파일로 저장이 가능하도록 하였다.

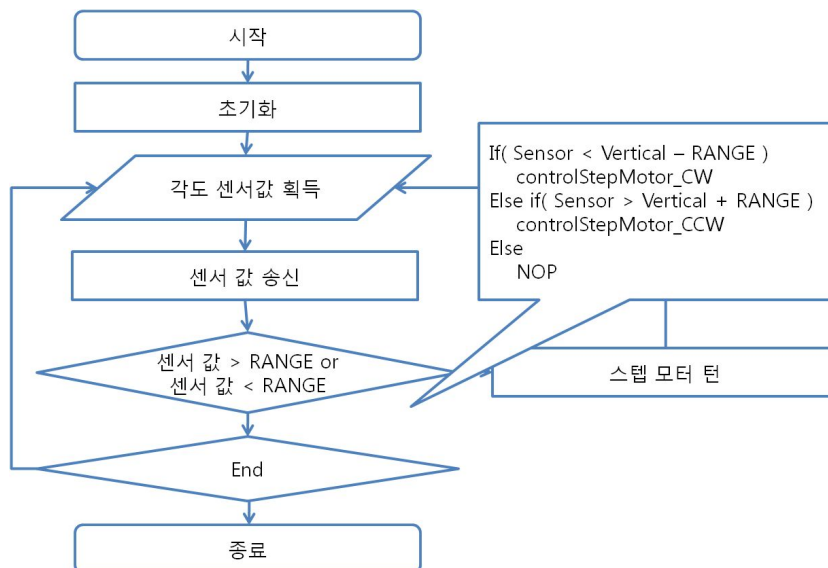


그림 4-14 균평제어 시스템 순서도

G. 자율경로 주행 제어 성능 실험 방법

제어 성능실험을 위하여 소형차체로 U자형의 최대 경사는 4° 이며 총 트랙 길이는 8m인 트랙을 만들고 약 1분 30초 동안 0.8m/s의 동일한 속도로 주행하게 하였다. 좌측 시작점에서 우측 시작점으로 10회, 우측 시작점에서 좌측 시작점으로 10회 총 20번의 실험이 행해졌으며 결과 분석을 위해 실시간으로 각도 센서값과 초음파 센서값을 받았다. 마이크로 컨트롤러에 연결된 초음파 센서 및 각도 센서의 보정 및 계측을 위해 실시간으로 데이터를 받았으며 이 데이터들은 차량의 무인자율주행 및 작업부의 균평제어를 위한 분석의 자료로 삼았다.

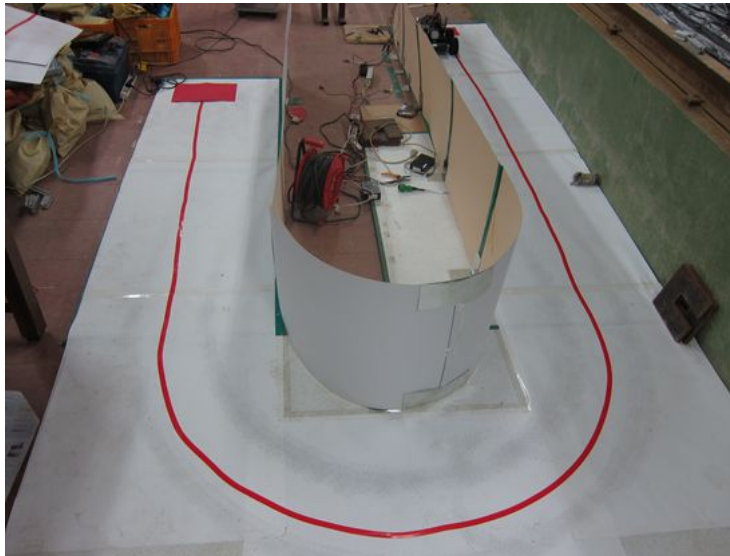


그림 4-15 실험 트랙

H. 자율경로 주행 제어 성능 실험 결과

좌측에서 우측, 우측에서 좌측의 두 그래프에서 보다시피 한 부분이 임계점으로 설정한 20 ± 8 사이에서 주행을 하고 있음을 알 수 있으나, 20 ± 4 부분에서는 한 쪽 차륜만 굴리는 방법은 곡률($1/1.15$)을 따라갈 수 없어 거리가 점점 멀어지며 20 ± 8 부분을 넘어서서 Skid Steering을 사용하여 거리를 줄인 후에는 다시 거리가 점점 멀어졌다.

따라서 곡률반경이 $1/1.15$ 이상이 필요하거나, 조향시 Skid Steering 방식이 아닌 다른 방식이 요구되는 것을 확인할 수 있었다.

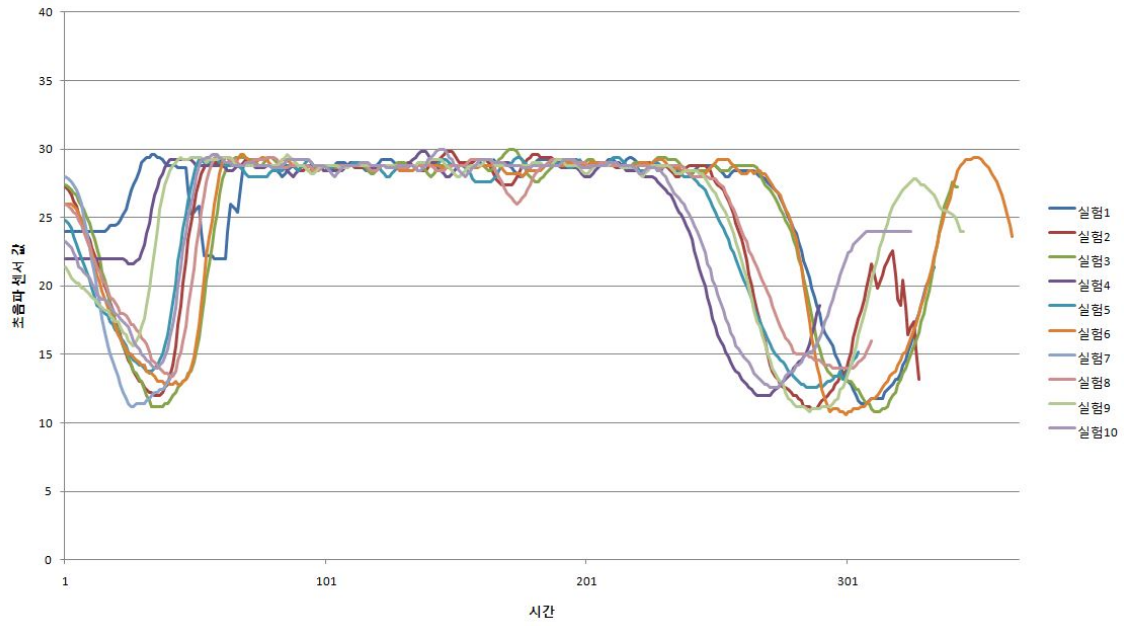


그림 4-16 자율경로 주행 시 초음파 센서 값의 변화(Left to Right)

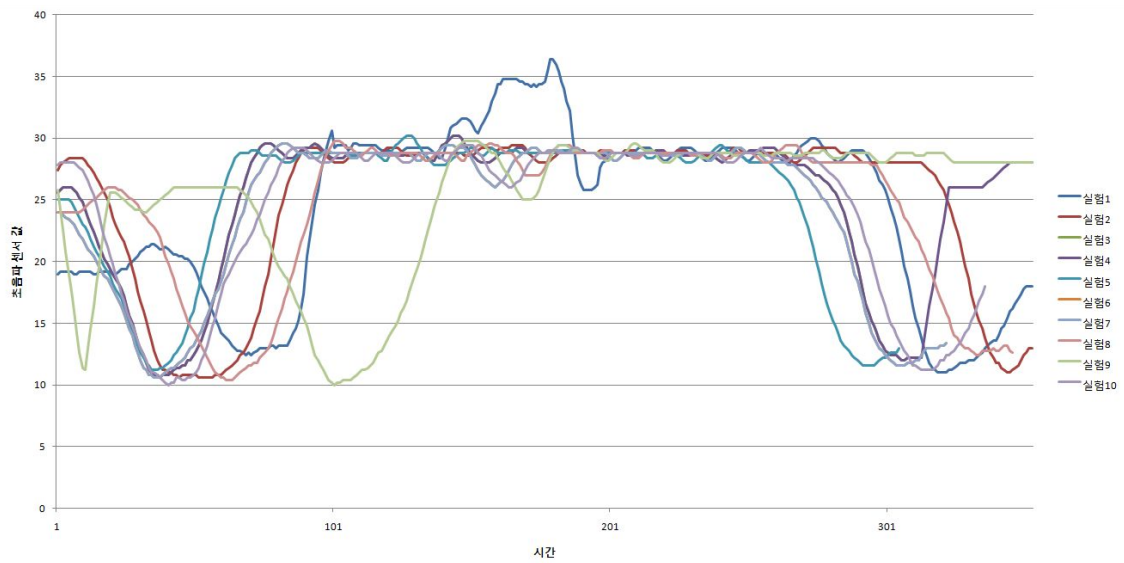


그림 4-17 자율경로 주행 시 초음파 센서 값의 변화(Right to Left)

I. 약제부 균평제어 실험 결과

차체의 각도와 약제부의 각도를 비교하여 균평을 제어되는 것을 보여주고 있다. 차체의 각도 센서 값과 약제부의 각도센서 값이 설정한 범위 1도 이상을 벗어나는 경우 스텝모터의 회전으로 약제부의 균평제어가 되는 것을 확인할 수 있다.

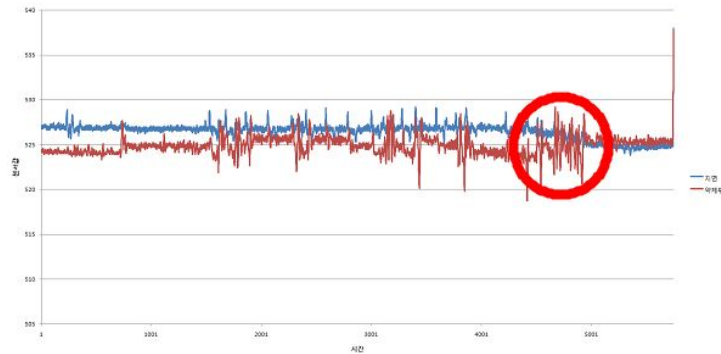


그림 4-18 균평 제어 시 기울기 센서 값의 변화(Left to Right)

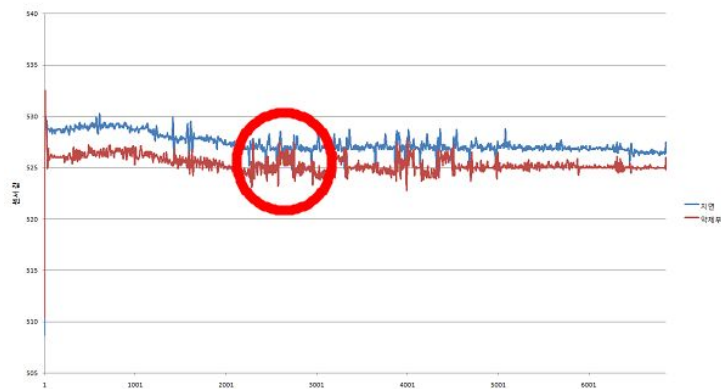


그림 4-19 균평 제어 시 기울기 센서 값의 변화(Right to Left)

제 5 절 동력 전달 및 기구부 제작 및 요소별 요인 성능 실험

1. 동력 전달 기구부 제작

동력 전달 기구부는 차량의 주행 및 조향을 위한 요소로서 좌측 및 우측 차륜의 개별 구동을 위한 2개의 DC모터와 감속을 위한 2쌍의 스프라켓(감속비 - 1:10) 및 체인으로 구성되어 있다. 구성요소를 토대로 하여 그림 5-6과 같이 동력 전달 기구부를 제작하였다.

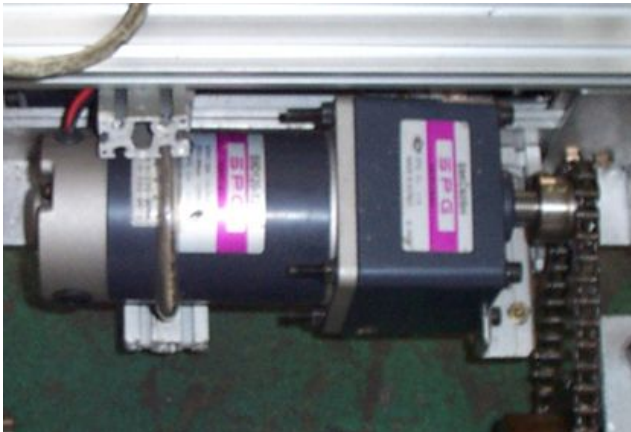


그림 5-1 DC모터

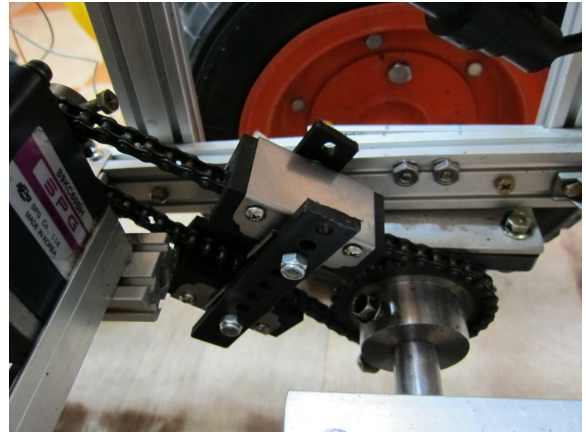


그림 5-2 체인 장력 지지대

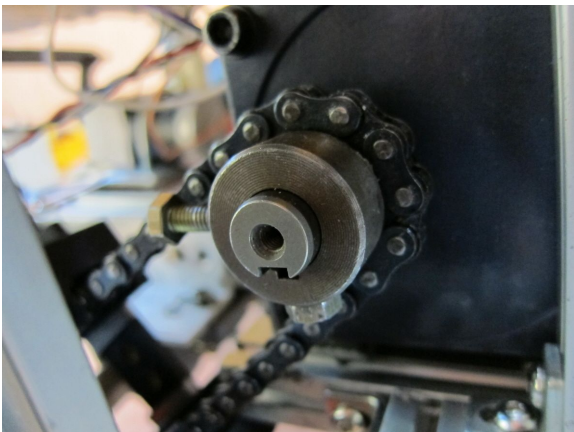


그림 5-3 스프라켓(모터부)



그림 5-4 차축 베어링



그림 5-5 스프라켓(차륜부)

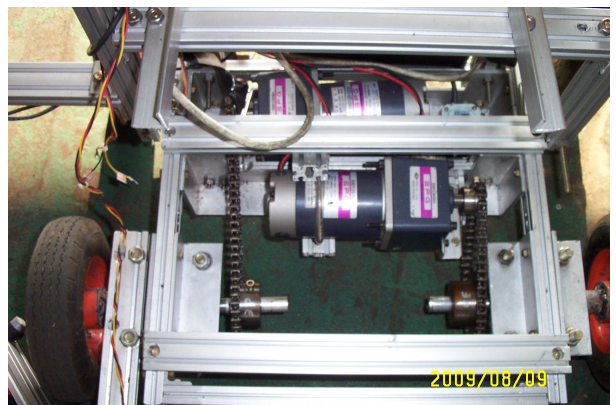


그림 5-6 동력 전달 기구부

2. 요소별 요인 성능 시험

A. 실험을 위한 시작기 및 실험 장치

설계된 제어시스템에 대한 실내에서의 실험을 통해 제어성능을 규명하여 2차년도에 시작기 제작에 필요한 자료를 얻기 위하여 실험용 시작기를 제작하여 실내에서의 성능실험을 수행하였다. 그림 5-7 및 5-8에 설계, 제작된 실험용 시작기의 사진을 나타내었다. 실험장치는 차량 구동을 위한 구동륜 및 모터가 장착된 차체 프레임, 모터 구동용 배터리, 조작판넬, 컨트롤러, 초음파 센서, 차량의 주행상태 검출을 위한 5륜 등으로 구성되어 있는 시작기, 차량 유도선 및 data acquisition용 컴퓨터 등으로 구성되어 있다. 차량 유도선은 요소실험의 결과로부터 폭이 5cm이면서 하우스농가에서 쉽게 손에 넣을 수 있는 튜브를 실험에 사용하였다.

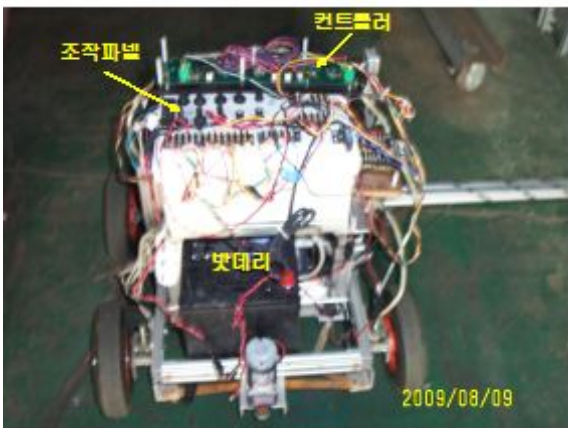


그림 5-7 실험 장치의 사진



그림 5-8 실험 장치의 사진

B. 초음파 제어 성능 실험

제어성능 실험에서는 양산을 전제로 검출거리가 작은 기존의 초음파 센서와 유사한 특성을 갖고 있는 초음파 센서를 선정하여 실험에 사용하였다. 그림 5-9 및 표 5-1에 실험에 사용된 초음파 센서의 사진과 주요사양을 나타내었다.



그림 5-9 초음파 센서

표 5-1 초음파 센서의 제원

Model명	SC217VDSF-B1A
검출거리	50~300mm
사용전압	DC12V
검출물체	100×100mm
정확도	3%, F.S

그림 5-10은 실험에 사용된 초음파 센서의 Calibration 결과를 나타내었으며, 검출거리와

센서의 출력전압 사이에 충분한 선형성($R^2 = 0.999$)을 가지고 있다.

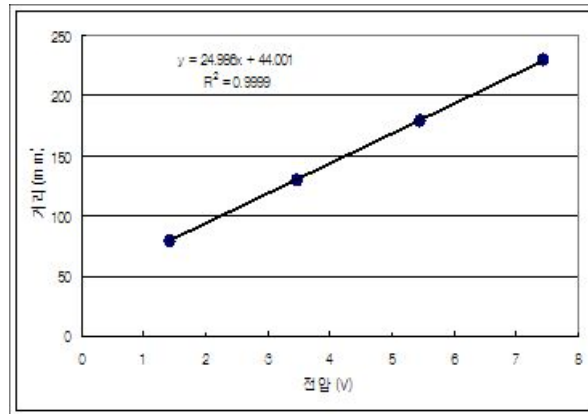


그림 5-10 초음파 센서의 Calibration 결과

C. 조향 제어 성능 실험

차량 유도선의 좌/우측에 설치되어 있는 2개의 초음파 센서가 차량 유도선을 검출하여 차량이 유도선을 이탈하지 못하도록 제어하면서 주행하여야 함으로 간헐적인 조향이 이루어지게 된다. 좌/우 차륜이 각각의 구동모터에 의해 구동됨으로 조향 방법은 2가지의 방법(브레이크 턴: 내측 차륜 브레이크, 스피드 턴: 내측 차륜 역회전)이 검토되어질 수 있다. 이 2가지의 조향 방법에 대한 조향특성을 규명하기 위해 실내에서의 조향특성 실험을 수행하였으며, 실험결과 선회반경 및 조향 후의 차체와 유도선 사이의 거리 변화 등을 고려할 때 스피드 턴 방식이 본 제어시스템의 조향방식으로 적합하다고 판단되었다.

브레이크 턴 및 스피드 턴에 대한 예비실험 후, 주행 중의 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향을 규명하기 위해 스피드 턴, 주행속도 약 1km/h, 지면으로부터의 센서거리 약 250mm, 유도선으로부터의 거리 약 180mm의 조건하에서 전진 시의 유도선에 대한 차량의 진행각도를 5도, 10도, 15도, 20도로 변화시키면서 3회 반복실험을 수행하였다.

아래의 그림은 진행 각도 5, 10, 15 및 20도(좌경사 및 우경사 방향)에 대한 실험결과를 나타내었다.

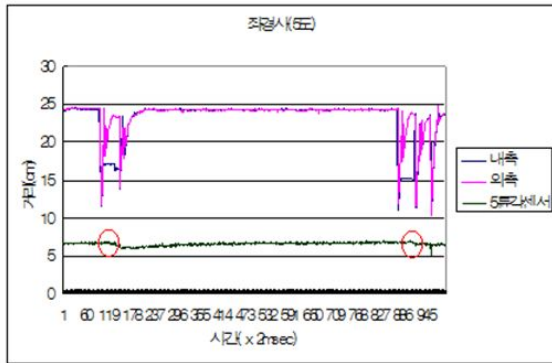


그림 5-11 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(5도)

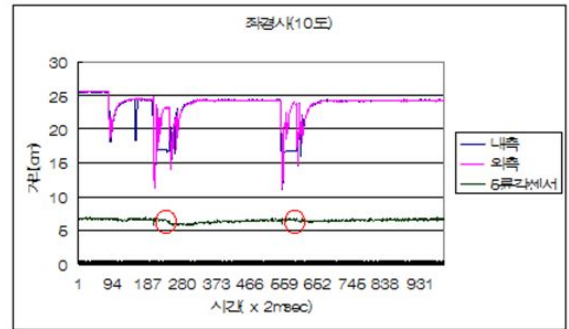


그림 5-12 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(10도)

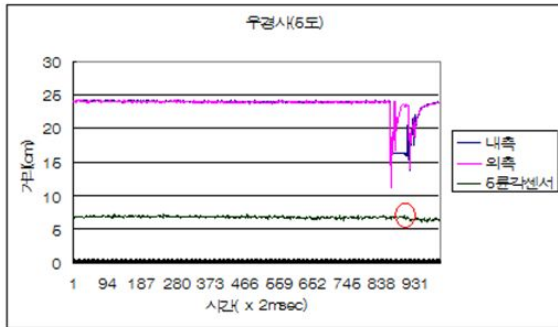


그림 5-13 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(15도)

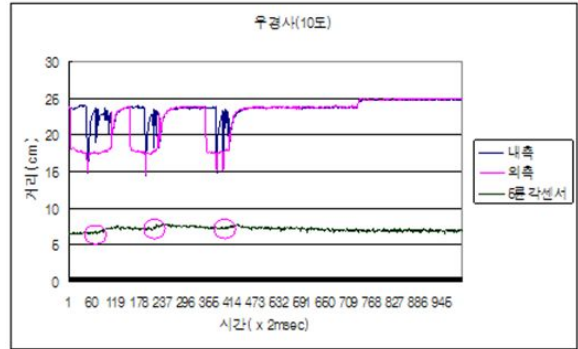


그림 5-14 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(20도)

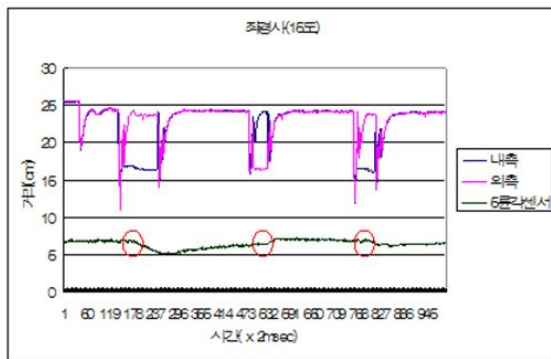


그림 5-13 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(15도)

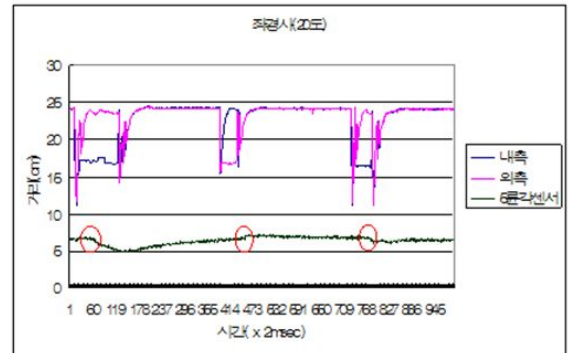


그림 5-14 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(20도)

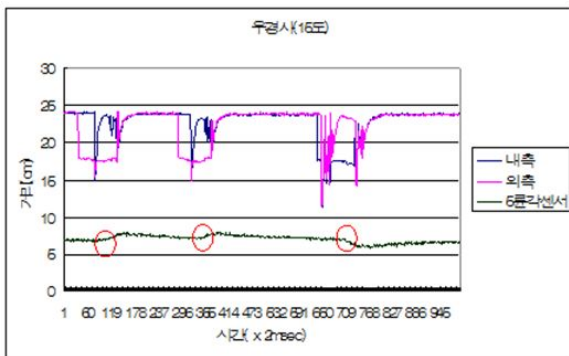


그림 5-13 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(15도)

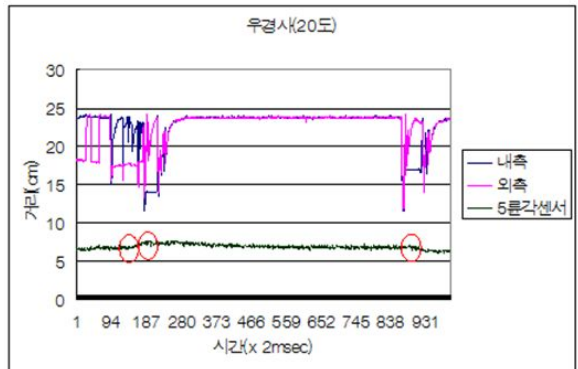


그림 5-14 유도선에 대한 차량의 진행각도가 주행 상태에 미치는 영향(20도)

D. 자동 주행 성능 실험

주행 제어성능을 규명하기 위해 자동모드에서의 주행성능 실험을 수행하였다. 실험은 스피너, 주행속도 약 1km/h, 지면으로부터의 센서거리 약 240mm, 유도선으로부터의 거리 약 180mm의 조건하에서 전진 및 후진에 대해 3회 반복 수행되어졌다. 이동대차의 주행거리는 2m이다. 제어시스템의 자동모드에서의 주행은 전/후진에 관계없이 차량 유도선을 중심으로 좌/우에 설치된 초음파 센서의 이탈 없이 잘 주행하고 있음을 알 수 있다. 단, 스피너 시의 좌/우 차륜의 속도 비에 대한 조절이 향후의 개선점으로 판단된다.

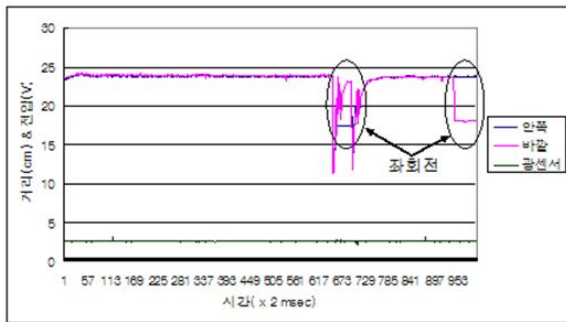


그림 5-15 자동 주행 실험 결과(전진)

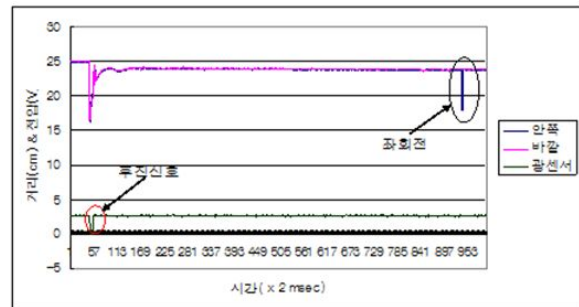
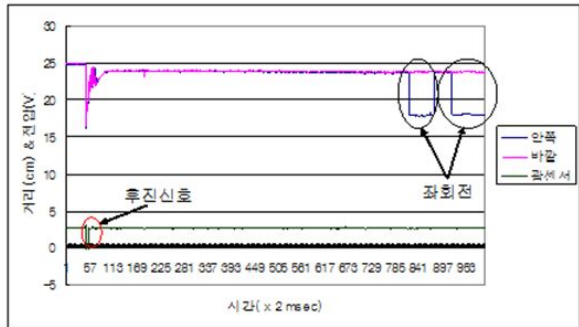
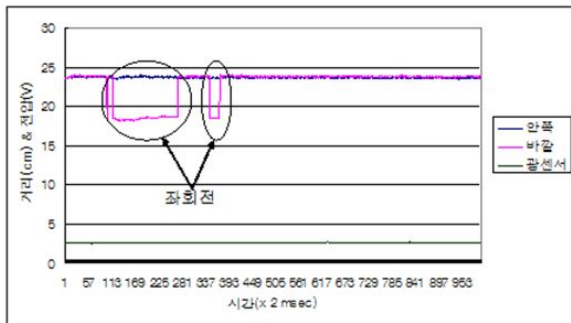


그림 5-16 자동 주행 실험 결과(전진)



E. 뽀각 제어 성능 실험

주행 중 차체의 Rolling현상에도 불구하고 분무 노즐이 장착되어 있는 뽀의 자세는 항상 지면에 수평이 되도록 유지되어야 한다. 설계된 뽀의 자세제어 성능을 규명하기 위한 실험을 실내에서 수행하였다. 그림 5-17에 뽀 자세제어를 위한 요소 및 실험장치의 사진을 나타내었다. 뽀 지지대는 차체에 고정되어 있는 뽀 제어용 모터에 의해 기어와 벨트로 연결되어 있는 뽀 지지대용 기어를 제어함으로써 동작하며, 뽀 지지대의 경사각도는 지지대용 기어와 링크로 연결되어 있는 퍼텐쇼미터에 의해 검출되도록 되어 있다. 실험은 차체의 롤링 각 변화(약 5도, 9.5도)를 경사각센서를 경사시킴으로써 뽀 각의 추종성을 검토하였다. 대표적으로 약 9.5도의 롤링 각 변화에서의 좌 경사 및 우 경사에 대한 실험결과를 그림 5-18 및 5-19에 나타내었다.

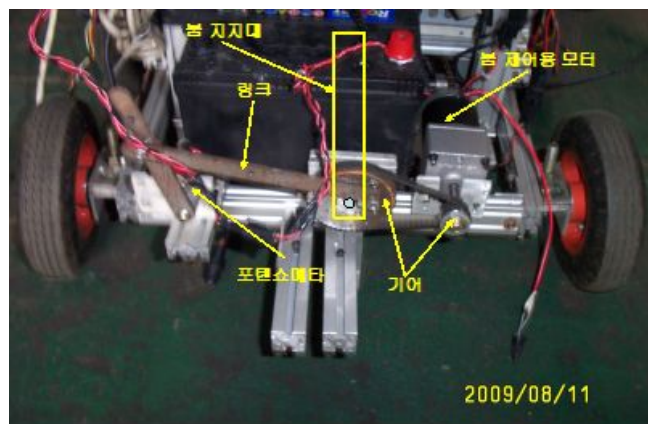


그림 5-17 뽀 자세제어를 위한 요소 실험장치

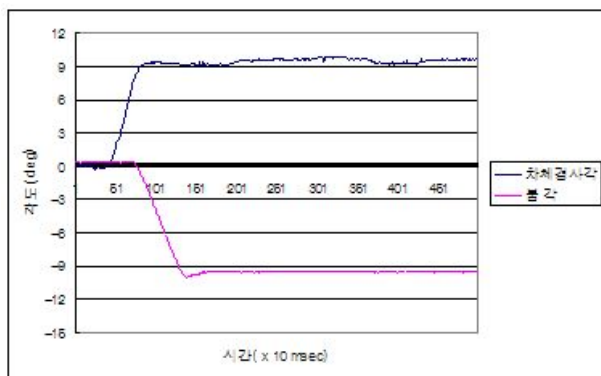


그림 5-18 우 경사 시의 실험결과

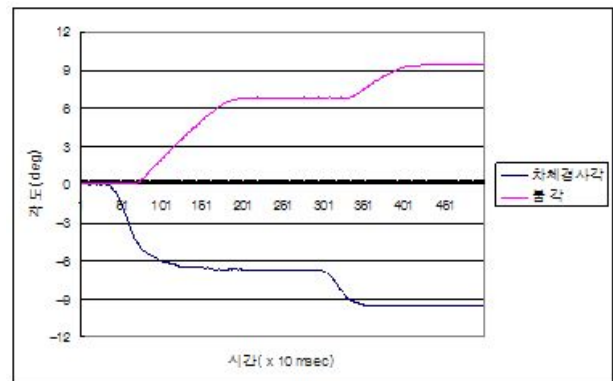


그림 5-19 좌 경사 시의 실험결과

제 6 절 통합 시작기의 설계 및 제작

1. 작물 재배 환경에 따른 주행부 차륜선택

다음 표를 보면 시설하우스 내에서 재배하는 작물의 종류와 그에 따른 작물에 맞는 적절한 재배양식과 적절한 토양의 물리적 특성은 다르다는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 같은 시설원예작물이라 하더라도 화훼의 경우 이랑 높이가 100~200mm정도인데 비해 딸기의 경우는 350mm이상이다. 이랑과 이랑사이의 간격이 화훼의 경우 500mm정도인데 비해 딸기의 경우 1,000~1,200mm정도이다. 이랑의 높이만 놓고 본다면 낮은 이랑을 가지는 화훼를 위한 방제차량에 비해 딸기를 위한 방제차량은 지면에서 차 하부까지의 높이가 더 높아야 할 것이다. 또한 수박과 오이 모두 박 과의 덩굴식물이지만 수박은 땅에서 줄기가 뻗어나가도록 놔두며 재배하기 때문에 낮은 높이에서 방제가 가능하지만 오이는 지주를 세워 높이 뻗어나가도록 재배하기 때문에 높은 높이에서의 방제를 위해 차량의 높이, 혹은 분사부의 높이를 높인다면 방제에 더욱 유리할 것이다. 우리나라의 밭 토양은 대체로 토심이 200~500mm로 얇고 작토의 깊이도 100mm정도밖에 되지 못하며, 토양경도가 높아 토양경도가 높기 때문에 이런 토양경도가 높은 밭 토양에서는 경우에 따라 일반(타이어)차륜을 사용하는 것이 적절하겠지만, 수분을 많이 필요로 하는 작물을 재배하려면 토양의 보습성이 좋아야 하기 때문에 사질보다는 점질토양이 유리하다. 수분을 많이 포함하고 있는 점질토양의 경우 소형의 일반(타이어형) 차륜으로는 이동이 어렵기 때문에 이양기용 차륜이 이동에 유리할 수 있다.

표 6-1 국내 토경재배 형태(통계청, 2007)

	Automatic Vinyl house	Vinyl house	Green house	E.T.C	Total
Area(ha)	4,466	47,051	330	1,233	53,080

위의 표와 같이 현재 우리나라의 하우스 시설을 보면 비닐하우스가 다른 시설에 비해 10배정도 더 많은 면적을 차지하고 있다. 대부분 비닐하우스의 경우, 토양은 고랑과 이랑으로 구성되어 있으며 관수나 방제작업에 의해 토양표면에 습지나 물웅덩이가 많이 분포되어 있는 경우가 많다. 이런 습지나 웅덩이의 경우 차륜이 작은 일반형 타이어보다는 차륜이 크고 차륜 표면에 러그가 있는 이양기용 타이어가 장착된 무인 방제기가 차체 추진력을 더 높여주므로 토경재배에 적합하다.

작물에 따른 토양의 특성과 작물의 높이 등 상황에 따라 적절한 주행부는 다르기 때문에 한 가지 타입의 차륜을 적용한 모델링으로는 적절하게 대처할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 소형의 일반(타이어형) 차륜과 큰 지름을 갖는 이양기용 차륜, 즉 두 가지 서로 다른 특징을 갖는 차륜을 가지고 모델링 하였다.

A. 일반 차륜 모델

일반(타이어형) 차륜은 토양의 경도가 높고 수분함유량이 타이어 이동에 적절해 비도로 입에도 무리 없이 다닐 수 있는 토양에 적용된다. 차륜의 지름이 400mm이기 때문에 토양부터 차랑하부까지의 높이는 대략 180mm이다. 작물 위로 차랑이 지나갈 경우 지상고가 낮아 작물에 손상을 줄 수 있으므로 주로 작물의 옆으로 이동하게 된다. 차랑의 총 높이는 850mm정도가 되게 된다. 그렇기 때문에 높이가 높은 작물보다는 토양에 접하여 재배되는 작물이나 차랑의 높이에 적합한 작물의 방제에 적합하다.

B. 가변형 차륜 모델

가변형(이양기형) 차륜은 토양의 경도가 낮은 사질토나 수분함유량이 많은 점질토를 필요로 하는 작물을 재배하는 토양에 적합하다. 차륜의 지름이 600mm이기 때문에 토양부터 차랑하부까지의 높이가 대략 300mm이다. 가변형(이양기형) 차륜을 장착한 방제기 모델의 경우 차체의 폭 역시 일반(타이어형) 차륜 방제차랑 모델에 비해 넓기 때문에 지상고 이하의 높이를 가지고 차체의 폭 600mm이하로 퍼지는 작물이라면 그 위로 지나가면서 방제가 가능하다. 이론적으로 차륜 폭 만큼의 공간만 있다면 운행이 가능하기 때문에 오히려 방제기 크기에 비해 방제기 운행에 필요한 공간이 적게 필요할 수도 있다. 또한 이양기 차륜크기로 인해 차체의 높이가 높아지므로 일반(타이어형) 차륜 모델에 비해 방제할 수 있는 높이가 높기 때문에 높게 자라는 작물을 방제할 경우 유리하다.

2. 통합시작기 모델링

본 연구에서 사용된 무인 방제기 주행모델은 2가지 주행부 모델을 결정하였다. 첫번째 모델은 일반 평지에서 사용되는 타이어를 사용한 구조인 일반형 모델이고 두번째 모델은 토경재배에서 사용이 가능하도록 이양기용 타이어를 적용한 가변형 모델이다.

A. 설계 도구

SolidWorks는 Dassault Systemes SolidWorks Corp에서 제작한 3D CAD 시스템이다. SolidWorks는 광학, 역학, 시네마, 플렌트, 디자인 렌더링은 물론 ERP 시스템까지 산업 전반에 대부분의 파트를 디자인 할 수 있을 뿐만 아니라 연관된 프로그램까지 연동하여 사용할 수 있는 매우 효율적인 소프트웨어이다. 본 연구에서는 시설원예용 무인 방제용 차랑을 모델링하기 위하여 SolidWorks를 사용하였는데 3D 모델링을 하기위해 매우 편리한 기능을 가지고 있으며 추후에 시뮬레이션을 할 때 사용할 프로그램과 연동이 된다는 점에서 사용을 하였다.

B. 일반 차륜 모델 설계

주행부에 대해 알아보자면 차량의 아랫부분에 차량을 움직이게 하는 DC모터가 있고 그 모터의 힘을 체인을 이용하여 뒷차륜의 양 쪽 축에 전달하게 된다. 모터가 생성한 힘으로 인해 차륜에 앞으로 가는 구동력이 전달되게 함으로써 이륜구동의 기본적인 차체를 완성 할 수 있었다. 일반 차륜 모델의 차륜은 지름 400mm인 원형 차륜을 사용하였으며 이는 일반적인 평지에서 사용하는 타이어이다.

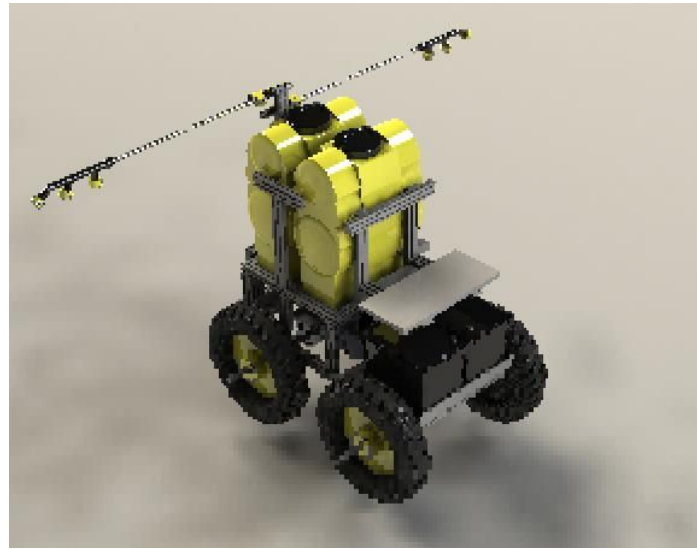


그림 6-1 일반 차륜 모델

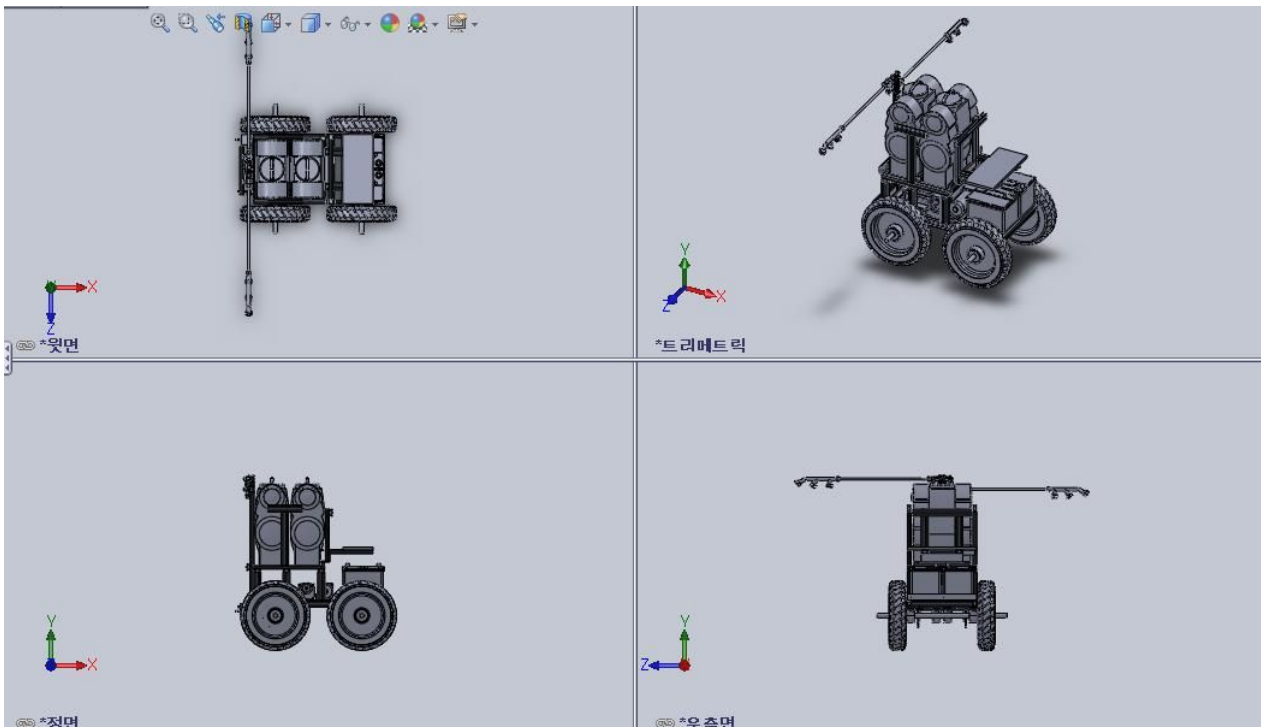


그림 6-2 일반 차륜 모델 설계 완성도

C. 가변형 차륜 모델 설계

두 번째 모델의 차륜은 지름 600mm이며 휠만의 크기는 250mm인 상당히 큰 이양기용 타이어를 사용하였다. 40도마다 3개씩의 러그가 있어 수분함량이 높은 토양에서 미끄러지지 않고 잘 움직일 수 있는 구조로 설계하였다.



그림 6-3 가변형 차륜 모델

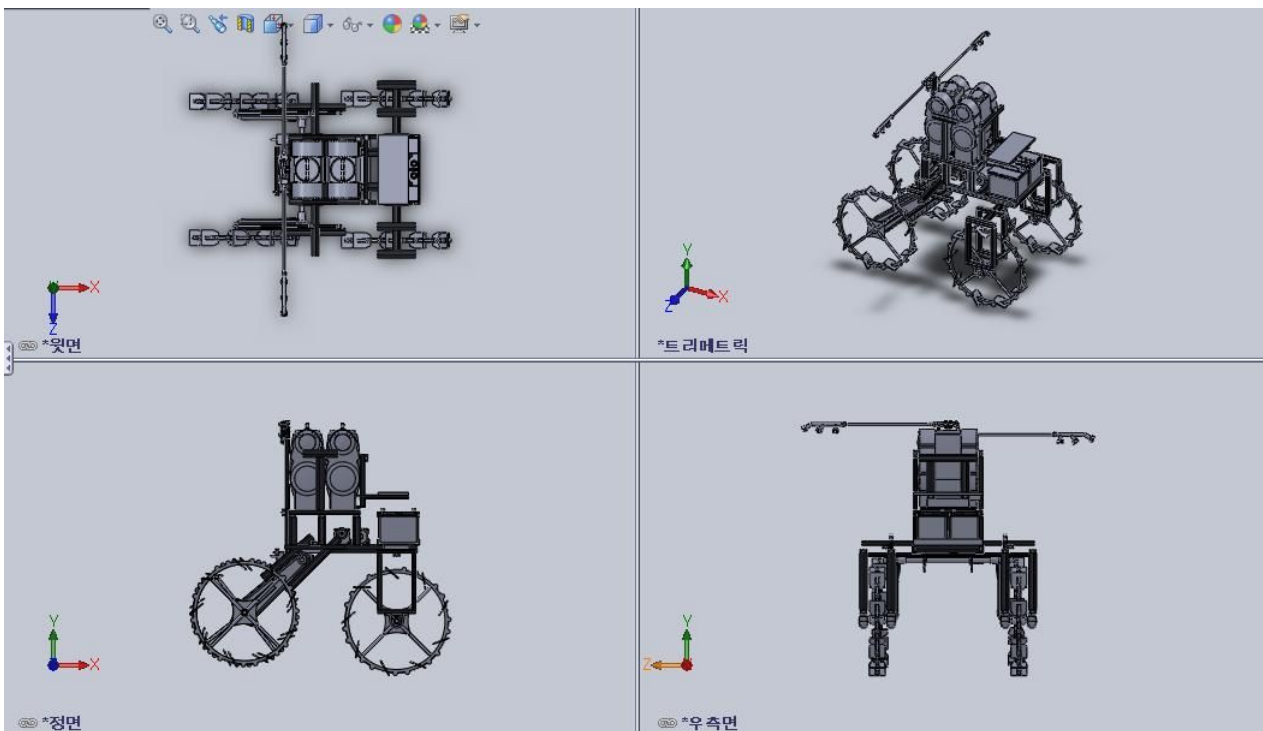


그림 6-4 가변형 차륜 모델 설계 완성도

3. 통합시작기 제작

A. 일반형 차륜 모델

일반형 차륜 모델 설계도면을 바탕으로 다음 그림과 같이 제작하였으며, 차량의 제원은 다음 표와 같다.



그림 6-5 일반형 차륜 모델의 모습

표 6-2 일반형 차륜 모델의 제원

Length [mm]	800
Width [mm]	1400
Height [mm]	900
Weight [kg]	60
Voltage [V]	24
Electric Current [A]	6
Electric Power [W]	144
Steering System	Tire
Center Marker [mm]	104, 504, 364
(Basis : Left rear wheel at the ground space)	

B. 가변형 차륜 모델

가변형 차륜 모델 설계도면을 바탕으로 다음 그림과 같이 제작하였으며, 차량의 제원은 다음 표와 같다.



그림 6-6 가변형 차륜 모델의 모습

표 6-3 가변형 차륜 모델의 제원

Length [mm]	1400
Width [mm]	1400
Height [mm]	1100
Weight [kg]	90
Voltage [V]	24
Electric Current [A]	6
Electric Power [W]	144
Steering System	The Tire of Rice transplanter
Center Marker [mm]	562, 966, 604 (Basis : Left rear wheel at the ground space)

C. 중요 구성 부품

1) 타이어

두 모델의 가장 큰 차이점이라고 볼 수 있는 차륜은 첫 모델은 일반 도로용 타이어를 사용하였고 다른 모델은 이양기용 차륜을 사용한 것이다. 일반 도로용 타이어는 마른 토양 위를 주행하는데 적합하다. 하지만 수분함량이 높은 토양 위를 달릴 때, 지면과의 마찰력이 감소하여 타이어에서 슬립이 발생할 수 있다.

이양기용 차륜의 경우 수분함량이 높은 토양에서는 차륜에 러그가 있어서 이동하기에 적합하지만 구동륜에 부하가 많이 걸리게 된다. 즉 전반적으로 모터에 드는 소요동력이 높아져 일반형 차륜 경우보다 모터에 부하가 많이 걸리게 된다.

또한 일반형 차륜보다 차체의 무게중심이 높아져 차량의 안정성에도 문제가 발생할 수 있다.



그림 6-7 일반 도로용 차륜(left-picture, right-modeling)

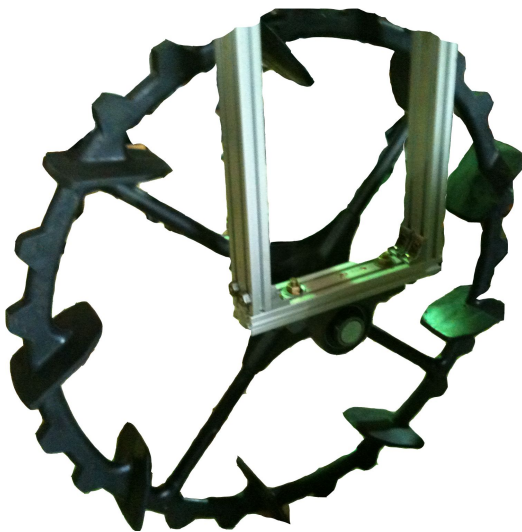


그림 6-8 이양기용 차륜(left-picture, right-modeling)

2) DC 모터 (DC Motor)

시설원예용 무인 방제차량에 들어갈 동력원은 DC모터이고 전원은 12V 배터리 2개를 직렬로 연결하였다. DC모터의 경우 고정자로 영구자석을 사용하여 구동하며 회전제어가 쉽고, 제어용 모터로서 우수한 특성을 가지고 있다. DC모터의 특징으로는 다음과 같다.

- (1) 기동 토크가 크고
- (2) 인가전압에 대하여 회전특성이 직선적으로 비례하며
- (3) 입력전류에 대하여 출력 토크가 직선적으로 비례하고 출력효율이 양호하며
- (4) 가격이 저렴한 특성이 있다.

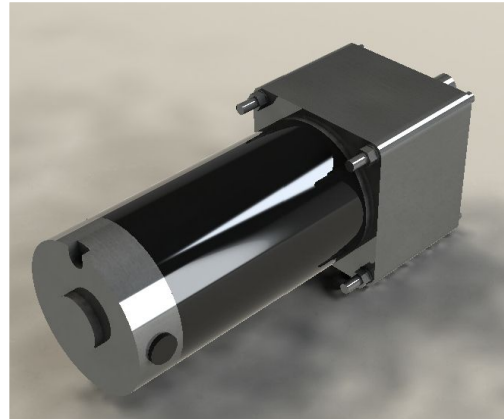


그림 6-9 DC motor(left-picture, right-modeling)

일반적으로 모터는 실제로 사용하기에는 고rpm이라 따로 감속을 해주어야 한다. 본 연구에서 사용된 spg사의 s*d시리즈의 경우 Gear드모터로서 모터자체에 감속기가 내되어 있다. 모터의 모델은 SPG사의 s9d150-ch24이며 24V 전압을 사용하며, 샤프트 구경은 150mm이다.

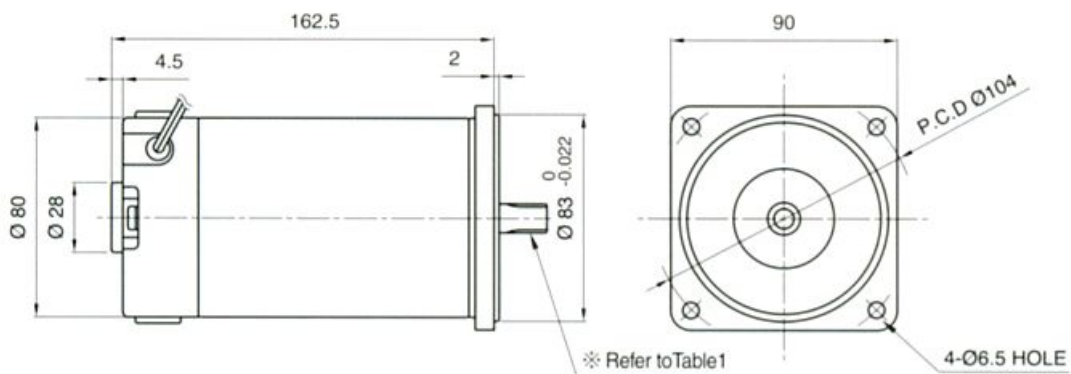


그림 6-10 DC motor 제원

$$W = 1.027 \times (10^{-5}) \times T \times rpm \dots\dots\dots (6-1)$$

여기서, W : 출력
T : 토크
rpm : 모터 회전수

모터를 선택할 때 고려해야할 점은 크게 출력, 토크, 회전수(rpm)가 있다. 출력은 모터가 단위시간에 할 수 있는 일을 나타내며 rpm과 토크를 곱한 값으로 표시된다.

토크란 회전체를 돌리기 위한 회전력으로 그 단위는 [G*CM]이다. 예를 들어 1 KG*CM의 토크라는 것은 회전체의 반경이 1 CM인 외주의 한 점에서 직각 방향으로 1 KG의 힘을 가했을 때의 회전력을 말한다.

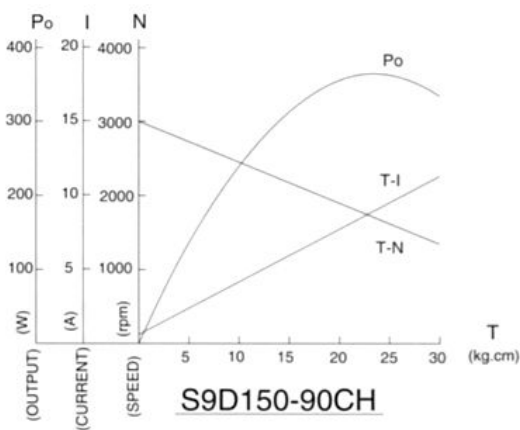


그림 6-11 DC motor의 특성 커브

표 6-4 DC motor의 제원

Model	s9d150-ch24 (SPG)		
Voltage [V]	24		
Output [W]	150		
No Load	Revolution	Current	
	3000 [rpm]	2.0 [A]	
At Rated Load	Revolution	Torque	Current
	2650 [rpm]	5.5	8.0 [A]
Length [mm]	412		
Weight [kg]	3.4		

모터에는 특성커브가 있는데 T-I특성(토크 대 전류)라인과 T-N특성(토크 대 회전수)라인이 있다. T-I라인의 경우 흘린 전류에 비례해 깨끗하게 직선적으로 토크가 비례하는 선이다. 즉, 큰 힘이 필요한 때는 전류를 많이 흘리면 된다. T-N라인을 볼 때, 토크에 대하여 회전수는 직선적으로 반비례한다. 이것에 의하면 무거운 것을 돌릴 때는 천천히 회전시키게 되고, 빨리 회전시키기 위해서는 전류를 많이 흘리게 된다. 또한 인가전압에도 비례한다. 즉, 이들 특성으로 회전수나 토크를 일정하게 제어를 하려는 경우에는 전류를 제어하면 된다는 것을 알 수 있다.

3) 배터리 (Battery)

모터의 필요 전압을 맞추기 위하여 12V 60Ah의 배터리를 2개 직렬로 연결하였다.



그림 6-12 배터리

표 6-5 배터리 제원

Model	GB 60L (SEBANG)
Voltage [V]	12
Capacity [Ah]	60
Length [mm]	230
Width [mm]	175
Height [mm]	185
Weight [mm]	15.1

4) 약제통

약제를 보관하는 약제 보관용기는 최고 20L의 용액이 들어갈 수 있는 용기 2개가 시설원예용 무인 방제차량에 실을 수 있게 설계되었다. 2개의 용기는 방제차량의 윗부분 중앙에 위치하게 되며 분사되는 노즐이 양 옆으로 뻗어나갈 수 있게 설계 되어있다.



그림 6-13 약제통 사진

표 6-6 약제통 제원

Size [mm]	370 * 210 * 570
Voltage [V]	DC 12
Weight [kg]	6.4 (with battery weight 2kg)
Volume [L]	20
Maximum Spray [L/h]	90
Allowing Time [h]	4
Type	Plastic
Charging Time [h]	3
Sort of battery	Lead accumulator

5) 스테핑모터

시설하우스의 평균 경사도는 0~2도로서 거의 평형에 가깝다. 하지만 고랑과 고랑사이를 주행하는 방식을 선택하였을 경우 고랑깊이에 따라서 방제기 본체 및 약재부에 경사가 발생할 가능성도 있다. 따라서 본 연구에서는 방제부의 효율적인 방제를 위하여 약재부의 균형 시스템을 도입을 위하여 스테핑모터를 사용하였다.

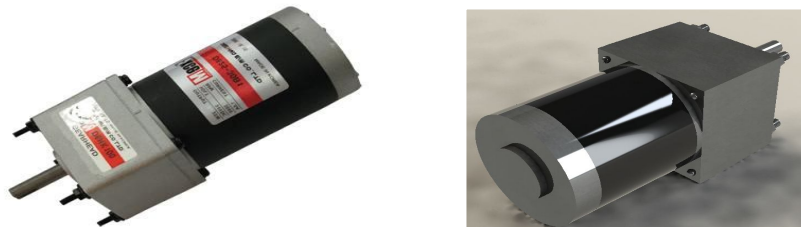


그림 6-14 스테핑모터 사진(left-picture, right-modeling)

표 6-7 스테핑모터 제원

Model		D606-30A (Dae Hwa)	
Voltage [V]		12	
Output [W]		6	
No Load	Revolution	Current	
	3400 [rpm]	0.8 [A]	
At Rated Load	Revolution	Torque	Current
	3000 [rpm]	0.195	1.3 [A]
Length [mm]	412		
Weight [kg]	3.4		

6) 베어링 (Bearing)

차량의 축이 효율적으로 움직일 수 있게 하기위하여 베어링을 사용하였다. 베어링은 회전이 있는 축과 연결하여 회전이 부드럽게 이뤄지게 하는 역할을 한다.

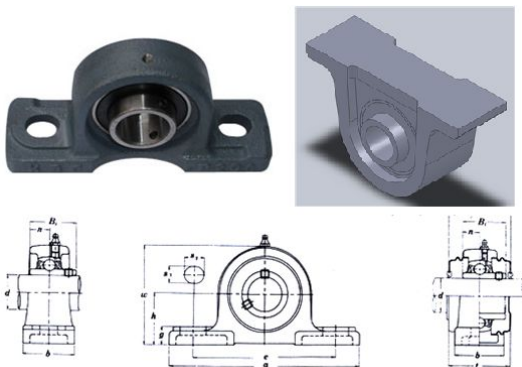


그림 6-15 베어링 도면

표 6-8 베어링 제원

Model		UCP205-15 (DAESUNG)				
Shaft Diameter	[mm]	15				
	[in]	15/16				
Main Measurement	h	a	e	b	S1	
	36.5	140	105	38	19	
[mm]	S2	g	t	Bi	n	
	13	15	44	31.0	12.7	
Using Bolt [mm]	10					
Weight [kgf]	0.8					

제 7 절 통합 시작기의 성능시험 및 안정성 분석

1. 통합시작기의 성능 시험

A. 통합시작기의 안정성 평가(실증시험)

전도는 외력에 의해 발생하는 모멘트가 구조물이 평행 상태를 유지할 수 있는 한계를 넘어 구조물이 넘어지는 현상을 말한다. 전도가 발생할 경우 차량안정성에 큰 문제가 발생하기 때문에 차량안정성을 평가하기 위해서는 반드시 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 유도할 수 있다. 이 실험에서는 일반형 차륜모델과 가변형 차륜모델의 전도가 일어나는 지면의 각도를 측정한다.

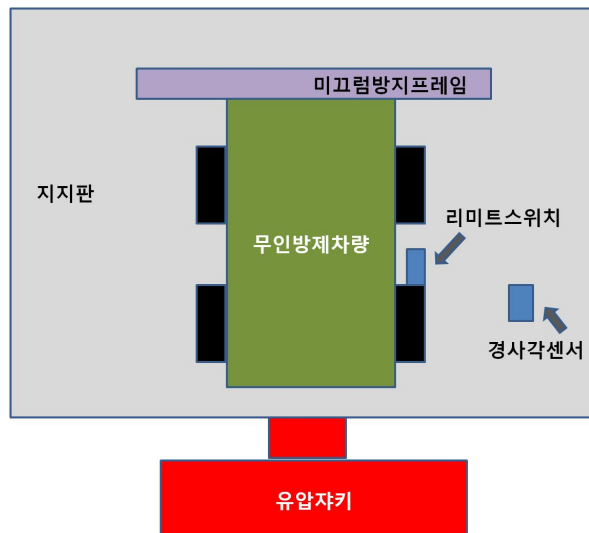


그림 7-1 통합시작기 안정성 평가(실증시험)



그림 7-2 통합 시작기 안정성 평가 실험(좌/우 전도)



그림 7-3 리미트스위치와 경사각센서의 위치

① 지면의 각도를 시험에 필요한 만큼 변화시킬 수 있어야 한다. 정지된 상태에서 전도현상을 일으키기 때문에 차량의 구동에 필요한 공간은 중요하지 않다. 운동하지 않는 차량을 안정적으로 지탱하기만 하면 되기 때문에 차량크기이상의 밀판이 필요하다. 차량이 고정된 판의 경사각을 주기 위해서는 판의 한쪽은 지면에, 한쪽은 들어 올려 각을 만들어주는 방법을 이용하였다. 한쪽을 들어올리기 위한 리프트로는 유압자키를 사용하여 들어올렸다. 밀판의 한쪽을 들어 올려 각도를 주었을 때 전도가 발생하기 전에 차량이 밀판과 동일한 각도를 유지해야 하기 때문에 차량의 전도가 일어날 수 있게 하면서도 차량이 밀판에서 미끄러지지 않게 할 수 있는 요소가 필요하다. 따라서 차량이 미끄러지려 하는 방향에 미끄럼 방지프레임을 만들어서 밀판에서 미끄러지지 않으면서도 전도에 영향을 미치지 않을 수 있도록 하였다.

② 유압자키에 의해 밀판의 각이 변하면서 순간적으로 전도가 일어나게 된다. 각도계로 측정할 경우 실시간으로 전도가 일어나는 시점의 경사를 측정할 수 없기 때문에 경사각센서를 이용해 전도가 일어나는 시점의 정확한 경사를 측정하였다.

③ 차량의 전도가 일어나는 시점은 차륜이 지면에서 떨어지는 시점으로 눈으로 대략적인 확인이 가능하다. 하지만 정확한 시점을 알기 위해서는 지면과 차륜사이에 리미트스위치를 놓아 차륜이 지면에서 떨어지면 스위치가 열려 전도가 일어나는 정확한 시점을 측정하였다.

1) 시험 장치 구성 및 시험 방법

일반(타이어형) 차륜모델과 가변형(이양기형) 차륜모델 두 가지 경우와, 좌/우 전도와 전/후 전도의 두 가지 경우, 무인방제기에 싣는 약제의 무게에 따른 전도 저항각을 조사하기 위해 약액통이 비어있을 때(0kg), 약액통이 절반만 차 있을 때(20kg), 약액통이 가득 차 있는 경우(40kg)의 세가지 경우의 시험을 각각 실행하여 데이터를 추출하였다. 앞의 실험 조건 하에서 차체가 전도되기 시작할 때까지 방제기지지판의 한쪽 끝을 유압자키를 이용해 들어 올려 경사각을 만든다. 실험이 시작될 때부터 경사각센서와 리미트 스위치에서 신호를 받아 A/D보드를 통해 데이터 Acquisition용 컴퓨터로 읽어 들여 하드디스크에 저장한 후에 데이터를 처리하게 된다. 시간축 상으로 경사각센서와 리미트 스위치의 신호를 비교해 리미트 스위치의 신호가 들어온 순간 경사각 센서의 각을 알아보아 전도가 일어나는 각을 알 수 있게 된다. 같은 조건의 시험을 2회 실시하여 데이터 값의 유효성을 확인한다.

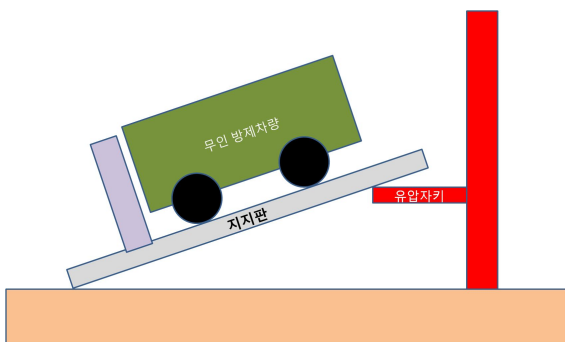


그림 7-4 통합 시작기 전/후 전도 시험 방법

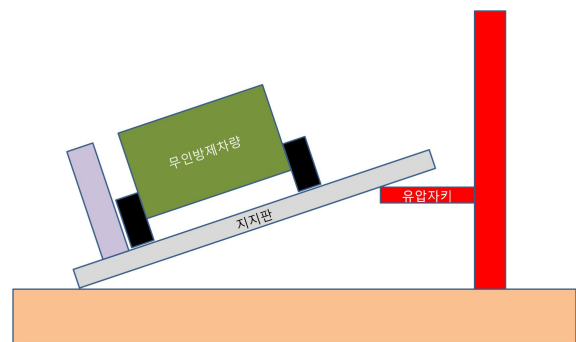


그림 7-5 통합 시작기 좌/우 전도 시험 방법

2) 성능 시험 결과

일반형 차륜 모델의 전/후 및 좌/우 전도각을 얻기 위해 실험을 통해 얻은 값을 계산하여 실제 각도의 크기와 비교해 보았다. 약액통의 무게가 0kg인 경우, 전방 및 후방의 전도각은 약 55°로 나타났고 좌측 및 우측의 전도각은 약 43°로 나타났다. 약액통의 무게가 40kg인 경우, 전방 및 후방의 전도각은 약 38°, 좌측 및 우측의 전도각은 약 27°로 나타났다. 약액통의 무게가 증가할수록 전도각이 감소하는 것을 알 수 있다.

가변형 차륜 모델의 전/후 및 좌/우 전도각을 얻기 위해 일반형 차륜 모델의 시험과 동일한 시험을 수행 하였다. 약액통의 무게가 0kg인 경우, 전방 및 후방의 전도각은 약 41°로 나타났고 좌측 및 우측의 전도각은 약 32°로 나타났다. 또한 약액통의 무게가 20kg 경우, 전방 및 후방의 전도각은 약 31°로 나타났고 좌측 및 우측의 전도각은 약 27°로 나타났으며, 약액통의 무게가 40kg인 경우, 전방 및 후방의 전도각은 약 23°로 나타났고 좌측 및 우측의 전도각은 약 23°로 나타났다. 가변형 차륜 모델도 일반형 차륜 모델과 동일하게 약액통의 무게가 증가할수록 전도각이 감소함을 알 수 있다.

또한, 일반형 차륜 모델에 비해 가변형 차륜 모델의 전도각이 더 작음을 알 수 있다. 아래의 방사형 그래프는 일반형 차륜 모델과 가변형 차륜 모델의 전도시험 결과를 나타내고 있다.

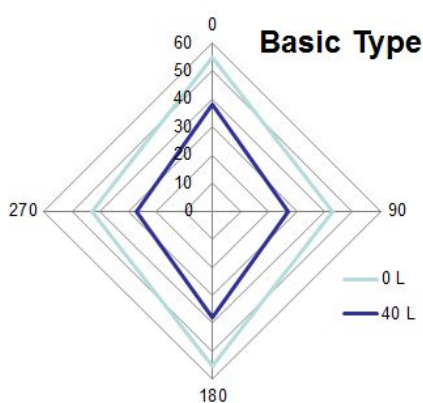


그림 7-6 일반형 차륜 모델의 전도시험 결과

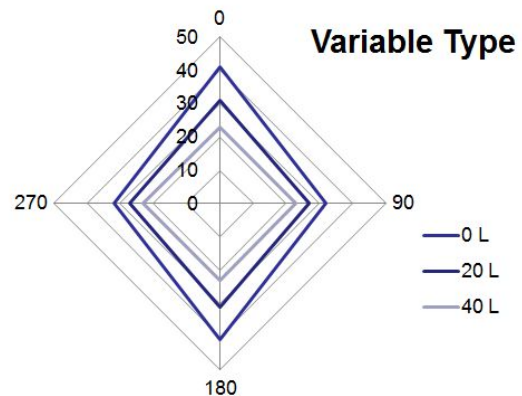


그림 7-7 가변형 차륜 모델의 전도시험 결과

B. 통합시작기 등판 성능 시험

차량의 안정성은 기본적으로 성능이 뒷받침 되어야 한다. 성능을 테스트하는 방법은 여러 가지가 있지만 그 중 험지에서 이동하기 위해서는 등판능력이 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.

1) 시험장치 구성 및 시험 방법

등판능력을 평가하기 위한 측정은 앞의 전도 시험장치에서 사용한 방제기 지지판, 경사각 센서, 유압자키 등의 시험 장비를 그대로 이용하였고, 리미트 스위치를 이용하여 후륜이 경사면에 올라가는 순간을 체크하여 데이터를 얻기 시작한다.

일반형(타이어형) 차륜과 가변형(이양기형) 차륜의 두 가지 모델, 등판각을 5도 단위로 미리 세팅하여 0도, 5도, 10도, 15도 의 네 가지 경우와 약액통의 0kg, 20kg, 40kg의 세 가지 경우를 조합해 시험을 시행한다. 무인방제기 지지판에 부착된 기울기 센서를 통해 슬립 발생 직전의 차량 각도를 계산하고 Potential Metal을 이용하여 차량의 속도를 확인한다.

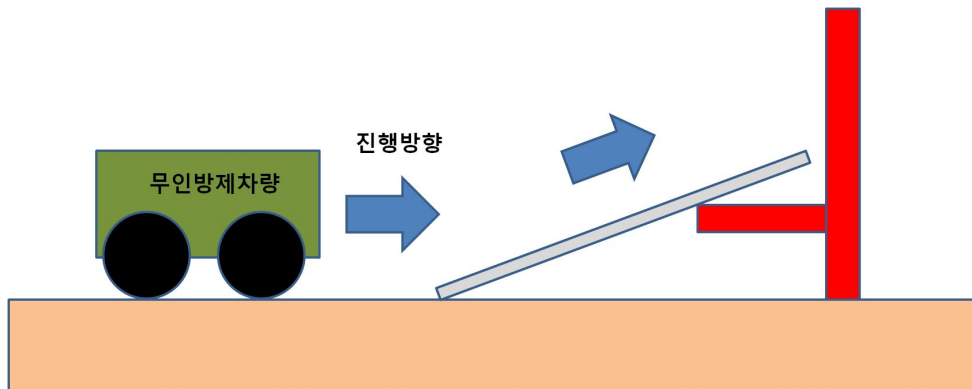


그림 7-8 통합시작기 등판성능 시험 방법



그림 7-9 일반형 차륜 모델 등판성능 시험



그림 10 가변형 차륜 모델 등판성능 시험

2) 성능 시험 결과

일반형 차륜 모델의 등판성능을 알아보기 위해 실험을 통해 얻은 결과를 그래프로 나타내 보았다. 약액통의 무게가 0kg인 경우와 약액통의 무게가 20kg인 경우, 약액통의 무게가 40kg인 경우 모두 15° 이상의 등판성능을 나타내었다. 또한 이때 모델의 속도는 0.44 m/s 로 약액통의 무게와 상관없이 일정하였다. 아래의 그림은 등판각 15도에서 약액통의 무게에 따른 등판 성능 그래프이다.

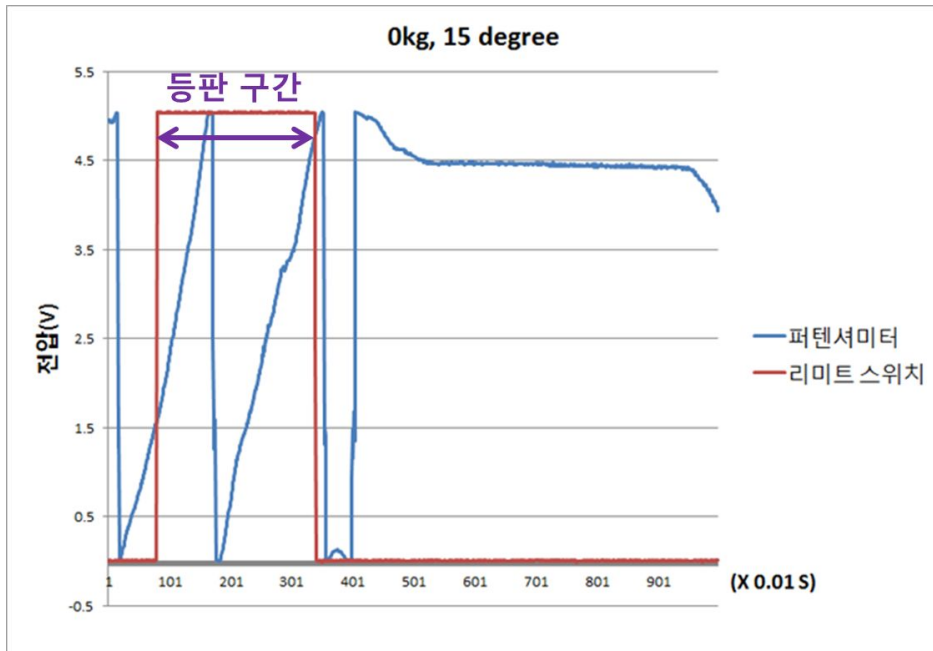


그림 7-11 일반형 차륜 모델(0kg, 15 degree)

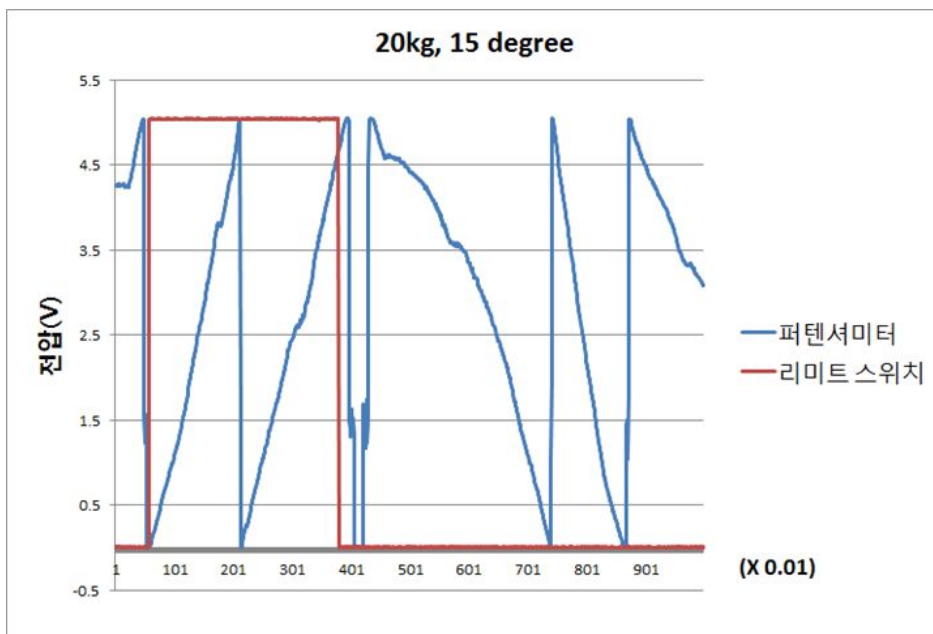


그림 7-12 일반형 차륜 모델(20kg, 15 degree)

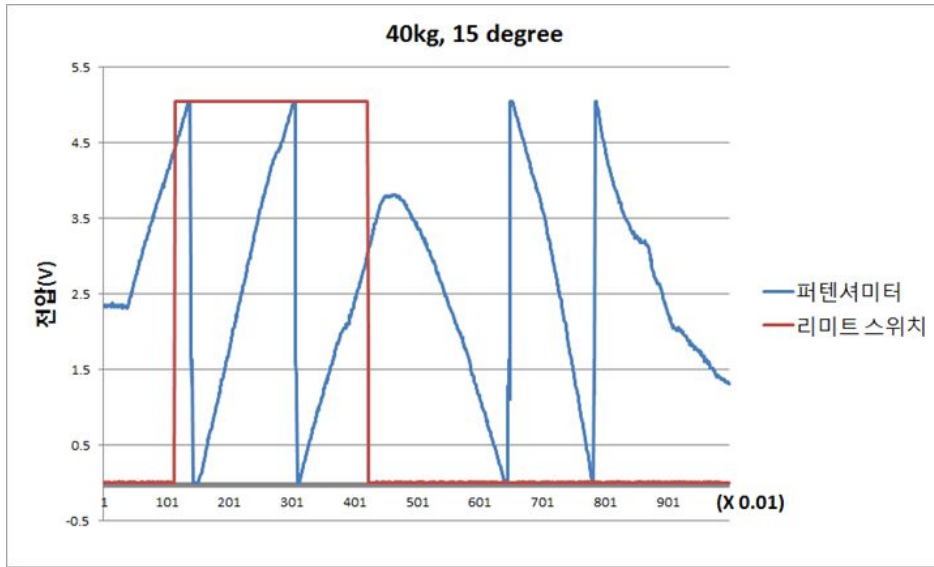


그림 7-13 일반형 차륜 모델(40kg, 15 degree)

가변형 차륜 모델의 등판성능을 알아보기 위해 일반형 차륜 모델의 시험과 동일한 시험을 수행 하였다. 약액통의 무게가 0kg인 경우 15° 이상의 등판성능을 얻을 수 있었으나, 약액통의 무게가 20kg 경우와 약액통의 무게가 40kg인 경우 12° 이상의 등판은 불가능함을 알 수 있었다. 아래의 그림은 가변형 차륜 모델의 등판각 15도에서 약액통 무게에 따른 등판성능 그래프 이다.

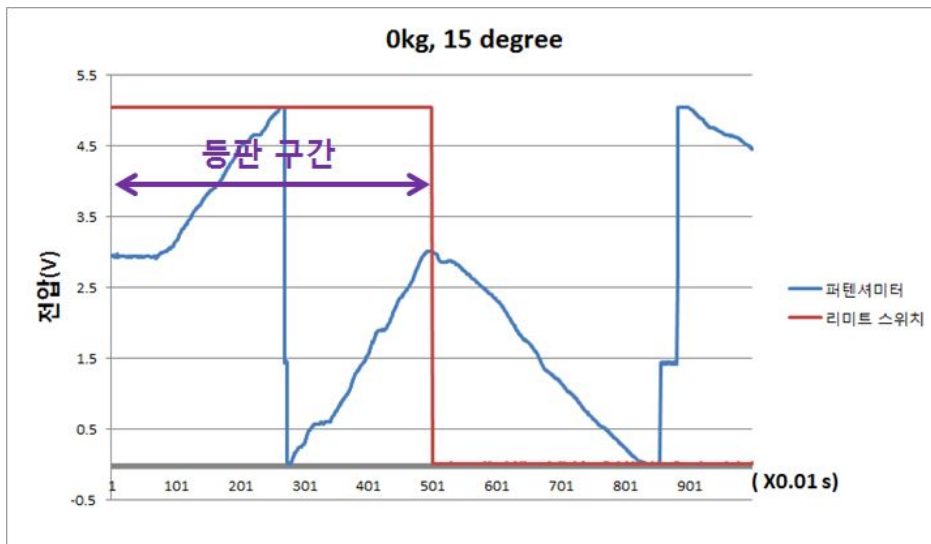


그림 7-14 가변형 차륜 모델(0kg, 15 degree)

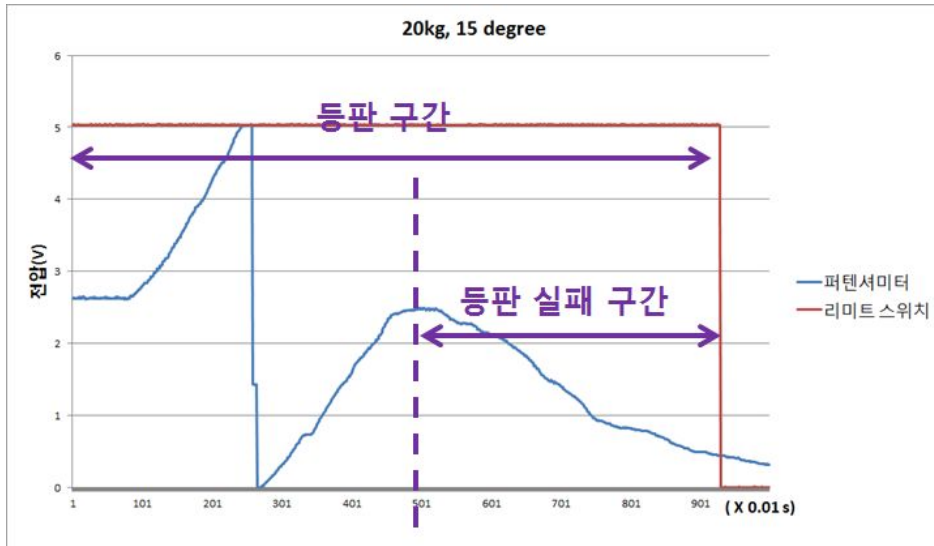


그림 7-15 가변형 차륜 모델(20kg, 15 degree)

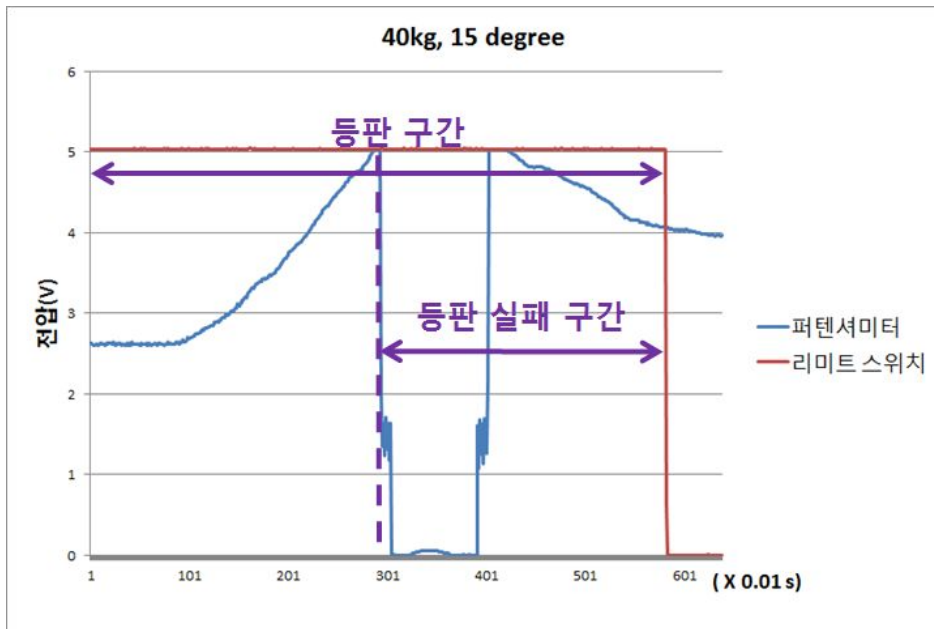


그림 7-16 가변형 차륜 모델(40kg, 15 degree)

C. 일반형 차륜 시작기 주행 성능 시험

1) 예비 실험

일반 차륜 시작기의 주행 성능 시험을 수행하기 전에 초음파 센서의 검출 특성 규명을 위한 실험, 컨트롤러에 의한 제어신호(듀티비)와 차륜 회전수와의 관계 규명을 위한 실험, 차륜 구동용 모터의 응답특성 규명을 위한 실험, 초음파 센서의 설정거리(차량 유도용 튜브로부터 초음파 센서까지의 거리) 변화에 따른 컨트롤러의 제어성능 규명을 위한 실험 등의 예비 실험이 수행되어졌다.

○ 초음파 센서의 검출 특성 실험

본 시작기에 사용되는 초음파 센서는 반사판으로 좁은 폭의 튜브를 사용하고 튜브의 양쪽에 각각 초음파 센서가 배치됨으로 제어성능 등을 고려한 센서사이의 적당한 간격이 필요하다. 이를 위해 반사판에 대한 센서의 검출특성 규명은 중요하다.

실험은 폭등이 넓은 플라스틱판과 실제 차량 유도용으로 사용될 튜브의 2종류의 반사판을 이용하여 수행되어졌으며, 고정된 반사판에 초음파 센서 지지대를 서서히 이동하면서 초음파 센서로부터의 신호를 컴퓨터에 의해 acquisition하였다. 또한 초음파 센서의 선두가 반사판의 앞부분에 도달하는 점을 측정하기 위해 초음파 센서 지지대상에 광센서를 장착하였다.



그림 7-17 실험 장치(플라스틱 판)



그림 7-18 실험 장치(튜브)

아래의 그래프는 플라스틱판, 튜브에 의한 실험결과를 나타내었으며, 바닥면으로부터 센서까지의 거리는 약 28cm이며 바닥면으로부터 반사판까지의 거리는 약 10cm이다.

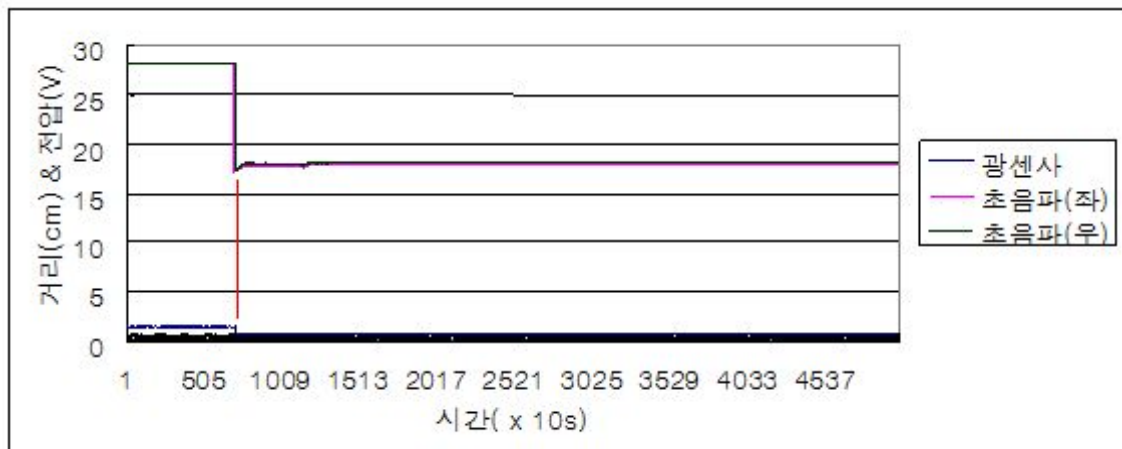


그림 7-19 실험결과(플라스틱판 : 밖에서 안으로 이동)

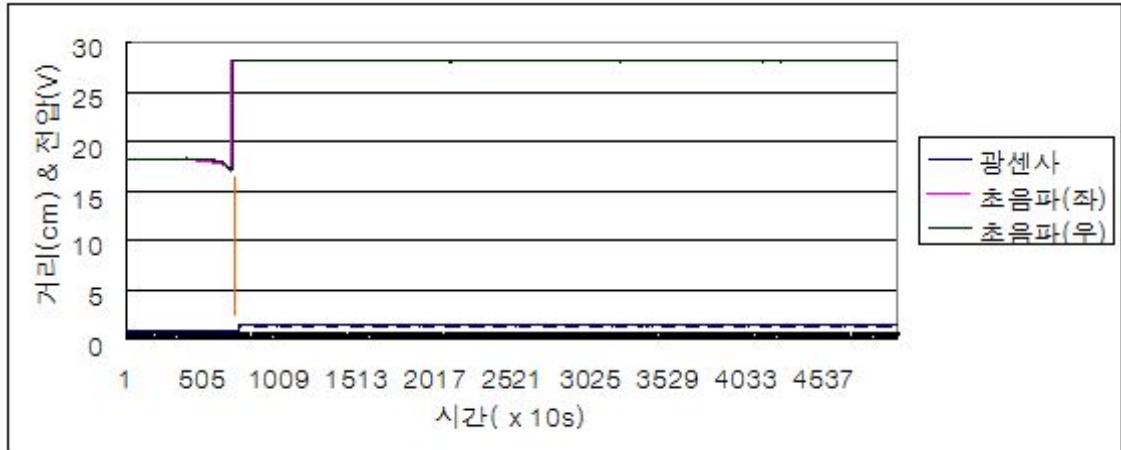


그림 7-20 실험결과(플라스틱판 : 안에서 바깥으로 이동)

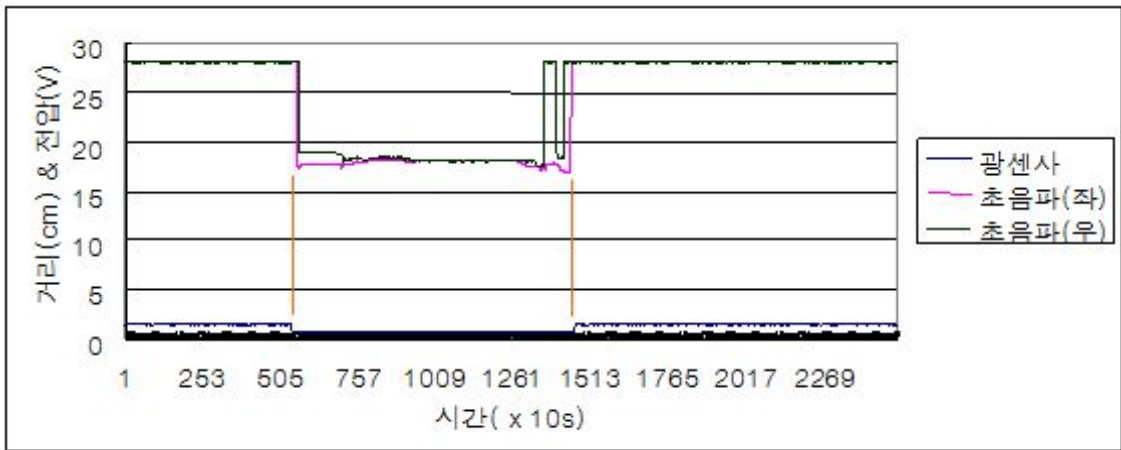


그림 7-21 실험 결과(튜브)

초음파 센서는 반사면에 대해 거의 지연 없이 거리 검출이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이 실험 결과로부터 8cm의 튜브 폭과 제어 특성 등을 고려할 때 센서 사이의 간격은 14cm정도로 하는 것이 적당 할 것으로 판단된다.

○ 컨트롤러에 의한 제어 신호(듀티비)와 차륜 회전속도와의 관계 규명을 위한 실험

컨트롤러에 의한 제어신호(듀티비)와 차륜 회전수와의 관계 규명을 위한 실험이 수행되어 졌으며, 실험은 차륜을 주행 면으로부터 들어 올린 상태에서 수행되어졌다.

실험결과로부터 제어신호에 비례하여 차륜의 회전수도 증가하는 것을 알 수 있으며, 차륜의 최대 회전수는 약 22rpm(듀티비 약 90%)이다. 최대 회전수 22rpm은 차륜의 직경을 고려할 때 약 0.46m/sec로 설정 최대주행속도(0.5m/sec)와 거의 일치함을 알 수 있다.

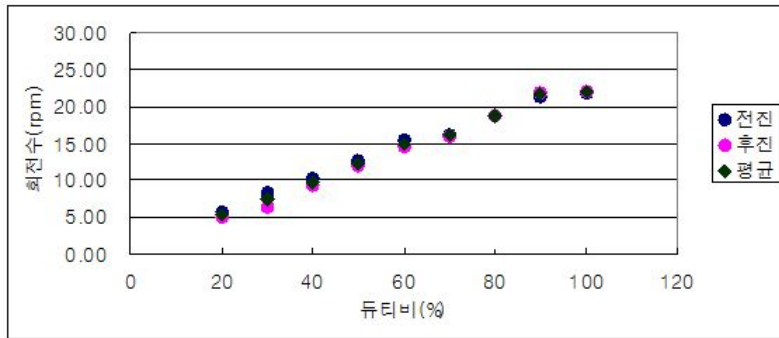


그림 7-22 제어신호와 차륜회전수 사이의 관계

○ 모터 구동에 의한 차륜의 스텝 응답 특성 실험

컨트롤러로부터의 제어신호에 의한 모터 구동 및 모터와 체인으로 연결되어 있는 차륜의 구동 특성 규명을 위한 실험이 수행되어졌다. 실험은 차륜을 주행 면으로부터 들어 올린 상태에서 전진 및 후진에 대해 제어신호(듀티비)를 40, 60, 80 및 100%로 변화시키면서 수행되어졌다. 그림 7-23, 7-24에 전진 및 후진에 대한 실험결과(대표적으로 40, 60, 100%)를 나타내었다.

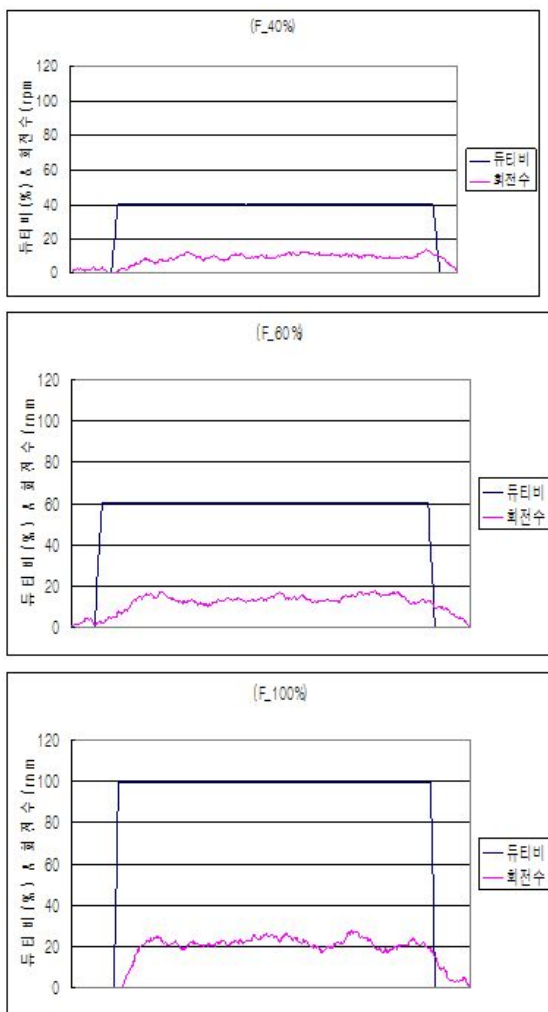


그림 7-23 실험 결과 (전진 : 40, 60, 100%)

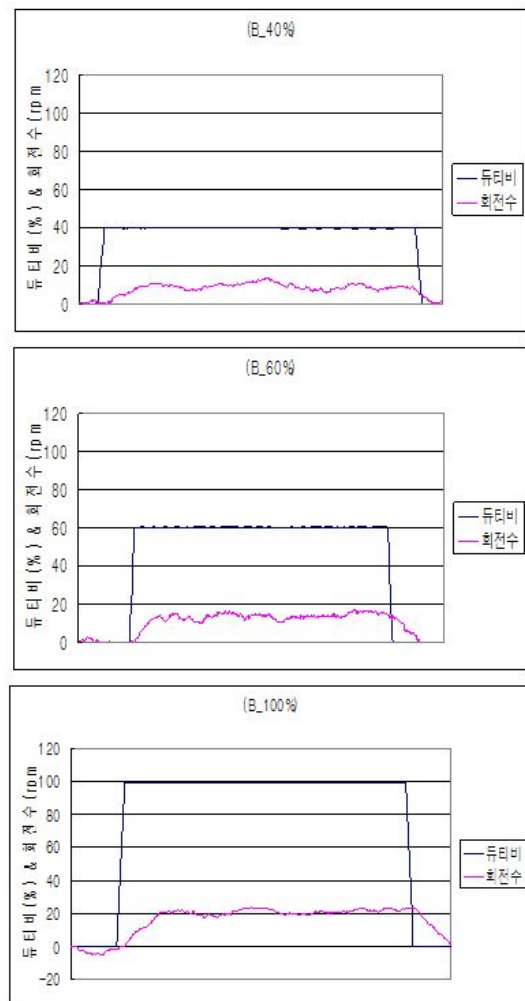


그림 7-24 실험 결과 (후진 : 40, 60, 100%)

실험 결과로부터 컨트롤러의 제어신호에 대한 차륜의 구동 상태는 제어신호에 관계없이 안정적임을 알 수 있다. 그림 7-25은 기동 및 멈춤 시의 응답시간을 나타내었다. 기동시간은 전/후진에 관계없이 약 0.1초에서 0.2초의 범위 내에 있으며, 멈춤 시간은 40%에서 0.2에서 0.3초, 60% 이상에서는 0.4에서 0.6초의 범위 내에 있음을 알 수 있다. 60% 이상에서는 차륜 속도 및 차륜 하중에 의한 관성력의 영향력이 어느 정도 작용하는 것으로 생각된다.

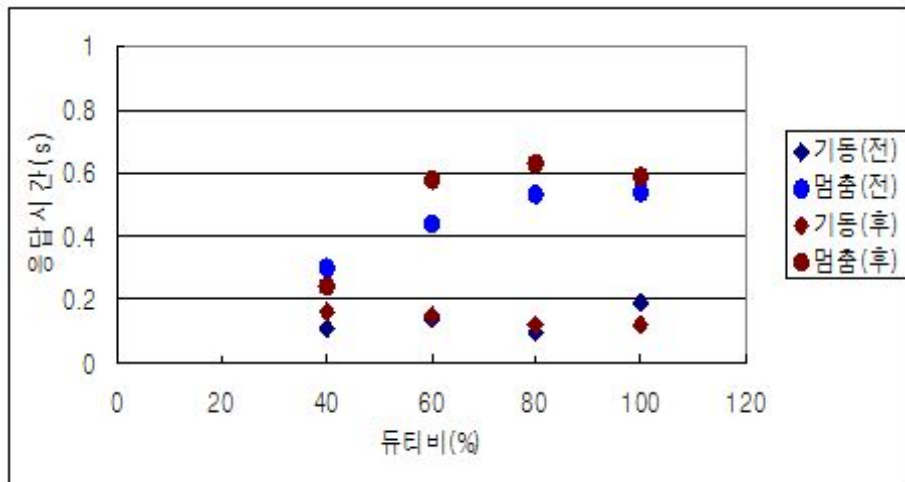


그림 7-25 실험 결과(응답성)

2) 제어 성능 실험

예비실험을 통한 시작기의 기본적인 특성을 규명한 후에 실내에서의 주행성능 실험을 수행하였다. 실험은 주행거리는 약 10m, 주행 면으로부터 초음파 센서까지의 거리 23cm, 주행 면으로부터 차량 유도용 튜브까지의 거리 10cm의 조건하에서 주행속도(듀티비: 40, 60, 80 및 100%)를 변화시키면서 수행되어졌다. 실험결과를 그림 7-26 및 그림 7-27에 나타내었다. 실험 결과로부터 좌측 초음파 센서가 검출되면 좌측 차륜에 브레이크가 걸려 차량이 좌회전하고, 우측 센서가 검출되면 우측 차륜에 브레이크가 걸려 우회전하여 차량 유도용 튜브를 따라 주행하는 것을 알 수 있다.

그림 7-28에 차륜 무부하 및 부하(주행) 시의 듀티비의 변화에 따른 차륜의 회전수의 변화를 비교한 결과를 나타내었다. 결과로부터 주행 시의 속도와 무부하 시의 속도와 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

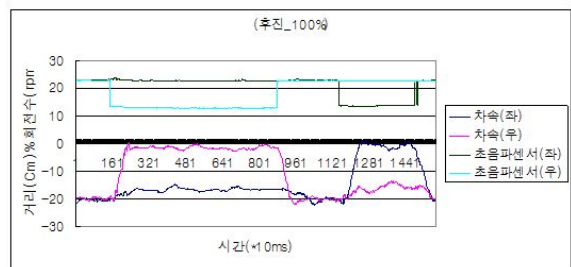
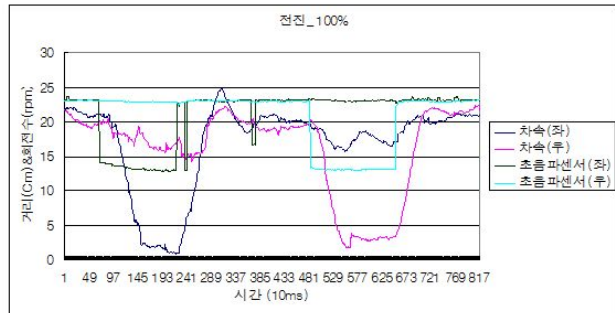
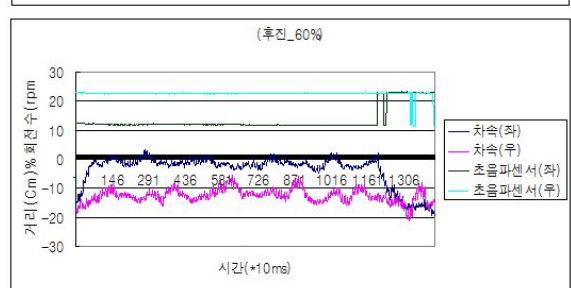
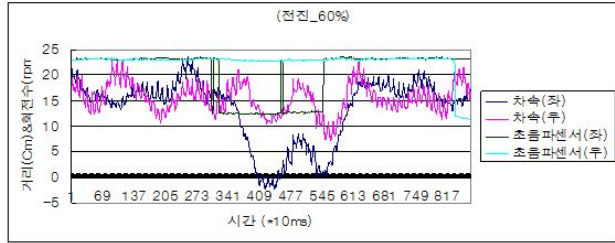
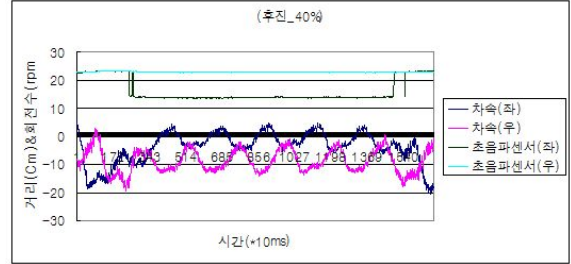
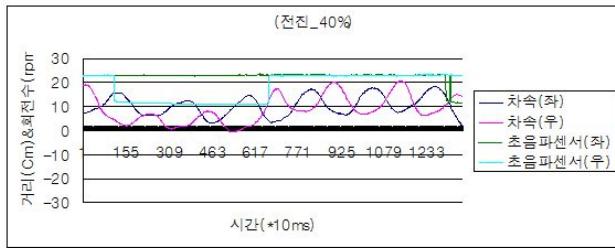


그림 7-26 실험 결과(전진)

그림 7-27 실험 결과(후진)

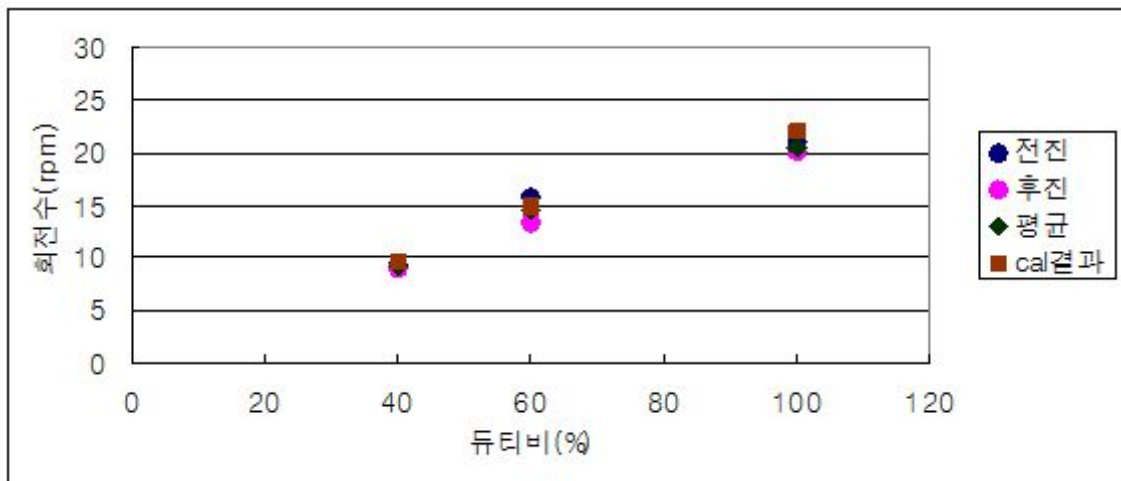


그림 7-28 차륜 무부하 및 부하(주행) 시의 차륜 회전수 비교

3) 시험 장치 구성 및 시험 방법

일반형 차륜 시작기의 제어성능 규명 및 문제점 보완을 위해 2010년 11월 15일부터 11월 17일까지 농촌진흥청 내 유리온실 시험장에서 시작기의 주행 성능 시험을 수행하였다.

시작기의 유리 온실 내에서의 제어성능 등을 규명하기 위한 실험이 주행거리 약 10m의 온실 내에서 양액 탱크(40l, 약 40Kg)를 장착한 조건 하에서 전진 및 왕복주행에 대해 주행 속도(듀티비-40, 60, 80 및 100%)를 변화시키면서 수행되어졌다.



그림 29 시작기 주행 성능 시험 모습

4) 성능 시험 결과

그림 7-31 및 그림 7-32에 대표적으로 듀티비 40% 및 80%에서의 전진 및 왕복 주행에 대한 실험 결과, 그림 7-30은 전진 및 후진 후의 실험 결과를 나타내었다. 실험 결과로부터 편도 및 왕복에 관계없이 차량 유도용 루프를 따라 차량이 주행하고 있으며, 왕복의 경우에는 후진 센서의 검출과 동시에 자동 후진이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 그러나 초음파 센서의 검출과 함께 차륜 제어가 이루어지는 순간 제어 외측 차륜의 속도도 떨어지는 것이 관측되었다. 이는 하중에 의한 제어측 차륜의 브레이크 현상에 의한 것으로 생각된다.



그림 7-30 주행 속도 40%에서 전진 및 후진 후 결과

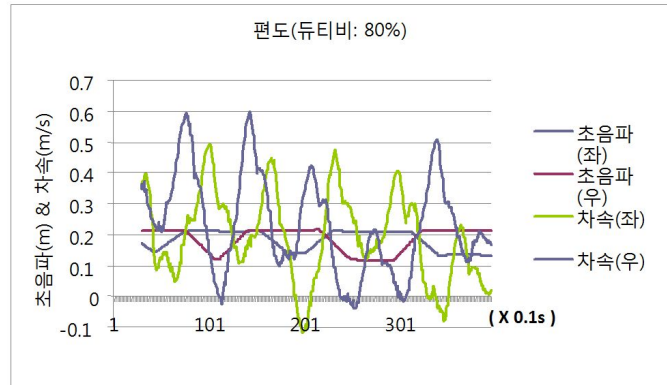
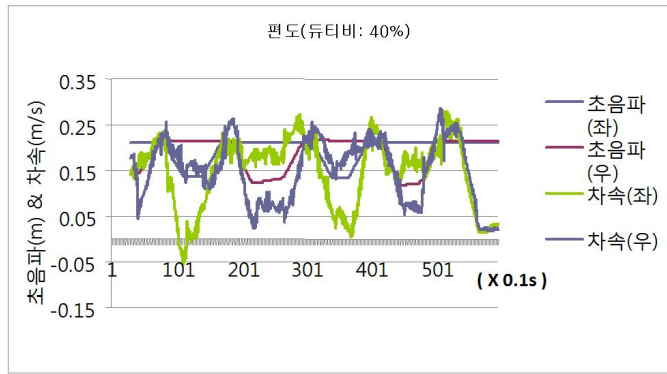


그림 7-31 유리 온실 내에서의 제어 성능 실험의 결과 (편도)

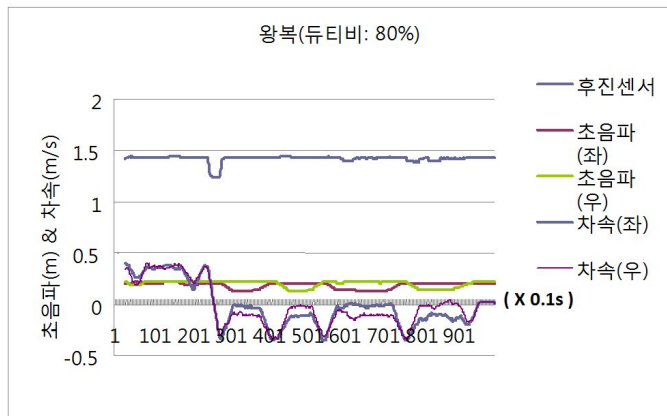
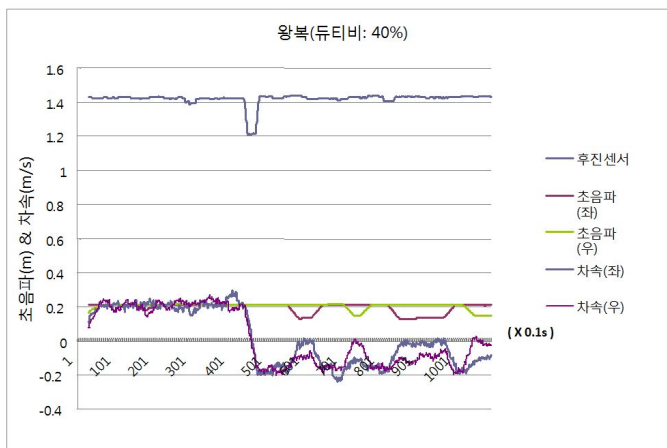


그림 7-32 유리 온실 내에서의 제어 성능 실험의 결과 (왕복)

D. 가변형 차륜 시작기 주행 성능 시험

1) 시험 장치 구성 및 시험 방법

유리 온실에서의 제어 성능 실험이 끝난 후 가변형 차륜 시작기의 주행 제어성능 및 차체 롤링 현상에 대한 붐의 자세 제어성능을 규명하기 위한 비닐 온실에서의 제어 성능 실험이 수행되어졌다. 실험 장치는 그림 7-33에서 보는 바와 같이 유리 온실 등에서 실험에 사용된 시작 무인 방제기의 차륜만 변경하여 제작되었다.



그림 7-33 가변형 차륜 시작기 그림 7-34 실험용 포장의 모습

그림 7-34에 실험에 사용된 비닐 온실의 포장 모습을 나타내었으며, 실험용 포장은 8m 길이의 주행 면상에 차체에 인위적으로 롤링을 가하기 위한 구덩이를 좌/우 양측에 2m 간격으로 파놓았다. 실험은 차량 유도용 튜브를 초음파 센서와의 거리를 10cm로 하여 두둑 상에 설치하였으며, 주행 속도는 2종류(듀티비: 80 및 100%), 차체 롤링 각은 3종류(약 3, 6 및 9도)의 조건 하에서 수행되어졌다.

2) 성능 시험 결과

그림 7-35 및 7-36에 대표적으로 듀티비 80%에서의 전/후진, 100%에서의 전/후진에 대한 실험 결과를 나타내었다. 실험 결과로부터 가변형 차륜 시작기는 주행 속도와 관계없이 차륜 제어를 통해 차량 유도용 튜브를 따라 잘 주행하고 있음을 알 수 있다. 또한 유리 온실에서의 실험에서 관측되었던 제어 차륜외의 차륜의 커다란 감속 현상이 관측되지 않았다.

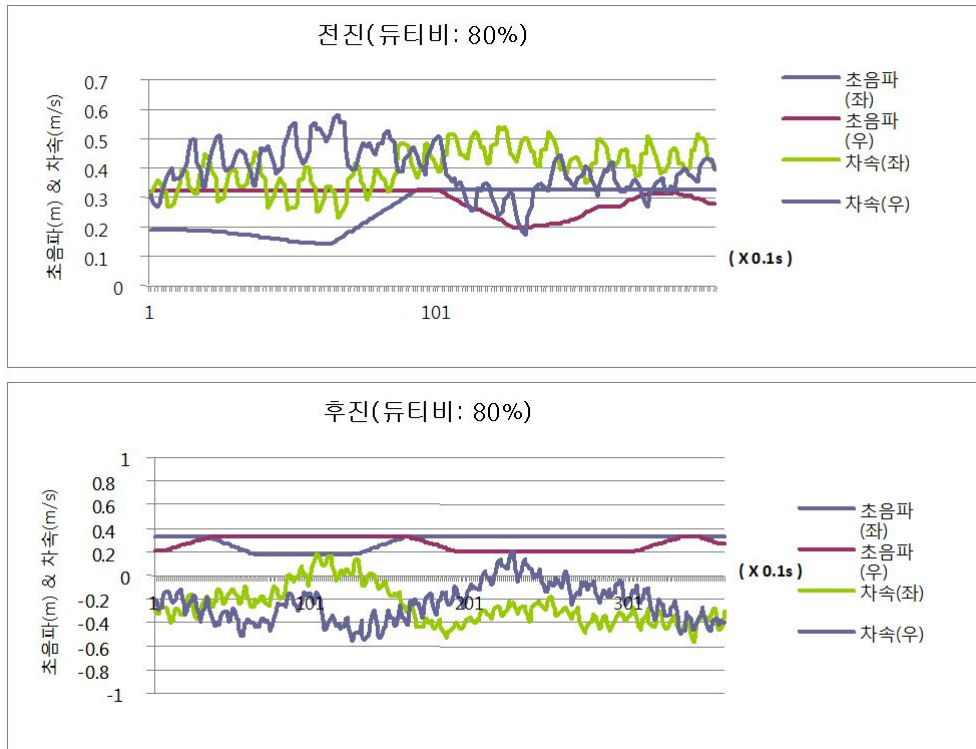


그림 7-35 비닐 온실에서의 제어 성능 실험 결과(듀티비: 80%)

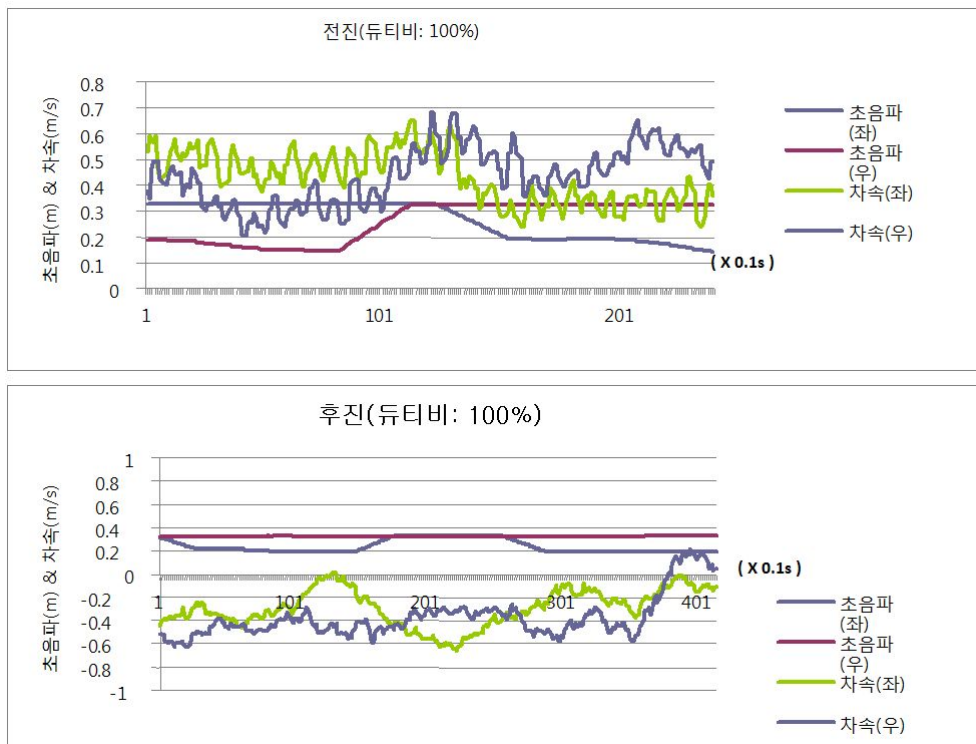


그림 7-36 비닐 온실에서의 제어 성능 실험 결과(듀티비: 100%)

그림 7-37에 대표적으로 듀티비 80%에서의 차체 롤링 각 6도 및 8도에 대한 붐 제어 성능 실험의 결과를 나타내었다. 실험 결과로부터 분무용 노즐이 장착되어 있는 붐은 차체의 롤

링 현상에 대해 잘 제어되고 있음을 알 수 있다. 제어 정도는 평균 약 0.5도의 범위 내에 있었다.

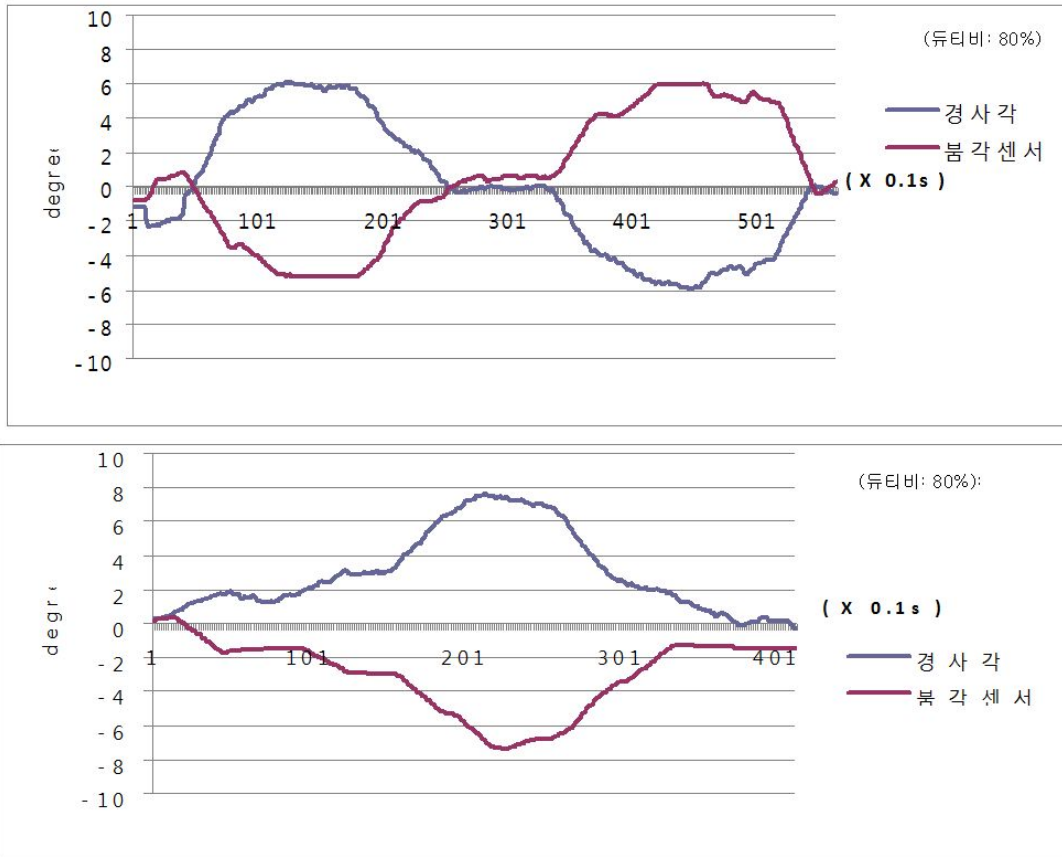


그림 7-37 봄의 제어 성능 실험 결과(듀티비: 80%)(위 : 6도, 아래 : 8도)



그림 7-38 봄 제어 성능 실험

2. 정역학적 차량 안정성 분석

차량의 안정성을 알아보기 위해서는 정적인 측면에서 안정성을 알아보고 정적인 안정성이 확보된 후, 동적인 안정성을 측정하여야 한다. 우선 정적인 안정성을 알아보기 위하여 가장 기본적으로 차량의 무게 중심의 일치여부를 통해 유효성을 검증 할 수 있다.

차량의 무게 중심을 확인하기 위하여 차량을 수평으로 올려놓고 일정한 거리만큼 떨어진 궤도부의 지면 반력을 측정하면서 무게중심의 위치를 파악이 가능하다.

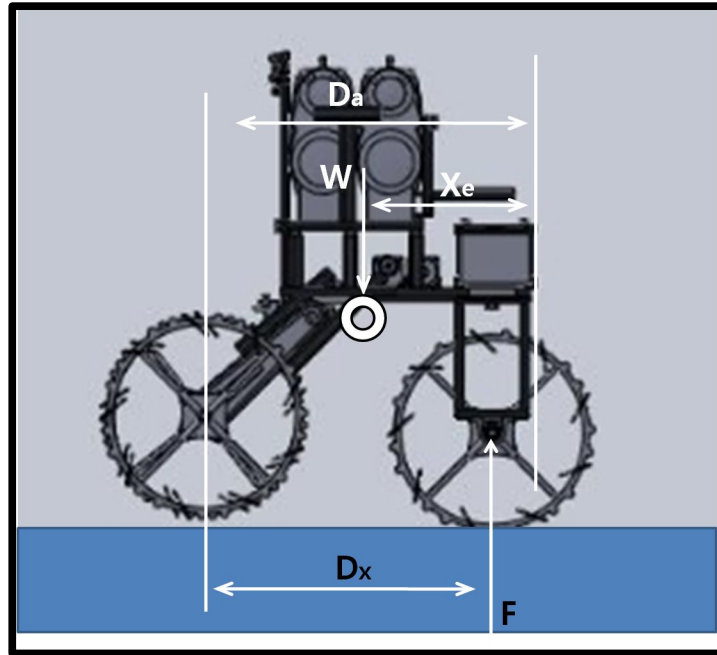


그림 7-39 X축의 무게중심 결정

X축의 무게중심은

$$x_e = D_a - \frac{D_x F}{W} \dots\dots\dots (7-1)$$

- 여기서, F : 전반부의 지면 반력
- W : 작업 차량의 총무게
- Da : 후면부 저면의 로드휠에서 오른쪽 차륜 원점까지의 거리

차량의 정적인 무게중심을 파악하기 위해 해야 할 첫 단계는 차량에 가상의 X, Y, Z 축을 설정하는 것이다. 그리고 각 축에 맞는 무게중심을 하나하나 구해야 한다. X축의 결과가 Y축이나 Z축에는 영향을 미치지 않는다는 가정 하에 이렇게 구한다.

X축과 Z축의 무게중심을 알기 위해서는 차륜아래 지면의 로드셀에 걸리는 지면 반력과 차량의 차륜 폭, 작업차량의 무게를 이용하여 토크가 0이 되는 부분을 찾아내는 것으로 결정한다. 이때의 차량은 지면에 수직인 상태로 있어야하며 지면반력을 제대로 측정을 하여야 무게중심을 파악할 수 있다.

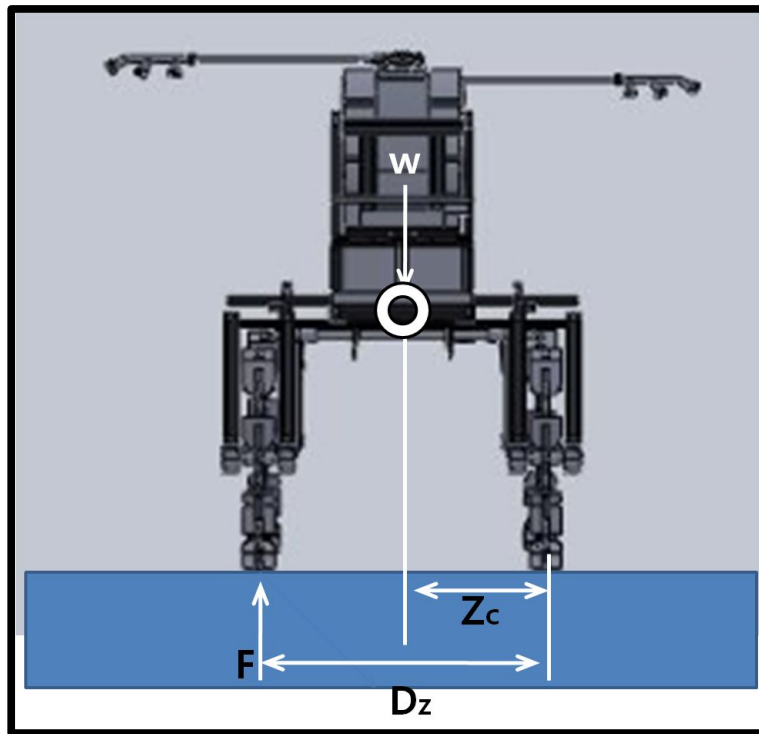


그림 7-40 Z축의 무게중심 결정

Z축의 무게중심은

$$Z_c = \frac{D_z F}{W} \dots\dots\dots (7-2)$$

- 여기서, F : 우측 차륜의 지면 반력
- W : 작업 차량의 총무게
- Da : 차륜 폭

Y축의 질량중심을 결정하는 방법은 다른 축과는 조금 다르다. Y축이 수직적으로 올라가는 축이기 때문에 차량을 비스듬히 세우고 그에 따라 나오는 로드셀의 지면반력과 작업차량의 무게, 각 부품들의 수평거리 등을 고려하여 결정하게 된다.

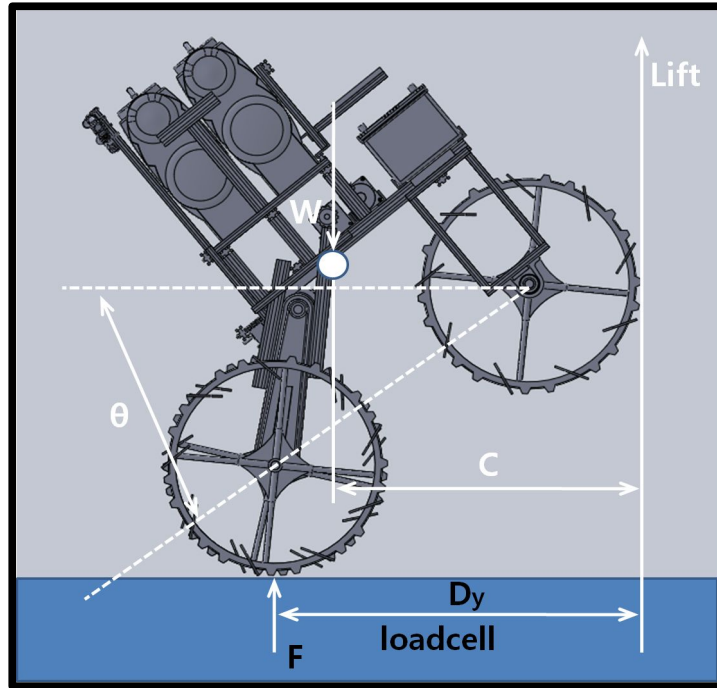


그림 7-41 Y축의 무게중심 결정

Y축의 무게중심은

$$C = \frac{D_y F}{W} \dots\dots\dots (7-3)$$

$$y_c = C \sin \theta + h$$

여기서, F = 후반부 로드 휠의 지면 반력

W = 작업 차량의 총 무게

Dy = 리프트 고리에서 후반부 로드 휠까지의 수평거리

C = 리프트 고리에서 무게 중심까지의 수평거리

h = 스프라켓 원점에서 리프트고리까지의 작용점까지의 수직 거리

3. 시뮬레이션을 이용한 차량 안정성 분석

동역학적 차량 안정성의 분석은 변수의 다양성과 많은 수식들로 인해 전문 프로그램을 꼭 사용하여야 한다. 현재 세계적으로 컴퓨터 시뮬레이션 테스트를 하기위하여 많은 소프트웨어들이 개발되어 사용되고 있으며 그중에서도 RecurDyn은 소음 진동분야에서 중요하게 취급되는 동역학 해석을 위해 개발된 프로그램으로 상대좌표계를 적용하여 고속운동 문제와 강성문제에 강하며 해석속도가 빨라 특정 모델에서는 실시간 시뮬레이션까지 가능한 프로그램이다. 특히 RecurDyn은 동역학 해석 적용 시 모델링과 해석 접근이 힘들었던 물체와 물체의 3차원 접촉 현상을 모델링하고 해설할 수 있도록 편리한 모델링 환경과 빠른 속도가 주어지는 장점이 있다. 본 연구에서는 동역학적 차량 안정성 분석을 RecurDyn이란 프로그램을 이용하여 분석하기로 한다.

RecurDyn은 국내에서 국내기술로만 만든 세계적인 컴퓨터 시뮬레이션 테스트프로그램이다. 현재 세계적으로 매우 다양한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램이 개발되거나 만들어졌지만 그중에서도 RecurDyn은 다중 동역학 시뮬레이션 (Flexible Multi Body Dynamic Simulation)으로서 유연한 성질을 가진 토양 위에 강체로 이루어진 차량부 간의 동역학분석에 적합한 시뮬레이션 프로그램으로 유명하다. RecurDyn은 상대좌표계를 적용하여 고속운동 문제와 강성문제에 강하며 해석속도가 빨라 특정 모델에서는 실시간 시뮬레이션까지 가능하다. 특히 다중간의 모델링의 동역학 해석 중 접근이 힘들었던 Flexible body와 Flexible body간의 3차원 접촉 모델링해석이 가능하다.

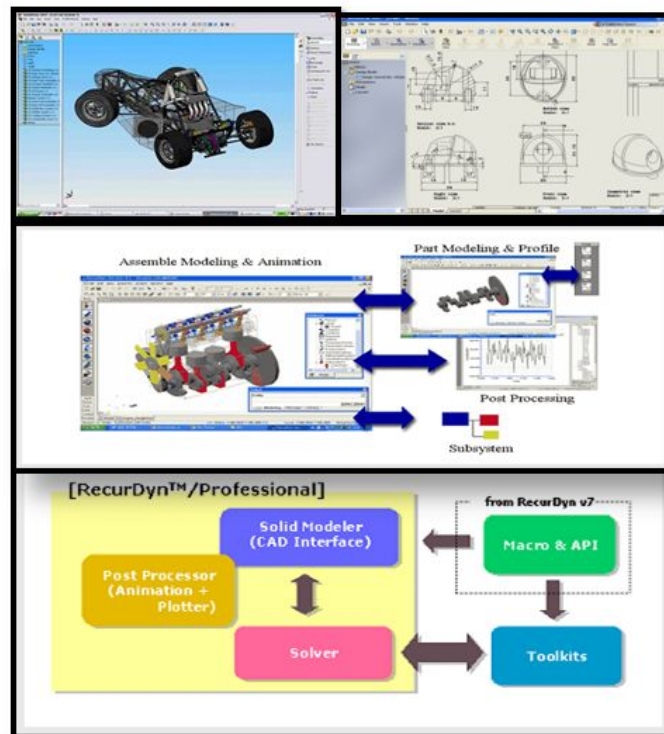


그림 7-42 RecurDyn을 이용한 다양한 동역학적 분석

A. SolidWork를 이용한 모델 어셈블리

두가지 모델(일반형차륜, 가변형차륜)의 안정성 분석을 위하여 SolidWork를 이용하여 설계하였다. 모델을 세부 파트로 나눈 후, 세부 파트를 하나씩 디자인 한 후, 마지막으로 세부 파트를 어셈블리 시켰다. 어셈블리할 때, 축이나 차륜 등과 같이 회전이 필요한 강체는 회전이 가능하도록 메이트(mate) 설정을 하였다.

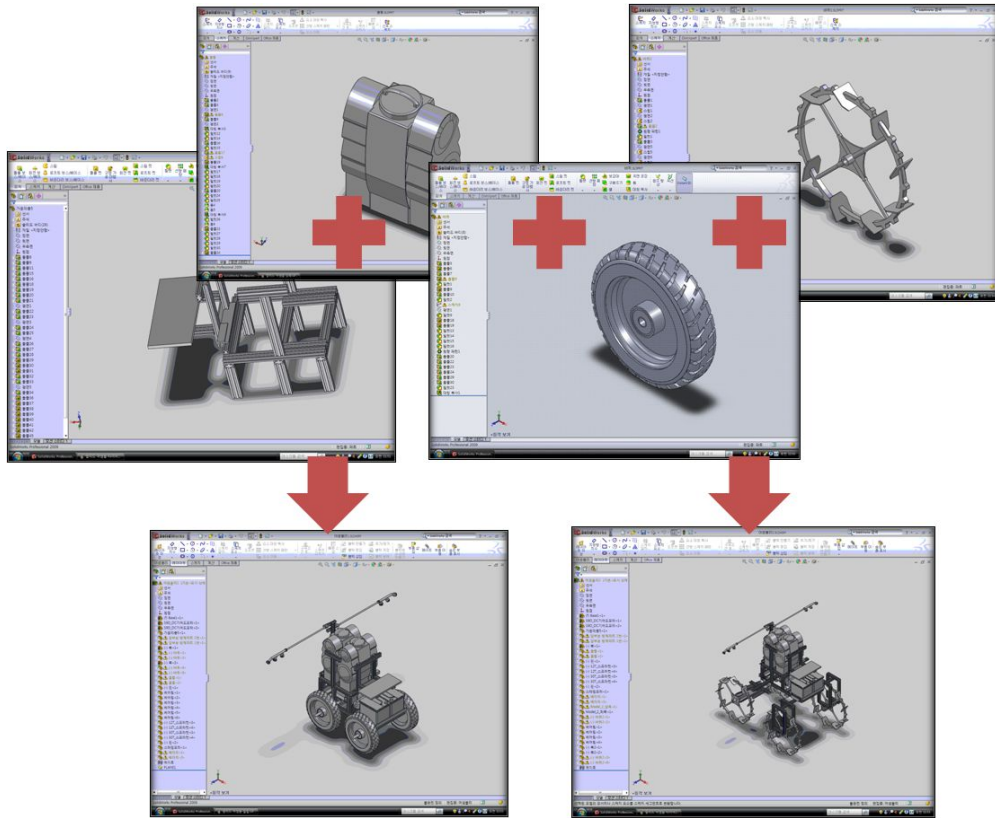


그림 7-43 SolidWorks를 사용하여 모델링 및 어셈블리

B. RecurDyn을 이용한 동역학적 분석

SolidWork로 설계한 두 모델은 RecurDyn에서 불러와서 동역학적 분석이 가능하다. 차량의 세부적인 속력이나 가속도, 무게 등을 각각 지정하여 넣어주고 차량의 안정성을 분석하기 위하여 지면 조건 및 차량 구속 조건을 입력한다.

차량은 15도씩 측면으로 24번 회전시켜 총 360도, 1회전시키면서 경사지에서 차량의 전복 유무를 확인하였다. 차량은 항상 지면과 수직이어야 하며 차량의 속도 및 가속도는 모델링 된 차량이 후륜구동이므로 뒷차륜에 구동 조건을 부여하였다. 지면의 토양정보는 일반적인 사질토 토양의 정보를 지면조건을 입력하였다.

무인 방제 차량은 약액통에 물이 최대 40L까지 들어 갈 수 있게 설계되었는데 약액통의 무게에 따라 안정도가 변할 수 있을 것이라 예상된다. 따라서 약액통의 액체의 양에 따라 얼마나 안정도가 변하는지를 알아보기 위하여 두 가지 모델 모두 0L, 20L, 40L의 물을 넣었다고

가정하여 물의 무게를 약액통에 더 부과하는 형식으로 하여 차량의 안정도를 측정하였다.

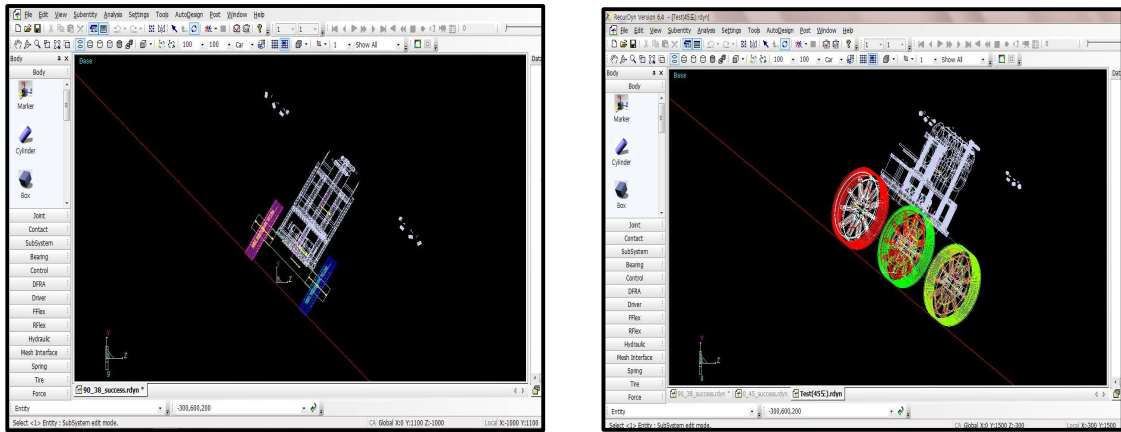


그림 7-44 RecurDyn을 통한 모델링 및 분석 수행 사진

주요 구성 부위의 물성치는 다음과 같이 설정하였다.

일반형 무인방제기 밀도 = $7.85e-006 \text{ kg/mm}^3$

일반형 무인방제기 질량 = 61kg

가변형 무인방제기 밀도 = $8.52e-006 \text{ kg/mm}^3$

가변형 무인방제기 질량 = 90kg

다물체 동역학 해석을 위하여 추진력 생성 요소 및 차량 본체의 진동 흡수를 위한 댐퍼를 제외한 요소들은 모두 강체로 연결되어 있다고 가정하였다.

동역학 해석을 위한 토양 접촉 방정식은 Bekker의 이론과 Hanamoto 모델을 사용하였으며 그 주요 변수는 다음과 같다. 토양의 종류는 사질토(Sandy loam(Hanamoto))로 설정 후 동역학 해석을 수행하였다.

Bekker's theory

$$p = k \cdot z^n \quad \dots\dots\dots (7-4)$$

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

여기서, Terrain parameter (kc) = $0.35124 \text{ (N/mm}^{1+n})$

Terrain parameter (k_Φ) = $1.7765e-002 \text{ (N/mm}^{2+n})$

Exponent of skinkage (n) = 0.3

Janosi-Hanamoto model

$$\tau = (c + p \tan \phi)(1 - e^{j/k}) \dots\dots\dots (7-5)$$

여기서, Soil cohesion (c) = 1.379e-002 (N/mm²)
 Internal friction angle (Φ) = 22(°)
 Shearing deformation modulus (k) = 25 (mm)

1) 일반형 무인방제기의 RecurDyn 구속조건

RecurDyn으로 현실과 비슷한 시뮬레이션 결과 값을 얻기 위해서는 특정 요소에 대한 구속조건이 꼭 필요하다. 특히 질량은 매우 중요한 구속요인으로 모든 요소에 대해 적절한 질량 값을 주어야만 한다. 또한 본 시뮬레이션은 0 L, 20 L, 40 L, 총 세 번의 무게가 달라진 시뮬레이션이 진행되며 무게가 달라지면 그에 따른 결과치도 변할 것으로 예상되어 처음부터 신중하게 실제 데이터에 근거하여 구속조건을 주었다.

우선 일반형 무인방제기의 경우, 타이어를 제외한 부분의 질량은 총 61 Kg이었고 이 값을 0 L시의 시뮬레이션에 사용하였다. 또한 20 L의 시뮬레이션에는 물의 밀도를 1로 생각하여 20 L의 물을 20 Kg의 질량으로 생각하였다. 그리하여 총 무게는 기본보다 20 Kg이 증가한 81 Kg으로 넣었고 40 L의 물이 들어있을 경우에는 101 Kg으로 넣었다.

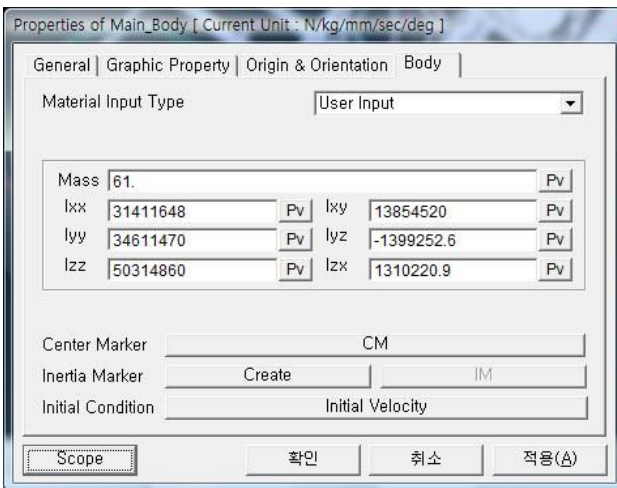


그림 7-45 일반형 메인바디의 질량 구속 조건

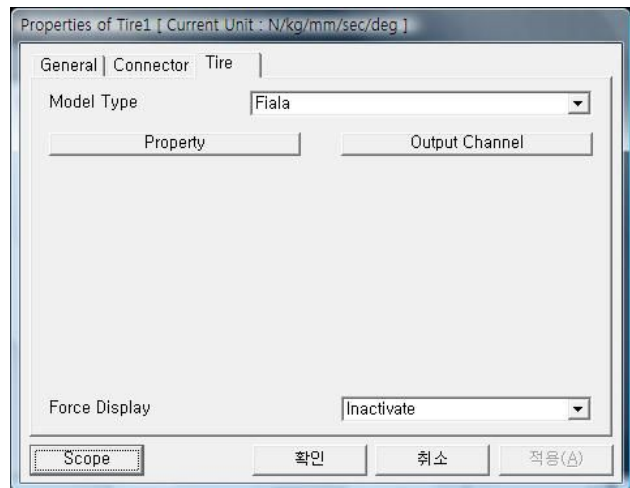


그림 7-46 차륜 재질 조건

차량의 무게뿐만 아니라 중요한 구속조건 요인은 바로 타이어이다. 타이어는 지면에 바로 닿는 부분이고 타이어의 마찰계수 및 질량에 따라 차량의 안정성은 크게 변화 할 것이라 쉽게 생각 할 수 있다. 따라서 이번 시뮬레이션에서는 동일하게 타이어의 마찰계수 및 질량을 설정하여 시뮬레이션 하였다. 차량의 마찰계수 설정은 최대 정지 마찰계수는 1로 설정하고 운동 마찰 계수는 0.8로 설정하여 진행하였다. 또한 구속조건으로 차량의 속력을 들 수 있다. 차량의

속력이 높으면 더 안정적으로 되며 또한 가속도가 얼마나 주어지냐에 따라 결과가 변할 수 있을 것이라 예측되기 때문이다. 본 시뮬레이션에서 차량은 등속도 운동으로 설정하고 가속도는 0으로 설정하여 분석한다. 분석은 Step 300으로 5초간 이뤄졌으며 초기 속도는 약 6 m/s로 설정하였다.

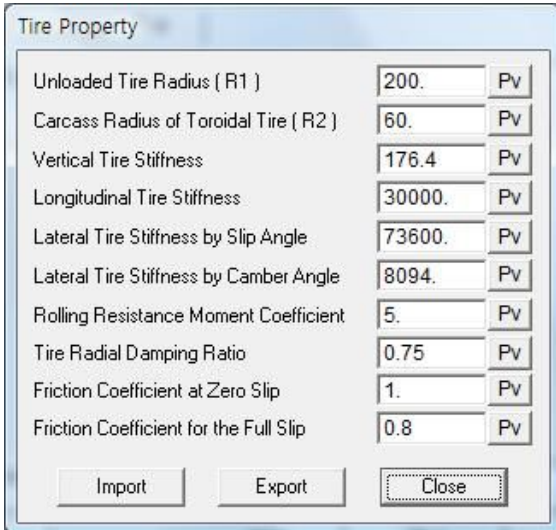


그림 7-47 일반형 차량의 마찰계수

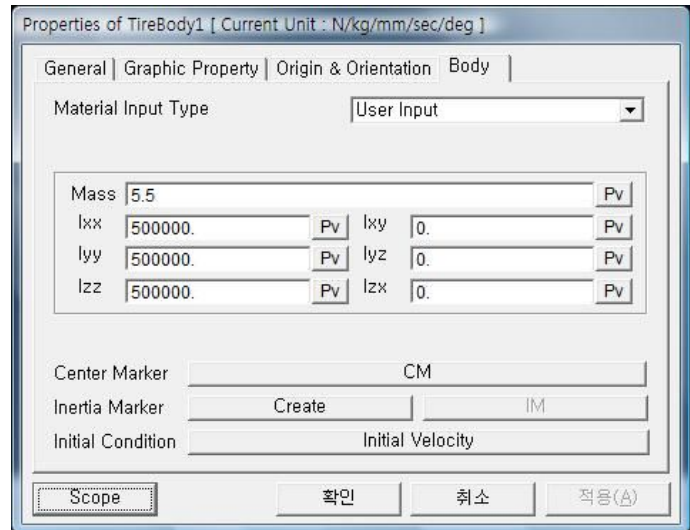


그림 7-48 일반형 차량의 질량조건

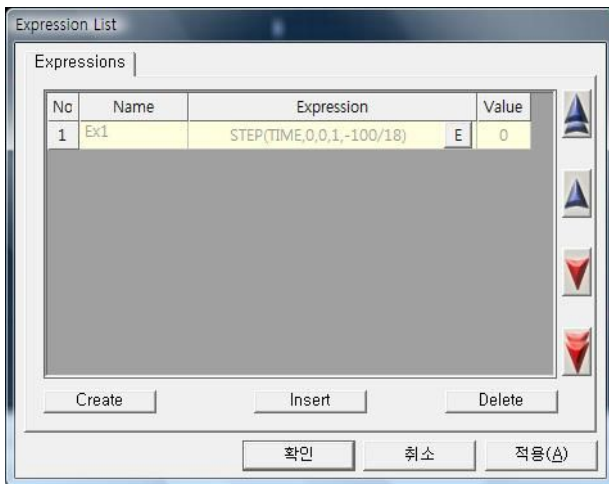


그림 7-49 일반형 차량의 속도 조건

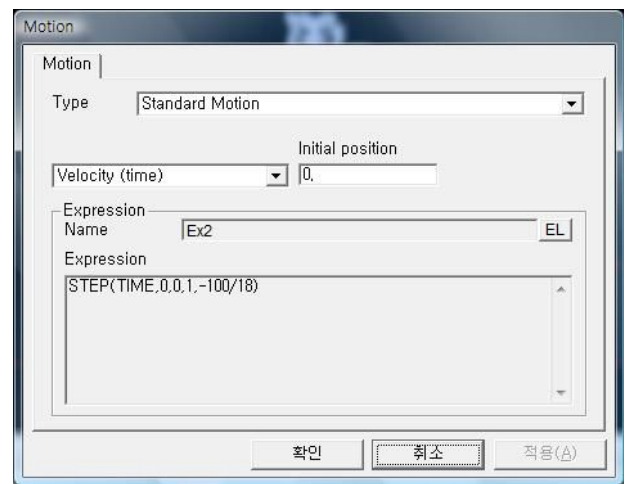


그림 7-50 일반형 차량 등속도 구속 조건

2) 가변형 무인방제기 RecurDyn 구속 조건

가변형 무인방제기의 경우, 질량은 90 Kg으로 설계되었다. 일반형 무인방제기의 경우와 마찬가지로 물의 밀도를 1로 생각하여 +0 Kg, +20 KG, +40 Kg으로 초기조건을 부여하며 진행하였다. 가변형 무인방제기의 최대정지마찰계수는 1, 운동마찰계수는 0.8로 부여하였다. 가변형 무인방제기 모델의 차량 질량은 6 Kg으로 설정하였다. 가변형 모델의 초기 속도 또한 매우 중요한 변수가 될 것으로 예상된다. 따라서 일반형 무인방제기와 동일한 초기속도를 줌으로써 변인을 통제하였다. 실험은 Step 300으로 5초간, 초기속도는 약 6 m/s로 설정하였다.

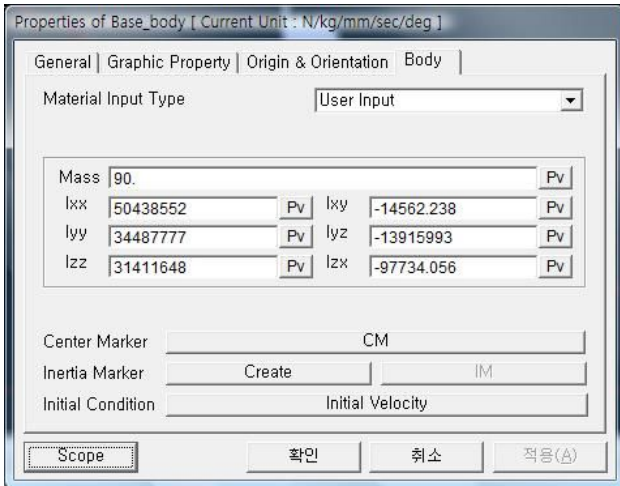


그림 7-51 가변형 무인방제기 질량 조건

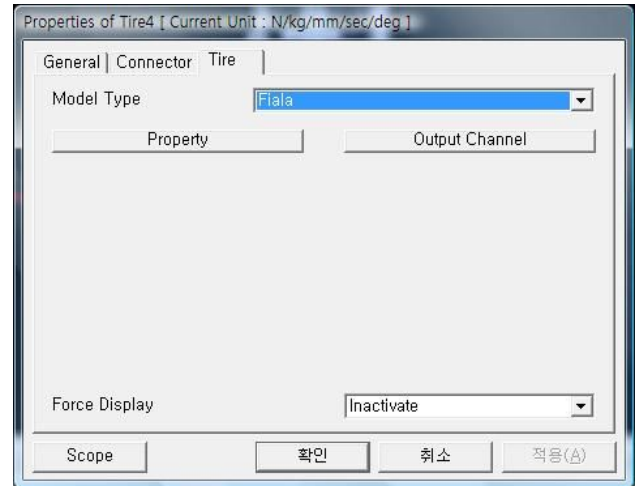


그림 7-52 가변형 무인방제기 차륜의 재질 조건

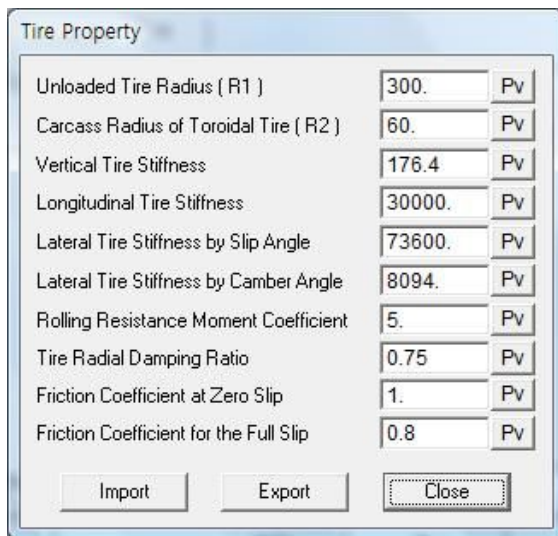


그림 7-53 가변형 차륜의 마찰계수 조건

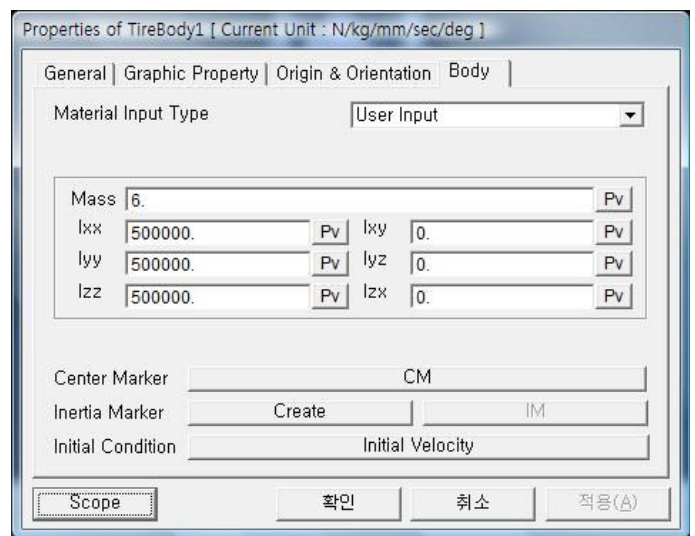


그림 7-54 가변형 무인방제기의 차륜 질량 조건

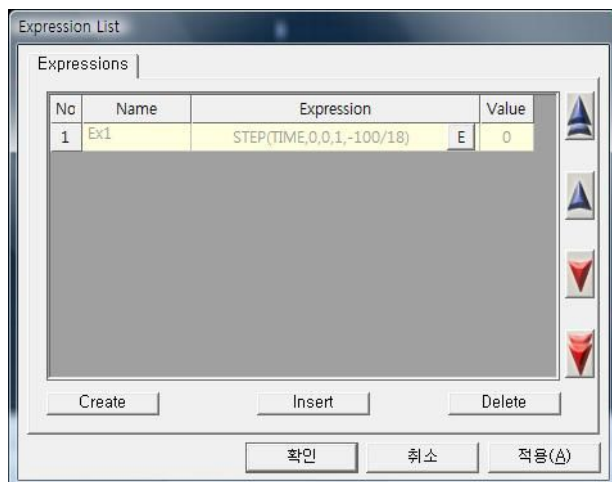


그림 7-55 가변형 차륜의 속도 조건

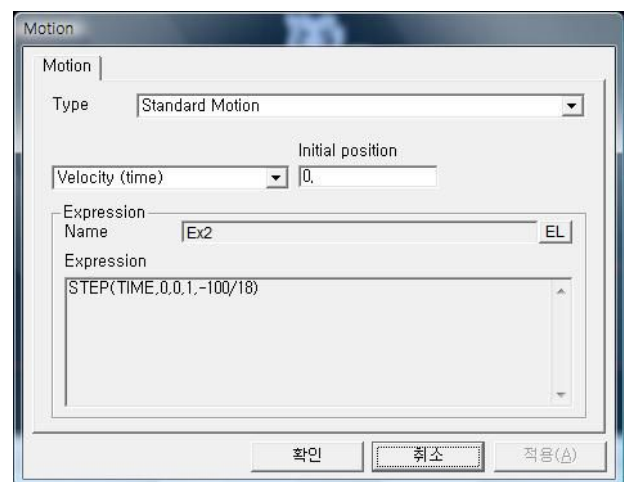


그림 7-56 가변형 차륜의 등속도운동 조건

3) 시뮬레이션 분석방법

각도라는 단어를 사용이전에 차량의 위치 각도와 지면의 경사 각도를 구분하기 위하여 다음과 같이 각각의 각도를 정의한다.

① Direction angle : 원점을 통과하는 수직선과 차량의 무게중심과 원점을 연결하는 선이 이루는 각도라 정의한다.

② Ground slope angle : 지면과 지면이 이루는 각도. 본 연구에서는 두 지면 중 한 지면은 수평선과 평행인 각도라 정의한다.

차량의 전도가 일어나는 최대 전도 Ground slope angle을 찾는 이유는 차량의 안정성 평가의 필수 조건이기 때문이다. 차량의 Direction angle이 변하면 역시 차량의 안정성 또한 변하므로 15도 각도로 Direction angle을 늘려가면서 이를 24번 반복 수행하여 360도 내에 모든 경우의 안정성을 평가하였다.

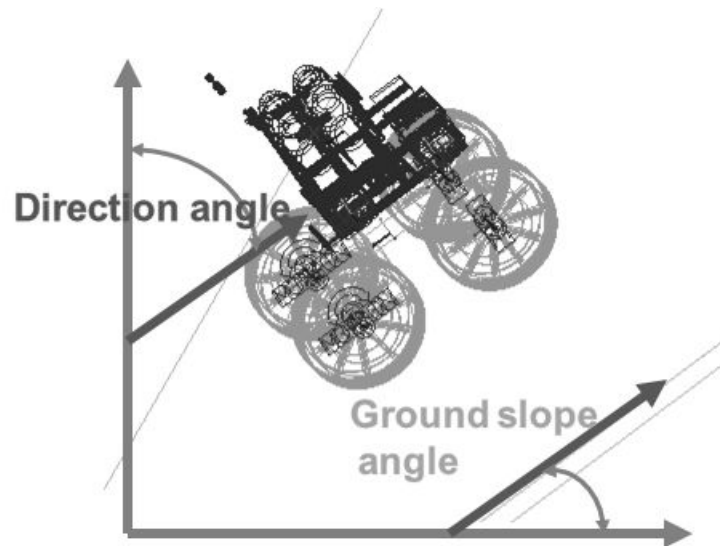


그림 7-57 방향각 및 지면 경사각 측정 방법

RecurDyn을 통하여 나온 결과는 다음과 같은 기준에 의해 분석하였다.

1. 차량의 주행부에 따른 일반형 무인방제기와 가변형 무인방제기의 경우로 나눈다.
2. 약액통의 무게에 따라 0L, 20L, 40L의 세 분류로 나눈다.
3. 차량이 위치한 정확한 각도 및 지면의 각도를 확인한다.
4. 지면의 각도를 1도씩 올려 전도가 일어나는 최대 지면 경사각을 파악한다.
5. Direction angle을 15도 범위로 늘려가면서 시뮬레이션을 반복한다.

C. 무인방제기 안정성 분석 결과

1) 일반형 무인방제기 안정성 분석(시뮬레이션)

모델링 된 차량의 최대 전도 경사각을 측정하기 위하여 전방 및 측방 전도 시험을 실시하였다. 차량의 약액양에 따라 0[L], 20[L], 40[L] 일 때의 3경우를 상정하였고, 차량과 경사각이 일직선상에 놓이게 되는 경우를 0도로 기준하여, 차량을 15도씩 회전시키면서 각각의 전도가 일어나는 경사각을 측정하였다.

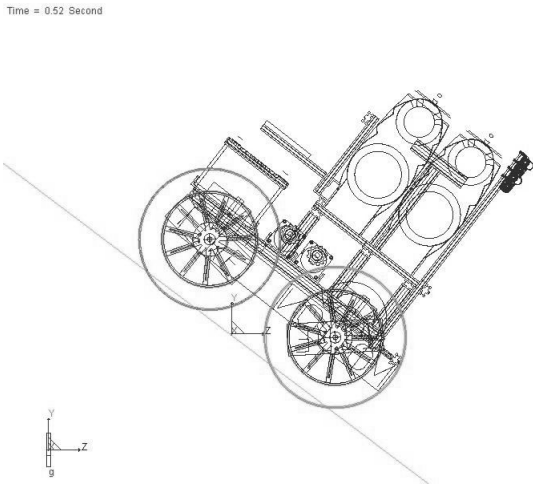


그림 7-58 일반형 무인방제기의 안정성 분석(direction-0°, ground-53°, 0L)

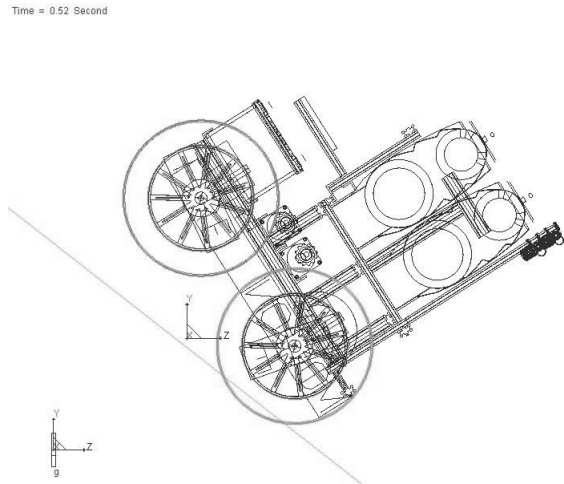


그림 7-59 일반형 무인방제기의 안정성 분석(direction-0°, ground-54°, 0L)

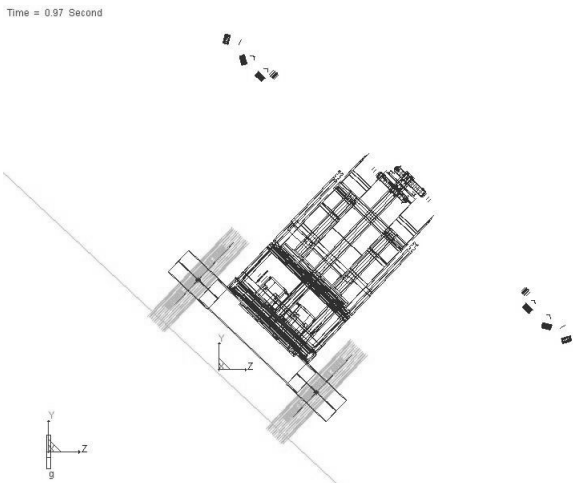


그림 7-60 일반형 무인방제기의 안정성 분석(direction-90°, ground-42°, 0L)



그림 7-61 일반형 무인방제기의 안정성 분석(direction-90°, ground-43°, 0L)

Time = 0.15 Second

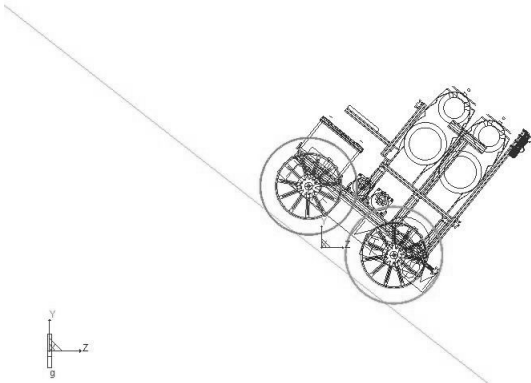


그림 7-62 일반형 무인방제기의 안정성 분석 (direction-0°, ground-39°, 40L)

Time = 0.48 Second

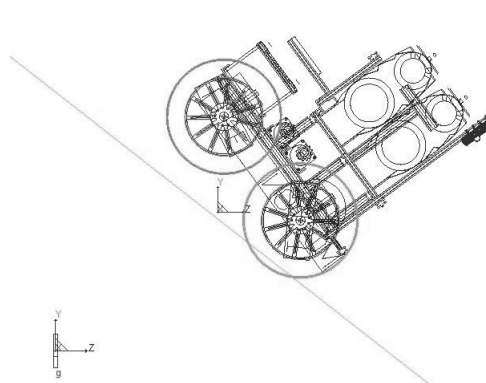


그림 7-63 일반형 무인방제기의 안정성 분석 (direction-0°, ground-40°, 40L)

Time = 1.02 Second

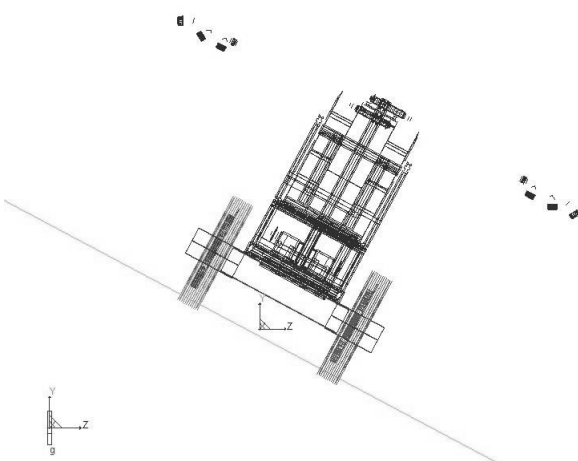


그림 7-64 일반형 무인방제기의 안정성 분석 (direction-90°, ground-22°, 40L)

Time = 1.78 Second

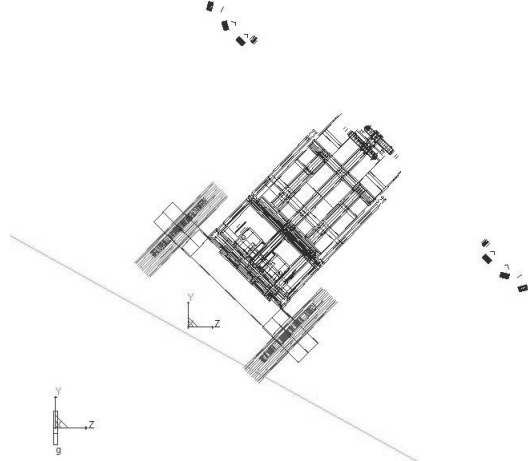


그림 7-65 일반형 무인방제기의 안정성 분석 (direction-90°, ground-23°, 40L)

시뮬레이션 한 결과, 전방 전도 시험에서의 최대 전도 경사각은 약액통이 0[L]시 55도, 20[L]시 45도, 40[L]시 37도로 분석되었다. 실제 데이터 값은 0[L]시 55도, 40[L]시 38도인 것을 감안할 때, 실제 데이터는 시뮬레이션 결과와 크게 다르지 않았음을 실험을 통하여 확인하였다. 측방 전도 경사각은 시뮬레이션에서 0[L]시 43도, 20[L]시 38도, 40[L]시 28도로 확인되었고, 실험 데이터는 0[L]시 43도, 40[L]시 27도로 측정되었다. 이 역시 최대 오차 범위에 있었으므로 정확한 전도 시험이 행해졌음을 확인하였다.

오차율을 보자면 최저 0%에서 최대 8.57% 까지 분포되어 있음을 볼 수 있었다. 하지만 최대 오차율인 8.57%도 실제 각도를 비교해보면 3도 안팎의 차이이므로 큰 차이는 아니라고 볼 수 있다.

15도 단위로 360도까지의 결과를 그래프로 나타낸 결과 다음과 같이 사각형태의 방사형 구조를 이루었다. 45도 근방에서 가장 큰 안정성을 보여주었고, 측면에서 안정성이 가장 낮음

을 알 수 있다. 약액통의 무게가 증가함에 따라 최대로 버틸 수 있는 경사각은 감소하였지만, 전반적인 Safety Zone의 형태는 유사함을 확인하였다.

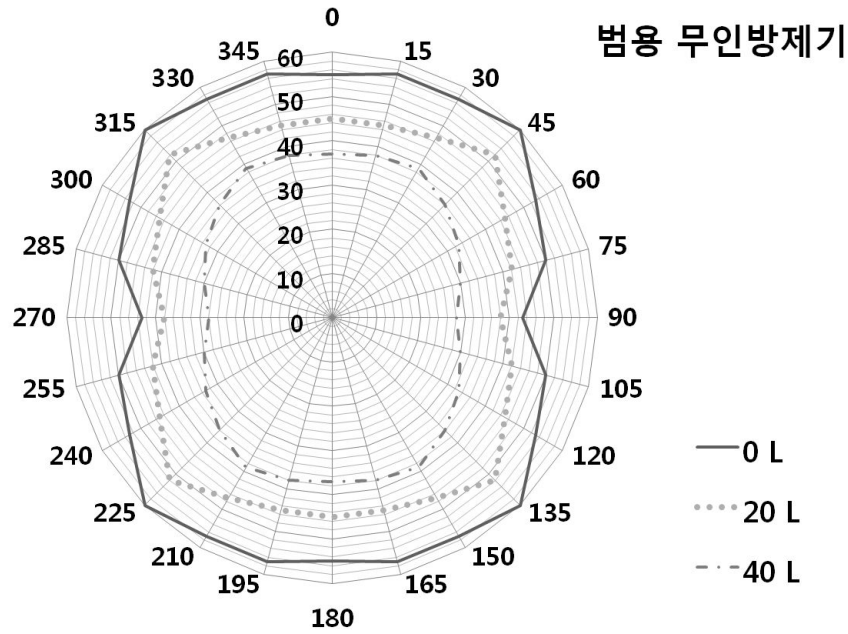


그림 7-66 일반형 차륜 시작기 safetyzone 영역

표 7-1 일반형 차륜 시작기 안정성 분석 결과

Degree		0°	90°	180°	270°
Test Data	0[L]	55	43	55	43
	20[L]	46	35	46	35
	40[L]	38	27	38	27
Simulation Data	0[L]	54	43	54	43
	20[L]	44	38	44	38
	40[L]	40	23	40	23
Fractional Error (%)	0[L]	1.82	0	1.82	0
	20[L]	4.35	8.57	4.35	8.57
	40[L]	5.26	5.26	5.26	5.26

2) 가변형 무인방제기 안정성 분석(시뮬레이션)

가변형 방제 차량은 기본형과는 다르게 주행부가 일반 타이어가 아닌 이양기 차륜로 수행되었고, 그에 따라 시뮬레이션의 구속 조건에 변화를 주었다. 모델링 된 차량의 최대 전도 경사각을 측정하기 위하여 전방 및 측방 전도 시험을 실시하였다. 차량의 약액양에 따라 0[L], 20[L], 40[L] 일 때의 3경우를 상정하였고, 차량과 경사각이 일직선상에 놓이게 되는 경우를 0도로 기준하여, 차량을 15도씩 회전시키면서 각각의 전도가 일어나는 경사각을 측정하였다.

Time = 0.617 Second

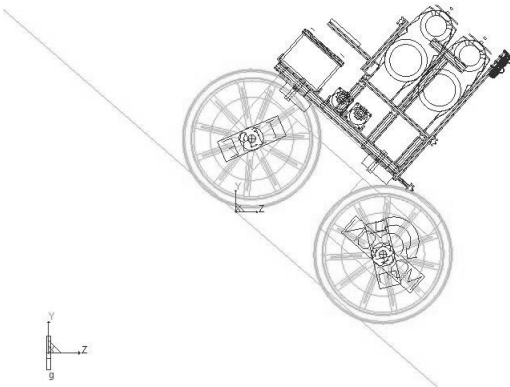


그림 7-67 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-0°, ground-39°, 0L)

Time = 0.867 Second

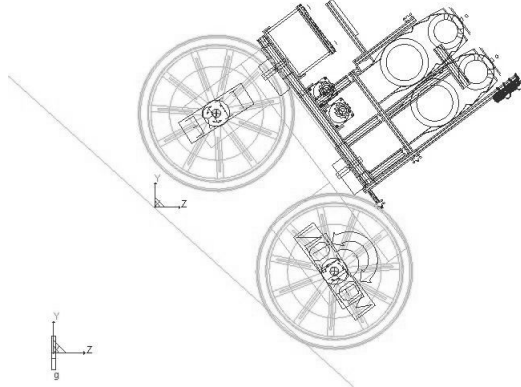


그림 7-68 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-0°, ground-40°, 0L)

Time = 3.617 Second

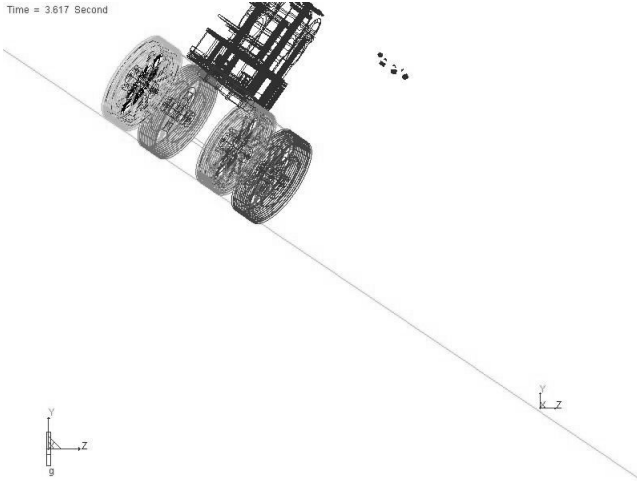


그림 7-69 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-45°, ground-34°, 0L)

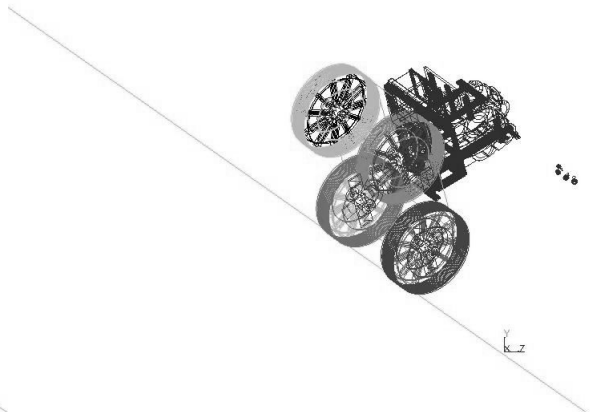


그림 7-70 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-45°, ground-35°, 0L)

Time = 1.183 Second

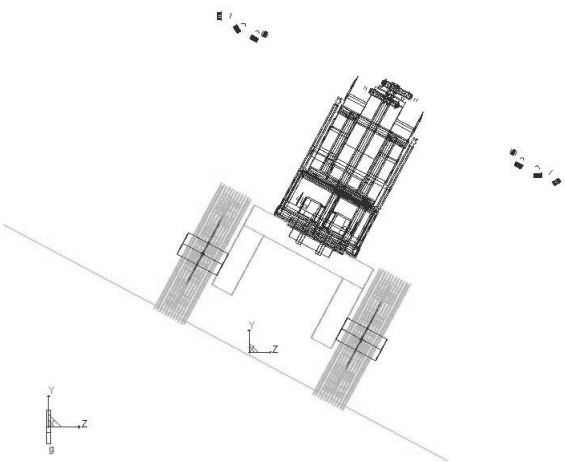


그림 7-71 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-90°, ground-27°, 0L)

Time = 2.85 Second

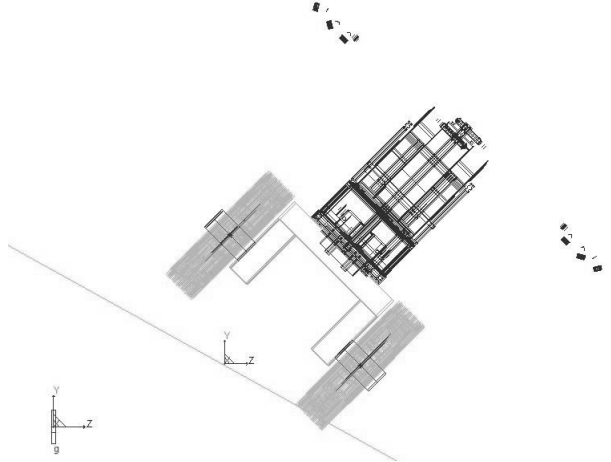


그림 7-72 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-90°, ground-28°, 0L)

Time = 2.217 Second

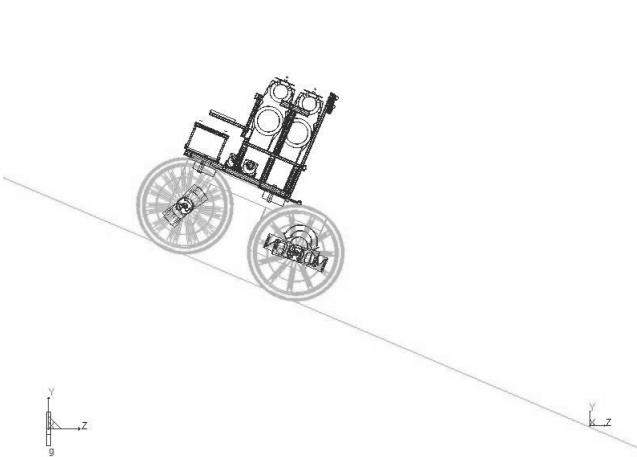


그림 7-73 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-0°, ground-19°, 40L)

Time = 1.733 Second

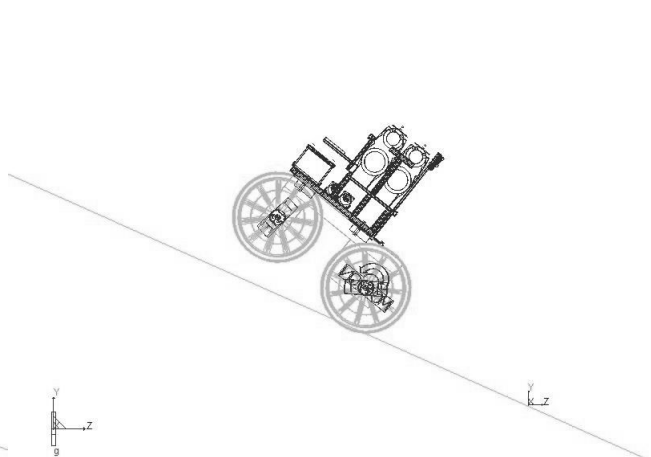


그림 7-74 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-0°, ground-20°, 40L)

Time = 1.167 Second

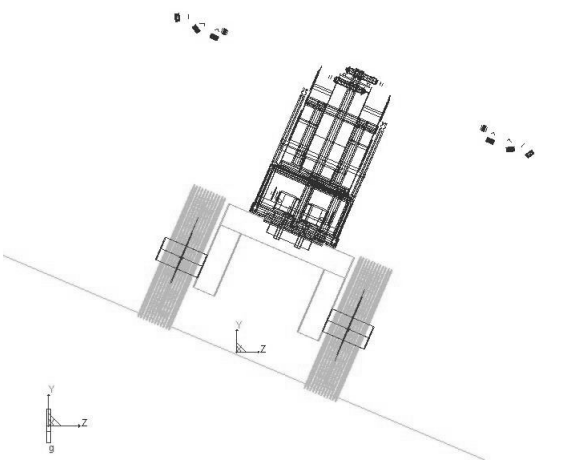


그림 7-75 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-90°, ground-22°, 40L)

Time = 3.267 Second

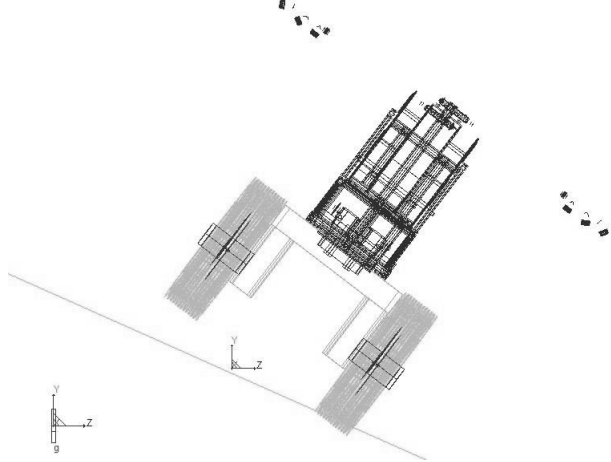


그림 7-76 가변형 무인방제기 안정성 분석(direction-90°, ground-23°, 40L)

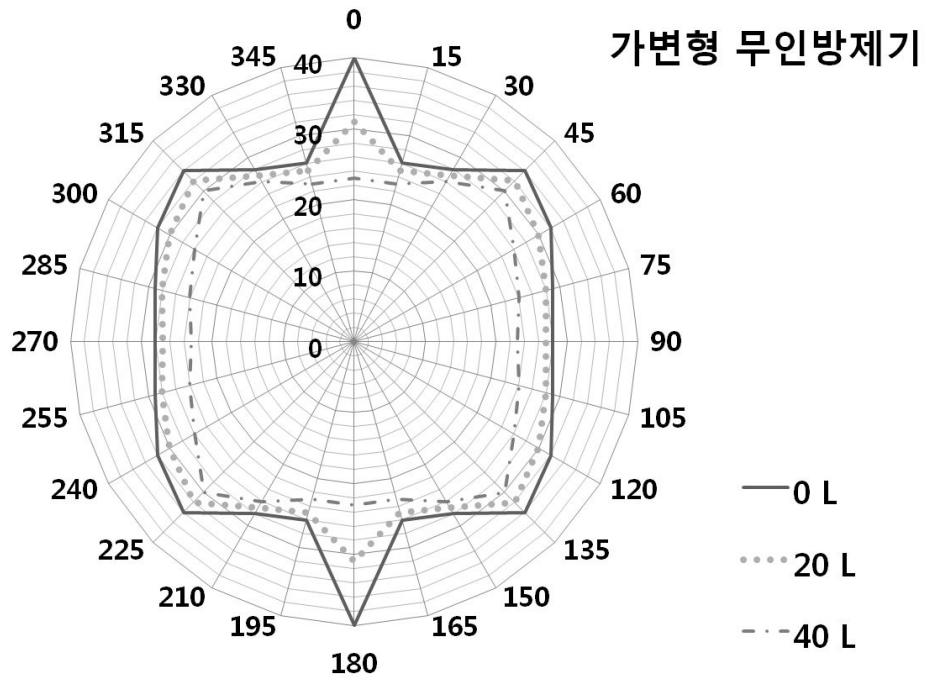


그림 7-77 가변형 차륜 시작기 safetyzone 영역

표 7-2 가변형 차륜 시작기 안정성 분석 결과

Degree		0°	90°	180°	270°
Test Data	0[L]	41	32	41	32
	20[L]	31	27	31	27
	40[L]	23	23	23	23
Simulation Data	0[L]	40	28	40	28
	20[L]	30	26	30	26
	40[L]	20	23	20	23
Fractional Error (%)	0[L]	2.44	12.50	2.44	12.50
	20[L]	3.23	3.70	3.23	3.70
	40[L]	13.04	0	13.04	0

실제 데이터는 전방 전도 시험 시 0[L], 20[L], 40[L] 기준으로 각각 41도, 31도, 23도 이고, 측방 전도 시험 시 각각 32도, 27도, 23도로 확인되었다. 시뮬레이션 결과가 전방 전도 시험에서 40도, 31도, 23도, 측방 전도 시험에서 28도, 27도, 23도 임을 비교해 볼 때, 예측 데이

터와 실제 데이터는 모두 오차 범위 이내에서 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

오차율을 보자면 최저 0%부터 최대 13.04%까지 분포하고 있음을 볼 수 있었다. 하지만 최대 오차율인 13.04%도 실제 각도는 3도 안팎인 것을 알 수 있었다. 이 역시 큰 차이가 아니므로 시뮬레이션의 결과는 실제와 상당히 비슷했다는 것을 알 수 있다.

가변형 타입은 큰 정사각형 형태의 그래프를 형성하였고, 약액통의 무게가 가벼워질수록 0도 부근에서의 값과 다른 데이터 간의 격차가 커짐을 알 수 있다. 이는 15도에서의 안정도가 크게 감소하는 것과 연관되어 있는데, 이 원인은 주행부 차륜의 차이에서 기인한다. 일반적인 형태의 타이어와 다르게 이양기 차륜은 큰 차륜에 사각 형태의 날과 같은 얇은 세그먼트들이 규합된 구조로 이루어져 있는 연유로 인해 각도의 변화에 보다 민감하게 반응하기 때문이다. 가변형 방제 차량 역시 45도 부근에서 가장 안정적인 형태를 띠며, 측방으로 갈수록 불안정하였다.

3) 통합시작기 안정성 분석 요약

Recurdyn을 이용한 시설원예용 무인방제기의 전도 시험을 통해 약액량에 따른 차량의 전도가 일어나는 경사각을 실측하였으며, 기본형 방제 차량과 가변형 방제 차량의 두 가지 경우로 나누어서 수행하였다. 이를 통하여 취득된 데이터를 실제 데이터와 비교 해석함으로써 시설원예용 무인방제기의 차량 안정성을 분석하였다.

각 모델 당, 15도 간격으로 24번을 반복하여 1차륜인 360도의 차량 안정성을 측정하였고, 약액이 들어있지 않는 0L를 기준으로 상정하여 약액통의 용량이 0L, 20L, 40L일 때의 데이터를 측정하였다.

시뮬레이션 결과, 일반형 차륜 시작기의 경우 가변형 차륜 시작기보다 높은 안정도를 보였으며, 45도 각도에서 가장 안정적인 모습을 나타내었고 90도 각도에서 가장 낮은 안정도를 나타내었다. 가변형 무인방제기의 경우, 0도와 180도에서 가장 높은 안정도를 보였으며 또한 90도에서 가장 낮은 안정도를 보였다.

약액통의 무게에 따른 실험에서는 두 모델 모두 0L에서 가장 안정적인 결과가 확인되었고, 40L에서 가장 불안정한 결과를 보였다. 약액통의 무게중심은 비교적 높은 곳에 위치하게 되는데, 그로 인해 무게가 증가할 때면 무게중심 또한 높아지므로 위와 같은 결과가 나타났다.

시뮬레이션 데이터와 실제 측정 데이터를 비교해본 결과, 두 모델 모두 오차범위 내의 유사한 결과를 나타내었다. 실제 실험에서도 가장 안정적인 모델은 0L의 일반형 차륜 시작기이고, 가장 불안정한 모델은 40L의 가변형 차륜 시작기이다.

시뮬레이션 결과를 측정된 실제 데이터와 비교를 한 결과는 오차 이내로 유사하였으며, 이를 통해 유추된 일반형 차륜 시작기의 안정적인 작업 수행 최대 지면 경사각은 전방 35도, 측방 25도로 설정할 수 있다. 가변형 차륜 시작기의 안정적인 작업 수행 최대 지면 경사각은 전방 23도, 측방 20도로 설정할 수 있다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표달성도

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용	달성도(%)
1세부 방제 및 자율주행 제어 시스템 개발 및 통합 시작기 제작	2009	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자율 주행 방제시스템 설계를 위한 시설재배지내의 작물 생육 형태 조사 분석 ○ 자율 주행 방제시스템 설계 제작 및 성능 실험 ○ 자율경로 주행 알고리즘 분석 ○ 자율 경로 주행 제어기 및 안정화 제어기 설계 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내, 국외(일본) 주요 시설재배지 현장 조사 - 관련 선행 연구 고찰 및 전문가 초청 - 제어시스템 설계, 밈 노즐 설계 및 실내 인공 대상체 대상 성능 실험 - 초음파 이용 경로 수정 알고리즘 분석 및 전달함수 설계 - 노이즈 제거 및 피드백 보정 제어 설계 및 전자 회로 제작 	100
	2010	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자율 경로 주행 제어기 및 안정화 제어기 성능 실험 ○ 동력 전달 및 기구부의 제작 ○ 각 요소별 요인 성능 실험 ○ 통합시작기의 제작 ○ 통합시작기의 성능 실험 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 자율 주행 제어기 실내 성능 실험, 실외 성능 실험 - 동력 전달부 설계 및 제작 - 기구부 설계 및 제작 - 동력 전달부 요인 성능 실험 - 기구부 요인 실험 - 통합 시작기 제작 - 통합 시작기 실외 성능 실험 - 통합 시작기 문제점 분석 및 보완 	100
2세부 주행부를 포함한 방제기 본체의 설계 및 작업 안정성 분석	2009	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주행부 설계 및 본체의 안정성 분석을 위한 시설 재배지의 지표 특성 분석 ○ 주행부 설계를 위한 시설 재배지의 토양 특성 분석 ○ 자율경로 주행 메카니즘 및 본체 설계 ○ 주행부의 성능분석을 위한 요인 시험 장치 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 시설 재배지 지표 특성 분석을 위한 출장 (5개소 이상) - 토양 특성(토양마찰/추진력) 분석 - 지표 형태(고랑의 외형) 분석 - 적정 주행부 선정 및 설계 - 동력원 선정, 동력 전달 메카니즘(기어 체인/벨트) 설계 - 조향 제어 시스템 설계 - 주행부 프레임 설계 및 제작 - 주행부 성능 분석 요인 실험 장치 제작 (속도, 슬립, 침하) 	100
	2010	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소요동력 산정 및 동력전달 계통 설계 ○ 주행부의 성능 실험 및 분석 ○ 통합시작기의 안정성 분석 ○ 통합시작기의 성능 실험 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 소요동력 시뮬레이션, 검증 실험 - 본체부-주행부 간 동력 전달 계통 설계 - 주행부 성능 실험 분석 및 문제점 보완 - 통합시작기의 주행 성능, 전복 안전성 분석 - 통합 시작기 실내 성능 실험 - 통합 시작기 성능 분석 및 보완 	100

제 2 절 평가 착안점에 따른 목표달성도 자체평가

구분	평가의 착안사항 및 척도(점수)	자체평가 달성도(점수)
1차 연도 2008-2009	조사여부 및 적절성 (20)	100
	적정 설계 여부 (30)	
	요인 시험장치 적정설계 및 제작 여부 (30)	
	요인시험의 적절성 및 실시 여부(20)	
2차 연도 2009-2010	시작기 적절 설계 제작 여부 (10)	100
	각 요소별 성능 시험 여부(10)	
	통합시작기 제작 (30)	
	통합시작기 구성 및 안정성 여부 (30)	
	성능시험의 적절성 및 실시 여부 (20)	
최종평가	자율주행 무인 방제기 성능의 우수성 (100)	100

제 3 절 관련분야에의 기여도

시설하우스 내 무인자율 방제기는 방제 작업에 투입되는 노동력 절감에 탁월하며, 인체에 해로운 농약흡입을 근본적으로 막을 수 있다. 투하 노동력 감소는 시설하우스 농가의 생산비를 크게 절감시키고 경쟁력을 증가시켜 결국 농가소득 증대효과를 가져오고 과수산업이 안정성을 확보하게 된다. 또한 시설하우스 농민들은 인체에 해로운 농약흡입으로부터 벗어나게 되어 웰빙시대에 발 맞춰서 농가의 큰 고민해결이 될 것이다.

무인자율 방제기의 주행부는 일반 차륜형의 경우 공장용 운반 작업대차등에 적용이 가능하며 가변 차륜형의 경우 방제작업외의 시설하우스내 관리작업 체계의 기계화가 가능하다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 추가연구의 필요성

- 무인자율 방제기 부품소재 (모터 차륜 연결부, 방제부 노즐, 4륜구동)
 - 모터와 차륜 연결부간의 모듈화가 필요함
 - 방제부 노즐의 내구성을 위하여 소재의 응용연구가 필요
 - 정밀한 조향 및 차륜의 슬립방지를 위하여 구동부의 4륜 구동화가 필요함

2. 타 연구에의 응용

- 무인 자율 주행부 응용 연구분야
 - 무인 자율 주행부(일반 차륜형)를 이용한 타 분야 응용 연구 가능
 - 공장용 운반 작업대차에 적용이 가능
 - 무인 자율 주행부(가변 차륜형)를 이용한 타 기계화작업 응용 가능
 - 방제작업외의 시설하우스내 관리작업체계 기계화 가능

3. 기업화 추진방안

- 산업재산권 출원 : 2010년 10월
- 신개발기종 지원보급을 위한 정부시책건의 : 2012년
- 홍보 및 개선보완을 위한 현장 접목연구 : 2011년 5월 이후 3개소
- 농기 사범보급 : 2012년
- 업체 실용화 및 농가 보급 : 2012년 이후

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제품	특징 및 단점
<p style="text-align: center;">제품</p>  	<p style="text-align: center;">특징 및 단점 에르메코</p> <p style="text-align: center;">자동 관수 시스템 (エルメコ自動灌水システム, MARUYAMA)</p> <p>특징 : 살수량별 8종류의 노즐이 있어, 살수 형상의 변경도 가능. 레버구조로 변경 설치 간단.</p> <p>단점 : 가이드라인으로 인한 초기설치비 및 시공이 필요. 구조변경이 어려움</p>
  	<p style="text-align: center;">세무노즐 시스템 (細霧ノズルシステム, MARUYAMA)</p> <p>특징 : 세무노즐시스템은 현장에서 시공이 비교적 간단하며 가공이 가능. 무인 방제, 냉방, 가습등 각 방면에서 이용.</p> <p>단점 : 위에 서 분사되는 구조로서 적절한 방제를 위해서는 다소 적지 않은 양의 농약을 필요로 함.</p>
  	<p style="text-align: center;">샤트르 스프레이카 シャトルスプレーカ (MSC1-103DW, MARUYAMA)</p> <p>특징 : 4WD 주행형태로 전진 및 후진 자동변환 가능. 구동방식은 모터이며, 각 노즐 방향을 자유롭게 변경가능.</p> <p>단점 : 분무 호스길이제한이 있음.</p>

제 7 장 참고문헌

1. 한국농업기계학회, 한국농기계공업협동조합. 2008. 농업기계연감
2. 김현환. 2001. 국내 원예생산 시설의 변천과 발전방향, 한국생물환경조절학회 심포지엄 자료집, pp. 71-88
3. 이석건. 2003. 우리나라 시설농업의 발전방향, 한국관개배수 제10권 제2호, pp. 184-190
4. 엄영철. 2007. 첨단시설원예 산업 기술의 개발 현황과 전망, 한국농촌공사 농어촌연구원, 농어촌과 환경 제96권, pp. 123-140
5. 신영숙. 2004. 비닐하우스 작업자의 건강관리, 농촌진흥청, 농업기술정보
6. 장익주, 김태한, 조명동. 1995. 무인 스피드 스프레이어의 개발(I) 원격제어 및 유도 케이블 시스템, 한국농업기계학회지 제20권 제3호, pp. 226-235
7. 장익주, 김태한, 엄순형. 1998. 무인 스피드 스프레이어의 개발(II) 화상처리를 이용한 주행방향 제어 알고리즘, 한국농업기계학회지 제23권 제3호, pp. 291-304
8. 김찬수, 윤여두, 김기대. 1997. 하우스용 무인자동방제기의 개발, 한국농업기계학회 1997년도 동계 학술대회 논문집, pp. 18-25
9. 박재언. 2003. 천장 유도레일을 이용한 과수방제기의 무인주행 제어기 개발, 강원대학교 농업과학연구 제14권, pp. 161-162
10. 조현덕. 2004. 4륜 구동 및 4방식 조향장치를 적용한 로더 개발, 한국기계가공학회지 제3권 제3호, pp. 71-78
11. 한국농업기계학회. 2004. 트랙터공학, 문운당
12. 문창수, 도용태. 2005. 초음파 센서와 카메라를 이용한 거리측정 시스템 설계, 센서학회지 제14권 제2호, pp. 116-124
13. J. Y. Wong, C. F. Chiang. 2001. A general theory for skid steering of tracked vehicles on firm ground, Journal of Automobile Engineering, Vol. 215 No.1, pp. 343-355
14. J. Y. Wong. 1993. Theory of Ground Vehicles. John Wiley & Sons, Inc.
15. Robert Grisso, John Perumpral, Frank Zoz. 2006. An empirical model for tractive performance of rubber-tracks in agricultural soils, Journal of Terramechanics Vol. 43, pp. 225 - 236
16. Qinghe Li, Paul D. Ayers, Chunxia Wu, Alan B. Anderson. 2003. Soil and Vegetation Disturbance of Tracked and Wheeled Off-road Vehicles. 2003 ASAE Annual International Meeting Paper No. 031055

17. K. Neumeier. 1970. Cross-country vehicle with automatic inclination compensation, *Journal of Terramechanics*, Vol. 7 No. 1, pp. 9-17
18. Philip J. Sammons, Tomonari Furukawa, Andrew Bulgin. 2005. Autonomous Pesticide Spraying Robot for use in a Greenhouse, *Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation*
19. S. Singh, T. F. Burks, and W. S. Lee. 2005. Autonomous robotic vehicle development for greenhouse spraying, *American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 48 No. 6, pp. 2355-2361
20. Toru Torii, 2000, Research in autonomous agriculture vehicles in Japan, *Computers and Electronics in Agriculture* 25, pp.133-153
21. Ernest O. Doebelin. 1985. *Control System Principles and Design*. John Wiley & Sons, Inc.
22. K. Dutton, S. Thompson, and B. Barraclough. 1997. *The Art of Control Engineering*. Addison-Wesley Longman Co., Inc.

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 **농림/고부가가치 식품/수산기술개발사업(해당사업만 표기)**의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 **농림/고부가가치 식품/수산기술개발사업(해당사업만 표기)**의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.