

최 종
연구보고서

감 수확 및 전정 시스템 개발

Development of Harvesting and Pruning
System for Persimmon

주관연구기관 : 상 주 대 학 교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “감 수확 및 전정 시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다

2007 년 5 월 24 일

주관연구기관명 : 상주대학교

총괄연구책임자 : 최 중 섭

연 구 원 : 김 재 열

연 구 원 : 이 양 근

위탁연구기관명 : 서울대학교

위탁연구책임자 : 이 중 용

연 구 원 : 홍 지 향

연 구 원 : 김 영 주

연 구 원 : 임 기 택

요 약 문

I. 제 목

감 수확 및 전정 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

국내 농업의 전반적인 구조적 특성으로 중·소규모 농가의 노령화와 노동인구 감소 및 수익성 저하가 가속화되고 있다. 이를 극복하기 위한 방안으로 기계화와 자동화에 관한 연구 및 개발이 계속되고 있으나, 주로 벼농사위주의 수도작 기계화에 한정되어 실용화되었으며, 일부 과수 및 밭농사 작물의 수확작업 기계화도 진행되고 있다. 그러나 과수 수확작업의 기계화는 3차원 공간에서 과실의 개체 위치를 식별하여 수확에 필요한 조작을 해야 하며, 상대적으로 수도작이나 전작 작물에 비하여 기계적 손상을 받기 쉬운 과수작물의 특성으로 인간 수준의 지능과 유연성을 지닌 작업기를 필요로 하므로 로봇을 이용한 수확시스템에 관한 연구 및 개발이 그 주를 이루고 있다.

현재까지 개발된 과실 수확용 로봇 시스템의 공통된 문제점들은 머니플레이터의 무거운 중량과 과실의 수확위치 결정 장비 및 기술의 높은 비용, 인력 대비 늦은 작업속도로 대표된다. 기계시각과 인공지능과 같은 최신 기술을 도입한 고기능 로봇의 과수 수확작업에의 도입은 현 농업의 경제적 수익성과 영농규모를 고려하면 비현실적이다. 따라서 인간수준의 속도로 작업하고 구조가 간단하고 경량으로 무게중심이 낮아 경사지 및 구릉지에서 안전하게 작업할 수 있는 저가 로봇 개발이 과수작업용 로봇의 실용화에 대한 궁극적인 목표라고 할 수 있다.

우리나라 과수작물의 기계화에 걸림돌로 작용하는 대표적 요인 중 하나는 과수가 대부분 경사지나 산지에 분포해 있다는 것이다. 과수원 형태의 감 재배농가는 감나무의 수형을 수확작업에 적절하게 유지시키기 위하여 전정을 하므로 비교적 수확조건이 양호하다. 그러나 경북지역의 감나무는 집안 또는 농가 주변의 빈 공간에 감나무 묘목을 심는 특성으로 농가 및 주거지 주변에 산재하여 있으며, 전정 및 기타 관리를 하지 않아 대부분의 감나무의 크기가 높이 4 ~ 10여 m로 수확작업이 어렵다. 경북의 감나무 서식지역은 비교적 경사가 완만한 특성이 있다. 기존 연구된 로봇의 경우 경사지에서 작업할 수 있고 목표도달 높이가 10m 이상인 것이 전무한 실정이다. 과실수확용 로봇이나 작업기의 중량과 무게중심은 과수에 접근하는 이동성이나 작업자세 안정성의 제한 요인이므로 중량이 가볍고 견고하며 이동에 용이한 구조의 수확기 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 수고(樹高)가 10m 이상인 감 수확 및 전정작업을 경사지에서 수행할 수 있고, 다양한 수확환경에 적응할 수 있는 반자동 수확 및 전정 시스템 개발을 목적으로 하고 있으며 그 구체적 목적은 다음과 같다.

- 알루미늄 프로파일을 이용한 머니플레이터 경량화
- 와이어를 이용한 구동장치 경량화 및 단순화
- 연속이송장치를 이용한 작업효율 제고
- 유인장치를 이용한 엔드이펙터 조작의 단순화
- 인간·로봇 지능보완형의 실용적 수확시스템 개발

향후 농업 노동력의 고령화와 노동인구의 감소 및 임금의 상승은 지속될 것이다. 따라서 수확작업의 기계화의 필요성은 계속 증대될 것이다. 값비싼 기계시각장치나 인공지능을 이용한 수확작업시스템을 대체하여 작업자의 경험과 지식으로 지시되어 작동하고, 2 ~ 10여 m의 높이까지 수확할 수 있는 경량의 수확시스템을 개발하면 이동성 및 안정성이 향상되고, 궁극적으로 경제적으로 부담할 수 있는 실용적인 수확시스템으로 보급될 것으로 판단된다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 수확높이가 10여m에 이르는 짧은감 수확에 적합한 감 수확 및 전정시스템 개발을 내용으로 하고 있으며 그 구체적 내용 및 범위는 다음과 같다.

연구 범위	내용
수확 및 전정 시스템 시작기 개발	안테나접이식, 와이어 구동식, 알루미늄 프로파일을 이용한 경량화 머니플레이터의 개발로 원통형 좌표계를 이용한 무게중심이 낮은 저가의 수확 및 전정 시스템 시작기 개발
감수확 연속이송장치 시작기 개발	머니플레이터가 수확지점에서 지상으로, 다시 지상에서 다음 수확위치로 이동하는 동작을 생략하여 수확작업의 작업효율을 높일 수 있도록 수확 감나무가지들 엔드이펙터에서 지상으로 연속으로 이송시키는 와이어 구동방식의 연속이송장치의 시작기 개발
머니플레이터 지지대 및 이동용 작업대차 시작기 개발	경사 및 구릉지에서 수평 작업자세를 유지하여 전도, 전복위험을 방지하고 이동에 용이한 머니플레이터 지지 및 이동용 작업대차 시작기 개발
엔드이펙터 시작기 및 수확 및 전정시스템 구동 제어시스템 시작기 개발	가지째 수확이 가능하고 정확한 수확위치 접근이 불필요한 가지유인장치를 이용한 엔드이펙터 시작기 개발, AVR마이크로 컨트롤러를 이용한 구동 제어시스템 시작기 개발

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구에서 높이 12m에 이르는 감을 수확할 수 있는 감 수확 및 전정 시스템을 개발하였다. 레이저 포인터로 목표물을 지시하면 자동으로 목표물 10cm 전방에 수확 및 전정용 엔드이펙터를 접근시키며 엔드이펙터 상부에 설치된 무선 카메라로 수확위치를 작업자가 확인하며 조이스틱으로 수확물에 접근하여 수확 및 전정하는 시스템으로 개발되었다. 수확된 감은 연속이송장치에 의하여 작업대차의 수확상자로 이송되며 수확 시스템은 계속 수확작업을 할수록 연속이송장치가 개발되었다. 본 시스템은 기존의 인력에 의한 장대를 사용한 높은 위치의 감 수확 방법에 비하여 수확물을 지상에 내려놓고 다시 다음 수확물로 이동하는 작업을 생략할 수 있으므로 수확작업속도가 최소한 2배로 향상되었다. 이는 기존의 로봇을 이용한 과수 수확작업이 작업환경의 다양성으로 인하여 인력에 의한 수확속도에 못 미치는 사실에 비하면 고무적인 시스템으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 개발된 감 수확 및 전정 시스템은 안테나접이식으로 설계되어 인접 머니플레이터 관절사이에 마찰 문제로 작업속도 증대에 제한 요인으로 작용하는 것으로 나타났다. 본 연구의 수확 및 전정시스템의 실용화를 위하여 이와 같은 문제를 수정 보완하는 연구가 필요하다.

SUMMARY

A harvesting and pruning system for persimmon was developed that has the following characteristics:

- 1) It is a cylindrical coordinates system with telescopic booms as its horizontal and vertical manipulators.
- 2) The work space in cylindrical coordinate system is 150 to 350 cm in radial, 200 to 1,200 m in vertical and - 22.5 to + 22.5 degrees in horizontal.
- 3) The algorithm for the harvesting and pruning system is from the top to bottom and the first movement to the target is done by automatic control using razer range finder with accuracy of 3 mm.
- 4) Tree branch with persimmon is harvested and conveyed to the collecting box on the base vehicle using wire conveyor without having the endeffector put the harvested object to the ground and then move to the next target. which can double the productivity.
- 5) The driving mechanism of manipulators is using stainless steel wires to make the manipulator lighter and then making the center of gravity of the system. This would increase the stability of the vehicle at the inclined field.

여 백

CONTENTS

Chapter 1. Summary of Research	13
Section 1. Objectives	13
1. Final Objective	13
2. Sub Objective	13
3. Need of Research	14
Chapter 2. State of Arts	18
Section 1. State of Arts	18
1. State of Arts – Domestic	18
2. State of Arts – Foreign	19
3. Prospects	19
Chapter 3. Methods and Results	20
Section 1. Working Model Design	20
1. Characteristics of shape and field of persimmon tree	20
2. Algorithm for Harvesting and Pruning	24
3. Mechanism of Target Approach	27
4. Mechanism of Targer Hooking	29
5. Mechanism of Endeffector	30
6. Mechanism of Conveyor	33
7. Cylindrical Coordinate System of Manipulator	34
Section 2. System Design	35
1. Telescopic Boom Type Manipulators	35
2. Driving Gear for Manipulators	39
3. Determination of Target Point	41

4. Control and Driving System	43
5. Base Vehicle for Harvesting and Pruning System	46
Section 3. Prototype System Development	47
1. Telescopic Boom Type Manipulator	47
2. Endeffector and Hooker	49
3. Driving Gear of Manipulator	52
4. Target Pointer	56
5. Persimmon Conveyor	58
6. Remote Monitoring of Target Positioning	59
7. Base Vehicle	60
Chapter 4. Achievement and Contribution	64
Chapter 5. Plan for Application	68
Chapter 6. Foreign Technologies	71
Chapter 7. References	72

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	13
제 1 절 연구 목표	13
1. 최종 연구 목표	13
2. 연구개발 세부 목표	13
3. 연구개발의 필요성	14
제 2 장 국내외 기술개발 현황	18
제 1 절 국내외 기술개발 현황	18
1. 국내 기술 현황	18
2. 국외 기술 현황	19
3. 향후 전망	19
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	20
제 1 절 감 수확 및 전정 시스템 작업 모델 개발	20
1. 짧은감나무의 수형 및 산재형태	20
2. 수확 및 전정 작업 알고리즘 개발	24
3. 수확위치 결정 시스템 개념 설계	27
4. 수확가지 유인장치 작동 개념 설계	29
5. 수확 및 전정용 엔드이펙터 작동 개념 설계	30
6. 수확가지 연속이송장치 작동 개념 설계	33
7. 원통형좌표계 머니플래이터 작동 개념 설계	34
제 2 절 감 수확 및 전정 시스템 설계	35
1. 안테나 접이식 머니플래이터 관절 설계	35
2. 머니플래이터 구동장치 설계	39

3. 수확위치 결정 장치 설계	41
4. 수확 및 전정 시스템 제어 장치 설계	43
5. 수확 및 전정 작업대차 설계	46
제 3 절 감 수확 및 전정시스템 시스템 개발	47
1. 안테나 접이식 머니플레이터	47
2. 엔드이펙터 및 유인장치	49
3. 머니플레이터 구동장치	52
4. 수확 및 전정 위치결정 장치	56
5. 수확물 연속 이송장치	58
6. 수확위치 무선 모니터링 장치	59
7. 수확 및 전정 작업 대차	60
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	64
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	68
제 1 절 기대효과	68
제 2 절 활용 방안	69
제 3 절 추가연구의 필요성	70
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	71
제 7 장 참고문헌	72

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구 목표

1. 최종 연구 목표

인간-로봇 보완형 구동-제어방식 실용적 감 수확 및 전정 시스템 개발.

2. 연구개발 세부 목표

- 감 수확 작업체계 설정 및 시스템 설계
 - 원통형 좌표계 로봇을 이용한 수확작업 체계 설정
 - 경량의 강화 알루미늄 재질의 로봇 머니플레이터의 구조 설계
 - 수확 및 전정용 엔드이펙터(선단작업장치)설계
 - 수확 감의 엔드이펙터에서 수확바구니로의 연속 이송장치 설계
 - 와이어를 이용한 머니플레이터와 연속 이송장치의 구동·제어 시스템 설계
 - 머니플레이터 지지 및 이동용 작업대 설계

- 감 수확 및 전정 시스템 시작기 제작
 - 원통형 좌표계 로봇 머니플레이터 시작기 제작
 - 수확 및 전정용 엔드이펙터(선단작업장치) 시작기 제작
 - 수확 감의 연속 이송장치 시작기 제작
 - 머니플레이터 구동·제어 시스템 시작기 제작
 - 연속이송장치의 구동·제어 시스템 시작기 제작
 - 머니플레이터 지지 및 이동용 작업대 시작기 제작

- 감 수확 및 전정 시스템의 성능 평가 및 개선
 - 수확 로봇 머니플레이터의 목표점 도달 성능평가
 - 엔드이펙터의 작업성능 평가
 - 연속 이송장치의 성능 평가
 - 수확시스템의 작업 자세 안정성·이동성 평가
 - 현장 적응시험을 통한 수확작업체계의 성능평가 및 개선

3. 연구개발의 필요성

1) 기술적 측면

과수작물의 수확환경은 나뭇가지의 형태, 크기, 높이 및 나뭇잎과 과수의 분포특성에 따라서 매우 변화가 크므로, 지적 판단 능력으로 변화하는 환경에 적응하는 작업을 수행하는 로봇을 필요로 한다. 그러나 기계시각과 인공지능과 같은 최신 기술을 도입한 고기능 로봇의 과수 수확작업에의 도입은 현 농업의 경제적 수익성과 영농규모를 고려하면 비현실적이다. 따라서 인간수준의 속도로 작업하고 구조가 간단하고 견고하고 저가인 로봇 개발이 과수작업용 로봇의 실용화에 대한 궁극적인 목표라고 할 수 있다.

기존의 로봇을 이용한 수확시스템 연구 및 개발은 로봇구조물의 중량과 구동모터의 용량의 제한으로 높은 위치의 과수를 수확하는 경우에 한계가 있으므로 인간이 수확 가능한 높이의 과수수확에 한정되었다. 작업자가 지상에서 또는 간단한 구조물을 이용하여 과수를 수확하는 경우를 비교하면 로봇을 이용한 수확작업은 작업속도 면에서 비효율적이다. 그러나 단감이나 귤과 같이 2 ~ 10여 m의 높이에 있는 과수의 수확작업은 인간의 작업속도에 근접하는 성능으로 개발이 가능하므로 장대나 사다리를 이용하는 중노동과 위험한 작업환경을 개선할 수 있는 수확시스템의 개발이 필요하다.

과수작물의 기계화에 걸림돌로 작용하는 대표적 요인 중 하나는 과수가 대부분 경사지나 산지에 분포해 있다는 것이다. 과실수확용 로봇이나 작업기의 중량과 무게중심은 과수에 접근하는 이동성이나 작업자세 안정성의 제한 요인이므로 중량이 가볍고 견고하며 이동에 용이한 구조의 수확기 개발이 필요하다.

다양한 작업환경에 적응할 수 있는 지적 능력, 과수작물에 용이한 접근성, 인간수준의 작업효율을 구비하고, 가볍고 견고하며 가격이 저렴한 수확용 로봇 시스템의 개발은 인간이 고도의 지능을 요구하는 작업만 지시하여 작동하는 인간·로봇 보완형 과실수확로봇으로 가능하므로, 알루미늄 재질의 경량이며, 10여 m의 높이 까지 접근할 수

있는 구조의 간단한 원통형 좌표계의 인간·로봇 보완형 로봇을 이용한 수확시스템의 개발이 필요하다.

2) 경제·산업적 측면

우리나라 2002년도 감 생산량은 단감이 20만 ton, 뽕은감이 7만5천 ton으로(농촌경제연구원, 농업전망 2003) 감나무의 수확작업은 주로 인력에 의존하고 있으며 전체작업시간 비 수확작업시간은 단감이 42시간/160시간/10a, 뽕은감이 46시간/102시간/10a로 다른 작업에 비하여 많은 비중을 차지한다(농촌진흥청, 1999, 작목별 노동투하시간). 또한 수확기간 중 작업인력의 확보가 곤란하므로 수확 인건비 상승으로 재배농가나 가공업체의 소득증대와 시장개방에 따른 국제경쟁력 제고에 큰 걸림돌이 되고 있다.

과수원 형태의 감나무가 아닌 일반 주거지역에 산재된 감나무는 전정과 같은 높이 제한 작업을 하지 않으므로 10여 m까지 높이의 나무가 많으며, 이와 같은 높이의 나무에 열리는 감을 수확할 수 있는 감 수확기계화는 높은 인건비의 대체로 수확비용을 절감하여 국내의 상품가치 및 일본으로 수출하는 감의 가격경쟁력을 제고하여 감 재배농가 및 가공업체에 소득증대에 기여할 수 있으므로, 감 수확 및 전정 시스템의 개발이 필요하다.

표 1-1. 감의 재배 규모

	생산량(ton)	재배 가구수	재배면적
단 감	249,207	50,669	23,724
뽕은감	86,203	23,818	8,693

자료: 농림부, 2003. 농업통계정보

표 1-2. 단감과 뿔은감의 작업별 노동투하시간

(시간/10a/1기작)

작업단계별	단감(경북)			뿔은감(경북)		
	계	자가노력	고용노력	계	자가노력	고용노력
병충해방제	14.3	13.2	1.1	11.4	11.4	-
정지전정	26.5	23.1	3.4	3.4	4.1	-
수확	41.5	27.4	14.1	46.2	24.6	21.6
선별포장	19.9	12.6	7.3	13.3	10.8	2.5
운반저장	6.3	5.5	0.8	4.9	4.9	-
기타	50.9	50.9	7.6	22.8	22.8	-
계	159.5	125.1	34.4	102.7	78.6	24.0

자료: 농촌진흥청. 1999. 작목별 노동투하시간.

3) 사회·문화적 측면

과수원 형태의 감 재배농가는 감나무의 수형을 수확작업에 적절하게 유지시키기 위하여 전정을 하므로 비교적 수확조건이 양호하다. 그러나 경북지역의 감나무는 집안 또는 농가 주변의 빈 공간에 감나무 묘목을 심는 특성으로 농가 및 주거지 주변에 산재하여 있으며, 전정 및 기타 관리를 하지 않아 대부분의 감나무의 크기가 높이 4 ~ 10여 m로 수확작업이 어렵다. 감나무는 재질이 단단하고 탄력이 없기 때문에 부러지기 쉬워 수확작업 시 감나무에 올라서 수확하는 것이 위험하므로 장대나 사다리를 이용하여 수확한다. 경북의 감나무 서식지역은 비교적 경사가 완만한 특성이 있다.

경북지역의 꾀감가공업체는 경북지역에 산재한 감나무를 감나무 소유자와 1년 단위로 계약하고, 수확기에 적게는 4 ~ 5명, 많게는 10 ~ 15명이 조를 형성하여 수확하여 집하장에 보관한다. 집하된 감은 그림 1-1에서 보는 바와 같은 감 가공공장에서 지역주민의 노동력을 이용하여 반자동화된 감박피기로 박피한 감을 그림 1-2와 같이 줄에 엮어 자연 건조, 꾀감으로 가공하여 수억 원대의 수익을 올리는 것으로 추정된다. 이 과정에서 꾀감가공업자는 지역 주민에게 농가부업을 제공하고 지역 유지의 역할을

유지한다.

따라서 10여 m 높이의 감을 수확할 수 있는 시스템이 개발되면 장대나 사다리를 이용하는 증노동과 위험한 작업환경을 개선할 수 있고, 수확비용을 절감할 수 있어서 지역의 농업소득 증대에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.



그림 1-1. 꽃감 가공공장

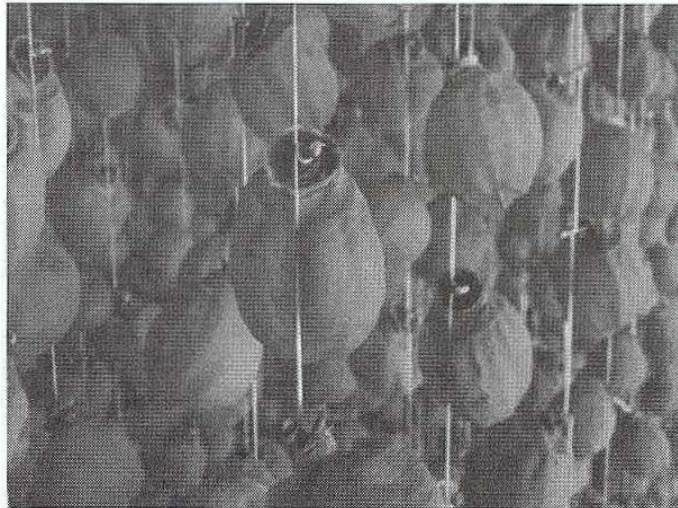


그림 1-2. 꽃감 가공공정

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술 현황

과일 및 채소류 수확용 로봇시스템에 관한 연구·개발로 멜론(O'brien 등, 1971), 감귤(Eden 등, 1990), 버섯(Reed 등, 1992), 방울토마토(Kendo 등, 1996), 토마토(Kendo 등, 1996), 딸기(Kendo 등, 1998), 상추(신동준, 1999; 장성주, 2000), 사과(장익주, 2000), 수박(Sakai 등, 2000)이 있으며, 주로 기계시각과 자동화 장치를 이용한 수확시스템을 개발하였다.

기타 1999년 전북대학교에서 개발한 감수확기는 작업차량에 부착된 작업대를 상승시켜 그 위에서 작업자가 손으로 수확하거나 수확기를 손으로 잡고 조작하는 형태의 것이었으며, 2002년 충남대학교에서 개발한 대추 수확기는 비교적 손상에 저항이 큰 대추의 특성을 이용한 충격식 수확기로 과수용 수확기와는 거리가 멀다.

현재까지 개발된 과실 수확용 로봇 시스템의 공통된 문제점들은 머니플레이터의 무거운 중량과 과실의 수확위치 결정 장비 및 기술의 높은 비용, 인간 대비 낮은 작업속도로 대표되며 이는 과수농업의 생산규모나 수익성에 비추어 실용화에 가장 큰 걸림돌로 작용하며, 수확 높이가 10여 m에 이르는 과수의 수확시스템은 전무한 실정이다.

과수원에서 전정으로 과수의 높이를 제한하는 3 ~ 4 m의 작업 높이뿐만 아니라 일반 농가나 농가주변에 산재하여 있는 10여 m에 이르는 높이의 감을 수확하거나 전정을 하는 작업에 기존 개념의 로봇을 적용하려면 머니플레이터와 그 구동장치의 자중만 고려해도 이동성 및 자세 안정성이나 구동장치의 용량 및 경제성의 문제로, 기존 개념 로봇의 감 수확 및 전정 시스템에 대한 적용은 불가할 것으로 판단된다.

2. 국외 기술 현황

본 연구의 감 수확 및 전정 시스템은 2 ~ 10여 m 높이의 감을 로봇을 이용하여 수확하는 것으로 이와 같은 기술은 유사한 개념의 장치도 국내외에서 개발된 전례가 없다. 따라서 기술도입은 필요 없을 것으로 판단된다.

3. 향후 전망

농업 노동력의 고령화와 노동인구의 감소 및 임금의 상승은 지속될 것이다. 따라서 수확작업의 기계화의 필요성은 계속 증대될 것이다. 값비싼 기계시각장치나 인공지능을 이용한 수확작업시스템을 대체하여 작업자의 경험과 지식으로 지시되어 작동하고, 2 ~ 10여 m의 높이까지 수확할 수 있는 경량의 수확시스템을 개발하면 이동성 및 안정성이 향상되고, 궁극적으로 경제적으로 부담할 수 있는 실용적인 수확시스템으로 보급될 것으로 판단된다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 감 수확 및 전정 시스템 작업 모델 개발

1. 짧은감나무의 수형 및 산재형태

과수원 형태의 감 재배농가는 포장의 경사가 비교적 완만하고 감나무의 수형을 수확작업에 적절하게 유지시키기 위하여 전정을 하므로 비교적 수확조건이 양호하다. 그러나 경북지역의 감나무는 그림 3-1에서 보는 바와 같이 집안 또는 농가 주변의 빈 공간에 감나무 묘목을 심는 특성으로 농가 및 주거지 주변에 산재하여 있으며, 전정 및 기타 관리를 하지 않아 대부분의 감나무의 크기가 높이 4 ~ 10여 m로 수확작업이 어렵다. 경북지역의 감나무 서식지역은 다음 그림에서 보는 바와 같이 비교적 경사가 완만한 특성이 있다. 따라서 감 수확 및 전정시스템은 높이 12m까지 접근 가능하고 경사 지에서도 전도 전복의 위험 없이 작업할 수 있도록 작업대의 수평유지 장치가 고려되어야 한다.



그림 3-1. 농가 주변에 산재한 감나무

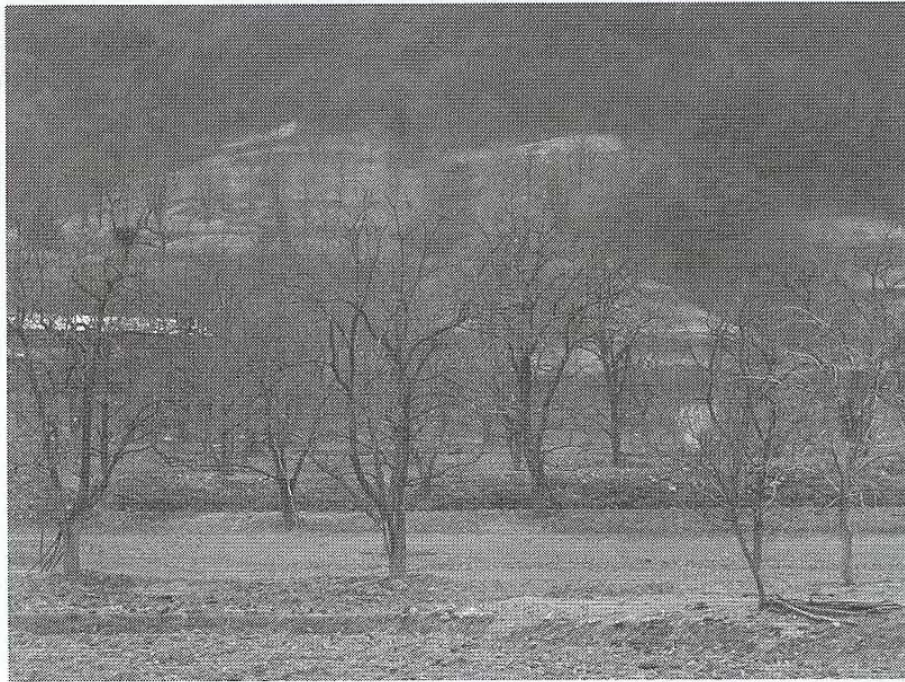


그림 3-2. 유희지에 산재한 감나무

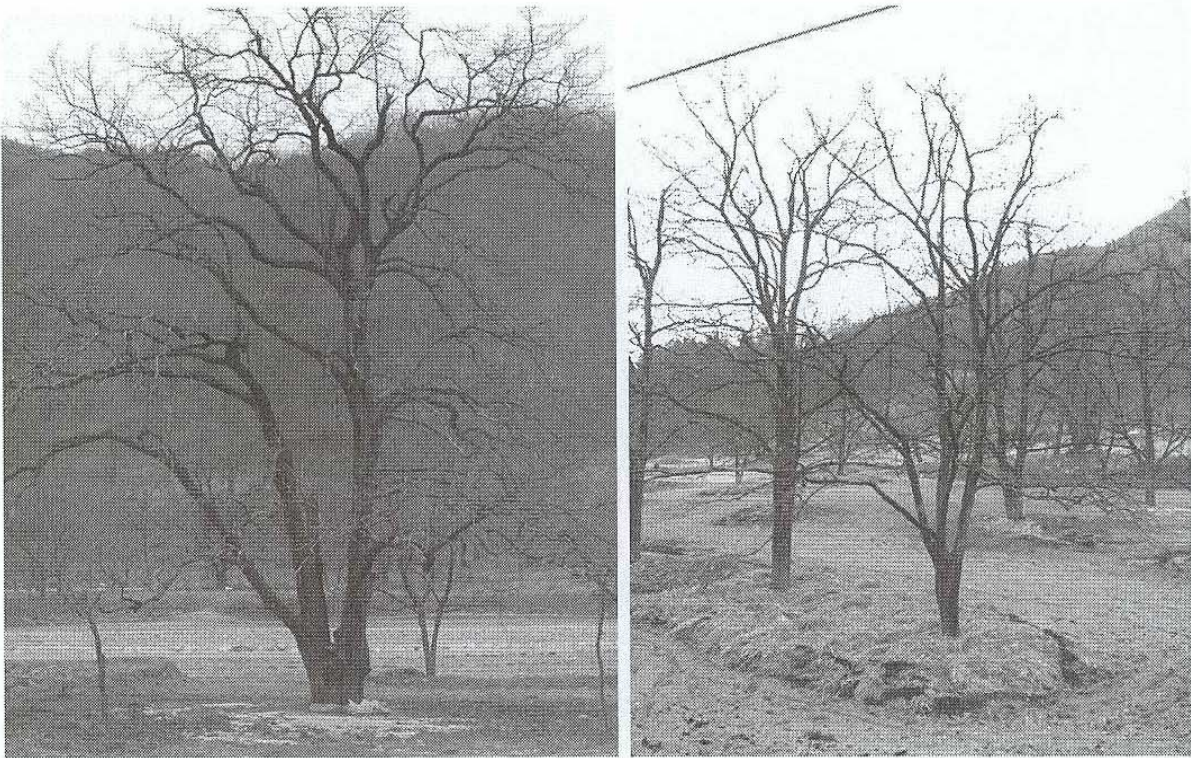


그림 3-3. 유희지에 산재한 높은 수고의 감나무 및 과수원형태의 감나무

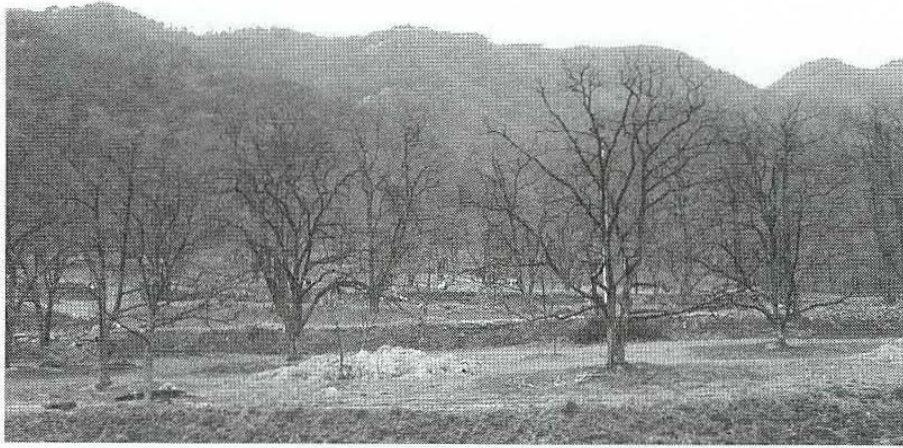


그림 3-4. 완만한 경사지에 산재한 감나무



그림 3-5. 경사지에 산재한 감나무

나. 감의 결과(結果) 특성

감나무는 1년생 가지에서 결과(結果)하므로 작업자가 손으로 수확할 수 없는 높이의 감을 수확하는 경우에 장대나 간단한 구조물을 이용하여 감이 3~5 개의 감이 열린 가지를 꺾어 수확한다. 다음 그림 3-6 및 3-7에서 보는 바와 같이 감이 2~3년생 가지에서 자란 1년생 가지에 감이 열리며 감의 자중으로 가지가 대부분 지면 방향으로 처지게 된다. 따라서 본 연구의 수확작업도 지면으로 향한 감이 열린 가지의 상단을 전정하여 수확하는 것을 기본으로 하였다.



그림 3-6. 감의 결과(結果)가지 형태

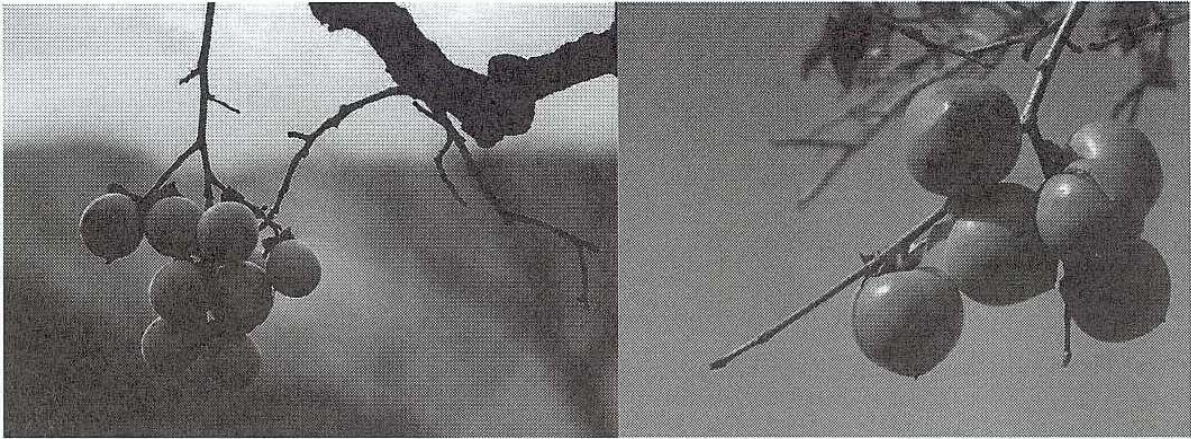


그림 3-7. 감의 결과(結果)가지 형태

2. 수확 및 전정 작업 알고리즘 개발

가. 수확작업 모델 설정

지상에서 작업자의 작업공간 안에 있거나 간단한 구조물로 이용하여 접근할 수 있는 공간의 감에 대하여 로봇과 인간의 수확 및 전정 작업속도를 비교하면 대상 감나무의 환경요인의 다양한 변수로 작용하는 로봇이 인간의 작업속도를 따라가지 못하는 것이 일반적인 실정이다. 따라서 본 연구의 감 수확·전정 시스템은 작업자가 간단한 구조물을 이용하여 수확할 수 있는 위치의 감은 작업자 인력으로 수확하고 그 이상의 높은 위치에 있는 감을 수확하는 것을 목표로 하고 있다. 따라서 작업자의 평균신장 170 cm, 간단한 구조물의 높이를 70 cm로 가정하여 240 cm 이상의 높이의 감을 수확대상으로 결정하였다. 또한 초기 수확목표의 위치를 감나무의 최상단에 위치한 것으로 설정하여 감나무의 상부에서 하부로 내려오는 방식을 채택하였다. 작업영역은 그림 3-8에서 보는 바와 같이 수직방향 200 ~ 1200 cm, 직경방향 150 ~ 350 cm, 수평 회전각 $-22.5 \sim +22.5^\circ$ 로 설정하였다.

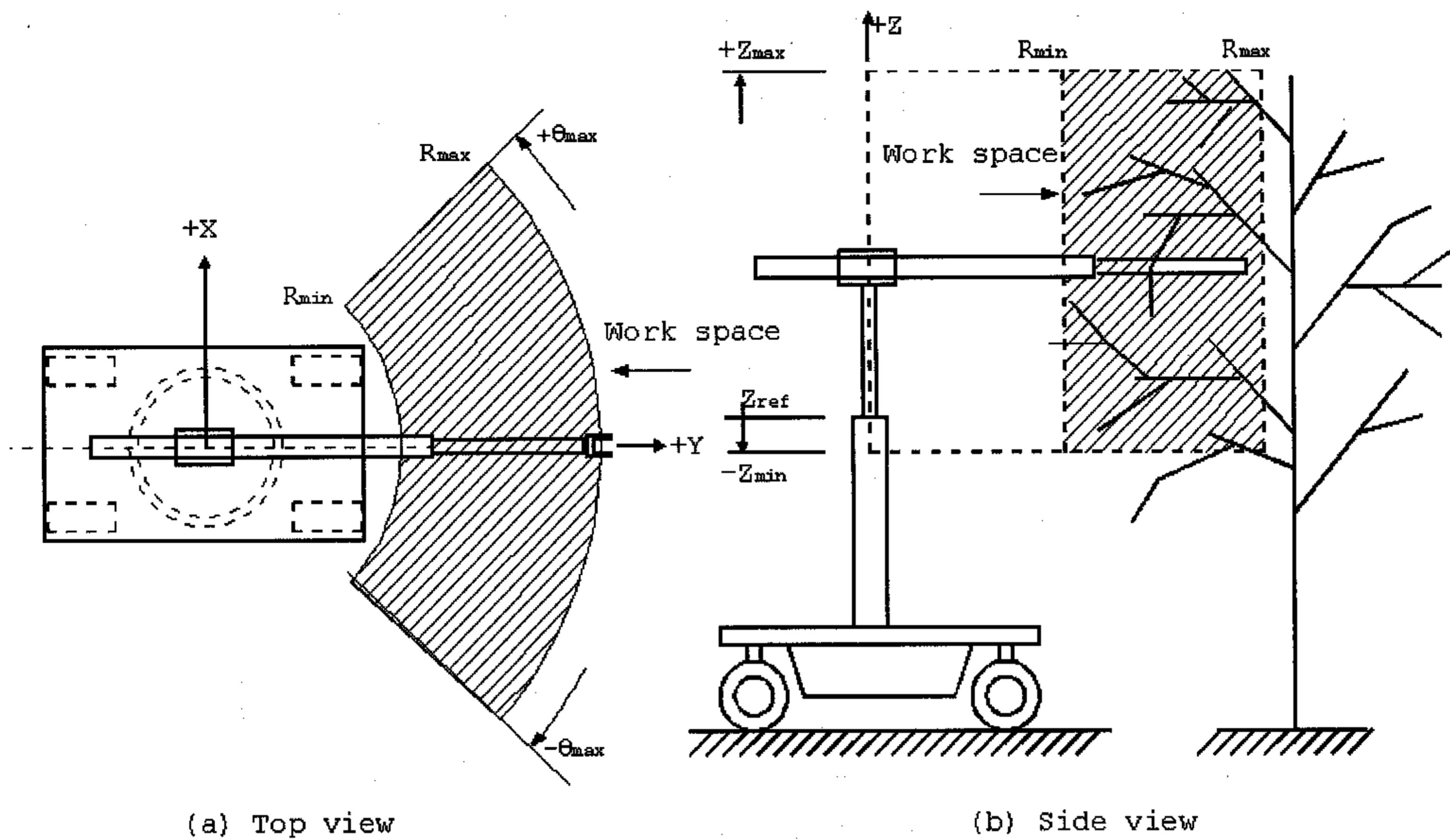


그림 3-8. 수확·전정 시스템의 원통좌표계 머니플레이터의 작업영역

감의 수확·전정 작업을 수행할 수 있는 시스템을 개발하기 위하여 다음과 같이 수확·전정 작업 시스템 모델을 설정하였다.

수확 작업 시 작업시스템은 그림 3-9에서 보는 작업개념도와 같은 순서로 작동된다. 작업자가 초기 수확·전정 목표물을 레이저 거리계(ranger)로 조준하면 레이저광이 초기작업 목표물에 투사(1), 반사되어(2) 거리를 측정하며 레이저거리계에 장착된 수평 및 수직각도계(angle encoder)로 수평 및 수직각을 측정한다. 측정값은 주 제어장치로 전송되며(3) 주 제어장치는 초기 목표물까지 와이어 구동제어장치를 사용하여(4) 머니플레이터를 수직, 수평이동 및 회전시키며 초기 목표물 근방 10cm 위치까지 엔드이펙터를 자동으로 접근시킨다(5). 엔드이펙터에 설치된 무선 ccd 카메라로 목표물의 영상 정보를 수신기로 전송한다(6). 작업자는 모니터로(7) 엔드이펙터와 목표물의 위치를 관찰한다(8), 작업자가 조이스틱을 이용하여(9) 작업 조건에 적절하게 주 제어장치로(10) 머니플레이터의 조작하여 (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10) 과정을 통하여 엔드이펙터를 수확목표물의 가지까지 접근시키고 절단한다. 작업자는 조이스틱을 조작하거나 또는 레이저 거리계를 이용하여 다음 목표물 위치로 엔드이펙터를 자동 접근시키고 수확작업

을 계속 수행하며 수확된 감나무 가지는 연속이송장치로 작업지지대에 위치한 수확상자로 이송된다. 전정작업시 가지는 자유낙하시킨다.

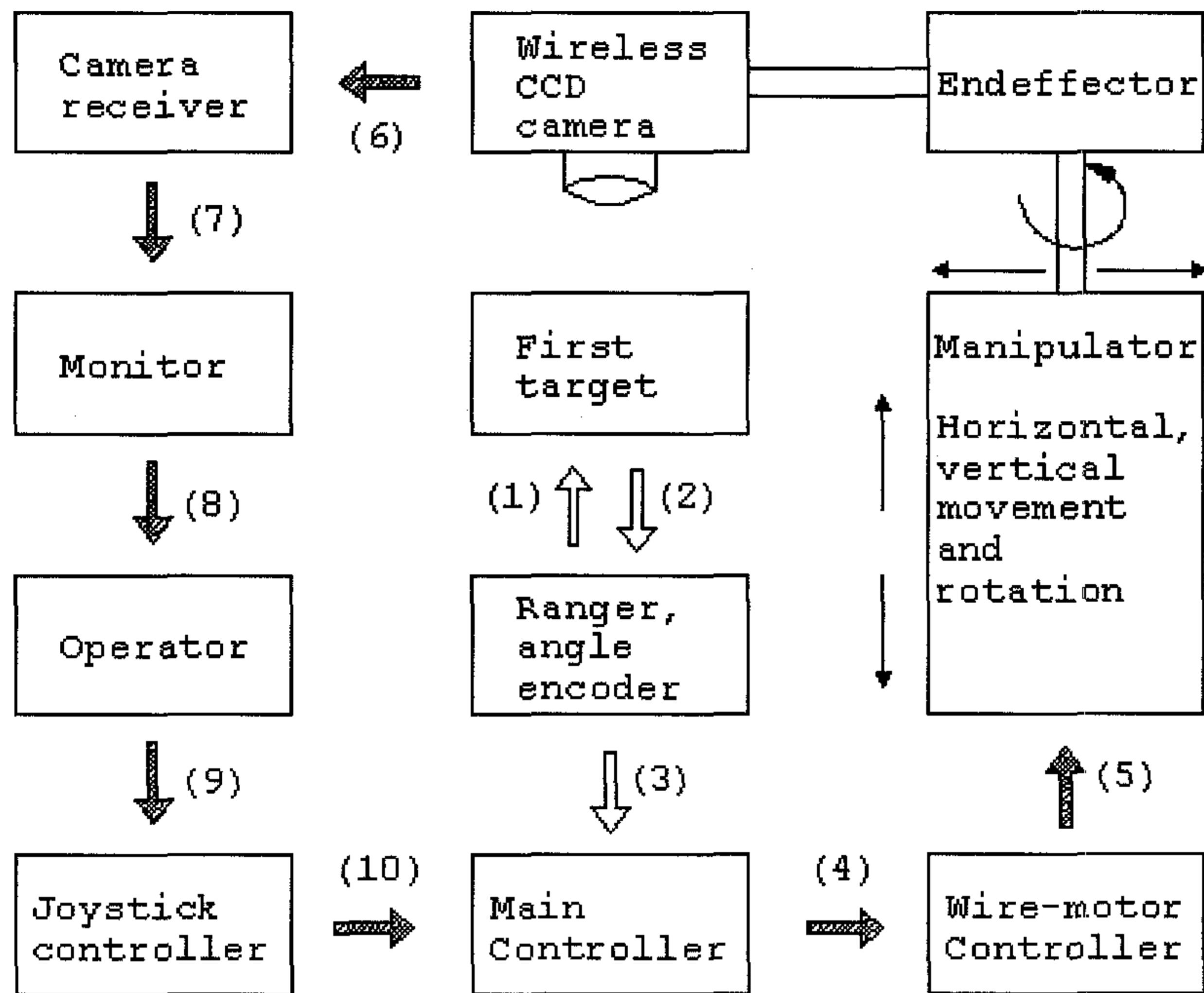


그림 3-9. 감 수확 및 전정시스템 작업개념도

본 연구에서 사용하는 머니플레이터는 안테나접이식으로 제일 중심에 있는 관절부터 밖으로 인접한 관절의 순서로 상부를 향하여 펼쳐지게 된다. 따라서 초기 최상단에 있는 목표물까지 자동으로 접근하고 같은 높이에 있는 수확 목표물을 좌에서 우로 그리고 다음 하부 목표물로 접근한다. 이와 같은 순서로 수확작업을 하면 조이스틱으로 작업자가 머니플레이터를 조작할 때, 하부에서 상부로 이동시킬 때보다 상부에서 하부로 이동시킬 때 와이어 구동 부하가 적게 걸리고 작업 효율이 높다.

3. 수확위치 결정 시스템 개념 설계

감 수확·전정시스템은 초기 수확물의 위치까지 엔드이펙터를 자동으로 접근시키기 위하여 그림 3-10과 같이 수확목표물의 위치를 결정할 수 있도록 수확위치 결정시스템의 개념을 설계하였다. 최종 수확위치는 엔드이펙터에 설치된 무선 카메라를 이용하여 수확위치가 모니터 정 중앙에 위치하도록 수동으로 조정하도록 설계하였다. 수확 및 전정 작업 초기에 레이저 포인터로 감나무 최상단의 수확목표물을 조준하여 목표물까지의 거리를 측정하고, 레이저거리계의 수평위치에서의 기울기 각도와 수확 및 전정 시스템 대차의 정방향과 레이저포인터 사이의 회전각을 측정한 후 삼각법을 이용하여 머니플레이터의 수직방향 이동거리와 수평방향의 이동거리 및 시스템 대차의 정방향에서의 수직 머니플레이터 회전방향을 결정하였으며 그 결정과정은 그림 3-11에 도시하였다. 레이저 거리계(laser range finder)는 수확물까지의 직선거리를 측정하고, 기울기 각도 및 회전각도는 로터리엔코더(rotary encoder)로 측정하도록 시스템을 구성하였다.

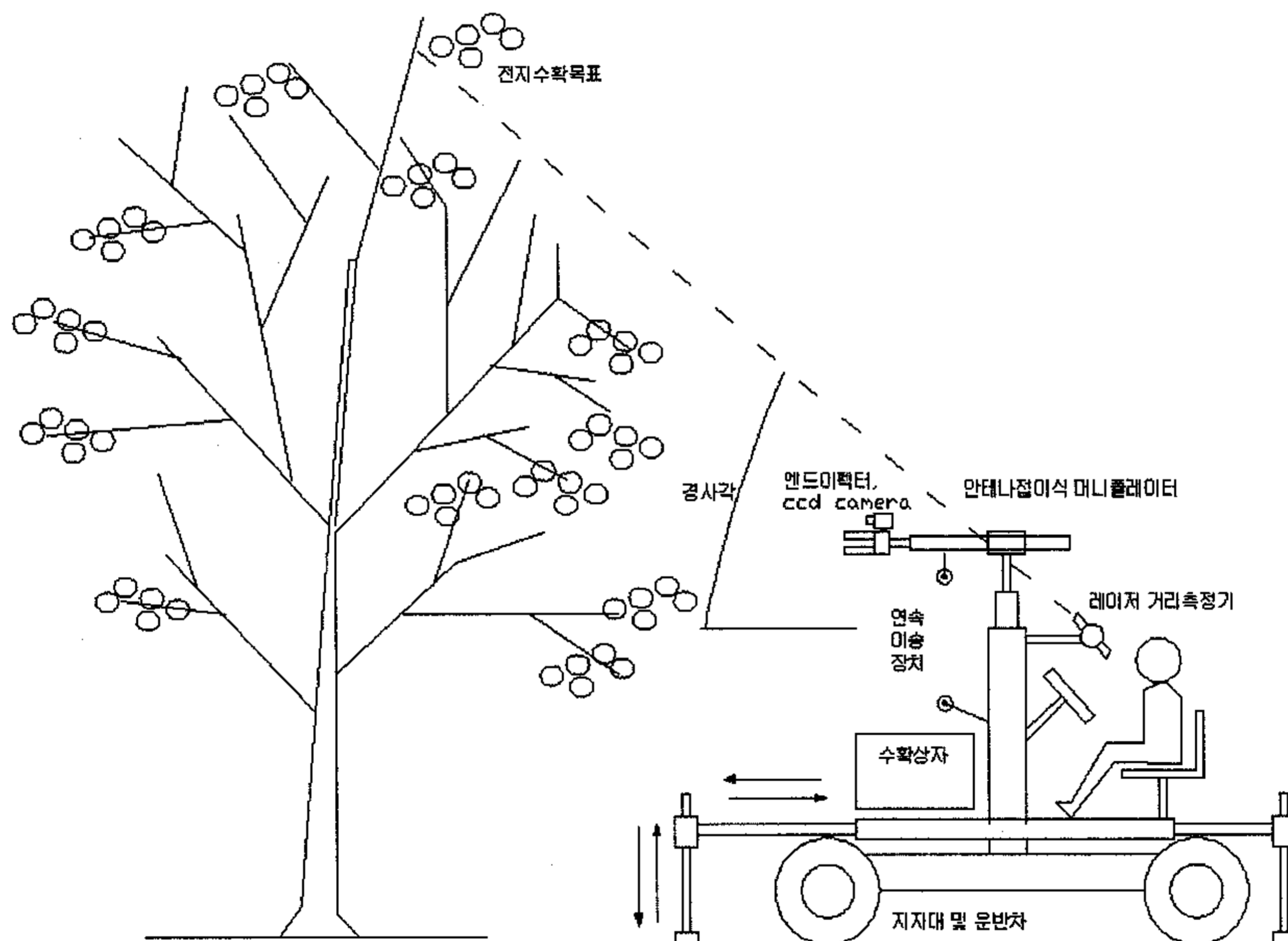
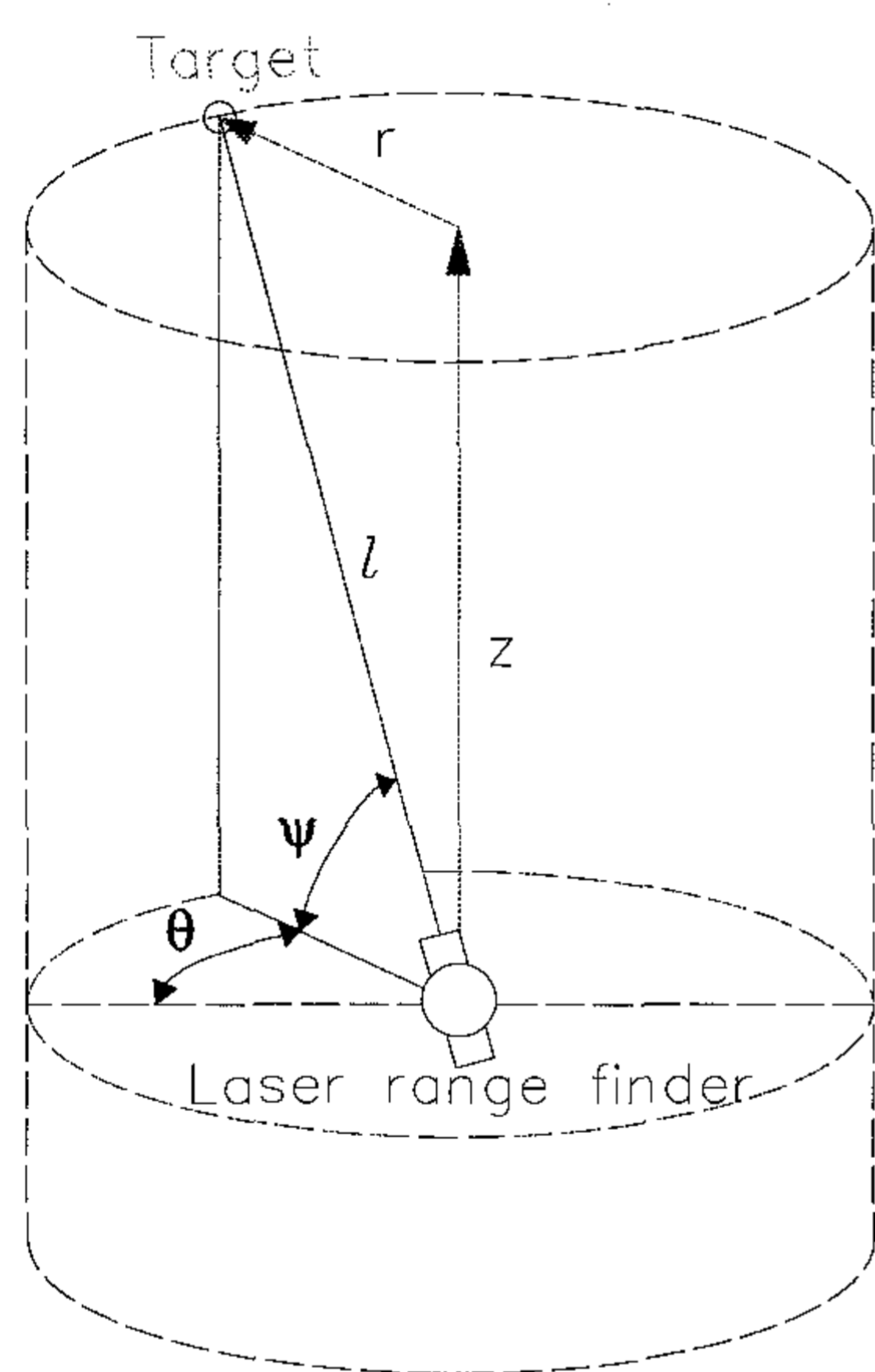


그림 3-10. 수확위치 결정 시스템 작동 개념도

머니플레이터의 초기 수확위치까지의 자동 접근 동작은 레이저 거리계와 수평 및 수직각도 측정장치에서 주 제어장치로 입력되는 원주각도(θ), 경사각도(ψ) 및 측정거리(l)값의 관계로 머니플레이터의 작동거리를 결정하는데 사용한다. 그림 3-11에서 레이저 거리계의 수평면에 표시된 수평점선은 수확 및 전정시스템 대차의 정면방향을 나타낸다. 머니플레이터의 수직방향(z) 및 반경방향(r)의 이동거리는 그림 3-11의 z 와 r 의 관계식으로 결정할 수 있다.



$$z = l \sin(\psi)$$

$$r = l \cos(\psi)$$

그림 3-11. 수확위치 결정시스템의 위치 결정 개념도

4. 수확가지 유인장치 작동 개념 설계

수확 및 전정 시스템의 엔드이펙터를 수확 목표물의 정확한 위치에 이동시키는 것은 매우 어려운 작업이다. 수확물이 바람에 의하여 움직이는 경우에는 더 작업이 어려워진다. 따라서 엔드이펙터를 정확한 목표 감나무가지 위치까지 이동시키고 감나무가지를 잡아서 자르는 작업은 매우 복잡한 조작성이 필요하므로 숙련된 작동자가 아니면 사용하기 불편하거나 조작성이 곤란하다. 따라서 본 연구에서 엔드이펙터를 정확한 수확위치까지 접근시키는 머니플레이터 조작성을 최소화하는 부속장치(수확물 유인장치)를 설계된 엔드이펙터에 장착하였다.

수확물 유인장치는 목표 감나무 가지에 접근하여 엔드이펙터의 절단 및 그립부분까지 감나무가지를 잡아당겨 위치시키도록 설계하였다. 유인 거리는 20cm로 설계되었으며 작동 mechanism은 감나무 가지 부근에서 유인장치를 밀어주면 감나무가지가 폭 6cm 스프링 가이드판 안으로 밀려들어가 스프링 가이드 판이 다시 닫히고 유인장치 구조물이 수축하여 감나무가지를 엔드이펙터에 위치시키는 동작으로 구성된다.

그림 3-12는 감나무 가지에 유인장치를 밀어서 스프링 가이드 판 안에 넣고 당기는 동작을 설명한 것이다. 유인장치의 운동은 와이어구동식이며 최소 수축거리 5cm, 최대 신장길이는 20cm로 엔드이펙터의 상부에 장착되며, 유인장치 상부에 무선 ccd 카메라가 장착되어 유인장치의 목표 감나무 가지까지의 접근 과정을 모니터를 통하여 운전자가 관찰하며 유인작업을 하도록 설계하였다. 유인장치의 선단은 그림 3-12의 오른쪽 설명도에 보는 바와 같이 두께 1mm 강철스프링 판으로 서로 겹쳐지는 중심부의 반이 절개되어 유인장치를 목표 가지에 밀어 넣으면 절개부가 밀려 열리며 유인장치를 당길 때 폐곡선을 형성하여 가지가 폐곡선에 갇혀 당겨지게 된다. 그림 3-12는 Solidworks로 설계하여 가지유인 작업의 작동을 시뮬레이션하여 나타낸 것이다.

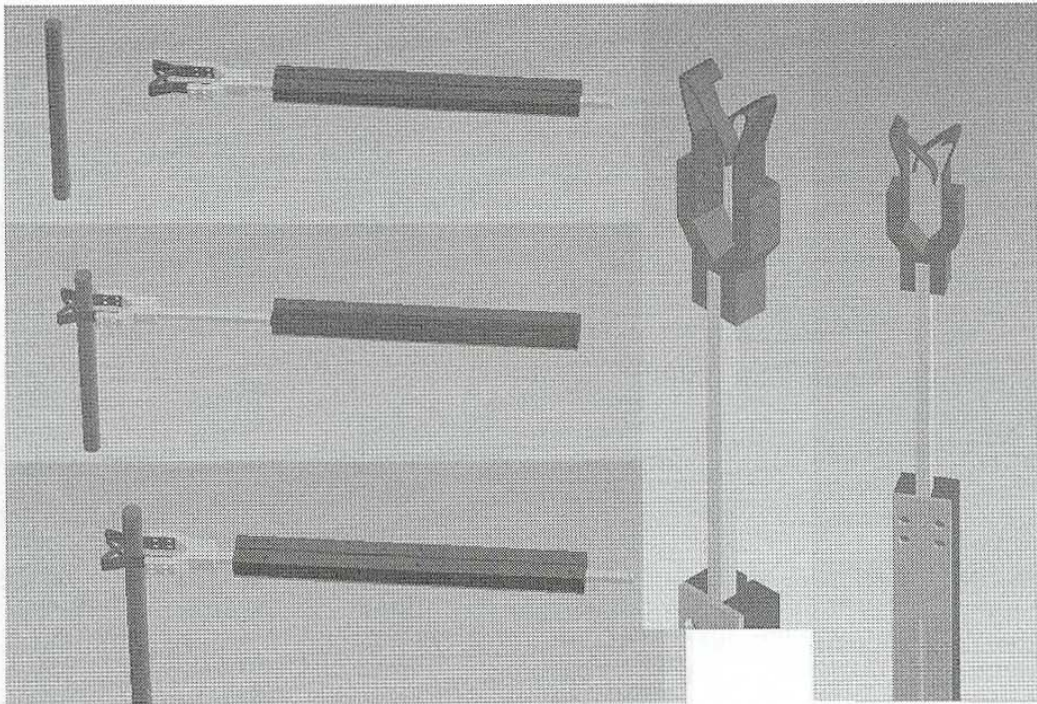


그림 3-12. 수확물 유인장치의 구조도 및 유인작업 개념도

5. 수확 및 전정용 엔드이펙터 작동 개념 설계

수확 및 전정용 엔드이펙터는 감나무가지를 잡아서 절단하고 연속이송장치에 연결해 주는 작업을 수행하도록 그림 3-13과 같이 설계되었다. 그림에서 목표 감나무 가지(T)를 감나무가지 유인장치가 당겨 오면 스프링으로 밀고 있는 엔드이펙터의 그립퍼(A)안으로 가지가 밀고 들어오며 스프링의 미는 힘으로 가지를 잡고 있게 된다. 이때 가지 절단날(C)의 양단을 와이어로 잡아당기면 좌우 양쪽의 칼날이 가지를 절단하고 유인장치에 갇혀 있던 가지는 가지의 탄력으로 빠져나가고 수확된 가지는 그립퍼(A)에 잡혀있게 된다. 그림에 표시되지 않았지만 좌우 칼날은 스프링에 의하여 다시 원위치로 복귀하며 엔드이펙터는 수확 감나무 가지를 연속 이송장치에 넘겨주고 다음 수확 작업을 시작한다. 그림 3-13은 Solidworks 프로그램을 이용하여 설계하였으며 가상 작동을 시뮬레이션으로 실행하였다.

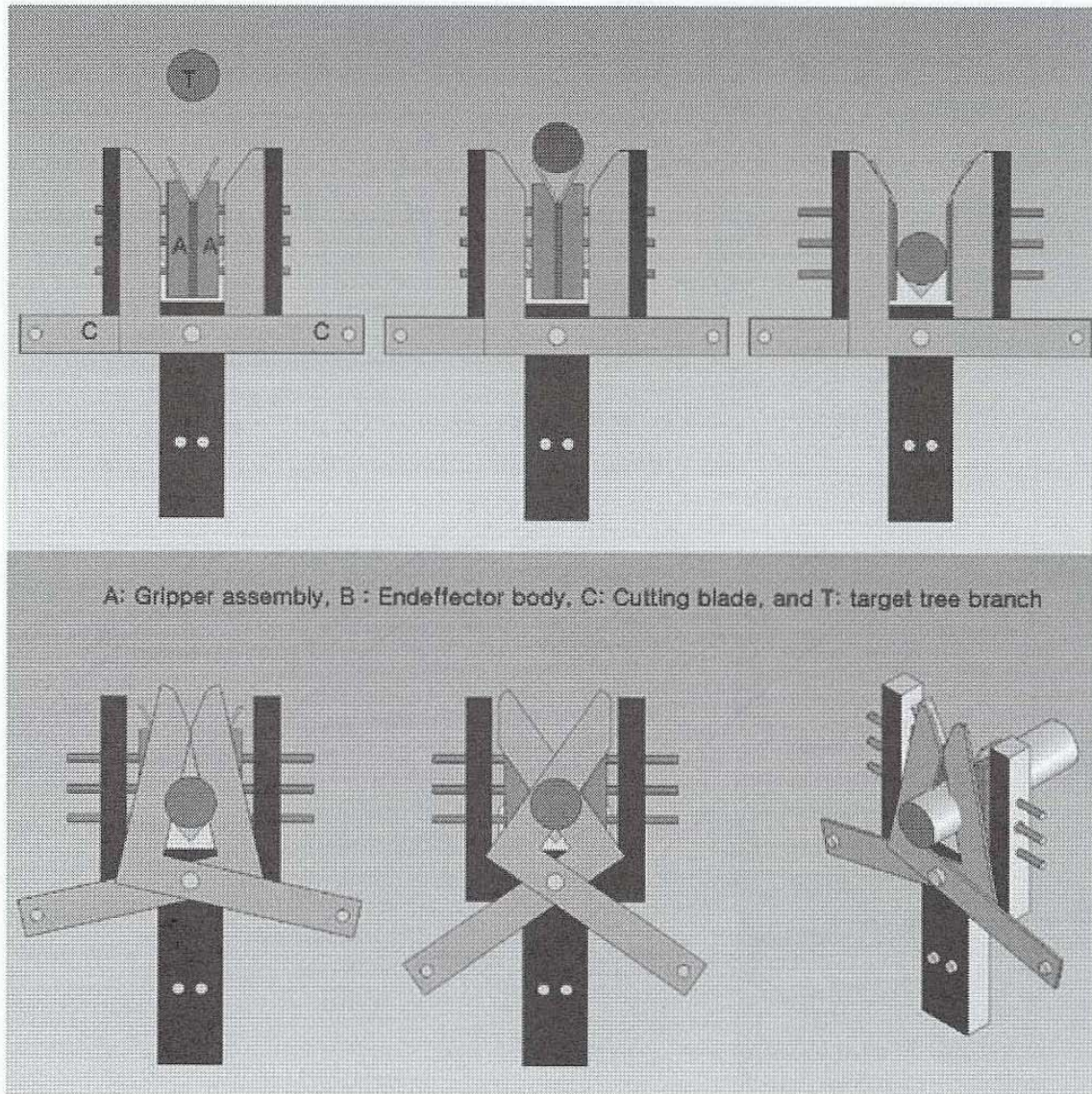


그림 3-13. 엔드이펙터의 구조도 및 절단작업 개념도

감나무 가지의 품종별 전단력을 측정하기 위하여 상주감시험장(경상북도 상주시, 경상북도 농업기술원)에서 감의 대표적 품종인 월하시, 동시 및 차랑의 나뭇가지를 년생별로, 1 년생, 2 년생 및 3 년생 가지를 공시재료로 구입하여 전단강도를 측정하였다. 전단강도 측정 장치는 Tiniusolsen사(영국)의 H10K-T 만능시험기를 사용하여 측정하였다. 전단응력은 동시가 가장 큰 것으로 나타났으며 월하시와 차랑은 차이가 없는 것으로 나타났다. 전단강도는 대체적으로 가지의 직경에 비례하여 증가하는 것으로 나타났으며 직경 10 ~ 17 mm의 가지에 대하여 전단강도는 744 ~ 2377.5 N의 범위로 나타났다. 감나무 가지의 함수율(% w.b.)은 40 ~ 47 %로 나타났으며 연수가 증가할수록 함수

율이 감소하는 것으로 나타났다.

표 3-1. 감가지의 품종 및 나이별 전단강도(전단속도 250mm/min)

품종	년생 (년)	직경, mm, 전단강도, N					전단응력, N/mm ²	
		직경, mm	10.1	12.2	11.1	11.3		11.0
월하시	1	전단력, N	744.0	1,365.0	1,056.3	1,272.0	922.0	10.9 (1.40)*
		직경, mm	12.4	11.7	14.8	13.3	16.5	10.5 (0.97)
	2	전단력, N	1,443.0	1,092.5	1,756.0	1,302.0	2,340.0	10.5 (0.47)
		직경, mm	17.3	15.3	16.4	16.0	16.5	11.5 (1.41)
	3	전단력, N	2,377.5	1,918.0	2,170.0	2,277.5	2,237.5	12.0 (0.60)
		직경, mm	13.6	15.9	15.1	16.5	17.0	12.2 (0.89)
등시	1	전단력, N	1,876.0	1,636.0	1,290.0	1,528.0	1,356.0	10.3 (0.68)
		직경, mm	11.8	13.1	11.3	13.5	13.0	10.3 (0.90)
	2	전단력, N	1,290.0	1,596.0	1,175.0	1,662.0	1,734.0	10.2 (0.63)
		직경, mm	13.0	12.8	12.9	13.7	12.5	10.3 (0.90)
	3	전단력, N	1,688.0	2,668.0	2,180.0	2,712.0	2,552.0	10.2 (0.63)
		직경, mm	16.5	15.7	16.0	15.6	14.3	10.2 (0.63)
차랑	1	전단력, N	1,502.0	1,254.0	1,272.0	1,576.0	1,236.3	10.3 (0.90)
		직경, mm	12.8	13.4	11.9	12.0	14.2	10.2 (0.63)
	2	전단력, N	1,491.0	1,327.5	1,128.8	1,220.0	1,514.0	10.2 (0.63)
		직경, mm	16.5	15.7	16.0	15.6	14.3	10.2 (0.63)
	3	전단력, N	2,000.0	1,998.0	1,976.0	2,057.5	1,742.0	10.2 (0.63)
		직경, mm	13.0	12.8	12.9	13.7	12.5	10.3 (0.68)

* Standard deviation

표 3-2. 감가지 나이별 함수율

품종	함수율	가지 년생, 년		
		1	2	3
차랑	함수율, % w.b.	47.2	44.1	42.0
등시	함수율, % w.b.	43.7	41.7	40.9
월하시	함수율, % w.b.	43.3	40.1	39.8

6. 수확가지 연속이송장치 작동 개념 설계

엔드이펙터가 수확한 감 수확가지를 감에 손상 없이 안전하게 지상으로 내려놓기 위한 작업을 생략하고 연속적으로 다음 수확작업을 수행할 수 있도록 수확물을 이송장치를 이용하여 작업차대 수확상자로 연속 이송하는 연속이송장치를 고안하였다. 재래의 장대를 이용한 수확방법은 수확물의 가지를 꺾고 지상에 내려놓은 후 다음 목표물로 장대를 위치시키고 수확작업을 수행한다. 따라서 연속이송장치를 사용하면 머니플레이터가 수확물을 지상에 내려놓는 동작이 생략되므로 작업속도가 최소한 2배 이상 향상시킬 수 있다. 연속이송장치의 작동 개념도는 다음 그림 3-14와 같이 설정하였다. 엔드이펙터가 수확한 감나무 가지를 수직머니플레이터에 설치된 수직 이송장치의 이송판 위에 놓으면 이송장치가 하부 끝단까지 이송시키며 이송판의 하단이 유도관에 의하여 수확상자로 기울어지게 되어 수확물이 수확상자에 미끄러져 들어가게 연속이송장치 작동 개념을 설정하였다. 엔드이펙터의 수평방향으로 이송장치를 설치하여 작동시키면 와이어를 이용한 이송장치의 경우 수확물의 자체 중량으로 와이어의 지지점 이외의 위치에서 처짐이 일어나고 하부 감나무 가지와의 간섭으로 이송 중 굽힘으로 인한 손상이나 이송작업에 부하로 작용해 원활한 이송작업이 어려울 것으로 판단되어 수확물의 수평방향의 이송은 머니플레이터의 반경방향 수축운동으로 수직방향 이송장치의 수확판에 목표물을 위치시키는 작동개념을 설계하였다.

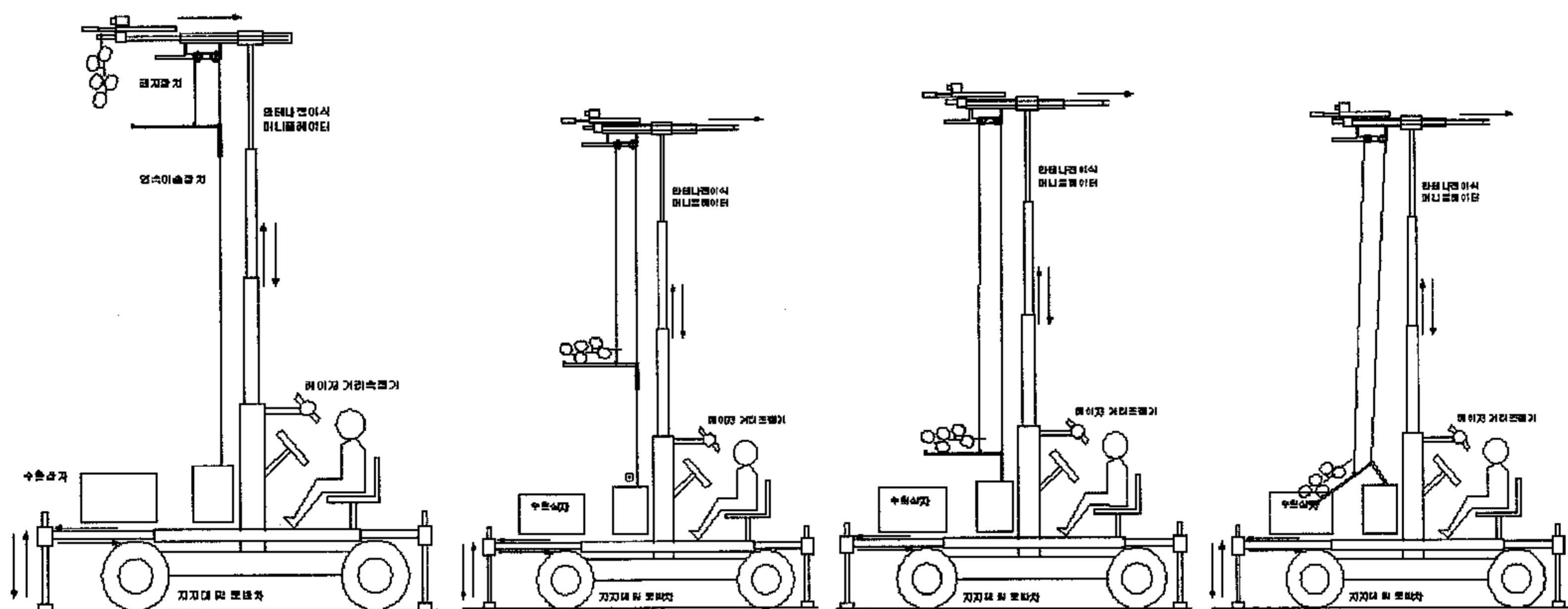


그림 3-14. 연속이송장치 시작품 제작도(상) 및 작동개념도(하)

7. 원통형좌표계 머니플레이터 작동 개념 설계

머니플레이터의 구동은 전기식, 유압식 및 공압식이 있으나, 유압식은 유압구동장치, 작동유의 유압펌프 및 구동 모터나 원동기 등 구성부의 중량이 무겁다. 따라서 기동성, 이동성이 떨어지며 가격이 고가인 단점이 있다. 공압식은 정확도가 낮고 제어가 어려우며 이동식 시스템인 경우 공기압축기와 구동 모터가 추가되어 이동성에 제한을 주는 단점이 있다. 전기식의 경우 작동 관절이나 팔에 구동모터를 사용하는 경우 모터의 자체하중으로 관절의 하중 부담이 커지며 연쇄적으로 더 큰 용량의 모터를 필요로 하므로 머니플레이터 하중이 증가하여 이동성이 제한되며 경사지 작업 시 작업자세 안정성에도 문제를 발생시킨다.

머니플레이터의 구동을 와이어로 하는 경우, 간단한 풀리와 와이어로 작동이 가능하므로 구동장치의 중량이 최소화된다. 머니플레이터의 구동장치에 대한 하중부담도 감소되면 하중에 요구되는 강성이 감소되므로 머니플레이터 구조물을 경량으로 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 와이어로 구동되는 관절의 수직 수평 및 회전관절을 설계하며 구동 와이어 제어는 DC motor 또는 간단한 원동기 동력을 사용한다. 수직 및 수평부의 머니플레이터의 작동은 와이어 구동식으로 하고 수직 머니플레이터의 회전운동은 수직머니플레이터 하부에 별도의 DC motor를 체인으로 구동하도록 원통형 좌표계의 작동 개념을 설정하였다.

제 2 절 감 수확 및 전정 시스템 설계

1. 감 수확 및 전정 시스템의 설계 요인

감 수확 및 전정 시스템의 설계요인을 다음과 같이 설정하였다.

- 높이 2 ~ 12m, 작업 반경 3m의 원통형 좌표계에서 작업할 수 있어야 한다.
- 이동이 용이하게 작업차량의 적재함 및 견인하여 이동할 수 있어야 한다.
- 머니플레이터를 와이어로 구동시킬 수 있도록 최대한 가볍게 해야 한다.
- 완만한 경사지에서도 전도 및 전복 위험이 없이 안정된 자세로 작업할 수 있어야 한다.
- 머니플레이터가 수확한 감가지의 최대하중 2kg을 지지할 수 있어야 한다.
- 머니플레이터의 작동은 수확 목표물까지 자동으로 그리고 세부 목표물까지의 이동은 간단한 조이스틱 조작으로 제어할 수 있어야 한다.
- 수확 및 전정 시스템 대차는 견인식으로 수확시스템 구동전원과 구동력을 발전기 또는 소형 엔진을 사용한다.
- 대차는 작업자가 앉아서 작업할 수 있는 구조로 엔드이펙터의 ccd카메라 영상을 감시할 수 있는 모니터와 시스템 제어 및 구동 장치, 연속이송장치에서 이송된 감나무 가지를 담는 상자를 탑재한다.

2. 안테나 접이식 머니플레이터 관절 설계

안테나 접이식 머니플레이터의 단면설계 조립도는 그림 3-15와 같다. 조립단면도는 Solidworks 프로그램을 이용하여 가상 조립하였다. 엔드이펙터의 작업영역 수직방향 200 ~ 1200 cm, 직경방향 150 ~ 350cm를 충족시키기 위한 머니플레이터의 관절 길이를 230cm로 설정하였으며, 수직관절 6개, 수평관절 3개로 구성하였다. 머니플레이터의 재질은 알루미늄 합금 6061을 선택하였으며 비중은 2700 kg/m^3 , 탄성계수 $6.9E10 \text{ N/m}^2$, 포아송비 0.33, 항복응력은 $5.515E07 \text{ N/m}^2$ 이다.

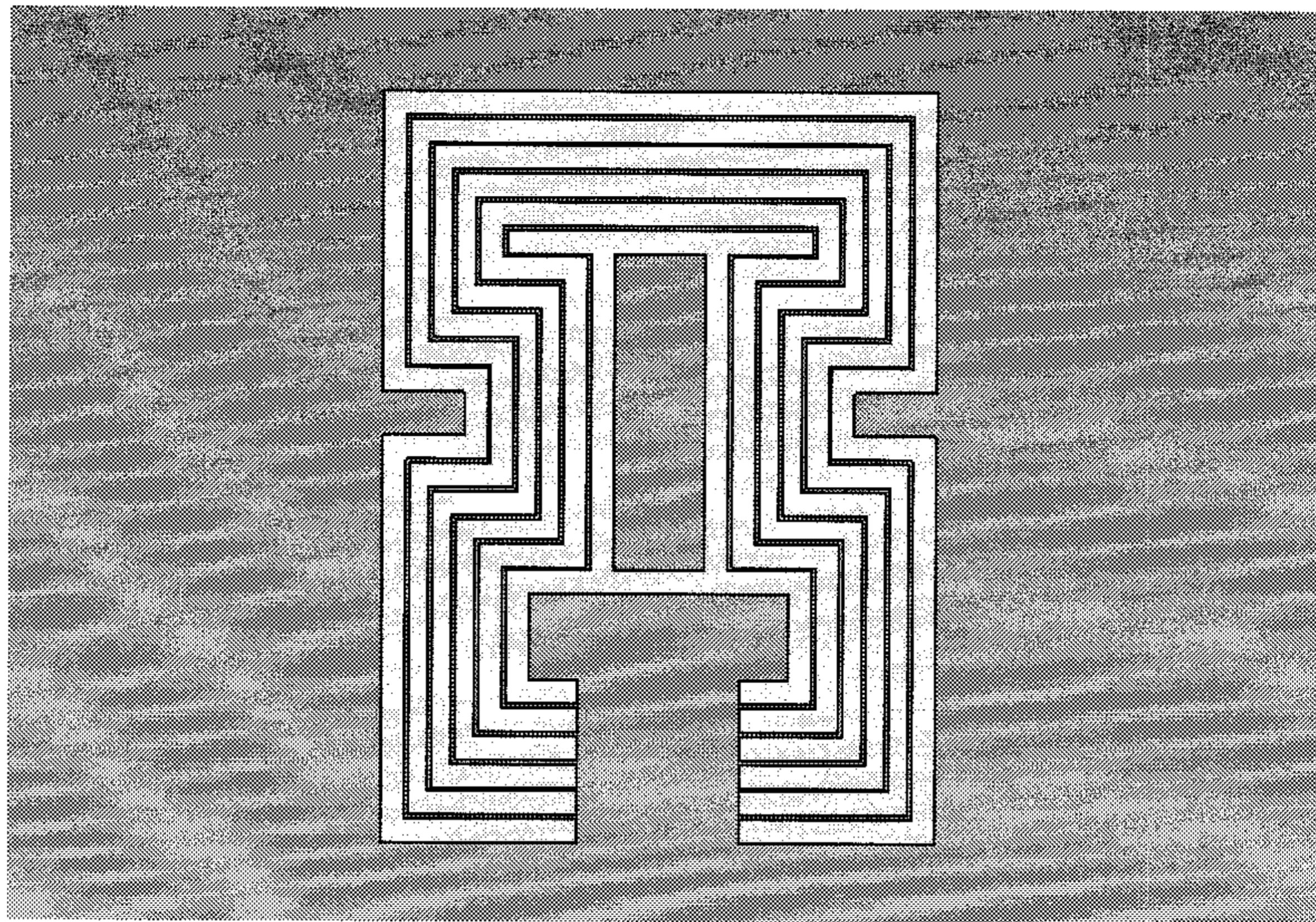


그림 3-15. 머니플레이터 관절의 단면 조립도

표 1. 수직방향(z-좌표)작동 머니플레이터의 사양

번호	단면적 (mm ²)	길이 (mm)	중량 (kg)*	극관성모멘트 (mm ⁴)	
				Mx	My
1	603.0	2,300	3.74	82002.75	243988.88
2	717.0	2,300	4.45	186171.75	375190.52
3	716.0	2,300	4.45	274132.67	471894.09
4	798.0	2,300	4.96	413392.25	627383.50
5	881.5	2,300	5.47	586672.71	820262.20
6	1029.0	2,300	6.39	898218.00	1128021.25
합계			29.46		

* 머니플레이터의 개체중량은 작동용 도르레 및 와이어와 체결부품의 중량은 포함되지 않음

표 2. 수평방향(r-좌표)작동 머니플레이터의 사양

번호	단면적 (mm ²)	길이 (mm)	중량 (kg)*	극관성모멘트 (mm ⁴)	
				Mx	My
1	603.0	1,500	2.44	82002.75	243988.88
2	717.0	1,500	2.90	186171.75	375190.52
3	716.0	1,500	2.90	274132.67	471894.09
합계			8.25		

* 머니플레이터의 개체중량은 작동용 도르래 및 와이어와 체결부품의 중량은 포함되지 않음

설계된 수직방향(z-좌표)작동 머니플레이터의 조립 단면도는 그림 3-16과 같다. 머니플레이터의 설계 및 작동 시뮬레이션에 Solidworks를 사용하였다. 머니플레이터의 구조의 이해를 돕기 위하여 그림 3-16에 표시된 관절의 길이는 30cm이며 실제 설계된 관절의 길이는 각 230cm로 노출되어 펼쳐지는 관절은 2.0m, 인접 하부 관절에 관절의 하부 30cm이 겹쳐 관절을 지지하게 설계하였다.

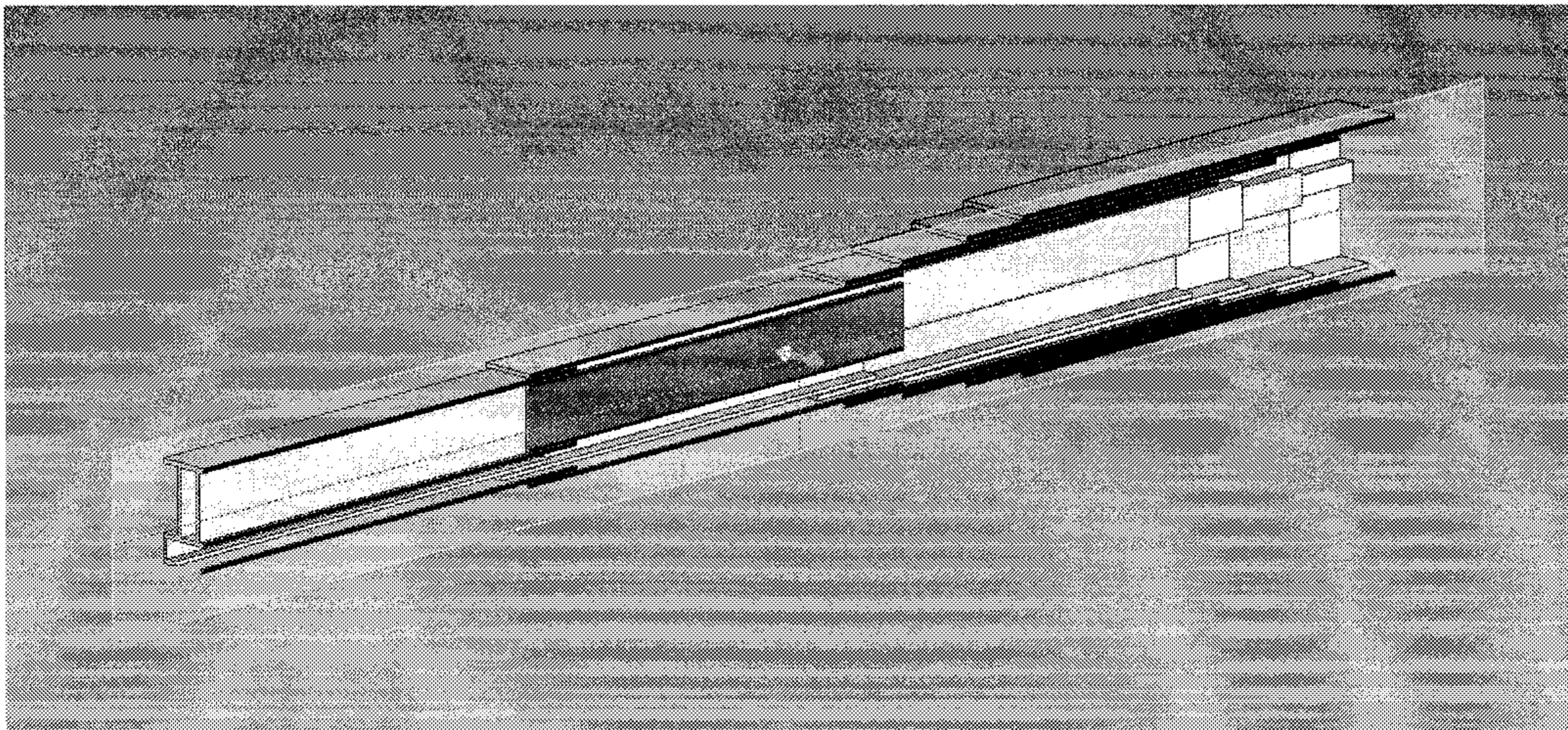


그림 3-16. 안테나접이식 머니플레이터의 조립 단면도

머니플레이터의 원활한 작동을 위하여 각 관절은 알루미늄 합금 6061을 압출방식으로 제작하며 가공조립 공정을 최소화하도록 설계에 고려하였다. 그림 3-17에서 보는 바와 같이 각 관절은 안테나접이식(telescopic boom)으로 와이어에 의하여 펼쳐지고 접혀지는 구조로 설계되었다. 수직방향관절(z-좌표계)의 관절은 중력에 의하여 접혀지고 와이어의 장력에 의하여 펼쳐지는 구조이며, 수평방향(r-좌표계) 관절은 두개의 와이어에 의하여 당겨주고 밀어주는 구조로 설계되었다. 서로 겹쳐지는 각 인근 관절의 단면 조립도는 그림 3-17과 같다.

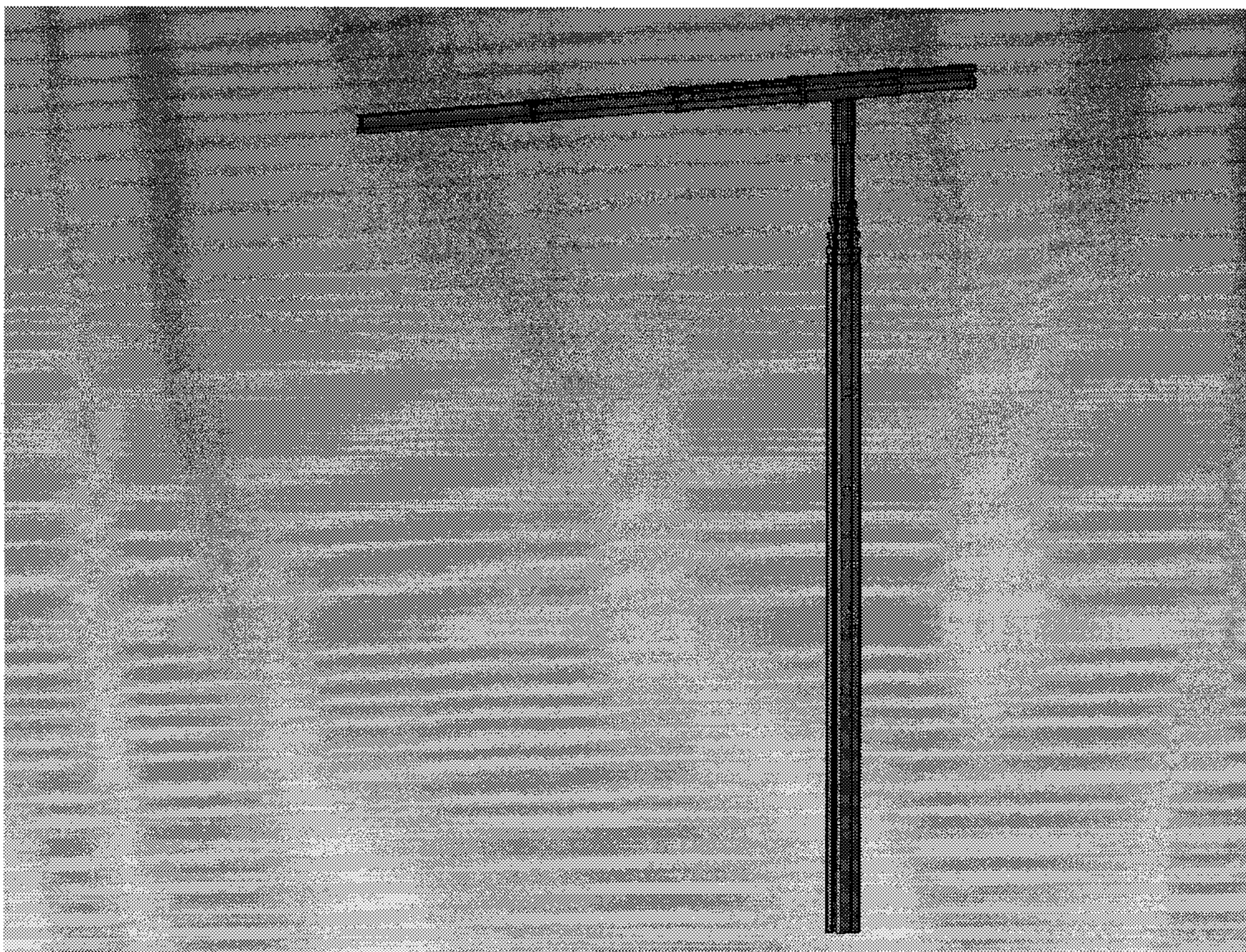


그림 3-17. 머니플레이터의 조립도 (z-좌표 관절과 r-좌표 관절의 조립도)

그림 3-15의 머니플레이터 관절의 최외곽 관절(#6)의 치수는 72 x 95 mm이며 두께 3.0mm로 설계하였다. 최내곽 관절(#1)의 치수는 40 x 60 mm이며, 두께 역시 3.0mm로 설계되었다. 관절과 관절 간 유격은 0.5mm로 0.3mm의 윤활용 플라스틱 판(PE, polyethylene)을 관절의 상부와 하부에 장착하여 관절 간 유격과 마찰을 줄일 수 있도록 구성하였다.

반경방향(r-좌표)의 작동 머니플레이터의 관절의 사양은 표 2의 1, 2, 3번에 나타난 바와 같으며 그림 3-15와 같은 단면형상으로 설계하였다. 길이는 150cm로 노출되어 펼쳐지는 부분의 길이가 120cm, 인접 바깥 관절에 관절의 끝단 30cm이 겹쳐 관절을 지지하게 설계하였다.

설계된 머니플레이터의 중량은 조립 체결나사 및 부품의 중량을 제외하고 수직방향(z-좌표) 관절이 29.46kg, 반경방향(r-좌표)의 관절이 8.25kg으로 총 37.71kg 으로 엔드이펙터와 엔드이펙터에 설치될 ccd의 중량을 고려해서 최대 40kg으로 설계되었다.

2. 머니플레이터 구동장치 설계

수직방향(z-좌표)작동 머니플레이터의 관절 구동 mechanism은 도르래를 이용한 형태로 그림 3-18에서 보는 바와 같다. 반경방향(r-좌표)의 작동 머니플레이터의 관절 구동 mechanism은 수직방향작동 머니플레이터와 동일하다. 머니플레이터에 사용되는 모든 구동방식은 와이어로프(스테인리스 와이어)를 이용한 도르래 구조로 직경2mm 와이어로프와 직경18mm의 도르래로 구성하였다. 그림 3-18은 작동원리를 이해하기 쉽게 작도한 것으로 실제에 설계에 사용한 치수와 상이하다. 각 관절은 높이방향으로 완전히 펼쳐지면 관절 상단에 설치한 솔레노이드에 의하여 관절 하단의 걸쇠로 체결되어 와이어로프의 구동 하중이 각 관절이 펼쳐질 때마다 그 관절의 하중만큼 경감하게 설계 제작하였다. 또한 와이어의 구동방식도 초기에는 지지대에 고정된 6번 관절(#6) 하단의 와이어를 견인하여 5 번 관절부터 높이방향으로 상승하게 되며 이때 1번에 연결된 와이어로프는 결속되어 움직이지 않게 된다. 초기 수확위치에 도달하면 세부 높이방향 이동 위치는 6번관절의 와이어로프를 결속시키고 1번관절의 와이어로프를 견인 이완시켜 조절할 수 있게 설계 제작하였다.

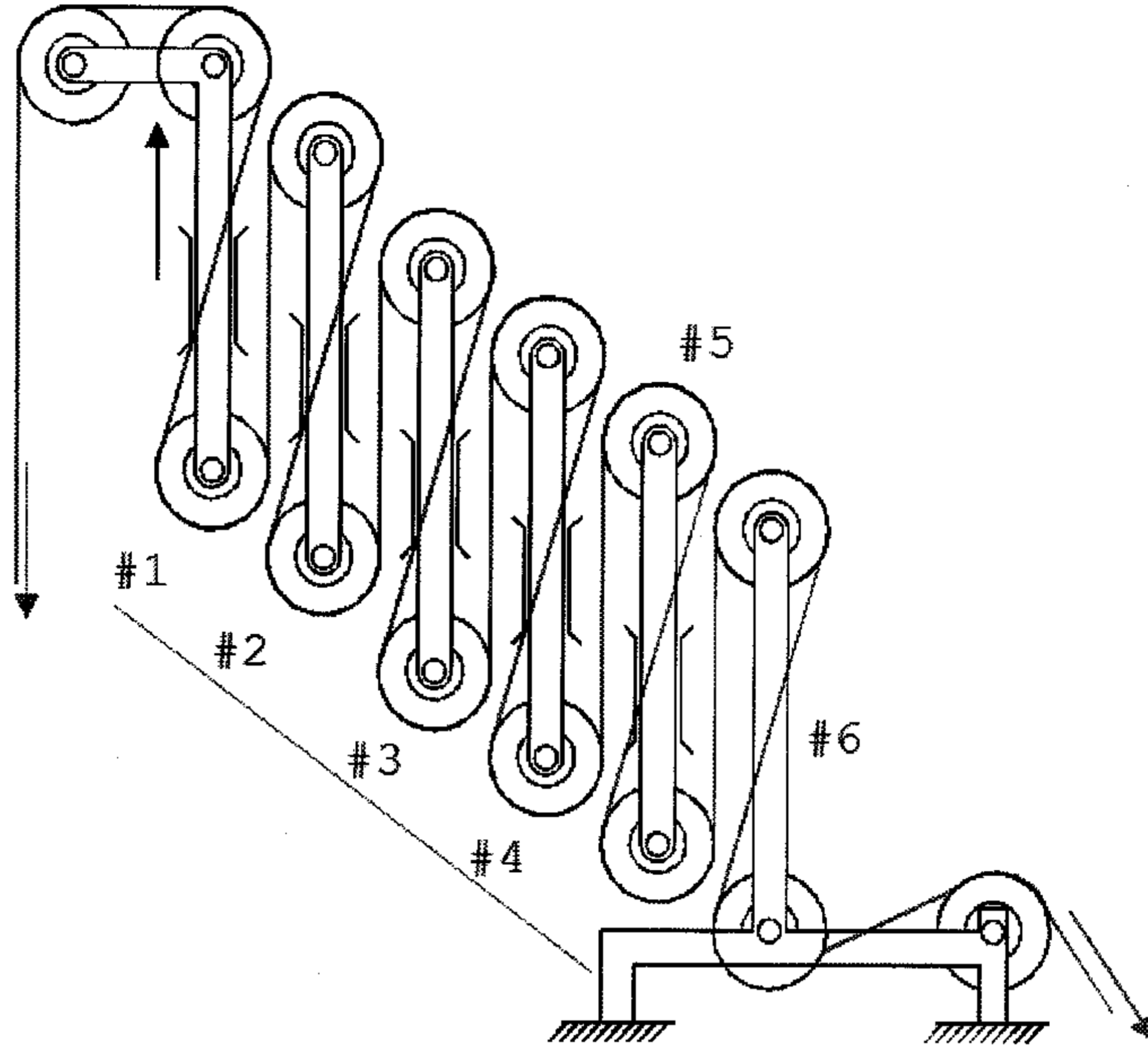


그림 3-18. 수직방향(z-좌표)작동 머니플레이터의 구동 mechanism

3. 수확위치 결정장치 설계

머니플레이터의 초기 수확위치까지의 자동 접근 동작은 레이저 거리계와 수평 및 수직각도 측정장치에서 주 제어장치로 입력되는 원주각도(θ), 경사각도(ψ) 및 측정거리(l)값의 관계로 머니플레이터의 작동거리를 결정하는데 사용한다. 머니플레이터의 수직 방향(z) 및 반경방향(r)의 이동거리는 다음 관계식 (1)과 (2)로 결정한다.

$$z = l \sin(\psi) \quad (1)$$

$$r = l \cos(\psi) \quad (2)$$

그러나 위치결정장치가 머니플레이터 수직관절 중심축과 중심축의 하단과 정확히 일치할 수 없으므로 경우 다음 그림 3-19에 나타난 관계에서 다음 식으로 (3), (4), (5)로 수직방향(z) 및 반경방향(r)의 이동거리와 머니플레이터 회전각을 보정하여 계산하였다.

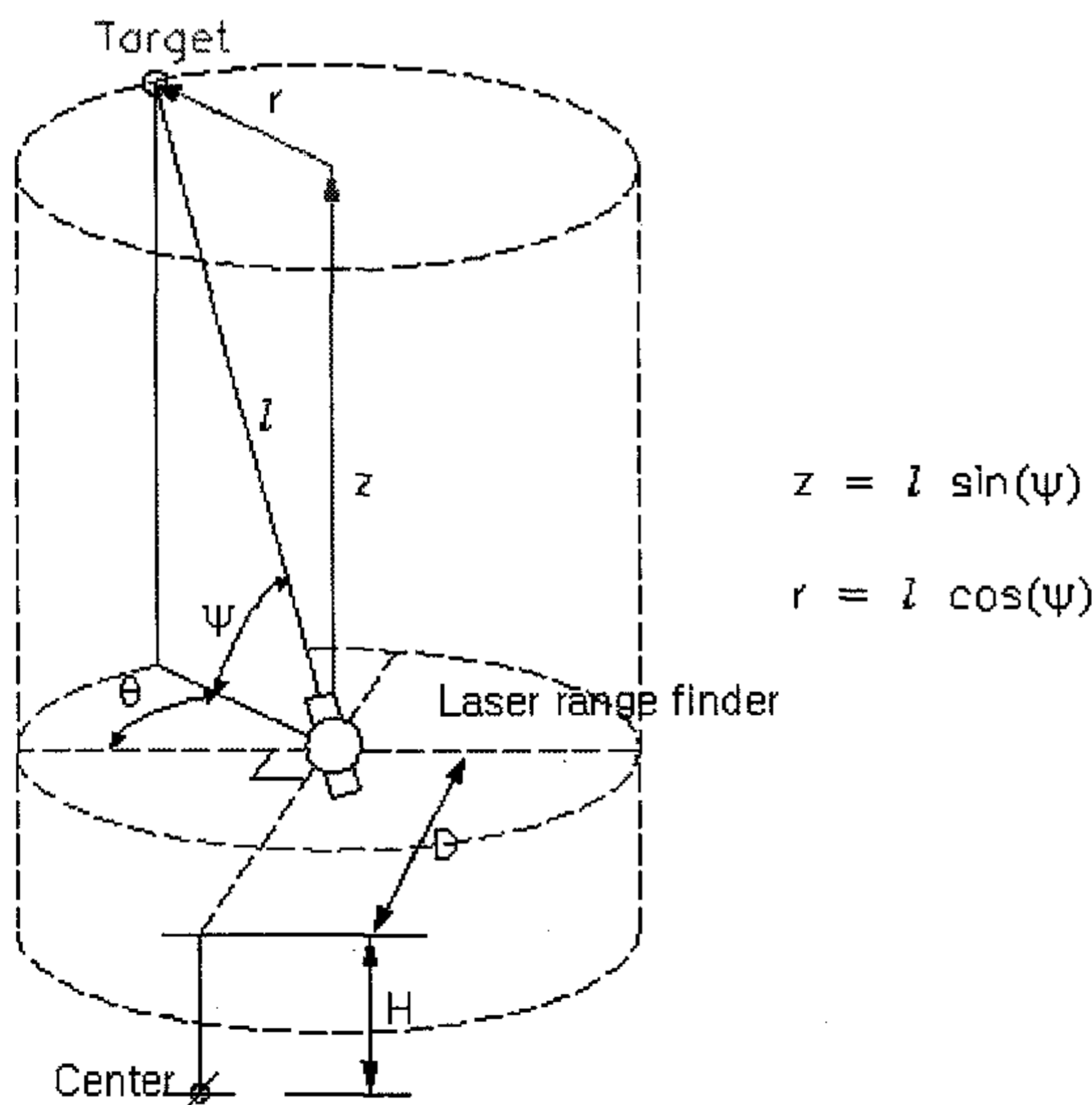


그림 3-19 위치결정 장치의 수직관절 중심축과의 offset에 대한 보정도

$$z' = l \sin(\psi) + H \quad (3)$$

$$r' = \sqrt{D^2 + r^2 + 2Dr \sin(\psi)} \quad (4)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{D + r \sin(\psi)}{r \cos(\psi)} \right) \quad (5)$$

여기서 H = 위치결정장치 밑면과 머니플레이터 중심축 하단과의 수직 거리

D = 머니플레이터 수직 관절 중심축과 위치결정장치와의 수평 거리

α = 머니플레이터 수직관절의 보정 회전각,

마찬가지로 머니플레이터의 수직관절 회전각도도 수직관절 회전축에 장착한 로터리 엔코더로 측정된 회전각 θ 와 상이하므로 수직관절이 회전해야하는 보정 원주각도 α 를 계산하여 수직관절을 회전시키는 프로그램을 작성하였다. 머니플레이터의 구동은 와이어로프를 이용하며 모터로 와이어로프 스풀을 회전시켜 머니플레이터를 수축 또는 신장시킨다. 계산된 수직방향(z') 및 반경방향(r')의 이동거리를 제어하기 위하여 구동용 와이어로프에 아이들풀리를 연결하고 풀리에 로터리엔코더를 장착하여 이동거리 및 속도를 측정한다. 와이어로프의 이동거리와 속도에 적합한 와이어로프 스풀의 회전속도 및 회전수를 결정하여 스풀구동모터의 회전속도를 결정한다. 앞에서 설명한 머니플레이터의 구동 mechanism은 와이어로프의 이동거리가 머니플레이터의 작동거리와 동일하므로, 구동용 와이어의 이동거리 및 속도를 와이어로프에 장착한 로터리인코더의 회전수 및 회전속도로 결정하는 간단한 구조로 구성하였다.

4. 수확 및 전정 시스템 제어 장치 설계

다음 그림 17은 머니플레이터와 연속이송장치의 제어와 구동에 사용할 구동 및 제어시스템의 시작기 제작도이다. 수확·전정 시스템의 구동 및 제어시스템은 소형화를 위하여 Atmel사 AVR Atmega 128 마이크로 컨트롤러를 이용하여 구성하였다. 초기 수확위치결정장치의 측정 자료는 AVR Atmega 128에 RS232C 통신인터페이스를 통하여 전송한다. 와이어 구동형 모터 구동장치는 PWM 제어방식을 사용하였다. 구동, 제어 및 통신용 프로그램은 C를 사용하여 작성하였다.

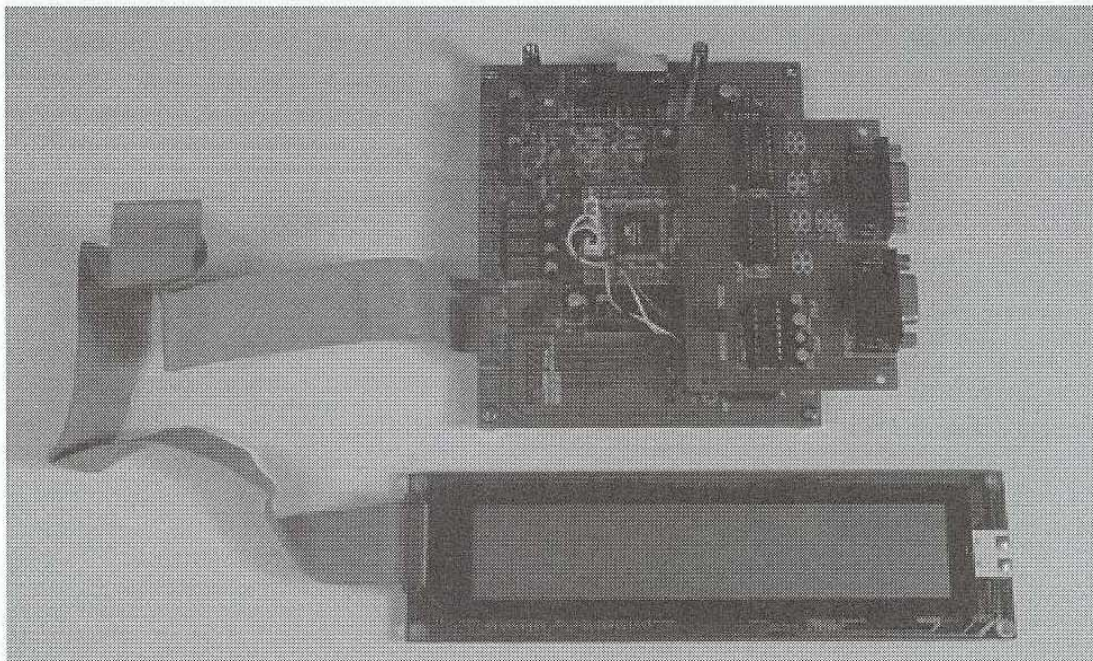


그림 3-20. 머니플레이터 연속이송장치 제어 구동장치 시작기 제작도

와이어 구동 모터 제어

머니플레이터 구동용 와이어 스푼 구동 DC 모터(12V)를 제어에 PWM(Pulse Width Modulation) 방법을 사용하였다. PWM은 구동 전압을 변화시키기 위하여 출력전압의 진폭은 변화시키지 않고, 출력전압의 펄스폭만 변화시키는 방법으로서 전력변환 속도가 빠르고 제어가 용이하다.

본 연구에서 사용하는 마이크로컨트롤러 AVR은 16MHz의 clock cycle, 8채널의

10-bit A/D converter, 머니플레이터의 구동속도 측정에 사용할 수 있는 2개의 8bit timer/counter, 2개의 8bit PWM channel, 6개의 2 -16 bit의 가변 해상도의 PWM channel 등 다양한 기능을 제공하고 있다. 본 연구의 모터 제어 및 구동에 8-bit PWM 단자를 사용하여 모터 구동 및 제어장치를 설계하였다. 와이어 스플의 회전을 위한 구동모터의 제어는 PWM 방식으로 하며, 초기 구동부하에 의한 과부하를 방지하기 위하여 구동속도는 정현파의 기울기(sinusoidal rise)로 증가시킨다. 구동 와이어의 수가 많아지면 각 와이어 스플마다 구동모터를 연결하여 사용하는 것은 비실용적이고 작업기의 중량이 무거워지며 제어장치가 복잡하다. 따라서 여러 개의 스플을 하나의 구동축으로 연결하고 두개의 모터를 사용하여 가장 큰 구동력을 요하는 수직관절 구동에 두개의 모터를 사용하고 기타 스플은 하나의 모터로 동력을 차단, 연결하는 구조로 와이어를 제어하는 장치를 설계 제작하였다.

수평관절 구동용 모터로 DC 12 volt, 90 W 모터(국제모터, 한국)를 사용하였으며, 수평관절 모터 제어용 회로로 National Semiconductor사의 LMD18200 3A H-Bridge 모터 컨트롤러를 사용하여 그림 3-21과 같이 구동회로를 구성하였다. 모터 구동에 필요한 전류가 6 A로 단일 모터구동 전류 최대값이 3A인 LMD18200을 3개를 병렬로 연결하여 구동 전류를 최대 9 A로 증가시켜 사용하였다. 구동모터의 정회전, 역회전은 구동회로의 회전방향 신호로 제어할 수 있다.

수직관절 구동용 모터로 12 volt, 1.6 kW DC 모터(Iskra AMJ 5705, Iskra Avtoelektrika d.d, Slovenia)를 사용하였으며 최대 구동 전류가 230 A로 기존 모터 제어용 회로가 3 A이하인 관계로 International Rectifier사(California, U.S.A.)의 IRFP064N Power MOSFET을 사용하여 그림 3-22와 같이 구동회로를 구성하였다. 수평관절 구동모터 제어회로와 마찬가지로 구동 전류를 증가시키기 위하여 Power MOSFET 2개를 병렬로 연결하여 구동 전류를 증가시켜 사용하였다. 수평관절과 수직관절의 모터구동 제어회로의 회전 속도는 ATmega AVR 128의 PWM제어 출력회로를 Oto-isolator를 사용하여 제어하도록 설계 구성하였다.

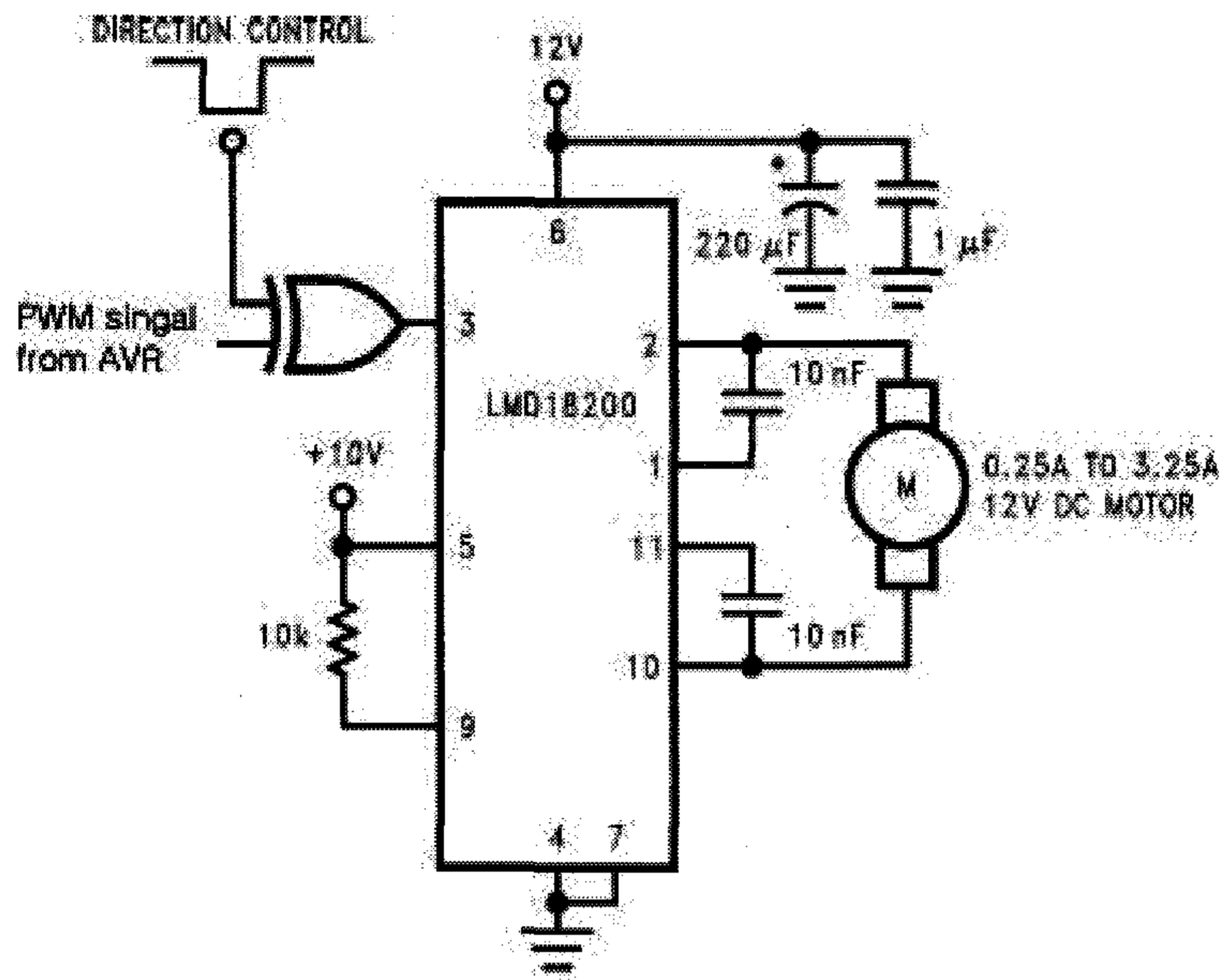


그림 3-21. 수평관절 구동모터 제어 회로도

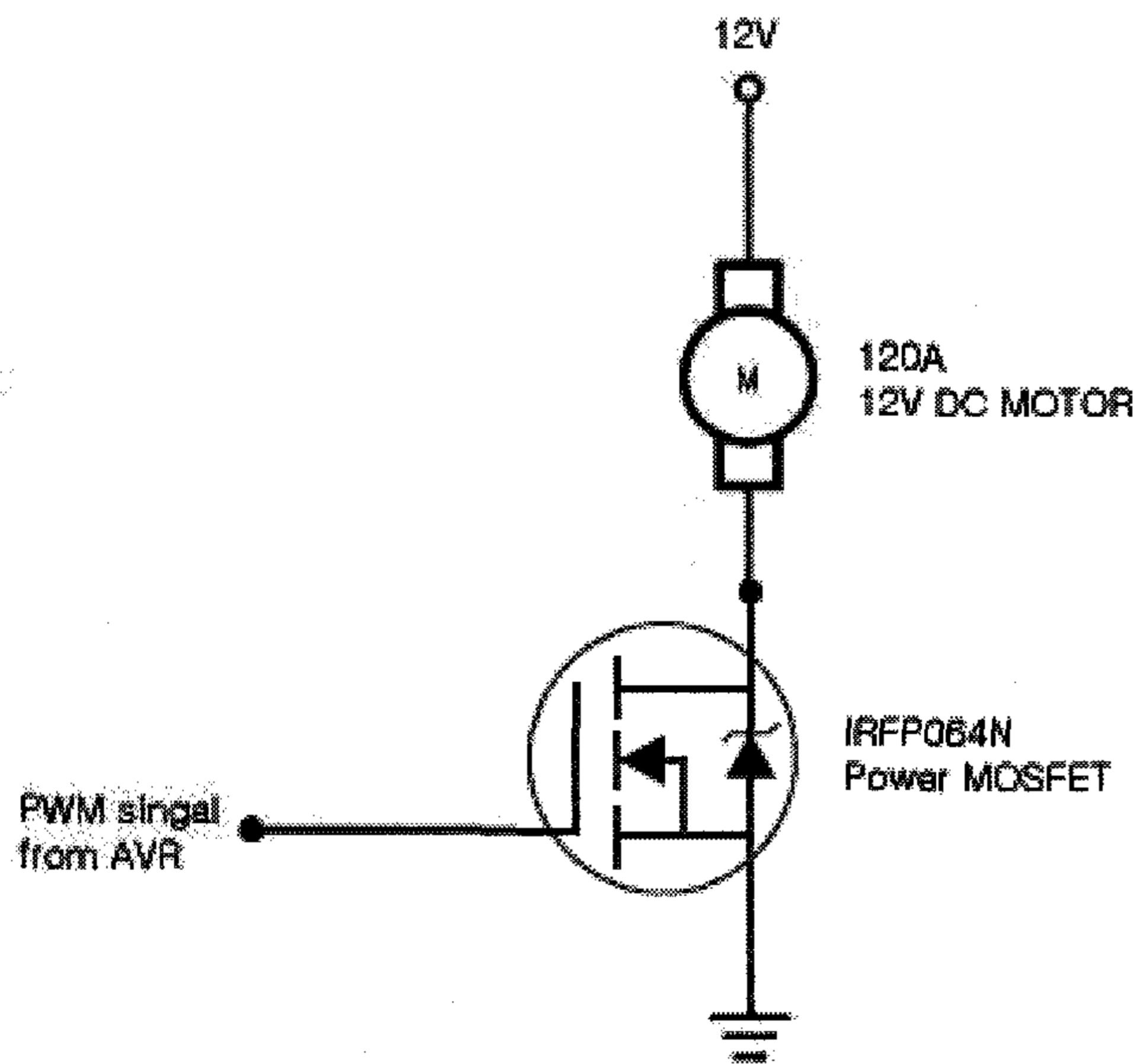


그림 3-22. 수직관절 구동모터 제어회로

5. 수확 및 전정 작업대차 설계

감 수확·전정 머니플레이터의 작업대차는 인력으로 밀거나 자체 동력으로 단거리를 이동할 수 있도록 설계하였다. 작업대차에는 작업자용 의자, 모니터와 수확위치 결정 장치 및 조이스틱 거치대, 머니플레이터지지대, 머니플레이터 구동용 모터, 와이어스풀, 구동 및 제어장치 거치대, 이동용 차륜, 및 작업자세 안정용 구조물로 구성되어 설계하였다. 이동작업대의 전고(overall height), 전폭(overall width) 및 전장(overall length)은 감 수확·전정 시스템의 이동시 최소 공간을 차지할 수 있도록 구조를 설계되었다. 전고는 작업대차를 트럭 적재함에 적재하여 이동하는 경우 고가차도의 높이 제한이 4 m인 것을 고려하여 3 m이하로 제한하였다. Solidworks 프로그램으로 조립한 감 수확 및 전정 시스템 대차 가상 조립도는 그림 3-23과 같다.

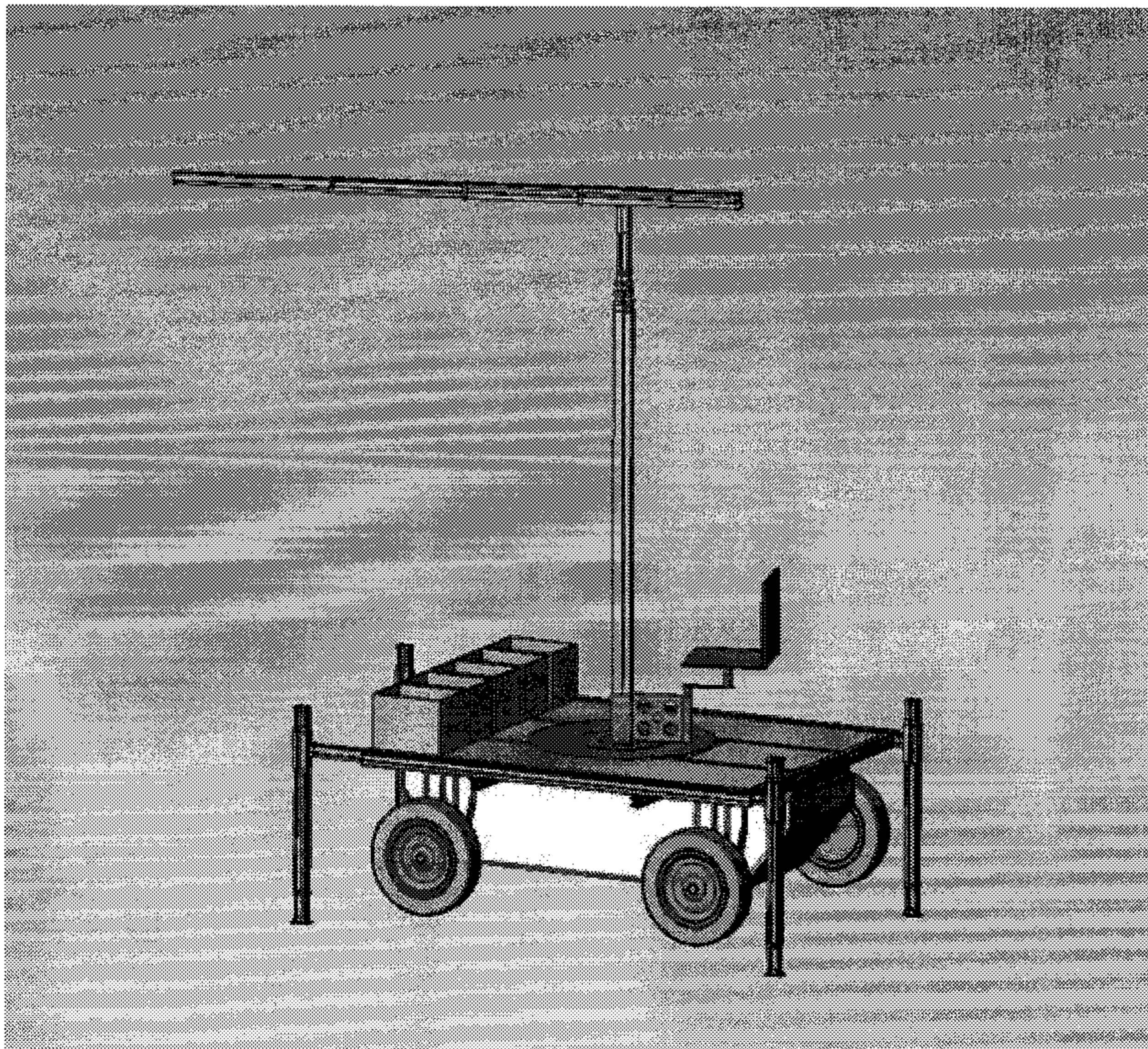


그림 3-23. 감 수확 및 전정시스템 대차 설계 가상 조립도

제 3 절 감 수확 및 전정시스템 시스템 개발

1. 안테나 접이식 머니플레이터

머니플레이터의 원활한 작동을 위하여 각 관절은 알루미늄합금 6061을 압출방식으로 제작하며 가공조립 공정을 최소화하도록 설계에 고려하였다. 본 연구에서 제작한 머니플레이터의 서로 겹쳐지는 각 인근 관절의 단면 조립도 설계도와 제작한 머니플레이터 관절 시작기 단면은 그림 3-1과 같다.

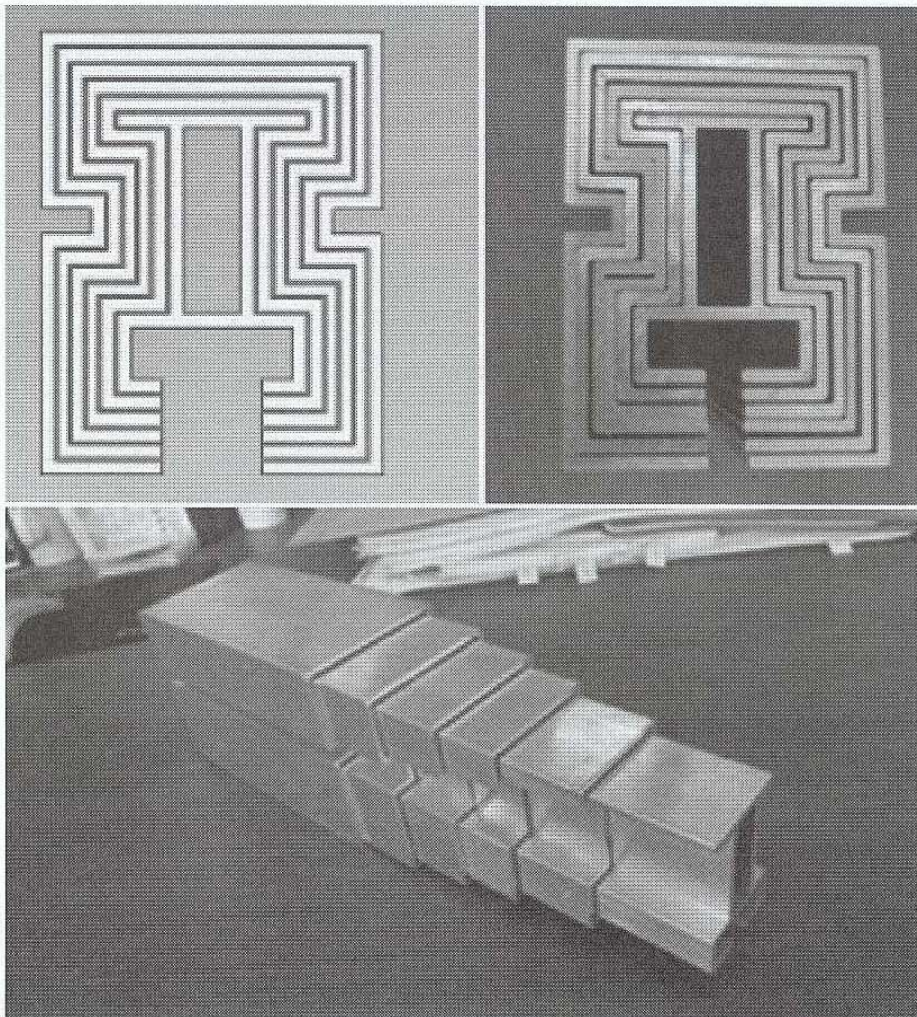


그림 3-1. 머니플레이터 관절의 단면 조립 단면도와 안테나접이식 머니플레이터의 조립 단면도

엔드이펙터의 작업영역 수직방향 200 ~ 1200 cm, 직경방향 150 ~ 350cm, 수평 회전각 - 22.5 ~ + 22.5° 를 충족시키기 위하여 머니플레이터의 관절길이를 230cm로 시작기를 제작하였으며, 수직관절 6개, 수평관절 3개로 구성하였다. 머니플레이터 시작기 제작도는 그림 3-2와 같다. 수평 및 수직관절의 제 1차 시작기에서 각 관절의 양단에 윤활용으로 두께 1mm의 PE(polyethylene) 밴드를 사용하였다.

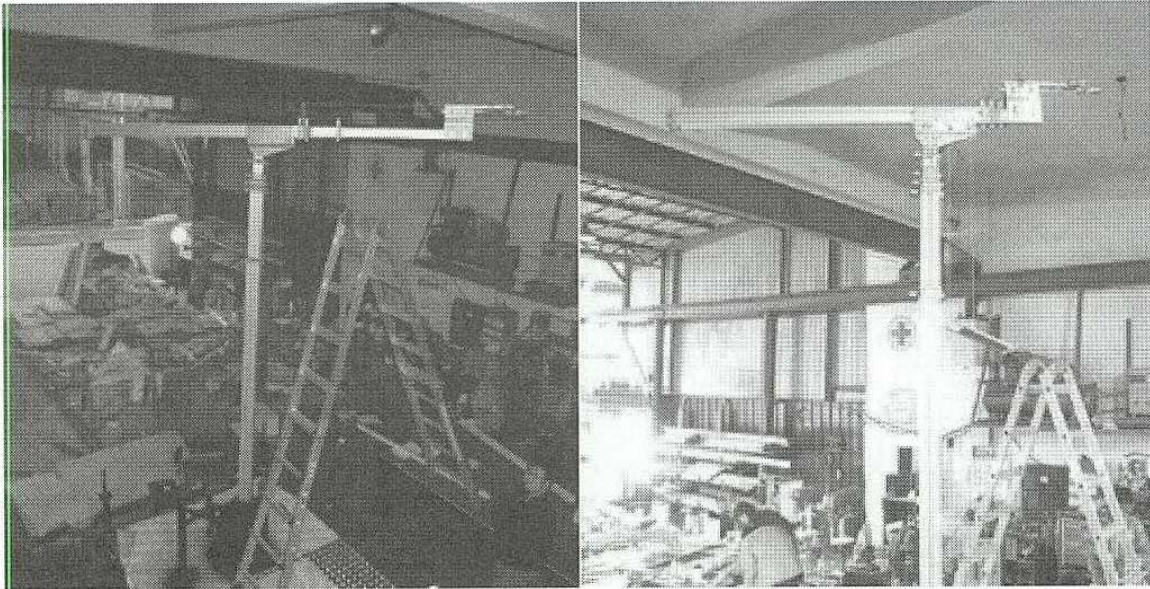


그림 3-2. 머니플레이터 제 1차 시작기 제작도

머니플레이터 관절의 구동성능 시험 결과 구동용 와이어의 간섭과 마찰력의 문제로 관절의 운동이 원활하지 못한 것으로 나타났다. 또한 관절이 최대로 펼쳐졌을 때 관절 간 유격에 의한 문제로 힘이나 처짐 문제가 발생하였다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 1차 시작기 제작에 사용되었던 양 관절말단에 한 개씩 설치하였던 폴리를 2개씩으로 늘려 구동 와이어의 이동 경로 간 간섭을 최소화 하였으며 관절이 최대로 펼쳐졌을 때 발생하였던 문제는 관절 끝단에 PE로 관절간의 유격을 최소화하여 다소 해결하였다. 그림 3-3은 이와 같은 문제점을 개선한 머니플레이터 관절의 제 2차 시작기 조립 제작도이다.

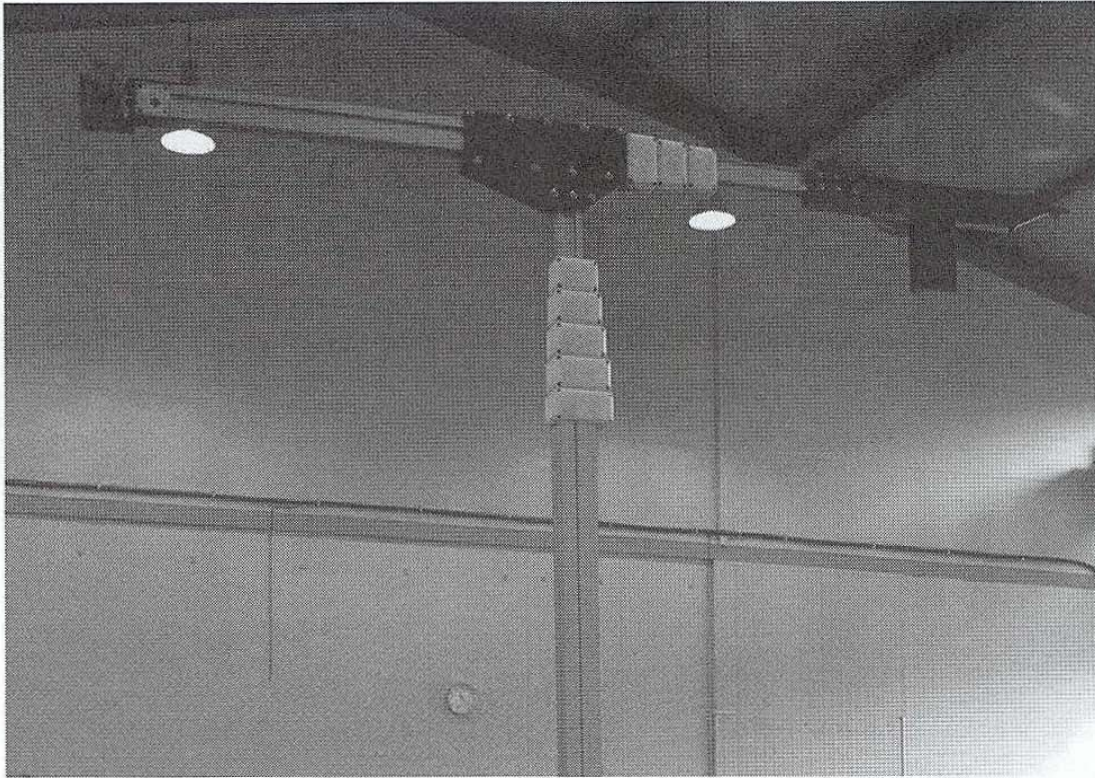


그림 3-3.머니플레이터 제 2차 시작기 제작도

제작한 시작기 머니플레이터의 중량은 수직방향(z-좌표) 관절이 37.4 kg, 반경방향(r-좌표)의 관절이 12.5 kg으로 총 49.9 kg, 수직 및 수평 관절 체결부, 수평관절 구동장치 및 엔드이펙터 구동부를 포함한 중량이 총 71.2 kg으로 머니플레이터 설계 시 예상 최대 40kg보다 약 31kg의 중량을 초과하였다.

2. 엔드이펙터 및 유인장치

다음 그림 3-4와 3-5는 수확전정용 엔드이펙터와 유인장치의 시작기 제작 조립도이다. 수확 전정용 엔드이펙터는 다음 그림 3-13과 같이 그립퍼(A), 그립퍼 스프링, 엔드이펙터 몸체(B), 절단용 칼날(C), 가이드 V자 판으로 구성하였다. 엔드이펙터는 감나무가지 최대직경 20mm를 절단할 수 있도록 설계 제작하였다.

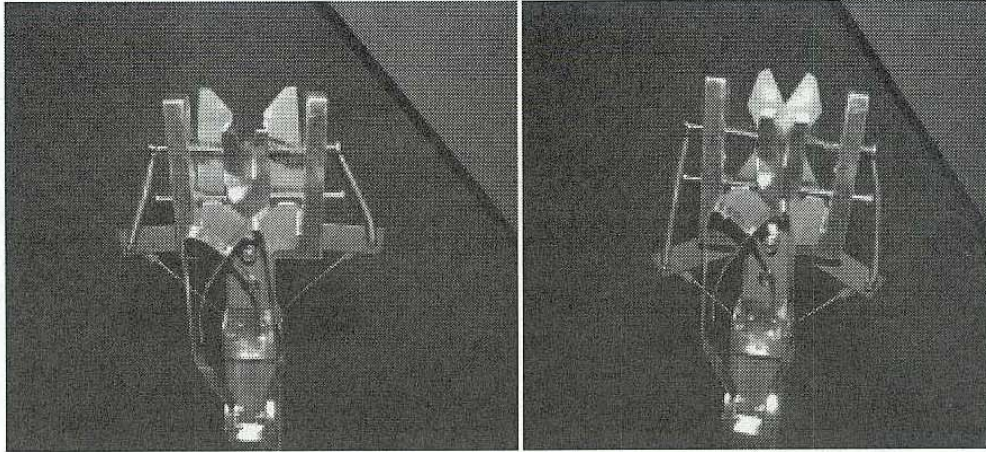


그림 3-4. 엔드이펙터 시작기 제작도(좌: 전정 대기 상태도, 우: 전정 상태도)

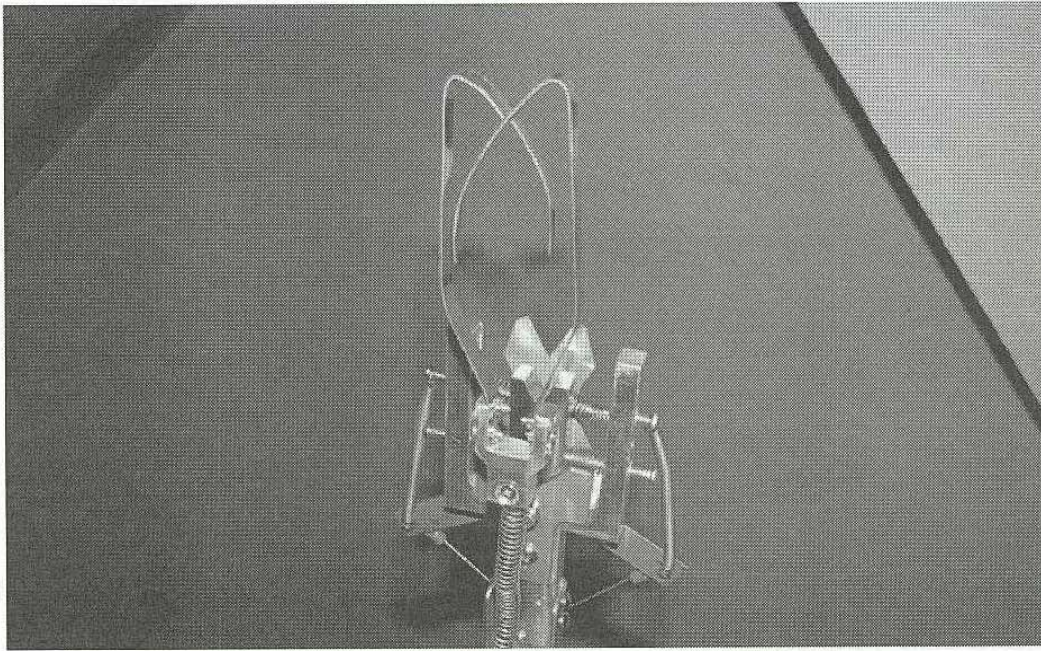


그림 3-5. 유인장치 시작기 제작도

수확 및 전정용 엔드이펙터의 시작기는 그림 3-4와 같이 제작되었다. 그림 3-5는 유인장치를 설치한 엔드이펙터 시작기의 제작도를 나타내고 있다. 엔드이펙터의 전단성능 시험 결과 전단 칼날부분이 전단 중 서로 벌어져 전단이 원활히 되지 못하는 현상이 발생하였다. 이는 칼날의 두께가 충분히 두껍지 못하여 발생한 것으로 판단된다. 또한 엔드이펙터의 좌우측부에 돌출물이 위치하여 수확가지에 접근 시, 주변 가지의 간섭을

받을 것으로 판단되어 새로운 엔드이펙터 시작기를 그림 3-6과 같이 제작하였다. 그림에서 보는 바와 같이 폭 5 cm의 엔드이펙터가 목표물을 전단하면 엔드이펙터를 벌려주기 전까지 수확물을 잡고 있게 되어있다.

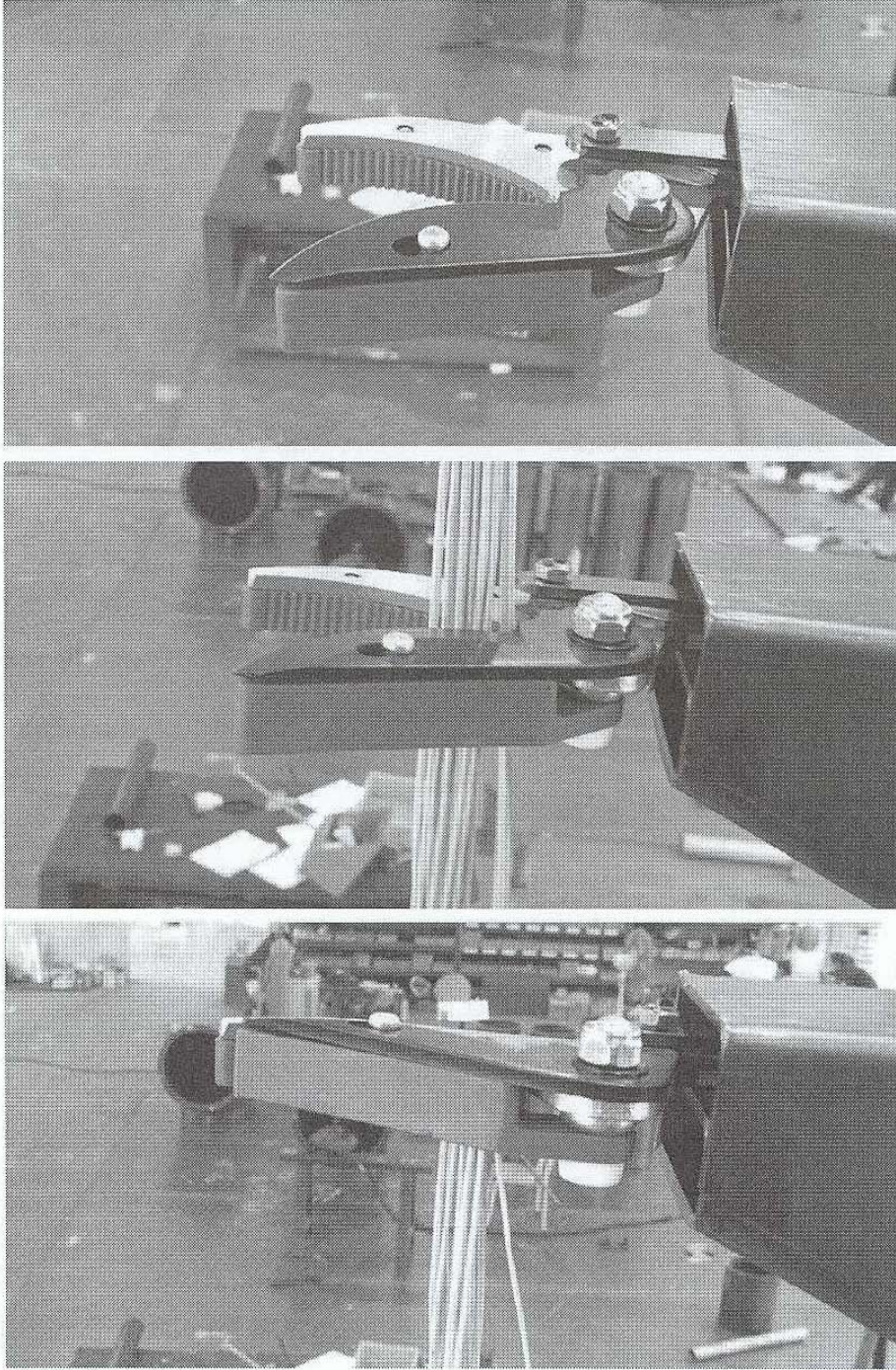


그림 3-6. 감 수확 및 전정용 엔드이펙터 제 2차 시작기 작동시험도

3. 머니플레이터 구동장치

머니플레이터의 구동장치는 각 관절 상하 수평운동을 위한 폴리구조물과 구동 모터, 수직 머니플레이터의 회전운동을 위한 동력전달 및 구동 모터, 와이어 풀리, 전원 및 전원 발생장치로 구성하였다. 수직 및 수평 머니플레이터의 각 관절부위의 신축 및 전개 작동을 위한 구동 와이어와 풀리 구조물 시작기는 그림 3-7에서 보는 바와 같다.

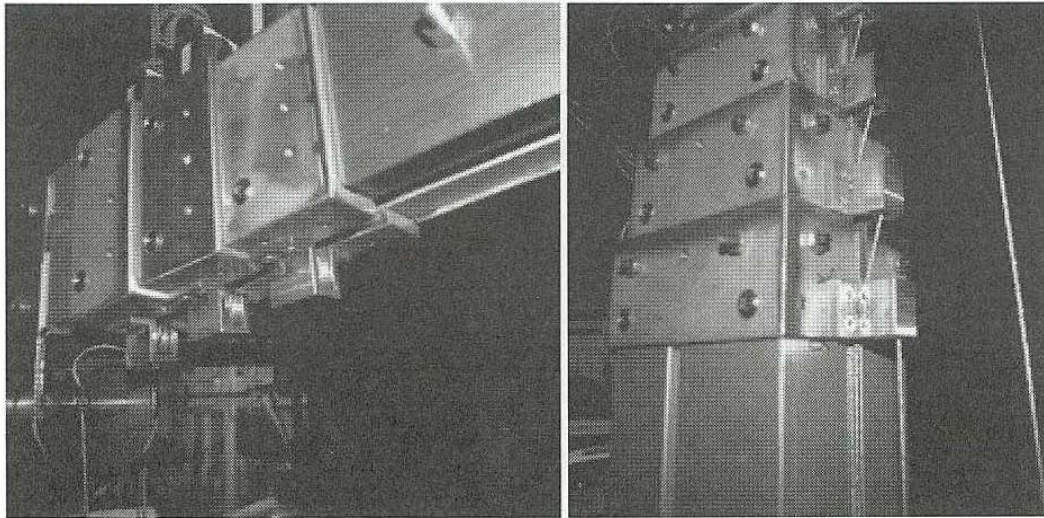


그림 3-7. 수확 및 전정 시스템 머니플레이터의 수평관절(좌)과 수직관절(우) 구동부 시작기 제작도

그림 3-3에서 보는 바와 같이 각 관절은 안테나접이식(telescopic boom)으로 와이어에 의하여 펼쳐지고 접혀지는 구조로 설계하여 시작기를 제작하였다. 수직방향(z -좌표계)의 관절은 중력에 의하여 접혀지고 와이어의 장력에 의하여 펼쳐지는 구조이며, 수평방향(r -좌표계) 관절은 두개의 와이어에 의하여 당겨주고 밀어주는 구조로 설계 제작하였다. 그림 3-8은 수직 및 수평 머니플레이터 제 1차 시작기의 성능개선을 위하여 제작한 제 2차 시작기의 유회부와 개선된 폴리구조물의 조립 제작도를 나타내고 있다. 수직 머니플레이터의 작동 저항이 현저히 감소하였으며 각 관절간 유격문제도 개선되었다.

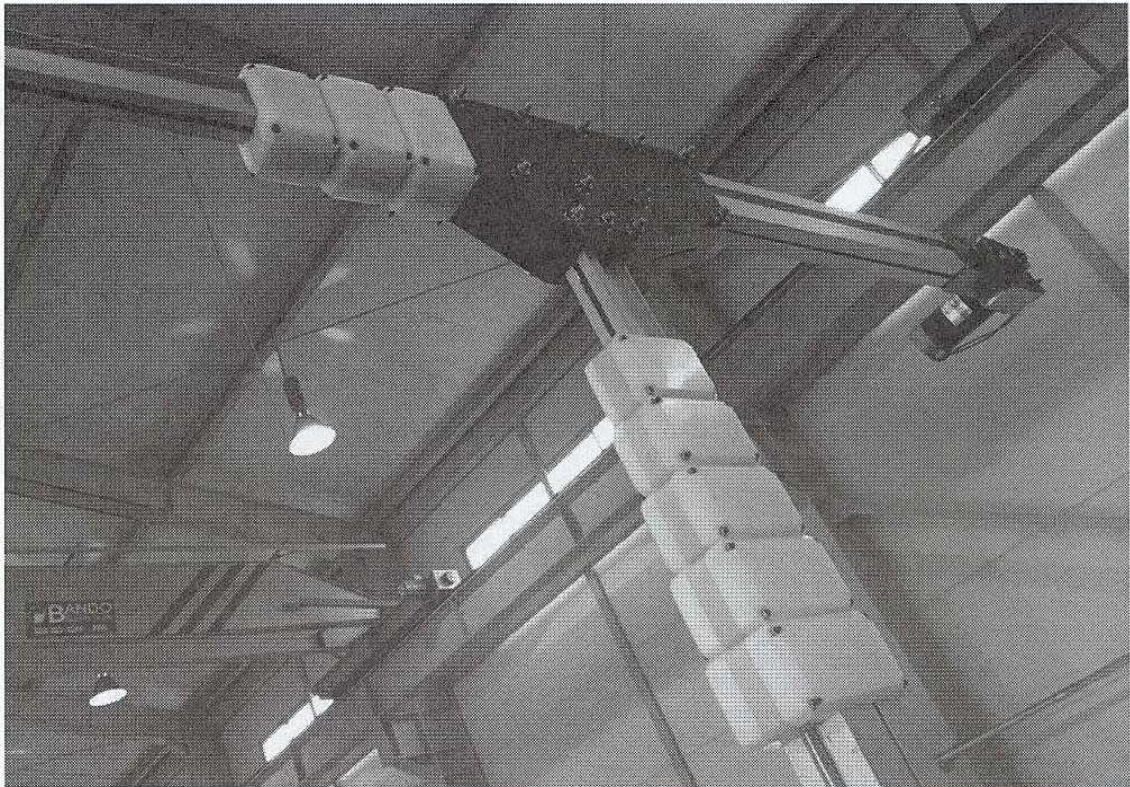


그림 3-8. 머니플레이터 수직 및 수평 운동부 및 구동부 제 2차 시작기 조립도

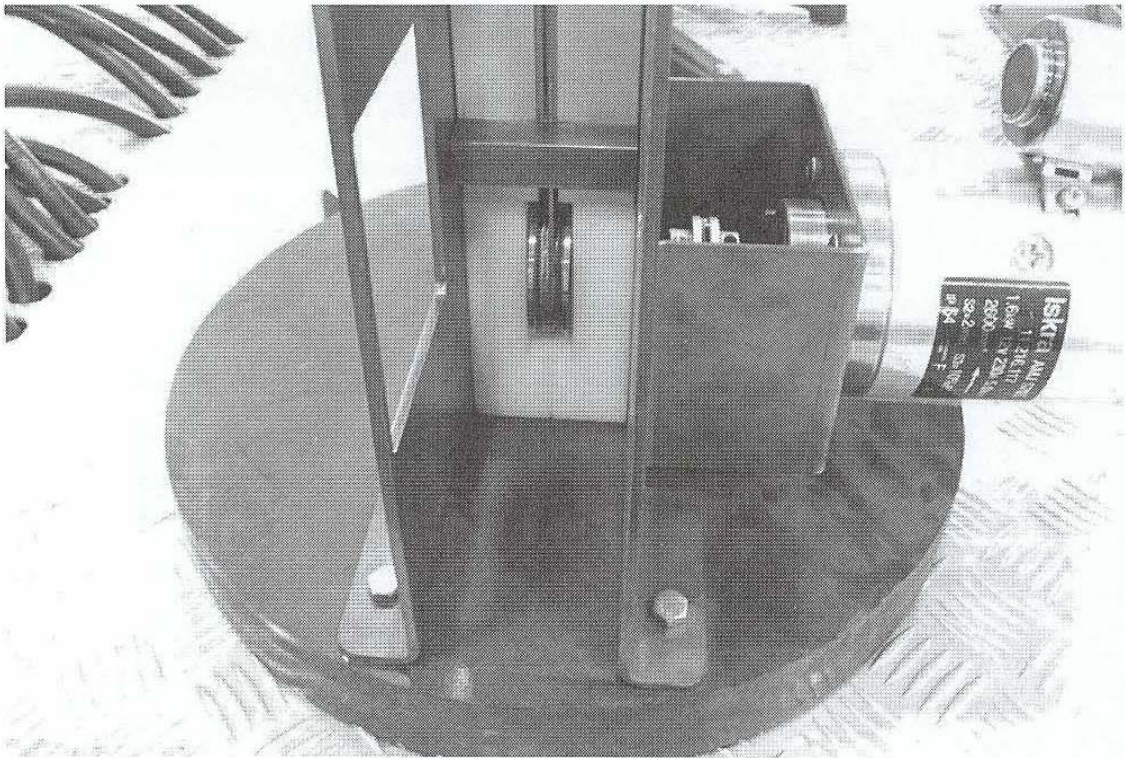


그림 3-9. 수직 머니플레이터 구동부 및 회전부 베이스 시작기 조립도

수직 머니플레이터의 회전운동을 위한 구동부의 시작기 제작도는 그림 3-10과 같으며 DC 12 volt 90 W 모터(국제모터, 한국)를 사용하였다. 수직 머니플레이터 회전축에 로터리엔코더를 장착하여 회전축의 회전 각도를 측정하였다.

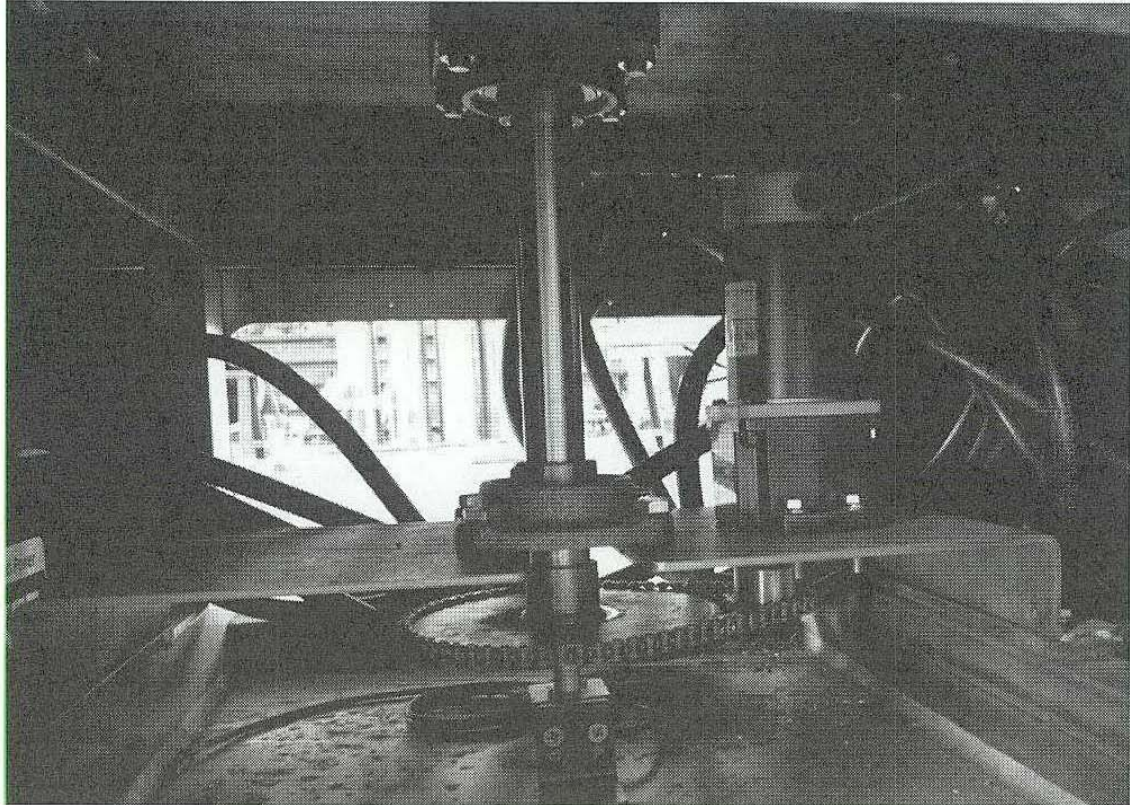


그림 3-10. 수직 머니플레이터 회전운동 구동부와 회전각도 측정기 시작기 제작도

감 수확 및 전정 시스템의 구동 동력으로 DC 12 volt 1000Ah 납축전지를 사용하였으며 충전방식은 운송용 차량의 납축전지 전원을 연결하거나 차량에서 멀리 떨어져 작업하는 경우를 대비하여 DC 12 volt, 100A 차량용 generator를 5.5 마력 가솔린 엔진(MZ175R, Yamaha, China)에 연결하여 충전하도록 구성하였다. 그림 3-11은 수확 및 전정 시스템 대차의 하부 격납고에 설치한 동력장치 구동용 납축전지를 나타낸 것이다. 그림 3-12는 비상시 납축전지를 충전할 수 있도록 설치된 엔진과 generator의 설치도이다.



그림 3-11. 수확 및 전정시스템 구동 동력용 납축전지 설치도

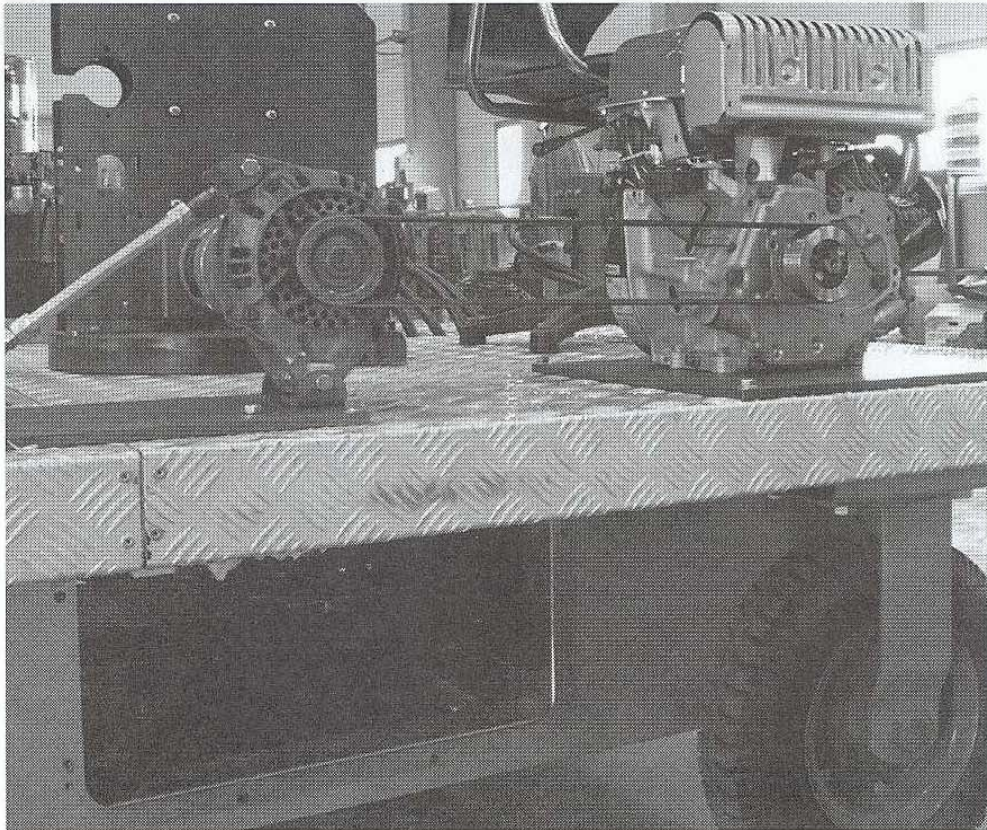


그림 3-12. 충전 및 발전 장치 설치도

4. 수확 및 전정 위치결정 장치

초기 수확위치를 결정하기 위하여 레이저를 이용한 거리계, 수평회전각 및 수직회전각을 측정하기 위한 로터리 엔코더를 그림 3-13과 같이 구성하였다. 그림 3-14는 수확위치 결정장치의 시작기 제작도이다. 수확위치 결정장치의 거리측정용으로 STABILA사(독일)의 Distancer LE와 Copal사(일본)의 optical laser encoder Re30E로 거리 및 회전각 측정장치를 구성하였다. 거리측정장치는 30m의 거리에서 반사판 없이 측정할 경우에도 3mm의 측정오차를 보이며 측정값을 시리얼통신으로 전송할 수 있다. 각도측정용 장치는 1 회전당 1000개의 펄스를 발생, 즉 $0.36^\circ / \text{pulse}$ 의 해상도의 엔코더로 구성하였다.

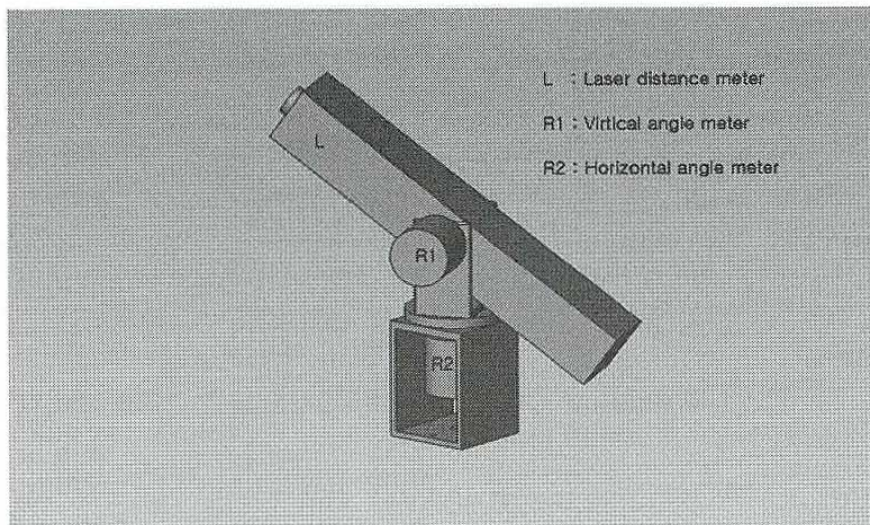


그림 3-13. 수확위치 결정장치 구성도 (L: 거리측정용 레이저거리계, R1, R2: 각도측정용 엔코더)



그림 3-14. 레이저 거리측정장치 및 수평 수직 각도측정용 엔코더 시작기 제작도

5. 수확물 연속 이송장치

감 수확 후 머니플레이터를 수확위치에서 작동하여 운송용 상자에 넣고 다시 다음 전정위치로 이동하려면 작업 능률 및 속도가 저하된다. 머니플레이터 구조체에 와이어를 이용한 연속이송장치를 개발하여 설치하면 엔드이펙터에서 감을 수확한 후 지면으로 이동하여 감을 놓은 뒤 다시 수확위치로 이동하는 머니플레이터 동작을 생략하여 작업속도를 2배 이상 향상시는 에너지절약·환경친화형 수확시스템을 개발할 수 있다. 수확 감을 연속적으로 이송시키는 이송장치 시작기를 그림 3-15와 같이 제작하였다.



그림 3-15. 연속이송장치 시작기 제작도

6. 수확위치 무선 모니터링 장치

본 연구의 수확·전정시스템은 엔드이펙터를 수확위치 결정장치로 12 m의 높이에 있는 수확·전정할 감나무 가지의 10 cm 전방 위치로 자동으로 근접시킨 후 조이스틱으로 머니플레이터를 제어 작동시켜 최종 전정위치의 감나무 가지를 전정하여 수확하게 된다. 그러나 작업자와 목표물 사이에 감나무 가지나 나뭇잎이 시야를 방해하면 육안으로 관측하여 최종 전정할 감나무 가지의 위치를 정확하게 결정하는 것은 곤란하다. 따라서 엔드이펙터 상단에 무선 ccd 카메라를 장착하여 엔드이펙터와 수확 감나무가지와의 거리 및 위치를 관측하여 전정할 위치를 정확히 결정하고 엔드이펙터를 접근시키는 과정을 모니터링 할 필요가 있다. 본 연구에서 구성한 ccd 카메라 모니터링 시스템에 사용한 ccd 카메라는 410k pixel의 해상도, 중량 37 g의 초경량으로 30 m의 거리에서 영상신호의 수신이 가능하다. 엔드이펙터의 상단에 장착한 무선 ccd 카메라의 영상신호를 수신기로 받아 모니터로 표시하는 장치를 그림 3-16과 같이 구성하였다. 모니터는 7" LCD 모니터로 조이스틱을 대신 할 수 있는 터치스크린이 장착된 것으로 결정하였다.



그림 3-16. 수확위치 결정용 무선 ccd 카메라와 수신장치 및 모니터링 시스템

7. 수확 및 전정 작업 대차

이동용 작업대는 폭 180cm, 길이 230cm, 작업대 상판높이 80cm, 차고 30cm로 머니 플레이터를 장착하였을 때 높이가 3m로 그림 8에서 보는 바와 같다. 이동용 작업대의 설계 및 기구학적 시뮬레이션에 SolidWorks 소프트웨어를 사용하여 작업대를 개발하였다. 그림 3-17은 엔드이펙터 및 연속이송장치를 설치하지 않은 상태의 작업용 지지대를 나타내고 있다. 경사지나 반경방향(r-좌표) 관절이 최대 4.5m까지 펼쳐질 때, 작업자세안정성을 위하여 전면부에 지지대 폴더가 최대 1m 앞으로 펼쳐지게 설계 제작하였으며, 경사지 작업을 위하여 수평위치에서 최대 1m 밑으로 지지대가 펼쳐지도록 설계되었다. 상부의 상자는 수확상자를 도시한 것이며, 작업대 상판 하부에 구동용 와이어 스펀 및 구동 모터, 제어기, 배터리 등을 장착할 수 있도록 이동용 작업대를 구성하였다. 본 연구의 이동용 작업대는 자체 중량의 경량화를 위하여 이동륜에 구동장치를 고려하지 않았으나, 추후 추가하기 용이하게 설계 제작되었다. 그림 3-18은 수확 및 전정 시스템 작업용 대차의 1차 시작기 제작도이다. 수확 및 전정 자세 안정을 위한 대차 수평유지 장치를 시스템 경량화를 위하여 수동으로 조작하는 것으로 제작하였으나 성능 시험결과 조작이 힘들고 시간이 많이 소요되는 이유로 작업효율의 향상을 목적으로 유압을 이용한 수평자세 유지장치를 그림 3-19와 같이 제 2차 대차 시작기에 설치 시험하였다.

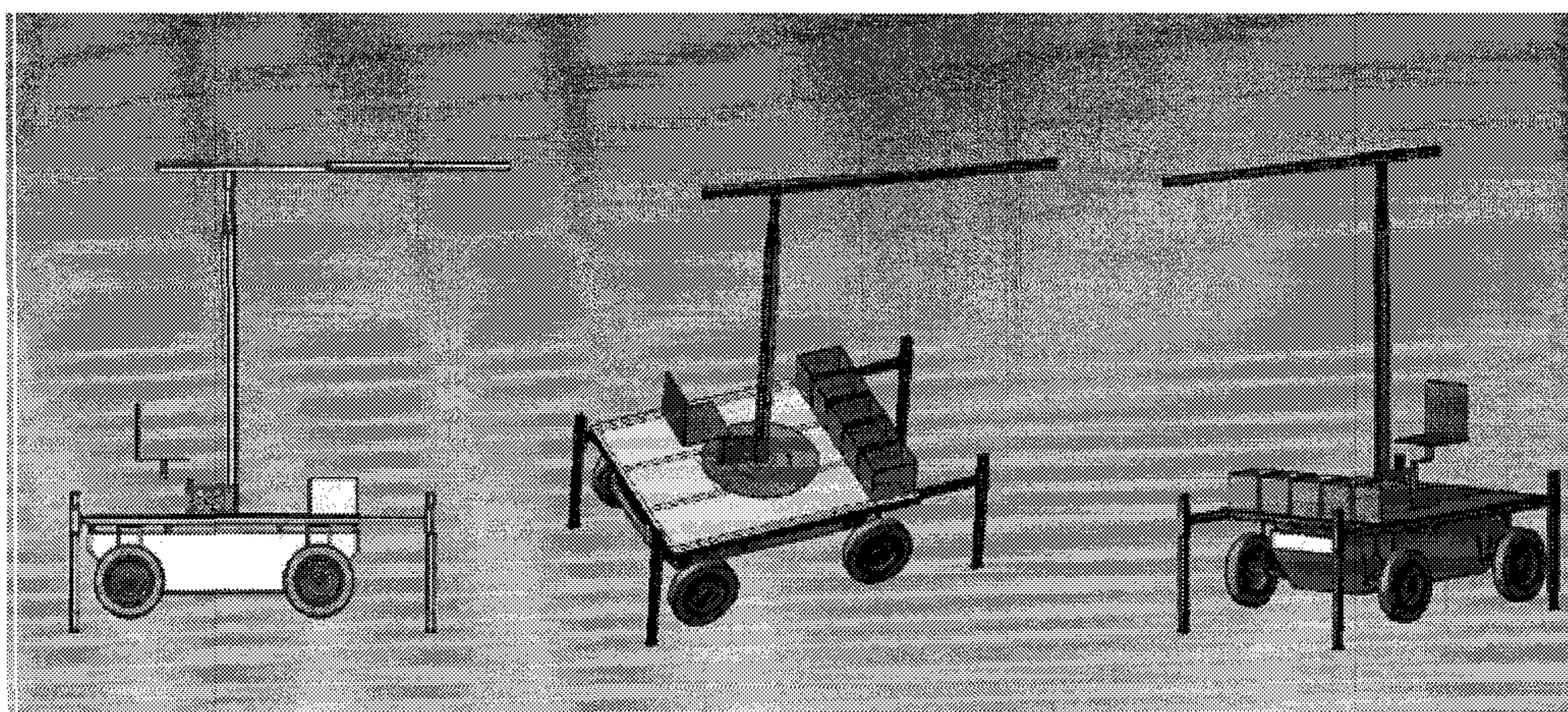


그림 3-17. 감수확·전정시스템의 지지 및 이동용 작업대

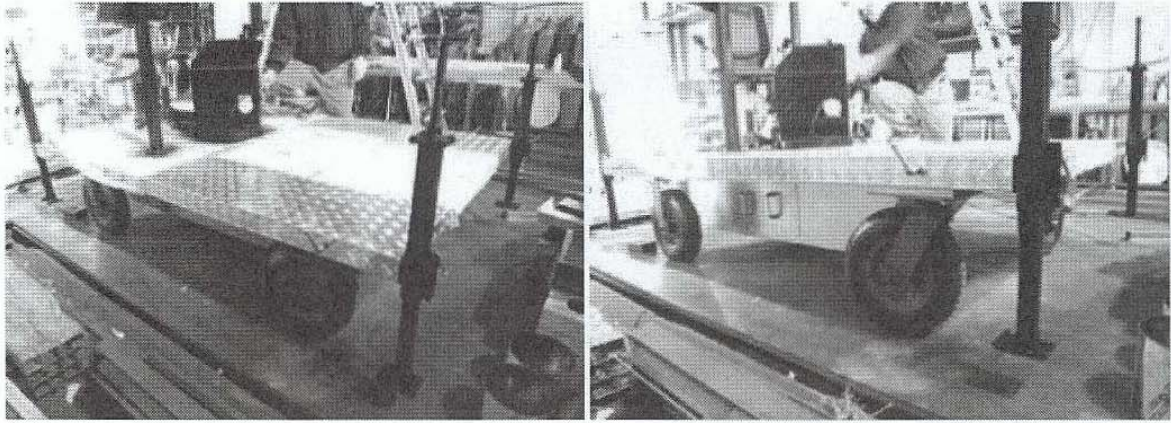


그림 3-18. 감 수확 및 전정 시스템 작업 지지대 및 이동용 작업대 시작기 제작도



그림 3-19. 감 수확 및 전정 시스템 작업대차 제 2차 시작기 제작도

대차 수평자세 유지장치의 유압 실린더 구동용 유압펌프는 그림 3-20에서 보는 바와 같이 12 volt, 1.6 kW DC 모터(Iskra AMJ 5705, Iskra Avtoelektrika d.d, Slovenia)로 구동되는 모터-펌프-유압탱크 일체형으로 유압밸브를 조작하여 대차 전후좌우 끝단에 설치된 유압실린더를 구동시켜 수평을 유지하도록 개발되었다.



그림 3-20. 수확 및 전정 시스템 대차 수평자세 유지장치 구동용 유압파워유닛



그림 3-21. 감 수확 및 전정 시스템 시작기 제작도

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구목표 달성도 및 관련분야 기여도

구분	연구개발 목표달성도		관련분야 기여도
	연구개발목표	달성도 (%)	
1차년도 (2004. 5.25 - 2005. 5.24)	감 수확 및 전정 시스템 설계 ○ 머니플레이터 설계 ○ 엔드이펙터, 연속이송장치 설계 ○ 시스템 제어 및 구동장치 설계	100	높이 12m, 반경 5m에 이르는 안테나 접이식 원통형 좌표계 머니플레이터 설계로 높은 위치 수확 및 전정작업 능률과 안전성 제고 수확기의 연속이송장치 모델 설계로 인력작업 대비 작업 효율성을 증가하는 수확 시스템 개념 도입 작업모델의 단순화로 복잡한 수확작업의 제어 및 구동을 마이크로컨트롤러로 할 수 있는 개념 도입

구분	연구개발 목표달성도		관련분야 기여도
	연구개발목표	달성도 (%)	
2차년도 (2005. 5.25 - 2006. 5.24)	감 수확 및 전정 시스템 시작기 제작 ○ 머니플레이터 시작기 제작 ○ 엔드이펙터, 연속이송장치 시작기 제작 ○ 시스템 제어 및 구동장치 시작기 제작	100	경량 알루미늄 프로파일의 안테나 접이식 머니플레이 터 개발로 12m 높이의 수 확물 수확 및 전정 시스템 의 저가 제작 가능성 제공 높이 12m의 수확물을 효 율적으로 수확 하고 연속 적으로 이송함으로써 수확 작업 효율을 제고할 수 있 는 가능성 제공 저가의 마이크로컨트롤러 와 이동작업성이 좋은 12v 직류전원을 이용하는 시스 템제어 및 구동장치의 개 발로 작업환경 개선

구분	연구개발 목표달성도		관련분야 기여도
	연구개발목표	달성도 (%)	
3차년도 (2006. 5.25 - 2007. 5.24)	<p>감 수확 및 전정 시스템 성능 평가 및 개선</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 수확 시스템 목표접근 성능시험 ○ 수확 시스템 연속이송 성능시험 ○ 수확 시스템 제어 구동 성능시험 	100	<p>레이저 거리측정을 이용한 정확한 수확 목표물 접근을 마이크로컨트롤러로 구현함으로써 저가 제어시스템 실현 가능성 제공</p> <p>수확물을 연속으로 이송함으로써 수확작업 효율을 인력작업대비 2배 이상 제고 가능성 제공</p> <p>전력선 접근이 필요 없는 12v 직류전원을 이용하는 제어 구동시스템 개발로 경량 작업시스템 개발 가능성 제공</p>
총 합	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수확 시스템의 모델링 ○ 수확 시스템의 작업성능 ○ 수확시스템의 작업자세 안정도 및 이동성 	100	<p>경량, 저가의 다양한 환경에 사용할 수 있는 고소작업의 모델 정립으로 경제적 수확 및 전정시스템 제공</p> <p>인력작업 대비 2배 이상의 수확작업 효율 제고로 친환경적 시스템 개발</p> <p>구릉지 및 완만한 경사지에서 작업 가능한 수확 및 전정 시스템 개발로 기계화 영역 확대</p>

제 2 절 평가 착안점

구분	세부연구목표		평가
	착안사항	척도(점수)	
1차년도 (2004)	감 수확 및 전정 시스템 설계		
	○ 머니플레이터 설계	30	30
	○ 엔드이펙터, 연속이송장치 설계	30	30
	○ 시스템 제어 및 구동장치 설계	40	40
2차년도 (2005)	감 수확 및 전정 시스템 시작기 제작		
	○ 머니플레이터 시작기 제작	30	30
	○ 엔드이펙터, 연속이송장치 시작기 제작	30	30
	○ 시스템 제어 및 구동장치 시작기 제작	40	40
3차년도 (2006)	감 수확 및 전정 시스템 성능 평가 및 개선		
	○ 수확시스템의 목표 접근성능	30	25
	○ 시험 수확시스템의 연속이송 성능	30	25
	○ 시험수확시스템의 제어구동 성능시험	40	35
총 합	감 수확 및 전정 시스템 개발		
	○ 수확시스템의 모델링	30	30
	○ 수확시스템의 작업성능(속도 및 난이도)	40	35
	○ 수확시스템의 작업자세안정도 및 이동성	30	30

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 기대 효과

1. 기술적 측면

본 연구에서 개발된 감 수확·전정 시스템은 수고(樹高) 10m 이상인 짧은감나무의 수확 및 전정 작업을 위하여 개발되었다. 기존의 과수 수확용 로봇의 연구 및 개발은 기계시각을 이용하여 나뭇잎이나 가지에 가린 다양한 수확 환경에서 수확물을 영상처리(image processing)기법을 이용하여 자동인식하고, 수확위치를 결정하고 작업을 수행하는 연구가 주로 수행되어 왔다. 이와 같은 수확시스템은 고가의 장비가 필요하며 작업속도 또한 작업환경의 다양성으로 인간의 작업속도에 미치지 못하는 실정이다. 본 연구에서 개발된 수확 및 전정시스템은 수확물을 레이저 포인터로 조준하면 자동으로 수확위치까지 엔드이펙터가 이동하며 엔드이펙터에 설치된 무선 카메라로 수확위치를 작업자가 모니터로 확인하며 조이스틱으로 조정하여 작업하는 개념의 반자동 시스템으로 개발되었다. 또한 수확물을 연속 이송장치를 사용하여 지상으로 이동하므로 기존의 장대를 이용하여 수확하는 작업에 비하여 장대로 수확한 감을 지상으로 내려놓는 동작과 다시 높은 수확물에 접근하는 동작이 생략되므로 최소한 2배 이상의 작업속도를 유지할 수 있다.

수고(樹高) 10m 이상인 짧은감나무의 수확 및 전정 작업을 인간의 작업속도 또는 그이상의 속도로 수확할 수 있는 수확 및 시스템의 개발로 기존의 장대나 사다리를 이용하는 중노동이나 위험한 작업환경을 개선할 수 있게 되었다. 또한 인간·로봇 보완형 수확로봇 시스템으로 실용화 할 수 있으므로 점차 심화되는 수확기 집중 농가노동력 부족을 완화할 수 있다.

본 연구에서 개발된 감 수확 및 전정 시스템은 감나무뿐만 아니라 기타 과수와 가로수의 전정작업도 사용할 수 있으므로 산업체로의 기술 이전으로 실용화 될 것으로 기대된다.

2. 경제 · 산업적 측면

수확시스템 개발에 따른 경제적 효과로서 수확인건비 절감, 농가소득증대, 꺾꽂이 단감의 국제 경쟁력 제고에 기여할 수 있다. 본 수확시스템은 수확된 감의 낙하나 충격으로 인한 물리적 손상을 방지하도록 와이어를 이용한 연속 이송장치로 설계되었으므로 수확작업 중 손상되는 감이 최소화되므로 물리적 손상으로 인한 단감의 상품성 상실을 최소화 할 수 있고, 떨어진 감을 고품질의 꺾꽂이 감 가공할 수 있으므로 꺾꽂이 감과 단감의 품질 경쟁력 제고에 기여할 수 있다.

국내 감 생산량은 단감이 20만 ton, 떨어진감이 7만5천 ton으로 감 수확에 소요되는 작업시간 및 비용을 고려하면 감 수확시스템의 시장성은 시스템의 경량성, 이동성 및 가격 면에서 전망이 밝다. 따라서 감 수확기의 제조업의 산업화가 기대된다.

제 2 절 활용방안

안테나 접이식 원통형 좌표계 감 수확 및 전정 시스템은 장치의 경량화와 이동성, 자세 안정성이 높으므로 평지 및 구릉지 감 수확 및 기타 과수의 전정작업에 응용이 용이하다. 또한 이동용 트럭 적재함에 장착하여 도심 가로수의 전정작업에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구의 수확 및 전정 시스템은 특허등록된 상태이며 이 기술을 실용화 하여 꺾꽂이 감제조업체와 기타 과수 전정작업용으로 사용할 수 있도록 상용화 할 계획이다.

본 연구에서 개발된 수고(樹高) 10m이상의 과수의 수확 및 전정 시스템은 문헌조사 결과 유사한 연구사례가 없는 곳으로 조사되었다. 본 연구과제 종료 후에도 계속될 실용화를 위한 성능개선 연구과정에서 연구되는 내용을 국제 및 국내 학술지에 발표하고 게재할 계획이다.

제 3 절 추가연구의 필요성

본 연구에서 개발된 감 수확 및 전정 시스템은 감나무뿐만 아니라 일반 과수 및 가로수의 전정 작업에도 활용 가능한 시스템이다. 본 연구에서 개발된 시스템은 수고(樹高) 10m이상인 과수의 과실이나 가지의 전정작업을 위하여 경량인 알루미늄 프로파일로 개발되었다. 머니플레이터가 최고 높이와 길이로 펼쳐질 경우 처짐 현상이 발생하여 서로 인접하는 프로파일 사이에 마찰력의 증가로 작업속도에 제한 요인으로 작용하였다. 본 연구의 시스템을 상용화하기 위하여 인력의 작업속도보다 빠른 성능을 구비하여야 하므로 추후 이와 같은 작업속도 저해 요인을 해결하기 위하여 추가 연구가 필요하다.

본 연구의 감 수확 및 전정시스템은 수확 작업위치로 이동할 때 인력으로 밀거나 끌어 이동하도록 개발되었다. 이때 지표면의 작은 굴곡에도 구름저항이 크게 작용하여 이동에 문제가 발생하였다. 따라서 차대 바퀴에 구동장치를 구비한 자주식으로 보완하여 수확 및 전정작업을 용이하게 하기위한 추가 연구도 필요하다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 연구과제에 관련된 특이 해외과학기술정보는 없는 것으로 조사됨.

제 7 장 참고문헌

1. 상주감시험장. 2002. 감나무 정지전정.
2. 김웅, 이대원, 김현태, 김동우, 최동윤, 한정대, 권두중. 2001. 착유로봇을 위한 직교머니플래이더 개발. 한국농업기계학회 동계학술대회 논문집 vol. 6 No. 1 : 187-192
3. 농림부. 2001. 작물통계.
4. 농업기계화 연구소. 1996. 농업용 로봇 연구개발 동향과 전망.
5. 신동준. 1999. 다관절 로봇과 기계시각을 이용한 상추수확 및 선별 시스템 개발. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
6. 유영선. 1996. 여유자유도를 가진 과실수확용 로봇의 장애물 회피 알고리즘에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
7. 장성주. 2000. 기계시각과 퍼지제어를 이용한 3자유도 상추 수확 로봇 개발. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
8. 장익주. 2000. 수직 다관절 사과수확로봇의 머니플래이더 개발(1)-설계제작-. 한국농업기계학회지 제 25권 제 5호 399-408.
9. 장익주, 김태한, 권기영. 1997. 사과 수확 로봇의 핸드 개발(1)-사과 수확용 로봇의 핸드 개발. 한국농업기계학회지. 제 22권 제 4호. 411-420.
10. Albus, J. S., 1975. A new approach to manipulator control: The cerebellar model articulation controller(CMAC), Journal of Dynamic System Measurement Control.
11. Anderson, J. A. and E. Rosenfeld, 1988. Neurocomputing: Foundations and Research. MIT Press.
12. Bachelor M. M. and S. W. Searcy, 1988. Computer vision determination of the stem/root joint on processing carrots. J. of Eng. Res. 43: 259-269.
13. Cardenas-Weber, M., R. L. Strohshine, K. Haghghi, Y. Edan. 1991. Melon material properties and finite element analysis of melon compression with application to robot gripping. Transactions of the ASAE vol. 34(3) : 920-929.
14. Davenel A., C. Guizard, T. Labarre and F. Sevilla. 1988. Automatic detection of surface defects on fruit by using a vision system. J. of Agri. Eng. Res. 41: 1-9.
15. Davis L. S. 1975, Survey of edge detection techniques, Computer Graphics and

Image Processing, 6: 492-501

16. Edan, Y., G. E. Miles, 1993. Design of an agricultural robot for harvesting melons. Transactions of the ASAE vol. 36(2): 593-603.
17. Edan, Y. and E. Miles. 1994. Systems engineering of agricultural robot design. IEEE Transaction on systems, man, and cybernetics, vol. 24(8): 1259-1265.
18. Edan, Y., T. Flash, I. Shmulevich, Y. Sarig, and U. M. Peiper. 1990. An algorithm defining the motions of a citrus picking robot.
19. Fu K. S., R. C. Gonzalez, and C. S. G. Lee. 1987. Robotics-control sensing vision and intelligence. McGraw-Hill International Publishing Inc.
20. Ikram, E. A. and W. K. Pratt, 1979, Quantitative design and evaluation of enhancement/thresholding edge detection, Trans. of IEEE, 5: 753-763
21. Kondo, N., Y. Nishitsuji, P. P. Ling and K. C. Ting. 1996. Visual feedback guided robotic cherry tomato harvesting. Transactions of the ASAE. vol. 30(6): 3331-3338.
22. Kondo, N., M. Monta and T. Fujiura. 1996. Fruit harvesting robot in Japan. Adv. Space Res. vol. 18, No. 1/2, 181-184.
23. O'Brien, M. and M. Zahara. 1971. Mechanical harvest of melons. Transactions of the ASAE 14(5): 883-885.
24. Pao, Y. H. 1988. Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks. Addison-Wesley Publishing Company.
25. Pavlidis, T., 1978, A review of algorithm for shape analysis, Computer Graphics and Image Processing, 7: 243-258.
26. Peliand, T. and D. Malah, 1982, A study of edge detection algorithms, Computer Graphics and Image Processing, 20: 1-21
27. Reed, J. N. and R. D. Tillett. 1993. Initial experiments in robotic mushroom harvesting. Mechatronics vol. 4, No. 3, 265-279.
28. Sittichareonchai, A., F. Sevilla. 1989. A robot to harvest grapes. ASAE Paper No. 96-3007.

29. Tamar P. and M. David, 1982, A study of edge detection algorithm, Computer Graphics and Image Processing, 20: 1-21.
30. Tillet R., 1989. Locating mushrooms for robotic harvesting. Proc. of intelligent robots and computer vision. VIII Systems and applications. p260-267.
31. Wolfe, R. R. and W. E. Sandler. 1985. An algorithm for stem detection using digital analysis. Trans. of the ASAE 28(2): 641-644.