

원격 자동화, 정보처리 기술을 이용한
멜론 재배 수확시스템 개발
Development of Melon Cultivation and
Harvesting System Using Tele-operative
Automation & Information Technology

시설내 작업용 원격 작업기 및
모듈라 선단작업장치 개발
Development of Remotely Operative
Manipulator and Modular End-Effector
Tool Device

연구 기관

성균관대학교(서울대학교)

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “원격 자동화, 정보처리 기술을 이용한 멜론 재배 수확시스템 개발” 과제 (세부과제 “시설내 작업용 원격 작업기 및 모듈라 선단작업장치 개발”)의 최종보고서로 제출합니다.

2004 년 8 월 28 일

주관연구기관명 : 성균관대학교

총괄연구책임자 : 황 현

연 구 원 : 김 영 길

연 구 원 : 김 시 찬

연 구 원 : 임 동 혁

연 구 원 : 조 성 호

연 구 원 : 정 현 욱

연 구 원 : 최 선

연 구 원 : 김 익 한

연 구 원 : 임 정 현

협동연구기관명 : 서울대학교

협동연구책임자 : 이 중 용

요 약 문

I. 제 목

원격 자동화, 정보처리 기술을 이용한 멜론 재배 수확시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

요즈음 시설재배에 효율적인 자동화에 대한 많은 연구 활동들이 행해지고 있다. 지금까지 대부분의 자동제어 시스템은 그린하우스 내의 습도, 온도, 이산화탄소 및 질소등의 식물 성장에 필요한 생육환경을 유지하는데 초점을 맞춰 왔다. 또, 정밀 방제의 형태가 아닌 단순한 자동 방제 시스템과 수확 후 자동 선별장치 등의 개발에 대해서는 많은 개발이 행해졌다.

그러나, 전정, 가지치기, 적화, 적과, 수확, 관수 등의 다양하고 복잡한 작업들은 여전히 자동화가 되고 있지 않은 상태다. 몇몇 연구에서 수확작업의 자동화 작업이 행해지고 있지만 그 역시 제한적인 시험조건 하에서만 가능하다. 실제의 포장작업 하에서 완전히 자동화된 작업을 수행하기 위해서는 이러한 제한적인 제약들이 선결되어야 한다.

로봇 시스템의 시설내 작업을 가로막는 주 요인은 실시간 처리의 어려움, 농업인이 직접 조작하기에는 복잡한 시스템, 여러 가지 체계화되지 않은 작업환경에 적용시키는 따르는 기술적 어려움, 그리고, 시스템 유지의 복잡성 등이다.

더 나아가서 시스템의 판매가는 높은 반면 개개인이 자동화된 기계나 시스템을 사용하는 시간은 짧아 작물 생산에 투입되는 비용은 증가하고 있다. 본 연구의 주요 방향은 이런 산재된 어려움을 극복하기 위한 새로운 접근방법을 제시하는데 있다.

식물 생산 자동화의 새로운 개념인 원격 제어 로봇 시스템은 작업 시간을 줄이고 전체 시스템의 가격을 낮춰 위에서 열거한 대부분의 문제점들을 해결해줄 것이다. 본 연구에서는 중량과의 대표적인 과실인 멜론에 적용 가능한 시스템을 개발하고자 한다 .

하우스 시설재배는 높은 생산단가로 인해 재배에 많은 비용이 투입된다. 따라서, 재식밀도를 높이고 대기나 질소성분 등의 생육환경을 정밀할 수 있는 많은 노력들이 필요하다. 외부의 병충해로부터 방어하기 위해서 하우스 시설은 외부와는 격리된 상태로 유지된다고 알려져 있다. 식물이 성장하는데 필요한 대기는 과도한 이산화 탄소의 영향으로 인간의 건강에는 해를 미친다.

특히 한국에서는 요즘 7, 80년대와는 달리 환경 보호에 대한 인식이 확산되어 유기농업, 정밀농업 등 환경친화적인 농작업에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 따라서, 농약과 비료의 영향을 최소화하도록 요구되고 있다. 이 연구에서 제안된 다기능 로봇 시스템은 이러한 문제들을 해결하는데 효율적일 뿐만 아니라 과실의 품질을 극대화하고 생산성을 향상시킬 것이다.

사실 자동화 시설재배는 대상체의 인식을 포함하는 작업 환경 인식, 적절한 판단 등을 내리기 위해 실시간 정보 처리를 요구한다. 작물 재배에 있어 인력을 대체하려는 많은 연구들이 행해지고 있으나, 아직까지 체계화되어 있진 않은 상태의 작업환경에 까지 완전하게 성공된 것은 아니다. 과일, 채소, 곡물과 같은 농산물 생산에 있어서 각 처리 공정마다 다양한 종류의 기계를 필요로 한다. 작업자가 보유한 다재다능한 능력과는 달리 이러한 기계들은 저마다 한정되어진 전용의 작업 기능을 위해 개발되므로 각 작업을 자동화 하는데는 어느 정도 도움을 줄 수 있는 반면 기계별 사용시간의 감소로 인한 생산비용을 증가시키는 결과를 낳을 것이다.

이 연구의 주 목적은 시스템의 사용시간은 극대화하고, 시스템 투자비용은 감

소시키면서 위에서 언급한 자동화된 시설재배를 하는데 따르는 대부분의 제약을 효과적으로 해결할 수 있는 새로운 개념의 작업 시스템을 개발하는 것이다.

이러한 필요성을 바탕으로 본 과제의 연구 목적을 다음과 같이 설정하였다.

최종목표: 원격자동화, 정보처리기술을 이용한 멜론재배수확시스템 개발

효용성 및 경제성, 산업화 가능성을 고려하여 그린하우스에 실질적으로 적용 가능한 시스템을 개발하기 위하여 세부 연구 목적을 다음과 같이 설정하였다

1. 모듈(Module)화 개념의 작업장치 개발을 통하여 다양한 단위작업 공정에 대처할 수 있도록 함으로써 개발 시스템의 작업 가동률을 극대화시키고 전체 작업의 생력화에 소요되는 기계비용을 최소화하며 각 작업별 작업성, 생산성 및 작업정밀도를 향상시킨다.
2. 방제작업과 같은 인체에 유해한 작업환경에서 무인작업을 가능하게 하고 국지적(Site-Specific) 개념의 정밀농법에 의거 농약의 사용을 최소화하는 동시에 효율적인 방제가 가능하도록 하는 환경 보전적 작업시스템을 개발한다.
3. 작업자의 작업환경 개선 및 다수 시스템을 원격지에서 중앙 통제하는 원격 유/무인 시스템 제어방식의 로봇시스템을 개발한다.
4. 정보처리를 이용하여 수집된 멜론의 3차원 공간상의 위치별 크기, 무게, 색깔 등의 생육정보 데이터를 차기 작물 재배시 사용하여 농가의 수입을 증대시키고 고품질의 멜론을 생산할 수 있는 시스템을 개발한다.
5. 신기술의 축적을 통하여 외국기술에의 의존을 탈피하고 국내기술의 자립에 기여하며 국내 농업기계 제조업체의 시설생산 관련 설비개발능력을 촉진시키고 국

산 시스템 및 기술력의 해외수출에 기여한다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 과제에서 다루고자 하는 연구 개발의 내용 및 범위는 다음과 같다.

1. 본 연구과제는 중량과의 대표적인 작물로 타 과실류에 비해 고부가가치 있는 멜론을 대상으로 한다. 이 연구를 통해 지면에서 수직으로 유인되어 재배되고 수확되는 멜론 시설에 적용 가능한 모듈라 타입의 다기능 원격 작업 시스템을 개발한다. 또한 주변기기 및 작업 시스템에 필요한 설비 및 요소기술을 연구 개발한다.

2. 구동 컨트롤러, 무선 데이터 전송장치, 영상 획득 장치 등의 모듈라 타입 단위 시스템과 작업 선단부에 교체가 가능한 작업툴을 부착한 모듈(module)형 다기능 생력 작업시스템을 개발한다.

3. 본 연구는 경제성과 적정 작업기능성에 바탕을 둔 시설내에서 실질적으로 재배 및 수확작업에 효율적인 작업기 및 생력화 작업설비의 개발연구를 수행한다. 인식·판단 기술의 개발, 원격조작방식의 작업 기술 및 장치 개발을 통하여 농업 생산기술의 혁신을 추진하는 동시에, 실험실 수준의 기초기술 확보를 뛰어넘어, 다목적 생력작업 시스템과 관련 주변기기 및 작업설비의 개발 연구에 대한 개괄적 연구 내용은 다음과 같다.

가. 재배, 수확, 적재 등의 각 작업별 특성을 고려하여 시설재배 작업공정의 분석, 경제성과 현장 투입을 목적으로한 자동화 작업시스템의 구체적인 작업 기능 사양 설정 및 작업 공간, 가반 하중, 작업 궤적, 동특성, 작업 속도, 소요 동력, 조작성을 고려한 구동방식 결정 및 메카니즘 구성

- 나. 모바일 원격 작업시스템에 장착된 하이브리드 병렬형 타입의 매니퓰레이터, 적재 장치, 동력 전달 장치, 동력 구동장치와 제어 메카니즘을 작업별 특성에 적합하게 조작성과 내구성을 기초로 설계
- 다. 작업 지시 장치, 구동장치 및 소프트웨어, 터치패드 스크린방식의 원격 제어시스템과 인터페이스를 개발한다. 각 작업별 소프트웨어를 별도로 개발
- 라. 원격조작을 위한 무선 영상 획득 시스템 구축 및 국부 영상 처리 시스템 개발. 무선 데이터 모뎀을 이용한 원격 제어 시스템 개발
- 마. 수확, 방제, 전정, 관수 등의 다양한 작업별 작업기 선단에 간편하게 장/탈착할 수 있는 모듈형 그리퍼(Gripper) 제작
- 바. 3차원 정보 추출을 위한 스테레오비전 시스템 개발
- 사. 다목적 생력 작업시스템의 작업별 성능 및 현장적응성 시험

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구에서는 멜론의 재배 및 수확 작업에 적용가능한 식물 생산에 있어서 새로운 개념의 다기능 원격 제어 자동화 시스템을 개발하였다. 제안된 시스템은 지속적인 변화가 일어나는 식물 생산 공정에 실질적으로 실현가능한 방법을 제시하였다. 원격 제어 방식을 이용한 컴퓨터 시각 시스템을 사용하여 멜론 대상체의 작업 환경 인식이 행해졌다. 광원의 다양성과 복잡한 배경으로 인해 실외에서의 작업을 통해 얻은 영상정보로부터 필요한 정보를 추출하는 것은 대단히 어렵고 많은 시간을 필요로 한다. 작업장에서 행해지는 식물 생산의 자동화를 하기

위해서 주변 환경 인식은 어느 무엇보다 중요하다. 구동 제어 및 작업 지시에 무선 모뎀을 이용한 원격 제어방식으로 무선 데이터 신호 전송을 통해 작업자-기계간의 즉각적인 의사결정을 가능해져 기계 조작시의 다양하고 복잡한 환경상의 제약을 극복할 수 있게 하였다.

이 연구로부터 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 수직 유인방식으로 재배되는 멜론 시설 재배에 실질적인 적용이 가능하며, 노동력 절감, 생산성, 경제성을 향상시킬 수 있는 기계화에 대한 연구가 수행되었다.
2. 자연광 상태에서 다양한 광원의 제약을 극복할 수 있는 국부영상처리 방식을 이용하여 대상체의 인식 및 작업이 수행되었다.
3. 직접적인 작업 교시가 가능한 터치패드 스크린 형태의 인터페이스가 개발되었다. 작업 지시, 작업 형태 및 공간 설정, 시스템 준비 등을 위한 GUI 형태의 소프트웨어를 개발하였다.
4. 정확한 목표물 추적을 위하여 분산제어 시스템이 소개되었고, 목표물 인식을 위한 스테레오시각 시스템이 제작 시험되었다.
5. 모듈 교체타입의 기계, 전기 및 전자적 인터페이스를 구축하였다. 방제, 시비, 제초, 가지치기, 수확, 진정 등의 다양한 작업을 위한 작업부 선단들을 개발하였다.
6. 데이터 및 제어신호의 무선 원격제어, 통신 프로토콜 제어, 시스템 제어를 위한 하드웨어 및 소프트웨어를 개발하였다.

7 하이브리드 병렬형 매니플레이터가 제작, 시험되었다. 작업 대차에 장착된 작업용 매니플레이터는 상부에 설치되어진 레일을 따라 전후로 움직인다. 시스템의 각 장치들은 작업자의 교시에 따라 무선통신을 이용한 원격 조작에 의해서 구동된다. 각 작업별 원격 제어를 통한 현장 적응성이 시험되었다.

현재 식물 생산에서 사용되는 다양한 로봇 형태를 포함한 자동화 시스템의 근본적인 결점은 실제의 작업 적응성이 낮고, 로봇에 의한 작업 결과를 신뢰할 수 없으며, 투자 비용은 높고, 조작하기 어렵다는 것이다. 이 논문에서는 현재 통용되고 있는 컴퓨터 제어형 자동화 시스템의 제한적인 능력을 해결할 수 있는 방법을 제시하였다. 원격 조작에 의해 처리되는 작업자-기계간의 하이브리드 자동화 기술은 앞으로 다양한 식물 생산에 응용될 것이다. 이는 크게 두 가지의 범주로 나누어지는데 첫째, 작업자와 CCRM(컴퓨터 제어 로봇) 간의 효율적인 작업 공유이고, 다른 하나는 작업자와 CCRM간의 효율적인 인터페이스이다.

작업자와 CCRM간의 인터페이스 시스템으로 터치패드 스크린 형태의 LCD 모니터를 사용하였고 원격 영상 획득장치가 사용되었다. 터치패드 스크린상에 획득된 영상에 작업자의 교시가 행해지면 대상체의 대략적인 크기를 포함하는 국부 영상처리 형태로 바뀌고, 대상체의 정보 추출이 필요한 특정 영역에 대해서만 영상처리 작업이 수행된다. 이러한 작업은 비주얼 베이직과 비주얼 C++ 6.0을 사용하여 윈도우즈 형태의 소프트웨어로 개발되었다. 소프트웨어는 원격 영상 획득 모듈, 작업 선택 모듈, 국부영상처리 모듈 및 3차원 좌표 추출 모듈의 네가지 모듈로 구성되었다.

이 연구에서는 멜론 시설내에서 원격 작업이 가능하도록 모바일 작업기 형태로 개발되었다. 개발된 시스템은 무선 원격 모니터링 및 작업 제어 장치부, 무선 원격 영상 획득 및 데이터 전송모듈, 레일 가이드 롤러에 의해 안내되는 레일 위를 움직이는 두개의 구동용 바퀴를 사용하는 작업 대차부와 작업 대차 상단에

장착된 하이브리드 로봇 암의 네가지 주요부로 구성되어 있다. 또, 탈부착이 가능한 멜론 적재 운반장치 또한 개발 되었다.

작업 대차는 직선 주행시 레일을 추종하는 가이드 휠에 의해 주행된다. 지면의 특정한 지점에 반복적으로 정확한 정지를 위해 비주얼태그가 사용되었다. 직선주행부의 끝지점에서는 선회 주행을 하기 위하여 지면에 설치된 테이프를 따라서 움직인다. 대상체의 3차원 정보를 추출하기 위하여 무선 원격 조작에 의해 카메라의 위치가 제어되는 스테레오 영상 획득 시스템이 장착되었다.

멜론의 크기나 모양, 상처와 같은 형상 인식을 위하여 칼라카메라가 사용되었다. 이 시스템은 터치패드 스크린 형태의 GUI 인터페이스를 통해 작업자, 컴퓨터 및 기계간의 무선 데이터 통신을 하게 된다. 이 개발된 시스템은 전정, 관수, 방제, 시비 및 수확작업 등의 멜론 재배에서 요구되는 대부분의 작업의 자동화를 위해 사용될 것이다.

개발된 시스템은 선택된 시험 조건하에서 실시간 처리 가능성, 자동화된 정밀한 대상체의 인식, 다양한 작업 환경에 대한 적용가능성을 보였다. 이 연구는 생육 모델링, 시계열 식물 성장 데이터베이스 구축 등에 연계된 식물 성장 과학과 깊은 연관이 있다. 그리고 식물 생육 상태의 많은 양의 모니터링은 새로운 시스템을 개발 하는데 적극 추천되어질 것이다. 향후 개발된 시스템을 상용화하기 위해서는 그린하우스 내에서의 지속적인 연구를 통해 성능을 시험하고 끝단부 작업기를 수정보완하는 연구가 필요하다.

SUMMARY

I. Title

Development of Melon Cultivation and Harvesting System Using Tele-operative
Automation and Information Technology

II. Objectives and necessity

There have been many research and development activities to automate greenhouse operations efficiently. So far, most of automatic control systems have been focused on maintaining proper growth environment to the plants in a greenhouse such as moisture, temperature, CO₂, and nutrients. In addition, automatic pesticide application system (not site specific) and automatic sorting of post-harvest products have been widely developed. However, most tasks that require delicate handling such as pruning and thinning out superfluous flowers and fruits, harvesting, stem induction etc. still remain to be automated. Some efforts have been made to automate harvest operation but only showed the feasibility of application through limited experiments. They had still practical problems to be solved in implementing to the real field operation.

Major bottlenecks of implementing task specific robotic system in greenhouse are lack of real time processing in task identification, too much complex system for farmers to handle, technical difficulties in adapting the system to variable and unstructured task environment, lack of the robustness of the system, and complexity of the system maintenance. Furthermore, the required system cost is too high and on the other hand, machine or system operating time for an individual task is too short compared to the overall growth period of each plant. Overcoming above deficiencies in usual approach toward greenhouse automation was main motivation of this research.

A tele-operative robotic system, which is a new concept of automation for bio-production, has been proposed to solve most of the obstacles mentioned above while maximizing system operation time and reducing total system investment. In this research, as a representative plant of weighted fruit bearing vegetables, melon was chosen to implement and realize the proposed system.

Greenhouse cultivation often requires high cost of facility investment. Because of that, the density of planting is high and a precise control of plant growth environment such as atmosphere and nutrition is usually being exercised. It is known to be desirable to maintain the greenhouse as a closed space separated from outside to prevent bad insects and diseases from migration. Besides, the optimum atmosphere to plants is usually not good for human health because of the excessive CO₂.

In Korea, these days differently from 1970s and 1980s, the issue of environment preservation spreads over the nation. Researches and developments on organic farming, environment friendly cultivation, and precision farming have widely spread out and actively performed. Therefore, it is highly required to minimize the application of chemical pesticide and fertilizer. The proposed multi-functional robotic system should cope with not only above problems efficiently but also quality maximization and improvement of overall production rate.

In reality, automating greenhouse cultivation often requires real time information processing such as job environment recognition including object identification, adaptive decision-making, etc. There have been many research efforts to substitute those human functions and to change mode of plant cultivation. So far, however, it is still far from the success especially for tasks under unstructured environment. Moreover, producing agricultural products such as fruits, vegetables, and crops requires many diverse processes,

which require various kinds of machines to automate each process. Compared with humans' versatility, those machines have been developed for the individual process with specialized function. These may help to automate each process successfully to some degree but resulted into the increase of the total production cost and decrease of the machine operation time.

Main purpose of this research was developing a newly concept machine or system which can solve efficiently most of the obstacles mentioned above in automating greenhouse plant production process, while maximizing system operation time and reducing total system investment.

According to the previously mentioned necessities, the final goal of the research was set up as following:

Final Goal: **Development of Melon Cultivation and Harvesting Tele-Robot System Using Tele-Operative Automation and Information Technology**

Considering greenhouse adaptation of machinery, machine operating efficiency, economical efficiency, and feasibility of commercialization, sub-categories of research targets were set up as following.

1. Through the development of modular type tools, system should adapt to various tasks resulting into the improvement of machine operation time, reduction of the system cost required for individual task automation, and improvement of the task efficiency.
2. Developed system should be environment friendly, while keeping farmer or operator off the cultivation site and introducing site-specific precision application of pesticide or fertilizer including water.

3. System should adopt the tele-operative concept through developing wireless remote control of the system, data and signal communication, and operator friendly man-machine control interface.
4. System should be capable of collecting plant growth data for future establishment of plant growth model via processing size, color, and 3D location of melon resulting into farm profit increase and production of high value added watermelon.
5. Via developed innovative technology and introducing high end technology to agriculture from this research, research results should improve the competitiveness of Korean technology in agricultural machinery and promote the export of system and technology.

III. Research content and scope

Content and scope of research and development of this project are as following:

1. Since melon is high value added vegetable, melon was chosen as a representative fruit bearing vegetables in this research. Through this research, modular type Multi-task Tele-robotic system for vertically grown melon cultivation and harvest is developed. And technology related to peripherals and system element required to develop the proposed system are also studied.
2. Modular type unit system such as drive controller, wireless remote data transmission, image acquisition device and so on including end-tool exchanger are developed.
3. This project pursues developing system which can be applied to the greenhouse

while satisfying the needs of economical efficiency and functionality of machine to perform various cultivation tasks including harvest successfully. The goal is not limited to the acquisition of laboratory level technology but aims to develop the practical multi-purpose high end system which utilizes frontier technologies such as recognition and decision finding technology under variable environment and tele-operative task command and data communication technology. Following shows brief but overall sub contents of this research.

- A. Characteristics of individual tasks such as cultivation, harvest, and loading is analyzed. Functional specification of machine to be developed such as workspace, load capacity, motion trajectory, dynamic characteristics, operating speed, required power, and maneuverability are set up based on the defined job function. Driving source and mechanism are selected and built.
- B. Mobile tele-robot loaded with hybrid parallel axes type robotic manipulator, transport device, power transmission device, kinematic structure, power drive and control mechanism is developed based on the machine function determined from task specification, manipulability, and endurance.
- C. Design and building task command control unit, driving hardware and control software, touch pad based remote control system and interface unit are performed. Software module for an individual task is developed.
- D. Wireless remote image acquisition system is built and local image processing algorithm is developed. Wireless remote data and control signal transmission unit is built with remote driving system.
- E. Modular type detachable various end-grippers for each task such as harvest,

pesticide, stem cutting, watering, and pruning are designed and built.

F. Stereo vision system for extracting 3D coordinate of object were developed.

G. Performance and field adaptability test of the developed system for individual task and modification is done.

IV. Results and Suggestion

In this research, tele-operative system automation, which is a new concept of automation for bio-production was proposed and prototype of a multi-purpose modular type tele-robotic system for melon cultivation and harvest was developed. The proposed system showed practical and feasible way of automation for the volatile bio-production process. Based on the tele-robotic concept, task environment recognition with melon identification was performed using computer vision system. Processing an outdoor camera image to extract some useful information is very difficult and requires heavy computing because of the light variation, complexity of the background and so on. The environment sensitivity was a key barrier to robotize the field operations in bio-production. A man-machine interactive hybrid decision-making, system drive control with wireless task command control, and wireless data and signal transmission, which utilized a concept of tele-operation was developed to overcome limitations in recognizing the complex and variable environment while improving robustness of machine operation.

Following shows summary of results obtained from this research.

1. Mechanization research on integrated systematic cultivation of melon grown vertically was performed, which allows practicability, labor saving, production efficiency, and economical efficiency.

2. Local image processing which overcomes variation of natural light in object recognition and job execution.
3. Touch screen based man-machine interface was developed. Software modules for task teaching, task type and space specification, system set up, and graphic user interface were developed.
4. Distributed control scheme was introduced to trace target object precisely and stereo vision system was built and tested for target recognition.
5. Mechanical and electro-electrical interfaces for the modular type detachable end tools were designed and developed. Modular end-tools for various tasks such as pesticide, fertilizing, weeding, pruning, turning, and harvest with stem cutting were developed.
6. Hardware and software module for remote wireless data and signal transmission, communication protocol, system control module were developed.
7. A hybrid parallel axes type robotic manipulator was built and tested. Robot manipulator was mounted on robotic mobile vehicle which moves on the rail and off the rail. Each unit of system was controlled through remote command control, which is specified by user and transmitted via radio communication. Through individual remote task operation, function of the system and field adaptability were tested.

Major deficiencies of current automation scheme including various robots for bio-production include the lack of task adaptability and real time processing, low job

performance for diverse tasks, and the lack of robustness of task results, high system cost, failure of the credit from the operator, and so on. This paper proposed a scheme that could solve the current limitation of task abilities of conventional computer controlled automatic system. The proposed scheme is the man-machine hybrid automation via tele-operation which can handle various bio-production processes. And it was classified into two categories. One category was the efficient task sharing between operator and CCRM(computer controlled robotic machine). The other was the efficient interface between operator and CCRM.

As an interface system between operator and CCRM, a touch pad screen mounted on the monitor and remotely captured imaging system were used. Object indication was done by the operator's finger touch to the captured image using the touch pad screen. A certain size of local image processing area was specified after the touch was made. And image processing was performed with the specified local area to extract desired features of the object. An MS Windows based interface software was developed using Visual Basic and C++6.0. The software was developed with four modules such as remote image acquisition module, task command module, local image processing module and 3D coordinate extraction module.

In this project, tele-operative mobile base was developed in order to automate cultivation of melon in greenhouse. The developed system was composed of four major modules such as wireless remote monitoring and task control module, wireless remote image acquisition and data transmission module, two wheel mobile base system equipped with rail guide roller, and hybrid robotic arm mounted on the mobile vehicle base. And a detachable melon transport module was also developed.

A mobile base was driven via guided wheel on the rail for the straight traveling section. The visual tag was utilized for the precise repetitive stop at the specified position on the track.

The mobile base was driven along the ground tape for the curved traveling section at the end of track. A wireless stereo image acquisition system whose camera position was controlled via wireless was mounted to identify three- dimensional coordinates of a target object.

A color camera was used for the recognition of the status of the melon such as size, shape, and defects. The system was operated through the graphic user interface using touch screen monitor and wireless data communication among operator, computer, and machine. The developed system will be utilized to automate most of handling tasks required for melon cultivation such as pruning, watering, fertilizing, pesticide application, and harvest.

Developed system showed the feasibility of real time processing, robust and precise object identification, and adaptability of various job and environments through selected sample tasks. Researches related to plant science such as growth modeling, building spatio-temporal plant growth database, and quantitative monitoring of plant growth state are highly recommended utilizing the developed system. For further research, it is required to have a performance test and end-tool modification according to the continuous greenhouse site experimentation research in order to commercialize the developed system.

CONTENTS

Section I. Summary of Research	23
Chapter 1. Objectives	23
1. Final Objective	23
2. Sub Objective	23
3. Needs of Research	25
Section II. State of Arts	30
Chapter 1. State of Arts	30
1. State of Arts - Domestic	30
2. State of Arts - Foreign	31
3. Prospect of Research	32
Section III. Contents and Results	34
Chapter 1. Ecological Characteristics and Melon Cultivation Technology	34
Chapter 2. Mobile Based Vehicle System	46
1. Planting Method of Melon	46
2. Effective Work Space of Mobile Vehicle System for Melon Cultivation	47
3. Mobile Based Vehicle System for Melon Cultivation and Harvest	48
Chapter 3. Image Processing System	65
1. 3D & Local Remote Image Processing System	65
2. Construction of Plant Growth Database via Image Processing	94
Chapter 4. Hybrid Robot System for Melon Harvesting	104
1. Hybrid Manipulator	104
2. Development of Robot Controller	142
3. Evaluation of Hybrid Robot System	148

Section IV. Results and Further Study 155

Section V. References 157

<Appendices>

1. Drawing of Mobile Vehicle 162

2. Computer Communication Program Code 170

3. Motor Controller Program Code 173

4. PLC Program Code 179

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	23
제 1 절 연구목표	23
1. 최종 연구 목표	23
2. 연구 개발 세부 목표	23
3. 연구 개발의 필요성	25
제 2 장 국내외 기술개발 현황	30
제 1 절 국내외 기술 현황	30
1. 국내 기술 현황	30
2. 국외 기술 현황	31
3. 향후 전망	32
제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과	34
제 1 절 멜론의 재배 기술	34
제 2 절 멜론 재배 수확기용 작업 대차 시스템	46
1. 멜론의 작목별 재식 형상	46
2. 시설내 작업별 특성에 따른 효율적인 유효 작업 공간 설정	47
3. 멜론 재배 수확기용 작업 대차 시스템	48
제 3 절 영상처리 시스템	65
1. 3D 영상처리 시스템 구축 및 국부 영상처리 알고리즘 개발	65
제 4 절 멜론 수확용 하이브리드 로봇 시스템의 개발	104
1. 하이브리드 매니플레이터	104
2. 제어기의 개발	142
3. 하이브리드 로봇 시스템의 성능평가	148

제 4 장 연구개발 결과 및 활용계획 155

제 5 장 참고문헌 157

<부 록>

1. 작업 대차 설계 도면 162

2. 통신 프로그램 170

3. 모터 컨트롤러 제어 프로그램 173

4. PLC 프로그램 179

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구목표

1. 최종 연구 목표

**멜론 재배 및 수확작업을 위한 현장 적용형
다기능 자동화 작업시스템 개발**

2. 연구 개발 세부 목표

가. 본 연구에서는 시설재배 작목중 수직 유인 방식으로 재배되는 멜론을 대상으로 작업체계를 분석하고 경제성 및 기술 난이도, 현장 적용성, 작업자의 작업성, 다양한 작업 즉 방제, 교배, 수확 및 수확 동시 선별, 이송 등의 작업공정에 효율적으로 적용할 수 있는 신 개념의 다기능 원격 자동화 작업시스템 및 시계열 재배 작업관리 지도 및 수확지도 작성을 통한 생육정보 데이터베이스 시스템을 구축하고자 한다.

나. 인식·판단 기술의 개발, 원격조작에 의한 무인작업 기술 개발 및 영상정보에 의거한 시계열 생육정보 데이터베이스를 구축하여 시설온실을 이용한 생산기술을 혁신시키는 동시에 경제성과 적정 작업기능성에 바탕을 둔 실질적인 현장 투입용 작업기 및 생력화 작업시스템의 개발연구를 수행한다. 수확, 선별, 시비 등의 재배관리, 병충해 방제 등의 노동집약적 및 인체에 유해한 시설내 재배관리(교배) 작업, 수확, 선별작업 등의 생력화를 위한 다기능 원격 자동화 작업시스템과 생육정보 구축에 대한 개괄적 연구 내용은 다음과 같다.

- 1) 생육환경 및 재배 경과에 따른 개체별 시계열 생육정보 지도 작성을 위한 원격 영상획득 시스템을 구축하고 터치패드 인터페이스를 이용한 국부

정보처리기술을 개발한다.

- 2) 생육환경 및 재배경과에 따른 개체별 시계열 생육정보의 지도 작성을 통하여 효율적인 생육관리시스템을 구축한다.
- 3) 교배, 수확, 선별 및 이송적재, 방제 등을 위한 시설재배 작업공정의 분석과 경제성과 현장 투입성을 고려한 개발 작업시스템의 구체적 작업기능사양의 설정 및 작업공간, 조작성을 고려한 작동장치를 구성한다.
- 4) 작업기능 및 조작성과 내구성 그리고 작업범위의 효율성을 고려한 원격자동화 작업기와 이동시스템을 설계·제작하고, 작업공정별 모듈형 선단작업장치를 개발한다.
- 5) 작업지시 제어 및 작업구동 소프트웨어 개발과 터치 패드를 이용한 원격작업관리 및 제어에 요구되는 단위 작업별 작업 프로그래밍 소프트웨어 개발하고 단위 설비간 인터페이스를 구축한다.
- 6) 생육정보 구축을 위한 재배관리 지도, 수확지도 작성용 원격구동 무선 칼라카메라 시스템을 구축하고 무선 영상 송수신에 의한 국부 영상처리 기술을 개발한다.
- 7) 시설 내 작업조작 간편성을 고려한 적재 기능을 갖춘 충전식 소형 이송차(작업기 탑재 및 이송 운반작업용)를 제작한다.
- 8) 모듈형 장탈착 작업선단 Unit을 개발하고 다기능 원격 생력 작업시스템의 작업별 모듈 장탈착 성능 및 기능을 시험한다.

3. 연구 개발의 필요성

최근 국내외적으로 농업 분야의 기술 및 구조혁명이 급속히 이루어지고 있다. 농업분야는 토지와 인력 그리고 자연 환경에 예속된 1차 산업으로부터 자본과 기술이 집약된 즉, 생산, 가공, 유통 등 1, 2, 3차 산업을 통합한 형태의 통합산업으로 발전하고 있다. 이와 같이 농업의 위상 및 개념이 재정립됨에 따라, 농업 생산에 있어 기계화, 자동화, 컴퓨터 정보처리 등의 기술도입 및 혁신을 통한 생산성 향상 및 경영구조의 개선을 요구하고 있다.

새로운 개념의 농업 생산을 정착시키기 위해서는, 경제성에 입각한 적정 생산 규모를 확립하고 적정 작업체계를 설정하여 이에 필요한 각종 생산설비 및 기계를 개발하고 관련되는 관리 및 정보기술을 축적하는 것이 필수적으로 요구된다. 우리나라의 농업 생산설비와 기계화 실태를 보면 시설재배 관련 기계화는 미흡한 실정이다. 시설재배 생산의 경우, 계절과 무관하게 생산시기를 조정할 수 있어 부가가치를 높일 수 있으나, 시설규모 및 작목 수가 다양하고, 단일 품목 당 재배 면적이 비교적 작으며, 재배방식의 다양성, 작업의 다양성, 높은 재식 밀도 등으로 인하여 작업의 일관 기계화와 설비 자동화의 추진에 있어 어려운 점이 있다.

시설재배 작업을 대상으로 하는 설비 및 작업기계의 개발은 일반 산업체의 기계류 생산과는 달리 수요 규모에 따른 경제성 문제가 재고될 필요가 있으며, 더욱이 대상 작목에 따라서는 섬세한 정밀작업을 요구하기 때문에 생산규모에 따른 경제성과 작업의 다양성과 난이도 등을 어느 정도 일거에 해결할 수 있는 새로운 개념의 생력화된 기술의 개발이 필요하다. 특히 국내외적으로 시설재배에 대한 수요가 급증하고 있어 새로운 개념의 생력화설비 및 작업기계의 개발이 절실히 필요하다.

시설재배를 이용한 과채 생산에 있어 재배 관리의 최적화를 통하여 효율성을 높이기 위해서는 재배작목의 지속적인 생육상태 모니터링 및 이의 분석이 필요하다. 이를 위해서는 환경 및 영양정보와 연계한 시계열 재배관리 지도 및 수확지도 작성 등 새로운 개념의 포괄적인 생육정보 데이터베이스화가 필요하며

이를 위한 효율적 모니터링 시스템 구축이 필요하다.

가. 기술적 측면

- 1) 국내 시설재배의 경우, 육묘작업, 시비작업, 정지작업, 파종작업, 관수작업, 수확작업, 선별작업, 포장출하작업 등의 다양한 작업공정에 대한 생력화 연구가 개별 작업단위로 활발히 추진되어 오고 있다. 하지만, 이들 개개 단위작업용 전용장치의 개발은 생력화 측면에서, 그리고 전반적인 작업 경제성 측면에서 문제가 되고 있다. 투입설비가 작업별로 다양해져서 실제 작업가동 시간을 고려한 단위 작업공정별 전용 작업기계의 가동률은 현저히 떨어지고 생력화에 따른 경제적 부담이 가중되고 있는 실정이다.
- 2) 특히 일부 작업에 있어서는 대상물의 인식·판별에 대한 실시간 처리 기술의 어려움, 대상 작목에 따라 요구되는 취급설비의 고정밀도, 가변적인 작업환경 등 생력화 작업설비의 개발에 있어 기술적 문제를 포함하여, 경제성, 실용성, 유지보수 측면에서 큰 어려움이 있다.
- 3) 관리재배 수확작업의 생력화를 위한 작업기 및 설비의 개발은 언급한 경제성, 실용성 그리고 작업의 난이도 및 기계 가동률 등의 문제점을 효율적으로 해결할 수 있는 새로운 접근이 필요하다.
- 4) 멜론재배시 작업공정별 노동투하시간은 표 1과 같다. 표에서 볼 수 있듯이 노동투하측면에서 큰 비중을 차지하는 작업은 수확, 선별 및 포장, 정식, 묘판 관리 등이다. 대부분의 작업이 시설 내에서 이루어지고 있으나, 작업공간의 한정, 기기의 이동성, 다양한 설비 등으로 인하여 실질적 적용사례는 극히 드문 실정이다.
- 5) 멜론의 수확, 재배관리 등의 작업에 있어 현실 적용성을 고려한 생력화 설비의 개발을 통하여 부족한 노동력 및 힘든 작업을 대체하고 전반적으로 작업생산성을 향상시키는 것이 절실하다.
- 6) 시설 재배시의 재배관리 및 수확 선별작업에 있어 다양한 재배 형태에 능동적으로 대처할 수 있는 다목적 생력화 작업기를 개발하여 대부분 작업에 있어 일괄적으로 생산성을 향상시키고 다목적 기능을 통한 작업기계

의 가동률을 높여 단위 생력화 시스템의 작업능률을 극대화 할 수 있다.

- 7) 시설 재배의 관리 및 수확 선별작업을 위한 다목적 생력화 작업기의 개발을 통하여 현시점에서 기술적용이 곤란한 인식·판단 기술을 새로운 관점에서 재고하여 시설 재배에서의 기계화 실용도를 높일 수 있으며, 이를 통하여 첨단기술의 실질적 농업적용이 가능해지며 시설 재배분야의 생력화가 가능해질 것이다.

나. 경제·산업적 측면

- 1) 시설 생산농의 육성을 위해서는 노동집약적 작업의 생력화 설비개발을 통하여 시설 생산농가의 노동력 부족 및 고임금 실태에 대처하여야 하고 실질적으로 작업생산성을 향상시킬 수 있고 기계 비용을 절감할 수 있는 효율적인 다기능 원격 자동화 작업 시스템의 개발이 필수적이다.
- 2) 생력화 설비의 개발을 통하여 생산성을 향상시킴으로서 멜론 농가의 국제 경쟁력을 확보할 수 있고 시설농업 경영자의 경영수지를 개선할 수 있다.
- 3) 다기능 원격 자동화 작업 시스템은 모듈화 선단 작업장치를 이용하여 각 단위작업 공정에 쉽게 적용할 수 있도록 하여, 설비가동률을 높이는 한편 전체 작업에 들어가는 기계화 비용을 절감함으로써 작업별 생산성 및 작업정밀도를 향상시키고 고품질 생산에 기여한다.
- 4) 방제작업의 경우 개발한 다기능 원격 자동화 작업 시스템을 이용하여 자동살포가 가능해 지고 약효가 필요한 곳에만 직접 살포하는 정밀방제의 실현이 가능하다. 이를 통하여 농약 살포량을 절감시키는 환경 보전적 영농을 가능하게 한다.
- 5) 시비작업의 경우, 생육감시 체계에 의거하여 생육이 부실한 개체에 대하여 선별적으로 수행하게 됨으로써 시비의 효과를 극대화 할 수 있다.
- 6) 수확 작업의 경우, 수확시 크기, 색깔 등의 품질 관련요소를 판정하여 운반차에 선별 적재할 수 있도록 함으로써, 선별에 소요되는 노동력을 절감

하고 상품의 고부가가치화와 농가의 수익증대에 기여한다.

<표 1-1> 멜론의 노동 투하 시간

작업 단계별	합 계	동 력
종자소독 및 파종	20	-
포트준비	20	-
묘관관리	12	-
약제살포	4	-
관수 및 환기	20	-
경운정지	-	4
짚단넣기	40	-
상토넣기	80	-
지주, 네트세우기	20	-
정식	20	-
가지유인	60	-
아랫잎 제거	20	-
적아 및 정지	80	-
교배	60	-
적과 및 열매 매달기	20	-
제초	20	-
옷거름	10	-
방제	20	-
관수	100	100
환기	50	-
수확 및 출하	160	-
계	876	104

자료 : 멜론 작업단계별 노동 투하량. (표준 영농교본)

7) 장기적으로 볼 때 신기술의 축적을 통하여 외국기술에의 의존을 탈피하고 기술 자립에 기여하며 국내 농업기계 제조업체의 개발능력을 촉진시키며 국내 개발 생력화 설비의 해외 수출을 통하여 농업기계 산업의 활성화를 촉진하게 된다.

다. 사회·문화적 측면

- 1) 농업기술의 첨단화로 농업이 사양산업이라는 고정관념을 탈피하는데 기여한다.
- 2) 시설 원예 작업의 3D(Dirty, Difficult, Dangerous) 인식 탈피 및 작업기 피 성향을 개선하게 된다

- 3) 새로운 영농방식에 대한 국민들의 관심을 유발시켜 첨단 농업으로서의 인식을 제고하고 향후 우수인력의 농업분야 유입을 촉진한다.
- 4) 단순 노동이라는 농작업의 관념을 일신시키고 전문 기술자에 의한 기술농업으로서 위치를 공고히 하게 된다.

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내외 기술 현황

1. 국내 기술 현황

표 2-1은 멜론의 생산작업 체계를 보여주며 작업에 따른 기계화 정도를 보여 주고 있다.

농업 생산설비와 작업기계의 개발연구 측면에서 국내의 연구실태와 선진외국을 총괄적으로 비교하면, 우리나라의 농작업기계는 극히 수도작 중심으로 개발 실용화되고 있을 뿐이며, 전작이나 시설생산에 있어서는 제한된 품목의 작업기만이 수입 또는 국산화되어 있는 실정이다. 따라서, 전작 및 원예분야의 생력화를 위한 설비개발 및 기계화와 자동화 기술연구가 향후 필수적으로 추진되어야 하겠다.

<표 2-1> 멜론의 생산작업 체계 및 작업별 기계화 정도

작목	작업체계 및 작업별 기계화 정도											
멜론	파종 (*) 인력, 파종기	→	접목 (-) 인력	→	접목 후 관리 (x) 인력	→	정식 (-) 인력	→	측지정리 (x) 인력			
	추비 (-) 인력	→	정지 및 초세정리 (x) 인력	→	교배 (x) 인력	→	제조 (-) 인력	→	과실 정돈 (x) 인력	→	수확 (-) 인력	→

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

수확작업의 경우, 농업공학연구소에서 토마토 수확용 로봇의 기초 연구가 이루어지고 있으나 기초적인 실험연구에 불과한 실정이다. 성균관대학교 바이오 메카트로닉스학과에서는 실험실 수준의 시작기 형태로 매니퓰레이터의 연구개발을 추진하고 있다. 그러나 작업여건을 고려한 현장 투입 측면에서는 기능을 비롯한 현장 적용성, 작업 다양성 등 여러 가지 측면에서 대단히 미흡한 실정이다.

본 연구팀은 1994년에 실험실 수준의 초음파센서를 장착하고 PC에 의해 주행이 제어되는 2륜 구동 및 조향 1륜의 보조 바퀴가 부착된 전기모터에 의해 구동되는 Mobile 로봇을 개발하였으며, 1997년에 호접에 의한 과채류 자동접목장치, 건조 표고버섯 전자동 등급판정 및 선별장치를 성공적으로 개발하였다. 2001년에는 지면에서 재배되는 수박과 같은 중량과를 대상으로 한 겐트리 타입의 범용 생력작업시스템 개발을 완료하였다.

2. 국외 기술 현황

노지 포도과수원의 규모가 대규모인 프랑스와 미국의 경우에는 작업자가 운전하여 조작하는 전용기 형태의 작업기들이 개발되어 보급되고 있는데 1차 전정기계, 포도의 곁가지 절단 및 줄기유인(유인후 클립으로 붙들어 땀)용 기계, 포도밭의 좌우와 위에 있는 가지를 절단하는 기계, 포도주 가공용 포도를 훑어 수확하는 포도 수확기 등이 개발되어 실용화되고 있다.

프랑스의 CEMAGRAF에서 사과 수확용 로봇을 실험실 수준으로 개발한 바 있으며, 일본의 오카야마 대학에서 실험실 수준의 포도, 딸기, 오이 등의 수확을 위하여 선단의 End-effector 개발을 중심으로 기존의 산업용 로봇을 이용한 시작기를 개발하였다. 하지만 현장 적용측면에서는 아직 어려운 실정이다.

농작업용 로봇의 연구개발에 있어서는, 로봇 시비기(Mitsubishi Co. Ltd, 1989; Matsuo, et. al., 1989), 무인 주행트랙터(Ikumoto et. al., 1989), 원격제어 잔디깎기 로봇(Kubota Co. Ltd), 무인 콤팩트 수확기(Kito, 1986), 로봇트 이앙기(Yamashita et.al., 1990) 등의 메카트로닉스 부문 첨단기술을 이용한 연구가 활발히 추진되고 있다.

무인 작업화 혹은 로봇을 이용한 과수 분야의 작업 시스템 개발은 선진국에서도 아직은 실험실 수준 내지 국부적인 성능시험 정도로 아직은 실용화되고 있지는 않으나, 일본을 중심으로 농업 생산분야의 특성을 고려한 컴퓨터 시각 시스템과 정보처리기술 등의 개발을 통하여 단위 작업별로 미흡하나마 실용화 연구를 시도하고 있다. 하지만 현장 투입은 여러 가지 문제점으로 당장은 어려울 것으로 판단된다.

3. 향후 전망

가. 멜론 시설용 생력화 설비의 개발 요구는 지속적으로 증대할 것으로 본다.

나. 하지만 국내외적으로 생력화 설비의 연구방향 설정에 문제가 있어 왔다. 즉 단위작업 공정에 전용으로 투입되는 전자동 작업기를 개발하고자 하는 연구방향은 개발 및 실용화 단계 측면에서 매우 비현실적이다. 또한 기술적 측면에서, 경제성 측면에서, 그리고 안전성과 작업성 측면에서 대단히 많은 문제점을 안고 있다.

다. 본 연구팀은 작업자의 인력을 이용한 농작업 특히 시설 재배작업의 생력화 및 생육정보의 데이터베이스 구축에 있어 일반 산업분야의 자동화 발전 추이와 설비도입 추이를 고려하여 현장 적용성과 경제성 그리고 작업성을 고려한 생력화 설비로서 시설과채류를 대상으로 재배관리 및 수확 선별용 다기능 원격 작업기를 개발하여 국내외적으로 시설원예 작업기계의 개발 방향을 제시하고 기술을 선도할 계획이며 앞으로의 발전방향은 다음과 같이 전망한다.

- 1) 수작업 + 경험 및 수작업 생육정보 획득 및 이용
- 2) 간이자동화 장치 + 경험 및 수작업 생육정보 획득 및 이용

- 3) 반자동화 장치 + 경험 및 수작업 생육정보 획득 및 이용
- 4) 전용 자동화 장치 + 경험 및 부분적 생육 환경정보 자동획득 및 이용
- 5) 무인 자동조작과 유인작업의 혼합형태의 범용작업기
 - + 경험 및 부분적 생육정보 자동획득 및 이용
 - => 부분적 작업환경 인식 및 보조형태의 자동 의사 결정 기능
- 6) 무인 자동조작과 자율주행, 유인감시 혼합형태의 범용작업기
 - + 경험 및 개체별 생육정보 자동획득, 데이터베이스 구축 및 이용
 - => 국부적 환경 인식 및 국부적 자동 의사 결정 기능
- 7) 무인 전자동 범용 작업기
 - + 경험 및 개체별 생육정보 자동획득, 데이터베이스 구축 및 이용
 - => 환경 인식 및 자동 의사결정

현재 멜론과 같은 과채류의 시설 재배 생력화 설비의 개발 방향은 단계 5에 맞추어 단계 6으로 개발이 추진되어야 함에도 불구하고 국내외적으로 단계 7에 주로 연구 초점을 맞추어 연구개발의 성과가 미흡하고 기술적 어려움 뿐 아니라 경제적 사회적 측면에서도 연구개발의 문제가 제기되고 있다.

본 과제에서 제안하는 시설원예의 관리방제 및 수확 선별작업을 위한 범용 자동 작업기는 특허권 취득을 통하여 멜론 시설재배 작업 관련 기술권을 획득하여 해외로의 설비 수출이 가능할 것으로 판단한다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 멜론의 재배 기술

1. 멜론의 특성

멜론의 원산지는 중앙아시아의 고온 건조지로서 비가 적은 지방에서 재배, 분화된 서양계 멜론(Western melon)과 동양의 비교적 습윤한 지방에서 발전된 동양계 참외(Oriental melon)로 구분된다. 그러나 일반적으로 멜론이라 하면 주로 서양계 멜론인 머스크 멜론을 의미한다.

멜론은 과채류 중에서 재배기간이 가장 짧은 작물로서 생육에 알맞은 환경에서 재배할 경우 80~90일이면 재배가 끝난다. 따라서, 불량한 환경에서 무리하게 재배하는 것 보다는 환경이 좋은 시기를 택하여 우수한 품질을 생산하는 것이 현명하다.

과실의 발육에는 최저온도 16~20도의 시기가 적기이므로 시설재배가 아닌 경우 남부지방에서는 봄 재배, 중부지방에서는 초여름 재배, 중부이북지방에서는 여름재배가 좋다. 그러나 온실멜론은 인공적으로 알맞는 환경을 유지할 수 있어 연중 연속재배가 가능하다.

가. 온도

멜론의 생육 온도는 야간 최저 16~20도, 주간 최고 28~30도, 지온 20~25도로 비교적 높은 편이다. 그러나 영양생장기에는 이보다 2~3도 낮아도 재배는 가능하며, 경제성이 있는 한계온도는 노지 멜론 12도, 하우스 멜론 15도, 온실 멜론 17도 이다.

나. 일광

멜론은 일조량이 부족하면 향기가 적어지고 맛도 없으며 색깔도 좋지 않아 상품성이 극히 불량해진다. 광합성의 광포화점은 50~60 Klux, 광보상점은 1

Klux로써 토마토나 수박에 비해 포화점이 낮다. 따라서 일조시간이 짧은 지역에서는 멜론재배가 사실상 곤란하다. 저온기 겨울 재배에서는 1개월당 일조시간이 190시간 이상 지대에서만 가능하다.

다. 토양

멜론의 뿌리는 많은 산소량을 요구하기 때문에 공기함량이 많은 토양의 표층부에 거의 분포되어 있다. 따라서 토양의 통기성이 좋고 물리성이 양호한 양토나 식양토가 적합하다.

2. 육묘관리

가. 상토 만들기

과채류에 있어서 육묘기간 동안의 환경은 정식후의 생육 및 암꽃 발생 등에 많은 영향을 미치므로 상토준비와 온도 관리에 힘써야 한다. 상토로는 흙, 석회, 퇴비, 비료를 적당량 섞어 퇴적하여 2개월마다 뒤집어 반년 정도 퇴적시켜 만든 퇴적상토를 사용하는 것이 좋다. 흙과 퇴비는 1:1정도 되게 하고 일반 과채류보다 석회분을 많이 사용하여 토양산도(pH)를 6.5~7.0정도 되게 한다.

나. 육묘상 만들기

저온기의 육묘는 날씨가 흐리거나 눈, 비가 올 때도 생육에 필요한 온도를 확보하기 위하여 온상이 필요하다. 근래에는 전열선을 이용한 방법이 많이 보급되고 있다. 전열온상은 시설이 간단하고 노력이 적게 들며 발열이 균일하다. 전열온상은 발아 상에 30도, 육묘 상에 18도의 지온 확보를 목표로 하는데, 이때 필요한 전력량은 발아상이 평당 350W, 육묘상은 평당 250W 정도가 적당하다. 전열온상 사용 시 상토는 배선부분이 열에 의하여 건조하기 쉬우므로 관수에 유의해야 하며, 자동온도조절기를 부착하여 온도조절을 한다. 또한 전열선의 배선간격을 가운데는 넓게 하고 바깥부분은 좁혀 지온이 골고루 상승하도록 해야 한다.

다. 고온기의 육묘법

강우 시 비를 피할 수 있어야 하고, 이식이나 접목할 경우 활착하기까지 강한 햇빛을 막을 수 있는 차광망을 준비한다. 또한 진딧물에 의한 바이러스의 감염을 사전에 방지하기 위하여 육묘 하우스의 환기부분 전체를 한냉사로 가려주어야 한다.

라. 발아

멜론종자가 발아하기 위해서는 수분, 온도, 산소가 관여하고 발아 후의 생육에는 광 및 비료분을 필요로 한다. 발아적온은 28~30도 이고 이 온도보다 저온이면 발아까지의 시간이 많이 걸리고 발아율도 떨어지며, 이보다 고온이면 연약해진다. 건조한 종자가 발아에 필요한 수분을 흡수하기까지는 2~3 시간 정도를 필요로 한다.

발아 시에 호흡량이 많고 산소공급이 부족하면 발아 억제 또는 질식사하게 되므로 장시간 침적하거나, 배수가 나쁘고 통기성이 없는 상토에 파종할 경우 및 관수량이 많은 경우에는 주의하여야 한다.

마. 파종과 온도관리

저온기에는 발아적온의 확보가 제일 중요한 요인이 되므로 온도의 확보가 정확한 발아상에서 일제히 발아시키는 방법이 일반적이며, 고온기에는 육묘포트에 직접 파종하는 방법이 좋다. 육묘포트에 1립씩 파종하면 이식작업을 생략할 수 있고 육묘기간도 단축시킬 수 있으므로 대량 육묘를 하는 경우에 편리하다.

발아를 균일하게 시키기 위해서는 복토의 두께가 일정해야 하고 각 포트의 수분을 균일하게 해준다. 파종상의 온도를 28~30도로 올린 다음 1~1.5 × 7~10cm 간격으로 조파 한다. 복토는 토질이 가벼운 경우는 8mm정도, 무거운 경우 5mm의 두께로 하는 것이 적당하다.

파종 후에는 파종상의 지온이 떨어지지 않도록 30도 정도의 물을 사용한다. 파종 후 2일간은 신문지등을 덮어주면 상토의 표면이 건조해지는 것과 갑작스

런 야간온도의 저하에 대비할 수 있다. 3일째부터 신문지를 제거하여 햇빛을 충분히 쬐이도록 한다. 발아 후에는 온도를 점차 낮추어 이식 전에는 22도 정도가 되게 한다.

바. 이식과 온도관리

떡잎이 벌어져 본엽이 나오기 시작할 때(파종 후 8일 전후)에 이식한다. 파종 간격이 좁을 경우, 파종상에 비료분이 없을 경우, 상토가 얇을 경우는 이보다 일찍 이식을 한다. 이식하는 육묘포트의 온도는 파종상보다 2~3도 높게 해야 활착이 잘 된다. 이식 후의 관수는 30도 정도의 물을 사용하여 지온의 저하를 막는다. 또한 배축의 병을 예방하기 위해서는 깊게 심는 것을 피해야 한다. 활착하여 본엽이 나오기 시작하면 지온을 점차 낮추어 제1본엽 전개시에는 야간의 최저지온이 18도정도 되도록 조절하고, 주간 지온은 하우스내의 온도가 상승하므로 염려하지 않아도 된다. 주간의 온도는 최고온도를 28~30도로 유지하되 이보다 높아지면 환기를 해주고, 야간은 15~16도로 약간 저온으로 유지하는 것이 좋다.

사. 관수

저온기의 육묘중 관수할 때 주의할 것은 찬물을 사용하여 지온을 떨어뜨리지 않도록 하는 것이다. 또, 야간의 다습은 묘의 도장과 병발생의 원인이 되므로 야간에 다습하지 않을 정도로 관수량을 조절하며, 각 포트에 균일하게 관수해야 한다.

저온기에는 지하수 이외의 물은 상당히 온도가 낮으므로 지하수가 없을 경우에는 비닐하우스내에 관수용 물을 준비하고, 태양열 등에 의해 어느 정도 수온이 올라가면 사용하는 것이 좋다. 또한 찬물을 잎위로 주면 관수량이 불균일하고 생육이 정지되거나 병의 발생 등 위험이 따르므로 줄기와 잎에는 가능한 한 물을 뿌리지 않도록 유의한다.

3. 정 식

가. 정식 준비

멜론을 심기 전에 우선 하우스의 토양조건을 파악하는 것이 멜론 재배의 성패를 결정하는 큰 요인이 된다. 입지조건, 토양의 물리성, 화학성, 토양병충해의 면에서 검토가 필요하다.

봄 재배에서는 지온이 정식 후의 생육에 제일 영향을 많이 끼치므로 저온기 정식은 지하 15cm 깊이의 온도가 18도 이상이 되도록 지온을 높일 필요가 있다. 지온은 단시간에 올릴 수 없으므로 정식 전에 하우스를 밀폐하여 낮에는 태양열을 받아들이고 밤에는 보온하여 정식 후 뿌리가 충분히 뻗을 수 있는 깊이까지 충분히 지온을 올려 놓는다.

지온 상승에 필요한 일수는 재배시기, 맑은 날수, 토질, 토양수분, 멀칭의 종류 등에 따라 다르므로 하우스피복을 일찍 하여 여유를 갖고 지온을 상승시키는 것이 좋다. 구덩이를 팔 때는 남쪽에서 북쪽으로 삼질을 하면 비교적 지온이 빨리 오른다.

저온기 정식 후의 관수는 지온을 떨어뜨리고 흙을 굳게 만들므로 사전에 관수하여 적당한 습기와 지온이 회복된 후에 정식한다. 여름철 고온시의 정식은 정식 후 관수해도 되고 증산량이 많으므로 활착까지 건조하지 않도록 순차적으로 관수한다.

나. 재식밀도

재식밀도는 같은 품종이라도 토질 및 재배시기에 의한 초세 및 잎의 크기가 다르므로 여기에 적당한 재식밀도를 고려하여야 한다. 모양이 좋고 품질이 우수한 멜론을 생산하기 위해서는 다소 수확량의 감소가 예상되더라도 재식밀도를 넓게 하여 잎이 충분하고 균일한 광선을 받을 수 있도록 하여야 한다.

재식밀도를 결정하는 요인의 하나는 1주에 과일 1개를 착과시키느냐, 2개를 착과시키느냐에 따라 다르다. 1과를 착과시키는 경우에는 20절 전후에 적심하고, 2과를 착과시키는 경우에는 25절 전후에 적심하므로 하위엽에의 광선도달

율이 다르므로 주간거리의 차가 생긴다. 재배시기를 크게 나누어 광량이 풍부한 봄재배에는 약간 밀집되도록 하고, 반대로 가을재배에는 재식밀도를 넓혀야 한다. 가을재배에는 생육 후반에 일조량이 적어지기 때문에 한 줄기에 2개 착과시키는 것은 무리이고 1과 착과를 목표로 하고, 조간과 주간은 봄재배의 2개 착과방법을 기준으로 한다.

다. 정식시기

저온기 정식은 아침의 저온이 18도, 최저기온이 12도 이상이며 맑고 바람이 없는 날을 택해 아침 일찍 정식하도록 하고 저온이 떨어지기 시작할 때는 정식을 피한다. 저온기 정식에 적당한 묘의 크기는 본엽 3.5~4매 정도의 묘이다.

고온기 정식은 봄재배와는 반대로 주간의 고온기를 피하여 오후에 정식을 시작하며 정식에 적당한 묘는 파종 후 14일 정도 되고, 본엽이 2~2.5매 정도 되는 어린 묘를 심는다.

정식을 할 때는 포트의 흙이 떨어지지 않게 주의하여 정식하되 포트 표면이 이랑 표면보다 약간 높게 심어야만 배측부분의 병발생이 적고 저온기에 포트부분의 온도가 높아지므로 활착에 유리하다.

정식후 활착까지 며칠 동안은 온도를 약간 높게 관리하여 활착을 돕는다. 새로운 잎이 나오고 잎에 이슬을 머금으면 그 품종에 적합한 온도관리를 한다. 하우스멜론은 야간 최저기온이 12도 이상 되게 관리하고, 주간은 맑은날 28~30도 정도로 하고 최고기온이 30도가 넘지 않도록 한다. 바깥기온이 낮은 시기에 하우스안이 고온 다습할 경우 환기를 급하게 하면 찬공기에 의해 잎이 타는 증상이 나타나므로 주의하여야 한다.

4. 환경관리

가. 온도 관리

1) 야간온도 관리

가) 정식 → 교배기

최저야온을 10도이상 확보 하도록 하며 일조가 부족한 시기에 야간고온

(18도이상)은 지하부에 비하여 지상부가 무성하게 되어 생육의 균형이 파괴되기 쉽다. 낮에는 이중터널을 제거하여 뿌리가 왕성하고 엽육이 두텁게 만든다.

나) 교배기

야간온도가 낮으면 꽃가루 및 배가 저온 장애를 받아 착과가 어렵다. 화분교배에 의해 안정된 착과를 위해 13~15도 이상의 온도가 필요하다.

다) 과실비대기(착과 → 착과후 15일 전후)

야간온도가 높으면 과실의 초기 비대는 좋다. 품종 및 재배시기에 따라 최저온도가 15~18도 이상 되도록 유지한다.

라)과실경화기 → 네트 발생초기

네트발생이 빠른 품종은 개화후 10일 경부터, 늦은 품종은 개화후 15일경부터 네트발생을 촉진시키기 위하여 경화처리가 필요하다. 따라서 기온은 비대 적온보다 약 3도 정도 낮게 관리하고 환기를 시켜 하우스의 습도를 낮춘다.

마) 네트발현기

야간 최저기온을 다시 약간 높여 비대를 촉진시켜 2차네트의 발생을 촉진한다. 15도 이상이 필요하며 네트의 용기를 좋게 하기 위해서 하우스내의 습도도 높여준다.

바) 성숙기

외기온이 고온이므로 야온을 15~18도가 되도록 온도를 낮춘다. 야온이 20도 이상 고온이 되면 야간호흡이 왕성해져 낮동안의 광합성 산물을 많이 소모하여 당축적에 불리하다.

2) 주간 온도관리 및 환기

주간의 온도관리는 28~30도를 목표로 하고 33도 이상 되지 않도록 한다. 외부기온이 낮고 맑은날 하우스내의 온도가 높아진 경우 갑자기 많은 환기를 시키면 잎이 시들고 장애가 나타나기 쉬우므로 주의한다. 넓은 면적 재배

시는 처음 환기를 시작하는 하우스를 바꾸어 가면서 시킨다.

나. 시비 관리

멜론은 수확 전 20일 정도의 당도 상승기에는 거의 비료가 흡수되지 않도록 하는 것이 좋다. 이 시기에 양수분의 흡수가 활발하면 성숙기의 지연, 당도부족, 열과 발생과 같은 현상이 나타난다. 반대로 비료 부족이 되면 생산력의 저하, 생육후반기의 초세 약화로 품질 저하를 초래하게 된다. 이와 같이 생육단계에 따라 비료흡수에 의해 과의 크기 및 품질에 큰 영향을 미치므로 시비량 뿐만아니라 비료의 종류도 중요한 요소가 된다.

멜론이 다른 작물과 흡비량이 다른 부분은 석회(Ca)와 마그네슘(Mg)의 흡수가 많다는 것이다. 따라서 질소, 인산, 칼륨의 3요소 뿐만 아니라 비료로서의 석회, 마그네슘의 중요성을 인식하여 시비하여야 한다. 멜론재배 직전에 사용하는 경우는 필히 완숙된 퇴비를 사용하여야 한다. 또한 암꽃의 맺힘 및 착과, 품질 등에 대해서는 비료흡수의 균형이 큰 영향을 미치므로 질소 과다가 되지 않도록 한다. 시비량의 결정과 동시에 전량을 기비로 할 것인가, 기비와 추비로 나눌 것인가를 결정 해야 한다.

관수시설을 갖고 있지 않은 소형하우스의 경우는 관수를 자유로이 할 수 없으므로 전량 기비로 하는 것이 좋고 경토가 얇은 경우 및 모래가 많이 섞이고 건조하기 쉽고 보비력이 약한 토양에서는 관수횟수와 관수량이 많아야 하므로 전량기비로 하면 한 시기에 집중되는 현상이 있으므로 추비하지 않으면 안된다.

추비의 시기는 교배기 1주일 전, 과실의 비대 초기, 네트발생시기 등이 좋으며 교배기 전 및 네트발생기의 추비는 초세가 약한 경우에만 한다. 추비의 양이 과다하면 착과부족 및 당도 부족의 원인이 될 위험이 많으므로 시비량은 충분한 주의가 필요하다.

다. 수분 관리

멜론은 원산지가 건조지대이기 때문에 다습을 싫어하지만 생육을 위해서는 상당량의 수분이 필요하다. 수확을 장시간 계속하는 오이 및 토마토 같은 작물은 항상 수분공급이 필요하지만 멜론의 경우는 물을 많이 필요로 하는 시기

와 필요로 하지 않는 시기가 있다.

1) 정식~교배기

정식에서 활착까지는 수분이 필요하지만 활착 후에는 경토가 깊고 보수력이 있는 토양은 교배까지 관수하여 준다.

2) 교배기

건조시켜 화분의 충실 및 벌의 활동을 조장한다. 다습시에는 화흔부가 커지고 꽃잎 및 주두가 마르지 않아 병발생의 원인이 된다.

3) 과실비대기~경화기

멜론의 일생 중 가장 양수분을 많이 필요로 하는 시기이다. 과실이 비대하는 것은 개화 후 35일까지이고, 특히 급속도로 비대하는 시기는 5~25일 경이며 이 시기에 충분히 비대하지 못한 과실은 그 후 다습상태가 되면 2차생장이 생겨 열과가 생기기 쉽다.

착과시간이 달라 과실의 크기가 다를 경우는, 늦게 착과한 과실을 기준으로 관리하게 되면 먼저 착과된 과실의 비대가 나빠질 우려가 있으므로, 일찍 착과한 것에 맞추어 관수와 시비를 실시하여야 한다.

네트계 멜론은 개화 후 14일 경부터 그물무늬가 생기기 시작하여 35일 경이면 거의 완성된다. 이 시기는 네트계 품종 과실의 경화기도 되므로 관수가 과다하면 네트발생이 늦고 세로 네트가 강하게 터진다. 네트발생 1주일 전에는 관수를 하지 말고 토양수분과 공중습도가 크게 변하지 않도록 하여야 안정된 네트의 발현을 가져올 수 있다.

4) 네트발생~네트완성

성숙기간이 55일 정도의 품종이라면 네트가 완성되는 시기는 개화후 30~40일째 정도가 된다. 이 기간동안은 적당히 관수하여 과실의 비대를 돕는다.

5) 성숙기

과실의 비대가 끝나면 당의 축척기로 들어간다. 이 시기에 토양수분이 많고 양수분의 흡수가 활발하면 당도가 낮고 숙기의 지연, 열과의 발생, 발효과발생의 원인이 된다. 수확 5~7일 전에 맑은 날씨일 때의 잎의 상태는 낮에는 약간 시든 듯하고 밤에는 회복하는 정도의 상태가 좋다.

라. 과실 관리

하우스내 습도가 높으면 꽃잎, 주두가 붙은 자리가 마르지 않고 여기에서 만고병, 균핵병 등의 병발생이 시작된다. 따라서 지주재배시는 매달리기할 때 이부분을 소독해 준다.

지주재배시 T자형 과경 혹은 안테나를 만들려면 결과지가 수평되게 한다. 봉투씌우기를 하면 Net계에서는 Net의 용기가 좋아진다.

5. 착과, 적과 및 수확

가. 착과

멜론의 착과는 충실하고 큰 암꽃을 피게 하여 자방의 형이 좋은 과일을 연속적으로 착과시킨다.

1) 착과 방법

개체간의 생육의 차이가 있을 때 긴 줄기는 끌어내리고 짧은 줄기는 끌어올려 성장점의 위치가 같도록 하여 일시에 착과시켜 동일한 시기에 수확할 수 있게한다

착과방법에는 인공수분, 벌이용 수분, 호르몬제 처리의 방법이 있고 수분을 할 경우 주두에 묻은 화분이 발아하여 수정되는 과정에 기온이 관여한다.

벌에 의한 교배는 먼저 교배하기 전에 환경에 순화시키기 위하여 개화 수일 전부터 벌통을 저녁에 하우스내의 채광이 좋은 곳에 놔두고 다음날 아침에 벌통의 출입문을 열어 준다. 단동하우스의 경우는 하우스와 하우스 사이에 꿀벌의 통로를 설치한다.

꿀벌이 활동하는 기온의 범위는 14도이상에서 활동하게 되며 가장 적당한 온도는 25~26도이고, 28~29도면 높이 날고 30도 이상이면 활동을 중단하고 벌통으로 들어가게 되므로 지나친 고온이 되지 않도록 온도관리에 주의한다.

인공교배에 의한 방법은 수꽃의 꽃잎을 떼어내고 암꽃의 암술머리에 발라준다. 그러나 이 방법은 노동력이 많이 필요하므로 짧은 시간에 많은 교배를

하는 경우는 털붓을 사용한다. 붓 끝에 화분이 붙지 않으면 화분의 발생이 나쁜 증거이므로 착과되지 않는다. 인공교배는 화분상태가 좋을 때 단시간에 작업을 마쳐야 하므로 하우스내의 온도가 18도 정도될 때 시작하여 오전중에 마치도록 한다.

2) 착과수

착과수를 적게 하면 생산량이 떨어지는 대신 과도 커지고 품질도 좋아지므로 결과적으로 고수익을 올리는 경우가 많다. 일조가 충분치 못한 가을 재배에서는 봄재배보다 착과수를 줄여야 한다. 개화 전날밤의 저온으로 화분의 발아가 불량할 때 즉 12~15도 이하에서 착과율이 떨어진다.

나. 적과

착과수를 제한하여 상품성이 좋은 과실을 얻기 위하여 3~4과를 착과시켜 그 중에서 과실모양이 좋은 것을 남기고 적과한다. 이 때 3~4개 모두 크기가 비슷한 정도이면 최초 개화한 것을 남기는 것이 좋으나, 하우스 전체의 개화일을 고르게 하기 위하여 평균 착과일에 맞추는 것도 효과적이다.

적과시기는 착과 후 7~10일 정도 경과하여 과실이 계란크기만 할 때가 적당하다. 적과시 주의할 점은 어린 과실의 과피가 연하기 때문에 상처가 나기 쉽고 작업시 상처가 나게 되면 수확 때까지 상처가 남게 되므로 주의하여 적과하도록 한다.

다. 수확

개화후 55일 전후에 수확할 경우 개화후 35일 정도부터 당도가 상승하는데 이 시기부터 20일간에 10~12도가 상승한다. 당도의 증가는 과육의 안쪽부터 바깥쪽으로 차츰 올라가는데 그렇기 때문에 안쪽의 당도만 생각하지 말고 바깥쪽의 당도가 충분히 오를 때 수확한다.

수확은 완숙과(과육내외부의 당도차 적음)를 아침 일찍 하우스내의 온도가 상승되기 전에 하고 고온시 수확된 것은 서늘한 곳에 둔 후 다음날 아침에 상자에 넣는다.

수확기의 판정은 개화후 일수, 결과지위의 마그네슘 결핍증상, 과피색의 변화, 과경부의 변색 및 이층형성 등 여러가지 기준이 있겠으나 개화 후 일정한 일수가 된 것을 시식해 본 후 판정하는 것이 정확하다.

6. 재배형태

머스크 멜론의 일반적인 재배형식은 지주재배를 한다. 1줄기 재배시의 착과수는 1과, 2과 등이 있다. 일반적으로 초세가 약하여 엽면적이 적을 경우는 착과 절위의 측지 제1잎을 남겨 엽수를 확보한다.

초세가 강한 경우는 측지 1~2개를 남겨서 제1절에 적심하여 손만을 키우고 나머지 측지는 제거하는데, 남겨진 측지도 자주 손질을 하여 무성하지 않도록 한다.

착과지 이하의 측지는 본엽10매 전개시부터 교배 전까지 맑은 날을 택하여 자엽과 맨 아래 2~3엽을 제거한다. 그후 유향 가루를 상처부위에 바르고 즙액이 흘러나오지 않도록 하고, 살균제를 살포하여 병충해를 예방한다.

제2절 멜론 재배 수확기용 작업 대차 시스템

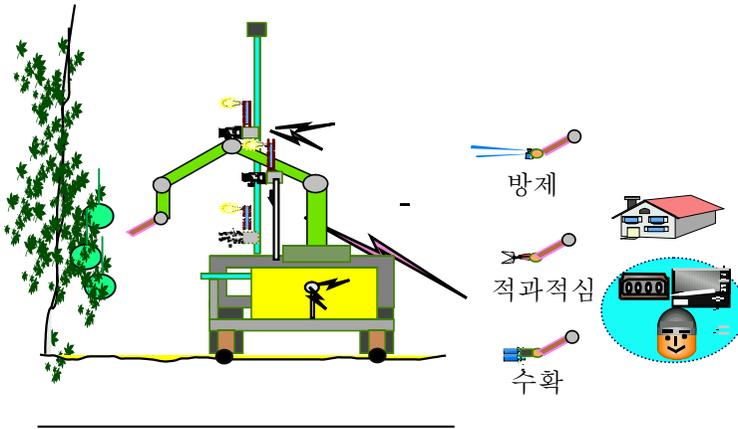


그림 3-2-1. 멜론 재배 수확시스템의 구성도

본 연구에서 개발된 시스템의 전체 구성은 크게 시설내에서 구동 및 작업기를 장착할 대차부, 작업용 매니플레이터를 포함하는 작업기부 및 대상체를 인식하고 이들 장치를 조작하는데 필요한 영상처리 프로그램, 제어 프로그램 등의 소프트웨어 세 가지 부분으로 나눌 수 있다. 그 구성도는 그림 3-2-1과 같다.

1. 멜론의 작목별 재식 형상에 따른 자료 수집

가. 멜론은 온실멜론과 Musk 멜론으로 나뉘며, Musk 멜론은 다시 그림 3-2-2의 네트형 멜론과 무네트 멜론(참외형)으로 나뉜다.

나. 온실멜론은 온실이나 하우스내에서 물관리, 비료흡수를 마음대로 조절할 수 있도록 격리재배상을 만들고 재배기술이 있어야만 좋은 상품이 생산되는 품종으로 알맞는 조건을 갖추어 재배하면 외관이 아름답고 맛도 좋지만 재배경험이 부족하거나 시설을 갖추지 않으면 상품을 생산하기 어렵고 과실의 저장기간이 짧아진다. 네트형 멜론의 하우스 및 재식형태는 그림 3-2-3과 같다.



그림 3-2-3. 멜론 하우스 및 시설내의 재식 형태

3. 멜론 재배 수확기용 작업 대차 시스템

가. 주요 설계 인자

- 1) 멜론은 세워서 재배하며 유인선을 따라 성장한다.
- 2) 유인선의 위치를 기준으로 지면에 금속제 표식을 설치하여 작업기 대차에 설치된 근접센서에서 표식을 감지하면 구동을 정지시킨다.
- 3) 한 스텝에서 2개의 멜론을 동시에 영상처리 가능하도록 카메라를 장착.
- 4) 작업기 대차가 좌우로 회전하지 않도록 레일 가이드 방식을 채용한다.
- 5) 대략적인 작업대상 멜론은 터치스크린으로 원격지시한다.
- 6) 작업기와 멜론간 거리정보 추출 위한 스테레오 비전을 위해 스테레오 전용 CCD 카메라 장착
- 7) 수확후 작업기 대차 후면의 적재함으로 이송
- 8) 작업 대차의 작업 공간
 - 가) 유효 작업영역 : 800 x 500 x 600 (이랑방향, 터널 방향, 높이, 1구간)
 - 나) 구간은 이랑 방향으로 2구간으로 나누어 작업
 - 다) 구간을 나누므로 수확 작업시 불필요한 이동 억제
 이와 같은 조건을 만족하는 작업 대차의 설계도면은 그림 3-2-4와 같고 그림 3-2-5와 같이 제작되었다.

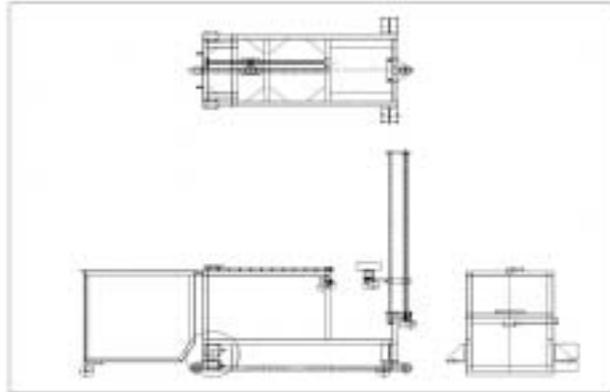


그림 3-2-4. 작업 대차 설계 도면



그림 3-2-5. 작업 대차

나. 작업 대차의 전원부

본 연구에서 개발된 작업 대차 시스템은 무선 원격제어 방식을 사용하므로 외부에서의 전원 공급이 필요없도록 충전이 가능한 배터리를 사용하였다. 시스템에 장착된 센서, 모뎀 및 모터들은 DC 24볼트 전원을 사용하므로 12 볼트, 100 암페어 용량의 자동차용 배터리 두 개를 직렬로 연결하여 전원을 공급하였다.



그림 3-2-6. 작업 대차 구동용 배터리

그림 3-2-6의 전원 장치를 사용하면 1번 충전 후 5시간 정도 구동 및 작업이 가능하다.

다. 작업 대차의 구동부

작업 대차는 구동륜으로는 두 개의 고무 타이어 형태로 후륜을 사용하였고 전륜은 자유 회전이 가능한 캐스터를 양쪽에 장착하였다. 타이어는 외경 300mm, 폭 85mm의 공기주입이 가능한 제품으로 공기압 36 psi 상태에서 최대 111 Kg 의 하중에 견딜 수 있는 제품을 사용하였다. 이 들 타이어 마다 별도의 구동 모터를 설치하여 좌우 독립적으로 회전 방향 및 회전 속도를 제어 할 수 있도록 하였다.

그림 3-2-7의 구동장치에 사용된 모터는 Tamagawa 사의 DC 24볼트 100 와트 용량의 서보모터로서 PWM 방식의 제어를 하였다. 이 모터들은 구동시 발생하는 관성에 의한 충격을 완화시켜 대차의 안정성을 유지하기 위하여 모터바리오 사의 60 : 1 웜기어 형태의 감속기를 장착하였고 모터와 감속기간의 동력 전달은 타이밍벨트에 의해서 전달된다.



그림 3-2-7. 대차 구동부

이 시스템은 지면에 설치된 높이 10mm, 폭 20mm의 플라스틱 부재가 진행 방향에 수직한 대차의 중심선으로부터 어느쪽 방향에 위치하는가에 따라 좌우 측 회전속도를 달리하여 조향이 가능하도록 제작하였으나 시설내의 작업구간 내에서는 일직선으로만 주행할 수 있도록 “└”자 형태의 강제 레일을 설치하였다. 따라서, 이 레일을 추종할 수 있도록 대차의 중심선 앞쪽과 뒤쪽에 “V”자 홈 형태의 가이드 롤러를 장착하였는데 앞쪽에 설치된 롤러는 항상 진행방향과 일치되도록 좌우 회전이 불가능하게 고정되었고 뒤쪽에 장착된 롤러는 좌우 회전이 가능한 프리롤러 형태를 취하고 있다.

시설내의 직선이동 구간이 끝나면 다음 작업이랑으로 이동하기 위하여 선회가 필요하게 된다. 이 때는 레일이 없는 상태에서 회전방향으로 설치된 플라

스틱 부재의 위치를 대차 하부에 배열로 설치된 그림 3-2-8의 11개의 포토센서를 사용하여 감지하게 된다. 그 중 어느 한개의 센서가 감지되면 대차의 중심선을 기준으로 오른쪽 센서가 감지되면 왼쪽 모터의 속도를 빠르게 오른쪽 방향의 센서가 감지되면 왼쪽 모터의 회전속도를 빠르게 하여 항상 6번째의 정중앙 센서의 신호가 동작할 수 있도록 한다. 이 때 중심부에서 먼 위치의 센서가 감지될수록 양쪽 모터의 회전속도의 차이를 크게하여 빠른 시간안에 중앙으로 이동하도록 하였다.



그림 3-2-8. 11개의 포토센서



그림 3-2-9. 근접 센서

선회 작업이 끝난 후에는 다시 직선 레일로 진입할 수 있도록 레일의 양쪽에 안내 가이드를 설치하여 그림 3-2-10의 레일가이드롤러가 진입할 수 있도록

하였다.

작업 모드에서는 직선 주행중 작업 대상인 멜론의 유인선 위치의 지면에 설치된 금속 부재를 대차의 하부에 설치된 그림 3-2-9의 근접센서가 감지하게 되면 대차의 모터 회전은 정지하게 되고 원하는 작업이 끝난 후 다시 구동 신호를 받게 되면 다시 다음번 금속 부재의 감지 전까지 전진 혹은 후진 하게 된다.



그림 3-2-10. 레일추종물러

라. 작업 대차 프레임

작업 대차의 자중을 최대한 줄이는 동시에 비틀림이나 변형을 막기 위하여 사각형 단면의 형강 봉을 용접하여 틀을 만들고 틀과 틀사이를 0.5t 철판을 용접하여 외부로부터의 각종 먼지가 대차 내부로 들어가지 않도록 격리시켰다. 또한 습기로 인해 발생하는 부식을 막기 위하여 미색의 도장 처리를 하였다. 작업 대차 상단부의 전면부와 상단부의 경우는 배터리 및 각종 제어기 부품을 조립하거나 분해하기 편리하도록 볼트에 의해 탈착이 가능한 5mm 두께의 아크릴 판으로 고정하였다. 그림 3-2-11의 제작된 작업대차 프레임의 외형 크기는 1,060 × 485 × 650mm(길이× 폭 × 높이) 이다.



그림 3-2-11. 작업 대차 프레임 및 작업기 장착부

마. 작업기 장착부 및 카메라 장착부 이송 장치

각 이송부에는 자동차용 윈도우 모터로 사용되는 DC 24볼트 모터를 사용하였다. 이 모터들은 감속기가 부착되어진 상태로 속도 조절이 불가능하며 단지 정역회전의 기능만을 수행한다. 각 모터들은 메인 컴퓨터에서 동작 신호를 주었을 때 리미트 스위치로 사용되는 포토센서들의 신호에 따라서 각각 별개로 동작하게 된다. 작업기 상단부에 설치된 작업대 이송 장치는 LM(리니어 모션 컨트롤) 형태로 가이드 봉을 따라서 직선 전 후진을 행하게 되며, 작업기 상단에 설치된 두 조의 포토 센서위치만을 왕복하게 된다. 앞쪽 위치는 작업시의 위치이며 뒤쪽 위치는 수확후 적재시의 위치가 된다.

그림 3-2-12의 카메라 이송장치용 모터는 역시 LM 형태의 상하 이송 장치와 좌 우측의 작업을 동시에 수행할 수 있도록 카메라 장착부를 좌우로 회전시키는 장치로 구성된다. 상하 이송의 경우 역시 설정된 최하(800), 작업(1,200), 최상(1,500mm) 높이의 포토센서 신호에 따라 상하로 이송되며, 회전부의 경우 좌우측에 설치된 센서 신호에 따라 회전하게 된다. 그림 3-2-13의 센서 들은 반사형 타입의 센서들을 사용하였다.



그림 3-2-12. 컬러 & 스테레오 비전 카메라



그림 3-2-13. 오토닉스 포토센서

바. 작업 대차 제어부

그림 3-2-14와 같이 표현된 본 시스템은 유무인 원격으로 조작하게 되는 형태로 시설과는 떨어져 있는 사무실이나 가정에 설치된 컴퓨터를 보면서 작업자가 지시를 내리게 된다. 이 지시는 무선 모뎀 시스템을 통해 작업대차부에 설치된 제어기에 전달되어 지며 제어기에서는 이 신호를 다시 각 구동부와 이송부 및 작업기부에 전달하게 된다.

본 연구에 사용된 제어기는 Matsushita PLC FP2-SH를 사용하였다. 이 시스템은 DC 24볼트 전원에 의해 동작되며 최대 768개까지 입출력이 가능하며, 내부 릴레이는 최대 14,192개까지 사용이 가능한 CPU, 입력 32 채널, 출력 32채널의 표준 입출력 유닛과 2개의 독립적인 시리얼 포트로부터 데이터를 주고 받을 수 있는 시리얼 데이터 유닛(SDU) 으로 구성되어 있다.

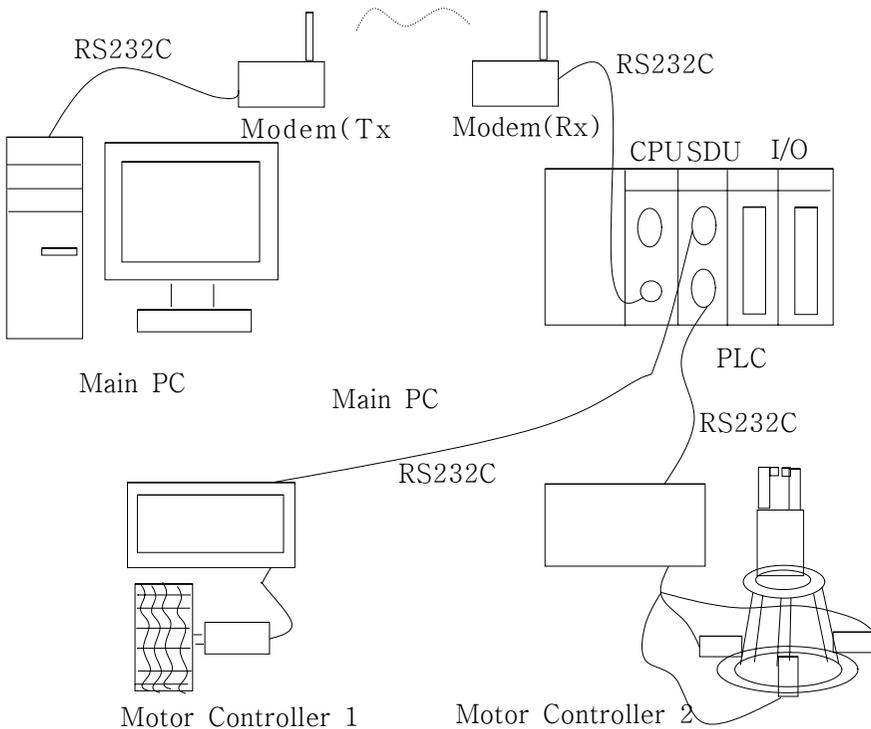


그림 3-2-14. 제어 시스템 블록다이어그램

FP2-SH의 CPU는 무선 데이터 모뎀을 통해 메인 컴퓨터로부터 전송받은 RS-232C 신호를 전달 받아 PLC 내부의 각 릴레이 들을 제어하게 된다. 대부분의 센서들의 신호는 입력 유닛에 연결되고 작업 대차 상부에 위치한 작업대 이송부와 카메라 이송장치의 모터들은 출력유닛에 연결된다. 이런 입출력 유닛의 신호들은 별도의 장치를 거치지 않고 PLC 내에서 직접 처리된다. PLC 의 센서들은 연결은 그림 3-2-17에 나타내었다.

그러나, 작업 대차 구동용으로 쓰인 모터들과 작업기로 사용된 매니플레이터 부분은 정밀하고 정확한 제어를 하기 위해 별도의 컨트롤러들을 사용하게 된다. 제작된 이 컨트롤러들은 컴퓨터에서 전달받는 RS-232C 신호를 사용하여 제어하게 된다. 따라서, PLC의 CPU에서 다시 SDU를 통해 각 컨트롤러의 시리얼 포트에 출력 신호를 전달하게 된다. 그러면, 컨트롤러에 따라 정해진 프로토콜에 의거하여 필요한 동작들을 수행하게 된다.

본 작업 대차의 구동용 모터 컨트롤러는 최초에는 그림 3-2-15의 AT89C51 칩을 사용하여 다음과 같이 제작되었다.

1) AT89C51 구성도

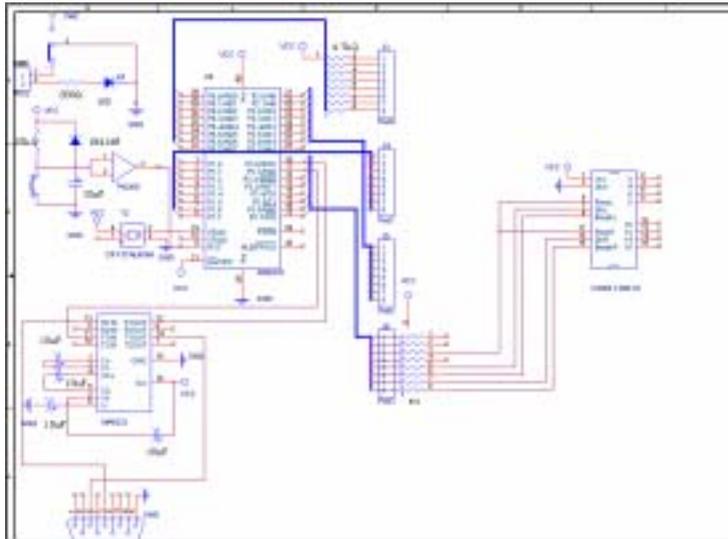


그림 3-2-15. AT89C51 회로도

CPU 전원 인가 부분, 즉 VCC(40번 핀)와 GND(20번핀) 사이에는 가장 가깝게 0.1 μ F(마이크로패럿, '104' 라고 표기되어 있음)의 Condensor를 부착하여 인가되는 전원의 안정성을 보장하도록 한다. 그리고 원래 회로도에서는 전원은 표시하지 않지만 여기서는 표시했다.

<표 3-1> ATC 포트별 기능

	AT89C51 해당포트	비고
PwmL	P3.2	
DirL	P3.4	
BreakL	P3.5	
PwmR	P3.2	
DirR	P3.6	
BreakR	P3.7	

2) DC 서보 모터구동 드라이버(LMD18200)

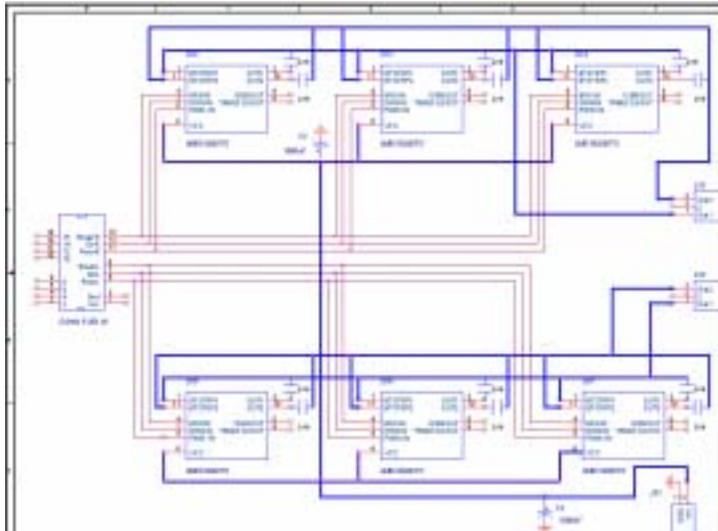


그림 3-2-16. LMD 18200 DC 모터 드라이버 회로도

여기에서는 정격 100W 서보모터(24V 4.2A)를 구동하기 위해 그림 3-2-16의 회로도와 같이 LMD18200을 3개를 병렬로 연결하였다. LMD18200의 특성은 3A 55V H-Bridge(peak current 6A)로 구성 되어있다. LMD18200 한 개로 100W 서보모터 모터를 구동 시에는 발열이 많고 출력이 현저히 떨어졌으나 3개를 병렬로 연결하여 이런 문제점이 해결되었다. 제작된 모터 컨트롤러는 그림 3-2-19와 같다.

그러나, 89C51 프로세서를 이용한 RS232 통신 프로그램은 반응 속도가 느리고 양쪽 모터를 서로 다른 속도로 구동되도록 제어하는 프로그램을 제작하는데 어려움이 있어 최근에 많이 사용되는 그림 3-2-18의 PICBASIC 범용 칩을 이용한 컨트롤러 시스템으로 교체하였다.

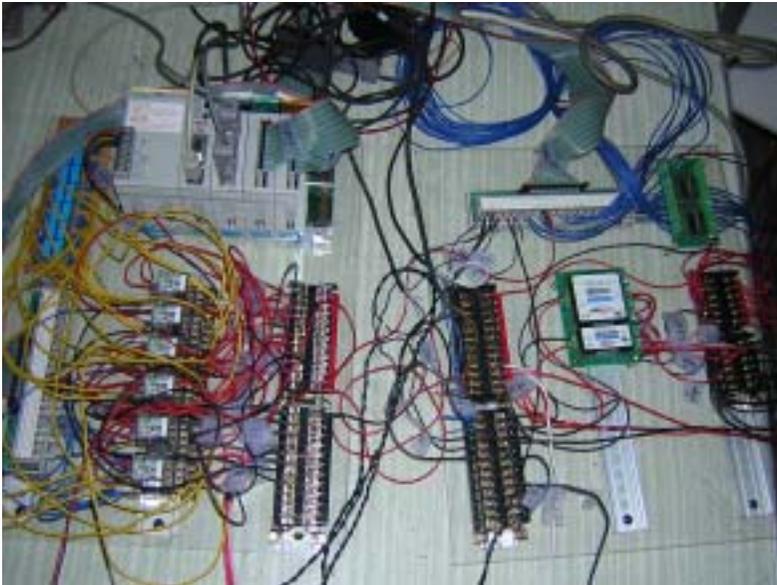


그림 3-2-17. PLC 및 입출력 배선



그림 3-2-18. PICBASIC 모듈

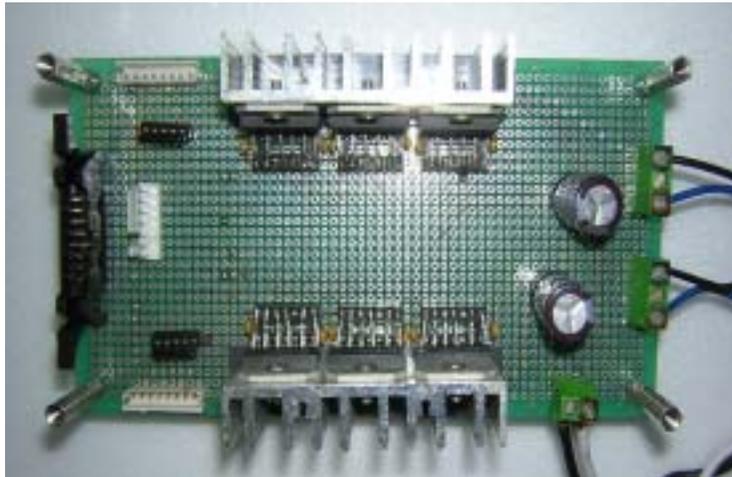


그림 3-2-19. 모터드라이버

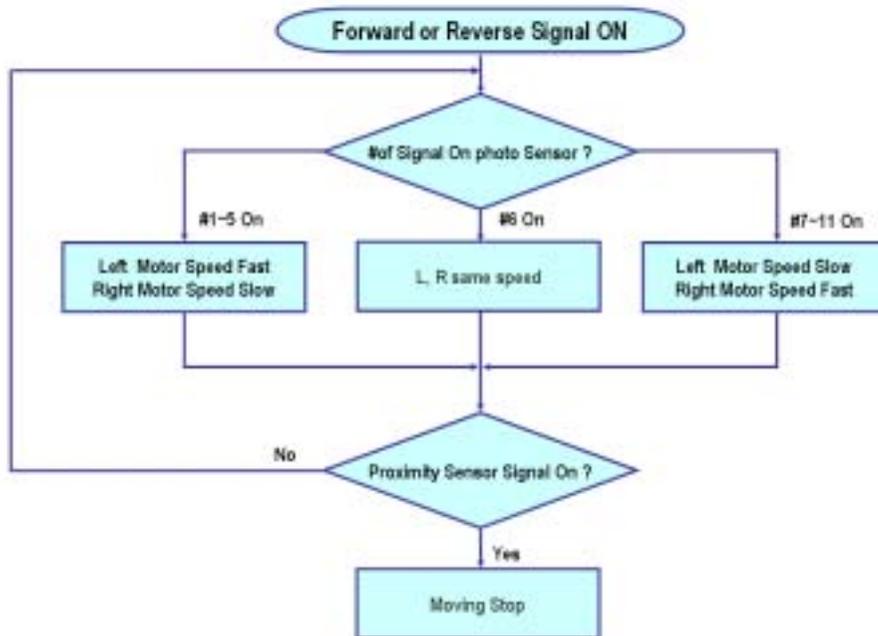


그림 3-2-20. 작업 대차 구동 알고리즘

작업 대차의 하부에는 그림 3-2-8의 포토센서가 11개 배열되어 있다. 그 중의 한 개만이 동작 되도록 두께가 있는 부재를 중간에 놓으면 그 위치에 따라 모터 구동 속도가 그림 3-2-20의 구동 알고리즘에 따라 달라지게 된다. 정 중앙에 위치한 6번 센서가 On 이 되었을 때는 좌우 모터의 회전 속도가 일치하게 된다. 따라서, 회전하지 않는 상태의 전 후진을 하게 된다.

그러나, 그 부재가 어느 한 쪽으로 치우쳐 있다면 센서 신호 역시 한쪽으로 치우치게 될 것이다. 이 때에는 센서의 번호에 따라 양쪽 모터의 회전속도가 달라지게 된다. 또 6번 센서로부터 멀리 떨어질수록 오른쪽 모터와 왼쪽 모터의 회전 속도 차이가 더욱 커질 것이다. 이 때 모터를 구동하는 통신 프로토콜은 다음과 같이 처리된다.

<표 3-2> 모터 구동 통신 프로토콜(ATC8051 이용)

※통신규약 형식 : @LRabcxyef

@LR	PWM (abc)	Left Motor(xy)			Right Motor(ef)			비고
	022	전진(10)	후진(00)	정지(01)	전진(10)	후진(00)	정지(01)	

예) PWM이 22이고 Left Motor가 전진 Right Motor가 후진이라면

@LR0221000

최초에 만들어진 AT89C51과 시리얼 통신 프로토콜은 표 3-2와 같다. 위의 방식은 하나의 PWM 값을 양쪽 모터에 동일하게 적용하므로 항상 양쪽모터는 동일한 속도로 구동되거나 정지신호를 주었을 때는 한쪽은 정지하게 된다. 또는, 양쪽 모터의 회전 방향을 반대로 주어 제자리 선회가 가능하다. 그러나, 이러한 방식으로는 원만하거나 부드러운 곡선 형태의 주행을 할 수 없는 단점이 있다. 왜냐하면 이 방식을 사용하면 좌우 모터의 속도제어를 별도로 할 수 없는 단점이 있다. 즉, 양쪽의 PWM 신호값을 별도로 입력해줘야만 선회시 안쪽과 바깥쪽의 회전속도를 달리하여 원만한 주행을 할 수 있게 되는 것이다. 따라서, PICBASIC 모듈을 사용하여 표 3-3과 같은 새로운 프로토콜을 적용하였다.

<표 3-3> 모터 구동 통신 프로토콜(PICBASIC 모듈 이용)

※통신규약 형식 : @Labcdefxyxy

@L	PWM		Left Motor(xy)		Right Motor(xy)		비고
시작	abc Right	def Left	x : Brake	y : Direction	x : Brake	y : Direction	
			0 : Go	0 : Forward	0 : Go	0 : Forward	
			1 : Stop	1 : Reverse	1 : Stop	1 : Reverse	

예) 우측 PWM이 100, 좌측 PWM은 50이고 양쪽모터가 전진이라면

@L1001000000

사. 영상 및 데이터 무선 송수신 모뎀

본 연구에서 개발한 시스템은 무선 인터페이스를 통해 동작한다. 관리자가 위치하는 실내에 설치되어 있는 터치패드 스크린 형태의 작업지시기에 작업 형태를 지시하면, 시설 하우스 안에 설치된 작업기에 장착된 CCD 카메라를 통해 대상체 및 작업기의 상황을 모니터링 하게 된다. 입력된 영상은 관리자가 위치하는 실내의 메인 컴퓨터에 장착된 프레임 그래버에 의해서 분석되고 그 결과는 다시 시설 내의 작업기로 전송된다. 원격지의 메인 컴퓨터와 시설 내 작업장에 위치한 작업기간 영상정보와 데이터정보를 송수신 하기 위하여 무선 송수신 모뎀을 사용하였다.

그림 3-2-21의 이 시스템은 영상 송수신 모뎀 2 세트와 데이터 모뎀 1세트로 구성된다. CCD 카메라와 75Ω 비디오 케이블로 연결된 영상 송신 모뎀(RTX-112)은 안테나를 통해 2 GHz의 주파수 형태로 카메라로부터 획득한 NTSC 영상 신호를 영상 수신 모뎀(RRX-212)으로 전송한다. 안테나를 통해 수신된 NTSC영상 정보는 카메라 인터페이스 케이블과 연결된 프레임 그래버를 통해 메인 컴퓨터로 보내진다.

영상정보를 이용하여 컴퓨터에서 산출된 새로운 정보에 의해 자동적으로 수행되는 시설내의 작업 및 작업자에 의해 지시되어지는 주관적인 작업 명령들은 RS-232C 인터페이스 방식으로 데이터 모뎀(RSM-4471)을 통해 작업기에 장착된 데이터 모뎀을 통해 PLC로 보내진다.

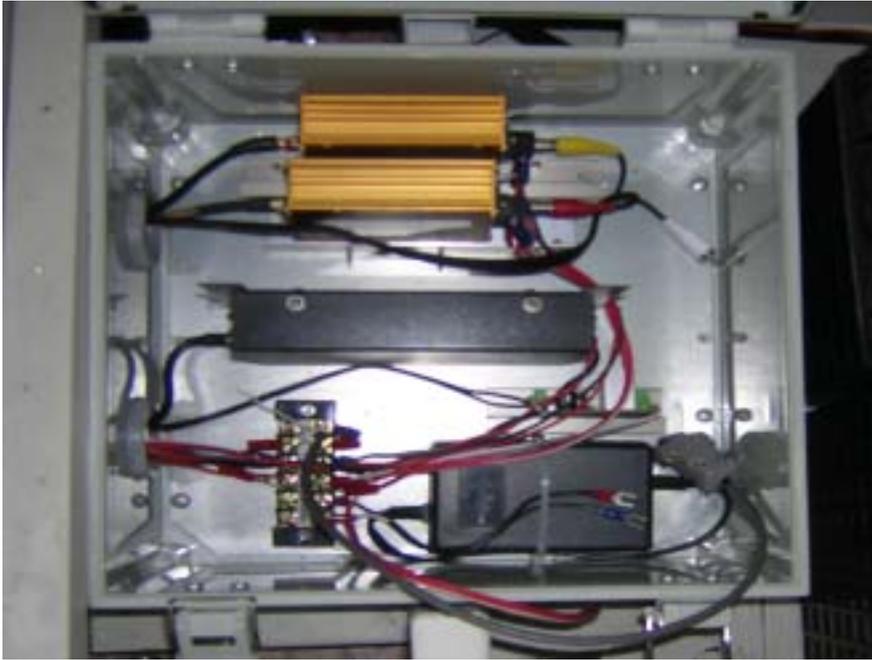


그림 3-2-21. 영상 및 데이터 무선 모뎀

제3절 영상처리 시스템

1. 3D 영상처리 시스템 구축 및 국부 영상처리 알고리즘 개발

사람이 가지는 오감 중 시각을 컴퓨터로 대체 하는 컴퓨터 시각 기술은 10여 년간 하드웨어류의 급속적인 발전과 저가화를 계기로 고도의 정확성을 요하는 반도체 분야의 품질 검사로부터 일반 산업분야의 다양한 작업 공정은 물론 농림, 축산, 수산 분야에 이르기까지 다양하게 활용되고 있다. 농업 생산의 첨단 자동화 중 영상 처리 기술은 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 활발히 연구 중이지만, 아직 한정적인 성능 시험으로 실용화 단계에 있지는 않다. 특히 농산물 수확을 위한 영상 처리는 3차원 공간에 놓여 있는 대상물의 개별적인 위치를 선별 및 인식하여야 하는 어려움이 있다. 최근, 컴퓨터 시각 시스템을 이용하여 농산물 등의 인식과 선별에 대한 효율성을 증가시키고 있지만 대부분의 농산물 영상은 복잡한 3차원 구조로 이루어져 있어 적절한 영상 분석이 매우 어렵다. 또한, 주변의 광 조건에 의해 영상 획득 및 보정 등의 과정이 요구되는 문제가 있다. 그러나 이러한 3차원 공간상의 좌표만 정확하게 측정할 수 있다면 농업 자동화에 지대한 역할을 할 것이다. 3차원 공간상의 정확한 좌표를 추출하여 작업 로봇 매니플레이터(Manipulator)에 그 좌표를 인식시켜, 과실 등의 수확을 로봇이 할 수 있게 할 수 있으리라 생각된다.

컴퓨터 시각을 이용하여 2차원 영상정보를 3차원 형상정보로 바꾸는 방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫째 한 대의 카메라를 사용하여 얻은 영상의 음영을 이용하여 깊이에 대한 정보를 얻는 형상 인식법(Shape Form Shading Technique)이 있다. 이것은 다른 방법에 비해 알고리즘이 복잡하고 형상의 깊이 인식의 정확성이 떨어지는 단점을 지니고 있어 활용에 어려움이 많다. 둘째, 한 대의 카메라와 레이저 구조광을 이용하여 3차원 정보를 측정하는 방법인데, 레이저 구조광은 일반적인 조명과는 달리 단파장이고, 직진성을 가지고 있다. 이러한 특성을 이용하여 기준면에 투사되는 레이저 구조광이 대상체에 투사될 때 나타나는 형상변이를 이용하여 대상체의 3차원 형상 정보를 얻을 수 있다. 이 방법을

사용하면 일반 조명으로 인한 빛의 퍼짐 현상이 없어 대상체의 영상을 정확하게 인식할 수 있고, 레이저 구조광 이외에는 조명을 사용하지 않으므로 잡음이 적은 이점이 있다. 세 번째 방법은 인간의 시각처럼 두 대의 카메라를 이용하여 3차원 정보를 얻는 스테레오 비전 방법이다. 이 방법은 두 대의 카메라를 통해 얻은 각각의 정보를 이용하여 삼각 측량을 실시하여 3차원 정보를 산출하는데, 두 대의 카메라간 대응점 추출 알고리즘이 필요하다.

가. 카메라 보정

3차원 정보 획득을 위해서는 2차원의 영상 정보를 3차원 기준 좌표계의 정보로 변환시켜 주는 카메라 보정이 필요하다. 보정의 정확도는 3차원 정보 획득의 정확도에 많은 영향을 미친다. 영상처리 기법에 있어서 가장 중요한 부분이 카메라 보정을 행하는 부분이다. 실제의 좌표 혹은 크기를 결정해 주는 인자를 찾아 방정식으로 표현하고 카메라에 의한 영상을 실제의 모델로 일치 시켜주는 작업이 카메라 보정이다.

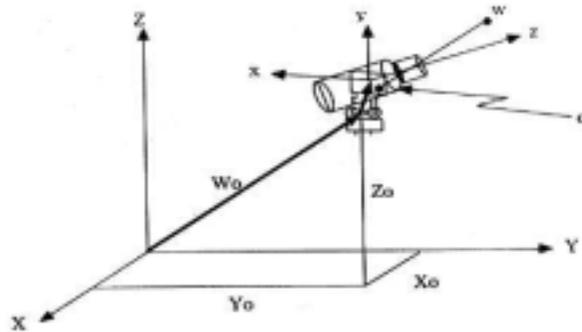


그림 3-3-1. 카메라의 기하학적 모델

인간의 시각을 기계시각으로 대체하기 위한 영상처리 기술은 대체로 그림 3-3-1과 같은 카메라 모델로 표현된다. 기준좌표계(X, Y, Z) 상에서 각각 X_0 , Y_0 , Z_0 만큼 이동한 위치에 카메라 좌표계인 (u, v, w)가 존재하고, 임의의 3차원 공

간상에 점 w 는 카메라 영상면의 점 c 로 바뀐다. 카메라는 고정장치의 Pan-Tilt에 의하여 원점이 이동되는데 이러한 이동에 따라 기준 좌표계의 원점은 영상 좌표계로 W_0 만큼 이동되고, 영상면은 Pan-Tilt에 의하여 r 만큼 이동된다. 이러한 기준 좌표계와 영상좌표계간의 관계는 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$C_h = PW_h \text{ -----식(3-1)}$$

여기서 , C_h : 영상 좌표
 P : 변환 행렬
 W_h : 기준 좌표

카메라로부터 얻어지는 대상체의 2차원 영상좌표를 기준 좌표계상의 3차원 공간 좌표로 변환하는 방법이 투사 변환 혹은 영상화 변환이라고 하는데 이것은 3차원 공간의 점을 평면에 투사시키는 수학적 방법이다. 영상화 과정의 모형은 그림 3-3-2에서 보는 바와 같다. 카메라의 영상면이 x - y 평면에 놓여져 있고, z 축은 카메라로부터의 거리를 나타낸다. 렌즈의 초점거리를 f 라고 하면, 원거리에 놓여 있는 물체는 렌즈가 카메라 영상면에서 f 만큼 떨어져 있을 때 정확한 영상을 맺는다.

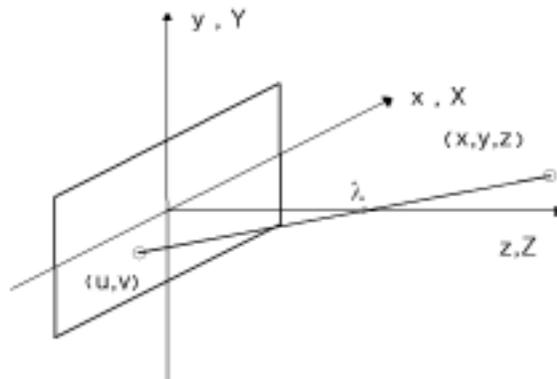


그림 3-3-2. 영상화 과정의 모델

공간상의 한 점의 좌표가 (x, y, z) 라 할 때, $z > \lambda$ 라 하면 이 점은 렌즈의 앞쪽에 있음을 시사한다. 그림 3-3-2로부터 닳은꼴 삼각형을 이용하여 (u, v) 점과 (x, y, z) 점과의 관계 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

$$\frac{u}{\lambda} = -\frac{x}{z-\lambda} \quad \frac{v}{\lambda} = -\frac{y}{z-\lambda} \quad \text{-----} \quad \text{식(3-2)}$$

이들로부터 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$u = \frac{\lambda x}{\lambda - z} \quad v = \frac{\lambda y}{\lambda - z} \quad \text{-----} \quad \text{식(3-3)}$$

이러한 결과는 분모에 변수 z 가 존재하므로 비선형이다. 이런 식을 계산하기 위해서 행렬화 하는 것이 유용한데, 이를 위해 동차의 좌표계로 바꾸어 주는 것이 필요하다. 기준 좌표계의 한 점 (x, y, z) 은 동차 좌표계에서는 (kx, ky, kz, k) 로 정의 되는데, 여기서 k 는 투영변수를 의미한다. 따라서 동차 좌표계의 한 점으로부터 직교좌표계의 한 점으로 변환시키고자하면, 동차좌표계의 앞 3요소를 마지막 요소로 나누어주면 된다. 기준좌표계의 한 점 \mathbf{w} 가 다음과 같은 벡터로 주어지면

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

이에 대응하는 동차좌표계의 점 \mathbf{W}_h 는

$$\mathbf{W}_h = \begin{bmatrix} kx \\ ky \\ kz \\ k \end{bmatrix} \text{이다.}$$

이 때 카메라 모델의 투사변환행렬 P 는 다음과 같다.

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\lambda} & 1 \end{bmatrix}$$

식 3-1로부터 C_h 좌표가 얻어진다.

$$\begin{aligned} C_h &= PW_h \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\lambda} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} kx \\ ky \\ kz \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} kx \\ ky \\ kz \\ k - \frac{k}{\lambda z} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

영상면의 좌표 C_h 를 기준좌표로 옮기려면 C_h 의 마지막 요소로 3개의 요소를 나눈다. 즉, C_h 에 대응하는 점 \mathbf{c} 는

$$c = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\lambda x}{\lambda - z} \\ \frac{\lambda y}{\lambda - z} \\ \frac{\lambda z}{\lambda - z} \end{bmatrix} \text{-----식(3-4)}$$

이다. 이 때 \mathbf{c} 의 첫 번째 두 개의 요소가 (\mathbf{u}, \mathbf{v}) 에 해당한다.

P 의 역변환 P^{-1} 은 영상면의 한 점을 다시 공간상의 한 점으로 바꾸어 준다.

P^{-1} 은 다음과 같다.

$$P^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda} & 1 \end{bmatrix}$$

영상면의 한 점 $c = (u_0, v_0, 0)$ 을 공간상의 한 점으로 환원시키면

$$C_h = \begin{bmatrix} ku_0 \\ kv_0 \\ 0 \\ k \end{bmatrix} \text{이다.}$$

C_h 에 대응하는 공간상의 한 점 Q_h 는

$$Q_h = P^{-1}C_h = \begin{bmatrix} ku_0 \\ kv_0 \\ 0 \\ k \end{bmatrix} \text{와 같으며}$$

기준좌표계에서 Q 는

$$Q = \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{이다.}$$

이것은 원하는 바가 아니다. 왜냐하면 어떤 공간상의 점이 모두 $z = 0$ 으로 주어지기 때문이다. 본래의 투사식 식(3-3)으로부터

$$x = \frac{u(\lambda - z)}{\lambda}$$

$$y = \frac{v(\lambda - z)}{\lambda}$$

이므로 (x_0, y_0) 에 대응하는 공간의 점은

$$x = \frac{u_0(\lambda - z)}{\lambda}$$

$$y = \frac{v_0(\lambda - z)}{\lambda} \text{-----식(3-5)}$$

로 주어진다. 이로부터 한 가지 정보가 있어야 공간상의 점을 산출할 수 있음을 알 수 있다. 즉, z 값이 주어져야 한다. c 의 z 성분을 0 대신 k_0 라 하면,

$$C_h = \begin{bmatrix} ku_0 \\ kv_0 \\ k_w \\ k \end{bmatrix} \text{이므로}$$

$W_h = P^{-1}C_h$ 를 계산하면

$$W_h = \begin{bmatrix} ku_0 \\ kv_0 \\ k_w \\ k + \frac{k_w}{\lambda} \end{bmatrix} \text{이다.}$$

이를 기준좌표로 변환하면

$$w = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\lambda u_0}{\lambda + w} \\ \frac{\lambda v_0}{\lambda + w} \\ \frac{\lambda w_0}{\lambda + w} \end{bmatrix} \text{-----식(3-6)}$$

다시 말하면 역투사 변환을 하기 위하여 w의 정보가 주어져야 한다. 이러한 원리에 의해서 2차원 영상좌표를 3차원 공간좌표로 변환할 수 있는데 이러한 방법에서는 일반적으로 좌표변환에 영향을 끼치는 두 가지 요소를 고려하여야 한다. 첫째로는 카메라 렌즈의 초점거리, 영상면의 중심좌표, 화소좌표가 갖는 실제 측도 등의 내부인자이고, 둘째는 카메라 고정에 의한 자세로부터 발생하는 Pan-Tilt 각도 및 카메라의 위치정보 등의 내부인자이다. 그러나 본 연구에서는 이러한 인자들을 전혀 고려치 않고 원하는 결과를 얻을 수 있는 방법을 사용하

식(3-12)를 $AP = B$ 로 두면, A의 의사 역행렬을 B와 곱하여 원하는 변환행렬 P를 얻을 수 있다.

$$P = \{(A^{T \times A})^{-1} \times A^T\} \times B \text{ ----- 식(3-13)}$$

식(3-13)의 결과로부터 얻은 행렬 P의 값을 식(3-10),식(3-11)에 대입하여 x, y를 구한다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix} \text{ -----식(3-14)}$$

$$\text{여기서, } R_{11} = P_{11} - P_{41} \times u$$

$$R_{12} = P_{12} - P_{42} \times u$$

$$R_{21} = P_{21} - P_{41} \times v$$

$$R_{22} = P_{22} - P_{42} \times v$$

$$K_1 = -P_{13} \times z + P_{43} \times u \times z + u - P_{14}$$

$$K_2 = -P_{22} \times z + P_{43} \times v \times z + v - P_{24}$$

본 연구에서는 3차원 공간상의 6점의 정보를 얻기 위해서 보정차트를 제작하였다. 카메라 렌즈에서 530mm떨어진 지점을 기준점으로 하고, 보정차트 중심을 XY축의 원점으로 하는 3차원 기준좌표계를 설정하였다. 기준점으로부터 100mm씩 뒤쪽으로 이동하면서 각 지점의 영상 좌표를 측정하였다. 보정 차트의 중심은 카메라를 통해 얻는 영상 중앙점의 좌표(u=320, v=240)와 일치시켰으며, 차트의 전 구간에 임의의 6점을 선정하였다. 530~1030mm까지 6점에 대해 이미 알고 있는 3차원 정보 (x, y, z)와 그 때의 화소 좌표값(u, v)을 식 (4-13)에 대입하여 변환행렬 P를 구하고, 식 (3-14)를 이용하여 실제 x, y 좌표와의 관계를 측정하였다.

나. 3차원 정보 추출

본 연구는 특정물을 대상으로 하기 이전에 예비적으로 좌표 정보를 얻기 위한 것이기 때문에 작은 점을 기준으로 한다. 한 점에서 인식한 2개의 형상좌표 (u_1, v_1, u_2, v_2)를 이용하여 3차원상에 존재하는 점의 좌표를 구하기 위한 방법으로는 기하학적 성질과 카메라 모델링을 이용한 3차원 좌표 측정 방법과 카메라 자체를 측정 장치한 3차원 좌표 측정 방법 등이 있다.

1) 기하학적 성질과 카메라 모델링을 이용한 3차원 좌표 측정 방법

그림 3-3-3 에서와 같이 스테레오 영상화 기법은 공간상의 하나의 점 p 에 대해 두 개의 분리된 영상을 얻는 것이다. 두 렌즈 중심 간의 거리를 베이스 라인(Base Line : B) 이라고 한다. 그리고 목표는 영상점 (u_1, v_1)과 (u_2, v_2)를 갖는 점 p 의 좌표 (X, Y, Z)를 찾는 것이다. 여기서 카메라는 동일한 것이고 카메라에 의한 두 좌표계는 단지 각각의 원점이 다를 뿐 완전히 일직선상에 있다고 가정한다. 카메라와 실 좌표계를 일치시키면, 영상의 xy 평면은 실 좌표계의 XY 평면과 일직선상에 있다. 이 가정 하에서 p 의 Z 좌표계는 정확히 두 카메라 좌표계와 같다. 카메라를 실 좌표계와 일치시키기 위하여 그림 3-3-3을 위에서 본 투영도는 그림 3-3-4와 같다.

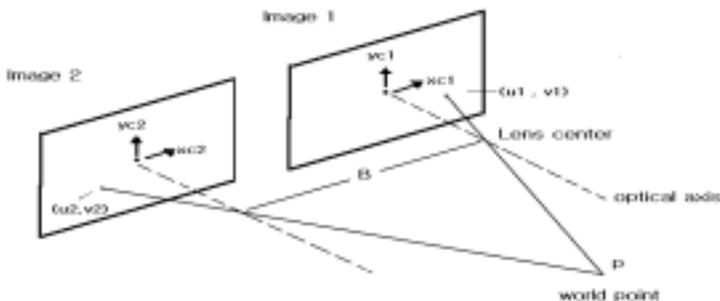


그림 3-3-3. 스테레오 영상 획득 모델

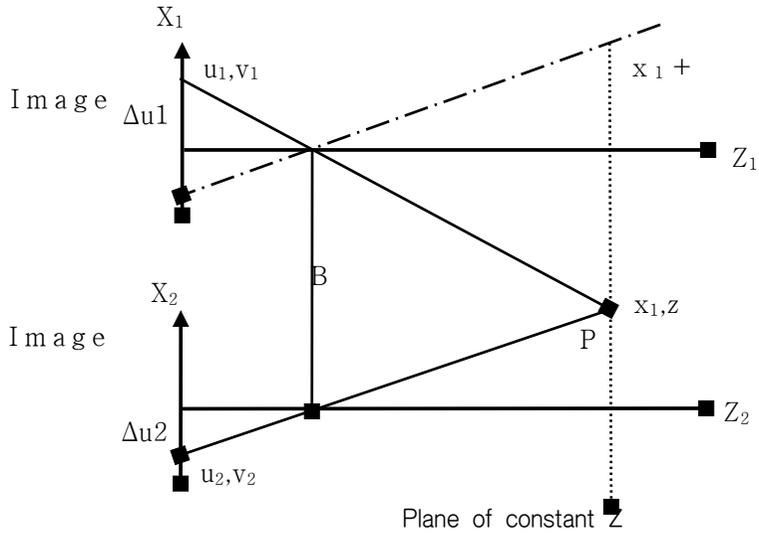


그림 3-3-4. 스테레오 영상의 투영도

식 3-3에 의해 \mathbf{p} 는 아래 좌표를 갖는 선상에 놓이게 된다.

$$x_1 = \frac{u_1(\lambda - z_1)}{\lambda} \quad \text{-----식(3-15)}$$

여기서 \mathbf{x} , \mathbf{z} 의 아래 첨자는 첫 번째 카메라가 실 좌표계의 원점으로 움직였다는 것을 의미한다. 두 번째 카메라와 \mathbf{p} 는 따라오지만, 그림 3-3-4에서와 같이 상대적인 배열은 그대로 유지한다. 그 대신에 만약 두 번째 카메라가 실 좌표계의 원점으로 움직인다면, \mathbf{p} 는 아래 좌표를 갖는 선상에 있게 된다.

$$x_2 = \frac{u_2(\lambda - z_2)}{\lambda} \quad \text{-----식(3-16)}$$

그러나 카메라가 이동하였고 \mathbf{p} 의 \mathbf{z} 좌표가 두 카메라 좌표계와 같기 때문에

$$x_2 = x_1 + B \quad \text{-----식(3-17)}$$

$$z_2 = z_1 = z \quad \text{----- 식(3-18)}$$

이다. 여기서 **B** 는 베이스라인 거리이다.

식(3-17)과 식(3-18)을 식(3-15)와 식(3-16)에 대입하면

$$x_1 = \frac{u_1(\lambda - z)}{\lambda} \quad \text{이고}$$

$$B + x_1 = \frac{u_2(\lambda - z)}{\lambda} \quad \text{이다.}$$

위식을 대입하여 풀면

$$z = \lambda - \frac{\lambda B}{u_2 - u_1} \quad \text{이다. -----식(3-19)}$$

위 식은 대응하는 영상 좌표 u_1 과 u_2 의 차이가 결정되어질 수 있고 베이스라인과 초점거리를 알 때 **p**의 **z** 좌표를 계산할 수 있다. 실 좌표 X,Y 는 (u_1, v_1) 또는 (u_2, v_2) 를 이용하여 식(3-17)을 대입하여 구할 수 있다. 그러나 이론적인 이런 식들을 실제로 적용하기 어려움이 있다.

첫째, 카메라의 초점을 알기가 어렵다는 것이다. 각 CCD카메라 고유의 특성을 가지고 있고 더욱 중요한 렌즈마다 카메라 초점이 다르다는 것이다. 둘째, 위식의 기하학적 방법을 사용하기 위하여 x, B, u의 닳은꼴 삼각형을 이용하였으나 실제로 적용할 때 단위가 다르므로 형상좌표 u를 실제 기준좌표인 x 단위(mm)로 변경하여야 한다. 그러나 거리에 따라 1 pixel당 거리가 다르므로 이 관계식을 세우는 것 또한 매우 번거롭다. 이런 문제점으로 인하여 외부적인 요인과 내부적인 요인을 생략하고 계산할 수 있는 방법을 고안하였다. 즉 카메라 자체를 측정 장치로 한 3차원 좌표 측정 방법이다. 카메라의 기준점에서 보정식을 세워 좌표변환행렬 **P**를 구한다. 또한 40mm씩 이동한 거리에서 좌표변환행렬 **P'**를

구한다. 이방법의 장점은 카메라에 상대 좌표를 인식시켜 줄 수 있는 장점이 있다. 즉 보정식에 의하여 알기 힘든 절대 좌표를 이미 알고 있는 상대 좌표로 인식시킬 수 있어 보다 쉽게 좌표를 찾을 수 있는 장점이 있다.

2) 카메라 자체를 측정 장치로 한 3차원 좌표 측정 방법

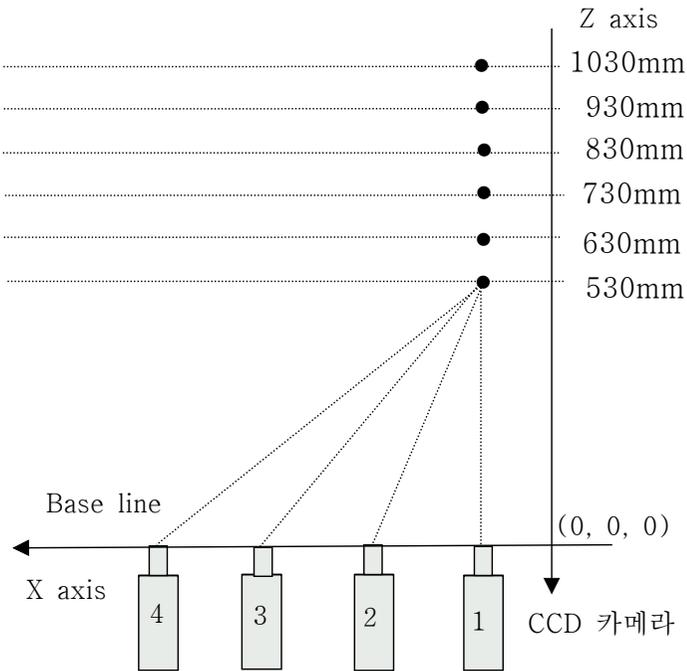


그림 3-3-5. 카메라를 이동시켜 3차원 보정하는 시스템

각각의 카메라 보정식으로부터 카메라 1의 변환식은

$$(A_{11} - A_{41} U_i)X_i + (A_{12} - A_{42} U_i)Y_i + (A_{13} - A_{43} U_i)Z_i = U_i - A_{14}$$

$$\Rightarrow \alpha_1 X_i + \alpha_2 Y_i + \alpha_3 Z_i = \tau_1$$

$$\begin{aligned}
& (A_{21}-A_{42} V_i)X_i + (A_{22}-A_{42} V_i)Y_i + (A_{23}-A_{43} V_i)Z_i = V_i - A_{24} \\
& \Rightarrow \alpha_4 X_i + \alpha_5 Y_i + \alpha_6 Z_i = \tau_2 \\
& \text{-----식 (3-20)}
\end{aligned}$$

또한 40mm만큼씩 이동한 지점에서의 카메라 2의 변환식은

$$\begin{aligned}
& (B_{11}-B_{41} U_i)X_i + (B_{12}-B_{42} U_i)Y_i + (B_{13}-B_{43} U_i)Z_i = U_i - B_{14} \\
& \Rightarrow \beta_1 X_i + \beta_2 Y_i + \beta_3 Z_i = \tau_3 \\
& (B_{21}-B_{42} V_i)X_i + (B_{22}-B_{42} V_i)Y_i + (B_{23}-B_{43} V_i)Z_i = V_i - B_{24} \\
& \Rightarrow \beta_4 X_i + \beta_5 Y_i + \beta_6 Z_i = \tau_4 \\
& \text{-----식 (3-21)}
\end{aligned}$$

이다. 식 (3-20)과 식 (3-21)을 행렬로 표현하면

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \alpha_4 & \alpha_5 & \alpha_6 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ \beta_4 & \beta_5 & \beta_6 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} \text{-----식 (3-22)} \\
& \quad \parallel \quad \quad \parallel \quad \quad \parallel \\
& \quad A \quad \quad W \quad \quad C
\end{aligned}$$

이것을 간단히 표현하면, $A \times W = C$ 이다.

이 식의 의사 역행렬을 구하면

$$W = \{(A^T \times A)^{-1} \times A^T\} \times C \text{-----식 (3-23)}$$

공간상에 있는 임의의 점 W의 좌표는 W의 두 카메라에 맺힌 U, V점에 대한 화소값을 측정하여 식 (3-23)에 대입함으로써 구할 수 있다. 이를 위해 구축한

실험장치는 크게 컴퓨터 영상처리 시스템, CCD 카메라 이동장치로 구성된다. 이러한 두 부분의 주요 기능을 블록도로 그림 3-3-6에 나타내었다. 제작한 측정 시스템은 그림 3-3-7과 같으며 시스템의 골격은 알루미늄 프로파일(규격 40×40mm)을 사용하였다. 이 시스템의 전체 크기는 좌표 변환 장치를 제외한 상태에서 1180×940×770mm (길이×폭×높이) 이고 좌표변환 장치는 카메라 렌즈 중앙에서부터 530mm에서 1030mm까지 이동이 가능하도록 만들었다.

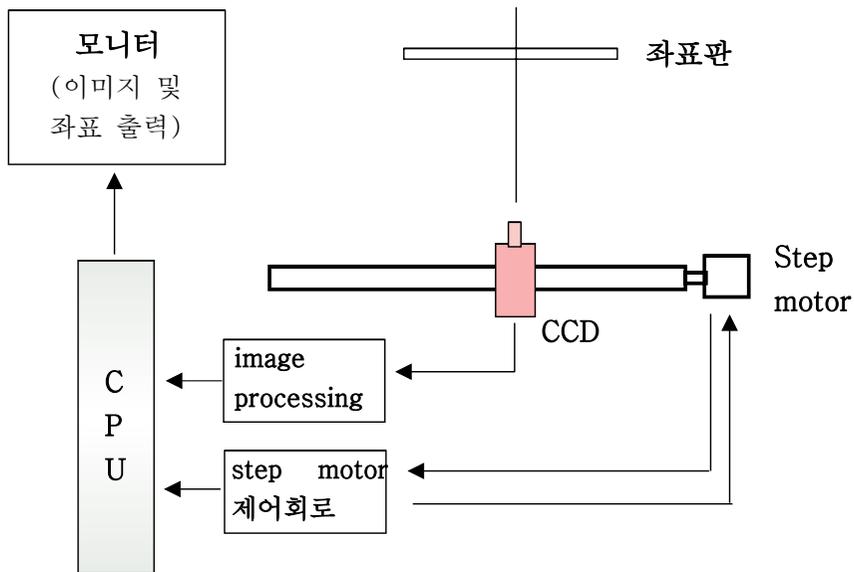


그림 3-3-6. 3차원 측정 시스템의 블록도



그림 3-3-7. 3차원 정보 측정 시스템

다. 영상처리 시스템

본 연구에서 사용한 컴퓨터 영상 처리 시스템은 영상 입력부, 프레임 그래버, 영상 처리에 사용되는 컴퓨터, 그리고 영상 출력부로 구분된다. CCD 카메라를 이용하여 대상체의 2차원 영상 정보를 입력받아 프레임 그래버(Frame Grabber)에 저장하고, 이때 저장된 정보를 컴퓨터에서 처리하여 LCD 컬러 모니터에 화면으로 출력하는 동시에 계산된 3차원 형상 정보인 3차원 공간 좌표를 모니터에 출력하는 작업을 행한다.

1) 영상 입력부

본 연구에서는 그림 3-3-8과 같이 작업할 멜론의 형상정보를 추출하기 위한 컬러 CCD와 대상체와 작업기간의 3차원 거리정보를 추출하기 위한 스테레

오 비전용 CCD 두 개를 사용하였다. 하우스내에서 작업대차가 이동중에 미리 설정해 둔 위치에 정지하면 컬러 CCD로 현재의 개괄적인 영상이 잡히게 된다. 이때 국부 영상처리를 위해 작업자의 1차적인 멜론의 교시가 터치스크린에 행해지면 국부 영상처리에 의해 멜론의 외곽선 추출이 행해져 작업기의 작업 부위를 설정하게 되고, 이와 동시에 스테레오비전을 통해 작업기와 멜론간의 거리정보 또한 추출된다. 컬러 CCD로는 PULNIX 사의 TMC-7 카메라가 사용되었고, 스테레오 비전용으로는 Videre Design 사의 STH-V3 interlaced 방식 흑백 스테레오비전 카메라를 사용하였다. 이 CCD 카메라는 두 개의 CCD가 한 몸체에 장착되어진 형태로 3.6mm 렌즈 두 개를 사용하며, 두 개의 렌즈를 통해 각기 다른 두 개의 영상정보가 두 개의 75Ω NTSC 방식의 비디오 케이블을 이용하여 무선 모뎀을 통해 프레임그래버로 전송된다.



그림 3-3-8. 영상획득용 CCD 카메라

2) 영상 처리 컴퓨터

카메라로부터 입력받은 영상 정보를 처리하기 위한 영상처리 컴퓨터로 IBM PC 호환형의 컴퓨터를 사용하였다. 표3-1 에는 IBM PC 호환형 컴퓨터의 주요 사양을 나타낸 것이다.

<표 3-4> 영상처리 컴퓨터의 사양

구 성	모 델
Type	IBM 586 PC
CPU	Pentium IV 2.0 GHz (intel)
RAM	256 MB
O / S	windows 2000 (Microsoft)
Programming Language	Visual C ⁺⁺

3)프레임 그래버

카메라에서 받아들인 아날로그 영상정보를 디지털 정보로 변환하고 저장하는 장치로 본 연구에서는 MATROX 사의 Meteor-II 제품을 두 개 사용하였다. 다음 표는 프레임 그래버의 사양이다.

<표 3-5> MATROX Meteor-II 프레임그래버

Bus type	PCI
Signal	NTSC, PAL, RS-179, CCIR
Input channel	12 analog video input and trigger
Image buffer size	4 MB
Power outlet	5 or 12 V DC
OS	Windows 98/NT/2000

4) 영상 출력부

국부 영상처리를 위한 작업자의 교시와 카메라의 영상을 출력하고 개발된 소프트웨어를 이용해 처리되는 영상을 출력하는 장치로 터치스크린 기능이 장착된 18.1 LCD 모니터를 사용하였다.

라. 소프트웨어 및 실험 방법

본 연구에서는 3차원 정보를 얻기 위한 실험 장치와 소프트웨어를 개발했는데, 먼저 미리 알고 있는 좌표값과 영상을 통한 영상 획득 시스템에 대한 보정식을 세우고 이를 기준으로 하여 카메라 자체를 측정 장치로 한 3차원 좌표 측정하는 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘은 크게 영상획득, 이치화, 세션화, 3차원 기준 좌표계로의 변환 등의 4단계로 구분하였다.



그림 3-3-9. 영상 보정용 소프트웨어

그림 3-3-9는 스테레오 비전을 이용한 3차원 좌표 획득 소프트웨어의 초기 화면이다. 본 실험에서는 그림에서 보여지는 임의의 +형 무늬를 선택하게 되면 선택되어진 좌표의 일정 영역을 분리하여 이치화, 세션화 처리를 거쳐 정확한 + 무늬의 중심점을 찾게 된다. 그 뒤 그 중심점에 대한 실제 x, y, z 좌표를 3차원

정보 추출 알고리즘을 통하여 산출하게 하였다. 특히 알고자 하는 3차원 정보에 대하여 작업자가 미리 선택하므로 영상 획득, 영상처리, 정보 추출의 계산량 및 처리 시간을 대폭 줄이게 함으로 동일 영상에 대한 다중 좌표추출을 실시간으로 할 수 있도록 하였다.

그림을 통하여 처리과정을 설명하면 그림의 우측 화면에 CCD 카메라가 이동하기 전에 영상을 획득하여 표시하고, CCD 카메라를 40mm이동 시킨 후 제 2의 영상을 획득하여 이 두 화면에서 선택되어진 대상점을 영상처리를 통하여 2차원 좌표인 (u, v) 좌표를 구하고 보정식을 통한 계산식에 의해 3차원 좌표를 추출한다.

그림 3-3-10은 목표점을 선택하였을 때 나타난 화면이다.



그림 3-3-10. 목표점 선택 화면

그림 3-11은 이치화, 세션화 과정을 거쳐 3차원 좌표 추출한 화면이다.



그림 3-3-11. 3차원 정보 측정 결과 화면

아래의 그림 3-3-12는 스테레오 비전을 이용한 3차원 정보 추출을 위한 알고리즘에 대한 순서도이다.

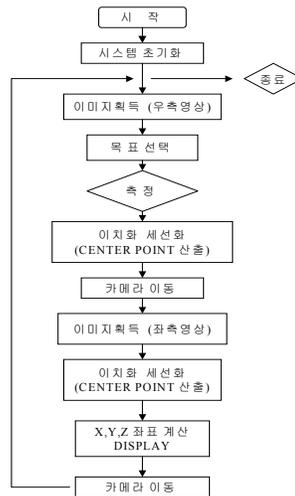


그림 3-3-12. 3차원 정보 추출 알고리즘

마. 카메라 보정 결과

이미 알고 있는 거리와 실제 x, y 좌표를 알고 있는 + 형 무늬가 있는 보정 차트를 통하여 3차원 보정정보를 카메라 렌즈로부터 530mm부터 1,030mm까지를 100mm씩 증가시키며 영상을 획득하고, 좌우 이동은 40mm, 80mm, 120mm 이동하며 그룹별로 이 영상의 샘플 점들의 영상좌표와 기준 좌표계의 정보를 수집하여 좌우 이동 거리별 보정식을 사용하여 시스템의 카메라 좌표 변환 행렬값을 구하였다. 그리고 임의의 좌표점이 있는 차트를 이용하여 3차원 정보추출을 수행하였으며, 실제 좌표값과 계산된 좌표값과 비교하였다.

아래의 행렬값은 실험을 통해 얻은 카메라의 보정값이다.

$$\text{Camera 1 } P = \begin{bmatrix} -13.2050 & 0.2240 & 6.0584 & 329.09656 \\ 2238 & -13.5145 & 4.5524 & 239.0965 \\ 0005 & 0.0006 & 0.0190 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$\text{Camera 2 } P = \begin{bmatrix} 20.9129 & -1.2480 & -10.3199 & -506.8957 \\ 0.8508 & 19.7546 & -7.9804 & 395.4855 \\ 0.0025 & -0.0040 & -0.0326 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$\text{Camera 3 } P = \begin{bmatrix} -33.6446 & 0.3939 & 16.5154 & 3182.9530 \\ 1757 & -35.8541 & 12.6212 & 203.6020 \\ 0018 & 0.0009 & 0.0524 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$\text{Camera 4 } P = \begin{bmatrix} -46.8242 & 1.7471 & 21.8443 & 5722.2133 \\ 0.6293 & -45.5356 & 16.7585 & 63.8888 \\ 0.0054 & 0.0041 & 0.1688 & 1.0 \end{bmatrix}$$

위의 보정값은 위에서부터 카메라가 움직이지 않았을 때, 40mm 이동, 80mm 이동, 120mm 이동한 결과이다. 아래 표는 이 보정값을 통하여 80mm 이동 후 획득한 영상 정보에 적용시킨 결과이다. 표 3-6은 먼 거리의 영상 일수록 계산된 결과에 대한 오차가 커짐을 알 수 있다.

<표 3-6> 카메라 보정 결과값 비교

Node	Original coordinate			Computed coordinate		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	50	-75	530	50.007765	-75.07791	530.45471
2	-50	50	630	-52.40182	50.917021	639.06933
3	-25	-25	730	-24.9993	-24.9552	729.01952
4	75	75	830	75.054372	74.800143	829.53916
5	-100	-50	930	-98.63514	-49.72315	924.55307
6	100	-25	1030	99.821667	-25.19822	1038.2456

바. 국부 영상처리 결과

하우스 내에서 멜론의 영상을 획득하고, 획득한 영상에서 작업자의 교시를 통하여 국부 영상 처리 알고리즘을 수행하게 하였다. 원격으로 영상을 획득하기 위하여 영상 처리 시스템과 5 ~ 10 m 사이의 거리에 카메라와 2.4 GHz대의 무선 영상 송신 모뎀을 설치하였다. 영상 처리 시스템은 무선 영상 수신 모뎀, 프레임그래버, 터치스크린형 LCD 모니터를 장착한 퍼스널 컴퓨터로 구성하여 카메라로부터 무선으로 송신되는 영상을 수신할 수 있게 하였다. 그리고 디스플레이 되는 영상을 획득하여 비트맵 형식(*.BMP)으로 저장하고, 저장된 영상을 화면에 출력하였다. 영상처리를 수행하기 위하여 그림 3-3-13과 같은 프로그램을 사용하였다. 이 프로그램을 이용하여 작업자가 원격으로 영상을 획득하여 처리할 수 있다. 또 작업기와 인터페이스를 연결하여 멜론 재배에 관련된 작업들을 수행할 수 있고, 작업대차의 구동관련 제어를 수행할 수 있다. 그림 3-3-13 영상은 하우스내에서 컬러 CCD 카메라를 이용하여 획득한 영상처리 작업 전의 멜론의 원 영상으로 640×480 화소의 크기를 갖는다.

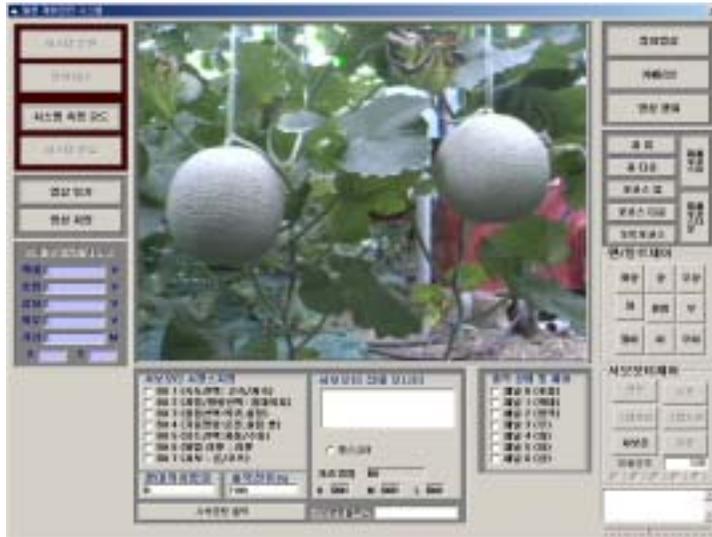


그림 3-3-13. 멜론 영상처리 프로그램

1) 교시에 의한 영상 처리 영역 설정

그림 3-3-15에서 국부 영상 처리를 위한 영역 설정은 대상체가 처리 영역에 완전히 포함될 수 있도록 100~300 화소 범위를 임의로 조정할 수 있게 하였다. 본 연구에서는 터치 스크린에서 입력되는 교시좌표 $P_c(x, y)$ 를 중심으로 멜론의 외형 정보 추출을 위해서 그림 3-3-14처럼 200×200 화소로 설정하였다. 방제, 관수 및 시비 등의 작업을 수행하는 경우, 작업자가 점 작업과 영역 작업을 선택할 수 있도록 하였으며 영역 작업의 경우 작업자가 임의로 방제, 관수 및 시비의 영역을 조정할 수 있도록 하였다. 영상처리 영역은 메모리에 저장되고 전체 영상에 대한 설정 위치를 알 수 있도록 영역의 좌측 상단 좌표 $P_l(x, y)$ 를 저장하였다.

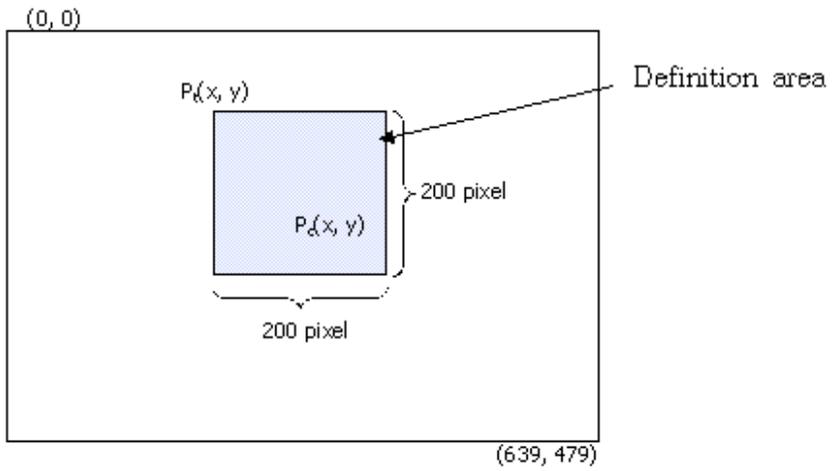


그림 3-3-14. 국부 영상처리 대상 영역



그림 3-3-15. 국부영상처리 대상 영상

2) 영상 향상

획득한 영상의 잡음을 감소 또는 제거시켜 보다 깨끗한 영상을 얻을 필요성이 있는데, 일반적인 잡음 감소의 방법으로 선형적인 영상 완화 필터(filter)가 많이 사용되는데 균일(uniform) 필터, 평균값 필터, 가우시안(Gaussian) 필터 등이 있다. 이러한 필터는 잡음 감소의 효과가 있지만 원영상의 훼손이 따른다. 비선형적 방법으로는 통계적 방법에 의하여 주로 임펄스(impulse) 잡음을 제거하는데 효과적인 미디언(median) 필터링은 $k \times k$ 영역의 인접(neighborhood) 영역에 있어서 대상 화소의 명도를 주변 화소의 중간 서열값으로 대체하는 알고리즘으로 중간값은 주변 화소에 대한 명도값을 낮은 값에서 높은 값으로 정렬하여 그 가운데 값(middle value)으로 결정한다. 이 필터는 경계를 훼손시키지 않는데 그 이유는 대상 화소의 밝기가 새로운 값으로 대체하는 것이 아니라 이미 주변에 존재하는 값으로 대체되기 때문이다. 다만 주변 화소를 정렬하는데 처리 시간이 다소 소요되는 단점이 있다.



그림 3-3-16. Median Filtering후 영상

본 연구에서는 처리 영상에서 모서리의 경계를 유지하면서 작은 반점(speckle)을 제거하기 위하여 그림 3-3-16의 공간 필터인 미디언 필터링을 수행하였는데 5×5 의 정방형 커널(kernel)에 대하여 1회 필터링을 수행하였다. 부드러

위진 영상의 경계를 더욱 확실하게 하고자 그림 3-3-17의 Morphological 기법중의 하나인 Erode 필터링을 하였다.



그림 3-3-17. Erode Filtering후 영상

3) 경계 검출

획득된 영상으로부터 대상체의 외곽 정보를 추출하기 위해 경계선의 검출이 필요한데 경계 검출은 영상의 명도 변화의 기울기를 나타내는 방법을 이용하였다. 컨벌루션을 통한 경계 검출 연산자들은 여러 가지가 있는데 Sobel, Prewitt, Roberts, Laplacian 연산자들이 일반적으로 사용된다. 본 연구에서는 우선 영상 완화 필터처리에 의해 잡음의 영향을 감소시킨 후 경계 검출을 수행하였다. 이것은 경계 검출 시 강조되는 높은 주파수대의 신호에 있어서 잡음 성분으로 인한 영향을 최소화하기 위함이다. Sobel, Prewitt, Roberts 연산자들은 경계의 명도 변화에 대한 1차 미분값을 이용하며, Laplacian 연산자는 2차 미분값을 이용한 영점교차(zero crossing)를 통하여 경계선의 윤곽을 추출한다. 본 연구에서는 그림 3-3-18의 회색조 영상으로 변환한 후 그림 3-3-19의 Sobel 마스크를 사용하여 경계검출을 수행하였다.

4) 세션화

세션화를 하기 전 단계로 경계를 뚜렷히 하기 위해 아래 식을 이용하여 이치화를 수행하였다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 0 & f(x, y) \leq T \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서, T 는 문턱값 75

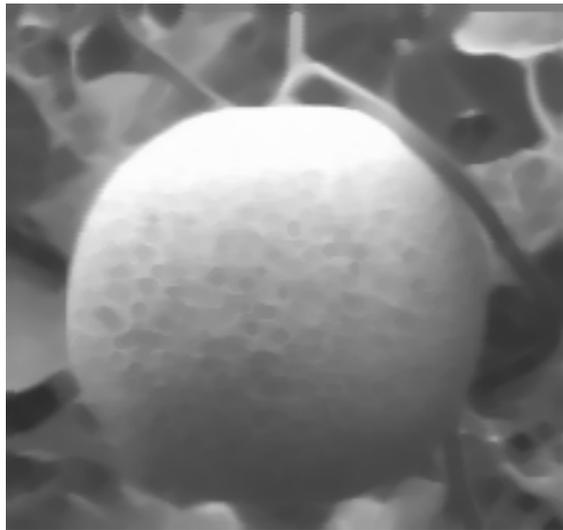


그림 3-3-18. Grey level 영상

그림 3-3-20의 세션화는 두께가 있는 선을 단일선으로 바꾸어주는 알고리즘으로 선의 가운데만을 남겨두고 나머지를 제거하는 방법이다. 즉 영상이 갖는 선 성분은 보존하고 선의 도형만 추출하는 알고리즘이다. 이 처리는 허프 변환과 같은 알고리즘을 수행할 때 대상 화소의 수를 줄여 처리 속도를 향상시킬 수 있다.

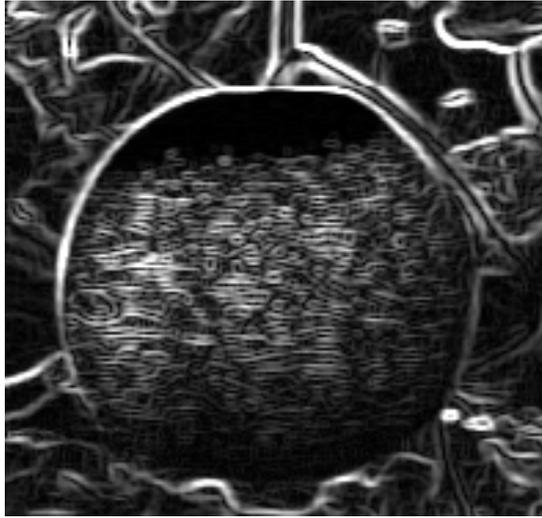


그림 3-3-19. Sobel Filtering 후 영상

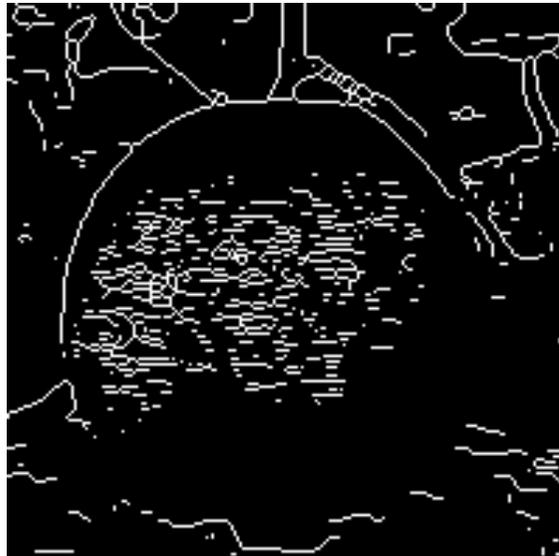


그림 3-3-20. 멜론의 Thinning 후 영상

5) 윤곽 정보 및 중심점 추출

획득된 영상으로부터 대상체의 기하학적인 형상 정보를 추출하기 위하여 일반적으로 체인 코딩(chain coding), 윤곽선의 기울기 표현($\psi-s$ 도표), 기울기 밀도(tangent angle)의 히스토그램, 커브 피팅(curve fitting) 등의 방법을 통하여 대상체의 윤곽 정보를 알아낸다. 그러나 형상 정보가 복잡하면 추출된 정보가 불완전 하거나 추출이 불가능하기도 한다. 멜론의 경우에는 일반적인 형태가 원형이며, 작업 시기 및 품종에 따라 그 크기도 대체로 일정하다. 그리고 줄기의 경우는 직선의 형태를 갖는다. 작업자의 교시를 통하여 멜론의 가상 중심점을 대략적으로 얻을 수 있으므로 본 연구에서는 이러한 정보를 바탕으로 외형 정보를 추출하였다. 적용한 알고리즘은 허프 변환(Hough transform)으로 물체의 윤곽이 곡선 또는 직선으로 이루어진 영상의 경우에 좋은 효과를 나타내었다.

2. 영상정보를 이용한 생육 데이터베이스 구축

농작업에서의 영상처리 기술의 도입은 현재까지 많은 분야에서 활발하게 수행되고 있다. 적용 범위는 주로 선별 시스템에 많이 도입됐고, 수확 시스템, 공정 자동화 시스템 등 다양하게 수행되었다. 수확 및 재배관리, 사육 관리 등과 같은 현장 작업의 경우 영상처리를 하기 위한 시스템 구현이 어려울 뿐 아니라 그 처리 정보가 많고, 제약 사항이 많아 적용에 어려움이 있어 그 결과가 미흡한 실정이다. 기존의 영상 처리 시스템은 그 처리량으로 말미암아 주로 흑백 또는 그레이 스케일(Gray scale)로 영상처리를 수행하였다. 그러나 현재에 이르러서는 프로세서의 성능 향상이 비약적으로 발전한 것과 같이 영상처리를 수행할 주변 하드웨어와 소프트웨어의 도움으로 컬러 영상처리 기술의 적용이 확대되고 있다. 컬러 영상처리의 경우 흑백의 영상처리와 달리 색상정보를 이용하므로 보다 정교한 프로세싱이 가능하고 다양한 결과를 얻을 수 있으나 그 정보량이 많고, 색상 정보의 상호 왜곡과 조명의 왜곡으로 인하여 실시간 영상처리를 하기가 어렵다.

본 연구에서는 작업자가 1차 교시를 수행하고, 그 좌표를 기준으로 일정 영역

만 영상처리를 수행하게 함으로 표적이 되는 목표물을 오류 없이 찾을 수 있게 하였다. 그리고 1차 교시를 통한 영상의 국부 처리가 가능하게 하였고, 이를 통하여 영상처리 알고리즘을 간단하게 구성할 수 있게 하였다. 작업자가 현장의 작업 환경 및 공정을 감안하여 교시를 수행함으로 현재 영상처리 기술의 한계점을 보완할 수 있게 하였다.

선별과 같이 한정된 환경 하에서 프로세싱을 수행하는 경우와는 다르게 시설 환경에 투입되는 시스템과 같이 현장 적용 시스템일 경우 환경조건의 제약으로 오류를 범하기가 매우 쉽다. 그리고 광 조건의 가변성으로 인하여 시스템은 그 환경에 실시간으로 적응하기 또한 어렵다. 다음으로 작업자의 1차 작업 교시(敎示)를 통하므로 시스템과 사용자간의 인터페이스가 매우 중요한데, 이는 과거의 DOS 시절과 현재의 Windows 환경을 통하여 쉽게 알 수 있다. 본 연구에서는 이러한 관점을 중심으로 터치스크린(Touch screen) 시스템을 도입하여 작업자가 직관적으로 작업 교시(敎示)를 수행하여 보다 효율적인 작업이 이루어 질 수 있도록 하였다. 작업자가 작업현장에서 시스템을 운용할 경우 다수의 시스템을 통제하기가 어렵고, 작업 환경 또한 열악하다. 그리고 작업 관련 지식과 경험을 바탕으로 하는 작업과 단순한 작업을 하는 경우 보통 노동력 투입은 대부분 단순작업에 치우치게 된다. 그러므로 작업자의 부가 가치를 높이기 위해서는 경험과 지식을 갖춘 전문가는 중앙 통제 시스템에서 전체를 총괄하고, 단순 작업의 경우 최소한의 인력을 통하여 작업을 수행함이 필요하다. 또한 작업 수행을 결정할 때 필요로 하는 통계적 자료나 전문 지식 또는 보조 자료를 재배관리 시스템에서 제공하게 함으로 보다 안정적인 재배 관리가 이루어질 수 있게 할 필요가 있다. 이러한 개념을 바탕으로 원격지에서 다수의 시스템을 중앙통제하고, 현장에서 중앙 통제 명령을 시스템이 수행하게 함으로 위의 필요성을 충족시키게 하였다. 이 때 중앙 통제시스템은 각 단위별 작업 공정 및 누적 작업량, 시기 등과 같은 정보를 작업자에게 제공한다.

본 연구에서는 작업자의 1차 작업 교시를 위한 터치스크린 시스템을 구현하고, 원격 명령을 수행하고, 시스템을 모니터링 할 수 있는 원격 무선 제어 시스템을 구현하였으며, 원격지에서 1차 교시된 좌표 정보 및 작업 정보를 통하여 시스템을 운용할 수 있게 하였다. 그리고 교시된 좌표 및 작업 정보를 바탕으로 작업 목표물의

영상을 획득하며, 그 획득된 영상을 처리하여 목표물의 형상, 자세, 위치를 추출하게 하는 영상처리 알고리즘을 개발하였다.

가. 터치스크린

터치스크린은 화면에 나타난 문자, 그림 및 모니터의 특정 위치에 손 또는 물체가 접촉하면 그 위치를 감지하고, 소프트웨어를 통해 터치스크린이 장착된 시스템에 그 위치를 알려주는 시스템을 말한다. 이러한 터치스크린을 이용한 시스템은 안내 시스템, 금융 시스템, 광고 시스템, 의료 장비, 자동화 장비 등과 같이 다양한 분야에서 사용자 인터페이스로 사용되고 있으며 그 범위가 확대되어 가고 있다. 이러한 터치스크린의 사용은 키보드나 마우스에 익숙하지 못한 사용자에게 부담감을 상당히 줄일 수 있다. 터치스크린은 이러한 직관적인 인터페이스를 제공하기도 하며, 외부 오염에 강하며, 굽힘, 충격에 강하여 실수로 옷이나 다른 물질로 터치하여도 이를 인식하지 않으므로 사용자 오류를 회피할 수 있다. 그리고 모니터와 완전 통합되어 있으므로 설치의 제약이 적다.

터치스크린 시스템의 구성은 크게 터치센서 패널, 제어기, 소프트웨어로 되어있다. 터치스크린은 작업자의 접촉을 감지하는 센서의 역할을 하며, 제어기는 터치스크린의 종류에 따라 스크린을 제어하여 그 접촉 좌표를 컴퓨터에 전송하는 기능을 한다. 다음으로 소프트웨어는 전송된 좌표값을 컴퓨터 마우스 또는 키보드 신호와 연동 되게 하는 역할을 한다. 즉 터치스크린은 컴퓨터 마우스와 같은 역할을 수행하게 된다. 터치스크린의 국내외 연구개발 동향은 크게 유리패널형, 필름형으로 구분되며, 그 중 필름형은 압력식 터치스크린이라고 하며 5선 압력식, 4선 압력식, 그리고 디지털 매트릭스 방식이 있는데 향후 가장 많이 사용될 방법으로 예상된다. 각 유형별 특징은 표 3-7에 나타내었다.

1) 접촉식 정전 용량식(Capacitive Overlay)

강화 유리 양면에 투명한 전도성 코팅을 한 터치스크린의 한 면 가장자리에 전압을 걸어 주고 반대 면에서 정전 용량을 검출하는 방식으로 사람의 정전 용량을 이용한다. 접촉면에 작업자의 접촉이 있을 때 정전 용량이 바뀔을 감

지하여 접촉 위치를 알아낸다. 가벼운 접촉에도 잘 반응하고 분해능이 높지만 이 물질이 터치 면에 있을 경우 오류를 발생시키는 단점이 있다.

2) 압력식 저항막 방식(Resistive Overlay)

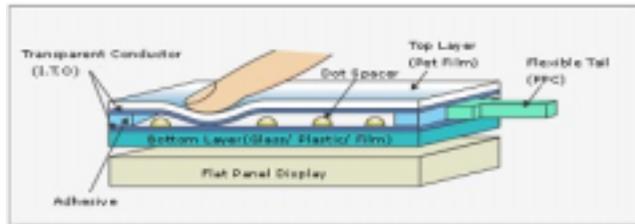


그림 3-3-21. 압력식 저항막 방식

그림 3-3-21과 같이 유리나 투명 플라스틱 판위에 저항막을 코팅하고 그 위에 전도성 필름을 입힌 구조로 되어 있으며, 저항막과 전도성 필름 사이에는 절연 붕이 설치되어 상호 접촉이 되지 않게 되었다. 작업자의 접촉이 있으면 전도성 필름과 저항막이 압력에 의해 접촉되며 그로 인한 저항값의 변화를 읽어 접촉 좌표를 감지한다. 이 방식은 손가락이 아닌 볼펜이나 압력을 가할 수 있는 물체의 접촉도 감지할 수 있다. 그리고 접촉면이 오염되더라도 압력이 가해지지 않으므로 이물질로 인한 오류가 없는 장점이 있다. 종류로는 4선식 저항막 방식과 5선식 저항막 방식이 있다.

3) 적외선 광 방식(Infrared beam)

접촉면이 없는 방식으로 스크린의 한쪽에서 적외선 광을 조사하며, 반대쪽에서 수광하는 구조의 방식이다. 이 방식은 접촉면이 없으므로 반영구적으로 사용할 수 있으나 외적인 환경 영향을 받기 쉽다.

4) 표면 초음파 전도 방식(Surface acoustic wave)

그림 3-3-22와 같이 x축과 y축에 초음파를 보내고 받는 장치와 행과 열에 초음파 반사면을 두어 트랜스미터(Transmitter)에서부터 일정시간 간격으로

발사되는 초음파를 반사하여 최종 리시버에 도달하게 하는 구조이다. 스크린에 접촉이 가해지면 반사되는 초음파는 차단되므로 다음 반사면에 도달하지 못하는데 이때의 시간을 계산함으로써 접촉면에 대한 좌표를 구할 수 있는 원리이다.

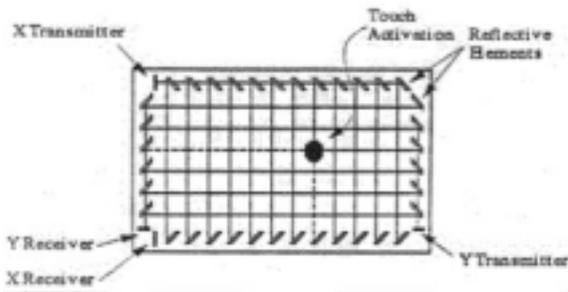


그림 3-3-22. 표면 초음파 전도 방식

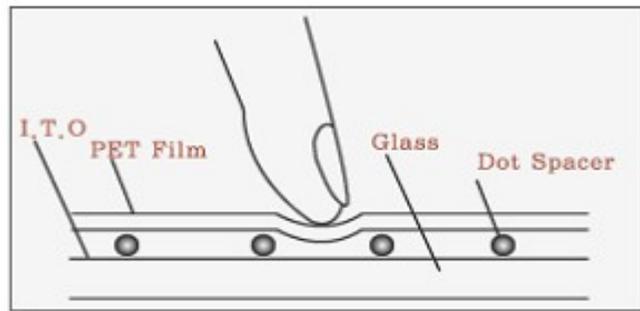


그림 3-3-23. 5선 압력식 터치스크린

<표 3-7> 터치스크린 유형별 장단점

종류	장점	단점
저항막 방식	높은 해상도 응답속도 빠름 장착이 쉽다.	과손위험이 있다. 광 투과율이 낮다.
정전용량 방식	높은 해상도 내구성 높음 응답속도 빠름	인체 외 감지 불가능 장착 어려움 광 투과율이 낮다.
초음파 방식	높은 해상도 높은 광 투과율 응답속도 빠름	오염에 대단히 약하다.
적외선 방식	높은 해상도 높은 광 투과율	부피가 크다. 오동작 가능 응답속도가 느리다.

본 연구에서는 시설 내 작업환경 및 사용자 환경을 고려하면 고 신뢰성, 고 내구성이 요구되며, 외적인 오염으로부터 안정적인 동작을 해야 하므로 그림 3-3-23의 5선식 저항막 방식의 터치스크린을 사용하였다.

먼저 5선식 터치스크린의 구조를 보면 그림 3-3-24와 같이 I.T.O(Indium tin oxide), 유리기판, 도트 스페이서(Dot Spacer), 폴리에스텔 커버로 이루어져 있으며, 유리 기판은 저항막이 코팅되어있고, 커버에는 전도 코팅이 되어있다. 도트 스페이서는 커버와 유리 기판이 접촉되지 않도록 유지시키는 기능을 한다. 5선식의 원리는 다음과 같다. 커버를 누르면 커버 안쪽에 균일하게 형성된 투명전극 Z는 눌린 위치에서 배면의 유리기판상에 균일하게 도포된 투명한 저항막과 접촉한다. 여기서 각각 x_1 , x_2 , y_1 , y_2 의 위치 즉 점 S가 눌러졌을 때 유리기판의 A, C전극에 전압 V_0 를 가하고 B, D전극을 GND로 해서 X축 방향으로 전하를 주면, 투명전극 Z의 전위 V_z 는 이 전위차 V_0 를 접촉점 S로부터 X축의 양단까지의 거리비로 일정한 비율에 따라 고르게 나눈 값이 된다. 그러므로 투명전극 Z의 전압을 알면 x_1 과 x_2 의 비율을 알 수 있다. 같은 원리로 A, B에 V_0 를 C, D에 GND를 가하면 Y축에 대한 좌표도 알 수 있다.

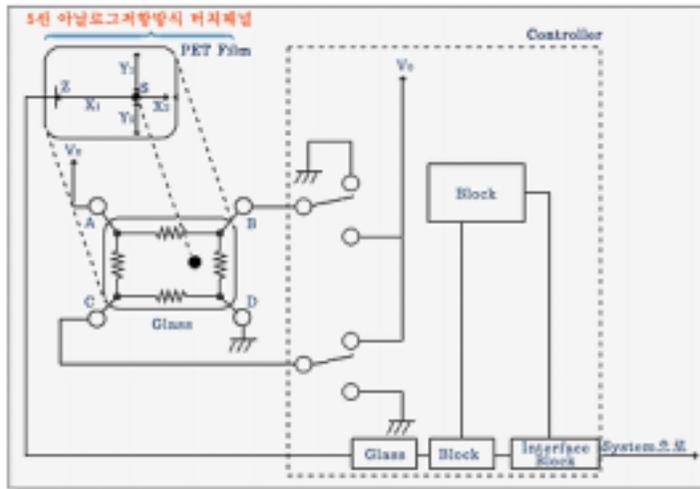


그림 3-3-24. 5선 압력식 터치스크린의 원리

나. 원격 무선 제어 시스템

원격 제어 기술은 산업분야, 가전분야, 의료분야 등 많은 곳에 적용되어 작업자가 현장에서 하기 어렵거나 작업의 편의를 위해 많은 기여를 하고 있다. 특히 유선이 아닌 무선 원격 제어의 경우 설치의 제약을 극복할 수 있고, 다중 제어가 가능하여 하나의 통제 시스템을 통하여 다수의 지역 시스템을 관리 할 수 있다.

본 연구에서는 시설의 특수성을 감안하여 그림 3-3-25의 모뎀 시스템을 이용하여 다중 무선 원격 제어 시스템을 구축하였고, 영상과 데이터 정보를 분리 함으로 전송 속도 및 상호 간섭을 배제하였다. 영상 송수신 시스템은 NTSC 신호를 송수신하며, 데이터 송수신 시스템은 RS232 신호체계를 갖는 디지털 데이터를 송수신한다.

영상 송수신은 2.4GHz 대의 주파수를 이용하며, 주로 NTSC나 PAL 방식의 아날로그 신호를 송수신한다. 현재에 들어서는 영상 압축 및 고속 무선 전송기술이 발달하여 디지털 영상 무선 송수신 시스템도 개발되었으나 가장 일반적인 아날로그 방식의 영상 송수신 시스템을 본 개발에 적용하였다. 다음으로 제어 데이

터 송수신은 219MHz, 424.7MHz대의 주파수를 사용하며, 주로 FM 전송방식을 사용하고, 제어 시스템과 인터페이스가 좋게 하기 위하여 RS232C 규격을 따르는 입출력 인터페이스를 사용한다. 영상 및 데이터 송신 시스템은 최종 출력 신호가 영상, 오디오 또는 데이터 신호의 변조된 신호, 즉 고주파 신호가 출력되며, 수신 시스템은 이 고주파 신호를 다시 복조한 후 각 신호별 정보를 출력한다. 여기서 영상 송수신 시스템과 데이터 송수신 시스템을 비교하면 단지 정보의 대역폭(Band Width) 및 반송파(Carrier)의 주파수에서의 차이가 있고, 신호의 형태가 아날로그와 디지털의 차이가 있을 뿐 무선 송수신 자체의 원리는 같다.



그림 3-3-25. 영상 및 데이터 무선 송수신 시스템

1) 송신기(Transmitter)

영상 송신기의 내부 블록도를 예를 들면 그림 3-3-26과 같이 출력 신호는 음성신호와 영상신호로 2가지를 혼합한 신호가 전송되는데, 먼저 음성신호를 좌우 각각 6.0MHz, 6.5MHz로 변조(Modulation)하고 영상 신호와 혼합기를 통해서 합한다. 그리고 VCO를 거쳐 2.4GHz로 FM 변조되고, 출력 증폭기에서 이 신호가 증폭되며, 안테나를 통해서 영상을 전송한다. 여기서 VCO는 Voltage Controlled Oscillator의 약자로 전압제어 발진기를 의미하며, 송신 시스템의 송신주파수와 수신시스템의 발진 주파수를 Synthesizer의 인가전압에 의해 안정되게 발진시키는 가변 주파수 발진회로 모듈(module)이며, PLL은 Phase Locked Loop의 약자로 송신 시스템의 불안정, 주변 환경의 불안정으로 인한 신호 주파수의 흔들림을 막아주어 정확한 주파수로 전송할 수 있게 하고, 또 특정 주파수로 주파수 가변

의 역할을 한다.

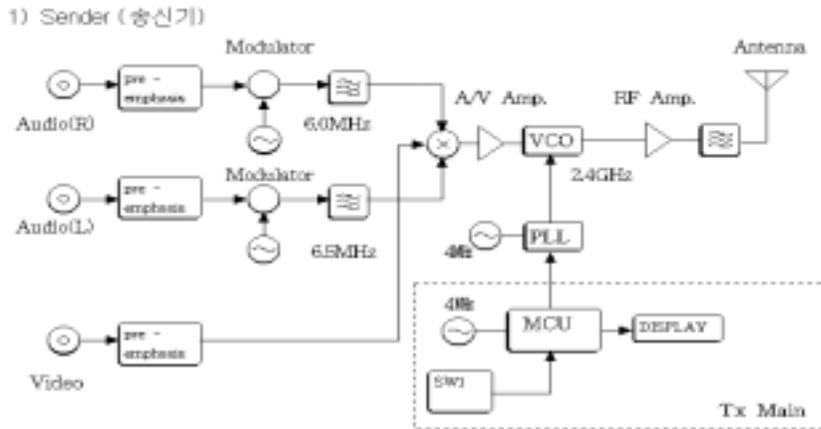


그림 3-3-26. 영상 송신기의 블럭도

2) 수신기(Receiver)

그림 3-3-27의 영상수신기는 송신기의 변조기(Modulator)와 반대개념인 복조기(Demodulator)를 이용하여 송신된 2.4GHz의 신호를 영상과 음성신호로 복조한다. 그 구성은 먼저 안테나로부터 송신된 2.4GHz대의 신호를 수신하여 고주파 증폭 및 필터를 거친 후 PLL 및 VCO를 통하여 주파수 동기를 맞추고 고주파에서 IF/기저대역으로 주파수를 내려주는 주파수 하향 변환 믹서(Mixer)부를 통해서 채널을 분리한다. 이러한 방식을 슈퍼헤테로다인(Super Heterodyne)방식이라고 한다. 다음으로 복조기를 통해서 중간 주파수(IF: Intermediate frequency)를 영상 신호와 음성신호를 복조하며, 그 신호에서 기저신호(Base band signal) 즉 영상 신호와 음성신호를 분리하여 각각 출력한다. 그림에서 MCU(Micro Controller Unit)부분은 채널 선택을 위한 PLL의 제어장치이다.

2) Receiver (수신기)

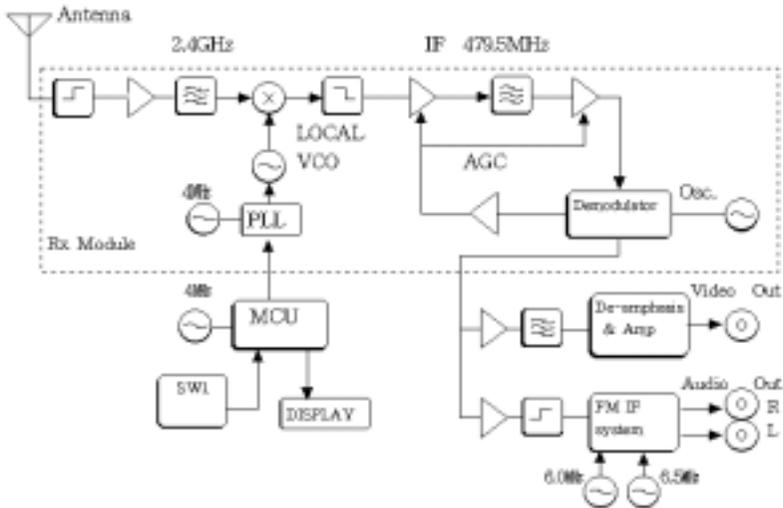


그림 3-3-27. 영상 수신기의 블럭도

본 연구에서는 카메라의 NTSC 신호를 허가받지 않고 사용할 수 있는 주파수대인 2.4GHz대의 전자파로 무선 전송하기 위한 시스템으로 RF-Korea사의 시스템을 사용하였다. 송신기는 RTS-112이고, 수신기는 RRS-212이다. 주요 특징은 표 3-8과 같다.

<표 3-8> 무선 데이터 모뎀의 특성

Output Level	10mW	수신 Level	-85 dBm
주파수 대역	2.410~2.470GHz	영상 출력	1 Volt p-p
변조 방식	FM(Video/Audio)	음성 출력	1 Volt p-p
영상 입력	1 Volt p-p	잡음 (Noise)	3.5dB
음성 입력	1 Volt p-p	입력 전원	DC12V 500mA
영상입력 Impedance	75 ohms	소비 전력	Approx 4.8W
음성입력 Impedance	600 ohms		
입력 전원	DC 9V 700mA		
소비 전력	Approx 4.8W		

제4절 멜론 수확용 하이브리드 로봇 시스템의 개발

본 연구에서 개발된 멜론 수확, 재배용 하이브리드 로봇 시스템은 선단 작업 장치를 주어진 위치로 이동시키기 위한 병렬 매니플레이터, 대상물을 수확 후 적재할 수 있는 작업공간을 보완하기 위한 1자유도의 회전 조인트를 이용한 직렬 매니플레이터로 이루어진 하이브리드 매니플레이터와 멜론의 수확, 방제, 교배를 위한 모듈화 된 선단 작업기들로 구성되어 있다.

1. 하이브리드 매니플레이터

지금까지의 농업용 로봇은 경제성 및 작업의 전문성을 고려한 단순구조의 전문화된 로봇으로서 x , y , z 축 슬라이더를 이용한 매니플레이터나 산업용 매니플레이터를 이용한 선단 장치를 개발하는 연구가 주류를 이루어 왔다. 그러나 x , y , z 축 슬라이더를 이용한 매니플레이터는 요구되는 자유도를 갖기 어렵고, 산업용 매니플레이터는 다목적 매니플레이터에서 요구되는 자유도는 충족되나 매니플레이터의 중량과 가반 하중 조건을 충족하지 못한다. 또한 병렬 매니플레이터는 높은 가반하중 및 정밀 위치 제어능력을 갖는 매니플레이터이나 적은 작업공간을 갖는 문제가 있다. 또한 일반 산업용 로봇과 달리 농업은 특성상 다양한 작업을 수행할 수 있어야 하므로 작업에 따라 구조를 쉽게 변경할 수 있어야하나 기존의 농업용 로봇은 전용 작업형식이므로 구조를 변경하기 어려운 문제가 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 산업분야에서 많이 이용되고 있는 직렬 매니플레이터와 병렬 매니플레이터를 혼합하여 직렬 매니플레이터처럼 넓은 작업공간과 병렬 구조처럼 높은 가반 하중 및 정밀 위치제어 능력을 가지며, 작업에 따라 구조를 쉽게 변경할 수 있는 하이브리드 매니플레이터를 개발하고자 하였다. 멜론 재배를 위한 매니플레이터를 설계하기 위해서는 각 재배작업에 따른 작업 공

간, 자유도, 가반 하중을 고려해야한다.

시설 내에서 멜론을 재배하기 위해 멜론 재배시스템이 자유롭게 이동 가능하여야 하므로 차량시스템에 탑재한다. 시설 내의 멜론의 조간거리는 2 m이나 차량의 이동을 위한 통로 폭은 1.5 m이다. 따라서 차량의 폭은 1.5 m보다 적어야 하고 차량에 탑재되는 멜론 재배시스템은 차량에 탑재하기 위해 가벼워야 한다.

멜론의 재배작업 중 가장 많은 노동력이 소요되는 수확, 교배, 그리고 방제작업에 대하여 작업 공간, 자유도 및 가반 하중을 조사하였다.

수확작업 시에 아래 그림 3-4-1에 도식된 바와 같이 멜론의 위치는 지면으로부터 높이 120 cm, x 와 y 방향의 평균위치에 원점을 좌표하면 y 방향으로 ± 10 cm, x 방향으로 ± 15 cm 그리고 z 방향으로 ± 10 cm 이내에 위치되어 있다. 멜론 재배를 위한 수확 시스템은 이동차량에 부착되어 멜론을 수확하기 위해 필요한 자유도는 x , y , z 의 3 자유도이며 필요한 작업공간은 x , y , z 방향으로 각각 20, 30, 20 cm이다.

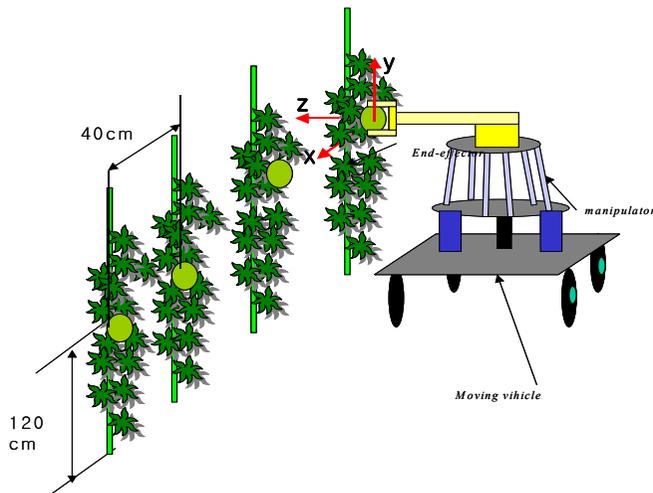


그림 3-4-1. 멜론을 수확하기 위해 필요한 작업공간

멜론의 무게와 선단장치의 무게를 고려하여 매니플레이터의 가반 하중은 10 kg 이상이어야 한다.

멜론은 꽃의 수술과 암술이 같은 꽃에 모여 있다. 꽃가루의 무게가 거의 없으므로 가반 하중에 의한 영향은 고려하지 않아도 되나, 암술과 수술에 선단장치가 접근 시 일

에 의해 방해받을 수 있으므로, 가능한 여유 자유도를 갖아야 하며, 교배작업 시 실제 교배가 이루어지는 부분은 직경 1 cm이하이므로 매우 정교한 위치제어가 가능한 매니플레이터가 필요하다.

멜론의 병해충 방제 작업은 멜론 잎의 전반부에 대하여 방제작업이 가능하여야 한다. 이러한 경우 그림 3-4-2에서 y 방향으로는 멜론 높이의 전체를 커버할 수 있어야 하나 차량이 이동하면서 원거리까지 방제가 가능하므로 x 방향과 z 방향의 작업공간은 충분히 확보 가능하다.

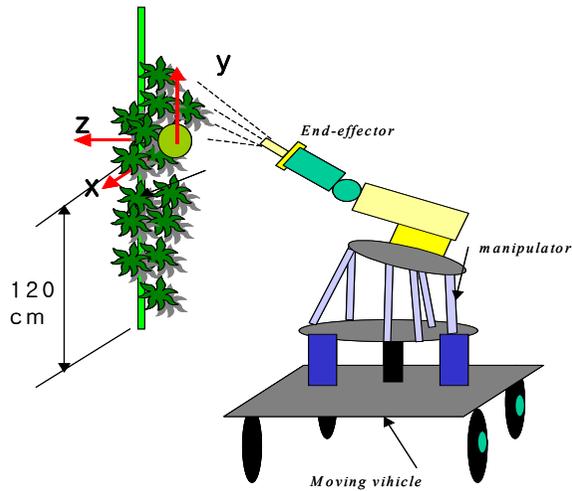


그림 3-4-2. 방제 작업에 필요한 작업 공간

이러한 작업조건을 만족시키기 위해서 본 연구에서 설정한 매니플레이터의 설계 기준은 다음과 같다.

- 1) 10 kg 이상의 높은 가반 하중 및 오차 범위 1 mm이내의 정밀도를 가져야 한다.
- 2) 잎이나 가지와 같은 장애물에 의해 목표대상에 접근하기 어려우므로 잎이나 가지와 같은 장애물을 회피할 수 있도록 6 자유도 이상의 자유로운 움직임이 가능하여야 한다.
- 3) 온실 내에서 이동차량에 설치할 수 있도록 중량이 가벼워야 한다.

4) 선단부에 단위작업별 선단 장치를 교체 장착하여 다목적 작업을 수행 가능 하여야 한다.

가. 병렬 매니플레이터의 설계 및 제작

1) 병렬 매니플레이터 형태 결정

일반적으로 병렬 매니플레이터는 크게 하단에 고정되는 베이스(base), 리니어 액추에이터(linear actuator), 플랫폼(platform)으로 구성된 후 리니어 액추에이터의 길이변형에 따라 플랫폼의 자세가 변형되어 end-effector를 움직일 수 있다. 또한 base와 platform은 일반적으로 일종의 평판으로 구성되므로 platform에 다목적의 작업을 위한 end-effector를 부착 및 교체하여 사용할 수 있다.

병렬 매니플레이터에 있어서의 자유도(DOF, Degrees Of Freedom)는 리니어 액추에이터의 수와 같으며 Grubler의 공식에 의해 다음과 같이 계산한다.

$$F = \lambda(n-j-1) + \sum_i f_i - f_p$$

where, λ : mechanism이 작동하는 공간상의 자유도

n : 고정된 링크를 포함한 링크의 수

j : 조인트의 수

f_i : 조인트 i 에 의해 허용되는 상대 운동 자유도(degrees of relative motion)

f_p : 피동 자유도(passive degrees of freedom)

병렬 매니플레이터는 자유도에 따라 3자유도와 6자유도, 리니어 액추에이터의 구동 형태에 따라 여러 형태로 나뉘어 지나 대표적으로 표 3-9와 같은 형태가 있다.

<표 3-9> 병렬 매니플레이터의 3가지 형태 비교

Type	Rotary	Stewart Platform	Fixed linear
output force	small	large	large
actuator location	basement	moving part	basement
moving mass	small	large	small
speed	very fast	fast	fast
rigidity	poor	good	good
workspace	large	small	large
structure	simple&compact	large moving parts	large basement

이러한 특징을 고려하여 본 연구에서는 큰 가반 및 작업중량과 안정성이 있는 stewart-platform의 형태를 선정하였다. 이를 기반으로 하여 제어의 용이성 및 구조의 단순화를 위해 3자유도의 stewart- platform 매니플레이터를 설계하였다.

2) 3자유도 stewart-platform 매니플레이터

1차로 개발된 병렬 매니플레이터이다. 그림 3-4-3에서 보는 바와 같이 3자유도의 병렬 매니플레이터는 3 개의 액추에이터가 지지하는 구조로 이루어져 있어 액추에이터의 길이 변화에 따라 자유로운 자세를 취할 수 있다. 자유로운 자세 제어를 위해 리니어 액추에이터와 플랫폼 사이는 회전 조인트(Revolute joint)를 이용하여 연결하였으며, 액추에이터와 베이스 사이는 볼-소켓(ball-socket) 조인트로 연결하였다.

그림 3-4-4는 CAD Tool인 Solid Edge를 이용하여 설계한 모습이다. 실제 제작된 병렬 매니플레이터의 모습을 그림 3-4-5에 나타내었다.

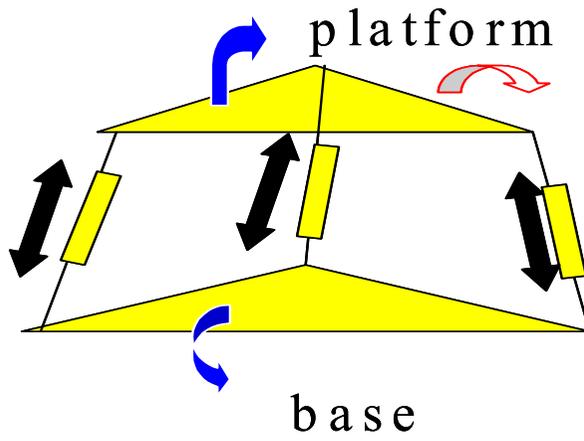


그림 3-4-3. 3자유도 병렬 매니플레이터의 구조

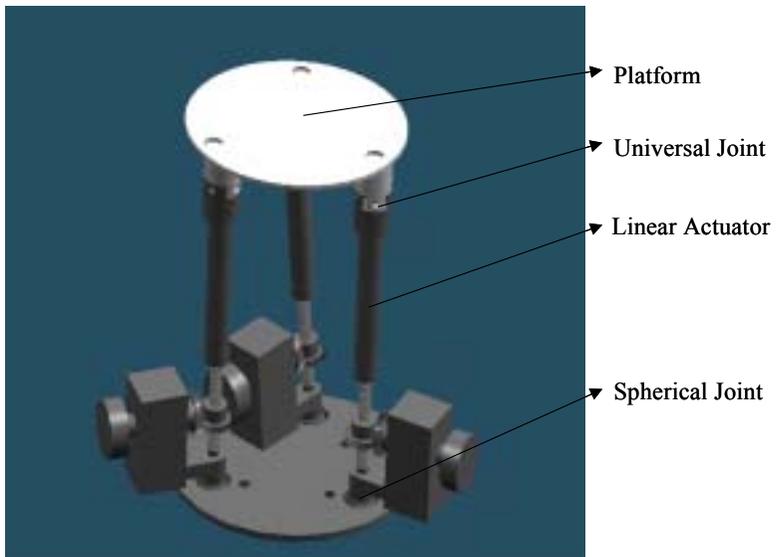


그림 3-4-4. 3자유도 병렬 매니플레이터 설계



그림 3-4-5. 3자유도 병렬 매니플레이터

3) 6자유도 stewart-platform 병렬 매니플레이터

개발된 3자유도 병렬 매니플레이터는 자유도의 부족으로 멜론의 작업에 필요한 충분한 자세변화 및 작업공간을 얻을 수 없었다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 6자유도의 병렬 매니플레이터를 설계하였다. 6자유도의 병렬 매니플레이터는 3자유도 병렬 매니플레이터와 마찬가지로 조인트와 리니어 액츄에이터의 연결방식에 따라 여러 형태로 나뉘어 진다. 연결방식은 base와 platform에 연결되는 조인트의 수에 따라 6-6, 6-3, 3-3의 방식이 있으며 또한 사용하는 joint의 종류에 따라 SPS, SPRS 등 여러 가지 형태가 있다. 본 연구에서는 작업공간을 고려하여 6-6 SPS(spherical, prismatic, spherical) 병렬 매니플레이터 방식을 이용하였다. 매니플레이터의 형태를 결정한 후 매니플레이터의 여러 parameter를 변화시켜 가며 inverse kinematics를 이용한 기구학적 workspace simulation을

수행하였다.

그 결과 작업공간은 수평방향으로 35cm, 수직으로 15cm의 원뿔형 공간을 나타내었으며 이 결과를 이용하여 표 3-10에서 나타낸 것처럼 최종 parameter를 결정하였다. 그림 3-4-6은 matlab 5.3을 이용한 workspace simulation 결과이다.

<표 3-10> 병렬 매니퓰레이터의 설계인자

Parameter	Value
diameter of base(mm)	400
diameter of platform(mm)	300
stroke of linear actuator(mm)	200
angle between near linear actuator(degree)	30

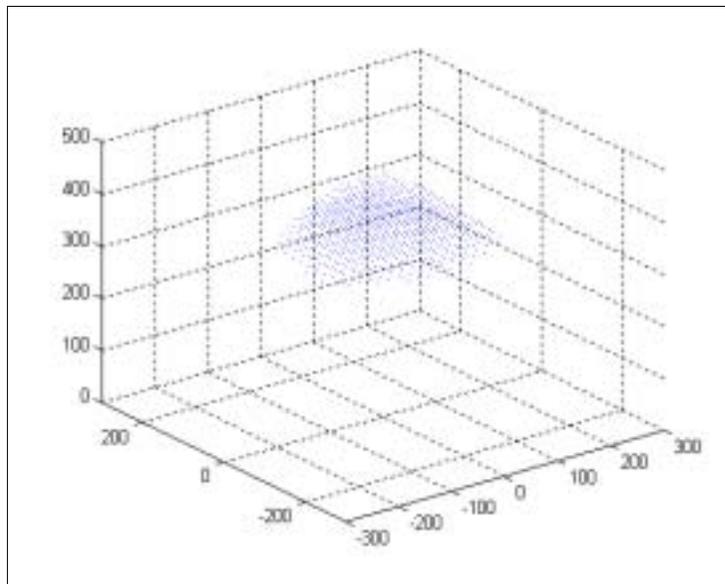


그림 3-4-6. 작업 공간 분석

앞에서 결정된 설계인자를 이용하여 그림 8과 같이 6-6 SPS 병렬 매니퓰레이터를 설계하였으며 spherical joint를 사용하여 platform과 리니어 액추에이터 사이를 연결하였고, base와 리니어 액추에이터 사이를 유니버설 조인트를 사용하여

연결하였다.

매니퓰레이터의 신뢰도 및 정확성을 높이기 위해 리니어 액츄에이터는 EasyCat 33 series(S.K.F. 사, Sweden)를 사용하였으며 spherical joint는 SRJ-008C(Hephaist 사, Japan)를 사용하였다. 표 3-11과 표 3-12는 그 제원이다.

<표 3-11> 리니어 액츄에이터의 제원

Size	33
Stroke(mm)	200
Front Attachment	G1
Motors	C12C
Linear Speed(mm/sec.)	20-24
Max. dynamic load(N)	2000
Gear	2

<표 3-12> Spherical rolling joint의 제원

Angle of swing	$\pm 45^\circ$
Basic dynamic load rating	490N
Basic static load rating	540N
Accuracy	$\pm 2.5\mu\text{m}$



그림 3-4-7. Spherical Rolling Joint

이와 같이 설계하여 6자유도 병렬 매니퓰레이터를 실제 제작하였다. 매니퓰레



그림 3-4-9. 6자유도 병렬 매니플레이터

나. 직렬 매니플레이터의 설계 및 제작

대상물을 수확 후 적재할 수 있는 작업공간을 보완하기 위한 직렬 매니플레이터는 그림 3-4-10과 같이 병렬 매니플레이터에 부착되어있는 last link에 end-effector link가 연결된 형태로 설계하였다. 두개의 관절이 AC servo motor에 의해 상하로 운동하는 구조로 제작되었다.

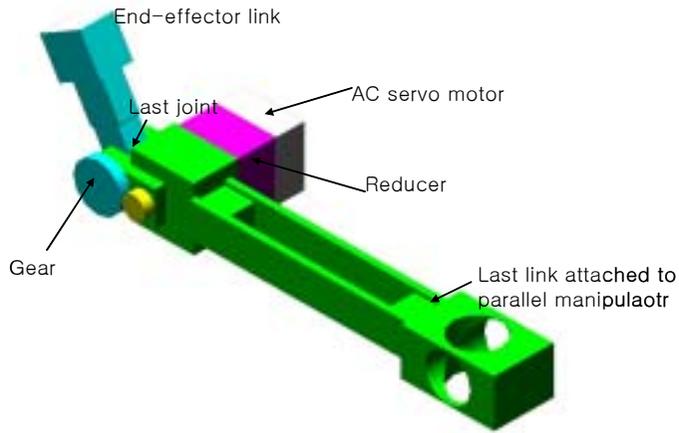


그림 3-4-10. 직렬 매니플레이터의 구조

부하에 의한 관성에 강성하도록 수확작업의 부하에 의한 관성모멘트를 고려하여 감속기어 비를 선정하였다. last 조인트의 감속기어 비 N 은 식 3-24를 통해 선정된다.

$$N = \sqrt{\frac{J_m}{J_L}} \quad \text{식 3-24}$$

여기서, J_m : 모터의 관성모멘트

J_L : 부하의 관성모멘트

부하에 의한 관성모멘트는 그림 3-4-11에 도식된 바와 같이 각 관성모멘트의 중심과 질량을 이용하여 식 3-25의 방법으로 구하였다.

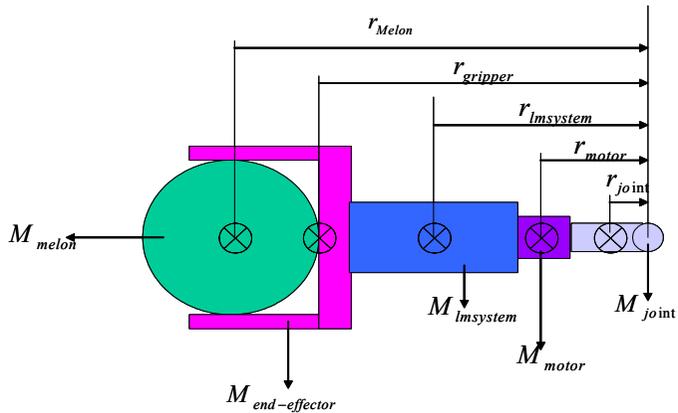


그림 3-4-11. Last 조인트의 관성 모멘트 계산

$$\begin{aligned}
 J_L &= \int_{r_1}^{r_2} r^2 dm \\
 &= r_{Melon}^2 M_{Melon} + r_{gripper}^2 M_{gripper} \\
 &\quad + r_{lmsystem}^2 M_{lmsystem} + r_{motor}^2 M_{motor} + r_{joint}^2 M_{joint}
 \end{aligned}
 \tag{식 3-25}$$

본 연구에서 Last 조인트로부터 관성모멘트 중심까지의 거리는 Autocad를 이용하여 구하였으며, 질량은 각각의 무게를 측정하여 구하였다. 구해진 질량과 질량 중심까지 거리는 표 3-13에 나타내었다.

<표 3-13> 무게 중심으로 부터의 조인트 중심까지의 거리와 질량

	Melon	Gripper	Linear motion system	Motor	Joint
Mass (kg)	3	2.36	1.36	1.60	0.34
Length (m)	0.45	0.41	0.16	0.09	0.04

$$\begin{aligned}
 J_L &= 3 \times 0.45^2 + 2.36 \times 0.41^2 + 1.36 \times 0.16^2 + 1.60 \times 0.09^2 + 0.34 \times 0.04^2 \\
 &= 1.05 \text{kg} \cdot \text{m}^2
 \end{aligned}$$

계산 결과 선정된 AC 서보 모터의 제원은 표 6과 같다.

<표 3-14> Last 조인트에 사용된 AC 서보 모터의 제원

Manufacturer	Panasonic, Japan
Model	MSM022A1E
Servo Driver	MSD023A1XXV
Rated Power	0.2 kW
Rated Torque	1.91 N·m
Inertia	0.94×10^{-4} kg·cm

$$N = \sqrt{\frac{J_m}{J_L}} = \sqrt{\frac{1.05}{0.94 \times 10^{-4}}} = 105$$

선정된 AC 서보모터의 최대 감속기어 비는 30:1이므로, 감속기어 비를 105 이상으로 하기 위해 감속기어의 출력축에 4:1 기어를 부착하였다. 그림 3-4-12는 제작된 직렬매니플레이터의 모습이다.

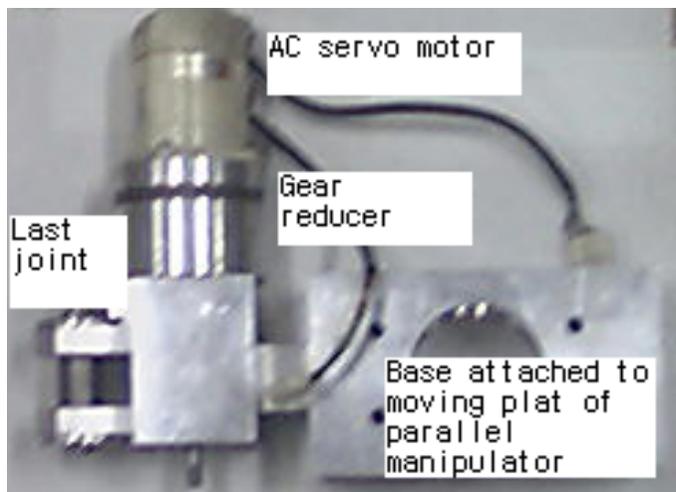


그림 3-4-12. 제작된 직렬 매니플레이터

다. 하이브리드 매니플레이터의 설계 및 개발

1) 하이브리드 매니플레이터 1차 시작기

설계된 병렬 매니플레이터의 베이스를 직렬 매니플레이터의 선단부에 고정하여 그림 3-4-13과 같이 하이브리드 매니플레이터 1차 시작기를 제작하였다.



그림 3-4-13. 제작된 하이브리드 매니플레이터 1차 시작기

제작된 매니플레이터의 부하성능을 평가하기 위하여 그림 3-4-14와 같이 병렬 매니플레이터의 말단에 2kg씩 부하를 증가시켜 가며 8kg까지 병렬 매니플레이터와 직렬 매니플레이터의 부하 성능 평가를 실시하였다.



그림 3-4-14. 매니플레이터 부하 성능 평가

그 결과 그림 3-4-15와 16에서처럼 부하가 증가함에 따라 병렬 매니플레이터와 직렬 매니플레이터 모두 속도의 저하가 나타났으나 직렬 매니플레이터의 경우에는 그 양이 매우 적었다. 위치 정확도에 있어서는 병렬, 직렬 매니플레이터 모두 표 7에 나타난 바와 같이 정확한 위치제어를 할 수 있었으나, 부하가 8kg 이상인 경우 병렬 매니플레이터는 위치 오차가 증가하는 현상을 보였다. 이는 병렬 매니플레이터의 특성상 수직 하중에 강성이 크나, 수평 하중에 비교적 강성이 부족한 것이 원인이다. 또한 직렬 매니플레이터의 경우, 가반하중이 8kg 이상인 경우 관성에 의한 영향으로 제어 할 수 없었다. 이러한 문제를 보완하기 위해 제 2차 시작기를 개발하였다.

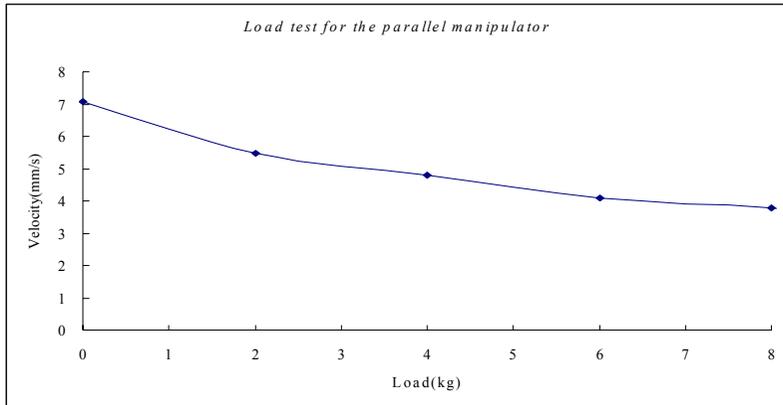


그림 3-4-15. 병렬 매니플레이터의 하중 시험 결과

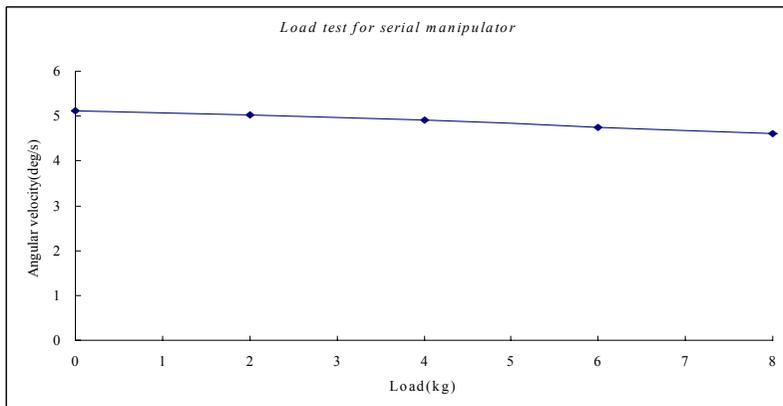


그림 3-4-16. 직렬 매니플레이터의 하중 시험 결과

<표 3-15> 하중 증가시 위치 제어 오차

Load	Manipulator	
	Parallel manipulator	Serial manipulator
no load	1.5mm	-0.3mm
2kg	1.8mm	+0.2mm
4kg	1.7mm	-0.4mm
6kg	1.6mm	-0.1mm
8kg	2.1mm	-0.2mm

2) 하이브리드 매니플레이터 2차 시작기

병렬 매니플레이터의 강성을 크게 하고, 직렬 매니플레이터의 회전 관성을 줄이기 위해 그림 4에 나타난 바와 같이 보완된 매니플레이터는 베이스 회전 조인트와 최종 조인트 사이에 병렬 매니플레이터를 수직으로 결합하여 2차 시작기를 제작하였다. AC 서보 모터를 이용하여 병렬 매니플레이터를 회전시키는 베이스 회전 조인트는 그림 3-4-17에 나타내었다.

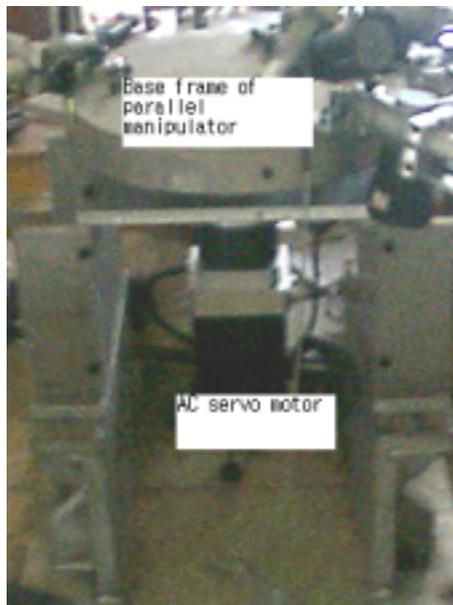


그림 3-4-17. 병렬 매니플레이터를 회전시키기 위한 베이스 회전 조인트

개발된 하이브리드 매니플레이터는 병렬 매니플레이터에 last 조인트를 부착하는 방법에 따라 쉽게 구조를 변경할 수 있으므로 다양한 작업을 수행할 수 있다.

교배 및 적과작업을 수행하는 경우 앞이나 가지와 같은 장애물에 의해 목표대상에 접근하기 어려우므로 앞이나 가지와 같은 장애물을 회피할 수 있도록 하이브리드 매니플레이터의 last 조인트는 w 축에 대한 여유자유도를 갖도록 하여 수

직 축에 대해 3개의 회전관절과 1개의 미끄럼 관절을 가지는 직렬 매니플레이터의 스카라 매니플레이터와 유사한 구조의 그림 3-4-18과 같은 스카라형 하이브리드 매니플레이터로 구성될 수 있다.

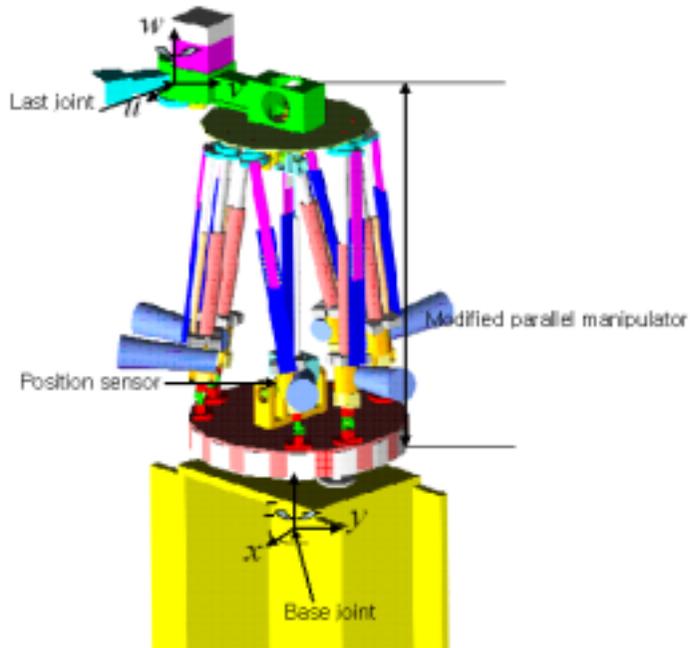


그림 3-4-18. SCARA type 하이브리드 매니플레이터

또한, 수확 작업을 수행하는 경우 수확된 대상물을 수거 통에 놓기 위해 u 축에 대한 여유자유도를 갖도록 last 조인트가 부착되는 경우 z 축에 대한 1개의 회전 관절과 x 축에 대한 2개의 회전 관절로 구성된 PUMA 로봇과 유사한 구조의 그림 3-4-19와 같은 PUMA형 하이브리드 매니플레이터로 구성될 수 있다.

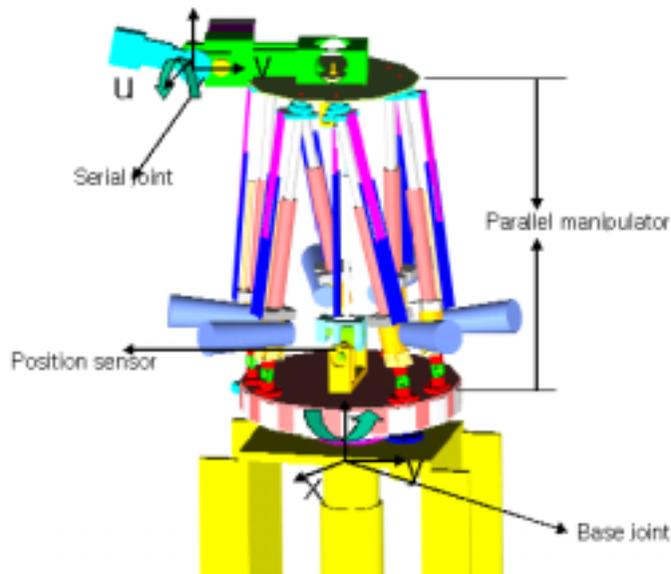


그림 3-4-19. A PUMA type 하이브리드 매니플레이터

라. 수확용 선단 장치

본 연구에서 설정한 수확용 선단 장치의 설계 기준은 다음과 같다.

- 가) 멜론의 수확 작업은 멜론의 외형을 손상하지 않아야 한다.
- 나) 차량에 탑재 가능해야 한다.
- 다) 멜론의 줄기를 T자형으로 절단해야 한다.
- 라) 모듈 형태로 탈 부착이 가능해야 한다.

1) 1차 시작기

Edan(1991)은 실험을 통하여 멜론의 탄성계수들을 측정하고, 측정된 탄성계수와 유한요소법을 이용하여 그림 3-4-20에서 보이는 v-v notch 형 그리퍼의 파지 시에 멜론에 미치는 변형을 시뮬레이션 하였고 그 결과 멜론의 파지에 적절한 형상은 v-v notch라고 하였다. 따라서 본 연구에서도 v-v notch 형상으로 멜론의 그리퍼를 설계하였다.

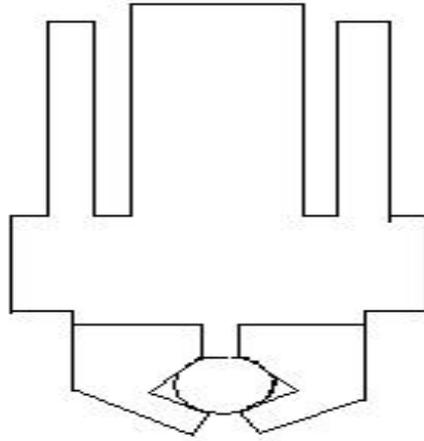


그림 3-4-20. V-V notch type gripper.

그러나 v-v notch 형 그리퍼는 그림 3-4-21에서 보는 바와 같이 멜론의 크기 변화에 따라 접촉면이 달라지므로 일정한 접촉면에 센서를 부착하여 접촉면에서 그리퍼의 파지력을 측정하기 어려운 문제가 있으며, 수평에서 수직으로 방향이 전환하는 경우 멜론의 접촉면에서 마찰력만으로 멜론을 파지해야 하므로 멜론을 파지하기 위해 큰 힘이 필요하게 된다.

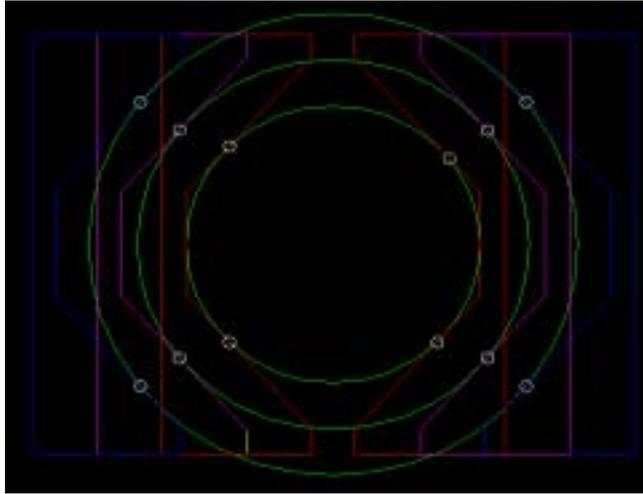


그림 3-4-21. V-V notch gripper의 접촉점 분석

개발된 수확용 선단장치의 상면과 하면을 그림 3-4-22와 23에 나타내었다. 수확용 선단장치는 내부가 구형상인 그리퍼, 멜론 수확을 위한 적정 위치에 도달했을 때 멜론을 파지하도록 좌, 우에서 그리퍼를 전진시키는 공압 실린더, 그리퍼를 직선 운동하도록 안내하는 가이드, 그리고 직선운동 시 그리퍼와 가이드 사이의 마찰을 줄이기 위한 직선 운동 베어링으로 구성되었다. 무게를 경감하기 위해 재질은 알루미늄으로 제작되었으며, 모터 대신 공압 실린더를 사용하였다. 가공 상의 어려움으로 인하여 실제 제작된 무게는 설계 시 멜론 무게를 고려한 가반하중 보다 많아지는 문제로 인하여 실제 사용하기 어려운 문제가 발생하였다. 이에 대한 보완으로 2차 시작기를 설계하였다.

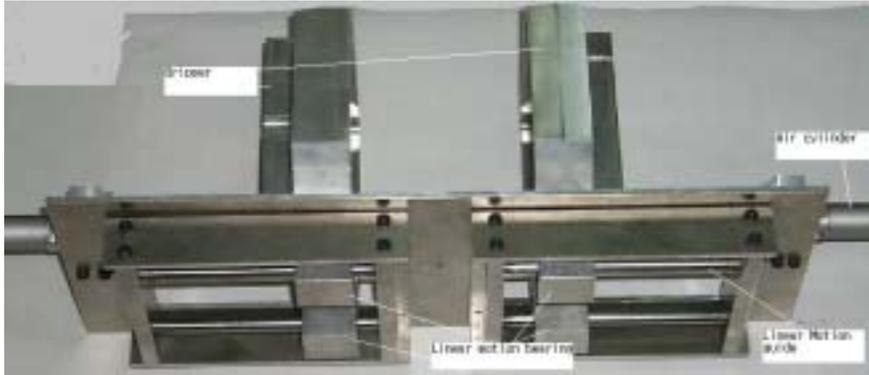


그림 3-4-22. 멜론 수확장치 1차 시작기 밑면의 모습



그림 3-4-23. 멜론 수확 장치 1차 시작기 윗면의 모습

2) 2차 시작기

무게를 경감하기 위해 그림 3-4-24와 같이 수확용 선단 장치를 설계 변경하였다. 개발된 그리퍼 장치는 멜론의 파지 시에 의해 일어나는 잔유변형을 막기 위해 멜론을 잡는 핑거, 스텝모터의 회전운동을 직선운동으로 변환하는 직선운동 가이드와 직선운동 베어링, 직선운동 베어링의 상승과 하강을 핑거의 회전운동으로 변환하는 아이들 풀리, 핑거의 양쪽 끝과 직선운동 베어링의 상단과 하단 각각을 연결하여 직선운동 베어링의 상승과 하강에 따라 핑거를 오른쪽이나 왼쪽으로 잡아 당겨 멜론을 잡거나 놓는 두개의 와이어로 구성되었으며 동작은 다음

과 같다.

그림 3-4-25에서 보는 바와 같이 스텝 모터 정 방향 회전에 의해 직선운동 베어링이 상승하게 되면, 직선운동 베어링의 상단부에 연결된 와이어는 핑거를 오른쪽으로 잡아당겨 멜론을 잡고, 스텝모터의 역 방향 회전에 의해 직선운동 베어링이 하강하게 되면, 직선운동 베어링의 하단부에 연결된 와이어는 핑거를 왼쪽으로 잡아당겨 멜론을 놓는다.

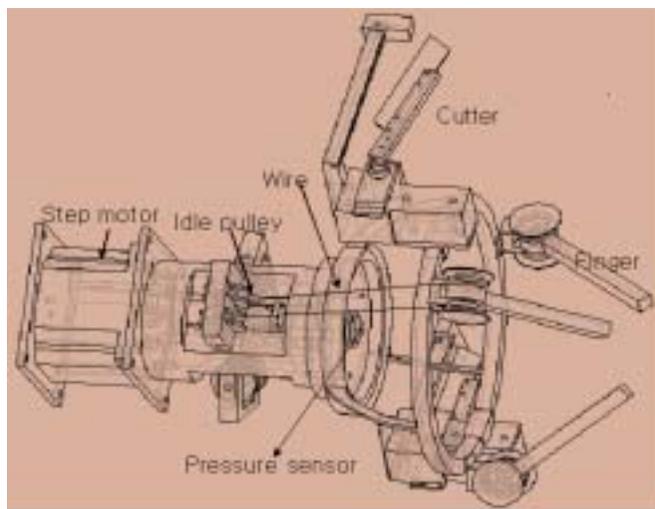


그림 3-4-24. 멜론 수확기 2차 시작기의 구조

또한, 스텝모터는 정적 토크가 크므로, 임계 값 이상의 힘이 멜론에 가해지면, 스텝모터를 정지시켜, 그리퍼에 계속해서 힘을 가하지 않고 멜론을 파지할 수 있다.

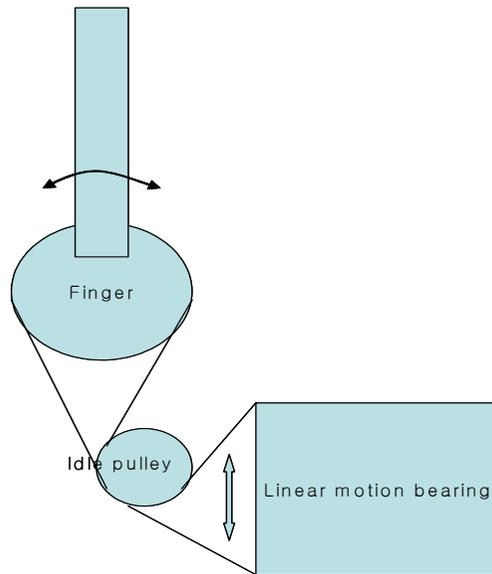


그림 3-4-25. finger의 작동원리

멜론의 파지 시에 필요한 적절한 정적 토크를 가진 스텝모터를 선정하기 위해 그림 3-4-26과 같이 그리퍼 장치에 대한 자유물체도(free body diagram)를 그리고 모델링 하였다.

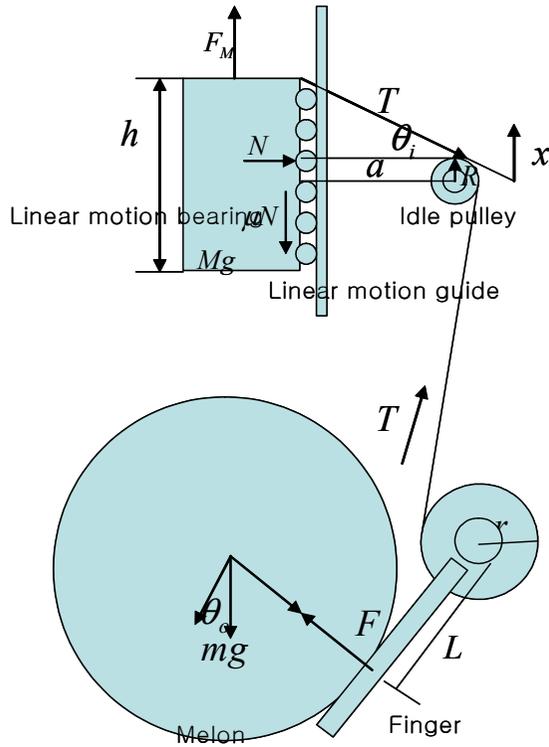


그림 3-4-26. 그리퍼의 자유 물체도

와이어에 작용하는 장력을 T , 수직항력을 N , 아이들 풀리 위의 와이어접선과 직선운동 베어링의 수직거리와 이루는 각을 θ_i , 직선운동 베어링에 작용하는 힘을 F_M , 베어링과 가이드 사이의 마찰력을 μN , 직선운동 베어링의 질량을 M , 멜론의 질량을 m , 핑거의 반지름을 r , 멜론 무게와 핑거면에 수평인 무게 성분과의 사이각의 크기를 θ_o 라 하면,

$$F_M = \frac{mg}{3r(\sin \theta_o + \mu_f \cos \theta_o)} L(\sin \theta_i - \mu \cos \theta_i) - Mg \quad \text{식 3-26}$$

여기서, μ : 리니어 가이드 마찰 계수(0.02)

μ_f : 멜론과 핑거 사이의 마찰계수

그림 3-4-27과 같은 일반적인 볼 스크루 시스템의 모터 토크 계산식은 식 3-27과 같다.

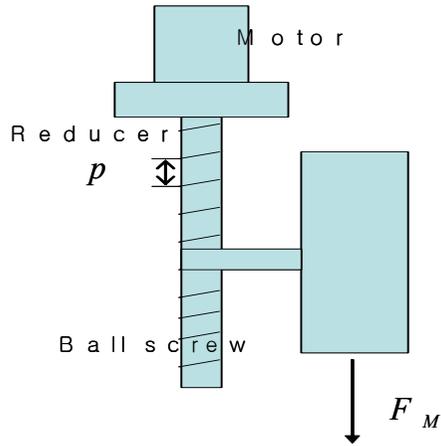


그림 3-4-27. 볼-스크류 시스템의 구조

$$T_L = \frac{1}{G} \left(\frac{F_M p}{2\pi\eta} + T_B \right) \quad \text{식 3-27}$$

여기서, G : 감속비

p : 볼나사의 피치(mm)

η : 효율

T_B : 볼나사의 마찰 토크

마찰에 의한 영향은 무시할 수 있다고 가정한 후 구한 평균 밀도를 대입하여 질량 1000 g~3500 g까지 시뮬레이션을 수행한 결과를 그림 3-4-28에 나타내었다. 시뮬레이션 결과에서 보는 바와 같이 질량이 2000 g인 멜론을 파지하기 위해 20000 g 이상의 힘을 가해야한다. 따라서 멜론에 잔류변형을 일으킨다.

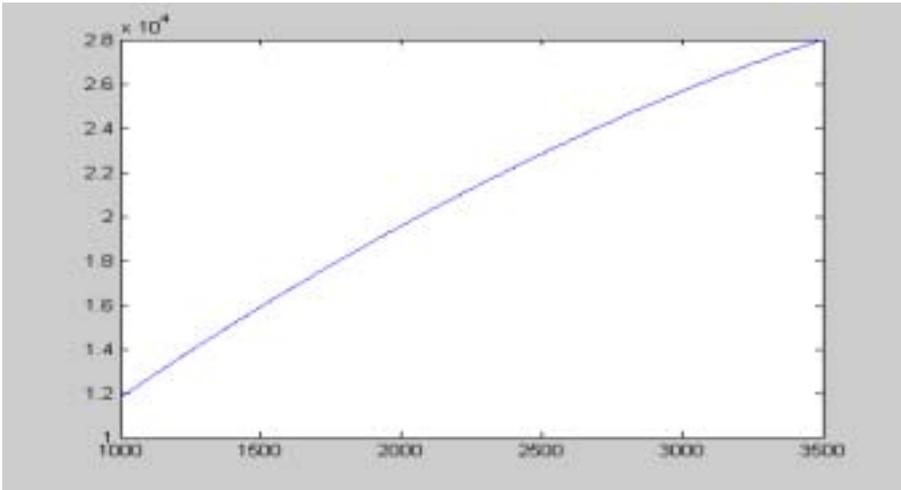


그림 3-4-28. 멜론을 파지하기 위해 필요한 힘

멜론에 변형을 일으키지 않기 위해 스텝모터의 정적 토크를 이용하여 파지 시에 멜론에 힘을 가하지 않고 멜론을 잡는다. 스텝모터에 필요한 토크는 그림 3-4-29에 나타내었다.

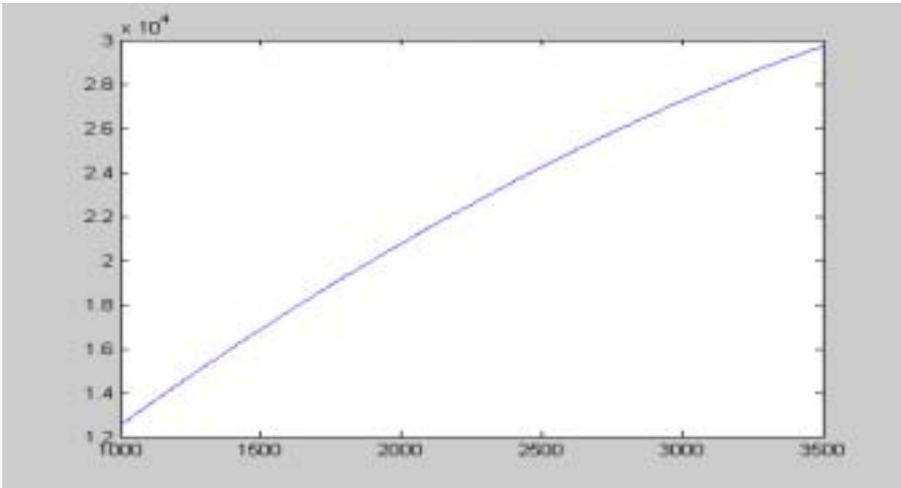


그림 3-4-29. 멜론을 파지하기 위해 필요한 토크.

3500 g의 질량인 경우 약 3 kg·cm의 토크가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 정적토크가 21kg·cm인 5상 스텝모터를 선정하였다.

3) 3차 시작기

2차 시작기는 제작 상의 어려움으로 멜론을 파지하는 부분의 골격에 강철을 사용하였기 때문에 무게가 많이 나가는 단점이 있었다. 이는 멜론을 파지하는 부분을 사출 성형하여 가공하면 해결될 수 있으나, 사출 성형은 대량 생산이 아닌 경우 제작에 많은 비용이 드는 단점이 있다. 그리퍼의 무게를 최대한 줄이기 위해 그리퍼 파지 부분을 MC로 제작하여 3차 시작기를 제작 하였다. 제작된 3차 시작기의 모습은 그림 3-4-30과 같다.



그림 3-4-30. 멜론 수확 장치 3차 시작기

4) 줄기 절단부의 설계 제작

줄기를 T 모양으로 절단하기 위해 커터는 그리퍼 양쪽에 부착되고 그리퍼에 의해 파지 작업이 끝난 후 절단한다. 줄기 절단을 위한 커터는 개폐 작동 각이 180~0°인 RC servo motor에 칼날을 부착하여 사용되었다. 그림 3-4-31에 설계된 Cutter의 형상을 나타내었다.

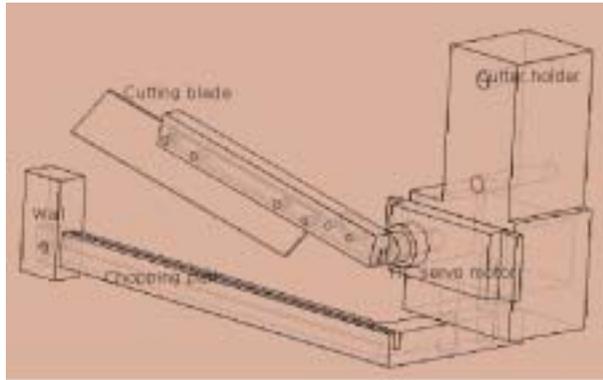


그림 3-4-31. 줄기 절단 장치의 구조

줄기절단을 위해 요구되는 RC 서보모터의 토크는 다음과 같다. 줄기절단을 위한 전단력 측정 결과로부터 줄기절단을 위한 평균 전단력(F)은 1.5kg이고, 최대 칼날의 길이(r)는 6cm이므로 줄기절단을 위해 필요한 RC 서보모터의 최대 토크는 $9\text{kg} \cdot \text{cm}$ 이다. 최대 토크 요구조건을 만족하도록 선정된 RC 서보모터의 제원은 표 3-16과 같다.

<표 3-16> RC 서보모터의 제원

Model	Torque	Input voltage	Control signal
HS5945MG	13.2 kg·cm	5V	5V pulse

사용된 RC 서보모터(HITEC, Korea)는 약 180° 정도의 범위를 갖고 있으며, 이를 작동하기 위해서는 제어 입력단자에 특정한 펄스를 연속적으로 입력하면 된다. 이때 펄스의 ON 시간이 위치를 결정하게 된다. 보통 120ms의 시간에 대해 1ms는 0° 이고 2ms는 180° 정도이다.



그림 3-4-32. 제작된 줄기 절단부

제작된 줄기 절단부의 모습은 그림 3-4-32와 같다.

그림 3-4-33과 같은 실험 장치를 꾸며 절단 장치의 성능 시험을 한 결과 총 10회 시도 중 6회 절단에 성공하여 성공률이 비교적 낮았으나, 멜론이 수확된 후 시간이 경과하여 시든 상태에서 실험한 것을 감안하면 멜론 줄기 절단기로 사용하는 것이 가능하다고 판단하였다.

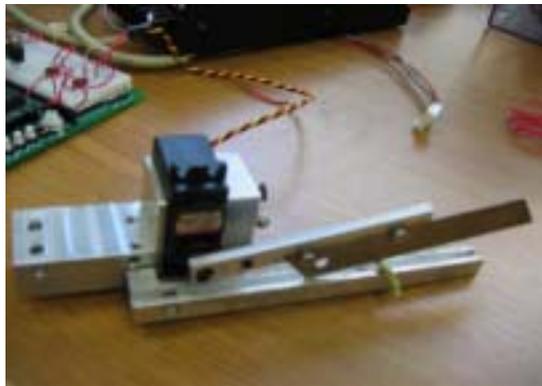


그림 3-4-33. 줄기 절단부의 성능 실험

마. 방제용 선단 장치

본 연구에서 설정한 방제용 선단 장치의 설계 기준은 다음과 같다.

가) 멜론의 병해충 방제 작업은 멜론 잎의 전반부에 대하여 방제작업이 가능하여야 한다.

나) 차량에 탑재 가능해야 한다.

다) 병해충의 양에 따라 변량 살포 가능하여야 한다.

라) 모듈 형태로 탈 부착이 가능해야 한다.

1) 멜론 방제 작업기의 설계 및 제작

하이브리드 매니플레이터에 x 축에 대한 회전 조인트를 추가하여 y 방향의 높이 조절이 가능하도록 하여 멜론 잎의 전반부를 커버하도록 하였다. 또한, 차량에 탑재하여 변량 살포 할 수 있도록 그림 3-4-34와 같이 방제 시스템을 구성하였다. 방제 시스템은 방제액 통, 솔레노이드 밸브, 모터, 펌프 및 노즐로 구성되었다.

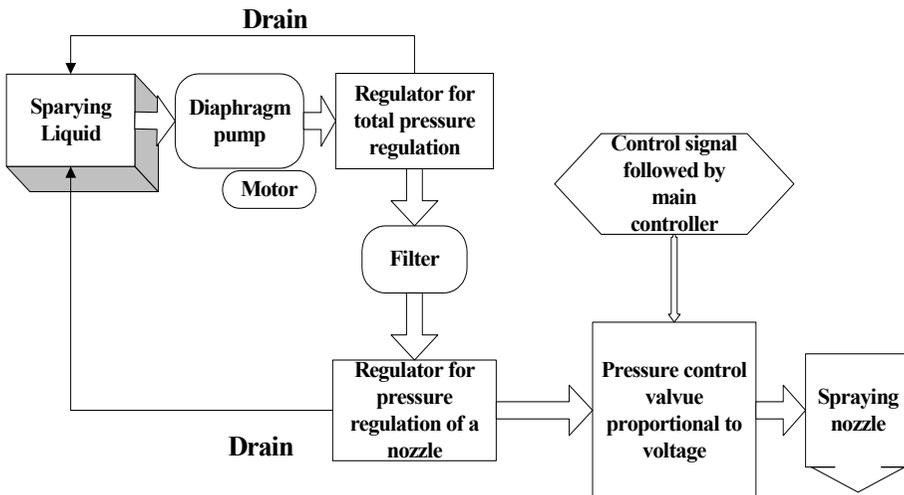


그림 3-4-34. Schematic of the spraying system

기존의 일관적인 노즐분무 방식과 달리 변량제어가 가능하도록 main controller로부터 입력된 제어 신호에 비례한 양을 살포하는 전공 비례 밸브를 설치하였다. 노즐은 저압 저유량에서 사용가능한 표 3-17의 노즐을 선정하였다.

<표 3-17> UniJet nozzle의 제원

Nozzle	B1/4T-SS
Nozzle tip	8004-SS(Orifice diameter : 1.3mm, Spraying angle : 71°at 1.5kg/cm ²)
Type	Flat spray nozzle
Company	Spraying systems, USA

또한 펌프의 압력을 일정한도 내로 유지시키기 위해 압력 레귤레이터를 사용한다. 펌프의 토출 압력을 일정하게 유지하기 위해 그림 3-4-35와 같이 여수관이 장착된 레귤레이터를 사용하여 압력을 일정하게 유지시킨다. 또한 잎이나 멜론에 손상을 가하지 않도록 노즐 입력부의 압력을 3kg/cm² 이하로 유지하기 위해 다이어프램 형 압력 레귤레이터를 노즐 입구에 부착하였다.



그림 3-4-35. 펌프에 부착된 레귤레이터의 구조

방제 작업을 위한 선단 작업 부는 펌프의 토출 측으로부터 공급된 약제를 노즐에 적절한 압력으로 조절하는 레귤레이터, 압력계, 방제 요구부위에서만 분사하도록 제어할 수 있는 전자 변, 그리고, 저압 저 유량에서 분무되는 노즐로 구성되었다. 실제 제작된 모습을 그림 3-4-36에 나타내었다.

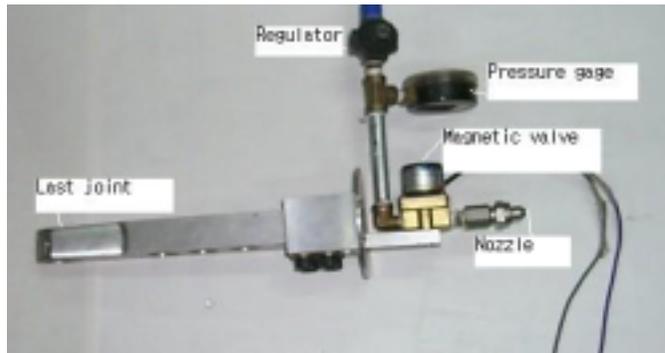


그림 3-4-36. 제작된 방제 작업기의 모습

2) 멜론 방제 작업기의 성능 평가

가) 노즐 성능 테스트

노즐의 분무량을 조절하는 데는 크게 두 가지 방법이 있다. 하나는 압력제어밸브를 부착하는 방식이며 다른 하나는 분무시간을 조절하는 방식이다. 본 연구에서는 분무시간을 간격을 두어 지속적인 ON/OFF 신호를 반복하여 적용하는 방식을 택하였다. 이 경우 크게 두 가지 사항을 점검하여야만 한다.

첫째, 노즐 ON 시간에 따른 분무량이 일정한가를 살펴야한다. 동일 시간간격에 대한 유량의 편차가 크다면 변량살포기로서의 역할을 하지 못하기 때문이다. 따라서 노즐의 ON 시간을 변경해가면서 분무량의 표준편차가 평균에 비해 작은 값을 유지하는지를 측정하였다.

둘째, 반응속도가 느리다면 실시간 적용 시 문제가 발생할 수 있다. 따라서 호스트 컴퓨터 측에서의 출력 신호에 대해 얼마나 빠른 응답속도를 보이는가를 측정하였다.

앞의 두 가지 고려사항을 살펴보기 위하여 앞서 제작한 노즐 제어 컨트롤러와 IO보드, 압력 센서를 이용하여 계측 시스템을 구성하였다.

본 실험에 사용한 압력 센서는 히스코사의 최대입력 범위가 2kgf/cm²인 센서를 사용하였으며 사양은 표 3-18과 같다.

<표 3-18> Allsensor pressure transmitter의 제원

Model	P200C042KGAM
Capacity	0~2kgf/cm ²
OUTPUT	0~5 VDC
POWVER	18~33 VDC

계측 시스템 내의 PIC 컨트롤러에 호스트 컴퓨터와 RS-232C 통신이 가능하도록 프로그램 하였으며, PC측에서 노즐 ON시간을 ms단위로 제어할 수 있도록 Visual C++ 6.0을 이용하여 프로그램을 작성하였다. PC측에서 프로그램의 실행 화면은 그림 3-4-37과 같다.

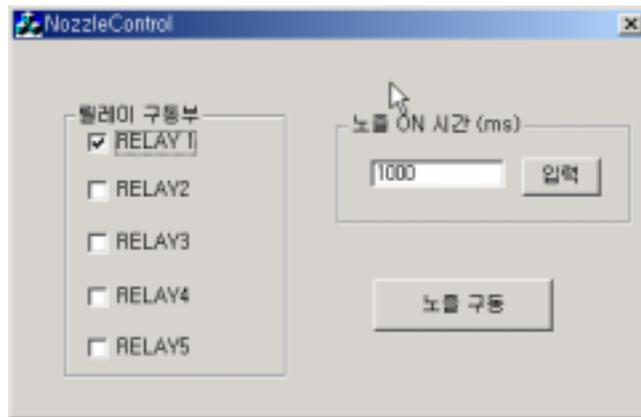


그림 3-4-37. 호스트 컴퓨터용 노즐 제어 프로그램 실행도

계측 시스템을 그림 3-4-38과 같이 구성하여 노즐 분무 테스트를 실행하였다.



그림 3-4-38. 계측 시스템을 이용한 노즐 테스트

(1) 노즐의 개폐시간에 따른 분무 량 측정

노즐의 지속시간을 100ms, 1000ms, 3000ms로 바꾸어가면서 각각 10회에 걸쳐 노즐 분무 량을 측정하여 표 11에 나타내었다. 분무 액은 물을 사용하였으며 계측은 0.005g 오차한계의 전자저울을 이용하여 측정하였다.

<표 3-19> 노즐의 분무 량 측정

ON 지속 시간	평균(g)	표준편차(g)
0.1초	6.784	0.06867
1초	24.957	0.1037
3초	63.305	0.2787

실험 결과에서 0.1초에 비해 1초 열었을 때에 10배의 분무가 일어나지 않았으며 1초 ON 했을 때에 대해 3초 ON 했을 때에 비해 정확히 3배의 분무가 이루어지지 않았다. 이는 짧은 개폐 시에 솔레노이드 밸브 자체의 관성에 의한 효과로 판단된다. 추후 보다 빠른 반응속도의 솔레노이드 밸브를 사용할 경우 정밀한 분무 량 제어가 가능할 것이다.

(2) 노즐의 반응속도 테스트

호스트 PC에서 출력하는 신호에 대해 노즐이 얼마나 빨리 반응하는지를 관측하기 위해 입력신호에 대한 노즐 분사 압력을 측정하였다. 반응 속도 측정 결과를 그림 3-4-39에 나타내었다. 실험 결과 입력에 대해 압력이 일정하게 안정되는데 0.1초가 걸렸다. 앞의 실험 결과에서 0.1초 개폐시 분무 량 측정 결과 오차가 1% 내외였다. 따라서 분무 개폐간격을 0.1초로 선택하여 방제 시스템에 적용하는데 문제가 없다고 판단되었다.

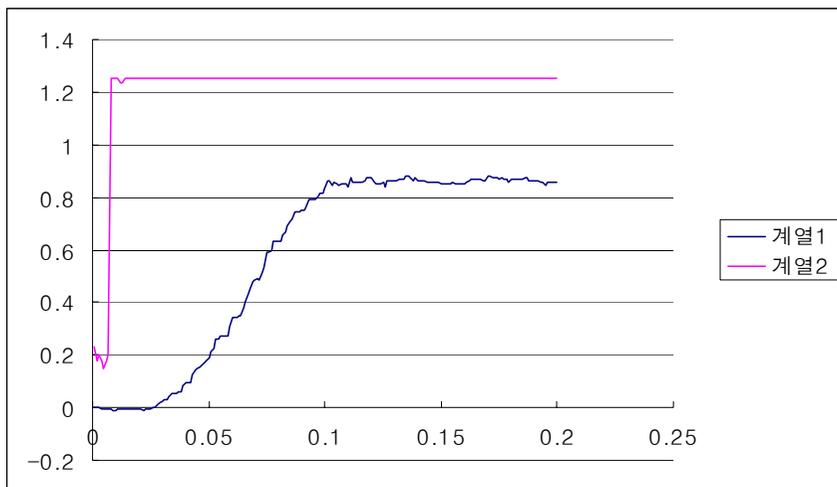


그림 3-4-39. 노즐의 반응속도 테스트

바. 교배용 선단 장치

본 연구에서 설정한 교배용 선단 장치의 설계 기준은 다음과 같다.

- 가) 멜론의 교배 작업은 멜론 꽃의 전반부에 대하여 작업이 가능하여야 한다.
- 나) 교배 작업 중, 꽃과 줄기를 손상하지 않도록 해야 한다.
- 다) 꽃의 암술, 수술의 위치에 따라 작업 위치가 조정 가능해야 한다.

라) 모듈 형태로 탈 부착이 가능해야 한다.

1) 멜론 교배 작업기의 설계 및 제작

개발된 교배 장치는 멜론 꽃의 파지 시에 의해 일어나는 손상을 막기 위해 그림 3-4-40과 같이 멜론 꽃의 가지를 잡는 파지부와 직류 모터, 직류 모터의 회전을 1분에 2회전으로 바꿔 주는 워기어 박스, 회전축을 따라 상하 운동이 가능한 붓 장착부와 붓으로 이루어진 교배부로 구성되었다. 파지부는 알루미늄으로 제작되었고, 꽃의 손상을 막기 위해 꽃과 접촉하는 부분에 스펀지를 부착하였다. 꽃에 따라 암, 수술의 위치가 다르므로, 리니어 부싱을 이용하여 붓이 부착된 부분이 회전축을 따라 상하로 운동하는 것이 가능하게 제작하였다. 작동 모습은 다음과 같다.

그림 3-4-40에서 보는 바와 같은 상태에서 서보 모터 회전에 의해 파지부가 꽃을 고정 시키면, 그림 3-4-41과 같이 워기어 박스에 의해 2rpm으로 회전하는 축에 부착된 붓이 암술과 수술을 마찰시켜 교배 작업이 이뤄지게 된다.

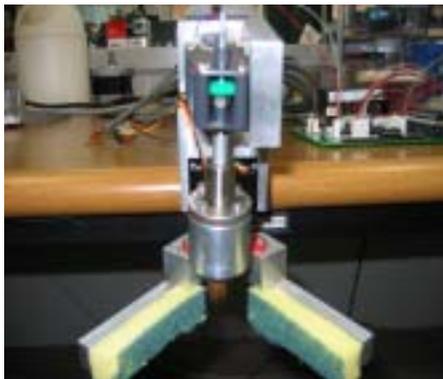


그림 3-4-40. 꽃 파지하기 전 모습

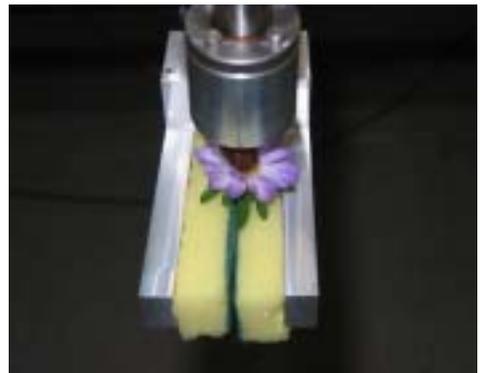


그림 3-4-41. 파지 후 교배 모습

2) 멜론 교배 작업기의 성능 평가

작동 실험 한 결과, 꽃잎의 암술과 수술을 손상하는 정도가 크지는 않았으나, 손상이 발생했다. 실제로 교배가 성공적으로 이루어 졌는지 구체적으로 파악하기

위해서는 실제로 다수의 재료에 대해 교배 성공률을 조사해야 하나, 실험 포장을 확보하는데 어려움이 있어 실험하는데 실패하였다. 추후 추가 실험이 필요하다.

2. 제어기의 개발

가. 하이브리드 매니플레이터 제어기의 개발

1) 제어시스템의 구성

하이브리드 매니플레이터 제어시스템은 그림 3-4-42에 도식된 바와 같이 입력된 위치와 방향에 대한 역기구학 계산을 통해 병렬 매니플레이터의 각 링크 길이와 직렬 조인트 회전각을 계산하는 주 제어기, 직렬 조인트의 제어 시스템, 병렬 매니플레이터의 제어 시스템, 위치 측정 시스템 그리고 1개의 주 제어기로부터 8개의 마이크로 컨트롤러로 제어신호를 전송할 수 있게 연결하는 RS-485 멀티플렉서로 구성되었다.

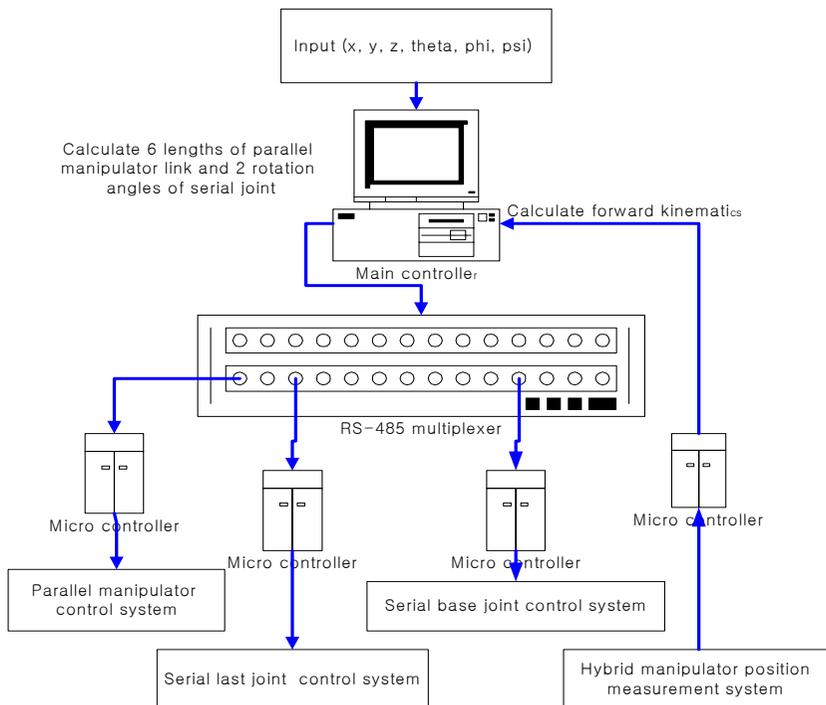


그림 3-4-42. 하이브리드 매니플레이터 제어기의 구조

2) 제어알고리즘

하이브리드 매니퓰레이터의 제어알고리즘은 다음과 같으며, 그림 3-4-43에 도식적으로 나타내었다.

가) 목표 위치와 방향을 획득하여 역기구학을 통해 링크 길이와 회전각을 계산한다. 계산된 링크 길이와 회전각을 RS-485 시리얼 통신을 이용하여 각 마이크로 컨트롤러에 전송한다.

나) 각 마이크로 컨트롤러는 주 제어기로부터 입력된 링크 길이와 회전각에 따라 액추에이터 제어 알고리즘과 직렬 조인트 제어 알고리즘을 통해 링크 길이와 회전각을 제어한다.

다) 각 마이크로 컨트롤러가 링크 길이와 회전각을 제어하는 동안 주 제어기는 RS-232 통신을 통해 위치 측정 시스템으로부터 데이터를 획득하여 순기구학을 계산한다.

라) 계산된 위치와 방향을 목표 위치와 방향과 비교하여 목표 위치에 도달하면 새로운 목표 위치에 대한 데이터를 획득하기 위해 처음 위치로 돌아간다.

마) 위의 가)에서 라)의 과정을 반복한다.

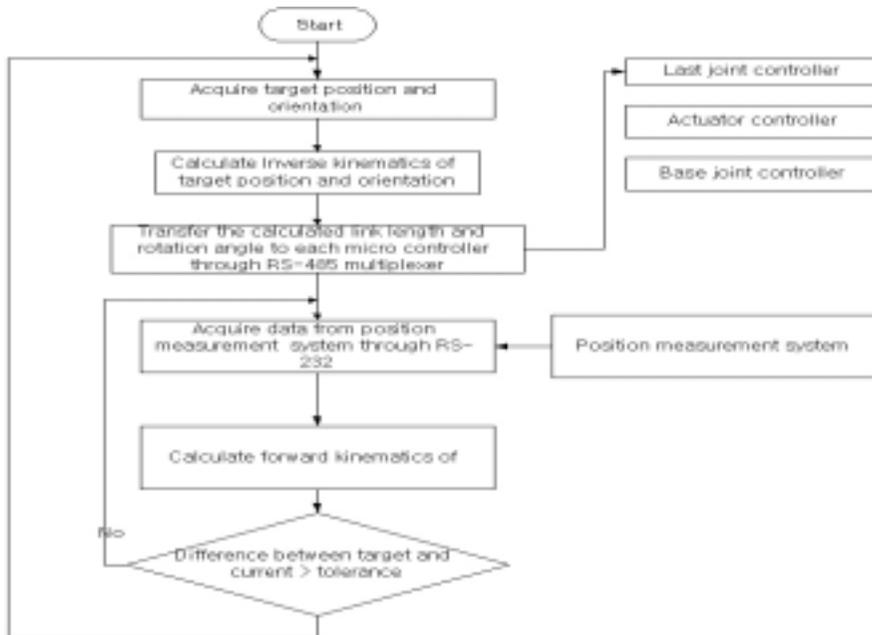


그림 3-4-43. 하이브리드 매니퓰레이터의 제어 알고리즘

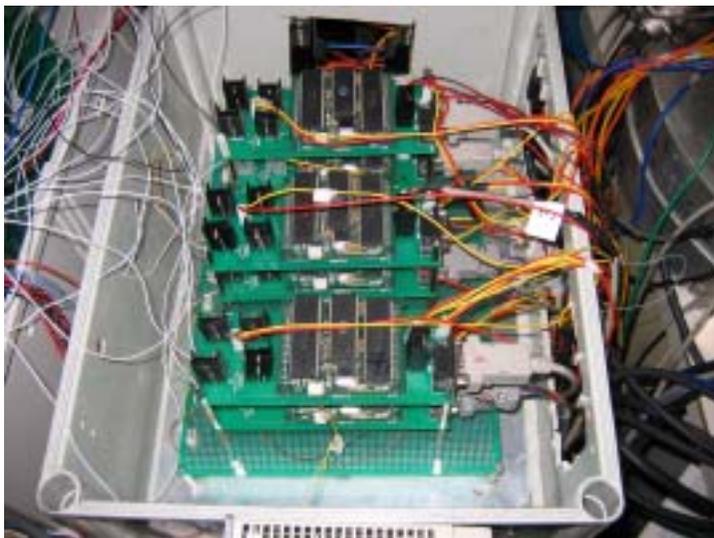


그림 3-4-44. 하이브리드 매니퓰레이터 제어기

그림 3-4-44에 제작된 하이브리드 매니퓰레이터 제어기의 모습을 나타내었다.

나. 선단장치 제어기의 설계

1) 제어시스템의 구성

수확용 선단장치 제어기는 그림 3-4-45에 도식된 바와 같이 병렬 포트를 통해 마이크로 컨트롤러에 제어 신호를 전달하는 주 제어기, 주 제어기의 제어 신호에 의해 스텝 모터 드라이버에 방향과 펄스 신호를 전달하거나, RC 서보 모터 컨트롤러에 제어신호를 전달하는 마이크로 컨트롤러, 마이크로 컨트롤러로부터 입력 받은 방향과 펄스 신호에 의해 스텝 모터를 구동하는 스텝 모터 드라이버, 정회전과 역회전을 수행하는 스텝 모터, 그리퍼, 멜론의 파지 시의 멜론에 가해지는 힘을 측정하는 압력 센서, 마이크로 컨트롤러의 제어 신호에 의해 RC 서보모터의 회전각을 제어하는 RC 서보모터 컨트롤러, RC 서보모터, 그리고 커터로 구성되었다.

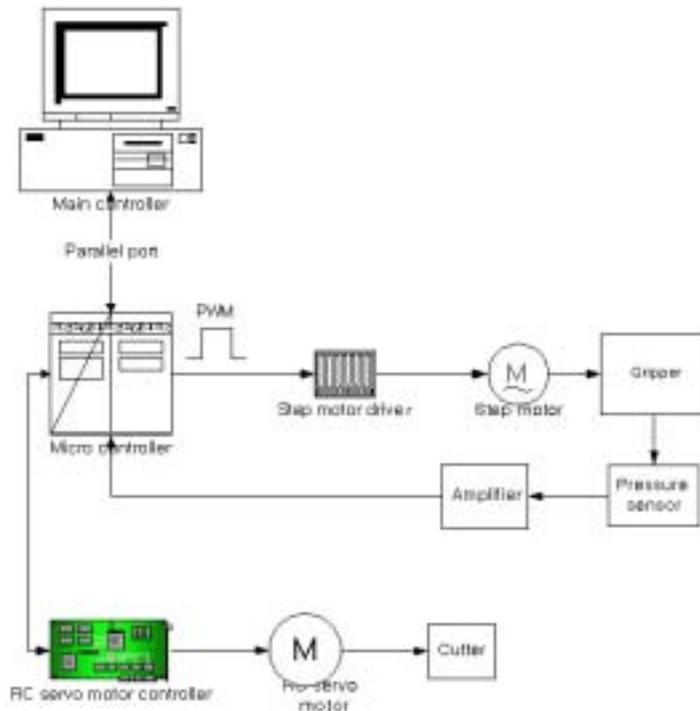


그림 3-4-45. 선단 장치의 구조

2) 제어 알고리즘

선단장치 제어 알고리즘은 그림 3-4-46에 도식적으로 나타내었으며 다음과 같다.

- 가) 선단장치가 목표 위치에 도달하면 주 제어기는 마이크로 컨트롤러에 제어 신호를 전달한다.
- 나) 마이크로 컨트롤러는 주 제어기로부터 제어신호가 입력되었는지를 검사한다. 입력 신호가 도달되면 스텝 모터를 정 방향 회전시켜 직선운동 베어링을 상승시킨다. 직선운동 베어링의 상승에 의해 핑거는 정 방향 회전하게 되므로 그리퍼는 멜론을 잡는다.
- 다) 압력 센서로부터 그리퍼에 작용하는 힘을 측정하여 멜론에 작용하는 힘과 임계 값을 비교하여 임계 값보다 크면 스텝 모터를 정지시킨다.
- 라) RC 서보 모터 컨트롤러에 제어신호를 전달하여 줄기를 절단한다.
- 마) 멜론을 수거 통에 내려놓기 위해 매니퓰레이터가 수거 위치로 이동하도록 주 제어기 에 파지 작업을 끝 마쳤다는 신호를 전달한다.
- 바) 주 제어기는 선단장치가 수거 위치에 도달하면 마이크로 컨트롤러에 제어 신호를 전달한다.
- 사) 입력 받은 제어 신호에 의해 마이크로 컨트롤러는 스텝 모터를 역방향 회전시켜 직선운동 베어링을 하강시킨다. 직선운동 베어링의 하강에 의해 핑거는 역방향 회전하게 되므로 그리퍼는 멜론을 수거 통에 내려놓는다.
- 아) 수거작업을 수행한 후, 주 제어기에 수거작업을 끝 마쳤다는 신호를 전달한다.

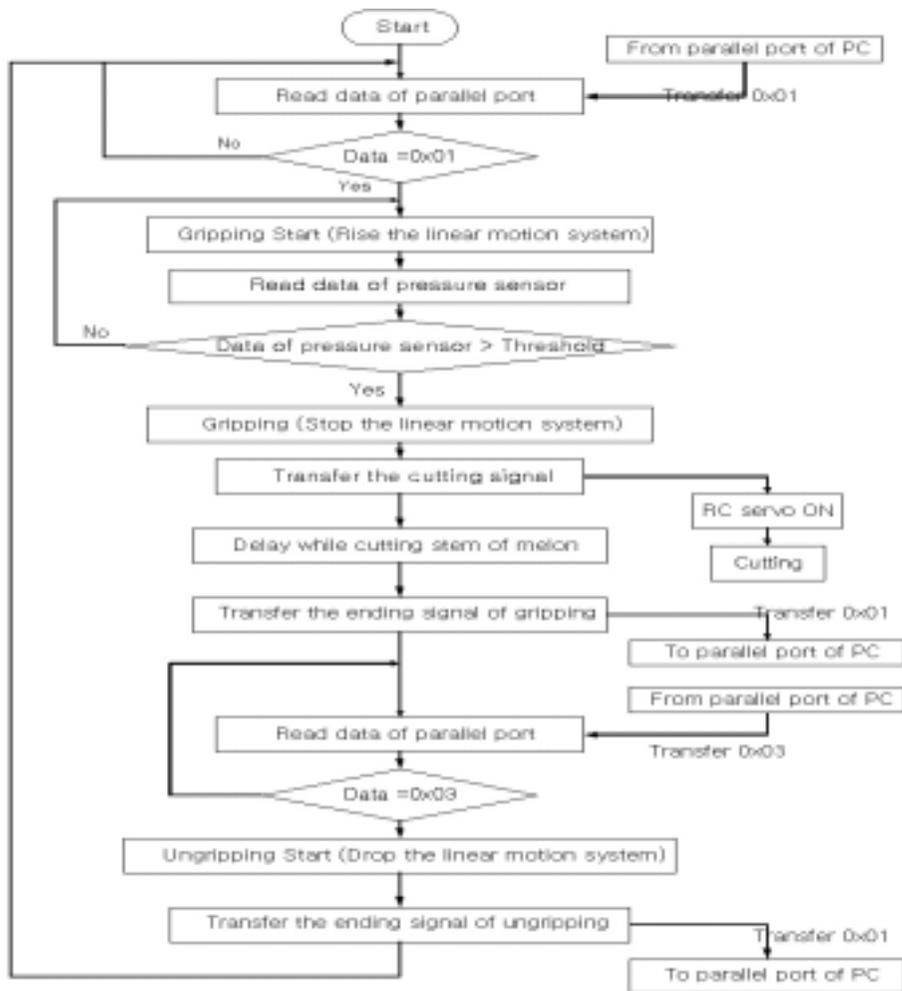


그림 3-4-46. 선단 장치 제어 알고리즘

방제 작업기와 교배기의 경우도 각 작업기가 수행하는 작업이 다를 뿐 기본적인 알고리즘은 같다. 그림 3-4-47은 제작된 선단 작업 장치 제어기의 모습이다.

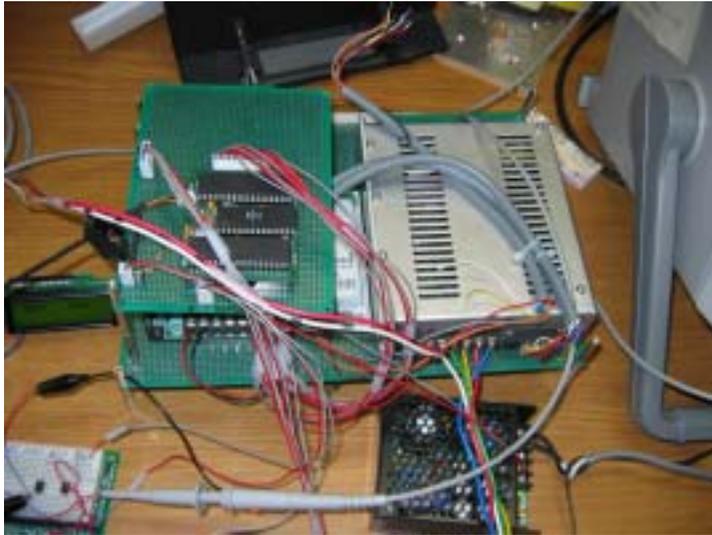


그림 3-4-47. 선단 장치 제어기

3. 하이브리드 로봇 시스템의 성능평가

로봇 성능 평가를 위해 임의의 입력된 목표 위치(x, y, z)와 방향(ψ, θ, ϕ)에 대해 6개의 병렬 링크 길이와 2개의 직렬 조인트 회전각을 출력하여 직렬 조인트와 병렬 매니플레이터 마이크로 컨트롤러에 링크 길이와 조인트 회전각을 송신하도록 비주얼 C++ 6.0을 이용하여 프로그램 하였다. 2개의 직렬 조인트 회전각은 상용화된 서보장치를 이용하므로 성능평가를 수행하지 않고 선단 장치만을 부착한 경우와 벨론을 파지한 경우에 대해 프로그램 에 의해 출력된 병렬 매니플레이터 링크 길이와 실제 제어된 링크 길이를 비교하여 하이브리드 로봇 성능 평가를 수행하였다. 그림 48은 입력된 목표위치(-50, 521.5, 1031.5)와 방향($\Psi=0, \theta=0, \Phi=0$)에 따른 프로그램 실행 결과이며 병렬 매니플레이터 링크 길이는 link 1=422, link 2=624, link 3=484, link 4=534, link 5=420, link 6=628이었고, 조인트 회전각은 $\alpha=0^\circ$ 이고 $\beta=-4^\circ$ 이었다.

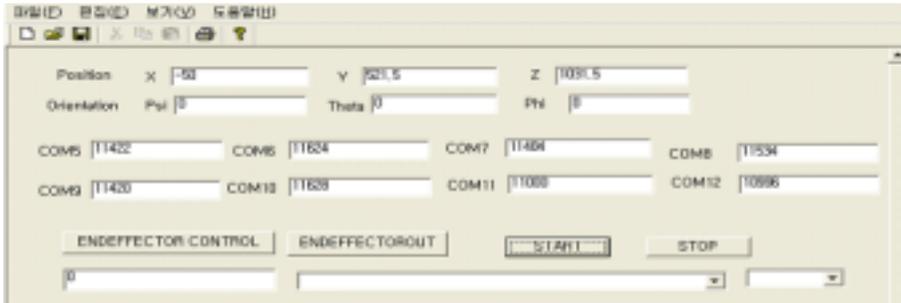


그림 3-4-48. 하이브리드 매니플레이터 역기구학으로 계산된 병렬 매니플레이터의 링크 길이, 베이스 회전조인트와 직렬 매니플레이터의 회전각도

병렬 매니플레이터 링크 길이 제어 결과는 그림 3-4-49에 나타내었다.

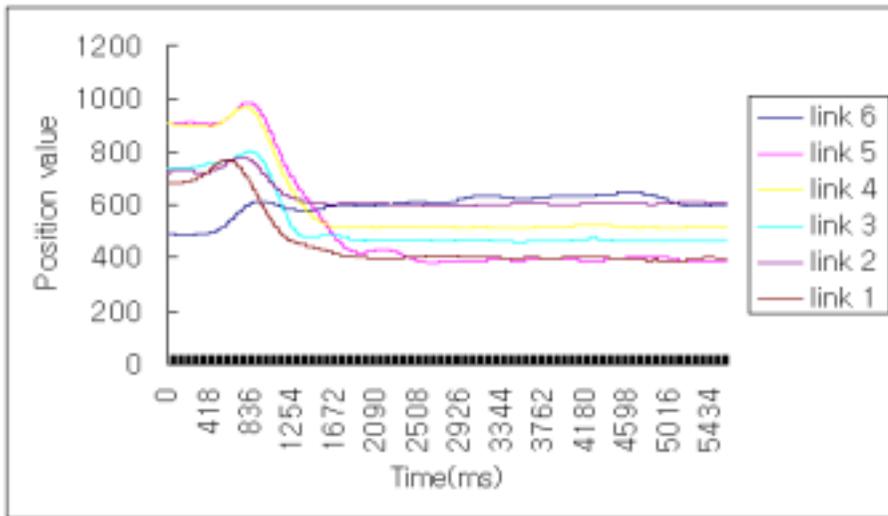


그림 3-4-49. 병렬 매니플레이터의 링크 길이 제어 결과

그림 3-4-50은 입력된 목표위치(50, 521.5, 1071.5)와 방향($\Psi=10$, $\Theta=0$, $\Phi=0$)에 따른 프로그램 실행 결과이며 병렬 매니플레이터 링크 길이는 link 1=697, link 2=470, link 3=459, link 4=414, link 5=679, link 6=495이었고, 조인트 회전각은 $\alpha=4^\circ$ 이고 $\beta=4^\circ$ 이었다.

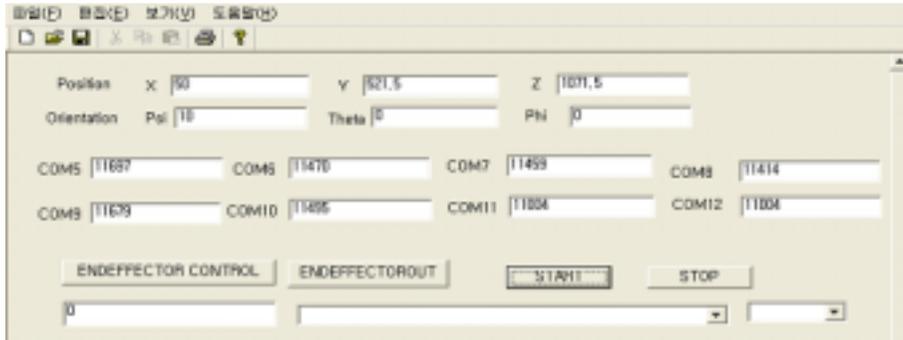


그림 3-4-50. 하이브리드 매니플레이터 역기구학으로 계산된 병렬 매니플레이터의 링크 길이, 베이스 회전조인트와 직렬 매니플레이터의 회전각도

병렬 매니플레이터 링크 길이 제어 결과는 그림 3-4-51에 나타내었다.

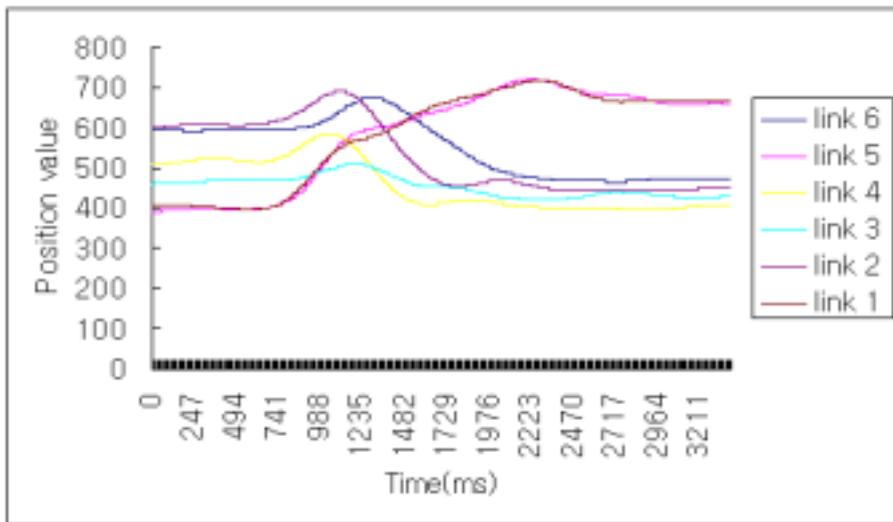


그림 3-4-51. 병렬 매니플레이터의 링크 길이 제어 결과

그림 3-4-52는 입력된 목표위치(-100, 521.5, 1071.5)와 방향($\Psi=10$, $\Theta=0$, $\Phi=0$)에 따른 프로그램 실행 결과이며 병렬 매니플레이터 링크 길이는 link 1=457, link 2=836, link 3=406, link 4=484, link 5=410, link 6=850이었고, 조인트 회전각은 $\alpha=4^\circ$ 이고 $\beta=-8^\circ$ 이었다.



그림. 3-4-52. 하이브리드 매니플레이터 역기구학으로 계산된 병렬 매니플레이터의 링크 길이, 베이스 회전 조인트와 직렬 매니플레이터의 회전 각도

병렬 매니플레이터 링크 길이 제어 결과는 그림 3-4-53에 나타내었다.

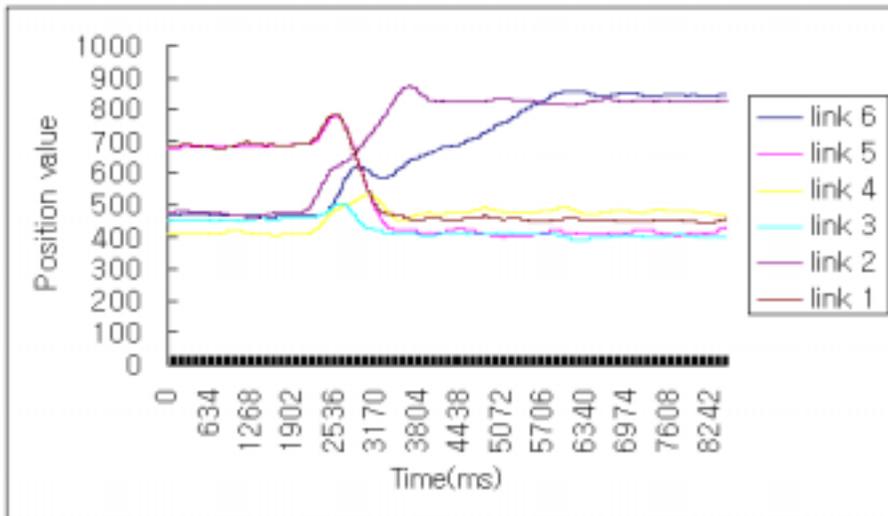


그림 3-4-53. 병렬 매니플레이터의 링크 길이 제어 결과

그림 3-4-54는 입력된 목표위치(100, 521.5, 1071.5)와 방향($\Psi=-10$, $\Theta=0$, $\Phi=0$)에 따른 프로그램 실행 결과이며 병렬 매니플레이터 링크 길이는 link 1=1267, link

2=742, link 3=456, link 4=397, link 5=1173, link 6=895이었고, 조인트 회전각은 $\alpha=-9^\circ$ 이고 $\beta=8^\circ$ 이었다.

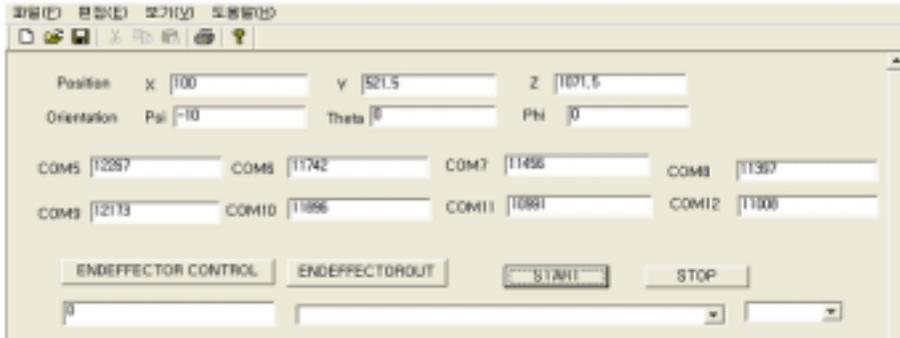


그림 3-4-54. 하이브리드 매니플레이터 역기구학으로 계산된 병렬 매니플레이터의 링크 길이, 베이스 회전조인트와 직렬 매니플레이터의 회전각도

병렬 매니플레이터 링크 길이 제어 결과는 그림 3-4-55에 나타내었다.

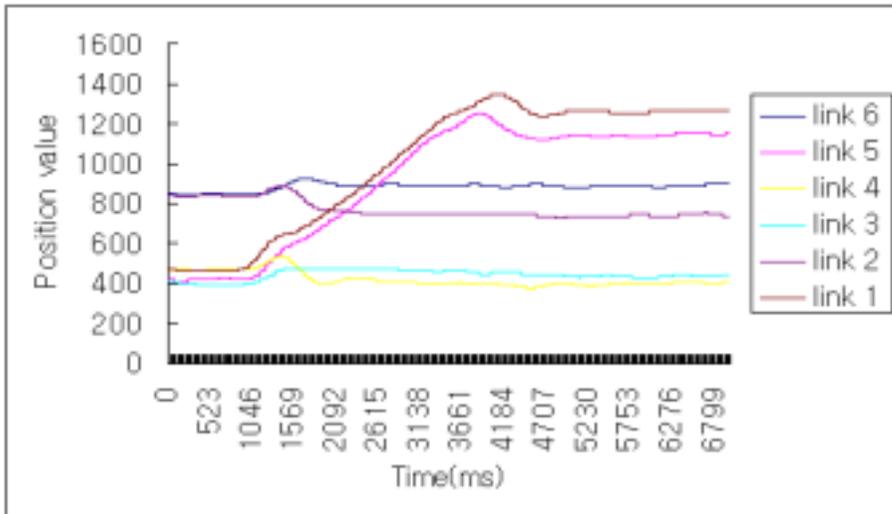


그림 3-4-55. 병렬 매니플레이터의 링크 길이 제어 결과

그림 3-4-56은 입력된 목표위치(-100, 521.5, 1031.5)와 방향($\Psi=10$, $\Theta=0$, $\Phi=0$)에 따른 프로그램 실행 결과이며 병렬 매니플레이터 링크 길이는 link 1=437, link

2=901, link 3=1010, link 4=1006, link 5=518, link 6=840이었고, 조인트 회전각은 $\alpha=8^\circ$ 이고 $\beta=-7^\circ$ 이었다.

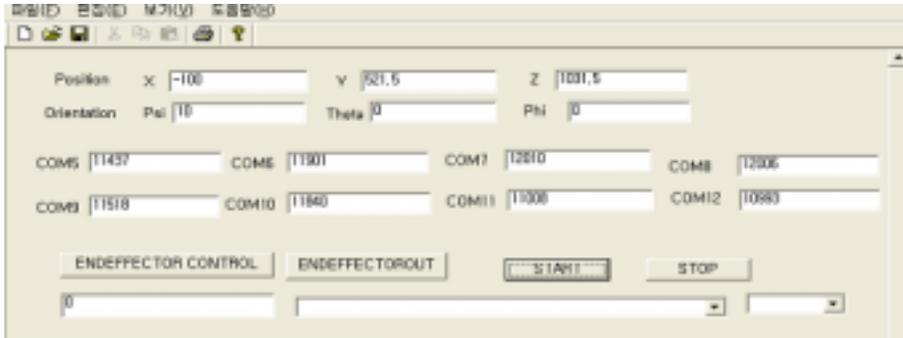


그림 3-4-56. 하이브리드 매니플레이터 역기구학으로 계산된 병렬 매니플레이터의 링크 길이, 베이스 회전조인트와 직렬 매니플레이터의 회전각도 병렬 매니플레이터 링크 길이 제어 결과는 그림 3-4-57에 나타내었다.

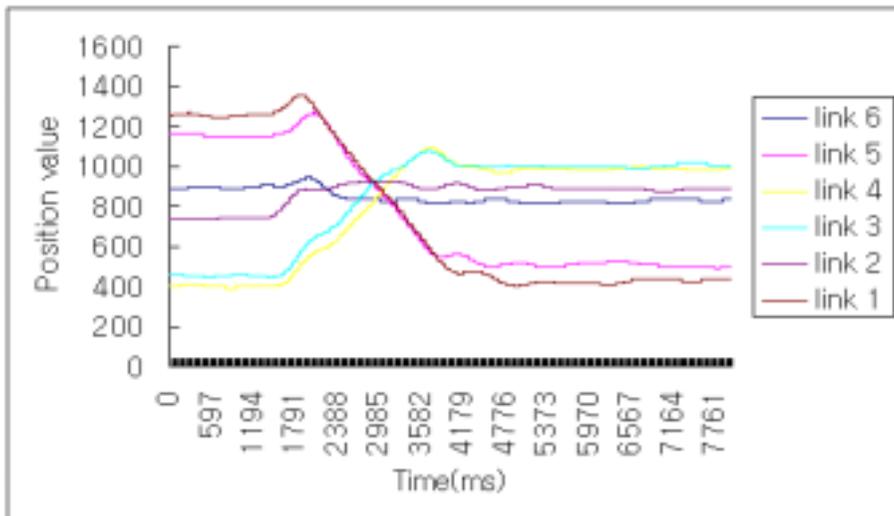


그림 3-4-57. 병렬 매니플레이터의 링크 길이 제어 결과

그림 3-4-58은 입력된 목표위치(100, 521.5, 1051.5)와 방향($\Psi=-10$, $\Theta=2$, $\Phi=0$)에 따른 프로그램 실행 결과이며 병렬 매니플레이터 링크 길이는 link 1=1198, link

2=706, link 3=618, link 4=1774, link 5=1267, link 6=956이었고, 조인트 회전각은 $\alpha=-7^\circ$ 이고 $\beta=6^\circ$ 이었다.

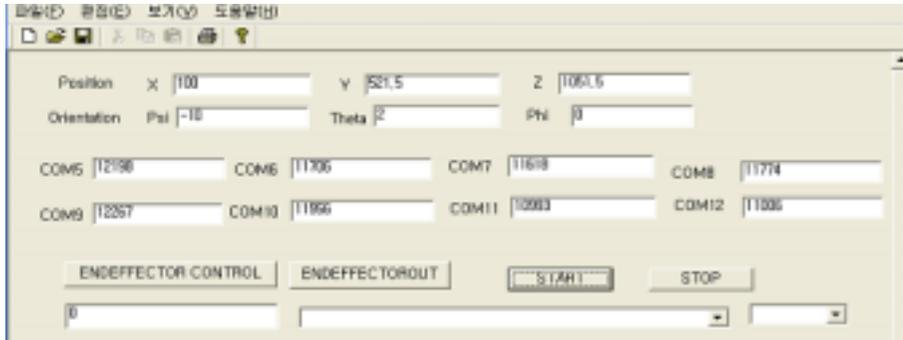


그림 3-4-58. 하이브리드 매니플레이터 역기구학으로 계산된 병렬매니플레이터의 링크길이, 베이스 회전 조인트와 직렬 매니플레이터의 회전각도 병렬 매니플레이터 링크 길이 제어 결과는 그림 3-4-59에 나타내었다.

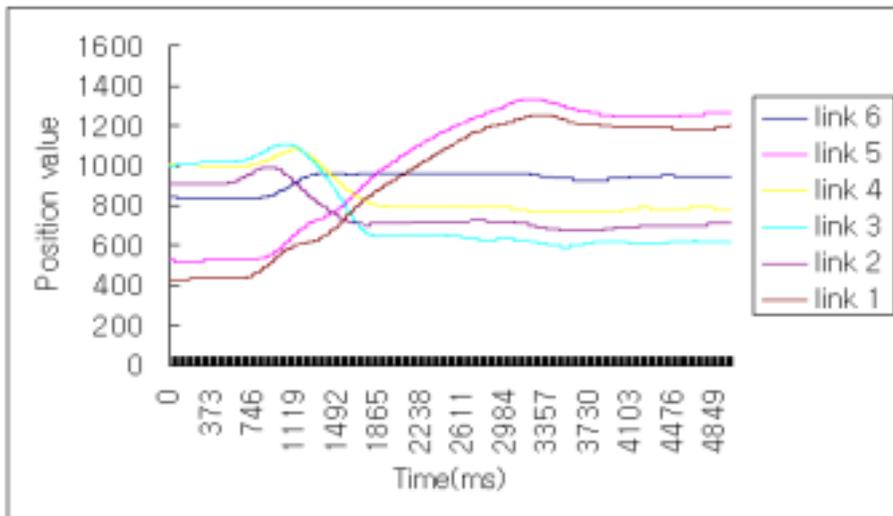


그림 3-4-59. 병렬 매니플레이터의 링크 길이 제어 결과

위의 결과에서 나타난 바와 같이 멜론을 파지하였을 때도 병렬 매니플레이터 링크길이는 오차 범위 $\pm 10(\pm 0.6 \text{ mm})$ 이내에서 제어된다. 따라서 하이브리드 매니

플레이터를 목표 위치로 오차범위 ± 1 mm이내에서 제어하여 다양한 작업을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

제4장 연구개발결과의 활용계획

영상처리 기술을 이용하여 무선 원격 조작에 의해 구동되는 작업 대차 시스템 및 병렬형 재배관리 및 수확 작업 시스템을 설계 제작 하였다. 현재의 시스템은 아직까지 시험개발단계인 상태이므로 즉시 현장에 투입하기에는 어려움이 따른다. 작업대차의 크기에 맞게 시설재배 공간을 설정하여야 하며, 시설내 지면의 균일성 등 여러 가지 제한이 따른다.

그러나, 무선 원격 제어 시스템의 구축 및 터치스크린을 통한 시스템 제어, 미래 지향적인 인터페이스 구축을 통하여 작업 환경의 대폭적인 개선 가능성을 얻었으며, 향후 통합 시스템 제어를 통한 재배 정보, 시스템 관리, 시설 관리를 종합적으로 수행할 수 있으리라 사료된다.

현재 개발된 병렬형 매니플레이터의 경우 획기적인 형태의 시스템으로 만족할만한 성능을 얻었지만 작업기가 가져야 할 성능상 무게를 줄이기에는 어려움이 따른다. 따라서, 지금보다 무게를 줄일 수 있는 일반 다관절 로봇 형태의 작업기를 장착하여 시험해 보고자 본 연구팀에서는 과제의 종료와는 무관하게 별도의 4축 다관절 로봇을 설계 제작중인 상태이다.

제5장 참고문헌

1. 박원규. 1992. 한국의 농업구조개선과 농업기계화 방향. 농림축산 과학기술 심포지움.
2. 이종호, 박승제, 김철수, 이중용, 김용현. 1993. 고추수확기 개발을 위한 기초 연구. 한국농업기계학회 18(2):110-121.
3. 황현. 1992. 채소용 이식기 개발을 위한 기초연구. 한국농업기계학회 산학협동 보고서.
4. Abutaleb A.S. 1989. Automatic thresholding of gray level pictures using two dimensional entropy. Computer vision,graphics, and image processing. 47:22-32
5. Albus, J.S.,1975, A new approach to manipulator control: The cerebellar model articulation controller(CMAC), Journal of Dymanic Syetem Measurement Control.
6. Anderson,J.A. and E. Rosenfeld. 1988. Neurocomputing:Foundations and Research. MIT Press.
7. Atkin G.K.,J.E.Bowcock,and N.M.Queen.1989. Solution of distributed deterministic parallel network using simulated annealing. Pattern recognition. 22(4):461-466.
8. 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.
9. Brewer J.A. and D.C. Anderson. 1977. Visual interaction with overhauser curves and surfaces. Computer graphics. 11:400-405
10. Brown, G.K. and J.A. Throop,1986, Apple sorting with machine vision,Trans. of ASAE, 17(1), pp17-19.
11. Ching.Y. Suen, M. Berthod,and Shunji Mori.1980. Automatic recognition of handprinted chracters-the state of art. Proceedings of the IEEE, 68(4):469-487.
12. Wolfe, R.R. and W.E. Sandler.1985. An algorithm for stem detection using digital analysis. Trans. of the ASAE 28(2):641-644.

13. Davenel A., C. Guizard, T. Labarre and F. Sevila. 1988. Automatic detection of surface defects on fruit by using a vision system. *J. of Agri. Eng. Res.* 41:1-9.
14. Davis L.S. 1975, Survey of edge detection techniques, *Computer Graphics and Image Processing*, 6:492-501
15. Dowell, F.E. ,1992, Identifying undamaged and damaged peanut kernels using tristimulus values and spectral reflectance, *Trans. of ASAE*, 35(3):931-937.
16. Fu K.S.,R.C. Gonzalez, and C.S.G. Lee. 1987. *Robotics-control sensing vision and intelligence*. McGraw-Hill International Publishing Inc.
17. Granlund G.H. 1972. Fourier preprocessing for hand print character recognition. *IEEE Transaction on Computers*, p195-201.
18. Gonzalez, R.C. and P. Wintz.1987. *Digital image processing*. 2nd edition, Addison Wesley, pp414-417.
19. Grossberg,S.,1976,Adaptive pattern classification and universal recording II:Feedback,expectation,olfaction,and illusion, *Bio. Cybern*, Vol. 23
20. Gunasekaran,S.,T.M. Cooper and A.G. Berlage. 1988. Soybean seed coat and cotyledon crack detection by image processing. *J. of Agri. Eng. Res.* 41:139-148
21. Haralick, R. M., 1979, Statistical and structural approaches to texture, *Proc. 4th Intl. Joint conf. pattern recognition*, p:45-60.
22. Hinton, G.E., T.J. Sejnowski, and D.H. Ackley,1984, Boltzman machines:Constraint satisfaction network that learn, *Carnegie Mellon Univ.,Dept. of Computer Science*, Tech. Rep.
23. Hopfield, J.J., 1982, Neural network and physical systems with emergent collective computational abilities, *Proc. Nati. Academy Science*, Vol. 79.
24. Hwang, H., C.H. Lee and Y.K. Lee.1993. Automatic visual feature extraction and measurement of mushroom(*Lentinus Edodes L.*). *ICAMPE 93' Oct.19-22*, pp1232-1243.
25. Hwang, H., C.H. Lee and J.H. Han. 1993. Neuro-net based automatic

- sorting and grading of a mushroom(Lentnus Edodes L.). ICAMPE 93' Oct. 19-22. pp1243-1253.
26. Ikram, E.A. and W.K. Pratt,1979, Quantitive design and evaluation of enhancement/thresholding edge detection, Trans. of IEEE ,5:753-763
 27. Image Technology, 1987, ITEX PCVISION PLUS user's manual. Imaging Technology Inc, Massachusetts
 28. Image Technology,1987, ITEX PCVISION PLUS programmer's manual. Imaging Technology Inc, Massachusetts.
 29. Jamsa C. 1990. Graphics programming with microsoft C and microsoft quick C. Micro Press.
 30. Kapur, J.N., P.K. Sahoo and A.K.C. Wong, 1985, A new method for gray level picture thresholding using the entropy of the histogram, Computer Vision,Graphics, and Image Processing, 29:273-285.
 31. Kitchen P.W. and A. Pugh . 1981. Processing of binary images. Robot vision.
 32. Kohonen, T.,1982, Self organization formation of topologically correct feature maps, Bio. Cyber., Vol. 43
 33. Kosko, B., 1987, Adaptive bidirectional associative memories, Appl. Optics, Vol. 26
 34. Langers, R.A. 1991. Locating the growing-point of flower bulbs with computer vision. CEMAGREF. pp111-121.
 35. Marc, L., T. Zimmerman, C. Baur, P. Gugerli and T. Pun, 1994, Potato Operation:automatic detection of potato diseases, Proceeding of Optics in Agricultural,Forestry,and Biological Processing, Vol.2345, pp2-7.
 36. Masakazu, F. 1990. Machine vision technology : past, present, and future", IEEE IROS 90'. pp XXIX-XXXX.
 37. Matsuhisa T. and A. Hosokawa. 1983. Quantitative measurement of the texture and cracks of hulled non-glutinous rice grains using image data processing system. J. of JSAM. 45(3):357-367
 38. Mezin M. 1989. Image acqution with thresholding. 제1차 한·불 기술협력 컴퓨터비전 세미나 자료집

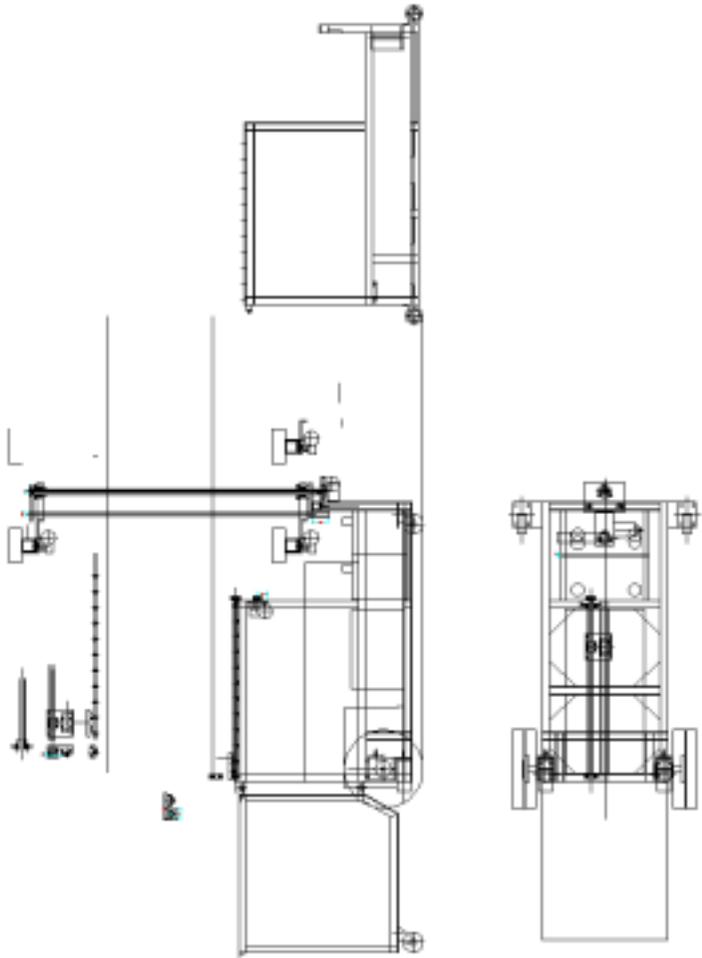
39. Micro. 1992. Microsoft C 7.0 Optimizing compiler. Microsoft co. Washington
40. Miller B.K.,M.J. Delwiche. 1989. A color vision system for peach grading. Trans. of ASAE. 32(4):1484-1490.
41. Minsky,M. and Papert,S. 1969. Perceptrons. MIT Press
42. Okado, M. and Y. Nakamura, 1992, Studies on the measurement of the color of the rice leaves by image processing, Journal of JSAM 55(5):75-81
43. Panigrahi S. and M.K. Misra. 1990. Feature extraction techniques for corn germplasm by color computer vision. ASAE Paper No. 90-7050.
44. Pao,Y. H. 1988. Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks. Addison-Wesley Publishing Company.
45. Paulsen M.R.,W.D. Wigger, J.B. Litchfield, and J.B. Sinclair. 1989. Computer image anlysis for detection of maize and soybean kernel quality factors. J. of Agri. Eng. Res. 43:93-101
46. Pavlidis, T., 1978, " A review of algorithm for shape analysis ", Computer Graphics and Image Processing, 7:243-258.
47. Peliand, T. and D. Malah,1982, A study of edge detection algorithms, Computer Graphics and Image Processing, 20:1-21
48. Pratt W.K. 1991. igital image processing. John Wiley & Sons Inc.
49. Read W.S. 1970. Optical detection of apple skin,bruise,flesh,stem and calix. J. of Agri. Eng. Res. 21:291-295.
50. Rehkugler G.E., A.J. Throop. 1986. Apple sorting with machine vision. Trans. of ASAE. 29(5):1388-1397.
51. Richard P.Lippmann. An introduction to computing with neural nets. IEEE ASSP Magazing, pages 4-22, April 1987.
52. Robert Hecht-Nielsen. Theory of the back-propagation neural network. In Proc. 1989 IEEE International Conference on Neural Networks, pages I-593-604, 1989.
53. Rosenblatt,F.,1958, The perceptron: A probablistic model for information storage and organization in the brain,Physiological Rev. Vol.65

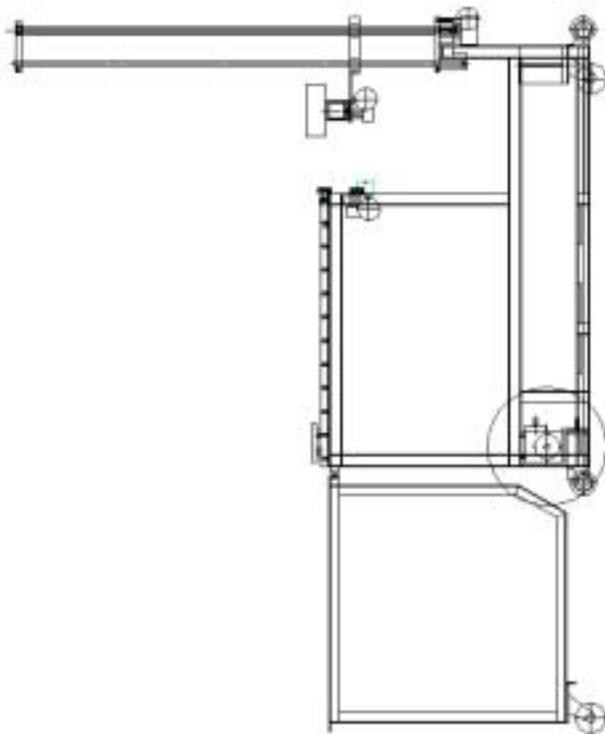
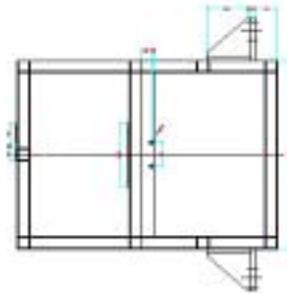
54. Rumelhart,D.E. and McClelland,J.L.(eds) 1986. Parallel Distributed Processing, MIT Press, Vol. I, p318-362.
55. Sarkar, N., and R.R. Wolfe, 1985, " Feature extraction techniques for sorting tomatoes by computer vision", Transactions of the ASAE 28(3): pp 970-979.
56. Sarkar, N., and R.R. Wolfe, 1985, " Computer vision based system for quality seperation of fresh market tomatoes ", Transactions of the ASAE 28(5): pp 1714-1718.
57. Schalkoff. R., 1992, " Pattern recognition : statistical, structural and neural approaches", John Wiley & Sons, Inc.
58. Sistler F.E. 1990. Grading agricultural products with machine vision. IEEE Int. workshop on intelligent robots and systems. IROS '90.p255-261
59. Stanley,J. 1989.Introduction to Neural Networks.California Scientific Software.
60. Tamar P. and M. David,1982, A study of edge detection algorithm, Computer Graphics and Image Processing, 20:1-21.
61. Tillet R. 1989. Locating mushrooms for robotic harvesting. Proc. of intelligent robots and computer vision. VIII Systems ans applications.p260-267.
62. Timothy A.Grogan and O.Robert Mitchell.1983. Shape recognition and description: A comparative study. Technical Report TR-EE 83-22, School of Electrical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1983.
63. Tojeiro, P. and Wheaton P.,1992, Oyeter orientation using computer vision, Trans. of ASAE, p689
64. Tsai W.H. 1985. Moment preserving thresholding:A new approach. Computer vision,graphics and image processing. (29):377-392
65. Vemuri,V.1988.Artificial Neural Networks: Theoretical Concepts. IEEE Computer Society Press
66. Werbos, P., 1974, Beyond regression: New tools for prediction and

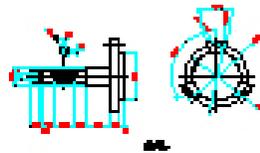
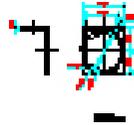
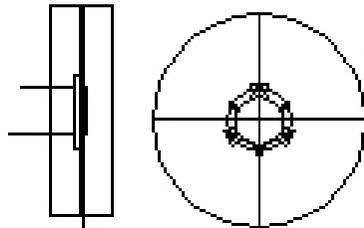
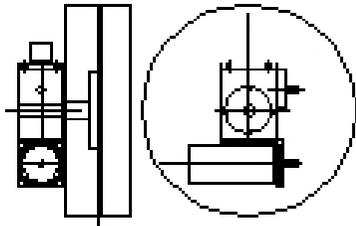
- analysis in the behavioral sciences, Ph.D. dissertation, Harvard Univ.
67. Widrow, B. 1987. DARPA neural network study, AFCEA Int. Press
 68. Widrow, B.,and M.E. Hoff,Jr., 1960, Adaptive switching circuit,Stanford Electron Lab, Palo,Alto,CA,Tech. Rep.
 69. Wolfe, R.R. and W.E. Sandler.1985. An algorithm for stem detection using digital analysis. Trans. of the ASAE 28(2):641-644.
 70. 농림수산통계연보, 1994, 농림수산부
 71. 이충호, 1991, 컴퓨터시각에 의한 측정기술 및 측정오차의 분석 및 보정,성균관대학교 석사학위논문
 72. 이충호, 1995, 컴퓨터시각에 의한 건표고의 외관검색 및 자동 선별시스템 개발, 성균관대학교 박사학위논문
 73. 황현,이충호,1994, 머섯 전후면과 꼭지부 상태의 자동 인식, 한국농업기계 학회, 19(2):124-137

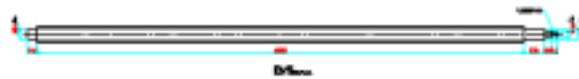
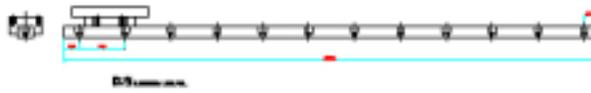
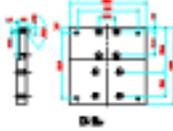
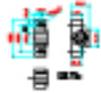
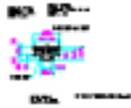
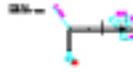
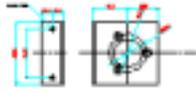
<부록>

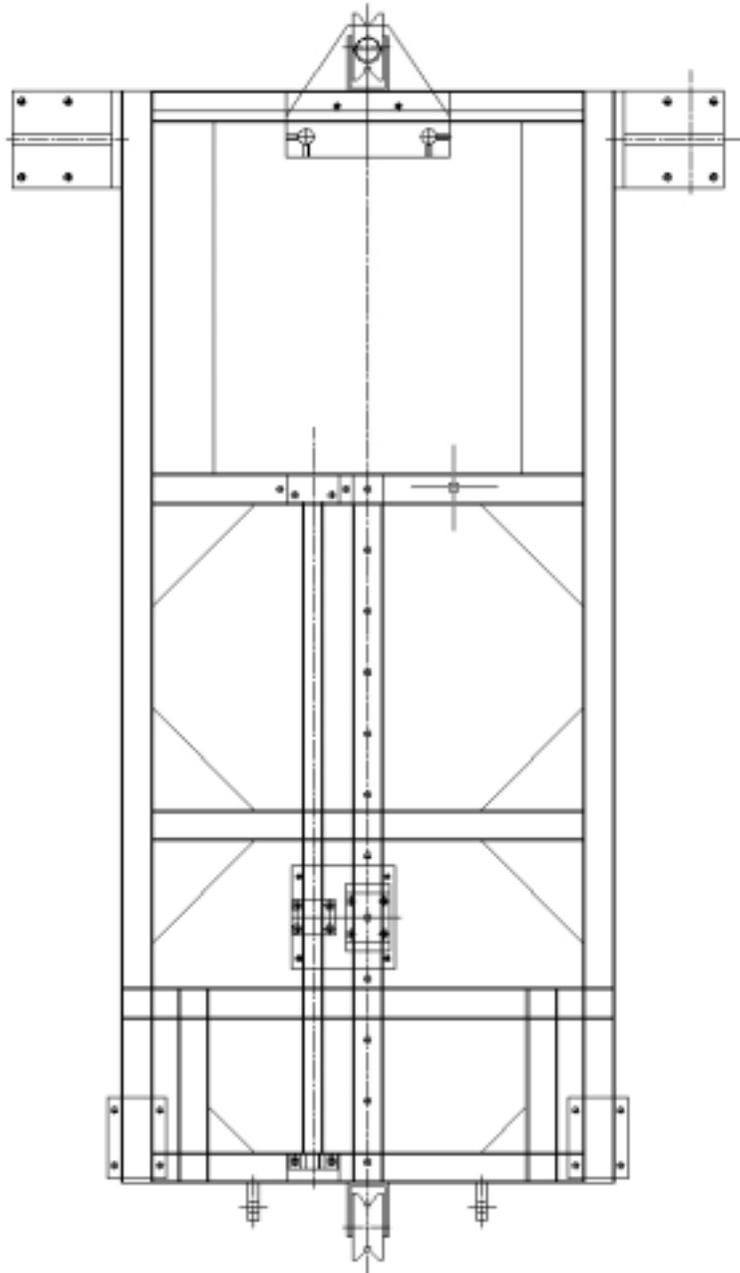
1. 멜론 재배 수확작업 대차 설계 도면

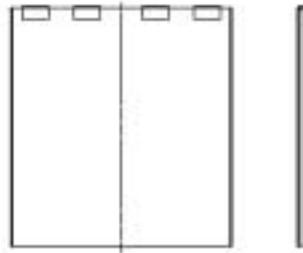
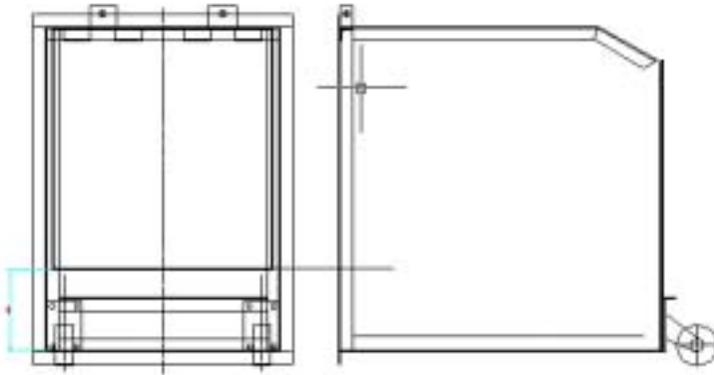












2. RS-232 통신 프로그램

```
CONST DEVICE = R5
SET RS232 9600
ON RECV GOSUB 100

DIM SND AS INTEGER
DIM I AS INTEGER
DIM J AS INTEGER
DIM A(15) AS BYTE
DIM ST AS STRING * 10
DIM SPD AS INTEGER

LCDINIT
CLS

LOCATE 0,0
BUSOUT &HB0:0
PRINT "모터 컨트롤러 사용준비"

BYTEOUT 2, &HFF

10
  I = IN(31)
  IF I=0 THEN
    ST = "SEND DATA"
    PUT ST
    SND = 10
    PUT SND
  END IF
  DELAY 100

  GOTO 10

100
  CLS
  DELAY 100

  FOR I=0 TO 12
    GET A(I)
  NEXT I

  IF A(0) = "@" THEN
```

```

IF A(1) = "L" THEN
    IF A(12) = 10 THEN
        LOCATE 0,0
        PRINT "올바른 데이터 수신"
        FOR I=0 TO 11
            LOCATE I,1
            PRINT CHR(A(I))
        NEXT I
        LOCATE 12,1
        PRINT "x"
        GOTO 1000
        GOTO VALID
    ELSE
        GOTO INVALID
    END IF
ELSE
    GOTO INVALID
END IF
ELSE
    GOTO INVALID
END IF

```

INVALID:

```

LOCATE 0,0
PRINT "잘못된 데이터 수신"

```

VALID:

```

BCLR
RETURN

```

1000

```

'우측바퀴
'BRAKE
I = A(8) - &H30
OUT 16, I

```

```

'DIR
I = A(9) - &H30
OUT 17, I

```

```

'PWM
SPD=0
I = A(2) - &H30
SPD = SPD + I*100

```

```
I = A(3) - &H30
SPD = SPD + I*10
I = A(4) - &H30
SPD = SPD + I*1
PWM 9, SPD, 100
```

'좌측마퀴

'BRAKE

```
I = A(10) - &H30
OUT 18, I
```

'DIR

```
I = A(11) - &H30
OUT 20, I
```

'PWM

SPD=0

```
I = A(5) - &H30
SPD = SPD + I*100
I = A(6) - &H30
SPD = SPD + I*10
I = A(7) - &H30
SPD = SPD + I*1
PWM 10, SPD, 100
```

RETURN

3. 구동용 모터 제어 프로그램

```
#define SIZE_BUF 15

#include "at89x51.h"
#include "serial2.h"

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

#define MoDirL P3_4 //left motor dir 1->정회전 0->역회전
#define BreakL P3_5 //left motor break 1->stop 0->run

#define MoDirR P3_6 //right motor dir 1->정회전 0->역회전
#define BreakR P3_7 //right motor break 1->stop 0->run

#define PwmA P3_2

//*****

unsigned char PwmValue;

bit index;
bit RunningFlag=0;

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////

int flagReceive = FALSE;
unsigned char strBuff[SIZE_BUF];

//*****
```

```

void TIMERO0(void) interrupt 1 //타이머 0 인터럽트 함수
{
    if (RunningFlag==1)
    {

        if(index==0)
        {
            PwmA=1;
            index=1;
            TH0=PwmValue;

        }

        else
        {
            PwmA=0;

            index=0;
            TH0=255-PwmValue;

        }

    }

}

```

```

int ASCii_Detect(char text)
{
    switch(text)
    {
        case 0x30: return(0); break;
        case 0x31: return(1); break;
        case 0x32: return(2); break;
        case 0x33: return(3); break;
    }
}

```

```

        case 0x34: return(4); break;
        case 0x35: return(5); break;
        case 0x36: return(6); break;
        case 0x37: return(7); break;
        case 0x38: return(8); break;
        case 0x39: return(9); break;
        default: return(0); break;
    }
}

```

```

unsigned int CharToInt(char text1,char text2,char text3)
{
    int Result;
    int X1;
    int X10;
    int X100;

    X100=ASCii_Detect(text1);
    Result+=X100*100;

    X10=ASCii_Detect(text2);
    Result+=X10*10;

    X1=ASCii_Detect(text3);
    Result+=X1*1;

    return(Result);
}

```

```

void RunMotor()
{

```

```

if(strBuff[0]=='@' && strBuff[1]=='L' && strBuff[2]=='R')
{

    PwmValue=CharToInt(strBuff[3],strBuff[4],strBuff[5]);
    RunningFlag=1;

    MoDirL=AScii_Detect(strBuff[6]);
    BreakL=AScii_Detect(strBuff[7]);

    MoDirR=AScii_Detect(strBuff[8]);
    BreakR=AScii_Detect(strBuff[9]);

    PutString("%OK");

    ClearBuffer(strBuff);

}

else if(strBuff[0]=='#' && strBuff[1]=='P' && strBuff[2]=='1')
{

    BreakL=1;
    BreakR=1;

    RunningFlag=0;

    PutString("%OK");
    ClearBuffer(strBuff);

}

else
{

```

```

        //PutString(strBuff);
        PutString("$Error");
        RunningFlag=0;
        ClearBuffer(strBuff);

    }
}

void InitSystem()
{

    TMOD = 0x02;    //Timer0 mode2->8bit TH->TL reload
    TH0 = 50;

    //변수초기화
    PwmValue=50;
    index=0;

    PwmA=0;        //Motor Control Port init

    BreakL=1;
    BreakR=1;

    ET0=1;        // Timer0 interrupt enable
    TR0=1;        // Timer0 run
    EA=1;         // interrupt enable

    InitSerialPort();

}

void main(void)
{

```

```
InitSystem();

while(1)
{

    //GetString(strBuff);
    GetString2();

    //RunMotor();

    //GetSensorSignal();

}
}
```

4. PLC 프로그램

