631.3
GOVP1200101907 L293ㅊ

최 종
연구보고서

청정채소 공정생산 자동화 시스템 개발

Development of an Automated Factory-like Vegetable Production System

이식기, 보식기, 수확기 및 선별포장기 개발

Development of the transplanter, re-transplanter, harvester and separator & packer

작물이동식 재배장치 개발

Development of the moving nutriculture device

연구기관

서울대학교
농촌진흥청 농업기계화 연구소

농 림 부

대한민국
기증등록
2001. 2. 21
857570
부천도서관

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 "청정채소 공정생산 자동화 시스템" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000 년 12 월 29 일

주관연구기관명 : 서울대학교
총괄연구책임자 : 류 관 희
세부연구책임자 : 조 성 인
연 구 원 : 신 태 웅
연 구 원 : 김 기 영
연 구 원 : 진 제 용
연 구 원 : 한 재 성
연 구 원 : 황 호 준
연 구 원 : 전 성 필
연 구 원 : 채 희 연
연 구 원 : 박 정 인
연 구 원 : 류 찬 석
연 구 원 : 임 정 호
연 구 원 : 김 민 규
연 구 원 : 최 선 종
연 구 원 : 정 창 호
연 구 원 : 노 대 현
연 구 원 : 신 동 준
연 구 원 : 장 성 주
연 구 원 : 남 기 찬
협동연구기관명 : 농촌진흥청 농업기계화연구소
협동연구책임자 : 장 유 섭
연 구 원 : 한 길 수
연 구 원 : 이 공 인
연 구 원 : 홍 성 기
연 구 원 : 김 승 희
연 구 원 : 강 금 춘
연 구 원 : 오 영 진
연 구 원 : 김 희 구
연 구 원 : 최 순 준
연 구 원 : 박 정 화
연 구 원 : 김 현 국
연 구 원 : 이 기 변
연 구 원 : 최 상 훈
연 구 원 : 박 현 수

요 약 문

Ⅰ. 제 목

청정채소 공정생산 자동화 시스템 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

본 연구는 이식, 재배관리, 수확, 선별·포장 등의 일관 생산공정 기술의 확립과 생산공정별 자동화 장치의 설계를 통한 고품질 청정채소의 저비용 자동화 공정생산 기술을 개발하고 나아가 21세기 첨단 기술집약형 자동화 공정생산 시스템을 구축하는 목적으로 연구가 수행되었다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구의 1차 연도에는 각 시스템의 개념을 설계하고 자료 조사를 통한 설계 기준을 마련하는 것이다.

2차 연도에는 이식장치 및 수확장치를 개발하고 작물 재배에 적합한 재식판을 개발하며, 이 재식판을 이용한 작물 이송장치를 설계 제작하는 것이다.

3차 연도에는 2차 연도에서 제작한 이식 및 수확장치를 보완하고, 보식 및 선별 장치에 필요한 영상처리 알고리즘을 개발하고, 재식판 반입 및 반출과 배양액 재배장치를 설계 제작하는 것이다.

4차 연도에는 3차 연도에서 작성한 영상처리 알고리즘을 토대로 보식 및 선별장치를 제작하며, 배양액 회수 장치를 개발하고 이들을 이용하여 작물이동식 재배장치를 개발하는 것이다.

5차 연도에는 지금까지 연구해 왔던 모든 시스템을 통합하여 청정채소 공정생산 자동화 시스템을 개발하는 것이다.

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구의 성과는 이식 및 보식, 무인 작물 이동재배 장치 및 수확·선별기를 포함한 재배 공정의 일관 자동화 시스템을 개발함으로써 공장적 식물생산의 실용화 가능성을 확인하였다.

본 연구에서 개발된 시스템의 지속적인 현장 실증실험을 위한 경비 지원이 필요하며, 본 연구에서 제외된 온실의 환경조절, 파종 및 육묘 관리 등을 포함한 완전한 형태의 공장적 식물생산 시스템을 구축하기 위한 후속 연구에 대한 연구비지원이 필요하다.

SUMMARY

Agricultural population in Korea has been reduced remarkably because of rapid industrialization and avoidance of drudgery rural labor. Prices of agricultural products have been lowered with cheap agricultural foreign products imported since the agricultural market is open by the establishment of WTO. However, the demand on high quality vegetables has increased because of increased consumer income and concerns on health. Therefore, it is necessary to develop a high-technology plant factory which is able to produce high quality vegetables at low costs.

Currently modern glass greenhouses have a limited automation system such as environmental control system in spite of huge investment in construction. And most of cultivation processes such as transplanting, harvesting, sorting and packing operations are done manually. So it is necessary to develop an automated system which is able to produce vegetables automatically from transplanting seedlings to harvesting and packing vegetables.

The purpose of this study was to develop an automated vegetable production system suitable to Korea through the investigations on plant factories which are commercially used or under development abroad. The automated system developed in this study has consistent automated operations from transplanting seedlings to harvesting and packing vegetables, which are handled by only two or three persons. However, the automated system doesn't include seeding, nursery operation and environment control because they have been already commercialized. And the system have been set up in the glass house on the university farm and tested with lettuce.

From this study a foundation for consistently automatizing vegetable production processes of transplanting seedlings, transferring and row spacing of cultivation troughs, harvesting and packing vegetables was established. And the automated

equipment for each production process were designed, manufactured, and tested. From the results of experiment of lettuce cultivation, it appeared that the automated system had satisfactory performance.

CONTENTS

Chapter 1. INTRODUCTION 1

Section 1. Objective of this study 1

Section 2. Field of the development of this study 2

Section 3. Goal of this study 3

Chapter 2. DEVELOPMENT OF TRANSPLANTER AND COMPLEMENTARY POT-SEEDLING TRANSPLANTING SYSTEM 4

Section 1. Introduction 4

Section 2. Tendency of related study 6

1. Automatic transplanting system 6

2. complementary pot-seedling transplanting robot 11

Section 3. Design and manufacturing of transplanter 16

1. Gripper 16

2. Nursing tray moving device 24

3. Growing trough moving device 28

4. Gripper moving device 32

5. Transplanting system 34

6. Transplanter of pot-seedling 35

Section 4. Design and manufacture of complementary pot-seedling transplanting system 44

1. Nursing tray box moving device 45

2. Growing trough moving device 47

3. Manipulator 47

4. Gripper and finger 49

5. Complementary pot-seedling transplanting system 52
Section 5. Development of machine vision system 54
1. Composition of image processing device 54
2. Algorithm and method of image processing 56
3. Image processing 58
Section 6. Development of controller 62
1. Pneumatic system 62
2. Conveyer 63
3. Sensor input 63
4. Motor controller 64
5. Transplanter controller 71
6. Moving device controller 73
7. Complementary pot-seedling transplanting system controller 77
8. Main controller 81
9. PC interface 87
Section 7. Estimate of perfomance 89
1. Transplanter 89
2. Complementary pot-seedling transplanting system 92
Section 8. Conclusions 97

Chapter 3. DEVELOPMENT OF MOVING NUTRICULTURE DEVICE 98
Section 1. Introduction 98
Section 2. Tendency of related study 100
1. Trough 100
2. Row spacing device 104

3. Nutriculture of plant factory 110
4. Examples of representative plant factory 117
Section 3. Trough 121
1. Proposal of standard design 121
2. Folded trough 121
3. Modification 122
4. Trough 123
Section 4. Crop moving device 126
1. Standard design of moving cultivating device 126
2. Design of moving cultivating device 126
3. Design of moving conveyer chain 130
4. Controller 133
Section 5. Input and output device 139
1. Standard of design 139
2. Trough input device 140
3. Trough output device 141
Section 6. Nutrient solution supplying and withdrawing device 143
1. Nutrient solution supplying device 143
2. Nutrient solution controller 145
3. Nutrient solution supplying line 148
4. Nutrient solution withdrawing device 149
Section 7. Performance test 151
1. Performance test of moving cultivating device 151
2. Row spacing ability 152
3. Performance test sensor and electrical clutch 153

4. Nutrient solution supplying test 160
5. Performance test 160
Section 8. Conclusions 162

Chapter 4. DEVELOPMENT OF HARVESTER, SEPARATOR, AND PACKER 163
Section 1. Introduction 163
Section 2. Tendency of related study 165
1. Harvester 162
2. Separator 168
3. Packer 169
Section 3. Harvester 170
1. Gripper 170
2. Leaf blowing device 174
3. Trough input device 175
4. Harvester 178
5. Controller 183
Section 4. Development of machine vision system 193
1. Image processing device 193
2. Lightening device 195
3. Conveyer 195
4. Calibration of the machine vision system 197
Section 5. Development of optimal sorting algorithm 202
1. Separating point of lettuce 202
2. Analysis of specific property of lettuce 203
3. Weight predict model 206

4. Optimal sorting algorithm 207

Section 6. Development of separator and packer 209

1. Investigation of existing standard disposition of lettuce 209

2. Packer 209

Section7. Performance test 214

1. Harvester 214

2. Comparing of sorting ability over image size 215

Section 8. Conclusions 217

Chapter 5. SYSTEM ASSEMBLY 218

Section 1. System assembly 218

1. Transplanter and complementary pot-seedling transplanting system 218

2. Moving cultivating device 219

3. Harvester, separator, and packer 220

4. System assembly 221

Section 2. Controller 226

Section 3. Conclusions 230

REFERENCE 231

대한민국국회도서관장서

목 차

1장 서론 **1**

1절 연구 개발의 목적 1

2절 연구 개발의 개발 범위 2

3절 연구 개발의 목표 3

2장 이식기 및 보식기의 개발 **4**

1절. 서언 4

2절. 관련 기술 동향 6

1. 자동이식 시스템 6

2. 보식 로봇 11

3절. 이식기 설계 및 제작 16

1. 그리퍼 16

2. 육묘트레이 이동장치 24

3. 재배홈통 이송장치 28

4. 그리퍼 이동장치 32

5. 이식 시스템 34

6. 육묘트레이 플러그묘 이식기 35

4절. 보식기 설계 및 제작 44

1. 육묘트레이 이송장치 45

2. 재배홈통 이송장치 47

3. 머니퓰레이터 47

4. 그리퍼 및 핑거 49

5. 보식 로봇 시스템 52

5절. 보식 영상처리장치 개발 54

1. 영상처리 장치의 구성 54
2. 영상처리 방법 및 알고리즘 56
3. 영상처리 58
6절. 제어기 개발 62
1. 공압장치 62
2. 컨베이어 63
3. 센서 입력 63
4. 모터 제어기 64
5. 이식장치 제어기 71
6. 이송장치 제어기 73
7. 보식장치 제어기 77
8. 주 제어기 81
9. PC 인터페이스 87
7절. 성능평가 89
1. 이식장치 89
2. 보식장치 92
8절 결론 97

3장 작물이동식 양액재배장치 개발 98
1절 서언 98
2절 기술개발 동향 100
1. 재식판과 재배홈통 100
2. 작물 주간조절장치 104
3. 식물공장의 양액재배 110
4. 대표적인 식물공장의 사례 117

3절 재배홈통 121
1. 설계기준 제시 121
2. 주름살식 재배홈통 121
3. 1차 보완 122
4. 재배홈통 123
4절 작물 이송부 126
1. 이동식 재배장치의 설계 기준 126
2. 이동식 재배장치의 설계 126
3. 컨베이어 체인 이동식 130
4. 제어장치 133
5절 적재 · 반출장치 139
1. 설계기준 139
2. 재배홈통 반입장치 140
3. 재식홈통 반출장치 141
6절 배양액 공급 및 회수장치 143
1. 배양액 공급장치 143
2. 배양액 제어장치 145
2. 배양액 공급라인 148
3. 배양액 회수장치 149
7절 성능시험 151
1. 이동식 재배장치의 이송성능시험 151
2. 재배홈통의 간격조절성 152
3. 센서 및 전자클러치 특성시험 153
4. 배양액 공급시험 160
5. 재배를 통한 성능평가 160

8절 결론 162

4장 수확기 및 선별·포장기 개발 163

1절. 서언 163

2절. 관련 기술 동향 165

1. 수확기 165

2. 선별기 168

3. 포장기 169

3절 수확기 170

1. 그리퍼 170

2. 잎부상장치 174

3. 재식판 반입장치 175

4. 수확기 178

5. 제어장치 183

4절. 기계시각시스템 개발 193

1. 영상처리장치 193

2. 조명장치 195

3. 컨베이어 195

4. 기계시각 시스템의 측도설정 197

5절. 최적 선별 알고리즘 개발 202

1. 상추의 선별인자 202

2. 상추의 특성 분석 203

3. 중량예측 모델 206

4. 최적 선별 알고리즘 207

6절 선별·포장기 개발 209

1. 현행 상추 표준 출하규격 조사 209
2. 포장기 209
7절. 성능평가 214
1. 수확기 214
2. 영상의 크기별 선별 능률 비교 215
8절 결론 217

5장 종합화 218
1절 시스템 통합 218
1. 이식·보식기 218
2. 작물 이동식 재배장치 219
3. 수확 및 선별·포장기 220
4. 시스템 통합 221
2절 제어장치 226
3절 결론 230

참고문헌 231

1장 서론

1절 연구 개발의 목적

현재 우리 나라의 농업은 농업노동력 부족 및 농업 노동 기피현상에 의해 농촌인구의 감소가 두드러지게 진행되고 있어 농업을 지속적으로 발전시키기 위해서는 농산물의 생산의 생력화가 필요하다. 또한, WTO체제 출범에 따른 농산물 수입 개방 압력과 농산물 소비의 고급화 및 다양화 등에 따른 소비자의 고품질 및 안정적인 가격의 청정채소의 수요가 증대되고 있다.

기존의 첨단 유리 온실은 막대한 시설투자에도 불구하고 일부 환경 관리 작업만이 자동화되고 있을 뿐 거의 모든 재배관리 및 수확, 선별, 포장 작업이 수작업에 의존하는 노동집약적인 체계이므로 이를 시설 내에서의 파종, 육묘, 이식, 재배 관리, 수확, 선별, 포장 등의 모든 작업 공정을 체계적으로 기계화, 자동화하고 품질관리를 실시할 수 있는 자본 기술집약적인 자동화 공정생산 체계로 발전시켜야 한다. 그러나, 국내의 경우 일부 시설 설비 및 기자재의 국산화 보급이 이루어지고 있으나, 공장생산시스템에 대한 연구 개발이나 국산화 설비의 생산의 거의 없는 상태이다.

2000년대에는 첨단유리온실에 자동화 공정생산 시스템이 실용화될 것임은 물론 일부 채소류의 경우 인공광형의 식물공장의 도입이 예상되므로 한국형 식물공장의 자동화 공정생산 시스템의 모형 및 기술 개발을 서둘러야 하며 첨단 시설의 자동화 설비 및 기자재의 국산화를 촉진하고 품질 개선을 도모하기 위해서는 자동화 공정생산 시스템의 연구 개발을 통한 표준화와 시스템의 설계 기준이 조속히 마련되어야 할 것이다. 이런 자동화 공정생산 시스템의 실용화는 우리 나라의 원예 시설에 관한 기술개발은 구조, 자재와 환경제어의 범주에서 더 나아갈 수 있으며, 시설원예용 각종 장비들은 외국에서 무분별하게 수입되고 있어 사후 봉사에 많은 어려움을 해결할 수 있으며, 육묘, 이식, 재배 관리, 수확, 선별, 포장 등의 생산관리 작업방식을 체계화, 표준화하여 모든 생산공정을 자동화하고 종합 관리할 수 있는 기술을 획득할 수 있다.

또한, 공간 활용의 극대화를 이루어 내어 생산성 향상과 수작업에 의존한 작업을 기계장치로 대체하면서 발생하는 생력화 효과를 통한 노동력 절감과 계획적 공장 생산 방식에 의한 작물의 수급안정 및 외국산 생산 설비를 국산화함으로써 오는 가격 절감, 독자적인 첨단 자동화 공정생산 시스템을 자체 개발함으로써 시설원예 산업의 국제 경쟁력을 강화할 수 있을 것으로 판단된다.

2절 연구 개발의 개발 범위

본 연구는 현재 국외에 사용되고 있는 식물공장에 대한 자료를 조사하고 각 시스템의 장점과 단점을 분석하여 국내의 환경에 적합한 자동화 시스템을 개발하는 것이다. 개발하는 시스템은 정식에 적당한 모종을 이식하여 수확 및 포장까지 일관된 작업공정을 갖는 시스템을 개발하는 것이며 정식전의 파종 및 육묘 관리, 온실 환경 제어 및 온실관리는 제외하였다. 작업에 소요되는 인력을 최대 2인에서 3인내에서 이 시스템을 관리할 수 있는 형태로 제작하는 것이다.

또한, 마지막 연도에는 개발 시스템은 서울대학교 부속 학교 온실에 설치하여 작물 실증재배를 수행하는 것이다.

각각의 해당 연도에서의 개발은 다음과 같다.

본 연구의 1차 연도에는 각 시스템의 개념을 설계하고 자료 조사를 통한 설계 기준을 마련하는 것이다.

2차 연도에는 이식장치 및 수확장치를 개발하고 작물 재배에 적합한 재식판을 개발하며, 이 재식판을 이용한 작물 이송장치를 설계 제작하는 것이다.

3차 연도에는 2차 연도에서 제작한 이식 및 수확장치를 보완하고, 보식 및 선별 장치에 필요한 영상처리 알고리즘을 개발하고, 재식판 반입 및 반출과 배양액 재배장치를 설계 제작하는 것이다.

4차 연도에는 3차 연도에서 작성한 영상처리 알고리즘을 토대로 보식 및 선별장치를 제작하며, 배양액 회수 장치를 개발하고 이들을 이용하여 작물이동식 재배장치를 개발하는

것이다.

5차 연도에는 지금까지 연구해 왔던 모든 시스템을 통합하여 청정채소 공정생산 자동화 시스템을 개발하는 것이다.

3절 연구 개발의 목표

본 연구 초기에 설정한 연구 개발의 목표는 다음과 같다.

- ○ 이식, 재배관리, 수확, 선별, 포장 등의 일관 생산공정 기술 확립
- ○ 생산공정별 자동화 장치 설계 기준 확립 및 표준화
- ○ 생산공정별 자동화 장치 설계 및 제작
- ○ 자동화 공정생산 시스템 운용 프로그램 개발

이를 통해 고품질 청정채소의 저비용 자동화 공정생산 기술을 개발하고 나아가 21세기 첨단 기술집약형 자동화 공정생산 시스템을 구축하는 것이다.

2장 이식기 및 보식기의 개발

1절. 서언

채소 작물의 이식 및 보식의 기계화는 부족한 농업 노동력의 대체수단으로 작업시간의 단축과 기계화 영농차원에서 이루어졌다. 1990년대에 들어서면서 공정육묘의 개념이 도입되어 육묘의 대규모화, 자동화가 진행되었고, 육묘공장 설치에 따라 기계 이식 및 보식의 필요성이 증대되고 있다. 자동화된 이식 및 보식 시스템의 도입은 시설재배에 필요한 모종을 연중 생산하는 육묘공장이나 대단위 시설재배농가의 노동력을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 자동 정식기의 개발을 가능하게 할 것으로 판단된다.

식물공장의 모종 이식 자동화에 있어서 이식기를 이용한 모종의 자동 이식이 상업화 되어가고 있으나 현재 우리 나라의 경우는 포크를 사용한 수작업으로 진행되고 있다. 이러한 이식 작업은 단순, 반복적인 작업으로서 자동화 장치로 곧바로 생력화가 가능한 작업이다. 따라서 모종 이식의 자동화를 이룰 수 있다면 식물공장의 면적을 최대로 이용함과 동시에 육묘 생장발달과정에 적합한 작물의 생육공간을 자동적으로 만들어 줌으로써 노동력의 절감을 이룰 수 있고, 연중 무휴의 작물생산체계를 위한 기반을 조성할 수 있을 것이다.

또한, 일반적으로 종자 파종시 종자선별을 거치지 않는 경우 발아율이 70~80%정도이고 선별을 거친 경우 발아율이 90%정도로 나타나고 있어 부가적으로 결주를 판별하고 보식하는 노동력을 필요로 하게 되는 육묘공장과 식물공장에 자동화된 보식 시스템을 도입하면 적은 노동력으로도 고품질의 농산물을 결함이나 손실 없이 생산할 수 있고 경제적인 부분에서도 불량묘 및 결주에 대한 생육관리에 필요한 비용을 줄여주므로 가치가 높을 것으로 판단된다. 보식의 기계화는 아직 미비하며 상토 및 인공배지에 적합한 보식기만이 국내·외 학술 논문에 발표되고 있을 뿐 식물공장에서 많이 사용되는 포트묘에 관한 기계화 연구는 아직 이루어진 바 없다. 이식 및 보식작업은 작업 대상이 어린 식물이라는 점에서 섬세한 작업이 필요하고, 일반공장에서의 작업과는 달리 작업대상이 표준화되어 있

지 않기 때문에 각각의 대상 작물에 대한 작업조건이 달라진다. 따라서, 모의 종류에 따라 적합한 그리퍼가 필요하지만 기존의 상토 및 인공 배지용 보식기에서는 결주의 분리·제거와 우량묘의 공급을 위한 그리퍼가 따로 있지 않고 하나의 그리퍼를 사용하여서 필요한 작업을 수행하고 있어 그 효율이 낮은 편이다.

본 연구의 목적은 이식 자동화를 위한 포트묘 로봇 이식기를 개발하는 것과 이식 후 보식하는데 소요되는 노동력을 감소시키기 위해 자동 보식 시스템을 개발하는데 있다.

2절. 관련 기술 동향

식물공장 생산시스템에서 재배하는 작물은 노지에서 재배하는 작물과는 달리 제한된 구역에서 동일한 품종의 작물을 연속 생산하는 특징을 가지고 있어 식물공장 생산시스템의 이식공정에 있어서도 일정한 크기의 묘를 다룬다는 측면에서 기계화가 용이하다고 볼 수 있다. 그러나 작물이식기계는 묘의 형상 및 크기가 일정하여야 하고 공급 묘에 결주가 없어야한다는 전제조건을 가지고 있어 육묘 기술이 그 선행조건이라 할 수 있다. 또한 이식 자동화를 위하여 파종상의 결주 또는 건강한 모로 성장하지 못한 부분의 모가 발생하는 경우 이를 제거하고 건실한 모를 보충해야 하는 보식 과정을 거쳐야 한다.

1. 자동이식 시스템

식물공장 생산 시스템에서 이식공정은 일정한 크기의 묘를 다룬다는 측면에서 기계화가 용이하다고 볼 수 있다. 그러나 이식 시스템은 묘의 형상 및 크기가 일정하여야 하고 공급 묘에 결주가 없어야 한다는 전제조건을 가지고 있어 파종 및 육묘 기술이 그 선행조건이 된다. 그러한 이유로 인해서 대부분의 식물공장 생산 시스템에서는 이식작업을 수작업에 의해서 진행하고 있다.

식물공장생산시스템에서 사용되는 자동이식시스템이란 통상 육묘트레이에서 육묘된 채소 또는 화훼 모종을 별도의 용기에 옮겨심기 위한 장치를 말한다. 자동이식시스템은 3차원 공간을 움직여 가며 모를 스스로 인식하여 이식작업을 수행하고 있어 미국, 유럽, 일본 등에서는 이식 로봇이라고 부르고 있다.

가. Swedeponic[1)]

이곳에서 사용되는 이식 시스템은 포트묘의 육묘트레이가 레일을 따라 이동되면 육묘트레이의 포트묘가 육묘트레이 바닥의 구멍을 통해 위쪽으로 밀어지고 이식 그리퍼가 포트

1) B. Geyer, 1996, Actual state and practical use of the factory-style plant production system in Germany. Pratical plant factories toward the 21st century, p3-37.

의 가장자리를 잡아 올린다. 그리고 나서 90° 각도로 돌려서 이들을 재배홈통(growing trough)에 심게 된다. 이 재배홈통은 온실의 벽을 따라 움직이는 컨베이어 벨트를 따라서 이동한다. 각도를 돌리는 기계로 이식이 된 재배홈통은 온실 한 쪽 끝에서 온실에 대해 90° 각도로 회전하여 컨베이어 벨트로 옮겨져 완전히 재배된 식물을 두는 온실들 쪽으로 이동하는 형태로 제작되어 있다.

그러나, 이 시스템은 면적을 너무 많이 차지한다. 생산하지 않은 온실 면적 중 재배홈통을 이동시키는 기계가 차지하는 면적만 약 200㎡이다. 또한, 이식하는 도중 모종 선별은 전혀 되지 않으며, 잦은 고장 및 한 사람이 계속해서 통제를 하여야 한다. 이러한 단점 때문에 재배홈통에 이식하기 위해서 포트묘를 포크를 이용하여 손으로 이식하고 있다.

나. 九州電力[2)3)4)]

구주전력에서 이용되는 이식시스템은 이식 전처리 작업(파종)을 위하여 자동 우레탄 커터와 우레탄 큐브 진공함수장치(眞空含水裝置)가 있다. 이 자동 우레탄 커터와 우레탄 큐브 진공함수장치는 파종용 우레탄 큐브를 절단하여, 육묘트레이(우레탄 큐브 12개 × 24열=288개)에 우레탄 큐브를 삽입하고 큐브에 물을 충전하는 장치이다.

정식장치는 육묘트레이 내의 개개의 우레탄 큐브에 육묘된 모종을 우레탄 큐브 핑거에 의해 재배홈통의 정식 구멍(재배홈통 1개에 6개 구멍이 있음)에 이식하는 장치이다. 이 장치는 모종이 심겨져 있는 큐브를 잡는 그리퍼와 잡은 큐브를 지정된 장소에 정치하기 위한 주행위치 결정 기구로 구성되어 있다. 이식 그리퍼는 6개가 1조로 되어 있으며, 각 그리퍼는 4개의 핀 구조로 핑거를 개폐시켜 큐브의 4면을 잡도록 구성되어 있다. 주행기구는 3축으로 구성되어 온실 상단에 크레인으로 구성되어 있으며 주행방식은 랙과 피니언을 사용하여 위치결정의 정밀도를 향상 시켰다. 위치 결정은 재생 훈련(teaching playback) 방식이다.

---

2) 농촌진흥청, 1999, 식물공장생산시스템-연구동향분석과 금후 연구방향. p92-93.
3) 山崎弘郎, 橘本 康, 鳥居 徹, 지능농업 - 자동화·지능화의 진전. p192-203.
4) 橘庸良, 山崎 明, 七島琢男 ,1994, 植物工場の自動化. SHITA report Vol. 2 : 45-57.

동작순서는 다음과 같다.

① 육묘 장치로부터 반출되어 온 육묘트레이를 고정

② 우레탄 큐브 그리퍼를 육묘트레이 위로 이동

③ 우레탄 큐브를 한번에 6개씩 그리퍼를 이용하여 잡음

④ 우레탄 큐브를 정식하는 재배홈통 위로 이동

⑤ 재배홈통의 정식 구멍에 우레탄 큐브를 정식

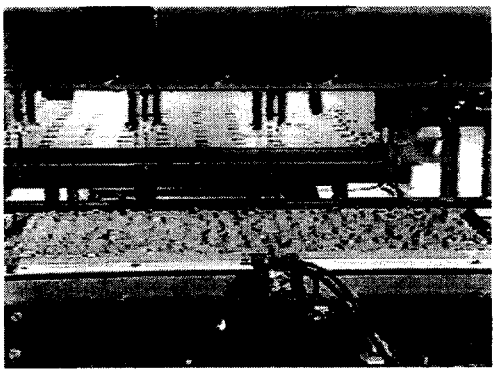


Fig. 2-1 구주전력 자동 이식기

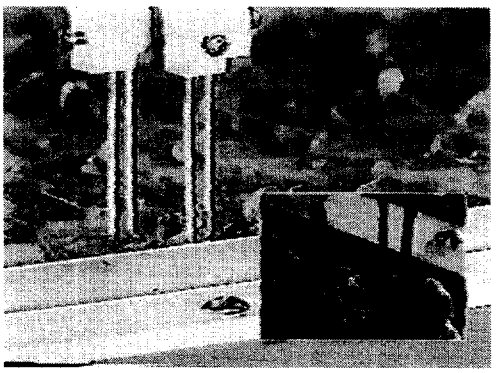


Fig. 2-2 자동정식기 그리퍼의 모습

다. 出光興産[5)]

출광흥산의 자동화 시스템은 다른 식물공장에 비해 거의 무인화에 가까운 상태이다. 이곳에서 사용되고 있는 이식시스템의 작동순서는 아래와 같다.

① 그리퍼가 육묘트레이에서 육묘를 잡음.

② 모종이 결합된 상태를 분리시킴.

③ 모종을 포트에 삽입

④ 모종을 삽입한 포트의 이동방향과 수직인 방향으로 이동하는 그리퍼를 이용하여 포트를 90° 회전시킴.

⑤ 1단계 재배홈통에 정식

5) B. Geyer, 1996, Actual state and practical use of the factory-style plant production system in Japan Pratical plant factories toward the 21st century, p65-73.

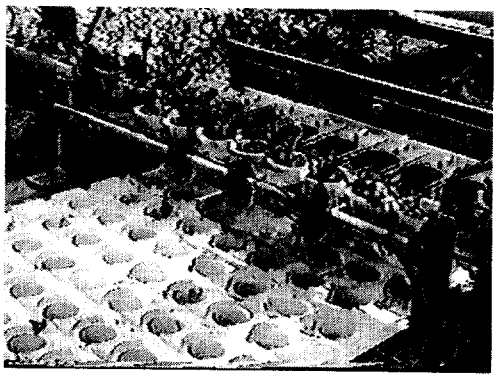


Fig. 2-3 출광흥산 자동정식기

라. M式水耕研究所[6]

육묘트레이(8×40=320개)에서 육묘한 모종을 8조씩 들어내어 재배홈통(64구멍)에 22초 간격으로 연속적으로 이식하는데 로봇을 이용한다. 이식이 종료된 재배홈통은 반송부를 통하여 이송된다. 이식된 재배홈통은 한곳에 모아 수송차에 실어 온실로 옮기기 때문에 여성 한사람이 혼자서 모종 보급과 이식된 재배홈통의 이송작업을 감당한다.

마. 三菱農機[7]

플러그 육묘트레이에서 육묘된 모종을 로봇을 이용하여 포트에 이식하는 장치로 수직 다관절 로봇으로 구성되어 있다. 이 플러그 육묘트레이에 있는 모종을 잡아 상토가 담긴 포트에 이식할 수 있도록 제작되었다. 로봇의 그리퍼는 모종을 부드럽게 잡을 수 있는 구조로 되어 있기 때문에 모종에 손상 없이 정확한 이식이 가능하도록 제작하였다.

바. 도시바 자주식 묘 정식 로봇[8]

주행레일을 왕복하면서 플러그 육묘트레이에 파종된 모종을 육묘실에서 플러그 육묘트레이 상태로 꺼내와서 재배홈통의 정식 구멍에 모종을 1개씩 이식하는 로봇으로 한번에

6) 농촌진흥청, 1999, 식물공장생산시스템-연구동향분석과 금후 연구방향. p93.
7) 농촌진흥청, 1999, 식물공장생산시스템-연구동향분석과 금후 연구방향. p93-94.
8) 이공인, 1996, 식물공장의 생산공정자동화. 한국식물공장연구회 발표자료.

80본의 모종을 운반할 수 있고 육묘트레이 한 개 분의 정식이 끝나더라도 그 위치를 기억해두는 기능이 있어서 다른 육묘트레이가 운반되어도 동일한 곳을 반복하여 작업하는 일은 없다. 육묘실 내에서는 모 전용 핸드를 육묘트레이 전용 핸드로 자동적으로 교체하는 기능이 있어서 육묘트레이의 운반을 가능하게 하고 육묘실을 나올 때는 다시 모 전용 핸드로 교체된다. 이식작업은 로봇이 직선방향으로 전진하면서 좌우의 베드에 옮겨 놓은 방식이다.

사. Hawe社[9)10)]

네델란드 세인트폴리아(saintpaulia) 생산 온실에서는 파종에서부터 수확·조제, 출하까지의 공정을 거의 무인화 할 수 있는 대규모 자동화시스템이 가동되고 있다. 여기에 사용되고 있는 포트묘용 이식장치는 공압 실린더 구동의 콜크 스크루 형태의 회전나사를 육묘트레이에 삽입하여 모종의 뿌리 부분을 육묘트레이로부터 빼낸 후 이식용 포트에 모종을 집어넣고 스크루를 역회전시켜 이식하는 로봇이다.

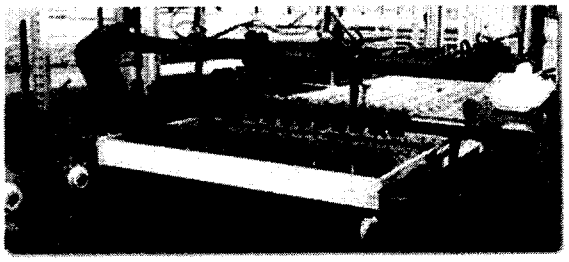


Fig. 2-4 Hawa社 자동 이식기

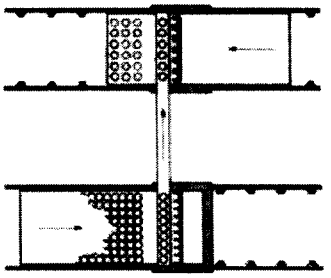


Fig. 2-5 자동이식기 작업공정

아. 기타

Hwang과 Sistler[11)]는 후추의 잎과 줄기를 잡아 이식하는 이식 로봇을 제작하였다. 이

9) 농촌진흥청, 1999, 식물공장생산시스템-연구동향분석과 금후 연구방향. p94.

10) HAWE home page (http://www.hawe-systems.com)

11) Hwang, H. and F. E. Sistler. 1986. A robotic pepper transplanter. Applied Engineering in Agriculture 2(1) 2-5.

이식 로봇은 잎과 줄기를 잡아 이식하므로 줄기에 상해를 주지 않기 위해 스펀지를 이용한 평행 핑거를 사용하였다.

Tillet 등은[12] 성숙한 모종의 이식에 관한 연구 결과를 제출하였다. 그리퍼는 8조의 나선형의 철사모양을 하며, 이 그리퍼가 모종의 줄기 부분을 감싸면서 모종을 잡아 포트에서 분리한다. 또한, 주간을 맞추기 위해 충돌 정지장치(bumps stop)와 구속 로프(restraining rope)를 이용하였다. 작업시간은 시간당 1400주이다.

Kutz와 Miles 등은[13] 공압 parallel-jaw 형식의 그리퍼를 이용하여 상토에 핑거를 찌르는 방법으로 이식작업을 수행하였다. 그리고 성공적인 이식을 위하여 모종의 형태, 모종에 대한 그리퍼의 접근 및 분리 경로, 토양에 그리퍼를 찌르는 깊이 등이 이식 성능에 영향이 있다고 보고했다. 또한 이들은 392구의 육묘트레이와 36구의 육묘트레이의 공급 배열 형태에 따른 이식 로봇의 CAD 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 Puma 560 로봇을 이용하여 검증한 결과 작업시간은 시뮬레이션과 10% 오차가 있었고, 36구 육묘트레이로 이식하는데 3.3분이 소요되었다고 보고하였다.

2. 보식 로봇

하나의 머니퓰레이터에 여러 개의 핸드를 가진 이식 로봇은 한번에 여러 개의 모종을 이식하기 때문에 파종으로 인한 결주(缺株)나 생장이 불량한 모종이 섞여 있는 경우 이식 작업 후 결주로 인한 수량의 손실 또는 생장 불량으로 인한 품질 저하를 피할 수 없게 된다. 따라서 이식 작업 후에 결주 및 불량묘가 있는 곳에 양질의 모종을 추가로 보충해 줄 수 있는 이식 장치(이하 보식 장치 또는 보식기라 함)가 절실히 요구된다.

가. 三菱農機[14]

12) Tillett, N. D., S. J. Miles, J. B. Holt, A. L. Wikin, and M. A. Scott. 1992. An experimental automatic repotting machine for hardy ornamental nursery. Agricultural engineering vol.53 : 289-303

13) Kutz L. J., G. E. Miles, P. A. Hammer and G. W. Krutz. 1987. Robotic transplanting of bedding plants. Transactions of the ASAE vol.30(3) : 586-590.

14) 농촌진흥청, 1999, 식물공장생산시스템-연구동향분석과 금후 연구방향. p100.

일본 미쓰비시 농업기계의 보식 장치는 2조의 컨베이어와 2조의 직교좌표형 로봇으로 구성되어 있다. 한쪽 컨베이어에 들어오는 육묘트레이를 한 줄씩 로봇암의 그리퍼 선단에 부착한 광센서로 모종의 줄기를 인식하여 모종이 없는 부분의 셀 전체를 공압으로 흡입하여 제거한 뒤 보식할 모종을 공급하는 다른 쪽 컨베이어 위의 육묘트레이로부터 보식용 머니퓰레이터가 그리퍼 선단의 광 센서에 의해 양질의 모종을 인식하고 공압식으로 작동하는 핀 모양의 핑거를 이용하여 모종을 잡아 빈곳에 채워 넣어 주는 방식이다.

나. 보식 로봇 (Rustger 대학)[15][16][17][18]

플러그 모 정식작업에 3차원의 수평 다관절 로봇시스템(Adept- I 로봇)을 도입하여 이식작업을 자동화하는 연구를 수행하였다. 이것은 종자를 파종한 후 출하할 정도의 크기로 자란 플러그 모를 별도의 재배용기에 이식하기 위한 것이다. 미국에서는 플러그 모 육묘트레이의 규격이 대상작물에 따라 크기도 구멍수도 서로 다르기 때문에 용기의 크기에 맞추어 그때마다 이식용 기계를 바꾼다는 것은 경제적으로 맞지 않기 때문에 로봇시스템을 도입하여 크기가 다른 용기에서도 프로그램의 수정에 의해 유연하게 대처할 수 있도록 하였다.

이식로봇의 작동원리는 처음에 한 개의 플러그 모의 지하부(뿌리와 배양토)를 스카라형 머니퓰레이터의 선단에 비스듬하게 붙여진 압축공기로 구동되는 두 개의 핀 모양의 니들(공압으로 구동되는 "swing needle"과 "sliding needles" 등 2종류의 그리퍼를 설계, 제작하여 실험한 결과 "sliding needle"이 성능이 양호하다는 결과를 보고하였음)으로 비스듬히 찔러 그것을 수직으로 들어 올려 육묘트레이로부터 모를 분리하여 이식하는데 이때 그리퍼의 바로 아래쪽에 정전용량형 근접 센서를 위치시켜 모의 유무를 판정하고 결주나 불

15) 농촌진흥청, 1999, 식물공장생산시스템-연구동향분석과 금후 연구방향. p95.
16) Ting, K. C. 1995. System analysis of robotic workcells for plug transplanting and somatic embryos quality sorting. Proceedings of ARBIP95, Kobe, Japan. vol.2 : 181-188.
17) Ting, K. C., G. A. Giacomelli and S. J. Shen. 1990. Robot workcell for transplanting of seedlings. Part I : Layout and materials flow. Transactions of the ASAE vol.33(3) : 1005-1010.
18) Ting, K. C., G. A. Giacomelli, S. J. Shen, and W. P. Kabala. 1990. Robot workcell for transplanting of seedlings. Part II : End-Effector development. Transactions of the ASAE vol.33(3) : 1013-1017.

량묘는 별도의 용기에 버리고 정상적으로 자란 모종만을 새로운 재배용 육묘트레이에 순서대로 이식한다. 재배용 육묘트레이의 각각의 셀에는 플러그 모의 근부가 삽입될 정도의 구멍이 뚫어져 있어 모종이 재배용 육묘트레이의 구멍에 삽입되었을 때 공압 핀을 빼낸다. 재배용 육묘트레이가 모종으로 가득히 차거나 플러그 모 육묘트레이의 모종이 전부 없어지면 자동적으로 컨베이어에 의해 새로운 육묘트레이가 보급되는 구조로 되어 있다. 이들은 모두 호스트 컴퓨터에 의해 제어되며 머니퓰레이터는 4자유도의 기구로 3개는 회전계, 1개는 직선계의 운동관절을 갖는다.

또한 로봇과 2개의 용기 및 용기를 반송하는 컨베이어는 서로 가장 효율적으로 작업할 수 있도록 배치하였다.

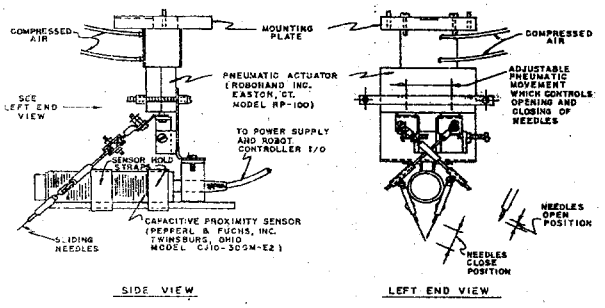


Fig. 2-6 Sliding Niddle과 센서의 개요도

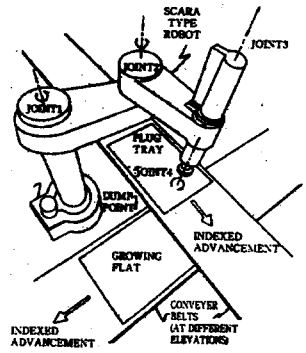


Fig. 2-7 Adept-I 로봇 개요도

다. AGBOT(North carolina대)[19]

미국 North carolina대에서는 담배의 플러그 모를 대상으로 결주묘를 보식하기 위한 농업용 로봇을 개발하고 이를 AGBOT이라 부르고 있다. 머니퓰레이터는 직교좌표형이며 그리퍼는 모종의 뿌리 부분을 잡아 올리는 구조로 4개의 평평한 날을 가진 그리퍼로 이루어져 있다. 로봇의 위쪽에 설치된 카메라는 이식하고자 하는 모판의 모종 상태 및 위치를 파악하고 결주를 인식하게 되며 머니퓰레이터를 움직여 불량묘 및 결주묘를 제거하고 다

19) 농촌진흥청, 1999, 식물공장생산시스템-연구동향분석과 금후 연구방향. p101.

른 모판으로부터 양질묘를 옮겨와 심도록 되어 있다.

라. 충남대[20]

국내의 연구로는 김기대 등(1995)이 그리퍼에 부착한 CCD 카메라를 이용하여 육묘트레이 내의 각각의 셀을 검사하여 결주와 불량묘를 찾아내고, 완전묘만을 이식하는 로봇에 관한 연구를 수행하였다. 그러나, 셀을 하나씩 검사하기 때문에 작업 속도가 느려 고급 모의 정밀한 분석과 이식작업에나 적용이 가능할 정도였다.

머니퓰레이터는 직교좌표형 로봇으로 X축과 Z축 방향으로 움직이며 엔드 이펙퍼의 선단에 카메라를 장착하여 카메라에 입력된 영상 데이터에 따라 불량묘 및 우량묘를 인식한다. 엔드 이펙터의 핸드 날은 끝단을 점점 가늘게 하여 원형 파이프를 4등분하여 제작한 것으로 모종의 뿌리 부분의 상토를 잡는 구조로 되어 있다. 핸드 날의 운동 방식은 힌지되어 있는 핸드 지그가 평면캠의 캠홈을 따라 운동을 하게 되며 이 운동에 따라 핸드 지그에 부착된 핸드 날은 집게 운동을 하여 모를 잡도록 되어 있다.

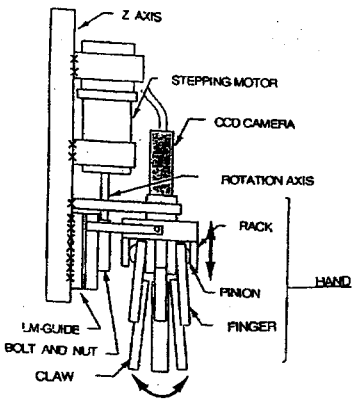


Fig. 2-8. 로봇 그리퍼

20) Kim K. D., S. Ozaki and T. Kojima. 1995. Development of an automatic robot system for a vegetable factory. I. Transplanting and raising seedling robot in a nursery room. Proceedings of ARBIP95, Kobe, Japan. vol.1 : 157-163.

마. 서울대학교

류관희 등(1996)은 전체의 플러그 모 육묘트레이에 대한 결주를 판명하여 완전묘만을 이식하는 로봇 이식기에 관한 연구를 수행하였다. XYZ 3축의 직교좌표형 로봇을 제작하여 72구 또는 128구 플러그 육묘트레이에서 50구 플러그 육묘트레이로 정식하였다. 로봇 정식기의 그리퍼를 개발하고, 정식방법과 제작된 핑거에 따라 성능 평가 실험을 수행하여 삽(shovel)형 핑거를 사용한 경우 정식작업에 효율적이였으며, 잎의 방향을 고려한 이식작업이 좋은 것으로 보고하였다.

바. 기타

Sakaue[21)22)]는 로봇이 레일 위를 움직이면서 광섬유 센서를 이용해 결주나 불량묘를 찾아내어 전기 진공청소기를 이용, 흡인하여 제거하는 연구를 수행하였고, 육묘트레이를 이용한 자동 모종 생산 시스템에서 육묘트레이의 배열, 이송 및 적재작업을 하는 로봇시스템에 관한 연구를 수행한 바 있다.

---

21) Sakaue O. 1994. Development of automated seedling production system -High quality seedling production device-. 일본 농업기계학회지 57(1) : 59-66.

22) Sakaue O. 1995. Development of automated seedling production system -Tray handling devices and evaluation of the robotic system- . 일본 농업기계학회지 57(3) : 111-119.

3절. 이식기 설계 및 제작

본 연구에서 개발된 시스템은 육묘트레이를 작업영역으로 이송시켜주고 그리퍼에 육묘포트를 공급하기 위한 육묘트레이 이송장치, 재배홈통의 반입 및 반출 그리고 그리퍼로부터 육묘포트를 공급 받기 위한 재배홈통 이송장치, 그리퍼를 육묘트레이와 재배홈통 사이로 왕복 이동시키는 그리퍼 이동장치, 육묘트레이와 재배홈통의 간격을 조정하기 위한 간격조절장치 및 육묘포트를 이식하기 위한 그리퍼로 구성되어 있다. 이의 구성도를 아래 그림에 나타내었다.

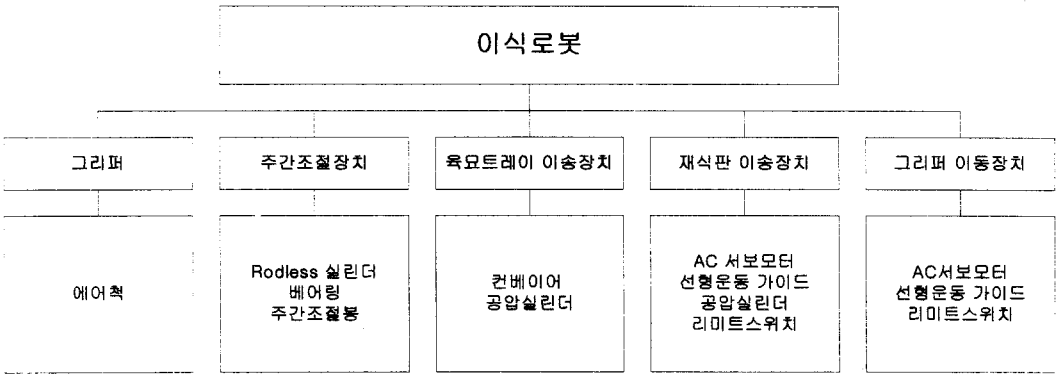


Fig. 2-9 로봇이식기의 구성도

1. 그리퍼

일반적으로 로봇에서 그리퍼는 상당히 중요한 역할을 한다. 그리퍼의 설계에 따라 장치의 효율성이 좌우되기 때문에 산업용은 물론 농업용 로봇에서도 그 비중은 상당한 것이다. 일반적으로 농업용으로 사용되는 그리퍼는 작업 대상이 균일하지 않고, 어느 정도의 정규분포를 나타내는 작물 또는 농산물을 사용하므로 산업용과 달리 작업대상에 대한 고려가 필요하다.

식물공장에서 이용 가능한 그리퍼를 개발하기 위해 작업 대상인 작물의 종류 및 이식작업시 작물의 생육 단계, 육묘트레이 및 재배홈통의 형상, 육묘포트의 형상에 대한 충분한 고려가 있어야 한다.

이식작업을 성공적으로 수행하기 위해서는 모종을 집어서 이식하는 그리퍼의 성능이 매우 중요하다. 위의 조건을 만족시키기 위한 그리퍼를 제작하기 위해서 본 연구에서 설정한 그리퍼의 설계기준은 다음과 같다.

① 작물에 상해를 주지 말아야 한다.

② 이송 중 육묘포트가 떨어지지 않도록 육묘포트를 확실히 잡아야 한다.

③ 이식할 육묘포트를 육묘트레이에서 집어낼 수 있어야 하며, 마찬가지로 재배홈통에 정확히 안착시킬 수 있어야 한다.

④ 육묘포트를 충분한 높이까지 들어올릴 수 있어야 한다.

⑤ 고온 다습한 환경에서 사용하기 때문에 내환경성 및 내부식성을 가져야 한다.

⑥ 구조가 비교적 간단하고, 여러 가지 형상의 작물에 적합한 형태로 설계하여야 한다.

가. 핑거의 설계 및 제작

1) 육묘포트

본 연구에 사용한 육묘포트는 육묘 재배용으로 많이 사용되는 128구 육묘트레이를 기준으로 육묘포트의 내경, 외경을 결정하였으며, 육묘포트는 재배홈통에 안착하여 모종에 양액을 공급할 수 있는 높이로 육묘포트의 길이를 결정하였다. 이 육묘포트에 사용되는 배지로는 우레탄 스펀지(25×25 mm) 및 128구 혹은 200구에 파종된 모종을 심을 수 있도록 하였다. 현재 이 시스템에 사용되는 육묘포트의 형상은 아래 그림과 같다.

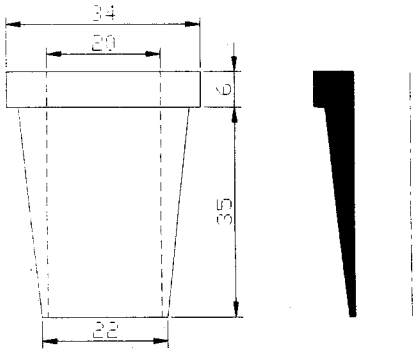


Fig. 2-10 제작된 육묘포트의 치수

2) 핑거의 형태 결정

그리퍼 중에서도 작업 대상과 직접적으로 접촉하는 것은 핑거이다. 핑거의 모양은 곧 그리퍼의 형상을 결정하며, 또한 그리퍼의 성능을 결정한다. 본 연구에서 핑거의 형상을 결정하기 위해 재료 및 구동 방법에 대해서 고찰하여 보았다.

일반적으로 핑거에 사용되는 동력원으로는 DC 모터 혹은 솔레노이드를 이용하는 경우, 공압을 이용하는 경우, 유압을 이용하는 경우, 진공을 이용하는 경우 및 전자석, 형상기억 합금을 이용하는 경우 등 다양한 형태로 존재하고 있다.

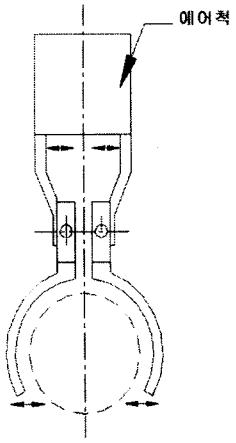


Fig. 2-11 에억척을 이용한 그리퍼

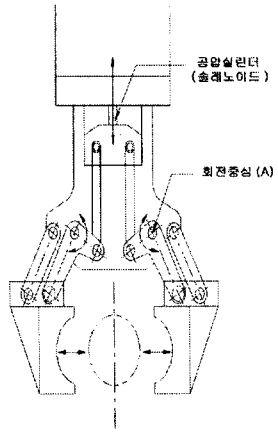


Fig. 2-12 공압실린더(솔레노이드)를 이용한 그리퍼

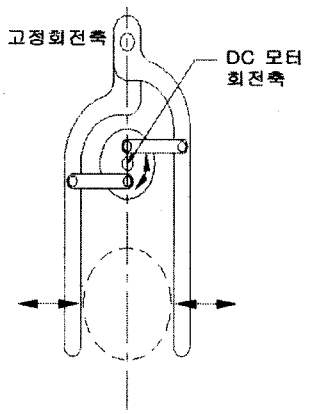


Fig. 2-13 DC 모터를 이용한 그리퍼

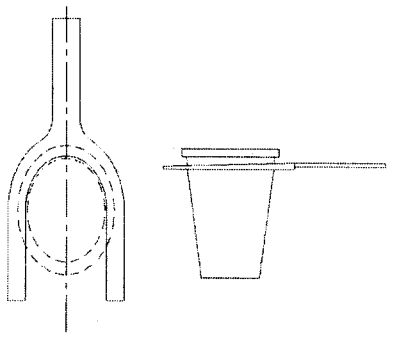


Fig. 2-14 로봇암에 의한 그리퍼

위에서 열거한 것 중에서 가장 일반적으로 사용되는 것은 에어척을 이용하여 대상물을 잡는 방식이다. 에어척을 이용하는 경우 핑거의 형상만 결정하여 부착하므로 제작은 간편하지만 가격이 다소 비싸고 상용으로 나오는 에어척인 경우 부착공간의 한계에 의해 작업을 위한 에어척의 행정이 다소 제한되는 단점이 있다. 공압실린더(솔레노이드)를 이용한 그리퍼인 경우 제작이 다소 복잡하며 정밀해야 하는 단점을 갖고있는데 반해 원하는 형태의 행정 및 작동방식을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 로봇암의 이동을 통해 자연스럽게 잡도록 설계한 그리퍼인 경우 형태가 단순하고 부착공간에 대한 문제가 없으나 작업공정이 어려운 문제를 갖고 있다. 본 연구에서는 2종류의 그리퍼(에어척, 로봇암의 이동을 이용한 그리퍼)를 제작하여 이식기의 그리퍼로 이용하였다.

3) 로봇암의 이동을 이용한 그리퍼

1차로 이식기에 부착한 그리퍼 핑거이다. 이 핑거는 이송장치의 이동을 통해 잡기 때문에 잡을 때는 충분한 탄성을 가지고 있어서 이송장치의 진행력에 의해 육묘포트를 충분히 잡을 수 있어야 하며, 또한 육묘포트를 들어올릴 때 핑거에 변형이 발생하지 않도록 충분한 강성을 가져야 한다. 이를 만족하는 재질중의 하나로 플라스틱 계열의 아세탈을

사용하여 핑거를 만들었다. 아세탈 재질의 특성은 아래 표에 나타내었다.

Table 2-1 아세탈의 특성

Tensile strength	8,000 ~ 13,000 psi
Modulus of elasticity	500,000 psi
Fatigue strength at room temp.	5,000 psi

핑거의 모양은 앞부분의 간격을 약간 넓게 만들고, 다소 뾰족하게 제작하여 이송장치의 이동을 통하여 육묘포트를 잡을 때 매끄럽게 잡을 수 있도록 설계하였으며, 핑거 안쪽으로 육묘포트가 들어왔을 때 밖으로 육묘포트가 빠져나갈 수 없도록 앞부분에 턱을 만들었다. 핑거 안으로 들어온 육묘포트를 가능한 많은 접촉면적을 갖고 잡기 위해 안쪽은 반원형태로 설계하였으며, 육묘포트를 잡는 순간 그리퍼가 약간 벌려지면서 그 순간의 복원력을 이용하기 위해 핑거의 내경을 육묘포트의 홈의 내경보다 약 0.3mm 정도 작게 제작하였다. 제작된 핑거의 형태 및 치수를 아래 그림에 나타내었다.

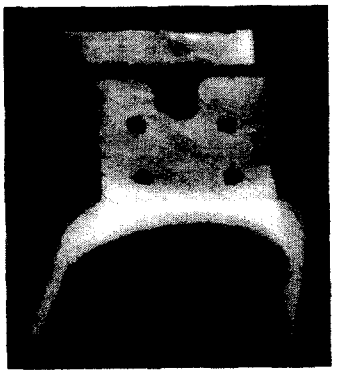


Fig. 2-15 제작한 핑거의 사진

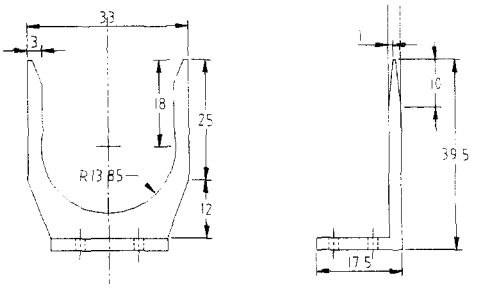


Fig. 2-16 핑거의 치수

4) 에어척을 이용한 그리퍼

로봇암을 이용한 핑거는 작업 중 육묘포트를 잡지 못하는 경우 육묘트레이에 남아 있는 육묘포트의 방해로 다음 열의 육묘포트를 잡지 못하는 문제가 발생하였다. 이런 문제를

해결하기 위하여 에어척을 이용하여 핑거를 설계하였다. 에어척을 이용할 경우 기존의 핑거보다는 가격이 비싸다는 단점이 있으나, 이식작업 이외에도 여러 가지 작업에 적용할 수 있어 범용적인 핑거 제작이 가능하였다. 또한, 앞단에서 육묘포트를 잡지 못하더라도 다음 열에 있는 육묘포트를 잡는데 육묘트레이에 남아있는 육묘포트가 작업에 방해를 하지 않으므로 작업 성능이 향상되었다.

이 이식장치는 한 줄에 있는 육묘포트를 동시에 잡아야 하므로 핑거를 일렬로 부착할 경우 핑거의 두께를 2mm이하로 제작해야 하고 육묘포트도 육묘트레이의 구멍 한가운데에 위치하고 있어야 하였기 때문에 이식작업에 어려움이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 핑거를 그리퍼에 45° 로 비틀어 달아 핑거가 작업할 수 있는 영역을 넓혀 주었다. 아래 그림은 에어척을 이용하여 제작한 그리퍼의 형태이다. 또한 사용된 에어척은 행정이 8mm로 핑거가 충분히 육묘트레이의 육묘포트 사이로 들어가서 육묘포트를 잡을 수 있도록 하였다.

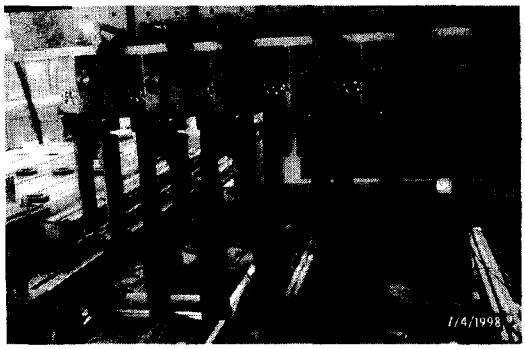


Fig. 2-17 제작된 핑거의 모습

나. 주간조절장치

일반적으로 육묘트레이의 포트 사이 주간 및 조간은 육묘포트를 옮겨 놓아야 할 재배홈통의 주간 및 조간과 그 크기가 같지 않다. 육묘트레이의 주간 및 조간보다는 재배홈통의 주간 및 조간이 상대적으로 넓기 때문에 한 번에 여러 개의 육묘포트를 옮기는 이식 시스템에서는 주간조절장치 또는 그에 상응하는 장치가 있어야 한다.

주간조절장치가 없는 가장 간단한 형태의 이식 장치도 있다. 한 예로 일본 구주전력(주)

에서 제작한 이식 시스템은 육묘베드에서 하나씩 건너뛰면서 6개의 모종을 집어 그대로 재배홈통에 옮겨 놓는 방식이다. 그러나, 이런 시스템은 재배홈통의 포트 간격은 육묘트레이의 포트 간격의 2배가 되어야 한다. 이런 시스템은 재배홈통이 다양한 작물에 따라 크기가 달라질 경우 이러한 요구에 부응할 수 없다. 이런 이유로 본 연구에서는 육묘트레이의 형상과 재배홈통의 형상에 맞도록 주간을 변화시킬 수 있는 주간조절장치를 설계 제작하였다.

1) 설계 조건

① 육묘트레이와 재배홈통의 크기에 따라 원하는 주간을 조절할 수 있어야 한다.

② 그리퍼를 쉽게 탈·부착할 수 있어야 한다.

③ 그리퍼간의 간격이 일정하게 유지되어야 한다.

④ 주간 조절이 이루어질 때 가능한 흔들림이 없어야 한다.

2) 주간조절장치의 구성

가) 주간 조절 기구

일반적으로 주간조절장치는 최대거리 및 최소거리의 제한을 기계적인 멈춤 장치를 이용하여 수행한다. 한 예로 Tillet 등(1992)은 최대거리 제한을 실 혹은 철사 같은 재질을 이용하고, 최소거리는 볼트를 이용하여 제한하였다. 본 연구에서는 최대거리 및 최소거리를 조절봉과 멈춤 장치를 이용하여 제한하였다. 제작된 주간조절장치의 작동원리에 대해 간략하게 설명하면 다음과 같다.

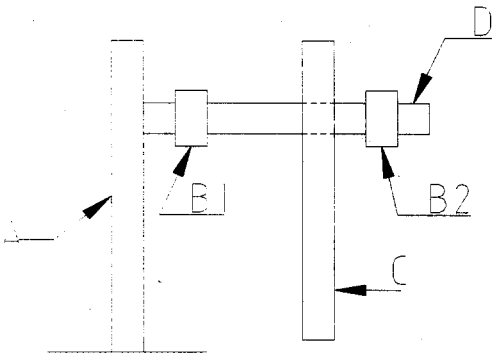


Fig. 2-18 주간조절장치의 작동원리

상대적으로 고정된 판 A를 중심으로 이동하는 판 C가 봉 D를 따라 움직이면서 주간조절을 수행한다. 주간 간격의 최대값과 최소값은 봉 D에 설치된 턱 B1, B2를 이용하여 결정한다. 이동판 C는 봉 D를 따라 이동하면서 B1과 B2에 의해 이동거리가 제한되어 주간을 넓히고 좁힌다. 그리고 이동판 C는 로드리스(rodless) 실린더를 이용하여 구동하였다. B1과 B2는 봉 D를 따라 자유롭게 이동이 가능하므로 그에 따라 여러 가지 주간이 발생하도록 제작하였다. 제작된 주간조절장치는 고정판 A에 대해서 턱 B를 각각 2.5mm, 7.5mm, 62.5mm, 82.5mm에 설치할 수 있도록 하였다. 이에 따라 주간은 기준점에 대하여 35mm, 40mm, 45mm, 60mm, 80mm가 생성할 수 있다.

나) 주간조절장치의 구성

주간조절장치는 공압 로드리스 실린더, 베어링, 베어링가이드로 구성하였다. 주간조절장치는 로드리스 실린더에 의하여 좌우 왕복운동을 하며, 실린더가 일정한 경로로 움직일 수 있도록 베어링과 축을 이용하였다.

주간조절장치의 모습을 그림 2-19에 나타내었으며, 주요 구성품에 대해 표 2-2에 나타내었다.

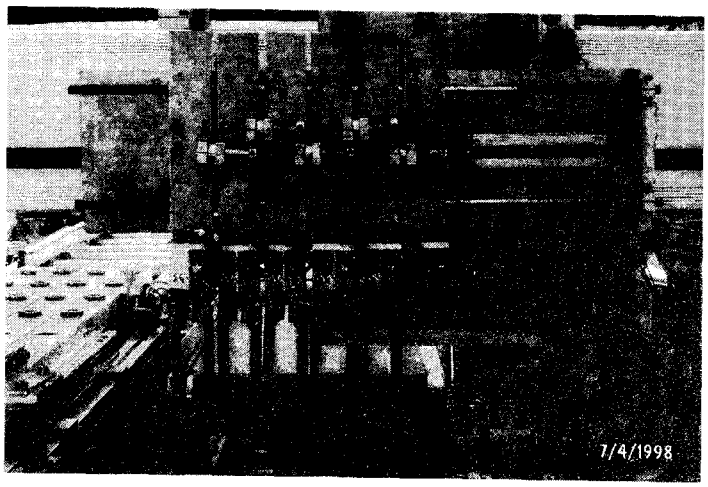


Fig. 2-19 이식그리퍼의 외형

Table 2-2 주간조절장치 각 구성품의 제원.

	Model	Specification	Manufacturer
Rodless cylinder	M461-20-150-2	Inner dia. : 20 mm Stroke: 150 mm Velocity : 0.2 - 2m/s Capacity force : 188 kg_f at 0.7MPa	Kumho, Korea
Bearing	SC10UU	Dynamic C : 54kgf Static C : 82kgf	Samick, Korea
LM shaft	SF 10	Dia : 10 mm Surface roughness : 0.8 - 1.6 S Surface hardness : HrC 58-64	Samick, Korea
Row spacing rod	-	Distance of the Row spacing : 35, 40, 45, 60, 80mm	Dongsung Engineering, Korea

2. 육묘트레이 이동장치

육묘트레이 이동장치는 육묘트레이를 이식장치로 공급하고, 육묘트레이의 이동 및 배출을 위한 장치이다. 이 장치는 컨베이어와 육묘트레이의 포트 열 이동장치로 구동되어 있

다.

가. 육묘트레이

본 연구를 수행하기 위해 육묘포트를 담고 있는 육묘트레이를 제작하였다. 이 육묘트레이 하나에 육묘포트를 48개 담을 수 있도록 하였으며, 이송을 위하여 육묘트레이 하단에 포트 구멍 간격만큼 홈을 만들었다. 제작된 육묘트레이의 모습과 치수를 그림 2-20과 2-21에 나타내었다.

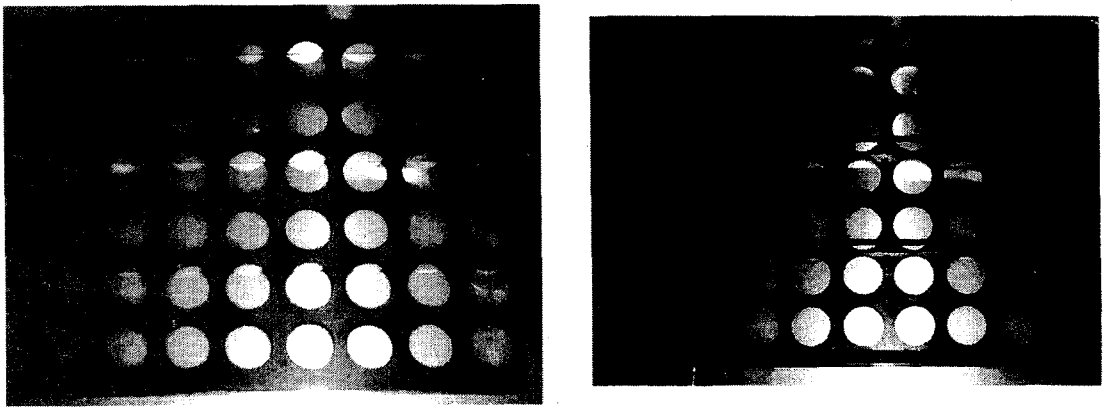


Fig. 2-20 육묘트레이의 모습

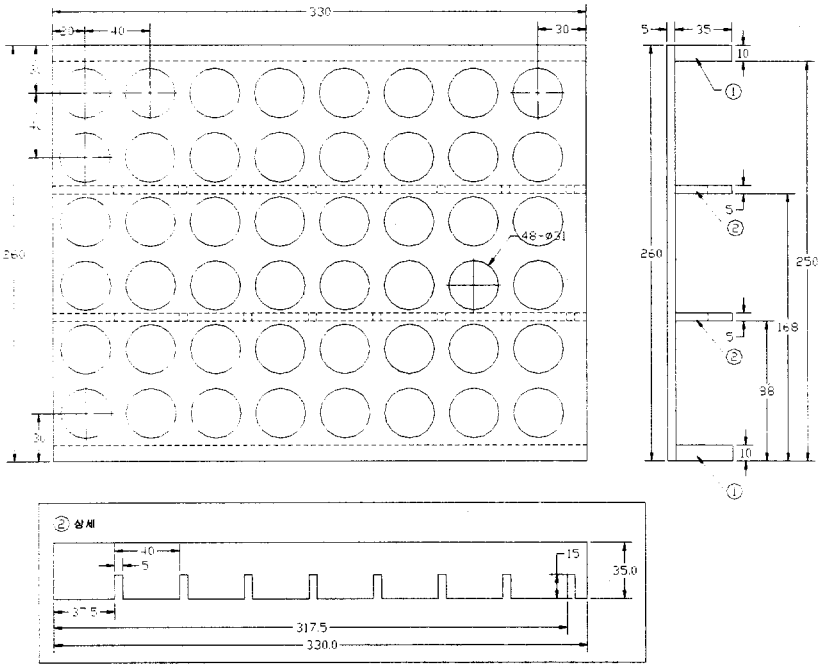


Fig. 2-21 제작된 육묘트레이의 치수

나. 컨베이어

이식할 육묘트레이의 이송을 위하여 컨베이어 장치를 이용한 육묘트레이 이송장치를 설계, 제작하였다. 컨베이어의 크기는 육묘트레이의 크기에 맞게 조절하였으며, 약간의 여유공간을 두어 더 큰 육묘트레이를 이용할 수 있도록 설계하였다. 길이는 이식공간과 후에 보식공간을 동시에 사용할 수 있도록 선정하였다. 선정된 컨베이어의 명세를 표 2-3에 나타내었다.

Table 2-3 컨베이어의 제원

Manufacturer	Ohsung co., Korea
Model	Standard type
Length	1500 mm
Drum dia.	60.5 mm
Belt type	Polyurethane
Belt width	300 mm

육묘트레이가 이식장치의 작업영역으로 들어올 때 육묘트레이의 위치는 센서에 의해 파악된다. 본 연구에서는 광센서를 이용하여 육묘트레이의 위치를 파악하였으며, 사용된 광센서는 작업 조건, 설치 조건, 응답 속도 등을 고려하여 선정하였다. 선정된 광센서의 주요 명세를 표 2-4에 나타내었다.

Table 2-4 광센서의 제원

제작사	Autonics
모델명	BY500-TDT
검출방식	투과식
검출거리	최대 0.5 m
사용광원	적외선 발광 다이오드(변조식)
전원 전압	DC 12 ~ 24V
제어출력	NPN 오픈컬렉터

다. 육묘트레이의 줄 이송장치

육묘트레이의 이송은 육묘트레이의 줄 이송장치를 이용하여 한 줄씩 전진 할 수 있도록 하였다.

육묘트레이의 줄 이송장치는 육묘트레이 이송을 위한 전후 왕복 실린더와 육묘트레이를 잡기 위한 상하 왕복 실린더로 구성되어 있다. 초기에 육묘트레이 상하 왕복 실린더가 올라가 있어 육묘트레이가 반입될 때 정지장치 역할도 동시에 수행한다.

육묘트레이의 줄 이송 과정은 다음과 같다. 상하왕복 실린더가 하강하여 정지장치가 후퇴한 후 상하왕복 실린더가 상승하여 정지장치가 다음 줄의 홈을 잡는다. 그 후 정지장치를 전진시켜 육묘트레이를 이송한다. 육묘트레이의 줄 이송장치의 전후 왕복 실린더는 행정길이를 조절할 수 있는 실린더를 이용함으로써 포트 간격이 다른 육묘트레이에 대해서도 적용할 수 있도록 하였다.

육묘트레이의 포트 열 이송 방법과 이송장치의 모습을 그림 2-22와 2-23에 나타내었다.

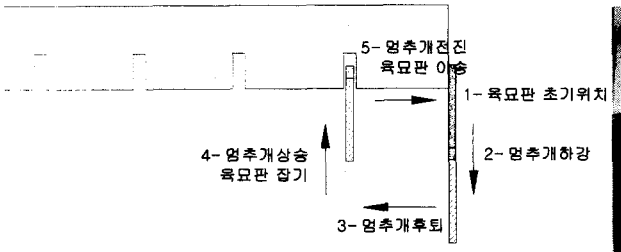


Fig. 2-22 육묘트레이의 이송방법

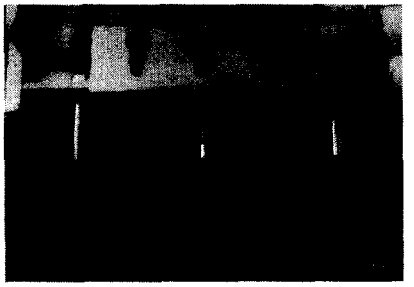


Fig. 2-23 육묘트레이 줄이송장치

이식작업을 끝낸 육묘트레이는 육묘트레이 배출장치를 통하여 육묘트레이를 배출할 수 있도록 하였다. 이 육묘트레이 배출장치는 이식작업할 때는 육묘트레이를 지지하는 역할을 수행한다. 육묘트레이 배출장치는 실린더와 베어링 가이드를 이용하여 제작하였다. 육묘트레이 지지부분은 롤러를 이용하여 구성하였다. 제작된 육묘트레이 배출장치의 외형은 그림 2-24와 같다.

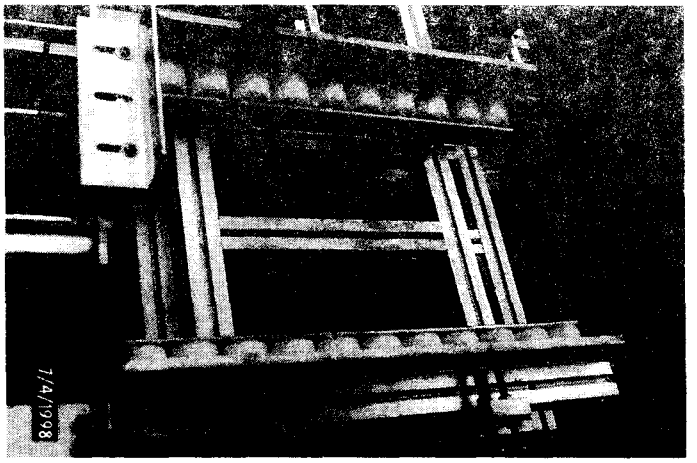


Fig. 2-24 육묘트레이 배출장치

3. 재배홈통 이송장치

재배홈통 이송장치는 재배홈통을 반입하고, 재배홈통을 이동하며 그후 재배장치로 재배홈통을 건네주는 역할을 하였다.

본 연구에서는 이식 후 보식을 하는 시스템으로 하나의 재배홈통 이동장치를 이용하여 이식부 및 보식부에 재배홈통을 공급할 수 있도록 하여 두 개의 시스템이 동시에 작동할 수 있도록 하였다. 보식 시스템과 이식시스템을 분리하여 설치할 경우 작업공간은 최소 재배홈통의 길이에 5배 이상(이식영역은 재배홈통의 3배, 보식영역, 배출영역)의 작업공간이 필요하나 시스템을 일체형으로 제작할 경우는 약 재배홈통의 3배 정도의 공간만이 필요하다.

재배홈통 이동장치의 구성은 수동으로 재배홈통 반입을 위한 재배홈통 반입부, 재배홈통 잡이 실린더와 재배홈통 고정 실린더를 이용하여 재배홈통의 전진을 수행하는 재배홈통 이송부, 재배홈통을 재배장치로 이송하기 위한 재배홈통 배출부 3 부분으로 구성되어 있다.

가. 재배홈통 반입부

재배홈통을 이식 및 보식 시스템으로 반입시키는 부분이다. 이 재배홈통 반입부는 재배홈통의 초기 위치를 정렬하기 위한 정지장치, 재배홈통 반입을 인식하기 위한 광센서, 재배홈통의 구멍을 일렬로 맞추어 주는 장치로 구성되어 있다.

이 재배홈통 반입부는 수동으로 조작하도록 하였다. 먼저 정지장치가 하강하면 재배홈통을 반입하고 광센서에 의해 반입을 확인한 후 재배홈통의 구멍을 일렬로 정렬하고 시작버튼을 눌러 이식 및 보식 작업을 수행할 수 있도록 하였다.

제작된 재배홈통 반입부의 모습을 그림 2-25에 나타내었다.

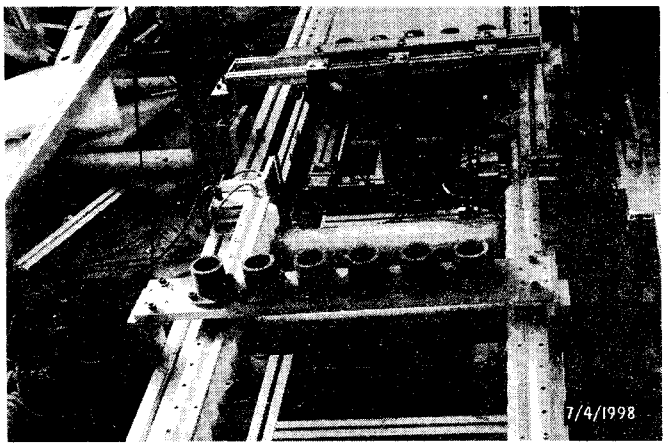


Fig. 2-25 재배홈통 반입부

나. 재배홈통 이송부

재배홈통을 한 줄씩 앞으로 이송하는 부분이다. 이 재배홈통 이송부는 자유롤러, 가이드, AC 서보모터, 공압실린더 및 선형운동 가이드로 구성되어 있다.

재배홈통을 이송할 때 재배홈통과의 마찰을 줄이기 위하여 자유롤러를 이송부 중간에 여러 개 부착하였다. 또한, 재배홈통의 이동 경로를 제한하기 위해 플라스틱 롤러들로 구성된 가이드를 부착하였다.

재배홈통의 이송은 AC 서보모터를 이용하여 정확한 간격만큼 이동할 수 있도록 하였다. 재배홈통의 이송은 재배홈통 잡이 실린더를 이식부, 영상처리부, 보식부 등 3 부분에 설치하여 재배홈통의 위치에 맞는 부분의 실린더를 작동시켜 재배홈통을 잡은 후 모터를 이용하여 재배홈통의 위치를 한 줄 전진시킨다. 그 후 재배홈통 잡이 실린더가 재배홈통을 놓아주고 모터를 이용하여 재배홈통 이송부를 후퇴시켜 일련의 작업을 끝낸다. 재배홈통 잡이 실린더가 재배홈통을 놓아줄 때 하단에 설치된 자유롤러에 의해서 재배홈통의 위치가 변경되는 문제가 발생하였기 때문에 재배홈통 고정 실린더를 부착하여 재배홈통 잡이 실린더가 재배홈통을 놓아주기 전에 재배홈통을 잡도록 하여 롤러에 의해 발생되는 미끄러짐 현상을 제거하였다.

재배홈통 이송부의 설치 모습은 그림 2-26과 같다.

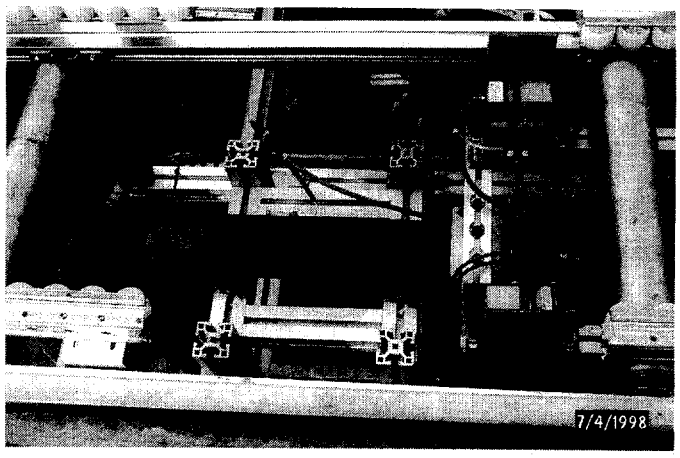


Fig. 2-26 재배홈통 이송부의 외형

재배홈통 이송부의 이동은 AC 서보모터(Yaskawa, Japan)를 이용하여 구동하였다. 이 AC 서보모터는 LM가이드 유닛(KR3310A)를 이용하여 움직이도록 하였다. LM 유닛은 행정 400mm, 피치 10mm로 구성되어 있다. 재배홈통 잡이 실린더는 모두 행정이 10mm인 박형실린더를 이용하였으며, 실린더가 재배홈통을 가능한 강력하게 잡을 수 있도록 재배홈통을 잡는 부분에 실리콘 고무를 부착하였다. 재배홈통 고정 실린더도 박형 실린더를 이용하여 구성하였으며, 재배홈통 잡이 실린더와 마찬가지로 재배홈통을 잡는 부분에 실리콘 고무를 부착하였다.

다. 재배홈통 배출부

재배홈통 배출부는 이식 및 보식 작업이 수행된 재배홈통을 작물 이동식 재배장치로 거네주는 역할을 한다. 이 재배홈통 배출부의 구성은 재배홈통 이송을 위한 컨베이어 및 공압실린더로 구성되어 있으며, 재배홈통의 반입 확인을 위한 광센서를 부착하였다.

이송컨베이어는 상용 체인 컨베이어를 이용하여 제작하였다. 컨베이어의 폭을 400mm로 하여 재배홈통이 60mm일 경우 최대 6개까지 적재할 수 있도록 하였다. 또한 컨베이어 내부에 재배홈통을 반출하기 위한 장치를 부착해야 하므로 컨베이어의 형태를 벨트 컨베이어가 아닌 체인 컨베이어를 이용하였다. 선정된 체인 컨베이어의 명세를 표에 나타내었다.

Table 2-5 컨베이어의 제원

Manufacturer	Ohsung co., Korea
Model	Standard type Chain conveyer
Length	2000 mm
Belt width	400 mm

재배홈통을 반출하기 위한 장치는 재배홈통을 들어올리기 위한 실린더, 재배홈통을 들어올리기 위한 실린더로 재배홈통을 밀기 위한 실린더, 재배홈통을 재배장치로 이송하기 위한 실린더로 구성하였다. 재배홈통의 반출은 재배장치에 가까운 쪽에 있는 재배홈통부터 순차적으로 들어 올려 재배장치로 이송할 수 있도록 하였다.

제작된 재배홈통 반출부의 외형을 그림 2-27에 나타내었다.

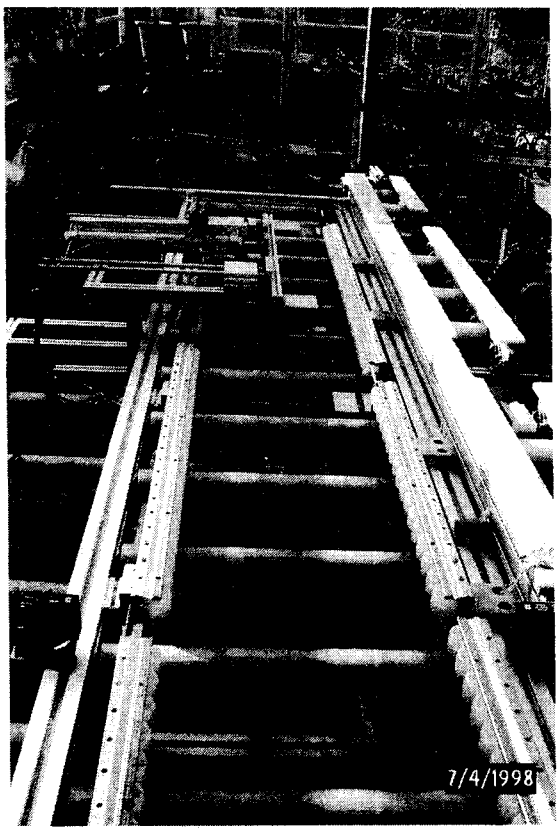


Fig. 2-27 재배홈통 배출부

4. 그리퍼 이동장치

그리퍼 이동장치는 XZ의 직교좌표를 사용하는 로봇을 제작하였다. X축은 그리퍼를 육묘트레이와 재배홈통 사이로 이동할 수 있도록 제작하였으며, Z축은 그리퍼를 상하로 이동할 수 있도록 제작하였다.

X축은 초기위치를 리미트 스위치를 이용하여 파악하였으며, 장치의 오동작을 방지하기 위하여 양끝 단에 리미트 스위치를 부착하였다. 그리퍼 이동장치의 정확한 위치를 움직이기 위하여 AC 서보모터(Takamata, Japan, Driver : Samsung, Korea)를 이용하였다. 그리퍼 이동장치의 부하 능력은 이동장치에 부착되어 있는 주간조절장치와 그리퍼의 무게를 고려하여 선정하였으며, 행정 길이는 육묘트레이와 재배홈통의 크기를 고려하여 제작하였다. AC 서보모터는 선형운동가이드 유닛(RCM-4A)에 의해 이동되며, 이 유닛은 행정거리가 800mm, 피치가 20mm인 스크루를 이용하고 있다.

그리퍼의 상하 운동은 AC서보모터(Takamata, Japan, Driver : Samsung, Korea)를 이용하여 제작하였다. AC 서보모터의 회전운동을 직선운동으로 변환하기 위하여 베어링과 스크루를 이용하여 제작하였다. 또한 그리퍼가 상하 운동을 하기 때문에 브레이크가 장착된 모터를 이용하였다. 사용된 스크루는 행정 300mm, 피치 5mm이다.

핑거의 상승 및 하강은 육묘포트가 육묘트레이 및 재배홈통을 빠져 나와 자유롭게 이동할 수 있는 정도이어야 한다. 육묘포트의 총 높이가 35mm이므로 이를 충분히 들어올릴 수 있도록 그리퍼의 상하 행정이 70mm이상 되도록 제작하였다.

그림 2-28은 그리퍼 이동장치를 나타낸 것이다.

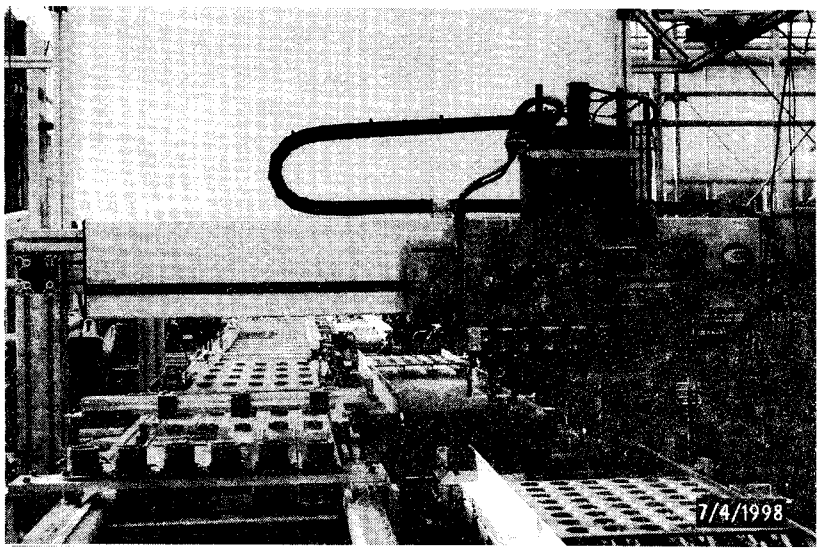


Fig. 2-28 그리퍼 이동장치의 외형

5. 이식 시스템

육묘트레이를 작업영역으로 이송시켜주고 그리퍼에 육묘포트를 옮겨 주기 위한 육묘트레이 이송장치, 재배홈통의 반입 및 반출을 위한 재배홈통 이송장치, 그리퍼를 육묘트레이와 재배홈통 사이를 왕복 이동시키고 그리퍼를 상하로 작동하기 위한 그리퍼 이동장치, 육묘트레이와 재배홈통 간격을 조정하기 위한 주간조절장치 및 육묘포트를 이식하기 위한 그리퍼를 이용하여 이식 시스템을 제작하였다. 제작된 이식 시스템의 외형을 그림 2-29에 나타내었다.

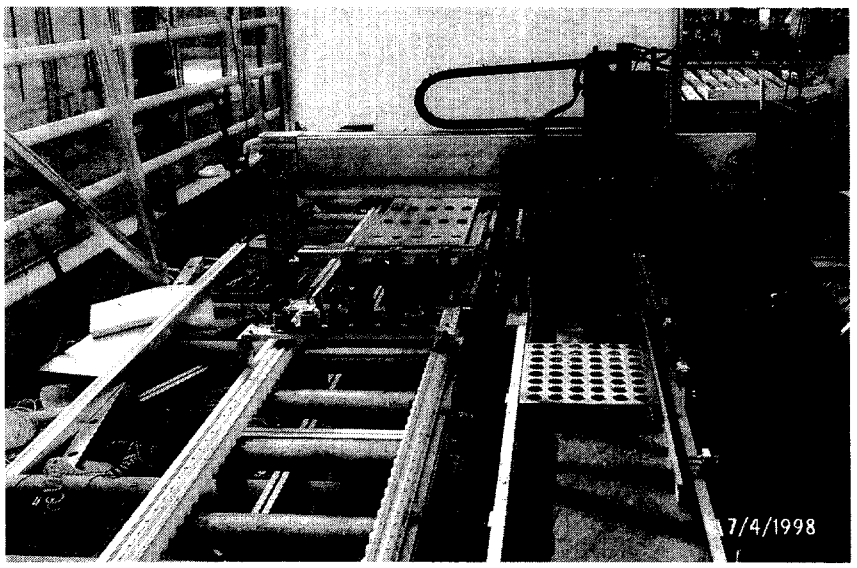


Fig. 2-29 이식시스템의 외형

6. 육묘트레이 플러그묘 이식기

부차적인 연구로서 육묘트레이에 심어진 플러그묘의 이식에 대한 연구를 수행하였다.

일반적으로 이식기에 사용되는 그리퍼의 형태는 크게 위에서 모종을 집는 방법과 밀대(push-out rod)를 이용하여 셀의 밑에서 모종을 밀어내어 그리퍼가 모종을 잡는 방법 등 두 가지 종류로 분류할 수 있다. 특히, 모종을 집는 방법은 모종을 하나씩 이식하는 경우에 많이 사용하고 있어 영상처리 장치와 결합하여 보식을 목적으로 하는 경우에 자주 이용되는 방식이다.

본 연구에서 사용된 밀대를 이용한 방법은 모종을 집어내는 방법에 비해 육묘트레이를 개조하여야 하며, 장치가 다소 복잡해지고, 밀대로 모종을 밀어낼 때 모종이 쓰러지기 쉽고, 배지가 부서질 수 있는 단점이 있으나, 뿌리 발육에 장해가 적으며, 모종을 육묘트레이에서 분리하기 쉽고, 특히, 다수의 그리퍼를 이용한 이식장치의 개발이 용이한 장점이 있다.

본 연구의 목적은 다수의 그리퍼를 이용하여 육묘트레이 간에 모종을 이식할 수 있으며, 여러 가지 육묘트레이에 대해서 적용이 가능한 그리퍼 및 이식장치를 개발하기 위한 것이다.

1) 육묘트레이 플러그묘 이식 시스템의 비교

Table 2-6 육묘트레이묘 이식시스템 비교

	위에서 잡는 방법	밀대를 이용하는 방법
장점	· 제작이 간편하다 · 육묘트레이를 개조 할 필요가 없다.	· 뿌리 발육에 덜 민감하다. · 모종을 육묘트레이에서 분리하기 쉽다.
단점	· 모종이 옆으로 자란 경우 모종에 상해가 많다. · 뿌리 발육이 이식성능에 큰 영향을 준다. · 모종을 육묘트레이에서 분리하기 위한 그리퍼 파지력의 증대 및 분리시 육묘트레이를 잡아 주어야 한다. · 모종을 다른 육묘트레이로 이식할 때 잎이 걸리는 문제를 보완하여야 한다.	· 육묘트레이를 개조하여야 한다. · 장치가 복잡해진다. · 밀대를 이용하여 모종을 밀 때 모종이 쓰러지기 쉽고, 배지가 부서질 수 있다.

2) 그리퍼

그리퍼는 이식 대상인 모종을 직접 다루는 장치로 모종을 잡고 이식하는 일련의 과정은 공압 시스템을 이용하여 구성하였다.

그리퍼는 직접 모종을 잡고 이식하는 핑거와 육묘트레이 셀의 크기에 따라 그리퍼 사이의 간격을 조절할 수 있도록 그리퍼 주간 조절장치로 구성하였다. 모종을 잡고 이동하는데 육묘트레이 셀에 남아있는 모종과 이식하는 모종에 상해를 주지 않도록 상하 운동을 위한 공압실린더와 그리퍼의 전·후진을 위한 공압실린더로 구성하였다.

핑거의 작동은 공압실린더의 왕복운동을 4절 링크를 이용하여 핑거 끝단을 좌우 병진운동을 하여 육묘트레이에서 모종을 잡을 수 있도록 하였다. 또한, 작업의 효율성을 위하여 5개의 그리퍼로 구성하여 1회 이식할 때 5개의 모종을 동시에 이식할 수 있도록 구성하였다. 제작된 그리퍼의 작동 모습을 아래 그림에 나타내었다.

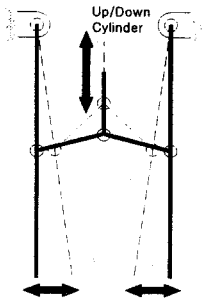
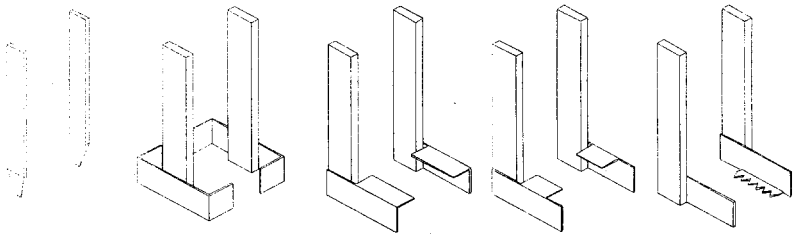


Fig. 2-30 핑거작동
메커니즘

본 연구에서 이용된 핑거는 아래 그림과 같다. (a)는 밀대를 이용하지 않고 직접 위에서 모종을 집어내는데 이용한 핑거이며, (b)에서 (d)는 모종을 잡는데 모종이 쓰러지지 않도록 제작된 핑거이며, (e)는 핑거를 이용하여 배지를 잡을 수 있도록 약간의 돌기를 부착한 핑거로 5가지 종류를 이용하여 비교실험을 수행하였다.



(a) (b) (c) (d) (e)

Fig. 2-31 제작된 핑거의 형태

그림 2-(b)는 밀대를 이용하여 모종을 육묘트레이에서 분리할 때 밀대가 상승하면서 모종을 밀어올림과 동시에 위쪽에 있는 무게중심으로 인하여 모종이 쓰러지는 현상이 발생하였기 때문에 이를 방지하기 위하여 핑거 주위에 ㄷ자형의 가이드를 부착한 형태이다. 그림 2-(c)는 ㄷ자형 핑거가 주위의 모종을 잡고 올라오는 경우와 모종을 육묘트레이로 이식할 때 ㄷ자 가이드에 잎이 달라붙는 문제가 발생하여 이를 해결하기 위해 그리퍼의 운동을 앞뒤로 이동할 수 있도록 하고, 핑거를 ㄱ자 형태로 제작한 형태이다. 그림 2-(d)는 위의 핑거가 모종이 분리되지 않는 문제는 해결하였으나, 핑거의 턱에 걸려 모종이 밖

으로 밀려 나와 그리퍼가 못 잡는 경우가 발생하여 그리퍼가 전진할 때 모종이 밖으로 밀어내지 않는 형태로 제작한 것이다. 그림 2-(e)는 모종을 육묘트레이에서 분리할 때 핑거 끝단의 돌기를 이용하여 모종을 잡을 수 있도록 설계한 것이다.

아래 그림3은 그리퍼 전체적인 형상을 나타낸 그림이다.

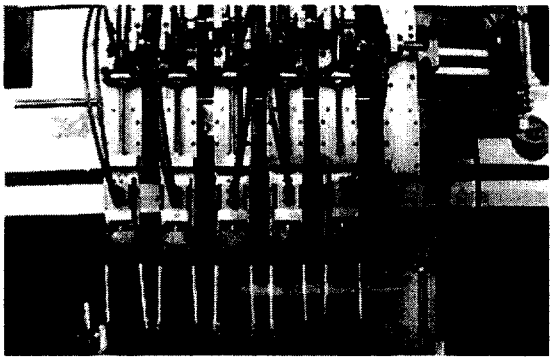


Fig. 2-32 제작된 그리퍼의 형태

3) 모 자동공급장치

모 자동공급장치는 육묘트레이를 초기 위치로 이동 및 초기 위치 지정을 하며, 이식 작업 중에는 육묘트레이의 이송을 위한 장치이다. 자동공급장치의 구성은 어린 모종이 들어 있는 육묘트레이에는 지지대 및 육묘트레이 이송장치와 모종을 육묘트레이에서 분리하기 위하여 밀대 이동장치로 구성되었으며, 이식할 육묘트레이에는 지지대와 육묘트레이 이송장치로 구성하였다. 이들 장치들은 모두 공압실린더를 이용하여 구성하였다.

육묘트레이의 이송은 육묘트레이 이송을 위한 공압실린더와 육묘트레이를 잡기 위한 공압실린더 등 2종류의 실린더로 구성하였다. 육묘트레이를 잡기 위한 공압실린더에는 정지장치를 부착하여 육묘트레이의 초기위치를 지정하고 또한, 육묘트레이 하단 부의 홈에 이 정지장치가 끼면서 육묘트레이를 전진시킨다. 육묘트레이의 이송과정은 정지장치를 이용하여 육묘트레이의 초기위치를 잡고 정지장치 하강, 정지장치 후퇴, 정지장치 상승과 동시에 육묘트레이를 잡고 정지장치가 전진하면서 육묘트레이를 차례로 한 줄씩 이송하는 일련의 과정을 통해서 육묘트레이를 전진시킨다.

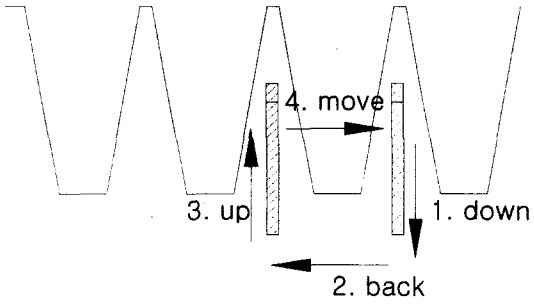


Fig. 2-33 묘 자동공급장치의 작동원리

이식할 모종이 들어오는 이송부에는 육묘트레이의 무게로 인하여 마찰력이 증대되어 육묘트레이 이송장치의 공압실린더만으로는 전진 이송이 제대로 이루어지지 않아 마찰력을 최소화하기 위하여 육묘트레이 반입단에 경사(15° 정도)를 주었다.

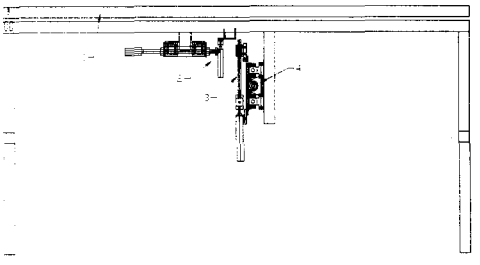


Fig. 2-34 묘자동공급장치(측면도)

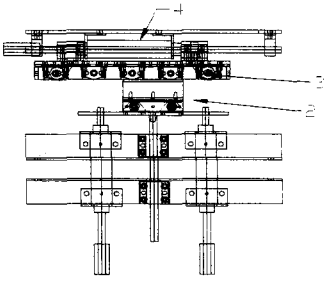


Fig. 2-35 묘자동공급장치 (정면도)

1. 프레임
2. 육묘트레이 이동 실린더
3. Push-out rod
4. Push-out rod 이동 실린더

육묘트레이에서 모종을 분리시키는 방법은 밀대를 이용하여 수행하였다. 밀대가 육묘트레이 하단부 즉, 물 빠지는 구멍부분(약 지름 12mm 정도)에 들어가면서 모종을 육묘트래이에서 밀어내어 끄집어낸다. 이때 그리퍼는 배출된 모종을 잡아 이식할 수 있도록 제작하였다. 또한, 그리퍼는 크기 제약에 의해 모종을 하나씩 건너뛰어 잡을 수 있도록 제작하였으며, 밀대는 200공 육묘트레이에서 50공 육묘트레이로 이식할 때 두 부분의 위치로 이

동할 수 있어야 하므로 밀대 이동장치를 이용하여 핀이 좌우로 이동할 수 있도록 하였다. 제작된 모 자동공급장치를 그림 2-36에 나타내었다.

Fig. 2-36 Push-out rod

4) 제어기

시작기를 작동하기 위하여 모터 구동을 위한 모터 구동제어기와 공압실린더를 구동하기 위한 I/O 인터페이스 보드를 제작하였다. 또한, 이들 전체를 구동하기 위하여 주프로그램을 제작하였다. 제작된 제어기의 구성은 다음 그림 2-37과 같다.

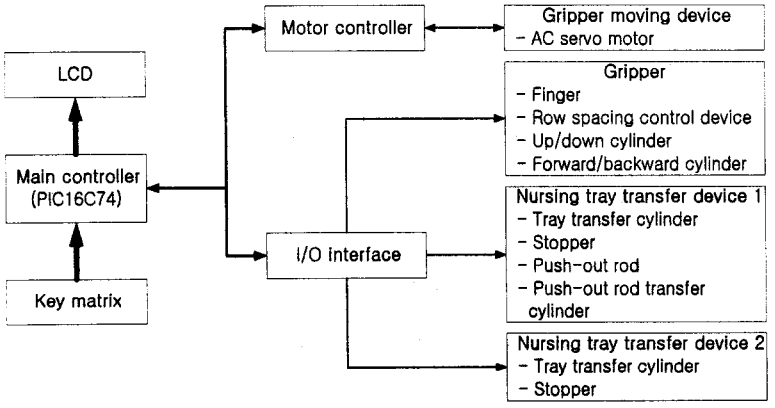


Fig. 2-37 육묘트레이묘 이식기의 제어장치 구성도

I/O 인터페이스 보드는 직렬 쉬프트레지스터와 전기적 절연을 위한 포토커플러를 이용

하여 솔레노이드 밸브구동 출력 및 스위치 신호 입력 장치를 구성하였으며, 모터 구동제어기는 PIC16C74 원칩 마이크로프로세서를 이용하여 모터 구동 펄스를 위하여 8254를 이용한 펄스 발생기와 모터 위치 파악을 위한 카운터를 이용하여 구성하였다. 또한, 모터 구동제어기와 주 제어기간에는 직렬 동기 전송을 수행하였다.

제작된 제어기를 이용한 작업 흐름도는 그림 2-38과 같다.

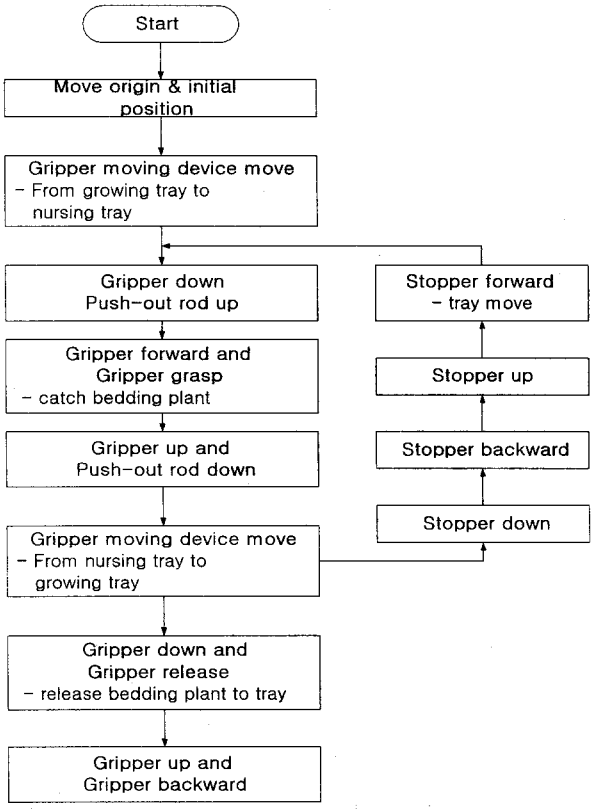


Fig. 2-38 육묘트레이묘 이식기의 작업흐름도

이식 작업은 그림 2-39와 같이 (a)에서 (f)까지 하나의 주기로 이루어진다. 그리퍼를 하강한 후 전진하여 핑거를 모종에 접근시키고(a) 밀대를 위로 밀어 모종을 육묘트레이에서 분리한 후 핑거로 모종을 잡는다(b). 밀대가 아래로 내려가고 그리퍼가 상승하면서 모종을 들어올린다(c). 또한, 밀대가 하강한 후 밀대의 위치를 옮긴다. 그리퍼이동장치를 이동

하여 이식할 육묘트레이 쪽으로 그리퍼를 옮긴 후(d), 그리퍼를 하강하고(e), 핑거가 모종을 놓고 그리퍼가 후퇴하면서(f) 모종을 이식한다. 그리퍼를 상승시키고 다음 이식할 모종의 위치로 이동하면 1회 작업이 끝난다. 이 때 모종이 이식되는 육묘트레이는 (d)-(f)작업 사이에, 이식할 모종의 육묘트레이는 (a)-(c)작업 사이에 이동한다.

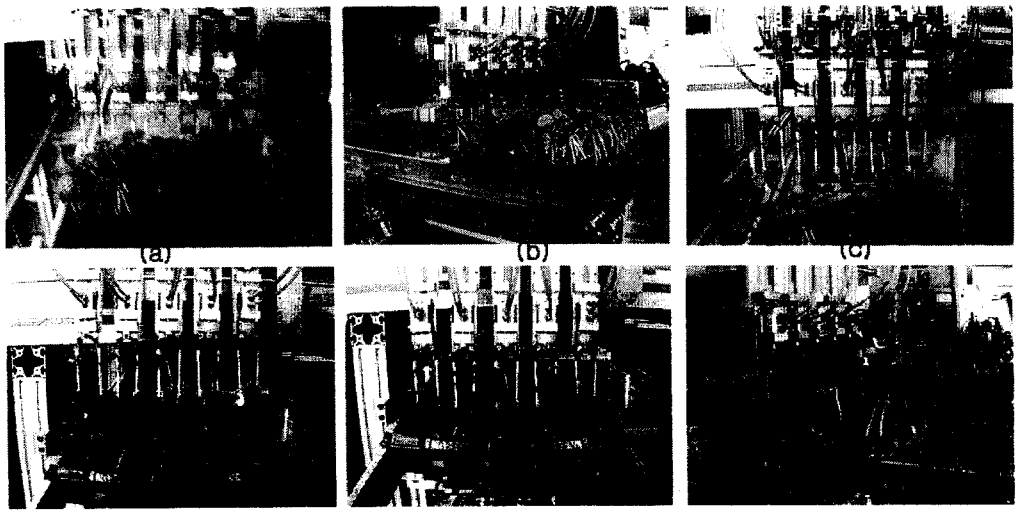


Fig. 2-39 육묘트레이묘 이식기 작업모습

5) 시작기

앞에서 언급한 그리퍼 및 육묘트레이 자동공급장치와 그리퍼를 육묘트레이 간 이동시키기 위한 그리퍼 이동장치 및 이를 구동하기 위한 제어기를 이용하여 시작기를 제작하였다. 제작된 시작기는 200공 육묘트레이에서 50공 육묘트레이로 모종을 이식하는 형태를 기본 모델로 삼았다. 다른 규격의 육묘트레이에도 적용될 수 있도록 육묘트레이 공급장치 하단에는 밀대 이동장치를 부착하였으며, 그리퍼에 주간조절장치를 부착하여 제작하였다. 또한, 시작기를 간단한 형태로 제작하기 위하여 밀대 끝단에 복잡한 형태의 모종 밀어내는 기구를 사용하지 않고 단순히 그리퍼를 전진/후퇴하면서 잡을 수 있도록 제작하였다. 제작된 시스템의 외형을 그림 2-40에 나타내었다.

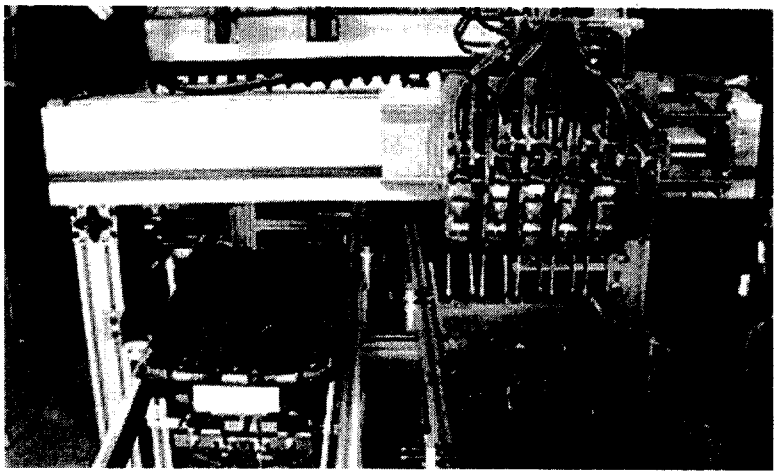


Fig. 2-40 육묘트레이묘 이식기

4절. 보식기 설계 및 제작

전체 시스템의 구성을 그림 2-41에 나타내었다.

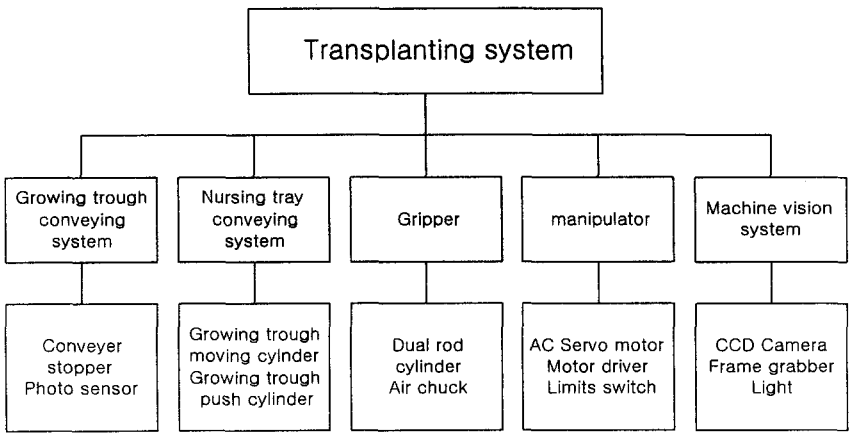


Fig. 2-41 보식시스템의 구성도

로봇의 형식에는 직교형 로봇과 수평다관절 로봇, X-Y 직교형 로봇이 있는데, 직교형 로봇은 수평다관절 로봇에 비해 장애물 회피에 어려움이 있고 많은 설치 면적을 차지하는 단점이 있으며, X, Y, Z 3축의 직교좌표계를 이용하므로 위치 제어가 쉽고 제작비용이 저렴한 장점이 있다. 수평다관절 로봇은 위치 제어가 어려운 단점이 있고, 장애물 회피가 쉽고 설치 공간이 직교형 로봇에 비해 상대적으로 적은 장점이 있다. X-Y 직교형 로봇은 공간을 효율적으로 이용할 수 있으며 육묘트레이와 재배홈통이 같은 높이의 2차원 평면상에 위치하여 제어가 편리한 장점이 있다. 또한, 규격화된 육묘트레이와 재배홈통을 이용하여 각각의 축이 일정한 좌표에서 움직이기 때문에 시스템에 어떠한 장애물도 존재하지 않는다.

따라서, 본 연구에서는 X-Y 직교형 로봇을 이용하여 그러퍼를 움직일 수 있도록 제작하였다.

1. 육묘트레이 이송장치

가. 육묘트레이 이송장치의 구성

육묘트레이 이송장치는 컨베이어를 이용하여 육묘트레이를 영상처리장치에 공급하고 영상처리가 끝난 육묘트레이를 보식 시스템의 기준위치에 공급하도록 구성하였다. 육묘트레이 이송장치는 정지장치, 컨베이어, 광센서를 이용하여 제작하였다.

1) 컨베이어

컨베이어의 제원을 표 2-7에 나타내었다.

Table 2-7 컨베이어의 제원

Manufacturer	Ohsung co. Korea
Length	1800㎜
Motor	40W
Transfer ability	40kg/length
Belt width	300㎜
Transfer velocity	1~50 m/min

컨베이어에 가이드를 부착하여 재배홈통이 이송될 때 좌·우로 흔들리는 것을 방지하고 그리퍼가 작업을 할 때 재배홈통을 지정된 위치에 고정시켜주는 역할을 하도록 구성하였다. 컨베이어의 길이는 이식 후에 배출되는 육묘트레이가 충분히 빠져나가고 보식 시스템에 공급되는 육묘트레이가 반입되는 공간을 최대로 확보할 수 있도록 선정하였다.

2) 정지장치

영상처리장치 부분에 사용된 육묘트레이 정지장치는 영상처리에 필요한 좌표계의 좌표기준을 정확하게 잡기 위해 사용되었고 보식 작업부분에 상용된 정지장치는 육묘트레이의 기준 위치설정과 육묘트레이가 보식 작업 중에 흔들리는 것을 방지하기 위한 고정장치로 사용되었다. 육묘트레이 정지장치는 공압실린더(행정길이 200mm)와 베어링가이드를 이

용하여 제작하였다. 제작한 정지장치는 그림 2-42와 같다.

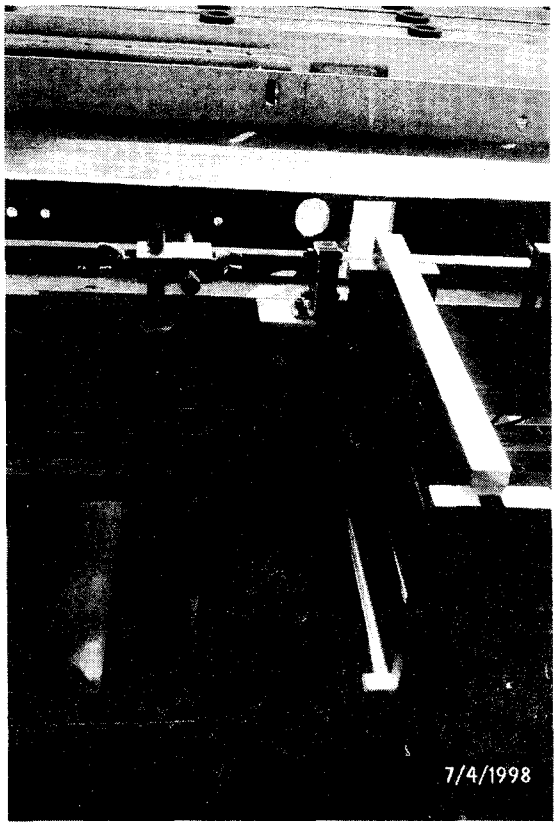


Fig. 2-42 정지장치의 외형

3) 광센서

보식 시스템에서 작동하는 육묘트레이 정지장치는 보식 후 육묘트레이가 빈 육묘트레이로 나가지만 영상처리부의 육묘트레이 정지장치는 모종이 들어있는 상태로 전진하기 때문에 공압실린더를 첨가하여 모종의 잎이 정지장치에 부딪혀 상처를 입지 않도록 시스템을 구성하였다. 시스템에 부착된 광센서의 제원을 표 2-8에 나타내었다.

Table 2-8 광센서의 제원

제작사	Autonics
모델명	BY500-TDT
검출방식	투과식
검출거리	최대 0.5 m
사용광원	적외선 발광 다이오드(변조식)
전원 전압	DC 12 ~ 24V
제어출력	NPN 오픈컬렉터

또한, 박형 실린더와 광센서를 이용하여 영상처리 장치와 보식 시스템의 기준위치에 정확하게 육묘트레이가 멈출 수 있도록 제작하였다. 육묘트레이 정지장치에 광센서를 부착한 모습을 그림 2-43에 나타내었다.

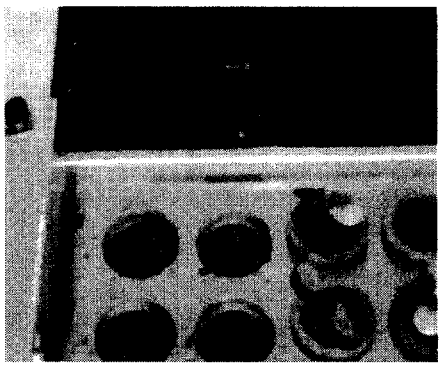


Fig. 2-43 광센서 부착모습

2. 재배홈통 이송장치

재배홈통 이송장치는 이식장치의 재배홈통 이송장치와 연결되어 사용할 수 있도록 하였다. 재배홈통 이송장치 이식장치에서 논의한 내용과 같다.

3. 머니퓰레이터

머니퓰레이터는 AC 서보모터 2개와 선형운동 가이드를 이용하여 구성하였다. 리미트

스위치를 부착하여 서보모터의 작동범위를 제한하였다. X축 AC 서보모터 구동부의 반대편 프레임에 X축이 작동할 때 진동을 최소화시켜 그리퍼가 작동하는데 문제점이 없도록 선형운동 가이드를 부착하였다.

X축의 행정길이는 육묘트레이 길이(340mm) 및 재배홈통의 포트간의 간격(147mm)을 고려하여 보식작업 영역 내에서 재배홈통의 포트 5개(735mm)까지 작업할 수 있는 길이로 선정하였고 선정된 길이에 맞게 1000mm 행정을 갖는 미끄럼대를 부착하였다. Y축은 프레임 양단의 길이(840mm) 및 육묘트레이의 너비(260mm)와 재배홈통의 너비(60mm)를 고려하여 선정하였고 선정된 길이에 맞게 800mm 축을 이용하여 직선운동을 하도록 구성하였다. X, Y축에 사용된 슬라이드의 외형과 제원을 각각 그림 2-44와 표 2-9에 나타내었다.

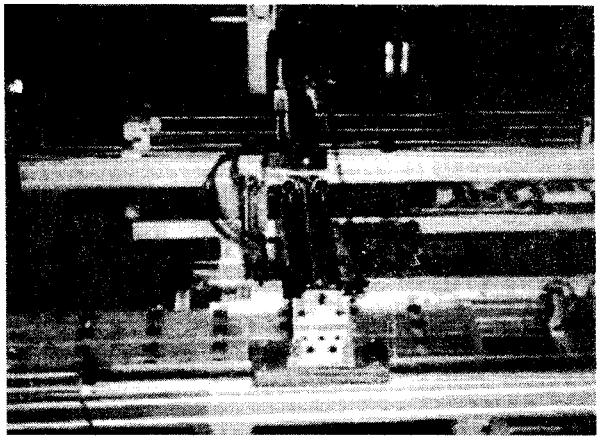


Fig. 2-44 XY 직교좌표형 로봇의 외형

Table 2-9 X-Y축의 제원

Axis	Model	Power (W)	Stroke (mm)	Payload (kg)	Max. velocity (mm/s)
X	SLA-13-M100-802	80	1000	11	600
Y	SLA-10-M80-402	40	800	6.1	600

시스템의 구성에 사용된 리미트 스위치의 제원과 외형을 표 2-10과 그림 2-45에 나타

내었다.

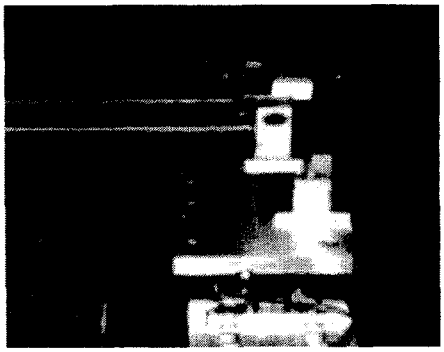


Fig. 2-45 리미트스위치 부착 모습

Table 2-10 리미트스위치의 제원

Manufacturer	Han young
Model	HY-P701A
Power source	10A-250V
Output mode	Relay
Damping	10㎜

4. 그리퍼 및 핑거

가. 핑거의 설계 및 제작

핑거는 작업대상인 육묘포트와 직접적으로 접촉하는 부분으로 육묘포트를 잡고 보식이 필요한 부분까지 이동하는 동안 육묘포트를 놓치지 않도록 탄성을 가져야 한다. 특히, 작업환경이 온실이거나 육묘공장, 또는 식물공장이기 때문에 내부식성과 내환경성을 가지는 재질로 구성하였으며 좁은 공간에서도 작업이 가능하도록 구성하였다.

본 연구에 사용된 핑거는 알루미늄 판을 고무로 코팅하여 육묘포트를 잡거나 이동할 때 육묘포트를 놓치지 않도록 하였다. 재배홈통에서는 핑거가 작업하는 공간상의 아무런 제약이 없지만 육묘트레이에서는 핑거가 작업하는데 공간상의 제약을 받는다. 포트의 직경이 34mm일 때 육묘트레이에서 핑거가 작업 가능한 영역은 최대 45㎜이고, 45도 회전시킬 때는 56.6㎜이다. 핑거가 부착된 에어척이 벌어질 때 양끝 단의 최대 간격은 38㎜이고 최소 간격은 양 끝단에서 30㎜이다. 그리퍼의 치수 및 실제 그리퍼의 작업공간을 그림 2-46에 나타내었다.

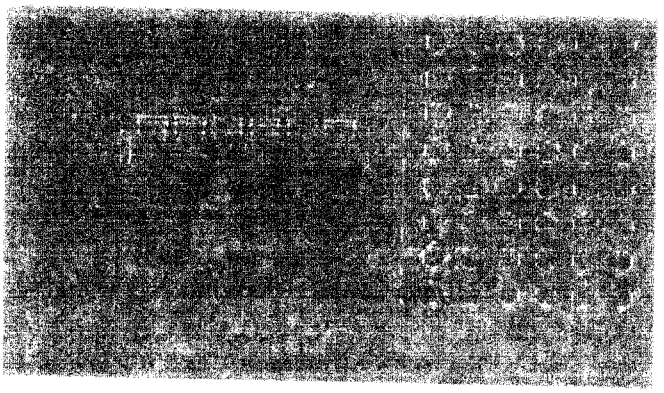


Fig. 2-46 그리퍼의 작업공간

본 연구에서 사용된 핑거의 외형을 그림 2-47에 나타내었다.

Fig. 2-47 핑거의 외형

나. 그리퍼의 설계 및 제작

그리퍼는 2중 얇은 막대형 실린더 및 에어척을 이용하여 육묘포트 공급 및 제거용에 사용할 수 있도록 구성하였다. 육묘포트 공급용과 육묘포트 제거용 그리퍼를 동일하게 만들어 작업이 순차적으로 진행될 때 모종에 가능한 손상을 주지 않도록 제작하였다. 육묘포트 공급시 그리퍼는 영상처리 결과 육묘트레이에 정상묘로 판단된 육묘포트를 재배홈통에서 불량묘로 판단된 육묘포트 위치에 옮겨 심는 작업을 한다. 육묘포트 제거시 그리퍼는 영상처리 결과 재배홈통에서 불량묘로 판단된 육묘포트를 육묘포트 공급용 그리퍼가 작업할 수 있도록 제거하고 제거된 육묘포트를 다시 육묘트레이로 옮겨 놓는 작업을 수행

한다. 에어척과 핑거가 이동작업 도중에 흔들리거나 회전하지 않게 하기 위하여 2중 얇은 막대형 실린더를 이용하였고 제작된 핑거와 그리퍼의 실제 외형을 그림 2-48에 나타내었다.

Fig. 2-48 보식그리퍼의 외형

핑거가 재배홈통에서 육묘포트에 수직으로 작업할 경우 공간이 좁아서 육묘포트에 부딪치는 경우가 발생하므로 알루미늄 앵글을 이용하여 핑거를 45도 회전시켜서 작업하였다. 그리퍼 제작에 사용된 에어척 및 실린더의 제원은 표 2-11과 표 2-12에 나타내었다.

Table 2-11 에어척의 제원

Manufacturer	SMC
Model	SHQ2-16D
Stroke	6㎜
Inner dia. of tube	16㎜
Operation pressure	1~6kg$_f$/㎠
Weight	121g$_f$

Table 2-12 양로드 실린더의 제원

Manufacturer	PROTEC
Model	PT-12-B-50
Stroke	50㎜
Inner dia. of tube	12㎜
Operation pressure	3~7kgf/㎠
Speed	30~300㎜/s

2중 얇은 막대형 실린더의 끝단에 부착된 에어척이 포트를 잡고 작동할 때 간섭이 일어나지 않도록 실린더의 간격을 46㎜로 하였다.

5. 보식 로봇 시스템

가. 보식 로봇 시스템의 구성

기존의 이식 시스템에 추가되어진 보식 시스템은 크게 재배홈통 이송장치, 육묘트레이 이송장치, X·Y축 이송장치, 그리퍼 및 핑거, 영상처리장치, 제어기로 구성되어 있고 그 대략적인 외형은 그림 2-49와 같다.

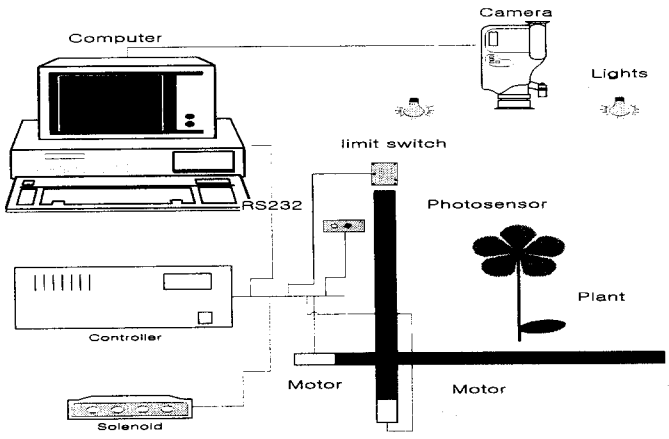


Fig. 2-49 보식시스템의 개용도

이식 시스템의 작업 후 배출되는 육묘트레이를 처리하고 보식 시스템의 육묘트레이를 공급 할 수 있는 공간과 보식 시스템에서 작동하는 X, Y축 직교좌표 로봇의 작동공간을 확보하여 이식작업과 보식작업이 순차적으로 원활하게 진행될 수 있도록 장치를 구성하였다. 또한, 보식작업이 이식시스템의 작업에 미치는 영향을 최소화하도록 제작하였으며 보식작업이 누적되었을 경우 이식작업을 일시적으로 중지시켜 원활한 작업이 진행될 수 있도록 장치를 구성하였다.

본 연구에서 제작한 육묘포트용 보식 시스템의 전체외형은 그림 2-50에 나타내었다.

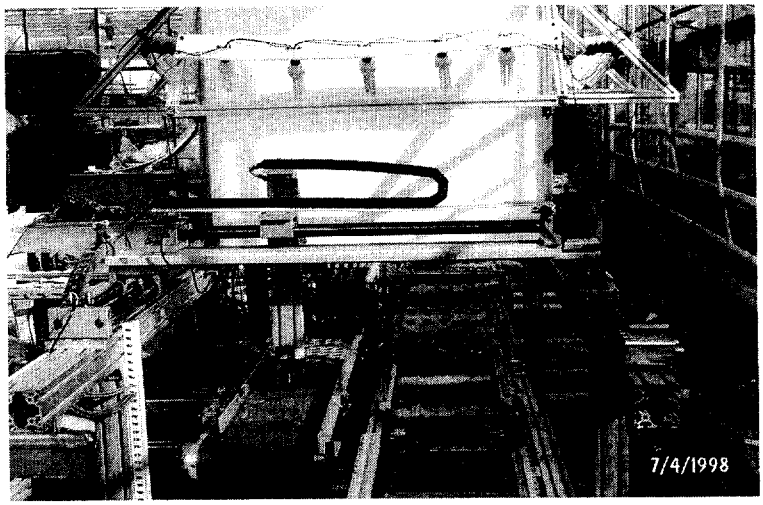


Fig. 2-50 보식시스템의 외형

5절. 보식 영상처리장치 개발

본 연구에서 사용된 기계시각 시스템은 1차 이식작업을 거친 재배홈통 및 보식작업에 공급되는 육묘트레이의 영상을 획득하여 결주 및 불량묘의 유무를 판정하는데 목적이 있다. 영상처리 장치는 영상처리장치 프레임, 칼라 CCD 카메라, 프레임 그래버, 3파장 형광등, 퍼스널 컴퓨터로 구성하였다.

1. 영상처리 장치의 구성

가. 영상 획득 및 제어 장치

영상처리 장치는 육묘트레이와 재배홈통의 영상을 획득하기 위한 장치로 카메라 헤드라고 불리는 픽업장치와 카메라 제어장치로 분리되어 있다. 영상 획득 장치의 제원과 카메라 제어장치의 제원을 표 2-13과 표 2-14에 나타내었다.

Table 2-13 영상획득장치의 제원

Manufacture	Panasonic, Japan
Model	GP-KS162HD
Dimensions	17 ㎜(Dia.) × 36.8 ㎜(L)
Weight	16g
Interline	1/2 inch
CCD image sensor resolution	786 (H) × 492 (V) pixels
Signal to noise ratio	50 dB
Ambient temperature	-10℃ ~40℃

Table 2-14 카메라 제어장치의 제원

Model	GP-KS162CUD, Panasonic, Japan
Dimensions	120㎜(W) × 36㎜(H) × 157㎜(D)
Weight	550g
Power source	12 VDC, 300㎃
Minimum scene illumination	3 lux
Video output	1.0 Vp-p/75 ohms, composite video
Scanning system	2 : 1 interlace
Synchronization	internal sync only
White balance	Auto Tracing White Balance(ATW) Auto White Balance Cintrol(AWBC)
Gain control	auto light
Ambient temperature	-10℃ ~ 50℃

나. 영상처리용 인터페이스 보드

카메라에서 획득된 영상신호는 영상처리용 인터페이스 보드를 통해 컴퓨터로 입력된다. 본 실험에서 사용된 영상처리 보드는 Matrox사의 Matrox Meteor Frame Grabber로, 내부에 영상 접속부(Video Source Interface), 영상 저장부(Frame Memory), 출력논리 조작부(Display Logic) 및 주컴퓨터와의 접속부(Host Computer Interface)로 구성되어 있고, 그 제원을 표 2-15에 나타내었다.

Table 2-15 영상처리장치의 제원

Model	Matrox Meteor
Interface	PCI 32 bit
Display resolution	640 × 480
Transfer image time	45MB/s
Video input	4 channel
Pixel jitter	±3ns (typical)
Relative humidity	up to 95% (non-condensing)
Software	MIL-Lite version 3.1

다. 광원장치

광원으로는 20W 삼파장 형광등을 사용하였다. 영상처리장치 프레임에 아크릴 판을 부착하여 직광에 의해 알루미늄으로 제작된 재배홈통이 빛을 반사하는 것을 막았다. 또한, 균일한 영상을 획득하기 위하여 영상처리 장치 프레임의 4면에 균일하게 삼파장 형광등을 부착하였고 프레임 가장 자리에 발생하는 어두운 부분이 없도록 영상처리 상부에 삼파장 형광등을 부착하였다. 제작된 영상처리장치의 외형을 그림 2-51에 나타내었다.

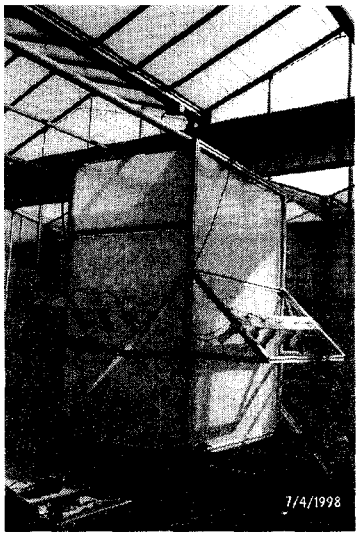


Fig. 2-51 광원장치

2. 영상처리 방법 및 알고리즘

가. 영상처리 방법

RGB 모델에서 각 색들은 빨강, 초록, 파랑의 기본 스펙트럼 성분들로 나타난다. 이 모델은 직교 좌표 시스템에 기초해서 이루어진 입방체의 세 꼭지점을 나타낸다. 검정색은 원점, 그리고 흰색은 원점에서 가장 먼 꼭지점이다. 색은 원점으로부터 확장되는 벡터로 정의되는 정육면체 상이나 또는 안쪽의 점이다. 편의를 위하여, 모든 색 값은 정규화 되었고, 벡터로 정의되는 정육면체를 단위 정육면체라고 가정하면 모든 R, G, B 값의 범위는 [0,1]로 가정한다. RGB 색 모델에서의 영상은 각 원색 당 하나씩 모두 3개의 독립적

인 영상 평면으로 구성되어 있다. 모니터에서 RGB 영상은 인광체 스크린에 결합되어 복합색 영상을 만든다. 따라서 영상처리를 위한 RGB모델의 사용은 영상 자체 값들이 3개의 색 평면으로 자연스럽게 표현될 때 온당하며 디지털 영상을 얻기 위해 사용된 대부분의 색채 카메라들이 RGB 형식을 사용하고 있다. 따라서, 색채영상을 이용하여 육묘포트에 담긴 모종의 결주나 유·무를 판단하기 위해서는 RGB값을 알아야 한다. 본 연구에서 사용되어진 육묘트레이와 재배홈통의 재질이 서로 차이가 나기 때문에 RGB값만으로는 잎의 유무를 판별하기 어려워 RGB값을 HSI값으로 변환하여 각각의 특성을 분석하였다. RGB값을 HSI값으로 변환하기 위해서 아래의 공식을 적용하였다.

$$I=\frac{1}{3}(R+G+B)$$

$$S=1-\frac{3}{R+G+B}[\min(R,G,B)] \qquad (2\text{-}1)$$

$$H=\cos^{-1}\left\{\frac{\frac{1}{2}[(R-G)+(R-B)]}{[(R-G)^2+(R-B)(G-B)]^{\frac{1}{2}}}\right\} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

색상은 순색(순수 노랑, 오렌지, 빨강)을 기술하는 색 특성이고 채도는 순색이 흰빛에 의해 희석된 정도의 척도를 제공한다. HSI 색채 모델의 유용성은 두 가지의 중요한 사실 덕분이다. 첫째, 밝기 성분인 I는 영상에서 색 정보로부터 분리되어 있다. 둘째, 색상과 채도 성분은 사람이 색을 인지하는 방식과 깊은 관계를 가지고 있다. 이러한 특성은 HSI 모델이 인간 시각 시스템의 색채 감지 특성에 기초한 영상처리 알고리즘 개발을 위한 이상적인 도구가 되게 한다. RGB모델을 이용하여 영상의 분리가 용이하지 않을 때 위의 식을 이용하여 HSI모델로 변화시켜 적용하면 영상을 개선할 수 있다. S값을 이용할 때 식에 나타난 값에 256을 곱해서 표시하였다.

나. 영상처리 알고리즘

영상처리 알고리즘은 그림 2-52에 나타내었다.

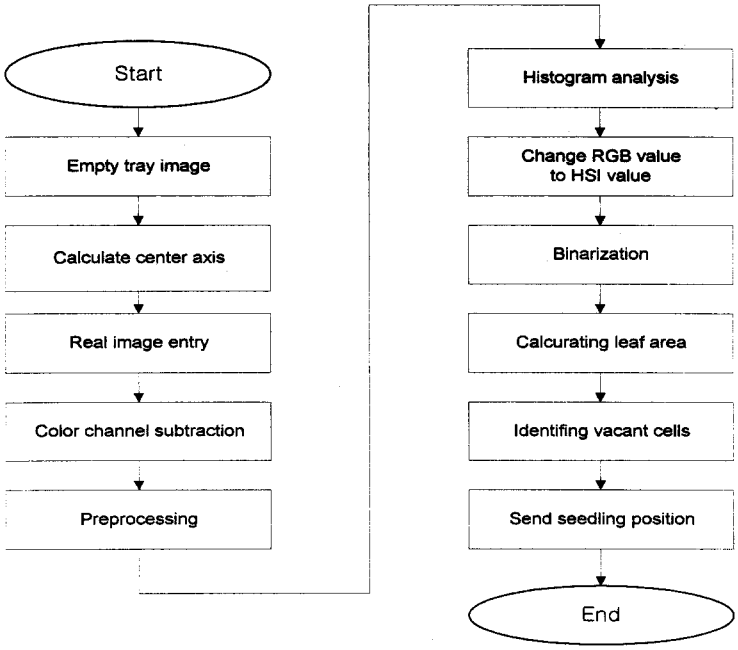


Fig. 2-52 영상처리 알고리즘

먼저, 빈 육묘트레이와 재배홈통을 이용하여 기준좌표에서 각 셀들의 중심좌표를 구하였다. 모가 담긴 육묘트레이와 재배홈통의 영상에서 육묘트레이와 재배홈통을 제외한 영상을 제거하였다. 육묘트레이와 재배홈통의 RGB값을 이용하여 히스토그램을 그리고, RGB값을 다시 HSI값으로 변화시켜 그 중 S값을 이용하여 재배홈통과 육묘트레이의 영상을 이치화시킨다. 이치화된 영상을 이용하여 각 셀에 해당하는 부분을 중심으로 외접하는 사각형을 만들어 엽면적이 사각형에서 차지하는 비율을 이용하여 결주 및 불량묘 또는 육묘포트가 빠진 부분이라고 인식하였다. 엽면적을 이용하여 결주 및 불량묘를 판단한 영상과 중심좌표를 구한 영상을 겹쳐 보식이 필요한 부분의 좌표 데이터를 순차적으로 제어기로 전송하도록 구성하였다.

3. 영상처리

영상의 전처리 방법, 상추와 배경의 강조, 그리고 결주와 불량묘의 판별인자는 시행착오법을 적용하여 경계값을 결정하였으며, 칼라 CCD 카메라를 이용하여 일정부분에서 잎이

차지하고 있는 면적으로 재배홈통과 육묘트레이에 있는 모종의 이상유무를 판단하였다. 먼저, 육묘트레이와 재배홈통의 재질인 PVC와 알루미늄, 배지, 모종에 대한 각각의 영상을 획득하여 RGB 값을 히스토그램으로 그렸다. PVC, 알루미늄, 배지, 모종에 해당하는 각각의 히스토그램을 그림 2-53, 2-54, 2-55, 2-56에 순서대로 나타내었다.

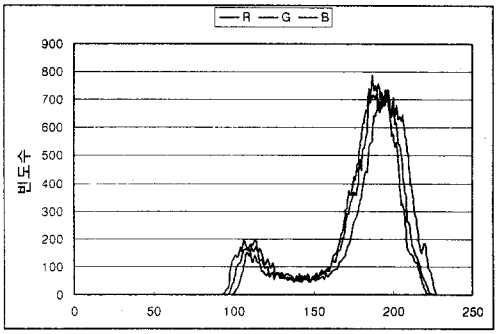


Fig. 2-53 PVC 영상의 히스토그램

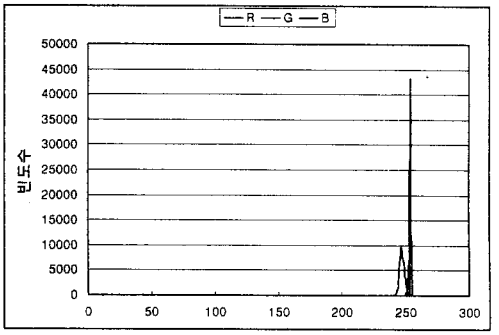


Fig. 2-54 알류미늄 영상의 히스토그램

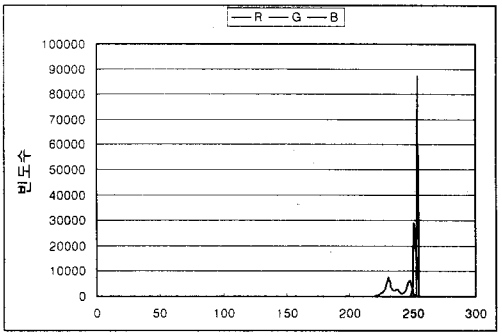


Fig. 2-55. 배지의 히스토그램

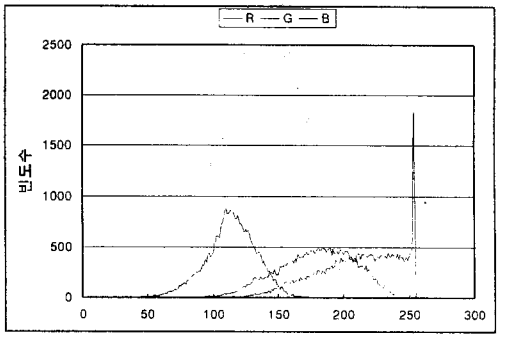


Fig. 2-56 모종의 히스토그램

각각의 재료에 대한 영상의 히스토그램을 보면 재배홈통의 재질인 알루미늄은 거의 모든 이치값이 200 이상에서 나타났고, 육묘트레이의 재질인 PVC의 히스토그램에서는 이치값이 광범위한 양상을 보여주고 있다. 모종의 히스토그램에서는 G값이 200 이상에서 주로 관찰되었고, 상토 역시 광범위한 범위에서 이치값을 나타내고 있었다. 빈 육묘트레이와 재배홈통을 영상처리 장치에 공급하여 영상을 획득하고 각각의 재질이 나타내는 특성치를 이용하였다. 획득된 영상의 R, G, B값을 이용하여 히스토그램을 그렸고, 육묘트레이와 재배홈통의 재질이 차이가 나서 육묘트레이의 영상은 B값의 경계값을 이용하여 이

치화시켰고 재배홈통의 영상은 R값의 영상 데이터를 이용하여 재배홈통을 제거한 후 G값의 경계값을 이용하여 영상을 이치화시켰다. 경계값은 실내의 일정한 조명 아래서 영상처리 작업을 수행하고 있으므로 일정한 경계값을 적용하는 방법을 선택하였다. 이치화된 영상을 이용하여 재배홈통과 육묘트레이에 각각 육묘포트가 들어가는 부분의 중심좌표를 구하여 기준 영상으로 만들었다. 결주에 대한 경계값은 모종의 미숙상태까지 판별할 수 있는 범위까지 설정할 수 있도록 하였다. 영상처리부에 공급된 모종이 있는 육묘트레이와 재배홈통의 영상을 이용하여 히스토그램을 그려보면 그림 2-57과 그림 2-58과 같다.

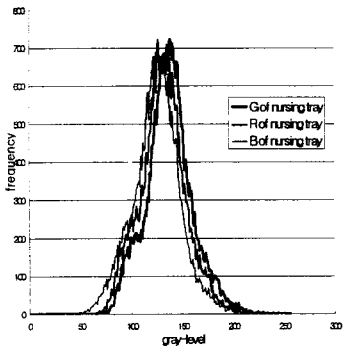


Fig. 2-57 육묘트레이의 히스토그램

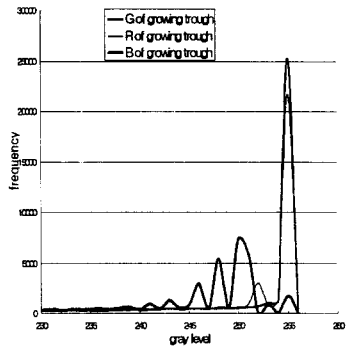


Fig. 2-58 재배홈통의 히스토그램

육묘트레이의 히스토그램을 보면 RGB값이 거의 비슷한 이치값에서 나타나 모종과 육묘트레이 및 상토를 구분하는데 어려움이 있었다. 재배홈통의 히스토그램에서는 R값과 G값이 거의 비슷한 분포를 나타내고 있고 B값만이 조금 다르게 나타났다. 육묘트레이와 재배홈통의 RGB값만으로는 모의 잎을 구분할 수 없어서 획득된 RGB값을 HSI값으로 변환하였다. HSI값을 이용하여 히스토그램을 그려 그 중에 S값으로 영상을 이치화시켜 결주 유무를 판별한 영상에 빈 육묘트레이와 재배홈통을 이용하여 중심좌표를 구한 영상을 겹쳐 불량묘나 육묘포트가 빠진 부분의 좌표점을 읽고, 그 데이터를 X-Y축 직교형 로봇의 구동부에 전달하도록 구성하였다. S값을 이용하여 획득된 영상을 그림 2-59와 그림 2-60에 나타내었다.

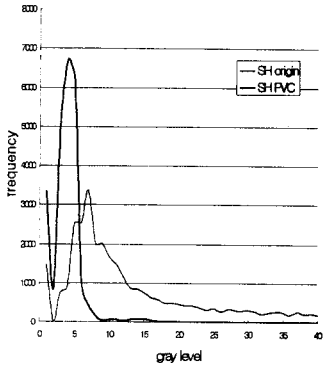


Fig. 2-59 육묘트레이 S값 히스토그램

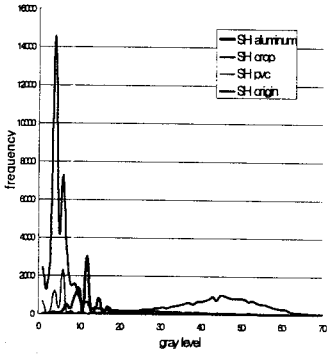


Fig. 2-60 재배홈통 S값 히스토그램

6절. 제어기 개발

1. 공압장치

공압 시스템은 공기 압축기(air compressor), 클린 유니트(clean unit), 솔레노이드 밸브(solenoid valve), 공압 실린더(air cylinder), 속도 조절 밸브 등으로 구성하였고, 공압 시스템 회로도는 그림 2-61과 같다.

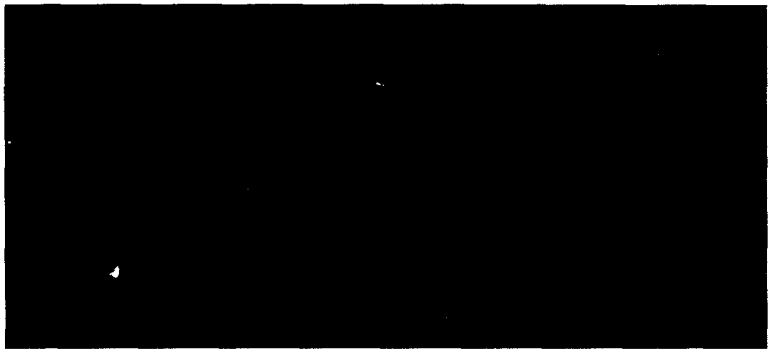


Fig. 2-61 공압장치의 회로도

공기 압축기에서 압축된 공기를 클린 유니트의 필터에 통과시켜 수분을 제거하고 여기에 오일을 미량으로 첨가시킨 뒤 솔레노이드 밸브를 이용하여 각각의 공압 실린더의 공기 방향을 제어하도록 제작하였다.

대부분의 작동기들은 공압을 이용하여 제작하였다. 이들을 구동하기 위한 제어기는 그림 2-62와 같다.

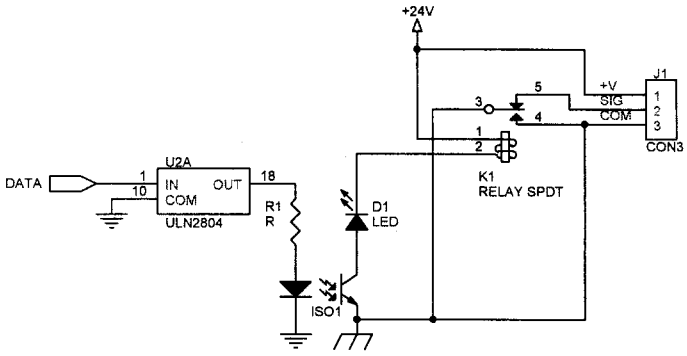


Fig. 2-62 공압구동 제어회로

2. 컨베이어

컨베이어 구동 시스템은 릴레이와 모터 속도조절 제어기를 이용하여 구성하였다. 사용된 모터제어기의 구동회로를 그림 2-63에 나타내었다.

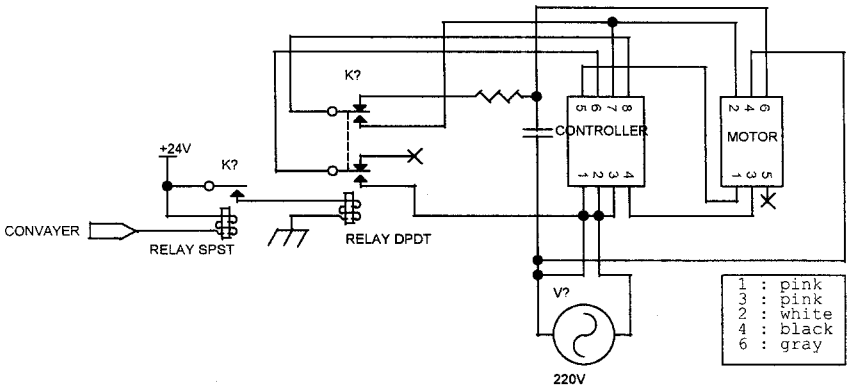


Fig. 2-63 컨베이어 제어기의 회로도

3. 센서 입력

센서입력은 육묘트레이이나 재배홈통의 반입위치는 광센서(NPN 출력)를 이용하여 구성하였으며, 모터의 리미트위치 및 원점 위치파악 센서는 리미트스위치(접점출력)를 이용하여 구성하였다.

아래 회로는 NPN 출력 신호 및 접점신호 처리 회로를 나타낸 것이다.

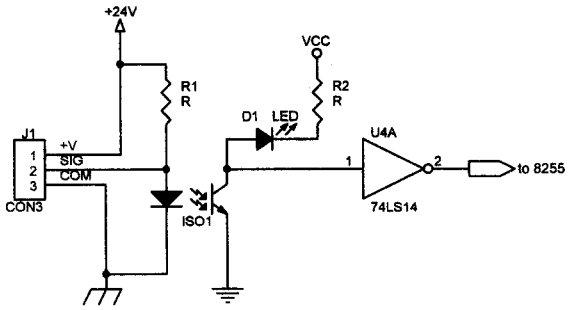


Fig. 2-64 NPN 입력 처리 회로도

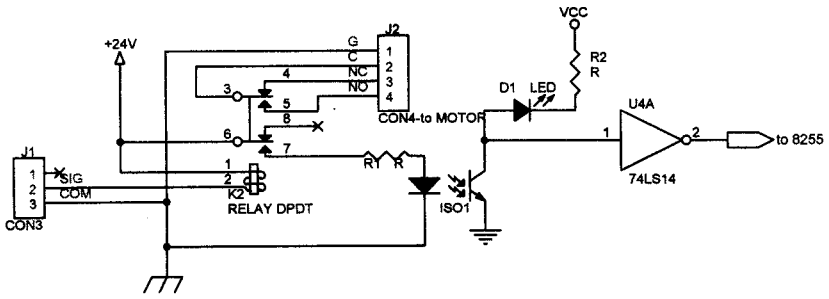


Fig. 2-65 접점 입력처리 회로도

4. 모터 제어기

가. 이식장치 및 이송장치

이식장치에 이용되는 모터 드라이브는 삼성전자(주)와 Yaskawa사에서 제작한 서보팩이다. 2군데 모두 비슷한 구조로 되어 있어 한가 제어기로 2종류의 모터 드라이브를 구동하였다.

사용된 모터 드라이버의 제원과 이 제어기에 이용된 드라이버 입출력 단자는 표 2-16과 표 2-17과 같다.

Table 2-16 모터 드라이버의 제원

Model	SGD-01AP (100W) (100W) (200W)
Control Method	Single-phase full-wave rectifier IGBT-PWM
Feedback pulse	2048 P/R
Reference Pulse	SIGN+PULSE, A-phase+B-phase, CW+CCW pulse
Pulse Form	Line driver, Open collector
Dynamic Brake	Operated at main power OFF servo alarm, servo OFF
Others	Soft start/stop brake interlock signal output, reverse run connection electronic gear, auto tunning

Table 2-17 모터 드라이버의 입출력 단자

I/O Port	Function
Pulse, Pulse*	Refernce pulse
Sign, Sign*	Reference direction
BK	Brake interlock signal out
S-ON	servo on
PCL	Forward current limit ON input
NCL	Backward current limit ON input
POT	Forward prohibit input
NOT	Backward prohibit input
ALM	Servo alarm
ALMRST	Alarm reset input

이 모터 드라이브는 개루프 제어를 수행하였으며, 모터의 한계점 및 원점은 리미트 스위치를 이용하였다. 사용된 모터를 제어하기 위하여 속도 프로파일은 사다리꼴 프로파일을 이용하였으며, 모터에 입력되는 가속도와 이동거리를 이용하여 최대속도를 결정한 후

사다리꼴 프로파일의 작성하였다.

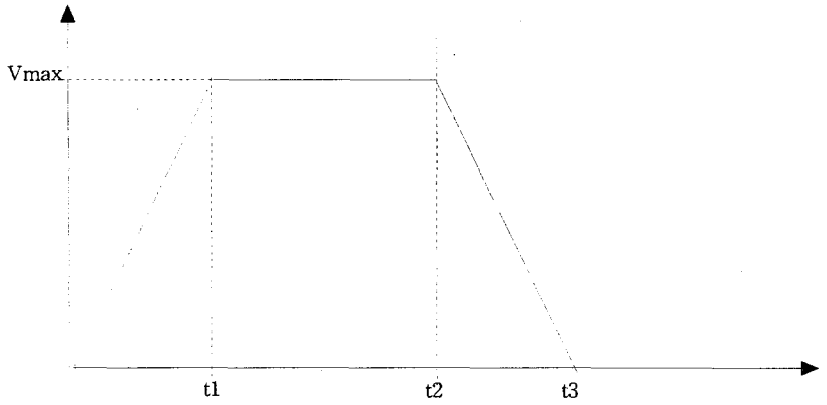


Fig. 2-66 모터 이동 속도 궤적

여기서,

V_{max} = 최대 속도
t_1 = 가속 완료 시간
t_2 = 감속 시작 시간
t_3 = 완료 시간

머니퓰레이터의 최대 이동 속도는 최대 이동 거리(S)와 입력된 가속도값(a)에 따라 최대 속도 ($V_{max} < \sqrt{\frac{aS}{2}}$)를 결정하도록 하였다. 이 모터 제어기는 PIC16C74를 이용하여 구성하였으며 구동회로의 회로도를 그림 2-67에 나타내었다.

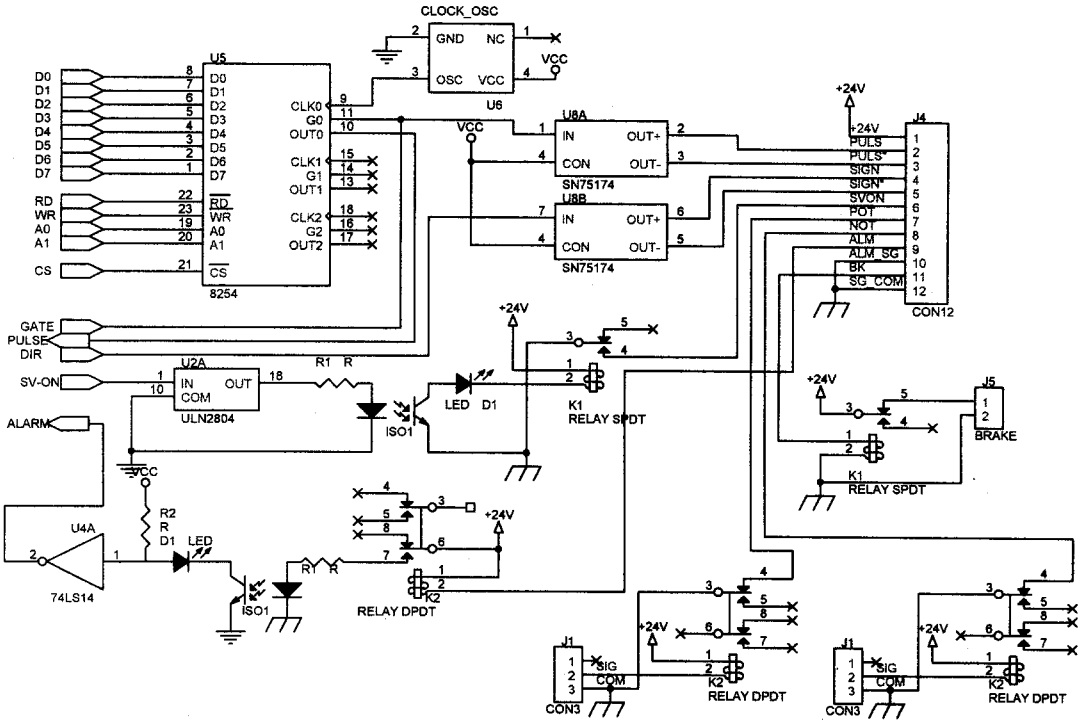


Fig. 2-67 모터 구동 회로도

나. 보식장치

보식장치에 이용되는 모터는 일본 Nissei사의 Sliding-bed를 이용하여 구성하였다. 이 모터를 구동하는 드라이버는 위 이식장치에서 사용된 모터드라이버와는 다소 상위형태의 제어기로서 주로 위치를 설정하여 이동하게 하는 teaching-and-play 방식이다. 이를 보식장치에 맞도록 모터제어기를 제작하였다.

먼저 모터에 사용되는 구동 드라이버의 제원과 드라이버 입출력 단자는 표 2-18과 같다.

Table 2-18 모터 드라이버의 제원

	X axis (80W)	Y axis (40W)
Power	200~220V±10% 50Hz/60Hz	
Control	P. T. P closed loop	
Position sensing	Incremental encoder	
Origin return	Sensor input(option)	
Velocity	8 level(50, 250, 500, 1000, 1500, 2500, 3000 rpm)	
Acceleration	8 level(2, 1, 0.5, 0.25, 0.13, 0.06, 0.03, 0.02 sec) time from 0 to 2500 rpm	
Memory	EEPROM	
System input	9 points(start, position 3, mode, servo on/off, origin return, origin sensor input, reset)	
System output	4 points(busy, ready, done, alarm)	
Encoder output	A, B, Z phase output(open collector)	
Noise endurance	1500V 1 μ s	

Table 2-19 모터 드라이버의 입출력 단자

I/O ports	Function
Start	Start signal output
Pos 1, 2, 3	Position or velocity setting signal
S-on	Servo-on input signal, break cancellation
Reset	
Mode	Direction
Busy	Operation state output
Alarm	
Com	Common of input and output signal
AP	Encoder pulse signal output

이 모터 드라이브를 제어하기 위하여 머니퓰레이터의 위치 피드백 제어를 위해 엔코더에서 나오는 신호를 카운터로 인지하고 구동 모터의 드라이버와 원칩 마이크로프로세서간의 원만한 접속을 위하여 적절한 샘플링 시간을 주었으며, 이에 따른 오차를 줄이기 위하여 두 번의 감속을 수행하도록 하였다. 그림 2-68은 X, Y축의 속도 프로파일을 나타낸 것이다.

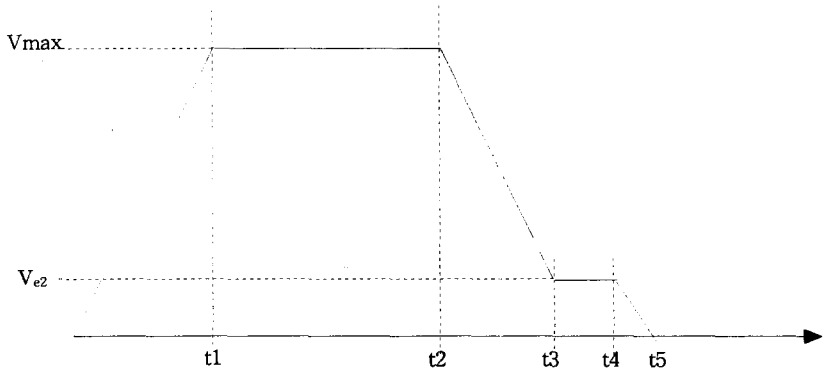


Fig. 2-68 모터 속도 프로파일

여기서,

V_{max} = 최대 속도
V_{e2} = 2차 등속도
t_1 = 가속 완료 시간
t_2 = 1차 감속 시작 시간
t_3 = 2차 등속 시작 시간
t_4 = 2차 감속 시작 시간
t_5 = 2차 감속 완료 시간

머니퓰레이터의 최대 이동 속도는 최대 이동 거리(S)와 드라이버에 미리 설정되어 있는 가속도 값(a)에 따라 최대 속도($V_{max} < \sqrt{aS}$)를 결정하도록 하였다. V_{max} 가 결정되면, 가속도에 따른 가속 완료 시간(t_1)이 결정되어 1차 감속 시작 위치(S_2)가 결정된다.

$$S_2 = S - \frac{V_{max}^2}{2a} - \delta S_2 \qquad \text{(2-2)}$$

여기서,

δS_2 = 샘플링 시간에 의해 발생한 오차 보정값

2차 등속 시작 시간(t_3)은 감속도와 2차 등속도(V_{e2}) 및 최대 속도(V_{max})에 의하여 결정되며, 2차 감속 시작 시간(t_4) 결정한다.

$$S_4 = S - \frac{V_{e2}^{\;2}}{2a} - \delta S_4 \qquad (2\text{-}3)$$

여기서,

δS_4 = 샘플링 시간에 의해 발생한 오차 보정값

시스템에 사용된 X-Y직교형 로봇 구동회로의 구성도와 회로도는 그림 2-69에 나타내었다.

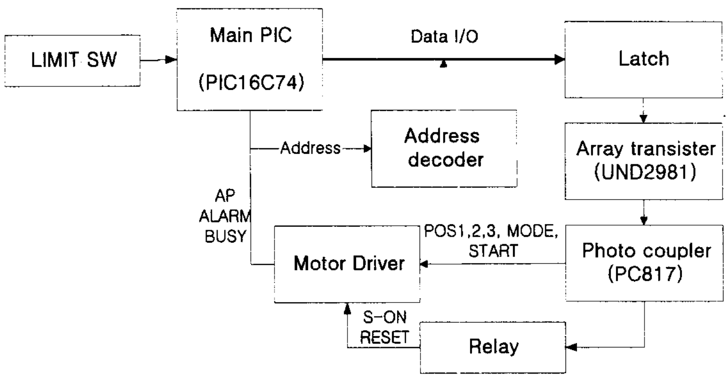


Fig. 2-69 모터 제어기의 구성도

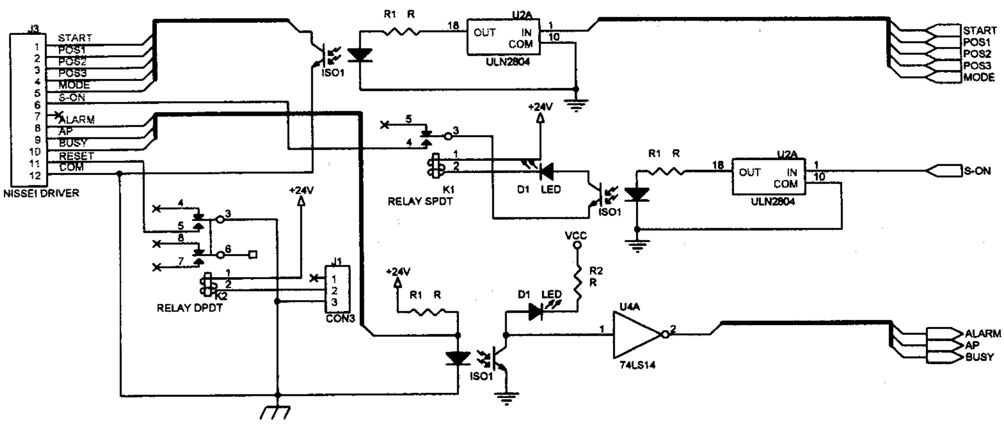


Fig. 2-70 모터 제어기의 회로도

5. 이식장치 제어기

가. 이식장치 작동 알고리즘

이식장치의 작업을 제어하기 위한 제어기이다. 이 제어기는 이식 그리퍼를 이용한 이식 작업이며, 다른 작업은 육묘트레이의 반입 및 이동, 배출을 위한 작업을 비동기적으로 수행할 수 있도록 프로그램을 제작하였다. 이식장치의 제어 알고리즘은 그림 2-71과 같다.

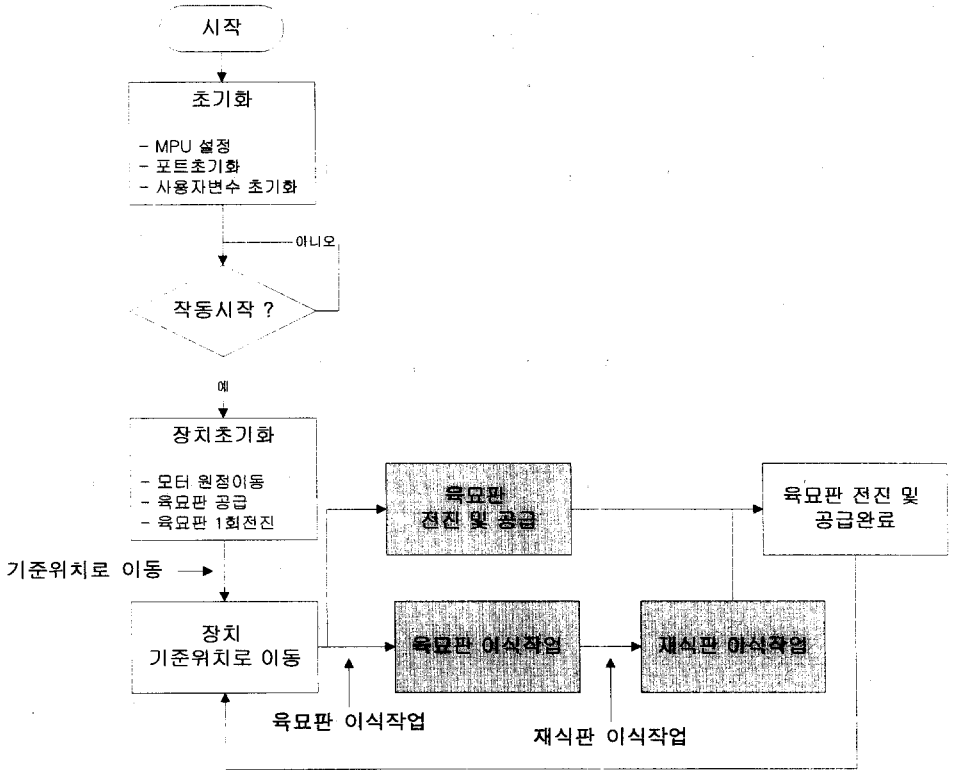


Fig 2-71 이식장치 제어 알고리즘

여기서 육묘트레이 전진 및 공급에 관한 알고리즘은 그림 2-72와 같다.

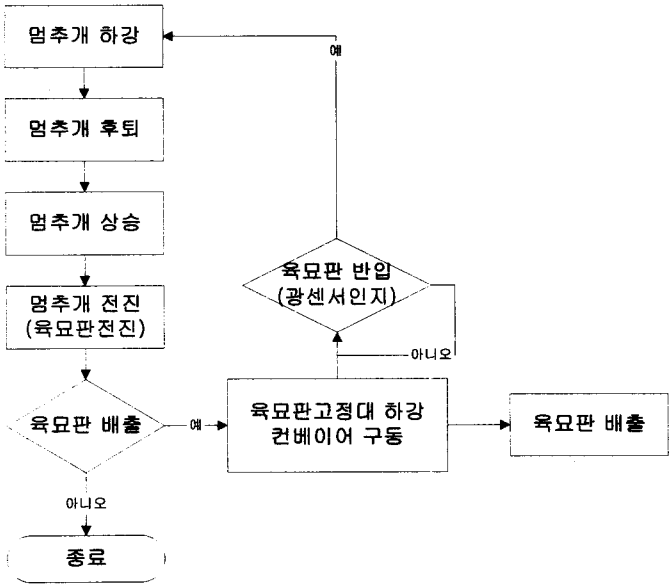


Fig. 2-72 육묘트레이 공급 제어 알고리즘

육묘트레이 이식작업 및 재배홈통 이식작업에 관한 알고리즘은 그림 -73과 같다

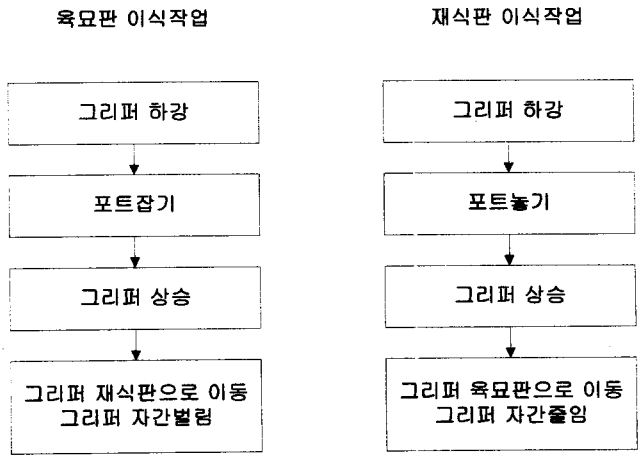


Fig. 2-73 이식 제어 알고리즘

나. 제어 회로

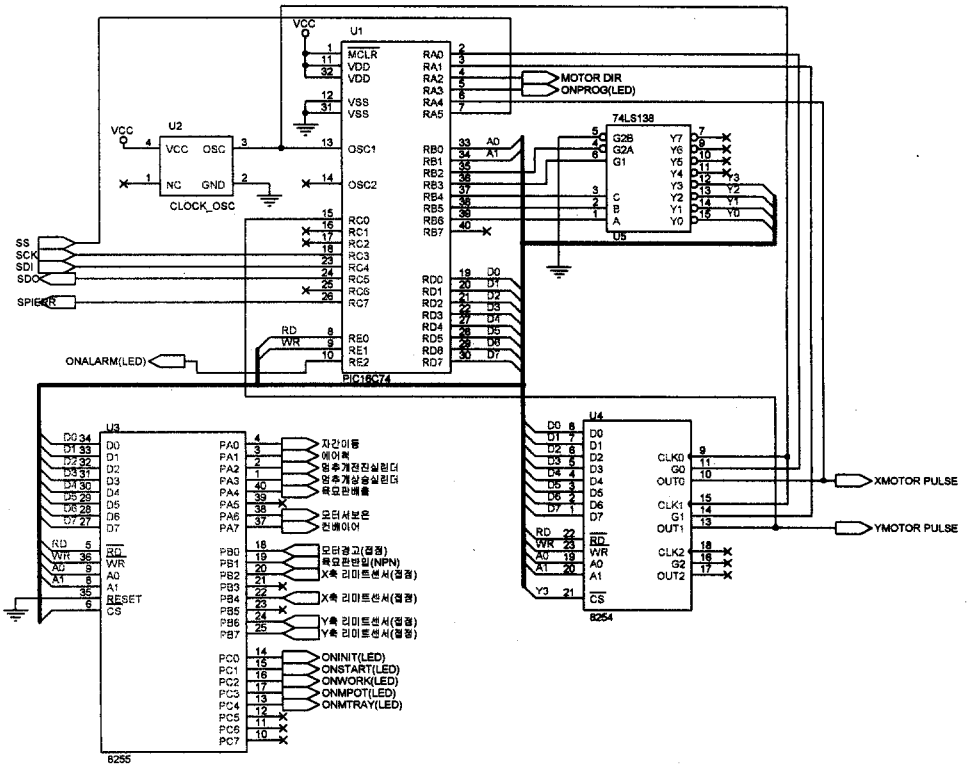


Fig. 2-74 이식 제어기의 회로도

6. 이송장치 제어기

가. 구동 알고리즘

이송장치의 작업을 제어하기 위한 제어기이다. 이 제어기는 재배홈통을 이식장치 및 보식장치에 공급하는 작업을 수행하며, 또한 재배홈통의 반입 및 재배홈통 배출의 작업도 동시에 수행한다. 이들 작업들은 서로 비동기적 병렬로 작업을 수행하도록 프로그램을 제작하였다. 이송장치의 제어 알고리즘은 그림 2-75와 같다.

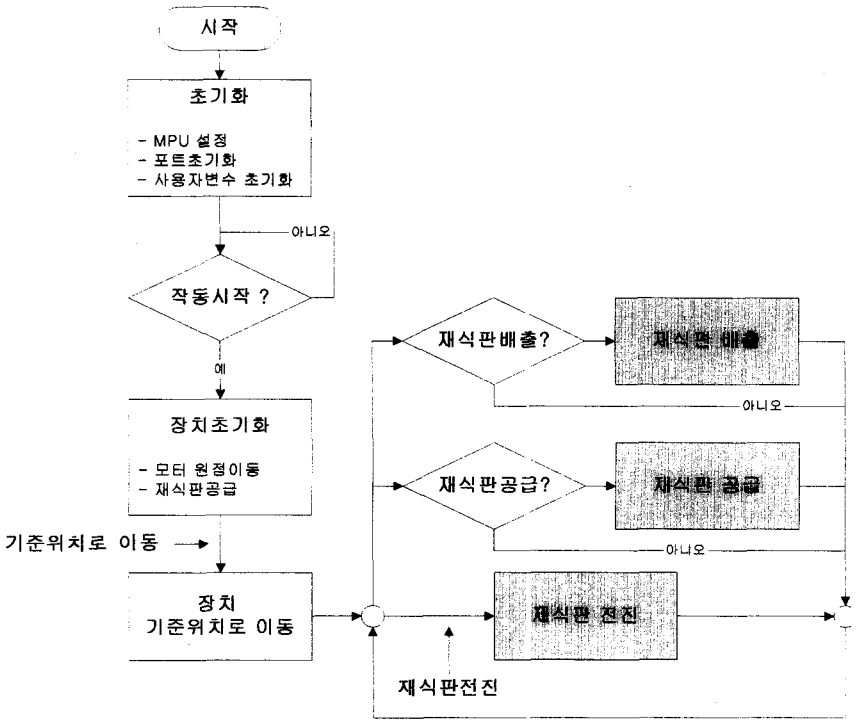


Fig. 2-75 이송장치 제어 알고리즘

그림 2-76은 재배홈통 반입 제어 알고리즘이다.

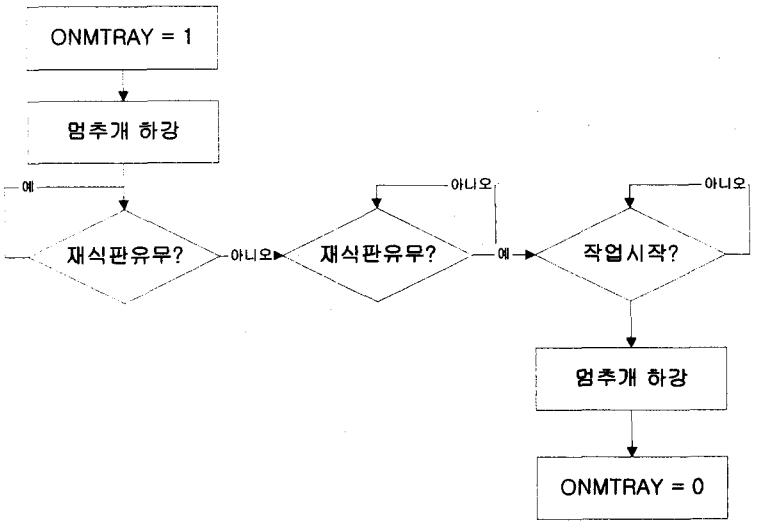


Fig. 2-76 재배홈통 반입 제어 알고리즘

그림 2-77은 재배홈통 반출 제어 알고리즘이다.

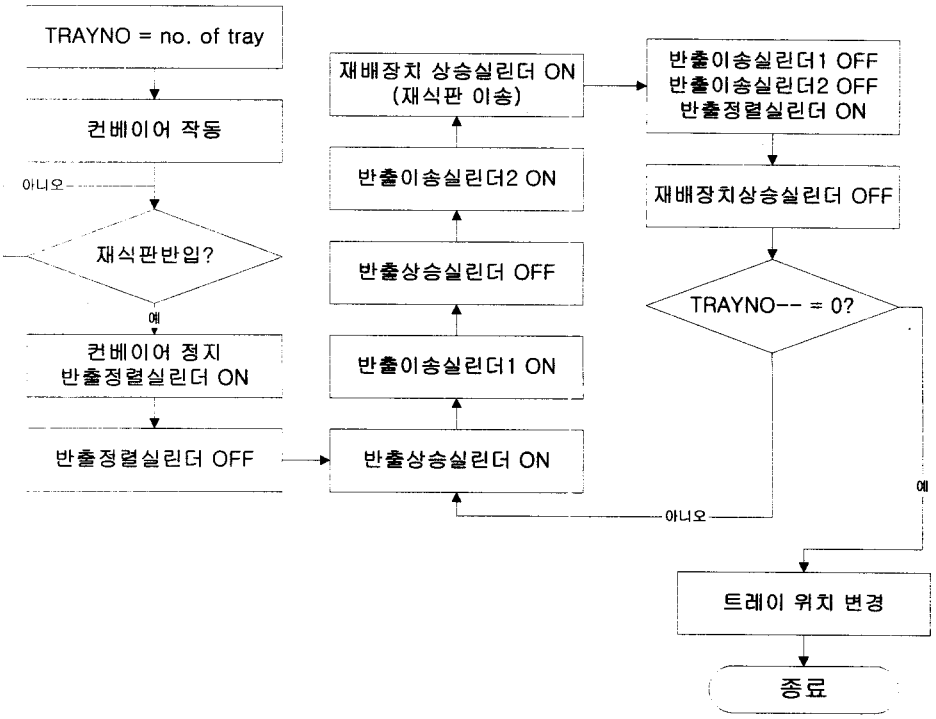


Fig. 2-77 재배홈통 반출 제어 알고리즘

그림 2-78은 재배홈통을 이동하는 제어 알고리즘이다.

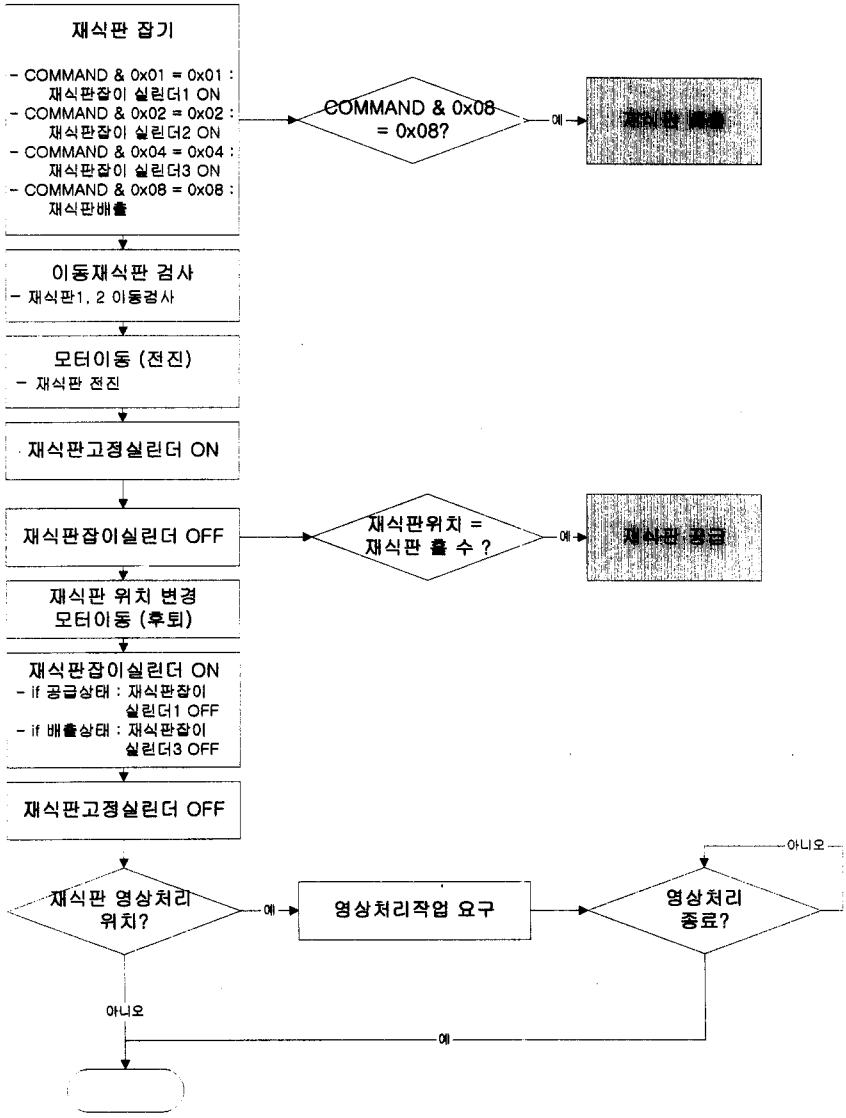


Fig. 2-78 재배홈통 이동 제어 알고리즘

나. 제어회로

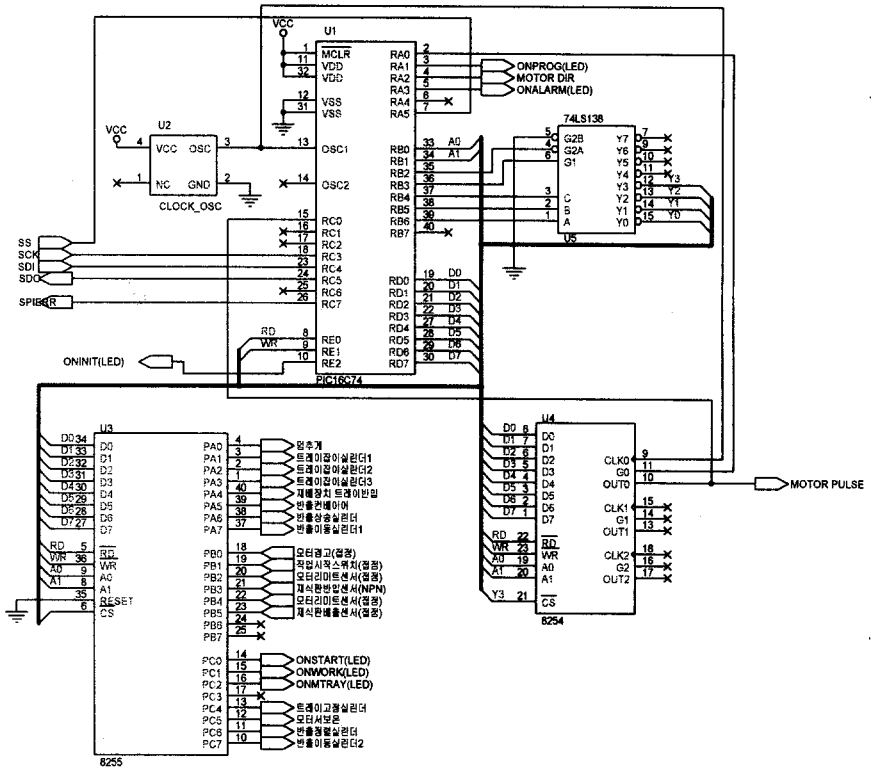


Fig. 2-79 이송장치 회로도

7. 보식장치 제어기

가. 구동 알고리즘

보식장치의 작업을 제어하기 위한 제어기이다. 이 제어기는 보식작업을 위한 작업 및 육묘트레이를 공급하고 배출하기 위한 작업으로 구성되어 있으며, 이들 작업들은 서로 비동기적 병렬로 작업을 수행하도록 프로그램을 제작하였다. 이송장치의 제어 알고리즘은 다음과 같다.

그림 2-80은 보식작업 제어알고리즘이다.

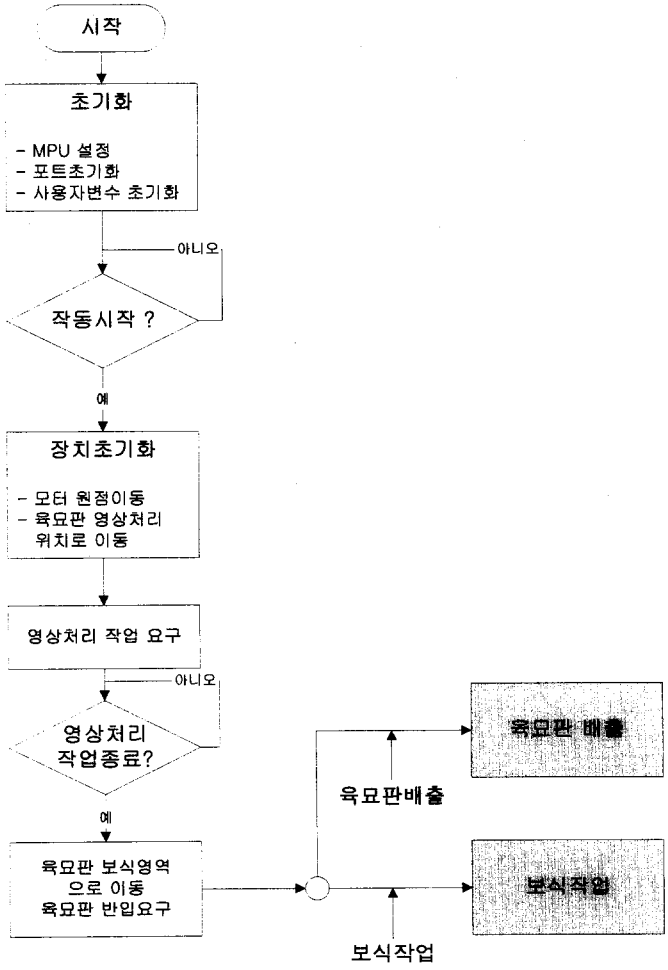


Fig. 2-80 보식장치 제어 알고리즘

그림 2-81은 육묘트레이 공급 제어 알고리즘이다.

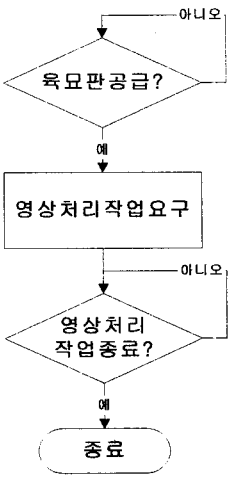


Fig. 2-81 육묘트레이
공급 제어 알고리즘

그림 2-82는 육묘트레이 배출을 위한 제어 알고리즘이다.

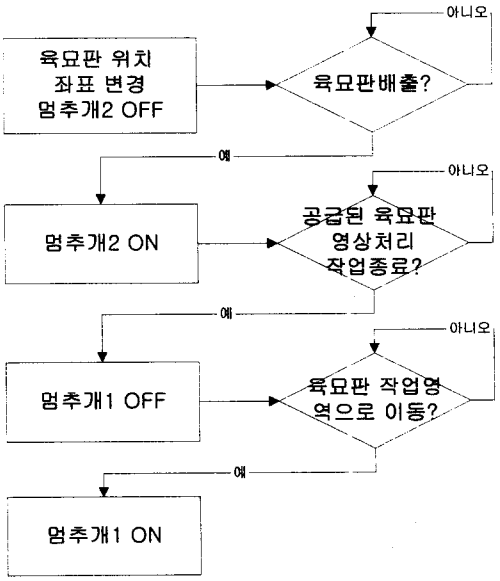


Fig. 2-82 육묘트레이 배출 제어 알고리즘

그림 2-82은 보식작업을 위한 제어 알고리즘이다.

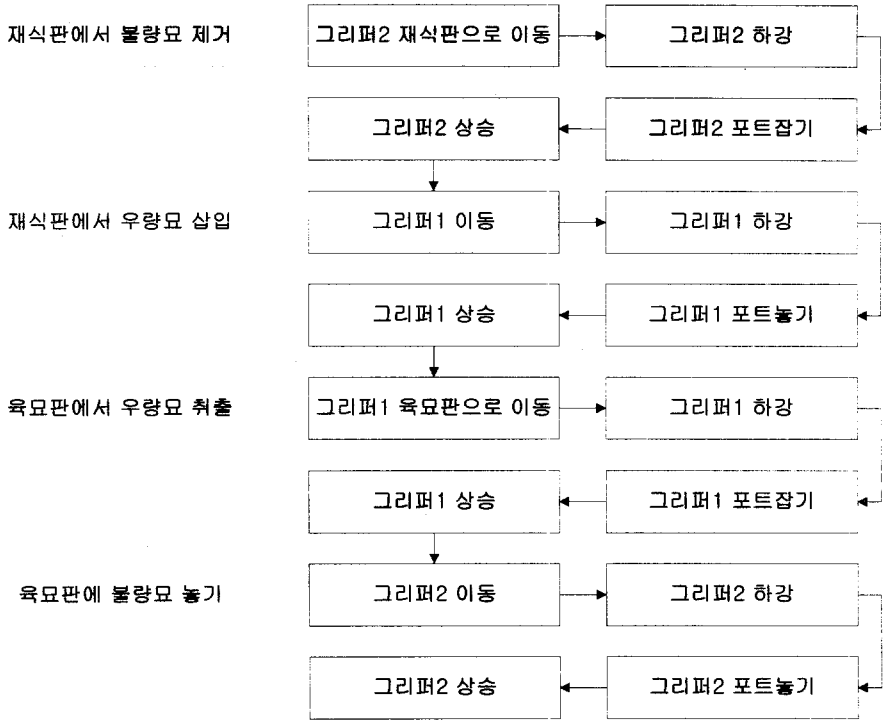


Fig. 2-83 보식작업 제어 알고리즘

나. 제어회로

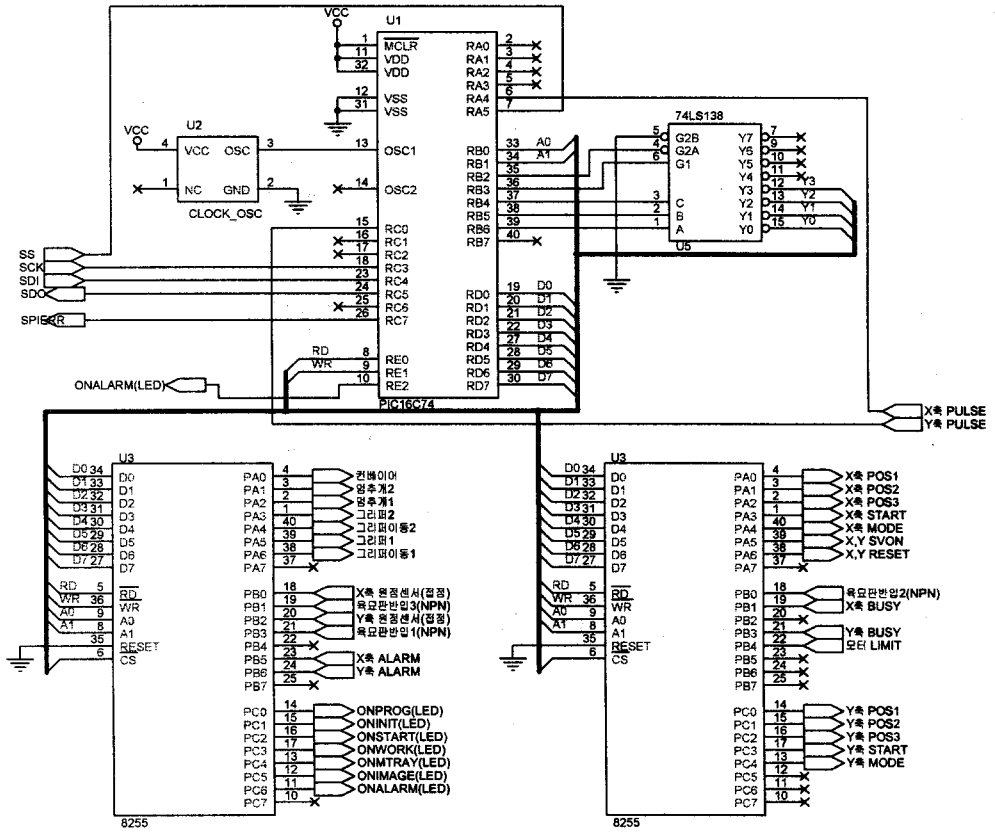


Fig. 2-84 보식장치 제어 회로도

8. 주 제어기

가. 구동 알고리즘

주 제어기는 PC에서 작업 시작 명령을 받아 각각의 제어기에 환경 변수를 전송한 후 하위 제어기를 제어하는 구조로 프로그램이 제작되었다. 각 하위 제어기 제어는 서로가 병렬적으로 처리하도록 하였으며, 각 제어기의 상태에 따라 다른 제어기를 제어하면서 이식 및 보식작업을 수행하도록 하였다. 주 제어기의 구동 알고리즘은 그림 2-85와 같다.

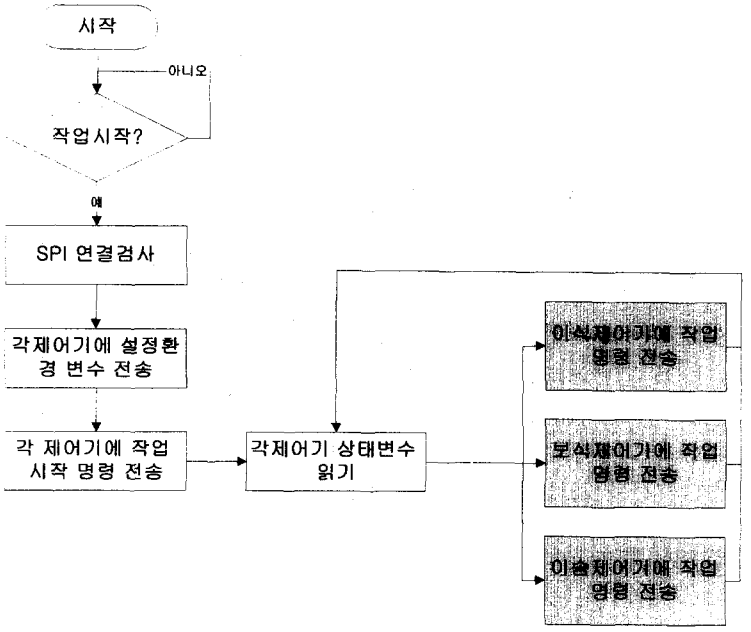


Fig. 2-85 주제어기 제어 알고리즘

이식작업을 위한 구동 알고리즘은 그림 2-86과 같다.

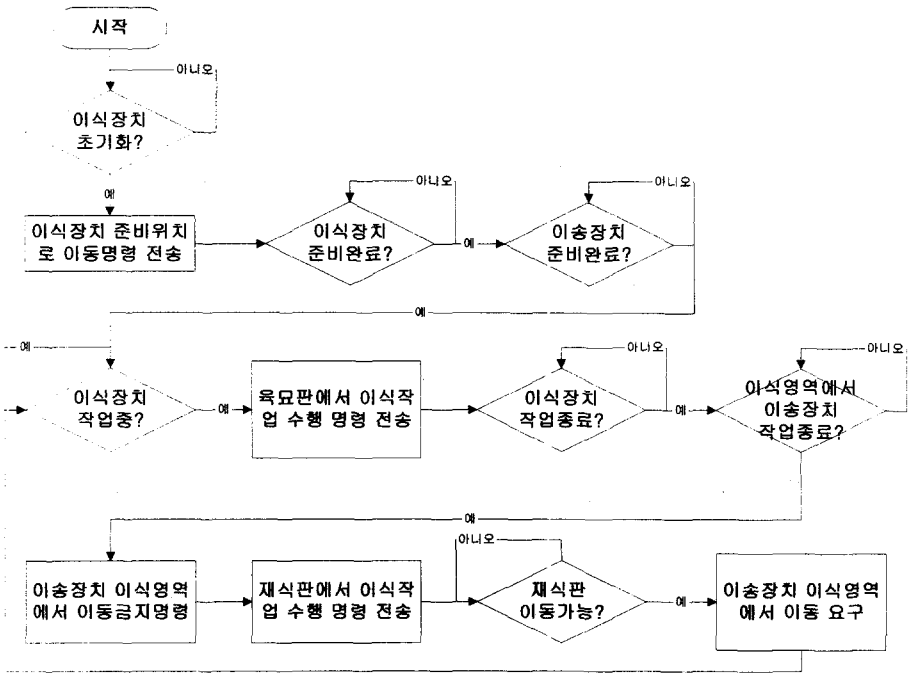


Fig. 2-86 이식작업 제어 알고리즘

보식작업을 위한 구동 알고리즘은 그림 2-87과 같다.

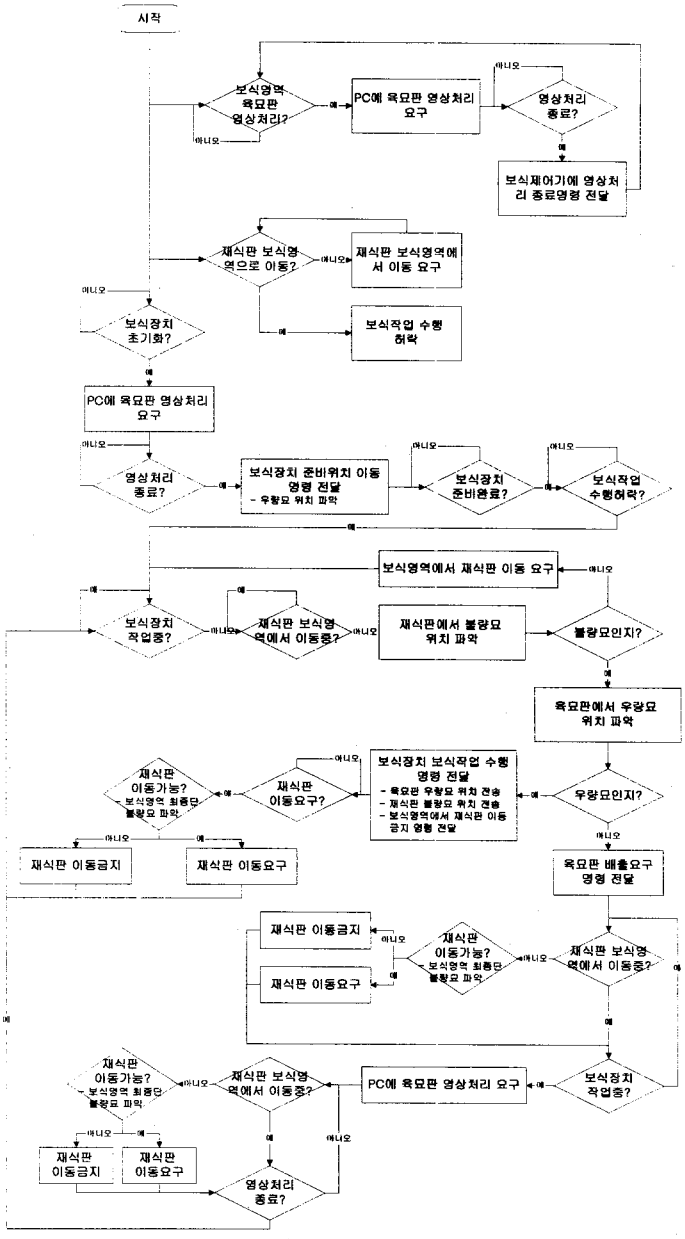


Fig. 2-87 보식작업 제어 알고리즘

이송작업을 위한 구동 알고리즘은 그림 2-88과 같다.

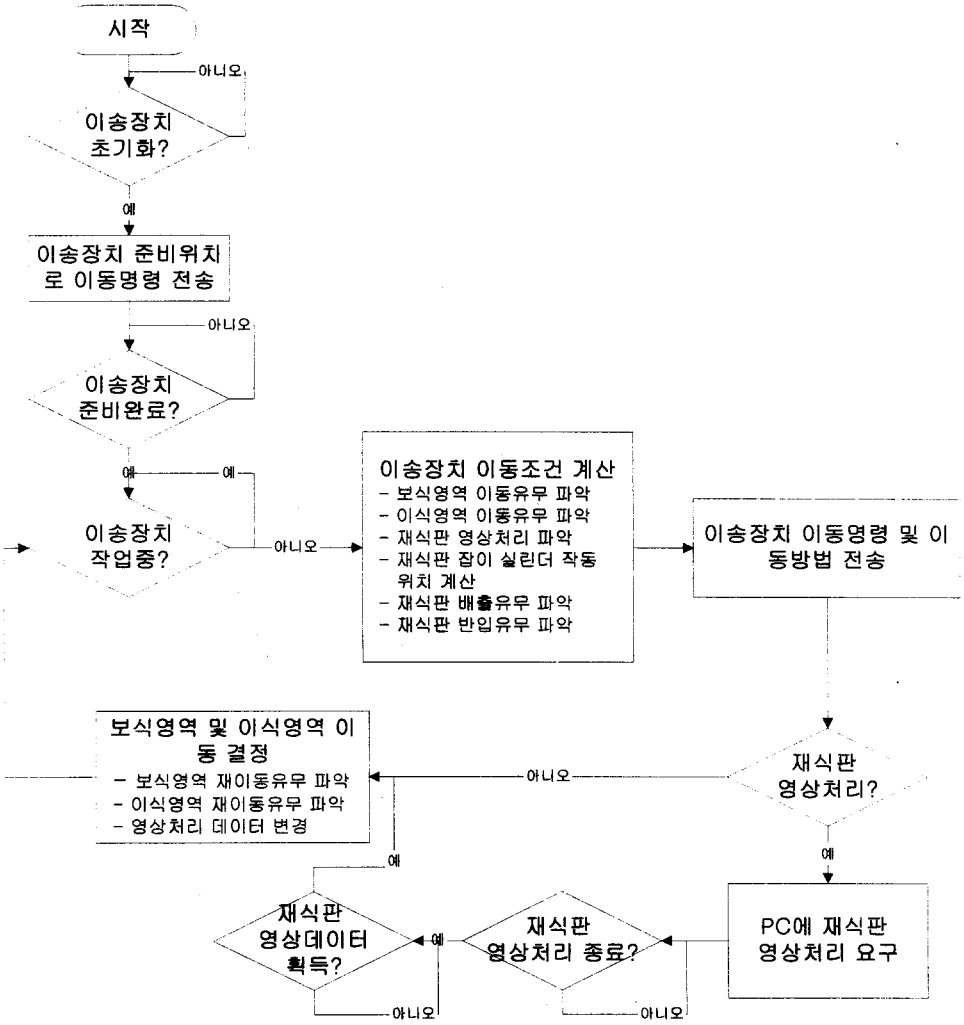


Fig. 2-88 이송작업 제어 알고리즘

나. 제어회로

주제어기는 PC와 마이크로프로세서 버스(PSP, Parallel Slave Port)를 이용하여 통신할 수 있도록 제작하였으며, 하위제어기(이식, 보식, 이송제어기)와는 동기식 직렬 전송방식(SPI, serial peripheral interface)을 이용하여 통신할 수 있도록 하였다.

마이크로프로세서 버스는 인텔계열의 주변장치를 연결시킬 때 가장 많이 사용되는 방식

으로 PC와 ISA버스를 이용하여 병렬적으로 데이터를 주고 받음으로 고속으로 많은 데이터를 전송할 수 있다. 또한 하위제어기와 통신에 사용되는 SPI 통신은 클럭핀(SCK), 데이터 입력핀(SDI), 데이터 출력핀(SDO), 슬레이브선택핀(SS) 4선을 이용한 전송방식으로 슬레이브가 선택되었을 때 클럭핀의 상승에지 혹은 하강에지에서 데이터가 전송되는 방식으로 고속이며(PIC칩을 사용할 경우 최대 5Mbps) 칩간 통신에 많이 사용된다. 주제어기의 제어장치의 회로도는 그림 2-89와 같다.

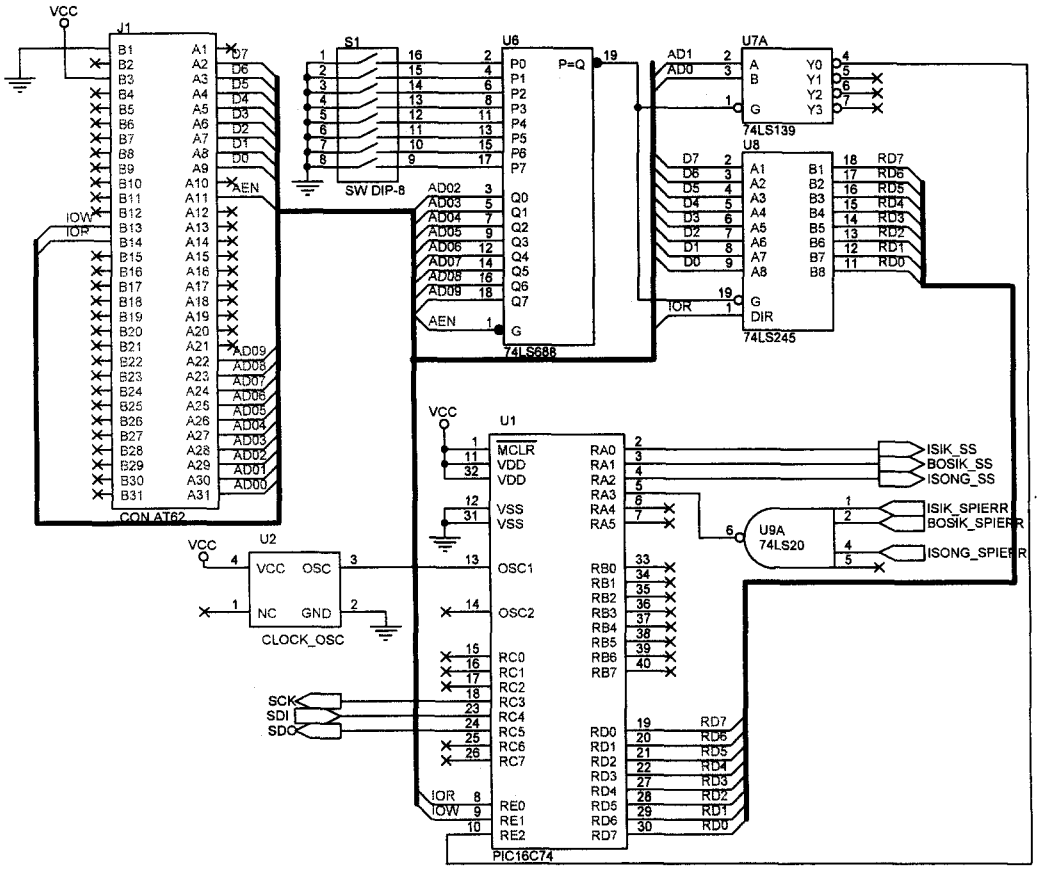


Fig. 2-89 주 제어기 회로도

하위제어기 및 주제어기는 마이크로칩스사의 PIC16C74를 이용하여 제작하였다. 사용된 PIC16C74의 제원은 표 2-20과 같다.

Table 2-20 PIC16C74의 제원

Command	35
Program Memory	4096 × 14
User Register	192 × 8 bit
Interrupt	외부인터럽트, RTCC 타이머/카운터 오버플로우 인터럽트, 포트B 변경 인터럽트, 타이머1, 타이머2 오버플로우 인터럽트, CCP1, CCP2 인터럽트, SCI 비동기 수신 및 송신 인터럽트, 동기 시리얼 포트 인터럽트, SCI 인터럽트, A/D 인터럽트, 마이크로프로세서 포트 읽기/쓰기 인터럽트
Stack	8 level
Port	33 I/O
Timer	3
A/D	8 채널
Communication	시리얼통신 인터페이스 동기 시리얼통신 (3 wire SPI, I2C) 병렬 slave port

제작된 각각의 제어기의 모습은 그림 2-90, 그림 2-91, 그림 2-92, 그림 2-93과 같다.

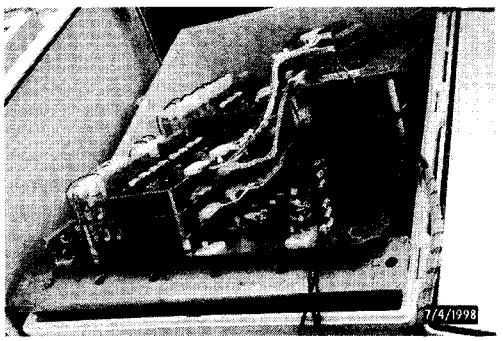


Fig. 2-90 제어장치

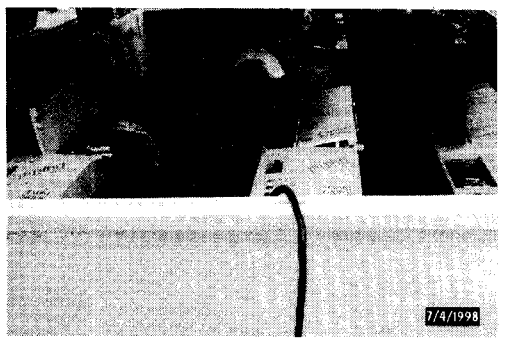


Fig. 2-91 모터 드라이버

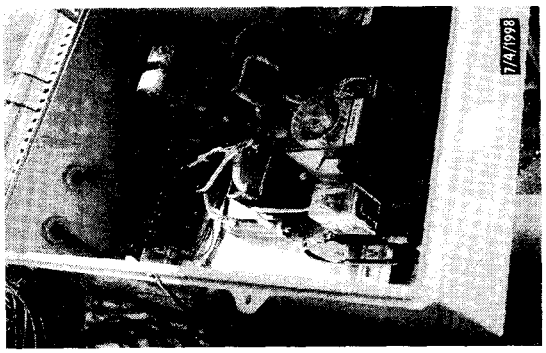


Fig. 2-92 모터구동 제어기

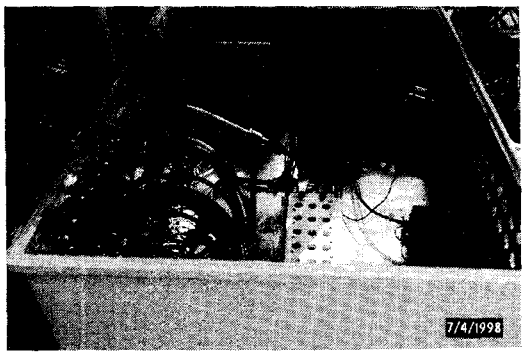


Fig. 2-93 공압 솔레노이드밸브

9. PC 인터페이스

주 제어기를 PC상에서 제어하기 위하여 PC 인터페이스 프로그램을 제작하였다. 제작된 PC 인터페이스 프로그램은 그림 2-94와 같다.

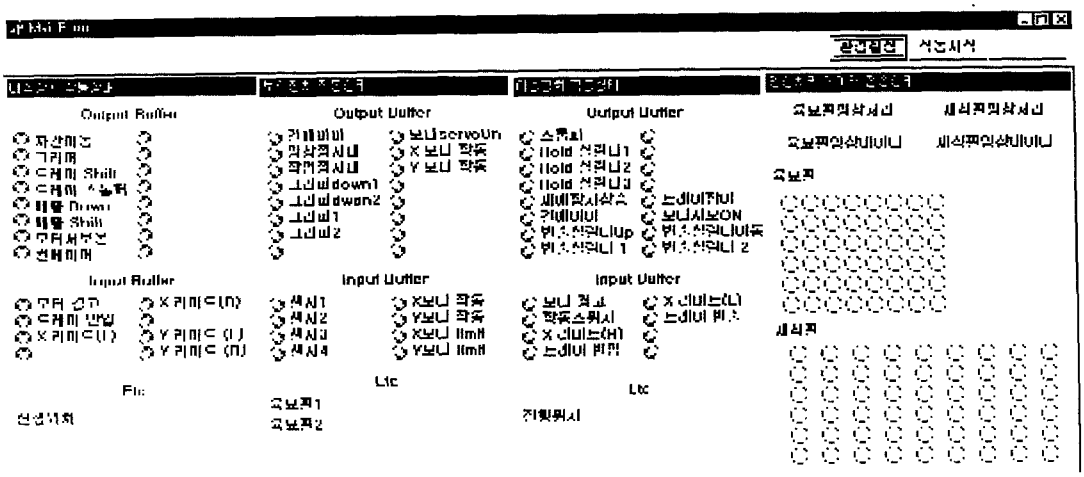


Fig. 2-94 PC 사용자 인터페이스

이식장치, 보식장치, 이송장치의 작동 상태 (입출력 데이터 상태)를 LED로 표시할 수 있도록 하였으며, 각 제어기의 제어 상태 (초기화, 작동중 등)가 나타나도록 하였다. 그리고 제어기의 영상처리 작업 요구 및 영상처리 데이터 요구 및 영상처리 결과도 화면에 나타내었다.

작동시작을 누르면 이식 및 보식장치가 작동을 할 수 있도록 하였으며, 작업의 정지는 작동정지를 누르면서 모든 작업이 정지 할 수 있도록 하였다.

주 제어기와는 마이크로프로세서 버스(PSP)를 이용하여 통신하고 있으며, 통신간격은 100ms로 하였다.

7절. 성능평가

1. 이식장치

가. 이식기 작업방식

먼저 그리퍼가 육묘트레이의 육묘포트 위치로 이동한다. 이동후 그리퍼가 하강하고, 그리퍼를 이용하여 육묘포트를 잡는다. 그리퍼가 육묘포트를 잡으면 그리퍼가 상승하여 육묘트레이에서 육묘포트를 분리한다. 그리퍼는 육묘트레이에서 재배홈통의 육묘포트 홀 위치로 이동한다. 이때 그리퍼의 주간조절장치에 의해 핑거간의 간격은 육묘트레이의 홀 간격에서 재배홈통의 홀 간격 만큼 변하게 된다. 재배홈통 위치로 그리퍼가 이동하면 그리퍼가 하강하여 재배홈통의 홀 위치보다 조금 높은 위치 (약 10mm)에서 그리퍼는 포트를 놓고 그리퍼가 상승한다. 그러면 육묘포트는 재배홈통으로 안착된다. 이런 일련의 작업 순서를 그림 2-95에 나타내었다.

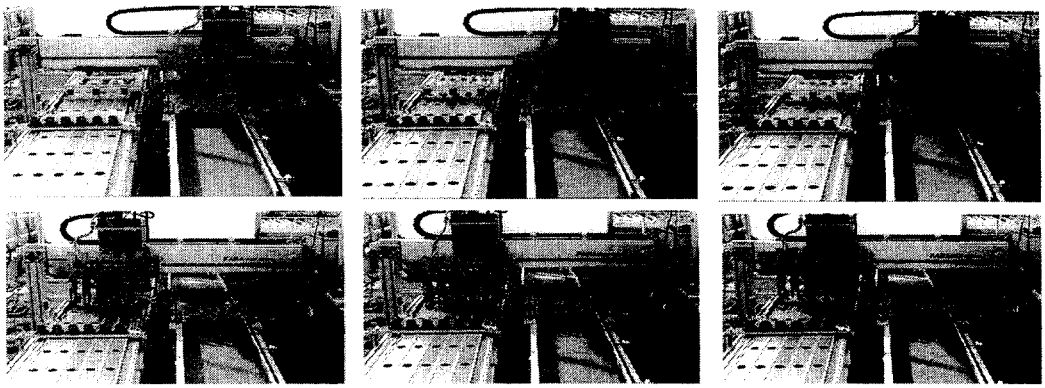


Fig. 2-95 이식작업 순서

나. 작업성능 측정실험

이식기의 작업성능을 측정하였다. 측정은 상추 모종을 대상으로 총 90구의 모종을 대상으로 시험을 수행하였다. 작업성능을 측정한 결과를 아래 표 2-21에 나타내었다.

이식기의 작업시간은 보식기와 이송장치와 연관이 되어 있어 측정은 수행하지 않았다.

Table 2-21 이식실험 수행 결과

		No. of pots	%
이식 성공		90	93.3
이식 실패	육묘트레이에서 육묘포트 분리 실패	6	6.7
	재식판에 육묘포트 안착 실패	0	0.0
	육묘포트 깨짐	0	0.0
	모종 상해	0	0
계		90	100.0

육묘판의 상태 및 육묘판 및 재식판의 구멍 크기는 육묘포트의 외경보다 1mm 정도 크게 제작하였다. 따라서 이식기의 정확한 작업을 수행하기 위한 위치 보정값은 ±1.0mm 이다. 측정한 정확도 및 정밀도를 기준으로 위치 보정값과 비교하면 모든 값이 ±0.5mm 이내를 만족하므로 제작된 이송 및 이동장치는 이식 시스템의 구동부로 적절하다고 판단되었다.

다. 육묘트레이묘 이식기 성능시험

① 이식기 성능평가를 위하여 육묘기간 14일 전후인 오이 모종을 대상으로 실험하였으며, 육묘는 200구 육묘트레이, 이식할 육묘트레이는 50구 육묘트레이를 이용하였음. 그리퍼는 5개가 1조를 이루어 동시에 5개의 모종을 이식할 수 있도록 하였으며, 그리퍼 제작의 어려움으로 인하여 한 줄을 두 번 (하나씩 건너 띄면서 5개씩)에 이식하였음.

② 처음 제작한 시스템은 밀대를 이용하지 않고 위에서 모종을 집는 방법을 이용하였음. 그리퍼의 하강과 핑거가 집는 2개의 동작을 동시에 수행하여 작업하였으며, 육묘트레이의 이송은 컨베이어를 사용하였음. 이 시스템은 여러 개의 모종을 동시에 잡아서 이식을 수행하기에는 그리퍼 제작시 공간상의 제약 및 잡은 모종 분리를 위한 추가적 장치를 필요로 하는 문제점이 발생하였음.

③ 밀대를 이용한 이식시 push-rod가 상승하면서 모종을 밀어올림과 동시에 위쪽에 있

는 무게중심으로 인하여 모종이 쓰러지는 현상이 발생함. 모종이 쓰러지는 것을 막기 위하여 핑거 주위에 ㄷ자형의 가이드를 부착하여 이식 실험을 수행하였음. 이 시스템은 주위의 모종이 기울어져 있는 경우 주위의 모종을 잡는 문제가 발생하고, 모종을 분리할 때도 가이드에 잎이 달라붙어 제대로 분리가 안돼 낮은 이식성공률을 보였음.

Table 2-22 ㄷ 자형 가이드 부착 핑거를 이용한 이식실험 결과

모종 포트 분리	그리퍼가 못 잡음	따라 올라옴	모종이 분리 안됨	이식 성공
194	0	25	68	101
99.5%	0.0%	12.8%	34.9%	52.3%

④ 위의 실험을 분석하여 주위의 모종을 잡지 않고, 모종의 분리가 안 되는 문제를 보완하기 위하여 그리퍼가 앞뒤로 이동할 수 있도록 하였고, 핑거를 ㄱ자 형태로 재 설계하였음. 이 그리퍼는 모종이 분리 되지 않는 문제는 해결하였으나, 핑거의 턱에 걸려 모종이 밖으로 밀어 나와 그리퍼가 못 잡는 경우가 발생하여 역시 낮은 이식 성공률을 보였음.

Table 2-23 1차 보완 그리퍼를 이용한 이식실험

모종 포트 분리	그리퍼가 못 잡음	따라 올라옴	모종이 분리 안됨	이식 성공
50	13	1	0	36
100.0%	26.0%	2.0%	0.0%	72.0%

⑤ 그리퍼가 전진할 때 모종을 밖으로 밀어내지 않도록 위 핑거를 다시 설계하여 실험한 결과는 표 2-24와 같다.

Table 2-24 2차 보완 그리퍼를 이용한 이식실험

모종 포트 분리	그리퍼가 못 잡음	따라 올라옴	모종이 분리 안됨	이식 성공
28	1	1	0	26
100.0%	3.6%	3.6%	0.0%	92.8%

2. 보식장치

가. 성능시험 방법

성능시험은 육묘트레이 1개(48개 육묘포트)와 재배홈통 6개(60개 육묘포트)를 이용하여 실험하였다. 실제 모종이 담긴 육묘포트를 이용하여 보식 시스템의 성능을 시험하였다. 실험 대상작물로서 육묘공장에서 생산된 본엽이 2~3매인 파종 후 2주가 지난 상추를 사용하였다. 육묘트레이에는 육묘시 발생하는 결주 및 불량묘가 담긴 육묘포트의 개수를 임의로 3~7개를 선정하여 배치하였으며, 재배홈통에서는 육묘시 발생하는 결주 및 불량묘가 담긴 육묘포트와 이식 작업시에 발생하는 육묘포트의 삽입 실패에 해당하는 육묘포트의 개수를 임의로 12개를 선정하여 배치하였다.

성능평가 내용은 아래와 같다.

1. 그리퍼의 성능
2. 영상처리 시스템의 정확도 및 처리시간

나. 영상처리성능

육묘트레이의 영상에 대한 히스토그램을 그리면 R, G, B 모두 90-180까지 데이터를 가지고 있음을 알 수 있었고 여기서 R, G, B 모두 90 이하인 경우는 포트에 채워진 상토로 간주되었고 이를 이용하여 육묘트레이에서 모종의 위치를 알 수 있었다. 재배홈통의 영상에 대한 히스토그램은 대체로 R, G, B 값이 200이상으로 나타났다. 이는 재배홈통의 재질이 알루미늄으로 되어있어 빛을 반사하여 R, G, B 값이 높게 나타남을 알 수 있었다. 재배홈통의 영상에서 재배홈통 자체의 형상을 B값을 이용하여 제거한 후 G값을 이용하여 모종을 인식하였다. 재배홈통의 재질이 알루미늄이고 육묘트레이의 재질이 불투명 플라스틱이기 때문에 재배홈통에서는 알루미늄의 반사에 의해, 육묘트레이에서는 육묘트레이가 빛을 흡수하기 때문에 측정하고자 하는 물체, 즉 모종이 사각형 셀에서 차지하는 잎의 면적을 계산하는데 문제가 발생하였다. 원 영상과 이치화된 영상을 그림2-96과 그림

2-97에 나타내었다.

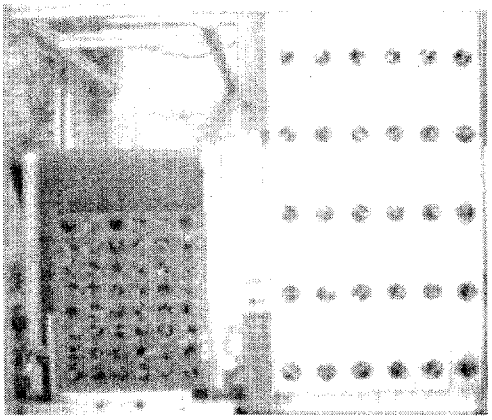


Fig. 2-96 재배홈통과 육묘트레이의 원영상

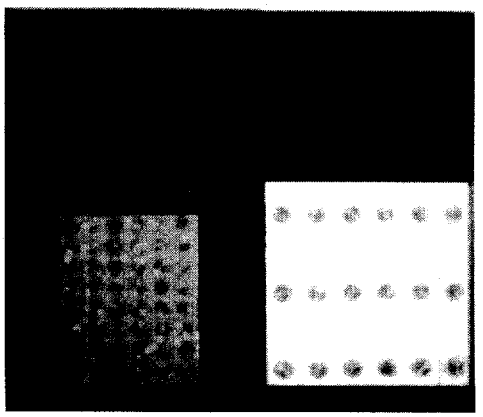


Fig. 2-97 배경을 제외한 재배홈통과 육묘트레이의 영상

RGB값을 이용하여 획득된 영상은 육묘트레이 부분에서 모종의 외곽선이 분명하게 드러나지 않았고 HSI값 중에서 S값으로 변환하여 획득된 영상에서는 재배홈통과 육묘트레이의 모종의 형태가 명확하게 나타나는 것을 알 수 있다. 육묘트레이의 히스토그램을 보면 육묘트레이의 재질에 해당하는 PVC 부분이 나타내는 값과 나머지 부분이 차지하는 값들의 경계가 나타난다는 것을 알 수 있었다. S값이 서로 간섭이 일어나지 않는 범위에서 대략 30정도의 값을 이용하면 육묘트레이와 모종의 구분이 가능하리라 판단되었다. 재배홈통의 S값의 히스토그램을 보면 재배홈통의 재질인 알루미늄은 10에서 20정도의 범위에서 나타나고 작물의 경우에는 40에서 50정도의 범위에서, 육묘포트는 5에서 10정도의 범위에서 나타남을 알 수 있다.

HSI모델에서 S값을 이용하여 이치화된 육묘트레이의 영상에서는 희게 나타나는 부분은 육묘트레이이거나 모종의 잎에 해당하고 검게 나타나는 부분은 잎이 존재하지 않는 부분이다. 반면, 재배홈통의 영상에서는 검게 나타나는 부분은 재배홈통이거나 육묘포트가 빠진 부분 또는 미숙묘를 나타내는 부분이다. 재배홈통과 육묘트레이의 이치영상에서 부분적으로 검게 나타나는 부분은 육묘포트에 담긴 모종이 육묘포트를 덮고 있지 않기 때문이

었다. 육묘트레이와 재배홈통의 이치화된 영상에 사각형 영역을 할당하여 기준 면적에서 일정부분 이상 검게 나타난 부분을 전부 검게 나타내어 육묘포트가 없거나 미숙묘로 판단하도록 처리하였다.

육묘트레이와 재배홈통의 이치화된 영상과 원 영상을 사각형 영역으로 구분하여 이치화시킨 이미지를 그림 2-98과 2-99에 나타내었다.

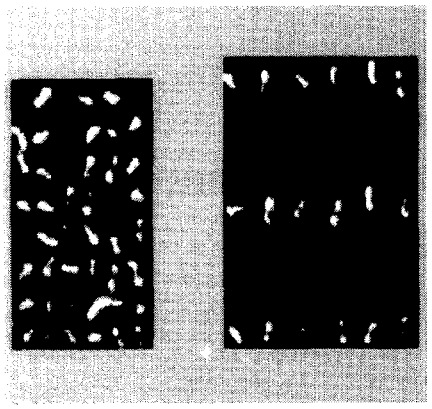


Fig. 2-98 HSI 변환 육묘트레이와 재배홈통의 이치화 영상

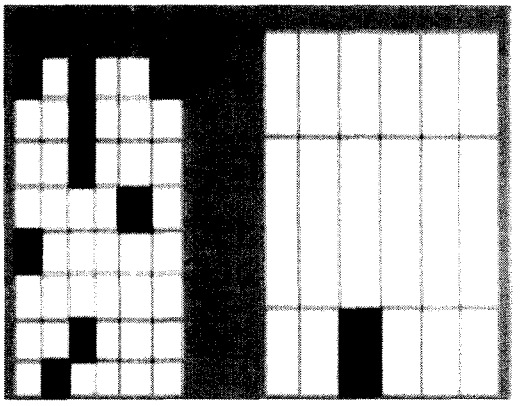


Fig. 2-99. 재배홈통과 육묘트레이 분할 이치화 영상

실제 육묘트레이와 재배홈통의 미숙묘와 육묘포트가 빠진 부분과 비교할 때 거의 일치하는 것으로 나타났다. 재배홈통에서는 육묘포트가 빠진 부분과 미숙묘의 원래 영상과 영상처리 결과가 일치하는 것으로 나타났다. 육묘트레이 1개와 재배홈통 6개를 영상처리를 통해 결주나 미숙묘, 이식작업시 발생된 육묘포트의 누락에 해당하는 개수를 측정한 결과 육묘포트가 빠진 부분과 미숙묘 및 결주의 원래 영상과 영상처리 결과가 일치하였다. S값을 256을 기준으로 30일 때 영상의 이치화가 가장 잘 나타났으며 모종의 잎의 형태까지 구분할 수 있었다.

영상처리의 작업시간은 육묘트레이와 재배홈통의 각각의 영상에 대하여 측정하였으며, 육묘트레이에서는 1.3초로 나타났고 재배홈통에서도 0.7초로 나타났다.

다. 보식 시스템의 성능

파종 후 2주가 지난 상추 모종으로 육묘트레이 1개와 재배홈통 6개를 이용하여 8회 반복해서 측정한 시험결과를 표 2-25에 나타내었다.

Table 2-25 보식시스템의 작업실험 결과 (결주율 10%)

	Nursing-tray	Growing-trough	Sum
No. of pots	96	96	192
No. of failures of grasping nursing-pots	0	-	0
No. of failures of putting nursing-pots	-	3	3
Success ratio	100%	96.9%	-
Operating time required			6.88 s/EA

육묘트레이에서 그리퍼의 작업 성공률은 100%로 나타났고, 재배홈통에서 그리퍼의 작업 성공률은 96.9%로 나타났다. 실제로 적용되는 작업성공률은 재배홈통에 정확하게 육묘포트를 보식하는 것을 기준으로 선택해야 하기 때문에 보식 시스템의 작업성공률은 96.9%이었다. 재배홈통에서 그리퍼가 육묘포트를 정확한 위치에 보식하지 못한 이유는 육묘트레이에 담겨져 있는 육묘포트가 육묘트레이에 닿는 부분의 육묘포트 직경은 28㎜이고 육묘트레이에 뚫린 구멍의 직경이 31㎜이기 때문에 구멍 중심에 대해 ±1.5㎜의 여유를 가지고 있기 때문으로 생각된다. 작업시간의 측정은 영상처리 작업이 재배홈통에 대하여 3줄씩 이루어지기 때문에 3줄을 작업하는데 걸린 시간을 기준으로 측정하였다. 3줄을 작업하는데 걸린 시간은 평균 20.7초이고, 하나의 육묘포트를 보식하는데 걸린 작업시간은 6.88초로 나타났다.

라. 보식작업 방식

보식기의 작업모습을 그림 2-100에 나타내었다.

먼저 보식기가 우량묘의 위치를 찾아 그리퍼2를 이동한다.(a) 그리퍼2가 하강한 후 육묘트레이에서 모종을 분리한 후 그리퍼2가 상승한다.(b) 보식기가 재배홈통의 불량묘의 위치를 찾아 그리퍼1를 이동한다.(c) 그리퍼1이 하강한 후 재배홈통에서 불량묘를 잡아 상승한다.(d) 그리퍼2를 불량묘의 위치로 이동한다.(e) 그리퍼2가 하강한 후 재배홈통에 잡고 있던 우량묘를 놓고 상승한다.(f) 보식기가 우량묘의 위치를 찾아 그리퍼2를 이동한다.(g) 그리퍼2가 하강한 후 육묘트레이에서 모종을 분리한 후 그리퍼2가 상승한다.(h) 그리퍼1이 우량묘 위치로 이동한다. (i) 하강한 후 육묘트레이에 불량묘를 삽입한 후 상승한다.(j) 다시 (c)에서 (j)까지 육묘트레이에 모두 불량묘가 채워질 때까지 작업을 수행한다.

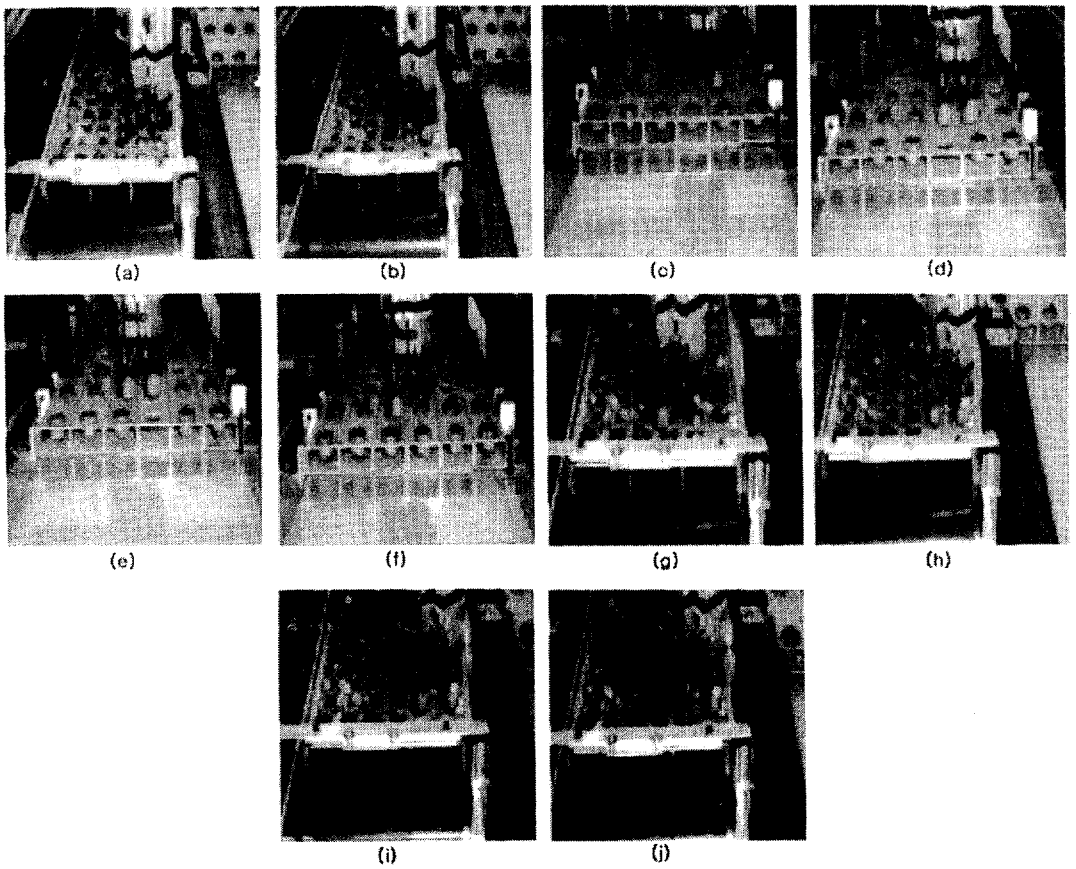


Fig. 2-100 보식작업순서

8절 결론

식물공장에 이용되는 이식기 및 보식기를 개발하여 성능시험을 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 육묘트레이를 작업영역으로 반입 및 전진을 위한 육묘트레이 이송장치, 재배홈통의 반입 및 이송을 위한 재배홈통 이송장치, 그리퍼를 육묘트레이와 재배홈통 사이로 왕복 이동시키는 그리퍼 이동장치, 육묘트레이와 재배홈통의 간격을 조정하기 위한 간격조절장치 및 육묘포트를 이식하기 위한 그리퍼를 설계 제작하여 이식 시스템을 제작하였다.
2. 육묘트레이를 영상처리 장치와 보식장치의 작업영역으로 이송 및 공급하기 위한 육묘트레이 이송장치, 재배홈통의 이송을 재배홈통 이송장치 및 XY 직교좌표형 로봇, 불량묘 제거 및 우량묘 공급을 위한 그리퍼, 영상처리 장치를 설계 제작하여 보식시스템을 제작하였다.
3. 제작된 이송장치 및 그리퍼 이동장치의 이동 정밀도를 측정한 결과 모두 ±1mm 이내에서 제어가 되었으며, 상추 모종을 이용하여 이식 작업을 수행한 결과 93.3%의 이식 성공률을 보였다.
4. 육묘상자와 재배홈통의 영상처리에 소요되는 시간은 육묘상자에서 1.3초이고 재배홈통에서 0.7초로 나타났다. 육묘상자와 재배홈통의 결주를 판별하는 영상처리의 정확도는 100%로 나타났다. 보식 시스템의 작업성능은 재배홈통 3조를 작업하는데 20.7초, 1개의 육묘포트를 보식하는데 6.88초가 소요되는 것으로 나타났다. 그리고 보식 작업을 수행한 결과 육묘상자에서 그리퍼의 작업 성공률은 100%, 재배홈통에서 그리퍼의 작업 성공률은 96.9%로 보식 시스템의 작업 성공률은 96.9%이었다.

3장 작물이동식 양액재배장치 개발

1절 서언

시설원예에 있어서 토양 대신에 배양액을 혼합한 물을 사용하는 양액재배의 보급이 증가하여 1992년도 13ha에서 1998년말 553ha에 이르게 되었다. 양액재배는 토양재배에 비해서 생산성이 높고 저농약 청정재배가 가능하다. 그러나 시설비가 많고 배양액관리 등의 재배기술이 숙련되어야 하기 때문에 보급이 많은 편이 아니어서 삼엽채, 파, 토마토, 오이를 중심으로 양액재배가 보급되고 있다.

최근에는 국제적으로 수경재배의 환경관리가 상당히 고도화했기 때문에, 보통 수경재배와 태양광 이용형 식물공장을 구별하는 것은 큰 의미가 없다. 따라서 지금은 수경재배를 태양광 이용형 식물공장에 포함시켜도 무방할 듯하다. 일본에서는 전력중앙연구소, 시코쿠전력, 구주전력등의 전력회사와 히다치, 미쓰비시등 대기업에서 식물공장에 관한 연구를 수행한 바 있고, 현재 20여개의 식물공장이 가동되고 있는 것으로 알려지고 있다.

식물공장에서는 파종·발아·정식·주간조절·수확·포장 등의 시스템이 갖추어지고 냉·난방, 습도관리, 광관리 등을 자동제어하고 부족한 일사량을 광원을 통하여 보광하는 환경관리제어시스템을 구축하여야만 한다. 다행히 파종에서 수확·포장 등의 작업기술과 냉·난방, 습도조절, 광원관리와 관련된 기술들은 충분한 연구가 이루어져 있기 때문에 식물공장의 시스템으로 활용이 가능하다. 식물공장에서는 온실의 환경조절기술과 함께 실내공간을 최대한 활용할 수 있는 작물주간조절 기술과 이에 적합한 작물재배용 정식판의 개발이 중요하다.

작물이 성장함에 따라 작물이 차지하는 폭이 넓어져 작물의 간격이 넓게 조절하여야 한다. 작물의 간격을 자동으로 조절하는 장치가 주간조절장치이며, 작물이 정식될 때에는 좁게 성장정도에 따라 간격을 점차 넓혀주면서 수확장소로 작물을 이송시켜주는 작물주간조절장치가 사용되면 정식, 재배관리, 수확노력이 절감되고 작물성장정도에 따라 주간이 조절되므로 온실의 면적을 최대로 이용할 수 있다 이러한 잇점 때문에 주간조절장치는 설

비비용이 많이 드는 식물공장의 운영비용을 줄여주는 중요한 재배관리시스템이다.

또한, 주간조절장치는 재배관리작업을 간소화할 수 있고 작물이 이동함으로써, 일정한 장소에서 정위치 작업이 가능하며 작업장치를 이동하기 위한 동력이나, 재배관리에 투입되는 인력이 최소화된다는 장점이 있다. 그리고, 식물공장내의 작업장소를 집중화하여 작업효율을 개선할 수 있는데, 예를 들면 작물고정식 재배방식에서는 작업장소가 포장내 전면에 분산되어 있지만, 작물이동식 재배방식에서는 작업장소가 한 곳으로 집중되어 작업능률을 극대화 시킬 수 있다.

따라서 이연구는 현재 유럽과 일본에서 사용되는 주간 간격량에 따라 부착된 주간조절장치와 정식판을 들어올려 이동하면서 주간을 조절하는 시스템과는 달리 체인켄베이어 시스템에 의한 작물주간조절시스템과 이에 적합한 작물재배용 정식판을 개발하고자 하였다.

2절. 관련 기술 동향

1. 재식판과 재배홈통

국내에서 사용되는 양액재배용 재식판은 스티로폼으로 제작된 NFT용 재식판이 주로 사용되고 있다. 이 재식판들은 재식판 상부에 일정한 간격으로 구멍을 뚫어 우레탄 스펀지에 심은 작물을 이식할 수 있도록 되어 있다. 또한, 최근에는 내구성 증가를 위해 FRP로 제작된 재식판이 개발되어 보급화되고 있는 추세이다.

외국의 경우 주간조절에 적합하도록 육묘포트를 넣을 수 있는 구멍이 뚫어진 사각관(rectangular tube) 모양의 재배홈통(growing trough)이 이용되고 있으며, 재질은 ABS수지, 알루미늄 등으로 제작되어 있다. 또한, 재배홈통의 규격은 폭 55~90 ㎜, 높이 45~60 ㎜범위로 제작 사용되고 있으며, 규격은 작물에 따라 다소 차이가 있다.

국내의 재식판은 주간과 조간이 고정된 재배방식에 활용되며 재활용이 가능하나 이동식 재배방식에 부적합하며, 외국의 재배홈통은 ABS수지나 알루미늄으로 제작된 것으로 작물 주간간격 조절을 목적으로 제작되어 있어 이동식 재배장치에 적합하다.

가. 사각관형 재배홈통[23)24)]

식물공장에서 엽채류 재배에 가장 많이 사용되는 형태로 사각관형 파이프에 지름이 3~9cm 크기인 재식 홈을 뚫고 그곳에 포트를 넣어 엽채류를 재배하는 NFT재배용 재식판의 일종이다[25)26)27)28)29)30)31)]. 재배홈통에 관한 연구는 처음에는 알루미늄 사각관이나

23) 농촌진흥청, 1999, 식물공장생산시스템-연구동향분석과 금후 연구방향. p108-112.
24) 장유섭, 2000, 식물공장의 작물조간조절시스템 개발. 충북대학교 박사학위논문.
25) Atsushi KANO and Cornelius H. M. Van Bavel. 1988. Design and test of a simulation model of tomato growth and yield in a green house. J. Japan. Soc. Hort Sci, 56(4) p408-416.
26) Benoit F. & Censtermans, 1994, First findings with the continous net-head lettuce production system in small plastic pots. 國際セミナー [世界を翔ふ養液栽培-partⅡ], 日本養腋栽培研究會 大會資料, p14-24.
27) Benoit F. & Censtermans, 1989, Growth lamb's lettuce (valerianella olitoria L.) on recycled poly-urethane (PUR) hydroponic mats. Acta horticulturae, 242, p297-303.
28) 日本農業システム. 1996. 植物日本栽培工場, 일본 catalogue.
29) 人見英里, 玉置美子, 友枝幹夫, 1992, ホウレンソウのシコウ帚代謝に關する研究. 園學雜, 61(2), p431-435.
30) 堀部和雄, 森邦男, 松尾辛臟, 近藤浩市, 1994. 2次植物移動栽培裝置による栽培實驗. 日本農業機械學會誌 56(3), p109-115.
31) 堀部和雄, 1993, 植物工場における自動化 - 植物工場のシステムテワノロヅー. SHITA report No 6. p13-22.

ABS(acrylnitril-butadien-stylen-copolymer) 소재에 포트를 넣을 수 있는 구멍을 뚫는 방식에서 수확작업의 생력화를 위하여 U자형 홈통에 벨트형 스트립을 삽입한 형태로 발전되고, 여름철과 겨울철의 온도변화가 재배홈통에 미치는 영향을 줄이기 위하여 U형 내부에 단열재를 삽입하는 방향으로 연구가 진행되고 있다[32)33)].

또한, 재배홈통과 재식 홈의 배열은 재배면적을 최대로 활용할 수 있고, 평행배열에서 지그재그배열방식, 부채꼴배열방식 등으로 연구가 진행되고 있다[34)35)36)37)38)].

Geyer(1997) 등은 길이가 11.6m 길이에 폭 7cm, 높이 6cm의 재배홈통을 이용하여 시금치, 양상추 재배에 이용하고 있으며, 이 재배홈통은 ABS 소재로 제작된다. 스웨덴의 AgritecInnovation Co.는 10m 길이에 폭 9cm, 높이 4.5cm의 플라스틱제의 재배홈통에 조간간격을 15~20cm로 하여 7.5cm의 소형 포트를 넣을 수 있는 재배홈통을 사용하고 있으며, 벨기에에서도 같은 종류의 재배홈통이 사용되고 있다[39)40)41)42)43)]. 미국의 General Mills Industry, General Electronic co., General Huse co., Whittacker co., White Farm co. 등은 알루미늄 또는 ABS수지로 제작되어 3~5 인치 포트를 넣을 수 있는 사각관형의 재배홈통을 사용하고 있다[44)].

---

32) 과학원예, 1997, 북유럽형 식물생산 시스템. p130-132.

33) 龜田修二, 1998, 中山間地におけるホウレソソウ移植栽培と周年体系への試行. 施設園藝, p66-71.

34) 도서출판 세화편집부역, 1997, 체인컨베이어, p49-83.

35) 박권우, 1997, 공장형 원예산업 시대의 개막과 전망 II - 국내외 식물공장의 현황과 장래. 호남작물연구소주관 제4회 국제공동세미나 자료집, p8-25

36) 박상근, 권영삼, 김광용, 고관달, 1989, 공정생산에 의한 상추연속시험. 원예연구소시험연구보고서, p147-154.

37) 정순주, 전하준, 지재식, 김정도, 한남이, 이일형, 1996, 신농민강좌시리즈, 양액재배-고품질, 다수확, 생력화의 길. 농민신문사 p209-236.

38) Atsushi KANO and Cornelius H. M. Van Bavel. 1988. Design and test of a simulation model of tomato growth and yield in a green house. J. Japan. Soc. Hort Sci, 56(4) p408-416.

39) 도서출판 세화편집부역, 1997, 체인컨베이어, p49-83.

40) 박권우, 1997, 공장형 원예산업 시대의 개막과 전망 II - 국내외 식물공장의 현황과 장래. 호남작물연구소주관 제4회 국제공동세미나 자료집, p8-25

41) 정순주, 전하준, 지재식, 김정도, 한남이, 이일형, 1996, 신농민강좌시리즈, 양액재배-고품질, 다수확, 생력화의 길. 농민신문사 p209-236.

42) 한양유통 수농연구소, 1992, 수농연구소 팜플렛.

43) 龜田修二, 1998, 中山間地におけるホウレソソウ移植栽培と周年体系への試行. 施設園藝, p66-71.

44) Romain guav et R. Thériault. 1991. Éclairage et régie des déplacements d'un module de culture en serre

일본에서는 原藤崇義(1998)등이 주간과 조간이 동시에 조절되는 시스템을 위하여 U형관에 평판의 스페이서를 삽입할 수 있도록 제작된 홈통이 최근에 연구 개발한 바 있으며[45], 內田撤(1994)등은 재배홈통을 알루미늄+공기+단열재의 3층 구조로 만들어 단열·보온효과를 높임으로서 여름철의 액온 상승과 겨울의 액온 변화를 최소화할 수 있는 재배홈통 개발하여 香川縣長尾町에 소재한 농업조합법인의 식물공장과 用鐵ライフ 식물공장에 보급한 바가 있다. 그리고 재배홈통에는 캐링 스트립(carrying strip)이라고 부르는 벨트가 장착되어 포트를 넣을 수 있도록 적당한 피치의 정식 구멍이 뚫어져 있다.

조간조절장치에 사용되는 재배홈통은 아니지만 형상과 용도가 같은 재배홈통으로 뉴질랜드의 Stocker co. 미국의 Airline Hydroponics co[46].등에서 개발된 것은 펄라이트나 재배용토를 담고 엽채류를 정식할 수 있는 2~3인치 포트가 삽입되는 재배홈통으로서 NFT 방식에 이용할 수 있다[47].

Daniel(1991)등은 U형의 홈통에 재배용 포트를 넣을 수 있도록 구멍이 뚫려있는 덮개를 씌우고 내부에는 V형의 격막을 설치하여 홈통 양쪽 끝에는 양액공급호스와 회수호스 1쌍과 U형과 V형 사이에 액온의 온도변동을 적세하기 위하여 온수와 냉각수를 흐르게하는 2쌍의 호스를 설치한 양액재배용 재배홈통을 개발하였다[48].

高辻正基는 정치재배에서 육묘기에는 재배홈통을 지그재그로 배열하여 어린 모를 정식하여 육묘하다가 재배홈통을 다시 정방향으로 바르게 정렬하는 작물배열에 관한 연구를 수행하였다.

나. 원통형 재배홈통[49][50]

원통형 채널은 고정형 재배홈통으로 미국의 General Hydroponics Co., General

45) 原藤崇義. 1998. 德島縣にできた 植物工場 [吉野ベジタブアーム]. 施設園藝 1998(1) 28-31.
46) Atsushi KANO and Cornelius H. M. Van Bavel. 1988. Design and test of a simulation model of tomato growth and yield in a green house. J. Japan. Soc. Hort Sci, 56(4) p408-416.
47) Romain guay et R. Thériault, 1991, Éclairage et régie des déplacements d'un module de culture en serre sur deux niveaux. Canadian agricultural engineering 32(2), p303-308.
48) Daniel J. Rivest, 1991, Hydroponic system. USA patent number 5010686.
49) 농촌진흥청, 1999, 식물공장생산시스템-연구동향분석과 금후 연구방향. p108-112.
50) 장유섭, 2000, 식물공장의 작물조간조절시스템 개발. 충북대학교 박사학위논문.

Electronics Co., 등에서 연구 개발하여 실용화한 밀식재배용 재배홈통과 오스트리아 Ruthner Co.에서 개발한 탑형 온실의 이동식에 사용되는 재배홈통이 있으며, 주로 다단재배와 다단형 이동식 재배방식의 식물공장에서 많이 이용된다.

탑형 일체식 식물공장건설로 유명한 오스트리아의 Ruthner Co.는 수직 컨베이어에 설치하여 사용하는 작물재배용 홈통은 작물재식용 포트를 넣을 수 있는 홈이 있는 원통형으로 양액이 흐를 수 있도록 제작된 재배홈통을 사용하고 있다.

미국의 General Hydroponics Co.는 원통에 공기와 양액이 공급되고 포트에 배지를 넣어 작물을 재배하는 방식의 재배홈통을 개발 보급하고 있다. John's Plant Factory Co.는 지금 30cm의 원통에 지름 1.3cm의 포트 또는 지름 15cm의 원통에 지름 9cm의 포트를 90개 넣을 수 있는 원통형 홈통 조합인 작물생육실을 제품화하였다.

다. 현재 이용되는 재배홈통의 단면

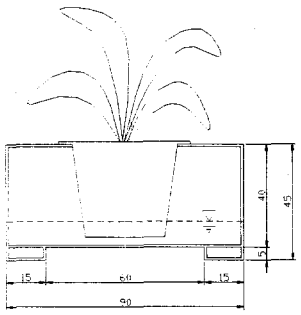


Fig. 3-1 SWEDEPONIC AB (스웨덴)

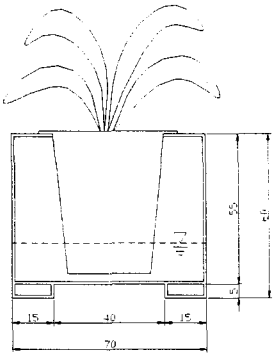


Fig. 3-2 GREEN FAIRY MA (독일)

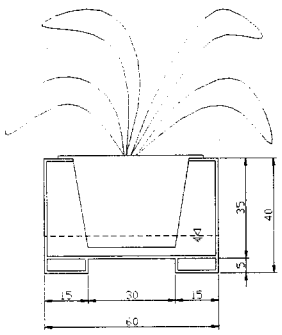


Fig. 3-3 高岳製作所 (일본)

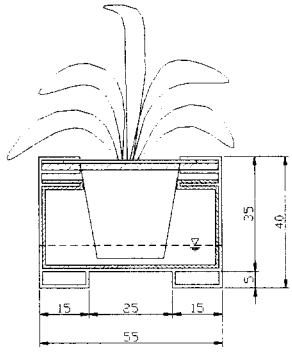


Fig. 3-4 (株)四國總合研究所 (일본)

2. 작물 조간조절장치

가. 국내의 자동이송, 반출 및 재이용 시스템

우리나라에서는 1986년도 원예연구소 유리온실에 재식 홈이 있는 스테인리스 체인으로 종자를 파종하여 재배온실로 반입하고 수확시기에 있는 작물을 반출시키는 연속열 시스템의 PFT형 이동식 재배장치를 설치하여 상추를 가지고 연속열 재배방식과 수기경재배 및 토경재배의 생산성을 비교하는 생산시험을 한 바 있으나 주간이 조절되지 않으며 스테인리스로 된 재배용 체인을 살균 소독한 후 계속 사용할 수 있는 시스템으로 실용화되지 못하였다.

1989년도에는 철제로 된 사각통 안에서 한쪽에서 파종된 육묘상자가 V벨트에 의해 이송되어 반대편에서 다 자란 싹기름 채소를 수확하는 장치가 한양유통 수농연구소에서 개발되어 싹기름 채소를 생산한 바 있으며, 육묘상자는 수확이 끝나면 살균소독 후 재활용된다.

한편, 농업기계화연구소에서는 체인 컨베이어시스템에 의해 작물이 이동되는 작물이동식 양액재배장치를 1998년도에 개발하여 상추를 시험생산하고 있으며 재배홈통은 반영구적으로 사용될 수 있다.

한편, 내부가 비어있고 양액을 공급하는 스프레이 노즐이 들어 있는 플라스틱 원통을

행거 레일로 이동시키면서 상추나 엽채류를 재배할 수 있는 현수순환방식의 이동식 재배장치를 개발하여 재배하고 있으며, 이 장치는 작물이 정식된 후에 작물이 햇볕을 고루 받을 수 있도록 원통을 회전시킬 수 있고, 플라스틱 원통이 자외선에 의해 열화되지 않으면 작물을 심는 배지를 제외하고 재활용할 수 있는 시스템으로 현재 필요한 농가에 보급하고 있다. 현재, 국내의 원예관련대학교에서 연구되는 식물공장용 재배장치는 주간조절이 되지 않으며 고정식이 대부분을 차지하고 있다.

나. 외국의 자동이송·반출 시스템

재배홈통을 이송시키면서 재배하는 방식은 덴마크의 왕립농업대학의 쿨가드교수에 의해 기술적 자문을 받고 있는 크리스텐센 농장이 시초로 1889년에 농장이 설립되어 1957년에 현재의 농장으로 이주하였다. 이 농장은 여섯 개 레인의 체인컨베이어에 의해 재배홈통이 발아실에서 재배실, 수확실로 평면 이송되어 반출되는 것으로 주간조절은 되지 않는 시스템이다.

또한 Geoffray Drucy는 주간조절은 되지 않으나 웨브(web)가 있는 홈통을 홈통 아래에서 홈통을 받쳐 수평간격을 유지하도록 하는 V형 리브(rib)가 있는 스페이서 바(spacer bar)를 설치하여 스페이서 위에 놓인 재배홈통을 육묘실에서 수확실까지 사람이 쉽게 수평으로 이동시킬 수 있는 시스템을 개발한 바 있다.

오스트리아의 Ruthner Co.는 정식된 작물을 체인으로 만들어진 수직이송 켄베이어에 의해 분당 약 2m 속도록 수직 이송시키면서 재배하여 수확시기에 다른 작물을 수확실로 이송하여 반출시키는 시스템을 개발하여 탑형 태양광형 식물공장생산시스템에 적용하고 있다.

General Mills Inc. 는 평면상의 정식된 재배홈통이 생장단계에 따라 단계별로 피치가 다른 나사 위에서 주간이 확대되면서 수확장소로 평면 이송되는 밀식재배 장치를 개발하여 이용하였다.

스웨덴의 Swedponic AB, 독일의 Green Fairy Co., 벨기에의 European Vegetable R&D Centre 등은 러그방식의 캠 또는 러그에 의해 작물이 이송되면서 주간이 조절되며 작물의

반출은 롤러컨베이어에 의해 수확장소로 재배홈통이 이송된다. Agritec Inovation Co.의 작물이송 시스템은 주간조절 로봇에 의해 작물의 생육에 따라 정식된 재배홈통이 간격이 넓어지면서 수확장소로 반출된다.

일본의 四國電力總合硏究所, 高知縣 식물공장생산시스템, 九州電力中央硏究所, 川鐵ライフ식물공장생산시스템 등은 러그방식의 캠이 상하전후진 작동을 하면서 작물의 생장단계별로 재배홈통이 평면이송되면서 정식에서 수확시기까지 작물이 이송되며 재배홈통의 반출은 로봇에 의해 수확장소로 보내진다.

香川縣長尾町에 소재한 농업조합법인의 식물공장생산시스템과 吉野ベジタフアーム 등에서는 작물이 XY평면으로 주간이 넓혀지면서 수확장소까지 컨베이어시스템에 의해 이송되는 시스템이 사용되고 있다.

다. 재배홈통의 세척시스템

재배홈통의 세척은 四國電力總合硏究所, 高知縣 식물공장생산시스템, 독일, 스웨덴, 노르웨이등의 식물공장생산시스템에서는 수확이 끝난 후에 재배홈통이 회전형 브러시와 물을 채운 통 속으로 이송되면서 재배홈통의 내외부에 남아 있는 불순물을 씻어내어 건조시킨 후에 재사용 하도록 되어 있다.

라. 생육중 주간조절 자동화 시스템

식물공장생산시스템은 초기투자비가 많이 들어가므로 작물이 생육함에 따라 작물의 크기에 알맞도록 주간이나 조간을 넓혀줌으로서 밀식재배로 공간을 최대로 유효하게 이용하는 것이 생산성을 높일 수 있는 방법이다. 이와 같이 작물의 주간이나 조간을 넓혀주는 시스템이 러그나 돌기에 의해 조절되도록 하는 러그식과 체인 컨베이어식이 스웨덴, 벨기에, 독일, 일본, 한국(농업기계화연구소, 1998) 등에서 연구 개발되었고, 미국에서는 스크루의 나사 피치의 크기에 따라서 주간간격이 넓혀지는 방식. 일본의 격자형의 링크에 의해 조절되는 방식이 개발되었으며, 스웨덴, 노르웨이, 일본 등에서 온실의 길이 방향으로 움직이는 기중기의 일종인 가로 이송 로봇에 의해 조절되는 방식이, 최근에 일본에서는 주

간은 주간조절장치에 의해, 조간은 스페이서라는 패널을 U자형 홈통에 삽입하여 주간과 조간을 동시에 조절하여 식물공장생산시스템의 작물 재배면적을 극대화하는 방향으로 연구가 진행되고 있다.

1) 러그 방식의 주간조절장치

1996년 독일과 일본에서는 원형 축에 캠 역할을 하는 러그를 작물의 생장정동에 알맞게 일정거리마다 설치하여 축을 회전하여 러그가 수직방향으로 세워져 재배홈통 사이에 위치하면 축을 이송방향으로 밀어 작물의 주간간격이 조절되고 축을 회전시켜 러그가 수평방향으로 뉘어지면 축이 후진하는 방식의 주간조절장치가 개발 운영되고 있다.

森邦 男은 재배홈통을 이송하는 레일을 정식하는 곳에서 수확하는 방향으로 밀어주는 실린더와 레일을 상승 및 하강시키는 실린더를 설치하고 레일에는 러그나 후크 등을 각 생장단계별로 설치하여 레일이 하강하여 재배홈통 지지레일 위에 놓이면 이송레일이 하강하여 후진하면서 레일에 설치된 러그가 생장단계별로 주간간격에 맞도록 작물이 심어진 재배홈통 아래에 위치하게 되며 이때에 승강 실린더가 이송레일을 상승시키고 이송실린더를 작동시켜 전진시키면 주간조절이 이루어지는 시스템을 개발하였다.

堀部和雄 등은 정식시에는 재배홈통 배치간격이 인접되어 있지만, 식물 생장에 맞추어 순차적으로 자동 이동되는 동시에 주간이 넓어지는 장치를 개발하였다. 재배홈통의 뒷면에서는 훅 지지구가 있으며 훅봉이 상승, 전진, 하강, 후퇴를 반복하면서 훅봉이 달린 훅이 전진시에만 훅지지구를 눌러주게 되어 재배홈통은 정식위치에서 수확위치로 이동해 간다. 훅봉의 작동은 승강용·이송용 실린더에 의하여 이루어진다. 또 훅의 간격은 정식측에서 수확측으로 움직여 가면서 순차적으로 넓혀져 소정의 주간간격을 얻을 수 있다.

2) 체인 컨베이어방식 주간조절

체인에 의한 이송시스템은 덴마크의 크리스텐센 농장에 처음 설치되어 운영되고 있으나 주간조절은 되지 않는 시스템이며, 1998년도에 농업기계화연구소에서 체인 컨베이어에 러그를 부착한 이송시스템과 작물의 생장단계별로 주간을 조절하는 체인식 spacing 시스템

이 개발되었다. 이 시스템은 작물의 주간을 생장단계별로 4단계로 조절할 수 있도록 되어 있으며, 44개의 재배홈통에서 396주의 엽채류를 재배할 수 있는 시스템으로 작물이 정식된 재배홈통이 작물주간조절장치로 유입되면 리미트 스위치에 의해 시스템이 작동되면서 이송되어 각 생장단계에 이르면 작물간격이 벌어져 주간이 조절되면서 재배홈통이 반출된다. 체인 이송시스템은 다른 시스템에 비해 제작이 용이하고 가격이 저렴한 것이 장점이다.

3) 가로 이송 기중기식 로봇에 의한 주간조절

스웨덴의 Swedponic AB, Agritec Inovation Co., 노르웨이 등에서는 식물공장생산시스템 내에 가로 이송 기중기식 로봇을 설치하여 재배홈통을 정식실에서 재배실로 이송하고 수확실로 반출하며, 작물의 생장단계에 따라 주간을 넓혀주면서 이송하는 시스템을 연구하여 실용화하였다. 일본에서 星岳彦, 山崎 明 등은 담액수경재배조위에 놓인 재배홈통 좌우에 설치된 구멍이 뚫려 있는 패널을 가로 이송 기중기식 로봇에 설치된 후크로 재배홈통을 들어 올려 이송하는 동시에 주간간격이 벌어지면서 다음 생육단계의 담액수경재배조로 자동 이송되는 시스템을 연구 개발하였다. 이 시스템은 첨단 기술에 의해 초생력화와 무인자동화가 가능한 장점이 있다. 반면에, 온실의 구조가 가로 이송 기중기식 로봇을 설치할 수 있도록 설계되어야 하고, 구조도 견고하여야 하며 각 동간 이동이 원활하게 될 수 있도록 설계되어야 하며 고장 시에 인력으로 대체하기가 어려운 단점이 있다.

4) 스크루식 주간조절장치

General Mills Inc.에서 개발한 주간조절시스템은 작물이 생장함에 따라 웜기어의 나사산 피치를 크게 하여 작물이 심어진 포트가 같은 간격으로 넣어진 재배홈통을 웜기어가 회전하면서 정식장소에서 수확하는 방향으로 이송되면서 작물의 주간이 조절된다. 이 시스템은 웜기어의 나사 가공이 매우 어려운 단점이 있다.

5) 격자형 링크방식의 주간조절장치

高辻正基가 제안한 격자형 링크방식의 주간조절장치는 식물을 재배하는 재배홈통을 유도하기 위하여 상하에 2본의 가드레일을 설치하고 가드레일의 간격을 변화시켜 줌으로서 주간이 자동 조절되는 시스템이다.

6) Spacer식 주간, 조간 동시조절방식

高橋宏 등은 주간조절은 러그가 달린 축을 이용하여 러그를 수직으로 세워서 재배판넬을 밀어 주간을 넓혀주고 러그를 수평으로 눕혀서 후진시켜 다시 원위치로 하여 주간을 조절하며 조간은 작물마다 별도의 나누어진 재배홈통으로 구성하고 스페이서라는 패널을 재배홈통과 재배홈통 사이에 삽입하여 조간을 조절하며 스페이서는 스페이서 피처(spacer pitcher)라는 투입장치에 의해 자동으로 삽입되도록 되어있는 시스템을 개발하였다.

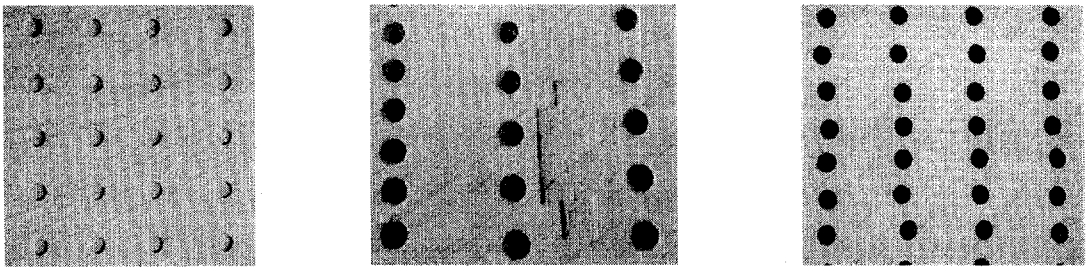
7) 국내

가) 재식 홈이 있는 스텐레스 체인으로 제작된 NFT용 이동식 재배장치가 '85년에 설치 운영된 바 있으나 현재는 철거되었으며, 주간이 조절되지 않는 구조임(원예연).

나) 싹 기름장치로 V벨트 상부에 재배홈통을 올려놓아 이동할 수 있도록 제작되었으며, 일종의 공장적 생산방식이라 할 수 있음(한양유통 수농, '89).

다) 국내에 사용되는 양액재배용 고정식 재배홈통은 그림에서 보는 바와 같이 스티로폼에 재식공을 뚫어서 사용하며, 작물을 이식한 후 성장함에 따라 솎아내는 방법으로 재식거리(주간과 조간)를 조절하고 있음.

라) 양액재배용 고정식 재배홈통



회사1　　회사2　　농가제작

Fig. 3-5 양액재배용 고정식 재식판

마) 양액재배용 고정식 재배홈통의 규격

Table 3-1 양액재배용 고정식 재식판 규격

	회사1	회사2	농가제작	영농표준교본
재식공(주간×주간cm)	9×8	5×15.5	5.5×11	(15~20) × (15~20)
솎은 후(주간×주간cm)	18×16	10×15.5	16.5×22	

3. 식물공장의 양액재배

가. 양액관리

양액의 EC(electric conductivity, 전기전도도)는 이화학적 특성이 다른 각 이온의 EC의 합으로 이루어지기 때문에 순환식 재배방식일 경우 작물의 선택적 흡수에 의하여 양액 내의 이온간의 균형이 시간의 경과와 함께 깨어져 버린다. 특히 농도가 낮은 양액일수록 양액의 유효성이 급속히 감소하기 때문에 빨리 교환하지 않으면 안 된다. 따라서 가능한 한 양액의 유효성을 장기간 유지하도록 하는 방안이 필요하다.

일반적으로 양액의 농도를 EC로 나타내어 작물에 흡수되어 감소한 분량을 보충하기 때문에 고농도의 비료를 추가하는 방식의 농도제어가 이루어지고 있다. 그러나 작물의 양분흡수는 양이온과 음이온의 종류에 따라 매우 다른 특성을 보여 EC만으로는 합리적인 양액관리는 힘들다.

양액제어는 EC와 pH를 측정하여 농도 및 산도를 작물별, 생육단계별로 자동조절할 수 있는 양액관리시스템이 실용화되어 보급되고 있으나 전체 농도를 일괄적으로 제어하는 방식이어서 개별성분의 불균형은 제어할 수 없다.

기존의 양액제어에서는 적당한 조성의 배양액을 만들어도 작물의 종류 및 생육단계별로 각각의 이온 흡수속도가 다르기 때문에 생육이 진행됨에 따라 배양액의 유효성이 감소되고, 또한 배양액 조건이 상이할 때는 작물의 생육에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 전이온을 연속적으로 분석해 부족량을 자동적으로 추가해 주는 시스템이 필요하다.

부분이온전극에 의한 제어방법은 K^+, NO_3^- 정도의 제어만으로도 양액의 유효성 감

소를 상당부분 줄일 수 있는데 이는 K^+, NO_3^- 이 양액 내 이온의 불균형에 미치는 영향이 매우 크기 때문이다.

전체 무기이온을 이온크로마토그래프로 분석해 내는 방식은 batch식으로 사용되고 있으나 가격이 너무 비싸다는 문제점이 있으며 최근 배양액 성분농도를 자동으로 측정하는 이온센서의 실용화 연구가 시도되고 있으나 ①측정대상 성분이 한정되고 ②유지관리에 어려움이 있고 ③가격이 비싸며 ④다른 이온의 영향을 받는 등의 문제가 있다.

재배적인 측면에서는 이온농도의 제어에 따른 작물의 수량이 증대된다든지, 품질이 향상된다든지, 생리장해의 발생이 적다든지 하는 효과를 확인할 필요가 있고 또 자동으로 배양액 조성농도를 일정하게 유지해야 할 필요성에 대해서도 검토가 필요하다.

羽藤은 NFT수경에서 진단 전문가시스템(diagnostic expert system)을 개발하여 기계·전기적 이상, 콘트롤러의 기능이상, 작물체에서 일어나는 기능이상 등을 검출하고 이온센서를 부착하여 각각의 이온농도를 측정하면서 양액을 조절할 수 있도록 하였다.

국내에서는 퍼지제어를 이용하여 온도, 습도, 일사량, 생육시기, EC 등의 생육정보를 바탕으로 양액의 공급량 및 농도를 작물생육에 알맞게 공급하는 양액공급시스템이 개발되었고, 또한 원칩마이크로 컴퓨트를 이용하여 양액의 온도, 산도, 전기전도도, 용존산소량을 계측, 제어할 수 있는 양액 조제 전용콘트롤러와 양액조제용 소프트웨어가 개발되었으며, 이 외에도 기존 정량펌프의 문제점을 보완한 액체정밀계량장치와 PLC(programmable logic controller)를 이용한 양액자동 공급장치가 개발되어 실용화되고 있다.

나. 양액제어

양액공급시스템은 양액 혼합 후 공급시스템과 연속혼합시스템이 많이 사용되고 있는데, 혼합 후 공급시스템은 농축배양액과 지하수를 이용하여 대형의 양액혼합탱크에서 조제한 후에 배지에 공급하는 시스템으로 재배면적에 비례하여 혼합탱크의 용량이 커져야하고 조제시간 또한 길어지는 단점이 있다.(그림2.78)

연속혼합시스템은 50~200 ℓ 정도의 혼합탱크가 부착되어 있고 재배면적에 관계없이 양액

의 농도와 공급회수를 다양하게 제어할 수 있는 시스템으로 현재 고형배지경에서 가장 많이 적용되고 있다.(그림 2.79)

1) 양액제어시스템

양액제어시스템은 양액제조계(원수, 고농축 액비탱크, 혼합·저류탱크 등), 재배계(재배베드,양액탱크, 순환기기 등), 계측·제어계로 구성된다. 양액은 혼합·저류탱크에서 소정의 농도가 될 때까지 원수에 고농도의 액비를 일정한 비율로 섞으면서 조제하고 적당한 통기를 하여 pH등이 안정되면 각각의 재배계로 보내진다. 재배계에는 양액속의 각종 이온의 전기전도도를 측정하는 전기전도도계(EC센서), 이온조성의 목표가 되는 pH센서, 용존산소량을 측정하는 용전산소계, 개별적으로 이온농도를 측정하는 분석계나 이온센서 등이 있다. 여기서 각 이온농도 계측은 작물의 영양특성을 파악하는데 있어 중요한 요소로 앞으로의 연구발전이 요망된다.(그림 2.80)

2) 이온농도의 계측시스템

이온농도는 이온크로마토그래피나 원자흡광광도계(주로 금속이온용) 등의 분석계를 사용하여 계측하는 경우가 많다. 이 방법은 측정정밀도는 높으나 양액의 샘플링 및 분석에 수동조작이 필요하기 때문에 온라인 제어에는 적합하지 않다. 이온센서(이온선택성 전극)는 특정한 이온에 감응하는 막을 가지며 그 이온의 농도에 따라 참조전극과의 사이에서 생기는 전위차로 농도를 측정한다. 측정정도는 분석계 보다는 낮지만 연속계측이 가능하기 때문에 온라인제어에 유리하다.

도시바에서 개발한 이온미터는 4종의 이온(K^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+})농도를 동시에 계측할 수 있다. 일반적인 이온센서는 출력특성이 경시적으로 변화하기 쉬워서 자주 보정할 필요가 있는데 이 이온미터는 샘플링할 때 마다 자동 보정되기 때문에 장기적인 온라인 제어가 가능하다. 또한 반도체를 사용한 초소형 ISFET(Ionselective field effect transistor)도 이용되고 있는데 이 전극은 FET 게이트 위에 이온감응막을 덮은 것으로 크기가 매우 작고 안정성도 좋다.

3) 식물의 제어시스템

재배환경과 식물의 제어시스템을 소프트적인 면에서 보면 먼저 재배환경을 콘트롤러로 제어(환경의 적응제어)하고, 다음으로 이것에 의해 식물을 최적으로 제어(식물의 최적제어)하는 것이다. 여기서는 환경에 대한 식물의 거동을 순차적으로 동정(同定)하여 최적제어를 실현하는 방법을 말한다. 同定이란 실제적인 입출력 계측데이터에 근거하여 블랙박스를 모델화하는 것을 말한다.(그림 2.84)

4) 양액농도의 적응제어

폐쇄순환시스템을 채용하는 양액재배에서 양액의 농도조절은 순환에 의한 지연시간과 작물의 생장에 다른 영양흡수변화를 고려할 필요가 있다. Chotai와 Young은 NFT재배의 양액농도 제어에 적응제어를 적용하여 제어특성을 개선한 바 있다. 적응제어란 환경과 제어대상의 특성이 시간적으로 변동하더라도 이를 추종하면서 조작량을 적절히 변화시키는 제어방법을 말한다. 입력자료는 양액탱크에 첨가되는 고농도의 양액농도이고 출력은 양액탱크내의 양액농도이다. 입출력관계를 임의의 전달관수모델로 근사추론하여 관수의 각 파라미터는 모델화 하여 구해지고 동시에 이 파라미터에 의해 조작량이 순차적으로 결정된다. 이러한 제어로 인해 순환에 따른 시간지연과 뿌리의 이온흡수에 따른 농도변동이 있다 하더라도 높은 정밀도로 안정된 양액농도를 제어할 수 있다.

5) pH의 신경망과 퍼지제어

순환양액의 pH제어에서는 순환에 따른 시간지연과 산 또는 알카리에 대한 양액 pH의 비선형특성을 고려할 필요가 있다 森本과 橋本은 DFT(담액수경)에서 양액의 pH제어에 퍼지(Fuzzy)제어와 신경망(Neural network)을 적용하였다. 퍼지제어는 퍼지멤버십(fuzzy membership)관수로 독농가의 뛰어난 기술을 정량화하여 계산처리할 수 있으며, 신경망은 학습에 의해 복잡한 시스템의 거동을 동정할 수 있다. 입력은 산의 첨가량, 출력은 양액의 pH가 되며, 양액은 양액탱크와 재배베드사이를 순환하고 있다. 이러한 제어시스템은 피드

백(feedback)제어부와 피드포워드(feedforward)제어부로 구성되며, 피드백제어부에서는 퍼지제어를, 피드포워드제어부에서는 3층의 신경망에 의한 역시스템모델을 적용하고 있다. 조작량은 2개의 제어부 출력의 합이 되며, 여기서 역시스템모델이란 목표출력으로부터 입력(산의 첨가량)을 구하는 모델로 동정으로부터 얻을 수 있다. 제어는 신경망이 입출력데이터를 학습하여 역시스템모델을 구축한 다음부터 시작된다. 퍼지제어에 있어서의 입력은 목표치로부터의 편차와 그 변화속도 출력은 산의 첨가량이 된다. 산의 첨가에 대한 양액의 pH는 비선형특성과 순환으로 인해 시간지연이 컸으나 피드포워드제어부에 의해 응답성이 향상되고 피드백제어부에 의해 안정된 제어특성을 얻고 있다.

6) 급배수의 최적제어

급배수조작은 뿌리의 흡수기능을 높인다는 점에서 중요하다. 森本 등이 유전적 알고리즘과 신경망을 이용해서 최적의 급배수시간을 제시하였는데, 광합성속도는 특정한 급배수 조작에 의해 변한다는 특성을 이용하여 광합성속도가 최대가 되는 4단계의 급배수 조작시간을 구하고 있다. 유전적 알고리즘은 조합적인 최적치의 탐색법으로서 목적관수가 복잡하여도 적용이 가능하다. 이것은 유전조작(교차 또는 돌연변이)을 이용해서 적응도가 높은 값(개체)을 계속 남기면서 최적치를 얻는 것인데, 그 제어법은 먼저, 3층의 신경망을 사용하여 급배수 조작에 대한 광합성속도의 동적모델을 동정에 의해 구축하고, 다음으로 모델의 시뮬레이션으로부터 유전적 알고리즘을 이용해서 광합성속도가 최대가 되는 급배수 조작을 시행착오적으로 탐색하는 것이다. 모델의 시뮬레이션으로부터 방대한 급배수시간의 조합에 대한 광합성속도의 값이 계산되는데 유전적 알고리즘은 이 가운데에서 매우 효율이 좋은 최적치(최적 급배수시간의 조합)를 구하게 된다.

다. 병충해방제

1) 지상부 병충해방제

지상부의 병충해 방제는 시설의 청결유지, 종자 및 기기류의 살균처리로 병해를 미연에 방지하는 일이 중요하며, 공조설비를 이용하여 시설내 부유물이나 잡균을 제거하거나 외

부로부터 곤충의 침입을 차단할 수 있는 기술개발도 필요하다. 또한 병해를 조기에 발견하기 위해서 잎의 색깔, 반점 등의 생장정보를 신속히 계측하여 진단할 수 있는 병해예찰 전문가시스템의 개발이 필요하다. 古在는 온실의 환경조절, 병충해예찰 및 온실경영에 전문가시스템을 도입한 바 있고, 이 외에도 기계적인 방제로서 기계가 재배상 위를 주행하면서 식물체 잎에 붙어 있는 해충을 빨아들이는 포충기의 개발도 이루어지고 있다.(그림 2.85)

2) 지하부 병해방제

지하부의 병해방제 대책으로 가장 많이 이용되는 기술이 양액의 살균소독이다. 순환식 양액재배에서는 병원균이 재배계에 들어와 일단 병해가 발병되면 방제하기가 어렵고 순식간에 시설전체에 큰 피해를 줄 우려가 있기 때문에 양액은 반드시 살균소독한 후에 재사용하여야 한다.

살균 소독한 양액을 적정양액으로 보정하기 위해서는 13가지의 이온을 동시에 온라인 자동분석하여 제어하는 기술이 필요하나 아직 실용화 단계까지는 이르지 못하고 있다.

가) 열처리

퇴액탱크에 집수된 양액은 먼저 유기물 입자를 여과시킨 후 열교환기로 이동되며 가열살균된 양액으로 살균할 양액을 일정 온도까지 예열시킨 후 전기 히터를 사용하여 일정 온도까지 양액을 가열 살균하는 원리로 되어 있다.(그림 2.86)

이 장치는 전기가열만으로 가단히 양액을 살균할 수 있고, 살균되 양액과 새로 처리할 양액 사이에 열교환을 일으켜 예열 및 냉각에 따른 가열에너지를 절감할 수 있는 특성이 있는 반면, 퇴수량이 많은 DFT와 같은 방식에는 처리용량의 한계 때문에 적용이 곤란할 것으로 생각되어 앞으로 이에 대한 연구검토가 필요하다. 벨기에에서 개발한 증기소독기는 버너의 열로 양액을 살균처리한 후 냉동기에 의해 양액을 냉각하는 방식으로 EC 및 pH의 조절이 가능한 반면에 유지비가 많이 들고 가격이 비싸다는 단점이 있다.(그림 2.87)

나) 자외선처리

자외선은 100~400nm의 파장대를 갖는 전자파로서 병원균 살균에는 고압과 저압의 램프가 사용되고 있다. 고압램프는 200~280nm의 파장을 발산하고 저압램프는 253.7nm의 파장을 발산한다(그림 2.88). 자외선은 수중에 조사되면 물, 수용액속에 용해되어 있는 성분, 탁도 등의 영향을 받아 감소하고, 장시간 조사할 경우 램프관의 오염에 의해 살균효과가 저하될 우려가 있다. 집수된 배출액은 우선 1μ정도의 필터로 여과처리가 필요하며 정기적으로 램프를 세척해야 하는 번거로움이 있다. 특히 양액에 자외선을 처리하면 양액내의 철분과 망간의 함량이 감소하게 되어 처리 후에는 철과 망간을 반드시 보정할 필요가 있다. 네덜란드에서 개발된 순환식 고형배지용 자외선 살균장치는 광의 세기를 연속적으로 측정하여 배액의 투명도에 맞게 조사광량을 제어할 수 있고 와이퍼에 의한 램프의 자동세척 기능을 갖춘 것이 특징이다.

다) 오존처리

오존을 이용하여 양액을 살균할 경우 1분당 10g의 오존이 있으면 곰팡이, 세균, 바이러스 등은 물론 곰팡이 포자까지도 거의 살균할 수 있다.(그림 2.89)

그러나 오존살균의 문제점은 킬레이트철 특히 EDDHA-Fe이 산화철로 변하기 때문에 활성탄으로 제거해야 하는 것과 낮은 pH조건에서는 용존오존의 양이 많아서 소독하지 전에 양액을 활성조건으로 맞추기 위한 산 공급장치가 필요하다는 것이다.

라) 모래여과

모래를 이용한 저속 모래여과장치는 모래를 채운 여과부와 침전조로 구성되며, 1시간당 100~300 ℓ/m^3정도의 유속으로 모래여과층을 통과하면서 소독된다. 여과장치를 통해 흘러내려온 양액 속의 고형물질은 침전되어 아래로 배출되고 걸려진 양액은 천천히 모래여과층으로 들어간다. 배수층의 하층부는 최종적으로 배액부와 연결되어 있고 배액부에서 나온 양액은 유량계를 거쳐 양액탱크로 보내진다.(그림2.90)

양액소독을 위한 모래여과기 사용은 역병균에 감염되는 작물에서는 살균효과가 뛰어나

지만, 모래 여과층의 두께와 혼합하는 재료에 따라 효과가 달라질 수 있기 때문에 주의할 필요가 있다. 이 외에도 자외선처리와 모래여과를 복합시킨 장치도 실용화되어 시판되고 있으나 가격이 비싸고 살균효과가 불투명하다는 문제점이 있다.

마) 박막처리

양액으로부터 병에 걸린 유해 유기물을 제거할 수 있는 막형 필터방식은 카트리지 안에 필터가 들어있어 1일 12 m^3을 처리할 수 있고, 필터는 수질에 따라 주기적으로 화학물질이나 물을 고압분사시켜 세척하여야 하며, 필터 카드리지의 수명은 보통 3년에서 4년 정도이다.

4. 대표적인 식물공장의 사례

가. Swedeponics

재배홈통은 NFT 양액재배에 적합한 형태의 재배홈통을 제작하여 사용하고 있다. 이 재배홈통은 70×60×11600로 재질은 온도에 안정하고 증기소독이 가능 흰색이지만 빛은 투과되지 않으며 다양한 모양을 가지는 ABS를 이용하고 있다. 양액이 흐를 수 있는 옆면은 앞쪽이 막혀있고 위에 큰구멍이 있으며 다른쪽 끝에는 앞이 막혀있지 않고 양액 순환을 위해 V자형 고랑이 있다. 재배홈통들은 위해 55mm 지름의 포트들을 위해 둥근 구멍이나 있으며 고랑에 표준화된 구멍간의 간격은 9, 12, 15, 24cm로 한 재배홈통에 47-127개의 포트가 놓일 수 있도록 제작하였다.

재배홈통내의 재식간격은 열 가운데 있는 식물 심는 구멍 간격을 다양하게 제작(9-24cm)하고 또한, 작물 심는 구멍에 1열, 2열, 3열 간격을 두어 다양한 재식거리를 만들었다.

또한 자동 주간조절은 재배홈통 밑에 하나의 체인들 더 달아 이들 간격이 재배홈통 사이의 간격을 결정할 수 있도록 하였으며 축이 축의 수직방향으로 회전할 때 재배홈통이 전진하고 횡방향으로 움직일 때 뒤로 돌아오도록 하여 주간을 조절한다. 또한 식물들의 위에 레일을 연결하여 이 레일을 이용하여 전진할 수 있는 장치도 있다. 이런 자동주간조

절은 초기 7.6cm에서 후반부 25.6cm까지 총 17회의 작업을 한다. 이렇게 하여 식물들은 가능한 한 빽빽하게 배치되고 엽면적의 성장에 도움이 되는 만큼만 간격을 갖게 해주어 재식밀도를 엽채류의 경우 88개 용기/m^2에서 26개 용기/m^2까지 넓혀준다.

나. 구주전력

구주전력에 이용되는 자동조간조절장치는 갈고리를 재배홈통 양단의 홈에 집어넣는 재배홈통을 들어올리는 기구와 3축을 갖는 천장 주행 크레인 기구를 이용한 주행위치 결정 기구로 구성되어 있다.

이 장치는 다음과 같은 순서로 작동한다.

① 제 4 단계에 있는 수확할 채소를수확장치에 이동시킴

② 제 3 단계에 있는 채소를 제 4 단계로 이동시킴

③ 제 2 단계에 있는 채소를 제 3 단계로 이동시킴

④ 제 1 단계에 있는 채소를 제 2 단계로 이동시킴

⑤ 정식이 완료된 재배홈통을 제 1 단계로 이동시킴

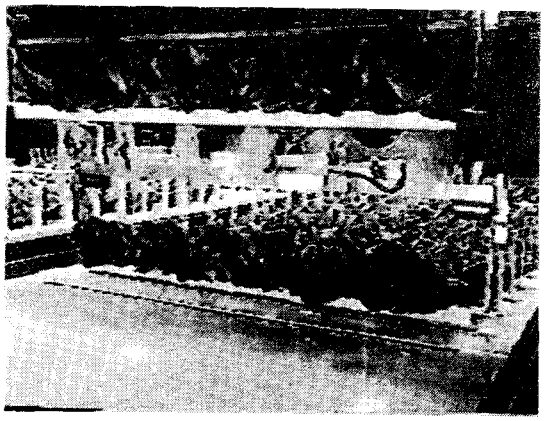


Fig. 3-6 주간조절장치

다. Idemitsu

이 식물공장에서 사용되는 재배홈통은 이동분무식 재배에 적합한 재배홈통으로 하나의

재배홈통에 100개의 포트를 심을 수 있는 사각형 재배홈통이다. 자동조간조절은 다음과 같은 일련의 작업을 반복하여 다음 단계로 이송한다.

① 재배홈통 이송장치를 이용하여 재배홈통을 주간조절장치로 이송한다.

② 주간조절장치의 그리퍼를 이용하여 모든 포트를 잡고 들어올린다.

③ 평행링크를 이용하여 원하는 주간 및 조간을 만든다

④ 상위 단계에 재배홈통을 안착시킨다.

여기서 사용하는 주간조절장치는 주간과 조간을 동시에 조정하고 있으며 장치는 한 위치에 고정된 채로 재배홈통이 이동하여 자동 조절할 수 있도록 하였으며 3단계 조간조절을 수행한다.

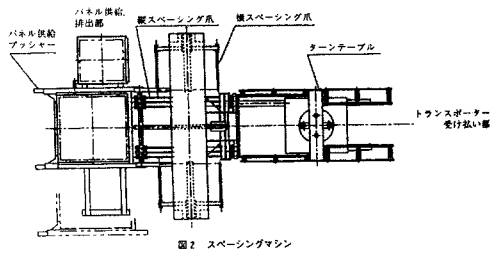


Fig. 3-7 주간조절장치

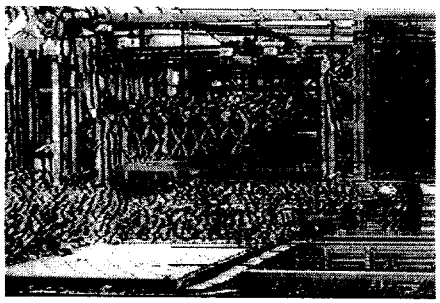


Fig. 3-8 주간조절장치

라. Agri-system

재배홈통은 폭 55mm, 재질은 알루미늄으로 재배홈통의 위쪽에 설치된 가이드를 따라서 염화비닐제 캐링스트립(carrying-strip)을 통과시키고 캐링스트립에 등간격으로 배열되어 있는 직경 20mm의 원형 구멍에 버미큘라이트를 배지로 한 폴리에칠렌제 포트를 정식할 수 있도록 제작되었다.

재배홈통의 한쪽 끝을 정식작업영역, 다른쪽 끝을 수확작업영역으로하여 정식부에서 캐링스르립을 보내면 동시에 수확부에서 그것을 감으면서 정식 및 수확작업을 채널 양단에서 동시에 병행하도록 되어 있다.

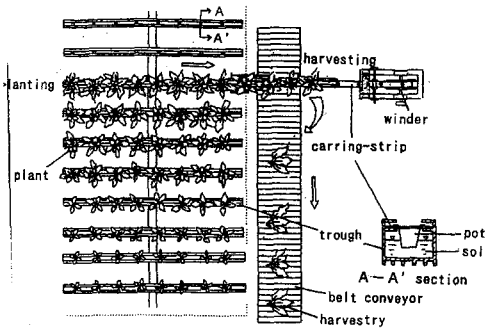


Fig. 3-9 채널식 양액재배시스템의 개략도

3절. 재배홈통

1. 설계기준 제시

국내에서 사용하고 있는 재배홈통은 주간과 조간이 고정되어 있어서 고정식 재배방식에 적합한 편이며 이동식 재배방식에는 다소 어려운 점이 발생한다. 국외의 경우 국내에서 사용되는 재배홈통과 같은 고정형 재배홈통을 이용하는 경우(일본 出光興産)가 있으나 자동 조간조절을 위해 상대적으로 복잡한 기구를 이용하여 자동적으로 조간을 조절한다. 반면에 많은 식물공장에서 이용하고 있는 재배홈통은 사각관형으로 NFT 혹은 DFT 양액재배방식에 맞도록 제작되어 있고 또한, 이동식 재배장치를 구성하기에 적절하다고 생각되어 본 연구에서는 사각관형 재배홈통으로 제작하여 사용하였다.

이런 재배홈통의 설계 기준은 다음과 같이 설정하였다.

- ○ 작물 이동식 재배장치의 제작이 간편할 것
- ○ DFT 양액재배방식에 적합할 것
- ○ 재활용이 가능하며 내구성이 있을 것
- ○ 외기의 온도변화에 대해 재배홈통 내의 온도를 유지할 수 있을 것
- ○ 여러 작물에 적용이 가능할 것
- ○ 비용을 최소화 할 것
- ○ 다른 시스템(이식 및 수확)에서 사용이 가능할 것

2. 주름살식 재배홈통

컨베이어 이송장치에 적합하도록 주름살식 조간 조절형 재배홈통을 제작하였다. 이 재배홈통의 재질은 PVC판으로 제작하였으며, 주름살은 검정 PE판으로 제작하였다. 또한, 주름살과 재배홈통의 부착은 자석식으로 하였다. 재배홈통 사이의 조간 조절은 재배홈통 간의 연결된 주름살의 주름정도에 따라 조절할 수 있도록 제작하였다.

Table 3-2. 주름살식 재식판의 제원.

규격 (폭×높이×길이)	100×30×1100 mm
재질	PVC
주름살의 재질	PE
재식판 1개당 주수	4
주간	200 mm

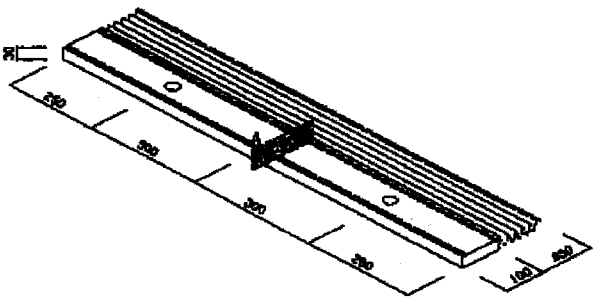


Fig. 3-10 주름살식 재식판 개략도

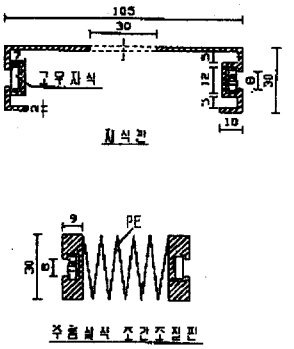


Fig. 3-11 A-A단면

3. 1차 보완

주름살식 재배홈통은 재배홈통과 더불어 주름살이 있어 주름살 및 주름술 착탈장치 등의 제작비용이 높은 문제가 발생하였다. 또한 가공이 다소 복잡한 형태로 제작이 되어 주름판을 제거하여 재배홈통간의 간격은 재배장치 내에서 해결할 수 있도록 하였으며, 또한 재질도 PVC에서 일반 시중에서 구하기 쉬운 알루미늄을 이용하여 다시 제작하였다. 알루미늄을 사용함으로 인해 홀가공 및 양액반출입 구멍 가공만 있어 제작 공정이 간편해졌다. 또한, 재배홈통의 폭을 줄여 다른 시스템의 크기를 줄일 수 있었으며, 높이를 다소 높였다.

개량된 재배홈통의 제원 및 모양은 아래와 같다.

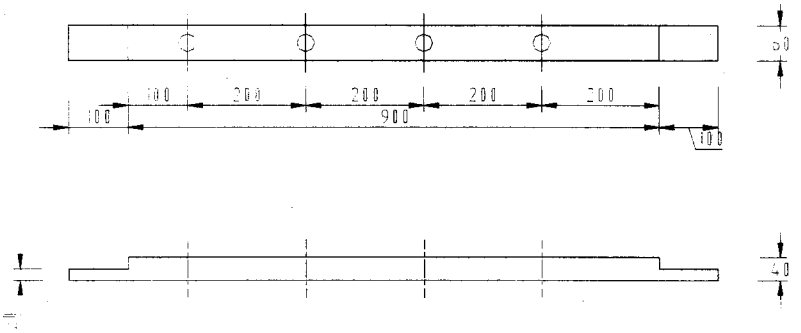


Fig. 3-12 개량된 재식판의 구조

Table 3-3. 개량된 재식판의 제원.

구분	주요제원
규격 (폭×높이×길이)	60×40×1100 mm
재질	알루미늄
재식판 1개당 주수	4
주간	200 mm

4. 재배홈통

1차 보완된 재배홈통을 기준으로 최종 재배홈통을 설계, 제작하였다. 제작된 재배홈통은 저렴한 비용에 많은 양의 재배홈통을 얻을 수 있고 또한, 복잡한 형태의 재배홈통을 만들 수 있도록 금형을 사용하였다.

재배홈통을 2부분으로 분리하여 제작하였다. 한 부분은 재배홈통 몸통 부분이며, 다른 부분은 작물을 심을 수 있도록 홈을 낸 판으로 구성하였다. 재배홈통 몸통은 작물을 심기 위한 판을 삽입할 수 있는 구조로 되어 있으며, 재배홈통 내의 보온을 유지할 수 있도록 단열재를 넣고 고정할 수 있는 구조로 되어 있다.

재배홈통의 홈을 낸 판은 수확할 때, 재배홈통을 이용하여 수확하는 방법이외의 일본의 식물공장에서 이용하는 carrying-strip 방식의 수확작업도 수행할 수 있도록 재배홈통과

분리하였다. 또한, 여러 가지 작물에 적용할 수 있도록 하기 위해 구멍의 간격이 변화가 발생하는 데 일체형으로 되어 있을 경우에는 재배홈통을 통째로 변경하여야 하지만 이 방식은 판만 바꾸면 가능하도록 되어 있어 재활용 및 적용 부분을 넓힐 수 있었다.

제작한 재배홈통의 규격 및 제원은 아래 표와 그림과 같다.

Table 3-4. 제작한 재식판의 제원.

규격 (폭×높이)	60×40 mm
재질	알루미늄 (Al6031)
주간	200 mm
양액급수 간격	100 mm
재식판 길이	200 + 200×(재식판 주수)

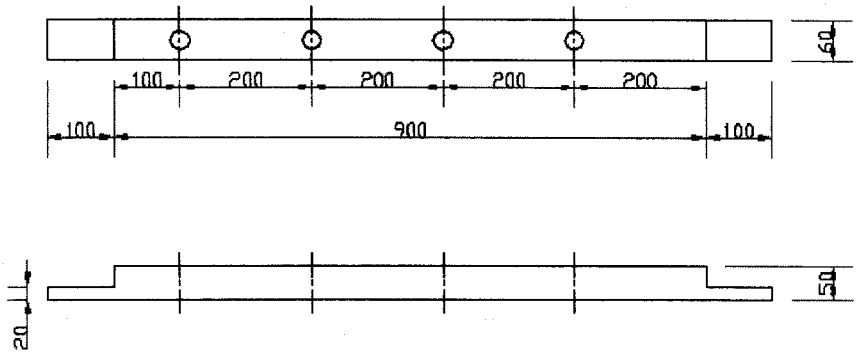


Fig. 3-13 재식판의 규격

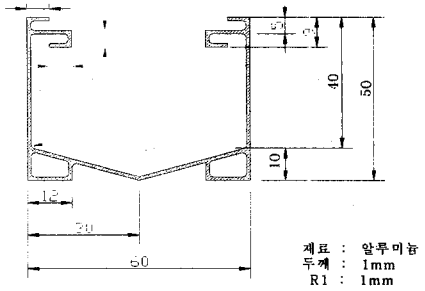


Fig. 3-14 재식판 단면도

4절. 작물 이송부

1. 이동식 재배장치의 설계 기준

이동식 재배홈통을 설계·제작함에 있어 국내외 공정 라인 자동화 현황, 생육 단계별 조간조절 관계 등 공정 생산 자동화 라인에 관한 각종 문헌과 자료를 검토하여 그 결과 본 연구에서는 다음과 같은 설계 기준을 설정하였다.

- ○ 작물 생장에 따른 주간 조절
- ○ 재배시의 근권부 광원 반드시 차단
- ○ 임의로 재배홈통의 반입, 분출 속도 조절
- ○ 반입, 반출부와 재배상의 온라인 자동화
- ○ 정식 포트, 재배홈통 재사용
- ○ 공간 활용을 최대화
- ○ 비용을 최소화

2. 이동식 재배장치의 설계

가. 이동식 재배장치의 이론분석

1) 재배홈통수 (k)

이동식 재배장치에 사용되는 재배홈통 수는 작물의 생육일 수 (G_d), 재배홈통 반출 또는 반입수(S), 주간 조절 구간수(p)로 구할 수 있다.

$$k = \frac{G_d \times S}{p} \quad \cdots\cdots (3\text{-}1)$$

2) 베드 길이(L_s) 결정

정식후의 베드의 길이 (L_1), 1단계 재배홈통 간격(L_k), 마지막단계 작물 생장에 따른 주간거리(G_l)에 의해 결정된다. 또한, 작물의 성장곡선은 $\int$ 자형으로 나타나고 있으나 이동식재배상의 제어를 단순화하기 위하여 1차함수인 직선형으로 가정하여 설정하였다.

① 1단계 : $L_1 = (k+1) \times L_k$ ..... (3-2)

② 2단계 : $L_2 = (k+1) \times L_k + (k+1) \times \frac{G_l - L_k}{p-1}$ (3-3)

$= L_1 + (k+1) \times \frac{G_l - L_k}{p-1}$ .....

③ n단계 : $L_2 = (k+1) \times L_k + (k+1) \times \frac{G_l - L_k}{p-1} \times (n-1)$ (3-4)

$= L_1 + (k+1) \times \frac{G_l - L_k}{p-1} \times (n-1)$ .....

④ 마지막단계 : $L_2 = (k+1) \times L_k + (k+1) \times \frac{G_l - L_k}{p-1} \times (p-1)$ (3-5)

$= (k+1) \times G_l$ ....

⑤ 전체길이 : $L_s = \sum_{n=1}^{p} \left\{ (k+1) \cdot L_k + \frac{(k+1) \cdot (G_l - L_k)}{p-1} (n-1) \right\}$ (3-6)

$= L_1 \cdot p + (L_p - L_1) \cdot \frac{p}{2}$

3) 재배판의 이송 속도(V_n)

하루 중 재배홈통의 공급과 반출수, 생육 일수에 따라 하루 재배홈통 이동 속도가 결정되며, 하루 중에 파종이나 정식 작업이 이루어지면 이때 재배홈통의 반입과 반출, 즉 수확작업이 이루어지고, 재배홈통도 이동하게 되므로 이동하는 재배홈통의 속도는 파종이나 정식 작업 시간과 연계하여 결정할 필요가 있으므로 증가 계수(Z_n)를 곱하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_n = \frac{Z_v \cdot L_{dm}}{T_l} \ (cm/day)$$

$$= \frac{Zv \cdot p}{24 \cdot G_d} \cdot \left\{ L_1 + \frac{(k+1) \cdot (G_l - L_k)}{p-1} \cdot (m-1) \right\} \ (cm/hr) \quad (3\text{-}7)$$

$$= \frac{Zv \bullet p \cdot 10^{-4}}{8.64 \cdot G_d} \cdot \left\{ L_1 + \frac{(k+1) \cdot (G_l - L_k)}{p-1} \cdot (m-1) \right\} \ (cm/\sec)$$

4) 총러그수 결정

L_i : i 단계의 이동식재배상의 길이(m)

l_t : 타이밍 스프로켓의 축간거리 (m)

l_i : i 단계별 주간거리(m)

p : 컨베이어체인의 피치(m)

n : 제 1단계의 주간거리에 해당하는 체인의 피치수

N_L : 각 단계의 총러그수 (단계별 러그수는 모두 동일)

L_T : 작물재배베드의 총길이 (m)

D_p : 컨베이어용 스프로켓의 피치원직경 (m)

① 제1단계 : $L_1 = \frac{N_L \cdot n \cdot p - D_p}{2}$ ..... (3-8)

② 제i단계 : $L_i = \frac{(\ell_i / \ell_1) \cdot N_L \cdot n \cdot p - D_p}{2}$ ..... (3-9)

③ 총길이 : $L_T = \sum_{i=1}^{4} L_i + 3 \times l_t$ (3-10)

$$= \frac{(\ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_4) \cdot N_L \cdot n \cdot p - 4\ell_1 \cdot D_p}{2 \cdot \ell_1} + 3\ell_t$$

④ 총 러그수

$$N_L = \frac{2 \cdot \ell_1 \cdot (L_T - 3\ell_t) + 4\ell_1 \cdot D_p}{(\ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_4) \cdot n \cdot p}$$ ..... (3-11)

나. 현재 설치한 베드의 규격 결정

1) 베드 규격 결정

Table 3-5. 베드의 설계조건

구 분	제 원
l_t : 타이밍 스프로켓의 축간거리 (m)	0.19
l_1 : 1 단계별 주간거리(m)	0.1
l_2 : 2 단계별 주간거리(m)	0.15
l_3 : 3 단계별 주간거리(m)	0.2
l_4 : 4 단계별 주간거리(m)	0.25
p : 컨베이어체인의 피치(m)	0.0127
n : 제 1단계의 주간거리에 해당하는 체인의 피치수	8
N_L : 각 단계의 총러그수 (단계별 러그수는 모두 동일)	24
D_p : 컨베이어용 스프로켓의 피치원직경 (m)	0.16187

① 제1단계 : $L_1 = \frac{N_L \cdot n \cdot p - D_p}{2}$

$= \frac{24 \cdot 8 \cdot 0.0127 - 0.16187}{2} = 1.13\ m$

② 제2단계 : $L_2 = \frac{(l_2/l_1) \cdot N_L \cdot n \cdot p - D_p}{2}$

$= \frac{(0.15/0.1) \cdot 24 \cdot 8 \cdot 0.0127 - 0.16187}{2} = 1.74\ m$

③ 제3단계 : $L_3 = \frac{(l_3/l_1) \cdot N_L \cdot n \cdot p - D_p}{2}$

$= \frac{(0.2/0.1) \cdot 24 \cdot 8 \cdot 0.0127 - 0.16187}{2} = 2.36\ m$

④ 제4단계 : $L_4 = \frac{(l_4/l_1) \cdot N_L \cdot n \cdot p - D_p}{2}$

$= \frac{(0.25/0.1) \cdot 24 \cdot 8 \cdot 0.0127 - 0.16187}{2} = 2.97\ m$

⑤ 총길이 : $L_T = \sum_{i=1}^{4} L_i + 3 \times l_t$ (3-12)

$= 8.2 + 3 \times 0.19 = 8.77\ m$ .....

2) 이동식재배상의 각 단계별 속도 산정

Table 3-6. 모터의 설계조건

전동기 회전수	1740 rpm
감속비	1 : 60
전동기와 전자클러치의 감속비	1 : 2
전자클러치와 구동축의 감속비	1 : 1
1단계와 2단계 감속비	18 : 30
2단계와 3단계 감속비	20 : 28
3단계와 4단계 감속비	27 : 21

○ 감속형 전동기회전수 : 1740÷60 = 29 rpm = 29/60 rps

○ 전자크러치의 회전속도 : (29/60)÷2 = 29/120 rps = 0.24167 rps

① $V_3 = r_3 \cdot \omega_3 = \pi D_3 \cdot N$

$= \pi \cdot 161.87 \cdot 0.24167 = 122.9\ mm/s = 12.29\ cm/s$

V3 = r3 · ω3 = 2πr3 · N3 = πD3 · N3

$= \pi \cdot 161.87 \cdot 0.24167 = 122.894mm/sec = 12.29cm/sec$

② $V_2 = V_3 \cdot \frac{Z_2}{Z_3} = 12.29 \times \frac{20}{28} = 8.78\ cm/s$

③ $V_1 = V_2 \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = 8.78 \times \frac{18}{30} = 5.27\ cm/\sec$

④ $V_4 = V_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_3} = 12.29 \times \frac{27}{21} = 15.80\ cm/\sec$

3. 컨베이어 체인 이동식

가. 컨베이어 체인 이동식 재배장치

1차 계획 제작한 컨베이어 벨트 이동식 재배장치는 아래 그림과 같다. 각 단계별 재배홈통 조간은 기어의 감속비를 이용하여 각 단계별 컨베이어 벨트를 분리하여 자동조절할 수 있도록 하였으며, 각 단계별 컨베이어 벨트의 속도에 의해 재배홈통 사이에 부착된 주름살이 늘어나면서 조간을 조절할 수 있도록 설계하였다.

재배홈통의 각 단P로 넘어가는 것은 컨베이어 벨트 사이에 턱을 두어 자연스럽게 재배홈통이 진행할 수 있도록 하였으며, 컨베이어 양쪽 끝단에는 가이드 레일을 두어 재배홈통이 컨베이어 벨트 밖으로 벗어나지 않도록 하였다.

재배조는 재배홈통 하단에 있도록 하고 재배방식은 DFT 방식을 선택하였다.

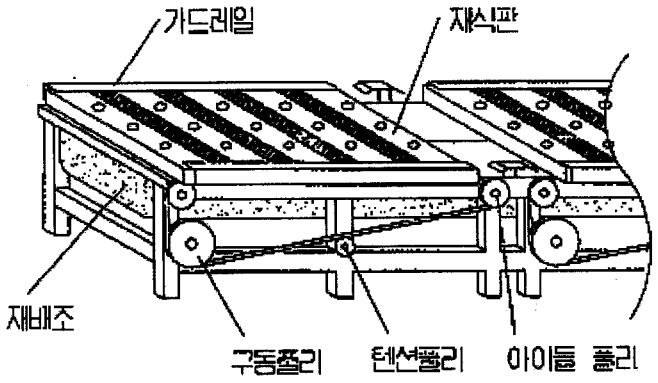


Fig. 3-15 컨베이어 벨트 이동식 재배장치 개략도

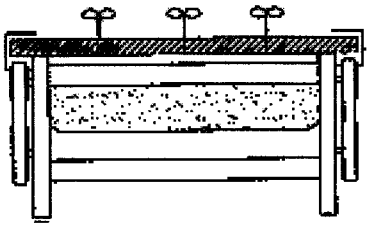


Fig. 3-16 컨베이어 벨트 이동식 재배장치 정면도

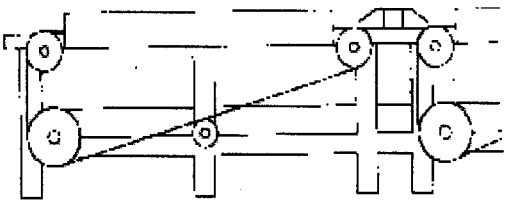


Fig. 3-17 컨베이어 벨트 이동식 재배장치 측면도.

나. 컨베이어 체인 이동식 재배장치

1차 제작한 컨베이어 벨트 이동식 재배장치는 재배장치가 길어지면서 컨베이어 벨트의 비용이 증가하는 문제가 발생하였으며, 또한 재배홈통을 단순화하면서 컨베이어 벨트를 이용하여 조간을 조절하는 것이 어려웠다. 바뀐 재배홈통을 이용하여 조간을 조절할 경우 다음 단계로 넘어갈 때 재배홈통이 비뚤어지기 시작하여 이것이 누적되면서 재배홈통의 위치가 고정되지 못하는 문제가 발생하였다. 또한 양액재배방식을 DFT로 선택하였으나 이 방식을 사용할 경우 재배조의 위치상 어린 모종의 경우 생육하기 어렵고 또한 수확작업과의 연계도 문제가 있어 이를 체인 컨베이어 이동식으로 개량하였다.

1) 재배홈통 이송부

조간조절장치는 아래 그림과 같이 2쌍의 체인 컨베이어로 구성되어 있으며, 1740 rpm인 전동기의 회전수가 60 : 1로 감속된 385W의 감속형 전동기로 시스템이 구동된다.

조간조절장치와 구동전동기 사이에 전자클러치가 부착되어 있다. 전자클러치는 재배홈통이 체인컨베이어에 이송되면서 동작과 정지를 반복할 때 전동기에 발생하는 과부하를 줄이기 위하여 부착하였다. 각 재배홈통의 재배홈통은 유효직경이 200mm인 스프로킷과 피치가 12.4mm인 #40 체인으로 구성된 컨베이어에 의해 이송되며, 재배홈통이 이송컨베이어에서 타이밍 체인으로 이송되면서 피치원 직경이 다른 스프로킷과 피치가 12.7mm인 타이밍 체인에 의해 작물의 조간이 조절된다. 이때 컨베이어의 이송속도는 다르지만 회전하는 시간이 같기 때문에 항상 한 지점에서 만나도록 각 이송부가 설계, 제작되었다.

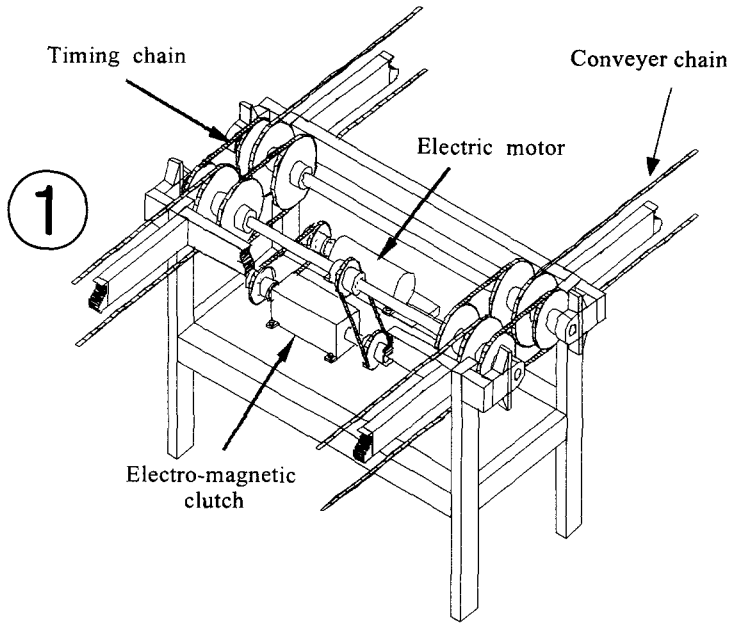


Fig. 3-18 전자클러치와 타이밍 스프로켓의 조립

앞 단계와 다음 단계를 연 이송하는 동안 각각의 구동장치가 간섭을 받지 않도록 스프로킷은 다음 구간의 축에서 미끄럼 회전운동을 하게 만들었다.

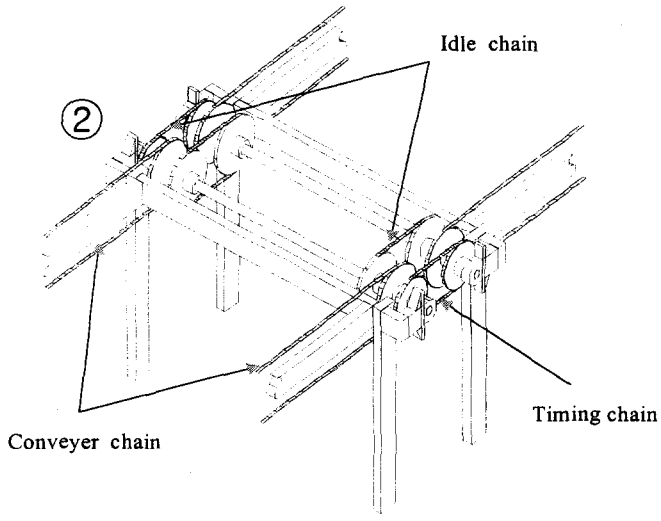


Fig. 3-19 주간조절장치의 스프로켓 상세도

Table 3-7. 주간조절장치의 제원.

구 분	규 격
재식판이 길이 (cm)	115 (60×50×1.5 mm), Al
재식판 내의 작물간 거리(mm)	200
단계별 재식판 수	10
단계수	4 단계
단계별 재식판 간격 (mm)	101.6, 152.4, 203.2, 254.0
각 단계별 베드의 길이 (m)	1.13, 1.74, 2.36, 2.97
전체 베드의 길이 (m)	8.77

2) 조간조절부

작물조간조절장치의 각 단계별 재배홈통은 60mm폭의 재배홈통을 10개로 하였고, 작물 간격은 엽채류의 평균 작물 폭을 고려하여 단계별 목표 조간을 각각 10cm, 15cm, 20cm, 25cm로 설정하였다. 단계별 목표 조간의 설정은 장치에 사용한 체인(40번)의 피치가 12.7mm인 점을 고려하였다. 조간조절부 축간 거리는 19cm로 하였다. 각 단계별 재배홈통의 길이와 사용된 작물의 평균 작물 폭, 베드의 길이 이때 소요되는 체인의 수, 길이 등은 아래 표와 같다.

Table 3-8. 주간조절부 단계별 목표값

	1 단계	2 단계	3 단계	4 단계	계
평균작물폭 (cm)	10	15	20	25	
작물간의 간격 (cm)	10.6	15.24	20.33	25.4	
베드의 길이 (m)	0.99	1.52	2.04	2.57	7.12
체인수 (개)	198	304	408	514	1,424
체인 길이(m)	2.51	3.86	5.18	6.53	1,808.48

4. 제어장치

가. 설계조건

○ 재배홈통 반입 컨베이어장치에서 재배홈통이 이동식 재배장치로 반입될 때만 이동장치의 구동모터가 장치를 가동시키는 것으로 한다.

○ 작물성장단계별 이동식 재배장치는 재배홈통 반입시 각단(4단)이 동시에 작동되는 것으로 한다.

○ 재배홈통이 반출컨베이어장치로 반출될 때에 작물 성장단계별 이동식 재배장치는 재배홈통의 폭만큼 정지 지체시간을 갖도록 한다.

○ 재배홈통 반입작업이 계속될 때 구동모터가 동작 및 정지를 반복할 때 발생되는 과열을 방지하기 위하여 전자클러치를 감속기 중간에 설치하여 동작 및 정지하도록 한다.

나. 제어장치의 구조

조간조절장치의 제어는 재배홈통이 반입되면 작동이 시작되고, 재배홈통이 반출되면 정지되도록 시퀀스제어 방식으로 설계, 제작되었다.

제어장치는 광센서를 출발점과 종착점에 각각 1개씩과 이의 신호를 받아들여 다른 장치를 구동하기 위하여 릴레이를 중간에 두었으며, 끝점에 부착된 광센서에 지체시간을 부여하기 위하 타이머, 전자클러치에 전원을 공급하는 전원공급장치로 구성 제작하였다.

제어순서는 재배홈통 적재장치에서 재배홈통이 투입되면 제1단계의 조간간격조절부에 설치된 광센서가 작동되어 전자클러치를 구동시키며 재배홈통 반출장치로 재배홈통을 반출할 때 제4단계의 조간조절장치에 설치된 광센서가 작동되면 타이머에 의해 수초간 동작하다가 재배홈통 이송부가 작동을 정지하게 된다. 이의 블록선도는 아래 그림과 같다

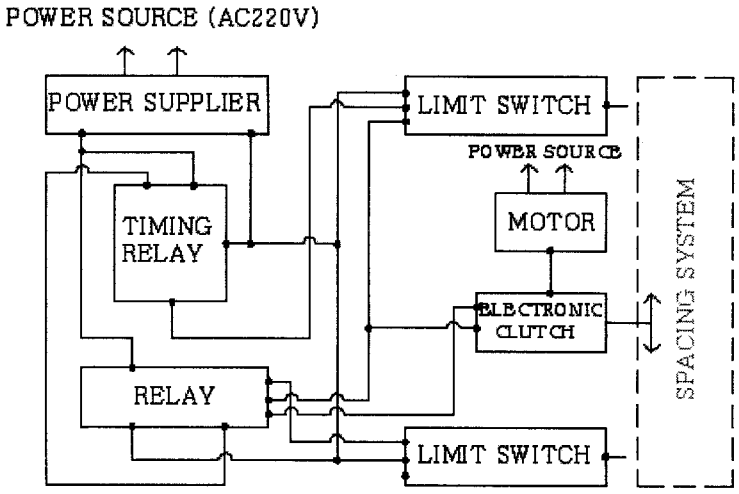


Fig. 3-20 제어장치의 블럭선도

조간조절장치에 사용된 각각의 제어기는 아래 그림과 같다.

Fig. 3-21 리미트 스위치

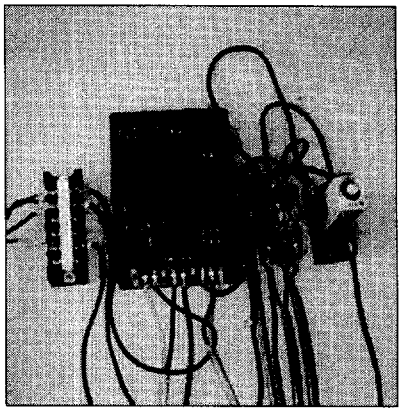


Fig. 3-22 콘트롤러

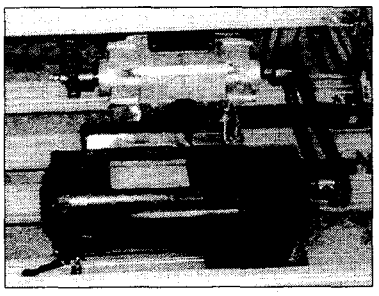


Fig. 3-23 구동모터와 전자클러치

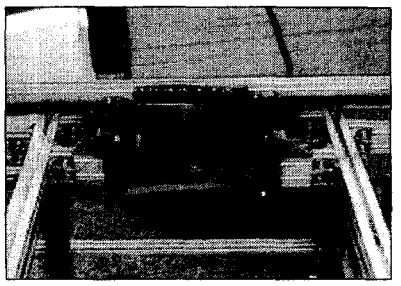


Fig. 3-24 구동 및 타이밍체인

전자클러치 작동원리는 아래 그림과 같다.

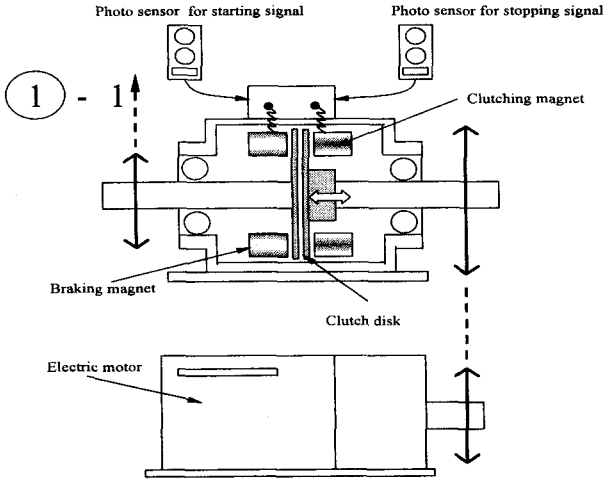


Fig. 3-25 전자클러치와 구동모터의 작동메카니즘

각 제어장치의 주요 제원은 아래 표와 같다.

Table 3-9. 리미트스위치 주요 제원

모델명	L1T3S1 (KH-8010SR)
작동력	147 g
작동범위	20±10m/m
제작사	동건전기

Table 3-10. 릴레이 주요 제원

모델명	KH-103-4C
정격전압	AC220V, 3A
정격전류	6mA
작동시간	20ms 이하
제작사	동건전기

Table 3-11. 타이밍 릴레이 주요 제원

모델명	KTM-1M
정격전압	AC220V
설정범위	1~60 초
복귀시간	0.5초 이하
제작사	동건전기

Table 3-12. 전자클러치 주요 제원

모델명	KEB (combibox.10,370,90)
정격토크	3kg · m
입출력축	ϕ20
사용전압	DC220V
제작사	인아코포레이션

제작된 이동식 작물재배장치에 대한 개략도와 제작모습은 아래 그림과 같다

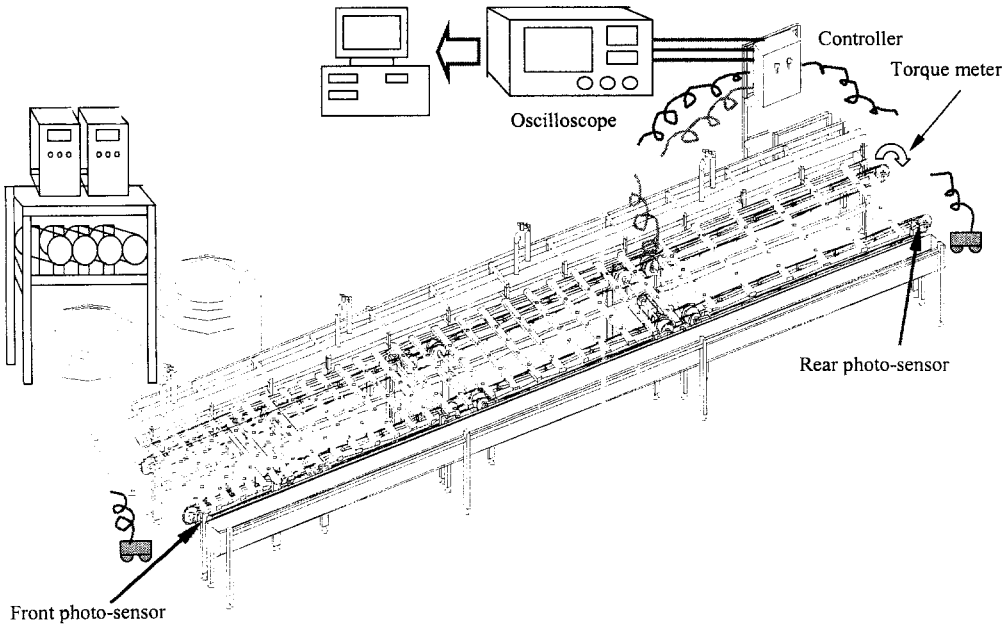


Fig. 3-26 이동식 작물재배장치 개략도

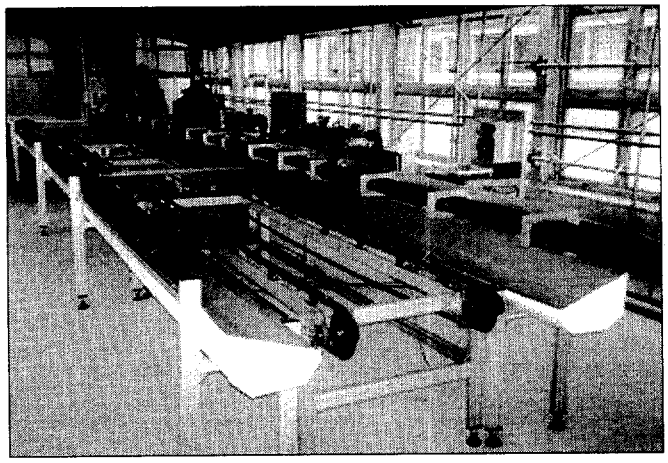


Fig. 3-27 개발된 이동식 작물재배장치

5절 적재·반출장치

1. 설계기준

○ 이동식 재배장치에서 쉽게 반입반출이 될 수 있도록 함.

○ 동력장치와 운반시스템은 롤러식 컨베이어시스템으로 함.

○ 구동장치는 원형벨트 구동방식을 채택함.

○ 재배상에 부착된 리미트스위치와 연계하여 입반출 타이밍을 일치시킴.

○ 이동식 재배장치의 작동에 따라 항상 수동으로 동작하도록 제작.

위와 같은 설계기준을 토대로 하여 다음과 같이 재배홈통 반입·반출장치를 설계하였다.

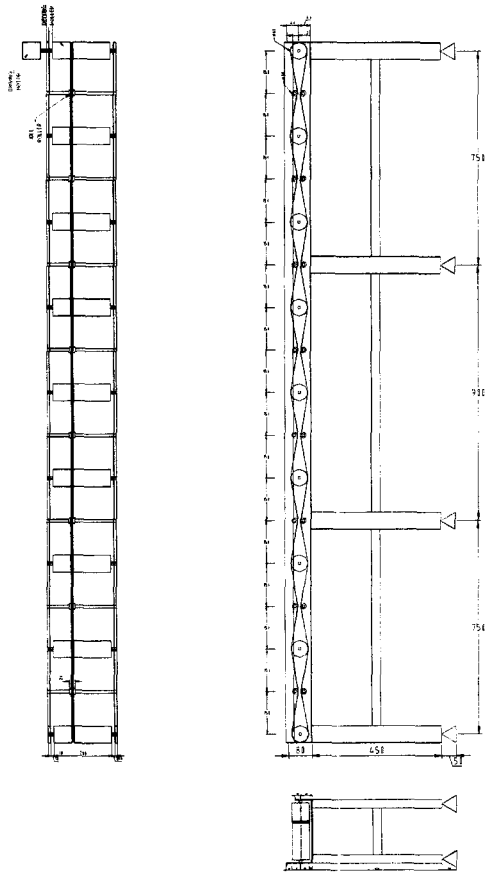


Fig. 3-28 트레이 반입·반출장치 개요도

2. 재배홈통 반입장치

재배홈통 반입장치는 이식·보식장치에서 반입된 재배홈통을 재배장치로 옮겨주기 위한 장치이다. 이 재배홈통 반입장치는 횡이송장치와 종이송장치로 구성되어 있으며, 횡이송장치는 롤러식 컨베이어방식으로, 종이송장치는 벨트컨베어방식으로 제작하였다.

재배홈통 적재장치는 분당 회전수가 1550rpm이고 90W인 용량의 AC전동기에 의해 구동되며, 원형 벨트에 의해 동력이 롤러컨베이어에 전달되도록 제작하였으며, 재배홈통 반입장치의 이송속도는 0.05m/s이다.

반입장치에 재배홈통이 이송되면 근접센서를 이용하여 반입을 감지하여 횡이송장치를 구동하며 그후 적재될 위치에 오면 다시 근접센서가 이를 인식하여 횡이송장치는 정지하고 종이송장치를 구동시킨다. 그후 재배장치로 광센서 신호를 인식하면 횡이송장치가 정지하고 재배홈통은 반입되도록 설계하였다.

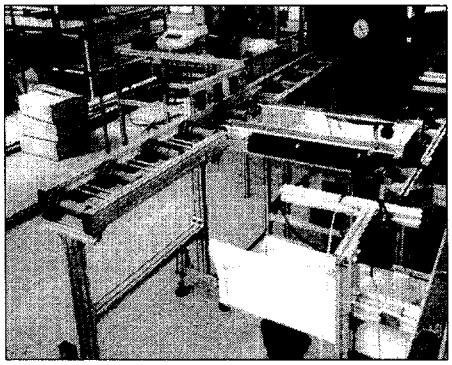


Fig. 3-29 재배홈통 반입장치

3. 재배홈통 반출장치

재배홈통 반출장치는 수확기에 들어선 작물을 수확장치로 반출하는 장치이다. 이 재배홈통 반출장치도 반입장치와 같이 횡이송장치와 종이송장치로 구성되어 있으며, 횡이송장치는 롤러식 컨베이어방식으로, 종이송장치는 벨트컨베어방식으로 제작하였다.

반출장치로 재배장치가 재배홈통을 반출하면 종이송장치 앞단에 있는 근접센서가 이를 인식하여 종이송장치를 구동한다. 종이송장치가 구동하면서 재배홈통이 전진하고 이 재배홈통이 횡이송장치에 부착된 근접센서가 인식하면 종이송장치는 정지하고 횡이송장치가 구동되어 수확이 종료된후 정지하도록 설계하였다.

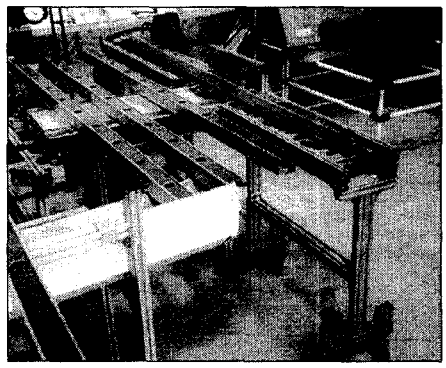


Fig. 3-30 재식판 반출장치

표 3-13. 재배홈통 반입·반출장치 주요 제원

구 분	규 격	제작회사
□ **횡이송장치**		동일특수산업
○ 크기(L×W×H : mm)	810×410×690	
○ 구동전동기	90W, 220V/1A, 1550rpm (9IDG2-90FP,)	대경전기기계
○ 롤라(∅×L : mm)	40×138	동일특수산업
○ 감속비	1/100	
○ 이송속도 (m/s)	0.04	
□ **종이송장치**		동일특수산업
○ 크기(L×W×H : mm)	236×22×71	
○ 구동전동기	90W, 220V/1A, 1550rpm (9IDG2-90FP,)	대경전기기계
○ 밸트규격(W×t : mm)	50×2.5(2ea)	동일특수산업
○ 감속비	1/100	
○ 이송속도 (m/s)	0.05	

6절. 배양액 공급 및 회수장치

본 연구에 개발한 이동식 재배장치는 양액재배 특히 NFT(박막수경재배)를 기준으로 제작되었다. 양액을 재배홈통의 앞단으로 공급하여 일정량 이상이 되는 양액을 재배홈통의 반대쪽에서 넘치게 하여 이 양액을 양액 회수장치로 보내어 항상 재배홈통 내에는 일정 수위의 양액이 유지하도록 하였다. 또한, 일정시간 간격으로 양액의 부족분을 양액 공급장치로 공급하여 회수 탱크 내에 양액의 양을 일정한 수위로 유지하도록 하였다.

이동식 재배장치에 적합한 양액 공급장치는 아래와 같은 내용을 기준으로 설계, 제작하였다.

① 양액제어는 pH, EC, 양액온도를 제어한다.

② 양액의 DO는 회수양액 급수 펌프와 양액장치의 펌프 교반을 통해서 공급하도록 한다.

③ 재배홈통에 공급하는 양액은 항상 일정한 압력으로 공급할 수 있도록 한다.

④ 양액의 재활용을 위한 폐회로 양액순환시스템으로 구성한다.

⑤ 양액의 A액과 B액의 유입량을 항상 같도록 유지한다.

1. 배양액 공급장치

배양액 공급장치는 양액을 조제하고, 조제된 양액을 작물에 급액하는 장치이다. 배양액 공급장치는 공급펌프, A, B 및 산도조절 정량펌프, 양액조제탱크, 공급라인 등으로 구성되어 있다.

여기에 사용되는 각 부품의 제원 및 배양액 공급시스템의 개념도 아래 표와 그림과 같다.

Table 3-14. 정량펌프의 제원

모델명	PRH-035PHL
유량	0 ~350 mℓ/min
작동전압	AC220V
펌프용량	250W
제조사	LG전자

Table 3-15. 양액공급펌프의 제원

모델명	PA-430
유량	150 ℓ/min
작동전압	AC220V
펌프용량	250W
제조사	한일전기

Table 3-16. 원수펌프의 제원

모델명	PW-261M
유량	25 ℓ/min
작동전압	AC220V
펌프용량	250W
제조사	LG전자

Table 3-17. 전자밸브의 제원

모델명	E321G3810-B-2F
직경	40 mm
작동전압	AC220V
제조사	LG하니웰

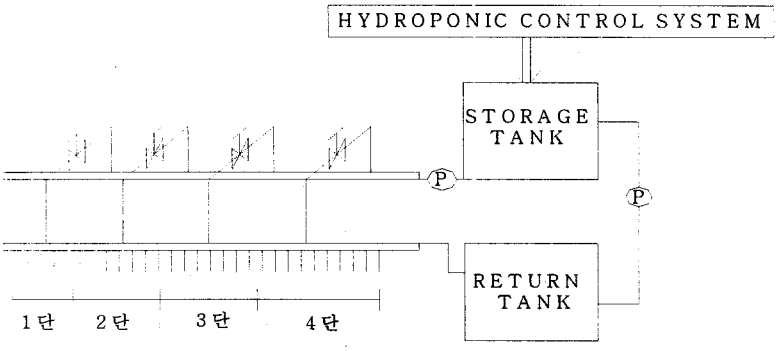


Fig. 3-31 배양액공급 시스템의 개략도

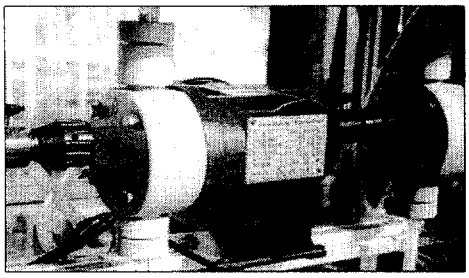


Fig. 3-32 설치된 정량펌프의 외형

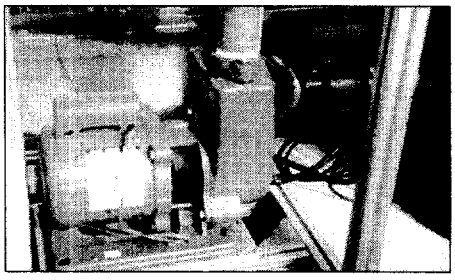


Fig. 3-33 설치된 양액급액펌프의 외형

2. 제어장치

가. 배양액 제어장치

배양액 제어장치는 마이크로컴퓨터 • 액정화면 • 릴레이 모듈로 구성된 양액제어부, 양액의 전기전도도(EC), 산도(pH), 수위를 계측하는 부분과 배양액을 조성하고 재배홈통으로 공급하는 정량펌프와 양액공급펌프 등으로 구성되어 있으며 주요 구조와 제원은 아래 그림 및 표와 같다.

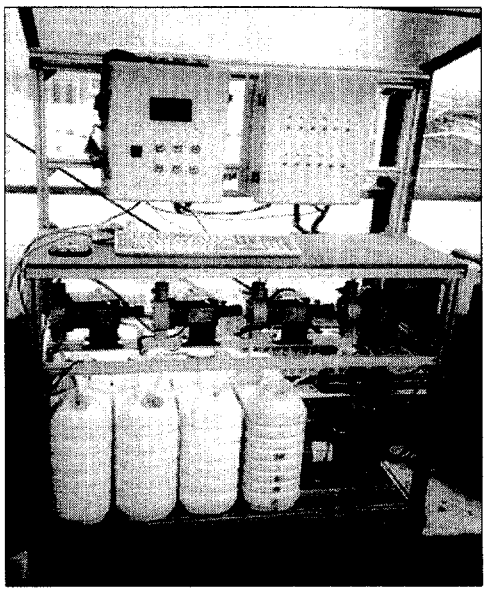


Fig 3-34. 배양액 제어장치

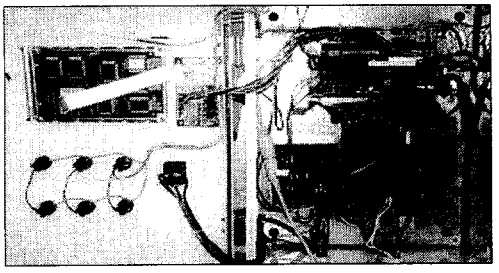


Fig 3-35. 제어회로

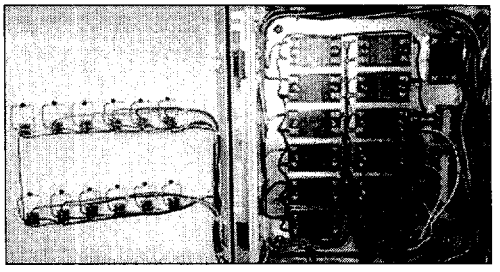


Fig. 3-36 배전반

사용된 제어기 및 센서의 제원은 다음표와 같다.

Table 3-18. 제어기의 제원

모델명	TUR-PC86
CPU	F-8680A (16bi8t)
제작사	터시스템
A/D 변환기	ACL-811S (Advantech co., taiwan) 16 single end, 8 differential 16 DI/O

Table 3-19. EC센서의 제원

모델명	SCF-01A
측정범위	0-10mS/cm±1%FS
제작사	동일계기

Table 3-20. pH센서의 제원

모델명	DH-1
측정범위	0-14pH±0.35%FS
제작사	동일계기

배양액제어장치는 농축 배양액(A)와 농축 배양액(B)를 정량펌프가 배양액 혼합조로 압송하고 제어부에 의해 EC와 pH농도가 설정치로 조성되면 배양액 공급펌프에 의해 마이크로 튜브로 제작된 배양액 공급관으로 배양액이 공급되도록 제작하였다.

나. 제어성능

배양액 제어장치에 의해 조성된 배양액은 설정농도값을 2.0 mS/cm로 하였을 경우 양액은 1.91 ~ 1.98 mS/cm로 나타났으며, pH의 영우 설정값을 pH 6.5로 할 경우 pH 6.54~6.58로 나타났다.

다. 제어장치 블록선도

배양액 제어장치는 작업자가 LCD화면을 보고 배양액 농도 설정값과 공급시간을 변경하도록 편리하게 제작하였다. 또한, 배양액농도는 EC와 pH로 조절되며 센서의 측정값과 작업자가 설정한 값과 비교하여 목표값에 도달되면 양액공급펌프와 전자밸브가 작동하여 재배홈통에 배양액을 공급하는 구조로 프로그램을 설계하였다.

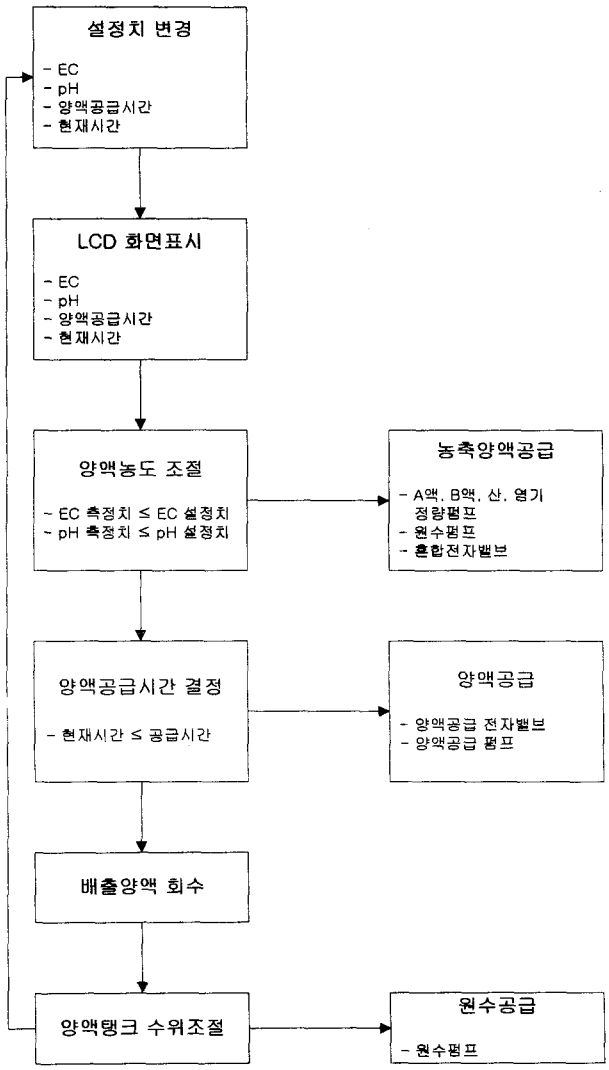


Fig. 3-37 제어장치 블록선도

3. 배양액 공급라인

배양액은 재배홈통 앞단으로 공급하여 끝단에서 넘쳐 흘러나가게 하여 배양액회수장치로 보내어 재배홈통 내에는 항상 일정 수위의 배양액이 유지되도록 하였다. 또한, 재배홈통에 경사(약 1/100)를 주어 공급된 배양액이 자연스럽게 반대쪽으로 흐를 수 있도록 하였다. 재배홈통에 배양액을 공급하기 위하여 재배홈통의 앞단과 후단에 마개를 씌워 재배홈통 내의 배양액의 양을 일정하도록 하였다. 재배홈통의 앞단에는 40mm의 마개를 후단

에는 20mm 마개를 씌워 앞단은 공급되는 배양액을 재배홈통 밖으로 새나기지 않도록 하였으며, 뒷단은 재배홈통 전체에 일정 수위를 유지하도록 마개를 씌웠다.

배양액 공급라인은 공급관과 압력조절밸브, 배양액 분배관으로 구성되고 재배홈통에 공급되는 배양액은 마이크로 튜브에 의해 공급되도록 제작하였다. 배양액의 공급은 4단으로 구성되어 있으며, 각 단계별 압력을 수동으로 조절할 수 있도록 하였다. 각각의 마이크로 튜브는 각 단계별 재배홈통의 자동조간조절위치에 설치하였으며, 사용된 마이크로튜브의 크기는 내경 4mm, 외경 6mm인 호스를 이용하였다.

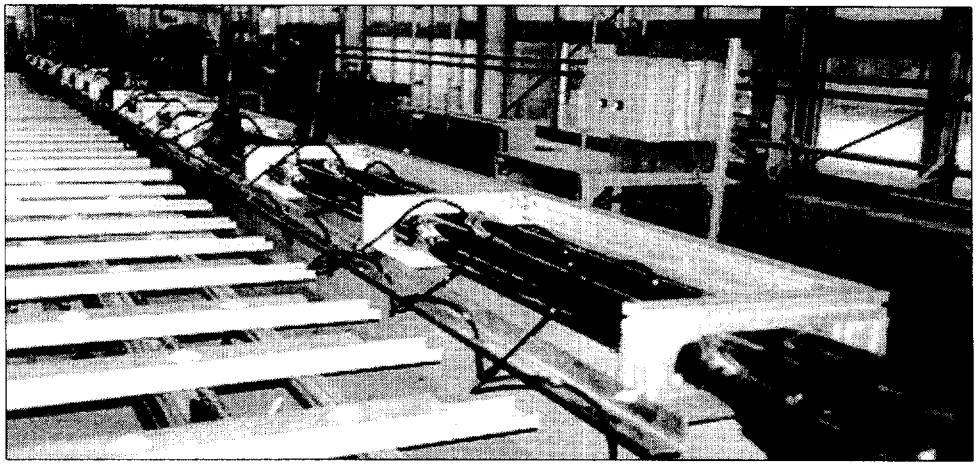


Fig. 3-38 제작된 배양액 공급시스템

4. 배양액 회수장치

개발한 재배장치는 순환식을 기본으로하여 제작하였다. 재배장치가 NFT와 DFT 중간 형식으로 제작이 되어 있으므로 배양액을 효율적으로 사용하기 위하여 공급된 양액장치에 대한 회수장치가 필요하다. 이 회수장치는 배양액 공급라인과 별도로 배양액 퇴수라인을 두어 퇴액을 회수조에 저장한 후 일정 수위 이상이 되면 펌프를 구동하여 재배장치에 회수된 배양액을 공급하도록 제작하였다.

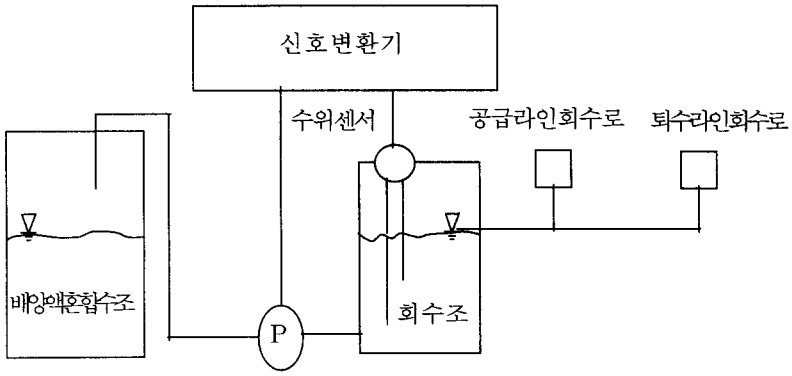


Fig. 3-39 배양액 회수장치의 개략도

7절. 성능시험

1. 이동식 재배장치의 이송성능시험

이송장치의 성능은 하중을 부가하지 않은 상태와 하중을 각 단계별로 점차 적재하중을 늘린 상태에서 실시되었으며, 각 단계별로 이송시간을 측정하여 이송된 거리를 측정한 시간으로 나누어 이송속도를 환산하였다. 아래 그림은 이송장치의 하중 적재시험을 나타낸 것이다.

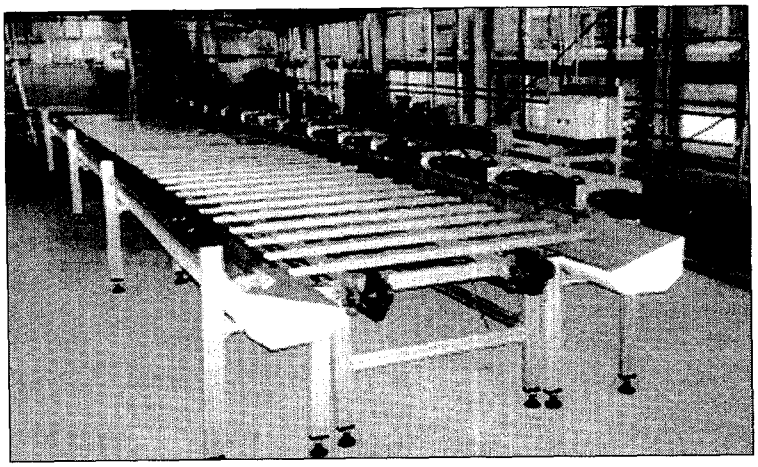


Fig. 3-40 이송장치의 재식판 적재, 이송장면

아래 표는 무부하 및 재배홈통 적재시의 각 단계별 속도변화를 나타내T다. 이론적으로 계산한 이송 속도와 무부하주행속도는 비슷한 값으로 차이가 거의 나타나지 않았으며, 131.4kg(재배홈통 36개 적재, 각 재배홈통은 3.65kg)을 적재할 경우 무부하시 이송속도보다 재하속도가 다소 떨어지는 경향을 보였으나 적재하중을 충분히 이송할 수 있었다. 여기서 설계속도비는 $\frac{\text{이송속도}}{\text{설계속도}} \times 100$로 계산하였다.

Table 3-21 무부하 및 재식판 적재시의 단계별 이송속도

		1단계	2단계	3단계	4단계
설계속도(cm/sec)		5.3	8.8	12.3	15.8
무부하시	이송속도 (cm/sec)	5.3	8.7	12.2	15.6
	설계속도비 (%)	100.0	98.9	99.2	98.7
131.4kg적재시	이송속도 (cm/sec)	5.2	8.3	12.1	14.3
	설계속도비 (%)	98.1	94.3	98.4	90.5

2. 재배홈통의 간격조절성

가. 재배홈통조절 구간경계의 간격조절상태

재배홈통의 설계간격은 다음표와 같다. 각 단계별 설계 간격은 실제 작물의 S자형 성장 곡선을 갖는데 이를 1차식으로 정형화 하여 사용하였다.

Table 3-22. 재배홈통의 설계 간격

	1단계	중간	2단계	중간	3단계	중간	4단계
설계간격(mm)	101.6	100	152.4	152.4	203.2	203.2	254.0

재배홈통의 각 단계별 조간조절상태는 다음 그림과 같다.

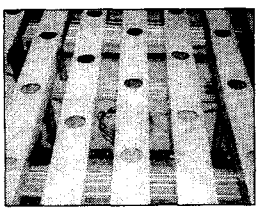


Fig. 3-41 1단계

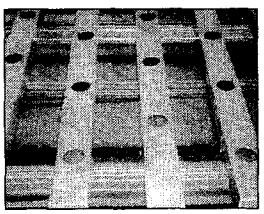


Fig. 3-42 2단계

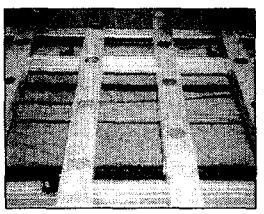


Fig. 3-43 3단계

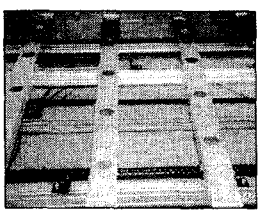


Fig. 3-44 4단계

단계와 단계가 이동되는 상태의 그림을 아래에 나타내었다.

Fig. 3-45 1-2단계 간격조절

Fig. 3-46 2-3단계 간격조절

Fig. 3-47 3-4단계 간격조절

나. 재배홈통의 조간간격의 변화

1단계에서 4단계까지 각 단계별 조간간격을 측정하였다. 각 단계별 조간간격은 설계간격과 거의 일치함(99.5% ~ 101.9%)을 알수 있으며, 단계별 이동되는 부분은 목표 조간간격과 다소 차이가 있음을 알 수 있다.

Table 3-23. 재배홈통 조간길이 변화 (단위 : mm)

	1단계	중간	2단계	중간	3단계	중간	4단계
설계간격	101.6	100	152.4	152.4	203.2	203.2	254.0
1	0	97	150	163	205	207	248
2	106	93	150	170	203		248
3	104		152		203		260
4	100		153		204		249
5	109		156		204		254
6	100		149		204		265
7	97		153		203		254
8	102		150		203		254
9	102		155		206		248
10	101		149		200		251
11							255
평균	102.3	95.0	151.7	166.5	203.5	207	253.18
설계간격 비	100.7 %	95.0 %	99.5 %	109.3 %	100.0 %	101.9 %	99.7 %

3. 센서 및 전자클러치 특성실험

가. 재료 및 방법

조간조절장치를 구성한 후 재배홈통 투입을 감지하여 전자클러치를 동작시키는 광센서와 작물을 수확하기 위해 반출되는 재배홈통을 감지하는 광센서의 제어특성을 측정하기 위하여 bandwidth가 400MHz, vertical sensitivity가 2mV~5V/div, vertical resolution이 8bits인 오실로스코프를 사용하였다.

제어특성 시험방법은 재배홈통의 공급주기를 5초, 10초, 15초로 하고 3개의 재배홈통이 투입되고 반출되는 시점을 투입감지센서, 전자클러치작동, 반출감지센서가 감지하도록 하였다. 측정개략도 및 성능평가 장면을 아래 그림에 나타내었다.

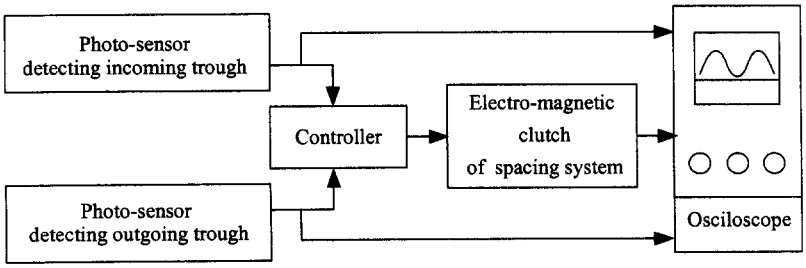


Fig. 3-48 오실로스코프의 연결 및 측정 개략도

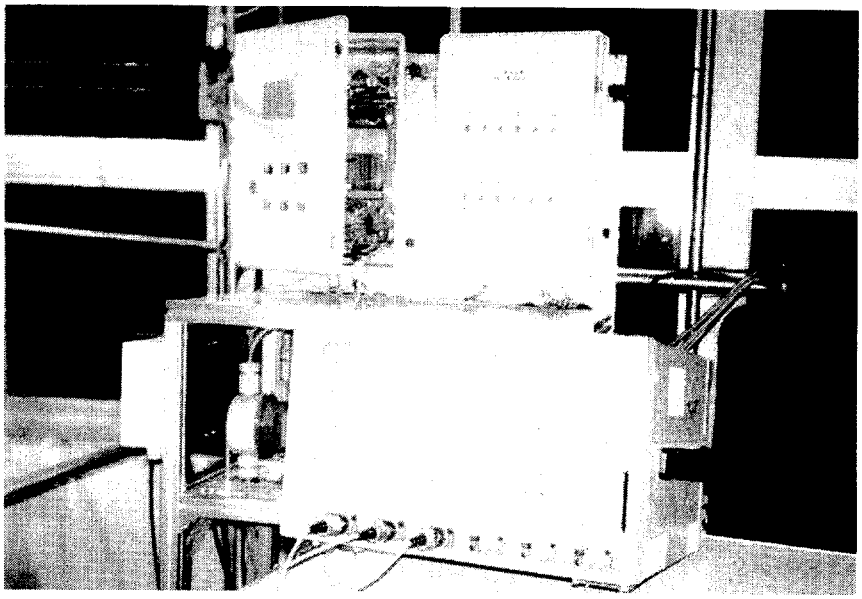


Fig. 3-49 재식판 투입측센서, 재식판 반출센서와 전자클러치의 성능 측정장면

나. 시험결과

재배홈통 투입을 5초, 10초, 15초 주기로 3개씩 투입하여 측정하고 제어특성을 비교한 결과 투입시간의 오차는 있었으나 재배홈통을 감지하고 조간조절장치가 구동하는 경우에는 모두 같은 경향을 보이는 것으로 나타나 제어특성이 우수한 것으로 판단됨.

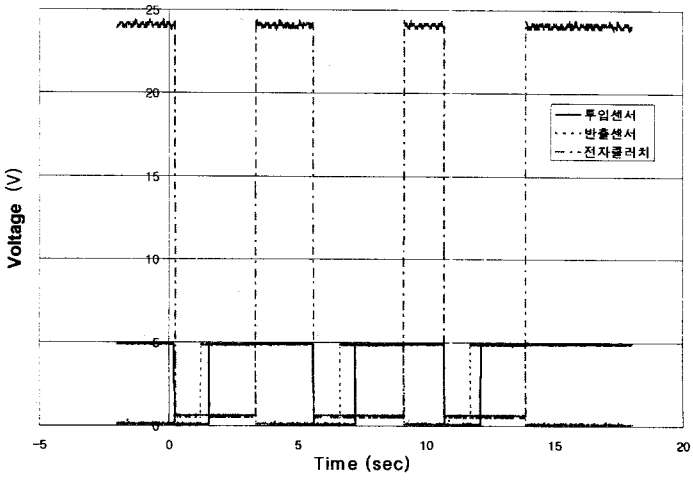


Fig. 3-50 재배홈통 투입간격 5초

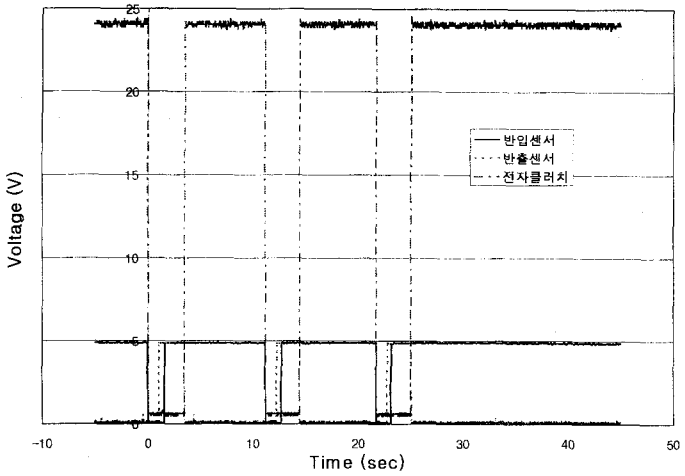


Fig. 3-51 재식판 투입간격 10초

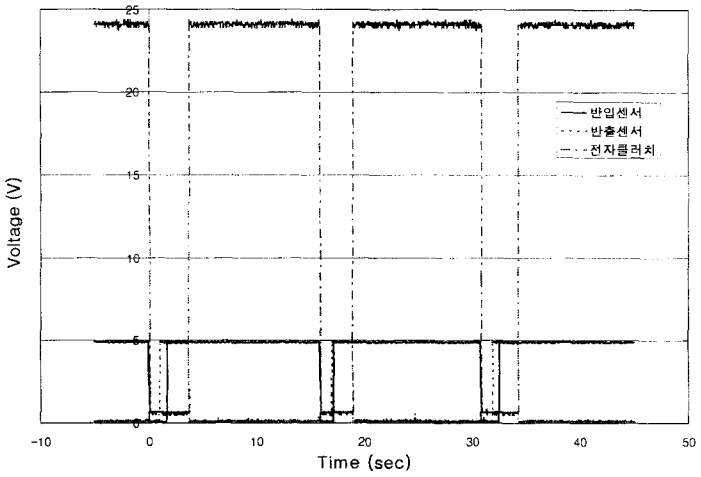


Fig. 3-52 재식판 투입간격 15초

4. 배양액 공급시험

가. 재료 및 방법

총배양액 공급유량 측정은 공급관에 조간조절장치의 각 단계별로 공급하는 배양액공급관의 중심부위에 설치된 밸브의 사이는 0.5kg/㎠의 압력계를 설치하고 공급관 양끝에 각각 1kg/㎠용의 압력계를 설치하고, 초음파유량계(PORTABLE FLOWMETER : PT868, PANAMETRICS CO.)를 배양액 공급량조절 밸브 하단에 설치하여 측정하였다.

배양액 공급량시험은 공급량 조절밸브를 5등분(18° , 36° , 54° , 78° 90°)으로 나누어 배양액 공급 튜브별로 공급유량을 측정하였다.

각 튜브별로 공급되는 유량은 250㎖의 비커 46개를 배양액 회수조 위에 설치하여 2kg 용 디지털 저울로 10초간 측정하였고 반복은 5회 실시하였으며 실시간의 시간과 유량을 측정한 후에 분당 유량으로 환산하였다.

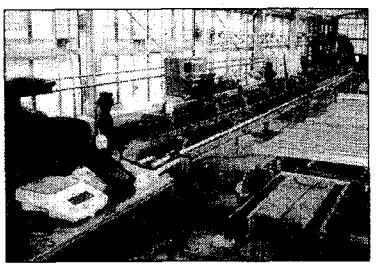


Fig. 3-53 공급량 시험 모습

Fig. 3-54 저울, 유량계

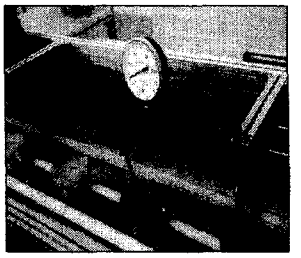


Fig. 3-55 압력계

나. 튜브위치별 압력별 공급량 변화

배양액 공급튜브별 46개 설치하고 각 튜브별로 공급압력을 0.04~0.32kg/㎠범위에서 5등분하여 공급량 변화를 측정한 결과, 배양액 공급관의 배양액 공급압력이 낮을수록 공급튜브별로 공급량의 변화가 적은 것으로 나타났으며, 배양액 공급압력이 0.31kg/㎠이상에서는 공급량이 비슷한 것으로 나타났다.

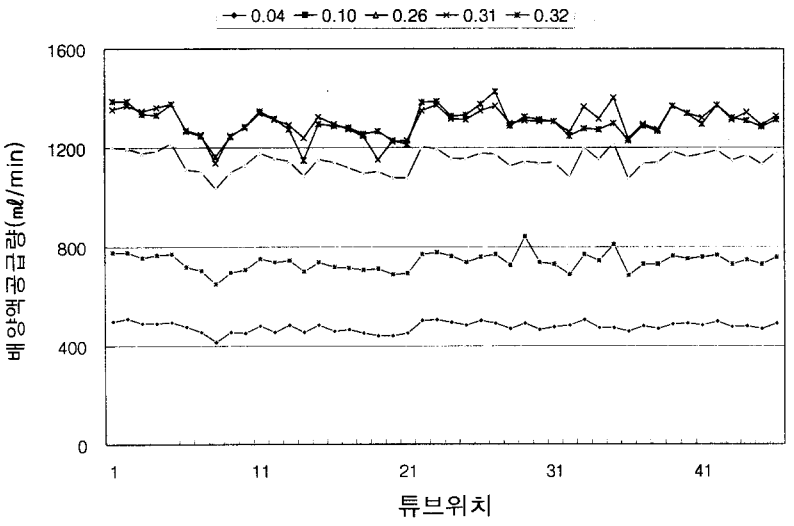


Fig. 3-56 튜브 위치별 배양액 공급량 변화

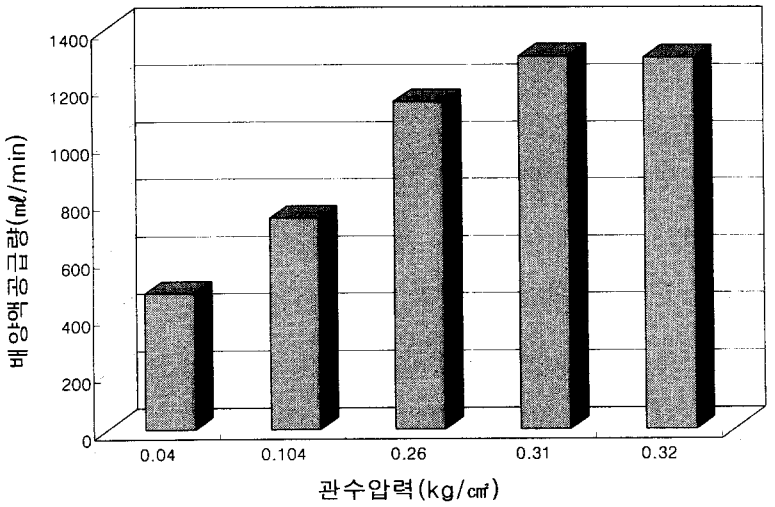


Fig. 3-57 관수압력별 관수량 변화

다. 밸브개도별 압력계 위치별 압력변화

밸브개도별 압력계위치별 압력변화는 압력계 위치별로는 압력변화가 매우 적은 것으로 나타났으며, 밸브개도를 18° 로부터 90° 까지 5등분하여 배양액공급관의 압력변화를 측정한 결과, 배양액공급밸브의 개도가 커짐에 따라 0.04~0.32kg/㎠의 범위에서 압력이 증가하다가 78° 이상이 되면 압력이 0.3~0.32범위에서 압력변화가 거의 없는 것으로 나타났

다. 배양액공급관의 공급압력변화가 적은 것은 각 지점의 배양액공급량이 일정하게 공급되는 것으로 판단할 수 있었다.

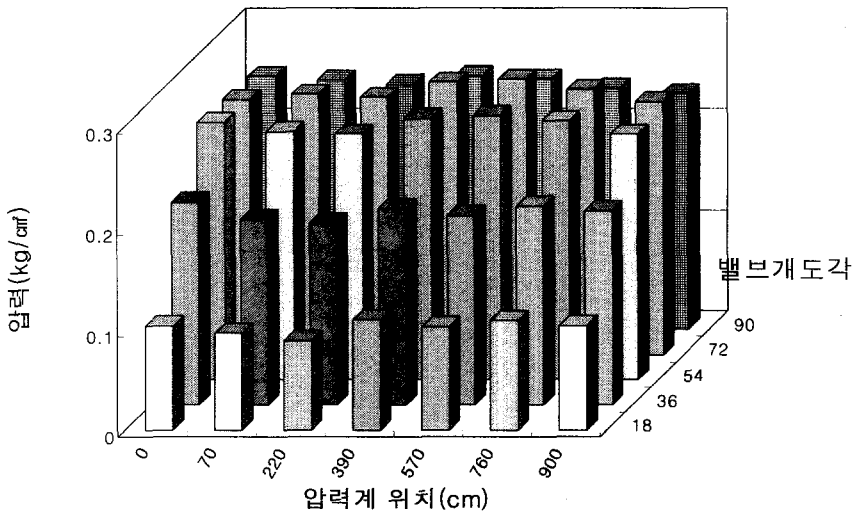


Fig. 3-58 밸브개도별 압력계 위치별 압력변화

라. 배양액 농도조절시험

배양액의 농도는 pH가 설정값 pH 6.3 범위에서 공급주기마다 미소하게 변화되는 경향을 보이고 있음. 이것은 재배홈통에 공급된 배양액을 회수하여 pH가 낮아지면 다시 조정되었기 때문이다. EC농도는 설정값 1.2범위에서 9:00~13:00에는 1.15범위를 유지하다가 13:00~19:00에는 1.2범위에 근접하였다.

작물재배에 필요한 pH가 5.5~7.5, EC 농도가 0.8~1.4mS/cm 범위에서 잘 조절이 되고 있었다.

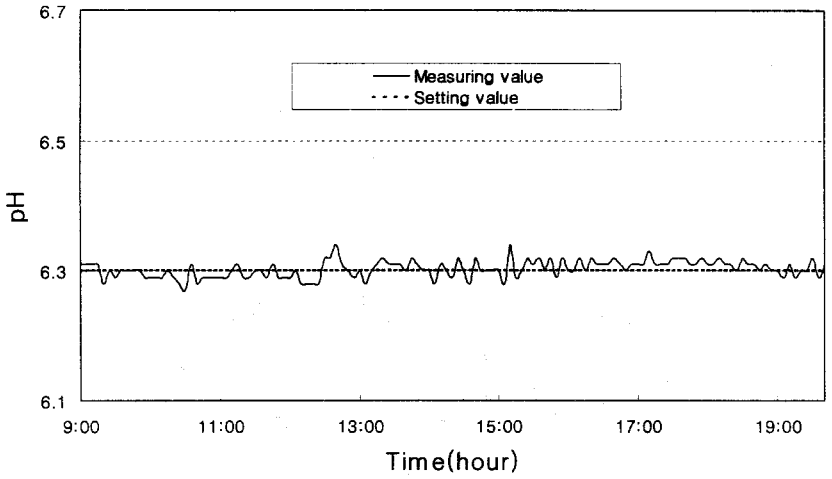


Fig. 3-59 시간별 pH 조제 성능

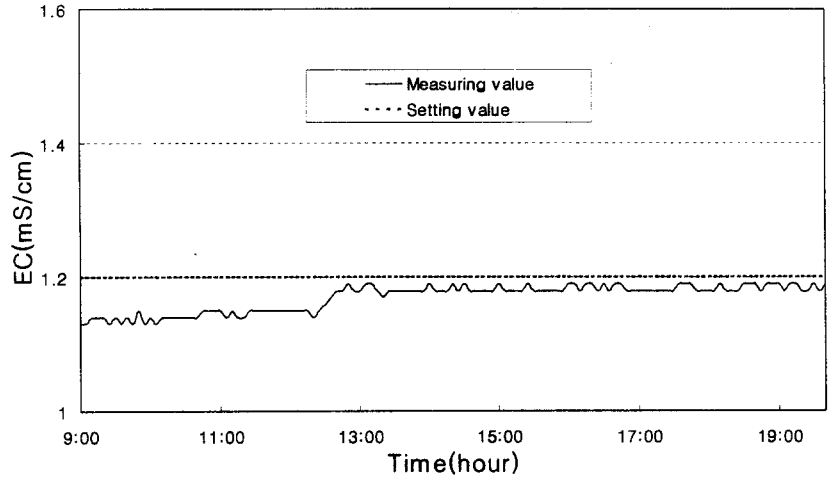


Fig. 3-60 시간별 EC 조제 성능

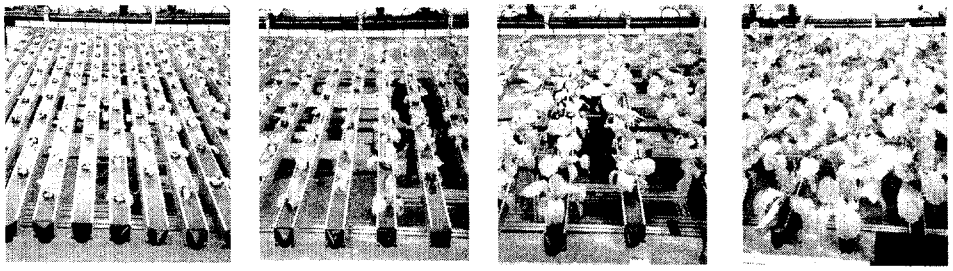
5. 재배를 통한 성능평가

작물조간조절장치의 작물재배 적응성을 검정하기 위하여 99년 9월말에 정식한 청치마상추를 99년 10월 10일 조간조절장치로 옮겨 재배하기 시작하였다. 작물조간조절장치의 이송은 조간조절장치의 1단계에 재배홈통을 5개씩 투입하여 작물이 성장함에 따라 3~4일 주기로 조간을 조절하였다.

작물이 자람에 따라 1단계에서 4단계로 상추가 이송되어 수확시기에 이르는 것을 볼 수

있으며, 상추의 조간간격은 목표 값으로 정확하게 잘 조절되었다.

Fig. 3-61 주간조절장치에서 상추를 재배하는 광경



(a)1단계 (b) 2단계 (c) 3단계 (d) 4단계

Fig. 3-72 생육단계별 주간조절

8절 결론

식물공장용 주간조절장치를 기존에 개발된 러그 간격에 의한 주간조절 방식과 겐트리시스템에 의한 주간조절장치와는 달리 가격이 저렴하고 제작이 용이하도록 체인 컨베이어에 의해 주간간격이 조절되는 시스템을 개발하여 성능시험을 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 작물이동식 양액재배장치의 이송속도는 생육단계를 고려하여 4단으로 제작하였으며, 각 단계별로 5.3~15.8cm/sec범위이며, 주간이 10~25cm 범위에서 작물이 성장함에 따라 주간이 넓혀지게 된다.
2. 주간조절성능은 주간 조절량이 설계된 값의 5%이내 범주에서 잘 조절되었으며, 전자클러치와 광센서의 작동도 원활하여 시스템이 안정적이었다.
3. 식물공장용 주간조절장치는 작물이송 컨베이어, 타이밍 체인, 위치감지센서, 구동 전동기, 전자 클러치 등으로 구성되어 있으며, 위치 감지부에서 재배홈통을 감지하여 전자클러치를 동작시킴으로써 구동전동기 초기 부하를 효과적으로 줄일 수 있었다.
4. 배양액을 조성하고 공급하는 배양액공급장치는 pH6.3, EC 1.2로 조성하여 실험한 결과 설정값과 거의 일치하게 조성되어 주간조절장치에 공급하여 식물공장용 배양액공급장치로 활용이 가능한 것을 확인하였다.
5. 주간조절장치의 재배홈통 위에서 재배되는 상추는 생육이 정상적이었으며, 주간이 조절되지 않는 NFT재배에 비하여 작물 폭, 엽폭, 엽수가 미소한 차이가 있었으나 엽장에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 엽생체중이 52.2g로 주간이 조절되지 않는 NFT재배의 53.7g보다 다소 적었으나, 작물재배에 적용가능성이 확인되었다.
6. 양액재배에 작물주간조절장치를 이용하여 생산성 증대와 온실면적을 충분히 활용할 수 있는 장점이 있으며, 식물공장용 주간조절장치의 실용화 가능성을 확인하였다.

4장 수확기 및 선별·포장기 개발

1절. 서언

우리나라의 시설작물 경지면적은 90년 1.9%에서 97년 4.8%로 증가하고 있으며, 더불어 첨단기술 적용이 가능한 유리온실도 보급되어지고 있다. 하지만 아직도 대다수는 재래식 비닐온실로 작업환경이 열악하고 많은 노동력과 에너지를 필요로 하기 때문에 고품질의 작물을 생산하기에는 한계가 있다. 또한 기존의 유리온실은 막대한 시설투자에도 불구하고 일부 환경 관리작업만이 자동화되고 있을 뿐 거의 모든 재배관리 및 수확, 선별, 포장 작업이 수작업에 의존하는 노동 집약적인 체계이므로 효율이 적다. 따라서, 자본 및 기술 집약적인 자동화 공정 생산 방식의 도입이 필요하다.

선진국의 경우 엽채류의 시설재배는 대부분의 작업이 기계화 및 자동화를 이루어 고부가가치, 무공해의 농산물을 생산하고 있으나, 우리나라의 경우 자동 파종기, 복합환경제어 시스템 및 자동 양액 관리 시스템 등 일부분만 자동화가 진행되었고 이식, 수확 및 선별 등의 작업은 아직도 인력에 의존하고 있다.

농촌진흥청에서 시설상추의 작업단계별 투입노동력 내역을 조사한 바에 따르면 10a의 재배면적에 대하여 육묘 관리 9.9시간, 파종 20.8시간, 정식 34.6시간, 재배관리 74.4시간, 수확 177.1시간, 선별 및 포장 30.3시간, 운반 및 저장 14.2시간, 기타작업 15.9시간으로 총 377.2시간이 걸리는 것으로 나타났다. 따라서 전체 작업 노동 투여시간에 대하여 수확작업에 47%의 시간이 소모되고 있으며 이들 작업은 모두 인력에 의존하고 있는 것으로 나타났다. 이들 작업은 기계화·자동화를 통하여 상당부분 생력화를 이룰 수 있을 것이다.

열악한 영농조건 아래서 국제적인 경쟁시대에 직면해 있는 우리 농업을 경쟁력을 갖춘 산업으로 육성하기 위해서는 우리 실정에 맞는 식물공장이 필요하다. 현재 개발된 식물공장의 엽채류 수확 및 선별작업은 일부만 자동화되어 있으며, 여전히 대부분의 작업이 인력의 도움을 받고 있다. 특히, 수확작업의 경우 열악한 작업환경으로 인해 노동 기피 현상이 심하다. 따라서, 식물공장내의 수확 작업의 자동화가 필요하다.

본 연구는, 대단위 엽채류 생산 공장에서 수확에서 선별, 포장까지의 작업을 자동화하는 것을 목적으로 한다.

2절. 관련 기술 동향

1. 수확기

수확 작업의 대상은 불특정 다수의 작업과 같으므로 국내의 경우 수작업으로 진행되고 있다. 과실 수확의 경우 다관절 로봇을 이용한 수확기에 대한 연구가 진행되고 있으나 실용화가 되고 있지 않다.

수확기는 다음과 같은 현재 상용화되고 있는 식물공장에서 일부 이용되고 있다. 수확기는 노지에서 수행되는 수확 작업과는 다르게 규격화를 시행하였으므로 수확 로봇을 이용한 수확작업이 가능하도록 제작되었다.

먼저 통상적으로 행해지고 있는 수확작업은 수작업에 전적으로 이용하는 방법과 아래 그림과 같이 재식판을 양액순환을 위한 재식판 홈통과 포트를 이식하기 위한 재식판 레일을 이용하여 홈통과 분리할 수 있도록 제작하여 레일을 모터를 이용하여 이동하면서 수작업에 의해 수확하는 방식이다. 이에 대한 그림은 아래와 같다.

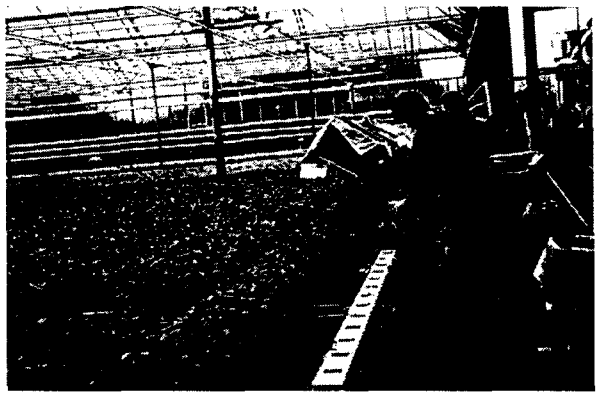


Fig. 4-1 관행 수확방식

가. 구주전력

구주전력의 수확장치는 주간 조절장치로부터 반송되어 온 수확할 채소에, 냉수를 분무하고 뿌리를 절단한 후 재식판을 180 ° 반전시켜 재식판으로부터 한 포기씩 밀어내어 포장장치에 공급하는 장치로 설계, 제작되어 있다.

이 수확장치의 구성은 출하할 때 채소의 신선도를 좋도록 하기 위하여 냉수 분무장치에 의해 냉수를 분무하는 냉수분무기구, 채소의 뿌리는 커터와 받침 고무로 뿌리를 절단하는 기구로 절단하며, 재식판에서 채소를 분리하기 위해 재식판 이송 및 재식판을 180 ° 반전시키는 재식판 이송기구, 재식판으로부터 한 포기씩 작물을 밀어내는 채소 밀어 빼는 기구 및 채소를 빼낸 빈 재식판을 재식판 회수 암에 의해 재식판을 회수 상자로 이송하는 재식판 회수기구로 구성되어 있다.

이들의 동작순서는 다음과 같다.

① 주간 조절장치로부터 수확하려는 채소가 심어진 재식판을 수확장치에 세트하여 채소에 냉수를 분무하고 뿌리를 절단한다.

② 재식판을 180 ° 회전시켜 포장장치의 채소 공급라인에 재식판을 한 포기씩 이송하고 밀어내는 기구에 의해 재식판으로부터 채소를 포장 장치로 밀어낸다

③ 위의 작업을 6회 반복하면 재식판의 1개의 수확작업이 종료된다 빈 재식판은 재식판 회수 상자에 회수한다.

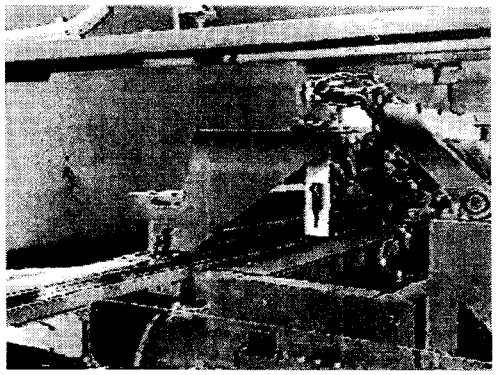


Fig. 4-2 구주전력 수확장치

나. 出光興産

출광흥산에서 사용되는 수확기는 크게 뿌리절단장치, 작물회전장치, 작물이탈장치로 구성되어 있다. 뿌리 절단장치는 작물의 뿌리를 절단하는 장치이고, 작물회전장치는 재식판에서 모종을 분리하여 이를 수확 컨베이어 위로 이동 및 180° 회전시키는 장치이며, 포트

이탈장치는 육묘포트에 심어져 있는 작물을 육묘포트와 분리시키는 장치로 이때 육묘포트를 흔들어 작물이 더 쉽게 분리되도록 제작하였다.

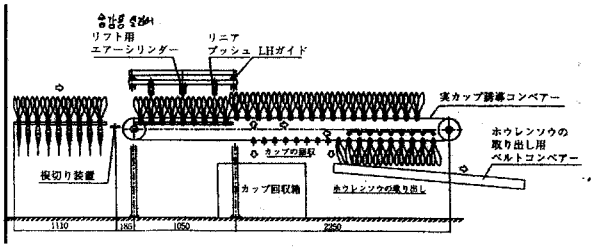


Fig. 4-3 수확기의 개략도

Fig. 4-4 수확기의 작업모습

다. KL式 Agri-System

이 시스템의 수확장치는 캐링스트립(carrying-strip)을 재식판1의 수확부 쪽으로 감을 때 감긴방향을 축으로 하여 캐링스트립을 수평상태에서 일정한 각도로 기울게 하고 포트의 중간부를 캐링스트립과 평행한 단면으로 절단한다. 이것에 의하여 식물체의 근권부가 절단되고 포트의 하부 절편은 배지의 버미큘라이트와 함계 밑으로 떨어진다. 근권부에서 떨어져 나간 식물체의 지상부는 경사방향으로 쓰러져서 수확이 이루어지며. 캐링스트립 위에 남아 있는 포트의 상부절편은 밑으로 밀어냄으로서 떨어져 나간다.

구동부는 회전식 슬라이스 날, 벨트 컨베이어, 캐링스트립 권취장치로 구동부가 일정 속도로 회전함에 따라 연속적으로 자동 수확이 가능하다. 수확 속도는 1800포트/hr 이며 수작업에 비해 3-5배의 속도로 수확이 가능하여 노동력 절감을 꾀할 수 있으나 재배장치와의 착탈시간 단축문제 조간조절장치와의 연계, 수작업에 의한 정식작업과 출하조정작업을 포함하여 종합적 시스템이 요구되어 진다.

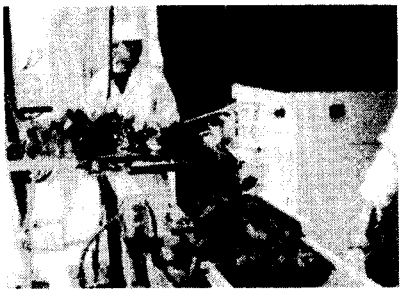


Fig. 4-5 수확기 작업모습

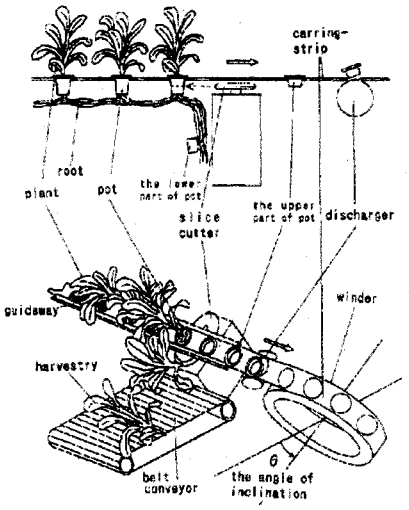


Fig. 4-6 엽채류 자동 수확장치의 구성

라. 기타

연구용 논문의 경우 오이, 사과, 포도, 수박 등에 대한 연구가 있으나 엽채류 수확에 대한 연구개발 실적은 매우 저조한 편이다. 또한, 국내의 경우 유리온실 내에서 이용되고 있는 수확작업은 주로 토마토의 경우에 이용하고 있는데 수확작업할 때 작업대를 난방용 파이프 위에 설치하고 작업자가 작업대를 타고 앉아서 수확을 하는 방법이 있고 그 이외의 수확기에 대해서는 초보적인 연구 수준이다.

2. 선별기

식물공장생산시스템에서의 수확 후 선별작업은 시설비 절감을 위하여 대개 인력으로 하는 곳이 대부분이며 작물을 수확한 후에 곧바로 포장하는 시스템이 일반적이다.

농산물의 경우 선별부분은 국내외적으로 사과, 배, 귤등 과채류 및 버섯류등에 대한 색채선별, 당도선별, 중량선별, 크기선별 등 여러 가지 선별 인자에 대해 많은 연구가 진행되고 있으나 엽채류의 경우 상대적으로 미약한 상태이다.

엽채류의 경우 이식 후 정식을 위해 육묘의 상태를 파악하여 정식을 수행하는 경우가

있으며, 영상처리 및 열화상을 이용하여 작물의 상태를 파악하는 연구가 있다. 육묘의 상태에 대한 연구는 앞의 이식기 및 보식기의 관련기술동향에 나타나 있다.

3. 포장기

포장기의 여러 기구 및 포장재질에 대한 연구는 일반 산업용 및 농업용에서 여러 가지 연구가 있었으며, 특히 농업용으로 이용되는 경우에는 농산물의 종류에 따른 수확후 처리 방식 및 과실이나 채소의 종류에 따라 호흡속도의 차이, 에틸렌의 발생정도에서 차이가 발생한다는 보고가 있다. 특히 호흡은 주위의 온도와도 관련되어 있고, 대부분의 작물들은 수확 후에도 성장과 발육이 일어나는데 이럴 경우 식물체내에 저장된 유기물이 소모되어 싹이나고, 조직이 질겨져 상품가치가 크게 떨어뜨리는 경향이 있다.

수확포장의 기계적인 과정에서 대상물에 손상을 입게되면 갈변현상이 일어나서 외관이 상하게 되고, 상처부위로부터 수분증발이 심하여 수분손실이 많아지고, 부패균의 침입이 쉬워 부패하기 쉬워지므로 이러한 자료들에 의해 적절한 포장 방법과 포장에 적합한 재질을 선택하고 포장 후 적절한 후처리를 해야 한다.

수확된 산물이 벨트컨베이어에 의해 이송되면 식물공장생산시스템에서는 대부분 인력으로 포장한다.

현재 기계로 포장하는 시스템은 香川縣場尾町의 농업조합법인, KL式 agri system에서는 인력으로 수확물을 포장기에 투입하며, 九州電力의 식물공장생산시스템에서는 벨트컨베이어로 이송된 생산물을 PE계통의 필름에 넣어 2방향 혹은 3방향을 접착하여 포장하는 자동포장기가 연구 개발되어 실용화되고 있다.

3절 수확기

1. 그리퍼

End-effector는 매니퓰레이터의 선단에 부착되어 대상물을 직접적으로 다루므로, 로봇의 응용에 있어 매우 중요한 역할을 한다. 특히, 농산물에 적용할 때에는 작업 대상이 균일하지 않고, 작업 환경이 변화될 수 있으므로 작업 대상과 환경에 대한 충분한 고려가 필요하다.

본 연구에서는 작업 알고리즘을 고려하여 상추 압지 그리퍼와 절단 칼날로 구분하여 그리퍼를 구성하였다.

가. 상추 압지 그리퍼

상추 압지 그리퍼는 상추의 밑둥을 압지하며, 상추에 손상을 주지 않는 적절한 파지력을 가지고 상추를 압지하는 동작이 이루어져야 한다. 이때 적절한 파지력을 결정하기 위해서는, 'stable grasp'를 유지하기 위해 요구되는 최소 파지력이나 상추에 손상을 일으키지 않고 가할 수 있는 최대 파지력에 대한 정보가 요구된다. 그리퍼가 상추를 파지할 때에는 그리퍼의 최대·최소 파지치수, 파지력 정도, 파지면의 강성, 상추의 중량, 크기, 기하학적 모양 등에 대한 정보가 필요하다.

일반적으로 그리퍼에 사용되는 동력원으로는 DC 모터를 이용하는 경우, 공압을 이용하는 경우, 유압을 이용하는 경우, 진공을 이용하는 경우 등 다양한 형태가 있다. 이러한 것들 중에서 공압을 사용하는 방법은 매니퓰레이터의 선단에 부착하기가 간편하며, 구동이 간단한 장점이 있다.

1) 포트 수거용 그리퍼

본 연구 초기에 제작한 그리퍼로서 수확기가 작업하기 이전에 모종을 잡기위하여 포트 수거용 그리퍼를 제작하였다. 포트 수거용 그리퍼는 수확기 작업할 때 포트가 움직이지 않도록 하여 원할한 수확작업을 유도하며, 수확작업 후 육묘포트를 재식판에서 분리하는

데 이용하였다.

포트 수거용 그리퍼의 핑거는 포트의 압지를 유지할 수 있도록 충분한 강성이 있어야 하며, 포트를 집을 때 발생하는 충격을 흡수 할 수 있도록 단단한 플라스틱으로 기본형상을 만들고 포트가 닿는 안쪽은 폴리우레탄을 대어 제작하였다.

핑거의 형상은 포트 윗 부분의 파인 부분을 잡을 수 있도록 제작하였다. 핑거의 안쪽은 포트를 가능한 넓은 접촉면적으로 집을 수 있도록 반원형으로 제작하였으며, 포트의 홈의 내경보다 약 0.2mm 정도 작게 제작하여 충분한 압력을 유지할 수 있도록 제작하였다.

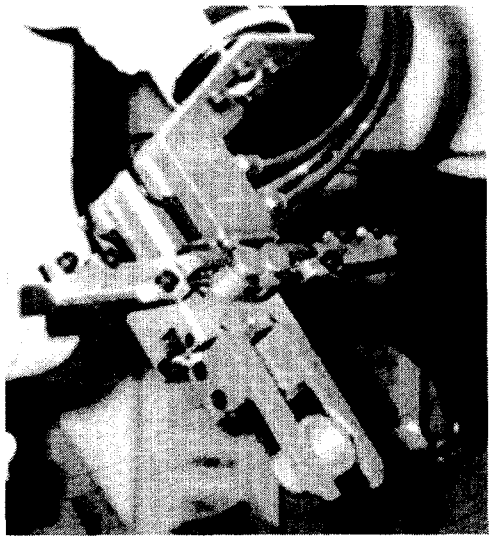


Fig. 4-7 포트 수거용 그리퍼

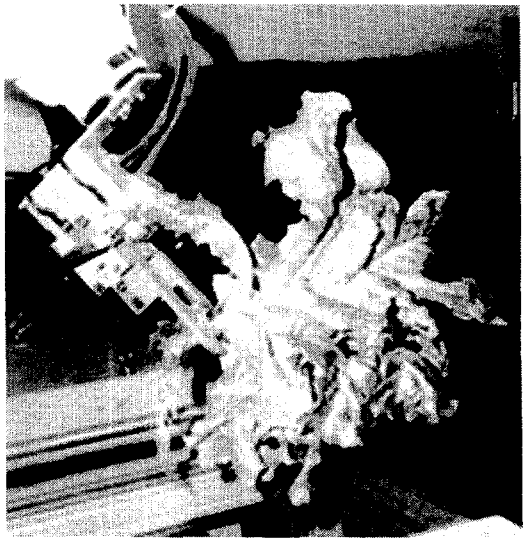


Fig. 4-8 포트 수거용 그리퍼를 이용한 수확모습

그리퍼의 파지압 및 부가하중은 포트와 작물에 의한 부가하중을 약 300g으로 하여 파지압을 산출하여 그리퍼를 파지할 때 사용하였다.

2) 상추 압지 그리퍼

포트 수거용 그리퍼는 작물의 재식판에서 쉽게 이탈할 수 있어야 사용이 가능하다. 실제 재식판 내에서 자라는 작물의 경우 뿌리와 뿌리가 서로 엉켜 있어서 포트가 쉽게 재식판에서 빠져 나올 수 없다. 이런 문제로 인해 수확기 작업을 유인하기 위하여 포트 수거

용 그리퍼 대신에 상추를 압지하는 방식을 이용하였다.

상추를 압지하는 그리퍼는 개폐구간이 0°~180°인 에어척을 이용하였고, 핑거부는 MC(monomer cast) 나일론을 사용하였다. 압지하는 순간의 충격력을 줄이기 위해 MC 나일론 안쪽 부분에 스폰지를 접착하였다. 사용된 에어척의 제원은 다음 표 4-1과 같다.

Table 4-1 상추압지 그리퍼에 에어척 제원

Manufacturer	Festo
Model	HGR-25-A
Operation angle	0 ° ~ 180 °
Inner dia. of cylinder	25 mm
Operation pressure	max. 8 kg_f/cm^2
Gripping moment	16.0 $kg_f \cdot cm$
Cutting range	60 mm

제작된 상추 압지 그리퍼는 아래 그림 4-9와 같다.

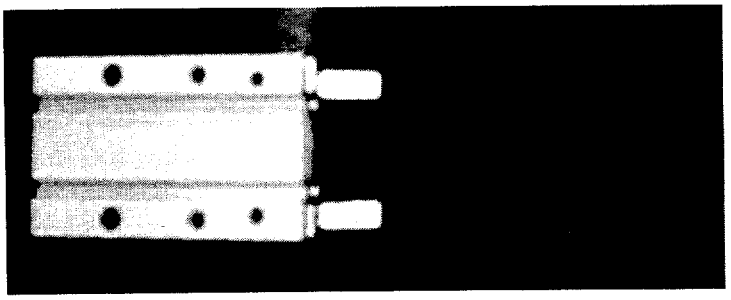


Fig. 4-9 상추 압지 그리퍼의 외형

나. 절단 칼날

그리퍼가 포트를 잡아 수확할 위치로 상추를 이동하면, 그리퍼 위에 부착된 절단 칼날

을 이용해 상추의 밑동을 잘라 수확하게 된다. 절단 칼날은 직접 상추와 접촉하는 부분으로 절단 칼날의 성능은 바로 수확 성능에 직결되는 중요한 부분이다.

1) 설계조건

절단칼날을 설계하는데 있어서 다음과 같은 사항을 고려하였다.

① 작물에 상해를 주지 말아야 한다.

② 내환경성 및 내부식성을 가져야 한다.

③ 상추의 밑동을 한번에 깨끗이 절단 할 수 있어야 한다.

④ 로봇 아암의 말단에 부착하기 쉽게 구조가 간단하고 구동이 간편해야 한다.

⑤ 반복되는 절단 작업을 수행할 수 있도록 충분한 강성을 가져야 한다.

2) 절단 칼날 형상

절단 칼날은 가위식, 수평왕복식, 회전식의 세 가지 형태를 설계 제작하고 성능을 비교하여 선정하였다. 각각의 칼날에 대해 비교한 내용은 다음 표 4-2와 같다.

Table 4-2 절단칼날의 비교

성능 / 칼날종류	절단성능	절단면	칼날교환비용	작동방식	비고
가위식 칼날	좋음	좋음	싸다	공압	커터날사용
수평왕복식 칼날	좋음	좋음	비싸다	공압	주문제작
회전식 칼날	좋음	보통	비싸다	모터	주문제작

각각의 경우 절단 성능은 양호 하였으나, 칼날 교환 비용 및 구입, 유지 보수가 용이한 가위식 칼날을 이용하여 상추 수확을 위한 절단 칼날로 선정하였다.

3) 절단칼날의 제작

구조가 간단하고, 그리퍼와 함께 로봇 아암에 부착하기 쉬운 에어척을 이용하여 절단

칼날을 제작하였다. 절단칼날을 작동하는 에어척은 개폐 행정할 때 작동각이 180 ~ 0° 인 지점 개폐형 에어척을 사용하였으며, 절단할 때 사용되는 압력은 5 bar이다.

칼날이 부착된 그리퍼의 모습을 아래 그림 4-10에 나타내었으며, 사용된 에어척의 제원을 아래 표 4-3에 나타내었다.

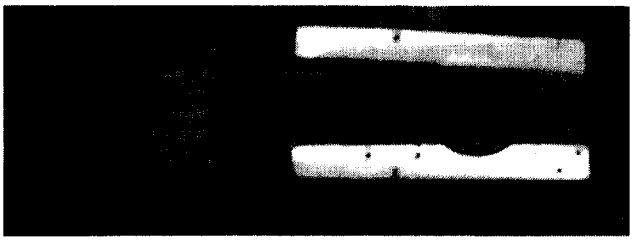


Fig. 4-10 절단칼날의 모습

Table 4-3 절단칼날 구동 에어척의 제원

Manufacturer	Festo
Model	HGR-25-A
Operation angle	0 ° ~ 180 °
Inner dia. of cylinder	25 mm
Operation pressure	max. 8 kg_f/cm^2
Gripping moment	16.0 $kg_f \cdot cm$
Cutting range	60 mm

절단 칼날의 에어척은 PB-1S 마이크로 컴퓨터의 출력 신호, 릴레이 그리고 복동 솔레노이드 밸브를 이용하여 개폐할 수 있도록 하였다.

2. 잎부상장치

수확 시기의 상추는 잎이 처져 포트를 가리는 경우가 있다. 따라서, 매니퓰레이터가 상추에 접근할 때 처진 상추 잎이 그리퍼나 절단 칼날에 의해 상해를 입게 될 수도 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 공압을 이용하여 매니퓰레이터가 접근하는 방향의 처진 상추 잎을 붙어주도록 하였다.

잎 부상 장치는 공압 노즐을 상추 공급 장치의 상추 압지 위치 바로 앞에 부착하고, ON / OFF 솔레노이드 밸브와 유속 제어 밸브를 이용하여 구성하였다.

작동 공압은 6bar이고, 솔레노이드의 ON / OFF 제어는 PB-1S 마이크로 컴퓨터에서 나오는 제어 신호를 이용하였다.

Fig. 4-11 솔레노이드 밸브

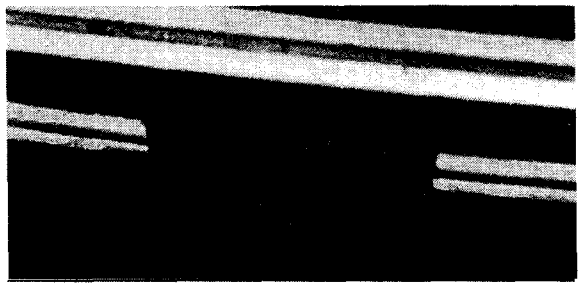


Fig. 4-12 잎 부상장치의 모습

3. 재식판 반입장치

가. 설계 기준

재식판 반입장치는 재배장치에서 수확에 적당한 모종을 수확기로 이송하기 위한 장치로 재배장치와 수확장치간의 연결 역할을 한다. 이 재식판 반입장치는 또한, 수확작업시 재식판을 수확위치로 이동하는 역할을 한다.

재식판 반입장치는 설계 기준은 아래와 같다.

① 재식판 이송중 모종이 상해를 입지 말아야 할 것

② 재식판이 이송장치내에서 안정하게 이송할 것

③ 재식판 위에서 수확작업이 가능하도록 할 것

④ 재식판이 재배장치에서 수확장치로의 작업의 누적이 없을 것

나. 재식판 반입장치의 개발 및 설계

재식판의 반입장치는 컨베이어 벨트를 이용하여 제작하였다. 제작한 컨베이어의 벨트폭은 재식판의 폭보다 다소 크게 제작하여 현재 제작된 재식판보다 큰 경우에도 적용이 가능하도록 하였다.

컨베이어 벨트의 속도는 모터에 속도 조절 장치를 부착하여 재배장치의 재식판 반출장치와 가능한 같은 속도를 유지하도록 하였다. 또한 모터의 용량은 재식판에 상추 모종이 10개 있는 것을 가정하여 상추모종의 무게와 재식판의 무게 및 잔여 양액의 무게를 고려하여 반입장치의 모터 용량을 결정하였다. 본 연구에서 사용된 컨베이어 벨트의 치수는 아래 그림 4-13과 같다.

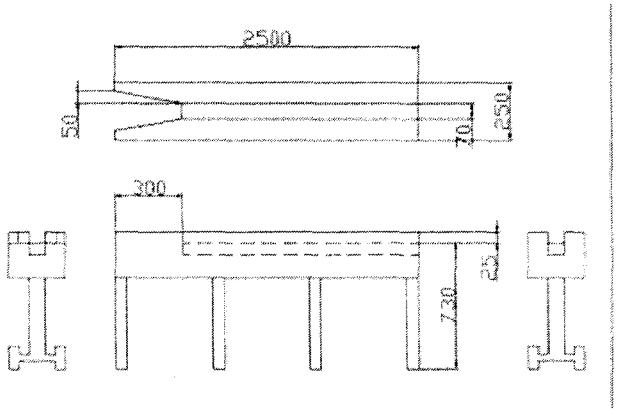


Fig. 4-13 재식판 반입용 컨베이어의 치수

재식판이 수확기로 반입할 때 재배장치의 재식판 반출장치의 폭과 재식판 반입장치의 폭이 다소 다르므로 원활한 반입을 위하여 반입장치 앞에 V자형의 재식판 반입 가이드를 부착하여 원활한 반입을 유지하도록 하였으며, 반입장치 안에서도 재식판이 정해진 위치를 벗어나지 않도록 가이드 롤러를 대었다. 제작된 재식판 반입장치의 외형은 아래 그림 4-14와 같다.

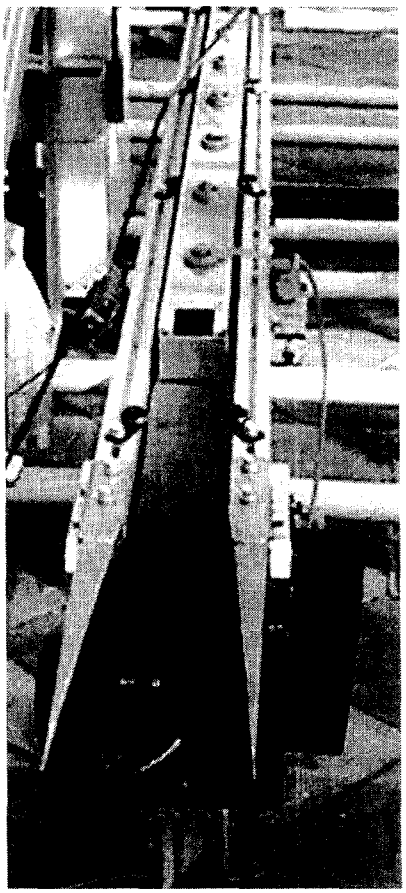


Fig. 4-14 재식판 반입 컨베이어

상추의 수확할 위치를 감지하기 위하여 아래 그림 4-15와 같이 리미트스위치를 장착하여 상추가 리미트스위치를 접촉하면 컨베이어가 일시 정지하고 로봇이 상추 수확작업을 할 수 있도록 하였다.

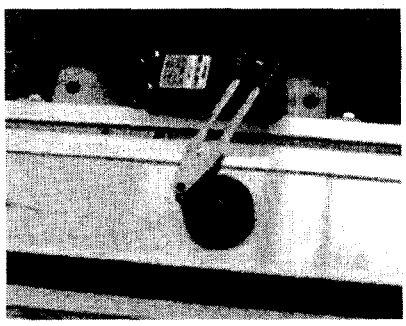


Fig. 4-15 리미트스위치

4. 수확기

가. 상추 수확 로봇 시스템 구성

개발된 상추 수확 로봇 시스템은 상추의 영상을 획득하는 기계시각 시스템, 상추를 수확위치로 공급하는 공급 장치, 상추를 수확하는 3 자유도 매니퓰레이터와 end-effector, end-effector가 상추에 접근할 때 처진 잎을 부상시켜 주는 잎 부상 장치 그리고 이러한 공정을 제어하는 제어기로 구성된다. 그림 4-16에 상추 수확 로봇 시스템의 구성도를 나타내었다.

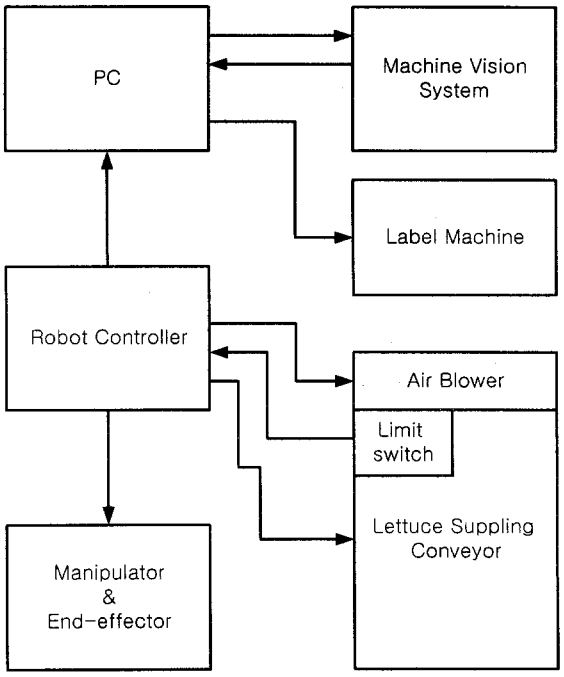


Fig. 4-16 상추 수확 로봇 시스템의 구성도

나. 매니퓰레이터

매니퓰레이터(manipulator)란 '인간의 팔과 유사한 기능을 가지고 공간상에서 대상물을 이동시키는 것'으로 정의되어 있다. 이 매니퓰레이터는 몇 개의 관절과 링크로 구성되어 있고, 각 관절은 단일 또는 복수의 자유도를 갖는다.

1) 좌표계 및 자유도

본 연구에서는 원통 좌표계를 이용한다. 원통 좌표계는 z축에 대한 회전 관절, 수평상태에서 반지름 방향으로 움직이는 미끄럼 관절 그리고 y축에 대한 회전 관절로 구성하여 동작범위를 어느 정도 크게 한 것이다.

자유도(degrees of freedom)란 매니퓰레이터의 기구학적 운동 특성을 나타내는 척도로서, 주어진 공간에서의 매니퓰레이터의 기구학적 상태를 표시하는 독립적인 입력변수의 개수를 나타낸다. 본 연구에서의 매니퓰레이터는 AC 서보 모터의 z축 회전 운동, 공압 실린더의 y축 전·후진 운동 그리고 스테핑 모터의 y축 회전 운동 등 3 자유도로 구성하였다. 제작된 로봇의 모습을 아래 그림 4-17에 나타내었다.

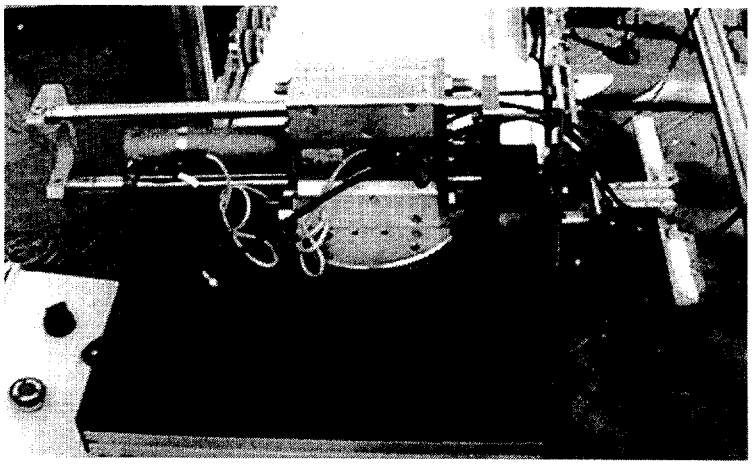


Fig. 4-17 제작된 로봇 암의 모습

2) AC 서보 모터

AC 서보 모터는 상추 수확 위치 및 포장 위치로의 이동을 위한 z축에 대한 회전 운동을 담당하며, AC 서보 모터의 위치는 상추를 수확하는 위치와 상추가 포장되는 위치에 각각 1개의 광 센서를 설치하여 제어되도록 하였다. AC서보 모터의 동력 전달은 기어비가 1:1이 되도록 같은 크기의 spur 기어 2개를 사용하여 회전 테이블을 구동시켰다(그림 4-18). 사용된 AC 서보 모터는 비례·적분 제어(PI control) 방식이 적용되었다. 표 4-4에

AC 서보 모터의 제원을 나타내었다.

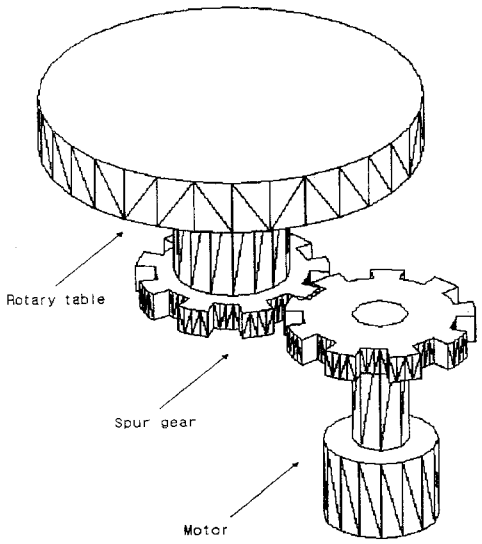


Fig. 4-18 서보모터 연결 기어 구조도

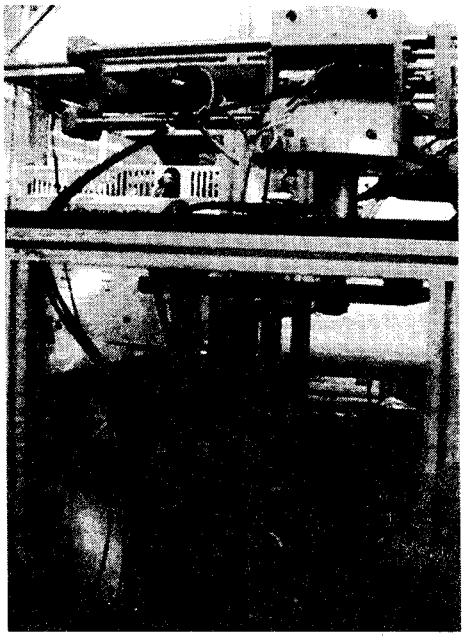


Fig. 4-19 AC 서보모터 부착 모습

Table 4-4 AC 서보모터의 제원

Model	CSMG, Samsung
Rated Output (W)	200
Rated Speed (rpm)	3000
Moment of Inertia (kg · m²)	0.195×10^{-4}
Torque Constant (kgf · cm)	3.9
Rate of Reduction	25:1

3) 공압 실린더

공압 실린더는 매니퓰레이터가 수확 위치에 놓인 상추에 접근하도록 전·후진 운동을 담당한다. 공압 실린더의 전·후진 운동시 고려해야 할 사항들은 다음과 같다.

① 성장한 상추는 잎의 처짐 현상이 발생하게 되는데 매니퓰레이터가 상추에 접근할 때

처진 잎의 손상을 방지하기 위하여 적당한 행정거리를 유지해야 한다.

② 공압 실린더의 끝단에 end-effector가 부착될 때 end-effector의 하중에 의한 실린더의 처짐 정도를 고려해야 한다.

위의 요구사항들을 고려하여 실린더의 행정거리를 200mm 정도로 유지하였다. 또한 실린더의 피스톤 로드에 횡하중이 작용할 때 규격에서는 로드부싱의 미끄럼면에서 실린더의 최대 이론 출력의 1/20 이내의 횡하중은 견딜 수 있도록 규정하고 있다. 실린더의 끝단에 걸리는 최대 하중은 아래와 같다.

$$F_x = \frac{1}{20} \times \frac{L}{(L+L_1)} \times \frac{\pi}{4D^2P} \quad \cdots\cdots (4\text{-}1)$$

여기서 D : 실린더튜브내경 (cm),

L : 부싱의중심에서피스톤중심까지의거리 (cm),

L_1 : 부싱의중심에서피스톤로드끝단까지의거리 (cm)

P : 공기압력 (kg_f/cm^2)

가이드가 부착된 실린더를 사용하여 횡하중에 의한 실린더의 처짐량을 적게 하였다. 다음 표 4-5에 공압 실린더의 제원을 나타내었다.

Table 4-5 로봇암 부착 공압실린더의 제원

Model	MGG25, SMC
Stroke	200 mm
Deflection / Weight	0.7 mm / 32 N
Pressure	0.15 MPa ~ 10 MPa

4) 스테핑 모터

절단한 상추를 포장부에 떨어뜨릴 때 end-effector에 의한 상추의 잎손상을 줄이기 위해 상추의 자세를 보정할 필요가 있다. 상추의 자세 보정을 위해 end-effector를 135 ° 회전시켰다.

End-effector의 회전을 위해 스테핑 모터를 사용하였으며, 아래 표 4-6에 스테핑 모터의 제원을 나타내었다.

Table 4-6. 스테핑모터의 제원

Model	103G770-01, Sanyo
Max. torque	4.5 $kg_f \cdot cm$
Step angle	1.8 °
Current	1 A
Operation voltage	5.1 V
Rotor inertia moment	90 $g \cdot cm^2$

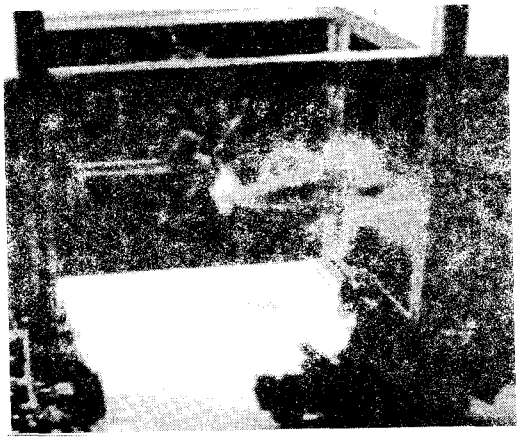


Fig. 4-20 스테핑 모터의 작동 모습

5) 수확시스템

본 연구는 효율적인 작업을 처리하면서 동시에 저렴한 비용의 수확 로봇을 제작하는 것이다. 표 4-7에 제작된 3자유도 로봇의 제작 비용과 서울대학교 농공학과 농업기계에서 사용중인 5축 다관절 로봇인 MRCⅡ의 비용을 비교하였다. 제작된 3자유도 로봇은 MRCⅡ 로봇의 1/5 정도의 비용이 들었다.

Table 4-7 산업용 5자유도로봇(MRC II)와 제작된 로봇과의 가격비교

(단위 : 원)

Developed 3-DOF Robot		MRC II
Manipulator	2,500,000	20,000,000
Controller	1,500,000	
Sum	4,000,000	

개발된 3자유도 매니퓰레이터의 외형은 아래 그림 4-21에 나타내었다.

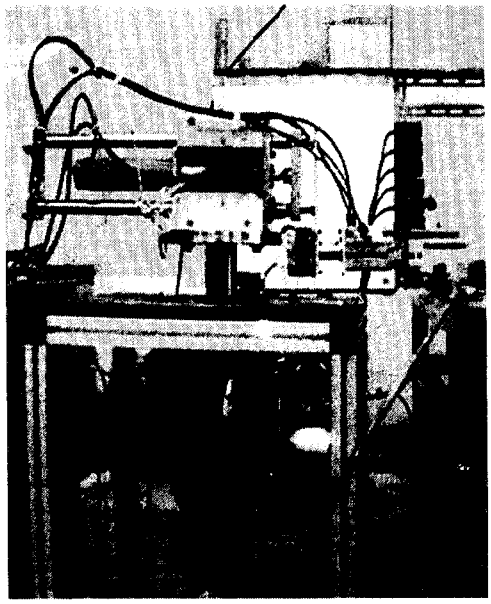


Fig. 4-21 개발된 3자유도 머니퓰레이터

5. 제어장치

가. 공압시스템

수확기에 사용된 공압시스템의 제어 회로는 다음 그림 4-22와 같다.

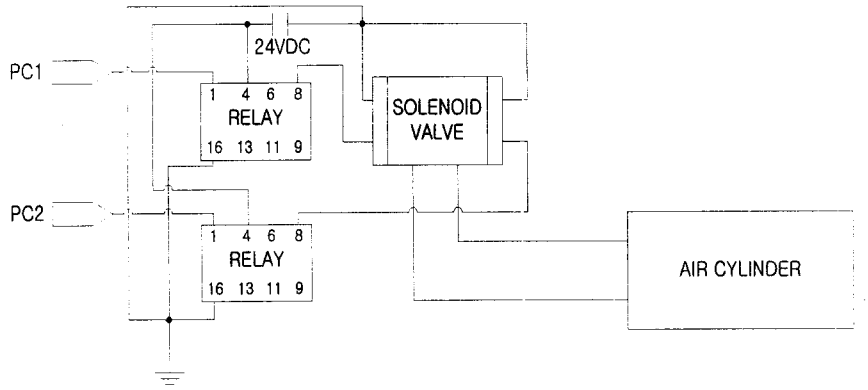


Fig. 4-22 공압실린더 구동 회로도

나. 스테핑 모터

수확기의 그리퍼를 회전시키기 위해서 사용된 스테핑 모터의 구동 회로도는 다음 그림 4-23과 같다.

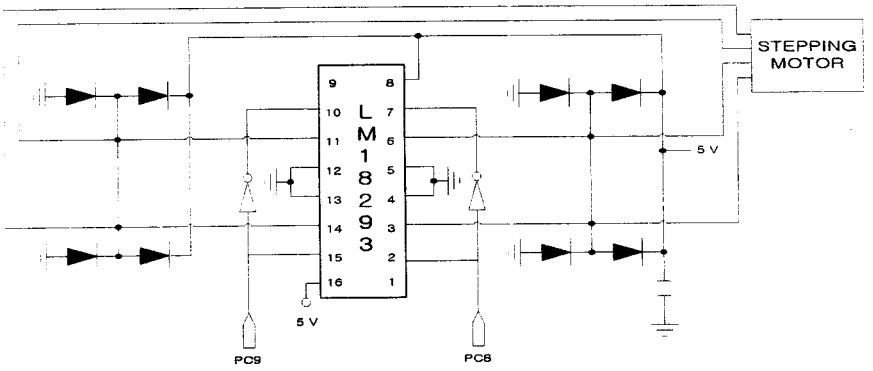


Fig. 4-23 스테핑모터 구동 회로도

다. 매니퓰레이터 및 제어장치 개발

매니퓰레이터의 회전 구동은 AC 서보 모터의 제어에 의해서 이루어졌다. PI 제어가 적용된 AC 서보 모터의 모델링을 아래 그림 4-24에 나타내었다.

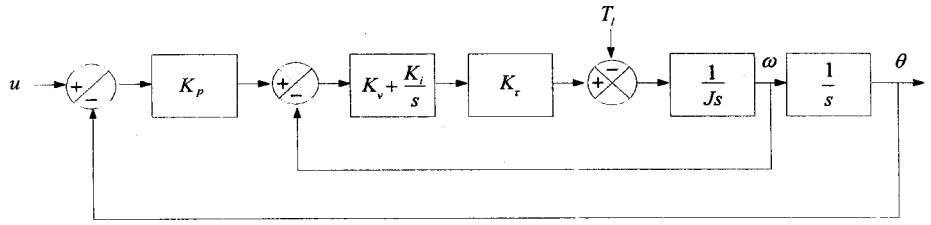


Fig. 4-24 Modeling of AC servo motor with the PI controller.

이를 이용하여 아래와 같은 폐루프 전달 함수를 구하였다.

$$\frac{\theta}{u} = \frac{K_p K_v K_\tau S + K_p K_i K_\tau}{JS^3 + K_v K_\tau S^2 + (K_i K_\tau + K_p K_v K_\tau)S + K_p K_i K_\tau} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4\text{-}2)$$

여기서 K_p : 위치비례계수

K_v : 속도비례계수

K_i : 적분계수

K_τ : 토크상수

J : 모터의 관성

위 식을 가지고 matlab을 이용하여 비례계수 및 적분계수를 구하였다. 위치 비례계수는 500, 속도 비례계수는 500, 적분계수는 5로 선정하였다.

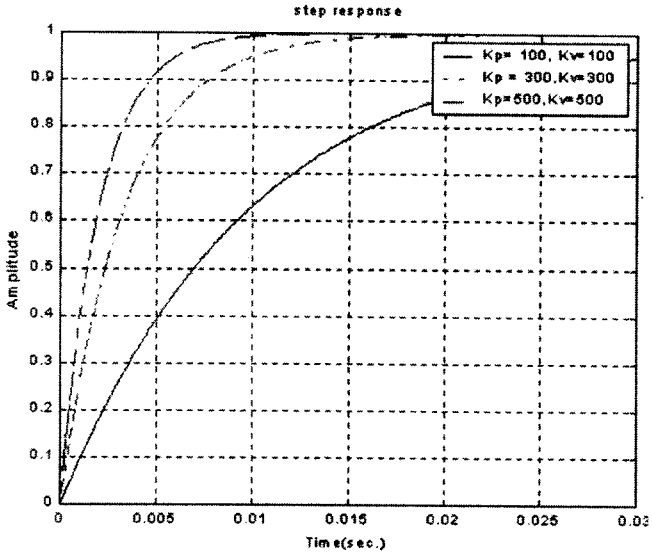


Fig. 4-25 PID 계수 계산

매뉴퓰레이터를 제어하기위한 회로도는 다음 그림 4-26과 같다.

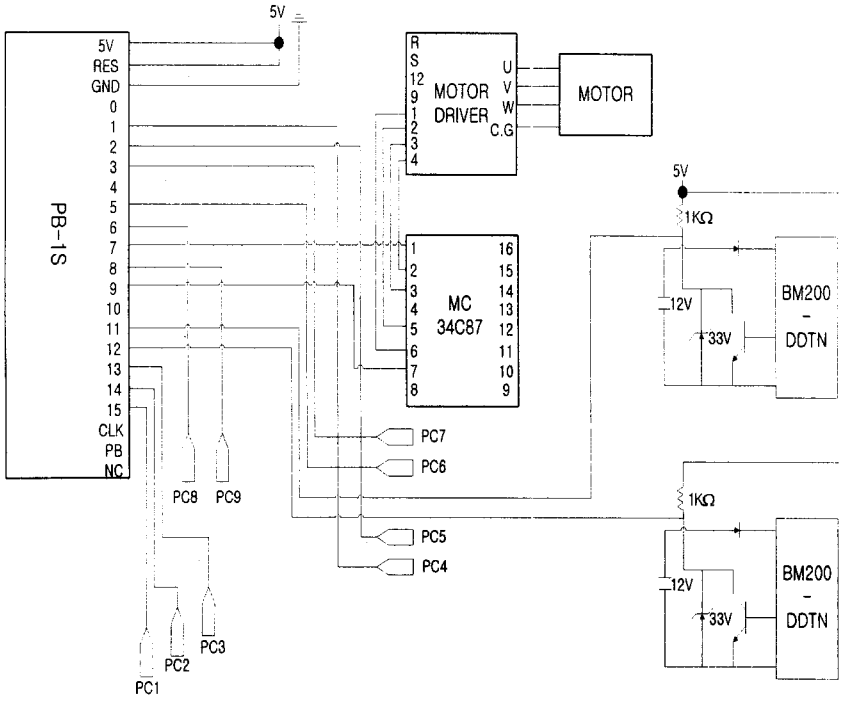


Fig. 4-26 AC 서보모터 구동 회로

라. 상추 수확 알고리즘

수확기의 수확 알고리즘을 작성하기 위하여 현행 인력에 의한 수확작업 및 자동화를 위한 수확작업절차를 분석하였다.

1) 현행 인력 수확 작업 단계

① 근로자가 작업차를 타고, 작업차를 밀어 수확할 작물 앞으로 이동한다.

② 포트를 가리고 있는 상추 잎을 손으로 들어올리고, 상추의 밑동을 잘라 수확한다.

③ 자른 상추는 다듬기와 포장을 위해 모아둔다.

④ 한 줄(재배조)의 수확이 모두 끝나면 수확된 재배조를 모아둔다.

⑤ 수확된 상추는 다듬어서 상자에 중량을 측정하고 포장한다.

⑥ 수거된 재배조에서 포트를 제거하고 재배조는 세척하여 다음의 작물 재배를 위해 준비해둔다.

⑦ 수거된 포트에서 배지와 잔류 뿌리를 제거하고 세척하여 다음의 작물 재배를 위해 준비해 둔다.

2) 자동화를 위한 수확 절차 분석

① 성장이 완성된 재배조를 재배조 유인 장치에 의해 수확장치 쪽으로 끌어들여야 함. 이때, 재배상 끝줄과의 연결이 매끄러워야 함.

② 수확로봇 앞으로 상추를 하나씩 공급해 주어야 함. 이때, 정확한 수확이 되기 위해서 위치감지 센서에 의해 수확할 상추의 위치 감지.

③ 포트의 수거를 위해 포트를 잡는 그리퍼가 요구됨. 상추의 절단부위를 고려하여 그리퍼와 절단 칼날간의 간격을 결정함.

④ 로봇의 그리퍼가 포트에 접근이 용이하도록 포트를 가리고 있는 처진 상추 잎을 정리.

⑤ 수확된 상추는 포장기로의 이송이 쉽도록 로봇의 동선을 고려해야함.

⑥ 재배조와 포트는 세척하기 쉽도록 분리 수거되어야 함.

3) 상추 수확 알고리즘

위의 2가지를 토대로 다음과 같은 상추 수확 알고리즘을 작성하였다.

①상추 공급 장치에 의해 상추 압지 위치까지 상추를 하나씩 정 위치시킨다.

리밋 스위치에 의해 상추가 정 위치에 왔을 때, 컨베이어는 잠시 정지한다.

②매니퓰레이터가 상추 위치로 접근한다. 이때, 상추 잎 부상 장치가 공압에 의해 처진 상추 잎을 띄운다.

③그리퍼가 상추를 압지한 후, 절단 칼날이 상추를 절단한다.

④매니퓰레이터가 회전하여 상추를 기계시각 시스템이 부착된 컨베이어로 이송한다. 이때, 기계시각 시스템으로 상추의 영상을 획득하라는 신호를 내보낸다.

⑤기계시각 시스템에서 상추의 영상을 획득한다. 획득된 영상을 토대로 결과값이 라벨기로 보내져 라벨을 찍는다.

⑥매니퓰레이터는 상추를 컨베이어 위에 떨군 후 초기위치로 돌아가고, 컨베이어는 떨어진 상추를 포장기로 이송한다. ①의 단계부터 반복한다. 또한, 포장기는 상추가 들어오면 포장을 하여 배출한다.

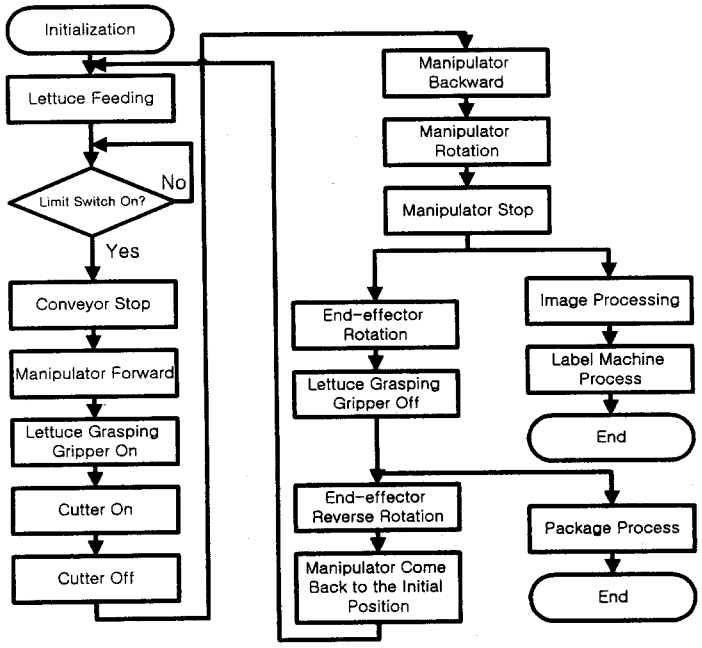


Fig. 4-27 상추 수확 알고리즘

마. 제어 장치

매니퓰레이터의 제어는 PIC 16C73A를 개선한 PB-1S라는 원칩 마이크로 컴퓨터를 이용하였다. PB-1S는 14개의 입·출력 포트를 가지고 있으며, 주파수 출력을 위한 2개의 출력 포트를 별도로 제공하고 있다. AC 서보 모터의 위치 제어를 위한 주파수는 2.5KHz로 설정하였고, 스테핑 모터의 위치는 135 ° 회전하도록 제어하였다. 공압 실린더는 릴레이를 이용하여 복동 솔레노이드 밸브를 구동하도록 하였다. 아래 표에 PB-1S의 입·출력 포트가 제어하는 내용을 정리하였다.

제어부는 상추가 리미트스위치를 ON시킬 때 인터럽트가 걸리고 비상시 로봇의 동작을 멈추는 비상스위치 신호도 인터럽트로 처리해야 한다. 사용된 PB-1S는 인터럽트가 1개만 처리할 수 있도록 되어 있고, 포트 확장이 필요하여 PB-1S 2개를 주제어기와 보조제어기로 이용하였다.

Table 4-8. 주제어기 I/O 포트

0	Relay on (for gripper close)	8	Direction signal for AC servo motor
1	Relay on (for gripper open)	9	Frequency signal for AC servo motor
2	Relay on (for blade close)	10	Output signal for image processing
3	Relay on (for blade open)	11	Input from emergency switch
4	Relay on (for air cylinder forward)	12	
5	Relay on (for air cylinder backward)	13	Start signal input from sub PB-1S
6	Output signal for stepping motor	14	
7	Output signal for stepping motor	15	

Table 4-9. 보조제어기 I/O 포트

0		8	
1		9	
2		10	Relay on (for air blower)
3		11	
4		12	
5		13	Input signal from limit switch
6		14	Start signal output to main PB-1S
7		15	Relay on (for feeding conveyor)

이들 제어장치들의 통합 회로도는 아래 그림 4-28과 같다.

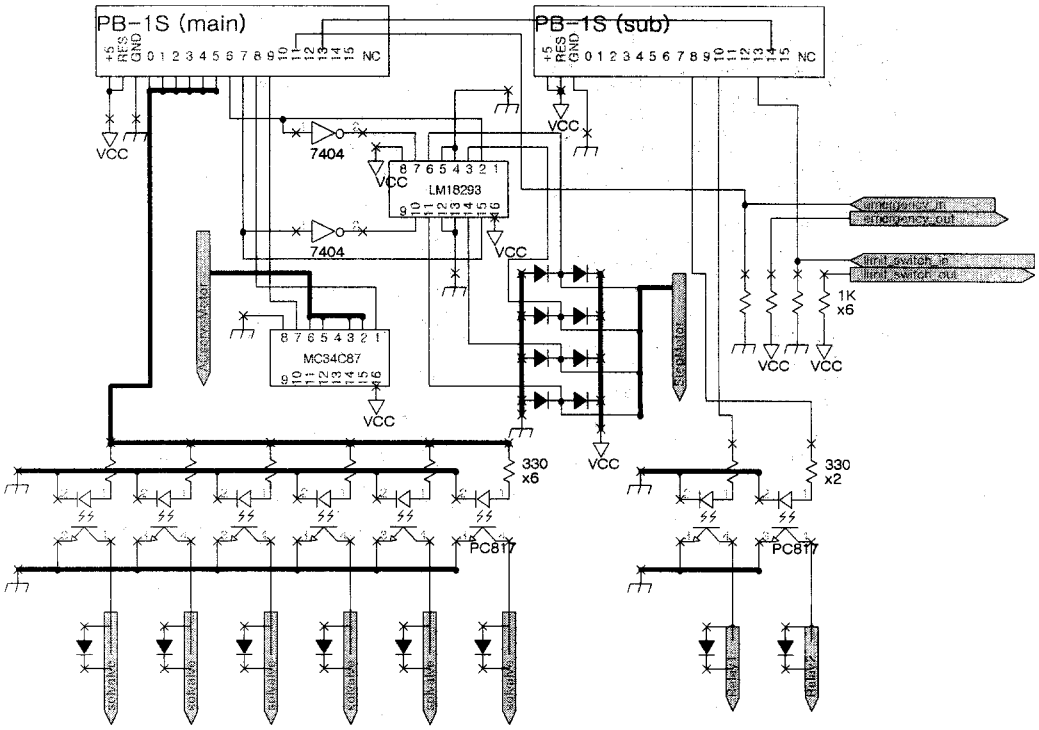


Fig. 4-28 주제어기 회로도

제작된 제어장치의 외형은 아래 그림 4-29, 4-30과 같다.

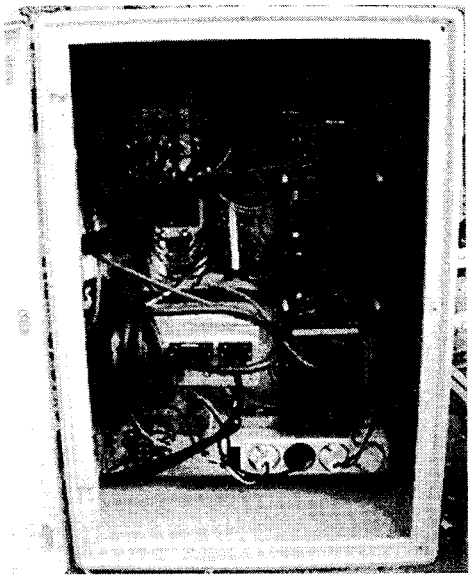


Fig. 4-29 제어상자

Fig. 4-30 제어상자의 외형

그리고, 로봇이 상추를 수확한 후 영상처리를 할 위치로 이동했을 대 PC로 영상처리를 하도록 신호를 보내야 하는데, 이를 위하여 PC와 통신할 수 있는 통신보드를 제작하였다 제작된 신호전송기의 외형을 아래 그림 4-31에 나타내었다.

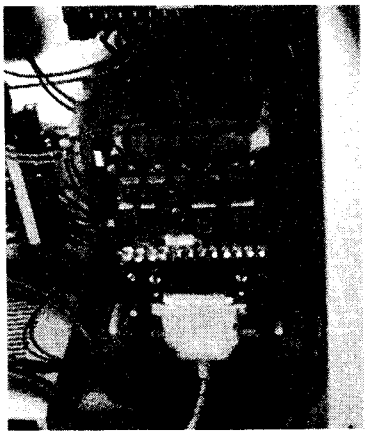


Fig. 4-31 영상처리 시작 신호
전송 보드

4절. 기계시각시스템 개발

상추의 선별을 위해 기계시각시스템을 구성하였다. 기계시각시스템은 상추 영상의 질을 향상시키기 위한 조명장치와 영상처리장치로 구성하였다.

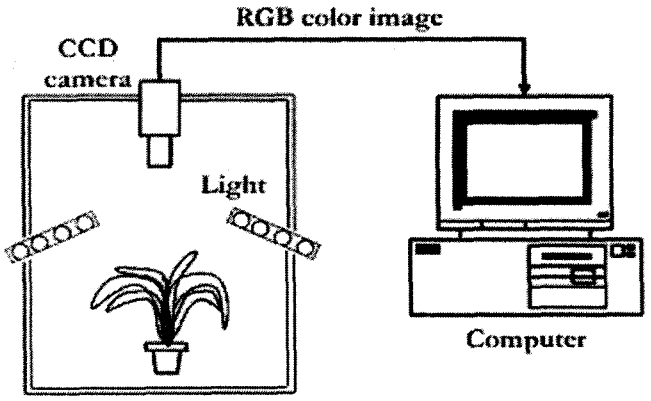


Fig. 4-32 기계시각 시스템

이 기계시각 시스템은 선별의 정밀도를 높이기 위하여 수확 후 선별할 수 있도록 수확 작업과 포장작업 사이에 이 장치를 두었다. 장치의 배치는 아래 그림과 같다.

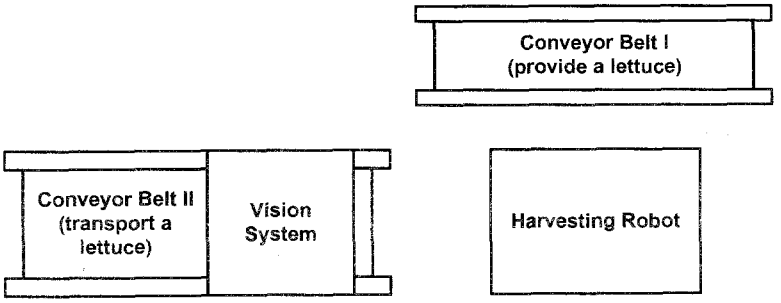


Fig. 4-33 상추의 수확 및 선별 시스템

1. 영상처리장치

영상처리장치는 상추의 영상을 획득하는 영상 입력장치, 카메라의 아날로그 영상 신호를 디지털 신호로 변환하고 프레임 버퍼에 저장하는 프레임 그래버, 저장된 영상을 처리

하는 PC, 영상처리 결과를 출력하는 모니터로 구성되어 있다. 영상처리장치의 개요도를 아래 그림 4-34에 나타내었다.

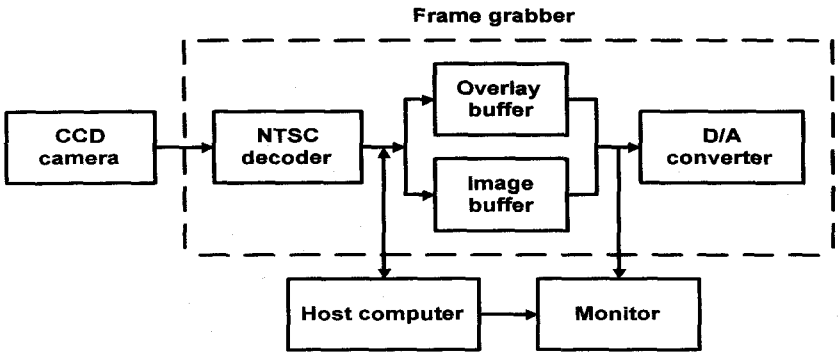


Fig. 4-34 영상처리 시스템의 구조도

상추의 색 정보 분석을 위해 영상 입력 장치로 출력 신호가 NTSC(National Television Systems Committee) 칼라 신호인 칼라 CCD 카메라와 16mm 표준 렌즈를 사용하였다. 본 연구에 사용된 영상처리 장치의 제원은 다음 표 4-10과 같다.

Table 4-10. 영상처리 시스템의 제원

구 분	모 델 명	규 격
Host computer	Pentium II PC	Clock : 233 MHz RAM : 192 MB
영상처리 보드	Corona LC/8 (Matrox 社)	신호 : RGB composit Frame buffer : 4 MB Overlay buffer : 4 MB
칼라 CCD 카메라	TK-1070U (JVC 社)	신호 : NTSC, RGB 화소 : 31만 화소
조명 장치	삼파장 전구 : 24개 프레임, 아크릴	220V, 20W, 주광색

2. 조명장치

균일한 질의 영상을 획득하기 위하여 영상 면의 좌우에 각각 12개의 3파장등 (20W 주광색)을 45° 방향으로 기울여 설치하였다. 상추 표면에서의 적반사(specular reflectance)를 방지하고, 조명의 밝기가 균일한 확산광(diffused light)을 만들기 위해 광원과 상추 사이에 흰색 아크릴 판을 설치하였다. 구성된 조명장치의 영상면은 400×400 ㎟이며, 전체 영상면에서 조도는 2.3~3.0 klux로 유지하였다.

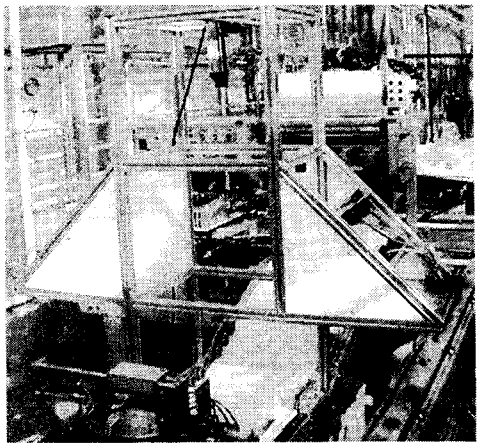


Fig. 4-35 카메라 부착모습

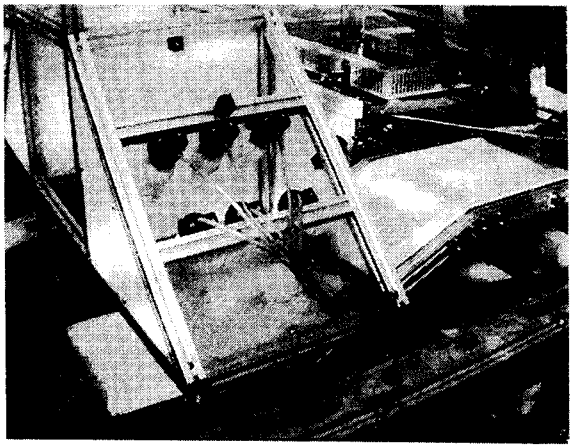


Fig. 4-36 조명장치

3. 컨베이어

조명장치를 탑재하고 있는 컨베이어 벨트는 영상처리된 상추를 포장기로 이송하는 역할을 한다. 수확로봇과 포장기의 높이차를 극복하기 위하여 컨베이어에 경사를 주었으며, 로봇이 상추를 내려놓을 때 상추가 컨베이어에서 굴러 떨어지는 것을 방지하기 위하여 상추가 안착되는 부분에 지면과 평행하게 설치하였다. 로봇이 컨베이어 위로 상추를 이송하는 과정에서 조명장치를 받치는 프레임과 부딪히지 않도록 프레임을 설계하였다. 제작된 컨베이어의 치수는 아래 그림 4-37과 같다.

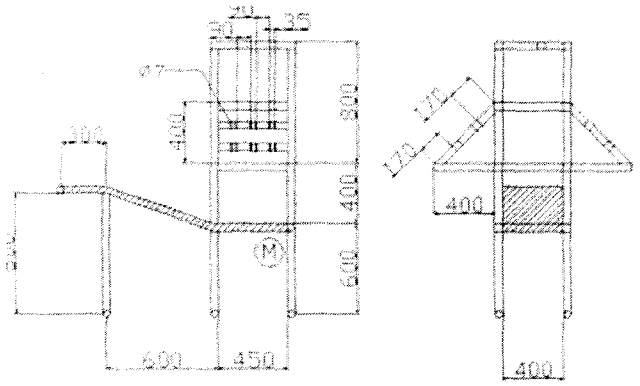


Fig. 4-37 컨베이어 프레임의 치수

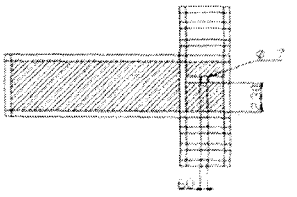


Fig. 4-38 카레마 부착 위치

부착된 컨베이어의 모습을 아래 그림 4-39에 나타내었다.

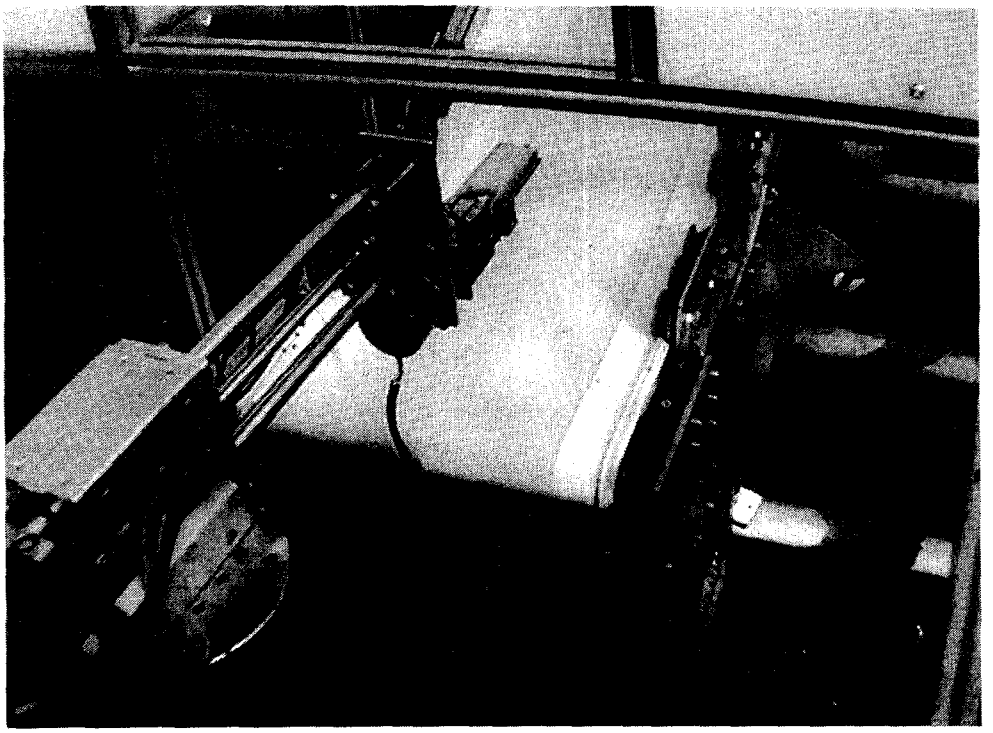


Fig. 4-39 컨베이어의 외형

4. 기계시각 시스템의 측도설정

기계시각 시스템은 카메라, 영상보드 등의 장비와 조명 등의 환경에 의해 고유의 특성을 갖는다. 이런 이유로 대상물의 특징을 측정하기 전에 측도 설정이 필요하다.

가. 기하학적 측도 설정

1) 측도설정 방법

영상처리에 의하여 대상물을 측정하는 경우, 입력영상은 측정 윈도우의 크기와 설정 위치 등에 따라 기하학적 왜곡이 발생한다. 이러한 왜곡을 최소화하기 위해서는 카메라 렌즈면과 영상면이 평행을 유지할 수 있도록 카메라를 설치하는 것이 중요하다. 정사각형 모형의 영상을 잡고, overlay 기능을 이용하여 모니터 화면에 격자를 표시한 후에 화면상의 직선이 일치하도록 하여 카메라 렌즈면이 영상면과 평형을 유지하도록 하였고, 시료대의 4분면 가장자리에 표본을 번갈아 위치시키며 각 변의 화소의 개수가 일치하도록 하여 카메라가 영상면의 중앙에 위치하도록 하였다.

화소의 개수로 물체의 외형 정보를 추출하기 위해서는 영상에서의 단위 화소에 해당되는 실제 크기를 구하여야 한다. 한변의 길이가 각각 200mm, 250mm, 300mm의 정사각형 모형의 표본을 영상면의 중앙에 위치시킨 후 영상을 획득하여 가로와 세로의 화소개수를 세어 평균값을 단위 화소의 X방향, Y방향 실제 길이로 결정하였다. 이에 대한 결과를 아래 표 4-11에 나타내었다.

Table 4-11. 기계시각시스템의 기하학적 측도 설정

실제면적 (mm×mm)	수평방향길이 (mm/pixel)	수직방향길이 (mm/pixel)	대칭비	면적 (㎟/pixel)
200×200	0.813	0.826	0.984	0.6725
250×250	0.814	0.833	0.977	0.6781
300×300	0.817	0.833	0.981	0.6806
평균	0.815	0.831	0.981	0.6767

2) 기하학적 특성 분석

영상처리 장치의 기하학적 특징 추출의 정확도를 살펴보기 위해 크기를 알고 있는 도형의 면적과 둘레길이를 영상처리 장치로 측정하고 실제 값과 비교하여 아래 표 4-12에 나타내었다. 측정 결과 사각형에 대해서는 면적의 최대 오차가 0.709%, 둘레의 최대 오차가 2.149% 발생하였고, 원에 대해서는 면적의 최대 오차가 1.734%, 둘레의 최대 오차가 5.393% 발생하였다. 비교적 중요한 면적의 측정 오차가 실험한 모든 도형에 대하여 2% 이내의 오차를 보여 영상의 기하학적 특징 분석에 무리가 없다고 판단되었다.

Table 4-12. 영상처리 장치의 기하학적 측정 정확도

표 본	항 목	실 제 값	영상처리 값	오차(%)
정사각형	면 적	22500	22620.9	0.537
(150 * 150 mm)	둘레길이	600	607.6	1.265
정사각형	면 적	40000	39939.9	-0.150
(200 * 200)	둘레길이	800	815.3	1.916
정사각형	면 적	62500	62546.2	0.0739
(250 * 250)	둘레길이	1000	1021.5	2.149
정사각형	면 적	90000	89361.6	-0.709
(300 * 300)	둘레길이	1200	1209.7	0.805
원	면 적	17671.5	17978.0	1.734
(D = 150)	둘레길이	471.24	494.4	4.917
원	면 적	31415.9	31451.2	0.112
(D = 200)	둘레길이	628.3	652.3	3.818
원	면 적	49087.4	49330.6	0.496
(D = 250)	둘레길이	785.4	827.8	5.393
원	면 적	70685.8	70876.1	0.269
(D = 300)	둘레길이	942.5	990.8	5.131

나. 색좌표계 변환

색은 가시광선 영역의 삼원광 자극치에 의해 표현될 수 있으며, 이의 기준은 CIE(Commission International d'Eclairage)에서 제공하고 있다. 일반적으로 CCD 카메라에 사용되는 삼원광은 R(red), G(green), B(blue)이며, 이를 국제적으로 공인된 좌표계로 변환하여야 한다. 색을 표현할 때 RGB좌표계 이외에 사용되는 것은 XYZ좌표계, xyz좌표계, $L^*a^*b^*$ 좌표계가 있으며 각 좌표계 사이에는 다음의 관계가 있다.

① RGB 좌표계 → XYZ 좌표계

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.201 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.117 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots (4\text{-}3)$$

② XYZ 좌표계 → xyz 좌표계

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \; y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \; z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad \cdots\cdots (4\text{-}4)$$

③ XYZ 좌표계 → $L^*a^*b^*$ 좌표계

$$\begin{aligned} L^* &= 25\left(\frac{100Y}{Y_0}\right)^{1/3} - 16, \quad 1 \le 100Y \le 100, \\ a^* &= 500\left(\frac{X}{X_0}\right)^{1/3} - 500\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3}, \\ b^* &= 200\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} - 200\left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{1/3} \end{aligned} \quad (4\text{-}5)$$

본 연구에서는 색채 측도 설정을 위하여 150개의 표준 색상지에 대하여 색차 색도계(Minolta, Colorimeter CR-300)를 이용하여 측정한 L^*, a^*, b^* 값과 영상처리 장치에 의해 측정한 L^*, a^*, b^* 값간의 상관관계를 분석하여 아래 그림에 나타내었다. L^*, a^*, b^*의 결정계수가 각각 0.9846, 0.9569, 0.9405 정도로 비교적 높게 나타나 색채 영상처리 장치를 이용한 색채분석이 가능하다고 판단된다.

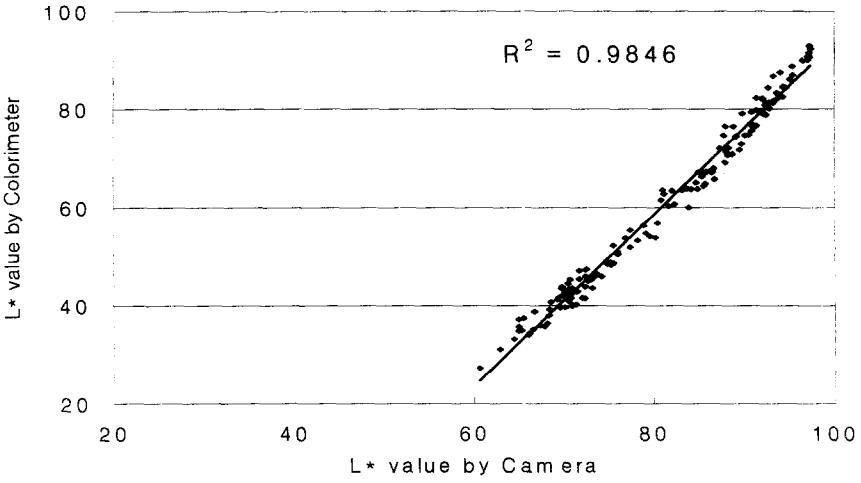


Fig. 4-40 색차계와 영상처리 장치에서 측정한 L^* 값의 상관관계

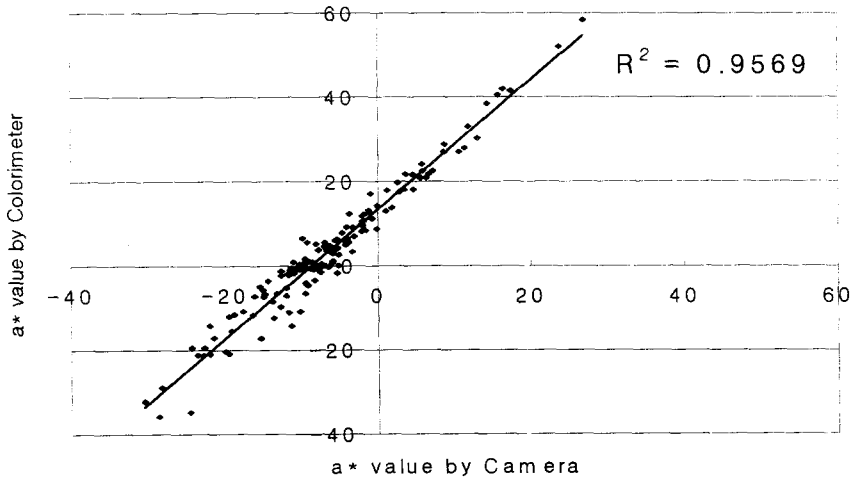


Fig. 4-41 색차계와 영상처리 장치에서 측정한 a^* 값의 상관관계

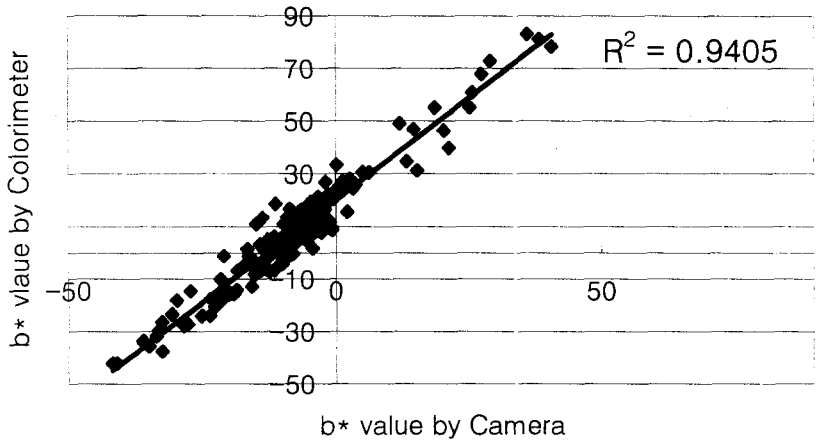


Fig. 4-42 색차계와 영상처리 장치에서 측정한 b^* 값의 상관관계

5절. 최적 선별 알고리즘 개발

상추의 선별 장치 개발을 위해 먼저 현행 상추의 선별 기준을 조사하고, 특성을 분석하여 품질을 평가할 수 있는 선별인자를 선정하였으며, 선정한 선별인자를 추출하는 알고리즘을 개발하였다.

1. 상추의 선별인자

현행 상추의 국내 선별 기준은 국립 농산물 검사소에서 정하고 있는 농산물 표준출하규격을 따르고 있다. 상추는 고르기, 모양 및 색택, 숙도, 신선도 및 청결도, 맛, 병충해, 기형결구의 7가지 항목에 대하여 특, 상, 보통의 3등급으로 등급을 규격을 정하고 있다. 또한 품목, 품종명, 산지, 등급, 및 생산자 성명, 생산자 주소·전화번호, 중량 등의 항목을 포장할 때 표시하도록 규정하고 있다.

이러한 표준출하규격은 낱장 포장을 기준으로 작성된 것으로 포기째 수확하는 자동화 시스템에는 적용하기 어려운 기준이며, 등급을 구분하는 규정이 애매하고, 표준이 마련되어 있지 않아 객관성과 신뢰성이 결여된 검사관의 주관적인 판단에 의존하는 문제점이 있다. 따라서, 자동화 시스템에 적합하고 품종의 특징을 잘 반영하는 선별인자의 규정이 필요하다.

상추의 품질은 품종의 특징에 크게 영향을 받으므로, 먼저 품종에 맞는 품질 판별인자를 나타내는 것이 중요하다. 적축면은 온도의 차에 따라 성장할 때 잎의 크기가 달라지게 되며, 광량과 일조 시간에 따라 색의 변화가 큰 품종이다. 성장할 때 비교적 고온을 유지하면 잎의 크기가 커지며, 일조 시간이 충분하면 잎색이 녹색에서 갈색, 적색으로 변화한다. 따라서 포기의 크기와 색이 품질을 판정하는 중요한 인자로 판단된다.

적축면의 특징과 현행 기준 등을 고려하여 선별 인자로 다음과 같은 내용을 선정하고 이러한 인자를 추출하는 알고리즘을 구성하였다.

① 잎의 투영 면적

② 잎의 색택

③ 중량

2. 상추의 특성 분석

영상 영역화 방법 중 가장 많이 이용되는 방법은 대상체와 배경을 문턱값(threshold)에 의해 분할하는 영상 이치화 방법이다. 문턱값은 영상의 히스토그램(histogram)을 조사하여 배경과 대상체를 분할하기 쉬운 값으로 정하게 된다, 획득한 상추의 R, G, B값과 a^* ,b^* 값에 대하여 각각 히스토그램을 획득하고 이를 분석하여 문턱값을 설정하였다. 적축면은 녹색에서 적색까지 폭 넓은 색 분포를 이루고 있어 R, G, B 값에 의한 분리는 어려워 보였으며, a^* ,b^* 값에 의해 배경과 분리가 가능할 것으로 판단되었다. 아래 그림 4-43, 4-44는 적축면의 a^* ,b^* 값에 대한 히스토그램을 나타낸 것이다.

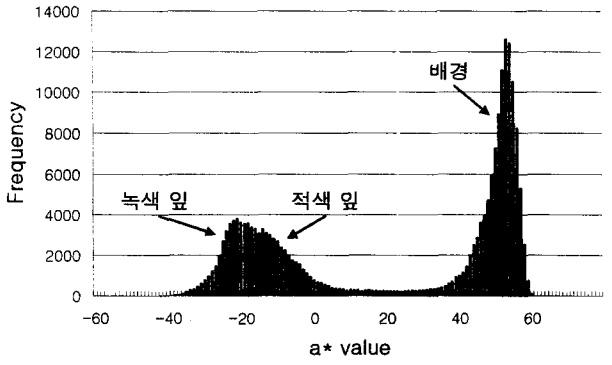


Fig. 4-43 상추 영상의 histogram(a^*)

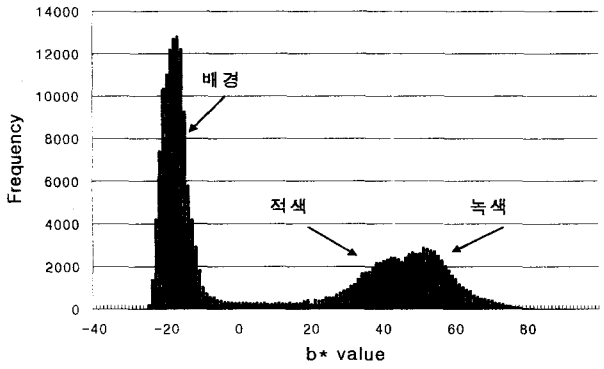


Fig. 4-44 상추 영상의 histogram(b^*)

획득된 히스토그램을 이용하여 상추를 배경으로 분리하여 영상의 이치화를 수행하였다. 이를 모든 선별 영상에 적용하여 분리도가 띄어난 a^* 값 22를 문턱값으로 설정하였다.

상추의 기하학적 특성을 분석하기 위해 먼저 상추의 윤곽이 정확하게 추출되어야 한다. 상추의 윤곽선 추출을 위해 아래 그림 4-45와 같이 8-방향 체인코딩(Chain coding) 기법을 이용하였다.

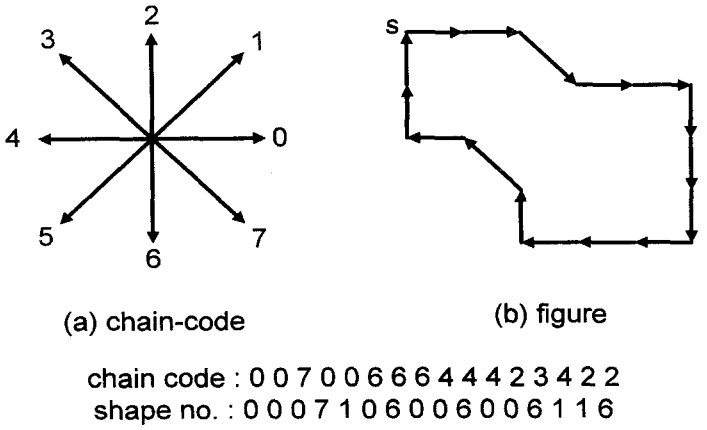


Fig. 4-45. 윤곽 정보 추출법(chain coding)

추출된 체인코딩을 이용하여 상추의 투영 면적과 둘레길이를 측정하였으며, 이들을 이용하여 원형도(roundness)를 계산하였다.

상추의 둘레길이는 chain code가 0, 4이면 화소의 가로방향 실제 길이를, 2, 6이면 화소의 세로방향 실제 길이를, 1, 3, 5, 7이면 화소당 대각선방향 실제 길이를 곱하여 환산한 값으로 하였다.

상추의 면적은 Green's theorem에 의하여 아래와 같은 수식을 이용하여 경계에 따라 적분함으로 구할 수 있다. 이를 응용하면 체인코드의 각 방향 벡터로부터 산출되는 면적은 방향 벡터와 임의의 수평축에 의해 둘러싸인 면적들의 합으로 구할 수 있다. 즉, 0, 1, 7 번은 음의 면적을 나타내고, 3, 4, 5번은 양의 면적, 2, 6번은 수직 방향이므로 면적이 0을 나타낸다. 이를 이용한 전체 상추의 면적은 각 벡터의 면적의 총 합으로 계산된다.

$$\text{면적} = \int_0^P \left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds} \right) ds$$

여기서, P : 둘레길이 (4-6)

s : 둘레길이에 대한 경로매개변수, $(x(s), y(s))$로 나타냄. ...

원형도는 상추의 면적과 둘레길이로부터 아래의 식으로 계산하였다.

$$\text{Roundness} = \frac{4 \times \pi \times \text{Area}}{\text{Perimeter}^2} \quad \text{.....} \quad (4\text{-}7)$$

아래 그림 4-46, 4-47은 획득한 상추의 영상과 chain coding을 거쳐 영상 영역화를 수행한 후의 모습을 나타내었다.

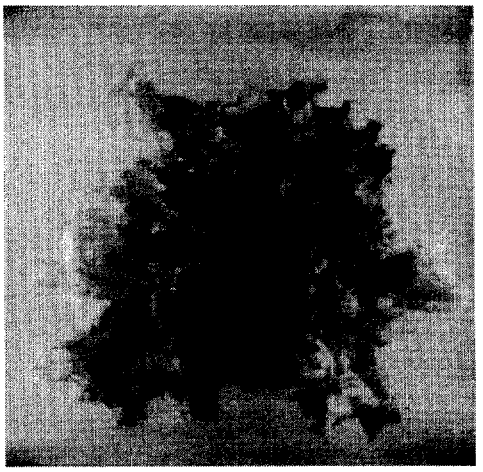


Fig. 4-46 획득된 상추의 영상

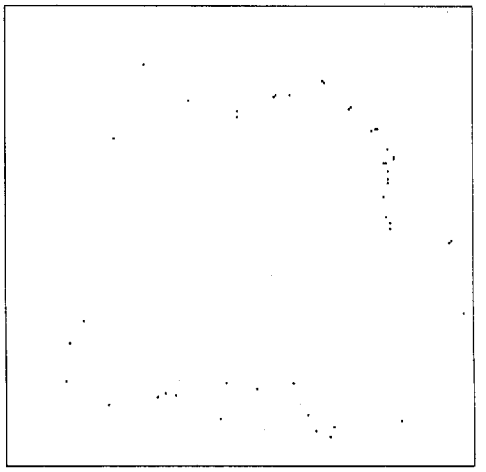


Fig. 4-47 영상 영역화가 수행된 영상

적축면은 광량이 충분하면 잎 색이 녹색에서 갈색, 적색으로 변화하는 특징을 갖고 있다. 따라서, 색채 정보는 상추가 성장할 때 충분한 광합성을 하였는가를 나타내는 지표가 될 수 있으며, 이는 품질과 밀접한 관계가 있다.

상추의 품질에 따른 색채정보를 분석하기 위하여 일부의 상추는 수확 1주일 전에 차양막을 설치하여 햇볕을 가려주었다. 적축면의 특징에 의해서 빛을 충분히 받은 상추의 잎색은 적색으로 변화하였고, 차양 막으로 빛이 가려진 상추는 잎 색이 녹색을 띄었다. 기계시각 장치에 의해 샘플의 영상을 획득하여 RGB좌표계, xyz 좌표계, L^* ,a^* ,b^* 좌표계에 대하여 색분포를 살펴보았다.

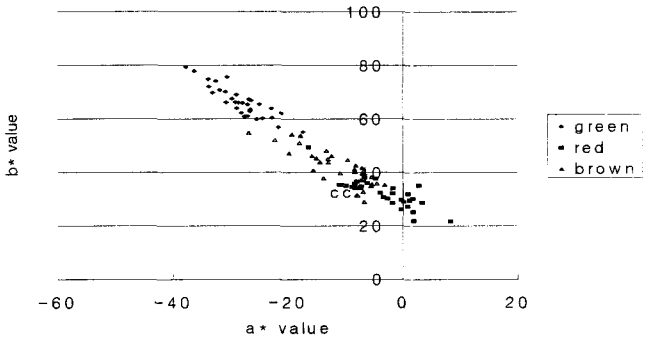


Fig. 4-48. 상추 잎의 색 분포

그 결과 R-G 값 분포와 $a^* - b^*$ 값 분포가 상추의 색 특징을 잘 반영하고 있는 것으로 판단되었으며, 특히 $a^* - b^*$ 값 분포는 녹색 → 갈색 → 적색으로 변화하는 상추의 색 변화 추이를 선형적으로 반영하였다. $a^* - b^*$ 값 분포에서 녹색잎과 적색잎 샘플의 모멘트 총합이 최대가 되는 점을 녹색잎과 적색잎의 구분점으로 계산하였다. 구분점은 $a^* = -12.0$,$b^* = 49.0$ 이었다.

3. 중량예측 모델

상추의 중량예측 모델을 작성하기 위해 추출된 상추의 기하학적 특성(투영면적, 둘레길

이, 원형도)과 색채정보(적색잎의 비)로부터 상추의 선별 인자인 중량을 예측할 수 있는 모델을 개발하였다.

중량 회귀식에 유의한 인자를 선정하기 위하여 통계팩키지인 SAS 회귀분석의 변수선택법을 수행하였다. 변수선택법으로는 부분-F검정을 이용한 단계적선택법(stepwise selection)을 사용하였다. 부분-F검정의 유의도를 0.15로 사용하였다. 변수 선택의 결과 둘레길이는 면적과 상관관계가 0.92로 공선성이 있고, 원형도는 낮은 유의성을 갖는 것으로 나타나 설명변수에서 제외시켰다. 또한, 설명 변수 중에서 상추의 면적이 중량과 가장 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었으며, 적색잎의 비는 면적을 보조할 수 있는 변수 역할을 할 수 있음을 알 수 있었다. 변수 선택의 결과를 아래 표 4-13에 나타내었다.

Table. 4-13 중량 예측 모델의 변수 선택 결과

단 계	독립 변수	Partial R^2	Model R^2	C(p)	F	Probability > F
1	투영 면적	0.8498	0.8498	25.1589	147.1411	0.0001
2	적색잎의 비	0.0689	0.9187	4.5984	21.2048	0.0001

변수선택 결과를 이용하여 중량 예측모델을 개발하였다. 28포기의 상추 데이터를 모델 개발에 이용하였으며, 상추 55포기에 대해 개발된 예측식을 검증하였다. 개발된 회귀식은 아래 수식과 같으며, 개발된 모델의 결정계수(R^2)는 0.9187, 표준오차(SEC)는 7.0186g이었고, 검증자료에 대한 결정계수(R^2)는 0.9127, 검증오차(SEP)는 6.7095g이었다.

$$\text{중량} = 0.00161 \times \text{투영면적} + 24.6524 \times \text{적색잎의 비} - 47.5575 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}8)$$

4. 최적 선별 알고리즘

선별기에 상추가 공급되면 상추의 영상을 획득하고, 영상 정보로부터 투영면적, 중량, 색택 특징을 추출하여 모니터에 제시하는 선별 알고리즘을 개발하였다.

또한 영상 획득할 때 재배상의 반사로 인한 영상의 노이즈를 제거하기 위하여 중위수

필터(median filter)를 사용하였다. 중위수 필터는 주변 화소치의 중간값을 선택하는 필터다. 즉 N개의 정렬된 숫자를 늘어놓았을 경우 N/2번째 있는 값이 중위수가 된다. 중위수 필터는 경계를 잘 보존하면서 잡음을 제거하는 특징이 있다.

선별 알고리즘의 흐름도를 그림 4-49에 개발된 선별 시스템의 인터페이스를 아래 그림 4-50에 나타내었다.

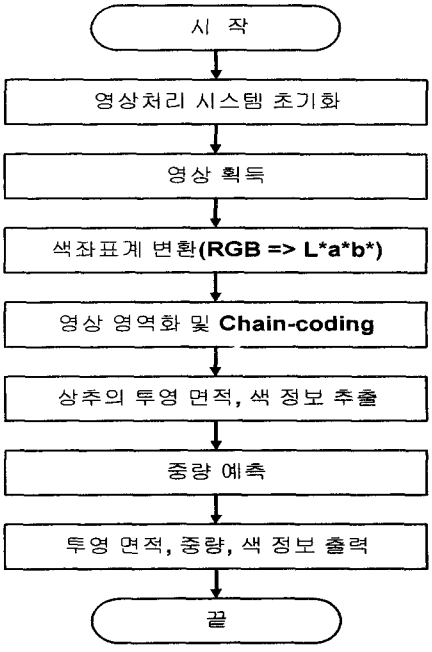


Fig. 4-49 선별 알고리즘의 흐름도

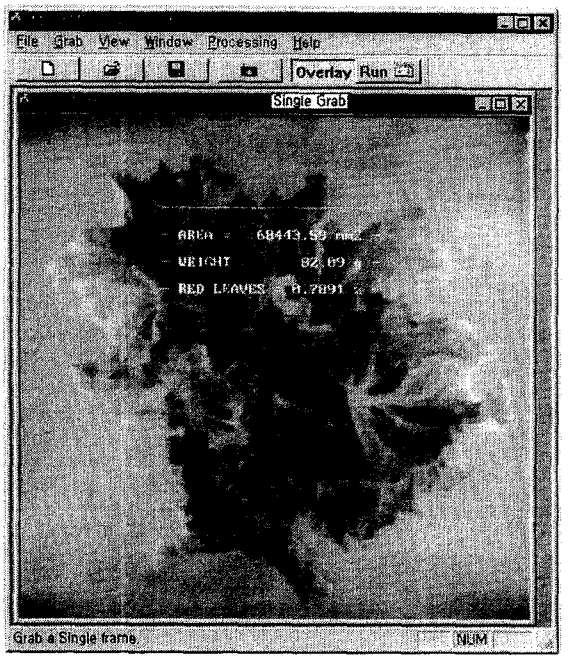


Fig. 4-50 개발된 선별 시스템의 인터페이스

6절 선별·포장기 개발

1. 현행 상추 표준 출하규격 조사

국립 농산물 검사소에서 다음과 같이 농산물 표준 출하규격을 규정하고 있다.

① 낱장의 상추를 골판지 상자에 2, 4, 5kg 단위로 포장하여 출하한다.

② 골판지 상자의 규격은 KSA 1502(외부포장용 골판지)에 규정된 양면골판지 2종, 파열강도 8kgf/㎠ 이상, 압축강도 200kgf/㎠ 이상, 수분함량 10±2%, 발수도 R4이상으로 한다.

③ 골판지 상자의 날개봉합은 폭 2mm 이상의 평철사로 상·하 양면에 각각 2개 이상씩 봉합하거나 또는 포장용 감는 테이프로 상·하 양면에 봉합한다. (테이프는 상·하 중간면을 봉합하며, 옆면에 5cm 이상을 초과하지 못한다.)

④ KSA 1507(폴리프로필렌)에 규정된 제 16호 P.P밴드로 가로 2개소를 결박하거나 또는 연질폴리끈으로 가로 2개소를 두돌림하여 묶는다.

⑤ 품목, 품종명, 산지, 등급, 생산지 성명, 생산지 주소·전화번호, 중량등의 항목을 표시한다.

2. 포장기

가. 포장시스템 선정

포장시스템을 선정하기 위해 포장기 시스템의 설계조건을 고려하여 보았다. 포장 시스템의 설계조건은 다음과 같다.

① 상추는 상추잎에 의한 포장지와의 점성마찰을 고려해야 한다.

② 상추는 중량은 가벼운 반면 부피는 크다. 따라서 어느 정도 부피를 줄일 필요가 있다.

③ 선별, 수확장치와 원활히 연계되어야 한다.

④ 상추 크기에 따라서 포장지의 크기를 고려해야 한다.

포장기의 외형에 대해 아래 그림 4-51에 나타내었다.

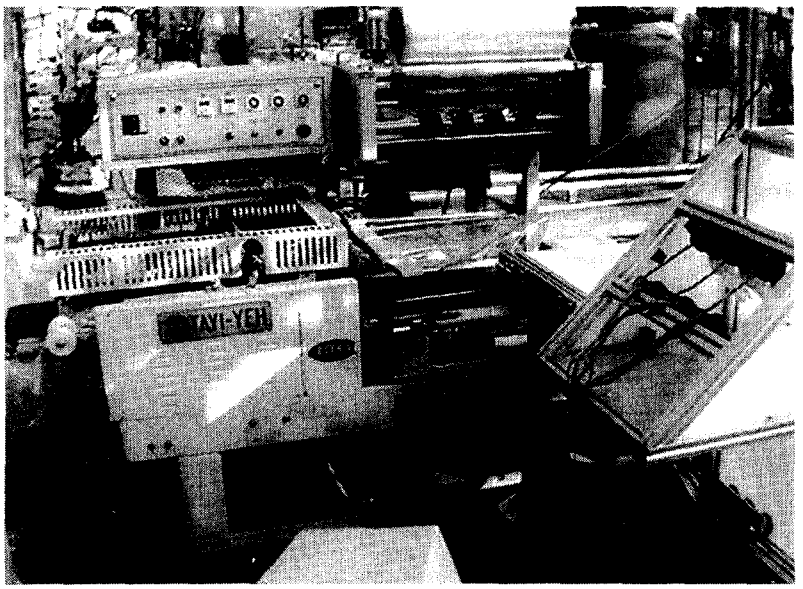


Fig. 4-51 포장기의 외형

나. 선별정보에 따른 포장지 크기 제어

적외선 광센서를 사용하여 상추의 크기를 측정하여 포장지의 크기를 결정한다. 사용된 적외선 광센서는 직접 투과형이며, 검출거리는 5m, 검출각도는 3 °~15 ° 이다. 출력은 open-collector이다. 적외선 광센서는 그림 4-52의 하단에 보여진다.

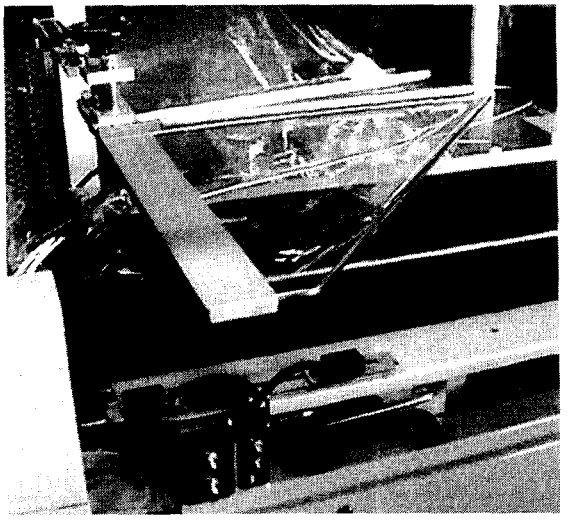


Fig. 4-52 상추의 크기를 측정하는 적외선 센서

다. 포장 알고리즘

포장 시스템의 작동 알고리즘은 다음과 같다.

① 절단된 상추를 포장시스템의 투입구로 이동한다.

② 상추 압지 그리퍼에 의해 상추의 자세를 교정한다.

③ 포장기 투입구로 상추를 투입한다.

④ 센서에 의해 상추의 크기를 측정하고 포장지의 크기를 결정한다.

⑤ 포장지를 절단하고 봉합한다. 포장지의 절단은 공압을 이용하고, 절단된 포장지는 200 °C의 열에 의한 수축으로 봉합한다.

⑥ 제품정보를 출력하여 포장지에 부착한다.

Fig. 4-53 포장기의 절단 및 봉합부분

라. 선별정보 저장 및 출력을 위한 알고리즘 개발

상추의 중량 및 등급을 출력인자로 선택하였다. 실험을 통하여 잎면적, 색택정보를 포함한 예측된 중량으로 등급을 결정하였다. 중량이 100g이상이면 A, 50g~100g이면 B, 50g

이하면 C등급으로 결정하였다.

영상처리 알고리즘에 의해 중량 및 등급이 결정되고 이 결과가 RS232C통신으로 라벨기에 전해져 상추의 정보를 출력한다. 아래 그림은 포장된 상추의 선별결과를 출력한 내용이다.

Fig. 4-54. 중량 및 등급이 출력된 상추

선별정보를 출력하기 위한 라벨기의 외형과 제원은 표 4-14, 그림 4-44와 같다.

Table 4-14 라벨기의 제원

제작사	CITIZEN
모델	CLP-4081
인쇄속도	203mm/sec (8inch/sec)
해상도	203DPI(8dot/mm)
PC 인터페이스	RS232/422
인쇄방식	Direct Thermal/Thermal Transfer

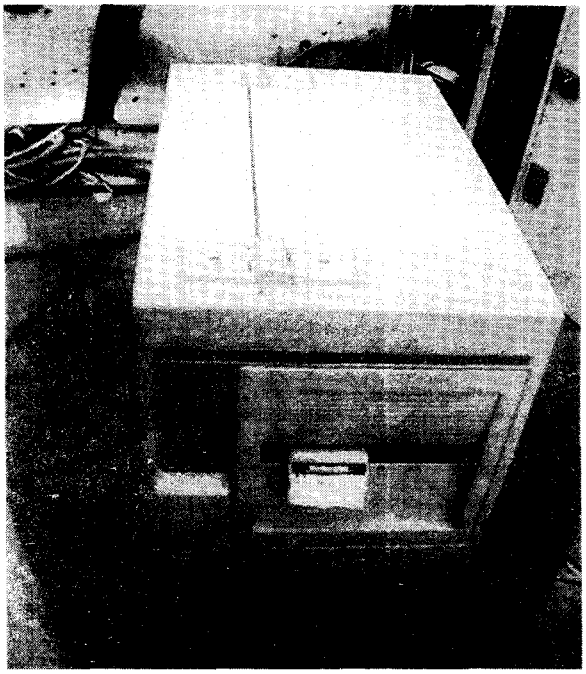


Fig. 4-55 라벨기의 외형

7절. 성능평가

1. 수확기

수확기를 평가하기 위해서 수확기 구성장치의 반복구동 오차와 수확작업 후 상추의 상태 및 잎의 손상유무를 측정하였으며, 수확작업 소요 시간을 측정하였다.

가. 수확작업기의 정확성 측정

상추 공급 컨베이어와 수확 로봇을 각 작업 단계별로 30회 구동하고 반복 위치 정밀도를 측정하였다. 측정 오차를 다음 표 4-15에 제시하였다.

Table 4-15 수확 장치의 구동 오차

수 확 장 치	최대 반복 오차
상추 공급 컨베이어	±5.0 mm
수확용 로봇	±0.3 mm

로봇 그리퍼의 작동구간은 ±7 mm의 오차를 극복할 수 있게 설계되어 있으므로, 컨베이어의 위치 오차를 충분히 보정할 수 있어 수확작업에는 영향이 없음을 알 수 있었다.

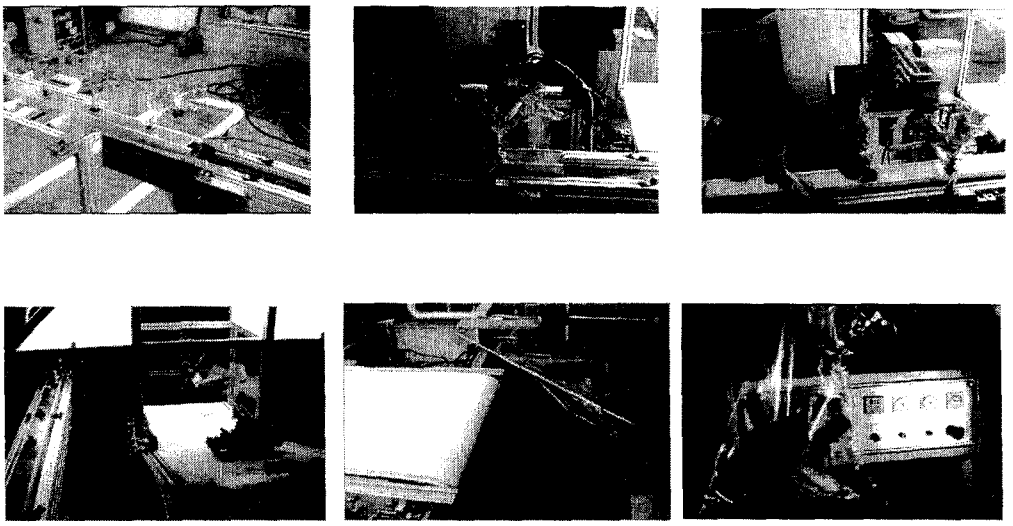
나. 수확 성능 실험

적축면 상추 85포기를 대상으로 수확 실험을 하였다. 실험 결과, end-effector에 의한 잎 손상이 5포기 발생하였으며, 상추 한 포기를 수확하는데 걸린 시간은 평균 5초였다. End-effector에 의한 잎 손상은 상추의 잎이 많이 시들었을 때 잎 부상 장치에 의해 잎이 정리되지 않아 맨 아래의 시든 잎 1개 손상되었으나, 상품으로서의 가치는 충분하였다. 아래 표 4-16에 실험결과를 나타내었다.

Table 4-16 상추수확기 수확 성능

Result analysis	No. of lettuces	Percentage (%)
Successfully harvested	80	94.12
Harvested with little damage	5	5.88
Sum	85	100.00

다. 제작된 수확기의 작업 모습



2. 영상의 크기별 선별 능률 비교

개발된 선별 알고리즘의 선별 능률을 83 포기의 같은 상추 영상에 대하여 영상의 크기를 480×480, 240×240, 120×120으로 변화하면서 비교하였다. 실험 결과 영상의 크기를 줄여서 선별을 하여도 선별 성능엔 큰 영향이 없었으며, 선별 시간은 크게 감소하였다. 비교한 결과를 아래 표 4-17에 나타내었다.

Table. 4-17 영상의 크기에 따른 선별 능률

영상의 크기	투영 면적(오차)	적색 잎의 비(오차)	중량 예측(R^2)	선별 시간(초/포기)
480×480	2.0 % 이내	1.0 % 이내	0.9187	7.5
240×240	2.0 % 이내	1.0 % 이내	0.9168	2.1
120×120	2.0 % 이내	1.0 % 이내	0.9152	0.6

8절 결론

수확을 위한 로봇, 상추의 품질을 선별하기 위한 영상처리장치 및 선별 알고리즘을 개발하였으며 이를 이용하여 성능시험을 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 재식판 반입장치, 수확을 위한 3자유도 로봇, 영상처리 장치를 이용하여 수확 및 선별 시스템을 개발하였다.
2. 상추 공급 컨베이어와 수확 로봇을 각 작업 단계별로 반복 위치 정밀도를 측정한 결과 모두 로봇 그리퍼의 작동 구간내의 오차 범위에 있었으며, 이 시스템을 이용하여 적축면 상추를 대상으로 수확 실험을 수행한 결과 평균 5초의 작업시간이 소요되었으며 94.1%의 수확작업 성공률이 나타났다.
3. 상추의 선별을 위해 기계시각시스템을 구성하였으며, 선별 알고리즘을 개발하였으며, 이를 이용하여 변수선택 결과를 이용하여 중량 = 0.00161 × 투영면적 + 24.6524 × 적색잎의 비 - 47.5575 중량 예측모델을 개발하였다. 개발된 예측식을 검증한 결과 개발된 모델의 결정계수(R^2)는 0.9187, 표준오차(SEC)는 7.0186g이었고, 검증자료에 대한 결정계수(R^2)는 0.9127, 검증오차(SEP)는 6.7095g이었다.

5장 종합화

1절 시스템 통합

1. 이식 · 보식기

이식 시스템과 보식시스템간의 통합은 재식판 이동장치를 이식 및 보식시스템에 동시에 사용하도록 제작하여 이식 작업과 동시에 보식작업을 수행할 수 있도록 하였다. 두 시스템은 하나의 제어기에 의해 작동하도록 하였으며, 각각의 작업은 하위 제어기를 두어 제어를 할 수 있도록 제작하였다.

제작된 이식 및 보식 시스템의 형상은 아래 그림 5-1과 같다.

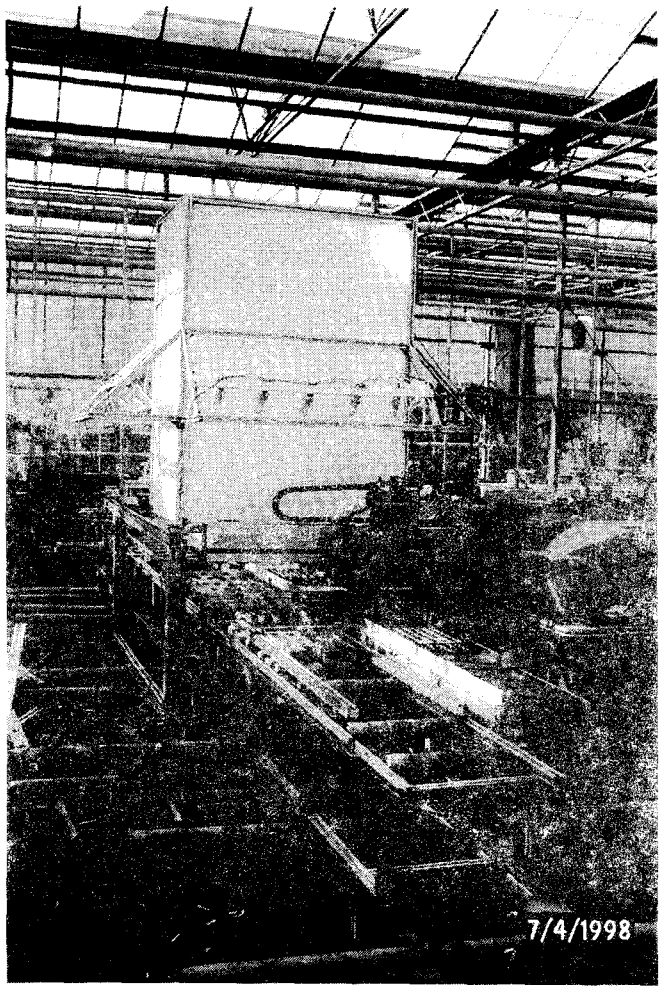


Fig. 5-1 이식기 및 보식기 통합 시스템

이식 및 보식 시스템의 전체 길이는 7m 50cm로 설계 하였다. 이식 작업 및 재식판 반입 영역을 2m 60cm, 보식작업과 영상처리 영역을 2m 30cm, 재식판 반출 영역을 2m 60cm로 하였다. 또한, 재배장치와의 연계를 위하여 재식판 반출부를 제작하였으며, 효율적인 공간 사용을 위해 재식판 반출부로 반입된 재식판을 들어 올리는 방법을 이용하여 작물 이동식 재배장치에 전송하였다.

2. 작물 이동식 재배장치

작물 이동식 재배장치는 재식판 반입부, 재식판 이동부, 재식판 반출부, 양액장치 및 배양액 회수 장치로 구성되어 있다. 재식판 반입부, 재식판 이동부, 재식판 반출부는 하나의 PLC를 이용하여 제어하도록 하여 이식 및 보식 장치에서 재식판이 반입되면 곧바로 재식판 반출부로 재식판 하나가 배출할 수 있도록 하였다.

작물 이동식 재배장치의 전체적인 외형은 아래 그림 5-2와 같다.

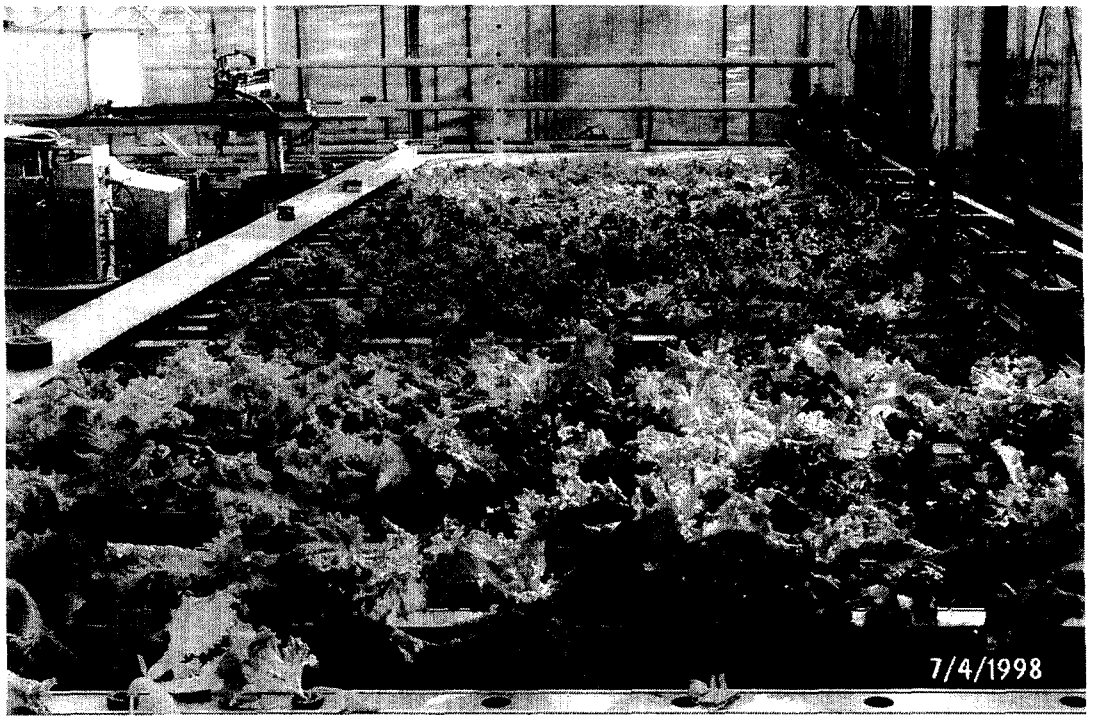


Fig. 5-2 작물이동식 재배장치 작물 재배 광경

양액장치는 수동으로 공급할 수 있도록 하였으며, 배양액 회수 장치의 제어는 시스템 전체를 관장하는 컴퓨터에서 제어할 수 있도록 하였다.

3. 수확 및 선별·포장기

수확 및 선별·포장기는 수확, 선별, 포장의 순으로 작업을 수행하도록 제작하였다. 재배장치에서 반입된 재식판을 수확기를 이용하여 모종 하나씩 수확하고 곧바로 선별 작업을 수행한 후 컨베이어 벨트를 따라 이동하여 포장작업을 진행 한다. 그후 선별된 내용에 대해 라벨을 만드는 작업을 진행하게 된다.

수확 및 선별·포장기는 재식판 위에 놓여진 포트를 이용하여 작업 시작을 인지할 수 있도록 하였다.

제작된 수확 및 선별·포장기의 외형은 아래 그림 5-3과 같다.

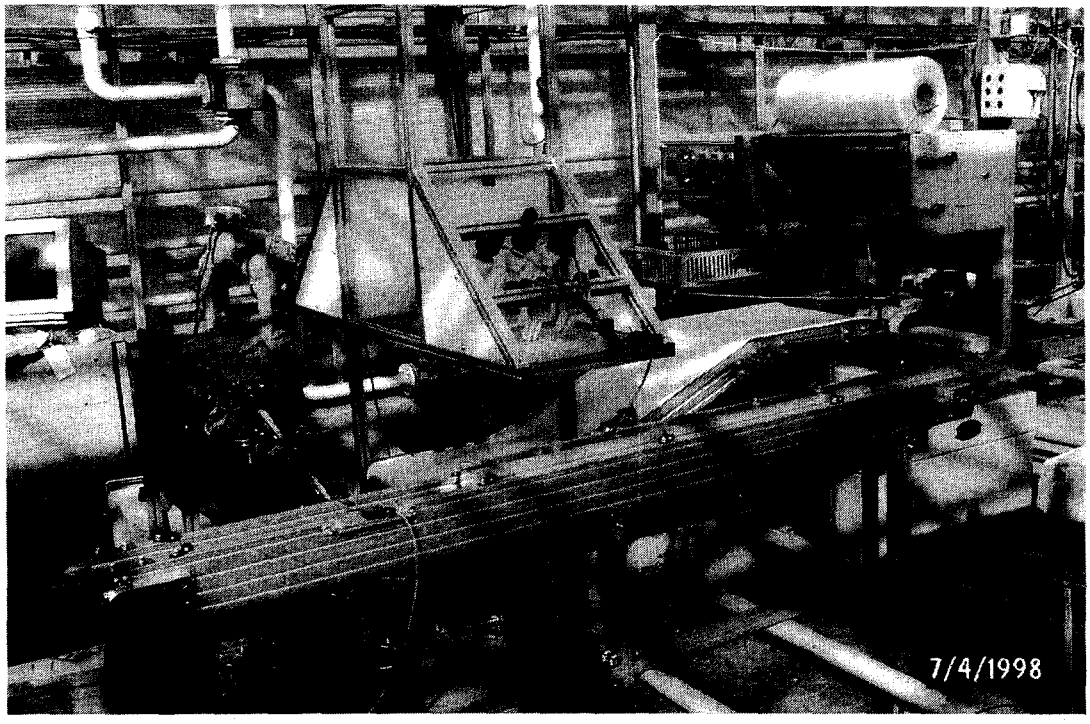


Fig. 5-3 수확기 및 선별 포장기

4. 시스템 통합

각각의 제작된 시스템에 대해서 서울대학교 부속 유리온실에 설치 하였다. 작업의 진행은 이식 → 보식 → 재배장치 위에서 재식판 이동 → 수확 → 선별 → 포장의 일련의 작업을 수행할 수 있도록 하였다.

가. 보식 시스템과 작물 이동식 재배장치 통합

보식 시스템과 작물 이동식 재배장치와의 통합은 보식 시스템에서 재배장치로 재식판을 전송하는 과정을 통해서 연결하였다. 보식 시스템의 재식판 반출부에서 재식판이 반출되면서 이 정보를 재배장치 PLC로 전송하여 재배장치의 반입부에서 먼저 재식판을 넘겨 받고 컨베이어를 구동하여 재식판 위치를 정렬한 후 재배장치로 전송하는 방법을 사용하였다.

보식 시스템에서 작물 이동식 재배장치로 연결되는 일련의 과정은 아래 그림 5-4와 같다.

먼저, 재식판을 한쪽(재배장치와 가까운 쪽)으로 정렬한 후 재식판 들어올림 실린더를 이용하여 재식판 한 개를 들어 올린다.(a) 재식판이 재식판 반출부에서 분리된 후 재식판 이동 실린더1를 이용하여 재식판을 잡는다.(b) 재식판 들어 올림 실린더가 내려가고(c) 재식판 이동 실린더2를 이용하여 재배장치로 재식판을 이송한다.(d) 재배장치에서 상승 실린더가 상승하여 보식장치에 있는 재식판을 받고(e) 재식판 이동 실린더1, 2가 후퇴한다.(f) 그후 재배장치에서는 상승실린더가 하강하고 컨베이어를 전진하여 재식판을 정렬한 후 재배장치로 재식판을 이송한다. 또한 보식장치에서는 (a)에서 (f)까지 일련의 작업을 수행하여 보식장치에 있는 재식판을 재배장치로 이송한다.

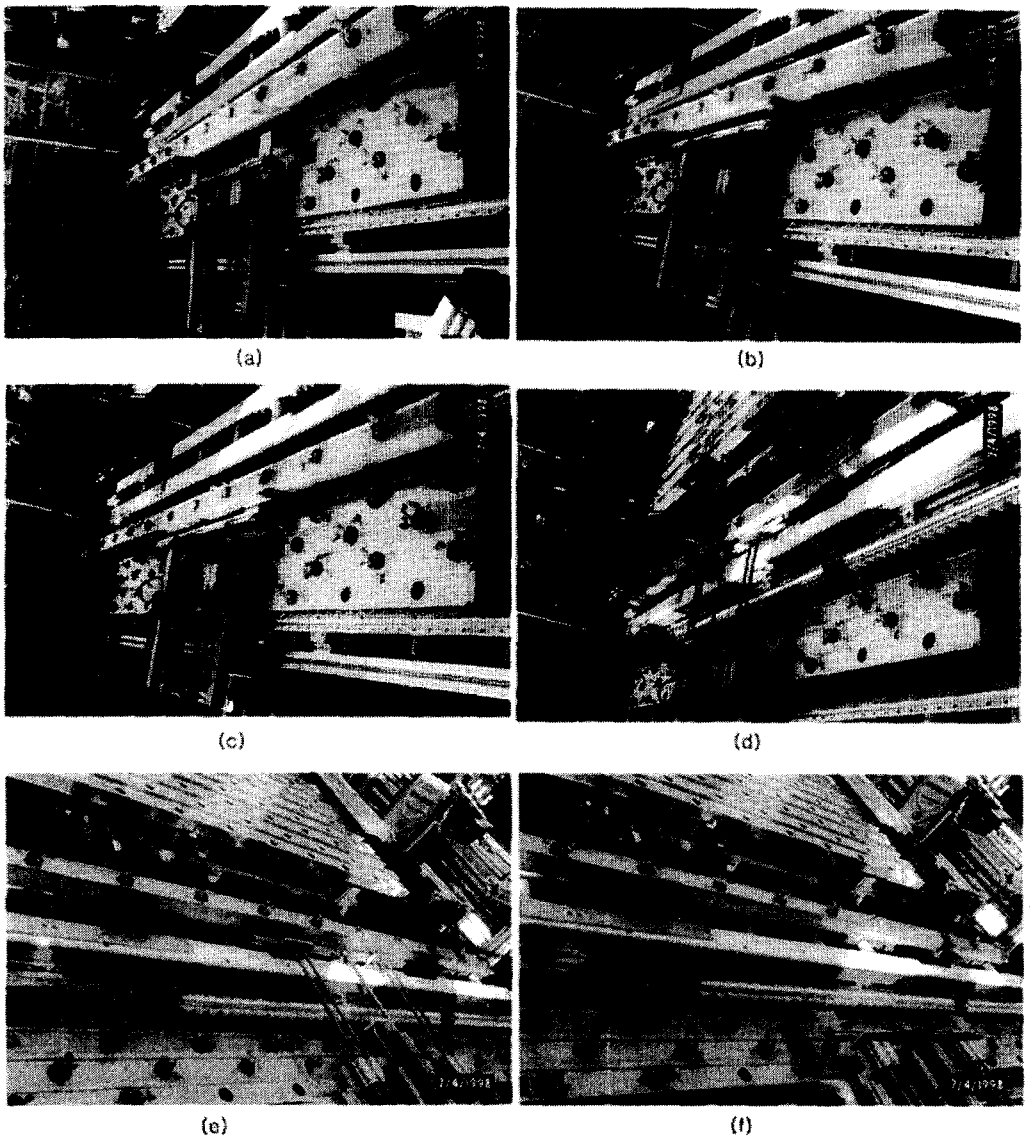


Fig. 5-4 보식 시스템과 작물 이동식 재배장치 통합 순서

나. 작물 이동식 재배장치와 수확시스템 통합

작물 이동식 재배장치의 작동은 보식 시스템에서 재식판이 건네올 때 마다 작동하도록 하여 재배장치의 이동을 보식 및 이식시스템에서 조절할 수 있도록 하였다. 재배장치의 이동은 모두 센서의 신호에 의해서 장치가 움직이도록 하였으며, 반출되는 재식판은 재식판 반출장치를 통해 수확기로 이송되도록 하였다.

수확기의 재식판 반입장치와 재배장치의 재식판 반출 장치 중 반출 컨베이어의 작동을 신호를 하나로 묶어서 재식판 반출이 되면서 곧바로 수확기로 반입이 되도록 하였다. 수확기로 반입된 재식판은 수확기에 부착된 포트를 감지하는 센서에의해 작동할 수 있도록 하였다.

재배장치와 수확기의 연결 부분은 아래 그림 5-5와 같다.

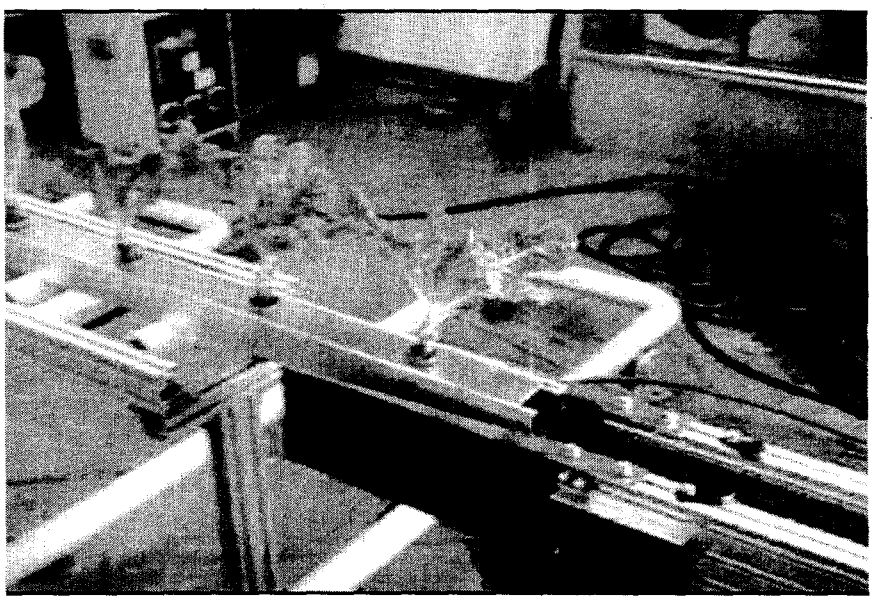


Fig. 5-5 작물 이동식 재배장치와 수확시스템 통합

다. 재식판 반출

이식 및 보식 시스템에서의 재식판의 반출은 수확기에 광센서를 부착하여 반출할 수 있도록 하였다. 이식 및 보식 시스템은 여러 재식판을 동시에 간헐적으로 반출하므로 수확기에서는 재식판이 반입되는 시간이 짧아져 재식판이 재배장치에 누적되는 문제가 발생한다. 이를 보완하기 위해서 광센서를 수확기 측에 부착하여 수확 작업이 거의 종료되는 시점에 보식 시스템에서 재식판을 하나씩 반출하는 방법을 이용하였다.

라. 시스템 통합

각 시스템의 배치를 아래 그림 5-6에 나타내었다. 온실의 한쪽끝에서는 이식 및 보식

작업을 수행하도록 하고 반때쪽 끝에서는 수확작업을 수행하도록 하였다. 또한 재배장치는 이식 및 수확 시스템 사이에 직각으로 놓아 작업을 수행할 수 있도록 하였다.

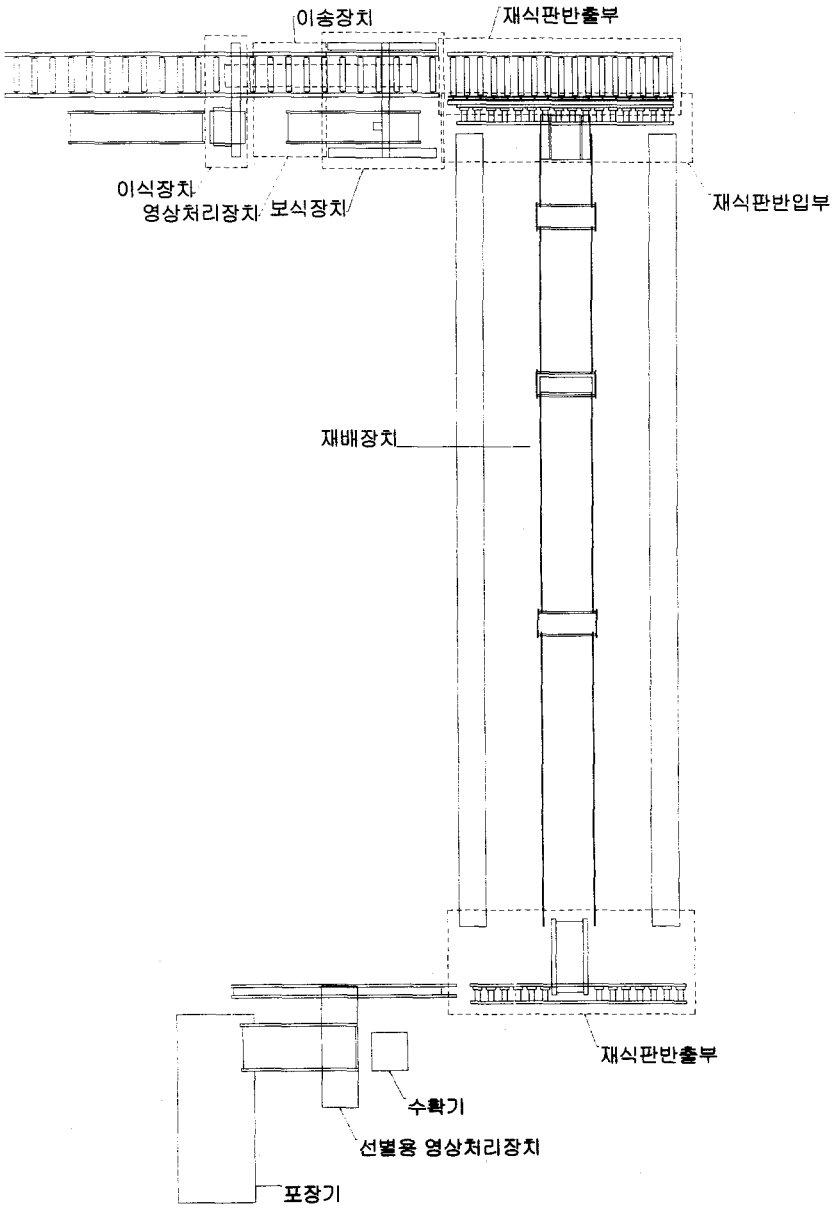


Fig. 5-6 시스템 배치도

전체 시스템은 인력이 2명이 사용되는 것을 기준으로 설계되었다. 작업자중 1인은 육묘판 및 재식판 반입을 위한 작업이며 다른 작업자는 재식판 반출을 위한 작업이다. 재식판의 반출의 경우 이 시스템을 설치한 온실에 구조적 영향에 의해서 반출을 위한 작업자가 필요하게 되었다. 시스템의 작동은 일정 기간 간격으로 작업할 수 있도록 하였다.

2절 제어장치

이식 및 보식 시스템과 수확 및 선별·포장 시스템은 모두 영상처리를 수행하므로 각각 PC를 설치하여 제어할 수 있도록 하였다. 또한, 재배장치의 경우 센서의 신호에 의해서 작업이 진행되므로 PLC를 이용하여 제어하는 방식을 사용하였다. 재배장치에 사용되는 PLC의 제원은 다음과 같다.

재배장치의 PLC의 경우 외부로 통신할 수 없어 재배장치는 자체 PLC만을 이용하여 제어하도록 하였으며, 이식 및 보식 시스템과 수확 및 선별·포장 시스템은 주 제어 컴퓨터와 네트워크 통신을 수행하도록 하였다.

통신에 사용되는 프로토콜은 UDP(User Datagram Protocol)를 사용하였다. UDP 통신은 TCP/IP 통신에 비해 프로토콜의 간단하여 전송거리가 문제 없는 근거리 통신망에 적합한 방식이다. 이식 및 보식 시스템과 주 제어 컴퓨터와는 작업시작 및 종료 현재의 재식판 및 육묘판의 위치, 각 제어기의 상태 변수를 전송하도록 하였으며, 수확 및 선별·포장 시스템과는 수확된 상추의 중량을 전송하도록 하였다.

전체 시스템의 제어 흐름을 아래 그림 5-7에 나타내었다.

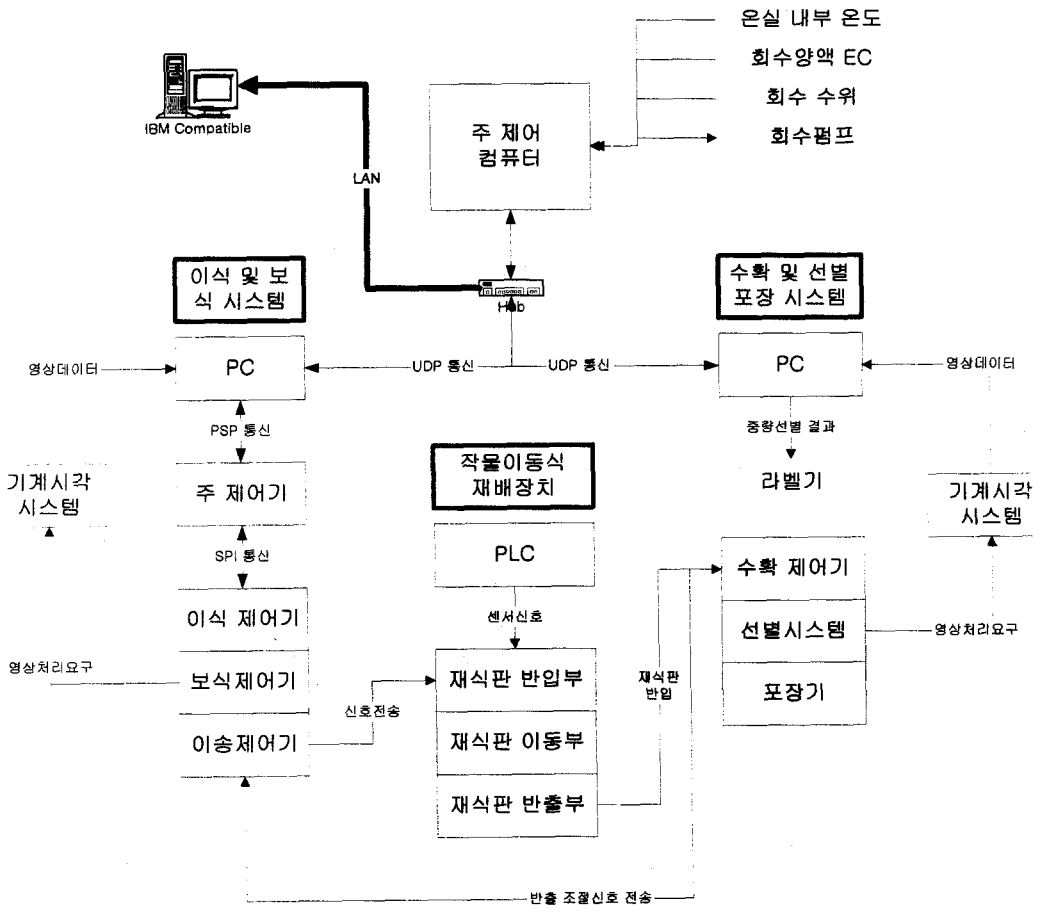


Fig. 5-7 시스템 통신 흐름도

주제어 컴퓨터는 이식 및 보식시스템, 선별시스템과 UDP 포트 5001번을 이용하여 통신을 수행하고 있다. 아래 그림 5-8은 주제어 컴퓨터의 인터페이스 화면을 나타낸 것이다.

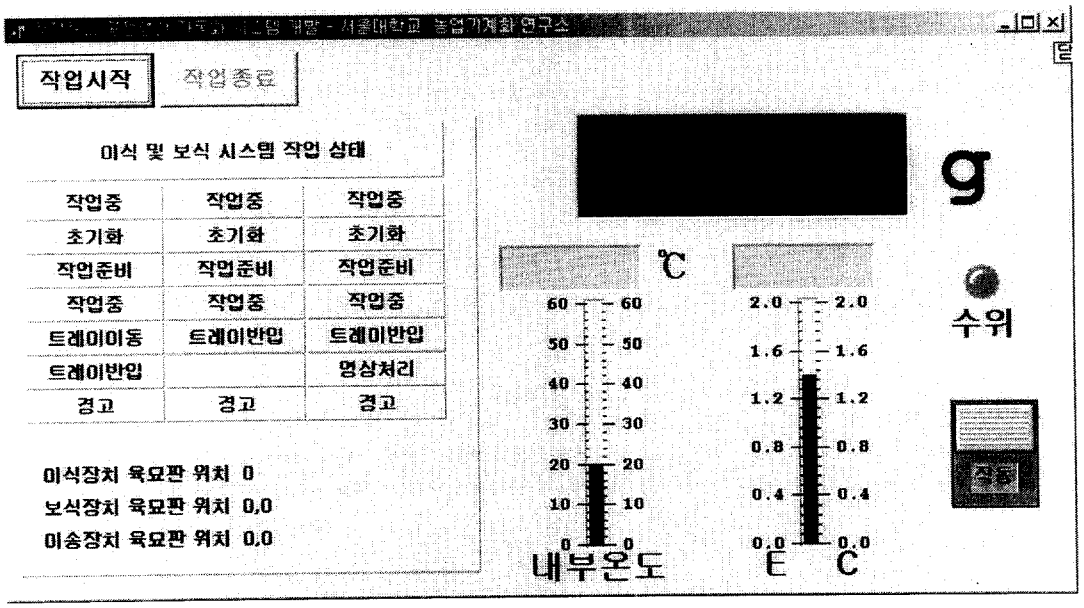


Fig. 5-8 주제어 컴퓨터 인터페이스

아래 그림 5-9는 네트워크를 이용한 TCP/IP 통신을 수행하고 있는 모습이다. 외부 랜을 이용하여 시스템에 접근할 수 있도록 하였으며, 작업시작 및 종료는 제어할 수 없고 데이터 측정 상태만 읽을 수 있도록 하였다. TCP/IP 통신을 위한 통신 포트는 5002번을 사용하였다.

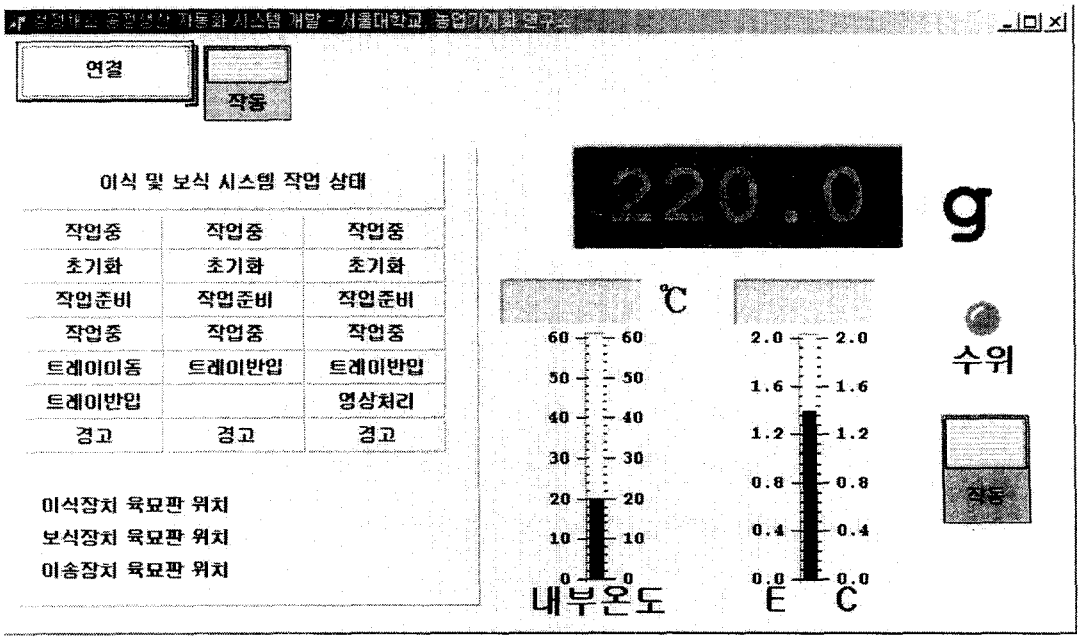


Fig. 5-9 네트워크를 이용한 인터페이스

3절 결론

개발된 이식 및 보식 시스템, 작물재배용 이동식 작물재배장치, 양액장치, 수확 및 선별 포장 시스템을 서울대학교 부속 유리온실(54坪)에 설치하였다. 설치는 이식 → 보식 → 재배장치 → 수확 → 선별 → 포장의 작업이 연속적으로 진행하도록 하였으며 시스템의 성능 및 안정성을 평가하기 위해서 상추 모종을 이용하여 시스템을 검증하였다.

각각의 시스템은 주 제어 컴퓨터와 UDP를 이용하여 통신을 수행할 수 있도록 하였으며, 각각의 시스템들간의 연결을 위한 연결 방식을 설정하였다. 또한, 온실내의 작동 상태를 외부에서 인지할 수 있도록 TCP/IP를 이용하여 통신을 수행할 수 있도록 프로그램을 제작하였다.

참고문헌

1) 강석화. 1995. 과일수확용 로봇 머니퓰레이터의 장애물 회피에 관한 연구.석사 학위 논문. 서울대학교 대학원

2) 경상대학교. 1995. 농업기계화 장기전망과 기계화기술 개발전략에 관한 연구. 농림수산부.

3) 과학원예, 1997, 북유럽형 식물생산 시스템. p130-132.

4). 김기대, 김정필, 이현동. 1998. 조직 배양체 이식로봇 시스템의 소프트 그리퍼 개발. 한국농업기계학회 1998년 하계학술대회 논문집.

5) 김정호, 은용순, 조동일. 1996. 가변 구조 제어를 이용한 AC 서보 모터의 고성능 제어. 제어·자동화·시스템 공학 논문지 제 2권 제 4호:351-361

6) 김양한, 이대길, 김수현, 곽윤근. 1989. 압축공기를 이용한 제어회로 구성. 청운각.

7). 농촌진흥청. 1996. 농업용 로봇 연구개발 동향과 전망. '96 심포지엄발표문.

8) 농촌진흥청. 1997. 원예농업의 기계화 기술 과제와 발전방향. '97 심포지엄 발표문.

9) 농촌진흥청, 1999, 식물공장생산시스템-연구동향분석과 금후 연구방향.

10). 농촌진흥청. 1999. 농업정책강좌.

11) 도서출판 세화편집부역, 1997, 체인컨베이어, p49-83.

12). 류관희, 김기영, 류찬석, 한재성. 1999. 다수의 그리퍼를 이용한 육묘용 로봇이식기 개발. 한국농업기계학회 1999년 동계학술대회 논문집.

13). 류관희, 김기영, 박정인. 1998. 육묘용 로봇이식기 그리퍼의 개발 및 토양 상태에 따른 성능평가. 한국농업기계학회 1998년 하계학술대회 논문집.

14). 류관희, 김기영, 신태웅, 한재성. 1998. 식물공장용 포트묘 로봇이식기 개발. 한국농업기계학회 1998년 하계학술대회 논문집.

15). 류관희, 김기영, 이희환, 한재성. 1998. 육묘용 로봇 이식기의 개발(Ⅲ) - 로봇 이식기의 개발 -. 한국농업기계학회 1997년 하계 학술대회 논문집.

16). 류관희, 이희환, 김기영, 한재성. 1998. 육묘용 로봇 이식기의 개발(Ⅲ) - 로봇 이식기

의 개발 -. 한국농업기계학회 1997년 하계 학술대회 논문집.

17). 류관희, 조성인, 황헌, 최중섭 공역. 1996. 생물생산을 위한 지능로봇공학. 문운당.

18). 류영선. 1997. 여유자유도 로봇 매니퓰레이터의 과실 수확시 장애물회피 운동제어 알고리즘 개발. 서울대학교 대학원 박사학위논문.

19) 박권우, 1997, 공장형 원예산업 시대의 개막과 전망 II - 국내외 식물공장의 현황과 장래. 호남작물연구소주관 제4회 국제공동세미나 자료집, p8-25

20) 박상근, 권영삼, 김광용, 고관달, 1989, 공정생산에 의한 상추연속시험. 원예연구소시험연구보고서, p147-154.

21) 송현갑, 류관희 외, 1995, 시설원예 자동화, 문운당

22) 신동준, 1999. 다관절 로봇과 기계시각을 이용한 상추 수확 및 선별 시스템개발. 석사학위 논문. 서울대학교 대학원

23) 아경산업 자동화 연구소 편저. 1998. 서보 모터 제어이론과 실습. 성안당

24) 윤진하. 1996. 한국의 원예시설 자동화 현황 및 식물공장의 발전방향. 21세기 첨단식물생산 시스템의 실용화 심포지엄.

25) 이공인, 1996, 식물공장의 생산공정자동화. 한국식물공장연구회 발표자료.

26). 이희환. 1997. 육묘용 로봇 이식기의 개발. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

27) 전남대학교 출판부, 1998, 차세대 식물생산시스템

28) 장유섭, 2000, 식물공장의 작물주간조절시스템 개발. 충북대학교 박사학위논문.

29) 정순주, 전하준, 지재식, 김정도, 한남이, 이일형, 1996, 신농민강좌시리즈, 양액재배-고품질, 다수확, 생력화의 길. 농민신문사 p209-236.

30) 조성인, 류관희, 신동준, 장성주. 1998. 식물 공장용 자동 상추 수확 시스템 개발. 한국농업기계학회지 Vol.23. No.6:629-634

31) 최연석. 1992. 공압 구동 Gripper의 성능 향상에 관한 연구. 석사학위 논문. 한국 과학기술원

32) 태성길, 전원회, 남경훈. 1998. 공압 제어기술. 성안당

33) 한국농기계공업협동조합, 한국농업기계학회. 1998. 농업기계연감.

34). 한국생물생산시설환경학회. 1996. 21세기 첨단식물생산시스템의 실용화. 한국생물생산시설 환경학회 국제심포지움.

35) 한국식물공장연구회, 1996, 한국식물공장연구회 발표자료

36) 한국식물공장연구회, 1997, 한국식물공장연구회 발표자료

37) 한양유통 수농연구소, 1992, 수농연구소 팜플렛.

38) 한재성. 1998. 식물공장용 포트묘 로봇 이식기 개발. 석사학위 논문. 서울대학교 대학원.

39) 홍선학, 이왕헌. 1996. 계측제어공학. 성안당

40) Alberto, Rovetta. 1991. Fuzzy Logic in Robot Grasping Control. IROS '91:1632-1637

41) Atsushi KANO and Cornelius H. M. Van Bavel. 1988. Design and test of a simulation model of tomato growth and yield in a green house. J. Japan. Soc. Hort Sci, 56(4) p408-416.

42) Benoit F. & Censtermans, 1989, Growth lamb's lettuce (valerianella olitoria L.) on recycled poly-urethane (PUR) hydroponic mats. Acta horticulturae, 242, p297-303.

43) Benoit F. & Censtermans, 1994, First findings with the continous net-head lettuce production system in small plastic pots. 國際セミナー [世界を翔ふ養液栽培-part II], 日本養腋栽培研究會 大會資料, p14-24.

44) B. Geyer, 1996, Actual state and practical use of the factory-style plant production system in Germany. Pratical plant factories toward the 21st century, p3-37.

45) B. Geyer, 1996, Actual state and practical use of the factory-style plant production system in Japan. Pratical plant factories toward the 21st century, p65-73.

46). Brewer, H. L. 1994. Conceptual modeling automated seedling transfer from growing trays to shipping modules. Transactions of the ASAE vol. 37(4) :

1043-1051.

47) Bruce, E Mccord. 1983. Designing pneumatic control circuits : Efficeint techniques for practical application. Dekker.

48) Daniel J. Rivest, 1991, Hydroponic system. USA patent number 5010686.

49). D'Esnon, A. G. 1984. Robotic harvesting of apples. Proceedings of the First International Conference on Robotics and Intelligent Machines(PICRIM). 112-119.

50) E.A. van Os, R.P. van Zuijdam, A.T.M. Hendrix, V.J.M. Koch, 1993, A moving fruit vegetable crop, Acta Horticulturae 342 : 69~76

51) F.Benoit, 1987, High-technology glasshouse vegetable growing in belgium, Soilless Culture3(1) : 21-29

52) F.Benoit, 1989, Recommendations for the commercial production of butterhead lettuce in NFT, Soiless Culture5(1) : 1-12

53) F.Benoit & N. Ceustermans, 1989, Growing lamb's lettuce(valerianella olitoria L.) ox recycled polyurethane(pur) hydroponic mats, Acta Horticulturae 242 : 297-303

54) Gary, R. and Glen Mazur. 1997. Electrical motor controls. American Technical Publisjers

55) HAWE home page (http://www.hawe-systems.com)

56). Hassan, A. E. and W. H. Haddock. 1991. Packing of pine seedlings using soil failure criteria. Transactions of the ASAE vol.34.(2) : 695-698.

57) Hoy, R. M. and W. F. McClure. 1987. A unique hollowed finger gripper with tactile feedback. Transactions of the ASAE vol. 34(2):695-698

58) Hwang, H. and F. E. Sistler. 1986. A robotic pepper transplanter. Applied Engineering in Agriculture 2(1) : 2-5.

59). Hwang, H., J. H. Chang., and S. C. Kim. 1998. Automatic grafting system for fruit bearing vegetables based on inarching graftage. Proceedings of ISAMA 97,

Taipei, Taiwan. vol.1 : 75-80.

60) James, A. Rehg. 1997. Introduction to robotics in CIM systems 3th edition. Prentice Hall.

61). Key, S. J. and D. Elford. 1984. Animal positioning, manipulation and restraint for a sheep shearing robot. Proceedings of the First International Conference on Robotics and Intelligent Machines(PICRIM). 42-51.

62) Kim K. D., S. Ozaki and T. Kojima. 1995. Development of an automatic robot system for a vegetable factory. I. Transplanting and raising seedling robot in a nursery room. Proceedings of ARBIP95, Kobe, Japan. vol.1 : 157-163.

63) Kinasse, A. and H. Watake. 1991. Robot for masspropagation. IFAC Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture: 225-230.

64) Kondo, N., K. Hisaeda and M. Monta. 1998. Development of Strawberry Harvesting Robotic Hand. ASAE Annual International Meeting

65) Kondo, N., Y. Nishitsuji, P. P. Ling and K. C. Ting. 1996. Visual Feedback Guided Robotic Cherry Tomato Harvesting. Transactions of the ASAE vol. 39(6):2331-2338

66) Kuo, Benjamin C.. 1996. Automatic Control System. Prentice Hall

67). Kurata, K. and Futaya, Y. 1992. Automation of selecting embryogenic callus by seiving. Acta Horticulturae Vol. 319. : 563-566.

68) Kutz L. J., G. E. Miles, P. A. Hammer and G. W. Krutz. 1987. Robotic transplanting of bedding plants. Transactions of the ASAE vol.30(3) : 586-590.

69) Lansky, Z. J. and Lawrence F. Schrader Jr. 1986. Industrial pneumatic control. Dekker.

70) Peatman, Jahn B.. 1997. Design with PIC Microcontrollers. Prentice Hall

71) Peter, F. Ryff. 1988. Electric machinery. Prentice-Hall international edtions.

72) Reed, J. N. and R. D. Tillet. 1994. Initial experiments in robotic mushroom

harvesting. Mechatronics vol. 4(3):265-279

73) Romain Guay et Roger Thériault, 1989, Mécanique d'un système de culture en serre sur deux niveaux, Canadian Agricultural Engineering30(2) : 239~243

74) R. Guay et R. Thériault, 1991, Éclairage et régie des déplacements d'un module de culture en serre sur deux niveaux, Canadian Agricultural Engineering32(2) : 303~308

75) Sakaue O. 1994. Development of automated seedling production system -High quality seedling production device-. 일본 농업기계학회지 57(1) : 59-66.

76) Sakaue O. 1995. Development of automated seedling production system -Tray handling devices and evaluation of the robotic system- . 일본 농업기계학회지 57(3) : 111-119.

77). Simonton W. 1991. Robotic end effector for handling greenhouse plant material. Transactions of the ASAE vol.34(6) : 2615-2621.

78) Tillett, N. D., S. J. Miles, J. B. Holt, A. L. Wikin, and M. A. Scott. 1992. An experimental automatic repotting machine for hardy ornamental nursery. Agricultural engineering vol.53 : 289-303

79) Ting, K. C. 1995. System analysis of robotic workcells for plug transplanting and somatic embryos quality sorting. Proceedings of ARBIP95, Kobe, Japan. vol.2 : 181-188.

80) Ting, K. C., G. A. Giacomelli and S. J. Shen. 1990. Robot workcell for transplanting of seedlings. Part I : Layout and materials flow. Transactions of the ASAE vol.33(3) : 1005-1010.

81) Ting, K. C., G. A. Giacomelli, S. J. Shen, and W. P. Kabala. 1990. Robot workcell for transplanting of seedlings. Part II : End-Effector development. Transactions of the ASAE vol.33(3) : 1013-1017.

82). Tohru UCHIDA, 1995, Studies for the practical application of plant factory for spinach cultivation.

83). Tutle, E. G. 1984. Image controlled robotics in agricultural environment. Proceedings of the First International Conference on Robotics and Intelligent Machines(PICRIM). 84-95.

84) Uchida, T., T. Yamano, and H. Miyazaki. 1994. Development on Automatic Harvesting System for Leaf Vegetables. 일본 식물공장학회지 vol. 6(3):197-202

85) Weber, M. C., R. L. Stroshine, K. Haghighi, and Y. Edan. 1991. Melon Material Properties and Finite Element Analysis of Melon Compression with Application to Robot Gripping. Transactions of the ASAE vol. 34(3):920-929

86) Wang, Li-Xin. 1997. A Course in Fuzzy Systems and Control. Prentice Hall

87). Brewer, H. L. 1994. Conceptual modeling automated seedling transfer from growing trays to shipping modules. Transactions of the ASAE vol. 37(4) : 1043-1051.

88) 高辻正基. 1982. 植物工場の基礎知識と實際. 技術情報センター.

89) 高辻正基. 1987. 野菜工場. 丸善.

90) 高辻正基 外. 1989. 植物生産の實用事典(上). フジ・テクノシステム.

91) 高辻正基. 1993. 植物工場の理論. 日本植物工場學會編(SHITA TECHNOLOGY No. 1).

92) 高辻正基. 1996. 植物工場の基礎と實際. 裳華房.

93) 高辻正基, 1997, 植物工場ルソドブツク

94) 橋本 康 外. 1993. 植物種苗工場. 川島書店.

95) 堀部和雄, 森邦男, 松尾辛臟, 近藤浩市, 1994. 2次植物移動栽培裝置による栽培實驗. 日本農業機械學會誌 56(3), p109-115.

96) 堀部和雄, 1993, 植物工場における自動化 - 植物工場のシステムテワノロヅー. SHITA report No 6. p13-22.

97) 龜田修二, 1998, 中山間地におはるホウレソソウ移植栽培と周年体系への試行. 施設園藝, p66-71.

98) 內田 徹 外. 1994. 葉菜類用自動收穫裝置の開發. 日本植物工場學會誌 6(3): 197-202.

99) 山崎弘郎, 橋本 康, 鳥居 徹, 지능농업 - 자동화·지능화의 진전. p192-203.

100) 山崎弘郎 외, 1996, 知能農業

101) 森 邦男 外. 1991. 植物移動栽培裝置の開發研究(第1報). 日本農業機械學會誌 53(1): 65-72.

102) 三橋庸良, 山崎 明, 七島琢男 ,1994, 植物工場の自動化. SHITA report Vol. 2 : 45-57.

103) 星 岳彦 外. 1994. 自動化植物工場のための植物移動システムの開發. 日本植物工場學會誌5(2)/6(1): 15-22.

104) 原藤崇義. 1998. 德島縣にできた 植物工場 [吉野ベジタブアーム]. 施設園藝 1998(1) 28-31.

105) 日本農業システム. 1996. 植物日本栽培工場, 일본 catalogue.

106) 日本植物工場學會編. 1991. 植物工場のキ-テクノロジ-(SHITA REPORT No. 2).

107) 日本植物工場學會編. 1992. お茶生産と植物工場(SHITA REPORT No. 3).

108) 日本植物工場學會編. 1992. ハイテク農業ハンドブック. 東海大學出版會.

109) 日本植物工場學會編. 1992. 植物種苗の工場生産と利用(SHITA REPORT No. 4).

110) 日本植物工場學會編. 1993. 地球環境問題と植物工場(SHITA REPORT No. 5).

111) 日本植物工場學會編. 1993. 植物工場のシステムテクノロジ-(SHITAREPORT No. 6).

112) 日本植物工場學會編. 1994. 植物工場技術の新しい展開(SHITA REPORT No. 7).

113) 日本植物工場學會編. 1994. 植物工場における人工照明技術の基礎と應用(SHITA REPORTNo. 8).

114) 日本植物工場學會編. 1995. 植物工場の經營は成り立つか(SHITA REPORT No. 9).

115) 日本植物工場學會編. 1995. バイオテクノロジ-利用の植物工場へ向けて(SHITA REPORT No. 10).

116) 日本植物工場學會編. 1996. 植物工場のハイテク技術(SHITA REPORT No. 11).

117) 日本農業機械學會編. 1996. 生物生産機械ハンドブック. コロナ社.

118) 人見英里, 玉置美子, 友枝幹夫, 1992, ホウレンソウのシコウ委代謝に關する研究. 園學雜, 61(2), p431-435.

119) 倉田 勇. 1986. 物可動式栽培裝置の試作とこれを利用した作業の研究. 農業機械化研究所報告第20號: 1-48.

120) 倉田 勇, 市川友彦, 猪之奥康治. 1982. 水平循環式栽培裝置の開發研究. 農業機械化研究所報告第20號: 15-49.