

최 종
연구보고서

고품질 멜론 생산을 위한 동적 자동 관수 및
배양액 관리 시스템 개발

Development of dynamic management system of
water and nutrient solution for qualified melon
production

주관연구기관 상명대학교

협동연구기관 순천향대학교

농 립 부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “고품질 멜론 생산을 위한 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001년 10월 31일

주관연구기관명 : 상명대학교

총괄연구책임자 : 김 영 식

연 구 원 : 김 혜 진

협동연구기관명 : 순천향대학교

협동연구책임자 : 김 창 교

연 구 원 : 노 희 석

요 약 문

I. 제 목

고품질 멜론 생산을 위한 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

멜론은 高級 果實로서 생활수준이 높아감에 따라 소비가 늘 전망이다. 현재 생산되는 멜론은 糖度가 불안정하여 소비자 신뢰도가 부족하고 재배역사가 짧아 재배환경과 생산 기술이 낙후되어있다. 이러한 낙후된 생산 기술을 높이기 위해서는 선진국에서 생산기술로 채택하고 있는 양액재배를 이용하여 첨단 생산 시스템을 구축하고 멜론의 품질을 향상시키는 등의 기술을 강구해야 한다. 기술적인 면에서는 멜론 糖度の 안정화가 필요하다. 기존에 생산되고 있는 멜론은 소비자가 만족하고 구매하기에는 상품성에 뒤떨어지는 것이 많기 때문에 생산품에 대한 소비자의 신뢰도를 높이기 위해서는 당도를 증진시키는 방법을 모색하는 것이 적극적으로 요구되고 있다. 또한 최근에는 소비자의 선호도가 맛과 더불어 영양적 가치, 저공해 산물을 원하기 때문에 그에 부응하기 위해서는 고품질, 고생산성에 주력해야 한다. 생산 기술면에서는 동적 자동 養液栽培 시스템에 의한 작물생산의 효율성을 증대시킬 필요가 있다. 토양재배시의 연작장해를 완전 해소하여 생산효율을 극대화 해야한다. 경제·산업적 측면에서 멜론은 고품질 생산으로 輸出量 增加 및 輸入 抑制가 필요하다. 또한 상품을 단일화하여 商品化率을 국제수준까지 올리고, 수확량을 증가시켜 농가의 所得增大에 기여하여 농촌경제를 활성화 시켜야한다. 양액재배 시스템을 이용하여 배양액을 조절함으로써 비료 및 용수를 절감하여 生産費 節減 효과를 가져올 수 있다. 기존의 농업구조에서 벗어나 3D(더럽다, 힘들다, 위험하다)로부터의 탈피에 의한 농업에 대한 概念의 轉換이 필요하다. 뿐만 아니라 환경친화형 농업으로 발전할 수 있는 기술을 마련하여 부공해 채소의 생산과 보급에 의한 국민 보건 향상에 이바지한다.

본 연구는 고품질 멜론을 생산하기 위한 최적 관수 체계를 확립하고 관수 관리법에 따른 동적 자동 관수 시스템 및 배양액 관리 시스템 개발을 목적으로 수행하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 멜론의 최적 관수 체계 및 전용 배양액 개발

- 1) 배지 및 배양액관련 자료 조사, 분석
 - 2) 자동관수 및 배양액 관리 모델 설정
 - 3) 최적 관수 관리 시스템 개발
 - 4) 적극적 배양액 공급 체계 개발
 - 5) 고품질 양액재배 생산법 확립
2. 고당도 멜론의 안정 생산법 개발
 - 1) 당도관련 인자 조사, 분석
 - 2) 당도 증진 인자 구명
 - 3) 당도 증진법 개발
 - 4) 품종 및 계절별 고품질 멜론 생산법의 개발
 3. 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 개발
 - 1) 배양액 관리 시스템 설계
 - 2) 배양액 계측 시스템 구축
 - 3) 관수 및 배양액 공급 시스템 구축
 - 4) 적극적 관수 및 배양액 공급 시스템 적용
 - 5) 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 개발

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

국내에서 멜론을 양액재배 할 경우 여러 가지 면에서 미흡한 점이 많았으나 본 연구를 통해서 발전된 관수 체계를 구축할 수 있었고 고품질의 멜론을 생산할 수 있는 방법 등을 제시하였다. 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템은 software의 개발에 역점을 두고 수행하였다. 구체적인 결과는 다음과 같다.

가. 멜론의 최적 관수 체계 및 전용 배양액 개발

배지 및 배양액관련 자료 조사, 분석을 통해서 현재 양액재배에 이용되고 있는 각 배지들의 물리적, 화학적 특성 및 활용 정도를 조사하여 멜론에 적절한 배지로 perlite 를 선택하여 연구를 진행했다. 또한 기존에 이용되고 있는 멜론 전용 배양액의 종류를 총 망라하여 종류별 배양액의 특성과 멜론의 생육단계별, 환경조건별 배양액 농도 등을 조사, 분석하여 멜론을 생육하는데 적절히 활용하였다. 배양액 조성 중의 하나인 Ca의 농도를 조절하여 멜론의 품질을 향상시켰다.

본 실험실 상황에 맞는 양액재배 시스템을 설치하여 관수 실험에 적용하였다. 고품

질의 멜론을 생산하기 위한 최적의 관수 체계를 개발하기 위해서 기존에 행해지고 있는 양액제배 방식의 장점, 문제점, 활용정도 등을 조사, 분석하여 본 연구의 관수 관리 모델을 선정하였다. 최적의 관수 관리 시스템을 개발하기 위해서 타이머 제어법, 적산일사량 제어법, 중량 제어법을 중심으로 연구를 진행하였다. 타이머 제어법은 저가형으로 타이머 금액설정 시간, 하루 중 급액 회수, 총급액량 등을 기준으로 하여 고품질의 멜론을 생산할 수 있는 타이머 금액 체계를 마련하였다. 적산일사량 제어법은 광량 등을 고려하여 1회 적산량, 1회 급액시간 등을 중심으로 연구를 진행하여 적산일사량 제어시에 최적의 생육을 할 수 있는 방안을 고안하였다. 중량 제어법은 첨단 관수 관리 시스템으로 완전 자동 제어형으로 개발하여 멜론재배시 배지 내 수분함량을 최적으로 유지하면서 품질이 우수한 과실을 생산 할 수 있게 하였다.

나. 고당도 멜론의 안정 생산법 개발

고당도 멜론의 생산을 위해서 멜론의 당도에 관여하는 인자를 조사, 분석하여 배지 내 수분함량과 당도와 밀접한 관련성이 있음을 도출하였다. 이후 당도 증진을 위해서 멜론 재배시 배지 내 수분함량 조절에 초점을 맞추어 관수를 관리하는 방향으로 연구하였다. 타이머법, 적산일사량법, 중량법 중심으로 배지 내 수분의 함량을 조절하여 고당도의 멜론을 생산할 수 있게 하였다.

또한 직접 착과전위와 엽수를 구명하였고 당도를 증진시키는 특수물질 중에서 아미노산의 효과를 비교자 했으나 아미노산은 멜론의 당도에 크게 영향을 미치는 못하는 결과를 보였다. 또한 긴진묘의 육성을 위해서 아미노산을 사용하였으나 두드러진 결과를 보이지는 못했다. 긴진묘나 최적의 육묘기간을 위해서는 아미노산과 같은 특수물질의 첨가보다는 육묘 기간동안 관수하는 방식에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 과종부터 정식 전까지 육묘기 동안 저면관수와 살수관수를 이용하여 생육이 우수한 묘를 생산하였다.

멜론 과실의 수확 시기 및 당도를 판별할 수 있는 비파괴적인 방법을 고안하였다. 멜론 겉까지의 엽세 정도로 수확기를 판별하고 과실의 네트 형성 정도로 당도를 판별할 수 있게 하였다.

또한 품종별, 계절별로 멜론의 네트 및 당도 등을 연구하였으나 본 연구에서 수행한 품종간에는 큰 차이가 없었다. 계절별로도 일사량이나 온도 등의 환경적 차이로 정식 시기나 수확기 등의 시기적인 날수의 차이는 있었으나 그 외의 특별한 차이를 보이지 않았다.

다. 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 개발

환경자료, 재배자료, 생육자료 등을 조사하여 배지내 수분 및 배양액 상태 계측 시

시스템을 설계하였다. 지능제어 알고리즘을 이용한 고성능 제어 시스템을 구축하였다. 계측 및 제어 프로그램은 타이머법, 중량법 등의 관수 방식에 적합하도록 개발하였다. 개발한 프로그램들을 실제 재배에 적용한 후, 시스템 관리 프로그램의 GUI, 저장 프로그램 actuator 제어 등을 개선하여 시스템을 재설계하고, interface 및 제어 algorithm 등을 개선하여 동적 자동 관수 관리 및 배양액 공급 제어 시스템을 구축하였다.

본 연구의 결과로 배양액 조성 제어 프로그램(COSNS, The control system for nutrient solution), 수경재배 모니터링 프로그램(MOSH, The monitoring system for hydroponics), 시설재배 환경 계측 프로그램(EMOS, The environmental monitoring system of greenhouse), 식물 중량제어 프로그램(WCP, The weighing control system for plant) 등을 프로그램 조정 위원회에 등록하였다. 본 연구에서 개발한 시스템의 운용 지침서와 교육자료를 작성하여 향후의 연구에 도움이 될 수 있게 하였다.

2. 활용에 대한 건의

- 연구 결과 보고서를 관련기관 및 개인 수요자에게 배부
- 농가, 연구단체 및 관련 시설원예산업에서 결과 활용.
- 재배농가에 공장적 생산방식과 시스템의 단계적 도입계획 지원.
- 연구결과를 국제학회 및 국내학회 발표를 통한 학문발전에 기여(특수기술 제외).
- 연구개발 된 최적 배양액 관리 시스템의 교육 및 연구시설로 활용.
- 개발된 프로그램을 학문적으로나 기술적으로 활용.
- 자동화 장치 관리프로그램을 이용하여 관수이용효율(water use efficiency)과 비료이용효율(nutrient use efficiency)을 극대화하기 위한 연구를 추진.

SUMMARY

SUMMARY

I. Title

Development of dynamic management system of water and nutrient solution for qualified melon production

II. Objectives and Significances

The melon consumption is expected to be increase in line with growing personal income as melon is a high-price fruit. Melons, produced in the present, are not trusted from the market due to unstability in the sugar content and low production technique. To improve production technique it is needed to establish the state-of-the-art production system like as hydroponics and develop techniques to improve the quality of fruits. It is actively needed to find out the way raising sugar content in fruit to promote the consumer confidence. In recent years consumers want nutritive and clean products, as well as their taste. Producers have to focus on high quality and high productivity to meet those consumer's needs. With the respect of the producing technique aspects crops have to be produced more efficiently by using dynamic hydroponics system. It can overcome problems occurred in soil culture. With the respect of economy and industry it is needed to boost export and suppress import by producing high quality products. To uniform fruit quality and foster the rate of marketable yield contributes to the income increase of producers and also rural economy. Hydroponics results in curtailing the cost of production, in which the nutrient solution is controlled and, fertilizers and water are saved. The traditional viewpoint for agriculture has to be changed from the dirty and difficult industry to the clean and high income industry. Hydroponics can give the chance that the future agriculture can be expanded environmentally friendly and contribute to the improvement of human health by producing and distributing safe vegetables.

This project has been implemented to establish the optimum irrigation system and develop the dynamic management system of water and nutrient

solution for qualified melon production.

III. Contents

1. Development of optimum irrigation regime and nutrient solution management

- 1) Investigation and analysis of data related substrates and nutrient solutions
- 2) Model setting for automatic irrigation and nutrient solution management
- 3) Development of optimum irrigation management system
- 4) Development of active nutrient supply system
- 5) Establishment of hydroponics production system for high quality

2. Development of stable production techniques for sweet melon

- 1) Investigation and analysis of factors related sugar content
- 2) Study in factors increasing sugar content
- 3) Development of technique to increase sugar content
- 4) Development of melon cultivation technique according to varieties and seasons

3. Development of dynamic management system of water and nutrient solution

- 1) Design of nutrient solution management system
- 2) Implementation of nutrient solution monitoring system
- 3) Implementation of irrigation and nutrient solution supply system
- 4) Application of active irrigation and nutrient solution supply system
- 5) Development of dynamic irrigation and nutrient solution supply system

IV. Results and proposals for its application

1. Results

This project established the improved irrigation system and suggested how to produce melons of high quality. The dynamic irrigation and nutrient solution management system was developed, focused on the development of the related software. Details are as follows.

A. Development of optimum irrigation regime and nutrient solution management

It was investigated for the physical and chemical properties of substrates used in hydroponics, and also their application by investigating and analyzing of data related substrates and nutrient solutions. The properties of the nutrient solutions being used for melon production was investigated and analyzed according to each growth stage and environmental conditions, and utilized for experiments afterwards. The melon quality could be improved by controlling Ca concentration in the nutrient solution.

The hydroponics system suitable for the project was installed and applied to the irrigation experiments. Models for automatic irrigation and nutrient solution management were implemented through the investigation and the analysis of the strong or weak points of the existing hydroponics types and its applications, in order to develop the optimum irrigation system for the high quality melons. Focus was on several control types by timer, integrated solar radiation and substrate weight. The irrigation management system controlled by timer was chosen as the economic control system for irrigation. The appropriate control algorithms controlled by timer were established with the respect of the supplying time, the frequency, and total quantity of the nutrient solution. The irrigation management system controlled by integrated solar radiation was chosen as the fine control system for irrigation. The appropriate control algorithms controlled by integrated solar radiation were established with the respect of each integrated solar radiation, the supplying time, and total quantity of the nutrient solution. The irrigation management system controlled by substrate weight was chosen as the state-of-the-art control system for irrigation. The appropriate control algorithms controlled by substrate weight were established with the respect of water content in the substrate.

B. Development of stable production techniques for sweet melon

Factors related to the sugar content in melon fruit were investigated and analyzed. The sugar content was deduced to have relation with water content in the substrate. Since then, the irrigation management focused on the water content control in the substrate for enhancing sugar content of fruit. The water content in the substrate was controlled by timer, integrate solar radiation, or substrate weight to fulfill highly qualified fruit production.

It was studied for the optimum fruit-set node and the number of leaves of the plant. The mixture of amino acids, added to the substrate, did not affect the sugar content of fruit during the cultivation, and also the growth of young plant. The irrigation method was suggested to be more significant for the growth of young plant than adding amino acids. The seedlings were grown vigorously through the sub-irrigation and spray irrigation during the period of seedling raising.

The non-destructive sugar content judgment method was designed to distinguish the appropriate harvesting time. The leaf color on the fruit-bearing branch could be used for the judgment. The degree of the net formation of fruit was proposed to judge the sugar content of fruit.

The net formation and the sugar content of fruit did not show any significant differences between varieties and growing seasons, except that the growing period could be different due to temperature or irradiation.

C. Development of dynamic management system of water and nutrient solution

The monitoring system of nutrient solution was designed in base of the data related to the environment, cultivation and growth for melon. The powerful irrigation control system was implemented by the knowledge-based algorithm. The monitoring and control programs were developed to be suitable for the time-based and the substrate weight-based irrigation management. After the developed programs were applied to the melon cultivation, the GUI, file storage and actuator control of the management program was improved. The system was redesigned, and then interface and control algorithm was upgraded. Finally the dynamic management system of water and nutrient solution was established.

As results of the project, the following programs are registered; COSNS (The control system for nutrient solution), MOSH (The monitoring system for hydroponics), EMOS (The environmental monitoring system of greenhouse), WCP (The weighing control system for plant). The guide book for the developed systems and the instruction manual of melon cultivation for high quality were also prepared.

2. Proposals for its application

- o To distribute the final report for this project to the related organizations and individuals concerned
- o Application to producers, research organizations, and greenhouse industry concerned
- o Introducing and consulting the factorial production technique for producers
- o Contribution to the scientific development by publishing research achievements to scientific journals, except for the results related to the patents
- o Application of the developed management system as teaching or research tools for the concerned people
- o Application of the developed programs technically and scientifically
- o Fostering researches to improve water use efficiency and nutrient use efficiency by the developed system

CONTENTS

Chapter I. Introduction

1. Objectives and scopes of research 1
2. Necessity of research 3
3. Research trends in domestic and foreign countries 5

Chapter II. Development of optimum irrigation regime and nutrient solution management

1. Investigation and analysis of data related substrates and nutrient solutions 6
2. Model setting for automatic irrigation and nutrient solution management 28
3. Development of optimum irrigation management system 36
4. Development of active nutrient supply system 60
5. Establishment of hydroponics production system for high quality 73

Chapter III. Development of stable production techniques for sweet melon

1. Investigation and analysis of factors related sugar content 87
2. Study in factors increasing sugar content 92
3. Development of technique to increase sugar content 108
4. Development of melon cultivation technique according to varieties and seasons 140
5. Design and application of non-destructive sugar content judgment 156

Chapter IV. Development of dynamic management system of water and

nutrient solution

1. Design of nutrient solution management system	169
2. Implementation of nutrient solution monitoring system	210
3. Implementation of irrigation and nutrient solution supply system	235
4. Application of active irrigation and nutrient solution supply system ..	261
5. Development of dynamic irrigation and nutrient solution supply system	277
References	306
Appendix : Instruction manual of melon cultivation for high quality	313

목 차

제 1 장 서 론	
제1절 연구개발의 목적과 범위	1
제2절 연구개발의 필요성	3
제3절 국내·외 연구동향	5
제 2 장 최적 관수 체계 및 전용 배양액 개발	
제1절 배지 및 배양액관련 자료 조사, 분석	6
제2절 자동관수 및 배양액 관리 모델 설정	28
제3절 최적 관수 관리 시스템 개발	36
제4절 적극적 배양액 공급 체계 개발	60
제5절 고품질 양액재배 생산법 확립	73
제 3 장 고당도 멜론의 안정 생산법 개발	
제1절 당도관련 인자 조사, 분석	87
제2절 당도 증진 인자 구명	92
제3절 당도 증진법 개발	108
제4절 품종 및 계절별 고품질 멜론 생산법의 개발	140
제5절 비파괴적 간이 당도 판별법 설계 및 적용	156
제4장 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 개발	
제1절 배양액 관리 시스템 설계	169
제2절 배양액 계측 시스템 구축	210
제3절 관수 및 배양액 공급 시스템 구축	235
제4절 적극적 관수 및 배양액 공급 시스템 적용	261
제5절 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 개발	277
참고문헌	306
부록: 고품질 멜론 재배법 교육자료	313

제 1 장 서 론

제1절 연구개발의 목적과 범위

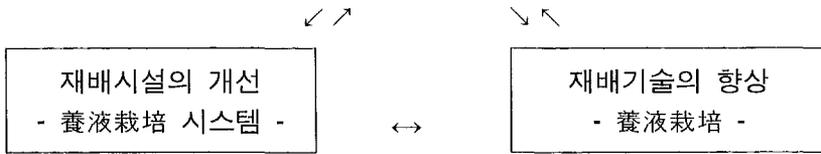
1. 연구개발의 목적

- 멜론은 高級 果實로서 생활수준이 높아감에 따라 소비가 늘 전망.
- 현재 생산되는 멜론은 糖度가 불안정하여 소비자 신뢰도 부족.
 - 재배역사가 짧아 재배환경과 생산기술이 落後.
- 品質에 대한 소비자의 요구가 관능적 평가에서 보건성, 영양성 등 다양화되고 있음.
- 생산물의 國際競爭力을 높이기 위해서는 품질 및 상품화율이 뛰어나야 하나, 선진국이 우리나라에 비해 높음.

※ 품질 및 상품화율(%)의 비교		
구 분	국 내	국 외
품질(당도)	12-14	14-16
상품화율	90 %	95 %

- 일본의 멜론(수박 포함) 輸入은 22,420M/T(27억엔)로 증가경향이나, 미국(75%) 및 멕시코(22%)에서 수입됨.
 - 국내의 경우, 미국 및 멕시코로부터의 輸入增加와 일본으로의 輸出沈滯가 우려됨.
 - 高品質, 超省力化 생산에 의해서만 일본으로의 수출 증대와 수입억제가 가능.
 - 완전자동형 養液栽培에 의하여 현 상황의 타개가 가능.
- 국제적으로 첨단생산시스템으로는 養液栽培를 채택하고 있음.
- WTO체제에 요구되는 신기술 → 高度集約的 高품질 生産技術, 생력화 기술 등.
- 國際競爭力을 위하여는 생산의 계획화, 수확의 예측화, 재배의 주년화 등이 선행되어야 하며, 또한 생산물은 균일하고, 고품질이어야 함.
- 농가소득의 증대와 농업환경의 개선을 위하여 필요한 下記의 技術이 상호 유기적이지 못함.

전천후 생산시스템 개발



- 현재 농가는 정부지원에 의해 시설 및 재배형태(양액재배)가 첨단화되고 있으나, 研究가 미진하여 현장에서의 어려움에 능동적으로 대처하고 있지 못함.
- 시설 토양재배시 問題 現況
 - 덩굴마름병과 바이러스의 피해 심각.
 - 연작지의 토양병충해 다발.
 - 생리장해 발생이 50%에 달하고 있음.
- 시설 토양재배시 栽培時期 制約.
 - 이유: 지온의 상승이 어려움 → 養液栽培로 타개 가능.

2. 연구개발 범위

가. 멜론의 최적 관수 체계 및 전용 배양액 개발

- 배지 및 배양액관련 자료 조사, 분석
- 자동관수 및 배양액 관리 모델 설정
- 최적 관수 관리 시스템 개발
- 적극적 배양액 공급 체계 개발
- 고품질 양액재배 생산법 확립

나. 고당도 멜론의 안정 생산법 개발

- 당도관련 인자 조사, 분석
- 당도 증진 인자 구명
- 당도 증진법 개발
- 품종 및 계절별 고품질 멜론 생산법의 개발

다. 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 개발

- 배양액 관리 시스템 설계
- 배양액 계측 시스템 구축

- 관수 및 배양액 공급 시스템 구축
- 적극적 관수 및 배양액 공급 시스템 적용
- 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 개발

제2절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

- 糖度の 안정화 필요.
 - 고품도 생산기술, 생산품에 대한 소비자 신뢰, 적극적 당도 증진법 개발 필요.
- 低公害 식품 생산 및 보건 식품 생산 필요.
 - 품질에 대한 소비자의 요구: 관능적 평가 → 성분, 영양가치, 저장성, 기호적성.
- 고품질, 고품생산성을 위한 植物生育의 最適化 필요 (95%).
- 동적 자동 養液栽培 시스템에 의한 작물생산의 효율성 증대 필요 (30%).
 - 재배인자의 수치화 필요 → 양액재배 복합관리시스템에 응용.
 - 기존의 불연속 자료의 체계화에 의한 관리효율 증대 필요.
 - 연작장해 완전 해소 필요 → 생산효율의 극대화.
 - 동적 자동 관수 및 배양액 관리에 의한 고품질 생산 시스템 개발 필요.
- 단위면적당 생산량 지조 → 생산조건의 극대화로 생산량 증가 필요 (30%).
 - 현재 수확량 2,184 kg/10a → 개선 2,650 kg/10a

수확량 (kg/10a) 비교	한국: 2,184 kg/10a	일본: 2,520 kg/10a
-----------------	------------------	------------------

- 超省力化 기술 필요 → 작업항목을 개선, 생략하여 省力化 필요 (25%).
- 根圏管理 필요 → 능동적 근권환경 관리 방법에 따라서 생산량 증대 (20%) 및 고품질 가능.

구분	근권관리	생산량 증대
토양재배	곤란	100
양액재배	용이	120

- 生産費 節減 → 생산 및 준비 작업의 개선에 의한 재배비용 절감 필요 (30%).

구분	토양재배	양액재배
노력(시간/10a)	667	390
생산비(원/kg)	1,232	862

- 별론 전용 培養液 구멍 필요.
- 자동화 시스템 및 복합관리 시스템과 고품질 생산기술과의 유기적 協助 필요.

2) 경제·산업적 측면

- 고품질 생산으로 輸出量 增加 및 輸入 抑制 필요.
 - 87.6 M/T(1993년) → 2,200 M/T(2001년)
- 상품의 균일화에 의해 商品化率을 국제수준까지 제고.
 - 현 상품화율 60-70% → 개선 90%
- 수확량 증가에 의한 농가 所得增大 제고 (20%) → 농촌경제 활성화.
- 고품질 규격 생산에 의한 收益性 증대 (20%).
- 단위면적당 수확량의 증가로 경지 감소를 극복.

구 분	단 위	1993년	1998년	2004년
농가인구	만명	541	429	312
농지면적	만ha	206	197	185
시설채소 생산량	만톤	176	271	395
멜론 수확량	kg/10a	2,184	2,600	2,840

- 배양액의 조절에 의해 비료 및 용수를 절감하므로써 生産費 節減 (10%).
- 단위면적당 勞動力 不足 해소 (30%), 양액재배 시스템 개발에 의한 플랜트 輸入代替 필요.
- 농업생산의 부가가치 증대에 의한 企業活動 촉발.
 - 농업 인적자원 수요 발생.

3) 사회·문화적 측면

- 3D(더럽다, 힘들다, 위험하다)로부터의 탈피에 의한 농업에 대한 概念의 轉換이 필요.
 - 신세대 농민후계자 확보, 농촌사회 활성화.
- 멜론 농가의 고소득, 作業環境 改善.
 - 농민의 삶을 질적으로 높여 都農間 격차 해소.
 - 농가의 수동적 피해의식 불식 → 과학영농 의식 고취 및 적극적 사고 고양.
- 환경조화형 농업 → 자연 및 인체에 무해한 재배에 의한 인식 제고.
- 무공해 채소의 생산과 보급에 의한 국민 보건 향상.
 - 소비자 신뢰도 증대에 의한 국산 생산물에 대한 의식 양양.
 - Bioplant에 대한 소비자 요구도 만족.

제3절 국내·외 연구동향

1) 국내외 관련기술의 현황

구분	국 내	국 외
○ 맥분의 양액제배 시스템	○ 전년도 연구결과 - 관수법설계 및 시스템제작 - 환경자동제어 기본시스템 설계 및 증량센서 개발	○ 개발하여 시행중 - 에너지 절약형, 노동력 저 투입형으로의 시도 - 특히, 근권 제어에 중점
○ 고품질 생산을 위한 지상부 및 지하부 환경의 최적화, 모델화	○ 지상부나 지하부 환경조절에 대한 개별연구는 있으나 연계연구 부족 - 환경변화에 따른 수확기, 파종기 예측이 부족 - 환경의 최적화에 생산량과 품질이 적절히 포함되지 않음	○ 지상부 및 지하부 환경의 조절로 생산성을 높이고 있음 - 온도 외에 광 및 습도, 공기조성, 바람 등에 대한 조절을 시도하고 있음
○ 양액제배시 배양액 조성 및 관리 수준	○ 수준이 미흡 - 배양액 조성이 일정하여 적당적 관리가 미흡 - 계절 및 생육단계에 따른 배양액 관리가 미흡 - 한국 특유의 기후조건에 적합한 고품질 수확물 생산체계가 미흡	○ 양액공급 및 변화를 적극적으로 시도함 - 계절별, 생육단계별, 재배과정별 배양액관리를 다변화시키고 있음 - 목적별 액비 판매
○ 재배분야와 시설 및 제어분야의 유기적 연계연구	○ 유기적 연계연구가 부족함 - 작물별, 생육단계별, 환경조건별 진단시스템 전무 - 비파괴 품질측정 및 분류 기술 전무	○ 산학연 연계연구에 의해 생산, 시설 및 제어가 이루어지고 있음
○ 양액제배 현황	○ 연구가 거의 없어 실용화되어 있지 못함 - 연구의 분산으로 농가에 적용할 수 있는 연구가 부족 - 파종에서 출하까지의 일관된, 유기적인 고부가가치 생산체계가 미흡	○ 실용화됨

제2장 멜론의 최적 관수 체계 및 전용 배양액 개발

제1절 배지 및 배양액관련 자료 조사, 분석

연구 방법

배지 내 수분함량 추이 특성, 생육단계별 배양액 조성, 멜론 환경조건별 배양액 조성 등을 조사, 분석하기 위하여 국내외 자료를 수집, 정리하였다.

양액재배 시스템은 관리시스템의 개발에 목표를 두되 기계적인 구성으로 운영을 검토하도록 하였다. 관리 시스템의 개발정도에 맞추어 기계적인 구성을 점차 전자 제어로 전환하는 방법을 취하였다.

연구 내용 및 결과

연구개발을 위하여 국내 및 일본의 유명 멜론산지 및 연구기관을 시찰하였다. 특히, 멜론전문가인 시즈오카대학의 Nukaya교수 및 멜론재배 시스템전문가인 Kano교수와 연구개발 방향에 대하여 검토하였다.

시찰처			
국내	영남지방 농가 및 영남시험장 전남지방: 나주, 순천, 광양 충남지방: 청양 농가 및 시도소	일본	시즈오카현 농업시험장 및 농가 동경대학: 문헌 및 자료 수집

1. 배지 내 수분함량 추이 특성 조사 및 분석

가. 양액재배 방식 및 배지 내 수분함량 추이 특성 조사 및 분석

양액재배는 그 방식이 다양하나, 멜론재배에서 검증된 방식은 담액수경, 박막수경, 암면, 훈탄경 등 많지 않다. 그 이유는 고품질 멜론에 대한 연구 및 생산이 주로 일본에서 이루어지고 있는데, 일본에서는 전통적으로 순수수경이 발달한 후 배지경으로 이행한 것이 오래되지 않았기 때문이다. 배지경중에서는 거의 대부분이 암면경에 국한되어 있는 것도 이유중의 하나이다.

지금까지의 연구에 의하면, 담액방식에서는 양분흡수에 제한을 가하기 어려운 관계로 그루당 총질소 흡수량이 20g 이상에 달한다. 토양재배의 경우 토양수분관리와 시비시기에 의해 양수분 흡수를 제한하고 있으므로 토경 1그루당 총 질소는 담액재배의 1/3 이하인 4.5-6g만을 흡수하여 1.5-1.8kg의 과실을 수확하고 있다. 박막수경방식도 과실의 크기는 좋으나 일부의 자료를 제외하고는 담액수경과 마찬가지로 당도가 낮은 단점을

가진다. 따라서, 토양제배이상의 품질을 얻기 위해서는 배지경을 채택해야 한다. 일본의 경우 순수수경에 대하여 시도하다가 결국 배지경으로 정착된 것이 이를 뒷받침한다.

배지의 종류를 선택하기 위해서는 각 배지의 물리화학적 특성을 인지하여야 하는데, 이들의 분석이 용이한 것은 아니며 연구자에 따라 약간씩 방법이 달라 특성의 편차가 존재한다. 특히, 배지의 특성이 제배상에서 상당히 다르게 나타나는 현상도 고려에 넣어 해석해야 한다. 펄라이트 배지를 사용할 경우 입자의 크기, 베드의 형상, 배액 방법, 충전 정도, 혼합배율, 규액관리, 근권 상태 등에 의해 특성이 나타나는 것은 흔한 예이다. 본 연구에서는 관수제어가 주된 목표이므로 배지의 특성은 실제적인 사안에 중점을 두고 배지 자체의 특성값에서 생기는 편차는 크게 염두에 두지 않았다.

생육만을 고려할 경우에는 기존에 존재하는 일반적인 배지가 모두 사용가능하나, 관수제어를 고려할 경우에는 배지에 제약을 두어야 한다. 즉, 외국의 경우 델론 양액재배에는 대부분이 암면을 사용하고 있으나 성형암면의 경우에는 단수시 수분분포가 달라지므로 단수를 할 수 없으며, 배양액 농도 조절만으로 단수효과를 주어야 하는 단점이 있다. 성형암면은 중력수의 한계인 pF 1에서는 수분량이 62%이나, 용이한 유효수분의 한계인 pF 1.7 이하에서는 3%에 지나지 않는 특성을 갖는다. 입상암면의 경우는 성형암면보다는 나으나 폐기물을 고려하여야 한다.

Table 2-1. PUR과 압면의 물리적 특성 차이

물리적 특성		압면	재생PUR	친수성 PUR (CARPENTER)	
N	물리적 인자	GRODAN PL	AGGROFOAM	저(백색)	중간(녹색)
		7.5cm H	5cm H	5cm H	5cm H
1	겉보기비중(밀도) (kg/m ³)	68	68	27	31
2	총공극량 (%)	97	93	98	98
3	수분량 (%)				
	pF 1에서	62	5	31	33
	pF 1.7에서	3	4	30	31
	pF 2에서	3	4	29	30
4	공기량 (%)	36	88	67	65
5	수분흡수 용이도 (%)	59	0.5	1.1	1.9
6	수분 완충능 (%)	0.3	0.3	1.2	0.9
7	용수량 (g/100g 건물)	1,270	1,068	987	1,264

※ 모든 배지는 미사용의 것으로 재배하지 않은 상태에서의 측정 결과임.

※ 분석은 Ghent대학의 토양물리학 실험실(교수: Hartmann)에서 수행되었음.

※ pF 1 : 중력수, pF 2 : 유효수

Table 2-2. Water and air economy in Grodan blocks, depending on height of pot and a density of the Grodan of 70kg/m³.

Height in cm	Volume % dry matter	Volume % water	Volume % air	% of pores
1.0	3.8	92	4	96
5.0	3.8	85	11	96
7.5	3.8	78	18	96
10.0	3.8	74	22	96
15.0	3.8	54	42	96

* The pH in new rockwool is 7-8 by calcium oxide.

일반적으로 사용되고 있는 배지의 특성은 아래의 표와 같다. 훈탄경이나 피트, 코코넛과 같은 천연유기배지는 사용전처리나 재배중 특성변화의 문제점을 회피하기 위하여 제

의하였다. 펄트와 코코넛 등은 100% 수입품이므로 가급적 지양하는 방향으로 나가야 할 것이다. 혼합배지는 배지의 특성 이외의 측면, 즉, 혼합시 노동력, 경제성, 배지의 불균일성 등을 고려하여 배제시켰다. 그러나, 이러한 배지에 대한 연구도 향후에는 필요할 것으로 예상된다.

Table 2-3. Base exchange capacity of substrates by G. C. S. Wilson

Substrates	BEC (m.eq/100 g)
young sphagnum peat	140-160
sedge peat	70-80
bark	70-80
inert substrates	0.1-1

Table 2-4. Density of substrates by G. C. S. Wilson

Substrates	Apparent density g/cm ³	Absolute density g/cm ³
peat	0.05-0.2	1.55
pine needles	0.10-0.25	1.90
bark	0.10-0.30	2.00
sand	1.35-1.5	2.62
perlite	0.03-0.16	2.37
vermiculite	0.08-0.13	2.61
soil	1.1-1.7	2.54

Table 2-5. Physical properties of mineral growing media according to DIN 11 542.

Substrates	Bulk density gDM/ ℓ	Water capacity g/100gDM	Pore volume %	Water capacity vol. %	Air capacity vol. %
rockwool Grodan-blue	147	105	94	30	64
rockwool Grodan	165	460	94	76	18
vermiculite 0-2mm	122	440	95	54	41
vermiculite 3-8mm	100	430	96	43	53
perlite	120	180	95	22	73
expanded clay 2-4mm	510	44	81	22	59

Table 2-6. Physical properties of pure materials by O. Verdonck et al.

Materials	Volume weight gDM/ℓ	Total pore space	Volume percent water at a suction of			Volume percent air	Volume % available water	water capacity in g/100g
			10cm	50cm	100cm			
			pF1	pF1.7	pF2			
white peat	77	94.6	67.9	34.7	27.4	26.7	33.2	1365
black peat	107	91.9	74.9	49.8	43.8	17.0	25.1	1010
bark	272	81.2	43.0	34.0	32.0	38.2	9.0	225
pine litter	129	92.5	45.3	28.4	24.5	47.2	16.9	315
cork 1-3 cm	82	94.4	7.9	7.6	7.4	86.5	0.3	214
sludge	342	76.4	64.9	58.7	58.0	11.5	6.2	-
filtercake	236	83.7	60.2	45.0	30.3	23.5	15.2	345
coarse perlite	193	90.9	23.2	19.0	17.8	57.7	4.2	156
fine perlite	64	97.0	76.6	33.7	28.0	20.4	42.9	295

- * $pF = \log_{10}$ (height cm water)
- * pF1: 중력수의 한계, pF1.7: 용이한 유효수분의 한계, pF2: 유효수분의 한계
- * Volume percent air: 진공극량 - pF1일 때 수분체적
- * Volume % available water: pF1일 때 수분체적 - pF1.7일 때 수분체적
- * Volume % water buffering capacity: pF1.7일 때 수분체적 - pF2일 때 수분체적

펄라이트는 공극이 많으며 수분이동성(hydraulic conductivity)이 충분하여 모세관 이동이 빠르나, 1000℃에서 제조하기 때문에 무균배지인 것도 장점이다. 수분 보유력이 있으면서 CEC가 낮아 양분 보유력이 거의 없는 것도 제어가 용이한 특징이다. 그러나, 입자의 크기가 다양하여 사용입자의 크기나 안정성에 주의하여야 한다. 또한, 입자분포에 따라 특성에 편차가 존재하므로 사용목적에 맞게 사용하여야 한다. 펄라이트를 크기별로 4단계로 나눌 때 가장 많이 함유되어 있는 크기는 very fine 2-50 μ(75%), fine 2-50 μ (25.4%) 50-100 μ(27.6%), medium grade 200-500 μ(36.2%), very coarse 1000-2000 μ (46.3%) 인데, 판매되고 있는 크기는 대략 medium과 coarse이나 이 등급안에서도 100 μ 이하의 미세입자가 존재하는 것을 인지하고 시스템을 구성하여야 한다.

Table 2-7. 입자별 펄라이트 물리적 특성

Materials	Volume weight gDM/ ℓ	Total pore space	Volume % water at a suction of			Air Volum %	Volume % easily available water	Maximum water capacity water/100g
			10cm pF1	50cm pF1.7	100cm pF2			
extra fine	1134	53.2	48.2	46.3	45.1	5.0	1.9	39
fine	387	81.6	81.3	73.5	50.4	0.3	7.8	231
medium fine	64	97.0	76.6	33.7	28.0	20.4	42.9	295
very coarse	193	90.9	23.2	19.0	17.8	57.7	4.2	156

세계적으로 가장 많이 사용되는 압면과 국내에서 가장 많이 사용되는 펄라이트를 비교할 경우, 압면이 중량, 공극량, 용수량 등에서 특성이 뛰어나나 관수제어를 고려할 경우에는 수분분포곡선이 가장 중요한 특성이므로 이를 고려할 경우에는 압면의 경우 급격히 수분 보유력이 저하되는데 반하여 펄라이트는 완만한 장점을 가진다. 즉, 압면에서는 급격한 단수를 행할 경우 배지내 수분함량에 변화가 너무 크게 일어나므로 관수전략을 세우기가 용이하지 않다. 압면의 경우 관수제어에 의해 일단 물길이 생기면 배지내 수분이 균일하게 분포하기가 어렵다. 따라서, 펄라이트를 일차적으로 적정 배지로 선정하였다.

Table 2-8. Physical properties of perlite and rockwool

Materials	Volume weight gDM/ ℓ	Total pore space	Volume % water at a suction of			Volume % air	Volume % available water	water capacity in g/100g
			10cm pF1	50cm pF1.7	100cm pF2			
rockwool	68	97	62	3	3	36	59	1270
coarse perlite	193	90.9	23.2	19.0	17.8	57.7	4.2	156
fine perlite	64	97.0	76.6	33.7	28.0	20.4	42.9	295

2. 펄론 생육단계별 배양액 조성 자료수집, 분석

가. 펄론의 양액재배에 사용되고 있는 배양액 종류

유럽에서는 압면재배용 PBG배양액과 벨기에의 EVRDC 배양액이 유명하다. 일본에서는 일본원시배양액, 야마자키배양액 및 시즈오카배양액 등이 주로 사용된다. 국내에는 원시배양액이 있으며 농어촌진흥공사 첨단농업광양사업소에서 개발된 배양액도 있다.

배양액 조성만으로 최적의 배양액을 선발하는 것은 용이한 일이 아니나, 머스크펠론

(일스세이누)의 생육전반기에 양면제배양 PBG배양액이나 일본 시즈오카배양액을 그대로 사용할 경우 반효과 등이 발생할 수 있다. 이는 멜론이 생육전반기에는 질소와 칼륨을 선택적으로 많이 흡수하고, 생식생장으로 넘어가면서 네트발현 및 과실비대에 필요한 양분인 Ca과 Mg을 많이 흡수하기 때문이다. 이를 보완한 것이 농어촌진흥공사 첨단농업광양사업소에서 개발한 배양액이다.

Table 2-9. 한국원시 배양액의 조성 및 비료의 소요량.

비료이름	함유량 me/l	소요량 g/t	성분	
			성분명	함유량(me/l)
KNO ₃	5	505.5	NO ₃ -N	14
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	8	944.0	NH ₄ -N	1
KH ₂ PO ₄	1	136.1	Ca	8
NH ₄ NO ₃	1	80.1	PO ₄ -P	3
MgSO ₄ · 7H ₂ O	4	493.0	Mg	4
			SO ₄ -S	4
			K	6

* EC: 2.3 mS/cm, pH: 6.5

* 작물에 따라 농도를 달리하여야 함.

Table 2-10. 일본원시 배양액의 조성 및 비료의 소요량.

비료이름	함유량 me/l	소요량 g/t	성분	
			성분명	함유량(me/l)
KNO ₃	8	808	NO ₃ -N	16
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	8	944	NH ₄ -N	1.3
NH ₄ H ₂ PO ₄	4	152	Ca	8
MgSO ₄ · 7H ₂ O	4	493	PO ₄ -P	4
			Mg	4
			SO ₄ -S	4
			K	8

* EC: 2.2 mS/cm, pH: 6.5

* 작물에 따라 농도를 달리하여야 함.

Table 2-11. 야마자키 멜론용 배양액의 조성 및 비료의 소요량.

비료이름	함유량 me/l	소요량 g/t	성분	
			성분명	함유량(me/l)
KNO ₃	6	606.6	NO ₃ -N	13
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	7	826.0	NH ₄ -N	1.3
NH ₄ H ₂ PO ₄	4	153.3	Ca	7
MgSO ₄ · 7H ₂ O	3	369.8	PO ₄ -P	4
			Mg	3
			SO ₄ -S	3
			K	6

* EC: 1.6 mS/cm

Table 2-12. PBG 멜론 배양액의 조성 (압면재배)

비료명	배양액 농도	근권 농도
EC mS/cm (25°C)	2.2	3.0
NH ₄ mmol/ℓ	1.0	<0.5
K	7.5	7.0
Ca	4.75	7.0
Mg	1.25	2.5
NO ₃	16.25	20.0
SO ₄	1.5	3.5
H ₂ PO ₄	1.25	0.8
Si	0.75	0.6
Fe μmol/ℓ	10	15
Mn	10	7
Zn	4	7
B	20	50
Cu	0.5	1.0
Mo	0.5	-

Table 2-13. 일본 시즈오카 배양액의 조성 및 비료의 소요량.

비료이름	함유량 me/l	소요량 g/t	성분	
			성분명	함유량(me/l)
KNO ₃	4.5	455	NO ₃ -N	14
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	8	944	NH ₄ -N	1
NH ₄ H ₂ PO ₄	1.2	136	Ca	8
MgSO ₄ · 7H ₂ O	2	493	PO ₄ -P	3
			Mg	4
			SO ₄ -S	4
			K	6

* EC: 2.3 mS/cm, pH: 6.5

Table 2-14. 벨기에 EVRDC 배양액의 조성 및 비료의 소요량.

비료이름	함유량 mc/l	소요량 g/t	성분	
			성분명	함유량(me/l)
KNO ₃		592	NO ₃ -N	
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O		1432	NH ₄ -N	
KH ₂ PO ₄		221	Ca	
MgSO ₄ · 7H ₂ O		320	PO ₄ -P	
K ₂ SO ₄		29	Mg	
			SO ₄ -S	
			K	

나. 양분흡수특성의 토양재배와 양액재배 비교

재배종류별 총재배기간중 벨론의 그루당 양분흡수특성은 다음과 같다.

종류	질소	인산	칼륨	칼슘	
토양재배	4.5-7g	0.6-0.9g	4.2-7.5g	3.6-6.4g	초여름재배
양액재배	6.6-12g	1.3-2.6g	7.8-15g	6-9.9g	일본원시처방

즉, 양액재배에서 양분의 흡수가 1/3-1/2 정도 많은 경향을 나타낸다.

배양액 농도에 따른 벨론의 그루당 질소 흡수특성은 다음과 같다.

배양액 농도	일본원시 1단위	일본원시 2/3단위	일본원시 1/3단위
흡수량	12g	9.8g	6.6g
흡수비(%)	48.8	58.7	85.7

또한, 近藤(1967) 8.4g, 籠橋(1978) 14.4-21.4g, 籠橋(1981) 5.2-7.4g, 狩野(1978) 4.9-12.6g, 増井(1980) 3.9-7.1g, 増井(1981) 3.4-6.5g 등으로 토양재배보다 흡수량의 범위가 넓으며, 토양재배보다 2-3배에 달한다.

질소흡수량은 양액재배에서도 재배방식, 계절, 기후 등에 따라 달라지는데, 籠橋(1978)는 담액재배에서 일본원시 1단위의 배양액을 이용할 경우 20g을 넘었다.

암면재배시 배양액 농도를 조절하면 토양재배와 같은 정도의 양분흡수특성을 나타내게 할 수 있으나 이럴 경우 생육과 품질이 불량해진다. 즉, 4월 과중한 봄재배 시 일본원시 1/3단위를 처방하면 질소 흡수량을 그루당 6.2-7.6g으로 제어할 수는 있었으나, 교배 전까지는 양분부족현상이 나타난다. 이러한 사실은 총양분량 뿐만 아니라 생육단계별, 환경조건별 배양액 조성이 필요한 것을 시사한다.

다. 생육단계별 질소의 하루당 평균 흡수속도 변화

토양재배시 교배이전에는 급격히 증가, 교배10일 후-과실 비대 성장 시기에는 감소하는 경향을 나타낸다. 그 이유는 토양재배시 수분관리를 교배이전에는 토양pF를 낮게(적습), 교배 후부터 네트 전개기(교배후 2-3주 동안)까지는 토양pF를 높게(건조)하는 경향이 있기 때문에 양분흡수가 멜론의 생육단계에 맞추어 조절되어 그 결과 작물의 생육과 과실의 발육을 조절할 수 있기 때문이라고 생각된다.

라. 생육단계별 적정 농도 구명

여름과중시 기존의 배양액 농도 관리는 다음과 같이 정식시를 제외하고는 생육함에 따라 서서히 농도를 높게 하는 것이었다. 물론 이 방법은 재배시 농도를 일정하게 관리하거나, 생육후반기에 농도를 낮추는 방법보다는 당도나 생육에 좋다. 그러나, 토양재배를 고려할 때 우측의 경우(향상)와 같이 하는 것이 성장 및 품질에 좋게 나타났다. 또한, 생육후기에는 농도를 낮추어서는 절대로 안 되는 것으로 나타났다.

생육단계	재배관리	과종후 일수	배양액 농도		금액량
			기존	향상	
육묘 개화 과실비대 내트발현	과종	0			
	이식 1	6	1.8	1.8	
	이식 2	10	2.0	2.0	
	정식	21	1.8	1.8	
	교배	38	2.0	2.4	
	적과, 과실달기	45	2.2	2.4	2.0
		53	2.4	2.6	2.0
		55	2.4	3.4	2.0
	붕지찍우기	56	2.5	3.4	2.0
	수분중단	78	3.0	3.6	2.0
	91	3.5	4.0	2.0	
	수확	92			2.0
최대과실중량			1.6kg	1.3kg	
당도			15.8	15.1	
경도			보통	단단	

배지내 배양액 주어는 EC, 질소, 칼륨이 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 따라서, 이들과 Ca, Mg를 grouping하여 제어해 나가는 방안이 검토되어야 할 것으로 사료되었다.

3. 벨론 환경조건별 배양액 조성 자료수집, 분석

가. 계절별 적정 배양액 종류

가을재배에서는 일분원시처방(EC 2.4, NO₃-N 16me)이 좋고, 봄재배에서는 시즈오카데 처방(EC 2.1, NO₃-N 8me)이 좋다.

봄재배나 여름재배보다는 가을재배시 고농도로 관리한다. 즉, 저광도 조건하에서는 양분 흡수량을 억제하는 것이 좋은데, 정확한 농도에 대하여는 밝혀진 바 없어 앞으로 연구가 필요하다.

과실의 품질면에서 고당도의 과실을 얻기 위해서는 수확 2주정도 전에 배양액 농도를 더욱 높이는 방법이 강구되는 것이 바람직하다.

2. 계절별 적정 N 농도

	NO ₃ -N	
	봄 재배	가을재배
정식 ~ 적심 후 교배기	8	8
교배 후	13-16	16
생육 후기 ~ 수확기	8	10

4. 양액재배 시스템 설치 및 가동

가. 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 설계 및 구축

1) 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 설계

시판되고 있는 제품을 참고하여 배양액 공급 시스템을 설계, 구축하였다. 장치는 크게 4부분 즉, 용수공급부분, 농축배양액공급부분, 배양액공급부분 및 재순환부분으로 나누어 개발하였다. 장치의 개략적인 모식도는 그림 2-1과 같다.

○ 용수공급부분: 용수(지하수, 수도, 빗물 등)를 받는 용수통은 온실내에 두어 액온이 항상 식물이 원하는 온도범위에 있도록 하였다. 용수는 이물질이 많을 가능성이 있으므로 여과기를 병렬로 설치하여 공급의 단절이 없도록 배려하였다. 용수에 철분 등 침전을 일으키기 쉬운 물질이 많을 경우에는 용수통에 폭기장치를 설치하여 용수통내에서 침전을 만들 수 있도록 배려한다. 배양액 혼합통의 수위센서에 의해 용수공급펌프가 작동하여 공급되도록 하였다. 혼합통의 보수, 급액관의 청소 등의 경우를 대비하여 용수공급관에서 직접 급액관으로 용수가 공급될 수도 있게 하였다. 용수펌프가 정지하여도 압력이 없어질 때까지 용수가 혼합통내로 들어가는 현상을 방지하기 위하여 여과기 다음에 전자변을 장착하여 정밀하게 제어가 되도록 하였다.

○ 농축배양액공급부분: 정량펌프를 이용한 방식은 정밀도는 높으나 다량의 배양액을 단시간에 공급할 경우에는 용량이 부족한 결점을 갖고 있으며, 벤츄리형 등은 정밀도가 낮은 관계로 농축배양액을 공급하는 펌프는 항상 작동시키다가 3방변을 이용하여 원하는 경우에만 혼합통으로 공급되게 하거나, 작동후 일정시간후에 3방변을 통하여 공급되게 하였다. 배양액의 pH를 조절하는 펌프는 2개를 장착하여 pH의 시간에 따른 예기치 않은 변화도 보정하도록 하였다.

○ 배양액공급부분: 배양액 공급을 제어하는 센서로는 일사계, pH센서, EC센서, 유량계 등을 기본으로 장착하되, 열화가 빠른 pH 및 EC센서는 병렬로 장착하고 보수할 경우에도 장치가 원활히 작동되도록 배려하였다. 공급제어는 시간제어와 일사제어를 병행할 수

있게 하였다. 일회에 공급하는 액량도 제어하도록 하였다. 농가와 달리 정밀한 제어를 요구하는 경우를 위하여 급액관 속에 들어 있는 배양액만큼의 오차도 없애기 위하여 새로운 배양액 조성이 공급된 경우에는 급액관내에 존재하는 배양액을 회수하는 라인을 배려할 수 있도록 하였다. 급액관은 16개까지 설정할 수 있도록 하였다. 혼합통내의 배양액의 교환을 별도 장치없이 가능하도록 바이패스를 구성하였다.

○ 재순환부분: 폐지경중에서 순환식의 경우에는 배액의 집액통에서 일정수위가 되면 혼합통으로 재공급되도록 고안하였으며, 이 경우 혼합통의 수위는 비순환식에서의 수위 제어체계와는 별도로 작동되게 하여 옵션으로 장착하도록 하였다. 집액의 공급관을 용수의 공급관과 연결하는 경우에는 집액통에 배액이 없을 경우 펌프가 공운전을 할 염려가 있으므로 직접 혼합통으로 유입되도록 하였다. 재순환부분은 기계식으로 개발하여 본체의 자동장치와는 완전히 별도 구성이 가능하도록 하므로써 농가의 선택폭을 높이는 동시에 제어가 용이하도록 하였다. 즉, 순환식의 경우라 하더라도 초기 혹은 비상시에는 재순환되지 않는 것이 좋은데 이 경우에도 제어장치를 변경하는 것은 오히려 불편을 가중시킬 수 있으므로 별도 제어가 바람직한 것으로 보았다. 순수수경의 경우에는 배양액의 공급량의 상당부분이 재순환되므로 혼합통을 집액통으로 하고 부족분은 용수통에서 공급되도록 하였다. 이 경우 새로운 제어알고리즘을 작성하는 번거로움을 없애기 위하여 기계적으로 변경할 수 있도록 고안하였다.

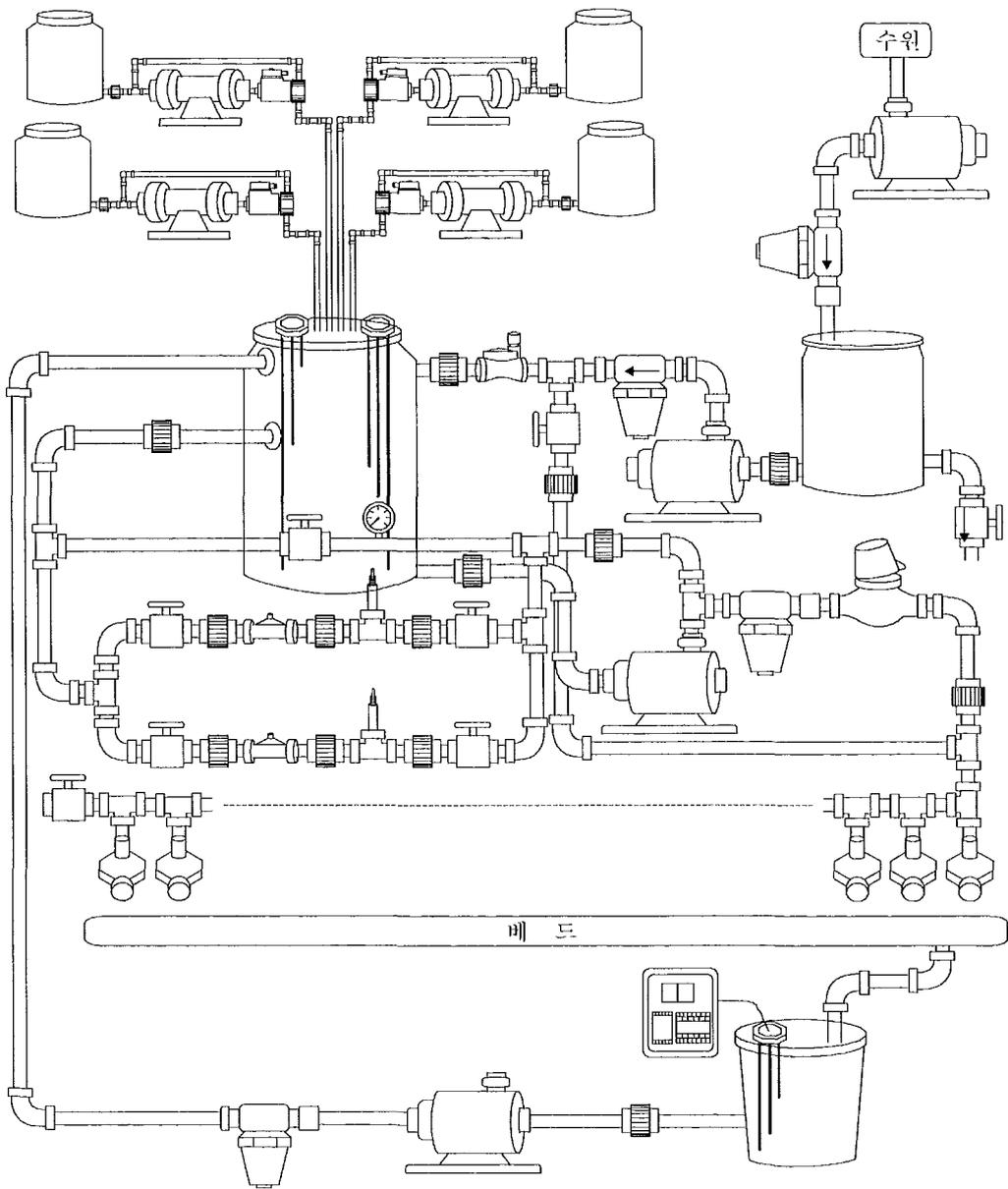


Fig. 2-1. 배양액 공급 시스템의 개략적인 모식도

2) hardware 사양 결정

품목	제원	수량	비고
용수통	60ℓ 고무통	1	
용수펌프	별도 구입	1	
혼합통	60ℓ 고무통 상부에 평평한 부분 요	1	
집액통	40ℓ 고무통 상부에 평평한 부분 요	1	
급액펌프	용수펌프와 같음	1	
필터	∅20mm, disk filter	2	
유량계	∅20mm, 2.5m ³ /hr	1	
압력계	0-6kgf/cm ²	1	
농축펌프	모델명: PM-015NM, LG전자	8	
pH sensor 및 transmitter	output 4-20mA	2	
EC sensor 및 transmitter	output 4-20mA	2	
수위조절기	우끼 전자	1	용수통
		2	혼합통, 집액통
전자밸브	24VAC	16	급액 16
one-way valve	∅20mm	1	
three-way valve	∅13mm	8	
coupler		11	농축액 5 pH 3 용수 1 bypass 1 순환 1
유니온분배브	∅20mm	7	용수 1 bypass 2 배액 4
급액관	관: ∅20mm 부속 호스 집착제 방수테잎		
전기관련	전선, 터미널, 테잎 등		
붙	알미늄		
기타 자재			

○ 용수펌프 및 급액펌프의 제원

흡상고 및 압상고: 5m이상, 양수량: 20L/min 이상(운양정 5m이상일 때)으로 기준치에 가장 근접한 것 LG전자의 전기(우물)펌프, 사용장소: 옥내용, 정격전압: 220V, 절연종류: B종, 용도: 농공업 및 해수용, 상: 단상, 흡입토출관:15-22mm

○ 액비펌프 (모델명: PM-015NM)

정격소비전력: 39W, 최고온양정 4.5m, 양수량: 7L/min 이상(온양정 4m일 때), LG전자의 전기펌프, 사용장소: 옥내용, 정격전압: 220V, 절연종류: E종, 상: 단상, 사용온수 온도: 90℃이하

3) 적정 급액 제어법 결정

배양액의 공급은 식물의 요구도에 맞추는 것이 이상적이므로 식물에 따라 급액량을 정하는 것이 바람직하겠으나, 현재 식물개개의 요구에 맞추어 급액할 수 있는 시스템은 현실적으로 없다고 하여도 과언이 아니다. 현재 이용되고 있는 급액 조절법으로는 타이머 제어, 일사량에 의한 컴퓨터 제어, 수분센서 혹은 수위센서에 의한 제어, 증발산량에 의한 제어, 및 이들을 적절히 혼합한 혼합제어 등이 있다. 제어방식에 관계없이 급액제어는 식물생장을 최적의 상태로 유지하되 배양액의 손실을 최소화하여 하거나(비순환식의 경우) 혹은 품질을 높이기 위하여 행한다. 급액의 제어는 순환식에서는 비교적 간단하나 비순환식에서는 배액량 및 배지내 양액존재등을 고려해야 하기 때문에 어렵다. 비순환식 배지경의 경우, 배지 내의 수분 함량은 피드 백(feed back) 회로에 의해 언제나 최적 조건을 유지하는 것이 좋은데, 타이머나 일사량에 의한 방식은 어디까지나 간접적인 제어방식이며, 직접제어법은 가격이 높은 결점이 있어 생산환경에 알맞은 방식을 택해야 한다.

나. 다음은 자료 조사에 의한 급액 제어법의 종류이다.

1) 타이머 제어법 (control by time clock)

급액 조절법중 가장 저렴하고 간단한 제어방법으로, 타이머를 이용하여 급액할 시간을 설정해 두고 마그네트를 경유하여 급액펌프를 연결하는 것으로 급액시스템 설정이 끝난다. 설정은 배지의 용량이나 보수력등의 배지특성, 식물의 성장특성, 환경특성 등에 맞추어 행해지는데, 일사량이 강하고 온도가 높은 시간(혹은 시기)에는 자주(혹은 길게) 급액하도록 하고, 반대인 경우에는 약간만 급액되도록 설정해 두고 작동시키는 것이 일반적이다. 시간간격이나 일회 공급하는 급액량은 상황에 따라 맞추어주어야 함은 물론이다. 그러나, 이 방식은 작물, 품종, 생육단계 및 계절에 따른 급액 조절이 곤란하고, 비순환식 배지경에서 급액량의 과부족 현상이 자주 나타나는 결점을 지닌다. 반면에 설치와 조작이 간단하고 저렴하여 대부분의 경우에 사용되고 있다. 식물자체의 정보와 기상자료가 충분히 구비되었을 경우에는 이에 관한 데이터베이스를 구비한 컴퓨터를 이용하여 비교적 적당하게 제어할 수는 있으며, 이러한 관점에서 급액량과 급액회수에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다.

2) 일사량 제어법 (control by light integrator)

고형배지경에서 광도계를 이용하여 급액량과 횡수를 정하는 방식으로, 이는 작물의 흡수량과 일사량과의 밀접한 관계를 이용하여 하루 일사량의 시간적 변화에 따라 일정한 적산 일사량에 도달하면 급액될 수 있도록 하고 1회 급액량은 작물의 생육 상황에 따라 증산량을 추정하여 급액시간으로 조절하는 방법이다. 이 방식에서는 광센서, 온도센서 및 컴퓨터를 필요로 한다. 이 방식에 의하면 밤에는 적산일사량이 없으므로 배양액이 공급되지 않게 되는데, 일반적으로는 밤에도 급액할 필요가 있는 경우가 많으므로 타이머 제어 방식과 겸용하는 경우가 많다. 또한, 일사량에 의존하는 경우에는 식물이 요구하는 급액량과 공급량 사이에 지연시간(time lag)이 발생하게 되므로 주의해야 한다. 즉,동이 터서 일정한 적산일사량이 될 때까지는 급액이 되지 않거나 적는데 이 때 식물의 흡수속도는 왕성해지므로 일시적인 수분결핍이 생기게 된다. 토마토의 경우 낮에 왕성하게 성장한 후 밤에 수분결핍이 생기면 뿌리의 활력이 떨어지거나 EC가 높아져 배꼽썩이가 발생할 가능성이 있다. 또한, 극단적이기는 하지만 맑은 후 비가 오는 경우에는 비가 오고 있음에도 불구하고 그 이전에 적산된 일사량에 의하여 급액이 되는 현상이 생길 수도 있다. 이러한 결점을 회피하기 위하여 기본적으로는 타이머 제어를 하되 일사량이 강한 한낮에만 일사량 제어법을 이용하거나, 반대로 일사량에 주로 의존하되 타이머 제어를 일부분 가미하는 방식을 실제로 많이 사용하고 있다.

멜론의 경우, 그루당 최대 양수분 흡수량이 4월 정식 6월 수확의 반촉성재배에서는 2.5ℓ, 9월 정식 11월 수확의 억제재배에서는 2.1ℓ 정도인데, 계절별 및 생육단계별로 일사량과 급액량의 관계를 명확히 하여 관리하여야 하며, 농가에서 이를 실행하기란 쉬운 일이 아니다.

3) 직접 배지 내의 수분 함량을 이용하는 제어법(control by direct sensing of medium)

급액량과 급액시기를 정확히 제어하려면 직접 배지 내의 수분 함량을 검사하는 것이 좋은데, 직접 제어법은 가격이 높아 현재 국내에서는 거의 사용되고 있지는 않지만 향후 일반화될 것으로 사료된다. 검사방법에는 전극법, 중량법, 수분센서법 등이 쓰인다.

4) 중량법 (control by weight sensor)

중량법은 중량센서를 이용하여 배드의 무게 혹은 배드로부터 흘러나온 배액의 무게를 측정하여 급액을 제어하는 방식으로 여러 가지 변형된 형식이 있다. 배드를 저울 위에 올려놓고 재배하는 방식은 식물의 무게변화가 적거나 지주를 사용하는 경우에 이용될 수 있다(토마토, 오이, 멜론). 이 경우에는 식물이 배지에 가하는 무게가 경시적으로 변화하므로 급액점을 계속 보정해 주어야 한다. 급액점을 보정하기 위하여는 식물의 생장모형을 이용하는 방법이 있으며, 또한 배지에서 배액되는 양을 측정하는 방법이 행해

지고 있다. 배액을 집수 용기에 받아서 그 무게를 측정하므로써 제어하는 배액중량법에 서는 집수용기내에 들어온 배액을 측정후 제거하기 위하여 집수용기를 배드와 수평을 이루게 하여 배지내로 다시 흡수되도록 하거나, 별도의 배수장치를 이용한다. 배액량을 측정하는 것이 아니라 배액이 밀어 올린 압력으로 급액량을 조절하는 방식도 있으나 제어의 정밀도가 낮다.

5) 전극법 (control by water level sensor)

배액을 측정용기에 들어가게 하고, 측정용기에는 일정한 위치에 전극을 달아서 급액을 제어하는 방식이다. 측정용기와 배지 사이는 친수성부직포와 같은 것으로 연결하여 배액의 출입이 연관성을 갖게 한다(모세관 현상이 원활한 것을 사용하여야 한다). 용기내 전극은 2 혹은 3개를 사용하는데, 배액이 위쪽의 전극에 닿을 정도로 나오면, 전기가 통하게 되어 급액장치의 동작을 멈추게 하고, 반대로 용기에 있던 배액이 배지로 들어가 감소하여 아래쪽의 전극 아래로까지 내려가면 급액된다. 이 때 두 전극사이의 간격을 설정하는 것이 중요하다. 전극법은 3점점 수위센서만으로도 구성할 수 있는 등, 중량법에 비하여 시스템 구성이 용이하고 가격이 저렴하기 때문에 직접 측정법 중에서는 가장 많이 사용되고 있는 방식이다. 이의 변형으로 측정용기에 배액이 들어와서 일정 수위에 도달하면 급액을 중단하고, 용기에 들어온 배액은 배출시키는 방식도 있다. 이 경우 배드를 수평으로 유지하는 것이 중요하다. 이 방식은 급액의 중단시기만을 제어하므로 급액설정엔 타이머와 같은 방법을 사용한다. 전극법의 종류는 여러 가지이지만 기본적으로 배액을 측정하는 방식이므로, 댈론에서와 같이 배액이 없을 정도로 극단적인 수분관리를 하는 시기가 있는 경우에는 적합하지 않다고 할 수 있다.

6) 수분센서법 (control by moisture sensor)

배지에 직접 수분센서를 꽂아 배지내 수분함량을 측정하는 방식과, 식물체내의 수분함량을 측정하여 제어하는 방식이 있다. 배지의 수분센서로는 전기저항 또는 정전용량을 이용하는 것이 많이 이용된다. 수분센서를 이용할 경우에는 다음과 같은 사항에 주의해야 한다. 첫째, 배지에 따라 수분의 수직분포특성이 다르므로 센서의 위치가 중요하다. 둘째, 센서의 출력값이 상대치인 경우에는 배지자체의 유효수분 함량을 기초로 한 급액시점을 설정해야 한다. 셋째, 센서값은 국부적 상태를 나타내므로 이 값이 전체를 대변하여야 한다. 이를 위하여 복수개의 센서를 사용하거나 구역별 제어를 하여야 한다. 최근에 고품배지 내의 수분 함량을 검사하는 수분센서가 연구·시판되기 시작했다. 이 중에는 하루 작업이 끝난 후에 배지 내의 수분을 측정하여 적정량보다 많거나 적으면, 다음날에는 보정하여 관수하는 간단히 제어방식도 있다. 그러나, 아직까지는 센서의 수명, 가격, 배지와 밀착성, 배지내 절대수분함량 등의 이유로 고품배지경에 안

쉽하고 사용할 수 있는 수분측정기를 구하기는 어려운 실정이다. 식물체내의 수분함량을 측정하여 제어하는 방식은 식물의 반응을 신속하게 반영한다는데 장점이 있으나, 고가인 것이 걸림으로 현재 연구용으로 주로 이용되고 있다.

이상과 같이 여러 가지 금액 제어법이 있는데, 작물, 재배방식, 사용자의 운영능력, 경제성 등을 고려하여 선택하여야 한다. 본 연구의 특성상 멜론은 관수계획을 엄밀히 정하여야 하므로 타이머법은 적당하지 않다. 일사량 제어법의 경우 멜론의 생장에 따른 관수모델이 정확해야 하는데 인공지능을 이용한 관수법은 현 시점에서는 정확도를 기하기가 용이하지 않다. 수분센서법은 고가이며 내구성 및 안정성에서 적합하지 않다. 배액측정법은 배지나 재배시스템의 종류에 따라 금액후 배액되는 시간에 차이가 있으며, 또한, 배지내 함수율의 차이에 의해 지연시간이 존재하게 된다. 비가 온 후 일정 시간후에 한강의 수위가 올라가듯이 금액후 일정시간후에 배액되므로 정확한 배액율을 측정하기가 곤란한 단점을 가진다. 따라서, 배드의 중량을 측정하는 방법을 본 시스템에 적용하기로 하였다.

다. 재배베드 설계 및 설치

1) 재배베드 설계 및 설치

관수계획을 설정하고 관수시스템의 성능을 평가하기 위하여 재배베드를 구축하였다.

배지: 펄라이트

베드 배열: 4열×5단위베드

단위베드의 사양: 가로 117 × 세로 34.5 × 깊이 14.5 cm

2) 재배방법

가) 정식방법: 1조식(주간 40 × 주간)

나) 정식시기: 여름과종의 경우 15~18일 정도(본엽 2~3매), 가을과종에서는 20~23일 정도(4~5매 정도). 정식은 맑고 바람 없는 아침 일찍부터 시작한다.

다) 관수체제: 주당 노즐을 2개로 하고 1일 6회 금액을 맑은 날 표준으로 하여 중량법에 의한 제어를 시행한다.

라) 정지 및 휴인: 이미줄기가꾸기, 1과수확, 착과위치 11-13절

3) 중량센서 설계 및 설치

가) 중량센서 사용 환경특성

사항	배지 종류		비교(범위)
	perlite	PUR	
베드의 바닥면적	4043.4 cm ²	1480 cm ²	4500 cm ²
베드의 높이*폭*길이	14.5*34.5*117.2 cm	5.5*14.8*100 cm	
베드의 무게	0.6kg	0.6kg	50 kg
베드+배지의 무게	11.6kg	1.4kg	
베드+배지+ 배양액무게	24.3kg	1.8kg	
생육초기의 무게	20-25kg	1.4-2.8kg	
생육중간정도의 무게	25-30kg	2.8-7.8kg	
최고 무거울 때의 무게	30-35kg	7.8-12.8kg	
센서작동시 대기 온, 습도	기온 10-40℃ 상대습도 40-90		
정밀도	10g		

나) load cell 제작시 고려할 사항

load cell을 electronics하는 것 자체가 연구과제이다. load cell의 정밀도에 영향을 주는 것으로는 온도, 습도 등의 환경요인과 재배요인(점적관, 식물, 배지량변화 등), 저울장치 내 소자들의 정도 등 많이 있기 때문에 0.5% 이상의 정도를 주는 것은 상당히 어렵다. 예를 들어, A업체의 경우 10톤의 양에서 50g의 정도를 갖는 저울을 개발하는 데 4억의 개발비가 소요되었다. load cell에서의 값을 저항에 의해 증폭시켜야 하는데 이때 사용하는 저항이라든가, 또한, load cell의 출력값을 software적으로 다듬어주는데 이때의 software의 수준 등에 의해서도 정도가 달라진다. software에서는 여러 가지 가정이 들어가는데(예를 들어 저항 4개의 저항값이 같다라든지) 이러한 가정들이 사실은 다르므로 여기에서도 정도를 떨어뜨린다. 이러한, 여러 가지 이유 때문에 기본중량을 줄이는 방안이 강구되어야 하는데, 도르래 같은 것을 사용하는 경우에는 마찰력 때문에 정도가 떨어지므로 직접 측정하는 것이 바람직하다. 배지수분의 직접측정법은 종류에 관계없이 시설 내부의 작물전체에 대한 대표치로서의 의미를 갖고 측정되기 어려울 뿐 아니라, 적절한 중량을 설정하기가 어렵다. 따라서, 식물을 지지하지만 식물의 중량변화를 정확히 아는 방법을 고안해야 한다. 본 연구에서는 반복실험을 통하여 센서의 정확성을 기할 계획으로 있다.

다) 장치: strain gauge type의 load cell, 고감도 신호처리회로

설치방법: 재배조의 4개 모서리에 load cell을 부착하여 각 셀이 배드중량의 1/4을 담당하도록 하였다. load cell의 작동에 필요한 인가전압을 공급하고 계측치를 데이터 수집장치에 입력하기 적합한 범위로 증폭하기 위하여, 기준전압 diode와 계측용 증폭기를 이용

한 증폭기를 제작하여 사용하였다.

베다는 방식의 측정장치는 기구적인 복잡성, 빛의 일부를 차단한다는 점, 생육에 물리적인 장애를 줄 수 있다는 점, 점멸도가 저하된다는 점, 베드의 수평유지 등의 문제점이 있으므로 바람직하지 않아 직접측정으로 하였다.

라) 중량시스템 정확도 검사

제작된 중량시스템에 20kg 분동을 올려놓고 중량값을 calibration한 후, 증류수를 이용하여 weighing system의 정확도를 검사하였다. 증류수 100ml의 무게를 측정된 후 dispenser를 이용하여 weighing system에서 20g부터 16,670g까지 측정하였다. 이때 바람이 불어서 생기는 무게의 변화를 고려하여 측정부위를 밀폐시킨 후 측정하였다. 검사 결과를 직선회귀한 결과 기울기 값은 0.993으로 거의 1의 수준이며 상관계수가 1이었으므로 weighing system으로 무게를 측정하는 것은 정확한 것으로 판단되었다.

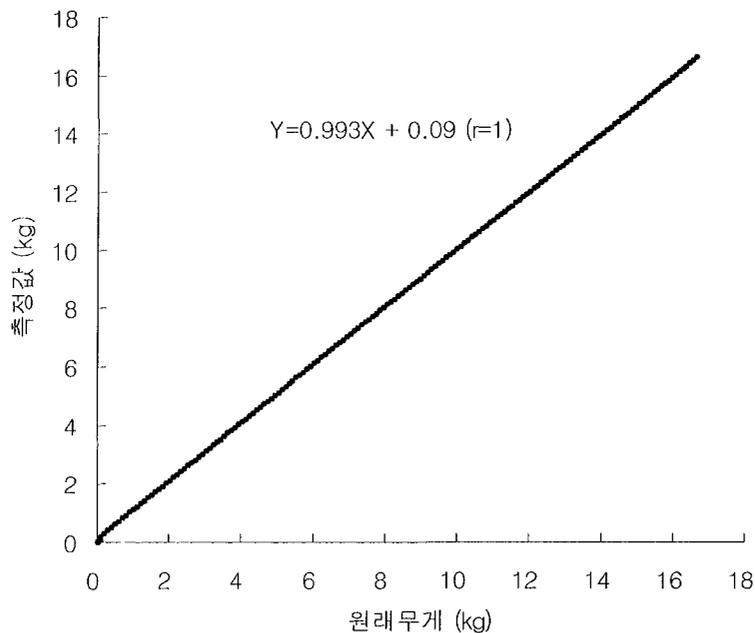


Fig. 2-2. 중량시스템 정확도 검사

마) 안정성 검사: 개발된 장치의 안정성을 검증하기 위하여 작물을 재배하는 상태에서

계속 검사하고 있다.

바) 배지내 적정수분함량 검사: 식물을 심어놓고 최대용수량에서 영구위조점까지의 범위에서의 증량변화를 검사하여 범위를 설정할 계획이다.

제2절 자동관수 및 배양액 관리 모델 설정

1. 배지내 수분함량 추이 특성 모델 설정

연구 방법

멜론의 양액재배에 사용가능한 것으로 알려진 압면, 펠라이트, 피트, 유리섬유, 화산재, 코코피트, 폴리우레탄, 경석 등의 양액재배용 배지의 수분함량 추이 특성을 분석하였다. 사용된 배지는 국내 생산품 및 수입품이었으며, 각 배지 종류별 구입특성에 따라 분석에 사용된 수에 차이가 있었다. 분석에는 멜론이 심겨져 있지 않은 배지만을 사용하였다. 수분장력특성은 석고블록을 이용하였다. 장력은 온도센서(Pt100)를 이용하여 보정하였다.

연구 내용 및 결과

관수전략을 수립하기 위해서는 뿌리가 흡수할 수 있는 정도를 나타내는 장력과 관수량을 측정할 수 있는 수분함량과의 관계를 아는 것이 중요하다. 수분장력곡선은 배지의 종류, 입자의 크기 등에 따라 차이가 있는데, 혼합배지를 사용하는 경우에는 더욱 특성이 다양해진다. 멜론은 수확기에 pF 2.5-2.9까지 관리하므로 이 범위에서는 소량의 수분을 함유하는 배지가 적합한 것으로 사료된다. 또한, 생장기에는 pF 1.5-2.0 사이에서 주로 재배되므로 이 부분에서 수분분포특성이 안정되어야 좋다. 몇 가지 양액재배용 배지의 수분함량 추이 특성을 분석한 결과, 유리섬유는 pF 1.0과 1.5 사이에서, 폴리우레탄은 pF 0.5와 1.0 사이에서 수분함량이 급격히 변하여 그 이상에서는 거의 수분을 함유하지 못하는 특성을 보였다. 화산재는 관수량이 충분한 경우에도 수분함량이 적은 특성을 보였다. 코코피트는 전반적으로 수분을 많이 함유하는 특성을 보였다. 경석은 종류에 따라 차이가 있으며, 변화가 크지 않은 특성을 나타냈다. 펠라이트는 입자의 구성비에 따라 차이가 있었으나 pF가 증가함에 따라 서서히 수분함량이 감소하여 pF 3.0에서는 15% 정도의 수분함량을 나타냈다. 일본에서 가장 많이 사용되는 압면은 일반용보다 보수성을 증대시킨 배지가 수분함량의 변화가 안정되는 경향이 크기는 했으나 pF 2.0 이상에서는 거의 수분을 함유하지 못하였다. 피트는 채취하는 장소 및 깊이 등에 따라 특성이 일정하지 않은 특징을 가지는데, 전반적으로 수분함유량이 높은 것으로 나타났다.

현재 사용되고 있는 배지들의 수분장력특성을 분석한 결과, 멜론에서 특히 강조되는 pF 2.5-2.9 사이에서의 수분함유량은 펠라이트 배지가 가장 적합한 것으로 나타났다. 펠

라이트 배지의 경우 입자의 비율에 따라 수분장력곡선이 달라지는 것은 물론, 제배중 입자의 이동, 뿌리생장, 뿌리분비물, 비료에 의한 영향 등에 따라서도 변화하는데, 펄라이트 제배에서 가장 문제시되는 것은 입자의 이동이므로 제배기간중의 안정성을 고려하여 앞으로의 제배에서는 낮은 입자의 분포가 높은 것을 사용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

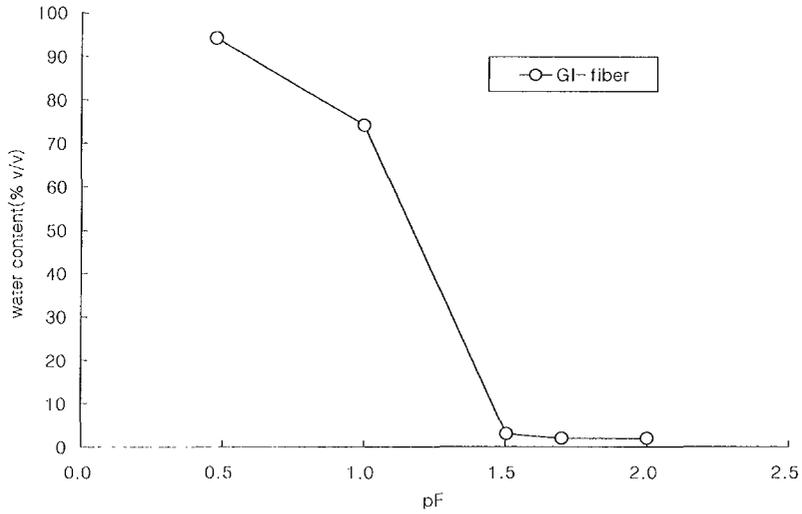


Fig. 2-3. 유리섬유(Glass fiber)의 수분장력 곡선

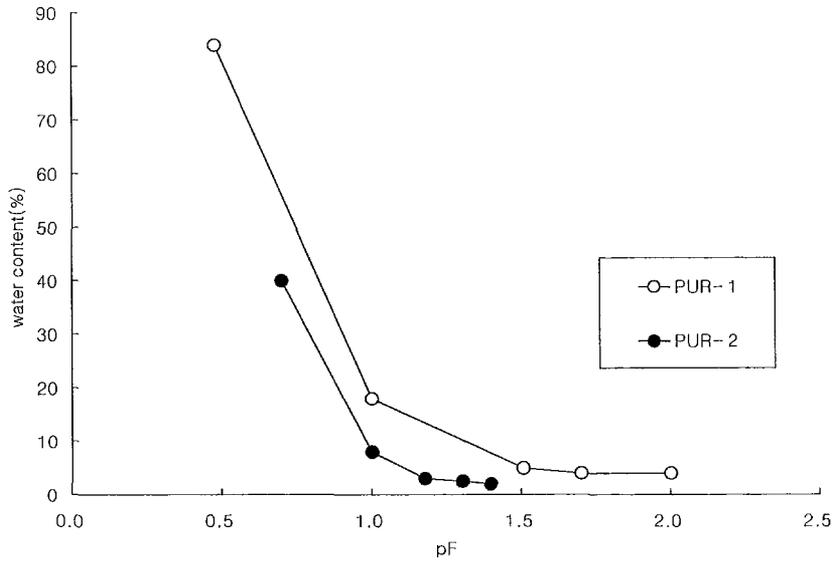


Fig. 2-4. 폴리우레탄(Polyurethane)의 수분장력곡선

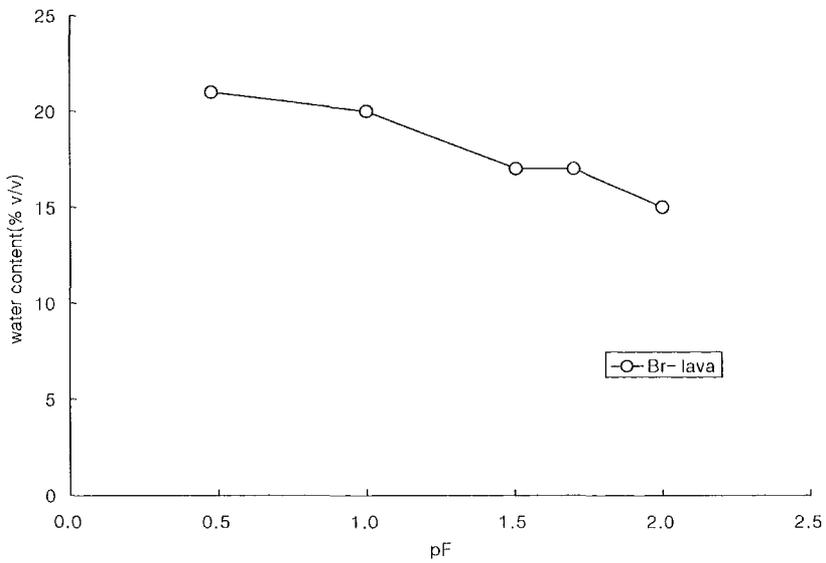


Fig. 2-5. 화산재(Broken Lava)의 수분장력곡선

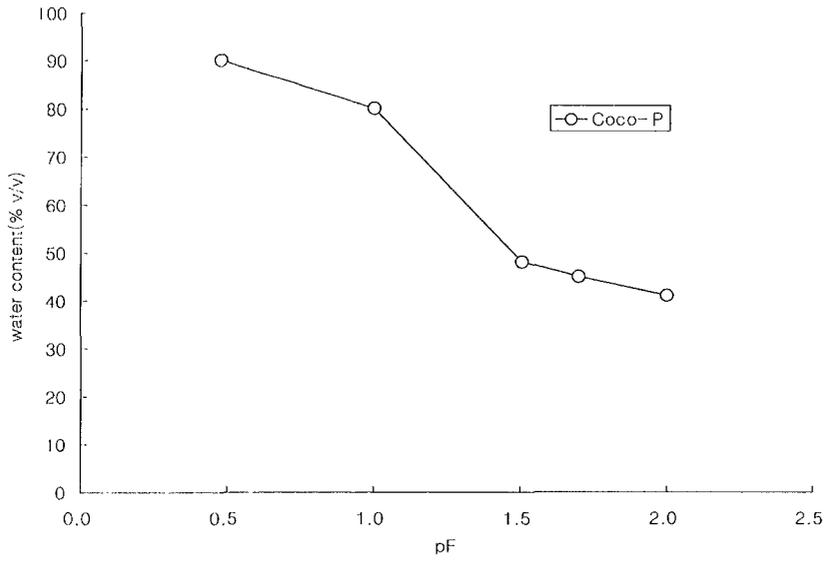


Fig. 2-6. 코코피트(Coco peat)의 수분장력곡선

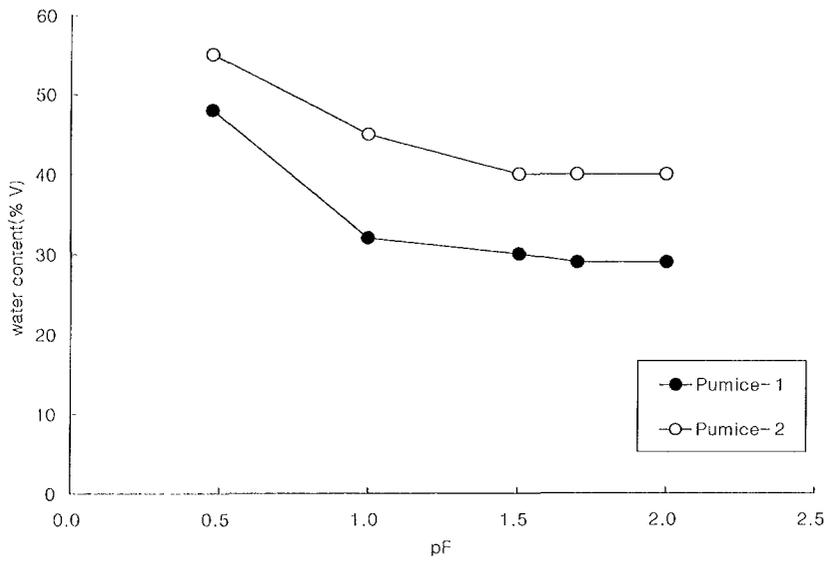


Fig. 2-7. 경석(Pumice)의 수분장력곡선

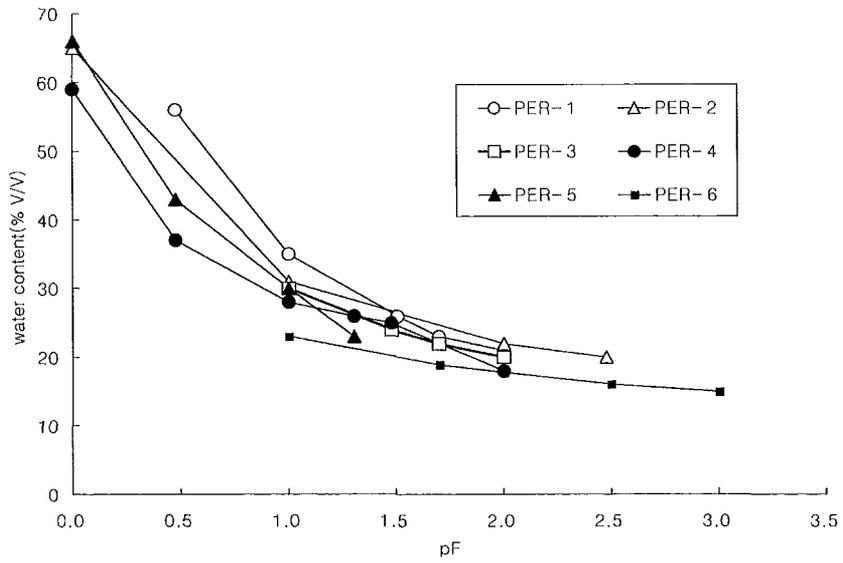


Fig. 2-8. 펄라이트(Perlite)의 수분장력곡선

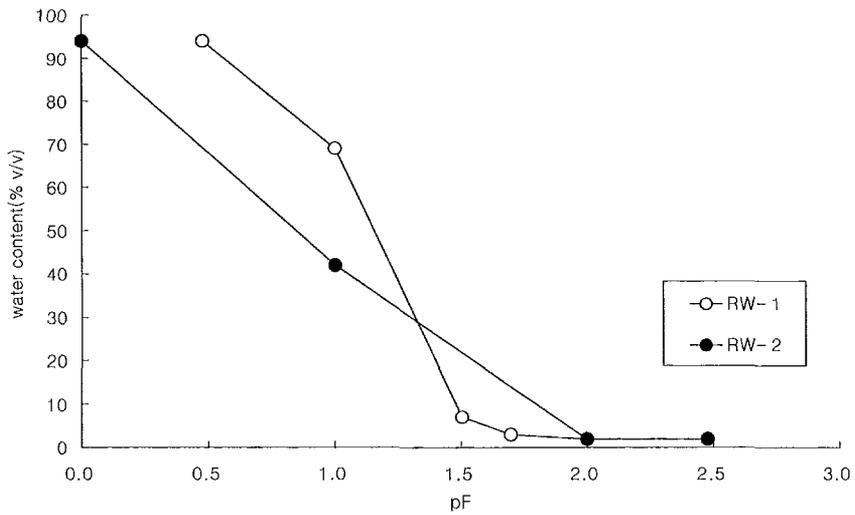


Fig. 2-9. 암면(Rockwool)의 수분장력곡선

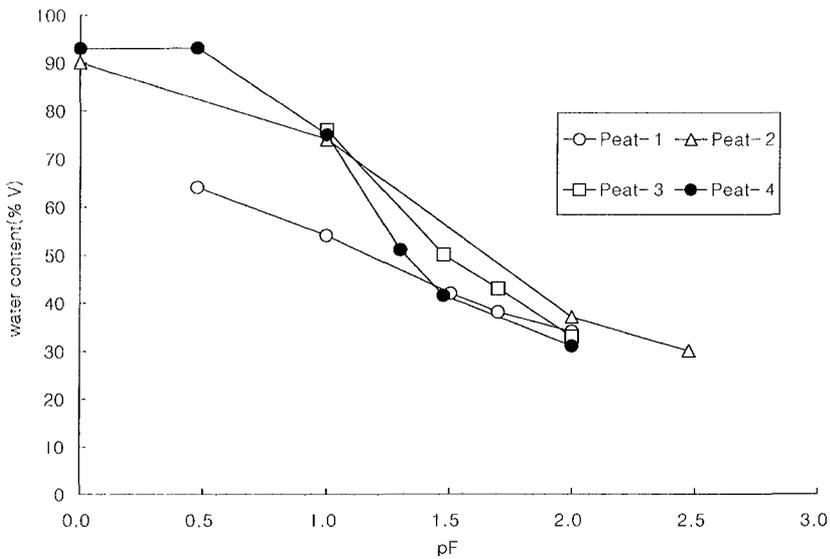


Fig. 2-10. 피트(Peat)의 수분장력곡선

2. 고히미지경시 전용 배양액 관리 모델 설정

연구 방법

중량법에 의하여 배양액을 관리하기 위해서는 수분의 무게를 기준으로 급액제어를 하므로 장력과 수분함량의 관계식을 구명할 필요가 있다. 장력에는 석고블록을 이용하였으며, 수분함량은 본 연구에서 개발하고 있는 load cell에 의한 중량법을 이용하였다. 배양액의 농도에 따라 관계식에 약간의 차이가 생길 수 있으나 미약하므로 관계식에서는 이를 무시하였다. 제이계측용 프로그램(IGAS)을 이용하여 자료를 분석하였으며, 기존의 생육최적 장력 함수를 이용하여 모델을 설정하였다.

연구 내용 및 결과

중량법에 의하여 배양액을 관리하기 위해서 수분의 무게를 기준으로 장력과 수분함량과의 관계식을 실험한 결과 다음과 같은 관계를 구하였다. 멜론 생육과 배지내 pF와의 관계를 보면, 생육은 sigmoid 성장곡선을 나타낸다. 생육에 따른 배지내 pF값은 교배기, 연화기, 수확기 등에 따라 다르게 설정하였다. 중량제어를 위하여 생육단계별 배지내 수분함량을 구하였으며, 이를 이용하여 실제 배드 중량을 설정하였다. 이 중량은 중량제어의 급액점을 나타내며, 이 특성을 이용하여 수확기에 pF 2.5-2.9에 해당하는 중량을 기준으로 연구를 진행하였다.

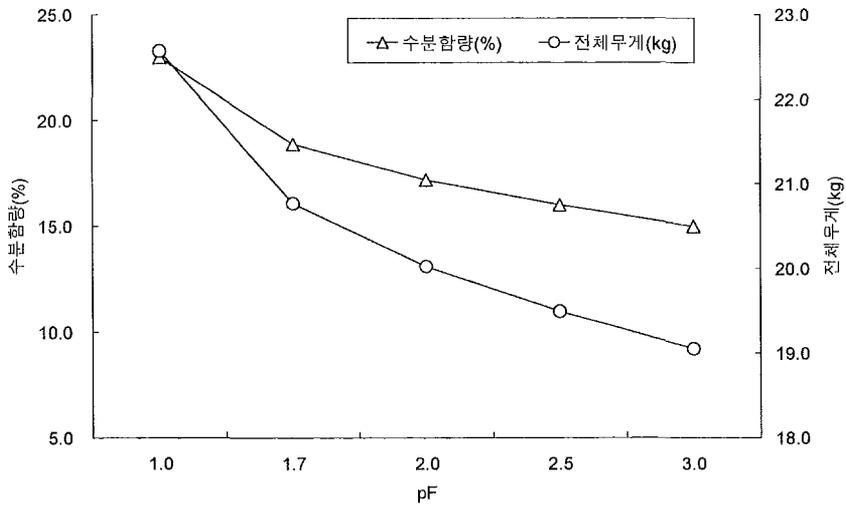


Fig. 2-11. pF 값에 따른 수분함량(%) 및 배드무게(kg)

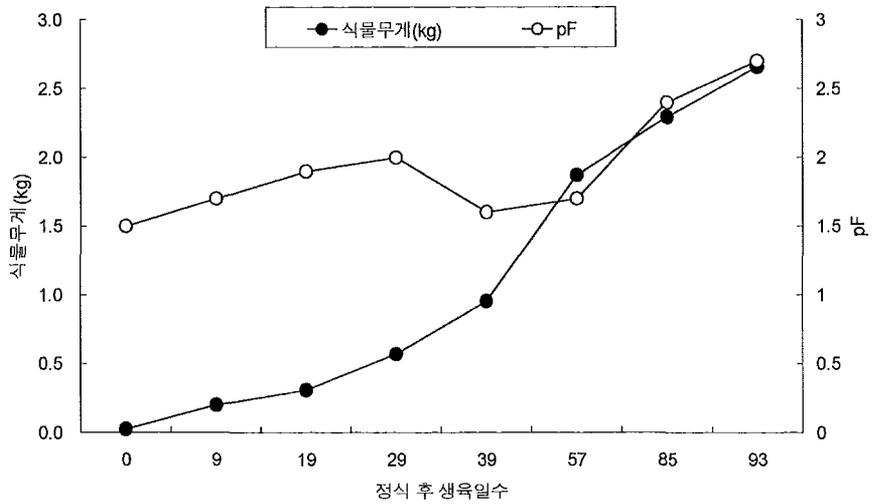


Fig. 2-12. 멜론 생육과 배지내 pF 와의 관계

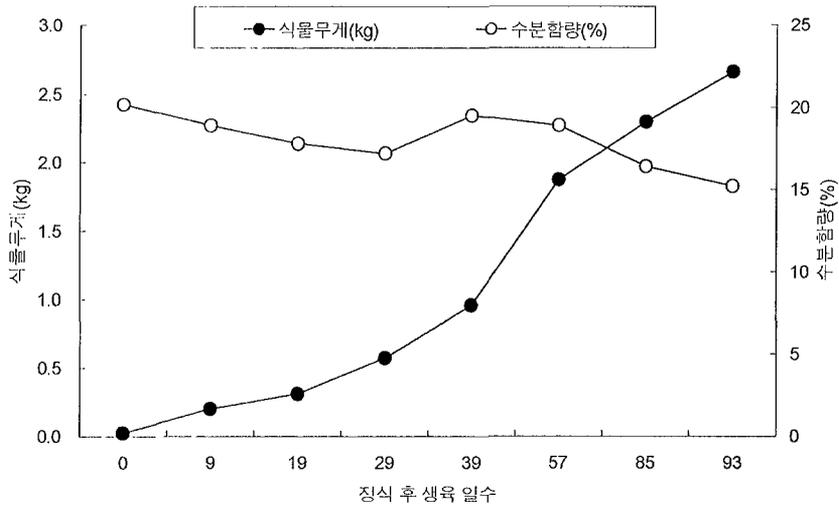


Fig. 2-13. 멜론 생육단계와 배지내 수분함량과의 관계

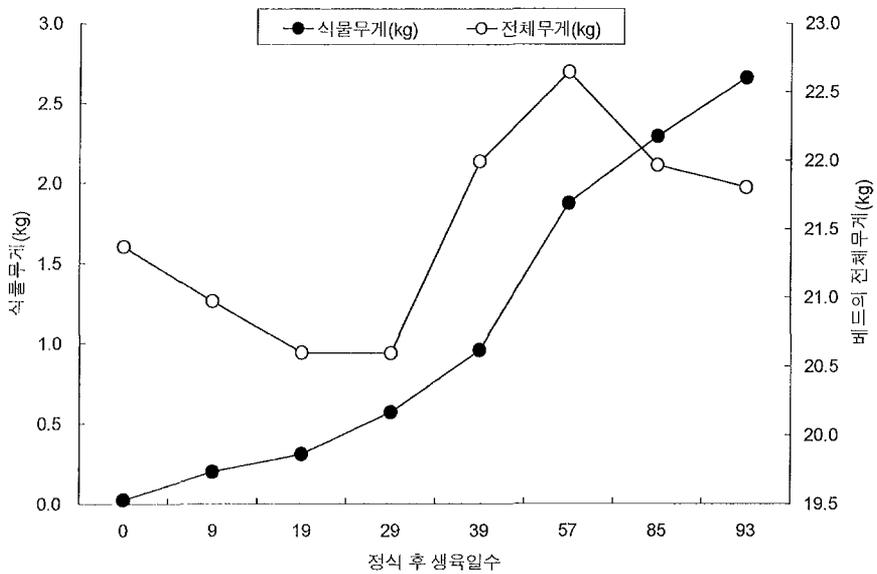


Fig. 2-14. 중량법 시스템에서의 제어 알고리즘 규칙

3. 멜론 전용 최적 관수 관리 시스템 구축

연구 방법

동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템을 아래와 같이 구축하여 관수, 당도 등의 실험 등에 적용하고 있다. weighing system은 크게 4가지로 나뉜다. 이 중 베드중량 측정은 관수관리에 직접 사용된다. 배액중량 측정은 일사량 관리 혹은 시간표 관리에서 적정 관수 간격을 결정하는데 사용된다. 식물체중 줄기중량 측정은 영양생장 모델을 개발하는데 사용되며, 과실중량 측정은 과실의 발달양상을 연구하는데 사용된다.

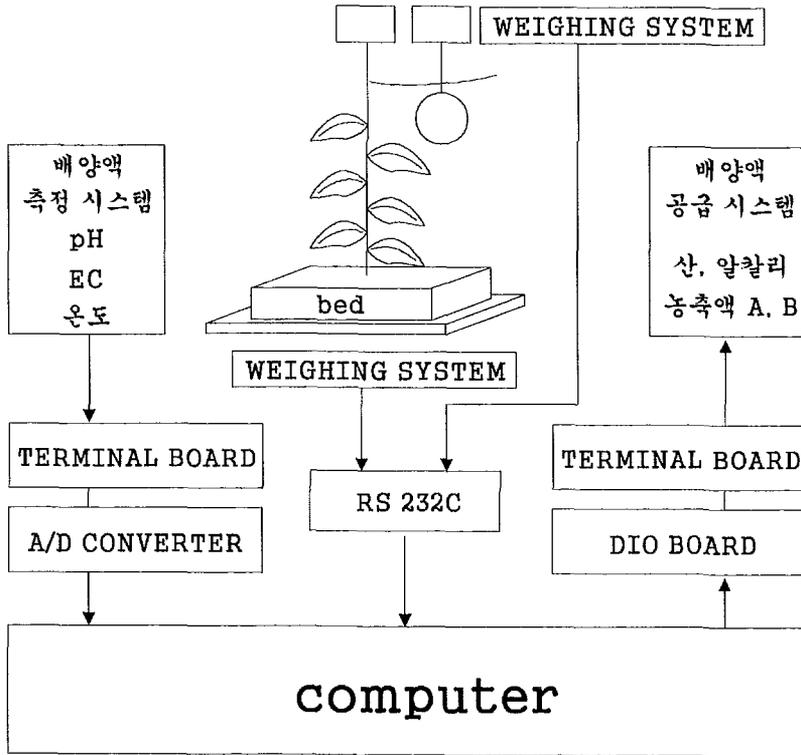


Fig. 2-15. 배양액 관리 시스템의 체제

제3절 최적 관수 관리 시스템 개발

1. 첨단 관수 관리 시스템 개발

가. 구역별 관수량 계측 장치 구축

연구 방법

관수시 pilot system을 6개 구역으로 구분하여 구역별로 solenoid valve, flow meter,

weighing sensor를 이용하여 관수량을 자동으로 계측하는 장치를 구축하였다. 유량 범위, 소요개수, 출력신호종류 등을 조사한 후, 유량계를 구입 및 설치하였다. 계측신호는 RS232C를 경유하여 자체 개발한 program(CASREAD)으로 해석하였다.

연구 내용 및 결과

구역별 관수량 계측 장치는 구역별로 급액상황을 측정할 수 있도록 하였으며, 이로써 순간량과 적산량을 manipulation할 수 있게 하였다. 본 장치는 다른 연구 수행시 급액구별 급액량을 일정하게 하는 역할을 하며 실제 소요량 측정에 이용된다.

나. 중량제어 관수 관리 시스템 개발

연구 방법

기존의 중량제어 관수 관리를 bed type과 hanging type으로 분리하여 각각 적합한 규격의 load cell을 장착하였다. 개발된 계측 및 제어프로그램과의 호환성과 사용의 편리성을 위해 sensor와 computer 사이에 indicator, transmitter, multi channel panel, multiplexer 등을 설치하였다. 계측값은 RS232C 혹은 A/D convertor를 모두 사용할 수 있게 하여 범용성을 지원하도록 하였다.

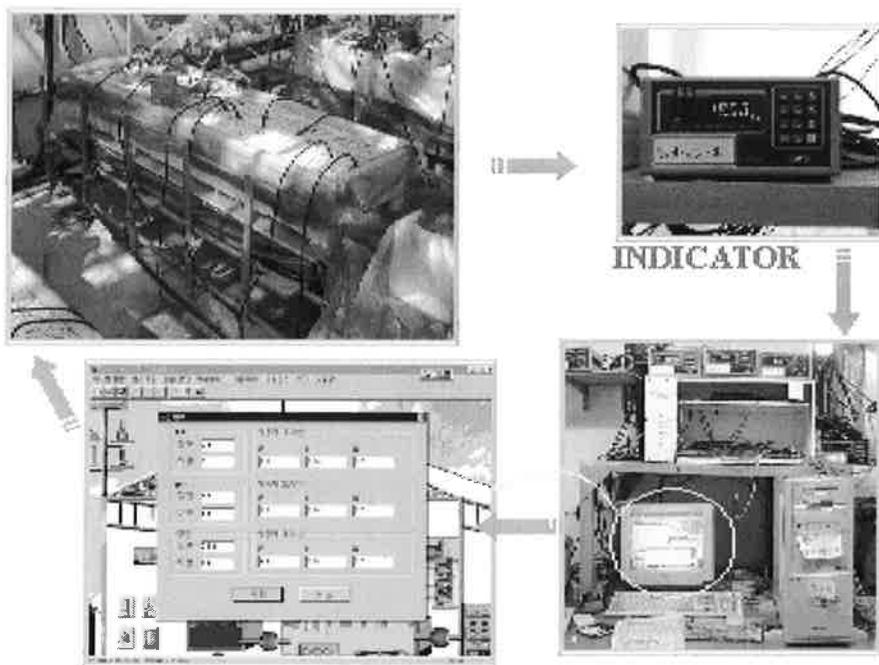
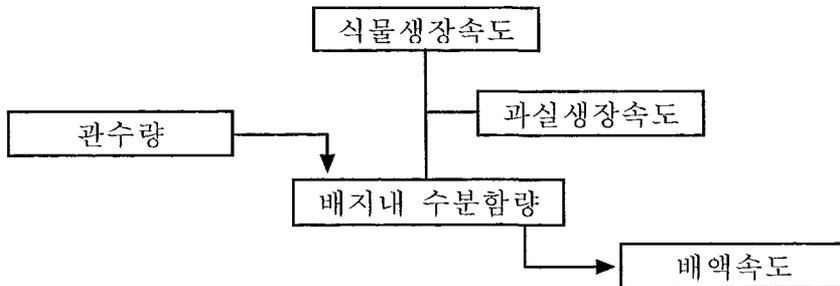


Fig. 2-16. 중량제어 관수 관리 시스템

연구 내용 및 결과

weighing sensor를 bed type과 hanging type으로 분리하여 적정 관수량 관리 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 정확한 관리를 위해서 관수량, 식물생장속도, 과실생장속도, 배지내 수분함량 및 배액속도 등의 segment로 세분하여 타 연구에 적용하고 있다. 본 관리 시스템의 개발에 의해 과실생장의 미세한 변화를 발견하였으며, 배액 측정법 등의 효율성을 정확히 분석할 수 있었다(각 결과는 해당 부분에 표시하였음).



다. 적산일사량 관수 관리 시스템 개선

연구 방법

적산일사량의 관수 관리 시스템을 개선하기 위해서 단수시간대를 설정하여 처리하였다. 적산일사량을 160 Wh/m^2 으로 설정하고, 하루중 단수하지 않은 처리구(I-C), 5시 30분~11시 사이 단수(SI-M), 11시~1시 단수(SI-A), 4시 이후 단수(SI-N) 처리구와 일사량을 100 Wh/m^2 (I-H)로 하여 급액량이 많은 처리구로 설정하였다. 첫 급액은 일출 30분 전에 공급하였다. 1회 급액시간은 40초로 하였다. 이때 각 포트 및 과실은 베달립 저울(CAS, CI-5010A)을 사용하여 지속적으로 무게를 측정하였다. 무게 측정시 자체 제작된 프로그램을 이용하여 계측하였다.

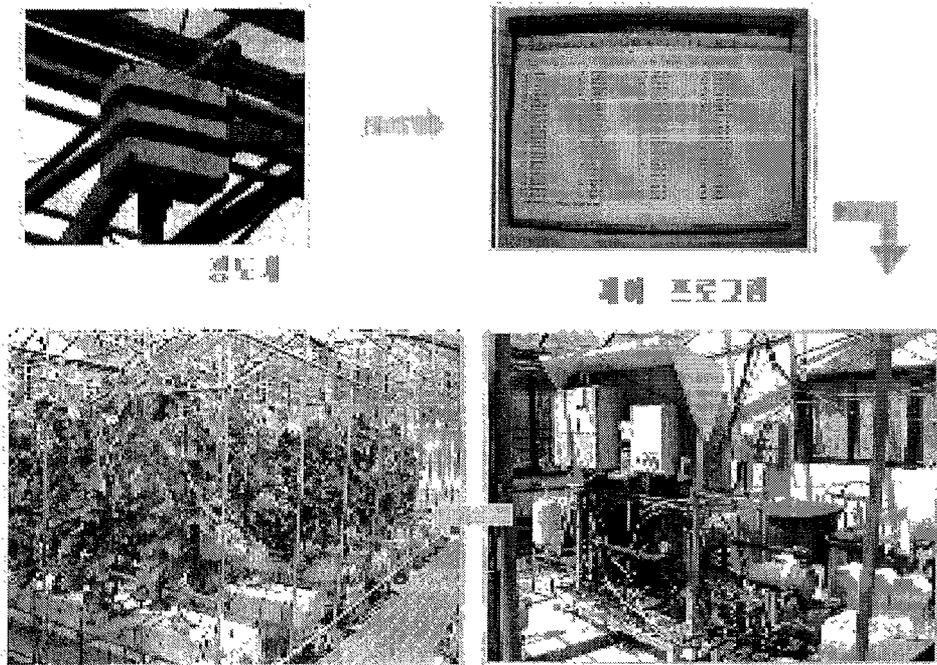


Fig. 2-17. 적산일사량 관수 관리 시스템

적산일사량에 의한 관수관리를 보다 효율적으로 행하기 위하여 광량과 시간대별 관수에 입각한 개선방향에 대하여 실험하였다.

연구 내용 및 결과

가. 급액line의 개선

현재까지 감전사고를 예방하기 위해서 관수제어는 24V solenoid valve를 사용했으나 관수설정 시간중 누수현상으로 100V solenoid valve로 교체하고, 안전사고를 예방하는 과전류차단 장치를 설치하였다. 24V solenoid valve는 제품의 종류를 불구하고 급액시점과 종점부근에서 약간의 누수현상이 발견되었는데, 일반 재배에서는 큰 문제가 안될 지 모르나 엄밀한 실험에는 적합하지 못하였다.

관수시 각 식물당 한 개의 button을 사용했으나, 관수량 오차(표준편차=10)가 크게 발생하여 한 개의 dripper당 한 개의 button으로 개선하였다. 이로 인해 표준편차를 2배 이상 감소시켰다.

나. 적산일사량 관수 관리 체계 개선

광량에 따른 수액흐름량의 변화를 실험한 결과 광량이 낮은 날은 수액흐름량이 거의 없

있으며, 광량이 많을수록 수액흐름이 많았다.

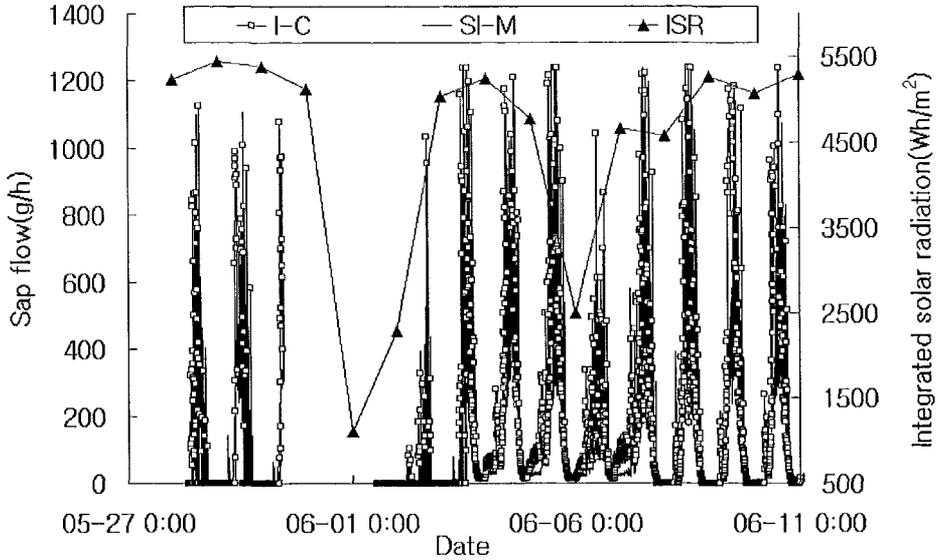


Fig. 2-18. The transition of sap flow rates in I-C and SI-M according to ISR

I-C: Irrigation control, SI-M: Stop irrigation in the morning, ISR: Integrated solar radiation

관수체계와 수액흐름과의 관계를 보면, 수액흐름량은 단수하지 않는 대조구에서는 광량의 증감에 따라 변화하였으나, 아침단수 처리구에서는 단수(05시30분~11시)한 시간대에 수액흐름량이 적었다. 아침에 단수한 것은 오전동안 관수량이 없어 매지내 수분함량이 적었기 때문에 오후 14시까지 단수의 영향을 미쳤다. 따라서, 하루중에서는 오전 관수가 중요한 것으로 나타났다.

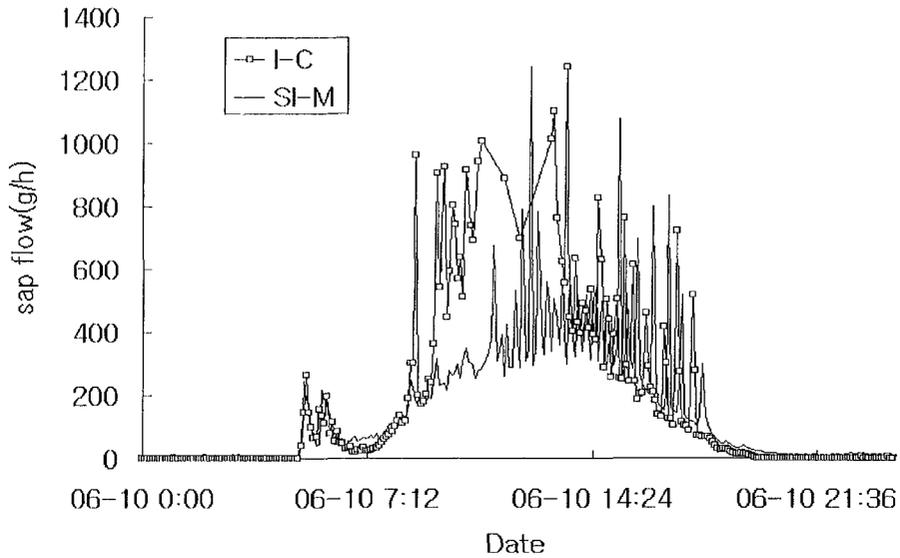


Fig. 2 19. The comparison of sap flow rate between I-C and SI-M on 10 June (ISR 5071 Wh/m²)
 I-C: Irrigation control, SI-M: Stop irrigation in the morning

적산일사량 제어의 경우 급액의 목적이 과실생장에 있으므로 과실생장 요인을 넣어 분석하는 것이, 매지내 수분상황만을 주로 분석하는 것보다 중요하다 또한, 어느 시간대의 관수가 보다 과실생장에 중요한가도 규명할 필요가 있다. 이에 따라 과실생장을 적산일사량과 비교하여 실시시간적으로 또한 비파괴적으로 조사하였다. 전반적으로 적산일사량이 낮은 날에는 과실 성장량이 많고 일사량이 높은 날은 과실 성장량이 적은 것으로 나타났다. 따라서 적산일사량과 과실의 성장량간에 부의 상관관계가 있음을 알 수 있다.

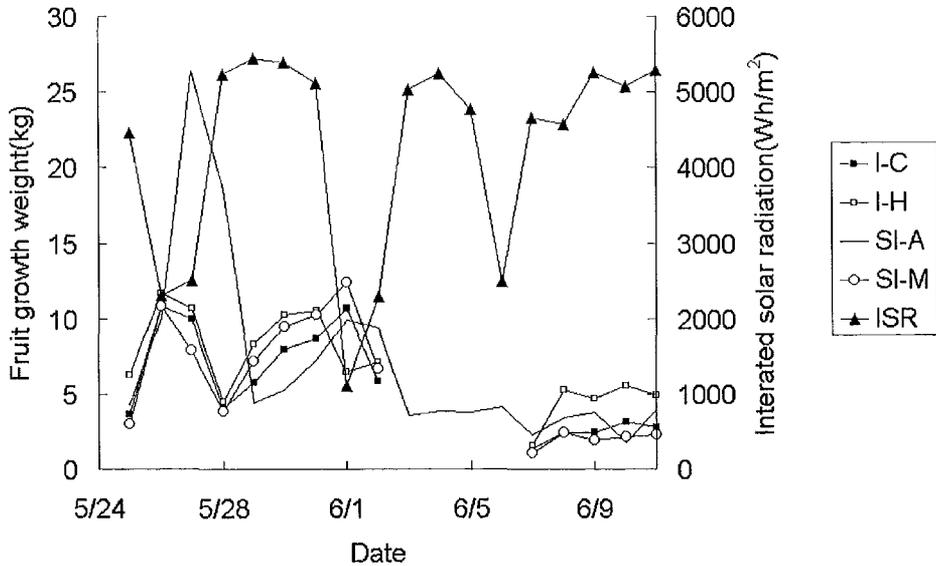


Fig. 2-20. The relationship between ISR and fruit growth rate (g/day).
 I-C: Irrigation control, I-H: Irrigation high, SI-M: Stop irrigation in the morning, SI-A: Stop irrigation in the afternoon, ISR: Integrated solar radiation

24시간동안 과실의 무게변화를 관수체계와 비교하여 조사하였다. 맑은 날 과실의 생장은 처리에 따른 차이를 보여 많이 관수한 처리구(I-H)는 다른 처리구들과는 다르게 무게의 감소를 보이는 09시에서 16시 사이에 무게가 감소하지 않았다. 아침단수(SI-M)에서는 대조구와 비교하여 무게변화는 비슷하지만 대조구보다 무게가 약간 떨어지는 것을 알 수 있다. 낮단수(SI-A)에서는 무게가 감소하는 낮동안 대조구에 비해서 급격하게 감소하였다. 과실의 무게가 감소되기 시작하는 시기는 대조구에 비해서 아침단수는 1시간 정도 먼저 감소되기 시작하였고, 낮단수의 경우 2시간 늦게 감소되기 시작하였다. 전반적으로 관수량이 많았던 처리구를 제외하고 광량이 있는 낮 동안에는 과실의 무게가 감소하다가 광량이 없는 밤 동안에 무게가 증가하는 경향을 보였다. 즉, 과실의 생장은 밤에 많이 일어나며, 낮 동안의 성장속도는 관수에 의한 배지내 수분함량에 의존하는 것으로 나타났다. 기존의 경우 관수량 혹은 관수시기에 따른 결과는 많이 있으나 본 실험의 경우 이를 더욱 정확히 함으로써 관수량뿐만 아니라 관수시기가 중요한 점, 관수시기를 정할 경우에는 오전관수에 특히 주의해야 하는 점이 실험적으로 입증되었다.

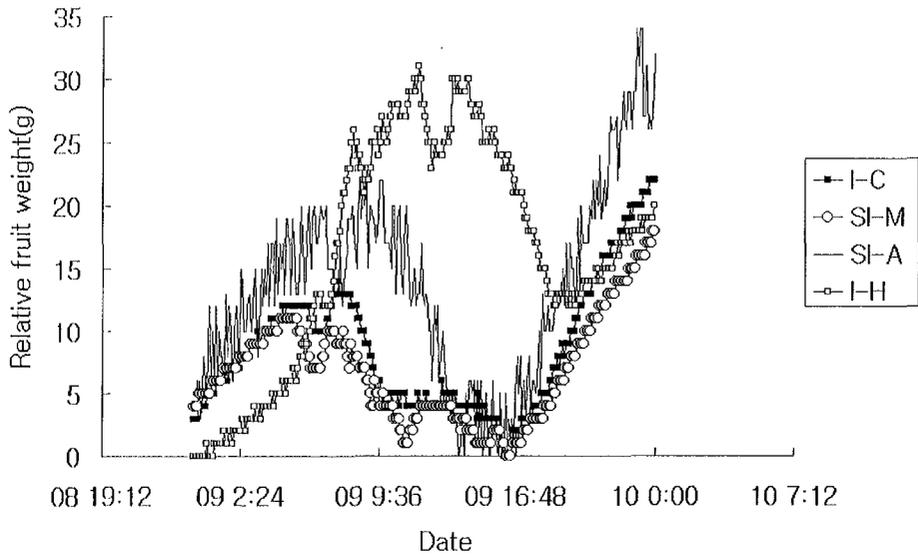


Fig. 2-21. The increment of fruit weight on sunny day (10 June, ISR 5071 Wh/m²)
 I-C: Irrigation control, I-H: Irrigation high, SI-M: Stop irrigation in the morning, SI-A: Stop irrigation in the afternoon

반면에 흐린 날에는 전반적으로 무게의 감소 없이 계속적으로 과실 무게가 증가하는 경향을 보였다. 아침에 단수한 것은 반대급부 적으로 후에 더 많은 증가를 보였다. 이에 따라 관수시기는 광량에 따라 달리해야 하는 것으로 나타났다.

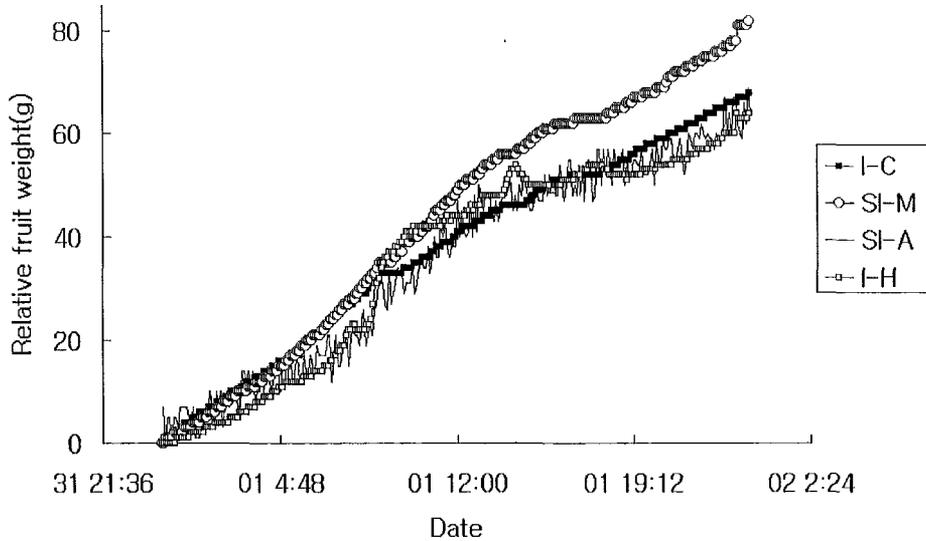


Fig. 2-22. The change of fruit weight on the cloudy day (1 June, ISR 1108 Wh/m²)
 I-C: Irrigation control, I-H: Irrigation high, SI-M: Stop irrigation in the morning, SI-A: Stop irrigation in the afternoon

흐린 날과 맑은 날의 과실의 생장을 시간대별로 비교해보면 흐린 날은 오전 8시~9시 사이에 과실의 무게가 가장 많이 증가하는 반면에 맑은 날은 오전 9시에서 10시 사이에 과실의 무게가 가장 많이 감소하였다. 또한 흐린 날은 오전이 오후보다 무게의 증가량이 더 많고 맑은 날은 오후에 무게의 증가량이 더 많다. 이는 과실의 생장에서 광량이 많은 낮 동안이나 맑은 날은 수분이 과실에 집중되기보다는 잎이나 기타 다른 부위로 이동하고 밤 동안이나 흐린 날은 다른 부위보다는 과실쪽으로 수분이 집중되어 무게가 증가하는 것으로 보여진다. 따라서, 과실 비대기에는 과실로의 수분이동을 촉진하는 관수체계가 확립되어야 하며 오전에 집중 관수되는 관수체계가 적합한 것으로 사료된다.

하루 중에도 광량에 따라서 과실의 무게가 변하는 것은 당도와도 관련이 있을 것으로 사료되며 향후 하루 중 각 시간대별 당도를 측정하여 적정 수확시간대를 설정하는 연구가 진행되어져야 한다.

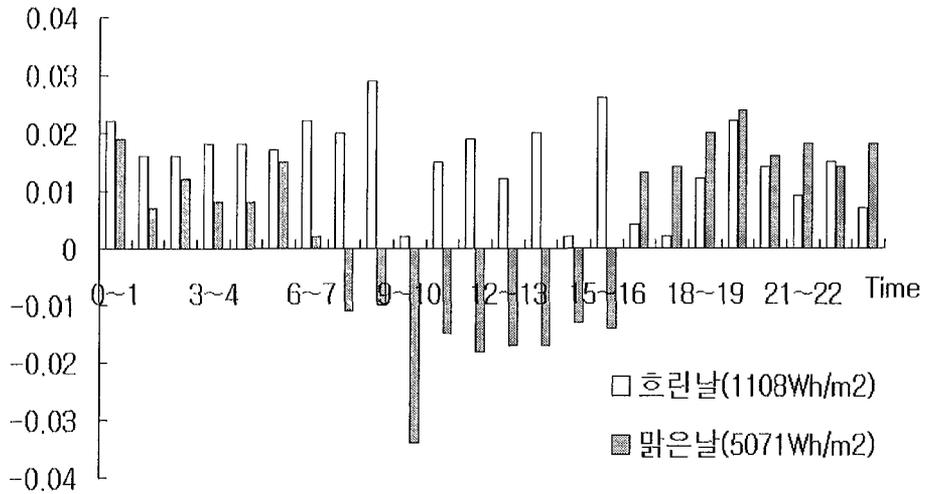


Fig. 2-23. Relative fruit growth rate in I-C on sunny (10 June) and cloudy day.

2. 배지 내 수분 측정체계 수립

가. 배액중량법 적용

연구 방법

자체 제작한 배액중량 제어 시스템을 이용하여 가로 430× 세로 35× 높이 15cm 크기의 성형스티로폼 배지에 맥문을 생육시키면서 배액되어 나오는 배액의 중량을 측정하였다. 측정은 흐린 날과 맑은 날로 나누어 실시하였다.

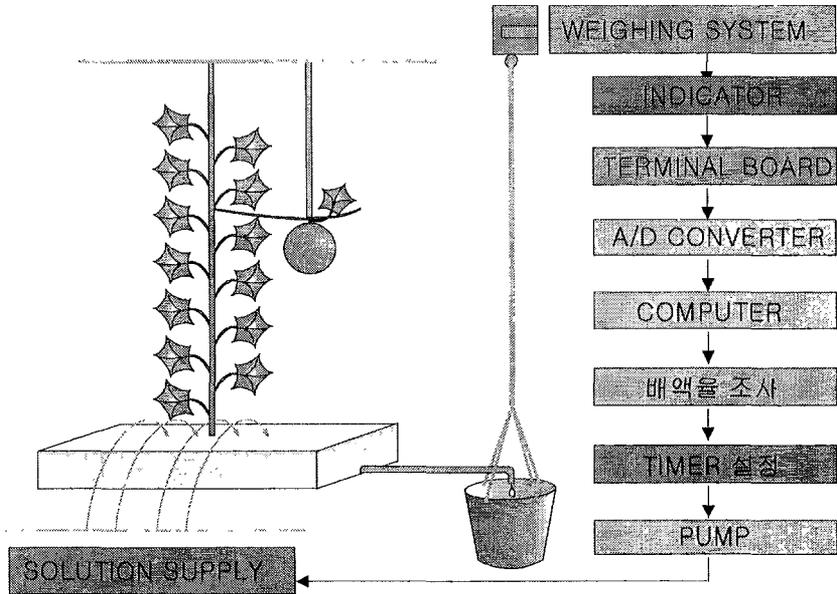


Fig. 2-24. Scheme of control by drain system..

연구 내용 및 결과

그림 2-25의 23일 그림은 1일 적산광량이 4230Wh/m^2 인 흐린 날 17시에 15초동안 관수할 경우 배액량을 측정한 것이다. 24일 그림은 1일 적산광량이 5182Wh/m^2 인 맑은 날 17시에 15초동안 관수할 경우 배액량을 측정한 것이다. 관수는 시간대에 따라 다르기는 하나 자주 공급할 경우에는 30분 마다도 관수하는데, 배액중량법의 경우 배액되는 기간이 기후의 영향을 크게 받으며, 약간 흐릴 경우 관수 종료후 2시간 정도나 되는 상당한 시간동안 배액이 계속되어 정확한 관수 시점과 종점을 설정하기 어려운 것으로 판단되었다. 또한, 배드의 길이, 베지의 수분이동속도, 배드의 경사도 등에 따라서도 배액속도가 다르기 때문에 배액을 이용하여 관수체계를 세울 수는 없다.

23일

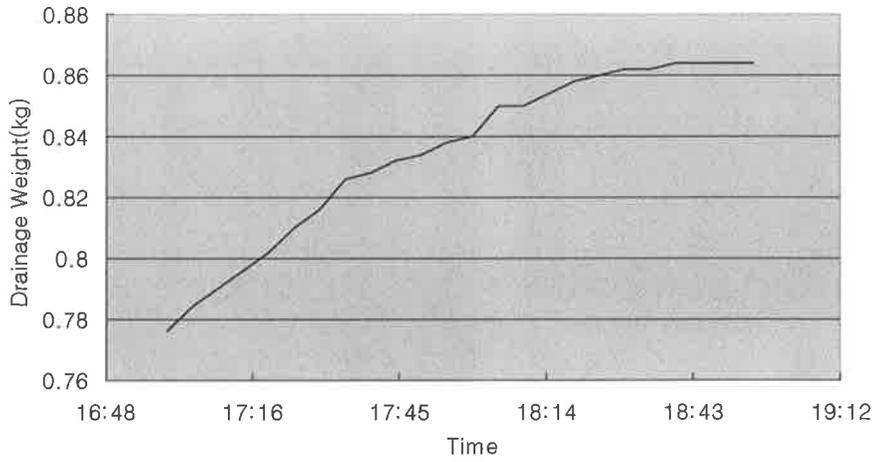


Fig. 2-25. 광량이 4230Wh/m²인 날의 배액량

24일

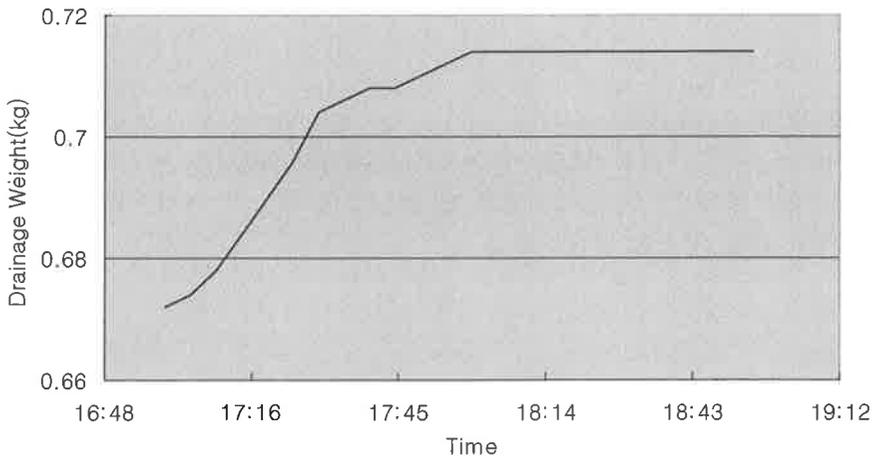


Fig. 2-26. 광량이 5182Wh/m²인 날의 배액량

나. 수분센서법 적용

연구 방법

자체 제작한 배지 계측 시스템을 이용하여 수분센서로부터 수분상태를 계측하여 적정 수분 계측법을 선별하였다. 수분센서로는 석고블럭, sap flow meter, 중량센서 등을 사용하였다.

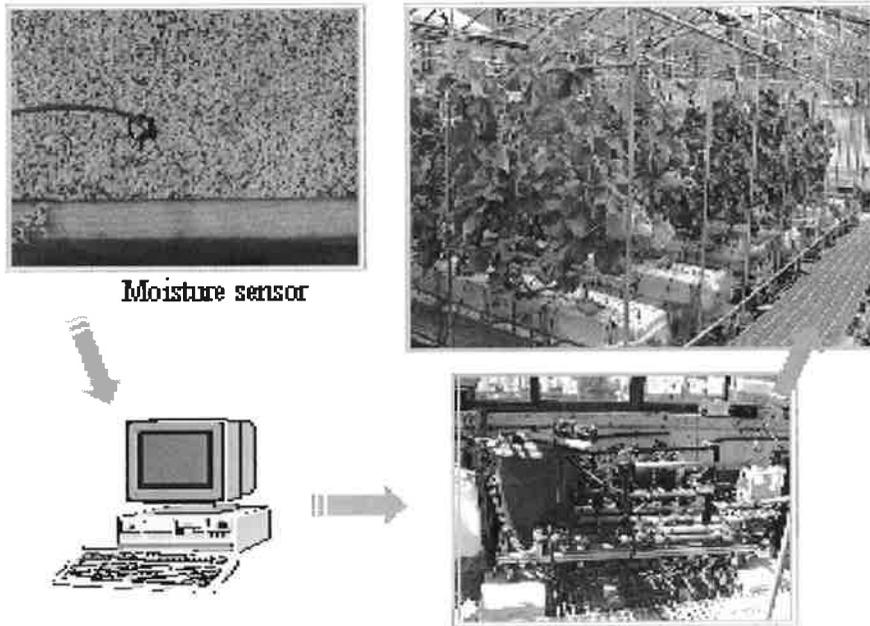


Fig. 2-27. Gypsum block

연구 내용 및 결과

수분센서류에는 여러 가지가 있다. 석고블럭(gypsum block)은 사용한 결과 배지와 밀접성이 요구되어 계측값이 불안정하였으며, 배양액에 석고가 녹아 나와서 열화가 빨라 적절한 계측기가 아닌 것으로 판명되었다.

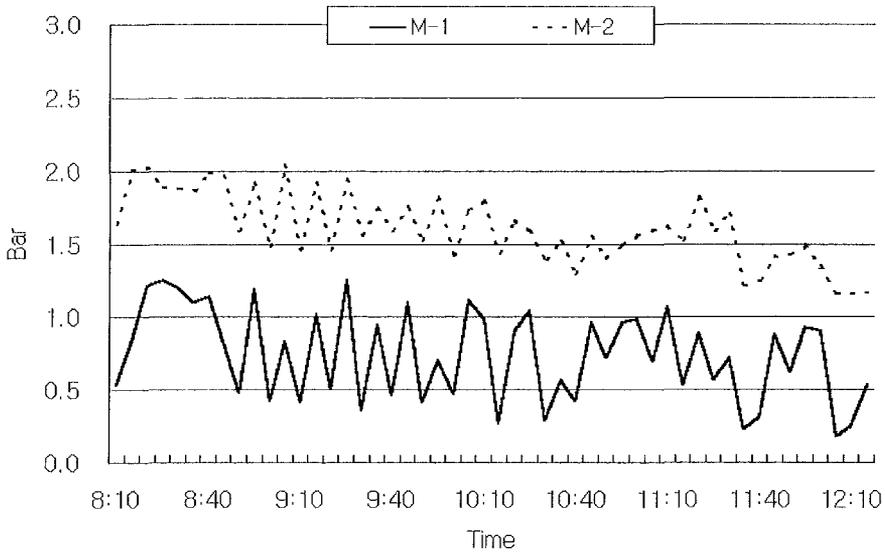


Fig. 2-28. 석고블럭을 이용한 배지의 수분 함량

토양을 배질로 하는 경우에는 TDR 센서가 유용하게 사용되나 석고블럭과 마찬가지로 양액재배 배지에서는 센서와의 밀착성 때문에 사용이 곤란한 것으로 사료된다. 수분장력계(tensiometer)는 밀착성에 의한 안정성 및 사용난이도에 의해 배제하였다.

sap flow meter를 이용하는 경우는 장비가 고가이며, 생육함에 따라 센서를 교체해 줌은 물론 안정성이 떨어지는 것으로 나타났다. 또한, 많은 식물에 설치하기가 곤란하여 대표성을 기하기 어려우며, 식물상태에 의한 의존도가 다른 측정법에 비해 큰 것으로 사료되어 다른 여러 실험에서 연구성과를 크게 할 목적으로는 사용하지 않기로 하였다.

중량센서는 식물에 의한 부하는 있으나 대부분의 무게가 배양액에 의한 것이며, 이의 제어가 식물 개체에 의하여 좌우되지 않아 우수한 것으로 판단되었다.

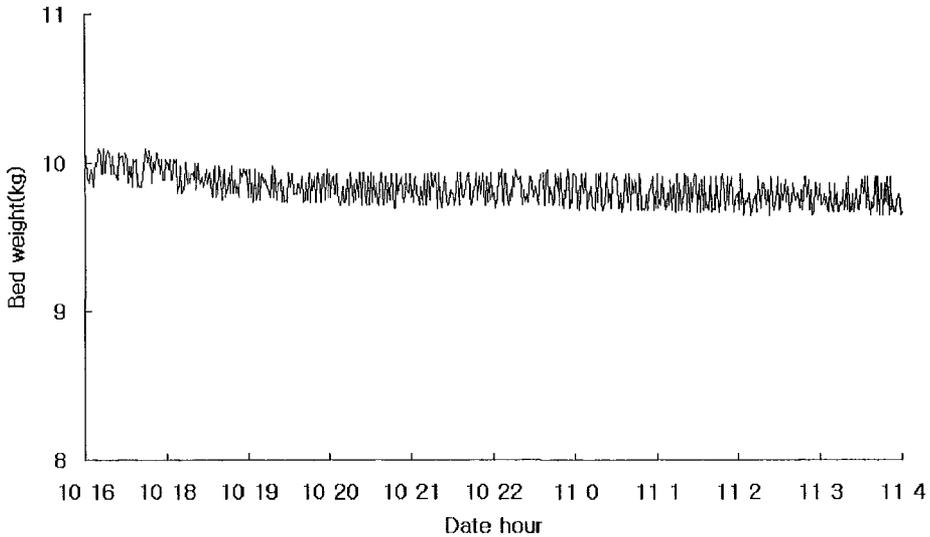


Fig. 2-29. 중량센서에 의한 제어시 계측값

따라서, 수분센서는 종류에 관계없이 펄라이트 배지의 특성상 수분센서와 배지가 밀착하기 어려우며 배지 내 위치에 따라 수분함유량에 차이가 있어 관수 시점을 설정하기가 어려운 것으로 판단되었다.

이상의 결과, 정확한 배지 내 수분 측정체계는 베드중량법인 것으로 사료되었다.

3. 저가형 관수 관리 시스템 설계

연구 방법

급액은 두가지 방법으로 나누어 처리하였는데, 첫 번째 처리는 오전 6시부터 오후 18시까지 1시간당 급액하는 것(T-1)과 두 번째 처리는 오전 6시부터 오후 11시까지는 2시간 간격으로 급액하고, 오후 12시부터 15시 사이는 급액간격을 30분으로, 15시부터 17시까지는 1시간당 급액(T-2)되게 하였다. 두 처리 모두 일출 전 30분에 배양액 공급을 개시하였다. 1회 급액시간은 맑은 날을 기준으로 80초였으며, 흐린 날, 비온 날은 시간을 조정하여 과다 급액 되지 않게 하였다. 과실은 모두 13절에 착과시켰다. 6월 21일(수분 후 48일)에 1차 수확하여 과중, 과폭, 과장, 지상부중, 질위별 엽생체중·건물중 등을 측정하였다. 당도 측정은 당도계(digital refractometer, TRM-110, N.O.W.)를 이용하여 씨가 있는 중심부분(center)과 섭취하는 과육의 중앙부분(middle)으로 나누어 측정하였다. 7월 5일(수분 후 62일)에 2차 수확하여 1차와 동일하게 측정하였다.

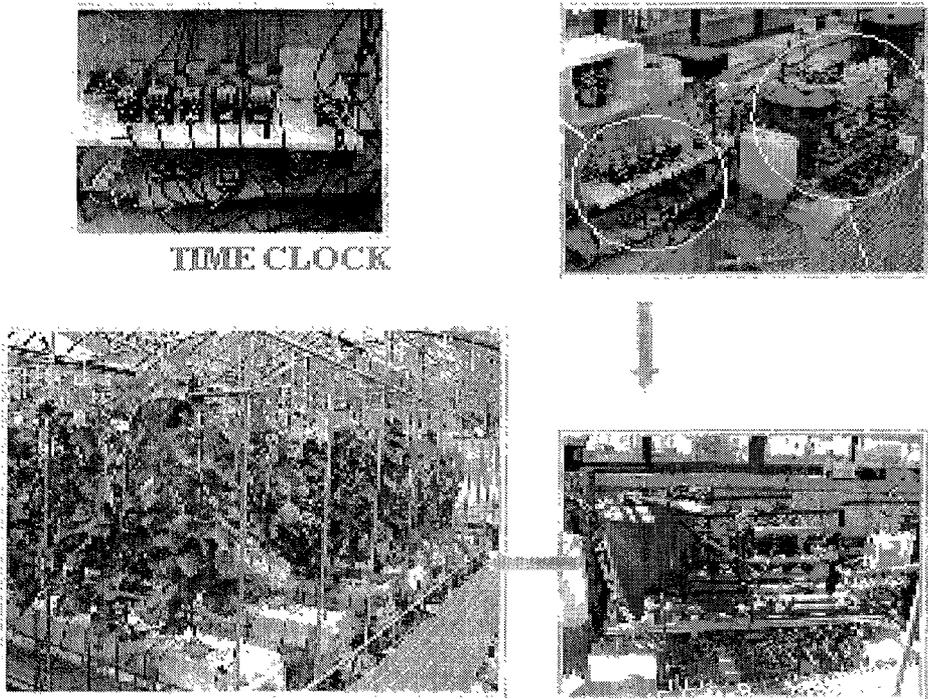


Fig. 2-30. 타이머 제어 시스템

연구 내용 및 결과

타이머 제어법은 현재 농가에서 가장 많이 사용하고 있는 제어법으로 간단하고 고장이 적으며 저렴하고 농가가 잘 이해하고 있는 유일한 제어법인 점 등의 장점을 가지고 있다. 그러나, 배지내 수분조건을 원활히 하는 것이 곤란하여 생산성 또한 낮은 것이 현실이다. 이는 감각적, 혹은 경험적으로 시간을 설정하여 사용하기 때문인데, 본 연구에서는 이를 보다 과학적이며 엄밀하게 조사함으로써 타이머 제어법이라 할 지라도 배지내 수분관리를 보다 엄밀하게 하기 위해서 수행되었다.

타이머 제어의 효율이 낮은 이유는 하루중에서는 시간대별로 설정을 달리하여야 하며, 광도에 따른 차이가 심하다는 것이다. 광량이 $5230(\text{Wh}/\text{m}^2)$ 인 맑은 날 배드 무게 변화를 측정할 결과 광도가 높은 낮에 급액을 자주 한 처리구에서 배지내 수분의 변화가 적었다.

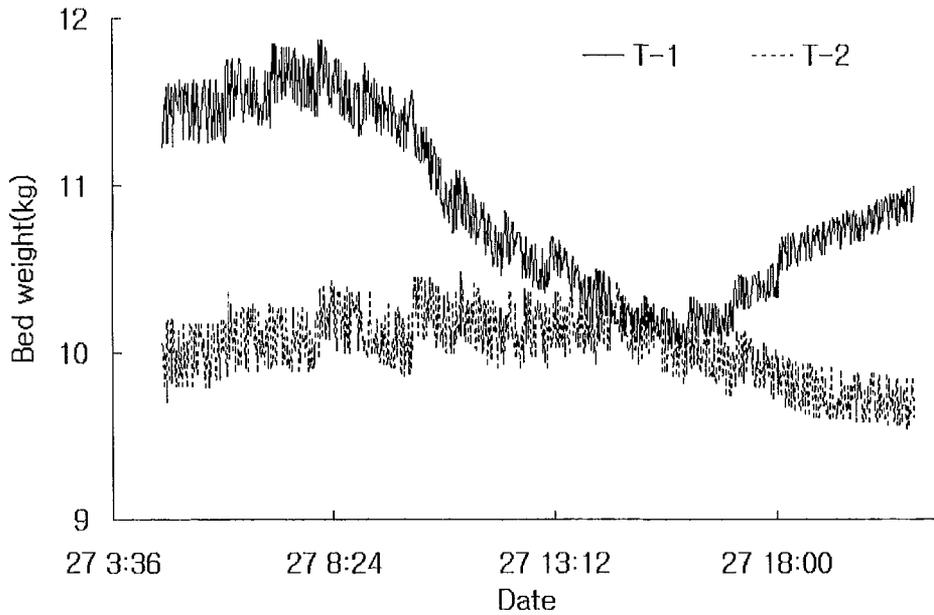


Fig. 2-31. 광량이 5230(Wh/m²) 일때의 베드 무게 변화(6/27)

하루 중 일정 배지내 수분함량을 가장 바람직한 것으로 설정했을 때 하루중 설정치와 실측치와의 편차율 표시하면 그림 2-32와 같다. 가로축이 설정치이므로 이 값보다 낮은 것은 급액량이 부족함을 의미하는데, 매시간 급액한 처리구에서보다는 낮에 집중 급액하는 처리구에서 편차가 작은 것을 확실히 알 수 있다.

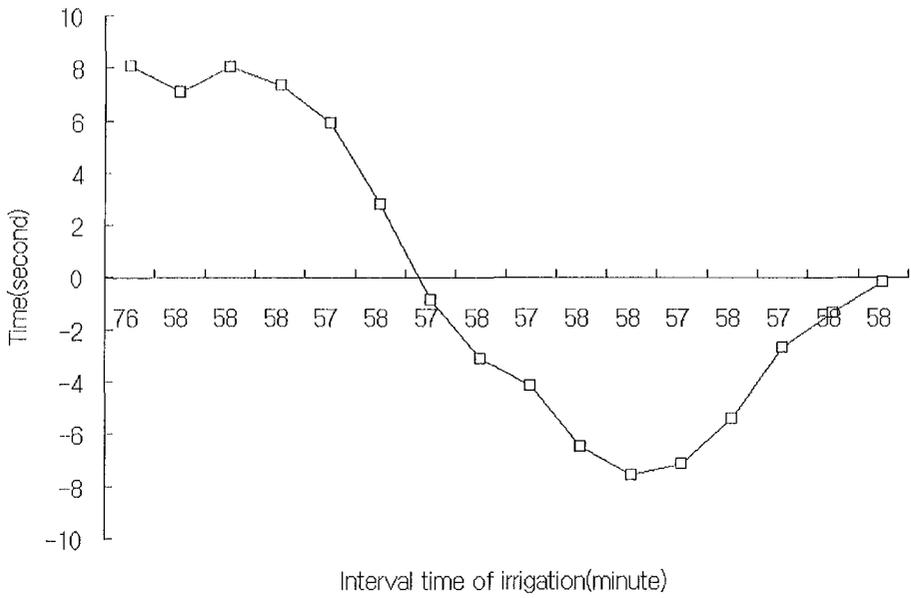


Fig. 2-32. 광량이 5230(Wh/m²) 일 때 T-1의 급액시간간격에 따른 급액량 조절 시간

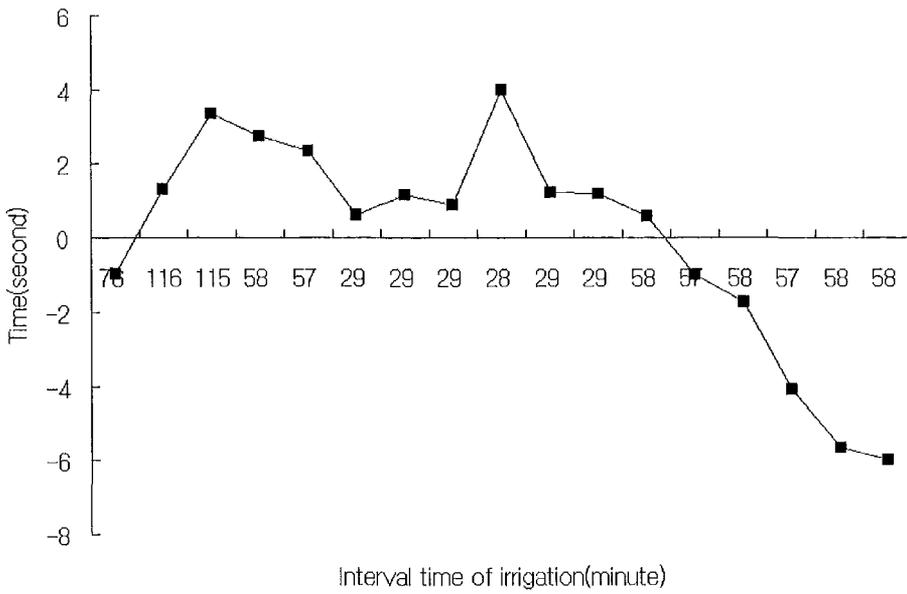


Fig. 2-33. 광량이 5230(Wh/m²) 일 때 T-2의 급액시간간격에 따른 급액량 조절 시간

광량이 3689(Wh/m²) 로 약간 흐린 날의 배드 무게 변화는 그림 2-34와 같이 그 변화 폭이 아주 맑은 날보다 작게 나타났다. 그러나, 배지내 수분함량 변화 양상은 비슷하였다.

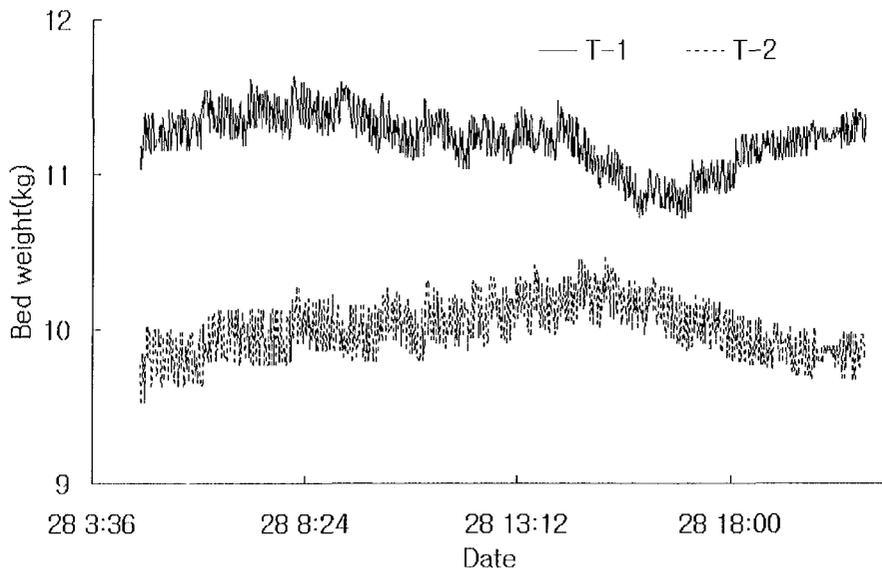


Fig. 2-34. 광량이 3689(Wh/m²) 일때의 베드 무게 변화(99년 6월 28일)

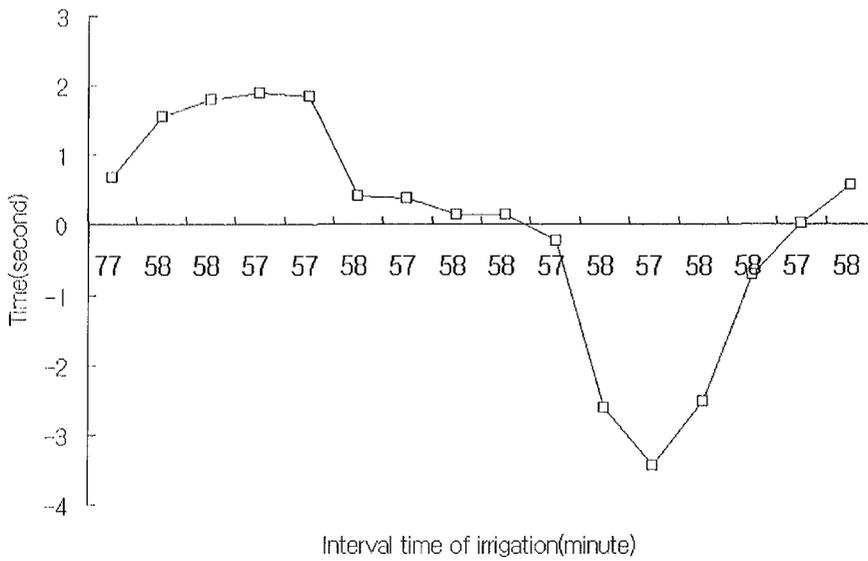


Fig. 2-35. 광량이 3689(Wh/m²) 일 때 T-1의 급액시간간격에 따른 급액량 조절 시간

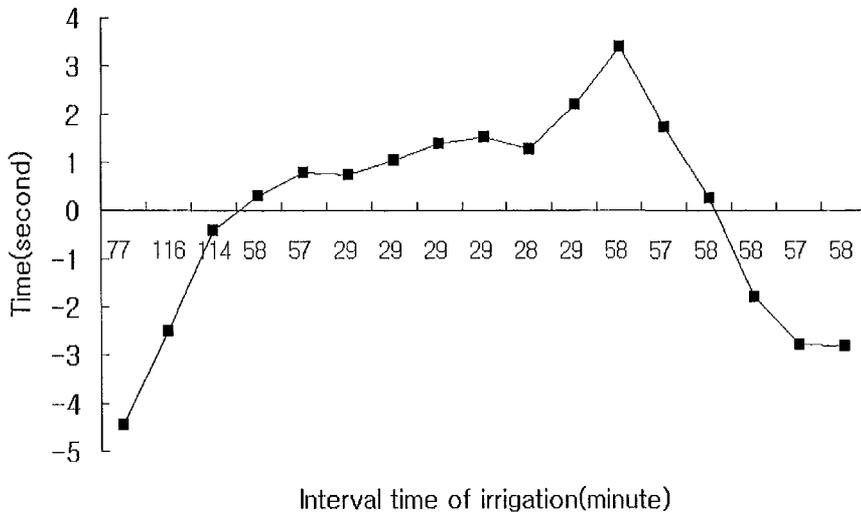


Fig. 2-36. 광량이 3689(Wh/m²) 일 때 T-2의 급액시간간격에 따른 급액량 조절 시간

광량이 934Wh/m²로 비가 오는 날의 베드 무게 변화는 그림 2-37과 같이 처리간 차이가 거의 나타나지 않았다.

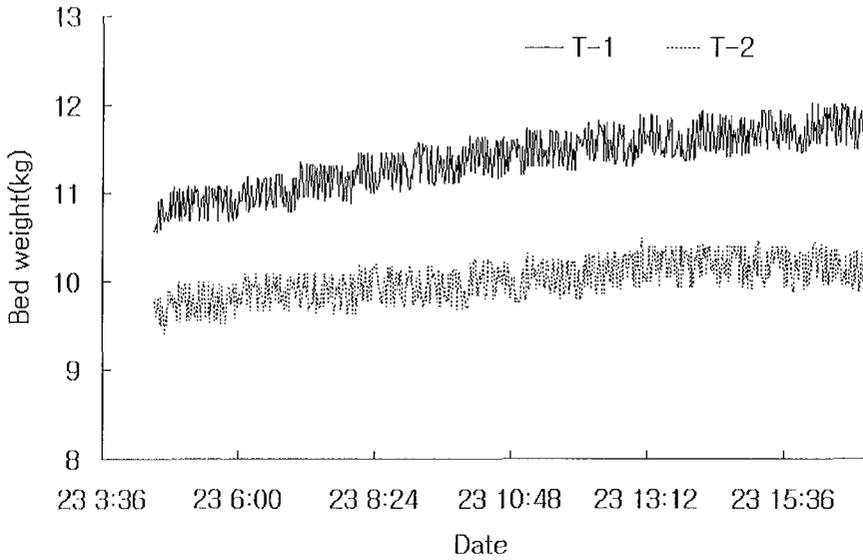


Fig. 2-37. 광량이 934(Wh/m²) 일때의 베드 무게 변화(99년 6월 23일)

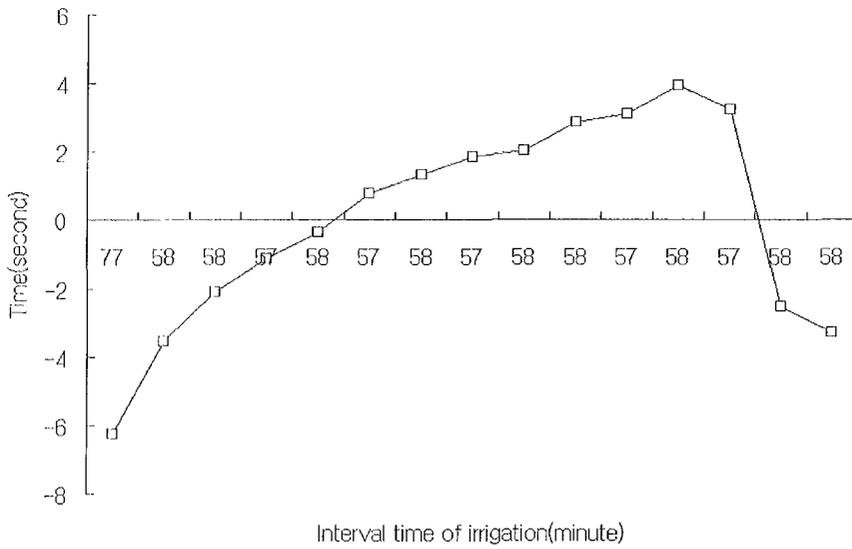


Fig. 2-38. 광량이 934(Wh/m²) 일 때 T-1의 급액시간간격에 따른 급액량 조절 시간

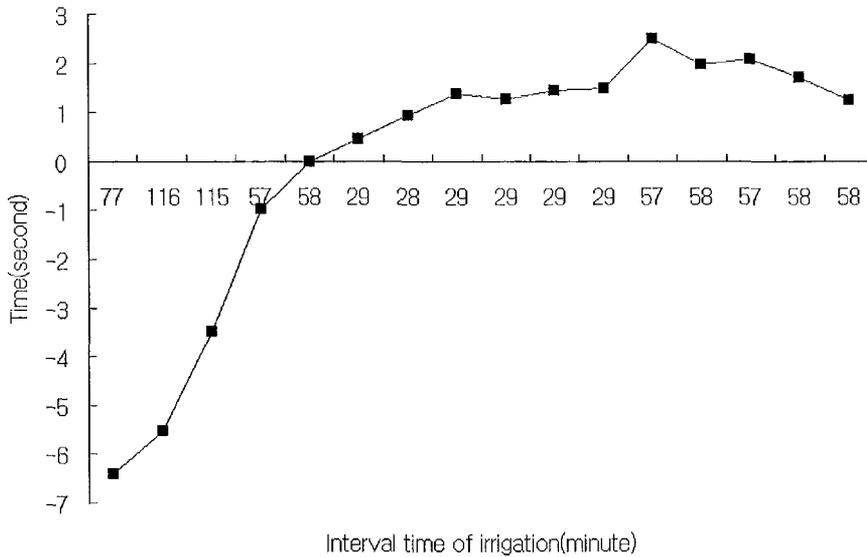


Fig. 2-39. 광량이 934(Wh/m²) 일 때 T-2의 급액시간간격에 따른 급액량 조절 시간

타이머에 의해 급액시간대를 달리한 경우의 과중과 당도를 조사한 결과 수분후 48일에는 낮에 집중급액한 처리구에서 과중과 당도가 높은 경향을 보였으나, 수확시에는 차이가 없었다. 멜론은 과실성장 기간중 급액량을 조절하는 작물인데, 본 연구에서는 최적 급액시간 설정을 위하여 성장기간중 급액량의 절대량을 크게 조절하지 않았다. 즉, 관수를 충분히 하고 수확시에도 급액량을 줄이지 않았다. 이로 인하여 수확시에는 처리간에 차이가 나타나지 않았던 것으로 사료된다. 그러나, 본 연구결과를 이용하여 하루중 급액시간을 설정하고, 작물생육상황과 과실성장기간중 급액량 조절을 병행함으로써 향후 타이머 제어법에 의해서도 보다 향상된 품질의 생산이 가능할 것으로 예상된다. 이 경우 일출 30분 전부터 오후 11시까지의 2시간 간격으로 급액하고, 오후 12시부터 15시 사이는 급액간격을 30분으로, 15시부터 17시까지의 1시간당 급액하는 것을 기본으로 하며 1회 급액량은 작물생육상황과 광도에 맞추어 설정하는 것이 가장 바람직 할 것으로 사료된다.

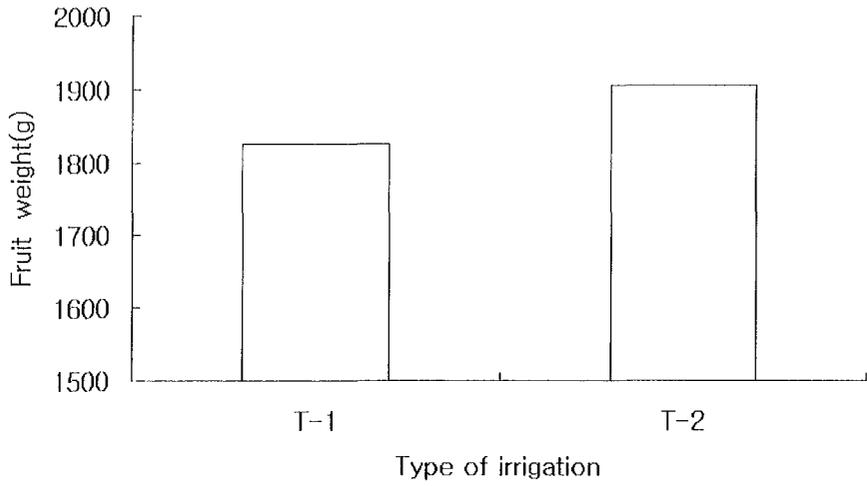


Fig. 2-40. 타이머 치리에 의한 질수별 과중(수분 후 48일)

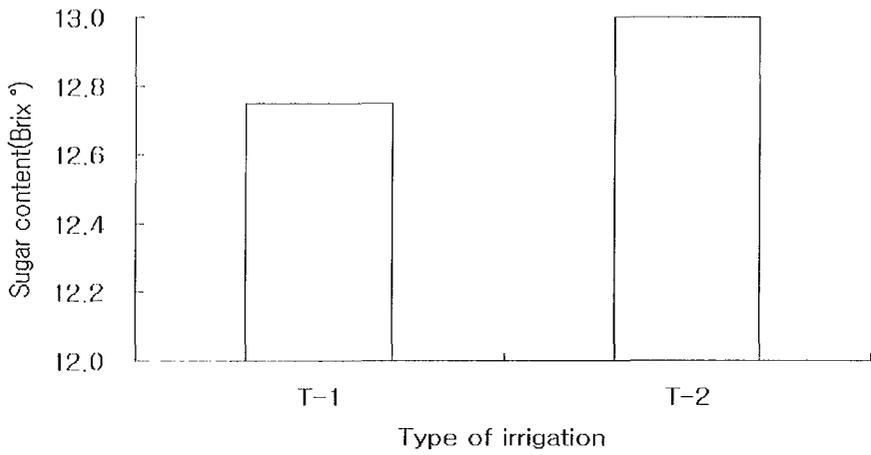


Fig. 2-41. 타이머 치리에 의한 질수별 당도(수분 후 48일)

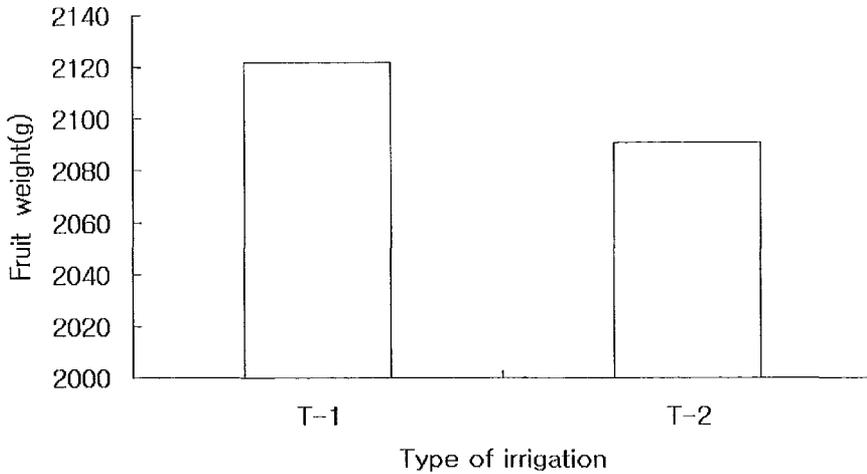


Fig. 2-42. 타이머 처리에 의한 절수별 과중(수분 후 62일)

제4절 적극적 배양액 공급 체계 개발

1. 저가형 관수 관리 시스템 개발

연구 방법

계측 및 제어프로그램과의 호환성, sensor와 computer 사이에 indicator, transmitter, multi channel panel, multiplexer 등과의 연결 문제, load cell의 가격 등을 고려한 저가형 중량 제어 시스템으로 hanging type을 채택하여 저가형 중량 시스템을 구축하였다.

저가형 타이머 제어법을 개선하기 위해서 배양액 공급 시간대와 1회 급액시간을 조절하여 최적의 관수량을 설정하고자 하였다. 처리는 기존의 타이머 제어법에서 설정한 시간(6:00, 8:00, 10:00, 11:00, 12:00, 12:30, 13:00, 13:30, 14:00, 14:30, 15:00, 16:00, 17:00)에 급액(T-1), 적산일사량에 의한 급액(ISR), 적산일사량에 의해 공급된 결과를 토대로 설정된 시간대에 급액되는 것(T-2), 적산일사량에 의해서 설정된 시간대에 한시간 일찍 단수시켜 급액한 것(T-3) 등 4처리로 나누었다. 적산일사량에 따라서 급액시간을 설정해 준 처리구들의 시간대는 이전의 적산일사량에 의해 급액되었던 자료를 토대로 타이머의 시간을 설정해주었다. 적산일사량을 크게 2000이하, 3000이상, 4000이상으로 나누었다. 하루에 적산된 광량이 2000Wh/m^2 이하 일 때는 급액회수가 10회 이하였고, 3000전 후 일 때는 18회, 4000이상 일 때는 26회 정도 급액되게 하였다. 급액회수가 10회 일 때 시간은 8:30, 9:30, 10:20, 11:20, 12:20, 13:10, 14:00, 14:45, 15:45, 17:00, 18회

일 때 시간은 7:00, 9:00, 10:00, 10:30, 11:00, 11:30, 12:00, 12:20, 12:40, 13:00, 13:20, 13:40, 14:00, 14:30, 15:00, 16:00. 16:30, 17:00, 26회 일 때 시간은 7:00, 9:00, 10:00, 10:20, 10:40, 11:00, 11:20, 11:40, 11:50, 12:00, 12:20, 12:40, 13:00, 13:10, 13:20, 13:30, 13:40, 13:50, 14:00, 14:20, 14:40, 15:00, 15:20, 16:00. 16:30, 17:00로 설정하였다. 처리는 수확 30일 전에 시작하였다. 수확 후 과실의 생체중, 당도, 과실 크기(과장, 과폭) 등을 측정하였다.

연구 내용 및 결과

타이머 제어법을 개선하기 위한 방법으로 적산일사량에 의해 급액되었던 시간을 토대로 타이머법에 적용하였다. 그림 2-43은 하루의 적산량이 2000이하 일 때 급액된 그래프이다. 적산량이 1488Wh/m^2 일 때의 하루 시간당 일사량이다. 일사량이 많은 곳에서 급액도 많이 났음을 알 수 있다.

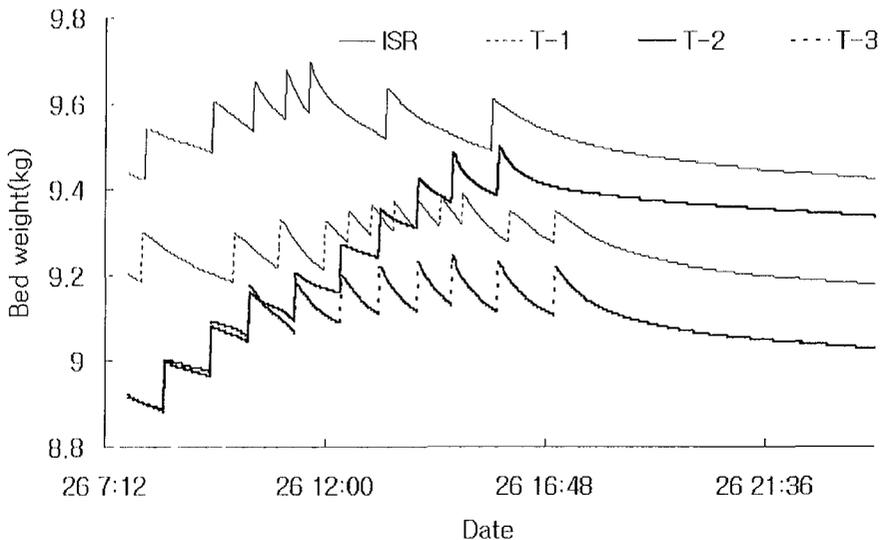


Fig. 2-43. Bed weight according to treatments by irrigation methodes (ISR: 1488Wh/m^2 , number of irrigation: 10)

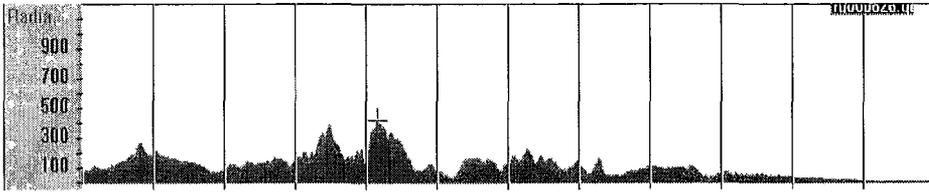


Fig. 2-44. Amount of solar radiation in a day (ISR: 1488Wh/m²)

적산일사량이 3000, 4000 이상 일 경우 낮 동안의 급액회수가 늘어났음을 알 수 있다. 특히 11:00~15:00 사이에 급액회수가 급격히 늘어났다.

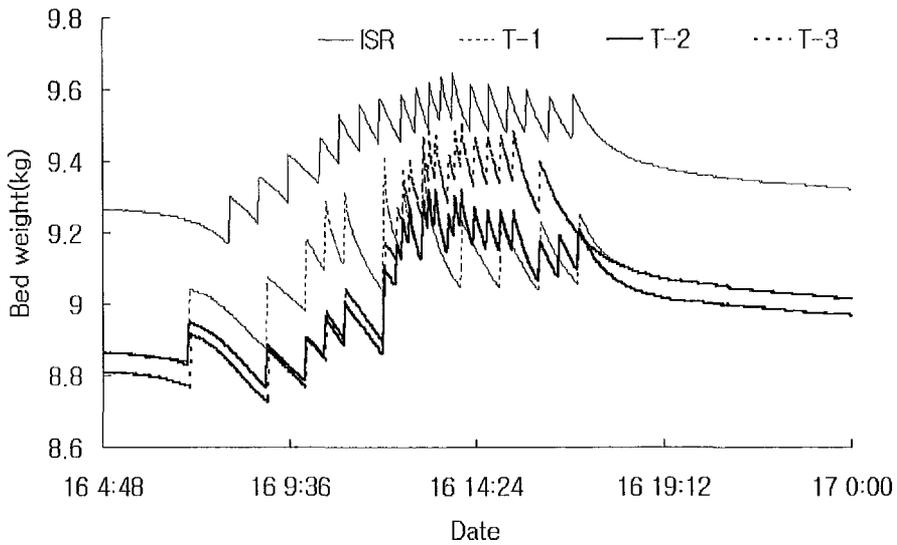


Fig. 2-45. Bed weight according to treatments by irrigation methodes (ISR: 3224Wh/m², number of irrigation: 18)

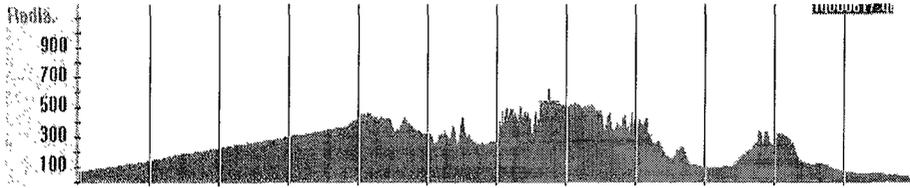


Fig. 2-46. Amount of solar radiation in a day (ISR: 3224Wh/m²)

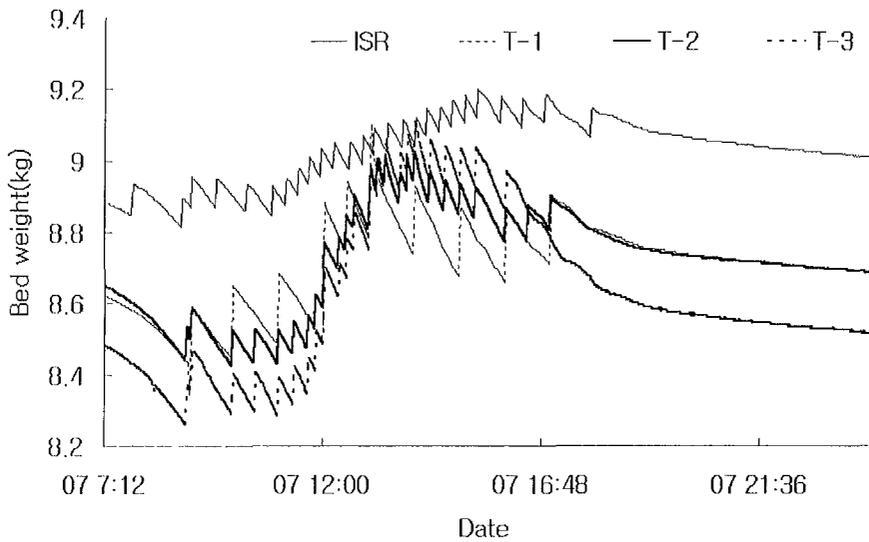


Fig. 2-47. Bed weight according to treatments by irrigation method (ISR: 4243Wh/m², number of irrigation: 26)

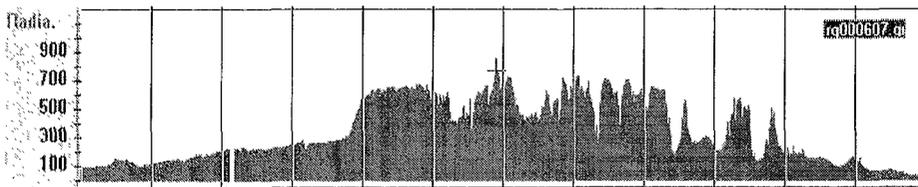


Fig. 2-48. Amount of solar radiation in a day (ISR: 4243Wh/m²)

관수치리에 따른 당도(당)는 적산일사량에 의해서 급액했던 처리구에서 가장 낮게 나타났

다. 타이머 처리에서는 비슷한 경향을 보였으나 T-3 처리구에서 약간 높게 나타났다.

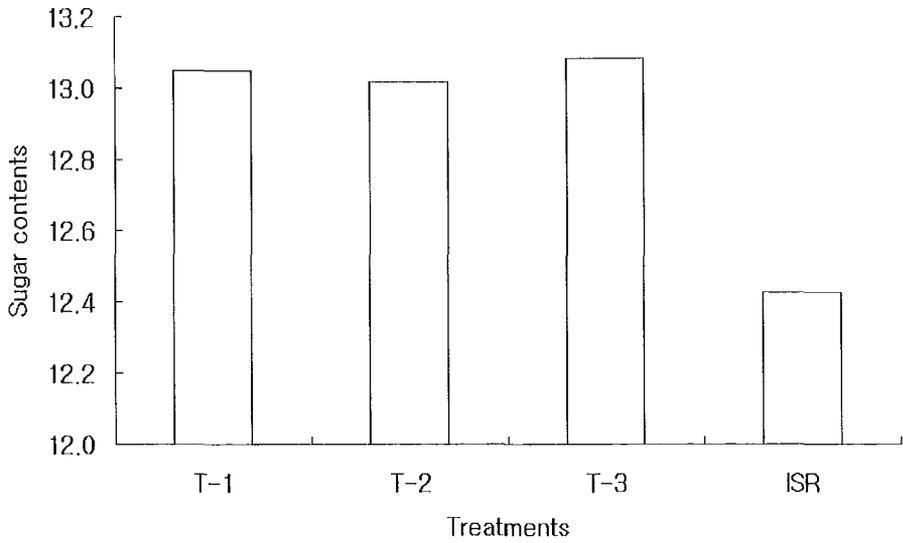


Fig. 2-49. Sugar contents (Brix %) according to irrigation treatments.

과실의 무게는 T-2 처리를 제외하고 비슷한 경향을 보였다.

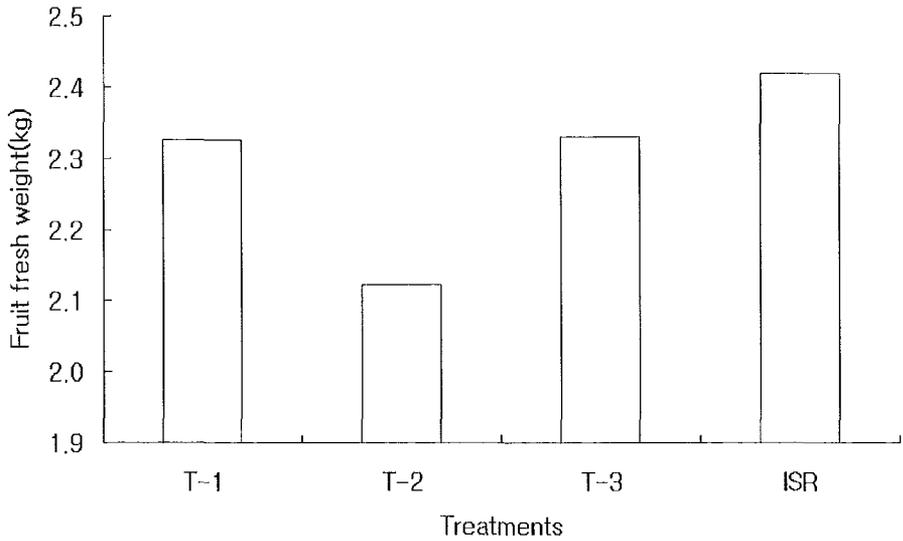


Fig. 2-50. Fruit fresh weight (kg) according to irrigation treatments.

과실의 크기는 과중이 낮았던 T-2에서 낮게 나타났고, 당도가 낮았던 적산일사량에 의한 처리구에서 다른 처리구들에 비해 약간 높게 나타났다. 과폭보다 과장이 긴 장과형이었다.

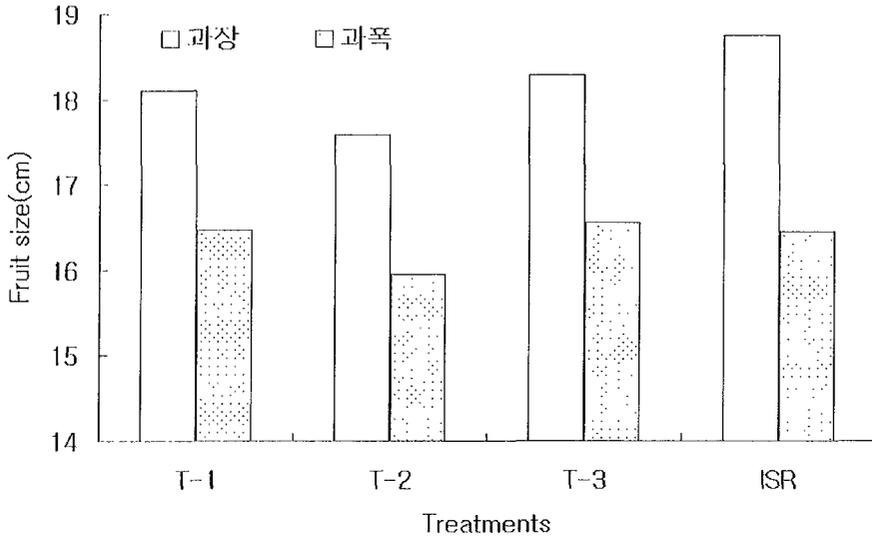


Fig. 2-51. Fruit size (cm) according to irrigation treatments.

적산일사량에 의한 처리에서는 과실의 크기는 다른 처리에 비해 컸지만 당도는 낮게 나타났다. 타이머법을 개선한 처리에서는 기존의 타이머법과 비교했을 때 당도, 생체중, 과실의 크기에 있어 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 타이머법에 의한 시간 설정은 기존의 설정시간을 유지하고 그에 따라 생육단계별로 1회 급액시간을 설정해주는 실험이 수행되어야 할 것이다.

2. 고품질 멜론 생산을 위한 적각적 배양액 조성 개발

연구 방법

고품질 멜론 생산을 위해 배양액 조성 중에서 다량원소 중의 하나로 Ca농도를 조절하여 멜론 과실의 품질을 향상시키고자 하였다. 공시작물은 'Sense(초원종묘)'였다. Ca는 수분 후부터 처리하였다. 일반적으로 Yamazaki 멜론용 배양액에 포함되어 있는 Ca의 농도는 140ppm 이다. 처리는 Ca의 농도를 100(Ca-100), 140(Ca-140), 180(Ca-180), 220(Ca-220)ppm으로 하였다. 기본 배양액 내 Ca 농도를 100ppm으로 조제하고 부족한

Ca는 CaCl₂로 보충하였다. Ca와 함께 NO₃의 부족되는 양은 NaNO₃로 보충하였다. 관수 방법은 타이머법을 이용하였다. 급액시간은 6:00, 8:00, 10:00, 11:00, 12:00, 12:30, 13:00, 13:30, 14:00, 14:30, 15:00, 16:00, 17:00 였으며 1회 급액시간은 80초였다. 수확 후 과실의 생체중, 당도, 과장, 과폭 등을 측정하였다. 과육 내 Ca 함량을 분석하기 위해서 각 처리별 과육을 일정량 취하였다. 또한 엽조직 내의 Ca 함량도 분석하기 위해서 착과질위에서 아래로 5엽을 취하였고, 적심질위에서 아래로 5엽을 취하였다.

연구 내용 및 결과

Ca 농도 처리에 의한 실험에서 과실의 당도는 Ca의 농도가 220ppm인 처리구에서 가장 높게 나타났다.

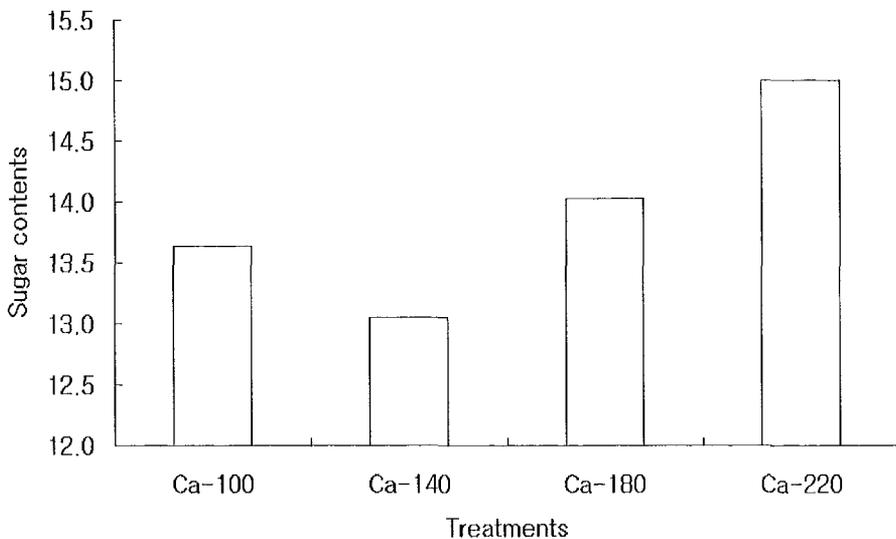


Fig. 2-52. Sugar contents according to treatments of Ca concentration

과실의 무게는 당도가 가장 높았던 Ca-220 처리구에서 가장 낮게 나타났으며, Ca-140 처리구에서 가장 높게 나타났다.

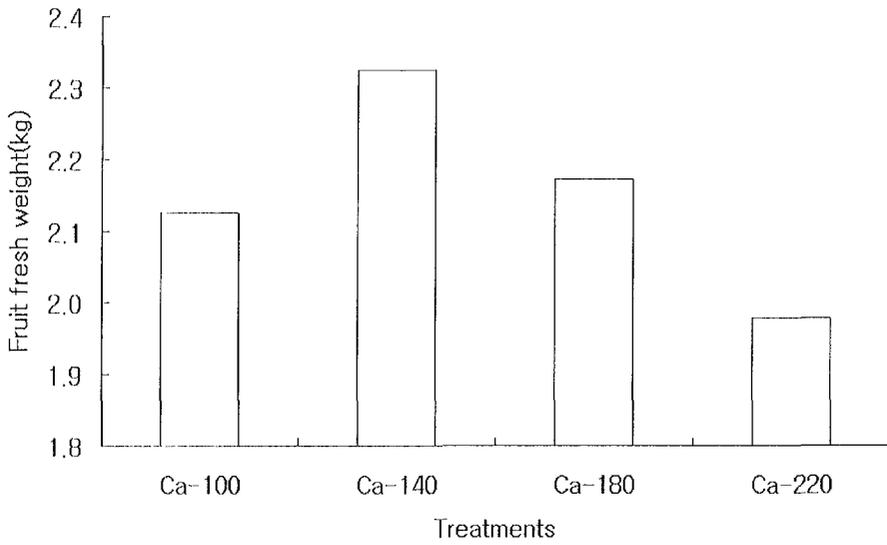


Fig. 2-53. Fruit fresh weight (kg) according to treatments of Ca concentration

과실의 크기는 당도가 가장 높았던 Ca-220을 제외하고는 비슷한 경향을 보였다. Ca-140 처리구에서 약간 높은 값을 나타냈다.

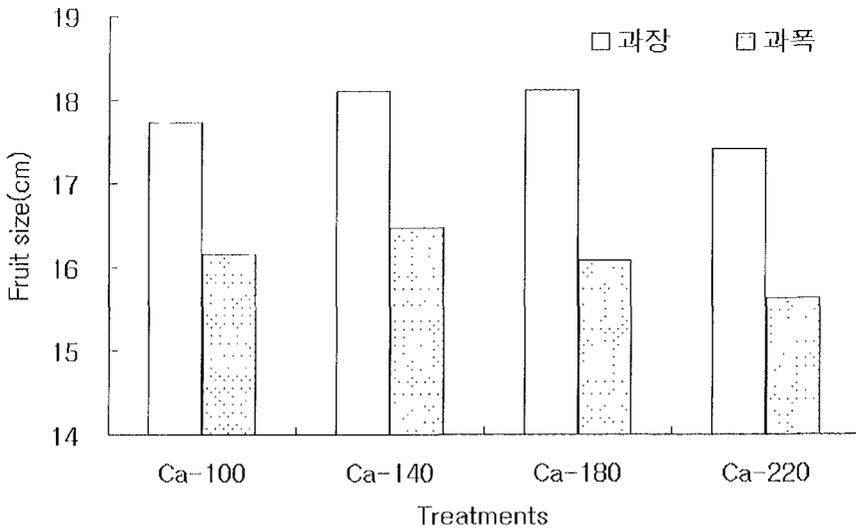


Fig. 2-54. Fruit size (cm) according to treatments of Ca concentration

과실의 크기 또한 처리별 큰 차이를 보이지 않았으나 Ca-220 처리구에서 약간 낮은 값을 나타냈다.

본 실험의 결과로 Ca의 농도를 높이면 과실의 당도는 증가하나 과실의 무게나 크기는 증가하지 않는 것으로 나타났다. 또한 Ca-100 처리구에서 보다 Ca-140 처리구에서 당도가 더 낮게 나타났다. 이는 지상부의 건물중과 엽조직 내, 과육 내의 Ca 함량 등을 분석한 후 좀더 자세한 고찰이 이루어질 것으로 사료된다.

3. 최적 멜론생육을 위한 배지 내 수분함량 구명

연구 방법

본 실험은 배지 내 수분함량을 조사하기 위해서 관수량 및 위조시의 무게변화를 hanging 저울(50kg)과, bed 저울(가로120×세로40×높이8)로 계측하였다. 위조 후 1차 수확(1st)하고 sampling하여 지상부, 지하부, 건조진, 후의 배지 무게 등을 측정하였다. 1차 수확 이틀 후에 2차 수확(2nd)하고 sampling하여 1차 때와 동일하게 측정하였다. 위조는 식물체 앞의 시늬 정도로 보고 육안으로 보았을 때 앞의 팽압이 떨어지고 엽색이 황색으로 변했을 때를 위조시점으로 보았다. 수확할 때마다 과실 무게, 과실을 제외한 전체 지상부 무게, 지하부 무게 등을 측정하였다.

연구 내용 및 결과

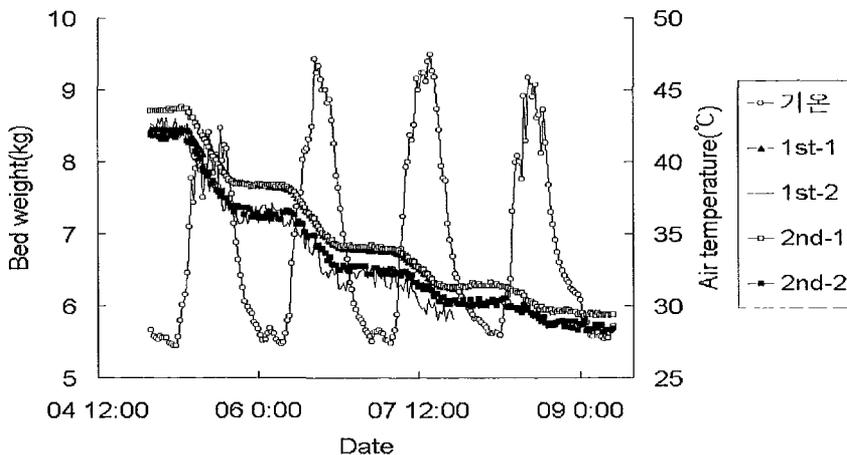


Fig. 2-55. Changes of water in perlite and air temperature during stop irrigation. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest

그림 2-55는 메달림 저울을 사용하여 단수기간 동안의 배지의 무게 변화를 보여주는

것이다. 단수기간 동안 낮에는 급격하게 배지의 무게가 감소하는 반면 오후 6시 이후부터 다음날 오전 7시까지의 무게의 변화를 보이지 않았다. 이것은 오후 6시부터는 필요한 수분의 양이 거의 없는 것으로 여겨져 여름재배시에 오후 6시 이전까지만 급액을 해주어도 무방한 것으로 사료된다.

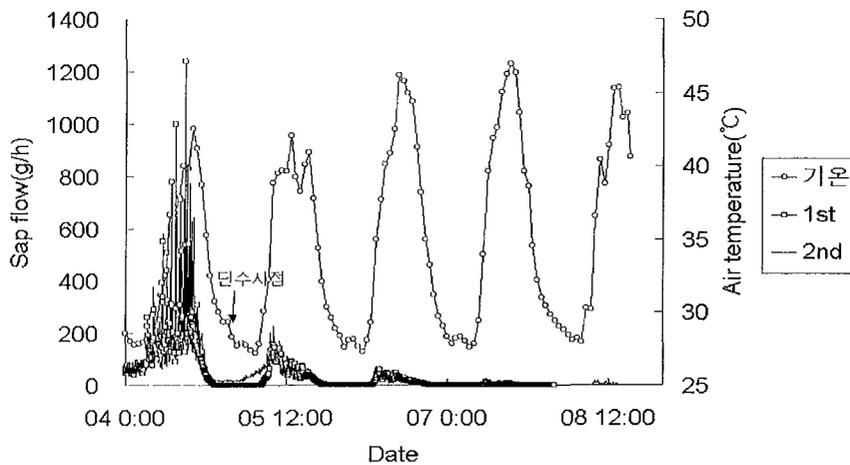


Fig. 2-56. Changes of sap flow value and air temperature during stop irrigation. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest

단수하기 전에는 1200g/h 이상의 값을 갖던 것이 단수가 시작되면서 200g/h 정도로 급격히 감소하여 단수 시작 이틀 후에는 수액의 양이 거의 0에 가까워졌다.

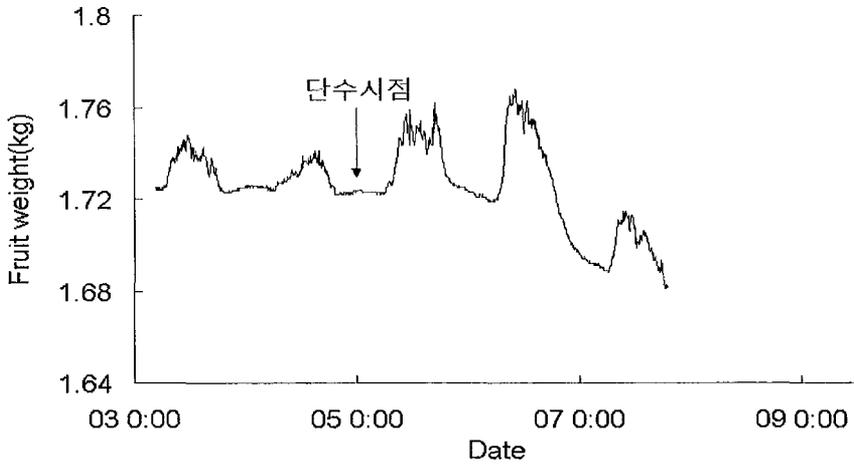


Fig. 2-57. Fruit fresh weight (kg) during stop irrigation at first harvest.

단수기간 동안 과실의 무게변화는 하루 중 오전 6시부터 오후 6시까지는 무게가 포물선의 형태로 변화하고 이런 포물선이 반복적으로 진행되지만 수확시기로 갈수록 점점 감소하는 경향을 보였다. 오후 6시 이후부터 다음날 오전 6시까지는 무게의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다.

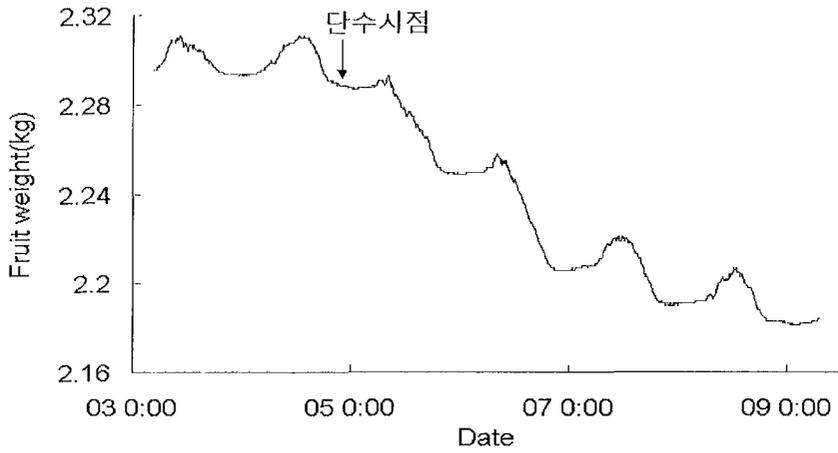


Fig. 2-58. Fruit fresh weight (kg) during stop irrigation at second harvest.

펄라이트 배지 내 수분 함량이 높은 것일수록 수확 직후 과실의 무게도 높았다. 따라서 배지 내 수분 함량과 과실의 무게는 정의 상관관계라는 것을 알 수 있었다.

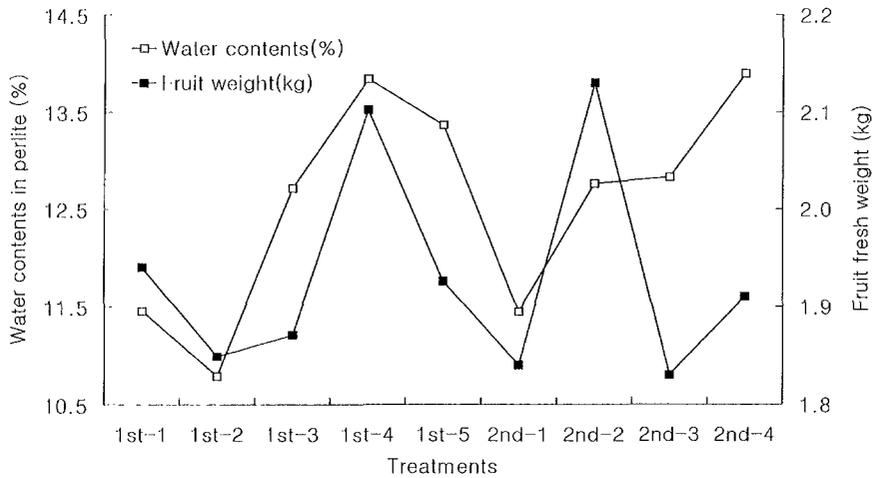


Fig. 2-59. Fruit fresh weight and water contents in perlite.
1st: First harvest, 2nd: Second harvest

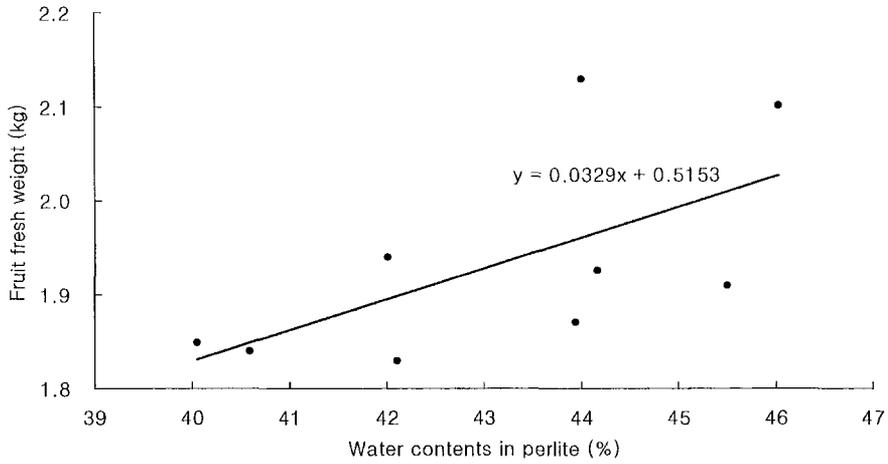


Fig. 2-60. Positive correlation between fruit fresh weight and water contents in perlite

대체적으로 펄라이트 배지 내 수분함량이 낮은 것은 지상부중이 높았고 반대로 수분함량이 높은 것은 지상부의 무게가 낮았다.

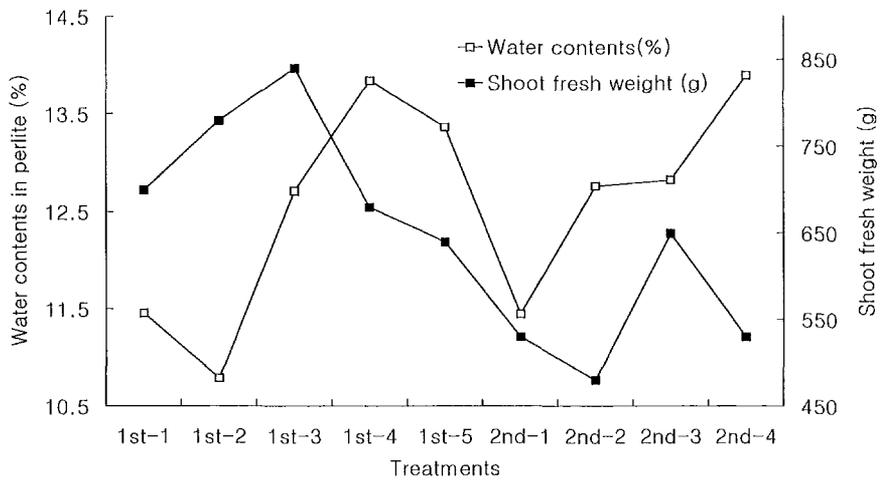


Fig. 2-61. Shoot fresh weight and water contents in perlite.
1st: First harvest, 2nd: Second harvest

근중 또한 지상부 무게와 마찬가지로 수분함량이 높은 것이 근중은 낮은 경향을 보였

다.

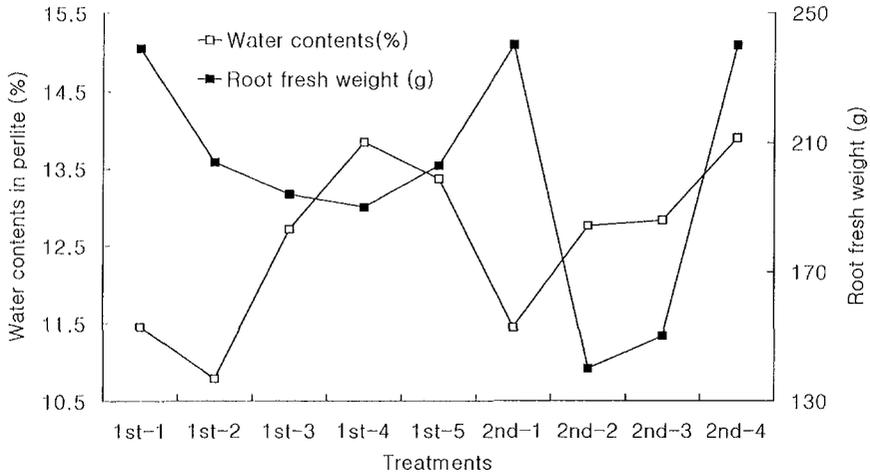


Fig. 2-62. Root fresh weight and water contents in perlite
1st: First harvest, 2nd: Second harvest

펄라이트 배지 내 수분의 함량이 많을수록 지상부나 뿌리의 무게는 감소하고 과실의 무게는 증가하는 것으로 모아 벨론 과실은 수확기까지 과실의 무게가 미약하지만 다른 부위에 비해서 증가함을 알 수 있었다. 이는 멜론이 수확기로 갈수록 뿌리의 활력이 떨어지면서 지상부에 있던 수분이 과실로 집중하는 현상이라고 볼 수 있다.

제5절 고품질 양액재배 생산법 확립

1. 농가보급형 시스템에 알맞은 양액재배법 확립

연구 방법

농가에서 지휘하면서 간단하게 조작할 수 있는 타이머 시스템을 이용하여 멜론 생육에 가장 적절한 시간대를 구명하기 위해서 수행하였다. 처리는 기존의 타이머 제어법에 서 선정된 시간(6:00, 8:00, 10:00, 11:00, 12:00, 12:30, 13:00, 13:30, 14:00, 14:30, 15:00, 16:00)(T-1), 6:00, 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, (T-2), T-1에 한시간 일찍 단수(T-3), T-1에 두시간 일찍 단수(T-4) 등 4처리로 나누었다. 처리는 수확 35일전에 시작하였다. 처리 기간 동안 배지의 무게, 수분함량(TDR sensor) 등을 측정하였다. 수확 후 과실의 당도, 생체중, 과실 크기(과장, 과폭) 등을 측정하였다.

처리 : 수확 35일 전 시작(10월 2일)

처리구	T-1	T-2	T-3	T-4
	6:00, 8:00, 10:00, 12:00, 14:00,			
처리 시간	11:00, 12:30, 13:00, 13:30, 14:30, 15:00, 16:00	16:00	11:00, 12:30, 13:00, 13:30, 14:30, 15:00	11:00, 12:30, 13:00, 13:30,
급액 회수	12	6	11	9
1회 급액량(ml/pot)	맑은날: 260, 흐린날: 164			
하루총급액량(ml/pot) (맑은날: 3400Wh/m ²)	3,120	1,560	2,860	2,340
하루총급액량(ml/pot) (흐린날: 1016Wh/m ²)	1,968	984	1,804	1,476

연구 내용 및 결과

당도는 처리간 유의성을 보이지 않았다. 과중은 T-4 처리구에서 약간 높았다. 배지 내 수분 함량은 T-1 처리구에서 높았고 T-4 처리구에서 낮았다. 급액 종료 시간이 빠를수록 배지 내 수분 함량이 낮았다. Effective WUE (과실 생체중 기준, 단위: g/L) T-2(21.4) > T-4(16.2) > T-3(12.7) > T-1(10.9)

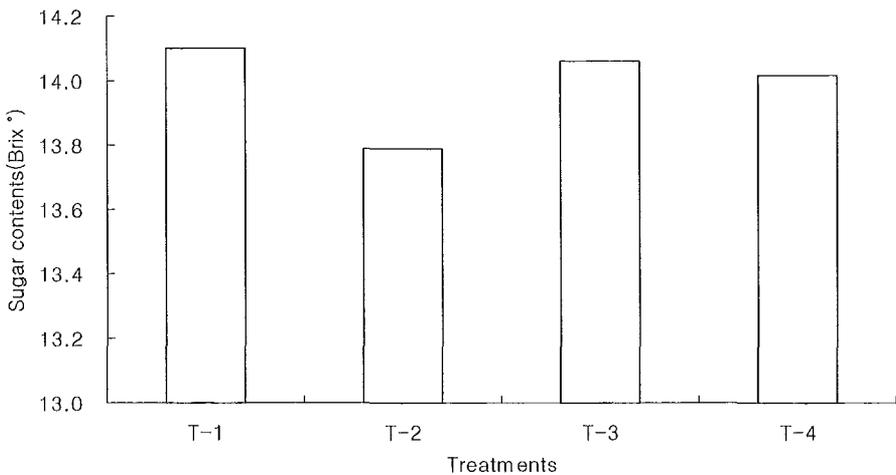


Fig. 2-63. Sugar contents (Brix %) of melon flesh according to treatments by time schedules.

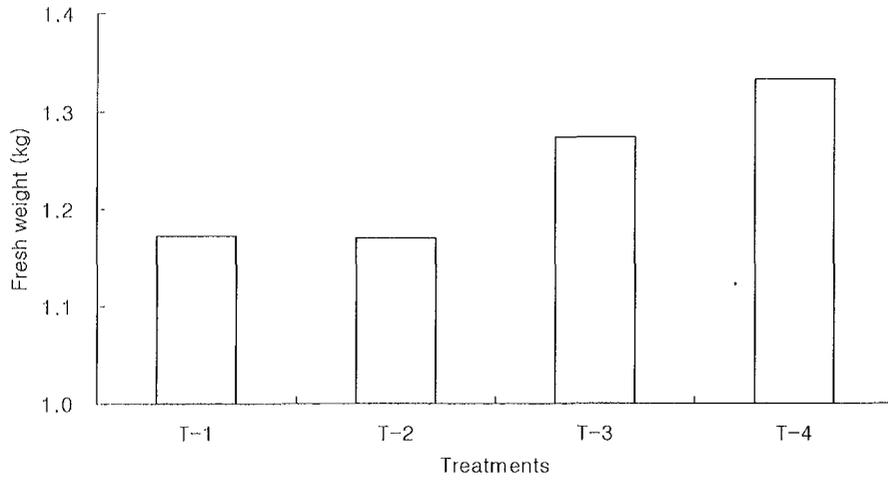


Fig. 2-64. Fruit fresh weight (kg) of melon according to treatments by time schedules.

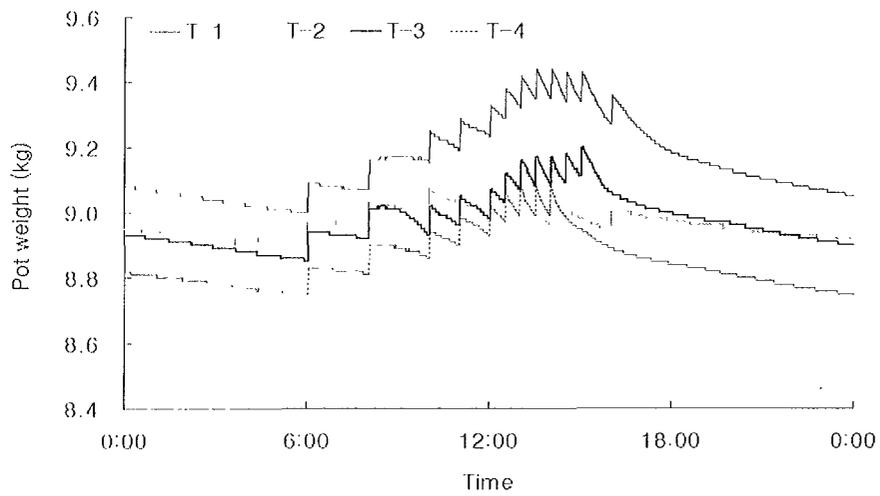


Fig. 2-65. Pot weight (kg) according to treatments by time schedules (ISR: 1060Wh/m²).

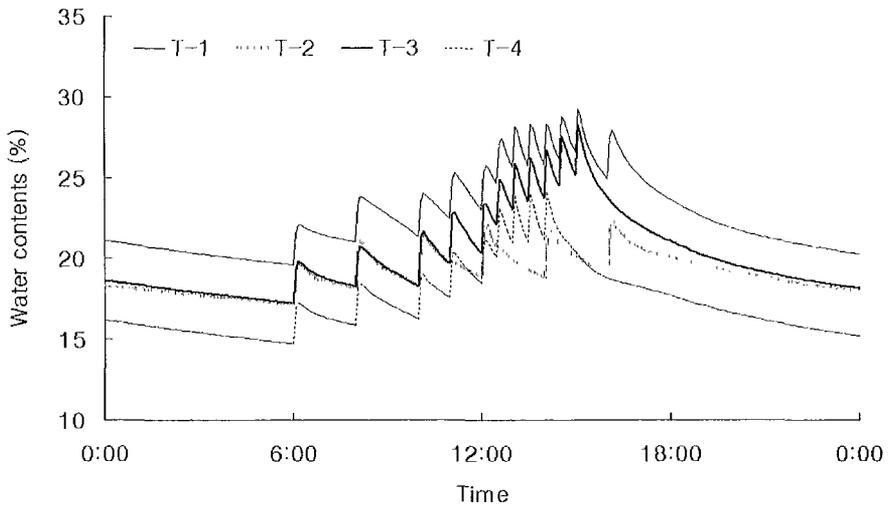


Fig. 2-66. Water contents (%) of treatments by TDR sensor.

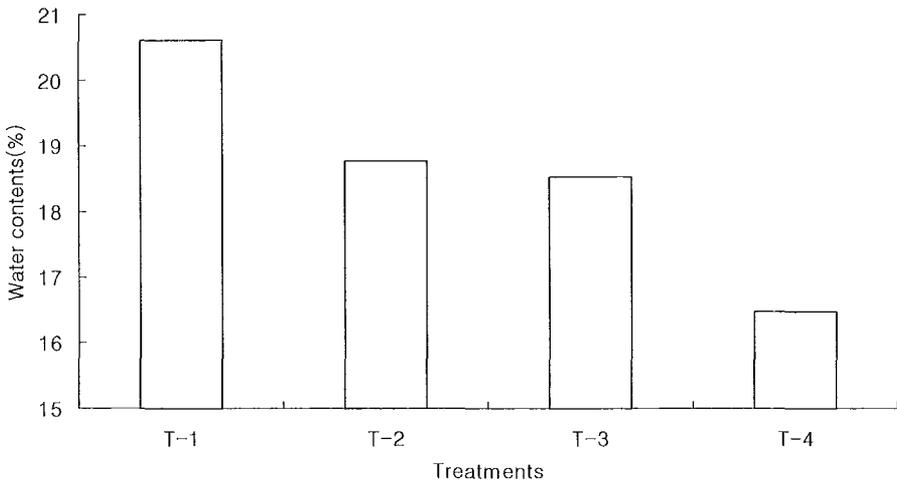


Fig. 2-67. Water contents (%) of treatments at harvest.

T-4 처리구에서와 같이 시간을 설정하여 품질이 향상된 과실을 생산하고, 최종 급액시간을 단축시키며 effective WUE의 극대화를 가져올 수 있다. 하루 중 배지내 수분함량은 급액 회수 보다 급액 종료 시점에 더 많이 좌우되는 것으로 사료된다..

2. 시스템의 현장 적용

본 실험실에서 제작한 시스템 및 software를 이용하여 현장에 적용하고자 하였다. 현재는 농가에 적용하기에는 시스템 운영이나 software의 조작에 있어 어려운 점이 많아 연구기관에 시스템을 적용하여 멜론 생산을 적극적으로 유도하였고 멜론뿐만 아니라 파프리카 재배에도 적용하여 우수한 성능을 보여주었다.

3. 멜론 품질 및 생산성 연구

연구 방법

멜론 품질 및 생산성 연구를 위해서 관수 방법으로 적산일사량과 중량 제어 시스템을 적용하였다. 적산일사량에 의해서 제어된 처리구(ISR), 중량 시스템을 이용하여 관수한 처리구는 배액량에 따라 세 가지로 나누었다. 배액율이 높은 것(dr-H), 중간 정도인 것(dr-M), 낮은 것(dr-L) 등으로 나누었다. 배액율이 높은 것은 약 20~25% 정도로 맞추었고 중간 처리는 10~15%, 낮은 것은 1~5% 수준으로 조절하였다. 처리는 수확 20일 전부터 시작하였다. 수확 후 과실의 당도, 생체중, 과실 크기(과장, 과폭), 경도 등을 측정하였다.

연구 내용 및 결과

중량 제어 시스템을 이용하여 원하는 관수량을 0.05kg 까지 정밀하게 제어 할 수 있었다. 이렇게 중량 제어는 일정한 무게로 정밀하게 관수할 수 있기 때문에 적산일사량 제어법에서 나타나는 밤 사이의 배지 내 수분 변화와 타이머 제어법에서 발생하는 배지의 수분 과부족 현상을 막을 수 있을 것으로 사료된다.

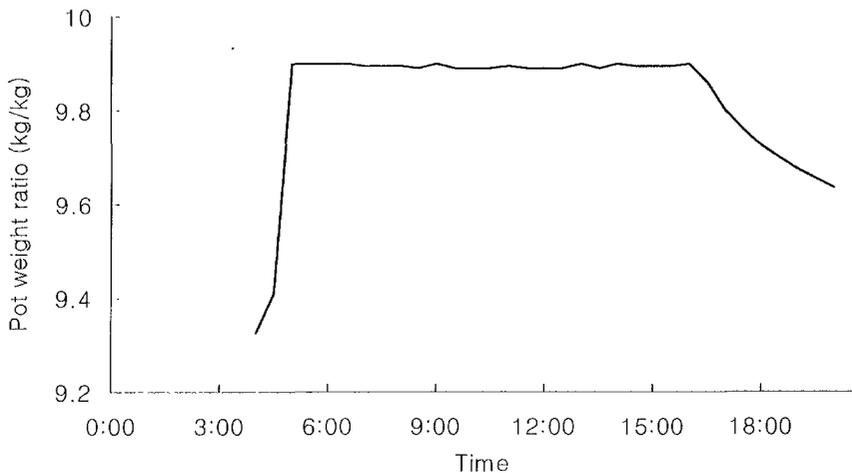


Fig. 2-68. Fine control by weighing system

중량 제어와 적산일사량 제어 시 배지의 무게 변화를 실시간으로 측정하여 하루 중 무게의 변화량을 측정하였다. 적산일사량 제어, 중량 제어 시의 무게 변화를 동일한 조건에서 비교하기 위하여 초기 값을 맞춰주었다. 초기 값은 각 처리구의 초기 무게로 나누어 1로 맞춰 주었다.

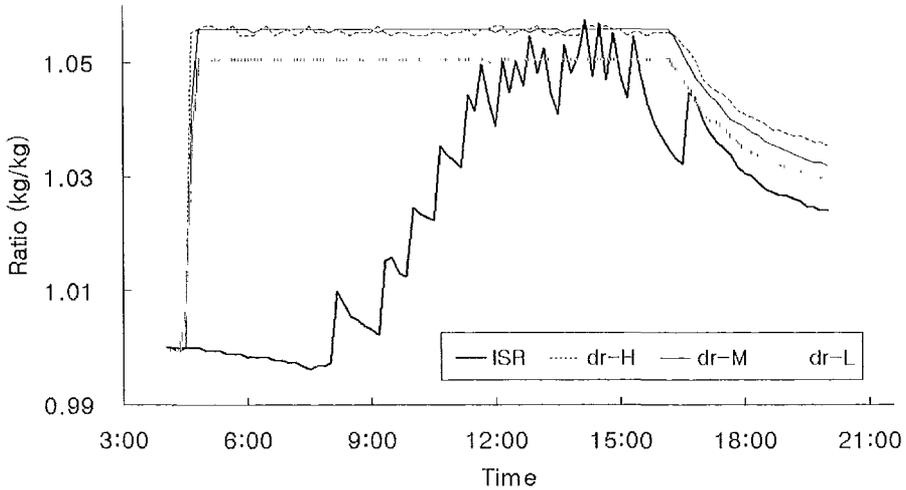


Fig. 2-69. Pot weight according to irrigation treatments (ISR: 3150Wh/m²).

적산일사량에 의한 제어에서 급액량을 실시간 측정하였다. 160Wh/m² 일 때마다 1회 급액시간을 60초로 설정하여 급액 시점과 회수를 보았다. 적산일사량이 4616Wh/m² 일 때 급액 회수는 26회 였다. ISR이 3150인 경우 19회 정도 급액 되었다. 타이머와 혼용하지 않고 적산일사량에 의해서만 관수하여 첫 급액 시간이 약 8:00에서 8:30 사이에 이루어졌다.

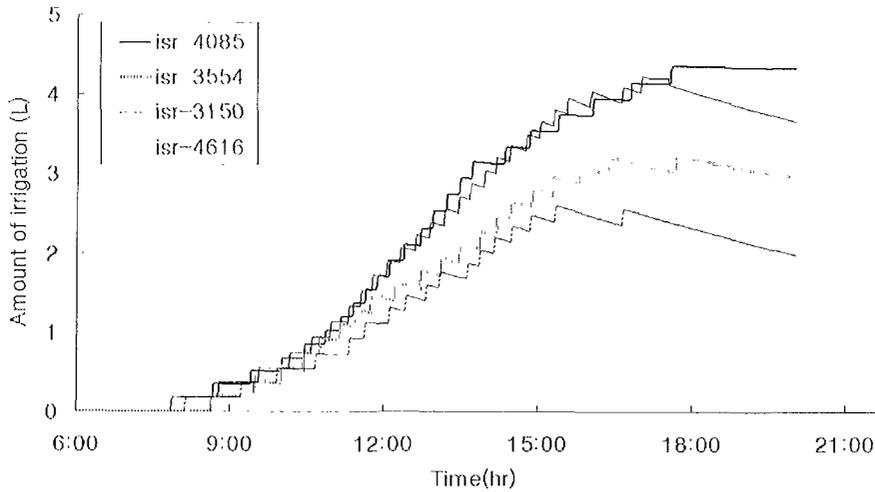


Fig. 2-70. Amount of irrigation by integrated solar radiation(ISR) according to ISR value.

적산일사량에 의한 처리를 통해서 시간대별 급액 간격과 회수를 알아보기 위해서 하루 중 일출 시부터 시작해서 다음 급액 시간에서 이전 급액 시간의 차로 급액 시간 간격을 구하였다. 급액 시간대를 크게 세 구간으로 나누어 보면, 첫 구간은 첫 급액이 시작된 시점과 급액 간격이 일정해지는 시기 전까지의 오전시간대, 두 번째 구간은 급액 간격이 일정한 시간대, 세 번째 구간은 일정한 급액 간격이 지나면서 마지막 급액이 된 시점까지로 볼 수 있다. 적산일사량이 4085일 경우 급액 회수가 가장 많은 11시부터 14시 사이에 약 11회가 거의 같은 간격으로 급액 되었다. 11시와 14시 사이를 제외하고 그 이전에는 약 6회 정도 급액 되었다. 적산일사량이 4616일 경우 11시 이전까지의 급액 구간은 4085일 때와 같은 경향으로 6회였고 급액 간격이 일정한 구역인 두 번째 구간에서는 16회로 차이가 있었다. 또한 두 번째 구간의 끝나는 시점도 적산일사량이 약간 적었을 때 보다 늦었다. 세 번째 구간은 이전 것 보다 3회 적었다. 이는 광량이 낮 동안 더 높았기 때문으로 여기진다. 적산일사량에 의해서 측정된 급액 시간 및 회수를 토대로 타이머 처리에 적용할 수 있을 것으로 사료된다. 타이머의 경우 가장 저렴하여 농가에서 사용하기 간편하나 광량을 고려하지 않고 일정한 시간 간격으로 설정해주어 관수량을 적절히 조절하기가 어려운데 적산일사량에 의해서 관수 회수를 적게 설정해 주어야 할 시간대와 자주 해주어야 할 시간대를 맞춰준다면 기존의 타이머 방식을 한층 더 식물 반응에 맞춰 줄 수 있을 것이다.

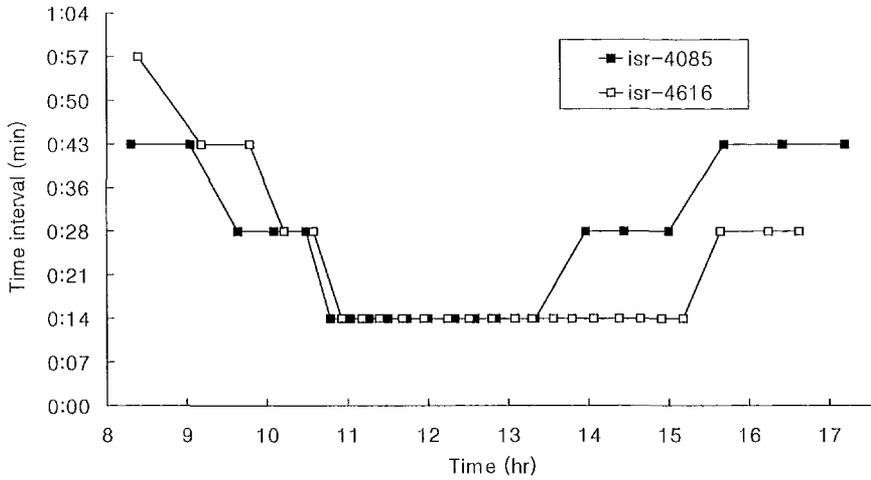


Fig. 2-71. Frequency and terms of irrigation by integrated solar radiation (ISR: more 4000)

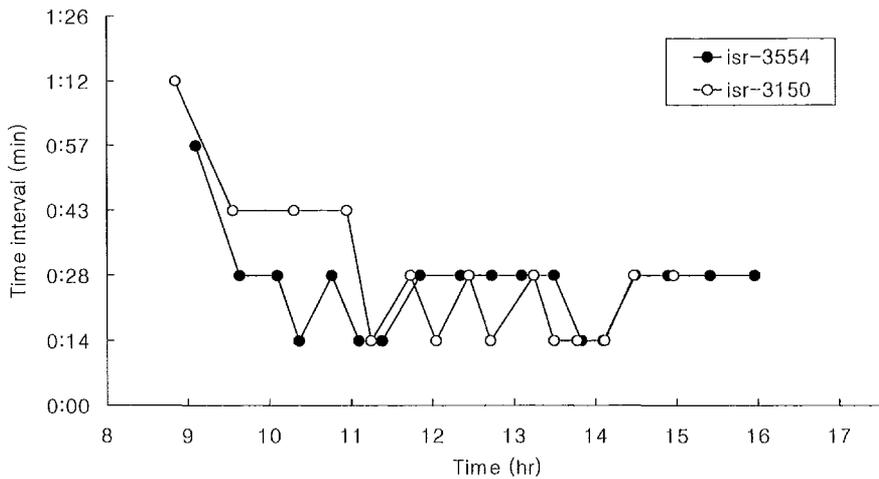


Fig. 2-72. Frequency and terms of irrigation by integrated solar radiation (ISR: more 3000)

첫 급액시간은 1회 적산량에 의해서 조절되지만 보통 농가에서 적용하는 적산일사량을 고려할 때 거의 비슷한 수준일 것으로 판단된다(근거 자료). 만약 본 실험에서 설정한 적산량(160Wh/m^2) 보다 높게 설정한다면 첫 급액 시간이 더 늦춰지게 될 것이다. 이

렇게 되면 하루 중 마지막 급액 시간과 다음 날 첫 급액 시간 사이의 간격이 너무 커져 배지가 건조해지는 현상이 발생하여 식물이 스트레스를 받을 수 있으므로 1회 적산량을 160-180보다 너무 높게 설정하지 않는 것이 좋을 것으로 사료된다. 본 실험에서는 적산 일사량에 의해 급액 했을 때 첫 급액 시간이 8:00 정도였고 마지막 급액 시간이 약 17:00 있기 때문에 밤사이에 배지의 무게가 서서히 감소하는 경향을 보였다. 이렇게 배지의 무게가 감소되거나 다음 날 첫 급액시 배양액이 과다 공급되면 식물에 스트레스를 줄 수 있으므로 이러한 단점을 보완하기 위한 방법으로 일출 30분전에 타이머를 이용하여 첫 급액을 해준다면 식물에 스트레스를 덜어주는 방법이 될 것으로 사료된다. 이러한 제어법이 적산일사량 제어법과 타이머 법을 혼용한 제어 방식이다. 혼용하는 방식이 한 가지 제어법만 가지고 식물을 재배하는 것보다 보다 우수한 품질의 상품을 생산할 수 있을 것으로 사료된다.

중량 제어로 배액율을 달리하여 하루 중 관수량의 차이를 보았다. 중량 제어시 배양액이 공급되는 경향은 거의 직선성을 나타내는데 설정된 무게를 정밀하게 유지하기 위해서 지속적으로 배양액이 공급되었기 때문으로 사료된다. 배양액 공급 그래프는 직선성의 기울기 값이 높은 것일수록 같은 시간대에 급액된 양이 많은 것이다. dr-M 처리구에서 기울기의 값이 약 14.6으로 높은 것으로 보아 다른 처리구들에 비하여 급액된 양이 많았음을 알 수 있다. 이러한 배양액 공급 경향을 광량에 따라 나타내었다. 광량이 높을 때 회귀직선의 기울기가 낮을 때보다 큰 것을 알 수 있다. 중량 처리별 기울기를 보면 배액율이 가장 높은 dr-II 처리구에서 기울기가 가장 낮고 dr-M 처리구에서 가장 높다. 이는 같은 시간에 관수하였을 때 dr-II 처리구 보다 dr-M 처리구에 급액이 많이 되었음을 알 수 있었다.

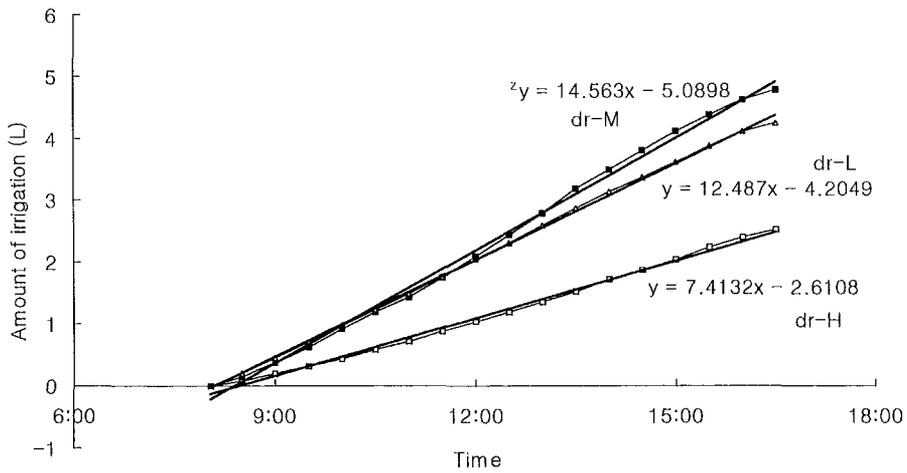


Fig. 2-73. Amount of irrigation each treatments by weighing control (ISR: 4085Wh/m²)

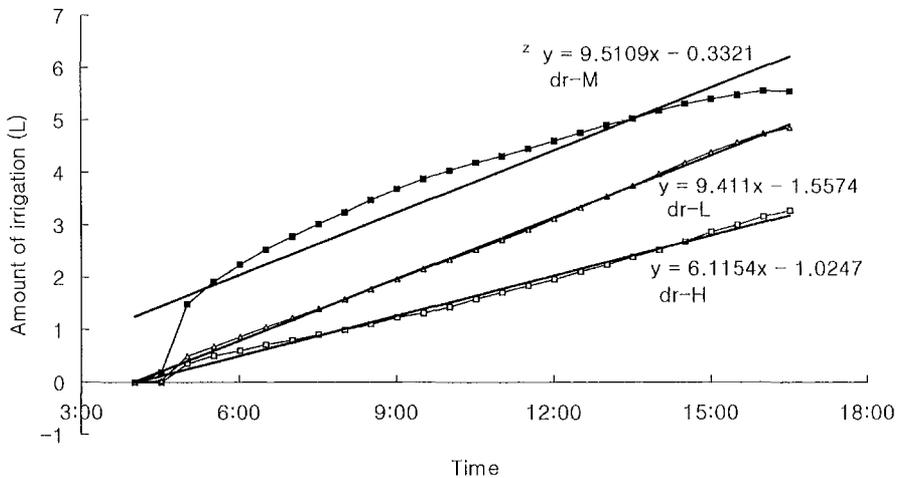


Fig. 2-74. Amount of irrigation each treatments by weighing control (ISR: 3150Wh/m²)

이러한 혼용의 방식을 이용하지 않고 포트의 무게를 설정하여 배지 내 수분의 함량을 최적으로 유지하면서 식물을 재배할 수 있는 방식이 중량 제어방식 이라고 사료된다.

과실의 당도는 적산인사량에 의한 처리구(ISR)에서 가장 높게 나타났으며 배액율이 가장 낮은 dr-L 처리구에서 가장 낮게 나타났다. 중량 제어에 의한 처리에서는 처리간 큰 차이를 보이지 않았다.

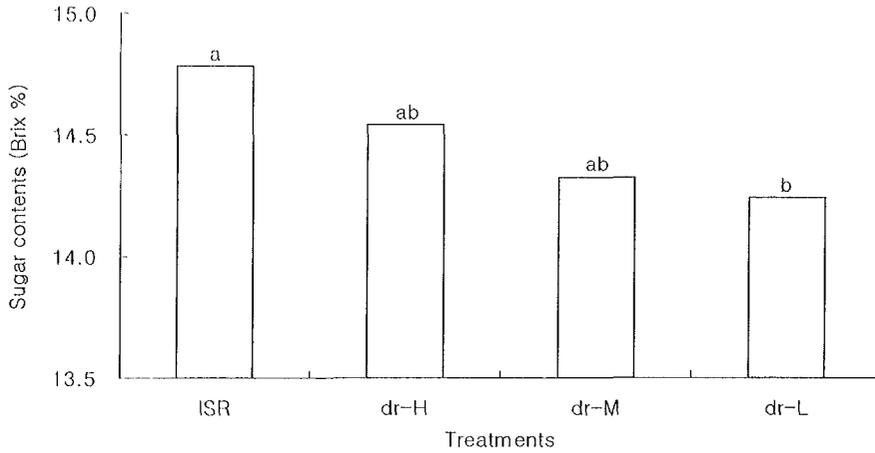


Fig. 2-75. Sugar contents of melon flesh according to irrigation treatments.

과중은 당도가 가장 높았던 적산인사량에서 가장 낮았고 dr-M 처리구에서 가장 높게 나타났다. 중량제어에 의한 처리에서는 과중의 차이를 보이지 않았다.

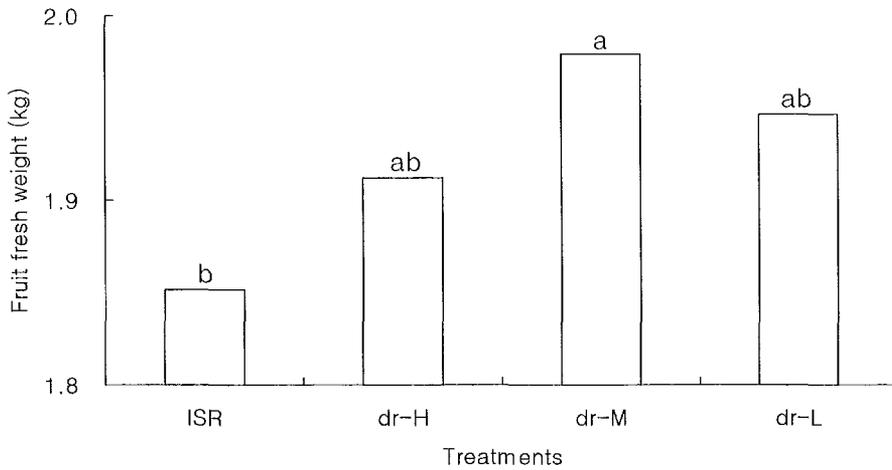


Fig. 2-76. Fruit fresh weight of melon according to irrigation treatments.

과실의 크기를 과폭과 과장으로 나누어 측정하였다. 당도가 가장 높았던 ISR에서 과폭, 과장 모두 낮았고 dr-L 처리구에서 가장 높았다. 이는 과중과 같은 결과를 보였다./

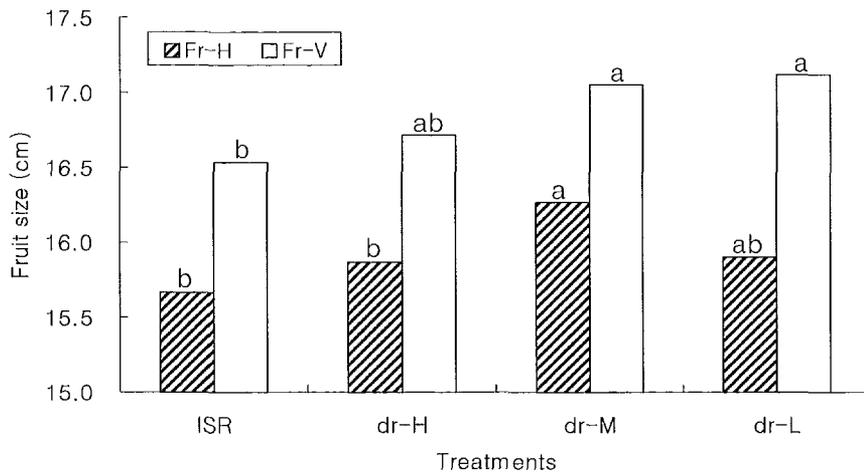


Fig. 2-77. External fruit size of melon according to irrigation treatments.

경도는 ISR에서 가장 높았고 dr-H, dr-M 처리구에서 낮았다.

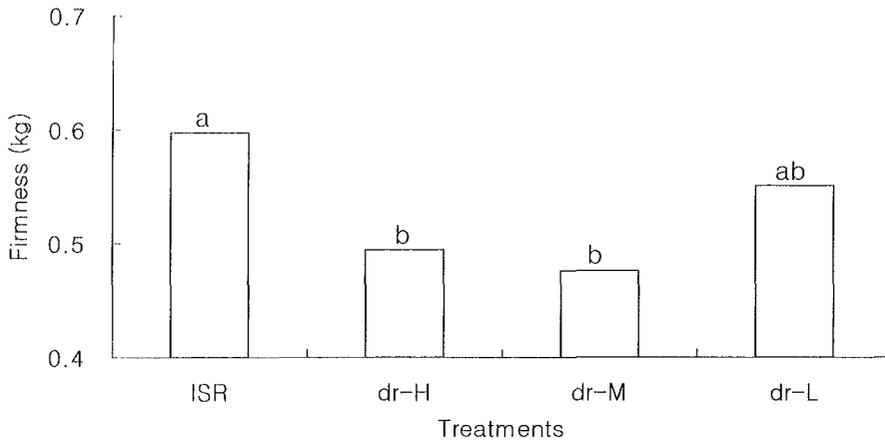


Fig. 2-78. Fruit firmness of melon according to irrigation treatments.

당도가 높을수록 과중, 과실의 크기는 낮았고 경도는 높았다. 이는 배액된 수분의 양과 배지 내, 지상부, 과실에 존재하는 수분 함량의 차이인 것으로 판단된다. 즉, 공급된 배양액과 배액된 양을 비교해보면, 적산일사량의 경우 배액율을 조정하지 않고 1회 적산값을 고정하여 관수한 결과 실험중 배액율이 40% 이상으로 처리 중에서 가장 높았다. 중량 제어에 의해 관수된 처리구들의 경우 각각의 배액율을 25, 15, 5%로 조절해 주어 처리마다 배액율의 차이가 있었다. 당도가 적산일사량 의해 제어된 처리구에서 가장 높았고 배액율이 가장 낮았던 dr-L에서 낮았던 이유는 ISR의 경우 공급된 양보다 배액된 양이 상당히 많아 수분이 배지나 과실 및 지상부에 머물러 있지 못한 반면 배액율이 낮은 처리구에서는 공급된 배양액의 양보다 배액된 양이 현저히 적어 대부분의 수분이 과중, 과실의 크기 생장에 주력한 것으로 사료된다. 이전의 실험에서 배지 내 수분함량과 과중이 정의 상관관계를 보인바 있다. 당도와 마찬가지로 경도 또한 배액율이 가장 높았던 ISR에서 높게 나타났는데 이러한 결과도 과실 내 수분의 함량이 다른 처리구들에 비하여 적어 과실 조직의 진밀도를 형성하였을 것으로 판단된다. 아직 배지 내 수분 함량 결과는 알지 못했으나 하루 중 급, 배액된 양과 그 차이의 결과로 이러한 판단을 미루어 짐작할 수 있다. 급액된 양과 배액된 양의 차이 그래프를 보면 과중과 같은 경향을 보였다.

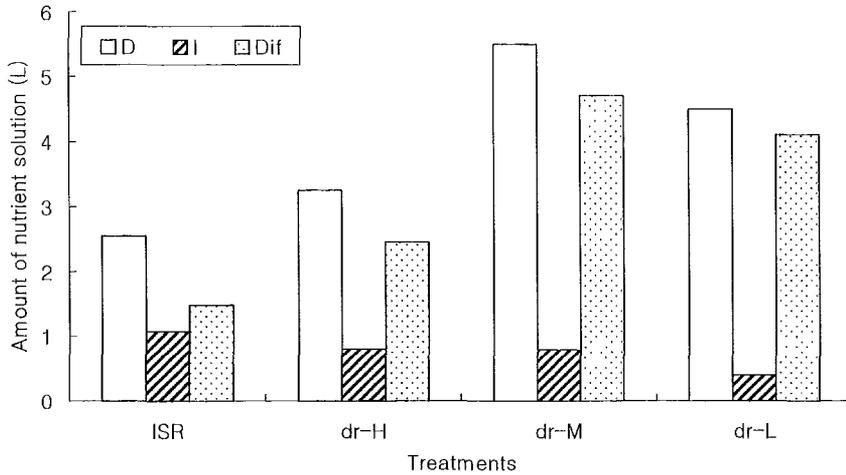


Fig. 2-79. Amount of nutrient supply and drain water in a day.

적산일사량과 중량 제어법을 이용하여 멜론을 재배할 경우 당도는 ISR에서 가장 높았으나 과중이나 과실의 크기가 작았다. 또한 배액되는 양이 많아 비순환식일 경우 소비되는 배양액의 양이 상당히 많을 것으로 판단된다. 중량 제어시 배액율이 15~25% 사이의 처리(dr-H, dr-M)에서 당도는 ISR과 차이가 없었으나 dr-M 처리구에서는 과중이나 과실의 크기는 더 높았다. 또한 배액되는 양이 15%를 넘지 않아 40% 이상 배액된 ISR과 2배 이상의 차이가 발생했다. 이는 비순환식으로 재배 할 경우 적산일사량에 의한 제어보다 중량 제어시 배양액 소요량에 있어서 큰 차이가 발생한다. 배양액에 소요량을 최적화하고 멜론 과실의 품질을 향상시킬 수 있는 관수 방법으로 중량 제어를 채택하되 배액율을 고려하여 포트의 무게를 설정하는 것이 중요할 것으로 사료된다.

제3장 고당도 멜론의 안정 생산법 개발

제1절 당도관련 인자 조사, 분석

연구 방법

수분관리와 당도 상승 기작과의 관련성, 광합성산물 전류특성 등을 구명하기 위하여 국내외 자료를 수집, 정리하였다.

연구 결과

1. 수분관리와 당도 상승 기작 관련성 조사, 분석

수분관리와 당도 상승 기작에 관한 국내외 자료를 종합 정리한 결과는 다음과 같다.

생육단계	생육특징	급액설정
발아		최아
육묘초기		지면급액 EC 1.0
육묘후기		EC 2.0
정식전		탄수로 근계의 발달 촉진

생육단계	생육특징	급액설정
정식직후		적당
정식후(꽃눈분화기)	과실내 세포수의 80% 결정단계	EC 2.0
교배전후		단수 EC 2.0
교배후 2-3일	과실비대기 개시	충분
교배후 3-10일	과실비대기 과장생장	충분
교배후 7일 정도 (교배후 10-15일)	경화기(네트발생7일전 부터) 과피색:흰색으로 변화	조금 부족하게, 고농도 EC농도를 2.5
네트발생기(교배후 15-20일)	연화기	충분(네트가 깊을 것 같으면 줄임) 저농도 EC 2.0
네트발생후 7-10일	네트발생 완성	억제
네트발생후 10-30일	과폭생장	
수확20일전	생장속도 느리나 수확 때까지 생장	EC 0.3~0.4 증가
수확10일전 - 수확시 (수정후 50일)		EC를 2.7 억제(약간 위조)
수확 3일전		급액량을 1/3 약간 위조

토양재배에서는 하루에 남아있는 수분을 익일까지 미루지 않는 것이 원칙이나 압면재배의 경우 오진중에만 급액하면 수분스트레스가 일어나므로 양액재배에서는 토양재배와는 다른 관수체제를 확립해야 한다.

2. 광합성산물전류특성 조사, 분석

당도는 과즙내에 존재하는 당의 농도, 즉 단맛으로, 상대적인 지표이다. 즉, 당도는 과실 비대량(수분흡수)의 정도와, 광합성 산물(당)의 과실내 축적량의 정도에 의해 변화한다. 과실의 당도를 높이기 위한 재배적 수단으로 수분제어가 행해지고 있는데, 이 경우 과실의 당도는 높아지나 비대가 억제되는 경향이 나타난다.

수분스트레스와 과실 발육과의 관계는 기공개폐와 광합성 능력의 변화, 호르몬 감소, 광합성 산물의 전류와 분배의 변화 등에 의하여 일어난다. 과실 1 개를 수확하는 온실멜론에서 일반적인 재배방법으로 재배하고 교배 29일부터 각 엽위의 광합성 산물의 전류율을 조사했을 때, 주지중의 잎은 과실로부터의 거리에 관계없이 거의 65-70%의 전류율을 보인 반면, 과실착생 추지의 잎은 80% 이상의 전류율을 보인다. 또한, 전류된 동화산물은 대부분이 과실로 이행된다. 조사된 식물은 25엽까지 존재하였는데, 이와 같은 결과로 볼 때 가급적 엽수를 많이 확보하고 각 잎의 활력을 높게 유지하는 것이 과실 생육에 절대적인 것으로 나타났다. 잎의 착생열도 전류율과 상관성이 있는데, 과실착생열과 반대쪽에 위치하는 잎은 과실로의 전류율이 낮게 나타났다. 이는 유관속의 연락정도가 상대적으로 약하기 때문인 것으로 사료된다.

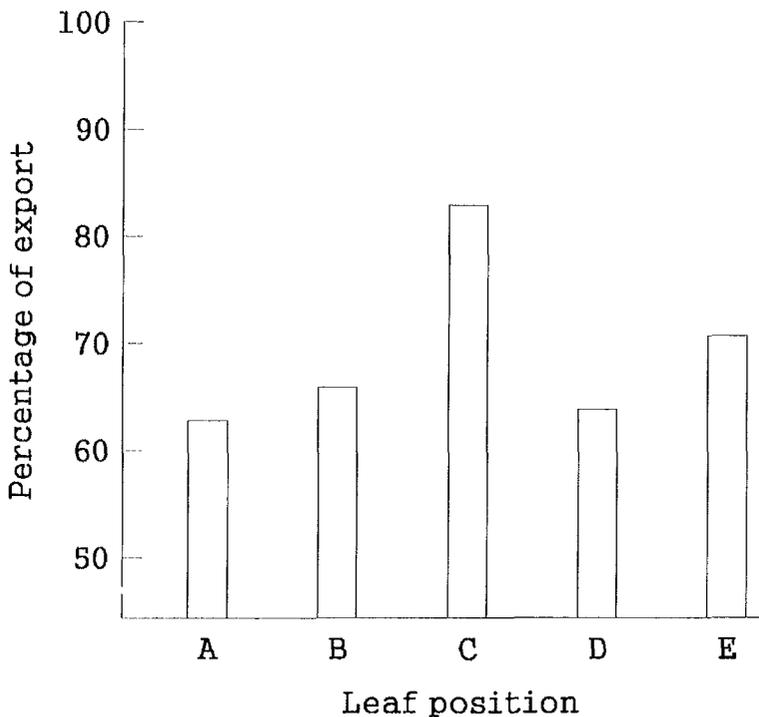


Fig. 3-1. Percentage of ^{14}C -assimilates exported by leaves located at different positions on the vine. The data was based on the measurement at 43 days after pollination.

수확 20일 전부터 관수개시점을 pF 2.3에서 300ml(긴조구), pF 1.8에서 600ml(표준구),

pF 1.5에서 800ml(다습구)로 처리하여 전류율을 조사한 결과, 교배 53일후 표준구와 건조구에서는 전류율이 관수처리 직전에 비해 증가했으며 표준구에서의 증가가 컸다. 다습구에서는 처리직전과 거의 차이가 없었다. 교배 64일후(수확기)에는 다습구>표준구>건조구의 순으로 순위가 바뀌었다. 그러나, 개체변이가 큰 관계로 관수처리에 의한 전류율의 일관된 추이를 단언하기에는 어려운 것으로 판단된다. 이는 과실의 건물중, 분배율 등이 처리에 관계없이 시간에 의한 함수로 나타난 것으로 증명된다.

착과절위엽의 광합성 전류율은 교배 29일후부터 64일후(수확)까지 90% 정도로 일정하였으며, 과실의 건물중%는 교배 29일후 44%, 교배 43일후 51%, 53일후 55%, 64일후 65% 정도로 처리에 관계없이 생육함에 따라 일정한 속도로 증가하였다. 이에 따라 식물 전체의 증가량은 대부분 과실에 의한 것으로 나타났다. 수확기까지 광합성 산물이 과실로 전류되는 현상으로 보아 재배상의 수확적기와 과실의 생리적 성숙 사이에는 차이가 있는 것으로 사료되었다. 즉, 실제 수확하는 시기는 생리적으로는 성숙 이전의 단계인 것으로 여겨진다.

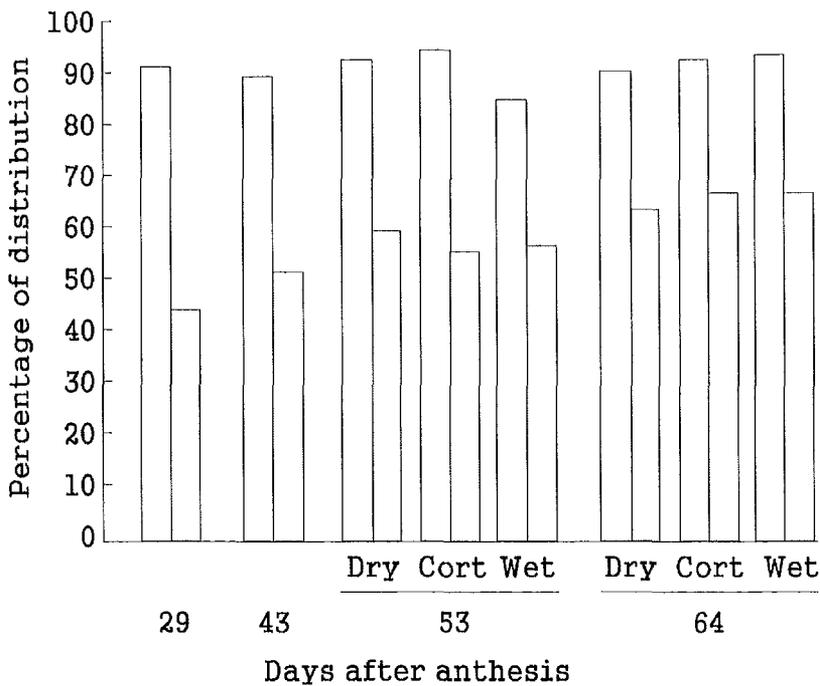


Fig. 3-2. Changes in percentages of distributions of ^{14}C -assimilates to fruit(□) and the dry weight of a fruit(▤) in different water management. Water management was begun 20 days before harvest.

식물체가 수분스트레스를 받으면 ABA가 증가하며, 그와 연동하여 에틸렌 발생이 증가한다. 기공지항이 키저 광합성속도는 저하되지만 만들어진 동화산물의 전류속도에는 영향을 미치지 못한다.

이상의 결과에서 과실로의 광합성 산물의 전류속도는 관수에 의해서가 아니라 과실의 성숙정도에 의해서 지배되는 것으로 보여진다. 즉, 수분스트레스를 줄 경우에는 성숙이 빨라지기 때문에 생육 최성기가 일찍 오는 것으로 사료된다. 멜론은 수확기에 이르면 하루에 건물중이 5g 정도씩 증가하므로 과다한 건조는 조기성숙에 의해 작은 과실을 초래하므로 주의해야 한다. 관수를 제한했을 경우에 당도가 높은 것은 당의 절대량이 많은 것이 아니라 수분의 흡수가 제한된 결과 농도가 높아졌기 때문이다. 즉, 희석효과(dilution effect) 때문인 것으로 판단된다.

3. 환경조건과 당도와외의 관련성 조사, 분석
가. 광

멜론의 광포화점은 55klux이다. 광합성은 오전중에 70-80%가 이루어지므로 주간은 25-30℃로 관리하여 광합성을 촉진한다. 이 때 탄산시비를 하면 좋다. 17-21시 사이에는 광합성 산물의 전류를 촉진하기 위하여 18-20℃로 하며, 21시 이후에는 호흡열량을 줄이는 온도로 한다. 또한, 해뜨기 전 광합성을 시작하기 전에 온도를 올리는 것이 좋다.

나. 온도

생육단계	생육특징	환경설정
발아		발아적온 28~30℃
육묘초기		액온 18~20℃ 28~30℃/18~20℃ 제1본엽전개후 14~16℃
육묘후기		
정식전		25~28℃/17~18℃

생육단계	생육특징	환경설정
정식 직후		33/20℃
정식 후 (꽃눈분화기)	과실내 세포수의 80% 결정단계	25~28/17~18℃
교배 전후		25~30/18~20℃ 습하면 개화불량
교배 후 2-3일	과실비대기 개시	30~33/20~22℃
교배 후 3-10일	과실비대기 과장성장	30/20℃
교배 후 7일 정도 (교배 후 10-15일)	경화기(네트발생7일전 부터) 과피색:흰색으로 변화	저온건조 비대가 좋으면 빨리 경화를 시작시킨다
네트발생기 (교배 후 15-20일)	연화기	고온다습. 낮 26-28℃ 밤 일스:18~20℃, 하우스:16~ 18℃
네트발생 후 7-10일	네트발생 완성	건조. 25~28/18~20℃
네트발생 후 10-30일	과폭성장	25~30/16~18℃
수확20일전	성장속도 느리나 수확 때까지 성장	25~30/16~18℃
수확10일전 ~ 수확시 (수정 후 50일)		25~30/16~18℃
수확 3일전		25~30/16~18℃

다. 목표 당도

수확과는 당도가 너무 높으면 발효가 빨리 진행되어 좋지 않은데, 17도 이상이 되면 식용이 곤란하며 15도 정도가 최적 당도이다. 멜론의 생산자조합에서는 여름 13, 겨울 14도 이상을 기준으로 하고 있다.

제2절 당도 증진 인자 구명

1. 수분관리와 당도상승 mechanism 관련성 구명

연구 방법

수분관리와 당도상승 mechanism 관련성 구명을 위해 생육기간 중에는 관행에 의해 재배하였으며, 수확 10일전부터 급액량 및 급액방법 처리를 시작하였다. 타이머 제어는 배

양액 공급 시스템과 타이머를 연결하여 급액하는 실험으로, 1일 관수회수를 4단계로 나누어 설정하였다. 즉, 소량 처리구(W-1)는 1일 5회, 중간 처리구(W-2)는 9회, 다량 처리구(W-3)는 13회 급액하였으며, 단수 처리구(NON)는 생육기간 중에는 W-2 처리구와 동일하게 9회 관수하고 수확 5일전부터는 단수 하였다. 처리에 관계없이 급액시간대는 오전 6시부터 오후 4시까지였다. 1회 급액하는 관수량은 생육시기, 배액되는 양 및 적산 일사량을 고려하여 조절하되 처리간에 차이를 두지 않았다. 실험기간 중 실제 배액량과 적산일사량의 추이는 그림 3-3과 같다. 실험처리 초기의 급액횟수는 13회(W-1), 17회(W-2, NON), 21회(W-3)였고, 후기에는 단수(NON), 5회(W-1), 9회(W-2), 13회(W-3)로 설정하였다. 1일의 배액량 측정은 배액통에 매달린 저울(CI-5010A, CAS, Max 50kg)을 매달아 측정하였다. 측정된 데이터들은 제 3 세부과제에서 개발한 제어계측용 프로그램(DCS)을 이용하여 하루중의 배액 총량은 물론 시간대별 변화량까지 측정할 수 있게 하였다. 과실이 달려 있는 잎이 Mg 결핍증상처럼 되고, 잎의 바깥쪽이 타들어 가는 증상이 확연하게 나타나는 시기로, 네트가 발현되고 약 한달 후에 과실을 수확하였다. 수확 후 과실의 생체중, 긴불중, 직경, 길이, 당도, 경도, 색과 등을 조사하였고 비타민 C, 가용성 당 함량 등을 분석하기 위해서 시료를 동결건조 시켰다. 당도 측정은 당도계(digital refractometer, TRM-110, N.O.W.)를 이용하여 씨가 있는 중심부분(center)과 섭취하는 과육의 중앙부분(middle)으로 나누어 측정하였다. 경도는 과일경도계(fruit hardness tester, Cat. No. 9300, N.O.W.)를 사용하여 섭취하는 부분을 과실당 4회 반복한 후 평균값을 계산하였다. 색 측정은 색차계(Chroma meter, CR200, Minolta)로 과실의 과육중 가장 안에서 1cm되는 부분과 과피에서 1cm 들어간 부분을 측정하였다.

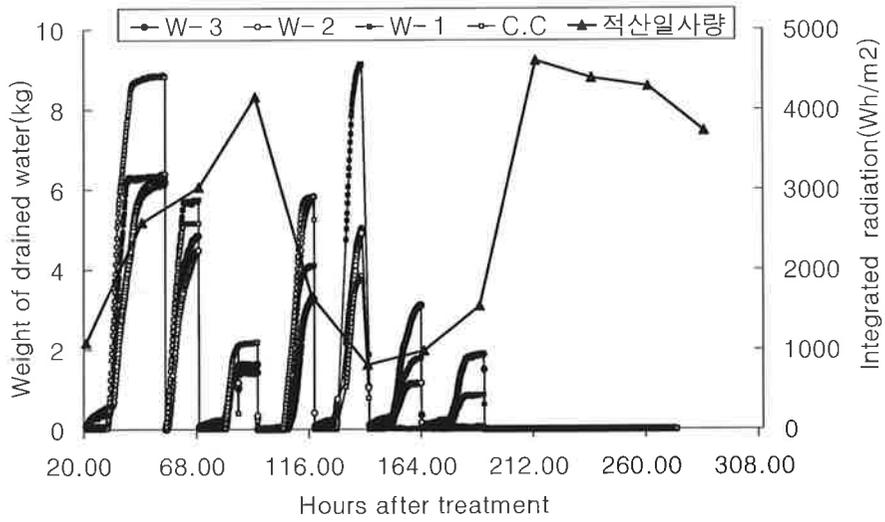


Fig. 3-3. Measurement of drained water and total integrated solar radiation.

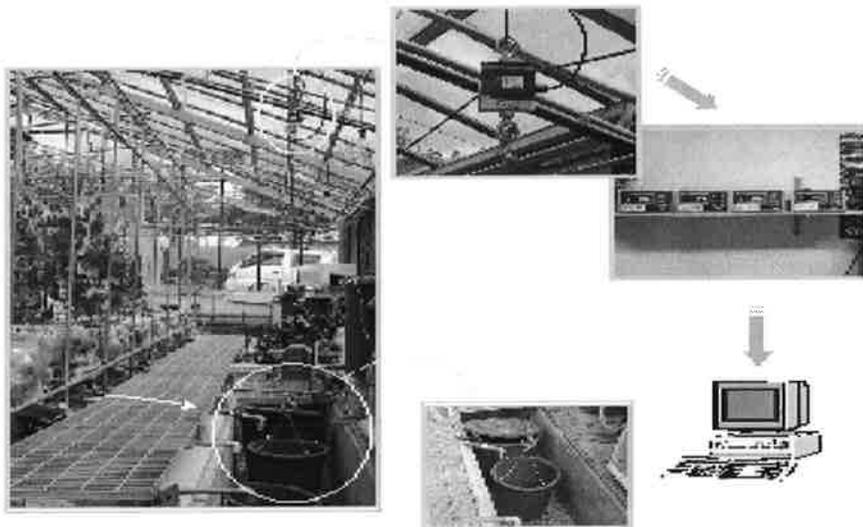


Fig. 3-4. Control by time clock

타이머 제어 실험과 비교하기 위해 완전 컴퓨터 제어 처리구(C.C)를 설정하였다. 완전

컴퓨터 제어 시에도 마찬가지로 본 실험실에서 제작한 자동관수 시스템과 제어계측용 프로그램을 이용하여 제어해주었다. 측정방법은 전체 실험구에서 3그룹이 식재된 길이 1m 크기의 베드의 전체 무게를 측정할 수 있는 저울을 제작 설치하고, 저울 위에 필라이트를 채운 성형 스티로폼베드를 올려놓고 세그루의 식물을 정식하였다. 저울은 철제로, 크기는 가로 40 × 세로 120cm 이었으며, 계측기(CI-5010A, CAS, Max 50kg)를 통하여 컴퓨터와 연결하였다. 이 때 과실과 식물체에 별도의 매달림 저울(CI-5010A, CAS, Max 5kg)을 설치하여 식물무게가 베드무게에 영향을 적게 미치도록 고안하였다. C.C처리구에서의 관수는 베드무게가 일정하게 유지되도록 하였으며, 영양생장 이후의 설정값은 23~23.5kg 이었다.

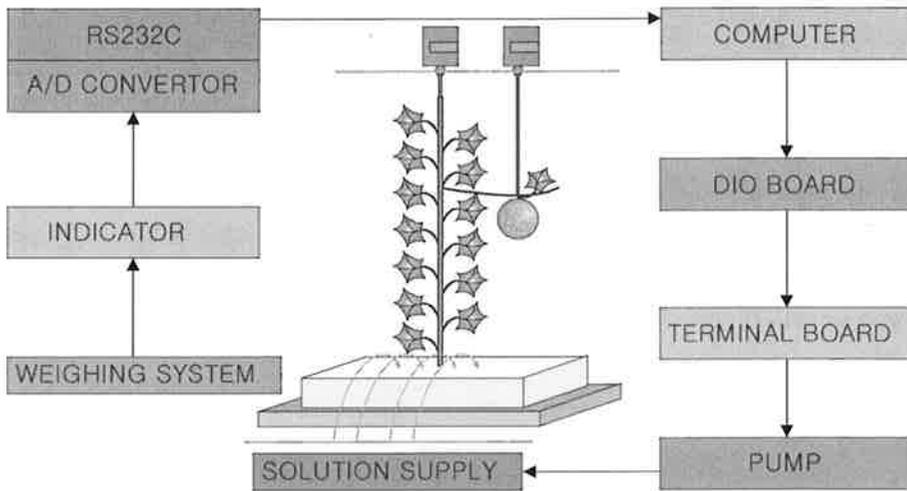


Fig. 3-5. Scheme of control by weighing sensor.

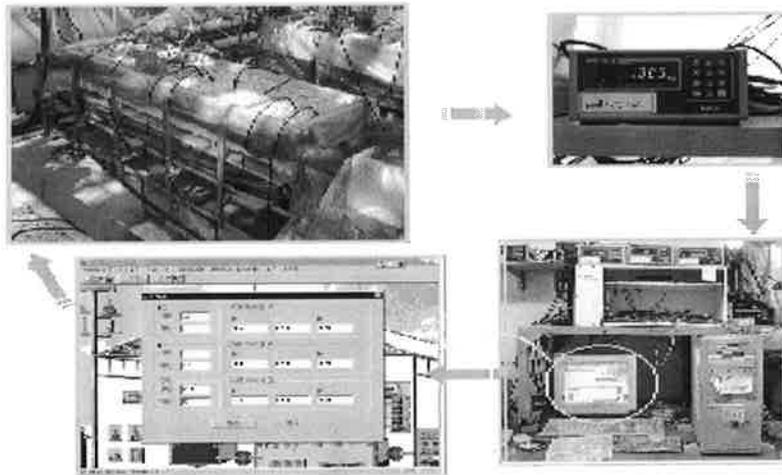


Fig. 3-6. Control by weighing sensor.

연구 내용 및 결과

수분관리와 관계없이 당도는 과실의 크기와 무관했다. 즉, 당도상승은 과실의 양적생장이 완료된 이후부터 급격히 일어나는 현상이기 때문에 과실중량에 의해 당도를 판정할 수는 없으며 이 사실은 향후 멜론품질의 비파괴적 측정의 경우의 기본 자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

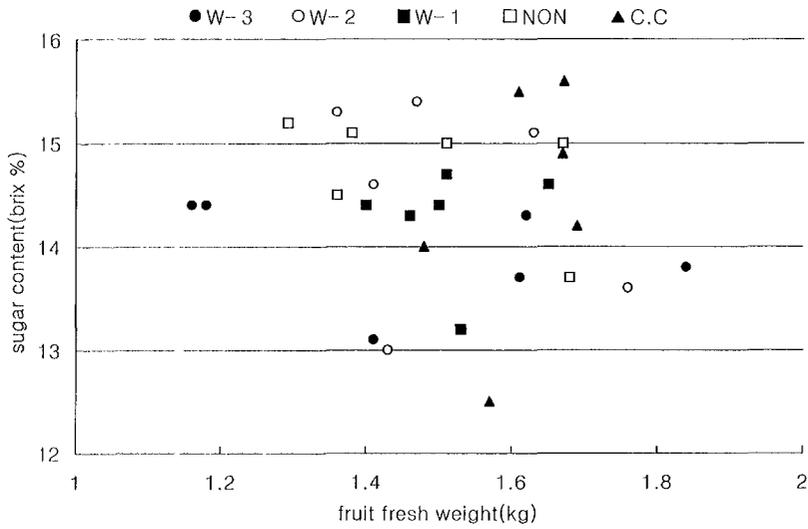


Fig. 3-7. The relationship between fresh weight and sugar content of fruit. W-1: little, W-2: medium, W-3: large water supply. NON: no water supply, C.C: automatic control

W-13, W-9, C.C, NON 처리구에서 관수량과 과육의 당도와는 부의 상관관계를 보였다. 그러나 과육 부분이 아닌 과실의 씨가 있는 중심부에서는 정의 상관관계를 보였다.

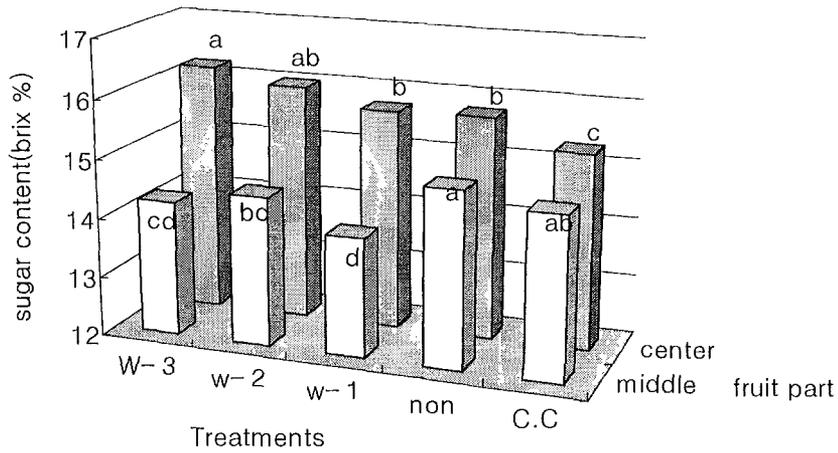


Fig. 3-8. The relationship between each of treatments and sugar content.

W-1: little, W-2: medium, W-3: large water supply. NON: no water supply, C.C: automatic control

Mean separation within treatments by Tukey's multiple range test, at 5% level.

C.C는 W-2보다 배드의 무게가 적어 관수량이 적었고, NON보다는 많았기 때문에 중간 정도의 당도를 나타낸 것으로 사료된다.

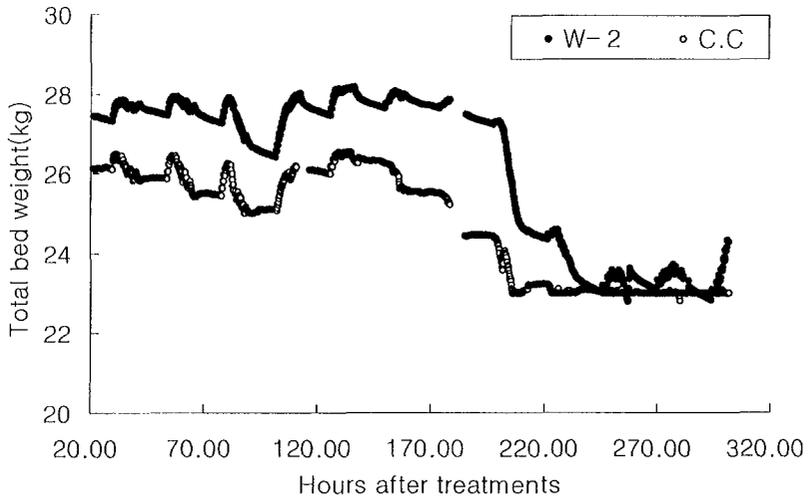


Fig. 3-9. Change of C.C(automatic control) and W-9(control by time clock) of total bed weight.

식물체와 배설의 무게를 측정할 결과, CC에서 가장 값이 컸다. 이는 영양생장 및 생식생장이 왕성했음을 시사한다.

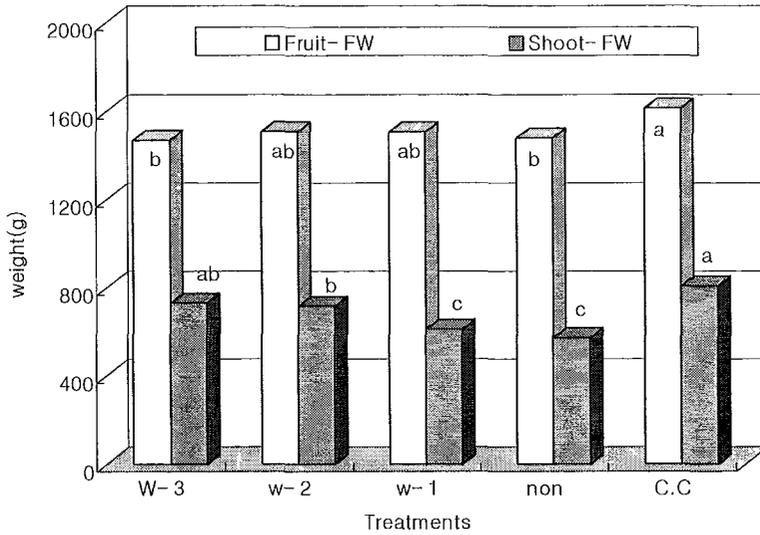


Fig. 3-10. Fruit and stem fresh weight each of treatments.

W-1: little, W-2: medium, W-3: large water supply. NON: no water supply, C.C: automatic control

Mean separation within treatments by Tukey's multiple range test, at 5% level.

이에 따라 생육기간 중에는 C.C로 관리하고 수확 전에는 NON으로 관리하여 당도를 높이는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 단, 단수의 경우 단수 시점을 베드내 수분함량, 기후 등과 연관시켜 설정해야 할 것으로 사료된다. 향후에는 생육에 적절한 베드무게를 설정하고 수확 전 적절한 단수기간에 대해서 연구가 이루어져야 할 것이다.

당도이외의 품질에서는, 당도가 가장 높았던 NON에서 경도가 가장 낮았고, 관수량이 가장 많았던 W-3처리구에서 가장 높았다.

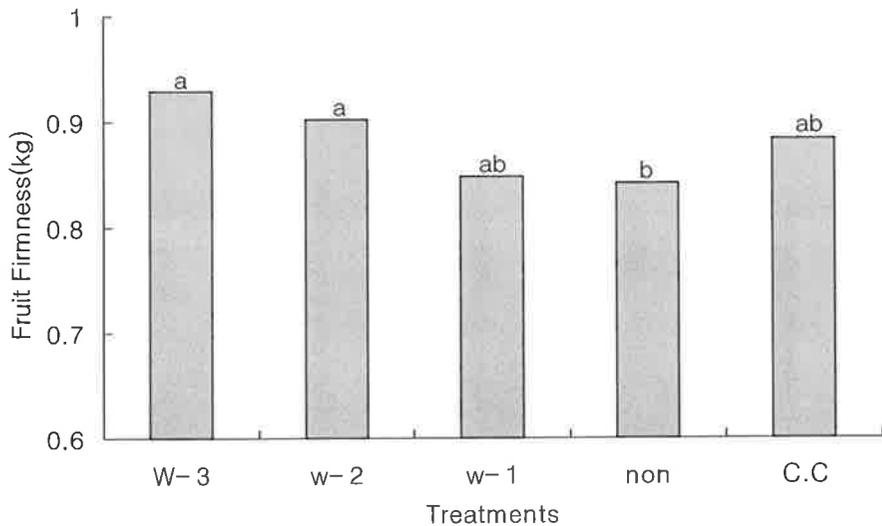


Fig. 3-11. The relationship between fruit hardness and treatments
 W-1: little, W-2: medium, W-3: large water supply. NON:
 no water supply, C.C: automatic control
 Mean separation within treatments by Tukey's multiple range
 test, at 5% level.

2. 고당도 과실수확을 위한 적정 착과절위 및 엽수 구명

연구 방법

멜론의 부위별 생체중의 증가 양상을 분석하였다. 분석된 생장곡선은 중량제어의 algorithm에 사용되었다. 광합성산물과 엽위, 관수량과의 관계를 구명하는 실험을 실시하였다. 24절을 남기고 적심하였으며 통풍을 위하여 착과시 1-3절위 잎은 적엽하였다.

연구 내용 및 결과

멜론의 경우 생체중의 증가는 기관별로 양상이 다르며 과실의 증가속도가 가장 큰 것으로 나타났다. 착과절위가 높아질수록 착과일이 늦어졌으나, 과실 생체중의 증가속도의 양상에는 큰 차이가 없었다. 덩굴의 무게 변화에도 차이가 크지는 않았는데, 이는 덩굴 무게의 실시간 측정을 위하여 저울을 이용한 결과로 사료된다.

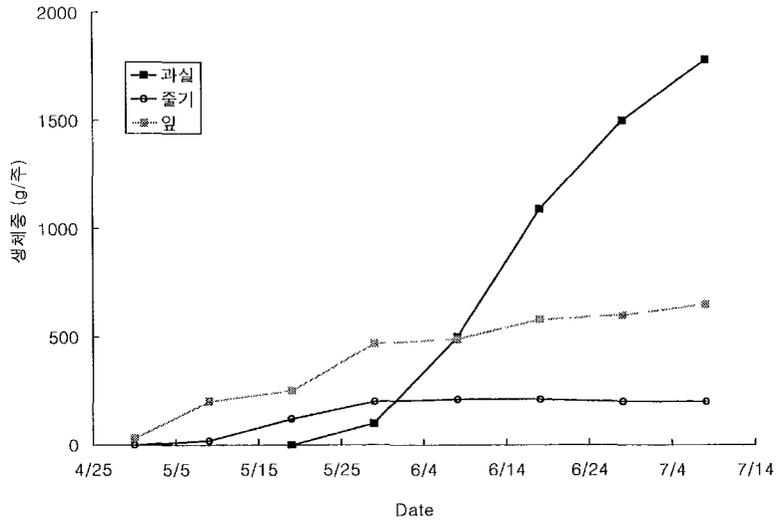


Fig. 3-12. Growth pattern of melon

광합성산물과 엽위, 관수량과의 관계를 구명하는 실험을 실시한 결과, 24절을 남기고 적심한 경우 11절에서 14절 사이에는 거의 차이가 인정되지 않았으나, 15-16절은 당도가 약간 낮은 경향을 나타냈다. 착과시 1-3절위 잎은 적엽 하였으므로 남아있는 엽수가 21개이므로 상위엽이 7개 이상은 되어야 좋은 것을 알 수 있었다.

Table 3-1. Sugar content according to amount of irrigation and fruiting node

처리		과중 (g)	당도 (Brix%)
관수처리	착과절위		
W-3	14	1.73	13.8
	13	1.18	14.4
	12	1.52	13.7
	11	1.16	14.4
W-2	15	1.76	13.6
	13	1.53	14.1
	12	1.44	15.0
	11	1.36	15.3
W-1	15	1.65	14.6
	13	1.50	14.4
	12	1.50	14.5
	11	1.53	13.2
non	14	1.53	14.4
	13	1.29	15.2
	12	1.50	14.7
	11	1.51	15.0
cc	16	1.57	12.5
	13	1.68	14.6
	12	1.58	14.8
	11	1.61	15.5
A-100	15	1.45	14.0
	14	1.60	12.9
	13	1.66	13.1
	12	1.70	13.1
A-200	15	1.43	12.5
	13	1.74	13.8
	12	1.34	14.3
	11	1.08	13.5
	10	1.36	13.4

3. 당도 증진 특수물질 조사

연구 방법

당도를 증진시키는 물질의 하나로 아미노산을 이용하여 엽면시비를 수행하였다. 아미노산 엽면시비의 효과를 구명하기 위해서 13% 아미노산액인 아미노그린(그린바이오텍, 표 3-2)을 사용하였다. 아미노산액을 과실비대기에 2회 엽면 살포하였고, 수확 12일 전부터 2일 간격으로 6회 살포하였다. 처리는 무처리구(A-0), 아미노산 100ppm(A-100, 7.5

ml/10 l)과 200ppm(A-200, 15ml/10 l)으로 처리해주었다. 오전 중에 분무기를 이용하여 잎의 앞면과 뒷면에 고르게 살포하였다. 1회 처리량은 그루당 약 38ml였다. 급액량은 다 이며 제어 실험의 W-2 처리구와 동일하게 하였다. 그 외 실험방법은 급액량 및 급액방법 실험에서와 같았다.

표 3-2. 아미노산액의 아미노산 조성표

항 목	내 용
성 분	(단위: %w/v)
Aspartic acid	2.38
Glutamic acid	3.45
Serine	1.56
Histidine	Trace
Glycine	27.72
Threonine	8.70
Alanine	3.07
Arginine	Trace
Valine	0.59
Phenylalanine	1.37
Leucine	1.81
Lysine	5.87
Proline	6.98
Methionine	Trace
Tryptophan	5.66

연구 내용 및 결과

아미노산의 효과 실험에서도 멜론 과실의 당도는 처리에 관계없이 과실크기와 무관하였다. 즉, 어느 정도 생장이 적정할 경우, 영양생장의 양부와 과실의 당도와는 관계가 없는 것으로 판단되었다.

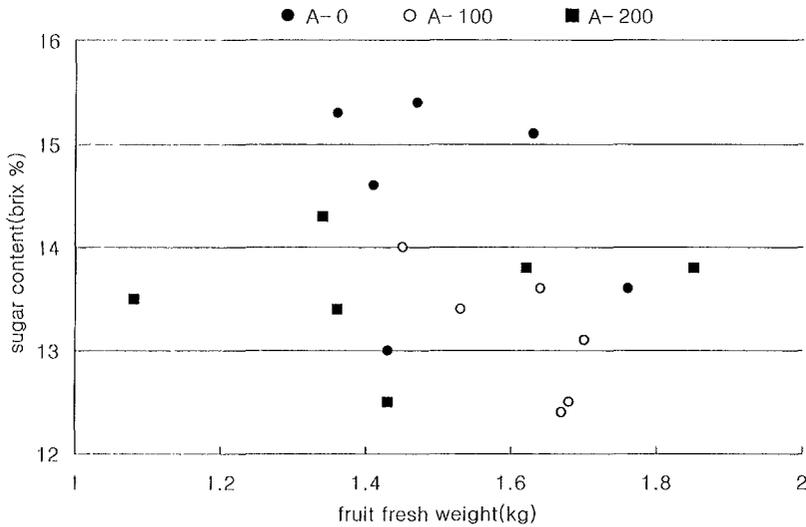


Fig. 3-13. The relationship between fresh weight and sugar content of fruit. A-0: not appendix, A-100: 100ppm, A-200: 200ppm, amino acid.

아미노산 처리구에서는 아미노산 농도에 관계없이 전반적으로 과실의 당도가 낮았다. 멜론의 과육 부분과 씨가 있는 중심부 모두 A-0에서 당도가 높았고, A-100에서 낮았다. 식물체와 과실의 무게에서는 과실의 무게는 처리에 유의성이 없었으나 식물체의 무게는 A-200에서 가장 높았다. 또한 과실의 단단한 정도를 판단하는 경도측정에서도 A-200에서 높게 나타났다. 이것은 영양생장이 왕성하여 생장이 더 지속적으로 진행됐기 때문으로 사료된다. 따라서 아미노산 처리는 생장기때 처리하고 수확기 일정 시간 전에는 처리하지 않는 것이 좋을 것으로 판단된다.

앞으로 아미노산 이외의 물질을 엽면시비 혹은 관주 등을 통하여 처리함으로써 당도를 높이는 실험을 실시할 예정이다.

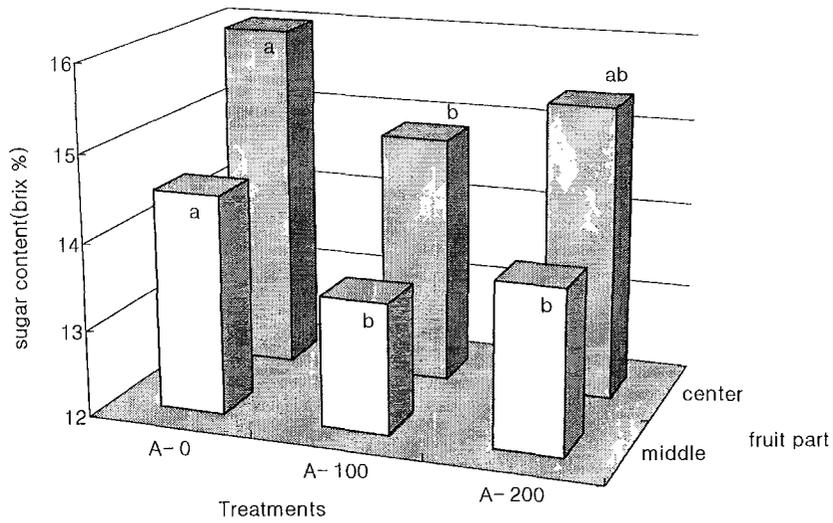


Fig. 3-14. The relationship between each of treatments and sugar content. A-0: not appendix, A-100: 100ppm, A-200: 200ppm amino acid. Mean separation within treatments by Tukey's multiple range test, at 5% level.

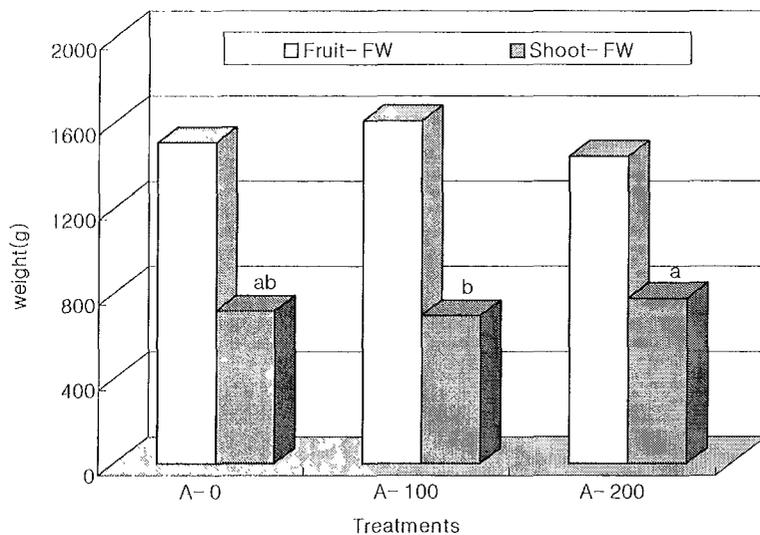


Fig. 3-15. Fruit and stem fresh weight each of treatments.

A-0: not appendix, A-100: 100ppm, A-200: 200ppm, amino acid. Mean separation within treatments by Tukey's multiple range test, at 5% level.

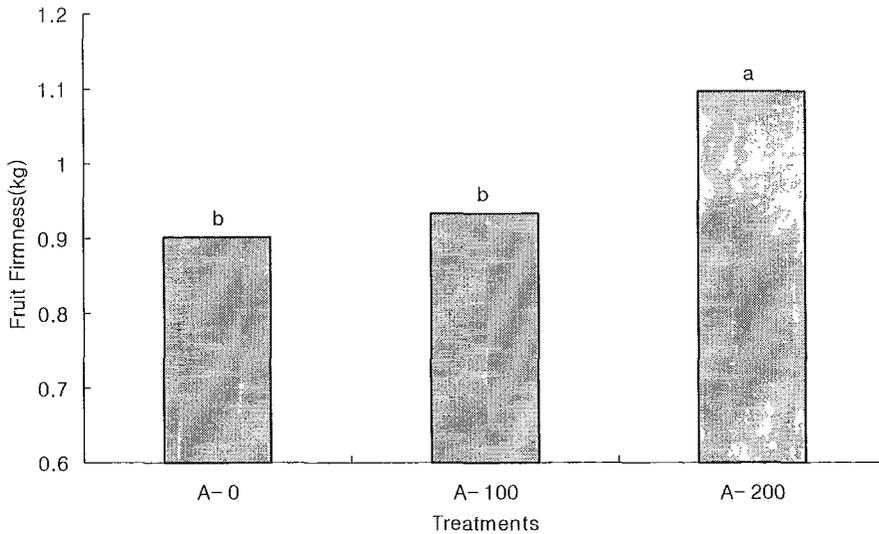


Fig. 3-16. The relationship between fruit hardness and amino acid supply.

A-0: not appendix, A-100: 100ppm, A-200: 200ppm amino acid. Mean separation within treatments by Tukey's multiple range test, at 5% level.

제3절 당도 증진법 개발

1. 고품질을 위한 동적관수법 구명

가. 네트 증진법 구명

연구 방법

멜론의 상품성을 좌우하는 네트의 증진을 위한 방법으로 적산일사량법을 이용하여 구명하고자 하였다. 적산일사량을 160 Wh/m^2 으로 설정하고, 하루중 단수하지 않은 처리구 (I-C), 5시 30분~11시 사이 단수(SI-M), 11시~1시 단수(SI-A), 4시 이후 단수(SI-N) 처리구와 일사량을 100 Wh/m^2 (I-H)으로 하여 급액량이 많은 처리구로 설정하였다. 첫 급액시간은 일출시간을 기준으로 30분 전으로 하였다. 1회 급액시간은 40초로 하였다. 이때 각 포트 및 과실은 메달립 저울(CAS, CI-5010A)을 사용하여 지속적으로 무게를 측정하였다. 무게 측정시 자체 제작된 프로그램을 이용하여 계측하였다. 과실크기와 네트발생정도는 매일 촬영하였다. 디지털 사진을 현미경과 시각장치를 이용하여 분석하였다. 수확시 네트의 발생정도를 조사하기 위하여 $5 \times 5 \text{ cm}$ 면적내의 네트의 길이를 모두

합하여 네트길이를 산출하였다.

연구 내용 및 결과

관수법에 의한 네트 및 과실생장 증진을 실험한 결과 멜론과실의 성장양상은 아래 그림들과 같다. 그림 3-17 ~ 3-28은 적산일사량에 의하여 관수한 멜론 과실의 생육단계별 그림이다.

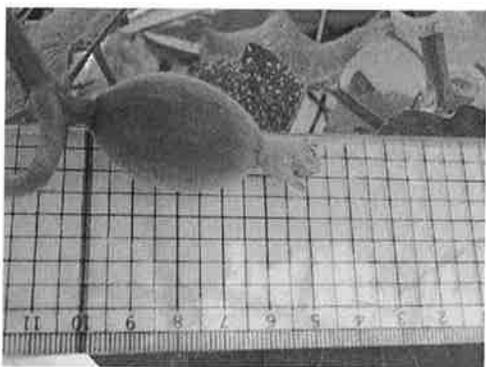


Fig. 3-17. 수분후 4일째(99. 05. 11.)



Fig. 3-18. 수분후 9일째(99. 05. 16.)

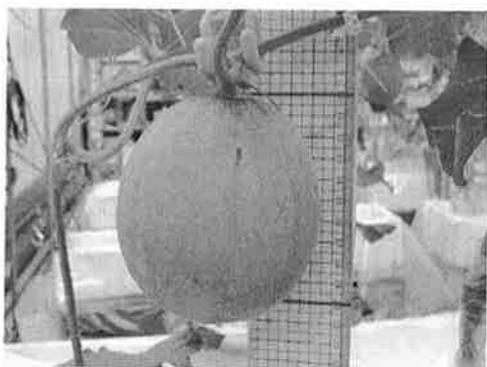


Fig. 3-19. 수분후 10일째(99. 05. 17.)

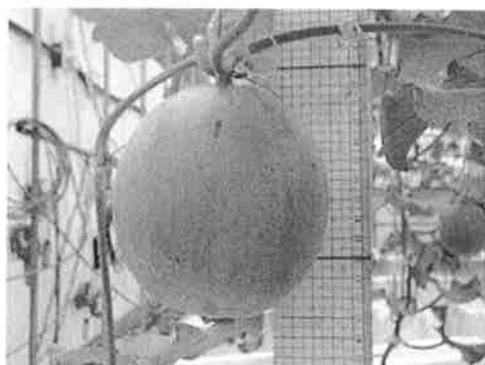


Fig. 3-20. 수분후 12일째(99. 05. 19.)

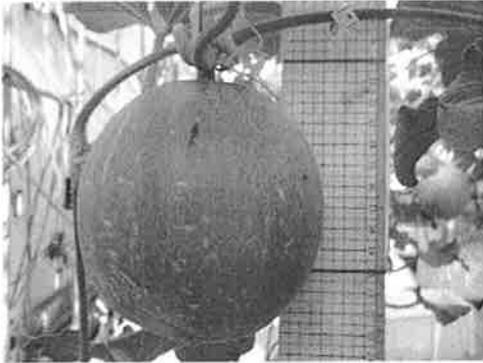


Fig. 3-21. 수분후 14일째(99. 05. 21.)

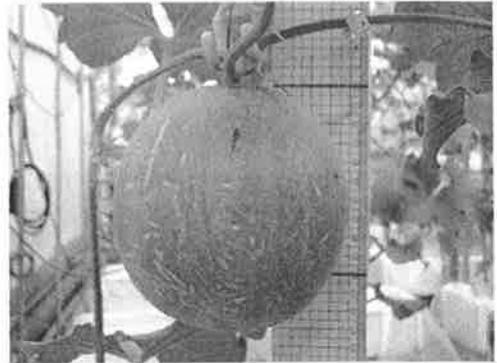


Fig. 3-22. 수분후 15일째(99. 05. 22.)

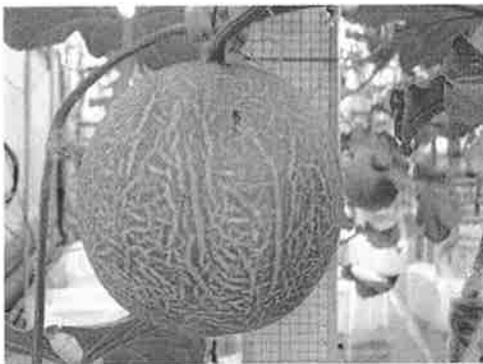


Fig. 3-23. 수분후 18일째(99. 05. 25.)

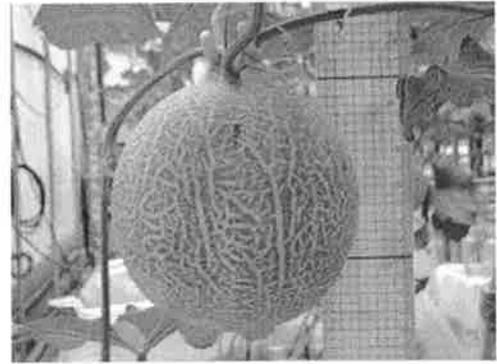


Fig. 3-24. 수분후 19일째(99. 05. 26.)

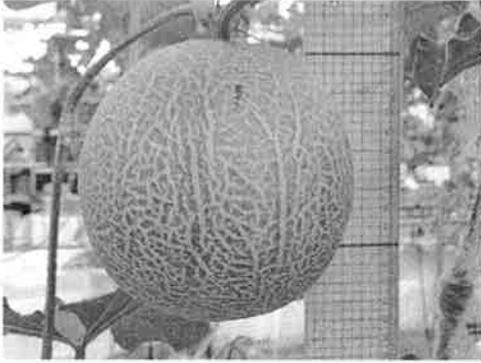


Fig. 3-25. 수분후 20일째(99. 05. 27.)

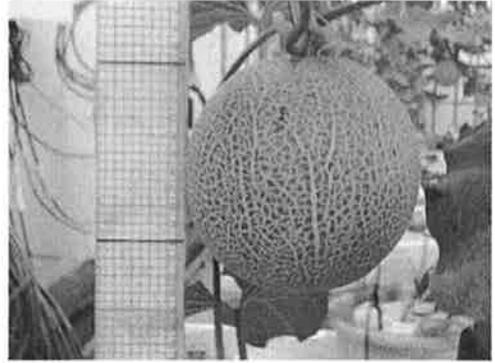


Fig. 3-26. 수분후 24일째(99. 05. 31.)

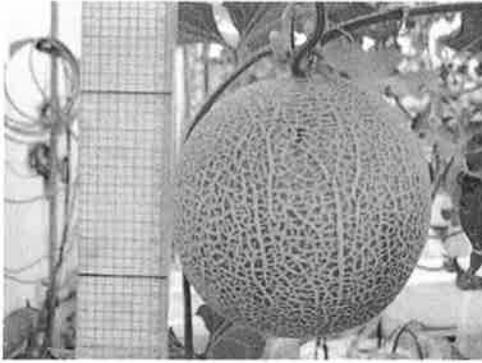


Fig. 3-27. 수분후 26일째(99. 06. 02.)

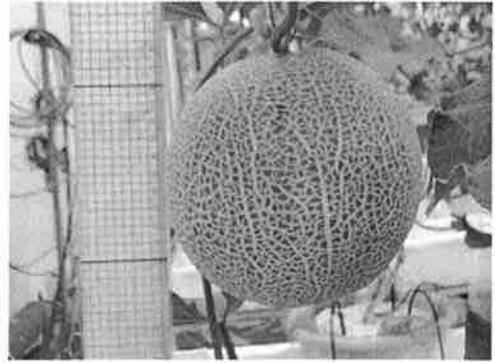


Fig. 3-28. 수분후 29일째(99. 06. 05.)

네트는 처리에 관계없이 수분 후 13일부터 발생하기 시작하였다. 네트발현 개시일과 수확시 발생정도는 본 실험의 경우 처리간 차이를 보이지 않았다.

Table 3-3. 관수시기가 네트길이에 미치는 영향

관수시기	처리명	네트길이 cm/cm ²
적산일사량 160 Wh/m ² 마다 관수		
단수하지 않음	I-C	2.1
5시 30분~11시 사이 단수	SI-M	2.5
11시~1시 단수	SI-A	3.0
4시 이후 단수	SI-N	2.6
적산일사량 100 Wh/m ² 마다 관수	I-H	1.9

* harvest date = June 3 - June 5, n=4

이는 다음과 같은 원인에 의한 것으로 사료된다. 본 실험에서는 일일 관수량을 동일하게 하고 관수 시간대만 변화를 주었는데 네트발현을 위한 과피의 수분포텐셜이 관수시기보다는 둔감하게 작용했을 가능성이 있다. 단, 네트발생 정도는 실시간 적으로 자동 측정할 수 없어 수동으로 측정하였기 때문에 측정빈도가 작아 미세한 변화를 감지하기가 어려웠을 수도 있다. 과실부위간에 네트발현정도의 차이가 존재하는데 과실 전체에 대한 네트발생정도를 측정하는 측정체계가 마련되어 있지 않아 특정부위를 정해놓고 연속적으로 측정하는 경우 선택한 부위에 따른 과실간 오차가 발생하는 필연성이 존재하였다. 네트발생 정도는 네트의 밀도, 각 네트의 굵기 및 깊이, 부위별 네트의 균일성 등에 의해 결정되어야 하는데 시각시스템을 이용한 현미경으로 해석하려한 결과 용이하지 않아, 이를 측정하는 방법의 개발이 필요하였다. 네트평가에 대한 연구는 앞으로도 계속 진행할 것이다.

나. 당도 증진법 구명

연구 방법

당도 증진법 구명을 위한 실험은 2단계로 나누어 실시하였다. 실험 1은 펄라이트 벨론 재배시 타이머 및 적산일사량에 의한 급액 처리가 과실 당도에 미치는 효과에 대하여 실험하였다.

실험초기에는 타이머에 의해 1시간 간격으로 급액하였다. 처리시기는 수분 30일 후부터 시작하였다. 급액 처리는 타이머에 의한 급액과 적산일사량에 의한 급액 방법이었으며, 타이머 처리는 배양액 자동 공급 시스템과 타이머를 연결하여 배양액을 공급하게 하였다. 처리시간은 오전 6시부터 18시까지 한시간 간격으로 급액하는 것(T-1)과, 6시부터 17시까지 급액하되 7시, 9시, 18시 급액을 제외하고 12:30, 13:30, 14:30에 급액(T-2)하게

하였다. 적산일사량에 의한 처리는 광량센서와 자동 급액 장치를 연결하여 하루에 계측되는 적산량이 각각 180(R-180), 200(R-200), 220(R-220), 240(R-240)(Wh/m²) 일 때 급액되게 하였다. 타이머에 의한 급액과 적산일사량에 의한 급액 모두 1회 급액시간을 40초로 설정하였다.

실험 2는 필라이트 벨분 재배에서 적산일사량에 의한 급액제어시 급액시간이 과실의 당도에 미치는 효과에 대하여 실험하였다. 초기에는 타이머에 의해 1시간 간격으로 배양액을 공급하였다. 실험처리는 수확 28일 전부터 시작하였다. 하루 적산량을 180Wh/m²로 설정하고 1회 급액시간을 초기에는 40, 30, 20, 10초로 설정하여 생육시키다가 후기에 25(180-25), 20(180-20), 20(none: 수확전 단수 처리구), 15(180-15)초로 설정하였다. 수확하기 3일전에 20초로 설정했던 처리구 중 한 처리구는 단수하였다.

각 처리마다 급액 및 배액저울(CI-5010A, CAS, Max 50kg)을 설치하여 하루중의 급액과 배액 총량, 시간대별 변화량까지 측정할 수 있게 하였다. 측정된 자료들은 본 실험실에서 자체 개발한 제어계측용 프로그램(DCS)을 이용하여 수집하였다. 과실이 달려 있는 잎이 Mg 결핍증상처럼 황변 되고, 잎의 바깥쪽이 타들어 가는 증상이 확연하게 나타나는 시기로, 네트가 발견되고 약 한달 후에 과실을 수확하였다. 수확 후 과실의 직경, 길이, 당도, 경도, 색 등을 측정하였다. 당도 측정은 당도계(digital refractometer, TRM-110, N.O.W.)를 이용하여 씨가 있는 중심부분(center)과 섭취하는 과육의 중앙부분(middle)으로 나누어 측정하였다. 경도는 과실경도계(fruit hardness tester, Cat. No. 9300, N.O.W.)를 사용하여 섭취하는 부분을 과실당 4회 반복한 후 평균값을 계산하였다.

연구 내용 및 결과

실험 1에서는 타이머 처리구와 적산일사량 처리구의 당도는 과육부분과 씨가 있는 중심부분으로 나누어 측정되었는데, 처리에 관계없이 씨가 있는 부분이 과육부분 보다 당도가 높았고, 대체적으로 14.2~15.7의 수준이었다. 반면에 섭취부위인 과육부분은 타이머 처리의 경우 유의성은 없었으나 1시간씩 일정하게 급액한 처리구보다 오후 12시 이후에 집중적으로 급액해 준 처리구에서 약간 높게 나타났다. 적산일사량에 의한 처리구에서는 적산량이 240Wh/m²이었을 때 15.4로 가장 높았으며 가장 낮은 처리구는 r-220이었다.

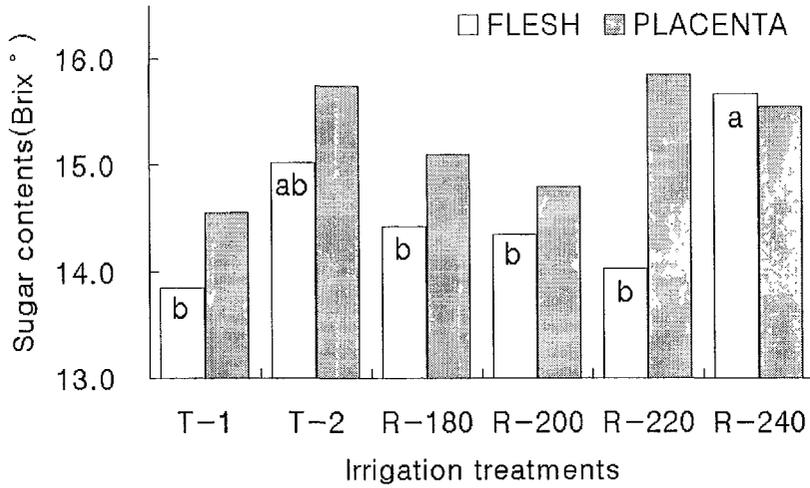


Fig. 3-29. Sugar contents of flesh and placenta of melon according to irrigation treatments. T-1: Irrigated at every hour from 6:00 to 18:00; T-2: Irrigated at every hour from 6:00 to 18:00, and also at 12:30, 13:30, 14:30 instead of 7:00, 9:00, 18:00; R-180, R-200, R-220, and R-240: Irrigated at every integrated solar radiation of 180, 200, 220, and 240Wh·m², respectively. Mean separation by Tukey's multiple range test, at 5% level.

경도는 타이머 처리에서는 t-2처리구에서 낮은 값을 나타냈고 적산일사량에 의한 급액에서는 당도가 가장 낮았던 r-220에서 높게 나타났다. 즉, 경도와 당도간에는 부의 관계가 성립하였다. 그러나, 경도와 당도의 회귀식은 직선성을 보이지 않았다.

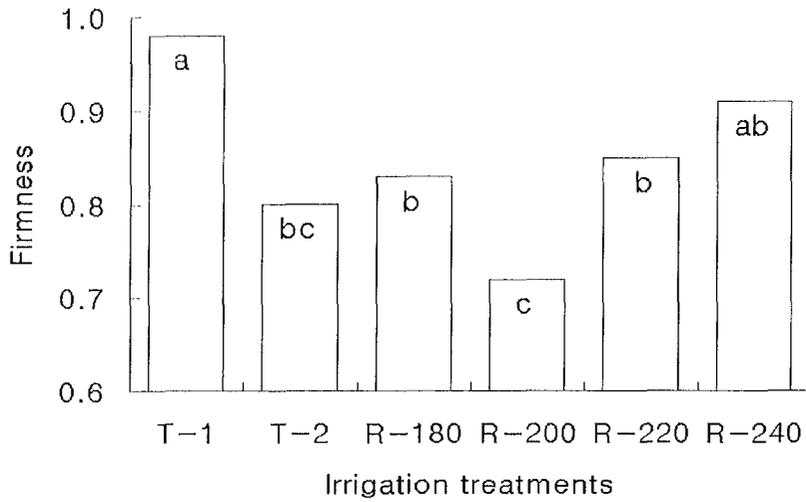


Fig. 3-30. Firmness of flesh according to irrigation treatments. T-1: Irrigated at every hour from 6:00 to 18:00; T-2: Irrigated at every hour from 6:00 to 18:00, and also at 12:30, 13:30, 14:30 instead of 7:00, 9:00, 18:00; R-180, R-200, R-220, and R-240: Irrigated at every integrated solar radiation of 180, 200, 220, and 240W h · m², respectively. Mean separation by Tukey's multiple range test, at 5% level.

과실의 무게는 처리간에 유의성은 없었으나 r-200이 가장 무거웠다.

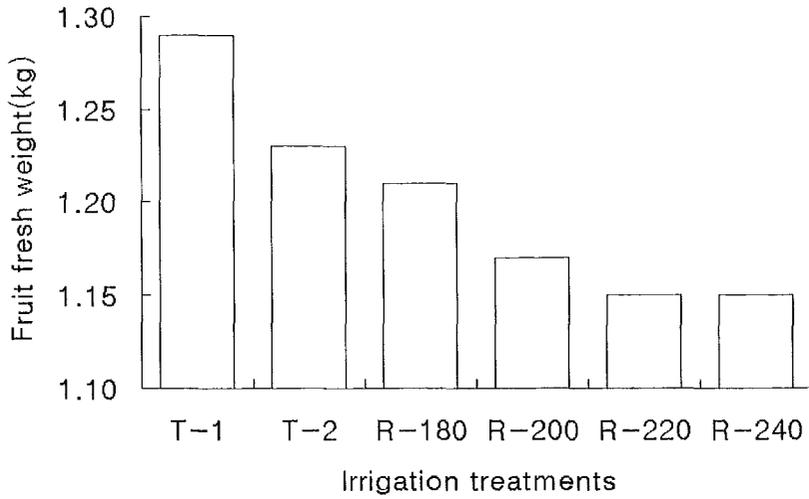


Fig. 3-31. Fruit fresh weight(kg) according to irrigation treatments. T-1: Irrigated at every hour from 6:00 to 18:00; T-2: Irrigated at every hour from 6:00 to 18:00, and also at 12:30, 13:30, 14:30 instead of 7:00, 9:00, 18:00; R-180, R-200, R-220, and R-240: Irrigated at every integrated solar radiation of 180, 200, 220, and 240Wh · m⁻², respectively.

과실을 제외한 식물체 무게는 타이머 처리구에서는 t-1처리구에서 높았고, 적산일사량에 의한 처리구에서는 r-200, r-240에서 낮았다. 타이머에 의한 처리에서보다 적산일사량에 의한 처리에서 값이 전반적으로 낮았다.

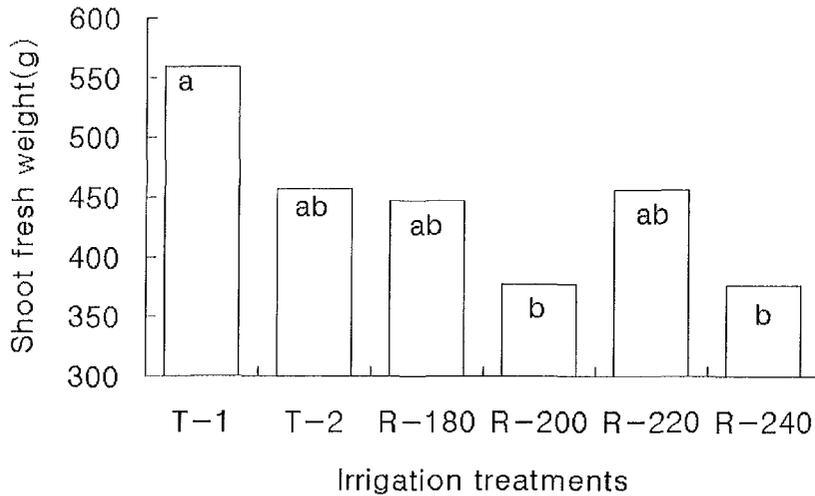


Fig. 3-32. Shoot fresh weight(g) according to irrigation treatments. T-1: Irrigated at every hour from 6:00 to 18:00; T-2: Irrigated at every hour from 6:00 to 18:00, and also at 12:30, 13:30, 14:30 instead of 7:00, 9:00, 18:00; R-180, R-200, R-220, and R-240: Irrigated at every integrated solar radiation of 180, 200, 220, and 240Wh · m⁻², respectively. Mean separation by Tukey's multiple range test, at 5% level.

타이머에 의해 급액된 처리구에서보다 적산량이 240wh/m²일 때 급액된 처리구에서 멜론의 당도가 높았으므로 멜론 재배시 적산일사량에 의해서 배양액을 공급해주는 것이 좋을 것으로 사료된다. 그러나 과실의 크기가 다른 처리구들에 비해서 작았으므로 초기에는 하루 적산량을 180~200wh/m²로 낮추어 주거나 1회 급액시간을 변경하여 처리해 주고 네트 반향이 완성되고 과폭 성장까지 마친 후(수확전 20일)부터 적산량을 240wh/m²로 처리하고 1회 급액량을 초기보다 줄여나가는 방식이 바람직한 것으로 사료된다.

실험 2는 필라이트 멜론 재배에서 고당도에 맞는 적산일사량에 의한 급액제어시 급액시간을 조사하였다. 실험처리는 하루 적산량을 180Wh/m²로 설정하고 1회 급액시간을 25(180-25), 20(180-20), 20(none), 15(180-15)초로 설정하였다. 수확하기 3일전에 20초로

설정했던 처리구 중 한 처리구는 단수하였다. 과실의 당도는 180-25처리구에서 가장 높았고, 수확 3일전에 단수한 처리구에서 가장 낮은 경향을 보였다.

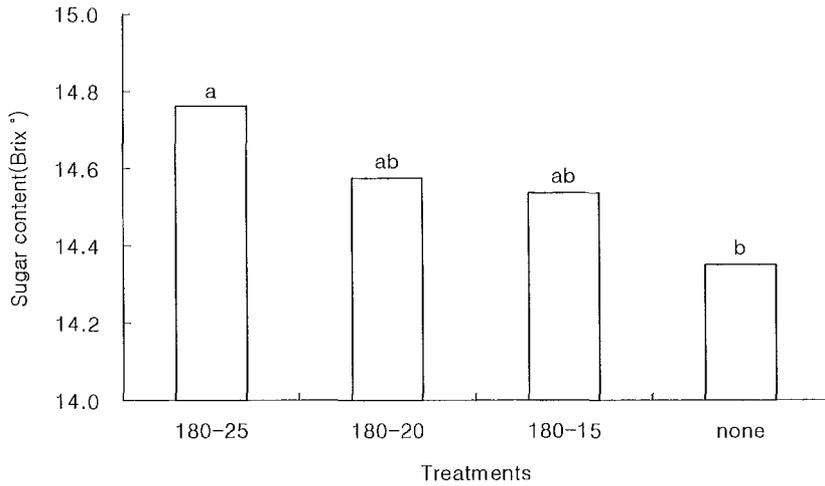


Fig. 3-33. Sugar contents of each treatments in fruit flesh.

과실의 무게는 처리간에 큰 차이를 보이지 않았다.

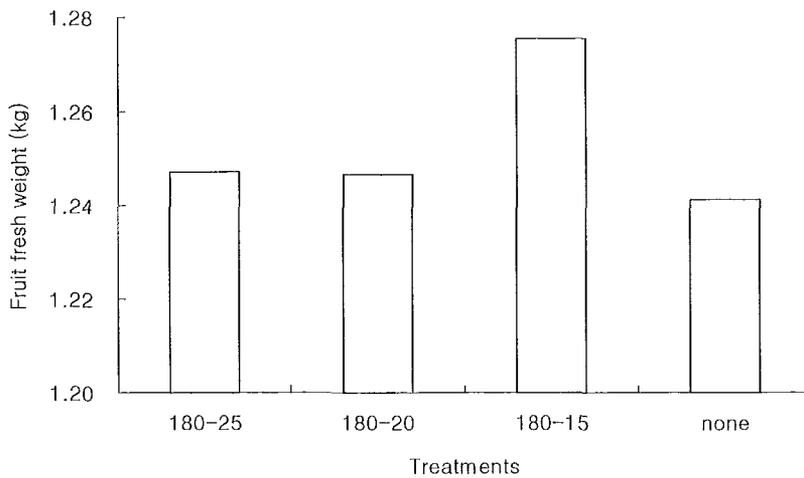


Fig. 3-34. Fruit fresh weight(kg) of each treatments.

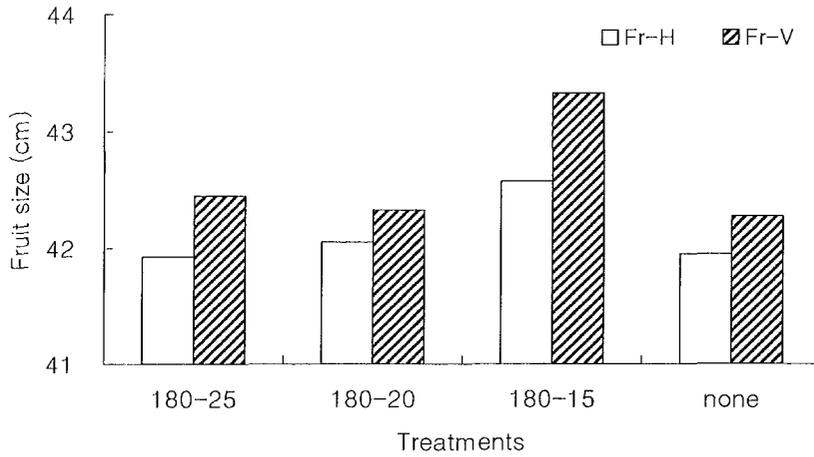


Fig. 3-35. Fruit external size of each treatments.

과실의 경도는 당도가 가장 낮았던 단수 처리구에서 가장 높았다.

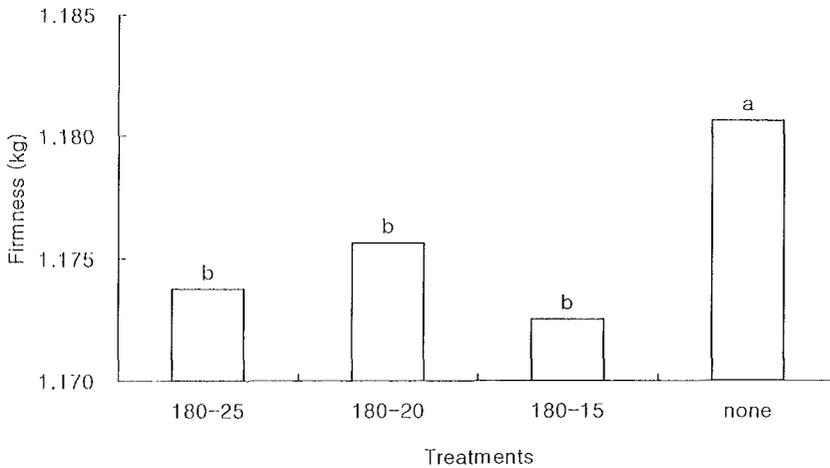


Fig. 3-36. Firmness of each treatments in fruit flesh.

전반적으로 단수한 처리구를 제외하고는 과실의 크기, 무게, 경도에 큰 차이가 없었다. 그러나 당도는 다른 처리구들에 비해 180-25처리구에서 높은 경향을 보였으므로 적산일 사량이 180Wh/m²일 때 1회 급액량을 25초 설정하여 재배하는 것이 좋을 것으로 사료된

다. 기존의 실험에서는 수확 전에 단수를 하면, 단수하지 않았던 처리구들에 비해서 당도가 높게 나타났으나 본 실험에서는 낮은 경향을 보였다.

본 실험에서는 시스템의 성격상 처리당 베드를 하나로 하였다. 측정자료는 없으나 처리당 베드를 하나로 한 결과, 처리간에 온도 및 광 환경에 차이가 있었으며, 단수 처리구의 결과는 광환경이 좋지 않았기 때문으로 사료된다. 또한 과실의 무게가 처리구에 관계없이 전반적으로 낮은 수준인데, 이는 겨울에 수행되었기 때문에 광이 충분하지 않았으며 재식밀도가 밀식이어서 광량이 부족했던 것으로 사료된다. 본 실험에서는 재식밀도가 그루간 40cm, 줄간 90cm 이었는데 이는 평당 약9주가 식재된 셈으로 여름재배시에는 밀식이라고 보기 어려우나 겨울재배시에는 줄간을 넓혀 정식하는 것이 필요함을 의미한다. 또한 겨울재배시에는 그루간은 좁히되 줄간을 넓히는 재식방법을 택하거나, 겨울폼종을 사용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

2. 최적 묘육성법 구명

가. 적정 성형셀 구명

연구 방법

공시작물로는 머스크멜론(*Cucumis melo* L.)인 'World'(농협종묘개발센터)를 사용하였다. 육묘용 tray는 polystyrene tray를 사용하였으며, tray당 cell수는 tapered-square cell인 경우 40, 50, tapered-cylindrical cell인 경우 72이었다. 8월2일 파종하였다. 용토로는 '마로커'(서울농자재)를 사용했으며, ebb and flow 방식(자가제작)으로 육묘하였다. 발아 14일 후부터 1/2 농도의 Yamazaki 멜론 배양액(山崎, 1982)을 공급해 주었다. 엽수가 3-4매인 8월 23일 분석하였다.

연구 내용 및 결과

현재 시판되고 있는 성형셀은 크기와 형태가 다양하다. 지금까지 연구에 사용해오던 성형셀은 원형으로 아래로 갈수록 가늘어지는 72공이었다. 정식하기 전의 멜론상태는 파종시기, 재배형태 등에 따라 차이가 있어 저온기 파종에서는 육묘일수도 길어지고 묘도 큰 특성을 가진다. 이와 같이 시기상 다른 상태의 묘를 사용함에 따라 시기별 적정 성형셀을 구명할 필요가 있다. 멜론의 경우 대표적으로 사용되고 있는 3가지 성형셀에 대하여 육묘시 생육실험을 한 결과, 성형셀의 크기가 클수록 묘의 생육이 뛰어난 것으로 나타났다. 40공의 경우 72공에 비해 하배축이 짧고, 잎의 전개가 원활하였으며, 엽면적이 컸다. 또한, 묘령의 증가에 따라 묘간에 서로 겹치는 정도가 달라 72공의 경우도 장하는 경향을 보였다. 단, 72공의 경우 40공에 비해 재식밀도가 2배에 가까우므로 정식 후 수확량이나 과실의 품질 등을 비교해봐야 할 것이다. 현재 검정실험을 진행중에 있다.

Table 3-4. 성형셀 크기에 따른 멜론 묘의 생육

treat	shoot dry wt	root dry wt	root:shoot ratio
	mg	mg	
40	335	86	0.26
50	326	84	0.26
72	316	77	0.24

나. 특수불질 효과 구명

연구 방법

공시작물로는 메스카멜론(*Cucumis melo* L.)인 'World'(농협종묘개발센터)를 사용하였다. 육묘용 tray는 polystyrene tray를 사용하였으며, tray당 cell수는 tapered-square cell인 50이었다. 8월4일 파종하였다. 용토로는 '바로커'(서울농자재)를 사용했으며, ebb and flow 방식으로 육묘하였다. 파아 14일 후부터 1/2 농도의 Yamazaki 멜론 배양액(山崎, 1982)을 공급해 주었다. 본위 1, 3엽이 완전 전개했을 때 아미노산제제를 0, 10, 20, 30ppm 분무처리 해주었다. 아미노산을 처리하지 않은 처리구에서는 증류수를 분무해 주었다. 엽수가 4매인 8월 27일 분석하였다. 처리를 시작한 이후에는 한번 관수한 물은 재사용하지 않았다.

연구 내용 및 결과

육묘시 묘를 강건하게 육성할 목적으로 아미노산이 함유된 유기물질의 효과에 대하여 조사하였다. 일반적으로 시판되고 있는 아미노산함유 유기물질에 대한 권고농도와 분무 방법, 분무시기에 준하여 실험한 결과, 30ppm에서 생육이 좋은 경향은 보였으나 통계적인 유의성은 나타나지 않았다. 본 실험에서는 양액재배용 배양액을 공급하였으며, 최신 관수법을 채택하였던 것이 원인의 하나로 사료된다. 일반적인 육묘에서는 분무관수 혹은 상살관수를 많이 사용함으로써 묘생육이 떨어지는 현상이 나타나지만 저면급배수관수의 경우에는 수분스트레스가 적고, 또한, 양액재배에서 사용하는 흡수가 용이한 비료가 충분한 경우에는 엽면살포의 효과가 적게 나타나므로 유기물의 엽면살포는 육묘형태에 따라 달리해야 할 것으로 사료된다. 본 실험의 결과를 확인하기 위한 실험을 한 번 더 수행할 예정이며 이의 결과에 따라 본 연구과제에서의 방향을 달리할 계획이다.

Table 3-5. 아미노산제제가 멜론 묘의 생육에 미치는 효과

treat	shoot dry wt	root dry wt	root:shoot ratio
	mg	mg	
0	328	84	0.26
10	330	86	0.26
20	328	86	0.26
30	336	89	0.26

3. 멜론 조기수확을 위한 최저 착과절위 및 엽수 구명

연구 방법

조기에 수확할 수 있는 착과절위와 그에 따른 엽수를 구명하기 위해서 실험을 수행하였다. 착과절위는 10절, 12절, 13절로 설정하였다. 적심은 처리에 관계없이 22절을 남기고 행하였다. 6월 21일(수분 후 48일)에 1차 수확하여 과중, 과폭, 과장, 지상부중, 절위별 엽생체중·건물중 등을 측정하였다. 당도 측정은 당도계(digital refractometer, TRM-110, N.O.W.)를 이용하여 씨가 있는 중심부분(center)과 섭취하는 과육의 중앙부분(middle)으로 나누어 측정하였다. 7월 5일(수분 후 62일)에 2차 수확하여 1차와 동일하게 측정하였다.

연구 내용 및 결과

착과절위 처리에 따른 절수별 당도는 수분 후 48일째에는 10절에서 당도가 가장 높았고 13절에서 낮았다. 10절의 당도는 타이머 처리와 무관하나 12절과 13절에서는 T-2에서 약간 높았다. 그러나 타이머 처리간의 유의성은 없었다.

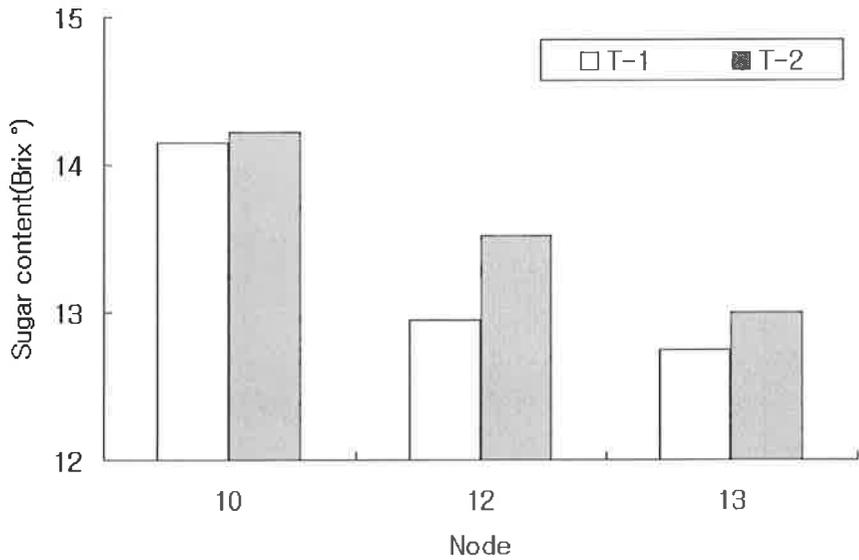


Fig. 3-37. 착과절위 처리에 따른 과실의 당도(수분 후 48일째)

처리에 따른 절수별 과중은 13절에서 높았다. 수분 후 48일째에서는 한시간씩 급액되는 T-1보다는 광량이 많은 낮동안에 급액회수를 늘려준 T-2에서 과실의 생육이 좋았다.

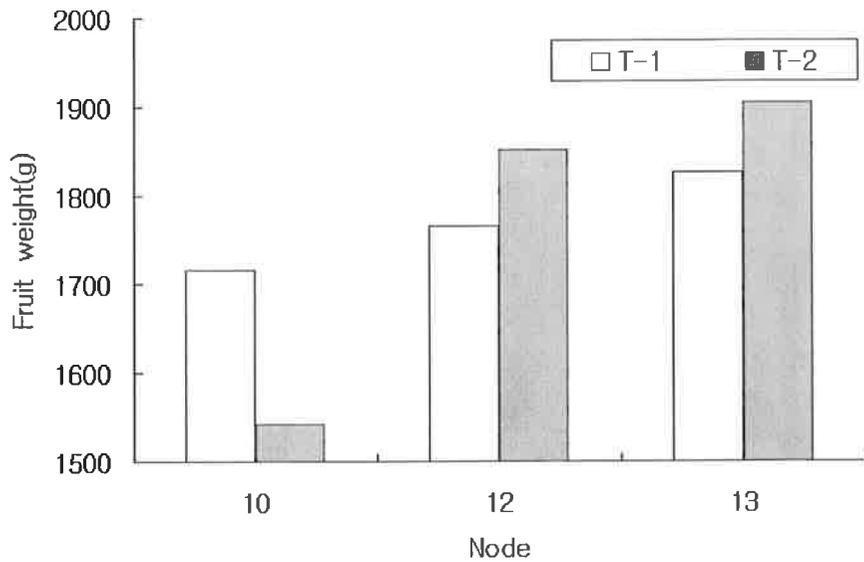


Fig. 3-38. 착과절위 처리에 따른 절수별 과중(수분 후 48일째)

수분 후 62일째에 착과절위 처리에 따른 절수별 당도는 T-1의 경우 절수가 높아질수록 당도가 증가하였고 T-2의 경우 절수별 차이를 보이지 않았다.

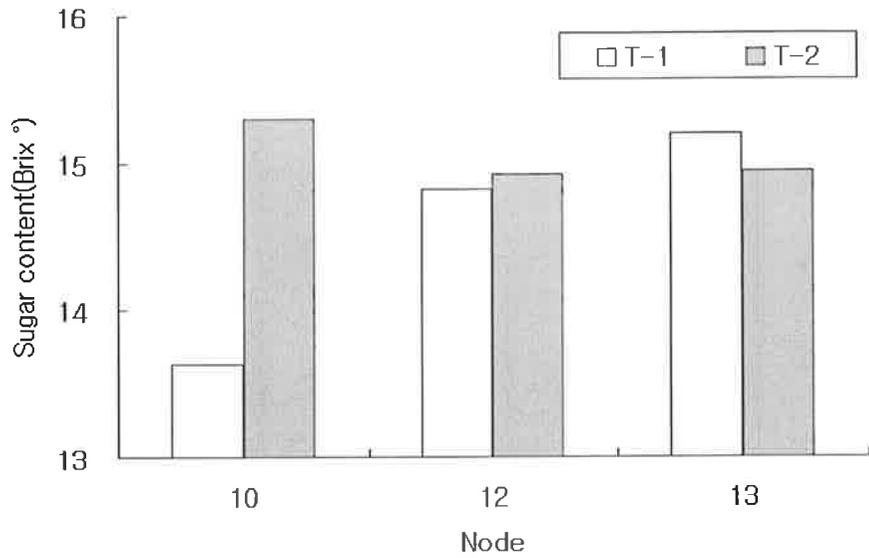


Fig. 3-39. 착과절위 처리에 따른 당도(수분 후 62일째)

수분 후 62일째의 과중은 절수가 높아질수록 높았다. 이것은 수분 후 48일째의 경향과 같았다.

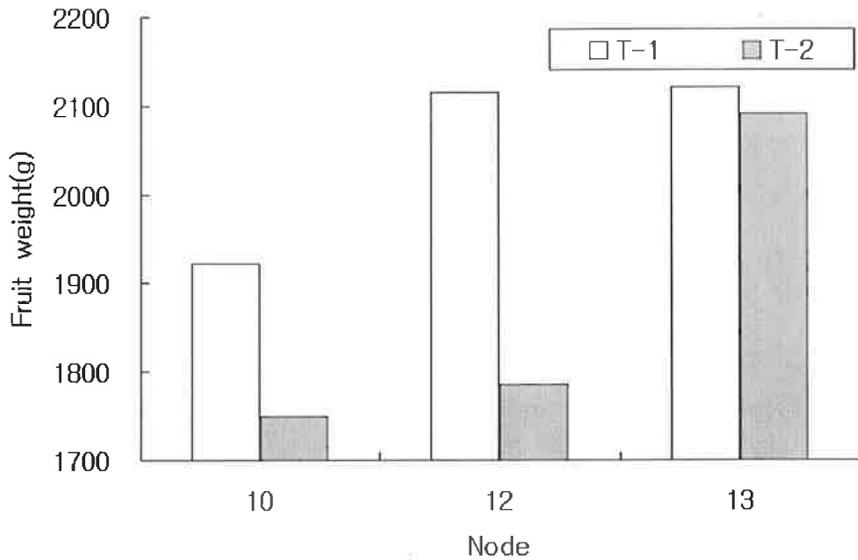


Fig. 3-40. 착과절위 처리에 따른 과중(수분 후 62일째)

동일한 날, 동일한 생육상태의 묘를 재배하여도 수분일에 차이가 존재하며 특히 절수에 따라서는 차이가 존재한다. 이에 따라 수분일에 따른 절수별 과중을 수분 후 48일에 조사한 결과, 10절의 과실은 수분일이 빠를수록 과중이 높은 경향을 크게 보였다. 반면에 12, 13절의 과실에서는 반대의 경향 혹은 큰 차이를 보이지 않는 경향을 보였다. 10절위의 과실은 12, 13절위의 과실보다 크기도 작았으며, 과실간 편차가 크게 나타났다.

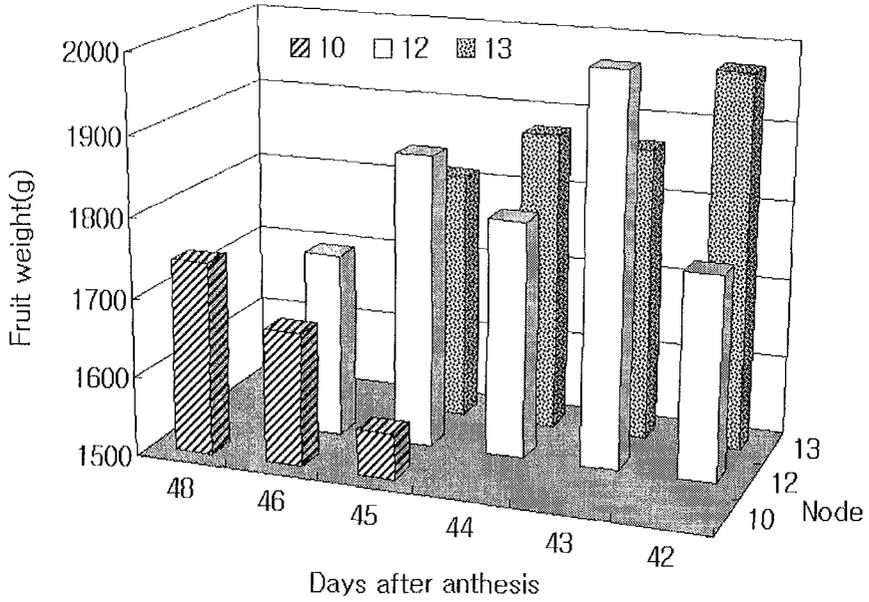


Fig. 3-41. 수분일에 따른 과중(수분 후 48일 기준)

수분일에 따른 절수번 당도를 생육중기(수분 후 48일을 기준으로 수확)에 조사한 결과, 과중과는 차이를 보였다. 즉, 10절과 12절의 과실은 수분일이 빠를수록 당도가 높은 경향을 크게 보였다. 반면에 13절의 과실에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 12절이나 13절에 비하여 10절에 작아진 것이 당도가 가장 높았다.

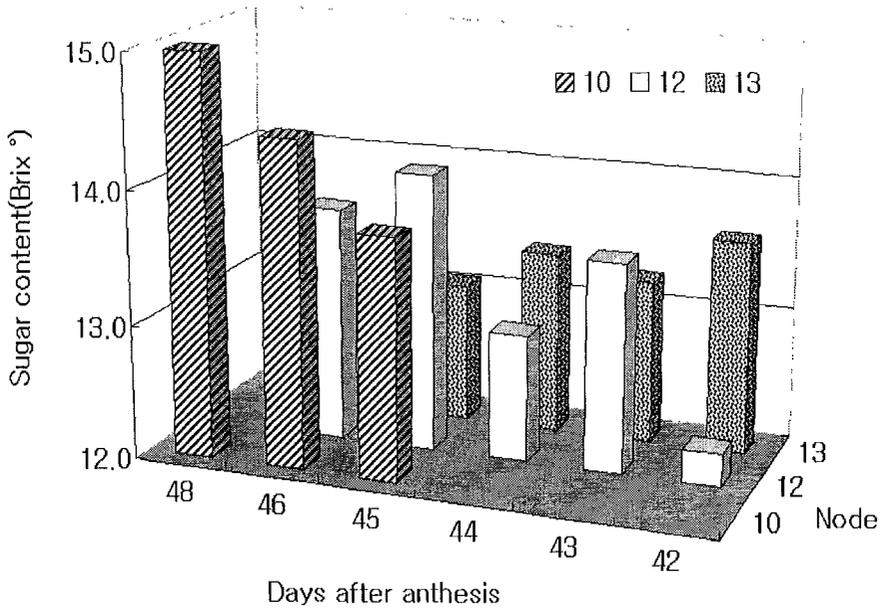


Fig. 3-42. 수분일과 당도(수분 후 48일)

수분 후 62일 기준의 과중을 측정한 결과, 수분 후 62일 기준인 것은 48일 기준인 것보다 과중이 더 높았으며, 13절위의 과실이 크고, 과실간 편차가 적어 안정적인 생산에 유리한 것으로 나타났다. 12절에 착과한 과실의 무게는 전반적으로 수분일이 늦어질수록 증가하는 경향을 보였다. 13절에 착과한 과실은 수분일에 따른 차이가 크지 않았다.

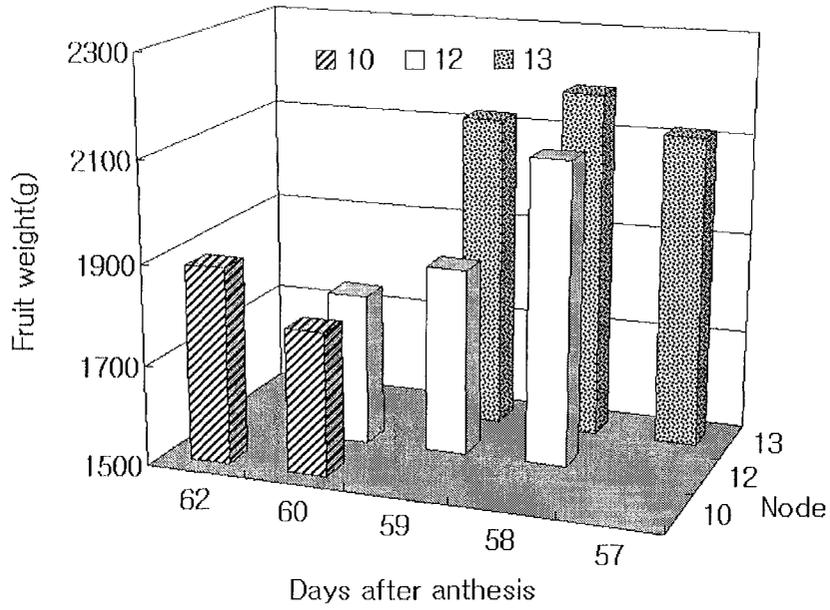


Fig. 3-43. 수분일에 따른 과중(수분 후 62일 기준)

수분 일에 따른 차이는 크지 않았으며, 10절이나 12절보다 13절 과실의 당도가 가장 높았다.

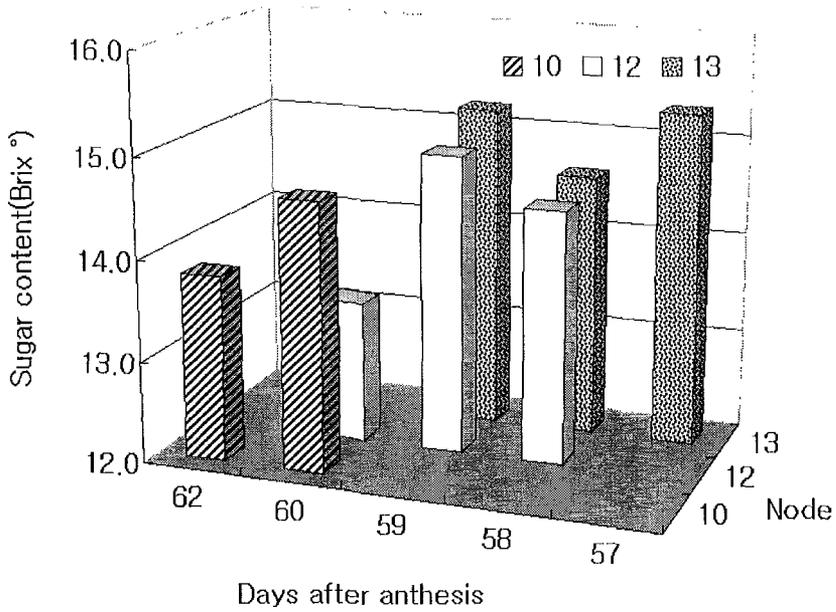


Fig. 3-44. 수분일에 따른 과실의 당도(수분 후 62일 기준)

이와 같은 결과로부터 과중도 높고 당도도 높은 균일한 품질의 과실을 수확하는 일반적인 재배에서는 13절에 착과하여 수확하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 단, 온도나 광도 등의 재배환경이나 시황에 따른 이유로 조기수확이 목적이라면 10절에 과실을 착과하여 수확하는 것도 가능한 것으로 사료된다. 10, 11절에 착과시킬 경우 5일 이상 수확일을 앞당길 수 있다.

수분 후 48일 째에 식물체별, 절위별로 엽병을 제외한 잎의 생체중을 측정한 결과, 착과절위에 관계없이 엽위가 높아질수록 엽중이 증가하였다. 엽중의 증가폭은 10절 착과의 경우가 높았다.

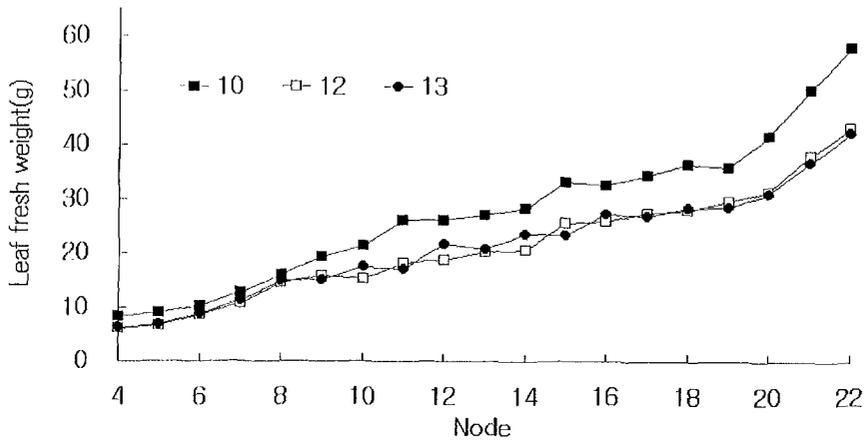


Fig. 3-45. 수분 후 48일에 수확한 절위별 잎의 생체중(g)(엽병제외) n=4

수분 후 48일 째에 식물체면, 절위별로 엽병을 제외한 잎의 건물중을 측정된 결과, 생체중과 마찬가지로 착과절위에 관계없이 엽위가 높아질수록 엽중이 증가하였다. 엽중의 증가폭은 10절 착과의 경우가 높았다.

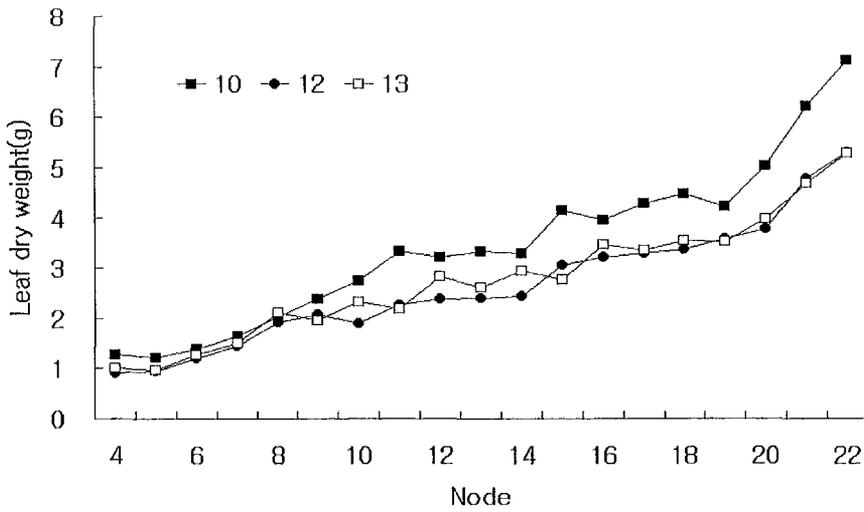


Fig. 3-46. 수분 후 48일에 수확한 절위별 잎의 건물중(g)(엽병제외) n=4

수분 후 62일 째에 식물체별, 절위별로 엽병을 제외한 잎의 생체중을 측정된 결과, 착과절위에 관계없이 엽위가 높아질수록 엽중이 증가하였다. 엽중의 증가폭은 10절 착과의 경우가 높은 경향을 나타냈다.

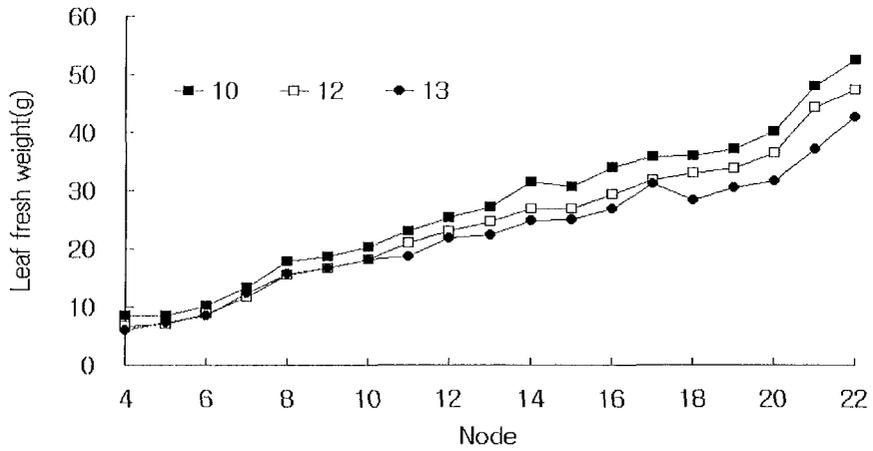


Fig. 3-47. 수분 후 62일에 수확한 절위별 잎의 생체중(g)(엽병제외)
10, 12절 n=6, 13절 n=4

수분 후 62일 째에 식물체별, 절위별로 엽병을 제외한 잎의 건물중을 측정된 결과, 생체중과 마찬가지로 작과절위에 관계없이 엽위가 높아질수록 엽중이 증가하였다. 엽중의 증가폭은 비슷했다.

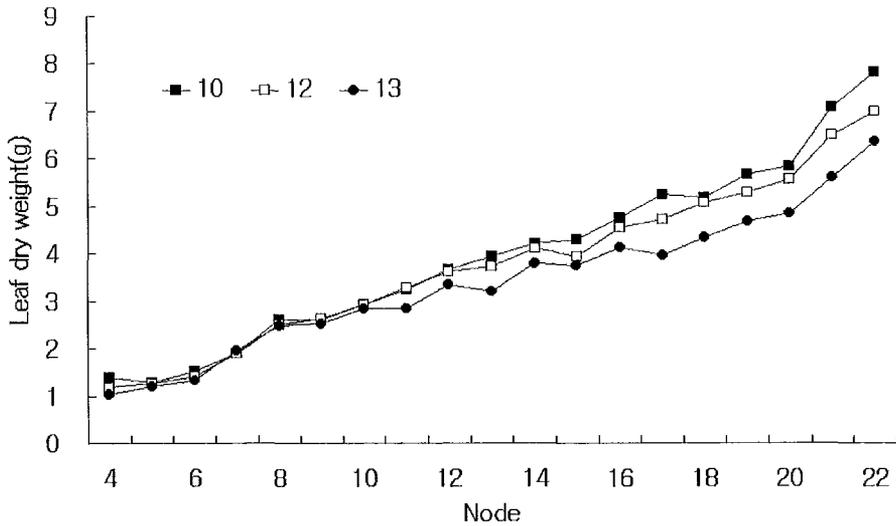


Fig. 3-48. 수분 후 62일에 수확한 절위별 잎의 건물중(g)(엽병제외)
10, 12절 n=6, 13절 n=4

잎의 생체중 및 건물중은 수분일에 관계없이 높은 절위 일수록 무거웠다. 이는 유전적 이유도 있으나, 펠론이 광의 영향을 많이 받는 식물이기 때문에 광을 많이 받는 절위 일수록 엽면적이 넓은 것으로 이해할 수 있다. 또한, 엽위가 낮을수록 과실에 대한 부담이 큰 것으로도 해석할 수 있다. 수분 후 48일째의 과중은 10절에서 수확한 것이 낮았으나 잎의 생체중은 10절에서 수확한 것이 12절이나 13절에서 수확한 것보다 높았다. 수분 후 62일에 수확한 것은 과중이 무거운 13절 과실의 잎의 생체중이 다른 것보다 낮았으며 48일째와 마찬가지로 10절 과실의 잎의 생체중이 높았다. 이러한 결과는 잎의 건물중에서도 비슷한 경향을 보였다. 이는 적심 위치가 동일한 조건에서 절위가 낮은 곳에 착과를 하면 착과절위보다 상위엽의 수가 많아짐으로써 잎의 부담이 적어진 것으로 해석할 수 있다. 따라서, 10절에서 과실을 착과시킬 경우에는 적심 절위를 본 실험에서 수행했던 22절보다 낮게 함으로써 13절위 착과의 경우와 같은 제식밀도라면 채광율을 높이는 효과를 가져올 수 있으며, 여름재배의 경우에는 제식밀도를 높일 가능성도 있을 것으로 사료된다.

4. 당도관련 계측시스템 조사, 분석

가. 수액흐름장치 적용

연구 방법

중량제어 시스템에 수액흐름장치를 장착하였다. 계속값은 data logger를 통하여 computer에서 해석하였다.

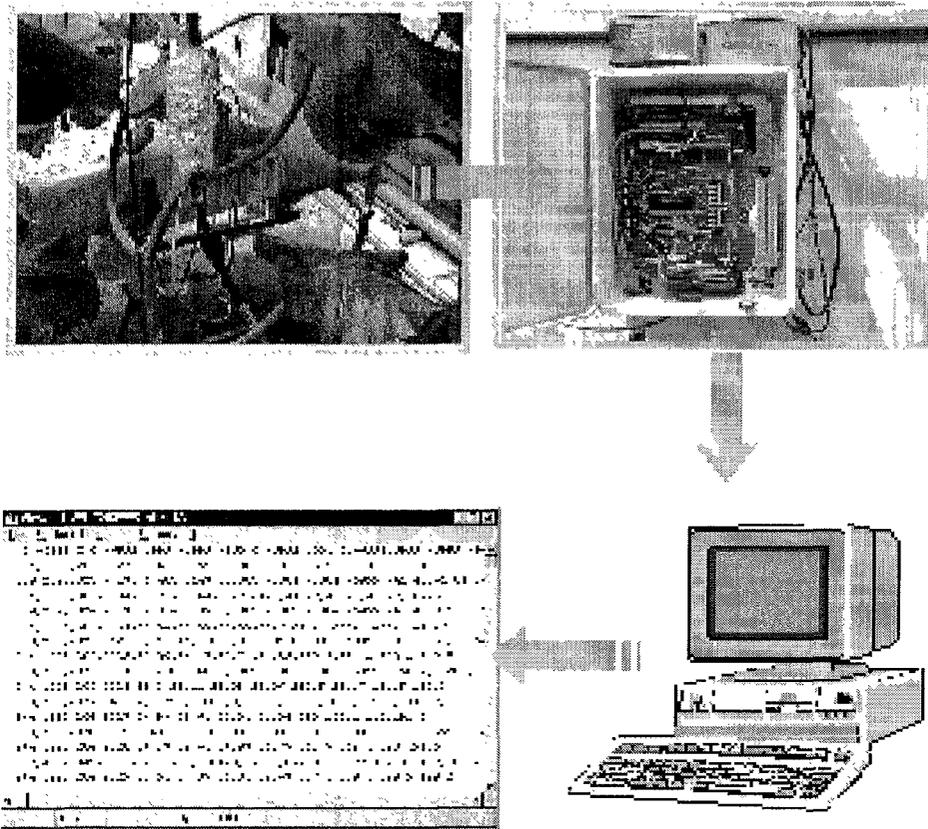


Fig. 3-49. Irrigation system by sap flow sensor

연구 내용 및 결과

수액흐름장치를 구축하여 수액흐름센서에 의해서 측정된 멜론의 수액흐름 양상은 그림 3-50과 같다.

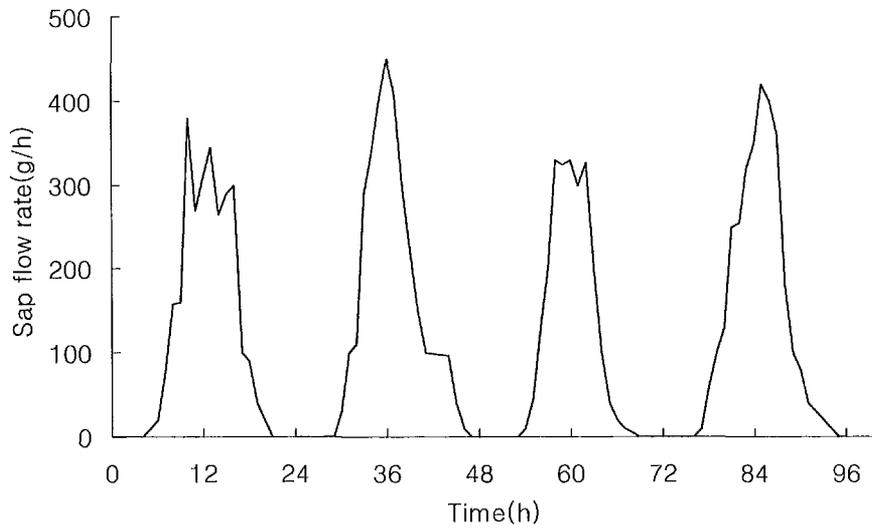


Fig. 3-50. Measurement of sap flow value of melon

24시간 주기로 조사한 경우, 일반적으로 광도가 높은 시간대에는 수액의 흐름속도가 급속히 증가하였고, 야간에는 그 속도가 거의 0에 가까웠다.

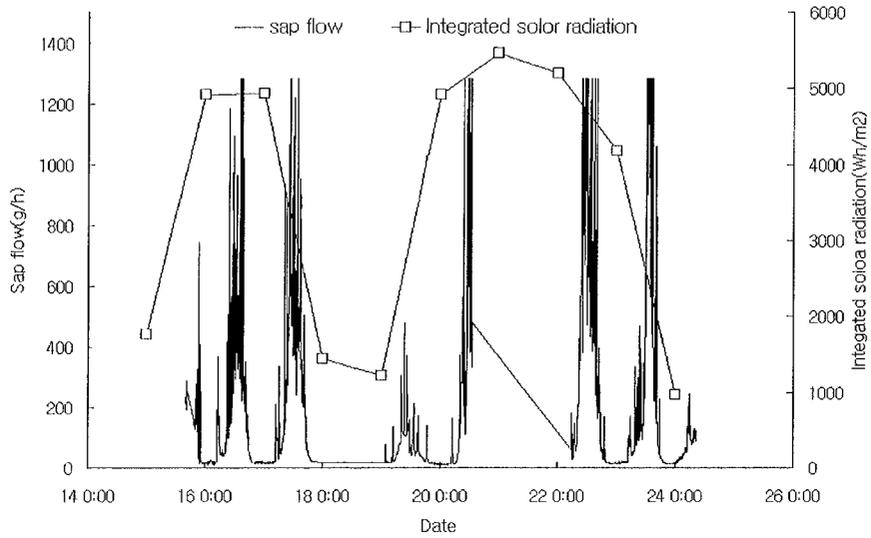


Fig. 3-51. Relation between integrated solar radiation and sap flow value

24시간동안 수액흐름속도와 배지내 수분함량을 비교한 경우 수분함량이 충분함에도 불구하고 수액흐름속도의 차이가 크게 나타나, 수액흐름속도는 배지내 수분상태에 의존하는 것이 아니라 광도에 의존하는 것으로 판단되었다. 따라서, 수액흐름을 급액 혹은 관수 관리 시스템과 인동하여 사용하는 것은 불가능한 것으로 사료된다.

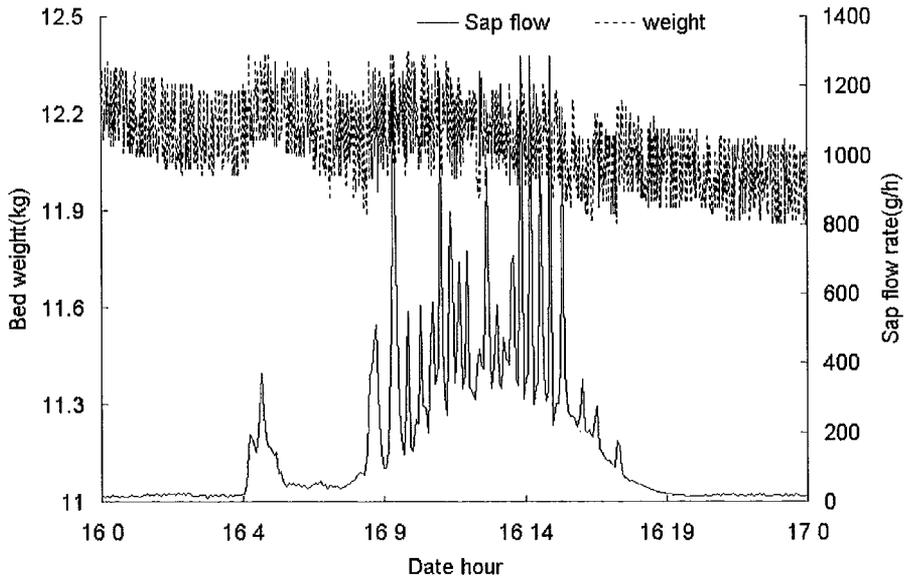


Fig. 3-52. Sap flow rate and water contents in perlite during 24 hours

나. 실시간 생육 monitoring 시스템 구축

연구 방법

bed type과 hanging type으로 분리한 중량제어 관수 관리 시스템을 이용하여 계측값을 RS232C 혹은 A/D convertor로 제어 computer에서 해석하는 생육 monitoring 시스템을 구축하였다.

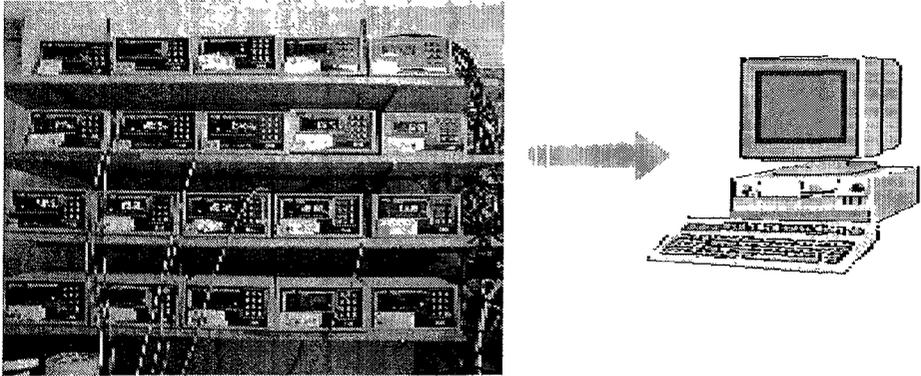


Fig. 3-53. Growth monitoring system

연구 내용 및 결과

벨론의 동적 관수제어를 가능하게 하기 위해서는 관수가 생장에 미치는 영향의 정도를 인지해야 한다. 배양중량은 식물의 성장과 관수에 의해 변화한다. 1일 변화량은 식물에 의한 부분에 비하여 관수의 영향이 훨씬 심하나, 기간을 보다 길게 보면 식물요인만으로 분석하여 dynamic한 성장속도를 도출할 수 있다. 즉, 각 일자별 진동폭은 식물의 흡수속도변화에 의한 것이며, 배양량과의 관계를 감안하면 현재 식물의 성장정도를 도출할 수 있다. 과실의 성장속도를 monitoring한 것은 앞의 실험결과에 포함시켰는데, 향후 이들의 성장분석은 행하여 고품질 벨론생산을 위한 Fuzzy제어시스템에 rule로서 사용할 것이다.

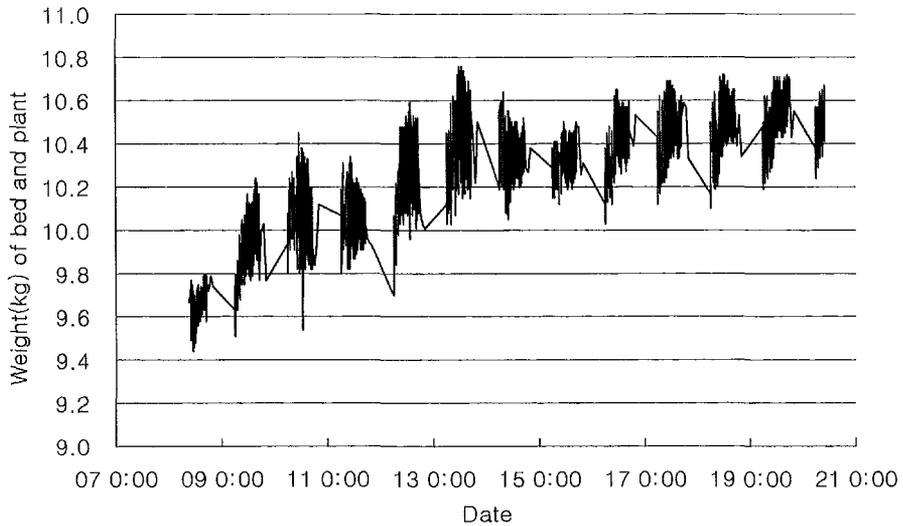


Fig. 3-54. Growth monitoring system of realtime

제4절 품종 및 계절별 고품질 멜론 생산법의 개발

1. 품종 및 계절별 동적 관수법의 개발

가. 품종별 동적 관수법 개발

연구 방법

품종별 비교를 위해서 관수방법은 타이머법을 이용하였다. 급액시간은 6:00, 8:00, 10:00, 11:00, 12:00, 12:30, 13:00, 13:30, 14:00, 14:30, 15:00, 16:00, 17:00 였으며 1회 급액 시간은 80초로 설정하였다. 생육단계와 날씨에 따라서 1회 급액시간을 조절하였다. 수확 후 품종 별 당도, 생체중, 과실 외형 크기, 네트 발현 등을 조사하였다.

연구 내용 및 결과

'World'와 'Sense'의 품종간 비교 실험에서 과실의 당도는 14 정도로 두 처리간 차이를 보이지 않았다.

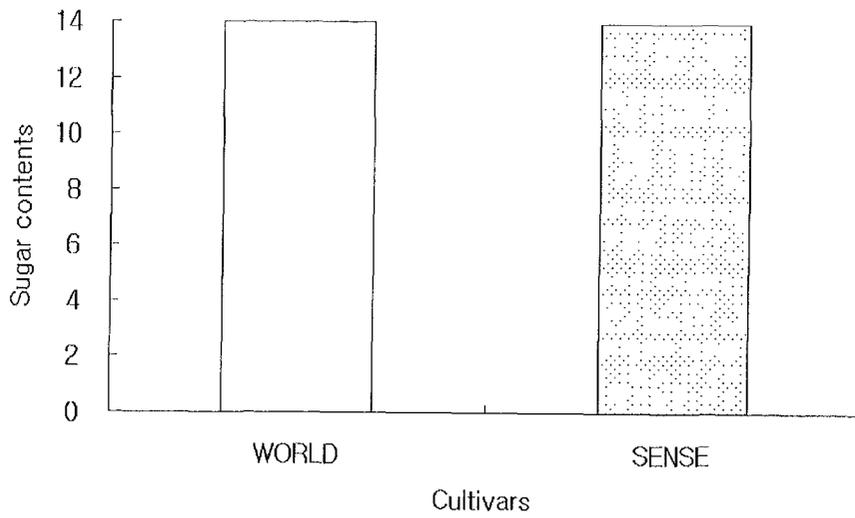


Fig. 3-55. Sugar contents (Brix %) according to cultivars

과실의 무게는 'World'보다 'Sense'가 약간 무거웠으나 유의적인 차이를 보이지는 않았다.

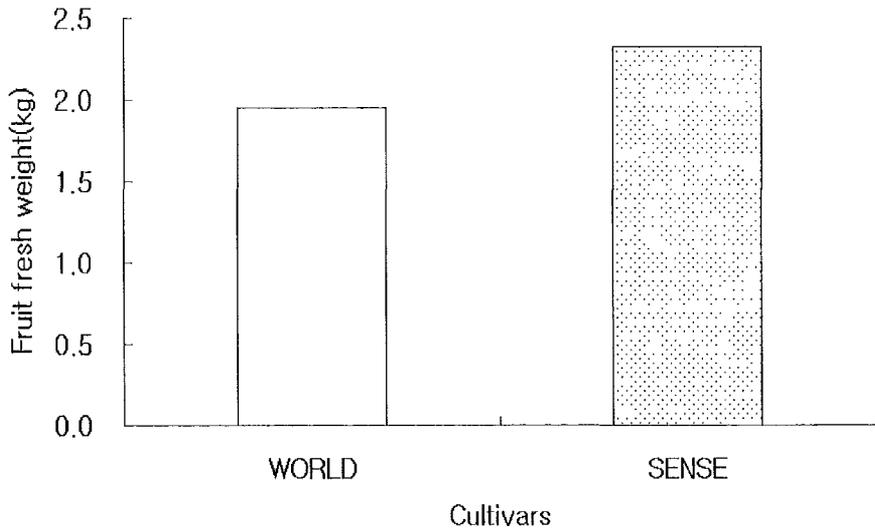


Fig. 3-56. Fruit fresh weight (kg) according to cultivars

과실의 모양은 'World'의 경우 과폭이나 과장의 길이가 비슷한 등근형 이었고, 'Sense'는 과폭 보다 과장이 약간 길었으나 유의적인 차이는 없었다.

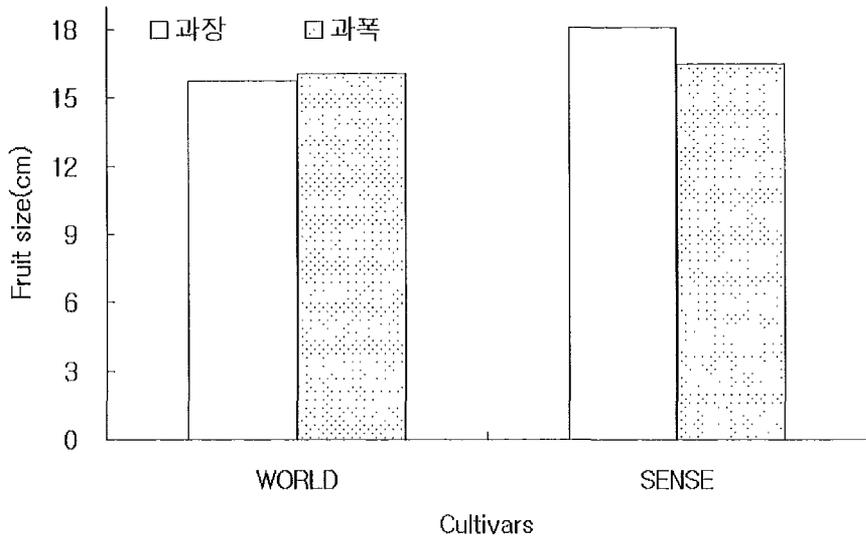
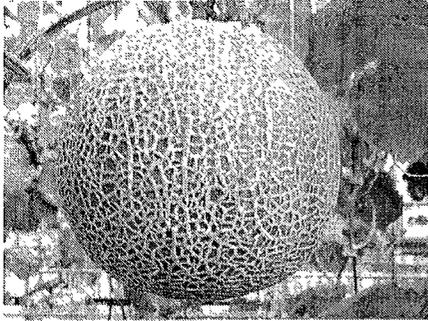
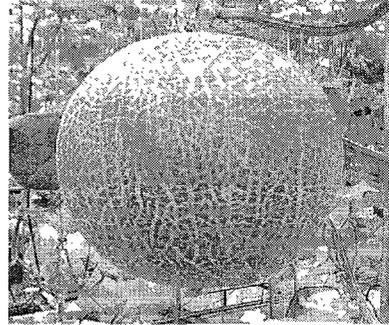


Fig. 3-57. Fruit size (cm) according to cultivars

과형에서도 큰 차이를 보이지 않았다.

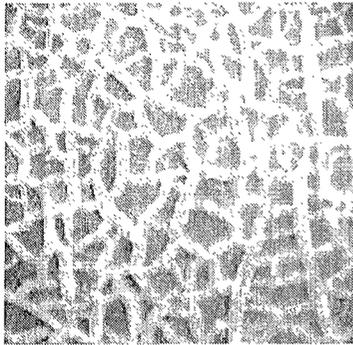


'World'

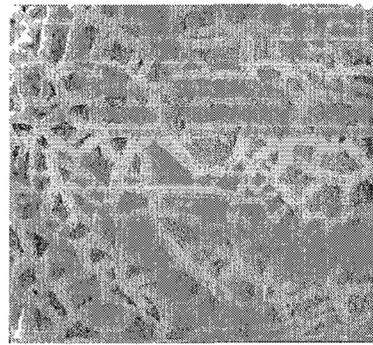


'Sense'

'World'와 'Sense'의 네트 발현도 또한 큰 차이를 보이지 않았다.



'World'



'Sense'

멜론 재배시 품종을 달리하여 지가형 관수 관리법 중의 하나인 타이머 제어법을 적용하여 실험해 본 결과 품종간에 당도, 네트, 생체중, 외형에 있어서 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

나. 계절별 통지 관수법의 개발

연구 방법

계절별로 봄과 가을 재배로 나누어 실험하였다. 봄재배는 주로 2월말 ~ 3월초에 파종하였고 가을재배는 7월말 ~ 8월말 사이에 파종한 것이다.

연구 내용 및 결과

봄재배의 경우 파종부터 정식 전까지의 기간도 짧고 정식 후부터 수확기까지의 기간

도 짧다. 반면에 가을재배의 경우 봄재배보다 재배기간이 길어서 수확기가 12월 초까지 이어지는 경우도 있었다. 계절별 멜론 재배의 경우 기간의 차이를 제외하고는 멜론의 당도와 과중 등 생육은 계절에 크게 영향을 받지 않았다. 관수법에 있어서도 계절에 따라 큰 차이를 보이지 않았다.

2. 특수물질 첨가에 의한 묘육성법 개발

연구 방법

아미노산 첨가에 의한 묘 육성법 실험은 2000년 6월 22일부터 7월 19일까지 수행되었다. 품종은 ‘Sense’를 사용하였다. 50공 plug tray에 ‘바로키’ 상토를 사용하여 파종하였다. 처리는 시기별로 본엽 1매 출현했을 때와 2매 출현했을 때로 나누었고, 아미노산 농도는 0, 10, 20, 30ppm으로 설정하였다.

[처리]

시 기	본엽 1매 출현시				본엽 2매 출현시			
아미노산 농도	0	10	20	30	0	10	20	30
처리 이름	1-0	1-1	1-2	1-3	2-0	2-1	2-2	2-3

아미노산은 4일에 한번씩 엽면살포 하였다. 육묘 관수는 파종 직후에는 미스트로 관수하였고 떡잎 출현 후에는 저면관수법을 이용하였다. 관수시간은 7:00, 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00였다. 미스트 관수법은 타이머와 연결하여 자동관수 되게 하였다. 미스트 펌프는 1회에 4분 구동한 후 배액 전자밸브가 열리게 하였다. 저면관수법은 미스트 관수법과 시간대가 동일하나 17:00에는 관수하지 않았다. 관수공급펌프를 1회에 3분 동안 용수가 공급되게 하였고, 이후 3분 동안은 공급된 용수가 육묘패드에 머무르게 하였다. 후에 배액 전자밸브가 열리게 하였다. 육묘 실험기간동안 sampling은 3번 실시하였다. 아미노산을 처리하지 않은 상태에서 1차 sampling 하였고(1st), 2차 sampling은 본엽 1매 출현 후 아미노산을 처리해주고, 본엽 2매에 아미노산을 처리하기 전에 하였다(2nd). 3차는 마지막 정식 전 단계에서 하였다(3rd). 수확시마다 생체중, 건물중, 초장, 엽장, 엽폭 등을 측정하였다.

연구 내용 및 결과

아미노산을 첨가한 묘 육성법 실험에서 본엽 1매 출현 후부터 처리한 것은 1차 때는 아미노산을 처리하지 않은 것이기 때문에 생체중이나 건물중에 차이가 없었다. 2차에서 아미노산을 처리하지 않은 1-0 처리구에서 약간 낮았고 1-3처리구에서 약간 높았다. 3차에서는 아미노산의 농도가 높을수록 생체중이나 건물중이 높게 나타났다.

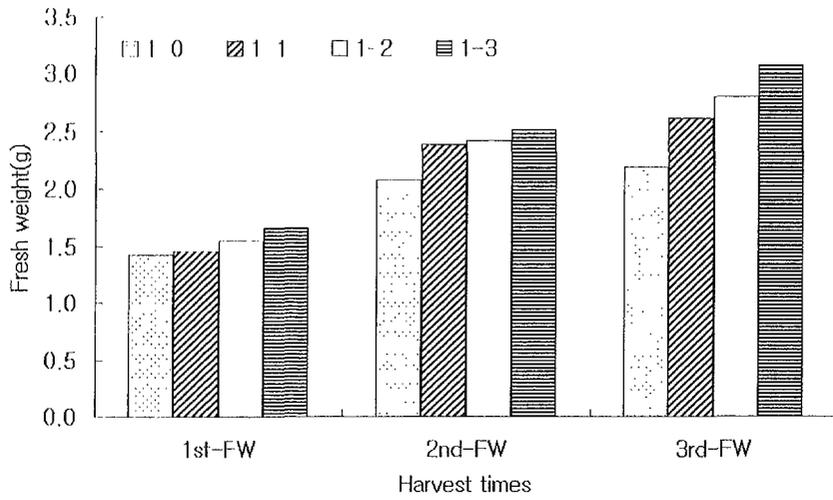


Fig. 3-58. Shoot fresh weight according to concentration of amino acid at the time of appearance of one true leaf. 1-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of one true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, FW: Fresh weight.

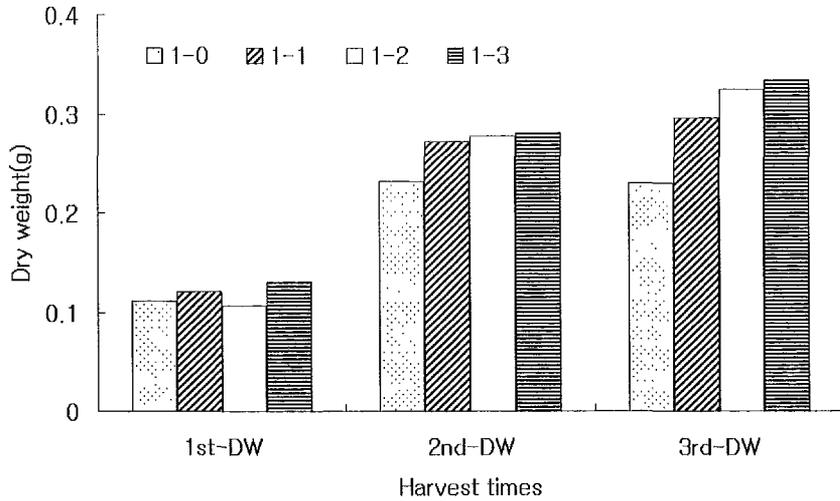


Fig. 3-59. Shoot dry weight according to concentration of amino acid at the time of appearance of one true leaf. 2-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of one true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, DW: dry weight.

본엽 2매 출현 후부터 아미노산을 처리한 결과에서는 1차와 2차는 아미노산을 처리하지 않았을 때이고 3차때 아미노산을 처리한 것이다. 생체중은 1차와 2차 모두 처리간 차이를 보이지 않았고, 3차때 2-3처리구에서 약간 높게 나타났다.

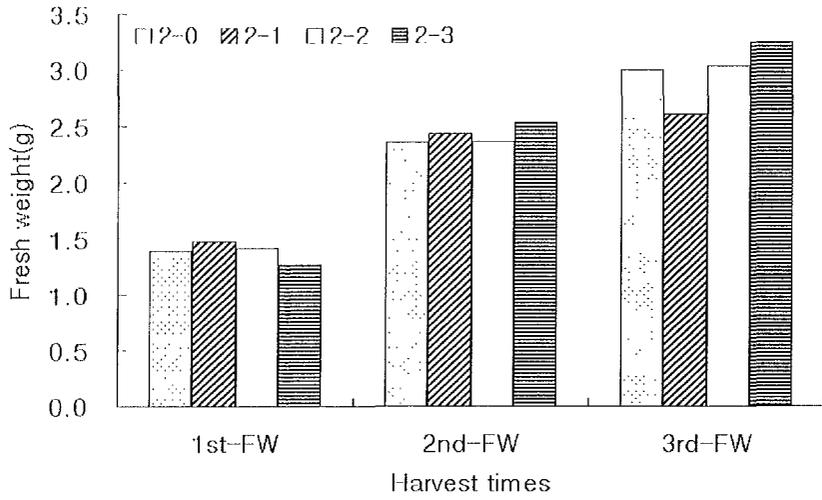


Fig. 3-60. Shoot fresh weight according to concentration of amino acid at the time of appearance of two true leaf. 2-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of two true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, FW: Fresh weight.

김플중은 3차때 2-2, 2-3처리구에서 높게 나타났다.

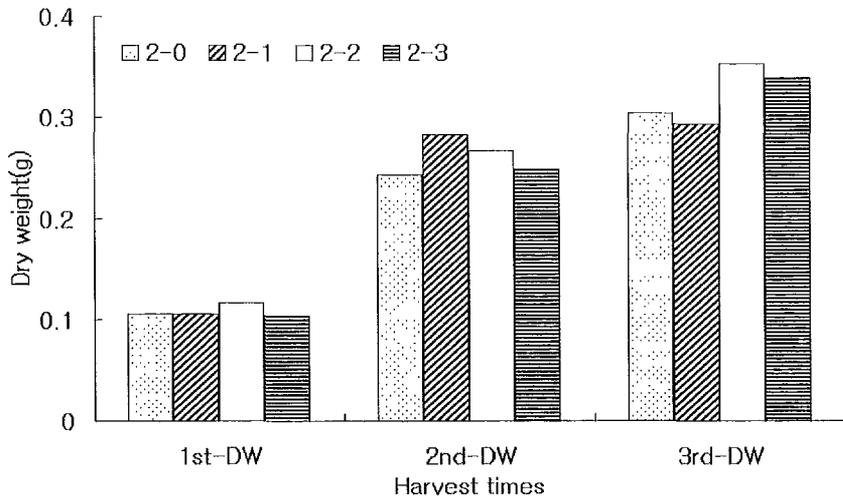


Fig. 3-61. Shoot dry weight according to concentration of amino acid at the time of appearance of two true leaf. 2-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of two true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, DW: Fresh weight.

초장은 본엽 1매때 처리했을 때는 2차 처리에서 아미노산의 농도가 높을수록 약간 높게 나타났다. 3차 처리에서도 비슷한 경향을 보였다.

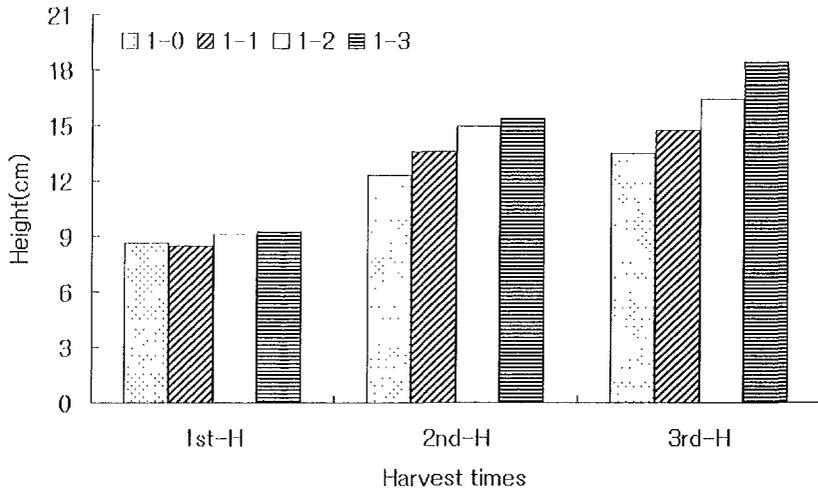


Fig. 3-62. Plant height according to concentration of amino acid at the time of appearance of one true leaf. 1-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of one true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, H: plant height.

본업 2에 전개시 처리에서는 처리별 효과가 나타나지 않았다.

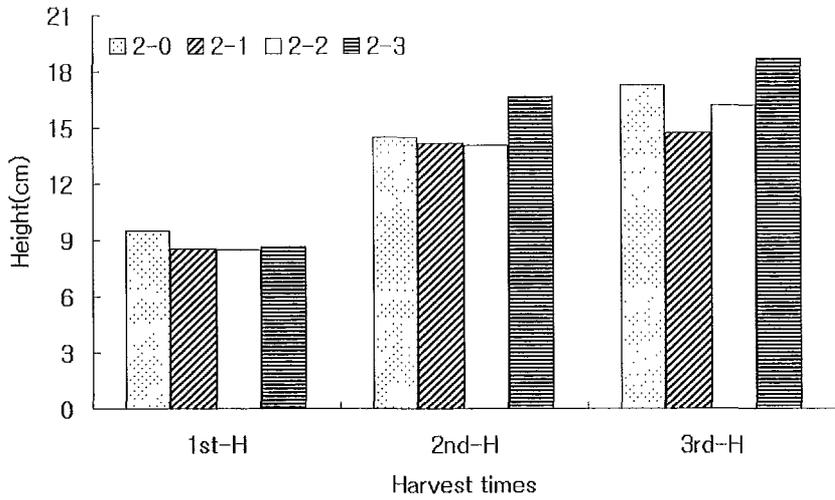


Fig. 3-63. Plant height according to concentration of amino acid at the time of appearance of two true leaf. 2-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of two true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, H: plant height.

본엽 1매 전개시 처리에서 1엽의 엽장은 3차때 아미노산 처리별 차이를 보였다.

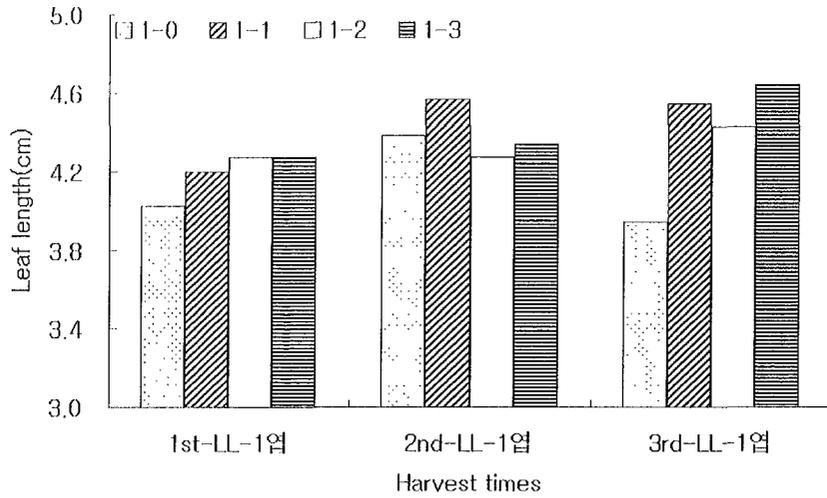


Fig. 3-64. Leaf length according to concentration of amino acid at the time of appearance of one true leaf. 1-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of one true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, LL: leaf length.

엽폭 또한 위장과 비슷한 경향을 보여 3차시에 아미노산을 처리하지 않은 1-0처리구를 제외하고는 비슷한 경향을 보였다.

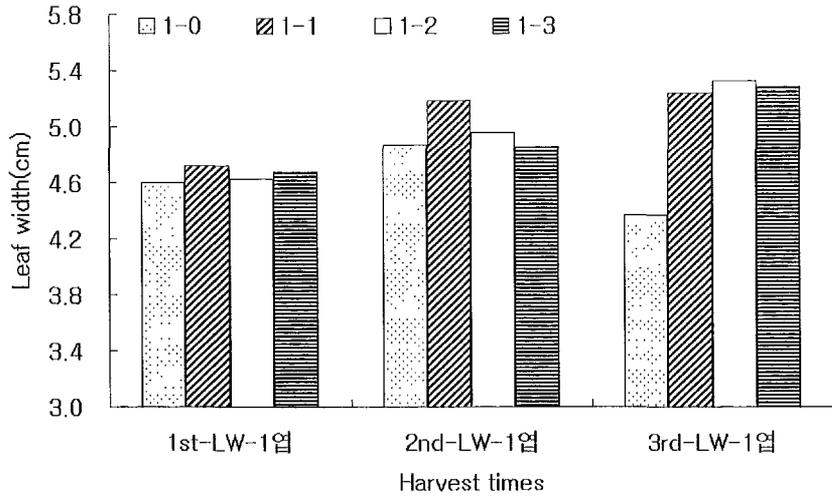


Fig. 3-65. Leaf width according to concentration of amino acid at the time of appearance of one true leaf. 1-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of one true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, LW: leaf width.

본엽 2매 출현 후 처리에서 엽장은 처리간 수확시기간 큰 차이를 보이지 않았다.

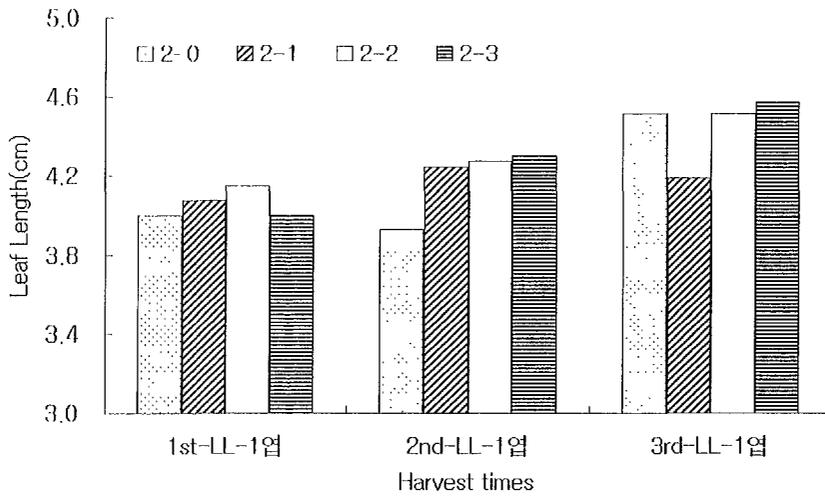


Fig. 3-66. Leaf length according to concentration of amino acid at the time of appearance of two true leaf. 2-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of two true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, LL: leaf length.

엽폭 또한 잎장과 비슷한 경향을 보였다.

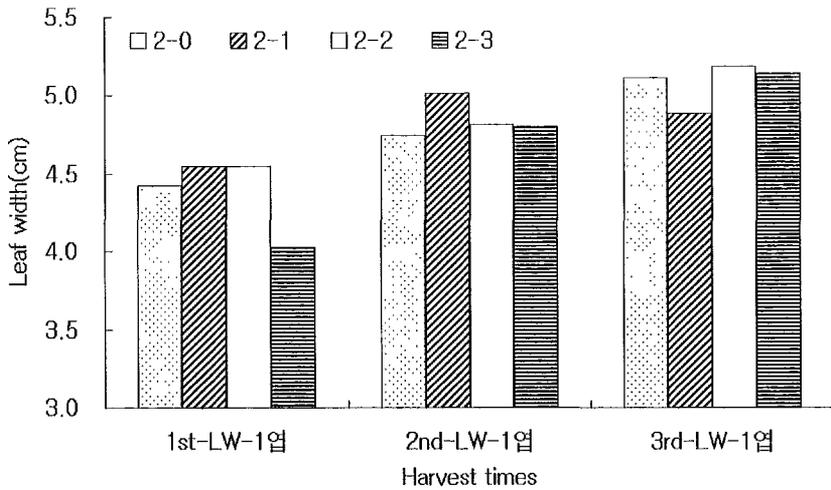


Fig. 3-67. Leaf width according to concentration of amino acid at the time of appearance of two true leaf. 2-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of two true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 1st: First harvest, 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, LW: leaf width.

1차 수확시와 다르게 2차, 3차 수확시에는 엽수가 2엽이어서 2엽도 잎 크기를 엽폭과 엽장으로 나누어 조사하였다. 본엽 1매 출현 후부터 처리한 잎들은 2차시보다 3차시에 엽장보다 엽폭이 증가했음을 알 수 있다.

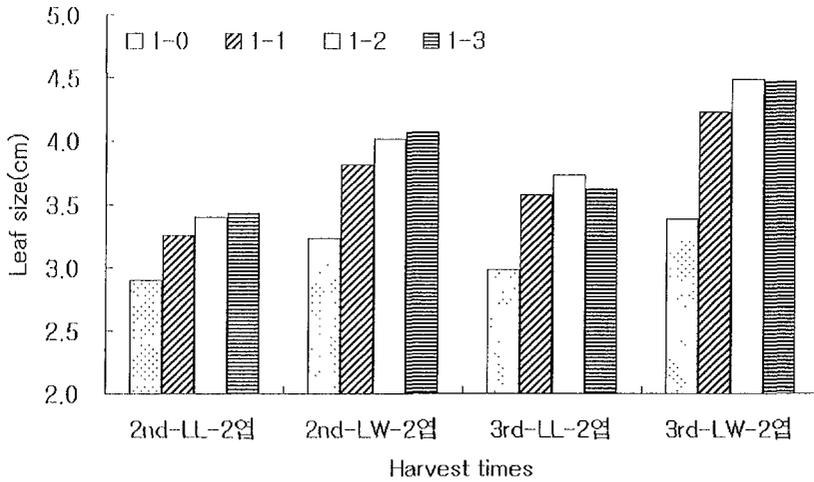


Fig. 3-68. Leaf size of one and two position according to concentration of amino acid at the time of appearance of one true leaf. 1-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of one true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, LL: leaf length, LW: leaf width.

분엽 2배 출현 후부터 처리한 잎들은 처리간 차이를 보이지 않았다. 2차때와 3차때를 비교하면 분엽 1배 출현 후부터 처리한 잎들과 비슷하게 엽장 보다 엽폭이 약간 증가하였다. 이것은 베타인 있는 길이 생장보다 폭 생장을 먼저 한다는 것을 알 수 있다.

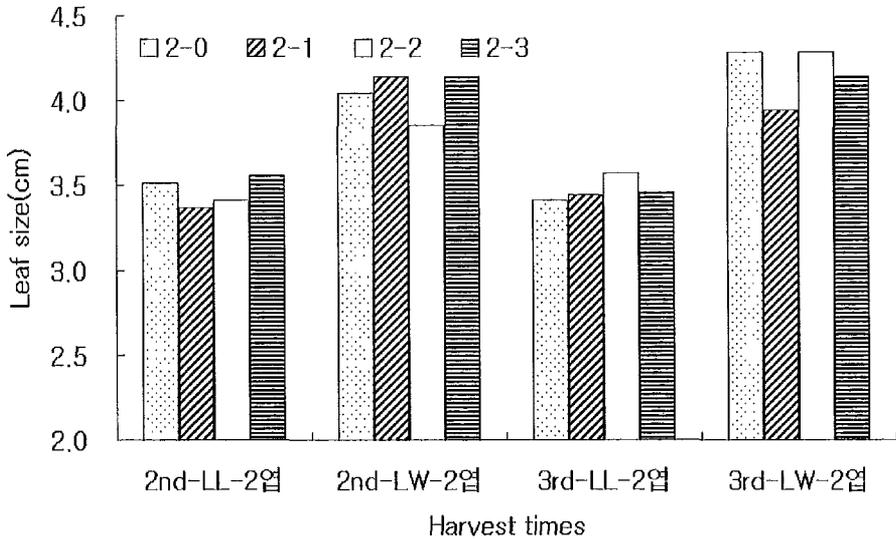


Fig. 3-69. Leaf size of one and two position according to concentration of amino acid at the time of appearance of two true leaf. 2-0, 1, 2, 3: At the time of appearance of two true leaf. 0, 1, 2, 3: concentration of amino acid. 0: 0ppm, 1: 10ppm, 2: 20ppm, 3: 30ppm. 2nd: Second harvest, 3rd: Third harvest, LL: leaf length, LW: leaf width.

유묘기에 아미노산 처리에서 본엽 1매 때부터 처리하면 생체중, 건물중, 엽장, 엽폭, 초장 등 아미노산의 농도가 증가함에 따라 약간씩 증가하였다. 본엽 2매 처리에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은 본엽 1매 출현 후 바로 아미노산을 처리해 주면 약간의 효과가 있음을 알 수 있었다. 그러나 엽색이 황녹색을 띄었는데 이는 배양액을 공급하지 않고 용수로만 수분을 공급했기 때문에 영양소의 결핍이 발생한 것으로 사료된다. 아미노산을 처리하여 농도에 따라 처리간 약간의 차이를 보이기는 했으나 유의적인 차이를 보이지는 않았다. 따라서 배양액을 공급하지 않고 유묘기 때 10-30ppm 정도의 농도로 아미노산을 처리하는 것은 성장 촉진에 큰 효과가 없음을 알 수 있었다.

제5절 고품질 양액재배 생산법 확립

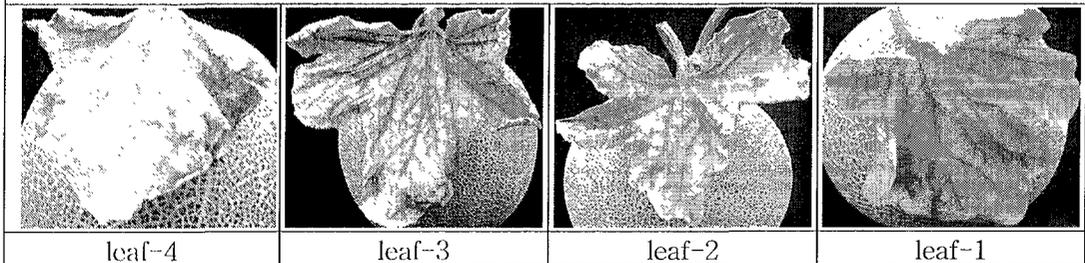
1. 비과괴적 간이 당도 판별법 설계 및 적용

연구 방법

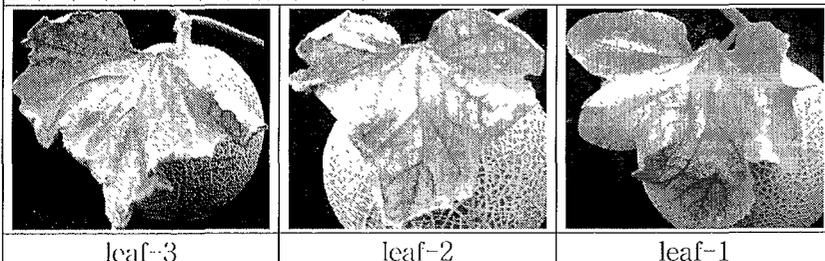
고품질 멜론의 상품성을 결정하기 위해서 과실의 손상을 주지 않는 비파괴적인 방법으로 수확하는 방법에는 여러 가지가 있겠으나 본 연구에서는 멜론의 결과지 엽색의 변화와 네트 형성 정도 등으로 외관으로 보이는 현상을 기준으로 분류하여 품질이 우수한 멜론을 수확하고자 하였다. 비파괴적 간이 당도 판별 실험은 봄과 가을 재배로 나누어 실험하였다. 봄 재배시(실험 1)와 가을 재배시(실험 2)로 나누어 수행하였다.

[실험1] 본 실험은 2월 20일부터 7월 5일까지 수행하였다. 공시작물은 멜론 'Sense'(초원종묘)를 사용하였다. 1차, 2차에 나누어 수행하였다. 1차 파종은 2월 20일, 정식은 4월 4일, 수분은 5월 5일~10일 사이에 하였다. 2차 파종은 3월 8일, 정식은 4월 14일, 수분은 5월 14일~17일 사이에 수행하였다. 수확은 7월 5일에 1차(수분 후 55일), 2차(수분 후 48일) 모두 동시에 실시하였다. 1차 수확시 결과지의 엽색을 4단계로 나누어 엽색을 분류하였다. 잎이 거의 99% 마른 경우(leaf-4), 약 80% 정도 마른 단계(leaf-3), 50% 정도 마른 경우(leaf-2), 잎이 마른 부분은 거의 없으나 전반적으로 연한 녹색을 띠는 경우(leaf-1)로 나누었다. 2차 수확시에는 수분 후 48일째에 수확하여 결과지 잎의 단계를 3단계로 나누었다. 전반적으로 잎의 50% 정도가 마른 단계(leaf-3), 잎의 가장자리가 마른 단계(leaf-2), 잎이 대체로 연한 녹색을 띠는 단계(leaf-1)로 나누었다. 수확 후 과실의 당도, 생체중, 과실 크기(과장, 과폭), 경도 등을 측정하였다.

1차 수확시 결과지 엽색 단계



2차 수확시 결과지 엽색 단계



연구 내용 및 결과

수분 후 55일째에 leaf-4 단계에서 보다 leaf-3 단계에서 당도의 함량이 높았다. leaf-1 단계에서 가장 낮았다.

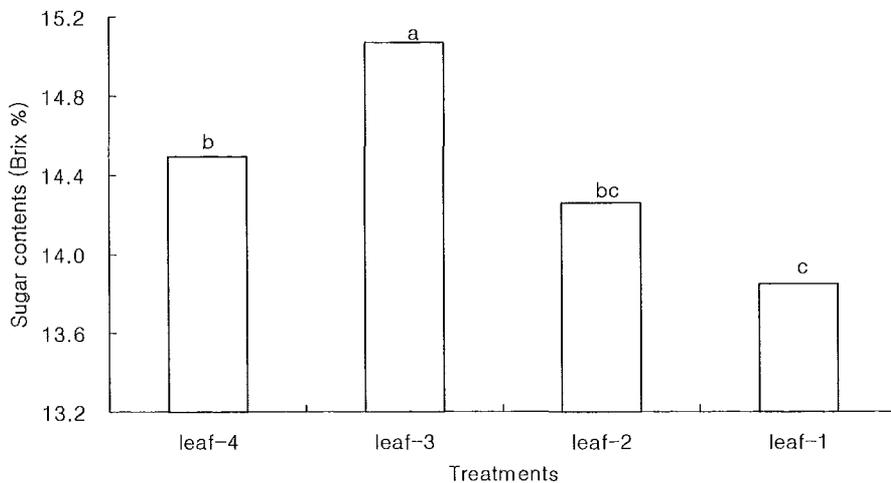


Fig. 3-70. Sugar content of melon flesh according to leaf color at 55 days after pollination. leaf-4: 99% dry, leaf-3: 80% dry, leaf-2: 50% dry, leaf-1: yellow green. Mean separation by Tukey's multiple range test, at 5% level.

과중은 처리간 유의적인 차이를 보이지는 않았으나 leaf-2 단계에서 약간 높은 경향을 보였다.

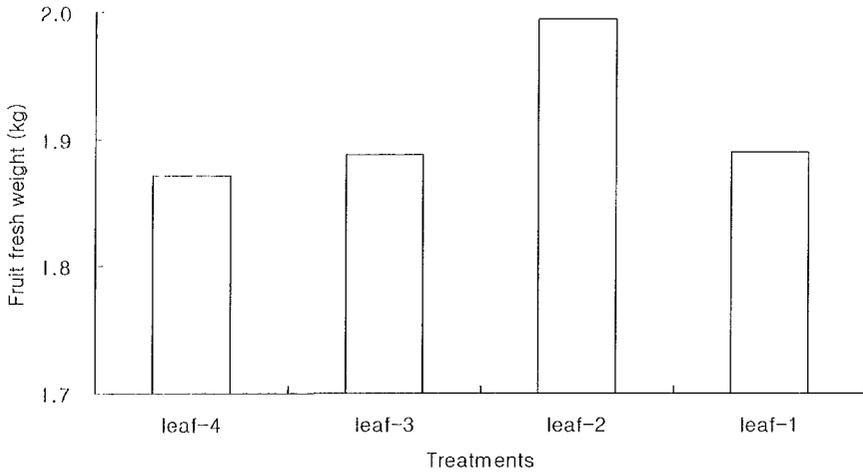


Fig. 3-71. Fruit fresh weight(kg) according to leaf color at 55 days after pollination. leaf-4: 99% dry, leaf-3: 80% dry, leaf-2: 50% dry, leaf-1: yellow green.

과실의 크기도 처리간 유의성은 없었으나 leaf-2 단계에서 약간 높았다.

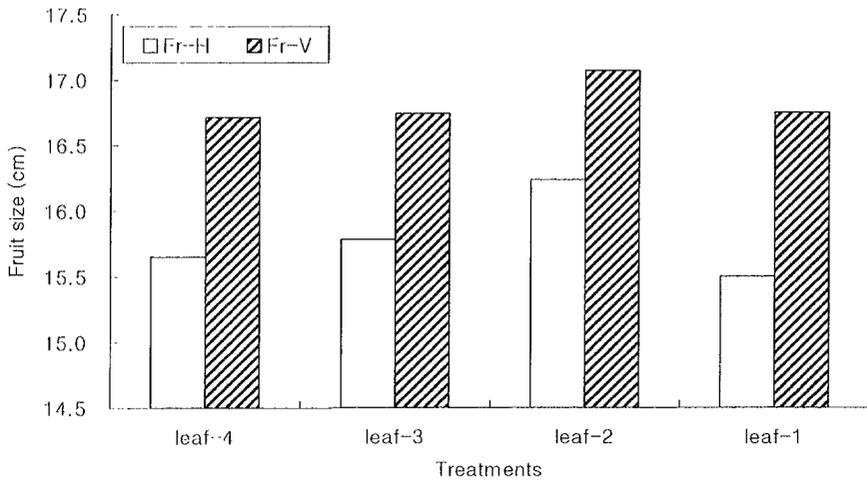


Fig. 3-72. Fruit size (cm) according to leaf color at 55 days after pollination. leaf-4: 99% dry, leaf-3: 80% dry, leaf-2: 50% dry, leaf-1: yellow green. Fr-H: Horizontal fruit; Fr-V: Vertical fruit.

과실의 경도도 처리간 유의차는 없었으나 leaf-3 단계에서 약간 낮았다.

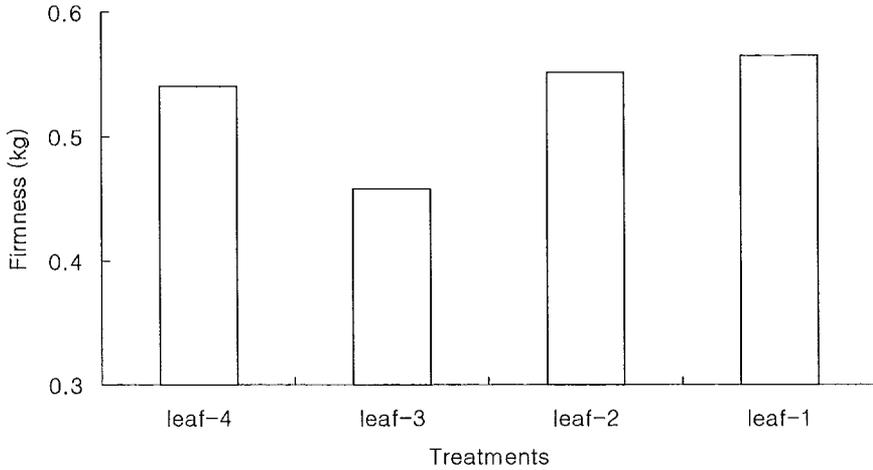


Fig. 3-73. Fruit firmness according to leaf color at 55 days after pollination. leaf-4: 99% dry, leaf-3: 80% dry, leaf-2: 50% dry, leaf-1: yellow green.

leaf-3 단계 보다 앞서 녹색을 띠는 부분이 거의 없고 전반적으로 마른 증상을 보인 leaf-4 단계에서 당도가 더 낮은 것은 결과지에 있는 수분 및 영양분이 과실로 이동하기 전에 잎이 말라 과실에 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다(결과지 잎의 기능과 관련된 참고문헌 찾기). leaf-2, leaf-1의 경우는 아직 덜 숙성된 상태인 것으로 판단된다. 당도를 제외한 그 외의 과중, 과실의 크기, 경도 등은 처리간 유의적인 차이를 보이지 않았다.

따라서 단계 사이에 과실의 생육에 영향을 미치는 과중, 과실의 크기, 경도 등의 유의적인 차이는 없고 당도에 차이가 있는 것으로 보아 수분 후 55일째에 결과지의 잎이 약 20% 정도 녹색을 띠는 단계에서 수확하면 당도도 높고 품질도 우수한 과실을 생산할 수 있을 것으로 사료된다.

수분 후 48일째에 과실의 당도는 leaf-3에서 가장 낮았고 leaf-2, leaf-1에서 높았다.

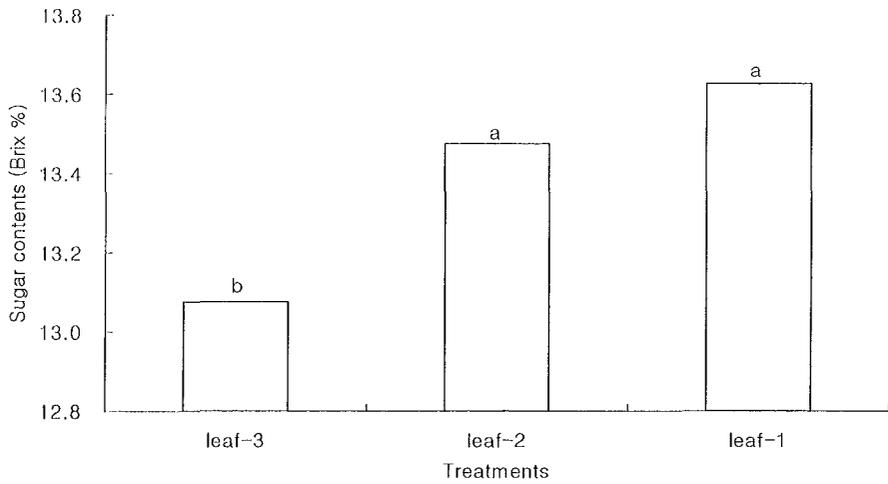


Fig. 3-74. Sugar contents of melon flesh according to leaf color at 48 days after pollination. leaf-3: 50% dry, leaf-2: leaf margin dry, leaf-1: yello green. Mean separation by Tukey's multiple range test, at 5% level.

과중은 당도와 반대의 경향을 보였다. leaf-3 단계에서 가장 높았고, 당도가 가장 높은 leaf-1 단계에서 가장 낮았다. 이는 당도가 높으면 과중이 낮게 나타나는 기존의 보고와 일치한다.

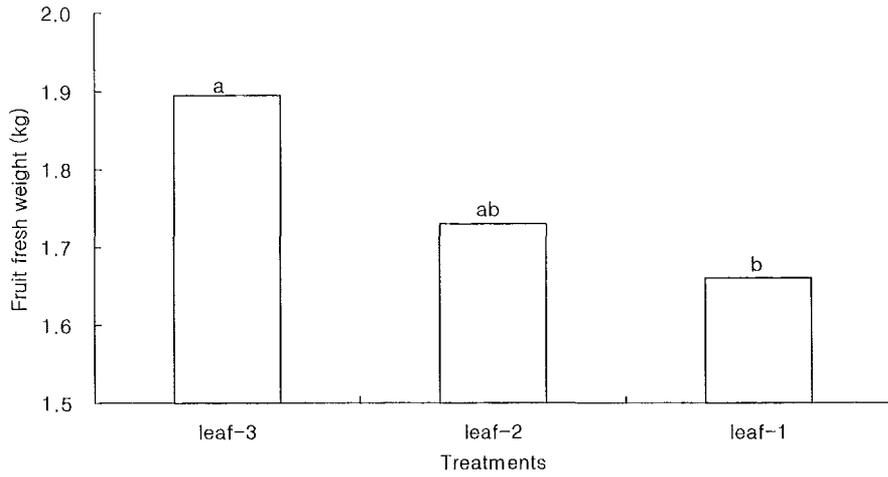


Fig. 3-75. Fruit fresh weight (kg) according to leaf color at 48 days after pollination. leaf-4: 99% dry, leaf-3: 80% dry, leaf-2: 50% dry, leaf-1: yello green. Mean separation by Tukey's multiple range test, at 5% level.

과실의 크기는 단계별로 큰 차이를 보이지 않았다.

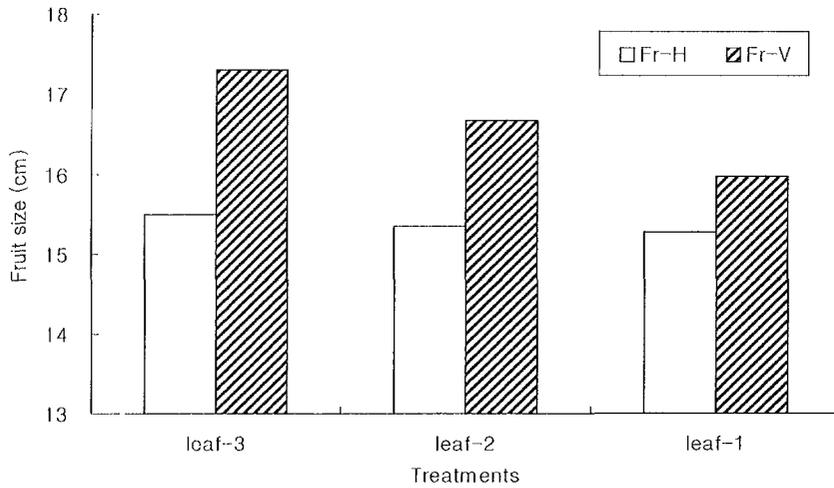


Fig. 3-76. Fruit size (cm) according to leaf color at 48 days after pollination. leaf-4: 99% dry, leaf-3: 80% dry, leaf-2: 50% dry, leaf-1: yellow green. Fr-H: Horizontal fruit; Fr-V: Vertical fruit.

과실의 경도는 당도가 가장 낮았던 leaf-3에서 낮게 나타났다. 과실의 경도가 낮은 것은 조직의 친밀도가 떨어진다는 것을 의미한다. leaf-3 단계의 경우 당도는 낮고 과중은 높았다. 이것은 과실의 수분 함량이 많아 조직의 친밀도가 떨어져 경도는 낮고 반면에 과중은 높았던 것으로 사료된다.

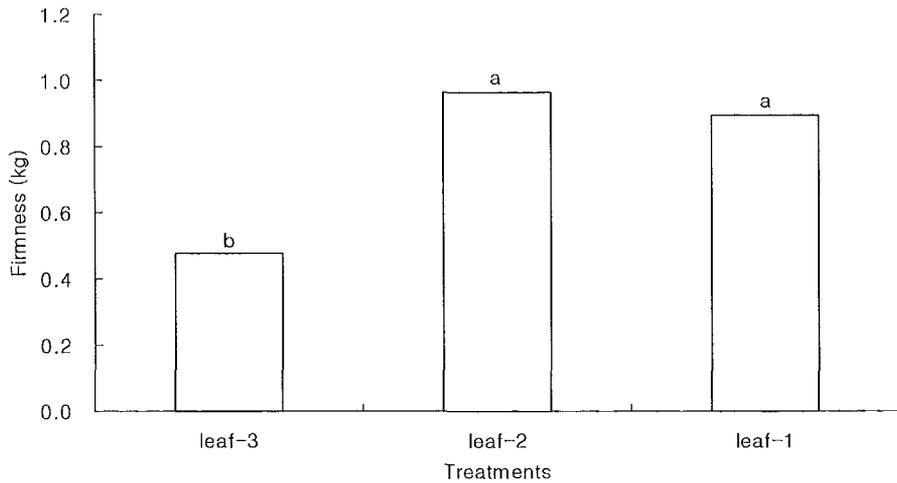


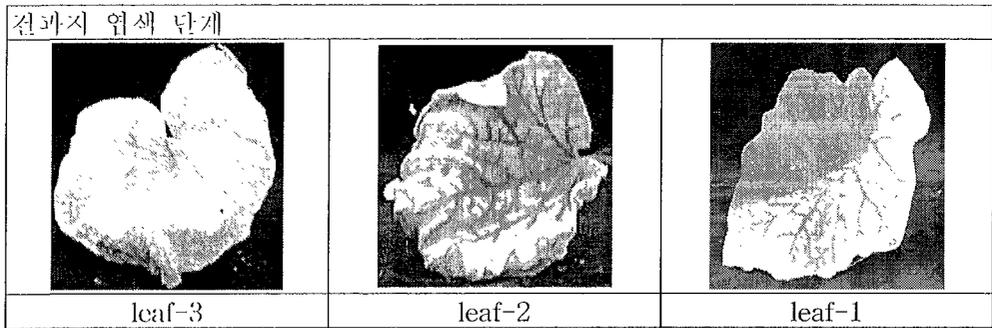
Fig. 3-77. Fruit firmness according to leaf color at 48 days after pollination. leaf-4: 99% dry, leaf-3: 80% dry, leaf-2: 50% dry, leaf-1: yellow green. Mean separation by Tukey's multiple range test, at 5% level.

leaf-3 단계에서 과실의 당도는 낮고 과중과 과실의 크기는 높으며 경도가 낮은 것은 수분의 함량이 과실로 집중되어 당도는 떨어뜨리고 과실의 무게와 크기에 영향을 미친 것으로 사료된다.

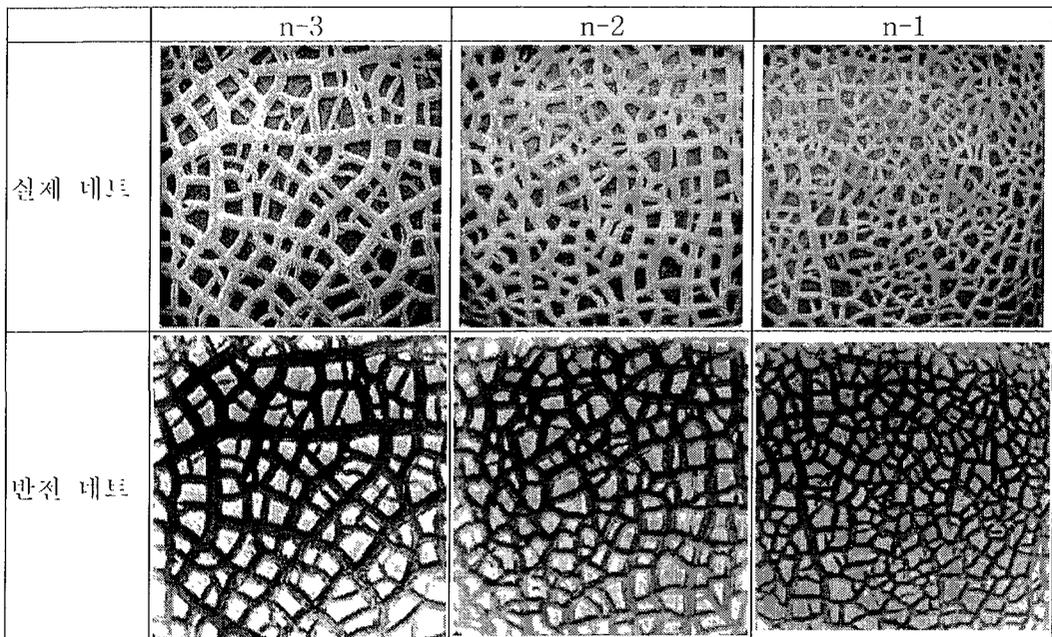
수분 후 48일째에는 과중이나 과실의 크기는 큰 차이가 없지만 전반적으로 55일째 보다 당도의 수준이 떨어지는 것으로 보아 덜 숙성된 것으로 판단되어 수분 후 48일째에 결과지의 엽색을 바탕으로 당도의 함량이나 수확기를 판단하는 것은 어려운 것으로 사료된다.

연구 방법

[실험 2] 결과지의 엽색을 몇단계로 나누어 분류하고 그때의 당도 및 생육을 조사하였다. 수분 후 53일에 수확하여 엽색을 분류하였다. 결과지 잎이 99% 마른 상태(leaf-3), 잎이 50% 마른 단계(leaf-2), 잎이 전반적으로 연한 녹색을 띠는 단계(leaf-1) 등 세 단계로 나누었다.



네트의 형성 정도는 크게 세 부분으로 나누었다. 네트가 굵고 영성한 것(n-3), 네트의 굵기는 가늘고 조밀한 것(n-1), n-3와 n-1의 중간 수준(n-2)으로 분류하였다.



연구 내용 및 결과

수확 후 과실의 당도, 과중 등을 측정하였다. 당도는 leaf-1, 2 단계에서 가장 높게 나타났다. leaf-3 단계는 이전의 실험에서와 같은 경향을 보였다. 잎의 상태가 전체적으로 마르고 고사 상태와 유사한 경향을 보였다.

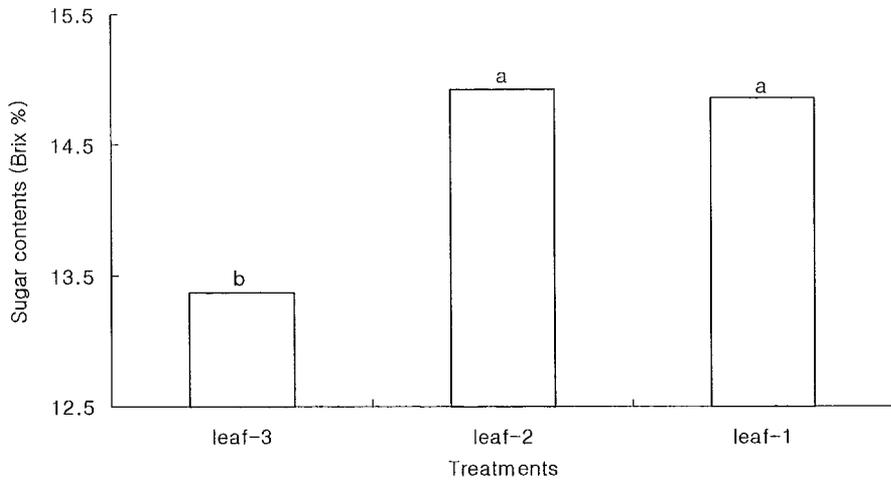


Fig. 3-78. Sugar contents (Brix %) of melon flesh according to leaf color at 53 days after pollination.

과실의 무게는 leaf-1에서 높게 나타났다. 과실의 무게는 상품성으로 평가되는 () 보다 상당히 떨어지나 당도는 높은 것으로 보아 과실이 성장하기 전에 조기 숙성한 것으로 판단된다. 왜 조기 숙성된 것일까? leaf-3의 경우 과실이 성장하기도 전에 잎이 노화되었다.

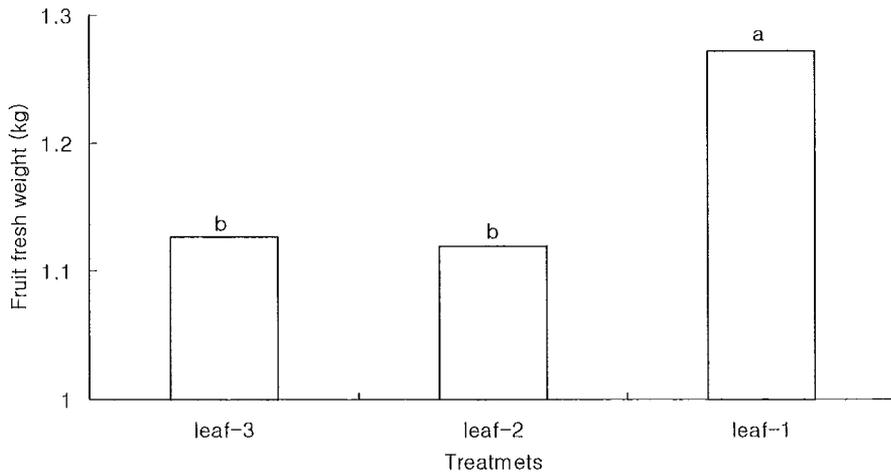


Fig. 3-79. Fruit fresh weight (kg) of melon flesh according to leaf color at 53 days after pollination.

엽색에 따라 분류된 과실의 네트 형성 정도를 보면 leaf-3 단계 과실의 네트는 가늘고 조밀하며 leaf-1 단계에 해당하는 과실의 네트 형성 정도는 leaf-3 그룹에 속한 과실보다 네트가 얇고 엉성하다.

네트 형성 정도에 따라서 과실의 당도를 비교해 보았다. 네트를 3단계로 나누어 분류하였다. 네트가 얇고 성근 상태(n-3), 네트가 가늘고 조밀한 상태 즉 잔 그물이 많은 상태(n-1), 두 단계의 중간 단계를 n-2로 하였다. 네트의 형성이 n-3일 때 당도의 함량이 높았다. 반면에 조밀하고 잔 그물이 많은 n-1은 당도의 함량은 낮고 과중은 높았다. 당도가 낮고 과중이 높은 것이 네트도 가늘고 조밀한 이유는 과실의 부피 생장이 시작도 빠르고 네트 형성이 끝나는 시기도 길었던 것으로 사료된다. 당도의 증가를 위해서 과실 내의 영양분 함량에 충실한 시기보다 과실의 부피 팽창과 무게 증가에 치중한 시기가 길었던 것으로 사료된다.

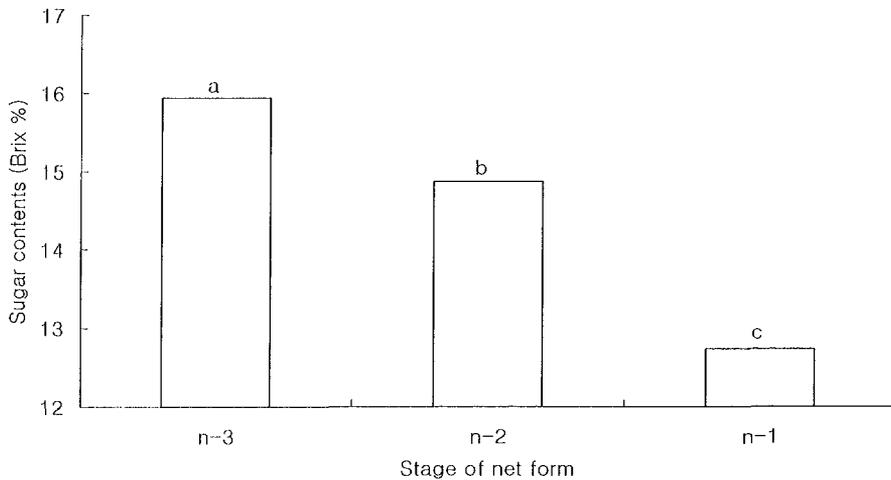


Fig. 3-80. Sugar contents (Brix %) of melon flesh according to stage of net form.

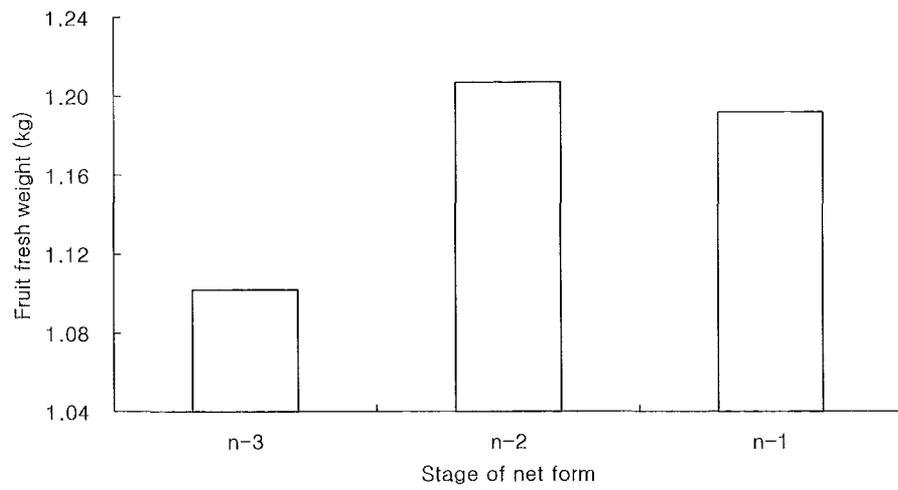


Fig. 3-81. Fruit fresh weight (kg) of melon flesh according to stage of net form.

제4장 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템 개발

제1절 배양액 관리 시스템 설계

연구 방법

자동제어 시스템의 구성요소인 액츄에이터(Actuator), 센서 및 하드웨어, 인터페이스 등을 설계하였다. 디지털 제어 알고리즘의 이론적인 연구에 의해 제어기 기초 설계를 수행하였다. 매지네 수분 및 배양액 상태 계측 시스템은 그래픽 사용자 인터페이스에 의하여 사용과 변경이 용이하도록 설계하였다. 이를 위하여 비주얼 C++를 사용하여 풀-다운 및 팝업 메뉴를 설계하였다.

연구 내용 및 결과

1. 환경자동제어 시스템 구축

가. 자동제어를 위한 제어계측기의 설치

고품질 멜론 생산을 위한 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템의 완전 자동화를 통합 운영하기 위하여 그동안 수동 모드 형태의 하드웨어를 사용하여 왔으나 이것은 정확한 신호 처리가 어려워 복잡한 라우팅으로 인터페이스 및 유지 보수가 어려운 구조를 가지고 있으므로 이런 단점을 극복하기 위하여 본 연구는 정확한 신호 처리와 제어 소프트웨어와의 편리한 인터페이스 특히 향후 상품화를 위하여 통합 하드웨어 시스템을 진면 설계하였다. 특히 최근의 하드웨어는 확장성의 요구가 하드웨어 설계의 중요한 스펙이고 또한 토마토 수경재배의 분산 제어 통합 하드웨어 시스템의 설계에서는 재배 공간의 확장이 자유로이 조절될 수 있어야 하므로 더욱 더 하드웨어 시스템의 유연한 확장성이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 센서의 수와 액츄에이터의 수에 제한 없이 장착할 수 있는 그리고 인터페이스 공간이 강력한, 새로운 형태의 유연한 하드웨어 시스템을 설계하였다.

본 연구에서 사용한 자동 관수 및 배양액 관리 제어시스템은 그림 4-1과 같이 구성되어져 있다.

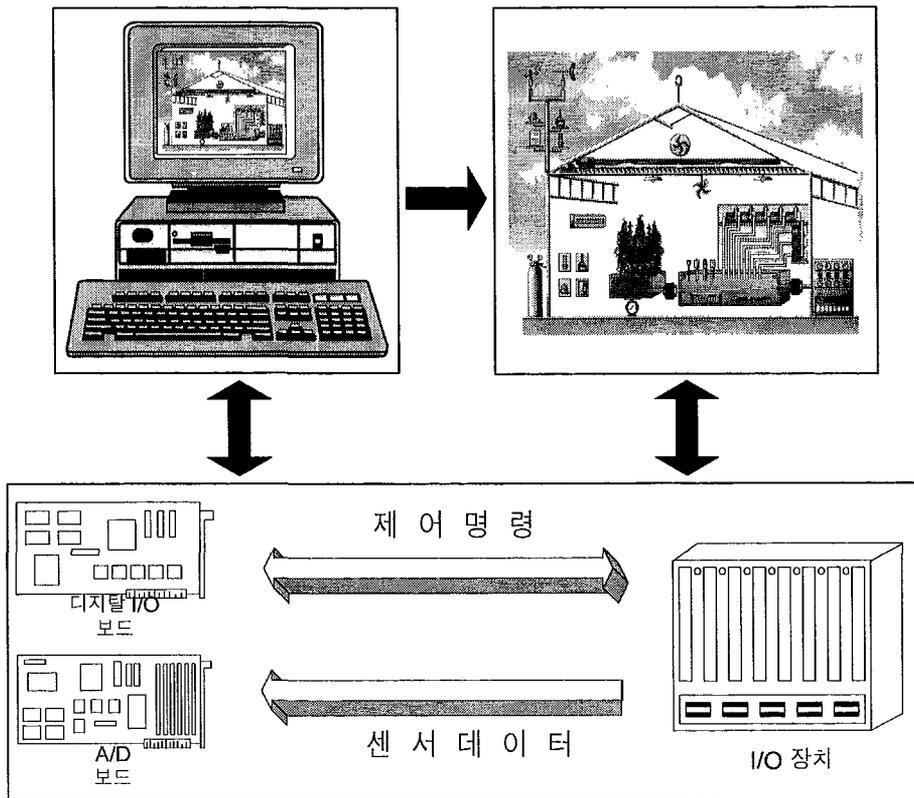


그림 4-1. 통합 하드웨어 시스템 구성도

본 연구는 랙(Rack) 형태의 유연한(Flexible) 입출력 버스(Bus) 구조를 갖는 계측 하드웨어 시스템을 개발하였으며 32CH까지 확장이 가능한 A/D Converter보드와 DIO 보드에 의한 컴퓨터 인터페이스를 설계하고 전류 출력 형태의 계측 신호를 OP Amp의 C-V회로를 이용하여 전압 출력으로 전환함으로써 정밀한 센서 신호처리를 할 수 있게 하였으며 One보드 단위(16개의 출력점)의 확장이 편리한 출력 하드웨어 시스템 개발과 입출력의 상태를 보드 상에서 알 수 있는 H/W 감시(Monitor) 장치를 장착하였다.

컴퓨터는 『윈도우즈 95』를 바탕으로 하여 모니터 프로그램으로 온실내의 환경을 인지하고 이를 바탕으로 각종의 액추에이터를 제어하게 된다. 시스템의 유지 및 보수의 차원에서 랙타입의 외부 "I/O 장치"를 도입하였다. 그리고 그 곳에 전류형 센서의 값을 주 컴퓨터에 있는 "A/D 보드"가 처리할 수 있게 하기 위해서 전압의 형태의 값으로 변환할 수 있게 "전류-전압 변환 보드"를 장착을 하였다. 그리고 LED를 장착하여, 센서의 값에 대한 기준치를 자유롭게 설정, 센서의 값의 변화를 랙 시스템에서 알아볼 수 있게 하였다. 그리고 온실내 각각의 액추에이터를 효율적으로 제어하기 위해서 액추에이터에 대해

서 스위칭을 할 수 있는 “Power Relay 보드”를 장착을 하였다.

나. 중앙 제어기 (Main Controller)

중앙 제어기에 사용된 주 컴퓨터는 『Pentium』 프로세서를 탑재하여 『윈도우즈 98』 운영체제를 기반으로 모니터프로그램이 실행되어진다. 그림 4-2와 같이, 온실내의 센서 데이터 즉, 아날로그의 값을 디지털 값으로 변환하여 입력받게 하기 위해서 컴퓨터 내장형이며 하이 스피드로 변환할 수 있는 32CH A/D 보드를 장착을 하였다. 과거의 A/D 보드에 비하여 컨버팅 속도와 Mux의 속도 및 용량이 커짐으로써 랙에서 전압 형태로 입력되는 센서의 입력량과 속도에 월등한 발전을 가져왔다. 제어명령을 온실내 액추에이터에게 전달하기 위해서 “디지털 I/O 보드”를 장착하였다. 입출력 보드는 주로 출력으로 쓰여지며 신호는 랙의 릴레이 보드로 전달된다. 디지털 “A/D 보드”에서는 변화하는 아날로그형 센서의 데이터를 디지털 값으로 변환시킨다. 이 값을 모니터 프로그램은 온실 환경을 제어하는 데 사용하게 된다. “디지털 I/O 보드”는 모니터 프로그램의 출력을 받아서 액추에이터에 해당하는 비트를 ON/OFF해 주는 역할을 한다.

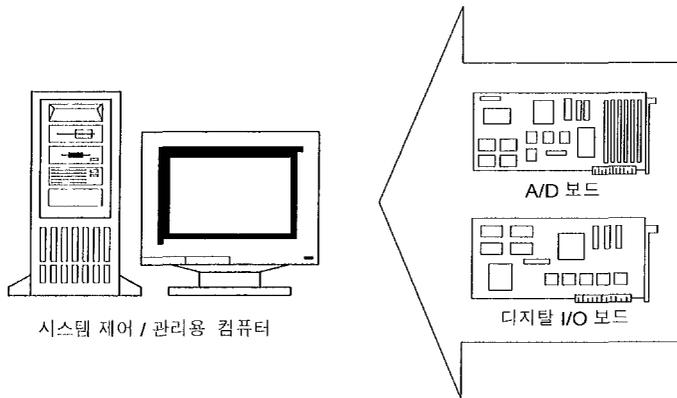


그림 4-2. 주 컴퓨터의 구성

나. 랙 타입의 인터페이스 시스템의 설계

시스템의 유지 및 보수와 간결성을 위해서 그림 4-3과 같이 랙 타입의 시스템을 구성을 하여서 액추에이터 구동을 위한 “Power Relay 보드”와 전류타입의 센서 데이터를 전압타입의 센서 데이터로 변환시켜주는 “전류-전압 변환 보드”를 장착을 하였다. 랙은 자체의 전원을 갖고 있으며 각 보드에 필요한 전원을 제공하여 주며 시스템의 목적에 맞게 설계 및 변형할 수 있게 유연한 구조를 가지고 있다. “Power Relay 보드”는 16개의 액추에이터를 스위칭할 수 있게 하였으며 모니터 프로그램을 통해서 “디지털 I/O 보드”에서 각각의 액추에이터를 출력점에 대하여 자유롭게 대상 액추에이터를 설정 및 변

경할 수 있게 하였다. 이 보드는 대상 액추에이터의 수량의 변동에 대처할 수 있게 확장성에 중점을 두었다.

“전류-전압 변환 board”는 랙에서 제공되는 범용 보드에 회로를 꾸미고 주 컴퓨터에 있는 “A/D board”와 인터페이스 될 수 있는 커넥터에 연결하여 데이터 버스에 데이터를 출력한다. 이 보드는 32채널의 센서 데이터를 입력을 받을 수 있다. 그리고 센서데이터의 변화상태를 랙 시스템에서 관리자가 알 수 있도록 LED를 부착을 하여서 표시하게 하였다.

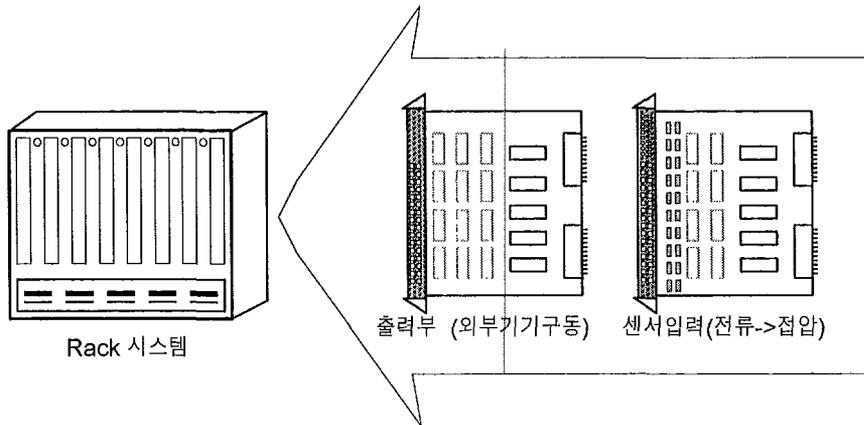


그림 4-3. 랙 시스템의 구성

라. 센서 신호처리 보드의 설계

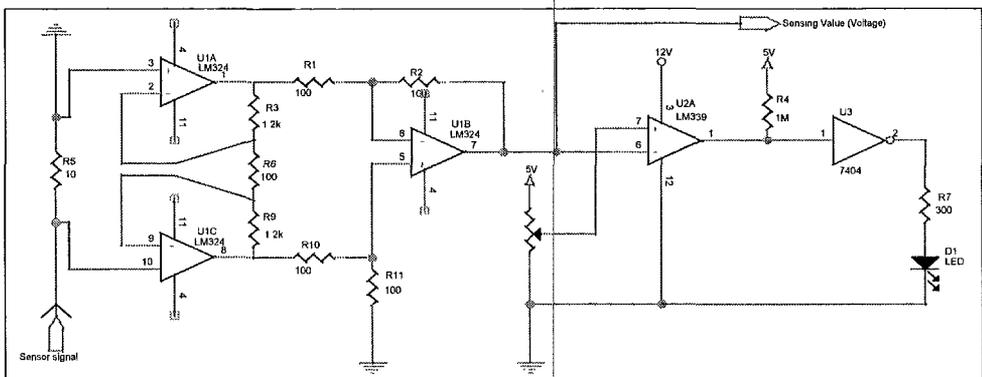


그림 4-4. 전류-전압 변환 board 구성

그림 4-4와 같이 전류형 센서의 값을 전압형으로 변환 시켜 주는 회로와 LED를 구동시켜주는 회로를 구성을 하였다. 좌측에서 센서 신호가 들어오면 이를 OP-AMP를 사용

한 전류-전압 변환 회로를 이용하여서 전압의 값으로 변환을 하게 되고 이를 “디지털 I/O 포트”에 데이터를 출력하게 된다. 그리고 이 전압형의 아날로그 데이터를 OP-AMP의 한 종류인 비교기를 이용하여서 LED를 구동하게 되며 외부에서 포토시미터를 조정하여서 경계값을 설정하여 센서값의 경계값 주변에서 변화하는 상황을 알 수 있게 하였다. 모니터 프로그램에서 온실의 상황을 제어할 하게 되면 이 경계값 부근에서 변화하는 상황을 볼 수가 있을 것이다. 이 회로는 각 센서 데이터 채널 32개에 각각 구성하여 32개를 제작하였다.

마. 하드웨어 기본 구동을 위한 펌웨어(Firm-Ware)의 설계

고품질 생산을 위한 농작 자동 관수 및 배양액 관리 시스템의 출력 장치에는 배양액 냉난방기, 용수펌프, 기타 펌프, 가습기, 기온 냉난방기, 램프, 보온커튼, 스프레이, 이산화탄소 발생기 유동팬, 차광커튼, 천장, 측창, 환기팬이 있다. 이러한 장치는 자동으로 설정시 자동으로 동작하지만 수동으로 직접 제어 할 수도 있다. 주변기기 제어 메뉴에서 각 장치를 선택하여 그 장치를 제어 할 수 있도록 펌웨어를 설계한다.

각 센서에 관련된 출력상태만 따로 보면서 제어할 수도 있다. 주변기기 제어 메뉴에서 센서 관련 출력 상태를 선택하면 각 센서에 해당하여 움직이는 장치의 상태 및 그 제어를 할 수 있다.

본 연구에서는 수위, 액온, EC, 산도 등 양액 재배에 필요한 모든 부분을 독립적으로 자동제어 하는 시스템을 개발하였다. 주변기기제어 메뉴에서 장치제어 설정을 선택하면 다이얼로그 박스가 나타나도록 설계하였다.

배양액 제어를 위한 설정 윈도우는 각 제어 별로 펌프 가동 시간, 휴식시간, Bed 공급 펌프 가동 시간, 각 값의 상한 하한 등을 설정할 수 있다. 이러한 설정값은 가장 위에 있는 수동/자동 레디오 버튼을 자동으로 설정하였을 때만 의미가 있다. 수동으로 설정된 경우는 주변기기 제어의 각 부분을 직접 제어하여야 한다. 자동으로 설정된 경우는 설정치 대로 동작한다. 다음은 고품질 벨론 생산을 위한 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템의 하드웨어 기본 구동을 위한 펌웨어 프로그램 코드이다.

```
void CDcsView::AutoPumpBedA()
{
    // 배양액온도
    static BOOL bIsWheaterOn=FALSE;
    static BOOL bIsColdValveOn=FALSE;
    static int nWheaterTime;
    static int nColdValveTime;

    // PII
```

```

static BOOL bIsHpAOn=FALSE;
static BOOL bIsOpAOn=FALSE;
static BOOL bIsARest=FALSE;
static BOOL bIsABed=FALSE;
static int nHpATime;
static int nOpATime;
static int nARestTime;
static int nABedTime;

// EC
static BOOL bIsWpumpOn=FALSE;
static BOOL bIsPertPumpOn=FALSE;
static BOOL bIsEcRest=FALSE;
static BOOL bIsEcBed=FALSE;
static int nPertPumpTime;
static int nEcWpumpTime;
static int nEcRestTime;
static int nEcBedTime;

// 수위
static int nLevelWpumpTime;

// 경보
static BOOL bAlarm = FALSE;
static int nWarning=0;
static BOOL bWarning=FALSE;

static int nTurn=0;

char szTime[9];

float ph_a, level, ec, wtemp;

if (!IsComplete)
    return;

if (index==0) return;
ph_a = sensor[index-1][ChanConfig[16]];
ec   = sensor[index-1][ChanConfig[24]];
wtemp = sensor[index-1][ChanConfig[12]];

if (ph_a>pumpsetup.pump_a.nPhUp){

```

```

        if (nPhAlarm!=0)
            nPhAlarm--;
        bPhHigh = TRUE;
    }
else if (ph_a<pumpsetup.pump_a.nPhLow){
    if (nPhAlarm!=0)
        nPhAlarm--;
    bPhHigh = FALSE;
}
if (ec>pumpsetup.pump_a.nEcUp){
    if (nEcAlarm!=0)
        nEcAlarm--;
    bEcHigh = TRUE;
}
else if (ec<pumpsetup.pump_a.nEcLow){
    if (nEcAlarm!=0)
        nEcAlarm--;
    bEcHigh = FALSE;
}

if (wtemp>pumpsetup.pump_a.nWtempUp){
    if (nWtempAlarm!=0)
        nWtempAlarm--;
    bWtempHigh = TRUE;
}
else if (wtemp<pumpsetup.pump_a.nWtempLow){
    if (nWtempAlarm!=0)
        nWtempAlarm--;
    bWtempHigh = FALSE;
}

switch (nTurn){

case 0 :

// PII 센서
if (pumpsetup.pump_a.bPIIOn){
    if ((!bIsUpOn) && (!bIsOpOn) && (!bIsARest) && (!bIsABed)){
        if (ph_a>pumpsetup.pump_a.nPhUp){
            _strtime(szTime);
            DOUT(BED_A, OFF);
            fprintf(fpump, "%s A의 Bed 펌프 OFF\n", szTime);
        }
    }
}
}

```

```

        _strtime(szTime);
        DOUT(HP_A, ON);
        DOUT(STIR_A, ON);
        fprintf(fpPump, "%s A의 HP 펌프 ON\n", szTime);
        bIsHpAOn=TRUE;
        nHpATime=pumpsetup.pump_a.nHpTime;
    }
    else if (ph_a<pumpsetup.pump_a.nPhLow){
        _strtime(szTime);
        DOUT(BED_A, OFF);
        fprintf(fpPump, "%s A의 Bed 펌프 OFF\n", szTime);

        _strtime(szTime);
        DOUT(OP_A, ON);
        DOUT(STIR_A, ON);
        fprintf(fpPump, "%s A의 OP 펌프 ON\n", szTime);
        bIsOpAOn=TRUE;
        nOpATime=pumpsetup.pump_a.nOpTime;
    }
    else
        nPhAlarm=pumpsetup.nAlarmTime;
}
if (bIsHpAOn){
    if (nHpATime==0){
        _strtime(szTime);
        DOUT(HP_A, OFF);
        DOUT(STIR_A, OFF);
        fprintf(fpPump, "%s A의 HP 펌프 OFF\n", szTime);
        bIsHpAOn=FALSE;
        bIsARest=TRUE;
        nARestTime=pumpsetup.pump_a.nRestTime;
    }
    else
        nHpATime--;
}
else if (bIsOpAOn){
    if (nOpATime==0){
        _strtime(szTime);
        DOUT(OP_A, OFF);
        DOUT(STIR_A, OFF);
        fprintf(fpPump, "%s A의 OP 펌프 OFF\n", szTime);
    }
}

```

```

        bIsOpAOn=FALSE;
        bIsARest=TRUE;
        nARestTime=pumpsetup.pump_a.nRestTime;
    }
    else
        nOpATime--;
}
// 휴식 시간
if (bIsARest){
    if (nARestTime==0){
        _strtime(szTime);
        DOUT(BED_A, ON);
        fprintf(fpPump, "%s A의 Bed 펌프 ON\n", szTime);
        bIsARest=FALSE;
        nTurn = 1;
    }
    else
        nARestTime--;
}
break;
}
nTurn=1;
break;

case 1 :
// EC센서
if (pumpsetup.pump_a.bEcOn){
    if (!(bIsPrtPumpOn) && (!bIsWpumpOn) && (!bIsEcRest) && (!bIsEcBed)){
        if (ec>pumpsetup.pump_a.nEcUp){
            _strtime(szTime);
            DOUT(BED_A, OFF);
            fprintf(fpPump, "%s A의 Bed 펌프 OFF\n", szTime);

            _strtime(szTime);
            DOUT(WPUMP, ON);
            DOUT(STIR_A, ON);
            fprintf(fpPump, "%s EC 용수 공급 밸브 ON\n", szTime);
            bIsWpumpOn=TRUE;
            nEcWpumpTime=pumpsetup.pump_a.nEcWpumpTime;
        }
        else if (ec<pumpsetup.pump_a.nEcLow){
            _strtime(szTime);

```

```

DOUT(BED_A, OFF);
fprintf(fpPump, "%s A의 Bed 펌프 OFF\n", szTime);

    _strtime(szTime);
DOUT(PERTPUMP, ON);
DOUT(STIR_A, ON);
fprintf(fpPump, "%s EC 비료펌프 ON\n", szTime);
bIsPertPumpOn=TRUE;
nPertPumpTime=pumpsetup.pump_a.nPertPumpTime;
}
else
    nEcAlarm=pumpsetup.nAlarmTime;
}
if (bIsWpumpOn){
    if (nEcWpumpTime==0){
        _strtime(szTime);
DOUT(WPUMP, OFF);
DOUT(STIR_A, OFF);
fprintf(fpPump, "%s EC 용수 공급밸브 OFF\n", szTime);
bIsWpumpOn=FALSE;
bIsEcRest=TRUE;
nEcRestTime=pumpsetup.pump_a.nEcRestTime;
    }
    else
        nEcWpumpTime--;
}
else if (bIsPertPumpOn){
    if (nPertPumpTime==0){
        _strtime(szTime);
DOUT(PERTPUMP, OFF);
DOUT(STIR_A, OFF);
fprintf(fpPump, "%s EC 비료 펌프 OFF\n", szTime);
bIsPertPumpOn=FALSE;
bIsEcRest=TRUE;
nEcRestTime=pumpsetup.pump_a.nEcRestTime;
    }
    else
        nPertPumpTime--;
}
// 휴식 시간
if (bIsEcRest){
    if (nEcRestTime==0){

```

```

        _strtime(szTime);
        DOUT(BED_A, ON);
        fprintf(fpPump, "%s EC Bed 펌프 ON\n", szTime);
        bIsEcRest=FALSE;
        nEcBedTime=pumpsetup.pump_a.nEcBedTime;
        nTurn=2;
    }
    else
        nEcRestTime--;
}
break;
}
nTurn=2;
break;

case 2 :
// 액온 센서

if (pumpsetup.pump_a.bWtempOn){
    if ((!bIsWheaterOn) && (!bIsColdValveOn)){
        if (wtemp>pumpsetup.pump_a.nWtempUp){
            _strtime(szTime);
            DOUT(BED_A, OFF);
            fprintf(fpPump, "%s A의 Bed 펌프 OFF\n", szTime);

            _strtime(szTime);
            DOUT(COLDWATERVALVE, ON);
            DOUT(STIR_A, ON);
            fprintf(fpPump, "%s A의 냉수 밸브 ON\n", szTime);
            bIsColdValveOn=TRUE;
            nColdValveTime=pumpsetup.pump_a.nColdwatervalveTime;
        }

        else if (wtemp<pumpsetup.pump_a.nWtempLow){
            _strtime(szTime);
            DOUT(BED_A, OFF);
            fprintf(fpPump, "%s A의 Bed 펌프 OFF\n", szTime);

            _strtime(szTime);
            DOUT(WHEATER, ON);
            DOUT(STIR_A, ON);
            fprintf(fpPump, "%s A의 수중 히터 ON\n", szTime);

```

```

        bIsWheaterOn=TRUE;
        nWheaterTime=pumpsetup.pump_a.nWheaterTime;
    }
    else
        nWtempAlarm=pumpsetup.nAlarmTime;
}

if (bIsColdValveOn){
    if (nColdValveTime==0){
        _strtime(szTime);
        DOUT(COLDWATERVALVE, OFF);
        DOUT(STIR_A, OFF);
        fprintf(fpPump, "%s A의 냉수 밸브 OFF\n", szTime);
        bIsColdValveOn=FALSE;

        _strtime(szTime);
        DOUT(BED_A, ON);
        fprintf(fpPump, "%s A의 Bed 펌프 ON\n", szTime);

        nTurn=0;
    }
    else
        nColdValveTime--;
}
else if (bIsWheaterOn){
    if (nWheaterTime==0){
        _strtime(szTime);
        DOUT(WHEATER, OFF);
        DOUT(STIR_A, OFF);
        fprintf(fpPump, "%s A의 수중 히터 OFF\n", szTime);
        bIsWheaterOn=FALSE;

        _strtime(szTime);
        DOUT(BED_A, ON);
        fprintf(fpPump, "%s A의 Bed 펌프 ON\n", szTime);

        nTurn = 0;
    }
    else
        nWheaterTime--;
}
break;

```

```

}
nTurn=0;
break;

} // Switch
    fflush(fpPump);
}

```

바. 기본 소프트웨어 설계

1) 비주얼 C++에 의한 객체 지향 프로그램의 설계

고품질 펌웨어 생산을 위한 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템을 운영하고 모니터링 소프트웨어는 비주얼 C++에 의한 객체 지향 프로그래밍 기법에 의한 화려한 GUI(Graphic User Interface)를 갖는 소프트웨어로 설계하였다. 기존의 도스나 메인프레임에서 사용자는 해당 어플리케이션을 작성한 프로그래머가 지정한 임의의 순서에 따라 사용할 수밖에 없었다. 일단 어플리케이션이 실행되면 프로그램에 지정된 순서에 따라 처리 과정을 밟게 된다. 이러한 프로그래밍 방식을 절차적 프로그래밍이라고 한다. 비주얼 C++ MFC 프로그래밍에서는 이러한 방법을 사용하지 않는다. 윈도우상에서 모든 어플리케이션은 주 윈도우라고 불리는 하나의 윈도우를 가지고 있으며 이 윈도우는 사용자와 어플리케이션 사이에서 인터페이스 하는 역할을 담당한다. 일반적으로 이 윈도우는 다른 윈도우 또는 컨트롤, 다이얼로그박스, 메시지 박스와 같은 시각적 객체를 포함한다. 윈도우에서는 이러한 오브젝트를 중심으로 프로그래밍 작업이 이루어진다. 이러한 프로그래밍 방식을 객체 지향적인 프로그래밍이라고 한다.

2) 객체지향 프로그래밍

오브젝트는 윈도우 프로그램의 기본적인 구성요소가 된다. 특히 MFC(Microsoft Foundation Class) 라이브러리는 C++ 클래스로 이루어져 있으므로 비주얼 C++ MFC 어플리케이션을 작성하기 위해서는 객체지향 프로그래밍(OOP)에 대한 이해가 필요하다. OOP에서의 중심 개념은 객체(Object)에 있다. 객체는 하나의 실체(entity)로서 일반적으로 속성(attribute)과 방법(method)으로 정의한다. 속성이란 객체를 다른 객체와 구별하게 하는 특징을 나타내면 방법은 객체가 어떻게 동작하는가를 규정한다. OOP에 있어서 클래스 즉 추상화된 데이터형은 다음과 같은 4가지 개념을 가지고 있어야 한다. 첫째는 추상화(abstraction)이다. OOP에서 가장 기본적인 개념이 추상화이다. 추상화란 '자세한 사항은 무시하고 본질적인 특징에 집중하는 것'을 말한다. 즉 컴퓨터 프로그래밍언어에 내장되어 있는 방법보다 좀더 고급스런 정보를 표현하고 해석, 처리하는 것이다. 둘째는 은닉화(encapsulation)이다. 관련된 정보와 그 정보를 처리하는 방법을 하나의 단

위로 묶는 것이다. 데이터 감추기(data hiding)이라고도 한다. 셋째는 상속성(inheritance)이다. 기존의 정의된 객체의 속성과 방법을 상속하여 새로운 객체를 만들 수 있어야 한다. 넷째는 다형성(polymorphism)이다. 같은 메시지에 대하여 각각의 객체가 서로 다르게 반응하는 것을 의미한다.

윈도우95를 포함한 윈도우 운영체제는 사용자 인터페이스를 구성하는 여러 종류의 객체를 제공한다. 이러한 사용자 인터페이스 객체의 예로는 윈도우, 다이얼로그 박스, 컨트롤, 아이콘, 메뉴 등을 들 수 있다. 이들 윈도우 사용자 인터페이스 객체는 객체의 특정한 속성과 방법을 하나의 단위로 가지고 있다.

3) 윈도우 객체(Window Object)

이들 윈도우 사용자 인터페이스 객체 중 가장 중요한 것은 윈도우이다. 윈도우는 어플리케이션 그 자체를 의미한다. 윈도우 어플리케이션을 실행할 때 먼저 윈도우가 화면에 나타나면서부터 어플리케이션이 시작하게 된다. 또한 사용자 윈도우를 닫을 때 그 어플리케이션이 종료하게 된다.

4) 이벤트 처리 방식 프로그래밍(Event-Driven Programming)

비주얼 C++ MFC 어플리케이션을 포함한 모든 윈도우 어플리케이션에 공통적으로 적용되는 또 하나의 중심개념은 이벤트 처리 방식 프로그래밍 혹은 메시지 처리 방식 프로그래밍이다. 사용자가 마우스 클릭 또는 키보드 입력과 같은 이벤트를 발생시켰을 때 해당 이벤트에 대하여 어플리케이션에서 처리해야 할 코드를 작성하는 것이다. 윈도우 환경과 그 응용 프로그램은 메시지를 사용하여 외부(입력이나 출력장치)나 서로와 상호 작용한다.

5) 메시지가 발생하는 경우

- 키보드 타이핑, 마우스 사용(버튼 클릭, 더블클릭, 움직임)과 같이 사용자가 만드는 사건

→ 사용자 발생 메시지

- 응용 프로그램은 특정한 프로그램 요소를 겨냥하여 내부 메시지를 보낼 수 있다.
- 윈도우즈 환경은 응용 프로그램으로 메시지를 보낼 수 있다.
- 두개의 응용프로그램은 자료 공유를 위해 동적 교환(DDE) 메시지를 보낼 수 있다.

6) 메시지 종류

- 윈도우 관리 메시지 : 윈도우의 상태가 바뀔 때 윈도우즈→응용프로그램
WM_ACTIVE : 윈도우가 활성화되거나 비활성화 될 때 보내짐

- WM_CLOSE : 윈도우가 닫힐 때 보내짐
- WM_MOVE : 윈도우가 옮겨질 때 보내짐
- WM_PAINT : 윈도우즈나 응용 프로그램이 응용 프로그램 윈도우의 일부를 다시
그리고 요구할 때 보내짐
- WM_SIZE : 윈도우의 크기가 바뀐 뒤에 보내짐
- 초기화 메시지 : 응용 프로그램이 메뉴나 대화상자를 구성할 때 윈도우즈에 의해
보내짐
 - WM_INITDIALOG : 대화상자가 표시되기 직전에 보내짐
 - WM_INITMENU : 메뉴가 활성화하기 직전에 보내짐
 - 입력 메시지
 - WM_COMMAND : 메뉴 항목을 선택했을 때 보내짐
 - WM_HSCROLL : 마우스로 수평 스크롤바를 클릭 했을 때 보내짐
 - WM_KEYDOWN : 키보드를 눌렀을 때 보내짐
 - WM_LBUTTONDOWN : 왼쪽 마우스 버튼을 눌렀을 때 보내짐
 - WM_TIMER : 지정된 타이머에 대한 타이머 한계 설정이 경과했을 때 보내짐
 - 시스템 메시지 : 윈도우즈의 시스템 메뉴 등을 액세스할 때 보내짐
 - 할당모드 메시지 : 할당모드 관련 메시지
 - 시스템 정보 메시지 : 응용 프로그램에 영향을 끼치는 시스템 수준의 변화가 생겼
을 때 보 글꼴, 팔레트, 시스템 색깔 등의 변경
 - 제어 조작 메시지 : 푸시버튼, 리스트 박스, 에디트 등의 제어(컨트롤) 객체로 보내
짐
 - 제어 인지 메시지 : 부모 윈도우에 붙어있는 제어 내에서 발생한 부모 윈도우의 동
작을 인지
 - MIDI 메시지 : MIDI 관련 메시지, 클라이언트 윈도우 활성화, 만들기, 없애기, 정렬

윈도우 프로그램은 메시지 루프에서 메시지를 가져와 그 메시지를 윈도우 프로시저에 전달하는 코드를 포함하고 있다. 이 코드 블록을 메시지 루프라고 한다. 일반적으로 메
시지 루프는 primary 스테트인 WinMain함수 안에 다음과 같은 형태로 표현된다.

```
int WINAPI WinMain(...)
{
    MSG msg;
    .....
    while (GetMessage(&msg, ...)) {
```

```

        DispatchMessage(7msg);
    }
}

```

위와 같은 메시지에 응답하기 위해서는 다음과 같이 해야만 한다.

- 응답하는 함수 맨 앞에 `afx_msg`를 써서 메시지 응답 요소 함수를 선언
- 하나이상의 메시지 응답 함수를 포함하는 클래스는 매크로

```

DECLARE_MESSAGE_MAP() 포함
class CAppWindow : CFrameWnd {
public:
    CAppWindow();
    // 그리기를 다룸
    afx_msg void OnPaint();
    // 윈도우의 크기 조정을 다룸
    afx_msg void OnSize(UINT nType, int cx, int cy);
protected:
    // 끝내기를 다룸
    afx_msg void OnClose();
    DECLARE_MESSAGE_MAP();
};
BEGIN_MESSAGE_MAP(CAppWindow, CFrameWnd)
    ON_WM_PAINT()        // OnPaint() 함수 호출
    ON_WM_SIZE()         // OnSize() 함수 호출
    ON_WM_CLOSE()       // OnClose() 함수 호출
END_MESSAGE_MAP()

```

윈도우에서 메시지의 범위는 다음과 같다.

상수	값	범위	의미
		0x0000-0x03FF	윈도우즈 메시지
WM_USER	0x0400	0x0400-0x7FFF	프로그램이 정의한 윈도우 메시지
		0x8000-0xBFFF	윈도우즈용으로 예약
		0xC000-0xFFFF	응용 프로그램의 문자열 메시지

7) MFC와 윈도우 프로그래밍

비주얼 C++ 뿐만 아니라 윈도우 프로그래밍에서 표준이 되고 있는 MFC라이브러리는 두가지 중요한 클래스가 있다. 그 클래스는 다음과 같다.

중요한 2개의 클래스

- CWinApp : 윈도우 생성 전의 초기화, 윈도우 생성
- CFrameWnd : 윈도우 객체, 메시지 처리

윈도우 프로그래밍 순서는 다음과 같다.

1. 먼저 CWinApp와 CFrameWnd를 상속하여 자신의 클래스를 만들
2. CWinApp 파생 클래스로 응용 프로그램 인스턴스 선언

CWindowApp WindowApp;

이때 다음의 순서로 요소함수를 부름

(i) 생성자

(ii) CWinApp::InitApplication() : 어플리케이션을 초기화

(iii) CWinApp::InitInstance() : 인스턴스를 초기화, 보통 윈도우 생성 new

3. 윈도우 생성, 메시지 루프

비주얼 C++ MFC 라이브러리를 사용하여 윈도우 어플리케이션을 작성할 때 위와 같이 모든 윈도우 어플리케이션에 공통적인 골격을 이루는 코드를 작성하지 않아도 된다. 비주얼 C++ MFC 라이브러리는 이러한 어플리케이션 프레임 워크를 지원하고 있기 때문이다. MFC 라이브러리가 제공하는 기능에 어플리케이션에 필요한 고유한 코드를 추가하여 하나의 완성된 어플리케이션을 생성할 수 있다.

비주얼 C++ 개발 환경은 개발자 스튜디오를 중심으로 AppWizard, AppStudiop,

ClassWizard, C++컴파일러 시스템, 디버거 등 개발들이 유기적으로 결합되어 비주얼 C++ MFC 어플리케이션을 효율적으로 작성할 수 있도록 한다.

MFC 라이브러리는 Win32 API를 기반으로 생성된 C++ 클래스 라이브러리이다. MFC 라이브러리는 Win32 API에 대해 다음과 같은 이점을 갖는다.

- 윈도우에 대한 복잡한 세부 사항을 숨기는 고급단계의 추상화 제공
- Win32 API를 직접 사용하는 것 보다 더 빠르고 쉽게 프로그램 습득
- 복잡한 기능을 갖는 어플리케이션을 빠르게 개발
- 강력한 데이터형 검사, 예외처리, 객체의 생성과 소멸 등 C++의 기능 이용
- 안전한 동적 메모리 사용, 데이터형 검사, 디버깅 등을 지원

MFC 라이브러리는 130개 이상의 클래스를 포함한다. 이 클래스 중 어떤 것은 직접 사용할 수 있고, 어떤 것은 다른 클래스를 파생하는 기초 클래스로만 사용된다. MFC 라이브러리에 포함된 클래스는 다음과 같이 구분될 수 있다.

- COject 파생 클래스
- 어플리케이션 아키텍처 클래스
- 비주얼 객체 클래스
- OLE 클래스
- 데이터베이스 클래스
- 범용 클래스
- 전역 Afx 함수

MFC 어플리케이션의 개발 과정은 다음과 같이 5단계로 나눌 수 있다.

1. AppWizard를 사용하여 비주얼 C++ MFC 골격(framework) 코드를 생성한다.
2. 리소스 에디터를 사용하여 사용자 인터페이스를 구성하는 객체 생성 또는 편집한다.
3. ClassWizard를 사용하여 사용자 인터페이스 객체에 대한 메시지 핸들러 코드를 생성한다.
4. 개발자 스튜디오에서 메시지 핸들러 코드를 작성한다.
5. 어플리케이션 소스 코드 컴파일 및 링크하여 실행 파일을 생성한다.

사. 센서별 팝업 메뉴와 폴다운 메뉴를 가진 이중 구조의 GUI의 개발



그림 4-5. 초기 다이얼로그박스 그래픽 화면

고품질 멜론 생산을 위한 동적 자동 관수 및 배양액 관리 시스템의 통합 소프트웨어의 초기 다이얼로그 박스 화면 그래픽과 메인 메뉴의 초기화면 그래픽 디자인은 다음과 같다. 초기 다이얼로그 박스 화면 그래픽은 고품질 멜론의 사진을 스캐너로 입력하여 영상 처리 기법인 인핸스먼트(Enhancement)방법을 거쳐서 화려한 그래픽으로 수정 디자인 한 것이며, 메인 메뉴의 초기화면 그래픽은 화면을 구성하는 액추에이터 및 내외부 센서를 모두 컴포넌트(Component) 그래픽 파일로 분리 설계하였으며, 그것들의 통합 및 분리가 자유롭게 하였다. 이것은 향후 팝업 메뉴를 설계할 경우 한 메뉴의 선택이 되어 질 경우 그것의 선택을 알리는 입체감을 부여할 수 있는 그래픽 설계방법이므로 최고의 GUI를 내미하는 그래픽 화면의 설계이다. 또한 각 컴포넌트 특히 액추에이터와 센서에 해당하는 그래픽 컴포넌트는 애니메이션(Animation)을 위하여 여러 장의 부분 변화된 그래픽 파일로 설계하였다.

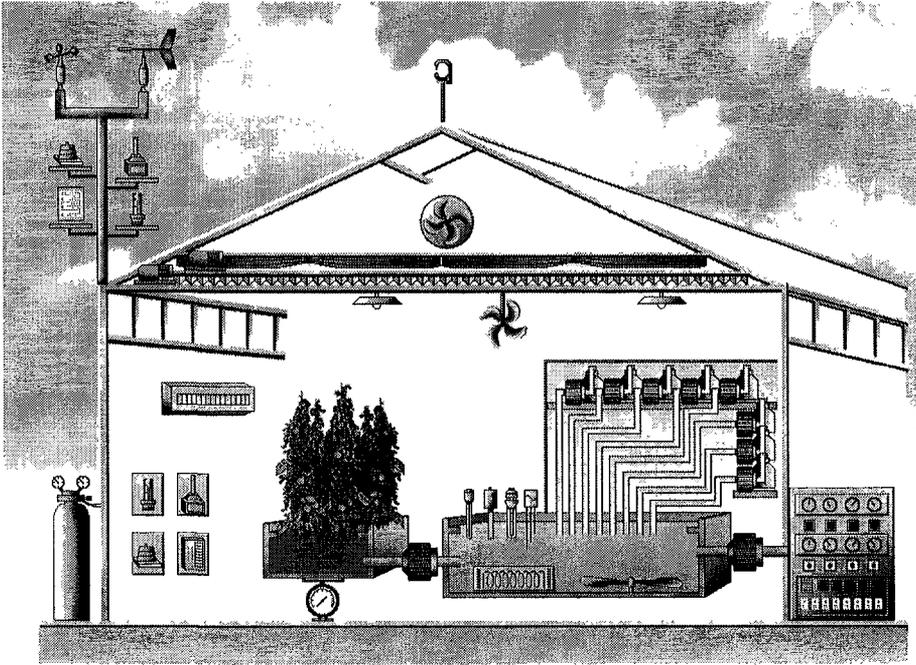


그림 4-6. 메인메뉴의 초기 화면 그래픽

초기 화면에서 각 센서를 더블클릭하면 해당 센서에 대한 팝업 윈도우가 화면에 나타난다. 이때 해당되는 윈도우가 이미 화면에 있으면 아이콘 상태와 윈도우 상태가 서로 토글 된다. 다음은 이산화탄소의 예이다. 센서 윈도우의 캡션에는 윈도우의 이름과 현재 시간 현재 샘플링 간격이 표시된다.



그림 4-7. 센서 윈도우의 예

센서를 더블클릭하면 WM_LBUTTONDOWNBLCLK 메시지가 발생한다. 이것을 처리하기

위해 메시지 맵에 다음과 같은 내용을 추가하였다.

```
BEGIN_MESSAGE_MAP(CDcsView, CView)
    ON_WM_SIZE()
    ON_WM_CREATE()
    ON_WM_TIMER()
    ON_COMMAND(ID_WINDOW_CO2, OnWindowCo2)
    ON_COMMAND(ID_CONFIG_ADIO, OnConfigAdio)
    ON_COMMAND(ID_CONFIG_NEW, OnConfigNew)
    ON_COMMAND(ID_CONFIG_OPEN, OnConfigOpen)
    ON_COMMAND(ID_CONFIG_SAVE, OnConfigSave)
    ON_COMMAND(ID_CONFIG_SAVE_AS, OnConfigSaveAs)
    ON_WM_LBUTTONDOWN()
    ON_WM_RBUTTONDOWN()
    ON_COMMAND(ID_CONTROL_LAMP, OnControlLamp)
    ON_COMMAND(ID_CONTROL_FLOWFAN, OnControlFlowfan)
    ON_COMMAND(ID_CONTROL_VENTFAN, OnControlVentfan)
    ON_COMMAND(ID_CONTROL_SPRAY, OnControlSpray)
    ON_COMMAND(ID_CONTROL_SHIELDCURTAIN, OnControlShieldcurtain)
    ON_COMMAND(ID_CONTROL_THERMOCURTAIN,
OnControlThermocurtain)
    ON_COMMAND(ID_CONTROL_PUMP, OnControlPump)
    ON_COMMAND(ID_PUMP_SETUP, OnPumpSetup)
    ON_COMMAND(ID_CONTROL_AIRCON, OnControlAircon)
    ON_COMMAND(ID_CONTROL_HUMIDIFIER, OnControlHumidifier)
    ON_COMMAND(ID_WINDOW_STATE, OnWindowState)
    ON_COMMAND(ID_WINDOW_CULTI, OnWindowCulti)
    ON_COMMAND(ID_WINDOW_EC, OnWindowEc)
    ON_COMMAND(ID_WINDOW_LIGHT, OnWindowLight)
    ON_COMMAND(ID_WINDOW_PH, OnWindowPh)
    ON_COMMAND(ID_WINDOW_TEMPERATURE, OnWindowTemperature)
    ON_COMMAND(ID_CONFIG_CHANNEL, OnConfigChannel)
    ON_COMMAND(ID_WINDOW_DO, OnWindowDo)
    ON_COMMAND(ID_WINDOW_IUUMI, OnWindowHumi)
```

```

ON_COMMAND(ID_WINDOW_LEVEL, OnWindowLevel)
ON_COMMAND(ID_CONTROL_WINDOW, OnControlWindow)
ON_COMMAND(ID_CONFIG_SCALE, OnConfigScale)
ON_COMMAND(ID_CONTROL_CEIL, OnControlCeil)
ON_COMMAND(ID_CONTROL_WPUMP, OnControlWpump)
ON_COMMAND(ID_CONTROL_CO2, OnControlCo2)
ON_COMMAND(ID_CONTROL_STATUS, OnControlStatus)
ON_COMMAND(ID_SCALE_CO2, OnScaleCo2)
ON_COMMAND(ID_SCALE_CULTI, OnScaleCulti)
ON_COMMAND(ID_SCALE_EC, OnScaleEc)
ON_COMMAND(ID_SCALE_HUMI, OnScaleHumi)
ON_COMMAND(ID_SCALE_LIGHT, OnScaleLight)
ON_COMMAND(ID_SCALE_PH, OnScalePh)
ON_COMMAND(ID_SCALE_TEMP, OnScaleTemp)
ON_COMMAND(ID_S2OUT_CO2, OnS2outCo2)
ON_COMMAND(ID_S2OUT_CULTI, OnS2outCulti)
ON_COMMAND(ID_S2OUT_DO, OnS2outDo)
ON_COMMAND(ID_S2OUT_EC, OnS2outEc)
ON_COMMAND(ID_S2OUT_HUMI, OnS2outHumi)
ON_COMMAND(ID_S2OUT_LEVEL, OnS2outLevel)
ON_COMMAND(ID_S2OUT_LIGHT, OnS2outLight)
ON_COMMAND(ID_S2OUT_PH, OnS2outPh)
ON_COMMAND(ID_S2OUT_TEMP, OnS2outTemp)
ON_COMMAND(ID_CONTROL_AIRCON2, OnControlAircon2)

```

```

ON_COMMAND(ID_FILE_ERASE, OnFileErase)

```

```

END_MESSAGE_MAP()

```

위와 같이 메시지 맵을 정의하면 마우스의 왼쪽버튼을 더블클릭 했을 때 OnLButtonDbkClk() 함수가 자동적으로 호출된다. 이때 전달되는 파라미터에는 마우스의 위치가 CPoint 클래스로 전달된다. OnLButtonDbkClk() 함수에서는 이때 마우스 포인터의 위치를 확인하여 해당되는 센서 윈도우를 호출한다. 다음은 OnLButtonDbkClk() 함수이다.

```

void CDcsView::OnLButtonDbkClk(UINT nFlags, CPoint point)
{

```

```

if ( rLamp1.PtInRect(point) || rLamp2.PtInRect(point) ||
    rLamp3.PtInRect(point) || rLamp4.PtInRect(point))
    OnControlLamp();
else if (rFans.PtInRect(point))
    OnControlFlowfan();
else if (rBigFan.PtInRect(point))
    OnControlVentfan();
else if (rL.Spray.PtInRect(point)||rRSpray.PtInRect(point))
    OnControlSpray();
else if (rShieldCtn.PtInRect(point))
    OnControlShiedcurtain();
else if (rThermoCtn.PtInRect(point))
    OnControlThermocurtain();
else if (rPump.PtInRect(point))
    OnControlPump();
else if (rAircon.PtInRect(point))
    OnControlAircon();
else if (rAircon2.PtInRect(point))
    OnControlAircon2();
else if (rHumidi.PtInRect(point))
    OnControlHumidifier();
else if (rL.Window.PtInRect(point) || rRWindow.PtInRect(point))
    OnControlWindow();
else if (rCeil.PtInRect(point))
    OnControlCeil();
else if (rCo2Fire.PtInRect(point))
    OnControlCo2();
else if (rCo2.PtInRect(point))
    OnWindowCo2();
else if (rLight.PtInRect(point))
    OnWindowLight();
else if (rTemp.PtInRect(point))
    OnWindowTemperature();
else if (rPII.PtInRect(point))

```

```

        OnWindowPh();
    else if (rEC.PtInRect(point))
        OnWindowEc();
    else if (rHumi.PtInRect(point))
        OnWindowHumi();
    else if (rCulti.PtInRect(point)|| rLiquid.PtInRect(point))
        OnWindowCulti();
    else if (rDo.PtInRect(point))
        OnWindowDo();
    else if (rLevel.PtInRect(point))
        OnWindowLevel();
    else if (rControl.PtInRect(point))
        OnControlStatus();
        CView::OnLButtonDblClk(nFlags, point);
}

```

이때 실행되는 각 센서 함수에서는 먼저 윈도우가 생성되어 있는지 확인해보고 없으면 각 센서 윈도우를 생성한 후 화면에 표시한다. 만일 윈도우가 생성되어 있으면 아이콘 상태와 윈도우 상태를 토글 하도록 한다. 다음은 센서 함수이다.

```

void CDcsView::OnWindowCo2()
{
    CRect r(140,0, 640,200);
    if (!::IsCo2Created){
        pCo2Window = new CCo2Window;
        pCo2Window->Create(NULL,"이산화탄소센서", WS_OVERLAPPEDWINDOW,
            r, this);
        IsCo2Created = TRUE;
        pCo2Window->ShowWindow(SW_RESTORE);
        pCo2Window->UpdateWindow();
        return;
    }
    if (pCo2Window->IsIconic())
        pCo2Window->ShowWindow(SW_RESTORE);
}

```

```

else
    pCo2Window->ShowWindow(SW_MINIMIZE);
pCo2Window->UpdateWindow();
}

```

각 센서 윈도우는 다음과 같이 CFrameWnd를 상속하여 만들어졌다. 다음은 CO₂ Window의 클래스 정의이다.

```

// co2windo.h
class CCo2Window : public CFrameWnd
{
    DECLARE_DYNCREATE(CCo2Window)
public:
    CCo2Window();
    char szDate[9], szTime[9], szDisplay[50];
    char szSensor[100];
    // 펜 클래스
    CPen* pframePen;
    CPen* pmeshPen;
    CPen* pco21Pen;
    CPen* pco22Pen;
    CPen* pco23Pen;
protected:
    virtual ~CCo2Window();
    afx_msg void OnPaint();
    afx_msg int OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct);
    virtual void PostNeDestroy();
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

```

위와 같이 직접 센서 그림을 너를 클릭하지 않고 온실상태 메뉴의 각 아이টে를 선택해도 된다. 이때는 해당되는 센서 함수를 직접 호출한다.

각 센서는 윈도우의 생성 어부와 상관없이 설정해놓은 샘플링 시간에 맞추어 센서 데이터를 파일에 저장한다. 센서 데이터 파일의 이름은 저장 시간으로 이름을 형성한다. 예를 들어 97년 1월 1일에 저장되는 데이터는 970101xx.dat로 저장된다. 포맷은 알아

보기 쉽도록 정렬된 텍스트 포맷을 사용하였다. 센서 데이터 파일은 풀다운 메뉴에서 계측 자료를 선택하면 된다. 다음은 그 예이다.

각 센서는 센서마다 달리 센서 스케일링이 필요하다. 본 연구에서는 센서 스케일링을 쉽도록 구성하였다. 우선 각 센서의 계인을 조정하기 위해서는 시스템 설정 메뉴에서 채널 초기화를 선택하거나 단축키로 Alt-I를 누르면 되도록 설계하였다. 다음은 채널 스케일 변경시 사용되는 함수이다.

```
void CDcsView::OnConfigScale()
{
    if (MessageBox("채널 값을 변경하시겠습니까?", "함부로 변경하지 마시오",
        MB_YESNO|MB_ICONQUESTION) == IDYES) {
        CConfigScale dlg;
        char buf[20];
        Scales temp[32];
        int I;
```

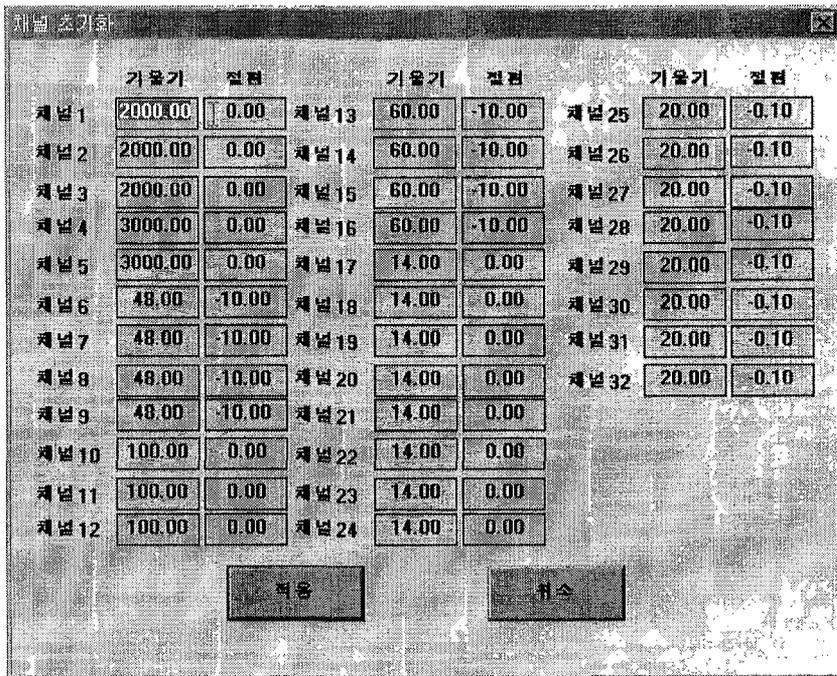



그림 4-8. 채널 개인 다이얼로그 박스

```
// 기울기
sprintf(buf, "%7.2f", scale[0].Slope);
dlg.m_Scale1 = buf;
sprintf(buf, "%7.2f", scale[1].Slope);
dlg.m_Scale2 = buf;
sprintf(buf, "%7.2f", scale[2].Slope);
dlg.m_Scale3 = buf;
sprintf(buf, "%7.2f", scale[3].Slope);
dlg.m_Scale4 = buf;
sprintf(buf, "%7.2f", scale[4].Slope);
dlg.m_Scale5 = buf;
sprintf(buf, "%7.2f", scale[5].Slope);
dlg.m_Scale6 = buf;
sprintf(buf, "%7.2f", scale[6].Slope);
dlg.m_Scale7 = buf;
```

```

    sprintf(buf, "%7.2f", scale[7].Slope);
    dlg.m_Scale8 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[8].Slope);
    dlg.m_Scale9 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[9].Slope);
    dlg.m_Scale10 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[10].Slope);
    dlg.m_Scale11 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[11].Slope);
    dlg.m_Scale12 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[12].Slope);
    dlg.m_Scale13 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[13].Slope);
    dlg.m_Scale14 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[14].Slope);
    dlg.m_Scale15 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[15].Slope);
    dlg.m_Scale16 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[16].Slope);
    dlg.m_Scale17 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[17].Slope);
    dlg.m_Scale18 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[18].Slope);
    dlg.m_Scale19 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[19].Slope);
    dlg.m_Scale20 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[20].Slope);
    dlg.m_Scale21 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[21].Slope);
    dlg.m_Scale22 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[22].Slope);
    dlg.m_Scale23 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[23].Slope);
    dlg.m_Scale24 = buf;

```

```

    sprintf(buf, "%7.2f", scale[24].Slope);
dlg.m_Scale25 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[25].Slope);
dlg.m_Scale26 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[26].Slope);
dlg.m_Scale27 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[27].Slope);
dlg.m_Scale28 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[28].Slope);
dlg.m_Scale29 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[29].Slope);
dlg.m_Scale30 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[30].Slope);
dlg.m_Scale31 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[31].Slope);
dlg.m_Scale32 = buf;
// 절편
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[0].Inter);
dlg.m_Scale33 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[1].Inter);
dlg.m_Scale34 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[2].Inter);
dlg.m_Scale35 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[3].Inter);
dlg.m_Scale36 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[4].Inter);
dlg.m_Scale37 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[5].Inter);
dlg.m_Scale38 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[6].Inter);
dlg.m_Scale39 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[7].Inter);
dlg.m_Scale40 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[8].Inter);

```

```

dlg.m_Scale41 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[9].Inter);
dlg.m_Scale42 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[10].Inter);
dlg.m_Scale43 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[11].Inter);
dlg.m_Scale44 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[12].Inter);
dlg.m_Scale45 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[13].Inter);
dlg.m_Scale46 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[14].Inter);
dlg.m_Scale47 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[15].Inter);
dlg.m_Scale48 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[16].Inter);
dlg.m_Scale49 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[17].Inter);
dlg.m_Scale50 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[18].Inter);
dlg.m_Scale51 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[19].Inter);
dlg.m_Scale52 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[20].Inter);
dlg.m_Scale53 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[21].Inter);
dlg.m_Scale54 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[22].Inter);
dlg.m_Scale55 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[23].Inter);
dlg.m_Scale56 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[24].Inter);
dlg.m_Scale57 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[25].Inter);

```

```

dlg.m_Scale58 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[26].Inter);
dlg.m_Scale59 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[27].Inter);
dlg.m_Scale60 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[28].Inter);
dlg.m_Scale61 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[29].Inter);
dlg.m_Scale62 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[30].Inter);
dlg.m_Scale63 = buf;
    sprintf(buf, "%7.2f", scale[31].Inter);
dlg.m_Scale64 = buf;
int ret = dlg.DoModal();
if (ret==IDOK){
    temp[0].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale1);
    temp[1].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale2);
    temp[2].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale3);
    temp[3].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale4);
    temp[4].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale5);
    temp[5].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale6);
    temp[6].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale7);
    temp[7].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale8);
    temp[8].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale9);
    temp[9].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale10);
    temp[10].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale11);
    temp[11].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale12);
    temp[12].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale13);
    temp[13].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale14);
    temp[14].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale15);
    temp[15].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale16);
    temp[16].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale17);
    temp[17].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale18);
    temp[18].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale19);

```

temp[19].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale20);
temp[20].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale21);
temp[21].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale22);
temp[22].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale23);
temp[23].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale24);
temp[24].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale25);
temp[25].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale26);
temp[26].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale27);
temp[27].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale28);
temp[28].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale29);
temp[29].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale30);
temp[30].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale31);
temp[31].Slope=(float)atof(dlg.m_Scale32);
temp[0].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale33);
temp[1].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale34);
temp[2].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale35);
temp[3].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale36);
temp[4].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale37);
temp[5].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale38);
temp[6].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale39);
temp[7].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale40);
temp[8].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale41);
temp[9].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale42);
temp[10].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale43);
temp[11].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale44);
temp[12].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale45);
temp[13].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale46);
temp[14].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale47);
temp[15].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale48);
temp[16].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale49);
temp[17].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale50);
temp[18].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale51);
temp[19].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale52);
temp[20].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale53);

```

temp[21].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale54);
temp[22].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale55);
temp[23].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale56);
temp[24].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale57);
temp[25].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale58);
temp[26].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale59);
temp[27].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale60);
temp[28].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale61);
temp[29].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale62);
temp[30].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale63);
temp[31].Inter=(float)atof(dlg.m_Scale64);
for (i=0;i<32;i++){
    scale[i].Slope=temp[i].Slope;
    scale[i].Inter=temp[i].Inter;
} } } }

```

읽어 변환하는 루틴이 사용자는 채널 게인 다이얼로그 박스의 기울기와 절편을 변경하여 채널 스케일링을 수행하면 된다. 채널 스케일링의 결과는 각 센서 윈도우로 확인해볼 수도 있지만 보다 편리하도록 센서 조정 메뉴를 구성하였다. 센서 조정 메뉴의 각 항목을 선택하면 각 센서의 값이 숫자로 표시되어 사용자는 쉽게 센서의 스케일링 결과를 확인할 수 있다. 설정된 센서의 게인은 센서의 AD 변환기 값의 게인으로 사용된다.

```

for (int channel=1;channel<=32;channel++){
    data =
        (adc+scale[channel-1].Offset )*scale[channel-1].Slope/scale[channel-1].Div
        +scale[channel-1].Inter;
    if (data>scale[channel-1].Max)
        data=scale[channel-1].Max;
    if (data<scale[channel-1].Min)
        data=scale[channel-1].Min;
    sensor[index][ChanConfig[channel-1]] = data;
}

```

각 센서 조정 윈도우는 다음과 같이 CFrameWnd를 상속하여 만들어졌다. 다음은 기

은 센서 조정 윈도우 TempText의 클래스 정의이다.

```
// TempText.h
class CTempTextWindow : public CFrameWnd
{
    DECLARE_DYNCREATE(CTempTextWindow)
public:
    CTempTextWindow();
    char szDate[9], szTime[9], szDisplay[50];
    char szSensor[100];
protected:
    virtual ~CTempTextWindow();
    afx_msg void OnPaint();
    afx_msg int OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct);
    virtual void PostNcDestroy();
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
};
```

아. 채널 선정 소프트웨어의 개발

본 연구에서 사용된 하드웨어는 모두 32개의 입력 채널을 가지고 있다. 이때 각 채널에는 어떤 센서가 연결될지를 미리 고정하지 않고 사용자가 임의대로 설정할 수 있는 기능을 가지고 있다. 사용자가 채널 설정을 변경하기 위해서는 시스템 설정 메뉴에서 채널 설정을 선택하거나 단축키로서 Alt-C를 누른다.

채널 설정을 선택하면 채널 설정 다이얼로그 박스가 나타난다. 사용자는 각 센서의 채널을 변경한 후 적용 버튼을 눌러 채널 변경을 지정할 수 있다. 이때 채널을 중복해서 지정하면 다음과 같이 에러 발생 메시지가 화면에 출력된다. 그리고 지정된 채널은 무시되고 원래의 설정이 사용된다. 다음은 채널 설정시 사용되는 함수이다.

```
void CDcsView::OnConfigChannel()
{
    CConfigChannel dlg;
    dlg.m_nCh1 = ChanConfig[0];
    dlg.m_nCh2 = ChanConfig[1];
    dlg.m_nCh3 = ChanConfig[2];
```

```
dlg.m_nCh4 = ChanConfig[3];
dlg.m_nCh5 = ChanConfig[4];
dlg.m_nCh6 = ChanConfig[5];
dlg.m_nCh7 = ChanConfig[6];
dlg.m_nCh8 = ChanConfig[7];
dlg.m_nCh9 = ChanConfig[8];
dlg.m_nCh10 = ChanConfig[9];
dlg.m_nCh11 = ChanConfig[10];
dlg.m_nCh12 = ChanConfig[11];
dlg.m_nCh13 = ChanConfig[12];
dlg.m_nCh14 = ChanConfig[13];
dlg.m_nCh15 = ChanConfig[14];
dlg.m_nCh16 = ChanConfig[15];
dlg.m_nCh17 = ChanConfig[16];
dlg.m_nCh18 = ChanConfig[17];
dlg.m_nCh19 = ChanConfig[18];
dlg.m_nCh20 = ChanConfig[19];
dlg.m_nCh21 = ChanConfig[20];
dlg.m_nCh22 = ChanConfig[21];
dlg.m_nCh23 = ChanConfig[22];
dlg.m_nCh24 = ChanConfig[23];
dlg.m_nCh25 = ChanConfig[24];
dlg.m_nCh26 = ChanConfig[25];
dlg.m_nCh27 = ChanConfig[26];
dlg.m_nCh28 = ChanConfig[27];
dlg.m_nCh29 = ChanConfig[28];
dlg.m_nCh30 = ChanConfig[29];
dlg.m_nCh31 = ChanConfig[30];
dlg.m_nCh32 = ChanConfig[31];
int ret = dlg.DoModal();
if (ret==IDOK){
    int Chan[32];
    Chan[0] = dlg.m_nCh1;
    Chan[1] = dlg.m_nCh2;
```

```

Chan[2] = dlg.m_nCh3;
Chan[3] = dlg.m_nCh4;
Chan[4] = dlg.m_nCh5;
Chan[5] = dlg.m_nCh6;
Chan[6] = dlg.m_nCh7;
Chan[7] = dlg.m_nCh8;
Chan[8] = dlg.m_nCh9;
Chan[9] = dlg.m_nCh10;
Chan[10] = dlg.m_nCh11;
Chan[11] = dlg.m_nCh12;
Chan[12] = dlg.m_nCh13;
Chan[13] = dlg.m_nCh14;
Chan[14] = dlg.m_nCh15;
Chan[15] = dlg.m_nCh16;
Chan[16] = dlg.m_nCh17;
Chan[17] = dlg.m_nCh18;
Chan[18] = dlg.m_nCh19;
Chan[19] = dlg.m_nCh20;
Chan[20] = dlg.m_nCh21;
Chan[21] = dlg.m_nCh22;
Chan[22] = dlg.m_nCh23;
Chan[23] = dlg.m_nCh24;
Chan[24] = dlg.m_nCh25;
Chan[25] = dlg.m_nCh26;
Chan[26] = dlg.m_nCh27;
Chan[27] = dlg.m_nCh28;
Chan[28] = dlg.m_nCh29;
Chan[29] = dlg.m_nCh30;
Chan[30] = dlg.m_nCh31;
Chan[31] = dlg.m_nCh32;
int i, j;
for (i=0;i<31;i++)
    for (j=(i+1);j<32;j++)
        if (Chan[i]!=Chan[j]){

```

```

        MessageBox("채널 설정이 중복되었습니다.", "에러 발생",
            MB_OK | MB_ICONSTOP);
    return;
}
for (i=0;i<32;i++)
    ChanConfig[i]=Chan[i];
} }

```

2. 배지내 수분 및 배양액 상태 계측 시스템 설계

가. 중량법을 이용한 배지내 수분 및 배양액 계측 및 제어 시스템의 설계

배지내 수분 및 배양액 상태 계측 방법에는 여러 가지가 있음을 앞 절에서 연구결과를 설명하였다. 이론적인 연구 결과 중량 측정법이 가장 합당한 방법으로 증명되었으므로 이전의 연구에서 무게를 측정하는 정밀한 계측 시스템을 설계하였다. 아래의 그림 4-9에서 배지내 수분 및 배양액 상태 계측을 위하여 설계된 Load Cell을 이용한 계측 시스템의 구성도를 볼 수 있다.

본 연구에서 설계 제작한 계측 시스템은 하드웨어적으로 세가지 모듈로 나눌 수 있다. 배지를 지지하면서 수분 및 배양액의 크기를 측정하는 중량센서부와 중량센서부에서 나오는 전기적인 신호를 처리하고 Calibration하는 센서 컨트롤러 그리고 센서 컨트롤러로부터 정리된 정보를 직렬 통신에 의하여 궤환 제어를 하는 메인 컨트롤러로 나눌 수 있다.

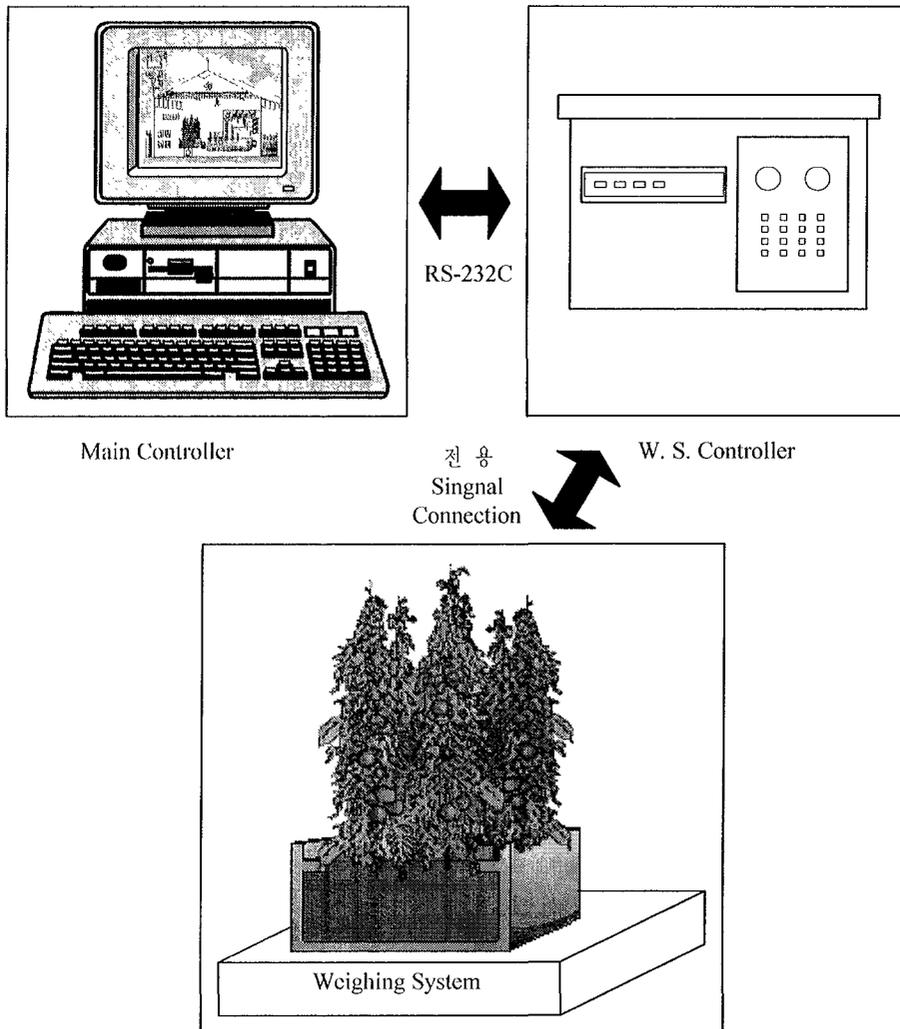


그림 4-9. 중량법을 이용한 계측 및 제어 시스템 구성도

무게를 측정하는 센서에 해당하는 중량센서부의 설계는 4개의 Load Cell을 사용하여 부하 무게를 분산 처리함으로써 센서 시스템 전체가 측정할 수 있는 무게의 범위를 4배로 늘리면서 정밀도는 그대로 유지할 수 있도록 설계하였다. 그리고 4개의 Load Cell로부터 나오는 측정 무게에 따른 전기적인 신호들을 합산하는 기능을 하는 Summing Circuit을 장착하고 있으며 이 회로의 출력 신호가 센서 컨트롤러부로 전달된다. 센서 컨트롤러는 하드웨어적으로는 아날로그 및 디지털 회로부와 A/D 변환부 그리고 전원부 등으로 구성되어 있다. 센서 컨트롤러는 다음과 같은 주요 기능을 갖는다.

- 정전에 무관하게 날짜 및 시간, 그리고 그동안의 집계 데이터 보관 기능
- 무게의 변화 속도를 다양하게 지정 (디지털 필터의 기능을 갖는다.)
- 각종 프린터 연결 가능 (직렬 프린터, 병렬 프린터 등)
- 전면 패널의 키를 동작함으로써 용기 무게 설정
- 계량 횟수의 누적치를 기억할 수 있다.
- 외부 입력 3점점 기능 (프린트, 용기, 영점)
- 원하는 최대 중량 및 한눈의 값을 사용자가 임의로 설정 가능
- 시계를 내장하여 계량 날짜와 시간을 출력할 수 있어서, A/S 발생시 신속히 처리
- 자체 하드웨어 테스트 기능 (하드웨어의 부분별 테스트 S/W를 내장하고 있다)
- 모든 입출력을 Photo Coupler로 분리 설계하였기 때문에 외부 노이즈의 제거
- 영점 Calibration 별도 수행이 가능함

위와 같은 기능을 갖는 센서 컨트롤러의 출력을 직렬 인터페이스 통신 기법인 RS-232C를 이용하여 메인 컨트롤러로 전달된다. 메인 컨트롤러에서는 광센서 등과 같은 매지내 수분 및 배양액을 적절히 제어하는데 중량 센서 시스템과 함께 필요한 센서들로부터의 데이터를 전달받아 현재 적절한 매지내 수분 및 배양액의 양을 계산한 후 그 값을 근거로 배양액 공급 펌프를 스위칭 한다.

나. 중량 측정 센서의 설계

중량 측정 센서는 기계적인 베이스와 부하 지지 베이스 그리고 부하 전달 기계부로 나눌 수 있으며 기계 베이스는 사각 상자 모양의 샤시에 4개의 모서리에 Load Cell을 장착하기 위한 Load Cell Jig와 Load Cell을 바닥으로부터 공간적인 Gap을 형성하기 위한 기구부로 설계하였으며 그 위에 4개의 Load Cell이 장착되어진다.

본 연구에서 설계한 중량 측정 센서 시스템에 사용한 Load Cell은 CAS사의 Single Point Load Cell로서 모델은 BCA-50L Load Cell이다. 본 연구에서 매지의 수분 및 배양액의 무게를 측정하는데 필요한 측정 범위는 50Kg이 정격으로 연구되었으며, Resolution은 10g정도이고 습기 및 먼지에 상당한 내구성의 갖고 있어야하므로 이들 조건에 맞는 사양의 Load Cell을 선택하였다. 사용한 Load Cell의 사양은 다음과 같다.

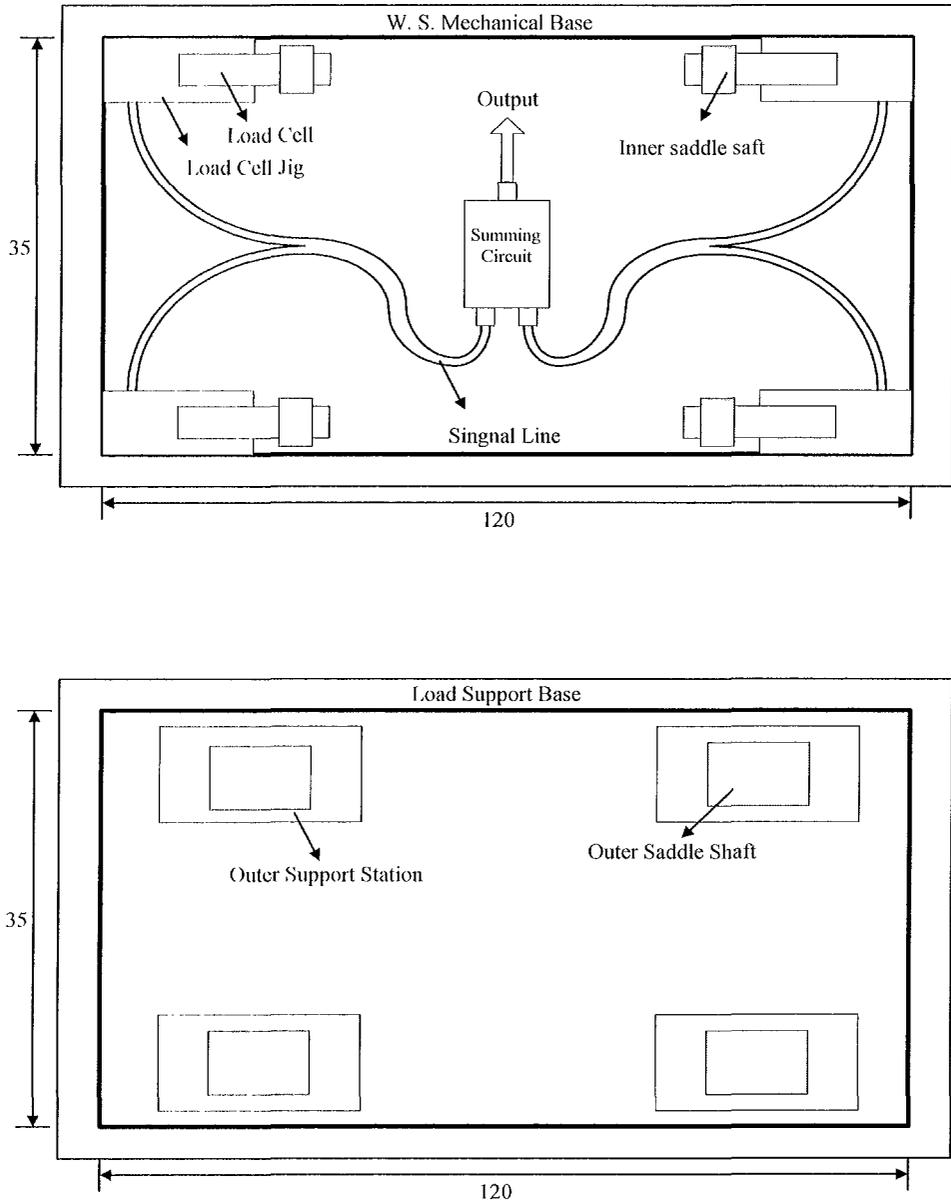


그림 4-10. 중량 측정 센서 시스템의 기구 구성도

부하 무게를 Load Cell로 전달하는 연결 기구부의 설계는 중량 측정치의 정밀도에 가장 큰 영향을 미치기 때문에 매우 어려운 설계 기술이다. 본 연구에서 새들(Saddle)을 이용하여 전달 기구부를 설계함으로써 기계적인 수평 유지와 부하 지지판의 어떤 위치

에 부하가 설치되어도 4개의 Load Cell에 균등하게 부하가 분배되도록 하는 새로운 기법의 설계 기술을 사용하였다. 그 것의 상세한 설계도가 그림 4-11에서 보여진다.

사 양 (Specification)	단 위	BCA-50L
Rated Output (R.O.)	mV/V	2.0 (+-) 10%
Combined Error	% R.O.	0.03, 0.02
Output Resistance	오옴	350
Safety Overload	% R.C.	150

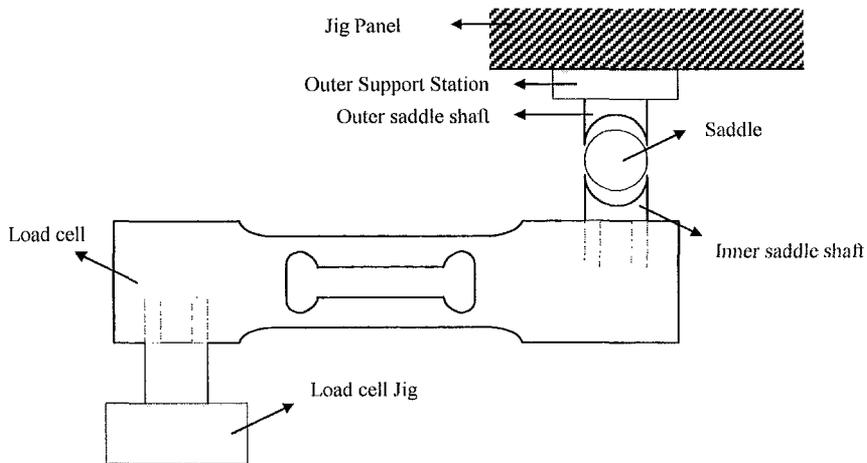


그림 4-11. 부하 전달 기구부의 설계도

제2절 배양액 계측 시스템 구축

1. 배지내 수분 및 배양액 상태 계측 시스템 구축

연구 방법

본 연구에서 설계한 계측시스템은 그 동안의 연구 결과에서 나타나 있는 센서의 종류나 수의 최적화, 그리고 센서 보정의 어려움 등의 기존 문제점을 해결하기 위하여 작물 생육 부분을 고려하여 계측 기기의 종류와 수를 적용시키고, 시스템에 유연성을 가능한 부여하여 재배가 뿐만 아니라 연구자도 쉽게 사용할 수 있도록 구축하였다.

소프트웨어는 비주얼 C++에 의한 객체 지향 프로그래밍 기법에 의한 화려한 GUI(Graphic User Interface)를 갖는 소프트웨어로 개발하였다.

연구 내용 및 결과.

가. 제어를 위한 software 구축

제어 프로그램은 하드웨어의 특성에 의존하는 부분이 있는데, A/D converter의 종류에 따라 I/O address가 다를 수 있다. 계측 값의 범위는 사용하는 Shunt 저항에 따라 다를 수 있다. 또한, 제어 값의 출력은 릴레이를 통하게 되는데 릴레이의 논리에 따라서도 다르게 된다. 이에 따라 제어 프로그램을 작동시키기 전에 ‘시스템 하드웨어 설정’을 프로그램 상에서 함으로써 하드웨어에 대한 유연성을 부여하였다.

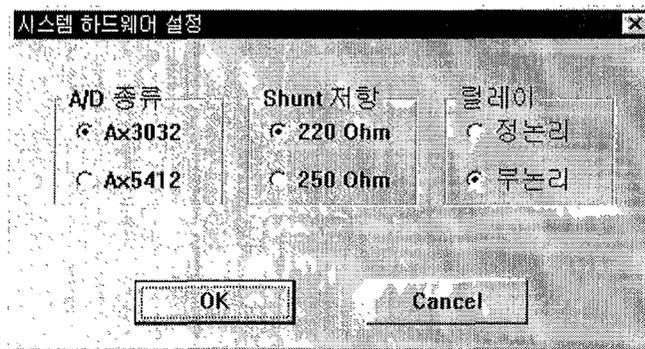


그림 4-12. 시스템 하드웨어 설정

제어 프로그램이 실행되면 먼저 주 윈도우를 초기화하고, 주 윈도우에 툴바와 상태바, 메뉴를 초기화하여 연결한다. 그리고 배경화면을 출력하고 마우스 더블클릭시 반응하는 각 센서의 반응영역을 초기화한다. 그리고 오늘의 날짜를 얻어 출력 파일의 이름을 만들고 그 이름에 인덱스를 생성한다. 이때 채널 설정과 채널 스케일링 값을 저장하고 있는 환경파일(dcs.cfg)이 존재하면 그 파일로부터 채널 설정과 채널 스케일링 값을 읽어온다.

위와 같이 초기화가 끝나게 되면 윈도우가 화면에 나타나고 윈도우는 각각의 사건에 대응하여 동작한다. 만일 윈도우를 다시 그려야할 경우가 발생하면 배경 화면을 다시 그리게 된다. 만일 윈도우의 크기가 변경되면 배경화면을 크기가 변한 윈도우의 클라이언트 영역에 다시 그리고, 각 센서의 반응영역도 다시 변경한다. 타이머 인터럽트가 발생하면 샘플링 동작을 행한다. 메뉴가 선택되면 해당명령을 실행한다. 마우스 왼쪽 버튼을 더블클릭하면 그 위치가 반응영역이면 센서 그래프를 나타낸다. 이러한 일들은 모두 앞의 메시지 백에 정의해놓았기 때문에 자동적으로 이루어진다.

제어프로그램의 주화면에는 메뉴를 설정하였으며, 그 중 ‘시스템 설정’ 메뉴에는 그림 4-13과 같은 sub menu를 두었다.

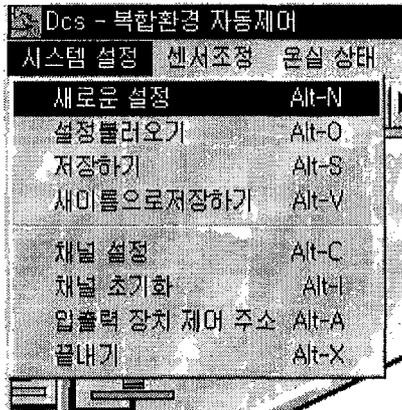


그림 4-13. '시스템 설정' 메뉴

'새로운 설정' sub-menu에서는 다양한 시설과 재배형식을 모두 만족하도록 하였으며, 각종 제어계측 값을 원하는 간격으로 저장할 수 있도록 배려하였다. 데이터 샘플링 간격은 전역변수 `SamplingRate`에 저장된다. 이때 저장할 수 있는 최소의 저장 간격은 2(초)이다. 초기 값은 10(초)이다.

다음은 프로그램 전체의 흐름도 이다.

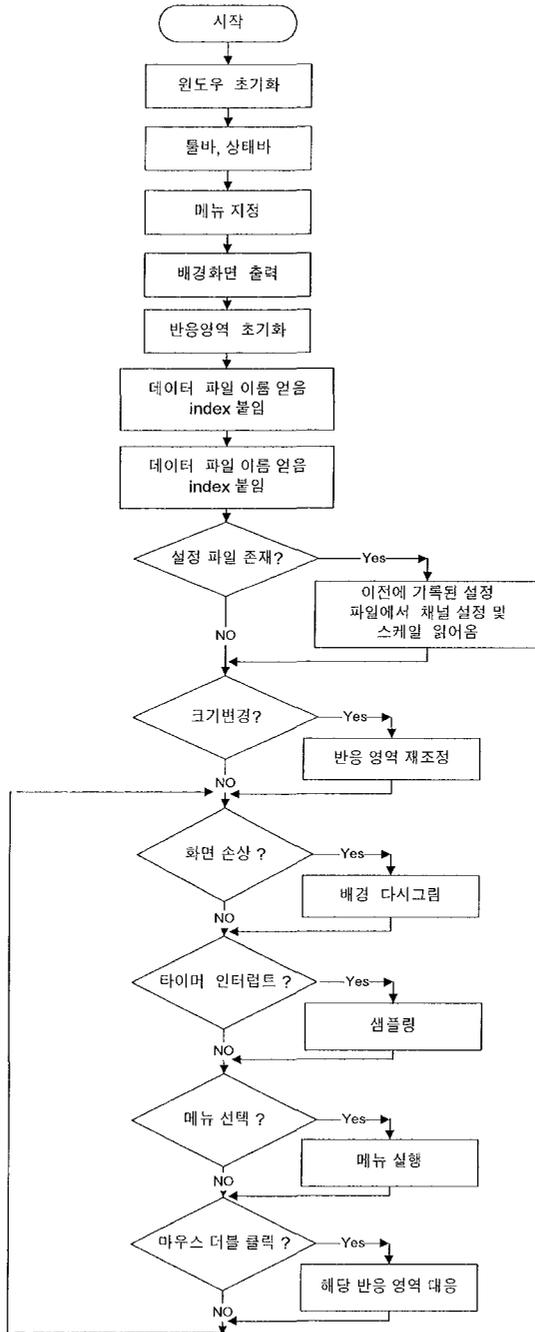


그림 4-14. 프로그램 전체의 흐름도

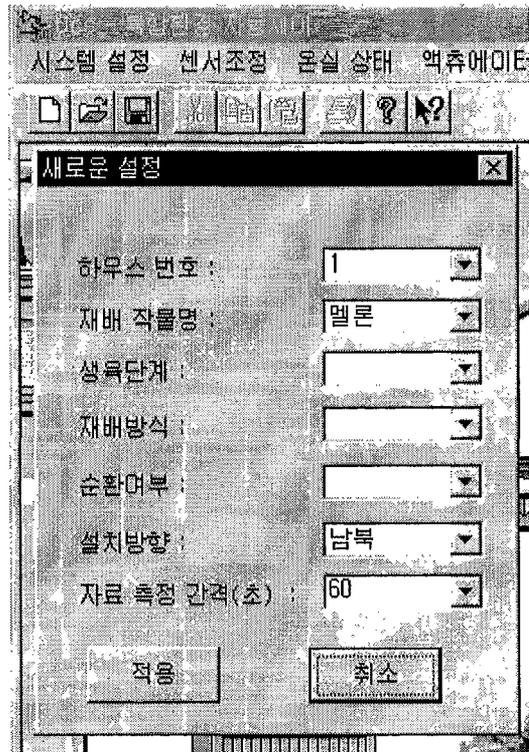


그림 4-15. '새로운 설정' sub-menu

A/D로부터 읽혀진 데이터는 채널 설정 값과 채널 스케일에 의해 변환되어 임시 버퍼에 저장된다.

채널 설정 값은 전역 변수 ChanConfig에 저장된다. 이 채널 설정 값의 변경은 '시스템 설정'의 '채널 설정' 메뉴로 설정한다. 이 메뉴를 선택하면 다음의 대화 상자가 나타난다. 각 콤보 상자의 값은 이 센서가 연결된 채널을 의미한다.

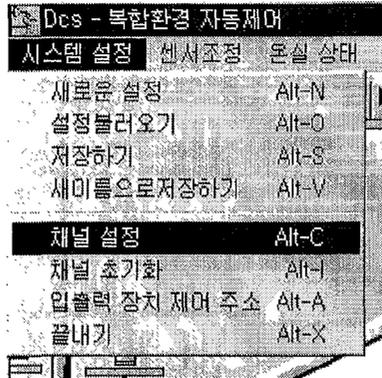


그림 4-16. '채널 설정' 메뉴

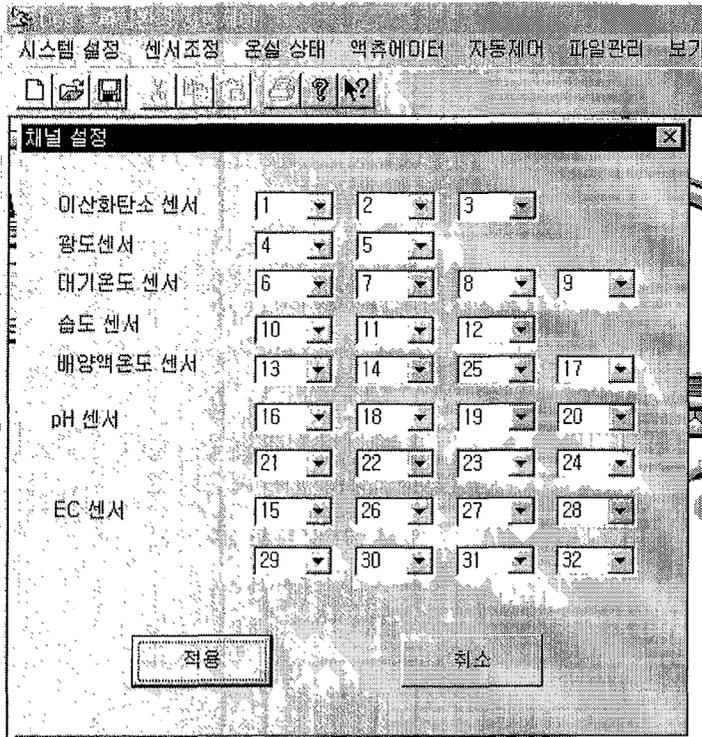


그림 4-17. '채널 설정' 메뉴의 대화 상자

각 채널의 스케일링 값은 전역변수 scale에 저장된다. 각각의 스케일링 값은 다음의 구조체 이다.

```

struct Scales{
    float Offset; //오프셋
    float Slope; //기울기
    float Div; //나누기
    float Inter; //절편
    float Min; // 채널의 최소값
    float Max; // 채널의 최대값
};

```

표 4-1. 각 채널의 스케일링 값의 구조체

이 스케일링 값의 변경은 '시스템 설정' 메뉴의 '채널 스케일링' 메뉴로 변경한다. 이 메뉴를 선택하면 다음의 대화 상자가 나타난다.

A/D에서 읽은 값은 다음의 식에 의해 변환된다.

$$\text{데이터} = (\text{A/D입력} + \text{오프셋}) * \text{기울기} / \text{나누기} + \text{절편}$$

사용자가 정할 수 있는 값은 기울기와 절편이다.

'채널초기화'는 사용자가 사용할 경우 심각한 문제가 생길 수 있으므로 다음과 같이 확인하는 절차를 두었다.

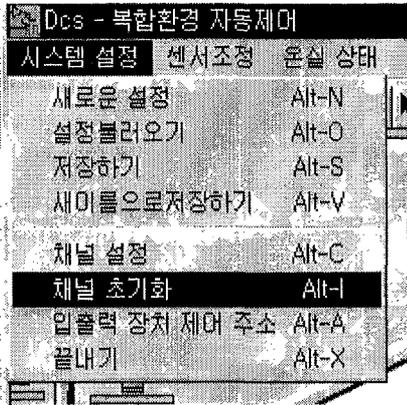


그림 4-18. '채널 초기화' 메뉴

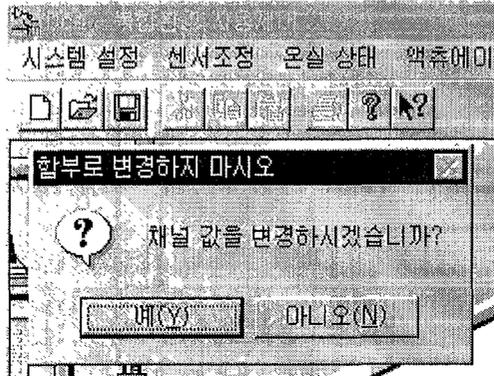


그림 4-19. '채널초기화'의 확인 절차

'입출력 장치 제어 주소' sub-menu에서는 입출력 주소와 사용하는 포트를 설정할 수 있도록 하였다.

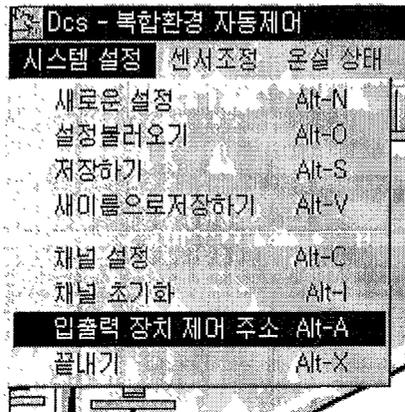


그림 4-20. '입출력 장치 제어 주소' sub-menu

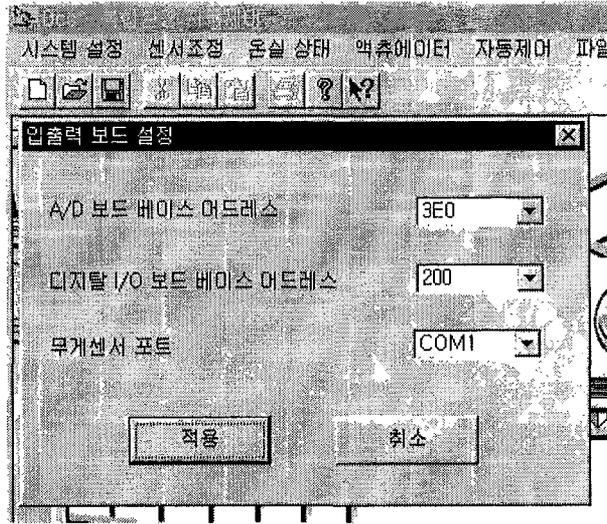


그림 4-21. 입출력 장치 제어 주소 설정

2. 동적 자동 관수 관리 및 배양액 공급 제어 시스템 설계

연구 방법

본 연구에서는 시설 내에서 작물생산 시스템의 완전자동화를 구현함과 동시에 자동제어 방식 설계 상에 존재하는 많은 문제들 때문에 실현하지 못했던 작물의 직접제어자동화를 설계하였다. 시설 내 작물재배 자동제어 시스템은 제어대상에 따라서 세 가지로 구분될 수 있다. 시설외부로부터 기상 환경 등을 계측하여 시설 내 재배 제어에 응용하는 외부 환경 제어, 시설내부의 습도 및 온도 등에 관련한 재배 환경을 직접 계측하고 제어하는 내부 환경 제어, 작물의 성장에 직접 공급되는 배양액의 적절한 조성에 관련된 배양액 제어로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 이 세 가지의 자동 제어 시스템 중 특히 동적 자동 관수 관리 및 배양액 공급 제어 시스템을 설계하며, 배양액의 급액량을 제어함으로써 작물의 우량 성장을 완전 조절할 수 있는 고난도 제어시스템을 설계한다.

작물생산 시스템을 통한 동적 자동제어를 위해서는, 각종 환경요인들을 계측하고, 이를 환경제어의 피드백 신호로 활용할 수 있어야 한다. 이를 위하여 계측대상이 되는 재배 및 환경요인들을 선정하고, 온실 계측 시스템 및 모니터 프로그램을 개발하여야 한다. 본 연구에서 작물을 재배하는데 직접 공급되는 배양액의 조성비 제어는 배양액을 구성하는 비료들과 pH 그리고 온도 등을 작물의 성장 시기와 성장상태 그리고 성장환경에 따라 적절한 구성비로 섞어주는 제어이다. 그 동안 이것은 입출력이 많고, 제어의 마지막 대상인 작물의 성장 모델링이 어려운 관계로 수동 제어 또는 단순 시간 제어를 체계적으로 사용하고 있는 실정에 있다. 그러므로 본 연구에서는 모델 없이 비선형성이 강

한 제어대상 시스템에 적절한 퍼지 PID 제어방법으로 그 동안의 문제를 완전히 극복한 적절한 배양액 조성 제어를 구현하였다.

특히 양액재배에서 그 동안 자동 제어가 불가능한 것으로 인정되어 왔던 것이 작물의 최상의 성장 즉 과실류인 경우 그 열매의 수와 당도 그리고 크기 등을 최적화하는 제어이다. 이것은 시설재배의 자동화가 추구하는 최고의 목표이기도 하다. 최근에 와서 시설재배에서 내부 또는 외부의 환경제어는 간단한 피드백 제어에 의하여 자동화를 실현시켜왔으나, 배양액의 조성 제어와 작물성장의 최적 제어는 제어 방법상의 어려운 문제에 부딪혀 제자리걸음에 머물러 있다. 특히 작물성장의 최적제어는 모든 종류의 작물이 재배환경에 대한 그 특성 변화가 매우 큰 비선형성(Non-Linearity)을 갖고 있어서 모델링이 불가능하며, 성장시기에 따라서 동종의 작물이라도 그 특성변화가 매우 크게 나타나는 강력한 시변 시스템(Time-Varying System)이다. 시변 및 비선형성이 강한 작물의 성장을 최적화하는 제어에 적응제어(Adaptive Control) 및 강인 제어(Robust Control) 등을 적용하는 연구가 시도된 적도 있으나 만족한 결과를 얻지 못하였다. 그 이유는 시변성 및 비선형성이 너무 커서 적응제어나 강인 제어가 극복할 수 있는 한계를 넘고 있기 때문이다. 그러므로 본 연구에서는 시변성 및 비선형성이 매우 큰 작물의 성장 최적화 제어에 퍼지 전문가시스템과 퍼지 논리제어방식을 직렬로 혼합한 새로운 제어 방식을 적용하여 시변성은 퍼지 전문가 시스템으로 비선형성은 퍼지 논리제어방식으로 극복함으로써 작물의 최적 성장을 실현하였다. 이 때 사용한 입력은 배양액 급액량으로 배양액의 배지내 양을 제어하고, 그것을 위한 피드백 센서로는 배지내 수분량을 정밀하게 측정할 수 있는 중량센서(Weighing System)를 설계 제작하여 사용하였다.

연구 내용 및 결과

배양액의 조성 및 공급 제어를 위한 퍼지 PID 제어기 등을 이용하여 배양액 제어 S/W를 구현하였다.

가. 배양액의 조성 제어를 위한 퍼지 PID 제어기

배양액의 조성제어는 배양액내의 pH 및 EC센서에 의한 전해도를 통하여 농축배양액의 휘프도를 조절하는 제어이다. 그러므로 배양액 조성 제어에는 2개의 병렬제어기가 동시에 수행되어지며, 첫 번째 제어 시스템의 입출력은 출력은 pH이며, 입력은 산 또는 알칼리 용액 휘프로 정의된다. 두 번째 제어기는 출력은 배양액내의 EC이며, 입력은 배양액 농축공급휘프로 정의된다. 이 제어기들의 제어 알고리즘은 일명 퍼지 PID 제어구조를 가지며 이들 파라미터의 조정 방법은 최근에 최적화 알고리즘으로 각광을 받고 있는 유전자(Genetic) 알고리즘을 사용하였다. 퍼지 PID 제어 알고리즘은 기존의 PID 제어구조에 비하여 모델식이 없이도 제어기를 설계할 수 있다는 장점을 가지며 아직 식물의 성

장과 배양액의 조성비와의 모델식이 완전히 정립되어 있지 않기 때문에 본 연구에서 사용한 퍼지 PID제어기는 시설재배 자동화에서 현재까지의 원시적인 제어방식을 크게 뛰어넘는 방법이다. PID 제어 알고리즘의 구조는 그림 4-22와 같다. 그림에서와 같이 D-Gain은 유전자의 최적화로 처리하지 않고 Try-and-Error 방식으로 퍼지 추론기와 통합구조를 갖는다.

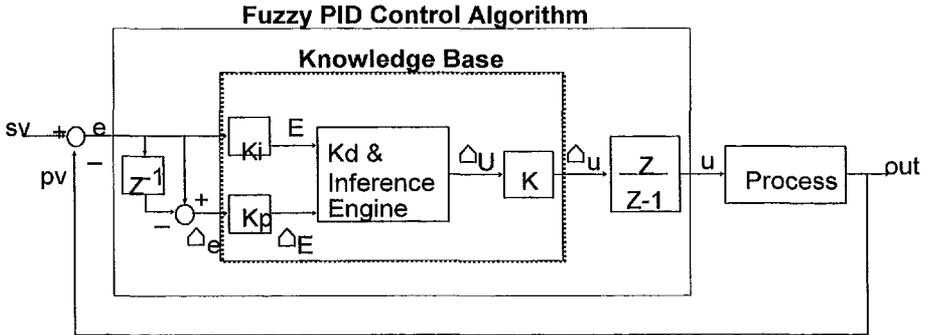


그림 4-22. 배양액 조성 제어용 퍼지 PID 제어기의 구조

그림 4-22는 배양액 조성제어 특히 레귤레이션 제어를 위한 제어 시스템이다. 이는 2개의 입력을 받아들여 한 개의 출력을 내보내는 2차원 퍼지 PID 제어기이다. 입력으로서는 에러 e 와 에러의 변화율 Δe 를 이용한다. 이 변수들은 다음과 같이 정의된다[2].

$$e_k = \text{setpoint (kth sample)} - \text{output (kth sample)}$$

$$\Delta e_k = e_k - e_{k-1}$$

실제적인 제어 환경에서 좋은 성능을 보이기 위해서는 일반적으로 적분요소가 필요하다. 2차원의 퍼지 제어기처럼, 실제적인 FLC는 비례-적분 (PI) 제어 효과를 가지고 있다. 다음은 고전적인 PI 제어 알고리즘을 표현하고 있다.

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e dt$$

디지털 방식에서의 구현을 위해 위의 식은 다음과 같이 변환된다.

$$u_{k+1} = u_k + \Delta u_{k+1}$$

$$\Delta u_{k+1} = K_p \Delta e_k + K_I e_k$$

만일 e_k 와 Δe_k 가 퍼지 변수이면, 위의 식은 퍼지 제어 알고리즘이 된다. 그러므로, 실제적인 퍼지-PI 제어 알고리즘은 다음의 식으로 나타낼 수 있다[2].

$$u_{k+1} = u_k + \Delta u_{k+1} = u_k + K \Delta U_{k+1}$$

$$\Delta U_{k+1} = F\{E_k, \Delta E_k\} = F\{K_I e_k, K_P \Delta e_k\}$$

여기서, F 는 퍼지 규칙에 따라 동작하는 퍼지 함수를 의미한다.

나. 퍼지 PI 제어기의 설계 방법

퍼지 제어기의 설계에는 다음과 같은 절차가 필요하다.

- 입력 및 출력 변수 정의
- 입력변수를 퍼지 집합으로 변환하는 프로세스 설계
- 지식기반(knowledge) 설계
- 퍼지 규칙에 따른 추론 결정
- 추론에 의한 결과를 적절한 제어입력으로 변환

위의 절차 중 지식기반의 설계에는 전문가의 지식이나 경험이 매우 큰 영향을 차지하며 가장 중요하고 어려운 단계라 할 수 있다.

일반적으로 지식기반의 설계는 다음과 같은 두 단계로 이루어진다.

- 데이터 베이스 설계
- 제어 규칙 베이스 설계

데이터 베이스 설계는 입력/출력 변수들을 결정하고 이 변수들의 멤버 함수들을 정의하는 과정이다. 제어 규칙 설계는 추론의 규칙을 구성하는 것인데, 이때 규칙을 구성하는 과정에는 정연한 절차가 나와있지 않기 때문에 전문가의 경험이 가장 큰 도움이 될 수 있다. 페이즈 다이어그램 방법(Phase Diagram Method)등의 몇몇 방법이 나와있기는 하지만 최적화되었다고는 볼 수 없는 단점이 있다. 그러나, 이 연구에서는 후에 유전자 알고리즘을 통해 간단히 스케일링 계인만을 최적화함으로써 여러 다른 요소들을 최적화하는 효과를 일으키는 것이 목적이므로 초기상태로 위의 방법을 쓴다해도 커다란 무리는 없다.

나. 스케일링 계인

일반적으로 제어기의 입력의 수를 증가시킨다는 것은 플랜트의 더 많은 상태를 관찰하여 플랜트의 정보를 제어기에 충분히 적용하겠다는 것을 뜻한다. 그러나, 대다수의 경우에 있어서 퍼지 시스템에 입력 변수를 추가하려는 경우에는 퍼지 규칙의 수를 지수적으로 증가시켜야 하는 필요성을 수반시킨다. 만일 입력 변수가 n 개이고, 각 입력 변수를

위한 퍼지 함수가 m 개씩 정의되어 있다고 하면 이 퍼지 시스템에 필요한 퍼지 규칙의 수는 $m \times n$ 개가 된다. 즉, m 과 n 이 커질수록 규칙의 수는 매우 큰 수가 된다. 이 경우, 이렇게 많은 수의 퍼지 규칙을 생성해서는 실용적이라 할 수가 없다. 위와 같이 변수의 증가에 따라 문제의 복잡성이 지수적으로 증가하는 현상을 Bellman은 "the Curse of dimensionality"라 명했다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 계층적인 구조의 퍼지 제어기(Hierarchical Fuzzy System)가 제안되었고 그 결과 퍼지 시스템을 구축하기 위한 퍼지 규칙의 수가 입력 변수의 수에 비례하여 증가하면서도 성능의 차이가 없는 제어기의 설계가 가능하게 되었다. 스케일링 계인 제어기는 계층적 퍼지 제어기의 개념과 크게 다르지 않다. 단지, 기본적으로 스케일링 계인 제어기는 2단계의 구조가 일반적이며, 상위 퍼지 제어기가 하위 퍼지 제어를 조정함으로써 간단한 구조로 좋은 성능을 꾀한다는 차이가 있을 뿐이다. 스케일링 계인을 이용하는 기존의 제어기에서는 하위 제어기로서 퍼지 PI 제어기를 이용하고, 상위 제어기로는 에러의 크기에 따라 두 계인 집합을 선택하여 스위칭 하도록 하는 그림 4-23과 같은 구조를 가지고 있다.

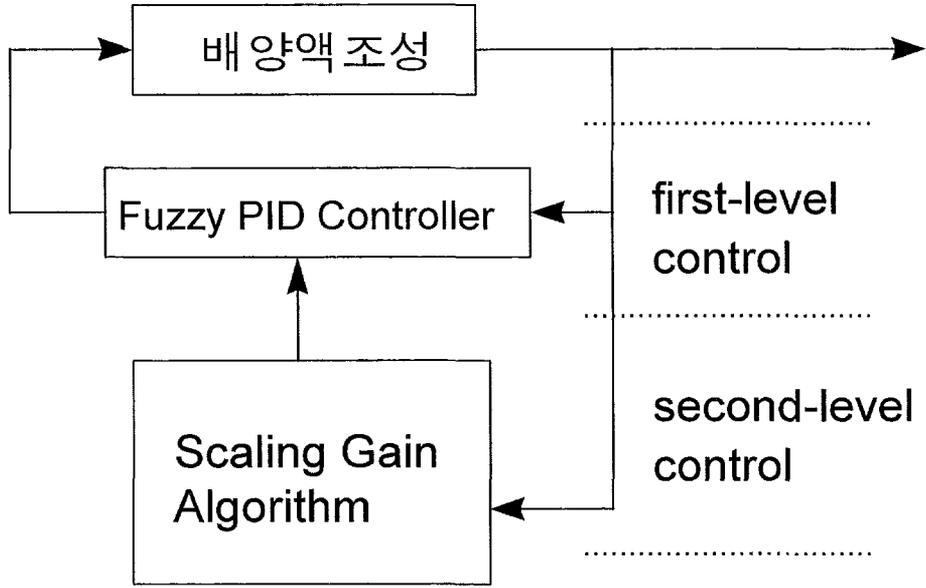


그림 4-23. PID제어기의 설계 방법

라. 스케일링 계인에 의한 퍼지도(fuzziness)와 제어 정밀도 (Resolution)
 제어의 정밀도는 제어 변수들의 퍼지도에 달려있고, 제어 변수들의 퍼지도는 이 변수들의 멤버 함수의 퍼지도에 달려 있다. 그림 4-24는 등가적인 2개의 퍼지 시스템을 나타내고 있다.

여기서 같은 멤버 함수로도 다른 퍼지圖를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

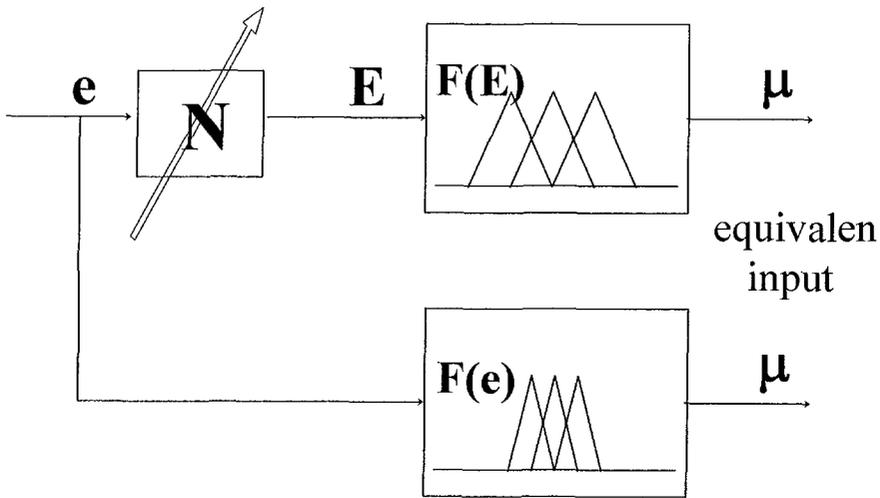


그림 4-24. 배양액 조성 제어기의 스케일링 게인 효과

즉, 앞단의 스케일링 게인을 조정함으로써 같은 형태의 멤버 함수를 가지고 있다는 가정 아래 대략적인(coarse) 멤버 함수로도 미세한(fine) 멤버 함수와 동일한 결과를 얻을 수 있다. 일반적으로, 퍼지 제어기에 있어서 스케일링 게인을 크게 하면 상대적으로 멤버 함수들을 관계된 축의 원점으로 압축하는 효과를 얻을 수 있다. 다른 말로 하면, 변수에 관계된 멤버 함수들의 대집합(support)을 줄여서 보다 정밀한 제어가 가능하도록 할 수 있다는 것이다. 이와는 반대로 스케일링 게인을 줄임으로써 동일한 멤버 함수로 대략적인 멤버 함수의 기능을 얻을 수도 있다. 이와 같이, 스케일링 게인의 집합을 미리 설정해놓고 주어진 기준에 따라 스케일링 게인을 적용하면 상태의 변화에 적응하는 제어기를 설계할 수 있다.

스케일링 게인의 분해점은 다음과 같다. 에러의 범위에 따라 두 게인 집합 사이를 스위칭을 하게 되기 때문에, 기준 입력이 주어진 에러의 스위칭 경계값 사이를 오가게 되면 두 게인 집합을 계속적으로 스위칭 하게 된다. 즉, 기준 입력이 주어진 에러의 경계값 근처를 진동하는 것이거나 플랜트 자체의 관성으로 바로 수렴하지 못하고 오버슈트를 발생시키면서 진동을 하게 되는 경우에는, 스위칭 경계값을 두 게인 집합이 번갈아 가며 선택이 되기 때문에 최적의 게인이 플랜트에 적용된다고 볼 수가 없다. 또한 이러한 경우에는 플랜트 자체의 상태변수나 입력으로 주어져야 하는 변수에 스위칭으로 인한 심한 채터링이 발생할 수 있기 때문에 실제로 제어기를 구성하여 플랜트에 적용할 경우 시스템이 파손될 여지가 생길 수 있으며, 그렇지 않은 경우라도 노이즈와 같은 효과를

수반하여 제어에 어려움을 줄 수 있다.

마. 퍼지 스케일링 개인을 이용한 제어기

앞서와 같은 문제가 발생하는 경우에 상위 제어기로서 퍼지를 이용하여 두 개인 집합 사이를 에러의 크기에 따라 보간(Interpolation) 해주게 되면 개인값의 큰 변화 없이 스케일링 개인의 효과를 얻을 수 있다. 즉, 두 개인 집합 사이의 값이 부드럽게 선택이 되기 때문에 여타 잡음에 대해서도 강인성을 보일 수 있다.

본 연구에서는 기존의 스케일링 개인을 이용한 퍼지 PI 제어기와 상위 퍼지 제어기의 개념을 적용한 방법을 이용하여 두 개인 집합간의 값을 보강한다. 하위 퍼지 제어기로는 퍼지 PI 제어기를 이용하고 상위 제어기로는 최적 개인 사이를 보강하는 퍼지 제어기를 사용하여 성능을 향상시키려 한다. 이러한 퍼지 스케일링 개인을 이용하게 되면 개인이 매 상황마다 변하게 되므로, 출력이 에러의 경계값을 통과할 때 발생할 수 있는 급격한 개인 집합의 변화로 인한 체터링이나 노이즈의 문제를 해결할 수가 있다. 또한, 상위 제어기가 퍼지 제어기의 형태를 지니고 있기 때문에 전문가의 경험에 의해 과도상태의 개인 집합과 정상상태의 개인 집합 중 어느 집합에 좀더 비중을 둘 것인지를 결정한 다음, 이를 개인 집합의 보간에 쉽게 적용할 수 있다. 이러한 편리성은 유전자 알고리즘으로 찾아낸 최적 개인 집합이 실제 플랜트와의 모델링 오차나 비확실성으로 인해 오차를 나타낸다고 보여질 때 상위 제어기의 조정만으로 보완이 가능함을 뜻한다. 그림 4-25는 위의 개념을 설명하는 블록 다이어그램이다

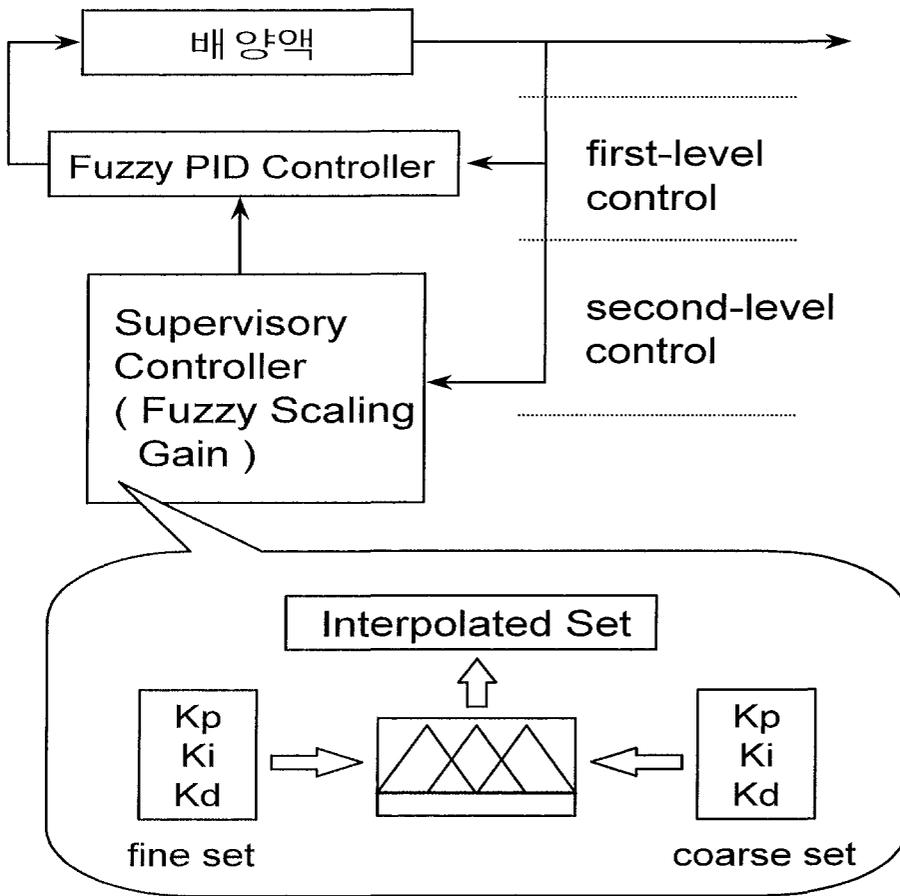


그림 4-25. 배양액 제어를 위한 PID 제어기의 최적화 방법

바. 배양액 제어 S/W의 구현

이상의 제어기를 이용하여 설계한 제어 전체 시스템의 S/W 의 구조와 흐름도는 다음 그림 4-26, 27과 같다. 여기서의 일반적인 타이머 제어와 PID 제어를 선택 운용할 수 있도록 하였다.

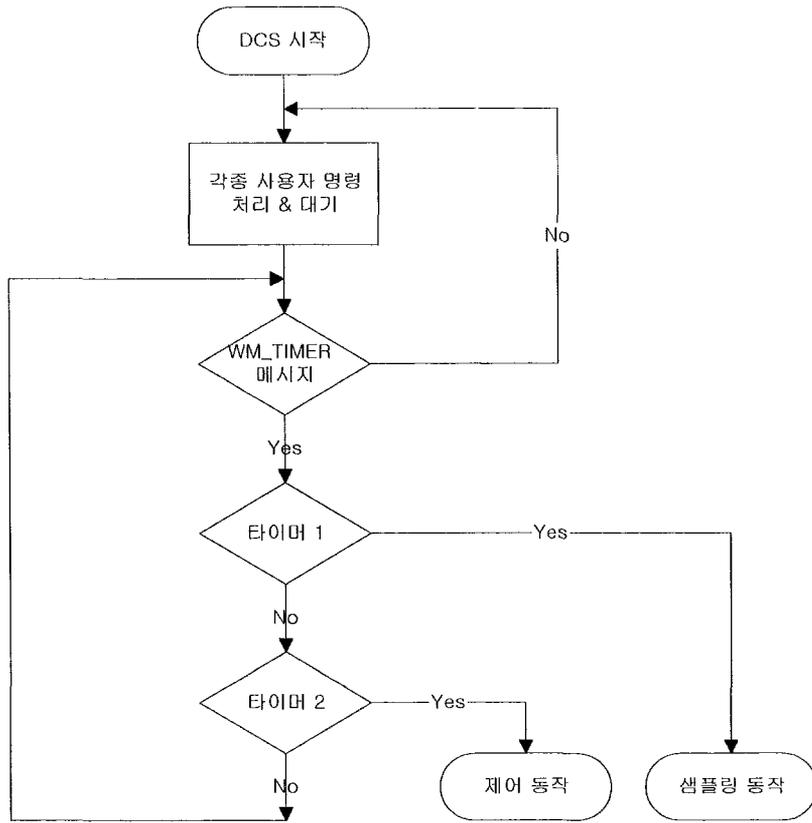


그림 4-26. 제어 전체 시스템의 S/W 구조

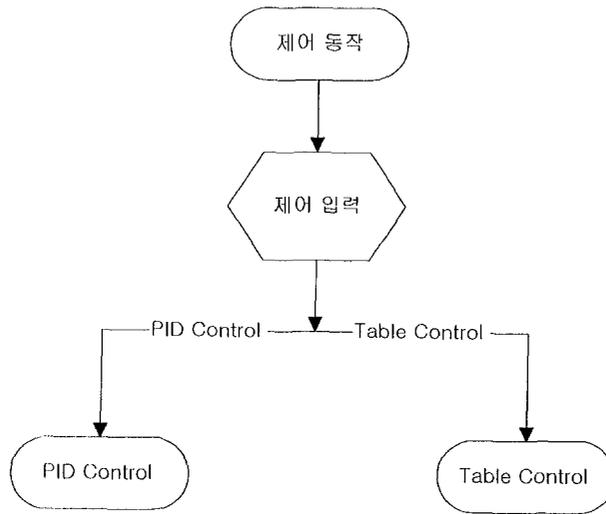


그림 4-27. 제어동작 module의 흐름도

제어 화면은 그림 4-28와 같다. 이 화면에서는 EC, pH, 베드중량 등에 의한 제어를 수행한다.

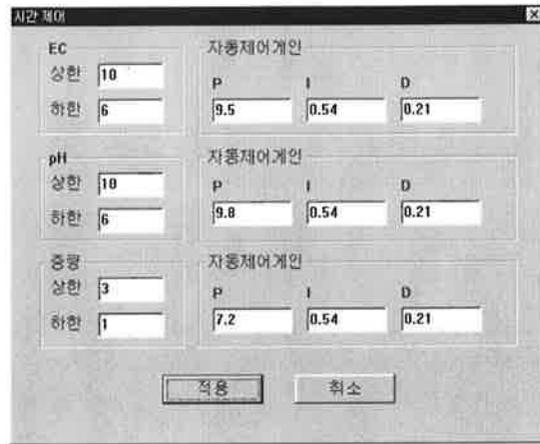


그림 4-28. EC, pH, 베드중량 제어 화면

PID 제어 S/W의 흐름도는 그림 4-29, 30, 31과 같다.

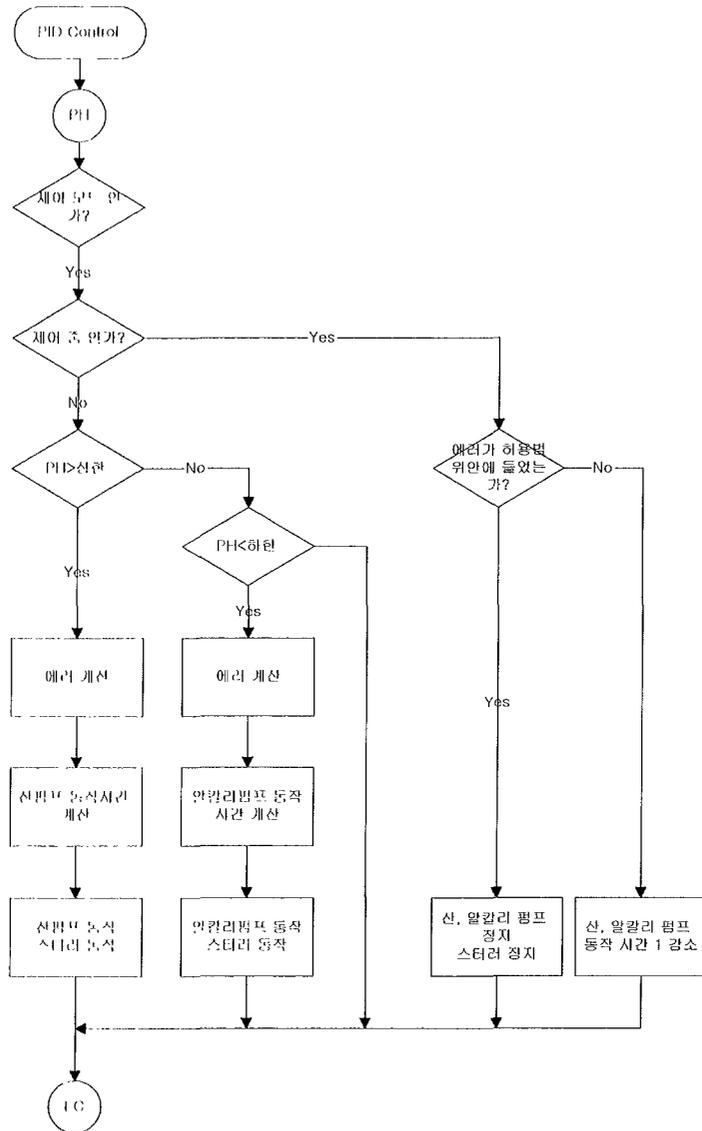


그림 4-29. PID 제어 S/W의 흐름도 (1)

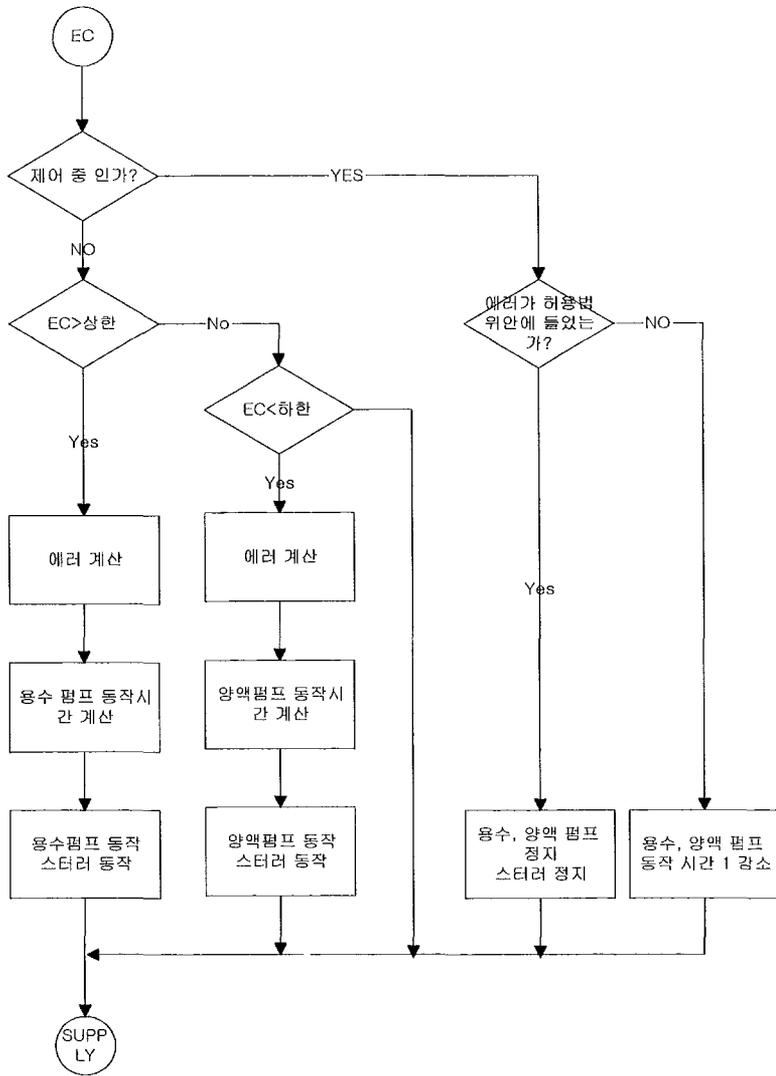


그림 4-30. PID 제어 S/W의 흐름도 (2)

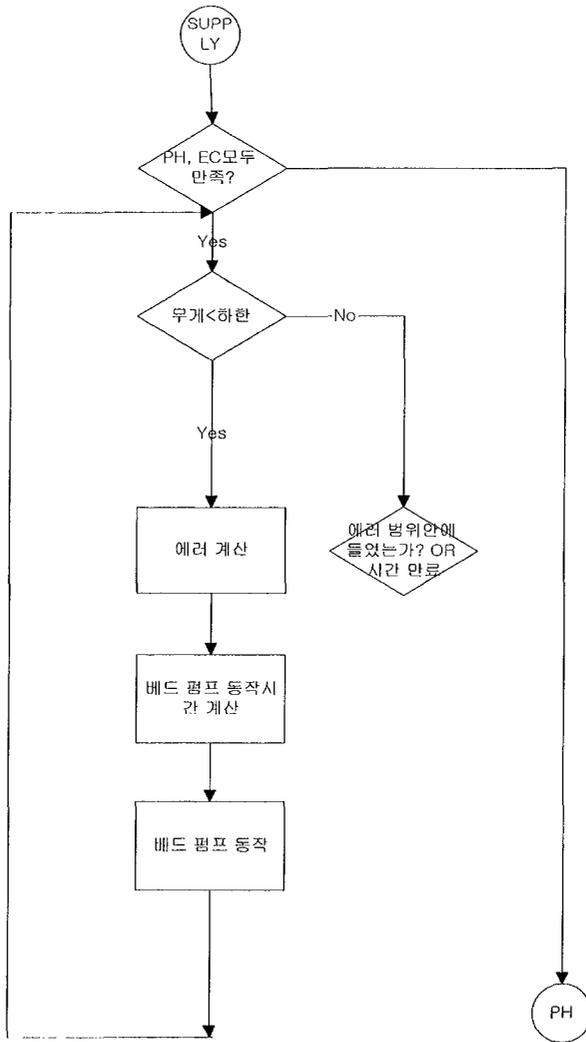


그림 4-31. PID 제어 S/W의 흐름도 (3)

시간표에 의한 실제 제어 화면은 그림 4-32와 같으며, 그림 4-33에 제어의 흐름도를 나타냈다.

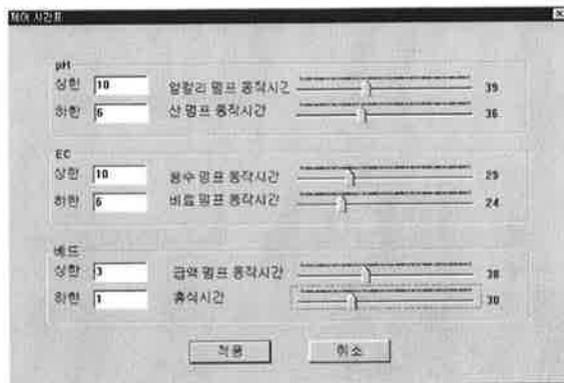


그림 4-32. 시간표에 의한 실제 제어 화면

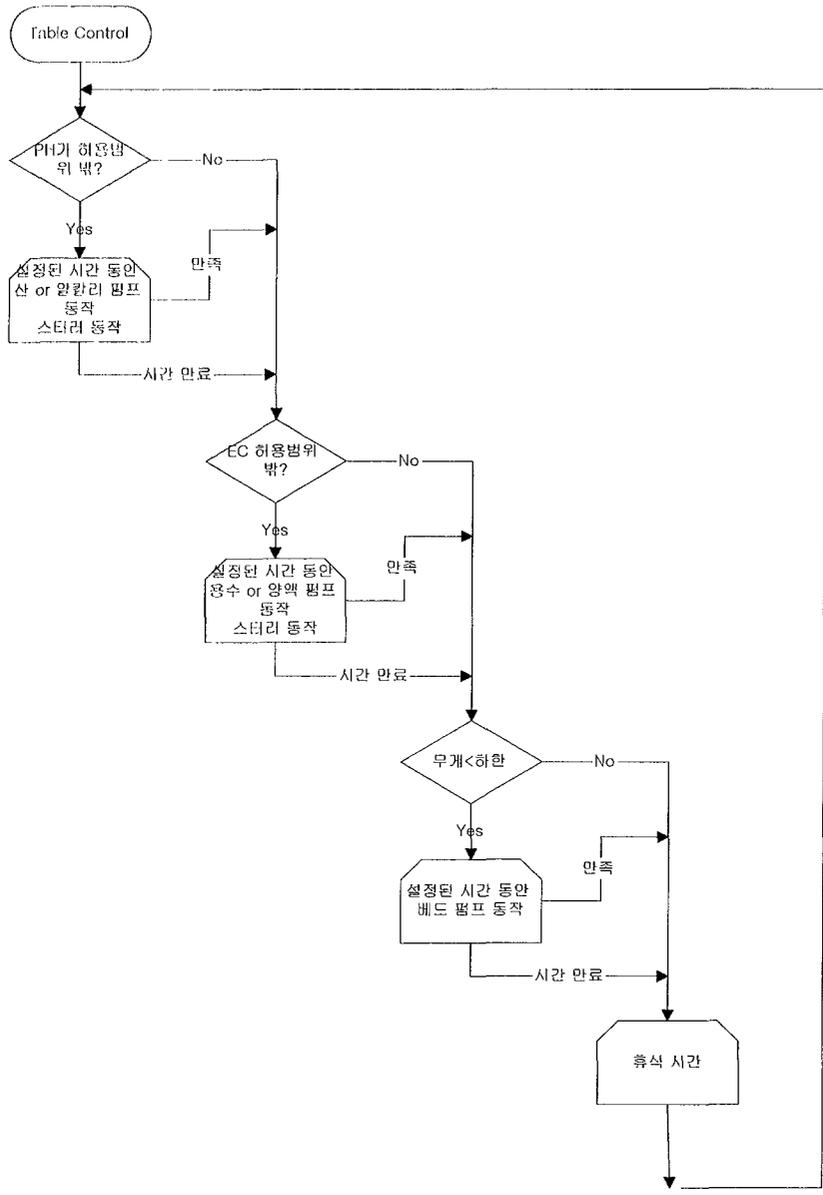


그림 4-33. 시간제어 방식의 S/W 흐름도

관수 및 배양액 관리 제어 S/W(그림 4-34)는 다음과 같이 계측 시스템과 연동하도록 하였으며, 전체 시스템은 그림 4-35에 나타났다.

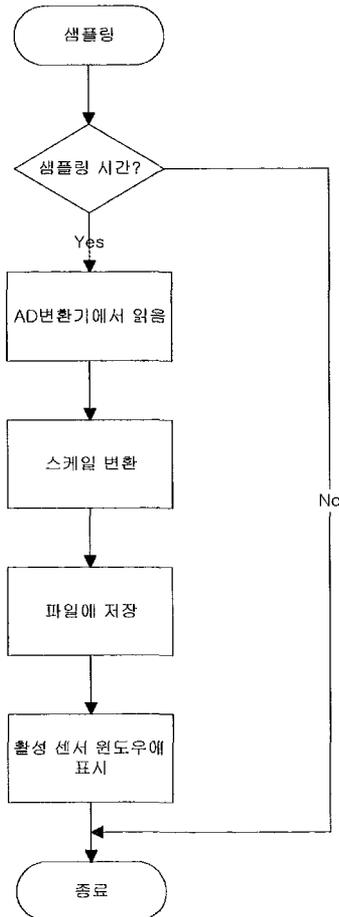


그림 4-34. Data acquisition H/W 연결 S/W의 흐름도

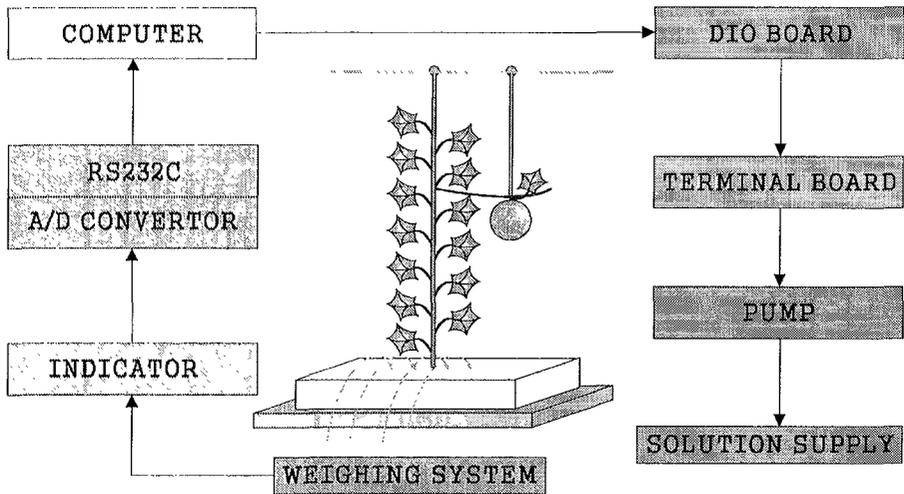


그림 4-35. 관수 및 배양액 관리 제어 시스템

제3절 관수 및 배양액 공급 시스템 구축

1. 시스템 관리 프로그램(Measuring System of Multi Sensors)의 개선
가. 인터페이스 개선

연구 방법

시설재배 자동화에는 많은 센서 장비들이 쓰인다. 특히 작물의 생장을 자동제어 하는 시스템에서는 같은 종류의 센서를 다양으로 사용해야 될 경우가 많이 발생한다. 많은 센서들의 출력값들을 최적화하여 인식(Acquisition)하는 멀티센서 계측시스템을 개발하였다.

연구 내용 및 결과

센서 장치들로부터 데이터를 받아들이는 일 또한 자동화에서는 중요한 역할을 한다. 일반적으로 자동화를 위해서는 개인용 컴퓨터를 사용하는 일이 많다. 이 개인용 컴퓨터에 각각의 센서들을 연결시켜서 사용을 해야 한다. 센서들이 컴퓨터와 연결하는 방법은 센서 출력과 출력 형식에 따라 각각의 차이가 있다. 본 연구에서 사용한 센서들은 직렬 포트를 이용한 센서 출력이다. 센서와 컴퓨터는 직렬포트를써 연결이 가능하다.

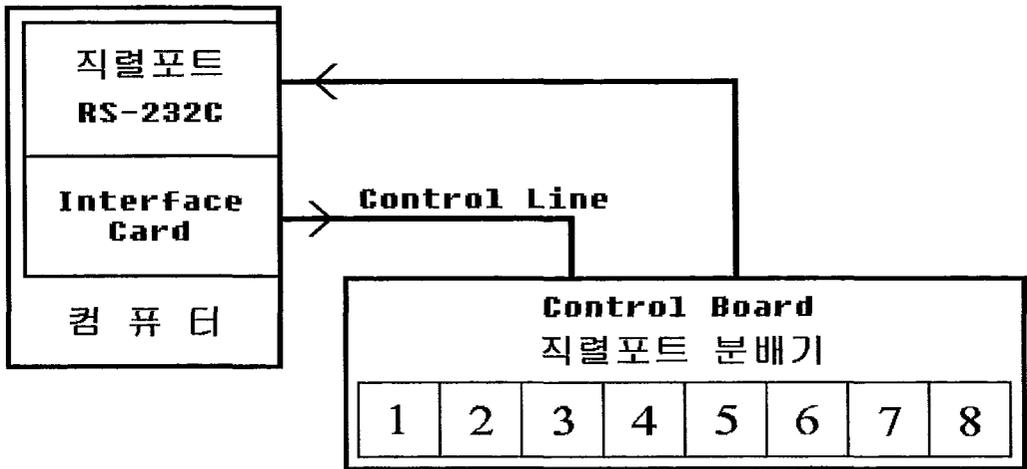


그림 4-36. 1 대 8 연결

그런데 일반적인 개인용 컴퓨터는 직렬 포트를 외부로 2개 이상 사용하기가 어렵다. 그 중에서 하나는 마우스를 사용하여야 하기 때문에 실질적으로는 1 개밖에는 사용할 수가 없다. 컴퓨터 한 대에 센서 장비를 한 개밖에 연결을 시킬 수 없다는 결론에 도달한다. 그렇기 때문에 개인용 컴퓨터의 1개 직렬 포트에 다수의 센서를 연결시켜야 한다. 이 문제를 해결하기 위해서 1대 8의 센서 입력포트를 설계하였다. 한 대의 컴퓨터로 8개의 센서 장치에서 입력을 받게 하였다.

그리고 컴퓨터에는 인터페이스 카드와 인터페이스 카드로 조작이 되는 보드(직렬포트 분배 보드)가 함께 추가가 된다. 그림 4-36은 1 대 8 연결을 나타내었다. 그림 4-37은 분배 보드로부터 각 센서를 측정하는 센서 장비와 연결 상태를 간단히 표시를 하였다.

여기서 1, 2, ..., 8은 각각의 센서 장비의 직렬 보드와 연결할 직렬 커넥터를 표시한 것이다.

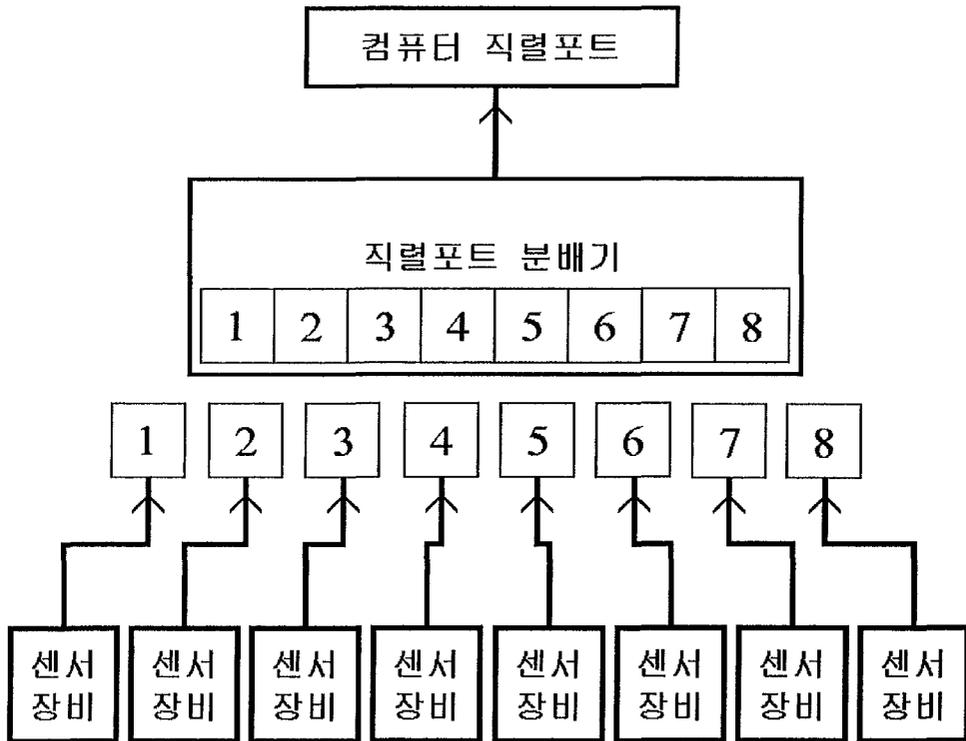


그림 4-37. 직렬포트 분배보드와 센서장비 연결

나. 저장프로그램 개선 및 actuator 제어 GUI 개선

연구 방법

-MDAS (Multi Data Acquisition System)-

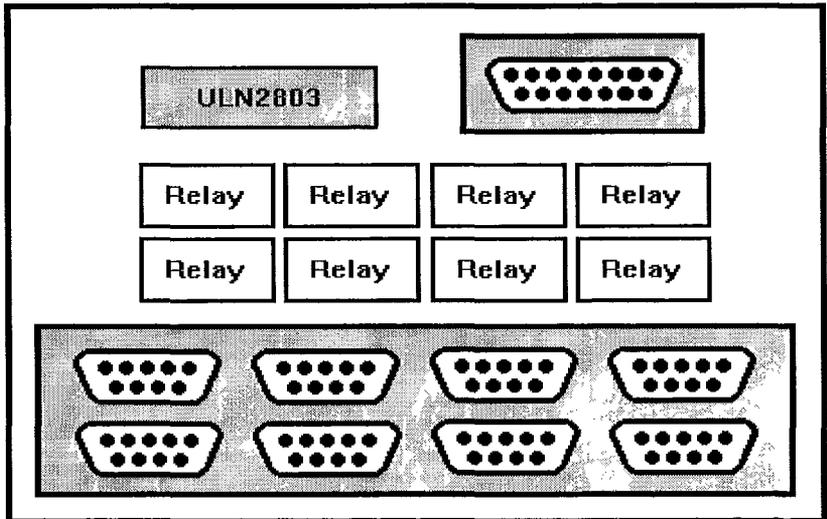
컴퓨터에는 여러 BUS방식을 가지고 있다.(ISA, PCI, VESA 등등..) 인터페이스 카드는 컴퓨터의 ISA slot의 형식에 맞게 설계를 했다.

연구 내용 및 결과

ISA 방식이 가장 개발하기 용이하다는 이유와 다른 하나는 복잡한 공정을 거치지 않아도 짧은 시간 안에 개발을 할 수 있다는 장점 때문이다. ISA버스의 번호는 62개이고 A번, B번이 각각 31번까지 있다. 본 연구에서 만든 인터페이스 카드는 ISA전체를 사용하는 것이 아니고 이중 필요한 부분만을 연결해서 설계를 하였다. 인터페이스 카드는 PPI라고 하는 칩을 기본으로 하고 있다.

82C55는 8비트 포트를 3개 가지고 있으며 포트가 입력/출력용으로 모두 사용할 수 있

다. 특수한 레지스터(Control Word Register)를 가지고 있으며 이 레지스터의 값에 따라 포트의 성질을 결정 할 수 있다. 여기서 사용할 인터페이스의 경우는 모든 포트를 출력 포트로 사용 할 것이다. 이 밖에도 74LS688(비교기)과 74LS138(디코더) 그리고 DIP스위치를 사용하였다.



직렬포트 분배기

그림 4-38. 직렬포트 분배 보드

인터페이스 카드에서 실질적으로 제어하는 부분이 직렬포트 분배 보드이다. 인터페이스 카드 커넥터와 연결된 선이 바로 이 보드에 연결이 된다. 이 보드에서는 8개의 센서 장비로부터 들어오는 데이터를 컴퓨터 쪽으로 연결을 해준다. 1번부터 순차적으로 일정한 간격으로 전기적인 스위치(Relay)를 On/Off 하여 포트를 연결하는 방식이다. 그림 4-38는 직렬포트 분배 보드를 간단히 표시를 하였다.

직렬포트 분배 보드에서 8조의 릴레이와 직렬포트를 입력포트로 사용하고 있다. 인터페이스 카드로부터 오는 부분에서 릴레이 구동을 위해서 ULN2803을 사용하였다. ULN2803은 달링턴 트랜지스터 8개로 이루어진 TR Pack이다. 여기서 릴레이의 동작이 부 신호를 받아서 동작을 시킨다. 릴레이가 전류구동 방식이기 때문에 ULN2803에서 전류 증폭을 시켜 동작을 시킨다.

컴퓨터에서는 이러한 데이터 포맷을 받아 데이터를 가공한다. 데이터 포맷은 센서 장비에서 보내지는데, 앞의 9바이트는 센서 장비의 상태와 센서의 상태를 나타내고 그 뒤의 8바이트는 센서에서 측정된 무게가 표시된다. 나머지 5바이트는 무게 단위(KG)을

표시하고 CR, LF는 데이터의 끝을 표시한다. 개발 소프트웨어 언어는 C언어를 사용하였다. 하드웨어를 제한하는 측면과 복잡한 계산을 프로그램, 처리하는 면에서 C언어는 좋은 결과를 얻을 수 있다. C언어의 개발 환경은 윈도우 환경에 가장 적합한 Visual C++를 사용하였다.

다. 제어프로그램의 개선

연구 방법

개인용 컴퓨터에는 직렬포트가 1-2개가 있다. 본 연구에서 설계 개발한 프로그램과 하드웨어는 한 개의 직렬포트를 8개까지 확장하는 방법을 인터페이스 카드와 직렬 포트 분배기를 사용해 구현하였다. 8개의 센서 입력을 차례로 정해진 시간동안 데이터를 받아들이도록 설계하였다.

연구 내용 및 결과

사용자는 프로그램에서 각 센서에서 할당되는 시간을 입력하게된다. 이때 설정된 시간이 바로 각 센서에서 읽어들이는 시간이다. 예를 들어 8개의 센서를 설치하고 시간 설정을 30초로 하였다면 8개의 센서에서 각각 다 읽어들이는 시간은 4분이 된다. 시간의 설정은 설정 밖에서 조절이 가능하고 직렬포트의 선택도 가능하다. 그림 4-39는 포트 하나가 연결되는 순서도 이다. 프로그램에서는 OnTimer함수와 CComm Class, OnReceiveData 함수에 정의되었다.

가장 먼저 입력으로 현재의 포트 번호를 읽어온다. 읽혀진 포트 번호에 따라 1번에서 8번까지 각각의 포트인걸을 하는 프로그램으로 넘겨지고 연결 되어있는 동안에 센서 장비로부터 데이터를 읽어들이는다. 그림 4-39에서는 포트를 다 표현을 하지 않았다. 각 포트 연결부분은 포트가 연결되는 것과 연결이 됨과 동시에 데이터를 읽어 필요한 파일로 저장을 하는 부분이다. 연결하고 데이터를 일정시간 받은 후 포트의 번호를 하나 증가를 시킨다. 다음에 읽어 올 포트를 설정한 후 현재 포트 값을 설정된 포트 값으로 나누어 그 나머지를 다음 포트 값으로 설정했다.

이러한 순서가 포트를 선택하고 다음 포트로 넘어가기 전까지의 동작이다. 프로그램에서는 다음의 일을 타이머 함수와 외부 출력 함수 그리고 직렬포트 핸들링 함수로 동작을 시킨다. 즉 8개의 센서 장비에서 한번씩 읽기 위해서는 위 그림과 같은 일을 8번 반복 수행하는 알고리즘으로 설계 개발하였다.

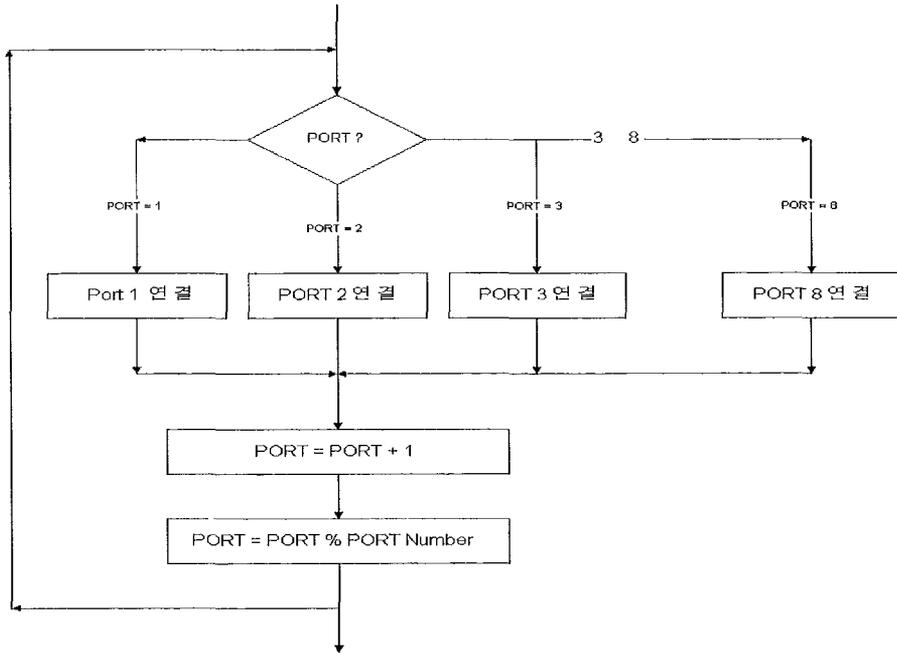


그림 4-39. 프로그램의 개선구조

라. 사용자 인터페이스(GUI) 개선

연구 방법

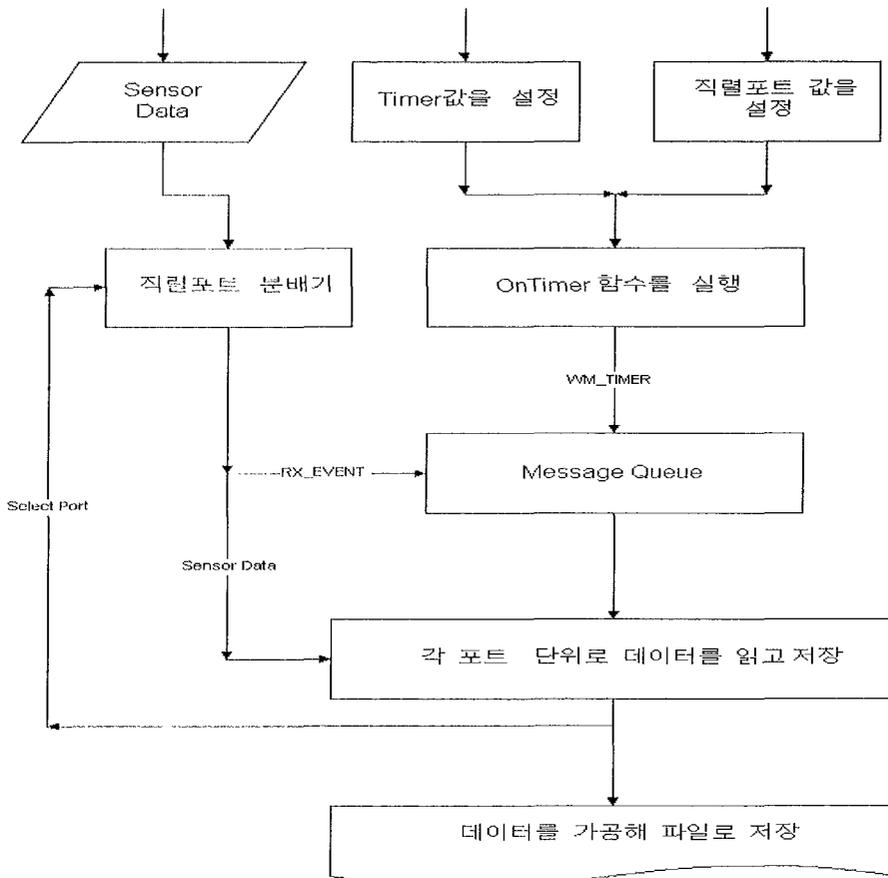
현재 대부분의 개인용 컴퓨터의 운영체제는 윈도우즈를 사용한다. 윈도우즈의 강력한 장점을 십분 이용하면서 프로그램의 개발은 윈도우즈를 기반으로 작성이 되었다. 윈도우즈 환경의 GUI(Graphic User Interface) 프로그램의 개발을 그림 4-40에서 설명하였다.

프로그램을 시작해서 메뉴를 보면 설정이라는 것이 있다. 이 설정 항목을 선택하면 바로 사용자가 직렬포트의 설정과 각 포트에 대한 시간을 설정을 한다. 컴퓨터는 데이터를 받을 준비를 하고 프로그램상의 모든 준비를 하도록 설계되어 있다. 데이터가 들어오는 포트를 타이머가 한 개씩 돌아가며 선택을 한다. 물론 선택되어서 데이터를 받는 시간은 사용자가 설정한 그 시간만큼 데이터를 받게 되어 있다. 그림에서 '각 포트 단위로 데이터를 읽고 저장'에서는 포트를 바꾸고 센서 값을 저장, 파일로 다시 저장하는 일을 한다. 이곳에서 OnTimer()함수와 ReceiveData()함수가 메시지 큐로부터 명령을 받아 동작을 시키도록 설계하였다.

연구 내용 및 결과

프로그램에서 가장 중요한 일을 하는 곳이 Message Queue이다. 이 메시지 큐는 센서

장비로부터 데이터가 들어온다는 것을 알아내서 센서 값을 읽어간다. 마찬가지로 타이머의 시간이 지나게 되면 바로 다음 값을 타이머에 세팅을 하게 한다. 그림 4-40에서 WM_TIMER와 WM_RECEIVEDATA(RX_EVENT)가 번갈아 가며 메시지 큐에 전달된다. 여기서 WM은 Window Message이다. 그밖에도 다른 메시지들이 프로그램을 구성했다. 센서 값을 읽어 파일에 저장하기 전에 화면상에 들어오는 데이터를 모니터링 할 수도 있으며 프로그램이 GUI 환경으로 바뀌게 되면 반드시 메시지 큐의 도움을 받으면서 도스환경에서의 프로그램과는 그 유연성에서 차원이 다른 매우 편리한 사용자인터페이스를 개발하였다.



2. 동적 자동 관수 관리 및 배양액 공급 제어 시스템 개선

가. 제어 algorithm 개선

양액 재배에서 그 동안 자동제어가 불가능한 것으로 인정되어 왔던 것이 작물의 최상의 성장 즉 과채류인 경우 그 열매의 수와 당도 그리고 크기 등을 최적화하는 제어이다. 이것은 시설재배의 자동화가 추구하는 많은 장점들 중에서 최고의 목표이기도 하다. 최근에 와서 시설재배에서 내부 또는 외부의 환경제어는 간단한 피드백(feedback) 제어에 의하여 자동화를 실현시켜왔으나, 배양액의 조성비 제어와 작물생장의 최적제어는 제어 방법상의 어려운 문제에 부딪혀 제 자리 걸음에 머물러 있다. 특히 작물 생장의 최적제어는 모든 종류의 작물이 재배 환경에 대한 그 특성 변화가 매우 큰 비선형성(non-linearity)을 갖고 있어서 모델링이 불가능하며, 성장시기에 따라서 동종의 작물이라도 그 특성변화가 매우 크게 나타나는 강력한 시변시스템(time-varying system)이다. 그러므로 본 연구에서는 시변성 및 비선형성이 매우 큰 작물의 성장 최적화 제어에 Fuzzy 전문가 시스템과 Fuzzy논리제어 방식을 직렬로 혼합한 새로운 제어방식(FECA; Fuzzy Expertized Control Algorithm)을 적용하여 시변성은 Fuzzy 전문가 시스템으로 비선형은 Fuzzy논리제어방식으로 극복함으로써 작물의 최적 성장을 실현하였다. 이 때 사용한 입력은 배양액의 급액량으로 배양액의 배지 내 양을 제어하고, 그 것을 위한 피드백 센서로는 배지내 수분량을 정밀하게 측정할 수 있는 중량센서(weighing system)을 설계 제작하여 사용하였다.

작물 성장 시스템은 비선형 시변 시스템으로 수학적으로 표현이 어렵고 매우 많은 불확실성이 관여하는 시스템이다. 특히 작물 성장 시스템은 재배 전문가의 경험에 의한 생산방식이 가장 훌륭한 성장 방식으로 받아들여지는 분야로 전문가의 의견을 그대로 제어 방식으로 표현할 수 있는 Fuzzy 제어 알고리즘이 가장 적당한 방법이라고 생각하여 그것으로 설계하였다.

나. 멜론 전용 배지의 최적 관수관리 시스템 개선

본 연구에서는 Fuzzy 전문가 기반 제어 알고리즘(FECA; Fuzzy Expertized Control Algorithm) 구조를 통해 식물 성장 제어 시스템을 구현하였다. FECA는 크게 Fuzzy 모델 기반 전문가 시스템(FMES, Fuzzy Model Based Expert System)과 적용 Fuzzy 논리 제어가(AFLC, Adaptive Fuzzy logic control)의 직렬 혼합 구성으로 되어 있다. FMES는 작물 성장 시스템의 시변성을 반영하여 이를 상쇄하도록 설계되는 부분으로 원하는(desired) 배지 안의 배양액의 양을 발생(generation)시키는 역할을 한다. 이로부터 알 수 있듯이 전문가의 의견을 반영한 데이터를 추출하여 Fuzzy 모델을 형성하였다. Fuzzy 모델로는 최근 각광을 받고 있는 클러스터링기법을 이용한 Fuzzy 모델을 이용하였다.

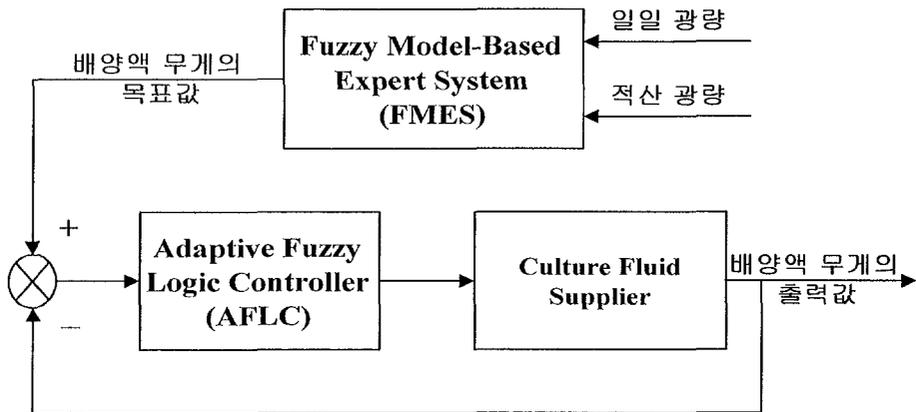


그림 4-41. FECA의 구조도

FLC는 식물 제어에 발생하게 되는 비선형성을 극복하도록 설계되는 부분으로 식물 성장 시스템의 강한 비선형성과 시변성을 상쇄하며 동시에 농업전문가의 경험을 포함하는 Fuzzy 적응 제어를 사용하도록 한다. 최근 여러 가지 Fuzzy 제어가 제안되고 있고 이들 중 모델 기반 제어 기법(model based control algorithm)등이 있지만 본 연구에서는 전문가의 의견을 포함하며 시변 비선형을 극복하는 가장 적당한 제어 기법으로 생각되는 Wang의 기법을 사용하였다. 퍼지 모델기반 전문가 시스템의 구체적인 설계 구조를 그림 4-42에서 볼 수 있다.

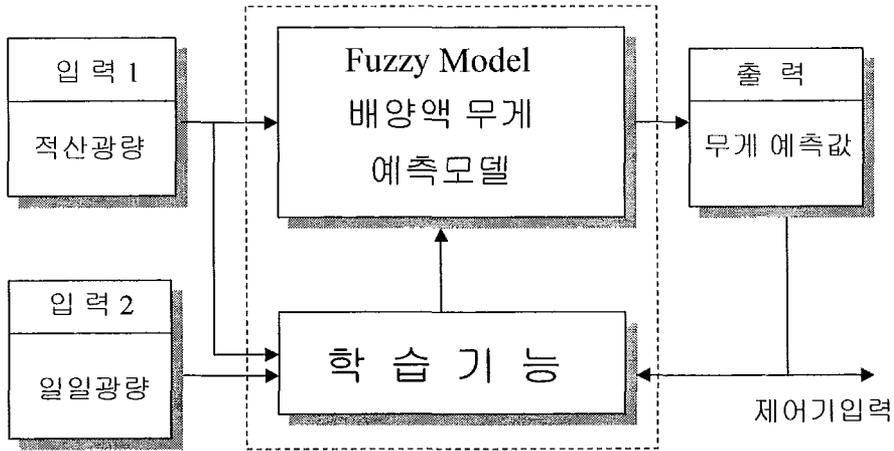


그림 4-42. 퍼지 모델기반 전문가 시스템 다이어그램

퍼지 모델기반 전문가 시스템은 작물 성장 시스템의 시변성을 극복하는 부분으로 작물의 당도 및 크기 속도를 최적화할 수 있는 배지내 배양액의 양을 식물의 여러 가지 요소를 파악하여 결정하는 부분이다. FMES(Fuzzy Model-Based Expert System)는 내부구조가 2가지의 기능으로 나눌 수 있으며 각각 퍼지 관계식에 의해 기술되어 있는 배지내 배양액의 무게 예측 모델과 모델 계수 및 차수를 수정하는 학습기능으로 나누어 설계하였다. 학습 기능은 모델이 높은 예측 정밀도를 유지하기 위하여 설계한 기능이다.

- 무게예측 퍼지모델

본 연구에서 사용하게 될 SI 퍼지 모델[9]은 기존의 퍼지 모델 중에서 가장 주목할 만한 2개의 모델인 Takagi-Sugeno 모델[6]과 Sugeno-Yasukawa 모델[8]의 장점을 결합한 새로운 퍼지 모델링 방법으로 설계하였다.

외형상으로는 Takagi-Sugeno 모델을 취함으로 적은 수의 퍼지 규칙으로도 훌륭한 시스템 묘사력 갖으며 시스템 파라미터 설정에 있어서는 Sugeno-Yasukawa 모델만큼 쉽게 컴퓨터로 구현할 수 있는 장점이 있다. 기본적인 알고리즘은 대략 조정과 미세 조정의 두 단계로 이루어지며 SI 모델의 파라미터 설정 기본 블록도는 그림 4-43와 같다.

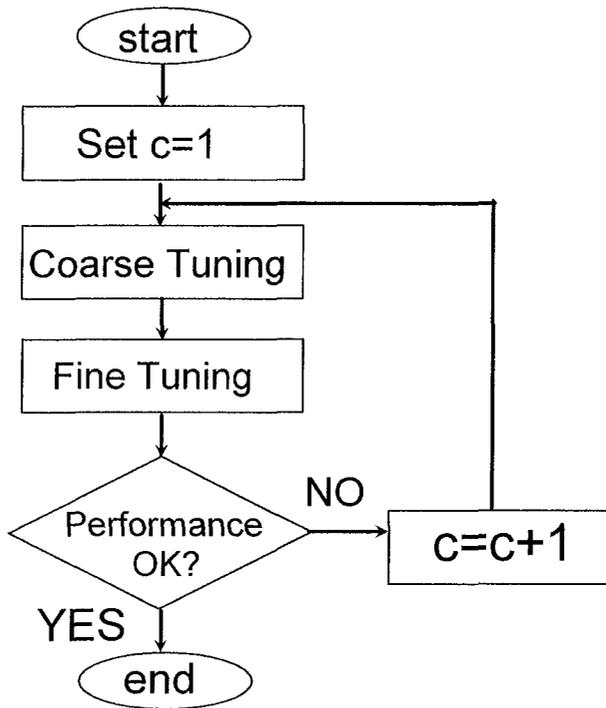


그림 4-43. 배양액 무게예측 퍼지 모델링 알고리즘

- 대략 조정 단계

앞에서 언급한 바와 같이 본 연구에 설계한 무게예측 퍼지 모델의 기본 구조는 식(1)과 (2)의 1985년 Takagi와 Sugeno에 의해 제안된 퍼지 모델과 같다.

$$R^i : \text{If } x_1 \text{ is } A_1^i \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^i, \dots, x_m \text{ is } A_m^i$$

$$\text{then } y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_m^i x_m \quad (1)$$

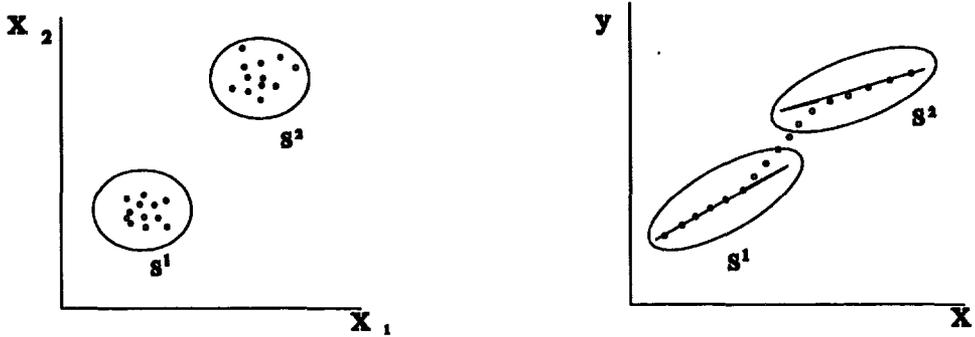
$$\hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^c w^i y^i}{\sum_{i=1}^c w^i} \quad \text{이때} \quad w^i = \prod_{j=1}^m A_j^i(x_j) \quad (2)$$

여기서 $R^i (i = 1, 2, \dots, c)$ 는 i 번째의 플랜트 법칙, x_j 는 입력, y^i 는 R^i 가 주장하

는 플랜트의 출력이다. A_1^i, \dots, A_m^i 는 퍼지 변수이다.

그러나 무게 예측 퍼지 모델링 알고리즘의 경우 Takagi와 Sugeno의 알고리즘과 달리 후건부를 먼저 설정하며, 따라서 선 혹은 하이퍼평면(hyperplane)형태의 클러스터를 필요로 하게 된다. 이를 위해 기존의 패턴 클러스터링 알고리즘인 C-MEANS 알고리즘을 변형하여 퍼지 모델링에 적용 가능하도록 수정한 새로운 클러스터링 알고리즘인 HPC-MEANS 알고리즘을 이용한다. 본 알고리즘은 다음과 같은 특징을 갖도록 설계하였다.

- (1) 평면을 중심으로 평면형으로 클러스터를 형성했다.
- (2) RLS[14]를 이용하여 주어진 데이터들의 새로운 피팅 평면(fitting hyperplane)을 구함으로서 각 클러스터의 중심을 계산한다. 다음 그림 4-44는 HPC-MEANS와 C-MEANS를 비교한 그림이다.



(a) 배양액무게 실험데이터의 C-MEANS

(b) 배양액무게 데이터의

HPC-MEANS

그림 4-44. 실측 무게 데이터의 C-MEANS와 HPC-MEANS와의 비교

식 (1)과 (2)의 전건부 함수는 $A(x) = \exp\left\{-\left(\frac{x-d_1}{d_2}\right)^2\right\}$ 으로 표현되는 종형 함수

수이며, HPC-MEANS알고리즘에 의해 후건부가 대략적으로 결정된 후 분할된 입력 공간을 참조하여 전건부를 대략적으로 정한다. 이 들은 나중에 미세 조정에 의해 더욱 자세히 조정된다.

-HPC-MEANS 알고리즘

입력이 m 차원이고 출력이 하나인 경우, HPC-MEANS알고리즘은 i 번째 클러스터

에서의 중심으로 식(A-1)로 표현되는 하이퍼평면 형태를 사용한다.

$$y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_m^i x_m \quad (\text{A-1})$$

벡터 식으로는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$y^i = \mathbf{X}^T \mathbf{P}^i \quad (\text{A-2})$$

여기서 $\mathbf{X} = [1 \ x_1 \ \dots \ x_m]^T$ 이고 $\mathbf{P}^i = [a_0^i \ a_1^i \ \dots \ a_m^i]^T$ 이다.

이제 (\mathbf{X}_l, y_l) , $1 \leq l \leq n$ 인 n 개의 샘플 데이터 벡터가 주어지고 원하는 클러스터의 수를 c 라 하면, 즉 c 개의 퍼지 규칙을 이용하여 퍼지 모델링을 하려 한다면:

STEP 1: 초기 클러스터의 중심의 역할을 하는 c 개의

$$\text{평면 } y^1 = \mathbf{X}^T \mathbf{P}^1(1)$$

...

$$y^c = \mathbf{X}^T \mathbf{P}^c(1) \text{ 을 결정한다.}$$

여기서 괄호 안의 1은 1번째 반복을 의미한다.

STEP 2: k 번째 반복에서, 각 샘플 데이터 (\mathbf{X}_l, y_l) $1 \leq l \leq n$ 에 대하여 가장 가까운 $\mathbf{P}^j(k)$ 의 클러스터에 주어진 샘플 데이터를 배정한다.

$$\text{즉 } (\mathbf{X}_l, y_l) \in S_j(k)$$

$$\text{if } |y_l - \mathbf{X}_l^T \mathbf{P}^j(k)| \leq |y_l - \mathbf{X}_l^T \mathbf{P}^i(k)|, \text{ for all } i=1,2,\dots,c$$

여기서 $S_j(k)$ 는 하이퍼평면 $y^j = \mathbf{X}^T \mathbf{P}^j(k)$ 을 중심으로 갖는 클러스터이다.

STEP 3: 다음과 같이 k 번째 반복에서의 클러스터링 오차 D_k 를 계산한다.

$$D_k = \sum_{j=1}^c \frac{1}{N_j} \sum_{(\mathbf{X}_l, y_l) \in S_j(k)} |y_l - \mathbf{X}_l^T \mathbf{P}^j(k)|$$

여기서 N_j 는 $(\mathbf{X}_l, y_l) \in S_j(k)$ 인 샘플 데이터의 수이다.

이제, $\frac{D_k - D_{k-1}}{D_k} \leq \delta$ 이면 프로그램을 중단하고 아닌 경우 다음의 STEP 4로 넘어간다.

다.

STEP 4 : STEP 2에서 얻어진 $S_1(k), S_2(k), \dots, S_c(k)$ 에 대하여 다음의 식 (A-3)(A-4)(A-5)로 표현되는 RLS 알고리즘을 이용하여 새로운 클러스터의 중심 평면 $y^j = \mathbf{X}^T \mathbf{P}^j(k+1)$, for $j=1, 2, \dots, c$ 을 계산한다. 즉 i 번째 클러스터에 N_i 개의 샘플 데이터가 있고 이들을 $(\mathbf{X}_1, y_1), (\mathbf{X}_2, y_2), \dots, (\mathbf{X}_{N_i}, y_{N_i})$ 라고 한다면 ($\sum_{i=1}^c N_i = n$) 이 클러스터의 중심 역할을 하는 하이퍼평면은 다음의 반복형 식에 의해 구해진다.

$$\mathbf{P}_{j+1}^i = \mathbf{P}_j^i + \mathbf{K}_j [y_{j+1} - \mathbf{X}_{j+1}^T \mathbf{P}_j^i] \quad (\text{A-3})$$

$$\mathbf{K}_j = \mathbf{S}_{j+1} \mathbf{X}_{j+1} = \frac{\mathbf{S}_j \mathbf{X}_{j+1}}{1 + \mathbf{X}_{j+1}^T \mathbf{S}_j \mathbf{X}_{j+1}} \quad (\text{A-4})$$

$$\mathbf{S}_{j+1} = [1 - \mathbf{K}_j \mathbf{X}_{j+1}^T] \mathbf{S}_j \quad (\text{A-5})$$

여기서 $j = 1, \dots, N_i$, $\mathbf{P}^i = \mathbf{P}_{N_i}^i$

이 알고리즘의 초기치는 다음과 같이 설정한다.

$$\mathbf{P}_0^i = \mathbf{0}, \quad \mathbf{S}_0 = \alpha \mathbf{I}$$

여기서 α 는 충분히 큰 수이며 \mathbf{I} 는 항등 행렬이다.

STEP 5 : STEP 2로 돌아가고 $k = k+1$ 로 한다.

-미세 조정 과정

HPC-MEANS 알고리즘에 의해 대략 조정된 퍼지 모델에 대해 파라미터를 미세 조정하는 알고리즘이 필요하게 되는데 이는 HPC-MEANS 알고리즘이 입력 공간을 '크리스프(crisp) 분할' 함으로 오차가 발생한 것이다. 미세 조정 알고리즘은 파라미터 조정에 널리 사용되는 그래디언트 하강법을 이용하여 실제 구현하였다. 다음은 퍼지 모델의 전건부 미세 조정 알고리즘이며 프로그램식 2는 후건부 미세 조정 알고리즘이다.

퍼지 모델이 다음의 식(3)로 표현되고 추론식이 (4) 이다.

$$R^i : \text{If } x_1 \text{ is } A_1^i(p_{11}^i, p_{12}^i) \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^i(p_{21}^i, p_{22}^i) \text{ and} \\ \dots \text{ and } x_m \text{ is } A_m^i(p_{m1}^i, p_{m2}^i), \quad (3) \\ \text{then } y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_m^i x_m$$

$$\hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^c w^i y^i}{\sum_{i=1}^c w^i} \quad \text{이때, } w^i = \prod_{j=1}^m A_j^i(x_j) \quad (4)$$

매양액 제어의 진분가 시스템을 위한 퍼지모델에서 사용하는 언어 변수 A_j^i 는 편의상 2개의 파라미터만을 갖는 종형 멤버십으로 하고 p_{jk}^i 는 i 번째 퍼지 규칙의 j 번째 전진부 언어 변수를 구성하는 k 번째 변수로 한다. ($k=1$ 은 종의 중심이고 $k=2$ 는 종의 폭이다) 이 경우, 퍼지 모델의 전진부 파라미터는 다음과 같은 학습 방법에 의해 미세 조정할 수 있다.

$$\Delta p_{jk}^i = \gamma (y_{des} - \hat{y}) (y^i - \hat{y}) \frac{1}{\sum_{i=1}^c w^i} \frac{\partial w^i}{\partial p_{jk}^i} \quad (5)$$

여기서 γ 는 학습률(learning rate)이고, y_{des} 는 원하는 출력 값이며 \hat{y} 는 퍼지 모델로부터의 출력 값이다.

$$\text{여기서 } \frac{\partial w^i}{\partial p_{j1}^i} = \frac{\partial A_j^i}{\partial p_{j1}^i} = \frac{2}{p_{j2}^i} \frac{x_j - p_{j1}^i}{p_{j2}^i} \exp\left\{-\left\{\frac{x_j - p_{j1}^i}{p_{j2}^i}\right\}^2\right\}$$

$$\frac{\partial w^i}{\partial p_{j2}^i} = \frac{\partial A_j^i}{\partial p_{j2}^i} = \frac{2}{p_{j2}^i} \left\{\frac{x_j - p_{j1}^i}{p_{j2}^i}\right\}^2 \exp\left\{-\left\{\frac{x_j - p_{j1}^i}{p_{j2}^i}\right\}^2\right\} = \frac{x_j - p_{j1}^i}{p_{j2}^i} \frac{\partial w^i}{\partial p_{j1}^i}$$

퍼지 모델이 위의 식(3)으로 표현되고, 그 추론식이 식(4)와 같이 표현될 때, 퍼지 모델의 후진부 파라미터는 다음과 같은 학습 방법에 의해 미세 조정할 수 있게 설계하였다.

$$\Delta a_j^i = \gamma (y_{des} - \hat{y}) \frac{1}{\sum_{i=1}^c w^i} w^i x_j \quad (6)$$

-입력 데이터 성분간의 상관을 고려한 새로운 방식의 퍼지 모델

본 연구에서 설계한 무게예측 퍼지모델은 시스템 묘사력이 뛰어나고 설정 알고리즘이 간단한 장점을 가지고 있다. 그러나 기존의 알고리즘들과 마찬가지로 이 알고리즘 또한 입력 데이터 성분만 갖게 되는 상관을 고려하지 않고 입력 공간을 각 변수에 따라 분할하는 문제점을 가지고 있었다. 이 문제점을 해결하기 위한 비상관 과정 (uncorrelation)의 개념을 함께 사용하여 설계하였다.

- 상관 과정의 개념

2차원 이상의 다입력 시스템의 경우, 입력 데이터의 성분간에 강한 상관(strong correlation) 관계가 있을 때 이를 무시하고 각 입력 변수에 대해

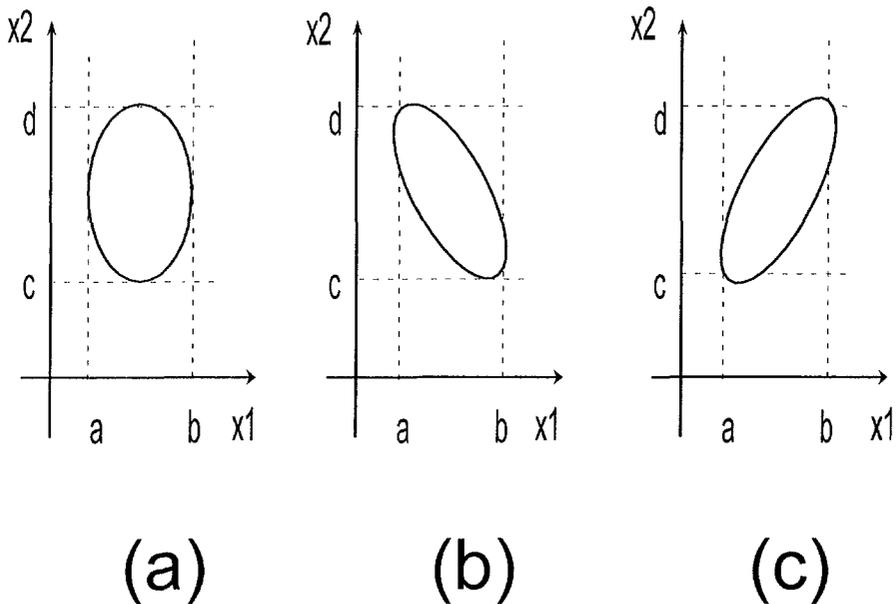
$$R^i: \text{If } x_1 \text{ is } A_1^i \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^1 \text{ and } \dots \text{ and } x_m \text{ is } A_m^1, \text{ then } \dots$$

형태로 입력 공간을 분할하는 것은 바람직하지 않으며 오차를 발생시키게 된다

예컨대 2차원 입력 시스템의 경우, 그림 4-45에서 보는 바와 같이, 서로 다른 상관 (a)(b)(c)의 경우에 대해 모두

$$R^i: \text{If } x_1 \text{ is } A_1^i \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^1, \text{ then } \dots$$

형태로 입력 공간을 분할하는 것은 바람직하지 않음을 알 수 있다.



(a) (b) (c)
 그림 4-45. 같은 입력 공간을 차지하는 서로 다르게 상관된 샘플
 데이터
 (매지네 배양액무게와 생장간의 실측데이터 샘플)

너욕이 IPC-MEANS 알고리즘을 적용한 이후 각 퍼지 규칙에 속하는 데이터 성분간의 상관이 서로 달라서 그림 4-45와 같이 샘플의 입력 데이터가 분할된 경우, 클러스터 1과 클러스터 2의 x_1 , x_2 축 범위가 거의 비슷하여

$$R^i: \text{If } x_1 \text{ is } A_1^i \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^i, \text{ then } \dots$$

형태로 진건부를 분할하는 것은 사실상 의미가 없음을 알 수 있다.

따라서 본 연구의 배양액 제어에서는 주성분 분석 기법을 이용하여 각 퍼지 규칙에 소속된 데이터 성분간의 상관을 없앴으로서 모델링 오차를 줄이는 새로운 방법의 퍼지 모델링 알고리즘을 설계했다. 주성분 분석법은 주로 코딩 이론에서 이산 KL변환 (Karhunen and Loeve변환)이라 알려진 최적 코딩 이론으로 퍼지 모델링에서도 입력 공간을 최적 분할하는 역할을 한다. 즉, 각 퍼지 규칙에 소속된 샘플 데이터의 성분간 상관을 없애기 위해, 각 규칙에 주성분 분석 기법을 적용하여 분할 입력 공간을 변환하게 되는데 결과적으로 일게 되는 퍼지모델은 다음과 같은 형태를 취하게 된다.

$$R^i: \text{If } (t_{11}^i x_1 + t_{12}^i x_2 + \dots + t_{1m}^i x_m) \text{ is } B_1^i \text{ and } (t_{21}^i x_1 + t_{22}^i x_2 + \dots + t_{2m}^i x_m) \text{ is } B_2^i \text{ and}$$

$$\dots \text{ and } (t_{m1}^i x_1 + t_{m2}^i x_2 + \dots + t_{mm}^i x_m) \text{ is } B_m^i, \quad (7)$$

$$\text{then } y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_m^i x_m$$

여기서 $\mathbf{t}_j^i = [t_{j1}^i \ t_{j2}^i \ \dots \ t_{jm}^i]^T$ 는 i 번째 퍼지 규칙의 j 번째 전건부 조건식의 방향을 나타내는 단위 벡터이며 $j=1, \dots, m$ 에 대해 서로 상호 단위 직교(mutually orthonormal)한다. 따라서 $\mathbf{T}^i = [\mathbf{t}_1^i \ \mathbf{t}_2^i \ \dots \ \mathbf{t}_m^i]$ 라 할 때 $(\mathbf{T}^i)^T(\mathbf{T}^i) = \mathbf{I}$ 인 유니터리 행렬이 된다. (\mathbf{I} 는 \mathbf{T} 의 단위 행렬이다.)

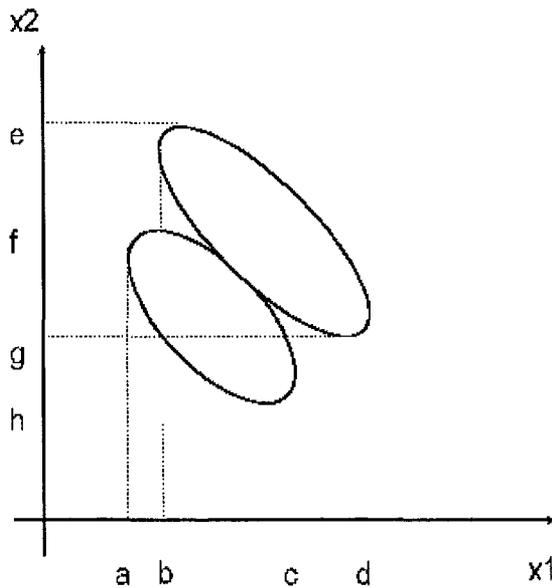


그림 4-46. 한 입력공간상에서 서로 다르게 상관된 2개의 클러스터

이같이 주성분 분석 기법을 이용하여 입력 데이터 성분간 상관을 없애는 과정은 앞에서 설명한 무게예측 퍼지 모델링의 경우, 대략 조정과 미세 조정 사이에 들어가게 된다. 결과적으로 얻게 되는 데이터 성분간 상관을 고려한 수정된 무게예측 퍼지 모델링

알고리즘은 다음의 블록도와 같이 표현되게 된다.

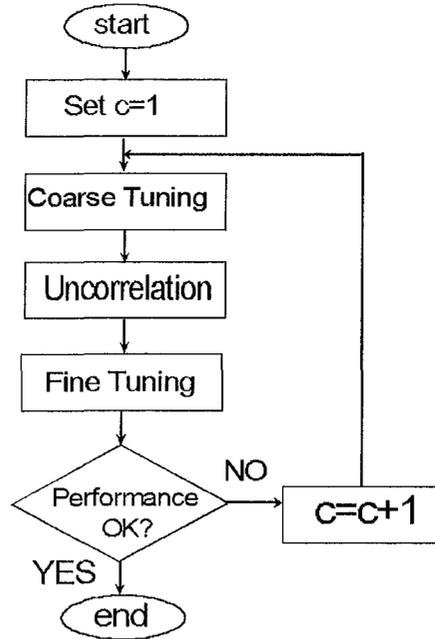


그림 4-47. 입력 데이터 성분간의 상관을 고려한 수정된 SI 퍼지 모뎀링 알고리즘

대략 조정과 미세 조정 과정 사이에 들어가게 되는 비상관 과정(uncorrelation process)의 프로그램 흐름을 자세히 설명한다.

-비상관 과정

이제 (\mathbf{x}_l, y_l) , $1 \leq l \leq n$ 인 n 개의 샘플 데이터 벡터가 주어지, 대략 조정 과정에서 c 개의 클러스터로 나뉘어 지고, i 번째 클러스터(퍼지 규칙)에 속하는 샘플 데이터의 수를 N_i ($\sum_{i=1}^c N_i = n$)라 할 때:

STEP 1: 퍼지 규칙 R^i 에 대해 평균 벡터 \mathbf{m}^i 를 계산한다.

$$\mathbf{m}^i = \frac{1}{N_i} \sum_{\mathbf{x}_j \in R^i} \mathbf{x}_j \quad (i=1, \dots, c)$$

STEP 2: 각 퍼지 규칙 R^i 에 대해 공통 분산 행렬(covariance matrix)

$$\mathbf{C}^i = \frac{1}{N_i} \sum_{\mathbf{x}_j \in R^i} \mathbf{x}_j^T \mathbf{x}_j - \mathbf{m}^i{}^T \mathbf{m}^i \quad (i=1, \dots, c)$$

을 계산하고 그 고유치 및 고유 벡터를 계산한다. $m \times m$ 행렬 \mathbf{C}^i 의 고유치를 라하 $\lambda(\mathbf{C}^i) = \lambda_1^i, \lambda_2^i, \dots, \lambda_m^i$ 고, 또 그 각각에 해당하는 고유 벡터를 $\mathbf{t}_1^i, \mathbf{t}_2^i, \dots, \mathbf{t}_m^i$ 라 한다. 여기서 $\mathbf{t}_j^i = [t_{j1}^i \ t_{j2}^i \ \dots \ t_{jm}^i]^T$ 의 성분을 갖는 벡터이다.

STEP 3: STEP 2에서 구한 고유 벡터를 이용하여 입력 데이터 성분간의 상관을 없앤 다음과 같은 변형된 형태의 퍼지 모델을 형성한다.

$$R^i : \text{If } z_1^i \text{ is } B_1^i(\phi_{11}^i, \phi_{12}^i) \text{ and } z_2^i \text{ is } B_2^i(\phi_{21}^i, \phi_{22}^i) \text{ and} \\ \dots \text{ and } z_m^i \text{ is } B_m^i(\phi_{m1}^i, \phi_{m2}^i), \quad (8)$$

$$\text{then } y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_m^i x_m$$

$$\hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^c \mu^i y^i}{\sum_{i=1}^c \mu^i} \quad \text{이때} \quad \mu^i = \prod_{j=1}^m B_j^i(z_j^i) \quad (9)$$

여기서 $z_j^i = \mathbf{t}_j^{iT} \mathbf{x} = t_{j1}^i x_1 + t_{j2}^i x_2 + \dots + t_{jm}^i x_m$ ($i=1, \dots, c, j=1, \dots, m$) 으로 식 (7)과 일치하는 식이다. 여기서 각 후건부 파라미터는 2절에서 설명한 대략 조정 과정에서 정해진 파라미터이며 전건부 파라미터는 다음 식에 의해 결정된다.

$$B_j^i = \exp\left(-\left(\frac{z_j^i - \phi_{j1}^i}{\phi_{j2}^i}\right)^2\right) \text{에서} \quad (10)$$

$$\phi_{j1}^i = \mathbf{t}_j^{iT} \mathbf{m}^i \text{ (mean)} \quad (11)$$

$$\phi_{j2}^i = \sqrt{2} \times \sqrt{\lambda_j^i} \text{ (deviation)} \quad (12)$$

(\because 통계적으로 볼 때 $\frac{(\phi_{j2}^i)^2}{2}$ 와 λ_j^i 는 각 방향 분산으로 볼 수 있으므로)

이 값들은 나중에 미세 조정 과정에서 초기 값으로 프로그램 된다.

-비상관 과정을 고려한 전체 퍼지 모델링 알고리즘의 구성

본 연구에 전개한 적응 제이기에서 비상관 과정을 고려한 전체 알고리즘의 구성은 이미 앞에서 설명한 바와 같이 그림 4-47과 같다. 그러나 모델의 식이 식(3)(4)에서 식(8)(9)로 바뀌었기 때문에 미세 조정 과정에서의 조정식이 프로그램식 1, 2와는 조금 다르게 되며 이 식은 다음과 같이 표현된다.

프로그램식 1

식(8)(9)로 표현되는 퍼지 모델에 대하여 전건부 조정식은 다음과 같다.

$$\Delta\phi_{jk}^i = \gamma (y_{des} - \hat{y}) (y^i - \hat{y}) \frac{1}{\sum_{i=1}^c \mu^i} \frac{\partial \mu^i}{\partial \phi_{jk}^i} \quad (13)$$

$$\text{여기서 } \frac{\partial \mu^i}{\partial \phi_{j1}^i} = \frac{\partial B_j^i}{\partial \phi_{j1}^i} = \frac{2}{\phi_{j2}^i} \frac{z_j^i - \phi_{j1}^i}{\phi_{j2}^i} \exp\left\{-\left\{\frac{z_j^i - \phi_{j1}^i}{\phi_{j2}^i}\right\}^2\right\}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mu^i}{\partial \phi_{j2}^i} &= \frac{\partial B_j^i}{\partial \phi_{j2}^i} = \frac{2}{\phi_{j2}^i} \left\{\frac{z_j^i - \phi_{j1}^i}{\phi_{j2}^i}\right\}^2 \exp\left\{-\left\{\frac{z_j^i - \phi_{j1}^i}{\phi_{j2}^i}\right\}^2\right\} \\ &= \frac{z_j^i - \phi_{j1}^i}{\phi_{j2}^i} \frac{\partial \mu^i}{\partial \phi_{j1}^i} \end{aligned}$$

프로그램식 2

식(8)(9)로 표현되는 퍼지 모델에 대하여 전건부 조정식은 다음과 같다.

$$\Delta a_j^i = \gamma (y_{des} - \hat{y}) \frac{1}{\sum_{i=1}^c \mu^i} \mu^i x_j \quad (14)$$

수정 프로그램식 1과 2의 증명 과정은 같은 방법으로 보일 수 있으므로 여기서는 생략한다.

여기서 주목할 것은 퍼지 모델링에 있어서 특정 규칙이 0에 가까운 매우 작은 고유치를 갖는 경우 그 고유치가 소수되어 있는 규칙 전체를 무시하여야 한다는 것이다. 이는 고유치중 하나만 0이더라도 실제로 그 규칙은 입력 공간상에서 차지하는 부분이 없기 때문이다.

시뮬레이션 및 연구 결과

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 설계한 알고리즘의 타당성을 확인하였다. 대상으로 사용하는 배양액 공급량과 식물의 성장과의 관계 시스템을 식(15)로 표현하고

$$y = (1 + x_1^{-2} + x_2^{-1.5})^2, \quad 1 \leq x_1, x_2 \leq 5 \quad (15)$$

이는 퍼지 모델의 2차원 정적 비선형 시스템이다. 기존의 퍼지 모델과 성능을 비교함으로 성능을 확인했다. 우선 식 (15)로 표현되는 시스템으로부터 배지내 무게 센서로부터 실측한 데이터를 50개 취득하여 퍼지 모델을 구성했다.

그림 4-48은 다음 퍼지 규칙의 수에 따른 오차의 제곱의 평균의 그래프이다. 퍼지 규칙이 3인 경우 오차가 적음을 알 수 있었다.

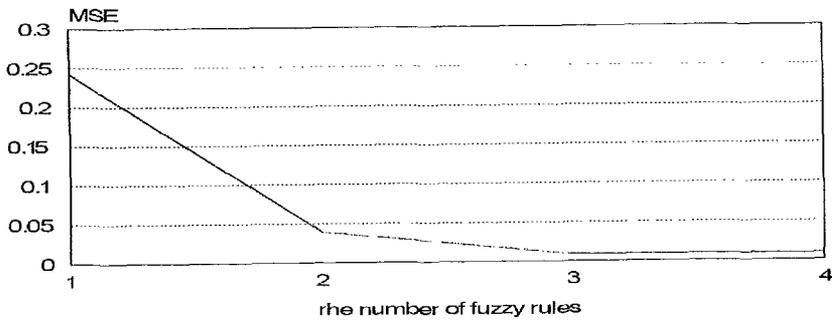


그림 4-48. 배양액 무게예측 모델의 퍼지규칙 수에 따른 오차

그림 4-49는 퍼지 규칙이 3개인 경우, 대략 조정 이후 생긴 클러스터 및 각 클러스터의 주성분 방향을 보인다.

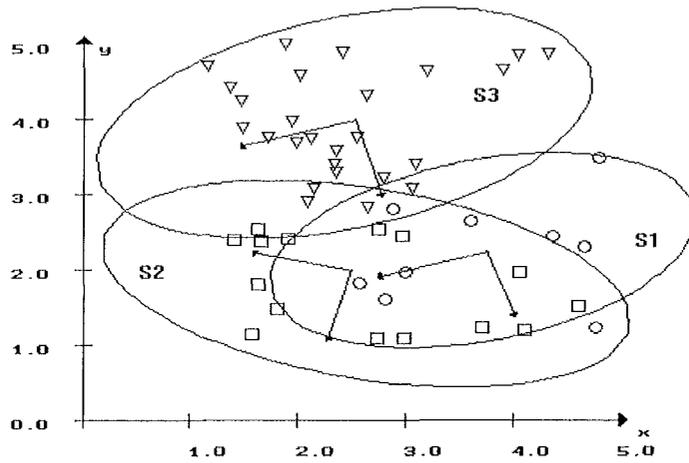


그림 4-49. 대략 조정 이후 생긴 클러스터의 주성분 방향

식(16)은 대략 조정, 이상관 과정, 미세 조정의 모든 과정을 거친 배양액 무게 예측퍼지 모델링 결과이다.

$$R^1 : \text{If } (-0.9480x_1 - 0.3182x_2) \text{ is } B_1^1 \text{ and } (0.3182x_1 - 0.9480x_2) \text{ is } B_2^1 \\ \text{then } y^1 = 3.910624 - 0.362504x_1 - 0.245329x_2$$

$$R^2 : \text{If } (-0.9647x_1 + 0.2632x_2) \text{ is } B_1^2 \text{ and } (-0.2632x_1 - 0.9647x_2) \text{ is } B_2^2 \\ \text{then } y^2 = 7.944374 - 0.529847x_1 - 1.311219x_2$$

$$R^3 : \text{If } (-0.9386x_1 - 0.3450x_2) \text{ is } B_1^3 \text{ and } (0.3450x_1 - 0.9386x_2) \text{ is } B_2^3 \\ \text{then } y^3 = 4.541276 - 1.484543x_1 + 0.066644x_2$$

식 (16)식의 전건부 파라미터는 $B_j^i = \exp(-(\frac{z_j^i - \phi_{j1}^i}{\phi_{j2}^i})^2)$ 에서 표3-1과 같은 결과로 설계하였다.

Table 4-1. 배양액 무게예측 퍼지 모델의 전건부 파라미터

	ϕ_{11}	ϕ_{12}	ϕ_{21}	ϕ_{22}
R^1	-3.487551	0.856906	-1.825514	1.288084
R^2	-3.216354	1.397547	-0.592064	1.236503
R^3	-3.147508	0.644325	-3.206048	1.677419

다음의 평가 함수를 기존의 알고리즘과 비교하여 보면

$$\overline{e^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y(i) - \hat{y}(i))^2$$

0.008754로서 Sugeno-Yasukawa 모델의 0.079, 배양액 무게예측 퍼지 모델의 0.0197로 보다 우수함을 알 수 있다.

-배양액과 성장조건과의 실시간 Data를 이용한 동적 시스템

본 연구에 설치한 실시간 계측 시스템에 의한 Box와 Jenkins의 데이터를 이용하여 설계한 알고리즘의 타당성을 확인했다[17]. 본 데이터는 296개의 샘플 데이터로 구성되어 있고 가스의 흐름 $u(k)$ 을 입력으로 CO_2 밀도 $y(k)$ 을 출력으로 사용했다. 샘플링 주기는 9초로 $u(k), u(k-1), u(k-2)$ 과 $y(k-1), y(k-2), y(k-3)$ 을 입력 데이터로 사용했다.

본 연구에 설계한 알고리즘을 이용한 결과 시스템은 다음과 같다.

R^1 : If $z_1^1(k)$ is B_1^1 and $z_2^1(k)$ is B_2^1 and $z_3^1(k)$ is B_3^1 and,

$z_4^1(k)$ is B_4^1 and $z_5^1(k)$ is B_5^1 and $z_6^1(k)$ is B_6^1 ,

$$\begin{aligned} \text{then } y^1(k) = & 3.350750 + 0.067303 u(k) - 0.155765 u(k-1) - 0.159554 u(k-2) \\ & + 2.028533 y(k-1) - 1.523993 y(k-2) + 0.433772 y(k-3) \end{aligned}$$

R^2 : If $z_1^2(k)$ is B_1^2 and $z_2^2(k)$ is B_2^2 and $z_3^2(k)$ is B_3^2 and

$z_4^2(k)$ is B_4^2 and $z_5^2(k)$ is B_5^2 and $z_6^2(k)$ is B_6^2 ,

$$\begin{aligned} \text{then } y^2(k) = & 11.122767 - 0.398395 u(k) + 1.317115 u(k-1) - 1.545791 u(k-2) \\ & + 1.061814 y(k-1) - 0.152195 y(k-2) - 0.119401 y(k-3) \end{aligned}$$

여기서

$$z_j^i(k) = t_{j1}^i u(k) + t_{j2}^i u(k-1) + t_{j3}^i u(k-2) + t_{j4}^i y(k-1) + t_{j5}^i y(k-2) + t_{j6}^i y(k-3)$$

여기서 실험결과에 의한 진진구 파라미터의 결과값들은 표 4-2와 같다.

Table 4-2. 베양액 무계예측을 위한 실시간 BOX AND JENKINS 데이터에 대한 퍼지 모델의 변환 공간 방향

R^1		t_{11}^1	t_{12}^1	t_{13}^1	t_{14}^1	t_{15}^1	t_{16}^1
	t_1^1	0.383781	-0.772213	0.470807	0.110607	-0.141204	0.050665
	t_2^1	-0.157790	0.184069	0.054114	0.435416	-0.778422	0.377844
	t_3^1	-0.641115	0.085231	0.706665	0.110536	0.157885	-0.212569
	t_4^1	-0.291082	-0.153264	0.064207	-0.670481	-0.026791	0.661359
	t_5^1	-0.573109	-0.577462	-0.512903	0.111458	-0.104111	-0.227490
	t_6^1	-0.060024	-0.074759	-0.094047	0.569204	0.581065	0.565981
R^2		t_{11}^2	t_{12}^2	t_{13}^2	t_{14}^2	t_{15}^2	t_{16}^2
	t_1^2	0.347943	-0.773439	0.508821	0.099183	-0.105402	0.029709
	t_2^2	-0.135676	0.171988	0.081726	0.467546	-0.775896	0.353157
	t_3^2	-0.652936	0.131695	0.674362	0.115685	0.174862	-0.240016
	t_4^2	-0.417541	-0.241571	-0.012286	-0.624402	-0.080953	0.608869
	t_5^2	-0.501398	-0.534573	-0.515178	0.206962	-0.129367	-0.371289
	t_6^2	-0.091996	-0.103658	-0.118738	0.570499	0.577071	0.555169

Table 4 3. 퍼지 모델의 전건부 파라미터

R^1	ϕ_{11}	ϕ_{12}	ϕ_{21}	ϕ_{22}	ϕ_{31}	ϕ_{32}
	1.189447	0.086670	1.721636	0.151560	2.905812	0.459666
R^2	ϕ_{41}	ϕ_{42}	ϕ_{51}	ϕ_{52}	ϕ_{61}	ϕ_{62}
	-1.996836	1.311864	-11.717236	2.316746	91.664431	8.136640
R^1	ϕ_{11}	ϕ_{12}	ϕ_{21}	ϕ_{22}	ϕ_{31}	ϕ_{32}
	1.232271	0.068556	2.288304	0.135880	2.769145	0.514571
R^2	ϕ_{41}	ϕ_{42}	ϕ_{51}	ϕ_{52}	ϕ_{61}	ϕ_{62}
	-5.076363	1.233349	-15.586671	2.442081	91.218627	7.439683

기존의 식물생장에 관한 모델링 방법에 비하여 본 연구에 퍼지 적응제어 개념 안에서 새롭게 구현한 배양액 무게예측 퍼지모델들은 모두 샘플 데이터 성분간의 상관(correlation)을 고려하지 않고 성분들을 독립적으로 다루어 비효율적으로 입력 공간을 분할하는 문제점을 완전히 해결하였다.

본 연구에서는 이 같은 문제점을 해결하고 입력 공간의 분할을 효율적으로 하기 위해 이상관 개념을 도입하여 입력 공간을 분할하는 새로운 방식의 배양액 무게예측 알고리즘을 구현하였다. 배양액의 무게예측 모델링 개념은 기본적으로 퍼지 모델 방법에 적용되었지만, 기존의 다른 식물 생장에 관한 모든 제어응용에 적용 가능 할 것으로 생각 된다.

본 연구에서 설계한 전문가 시스템은 최적의 입력 데이터와 출력 데이터를 실험을 통해 추출하여 이를 비선형 모델링을 통해 구현하는 모델 기반 전문가 시스템을 사용한다. 본 연구에서 사용한 비선형 시스템을 묘사하는 모델은 앞서와 같은 2개의 요소를 입력으로 사용하고 원하는 배지내의 배양액의 무게를 출력으로 갖는 시스템으로 설계한 것도 큰 특징중의 하나이다.

제4절 적극적 관수 및 배양액 공급시스템 적용

1. 저가형 계측 시스템 개발

가. FECA에 의한 배양액 제어

연구 방법

분산제어의 셀 단위의 메인 제어기인 산업용 컴퓨터에는 두 개의 인터페이스 카드가

부착이 된다. 센서로부터 데이터를 받아 처리를 해주는 ADC 보드와 디지털 출력을 위한 Digital I/O 보드이다. 이 보드들이 터미널을 통해 각각 시스템의 센서와 구동펄프 등에 연결이 된다. 이렇게 연결된 시스템은 센서에서 값을 읽어 데이터를 처리하고 그때마다 필요한 데이터를 저장 또는 출력을 하게된다.

연구 내용 및 결과

농업 자동화에 있어 작물 성장의 제어는 작물의 비선형성과 강력한 시변성에 기인해 만족한 결과를 얻지 못하고 있다. 본 장에서는 퍼지 전문가 시스템에 기초를 둔 새로운 제어 알고리즘 (FECA, Fuzzy Expertized Control Algorithm)구조를 제안하고 이를 통해 작물 성장을 제어하도록 한다. 작물 성장 시스템은 비선형 시변 시스템으로 수학적으로 표현이 어렵고 매우 많은 불확실성이 관여하는 시스템이다. 농업 작물 성장 시스템은 농업 전문가의 경험에 의한 생산방식이 가장 훌륭한 성장 방식으로 받아들여지는 분야로 전문가의 의견을 그대로 제어 방식으로 표현할 수 있는 퍼지 제어 알고리즘이 가장 적당한 방법이라고 생각할 수 있다. 본 논문에서는 퍼지 전문가 기반 제어 알고리즘 (FECA, Fuzzy Expertized Control Algorithm) 구조를 통해 식물 성장 제어 시스템을 구현하도록 한다. FECA는 크게 퍼지 모델 기반 전문가 시스템 (FMES, Fuzzy Model Based Expert System)으로 구성으로 되어 있다. FECA의 구조는 크게 퍼지 모델 기반 전문가 시스템(FMES)과 퍼지 논리 제어기(FLC)의 직렬혼합구성으로 되어 있다. FMES는 작물 성장 시스템의 시변성을 반영하여 이를 상쇄하도록 설계되는 부분으로 원하는(desired) 배지안의 배양액의 양을 발생(generation)시키는 역할을 한다. 이쯤에서 알 수 있듯이 전문가의 의견을 반영한 데이터를 추출하여 퍼지 모델을 형성하고 이를 기반으로 한 제어 시스템이다. 퍼지 모델로는 최근 각광을 받고 있는 클러스터링기법을 이용한 퍼지 모델을 이용한다. FLC는 식물 제어에 발생하게 되는 비선형성을 극복하도록 설계되는 부분으로 식물 성장 시스템의 강한 비선형성과 시변성을 상쇄하며 동시에 농업전문가의 경험을 포함하는 퍼지 적응 제어기를 사용하도록 한다. 사용한 퍼지 모델링 알고리즘은 대략 조정과 미세 조정의 두 단계로 구성된다. 대략 조정에서는 후건부와 전건부 파라미터가 클러스터링 알고리즘에 의해서 근사적으로 조정되며 미세 조정시에는 후건부 및 전건부 파라미터가 더욱 정확하게 조정되어 퍼지 모델링을 달성하게 된다. 본 논문에서 사용되는 알고리즘은 대략 조정시 이중 클러스터링 방법을 사용하여 이중 클러스터링시 샘플 데이터는 공간 분할되며 각 영역에 대해서 가장 적합한 퍼핀 모델의 파라미터에 대한 추정치를 제공해 준다. 퍼지 전문가 기반 제어 알고리즘(FMES)에서 나온 추론 결과를 원하는 배지의 무게로 하고 실제 배지의 무게가 FMES의 추론 결과를 따를 수 있도록 제어시스템을 구축한다. 본 식물 재배 제어 시스템은 비선형적이고 불확실한 시스템이며 또 식물의 생장이 외부 외란으로 작용하는 대단히 복잡한 시스템

으로 이를 수학적인 시스템 모델을 통한 접근 방식은 대단히 어렵다고 할 수 있다. 이 시스템의 제어 전략은 농업 전문가의 제배 방식을 표현할 수 있으면 불확실성을 대처할 수 있는 방법을 선택하여야 하는데 이에 가장 적당한 방법이 퍼지 제어 방법이다.

2. 메양액 무게의 다중 제어시스템의 개발 (Multi Control System)

가. 메양액 계측 제어 시스템

연구 방법

본 연구에서는 무게를 측정하는 정밀한 계측 시스템을 설계하였다. 무게를 측정하는 센서에 해당하는 무게 센서 부의 설계는 4개의 Load Cell을 사용하여 부하 무게를 분산 처리하므로 센서 시스템 전체가 측정할 수 있는 무게의 범위를 4배로 늘리면서 정밀도는 그대로 유지할 수 있도록 설계하였다.

연구 내용 및 결과

무게 측정 센서는 기계적인 베이스와 부하 지지 베이스 그리고 부하 전달 기계 부로 나눌 수 있으며 기계 베이스는 사각 상자 모양의 샤시에 4개의 모서리에 Load Cell을 장착하기 위한 Load Cell Jig와 Load Cell을 바닥으로부터 공간적인 Gap을 형성하기 위한 기구 부로 설계하였으며 그 위에 4개의 Load Cell이 장착되어진다. 본 논문에서 설계한 무게 측정 센서 시스템에 사용한 Load Cell은 CAS사의 Single Point Load Cell로서 모델은 BCA-50L Load Cell이다. 본 연구에서 새들(Saddle)을 이용하여 전달 기구 부를 설계함으로써 기계적인 수평 유지와 부하 지지판의 어떤 위치에 부하가 설치되어도 4개의 Load Cell에 균등하게 부하가 분배 되도록 하는 새로운 기법의 설계 기술을 사용하였다.

나. 다중 계측시스템의 개발 (Multi Measurement System)

연구 방법

계측된 데이터를 정리하고, 연구하는 대부분의 경우에는 컴퓨터를 많이 사용을 한다. 그 중에서도 개인용 컴퓨터가 차지하고 있는 비중은 거의 대부분을 차지 할 것이다. 일반적으로 계측장비의 대부분은 컴퓨터와 인터페이스를 하기 위해 직렬포트를 많이 사용을 하게 된다. 이번 연구에 사용되어지는 무게 센서의 경우도 직렬포트를 통해 계측되어진 데이터를 개인용 컴퓨터에 보내지게 된다. 그러나 일반적으로 개인용 컴퓨터에는 사용할 수 있는 직렬포트 수는 2개에 불과하다. 따라서 2개 이상의 직렬포트를 사용하기 위해서는 별도의 다른 시스템이 필요하게 된다. 여러 개의 배드를 사용하기 위해서 다음과 같이 설계했다.

연구 내용 및 결과

다음 그림 4-50은 다중 계측시스템의 구조이다.

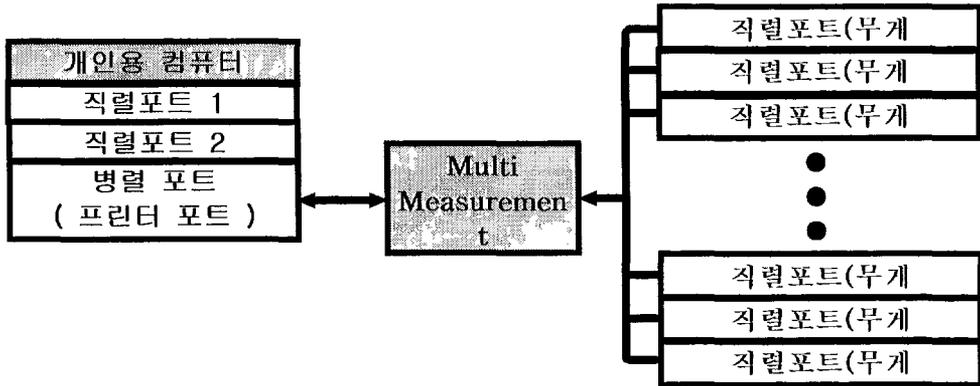


그림 4-50. 다중 계측시스템의 구조

1) 다중 채널 계측시스템의 하드웨어

다중 채널 계측시스템의 하드웨어는 크게 2가지로 나누어진다.

첫 번째가 병렬통신을 위한 회로이고 두 번째가 센서에서 오는 데이터를 받아 순수 데이터로 만들어주는 부분이다.

각 개인용 컴퓨터마다 병렬포트가 있다. 대부분은 프린터를 연결해 사용하는 포트로 되어있다. 여기서 이 포트를 사용해 센서의 값을 다중 채널 시스템에서 받게 된다. 다음은 병렬통신을 위한 회로도이다. 여기서 SPP Mode를 사용하지 않고 EPP Mode를 사용하였다.

그림 4-51에서 보면 3상태 버퍼를 사용해 병렬포트의 데이터를 입출력 할 수 있게 하였다. 이 3상태 버퍼의 유효 신호를 만들기 위해서 PLD(PALECE16V8)을 사용하였고 PLD의 입력 신호는 병렬포트에서 만들어지는 신호로 사용을 하였다.

다음은 PALECE16V8에 사용되어진 신호 규칙이다.

Device SM16V8

Reduced Equations:

```

data_in = !(data_st & write);
data_out = (!data_st & !write);
addr_in = !(addr_st & write);
addr_out = (!addr_st & !write);
no_wait = !(write);
wr       = !(write);
    
```

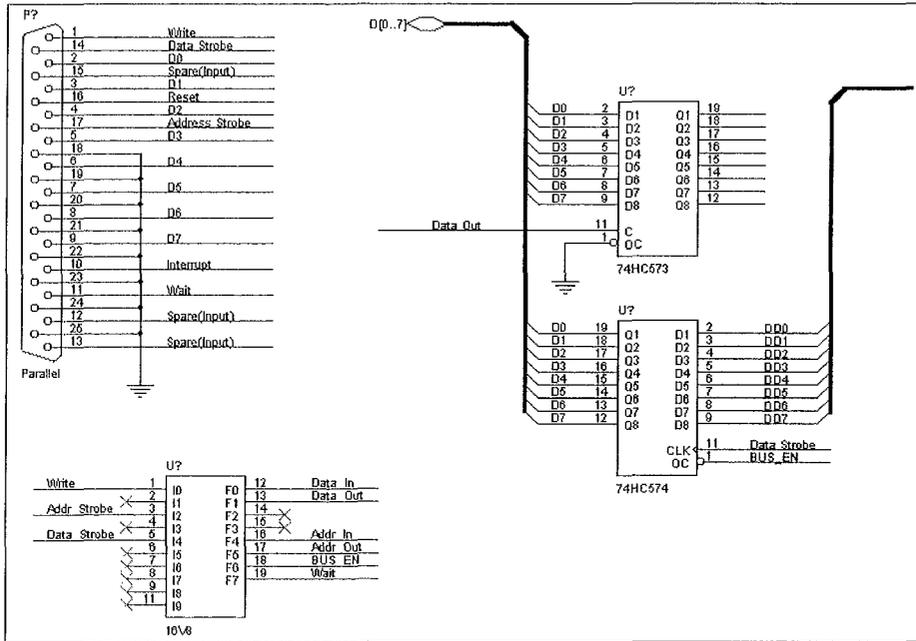


그림 4-51. 병렬포트 인터페이스 회로

MPU보드에 실장 되어지는 AT89C2051은 내부에 RAM 메모리와 EEPROM을 가지고 있는 저전압, High-Performance의 CMOS 8Bit 마이크로 컴퓨터이다.

AT89C2051의 특징은 다음과 같다.

- MCS-51과 완벽한 호환
- 2Kbyte의 플래시메모리 내장
- 128 * 8Bit의 내부 RAM
- 2개의 16Bit Timer
- 6개의 인터럽트 소스
- 프로그래밍이 가능한 Serial UART Channel : RX, TX

다음은 각각의 AT89C2051로 보내지는 신호를 만들어 내는 디코더(Decoder)회로이다.

개인용 컴퓨터에서 보내진 데이터가 3상태 버퍼로 Select 신호를 보내지면 3개의 74HC138의 입력으로 사용되게 된다. 각각의 HC138은 MPU보드로 보내지고 선택되어진다. AT89C2051이 각 MPU보드에 8개씩 실장 되어있다. 6Bit의 Select 신호를 가지고 24개의 AT89C2051을 선택하며

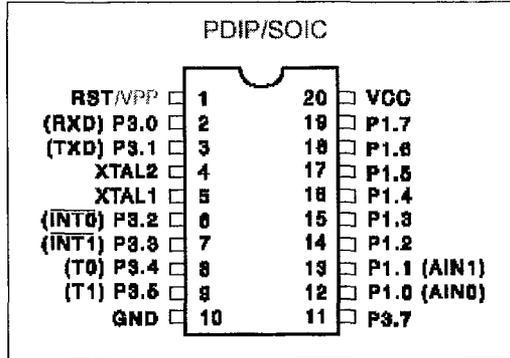


그림 4-52. AT89C2051

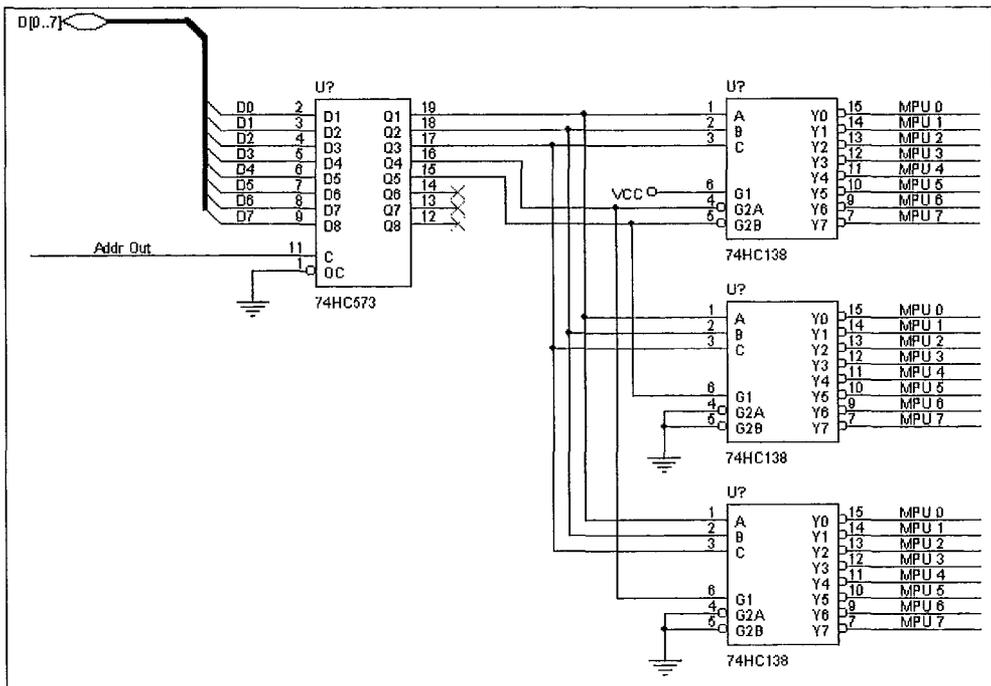


그림 4-53. MPU 디코더 회로

동시에 각각의 AT89C2051은 현재 가지고 있는 유효 데이터를 병렬포트를 통해 개인용 컴퓨터에 보내지게 된다.

그림 4-53은 MPU보드의 회로도이다.

위 회로도에서는 24개중 3개의 AT89C2051의 회로만을 표시하였다.

AT89C2051은 24MHz까지 동작을 하지만 여기서는 센서데이터를 받기 위해

11.0592MHz를 사용하였다. 소스 클럭을 위와 같이 사용을 하면 직렬통신에 필요한 직렬 통신속도를 9600bps로 사용을 할 수 가있다. 각각의 AT89C2051의 내부포트 1에는 HC573이 연결되어있어 서로 데이터가 충돌 없이 안전하게 데이터를 전달 할 수 있다. 3상태 비퍼인 HC573의 출력 허용 신호는 MPU 디코더에서 만들어지는 신호를 사용한다. AT89C2051는 컴퓨터에서 신호를 보내지 않으면 최근의 무게 데이터를 받아 유효데이터로 만들어 컴퓨터의 신호를 기다리게 된다. 선택신호는 AT89C2051의 인터럽트0번에 연결되어 3상태 비퍼와 같이 신호를 받아 컴퓨터에게 데이터를 전달하는 하드웨어 적인 구조를 가지고 있다.

AT89C2051인 MPU를 8개를 신장한 보드가 3개가 있다.

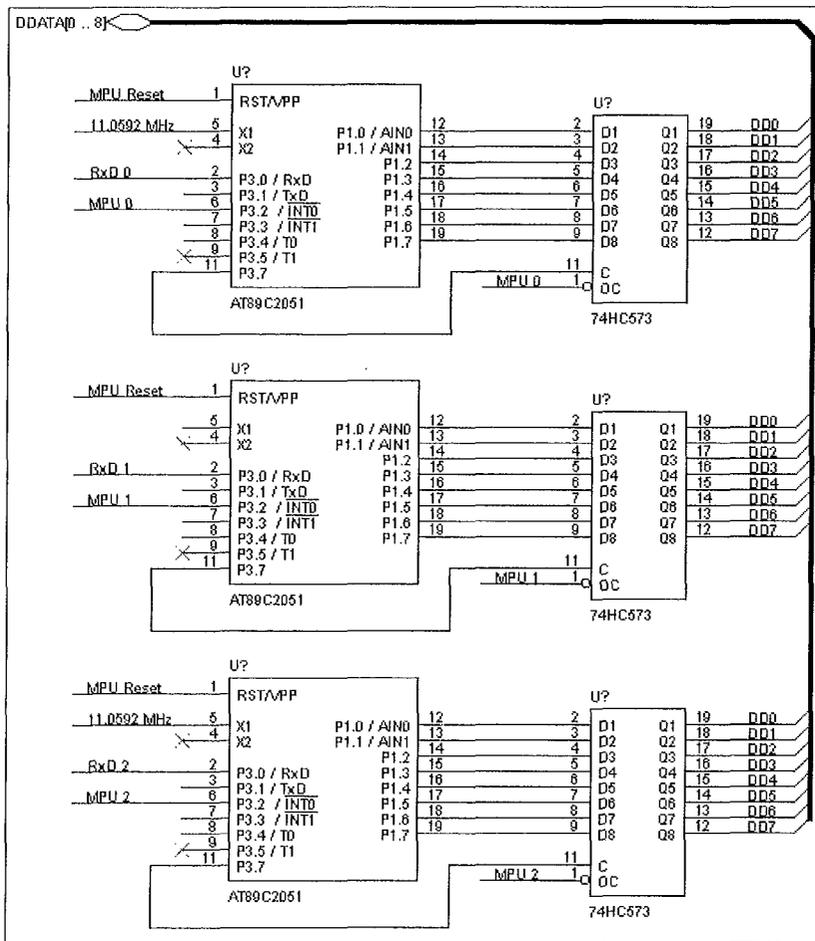


그림 4-54. MPU보드의 회로도

나. 다중 채널 계측시스템의 소프트웨어

개인용 컴퓨터에서 다중 채널 계측시스템으로부터의 데이터를 받기 위해서 컴퓨터에 소프트웨어를 가지고 있어야 한다. 여기서는 개인용 컴퓨터에서 사용되어질 프로그램은 윈도우즈 환경에 적합한 Visual C++을 사용하였다.

다중 채널 계측시스템의 소프트웨어는 크게 Visual C++과 AT89C2051에 사용된 Keil사의 C51 C-Language로 나눌 수 있다.

AT89C2051의 소프트웨어를 보면 표준 ANSI C를 기본으로 하는 C언어와 ASM 이 있는데 여기서는 이식성이 좋은 C언어를 선택을 하였다. 그림 4-55는 AT89C2051에서 사용한 알고리즘을 흐름도로 나타낸 것이다. 그림 4-55에서 보는 데이터 분석루틴은 센서 디텍터에서 오는 22Byte 전송 포맷을 해석하고 거기에서 유효데이터를 추출하는 부분이다. 이 부분에 해당하는 프로그램을 함께 간략히 보여준다.

//////////////////// 서브 루틴 //////////////////////////////////////

```
void CASData(void)
{
    char Count;
    for(Count=0; Count<=BUFFER_LENGTH; Count++)
    {
        Buffer[Count] = ReadData();
    }
}

int Search(char Key)
{
    char i;
    for(i=0;i <=BUFFER_LENGTH ;i++)
    {
        if(Key == Buffer[i]) return i;
    }
    return -1;
}
```

//////////////////// Main Function에서 사용되어짐 //////////////////////////////////////

```
while(1)
{
    CASData();
    if((count=Search(0x53)) != -1) //
```

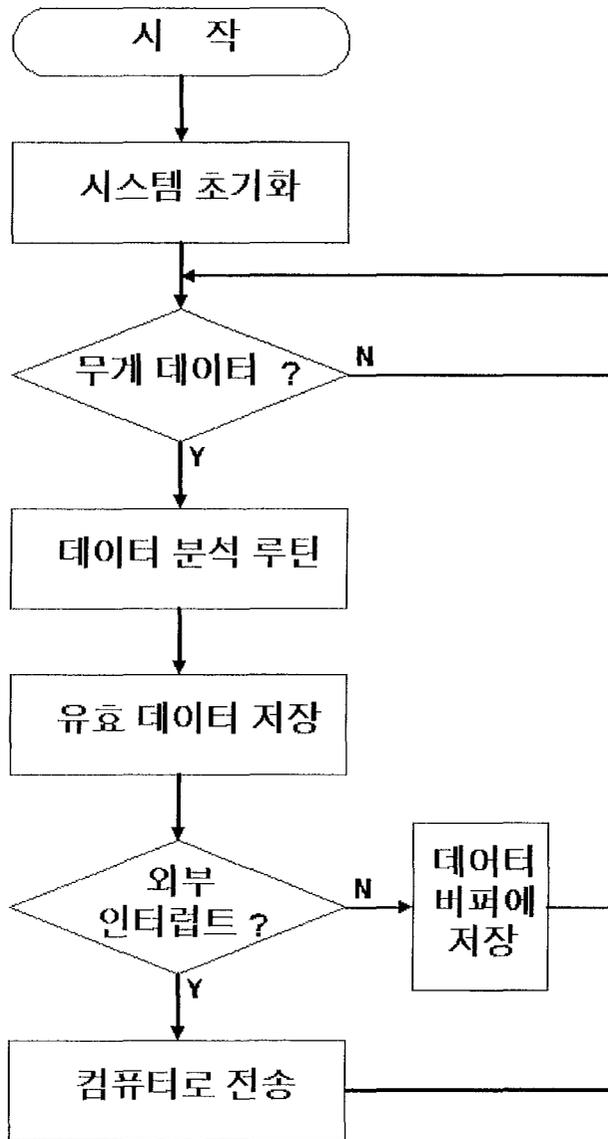


그림 4-55. AT89C2051의 프로그램 흐름도

```

{
if(Buffer[count+1] == 0x54) //
{
for(i=count+9; i<=count+16; i++)
{
if(0x2c==Buffer[i])
count1 = i;
}
if((Buffer[count1-2] >= 0x30) && (Buffer[count1-2] <=

```

0x39))

```
        IntValue = (Buffer[count1-2]-48)*10;
    else
        IntValue =0;

    IntValue =(Buffer[count1-1] - 48) + IntValue;

    FloatValue = (Buffer[count1+1]-48)*10;
    FloatValue += (Buffer[count1+2]-48);
    Select =1;
    while(Select);
    P1 = IntValue|0x80;
    // Delay(1);
    P1 = FloatValue|0x00;

}

if(Buffer[count+1]==0x2c) //
{
    Select = 1;
    while(Select);
    P1= 0xff;
}
}
```

위 프로그램을 컴파일 하여 롬 라이터로 AT89C2051에 기계어를 쓰게 된다. 외부 인터럽트의 부분은 생략이 되어있다. 윈도우즈 상에서 사용되어질 프로그램은 VC++ 6.0 버전으로 만들어 졌다. 기본 베이스는 대화창 형식으로 하였고 사용자의 설정을 위한 창이 하나 만들어져 있다. 다음 그림은 메인 프로그램을 실행 시켰을 때이다.

그림 4-56에서 현재 사용자 설정이라는 부분이 있다. 이 부분은 메뉴에서 사용자가 설정을 마치면 병렬포트의 물리적인 주소가 업데이트 되고 보이지 않는 여러 설정 값들이 업데이트 된다. 파일 상태를 표시하며, 현재 컴퓨터의 시간을 이용해 데이터를 읽을 때 시간까지 같이 표시를 해주게 된다. 무게 센서 포트는 각각 포트의 값을 정해진 시간마다 사용자의 눈에 보여지게 된다. 이러한 포트 사용여부나 데이터 샘플링 시간은 메뉴에서 사용자 설정을 클릭 하면 설정이 가능하다. 이렇게 사용자는 설정을 마치고 메인 화면에 보이는 무게 받기 버튼을 사용하면 데이터를 받게 된다. 중지 버튼을 사용하면 모든 시스템이 정지가 되며 MPU보드에서는 다시 신호가 올 때까지 계속 최신 무게 데이터를 업데이트 하게된다. 프로그램 적으로 보면 무게 받기 함수에는 사용자가 설정한 샘플링 타임을 갖는 타이머주기를 설정하며, 타이머를 가동하게 된다.

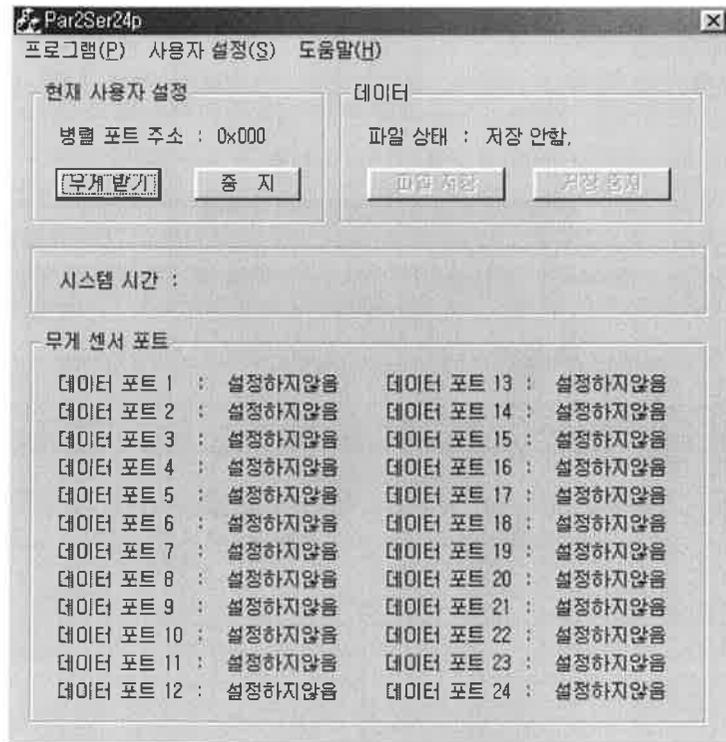


그림 4-56. 다중 제어시스템 프로그램의 실행

다음은 무게 받기에서 실행되는 프로그램 코드의 부분이다.

```
void CPar2Ser24pDlg::OnGoTimer()
{
    KillTimer(1);
    KillTimer(2);
    OnSave();

    switch(sDlg.m_file_write)
    {
        case 0:
            SetTimer(2, 1000, NULL);
            break;
        case 1:
            SetTimer(1, 1000, NULL);
            break;
        default:
            break;
    }
}
```

사용자가 시스템을 설정하기 위해서는 메뉴에서 사용자 정의를 선택해야 한다. 메뉴에서 프로그램이라고 하는 부분은 프로그램을 안전하게 종료를 할 수 있도록 되어 있다.

다음 그림 4-57은 사용자 설정을 선택하고 그 결과의 그림이다.



그림 4-57. 사용자 설정

그림 4-58에서 가장 위에 있는 것은 병렬포트의 물리적 주소를 설정하는 것이다. 대부분의 개인용 컴퓨터는 0x378을 사용하므로 여기서는 이 주소를 디폴트로 설정을 하였다.

다음은 포트 사용 유무이다. 24개의 포트 중 사용자가 원하는 포트만을 골라서 사용을 할 수 있게 되어있다. 사용할 포트번호에 체크만 하고 사용을 하면 된다. 다음은 데이터

파일에 대한 설정이다. 라디오 버튼은 현재 샘플링 되는 데이터를 파일에 저장을 할 것인지 아니면 화면상에만 보일 것인지를 설정하는 부분이다. 여기서 파일에 저장을 하여도 화면상으로 볼 수 있게 되어있다. 화면에만 출력을 하는 것은 센서 값을 조정하는데 사용되어지도록 만들어졌다.

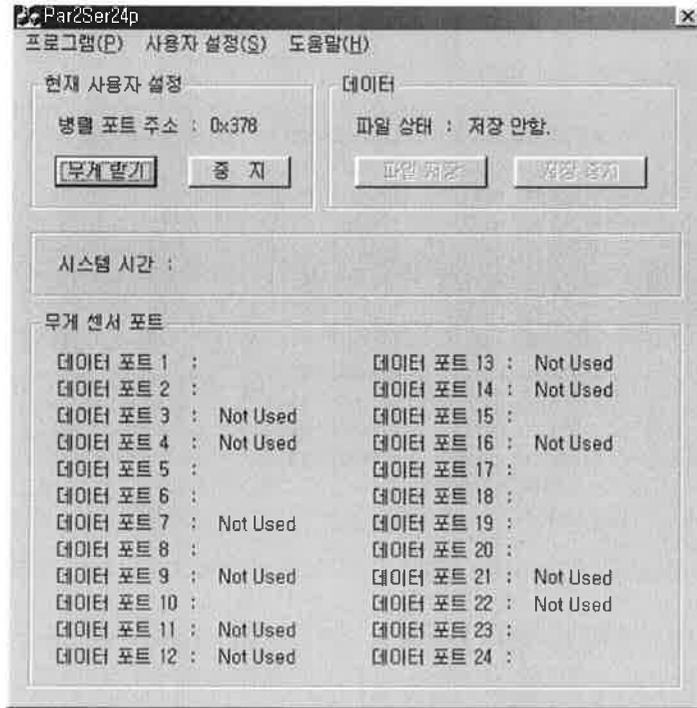


그림 4-58. 사용자 설정 후 프로그램

파일은 저장 라인 수만큼 기록이 되며, 다시 다음 파일로 넘어가 기록을 하게 된다. 파일 이름은 기록하고 있는 날짜로 되고 확장자에는 그 날짜에 생긴 데이터의 수가 표시가 된다. 저장 시간은 샘플링 시간을 나타내며 단위는 초이다. 이 시간은 프로그램에 표시되고 파일에도 무게 데이터와 같이 기록이 된다. 이러한 사용자 설정이 끝나고 설정 버튼을 선택하면 메인 화면이 바뀌게 된다. 사용되어지지 않는 포트는 사용을 하지 않는다는 것을 표시해주고 나머지는 현재 읽혀지는 데이터를 표시한다. 다음은 사용자 설정 부분에 대한 프로그램이다.

```
void CPar2Ser24pDlg::OnSetPar()
{
    KillTimer(1);
    KillTimer(2);
    CString str;
```

```

char addr0[10];
int  addr00;
str.Format("%x", ParAddr);
sDlg.m_par_addr = str;
m_dis_addr = str;
sDlg.m_max_line = MaxLine;
sDlg.m_write_time = nTime;

if(sDlg.DoModal() == IDOK)
{
UsedPort[0] = sDlg.m_dp1;    UsedPort[1] = sDlg.m_dp2;
UsedPort[2] = sDlg.m_dp3;    UsedPort[3] = sDlg.m_dp4;
UsedPort[4] = sDlg.m_dp5;    UsedPort[5] = sDlg.m_dp6;
UsedPort[6] = sDlg.m_dp7;    UsedPort[7] = sDlg.m_dp8;
UsedPort[8] = sDlg.m_dp9;    UsedPort[9] = sDlg.m_dp10;
UsedPort[10] = sDlg.m_dp11;  UsedPort[11] = sDlg.m_dp12;
UsedPort[12] = sDlg.m_dp13;  UsedPort[13] = sDlg.m_dp14;
UsedPort[14] = sDlg.m_dp15;  UsedPort[15] = sDlg.m_dp16;
UsedPort[16] = sDlg.m_dp17;  UsedPort[17] = sDlg.m_dp18;
UsedPort[18] = sDlg.m_dp19;  UsedPort[19] = sDlg.m_dp20;
UsedPort[20] = sDlg.m_dp21;  UsedPort[21] = sDlg.m_dp22;
UsedPort[22] = sDlg.m_dp23;  UsedPort[23] = sDlg.m_dp24;
nTime = sDlg.m_write_time;
str = sDlg.m_par_addr;
strcpy(addr0, str);
addr00 = theApp.Hex2Dec(addr0);
if(addr00 < 1)
    AfxMessageBox("ERROR : 하드웨어 주소가 잘못....");
else
    ParAddr = addr00;
ExData = ParAddr + 4;
ExAddr = ParAddr + 3;
str.Format("%x", ParAddr);
m_dis_addr = "0x" + str;
UpdatePortInfo(UpSet);
MaxLine = sDlg.m_max_line;
UpdateData(FALSE);
}
}

```

위에서 보듯이 설정을 완료하면 각각 많은 설정 값들이 시스템에 필요한 곳으로 저장
이 된다. 이렇게 설정된 값에 따라 시스템이 움직이게 된다.

다음은 파일을 생성하는 프로그램이다.

```

void CPar2Ser24pApp::MakeFiles()
{
    CString str, str1, str2, str3;

```

```

    tData.tm_mon += 1;
    if(tData.tm_mday == FileCMP)
        FileNum++;
    else
    {
        FileNum = 0;
        FileCMP = tData.tm_mday;
    }
    str1.Format("%d", tData.tm_mon);
    str2.Format("%d", tData.tm_mday);
    str3.Format("%d", FileNum);

    if(tData.tm_mon < 10)
        str = "00_0" + str1 + "_";
    else
        str = "00_" + str1 + "_";
    if(tData.tm_mday < 10)
        str = str + str2 + ".d" + str3;
    else
        str = str + str2 + ".d" + str3;
    str = "data\\" + str;
    if(sDlg.m_file_write == 0)
        fp = fopen(str, "w+");
}

```

파일을 생성할 때 시스템의 시간을 사용해서 파일 이름을 만드는 것을 볼 수 있다. 그리고 data 라는 폴더에 연속으로 저장을 할 수 있다.

3. 농작 자동 관수 및 배양액 관리에 의한 고품질 생산 시스템 적용 및 개선

연구 방법

양액 재배에서 그 동안 자동제어가 불가능한 것으로 인정되어 왔던 것이 작물의 최상의 성장 즉 과체류인 경우 그 열매의 수와 당도 그리고 크기 등을 최적화하는 제어이다. 이것은 시설재배의 자동화가 추구하는 많은 장점들 중에서 최고의 목표이기도 하다. 최근에 와서 시설재배에서 내부 또는 외부의 환경제어는 간단한 피드백(feedback) 제어에 의하여 자동화를 실현시켜왔으나, 배양액의 조성비 제어와 작물생장의 최적제어는 제어 방법상의 어려운 문제에 부딪혀 제 자리 걸음에 머물러 있다. 특히 작물 생장의 최적제어는 모든 종류의 작물이 재배 환경에 대한 그 특성 변화가 매우 큰 비선형성(non-linearity)을 갖고 있어서 모델링이 불가능하며, 성장시기에 따라서 동종의 작물이라도 그 특성변화가 매우 크게 나타나는 강력한 시변 시스템(time-varying system)이다. 그러므로 본 연구에서는 시변성 및 비선형성이 매우 큰 작물의 성장 최적화 제어에 Fuzzy 전문가 시스템과 Fuzzy논리제어 방식을 직렬로 혼합한 새로운 제어방식(FECA;

Fuzzy Expertized Control Algorithm)을 적용하여 시변성은 Fuzzy 전문가 시스템으로 비선형은 Fuzzy논리제어방식으로 극복함으로써 작물의 최적 성장을 실현하였다. 이 때 사용한 입력은 배양액의 급액량으로 배양액의 배지 내 양을 제어하고, 그 것을 위한 피드백 센서로는 배지내 수분량을 정밀하게 측정할 수 있는 중량센서(weighing system)을 설계 제작하여 사용하였다.

연구 내용 및 결과

작물 성장 시스템은 비선형 시변 시스템으로 수학적으로 표현이 어렵고 매우 많은 불확실성이 관여하는 시스템이다. 특히 작물 성장 시스템은 제배 전문가의 경험에 의한 생산방식이 가장 훌륭한 성장 방식으로 받아들여지는 분야로 전문가의 의견을 그대로 제어 방식으로 표현할 수 있는 Fuzzy 제어 알고리즘이 가장 적당한 방법이라고 생각하여 그것으로 설계하였다. 본 연구에서는 Fuzzy 전문가 기반 제어 알고리즘(FECA; Fuzzy Expertized Control Algorithm) 구조를 통해 식물 성장 제어 시스템을 구현하였다. FECA는 크게 Fuzzy 모델 기반 전문가 시스템 (FMES, Fuzzy Model Based Expert System)과 적응 Fuzzy 논리 제어기 (AFLC, Adaptive Fuzzy logic control)의 직렬 혼합 구성으로 되어 있다. FMES는 작물 성장 시스템의 시변성을 반영하여 이를 상쇄하도록 설계되는 부분으로 원하는(desired) 배지 안의 배양액의 양을 발생(generation)시키는 역할을 한다. 이로부터 알 수 있듯이 전문가의 의견을 반영한 데이터를 추출하여 Fuzzy 모델을 형성하였다. Fuzzy 모델로는 최근 각광을 받고 있는 클러스터링기법을 이용한 Fuzzy 모델을 이용하였다.

FLC는 식물 제어에 발생하게 되는 비선형성을 극복하도록 설계되는 부분으로 식물 성장 시스템의 강한 비선형성과 시변성을 상쇄하며 동시에 농업전문가의 경험을 포함하는 Fuzzy 적응 제어기를 사용하도록 한다. 최근 여러 가지 Fuzzy 제어기가 제안되고 있고 이들 중 모델 기반 제어 기법(model based control algorithm)등이 있지만 본 연구에서는 전문가의 의견을 포함하며 시변 비선형을 극복하는 가장 적당한 제어 기법으로 생각되는 Wang의 기법을 사용하였다.

퍼지 모델기반 전문가 시스템은 작물 성장 시스템의 시변성을 극복하는 부분으로 작물의 당도 및 크기 속도를 최적화할 수 있는 배지 내 배양액의 양을 식물의 여러 가지 요소를 파악하여 결정하는 부분이다. FMES(Fuzzy Model-Based Expert System)는 내부구조가 2가지의 기능으로 나눌 수 있으며 각각 퍼지 관계식에 의해 기술되어 있는 배지 내 배양액의 무게 예측 모델과 모델 계수 및 차수를 수정하는 학습기능으로 나누어 설계하였다. 학습 기능은 모델이 높은 예측 정밀도를 유지하기 위하여 설계한 기능이다.

• 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 4-59는 약 20일간의 측정된 멜론의 무게 데이터이다. 위 곡선은 퍼지 제어 이론

을 적용해서 키워진 멜론의 무게의 데이터이고, 아래 곡선은 자연적으로 자라난 멜론의 무게의 데이터이다. 그림에서 보듯이 연속적인 멜론의 무게 곡선이 서로 비슷한 패턴으로 퍼지 제어 이론을 적용해서 키워진 멜론이 무겁게 나타난다. 멜론이 성장에 필요한 양분을 퍼지 제어가 배양액을 통해 공급을 충분히 해주기 때문이다.

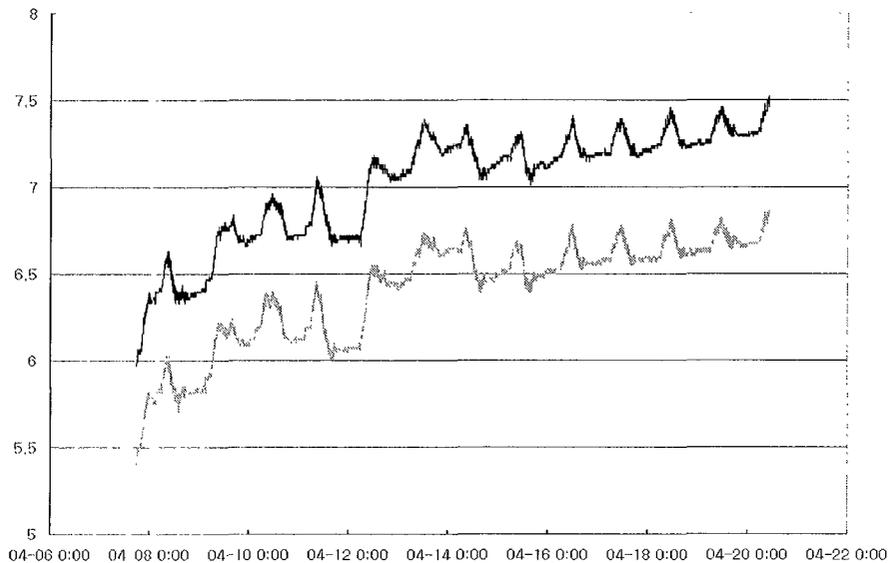


그림 4-59. 퍼지를 적용한 멜론과 자연적으로 성장한 멜론의 무게

제5절 동적자동관수 및 배양액 관리 시스템

1. 배양액 조성 프로그램 개발

가. 배양액 조성비 제어 시스템의 완성

연구 방법

본 연구는 시설내 작물재배 시스템의 완전자동화를 구현함과 동시에 자동 제어 방식 설계상에 존재하는 많은 문제들 때문에 실현하지 못했던 작물의 직접제어자동화를 구현하였으며, 시작품의 제작을 완성하여 상품화의 전 단계까지를 실현하였다. 시설내 작물 재배 자동제어 시스템은 제어대상에 따라서 세 가지로 구분될 수 있다. 시설외로부터 기상 환경 등을 개측하여서 시설내 재배 제어에 응용하는 외부 환경 제어, 시설 내부 환경을 직접 개측하고 제어하는 내부 환경 제어, 작물의 성장에 직접 공급되는 배양액의 적절한 조성에 관련된 배양액 제어로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 이 세 가지의 자동

제어시스템을 완전 실현하며, 배양액의 급액량을 제어함으로써 작물의 우량 성장을 자동적으로 조절할 수 있는 고난도 제어시스템을 설계하였다.

연구 내용 및 결과

작물생산 시스템을 통한 동적 자동 제어를 위해서는 각종 환경요인들을 계측하고, 이를 환경제어의 피드백(feedback) 신호로 활용할 수 있어야 한다. 이를 위하여 계측대상이 되는 재배 및 환경 요인들을 선정하고, 온실 계측 시스템 및 모니터 소프트웨어를 개발하였다. 또한 작물을 재배하는데 직접 공급되는 배양액의 조성비 제어는 배양액을 구성하는 비료들과 pH 그리고 온도 등을 작물의 성장 시기와 성장 상태 그리고 성장 환경에 따라 적절한 구성비로 섞어주는 제어 시스템이다. 그 동안 이것은 입출력이 많고, 제어의 마지막 대상인 작물의 성장 모델링(modeling)이 어려운 관계로 수동 제어 또는 단순 시간 제어를 세계적으로 사용하고 있는 실정에 있다. 그러므로 본 연구에서는 모델 없이 비선형성이 강한 제어대상 시스템에 적절한 퍼지 제어 방법으로 그 동안의 문제를 완전히 극복한 적절한 배양액 조성 제어 시스템을 구현하였다. 그림 4-60은 배양액 조성비 제어 시스템을 포함하는 제어 통합 시스템의 주 화면을 그림 4-60에서 볼 수 있다

시설재배 자동화는 유리온실 내에서 자라는 식물에 대해 크게 환경제어와 재배제어 부분으로 나누어진다. 유리 온실내부의 환경변수를 사용하여 제어를 하는 경우가 내부 환경제어이고 유리온실 주위의 환경변수를 사용하게 되면 외부 환경제어이다. 이러한 환경변수를 받아 유리온실의 환경을 조절하게 된다.

나. 환경제어시스템의 시작품 제작

연구 방법

환경제어는 시설 내부 환경제어와 시설 외부 환경제어로 나누어진다. 시설 내부환경 제어에서 사용되어지는 환경변수는 습도, 광도, 온도를 사용한다. 시설 외부의 환경제어는 유리온실 외부의 환경변수를 측정해 식물의 성장 환경을 최적화하는 것이다. 시설 외부 환경변수로써 기온, 습도, 광도, 강우, 풍향, 풍속을 사용한다. 식물의 성장은 외부의 환경변수에 영향을 많이 받는 것도 있고, 혹은 큰 영향을 받지 않는 것도 있다. 본 연구에서 재배식물인 멜론은 모든 환경에 민감하게 반응하는 작물이다.

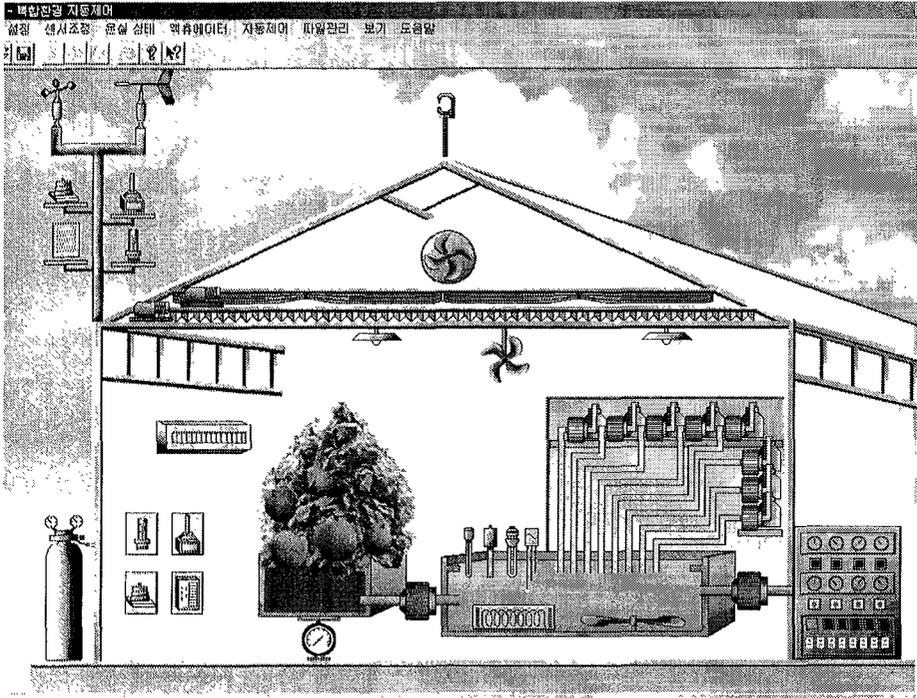


그림 4-60. 벨론시설자동제배 시스템의 주화면

다. 배양액제어시스템의 시작품 제작

그림 4-61에서 본 연구에서 완성한 시설재배 자동화 시스템의 배양액 제어 시스템을 나타낸 것이다.

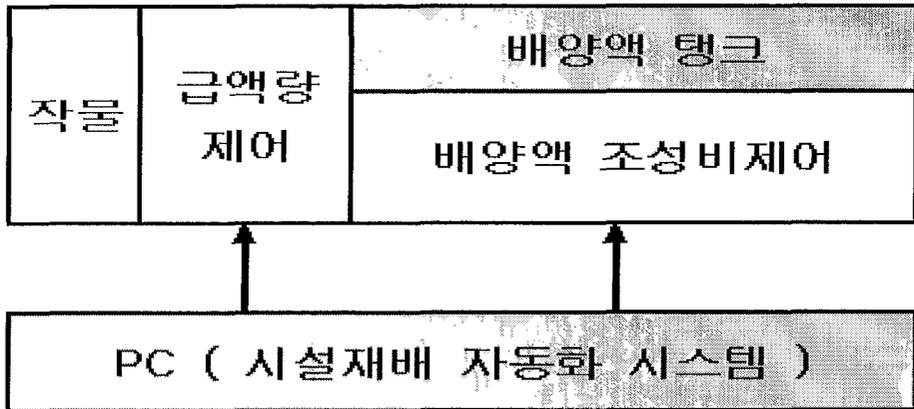


그림 4-61. 배양액 제어시스템 구조

배양액 제어시스템은 작물의 성장에 직접적으로 관여를 한다. 그림 4-61에서 배양액 탱크에서는 배양액 조성비 제어가 이루어지고, 배양액 탱크에서 작물로의 급액량이 제어된다. 시설재배 자동화 시스템의 프로그램은 배양액 제어에서 배양액 조성비제어와 급액량 제어를 동시에 하게 되어있다. 배양액 제어는 식물의 성장과 열매의 당도와 크기에 밀접한 관련이 있는 제어이다. 탱크 내에서 사용자가 설정한 배양액의 pH와 비료 농도 등을 조절하는 것이 배양액 조성비 제어이다. 배양액 조성비 제어에 필요한 센서로는 산도를 측정하는 센서, 비료의 농도를 측정하는 센서, 수온을 측정하는 센서 그리고 탱크의 수위를 측정하는 센서가 있다. 본 연구에서 중점적으로 사용한 센서는 pH 센서와 전해(EC)센서이다. 이 두 요소가 식물성장에 가장 큰 영향을 미치기 때문이다. 본 연구에서는 배양액 조성비 제어로 PI 제어기를 사용하였다. 시설재배 자동화 시스템의 프로그램은 사용자가 설정한 값을 기준으로 계속해서 탱크내의 배양액의 농도를 조절한다.

라. 배양액 제어 소프트웨어의 완성

배양액 탱크의 센서에서 현재의 pH와 EC를 읽어들이게 되어있다. 이렇게 읽어들이는 센서값과 사용자가 설정한 값을 비교해 그 오차만큼 PI 제어기가 동작을 하여 사용자의 설정값을 유지하게 된다. 그림 4-62는 PI 제어기를 블록선도로 나타내었다.

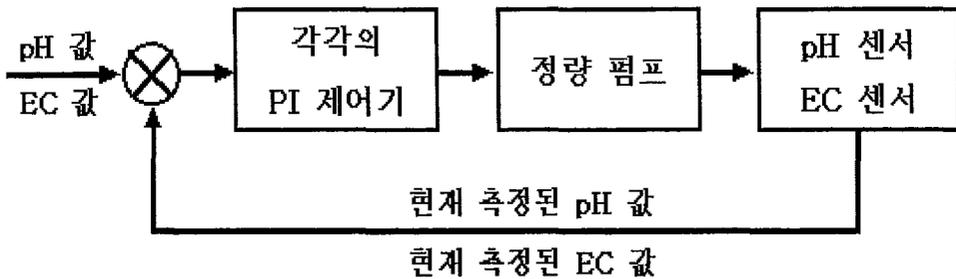


그림 4-62. 배양액 조성비 제어에 사용되는 PI 제어기

PI제어기의 지령치는 사용자가 설정한 pH수치와 EC수치이다. PI제어기는 pH와 EC의 제어를 위해 탱크 당 2개씩 동작하게 된다. 본 연구에서 완성한 PI 제어기의 기본식이다.

$$Error = r - y \tag{식 1}$$

$$Pump_I = G_p \cdot Error + G_i \cdot \int Error \tag{식 2}$$

본 연구의 시작품에 사용된 시스템 펌프는 분당 출력이 75ml 인 펌프를 사용하였다. 예를 들어 1초 동안에 산 펌프를 가동시키면 배양액 내의 산도(pH수치)는 0.03이 올라간다. 즉 초당 1.25ml이고 pH수치를 0.01증가시키는데 필요한 양은 0.42ml가 된다. PI제어기에서 두 개의 값을 다음과 같이 정의하였다.

$$G_P = 42 , \quad G_I = 0.03 \quad (\text{식 3})$$

그러므로 현재 발생한 오차는 PI제어기의 입력으로 사용을 한다. PI제어기를 통해 나오는 출력을 0.42ml/sec으로 나누어 동작시간을 결정한다. PI제어기의 출력 $Pump_I$ 는 정량펌프를 가동하는 시간에 의하여 제어되도록 시작품의 프로그램을 완성하였다

$$T_{PUMP} = Pump_I \div 0.42 \text{ ml/sec} \quad (\text{식 4})$$

본 연구에서 개발한 배양액 조성비 제어시스템 시작품의 블록별 기능을 구분하여 나타낸 것이 그림 4-63 이다.

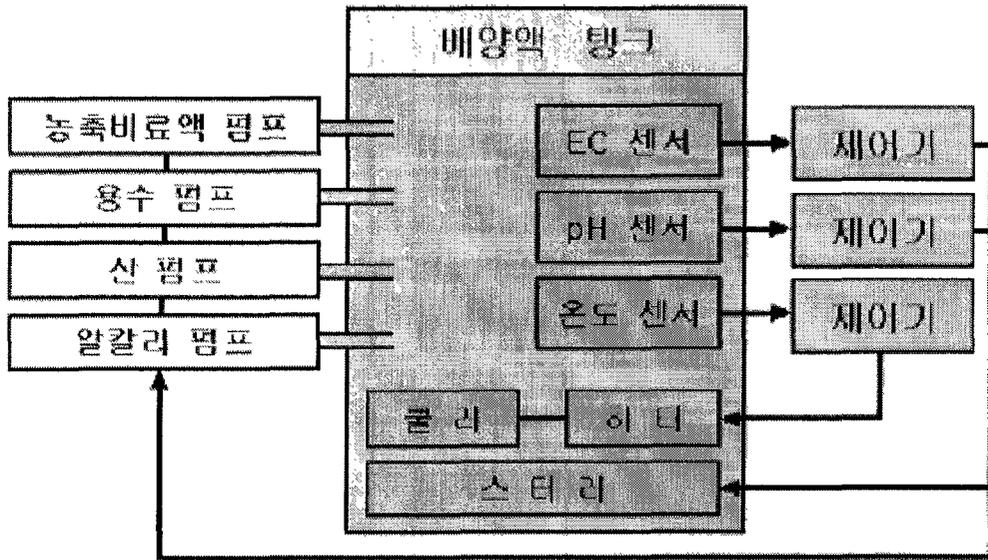


그림 4-63. 배양액 조성비 제어의 블록선도

배양액 조성비 제어는 작물에게 급역할 배양액의 pH수치와 EC수치를 자동으로 조절해 주는 제어이다. 배양액 탱크 안에는 pH, EC, 온도 센서가 배양액 탱크 내부에서 현

제 센서 수치를 제어기로 보내게 된다. 각 제어기는 사용자가 설정한 수치를 유지하기 위해 액츄에이터를 동작하게 된다. 본 연구에서 구현한 시설재배 자동화 시스템의 프로그램은 시설재배 자동화 프로그램에서 조성비제어는 사용자가 자동제어모드로 사용을 하거나 아니면 시간 계획 제어 모드로 사용을 하더라도 항상 동작을 한다. 사용자가 조성비 제어가 필요한 센서를 설정하면 조성비 제어는 자동으로 시작된다.

2. 저가형 관수 및 배양액 공급 시스템 개발

본 연구에서는 배양액 공급 제어 시스템을 완성하고, 그것의 시작품을 저가형으로 설계하였다. 양액 재배에서 작물의 최상의 성장 즉 과실류인 경우 그 열매의 수와 당도 그리고 크기 등을 최적화하는 제어는 그 동안 자동제어가 불가능한 것으로 인정되어 왔다. 이 최적제어는 이것은 시설재배의 자동화가 추구하는 많은 장점들 중에서 최고의 목표이기도 하다. 그동안 시설재배에서 내부 또는 외부의 환경제어는 간단한 피드백(feedbak) 제어에 의하여 자동화를 실현시켜 왔으나, 배양액의 조성비 제어와 작물성장의 최적제어는 아직도 제어 방법상의 어려운 문제에 부딪혀 제자리걸음에 머물러 있다. 그 이유는 모든 종류의 작물이 재배 환경에 대한 그 특성 변화가 매우 큰 비선형성(non-linearity)을 갖고 있어서 모델링이 불가능하며, 성장시기에 따라서 동종의 작물이라도 그 특성변화가 매우 크게 나타나는 강력한 시변시스템(time-varying system)이기 때문이다. 시변 및 비선형성이 강한 작물 성장의 최적 제어로 적응제어(adaptive control) 및 강인 제어(robust control) 등을 적용하는 연구가 시도된 적도 있으나 만족한 결과를 얻지 못하였다. 그 이유는 시변성 및 비선형성이 너무 커서 적응제어나 강인제어가 극복할 수 있는 한계를 넘고 있기 때문이다. 그러므로 본 연구에서는 시변성 및 비선형성이 매우 큰 작물의 성장 최적 제어에 퍼지 전문가 시스템과 퍼지 논리제어 방식을 직렬로 혼합한 새로운 제어 방식을 적용하여 시변성은 퍼지 전문가 시스템으로 비선형은 퍼지논리 제어방식으로 극복함으로써 작물의 최적 성장을 실현하였다. 이 때 사용한 입력은 배양액의 금액량이고 배양액의 배지내 양을 제어하기 위한 피드백 센서로는 배지내 수분량을 정밀하게 측정할 수 있는 중량센서(weighing system)을 설계 제작하였고, 저가형 시작품을 설계를 위하여 24개의 중량센서로부터 데이터를 받아들이는 직렬 멀티포트를 제작하여 사용하였다.

가. 퍼지 전문가 제어알고리즘(FECA) 설계 및 프로그램 완성

본 연구에서 퍼지 전문가 시스템에 기초를 둔 새로운 제어 알고리즘 (FECA, Fuzzy Expertized Control Algorithm)구조를 제안하고 이를 통해 작물 성장을 제어하여 왔다. 작물 성장 시스템은 비선형 시변 시스템으로 수학적으로 표현이 어렵고 매우 많은 불확실성이 관여하는 시스템이다. 농업 작물 성장 시스템은 농업 전문가의 경험에 의한 생산

방식이 가장 훌륭한 성장 방식으로 받아들여지는 분야로 전문가의 의견을 그대로 제어 방식으로 표현할 수 있는 퍼지 제어 알고리즘이 가장 적당한 방법이라고 생각할 수 있다. 본 연구에서는 퍼지 전문가 기반 제어 알고리즘(FECA; Fuzzy Expertized Control Algorithm) 구조를 통해 식물 성장 제어 시스템을 구현하도록 한다.

FECA의 구조는 그림 4-64에서 보는 바와 같이 크게 퍼지 모델 기반 전문가 시스템(FMES)과 퍼지 논리 제어기(FLC)의 직렬혼합구성으로 되어 있다.

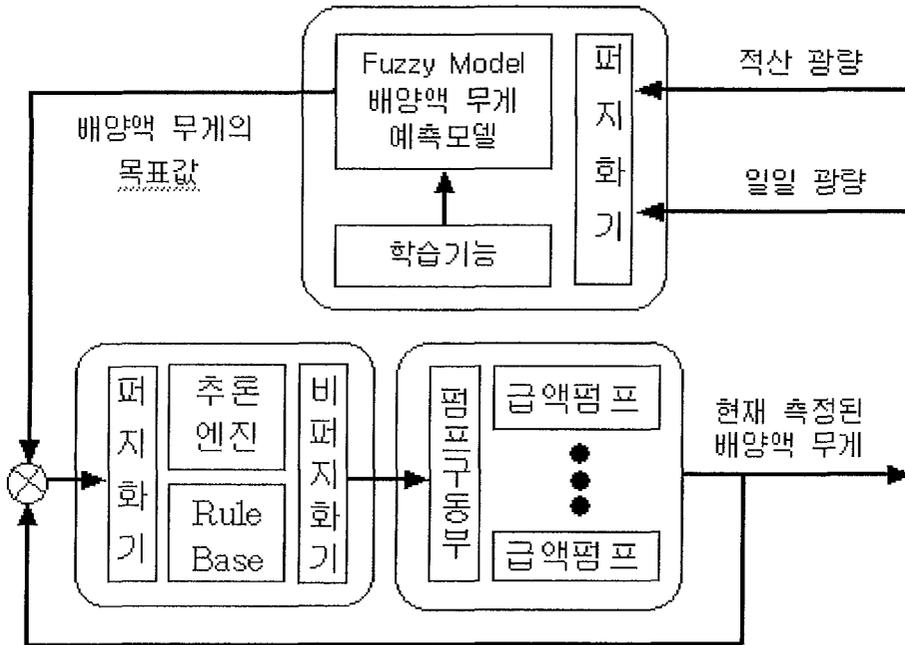


그림 4-64. FECA 제어시스템 구조

그림 4-64에서 배양액의 무게가 결정이 되면 퍼지 제어기의 입력으로 사용된다. 퍼지 제어기는 현재 측정된 무게를 입력 무게와 비교해 무게에 대한 오차를 계산하고 제어기를 동작하게 된다. FMES는 작물 성장 시스템의 시변성을 반영하여 이를 상쇄하도록 설계되는 부분으로 원하는(desired) 배지안의 배양액의 양을 발생(generation)시키는 역할을 한다. 이로부터 알 수 있듯이 전문가의 의견을 반영한 데이터를 추출하여 퍼지 모델을 형성하고 이를 기반으로 한 제어 시스템이다. 퍼지 모델로는 최근 각광을 받고 있는 클러스터링기법을 이용한 퍼지 모델을 이용한다. 사용한 퍼지 모델링 알고리즘은 대략 조정과 미세 조정의 두 단계로 구성된다. 대략 조정에서는 후건부와 전건부 파라미터가 클러스터링 알고리즘에 의해서 근사적으로 조정되며 미세 조정시에는 후건부 및 전건부 파

라미터가 더욱 정확하게 조정되어 퍼지 모델링을 달성하게 된다. 본 연구에서 사용되는 알고리즘은 대략 조정시 이중 클러스터링 방법을 사용하여 이중 클러스터링시 샘플 데이터는 공간 분할되며 각 영역에 대해서 가장 적합한 어떤 모델의 파라미터에 대한 추정치를 제공해 준다. 퍼지 전문가 기반 제어 알고리즘(FMES)에서 나온 추론 결과를 원하는 배지의 무게로 하고 실제 배지의 무게가 FMES의 추론 결과를 따를 수 있도록 제어시스템을 구축한다. 본 식물재배제어시스템은 비선형적이고 불확실한 시스템이며 또 식물의 생장이 외부 외란으로 작용하는 대단히 복잡한 시스템으로서, 수학적 모델링을 통한 접근 방식은 대단히 어렵다고 할 수 있다. 따라서 이 시스템의 제어 전략으로서는 농업 전문가의 재배 방식을 표현할 수 있으면서 불확실성에 대처할 수 있는 방법이어야 하는데, 이에 가장 적합한 방법이 퍼지 제어이다. 본 연구에서 사용하는 전문가 시스템은 최적의 입력 데이터와 출력 데이터를 실험을 통해 추출하여 이를 비선형 모델링을 통해 구현하는 모델 기반 전문가 시스템을 사용한다. 본 연구에서 사용한 비선형 시스템을 묘사하는 모델은 다음과 같은 2개의 요소를 입력으로 사용하고 원하는 배지내의 배양액의 무게를 출력으로 갖는 시스템으로 한다.

입 력	출 력
당 일 광 량	원하는 배지내 배양액의 무게
파종이후 현재까지의 적산 광량	

나. 퍼지 모델링 프로그램의 완성

비선형 시스템을 구현할 모델 최근 뛰어난 성능을 인정받고 있는 퍼지 모델을 사용하도록 한다. 지금 까지 소개된 대표적인 퍼지 모델링 방법으로는 Tong, Pedrycz, Wang, Xu, Lin and Cunningham III등 많은 학자들이 여러 가지 형태의 퍼지 모델을 제안하였다. 이 가운데 가장 뛰어난 성능을 보이는 것이 Sugeno가 제안한 방법이다. 이 모델은 통상 TSK (Takagi-Sugeno-Kang) 퍼지 모델 혹은 간단히 Sugeno 형 퍼지 모델로 언급되며 주요한 특성은 바로 퍼지 모델의 후건부가 어핀(affine) 혹은 초평면형(hyperplane-shaped)의 식으로 표현되는 것으로 기본적인 구조는 다음과 같다.

$$R^i : \text{If } x_1 \text{ is } A_1^i \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^i, \dots x_m \text{ is } A_m^i \quad (\text{식 } 5)$$

$$\text{then } y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_m^i x_m \quad (\text{식 } 6)$$

$$\hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^c w^i y^i}{\sum_{i=1}^c w^i} \quad \text{where } w^i = \text{MIN}_{j=1}^m A_j^i(x_j) \quad (\text{식 7})$$

여기서 $R^i (i=1, 2, \dots, c)$ 는 i 번째 퍼지 규칙이고 $x_j (j=1, 2, \dots, m)$ 은 입력을 y^i 는 퍼지 규칙 R^i 의 출력이다. 본 모델의 설정방법은 최근 발표된 클러스터링-기반 설정 알고리즘을 이용한다. 본 설정 알고리즘은 다른 알고리즘에 비해 쉽게 구현되는 장점이 있다. 본 알고리즘은 대략 조정과 미세 조정의 두 단계로 구성된다. 대략 조정에서는 후진부와 전진부 파라미터가 클러스터링 알고리즘에 의해서 근사적으로 조정되며 미세 조정 시에는 후진부 및 전진부 파라미터가 더욱 정확하게 조정되어 퍼지 모델링을 달성하게 된다. 본 연구에서 사용되는 알고리즘은 대략 조정시 이중 클러스터링 방법을 사용하여 이중 클러스터링시 샘플 데이터는 공간 분할되며 각 영역에 대해서 가장 적합한 퍼지 모델의 파라미터에 대한 추정치를 제공해 준다.

실험으로부터 n 개의 샘플 데이터 $(\mathbf{X}_k, y_k), 1 \leq k \leq n$ 가 주어지고 c 개의 퍼지 규칙을 갖는 퍼지모델이 적용되어 진다고 가정하자. 이 때 이중 클러스터링에 사용되는 설계 파라미터는 다음과 같다.

c : 두 번째 클러스터링에서 사용되는 클러스터의 수
(즉 퍼지 규칙의 수)

$$\rho: \frac{\text{일차 클러스터링에 생성되는 부클러스터의 수}}{\text{이차 클러스터링에 생성되는 클러스터의 수}} \quad (\text{식 8})$$

c 는 퍼지규칙의 수로서 그림 4-64와 같이 조정되고 ρ 는 일차 클러스터링에서 생성되는 부클러스터의 수에 대한 이차 클러스터링에서 생성되는 클러스터 수의 비(ratio)로서 정의된다. 이 값은 설계자가 결정해야 하는 변수이며 일반적으로 실험에 의하면 5에서 20사이의 값을 선택하는 것이 가장 적절한 것으로 여겨진다.

STEP 1 : 일차 클러스터링(first clustering)

각 샘플 데이터 $(\mathbf{X}_1, y_1) (\mathbf{X}_2, y_2) (\mathbf{X}_3, y_3), \dots, (\mathbf{X}_n, y_n)$ 에 FCM을 적용하여 $\rho \times c$ 개만큼의 부클러스터 $\mathbf{S}^1, \mathbf{S}^2, \dots, \mathbf{S}^{\rho \times c}$ 를 생성한다. 여기서 n 은 샘플 데이터의 수이며 일반적으로 n 은 $\rho \times c$ 값에 비해 상당히 큰 값을 가져야 한다. ($n \gg \rho \times c$). 다시 설명하면, FCM을 샘플 데이터 (\mathbf{X}_k, y_k) 에 적용하여 l 번째 부클러스터 \mathbf{S}^l 에 소속되는 멤버쉽값 $\mu_k^l (k=1, \dots, n, l=1, \dots,$

, $\rho \times c$)을 결정하는 과정이다. 이 때 모든 k 에 대해서 다음의 관계가 성립한다.

$$0 \leq \mu'_k \leq 1, \quad \sum_{l=1}^{\rho \times c} \mu'_k = 1, \quad \text{for all } k \quad (\text{식 9})$$

Step 2 : 파라미터 공간변환(transformation into the parameter space)

각 클러스터에 대해서 최적합 초평면(hyperplane-shaped best-fit)를 구해내기 위해서 WRLS(weighted recursive least square)방법을 적용한다. 예를 들면, 1 번째 클러스터에 대한 최적합 초평면은 다음과 같은 형태를 갖는다.

$$y^l = a_0^l + a_1^l x_1 + \dots + a_m^l x_m$$

$$\text{or } y^l = \mathbf{X}^T \mathbf{A}^l \quad (\text{식 10})$$

$$\mathbf{X} = [1 \ x_1 \ \dots \ x_m]^T, \quad \mathbf{A}^l = [a_0^l \ a_1^l \ \dots \ a_m^l]^T \quad (\text{식 11})$$

여기서 입력벡터 \mathbf{X} 는 m 차인 것으로 가정하며 (\mathbf{X}_k, y_k)가 \mathbf{S}^l 에 속하는 정도가 μ'_k ($k=1, \dots, m$) 라고 하면 최적의 파라미터 $\mathbf{A}^l = [a_0^l \ a_1^l \ \dots \ a_m^l]^T$ 은 다음과 같은 순환식으로 구해진다.

$$\mathbf{A}_{k+1}^i = \mathbf{A}_k^i + \mathbf{K}_k [y_{k+1} - \mathbf{X}_{k+1}^T \mathbf{A}_k^i] \quad (\text{식 12})$$

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{S}_{k+1} \mathbf{X}_{k+1}$$

$$= \frac{\mathbf{S}_k \mathbf{X}_{k+1}}{1/\mu_k^i + \mathbf{X}_{k+1}^T \mathbf{S}_k \mathbf{X}_{k+1}} \quad (\text{식 13})$$

$$\mathbf{S}_{k+1} = [1 - \mathbf{K}_k \mathbf{X}_{k+1}^T] \mathbf{S}_k \quad (\text{식 14})$$

이와 같은 방식으로 다른 모든 클러스터의 파라미터 \mathbf{A}^l ($l=1, \dots, \rho \times c$)의 값을 얻을 수 있다.

Step 3 : 이차 클러스터링(second clustering)

FCM을 \mathbf{A}^l ($l=1, \dots, \rho \times c$)에 적용하여 파라미터 공간 (a_0, a_1, \dots, a_m) 상에서 $\mathbf{R}^1, \mathbf{R}^2, \dots, \mathbf{R}^c$ 로 주어지는 c 개의 클러스터를 형성한다. 각 클러스터의 중심은 Sugeno형 퍼지 모델에서 각 퍼지 규칙의 후건부로서 사용된다. 지금부터 i 번째 클러스터 \mathbf{R}^i 의 중심은 \mathbf{P}^i ($i=1, \dots, c$)로 표현한다.

다. 배양액공급시스템의 시작품 개발

본 연구에서의 급액량 제어는 배양액 무게 예측 모델로 얻어진 데이터를 가지고 제어기(PLC)를 사용하였다. 배양액은 작물의 배지에 공급되는 배양액의 양과 작물의 성장 곡선에 매우 중대한 관계를 가지고 있다. 그림 4-65은 시설재배 자동화 제어시스템에서 사용한 중량제어 시스템의 블록선도이다.

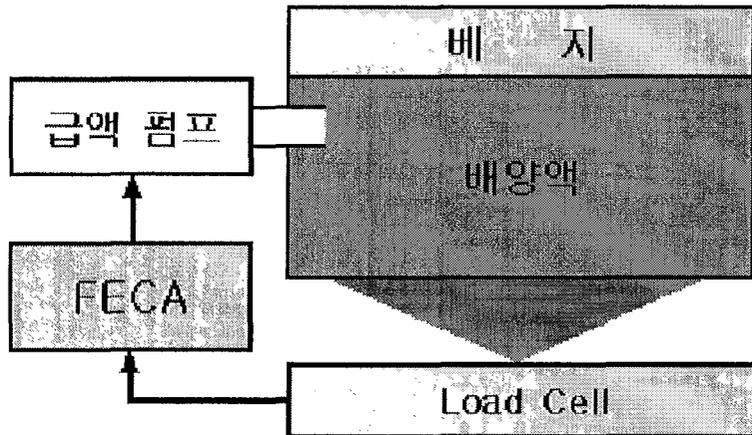


그림 4-65. 중량제어 시스템 구조

본 연구에서 제작한 시차품은 각종 다양한 중량센서를 사용하여 무게를 측정하고, 제어기의 에러로 사용을 한다. 배지 내의 배양액은 급액 펌프를 통해 배양액 탱크에서 들어 오게 된다. 그림 4-65에서 보면 로드셀의 무게의 FECA의 입력으로 되어 있다. 무게 데이터는 FECA내부의 PLC의 입력으로 들어가게 된다. 본 연구에서 사용한 무게센서는 로드셀을 사용한다. 로드셀의 출력은 낮은 전류형태로 CAS저울로 들어오게 된다. 대부분 제어 대상과 제어용 컴퓨터와는 원거리를 원칙으로 하기 때문에 정확한 데이터를 보내기 위해서는 전압보다는 전류형태로 보내지게 되고 CAS저울은 무게를 측정해 정해진 RS-232포맷으로 전송을 하게 된다. 배양액 조성비 제어에 사용되는 센서도 전류출력이기 때문에 선트(Sunt)저항을 사용해 A/D 변환기의 입력으로 사용하였으며, 퍼지 전문가 기반 제어 알고리즘을 적용한 배양액의 공급제어를 위한 계측 시스템으로 설계하였다.

본 연구의 시차품에서 퍼지제어기의 입력변수로는 배양액 무게의 목표 값에 대한 오차와 오차의 적분 값으로 선택을 하였다. 여기서 배지내로 들어가는 배양액이 오버슈트가 생기지 않도록 하기 위해 1% 미만의 언더슈트가 발생 되도록 설정이 되었다. 그러기 때문에 오차의 적분 값은 여기서 발생되어지는 정상상태의 오차를 보정하기 위해 설정하였다. 그림 4-66은 퍼지 제어기의 블록선도이고, 궤환되는 오차는 식 15와 같다.

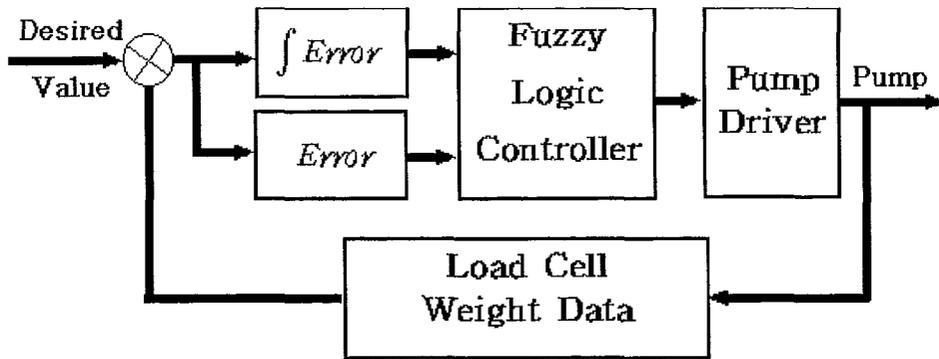


그림 4-66. 퍼지 제어기의 블록선도

$$Error = Desired Value - Measurement Value \quad (\text{식 } 15)$$

측정되는 값은 로드 셀에서 발생한 무게 데이터이다. 이 무게 데이터를 가지고 오차를 구하게 된다. 그림 4-67은 퍼지 제어기의 입력 변수의 Membership 함수를 나타내었다. 입력변수 Error에서 언어변수 -3이 가장 오차가 많이 생겼을 때이고 0은 오차가 없다고 간주한다. 0인 부분의 폭(Sharpness)이 너무 작으면 제어기가 동작을 해 오버슈트가 생기기 때문에 작은 오차는 허용을 하였다. 그러나 이 오차는 iError의 입력변수에서 처리를 하게 된다. 오른쪽 1의 오차는 오버슈트가 되기 때문에 제어기에서 모든 펌프를 출력하지 않게 명령을 내린다. 그림 4-68은 iError의 입력 변수의 Membership 함수이다. 그림 4-68에서도 -3이 가장 큰 오차이고 입력변수 Error보다 1개가 더 적다. 이 변수에서 정상상태의 오차를 제어할 한다.

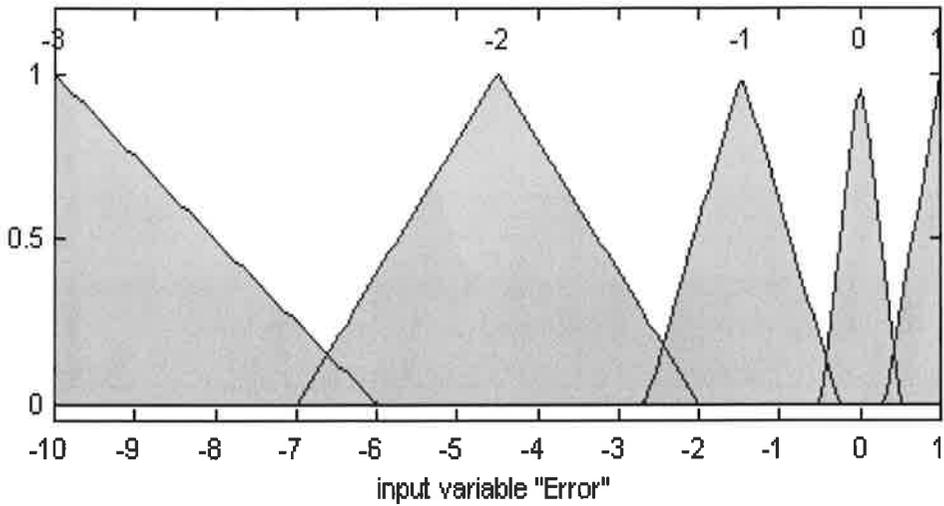


그림 4-67. 입력변수(Error)의 멤버십 함수

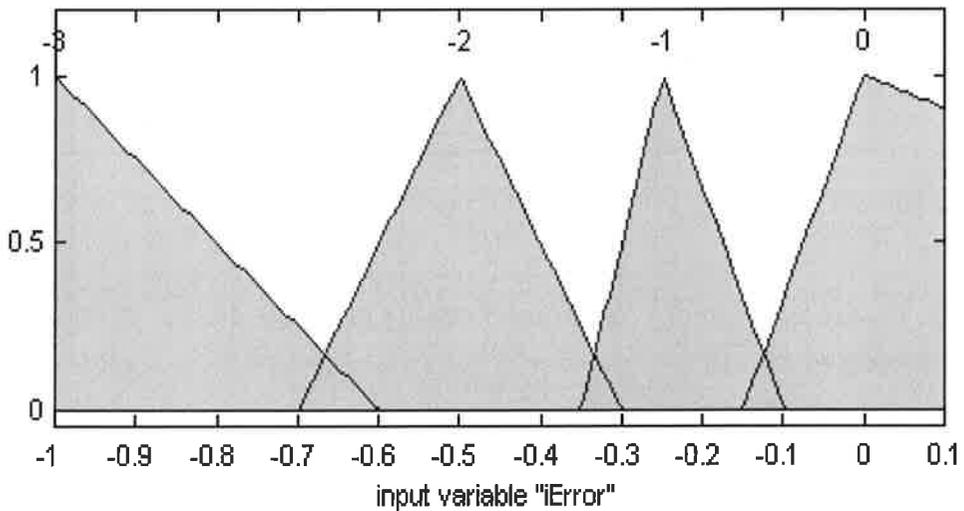


그림 4-68. 입력변수(iError)의 멤버십 함수

본 연구결과의 시작품 제작에서 퍼지제어기 출력은 급액펌프의 가동 시간을 계산하여 출력을 해준다. 프로그램에서 제어기 출력에 일정한 Gain이 곱해지게 되어 있다. 따라서 본 연구에서는 출력 변수를 하나로 하였다. 그림 4-69는 퍼지 제어기의 출력변수를 나타낸 그림이다.

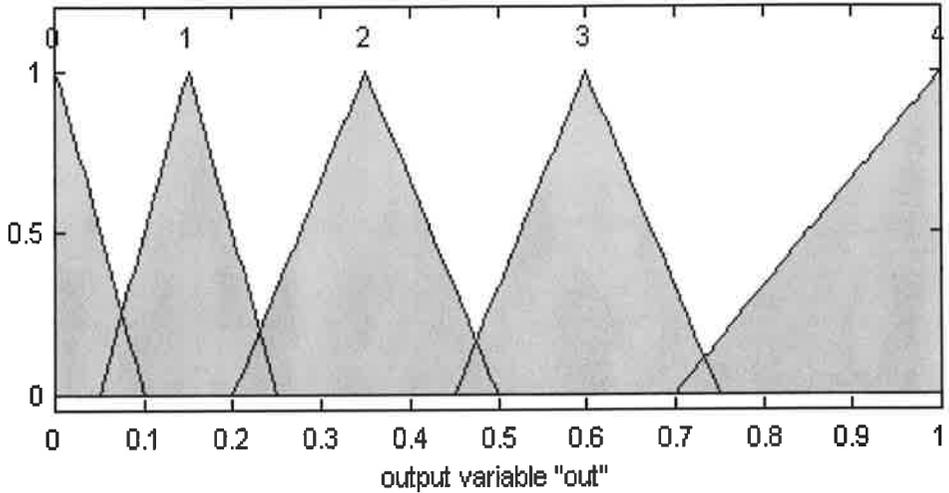


그림 4-69. 퍼지 제어기의 출력변수의 멤버십함수

Rule Base		<i>iErr</i>			
		-3	-2	-1	0
<i>Err</i>	-3	4	4	3	3
	-2	3	3	2	2
	-1	2	2	1	1
	0	1	1	0	0
	1	1	0	0	0

그림 4-70. 퍼지제어기의 룰 베이스

퍼지 제어기의 출력변수를 보면 왼쪽이 언어변수 0 이고 1, 2, 3, 4 순으로 되어있다. 언어변수 0 은 실제로 펌프가 동작을 하지 않게 되는 부분이다.

본 연구결과와 시작품 제작에서는 저가형으로의 간편한 전환을 위하여, 시설재배 자동화시스템을 사용하면서 사용자의 경험과 이해를 통한 사용자 임의 금액을 할 수 있게 하였다. 이러한 경우는 퍼지 제어기를 사용할 수 없게 된다. 그러한 경우를 위해 본 연구에 사용된 시설재배 자동화시스템에는 시간 스케줄링 제어가 있다. 사용자는 일주일간 사용자 임의대로 금액을 할 수 있도록 시간을 설정할 수 있다. 프로그램에서는 사용자의 출력시간을 데이터화하고 프로그램을 실행시키면 사용자의 설정에 따라 펌프가 동작하

게 된다. 시설제배를 하는 사용자에게는 꼭 필요한 수동식 제어이므로 본 연구결과의 시작품은 이러한 기능을 가지고 있다.

3. 자동 관리 시스템 개선

본 연구에서는 그동안 자동관리시스템의 설계에서 불안정한 회로와 프로그램을 보완하여 자동관리시스템의 안정성(Stability)를 확보하고 많은 결과 값에서 좋은 퍼포먼스를 얻었다. 그림 4-71은 본 연구에서 사용한 무게 예측 모델의 데이터를 그래프로 표현한 것이다.

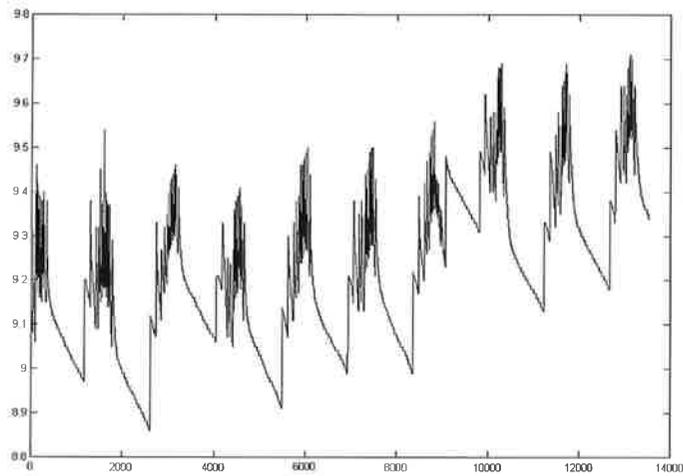


그림 4-71. 무게 예측 모델의 그래프

그림 4-71의 그래프는 멜론이 잘 자라는데 필요한 배양액의 무게이다. 이 배지내의 배양액 무게 데이터를 가지고 피지 제어기의 입력으로 들어가게 된다. 이런 데이터는 전문가의 지식을 바탕으로 만들어진 것이며, 여러 가지 데이터를 효과적으로 실험을 할 수 있도록 프로그램은 파일화 하여 데이터를 정해진 시간별로 읽어들인다. 본 연구에서는 이러한 데이터를 기반으로 프로그램을 실행한다. 그림 4-72는 FMES에서 만들어진 무게 예측 데이터를 FECA의 입력으로 사용하고, FECA의 출력으로 나타낸 그래프이다. 그림 4-73은 배지로 공급되는 배양액의 무게를 나타낸 것이다. 그림의 Y축에 해당하는 것이 배지내의 배양액 무게이다. X축에 +해당하는 것은 시간을 나타낸다. 그래프를 보면 회색으로 나타낸 것이 FECA의 입력(즉 FMES의 무게 예측 데이터)이고, 검은색은 무게 예측 데이터를 가지고 FECA에서 만들어 낸 무게 출력이다.

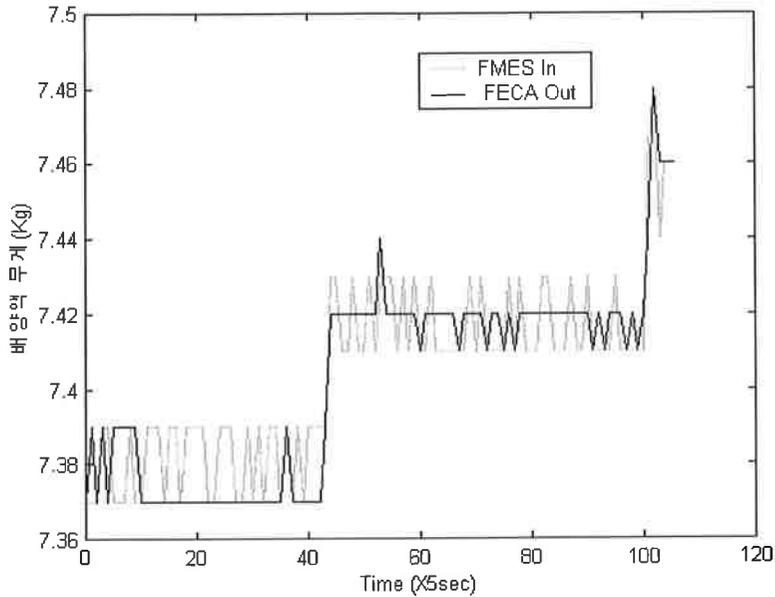


그림 4-72. 급액량 제어 그래프

무게 예측값과 실제 무게를 보면 약 X축에서 56sec 정도에서만 오버슈트가 있었고 나머지는 모두 언더슈트를 나타내고 있다. 본 연구에서 설계한 퍼지 제어기는 오버슈트를 발생시키지 않도록 설계가 되었었다.

본 연구결과에서는 구현한 시설재배 자동화 시스템은 급액 펌프를 가지고 있다. 이 급액 펌프는 배양액 조성비 제어를 사용해 배양액의 각 수치들을 유지한 배양액을 배지로 보내는 마지막 펌프이다. 배지에는 급액 펌프로부터 오는 펌프 이외는 없다. 따라서 배지 내로 들어온 배양액은 작물이 흡수를 해야 줄게 되어있다. 멜론의 경우는 배양액의 급액량에 따라 멜론 성장에 많은 영향을 끼치게 된다. 본 연구에서는 멜론 성장에 필요한 배양액의 급액 무게를 최대한 오버슈트 없이 FMES의 출력을 따라가야 하는 문제가 생긴다. 본 연구결과에서 FECA는 오버슈트 없이 배양액 무게에 접근하고, 또 이 무게의 상한과 하한값(식물에서는 필요한 배양액의 바운드가 있음)의 범위 안에 있으면 참값이라 인정하고 제어를 하지 않게 되어있다. 너무 작은 바운드를 설정하면 제어기내의 입력변수의 Sharpness를 작게 가져 가게되고, 출력은 작은 에리에도 민감하게 반응하여 출력이 진동하게 된다. 보통의 경우, 작물은 이러한 작은 값에는 반응을 하지 않기 때문에 입력변수의 Sharpness를 작게 가져갈 필요가 없다. 그리고 반응 속도도 느려서 오히려 더 나쁜 결과를 얻기 때문에 본 연구에서 설계된 FECA는 그림 4-72처럼 만족할 만한 결과로 자동관리시스템을 개설할 수 있었다. 개선한 시설재배 자동화 시스템의 프로그램

으로 길러진 걸까를 그림 4-73의 그래프에서 볼 수 있다.

그래프의 왼쪽이 뭉툰의 무게를 나타낸 것이고 아래쪽은 뭉툰이 열매가 크기 시작할 때부터의 초 단위의 시간이다. 뭉툰의 경우는 위 그래프처럼 아주 복잡하게 배양액이 공급되어야 좋은 효과를 얻을 수 있기 때문에 재배가 까다로운 식물로 알려져 있다. 거기다 비선형적으로 변하는 데이터의 변화는 퍼지 제어를 사용하여 좋은 효과를 얻었다. 뭉툰이 사람이 키웠을 때와 시설재배 자동화 시스템의 도움으로 자랐을 때를 그래프로 나타내었다.

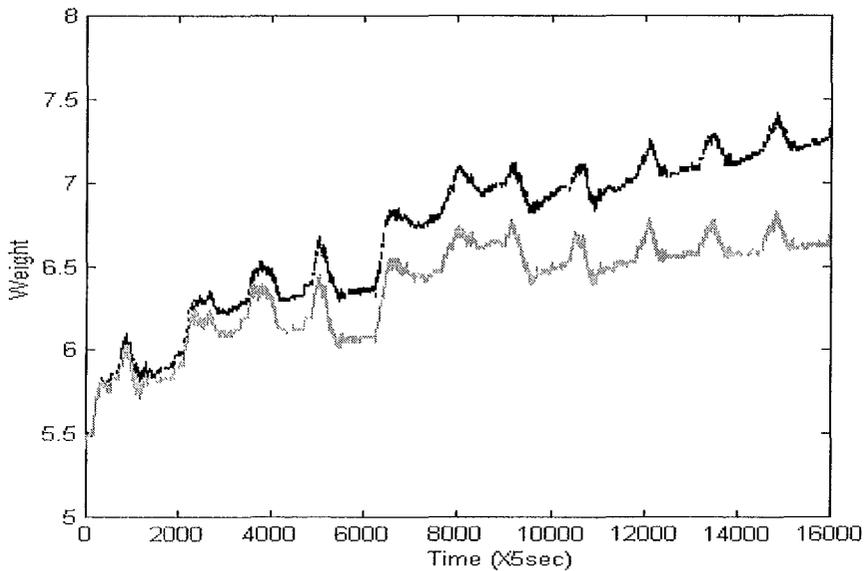


그림 4-73. 뭉툰의 성장곡선 비교 그래프

그림 4-73에서 보듯이 연속적인 뭉툰의 무게 곡선이 서로 비슷한 패턴으로 퍼지 제어 이론을 적용해서 키워진 뭉툰이 무겁게 나타난다. 그림 4-73에서 보듯이 뭉툰 생장에 필요한 배양액의 무게값을 FMS에서 발생시켜주며, 발생시켜준 무게값을 퍼지 제어가 정확하게 레귤레이션(regulation) 제어를 해줌으로서 뭉툰이 자연적으로 성장 할 때보다 훨씬 좋은 성장을 하도록 만들어 주었다.

본 연구에서 개선한 내용을 종합하면, 시설재배의 자동화 시스템에 유연하게 사용될 수 있도록 선계 구현한 시설재배 자동화 시스템의 전체적인 구성과 모니터 프로그램을 개선 선계하였고, 새로운 제어방식을 개발하여 적용한 배양액 제어와 작물의 최적성장을 위한 배양액의 규액량 제어방식을 개선하여 구현하였다. 또한 본 연구에서는 새로운 제어방식(FECA)을 시설재배 자동화 시스템에 구현을 하고 이러한 알고리즘을 적용하는

데 필요한 배지내 배양액 무게를 측정하기 위한 무게 센서를 개선하였다. 로드셀(load cell)을 이용한 중량센서 시스템은 정밀한 재측을 하기위해 개발하였고 그 성능은 기대에 만족할 만큼 좋았다. 본 연구에서 여러 개의 무게 센서에서 데이터를 수집 개인용 컴퓨터로 전송하는 시스템을 개발하여 작물재배에 필요한 데이터 수집을 광범위하게 넓히게 되었다. 특히 제안한 제어 알고리즘의 시작품 제작 과정과 구현한 시설재배의 환경자동제어와 배양액 제어 그리고 작물의 최적 성장을 위한 배양액의 급액량 제어기를 적용한 결과 작물재배에서 매우 어려운 재배종인 멜론에 대하여 좋은 결과를 얻는 것을 보여줌으로서 본 연구에서 구현한 시설재배의 완전 자동화 및 시변성 및 비선형성이 매우 강한 작물의 최적 성장제어에 적용하기 위한 퍼지 전문가 제어 알고리즘(fuzzy expertized control algorithm)의 성능이 확인되었다.

4. 시스템 운용 지침서 작성

본 연구결과로 만들어진 동적 자동관수 및 배양액 관리 시스템(IGAS; Intelligent greenhouse automation system)의 시작품 운용 지침은 소프트웨어의 기동에서부터 배너 메뉴의 순서대로 기술하며, 그것의 사용 방법은 소프트웨어를 순서대로 한 번만 운용하면 사용상에 문제가 없도록 편이하게 서술한다.

가. 프로그램의 기동

프로그램을 IBM PC 호환기종과 하드웨어 시스템을 인터페이스 한 후 윈도우즈환경에서 프로그램을 기동하며 첫 화면이 나온다.

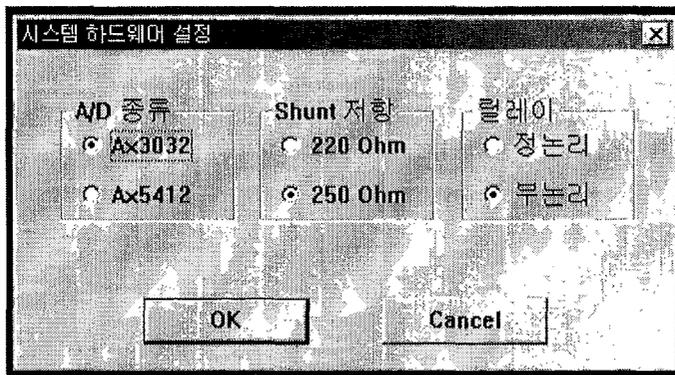


그림 4-74. 시스템 하드웨어 설정 화면

본 시스템은 A/D 변환기의 종류를 두 가지에 호환될 수 있도록 설계되어 있으므로 사용하는 하드웨어의 종류에 따라 기동시 설정을 해주면 자동으로 스펙을 통일할 수 있다.

또한 신호 저항도 대증적인 저항 2가지에 모두 사용되어 질 수 있도록 프로그램을 유연하게 설계하였다. 액츄에이터 출력에 사용되는 많은 릴레이 스위치들을 정/부 논리에서 자유로이 사용할 수 있도록 프로그램 되어 있으므로 프로그램 기동시 위의 세가지 하드웨어 스펙을 결정하고 메인 프로그램으로 이동해야 한다. 그러면 그림 4-75와 같은 주메뉴화면을 볼 수 있다.



그림 4-75. 주메뉴 화면

풀다운 주메뉴는 시스템 설정, 센서조정, 온실상태, 액츄에이터, 자동제어, 파일관리, 보기, 도움말 순서로 진행되며, 메뉴순서대로 운용요령을 서술한다.

나. 시스템 설정 운용지침

시스템 설정에서 시스템 운용 전체에 대한 모든 설정이 이루어지며, 소메뉴로 새로운 설정, 설정 불러오기, 저장하기, 새이름으로 저장하기, 채널설정, 채널초기화, 입출력 장치 제어 주소, 끝내기 등으로 이루어져 있다.

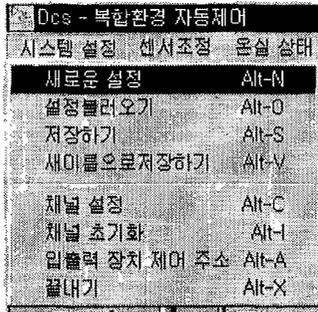


그림 4-76. 시스템 설정

새로운 설정은 전체시스템이 사용되어지는 하우스 번호, 재배 작물명, 생육단계, 재배방식, 순환여부, 설치방향, 자료측정 간격(초)을 제공하는 보기에서 선택하는 방식으로 적용할 수 있다. 재배 작물명은 멜론에서 상추, 토마토 등의 작물들의 데이터 베이스를 갖고 있고 선택에 따라 프로그램이 적절한 데이터 베이스와 연결된다. 또한 순환방식이나 설치방향 등도 중요한 선택메뉴로서 그것을 선택할 때마다 적절한 프로그램 환경으로 전환됨으로써 이 시스템을 이용한 재배환경이 편리하게 될 수 있도록 설계되어 있다. 특히 자료 측정 간격은 이 시스템에 연결되어 있는 많은 종류의 각종 센서들의 입력되는 간격을 결정하는 것으로 자동제어 등의 기능에 중요한 선택이 되므로 선택시 메뉴얼을 반드시 숙지하여야 한다.

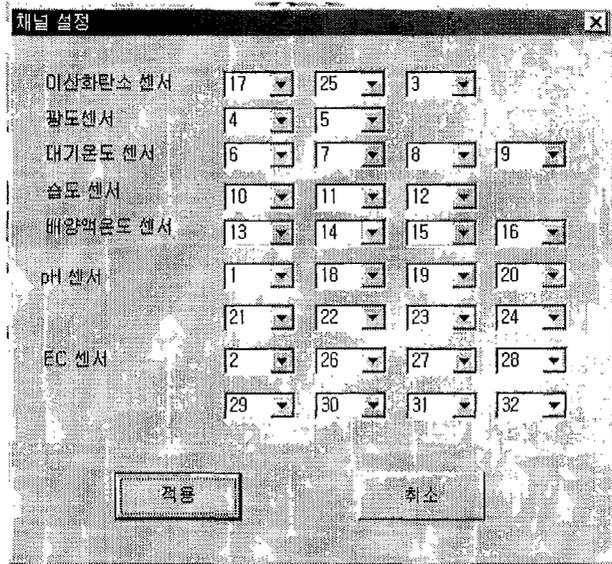


그림 4-77. 채널 설정

채널 설정은 시스템에 연결되는 센서들의 하드웨어 채널이 자주 변화되므로 변화되는 채널을 소프트웨어적으로 편리하게 변화시켜 센서를 적절하게 인식할 수 있다. 특히 이 하드웨어적인 센서의 인터페이스 채널의 변화는 센서의 입력 계인의 조정과 연관되어 있으므로 수동으로 연결을 바꿀 경우 복잡한 문제를 야기시키나, 본 시스템에서는 프로그램이 채널이 선택되자마자, 센서에 적합한 계인으로 조정되어 센서의 변화에 신속히 적용하게 되어 있다. 왼쪽의 팝업메뉴는 입출력 장치의 하드웨어 어드레스를 설정하는 것으로 일반 사용자는 함부로 선택내용을 바꾸어서는 안되며, 필요한 경우 설계자에게 문의한 후 선택해야 한다.

다. 센서 조정 운용지침

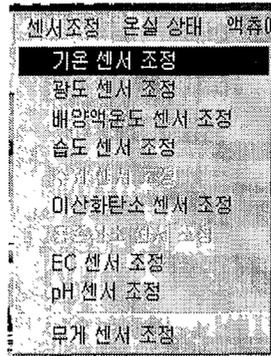


그림 4-78. 센서 조정

두 번째 주메뉴인 센서조정은 시스템에 인터페이스 되어 있는 모든 센서들의 계인 조정 및 센서데이터의 정확한 디지털 처리를 할 수 있게 하는 메뉴로서, 기온센서조정, 광도센서조정, 배양액온도센서조정, 수위센서조정, 습도센서조정, 이산화탄소 센서 조정, EC센서조정, pH센서조정 등의 소메뉴로 구성되어 있다.

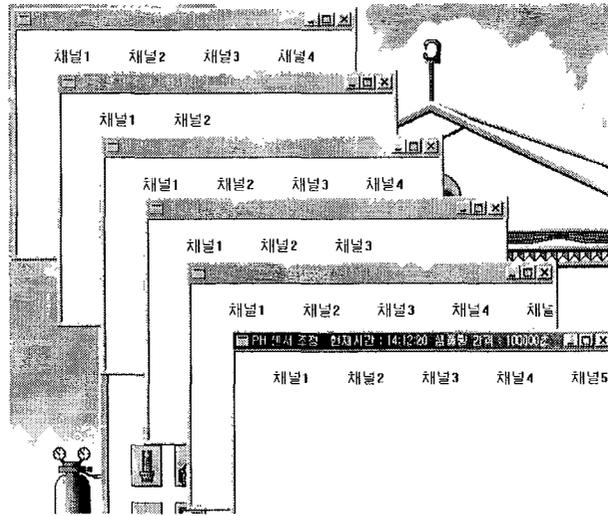


그림 4-79. 센서 조정 내 소메뉴

각각의 소메뉴를 클릭하면 그림 4-79와 같은 팝업메뉴가 액티브 되며, 그 다이얼로그 박스에서 선택한 센서의 입력데이터가 인터페이스 되어 있는 채널별로 입력되어 표시되며, 데이터가 정확하지 않으면 센서의 직접데이터를 측정 한 후 프로그램상의 데이터와 비교하면서 센서 인터페이스에 문제점들을 찾아내어 수정할 수 있다. 특히 무게센서는 매우 민감한 센서이고 인터페이스 방법도 직렬 통신방법을 사용하고 있기 때문에 무게센서조정은 매우 조심스럽게 개인 조정을 해야하며, 이 조정의 결과는 배양액의 급액 제어에 큰 영향을 줄 수 있으므로 세밀한 주의를 요한다.

라. 온실상태 운용지침

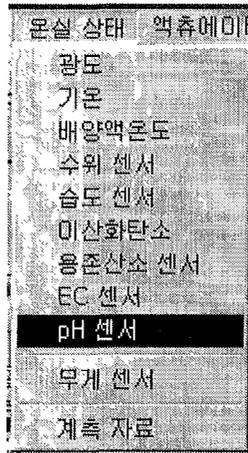


그림 4-80. 온실 상태

세 번째 주메뉴는 온실상태이며, 온실 센서들의 동작상태를 한 눈에 볼 수 있는 메뉴로서 현재 동작상태를 모두 모니터링할 수 있다. 광도, 기온, 배양액온도, 수위센서, 습도센서, 이산화탄소, 용존산소센서, EC센서, pH센서, 무게센서 등의 소메뉴로 구성되어 있으며, 마지막 소메뉴인 계측자료에서는 모든 센서로부터 계측된 특정기간동안의 데이터를 확보하여 파일로 저장하며, 필요할 경우 언제든지 볼 수 있도록 하였다. 특히 이 자료는 이 시스템을 연구용으로 사용할 경우 과거의 모든 데이터를 사용하여 좋은 연구 결과를 얻을 수 있다.

그림 4-81은 각각의 센서동작상태를 그래프로 볼 수 있도록 센서그래프의 팝업메뉴를 운영할 수 있으며, 팝업 그래프의 각 축의 범위 값들이 센서가 결정되면 프로그램에서 자동으로 설정되게 되어 있다.

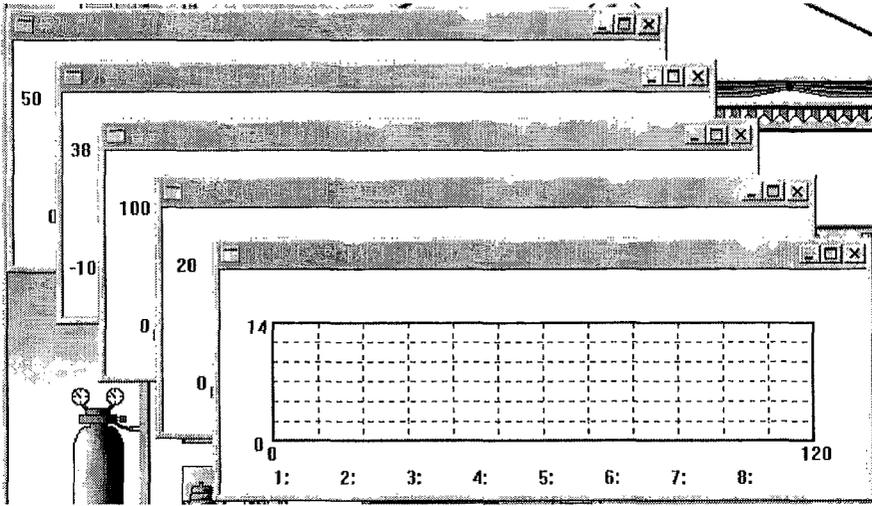


그림 4-81. 온실 상태 내 소메뉴

마. 액츄에이터 운용지침

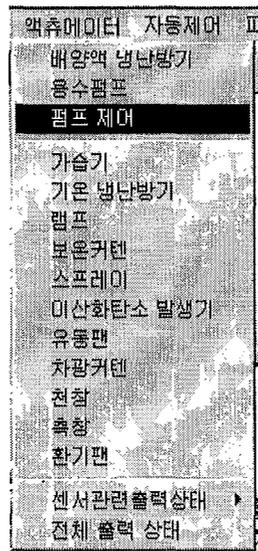


그림 4-82.
액츄에이터

네 번째 주메뉴는 액츄에이터로써 현재 시스템에 인터페이스 되어있는 모든 액츄에이

터들의 동작상태를 화면에 보여주고 다양한 데이터를 모니터링할 수 있다. 소메뉴로는 배양의 냉난방기, 용수펌프, 펌프제어, 가슴기, 기온 냉난방기, 램프, 보온커튼, 스프레이, 이산화탄소 발생기, 유동펜, 차광커튼, 유동펜, 차광커튼, 천창, 측창, 환기팬, 센서관련 출력상태 등으로 구성되어 있다. 그 중에서 펌프 액츄에이터와 조명 액츄에이터만을 샘플링하여 설명하는 팝업 메뉴가 있다. 시스템이 동작할 경우 해당 펌프와 조명의 자동 체크된다.

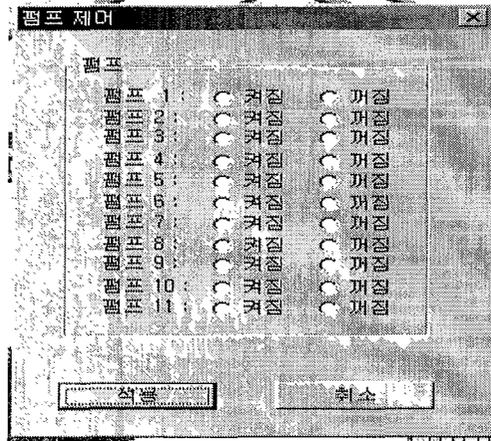


그림 4-83. 펌프 액츄에이터

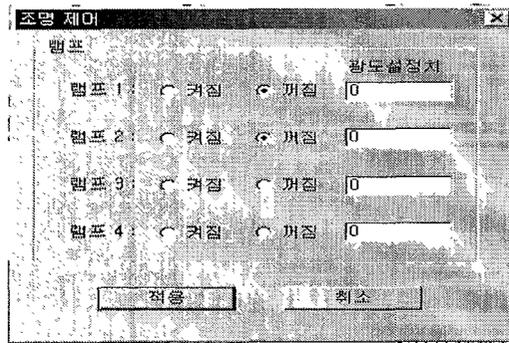


그림 4-84. 조명 액츄에이터

그림 4-85는 측창의 액츄에이터 동작상태를 팝업으로 보여주고 있으며 동작시 각각의 측창이 모니터링 된다.

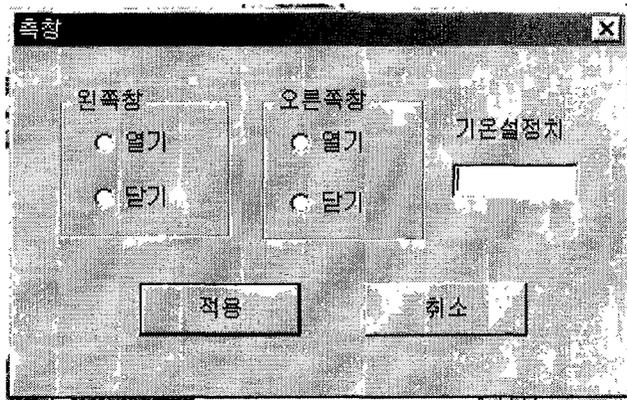


그림 4-85. 측창 액츄에이터

그림 4-86은 센서와 관련되는 출력상태를 모니터링 할 경우 선택하면 특정센서에 관련되어 동작하는 센서들의 각종 데이터를 볼 수 있다(그림 4-87).

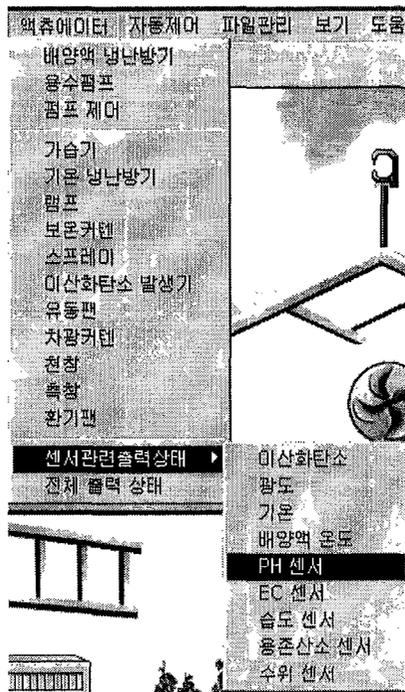


그림 4-86. 센서관련 출력상태

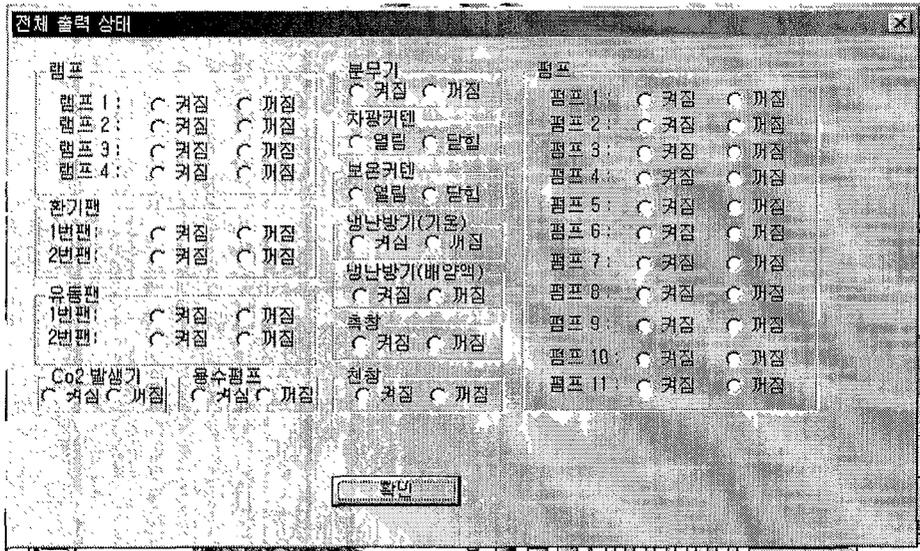


그림 4-87. 전체 출력 상태

바. 자동제어 운용지침

자동제어 주메뉴는 본 연구결과와 시작품에서 가장 중요하고 뛰어나 기능으로 멜론의 시설제어를 자동으로 다양하게 운용할 수 있는 기능을 제공한다.

자동제어는 배양액제어와 실내환경제어 그리고 외기 환경제어로 나뉘어지며, 작물에 생장에 직접 관련되는 자동제어인 배양액 제어는 다시 시간제어와 시간표제어 등으로 나눌 수 있다. 시간제어는 각종센서를 피드백하여 셀 립프를 형성하고 셀 단위의 메인 제어기인 산업용 컴퓨터에는 두 개의 인터페이스 카드가 부착이 된다. 센서로부터 데이터를 받아 처리를 해주는 ADC 보드와 디지털 출력을 위한 Digital I/O 보드이다. 이 보드들이 터미널을 통해 각각 시스템의 센서와 구동펌프 등에 연결이 된다. 이렇게 연결된 시스템은 센서에서 값을 읽어 데이터를 처리하고 그때마다 필요한 데이터를 저장 또는 출력을 하게된다. 특히, 피지 전문가 시스템에 기초를 둔 새로운 제어 알고리즘 (FECA, Fuzzy Expertized Control Algorithm)구조를 제안하고 이를 통해 작물 성장을 제어하도록 한다. 작물 성장 시스템은 비선형 시변 시스템으로 수학적으로 표현이 어렵고 매우 많은 불확실성이 관여하는 시스템이다. 농업 작물 성장 시스템은 농업 전문가의 경험에 의한 생산방식이 가장 훌륭한 성장 방식으로 받아들여지는 분야로 전문가의 의견을 그대로 제어 방식으로 표현할 수 있는 퍼지 제어 알고리즘이 가장 적당한 방법이라고 생각할 수 있다. 본 연구에서는 피지 전문가 기반 제어 알고리즘(FECA, Fuzzy Expertized Control Algorithm) 구조를 통해 식물 성장 제어 시스템을 구현하도록 한다. FECA는

크게 퍼지 모델 기반 전문가 시스템 (FMES, Fuzzy Model Based Expert System)으로 구성으로 되어 있다.

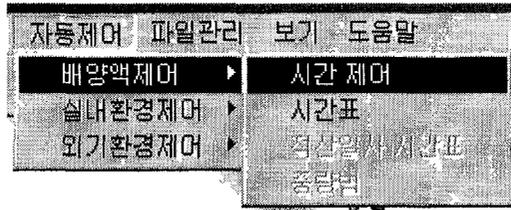


그림 4-88. 자동 제어 메뉴(1)

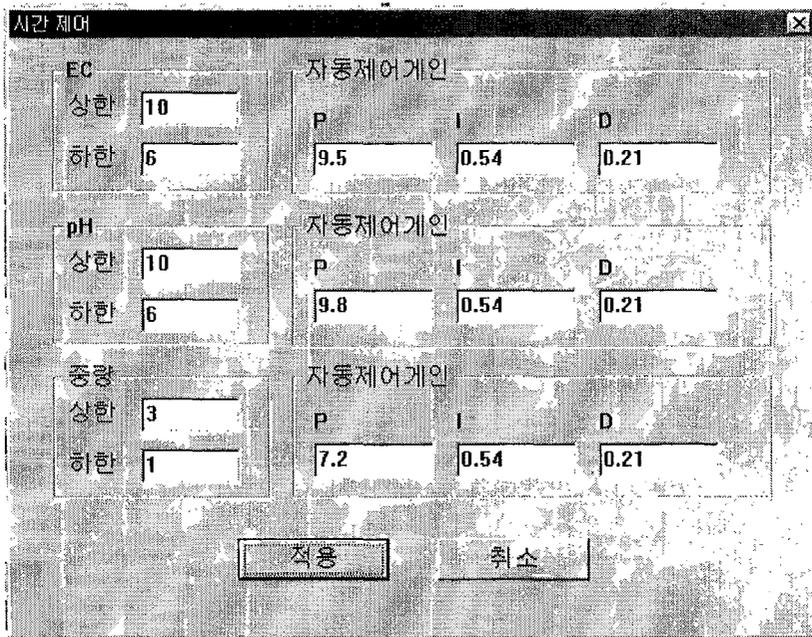


그림 4-89. 시간 제어

배양액 제어의 시간표 제어는 재배자의 경험에 의하여 재배자의 경험을 그대로 프로그램에 명령하여 명령한 스케줄대로 동작하는 방식으로 다른 기존의 시스템에서는 프로그램제어 또는 스케줄 제어라는 명칭으로 사용되어지고 있다. 그러나 기존 시스템의 시간제어방식과는 시간 샘플링의 유연성과 다양하고 편리한 액츄에이터의 선택 등에 있어서 월등한 기능을 확보하고 있다. 그림 4-90에서 시간표제어에서 팝업메뉴를 볼 수 있다. 각각의 센서 값의 제어 범위를 자유로이 선택할 수 있으며 동작시간을 분 간격으로

기록할 수 있다.

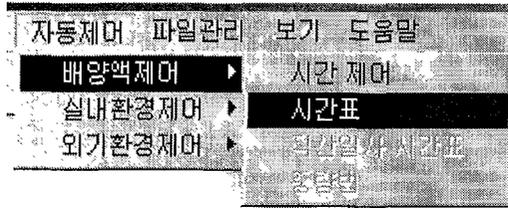


그림 4-90. 자동 제어 메뉴(2)

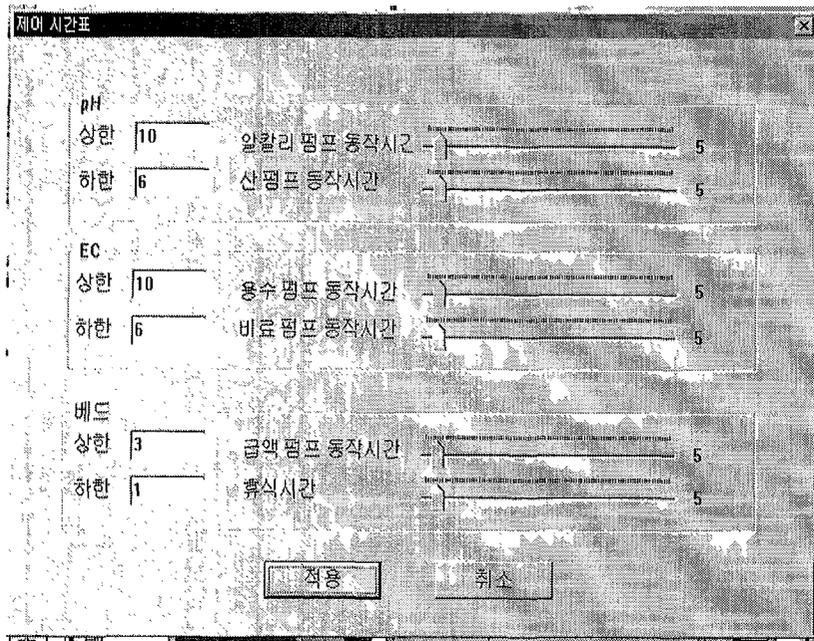


그림 4-91. 시간표 제어

참 고 문 헌

- Ahuja, S., M. C. Muchopadhyaya. 1985. Variability in the occurrence of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* infection in various vegetable crops. *Bulletin of Entomology*. 26(1); 17-24.
- Blua, M. J., T. M. Perring, G. S. Nuessly, J. E. Duffus, N. C. Toscano. 1994. Seasonal cropping pattern effects on abundance of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) and incidence of lettuce infectious yellows virus. *Environmental Entomology*. 23(6); 1422-1427.
- Bolter, C., R. A. Brammall, R. Cohen, G. Lazarovits. 1993. Glutathione alterations in melon and tomato roots following treatment with chemicals which induce disease resistance to fusarium wilt. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 42(5); 321-33.
- Cornillon, P., S. Obeid. 1993. Influence of root temperature and phosphorus content in the substrate on muskmelon growth. *Advances in Horticultural Science*. 7(2), 69-72.
- Costa, J., M. S. Catala, C. Cortes, F. Nuez, J. Abadia, J. Cuartero. 1989. Evaluation of variability in the main types of melon grown in Spain. *Investigacion Agraria, Produccion y Proteccion Vegetales*. 4(1); 43-57.
- Enberg, R. N., F. E. Leickly, J. McCullough, J. Bailey, D. R. Ownby. 1987. Watermelon and ragweed share allergens. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 79(6); 867-875.
- Feigin, A., I. Rylski, A. Meiri, J. Shalhevet. 1987. Response of melon and tomato plants to chloride-nitrate ratio in saline nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition*. 10(9/16): 1787-1794.

Fernandez, B. J. M., J. D. Barnes, J. H. Ollerenshaw, A. W. Davison. 1993. Physiological effects of ozone on cultivars of watermelon (*Citrullus lanatus*) and muskmelon (*Cucumis melo*) widely grown in Spain. *Environmental Pollution*. 81(3):, 199-206.

Golden, D. A., E. J. Rhodehamel, D. A. Kautter. 1993. Growth of *Salmonella* spp. in cantaloupe, watermelon, and honeydew melons. *Journal of Food Protection*. 56(3):, 194-196.

Goldman, L. R., D. F. Smith, R. R. Neutra, L. D. Saunders, E. M. Pond, J. Stratton, K. Waller, R. J. Jackson, K. W. Kizer. 1990. Pesticide food poisoning from contaminated watermelons in California. 45(4):, 229-236.

Harun, R. M. R., D. A. Hall, R. A. K. Szmidt, G. M. Hitchon. 1991. Melon cultivation in organic and inorganic substrates. *Acta Horticulturae*. 294: 105-108.

Hong, S. H. 1995. Automatic control of growth environment for plant factory, Ph. D. thesis, Seoul National University.

Huang, X. X., M. X. Shen. 1993. Multifactorial evaluation of the economic and ecological effects of cropping systems with application of relational grey correlation analysis. *Journal of Jiangsu Agricultural College*. 14(2): 31-36.

Iemura, H. and Y. Tsuchiya. 1989. Bacteriological characteristics and temperature condition to disease occurrence of bacterial leaf spot of gerbera caused by *Pseudomonas cichorii*. *Proceedings of the Kansai Plant Protection Society*. 31: 7-10.

Incalcaterra, G. and G. Curatolo. 1992. Response of winter melon (var.

inodorus) to mulching with black polyethylene, grafting and different planting densities. *Informatore Agrario*. 48(6): 64-65, 68-73.

Itoh, K. and J. Himoto. 1994. Studies on preservation of vegetables (Part 2). Preservation of melon. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*. 56(5): 43-50.

Iwata, M., K. Sunagawa K. Kume, A. Ishikawa. 1990. Efficacy of vapour heat treatment on netted melon infested with melon fly, *Dacus cucurbitae* Coquillett (Diptera: Tephritidae). *Research Bulletin of the Plant Protection Service, Japan*. 26: 45-49.

Iwatsubo, T., H. Nakagawa, N. Ogura, T. Hirabayashi, T. Sato. 1992. Acid invertase of melon fruits: immunochemical detection of acid invertases. *Plant and Cell Physiology*. 33(8): 1127-1133.

Jeong, C. S., Y. N. Song, J. H. Kim, W. H. Kang, K. C. Yoo. 1991. Studies on contact coiling of cucumber tendrils. I. The effects of environmental factors and supporting materials on contact and free coiling. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*. 32(1): 17-22.

Jones, V. P., M. P. Parrella, D. R. Hodel. 1986. Biological control of leafminers in greenhouse chrysanthemums. *California Agriculture*. 40: 1-2, 10-12.

Kagohashi, S. et al. 1981. Effects of controlling the nutrient uptake on the plant growth and the fruit qualities of muskmelons cultivated in autumn and spring. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 50(3):306-316

Kaneda, M. and T. Uchikoba. 1994. Protease from the sarcocarp of *Trichosanthes bracteata*. *Phytochemistry*. 35(3): 583-586.

Kang, H. W., U. G. Kang, Y. T. Jung. 1993. Influence of electrical conductivity on changes of microorganisms and chemical properties of rhizosphere soils in controlled horticulture. RDA Journal of Agricultural Science, Soil and Fertilizer. 35(1): 308-314.

Kao, T. C. and C. H. Wu. 1992. Vegetable growth performance in semitropical air inflated greenhouse. American Society of Agricultural Engineers. 92: 4006.

Kim, H. T., K. Y. Kang, C. H. Lee, H. B. Chung, H. D. Chung. 1989. The toxic effect of N, P, K, Ca or Mg at high ion concentration on the early vegetative growth and nutrient uptake of musk melon. Abstracts of Communicated Papers Horticulture Abstracts, Korean Society for Horticultural Science. 7(1): 66-67.

Kim, K. S., K. M. Lee, I. J. Jang. 1992. Development of automatic water manager system in horticulture. Journal of Biological Production Facilities and Environment Control. 1(1): 61-71.

Kim, S. E., Y. S. Kim, S. W. Kim. 1996. Development of the measuring system for automation of hydroponics. Journal of Biological Production Facilities and Environment Control. 5(2): 210-214.

Kim, S. W., E. T. Kim, M. Park, 1996. A new adaptive fuzzy controller using the parallel structure of fuzzy controller and its application. Fuzzy Sets And Systems. 81: 205-226.

Kim, S. W., Y. W. Cho, M. Park. 1996. A multirule-base controller using the robust property of a fuzzy controller and its design method, Ieee Transaction on Fuzzy Systems. 4(3): 315-327.

Lester, G. 1990. Lipoxygenase activity of hypodermal- and middle-mesocarp tissues from netted muskmelon fruit during maturation and storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 115(4): 612-615.

Mendlinger, S. and M. Fossen. 1993. Flowering, vegetative growth, yield, and fruit quality in muskmelons under saline conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 118(6): 868-872.

Mendlinger, S. and D. Pasternak. 1992. Screening for salt tolerance in melons. *HortScience*. 27(8): 905-907.

Nukaya, A. 1995. Changes of mineral concentrations in plant sap during the growth period of muskmelons grown in rockwool. *Acta Hort*. 396:167-172.

Orozco, S. M., A. O. Lopez, Z. O. Perez, S. F. Delgadillo. 1994. Effect of transparent mulch, floating row covers and oil sprays on insect populations, virus diseases and yield of cantaloup. *Biological Agriculture and Horticulture*. 10(4): 229-234.

Pedrycz, W. 1984. An identification algorithm in fuzzy relational systems. *Fuzzy Sets and Systems*. vol. 13.

Ryu, K. H. 1991. Fully-Controlled Plant Factory System, KOSEF.

Schuerger, A. C. and J. C. Batzer. 1993. Identification and host range of an *Erwinia* pathogen causing stem rots on hydroponically grown plants. *Plant Disease*. 77(5): 472-477.

Shiomi, T. 1991. Ecological studies on pathogen of melon hairy root. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 25(3): 181-184.

Simmons, A. M. 1994. Oviposition on vegetables by *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae): temporal and leaf surface factors. *Environmental Entomology*. 23(2): 381-389.

Slama, F. 1991. Transport of Na⁺ in leaves and sensitivity of plants to NaCl. Assessment of a trap effect at the level of the stems. *Agronomie*. 11(4): 275-281.

Slotine, J. J. E., W. Lei, W. J. Lamont. 1992. Taiwan, republic of China: Observations on intensive production systems using plastic mulches, drip irrigation, plastic tunnels and greenhouses. *Plasticulture*. 93: 41-44.

Son, I. S., Y. T. Jung, E. S. Yun. 1993. Status of vinyl house melon and water melon cultivation and soil characteristics in Yeongnam area. *RDA Journal of Agricultural Science, Soil and Fertilizer*. 35(1): 295-300.

Son, J. I., D. K. Lee, M. K. Kim. 1993. Multipurpose growing estimation model of plant factory. *Journal of Biological Production Facilities and Environment Control* 2(2): 126-135.

Sugeno, M. and G. T. Kang. 1988. Structure identification of fuzzy model *Fuzzy Sets And Systems*. 28: 15-33.

Tanaka, K. and M. Sugeno. 1992. Stability analysis and design of fuzzy control systems. *Fuzzy Sets And Systems*. 45: 135-156.

Tang, D. Z., Y. B. Sun, S. Q. He, Y. Q. Li. 1992. Study on infection cycle, epidemic factors and the control of *Phytophthora* blight of honey dew. *Acta Phytomycológica Sinica*. 19(3): 271-275.

Uchikoba, T., T. Niidome, I. Sata, M. Kaneda. 1993. Protease D from the sarcocarp of honeydew melon fruit. *Phytochemistry*. 33(5): 1005-1008.

Wang, L. X. 1993. Adaptive fuzzy systems and control :Design and stability analysis, Prentice-Hall International.

Wen, H. C. 1987. Studies on the relationship between the population density of melon fly (*Dacus cucurbitae* Coquillet) and infestation in cucumber fields. *Journal of Agricultural Research of China*. 36(2): 222-227.

Yamagata, H. S., Ueno, T. Iwasaki. 1989. Isolation and characterization of a possible native cucumisin from developing melon fruits and its limited autolysis to cucumisin. *Agricultural and Biological Chemistry*. 53(4) 1009-1017.

Yeongnam area. Research Reports of the Rural Development Administration, Soil and Fertilizer. 33(3) 31-37.

河森 武登. 1970. 施設園藝の土壤管理に関する研究 (第4報) 温室メロン栽培における土壤水分管理について. 静岡縣 농업 시험장 연구보고 15: 84-89.

김승우, 김은태, 박민용. 1993. 퍼지 제어기의 강인성을 이용한 새로운 퍼지 적응 제어기의 설계. *대한전자공학회*. 30(B9): 106-121.

부 록

고품질 멜론 재배법 교육 자료

[1] 멜론의 특징

- 1) 고온 건조한 조건에서 잘 자란다.
- 2) 생육적온: 주간 25-30℃, 야간 18-20℃, 발아적온: 28-30℃
- 3) 야간 온도가 16℃이하면 고품질 멜론을 생산하기 어렵다.
- 4) 광포화점: 60Klux, 광보상점: 1.5Klux
- 5) 착과지가 길수록 좋은 과실을 맺는다.
- 6) 기온이 낮으면 건조하게, 높으면 습하게 하여야 과실 비대가 촉진된다. 단, 초세가 좋을 때 빛 어둠의 고온 고풍도 조건(영양생장 과다)에서는 건조하게 한다.
- 7) 재배기간: 저온기 130-140, 고온기 90-100일

	과 종	수 확	비 고
봄재배	2-3월	6-7월	무가온재배
여름재배	6월	9월	
가을재배	9월	12월	

8) 생육단계별로 기술을 요한다.

- ▶ 멜론은 다른 작물과 달리 전체 생육기간이 120일 정도로 짧으며 파종·정식·개화·결실·수확이 단계별로 이루어지기 때문에 한 순간이라도 세심한 관리를 소홀히 해서는 안 된다.
- ▶ 과실의 착과, 1차 비대기, 과실 경화기, 1차·2차 네트 발현기, 2차 비대기, 당도를 올리기 위한 관리가 순조롭게 이루어질 수 있도록 해야한다.

9) 멜론의 주요품종 및 특성

① 네트 멜론

품종명	작형	성숙일수	특성
슈퍼VIP	조춘, 만추	55 ~ 60	덩굴마름병 내병성, 저온기 과비대력 양호, 성숙기 초세양호
VIP	조춘, 만추	55 ~ 60	덩굴마름병 내병성
메이퀸1호	춘 작	55 ~ 63	저온기 과비대력 양호, 덩굴마름병, 착과력 강함, 네트 양호, 약간 고구형
메이퀸2호	춘·추작	53 ~ 55	초세 강함, 약간 고구형
뷰티	춘·추작	55 ~ 60	네트 안정, 저장성 강함, 당도 높음
로맨스	춘·추작	55 ~ 60	당도 높음, 저장성 강함
코리아	춘·추작	55 ~ 60	저온기 과비대력 양호, 대과성, 네트 우수, 저장력 강함, 흰가루병 저항성
드립	춘·추작	50 ~ 55	암꽃 착생 양호
루이스	춘·추작	55 ~ 60	로나에 비해 대과성, 기타 과실특성은 비슷하며 내병성은 다소 약함
바디레드	춘·추작	50 ~ 55	덩굴마름병
크라운	하 작	50 ~ 55	저장성 강함, 당도 높음, 저장성 강함, 네트 안정
로란	하 작	50 ~ 55	
원더풀1호	하·추작	50 ~ 55	네트 양호, 저장성 강함
엘스나이트계통	춘·하·추	50 ~ 60	네트 양호, 저장성 강함, 흰가루병 저항성
세느계통	춘·하·추	50 ~ 60	저온기 과비대력 우수
산타크로스	추·동작	55 ~ 60	

※ 메이퀸1호, 루이스를 제외하고 덩굴췌침병과 흰가루병에 저항성이 있다.

※ 루이스(Takii종묘, 신품종)

- ▶ 육질 green, 당도 16-17도. 2줄기를 키워 줄기당 2개 착과시킨다.
- ▶ tunnel재배용으로 분엽 10-15매에서 착과시키고, 23-25매 정도에서 적심한다.
- ▶ 네트형성 전까지는 온도를 높여주고(35℃까지) 네트형성 시작시 환기시켜 25℃ 정도로 온도를 낮추어 관리한다.
- ▶ 착과 후 적심이 용이하도록 한 방향으로 유인한다.
- ▶ 착과후 수확까지 50±5일 소요된다.

② 루네트 맥분

품종명	작형	성숙일수	특성
설향	준작	43 ~ 47	백피종, 당도 높고 육질 우수, 타원형, 중과종
휴턴스타	준작	41 ~ 43	백피종, 착과력 양호, 당도 높음
실버벨	준작	40 ~ 45	백피종, 당도 높음, 타원형
백화	준·하작	43 ~ 45	백피종, 당도 높음, 저장성 강, 착과력 양호
마스타	준·하작	43 ~ 45	백피종, 육질 양호, 중과종, 당도 높음, 착과력 양호
화이트스틱	준·하작	43 ~ 45	백피종, 당도 높음, 저장성 강, 다과종
비너스	준·하작	40 ~ 45	백피종, 당도 높음, 주대과종
슈퍼스타	준·하작	45 ~ 50	백피종, 저장성 강, 당도 높음
비스트	준·하작	45 ~ 50	백피종, 중대과종, 담적육, 육질 양호, 저장성 강
스페샬	준·하작	45 ~ 50	백피종, 중대과종, 담적육, 육질 양호, 저장성 강
실버스타	준·하작	40 ~ 45	백피종, 타원형, 중과종, 당도 높음, 육질 양호
크리스탈	준·하작	45 ~ 48	백피종, 당도 높음, 육질 우수, 덩굴마름병 강함
화이트킹	준·하작	45 ~ 48	백피종, 당도 높음, 저장성 강함
황금	준작	45 ~ 50	황색종, 당도 높음, 장타원형, 중과형
넬버윈	준작	40 ~ 43	황색종, 중대과종, 저장성 강
골든스타	준작	45 ~ 50	황색종, 착과력 양호, 중대과종, 과면에 약한 골
환희	준작	40 ~ 45	황색종, 저온 강함, 당도 높음, 중과종
노포리	준작	40	황색종, 풍산성, 장타원형, 중소과종
감천3호	준작	40	얼룩무늬, 착과력 양호, 만고병 강, 장타원형, 중소과

10) 국내 재배 품종

유선맥분	일스		
하우스맥분	네트형	풍미, 암스, 일스, 안데스, 진주 200	
	노네트형(잡외형)	백색육질	백설, 프린스
		얼룩무늬	파파야, 골드
		노랑육질	허니듀
	적육계	퀵시	
그밖의 맥분	세이누코리아, 머스크, 황금, 설향, 그랑프리, 나포리		

11) 일본의 품종

- ▶ 엘스멜론(Earl's favorite)이 중심.
- ▶ 엘스나이트(Earl's night) 춘추계, 横浜植木の “크레스트”(Crest), “雅” 등이 많이 이용.
- ▶ 봄재배에서는 교배 후에 20℃이하의 저온을 만날 수 있으므로 과실생장이 좋고 열과하기 어려운 품종을 선택
 - 横浜植木の “크레스트”(Crest)춘추계, “雅”, 夏系2号 등
- ▶ 여름재배에서는 고온에서도 과실이 크지 않는 품종 선택
 - 엘스雅, 夏系2号 등

▶ 작부체계

작형	과종	정식	교배	수확
봄재배	3월초	4월초	5월초	6월말-7월중
여름재배	4월말	5월중하	6월중	8월하

12) 품종별 재배력

품종명	프린스	암스	안테스	홈런	다카미	퀸시	바대	킨쇼	엘스
과종일	1.15	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	7.1
육묘일수	40-45	40	40	40	40	40	40	40	15-20
정식일	3.1	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	7.18
株間(cm)	75-80	60	60	60	60	60	60	60	75-80
적심(매)	4	3	3	3	3	3	3	3	1
주지수	3	2	2	2	2	2	2	3	1
착과수	6-8	3-4	3-4	4	4	3-4	3-4	6-8	1
교배방법	홀몬	벌	벌	홀몬	벌	벌	벌	홀몬	벌, 人
수확일	35	55	55	40~45	60	60~65	50	40	
착과위치	8	12	12	10	12	12~15	12~15	10	12~15

[2] 재배

2.1 육묘

1. 과종

- 1) 종자를 옆으로 누워서 점과 - 발아 후 자엽이 가지런해진다.
- 2) 과종 개수: 필요량 보다 더 과종한다.
- 3) 발아 적온은 30℃ 전후로 하고, 과종시 온도변화가 크지 않도록 한다. 그렇지 않으면

빈 수분시 암꽃이 고르게 개화하지 않으며 본엽이 기형이 된다.

4) 배지를 사용할 경우에는 피트, 질석, 펄라이트 등을 혼용해서 사용하고 복토는 0.5~1cm 정도 덮는다.

5) 산소가 부족하면 발아가 안되기 때문에 산소공급이 용이해야 한다. 따라서 통기성이 좋은 포트를 사용한다. 포트가 너무 크면 정식할 때 흙이 떨어져 나가면서 뿌리에 상처를 주기 때문에 이를 고려하여야 한다.

6) plug 묘 이용방법

▶ 포복재배용 묘는 32구(직경 5.5cm, 깊이 5cm) 프러그가 적당하며 30일 정도 육묘하여 본엽 3매 정도의 묘를 정식하며, 지주재배의 경우 45구(직경 4.5cm, 깊이 5cm) 프러그를 사용하여 20일 정도 육묘하여 본엽 2매 정도의 묘를 정식한다.

7) 육묘 일수와 포트의 크기

정식기(월)	육묘일수(일)	묘의 크기(매)	포트의 크기(cm)
12상 ~ 4하	25 ~ 30	3.5	12
5상 ~ 5하	22 ~ 25	3.5	12
6상 ~ 7중	18 ~ 20	2.5	9
7중 ~ 8하	13 ~ 16	2.0	9
9상 ~ 9하	18 ~ 20	2.5	9
10상 ~ 10하	20 ~ 22	3.0	10.5
11상 ~ 11하	22 ~ 25	3.0	10.5

멘론의 육묘 포트의 크기에 따른 과실의 크기와 품질(얼스세이누, 3月10日 과중)

시험구	개화일 (月, 日)	과중 (g)	과경 (cm)	과고 (cm)	과형 지수	네트			당도	과육 두께 (cm)	품질		
						굵 기	밑 도	높 이			육 질	향 질	맛
128구 프리-CLM	5.6-8	1,332	13.3	13.5	1.02	5.0	4.8	4.9	14.6	3.6	4.9	5.0	4.9
포트(10.5 cm)	5.8-9	1,111	11.9	12.7	1.07	4.9	4.8	4.9	13.9	3.1	4.4	4.5	4.3
포트(9cm)	5.9-4	1,057	11.8	12.5	1.06	4.9	4.8	4.9	13.5	3.0	3.8	4.2	3.8
본엽1매정식	5.8-11	1,197	12.6	13.0	1.03	5.0	4.9	4.9	12.9	3.4	3.0	4.0	3.0

1) 과형지수: 과고/과경

2) 네트: 5~1

8) 양액재배시 과중

▶ 과중용 클락(20:30mm)에 직접 과중하든지 훈탄이나 버미큘라이트와 같은 배지에 조과한다.

- ▶ 파종용 블록의 경우에는 자엽 전개시에 육묘 블록(75mm)에 이식한다.
- ▶ 배지에 파종한 경우에는 발아후 가능한 한 빨리(약2일간), 늦어도 자엽이 전개하기 전에 육묘블록에 이식한다.
- ▶ 배지나 육묘블록 등은 표준농도의 배양액에 포화시킨 후 사용한다.

9) 양액재배시 육묘관리

- ▶ 표준농도의 배양액을 사용한다.
- ▶ 저면급액 혹은 상부 관수에 의해 항상 배지에 충분한 배양액을 주어 배지가 건조해지지 않도록 한다.
- ▶ 저온시에는 기온과 배지온도를 모두 20-25℃로 유지한다.
- ▶ 그루사이에는 미리 넓혀 도장을 막는다.
- ▶ 육묘일수는 약25-30일이며, 본엽 3-4매 전개시에 정식한다(정식묘의 크기는 여름 2매, 춘추 3-3.5엽이 전개한 묘).

2. 육묘 중 온도관리

시 기	기 온(℃)	지 온(℃)
발아까지	28 ~ 30	28 ~ 30
발아 후	28 ~ 30(낮)	23 ~ 24
	18 ~ 20(밤)	
이식 후(2-3일)	28	25
활착 후	20 ~ 25(낮)	22 ~ 23
	17 ~ 18(밤)	

- 1) 발아온도는 25-30℃로 하지만 고온일수록 발아가 균일하다.
- 2) 뿌리내릴 때까지는 고온으로 관리한다.
- 3) 발아하거나 뿌리가 내리면 온도를 낮추고 충분히 햇빛을 쬐인다.
- 4) 야간에 고온다습해지면 웃자라거나 병해 발생
- 5) 관수: 활착 후 시들지 않을 정도로 소량관리, 야간에 수분이 남지 않도록 한다.
- 6) 육묘 후반과 정식 후의 온도, 영양, 수분관리 및 정식 때 뿌리의 상처 등이 암수의 결정 및 암꽃의 소질을 결정하므로 육묘관리가 중요하다.
- 7) 육묘온도가 높으면 암꽃의 발생절위가 높고, 일조시간이 짧으면 암꽃 발생율이 낮아진다.

3. 육묘시 관수관리

- 1) 토양재배시 육묘 관수

- (1) 찬물을 사용해서 상온이 내려가는 일이 없도록 한다.
- (2) 잎 위로 관수하지 않는다.
- (3) 야간에 나습하지 않도록 수분량을 조절한다.
- (4) 각 포트마다 균일하게 관수되도록 하여 묘에 스트레스를 주지 않도록 한다.
- (5) 지하수의 온도는 지온기에는 10~13℃ 전후라 어린 묘에 직접 관수하기에는 온도가 낮으므로 어느 정도 수온을 올려 관수하여야 한다.
- (6) 1회 관수량은 상토의 보수력, 날씨, 묘의 크기, 묘의 생육상태에 따라 다르게 관수한다.
- (7) 오전 중에 기온·상온이 이 어느 정도 오른 뒤에 관수한다.

2) 양액제배시 육묘 관수

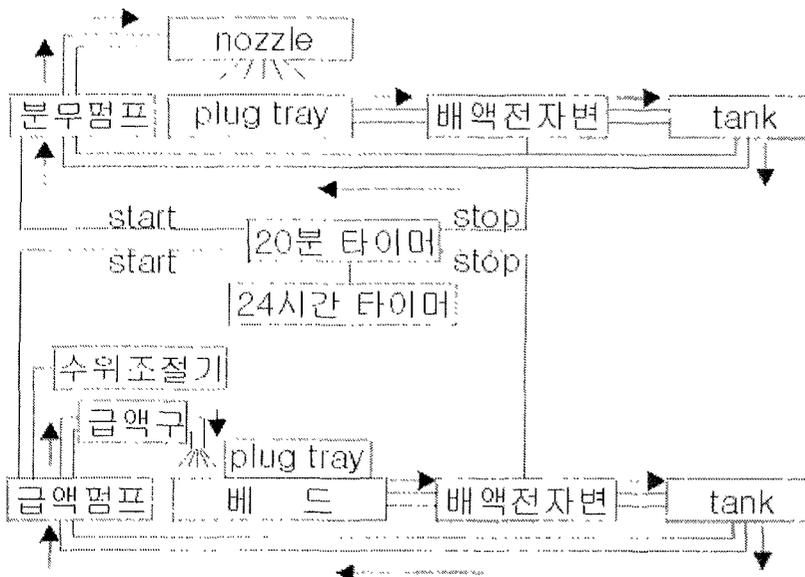


Fig. 1. 스프레이 방식과 저면금액 방식

- (1) 파종 직후: 살수 관수(스프레이 방식)



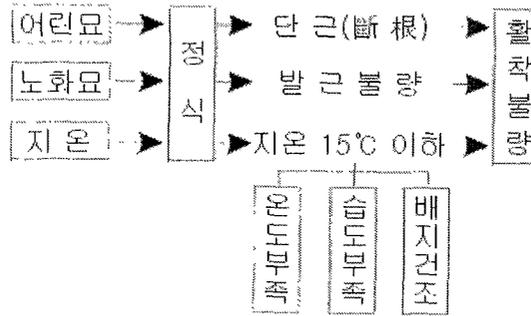
Fig. 2. 스프레이 관수

- ▶ 고려할 사항: 하루 살수 회수, 1회 살수 시간, 플러그 트레이에서 살수 장치까지의 높이, 살수 펌프의 압력, 살수장치의 압력
- (2) 자엽 출현 후: 저면 관수(저면 급액 방식)
 - ▶ 고려할 사항: 물높이, 1회 관수 시간, 하루 회수,
- (3) 야간에 다습하지 않도록 수분량을 조절한다.
- (4) 균일하게 관수되도록 하여 묘에 스트레스를 주지 않도록 한다.

2.2 정식

1. 만고병 예방을 위해 묘의 기부가 상면에서 1cm 높도록 심는다.
2. 정식 시기
 - ▶ 여름파종: 15~18일 정도(본엽 2~3매)
 - ▶ 가을파종: 20~23일 정도(본엽 3~5매)
3. 토양재배시 지온이 낮을 때는 인위적으로 지온관리를 하여, 지온이 프린스 15, 암스와 안테스 16, 퀴시 18℃ 이상일 때 정식한다.
4. 암면재배시 정식요령
 - ▶ 암면판(길이 91cm)당 재식본수는 4그루로 하여 좌우 두줄로 유인하는 것이 표준이다.
 - ▶ 한줄로 유인할 경우에는 암면판당 2-3그루를 심는다.
 - ▶ 재식 본수, 유인방식은 시설에 맞추어 결정한다.
 - ▶ 병이 생기지 않는다면 암면판은 3-4연작 가능하다.

- ▶ 정식 2-3일전에 압면판을 배양액으로 포화시키고, 압면판내 온도를 20-25℃로 조절해 준다.
- ▶ 정식은 압면판속을 압면판에 놓는 것으로 끝난다.
- ▶ 수일내에 활착하는데, 압면판을 연용하는 경우에는 압면판 표면을 가능한 수평으로 해두지 않으면 활착이 나쁘므로 주의한다.



5. 정식 후 활착 불량에의 원인

6. 정식법도

- ▶ 정식간격: 5.4m 폭의 하우스에서 45cm 간격으로 2줄 심어 10a당 600주 심는다.
- ▶ 노지에서는 50-60cm 간격으로 2줄 심기하는데 500주/10a 정도이다.

2.3 토양제매시 관수 관리

(1) 관수관리 개요

생육 단계	생 육 기			개화기	유과 비대기	네트 발현기	네트 완성기		당도 상승기	수확기
생육일수	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
작업	정식			적교 심배	적봉 과지	과 단 기			절 수	
pF치 (1.5cm)	정식	생육	교배	유과	과실	네트	네트	당도		
	직	기	전 교	비대	경화	발현	완성	상승		
	후		배 후	기	기	기	기	기		
	1.3	1.6	1.8	1.5	1.9	1.5	1.7	2.0		
	1.6	1.8	2.1	1.7	2.0	1.8	2.0	2.7		

▶ 토양재배에서 고품질의 멜론을 생산하기 위해서는 교배전 pF 2.3 이내로, 교배후 pF 2.7 이상으로 관리하는 경우도 있다.

(2) 관수관리 요령

생 육 시 기	관 수 관 리
정식 ~ 활착까지	충분히 관수
활착 ~ 개화2일전까지	물을 서서히 증량해서 경엽의 발육촉진
개화전 ~ 개화중	관수량을 줄여 착과 촉진
착과 후 2주일	다관수, 어린과실의 비대촉진
착과 2주일 후 ~ 3, 4일	관수량을 줄여 과실 경화시킴
네트시작 ~ 네트형성	다관수로 네트발현 및 튀어나오게 하고 과실비대를 겨냥함
네트형성 ~ 수확 10일전	관수를 보통으로 줄임
수확 10일전 ~ 수확	잎이 시들지 않을 정도로 서서히 줄여서 단수함

- ① 수확 10여일 전부터 줄여주다가 단수한다.
- ② 총 관수량

작 기	관수량(L/주)
춘 작	70
추 작	60 ~ 70
하 작	90 ~ 100

- ③ 비온 날: 맑은 날의 1/3
- ④ 교배에서 네트 발생 전까지: 맑은 날의 1/2
- ⑤ 습도: 낮 - 60%(겨울 70%), 밤 - 80%

2.4 양액제배시 배양액 관리

1) 급액 관리

① 급액 방식에 따른 관리

가. 타이머에 의한 급액

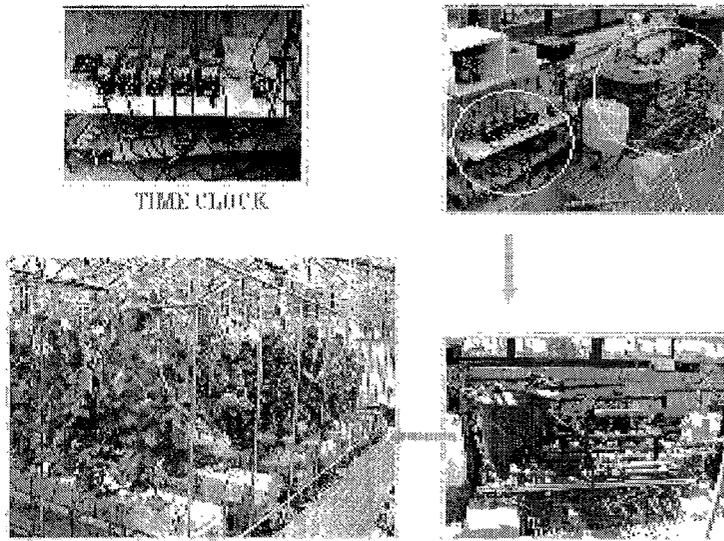


Fig. 3. 타이머 제어법

- ▶ 특징: 가장 저렴하고 간단한 제어 방법
- ▶ 방법: 타이머를 급액펌프에 연결 후 급액 시간 설정
- ▶ 소요설비: 타이머, 전자계폐기
- ▶ 주의: 배지, 식물의 생장, 환경 등의 특성에 맞게 설정

- ▶ 단점: 작물, 생육단계 및 계절에 따른 급액조절 곤란
비순환식 배지경에서 급액량 과부족현상 초래
- ▶ 장점: 설치 조작이 간단하고 저렴하여 널리 사용
- ▶ 멜론 재배시 타이머에 의해 급액했을 때 급액시간을 6:00~18:00 사이에 한시간 간격으로 급액하는 것보다 6:00, 8:00, 10:00, 11:00, 12:00, 12:30, 13:00, 13:30, 14:00, 14:30, 15:00, 16:00, 17:00로 설정하여 광량이 많은 낮 동안에 급액회수를 늘려주었을 때 멜론 과실의 당도가 높았다.

나. 적산일사량에 의한 급액

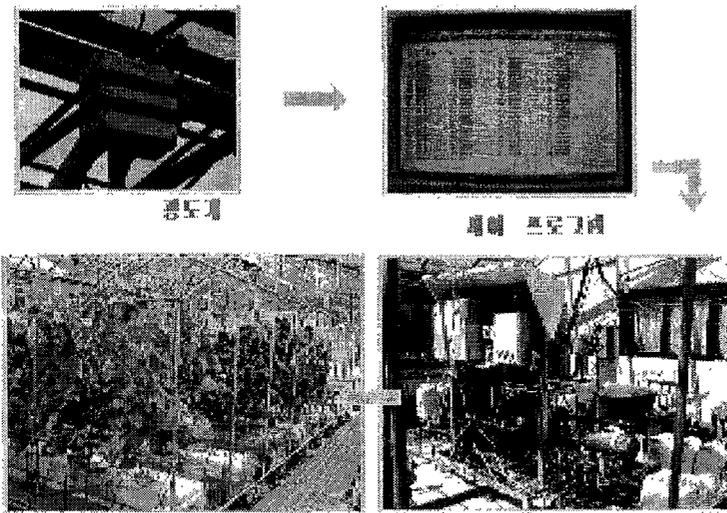


Fig. 4. 적산일사량 제어법

- ▶ 특징: 광도계를 이용하여 급액량과 회수 설정
- ▶ 원리: 작물의 흡수량과 일사량과의 관계 이용
- ▶ 방법: 일정한 적산일사량이 되면 급액, 1회 급액량은 생육상황에 따라 조절
- ▶ 소요설비: 광센서, 제어기, 인터페이스
- ▶ 주의: 밤에는 타이머 제어 방식과 겸용. 일출시 일시적인 수분결핍 주의.
- ▶ 단점: 급액량과 공급량 사이에 지연 시간 발생
- ▶ 장점: 타이머 제어보다 정교하고 작동이 안정적.
- ▶ 멜론 재배시 적산일사량에 의해서 급액했을 때 1회 적산일사량이 160Wh/m^2 이고, 1회 급액시간이 40초 일 때 멜론 생육에 가장 좋았다.

② 배지 종류에 따른 배양액 관리

가. 펄라이트 재배시 배양액 관리(네트 멜론: 로란)-원시 표준액

생 육 시 기	관수량(L/주:1일)	pH	EC(mS/cm)
정식 ~ 활착	1.8	5.8	2.0
활착 ~ 개화3일전	1.5	5.8	2.0
개화2일전 ~ 착과기	1.2	5.8	1.8
교배 후 15일	2.0	5.8	2.0
교배 16일 ~ 착과35일	1.8	5.8	2.5
교배 36일 ~ 40일	1	5.8	2.0
교배 41일 ~ 수확기	0.5	5.8	2.0

나. 육묘기에서 수확기까지 급액시간(머스크 멜론)

구 분		생 장 단 계				
		육묘기	영양생장기	과실발육기	성숙기	
					(I)	(II)
양 분 공급의 시 간 간 격	DFT	10분 (ON)	10분 (ON)	10분 (ON)	10분 (ON)	20분 (ON)
		50분(OFF)	50분(OFF)	50분(OFF)	50분(OFF)	100분(OFF)
	NFT	10분 (ON)	15분 (ON)	15분 (ON)	15분 (ON)	10분 (ON)
		50분(OFF)	45분(OFF)	45분(OFF)	45분(OFF)	50분(OFF)
	아면, 훈탄	3분(ON)	3분(ON)	5분(ON)	5분(ON)	5분(ON)
		9:00 14:00	9:00 14:00	8:00, 11:00 14:00	9:00 14:00	9:00 14:00
관 수	토양(회수/일)	1번	1번	2번	1번	1번
양액	EC(mS/cm)	0.7~1.0	1.0~1.3	1.4~1.9	2.0~2.3	2.0~2.3
	pH	5.5~6.5	5.0~7.0	5.7~7.0	5.5~6.5	5.5~6.5

다. 암면(rockwool) 재배시 월별 급액 설계

월 별	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
급액 회수	9	9	11	12	13	12	12	13	10	9	9	8
설정시각 ①	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00
②	9:30	9:15	8:45	8:15	8:00	8:00	8:15	8:15	8:45	9:15	9:30	9:45
③	10:45	10:15	9:45	9:15	9:00	9:15	9:15	9:15	10:00	10:30	10:45	11:00
④	11:45	11:00	10:30	10:15	10:00	10:15	10:15	10:15	11:00	11:30	11:45	12:00
⑤	12:30	12:00	11:15	11:00	10:45	11:00	11:15	11:00	12:00	12:30	12:45	13:00
⑥	13:15	12:45	12:00	11:45	11:15	11:45	12:00	11:45	12:45	13:15	13:45	14:15
⑦	14:15	13:45	12:45	12:30	12:00	12:45	12:45	12:30	13:45	14:15	14:45	16:00
⑧	15:30	15:00	13:30	13:15	12:45	13:30	13:45	13:15	14:45	15:30	16:00	19:00
⑨	19:00	19:00	14:30	14:00	13:00	14:30	14:45	14:40	16:00	19:00	19:00	
⑩			16:00	15:15	14:15	15:30	16:00	15:00	19:00			
⑪			19:00	16:30	15:30	16:45	17:30	16:00				
⑫				19:00	16:45	19:00	19:00	17:30				
⑬					19:00			19:00				
1회급액 (분:초)	5:20	5:00	4:40	5:40	7:00	6:40	8:10	8:30	9:00	7:00	5:20	5:10

※ 급액시간은 1주당 급액속도를 15ml/분으로 해서, 월별 급액량에서 계산한 1회당 필요한 급액시각으로 표시했다.

2) 배양액 관리

(1) 배양액 조성

※ 양액 재배시 벨론 배양액 조성표

(단위: ppm)

비료종류		일본 야마자키		일본 원에시헝장		일본 시즈오카		벨기에 EVRDC
		I	II	I	II	I	II	
		A액	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O(질산석회)	826	-	944	-	
5[Ca(NO ₃) ₂ · 2H ₂ O]NH ₄ NO ₃ (질산석회)	-		756.2	-	864	-	864	
KNO ₃ (질산가리)	202		157.7	268	261.8	152	339.8	
Fe-EDTA(킬레이트철)	16		20	20	20	20	20	
B액	KNO ₃ (질산가리)	404	377.9	540	465.8	303	34.8	332
	MgSO ₄ · 7H ₂ O(황산고모)	369	369.5	493	493	493	493	320
	KH ₂ PO ₄ (제1인산가리)	-	95	-	108.5	-	108.5	221
	NH ₄ H ₂ PO ₄ (제1인산암모늄)	152	71.5	150	58.5	136	44.5	-
	K ₂ SO ₄ (황산가리)	-	-	-	-	523	523	29
	미량원소	1 l	1 l	1 l	1 l	1 l	1 l	1 l
미량원소	H ₃ BO ₃ (붕산)	1200		2860		2860		1194
	MnSO ₄ · 7H ₂ O(황산망간)	625		1567		1567		1700
	ZnSO ₄ · 7H ₂ O(황산아연)	90		220		220		1150
	CuSO ₄ · 5H ₂ O(황산구리)	40		80		80		120
	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O(몰리브덴소다)	12.5		25		25		120
EC(mS/cm)		2.0		2.4		2.1		3.0

(주) 미량원소: 1,000배액을 기준으로 조성한 것이므로 조제 후 B액에 1 l 만 첨가

I: 4수염 질산칼슘 Ca(NO₃)₂ · 4H₂O 비료를 사용할 때의 양액 조성

II: 10수염 질산칼슘 5[Ca(NO₃)₂ · 2H₂O]NH₄NO₃ 비료 사용할 때의 양액 조성

(2) 작형별 배양액 관리

1) 순환식 암면재배(흙재배)

- ▶ 배양액 처방: 야마자키 벨론 처방
- ▶ pH 6.0-6.5, 배양액 온도 22℃
- ▶ EC 1.0(육묘기), 2.2 dS/m(정식후)로 관리.
- ▶ 급액회수: 1일4회(5, 8, 10, 15시)

2) 비순환 식암면재배(여름재배)

- ▶ 여름재배에서는 육묘시 0.8-1.0를 목표로 한다.
- ▶ 여름에는 시설내가 고온(40-45℃)이 되므로 차광하여 활착을 증진시키는 것이 요

령이다.

- ▶ 정식에서 활착까지의 급액이 작물상태를 좌우하므로 주의해야 한다.
- ▶ 활착 후 교배20일전까지는 EC 1.0-1.2로 급액하고, 배액의 EC는 1.0-0.8, 배액을 10%가 되게 한다.
- ▶ 교배15일전부터는 EC 1.2-1.4로 높여 결과지의 충실을 기한다.
- ▶ 교배시에는 EC 1.4-1.6, 그루당 급액량 1L를 급액하는 것을 기준으로 한다.
- ▶ 정식기가 되면 농도를 낮추고, 급액량은 너무 적지 않도록 하는 것이 중요하다.
- ▶ 배액농도는 1.2~1.4가 이상적이다.

3) 비순환식 압면재배(시즈오카 재배방식)

- ▶ 배양액처방: 일본원시처방 (여름재배에는 야마자키 멜론처방도 사용)
- ▶ pH 5.5-6.5
- ▶ 교배 후 압면판 내의 pH가 4정도까지 낮아지는 경우가 많은데 조정하지 않아도 된다.
- ▶ 봄재배에서는 지상부 온도를 적절히 관리하면 압면판을 가운할 경우는 발생하지 않는다.
- ▶ 여름재배에서는 베드를 알루미늄필름 등으로 감싸 온도상승을 막는다.
- ▶ 배양액온도는 22℃를 목표로 한다.
- ▶ 배양액농도는 봄재배에서는 EC 2.4로 시작하고, 교배전후의 2-3주간은 약간 높은 3.0dS/m로 관리하다가 다시 2.4로 한다.
- ▶ 여름재배에서는 EC 2.0으로 시작하고, 교배전후의 2-3주간은 약간 높은 2.5dS/m로 관리하다가 다시 2.0으로 한다.
- ▶ 급액회수: 정식 후 약2주간(여름재배에서는 10일정도)은 급액하지 않고, 압면판 내부의 배양액만으로 재배하여 뿌리가 압면판 내로 충분히 뻗은 후에 급액을 개시한다.
- ▶ 급액은 압면판 내에 수분이 절반정도 남아있을 때 개시한다.
- ▶ 급액할 경우에는 배양액이 배출될 때까지 급액하여 압면판을 포화시킨다.
- ▶ 비순환식에서의 급액회수는 1일 10-15회로 하며, 10-20%가 배액되게 한다.
- ▶ 압면판 내 수분량은 용적대비 70-80%가 적당하다.
- ▶ 봄재배 시 맑은 날에는 그루당 1일당 약 1.5L(여름재배에서는 2L)를 급액하지만 날씨와 생육단계에 따라 달리해야 하므로 항상 배액량을 조사하여 급액량이 부족하지 않도록 조절한다.
- ▶ 압면재배에서 급액을 중단하면 압면판이 너무 건조한 결과 뿌리가 상처를 입는 악효과가 발생한다. 특히 수분후의 저온에 의해 과실이 단단해진 작형에서는 수

분의 변동에 의해 열과가 발생하기 쉬우므로 암면판 내의 수분변동이 없도록 관리한다.

- ▶ 암면제에서 K흡수가 많으면 Ca와 Mg 흡수가 저해됨

3) 훈탄 제배(양분흡수 제한)

- ▶ 과실의 신장기와 네트 발현기에는 EC 1.2이하로 제한한다. 양분제한으로 표피세포가 작아서 네트 발생이 좋아진다.
- ▶ 네트 발달기에는 EC 2로 제한하지 않는다. 양분이 충분하므로 과육 비대가 발달하여 네트가 잘 발달한다.
- ▶ 과중과 과형에는 농도와 관련이 없다.. 질소의 흡수는 농도에 비례했으나 과중에 큰 영향이 없다.
- ▶ 온실멜론의 하루 질소 흡수량은 약 5g으로 알려져 있다.
- ▶ 춘작시 고농도에서는 상위엽 생장이 과다하므로 저농도가 좋다.
- ▶ 멜론의 네트는 표피세포와 과육세포의 발달 최성기의 차이에 의한 것이다.
- ▶ 표피세포의 신장은 교배후 13-15일에 정지하나(과실 신장기), 과육비대는 계속된다(네트발생기).
- ▶ 당은 교배후 35일 이후에 급속히 축적된다. 이때부터는 질소흡수를 줄이는 것이 대사속도를 줄여 당축적을 높이므로 품질에 좋다.
- ▶ 수확 10일전에는 거의 양분흡수하지 않도록 하는 것이 고품질을 생산할 수 있다.

2.5 환경관리

1. 지상부 환경관리

- ▶ 야간에는 20-23℃를 유지하도록 난방한다. 단, 교배후 3주간 정도는 야온을 약간 높은 25℃정도로 관리한다(최저기온: 정식후 13-14℃, 교배 중 15℃이상).
- ▶ 환기는 오전 중에는 28℃, 오후에는 24-25℃일 때 행한다(오전오후를 구별하기 힘들 때에는 27℃를 기준으로 한다).
- ▶ 탄산가스는 정식 후부터 사용한다. 사용시간은 일출 후 30분부터 환기개시까지이며, 농도는 800-1000ppm으로 한다.
- ▶ 과실의 네트는 급격한 온도변화에 민감하므로 바람이 불지 않게 하여 온도를 보존할 필요가 있다.
- ▶ 습도가 너무 높아지지 않도록 주의한다(잎이 젖지 않을 정도로 관리).
- ▶ 교배 후 2주간의 온·습도 관리가 과실의 품질을 결정하므로 이때 특히 관리에 주의해야 한다.

(1) 온도 관리

구 분	목표온도 (°C)		최저 필요온도 (°C)	
	낮	밤	밤	배 지
정 식 기	밀 폐	밀 폐	밀 폐	밀 폐
활 착 기	28~33	15~18	15	18
신 장 기	23~28	15~18	12	16
교 배 기	25~30	18	15	16
비 대 기	28~30	18~20	16	17
성 숙 기	25~28	15~18	12	16

1) 광합성 적온

- ▶ 낮: 28-30°C, 17-21시 사이: 18°C, 21시 이후: 14°C
- ▶ 암꽃의 안정된 개화와 착과율 향상을 위해서 야간온도는 16°C 이상이 좋다.

2) 여름의 온도관리

- ▶ 낮에는 35°C, 밤에는 20°C를 안 넘게 하는 것이 좋다. 밤의 온도가 20°C보다 높으면 암꽃 착생이 불량해지고 식물체 노화가 빠르며 과실이 충실하지 못하다.

3) 온도교차

밤과 낮	저온기: 10°C 고온기: 15°C
생육시기별	생육전반: 13-15°C 생육후반: 15°C 이상

2.6 재배관리

- ▶ 양액재배 시 정식후의 정지, 유인, 수확 등의 관리는 土耕과 동일하게 행한다.
- ▶ 양액재배에서는 초기생육이 빨라 노화가 일찍 오는 경향이 있는데, 이럴 경우에는 주지의 적심후에도 상위질의 축지를 1-3분 남겨 신장시킴으로써 노화를 방지하고, 수확시까지 초세를 유지한다.
- ▶ 암면재배에서는 과실이 크기 쉬우므로 그루가 너무 번성하지 않도록 주의한다.
- ▶ 네트는 교배 후 10일 전후에서 나오기 시작한다. 겨울, 봄가을재배와 달리 여름재배에서는 네트말현이 빠르다. 품종에 따라서는 농도, 그루 만들기가 대단히 어려운

시기이다.

1. 지주

- 1) 1.8m 정도의 대나무나 플라스틱 파이프를 이용하여 12번 철선으로 고정한다.
- 2) 식물체에서 5-6cm 떨어져서 세운다.
- 3) 유인 걸속: 3마디에 1회 걸속한다.

2. 정지, 측지 제거

- 1) 본엽 6-8 배 인 때 떡잎과 본엽 첫 번째 잎 제거
- 2) 본엽 8-10배 인 때 두 번째와 세 번째 잎 제거
 - ▶ 적심, 적아, 측지제거 등은 오진 중 맑은 날 깊이 자른다. 절단부위가 커지면 만고병이 생기기 쉽다. 병 침입 방지와 만고병 예방을 위하여 제거된 자리를 유허가부로 덮어준다. 자를 때는 칼이나 가위를 사용하지 않고 손으로 제거한다.

3) 엽면적의 조절

- ▶ 1주당 덩굴을 많게 하면 덩굴끼리 양분 경합이 일어나서 덩굴간의 생육차가 심해진다.
- ▶ 환경이 나쁘고, 광선이 부족한 시기에 재배하면 1주당 덩굴수를 줄이고, 정식 주수를 늘린다.
- ▶ 1주당 엽수가 많으면 일정하고 이상의 잎은 그늘져 포기 전체로 보면 손해가 된다. 또한 통기성이 나빠지고 병충해가 증가한다. 보통은 18엽이 적당하다(적엽된 하엽 제외시).
- ▶ 상부의 4엽이 전체 엽사광의 50%를 받으며 하엽은 거의 받지 못한다.
- ▶ 과실은 걸과부 아래의 잎이 많으면 커지고 상부의 잎이 많으면 품질이 좋아진다. 그러나 착과 부위가 낮으면 뿌리와 양분 경합하여 소과가 되기 쉽다.
- ▶ 저온에 조우하여 과실 신장이 나쁘다고 예상되면 착과 위치 아래 잎을 많게 한다. 고온기 과실 신장이 좋고 수분이 많을 때는 착과 위치 아래 잎을 적게 한다.

4) 착과 절위와 엽수

- ▶ 착과절위는 10-11절을 기준으로 한다.
- ▶ 여름재배시 착과절위는 13-15절을 기준으로 한다.

재배방법과 착과 및 적심절위

구분	착과절위(절)	적심절위(절)	결과지수(개)
1덩굴 1과	11 ~ 13	21 ~ 22	3
1덩굴 2과	12 ~ 16	25 ~ 28	4
높혀키울때	10 ~ 14	23 ~ 25	4

- ▶ 착과시에는 온도관리에 주의하여 최고 20~25℃(주간), 최저 15℃(야간)를 유지한다.
- ▶ 착과 위치보다 아래의 잎은 개화까지의 자방 크기에 영향을 미쳐 과실의 크기를 결정한다.
- ▶ 착과 위치보다 위쪽의 잎은 네트 개시부터 수확까지의 과실 발육에 영향을 미친다(품질 결정).
- ▶ 위쪽으로 갈수록 잎이 작아 원추형의 초세를 갖는 경우 과실 생육이 불량해진다.
- ▶ 고온이나 영양장해로 암꽃 절위가 이상적으로 높아진 경우
 - 20절 이하에 착과가 가능하면 착과시켜 줄기를 낮추고 유인
 - 20절 이하에 착과가 불가능하면 자만을 신장시켜 착과(5~7일 정도 지연)

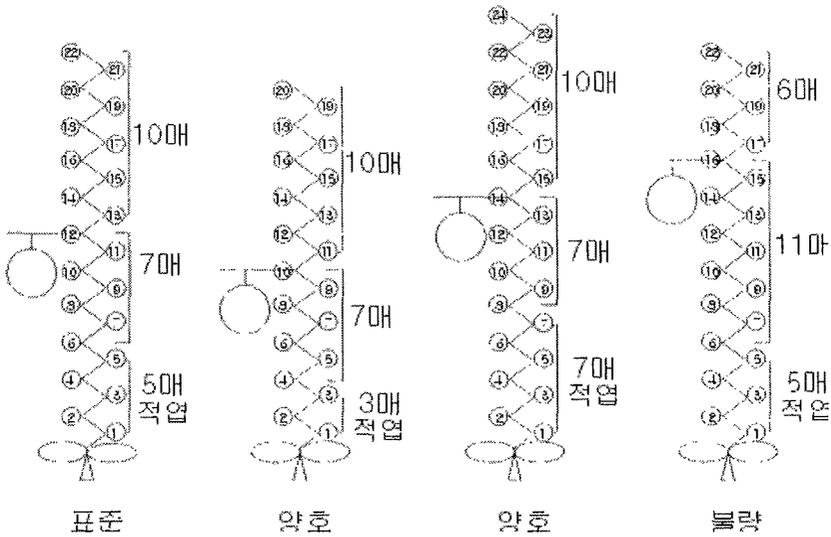


Fig. 264. 착과 절위별 적엽

3. 적심

- 1) 일반적으로 22-28절에서 반드시 교배 전에 적심한다(비닐 하우스 18엽)

- ▶ 원줄기의 적심: 개화 2-5일전
- ※ 일본에서는 적심할 때까지는 잎의 크기가 18cm 정도를 넘지 않도록 억제한다.
- 2) 적심 마디의 길성
 - ▶ 봄·겨울: 착과 예정마디 + 8-10매
 - ▶ 여름: 착과 예정마디 + 6-8매
- 3) 초세가 약하거나 입면적이 적은 경우에는 적심 부위에서 측지를 1-2개 남겨 엽수 확보와 지속적인 뿌리의 발달을 도와 초세를 맞추어간다.
 - ※ 양액제배에서는 초기생육이 빨라 노화가 일찍 오는 경향이 있는데, 이럴 경우에는 주지의 적심 후에도 상위절의 측지를 1-3본 남겨 신장시킴으로써 노화를 방지하고, 수확시까지 초세를 유지한다.
- 4) 적심이 늦어지면 생육 및 과실발육이 늦어진다.
- 5) 자른 부위의 흔적이 크면 만고병의 침입이 있으므로 자른 후 유허가루를 바르거나 완벽하게 말린다.
- 6) 착과지의 적심
 - ▶ 결과지 2엽을 남기고 적심한다. 세력이 약하면 3엽을 남긴다.
- 7) 결과지의 적심
 - ▶ 개화 1일전에 적심한다.

2.7 개화 및 과실

1. 개화

- 1) 육묘기 밤온도가 25℃ 이상을 넘기면 15절 이하에는 암꽃이 피지 않는다.
- 2) 암꽃이 걸러 피는 원인
 - ▶ 시들음, 화아 분화시의 영양장애, 정식시의 식상, 고온장해, 정식 후의 비료장애 등.
 - ▶ 육묘 단계시 아침 기온이 23-25℃ 이상 연속적으로 계속될수록 장해를 받기 쉽다. 특히 분얼 4매시 영향받기 쉽다.
- 3) 암꽃의 발생 중 황변고사: 영양불량
- 4) 자방이 큰 암꽃이 대과가 되므로 결과지의 적심을 일찍 한다.
- 5) 개화시 관리
 - ▶ 온도가 높을수록 이른 아침부터 개화, 화분도 빨리 나옴.
 - ▶ 아침 일찍 환기하되 지운기나 날씨 좋지 않을 때는 난방
 - ▶ 꽃의 화분은 개화 약 1주일 전에 감수분열하므로 개화 10일전부터 개화 후 2일~3일 까지 온도관리에 주의
 - ▶ 화분관 신장 적온은 21℃ 전후: 야온을 평상시보다 2~3℃ 높게 관리(개화기에만)

은 야온을 20℃ 이상으로 관리)

- ▶ 날씨가 나쁜 경우는 주간에도 28~30℃ 정도로 난방
- ▶ 35℃ 이상에서는 불임화분이 많아짐
- ▶ 다습할 때보다는 건조할 때 빨리 개화
- ▶ 계속해서 날씨가 나쁘면 자방이 농록색이 되고 곰팡이 병 침입. 꽃잎, 자방의 윗부분, 암꽃술 등 변색부를 제거함.

2. 교배

1) 교배 방법

(1) 인공교배

- ① 멜론은 총매화이기 때문에 하우스에서는 인공교배가 필요하다.
- ② 교배는 새벽부터 이른 아침까지 실시한다.
 - ▶ 하우스 내가 고온이 되지 않을 때 실시한다.
 - ▶ 온난기에는 10시경까지, 저온기에는 오전 중에 완료한다.
- ③ 교배가 완료된 것은 매직으로 교배날짜 표시
- ④ 암꽃은 개화전일, 당일, 익일의 3일간 수정능력 있음.
- ⑤ 붓을 이용할 경우 때때로 수꽃의 화분도 이용한다.
 - ▶ 화분은 물이 묻으면 흡수하여 죽으므로 붓을 이용할 때는 창문을 열어 잎의 물방울이 없도록 한 후 실시한다. 붓을 여러 개 준비한다.
- ⑥ 과실이 비대 도중 선단부부터 부패되는 것, 태좌부가 흑변하는 것의 원인은 교배시에 주두로 병균이 침입된 것으로, 주두에 상처나지 않도록 주의한다.
- ⑦ 초세가 약한 것이거나, 날씨가 불량한 경우에는 꽃잎이 한쪽만 핀다. 그러나 이때도 교배는 실시
- ⑧ 수꽃은 같은 그루의 것이든 다른 그루의 것이든 관계없다.
- ⑨ 교배가 전부 완료되면 만고병, 회색곰팡이병을 예방하기 위해서 암꽃을 전부 제거한다.
- ⑩ BA 1% 액을 花梗(꽃자루)에 도포하면 저온, 고온, 일기불량시 착과가 촉진된다. 그렇다고 단위결과를 시키는 것은 아니며, 인공교배, 곤충교배와 반드시 병용한다.
- ⑪ 호르몬제 처리
 - ▶ 단위결과에 의한 공동과나 비대 불량 또는 변형과 발생을 초래하기 때문에 주의할 요한다.
- ⑫ 멜론의 착과는 인공교배나 벌을 이용하는 것을 원칙으로 하지만 다음과 같은 경우에는 성장조절제를 이용하여 착과시킴
 - ▶ 개화기에 계속 비가 내려 동화양분이 부족할 때

- ▶ 조세가 지나치게 부정하여 착과가 어렵다고 판단될 때
- ▶ 개화기에 토양수분이 많아 꽃잎에 물방울이 맺힐 때
- ▶ 온도가 낮아 화분이 잘 나오지 않을 때

(2) 관중에 의한 교배

- ① 꿀벌: 300명에 1통(3000마리 정도)을 이용한다.
- ② 개화 3일전에 반입시켜 하우스 환경에 순화시킨다.
- ③ 습도에 가장 민감하다.
 - ▶ 60% 이하에서는 활동이 양호하고, 80% 이상에서는 거의 활동이 없다.
 - ▶ 개화기에는 환기하고 관수량을 줄인다.
 - ▶ 저온기의 흐린날은 난방(온도 1℃ 높으면 습도 3~5% 저하)을 한다.
- ④ 7~10일간 사용 가능하다(15~20%의 꿀벌 소모).
- ⑤ 교배 완료 후 날짜를 표시해준다.
- ⑥ 관중교배에 의한 착과율은 95~100%로 실용상 문제는 없다.

2) 교배시기

- (1) 교배는 오전 중에 어두운 새벽부터 시작하여 밝아져서 고온이 되기 전까지 실시한다.
 - ① 고온기: 새벽부터 이른 아침까지 실시
 - ② 온난기: 오전 10시경까지
 - ③ 저온기: 오전 중에 완료
- (2) 수화기를 직전히 판단하기 위하여 교배일을 기록한다.
- (3) 암꽃은 개화전인, 당일, 익일의 3일간 수정능력이 있다.
- (4) 기상조건이 좋지 않아 화분의 상태가 좋지 않을 경우 무리하게 착과시키면 과실비대가 좋지 않거나 기형과의 발생을 유발할 수 있다.
- (6) 착과 불량에의 원인
 - ① 개화까지 이르러서 배의 생육이 불량하다.
 - ② 화분이 생성되지 않아 수정이 이루어지지 않는다.
 - ③ 개화 당일 외부환경과 농약에 의한 장애가 일어난다.
 - ④ 영양생장과다에 의한 연약 도장이 발생한다.
 - ⑤ 일조부족에 의한 동화양분이 부족하다.
 - ⑥ 가스 장애를 받아 암꽃이 형성되지 않는다.
 - ⑦ 저온에 의해 화분이 고사한다.
- (7) 착과 당일의 야간온도가 착과에 큰 영향을 미치므로 품종에 따라 차이는 있으나

최저 15℃ 이하가 되지 않게 한다.

3. 과실의 발육과 네트발생

- 1) 교배 후 4-10일에 비대가 최대로 된다(관수량 늘려줌).
- 2) 과실은 초기에는 종으로 크고 후기에는 횡으로 자란다.
- 3) 과실의 모양은 개화때 자방의 크기나 모양에 좌우된다.
- 4) 교배기간에 온실내부가 과습하면 꽃떨이 부분에서 부패가 시작되므로 수분이 끝난 꽃은 꽃잎을 제거한다.
- 5) 착과 후 과실의 크기를 동일하게 키우기 위해서 착과 아래의 엽수를 서로 같게 조정하여야 한다.

6) 적과

- (1) 교배 5-6일 후 과실이 달걀크기일 때 1과 남기고 제거한다.
- (2) 비슷한 크기면 최초로 개화한 것을 남긴다.
- (3) 초세가 약하거나 자방이 작은 경우는 3~4cm 크기일 때 빨리 적과하고 반대로 초세가 강해 과실이 너무 커질 것으로 예상되면 7~8cm 일 때 늦게 적과한다.

(4) 결과절위의 위치에 따른 특성적 차이

결과절위	11 ~ 13절 윗단	11 ~ 13절 아랫단
과형	장형	납작과
육질	공동과 많음	치밀
당도	낮음	높음
네트형성	영성	조밀

- (5) 결과지가 수평이 되게 T자형으로 과실을 달아준다. 결과지의 모양이 상품가치와 관련이 있기 때문이다.
- (6) 과실을 매달 때 두껍거나 폭이 넓은 끈을 사용한다.
- (7) 과실은 둥근 것보다는 긴 것을 남긴다(특히 저온기, 초세가 약할 때). 적과시 칼을 사용하지 않는다.

7) 봉지 씌우기

- ▶ 파표면 환경은 고온다습하면 과실이 잘 자라고 네트도 잘 나온다.
- ▶ 5-10월 경에는 신문지 등으로 씌워준다.

8) 과담기

- ▶ 네트발현이 부실하거나 고온다습하여 과피로부터 병의 발생이 우려될 경우 네트 씌움 방지를 위해 네트가 거의 고르게 나왔을 때 다코닐(수) 600배액으로 담아준다(봄, 가을).

※ 생육단계별 관리 및 특징 - 春·夏作

생 육 단 계	관 리
정식(본엽 2매)	주간을 35-40cm 간격으로 정식. 정식 후 온도관리는 주간 28℃ 진후, 야간은 14℃ 이상으로 관리.
정식 후 10일경 (본엽 5매 진후)	떡잎과 측지를 제거. 초세가 강해지는 시기. 수분을 억제하여 화아분화 촉진.
정식 후 15일경 (본엽 7-8매)	유인선에 유인작업을 실시. 본엽 5매부터 8매까지는 수분을 억제하여 화아분화를 촉진시킴.
정식 후 30일경 (본엽 15매)	착과절위를 결정하는 시기로 12-14절위로 지상에서 50-60cm 지점의 자만을 선정. 아랫잎 3-4매를 적엽하여 통풍과 건조를 촉진
주지 적심시기	적심 시기는 정식 후 30일 전후로 개화전 3-4일경. 초장은 1m 정도. 본엽수는 17매 전후로 본엽 20매 정도를 남기고 적심. 착과절위를 기준으로 하여 윗잎은 8-10매 확보.
개화직전의 초세	착과절위는 “<” 자형으로 굽은 절위에 착과하는 것이 이상적. 결과 예비지는 3개 정도 확보. 결과지의 적심은 2절위에서 적심. 제 1절위의 길이는 15-20cm. 제 2절은 8cm 정도가 이상적.
개 화	저온기 가온재배시 정식후 35일경, 무가온 재배시 30일경. 개화기간에 다습한 환경은 금물. 교배는 벌이나 붓을 사용. 교배일을 잘 기록하여 정확한 수확시기 선정.
개화 후 3-4일경	자방의 색은 암록색에서 담록색으로 변화되기 시작. 하우스내가 과습하게 되면 꽃떨이 부분에 부패가 시작되므로 수정이 끝난 꽃은 꽃잎을 제거.
개화 후 7일경	과실의 크기가 계란 정도이며, 과색은 담록색. 적과 실시. 수꽃도 모두 제거. 과실의 1차비대기가 시작되므로 소량의 물을 여러번 나누어 관수.
개화 후 12일경	주간온도는 28℃ 정도. 1차 비대기의 정점.
개화 후 14일경 (과실직경 8-9cm)	과실 경화기. 과실의 색깔이 회백색에서 암회색으로 변화되면서 경화는 정점에 달함. 관수는 하지 않음.
개화 후 16일경	과실의 색이 짙어지면서 과실이 연화되기 시작. 네트는 꽃자리부분에서 부터 시작하여 세로 네트가 발현.
개화 후 18일경	이 시기부터 가로네트가 발현되면서 네트의 발현이 왕성하므로 수분의 공급으로 과실의 비대와 네트발현을 촉진.
개화 후 20일경	과실비대가 정점. 과실 색깔이 서서히 열어짐.
개화 후 25일경	과실비대가 거의 종료된다. 관수량은 초세유지 정도로 조절.
개화 후 30일경	관수량은 초세유지 정도로 조절해 간다. 과실의 당도가 서서히 오르기 시작한다. 40일 이후부터는 당도상승을 위하여 더욱 줄임.
수확	수확 3일전에 당도 조사를 실시한다. 수확기에 토양수분이 많으면 매듭부분이 열과되는 현상을 보인다.

※ 생육단계별 관리 및 특징 - 秋 · 秋冬作

생 육 단 계	관 리
정식(본엽 2매)	주간을 35-40cm 간격으로 정식. 12월중순부터 2월에 수확하는 작형은 주간을 45cm로 정식.
정식 후 물관리	정식 직전에 많은 양의 관수는 금지. 정식 직후의 관수는 약간 다량으로 하나, 그후 위조할 경우에는 극소량으로 회복시킴. 많은 양을 관수하면 초세가 연약 도장.
정식 후 8일경(본엽 7-8매)	유인선에 유인작업을 실시.
정식 후 12일경(본엽 10매)	줄기와 잎이 초세가 강해짐.
착과절위의 결정 (정식 후 15일, 본엽 15매)	착과절위를 결정하고 그외의 측지는 제거. 아랫잎 3-4매를 적엽하여 통풍과 건조를 촉진. 이 시기부터는 결과지, 줄기와 잎이 충실해 지므로 비료의 효과를 높임.
주지 적심 시기	정식 후 18일 내외로 하고 개화 3-4일전에 실시.
개화직전의 초세	결과지의 적심은 2절위에서 적심하며 제1절위의 길이는 15-20cm, 제 2절은 8cm 정도가 이상적.
개화	교배는 벌이나 붓으로. 수정일을 잘 기록하여 수확기를 선정.
개화 후 3-4일경	자방의 색은 암록색에서 담록색으로 변화되기 시작.
개화 후 7일경	과실의 크기가 계란 정도이며, 과색은 담록색. 적과를 실시. 이시기에 수꽃도 제거. 과실의 1차비대기가 시작되므로 관수를 한다. 소량의 물을 여러번 나누어 줌.
개화 후 12일경	개화후 10일경부터 회백색으로 변하면서 경화가 시작.
개화 후 14일경 (과실직경 8-9cm)	과실의 색깔이 회백색에서 암회색으로 변화되면서 경화는 정점에 달함. 관수는 하지 않음.
개화 후 16일경(다습금지)	과실의 색이 짙어지면서 과실이 연화되기 시작. 네트는 꽃자리부분에서 부터 시작하여 세로네트가 발현.
네트발현기	다습에 의해 네트의 선이 굵어짐.
개화 후 18일경	가로네트가 발현. 네트의 발현이 왕성하므로 수분의 공급으로 과실의 비대와 네트발현을 촉진.
개화 후 20일경	과실비대의 정점기. 과실 색깔이 서서히 열어짐.
개화 후 25일경	과실비대가 거의 종료. 관수량은 초세유지 정도로 조절.
개화 후 30일경	관수량은 초세유지 정도로 조절. 과실의 당도가 서서히 오르기 시작.
수 확	수확 3일전에 당도 조사 실시. 수확기에 토양수분이 많으면 배꼽부분이 열과되는 현상을 보임.

※ 생육단계별 환경 및 특징

생육단계	생육특징	환경설정	급액설정
발아		발아적온 28-30℃	최아
육묘초기		액온 18~20℃ 28~30℃/18~20℃ 제1본엽 전개 후 14~16℃	저면급액 EC 1.0
육묘후기			EC 2.0
정식직전		25~28℃/17~18℃	단수
정식직후	정식:본엽 2매	28~33/17~20℃	적당
정식후(꽃눈분화기)	과실내 세포수의 80% 결정단계	25~28/17~18℃	EC 2.0
교배전후(정식후 30-35일)		25~30/18~20℃ 습하면 개화불량	단수 EC 2.0
교배후 2-3일	과실비대기 개시	30~33/20~22℃	충분. 조석으로 따뜻하게함
교배후 3-10일	과실비대기 과장생장	30/20℃	충분. 조석으로 따뜻하게함
교배후 10-15일 (과실지경 8-9cm)	경화기(네트발생7 일전부터) 과피색:흰색으로 변화	저온건조 비대가 좋으면 빨리 경화를 시작시 킨다	고농도 EC농도를 2.5 단수
네트발생기-2할발생 (교배후 15-20일)	연화기 세로 네트 발현	고온다습 일스:18~20℃ 하우스:16~18℃	충분(네트가 깊을 것 같으면 줄임) 저농도, EC 2.0
네트발생후 7-10일 (교배후 20-30일)	네트발생 완성	건조	억제
네트발생후 10-30일 (교배후 20-30일)	과폭생장		
수확20일전	생장속도 느리나 수확때까지 생장		EC 0.3~0.4 증가
수확10일전 ... 수확 시(수정후 50일)		25~30/15~18℃	EC를 2.7 억제(약간 위조)
수확 3일전		25~30/15~18℃	급액량을 1/3 약간 위조

2.8 생리장애

- ▶ 기후가 추웠다가 고온다습해질 때 열과하기 쉽다.
- ▶ 수분후의 저온에 의해 과실이 단단해진 작형에서는 수분의 변동에 의해 열과가 발생하기 쉬우므로 암면판 내의 수분변동이 없도록 관리한다.

경엽 이상의 원인과 대책

증상	원인	대책
배축이 짧다	발아시 저온과 건조	발아 후 2일 정도는 야간지온 23℃ 이상 배축길이 2~5cm
자엽의 변형 하엽의 변형	발아시의 온습도불량 이식시의 활착 불량 종자의 입실 불량	발아 온도 28~30℃, 이식시의 지온 25℃ 이상
줄기가 갈라진다	온습도의 급변 생육상태의 급변	노화묘, 대묘에서 급발육에 의해 다발, 온도, 수분의 급변 방지
엽이 적다 절간이 짧다	분화시의 영양장해 저온과 건조 노화묘와 식상묘	어린묘 정식, 적온과 적습관리
엽이 밑으로 처진다 절간이 길다	고온다습 환기 불량 관수량 과다	환기를 잘하여 주간온도 25~32℃ 지하수위의 저하, 높은 이랑
엽의 각이 길다 엽에 거치가 많다 대생엽	분화시의 영양장해 노화묘 묘가 상했다	육묘환경의 적정화 어린묘 정식 이식시 상처 방지
엽연의 거치 엽이 적다	공기의 건조 관수량 부족 뿌리가 상했다	건조, 저온, 뿌리의 상처 방지 엽의 전개불량 온습도의 적정관리
엽의 만곡 엽연이 물결처럼 굽어 진다	주야의 온도교차가 큼 주야의 습도교차가 큼 공기의 건조	주야의 온도교차 겨울 15℃, 여름 10℃, 난방시 건조 방지
하엽, 결과지엽의 황화	고토 결핍 지력 저하	엽류집적 방지, 지력 유지 시비의 적정화
엽연의 황화	엽에 이슬 과다 약해, 가스해	관수량을 줄인다. 약해, 질소가스해의 방지

2.9 병충해방제

- ▶ 지하부 병해에는 만환병, 근부역병이 있는데, 미연에 소독을 철저히 하고 병원균의 침입을 방지한다.
- ▶ 근액시에는 株元을 습하게 하지 않도록 한다.
- ▶ 지상부 병해 중에서 흰가루병에는 저항성 품종을 사용한다.
- ▶ 실내습도가 높은 경우에는 정지작업을 많은 날 오전에 행하여 상처부위를 건조시켜 냉해마름병을 방지한다.
- ▶ 주된 충해에는 진딧물, 응애, 총채벌레 등이 있다.
- ▶ 만고병을 예방하기 위하여 Topcine(흰가루병 살균제)+streptomycine+탈지분유를 아랫단 3엽 적엽후 말라준다.
- ▶ 상처부위나 뿌리기부에 유황가루를 바르는 경우가 많으나 그 효능에 대하여는 이론이 있으므로 주의하는 것이 좋다.
- ▶ 농약은 육묘, 정식, 수확시 살포하는데 노지재배에서는 3회, 하우스재배에서는 2회 실시한다.

[3] 수확 및 출하

3.1 수확

- 1) 과실이 달린 것은 절과지엽이 황색으로 갈변되는 시점이 수확적기다.
- 2) 교배 후 55~65일이 소요된다(품종에 따라 다르나, 봄재배의 경우 교배 후 57일 정도, 여름재배의 경우 55일 정도 소요).
- 3) 수확시 관수
 - (1) 수확전 10일경부터 줄여나가 4~5일경 단수한다.
 - (2) 수확 7~10일 전 과실 달린 밑질의 잎을 2회에 걸쳐 제거한다.
- 4) 수확 최초의 것은 당도를 측정해서 시식을 해본 다음 수확일자를 결정한다.

(1) 시기별 수확일수

수확기(月)	교배 후 일수(日)
1 ~ 5	54
6	50 ~ 52
7	48 ~ 50
8 ~ 9	44 ~ 47
10	48
11	50
12	53

5) 수확량: 일반 토양하우스재배시 10a당 5kg상자로 500상자(2000개) 정도이다.

3.2 포장 및 출하

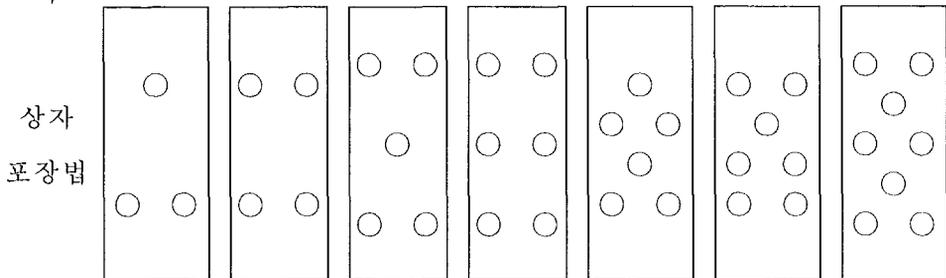
- 1) 좋은 것부터 포장한다.
- 2) 상자포장시 상자가 짝 차게 넣는다.
- 3) 틈이 있으면 틈이 없도록 다시 포장한다.
- 4) 일본의 경우
 - (1) 5kg 포장이 표준이다. 일반적으로 농가에서 5kg들이 상자에 포장을 하고 농협으로 출하한다.
 - (2) M(720g이상)이상의 것을 출하한다.
 - (3) 과실은 두가지 기준에 의해 등급을 정한다.

가. 품질 구분

- ▶ 秀: 정상적인 형상을 하고 있으며 당도가 14이상인 것(적미계는 17 이상). 약간 빛에 탄 것을 포함.
- ▶ 優: 秀 다음으로 품질이 뛰어난 것으로 당도 14이상인 것(적미계는 17 이상).
- ▶ 良: 그 이외의 것. 단, 단맛이 없는 것은 출하에서 제외

나. 크기에 의한 구분 (상자: 5kg)

계급	4L	3L	2L	LA	L	M	S
과중량	1700g-	1300g-	1000g-	900g-	850g-	720g-	650g-
개수/상자	3	4	5	6	6	7	8



5) 경영

- ▶ 일본의 경우:
 - 10a당 수확은 3500kg(일본에서는 조수의 150만엔, 경영비 70만엔, 순소득 80만엔)
 - 가격: 봄멜론 가격은 처음 나올 때는(하우스 생산) 4개들이 한 상자(5kg)에 3000-3500엔까지 받으며 노지멜론(터널)은 평균 1500-2000엔 정도 받는다. 기후의 영향이 적은 하우스의 것이 품질이 좋기 때문에 높은 값을 받는다.