

증발냉각방식 및 다선식 전열가온방식을 이용한  
수경재배의 지하부 환경조절 기술 및 시스템 개발

Development of a temperature control system of root zone  
using evaporative cooling and multi-line electric heating  
methods in the hydroponic system

태양그린에너지(주)

농림수산식품부

# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “증발냉각방식 및 다선식 전열가온방식을 이용한 수경재배의 지하부 환경조절 기술 및 시스템 개발”에 관한 연구과제의 보고서로 제출합니다.

2009년 5월 29일

주관연구기관명 : 태양그린에너지

주관연구책임자 : 박 대 흠

연 구 원 : 김 영 은

연 구 원 : 박 상 우

연 구 원 : 송 춘 백

협동연구책임자 : 이 기 명

연 구 원 : 정 성 원

연 구 원 : 정 석 현

연 구 원 : 김 기 동

# 요 약 문

## I. 제 목

증발냉각방식 및 다선식 전열가온방식을 이용한 수경재배의 지하부 환경조절 기술 및 시스템 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

시설재배에서 대부분의 연구는 냉난방 등 지상부 환경조절과 관련된 기술들이다. 그러나 지하부의 환경을 조절함으로써 작물의 최적 환경을 조성하면 고품질 원예농산물의 생산, 생육촉진, 수량증가 등의 이점을 얻을 수 있다는 여러 연구결과들이 있지만 이와 관련된 정밀 온도제어 기술 및 시스템의 연구는 아직도 미비한 수준이다. 따라서 지하부의 온도를 정밀하게 조절하여 작물의 생육환경에 적합하도록 제어할 수 있고, 저비용의 시설비로 설치가 간편하고, 에너지와 경제적인 효율성이 높은 냉각·가온 기술과 시스템의 실용화가 시급하다 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 배지의 냉각 및 가온 시스템을 도입하여 배지온을 제어하는 시스템을 개발하고자 하며, 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 배지의 온도변화 특성 구명
2. 증발냉각 방식을 도입한 배지냉각 시스템 개발
3. 다선식 전열가온 튜브를 도입한 배지가온 시스템 개발

## III. 연구개발 내용 및 범위

1. 배지의 열특성 구명
2. 배지의 온도변화 특성 구명 및 배지온 강하 예측 모델 개발

겨울 저온시 베드 및 배지 종류별로 배지온 강하 특성을 구명하고 이 데이터를 이용하여 저온시 배지의 온도강하 모델을 개발하여 실제 온실의 배지온 강하 예측 모델을 개발하였다.

### 3. 배지냉각 시스템 개발

고온기 배지냉각 방식으로 도입 가능하다고 판단되는 증발냉각 방식으로 ①다공질 필름(microporous film) 닥트 방식, ②배지상면 부직포멀칭 증발 방식, ③투수성 시트 재배조 증발 방식 등의 특성을 비교 시험하여 딸기 고설수경재배에 도입할 수 있는 성능이 우수하고 경제적인 배지냉각 시스템을 개발하고자 하였다.

### 4. 배지가온 시스템 개발

엑셀파이프에 2~4개의 열선과 물을 봉입한 다선식 전열튜브의 배지가온 특성을 밝히고 딸기 고설수경재배에 적합한 전열선의 수 및 배지온도 제어 방식을 구명하여 성능이 우수하고 실용적인 배지가온 시스템을 개발하고자 하였다.

### 5. 현장 적응시험 및 경제성 분석

딸기 고설수경 재배 시스템의 개발을 완성하여 자체 및 농가 재배 적응시험과 경제성 분석을 통하여 보급 가능성을 확인하였다.

## IV. 연구개발결과

### 1. 배지의 온도변화 특성 구명 및 배지온 강하 예측 모델 개발

저온시 베드 및 배지 종류별 배지의 온도강하 특성을 구명하였으며, 배지의 온도강하 모델을 개발하여 실제 온실에 있어서 기온에 따른 배지의 온도강하를 추정 가능하게 되었다.

### 2. 배지냉각 시스템 개발

①다공질 필름 닥트 방식, ②배지상면 부직포멀칭 증발 방식, ③투수성시트 재배조 증발냉각 방식 등의 증발냉각 특성을 구명하였으며, 투수성시트로 구성된 재배조에서 스며 나오는 수분의 증발냉각 방식이 가장 효율적이고 경제적인 배지 냉각 시스템으로 개발하였다.

### 3. 다선식 전열가온 튜브를 도입한 배지가온 시스템 개발

XL파이프에 2~4개의 열선과 물을 봉입한 다선식 전열튜브 1m의 배지가온 특성을 구명하였고, 다선식 전열튜브 중에서 제어성능이 우수하고 딸기 고설수경재배에

적합한 3선식 전열튜브 방식을 모델로 하여 재배시험을 통하여 실용적인 배지가온 시스템을 구성하였다.

#### 4. 현장 적응시험 및 경제성 분석

딸기 고설수경재배 시스템에 투수성시트 재배조의 증발냉각 방식 배지 냉각 및 3선식 배지가온 시스템을 구성하여 경제성분석을 통한 실용화 가능성을 제시하였다.

### V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 본 연구에서 개발된 시스템을 농가에 보급할 수 있도록 정책 및 지도사업에 반영하는 것이 바람직 함
2. 이 연구에 참여하여 개발과정의 기술 정보나 농가 현장의 기술 요구도를 충분히 파악하고 있는 참여기업에게 기술 이전을 할 수 있도록 지원이 필요함
3. 얻어진 기술에 대한 지적 재산권(특허, 실용신안)을 출원함

# SUMMARY

## I. Title

Development of a temperature control system of root zone using evaporative cooling and multi-line electric heating methods in the hydroponic system

## II. Objective and Necessity

Most researches on greenhouse cultivation have been focused on the technologies about cooling and heating of aerial environment.

Researches that the temperature control of root zone ensures high quality agricultural products, growth hastening and increase of yield, have been reported; however, these technology and system of precise temperature control have been rare and unsatisfactory yet.

Thus, it was necessary to develop an efficient and affordable cooling and heating technology and apply the system to farming practice, controlling to adequate growth environment by adjusting temperature of root zone.

The aim of this study was to develop the root zone (underground part) environment control system by adopting systems cooling and heating of growing media.

The detailed objectives of the study were as follows:

1. To investigate characteristics of temperature variation in the media
2. To develop a media cooling system using an evaporation cooling device
3. To develop a media heating system using a multi-line electric heating tube

## III. Contents and Scope

1. **The thermo-characteristics of growing media**
2. **A temperature drop model of growing media during winter season**

Characteristics of temperature drop were investigated for the various media

and beds during winter season. Based on these data, the temperature drop in the practical greenhouse cultivation was modelled and predicted using a temperature drop model of the media during low temperature season.

### **3. Development of a media cooling system**

Feasible evaporative cooling devices for the media cooling system were as follows: ① micro-porous film duct, ② felt mulching on media surface, ③ water permeable sheet in culture tank. An excellent and economic media cooling system would be selected for the by comparing the characteristics of these evaporative cooling devices.

### **4. Development of a media heating system**

The properties of media heating device with multi-line electric tubes, XL pipes sealed with 2-4 hot wires and water, were investigated. An adequate number of wire and temperature control system for the hydroponic strawberry cultivation on elevated bench would be found out.

### **5. Farm application and the economical analysis**

As the completion of the system, tests for farm application and adaptation were performed and its feasibility was proven by economic analysis.

## **IV. Study Results and Recommendations for Practical Utilization**

### **1. Results**

#### **(1) A temperature drop model of growing media**

The characteristics of temperature drop were significantly correlated with the difference between air and medium temperatures for the both plant and V types of beds. Using the relationship, a temperature drop model was developed and predicted temperature drops during night.

#### **(2) Development of a media cooling system**

1) Comparing characteristics of the evaporative cooling devices

① evaporation using micro-porous film duct

- ② evaporation using felt mulching on media surface
  - ③ evaporation using water permeable sheet in culture tank
- 2) Development of the most efficient and economic media cooling system

The evaporative device with water permeable sheet in culture tank was the most efficient and economic media cooling system.

### **(3) Development of a media heating system**

- 1) Investigation of the characteristics of media heating devices by a unit heating tube

A multi-line electric tube consisted of XL pipes concealed with 2~4 hot wires and water in it. The performance of a multi-line electric tube of one meter in length was investigated and the proper number in the multi-line electric tube was determined.

- 2) Development of media heating control system for elevated bench hydroponic strawberry cultivation.

A multi-line electric tube with three hot wires was found to be the most efficient for the media heating control system

### **(4) Farm application and economical analysis**

By practical farm application, the cooling and heating systems were proven to be cost-effective and feasible with which the media evaporative cooling device using a water permeable sheet and the media heating device using a multi-line electric tube.

## **2. Recommendations for practical utilization**

- (1) A farm policy and extension service should support these technologies to propagate the effective and affordable systems developed in this research.
- (2) Involved manufacturers in this research should be financially supported to transfer the know-how and techniques.
- (3) A patent on the technology obtained from this study has been filed.



# CONTENTS

Chapter 1. Introduction .....	B
Chapter 2. The present status of the technology development .....	71
Chapter 3. Contents and results .....	8
Section 1. Investigation of the thermo-characteristics of the water culture ..	82
Section 2. Investigation of the temperature variation of media and development of temperature drop model system of media .....	83
1. The investigation of the properties of temperature drop of the various media & beds in a low temperature .....	83
2. The development of the forecasting model system of temperature drop in the media .....	36
Section 3. The development of a media cooling system .....	5
1. The investigation of the properties of media cooling .....	5
2. Efficiency test of each cooling devices and the development of cooling system .....	59
Section 4. The development of a media heating system .....	7
1. The investigation of the properties of media heating .....	7
2. The development of the costeffective control system for media heating	97
Section 5. Farm application and the economical analysis .....	15

# 목 차

제 출 문 .....	1
요 약 문 .....	3
SUMMARY .....	6
CONTENTS .....	9
목 차 .....	10
제 1 장 연구개발과제의 개요 .....	13
제1절 연구개발 목적 및 필요성 .....	13
1. 연구개발의 목적 .....	13
2. 연구개발의 필요성 .....	13
제2절 연구개발 목표 및 내용 .....	16
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	17
제1절 배지의 열특성 .....	17
제2절 배지가온 .....	20
제3절 배지냉각 .....	21
제4절 배지온도가 작물의 생육, 수량, 품질에 미치는 영향 .....	24
제5절 본 과제의 기술과 관련된 연구팀의 선행연구 .....	25
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 .....	28
제1절 배지의 열특성 .....	28
1. 시험장치 및 방법 .....	28
2. 시험결과 및 고찰 .....	29
제2절 배지의 온도변화 특성 구명 및 배지온 강하 예측 모델 개발 .....	30
1. 시험장치 및 방법 .....	30
가. 시험 장치 .....	30
나. 배드 종류 .....	33
다. 배지 종류 .....	34
라. 시험 방법 .....	34

2. 시험결과 .....	36
가. 배지온 강하 특성 .....	36
나. 배지내 온도분포 특성 .....	44
다. 저온시 배지의 온도강하 모델 개발 .....	48
제3절 배지냉각 시스템 개발 .....	58
1. 서언 .....	58
2. 냉각방식별 냉각특성 및 시스템 개발 .....	59
가. 다공질 필름 닥트법 .....	59
나. 흡수성 부직포 멀칭에 의한 배지상부 증발냉각법 .....	68
다. 투수성 부직포 재배조의 강제 증발냉각법 .....	72
3. 효율적인 배지냉각 시스템 .....	77
제4절 다선식 전열튜브 배지 가온 시스템 개발 .....	79
1. 서언 .....	79
2. 다선식 전열 튜브 배지가온 시스템 .....	79
가. 단위 가온튜브의 배지가온 특성 .....	79
나. 딸기 고설수경재배의 배지가온 적용 시험 .....	96
3. 지하수에 의한 배지온 상승 .....	107
가. 실내온도가 1.5℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승효과 .....	108
나. 실내온도가 3.2℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승효과 .....	109
다. 실내온도가 5℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승효과 .....	110
라. 실내온도가 6.7℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승효과 .....	111
마. 지하수에 의한 배지 가온시 온도분포 특성 .....	113
4. 담액수경의 배양액 가온 .....	114
가. 시스템 구성 .....	114
나. 결과 및 고찰 .....	114
5. 토경재배의 지중가온 .....	115
가. 시스템 구성 및 시험방법 .....	115
나. 시험결과 및 고찰 .....	116
제5절 실용화 시스템 구성 .....	118
1. 경제성 분석 .....	118
2. 실용화 시스템 구성 .....	121
제6절 결 론 .....	122

제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도 .....	124
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획 .....	125
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	126
제 7 장 참고문헌 .....	127

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제1절 연구개발 목적 및 필요성

### 1. 연구개발의 목적

시설재배에서 대부분의 연구는 난방 등 지상부 환경조절과 관련된 기술들이다. 그러나 지하부의 환경을 조절함으로써 작물의 최적 환경을 조성하면 고품질 원예농산물의 생산, 생육촉진, 수량증가 등의 이점을 얻을 수 있다는 여러 연구결과들이 있지만 이와 관련된 정밀 온도제어 기술 및 시스템의 연구는 아직도 미비한 수준이다. 따라서 지하부의 온도를 정밀하게 조절하여 작물의 생육환경에 적합하도록 제어할 수 있고, 저비용의 시설비로 설치가 간편하고, 에너지와 경제적인 효율성이 높은 냉각·가온 기술과 시스템의 실용화가 시급하다 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 배지의 냉각 및 가온 시스템을 도입하여 배지온을 제어하는 시스템을 개발하고자 하며, 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 배지의 온도변화 특성 구명 및 배지온 변화 예측 모델 개발
2. 증발냉각 방식을 도입한 배지냉각 시스템 개발
3. 다선식 전열가온 튜브를 도입한 배지가온 시스템 개발
4. 배지 냉각 및 가온 실용화 시스템 구성 및 경제성분석

### 2. 연구개발의 필요성

WTO체제 출범 이후 우리나라 농업은 외국 농산물의 수입 개방에 대비하여 노지재배에서 생산시기와 품질을 개선할 수 있는 시설재배로 전환되고 있다. 국내 하우스 면적은 국민소득의 증가와 소비패턴의 변화 등에 따른 채소 수요 증가로 1990년 25,000ha에서 2004년에는 51,237ha로 2배이상 증가했으며 이중 난방재배 면적은 12,700ha로 전체의 25%수준이다. 이러한 추세는 우리나라 농업의 장래를 위해서 지속적으로 권장할 수밖에 없기 때문에 더욱 확산될 것으로 예상된다.

고품질 원예 농산물의 주년안정생산에 있어 주된 문제는 겨울철의 난방과 여름철의 냉방이다. 온실 내의 적절한 냉각 및 가온은 주년이용과 고품질 상품 생산을 가능하게 하고, 계획적인 재배와 출하, 작물의 생육 촉진과 조기수량 증가 및 조기 출

하, 관수 빈도 감소, 노동환경 개선 등의 여러 가지 장점이 있다. 지금까지 시설원예에 관한 연구는 1970년대 두 번의 에너지 파동과 국내 IMF 외환위기 이후 작물재배시의 에너지 절약과 작물재배방식에 초점을 맞추어 여러 연구가 진행되고 있다.

우리나라의 농업용 에너지의 60% 이상이 시설농업의 난방비로 사용되고 있고, 이중 95% 이상이 경유 등 유류를 사용하기 때문에 경영비의 30% 내외를 연료비가 차지해 기름값 10% 상승시 경영비는 5% 상승하는 것으로 밝혀지고 있어 시설원예 농가의 에너지 절감 여부는 영농의 성패를 좌우하는 요소가 될 수 있어 시설농업의 난방비 절감 기술이 무엇보다 시급한 과제이다. 이러한 가운데 최근 유가가 배럴당 60달러를 상회하면서 난방비 상승으로 인해 농가들의 부담이 가중되고 있다.

현재 국내의 이러한 상황은 국제사회에서 부각되고 있는 지구온난화 방지협약과 환경보호 조약에 의한 공해물질 배출 억제로 화석연료의 사용을 제한하고 있어 이에 따른 산업 활동 제약을 받을 수 있다. 따라서 작물재배시 환경보존 및 청정에너지원을 이용한 냉각·가온기술 개발이 절실히 요구되고 있다.

시설재배 중에서 수경재배는 연작장해를 회피할 수 있고 양·수분의 효율적인 이용으로 청정 원예 농산물의 생산이 가능하며, 단위면적당 수확량을 증대시킬 수 있으며, 관수, 시비, 작업의 자동화, 표준화가 가능하여 영농규모의 확대가 가능하고, 경운, 퇴비, 제초, 방제작업 등이 생력화되면서 부녀자의 참여가 용이한 장점이 있다. 또한, 재배 기술의 발달과 우수한 자재의 보급으로 작물의 생육에 적합한 지상부 환경이 조성되면서 작물의 생산성 및 품질은 크게 향상되었다.

그러나, 여름철이나 겨울철에 작물을 재배할 경우 지하부의 온도가 낮거나 높아 뿌리의 생육이 저하되고, 양·수분의 흡수가 불량해지는 등 여러 가지 문제점이 발생되고 있다. 따라서 지하부 환경도 뿌리의 생육 뿐 아니라 지상부의 생육에 직접, 간접적으로 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다고 할 수 있는데, 이에 대한 연구가 다수 보고되고 있다.

오이는 환경 변화에 민감하게 반응하는 작물로서 겨울철이나 여름철에 생육이 불량하고 수량이 감소하는 원인의 상당 부분은 부적절한 온도환경에 의한 것이며 그중 지하부의 지나친 저온이나 고온의 영향이 크다고 하였다. 여름철의 수량은 지하부 냉각에 의하여 온도를 20℃로 제어하여 재배하였을 경우에 냉각처리를 하지 않은 경우보다 증가하였고, 겨울철의 수량은 지하부 온도를 24℃로 가온함으로써 34% 증가하였다는 결과가 보고되었다.

겨울철 토마토 재배시 지상부 온도를 9℃ 및 5℃로 낮게 유지하면서 지하부 온도

를 25℃로 유지하는 경우 지하부를 가온하지 않고 지상부를 13℃로 재배하였을 때와 동등한 수량을 보였다고 하였다.

여름철 시금치나 토마토 등의 작물을 지하부와 지상부 전체를 냉각하지 않고 높은 지상부 기온 조건하에서도 지하부의 온도를 낮춤으로써 생육이 촉진되거나 수량이 증가한다고 하였다.

딸기의 경우 지하부 온도에 대한 작물의 생육 반응은 지상부 온도에 비하여 더욱 민감하고, 지하부의 온도(저온이나 고온)에 따라 생육특성이 매우 다르기 때문에 지하부의 정밀한 환경조절이 필요하다고 하였다.

이상과 같이 수경재배에 있어서 작물의 생육환경에 적합하도록 적절한 지하부의 냉각 및 가온의 효과는 여러 작물에서 확인되었다. 이에 작물의 생육환경에 적합한 조건에 가깝도록 제어할 수 있고, 저비용의 시설비로 설치가 간편하고 에너지와 경제적인 효율성이 높은 냉각·가온 기술 및 실용화 시스템의 필요성이 요구된다. 또한, 난방비 절감의 최대 효과를 얻기 위하여 온실 전체를 냉각 또는 가온하지 않고 지상부의 온도를 높게 또는 낮게 유지하는 범위에서 지하부 환경을 작물의 생육에 적합하도록 제어할 수 있는 냉각·가온 메카니즘 등의 연구도 필요하다.

따라서, 수경재배의 지하부 환경조절을 위한 냉각·가온 기술 및 시스템은 작물의 상품성과 수량성을 향상시키며, 저비용의 시설비와 사용 에너지의 절감효과를 얻을 수 있어 시설재배농가의 온실경영과 고품질 원예 농산물의 주년생산체계확립에 많은 도움이 될 것으로 판단된다. 특히 딸기의 경우 화아분화기간의 연장으로 수확기간의 연장이 기대된다.

## 제2절 연구개발 목표 및 내용

구분	세부과제별	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1 차 년 도	1. 증발냉각방식 및 다선식 전열가온방식을 이용한 냉각·가온 시스템 개발 (세부과제)	○ 증발냉각방식 및 다선식 전열가온방식을 이용한 냉각·가온 시스템의 기본 설계 및 시작품 제작	- 기본시스템의 고효율 요소 설계 - 기본시스템의 시작품 제작
	2. 수경재배의 지하부 환경조절을 위한 냉각·가온기술의 요인구명 및 냉각·가온 기술 개발 (협동과제)	○ 수경재배의 지하부 환경조절을 위한 냉각·가온기술의 요인구명	- 냉각·가온 시스템의 실험실규모 모델 개발 - 고품배지 및 담액수경의 베드내 냉각·가온 메커니즘 개발 - 실험실규모 모델의 요인시험
2 차 년 도	1. 증발냉각방식 및 다선식 전열가온방식을 이용한 냉각·가온 시스템 개발 (세부과제)	○ 증발냉각방식 및 다선식 전열가온방식을 이용한 냉각·가온 시스템의 수정 및 보완	- 기본시스템 시작품의 제어 알고리즘 개발 - 기본시스템 시작품의 수정 및 보완 - 기본시스템 시작품의 완성
	2. 수경재배의 지하부 환경조절을 위한 냉각·가온기술의 요인구명 및 냉각·가온 기술 개발 (협동과제)	○ 수경재배의 지하부 환경조절을 위한 냉각·가온 기술 개발	- 기본시스템 시작품의 열특성 분석 - 기본시스템 시작품의 성능시험 - 기본시스템 모델 개발



## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제1절 배지의 열특성

배지의 열특성에 관해서는 면열원법에 의한 강수계 지하수를 규사 혼합체 시료의 열물성 데이터(열전도율, 열확산율 및 비열)의 확충을 행하여 열전도율에 관해서는 선열원법과의 비교를, 열확산율에 관해서는 점열원법과의 비교를 그림 2-1, 그림 2-2에 나타냈다. 열전도율에 관해서는 선열원법과 비교하여 각 건조밀도 및 함수비에 있어서 동등의 값이 얻어졌다. 또한 열확산율에 관해서는 점열원법에 비하여 약간 낮은 값이 얻어졌다. 이것은 측정 기법의 차이에 따라 면열원법으로 측정할 경우, 면을 따라 측정하기 때문에 시료의 표면 장을 평면적으로 측정하는 것에 대하여 점열원법의 경우, 측정점 주변의 온도변화만을 측정하려고 하는 것에 의하여 생기는 차이라고 생각한다.(菊地·棚井, 2003)

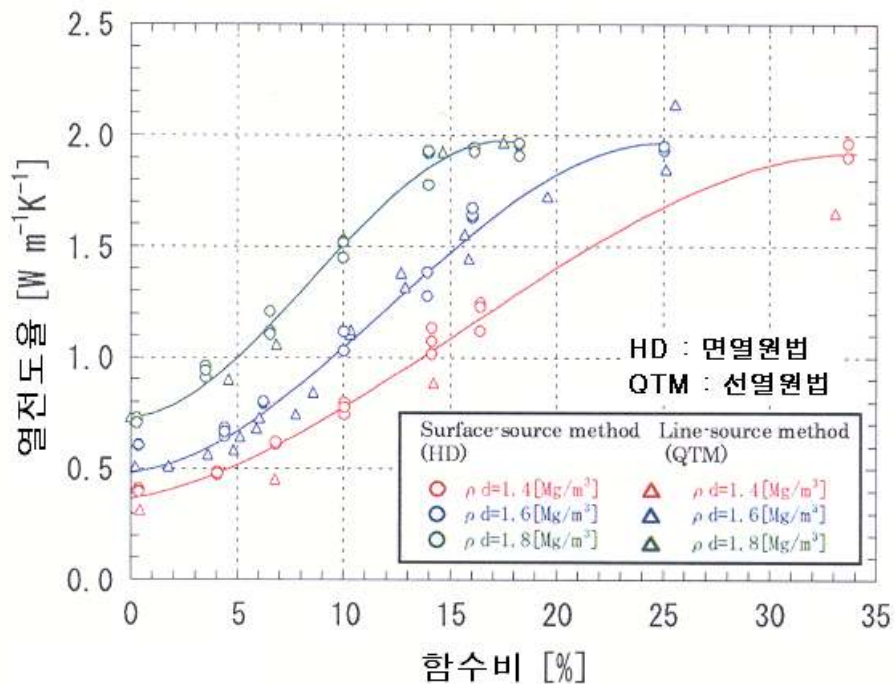


그림2-1 열전도율의 측정결과(규사혼합체)

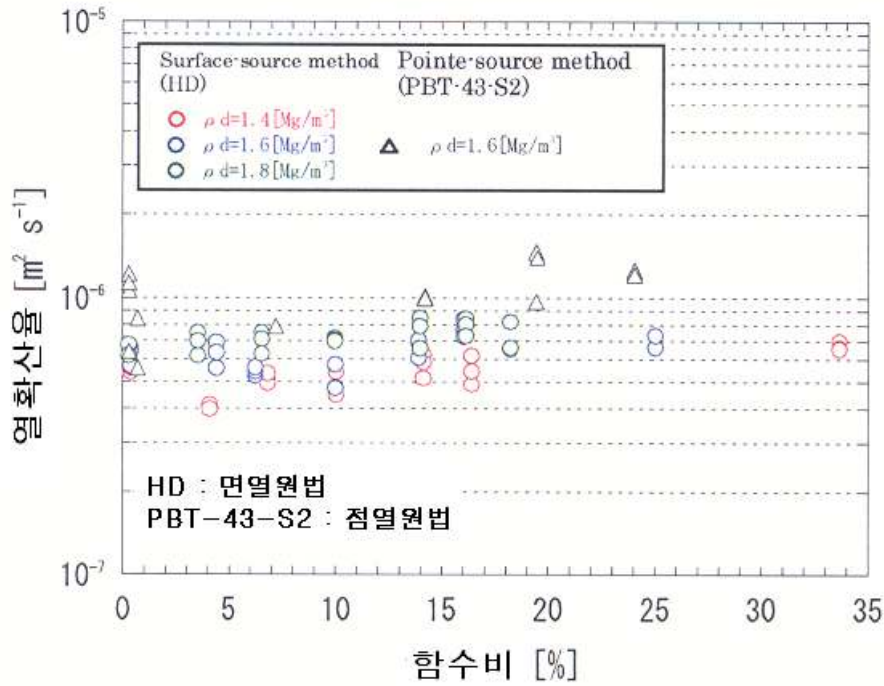


그림2-2 열확산율의 측정결과(규사혼합체)

또한 비열과 열확산율 및 열전도율 사이에는(2-1)식의 관계가 있다.

$$\alpha = \lambda / (c \rho) \text{ ----- (2-1)}$$

여기서 열확산율  $\alpha$  [ $m^2 s^{-1}$ ]은 열전도율  $\lambda$  [ $W m K^{-1}$ ]를 비열 [ $kJ kg^{-1} K^{-1}$ ] 및 단위 체적중량  $\rho$  [ $kg m^{-3}$ ]로 나눈 것이며, 물질 내의 온도가 비정상 상태 분포로 되는 경우의 열확산성의 정도를 나타내는 계수이다. 이로부터 면열원법에 의해서 2002년도에 취득한 베토나이트 단체시료 및 2003년도에 얻어진 규사 혼합체 시료의 열전도율 및 열확산율 데이터를 기본으로 완충재 재료의 비열을 실험적으로 구했다(菊地·棚井, 2003a).

한편 흙의 비열은 흙을 구성하는 고상·액상·기상의 각각의 비열과 단체 체적당 중량비의 곱의 총합으로 나타내는 것이 알려져 있으며, (2-2)식으로 구할 수 있다.

$$c = c_s \rho_s + c_w \rho_w + c_a \rho_a \text{ ----- (2-2)}$$

여기서  $c$ 는 비열, 첨자  $s, w, a$ 는 각각 고상, 액상 및 기상을 나타낸다. 이 중에 기상의 항은 다른 항에 비하여 충분히 작아서 무시할 수 있기 때문에 (2-3)식과 같

이 나타난다. 여기서 m은 질량, w는 함수비를 나타낸다.

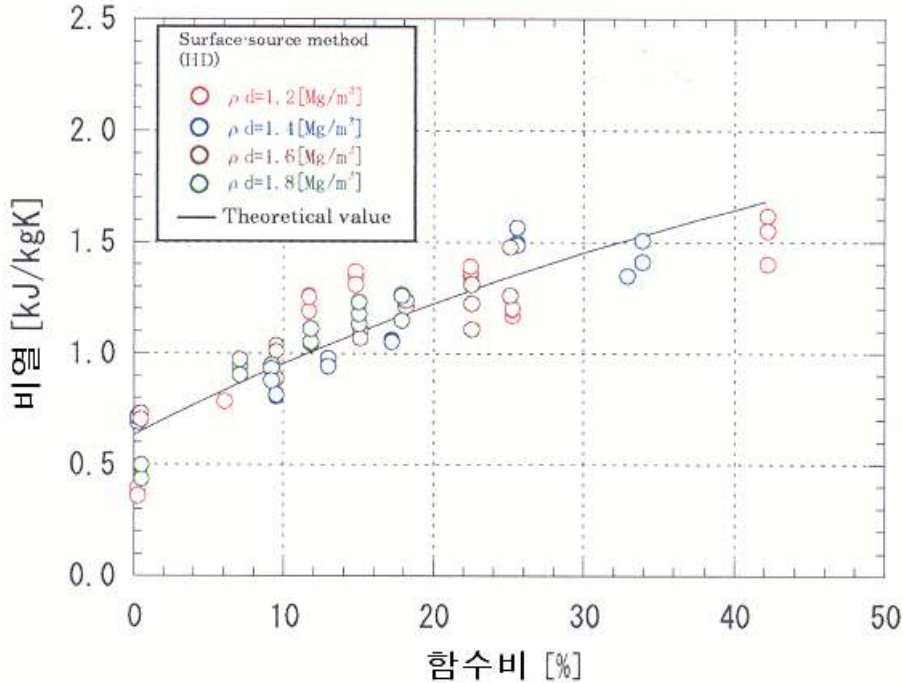


그림2-3 비열의 실험치와 예측치의 비교  
(벤토나이트 단체)

$$c = c_s[m_s/(m_s+m_w)] + c_w[m_w/(m_s+m_w)] = (c_s + c_w w)/(1+w) \text{ -----(2-3)}$$

(2-3)식으로부터 고상의 비열  $c_s$ 를 구하면 배지 중의 수분의 증가에 수반하는 비열의 변화도 예상할 수가 있다. 또한 배지의 고상의 비열  $c_s$ 는 함수비 0%에 있어서 열전도율 및 열확산율로부터 구할 수 있지만 측정치에 다소 분산이 있기 때문에 전 측정치로부터 최소자승법에 의하여 얻어진 값을 사용했다. 이들 결과와 (2-3)식으로부터 배지의 구성요소에서 예측되는 비열  $c$ [kJkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]과 함수비  $w$ [%]의 관계식은 다음과 같이 정식화 할 수 있다(菊地·棚井, 2003a).

벤토나이트 단체 :  $c = (63.10+4.18w)/(100+w) \text{ -----(2-4)}$

규사혼합체 :  $c = (67.32+4.18w)/(100+w) \text{ -----(2-5)}$

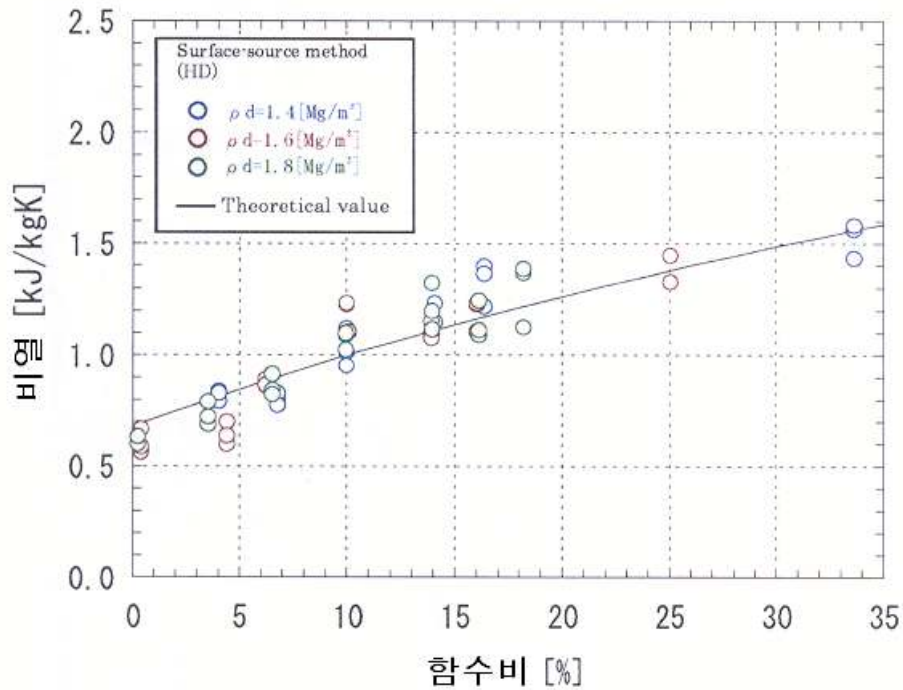


그림2-4 비열의 실험치와 예측치의 비교  
(규사혼합체)

한편, 마쓰다(増田) 등에 의해 함수비, 건조밀도, 규사혼합율을 파라미터로 하는 열전도율의 산정식이 제안되었으며 이것을 다음에 나타냈다(増田 등, 2004).

$$\lambda = a\omega + b \quad (2-6)$$

$$; a = 3.230 \times 10^{-2} + 9.021 \times 10^{-3} \times \rho d - 1.220 \times 10^{-3} \times R_s + 6.684 \times 10^{-4} \times \rho d \cdot R_s \quad (2-7)$$

$$; b = -1.239 + \rho d + 8.749 \times 10^{-3} \times R_s \quad (2-8)$$

여기서  $\lambda$ 는 열전도율(W/mK),  $\omega$ 는 함수비(%),  $\rho d$ 는 건조밀도(Mg/m<sup>3</sup>),  $R_s$ 는 규사혼합율(%)이다.(상관계수  $R = 0.82$ ).

## 제2절 배지가온

온실 등 시설을 이용하여 원예생산을 할 때에 난방설비를 이용하여 시설 내를 가온하거나 냉방설비, 차광자재, 환기장치 등을 이용하여 냉각하는 것은 극히 일반적

으로 되었다. 이와 같은 온실관리를 함으로써 지금까지 재배가 불가능하였던 작물이 재배가 가능하게 되거나 주년재배가 가능하게 되거나 하는 것은 잘 알고 있는 사실이다.

특히 근역의 온도가 작물의 생육에 크게 영향을 미치는 것은 여름철에 흰색의 멀칭을, 겨울철에는 검정색의 멀칭을 사용하는 기술에서도 충분히 실감할 수 있다. 그래서 여기서는 근역의 온도제어에 관해서 가온기술을 중심으로 소개한다.

일본의 큐슈·오키나와 농업종합연구소는 딸기 고설수경재배에서 겨울철 배지가 온에 의하여 최저 배지온을 12℃ 이상 확보하면 제2액화방까지의 출퇴·개화가 빨라지고 초기 수량이 증가하였다고 보고하였으며, 여름철 최고 배지온이 25℃ 전후로 되면 20℃ 전후인 경우에 비하여 액화방의 출퇴·개화가 늦어졌으며, 초기 수량도 증가하지 않았다.

일본의 나라농업기술센터는 딸기 고설수경재배에서 배지를 가온함으로써 수량이 증가하는 것을 보고하였으며, 조조가온만으로도 증수효과가 있다고 하였다. 보온성이 낮은 베드 재료를 사용하면 배지로부터 방열에 의하여 배지가온만으로 하우스내 기온을 높일 수가 있다고 보고하였다. 특히 딸기 고설수경재배는 토경재배에 비하여 배지량이 적기 때문에 하우스 내 기온의 영향을 받아 배지온이 저하하기 쉬우며, 배지가온의 필요성이 지적되고 있다.

얻어진 선과는 ①15℃까지 범위에서 배지온이 높을수록 생육이 전진하며, 초기수량은 높아진다. 또한 배지가온에 의해서 불수정과의 발생율이 저하한다. ②배지온이 가장 저하하는 조조(6시부터 9시까지)만의 가온에서도 18℃까지에서는 배지온이 높을수록 수량은 높아진다. ③베드를 보온성이 높은 스티로폼을 사용하면 배지로부터 방열량은 적어진다. 보온성이 높은 베드는 배지와 공기의 접촉면적이 클수록 방열량도 커진다.

### 제3절 배지냉각

일본 야채다업연구소의 安場 健一郎) )는 다공질 필름(microporous film)으로 구성된 닥터를 이용한 증발냉각법에 의한 배지냉각법을 개발 보고한 바 있다.

이 방법은 미세공의 다공질의 투습성을 가진 필름으로 구성된 닥터를 이용하여 수증 또는 수분이 많은 배지 중에 다공질필름 닥터를 설치하면 닥터 주변으로부터

닥터 내로 수분이 스며들어 온다. 이 때 블로워를 사용하여 닥터에 바람을 불어넣어 통과시키면 수분이 증발되어 증발잠열에 의하여 배지 또는 배양액을 냉각하는 원리의 증발냉각 방법이다.

구체적으로는 다공질 필름으로 직경 3cm 정도의 원통형 닥트를 만들고 이 닥트가 수압 또는 토압에 찌그러지지 않도록 내부에 나일론의 메슈(망사)튜브를 통과시킨 것이며, 이 닥트의 내부(메슈튜브 중)를 통풍공간이 되도록 구성하여 블로워로 바람을 불어 넣으면 다공질 필름으로 스며들어오는 수분이 증발되어 이 때의 기화잠열에 의하여 배지 또는 수조중의 물이 냉각되는 것이다.

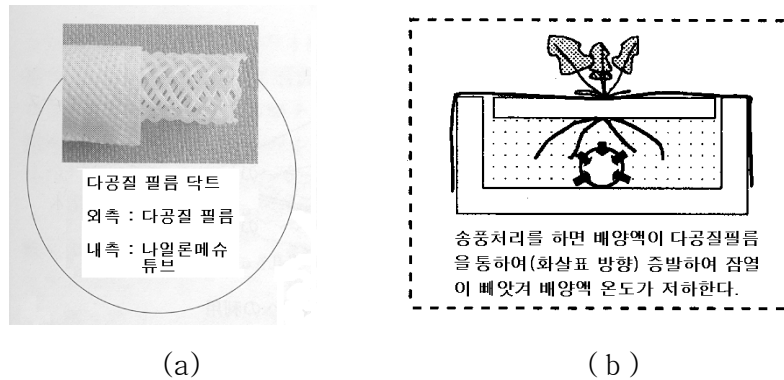


그림2-5 다공질 필름 닥트 구조 및 구경재배의 도입 예

그림 2-5는 수정재배의 배재조를 냉각하기 위하여 구성한 예이다. 그림에서 보는 바와 같이 수정조에 닥터를 설치하여 블로어로 통풍처리를 하면 수정액이 닥트 중에서 증발하여 수정액이 냉각된다. 또한 통풍처리를 하지 않는 경우에는 온도가 저하하지 않고 통풍처리에 의하여 냉각효과를 컨트롤할 수가 있다. 이것은 소규모 장치(수정액량 20, 수정조의 크기 1.2m(L)×0.2m(W)×0.1m(H)) 로 행한 결과로 실용적인 규모를 확대할 때 어느 정도까지 냉각효과를 얻을 수 있을 것인가에 대한 검토가 필요하다고 생각된다.

실용적인 시스템에서는 베드의 길이가 100m 정도로 길어져 닥터내를 통과하는 통풍량과 닥터내에서 증발하는 수분량의 잠열이 배지를 어느정도 냉각시킬 수 있을 것인가에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

또한 그림 2-6에 나타낸 바와 같이 닥트를 폴리에틸렌 튜브 내에 설치하여 제작한 냉각튜브를 사용하면 수정재배 이외에도 근역냉각을 할 수가 있다. 폴리에틸렌과 다공질 필름의 사이의 공간에는 물을 채워 닥트에 송풍처리를 하면 냉각튜브내의 물이 증발하여 냉각튜브가 냉각된다. 냉각튜브는 예를 들면 토경에 사용하는 경

우에는 이랑 표면에 매설하여 사용하며, 딸기 고설재배에서 이용하려면 크라운 부에 설치하면 된다. 잠열에 의하여 냉각된 냉각튜브와 포장의 흙과의 사이의 열전달에 의하여 냉각튜브 부근을 냉각하는 원리이다.

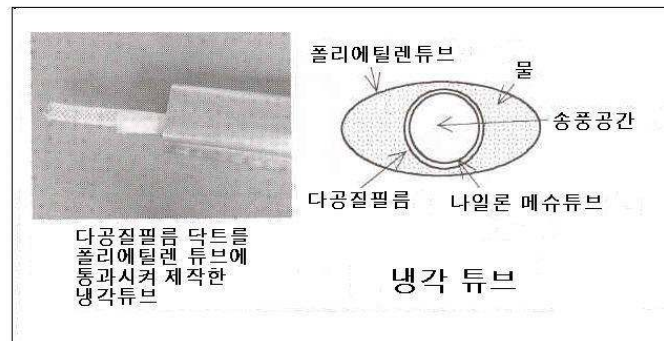


그림2-6 다공질 필름 닥트의 냉각튜브의 토경재배에 이용

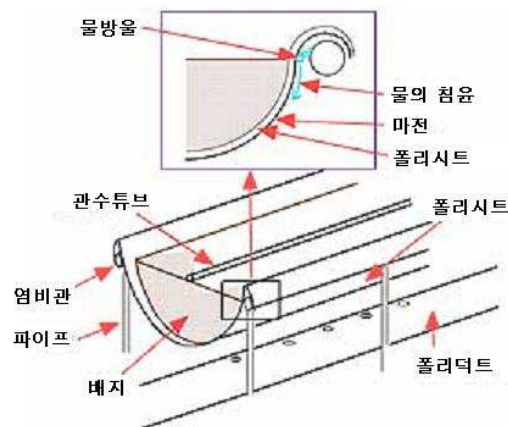


그림2-7 배지냉각장치를 구비한 딸기 고설재배장치의 약도

주) 팬은 난방기(KA-120, 네폰)의 송풍기능을 사용했다.

이케다 등(池田敬, 2005)은 고설벤치의 강제기화 냉각에 의한 딸기 제1액화방의 출퇴 전진화의 연구에서 그림 2-7과 같이 딸기 고설 수경재배의 재배베드를 폴리시트로 재배조를 구성하고 그 외측에 흡수성이 좋은 마시트를 사용하여 밀착 설치하고 고설 가로대 파이프에 염비파이프를 설치하여 5cm 간격으로 미소 구멍을 뚫어 마시트에 물이 공급되도록 고정한다. 염비파이프를 통하여 물이 단속적으로 마시트에 공급되어 마전은 항상 젖은 상태로 되도록 구성한다. 이 재배 벤치 아래에 팬에 접속되어 있는 폴리에틸렌 덕트가 설치되어 있으며 팬을 작동시켜 마시트에 송풍한

다(풍속 약 2m/s). 마시트로의 물공급과 팬 작동은 오전 6시부터 오후 6시까지 행하여 정식부터 약 1개월간 처리하는 것으로 한다. 배지의 관수는 배지냉각용의 물과는 별도 계통으로 되어 있다.

이 장치로 배지를 냉각할 경우는 냉각처리를 행하지 않았을 경우와 비교하여 주간 평균으로 최대 5℃정도 배지온을 낮출 수 있었으며, 제1액화방의 출퇴와 과실수확을 최대 10일 이상 빨리할 수 있었다고 보고하였다.

## 제4절 배지온도가 작물의 생육, 수량, 품질에 미치는 영향

온실 등 시설을 이용하여 원예생산을 할 때에 난방설비를 이용하여 시설 내를 가온하거나 냉방설비, 차광자재, 환기장치 등을 이용하여 냉각하는 것은 극히 일반적으로 되어있다. 그 중에서 토경이나 배지의 지하부 온도를 제어하는 국내의 기술 현황을 살펴보면 다음과 같다.

지하부의 적정온도는 작물의 종류 및 생육상태에 따라 다르지만 대략 20℃ 정도이며, 지중배관에 투입하는 온수의 온도는 45℃ 이하가 적절한 것으로 알려져 있다. 겨울철 지중난방에 필요한 열량은 약 평당 40kcal/h 정도로 600평의 온실에 필요한 지중 난방열량은 24,000kcal/h로서 지상부 난방용 연료의 12~15%로 난방이 가능하다는 장점이 있다.

지하부의 온도가 작물의 생육에 큰 영향을 미치는 때문에 여름철에 흰색의 멀칭을 하고, 겨울철에는 검정색의 멀칭을 사용하는 기술에서도 알 수 있는데, 이는 온도를 제어하기 보다는 타 시스템과 같이 이용되어 부가적인 온도의 냉각 또는 가온 효과를 얻기 위함이다.

전기온상선의 경우 육묘 베드에 매립하거나 육묘 포트 밑에 배선하여 지온 상승을 목적으로 사용한다. 상면적 1㎡당 75~80W의 전력으로 220V, 1kW(120m) 전열선 1조로서는 4평 정도의 면적에 배선한다. 단위 열량당 경비가 많이 들고 발열체가 가늘기 때문에 충전시에는 그 표면이 70℃ 가까이 되는 경우가 많아 발열체 부근의 토양이 건조하기 쉬워서 열의 전도를 나쁘게 하는 단점이 있다.

가장 일반적으로 지하부 가온을 위한 방법은 경유보일러 또는 전기보일러를 이용하여 물을 가온시키고 가온된 온수를 순환시켜 지하부를 난방시키는 기술이다. 이는 전기온상선 및 양열재료에 의한 지하부 가온에 비해 정밀한 목표온도 유지가 가



능하며 비열이 비교적 큰 물을 열전달 매체로 이용함으로써 열효율이 높다는 장점이 있다. 반면에 방열관의 길이가 길어질수록 시간당 유량이 적어지고 온수관의 온도가 떨어져 난방면적이 클 경우 배지 내의 온도변화폭이 크고 일정한 온도유지가 곤란하다는 문제점이 있다.

전기온상선 사용상의 문제점과 온수순환식 가온의 문제점 해결하고자 전열선에 의해 온수를 국부적으로 가열하여 온수관으로 순환공급하는 것과는 달리 온수관의 전 길이로 된 전열선을 삽입하여 온수관에 채워진 물을 가열하여 난방하는 기술이 최근 개발되었지만 아직 농업적 이용 사례는 거의 없는 실정이다.

지하부를 냉각하는 기술은 크게 연구된 것은 없으나 지열을 이용하는 방법으로서 지하수 온도는 다소 지역차가 있지만 여름철에 있어서 13~18℃정도인데 이를 지중배관으로 순환시켜 냉각효과를 얻는 방식이 있다. 그러나 대부분은 물-공기 열교환기에 통과시켜 냉풍이 얻어 닥트 등을 사용하여 작물부근에 냉풍을 보내어 국소냉방 또는 부하가 적은 야간냉방에 이용하고 있다.

최근 온실 내 물을 분무하여 물의 기화열을 이용한 증발냉각법을 이용하여 적은 물량으로 높은 냉각효과를 얻을 수 있다는 연구보고와 함께 실제장치가 설치되는 사례가 늘고 있으나, 온실 전체를 냉방하여 충분한 냉방효과를 얻기는 어려우며, 일부 온실에 산업용 냉방기가 설치되고 있지만 이는 전력소모량이나 설비비가 과도한 단점이 있다.

이상과 같이 시설재배에서 대부분의 연구는 냉난방 등 지상부 환경조절과 관련된 기술들이다. 그러나 지하부의 환경을 조절함으로써 작물의 최적 환경을 조성하면 고품질 원예 농산물의 생산, 생육촉진, 수량증가 등의 이점을 얻을 수 있다는 여러 연구결과들이 있지만 이와 관련된 정밀 온도제어 기술 및 시스템의 연구는 아직도 미비하다. 따라서 지하부의 온도를 정밀하게 조절할 수 있는 냉각가온 기술과 시스템의 실용화가 시급하다 할 수 있다.

## 제5절 본 과제의 기술과 관련된 연구팀의 선행연구

### 1. 3~5선식의 전열선 난방장치 개발(특허기술)

가. 3-5선 온수관 : 처음 온도가 내려간 상태에서 온수관 내에 3~5선의 전열선을

삽입하여 동시에 가동시켜 짧은 시간 내에 온도를 상승 시킨 후에 저온에서 한 선이 차단되고 한 선은 중저온에서 차단되며 또 한 선은 중온에서 차단되고 나머지 한 선은 목표온도를 유지하면서 설정온도에 도달되면 차단되어 하드웨어 적으로 비례 정밀제어가 가능하고 전기소모량이 절약되는 방법을 개발하였다.

나. 이중 마개 밸브 : X-L관 속의 온도가 상대적 고온이고 외부의 온도가 차이가 나므로 결로 현상이 생기는데 이로 인해 절단 또는 누전이 생길 가능성이 있으므로 이중마개 장치를 설치하여 열선과 전선과의 부위를 사이에 넣고 너트를 압축시켜 온도 차이가 발생하지 않지 않도록 개발하였다.

다. 안전장치 : X-L관 속의 물이 전열선으로 인해 온도가 올라가면 부피가 팽창되는데 이 팽창이 X-L관이나 마개에 영향이 미치지 않게 신축 기구를 삽입 밀폐시켜 보호하는 장치를 개발하였다.

## 2. 멀티포그(multi-fog) 증발 냉각시스템 개발(특허기술)

여름철 고온기에 온실의 실내온도를 작물재배가 가능한 온도범위로 유지하기 위해 포그 앤 팬(fog and fan) 증발냉각장치에서 온실측창 전길이에 걸쳐 균일한 포그의 발생공급을 위한 장치를 개발하였다.

에어컴프레셔에 의한 압축공기로 물을 흡입하여 초미립화된 포그를 발생시키고, 적당한 직경의 관을 배관하여 포그분무반경을 고려한 일정한 간격의 구멍을 뚫고, 송풍기에 의하여 온실측창 전 길이에 포그를 균일하게 공급하여, 온실내로 유입되는 공기가 이 포그층에 거쳐서 들어오도록 한다. 공기가 초미립의 포그층을 통과하는 사이에 포그가 고온의 유입공기가 가진 열이 흡수되어 증발되고 냉각된 공기가 연속적으로 온실내로 유입되어 온실내 냉방이 가능하도록 하였다.

## 3. 딸기 고설 수경재배의 배지온 관리를 위한 배지온 강하 모델 개발

겨울철 저온시 베드 및 배지 종류별로 배지온 강하 특성을 파악하였으며, 이 데이터를 이용하여 야간 배지온 강하 모델을 개발하여 실제 온실의 배지온 강하 예측을 하였다.

배지온이 강하하였을 때 베드 내의 배지 하부에 매설한 파이프로 지하수를 흘러 보내 배지온의 상승효과를 실험을 통해 구명하였다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제1절 배지의 열특성

#### 1. 시험장치 및 방법

배지의 열특성을 파악하기 위하여 그림3-1과 같은 열전도계수 측정기(Kyoto electronics, QTM-500)를 사용하여 배지의 종류별로 열전도계수를 측정하였으며, 이때 측정용 배지의 샘플은 매뉴얼에 따라 그림3-2와 같이 만들어 사용하였다. 또한 열전도계수는 함수비에 따라 달라지기 때문에 배지 샘플의 함수비는 그림3-3과 같은 함수율측정기(Kett, FD-720)를 사용하였다.

시험은 딸기 배지에 많이 이용되는 5가지 종류의 배지에 대하여 완전건조상태와 관개한 직후의 수분상태 등 2가지 조건에 대하여 샘플 3점씩 만들어 각 샘플에 대하여 3회 열전도계수를 측정하여 3점×3회=9점의 값을 평균하여 배지별 열전도계수로 하였다.



그림 3-1 열전도계수 측정기  
(Kyoto electronics, QTM-500)



그림 3-2 열전도계수 측정용 배지시료



그림 3-3 배지 함수율측정기(Kett, FD-720)

## 2. 시험결과 및 고찰

표 3-1은 배지별 열전도율의 평균치를 나타낸 것이다. 이것은 각 배지별로 3개의 샘플을 만들어 열전도계수를 3회 측정한 값을 평균한 값을 나타낸 것이다.

표에서 보는 바와 같이 건조배지에 있어서는 원예용상토가 0.2091로 열전도계수가

가장 크며, 펄라이트 단체가 0.0565로 열전도계수가 가장 작았다. 또한 배지별로 함수상태가 다르지만 관수한 직후 배지의 함수상태에서 열전도계수는 역시 원예용상토의 열전도계수가 0.4077로 가장 크며, 왕겨30%+펄라이트70%인 배지의 열전도계수가 0.1708로 가장 작았다. 여기서 얻어진 열전도계수는 후술하는 배지내 온도분포 해석의 시뮬레이션에 배지의 특성치로 이용하였다.

표 3-1 배지별 열전도계수(W/mK) 측정치(3샘플 3회 측정치 평균)

배 지	열전도계수		함수율(%)
	건조	함수상태	
생 왕 겨	0.0683	0.2040	67.1
펄라이트	0.0565	0.1898	57.0
생왕겨30% +펄라이트70%	0.0601	0.1708	67.8
피트모스30%+펄라이트70%	0.0663	0.2145	74.1
원예용상토	0.2091	0.4077	74.6

## 제2절 배지의 온도변화 특성 구명 및 배지온 강하 예측 모델 개발

### 1. 시험장치 및 방법

#### 가. 시험장치

그림 3-4, 3-5 는 온실의 온도가 저하하였을 때 배지온이 어떻게 변하는가를 파악하기 위한 시험장치를 나타낸 것이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 폭1.5m, 길이 2.4m, 높이 1.2m인 챔버를 설치하여 챔버 내 온도를  $-3^{\circ}\text{C}$ 까지 설정할 수 있는 그림 3-6과 같은 냉방기(2PS)를 설치하고 챔버 내를 그림3-7의 온도제어 장치로 설정온도에 따라 챔버 내 온도를 조절하여 배지온도 변화를 측정할 수 있도록 구성하였다. 배지온도의 측정은 T형 열전대를 센서로 하여 그림3-8과 같은 데이터 로거(Hewlett Packard) 및 컴퓨터를 사용하여 5분 간격으로 연속 측정하였다.

배지온도의 변화는 베드 2종류(플랜트형, V형), 배지 4종류(왕겨, 펠라이트, 왕겨 80%+피트모스20%, 펠라이트80%+피트모스20%), 멀칭 유무별로 처리별 온도변화와 경과시간대별로 배지 내 온도분포를 비교하여 온실 내 온도의 변화에 따른 배지온도의 변화 모델을 도출하고자 하였다.

그림3-4의 시험장치에서 보는 바와 같이 베드 1, 베드 2로 2열을 설치하여 4개의 베드를 설치하였으며, 동일한 온실 내 온도조건에서 2가지 배지에 대한 멀칭유무의 처리 조건에 대한 시험을 할 수 있도록 구성하였다.

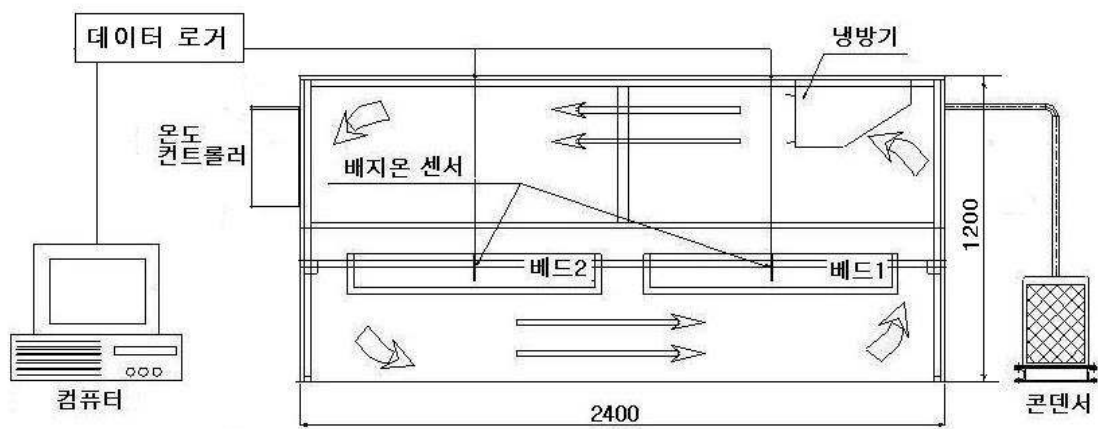


그림 3-4 배지의 온도강하 특성 시험장치 구성도



그림 3-5 배지의 온도강하 특성 시험장치



(a) 실내기(증발기)

(b) 실외기(응축기)

그림 3-6 냉방기



그림 3-7 챔버 내 온도 조절 장치

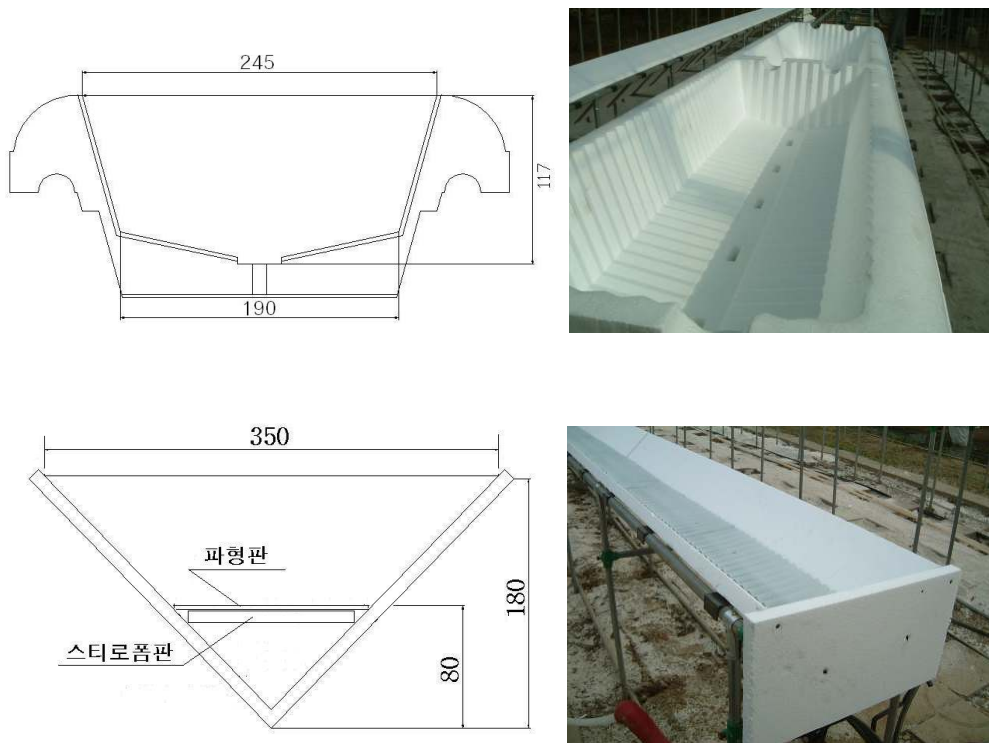


그림 3-8 온도변화 측정 데이터로그장치  
(Hewlett Packard)



## 나. 베드 종류

겨울철 배지의 온도강하 특성 시험에 사용한 베드는 그림3-9에 나타난 바와 같이 플랜트형 베드와 V형 베드의 2종류로 하였다. 플랜트형 베드는 그림3-9(a)와 같이 내부 규격이 길이 750mm, 상부폭 245mm, 하부폭 190mm, 높이 117mm의 스티로폼으로 제작한 딸기재배 전용 플랜트로서 포기 간격을 20cm로 정식할 경우 포기당 상토는 1.7L 정도이다. 밑바닥에는 16mm 크기의 배출공 5개가 설치되어 있는 것이다. 또한 그림3-9(b)는 두께 30mm 스티로폼 판 2개를 V자형으로 접착하여 상부 폭 350mm, 중앙부 높이 180mm의 연속된 베드를 설치하고 깊이 100mm 지점에 배수를 고려하여 플라스틱 파형판(상품명 : 선라이트)을 깔고 그 아래에 두께 30mm의 스티로폼 판으로 지지하는 형태로 포기 간격을 20cm로 정식할 경우 포기당 상토량은 2.5L 정도이다.



(a) 플랜트형(上), (b) V형(下)

그림 3-9 시험에 사용한 베드의 구조

#### 다. 배지 종류

배지 종류별 배지온 특성시험에 사용한 배지의 종류는 우리나라 딸기 고설수경 재배 농가에서 많이 사용하고 있는 왕겨, 펠라이트, 왕겨80%+피트모스20%, 펠라이트80%+피트모스20% 4종류로 하였으며, 각 배지에 멀칭의 유무별로 저온시 온도강하 특성시험을 하였다.

#### 라. 시험 방법

배지 내 온도의 측정 위치는 플랜트형은 그림3-10(a)에 나타낸 바와 같이 베드 중앙부에 배지 깊이별로 상(20mm), 중(50mm), 하(80mm) 3개소, 중앙으로부터 80mm의 위치(딸기정식 위치)에 상중하 3개소에 온도 측정 센서(T형 서모커플)를 설치하고 반대측은 대칭이라고 보고 베드 중앙단면의 온도강하 및 온도분포 특성을 파악하고자 하였다. 또한 저온시 지하수에 의한 배지의 가온 효과를 파악하고자 하였다.

한편 V형 베드의 온도 측정 위치는 그림3-10(b)에 나타낸 바와 같이 중앙부는 플랜트형 베드와 같이 상중하에 센서를 설치하고 좌우측에는 그림3-10(b)에 나타낸 것과 같이 각각 중앙부와 같은 높이로 벽면을 따라 3개씩의 센서를 설치하여 온도 분포를 파악하고자 하였다. 여기서 배지에 대한 시험은 플랜트형은 왕겨, 펠라이트, 왕겨80%+피트모스20%, 펠라이트80%+피트모스20% 등 4종류의 배지에 대하여 멀칭 유무별로 시험하였으며 V형 베드에서는 재배 시험에서 생육과 수량이 좋은 펠라이트80%+피트모스20% 배지에 대해서만 멀칭 유무별로 특성시험을 실시하였다. 멀칭 유무에 대한 시험 모습은 그림3-11과 같다.

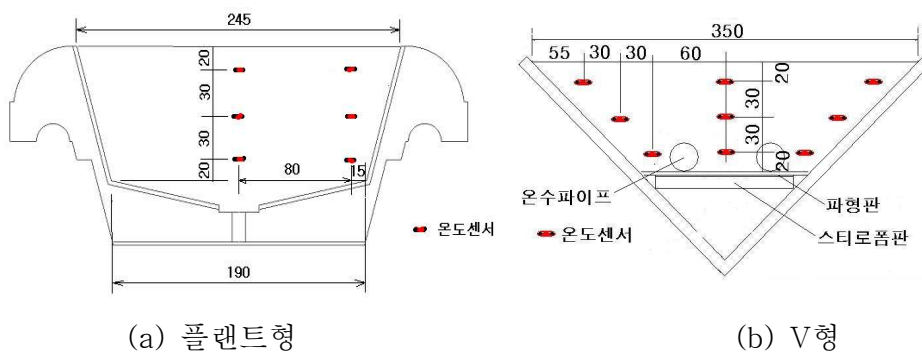
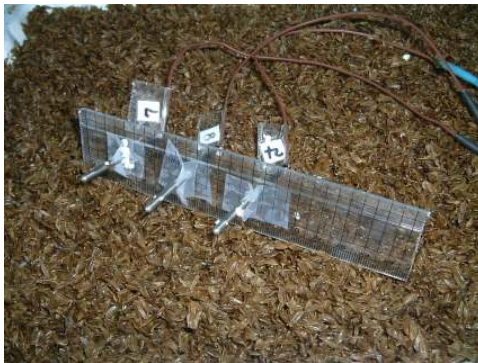


그림3-10 온도센서 설치 위치



그림3-11 멀칭 유무

배지내 온도 측정은 그림3-12에 나타낸 바와 같이 T형 서모커플을 플라스틱 스케일에 고정하여 배지 내에서 측정 위치를 유지하도록 하였다.



(a) 온도센서 고정



(b) 배지(왕겨)내 온도센서 설치



(c) 배지(펄라이트)내 온도센서 설치



(d) 챔버내 베드 설치

그림3-12 온도 측정 센서 설치 방법

## 2. 시험결과

### 가. 배지온 강하 특성

#### (1) 플랜트형 베드내 배지별 온도강하 특성

무가온 온실의 겨울철 저온 시에 실내온도가 배지온도에 미치는 영향을 구명하고자 배지온을 25℃ 정도로 상승시킨 후 하우스내 온도가 배지온도에 영향을 줄 수 있는 저온 영역으로 보는 1.5, 3.2, 5.0, 6.7℃의 4가지 수준의 챔버내 온도를 조절하여 배지내 온도강하를 측정하였다. 이 처리온도는 컨트롤러의 세팅온도를 2, 4, 6, 8℃로 하였을 때 실제로 챔버 내의 평균온도로 나타난 것이다.

배지는 단독배지로 왕겨, 펠라이트, 혼합배지로 왕겨80%+피트모스20%, 펠라이트 80%+피트모스20% 등 도합 4가지를 사용하였으며, 각각 멀칭 유무에 따라 온도변화를 측정하였다.

#### (가) 실내온도가 1.5℃일 때 배지별 배지내 온도강하 특성

그림3-13은 실내온도를 1.5℃로 유지하였을 경우, 상기한 4가지 배지에 대하여 멀칭 유무에 따라 베드 중앙부의 깊이별(상중하) 배지온의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 시험 중 9시간 경과 후부터 10시간 사이에 실내온도가 일시적으로 상승한 것은 냉방기의 증발기측 얼음을 녹이기 위하여 일시(30분간) 냉방기 가동을 중단한 결과이다. 그러나 이것으로 인한 배지내 온도강하 패턴은 큰 변화가 없었기에 실험상 문제는 없다고 판단하였다.

각 배지의 온도강하 특성을 보면 배지온을 25℃ 정도로 상승시킨 후 실내를 1.5℃로 유지하였을 때 그림3-13(a)에서 배지의 중간층에서 무멀칭(멀칭무)과 멀칭(멀칭유)의 평균온도를 비교하여 보면 3시간 경과한 후 멀칭무의 온도는 11.9℃, 멀칭유는 12.4℃이고 7시간 경과한 후 멀칭무가 4.9℃, 멀칭유가 6.1℃이고 11시간 경과한 후 멀칭무가 3.1℃, 멀칭무가 4.6℃ 그리고 15시간 경과한 후 멀칭무는 2.2℃, 멀칭유는 3.5℃로 멀칭유의 평균온도가 멀칭무보다 평균온도가 약1.3℃ 정도 높게 나타났다. 이와 같이 멀칭에 의한 배지의 보온효과가 인정되었다.

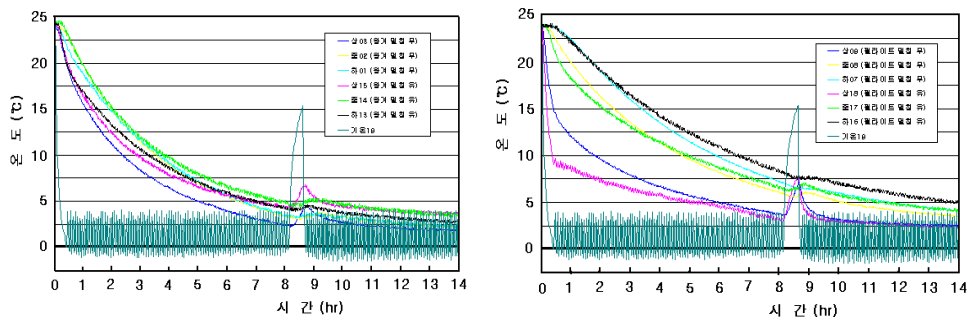
또한 그림3-13(b)에서의 펠라이트 배지의 중간층에서 멀칭 유무에 대한 평균온도를 비교하여 보면 3시간 경과한 후 멀칭무의 온도는 13.9℃, 멀칭유는 13.5℃이고 7시간 경과한 후는 멀칭무가 7.6℃, 멀칭유가 8.1℃이고 11시간 경과한 후는 멀칭무가 4.9℃, 멀칭무가 5.6℃ 그리고 15시간째 멀칭무는 3.5℃, 멀칭유는 4.2℃로 멀칭유

의 평균온도가 멀칭무보다 약 0.7℃ 정도 높게 나타났다. 이와 같이 펠라이트 배지는 전술한 왕겨 배지에 비하여 배지온 강하가 느리게 나타났다. 이것은 펠라이트가 왕겨보다 열전도가 잘 되지 않는 특징을 보인 것이다.

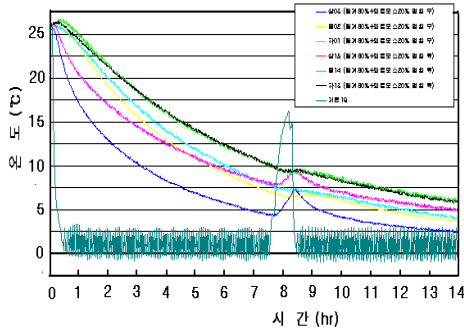
그림3-13(c)에서 왕겨80%+피트모스20%의 혼합배지에서 중간층에서 멀칭무와 멀칭유의 평균온도를 비교하여 보면 3시간 경과한 후는 멀칭무의 온도는 16.3℃, 멀칭유는 19.0℃이고 7시간 경과한 후는 멀칭무가 8.4℃, 멀칭유가 11.5℃이고 11시간 경과한 후는 멀칭무가 5.9℃, 멀칭유가 8.2℃ 그리고 15시간 경과한 후는 멀칭무는 3.7℃, 멀칭유는 6.1℃로 멀칭유의 평균온도가 멀칭무보다 약 2.4℃ 정도 높게 나타났다. 이와 같이 전술한 왕겨 단독 배지에 비하여 왕겨에 피트모스를 혼합한 혼합배지가 배지온 강하가 느리게 나타나 왕겨는 피트모스 등을 혼합한 혼합배지를 사용함으로써 배지온 유지 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

그림3-13(d)에서 펠라이트80%+피트모스20% 배지의 중간층에서 멀칭무와 멀칭유의 평균온도를 비교하여 보면 3시간 경과 후는 멀칭무의 온도는 18.1℃, 멀칭유는 18.3℃이고 7시간 경과 후는 멀칭무가 10.9℃, 멀칭유가 11.6℃이고 11시간경과 후는 멀칭무가 7.9℃, 멀칭유가 8.7℃ 그리고 15시간째 멀칭무는 5.6℃, 멀칭유는 6.5℃로 멀칭유의 평균온도가 멀칭무보다 약 0.9℃ 정도 높게 나타났다. 이와 같이 전술한 펠라이트 단독 배지에 비하여 펠라이트에 피트모스를 혼합한 혼합배지가 멀칭 유무에 상관없이 배지온 강하가 느리게 나타나 혼합배지 사용에 의한 배지온 유지 효과를 알 수 있다.

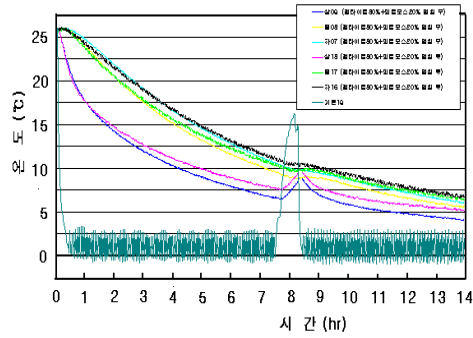
전체적으로는 배지 상면을 멀칭한 것이 온도강하가 느리게 나타나 멀칭이 배지의 보온효과가 있는 것으로 판단된다. 또한 배지 종류별 온도강하 특성에서는 왕겨 주체의 배지에 비하여 펠라이트 주체의 배지가 온도강하가 현저히 느리게 나타나 펠라이트 주체의 배지가 배지온 유지면에서 유리하다고 판단되며, 그 중에서도 펠라이트에 피트모스를 혼합한 혼합배지가 상하 전층 온도강하가 아주 느리게 나타나 배지의 보온효과 면에서 가장 좋은 배지라고 평가할 수 있다.



(a) 왕겨



(b) 펄라이트



(c) 왕겨80%+ 피트모스20%

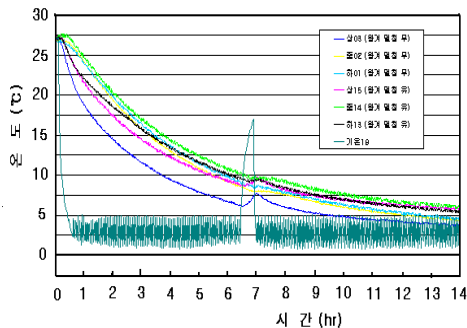
(d) 펄라이트80%+ 피트모스20%

그림3-13 플랜트형 베드의 배지별 배지온 강하(실내온도 1.5℃)

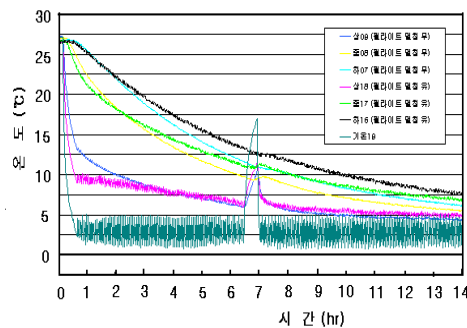
(나) 실내온도가 3.2℃일 때 배지별 배지내 온도강하 특성

그림3-14는 실내온도를 3.2℃로 유지하였을 경우, 4가지 배지에 대하여 멀칭 유무에 따라 베드 중앙의 깊이별(상중하) 배지온의 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 멀칭을 한 멀칭유가 온도강하가 느리게 나타나는 것으로 보아 실내온도 3.2℃에서도 멀칭이 배지의 보온효과가 있는 것으로 나타났다.

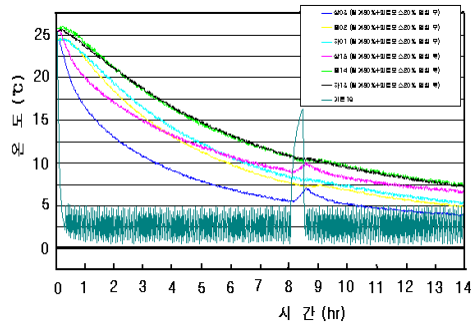
배지 종류별 온도강하 특성도 왕겨 단독 배지와 왕겨에 피트모스를 혼합한 혼합배지의 왕겨 주체의 배지에 비하여 펄라이트 주체의 배지가 전술한 실내 온도 1.5℃에서와 같이 온도강하가 느리게 나타나 펄라이트 주체의 배지가 배지온 유지면에서 유리하다고 판단되며, 또한 펄라이트에 피트모스를 혼합한 혼합배지가 상하 전층 온도강하가 아주 느리게 나타나는 패턴을 보여 배지의 보온효과 면에서 펄라이트 주체 혼합배지가 좋은 배지라고 평가할 수 있다.



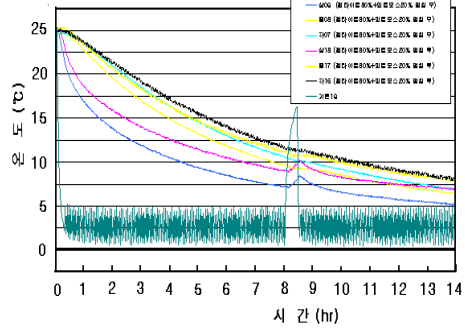
(a) 왕겨



(b)펄라이트



(c) 왕겨 80% + 피트모스 20%



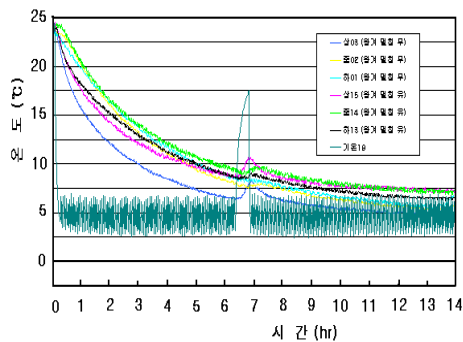
(d) 펄라이트 80% + 피트모스 20%

그림3-14 플랜트형 베드의 배지별 배지온 강하(실내온도 3.2°C)

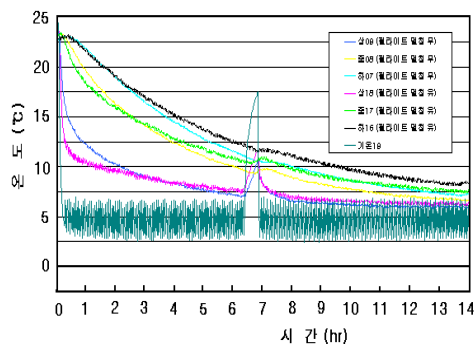
### (다) 실내온도가 5°C일 때 배지별 배지내 온도강하 특성

그림3-15는 실내온도를 5°C로 유지하였을 경우, 4가지 배지에 대하여 멀칭 유무에 따라 베드 중앙의 깊이별(상중하) 배지온의 변화를 나타낸 것이다. 이 경우에서도 전체적으로 멀칭을 한 멀칭유가 온도강하가 느리게 나타나 실내온도 5°C에서도 멀칭이 배지의 보온효과가 있는 것으로 나타났다.

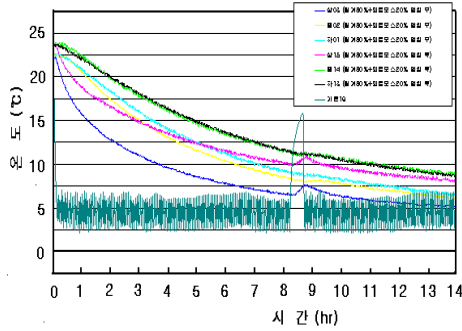
배지 종류별 온도강하 특성도 왕겨 주체의 배지에 비하여 펄라이트 주체의 배지가 전술한 실내 온도 1.5°C, 3.2°C에서와 같이 온도강하가 느리게 나타나 펄라이트 주체의 배지가 배지온 유지면에서 유리하다고 판단되며, 또한 펄라이트에 피트모스를 혼합한 혼합배지가 상하 전층 온도강하가 아주 느리게 나타나는 패턴을 보여 배지의 보온효과 면에서 펄라이트 주체 혼합배지가 좋은 배지라고 평가할 수 있다.



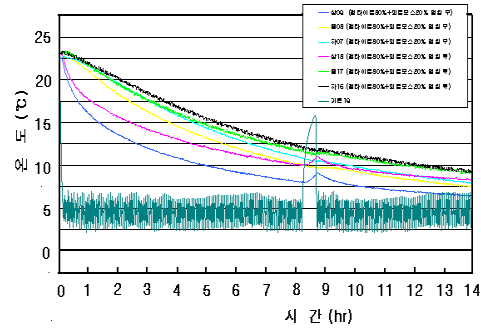
(a) 왕겨



(b) 펄라이트



(c) 왕겨 80% + 피트모스 20%



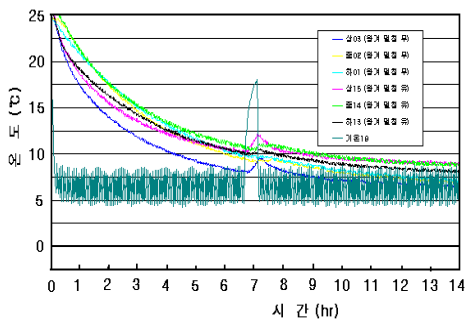
(d) 펄라이트 80% + 피트모스 20%

그림3-15 플랜트형 베드의 배지별 배지온 강하(실내온도 5°C)

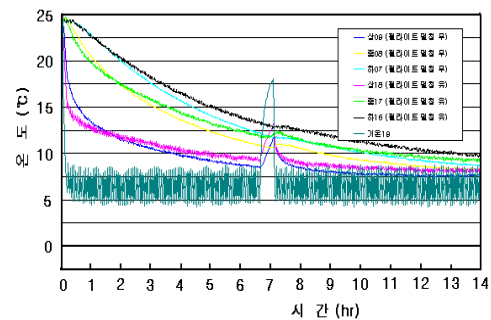
**(라) 실내온도가 6.7°C일 때 배지별 배지내 온도강하 특성**

그림3-16은 실내온도를 6.7°C로 유지하였을 경우, 4가지 배지에 대하여 멀칭 유무에 따라 베드 중앙의 깊이별(상중하) 배지온의 변화를 나타낸 것이다. 이 경우에서도 전체적으로 멀칭을 한 멀칭유가 온도강하가 느리게 나타나 실내 온도 6.7°C에서도 멀칭이 배지의 보온효과가 있는 것으로 나타났다.

배지 종류별 온도강하 특성도 왕겨 주체의 배지에 비하여 펄라이트 주체의 배지가 전술한 실내 온도 1.5°C, 3.2°C, 5°C에서와 같이 온도강하가 느리게 나타나 펄라이트 주체의 배지가 배지온 유지면에서 유리하다고 판단되며, 또한 펄라이트에 피트모스를 혼합한 혼합배지가 상하 전층 온도강하가 아주 느리게 나타나는 패턴을 보여 배지의 보온효과 면에서 펄라이트 주체 혼합배지가 좋은 배지라고 평가할 수 있다.

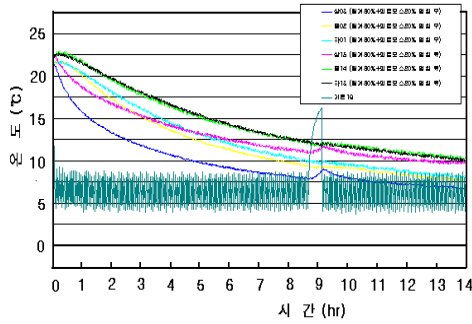


(a) 왕겨

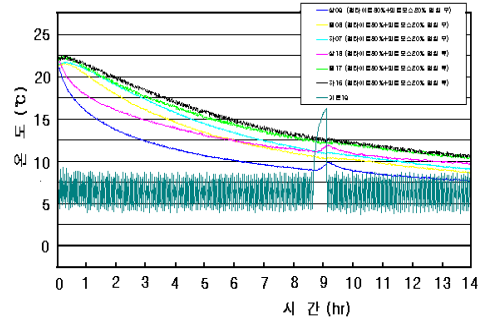


(b) 펄라이트





(c)왕겨 80% + 피트모스20%



(d)펄라이트80% + 피트모스20%

그림3-16 플랜트형 베드의 배지별 배지온 강하(실내온도 6.7℃)

이상을 종합해 보면 그림3-13~16에서 보는 바와 같이 배지의 종류에 따라, 멀칭의 유무에 따라 다소 차이는 있지만 상층의 온도강하가 급격이 이루어졌으며 하층의 온도강하는 느리게 변화함을 보여 주고 있다. 그 중에서도 왕겨 주체의 배지보다 펄라이트 주체의 배지에서 멀칭의 유무에 관계없이 배지온 강하가 느리게 나타났다. 이것은 왕겨와 펄라이트의 전열 특성 때문에 일어난 것으로 내부 온도를 유지하는 측면에서는 펄라이트 주체의 배지가 유리함을 보여주고 있다. .

## (2) V형 베드내 배지별 온도강하 특성

### (가) 실내온도가 1.5℃일 때 배지내 온도강하 특성

그림3-17은 V형 베드에서 배지온을 20~25℃ 범위로 상승시킨 후 실내온도를 1.5℃로 유지하고 배지의 멀칭무와 멀칭유의 평균온도를 연속 측정하여 16시간 정도 배지 온도강하를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 중간층에서 3시간 경과한 후는 멀칭무의 온도는 21.0℃, 멀칭유는 23.4℃이고 7시간 경과한 후는 멀칭무가 14.3℃, 멀칭유가 17.6℃이고 11시간 경과한 후는 멀칭무가 10.7℃, 멀칭유가 13.7℃ 그리고 15시간 경과한 후는 멀칭무는 8.4℃, 멀칭유는 11.1℃로 멀칭유의 평균온도가 멀칭무보다 약 2.7℃ 정도 높게 나타났다. 이와 같이 V형 베드에서도 플랜트형 베드에서와 같이 멀칭에 의한 배지의 보온효과가 인정되었다. 즉 배지의 보온 면에서 배지 윗면을 멀칭하면 배지온 유지에 유리하다. 또한 실내온도와 배지온 강하는 상관관계가 있을 것으로 판단되었다.

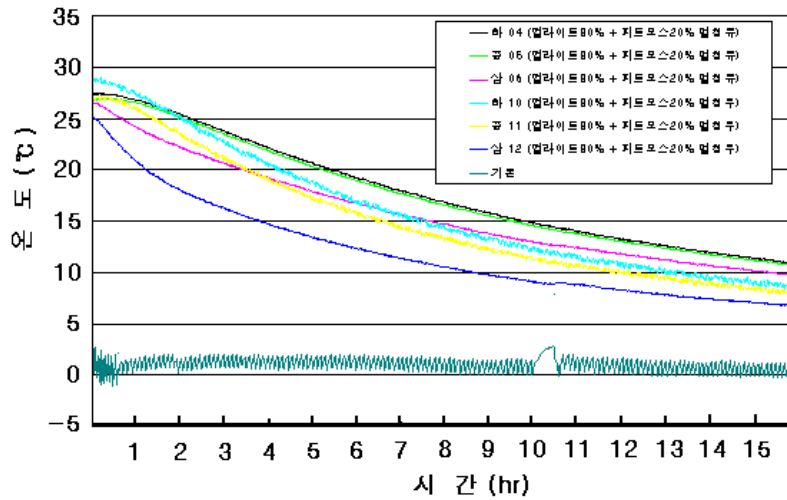


그림3-17 V형 베드에서 온실내 온도1.5도 때 배지내 온도강하 특성  
(배지 : 펠라이트80%+ 피트모스20%)

(나) 실내온도가 3.2°C일 때 배지내 온도강하 특성

그림3-18은 배지온을 20~25°C 범위로 상승시킨 후 실내온도를 3.2°C로 유지했을 때 배지내 각 점의 온도강하를 나타낸 것이다.

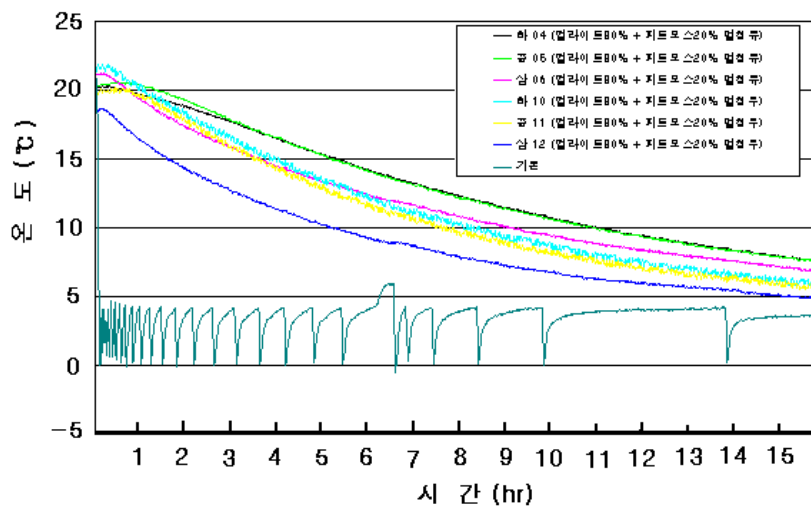


그림3-18 V형 베드에서 온실내 온도3.2도 때 배지내 온도강하 특성  
(배지 : 펠라이트80%+ 피트모스20%)

그림에서 보는 바와 같이 배지의 중간층에서 멀칭 유무의 평균온도를 비교해 보면 3시간 경과한 후는 멀칭무의 온도는 15.8°C, 멀칭유는 17.7°C이고 7시간 경과한

후는 멸칭무가 10.5℃, 멸칭유가 13.0℃이고 11시간 경과한 후는 멸칭무가 7.5℃, 멸칭유가 9.9℃ 그리고 15시간 경과한 후는 멸칭무는 5.9℃, 멸칭유는 7.8℃로 멸칭유의 평균온도가 멸칭무보다 약 1.9℃정도 높게 나타났다. 이와 같이 실내온도 3.2℃에서도 멸칭에 의한 배지의 보온효과가 인정되었다. 또한 여기서도 실내온도 1.5℃에서와 같이 실내온도와 배지온 강하가 비슷한 패턴을 나타내 실내온도 변화에 따른 배지온 추정 모델 개발의 가능성을 확인할 수 있었다.

#### (다) 실내온도가 5℃일 때 배지내 온도강하 특성

그림 19는 배지온을 20~25℃ 범위로 상승시킨 후 실내온도를 5℃로 유지했을 때 배지내 각 점의 온도강하를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 실내온도 5℃에서도 멸칭의 효과가 확인 되었으며, 각 위치별로 온도강하 패턴이 유사하게 나타나 겨울철 저온시 실내온도와 배지의 온도강하의 관계를 나타내는 모델 개발이 가능할 것으로 판단되었다.

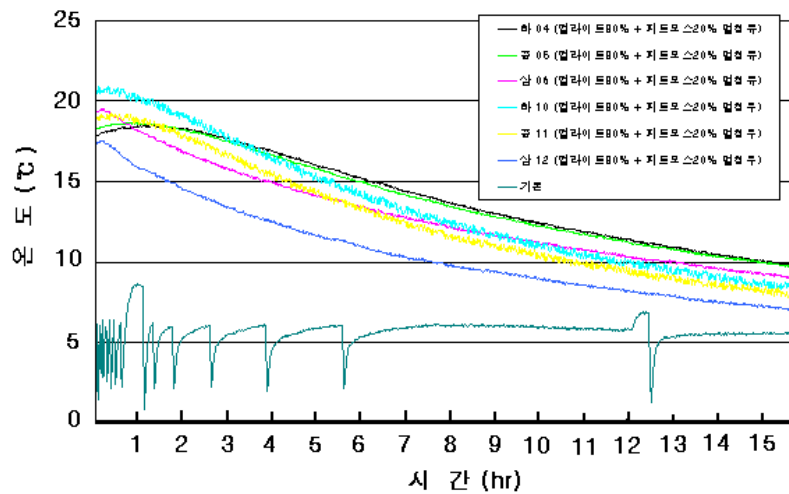


그림3-19 V형 베드에서 온실내 온도 5도 때 배지내 온도강하 특성  
(배지 : 펠라이트80%+ 피트모스20%)

#### (라) 실내 온도가 6.7℃일 때 배지내 온도 강하 특성

그림3-20은 배지온을 20~25℃ 범위로 상승시킨 후 실내온도를 6.7℃로 유지했을 때 배지내 각 점의 온도강하를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 실내온도 6.7℃에서도 멸칭의 효과가 확인 되었으며, 각 위치별로 온도강하 패턴이 전술한 1.5℃, 3.2℃, 5℃에서와 같은 패턴을 보여 겨울철 저온시 실내온도와 배지의 온도강

하의 관계를 나타내는 모델 개발이 가능성을 확인하였다.

이상에서 실내온도 저하에 따른 배지온 강하를 배지 윗면의 멀칭에 의하여 줄일 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 실내온도와 배지온 강하는 서로 높은 상관관계가 있는 것으로 추정되어 실내온도의 강하와 배지온 강하와의 관계 즉 모델을 개발하여 온실내 기온 변화에 따른 배지온 예측 모델 개발이 가능할 것으로 판단된다.

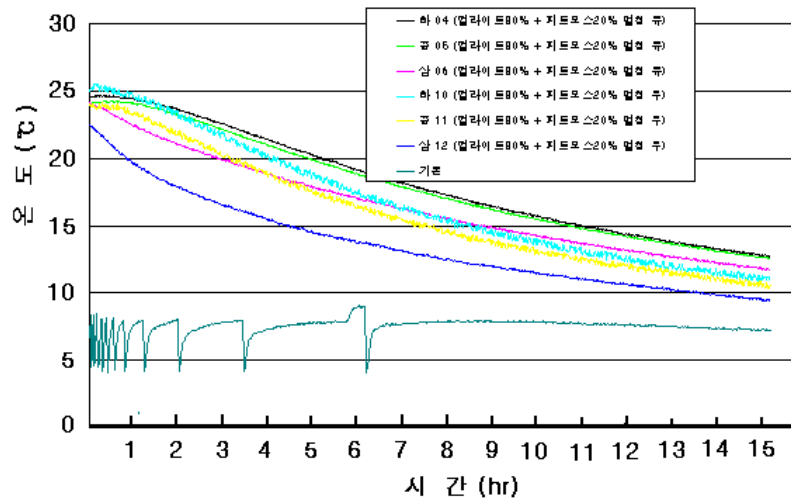


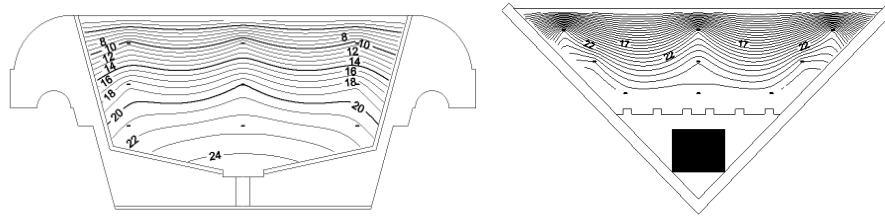
그림3-20 V형 베드에서 온실내 온도6.7도 때 배지내 온도강하 특성  
(배지 : 펠라이트80%+ 피트모스20%)

## 나. 배지내 온도분포 특성

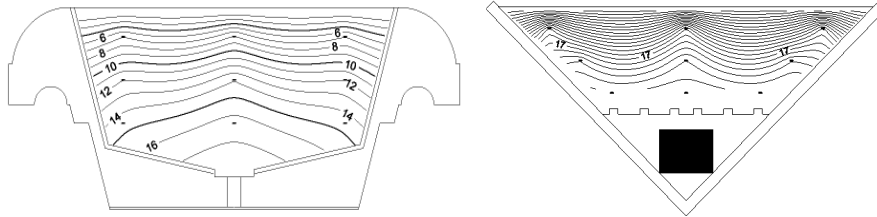
### (1) 베드형태별 배지내 온도분포 특성

그림3-21은 배지온을 20~25°C 범위로 상승시킨 후 실내 온도를 1.5°C로 유지하였을 때 플랜트형 베드, V형 베드의 2가지 베드에 대하여 온도분포를 경과시간대별로 나타낸 것이다. 여기서 배지는 펠라이트80%+피트모스20%의 혼합배지로 하였으며 무멀칭이었다.

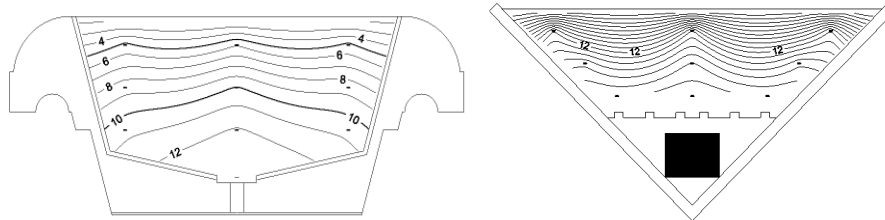
그림에서 보는 바와 같이 실내온도가 겨울철 무가온 온실에서와 같이 1.5°C로 저하되어 1시간 경과되었을 때는 플랜트형 베드와 V형 베드의 온도분포는 하부가 2~4°C 정도로 큰 차이 없이 비슷하였다. 그러나 3시간 경과 후부터 크게 차이를 보이기 시작하여 5시간 경과 후에는 플랜트형 베드는 최하부가 12°C이며, V형 베드는 최하부가 18°C로 V형 베드의 온도분포가 높게 나타났다. 따라서 배지온 측면에서는 V형 베드가 플랜트형 베드보다 유리하다고 판단된다.



1시간 경과



3시간 경과



5시간 경과

그림3-21 베드별 온도분포(필라이트+ 피트, 무멀칭)

## (2) 배지별 배지내 온도분포 특성

그림3-22, 3-23은 배지온을 20~25℃ 범위로 상승시킨 후 실내온도를 1.5℃로 유지하였을 경우, 배지별 온도분포를 경과시간대별로 나타낸 것이다. 여기서 실험은 무멀칭으로 하였다.

그림 22는 실내온도가 겨울철 무가운 온실에서와 같이 1.5℃로 저하되었을 때 단독배지인 왕겨와 필라이트 배지의 배지내 온도분포를 보인 것으로 그림에서 보는 바와 같이 실내온도 1.5℃에서 1시간 경과되었을 때 필라이트 배지의 온도분포와 왕겨 배지의 온도분포는 20℃선의 위치에 알 수 있듯이 차이를 나타내기 시작하여, 3시간 경과 후부터 크게 차이를 보이기 시작하여 5시간 경과 후에는 왕겨배지는 최하부가 8℃로 배지 전체가 딸기의 야간 한계온도인 8℃이하로 저하하였다. 그러나 필라이트 배지는 배지의 50%이상이 8℃이상으로 나타났다.

한편 그림3-23은 혼합배지에서 실내온도 1.5℃로 하였을 때 시간경과별 온도분포

를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 1시간 경과되었을 때 단독배지와 달리 왕겨80%+피트모스20%, 펄라이트80%+피트모스20% 배지의 온도분포는 큰 차이 없이 비슷하였다. 그러나 5시간 경과 후에는 왕겨+피트 배지보다 펄라이트+피트 배지의 온도분포가 4℃이상 높게 나타났다.

따라서 단독배지와 혼합배지의 온도분포 비교 결과에서 배지온 측면에서는 펄라이트 주체의 배지가 왕겨 주체의 배지보다 유리하다고 판단된다.

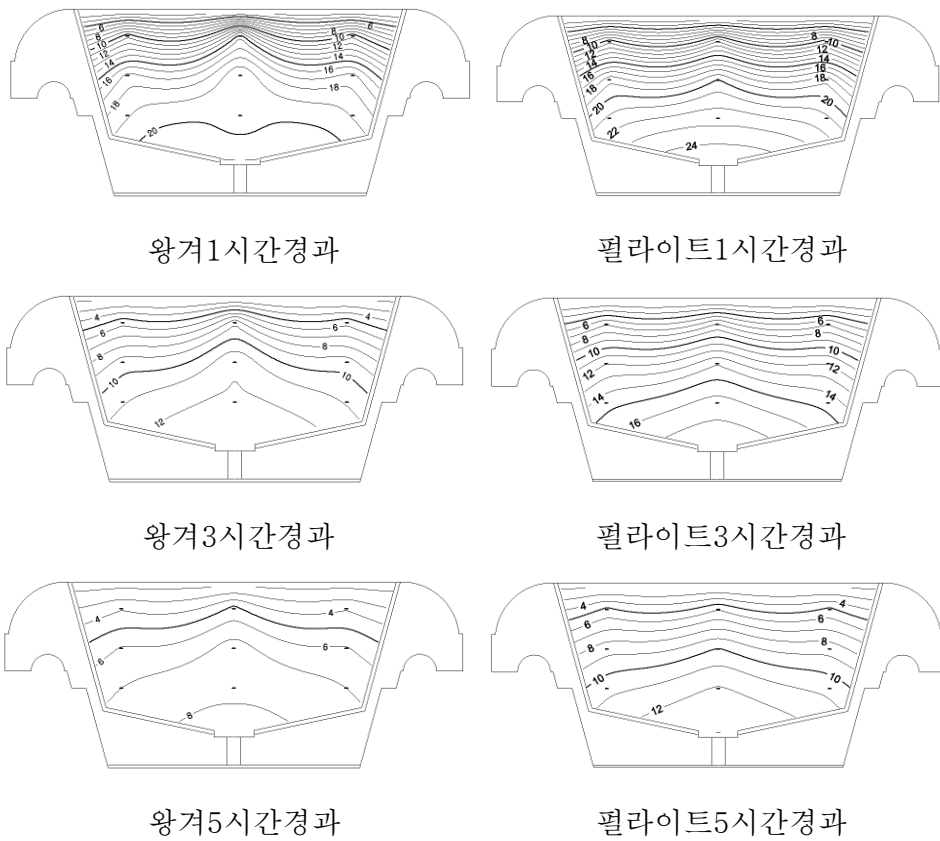
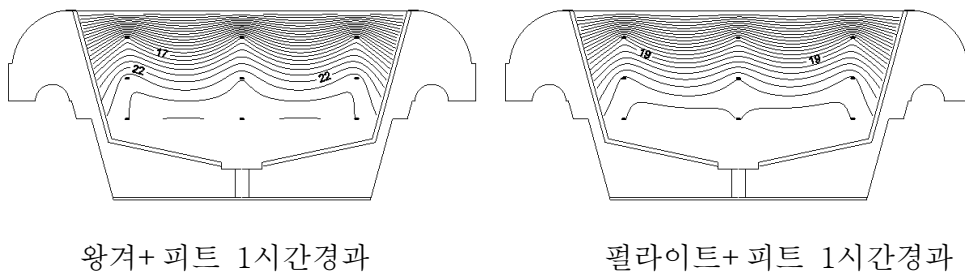
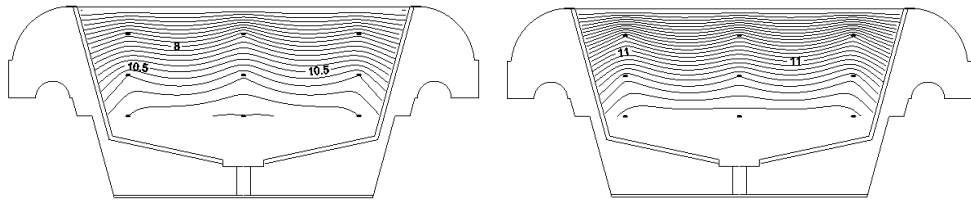


그림3-22 단독배지의 배지별 배지내 온도분포





왕겨+ 피트 5시간경과

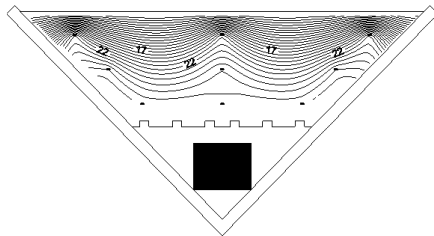
펠라이트+ 피트 5시간경과

그림3-23 혼합배지의 배지별 배지내 온도분포

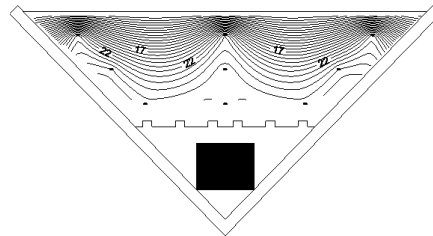
### (3) 멀칭 유무별 배지내 온도분포 특성

그림3-24는 배지온을 20~25℃ 범위로 상승시킨 후 실내 온도를 1.5℃로 유지하였을 때 멀칭 유무별 온도분포를 경과시간대별로 나타낸 것이다. 여기서 실험은 V형 베드를 사용하고 배지는 펠라이트80%+피트모스20%의 혼합배지로 하였다.

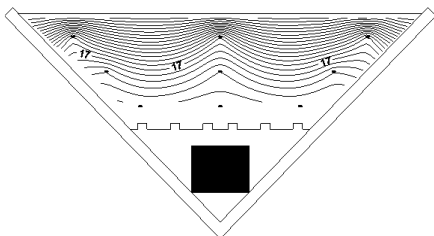
그림에서 보는 바와 같이 실내온도를 1.5℃로 저하되어 1시간 경과되었을 때까지는 멀칭유무에 상관없이 비슷한 온도분포를 보였으며, 3시간 경과후 약간의 차이를 보이다가 5시간 경과후 큰 차이를 나타내 베드형태, 배지종류 등 다른 요인에 비하여 온도분포에 영향이 적다고 판단된다.



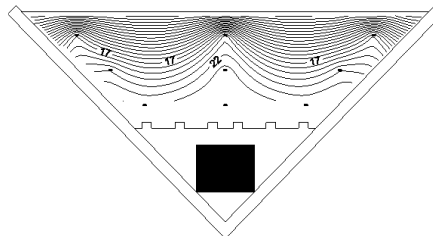
무멀칭 1시간 경과



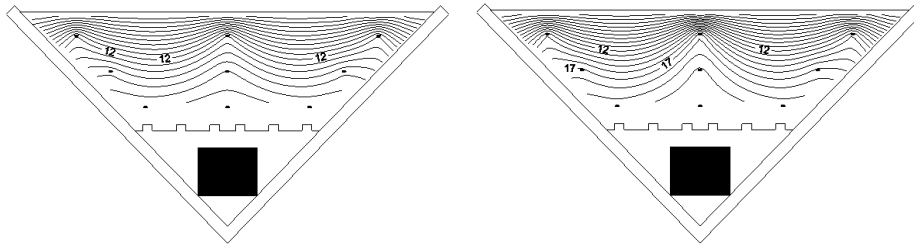
멀칭 1시간 경과



무멀칭 3시간 경과



멀칭 3시간 경과



무멀칭 5시간 경과

멀칭 5시간 경과

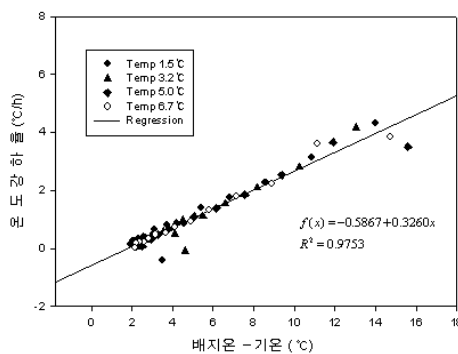
그림3-24 멀칭 유무별 온도분포

## 다. 저온시 배지의 온도강하 모델 개발

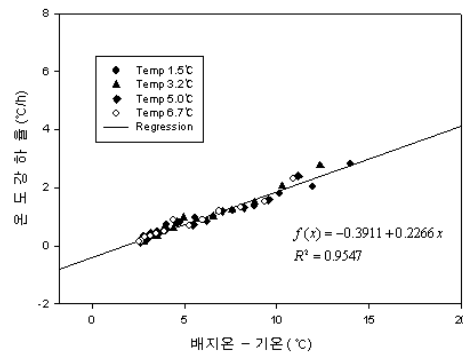
### (1) 플랜트형 베드 배지별 배지의 온도강하 모델

그림3-25는 플랜트형 베드에서 4가지 배지에 대하여 배지온과 기온과의 차에 따른 온도강하율(시간당 온도강하)을 나타낸 것으로 멀칭유에 대한 온도예측 모델을 나타낸 것이다. 이것은 전술한 온도강하 특성에서 기온 1.5, 3.2, 5.0, 6.7℃ 시에 대한 저온 노출 1시간에 대한 온도강하를 온도강하율로 하고 이것을 배지온과 기온과의 차와의 관계를 모델로 하여 실제로 겨울철 온실내 기온의 변화 측정기록으로 이 모델을 이용하여 배지온 예측을 할 수 있도록 한 것이다.

각 모델은 4가지 배지에서 모두 높은 상관관을 나타내 배지온 예측 모델로서 충분하다고 판단된다.

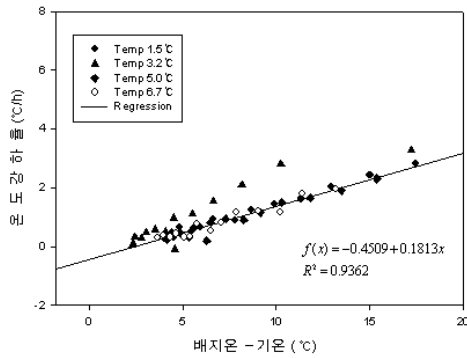


(a) 왕겨

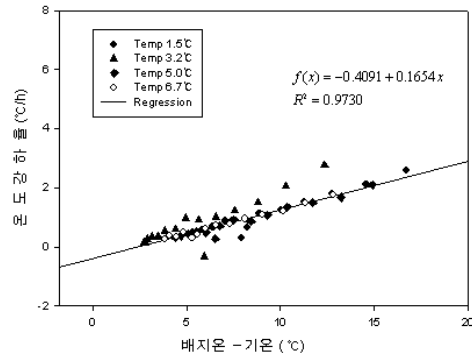


(b) 필라이트





(c) 왕겨80% + 피트모스20%



(d) 펄라이트80% + 피트모스20%

그림3-25 플랜트형 베드의 배지온과 온실내 기온차에 따른 온도강하율

## (2) V형 베드 배지의 온도강하 모델

그림3-26은 V형 베드에서 펄라이트80%+피트모스20%의 혼합배지에 대하여 배지온과 기온과의 차에 따른 온도강하율(시간당 온도강하)을 나타낸 것으로 온도예측 모델을 나타낸 것이다. 역시 상관( $R^2$ )이 0.9269로 높은 상관관계를 나타내고 있음을 보여주고 있다.

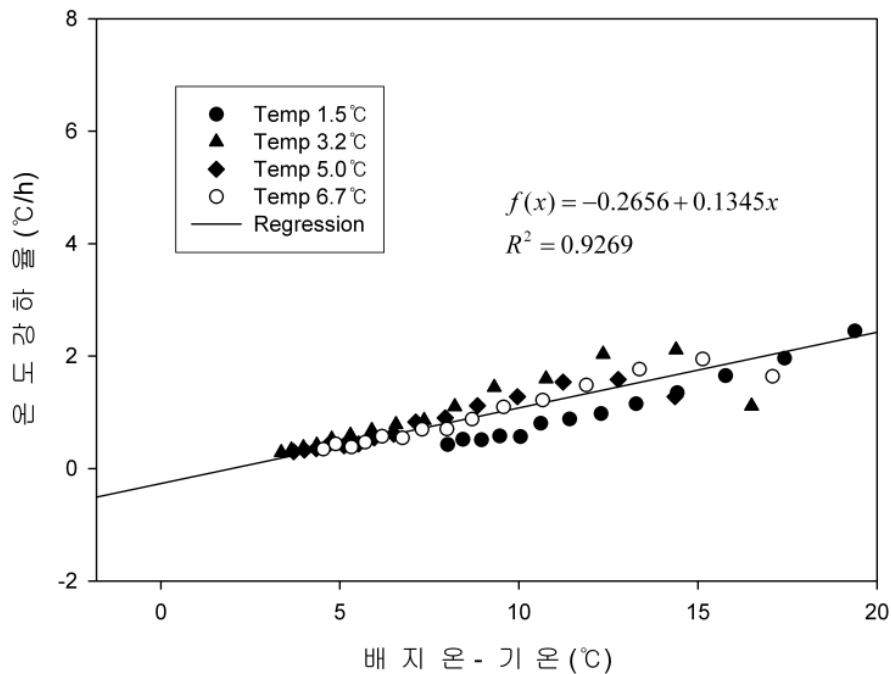


그림3-26 V형 베드에서 배지온과 온실내 기온차에 따른 온도강하율

### (3) Newton equation 에 의한 배지의 온도강화 모델

#### (가) Newton Equation

각 배지에 대하여 실내 온도를 일정하게 유지하였을 경우, 멸칭 유무별, 깊이별 (상중하) 배지온의 변화곡선은 그림3-27과 같이 실내온도에 수렴하는 Newton Equation에 근사하다고 판단하였다.

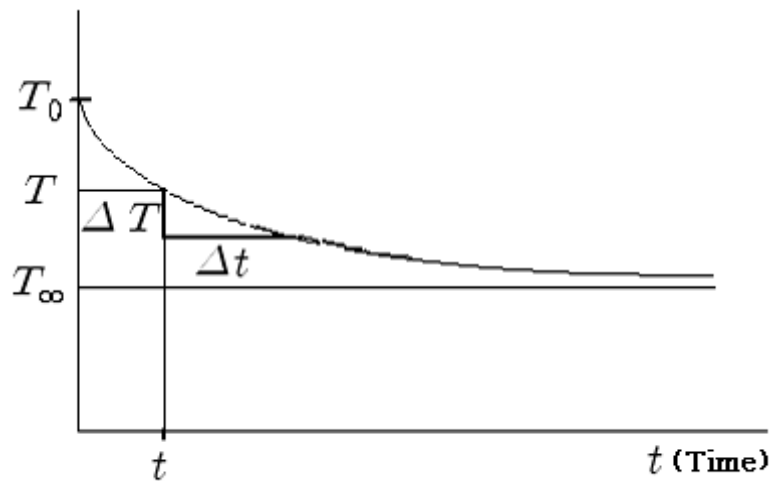


그림3-27 Newton equation

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} \approx T - T_{\infty}$$

$$\frac{dT}{dt} = a(T - T_{\infty})$$

$$\frac{dT}{T - T_{\infty}} = a dt$$

$$\int_{T_0}^T \frac{dT}{T - T_{\infty}} = \int_0^t a dt$$

$$\ln \frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = at + \ln b$$

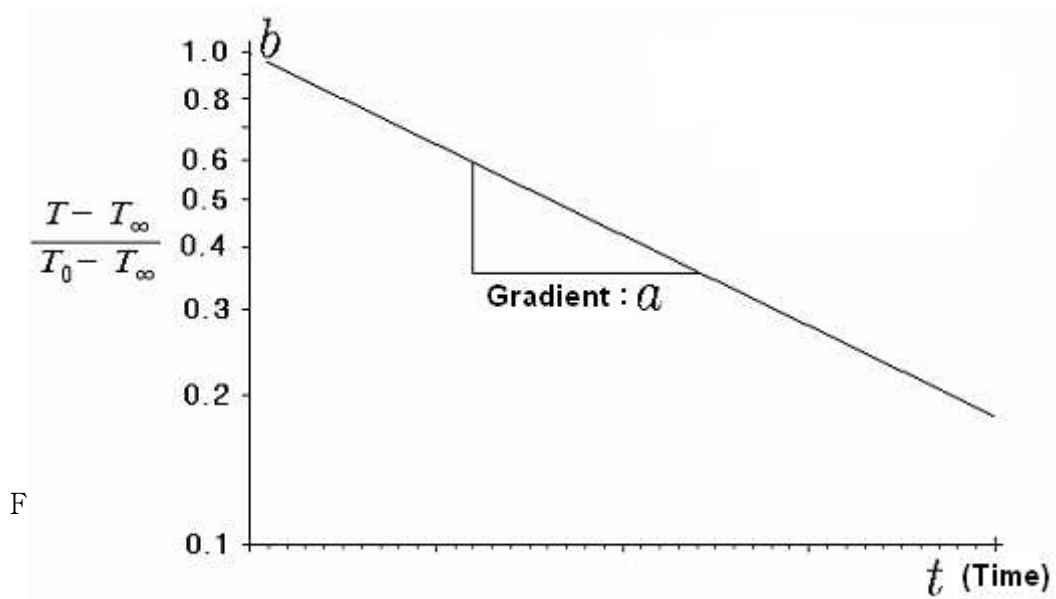


그림3-28 Newton equation

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = b e^{at}$$

$$T = T_{\infty} + b(T_0 - T_{\infty})e^{at}$$

$$T = T_{\infty} + (T_0 - T_{\infty})be^{at} \dots\dots\dots(3-1)$$

여기서, T : t 시간 때의 배지 온도(°C)

$T_{\infty}$  : 실내온도(°C)

$T_0$  : 배지의 초기온도(°C)

a, b : 상수

t : 시간(hr)

**(나) 플랜트형 베드의 온도 강하 방정식**

식(3-1)을 이용하여 실내온도를 1.5°C로 유지하였을 경우, 플랜트형 베드 4가지 배지에 대하여 멀칭 유무별, 배지 깊이별(상중하) 상수 a, b를 구하면 표3-2와 같다.

표3-2 배지 종류에 따른 깊이별 멀칭유무별 Newton equation 상수(공기온도:1.5℃)

구 분		상		중		하	
		a	b	a	b	a	b
멀칭무	왕겨	-0.0858	1.2332	-0.0858	1.3391	-0.0850	1.3377
	펄라이트	-0.0651	1.1681	-0.0628	1.3422	-0.0598	1.3894
	왕겨 80% + 펄라이트 20%	-0.0637	1.2614	-0.0624	1.3979	-0.0598	1.4124
	펄라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0506	1.2834	-0.0493	1.4054	-0.0468	1.4244
멀칭유	왕겨	-0.0630	1.2380	-0.0685	1.3173	-0.0729	1.2841
	펄라이트	-0.0566	1.0695	-0.0549	1.3125	-0.0522	1.3814
	왕겨 80% + 펄라이트 20%	-0.0487	1.3404	-0.0487	1.4215	-0.0488	1.4211
	펄라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0447	1.3991	-0.0434	1.4143	-0.0487	1.3404

실내온도를 3.2℃로 일정하게 유지하였을 경우, 플랜트형 베드 4가지 배지에 대하여 멀칭 유무별, 배지 깊이별(상중하) 배지온의 강하곡선을 뉴턴 방정식으로 나타낸 상수 a, b를 구하여 표3-3에 나타냈다.

표3-3 배지 종류에 따른 깊이별 멀칭유무별 Newton equation 상수(공기온도:3.2℃)

구 분		상		중		하	
		a	b	a	b	a	b
멀칭무	왕겨	-0.0645	1.3124	-0.0624	1.4086	-0.0604	1.4133
	펄라이트	-0.0512	1.1803	-0.0522	1.3795	-0.0497	1.4311
	왕겨 80% + 펄라이트 20%	-0.0597	1.2280	-0.0610	1.3208	-0.0592	1.3217
	펄라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0515	1.1268	-0.0572	1.2660	-0.0569	1.2946
멀칭유	왕겨	-0.0528	1.3593	-0.0530	1.4120	-0.0538	1.3847
	펄라이트	-0.0425	1.3625	-0.0425	1.3625	-0.0414	1.4251
	왕겨 80% + 펄라이트 20%	-0.0474	1.2444	-0.0521	1.3082	-0.0544	1.2758
	펄라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0416	1.0640	-0.0431	1.2845	-0.0418	1.3506

실내온도를 5.0℃로 일정하게 유지하였을 경우, 플랜트형 베드 4가지 배지에 대하여 멀칭 유무별, 배지 깊이별(상중하) 배지온 강하곡선을 뉴턴 방정식으로 나타낸 상수 a, b를 구하여 표3-4에 나타냈다.

표3-4 배지 종류에 따른 깊이별 멀칭유무별 Newton equation 상수(공기온도:5.0℃)

구 분		상		중		하	
		a	b	a	b	a	b
멀칭무	왕겨	-0.0510	1.2187	-0.0525	1.3119	-0.0506	1.3170
	펠라이트	-0.0389	1.1540	-0.0423	1.3076	-0.0411	1.3522
	왕겨 80% + 펠라이트 20%	-0.0450	1.2253	-0.0446	1.3290	-0.0424	1.3430
	펠라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0373	1.2385	-0.0371	1.3381	-0.0355	1.3578
멀칭유	왕겨	-0.0395	1.2600	-0.0428	1.3113	-0.0441	1.2839
	펠라이트	-0.0324	1.1255	-0.0359	1.2925	-0.0357	1.3485
	왕겨 80% + 펠라이트 20%	-0.0332	1.3012	-0.0340	1.3653	-0.0338	1.3655
	펠라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0311	1.2799	-0.0315	1.3526	-0.0308	1.3629

실내온도를 6.7℃로 일정하게 유지하였을 경우, 플랜트형 베드 4가지 배지에 대하여 멀칭 유무별, 배지 깊이별(상중하) 배지온 강하곡선을 뉴턴 방정식으로 나타낸 상수 a, b를 구하여 표3-5에 나타냈다.

표3-5 배지 종류에 따른 깊이별 멀칭유무별 Newton equation 상수(공기온도: 6.7℃)

구 분		상		중		하	
		a	b	a	b	a	b
멀칭무	왕겨	-0.0429	1.2616	-0.0444	1.3326	-0.0430	1.3358
	펄라이트	-0.0319	1.1863	-0.0364	1.3247	-0.0362	1.3679
	왕겨 80% + 펄라이트 20%	-0.0339	1.2178	-0.0359	1.3096	-0.0345	1.3232
	펄라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0291	1.2228	-0.0309	1.3140	-0.0301	1.3340
멀칭유	왕겨	-0.0332	1.2860	-0.0366	1.3301	-0.0372	1.3038
	펄라이트	-0.0277	1.1833	-0.0314	1.3216	-0.0314	1.3666
	왕겨 80% + 펄라이트 20%	-0.0262	1.2882	-0.0275	1.3440	-0.0276	1.3463
	펄라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0243	1.2731	-0.0257	1.3349	-0.0254	1.3453

(4) V형 베드의 온도강하 방정식

실내온도를 1.5℃로 일정하게 유지하였을 경우, V형 베드 펄라이트 80% + 피트모스 20% 배지에 대하여 멀칭 유무별, 배지 깊이별(상중하) 뉴턴 방정식 상수 a, b를 구하면 표3-6과 같다.

표3-6 V형베드의 배지 종류에 따른 깊이별 멀칭유무별 Newton equation 상수 (공기온도 : 1.5℃)

구 분		상		중		하	
		a	b	a	b	a	b
멀칭무	펄라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0399	1.3457	-0.0386	1.4360	-0.0383	1.4656
멀칭유	펄라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0300	1.4079	-0.0284	1.4468	-0.0282	1.4527

실내온도를 3.2℃로 일정하게 유지하였을 경우, V형 베드 펠라이트 80% + 피트모스 20% 배지에 대하여 멀칭 유무별, 배지 깊이별(상중하) 뉴턴 방정식 상수 a, b를 구하면 표3-7과 같다.

표3-7 V형베드의 배지 종류에 따른 깊이별 멀칭유무별 Newton equation 상수 (공기온도 : 3.2℃)

구 분		상		중		하	
		a	b	a	b	a	b
멀칭 무	펠라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0425	1.2377	-0.0407	1.3142	-0.0407	1.3353
멀칭 유	펠라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0343	1.3070	-0.0307	1.3322	-0.0295	1.3245

실내온도를 5.0℃로 일정하게 유지하였을 경우, V형 베드 펠라이트 80% + 피트모스 20% 배지에 대하여 멀칭 유무별, 배지 깊이별(상중하) 뉴턴 방정식 상수 a, b를 찾아보면 표3-8과 같다.

표3-8 V형베드의 배지 종류에 따른 깊이별 멀칭유무별 Newton equation 상수 (공기온도 : 5.0℃)

구 분		상		중		하	
		a	b	a	b	a	b
멀칭 무	펠라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0278	1.2173	-0.0281	1.2947	-0.0285	1.3260
멀칭 유	펠라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0231	1.2727	-0.0198	1.2889	-0.0186	1.2865

실내온도를 6.7℃로 일정하게 유지하였을 경우, V형 베드 펠라이트 80% + 피트모스 20% 배지에 대하여 멀칭 유무별, 배지 깊이별(상중하) 뉴턴 방정식 상수 a, b를 찾아보면 표3-9와 같다.

표3-9 V형베드의 배지 종류에 따른 깊이별 멸칭유무별 Newton equation 상수  
(공기온도 : 6.7℃)

구 분		상		중		하	
		a	b	a	b	a	b
멸칭무	펠라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0264	1.3107	-0.0273	1.3848	-0.0276	1.4117
멸칭유	펠라이트 80% + 피트모스 20%	-0.0221	1.3686	-0.0209	1.3995	-0.0211	1.4077

### (5) 온도예측 검정

그림3-29는 실내 온도 6.7℃로 일정하게 유지하였을 경우, V형 베드 펠라이트 80% + 피트모스 20% 배지에 대하여 멸칭무, 배지 깊이가 중간일 때 뉴턴 방정식  $f(x)=1.3843 - 0.0274x$ , 상관( $R^2$ )이 0.9944를 이용하여 그린 그래프와 실험실에서 실측한 그래프를 나타낸 것이다.

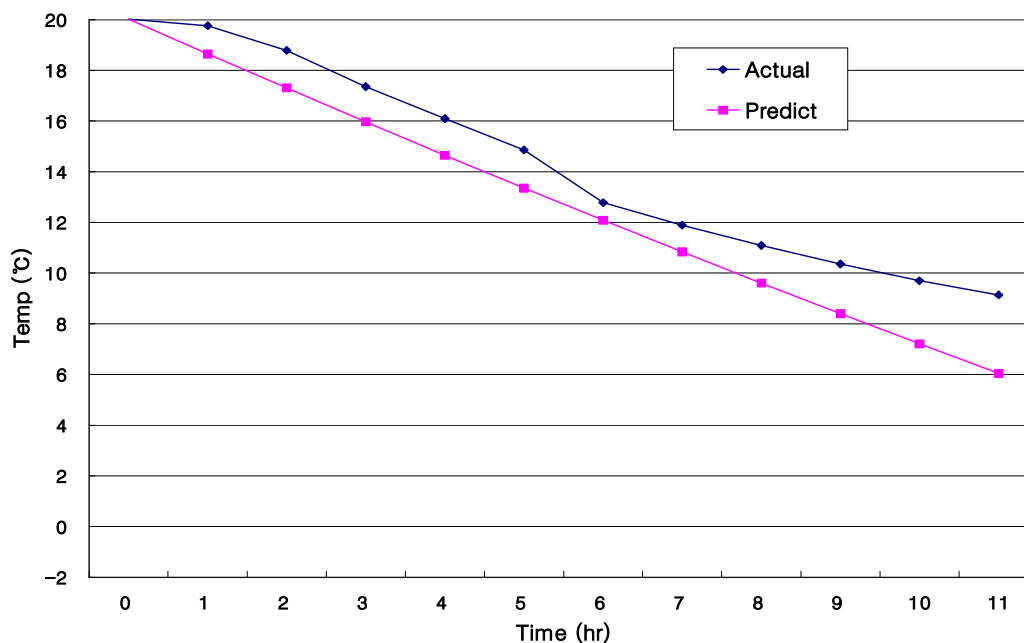


그림3-29 V형 베드에 있어서 Newton equation에 의한 온도예측 검정 예



3시간 경과 후 뉴턴 방정식을 이용한 것은 15.97°C, 실측치는 17.36°C, 5시간 경과 후 뉴턴 방정식을 이용한 것은 13.36°C, 실측치는 14.86°C, 7시간 경과 후 뉴턴 방정식을 이용한 것은 10.84°C, 실측치는 11.90°C, 9시간 경과 후 뉴턴 방정식을 이용한 것은 8.40°C, 실측치는 10.36°C, 11시간이 경과한 후 배지 온도는 뉴턴 방정식을 이용한 것이 6.04°C, 실측치는 9.14°C로 3.10°C의 차가 나타났다.

## (6) 배지온도 예측 검증

### (가) 플랜트형 베드

전술한 그림3-25(d) 모델을 이용하여 1일 온실내 기온 변화패턴을 가지고 그림 3-30에서와 같이 오후 7시부터 다음날 오전 7시까지의 12시간 배지온 실측치와 예측치를 비교한 결과 1.25°C의 적은 오차가 나타나 예측모델로 이용 가능한 것으로 판단된다.

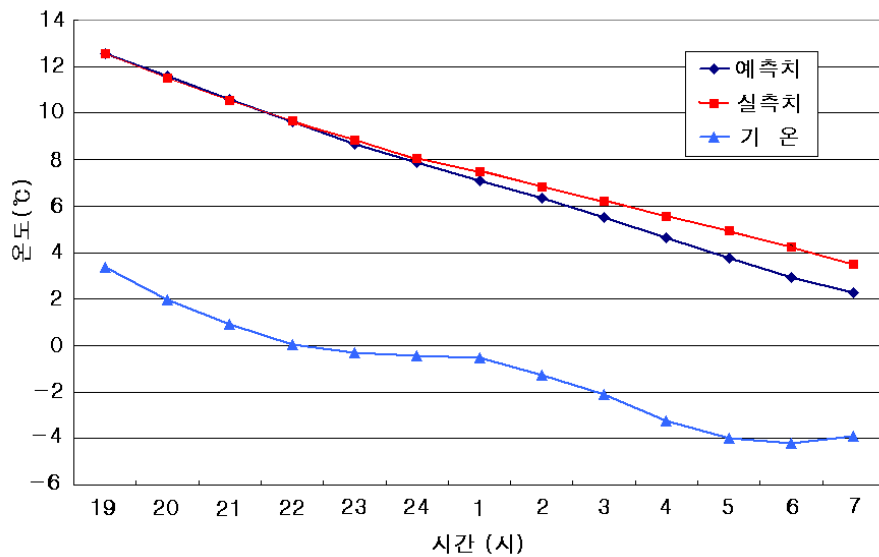


그림3-30 플랜트형 베드에 있어서 온도강하 예측 검증

### (나) V형 베드

전술한 그림3-23의 모델을 이용하여 1일 온실내 기온 변화패턴을 가지고 그림 3-31에서와 같이 오후 7시부터 다음날 오전 7시까지의 12시간 배지온 실측치와 예측치를 비교한 결과 1.0°C의 적은 오차가 나타나 예측모델로 이용 가능한 것으로 판단된다.

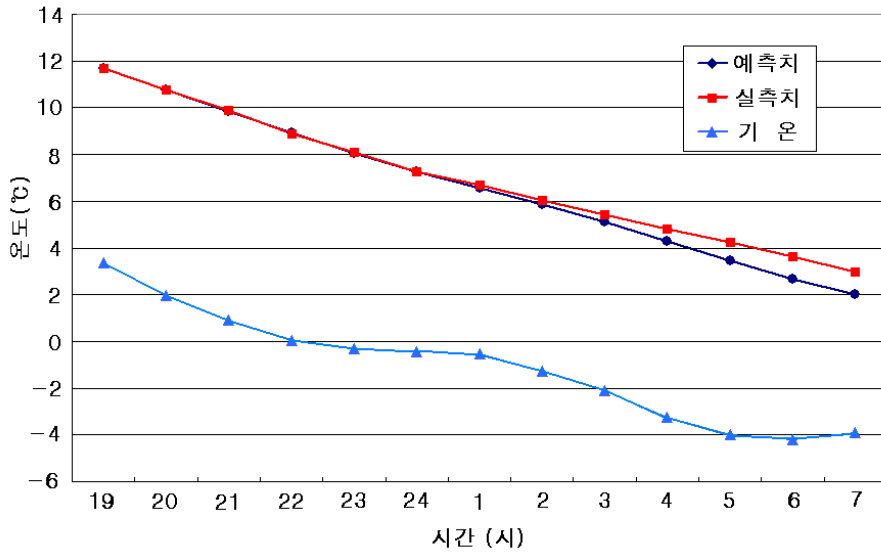


그림3-31 V형 베드에 있어서 온도강하 예측 검증

이상의 2가지 배지온 강하 모델에서 배지온과 실내온도차에 의한 모델이 실제에 근접함을 알 수 있었다. Newton Equation의 경우 온실내 온도를 유지했을 때의 방정식을 적용함으로써 1일중 온도가 변화하는 온실에 적용함으로써 생기는 오차가 크기 때문이라고 판단된다. 이에 비하여 온실 온도에 상관없이 배지온과 실내온도의 차를 함수로 도입함으로써 일반화한 것이 1일중 온도변화가 있는 온실에 적응성이 좋았기 때문이라고 판단된다.

### 제3절 배지냉각 시스템 개발

#### 1. 서언

배지의 냉각은 지금까지 배지 내에 설치한 파이프에 지하수를 흘려 열교환에 의한 지하수유동 방식이 일반적이었다. 그러나 단순히 지하수를 흘리는 냉각하는 방식으로는 1L(1kg)의 지하수가 파이프를 통하여 흐를 때 배지와 열교환에 의하여 수온이 5°C정도 올라갈 경우 5Kcal의 열을 흡수하지만 증발냉각법은 물 1L를 증발시킬 경우 580Kcal의 열을 흡수할 수 있어 냉각수의 소비수량 면에서 지하수에 의한 열교환식 냉각법은 증발냉각법에 비하여 100배의 물이 소비된다. 따라서 배지

의 냉각을 증발냉각법을 도입하였으며, ①다공질 필름 닥트법 ②배지상면 가습부직포 먼징법 ③투수부직포 재배조 표면 증발법 등 3가지 방법을 개발하여 배지냉각특성을 구명하였다.

## 2. 냉각방식별 냉각특성 및 시스템 개발

### 가. 다공질 필름 닥트법

#### (1) 다공질 필름 특성 시험

##### (가) 시험장치 및 방법

다공질 필름(microporous film)은 미세공의 다공질로 구성된 투습성을 가진 필름으로 수증 또는 수분이 많은 배지 중에 이 다공질 필름 닥트를 설치하면 닥터 주변으로부터 닥터내로 습기가 스며들어 오며, 이 때 블로워를 사용하여 닥터에 바람을 불어넣어 통과시키면 닥터 내에 스며들어온 습기가 증발되어 증발잠열에 의하여 배지 또는 배양액이 냉각되는 원리의 증발냉각 방법이다.

증발 냉각 시스템 구성을 위하여 일본에서 시판하고 있는 다공질 필름 4종과 국내 1종을 확보하여 그림3-32, 3-33과 같이 다공질 필름의 증발냉각 특성 시험장치를 제작하였다. 그림에서 보는 바와 같이 다공질 필름을 이용한 증발냉각은 실험장치의 상부에 설치한 물호퍼 내의 물이 다공질 필름을 통하여 닥트 내에서 증발하여 블로워로부터의 공기가 증발잠열에 의한 온도강하에 의한 배지 또는 배양액의 온도가 강하하는 메커니즘을 이용한 것이다.

여기서 다공질 필름은 210×300mm(A4 사이즈)의 동일한 크기의 평면 시트를 사용하여 증발냉각 특성이 가장 우수한 필름을 선별하기 위하여 실시한 것이다.

또한 여기서 블로워 임펠러의 회전속도를 변화시켜 닥터내 공기 통과량에 따른 온도강하 추이를 시험하였다.

여기서 닥트 입출구의 온도 및 습도는 그림3-32, 3-33 에서와 보는 바와 같이 온습도 센서를 설치하여 측정하였으며, 측정에 사용한 센서 증폭기 데이터 로거 등은 그림3-34와 같이 미래센서의 제품을 사용하였다.

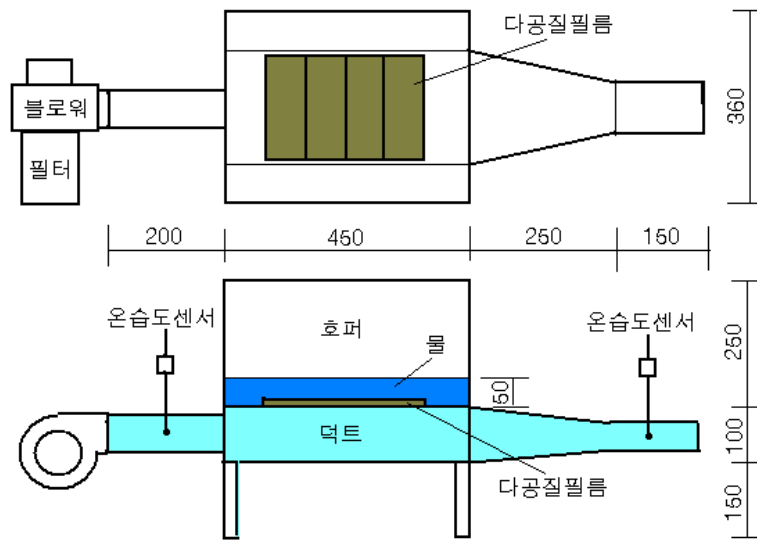


그림3-32 다공질 필름 덕트 증발냉각 특성 시험장치 구성



그림3-33 다공질 필름 덕트 증발냉각 특성 시험장치



그림3-34 데이터 수집장치

#### (나) 시험결과

필름 종류별로 동일한 크기(200×300mm)의 다공질 필름을 호퍼 하부에 설치하여 덕트에 블로워로 바람을 불어 입구측과 출구측의 온도와 습도를 측정한 결과를 표 3-10에 나타냈다. 표에서 보는 바와 같이 온도강하가 가장 큰 것은 일본산의 M사 제품이었다. 이것을 이용하여 앞으로의 시험에는 M제품 다공질 필름을 이용하여 배지냉각 덕트를 제작하여 사용하였다.

표3-10 필름 종류별 증발냉각 특성

필름 종류	입구측		출구측		비고
	온도(℃)	습도(%)	온도(℃)	습도(%)	
M 사	20.1	25.4	15.9	45.4	일본산
S 사	20.0	28.8	18.4	39.6	일본산
N사(1)	19.8	25.2	17.6	38.5	일본산 두께 0.1mm
N사(2)	20.0	28.8	18.4	38.9	일본산 두께 0.2mm
K 사	20.2	25.4	18.0	39.2	국내산

여기서 제조사에 따른 다공질 필름의 차이를 알아보기 위하여 실시한 실험으로 통과하는 공기량에 비하여 다공질 필름의 크기(A4 사이즈)가 작고 닥터의 상부에만 설치되어 있기 때문에 온도강하가 적게 일어난 것으로 생각되는데 배지냉각 시스템 구성에는 원통형의 닥트를 구성하여 투수면적을 확대하고 사용되는 공기의 상대습도, 증발수분량 등을 고려하여 시스템을 구성하였다.

또한 사용되는 공기의 상대습도에 따라 증발되는 수분의 양이 차이가 나며 따라서 여기서 개발하는 시스템은 상대습도가 낮은 온실 외의 공기를 사용하는 것을 전제로 하였다. 특히 본 연구는 딸기 재배를 기본으로 하였으며, 배지의 냉각을 필요로 하는 경우는 4월~6월로 온실외의 기온은 최고 30℃이내인 경우가 대부분이며 상대습도는 50%이내인 경우를 기준으로 잡았다. 상대습도가 높은 날은 흐린 날로 기온이 낮고 온실 내 태양광이 들어오는 양이 적어 배지온의 냉각이 필요 없는 경우로 판단하였다.

## (2) 고품배지경의 배지 냉각

### (가) 배지냉각 시스템 구성 및 실험방법

고형배지경의 배지 냉각은 다공질 필름에 의한 냉각 탁트를 배지 내에 매설하여 사용할 경우 배지의 함수율에 따라 스며드는 수분량이 달라 냉각이 충분하지 못할 경우 등을 고려하여 그림3-35와 같이 배지 상부에 폴리튜브를 설치하여 이 폴리튜브 내에 냉각닥터와 물을 봉입하는 방법으로 구성하였다. 이 방식은 특히 딸기의 경우 배지 상부에 노출되는 크라운의 냉각이 꽃눈분화에 크게 영향을 주기 때문에 실용면을 고려할 경우도 합리적이라 판단하였다.

다공질 필름에 의한 증발냉각 메커니즘은 다공질의 투습성을 가진 필름으로 제작한 튜브(내부에 메시튜브를 설치하여 외압에 의한 압착을 방지할 수 있는 구조)를 그림과 같이 물을 봉입한 폴리튜브 내에 설치하면 폴리튜브 내의 물이 다공질의 냉각튜브 내로 습기가 스며들어 오며, 이 때 블로워로 튜브에 바람을 불어넣어 통과시키면 튜브내에 스며들어온 습기가 증발되어 증발잠열이 폴리튜브내의 물을 냉각시키고 배지의 온도강하가 일어나는 원리의 메커니즘이다.

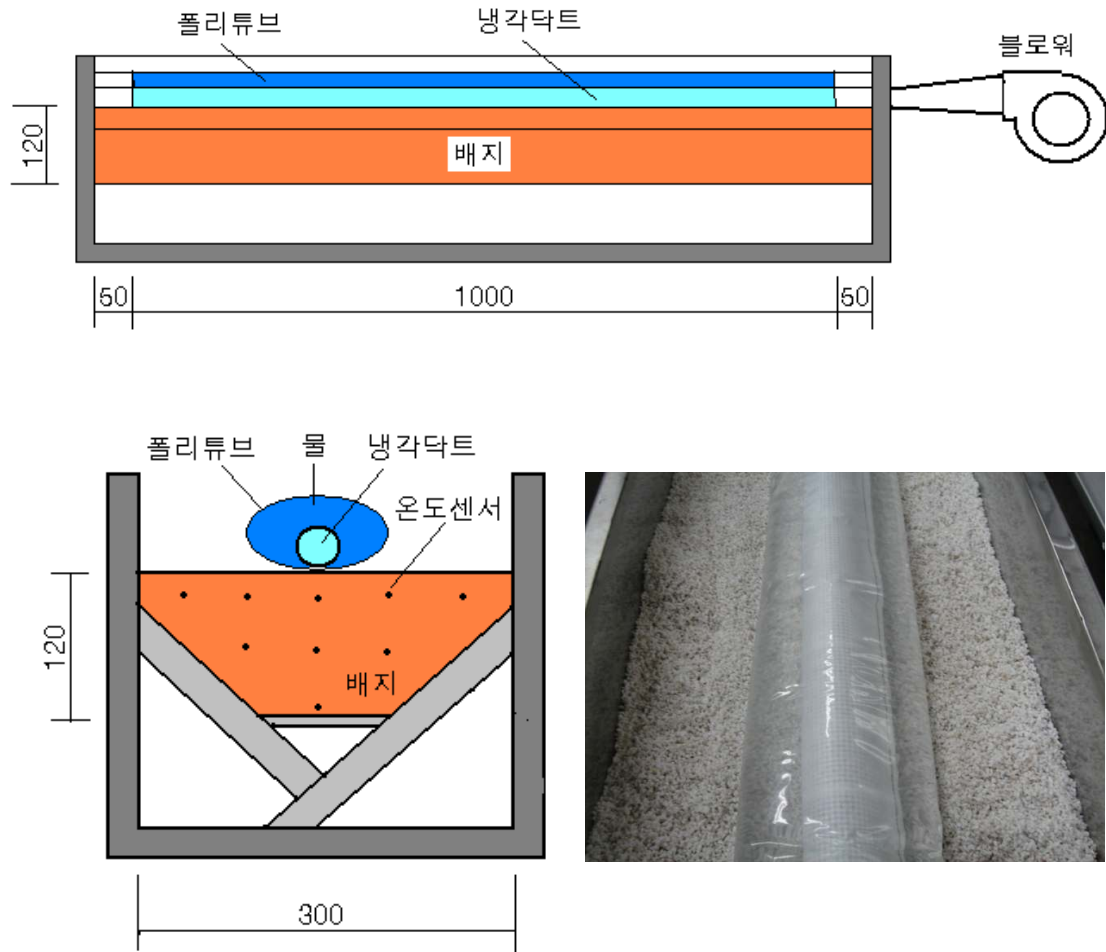


그림3-35 물봉입 폴리튜브내 다공질튜브에 의한 배지냉각 시스템 구성

시스템은 그림3-35와 같이 고휘배지경의 베드는 폭 300mm, 깊이 120mm, 길이 1100mm로 하였으며, 폴리필름 튜브는 절폭 150mm의 폴리필름에 물과 직경40mm 다공질필름으로 제작한 냉각덕트를 봉입하여 타원형의 냉각튜브가 되도록 모델을 구성하였다. 시험은 기온 25, 30, 35℃로 3수준으로 설정하여 배지내 온도분포를 측정하였다.

배지별 냉각 특성을 구명하기 위하여 농가가 수경 배지로 많이 이용하는 왕겨, 펠라이트, 왕겨+피트모스, 펠라이트+피트모스 등 4종류에 대하여 비교시험을 실시하였다. 이 때 시험은 온도를 실내온도를 설정할 수 있는 욕모실을 이용하였다.

또한 폴리튜브에서 다공질 튜브를 통하여 증발한 물의 보충은 1일 소비하는 물의 양에 해당하는 물탱크를 설치하여 각 튜브에 자동 공급되도록 하여 시스템을 구성하였다.

(나) 시험결과 및 고찰

그림3-36은 배지 위에 설치된 폴리튜브 내의 온도변화를 나타낸 것이며, 그림 3-37은 고품배지의 배지내 온도가 안정된 상태에서 온도분포를 해석하기 위한 시뮬레이션 모델을 나타낸 것이다.

그림3-36에서 보는 바와 같이 폴리튜브 내의 온도는 실내설정온도 25, 30, 35℃에 비하여 3시간 경과후 1.2~1.5℃정도 낮은 온도를 나타내 이 정도의 튜브온도로는 그림3-38의 배지내 온도분포 시뮬레이션 해석 결과에서 보는 바와 같이 배지를 냉각 시키기에는 충분하지 않다고 판단되어 다른 방법을 시도하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

여기서 배지내 온도분포 시뮬레이션은 범용유한요소에 의한 해석프로그램으로 ANSYS v11.0을 사용하였으며, 해석조건은 정상상태 열전달(Steady-State Thermal), 배지의 열전도계수  $k=0.2144 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  (표3-1, 피트모스+필라이트), 기타성질로 물의 열전도계수  $k=0.604 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , 공기의 열전도계수  $k=0.02624 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ 로 하였으며, 경계조건은 일정온도( $T=\text{constant}$ )로 하였다.

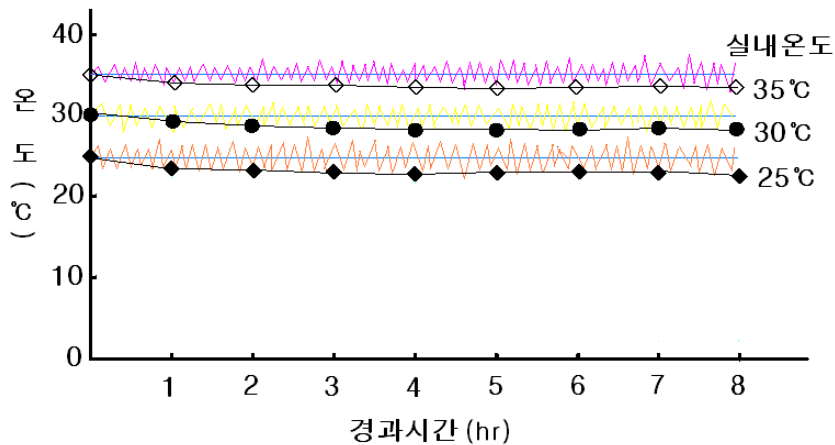


그림3-36 다공질튜브에 의한 폴리튜브내 물의 온도변화



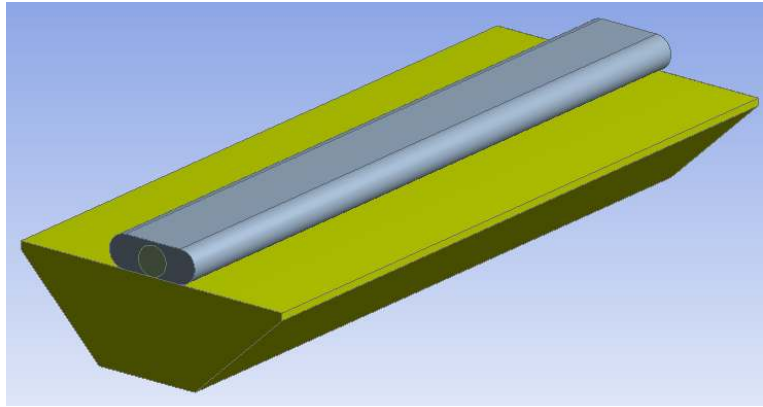
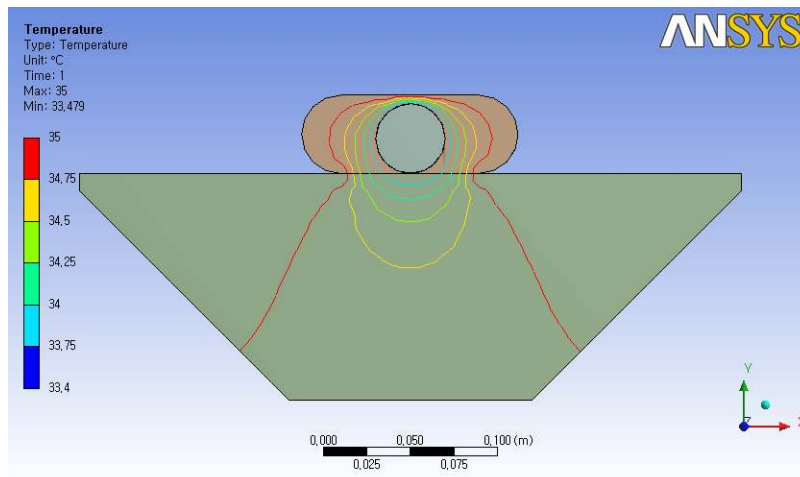
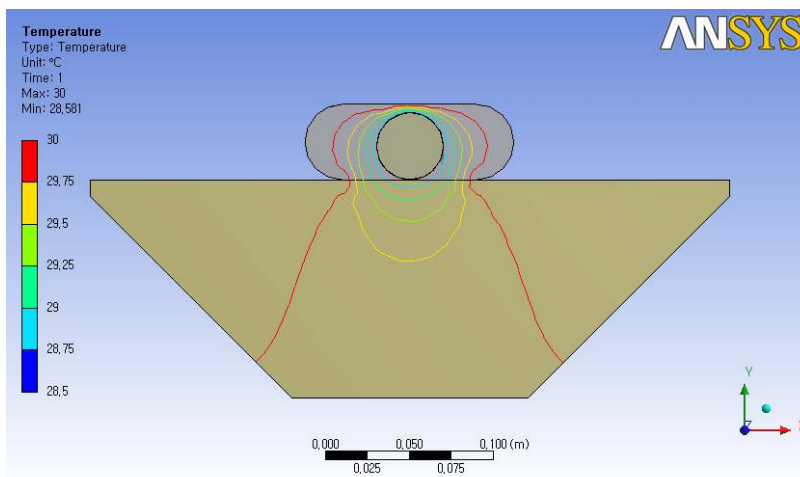


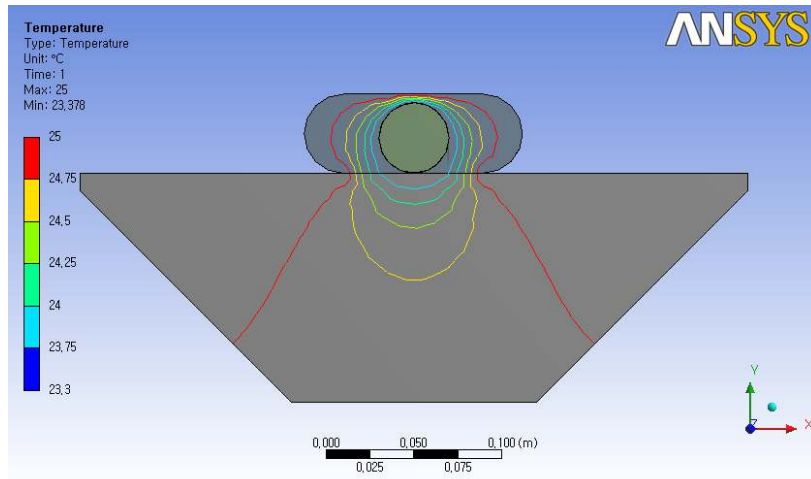
그림3-37 다공질튜브 배지냉각 시 배지온도 해석을 위한 시뮬레이션 모델



a. 기온 35°C



b. 기온 30°C



c. 기온 25°C

그림3-38 다공질튜브 배지냉각 시 배지온분포(시뮬레이션 결과)

### (3) 담액수경의 배양액 냉각

#### (가) 담액냉각 시스템 구성 및 실험방법

배양액조 중에 설치한 다공질 필름 닥터로 스며들어온 물이 닥트내에서 증발하여 증발잠열에 의한 냉각을 이용한 증발냉각법이다. 시스템은 그림3-39와 같이 다공질 튜브 닥트를 담액수경의 배양액조 중에 설치하면 배양액이 다공질 튜브에 스며들어 오며 튜브 내를 블로워로 바람을 불어 넣어 증발시켜 다공질 닥트내 공기를 냉각시켜 배양액을 냉각시키는 메커니즘의 시스템을 개발하였다.

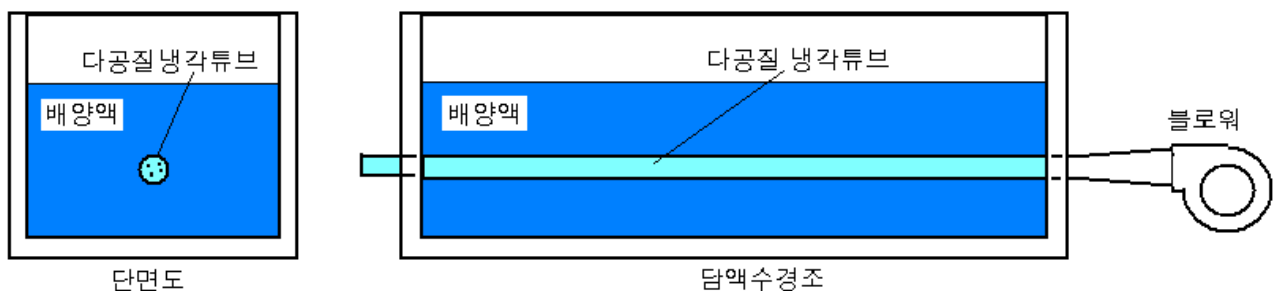


그림3-39 담액수경 배양액 냉각 메커니즘

담액수경 배양액 냉각 메커니즘을 이용하여 그림3-40과 같이 실험실 규모 냉각 시스템 모델을 구성하였다. 여기서 담액수경의 배양액조는 폭 300mm, 깊이 260mm,

길이 1100mm로 하였으며, 다공질필름 튜브는 30mm, 40mm, 50mm의 3종류를 비교 하였으며, 블로워는 회전속도를 변화시켜 풍속을 바꾸어 시험하였다.

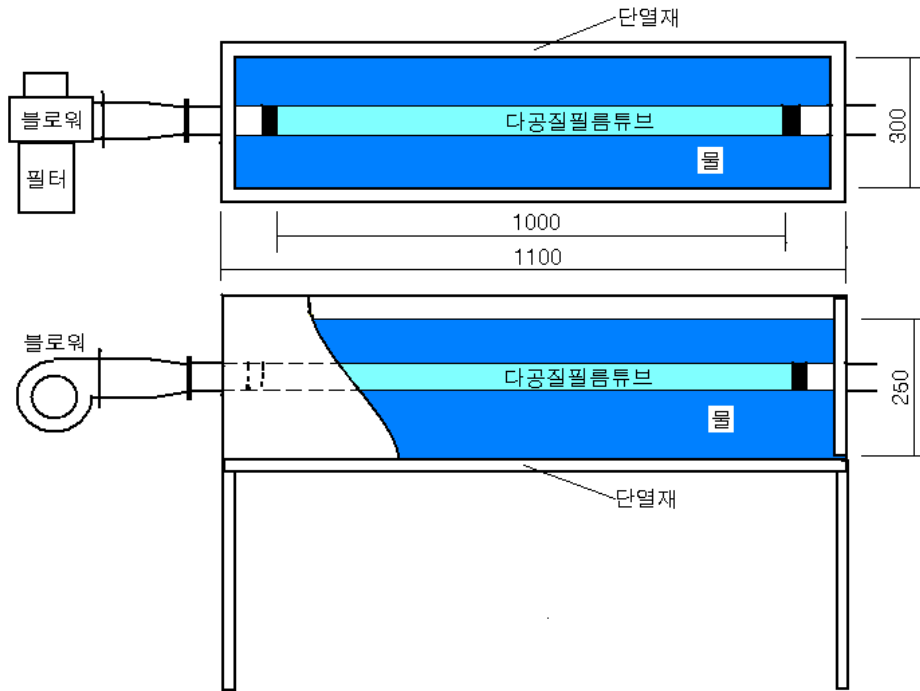


그림3-40 실험실 규모 담액수경 배양액 냉각 모델



그림3-41 실험실 규모 담액수경 배양액 냉각 시험장치

(나) 시험결과 및 고찰

그림3-40, 3-41과 같이 담액수경조 내에 설치한 다공질필름 닥트에 의한 냉각튜브에 블로워로 바람을 불어넣어 배양액을 냉각하면서 담액의 시간별 온도변화를 측정하였으나 온도변화를 감지할 수 없었다. 이것은 담액수경의 경우 물의 비열이 배지의 비열에 비하여 5배정도 크기 때문에 냉각에 필요한 열량이 5배 정도 많아 시스템 구성에 큰 애로사항으로 대두되고 있다. 한편 본 연구에서 대상으로 한 딸기 재배의 경우 담액수경은 거의 채택하지 않으며 수기경의 경우도 NFT(박막수경)가 일본에서 딸기 고설수경 재배 초기에 일부 도입된 적이 있지만 최근에는 거의 적용 사례가 없으며 대부분이 고행배지경이다.

따라서 본 연구에서는 고행배지경을 중심으로 하였으며, 다만 담액수경에 대하여는 담액의 배양액량을 최소화한 경우를 대상으로 하였지만 전술한 폴리튜브의 냉각에서와 같이 냉각능이 배양액조의 배양액을 냉각하는 데는 충분하지 못하다고 판단되어 이 다공질 필름 닥트에 의한 방식은 담액수경 배양액 냉각에는 적합하지 않다고 판단되었다.

## 나. 흡수성 부직포 멀칭에 의한 배지상부 증발냉각법

### (1) 냉각 시스템의 구성 및 시험방법

이 시스템은 그림3-42에서 보는 바와 같이 재배조 배지의 상부에 흡수성의 부직포를 멀칭하여 고설수경재배 시스템을 구성한 것으로 베드 상부의 부직포에 일정수위의 수조로부터 모관수에 의하여 습윤상태의 멀칭 부직포 표면으로부터 수분을 증발시키는 방법으로 배지를 냉각시키는 것이다. 일반적으로 딸기 등 재배에 있어서는 배지 상부의 멀칭은 폴리에틸렌 필름으로 하지만 흡수성 부직포로 교체함으로써 가능한 시스템이다. 이 방법은 꽃눈분화촉진처리에 의해 정화방을 분화시킨 모종을 8월중하순경부터 정식하는 초촉성작형을 전제로 한 냉각시스템이다.

시험은 기온을 30, 35℃로 2수준으로 설정하여 배지내 온도분포를 측정하였다. 배지별 냉각 특성을 구명하기 위하여 농가가 수경 배지로 많이 이용하는 왕겨, 펠라이트, 왕겨+피트모스, 펠라이트+피트모스 등 4종류에 대하여 비교시험을 실시하였다. 이 때 시험은 온도를 실내온도를 설정할 수 있는 육묘실을 이용하였다.

또한 흡수성부직포 표면에서 증발함으로써 수조의 수면이 내려가면 플로트밸브를 통하여 물탱크의 물이 자동으로 보충되어 수조는 일정한 수위를 유지하도록 시스템을 구성하였다.

또한 그림3-43은 흡수성 부직포 멀칭에 의한 배지상부의 증발냉각 시 배지내 온

도분포를 시뮬레이션 모델을 나타낸 것으로 흡수성부직포멀칭 상부에서 증발함으로써 배지온이 강하하는 것을 해석한 것이다. 여기서 시뮬레이션에 사용한 해석프로그램은 전술한 ANSYS v11.0이며, 해석조건은 정상상태 열전달(Steady-State Thermal), 배지의 열전도계수  $k=0.2144 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  (표3-1, 피트모스+필라이트), 기타성질로 물의 열전도계수  $k=0.604 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , 공기의 열전도계수  $k=0.02624 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ 로 하였으며, 경계조건은 일정온도( $T=\text{constant}$ )로 하였다.

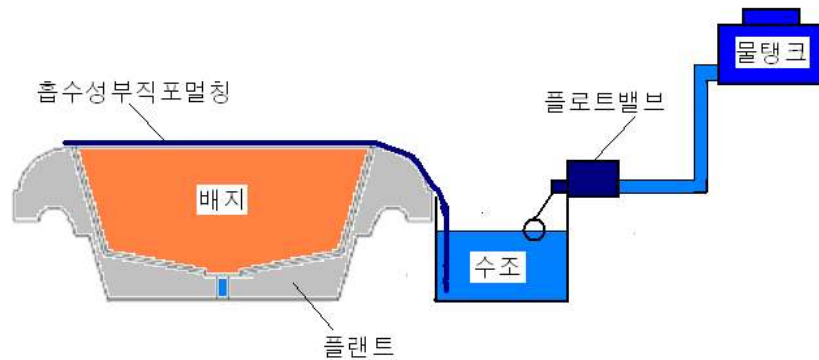


그림3-42 흡수성 부직포 멀칭에 의한 배지상부의 증발냉각 시스템

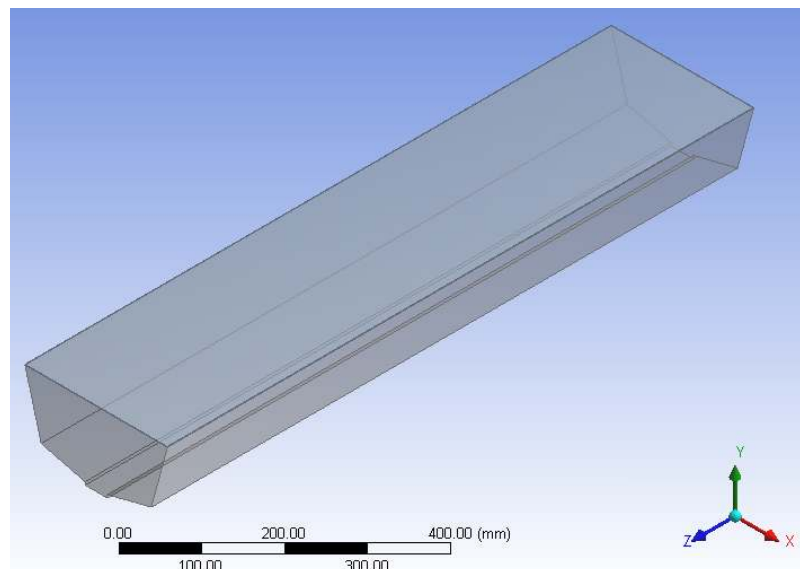
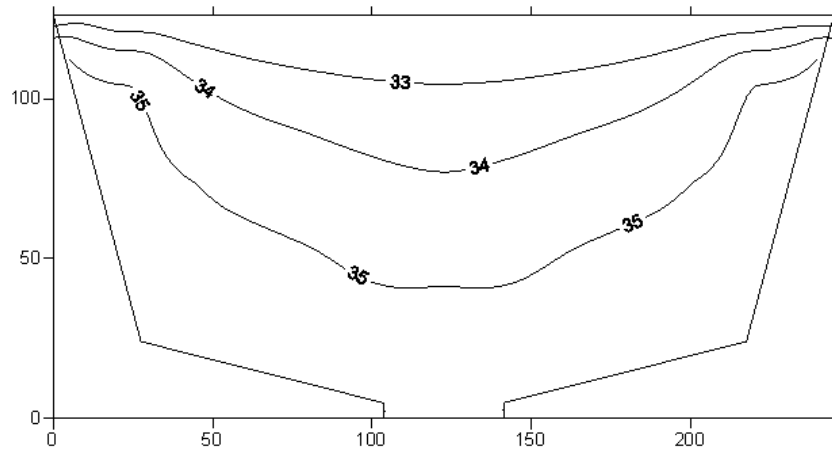


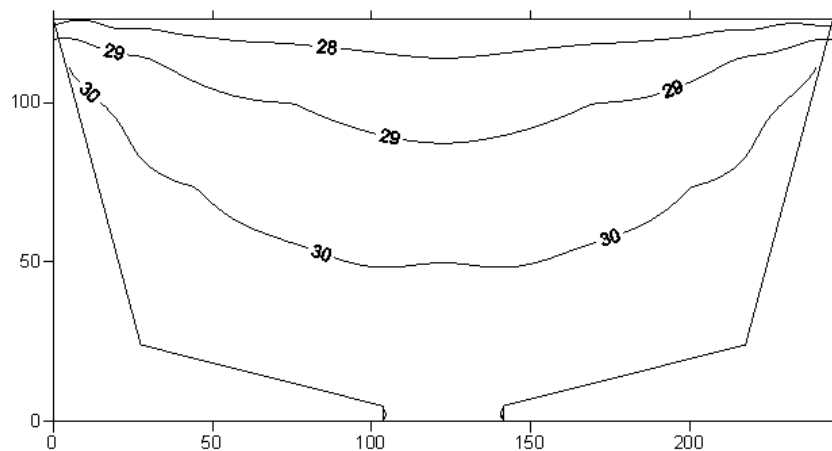
그림3-43 흡수성 부직포 멀칭에 의한 배지상부의 증발냉각 시  
배지내 온도분포 시뮬레이션 모델

## (2) 결과 및 고찰

그림3-44는 고온시(기온 35℃, 30℃) 흡수성 부직포를 배지상부에 멀칭하여 수분의 증발에 의하여 배지온을 강하시켜 배지내 온도가 안정된 경우의 배지내 온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 기온 35℃이고 상대습도가 50%전후인 경우에 배지 표면에서 5cm정도 아래 지점을 33℃의 등온선이 통과하는 점으로 미루어 배지온의 강하가 별 효과가 없음을 보여주고 있다.



a. 기온 : 35℃



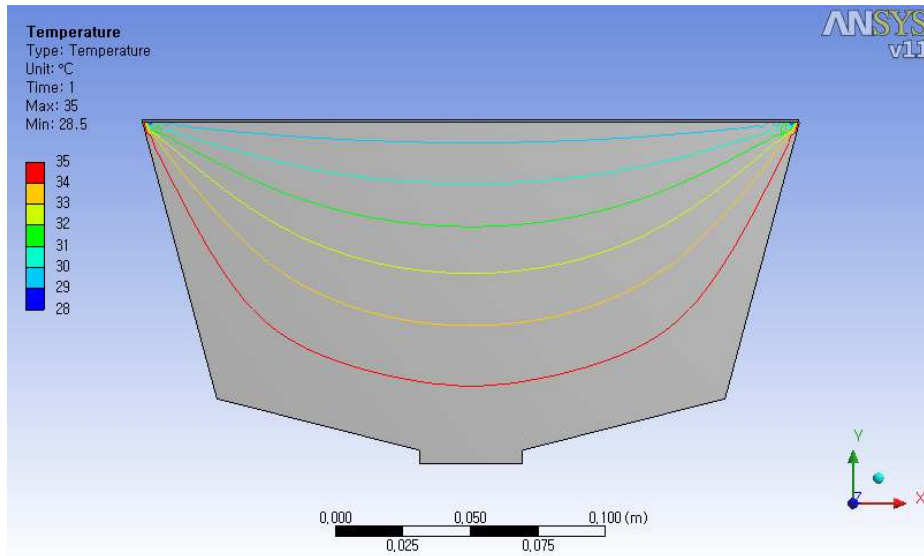
b. 기온 : 30℃

그림3-44 흡수성 부직포 멀칭에 의한 배지상부의 증발냉각 시 배지내 온도분포

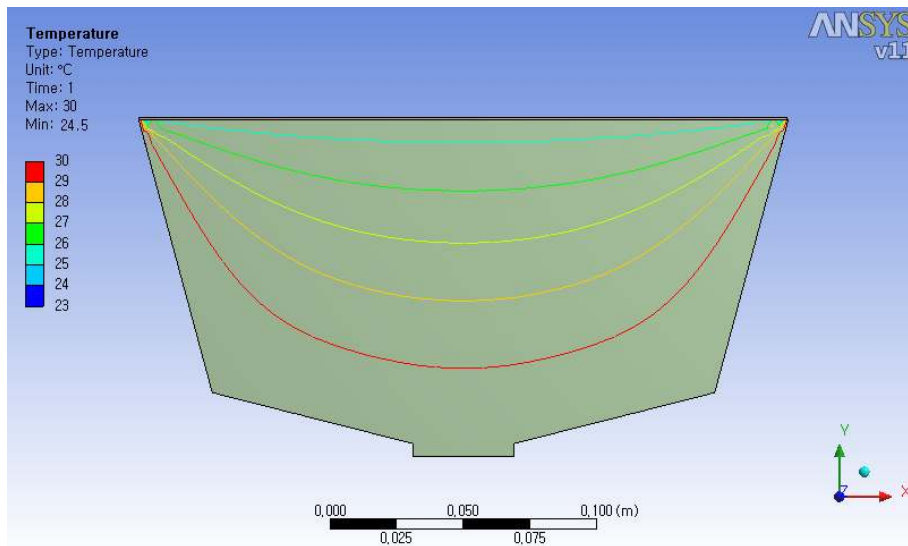
이것은 그림3-45의 시뮬레이션 결과에서도 확인할 수 있었다. 즉 그림3-45에서 보는 바와 같이 기온 35℃상대습도 50%일 때 흡수성 부직포 표면 온도가 28.5℃이며 배지표면 아래 5cm지점에 30℃의 등온선이 통과하였으며, 기온 30℃ 상대습도 50%일 경우는 흡수성 부직포 표면 온도가 24.5℃이며 배지표면 아래 5cm지점에 2

6°C의 등온선이 통과하였다. 또한 딸기의 뿌리가 많이 분포하고 있는 플랜트벽면의 온도가 기온과 거의 같은 정도로 나타나 냉각효과가 아주 부족한 것으로 판단되었다.

따라서 흡수성 부직포 멀칭에 의한 증발냉각 방식은 배지의 효율적인 냉각방식으로는 딸기 고설재배의 배지냉각 방법으로는 실용면에서 효율적이라고 보기 어렵다고 판단하였다.



a. 기온 : 35°C



b. 기온 : 30°C

그림3-45 흡수성 부직포 멀칭에 의한 배지상부의 증발냉각 시  
배지내 온도분포 시뮬레이션 결과

## 다. 투수성 부직포 재배조의 강제 증발냉각법

### (1) 시스템의 구성 및 시험방법

최근 딸기 고설수경재배는 꽃눈분화촉진 처리에 의한 정화방을 조기에 분화시키는 초촉성 작형으로 가고 있는 추세이다. 따라서 정식 시기의 전진화와 기후의 온난화로 인하여 정식 후에 고온에 노출되는 기간이 길어져, 제1액화방의 출퇴가 지연되는 문제가 대두되고 있다. 특히 딸기의 고설수경재배에서는 해당 기간 중의 배지온도가 높아지기 때문에 정화방 출퇴 후 제1액화방의 출퇴 늦어져 연속된 수확을 못하는 사례가 현저하게 나타나고 있다.

이에 보급되고 있는 딸기 고설수경재배 베드에 저비용으로 쉽게 도입할 수 있는 증발잠열을 이용하는 배지냉각의 새로운 시스템을 구성하여 성능을 검정하고자 하였다.

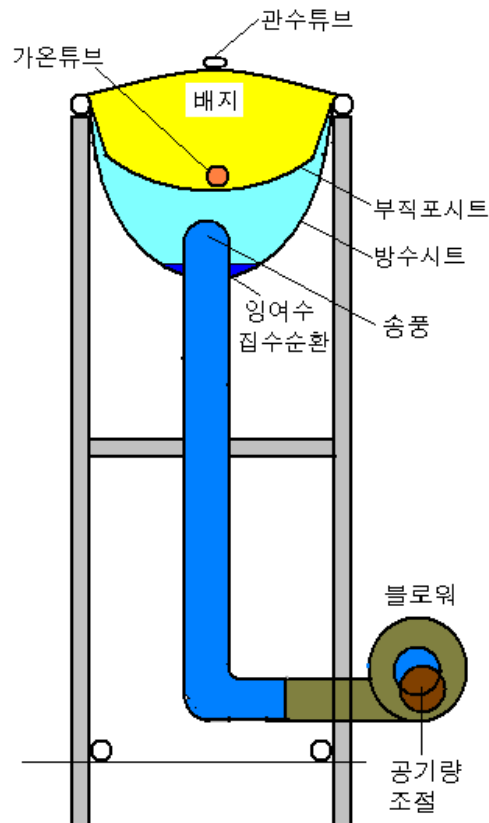


그림3-46 투수성 부직포 재배조 배지의 강제 증발냉각 시스템



이 시스템은 그림3-46에서 보는 바와 같이 재배조(베드) 재료로서 투수성의 부직포를 채용하여 고설수경재배 시스템을 구성한 것으로 재배조의 외측 공간에 폐배양액의 재사용을 위하여 방수시트로 집수구를 설치하여 재배조와 집수구 사이의 공간에 블로워(풍량: 150m<sup>3</sup>/min)로 송풍(풍속1~2m/s)함으로써 습윤상태의 재배조 부직포 표면의 수분을 송풍에 의하여 강제 증발시켜 배지를 냉각시키도록 구성한 것이다.

이러한 시스템의 구성은 국내에 보급되고 있는 딸기 고설수경재배 시스템 중에서 폐배양액을 재사용할 수 있도록 한 일반적 구조이며 다만 이 시스템에 송풍장치를 첨가한 것이다. 이 방법은 꽃눈분화촉진처리에 의해 정화방을 분화시킨 모종을 8월 중하순경에 정식하는 초촉성작형을 전제로 한 기술이다. 여기서 하우스 내에 난방기가 설치되어 있는 경우는 난방기의 송풍기능을 활용하면 별도로 송풍장치를 설치할 필요가 없다. 난방기가 설치되어 있지 않는 경우는 별도 송풍장치가 필요하다.

그림3-47은 투수성 부직포 재배조의 배지를 증발냉각할 때 배지내 온도를 측정하는 점을 나타낸 것으로 처리별로 배지 내에 7점을 측정하여 온도의 일변화와 온도분포를 측정하였다. 그리고 그림3-48은 투수성 부직포 재배조 표면의 수분을 송풍에 의하여 강제 증발냉각 시킬 때 배지내 온도분포의 해석을 하는 실험레이션 모델을 나타낸 것이다.

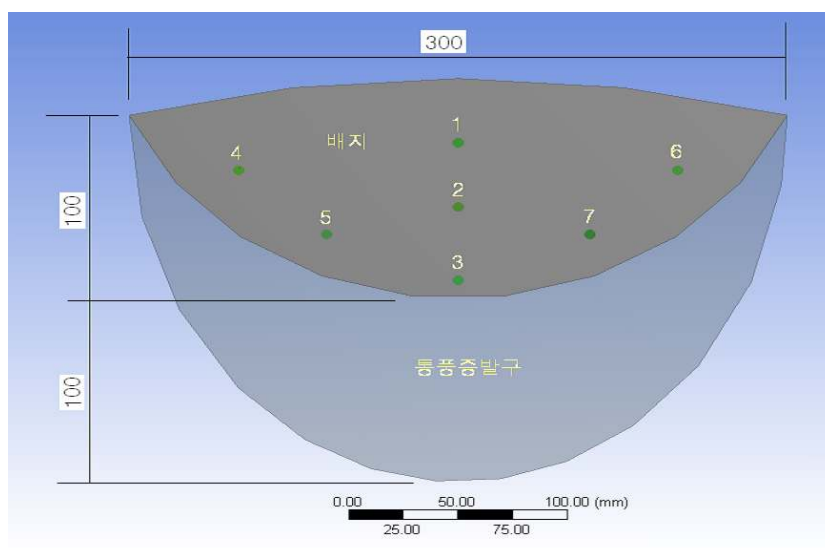


그림3-47 배지내 온도측정점

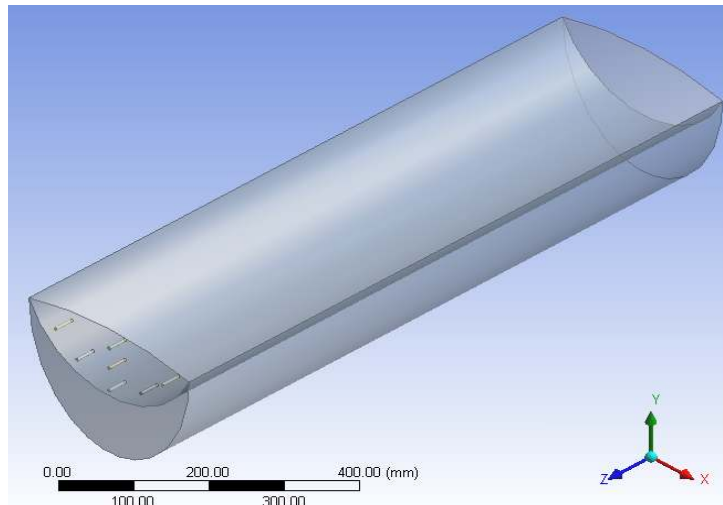
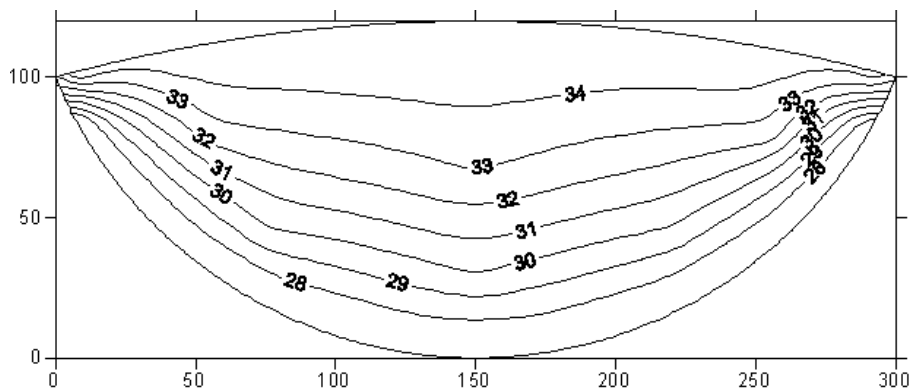


그림3-48 투수성 부직포 재배조 표면 증발냉각 방식의 배지내 온도분포 시뮬레이션 모델

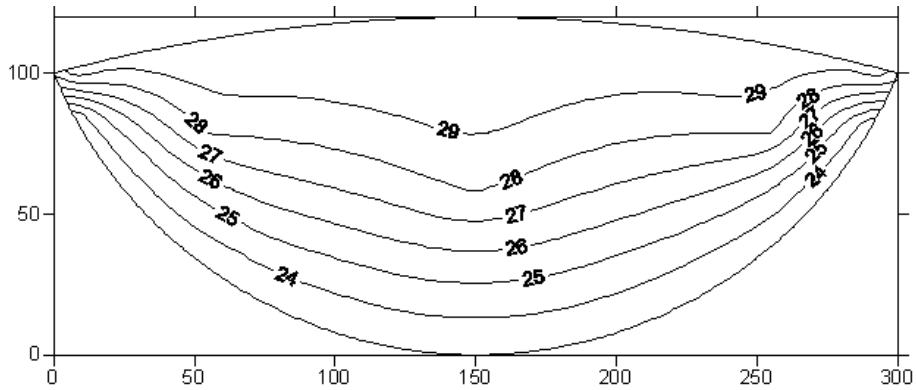
## (2) 결과 및 고찰

그림3-49는 기온 35℃, 30℃일 때 투수성 부직포 재배조 배지의 송풍에 의한 강제 증발냉각 시에 배지내 온도가 안정되었을 경우 온도분포의 일예를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 배지내 온도분포는 기온 35℃인 배지표면의 온도에 대하여 상대습도 50%일 때 재배조 표면의 부직포는 27℃이며 뿌리가 많이 분포되어 있는 배지내 온도 측정점(그림3-47의 5번점) 부근의 온도분포가 28~30℃ 정도로 외기온에 비하여 5~7℃정도 강하된 것으로 나타났다. 이것은 전술한 다공질 필름 닥트법과 배지상면 가습부직포 멀칭법 등에 비하여 냉각효과가 크게 향상된 것으로 판단되었다.



a. 기온 : 35℃



b. 기온 : 30℃

그림3-49 배지내 온도분포

또한 그림3-50은 배지내 딸기의 뿌리가 가장 많이 분포하는 점(그림3-47의 5번 점)의 온도의 일변화의 일예를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 하루 중 최고온도가 34℃정도로 고온일 때 투수성 부직포 재배조 배지의 송풍에 의한 강제 증발냉각으로 온도강하가 발생하여 표3-11에서 보는 바와 같이 일일 중 최대 4.2℃, 최저1.1℃로 평균 2.6℃의 온도강하를 가져왔다. 이것은 하루 24시간 동안 온실내 기온과 상대습도가 변화되는 환경에서 얻을 수 있는 실제의 온도강하로 고온 시 큰 효과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

표3-11 투수성부직포 재배조 증발냉각구와 대조구와 온도강하 폭

구 분	온도강하(℃)
최 고	4.2
최 저	1.1
평 균	2.6

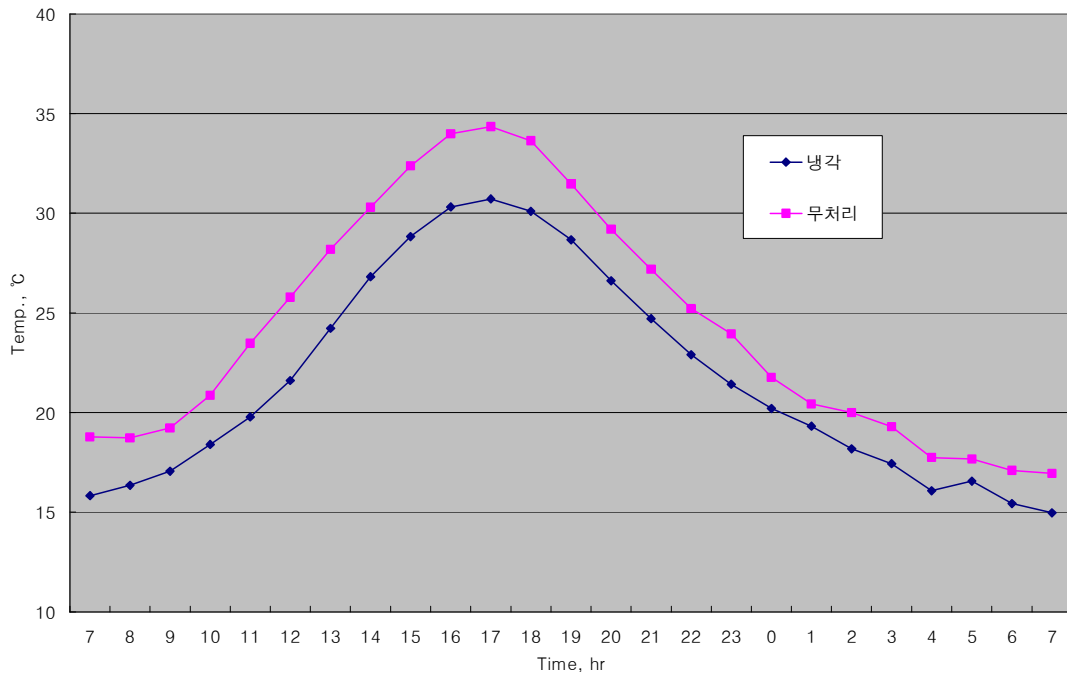
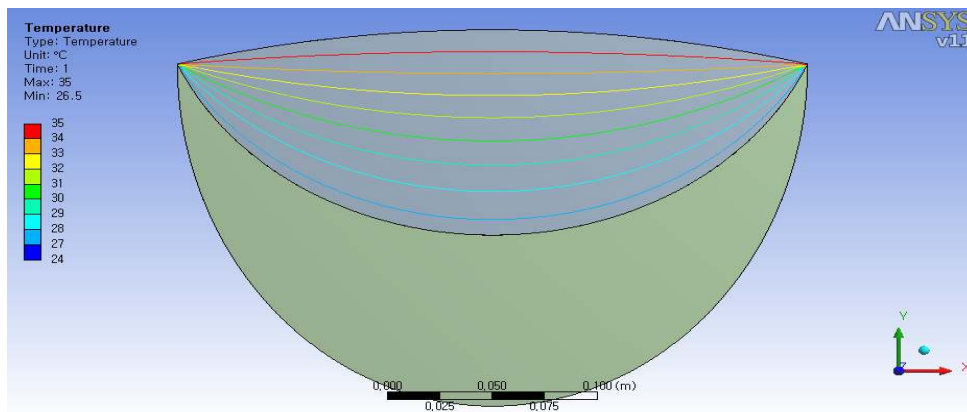
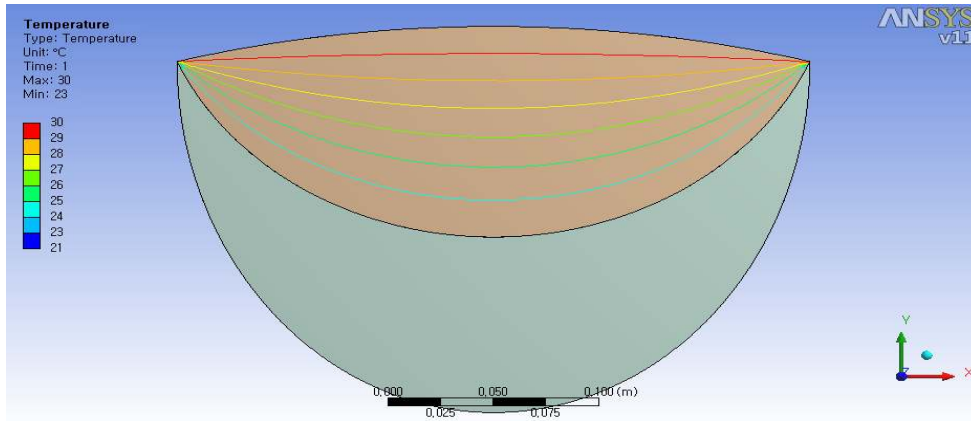


그림3-50 투수성 부직포 재배조 표면 증발냉각 방식 도입의 배지온 일변화  
(위치 : 그림3-47의 5점)

한편 그림3-51은 투수성 부직포 재배조 표면 기화냉각 방식 도입의 배지내 온도 분포 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 기온 35°C에서 상대습도 50%인 경우에 온도분포는 배지 상부는 35°C이고 재배조 표면의 부직포의 온도가 26.5°C로 8.5°C차를 나타냈으며, 그림과 같이 온도 분포를 나타내 뿌리가 많이 분포하고 있는 그림3-47의 5번점 부근의 온도가 28~30°C로 5~7°C 정도의 온도강하를 나타냈다. 따라서 투수성 부직포에 의한 재배조 표면을 통풍에 의하여 강제 냉각하는 방식이 배지의 냉각효과 큰 것으로 판단되었다.



a. 기온 35℃, 공기습도 50%



b. 기온 30℃, 공기습도 50%

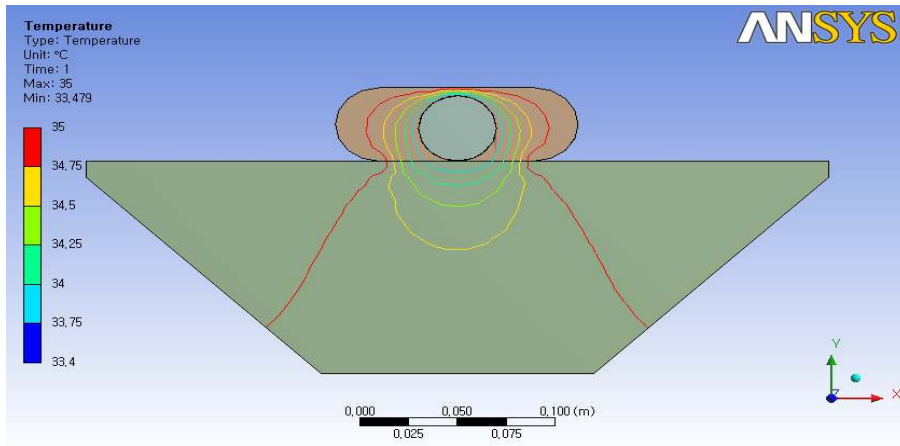
그림3-51 투수성 부직포 재배조 표면 증발냉각 방식 도입의 배지내 온도분포 시뮬레이션 결과

### 3. 효율적인 배지냉각 시스템

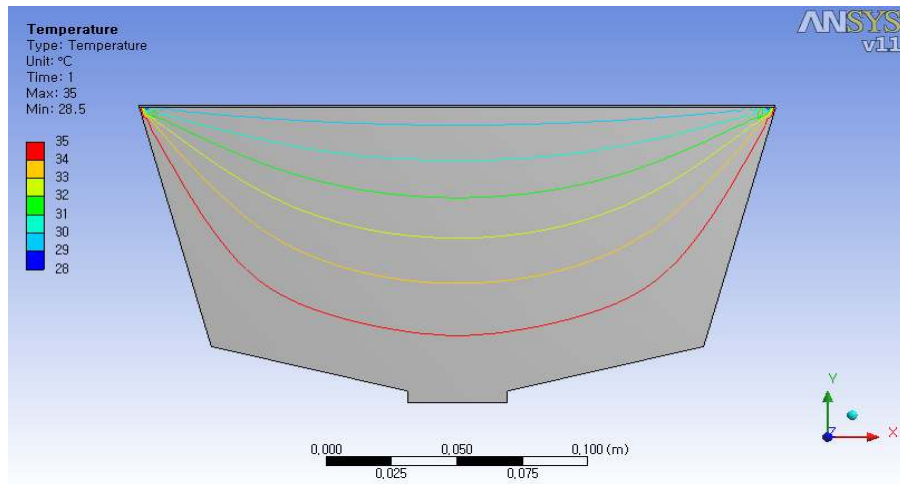
이상 다공질 필름 닥트법, 배지상면 가습부직포 멀칭법, 투수부직포 재배조 표면 증발법 등 일련의 실험을 비교하여 보면 그림3-52(a)에서 보는 바와 같이 기온 35℃이고 상대습도 50%일 때의 배지내 온도분포를 비교해 보면 다공질 닥트법은 물 봉입 폴리튜브 바로 아래에 1~2℃의 온도강하가 있을 뿐으로 뿌리가 많이 존재하는 그림3-47의 5번점에는 전연 온도강하가 발생하지 않는 점 등으로 배지냉각 방식으로는 도입이 어려운 방식으로 판단되었다.

또한 그림3-52(b)에서 같은 조건에서 배지상면 가습부직포 멀칭법은 그림3-47의 5번점의 배지온도가 0.5~1℃정도의 온도강하 뿐으로 역시 배지냉각 방식으로는 도입이 어려운 방식으로 판단되었다.

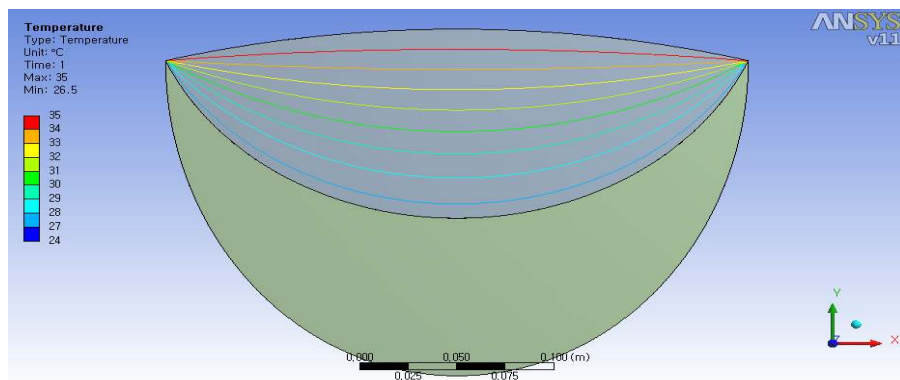
한편 그림3-52(c)에서는 그림3-47의 5번점 부근의 온도가 28~30℃로 5~7℃정도의 온도강하를 나타냈다. 따라서 고온시 배지냉각을 가능하게 하는 가장 효율적인 시스템은 투수성 부직포 재배조 배지의 통풍에 의한 강제 증발냉각 방이라고 판단된다.



a. 다공질 필름 닥트법



b. 배지상면 가습부직포 멀칭법



a. 투수부직포 재배조 표면 증발법

그림3-52 배지냉각 방법별 온도강하 비교

## 제4절 다선식 전열튜브 배지 가온 시스템 개발

### 1. 서언

온실 등 시설을 이용하여 원예생산을 할 때에 난방설비를 이용하여 시설 내를 가온하거나 냉방설비, 차광자재, 환기장치 등을 이용하여 냉각하는 것은 극히 일반적 으로 되었다. 이와 같은 온실관리를 함으로써 지금까지 재배가 불가능하였던 작물 이 재배가 가능하게 되거나 주년재배가 가능하게 되거나 하는 것은 잘 알고 있는 사실이다.

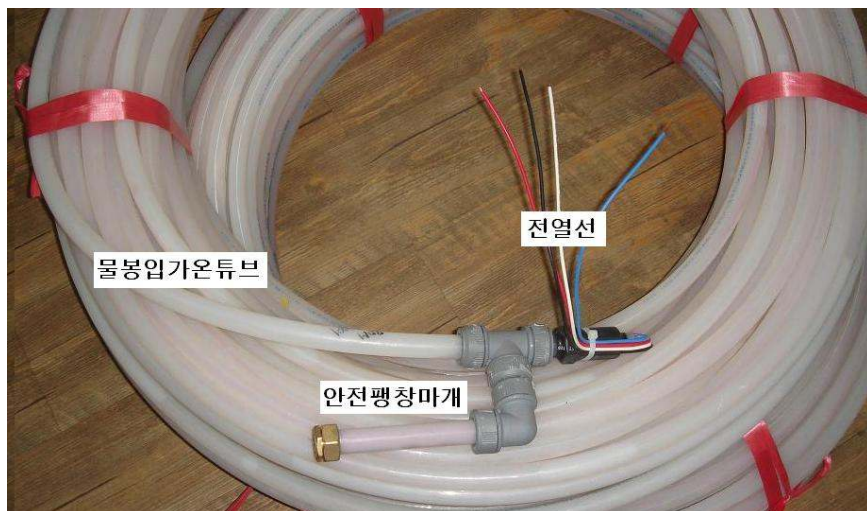


그림3-53 가온 튜브 구조

따라서 본 연구에서는 고품배지 및 담액수경 배양액의 가온을 위한 가온튜브는 주관연구기관인 태양그린에너지(주)의 개발 제품(SUN UTH-50)으로 그림3-53과 같이 5W/m, 10W/m, 15W/m, 20W/m의 4본의 전열선을 병렬로 물과 함께 엑셀 파이프 내에 봉입하여 구성한 것으로 건축용으로 개발한 난방 시스템을 농업에 이용 가능성과 적용방법 등을 검토한 것이다.

### 2. 다선식 전열 튜브 배지가온 시스템

#### 가. 단위 가온튜브의 배지가온 특성

### (1) 시스템 구성 및 시험방법

고형배지경에 있어서 가온튜브를 단위길이(1m)로 하여 구성된 배지가온 시스템은 그림3-54와 같으며, 1m의 단위 길이 가온튜브를 배지 내에 설치하여 가온특성을 구명하는 시험을 실시하였다. 여기서 고형배지는 그림3-55와 같이 폭 300mm, 깊이 120mm의 사다리꼴 단면형상으로 구성하여 길이는 1m로 하였다.

시험은 전술한 바와 같이 태양그린에너지(주) 제품(SUN UTH-50) 즉 XL튜브에 4선의 전열선을 물과함께 봉입한 가온튜브를 사용하였으며, 이때 4본의 전열선은 20W/m, 15W/m, 10W/m, 5W/m 이며 온도스위치에 의하여 단속할 수 있도록 구성하여 온도스위치의 설정온도에 의해 2선식, 3선식, 4선식으로 작동하도록 하여 온도 제어성능을 비교하였다.

또한 배지별 가온 특성을 구명하기 위하여 농가가 딸기 수경재배 배지로 많이 이용하는 왕겨, 펄라이트, 왕겨+피트모스, 펄라이트+피트모스 등 4종류에 대하여 비교 시험을 실시하였으며, 이 때 실내온도를 설정할 수 있는 항온실을 이용하여 실시하였다.



그림3-54 단위 가온튜브의 배지가온 특성 시험장치



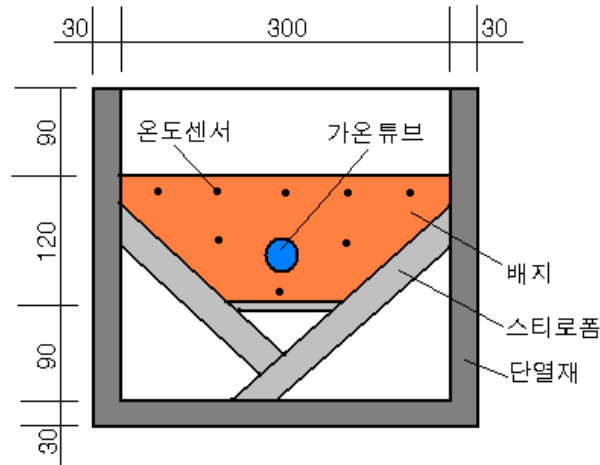


그림3-55 단위 가온튜브의 배지가온 특성시험의 배지단면 구성 및 온도측정점

여기서 가온튜브 내에 물과 함께 봉입한 전열선 전체의 전열용량은 50W로 일정하게 하여 전열선의 수에 따라 튜브에 봉입한 물의 온도가 목표온도에 추종되는 제어성능을 평가하여 제어성능이 우수한 시스템을 선발하고자 하였다. 시험은 그림 3-56와 같은 알고리즘으로 가온튜브에 봉입한 전열선 4선(5W/m, 10W/m, 15W/m, 20W/m)을 설정온도에 따라 2선식[(5+15)W/m, (10+20)W/m], 3선식[10W/m, 15W/m, (5+20)W/m], 4선식(5W/m, 10W/m, 15W/m, 20W/m)의 작동되도록 하여 전열선 수에 따른 제어방식에 대한 제어성능을 비교하여 수경재배의 배지가온에 적합한 전열선 수 및 제어방식을 개발하고자 하였다. 온도스위치 R1, R2, R3, R4는 각각 전열선 20W/m, 15W/m, 10W/m, 5W/m를 설정온도에 따라 단속하는 것이다.

그림3-56에서 보는 바와 같이 전열튜브의 설정온도(ST)와 제어방식(CM)을 입력하면, 각 제어 방식(전열선의 수)에 따라 전열튜브 표면의 온도를 설정온도로 제어되도록 구성하였다. 또한 제어 시스템의 전기회로도도 그림3-57 및 그림30-58과 같다.

여기서 전열튜브의 온도제어는 그림3-56의 흐름도와 같이 온도제어가 시작되면 설정온도 ST와 제어방식 CM을 입력하고, 4본의 전열선 모두 전원을 ON한다. 이어 입력한 제어방식에 따라 2선식, 3선식, 4선식 중에 입력한 제어방식으로 전열튜브 표면온도의 제어가 진행된다.

2선식 제어방식은 흐름도의 좌측, 3선식은 우측, 4선식은 중앙의 흐름도로 구성되어 있다. 2선식은 온도스위치 R2(전열선 15 W/m)와 R4(전열선 5 W/m)가 동시에 ON-OFF되도록 구성하여 전열선 20 W/m가 1선으로 작동하도록 하고 또한 온도스위치 R1(전열선 20 W/m)과 R3(전열선 10 W/m)가 동시에 ON-OFF되도록 구성하

여 전열선 30 W/m가 1선으로 작동하도록 하여 전열선 4선이 2선식(20 W/m, 30W/m)으로 가동되도록 소프트웨어를 구성한 것이다. 여기서 제어는 가온튜브의 표면온도(T)를 측정하여 T가 설정온도(ST)보다 3℃ 낮은 온도에 달하면 R2와 R4가 동시에 OFF되고 R1과 R3만 ON상태이다. 가온튜브의 표면온도(T)가 설정온도(ST)보다 1℃ 높은 온도에 달하면 R1과 R3가 동시에 OFF되어 전체 전열선이 OFF상태가 되어 배지온도가 저하하기 시작한다. 가온튜브의 표면온도(T)가 설정온도(ST)보다 1℃ 낮은 온도에 달하면 R1과 R3가 동시에 ON되어 배지를 가온하여 설정온도를 기준으로 R1과 R3가 동시에 ON-OFF되어 ±1℃의 온도제어 시스템으로 작동되도록 구성한 것이다.

한편 3선식은 그림3-56의 우측 흐름도로서 온도스위치 R1(전열선 20 W/m)과 R3(전열선 10 W/m)가 동시에 ON-OFF되도록 구성하여 전열선 30 W/m가 1선으로 작동하도록 하고 온도스위치 R2(전열선 15W/m), R4(전열선 5W/m) 등 3선의 열선으로 배지온도를 제어 하도록 구성한 것이다. 제어는 그림에서와 같이 가온튜브의 표면온도(T)를 측정하여 설정온도(ST)보다 5℃ 낮을 때에 R4(5W/m)가 OFF되고 가온튜브의 표면온도(T)가 설정온도(ST)보다 3℃ 낮을 때에 R2(15W/m)가 OFF되고 R1, R3만 ON상태이다. 가온튜브의 표면온도(T)가 설정온도(ST)보다 1℃ 높은 온도에 달하면 R1과 R3가 동시에 OFF되어 전체 전열선이 OFF상태가 되어 배지온도가 저하하기 시작한다. 가온튜브의 표면온도(T)가 설정온도(ST)보다 1℃ 낮은 온도에 달하면 R1과 R3가 동시에 ON되어 배지를 가온하여 설정온도를 기준으로 R1과 R3가 동시에 ON-OFF되어 ±1℃의 온도제어 시스템으로 작동되도록 구성한 것이다.

또한 4선식은 그림3-56의 중앙 흐름도로서 온도스위치 R1(전열선 20 W/m), R2(전열선 15 W/m), R3(전열선 10 W/m), R4(전열선 5 W/m) 등 4선의 열선으로 배지온도를 제어 하도록 구성한 것이다. 제어는 그림에서와 같이 가온튜브의 표면온도(T)를 측정하여 설정온도(ST)보다 5℃ 낮을 때에 R4(5W/m)가 OFF되고, 가온튜브의 표면온도(T)가 설정온도(ST)보다 3℃ 낮을 때에 R2(15W/m)가 OFF되고, 가온튜브의 표면온도(T)가 설정온도(ST)보다 1℃ 낮을 때에 R3(10W/m)가 OFF되어 R1만 ON상태이다. 가온튜브의 표면온도(T)가 설정온도(ST)보다 1℃ 높은 온도에 달하면 R1 OFF되어 전체 전열선이 OFF상태가 되어 배지온도가 저하하기 시작한다. 가온튜브의 표면온도(T)가 설정온도(ST)보다 1℃ 낮은 온도에 달하면 R1이 ON되어 배지를 가온하여 설정온도를 기준으로 R1이 ON-OFF되어 ±1℃의 온도제어 시스템으로 작동되도록 구성한 것이다.

시험은 각각의 제어방식에 대하여 가온튜브 표면의 설정온도를 20℃ 하였을 경우

에 가운데튜브의 실제온도를 측정하여 20℃와의 편차로서 제어성능을 비교하였다.

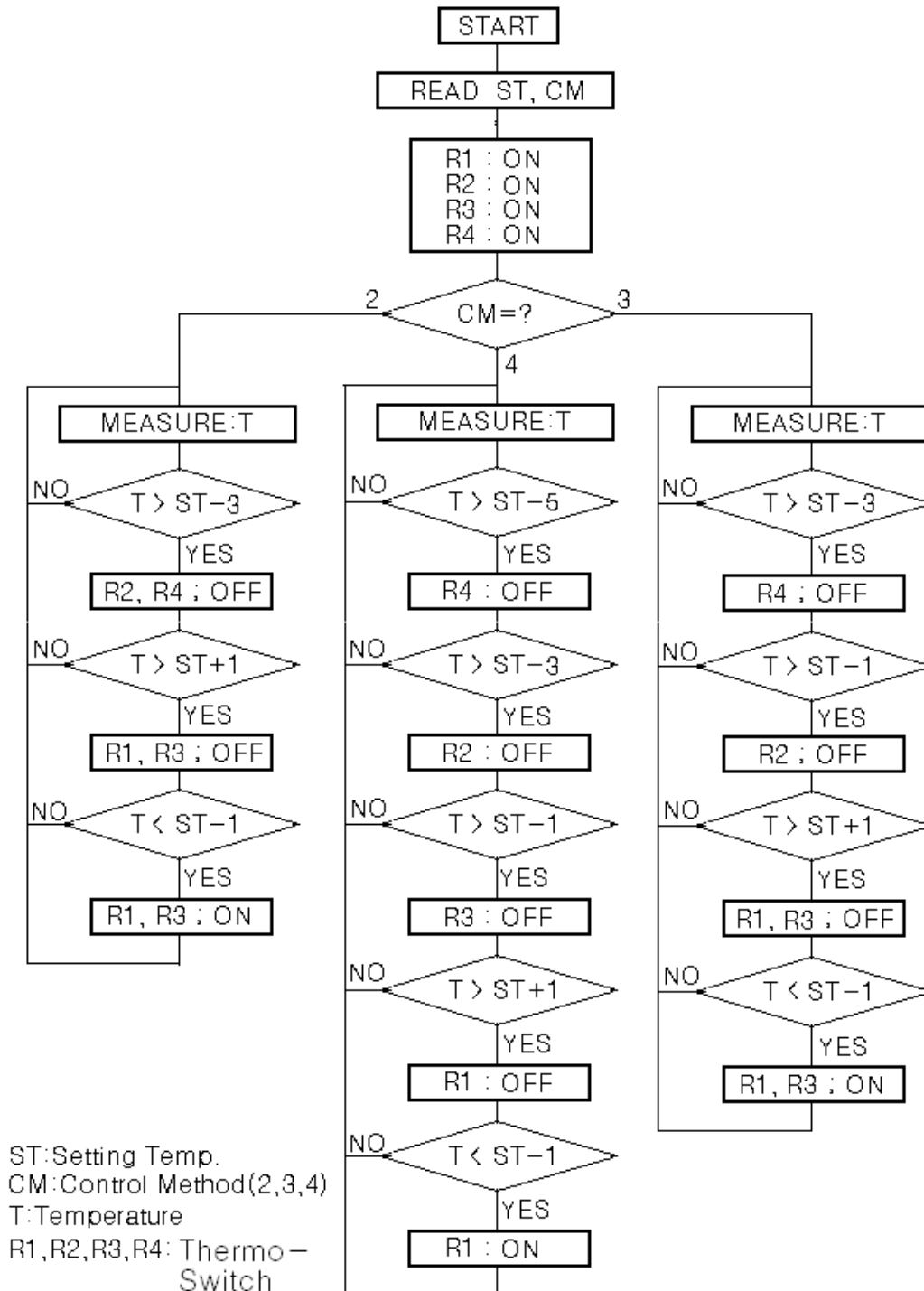


그림3-56 다선식 전열튜브 제어 알고리즘

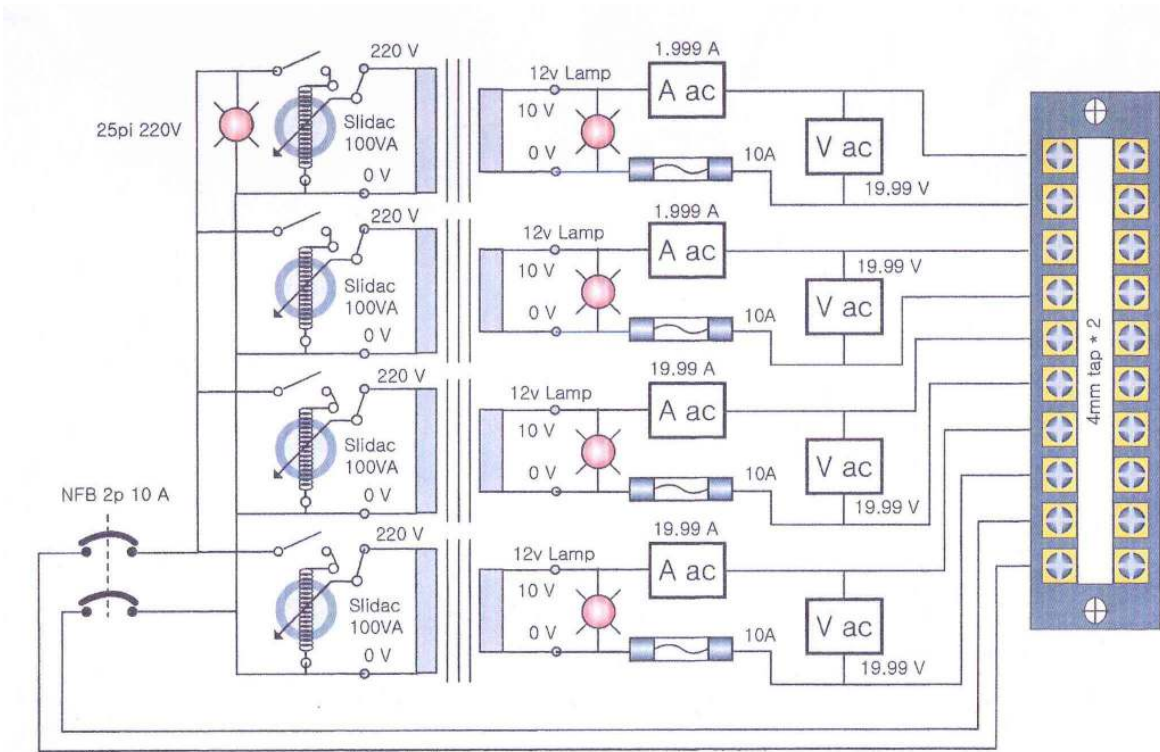


그림3-57 컨트롤러 회로도

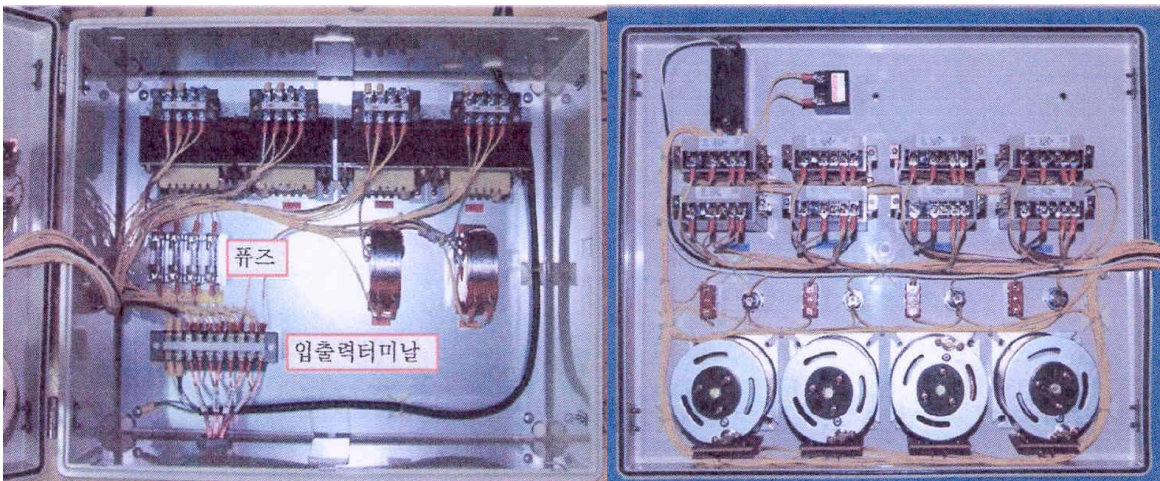


그림3-58 컨트롤러 구성

(2) 시험결과

(가) 제어성능

그림3-59는 제어방식 2선식, 3선식, 4선식의 3가지 방식에 대하여 가온튜브 표면 온도를 20℃로 설정하였을 경우 제어방식별로 가온튜브 표면온도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 가온튜브 표면온도가 10℃일 때 가온하기 시작하여 설정 온도 20℃에 도달하는데 2선식과 3선식이 가온시작에서 30분만 도달하였으며 4선식은 105분후에 도달하였다. 이것은 4선식이 설정온도의 5℃ 낮은 온도인 15℃일 때 R4를 OFF하여 전열선 용량을 설정온도보다 5℃낮을 때부터 전 전기용량을 낮게 한 것이 원인이지만 설정온도에 도달한 후에는 R1에 의하여 소용량(20W/m)으로 제어함으로써 부드러운 제어가 된 것으로 판단된다.

한편 2선식과 3선식은 각각 설정온도 20℃보다 3℃ 낮은 17℃에서 온도스위치에 의해 2선식은 R2와 R4를 동시에 OFF하고, 3선식은 R4를 OFF하여 열선용량을 줄이고 이후 2선식은 나머지 R1과 R3를 동시에 ON-OFF하여 ±1℃로 제어하며 3선식은 설정온도 1℃ 낮은 19℃일 때 R2를 OFF한 후에 R1과 R3를 동시에 ON-OFF하여 ±1℃로 제어하는 알고리즘으로 제어 한 결과이다.

제어 결과로는 3선식이 설정온도 도달성이나 제어된 온도폭 등으로 볼 때 가장 제어성능이 좋은 것으로 판단되었다.

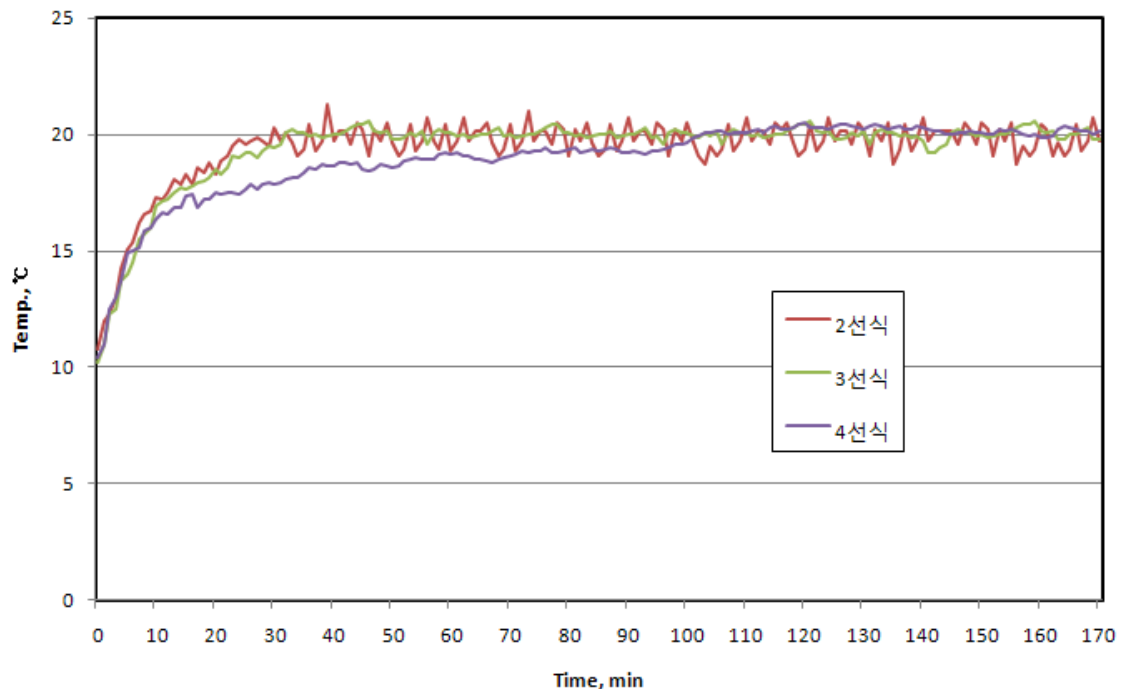


그림3-59 다선식 가온튜브의 온도제어 (가온튜브 펄면 설정온도 20℃)

## (나) 배지의 가온 특성

배지별 4종류(왕겨, 펠라이트, 왕겨+피트모스, 펠라이트+피트모스), 멀칭 유무별 2처리, 기온별 3처리(5, 10, 15℃)의 시험조건에 대하여 3선식 가온튜브에 의한 배지가온 시 배지에 설치한 8개점의 온도변화 측정 예를 그림3-60에 나타냈다.

그림에서 보는 바와 같이 무가온 상태에서 가온을 시작하여 배지의 온도가 변화가 없이 안정될 때까지 걸리는 시간과 이때의 온도분포 등 배지의 가온 특성을 분석하였다.

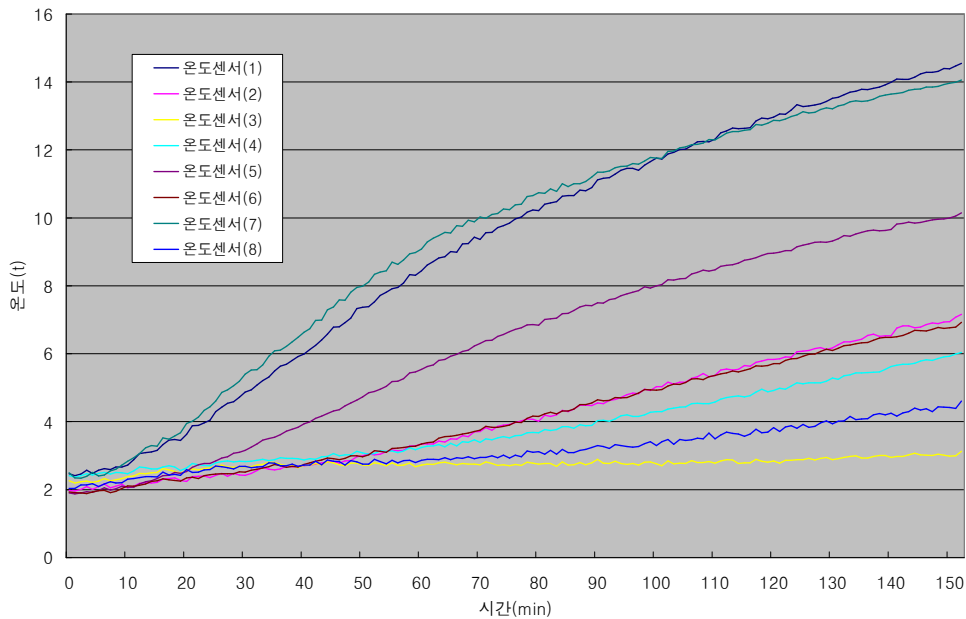
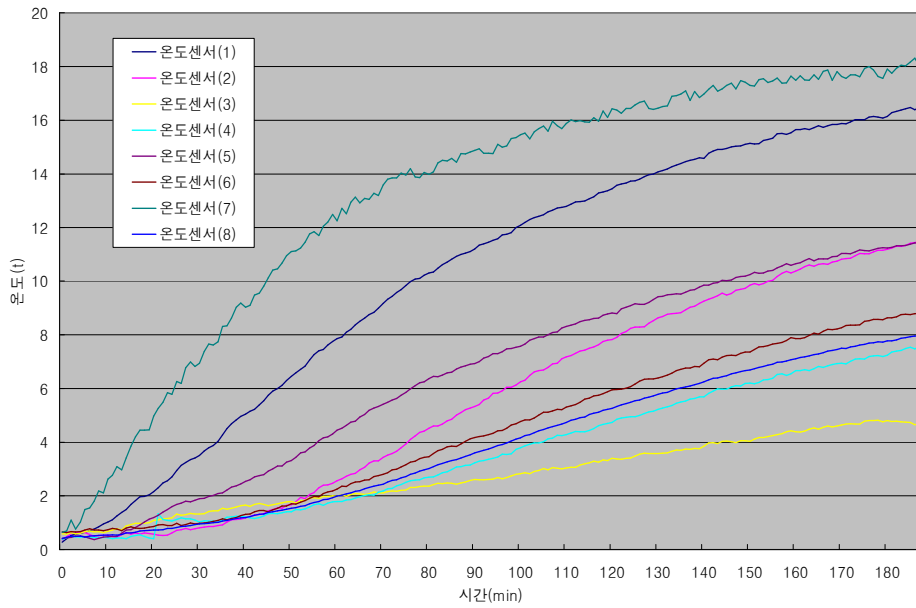


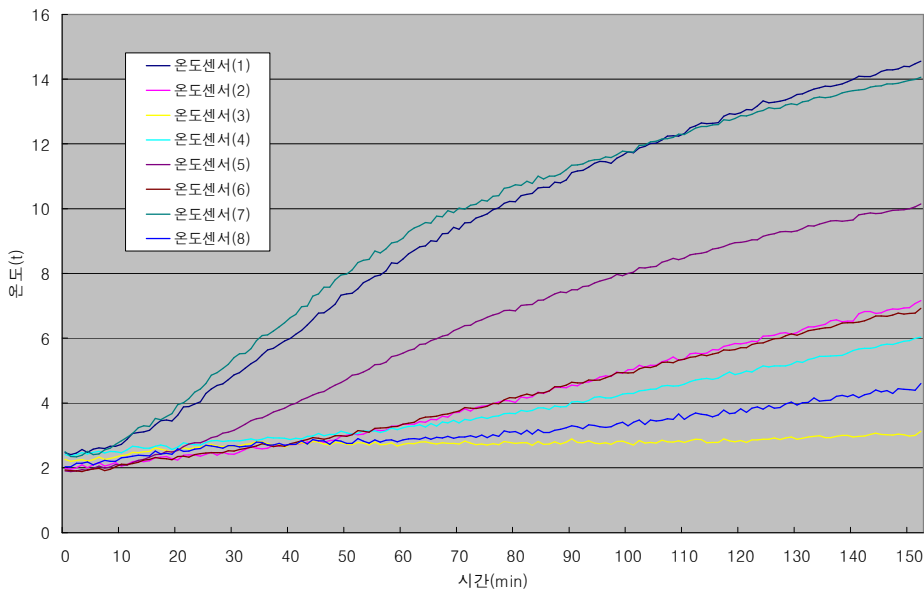
그림3-60 3선식 가온튜브에 의한 배지가온 시 배지온도 변화  
(펠라이트-무멀칭-기온5℃)

### ① 배지별 가온특성

배지 4종류 중 펠라이트, 왕겨에 대한 특성을 밝히고 여기에 피트모스를 20% 혼합한 혼합배지에 대하여 가온 특성을 분석하고자 하였다. 그림3-61에서 보는 바와 같이 기온 5℃에서 무멀칭인 경우 배지온도가 안정될 때까지의 시간이 왕겨는 180분 펠라이트는 220분으로 왕겨가 안정되는 시간이 빨랐다. 이것은 왕겨와 펠라이트의 비열의 차이 때문이라고 생각된다.



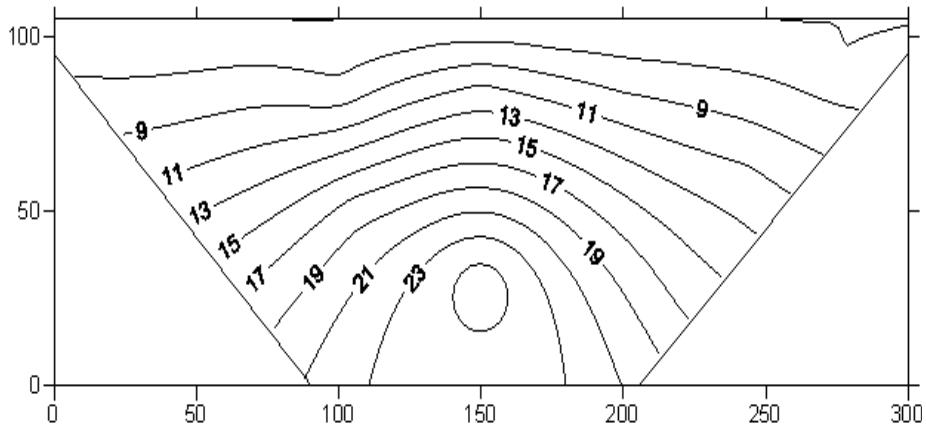
a. 왕겨-무멸칭-기온5°C



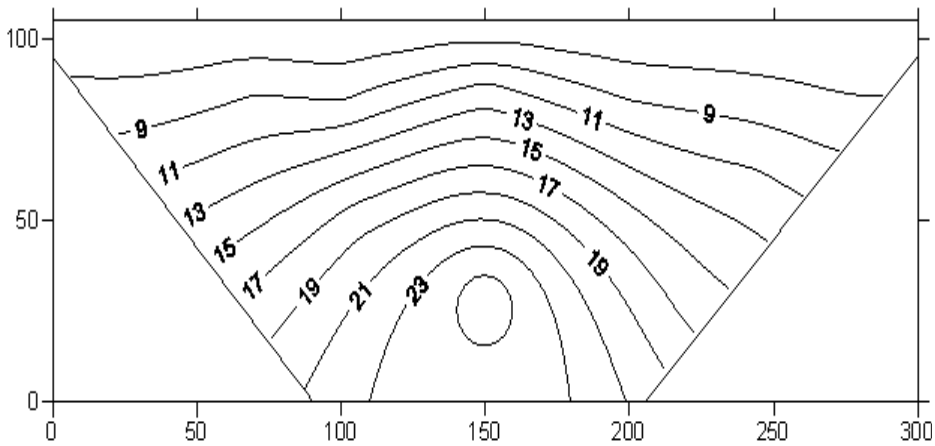
b. 펄라이트-무멸칭-기온5°C

그림3-61 배지가온 시 배지별 배지온도 변화

한편 배지 온도가 안정되었을 때 배지별 온도분포를 그림3-62에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 왕겨배지 펄라이트 배지 모두 배지온이 안정되었을 때는 온도 분포가 비슷한 양상을 나타냈다.



a 왕겨-무멀칭-기온5°C



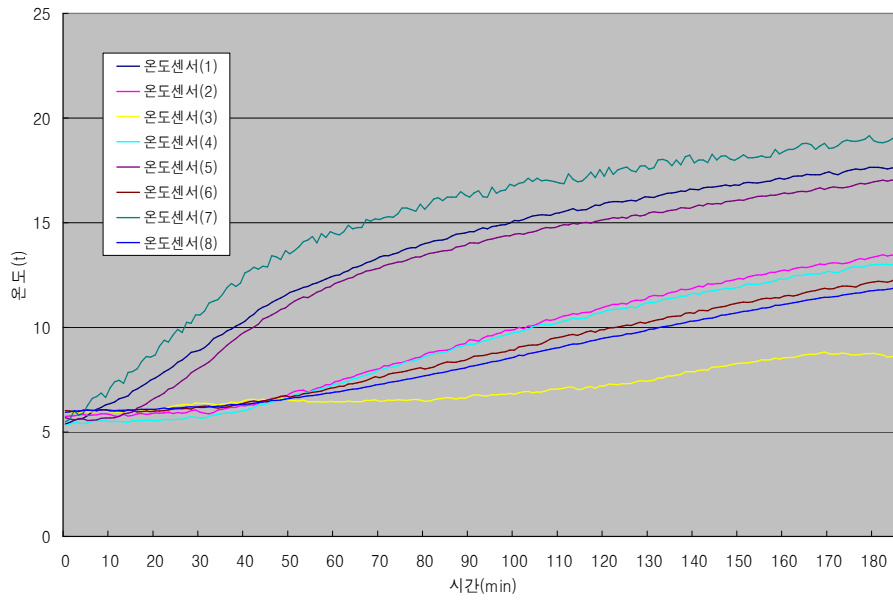
b 펄라이트-무멀칭-기온5°C

그림3-62 가운 후 배지온도 분포

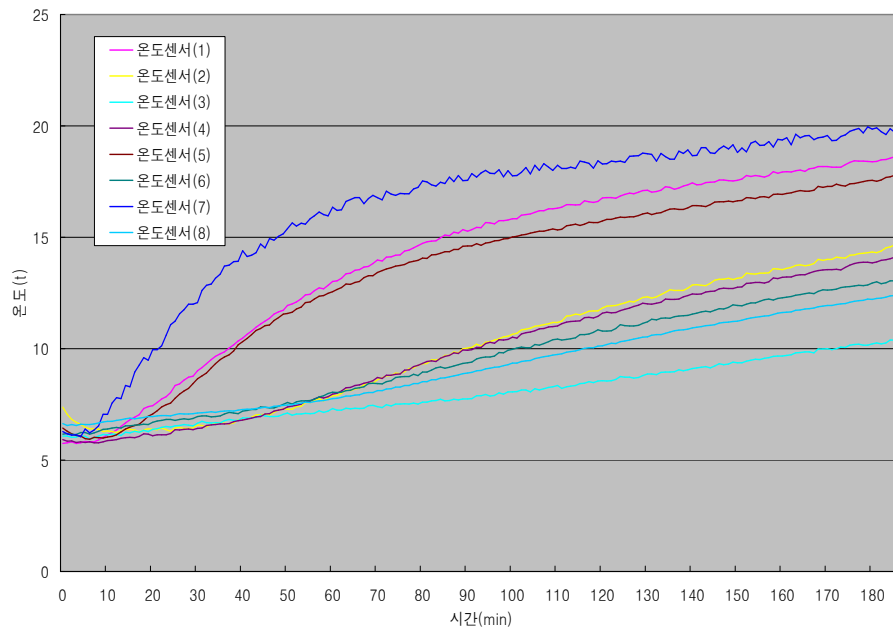
## ② 멀칭의 효과

멀칭 유무에 따른 배지의 가온특성을 분석하고자 하였다. 그림 18은 왕겨배지에서 기온 10°C에서 멀칭 유무에 따라 배지온도가 안정될 때까지의 시간이 무멀칭은 230분 멀칭은 180분으로 멀칭의 경우가 배지온이 안정되는 시간이 빨랐다. 이것은 멀칭에 의하여 배지로부터의 방열이 감소함으로써 나타나는 현상이라고 생각되며, 멀칭은 잡초발생 방지 목적이 크지만 배지온 관리면에서도 아주 효과적이라고 생각된다.





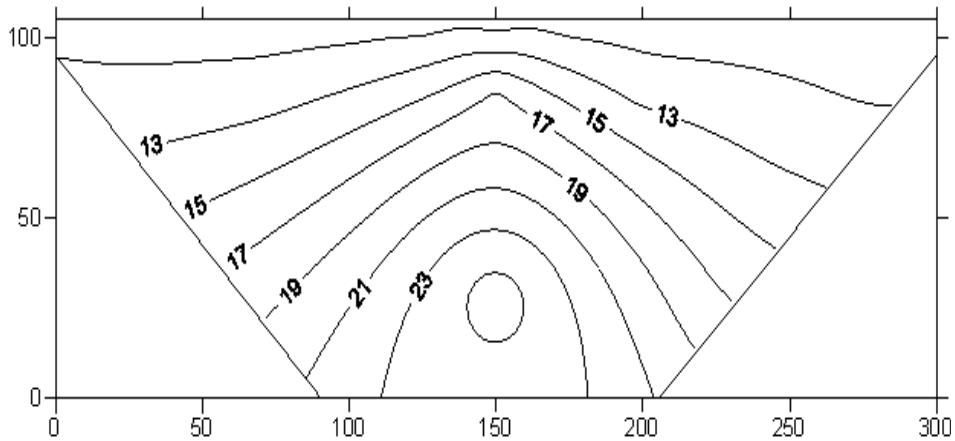
a 왕겨-무멸칭-기온10°C



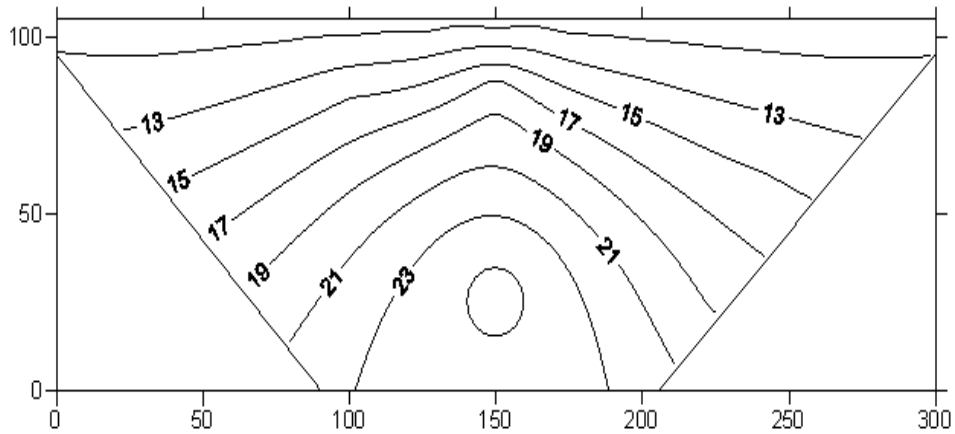
b 왕겨-멸칭-기온10°C

그림3-63 가온시 멸칭 유무에 따른 배지온도 변화

한편 온도가 안정되었을 때 멸칭 유무별 배지온도 분포를 그림3-64에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 왕겨배지 상부에 멸칭 유무에 상관없이 모두 배지온이 안정되었을 때는 온도 분포가 비슷한 양상을 나타냈다.



a 왕겨-무멀칭-기온10℃



b 왕겨-멀칭-기온10℃

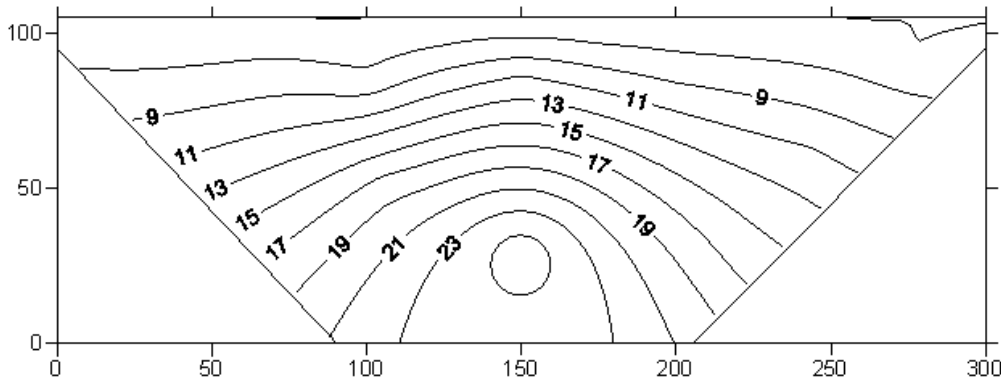
그림3-64 멀칭 유무별 가온 후 배지온도 분포

### ③ 배지별 기온에 따른 배지온도 분포

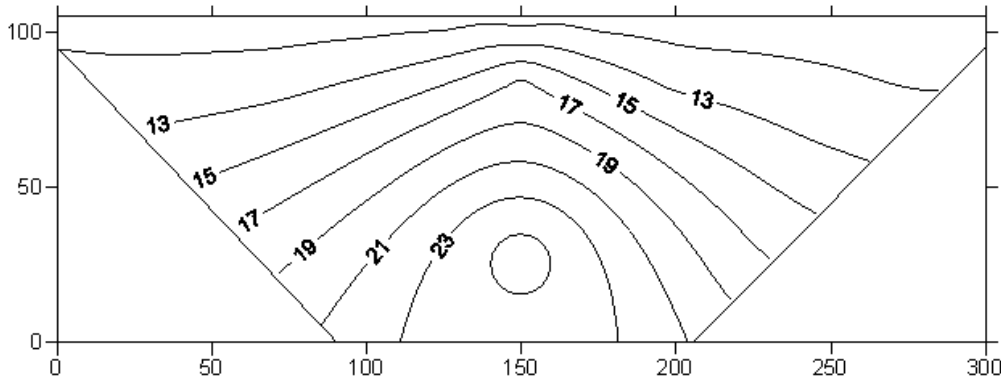
온실내 기온이 배지를 가온해야 할 것으로 판단되는 5℃, 10℃, 15℃인 경우에 전 열선이 봉입된 온수파이프에 의하여 배지를 가온(온수온도 25℃)하여 배지온도가 안정되었을 때, 왕겨배지 및 펄라이트 배지의 배지내 온도분포를 분석하였다.

그림3-65는 왕겨 배지의 기온별 온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 기온 파이프의 온도를 25℃로 하였을 때 기온에 따라 배지내 온도 분포는 기온이 낮을수록 배지온도의 깊이별 온도차가 심하며, 기온이 높을수록 온도차가 적었다.

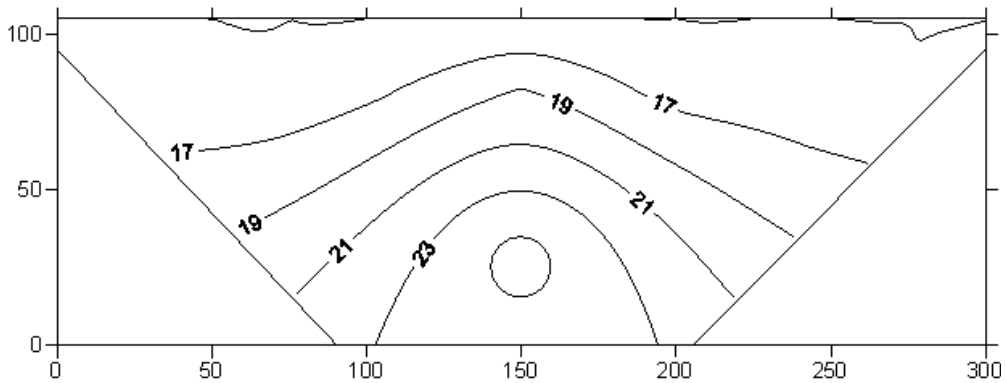
또한 그림3-66은 펄라이트 배지의 기온별 온도분포를 나타낸 것이다. 펄라이트 배지도 왕겨배지와 같이 기온이 낮을수록 배지온도의 깊이별 온도차가 심하며 기온이 높아 가온 파이프와의 온도차가 적은 것은 깊이별 배지온도의 차이가 적었다.



a 왕겨-무말칭-기온5°C

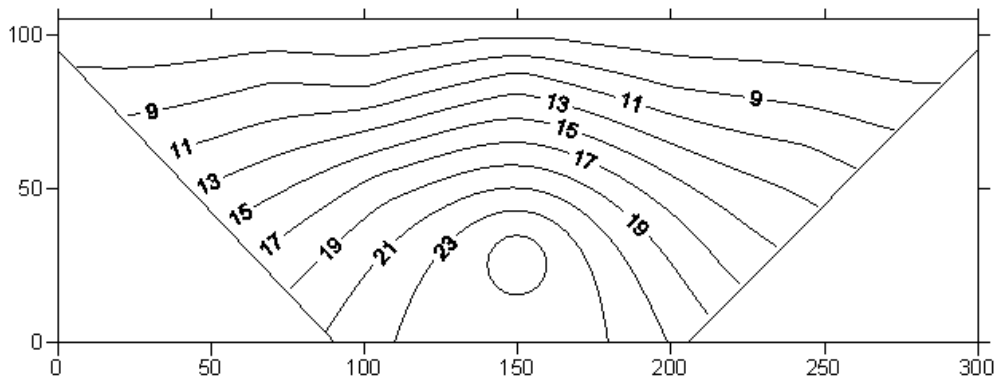


b 왕겨-무말칭-기온10°C

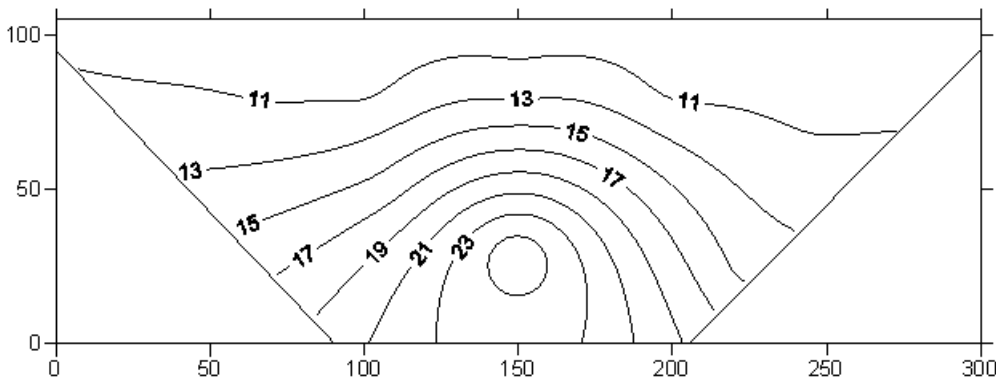


c 왕겨-무말칭-기온15°C

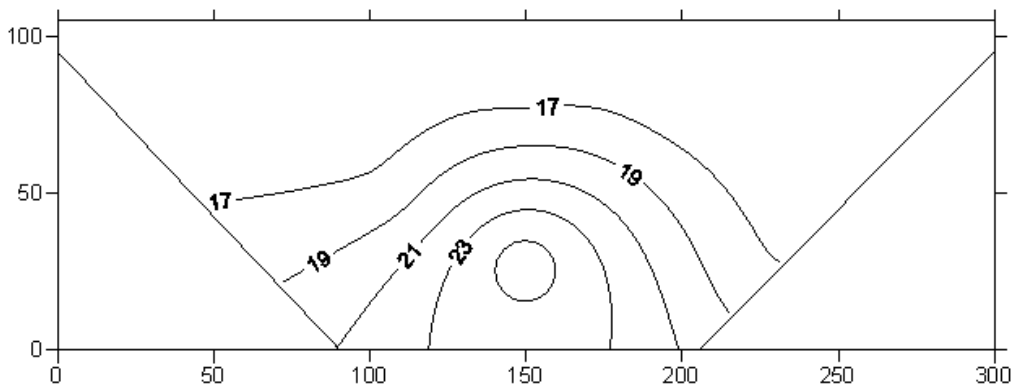
그림3-65 왕겨 배지의 기온별 배지온도 분포



a 펄라이트-무멀칭-기온5°C



b 펄라이트-무멀칭-기온10°C



c 펄라이트-무멀칭-기온15°C

그림3-66 펄라이트 배지의 기온에 따른 배지온도 분포

### (3) Newton equation 에 의한 배지의 가온특성

#### (가) Newton Equation

각 배지에 대하여 실내 온도를 일정하게 유지하였을 경우, 멀칭 유무별, 깊이별

(상중하) 배지온의 변화곡선은 그림3-67과 같이 다선식 전열선 가운데튜브의 설정온도에 수렴하는 Newton Equation에 근사하다고 판단하였다.

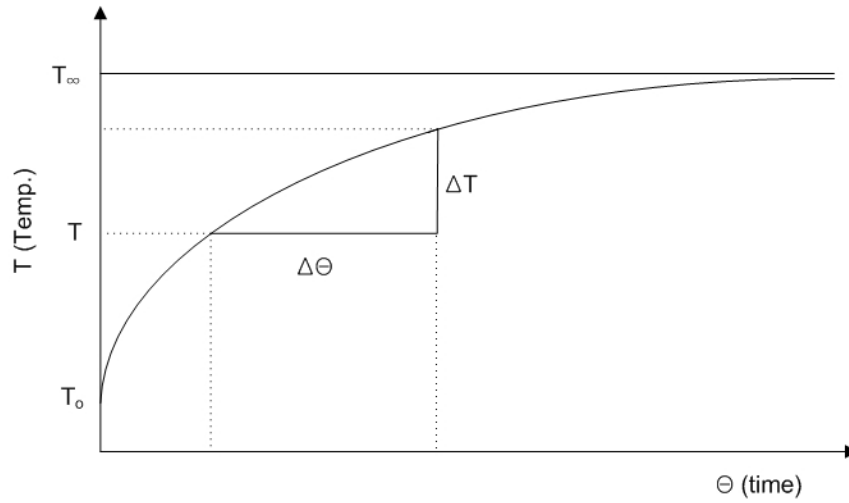


그림3-67 가운데 따른 배지온도변화 추정곡선

$$\frac{\Delta T}{\Delta \theta} \approx T_{\infty} - T \quad (3-2)$$

$$\ln \frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0} = a\theta + \ln b \quad (3-3)$$

$$T = T_{\infty} + (T_0 - T_{\infty}) b e^{a\theta} \quad (3-4)$$

여기서, T : t 시간 때의 배지온도(°C)

T<sub>∞</sub> : 가운데튜브 내 온도(°C)

T<sub>0</sub> : 초기 배지온도(°C)

a, b : 위치별 온도상수

θ : 가동시간(h)

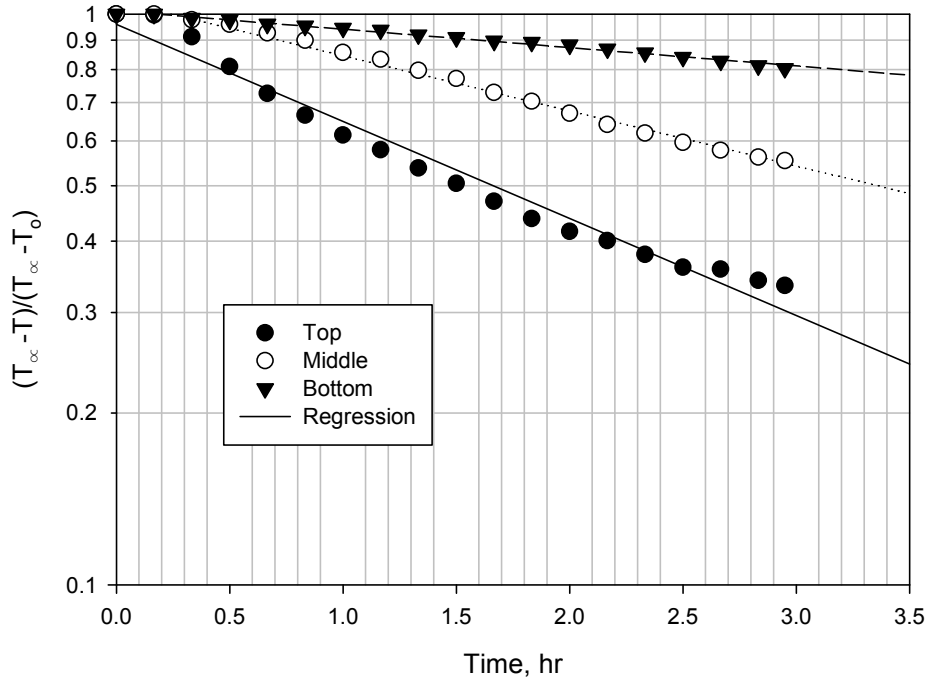


그림3-68 배지위치별 온도상수 회귀곡선(왕겨-무멀칭-기온15℃)

(1) 다선식 전열선 가운데튜브에 의한 배지의 온도상승 방정식

식(3-4)를 이용하여 가운데튜브 표면온도를 20℃로 설정하고 기온이 15℃인 경우, 4가지 배지에 대하여 멀칭 유무별, 배지 깊이별(상중하) 상수 a, b를 구하면 표3-12와 같다.

표3-12 배지위치별 온도상수(기온15℃)

구분		Top		Middle		Bottom	
		a	b	a	b	a	b
무멀칭	왕겨	-0.9839	0.1466	-0.3732	0.0671	-0.0604	0.0529
	펄라이트	-0.5006	0.2151	-0.2332	0.0927	-0.0419	0.0023
	왕겨+ 피트모스	-0.6818	0.1906	-0.5877	0.1806	-0.0897	0.1159
	펄라이트+ 피트모스	-0.6181	0.1215	-0.3215	0.3160	-0.0450	0.0758
멀칭	왕겨	-0.7316	0.3499	-0.3977	0.2389	-0.0805	0.0531
	펄라이트	-0.3887	0.1968	-0.2378	0.1691	-0.0478	0.0735
	왕겨+ 피트모스	-0.6729	0.2581	-0.6452	0.2641	-0.0833	0.0182
	펄라이트+ 피트모스	-0.6930	0.1726	-0.2479	0.2376	-0.0615	0.0581

또한 식(3-4)를 이용하여 가운데튜브 표면온도를 20℃로 설정하고 기온이 10℃인 경우, 4가지 배지에 대하여 멀칭 유무별, 배지 깊이별(상중하) 상수 a, b를 구하면 표3-13과 같다.

표3-13 뉴튼방정식(기온10℃)

구분		Top		Middle		Bottom	
		a	b	a	b	a	b
무멀칭	왕겨	-0.4794	0.1334	-0.1393	-0.0008	-0.0304	-0.0111
	펄라이트	-0.4124	0.2144	-0.1266	0.0200	-0.0228	0.0188
	왕겨+ 피트모스	-0.2820	0.1370	-0.1532	-0.0100	-0.0330	0.0350
	펄라이트+ 피트모스	-0.2630	0.0694	-0.0739	0.0181	-0.0098	0.0179
멀칭	왕겨	-0.0860	-0.1337	-0.0724	-0.0140	-0.0357	0.0089
	펄라이트	-0.2167	0.0798	-0.1103	0.0321	-0.0343	0.0192
	왕겨+ 피트모스	-0.3340	0.1990	-0.3404	0.1808	-0.1033	0.0706
	펄라이트+ 피트모스	-0.2789	0.1330	-0.0879	0.0289	-0.0306	0.0116

식(3-4)를 이용하여 가운데튜브 표면온도를 20℃로 설정하고 기온이 5℃인 경우, 4가지 배지에 대하여 멀칭 유무별, 배지 깊이별(상중하) 상수 a, b를 구하면 표3-14와 같다.

표3-14 뉴튼방정식(기온5℃)

구분		Top		Middle		Bottom	
		a	b	a	b	a	b
무멀칭	왕겨	-0.2582	0.0311	-0.1152	0.0003	-0.0370	0.0201
	펄라이트	-0.1181	0.0127	-0.0756	0.0187	-0.0171	0.0186
	왕겨+ 피트모스	-0.1184	-0.0338	-0.0853	-0.0868	-0.0160	-0.0293
	펄라이트+ 피트모스	-0.1802	0.0236	-0.0639	0.0289	-0.0099	0.0143
멀칭	왕겨	-0.1458	-0.1088	-0.1057	-0.0151	-0.0403	0.0189
	펄라이트	-0.1548	0.0052	-0.0762	0.0136	-0.0198	0.0177
	왕겨+ 피트모스	-0.1086	-0.0313	-0.1047	-0.0473	-0.0311	0.0233
	펄라이트+ 피트모스	-0.1653	0.0733	-0.0641	0.0390	-0.0150	0.0165

전술한 그림3-68의 모델을 이용하여 1일 온실내 기온 변화패턴을 가지고 그림

3-69에서와 같이 가온을 시작한 후 배지온 실측치와 예측치를 비교한 결과 1.2°C의 적은 오차가 나타나 예측모델로 이용 가능한 것으로 판단된다.

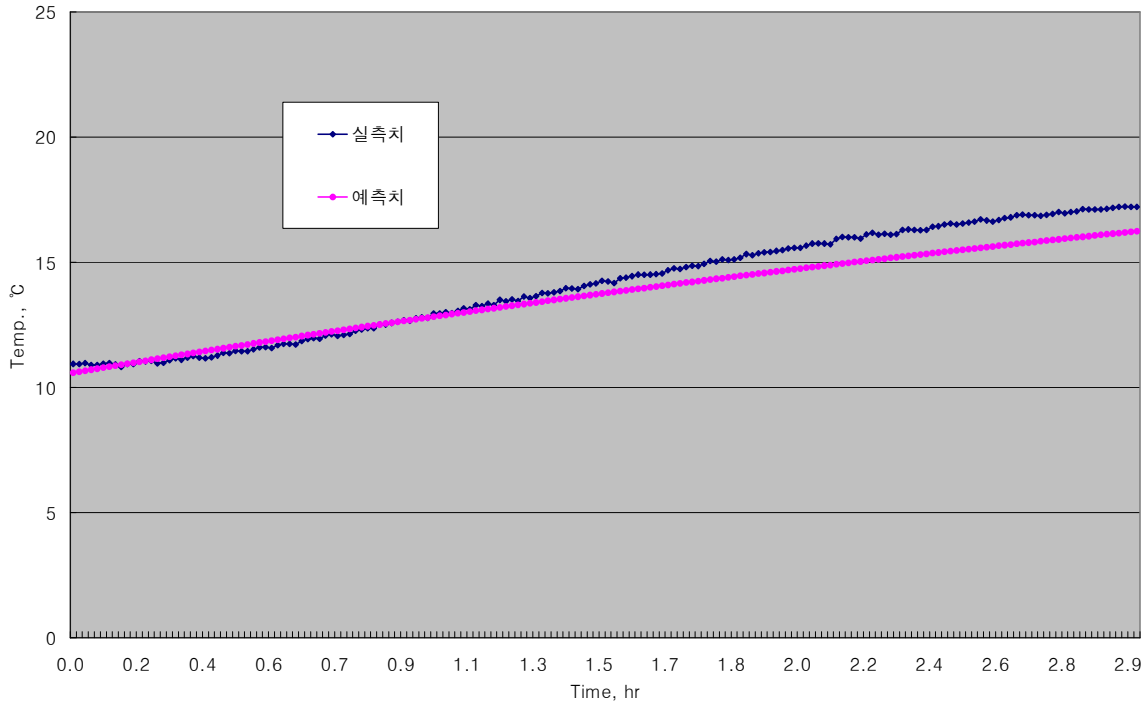


그림3-69 예측곡선(왕겨-무멀칭-기온15°C-Middle)

## 나. 딸기 고설수경재배의 배지가온 적응 시험

### (1) 시스템 구성 및 시험방법

딸기 고설수경재배에 있어서 3선식 전열가온튜브를 사용하여 가온하는 시스템의 구성은 그림3-70과 같다. 그림과 같이 딸기 고설수경재배 시스템에 다선식 전열튜브(SUN UTH-50)를 설치하여 배지가온 시의 배지온 분포와 작물생육을 조사하였다. 그림에서 보는 바와 같이 재배베드는 그림3-71과 같이 V형 베드로 하였으며 길이는 10m로 하였다. 처리구1은 전열튜브 표면온도를 15°C로 한 것이며 처리구2는 전열튜브의 표면온도를 20°C로 한 것이다. 여기에 가온하지 않은 경우를 대조구로 하였다.

재배는 10m 재배베드당 2열로 주간 20cm 100주를 2008년 9월 5일 정식(품종 : 장희)하였다. 배양액의 관리는 표3-15와 같은 우다가와 딸기처방을 기준으로 하였다. 이것은 딸기의 생육단계에 따른 흡수특성을 고려한 배양액조성으로 농도는 딸기의 기준 배지내 배양액 농도를 사용하여 딸기의 생육단계별 EC를 기준으로 하였



다.

재배시험 장치는 그림3-72와 같다. 그림에서 2보는 바와 같이 처리구1과 처리구2의 온도제어 컨트롤러는 각각 별도로 설치하여 처리구1은 가온튜브 표면온도를 15℃, 처리구2는 20℃가 되도록 설정하였으며 컨트롤러 내부는 그림3-73과 같고 회로도는 그림3-74와 같다.

배지내 온도계측은 그림3-75와 같이 T형 열전대를 베드내 설치위치와 플라스틱 스케일에 고정하여 설치하였다.

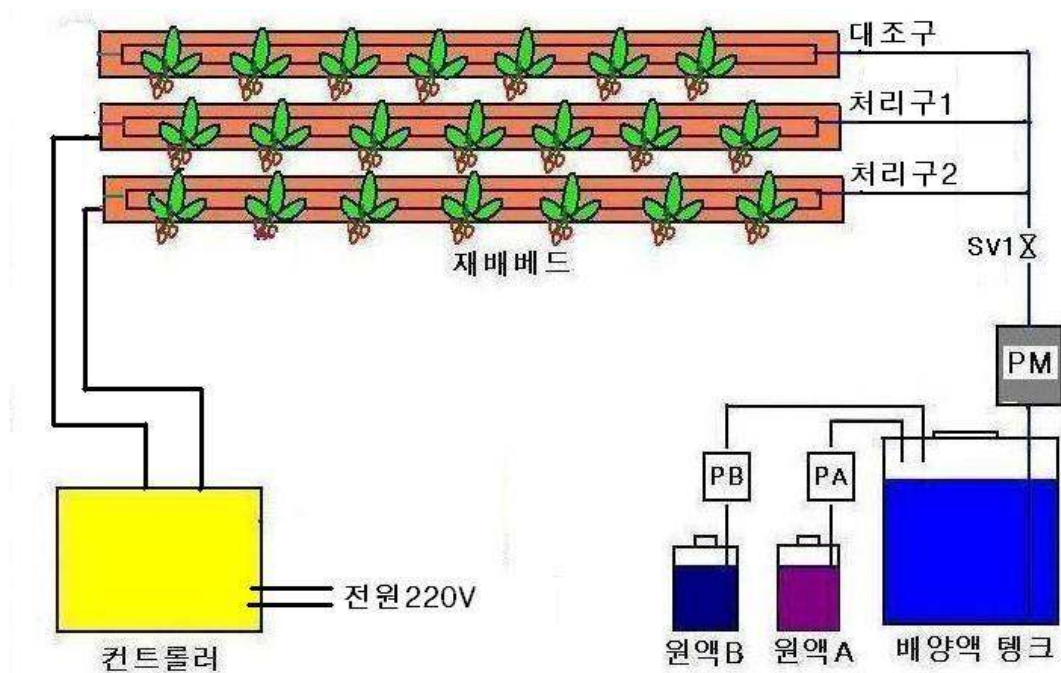


그림3-70 딸기고설수경 재배 배지가온 재배시험 장치 구성도

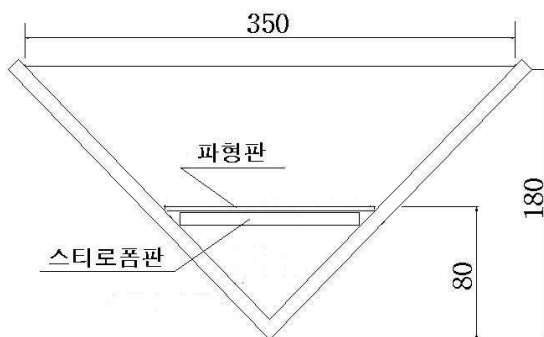


그림3-71 재배에 사용한 베드의 형상

표3-15 생육단계별 배양액조성과 농도의 기준(宇田川, 2004)

생육단계	NO <sub>3</sub> -N (me/l)	NH <sub>4</sub> -N (me/l)	P (me/l)	K (me/l)	Ca (me/l)	Mg (me/l)	SO <sub>4</sub> -S (me/l)	EC (mS/m)
정식~1주간	3.2	0.7	2.1	2.1	1.1	0.5	0.5	0.6
정식1주간~보온개시기	4.3	0.9	2.8	2.8	1.4	0.7	0.7	0.8
보온개시기~개화시작기	5.3	1.2	3.6	3.6	1.8	0.9	0.9	1.0
개화시작기~수확시작기	6.4	0.7	4.3	5.0	2.1	1.1	1.1	1.2
수확시작기~정화방수확종료기	7.5	0.8	5.0	5.8	2.5	1.2	1.2	1.4
정화방수확종료기~휴면각성기	9.4	0.9	2.8	6.6	2.8	1.4	1.4	1.4
휴면각성기~수확종료	6.7	0.7	2.0	4.7	2.0	1.0	1.0	1.0



그림3-72 딸기고설수경 재배 배지가온 재배시험 장치

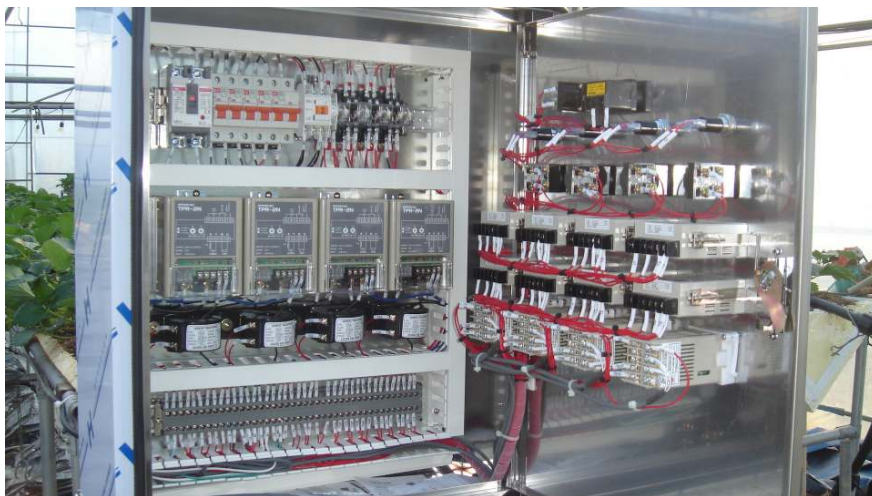
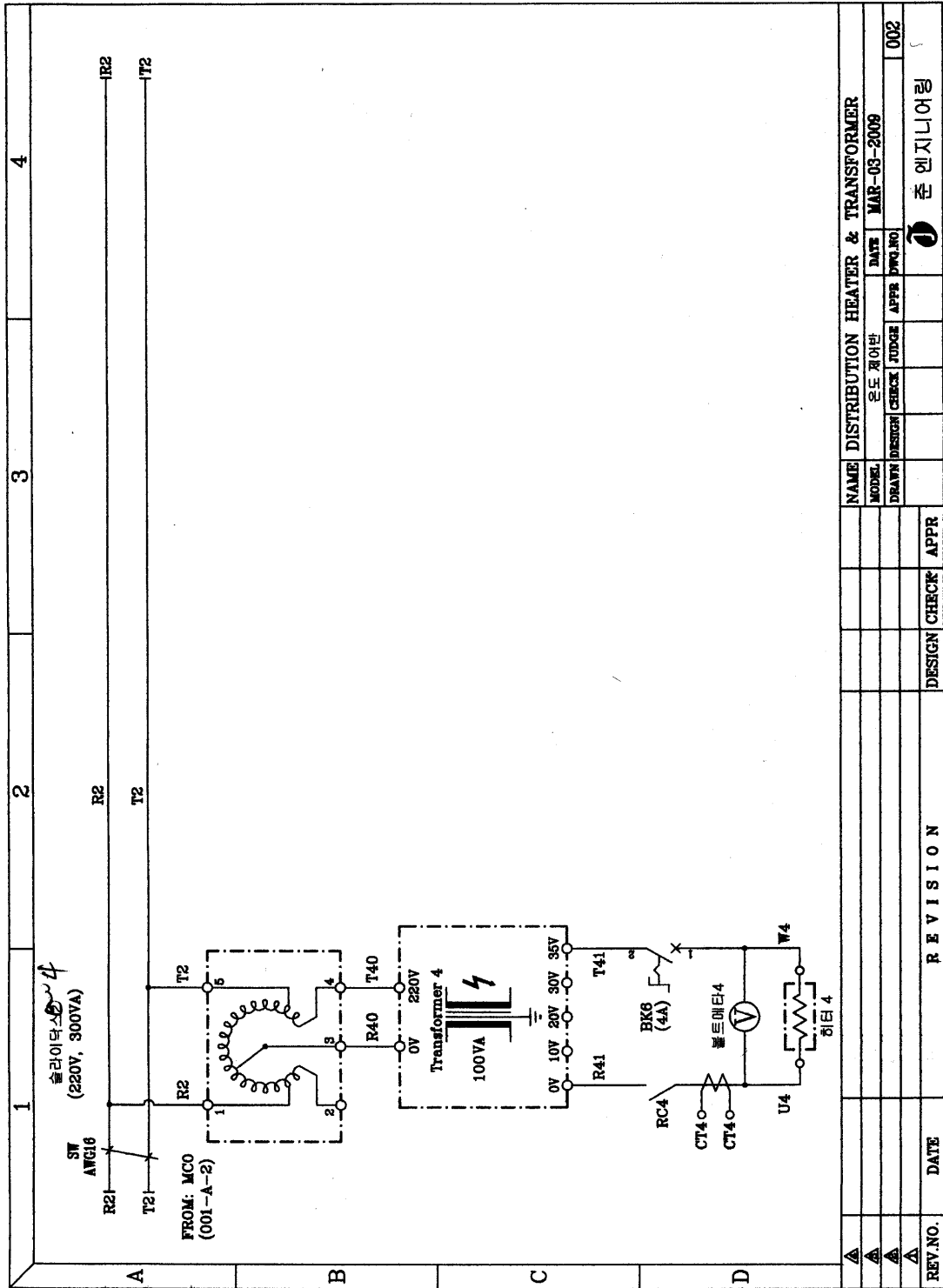


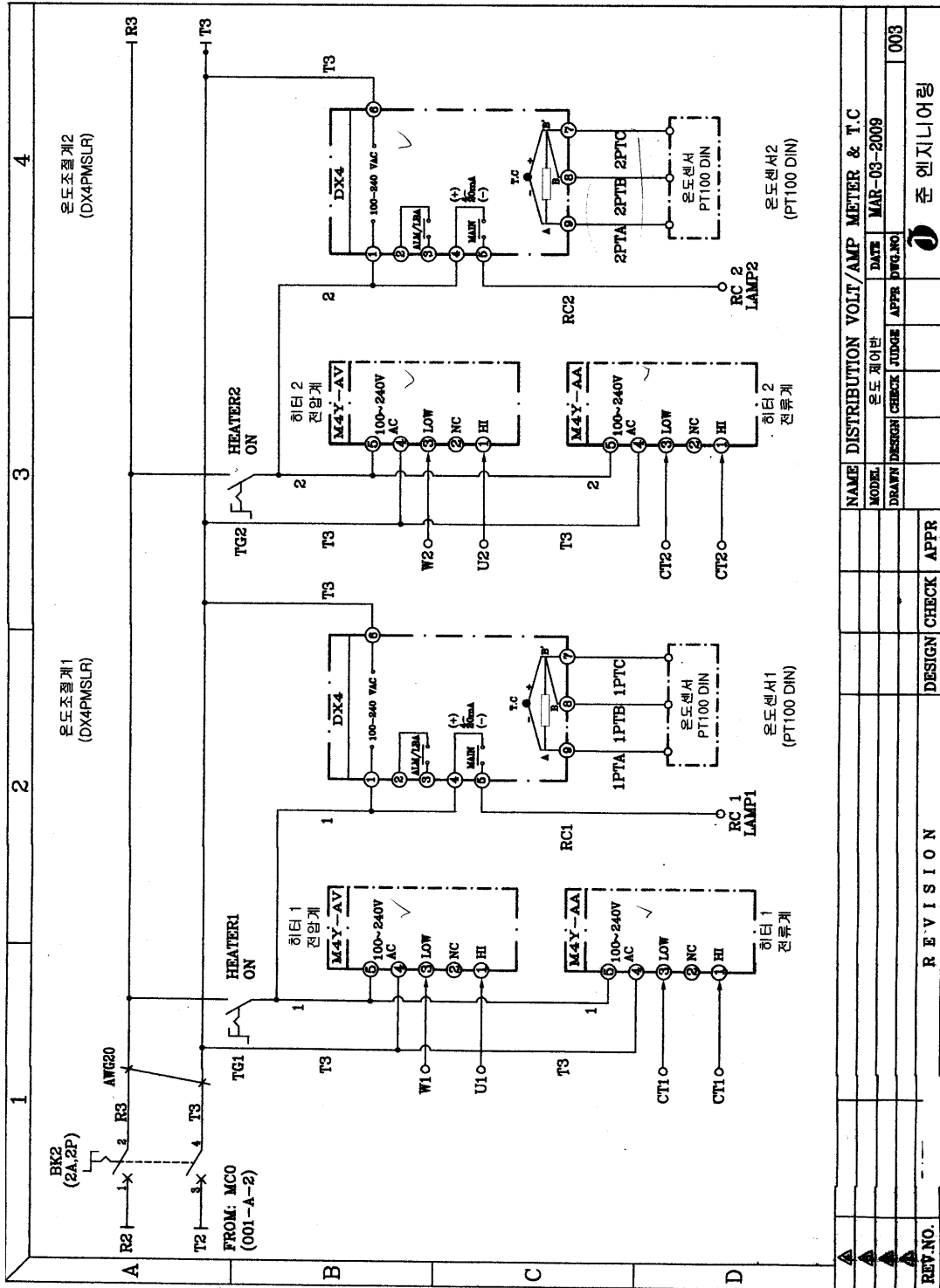
그림3-73 다선식 전열튜브의 온도제어 시스템



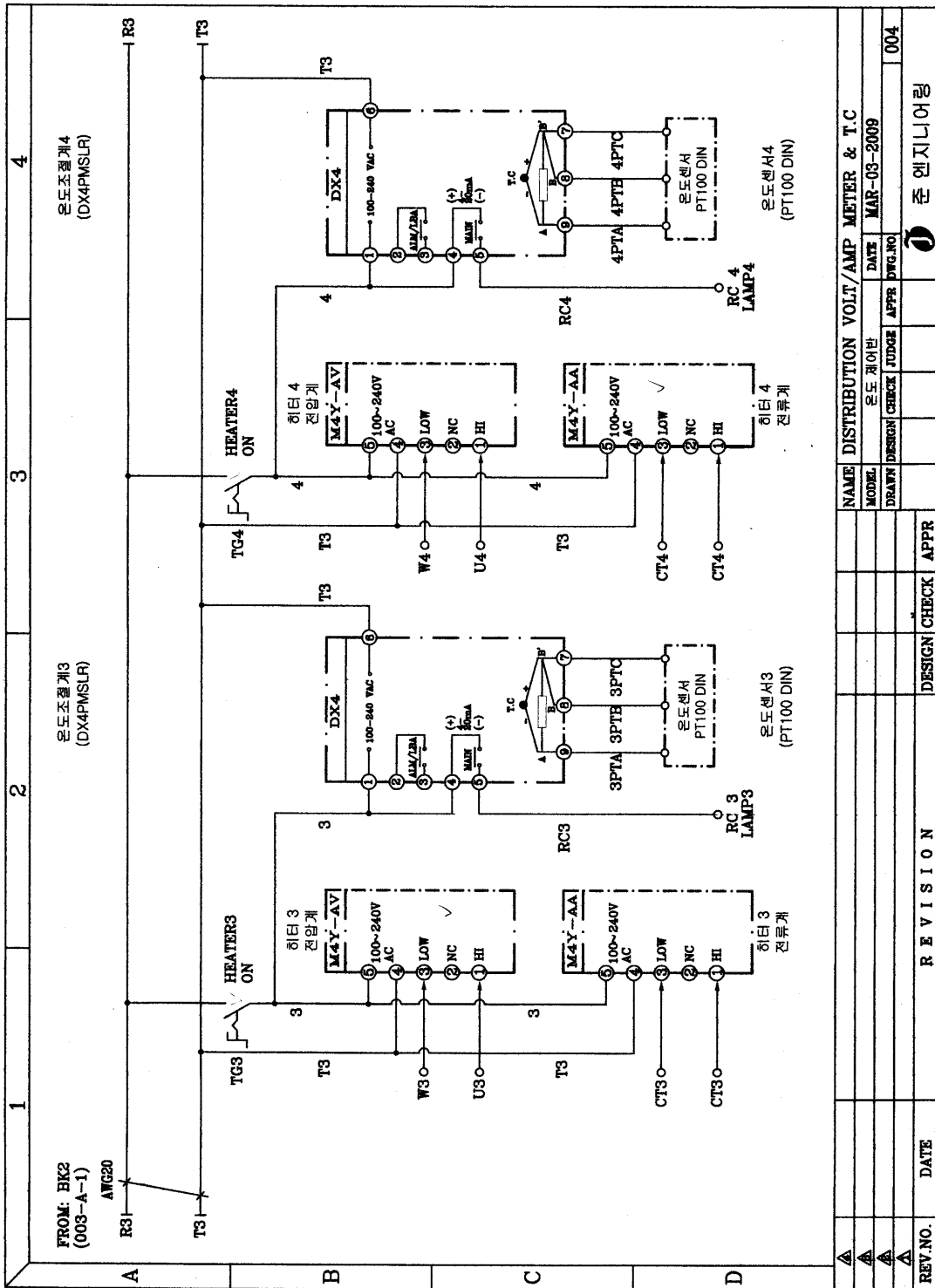


b. 컨트롤러 회로도 2

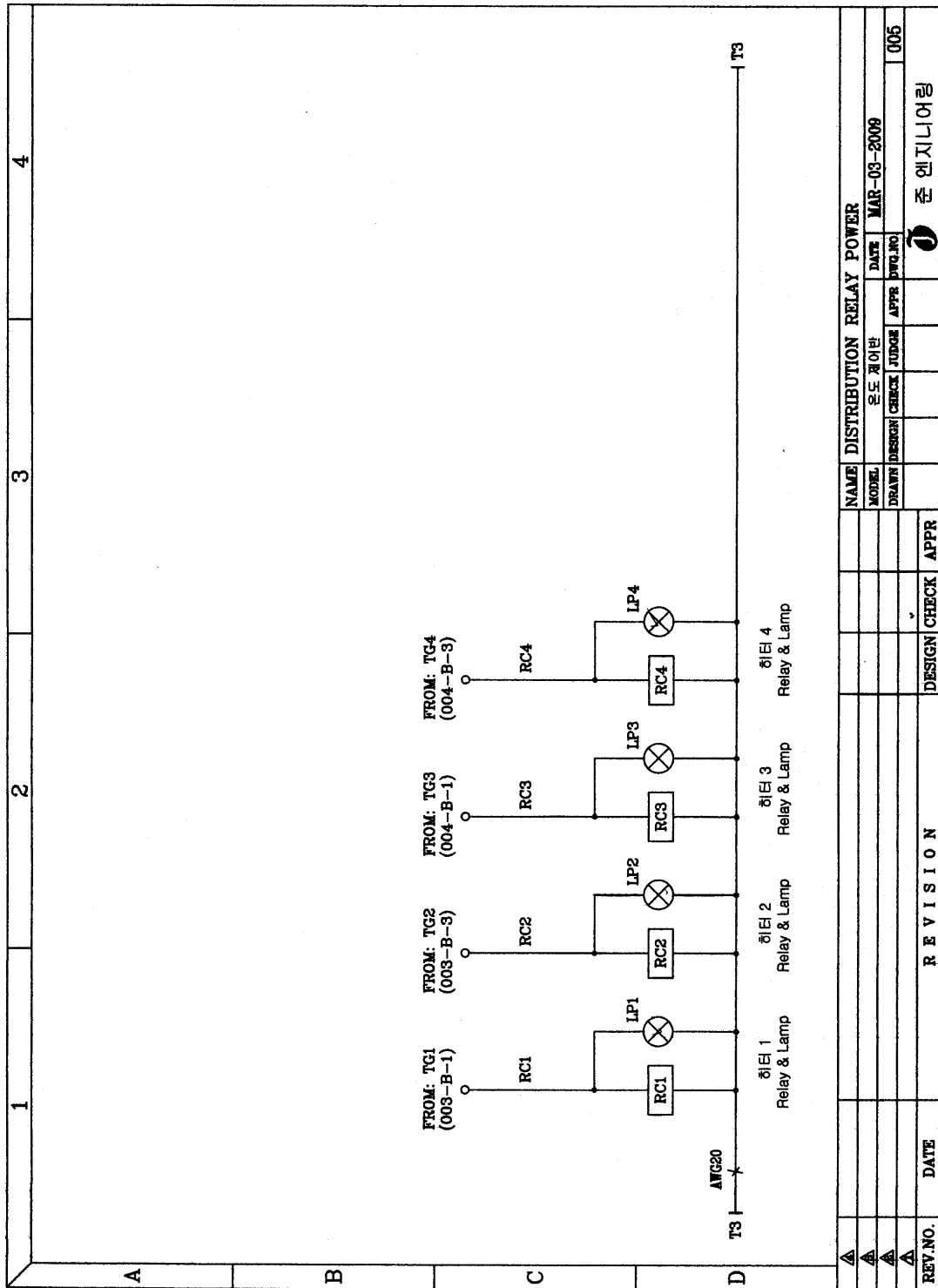
REV. NO.	DATE	REVISION	DESIGN	CHECK	APPR	NAME	DISTRIBUTION HEATER & TRANSFORMER
▲						MODEL	온도 제어반
▲						DRAWN	CHECK
▲						JUDGE	DATE
						APPR	PWQ. NO
							MAR-03-2009
							002
							준 엔지니어링



c. 컨트롤러 회로도 3

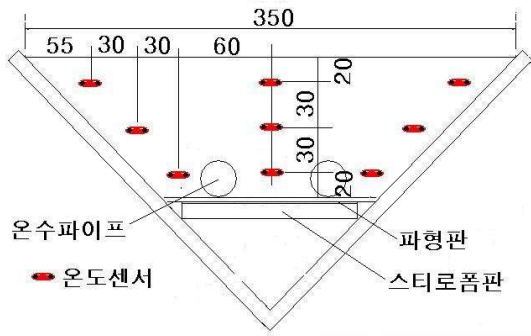


d. 컨트롤러 회로도 4



e. 컨트롤러 회로도 5

그림 3-74 다선식 전열튜브 온도제어 컨트롤러 회로도



a. 측정위치

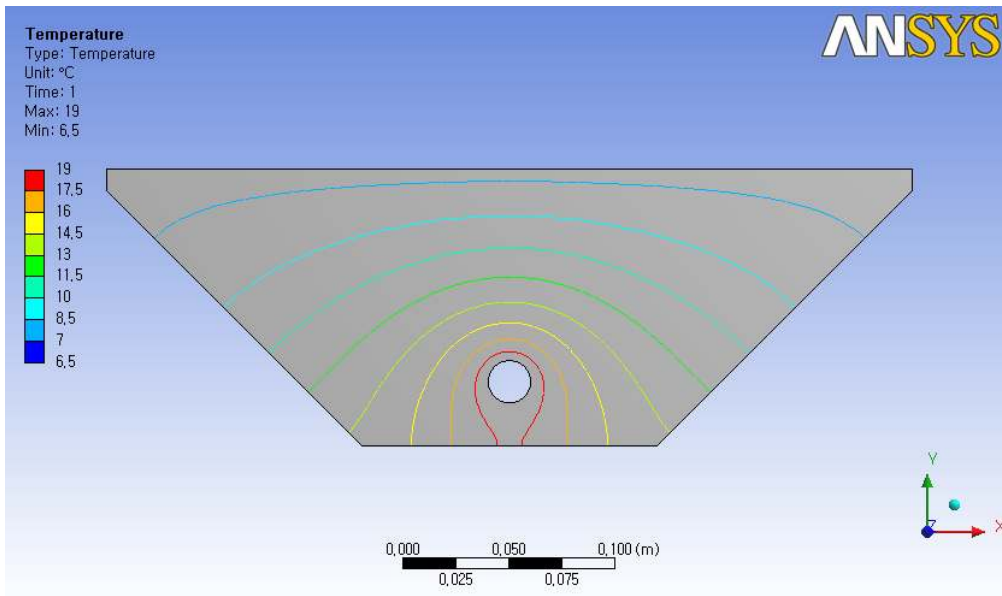
b. 센서설치

그림3-75 배지온 측정 센서 설치

## (2) 시험 결과 및 고찰

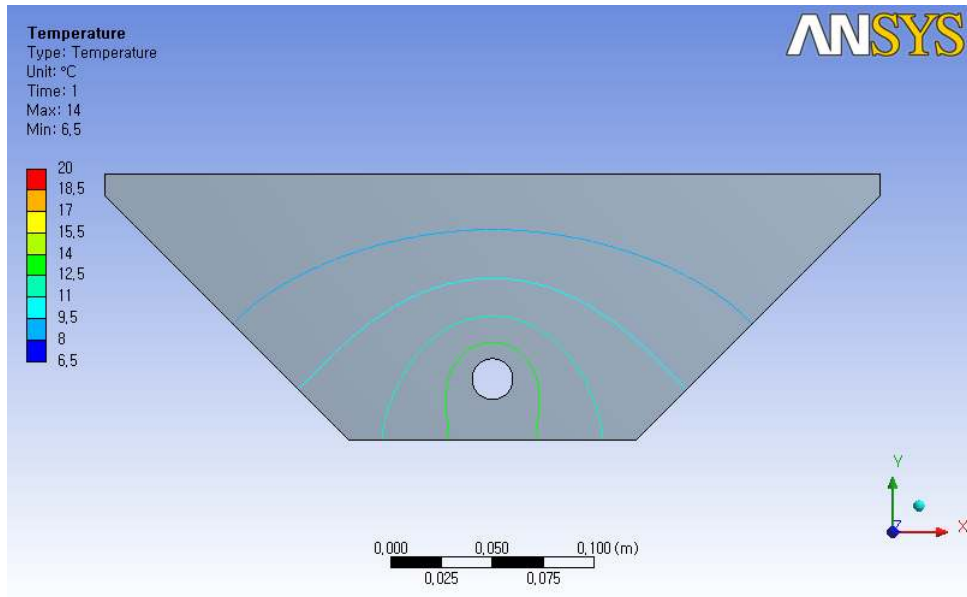
### (가) 배지가온

가온튜브에 의한 배지가온 시 배지온 분포는 그림3-76과 같다.

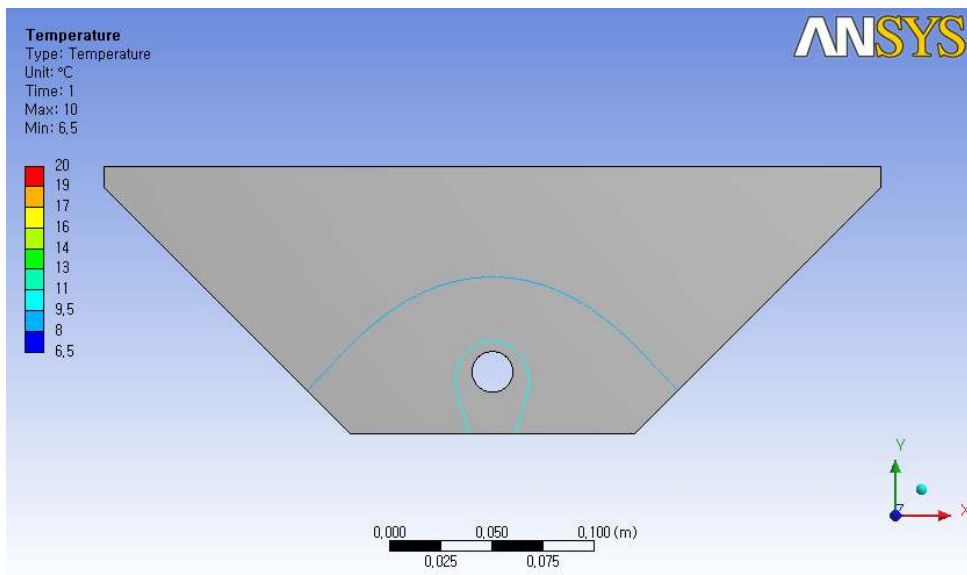


a. 전열튜브온도 20°C, 외기온 6.5°C





b. 전열튜브온도 15°C, 외기온 6.5°C



c. 전열튜브온도 11°C, 외기온 6.5°C

그림3-76 배지가온 시 배지온도분포 시뮬레이션 결과

#### (나) 생육 및 수량

다선식 전열튜브(SUN UTH-50)를 딸기 고설수경재배 베드에 설치하여 9월 5일 정식하여 수확은 12월 20일 첫수확을 시작하였으며 4월말까지 수확하였다. 작물생육은 정화방 개화기(그림3-77참조)의 조사에 의하면 대조구에 비하여 처리구1(가온튜브온도 15°C) 4일정도 빨랐으며 처리구2(가온튜브온도 20°C)가 7일 빨랐으며, 화방

의 꽃수에도 차이를 나타냈으며 또한 제1액화방의 과실 비대기의 조사에서도 유사한 결과를 가져와 배지의 가온이 작물생육에 크게 영향을 주는 것으로 나타났다.



그림3-77 작물생육상태 비교(정화방 개화중기)



그림3-78 작물생육상태 비교(제1액화방 비대기)

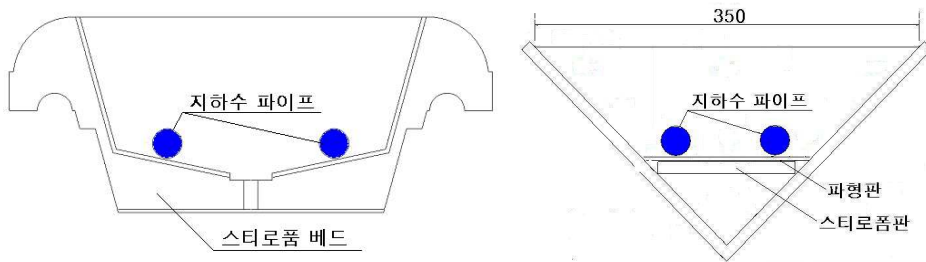
한편 표3-16에서 보는 바와 같이 처리별 수량은 가온튜브의 설정온도 15℃인 처리구1과 가온튜브 설정온도 20℃인 처리구2의 수량이 대조구에 비하여 8%, 17% 증수된 것으로 나타났다. 수량면에서도 큰 차이를 나타내 배지의 가온효과는 큰 것으로 판단된다.

표3-16 처리별 수량

구 분	수 량 (kg)				
	12~1월	2~3월	3~4월	계	지수
처리구 1 (가온튜브온도 15℃)	13.5	26.6	33.2	73.3	108
처리구 2 (가온튜브온도 20℃)	15.2	28.8	35.2	79.2	117
대조구 (무가온)	12.2	24.5	31.2	67.9	100

### 3. 지하수에 의한 배지온 상승

겨울철 저온시 온실에 난방을 하지 않는 무가온 온실의 경우 배지온의 강하가 딸기 생육에 영향을 줄 경우를 대비하여 지하수를 이용하여 베드형태별로 배지온 가온에 의한 배지온 상승효과를 실험을 통하여 구명하였다. 실험은 배지온이 강하되었을 경우에 해당하는 실내온도를 1.5℃, 3.2℃, 5℃, 6.7℃로 하여 그림3-79와 같이 베드하부 배지에 직경 15mm의 지하수 파이프를 2본 매설하여 그림3-80과 같은 유량 인디케이터로 사용하여 유량을 조절하여 10 L/min의 지하수를 흘릴 때 시간 경과에 따라 배지온이 어느 정도 상승하는가를 구명하고자 하였다. 이 때 배지온도 측정은 전술한 바와 같이 T형 열전대를 사용하여 그림3-10과 같은 측정점으로 하였다.



(a) 플랜트형

(b) V형

그림3-79 베드별 지하수 파이프 설치 위치

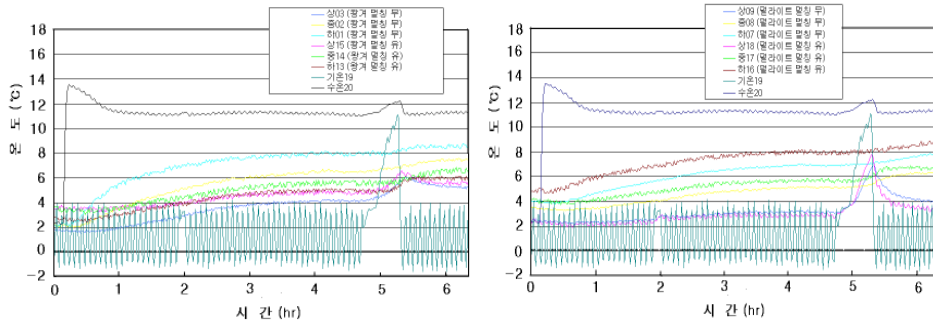


그림3-80 지하수 공급 유량 인디케이터

### 가. 실내온도가 1.5℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승효과

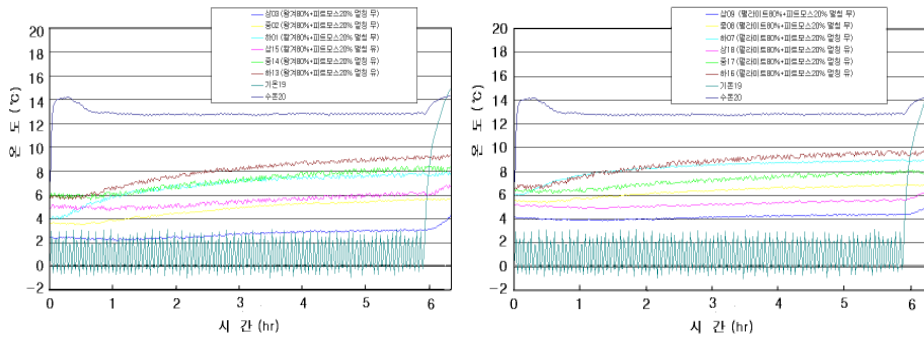
실내온도를 1.5℃로 유지하여 배지내 온도가 강하하였을 때 지하수를 흘려 배지내 각 점의 온도상승을 그림3-81에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 지하수 온도는 왕겨와 펠라이트 배지에서는 11℃, 혼합배지에서는 13℃였다. 이와 같이 지하수온이 다른 것은 실험의 시기가 다른데 따른 것으로 전체 경향을 파악하는 데는 문제가 없는 것으로 판단하여 온도의 조정없이 실험을 진행하였다.

온도 상승은 왕겨 단독배지와 왕겨80%+피트20%의 왕겨를 주체로 하는 배지에서는 파이프 주변인 배지 하부에서는 3.2~4.2℃의 온도상승을 나타냈으며, 중간층은 2.5~3.2℃의 온도상승을 나타냈으며, 실내 공기와 접촉되는 상층부는 1~2℃의 온도상승을 나타냈다. 한편 펠라이트 단독배지와 펠라이트80%+피트20%의 펠라이트를 주체로 하는 배지에서는 배지 하부에서는 3.0~4.0℃의 온도상승을 나타냈으며, 중간층은 2.2~3.0℃의 온도상승을 나타냈으며, 실내 공기와 접촉되는 상층부는 1~2℃의 온도상승을 나타냈다. 이와 같이 왕겨 주체의 배지는 펠라이트 주체의 배지에 비하여 온도상승이 약간 잘되는 것으로 나타났다. 이것은 펠라이트의 전도율이 낮아 기인되는 것으로 판단된다. 그러나 전 배지에서 지하수에 의하여 뿌리부가 분포하고 있는 배지 하층과 중간층의 3℃정도의 온도상승을 나타내 어느 정도 상승효과를 인정할 수 있었다.



(a) 왕겨

(b) 펄라이트



(c)왕겨 80% + 피트모스20%

(d)펄라이트80% + 피트모스20%

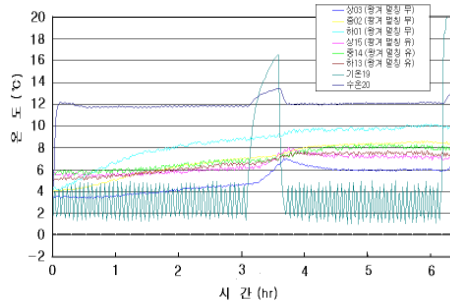
그림3-81 실내온도 1.5℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승

#### 나. 실내온도가 3.2℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승효과

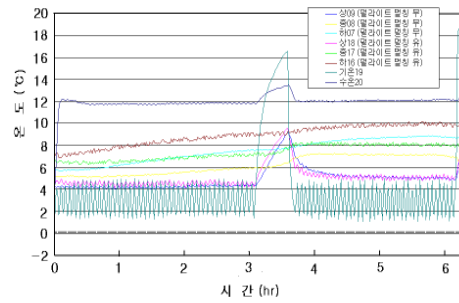
실내온도를 3.2℃로 유지하여 배지내 온도가 강하하였을 때 지하수를 흘려 배지내 각 점의 온도상승을 그림3-82에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 지하수 온도는 왕겨와 펄라이트 배지에서는 12℃, 혼합배지에서는 13.7℃였다. 여기서도 지하수의 수온이 단독배지와 혼합배지가 차이가 나는 것은 실험 시기의 차이 때문이었다.

온도 상승은 왕겨 단독배지와 왕겨80%+피트20%의 왕겨를 주체로 하는 배지에서는 파이프 주변인 배지 하부에서는 3.0~4.0℃의 온도상승을 나타냈으며, 중간층은 2.3~3.0℃의 온도상승을 나타냈으며, 상층부는 1~2℃의 온도상승을 나타냈다. 한편 펄라이트 단독배지와 펄라이트80%+피트20%의 펄라이트를 주체로 하는 배지에서는 배지 하부에서는 2.8~3.8℃의 온도상승을 나타냈으며, 중간층은 2.0~2.8℃의 온도상승을 나타냈으며, 상층부는 1~2℃의 온도상승을 나타냈다. 여기서도 전술한 바와 같이 왕겨주체의 배지 쪽이 펄라이트 주체 배지보다 배지온 상승이 약간 높은 것으로 나타났다. 그러나 전 배지에서 지하수에 의하여 뿌리부가 분포하고 있는 배지 하층과 중간층의 2~3℃정도의 온도상승을 나타내 어느 정도 상승효과를 인정할 수 있었

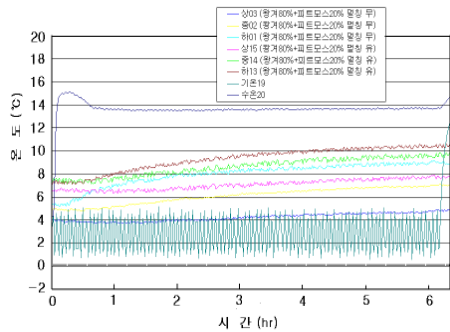
다.



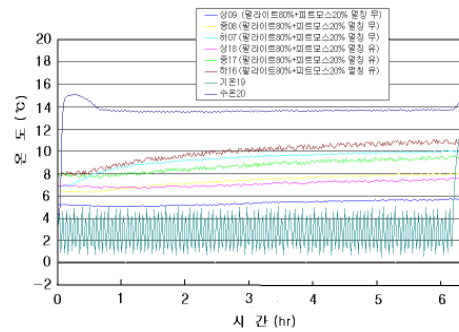
(a) 왕겨



(b) 펠라이트



(c)왕겨 80% + 피트모스20%



(d)펠라이트80% + 피트모스20%

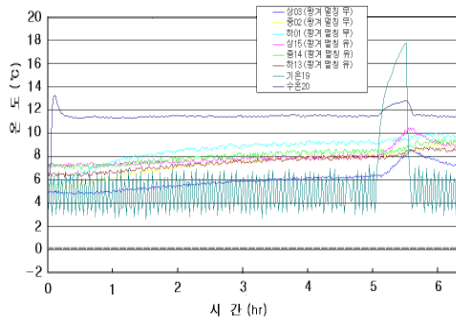
그림3-82 실내온도 3.2℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승

### 다. 실내온도가 5℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승효과

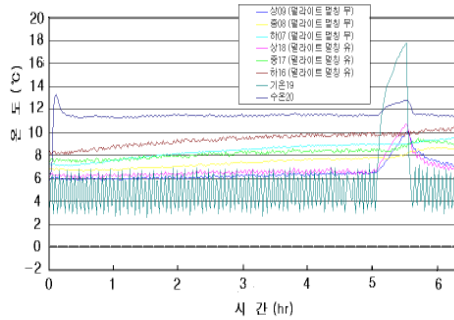
실내온도를 5℃로 유지하여 배지내 온도가 강하하였을 때 지하수를 흘려 배지내 각 점의 온도상승을 그림3-83에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 지하수 온도는 왕겨와 펠라이트 배지에서는 11.4℃, 혼합배지에서는 14.4℃였다. 여기서 지하수의 차이는 전술한 바와 같이 혼합배지의 실험시기가 여름철 지하수온이 상승한 시기에 이루어진 때문이다.

온도 상승은 왕겨 단독배지와 왕겨80%+피트20%의 왕겨를 주체로 하는 배지에서는 파이프 주변인 배지 하부에서는 2.0~3.5℃의 온도상승을 나타냈으며, 중간층은 1.5~2.0℃의 온도상승을 나타냈으며, 실내 공기와 접촉되는 상층부는 1~1.3℃의 온도상승을 나타냈다. 한편 펠라이트 단독배지와 펠라이트80%+피트20%의 펠라이트를 주체로 하는 배지에서는 배지 하부에서는 1.8~2.4℃의 온도상승을 나타냈으며, 중간층은 0.8~1.2℃의 온도상승을 나타냈으며, 상층부는 0.3~0.6℃의 온도상승을 나타냈다. 이와 같이 실내 온도가 5℃정도로 상대적으로 높아지면 왕겨 및 펠라이트 주체

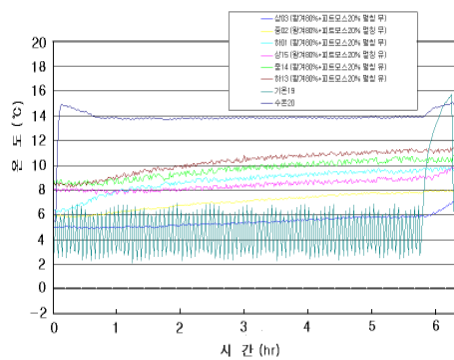
의 전 배지에서 지하수에 의하여 뿌리부가 분포하고 있는 배지 하층과 중간층의 0.8~3.5℃ 정도의 온도상승을 나타내 지하수가 통과하는 일부를 제외하고는 배지온도의 상승은 기대하기 어려운 것으로 나타났다.



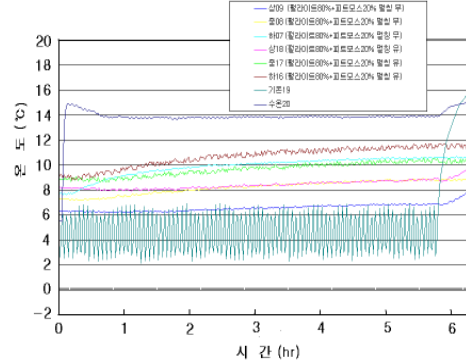
(a) 왕겨



(b) 펄라이트



(c)왕겨 80% + 피트모스20%



(d)펄라이트80% + 피트모스20%

그림3-83 실내온도 5℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승

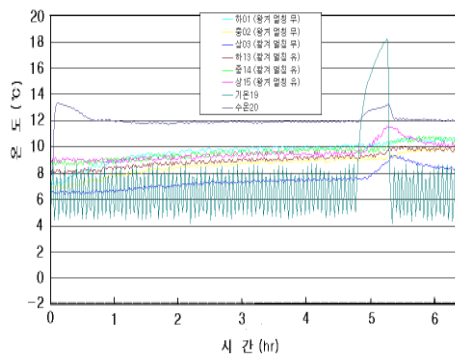
### 라. 실내온도가 6.7℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승효과

실내온도를 6.7℃로 유지하여 배지내 온도가 강하하였을 때 지하수를 흘려 배지내 각 점의 온도상승을 그림3-84에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 지하수 온도는 왕겨와 펄라이트 배지에서는 11.9℃, 혼합배지에서는 14.4℃였다. 여기서 지하수의 차이는 전술한 바와 같이 혼합배지의 실험시기가 여름철 지하수온이 상승한 시기에 이루어진 때문이다.

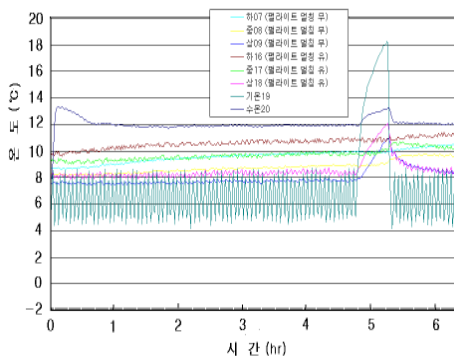
온도 상승은 왕겨 단독배지와 왕겨80%+피트20%의 왕겨를 주체로 하는 배지에서는 파이프 주변인 배지 하부에서는 1.2~2.8℃의 온도상승을 나타냈으며, 중간층은 0.7~1.8℃의 온도상승을 나타냈으며, 실내 공기와 접촉되는 상층부는 0.4~0.8℃의 온도상승을 나타냈다. 한편 펄라이트 단독배지와 펄라이트80%+피트20%의 펄라이트를

주체로 하는 배지에서는 배지 하부에서는 1.1~2.2℃의 온도상승을 나타냈으며, 중간층은 0.6~1.0℃의 온도상승을 나타냈으며, 상층부는 0.2~0.4℃의 온도상승을 나타냈다. 이와 같이 실내 온도가 6.7℃정도로 더욱 높아지면 왕겨 및 펠라이트 주체의 전 배지에서 지하수에 의하여 뿌리부가 분포하고 있는 배지 하층과 중간층의 0.6~2.2℃ 정도의 온도상승을 나타내 대부분 배지의 온도상승은 더욱 기대하기 어려운 것으로 판단된다.

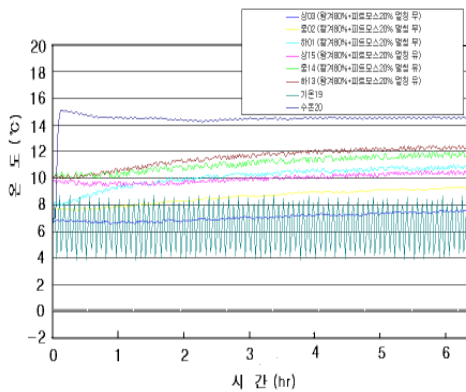
이상의 결과로부터 온실내 온도가 3.2℃이하에서 배지 하부에 설치한 파이프에 지하수를 흘려 중간층 이하에서 3℃정도의 배지온 상승을 기대할 수 있다고 판단된다. 그러나 온실 기온이 5℃ 이상에서는 배지 하부에 설치한 파이프에 지하수를 흘리는 방법으로는 배지온 상승은 기대하기 어렵다고 판단된다.



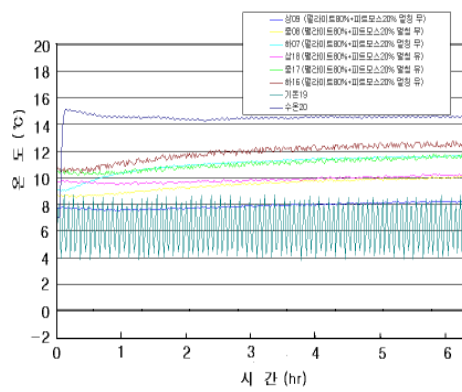
(a) 왕겨



(b) 펠라이트



(c)왕겨 80% + 피트모스20%



(d)펠라이트80% + 피트모스20%

그림3-84 실내온도 6.7℃일 때 지하수에 의한 배지온 상승



### 마. 지하수에 의한 배지 가운데 온도분포 특성

실내온도를 1.5℃로 유지하여 배지온이 저하하였을 때, 전술한 바와 같이 배지내에 설치한 2本の 파이프에 10 L/min의 지하수를 흘릴 때 시간 경과에 따라 그림 3-85와 같이 배지별로 배지온 분포를 나타냈다.

그림에서 보는 바와 같이 배지별 온도분포에서는 지하수 공급전 3℃정도에서 지하수를 흘린 후 2시간 경과 후 배지온이 안정될 때까지 왕겨배지가 약간 빨리 상승하는 경향을 보였으나 큰 차이 없이 비슷한 온도분포를 나타냈다. 이것은 온실내 저온에 의한 배지온 강하패턴과는 다른 경향을 나타내 지하수에 의한 배지온 가온은 2시간 정도로서 안정되며, 하층은 8~10℃, 중간층은 4~6℃, 상층은 가온의 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 여기서는 온실내 기온을 1.5℃로 했을 경우인데, 온실내 온도가 3.2, 5.0, 6.7℃인 경우의 가온효과는 1시간 경과후 안정되어 지하수에 의한 가온의 온실내 기온이 저온일 때 가온에 요하는 시간이 길어지는 효과가 있으며, 온실내 기온이 3.2℃이상에서는 지하수를 유통시킨 후 1시간 정도로 온도가 안정되었다.



그림3-85 지하수에 의한 배지 가운데 배지별 배지온 분포

#### 4. 담액수경의 배양액 가온

##### 가. 시스템 구성

배양액 가온 방식을 가온튜브에 의한 담액수경조 가온식과 배양액 탱크 가온식을 검토하였다. 그림3-86과 같이 담액수경조 내에 가온튜브를 설치하여 배양액을 가온하는 방식은 시험을 통하여 확인한 결과 배양액이 1시간에 1℃정도 상승하여 목표로 하는 1시간 이내에 5℃ 승온에 비하여 성능이 떨어지는 결과를 가져왔다. 따라서 실용적으로 도입이 어렵다고 판단되어 배양액 탱크 가온식의 도입이 바람직 한 것으로 판단하였다.

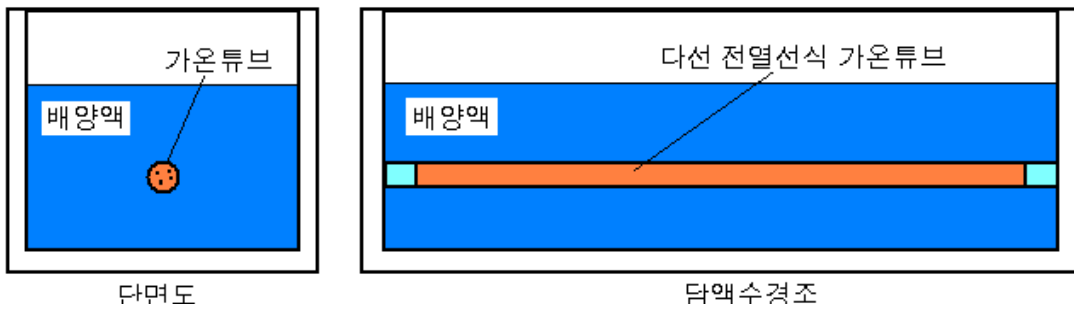


그림3-86 담액수경 배양액 가온 메커니즘

순환식 수경인 담액수경은 대용량의 배양액 탱크를 설치하여 배양액을 관리하기 때문에 이 배양액 탱크에 난방용 온수 또는 전열식의 가온장치를 이용하는 것이 바람직 할 것으로 판단되었다.

##### 나. 결과 및 고찰

담액수경 배양액 탱크는 규모에 따라 다르지만 용량을 2톤으로 가정하고 가온에 의한 승온 시간당 10℃로 하여 기온 시스템의 용량을 시산한 결과 20,000Kcal/hr 였다.

일반적으로 가정용 온수보일러에 이용하는 것을 사용하여도 되며, 전기히터를 이 용할 경우는 26KW로 시산되었다.

## 5. 토경재배의 지중가온

### 가. 시스템 구성 및 시험방법

3선식 전열튜브 2본을 딸기 토경재배의 이랑상부로부터 10cm 아래에 그림3-87과 같이 매설하여 2줄심기 딸기 재배시 지하부 가온을 실시할 경우 온실내 기온에 따라 근부의 온도분포를 조사하였다. 이 때 이랑 형상은 상부폭 50cm 하부폭 60cm 높이 50cm였다.

시험은 3선식 전열튜브의 온도제어는 그림3-87과 같은 컨트롤러를 설치하여 전열튜브 표면온도를 20℃로 제어하면서 지중온도를 측정하였다.



그림3-87 토경재배의 3선식 전열튜브 설치 광경



그림3-88 토경재배의 3선식 전열튜브에 의한 지중가온 제어

## 나. 시험결과 및 고찰

그림 3-89는 이랑깊이에 따른 시간별 지중 온도변화 그래프를 나타내었으며, 그림3-90은 온실기온이 6.5℃인 경우 전열튜브 표면온도를 20℃로 제어하였을 때 이랑 내 온도분포를 나타낸 것이다.

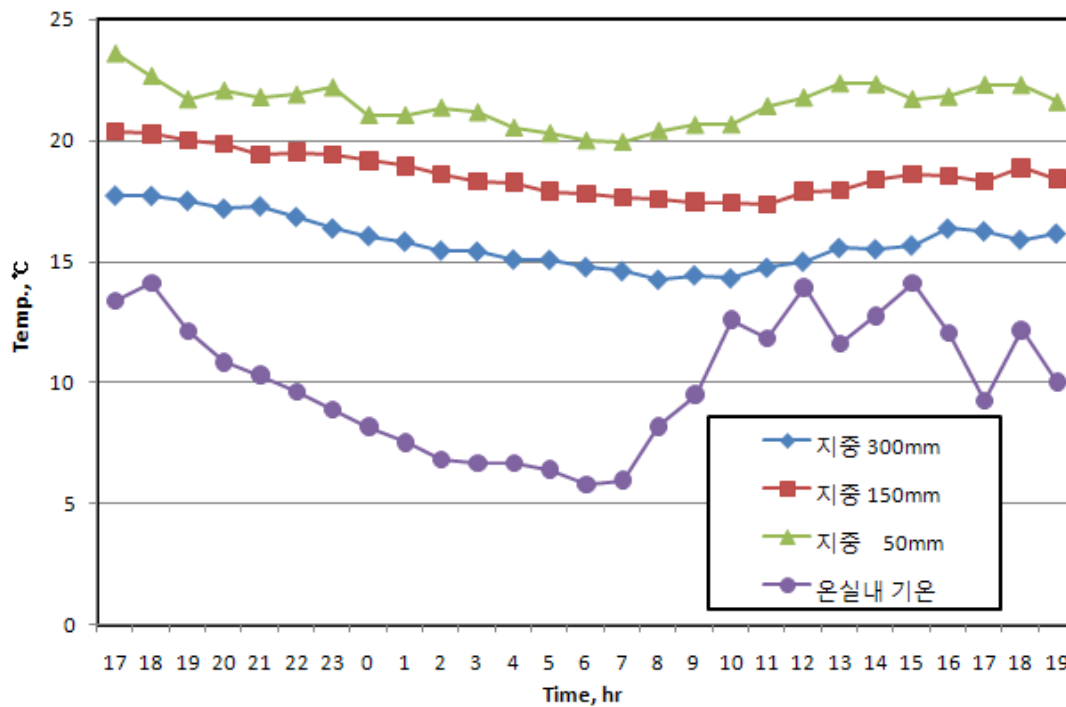


그림 3-89 이랑깊이에 따른 시간별 지중 온도변화

그림에서 보는 바와 같이 전열튜브 표면온도 20℃와 이랑의 표면온도 6.5℃ 사이에 비교적 등간격으로 등온선이 분포하고 있으며 이것은 그림3-91의 시뮬레이션 결과에서도 확인할 수 있었다. 즉 시뮬레이션 결과 그림3-91(a)의 전열튜브 표면온도가 20℃인 경우는 그림3-90의 실측한 온도분포와 유사하게 나타났다. 그러나, 시뮬레이션 결과 그림3-91(b)의 전열튜브 표면온도 15℃에서는 전열튜브 주변에는 온도 기울기가 크고 거리가 떨어진 곳에서는 온도기울기가 완만하게 나타났다. 이것은 전술한 Newton Equation 으로 해석이 된다.

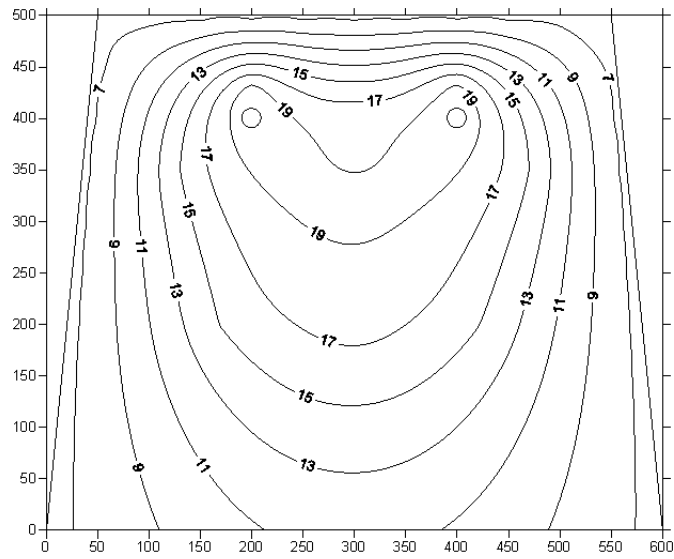
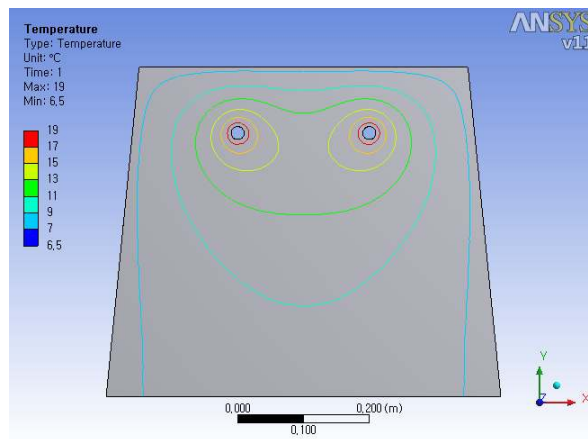
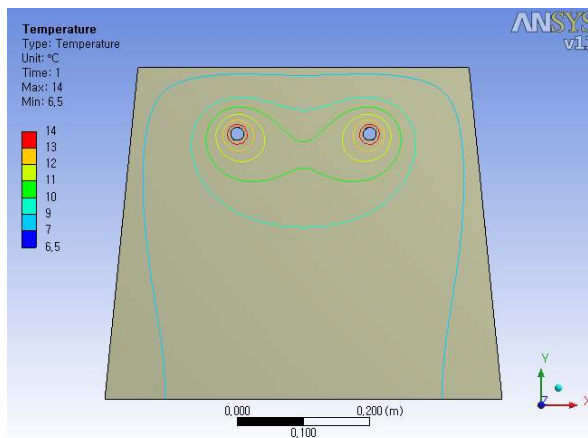


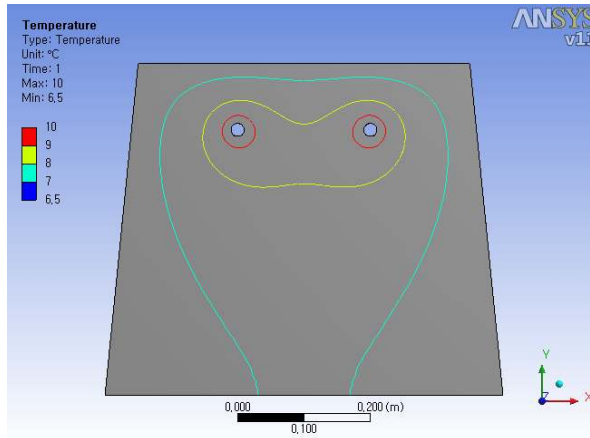
그림3-90 전열튜브에 의한 지중가온 이랑내 온도분포 (전열튜브온도 20°C-외기온 6.5°C)



a. 전열튜브 20°C-외기온 6.5°C



b. 전열튜브 15°C-외기온 6.5°C



b. 전열튜브 11°C-외기온 6.5°C

그림3-91 전열튜브에 의한 지중가온 시 이랑 내 양온도분포

## 제5절 실용화 시스템 구성

### 1. 경제성 분석

경상남도농업기술원의 자료(표3-17)에 의하면 산청군 신등면의 2004년 10월 15일부터 2005년 5월 15일까지 7개월간의 출하량을 기준으로 딸기 고설수경에 대한 교육과 보급을 통하여 그 효과를 딸기 토경재배와 비교하여 보고한 바 있다. 발표 자료에 의하면 표 9에서 보는 바와 같이 생산량은 고설수경재배가 토경에 비하여 2.6배, 10a당 조수익면에서 2.9배의 상상을 초월하는 성과를 거두었다. 이와 같이 딸기의 고설수경 재배는 생력화와 편안한 작업자세를 목적으로 도입하였지만 생산량과 소득 면에서도 큰 성과를 거두었다.

표3-18은 600평을 단위로 딸기 고설수경재배에 배지의 가온·냉각 시설을 도입할 경우와 지하수 순환방식의 경제성을 비교분석한 것이다. 여기서 3선식 전열튜브(SUN UTH-50) 방식과 지하수 순환방식의 배지가온 설비와 도입하고 전열가온 시스템 쪽에는 냉각설비로 투수성 부직포 재배조에 의한 증발냉각법을 도입하고 지하수 순환식을 냉각 설비로 이용하는 것이다.

표3-17 딸기 고설수경재배와 토경의 생산량 및 소득 비교

(2005, 경상남도농업기술원)

구 분		토 경 (A)	고설수경 (B)	비 고 (B/A)
농가평균재배면적(평)		1,340	520	
평균생산량(톤/10a)		2.9 (9.6kg/평)	7.5 (25kg/평)	2.6
소득	(10a당)	8,853천원	25,680	2.9
	20%증가분	1,771천원	5,136천원	
	10%증가분	1,328천원	2,568천원	

표3-18 딸기 고설수경재배의 배지 가온 냉각 시스템 도입시 비용 분석

(96m베드x6열=200평 3동 600평기준, 단위:1000원)

가온방식 자 재	3선식전열튜브	지하수순환식
가온설비	6,498	3,800
시공비	600	600
소계	7,098	4,400
냉각설비	630	0
시공비	200	0
소계	830	0
합 계	8,028	4,400

한편, 가온설비와 냉각설비를 도입함으로써 3선식 전열튜브 방식을 도입하면 17%의 증수가 가능하고 여기에 증발냉각법을 도입하여 20%의 증수가 가능하다고 가정하면 5,136천원의 수익이 나타나는 것으로 시산된다. 또한 지하수의 수온을 15℃라 하면 전술한 지하수에 의한 가온방식은 8%의 증수와 지하수를 여름철에 배지냉각에 이용하여 10%의 증수가 가능하다고 가정하면 2,568천원의 수익이 나타나는 것이다.

표3-19 경제성 분석

(1000m<sup>2</sup> 기준, 단위:원)

구 분		가온·냉각	지하수순환식
설치비 (원)		4,014,000	2,200,000
내 구 연 한 (년)		8	8
연간 고정비 (원/년)	감가상각비	451,575	247,500
	수 리 비	160,560	88,000
	이 자	110,385	60,500
	소 계	722,540	396,000
연간 유동비 (원/년)	전 기 료 9~5월(9개월)	591,728	176,506
연간 이용비용(원/년)		1,314,268	572,508
수익증가분		5,136,000	2,568,000
순이익(지수)		3,821,732(191)	1,995,492(100)

※ 수리비 계수 : 연 4%, 이자율 : 5%

전기료(농업용 병) : 1,060원+ 36.1원/kWh

가온냉각 시스템

가온 : 전열튜브 전원 : 50W×96m×6열×1.5동 = 43.2kW

11월~2월 4개월동안 매일 3시간 사용

43.2kW×3시간×120일=15,552kW

냉각 : 팬 200W×6개×1.5동 = 1.8kW

9월, 4월, 5월 매일 5시간 사용 1.8kW×5시간×90일= 810kW

지하수순환식

순환펌프 : 3.0kW

9월~5월(9개월간) 매일 6시간 사용 3.0kW×6시간×270일 = 4860

경제성 분석은 농촌진흥청 시험연구결과 경제성 분석방법과 사례를 근거로 하여 분석하였다. 시작한 3선식 전열선에 의한 배지가온 시스템과 투수성 부직포 재배조에 의한 증발냉각 방식을 도입한 시작기와 지하수를 이용한 배지의 겨울철 가온과 여름철 냉방 장치를 비교하였다.

표3-19에서 보는 바와 같이 연간 이용비용은 본 연구에서 개발한 냉각 가온 시스템은 딸기 고설수경재배 면적 1000m<sup>2</sup> 하우스에 도입할 경우 과거의 지하수순환식에 비하여 91%의 순이익이 발생하는 효과가 있는 것으로 나타났다.



연간 고정비에 영향을 주는 구입 가격은 지하수순환식에 비하여 개발한 시스템이 2배 정도로 되지만 지하부 환경이 적정하게 제어되어 수량증대에 의한 수익증가분이 2배로 되어 경제성이 크게 유리하게 나타난 것으로 판단된다.

## 2. 실용화 시스템 구성

이번 연구는 2년차 최종연구로 연구기간 동안 작물을 재배할 수 있는 작기가 1회뿐으로 농가의 실증시험을 수행할 수 없었다. 여기서는 농가규모의 실용화 시스템을 구성하여 추후 기술실시와 산업화를 수행하고자 한다.

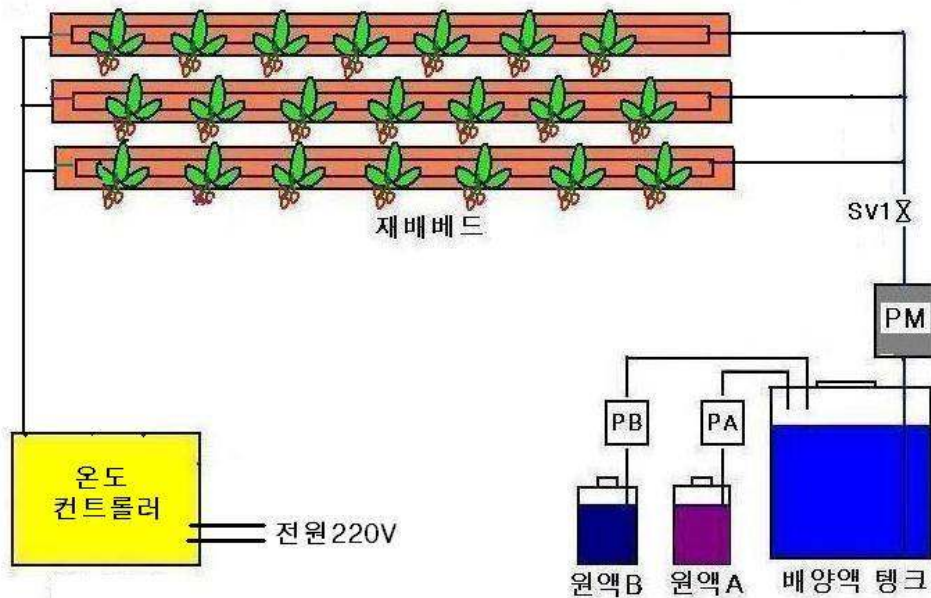


그림3-92 3선식 전열튜브의 의한 가온 및 투수성부직포 재배조 증발냉각 시스템의 실용모델 배치도

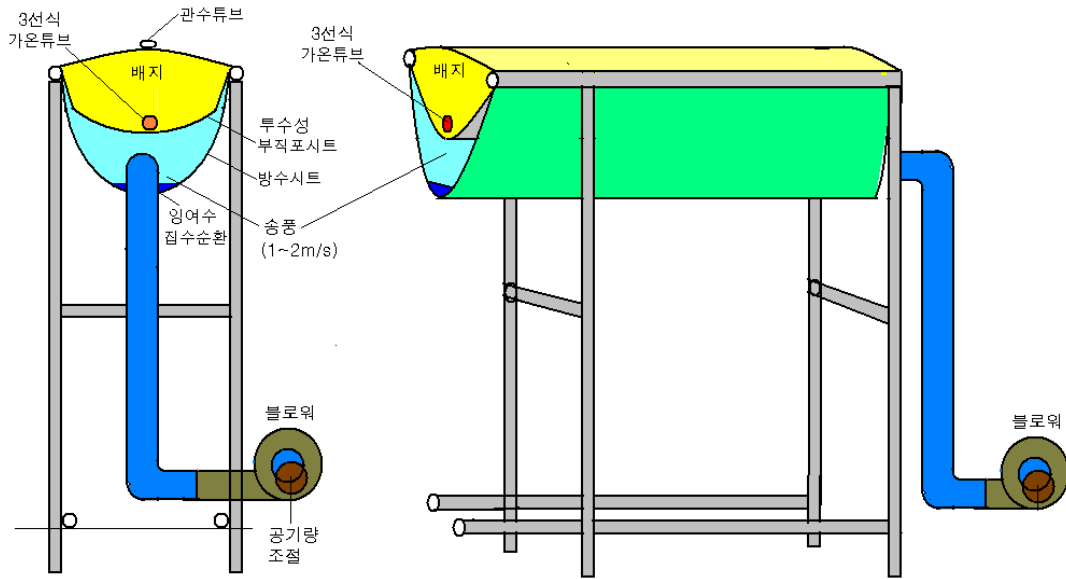


그림3-93 3선식 전열튜브의 의한 가온 및 투수성부직포 재배조 증발냉각 시스템의 실용모델 구성도

## 제6절 결론

시설재배에서 대부분의 연구는 냉난방 등 지상부 환경조절과 관련된 기술들이다. 그러나 지하부의 환경을 조절함으로써 작물의 최적 환경을 조성하면 고품질 원예농산물의 생산, 생육촉진, 수량증가 등의 이점을 얻을 수 있다는 여러 연구결과들이 있지만 이와 관련된 정밀 온도제어 기술 및 시스템의 연구는 아직도 미비한 수준이다. 따라서 지하부의 온도를 정밀하게 조절하여 작물의 생육환경에 적합하도록 제어할 수 있고, 저비용의 시설비로 설치가 간편하고, 에너지와 경제적인 효율성이 높은 냉각·가온 기술과 시스템의 실용화가 시급하다 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 배지의 냉각 및 가온 시스템을 도입하여 배지온을 제어하는 시스템을 개발하고자 배지의 온도변화 특성 구명, 증발냉각 방식을 도입한 배지냉각 시스템 개발, 다선식 전열가온 튜브를 도입한 배지가온 시스템 개발하였으며, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 저온시 베드 및 배지 종류별 배지의 온도강하 특성을 구명하였으며, 배지의 온

도강하 모델을 개발하여 실제 온실에 있어서 기온에 따른 배지의 온도강하를 추정이 가능하게 되었다.

2. ①다공질 필름 닥트 방식, ②배지상면 부직포덮개 증발 방식, ③투수성시트 재배조 증발냉각 방식 등의 증발냉각 특성을 구명하였으며, 투수성시트로 구성된 재배조에서 스며 나오는 수분의 증발냉각 방식이 가장 효율적이고 경제적인 배지 냉각 시스템으로 개발하였다.
3. XL파이프에 2~4개의 열선과 물을 봉입한 다선식 전열튜브 1m의 배지가온 특성을 구명하였고, 다선식 전열튜브 중에서 제어성능이 우수하고 딸기 고설수경 재배에 적합한 3선식 전열튜브 방식을 모델로 하여 재배시험을 통하여 실용적인 배지가온 시스템을 구성하였다.
4. 딸기 고설수경재배 시스템에 투수성시트 재배조의 증발냉각 방식 배지 냉각 및 3선식 배지가온 시스템을 구성하여 경제성분석을 통한 실용화 가능성을 제시하였다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도

### 1. 배지의 온도변화 특성 구명 및 배지온 강하 예측 모델 개발

겨울 저온시 베드 및 배지 종류별로 배지온 강하 특성을 구명하고 이 데이터를 이용하여 저온시 배지의 온도강하 모델을 개발하여 실제 온실의 배지온 강하 예측 모델을 개발하였다.

### 2. 배지냉각 시스템 개발

고온기 배지냉각 방식으로 도입 가능하다고 판단되는 증발냉각 방식으로 ①다공질 필름 닥트 방식, ②배지상면 부직포덮개 증발 방식, ③투수성시트 재배조 증발 방식 등의 특성을 비교 시험하여 딸기 고설수경재배에 도입할 수 있는 성능이 우수하고 경제적인 배지냉각 시스템을 개발하고자 하였다.

### 3. 배지가온 시스템 개발

엑셀파이프에 2~4개의 열선과 물을 봉입한 다선식 전열튜브의 배지가온 특성을 밝히고 딸기 고설수경재배에 적합한 전열선의 수 및 배지온도 제어 방식을 구명하여 성능이 우수하고 실용적인 배지가온 시스템을 개발하고자 하였다.

### 4. 현장 적응시험 및 경제성 분석

딸기 고설수경 재배 시스템의 개발을 완성하여 자체 및 농가 재배 적응시험과 경제성 분석을 통하여 보급 가능성을 확인하였다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 본 연구에서 개발된 시스템을 농가에 보급할 수 있도록 정책 및 지도사업에 반영하는 것이 바람직 함
2. 이 연구에 참여하여 개발과정의 기술 정보나 농가 현장의 기술 요구도를 충분히 파악하고 있는 참여기업에게 기술 이전을 할 수 있도록 지원이 필요함
3. 얻어진 기술에 대한 지적 재산권(특허, 실용신안)을 출원할 예정임

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 1. 국소환경제어기술

딸기 고설재배에 있어서 꽃눈의 분화를 촉진하기 위하여 크라운을 생각시키는 국소환경제어 기술이 다수 시도된 것을 확인하였다.

### 2. 다공질 필름 닥트를 이용

지하부 냉각 시스템 개발 연구가 수가 학회지, 기술정보 등 수건 수집되었으나 시험을 통하여 확인한 결과 실용성이 없는 것으로 판단되었다.

### 3. 지하부 가온에 의한 증수효과

딸기, 오이, 토마토 등 과채류의 지하부를 가온함으로써 증수효과가 있다는 결과가 다수 확인되었다.

## 제 7 장 참고문헌

- 1) 高市 등. 2000.イチゴ高設栽培における気化式根圏冷却の効果 日本農業気象学会・日本生物環境調節学会2000年度合同大会講演要旨：372-373
- 2) 安場健一郎 등. 2004.多孔質フィルム製ダクトを利用した地下部冷却法の開発. 日本園芸学会東北支部要旨：37-38
- 3) 安場健一郎 등. 2006.多孔質フィルム製ダクトを利用した冷却チューブによるホウレンソウの根域冷却. 日本園芸学会雑誌75：109-115
- 4) 安場健一郎. 2006.局所環境制御による低コスト安定生産技術ー低コストな根域冷却技術ー. 施設と園藝. 133:17-21
- 5) 菊池広人, 棚井憲治, 松本一浩, 佐藤治夫, 上野健一, 鐵剛志. 2003.緩衝材の透水特性-II, サイクル機構技術資料, JNC TN8430 2003-002.
- 6) 菊池広人, 棚井憲治. 2003.緩衝材の熱物性測定試験(III)-面熱源法による緩衝材熱物性の取得-, サイクル機構技術資料, JNC TN8430 2003-009.
- 7) 菊池広人, 棚井憲治. 2003.緩衝材の基本特性データベース, サイクル機構技術資料, JNC TN8430 2003-010.
- 8) 伏原 肇. 2003.イチゴの高設栽培ー栽培のポイントと安定化の課題ー, (社)農山漁村文化協會
- 9) 増田良一, 小野文彦, 雨宮清, 千々松正和. 2004.ベントナイト系緩衝材の仕様と熱伝導率の関係, 原子力学会2004年春の年会, H23
- 10) 増田良一, 朝野英一, 雨宮清, 千々松正和, 足立格一郎, 小峯秀雄. 2004.ベントナイト系緩衝材の締固めエネルギーに着目した動的締固め特性, 土木学会論文集, No. 764/III-67, 329-340.
- 11) 松崎正典, 板東一宏, 佐藤佳宏. 2001.イチゴの徳島農研方式高設養液栽培の開発, 徳島農研研報(37). 1-11
- 12) 藤重宣昭, 杉山直儀. 1968.菜苗の生長におよぼす地温の影響(予報), 園学雑, 37(3), 221-226
- 13) 藤重宣昭, 野沢 操, 佐藤寿夫. 1980.トマト苗の生長に及ぼす低温域における昼夜間地温変温の影響, 1980 秋園学会研発要. 246-247
- 14) 藤重宣昭, 北沢武美, 山口義一. 1980.トマト苗の生長に及ぼす高温域における昼夜間地温変温の影響, 1980 秋園学会研発要, 248-249
- 15) 藤重宣昭, 大沢英一. 1980.トマト幼苗の生長と花芽分化に及ぼす昼夜間地温変温

- の影響, 1980 秋園学会研発要, 250-251
- 16) 藤重宣昭. 1984. トマトの果実生産に及ぼす昼夜間地温変温の影響, 1984 秋園学会研発要, 198-199
- 17) 堀 裕 外 3 名. 1968. 培地温と気温の組み合わせがそ菜の生育ならびに養分吸収に及ぼす影響, 園試報, A7 , 187-214
- 18) 板木利隆. 1980. 栽培好適環境, 温室設計の基礎と実際, 88-101, 養賢堂
- 19) 内藤文男. 1981. 複合環境制御と機器装置, 施設園芸ハンドブック, 283-303. 日本施設園芸協会
- 20) 堀 裕, 新井和夫, 室園正敏, 鈴木武, 船場益良, 阿部隆. 1972. 培地温と気温の組合せがそ菜の生育ならびに養分吸収におよぼす影響Ⅲ.培地温との組合せにおけるリン酸, 窒素施用量とキュウリ・トマトの生育・養分吸収に関する実験, 園試報告, A11,103-123
- 21) 加藤 徹. 1964. 果菜育苗中の地温・気温と苗の生態との関係, 農及園, 39(7), 11-1136
- 22) 林 悟朗. 1998. イチゴ高設栽培の現状と問題点. 野菜茶試課題別研究会資料.10-12
- 23) 平山喜彦, 信岡 尚, 東井君枝, 長村智司. 2000. ピートモス培地によるイチゴ高設栽培の実用化に 関する研究(第 1 報)根圏物理性の改善と栽培装置の開発. 奈良農試研報, 31 : 25-34
- 24) 糸川桂市. 1997. 産官学によるイチゴのピート培地耕開発と普及. 農業電化, 50(10):36-40
- 25) 岩崎泰永, 蘇武 真, 相澤 長, 佐々木丈夫. 1997. ロックウール栽培における促成イチゴの生育と収量に及ぼす栽植株数, 培養液濃度及び根圏加温の影響. 宮城園試研報,11 : 1- 8
- 26) 木村雅行, 木内良実. 1983. 作型を生かすイチゴのつくり方. 農山漁村文化協会 : 29-39
- 27) 木山浩二. 1999. 農業技術大系野菜編 3, 農文協 : 418の 1 の87-96
- 28) 大江正温. 1998. ココナッツダストの利用性と今後の展開方向. 農業及び園芸,73 (7) : 807-814
- 29) 岡山県立農業試験場. 1997. 1996年度岡山農試研究年報 : 22-23
- 30) 田中和夫. 1998. イチゴ品種と新技術. 誠文堂新光社. 農耕と園芸編集部 :166-174



- 31) 吉田裕一, 花岡俊弘, 日高 啓. 1998. 香川型イチゴピート栽培システム“らくちん”の開発 (第4 報) ‘女峰’の生育, 収量, 養水分吸収の及ぼす培養液組成の影響. 園芸学会中四国支部要旨, 37:35
- 32) 内藤雅浩ら. 2003. 山口型イチゴ高設栽培システムでの栽培技術. 新たに普及に移しうる 試験研究 等の成果, 7-8
- 33) 西田美沙子, 陶山紀江, 重藤祐司. 2008. らくラックシステムを活用した低段密植による高糖度トマト 栽培. 2007年度山口県農林総合技術センター試験研究成果発表会発表要旨, 35-36
- 34) 伏原 肇. 2007. 促成イチゴ栽培で早期収量の増加と収穫の平準化が可能なクラウン温度制御技術. 九州沖縄農業研究センター研究成果情報
- 35) 東井君枝, 信岡尙, 黒住徹, 前川寛之. 2002. イチゴ高設栽培における培地加温の増収効果. 近畿中國四國農業研究成果情報
- 36) 池田敬, 山崎敬亮, 熊倉裕史, 浜本浩, 藤原隆廣. 2006. 高設ベンチの強制気化冷却による促成イチゴ一次腋花房の出蕾の前進化 近畿中國四國農業研究成果情報
- 37) 山崎敬亮, 熊倉裕史, 池田敬. 2008. 気化潜熱を利用して培地昇温を抑えイチゴ高設栽培の収穫の中休みを軽減する. 近畿中國四國農業研究報7. 35-47
- 38) 宇田川雄二. 2002, イチゴの養液栽培における管理の現状と問題点, 日本養液栽培研究会, ハイドロポニックス, 15巻 第2号, 38-42
- 39) 宇田川雄二. 2003, 高設イチゴの實用栽培技術, 農業経営者 2003. 6~11月号, (株)農業技術通信社, 東京
- 40) 宇田川雄二. 2004, 고설딸기재배 실용기술, 경상남도농업기술원, 농업기술 교육교재.
- 41) 宇田川雄二. 2005, 베드딸기초봄관리기술, 경상남도농업기술원, 농업기술 교육교재
- 42) 岡 昌二. 2001. イチゴ高設栽培各方式の特徴と課題, 日本施設園藝協會, 施設と園芸, No.112, 40-48
- 43) 岡 昌二. 2002, イチゴ高設栽培システムの普及と現状-装置の構成・素材等の特徴-, 日本養液栽培研究会, ハイドロポニックス, 15(2), 34-37
- 44) 板木利隆 外. 1996. 養液栽培の實用技術, (社)日本農業電化協會, 93-102
- 45) 日本施設園藝協會. 2002, 養液栽培の新マニュアル, 誠文堂新光社, 東京
- 46) 斎藤弥生子. 愛知県におけるイチゴ高設栽培の特徴と課題, 日本養液栽培研究会, 第51回養液栽培研究会愛知大会研究会資料, 1-6

- 47) 犬伏芳樹. イチゴ養液栽培, 原水, 養液管理の問題, 日本養液栽培研究会, 第51回養液栽培研究会愛知大会研究会資料, 7-12
- 48) 三倉直己. より高収益をめざして一高品質・高生産のための工夫, 日本養液栽培研究会, 第51回養液栽培研究会愛知大会研究会資料, 13-20
- 49) 馬場富二夫. 多収品種「章姫」「紅ほっぺ」の養水分管理, 日本養液栽培研究会, 第51回養液栽培研究会愛知大会研究会資料, 21-26
- 50) 河田智明. イチゴ高設栽における排液処理(窒素除去), 日本養液栽培研究会, 第51回養液栽培研究会愛知大会研究会資料, 46-50
- 51) 이기명. 1999, 원예시설 환경제어 및 관리자동화, 일일사, 277-332.
- 52) Cheong, J.W. 2001. Current status of strawberry growing and prospects for export. Year 2001 Textbook for agricultural technology education. growing strawberry. Gyongbuk Prov. RDA.
- 53) Fukuyama, T., H. Nonami, K. Katayama and Y. Hashimoto. 1995. Improvement of hydroponic culture medium by adding calcium-zeolite. Acta Hort. 396:115-122.
- 54) Guler, H. G., C. Olympios and D. Gerasopoulous. 1995. The effect of the fruit quality of hydroponically grown melons (*Cucumis melo* L.). Acta Horticulturae. 379:261-265.
- 55) Harun, R.M.R., D.A. Hall, R.A.K. and G.M. Hitchon. 1991. Melon cultivation in organic and inorganic substrates. Acta Horticulturae. 294:105-108.
- 56) Itaki, T., K. Sasaki and Y. Udagawa. 1995. Practical technics for hydroponics. Nougyoudenkyou, Tokyo.
- 57) Iwasaki, Y., T. Sasaki, Y. Chiba and M. Saigusa. 1999. Comparison between soil and rockwool as substrates utilizing a drained nutrient solution for growing tomatoes in a closed fertigation system. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 68(6):1161-1169.
- 58) Kahn, B.A. and J.L. Schroeder. 1999. Root characteristics and seed yields of cowpeas grown with and without added nitrogen fertilizer. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 34:1238-1239.
- 59) Kim, K.Y., T.C. Seo, and Y.C. Kim. 1999. Effect of the milliequivalent ratio of K to Ca in the nutrient solution on the growth, yield and blossom end rot of tomatoes grown by perlite culture in hot season. J. Kor. Soc. Hort. Sci.

40:652-656.

60) Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. Inc., San Diego.

61) Meagher, J. W. and P. T. Jenkins. 1970. Interaction of *Meloidogyne hapla* and *Verticillium dahliae* and the control of wilt in strawberry. Australia Jour. Exp. Agric. and Animal Husbandry.

62) Mendlinger, S. and M. Fossen. 1993. Flowering, vegetative growth, yield and fruit quality in muskmelons under saline conditions. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118(6):868-872.

63) Nakabayashi, K., K. Yamazaki and S. Shimane. 1992. Effects of foliar supply and controlling nutrient solution on the quality of musk melon. Japan. J. Soil Sci. Plant Nutri. 63(6):705-708.

64) Nishizawa, T. and Y. Hori. 1989. Photosynthesis and translocation of recently assimilated carbon in vegetative and dormant stage of strawberry plants. J. Japan Soc. Hort. Sci. 57:633-641.

65) Pardossi A., F. Malorgio, F. Tognoni, T. Ito, F. Tognoni, T. Namaki, A. Nukaya and T. Maruo. 1994. Control of mineral nutrition in melon plants grown with NFT. Acta Horticulturae. 396:173-180.

66) Seyama, N. and T. Takai. 1986. Study on the seasonal pattern of the growth and flower formation of strawberry plants as related to environment and endogenous physiological conditions. Bull. Veg. and Ornam. Crops Res. S ㊦. Japan. Ser. B. 6:31-77.

67) Van Os, E. A. 1995. Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. Acta Hort. 396:25-32.

Sugita, Y., Suzuki, H. and Chijimatsu, M. (2002) : Thermal, Hydraulic and swelling properties of bentonite pellet - Examine on calculating parameter assesmant on PRP-, Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC TN 8400 2002-023.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.