

T000035580

MONO1201127591

발간 등록 번호
11-1541000-000880-01

**알루미늄을 이용한 에너지 절감형  
다겹 및 방염 보온재 개발**  
**(The Development of Energy Efficient Multi-Layer  
and Flame Proofed Screen Using Aluminium)**

**(주) 부 전**

**농림수산식품부**

## 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “알루미늄을 이용한 에너지절감형 다겹 및 방염 보온재 개발” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2011 년 9 월 일

주관연구기관명 : (주) 부전  
주관연구책임자 : 박 범 순  
세부연구책임자 : 박 범 순  
협동연구기관명 : 충북대학교  
협동연구책임자 : 한 충 수  
협동연구책임자 : 이 회 숙  
협동연구책임자 : 노 정 근  
협동연구책임자 : 유 승 우  
선 임 연 구 원 : 홍 미 현  
선 임 연 구 원 : 지 수 만  
선 임 연 구 원 : 강 태 환  
연 구 원 : 변 성 군  
연 구 원 : 김 은 숙  
연 구 원 : 녕 효 봉  
연 구 원 : 광 민 주  
연 구 원 : 박 중 원  
연 구 원 : 유 광 훈

# 요 약 문

## I. 제 목

알루미늄을 이용한 에너지 절감형 다겹 및 방염 보온재 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

시설원예 농가에서는 차광 및 보온용으로 주로 부직포를 사용하여 왔다. 그러나 부직포의 경우 단위 면적당 중량이 무겁기 때문에 설치 및 난방시 조작이 어렵고, 내구성이 낮아 교환주기가 길며, 에너지절감 효율이 낮아 난방비용 부담이 큰 문제점을 가지고 있다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하고자 경량의 알루미늄을 이용하여 차광효율을 높이고 보온효과를 높인 알루미늄 다겹 및 방염 보온 스크린을 개발함으로써 난방비 절감 및 겨울철 하우스의 화재를 예방함으로써 인적 물적 피해를 최소화하고, 농가 소득 증대에 이바지할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 고효율 저비용의 농가 보급용 알루미늄 다겹 및 방염 스크린을 개발하고, 개발 제품을 이용하여 온실의 난방특성 및 경제성을 분석하고자 하였다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

### 가. 알루미늄을 이용한 다겹 및 방염보온재 개발 (1년차)

- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 개발
- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 설계
- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 시제품제작
- 방염 알루미늄 개발
- 방염 접착제 개발

### 나. 알루미늄을 이용한 다겹 및 방염보온재 개발 (2년차)

- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 개발 보완
- 방염 알루미늄을 이용한 방염 보온재 설계 및 제작
- 알루미늄을 이용한 다겹 및 방염 보온재 이용 온실설치

#### 다. 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 이용 온실의 난방 특성분석 및 경제성 분석 (1년차)

- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재의 성능평가
- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재의 열적 특성분석
- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재와 일반보온재의 성능비교
- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재와 일반 보온재의 경제성 비교
- 시설비와 에너지절감에 의한 수익성 분석

#### 라. 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 이용 온실의 난방 특성분석 및 경제성 분석 (2년차)

- 온실 내 온도분포측정 및 해석
- 알루미늄을 이용한 다겹 및 방염 보온재의 난방 특성 분석
- 알루미늄을 이용한 방염 보온재의 방염 특성 시험분석
- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재의 최적 보온조건 확립
- 보급형 모델의 규격화 설정
- 알루미늄을 이용한 다겹 및 방염 보온재와 일반보온재의 경제성 분석
- 시설비와 에너지 절감에 의한 수익성 분석

### IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

#### 1. 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 개발

- 알루미늄 다겹 보온재 제작은 박판 알루미늄을 제작한 후 하부에 발포폼을 부착하여 차광율과 보온율을 향상시켰으며, 1,400 g/m<sup>2</sup>/24h 이상의 투습도를 통하여 하우스 내부의 습도를 조절함으로써 쾌적한 작업환경을 제공해 줄 수 있도록 제작하였다.
- 온실 설치 후의 에너지 절감효율을 구명한 결과, 알루미늄 다겹 보온재 설치 온실은 부직포 설치 온실에 비하여 19.7%의 유류사용량의 절감효과를 나타내었다. 또한 보온재 설치 후 열화상 카메라를 활용한 보온성 시험에서 알루미늄 다겹 보온재를 설치한 온실이 부직포를 설치한 온실에 비하여 3~6℃정도 높아 탁월한 보온효과가 있는 것으로 나타났다.

## 2. 알루미늄을 이용한 방염 보온제 개발

- 알루미늄 방염 보온제 개발을 위한 방염 접착제 개발은 비용절감을 위한 기존의 라미네이팅 제작공정을 유지하면서 기존의 접착제에 방염제(영인화학제품)를 혼용하는 방식을 선택하였다. 개발된 방염 접착제 시험 결과, 일반 접착제와 방염제의 혼용비율이 일반접착제 75%에 방염제 25% 정도의 비율이 접착효과와 방염효과가 유지되는 것으로 나타났다.
- 개발된 방염 접착제를 사용한 알루미늄 방염 보온제 시제품의 방염테스트는 독일의 방염검사소에 의뢰하였고, 그 결과 알루미늄이 55%와 85%가 포함된 제품에 대하여 방염성 시험이 통과되었다. 국내공인시험기관에 의뢰한 결과에서도 미국 방염기준을 통과한 것으로 나타났다. 그러나 산업화를 위하여 모노필라멘트를 방적사로만 사용하였으나 필라멘트의 재질 변화에 따른 방염성 연구가 계속 추진되어야 하며, 세계적인 제품 개발 추세가 제품의 방염화보다는 난연화쪽으로 발전하고 있으므로 이에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 3. 알루미늄을 이용한 다겹 및 방염보온제 이용 온실의 난방 특성분석

- 1년차에서는 알루미늄 다겹 보온제 시제품을 설치한 온실을 부직포 설치 온실 비교하여 온실내 온도 변화, 열특성, 난방효과, 온풍기 비교열량 등을 분석한 결과, 누적공급열량은 일반 부직포 설치 온실이 알루미늄 다겹 보온제 설치 온실보다 616.3~65,079.4 kJ/m<sup>2</sup>·day 많은 것으로 나타났다.
- 2년차에서는 알루미늄 다겹 보온제와 방염 보온제를 설치한 온실을 부직포 설치 온실과 비교하여 온실내 온도 변화, 열특성, 난방효과, 온수기 비교열량 등을 분석한 결과 일반 부직포 설치 온실이 알루미늄 다겹 보온제 설치 온실보다 공급열량이 1.29배 많은 것으로 나타났다.

## 4. 알루미늄을 이용한 다겹 및 방염 보온제의 경제성 분석

- 1차년도 경제성 분석결과 실험기간 36일을 1년 중 106일로 확대 적용하여 알루미늄 다겹 보온 커튼의 내용연수 7년 동안 300m<sup>2</sup>의 동일한 하우스를 운영하였다고 가정하였을 경우 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 총 5,545,249원의 비용을 절약할 수 있을 것으로 분석되었다.
- 2차년도의 경제성 분석결과는 200m<sup>2</sup> 규모의 온실을 매년 겨울철 106일 7년(알루미늄 내용연

수) 동안 난방할 경우 총 절약비용은 부직포 설치 온실과 비교하여 알루미늄 다겹 보온재 설치 온실이 40,586,048원으로 부직포 총 비용 대비 49.1% 정도 절약되는 것으로 나타났다. 또한 알루미늄 방염 보온재 설치 온실의 경우에는 부직포 설치온실과 비교하여 7년 동안 36,003,430원이 절약되고 부직포 총 비용 대비 43.6% 정도 절감되는 것으로 나타났다. 아울러 알루미늄 다겹 보온재는 알루미늄 방염 보온재보다 7년 동안 4,582,618원이 절약되는 것으로 분석되었다.

## 5. 활용에 대한 건의

본 연구에서는 온실의 난방비용 절감, 설치 및 취급의 용이성을 향상시킨 알루미늄 다겹 보온재 개발하였으며, 온실 화재피해를 최소화하기 위하여 알루미늄을 이용한 방염 보온재를 개발하였다. 그러나 개발된 알루미늄 방염 보온재의 경우에는 초기 온실 화재피해에 대한 대응성은 우수하나 보다 확실한 난연성에서는 그 기능이 미흡한 실정이다. 따라서 방염성을 더욱 향상시킨 난연성 알루미늄 차광 보온 커튼의 개발을 통하여 화재피해 및 인명피해를 경감시킬 수 있는 기술의 향상이 필요하므로 난연성 차광 보온재의 개발로 이어질 수 있도록 제품개발 지원이 필요하다고 판단된다.

## SUMMARY

### I. Title

The Development of Energy Efficient Multi-Layer and Flame Proofed Screen Using Aluminium

### II. Purpose and Background of the Study

Non-woven fabric has been used for the screen of greenhouse in facility horticulture households. Non-woven fabric screen, however, have some problems: 1) it is hard to install since it is too heavy; 2) non-woven fabric screen should change very often (once a year) since it is easy to worn out; and 3) heating cost of greenhouse is burden to facility horticulture households.

For solving above problems of non-woven, multi-layer aluminium screen has been developed. Furthermore, flame proofed also has been developed for preventing greenhouse fire.

The purposes of this study were 1) to develop multi-layer and flame proofed aluminium screen characterized of high energy efficiency and low cost, and 2) to test heating characteristics, and 3) to analyze economic efficiency of developed multi-layer and flame proofed aluminium screen.

### III. Development Contents and Scopes

#### A. Develop of multi-layer and flame proofed aluminium screen

##### (1st year of study)

- Development of multi-layer aluminium
- Planning of multi-layer screen using aluminium
- Manufacturing prototype of multi-layer aluminium screen
- Development of flame proofed aluminium
- Development of flame proofed adhesive

## **B. Development of Multi-Layer and Flame Proofed Aluminium**

### **(2nd year of study)**

- Compensation of multi-layer aluminium screen
- Planning and manufacturing of flame proofed aluminium screen
- Greenhouse installation by multi-layer and flame proofed aluminium screen

## **C. Heating Characteristics and Economic Efficiency of Multi-Layer and Flame Proofed Aluminium Screen (1st year of study)**

- Performance evaluation of multi-layer aluminium screen
- Heating Characteristics of multi-layer aluminium screen
- Comparisons of performance between multi-layer aluminium and non-woven fabric screen
- Comparisons of economic efficiency between multi-layer aluminium and non-woven fabric screen
- Analysis of total amount of saving cost from screen installation and energy

## **D. Heating Characteristics and Economic Efficiency of Greenhouse of Multi-Layer Aluminium Screen (2nd year of study)**

- Measurement and interpretation of temperature dispersion in greenhouse
- Analysis of heating characteristics of multi-layer aluminium and flame proofed screen
- Experiment of flame proofed characteristics of flame proofed aluminium
- Establishment of optimum heating conditions of multi-layer aluminium screen
- Establishment of diffusion model
- Analysis of economic efficiency of multi-layer and flame proofed aluminium, and non-woven fabric
- Analysis of total amount of saving cost from screen installation and energy



## **IV. Results of Study and How to Apply to Other Areas**

### **1. Development of Multi-Layer Aluminium Screen**

- The procedure of manufacturing multi-layer aluminium is as following. First, after manufacturing thin plate aluminium, attached blowing foam under the thin plate aluminium for improving sun screen performance and energy efficiency. And by Water Vapor Permeability above 1,400 g/m<sup>2</sup>/24h, it made working environment cozy by controlling moisture condition.
- It is proved that multi-layer aluminum greenhouse had energy(oil) saving effects by 19.7% comparing to the non-woven fabric greenhouse. Also, after installing greenhouse screen, in the thermal experiment using thermal burn camera, multi-layer aluminum greenhouse showed higher temperature by 3~6°C comparing to the non-woven fabric greenhouse.

### **2. Development of Flame Proofed Aluminium**

- Flame proofed adhesive has been developed with keeping existing laminating manufacturing procedure for saving cost. And then mixed flame proofed material and existing adhesive were mixed together. As a results from experiment, the ratio of 75% of existing adhesive and 25% flame proofed materials was found to be the optimum condition for keeping flame proofed effect and adhesive effect as well.
- The flame proof test with prototype of flame proofed aluminium was conducted by flame proof inspection office in Germany. As a results, the materials with 55% and 85% of aluminium passed the test. And the result of testing by Korean official test institute showed that the materials with 55% and 85% of aluminium passed the test. However, for industrialization, it is needed that the study about flame proof by filament condition should continue. Furthermore, the study about resistance flame greenhouse screen should continue as well.

### **3. Heating Characteristics of Multi-Layer and Flame Proofed Aluminium Greenhouse**

- In 1st year of study, it was compared greenhouse installed by prototype of multi-layer aluminium and non-woven fabric. As results of analysing of temperature change of inside of greenhouse, heating characteristics, heating efficiency, comparisons of energy of fan heater, accumulated supplying energy showed that non-woven fabric greenhouse found to be more by 616.3~65,079.4 kJ/m<sup>2</sup>·day than multi-layer aluminium greenhouse.
- In 1st year of study, same test was conducted as 1st year of study. And the results showed that for supplying energy, non-woven fabric greenhouse found to be more by 1.29 times than multi-layer aluminium greenhouse.

### **4. Economic Efficiency of Multi-Layer and Flame Proofed Aluminium**

- In 1st year of study, for installing, multi-layer aluminium screen could save the cost by 11,856,799won comparing to non-woven fabric. And for heating fuel, multi-layer aluminium screen could save the cost by 11,492,322won comparing to non-woven fabric. Total saving cost of multi-layer aluminium was turned out 23,349,121won comparing to non-woven fabric. These results were based on the assumption of 7 year running periods.
- In 2nd year of study, for installing, multi-layer aluminium screen could save the cost by 33,126,499won and 31,921,790won for flame proofed aluminium respectively comparing to non-woven fabric. And for heating fuel, multi-layer aluminium screen could save the cost by 7,459,549won, and 4,078,640won for flame proofed aluminium respectively comparing to non-woven fabric. Total saving cost of multi-layer aluminium was turned out by 40,586,048won, and 36,003,430won for flame proofed aluminium respectively, comparing to non-woven fabric. These results were based on the assumption of 7 year running periods.

## 5. Suggestions How This Study Results Apply

This study developed greenhouse screen to save energy for heating greenhouse and to install greenhouse screen easily. That is multi-layer aluminum screen. Furthermore, flame proofed aluminium screen for preventing fire of greenhouse also developed, and it may be efficient in reducing the loss from greenhouse fire.

However, flame proofed aluminium screen, which has been developed from this study, is still needed to improve performance of preventing greenhouse fire. Thus, for further study, it is necessary to develop resistance flame proofed aluminium screen, resulting in enhancing preventing greenhouse fire more strongly.

# CONTENTS

<b>I. Abstract .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapter 1. Background of Study .....</b>	<b>1</b>
1. Technological Perspective .....	1
2. Economic and Industrial Perspective .....	2
3. Sociocultural Perspective .....	3
<b>Chapter 2. Purposes of Study .....</b>	<b>4</b>
<b>Chapter 3. Contents and Scop of Study .....</b>	<b>4</b>
<b>II. Current Conditions of Technology Development .....</b>	<b>5</b>
1. Korea .....	5
2. U.S.A. and Japan .....	6
<b>III. Process and Results of Study .....</b>	<b>7</b>
<b>Chapter 1. Development of Aluminium Multi-Layer Screen .....</b>	<b>7</b>
1. Composite of Aluminium Multi-Layer Screen .....	7
1) Composite of Thin Plate Aluminium .....	7
2) PO(Polyolefin) blowing foam .....	7
2. Manufacturing of Thin Plate Aluminium and PO blowing foam .....	7
1) Manufacturing of Thin Plate Aluminium .....	7
2) Manufacturing of PO blowing foam .....	8
3) Performance Evaluation of Weather Poof Half-finished Multi-Layer Aluminium Screen .....	9
3. Manufacturing of Multi-Layer Aluminium Screen .....	11
1) Planning of Multi-Layer Aluminium Screen .....	11
2) Manufacturing of Multi-Layer Aluminium Screen for Prototype and Improved type .....	13
3) Comparisons of General Characteristics of Multi-Layer Aluminium Screen for Prototype and Improved type .....	15

<b>Chapter 2. Development of Flame Proofed Screen Using Aluminium</b>	
.....	17
1. Composite of Flame Proofed Aluminium	17
1) Composite of Thin Plate of Flame Proofed Aluminium	17
2) Function and Development of Flame Proofed Adhesive	17
2. Development and Performance Evaluation of Flame Proofed Aluminium Screen	18
1) Manufacturing of Flame Proofed Aluminium with Flame Proofed Adhesive	18
2) Manufacturing of Prototype of Flame Proofed Aluminium Screen	19
3. Performance Evaluation of Flame Proofed Aluminium	20
1) Experimental Results based on Criteria of Flame Proof in Europe	20
2) Experimental Results based on Criteria of Flame Proof in US (CPAI84)	20
<b>Chapter 3. Greenhouse Installation of Multi-Layer Aluminium Screen</b>	24
1. Greenhouse Installation and Cultivation Experiment of Prototype of Multi-Layer Aluminium Screen(1st year of experiment)	24
1) Greenhouse Installation of Prototype in	24
2) Greenhouse Cultivation Experiment of Prototype	27
(1) Purpose of Experiment	27
(2) Testing Materials and Methods	27
(3) Testing Place	28
(4) Testing Results	28
(5) Summary	29
2. Greenhouse Installation of Multi-Layer and Flame Proofed Aluminium Screen (2nd year of experiment)	30
1) Greenhouse Installation and Thermal Burn Experiment of Multi-Layer and Flame Proofed Aluminium Screen	30
(1) Testing Place	31
(2) Testing Method	33
(3) Testing Results	33
(4) Summary	38
2) Experiment of Energy Efficiency of Multi-Layer and Flame Proofed Aluminium Screen	39
(1) Testing Method	39
(2) Testing Results	39

(3) Summary .....	41
<b>Chapter 4. Analysis of Heating Characteristics of Greenhouse Heating</b>	
<b>System using Multi-Layer and Flame Proofed Aluminium Screen .....</b>	<b>42</b>
1. Results of Sub-Studies .....	42
1) Materials and Methods .....	42
(1) Materials of public announcement .....	42
(2) Experiment Equipment .....	43
(3) Analysis of Heating Characteristics .....	46
(4) Measurement Items .....	49
2) Analysis of Heating Characteristics of Greenhouse Heating System	
using Multi-Layer(Study Results of 1st Year) .....	50
(1) Temperature Change of Inside of Greenhouse .....	50
(2) Heating Characteristic .....	54
(3) Heating Efficiency .....	62
(4) Total Heat Transfer .....	66
(5) Comparisons of Supply Energy of Fan Heater by Systems .....	70
3) Economic Efficiency of Multi-Layer of Aluminum Screen	
(Study Results of 1st Year) .....	72
(1) Experimental Results for Economic Efficiency Analysis .....	72
(2) Results of Economic Efficiency Analysis .....	72
(3) Summary .....	86
4) Analysis of Heating Characteristic of Greenhouse Heating System	
using Multi-Layer(2nd year of study) .....	89
(1) Temperature Change of Inside of Greenhouse .....	89
(2) Heating Characteristic .....	91
(3) Heating Efficiency .....	97
(4) Total Heat Transfer .....	100
(5) Comparisons of Supply Energy of Water Heater by System.. .....	106
5) Economic Efficiency of Multi-Layer and Flame Proofed Aluminum Screen	
(2nd year of study) .....	110
(1) Experimental Results for Economic Efficiency Analysis .....	110
(2) Results of Economic Efficiency Analysis .....	110
(3) Comparisons between 1st year and 2nd year .....	128

(4) Summary .....	129
<b>Chapter 4. The Level of Purpose Achievement and Contribution to the Related Fields .....</b>	<b>132</b>
<b>Chapter 5. Applying Plans of Study Results to Other Areas .....</b>	<b>135</b>
<b>Chapter 6. Reference .....</b>	<b>137</b>

## 목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 .....	1
제 1 절 연구개발의 필요성 .....	1
1. 기술적 측면 .....	1
2. 경제 산업적 측면 .....	2
3. 사회 문화적 측면 .....	3
제 2 절 연구개발의 목적 .....	4
제 3 절 연구내용 및 범위 .....	4
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	5
1. 국내의 기술개발 .....	5
2. 국외의 기술개발 .....	6
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과 .....	7
제 1 절 알루미늄을 이용한 다겹 차광 보온재 개발 .....	7
1. 알루미늄 다겹 차광 보온재 구성 .....	7
가. 박판 알루미늄의 구성 .....	7
나. PO(Polyolefin) 발포품 .....	7
2. 박판알루미늄 및 PO발포품 제작 .....	7
가. 박판알루미늄 제작 .....	7
나. PO 발포품 제작 .....	8
다. 알루미늄 다겹 보온재 반제품 내후성 성능평가 .....	9
3. 알루미늄 다겹 차광 보온재 제작 .....	11
가. 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 설계 .....	11
나. 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 시제품 및 개선제품 제작 .....	13
다. 시제품과 개선제품의 일반특성 비교 .....	15
제 2 절 알루미늄을 이용한 방염 보온재 개발 .....	17
1. 방염 알루미늄의 구성 .....	17
가. 박판 알루미늄의 구성 .....	17
나. 방염 접착제의 기능 및 개발 .....	17
2. 방염 알루미늄 개발 및 성능평가 .....	18
가. 방염 접착제를 이용한 방염 알루미늄 제작 .....	18
나. 방염 알루미늄을 이용한 보온재 시제품 제작 .....	19



3. 알루미늄 방염 보온재의 성능평가 .....	20
가. 유럽방염기준 시험결과 .....	20
나. 미국방염기준(CPAI84) 시험결과 .....	20
<b>제 3 절 알루미늄 다겹 차광 보온재의 온실 설치 .....</b>	<b>24</b>
1. 알루미늄 다겹 차광 보온재 시제품의 온실설치 및 재배시험 (1차년도 수행시험) .....	24
가. 알루미늄 다겹 차광 보온재 시제품 온실 설치 .....	24
나. 온실 재배 시험 .....	27
1) 시험목적 .....	27
2) 시험재료 및 방법 .....	27
3) 시험장소 .....	28
4) 시험결과 .....	28
5) 적 요 .....	29
2. 알루미늄 다겹 및 방염 보온재 온실 설치 (2차년도 수행시험) .....	30
가. 알루미늄 다겹 및 방염 보온재 온실설치 및 열화상 시험 .....	30
1) 시험 장소 .....	31
2) 시험 방법 .....	33
3) 시험 결과 .....	33
4) 적 요 .....	38
나. 알루미늄 다겹 및 방염 보온재의 에너지 효율 시험 .....	39
1) 시험 방법 .....	39
2) 시험 결과 .....	39
3) 적 요 .....	41
<b>제 4 절 알루미늄 다겹 및 방염 보온재를 이용한     온실난방시스템의 열특성 분석 .....</b>	<b>42</b>
1. 세부 연구 수행 결과 .....	42
가. 재료 및 방법 .....	42
1) 공시 재료 .....	42
2) 실험 장치 .....	43
3) 난방 특성 분석 .....	46
4) 측정 항목 .....	49
나. 알루미늄 다겹 보온 커튼을 이용한 온실난방 시스템의 열특성 분석 (1차년도 수행과제) .....	50
1) 하우스 내의 온도변화 .....	50

2) 열특성 분석 .....	54
3) 난방효과 분석 .....	62
4) 전 열전달 분석 .....	66
5) 시스템별 온풍기 공급열량 비교분석 .....	70
다. 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경제성 분석	
(1차년도 수행과제) .....	72
1) 경제성 분석 기초자료 .....	72
2) 경제성 분석 내용 .....	72
3) 요약 및 결론 .....	86
라. 알루미늄 다겹 및 방염 보온 커튼을 이용한 온실난방	
시스템의 열특성 분석 (2차년도 수행과제) .....	89
1) 일정기간동안 하우스 내의 평균온도 변화 .....	89
2) 열특성 분석 .....	91
3) 난방효과 분석 .....	97
4) 전 열전달 분석 .....	100
5) 시스템별 온수기 공급열량 비교분석 .....	106
마. 알루미늄 다겹 및 방염 보온 커튼 설치 온실의 경제성 분석	
(2차년도 수행과제) .....	110
1) 경제성 분석 기초 자료 .....	110
2) 경제성 분석 내용 .....	110
3) 1차년도와의 비교 .....	128
4) 요약 및 결론 .....	129
제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....	132
제 5 장 연구성과 및 성과활용 계획 .....	135
제 6 장 참고 문헌 .....	137

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 필요성

### 1. 기술적 측면

현재 온실 보온커튼용으로 부직포의 공급이 증가함으로써 대다수의 시설 농가에서 보온용 커튼소재로 부직포를 사용하고 있다(Kim 등 1998). 그러나 Chang 등(1996)은 부직포에 대한 문제점을 제기하여 장섬유 압축성형소재로 설치 사용시 특히 내력저하와 함께 인장 후 회복력이 없고 파손의 우려가 있다고 보고하였다. 회사별로 압축 성형 과정의 차이로 인하여 물리성이 저하되고, 제조 형상에 따른 재료 및 두께별 광투과성과 보온성의 차이로 실제 농가에서 선택에 많은 애로가 있기 때문에 이러한 문제점에 대한 검토가 절실히 요구된다고 보고 하였다(Cho 1989, 우복균 1990, 農産物流通局 1995).

보온재를 이용한 시스템은 주간에는 온도가 너무 높게 올라가지 않도록 차광기능 작용을 하고 야간에는 내부의 열이 외부로 방출되지 않도록 작물 생육에 적정온도 유지가 가능해야 한다. 최근에는 부직포에 비하여 보온력과 차광성이 강화된 알루미늄 보온 커튼의 공급이 증가됨에 따라 알루미늄에 대한 물리적 난방특성 연구를 진행하고 있다. Chang 등(1996)은 시설하우스에서 이용하고 있는 보온커튼의 종류, 두께, 물리적 특성 및 광학적 특성을 시험 분석하였다. Kim 등(2007)과 Ko(2009)은 알루미늄 반사재의 설치방향 연구에서 무광표면을 안쪽으로 유광표면을 바깥쪽으로 하는 것이 보온성이 좋다고 하였다. 이외에도 각종 농산물의 차광재배를 통하여 농산물의 품질향상을 위한 연구(Roh 등 1994, Choi 등 2001, Hwang 등 1995, Woo 등 1995, Kwon 등 2004, Lee 등 2007)를 진행함으로써 차광보온재를 활용한 작물의 생장특성에 대한 연구가 이루어져 왔다. 시설 하우스에서 생산단가의 절감 및 청정한 재배환경 확보를 위해 보온력을 향상시켜 난방비용을 절감하면서 고품질 농산물 및 화훼류를 생산할 수 있는 새로운 에너지 절감형 고효율 다겹 보온재 개발이 필요하다.

또한 유럽에서는 방염 보온재만을 사용하도록 제한하고 있으므로 국내에서도 이에 적합한 방염 보온재 개발이 필요하다. 더욱이 화재 발생 시 유독 가스 발생에 의한 2차 피해가 심각한 상황이므로 유독성 가스 발생을 최소화 할 수 있는 방염보온재 개발이 필요한 시점이다. 기존 수입 알루미늄 보온재는 인과 할로젠 원소를 이용한 접착제 방염방식(특히 사항)이나 인과 할로젠이 들어가지 않는 방염 보온재를 개발하여 수입품을 대체할 국산화제품 개발과 함께 보온재의 개폐 시 부피감소로 작업 환경을 개선할 수 있는 보온재 개발로 기존 부직포를 이용한 다겹 보온재를 대체할 경우 시공성이 용이하여 간단하게 교체 사용할 수 있는 제품이 요구된

다. 따라서 현재 보급되고 있는 알루미늄 보온 커튼보다 에너지 효율이 우수한 알루미늄 다겹 보온 커튼에 대한 체계적인 연구와 개발로 난방특성에 대한 정확한 구멍이 필요한 실정이다.

## 2. 경제·산업적 측면

시설하우스 보온 커튼재는 저온기 온실 열에너지 절감 차원에서 매우 중요한 시설자재이다. 우리나라는 해외에서 난방유를 전량 수입하여 사용하고 있으며, 난방이 필요한 온실면적은 약간의 감소세가 있었지만 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 그러므로 온실난방용 에너지의 효율적인 이용을 위하여 온실난방 특성 구멍의 필요성이 더욱 부각되고 있는 실정이다. 따라서 에너지의 효율적인 이용을 위해 국내외적으로 온실 보온성에 대한 연구가 지속적으로 수행되고 있다.

표 1. 연도별 시설하우스 현황 및 난방면적

년도 면적	2002	2003	2004	2005	2006	2007
시설면적(ha)	86,338	86,560	84,397	81,448	79,232	76,208
난방면적(ha)	21,400	21,455	20,918	20,187	19,638	18,889

(자료 : 농림부)

국내의 경우 1980년대 이후 국민소득의 증대에 따라 채소류의 수요가 크게 증가하고 있으며 시설하우스면적(채소+화훼)은 2002년 86,338ha에서 유류비의 증가로 2007년 76,208ha로 감소되고 난방면적도 21,400ha에서 18,889ha로 감소되고 있는 추세이다. 또한 시설하우스 전체 재배면적의 25% 정도가 온풍난방 시 연간 7.1조원(585.5만원/0.1ha·3개월) 정도의 난방비용이 소요되고 면세유 폐지(조세특례제한법), 유류값 상승에 따른 농가 재산성 저하와 연료수입에 따른 비용의 절감을 위해 에너지 절감의 보완 기술이 필요하다. 유류비 인상으로 시설원에 농가의 어려움이 커진 가운데 생산비의 30~40%를 차지하는 난방비 절감이 농가 소득향상의 결정적 요인으로 작용하고 있다. 이에 따라 시설원에 농가의 연료비 절감기술이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 알루미늄을 이용한 다겹 보온재는 기존 보온재보다 열손실이 적어 연료비가 약 20% 절감될 것으로 예상된다.

표 2. 국내 석유제품 소비자 가격동향

(단위 :원/)

제품 \ 년도	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
휘발유(무연)	1296.1	1294.8	1366.37	1460.2	1414.9	1632.5	1687.4
보일러등유	553.5	640	798.88	901.04	891.02	1093.34	1288.4
경유(0.05%)	677.6	772	960.89	1136.19	1181.78	1435.46	1601.5

(자료 : 에너지경제연구원)

하우스 내부에 야간 커튼을 이용할 경우에는 보온력 향상으로 난방에 필요한 열요구량의 70%까지 절감이 가능하다는 보고(Chandra와 Albright 1980)가 있다. 또한 Kim 등(1991)은 온실 보온 커튼의 보온효과 분석을 통하여 보온커튼의 층수와 대류열전달계수의 차이에 의한 보온효과를 분석한 바가 있으며, 이후에도 보온력 향상을 위한 연구가 꾸준히 수행되어 왔다(Cho 등 1997, Kim 등 1998). 알루미늄을 이용한 다겹 보온재는 에너지 절감으로 생산 단가를 절감할 수 있어, 가격 경쟁력을 높일 수 있기 때문에 개발이 필요하다.

알루미늄을 이용한 다겹 보온재 기술은 다겹 보온재 제작에 고도의 제조기술을 요하는 것으로서 다년간의 보온재 생산으로 개발기술을 보유하고 있기 때문에 독자적 기술 확보가 가능하며 가격경쟁력을 갖출 수 있으며 유럽에서 수입하고 있는 기존 알루미늄 보온재에 대한 수입 대체 효과 및 수출 경쟁력이 있는 독자적 보온재 개발기술 확보가 필요하다.

### 3. 사회·문화적 측면

시설원예하우스는 기후 및 기상 조건의 변동에 큰 영향을 받지 않고 생산성을 증대할 수 있을 뿐만 아니라, 농산물을 안정적으로 생산할 수 있는 분야이다. 이와 같은 장점과 함께 늘어가는 재배면적에 따라 난방에 소요되는 화석 연료 절감을 통한 CO<sub>2</sub> 발생 및 환경 오염물 배출 저감, 화재 시 유독 가스에 의한 2차 피해 등 또한 해결해야 하는 문제가 되고 있으며 최근 채소·화훼류를 중심으로 수출 신장세가 뚜렷해지고 있으며, 앞으로 수입 개방화 물결에 따라 저가의 농산물이 증가할 것으로 판단되어 가격 경쟁력 확보가 필요하다. 따라서 시설원예 생산원가 절감을 통해 국내 소비자에게 안전한 국내산 농산물을 안정적으로 저렴하게 공급할 필요가 있다.

## 제 2 절 연구개발의 목적

기존의 하우스 보온은 일반 부직포 보온재가 주로 사용되고 있고, 지금까지 개발된 보온재는 차광성, 습도유지, 내구성, 보온성에서 면에서 효율이 낮다. 또한 화재 발생 시 방염이 되지 않고, 유독성 가스를 방출하는 등의 문제점을 가지고 있다. 그러므로 차광성, 습도유지, 내구성, 방염성 및 보온력을 높여 난방비를 절감 할 수 있는 알루미늄을 이용한 에너지 절감형 다겹 보온재와 국산 방염 보온재 개발이 시급히 필요하다.

따라서 본 연구과제는 기존의 알루미늄 보온 커튼의 기능을 강화하여 보다 많은 에너지 절감과 농산물 생산 품질 향상을 위한 새로운 알루미늄 다겹 보온 커튼과 은실의 화재 발생에 대비한 방염 알루미늄을 개발하고자 한다. 또한 이를 활용하여 제작한 알루미늄 다겹 보온재의 난방특성을 구명하여 효율적인 하우스 난방 에너지 사용 및 농가 생산비용 절감과 고품질 농산물 생산에 도움이 되는 보온용 은실자재를 개발하고자 함이 목적이다.

## 제 3 절 연구내용 및 범위

### 가. 1차년도 연구수행 및 범위

- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 개발
- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 설계
- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 시제품제작
- 방염 알루미늄 개발
- 방염 접착제 개발
- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 이용 은실설치
- 알루미늄을 이용한 다겹 및 방염 보온재 이용 은실의 난방 특성분석
- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재의 경제성 분석

### 나. 2차년도 연구수행 및 범위

- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 개발 보완
- 방염 알루미늄을 이용한 방염 보온재 설계 및 제작
- 알루미늄을 이용한 다겹 및 방염 보온재 이용 은실설치
- 알루미늄을 이용한 다겹 및 방염 보온재 이용 은실의 난방 특성분석
- 알루미늄을 이용한 다겹 보온재의 경제성 분석

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 1. 국내의 관련기술

현재 국내에서의 알루미늄 다겹 보온재에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있으며, 농촌진흥청에서 조합형 다겹 보온재에 대한 연구가 일부 진행되고 있는 실정이다.

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
농촌진흥청	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 부직포 및 알루미늄 스크린에 비하여 조합형 다겹보온자재의 보온성이 우수한 것으로 나타났음 (2003)</li> <li>- 알루미늄 및 화학섬의 3겹 보온자재와 다겹 보온자재는 알루미늄 스크린에 비하여 열관류량이 적게 나타났고 다겹보온자재의 보온성이 우수한 것으로 판단됨 (2007)</li> </ul>	일부 활용
부산대학교	조합형 보온자재가 단겹보온자재에 비하여 45~55%까지 보온율이 높았고 조합조건에 따라 보온효과가 달라지기 때문에 보온성이 우수한 조합조건을 얻을 수 있을 것으로 예상됨 (2009)	미활용
동명대학교	마이크로파로 건조된 목재를 인산염계 방염액에 침지시켜 방염처리를 할 경우 기존의 도포법에 비하여 공기단축, 적재장소 및 보관시간의 절약, 공정의 간소화등의 경제성 증대가 예상됨 (2008)	미활용
호서대학교	실내 장식물에 대한 기준의 변경으로 건축기준에서 재료자체를 방염성능또는 불연성능의 것을 사용하도록 즉 제조공정처리제품의 사용을 유도하는 것이 바람직함 (2008)	미활용
호서대학교	화재에 의해 화염에 직접 접촉하는 400℃의 온도범위에서는 방염에 의한 화재 지연효과를 갖기는 곤란할 것으로 판단됨 (2009)	미활용

조합형은 보온성이 우수한 반면 장기간 사용 시 평균 서식 및 표면 오염으로 인한 차광성

의 저하 등에 대한 문제점이 나타나고 있다. 그러나 조합형 다겹 보온재에 비하여 성능이 우수한 알루미늄 다겹 보온재에 대한 연구 및 개발은 전무한 상태로서 최근 개발한 알루미늄 다겹 보온재를 농가에 보급할 경우 선호도가 높을 뿐만 아니라 제품에 대한 활용 및 응용을 통하여 농축산 및 레저분야에 폭넓게 응용할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

또한 알루미늄을 이용한 방염보온재에 대한 국내 연구는 방염제 처리 및 효과에 대한 연구에 그치고 있으며 제품 개발 또한 난연제를 활용하는 것에서 그치고 있어 방염성에 대한 문제가 제기되고 있는 실정이다. 따라서 개발제품과 관련한 연구는 아직 미진한 실정이며, 방염접착제를 활용하여 개발한 제품은 거의 전무한 것으로 보인다. 최근에 개발한 알루미늄 방염보온재를 산업화하여 더욱 우수한 제품으로 보급할 경우 국내는 물론 해외에서도 선호도가 높을 것으로 기대하고 있다.

## 2. 외국의 관련기술

외국의 시설후보 보온재 기술개발은 스웨덴에서 활발히 진행되고 있는 것으로 알려져 있으나 구체적인 연구개발에 대해서는 알려진 바가 없으며, 특히 알루미늄 다겹 보온재 개발에 관련한 외국의 연구개발 사례는 전무한 실정이다. 또한 알루미늄 방염 보온재와 관련한 특허는 스웨덴의 루드빅 스펠손사가 소유하고 있고, 대부분은 방염제를 표면 코팅하여 차광보온커튼을 제작하는 경우는 있다. 그러나 방염접착제를 사용하여 제작하는 알루미늄 방염 보온재에 대한 연구사례는 거의 전무한 실정이다.



## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1 절 알루미늄을 이용한 다겹 차광 보온재 개발

#### 1. 알루미늄 다겹 차광 보온재 구성

##### 가. 박판 알루미늄의 구성

박판알루미늄은 다겹 보온 스크린의 상부에 위치하여 외부로부터 유입되는 광을 반사 또는 산란시키는 차광기능을 가지고 있다. PET(Polyethyleneterephthalate)와 알루미늄 포일로 구성된 박판알루미늄은 알루미늄 포일 상단부와 하단부에 PET가 덮여져 부착된 형태로 이루어져있다. 본 연구에서 개발한 박판 알루미늄은 PET와 알루미늄 포일 사이에 폴리우레탄 접착제를 도포하여 부착함으로써 접착력이 우수하고, 장기간 사용 시에도 높은 내후성으로 차광성 유지가 지속되도록 제품을 제작하였다. PET의 두께는 기존 20 $\mu$ m에서 12 $\mu$ m로 약 40%를 줄여 제작하였고, 박판알루미늄 반제품의 경우 기존 대비 총 16 $\mu$ m 얇게 제작하였다.

##### 나. PO (Polyolefin) 발포폼

PO 발포폼은 박판 알루미늄 하부에 부착되는 것으로서, 동절기 하우스 가온 시 내부 열의 외부 방출을 방지하여 하우스 내 온도를 유지시키는 기능을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서도 하우스의 보온성을 극대화시켜 동계 작물생산에 투입되는 난방비용 절감효과를 높이기 위해 PO 발포폼을 알루미늄 다겹 보온 커튼에 부착하여 제작하였다.

#### 2. 박판 알루미늄 및 PO발포폼 제작

##### 가. 박판 알루미늄 제작

박판 알루미늄은 라미네이팅하기 편리하도록 표면층 PET와 알루미늄 간의 부착성이 우수한 제품으로 선별하였다. 이를 위해 알루미늄 제작업체와 지속적인 협력을 통하여 알루미늄 라미네이팅 작업을 반복하여 수행함으로써 부착력이 우수한 박판 알루미늄을 제작하였다.

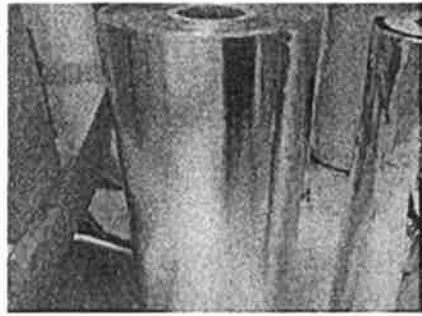


그림 1. 박판 알루미늄 앞면(PET층 부착)

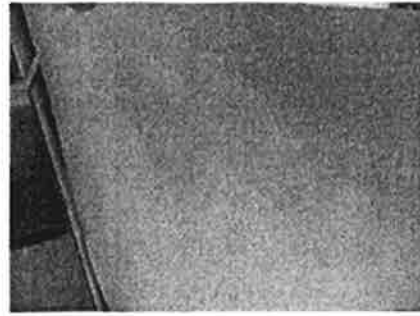


그림 2. 박판 알루미늄 뒷면

그림 1과 2는 본 연구에서 개발한 박판 알루미늄을 나타낸 것이다. 그림 2의 박판알루미늄 뒷면은 설계상 PO 발포폼이 부착되어야 하는 면이므로 이를 고려한 형태의 박판알루미늄 반제품을 생산하였다. 또한 알루미늄 다겹 보온재가 90% 이상의 차광효과를 나타낼 수 있도록 제작공정에서 균일한 라미네이팅 작업을 수행하였다.

그림 3은 박판 알루미늄 반제품의 단면도로 12 $\mu$ m 상하의 PET층 사이에 7 $\mu$ m의 알루미늄 층이 삽입되어 있다. 또한 PET층과 알루미늄 층사이의 접착부위는 접착 품질을 높이기 위하여 특수롤링 작업으로 접착하였다.

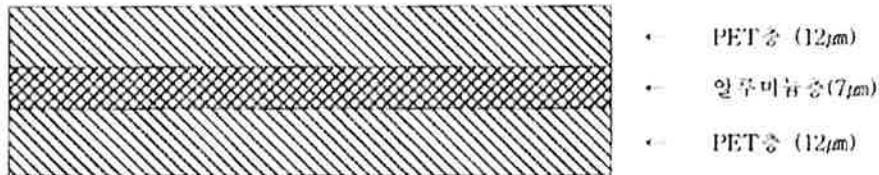


그림 3. 박판 알루미늄의 단면도

#### 나. PO 발포폼 제작

설치가 용이하고 차광성과 보온성이 높은 알루미늄 다겹 차광 보온재 제작을 위해 발포시트 제작업체와 협의한 결과, 박판 알루미늄의 하부에 적용할 수 있는 보온 재료로는 PO(Polyolefin), PP(Polypropylene), PE(Polyethylene) 3가지 발포폼 재료가 사용 가능하였다. 위 세 종류의 발포폼으로 제작 가능한 발포시트의 장단점을 각각 살펴보면, PP 발포시트의 경우에는 내후성이 우수하며 보온성이 좋은 장점이 있으나 단점이 작아 보온재로 부적합한 것으로 조사되었다. PE발포시트의 경우에는 시트기 얇고 강도가 약해 내후성이 떨어지는 단점이

있다. 따라서 본 연구에서는 보온 커튼의 보온성을 위하여 PO 발포폼을 사용하여 알루미늄 다겹 온재 및 방염 보온재를 제작하였다.

한편, 발포폼이 가진 특성상 발포배율이 높을수록 내구성과 보온성이 낮아지고, 두께가 증가할수록 보온성은 높아지나 재품을 말아 올리거나하는 관리작업 시 조작에 어려운 점이 많아지기 때문에 이러한 문제점들을 고려하여 적합한 두께를 적용하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 보온성, 사용 편의성에 중점을 둔 발포시트 두께를 결정하였다. 그 결과 발포배율은 10배, 두께는 0.8cm로 결정하였으며, UV차리틀 통하여 내구성을 더욱 보완하였다. 그림 4와 5는 본 연구에서 개발한 PO 발포폼을 나타낸 것이다.

표 1 적용 가능한 발포폼의 종류 및 특성분석결과

발포폼 종류	연성	내후성	보온성
Polyethylene type	○	△	△
Polypropylene type	△	◎	○
Polyolefin type	◎	○	◎

주 : △; 보충, ○; 양호, ◎; 우수

(자체 특성 분석결과)



그림 4. 발포폼 앞면 (UV조사면)



그림 5. 발포폼 (알루미늄 접착면)

#### 다. 알루미늄 다겹 보온재 반제품 내후성 성능평가

제작된 알루미늄 다겹 보온재를 타사의 단열재용 자재와 비교하기 위하여 내후성 시험을 실시하였다. 시험종류 및 방법은 다음과 같았다.

보온재의 내후성비교 시험은 시료의 알루미늄 부분과 발포폼 부분으로 나누어서 실시하였다. 시험방법은 ASTM G 155:2005의 시험규격 방법에 의거해 실시하였고, 광은 강도 0.35W/m<sup>2</sup>,

파장 340nm로 설정하여 조사하였다. BPT(Chamber black panel temperature)는  $63\pm 3^{\circ}\text{C}$ , 습도는  $50\pm 5\%$ 로 유지하였으며, 102분 광 조사 후 18분 광 조사 및 물을 분무하는 조건하에서 실시하였다. 상기 내후성 테스트 시험에 의뢰한 시료 및 시험품 내역은 아래 표 2와 같다.

표 2 내후성 시험 의뢰 내역

시료번호	시험품명	시료번호	시험품명
알루미늄 #1	대조구 B	PO폼 #1	다겹보온재
알루미늄 #2	다겹보온재	PO폼 #2	대조구 A
알루미늄 #3	대조구 A	PO폼 #3	대조구 B

내후성의 판정은 50시간 동안 주어진 시험조건에 맞추어 광을 조사한 후 각 시료들의 변색 정도를 색차계를 이용하여 측정한 값으로 변색지수를 산출하였고, 이 지수가 낮을수록 내후성이 높은 것으로 결과를 도출하였다.

내후성 비교시험에 따른 각 시료별 시험결과는 그림 6과 같다. 알루미늄 포일 부분의 경우 다겹 보온재 시험구의 변색지수가 0.3으로 대조구인 타사 A와 B시료의 0.6, 6.3보다 낮은 것으로 나타나 본 연구에서 개발한 알루미늄 포일의 내후성이 더 높은 것으로 나타났다.

PO 발포품의 경우에도 부분의 변색지수가 다겹 보온재가 0.6, 대조구 A는 5.2, B는 3.2로 나타나 본 연구에서 개발한 PO 발포품이 타사 제품보다 내후성이 더 높은 것으로 나타났다. 따라서 본 다겹 보온재에 적용된 알루미늄 포일과 PO 발포품은 타사 제품에 비해 내후성이 우수한 것으로 확인되었다.

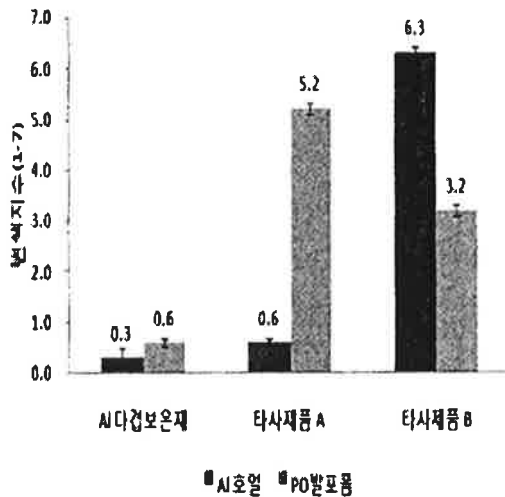


그림 6. 알루미늄 다겹보온재 구성요소별 후열성테스트결과 및 후열성 테스트 시험 성적서

### 3. 알루미늄 다겹 차광 보온재 제작

#### 가. 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 설계

작물이 시설 내부에서 원활한 생육을 유지하기 위해서는 적정 광, 온도, 수분조건이 고루 갖추어져야 하며, 이러한 조건들이 조화롭지 않은 최적의 생육조건 구성을 위해서는 외부환경 특히 하절기 작물에 해가 될 수 있는 강한 태양 강도와 고온의 피해를 경감할 수 있도록 적절한 안 조건을 부여해주는 것이 필요하다. 또한, 동절기 저온에 의한 피해와 적정 생육온도 차이를 위한 보온 또한 중요하다. 이러한 외부환경 조건에 따라 적절한 기능을 갖는 알루미늄 다겹 보온재의 차광 및 보온 원리는 그림 7과 같다. 알루미늄 다겹 보온재를 살펴보면, 상부의 알루미늄 호일층은 외부로부터 유입되는 광의 반사효과를 극대화하도록 설계하였고, 하부의 PO(Polyolefin) 발포층은 내부의 열이 외부로 손실되는 것을 막아 보온성을 극대화시키도록 설계하였다. 또한 통기성을 높여 공기의 흐름을 원활하게 하고 투습도를 높여 건조공기 간 순환을 통해 수분의 배출이 원활하도록 설계하였다. 따라서 본 연구에서 개발한 알루미늄 다겹 보온 커튼은 차광에 의한 광량조절 및 계절별 보온용으로 사용이 가능하고, 경량화로 관리 작업이 원활하도록 설계하였다.

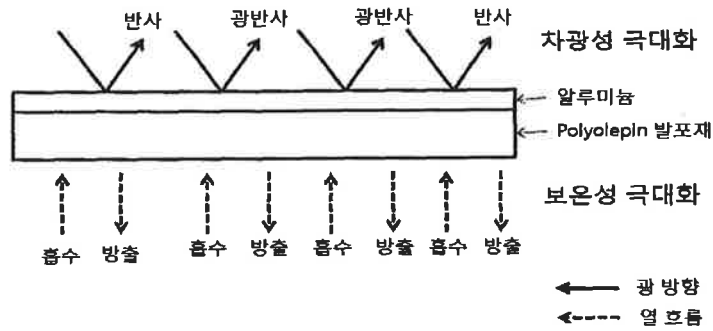


그림 7 알루미늄 다겹 보온재의 차광 및 보온원리

알루미늄 다겹 보온재의 단면은 그림 8과 같이 상층부터 제1 PET층(50), 호일층(52), 제2 PET층(54) 그리고 폴리올레핀 발포층(58)사이의 접착층(56) 등 총 5층의 다겹 구조로 구성되어 있다. 전체적으로 경량의 소재를 사용하여 총중량이 가벼우므로 운반 및 이동이 용이하고, 설치가 매우 간편하며, 폴리올레핀 발포층의 보온력이 우수하여 에너지 절감효율이 매우 높다.

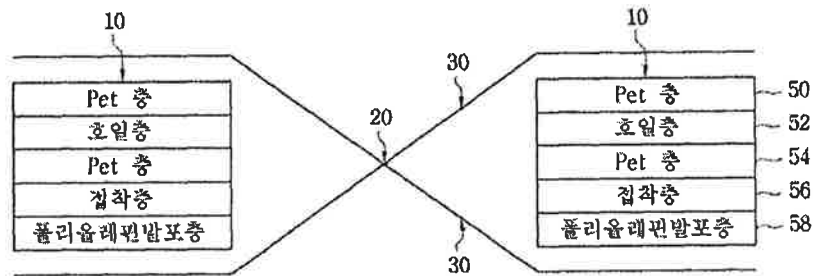


그림 8. 알루미늄 다겹 보온재 단면모식도

알루미늄 다겹 보온 커튼의 제작방법은 박판 알루미늄 및 PO발포폼 스트랩을 모노필라멘트사로 직조하여 고정시킨 것으로 직조형태는 연속적으로 나란히 배치된 스트랩 경계부에 씨실을 배치하고, 날실을 상기 씨실 사이를 횡 방향으로 통과시켜 여러 개의 스트랩이 나란히 연속 배치된 구조이며, 중간 중간마다 여러 줄의 날실(30)을 촘촘하게 배치함으로써 필라멘트사가 쉽게 풀리는 현상을 방지하도록 하여 내구성을 높였다.

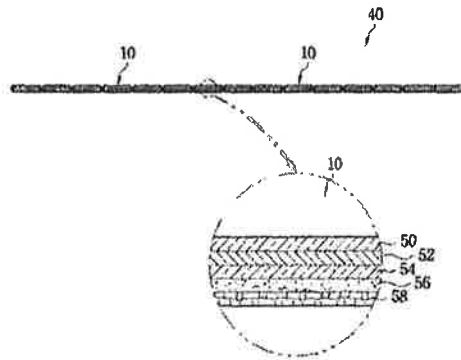


그림 9. 알루미늄 다겹 보온재의 단면설계도

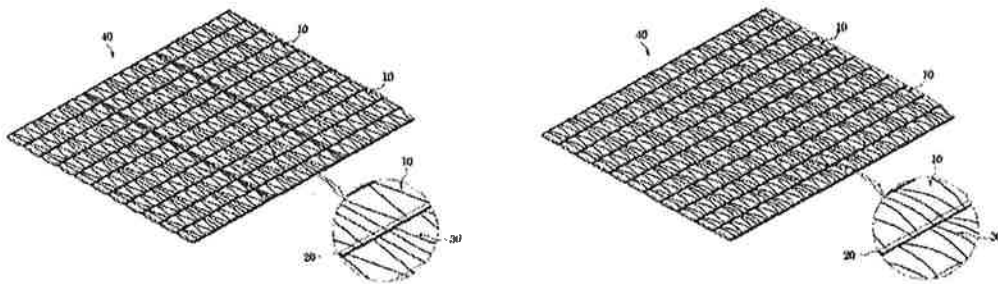


그림 10. 알루미늄 다겹 보온재의 상부 및 하부 설계도

**나. 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 시제품 및 개선제품 제작**

알루미늄 다겹 보온 커튼의 제작은 박판 알루미늄 원단에 PO 발포폼을 부착한 후 이를 5mm 스트랩으로 절단하였다. 그림 11은 알루미늄 다겹 보온재 반제품 원단을 폭 5mm의 스트랩으로 절단하는 모습을 나타낸 것이다. 이후 그림 12에 나타낸 바와 같이 각각 스트랩을 필라멘트로 엮어 직조한 후 완성된 알루미늄 다겹 보온재의 직조상태를 점검하였다.

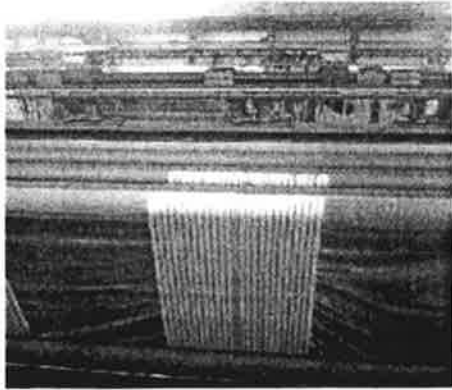


그림 11. 다겹 보온재 재단과정



그림 12. 다겹 보온재 품질 검사

알루미늄 다겹 보온 스크린은 그림 13에서 보는 바와 같이 5mm의 스트랩으로 절단된 알루미늄 다겹 보온재를 직조하여 상부는 알루미늄층과 모노필라멘트사로 구성되어 있는 것을 알 수 있고, 그림 14에서 보는 바와 같이 알루미늄 다겹 보온스크린의 하부는 발포율 10배의 PO 발포폼이 부착되어 있는 것을 볼 수 있다.

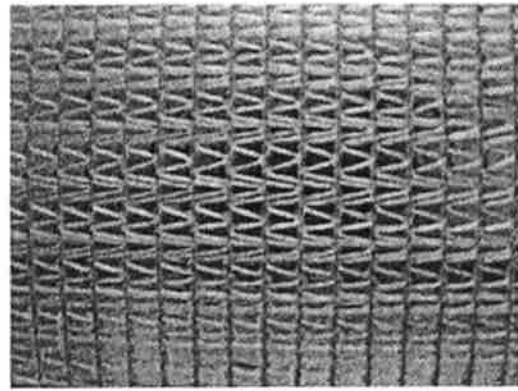
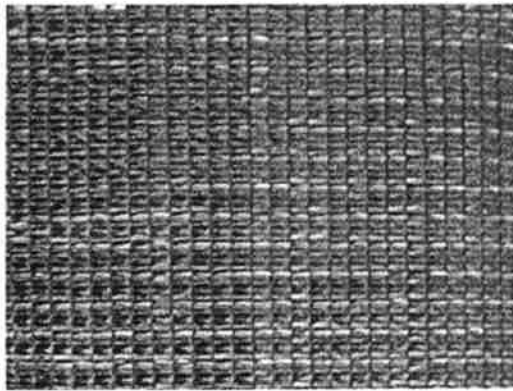


그림 13. 알루미늄 다겹 보온재 상부 및 상부확대 (알루미늄층)



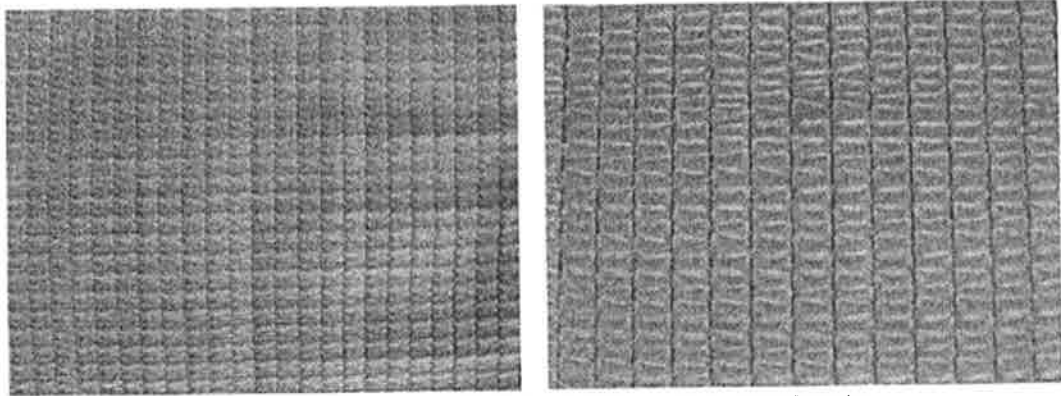


그림 14. 다겹 보온재 바닥면 및 바닥면 확대 (PO발포폼)

알루미늄 다겹 차광 보온재의 개선 제품도 시제품과 동일한 제작과정을 거쳤으며, 시제품에 비하여 박판 알루미늄의 내구성을 높이면서 보온성과 인장강도가 향상되도록 주력하였다.

앞서 기술한 내후성 시험 결과를 살펴보면, 시제품의 박판 알루미늄이 타제품에 비하여 우수한 품질인 것으로 나타났으나 지속적으로 직사광선에 노출될 경우 내구성이 저하될 경우에 대비하기 위해 자외선에 강한 PET필름을 사용하였고, 알루미늄과 PET 필름과의 접착성을 높일 수 있도록 하였다. 이에 따른 개선제품의 보온성과 인장강도는 일반특성 비교에서 자세히 설명하고자 한다.

#### 다. 시제품과 개선제품의 일반 특성 비교

알루미늄 다겹 차광 보온재가 가진 가장 중요한 특성 중 하나는 보온성으로서 주간외부 태양열 또는 야간의 내부 난방기로부터 발생한 열을 흡수, 축적하여 장시간 유지할 수 있는 특성을 지니고 있어야 한다. 이와 함께 투습도는 작물재배 시 내외부 간의 수분부과 정도를 나타내는 것으로서 수분 배출을 원활히 함으로써 시설내부의 과습을 방지하는 중요한 특성이다. 그리고 인장강도는 알루미늄 차광 보온재의 각 스트립별 결속강도를 나타내는 것으로 제품의 내구성을 알 수 있는 주요 인자이다. 알루미늄 다겹 차광 보온재의 시제품과 개선제품에 대한 일반적인 특성을 비교한 결과는 표 3과 같다.

알루미늄 다겹 차광 보온재의 시제품은 보온성 향상과 투습도 향상이라는 상반된 특성을 충족시킬 필요가 있으며, 1년차에 시제품의 개발, 2년차에는 시제품의 내구성을 향상시키기 위한 인장강도 증가를 지속적으로 연구하여 개선제품을 제작하였다. 이에 대한 특성을 검증받기 위해 공인시험기관인 FTI 시험연구원에 시험 의뢰한 결과, 시제품의 보온율은 52% 이었고, 2차년도에 개발한 개선 제품 52.2%로 나타났다. 그러나 시제품의 인장강도의 경우에는 길이방향

으로 360N, 폭방향으로 340N이었으나, 개선제품의 경우 길이방향이 400N, 폭방향이 390N으로 각각 길이방향은 11%, 폭방향은 14.7% 인장강도가 향상된 것으로 나타났다.

표 3 알루미늄 다겹 차광 보온재 일반 특성

시제품 및 측정일자		1차년도 개발 시제품 (2010. 1. 28)	2차년도 개발 시제품 (2011. 2. 11)
추정항목 및 방법			
보 온 율	KS K 0560:2006 항온법	52.0 %	52.2%
인장강도	KS K 0520:2004 C.R.E. 그래브법	길이 : 360(N), 폭 : 340(N)	길이 : 400(N) 폭 : 390(N)
투 습 도	ASTM E 96:2005 Water법	1,874 g/m <sup>2</sup> /24h	1,481 g/m <sup>2</sup> /24h
차 광 율	KS K0819:2009 A법	91.06%	91.90%

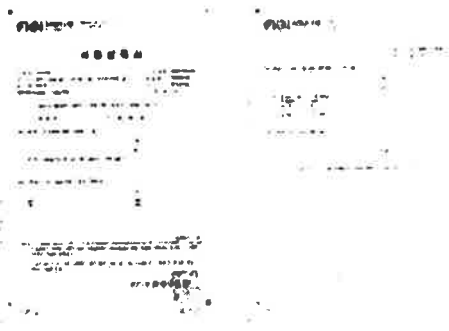


그림 15. 알루미늄 다겹 차광 보온재 시제품 시험성적서



그림 16. 알루미늄 다겹 차광 보온재 개선제품 시험성적서

## 제 2 절 알루미늄을 이용한 방염 보온재 개발

### 1. 방염 알루미늄의 구성

#### 가. 박판 알루미늄의 구성

방염 알루미늄의 기본구조는 앞서 설명한 다겹 보온재의 박판 알루미늄과 같은 형태를 갖고 있다. 그러나 기존 박판 구성물은 알루미늄 박막을 제외하면 나머지 재료들은 화재에 취약한 소재로 구성되어 있기 때문에 방염을 위한 소재가 필요하다. 따라서 방염 알루미늄 박판은 기존 박판 구성물 중 알루미늄 박막을 제외한 상단과 하단부위의 방염화에 중점을 두고 연구를 수행하였다. 또한 접착제로 인하여 화염 지속 문제가 발생하는 점을 해결하기 위하여 접착성능이 떨어지지 않으면서도 방염기능이 있는 방염접착제를 개발하였다. 한편, 알루미늄 박막을 감싸고 있는 상단과 하단부에는 화염이 잘 번지지 않는 방염 PET를 사용하고, 박막과 PET사이의 접착면에도 방염접착제를 적용하여 화재 발생 시 화염의 지속성을 낮추도록 개발하였다. 또한 방염 알루미늄은 전술한 알루미늄 다겹 보온재와 동일하게 박판화를 통하여 설치 및 관리의 편의성을 도모하고자 하였다.

#### 나. 방염 접착제의 기능 및 개발

박판 알루미늄 상, 하단부위 코팅을 방염 PET로 대체하여 연소 실험 결과, 외부에 방염 재료를 적용하더라도 알루미늄 층과 PET층을 결합시키는 접착제로 인하여 화재 시 연소를 막을 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 방염 접착제의 개발이 필요하게 되었고, 접착제는 화재 발생 시 연소에 필요한 산소를 차단하는 인계 방염제를 첨가하여 제작하였다.

방염제는 구성성분에 따라 크게 유기계와 무기계 방염제로 구분되며, 본 방염 알루미늄에는 유기계 방염제가 적용되었다. 유기계 방염제의 경우 다시 인계, 할로젠계, 인과 할로젠계의 혼합물질로 세분되는데 인계의 경우 연소 시 가연성 물질과 반응해 응축된 탄화막이 형성되고 이로 인해 연소에 필요한 산소가 차단되어 방염효과가 발생하는 것으로 인산에스테르, 폴리인산염계 등이 있다. 할로젠계는 할로젠 원소를 갖는 유기화합물이 연소과정에서 생성되는 라디칼과 반응해 방염효과를 내는데 브롬계, 염소계, 요오드계, 불소계 등으로 나뉜다. 그 외 인과 할로젠 성분이 혼합된 제품이 있다. 이 중 가장 많이 사용되고 있는 방염제는 브롬화 방염제를 포함한 할로젠계이며, 방염 효과는 요오드, 브롬, 염소, 불소 순이나 요오드계의 경우 비용이 브롬계에 비해 고가이고, 내열 및 내광성이 부족하여 부적합하다. 한편 브롬계는 가격이 다른 방염제에 비해 경제적이면서도 방염효과가 매우 뛰어나 많이 사용되고 있다. 그러나 할로젠 계열 방염제는 인체와 환경에 대한 위해성이 높은 이유로 유럽과 같은 선진국에서는 현재 사용

을 급하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 화재 시 연소를 억제시키면서 유독가스에 의한 2차 피해를 경감시키고자 인 함유량이 높은 인산 에스테르계열의 방염제를 폴리우레탄 접착제와 일정 비율로 혼합한 방염 접착제를 개발하였다. 또한 폴리우레탄 접착제를 주성분으로 하기 때문에 기존 라미네이팅 장비를 교체 없이 지속적으로 사용할 수 있어 효율적일 뿐만 아니라 재료간의 부착력이 우수하므로 품질 저하를 방지할 수 있다는 장점이 있다.

## 2. 방염 알루미늄 개발 및 성능평가

### 가. 방염 접착제를 이용한 방염 알루미늄 제작

연구수행 1년차에서는 방염제를 PET에 코팅하는 방법으로 방염 알루미늄을 제작하였다. 2년차 연구에서는 폴리우레탄 접착제에 방염제를 직접 혼용하는 방법으로 방염접착제를 개발하였고, 이를 방염 PET와 알루미늄 박막 부착하는 방법으로 방염 알루미늄을 제작하였다. 방염 알루미늄 제작 전 방염제와 폴리우레탄 접착제의 적정 비율을 알아보기 위하여 인계열의 방염제(영인화학)를 10~50%의 비율로 폴리우레탄 접착제와 혼합하여 접착력 및 방염성능을 실험하였고 그 결과는 표 4와 같다.

표 4 방염제와 접착제의 혼합비율에 따른 방염 및 접착성능 비교

구분	방염제와 접착제의 혼합비율(방염제 : 접착제)				
	10 : 90	20 : 80	30 : 70	40 : 60	50 : 50
방염성능	XX	○	○	◎	◎
접착성능	◎	○	○	X	XX

(우수, ◎; 양호, ○; 불량, X; 매우불량, XX)

여러 비율의 방염 접착제 성능을 비교해본 결과, 방염제 10% 혼합의 경우 접착성능은 우수하였으나 방염성능이 크게 낮았으며, 40~50%의 혼합비율에서는 방염성능은 우수하였지만 접착성능은 매우 불량하였다. 이 중 20%와 30%의 혼합비율에서는 방염성능과 접착성능 모두 양호한 결과를 나타내었다. 적정 혼합비율을 좀 더 구체적으로 알아보기 위해 방염성능과 접착성능이 양호했던 20~30% 구간에서 방염제를 5%의 비율로 나누어 방염성능과 접착성능을 비교하였으나 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그 결과를 표 5에 나타내었다.

표 5 방염제와 집착제의 혼합비율(20~30%)에 따른 방염 및 집착성능 비교

구분	방염제와 집착제의 혼합비율(방염제 : 집착제)		
	20 : 80	25 : 75	30 : 70
방염성능	○	○	○
집착성능	○	○	○

(우수, ◎: 양호, ○: 불량, X: 아주불량, XX)

따라서 본 연구에서 방염 알루미늄 제작 시 사용된 방염 집착제는 방염제 25%를 함유한 비율을 적용하였다. 그 이유는 선술한 바와 같이 방염제 혼합비율이 20~30% 구간사이에서 방염 성능과 집착성능 모두를 만족시킬 뿐만 아니라 방염제 혼합 폴리우레탄 집착제의 사용으로 기존 라미네이팅 장비를 이용한 방염 알루미늄 제작이 가능하기 때문이다. 또한 1년차에 사용된 방염제 코팅보다 방염성능 및 효율이 높은 압착 코팅방법을 이용하여 방염 알루미늄을 제작하였다.

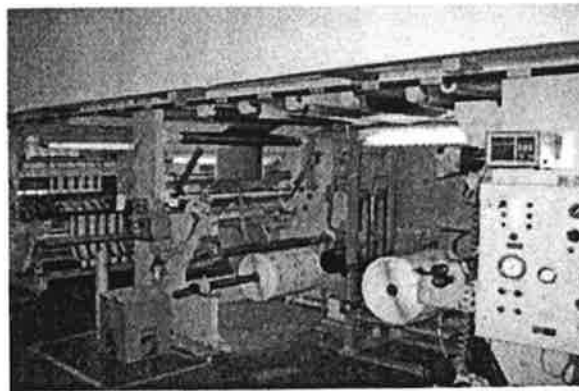


그림 17. 방염알루미늄 반제품을 생산을 위한 라미네이팅 장비

#### 나. 방염 알루미늄을 이용한 보온재 시제품 제작

방염 알루미늄을 이용한 보온재의 시제품 제작은 제조비용을 달리하여 방염 알루미늄 박판과 방염 PET의 비율을 1:1로 한 BJ 55 type과 방염 알루미늄 박판과 방염 PET의 비율을 3:1로 하여 식조한 BJ 75, BJ 85 type으로 설계하여 제작하였다. 이러한 비율의 적소는 기초 실험 결과, 방염성능이 전제 면적에 사용된 집착제량에 따라 차이를 보일 가능성이 있으므로 사용된

방염 접착제의 총량을 기준으로 하여, 100% 방염 알루미늄만으로 직조된 보온재 보다는 상대적으로 면적당 적은 양의 접착제가 사용된 본 시제품에서 방염성시험을 실시하였다. 또한 PET층 표면에 방염제를 코팅한 방염 보온재를 생산하여 방염성을 비교하였으며, 시제품의 직조형태는 BJ 55와 BJ 75 type으로 생산하였다.

### 3. 방염 알루미늄 보온재의 성능평가

#### 가. 유럽 방염 기준 시험 결과

개발된 방염 접착제를 사용해 직조의 형태를 달리하여 생산한 BJ 55와 BJ 85 type의 방염성을 검증하고자 독일의 시험기관에 시험 의뢰하였다. 방염테스트에 이용된 시료는 직조 Type 별 경사와 위사로 나누어 조건 당 6개씩 시험에 사용되었고 시험방법은 독일 DIN 4102-1 B1 등급에 준하여 실시되었다. 표 6은 독일 방염 연구소의 방염시험 결과를 나타낸 것이다.

표 6 독일 방염 연구소 (Fire lab) 방염시험 결과

구 분	BJ55TY		BJ85TY	
	경사	위사	경사	위사
점화시작시간(초)	1.2	1.2	1.2	1.3
최대화염크기(cm)	4.3	4.8	2.8	3.2
최대화염발생시간(초)	3.5	4.3	3.7	3.2
한도마크도달전진화(초)	4.3	4.7	4.2	3.8

독일방염연구소의 방염시험에서는 화염의 최대 높이 약 6cm, 최대 진전된 폭 약 8cm까지의 최대 화염으로 가열하여 테스트를 실시한다. 샘플에서 볼 때 BJ 55 타입은 씨실 부분과 날실 부분 모두에서 표시마크까지 도달하기 전에 화염이 진화된 것으로 나타나 측정마크상의 화염 발생이 없었으며, 연기발생량도 매우 적은 것으로 나타났다. BJ 85type 또한 동일한 결과를 나타내어 유럽 방염기준을 만족하는 것으로 나타났다(그림 18 참조).

#### 나. 미국 방염 기준(CPAI 84) 시험 결과

방염 알루미늄 보온재로 제작한 방염 시제품 중 방염제와 혼용한 방염접착제를 사용한 시제품과 외국의 방염원단과의 방염성을 비교하기 위하여 미국의 방염기준 중 하나인 CPAI 84 section 6법에 의거하여 시험 의뢰하였고, 그 결과는 표 7과 같다.

표 8의 방염 기준에 비추어 볼 때 항목별로 외국의 방염원단과 본 연구에서 개발한 방염 알루미늄 보온재 모두 미국방염기준을 통과한 것으로 나타났다. 구체적인 세부항목별로 살펴보면, 본 연구에서 개발한 Type별 방염 알루미늄 보온재는 잔염시간과 적하물 낙하연소시간이 0로 나타나 방염처리가 우수한 것으로 나타났다(그림 19참조).

한편, 탄화거리는 외국 방염 원단의 경우 경사에서 159.8~163.5mm 이었고, 방염 알루미늄 보온재는 147.8~158.8mm가 화염에 탄화되어 외국방염원단에 비하여 탄화거리가 짧은 것으로 나타났다. 위사별로 비교하였을 때도 방염 알루미늄 보온재는 141.5~156.0mm로 외국 방염원단의 155.5~160.0mm에 비하여 탄화거리가 짧은 것으로 나타나 방염도가 우수한 것으로 나타났다.

표 7 방염 알루미늄 보온재와 외국방염 원단

방염종류		B방염	I방염	N방염	방염 알루미늄 보온재		
					55 Type	75 Type	85 Type
잔염시간 (초)	경사	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	위사	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
적하물의 낙하연소 시간(초)	경사	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	위사	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
탄화거리 (mm)	경사	163.5±3.4	161.0±3.7	159.8±4.0	153.5±3.1	147.8±1.5	158.8±1.7
	위사	155.5±2.6	160.0±3.9	157.5±4.5	152.8±3.0	141.5±2.1	156.0±2.2

표 8 CPAI 84 Section 6(1995) 판정기준

Fabric weight (g/m <sup>2</sup> )	탄화거리(mm)		잔염시간(초)		적하물의 낙하연소시간	
	평균	최대(개별)	평균	최대(개별)	평균	최대(개별)
50 ~ 135	215	255	2	4	0	0







그림 19. FITY 시험 연구원 방염의뢰 시험성적서

### 제 3 절 알루미늄 다겹 차광 보온재의 온실 설치

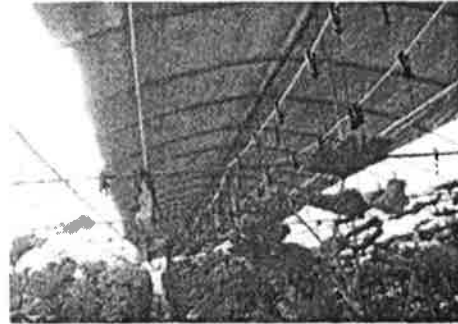
#### 1. 알루미늄 다겹 차광 보온재 시제품의 온실 설치 및 재배시험 (1차년도 수행 시험)

##### 가. 알루미늄 다겹 보온재 시제품 온실 설치

본 연구에서 개발된 알루미늄 다겹 차광 보온재의 시제품에 대한 문제점 및 개선방향을 점검하기 위하여 전라북도 남원시에 위치한 온실에 설치하였다. 시제품 설치 온실은 단동 하우스로서 폭 8m×43m×3.6m(W×L×H)의 3중 구조 비닐피복 하우스이다. 1층 피복재는 두께 0.15mm의 폴리올레핀(Polyolefin)계열로 사용하였고, 2층 피복재는 두께 0.08mm의 폴리에틸렌필름을 사용하였다. 3층 피복재는 실험구의 경우 알루미늄 다겹 보온커튼을 사용하였고, 대조구로 일반부직포를 사용하였으며, 온풍난방기를 이용하여 난방하였다.



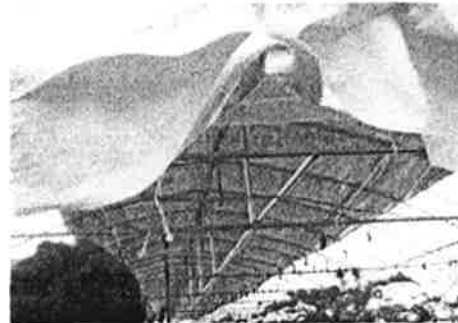
(A) 다겹 보온재의 하우스 내 반입



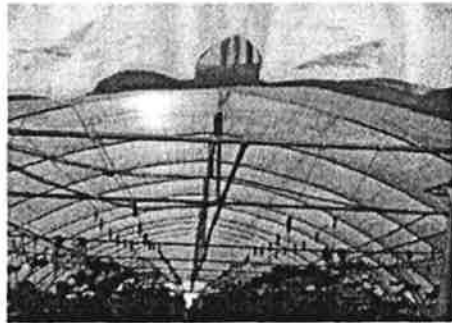
(B) 다겹 보온재의 천장부분 설치



(C) 다겹 보온재의 측면부분 설치



(D) 천장 설치 시 확인 작업

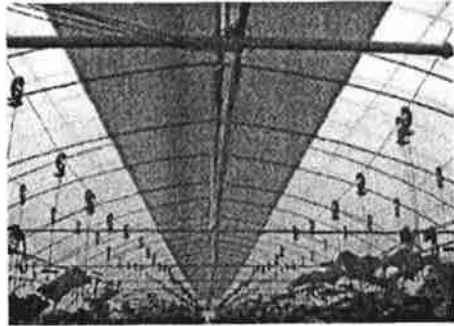


(E) 다겹 보온재의 천장 고정 작업 1

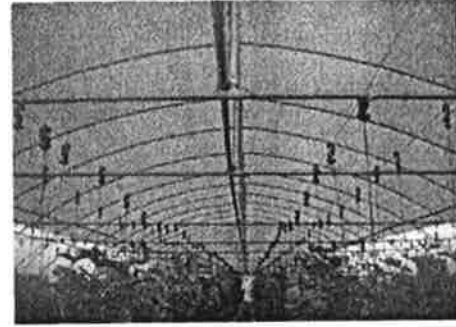


(F) 다겹 보온재의 천장 고정 작업 2

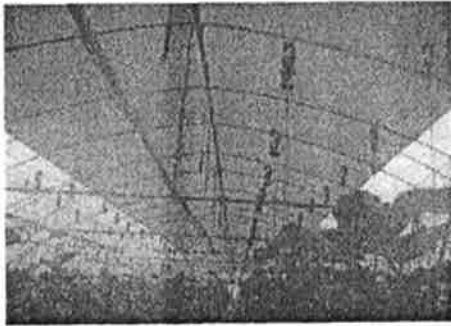
그림 20. 알루미늄 다겹 차광 보온재 시제품 설치 전경



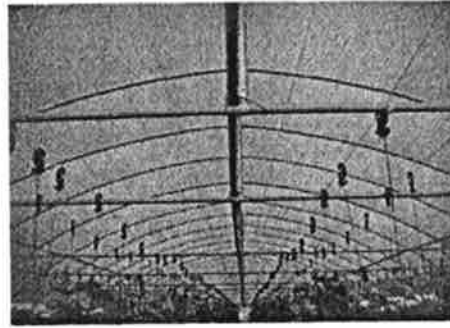
(A) 다겹 보온재를 접었을 때



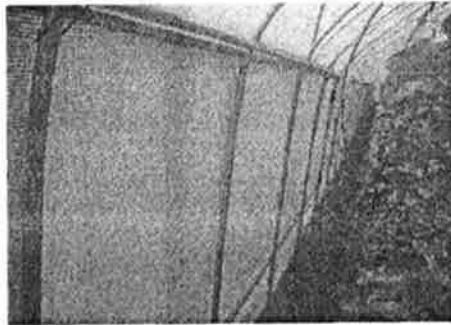
(B) 다겹 보온재를 펼쳤을 때



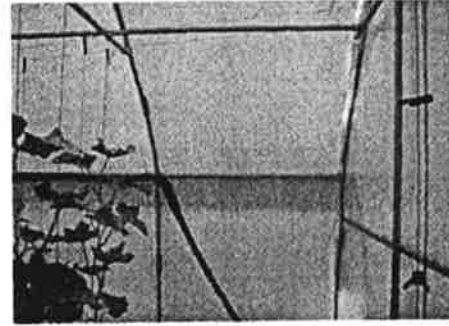
(C) 다겹 보온재를 1/2로 펼쳤을 때



(D) 다겹 보온재를 완전히 덮은 상태



(E) 다겹 보온재의 측면 설치 전경



(F) 다겹 보온재의 천장과 측면 간 밀착상태확인

그림 21. 알루미늄 다겹 차광 보온재 설치 후 전경

**나. 온실 재배 시험**

**1) 시험 목적**

동일 난방온도로 설정한 두 비닐온실에 알루미늄 다겹 보온 커튼 시제품과 일반 부직포를 각각 설치하고, 멜론을 재배작물로 선정하여 초기 생육을 비교함으로써 알루미늄 다겹 보온 커튼과 일반 부직포의 보온효과와 작물의 생육에 미치는 영향을 알아보고자 온실 재배 시험을 수행하였다.

**2) 시험 재료 및 방법**

표 9 재배품종의 시험조건 및 조사방법

구 분	내 용
재배품종	그랑베르 (네트 멜론)
처리구	알루미늄 다겹 보온커튼, 일반 부직포(대조구)
재배방법	성식 : 12월 4일, 가온(15℃)하여 관행재배(농촌진흥청 고시)
생육조사	1주 간격 처리별 13개체의 초장, 간장, 경직경 조사



그림 22. 알루미늄 다겹 보온재 및 일반 부직포 설치 온실 전경



그림 23. 멜론정식 시 다겹 보온재(좌) 설치 온실과 일반 부직포(우) 설치 온실

### 3) 시험 장소

시제품을 설치한 전라남도 남원시에 위치한 폭 8m×43m×3.6m(W×L×H)의 3중 구조 비닐 피복 난동 하우스에서 실시하였다.

### 4) 시험 결과

그림 24와 25는 알루미늄 다겹 보온 커튼과 일반 부직포 설치온실별 멜론의 생육변화를 나타낸 것이다.

그림 24와 25에서 보는 바와 같이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실에 비하여 멜론의 생육이 양호한 것으로 나타났다.

일반 부직포 설치 온실의 초장 길이는 생육 1주차에서 14.65cm 이었고, 5주차에는 20.08cm로 저온의 영향을 받아 낮은 생장을 보였으며, 특히 5주차 조사에서 생육저하에 따른 개체의 일마를 증상까지 나타나 초장이 완만히 증가하는 결과를 보였다. 생육 6주차에서의 초장 길이는 28.72cm로서 정식 초기와 비교하여 14.1cm 증가한 것으로 나타났다.

알루미늄 다겹 보온재 설치 온실의 경우 멜론의 초장은 정식 초기와 비교하여 생육 6주차에 50.13cm로 약 35.5cm가 증가하여 일반 부직포 설치 온실과 비교하여 약 2.5배정도의 생장차이를 나타내었다.

간장의 경우에도 초장과 거의 유사한 경향을 나타내어 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실은 지속적으로 증가한 반면 일반부직포설치 온실의 경우 생육이 정체되었으나 생육 6주차에서 급격한 증가하는 경향을 보였다.

알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 멜론의 간장은 생육 6주차에서 약 37.0cm 이었고, 일반 부직포 설치 온실의 경우에는 약 16.1cm로 나타나 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실에 비해 간장의 생육이 약 2.3배 정도 양호한 것으로 나타났다.

경직경도 초장과 간장의 경우와 마찬가지로 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 더 큰 것으로 나타났다.

경직경은 정식 초기 3.06mm 이었고, 생육 6주차에서 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 4.57mm로 정식 초기와 비교하여 1.51mm 증가하였으나 일반 부직포 설치 온실의 경우에는 정식초기와 비교하여 약 0.54mm가 증가하는데 그쳐 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 약 2.8배정도 생육이 양호한 것으로 나타났다.

이와 같이 알루미늄 다겹 보온커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실에 비해 멜론의 생육 상태가 양호한 것은 일반 부직포에 비해 알루미늄 다겹 보온 커튼의 보온효과 높아 동절기 야간의 냉해에 대한 피해가 적었던 것으로 판단된다.

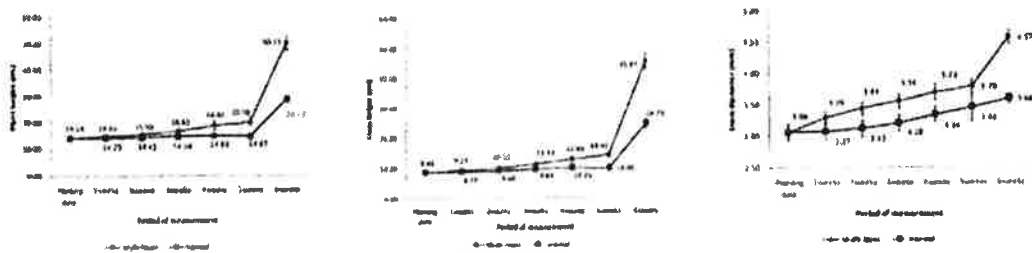


그림 24. 다겹 차광 보온재와 일반부직포간의 특성 비교 (좌: 초장, 중: 간장, 우: 경직경)

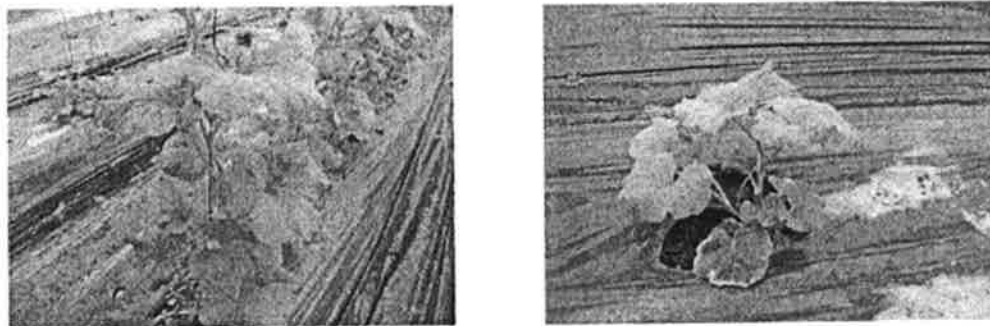


그림 25. 다겹 보온재 설치 온실(좌)의 멜론 및 일반 부직포 설치 온실(우)의 멜론 개체

##### 5) 적 요

알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 대조구인 일반 부직포 설치 온실에서 6주간 주·야간 온도를 17℃로 설정해 온풍 난방하여 재배한 멜론 그랑베르의 초장, 간장, 경직경의 변화율 비교하였다. 그 결과, 초장의 경우 알루미늄 다겹 보온재 설치 온실이 생육 6주차에 50.13cm로 정식 초기보다 약 35.5cm가 증가한 반면 일반부직포는 28.72cm로 14.1cm 증가하는데 그쳐 약

2.5배정도의 생육차이를 나타내었다. 간장은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 37.0cm가 성장하였고, 일반 부직포 설치 온실에서는 16.1cm의 성장을 보여 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 약 2.3배정도 생육이 양호하였다. 경직경도 정식 초기와 비교하여 생육 6주차에 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포는 설치 온실과 비교하여 약 2.8배 정도의 양호한 생육을 나타내었다. 이와 같은 결과는 일반 부직포에 비해 알루미늄 다겹 보온 커튼의 보온효과 높아 동절기 야간의 냉해에 대한 피해가 적었던 것으로 판단된다.

## 2. 알루미늄 다겹 및 방염 보온재 온실 설치 (2차년도 수행시험)

### 가. 2차년도 알루미늄 다겹 및 방염 보온재 온실 설치 및 열화상 시험

1차년도 남원에서 수행했던 생육 비교시험 결과 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 생육은 양호한 것으로 나타났으나 일반 부직포 설치 온실의 멜론은 저온으로 인해 생육이 저해되고 장해 현상까지 나타내는 결과를 보였다. 이러한 문제점을 고려해 2차년도 실험은 1차년도 실험장소인 남원에 비해 위도가 낮으면서 주·야간 온도 편차가 적고, 동계기온이 높아 멜론의 생육기 저온장해가 적은 김해의 농촌진흥청 시설원예시험장 내 시험포 온실에서 수행하였다.

2차년도의 알루미늄 다겹 및 방염 보온 커튼의 하우스 설치 실험은 실험구로서 알루미늄 다겹 보온 커튼과 알루미늄 방염 보온 커튼을 설치하였고, 대조구로서 1차년도와 동일한 일반 부직포를 설치하여 수행하였다. 남원과 부산의 동계 평균기온을 비교해 본바 부산이 남원에 비해 4~5℃정도 높은 것으로 나타났다. 그러나 시험 당해 동계 이상 저온 현상으로 인해 12월부터 이듬해 2011년 1월까지 시험이 진행된 기간 동안의 기온이 평년에 비하여 12월 0.4℃, 1월의 경우에는 약 3.7℃가량이 낮았던 것으로 관측되었다(그림 26 참조).



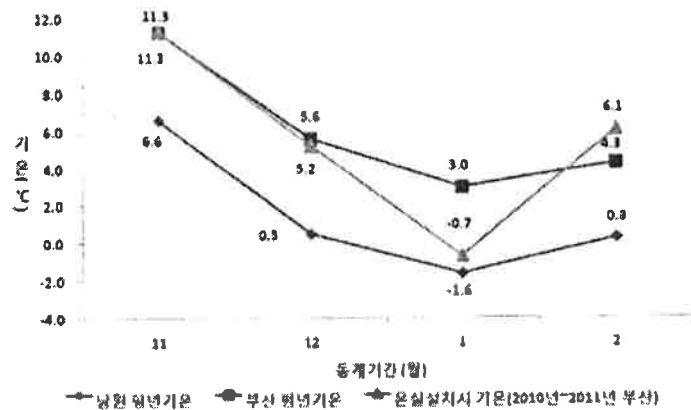


그림 26. 남원과 부산의 평년기온 및 시험 당해 기온 비교(기상청 자료)

### 1) 시험장소

그림 27은 2차년도 하우스 실험에 사용된 김해 농촌진흥청 시설원에서 시험장 내 비닐 온실을 나타낸 것으로 하우스 규격은 8X25X3.5m(WXLXH)로 2중 비닐 단동이며, 난방기불 이용하여 주야간 내부온도 20℃가 유지될 수 있도록 설정하였다.

그림 28과 29는 시험 온실내부를 나타낸 것으로서 2년차에 개발된 알루미늄 다겹 보온 커튼 개선제품과 알루미늄 방열 보온 커튼 시제품을 설치하였고, 동일 하우스 규격 및 내부온도 설정으로 일반 부직포를 대조구로 설치하여 시험하였다. 온실의 천장과 측창은 자동으로 여닫을 수 있도록 자동개폐기를 사용하였고, 격리 재배상을 설치하여 2010년 11월 22일에 멜론을 정식하여 재배하였다(그림 30 참조).

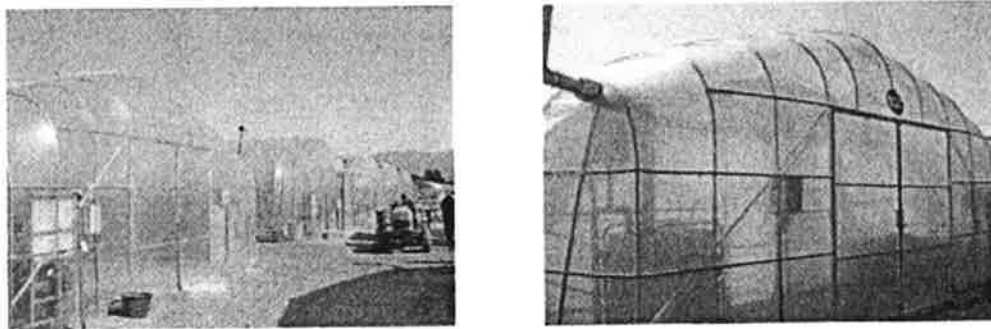
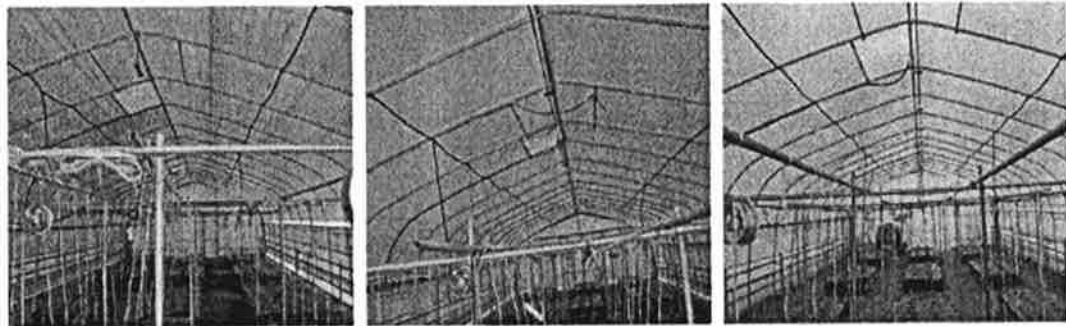


그림 27. 알루미늄 다겹 차광 보온재 개선제품 설치 온실



그림 28. 개선제품 설치 전 온실 내부



(A) 방염 알루미늄 차광 보온커튼 (B) 알루미늄 다겹 차광보온커튼 (C) 부직포 설치

그림 29. 방염 및 개선제품 설치 후 온실 내부

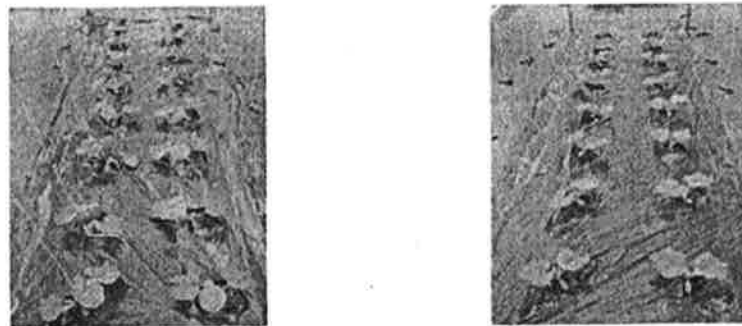


그림 30. 멜론 적리 재배상에 정식한 묘종

2차년도 시험에서는 외기조건에 따른 차광 보온재 차이에 따른 온도 분포를 비교하고자 열화상 카메라를 이용하여 보온재 설치 온실변 내·외부의 온도 분포를 측정하였다.

그림 31은 열화상 카메라 촬영 당일인 2010년 12월 21일의 기온 분포를 나타낸 것으로서, 당일 일몰시간은 17시 28분이었고, 다음날 일출시간은 7시 16분이었다. 시간대별 외부기온의 변화는 일몰시간인 17시 16분에 11.1℃, 19시에는 10.2℃ 이었고, 1차 측정시간인 19시 50분에는 9.6℃, 2차 측정시간인 24시에는 6.5℃, 3차 측정시간인 오전 7시 정각에는 4.4℃를 기록하였다.

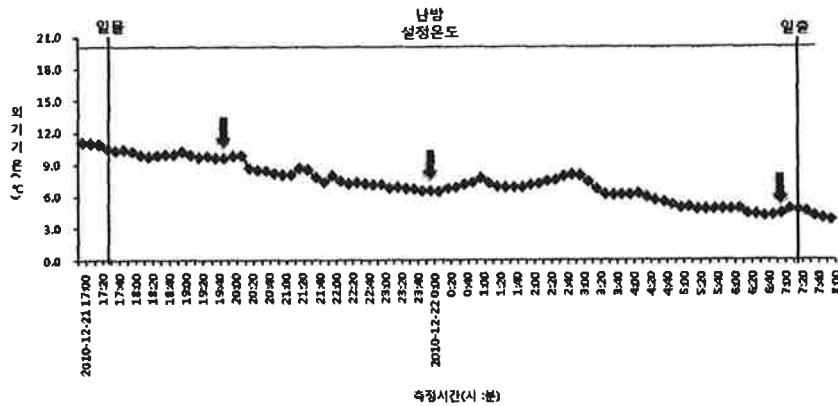


그림 31. 열화상 측정 시간대의 부산지역 외기온도의 변화(기상청 자료)

## 2) 시험 방법

온실 내·외부의 온도분포 측정을 위하여 사용한 장비는 열화상카메라(FLIR i5, Sweden)로 촬영시 디지털 액정화면 상단부에 촬영 목표지점에 대한 온도와 하단부에 촬영된 면적의 최저 온도와 최고온도를 측정할 수 있다. 1차 측정은 19시 50분에 실시하였고 2차 측정 24시, 3차 측정은 다음날 오전 7시에 실시, 총 3회 하우스 내부(천장, 측면, 출입문, 폐쇄문)와 외부(측면, 출입문, 폐쇄문)의 온도분포를 측정하였다.

## 3) 시험 결과

보온재 처리별 하우스 내부 온도변화는 표 10과 같다. 1차 측정시 일반 부직포 설치 온실 천장의 경우 14.5℃의 온도를 보였고, 측면은 16.7℃의 온도를 나타내었다. 그리고 알루미늄 다겹 보온 커튼의 경우 천장은 19.6℃, 측면은 20.6℃로 일반 부직포에 비해 천장의 경우 약 5℃, 측면의 경우 약 4℃ 정도 온도가 높은 것으로 나타났다.

출입문과 폐쇄문의 온도변화를 보면 부직포의 경우 15.4℃와 11.0℃로 천장과 측면의 온도 분포와 유사한 경향을 나타내었다. 알루미늄 다겹 보온 커튼의 경우 출입문과 폐쇄문의 온도는

각각 15.0℃와 17.7℃로 천장과 측면의 온도보다 낮은 것으로 나타났다.

2차 열화상 측정에서는 천장의 경우 일반 부직포 설치 온실은 15.2℃의 온도를 나타내었고, 알루미늄 다겹 보온재는 19.1℃로 일반 부직포 설치 온실보다 3.9℃정도 높은 것으로 나타났다. 측창부분에서도 일반 부직포의 경우 17.7℃, 알루미늄 다겹 보온재는 20.7℃로 나타나 약 3℃정도 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 높은 것으로 나타났다. 폐쇄부의 경우 일반 부직포 설치 온실이 11.8℃, 알루미늄 다겹 보온재 설치온실은 17.3℃로서 알루미늄 다겹 보온재 설치 온실의 온도가 더 높은 것으로 나타났다.

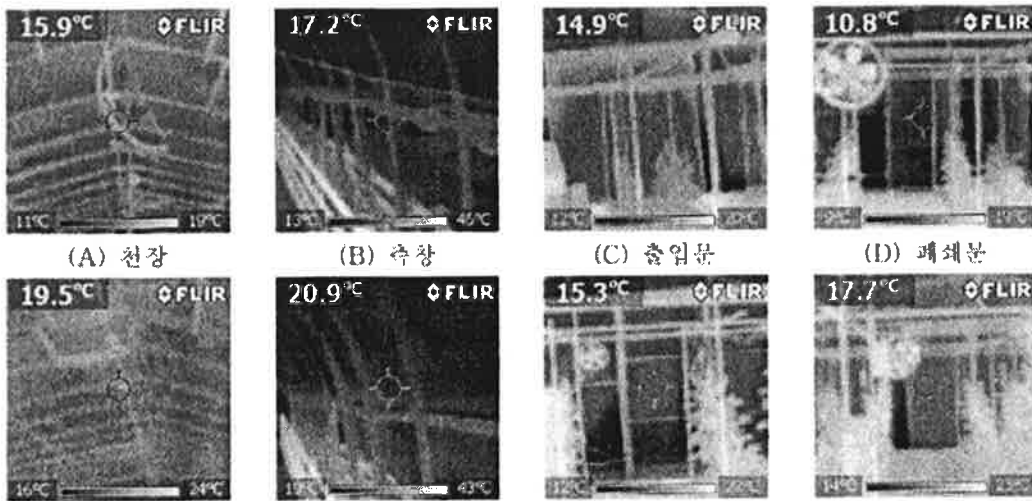


그림 32. 하우스 내부 열화상 1차 측정(상 : 일반 부직포, 하 : 알루미늄 다겹 보온재)

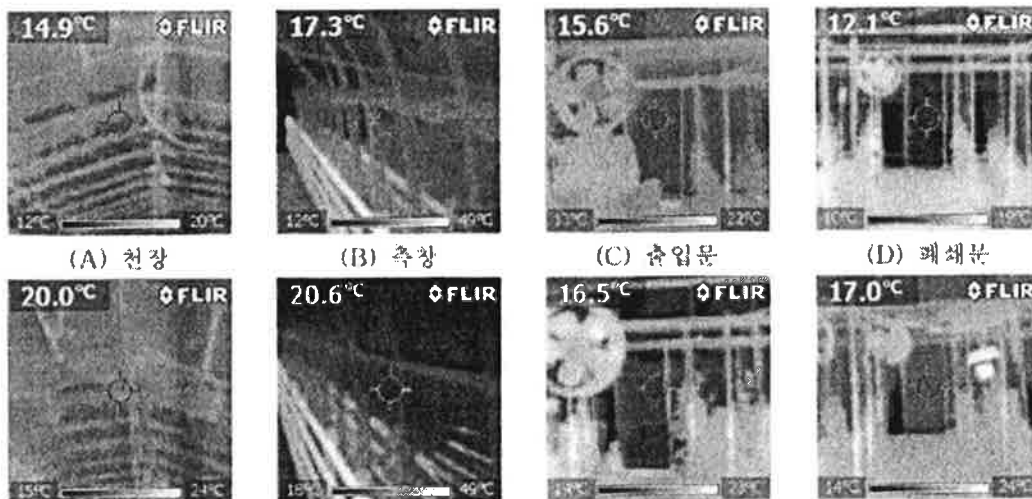


그림 33. 하우스 내부 열화상 2차 측정(상 : 일반 부직포, 하 : 알루미늄 다겹 보온재)

3차 측정시 천장의 온도 분포는 일반 부직포는 11.2℃, 알루미늄 다겹 보온 커튼은 17.1℃로 약 6℃ 정도 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 높은 것으로 나타났다. 측면의 경우 일반 부직포는 15.1℃ 알루미늄 다겹 보온커튼은 19.4℃로 알루미늄 다겹 보온커튼이 부직포에 비해 약 4.3℃ 정도 높은 온도를 보였다. 출입문의 경우 일반 부직포는 13.0℃, 알루미늄 다겹 보온 커튼은 12.2℃로 거의 유사하였던 반면, 폐쇄문의 경우 일반 부직포는 7.8℃, 알루미늄 다겹 보온 커튼은 14.2℃로 나타났다.

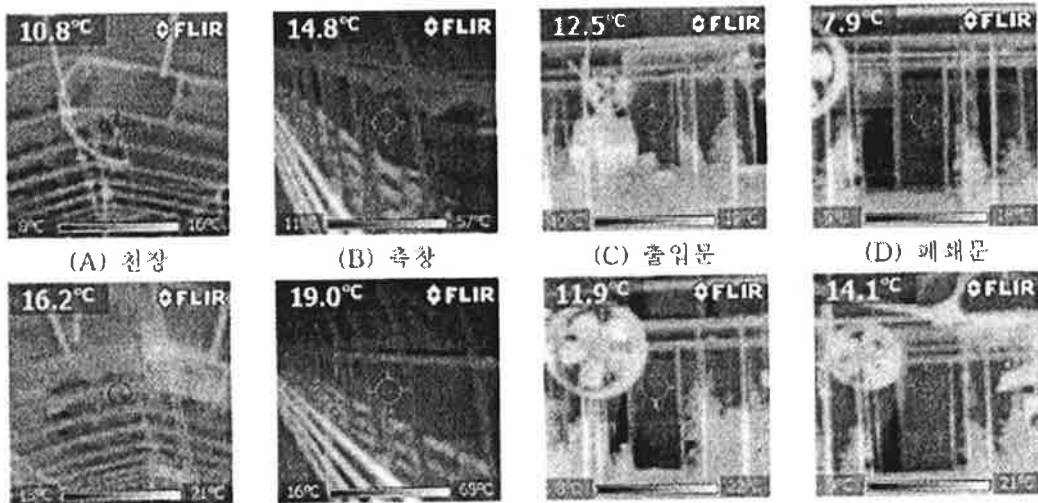


그림 34. 하우스 내부 열화상 3차 측정(상 : 일반 부직포, 하 : 알루미늄 다겹 보온 커튼)

표 10 측정 시간별 하우스 내부 온도 변화

구분	일반 부직포(℃)				알루미늄 다겹 차광 보온 커튼(℃)			
	천장	측창	출입문	폐쇄문	천장	측창	출입문	폐쇄문
1차측정	14.5±0.2	16.7±0.5	15.4±0.3	11.0±0.1	19.6±0.3	20.6±0.2	15.0±0.1	17.7±0.2
2차측정	15.2±0.4	17.7±0.6	15.5±0.1	11.8±0.2	19.1±0.3	20.7±0.1	16.6±0.3	17.3±0.4
3차측정	11.2±0.5	15.1±0.1	13.0±0.4	7.8±0.1	17.1±0.4	19.4±0.4	12.2±0.2	14.2±0.1

보온세 지리별 하우스 외부의 온도 변화는 표 11에 나타내었다. 1차 측정시 측면의 온도분포

는 일반 부직포의 경우 평균 6.9℃ 알루미늄 다겹 보온 커튼은 5.5℃로 일반 부직포 설치 온실의 외피온도가 높아 외부로의 열 손실이 많은 것으로 나타났다. 출입문의 경우에는 일반 부직포 설치 온실이 4.0℃, 알루미늄 다겹 보온 커튼이 11.1℃로 나타나 출입문을 통한 열 손실은 일반 부직포 설치 온실이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실보다 적은 것으로 나타났다. 측정 위치별 온도분포로 볼 때 일반 부직포 설치 온실은 측면과 폐쇄분에서 열이 손실되었던 것으로 보이며, 알루미늄 다겹 보온 커튼은 출입문에서 주로 열이 유출되었던 것으로 판단되었다.

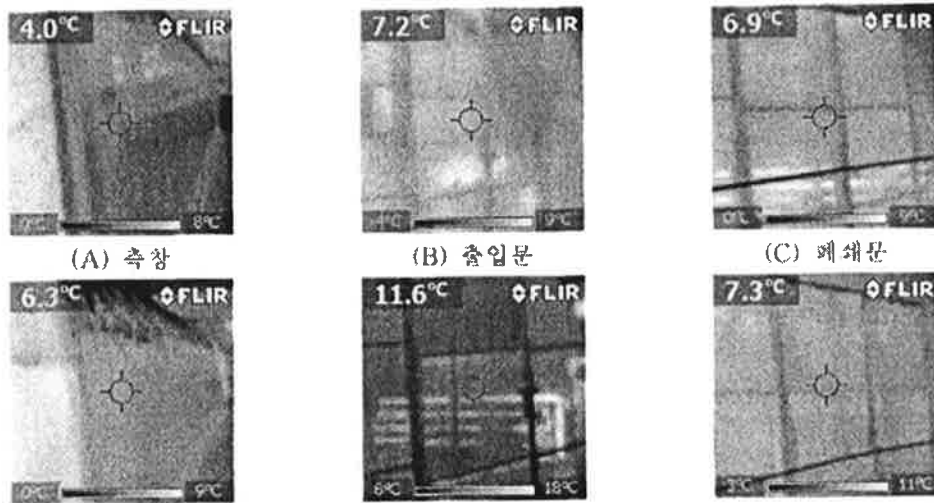


그림 35. 하우스 외부 열화상 1차 측정(상 : 일반 부직포, 하 : 알루미늄 다겹 보온 커튼)

2차 측정시 측면의 경우 부직포 설치 온실이 6.6℃, 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실은 6.8℃로 나타나 유사한 외피온도를 나타내었다. 출입문의 경우에는 일반 부직포 설치 온실이 9.3℃, 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 8.1℃를 나타내었고, 폐쇄분에서는 부직포 설치 온실이 9.0℃, 알루미늄 다겹 보온재 설치 온실이 10.2℃로서 나타났다. 측정위치별 온도분포로 볼 때 일반 부직포 설치 온실의 경우 출입문에서의 열 유출이 많았으며, 알루미늄 다겹 보온재의 경우 폐쇄분에서의 열 유출이 많은 것으로 나타났다.

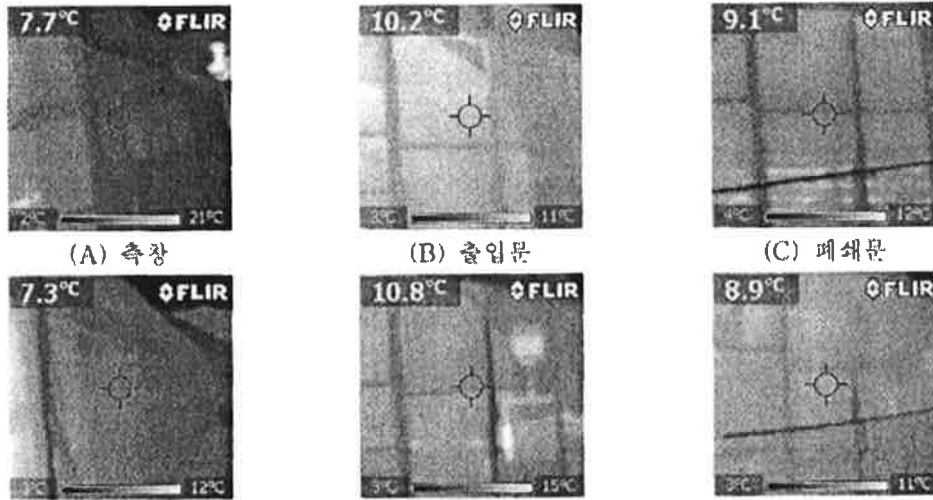


그림 36. 하우스 외부 열화상 2차 측정(상 : 일반 부직포, 하 : 알루미늄 다겹 보온재)

3차 측정에서는 측면의 경우 일반 부직포 설치 온실이  $-2.5^{\circ}\text{C}$ , 알루미늄 다겹 보온재 설치 온실은  $-0.3^{\circ}\text{C}$ 로 부직포 설치 온실에 비하여 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 외피온도가 높은 것으로 나타났다. 이것은 3차의 하우스 내부 열화상 측정결과 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 온도가 일반 부직포에 비하여 높았던 것으로 판단해볼 때 새벽의 급격한 기온저하로 인하여 일반 부직포 설치 온실의 보온성이 낮아져 내부 온도가 저하됨에 따른 외피의 온도도 저하된 것으로 판단된다.

출입문의 경우에는 일반 부직포 설치 온실이  $2.1^{\circ}\text{C}$ , 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이  $4.3^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 폐쇄문은 일반 부직포 설치 온실이  $2.3^{\circ}\text{C}$ , 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이  $0.8^{\circ}\text{C}$ 로서 일반 부직포 설치 온실보다  $1.5^{\circ}\text{C}$  높은 것으로 나타내었다.

이상의 결과로부터 일반 부직포 설치 온실은 폐쇄문과 출입문에서의 열 손실이 많았고, 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실 또한 출입문 쪽의 열 손실이 다른 위치에 비하여 높았던 것으로 나타났다. 이것은 표 11의 하우스 내부 온도 자료로 추정해볼 때 새벽의 급격한 온도저하로 내부온도가 낮아 알루미늄 다겹 보온 커튼에 비하여 외피 온도가 낮았을 것으로 판단된다.

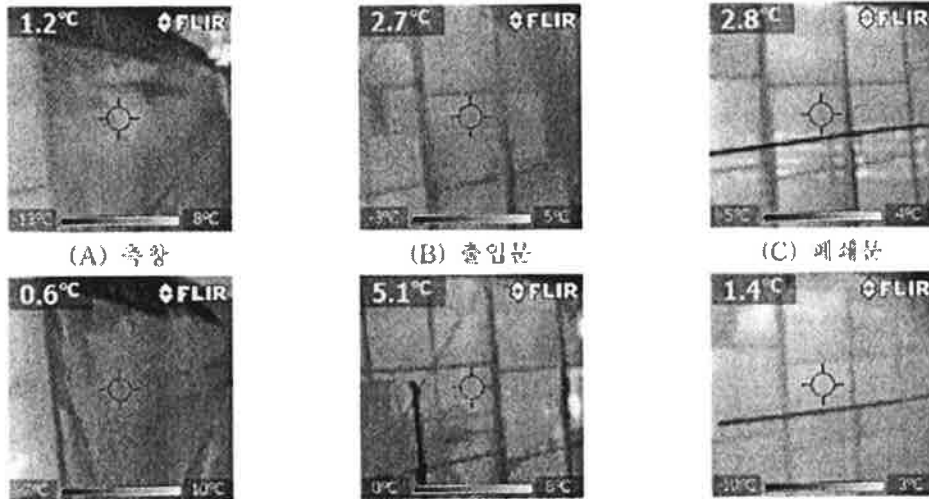


그림 37. 하우스 외부 열화상 3차 측정(상 : 일반 부직포, 하 : 알루미늄 다겹 보온 커튼)

표 11 측정 시간별 하우스 외부의 온도 변화

구 분	일반 부직포(℃)			알루미늄 다겹 차광 보온 커튼(℃)		
	측면	출입문	폐쇄문	측면	출입문	폐쇄문
1차측정	6.9±0.1	4.0±0.2	7.1±0.1	5.5±0.1	11.1±0.2	7.6±0.1
2차측정	6.6±0.1	9.3±0.1	9.0±0.1	6.8±0.1	8.1±0.1	10.2±0.2
3차측정	2.5±0.3	2.1±0.1	2.3±0.2	-0.3±0.1	4.3±0.2	0.8±0.1

#### 4) 적 요

열화상카메라를 통하여 특정일(12월 21일~22일)의 차리구별 하우스 내외부의 온도분포 변화와 외부의 주요 열손실 부위를 측정한 결과, 하우스 내부의 1차 측정 시 천장과 측면의 경우 알루미늄 다겹 보온재가 부직포에 비하여 높은 온도분포를 보였으며, 출입문 및 폐쇄문은 2개의 차리구간에 유사한 온도분포를 보였다.

2차 측정 시에는 알루미늄 다겹 보온재가 천장, 측면, 출입문, 폐쇄문에서 부직포에 비하여 높은 온도분포를 나타내었다. 그리고 3차 측정에서는 천장, 측면, 폐쇄문에서 알루미늄 다겹 보온 커튼이 일반 부직포에 비하여 높은 온도분포를 보인 반면 출입문에서는 일반 부직포가 높은 온도분포를 보인 것으로 나타났다.



하우스 외부의 1차 측정에서는 일반 부직포의 경우 측면과 폐쇄문의 하우스 외피온도가 높았으며 알루미늄 다겹 차광 보온 커튼의 경우 출입문의 온도분포가 높았다. 2차 측정에서는 일반 부직포의 경우 출입문과 폐쇄문의 외피온도가 높았으며 알루미늄 다겹 보온재는 폐쇄문의 외피온도가 높아 열유출이 높았을 것으로 판단되었다. 그리고 3차 측정시에는 2차 측정과 동일한 부분인 부직포의 경우 출입문과 폐쇄문의 외피온도가, 알루미늄 다겹 보온 커튼은 출입문에서의 하우스 외피온도가 높아 열유출이 높았을 것으로 추정된다.

#### 나. 알루미늄 다겹 및 방염 보온재의 에너지 효율 시험

##### 1) 시험 방법

김해 농촌진흥청 시설원예시험장에 설치한 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실, 알루미늄 방염 보온 커튼 설치 온실 및 일반 부직포 설치 온실의 에너지 절감효율을 비교하기 위하여 에너지 효율 시험을 수행하였다. 모든 온실은 온수난방기(귀뚜라미보일러, KR-50)를 사용하였고, 설정온도를 20℃로 맞추어 난방하였다. 난방기간은 2010년 11월 24일부터 2011년 3월 9일까지 106일간이었으며, 에너지절감 효율은 난방유 사용량으로 비교하였고, CO<sub>2</sub> 배출량은 난방유의 탄소배출 계수와 석유환산계수를 이용하여 계산하였다.

##### 2) 시험 결과

알루미늄 다겹 및 방염 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의 난방 기간 동안의 난방유 소모량은 그림 38과 같다.

난방기간 106일 동안 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 난방유 총 소비량은 4,306 ℓ 이었고, 일일 난방유 소모량은 40.6 ℓ 이었다. 알루미늄 방염 보온 커튼 설치 온실의 난방 기간 동안 총 난방유 소비량은 4,738 ℓ, 일일 난방유 소모량은 44.7 ℓ로 나타났다. 반면 기존 보온재인 일반 부직포 설치 온실은 난방 기간 동안 5,260 ℓ의 난방유를 소비하는 것으로 나타났다. 따라서 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실은 일반 부직포 설치 온실에 비하여 106일의 난방기간 동안 954 ℓ의 난방유가 절감되는 것으로 나타났고, 알루미늄 방염 보온 커튼 설치 온실은 기존 일반 부직포 설치온실에 비하여 난방 기간 동안 522 ℓ의 난방유가 절감된 것으로 나타나 개발된 알루미늄 다겹 및 방염 보온 커튼의 에너지 절감효과가 매우 높은 것으로 판단된다. 특히 올해는 동계기간동안 예년에 비하여 추위가 길었고, 온도 또한 낮았던 점을 감안할 경우 에너지 절감효과는 더욱 크다고 할 수 있다.

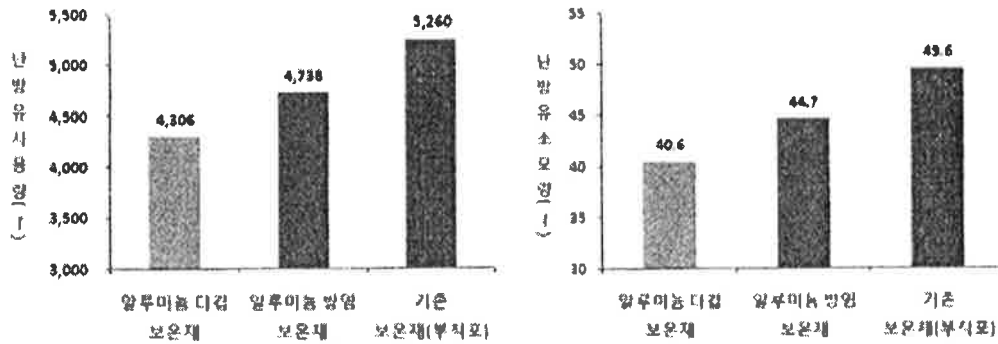


그림 38. 알루미늄 다검 및 방염보온 키펀의 난방유 소모량  
(좌: 난방 기간 동안의 소모량, 우: 난방유 일일 소모량)

알루미늄 다검 및 방염 보온 키펀의 에너지 절감 효과에 따른 탄소배출량을 기존 보온재인 일반 부직포와 비교한 결과는 표 12와 같다.

탄소배출량을 산출하기 위하여 난방유의 탄소배출계수(0.812ton/TOE)와 난방유의 식유 환산계수(0.835kg/kg)를 대한석탄공사의 2008년 탄소배출량 산출자료를 토대로 계산한 결과, 난방유 1리터당 이산화탄소배출량은 2.49kgCO<sub>2</sub>이었다. 이 결과를 토대로 알루미늄 다검 보온 키펀과 알루미늄 방염 보온 키펀, 일반 부직포의 탄소배출량을 비교해보면, 난방 기간 동안 총 이산화탄소의 배출량은 알루미늄 다검 보온 키펀의 경우 약 10.7톤이었고, 알루미늄 방염 보온 키펀의 경우 11.8톤이었던 것으로 나타났다. 그러나 일반 부직포가 13.1톤으로 알루미늄 다검 보온재에 비하여 2.4톤, 알루미늄 방염 보온재에 비해 1.3톤이 높은 것으로 나타났다.

또한 일별 이산화탄소 배출량을 살펴보면, 평균적으로 알루미늄 다검 보온 키펀은 101.1kg, 알루미늄 방염 보온 키펀은 111.3kg, 일반 부직포는 123.5kg의 이산화탄소를 배출하였다. 이러한 결과로 볼 때 알루미늄 다검 보온 키펀을 제품화한 경우 이산화탄소 배출 절감으로 인한 친환경 농기자재로의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

표 12 보온재별 난방유사용량 및 CO<sub>2</sub> 배출량(추정) 비교

보온재	알루미늄 다겹 보온 커튼	알루미늄 방염 보온 커튼	일반 부직포
사용유류량 (ℓ)	4,306	4,738	5,260
난방기간동안의 CO <sub>2</sub> 배출량(kgCO <sub>2</sub> )	10,721.9	11,797.6	13,097.4
일일 CO <sub>2</sub> 배출량 (kgCO <sub>2</sub> )	101.1	111.3	123.5

3) 적요

알루미늄 다겹 및 방염 보온 커튼 설치 온실과 기존 보온재인 일반 부직포 설치 온실의 에너지 절감 효율 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

난방기간(106일)동안 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 난방유 총 소비량은 4,306 ℓ 이었으며, 일일 난방유 소모량은 40.6 ℓ 였다. 그리고 알루미늄 방염 보온재 설치 온실의 경우 난방 기간 동안의 난방유 총 소비량은 4,738 ℓ, 일일 난방유 소모량은 44.7 ℓ 로 나타난 반면 기존 보온재인 부직포 설치 온실의 경우 난방 기간 동안 5,260 ℓ 의 난방유를 소비함으로써 알루미늄 다겹 보온재에 비하여 1.22배 더 많은 난방유를 소모한 것으로 나타났다.

또한 난방 기간 동안 총 이산화탄소의 배출량은 알루미늄 다겹 보온 커튼은 약 10.7톤이었고, 알루미늄 방염 보온 커튼은 11.8톤이었던 반면 일반 부직포가 13.1톤으로 알루미늄 다겹 보온 커튼에 비하여 2.4톤, 알루미늄 방염 보온 커튼에 비해 1.3톤 높은 것으로 나타나 일반 부직포는 알루미늄 다겹 보온 커튼에 비하여 1.22배 더 많은 이산화탄소배출량을 보였다.

## 제 4 절 알루미늄 다겹 및 방염 보온재를 이용한 온실난방시스템 의 열특성 분석

### 1. 세부연구 수행 결과

#### 가. 재료 및 방법

##### 1) 공시재료

그림 39는 1차년도 공시재료인 알루미늄 다겹 보온 커튼의 구조를 나타낸 것이다.

그림 39에서 보는 바와 같이 알루미늄 다겹 보온 커튼의 구조는 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene terephthalate) 층 12  $\mu\text{m}$ , 알루미늄(Aluminum) 층 7  $\mu\text{m}$ , 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene terephthalate) 층 12  $\mu\text{m}$ , 폴리올레핀(Polyolefin) 발포층 800  $\mu\text{m}$ 로 구성되어 있다.

한편, 2차년도 공시재료인 알루미늄 방염 보온 커튼의 구조는 알루미늄 다겹 보온 커튼과 같으나 폴리에틸렌 테레프탈레이트층에 방염처리를 하였다

대조구로 사용하는 부직포의 재질은 폴리에틸렌으로서 무게는 1 m' 당 100 g, 두께는 340  $\mu\text{m}$ 인 제품을 사용하였다.

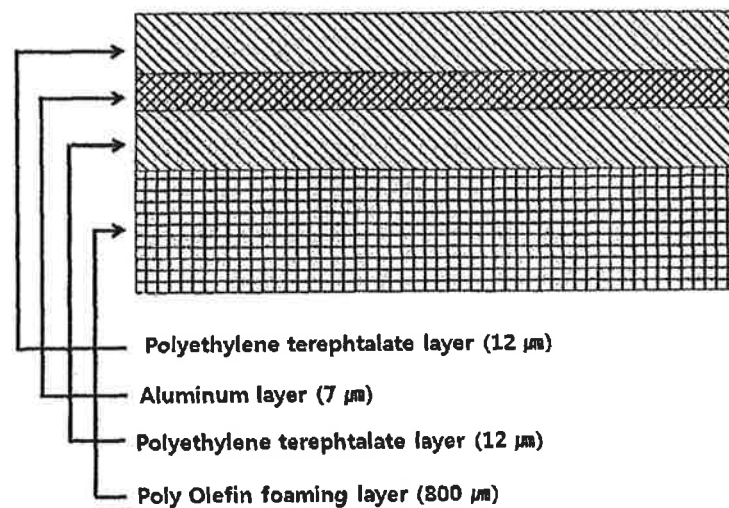


그림 39. 알루미늄 다겹 보온 커튼의 단면도

## 2) 실험장치

### 가) 실험용 온실

그림 40에 1, 2차년도 온실 난방특성 분석에 사용한 비닐하우스의 개략도를 나타내었다.

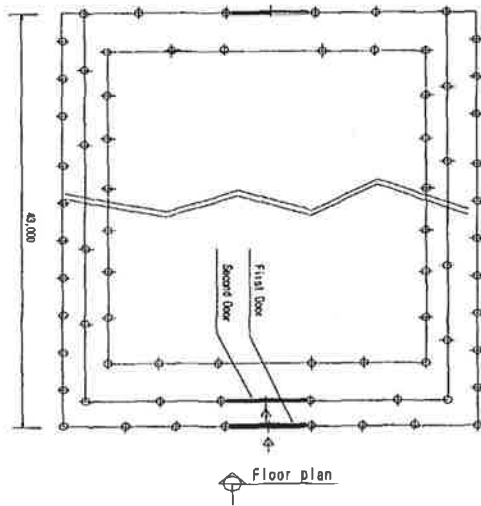
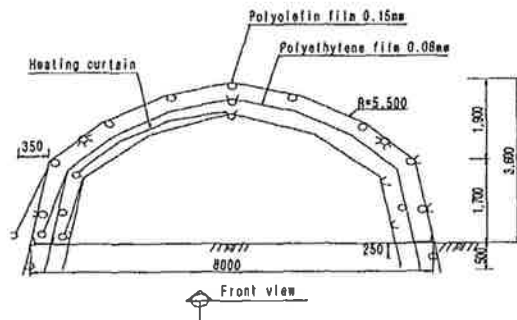
그림 40(a)에서 보는 바와 같이 1차년도 난방특성 분석에 사용한 하우스는  $43 \times 3.6 \times 8$  m(L×H×W)의 3중 구조로 되어있다. 1중 피복재는 두께 0.15 mm의 폴리올레핀(Polyolefin) 계열로 사용하였고, 2중 피복재는 두께 0.08 mm의 폴리에틸렌 필름을 사용하였다. 3중 피복재는 실험구의 경우 알루미늄 다겹 보온 커튼을 사용하였고, 대조구는 일반 부직포를 사용하였다. 난방시스템은 온풍난방기(TQ-400, 동호 농업용 난방기, Korea)를 사용하였으며, 열용량은 167,200 kJ/hr 이었다.

한편, 천창과 측창에는 자동으로 여닫을 수 있도록 자동 개폐기를 부착하였으며, 하우스 내부로 물이 흘러들어가는 것을 방지하기 위하여 물받이를 설치하였다.

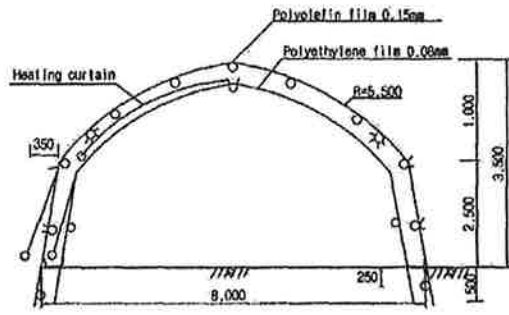
한편, 그림 40에 2차년도 온실 난방특성 분석에 사용한 비닐하우스의 개략도를 나타내었다.

그림 40(b)에서 보는 바와 같이 난방특성 분석에 사용한 하우스는  $25 \times 3.5 \times 8$  m(L×H×W)의 외부와  $23 \times 3.0 \times 7$  m의 내부 크기를 가진 2중 구조로 되어있다. 1층 피복재는 두께 0.15 mm의 폴리올레핀(Polyolefin) 계열로 사용하였고, 2층 피복재는 두께 0.08 mm의 폴리에틸렌 필름을 사용하였다. 2중 피복재는 실험구의 경우 알루미늄 다겹 보온 커튼과 알루미늄 방염처리 보온 커튼을 사용하였고, 대조구는 일반 부직포를 사용하였으며, 난방시스템은 온수난방기(KR 50, 귀뚜라미 보일러, Korea)를 사용하였다.

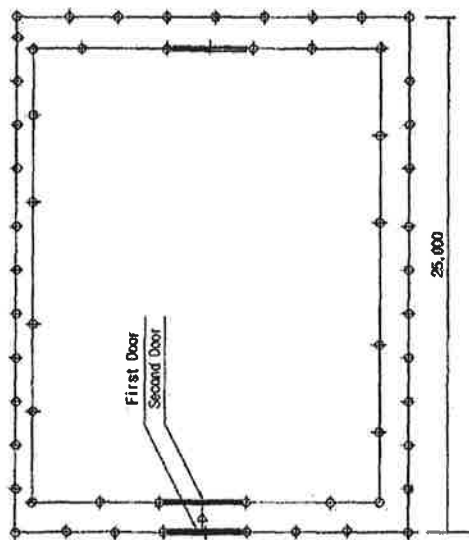
한편, 천창과 측창에는 자동으로 여닫을 수 있도록 자동 개폐기를 부착하였으며, 하우스 내부로 물이 흘러들어가는 것을 방지하기 위하여 물받이를 설치하였다.



(a) 1년차



Front view



Floor plan

(b) 2년차

그림 40. 시험은실 개략도

3) 난방특성 분석

온실 내의 열특성은 태양열 및 온수난방기로부터의 공급열량과 외부로부터 손실된 열량이 동일하다는 가정 하에 주간과 야간의 경우 식 (1)과 야간의 경우 식(2)를 이용하여 분석하였다(송현갑 등 1993).

$$Q_{Solar} + Q_{Hot\ water\ heater} = Q_{Loss - day} + Q_{Vent} + Q_{Soil} + Q_{Air} \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_{Hot\ water\ heater} = Q_{Loss - night} + Q_{Vent} + Q_{Soil} + Q_{Air} \dots\dots\dots(2)$$

여기서,

- $Q_{Solar}$  : Solar radiation in the greenhouse (kJ/hr)
- $Q_{Hot\ water\ heater}$  : Heat gained from hot water heater (kJ/hr)
- $Q_{Loss - day}$  : Heat loss through the greenhouse cover in day (kJ/hr)
- $Q_{Loss - night}$  : Heat loss through the greenhouse cover in night (kJ/hr)
- $Q_{Vent}$  : Heat loss by the ventilation from the greenhouse (kJ/hr)
- $Q_{Soil}$  : Heat absorbed and released by the soil in greenhouse (kJ/hr)
- $Q_{Air}$  : Air enthalpy in greenhouse (kJ/hr)

공급열량은 주간과 야간의 경우 식 (3)을 이용하여 태양으로부터 공급된 열량( $Q_{Solar}$ )을 산출하였고, 온수 난방기에 의해 공급된 열량( $Q_{Hot\ air\ heater}$ )은 식 (4)를 이용하여 산출하였으며, 등유 1ℓ의 발열량은 38,456 kJ로 환산하였다. 표 13은 식 (3)의 계산에 사용된 각각의 시간대별 하우스 피복재의 투과율  $\tau$  값을 나타낸 것이다. 또한, 야간의 경우에는 온수난방기로부터 공급된 열량만을 산출하여 열특성 분석에 사용하였다.

$$Q_{Solar} = \tau \times I_s \times A_g \dots\dots\dots(3)$$

$$Q_{Hot\ water\ heater} = q_{fuel} \times C \dots\dots\dots(4)$$

여기서,



- $\tau$  : Transmissivity of greenhouse cover
- $I_s$  : Solar radiation on the horizontal surface (kJ/m<sup>2</sup>·hr)
- $A_g$  : Wall area of greenhouse (m<sup>2</sup>)
- $q_{fuel}$  : Consumption of fuel (ℓ)
- $C$  : Caloric value per unit area (kJ/ℓ·hr)

표 13 하우스 피복재의 투과율

Time(hr)	Transmissivity
8:00	0.625
9:00	0.675
10:00	0.715
11:00	0.740
12:00	0.740
13:00	0.715
14:00	0.675
15:00	0.625
16:00	0.550
17:00	0.530

손실열량은 그린 하우스 피복재 외부로 손실되는 열량( $Q_{Loss}$ )을 주간의 경우 식 (5)를 이용하였고, 야간의 경우 식 (6)을 이용하여 산출하였다. 또한 손실열량 중 환기에 의해 손실되는 열량( $Q_{Vent}$ )은 식 (7)을 이용하였고, 지면으로 저장되거나 방열되는 열량( $Q_{Soil}$ )은 식 (8)을 이용하여 산출하였다.

$$Q_{Loss-day} = A_g \times h_t \times (T_{in} - T_{ambi}) \dots\dots\dots(5)$$

$$Q_{Loss-night} = A_g \times h_t \times (1 - f_r) \times (T_{in} - T_{ambi}) \dots\dots\dots(6)$$

$$Q_{Vent} = A_g \times h_v \times (T_{in} - T_{ambi}) \dots\dots\dots(7)$$

$$Q_{Soil} = \sum_{i=1}^n m_{soil} \times C_{p,soil} \times \Delta t \dots\dots\dots (8)$$

여기서,

- $h_t$  : Heat transfer coefficient of greenhouse cover (22.99kJ/m<sup>2</sup>·hr·°C)
- $h_v$  : Ventilation heat transfer coefficient of greenhouse (0.418kJ/m<sup>2</sup>·hr·°C)
- $T_{in}$  : Inside temperature of the greenhouse (°C)
- $T_{ambi}$  : Ambient temperature of the greenhouse (°C)
- $A_s$  : Floor area of greenhouse (m<sup>2</sup>)
- $m_{soil}$  : Mass of soil (kg/m<sup>2</sup>·hr)
- $C_{p,soil}$  : Specific heat at constant pressure of soil (0.96kJ/kg·°C)
- $\Delta t$  : Difference temperature between soil layers (°C)
- $f_r$  : Saving factor  
(Aluminum+Polyethylene: 0.55, Non-woven fabric: 0.30)

온실 내부 공기에 저장된 열량( $Q_{Air}$ )은 식 (9)을 이용하여 산출한 후 열특성 분석에 사용하였다.

$$Q_{Air} = \{h_a + x \times h_{va}\} \times \dot{m}_{air} \dots\dots\dots (9)$$

여기서,

- $h_a$  : Enthalpy of dry air(kJ/kg)
- $x$  : Absolute humidity in greenhouse
- $h_{va}$  : Enthalpy of vapor in the air(kJ/kg)
- $\dot{m}_{air}$  : Mass of air(kg/m<sup>2</sup>·hr)

이와 같은 열특성 분석 항목을 기준으로 실험구인 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 방염처리 알루미늄 보온 커튼 온실 및 대조구인 일반 부직포 설치 온실의 열특성 비교를 통하여 에너지 절감 효과를 분석하였다.

한편, 실험구인 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 방염처리 알루미늄 보온 커튼 설치 온실 및 대조구인 일반 부직포 설치 온실의 열특성 분석 기간은 일정기간(12월 14일부터 익년 1월

6일)으로 분석하였다. 분석기간 동안 열특성 분석은 동일 시간대의 하우스 내부 및 외부 온도, 공급 및 손실 열량을 평균하여 사용하였다.

#### 4) 측정항목

##### 가) 태양강도

온실 내 수평면의 태양강도는 기상대에서 측정된 부산의 일평균 태양강도를 시간대별로 평균하여 이용하였다.

##### 나) 온도

온도는 하우스 내부의 상, 중, 하, 중앙, 전 후 등 21개 지점과 하우스 외부 1개 지점에 온도 센서(K-Type,  $\phi$  6 mm)를 설치하고, 자동온도기록장치(DA-100D3-1F, Yokogawa, Japan)를 이용하여 10분 간격으로 측정한 후 컴퓨터에 저장하였다.

##### 다) 연료 소비량

1차년도 연료소비량은 유량계(SSO-8, 유유계기, Korea)를 이용하여 온풍난방기로 공급되는 동유량을 일일 단위로 측정하였고, 실험 기간인 2009년 12월 6일부터 2010년 1월 10일까지 36일 동안의 누적 연료소비량을 측정하여 열량으로 환산하였다.

2차년도 연료소비량은 유량계를 이용하여 온수난방기로 공급되는 동유량을 일일 단위로 측정하였고, 실험 기간인 2010년 11월 27일부터 2011년 3월 12일까지 106일 동안의 누적 연료소비량을 측정하여 열량으로 환산하였다.

## 나. 알루미늄 다겹 보온 커튼을 이용한 온실난방시스템의 열특성 분석

### (1차년도 수행과제)

#### 1) 하우스 내의 온도변화

##### 가) 1일의 온도변화

그림 41은 알루미늄 다겹 보온 커튼과 일반 부직포를 온실난방에 사용할 경우 24시간 동안 (12월 6일)의 온실 내부온도 변화를 나타낸 것이다. 실험구와 대조구의 하우스 내부 온도는 15℃로 설정하였고, 하우스 내부온도가 15℃ 이하로 저하되는 경우 온풍난방기가 작동되도록 온도제어반을 설정하였다.

그림 41에서 알 수 있듯이 외기온은 주간에는 -1.8~5.4℃이었고, 야간에는 -7.3~-1.3℃이었다. 주간에는 외기온이 최고였던 시간은 14~15시 사이로 약 5.4℃를 나타내었다. 야간의 경우에는 20시 이후부터 외기온이 영하로 내려갔고, 최저 외기온은 오전 5시부터 7시 사이에 -7.0℃~-7.3℃이었으며, 이때의 온실내 공기 온도는 11.3~17.9℃로서 설정온도 15℃ 이하로 내려갈 경우 온풍난방기가 가동되어 설정온도 이상을 유지하였다.

한편, 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 내부 온도는 주간에는 15.1~27.0℃이었고, 일반 부직포 설치 온실의 경우에는 13.3~26.8℃로 나타났다. 야간의 경우에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 내부 온도가 12.0~19.6℃이었고, 일반 부직포 설치 온실의 경우에는 11.3~20.4℃의 온도변화를 나타내었다. 또한 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 1일 동안 설정온도 이하로 내려간 횟수는 6회이었고, 부직포 설치 온실의 경우에는 7회이었다. 따라서 부직포를 이용한 난방이 알루미늄 다겹 보온 커튼보다 설정온도 이하로 내려간 횟수가 1회 많은 것으로 나타나, 일반 부직포의 보온효과가 낮은 것으로 판단된다.

이와 같이 설정온도 이하로 내려갈 경우 온풍난방기가 작동되므로 알루미늄 다겹 보온 커튼과 같이 설정온도 이하로 내려가는 횟수가 적을 경우 보온효과가 양호하다는 것을 의미하며, 난방비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

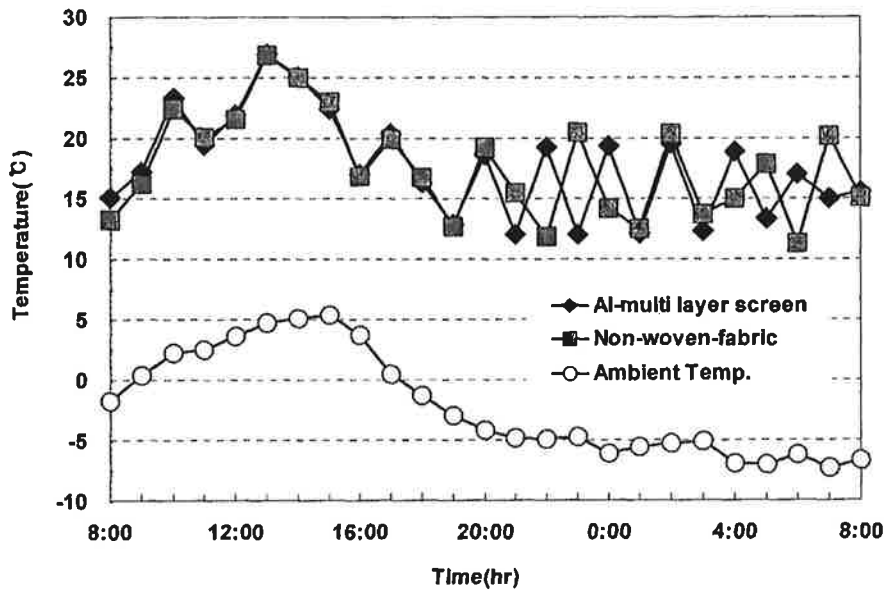


그림 41. 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의 평균온도 변화 (1일)

## 나) 일정기간의 평균온도 변화

그림 42는 알루미늄 다겹 보온 커튼과 일반 부직포를 온실난방에 설치할 경우 15일 동안(12월 6일부터 12월 20일)의 온실 내부온도와 외부온도 변화를 평균하여 나타낸 것이다.

그림 42에서 보는바와 같이 15일 동안 외기의 평균 온도는 주간의 경우  $-1.5\sim 6.5^{\circ}\text{C}$ 로 나타났고, 야간의 외부온도는  $-0.5\sim -2.6^{\circ}\text{C}$ 의 온도분포를 나타내었다. 주간 평균 외기온도는 2시 전후에서  $6^{\circ}\text{C}$  내외로 가장 높게 나타났고, 최저온도는 오전 8시 전후에서  $-2^{\circ}\text{C}$  내외로 나타났다.

한편, 15일 동안 평균한 알루미늄 다겹 보온 커튼과 일반 부직포 설치 온실의 내부 온도는 외기온이 최고온인 2시 전후에서 약  $26^{\circ}\text{C}$  내외로 나타났고, 오후 4시 이후 온풍난방기가 작동되어 하우스 실내온도는  $15^{\circ}\text{C}$  이상을 유지한 것으로 나타났다.

15일 동안 평균한 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 내부 온도는 주간의 경우  $15.2\sim 27.0^{\circ}\text{C}$  이었고, 일반 부직포 설치 온실의 경우에는  $15.3\sim 25.8^{\circ}\text{C}$ 로 나타나 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의 내부온도 변화는 큰 차이가 없었다. 야간의 경우에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 내부 온도가  $15.4\sim 16.9^{\circ}\text{C}$ 로 표준편차는  $0.4^{\circ}\text{C}$  이었고, 일반부직포 설치온실의 경우에는  $15.4\sim 17.6^{\circ}\text{C}$ 로 표준편차는  $0.7^{\circ}\text{C}$ 를 나타내어 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실의 내부온도 보다 온도편차가 더 적은 것으로 나타났다.

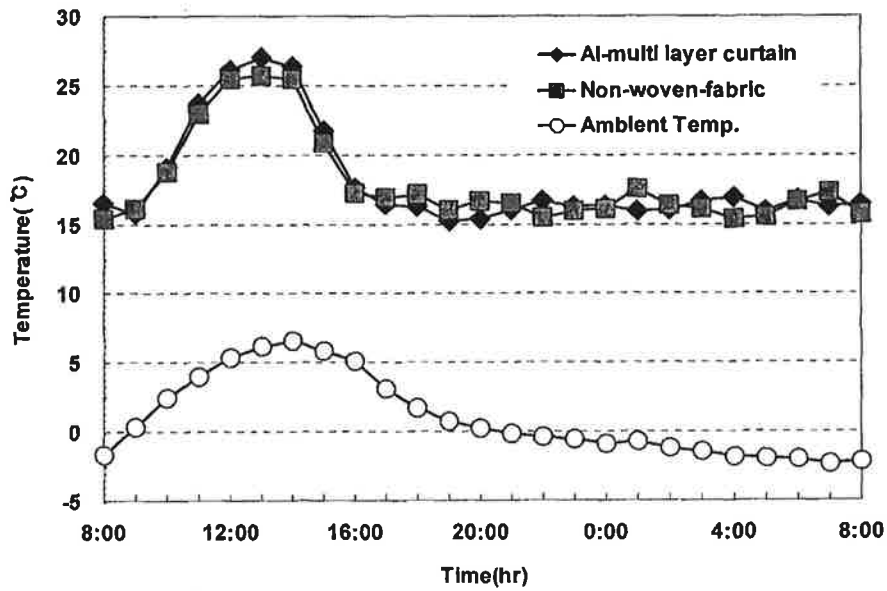


그림 42. 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치온실의 평균온도 변화 (15일)

## 2) 열특성 분석

### 가) 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실(1일)

그림 43은 온실 피복재로 알루미늄 다겹 보온 커튼을 설치한 경우의 1일 동안의 열흐름 특성과 실온변화를 나타낸 것이다.

그림 43은 보는 바와 같이 태양열이 10시간 동안 온실 내에 공급된 열량은 식 (3)에 의거하여 산출하였고, 앞 절에서 서술한 바와 같이 주간 외기온이 가장 높았던 13시에서 태양으로부터 공급열량이  $1,430 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 로 가장 높았던 것으로 나타났다. 또한 태양으로부터의 공급열량이 가장 낮았던 시간은 오전 8시로서 약  $12.5 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 태양열이 온실내부로 공급되었다.

온풍난방기가 가동되기 시작한 시간은 외기온이 설정온도  $15^\circ\text{C}$  이하로 내려가기 시작한 16시부터 이었고, 온실 내에 공급된 열량은 식 (4)에 의거하여 산출한 결과  $1,027 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 로 나타났다.

한편, 하우스 내부로 공급된 열량 중 토양과 공기 중으로 저장된 열량은 식 (8)과 식 (11)에 의거하여 산출하였고, 주간의 경우에는  $33.6\sim 136.1 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 야간의 경우  $31.3\sim 259.9 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열이 토양으로부터 공기 중으로 방열되어 난방열원으로 활용되었다.

온실 피복재를 통하여 온실 밖으로 손실된 열량은 주간의 경우 식 (5)를, 야간의 경우에는 식 (6)을 이용하여 산출하였다. 그 결과, 주간에 손실된 열량은  $228\sim 300 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$  이었고, 야간의 경우에는  $177.3\sim 284.2 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 로서, 야간보다 주간의 열손실이 1.06~1.28 배 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 주간의 열손실이 야간보다 큰 것은 작물의 광합성작용을 위해 온실내부에 설치된 보온재를 열어놓았기 때문이다.



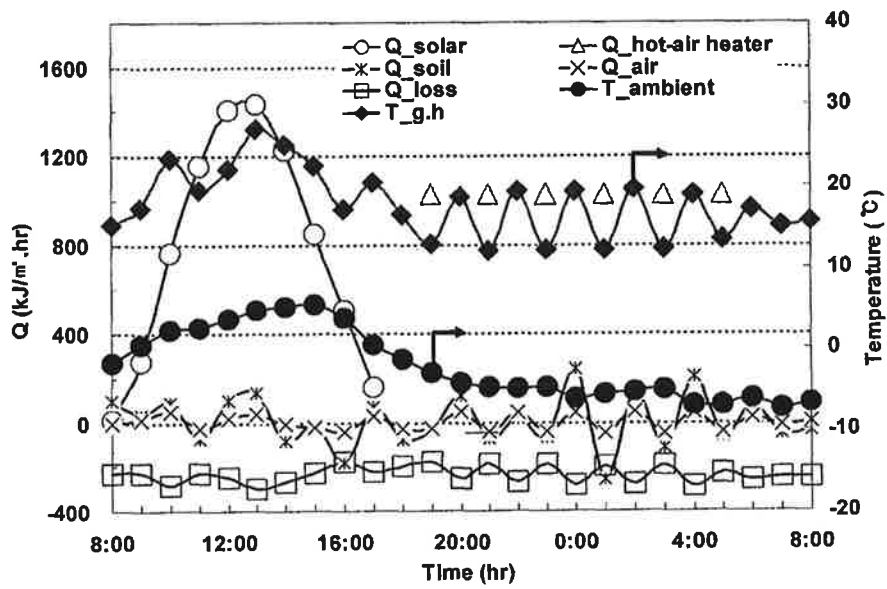


그림 43. 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 온도 변화와 열흐름 특성 (1일)

## 나) 부직포 설치 온실(1일)

그림 44는 온실 피복재로 일반 부직포를 설치한 경우 1일 동안의 열흐름 특성과 실온변화를 나타낸 것이다.

그림 44에서 보는 바와 같이 태양으로부터 하우스에 공급된 열량은 전술한 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 동일한 것으로서  $12.5\sim 1430 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 태양열이 10시간 동안 온실 내에 공급되었다.

또한, 온풍난방기가 가동되기 시작한 시간은 외기온이 설정온도  $15^\circ\text{C}$  이하로 내려가기 시작한 16시부터 이었고, 식 (4)를 이용하여 산출한 결과  $1,027 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열이 온풍난방기에 의하여 하우스 온실 내부에 공급된 것으로 나타났다.

한편, 하우스에 공급된 열량 중 토양과 공기 중으로 저장된 열량은 주간인 경우  $18.4\sim 138.0 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$  이었고, 야간의 경우에는  $54.5\sim 220.6 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열이 토양으로부터 공기중으로 방열되어 난방열원으로 활용되었다.

하우스 피복재로부터 온실 밖으로 손실되는 열량은 주간인 경우  $211.8\sim 356.4 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 로 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 큰 차이는 없었다. 또한, 야간의 경우에는  $253.0\sim 441.7 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 하우스 외부 피복재를 통하여 손실되었고, 주간보다 야간의 열손실이 1.19~1.24배 큰 것으로 나타났다.

한편, 야간의 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 하우스 외부 피복재를 통한 손실 열량  $177.3\sim 284.2 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 와 비교하면 일반 부직포 설치 온실이 약  $135.7\sim 157.5 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$  정도 더 많은 열량이 손실되는 것으로 나타났다. 이것은 온실내부에 설치된 알루미늄 다겹 보온 커튼이 일반 부직포 보온재보다 보온효과가 높기 때문이라 판단된다.

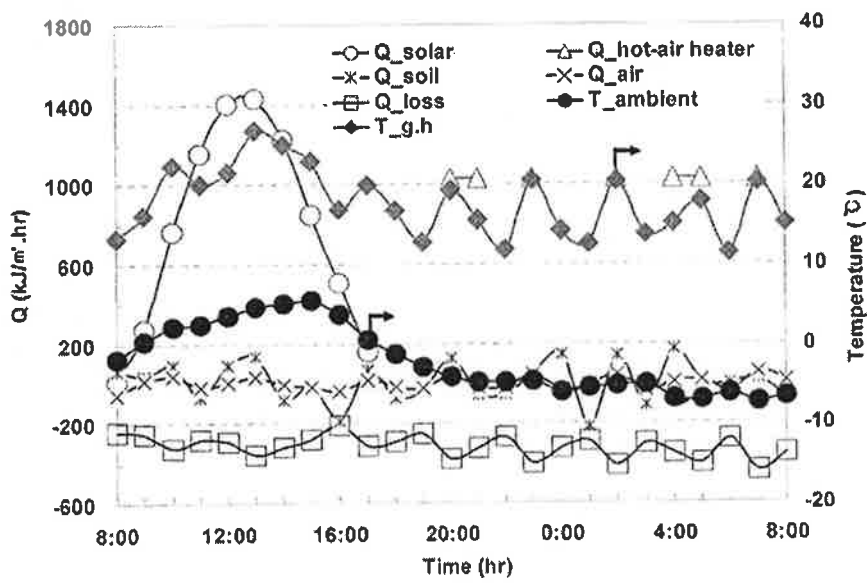


그림 44. 일반 부직포 설치 온실의 온도 변화와 열흐름 특성(1일)

#### 다) 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실(일정기간)

그림 45는 온실 피복재로 알루미늄 다겹 보온 커튼을 설치한 경우 15일 동안(12월 6일부터 12월 20일까지)의 시간별 평균 온도를 기준으로 열특성과 실온변화를 나타낸 것이다.

그림 45에 나타냈듯이 태양열이 10시간 동안 온실 내에 공급한 열량은 앞 절에서 서술한 식 (3)을 이용하여 계산한 것으로서, 최소공급 열량은 오전 8시에  $5.0 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$  이었고, 최대 열량이 공급된 시간은 12~13시 사이로  $940.3 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$  이었다. 일몰이 가까운 17시경 태양으로부터 공급된 열량은  $83.0 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 로 나타났다.

온풍난방기로부터 시간당 온실 내에 공급된 열량은 전술한 식 (4)를 이용하여 산출한 것으로서  $289.2 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 온실 난방에 활용된 것으로 나타났다.

한편, 공급된 열량 중 하우스 내부의 토양과 공기 중으로 저장된 열량은 식 (8)과 식 (11)을 이용하여 계산하였고, 주간에는  $13.3\sim 106.5 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 야간의 경우에는  $13.7\sim 211.2 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 토양으로부터 공기 중으로 방열되어 난방열원으로 활용되었다.

온실 피복재를 통하여 온실 밖으로 손실되는 열량은 주간의 경우 식 (5)를 이용하여 산출하였고, 그 결과  $161.2\sim 268.4 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 피복재를 통하여 손실되는 것으로 나타났다. 야간의 경우에는 식 (6)을 이용하여 계산하였고, 손실되는 열량은  $152.3\sim 198.1 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 인 것으로 나타나 야간보다 주간의 열손실이 1.06~1.35배 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 주간의 열손실이 야간보다 큰 것은 앞에서 서술한 바와 같이 온실내부에 설치된 보온재를 열어놓았기 때문이다.

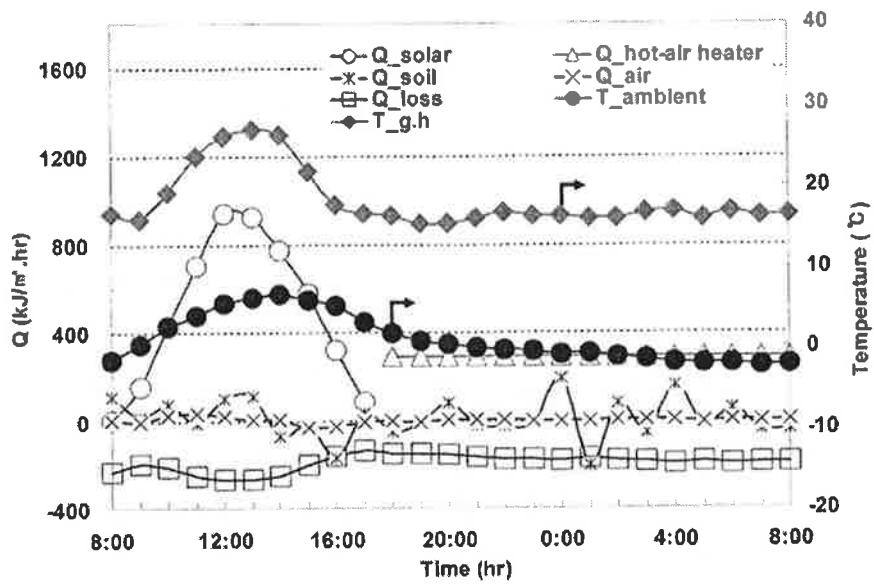


그림 45. 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 온도 변화 및 열흐름 특성 (15일)

## 라) 일반 부직포 설치 온실(일정기간)

그림 46은 온실 피복재로 일반 부직포 보온재를 설치한 하우스의 15일 동안(12/6일~20일) 시간별 평균 온도와 열흐름 특성 변화를 나타낸 것이다.

그림 46에서 보는 바와 같이 10시간 동안 태양으로부터 공급된 열량은 앞 절에서 서술한 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 동일한 열량이 공급되었고, 최소공급 열량은 오전 8시에는  $5.0 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 최대 열량이 공급된 시간은 12~13로  $940.3 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 일몰이 가까운 17시경 태양으로부터 공급된 열량은  $83.0 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 로 분석되었다.

한편, 온풍난방기로부터 시간당 온실 내에 공급된 열량은 전술한 식 (4)를 이용하여 산출한 것으로서  $408.7 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 온실 내에 공급되어 난방열원으로 활용되었다. 이것은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 온풍난방기로부터 공급된 열량보다 약  $110 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 가 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 온풍난방기로부터 공급된 열량이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실보다 부직포 설치 온실이 높은 이유는 하우스 내부온도를  $15^\circ\text{C}$ 로 설정하여 난방하였기 때문에 단열효과가 적은 부직포 하우스에서 외부로 방출되는 열량이 높았기 때문으로 판단된다.

온실 피복재로 일반 부직포 보온재를 설치한 경우 토양과 공기 중으로 저장된 열량은 주간 의 경우  $23.8\sim 102.2 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 야간의 경우에는  $28.3\sim 197.7 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 토양으로부터 공기 중으로 방열된 것으로 나타났다. 또한 하우스 피복재를 통하여 온실 밖으로 손실되는 에너지는 앞 절에서 서술한 식을 이용하여 계산하였고, 주간 의 경우에는  $155.7\sim 258.9 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 야간에는  $144.9\sim 207.0 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 피복재를 통하여 손실되는 것으로 나타나 주간 의 열 손실이 야간보다 1.07~1.25배 큰 것으로 나타났다.

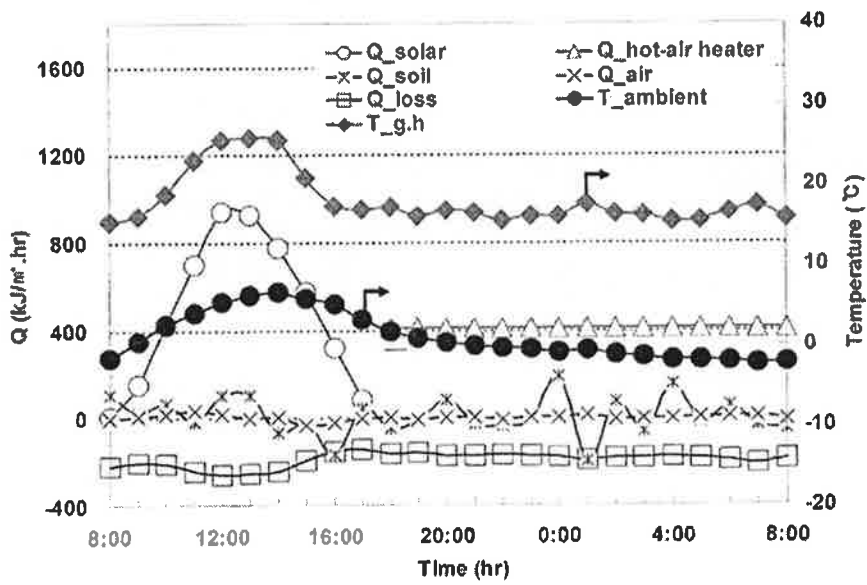


그림 46. 일반 부직포 설치 온실의 온도 변화 및 열흐름 특성 (15일)

### 3) 난방효과 분석

#### 가) 외기온을 기준으로 한 온실 난방 효과(1일)

외기온을 기준으로 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의 온실 난방 효과 분석 결과는 그림 47과 같다. 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의 온실 난방 효과 분석은 온실 내부 온도와 외기온과의 차이( $\Delta T$ )로 나타내었다.

그림 47에서 보는 바와 같이 주간(09:00~17:00) 온실 내부 온도와 외기온의 차이( $\Delta T$ )는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실에서 모두 13.2~22.3℃를 나타내어 차이를 보이지 않았다.

한편, 야간의 경우에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의  $\Delta T$ 는 각각 15.9~25.4℃, 15.7~27.4℃로 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 약 2℃ 정도 낮은 것으로 나타났으나 큰 차이는 없었다.

이와 같은 결과는 설정 온도(15℃) 이하로 내려갈 경우 온풍난방기의 가동에 의해 설정온도 이상을 유지할 수 있었기 때문이다.



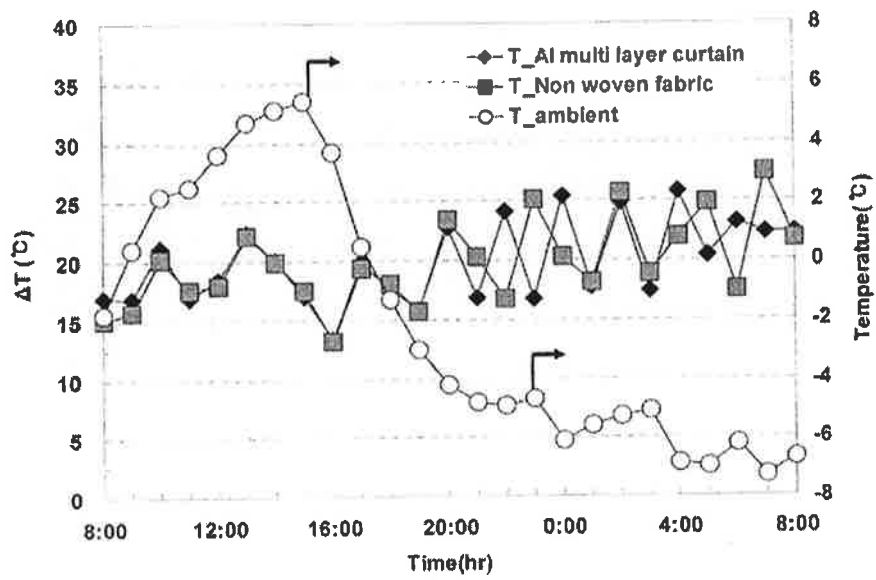


그림 47. 알루미늄 다겹 보온 커튼과 일반부직포 설치온실의 외기온과 실내기온 간 온도차

**나) 온실 설정 온도를 기준으로 한 온실 난방효과(1일)**

알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의 설정온도(15℃)를 기준으로 난방효과를 분석한 결과는 그림 48과 같다. 난방효과는 온실 내 온도와 설정온도와의 차이로 나타내었다.

그림 48에서 보는 바와 같이 주간에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실 모두에서 설정온도보다 1.2~12℃ 높게 나타났으나, 주간에서 야간으로 넘어가는 전환기에는 설정온도와의 차이가 급격히 작아지는 현상을 보였다.

야간에 설정온도 이하로 내려간 횟수는 앞에서 서술한 바와 같이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 적었고, 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실에 비하여 일반 부직포 설치 온실의 실내온도 변화폭이 큰 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 알루미늄 다겹 보온 커튼의 보온 효과가 일반 부직포보다 우수한 것을 나타내 주는 것이다.

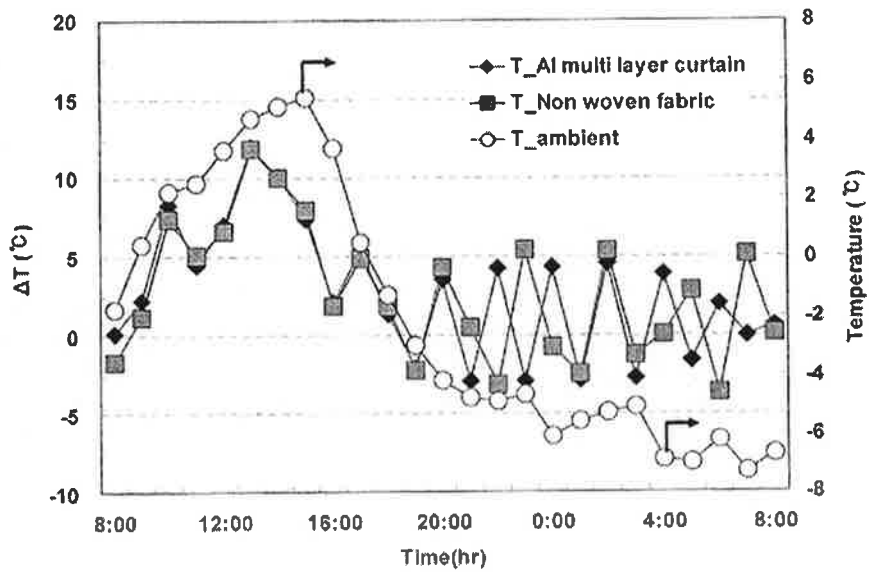


그림 48. 알루미늄 다겹 보온 커튼과 일반 부직포 설치 하우스의 설정온도와 실내기온의 온도차

#### 4) 전 열전달 분석

##### 가) 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실(1일)

그림 49에 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 누적 열흐름 특성과 실온변화를 나타내었다. 전(全) 열전달은 식 (1)과 식 (2)를 시간으로 적분하여 분석하였다.

그림 49에서 보는 바와 같이 전(全) 태양에너지는 각각의 시간대별 태양에너지를 식 (3)을 이용하여 산출한 후 합산하여 산출하였고, 주간 9시간 동안 총  $7,788 \text{ kJ/m}^2$ 의 태양열이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실에 공급된 것으로 나타났다.

온풍난방기에 의해 공급된 전(全)열량도 각각의 시간대별 공급 열량을 식 (4)에 의거하여 산출한 후 합산하였고, 그 결과  $6,162 \text{ kJ/m}^2$ 의 열량이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실에 공급된 것으로 나타났다.

하우스의 외피를 통하여 온실 밖으로 손실된 전 손실열량은 주간의 경우 식 (5)를 이용하여 산출한 후 시간대별로 합산하였고, 약  $2,416 \text{ kJ/m}^2$ 의 열량이 주간에 손실된 것으로 나타났다. 또한 야간에 손실된 열량의 경우에는 각각의 시간대별로 식 (6)을 이용하여 산출한 후 합산하였고,  $3,504 \text{ kJ/m}^2$ 의 열량이 야간에 손실되는 것으로 나타났으며, 주야간 합해서 총  $5,920 \text{ kJ/m}^2$ 의 열량이 하우스 외피를 통하여 손실된 것으로 분석되었다.

이상과 같은 열흐름의 결과로 나타난 실온은  $12.0 \sim 27.0^\circ\text{C}$ 의 변화를 보였으며, 최저 외기온을 나타내고 있는 오전 7시에 실온이  $15.0^\circ\text{C}$ 로 외기온  $-7.3^\circ\text{C}$ 보다  $22.3^\circ\text{C}$  높았다.

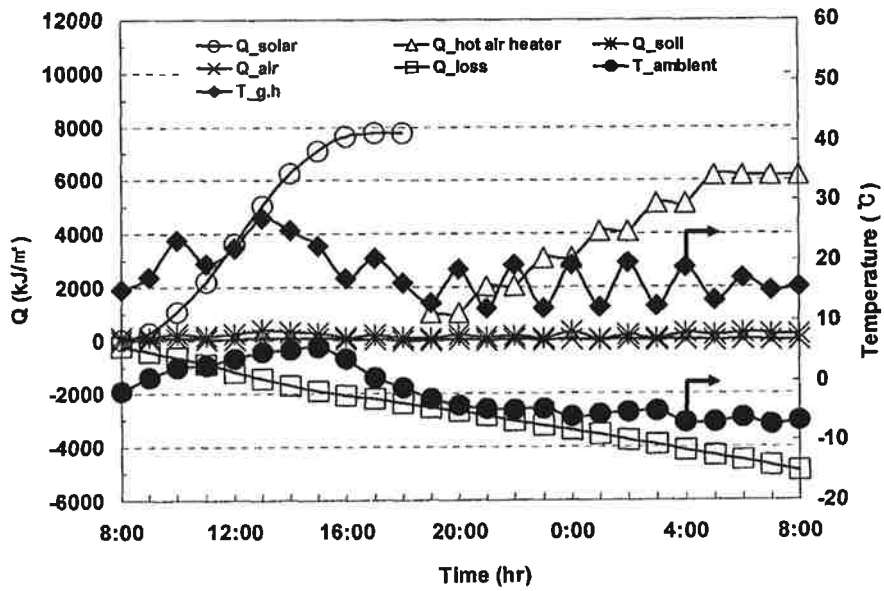


그림 49. 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 전(全) 열전달

## 나) 부직포 설치 온실(1일)

그림 50은 일반 부직포 보온재 설치 온실의 누적 열흐름 특성과 실온변화를 나타낸 것이다.

그림 50에 나타내고 있는 전(全) 열전달은 식 (1)과 식 (2)를 시간으로 적분하여 분석한 결과이며, 이 그림 50에서 보는바와 같이 온실에 공급된 전(全) 태양에너지는 전술한 바와 같이 식 (3)을 이용하여 산출한 후 합산하여 산출하였다. 그 결과, 주간 9시간 동안 부직포 설치 하우스 내부로 공급된 태양에너지는  $7788 \text{ kJ/m}^2$ 이었다.

또한, 온풍난방기에 의해 공급된 전(全)열량은 각각의 시간대별 공급 열량을 식 (4)에 의거하여 산출한 후 합산한 것으로서, 약  $7,189 \text{ kJ/m}^2$ 의 열량이 일반 부직포 설치 온실에 공급된 것으로 나타났다.

한편, 하우스 외피를 통하여 온실 밖으로 손실된 전 손실열량은 전술한 바와 같이 동일한 방법으로 산출하였다. 그 결과, 주간에는  $2,876 \text{ kJ/m}^2$ , 야간의 경우에는  $5,084 \text{ kJ/m}^2$ 의 열량이 하우스 외부로 손실되는 것으로 나타났으며, 주야간 합해서 총  $7,960 \text{ kJ/m}^2$ 의 열량이 손실된 것으로 분석되었다. 이것은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치온실이 일반 부직포 설치 온실보다 주간의 경우 약  $460 \text{ kJ/m}^2$ , 야간의 경우에는 약  $2,080 \text{ kJ/m}^2$  정도 손실되는 열량이 적은 것으로서 알루미늄 다겹 보온 커튼이 일반 부직포보다 단열효과가 높은 것으로 판단된다.

이상과 같은 열흐름의 결과로 나타난 실온은  $11.3^\circ\text{C} \sim 26.8^\circ\text{C}$ 의 변화를 보였으며, 외기온이 낮은 오전 6시에 실온이  $11.3^\circ\text{C}$ 로 외기온  $-6.2^\circ\text{C}$ 보다  $17.5^\circ\text{C}$ 높았다.

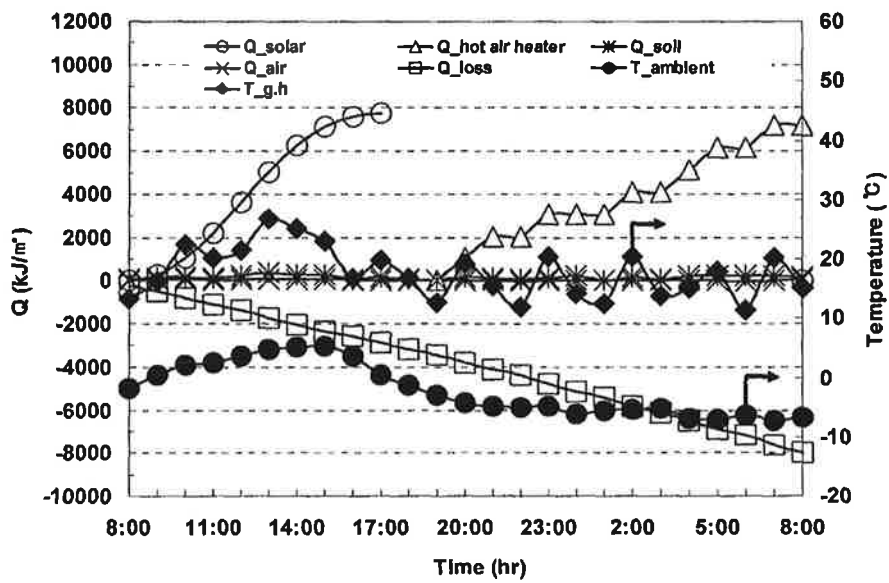


그림 50 부직포 설치 온실의 전(全) 열전달

### 5) 시스템별 온풍기 공급열량 비교 분석

그림 51과 52는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의 온풍기 공급 열량을 1일과 36일로 나누어 식(4)에 의거하여 계산한 결과를 나타낸 것이다. 시스템별 온풍난방기 공급열량의 산출은 연료소모량으로 환산하여 계산하였다.

그림 51에서 보는 바와 같이 1일 동안의 최대 공급열량은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 최대  $7,395.4 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 이고, 일반 부직포 설치 온실은  $9,367.5 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 로 일반 부직포 설치 온실의 공급열량이  $1,972.1 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 가 많았다. 최소공급열량은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이  $1,782.2 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ , 일반 부직포 설치 온실이  $2,465.13 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 로 나타나 일반 부직포 설치 온실이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실보다 온풍난방기를 통한 공급 열량이 1.38배 많은 것으로 나타났다.

이것은 전술한 바와 같이 일반 부직포 설치 온실의 보온 효율이 낮기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 결과는 알루미늄 다겹 보온 커튼이 부직포보다 온실 피복재로 더 효율적인 것으로 판단된다.

그림 52에 36일 동안의 누적 공급열량을 시스템별로 비교하여 나타내었다. 그림 52에서 알 수 있듯이 일반 부직포 설치 온실이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실보다 누적 열량이  $616.3 \sim 65,079.4 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$  많은 것으로 나타났으며, 가동 일수가 경과할수록 에너지 소비량의 차이가 증가하는 경향을 보였다.

이러한 결과는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 에너지 소비량을 35.1% (36일 동안) 정도 줄일 수 있는 것으로 나타났다.



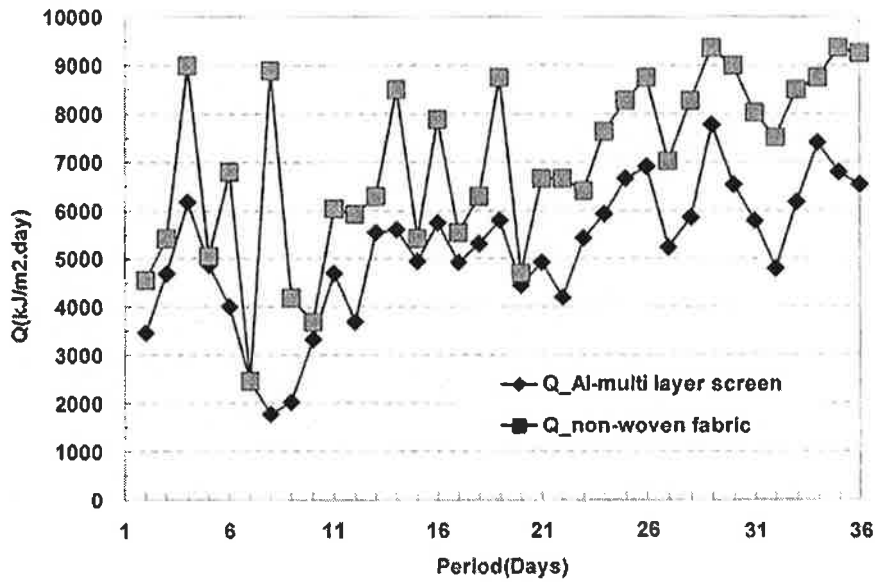


그림 51 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의 1일간 공급열량

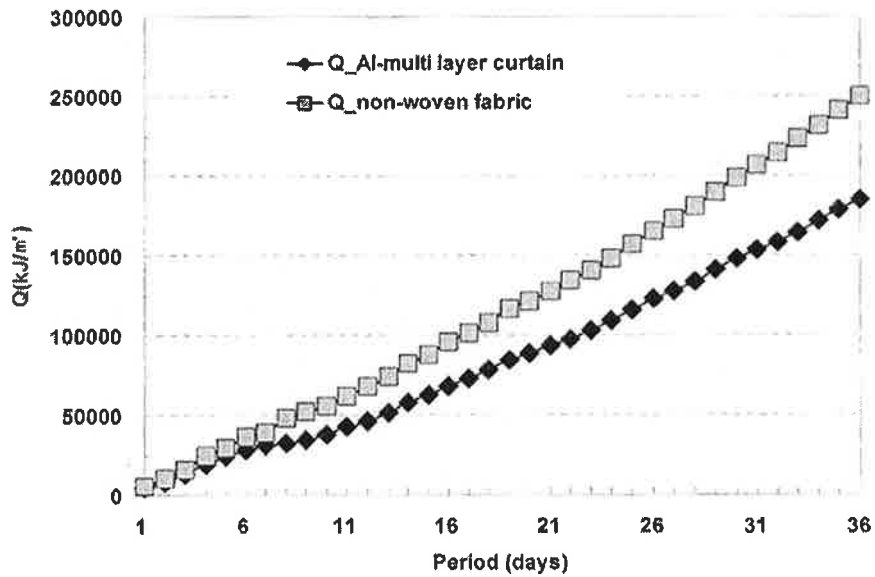


그림 52 알루미늄 다겹 보온 커튼과 일반 부직포 설치 온실의 36일간 공급열량

## 다. 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경제성 분석 (1차년도 수행과제)

### 1) 경제성 분석 기초 자료

- 경제성 분석 대상 온실커튼은 2 종류로써 알루미늄 다겹 보온재와 부직포이다.
- 본 연구 실험규모인 온실 면적 300m<sup>2</sup>, 실험기간 36일간(겨울철 2009년 12월 6일 ~ 2010년 1월 10일)의 자료를 기초로 하였다.
- 알루미늄의 내용연수는 7년, 품질보증기간은 5년으로 하였고, 부직포의 내용연수 및 품질보증기간은 1년을 기준으로 하였다. 여기서 품질보증기간이란 생산자가 정상적인 사용 중 제품의 고장 없이 새것처럼 사용할 수 있다고 보증한 기간이라서 만일 하자가 발생하면 무상 수리를 해 주어야 하는 기간이다. 그리고 내용연수란 수리를 하면 정상적으로 사용가능한 객관적인 기간을 의미한다.

### 2) 경제성 분석 내용

온실커튼의 경제성은 ① 온실커튼을 제작하고 설치하는데 소요되는 비용과 ② 온실 내부를 일정 온도로 유지시키는데 소요되는 난방 유류비용을 각 커튼 종류별로 분석한 후 이들을 서로 비교하였다.

아울러 경제성 분석 기간은 2가지로 하였으며 온실커튼을 설치하고 1년 동안, 그리고 알루미늄 내용연수인 7년으로 하였다.

#### <1년 동안의 경제성 분석 내용>

##### 가) 커튼비용

커튼비용은 ① 커튼제작비용, ② 커튼설치비용(개폐기, 인건비 등 커튼을 달기 위하여 소요된 비용 일체)으로 구분되며, 각각의 소요비용은 다음 표 14와 같다.

그리고 설치 후 1년 동안 발생한 커튼비용은 커튼제작 및 커튼설치에 소요된 비용을 금융기관으로부터 대출하여 충당하였다고 가정하고, 첫째 초에 대출을 하고 첫째 말에 이자를 지급하는 것으로 가정하였다. 따라서 커튼설치 후 1년 동안의 비용은 1년 동안의 감가상각비와 이자로 구성되며 수리비는 (품질보증기간이므로) 없는 것으로 하였다.

그 결과 커튼비용은 알루미늄 다겹의 경우 1,385,308원, 부직포는 2,548,434원으로 산출되었으며 구체적인 산출방법은 다음과 같다.

• **감가상각비용**

감가상비는 정액감가상각 방법을 채택하였으며 알루미늄 다겹의 경우 커튼비용을 내용연수인 7년으로 나누어 계산하였다. 그 결과, 알루미늄 다겹은 1,026,154원(7,183,080원 ÷ 7), 부직포는 2,427,080원(2,427,080원 ÷ 1)으로 각각 산출되었다.

• **이자비용**

이자비용은 2010년 현재 일반적인 시중은행의 대출이자인 연 5.0%를 적용하였다. 즉, 커튼비용에 연이자율 5.0%를 곱하여 산출하였으며 알루미늄 다겹은 359,154원, 부직포, 121,354원으로 각각 나타났다.

• **총 커튼비용(감가상각비용 + 이자비용)**

온실커튼 설치 후 1년 동안의 커튼비용은 1년 동안의 감가상각비와 이자비용으로 구성되며 알루미늄 다겹은 1,385,308원으로 산출되었다. 그리고 부직포는 2,548,434원으로 알루미늄 다겹을 기준으로 할 때 1.84배로 매우 높은 수준을 보였다(표 14 참조).

• **총 커튼 절약비용(부직포-알루미늄 다겹 커튼)**

온실에 커튼 설치 후 1년 동안 경제성이 더 좋은 알루미늄 다겹 커튼이 부직포에 비하여 절약된 커튼비용은 1,163,126원(부직포 2,548,434원 - 알루미늄 다겹 1,385,308원)으로 산출되었다.

표 14 커튼 유형별 설치비용: 1년

(단위: 원)

구분	알루미늄 다겹(A)	부직포(B)	B/A
커튼제작비용	5,740,000	984,000	
커튼비용	1,443,080	1,443,080	
설치비용 합계	7,183,080	2,427,080	
감가상각비*	1,026,154	2,427,080	
이자비용**	359,154	121,354	
1년간 설치비용 합계	1,385,308	2,548,434	1.84

주1) 감가상각비용은 알루미늄의 경우, 설치비용 합계÷7; 부직포는 설치비용 합계÷1로 산출함.

주2) 이자비용은 연 5% 대출이자율 적용함.

## 나) 난방 에너지비용

### • 36일간의 난방 에너지비용

온실 내부 온도를 유지하기 위해서 사용한 유류는 실내등유이며 1년 동안의 온실 난방 에너지비용은 온실 면적 300m<sup>2</sup>, 실험기간 36일(겨울철 2009년 12월 6일 ~ 2010년 1월 10일)동안 소요된 총 실내등유량(ℓ)을 현금가로 환산하였으며 환산기준은 농업용 면세등유로 850원을 적용하였다(출처: 2009년 1월 1일 기준 면세 실내등유 판매가격, 남원농협주유소). 그 결과, 알루미늄 다겹의 총 등유사용량은 총 2,125ℓ 이고 금액으로 환산하면 1,806,250원이며, 부직포는 총 등유사용량 2,648ℓ, 환산금액은 2,250,800원으로 산출되었다. 이러한 결과에서 부직포의 난방 에너지비용은 알루미늄 다겹을 기준으로 할 때, 약 1.25배 높은 수준을 보이고 있다.

### • 106일간의 난방 에너지비용

앞서 살펴본 바와 같이 1차년도 실험은 1년 중 가장 추운시기인 36일(2009년 12월 6일 ~ 2010년 1월 10일) 동안에만 이루어졌다. 이에 비해 2차년도 실험은 멜론을 식재하여 수확하는 모든 기간(2010년 11월 24일 ~ 2011년 3월 9일) 동안 이루어졌다. 따라서 1차년도와 2차년도를 비교하기 위해서는 1차년도 역시 멜론을 식재하여 수확하는 모든 기간을 실험기간으로 하였고 가정하였을 경우, 예상할 수 있는 에너지비용을 산출할 필요가 있다. 이를 위해 1차년도 36일간의 난방 에너지비용을 106일간으로 확대하여 환산하였으며, 환산 절차는 다음과 같다.

첫째, 1차년도 36일간의 '총 유류비용'을 기초로 '평균 일 유류비용'을 산출하였으며, 그 결과 알루미늄 다겹은 50,174원(1,806,250원 ÷ 36일), 부직포는 62,522원(2,250,800원 ÷ 36일)으로 산출되었다.

둘째, 2차년도 유류소요량에 기초하여 온실 난방기간(월)에 따른 유류소요량의 수준을 분석하였다. 우선 1차년도 온실 난방기간의 2/3 이상을 구성하고 있는 12월 유류소요량을 기준(1로 함)으로 11월, 1월, 2월, 3월의 유류소요량의 비율을 계산하였다. 이렇게 계산한 값은 표 17에서 보는 바와 같이 12월을 기준으로 할 때 알루미늄 다겹은 11월 0.74, 1월 1.07, 2월 0.87, 3월 0.74 수준의 난방비가 소요되는 것으로 분석되었다. 또한 부직포의 경우는 11월 0.86, 1월 1.05, 2월 0.89, 3월 0.86 수준의 난방비가 소요되는 것으로 분석되었다

셋째, 2차년도 실험기간인 2010년 11월 24일 ~ 2011년 3월 9일 중 1차년도 실험기간인 2009년 12월 6일 ~ 2010년 1월 10일을 제외한 나머지 기간에 둘째단계에서 계산한 월별 유류소요량 수준을 적용하여 계산하였다. 계산방법은 표 16에서와 같이 실험기간별 일수에 1차년도 온실커튼 '유형별 일 평균 유류소요비용'을 곱하고 이에 '12월 기준 월별 유류 소비수준'을 곱하여 산출

하였다.

그 결과, 알루미늄 다접은 총 난방 에너지비용이 5,000,843원, 부직포는 6,360,362원으로 나타났다. 이러한 결과는 온실을 300m<sup>2</sup>규모로 106일 동안 운용하였을 경우 부직포는 알루미늄 다접의 1.27배 만큼 높은 에너지 비용을 소요할 것으로 예측되었다.

• 총 난방 에너지 절약비용

온실에 커튼을 설치한 후 1년 동안(106일) 상대적으로 경제성이 좋지 않은 부직포에 비하여 알루미늄 다접의 절약된 난방 에너지비용은 1,359,519원(부직포 6,360,362원 - 알루미늄 다접 5,000,843원)이 절약되는 것으로 나타났다.

표 15 커튼 유형별 에너지 비용: 36일간의 난방 에너지비용

구분	알루미늄 다접(A)	부직포(B)	B/A
소요 실내등유량( $\ell$ )	2,125	2,648	
현금가(원)	1,806,250	2,250,800	1.25

주1) 현금가는 2009년 1월 1일 기준 면세 실내등유 판매가격인 850원을 기준으로 계산함(출처: 한국석유공사 홈페이지).

표 16 커튼 유형별 에너지 비용: 106일간의 난방 에너지비용: 알루미늄 다접

실험기간	실험 일수(A)	알루미늄다접 에너지소요 수준(B)	알루미늄다접(원) (A)×(B)×50,174	부직포 에너지소요 수준(C)	부직포(원) (A)×(C)×62,522	비율
2009.11.24~2009.11.30	7일	.74	259,901	.86	376,382	
2009.12.01~2009.12.05	5일	1	250,870	1	312,610	
2009.12.06~2010.01.10	36일	1	1,806,264	1	2,250,792	
2010.01.11~2010.01.31	21일	1.07	1,127,410	1.05	1,378,610	
2010.02.01~2010.02.28	28일	.87	1,222,239	.89	1,558,048	
2010.03.01~2010.03.09	9일	.74	334,159	.86	483,920	
계	106일	-	5,000,843		6,360,362	1.27

주1) 에너지소요수준(B)은 12월을 기준으로 하고 있으며 <표 17>을 참조하기 바람.

주2) 비율은 (부직포/알루미늄 다접)을 의미함.

표 17 2차년도 유류소비량에 기초한 월별 유류소비량 비중(12월 기준)

월(일)	알루미늄 다겹	부직포	평균 일 유류소요량		일 유류소요량/12월기준	
			알루미늄 다겹	부직포	알루미늄 다겹	부직포
11월(7일)	225	311	32.1	44.4	.74	.86
12월(31일)	1,299	1,598	43.3	51.5	1	1
1월(31일)	1,438	1,675	46.4	54.0	1.07	1.05
2월(28일)	1,057	1,276	37.8	45.6	.87	.89
3월(9일)	287	400	31.9	44.4	.74	.86
계(106일)	4,306	5,260	-	-	-	-

다) 총비용

커튼 유형별로 설치 후 1년 동안의 총비용을 살펴본 결과 알루미늄 다겹은 6,386,151원으로 산출되었다. 그리고 부직포의 총비용은 8,908,796원으로 알루미늄 다겹을 기준으로 할 때 약 1.40배의 수준이다. 이러한 결과를 보인 이유는 부직포가 알루미늄 다겹보다 커튼비용이 매우 높음은 물론 난방 에너지비용 역시 높은데서 기인한 것으로 분석되었다(표 18 참조).

표 18 커튼 유형별 총비용: 1년

구분	(단위: 원)		
	알루미늄 다겹(A)	부직포(B)	B/A
커튼비용	1,385,308	2,548,434	1.84
난방 에너지비용	5,000,843	6,360,362	1.27
총비용	6,386,151	8,908,796	1.40

라) 총비용의 절약비용

이상의 분석결과를 기초로 커튼 유형별 절약비용을 계산한 결과, 은실 300m<sup>2</sup>규모를 106일간 운용할 경우, 경제성이 상대적으로 나쁜 부직포에 비해 알루미늄 다겹의 절약비용은 2,522,645원(8,908,796원 - 6,386,151원)이며 이는 부직포 총비용의 28.3% $\{ (2,522,645\text{원} \div 8,908,796\text{원}) \times 100 \}$

에 해당된다.

### <7년 동안의 경제성 분석 내용>

#### 가) 커튼비용

알루미늄 커튼의 내용연수는 7년이며, 부직포 내용연수는 1년이다. 즉, 알루미늄 커튼은 한번 설치하면 7년 동안 계속적으로 사용할 수 있는 반면, 부직포 커튼은 매년 새로 설치해야 한다. 이러한 이유로 알루미늄 커튼 내용연수인 7년을 단위로 경제성 분석을 하여 부직포 커튼과 비교하는 것이 매우 의의가 있다고 판단하여 7년을 기준으로 분석하였다.

이를 위하여 몇 가지 다음의 가정을 하였다.

- 수리비의 경우, 알루미늄 커튼은 품질보증기간 5년이 지난 시점부터 내용연수 7년이 끝나는 기간인 2년 동안 설치비의 5%로 가정하였다.
- 시설의 폐기가격은 0원으로 하였으며, 이유는 내용기간이 지난 후 알루미늄 다결과 부직포의 경우 재활용이 불가능하기 때문이다.
- 커튼비용은 사업자본의 비용개념으로 금융기관 등으로부터 자금을 대출받아 충당한 것으로 가정하였으며, 대출이자율은 연 5%로 가정하였다. 또한 대출은 연초에 하여 연말에 이자를 납부하는 것으로 가정하였다.

#### ① 알루미늄 다결과 커튼비용

이상의 가정 하에 우선, 알루미늄 다결의 커튼비용을 분석하였다. 표 19에서 보는 바와 같이 커튼을 설치하는 첫 해에 7,183,080원을 투자하고 6, 7년째에 수리비용(설치비의 5%) 718,308원을 합하면 총 7,901,388원이 소요된다(A+D항). 여기에 7년 동안의 이자비용 2,587,729원(C항)을 합하면 총 10,489,117원의 커튼비용을 예상할 수 있다.

그리고 구체적인 계산방법은 다음 표 19에 있는 바와 같이 A항은 2009년 기준 초기 커튼비용의 현재가치 7,183,080원을 의미하고, B항은 7,183,080원에 대한 이자를 매년 납부하는 상황을 의미한다. B항의 구체적인 계산방법은 첫 해의 경우, 7,183,080원에 대한 이자비용(7,183,080원×0.05)으로 359,154원을, 두 번째 해의 경우는 7,542,234원(초기비용 7,183,080원+첫해 이자비용 359,154원)에 대한 이자비용 377,111원을 의미한다. 동일한 계산방법으로 7년째까지 계산하여 합한 값은 2,924,234 원이며 이러한 계산방법은 저축시 복리의 개념과 동일하다.

아울러 C항은 B항의 이자비용을 2009년 현재가치로 계산하기 위하여 물가상승률 연 3.0%로 디플레이트한 값이며 이자비용의 현재가치를 의미한다. 이렇게 7년 동안의 이자비용을 모두 현

제가치로 디플레이트한 값을 합하면 2,070,377원이 된다. 이상의 계산 결과, 2009년 현재가치를 기준으로 할 때, 7년 동안 알루미늄 다겹의 설치 총비용은 커튼비용 5,747,000원에 이자비용 2,070,377원, 수리비용 574,700원을 합한 금액인 총 8,392,077원이 된다.

## ② 부직포 커튼비용

부직포 커튼비용 산출방법은 알루미늄의 경우와 다르며, 그 이유는 부직포의 내용연수가 1년이기 때문에 7년 동안 계속적으로 새롭게 동일한 커튼을 설치해야 하기 때문이다. 그리고 품질보증기간이 1년이기 때문에 수리비는 없고, 대신 부직포의 물가상승률로 인한 추가비용을 고려하여 분석하였다. 부직포 물가상승률은 통계청 자료에 기초하되 부직포 항목이 없어 '기타직물' 항목의 지난 5년(2004~2009) 동안 평균 물가상승률 3.9%를 기준으로 하였다.

결과를 살펴보면 표 20에서 보는 바와 같이 매년 2,427,080원을 커튼비용으로 사용하면 7년간 총 16,989,560원의 비용(A항)이 소요되며, 부직포 물가상승으로 인한 추가비용은 1,866,423원(D항), 그리고 이자비용은 3,489,933원(F항)으로 7년 동안의 부직포 커튼비용은 총 22,345,916원으로 산출되었다.

그리고 구체적인 계산방법은 표 20에 나타나 있듯이 A항은 매년 필요한 설치비용 2,427,080원으로 2009년 기준 현재가치의 값이다. 이를 설치 해당 연도의 명목가격으로 계산한 값이 B항의 값이며, 두 번째 해 B항 값의 의미는 2009년 현재에는 2,427,080원으로 부직포 커튼설치가 가능하나, 2010년에는 부직포 물가상승률 3.9%를 고려하여 94,656원(초기 커튼비용 2,427,080원×0.039)을 투자해야 동일한 부직포 커튼을 설치할 수 있음을 의미한다. 그리고 C항은 부직포 물가상승으로 인한 추가비용을 당해 명목가치로 나타낸 값이며, D항은 C항의 값을 2009년 현재가치로 디플레이트한 값이다. 따라서 D항의 값은 부직포의 물가상승으로 인한 추가비용의 2009년 기준 현재가치라고 할 수 있다.

E항은 당해연도의 이자비용이며 당해연도 부직포 커튼비용(B항) × 연이자율 0.05로 산출하였으며, F항은 당해연도 이자비용(E항)을 2009년 기준 현재가치로 디플레이트한 값이다.

## ③ 총 커튼 절약비용(부직포-알루미늄 다겹 커튼)

온실에 커튼 설치 후 7년 동안 경제성이 더 좋은 알루미늄 다겹 커튼이 부직포에 비하여 절약된 커튼비용은 11,856,799원(부직포 22,345,916원 - 알루미늄 다겹 10,489,117원)으로 산출되었다.



표 19 커튼비용(알루미늄 다겹): 7년

(단위: 원)

횟수 (n)	A: 설치비 (2009년 기준 현재가치)	B: 이자비용 (당해명목금액)	C: 이자비용 (2009년 기준 현재가치)	D: 수리비용
0	7,183,080			
1	0	359,154	348,693	
2	0	377,111	355,463	
3	0	395,967	362,366	
4	0	415,765	369,402	
5	0	436,553	376,575	
6	0	458,381	383,887	359,154
7	0	481,300	391,341	359,154
소계	7,183,080	2,924,234	2,587,729	718,308
총비용 A+C+D	10,489,117			

주1) C칼럼의 2009년 기준 현재가치의 이자비용은  $B/(1 + 0.03)^n$

주2) D칼럼의 6년부터 7년까지의 값은 수리비용(설치비 \* 5%)임.

표 20 커튼비용(부직포): 7년

(단위: 원)

횟수 (n)	A: 설치비 (2009년 기준 현재가치)	B: 설치비 (당해 명목금액)	C: 부직포물가상승 으로 인한 추가비용 (당해 명목금액)	D: 부직포물가상승으로 인한 추가비용 (2009년 기준 현재가치)	E: 이차비용 (당해명목금액)	F: 이차비용 (2009년 기준 현재가치)
1	2,427,080	2,427,080	0	0	121,354	117,819
2	2,427,080	2,521,736	94,656	91,899	253,508	238,956
3	2,427,080	2,620,083	193,003	181,924	397,188	363,483
4	2,427,080	2,722,267	295,187	270,138	553,160	491,476
5	2,427,080	2,828,435	401,355	356,599	722,240	623,011
6	2,427,080	2,938,744	511,664	441,366	905,290	758,166
7	2,427,080	3,053,355	626,275	524,495	1,103,222	897,020
소계	16,989,560			1,866,423	4,055,964	3,489,933
총 비용	22,345,916					

주1) C칼럼의 부직포 물가상승률은 3.9%를 적용함(출처: 통계청 자료 중 '기타지물'의 지난 5년(2004~2009) 동안의 평균 물가상승률임).

주2) D칼럼의 부직포 물가상승으로 인한 추가비용의 2009년 기준 현재가치는  $C/(1 + 0.03)^n$

주3) F칼럼의 이차비용의 2009년 기준 현재가치는  $E/(1 + 0.03)^n$

#### 나) 난방 에너지비용

7년 동안 온실규모 200m<sup>2</sup>의 난방을 위하여 소요된 실내등유 비용을 산출하기 위하여 몇 가지 다음의 가정을 하였다.

- 연세등유 물가상승률은 연 7%로 하며, 이는 통계청자료 중 지난 5년간(2004~2009)의 등유 물가상승률에 기초하여 연 7%로 가정하였다.
- 일반 물가상승률은 커튼비용의 경우와 마찬가지로 연 3%로 가정하였다.

#### ① 알루미늄 다집 보온 커튼

이상의 가정을 기초로 1년 중 106일 동안 7년용 난방하는 데 소요된 총비용은 알루미늄 다

결의 경우 42,273,257원으로 산출되었다.

그리고 구체적인 계산방법은 표 21에 나타나 있듯이 A항은 매년 필요한 유류비용 5,000,843원으로 7년 동안 소요된 총 유류비용은 35,005,901원이며 2009년 기준 현재가치의 값이다. 이를 해당 연도의 명목가격으로 계산한 값이 B항의 값이며, 두 번째 해 B항 값의 의미는 2009년 현재에는 5,000,843원으로 1년 동안 난방이 가능하나, 2010년에는 실내등유 가격상승을 연 7%를 고려하여 5,350,902원(연 유류비용 5,000,843원 + (연 유류비용 5,000,843원 × 실내등유 물가상승률 0.07))을 투자해야 동일한 난방을 지속할 수 있음을 의미한다. 그리고 C항은 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용을 당해 명목가치로 나타낸 값이며, D항은 C항의 값을 2009년 현재가치로 디플레이트한 값이다. 따라서 D항의 값은 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용의 2009년 기준 현재가치라고 할 수 있다. 따라서 7년간 총 난방비용은 7년 동안의 유류비용 35,005,901원과 유류물가 상승으로 인한 추가비용 7,267,356원을 합한 42,273,257원이 된다.

### ② 부직포

부직포의 경우 1년 중 106일 동안 7년을 난방하는 데 소요된 총비용은 53,765,579원으로 산출되었다.

그리고 구체적인 계산방법은 표 22에 나타나 있듯이 A항은 매년 필요한 유류비용 6,360,362원으로 7년 동안 소요된 총 유류비용은 44,522,534원이며 2009년 기준 현재가치의 값이다. 이를 해당 연도의 명목가격으로 계산한 값이 B항의 값이며, 두 번째 해 B항 값의 의미는 2009년에는 6,360,362원으로 1년 동안 난방이 가능하나, 2010년에는 실내등유 가격상승을 연 7%를 고려하여 6,805,587원(연 유류비용 6,360,362원 + (연 유류비용 6,360,362원 × 실내등유 물가상승률 0.07))을 투자해야 동일한 난방을 지속할 수 있음을 의미한다. 그리고 C항은 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용을 당해 명목가치로 나타낸 값이며, D항은 C항의 값을 2009년 현재가치로 디플레이트한 값이다. 따라서 D항의 값은 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용의 2009년 기준 현재가치라고 할 수 있다. 따라서 7년간 총 난방비용은 7년 동안의 유류비용 44,522,534원과 유류물가 상승으로 인한 추가비용 9,243,045원을 합한 53,765,579원이 된다.

### ③ 총 난방 에너지 절약비용

온실에 커튼을 설치한 후 7년 동안 상대적으로 경제성이 나쁜 부직포를 기준으로 알루미늄 다겹의 절약된 난방 에너지 비용은 11,492,322원(부직포 53,765,579원 - 알루미늄 다겹 42,273,257원)으로 산출되었다.

표 21 난방 유류비용(알루미늄 다겹): 7년

(단위: 원)

횟수 (n)	A: 유류비용 (2010년 기준 현재가치)	B: 유류비용 (당해 명목금액)	C: 유가상승으로 인한 추가비용 (당해명목금액)	D: 유가상승으로 인한 추가비용 (2010년 기준 현재가치)
1	5,000,843	5,000,843	0	0
2	5,000,843	5,350,902	350,059	339,863
3	5,000,843	5,725,465	724,622	683,026
4	5,000,843	6,126,248	1,125,405	1,029,905
5	5,000,843	6,555,085	1,554,242	1,380,924
6	5,000,843	7,013,941	2,013,098	1,736,516
7	5,000,843	7,504,917	2,504,074	2,097,122
소계	35,005,901			7,267,356
총비용	42,273,257			

주1) C항목의 설비유류 물가상승률은 7%를 적용함(출처: 통계청 자료 중 '농유'의 지난 5년, 2004~2009) 동안의 평균 물가상승률임).

주2) D항목의 유가상승으로 인한 추가비용의 2009년 기준 현재가치는  $C/(1 + 0.03)^n$

표 22 난방 유류비용(부직포): 7년

(단위: 원)

횟수 (n)	A: 유류비용 (2010년 기준 현재가치)	B: 유류비용 (당해 비용금액)	C: 유가상승으로 인한 추가비용 (당해비용금액)	D: 유가상승으로 인한 추가비용 (2010년 기준 현재가치)
1	6,360,362	6,360,362	0	0
2	6,360,362	6,805,587	445,225	432,258
3	6,360,362	7,281,978	921,616	868,712
4	6,360,362	7,791,717	1,431,355	1,309,893
5	6,360,362	8,337,137	1,976,775	1,756,339
6	6,360,362	8,920,737	2,560,375	2,208,602
7	6,360,362	9,545,188	3,184,826	2,657,242
소계	44,522,534			9,243,045
총비용	53,765,579			

주1) C칼럼의 실내용유 불가상승률은 7%를 적용함(출처: 통계청 자료 중 '동유'의 지난 5년, 2004~2009 동안의 평균 불가상승률임).

주2) D칼럼의 유가상승으로 인한 추가비용의 2009년 기준 현재가치는  $C/(1 + 0.03)^n$

**다) 총비용**

분석단위인 300m<sup>2</sup>의 규모의 온실을 7년 동안 매년 겨울철 106일 동안 난방한 경우, 총비용은 알루미늄 다겹은 52,762,374원으로 분석되었다. 이에 비해 부직포의 총비용은 76,111,495원으로 알루미늄 다겹의 1.44배로 높은 수준을 보였다. 이러한 결과는 절대적으로 부직포의 커튼비용이 알루미늄 다겹보다 2.13배나 소요되며 부직포의 에너지비용 역시 1.27배 높은데서 기인한 것으로 분석되었다(표 23 참조).

표 23 커튼 유형별 총비용: 7년

(단위: 원)

구분	알루미늄 다겹(A)	부직포(B)	B/A
커튼비용	10,489,117	22,345,916	2.13
난방 에너지비용	42,273,257	53,765,579	1.27
총비용	52,762,374	76,111,495	1.44

라) 절약비용

이상의 분석결과를 기초로 커튼 유형별 절약비용을 계산한 결과, 온실 300m<sup>2</sup>규모를 겨울철 106일간 운용할 경우, 경제성이 상대적으로 나쁜 부직포에 비해 알루미늄 다겹의 절약비용은 23,349,121원(76,111,495원 - 52,762,374원)이며 이는 부직포 총비용의 30.7%((23,349,121원 ÷ 76,111,495원)×100)에 해당된다.

마) 경제성 분석기간 1년과의 비교

온실 커튼 설치 후 1년과 7년 동안의 경제성 분석결과와의 비교는 2가지 측면, 즉 첫째는 알루미늄 다겹을 기준으로 할 때의 부직포 수준(부직포/알루미늄 다겹)과 둘째 경제성이 상대적으로 나쁜 부직포에 비해 알루미늄 다겹이 어느 정도의 비용이 절약 되는가로 살펴보았다.

첫째, 알루미늄 다겹을 기준으로 할 때의 부직포의 비용수준(부직포/알루미늄 다겹)은 매우 유사한 모습을 보였다. 구체적으로 살펴보면 총비용의 경우, 1년에 비해 7년의 경우 부직포의 비용이 약간 더 소요되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 커튼비용에서 비롯된 것으로 난방 에너지비용은 1년과 7년 동안의 분석결과가 동일하게 산출되었으나, 커튼비용에서 7년이 1년보다 약간 높게 산출되었음을 알 수 있다(표 24참조).

둘째, 상대적으로 경제성이 나쁜 부직포에 대한 알루미늄 다겹의 절약비용을 차이를 살펴보면, 표 25에서 보는 바와 같이 1년의 절약비용을 7년으로 곱한 값(B)이 7년 절약비용(C)보다 작다. 이러한 결과가 나타난 이유는 크게 2가지로 살펴볼 수 있다. 첫째, 알루미늄 다겹의 내용 연수가 7년인 반면, 부직포는 1년이라는 점에서 원인을 찾을 수 있다. 즉, 커튼비용 중 커튼제작비용의 경우, 알루미늄 다겹은 설치하는 첫 해의 물가로 설치가 가능하지만 부직포의 경우 해마다 오른 물가수준(평균 연3.9%)으로 새로운 커튼을 설치해야 하기 때문에 알루미늄 다겹

이 상대적으로 부직포보다 경제성이 좋아진 원인이 있다. 위 설치비용 분석 내용 중 부직포의 물가상승으로 인한 추가비용이 이를 의미한다. 그리고 커튼설치비용(개폐기, 인건비 등 커튼을 달기 위하여 소요된 비용 일체)의 경우, 커튼을 한번 설치하는데 소요되는 비용은 알루미늄 다겹과 부직포가 동일하지만, 알루미늄 다겹은 한번 설치하면 최소 내용연수인 7년을 그대로 유지하면서 이용할 수 있는 반면, 부직포는 매년 커튼을 교체해야 하기 때문에 커튼설치비용이 7년 동안 매년 계속 필요하기 때문에 알루미늄 다겹의 경제성이 부직포보다 좋아진 원인이 있다. 둘째, 실내등유 판매가격의 상승에서 원인을 찾을 수 있다. 즉, 알루미늄 다겹과 부직포 커튼 하우스를 난방하기 위해 소요되는 실내등유량의 차이는 매년 일정할 것이다. 그러나 실내등유 판매가격의 물가상승(연 평균 7%)으로 인해 해마다 실제 소요되는 비용의 차이는 더욱 커진다는 의미이다. 예를 들어, 매년 알루미늄 다겹이 부직포보다 523ℓ의 실내등유가 해마다 절약되지만 현금으로 환산하면 첫 해는 444,550원(523ℓ × 850원)이, 두 번째 해에는 475,930원(523ℓ × 910원(850의 7%상승한 판매가격))이 절약된다. 위에서 설명한 난방 에너지비용 분석 결과 중 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용이 이를 의미한다.

아울러 부직포에 대한 알루미늄 다겹의 절약비용 중 커튼비용과 난방 에너지의 절약비용이 차지하는 비중을 살펴본 결과 커튼절약비용이 약 65%, 에너지 절약비용이 약 35%를 각각 구성하고 있었다(표 25 참조).

이상의 결과를 요약하면 알루미늄 다겹과 부직포의 총비용은 알루미늄 다겹에 대한 부직포의 비율(부직포/알루미늄 다겹)의 경우 1년과 7년의 경향은 매우 유사한 모습, 즉 커튼 설치 후 헛수가 경과하면서 거의 동일한 비율로 증가하고 있으나, 실제 비용차이는 1년과 7년의 경우 매우 다르게 나타났다. 즉, 커튼 설치 후 헛수가 경과할수록 부직포에 대한 알루미늄 다겹의 절약비용(경제성 차이)은 더욱 크게 산출되었다. 이러한 결과는 커튼 설치 후 시간이 경과할수록 알루미늄 다겹의 경제성 효과가 부직포의 경우에 비해 더 커지는 결과를 가져옴을 시사하고 있다.

표 24 경제성 분석기간별 소요 비용 비교: 비율(부직포/알루미늄 다겹 커튼)

구분	1년 분석결과	7년 분석결과
커튼비용	1.84	2.13
난방 에너지비용	1.27	1.27
총비용	1.40	1.44

표 25 경제성 분석기간별 절약비용 비교: 금액(부직포-알루미늄 다겹 커튼)

(단위: 원)

구분	A: 1년 분석결과	B: A × 7년	C: 7년 분석결과	C - B
커튼비용	1,163,126	8,141,882	11,856,799	3,714,917 (65.3%)
난방 에너지비용	1,359,519	9,516,633	11,492,322	1,975,684 (34.7%)
총비용	2,522,645	17,658,515	23,349,121	5,690,606 (100%)

### 3) 요약 및 결론

온실난방은 태양열, 온풍난방기, 지열 등 다양한 열원을 이용하여 온실 내부를 작물재배에 필요한 온도로 유지하는 것이다. 따라서 온실난방 특성 구멍은 외부열원으로부터 제공되는 에너지의 공급과 손실을 분석함으로써 난방 기간 동안의 에너지 절감을 극대화하고, 작물재배의 효율성을 향상시키기 위한 것이다. 최근 유류비의 상승에 따라 난방비를 절감할 수 있는 보온재의 필요성이 크게 대두되고 있고, 이에 대한 연구가 이루어지고 있으나 에너지 절감효율이 높은 알루미늄 다겹 보온 커튼에 대한 체계적인 연구가 미비하고, 특히 알루미늄 다겹 보온 커튼 온실난방 특성에 대한 구멍이 전무한 실정이다.

따라서 본 1차년도 연구에서는 온실난방특성 구멍을 위한 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실을 구성하고, 일반 부직포 설치온실과의 비교를 통하여 에너지절감 효율 분석과 작물의 생장 특성을 분석하고자 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가) 1일 동안 하우스내 온도변화를 살펴본 결과, 주간에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 15.1~27.0℃ 이었고, 일반 부직포 설치 온실의 경우 13.3~26.8℃ 이었으며, 야간에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 12.0~19.6℃, 일반 부직포 설치온실의 경우 11.3~20.4℃ 이었다.

나) 일정기간(12월6일~20일)의 하우스내 온도변화를 평균하여 살펴본 결과, 외기온이 최고온인 2시 전후에서 약 26℃ 내외로 나타났고, 오후 5시 이후 온풍난방기가 작동되어 하우스 실내온도는 15℃로 유지되었으며, 하우스 내 시간별 평균 실내 온도는 최저 설정 온도 15℃ 이상을 유지한 것으로 나타났다.



- 다) 1일 동안의 열특성 분석을 실시한 결과, 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 온실 밖으로 손실되는 에너지는 주간에 228~300 kJ/m<sup>2</sup>·hr 이었고, 야간에는 177.3~284.2 kJ/m<sup>2</sup>·hr로서, 야간보다 주간의 열손실이 1.06~1.28 배 큰 것으로 나타났다. 또한 부직포 설치 온실의 경우 온실 밖으로 손실되는 에너지는 주간에 211.8~356.4kJ/m<sup>2</sup>·hr, 야간에는 253.0~441.7 kJ/m<sup>2</sup>·hr로 주간보다 야간의 열손실이 1.19~1.24배 큰 것을 알 수 있었다.
- 라) 일정기간 동안의 열특성 분석을 실시한 결과, 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 주간에는 161.2~268.4 kJ/m<sup>2</sup>·hr의 열량이 피복재를 통하여 손실되는 것으로 나타났고, 야간에 손실되는 열량은 152.30~198.1 kJ/m<sup>2</sup>·hr인 것으로 나타나 야간보다 주간의 열손실이 1.06~1.35배 큰 것으로 나타났다. 한편, 부직포 설치 온실의 경우에는 주간에 155.7~258.9 kJ/m<sup>2</sup>·hr, 야간에는 144.9~207.0 kJ/m<sup>2</sup>·hr의 열량이 피복재를 통하여 손실되는 것으로 나타나 주간의 열손실이 야간보다 1.07~1.25배 큰 것으로 나타났다.
- 마) 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의 외기온을 기준으로 난방 효과 분석결과, 주간에는 모두 13.2~22.3℃를 나타내었고, 야간의 경우 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 15.9~25.4℃, 일반 부직포 설치 온실이 15.7~27.4℃로 나타났으며, 주야간 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의 온도차는 없었다.
- 바) 온실난방효과를 분석한 결과, 하우스 내의 설정온도인 15℃ 이상을 유지하기 위하여 알루미늄 다겹 보온 커튼 난방 시스템의 가동횟수는 6회인 반면에 부직포 보온재 난방 시스템은 7회로 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실에 비하여 일반 부직포 설치 온실의 실내온도 변화가 큰 것으로 나타났다.
- 사) 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 부직포 설치 온실의 전 열전달 분석결과, 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 온실의 전 손실열량은 주간의 경우 2,416 kJ/m<sup>2</sup>이었으며, 야간은 3,504 kJ/m<sup>2</sup>로 나타나 주야간 합해서 5,920 kJ/m<sup>2</sup>의 전 손실열량을 보였고, 부직포 설치 온실의 경우 온실의 전열 손실량은 주간에 2,876 kJ/m<sup>2</sup>, 야간에 5,084 kJ/m<sup>2</sup>로 주야간 합해서 7,960 kJ/m<sup>2</sup>의 전손실 열량을 나타내었다.
- 아) 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실의 온풍기 비교열량 분석결과, 누적공급열량은 일반 부직포 설치 온실이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실보다 616.3~65,079.4 kJ/m<sup>2</sup>·day 많은 것으로 나타났으며, 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 에너지를 35.1%(36일) 절감할 수 있는 것으로 판단된다.
- 자) 실험기간 36일동안 커튼 설치 및 난방비용은 알루미늄 다겹 보온 커튼의 경우 6,386,151

원이었고, 일반 부직포는 8,908,796원으로 알루미늄 다겹 보온커튼 사용시 2,522,645원이 절감된 것으로 나타났다.

차) 경제성 분석결과 실험기간 36일을 1년 중 106일로 확대 적용하여 알루미늄 다겹 보온 커튼의 내용연수 7년 동안 300㎡의 동일한 하우스를 운영하였다고 가정하였을 경우 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치온실은 52,762,374원, 일반부직포 설치온실은 76,111,495원이 소요될 것으로 나타났다.

카) 1년 사용시의 비용절감분에 비하여 7년간 사용시의 비용절감이 더욱 컸으며, 부직포 및 난방유류의 물가상승과 알루미늄 다겹 보온 커튼의 경우 7년마다 1회의 설치비용이 소요되는 반면, 부직포 커튼은 매년 설치비용이 추가로 소요됨에 따라 알루미늄 다겹 보온 커튼의 사용시 5,545,249원의 비용을 더욱 절약할 수 있을 것으로 분석되었다.

라. 알루미늄 다겹 및 방염 보온 커튼을 이용한 온실난방시스템의 열특성 분석  
(2차년도 수행과제)

1) 일정기간동안 하우스 내의 평균 온도변화

그림 53은 알루미늄 다겹 보온 커튼과 알루미늄 방염 보온 커튼 및 일반 부직포를 온실난방에 설치할 경우 일정기간(2010년 12월 14일부터 2011년 1월 6일)의 온실 내부온도와 외부온도 변화를 평균하여 나타낸 것이다.

그림 53에서 보는바와 같이 일정기간(2010년 12월 14일부터 2011년 1월 6일) 동안 외기의 평균 온도는 주간(낮)의 경우 0.4~6.5℃로 나타났고, 야간(밤)의 외부온도는 -2.3~3.1℃의 온도분포를 나타내었다. 주간 평균 외기온도는 2시 전후에서 6℃ 내외로 가장 높게 나타났고, 최저온도는 오전 8시 전후에서 -2℃ 내외로 나타났다.

한편, 일정기간(2010년 12월 14일부터 2011년 1월 6일) 동안 평균한 알루미늄 다겹 보온 커튼과 알루미늄 방염 보온 커튼 온실 및 일반 부직포 설치 온실의 내부 온도는 외기온이 최고 온인 1시 전후에서 알루미늄 다겹 보온 커튼 온실은 최대 27.9℃로 나타났고, 알루미늄 방염 보온 커튼 온실은 최대 26.4℃, 부직포 설치 온실은 최대 26.7℃로 알루미늄 다겹 보온 커튼 온실이 가장 높았다. 야간에는 온수난방기가 작동되어 하우스 실내온도는 알루미늄 다겹 보온 커튼 온실이 최저 18.0℃로 나타났고, 방염처리 알루미늄 보온커튼 온실은 최저 21.9℃, 부직포 설치 온실은 최저 20.2℃로 보온력이 알루미늄 다겹 보온 커튼 온실에 비해 2.3℃ 낮은 것을 알 수 있었다. 하지만 온수 난방기의 가동으로 각각의 경우 모두 15℃ 이상을 유지한 것으로 나타났다.

일정기간(2010년 12월 14일부터 2011년 1월 6일) 동안 평균한 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 내부 온도는 주간(낮)의 경우 22.5~27.9℃ 이었고, 알루미늄 방염 보온 커튼 설치 온실의 경우 21.9~26.4℃, 일반 부직포 설치 온실의 경우에는 20.2~26.7℃로 나타나 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실의 내부온도 보다 2.3~1.2℃ 높은 것으로 나타났다. 야간의 경우에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 내부 온도가 18.0~20.8℃, 알루미늄 방염 보온 커튼 온실이 18.5~21.1℃ 이었고, 일반 부직포 설치 온실의 경우에는 16.1~18.6℃로 나타나 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실의 내부온도 보다 1.9~2.2℃ 높게 유지하여 보온력이 더 적은 것으로 나타났다.

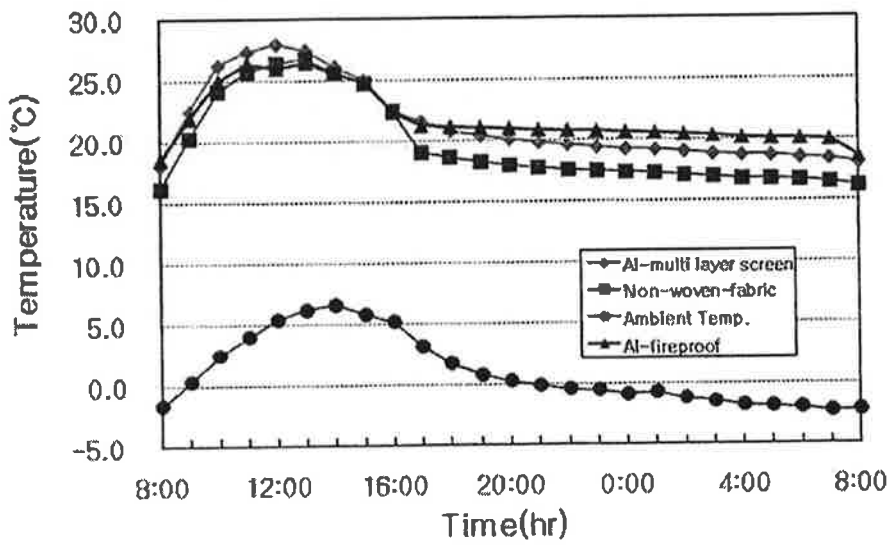


그림 53. 알루미늄 다점 보온 커튼, 알루미늄 방열 보온 커튼과 일반 부직포 설치 온실의 일정기간동안의 평균온도 변화 (23 일)

## 2) 열특성 분석

### 가) 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실(일정기간)

그림 54는 온실 피복재로 알루미늄 다겹 보온 커튼을 설치한 경우 일정기간(2010년 12월 14일부터 2011년 1월 6일)의 시간별 평균 온도를 기준으로 열특성과 실온변화를 나타낸 것이다.

그림 54에 나타냈듯이 태양열이 10시간 동안 온실 내에 공급한 열량은 앞 절에서 서술한 식 (3)을 이용하여 계산한 것으로서, 최소공급 열량은 오전 8시에  $3.6 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 이었고, 최대 열량이 공급된 시간은 12~13시 사이로  $1195.2 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$  이었다. 일몰이 가까운 17시경 태양으로부터 공급된 열량은  $118.8 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 로 나타났다.

온수난방기로부터 시간당 온실 내에 공급된 열량은 전술한 식 (4)를 이용하여 산출한 것으로서  $564 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 온실 난방에 활용된 것으로 나타났다.

한편, 공급된 열량 중 하우스 내부의 토양과 공기 중으로 저장된 열량은 식 (8)과 식 (11)을 이용하여 계산하였고, 주간에 토양은 최대  $24.7 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 공기에는 최대  $34.7 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 이 저장되었고, 야간의 경우에는  $2.9\sim 22.5 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 토양으로부터 공기 중으로 방열되어 난방열원으로 활용되었다.

온실 피복재를 통하여 온실 밖으로 손실되는 열량은 주간의 경우 식 (5)를 이용하여 산출하였고, 그 결과  $206.5\sim 284.0 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 피복재를 통하여 손실되는 것으로 나타났다. 야간의 경우에는 식 (6)을 이용하여 계산하였고, 손실되는 열량은  $176.2\sim 218 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 인 것으로 나타나 야간보다 주간의 열손실이 1.17~1.30배 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 주간의 열손실이 야간보다 큰 것은 앞에서 서술한 바와 같이 온실내부에 설치된 보온재를 열어놓았기 때문이다.

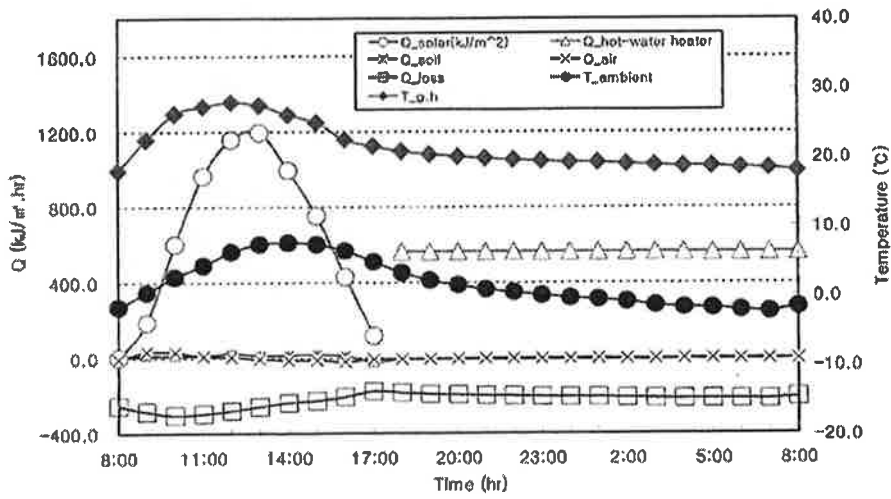


그림 54. 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 온도변화에 의한 열특성 (23일)

## 나) 알루미늄 방염 보온 커튼 설치 온실(일정기간)

그림 55는 온실 피복재로 알루미늄 방염 보온 커튼을 설치한 경우 일정기간(2010년 12월 14일부터 2011년 1월 6일)의 시간별 평균 온도를 기준으로 열특성과 실온변화를 나타낸 것이다.

그림 55에서 보는 바와 같이 태양열이 10시간 동안 온실 내에 공급한 열량은 앞 절에서 서술한 식 (3)을 이용하여 계산한 것으로서, 최소공급 열량은 오전 8시에  $3.6 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$  이었고, 최대 열량이 공급된 시간은 12~13시 사이로  $1195.2 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$  이었다. 일몰이 가까운 17시경 태양으로부터 공급된 열량은  $118.8 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 로 나타났다.

온수난방기로부터 시간당 온실 내에 공급된 열량은 전술한 식 (4)를 이용하여 산출한 것으로서  $605.7 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 온실 난방에 활용된 것으로 나타났다.

한편, 공급된 열량 중 하우스 내부의 토양과 공기 중으로 저장된 열량은 식 (8)과 식 (11)을 이용하여 계산하였고, 주간에 토양은 최대  $41.8 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 공기에는 최대  $28.6 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 이 저장되었고, 야간의 경우에는  $4.6\sim 10.1 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 토양으로부터 공기 중으로 방열되어 난방열원으로 활용되었다.

온실 피복재를 통하여 온실 밖으로 손실되는 열량은 주간의 경우 식 (5)를 이용하여 산출하였고, 그 결과  $204.9\sim 287.2 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 피복재를 통하여 손실되는 것으로 나타났다. 야간의 경우에는 식 (6)을 이용하여 계산하였고, 손실되는 열량은  $172.1\sim 234.3 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 인 것으로 나타나 야간보다 주간의 열손실이 1.19~1.23배 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 주간의 열손실이 야간보다 큰 것은 앞에서 서술한 바와 같이 온실내부에 설치된 보온재를 열어놓았기 때문이다.

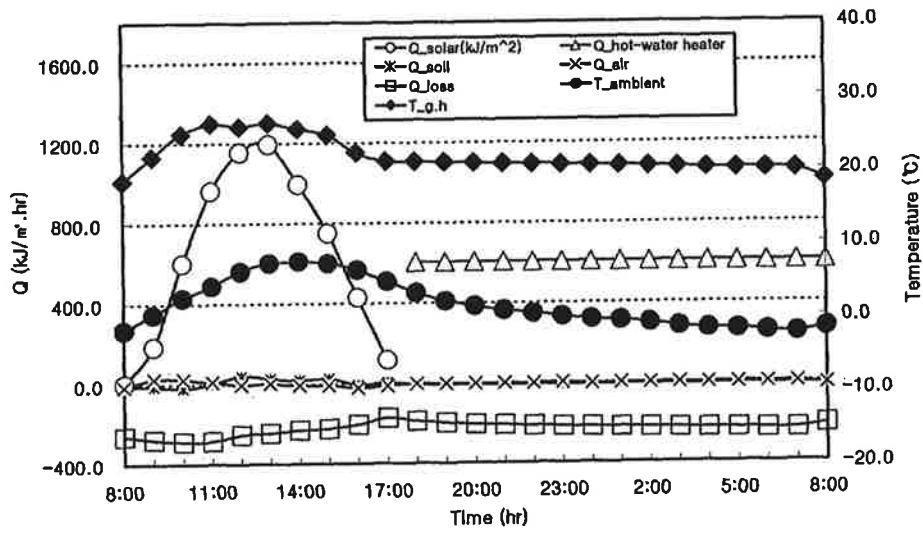


그림 55. 알루미늄 방염 보온 커튼을 설치한 온실의 온도변화와 열흐름 (23일)



#### 다) 일반 부직포 설치 온실(일정기간)

그림 56은 온실 피복재로 일반 부직포 보온재를 설치한 하우스의 23일 동안(2010년 12월 14일부터 2011년 1월 6일) 시간별 평균 온도와 열흐름 특성 변화를 나타낸 것이다.

그림 56에서 보는 바와 같이 10시간 동안 태양으로부터 공급된 열량은 앞 절에서 서술한 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 동일한 열량이 공급되었고, 최소공급 열량은 오전 8시에는  $3.6 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 최대 열량이 공급된 시간은 12~13시로  $1195.2 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 일몰이 가까운 17시경 태양으로부터 공급된 열량은  $118.8 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 로 분석되었다.

한편, 온수난방기로부터 시간당 온실 내에 공급된 열량은 전술한 식 (4)를 이용하여 산출한 것으로서  $682.6 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 온실 내에 공급되어 난방열원으로 활용되었다. 이것은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 온수난방기로부터 공급된 열량보다 약  $118.6 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 가 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 온수난방기로부터 공급된 열량이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실보다 일반 부직포 설치 온실이 높은 이유는 하우스 내부온도를  $15^\circ\text{C}$ 로 설정하여 난방 하였기 때문에 단열효과가 적은 부직포 하우스에서 외부로 방출되는 열량이 높았기 때문으로 판단된다.

온실 피복재로 일반 부직포 보온재를 설치한 경우 토양과 공기 중으로 저장된 열량은 주간 에 토양은 최대  $86.2 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 공기에는 최대  $31.3 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 이 저장되었고, 야간의 경우에는  $6.7\sim 18.4 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 토양으로부터 공기 중으로 방열되어 난방열원으로 활용되었다. 또한 하우스 피복재를 통하여 온실 밖으로 손실되는 에너지는 앞 절에서 서술한 식을 이용하여 계산하였고, 주간의 경우에는  $255.2\sim 274.8 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ , 야간에는  $161.6\sim 197.9 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열량이 피복재를 통하여 손실되는 것으로 나타나 주간의 열손실이 야간보다 1.58~1.39배 큰 것으로 나타났다.

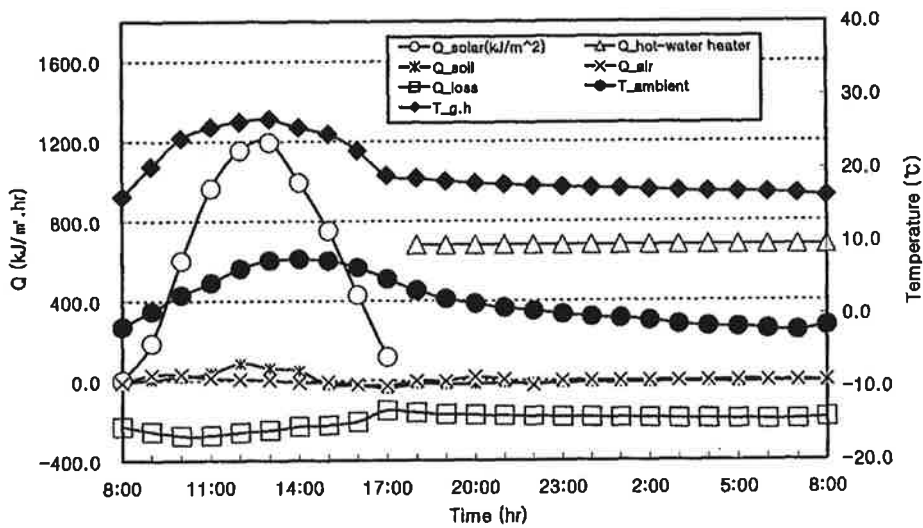


그림 56. 일반 부직포 설치 온실의 온도변화와 열흐름 (23일)

### 3) 난방효과 분석

#### 가) 외기온을 기준으로 한 온실 난방 효과(23일)

외기온을 기준으로 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 알루미늄 방염 보온 커튼 온실 및 일반 부직포 설치 온실의 온실 난방 효과 분석 결과는 그림 57과 같다. 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 알루미늄 방염 보온 커튼 온실 및 일반 부직포 설치 온실의 온실 난방 효과 분석은 온실 내부 온도와 외기온과의 차이( $\Delta T$ )로 나타내었다.

그림 57에서 보는 바와 같이 주간(09:00~17:00) 온실 내부 온도와 외기온의 차이( $\Delta T$ )는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 알루미늄 방염 보온 커튼 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 오전에는 2~2.5℃ 높았으나 오후에는 모두 21~25.5℃를 나타내어 차이를 큰 차이를 보이지 않았다.

한편, 야간의 경우에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 알루미늄 방염 보온 커튼 온실 및 일반 부직포 설치 온실의  $\Delta T$ 는 각각 18.0~20.8℃, 18.5~21.0℃, 16.1~18.6℃로 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 약 2℃ 정도 높은 것으로 나타나 보온력이 큰 것을 알 수 있었다.

이와 같은 결과는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 알루미늄 방염 보온 커튼 온실이 보온력을 높여줄 수 있는 것으로 알루미늄 다겹 보온재의 우수성을 입증해 주는 것이라 하겠다.

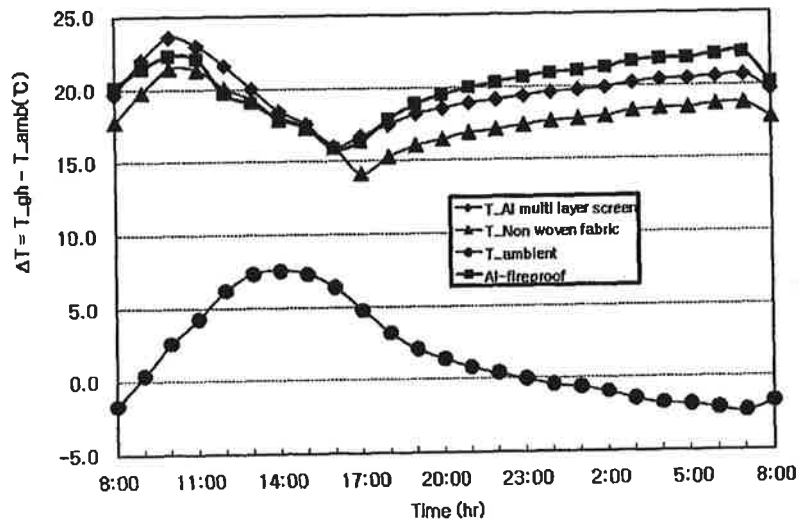


그림 57. 알루미늄 다겹 보온 커튼, 알루미늄 방염 보온 커튼과 일반 부직포 설치 온실의 외기와 실내간의 온도차

나) 온실 설정 온도를 기준으로 한 온실 난방효과(23일)

알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 알루미늄 방염 보온 커튼 온실 및 일반 부직포 설치 온실의 설정온도(15℃)를 기준으로 난방효과를 분석한 결과는 그림 58과 같다. 난방효과는 온실 내 온도와 설정온도와의 차이로 나타내었다.

그림 58에서 보는 바와 같이 주간에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 일반 부직포 설치 온실 모두에서 설정온도보다 1.1~12.9℃ 높게 나타났으나, 주간에서 야간으로 넘어가는 전환기에는 설정온도와의 차이가 급격히 작아지는 현상을 보였다.

야간에도 설정온도 이하로 내려가지는 않았으나 알루미늄 다겹 보온 커튼 온실의 경우 3.0~5.3℃, 알루미늄 방염 보온 커튼 온실의 경우 3.5~6.0℃를 유지한 반면 일반 부직포 설치온실의 경우는 1.1~3.2℃를 유지함으로써 보온력의 차이를 나타내었다.

이와 같은 결과는 알루미늄 다겹 보온 커튼의 보온 효과가 일반 부직포보다 우수한 것을 나타내 주는 것이다.

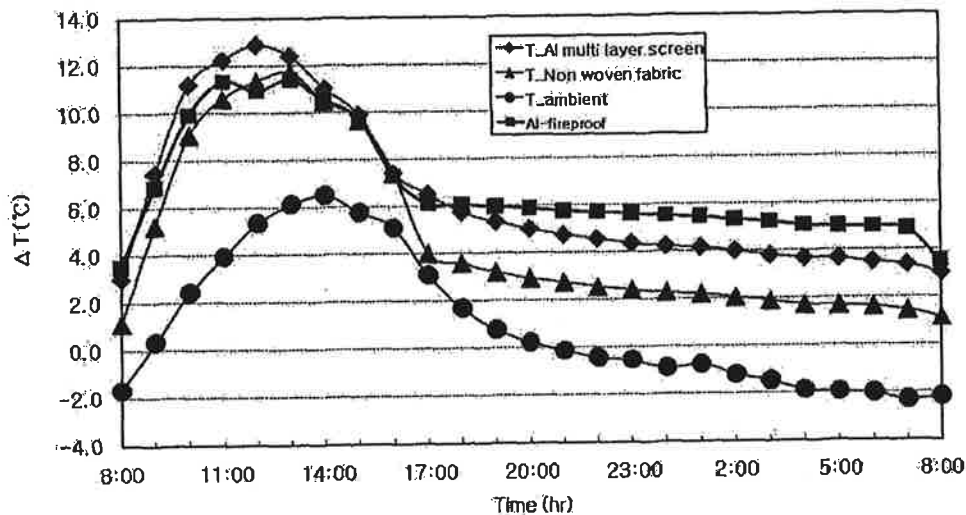


그림 58. 알루미늄 다겹 보온 커튼, 알루미늄 방염 보온 커튼과 부직포 설치 온실의 설정온도와 실내온도 차

#### 4) 전 열전달 분석

##### 가) 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실(23일)

그림 59에 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 누적 열흐름 특성과 실온변화를 나타내었다. 전(全) 열전달은 식 (1)과 식 (2)를 시간으로 적분하여 분석하였다.

그림 59에서 보는 바와 같이 전(全) 태양에너지는 각각의 시간대별 태양에너지를 식 (3)을 이용하여 산출한 후 합산하여 산출하였고, 주간 9시간 동안 총  $6,408.7\text{kJ/m}^2$ 의 태양열이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실에 공급된 것으로 나타났다.

온수 난방기에 의해 공급된 전(全)열량도 각각의 시간대별 공급 열량을 식 (4)에 의거하여 산출한 후 합산하였고, 그 결과  $8,460\text{kJ/m}^2$ 의 열량이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실에 공급된 것으로 나타났다.

하우스의 외피를 통하여 온실 밖으로 손실된 전 손실열량은 주간의 경우 식 (5)를 이용하여 산출한 후 시간대별로 합산하였고, 약  $2,522\text{kJ/m}^2$ 의 열량이 주간에 손실된 것으로 나타났다.

또한 야간에 손실된 열량의 경우에는 식 (6)을 이용하여 산출한 후 합산하였고,  $3,090\text{kJ/m}^2$ 의 열량이 야간에 손실되었으며, 주야간 합해서 총  $5,612\text{kJ/m}^2$ 의 열량이 하우스 외피를 통하여 손실되었다.

이상과 같은 열흐름의 결과로 나타났으며, 최저 외기온을 나타내고 있는 오전 7시에 실온이  $18.7\text{℃}$ 로 낮았으며, 최고 외기온을 나타내고 있는 오후 2시에 실온이  $20.7\text{℃}$  높았다.

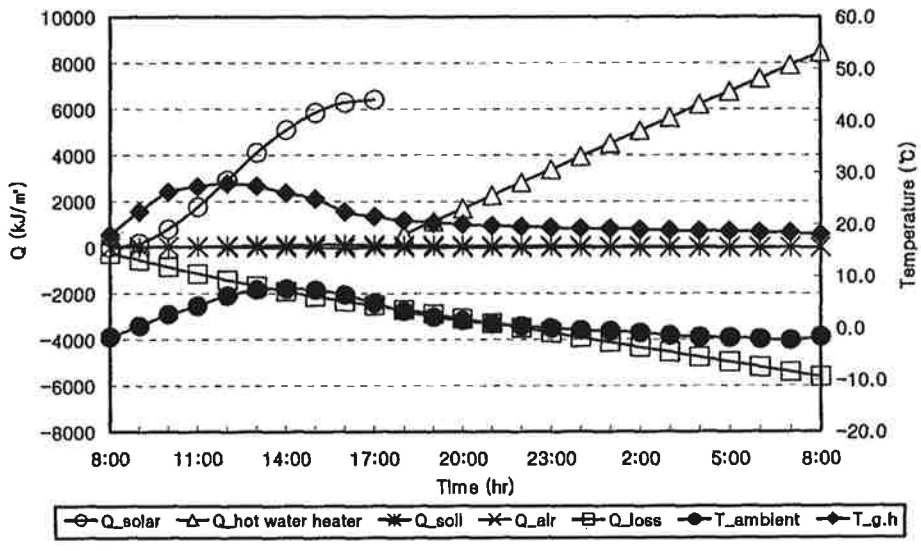


그림 59. 알루미늄 다겹 보온 커튼의 전(全) 열전달

#### 나) 알루미늄 방염 보온 커튼 설치 온실(23일)

그림 60에 알루미늄 방염 보온 커튼 설치 온실의 누적 열흐름 특성과 실온변화를 나타내었다. 전(全) 열전달은 식 (1)과 식 (2)를 시간으로 적분하여 분석하였다.

그림 60에서 보는 바와 같이 전(全) 태양에너지는 각각의 시간대별 태양에너지를 식 (3)을 이용하여 산출한 후 합산하여 산출하였고, 주간 9시간 동안 총  $6,408.7\text{kJ/m}^2$ 의 태양열이 알루미늄 방염 보온 커튼 설치 온실에 공급된 것으로 나타났다.

온수 난방기에 의해 공급된 전(全)열량도 각각의 시간대별 공급 열량을 식 (4)에 의거하여 산출한 후 합산하였고, 그 결과  $9,085\text{kJ/m}^2$ 의 열량이 알루미늄 방염 보온 커튼 설치 온실에 공급된 것으로 나타났다.

하우스의 외피를 통하여 온실 밖으로 손실된 전 손실열량은 주간의 경우 식 (5)를 이용하여 산출한 후 시간대별로 합산하였고, 약  $2,440\text{kJ/m}^2$ 의 열량이 주간에 손실된 것으로 나타났다. 또한 야간에 손실된 열량의 경우에는 각각의 시간대별로 식 (6)을 이용하여 산출한 후 합산하였고,  $3,270\text{kJ/m}^2$ 의 열량이 야간에 손실되는 것으로 나타났으며, 주야간 합해서 총  $5,710\text{kJ/m}^2$ 의 열량이 하우스 외피를 통하여 손실된 것으로 분석되었다.

이상과 같은 열흐름의 결과로 나타난 실온은  $18.5\sim 26.4^\circ\text{C}$ 의 변화를 보였으며, 최저 외기온을 나타내고 있는 오전 7시에 실온이  $19.9^\circ\text{C}$ 로 외기온  $-2.3^\circ\text{C}$ 보다  $22.2^\circ\text{C}$  높았다.



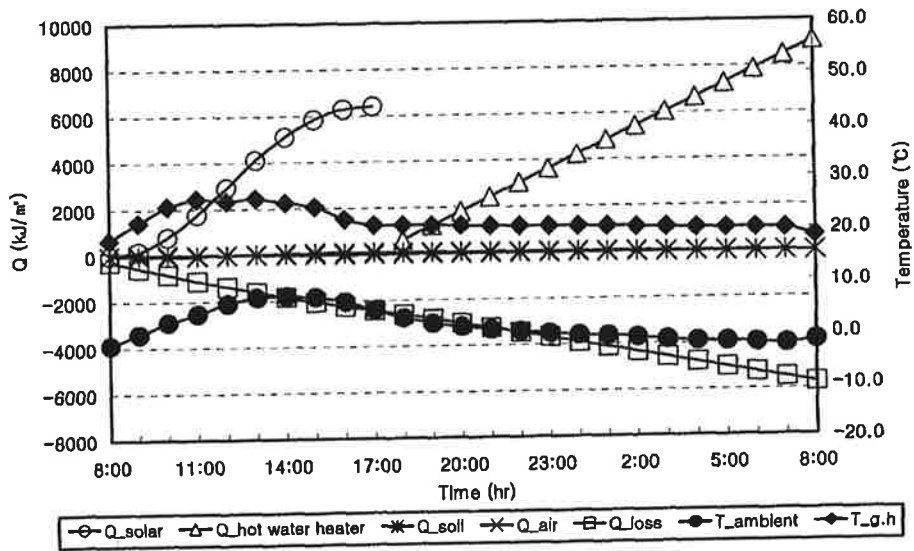


그림 60. 알루미늄 방염 보온 커튼의 전(全) 열전달

#### 다) 일반 부직포 설치 온실(23일)

그림 61은 일반 부직포 보온재 설치 온실의 누적 열흐름 특성과 실온변화를 나타낸 것이다.

그림 61에 나타내고 있는 전(全) 열전달은 식 (1)과 식 (2)를 시간으로 적분하여 분석한 결과이며, 이 그림 61에서 보는 바와 같이 온실에 공급된 전(全) 태양에너지는 전술한 바와 같이 식 (3)을 이용하여 산출한 후 합산하여 산출하였다. 그 결과, 주간 9시간 동안 일반 부직포 설치 하우스 내부로 공급된 태양에너지는  $6,408.7 \text{ kJ/m}^2$ 이었다.

또한, 온수난방기에 의해 공급된 전(全)열량은 각각의 시간대별 공급 열량을 식 (4)에 의거하여 산출한 후 합산한 것으로서, 약  $10,239 \text{ kJ/m}^2$ 의 열량이 일반 부직포 설치 온실에 공급된 것으로 나타났다.

한편, 하우스 외피를 통하여 온실 밖으로 손실된 전 손실열량은 전술한 바와 같이 동일한 방법으로 산출하였다. 그 결과, 주간에는  $2,354 \text{ kJ/m}^2$ , 야간의 경우에는  $2,776 \text{ kJ/m}^2$ 의 열량이 하우스 외부로 손실되는 것으로 나타났으며, 주야간 합해서 총  $5,130 \text{ kJ/m}^2$ 의 열량이 손실된 것으로 분석되었다. 이것은 알루미늄 다점 보온 커튼 설치온실이 일반 부직포 설치 온실보다 주간의 경우 약  $168 \text{ kJ/m}^2$ , 야간의 경우에는 약  $314 \text{ kJ/m}^2$ , 전체적으로는  $482 \text{ kJ/m}^2$  정도 손실되는 열량이 큰 것은 알루미늄 다점 보온 커튼이 일반 부직포보다 동일공간에서 많은 열량을 저장하고 그에 따른 외기온과의 온도차가 커 손실열량도 크게 발생하는 것으로 나타났다. 이것은 알루미늄 다점 보온재 온실이 단열효과가 높아 나타난 현상으로 판단된다.

이상과 같은 열흐름의 결과로 나타난 실온은  $16.1^\circ\text{C} \sim 26.7^\circ\text{C}$ 의 변화를 보였으며, 외기온이 낮은 오전 7시에 실온이  $16.5^\circ\text{C}$ 로 외기온  $-2.3^\circ\text{C}$ 보다  $18.8^\circ\text{C}$  높았다.

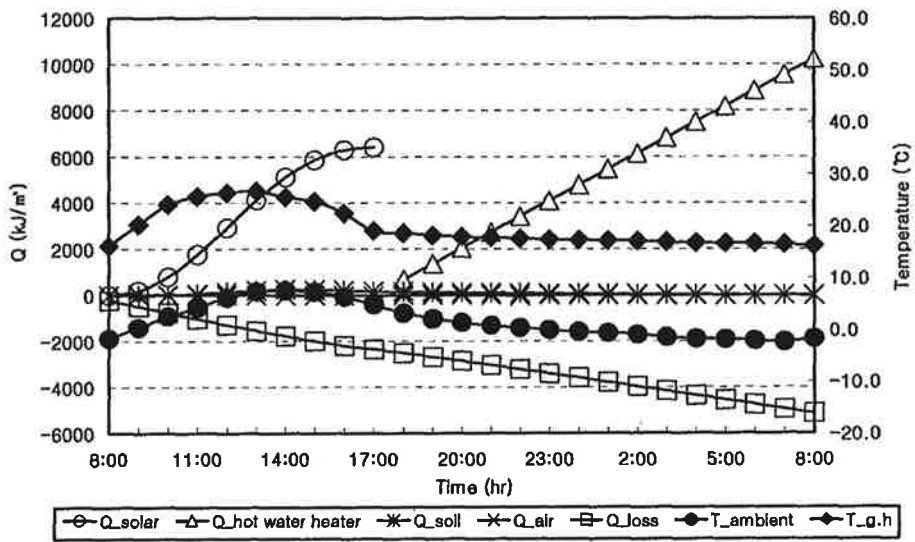


그림 61. 일반 부직포 설치 온실의 전(全) 열전달

### 5) 시스템별 온수기 공급열량 비교 분석

그림 62와 63 및 64과 65는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 방염처리 알루미늄 보온 커튼 설치 온실 및 일반 부직포 설치 온실의 온수 난방기기 공급 열량을 23일 동안과 106일 동안을 식(4)에 의거하여 계산한 결과를 나타낸 것이다. 시스템별 온수난방기 공급열량의 산출은 연료소모량으로 환산하여 계산하였다.

그림 62에서 보는 바와 같이 23일 동안의 최대 공급열량은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 최대  $9,806.3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 이고, 알루미늄 방염 보온 커튼 설치 온실은  $10,190 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 이고, 일반 부직포 설치 온실은  $12,882.8 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 로 일반 부직포 설치 온실의 공급열량이  $3,076.5 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 가 많았다. 최소공급열량은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이  $5960.7 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ , 일반 부직포 설치 온실이  $7691.2 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 로 나타나 일반 부직포 설치 온실이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실보다 온수 난방기를 통한 공급열량이 1.29배 많은 것으로 나타났다.

그림 64에서 보는 바와 같이 106일 동안의 최대 공급열량은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 최대  $12,305.9 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 이고, 알루미늄 방염 보온 커튼 설치 온실은  $12,113.6 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 이고, 일반 부직포 설치 온실은  $13,459.6 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 로 일반 부직포 설치 온실의 공급열량이  $1,153.7 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 과  $1346 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 가 많았다. 최소공급열량은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이  $4,230.2 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ , 알루미늄 방염 보온 커튼 온실이  $4807.0 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$  일반 부직포 설치 온실이  $5960.7 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 로 나타나 일반 부직포 설치 온실이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실보다 온수 난방기를 통한 공급열량이 1.41배 많은 것으로 나타났다.

이것은 전술한 바와 같이 일반 부직포 설치 온실의 보온 효율이 낮기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 결과는 알루미늄 다겹 보온 커튼이 부직포보다 온실 피복재로 더 효율적인 것으로 판단된다.

그림 63과 65는 23일 동안과 106일 동안의 누적 공급열량을 시스템별로 비교하여 나타내었다.

그림 63에는 일반 부직포 설치 온실이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실보다 누적 열량이  $1778.6 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$  많았고, 그림 65에서는  $1730.5 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ 가 많은 것으로 나타났으며, 가동 일수가 경과할수록 에너지 소비량의 차이가 증가하는 경향을 보였다.

이러한 결과는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 에너지 소비량을 17.4% (23일 동안) 정도 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

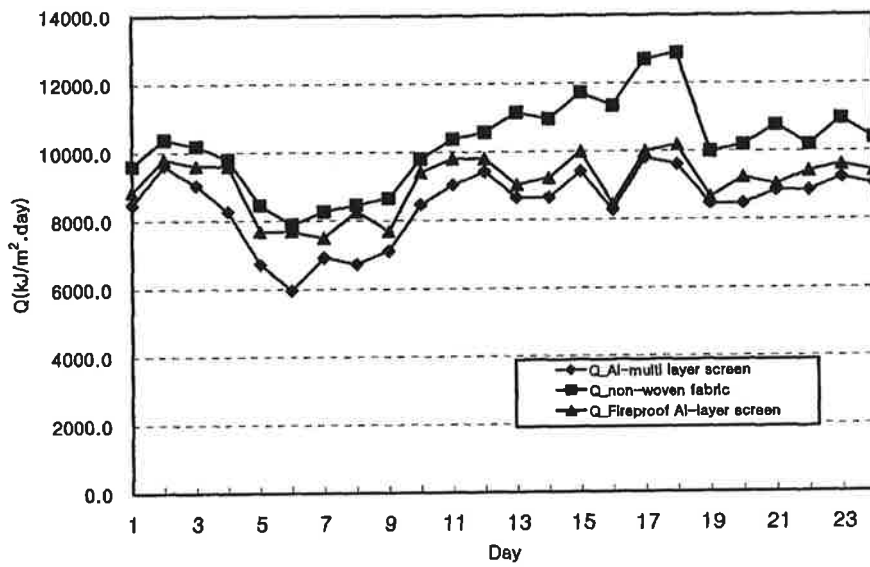


그림 62. 알루미늄 다겹 보온 커튼, 알루미늄 방염 보온 커튼과 일반 부직포 설치 온실의 공급열량 (1일)

일별 서스럼별 공급열량 (100% 가정)

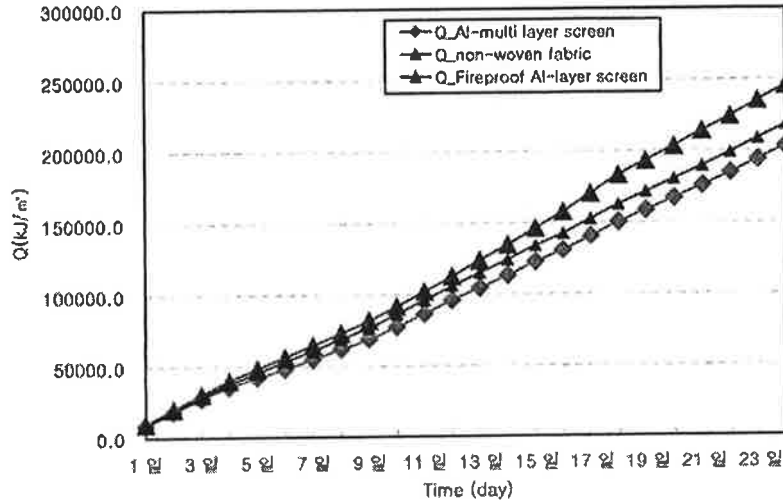


그림 63. 알루미늄 다겹 보온 커튼, 알루미늄 방염 보온 커튼과 일반 부직포 간의 공급열량 (23일)

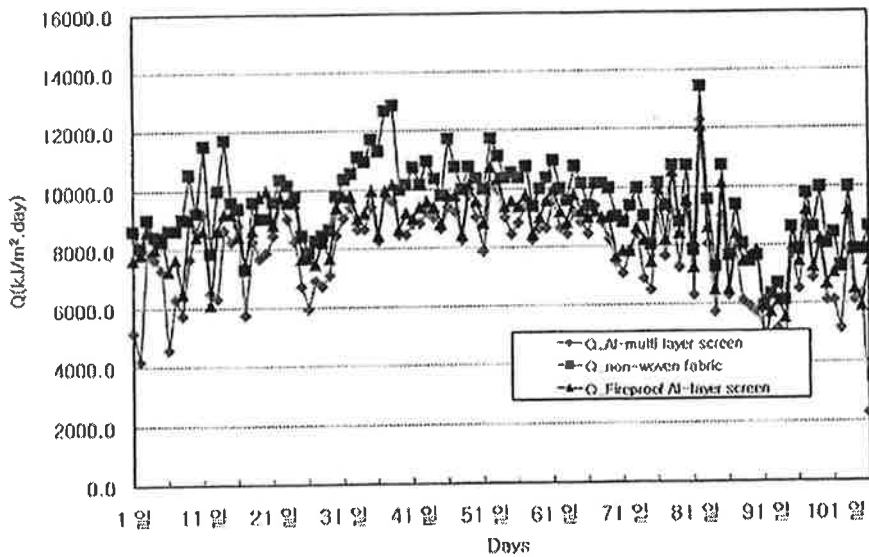


그림 64. 알루미늄 다겹 보온 커튼, 알루미늄 방염 보온 커튼과 일반 부직포의 공급열량 (1일)

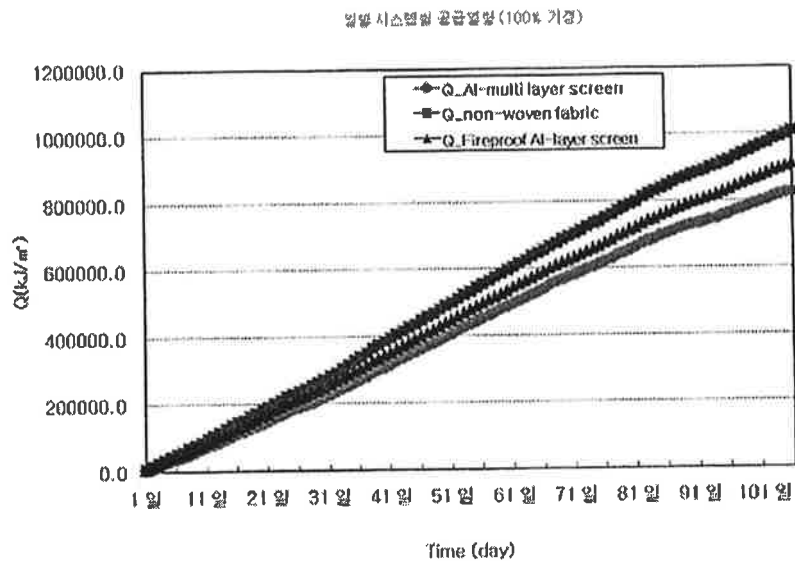


그림 65. 알루미늄 다겹 보온 커튼, 알루미늄 방염 보온 커튼과 일반 부직포 간의 열 공급량 (106일)

## 마. 알루미늄 다겹 및 방염 보온 커튼 설치 온실의 경제성 분석

### (2차년도 수행과제)

#### 1) 경제성 분석 기초 자료

- 경제성 분석 대상 온실커튼은 3 종류로써 ① 알루미늄 다겹 보온, ② 알루미늄 방염 보온, ③ 부직포이다.
- 본 연구 실험규모인 하우스 면적 200m<sup>2</sup>, 실험기간 106일간(겨울철인 2010년 11월 24일 ~ 2011년 3월 9일)의 실험자료를 기초로 하였다.
- 알루미늄의 내용연수는 7년, 품질보증기간은 5년으로 하였고, 부직포의 내용연수 및 품질 보증기간은 1년을 기준으로 하였다. 여기서 품질보증기간이란 생산자가 정상적인 사용 중 제품의 고장 없이 새것처럼 사용할 수 있다고 보증한 기간이라서 만일 하자가 발생하면 무상 수리를 해 주어야 하는 기간이다. 그리고 내용연수란 수리를 하면 정상적으로 사용가능한 객관적인 기간을 의미한다.

#### 2) 경제성 분석 내용

온실커튼의 경제성은 ① 온실커튼을 제작하고 설치하는데 소요되는 비용과 ② 온실 내부를 일정 온도로 유지시키는데 소요되는 난방 유류비용, 그리고 ③ 온실커튼비용과 난방 에너지비용을 합한 총비용을 산출하여 각 커튼 종류별로 분석하였다. 마지막으로 ④ 경제성이 가장 나쁜 유형의 커튼을 기준으로 할 때 그 외 커튼 유형의 총비용은 얼마나 절약할 수 있는 지 절약비용을 산출하여 커튼 유형별로 상대적인 수익성을 비교하였다. ③ 아울러 경제성 분석 기간은 2가지로 하였으며 온실커튼을 설치하고 1년 동안, 그리고 알루미늄 내용연수인 7년으로 하였다.

### <1년 동안의 경제성 분석 내용>

온실커튼 설치 후 1년 동안 발생한 비용을 분석하였으며 분석결과는 다음과 같다.

#### 가) 커튼비용

커튼비용은 ① 커튼제작비용, ② 커튼설치비용(개폐기, 인건비 등 커튼을 달기 위하여 소요된 비용 일체)으로 구분되며, 각각의 소요비용은 다음 표 26과 같다.

그리고 설치 후 1년 동안 발생한 커튼비용은 커튼제작 및 커튼설치에 소요된 비용을 금융기관으로부터 대출하여 충당하였다고 가정하고, 첫째 초에 대출을 하고 첫째 말에 이자를 지급하



는 것으로 가정하였다. 따라서 커튼설치 후 1년 동안의 비용은 1년 동안의 감가상각비와 이자로 구성되며 수리비는 (품질보증기간이므로) 없는 것으로 하였으며 구체적인 산출방법은 다음과 같다.

• **감가상각비용**

감가상각비는 정액감가상각 방법을 채택하였으며 알루미늄의 경우 커튼비용을 내용연수인 7년으로 나누어 계산하였다. 그 결과, 알루미늄 다접은 821,000원(5,747,000원÷7), 알루미늄 방염, 938,857원(6,572,000원÷7), 부직포, 4,509,500원(4,509,500원÷1)으로 각각 산출되었다.

• **이자비용**

이자비용은 2010년 현재 일반적인 시중은행의 대출이자인 연 5.0%를 적용하였다. 즉 커튼비용에 연이자율 5.0%를 곱하여 산출하였으며 알루미늄 다접은 287,3503원, 알루미늄 방염, 328,600원, 부직포, 225,475원으로 각각 산출되었다.

• **총 커튼비용(감가상각비용 + 이자비용)**

온실커튼 설치 후 1년 동안의 총 커튼비용은 1년 동안의 감가상각비와 이자비용으로 구성되며 알루미늄 다접은 1,108,350원으로 산출되었다. 그리고 알루미늄 방염은 1,267,457원이며, 이는 알루미늄 다접을 기준으로 할 때 1.14배로 약간 높은 수준이다. 부직포는 4,734,975원으로 알루미늄 다접을 기준으로 할 때 4.27배로 매우 높은 수준을 보였다(표 26 참조).

요약하면, 알루미늄 다접의 커튼설치비용이 가장 적게 들고, 그 다음으로 알루미늄 방염이 알루미늄 다접보다 약간 높은 비용이 소요되었다. 부직포는 가장 많은 비용이 소요되었으며, 알루미늄 다접과 비교할 때 4배 이상의 비용이 소요되었다.

• **총 커튼 절약비용(부직포-알루미늄 다접, 알루미늄 방염)**

온실에 커튼 설치 후 1년 동안의 절약비용을 살펴본 결과, 경제성이 가장 나쁜 부직포를 기준으로 알루미늄 다접은 3,626,625원(4,734,975원 - 1,108,350원)을, 알루미늄 방염은 3,467,518원(4,734,975원 - 1,267,457원)으로 나타났다. 아울러 알루미늄 다접은 알루미늄 방염에 비해 159,107원(1,267,457원 - 1,108,350원)이 절약되는 것으로 나타났다.

표 26 유형별 커튼비용: 1년

(단위: 원)

구분	알루미늄 다겹 (A)	알루미늄 방염 (B)	부직포(C)	B/A	C/A
커튼제작비용	1,925,000	2,750,000	687,500		
커튼설치비용	3,822,000	3,822,000	3,822,000		
커튼비용 합계	5,747,000	6,572,000	4,509,500		
감가상각비*	821,000	938,857	4,509,500		
이자비용**	287,350	328,600	225,475		
1년간 커튼비용 합계	1,108,350	1,267,457	4,734,975	1.14	4.27

주1) 감가상각비용은 알루미늄의 경우, 설치비용 합계+7; 부직포는 설치비용 합계+1로 산출함.  
 주2) 이자비용은 연 5% 대출이자율 적용함.

**나) 난방 에너지비용**

• 온실 내부 온도를 유지하기 위해서 사용한 유류는 실내등유이며 1년 동안의 온실 난방 에너지비용은 실험기간 106일(약 3.5개월, 겨울철인 2010년 11월 24일~2011년 3월 9일)동안 소요된 총 실내등유량(ℓ)을 현금가로 환산하여 산출하였으며 환산기준은 농업용 면세등유로 925원을 적용하였다(2010년 1월 1일 기준 면세 실내등유 판매가격, 한국석유공사). 그 결과, 알루미늄 다겹은 4,306ℓ 3,983,050원, 알루미늄 방염, 4,738ℓ 4,382,650원, 부직포, 5,260ℓ 4,865,500원으로 각각 산출되었다. 이러한 결과는 알루미늄 다겹을 기준으로 할 때, 알루미늄 방염은 1.10배, 부직포는 1.22배로 약간 높은 수준을 보였다.

요약하면, 2차년도 실험결과 에너지비용은 부직포가 가장 높으며, 그 다음으로 알루미늄 방염, 알루미늄 다겹이 가장 낮은 에너지비용 수준을 보였다.

**• 총 난방 에너지 절약비용(부직포-알루미늄 다겹, 알루미늄 방염)**

온실에 커튼을 설치한 후 1년 동안(106일) 경제성이 가장 나쁜 부직포에 비해 알루미늄 다겹과 알루미늄 방염의 난방 에너지 절약비용을 산출한 결과 알루미늄 다겹은 882,450원(부직포 4,865,500원 - 알루미늄 다겹 3,983,050원)으로 나타났고, 알루미늄 방염은 482,850원(부직포

4,865,500원 - 4,382,650원)으로 산출되었다.

표 27 커튼 유형별 에너지비용: 1년

구분	알루미늄 다접 (A)	알루미늄 방염 (B)	부직포(C)	B/A	C/A
소요 실내등유량( $\ell$ )	4,306	4,738	5,260		
현금가(원)	3,983,050	4,382,650	4,865,500	1.10	1.22

주1) 현금가는 2010년 1월 1일 기준 면세 실내등유 판매가격인 925원을 기준으로 계산함(출처: 한국석유공사 홈페이지).

#### 다) 총비용

커튼 유형별로 설치 후 1년 동안의 총비용을 살펴본 결과 알루미늄 다접은 5,091,400원으로 산출되었다. 그리고 알루미늄 방염의 총비용은 5,650,107원이며, 이는 알루미늄 다접을 기준으로 할 때 1.11배의 수준이다. 이러한 결과는 알루미늄 방염보다 알루미늄 다접의 경우 비용이 적게 소요됨을 의미한다. 이러한 결과를 보인 이유는 알루미늄 다접의 경우, 알루미늄 방염보다 커튼설치비용이 적게 소요될 뿐만 아니라, 난방비용이 더 적게 소요되면서 총비용이 55만여 원 적게 소요된 것에서 기인한 것으로 분석되었다.

부직포의 총비용은 9,600,475원으로 알루미늄 다접을 기준으로 할 때 1.89배의 수준을 보였으며, 이는 알루미늄 다접보다 비용이 1.89배 더 소요됨을 의미한다. 이러한 결과를 보인 이유는 부직포가 알루미늄 다접보다 커튼설치비용이 매우 높음은 물론 난방비용 역시 높은데서 기인한 것으로 분석되었다.

이상의 결과를 요약하면, 알루미늄 다접이 가장 경제성이 높고, 그 다음 순으로 알루미늄 방염, 그리고 부직포의 경제성이 가장 나쁜 것으로 분석되었다. 이 중 알루미늄 다접과 알루미늄 방염의 경우 경제성 차이가 그리 크지 않은 반면, 부직포의 경제성은 매우 나빠서 알루미늄 다접의 1.89배의 비용이 소요되었다.

그러나 여기서 간과하지 말아야 할 것은 알루미늄 방염의 경우 화재를 방지함으로써 발생하는 파생적 경제성을 고려하지 않았다는 점이다. 즉, 화재예방으로 발생하는 간접적 경제성을 계산할 수 있다면 현재의 알루미늄 방염의 경제성은 현재 나타난 것보다 매우 높은 수준일 것임을 시사한다.

라) 절약비용(부직포-알루미늄 다겹, 알루미늄 방염)

이상의 분석결과를 기초로 커튼 유형별 절약비용을 계산한 결과, 온실 200m<sup>2</sup>규모를 겨울철 106일간 운용할 경우, 경제성이 가장 나쁜 부직포에 비해 알루미늄 다겹의 절약비용은 4,509,075원(9,600,475원 - 5,091,400원)이며 이는 부직포 총비용의 약 47.0%{(4,509,075원 +9,600,475원)×100}에 해당된다. 또한 부직포에 비해 알루미늄 방염의 절약비용은 3,950,368원(9,600,475원 - 5,650,107원)이며 부직포 총비용의 41.1%{(395,0368원+9,600,475원)×100}에 해당된다. 아울러 알루미늄 다겹은 알루미늄 방염보다 558,707원이 절약되는 것으로 산출되었다.

표 28 커튼 유형별 총비용: 1년

(단위: 원)

구분	알루미늄 다겹(A)	알루미늄 방염(B)	부직포(C)	B/A	C/A
커튼비용	1,108,350	1,267,457	4,734,975	1.14	4.27
난방 에너지비용	3,983,050	4,382,650	4,865,500	1.10	1.22
총비용	5,091,400	5,650,107	9,600,475	1.11	1.89

<7년 동안의 경제성 분석 내용>

가) 커튼비용

알루미늄 커튼의 내용연수는 7년이며, 부직포 내용연수는 1년이다. 즉, 알루미늄 커튼은 한번 설치하면 7년 동안 계속적으로 사용할 수 있는 반면, 부직포 커튼은 매년 새로 설치해야 한다. 이러한 이유로 알루미늄 커튼 내용연수인 7년을 단위로 경제성 분석을 하여 부직포 커튼과 비교하는 것이 매우 의의가 있다고 판단하여 7년을 기준으로 분석하였다.

이를 위하여 몇 가지 다음의 가정을 하였다.

- 수리비의 경우, 알루미늄 커튼은 품질보증기간 5년이 지난 시점부터 내용연수 7년이 끝나는 기간인 2년 동안 현장의 경험을 기초로 설치비의 5%로 가정하였다.
- 시설의 폐기가격은 0원으로 하였으며, 이유는 내용기간이 지난 후 알루미늄 다겹과 부직포의 경우 재활용이 불가능하기 때문이다.
- 커튼비용은 사업자본의 비용개념으로 금융기관 등으로부터 자금을 대출받아 충당한 것으로

로 가정하였으며, 대출이자 는 연 5%로 가정하였다. 또한 대출은 연초에 하여 연말에 이자를 납부하는 것으로 가정하였다.

### ① 알루미늄 다겹 보온 커튼비용

이상의 가정 하에 우선, 알루미늄 다겹 보온 커튼비용을 분석하였다. 표 29에서 보는 바와 같이 커튼을 설치하는 첫 해에 5,747,000원을 투자하고 6, 7년째에 수리비용(설치비의 5%) 574,700원을 합하면 총 6,321,700원이 소요된다(A+D항). 여기에 7년 동안의 이자비용 2,070,377(C항)을 합하면 총 8,392,077원의 설치비용을 예상할 수 있다.

그리고 구체적인 계산방법은 다음 표 29에 있는 바와 같이 A항은 2010년 기준 초기설치비용의 현재가치 5,747,000원을 의미하고, B항은 5,747,000원에 대한 이자를 매년 납부하는 상황을 의미한다. B항의 구체적인 계산방법은 첫 해의 경우, 5,747,000원에 대한 이자비용(5,747,000원×0.05)으로 287,350원을, 두 번째 해의 경우는 5,765,550원(초기비용 5,747,000원+첫해 이자비용 287,350원)에 대한 이자비용 301,717원을 의미한다. 동일한 계산방법으로 7년째까지 계산하여 합한 값은 2,339,606원이며 이러한 계산방법은 저축시 복리의 개념과 동일하다.

아울러 C항은 B항의 이자비용을 2010년 현재가치로 계산하기 위하여 물가상승률 연 3.0%로 디플레이트한 값이며 이자비용의 현재가치를 의미한다. 이렇게 7년 동안의 이자비용을 모두 현재가치로 디플레이트한 값을 합하면 2,070,377원이 된다. 이상의 계산 결과, 2010년 현재가치를 기준으로 할 때, 7년 동안 알루미늄 다겹의 설치 총비용은 시설비용 5,747,000원에 이자비용 2,070,377원, 수리비용 574,700원을 합한 금액인 총 8,392,077원이 된다.

### ② 알루미늄 방염 보온 커튼비용

알루미늄 방염 보온 커튼비용 산출은 알루미늄 다겹의 경우와 동일한 방법으로 산출되었다. 그 결과, 2010년 기준 현재가치로 초기 설치비용은 6,572,000원, 이자비용은 2,367,586원, 그리고 수리비용은 657,200원으로 각각 산출되어 총 설치비용은 9,596,786원으로 산출되었다.

이상의 결과를 요약하면 200m<sup>2</sup> 규모의 온실에 설치한 알루미늄 다겹 커튼의 비용은 7년 동안 8,392,077원이 소요되며, 이에 비해 알루미늄 방염은 9,596,786원으로 산출되어 알루미늄 다겹의 1.14배의 수준을 보였다.

### ③ 부직포 커튼비용

부직포 커튼비용 산출방법은 알루미늄의 경우와 다르며, 그 이유는 부직포의 내용연수가 1년

이기 때문에 7년 동안 계속적으로 새롭게 동일한 커튼을 설치해야 하기 때문이다. 그리고 품질 보증기간이 1년이기 때문에 수리비는 없고, 대신 부직포의 물가상승률로 인한 추가비용을 고려하여 분석하였다. 부직포 물가상승률은 통계청 자료에 기초하되 부직포 항목이 없어 '기타직물' 항목의 지난 5년(2004~2009) 동안 평균 물가상승률 3.9%를 기준으로 하였다.

결과를 살펴보면 표 31에서 보는 바와 같이 매년 4,509,500원을 커튼비용으로 사용하면 7년간 총 31,566,500원의 비용(A항)이 소요되며, 부직포 물가상승으로 인한 추가비용은 3,467,802원(D항), 그리고 이자비용은 6,484,274원(F항)으로 7년 동안의 부직포 커튼비용은 총 41,518,576원으로 산출되었다.

그리고 구체적인 계산방법은 표 31에 나타나 있듯이 A항은 매년 필요한 설치비용 4,509,500원으로 2010년 기준 현재가치의 값이다. 이를 설치 해당 연도의 명목가격으로 계산한 값이 B항의 값이며, 두 번째 해 B항 값의 의미는 2010년 현재에는 4,509,500원으로 부직포 커튼설치가 가능하나, 2011년에는 부직포 물가상승률 3.9%를 고려하여 4,685,370원(연 설치비용 4,509,500원 + (연 설치비용 4,509,500원 × 부직포 물가상승률 0.039))을 투자해야 동일한 부직포 커튼을 설치할 수 있음을 의미한다. 그리고 C항은 부직포 물가상승으로 인한 추가비용을 당해 명목가치로 나타낸 값이며, D항은 C항의 값을 2010년 현재가치로 디플레이트한 값이다. 따라서 D항의 값은 부직포의 물가상승으로 인한 추가비용의 2010년 기준 현재가치라고 할 수 있다.

E항은 당해 연도의 이자비용이며 당해 연도 부직포 커튼설치비용(B항) × 연이자율 0.05로 산출하였으며, F항은 당해 연도 이자비용(E항)을 2010년 기준 현재가치로 디플레이트한 값이다.

#### ④ 총 커튼 절약비용(부직포-알루미늄 다겹, 알루미늄 방염)

온실에 커튼 설치 후 7년 동안 경제성이 가장 나쁜 부직포를 기준으로 알루미늄 다겹의 절약비용을 산출한 결과, 33,126,499원(부직포 41,518,576원 - 알루미늄 다겹 8,392,077원)으로 나타났다으며, 알루미늄 방염은 31,921,790원(부직포 41,518,576원 - 9,596,786원)으로 나타났다.

표 29 커튼비용(알루미늄 다겹 보온 커튼): 7년

(단위: 원)

횟수 (n)	A: 설치비 (2010년 기준 현재가치)	B: 이자비용 (당해명목금액)	C: 이자비용 (2010년 기준 현재가치)	D: 수리비용
1	5,747,000	287,350	278,980	
2	0	301,717	284,397	
3	0	316,803	289,919	
4	0	332,643	295,549	
5	0	349,275	301,288	
6	0	366,739	307,138	287,350
7	0	385,076	313,102	287,350
소계	5,747,000	2,339,606	2,070,377	574,700
총비용 A+C+D	8,392,077			

주1) C칼럼의 이자비용의 2010년 기준 현재가치는  $B/(1 + 0.03)^n$

주2) D칼럼의 6년부터 7년까지의 값은 수리비용(설치비 × 5%)임.

표 30 커튼비용(알루미늄 방염 보온 커튼): 7년

(단위: 원)

횟수 (n)	A: 설치비 (2010년 기준 현재가치)	B: 이자비용 (당해비용금액)	C: 이자비용 (2010년 기준 현재가치)	D: 수리비용
1	6,572,000	328,600	319,029	
2	0	345,030	325,223	
3	0	362,281	331,538	
4	0	380,395	337,976	
5	0	399,415	344,539	
6	0	419,386	351,229	328,600
7	0	440,355	358,049	328,600
소계	6,572,000	2,675,464	2,367,586	657,200
총비용 A+C+D	9,596,786			

주1) C항목의 이자비용의 2010년 기준 현재가치는  $B/(1 + 0.03)^n$

주2) D항목의 6년부터 7년까지의 값은 수리비용(설치비 × 5%)임.



표 31 커튼비용(부직포): 7년

(단위: 원)

횟수 (n)	A: 설치비 (2010년 기준 현재가치)	B: 설치비 (당해 명목금액)	C: 부직포물가상승 으로 인한 추가비용 (당해 명목금액)	D: 부직포물가상승으로 인한 추가비용 (2010년 기준 현재가치)	E: 이차비용 (당해명목금액)	F: 이차비용 (2010년 기준 현재가치)
1	4,509,500	4,509,500	0	0	225,475	218,907
2	4,509,500	4,685,370	175,870	170,748	471,017	443,979
3	4,509,500	4,868,099	358,599	338,014	737,973	675,350
4	4,509,500	5,057,955	548,455	501,914	1,027,769	913,160
5	4,509,500	5,255,216	745,716	662,559	1,341,918	1,157,551
6	4,509,500	5,460,169	950,669	820,055	1,682,023	1,408,668
7	4,509,500	5,673,116	1,163,616	974,510	2,049,780	1,666,658
소계	31,566,500			3,467,802		6,484,274
총 비용	41,518,576					

주1) C항목의 부직포 물가상승률은 3.9%를 적용함(출처: 통계청 자료 중 '기타저물'의 지난 5년(2004~2009) 동안의 평균 물가상승률임).

주2) D항목의 부직포 물가상승으로 인한 추가비용의 2010년 기준 현재가치는  $C/(1 + 0.03)^n$

주3) F항목의 이차비용의 2010년 기준 현재가치는  $E/(1 + 0.03)^n$

나) 난방 에너지비용

7년 동안 200m<sup>2</sup>의 은실규모를 106일 동안 난방을 위하여 소요된 실내등유 비용을 산출하기 위하여 몇 가지 다음의 가정을 하였다.

- 면세등유 물가상승률은 연 7%로 하며, 이는 통계청자료 중 지난 5년간(2004~2009)의 등유 물가상승률에 기초하여 연 7%로 가정하였다.
- 일반 물가상승률은 커튼비용의 경우와 마찬가지로 연 3%로 가정하였다.

### ① 알루미늄 다겹 보온 커튼

이상의 가정을 기초로 1년 중 106일 동안 7년을 난방하는 데 소요된 비용은 알루미늄 다겹 보온 커튼의 경우 33,669,623원으로 산출되었다. 그리고 구체적인 계산방법은 표 32에 나타나 있듯이 A항은 매년 필요한 유류비용 3,983,050원으로 7년 동안 소요된 총 유류비용은 27,881,350원이며 2010년 기준 현재가치의 값이다. 이를 해당 연도의 명목가격으로 계산한 값이 B항의 값이며, 두 번째 해 B항 값의 의미는 2010년 현재에는 3,983,050원으로 1년 동안 난방이 가능하나, 2011년에는 실내등유 가격상승을 연 7%를 고려하여  $4,261,864원(연 유류비용 3,983,050원 + (연 유류비용 3,983,050원 \times 실내등유 물가상승율 0.07))$ 을 투자해야 동일한 난방을 지속할 수 있음을 의미한다. 그리고 C항은 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용을 당해 명목가격으로 나타낸 값이며, D항은 C항의 값을 2010년 현재가치로 디플레이트한 값이다. 따라서 D항의 값은 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용의 2010년 기준 현재가치라고 할 수 있다. 따라서 7년간 총 난방비용은 7년 동안의 실내등유비용 27,881,350원과 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용 5,788,273원을 합한 33,669,623원이 된다.

### ② 알루미늄 방염 보온 커튼

알루미늄 방염 보온 커튼의 경우 7년 동안의 난방비용은 37,047,532원으로 산출되었다.

그리고 구체적인 계산방법은 표 33에 나타나 있듯이 A항은 매년 필요한 유류비용 4,382,650원으로 7년 동안 소요된 총 유류비용은 30,678,550원이며 2010년 기준 현재가치의 값이다. 이를 해당 연도의 명목가격으로 계산한 값이 B항의 값이며, 두 번째 해 B항 값의 의미는 2010년 현재에는 4,382,650원으로 1년 동안 난방이 가능하나, 2011년에는 실내등유 가격상승을 연 7%를 고려하여  $4,689,436원(연 유류비용 4,382,650원 + (연 유류비용 4,382,650원 \times 실내등유 물가상승율 0.07))$ 을 투자해야 동일한 난방을 지속할 수 있음을 의미한다. 그리고 C항은 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용을 당해 명목가격으로 나타낸 값이며, D항은 C항의 값을 2010년 현재가치로 디플레이트한 값이다. 따라서 D항의 값은 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용의 2010년 기준 현재가치라고 할 수 있다. 따라서 7년간 총 난방비용은 7년 동안의 실내등유비용 30,678,550원과 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용 6,368,982원을 합한 37,047,532원이 된다.

### ③ 부직포

부직포의 경우 7년 동안의 난방비용은 41,129,172원으로 산출되었다. 그리고 구체적인 계산방법은 표 34에 나타나 있듯이 A항은 매년 필요한 유류비용 4,865,500원으로 7년 동안 소요된 총

유류비용은 34,058,500원이며 2010년 기준 현재가치의 값이다. 이를 해당 연도의 명목가격으로 계산한 값이 B항의 값이며, 두 번째 해 B항 값의 의미는 2010년 현재에는 4,865,500원으로 1년 동안 난방이 가능하나, 2011년에는 실내등유 가격상승을 연 7%를 고려하여 5,206,085원(연 유류비용 4,865,500원 + (연 유류비용 4,865,500원 × 실내등유 물가상승률 0.07))을 투자해야 동일한 난방을 지속할 수 있음을 의미한다. 그리고 C항은 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용을 당해 명목가치로 나타낸 값이며, D항은 C항의 값을 2010년 현재가치로 디플레이트한 값이다. 따라서 D항의 값은 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용의 2010년 기준 현재가치라고 할 수 있다. 따라서 7년간 총 난방비용은 7년 동안의 실내등유비용 34,058,500원과 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용 7,070,672원을 합한 41,129,172원이 된다.

**④ 총 난방 에너지 절약 비용(부직포 - 알루미늄 다겹, 알루미늄 방염)**

온실에 커튼을 설치한 후 7년 동안 경제성이 가장 나쁜 부직포에 비해 알루미늄 다겹과 알루미늄 방염의 난방 에너지 절약비용을 산출한 결과, 알루미늄 다겹은 7,459,549원(부직포 41,129,172원 - 알루미늄 다겹 33,669,623원), 알루미늄 방염은 4,078,640원(부직포 41,129,172원 - 알루미늄 방염 37,047,532원)으로 각각 산출되었다.

표 32 난방 에너지비용(알루미늄 다겹): 7년

(단위: 원)

횟수 (n)	A: 유류비용 (2010년 기준 현재가치)	B: 유류비용 (당해명목금액)	C: 유가상승으로 인한 추가비용 (당해명목금액)	D: 유가상승으로 인한 추가비용 (2010년 기준 현재가치)
1	3,983,050	3,983,050	0	0
2	3,983,050	4,261,864	278,814	270,693
3	3,983,050	4,560,194	577,144	544,014
4	3,983,050	4,879,408	896,358	820,294
5	3,983,050	5,220,966	1,237,916	1,099,872
6	3,983,050	5,586,434	1,603,384	1,383,093
7	3,983,050	5,977,484	1,994,434	1,670,307
소계	27,881,350			5,788,273
총비용	33,669,623			

주1) C값의 실제동유 물가상승률은 7%를 적용함(출처: 통계청 자료 중 '동유'의 지난 5년, 2004~2009 동안의 평균 물가상승률임).

주2) D값의 유가상승으로 인한 추가비용의 2010년 기준 현재가치는  $C/(1 + 0.03)^n$

표 33 난방 에너지비용(알루미늄 방열): 7년

(단위: 원)

횟수 (n)	A: 유류비용 (2010년 기준 현재가치)	B: 유류비용 (당해명목금액)	C: 유가상승으로 인한 추가비용 (당해명목금액)	D: 유가상승으로 인한 추가비용 (2010년 기준 현재가치)
1	4,382,650	4,382,650	0	0
2	4,382,650	4,689,436	306,786	297,850
3	4,382,650	5,017,696	635,046	598,592
4	4,382,650	5,368,935	986,285	902,590
5	4,382,650	5,744,760	1,362,110	1,210,217
6	4,382,650	6,146,893	1,764,243	1,521,852
7	4,382,650	6,577,176	2,194,526	1,837,881
소계	30,678,550			6,368,982
총비용	37,047,532			

주1) C칼럼의 실내동유 불가상승률은 7%를 적용함(출처: 통계청 자료 중 '동유'의 지난 5년, 2004~2009 동안의 평균 불가상승률임).

주2) D칼럼의 유가상승으로 인한 추가비용의 2010년 기준 현재가치는  $C/(1 + 0.03)^n$

표 34 난방 에너지비용(부직포): 7년

(단위: 원)

횟수 (n)	A: 유통비용 (2010년 기준 현재가치)	B: 유통비용 (당해명목금액)	C: 유가상승으로 인한 추가비용 (당해명목금액)	D: 유가상승으로 인한 추가비용 (2010년 기준 현재가치)
1	4,865,500	4,865,500	0	0
2	4,865,500	5,206,085	340,585	330,665
3	4,865,500	5,570,511	705,011	664,540
4	4,865,500	5,960,447	1,094,947	1,002,031
5	4,865,500	6,377,678	1,512,178	1,343,551
6	4,865,500	6,824,115	1,958,615	1,689,519
7	4,865,500	7,301,804	2,436,304	2,040,366
소계	34,058,500			7,070,672
총비용	41,129,172			

주1) C값의 실내동유 물가상승률은 7%를 적용함(출처: 통계청 자료 중 '동유'의 지난 5년, 2004~2009 동안의 평균 물가상승률임).

주2) D값의 유가상승으로 인한 추가비용의 2010년 기준 현재가치는  $C/(1+0.03)^n$

**다) 총비용**

분석년위인 200 m<sup>2</sup>의 규모의 온실을 7년 동안 매년 겨울철 106일 동안 난방한 경우, 총비용은 알루미늄 다짐의 경우 42,061,700원으로 분석되었다. 이에 비해 알루미늄 방열은 46,644,318원으로 알루미늄 다짐을 기준으로 할 때 1.11배의 수준에 해당된다. 부직포는 총비용이 82,647,748원이며 알루미늄 다짐을 기준으로 할 때 1.96배의 수준이다. 즉, 알루미늄 다짐의 경제성이 가장 우수하며, 알루미늄 방열과도 차이를 보였다. 이러한 결과는 알루미늄 방열 다짐은 알루미늄 방열에 비해 커튼비용이 적게 소요된 뿐만 아니라, 에너지비용이 더욱 적게 소요되면서 총비용은 알루미늄 방열에 비하여 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

이에 비해 부직포의 경제성은 3개 유형의 온실커튼 중 가장 나쁜 것은 물론 그 차이도 커서

알루미늄 다겹에 비해 1.96배 비용의 차이를 보였다. 이러한 결과는 절대적으로 커튼비용이 알루미늄 다겹보다 약 5배나 소요되며 에너지비용도 1.22배 높은데서 기인한 것으로 분석되었다.

표 35 커튼 유형별 총비용: 7년

(단위: 원)

구분	알루미늄 다겹 (A)	알루미늄 방염 (B)	부직포(C)	B/A	C/A
커튼비용	8,392,077	9,596,786	41,518,576	1.14	4.95
난방 에너지비용	33,669,623	37,047,532	41,129,172	1.10	1.22
총비용	42,061,700	46,644,318	82,647,748	1.11	1.96

라) 절약비용

이상의 분석결과를 기초로 커튼 유형별 절약비용을 계산한 결과, 온실 200m<sup>2</sup>규모를 겨울철 106일간 운용할 경우, 경제성이 가장 나쁜 부직포에 비해 알루미늄 다겹의 절약비용은 40,586,048원(82,647,748원 - 42,061,700원)이며 이는 부직포 총비용의 49.1% $\{ (40,586,048원 + 82,647,748원) \times 100 \}$ 에 해당된다. 또한 부직포에 비해 알루미늄 방염의 절약비용은 36,003,430원(82,647,748원 - 46,644,318원)이며 부직포 총비용의 43.6% $\{ (39,381,339원 + 82,647,748원) \times 100 \}$ 에 해당된다. 아울러 알루미늄 다겹은 알루미늄 방염보다 4,582,618원이 절약된다.

마) 경제성 분석기간 1년과의 비교

온실 커튼 설치 후 1년과 7년 동안의 경제성 분석결과와의 비교는 이미 산출해 놓은 결과를 기초로 2가지 측면, 즉 첫째는 알루미늄 다겹을 기준으로 할 때의 알루미늄 방염과 부직포의 비용수준(비율)을 통하여 비교하였고, 둘째는 경제성이 상대적으로 가장 나쁜 부직포에 비하여 알루미늄 다겹과 알루미늄 방염의 총 절약비용 정도를 기초로 살펴보았다.

그 결과, 첫째, 알루미늄 다겹을 기준으로 할 때의 부직포 비용수준(부직포/알루미늄 다겹)과 알루미늄 방염 비용수준(알루미늄 방염/알루미늄 다겹)은 모두 1년 동안과 7년 동안의 경제성 분석결과가 거의 동일한 모습을 보였다(표 36참조).

둘째, 상대적으로 가장 경제성이 나쁜 부직포에 대한 알루미늄 다겹과 알루미늄 방염의 절약비용을 비교하되, 1년과 7년 절약비용에 기초하여 분석해 보면, 표 37, 표 38에서와 같이 1년의

절약비용을 7년으로 곱한 값(B)이 7년 절약비용(C)보다 작다. 이와 같은 결과를 나타낸 이유는 크게 2가지로 살펴볼 수 있다. 첫째, 알루미늄 다접의 내용연수가 7년인 반면, 부직포는 1년이라는 점에서 원인을 찾을 수 있다. 즉, 커튼비용 중 커튼제작비용의 경우, 알루미늄 다접은 설치하는 첫 해의 물가로 설치가 가능하지만 부직포의 경우 해마다 오른 물가수준(평균 연3.9%)으로 새로운 커튼을 설치해야 하기 때문에 알루미늄 다접이 상대적으로 부직포보다 경제성이 좋아진 원인이 있다. 위 설치비용 분석 내용 중 부직포의 물가상승으로 인한 추가비용이 이를 의미한다. 그리고 커튼설치비용(개폐기, 인건비 등 커튼을 달기 위하여 소요된 비용 일체)의 경우, 커튼을 한번 설치하는데 소요되는 비용은 알루미늄 다접과 부직포가 동일하지만, 알루미늄 다접은 한번 설치하면 최소 내용연수인 7년을 그대로 유지하면서 이용할 수 있는 반면, 부직포는 매년 커튼을 교체해야 하기 때문에 커튼설치비용이 7년 동안 매년 계속 필요하기 때문에 알루미늄 다접의 경제성이 부직포보다 좋아진 원인이 있다.

둘째, 실내등유 판매가격의 상승에서 원인을 찾을 수 있다. 즉, 알루미늄 다접과 부직포 커튼 하우스를 난방하기 위해 소요되는 실내등유량의 차이는 매년 일정할 것이다. 그러나 실내등유 판매가격의 물가상승(연 평균 7%)으로 인해 해마다 실제 소요되는 비용의 차이는 더욱 커진다는 의미이다. 예를 들어, 매년 알루미늄 다접이 부직포보다 954ℓ의 실내등유가 절약되지만 현금으로 환산하면 첫 해는 882,450원(954ℓ × 925원)이, 두 번째 해에는 944,460원(954ℓ × 990원(925원의 7% 상승한 판매가격))이 절약된다. 위에서 설명한 난방 에너지비용 분석결과 중 실내등유 물가상승으로 인한 추가비용이 이를 의미한다.

아울러 부직포에 대한 알루미늄 다접의 절약비용 중 커튼설치과 난방 에너지의 절약비용이 차지하는 비중을 살펴본 결과 커튼설치 절약비용이 약 85.8%로 대부분을 차지하고 있으며, 유류 절약비용이 약 14.2%로 구성되어 있는 것으로 나타났다(표 37 참조). 또한 부직포에 대한 알루미늄 방염 절약비용 결과 역시 위와 같은 동일한 맥락에서 이해하면 될 것이다(표 38 참조).

이상의 결과를 요약하면 부직포에 대한 알루미늄 다접 혹은 알루미늄 방염 다접의 총비용 비율(부직포/알루미늄 다접)의 경우 1년과 7년의 경향은 매우 유사한 모습, 즉 커튼 설치 후 햇수가 경과하면서 동일한 비율로 증가하고 있으나, 실제 비용차이는 1년과 7년의 경우 매우 다르게 나타났다. 즉, 커튼 설치 후 햇수가 경과할수록 부직포에 대한 알루미늄 다접 혹은 알루미늄 방염 다접의 절약비용(경제성 차이)은 더욱 크게 산출되었다.



표 36 경제성 분석기간별 총비용 비교: 비율

구분	알루미늄 방염 / 알루미늄 다겹		부직포/ 알루미늄 다겹	
	1년	7년	1년	7년
커튼비용	1.14	1.14	4.27	4.95
난방 에너지비용	1.10	1.10	1.22	1.22
총비용	1.11	1.11	1.89	1.96

표 37 경제성 분석기간별 절약비용 비교: 금액(부직포-알루미늄 다겹)

(단위: 원)

구분	A: 1년 분석결과	B: A × 7년	C: 7년 분석결과	C - B
커튼비용	3,626,625	25,386,375	33,126,499	7,740,124 (85.8%)
난방 에너지비용	882,450	6,177,150	7,459,549	1,282,399 (14.2%)
총비용	4,519,075	31,563,525	40,586,048	9,022,523 (100%)

표 38 경제성 분석기간별 절약비용 비교: 금액(부직포-알루미늄 방염)

구분	A: 1년 분석결과	B: A × 7년	C: 7년 분석결과	C - B
커튼비용	3,467,518	24,272,626	31,921,790	7,649,164(91.6%)
난방 에너지비용	482,850	3,379,950	4,081,640	701,690( 8.4%)
총비용	3,950,368	27,652,576	36,003,430	8,350,854(100%)

### 3) 1차년도와의 비교

2차년도의 경제성 분석 결과 중 알루미늄 다겹 보온 커튼과 부직포만을 1차년도의 것과 비교하였으며, 그 이유는 1차년도에서는 알루미늄 방염 보온 커튼은 실험대상에서 제외되었기 때문이다.

아울러, 1차년도와의 비교 내용은 직접적인 금액으로 하지 못하고 경향만을 살펴보았으며 그 이유는 다음의 점에서 무리가 따를 것으로 판단되었기 때문이다. 첫째, 2차년도 실험 온실면적(200m<sup>2</sup>)이 1차년도(300m<sup>2</sup>)에 비해 작고, 표 39에서 보는 바와 같이 커튼 원자재 시장거래가격에 큰 변화가 있었기 때문이다. 둘째, 난방으로 사용한 실내등유 비용 역시 2009년에는 리터당 850원이었으나 2010년에는 925원으로 상승하였다. 물론 물가상승에 대한 부분은 디스플레이트한 값을 통하여 직접 비교가 가능하고, 실험규모의 차이도 단위면적당으로 환산하여 비교하는 방법을 취하면 가능하다. 그러나 이러한 절차는 매우 복잡하다고 판단되어 단순히 경향만을 살펴보고자 한다.

우선, 알루미늄 다겹 기준 부직포의 비율을 통해 살펴보면, 표 40에서 보는 바와 같이, 2차년도의 커튼비용은 1차년도에 비해 알루미늄 다겹 보온 커튼과 부직포의 차이가 더욱 커진 것을 볼 수가 있는데(1차년도 부직포/알루미늄 다겹 보온 커튼의 비율이 1.8~2.1 수준임에 비해 2차년도에는 4.2~4.9 수준임), 이는 원자재 시장에서 알루미늄 가격이 부직포에 비해 상대적으로 많이 하락하였기 때문으로 밝혀졌다. 또한 난방 에너지비용은 2차년도와 1차년도간의 알루미늄 다겹 보온 커튼과 부직포의 차이가 유사한 모습을 볼 수가 있다(1차년도 부직포/알루미늄 다겹의 비율이 1.2 수준임에 비해 2차년도에는 1.22 수준임). 이러한 커튼비용과 난방 에너지비용 변화의 특성으로 인하여 총비용은 1차년도에 비해 2차년도에 부직포와 알루미늄 다겹의 차이가 더 커진 것으로 해석된다(1차년도 약 1.4수준에서 2차년도에는 약 1.9수준임).

이러한 결과를 통하여 1차년도와 2차년도의 실험결과는 동일한 경향을 보이고 있다고 결론 내릴 수 있으며, 1차년도와 2차년도의 부직포와 알루미늄 다겹 보온 커튼 간의 경제성 차이가 다른 것은 시장에서의 원자재 가격의 변화에서 기인한 것으로 해석할 수 있다.

표 39 유형별 커튼비용: 1차년도와 2차년도 원자재 가격비교

(단위: 원)

구분	1차 연도		2차 연도		
	알루미늄 다겹	부직포	알루미늄 다겹	알루미늄 방염	부직포
커튼 제작 비용	5,740,000	984,000	1,925,000	2,750,000	687,500
커튼 설치 비용	1,443,080	1,443,080	3,822,000	3,822,000	3,822,000
계	7,183,080	2,427,080	5,747,000	6,572,000	4,509,500

표 40 1차년도와 2차년도의 경제성 분석기간별 비용 비교: 비율 (부직포/알루미늄 다겹)

구분	부직포/알루미늄 다겹			
	1차년도		2차년도	
	1년	7년	1년	7년
커튼비용	1.84	2.13	4.27	4.95
난방 에너지비용	1.27	1.27	1.22	1.22
총비용	1.40	1.44	1.89	1.96

#### 4) 요약 및 결론

알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 방염처리 알루미늄 보온 커튼 온실 및 대조구인 일반 부직포 설치 온실 난방은 공급 열원으로 태양열과 온수난방기에 의한 열원을 이용하여 온실 내부를 작물재배에 필요한 온도로 유지하는 것이다. 따라서 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 방염처리 알루미늄 보온 커튼 온실 및 대조구인 일반 부직포 설치 온실의 열특성 비교를 통한 난방 특성 구명은 공급되는 에너지와 손실을 분석함으로써 난방 기간 동안의 에너지 절감을 극대화시키기 위한 것이다. 최근 유류비의 상승에 따라 난방비를 절감할 수 있는 보온재의 필요성이 크게 대두되고 있고, 이에 대한 연구가 이루어지고 있으나 에너지 절감효율이 높은 알루미늄 다겹 보온 커튼 및 방염처리 알루미늄 보온 커튼에 대한 체계적인 연구가 미비한 실정이다.

따라서 2차년도 연구에서는 온실난방특성 구명을 위한 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실

과 방염처리 알루미늄 보온 커튼 온실 및 대조구인 일반 부직포 설치 온실의 열특성 비교를 통하여 에너지 절감 효과를 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가) 일정기간 동안 하우스내 온도 변화를 살펴본 결과, 주간에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 내부 온도는 22.5~27.9℃ 이었고, 방염처리 알루미늄 보온 커튼 설치 온실의 경우 21.9~26.4℃, 일반 부직포 설치 온실의 경우에는 20.2~26.7℃로 나타나 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실의 내부온도 보다 2.3~1.2℃높은 것으로 나타났다.
- 나) 일정기간 동안 하우스내 온도 변화를 살펴본 결과, 야간에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 내부 온도가 18.0~20.8℃, 방염처리 알루미늄 보온 커튼 온실이 18.5~21.1℃이었고, 일반부직포 설치온실의 경우에는 16.1~18.6℃로 나타내어 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실의 내부온도 보다 1.9~2.2℃ 높게 유지하여 보온력이 더 적은 것으로 나타났다.
- 다) 열특성 분석을 실시한 결과 알루미늄 다겹 보온 커튼 온실의 경우 피복재를 통하여 주간에 손실되는 열량은 206.5~284.0 kJ/m<sup>2</sup>·hr 이었고, 야간의 경우 176.2~218 kJ/m<sup>2</sup>·hr인 것으로 나타나 야간보다 주간의 열손실이 1.17~1.30배 큰 것으로 나타났다.
- 라) 방염처리 알루미늄 보온 커튼 온실의 경우 피복재를 통하여 손실되는 주간의 열량은 204.9~287.2 kJ/m<sup>2</sup>·hr 이었고 야간의 경우 172.1~234.3 kJ/m<sup>2</sup>·hr인 것으로 나타나 야간보다 주간의 열손실이 1.19~1.23배 큰 것으로 나타났다.
- 마) 부직포온실의 경우 피복재를 통하여 손실되는 주간의 열량은 255.2~274.8 kJ/m<sup>2</sup>·hr 이었고, 야간의 경우 161.6~197.9 kJ/m<sup>2</sup>·hr로 나타나 주간의 열손실이 야간보다 1.58~1.39배 큰 것으로 나타났다.
- 바) 외기온을 기준으로 난방효과 분석결과 주간에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 방염처리 알루미늄 보온커튼 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 오전에는 2~2.5℃높았으나 오후에는 모두 21~25.5℃를 나타내어 차이를 큰 차이를 보이지 않았으나, 야간의 경우에는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 방염처리 알루미늄 보온커튼 온실 및 일반 부직포 설치 온실의 ΔT는 각각 18.0~20.8℃, 18.5~21.0℃, 16.1~18.6℃로 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반 부직포 설치 온실보다 약 2℃ 정도 높은 것으로 나타나 보온력이 큰 것을 알 수 있었다.
- 사) 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실과 방염처리 알루미늄보온 커튼설치 온실 및 부직포

설치 온실의 전 열전달 분석결과, 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 온실의 전 손실열량은 주간외의 경우 2,522 kJ/m<sup>2</sup>이었으며, 야간은 3,090 kJ/m<sup>2</sup>로 나타나 주야간 합해서 5,612 kJ/m<sup>2</sup>의 전 손실열량을 보였고, 방염처리 알루미늄보온 커튼설치 온실의 경우 온실의 전 손실열량은 주간외의 경우 2,440 kJ/m<sup>2</sup>이었으며, 야간은 3,270 kJ/m<sup>2</sup>로 나타나 주야간 합해서 5,710 kJ/m<sup>2</sup>의 전 손실열량을 보였고, 부직포 설치 온실의 경우 온실의 전열 손실량은 주간외에 2,354 kJ/m<sup>2</sup>, 야간에 2,776 kJ/m<sup>2</sup>로 주야간 합해서 5,130 kJ/m<sup>2</sup>의 전손실 열량을 나타내었다.

- 아) 온수기 비교열량 분석결과 누적공급열량은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실의 경우 최대 9,806.3 kJ/m<sup>2</sup>·day이고, 방염처리 알루미늄 보온 커튼 설치 온실은 10,190 kJ/m<sup>2</sup>·day 이고, 일반 부직포 설치 온실은 12,882.8 kJ/m<sup>2</sup>·day로 일반 부직포설치 온실의 공급열량이 3,076.5 kJ/m<sup>2</sup>·day가 많았다. 최소공급열량은 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 5960.7 kJ/m<sup>2</sup>·day, 일반 부직포 설치 온실이 7691.2 kJ/m<sup>2</sup>·day로 나타나 일반 부직포 설치 온실이 알루미늄 다겹 보온 커튼설치 온실보다 온수 난방기를 통한 공급열량이 1.29배 많은 것으로 나타났다.
- 자) 23일 동안의 누적 공급열량을 시스템별로 비교한 결과 일반 부직포 설치 온실이 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실보다 누적 열량이 1778.6kJ/m<sup>2</sup>·day가 많은 것으로 나타났으며, 가동 일수가 경과할수록 에너지 소비량의 차이가 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 알루미늄 다겹 보온 커튼 설치 온실이 일반부직포설치 온실보다 에너지 소비량을 17.4% (23일 동안) 정도 줄일 수 있는 것으로 판단된다.
- 차) 실험기간 106일동안 200m<sup>2</sup> 규모의 하우스를 사용한 결과 커튼 설치 및 난방에너지 비용은 알루미늄 다겹 보온 커튼의 경우 5,091,400원, 일반부직포는 9,600,475원으로 알루미늄 다겹 보온 커튼 사용시 4509,075원이 절감된 것으로 나타났다.
- 카) 200m<sup>2</sup> 규모의 온실을 매년 겨울철 106일 7년(알루미늄 내용연수) 동안 난방할 경우 총 절약비용은 부직포 설치 온실과 비교하여 알루미늄 다겹 보온재 설치 온실이 40,586,048원으로 부직포 총 비용(82,647,748원) 대비 49.1% 정도 절약되는 것으로 나타났다.
- 타) 1년 사용시의 비용절감에 비하여 7년간 사용시의 비용절감이 더욱 컸으며, 이는 부직포의 경우 매년 커튼 설치 비용이 소요되고, 부직포의 물가상승으로 인한 비용 및 유류의 물가상승률등에 따른 추가비용 등이 소요됨에 따라 알루미늄 보온 커튼 사용시 일반부직포에 비하여 9,022,523원의 비용을 절약할 수 있을 것으로 분석되었다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 1. 연구개발목표의 달성도

목 표	연구개발 수행내용	달성도 (%)
알루미늄 다겹 보온재 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 박판 알루미늄 제작</li> <li>○ 알루미늄 다겹 보온재 시제품 제작</li> <li>○ 알루미늄 다겹 보온재 개선제품 제작</li> </ul>	100
알루미늄 방염보온재 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 방염알루미늄 개발</li> <li>○ 방염 접착제 개발</li> <li>○ 알루미늄을 이용한 방염보온재 시제품 제작</li> </ul>	100
알루미늄 보온재 이용 온실 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 이용 온실 설치 (0.03ha)</li> <li>○ 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 및 방염보온재 개선제품 온실 설치</li> </ul>	100
알루미늄 다겹 및 방염 보온재 설치 온실의 난방특성 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 온실 내 온도분포 측정 및 해석</li> <li>○ 알루미늄을 이용한 다겹 보온재 및 방염 보온재의 난방특성 분석</li> <li>○ 알루미늄을 이용한 다겹 보온재의 최적 보온 조건 확립</li> <li>○ 보급형 모델의 규격화 설정</li> </ul>	100
알루미늄을 이용한 다겹 및 방염보온재의 경제성 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 알루미늄을 이용한 다겹 및 방염보온재와 일반보온재의 경제성 분석</li> <li>○ 시설비와 에너지 절감에 의한 수익성 분석</li> <li>○ 손익 분기점 분석</li> </ul>	100

## 2. 관련 분야 기여도

### 가. 탁월한 내후성 및 재배, 작업환경개선

현재 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 차광 보온재는 부직포 관련 제품이다. 부직포 관련 제품은 보온성은 매우 우수하나 장기간 사용할 경우 수분흡수로 인한 부직포 내부의 평균 서식으로 인한 작물의 전이로 피해를 입을 가능성이 높으며, 부직포 표면의 오염으로 인하여 차광성이 낮아질 우려가 있다. 그리고 부직포 수분 흡수로 인한 증량증가로 설치가 어려우며, 설치 후 과도한 증량으로 인한 시설의 변형을 가져올 수 있어 문제가 제기되고 있는 실정이다. 본 연구에서 개발된 알루미늄 다겹 보온재는 박판알루미늄에 Polyolefin 발포품을 부착하여 경량화되어 설치 및 관리가 편리하며, 내후성이 우수하여 장기간 사용이 가능하다. 또한 1,400g/m<sup>2</sup>/24h의 투습도로 인한 수분방출이 원활하여 작물의 재배가 용이하고, 쾌적한 작업환경을 제공할 수 있다. 그리고 수분을 흡수하는 재질이 아니므로 하중 증가나 내부의 평균 서식이 용이하지 않으므로 작물의 전이로 인한 피해가 발생할 가능성이 없다. 따라서 시설농가에서 본 제품을 사용할 경우 장기간 사용에 따른 교체비 및 관리비의 절감 및 재배 및 작업환경의 개선에 따른 유무형의 절감효과가 클 것으로 판단된다.

### 나. 에너지 절감효율 향상

최근 지속적인 유가상승으로 국민들이 큰 어려움을 겪고 있으며, 정부에서도 친환경 및 에너지절감대책을 내놓고 있다. 특히 난방을 실시하고 있는 시설농가에서는 대부분 작물 재배를 통한 생산비용중 난방에 따른 경비가 차지하는 비중이 가장 크게 나타나고 있다. 특히 난방을 통해 발생하는 가스로 인하여 작물재배환경이 악화될 수 있다. 그러나 본 연구에서 개발된 알루미늄 다겹 보온재를 사용할 경우 일반 부직포에 비하여 100평당 50일 난방시 난방유 523리터의 절감효과를 나타내어 약 20%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났고, 이를 난방비용으로 환산하였을 때 약 450,000원의 비용이 절감된 것으로 나타났다. 이를 최근 일반적인 시설면적인 1,000평 단위로 환산하였을 때 약 4,500,000원의 비용이 절감될 것으로 기대된다. 그리고 2년차의 에너지 절감효율 시험을 실시한 결과에서도 기존 보온재인 부직포에 비하여 954리터의 난방유 절감효과를 나타내었다. 이를 일간으로 환산할 경우 9리터의 높은 난방유 절감효과를 보임에 따라 향후 제품화하여 시설농가에 공급할 경우 에너지 절감효율이 높을 것으로 판단된다.

### 다. 탁월한 이산화탄소 배출량 저감효과

최근 지구온난화로 인하여 국제적으로 탄소배출량억제를 위한 노력이 활발히 진행되고 있다. 우리나라에서도 최근 농업부문에 있어서 이산화탄소 저감을 위한 기술개발 및 연구가 진행되고 있으며 화석연료의 사용을 제한하고 있는 실정이다. 본 연구에서도 알루미늄 다겹 및 방염

보온재 개발에 의한 난방유 절감효과가 높아 이산화탄소 배출 억제효과가 높은 것으로 나타났다. 2차년도 에너지 절감 효율 시험에서 알루미늄 다겹 보온재는 난방기간(106일)동안 10.7톤, 알루미늄 방염 보온재는 11.8톤의 이산화탄소 배출량을 보여 부직포(13.1톤)에 비하여 각각 81.6%, 90.1%에 불과하여 알루미늄 다겹 보온재의 경우 향후 시설농가에 공급할 경우 친환경 농업자재로서의 역할을 확고히 할 것으로 판단된다.

#### 라. 우수한 경제성

본 연구에서 개발된 알루미늄 다겹 보온재는 1회 설치하여 7년간 사용이 가능하므로 매년 교체해야 하는 부직포에 비하여 우수한 경제성을 나타내었다. 알루미늄 다겹 보온재에 대한 경제성 분석은 200m<sup>2</sup> 규모의 온실을 매년 겨울철 106일 7년 동안 난방할 경우 총 절감비용은 부직포 설치 온실과 비교하여 알루미늄 다겹 보온재 설치 온실이 40,586,048원으로 부직포 총 비용 대비 49.1% 정도 절감되는 것으로 나타났다. 또한 알루미늄 방염 보온재 설치 온실의 경우에는 부직포 설치온실과 비교하여 7년 동안 36,003,430원이 절감되고 부직포 총 비용 대비 43.6% 정도 절감되는 것으로 나타났다. 아울러 알루미늄 다겹 보온재는 알루미늄 방염 보온재보다 7년 동안 4,582,618원이 절감되는 것으로 나타나 알루미늄 다겹 보온재를 사용할 경우 우수한 경제성으로 인하여 농가의 생산비용의 절감효과가 매우 높을 것으로 판단된다.

#### 마. 뛰어난 방염 저지 효과

본 연구에서 개발된 알루미늄 방염 보온재는 탁월한 방염효과를 나타내어 독일 방염 검사소에 의뢰한 방염 성능 시험에서도 유럽 방염 기준을 통과하였다. 그리고 기존 외국 방염 원단과 비교한 시험에서도 잔염시간은 0초 이었고, 탄화거리 또한 본 연구에서 개발된 방염 보온재 평균이 경사 15.34mm, 위사 150.1mm로서 외국 방염원단의 평균인 경사 164.4mm 위사 157.7mm 보다 짧아 방염성이 우수한 것으로 나타났다. 탄화거리가 짧은 것은 본 연구에서 개발된 방염 보온재의 뛰어난 방염 저지효과를 나타내는 것으로 향후 세계적인 추세인 농업자재의 난연화 연구를 주도할 수 있을 뿐만 아니라 시설농가에 공급할 경우 시설하우스 화재로 인한 재산피해를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.



## 제 5 장 연구성과 및 성과 활용 계획

### 1. 연구개발결과의 활용방안

#### 산업체

- (1) 기술 이전을 통하여 알루미늄 다접 보온재의 산업화 실시
  - 제품에 대한 보온성 향상 및 시설농가에 적합한 재질 및 형태의 전환
  - 제품에 대한 시장성 및 시설농가의 기호도 분석을 통하여 제품 출시  
(수정 및 보완기간 약 1년 정도로 추정)
- (2) 알루미늄 다접 보온 제품에 대한 생산 시스템의 확립
  - 알루미늄 다접 보온재의 제품양산을 위한 생산시스템 개선
  - 고품질 제품의 지속적인 생산을 위한 품질관리체계 마련
- (3) 시설농가 시험 판매
  - 시설농가에 대금의 70%에 개선제품의 공급을 통하여 테스트 실시 및 실용성 파악
- (4) 알루미늄 방염보온재의 산업화를 위한 제품에 대한 시장성 파악
  - 알루미늄 방염 제품에 대한 시설 농가의 시장성에 대한 분석실시
  - 알루미늄 방염 제품에 대한 지속적인 연구를 통하여 다양한 시험 실시
  - 시설농가의 현장 실증 시험을 통한 작물 피해 정도에 대한 추가 분석 실시

#### 학계

- (1) 연구결과에 대한 국내외 학회지 발표
- (2) 알루미늄 다접 및 방염 보온재의 용도 다양성에 대한 연구
- (3) 알루미늄 다접 및 방염 보온재에 대한 응용 연구

#### 기타

- (1) 산업재산권(특허) 3건 등록

### 2. 기대성과

#### 가. 기술적 측면

- (가) 알루미늄을 이용한 온실 보온용 다접 차광 보온재 개발
- (나) 알루미늄을 이용한 다접 및 방염 보온재 기술 특허의 획득으로 기술의 우위성 확보

- (다) 알루미늄 다접 보온재의 개발을 통한 에너지 절감성 향상
- (라) 알루미늄 방열 보온재의 개발을 통한 농업용 방열자재의 방열처리기술의 향상

**나. 경제적·산업적 측면**

- (가) 시설 농가의 하우스 난방비용 절감 효과
  - 알루미늄 다접 보온재 개발에 따른 보온력 향상으로 난방유의 사용량이 절감됨으로써 시설농가의 경영비 중 작물 생산 비용이 낮아져 농가 소득 향상에 기여
- (나) 난방유의 사용절감에 따른 외화절약
  - 알루미늄 다접 보온재의 개발로 인하여 전국의 시설농가에서 난방유의 사용이 절감될 경우 난방유의 절감에 따른 외화절약 효과는 매우 높을 것으로 판단됨.
- (다) 난방유 사용절감에 따른 쾌적한 온실환경 조성
  - 알루미늄 다접 보온재 개발에 따른 보온력의 향상으로 온풍난방기 가동시간이 감소함에 따른 쾌적한 온실환경이 조성될 수 있음
- (라) 설치의 용이성 및 관리비용 절감
  - 알루미늄 다접 보온재 개발에 따른 경량화로 설치가 용이하고 기존의 시설 및 개폐장치를 그대로 활용할 수 있을 뿐만 아니라 관리가 편리하므로 설치비 및 관리비용이 절감됨
- (마) 유독가스발생에 의한 2차 피해의 최소화
  - 알루미늄 방열 보온재의 개발에 따른 화염 저지효과의 향상으로 유독가스 발생을 경감시킴으로써 질식에 의한 2차 피해를 최소화할 수 있음
- (바) 인명 및 재산 피해의 경감
  - 알루미늄 방열 보온재의 개발에 따른 방열성의 향상으로 화재발생시 인명 및 재산피해를 최소화할 수 있음

## 제 6 장 참고문헌

1. 農産物流通局(1995), '95 菜蔬生産實績, 農林水産部. pp 46-47.
2. 우복균 譯(1990), "최신 플라스틱기술," 대광서림, pp. 231, 255.
3. Chang, Y. S., K. Y. Oh, S. H. Kim, J. G. Jeun, K. C. Kang and D. H. Chyong(1996), "Study on the Physical Property of Thermal curtains for Greenhouse," *J. Bio. Fac. Env.* Vol. 5(1), 34-52.
4. Cho, I. H., S. J. Jo, T. Y. Kim, N. Y. Heo and Y. S. Kwon(1997), " Effects of Covering Materials on Light Environment in Protectedhorticulture," *Preocceedings of the Korean Society for 1997 Bio-Environment Control Conference*, pp87-91.
5. Cho, Y. B., H. K. Koh, M. K. Kim and Y. H. Kim(1989), "Analysis of Nocturnal Thermal Insulation Effect of Thermal Curtain in Plastic Greenhouse," *J. Korean Solar Energy Soc.* Vol. 9(1), 22-29.
6. Choi, I. H., S. S. Nam, D. H. Chung and B. S. Kwon(2001), "Effect of shade culture on Fresh Yield of Garlic at Vinyl house in Winter," *Korea J. Plant Res.* Vol. 14(1), pp. 59-62.
7. Hwang, H. B., J. C. Kim, J. C. Kim, J. S. Choi and B. S. Choi(1995), "Influence of shading and polyethylene vinyl mulching on growth and yield of *cinidium officinale* Makino," *Korean J. Medicinal Crop Sci.* Vol. 3(2), 156-164.
8. Kim, H. H., S. Y. Lee, H. Chun and Y. S. Kwon(1998), "Improvement of Heat Conservation in Single-span Type Vinyl-house," *Preocceedings of the Korean Society for 1998 Bio-Environment Control Conference*, pp168-173.
9. Kim, M. K., S. G. Lee, W. M. Suh, S. W. Nam and L. S. Kim(1998), "The Actual State of Heat Conservation, Heating and Cooling in Greenhouses," *Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference*, pp39-44.
10. Kim, Y. B., J. C. Park, M. R. Huh, S. Y. Lee and S. W. Jeong(2007), "Effectiveness of the Aluminum Thermal Screens Depending on the Allocation Type," *J. Bio-Environment Control.* Vol. 16(4), 284-290.
11. Ko, K.D.(2009) "Insulation effectiveness depending on the greenhouse insulation methods. RDA. <http://blog.naver.com/hyjjung?Redirect=Log&logNo=140066786847>(in Korea),"
12. Kwon, J. K., J. H. Lee, N. J. Kang, K. H. Kang and Y. H. Choi (2004), "Effects of Covering Materials and Methods on Heat Insulation of a Plastic Greenhouse and

- Growth and Yield of tomato," *J. Bio-Environment Control*. Vol. 13(4), 251-257.
13. Lee, S. Y., H. J. Kim, J. H. Bae, J. S. Shin and S. W. Lee(2007), "Effect of Shading on Shoot Growth and Quality of *Sedum Sarmentosum* in Korea," *J. Bio-Environment Control*. Vol. 16(4), 388-394.
  14. Roh, T. H., K. S. Seo and J. S. Shim(1994), "Growth Characteristics and Content of Chemical components in Shade-Cultured *Artemisia spp.* Collected from different areas," *Korea J. Medicinal Crop Sci.* Vol. 2(3), 205-210.
  15. Pitam Chandra and L. D. Albright(1989), " Analytical determination of the effect on greenhouse heating requirements of using night curtains *TRANSACTIONS of the ASAE* 23(4), 994-1000.
  16. Woo, Y. H., J. M. Lee and Y. I. Nam(1995), "Effect of shading Treatment on the Growth of spinach(*Spinacia oleracea*) Affected by Different Growing periods in Summer Greenhouse," *J. Bio. Fac. Env.* Vol. 4(2), 211-222.