

碩士學位論文

온풍 난방을 적용한 시설원예용
하우스의 에너지 소비특성에
관한 연구

 濟州大學校 大學院
제주대학교 중앙도서관
建築工學科 建築設備 및 環境專攻

全 三 採

2002年 月

온풍 난방을 적용한 시설원예용
하우스의 에너지 소비특성에
관한 연구

指導教授 羅 修 年

全 三 採

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2002年 月 日

全三採의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2002年 月 日

The study on Thermal Environment and
Energy Consumption of Greenhouses with
Hot air Heating System

Samchae Jeon

(Supervised by Professor Suyeun Na)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER
OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ARCHITECTURAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2002. . .

목 차

List of Table	ii
List of Figure	ii
SUMMARY	iv
I. 서 론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 방법 및 범위	2
II. 시설원예용 하우스 난방방식의 이론고찰	5
1. 시설원예용 하우스	5
1) 개 요	5
2) 시설원예용 하우스의 온열환경	15
2. 시설원예용 하우스의 난방방식	18
1) 시설원예용 하우스난방의 특성	18
2) 난방방식의 종류와 특징	19
3) 기존 온풍 난방방식의 특징 및 문제점	24
III. 실측 실험	28
1. 개요	28
1) 측정개요 및 측정방법	28
2) 실험종류 및 설정조건	33
2. 설정온도의 변화에 따른 하우스내 열 환경과 에너지 소비 특성	34
1) 하우스내 열환경 비교	34
2) 설정온도의 변화에 따른 에너지 소비량	47
3) 소 결	52
3. 체적변화에 따른 하우스내 열 환경과 에너지소비 특성	54
1) 체적감소에 따른 하우스내 열 환경	54
2) 하우스의 에너지 소비 감소량	57
3) 소 결	58
IV. 결 론	60
참고문헌	62

List of Table

Table 2-1 Kinds of covering materials by a way of covering	10
Table 2-2 Lighting transmittance of outdoor covering material	11
Table 2-3 Physical characters	11
Table 3-1 Experimental outdoor conditions	34
Table 3-2 Horizontal and vertical temperature difference at each height	39
Table 3-3 Oil consumption	49

List of Figure

Fig. 1-1 Flow chart	4
Fig. 2-1 The roof type of Greenhouse	6
Fig. 2-2 Front/Back elevation and Section	15
Fig. 2-3 Vertical view of Greenhouse	17
Fig. 2-4 A way to install a warm air duct	26
Fig. 3-1 Plane views and details of the Greenhouse	31
Fig. 3-2 The proving Greenhouse	32
Fig. 3-3 Outdoor condition	35
Fig. 3-4 Variations of indoor temperature	37
Fig. 3-5 Variations of relative humidity	38
Fig. 3-6 Variations of indoor air-temperature at each house	42

Fig. 3-7 Temperature variations in vertical view at the middle of longitudinal direction	45
Fig. 3-8 Temperature variations on plane at 0.8m height	46
Fig. 3-9 Variations of vertical temperature at each height	47
Fig. 3-10 Oil consumption at moment($m\ell/m$)	48
Fig. 3-11 Oil consumption at accumulation(ℓ/m)	48
Fig. 3-12 The relation between temperature difference and oil consumption	50
Fig. 3-13 Variations of temperature in duct	52
Fig. 3-14 Indoor air temperature by different screen height	55
Fig. 3-15 Variations of relative humidity at each house	56
Fig. 3-16 Variations of vertical temperature at each height	57
Fig. 3-17 The relation between temperature difference and oil consumption at · 1.2m	58



SUMMARY

Hot-air heating system has been utilized in most greenhouses because the system has very effective in money-saving and easy installation. However, the system has disadvantages in high maintenance cost and nonuniform distribution of air temperature. The purpose of this study is to provide the basic data for thermal control and energy conservation strategies of greenhouse heating. The field measurement were conducted to examine thermal environment and energy consumption in greenhouses model with hot-air heating system. Then the relationship of boiler setting temperature and indoor air volume change and energy consumption were provided. The results of the experiments are as following;

1. There is more than 3~8°C between boiler setting and indoor average temperature because of the lack of efficiency in covering materials and the position of duct in greenhouses.
2. If the boiler setting temperature is 10°C, it can decrease at about 1.4 times than 15°C and 2 times than 20°C setting temperature in oil consumption.
3. If it decrease at about 40% in original volume by double screening, the oil consumption is saved by half.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

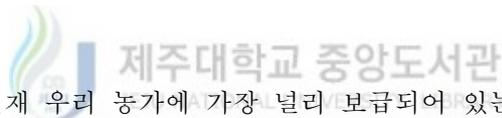
시설원예용 하우스는 농한기라 불리는 겨울철에도 작물의 재배가 가능하고 1년에 4~5회작이 가능하도록 해주기 때문에 고소득을 희망하는 농민들의 수요요구에 의해 자연스럽게 도입되었다. 우리나라의 국민 1인당 시설재배면적은 세계 1위 수준¹⁾이나 선진국에 비해 역사가 짧아 환경제어에 필요한 기초적인 자료가 부족하고 기술적인 분야에서 크게 낙후되어 있다. 또한 시설원예 농가들이 유류 가격상승에 따른 경제적 부담 증가로 인해 적절한 난방을 하지 않아 작물의 질이 떨어지고 상대적으로 선진국에 비해 같은 재배면적 내에서 수확량도 떨어진다. 이렇게 된 이유는 다양하지만 가장 큰 원인은 기술개발의 부족이라 할 수 있다. 시설원예분야는 농업분야만이 아닌 기계, 환경 등 관련 분야들의 협조 및 경제적 지원이 있어야 함에도 불구하고 이에 대한 적절한 투자가 이루어지지 않고 있어 기초데이터가 부족하고 기술개선 등이 이루어지지 못하고 있다. 그러므로 이에 대한 개선이 시급한 실정이며 적절한 교육, 지원, 연구개발을 통해 좀 더 적극적인 방식으로 작물을 재배하여 고품질의 작물을 다량 생산하여 수익을 올리는 것이 바람직하다.

시설원예용 하우스는 일반 건축물에 비해 피복재의 단열이 취약하고 개방성이 강한 투명재료로 마감되므로 주간 일사, 야간의 복사 냉각과 같은 외기조건 변화에 민감한 반응을 보인다.²⁾ 일정수준의 외기변화에 대해서는 작물자체의 품종이나 환기 등의 자연적인 방법으로 조절할 수 있고 작물자체가 이와 같은 변화에 견딜 수 있는 탄력성을 보이기도 한다. 그러나 대부분의 작물인 경우 겨울철에 0°C이하의 저온이 될 경우 작물자체가 갖고 있는 내성의 한계를 초과하게 되므로

죽게 된다. 그러므로 동절기의 혹한기에 대비해 작물의 재배환경조건을 마련해 주기 위해 보조난방방식이 필요하게 되고 기름보일러를 이용한 온풍난방방식, 값싼 심야전력을 이용하거나 온수 등의 축열식 열매체를 이용하는 방법, 태양열을 이용하는 난방 방식 등이 대두되고 있으나 아직은 그 개발이나 사용에 있어서 미흡한 점이 많은 형편이다. 특히, 가장 일반적으로 사용되고 있는 온풍난방방식은 유류소비량이 많고 하우스내 온도분포가 불균일한 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 시설원예용 하우스의 난방효율성을 높이기 위하여 야간 온풍난방이 가동되는 시간동안 하우스내의 온도분포 특성 및 유류소비량을 실측실험을 통해 분석함으로써 기초 데이터를 제시하고 온풍난방기의 온도조절과 하우스내에 이중비닐막을 설치하여 체적 감소에 따른 유류절감 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구의 방법 및 범위



본 연구에서는 현재 우리 농가에 가장 널리 보급되어 있는 온풍 난방 방식이 가동되는 시설원예용 하우스의 온도분포 특성과 에너지 절감을 위하여 실측 실험을 통해 기초적인 데이터를 제시하고자 하였으며 본 연구의 방법은 다음과 같다.

1) 이론고찰

기존의 연구자료를 이용하여 시설원예용 하우스의 특성 파악 및 온열환경과 동절기에 하우스에서 적용하고 있는 각종 난방방식의 종류와 특징을 조사하고 현재 우리나라에서 가장 많이 사용되고 있는 온풍난방방식의 문제점에 관하여 기술한다.

2) 실측실험을 통한 시설원예용 하우스의 열환경 특성 및 에너지 소비특성분석

온풍난방방식을 적용한 하우스내 실내온열환경에 대한 기초데이터를 제시하고자 실측실험을 통해 설정온도의 변화에 따른 하우스내 열환경 특성 및 에너지 소비특성에 관해 실험·정리하였다. 또한 에너지 절감방안으로 실내 이중비닐막 설치를 제안하고 체적의 감소에 따른 하우스내 열환경 특성 및 에너지 소비특성을 분석하였다.

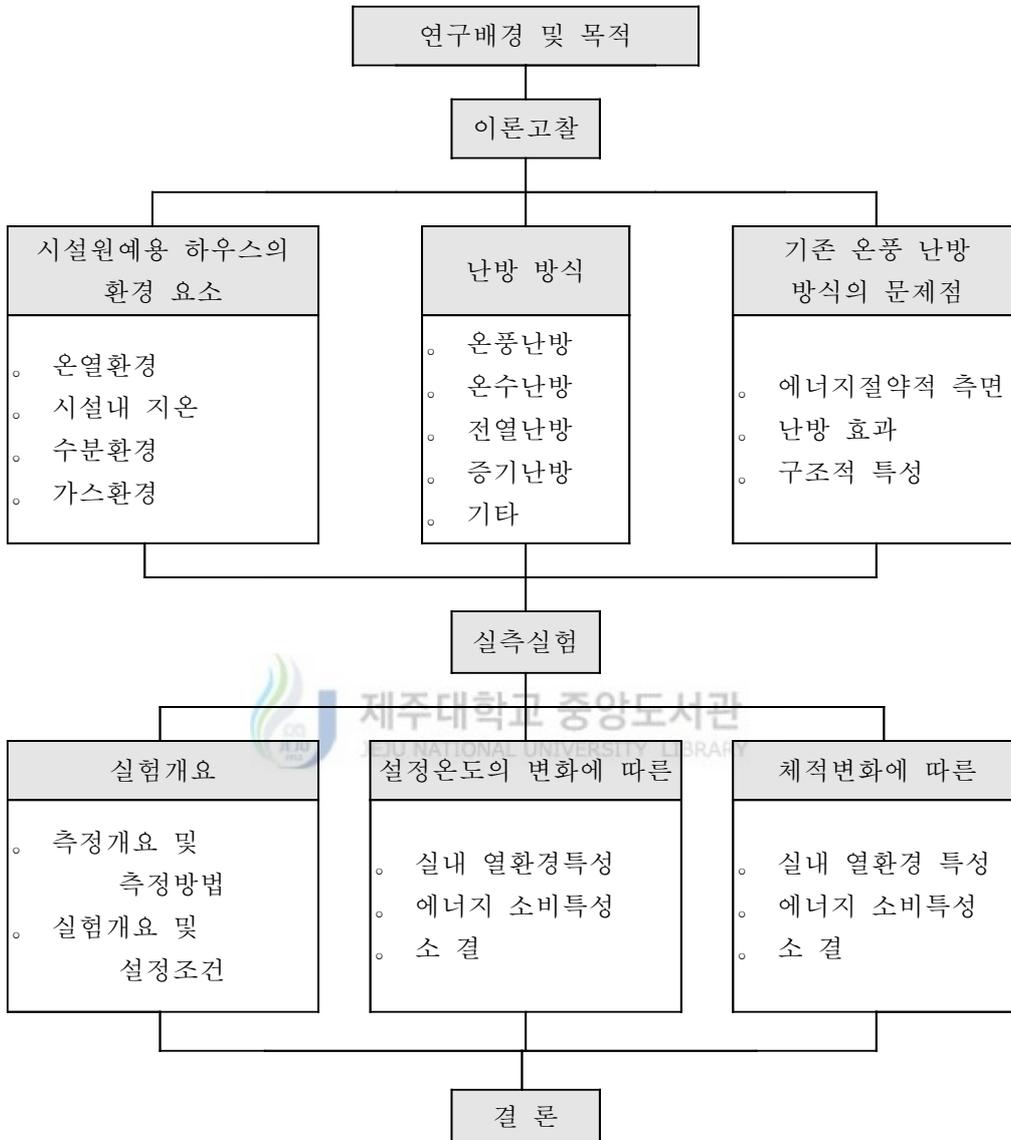


Fig. 1-1 Flow chart

II. 시설원예용 하우스 난방방식의 이론고찰

1. 시설원예용 하우스

1) 개 요

시설원예용 하우스재배는 제한된 좁은 공간내에 재배자가 온·습도·가스 등의 환경조건을 제어할 수 있고 시설을 기계화함으로써 노동력도 절감할 수 있는 선진 기술형태이다. 우리나라에 처음 시설원예가 보급된 것은 1920년대 경인데 그 당시에는 유지창을 조립하여 만든 페이퍼하우스(Paper house)내에 채소류를 재배했던 것이 그 시초였다.¹⁾ 50년대에 들어오면서 우리나라 자체 기술로 피복재의 일종인 폴리에틸렌필름을 생산하게 되면서 전국적으로 확산되었고 현재는 국민 1인당 시설재배면적이 세계 1위일 정도로 많은 농가에 보급되었다. 그러나 반세기가 넘는 긴 시설재배의 역사를 가지고 있음에도 불구하고 그 수준에 있어 아직도 후진성을 면하지 못하고 있다. 우리여건에 맞는 적절한 기후조건, 실내 환경 등에 대한 데이터 및 기술부족으로 대부분의 농가에서 경험에 의지하여 작물을 재배하고 있는 실정이며, 세계 시장에서도 작물의 질보다는 단지 값이 싸다는 인상만을 심어주고 있다. 또한, 시설원예분야는 농업 분야만이 아닌 기계 및 환경관련분야와 협동하여 연구개발이 이루어져야함에도 불구하고 아직 이에 대한 제도, 지원 및 개선방안 등이 미미하여 그 진척속도는 더딜 수 밖에 없다.

(1) 시설 원예용 하우스의 종류

시설원예용 하우스는 사용목적에 따라 다양한 형태로 나타날 수 있다. 생산성을 목적으로 하는 상업용 하우스는 기능적인 목적에 치중하여 생산성 향상에 주력할 것이며 관상용이나 전시용 하우스는 주로 외관의 아름다움이나 전시효과 등에 중점을 둘 것이다. 기본적인 하우스 구조는 주간의 태양복사에너지의 투과가 양호하고 비, 눈, 바람 등의 외기변화에 대해서도 안전성을 갖추어야하며 재배되는 작물의 종류에 따라 그 형태 및 구조가 달라지게 된다. Fig. 2-1³⁾은 지붕형태에 따라 하우스를 분류하여 각각의 특성을 나타내었다.

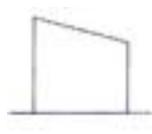
			
Both roof type	One-side roof type	Three quarter type	Semicircle type
			
Connection type		Arch type	Extra-wide type

Fig. 2-1 The roof type of Greenhouse

① 양지붕형 (Both roof type)

좌우대칭형으로 가장 많이 사용하는 지붕형식이다. 단동·연동의 철골하우스에 이용되고 대형화가 용이하며 하우스의 폭도 다양하다. 광선이 비교적 고르게 투과되어 실내온도가 균일하다는 장점이 있는 반면, 하우스의 폭이 넓은 경우에는 적설에 의한 피해가 우려되는 단점이 있다.

② 편지붕형 (One-side roof type)

편지봉형은 남향의 한쪽 방향으로만 경사진 하우스로서, 주로 동서동으로 설치한다. 겨울철에 채광량이 많고 북쪽 벽의 반사열로 인하여 온도상승에 유리하지만 광선의 입사방향이 일정하여 재배작물의 생육이 불균일하며 통기성이 불량하여 과습이 발생하기 쉽다. 이 형식은 부착형 하우스 또는 가정용의 소형하우스에 주로 쓰인다.

③ 스리쿼터형 (Three quarter type)

스리쿼터형은 양지봉형과 편지봉형의 장점을 결합시킨 변형형태로 지붕이 남쪽으로 3/4정도 치우쳐져 있는 변형 형태를 말하며 통상 남쪽 지붕이 북쪽 지붕보다 긴 것은 모두 이 형식으로 분류된다. 스리쿼터형의 가장 큰 장점은 편지봉형과 마찬가지로 겨울철에 투광량이 많고 보온성이 양호하다는데 있으며 편지봉형의 단점인 통기성을 개선한 형태이다.

④ 반원형 (Semicircle type)

시설원예초기에 이용되던 대표적인 형태로 과거에는 대나무를 주골재로 이용하였으나 최근에는 철재로 대체되었다. 설치가 용이하고 설치비가 적게 들며 기밀성도 우수하다. 보온성능이 양호하며 그늘이 적어 실내가 밝다는 장점이 있는 반면, 통기성불량으로 인한 과습의 우려가 있고 좌우양쪽의 천정이 낮아 실내작업이 불편하다는 단점이 있다.

⑤ 연동형 (Connection type)

단동형 하우스를 좌우로 결합시킨 형태로 결합된 동의 수에 따라 2연동, 3연동 등으로 구분된다. 단동일 경우 하우스의 폭이 넓어짐에 따라 하우스의 높이도 높아지므로 풍압에 불리하고 자재비도 증가하게 된다. 이와 같은 결점을 보완하기 위해 하우스의 처마부분 높이를 그대로 유지하여 재배면적을 확장하는 방식이다. 보통 연동형에서는 양지봉형 또는 아치형을 주로 사용한다. 연동형은 보온력이 우수하고 작업도 용이하므로 널리 이용되지만, 연결부분의 투광성이 떨어지고 지붕 접합부의 누수와 겨울철 적설하중에 약하다는 단점도 있다.

⑥ 아치형

아치형은 플라스틱 하우스의 주된 형식으로서 곡선형으로 가공한 철재 파이프를 골조로 사용하므로 풍압을 적게 받아 단동이나 연동으로 많이 이용되고 있다. 또한, 시설비가 적고 실용적이며 설치 및 철거가 비교적 쉽고 투광성도 양호하다. 그러나 하우스 내부의 온도변화가 심하고 방열면적이 넓기 때문에 겨울철 보온에 불리한 점도 있다. 이 형식은 많은 경험을 통하여 개량되어 온 것으로 종류도 많고 규격도 다양하다. 근래에는 기계화가 가능하도록 처마의 높이를 높이고 난방기와 환풍기 등을 도입한 현대적인 구조로 개량되고 있다.

(2) 건축자재

① 골조재

과거에는 대나무나 목재를 주골조재로 사용하였다. 구하기 쉽고 가격도 싸며 가공성도 용이하다는 장점 때문에 많이 이용되어 왔지만 내구성이 부족하고 실내가 습한 경우 부패의 염려도 있어 현재는 거의 대부분 철재로 대체되었다. 최근의 추세는 고강도인 철재를 주골조재로하고 보조재로 알루미늄 및 기타 합금재가 혼용되어 사용되고 있다. 철재는 강도가 커서 최근 대형화되는 하우스의 규모에 적합하고 강풍과 적설 등의 외기에도 강하다. 그리고 보조재로 사용되는 알루미늄 등의 합금은 강도는 철재의 1/2정도이지만 철재에 비해 잘 녹슬지 않고 가볍다는 장점이 있다.

② 피복재

(가) 기본조건

피복재의 기본조건은 주간 일사의 투광성과 보온성에 있다. 태양광은 많이 받아들일수록 좋고 이와 반대로 실내로 취득한 열은 가능한 외기로 방출되지 않도록 해야한다. 이와 같은 상반된 성질 때문에 100% 만족할만한 성능을 갖춘 피복재는 찾기 어렵다. 단지, 재배하려는 작물의 종류나 경제성 등을 따져 투광성 또는 보온성 등 어느 한쪽의 성능만을 좀 더 강화시켜 이용하게 된다.

(나) 선택기준

하우스의 종류와 형상이 결정되면 피복방법, 물리적 성질, 경제성, 내구성 등을 적절히 판단하여 피복재를 선택하게 된다. 피복재는 작물의 종류나 냉·난방 등의 계절, 그 지역의 기후와도 관련이 있으며 생산단가에도 영향을 미칠 수 있으므로 신중하게 선택해야 한다.

㉠ 경제성

과거와는 달리 연질·경질 필름, 유리 등 다양한 제품이 개발되고 각기 가격 차이도 있으므로 선택이 용이하지 않다. 보통 일시적으로 여름철이나 겨울철 한 계절만을 목적으로 할 경우 경제성에 따라 선택하고 사계절 연속하여 이용할 경우에는 경제성보다는 제품의 성능에 좀 더 치중하는 것이 바람직하다.

㉡ 내구성

피복재의 내구성은 피복재 자체의 내구성뿐만 아니라 골조재 및 보조재의 내구성과도 부합되어야 하며 최근에는 저가이면서 내구성이 좋은 제품들이 많이 나오고 있다.

㉢ 피복방법

피복방법은 하우스의 외부를 피복하는 외부피복과 내부를 피복하는 내부피복으로 나뉘며 통상 외부피복과 내부피복이 동시에 이루어지는 경향이 많다. Table 2-1¹⁾에 피복방법에 따른 피복재의 종류를 나타내었다.

Table 2-1 Kinds of covering materials by a way of covering

A way of covering	Basic condition	Kinds of covering materials	비 고
Outdoor covering	Good transmittance	Plane glass · Double glass · Light diffusion glass	Glass
		FRP(Fiber glass reinforced polyester), FRA(Fiber glass reinforced acryl), MMA(Polymethyl methacrylate)	Rigid plate
		Rigid polyvinyl chloride · Rigid polyester film	Rigid film
		PE(Polyethylene), PVC(Polyvinyl chloride), EVA(Ethylene vinyl acetate), Triple film	Flexible film
Indoor covering	Good flexible opening and shutting	Flexible film · Reflecting film	Warm screen
		Warm mat	Outdoor warm screen
		Shading net	Shading

㉔ 물리적 성질

Table 2-2¹⁾ 에 피복재의 광투과율을 나타냈다. 광투과율은 피복재를 선택하는 가장 중요한 요소이며 이를 좀 더 세밀히 따져본다면 광투과가 지속되는 지속형과 일시적인 효과밖에 거두지 못하는 분광투과성으로 분류된다. 지속형의 대표적인 피복재는 유리이고 분광투과성을 보이는 재료는 염화비닐이다. 그러므로 유리와 같은 경우는 사계절 지속해서 작물을 재배하는 화훼 단지 등에 적합하고 이와 반대로 염화비닐의 경우 단기간 재배하여 수확할 수 있는 작물에 적합하다.

Table 2-2 Lighting transmittance of outdoor covering material

Outdoor covering material	Thickness (mm)	Lighting transmittance (%)	Outdoor covering material	Thickness (mm)	Lighting transmittance (%)
Glass	3.0	91	PVC	0.1	90
FRP	0.7	90	PE	0.1	92
FRA	1.0	90	EVA	0.1	88

광투과율 이외에도 열전도율, 인장강도, 내구성 등도 피복재 선택시 중요한 요소들로 이것을 정리하면 Table 2-3¹⁾ 과 같다.

Table 2-3 Physical characters

Section	A type of film		
	PVC	PE	EVA
Thickness(mm)	0.1	0.1	0.1
Density(g/ml)	1.4	0.92	0.93
Tensile strength(kg/cm ²)	230	180	220
Ductility(%)	300	500	600
Impact strength(kg · m/cm ²)	65	20	54
Thermal conductivity (kcal/cm · h · °C)	0.07~0.11	0.29	0.29
The degree of transparency(%)	91	91	89

(다) 피복재의 종류

피복재는 크게 연질, 경질 필름, 경질판, 유리 및 기타 재료의 5가지로 나뉘며 그 각각의 종류 및 특성을 정리하면 다음과 같다.

㉠ 연질필름

연질필름에는 PE (Polythylene:폴리에틸렌), PVC (Polyvinyl chloride:염화비닐), EVA (Ethylene vinyl acetate:초산비닐) 등이 있다. 연질필름은 주로 내부 피복용이나 단기간 사용목적으로 노지에 건립하는 간이하우스의 외부 피복용으로 쓰인다. 일반적으로 가격이 싼 PE 필름이 가장 많이 쓰이고 PVC 는 보온성이 뛰어나

지만 오염되기 쉬운 반면, EVA 는 보온성도 좋고 오염성도 적지만 가격이 비싸다는 단점이 있다.

㉠ 경질 필름

경질필름은 투광성도 좋고 보온성도 우수하며 내구성은 연질필름과 경질판의 중간정도로 4~5년 정도의 사용목적에 적합하고 PET (Polyester:폴리에스테르)나 경질염화비닐 등이 있다.

㉡ 경질판

경질판은 10년 또는 그 이상의 내구성을 가지며 유리섬유와 폴리에스테르를 결합시킨 FRP (Fiber glass reinforced polyester), 유리섬유와 아크릴을 결합시킨 FRA (Fiber glass reinforced acryl) 등과 같이 합성하여 쓰는 형태가 많고 서로간의 장점을 결합시키므로 가볍고 충격에 강하며 성형이 쉽다는 이점이 있다. MMA (Polymethyl methacrylate: 아크릴판) 와 같은 경우 투광성을 높이기 위해 아크릴만을 사용하여 만드는데 투광성과 보온성이 우수한 반면 강도가 약하고 가격이 비싸다는 단점이 있다. 또한 내충격성이 유리의 400배 정도로 플라스틱류중에서 가장 높은 PC (Polycarbonate) 등도 있다.

㉢ 유리

유리는 내구성, 보온성, 강도면에서 우수하며 광투과성도 좋은 반면 고가이고 충격에 약하다는 단점이 있다. 지역에 따라 틀리지만 보통 3mm 두께 정도의 유리를 가장 많이 쓴다.

(3) 표준형 하우스의 도입

① 도입배경

최근의 농촌은 갈수록 심화되어 가는 일손부족, 노령화 현상 등으로 많은 어려움을 겪고 있으며 외국의 값싼 농산물마저 대량으로 들어옴에 따라 시간이 지날수록 그 입지가 점점 좁아지는 형편이다. 이를 해결하기 위해서는 각종 농업관련시

설을 현대화하여 적은 노동력, 저비용으로 고품질의 작물을 다량으로 생산할 수 있도록 많은 연구를 기울여야 한다. 표준형 하우스는 이러한 필요성의 일환으로 등장하게 되었다. 예전부터 우리가 이용하고 있는 대부분의 시설원예용 하우스는 간이 이동식 형태로 좁고 낮으며 반원형 또는 아치형의 형태를 가지고 있어서 작업성은 물론 내부의 환기도 잘 이루어지지 않고 있다. 또한 단동형으로 길이가 100m 이상 되는 경우들이 많아 상당히 열악한 작업여건을 가지고 있다. 이렇게 작업환경이 나쁜 가장 큰 이유는 경제적인 이유이겠지만 그 외 시설·환경 관련 기술개발, 정보의 부족도 이러한 문제점을 가중시키고 있다. 그러므로 이와 같이 열악한 환경조건에 대응하기 위해서 차츰 보급되고 있는 것이 표준형 하우스이다. 사용기간 측면에서 보면 사용기간을 늘려 점차 간이 이동식에서 고정식 형태로 바뀌 장기사용을 도모하고 하우스에 사용되는 골조재, 보조재 및 마감재 등을 규격화하여 시공상 편의를 꾀하고 작업환경을 좀 더 쾌적하게 바꾸기 위해서 등장한 것이며 기존 하우스와의 차이점 및 개선 방향은 다음과 같다.

② 기존형 하우스와의 차이점 및 개선방향

(가) 기존의 간이형 하우스

- ㉠ 간이 이동식 목적으로 지어져 폭이 좁고 높이가 낮다.
- ㉡ 하우스의 길이가 100m 이상 길어져 작업성이 불편하다.
- ㉢ 골조재로 주로 아연강관이 사용되어 반원형, 아치형 형태가 많다.
- ㉣ 피복재는 대부분 연질필름을 사용하여 일시 사용 후 소각시켰다.
- ㉤ 표준설계도서가 없이 경험 또는 무작위로 지어졌다.
- ㉥ 수분, 양분등을 공급하는 일에 많은 노동력이 필요했다.

(나) 표준형 하우스

- ㉠ 장기간 사용목적으로 고정화되어 연동화, 대형화 된다.
- ㉡ 길이를 50m 이내로 단축시켜 작업상 편의를 가져왔고, 100m 이상 길어질 경우에도 작업반경은 50m 거리 이내로 단축시킨다.
- ㉢ 각종 금속재로 골조재가 다양화되고 양지붕형, 편지붕형 등의 형태가

다양해졌다.

㉔ 피복재가 다양해졌으며 경질필름, 경질판 등 과거에 비해 내구성이 상당히 증대되었다.

㉕ 표준설계도서가 등장하고 자재 등이 규격화되었다.

㉖ 각종 관수시설을 기계화 하였으며 온도조절시스템 등 자동화 장치가 많이 도입되었다.

③ 표준 설계도서

표준형 하우스는 단동·연동의 형식에 따라 아치형·양지붕형 등 지붕형태에 따라 각기 다른 설계도서를 제공하고 있으며 Fig. 2-2 에 그 한 예인 아치 연동형 표준설계도서를 나타내었다.⁴⁾

(가) 설계개요

· 하우스형태 : 아치연동형

· 피복재 : 연질필름

· 하우스규격 : 폭 7m

 · 축고 3.0m

 · 동고 4.8m

 · 길이 50m

 · 연동수 3연동

 · 면적 1,050m²(317.6평)

· 창호방식 : 측창=권취식, 천창=곡부권취식

· 커튼방식 : 수평커튼=중앙절개식

· 난방방식 : 온풍난방기 또는 온수보일러

· 환경제어 : LCP(현장제어반) 중앙집중제어

· 시공단가(예상가격) : 31,270원/m²(103,373원/평)

(나) 설계의도

· 기둥과 중방 자재는 연결부위의 결속력이 높은 각관형을 사용하여 구조안전성

을 향상

- 기둥간격을 넓히고 하우스 높이를 높여 작업성을 향상시킴
- 사용자재는 조립이 가능한 구조로 설계하여 시공이 용이토록 함
- 유지관리방법을 표기하여 강풍, 폭설시 대처토록 함

(대) 설계도(전후면도 및 단면도)

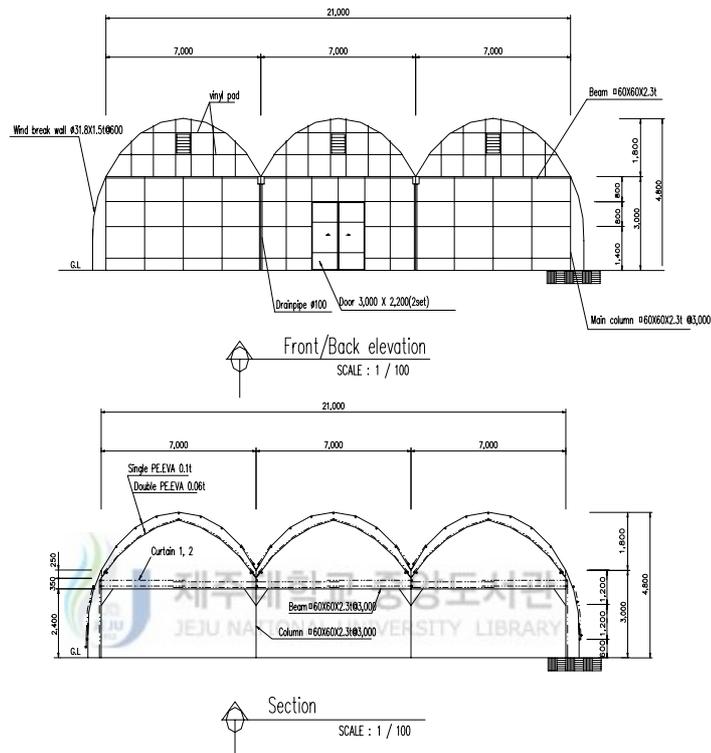


Fig. 2-2 Front/Back elevation and Section

2) 시설원예용 하우스의 온열환경

시설 원예용 하우스의 주목적은 재배자가 작물의 재배환경을 제어하는데 있다. 하우스내의 온열환경요소들을 살펴보면 온·습도·가스환경이 있으며 각각의 특성은 다음과 같다.

(1) 온열환경

주간에는 태양광이 존재하므로 별도의 열원이 필요하지 않다. 그러나 야간의 경우 별도의 열원을 설치하지 않게 되면 작물은 제대로 성장할 수 없을 것이다. 대부분의 작물은 일교차가 있어도 생육이 가능하지만 작물에 따라 최저 유지온도 이하로 떨어지면 죽게 되고 반대로 야간온도가 지나치게 높으면 호흡률이 증가하여 주간에 생성된 광합성 산물이 너무 많이 소모되게되므로, 적절한 온도관리는 하우스내 환경조절의 필수적 요소이다. 생육 적정온도와 최고·최저온도 등은 작물에 따라 차이가 있으며 감귤은 17~23℃, 토마토는 15~18℃이다. 그러나 실제 농가에서는 지속적인 유가상승의 부담 때문에 이와 같은 적정치보다 3℃ 정도 낮게 관리하며 이는 곧 작물의 품질에 영향을 미치게 된다. 농가의 이같은 현실 때문에 최근에는 최저지온 즉, 작물 품질에 손상이 안가면서 최대한 유류소비를 줄일 수 있는 적정온도치에 관해 작물마다의 연구가 진행되고 있으며, 제주도의 대표적 작물인 감귤의 적정최저온도치는 15℃ 정도인 것으로 나타났다.⁵⁾



(2) 하우스 내부 지온의 특성

지온은 기온과 마찬가지로 작물의 생육에 미치는 영향이 크며, 종류에 따라 다르지만 보통 15℃ 내외가 일반적이며 온도가 너무 높으면 뿌리의 호흡이 왕성해져 동화산물의 소모가 많아지게 된다. 반대로 지온이 낮아지면 뿌리의 신장이 낮아져 양분흡수가 억제되게 된다. 하우스내 지온은 외부의 지온보다 높고, 고정식 하우스의 경우 연중 피복되어 있으므로 상대적으로 실외보다 높은 기온으로 유지되며 피복재의 종류에 따라서도 차이가 난다.

Fig. 2-3 에 제주지방에서 3월중 하루를 선정(실험일 외기온도: -1℃~4.5℃, 실외상대습도: 60%~80%, 외기흑구온도: -6℃~10℃)하여 야간시간(20:00~익일 08:00)동안의 지온을 실측하여 본 결과를 나타냈다. 대상 하우스는 온풍난방을 가

동하고 바닥면적이 569m², 외부피복재는 PC (Poly carbonate)로 마감되어 있다.

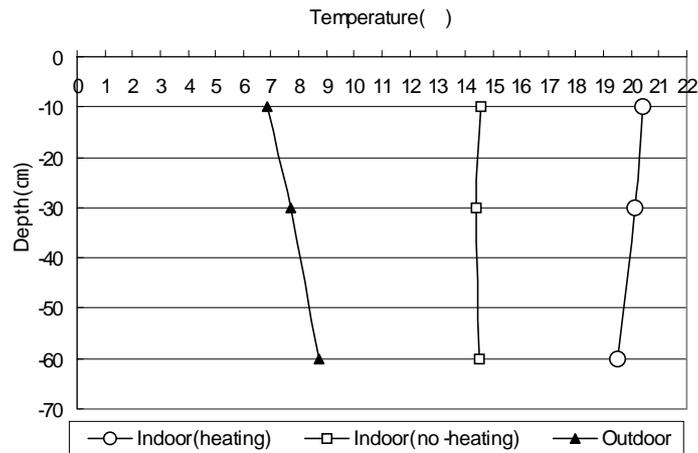


Fig. 2-3 Vertical view of Greenhouse

Fig. 2-3 을 보면 지온의 일변화가 거의 없는 지중 60cm의 경우 실외보다 무가온 하우스의 실내가 약 5.5°C 정도 높다. 또한 지중 10cm의 경우 실외지온보다 무가온인 경우 7.7°C, 가온인 경우 13.5°C가 높게 나타났으며 일평균치를 보면 실내 무가온 하우스 14.2°C, 실외 6.6°C 로 그 차이가 7.6°C 차이가 난다. 이와 같은 하우스 내·외의 지온차는 하우스 규모가 클수록 더 현저하게 되는데 그 이유는 지면이 축열체 역할을 하여 바닥면적이 넓으면 넓을수록 더 많은 축열을 할 수 있기 때문이다.

(3) 수분환경

하우스내 공기중의 습도는 작물의 증산량, 토양면 증발량, 환기에 의한 수증기량과 피복재 표면에서의 응결량에 따라 정해진다. 습도에 대한 작물의 생체반응실험에 의하면 상대습도가 40% 이하의 조건에서 광합성의 억제가 시작되고, 20% 이하의 저습도가 되면 수분 부족으로 말라죽게 된다. 또한 반대로 80% 이상의 고습도

환경하에서는 광합성 작용의 장애가 발생하고 평균의 번식이 쉽게 되며 작물자체 내의 병균에 대한 저항력도 약해지게 된다. 그리고 시설내 작물의 병해충은 대부분 관수에 의한 다량의 토양수분보다 시설내의 다습한 공기 때문에 일어나게 된다.

(4) 가스환경

하우스내의 탄산가스 농도의 일변화는 대기에 비하여 대단히 차이가 크다. 식물체는 탄수화물의 합성에 사용되는 탄소를 공기중으로부터 이산화탄소(CO₂)의 형태로 획득한다. 주간에는 광합성이 시작되며 탄산가스 농도가 낮아지고 야간의 경우에는 이와 반대로 된다. 최근에는 기계장치를 이용하여 광합성이 이루어지는 주간 시간동안 탄산가스를 공급해서 작물의 생장을 촉진시키기도 한다.

2. 시설원예용 하우스의 난방방식



1) 시설원예용 하우스난방의 특성

시설원예용 하우스의 난방은 일반 건물과 유사하다. 극한의 외기시에도 하우스 내의 작물을 생육적 온도로 유지시킬 수 있어야 하고 경제적 측면에서는 가급적 난방설비 및 유지비가 저렴해야 한다. 이외에도 다음과 같은 조건을 고려하는 것이 바람직하다.

- (1) 하우스내의 온도분포는 가능한 균일하도록 한다.
- (2) 제어 및 보수가 용이해야 한다.
- (3) 난방설비로 인하여 재배면적이 적어지거나 작업성에 제약을 받아서는 안된

다.

(4) 정전시와 같은 위급시에 대한 대처방안이 있어야 한다.

난방을 하는 하우스에서의 열손실은 주로 피복자재를 통과하는 관류열손실, 하우스 표면의 틈새를 통해서 손실되는 환기전열손실, 실내공기와 토양과의 열교환에 의해서 손실되는 지중전열손실로 나뉘며 이 중 피복자재를 통한 관류열손실이 60%(이외 환기 20%, 지중 20%)이상으로 가장 크다.

2) 난방방식의 종류와 특징

일반적으로 난방기 및 난방 방식은 하우스의 크기, 작물의 종류 및 경제성 등을 종합평가하여 설치한다. 초기 설치비는 온풍난방이 가장 저렴하지만 유지관리 측면에서보면 지속되는 유가의 상승으로 부담이 가중되고 있으므로 사용연수, 내구연한을 고려하여 선택하는 것이 바람직하다.

(1) 온풍난방



온풍난방 시스템은 난방기에서 가열된 공기를 실내로 송풍하여 난방하는 방식으로서 공기 자체를 가열하는 방식이므로 장치가 간단하고, 가열속도가 빨라 시설내 온도의 상승이 용이하다. 또한, 가볍기 때문에 이동이 쉬우며 온수난방과 같이 배관 등의 설치가 필요하지 않으므로 작업성이 양호하고 초기 투자비가 저렴하게 들며, 취급이 간편해서 현재 우리나라 대부분의 농가에서 선호하고 있으며 하우스전반에 걸쳐 이용할 수 있고 난방효율은 온수난방, 난로 난방과 같은 다른 난방 방식에 비해서 우수하다. 유의점으로는 난방기 출력 10,000kcal 당 약 20 m³/h의 공기가 필요하므로 산소의 부족으로 인한 불완전 연소를 방지하기 위해 실외 공기를 흡입하는 덕트를 따로 설치해야 하고 장점 및 단점은 다음과 같다.

① 장점

- (가) 타 난방 방식에 비해 초기투자비가 가장 저렴하다.
- (나) 열이용 효율이 높다.
- (다) 유지관리가 쉽고, 온도를 자동으로 조절할 수 있어 실내를 목표온도로 유지하기가 용이하다.
- (라) 공간을 많이 차지하지 않고, 배관이 필요하지 않아 작업면에서 유리하다.
- (마) 예열이 빠르다.
- (바) 물을 이용하지 않으므로 취급하기가 용이하다.

② 단점

- (가) 하우스내 공기가 건조하기 쉽다.
- (나) 열용량이 적은 공기를 이용하기 때문에 보온능력이 적어, 보일러 고장 시와 같은 비상시에 실내 공기가 외기온도 까지 급격히 내려갈 위험이 있다.
- (다) 큰 규모의 하우스에서 이용할 경우, 실내 온도가 불균일하다.
- (라) 유가의 급증으로 사용유지비가 증가한다.

(2) 온수난방

온수난방시스템에는 100℃ 이상의 온수를 사용하는 고온수식과 65~85℃ 정도의 온수를 사용하는 저온수식이 있으며, 일반적으로 저온수식이 사용된다. 이 방식은 온수를 시설내에 설치한 파이프나 방열기를 통해 순환시키는데 순환도중 표면으로부터 방사되는 열을 이용하여 난방하는 방식으로서 온풍난방과는 달리 열용량이 큰 물을 이용해서 열을 수송하므로 보온성이 높아 급격한 온도변화가 없으며, 큰 규모의 하우스에 열을 고르고 안정되게 공급할 수 있다는 장점이 있는 반면, 예열 시간이 오래 걸리므로 난방비가 급증한다는 단점도 있다.

① 장점

(가) 물을 이용하므로 보일러 고장시에도 일정기간 보온이 지속된다.

(나) 하우스내 온도분포가 균일하다.

② 단점

(가) 예열시간이 길어 연료소비량이 많다.

(나) 방열용 배관이 필요하므로 시설비가 많이 든다.

(다) 추위가 심한 지역인 경우 파이프 동결우려가 있다.

(라) 파이프 직경이 크고, 수가 많아지면 작업성이 저하된다.

(3) 전열난방

전열난방시스템은 전열선이나 전열 온풍기에 의한 난방을 말하며, 전기에 의한 전열선의 발열에 의한 방식으로 전열 온풍기는 전열선의 발열을 팬으로 불어내 열을 좀 더 확산시키는 방식이다. 예열 시간이 짧아 예열에 드는 에너지의 양을 줄일 수 있고 발열부분의 전기 공급을 조절할 수 있어 온도관리가 용이하다. 전열난방은 제어성이 좋고 설치도 간편하지만, 발생열량의 단가가 유류보다 높으므로 소형 하우스이나 육묘시설, 보조난방 등에 이용될 뿐이며 장점 및 단점은 다음과 같다.

① 장점

(가) 전기에 의해 열이 발산되므로 연소가스에 의한 작물의 피해가 전혀 없다.

(나) 예열시간이 짧다.

(다) 온도조절이 쉽고 조작성이 간편하다.

② 단점

(가) 발생열량의 단가가 유류난방기보다 높다.

(나) 정전될 경우 열손실이 빨리 일어나 보온성이 전혀 없다.

(4) 증기난방

증기난방 시스템은 온수난방과 같은 방식으로 수증기의 응축에 의하여 발생하는 잠열을 이용한 난방 방법으로 1 kgf/cm^2 이하의 저압증기난방과 1 kgf/cm^2 이상의 고압증기난방으로 분류된다. 큰 규모의 하우스의 경우 증기압이 높아 증기를 멀리까지 보낼 수 있으므로 온수난방보다 실내기온의 상승시간이 짧다.

대규모 단지의 집중관리에 경제적이고, 경사지 등 낙차가 커서 단계상의 지형에 건축된 시설 등에 효율적으로 이용될 수 있다. 반면, 증기의 열용량이 적으므로 보온성이 낮고, 제어가 어렵다. 최근에는 증기온수보일러로 결점을 보완한 난방 방식이 나오고 있으며 장점 및 단점은 다음과 같다.

① 장점

- (가) 온수난방보다 실내기온의 상승시간이 빠르다.
- (나) 증기압이 높아 증기를 멀리까지 보낼 수 있다.
- (다) 경사지의 집단 시설에서 열을 균등하게 분배할 수 있다.

② 단점

- (가) 정지시의 보온성이 적다.
- (나) 자동제어가 어렵다.
- (다) 온수난방에 비해 설비비가 비싸다.

(5) 기타 난방방식

① 난로난방

과거에 가장 많이 사용했던 형태로 연탄, 석유, 장작 등을 직접 연소시키는 방식이다. 열이용 효율면을 살펴보면 난로난방>온풍난방>온수난방의 순으로 열효율이 가장 좋고 시설비와 유지비가 저렴하다. 그러나 유해가스가 배출되고 난로 주위에

고온에 의한 작물피해가 발생하며 항상 옆에서 주시하면서 연료가 다되면 이를 공급해 주어야하는 불편 때문에 현재는 거의 사용하지 않고 있다.

② 태양열 이용방식

우리나라에서 하우스에 의한 작물재배는 해마다 급속한 성장을 이룩하고 있으며 이미 상업화의 단계에까지 접어들었다. 그러나 국내의 시설원예용 하우스는 대부분이 비닐하우스로서 '온실효과'를 얻는 정도로 그 기술 수준이 낮아 이의 효율적인 이용방법이 매우 절실한 실정이다. 하우스는 태양열 이용분야 중에서도 가장 낮은 온도를 이용하기 때문에 태양에너지의 활용도를 최대화 할 수 있는 분야중의 하나라고 할 수 있다. 더욱이 일반 농작물에 비해 하우스 작물은 소득의 향상에 따라 가격이 매우 탄력적이기 때문에 국민소득의 증가와 함께 그 수요는 꾸준히 늘어날 것으로 예상된다. 태양열 이용 방안에는 집열판 또는 자갈을 이용하여 태양열을 저장, 이용하는 방법과 축열벽 개념을 이용하는 방법 등이 있다.

③ 야간 심야전력 이용 방식

심야전력은 특정시간대에 집중되는 전력수요를 분산하고 전기사용이 적은 심야시간대 수요를 증대시켜 설비 이용률을 높임으로써 효율적인 에너지 소비를 유도하기 위해 도입되었다. 심야전력을 이용함으로써 사용자는 전기에너지 사용비용을 크게 절감할 수 있으며, 국가에너지 수급 측면에서도 부하율 및 전력설비 이용률 향상, 에너지 자원의 합리적 이용을 통해 전력요금 원가를 낮출 수 있는 이점이 있다. 그러나, 초창기에는 이에 대한 인식부족 및 제도적인 뒷받침이 미비하여 보급에 적지 않은 제약이 있었으나, 지속적인 기술개발을 통한 심야전력 난방기기의 성능향상과 저렴한 유지비로 인해 점차적으로 그 보급이 증대되고 있다. 심야전력을 이용한 난방기기는 심야시간대(22:00~익일 08:00)의 전력을 축열재 혹은 축열조에 축열하여 주간시간대에 방열하는 구조로 설계되어 있으며, 축열재의 축열특성이 난방기기의 성능을 결정짓는 주요한 역할을 한다.

④ 히트펌프 난방

히트펌프는 저온의 열원에서 흡수한 열을 고온의 열원으로 변화시키는 장치이므로

로 난방뿐만 아니라 냉방이나 제습에도 이용이 가능하다. 우리가 흔히 사용하는 가정용 에어컨도 히트펌프의 일종이다. 열원으로는 공기 또는 물이 쓰이며, 지하수를 이용할 수 있는 지역에서는 공기열원보다 지하수를 열원으로 이용하는 것이 효과적이다. 이는 겨울철 지하수온이 지역에 따라 다르나 통상 13~18℃ 정도로 외기온보다 높기 때문이다. 일반적으로 온풍흡출식 히트펌프의 온풍온도는 40~50℃, 온수식 히트펌프의 온수온도는 40℃ 정도이다.

⑤ 기타

그 외에 잠열이나 축열체를 이용한 방식, 지중가온방식이 있는데 이 방식은 온수파이프를 지중매설하여 난방하는 방식으로 일조가 적은 지역이나 적설량이 많은 지역에서 유리하다.

이상과 같이 시설원예용 하우스의 난방방식은 열원의 종류에 따라 다양하며 난방효과와 유지관리면에서도 큰 차이를 보인다. 따라서 하우스의 난방방식은 하우스의 규모나 작물의 종류, 경제성에 따라 종합적으로 평가하여 선정해야 할 것이다. 현재 대부분의 농가에서 사용하는 온풍 난방 방식은 설치 및 사용상의 편리함은 있지만 IMF 이후 유가의 지속적인 급등으로 인해 경제적 부담이 가중되고 있으므로 에너지 절약적 측면에서의 사용지침이 시급한 실정이다.

3) 기존 온풍 난방방식의 특징 및 문제점

(1) 온풍난방기의 특징

현재 시설원예용 하우스에서 가장 많이 사용되고 있는 온풍 난방기는 열교환을 위해서 유압송풍기에 의해 강제로 온풍을 불어내는 열교환형의 강제송풍방식으로 크게 연소부분·열교환부분·송풍기 등으로 나누어지며 온풍 난방기는 대부분 자동 제어할 수 있도록 되어 있다. 연료가 송유관으로 들어와 소정의 온도에 달하면 버너가 작동되어 노즐에서 미립자로 연료가 분출되면서 연소된다. 송풍기는 버

너운전과 동시에 작동하며, 연소상황은 항상 제어기기판에 나타나 불완전 연소 등이상이 있을 때에는 운전이 정지되고 경보가 울리게 되며 정상적인 연소가 계속되어 하우스내 온도가 설정온도에 도달하면 연소동작이 정지된다. 그러나 버너가 정지된 후에도 송풍기는 계속 운전되어 열교환부의 온도가 일정 온도 이하(보통 50℃)가 되어야 정지하며, 이후 설정온도와 온도조절기의 편차에 따라 자동적으로 개폐(on-off)동작이 이루어진다.

(2) 온풍덕트배치

실내의 온도분포를 균일하도록 하기 위해서 덕트를 이용한 공기분산이 필요하다. 온풍덕트의 배치는 하우스의 크기 및 향, 난방기의 위치 등에 따라 달라지게 되며 덕트의 재료는 가격이 저렴한 폴리에틸렌을 주로 이용한다.

온풍 토출구가 난방기의 윗부분에 있으면 하우스 상층부에 따뜻한 공기층이 형성되어 기온의 수직분포차이가 커진다. 반면, 토출구가 난방기의 아래부분에 있으면 수직분포는 균일하지만 이와 반대로 기온의 수평분포는 큰 차이가 있다. 송풍 덕트는 이러한 온도차이를 줄일 수 있도록 배치, 설치되어야 한다. 덕트배치를 통해 온도분포를 균일하게 하기 위해서 일반적으로 분지덕트를 길게하여 기온분포를 측정해 가면서 길이를 조절하거나 덕트 중간에 구멍을 뚫어 온도분포가 균일하게 되도록 한다. 덕트의 길이에 따라 일정간격으로 뚫는 배기공(토출구)의 크기는 그 구멍 면적의 합이 덕트 단면적과 같아지도록 하는 것이 이상적이다. Fig, 2-4³⁾ 는 덕트 설치의 기본형을 보여준다.

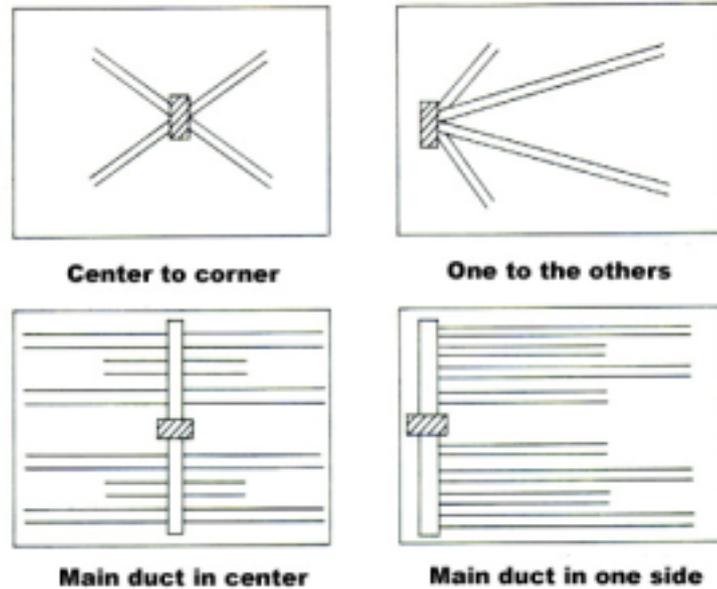


Fig. 2-4 A way to install a warm air duct

(3) 시설원예하우스 적용시 문제점



① 에너지 절약적 측면

에너지의 90% 이상을 수입에 의존하는 우리 현실을 감안해볼 때 최근의 고유가 추세는 온풍 난방 방식을 가동하는 시설재배 농가에 난방비 부담을 가중시키게 되었고 이로 인해 제대로 난방을 하지 않는 농가들이 급증하게 되어 품질 저하는 물론 농업경쟁력을 떨어뜨리는 결과를 가져왔다. 또한 경유를 태울 때 불완전 연소로 인한 환경오염의 우려도 안고 있다. 아직 우리나라에서는 이에 관한 규제가 없지만 이웃나라 일본의 경우 경유 사용에 대한 폐해를 인정하고 점차 그 사용을 줄이고 규제방안을 마련하고 있으므로 우리나라도 가까운 미래에 관련 규제가 마련될 전망이다. 따라서 대체자원의 개발이 무엇보다 시급한 과제이며, 태양열이나 풍력 등의 무공해 천연 자원이 각광을 받고 있으나 아직까지 그 사용에 있어 기술적

수준이 부족하고 설비비가 고가이어서 실제 농가에 보급하기는 어려운 실정이다.

② 난방 효과

열용량이 적은 공기로 열을 수송하므로 보온능력이 적고 온도편차가 크다. 덕트를 통해 더운 공기를 운송하기 때문에 덕트 주변에서는 과열의 우려가 있지만 반대로 덕트에서 멀어지게 되면 충분한 열을 공급받지 못하기 때문에 난방효과를 기대하기 어렵다. 또한 최근의 시설원예용 하우스의 경우 층고가 높아지는 경향이 있는데 더운 공기는 위로 상승하는 경향이 있으므로 하우스 상부에 더운 공기층이 형성되기 쉽고 난방대상인 작물이 하우스의 하부에 위치한다는 점을 감안하면 난방의 효율성 측면에서 제고가 필요하다. 기존 연구자료⁶⁾에서도 알 수 있듯이 보일러에서의 길이에 따른 온도편차가 심하게 나며 하우스의 규모가 커질수록 편차는 더 커지게 된다.

③ 구조적 특성

시설원예용 하우스에서는 여러 가지 형태로 열손실이 일어나게 된다. 실내와 외기와의 온도차에 의해 외벽을 통해 차가운 대기로 전달되는 전도에 의해 열손실이 일어나고 투명한 외피를 마감재료로 사용함으로써 야간에 대기로 방출되는 열손실은 불투명외피를 사용할 때보다 더 커지게 된다. 또한 대류에 의해서나 하우스의 출입문, 배기구의 틈, 접합부 등의 틈새를 통해 손실되는 열 또한 적지 않게 된다. 특히 겨울철에 일교차가 큰 우리나라의 기후특징을 감안한다면 구조적 측면에서의 검토가 필요하다.

Ⅲ. 실측 실험

1. 개요

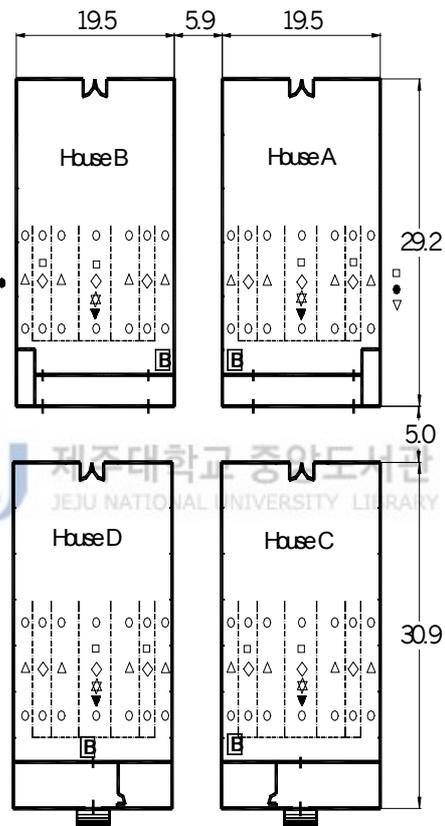
본 연구에서는 동절기에 온풍난방방식을 가동하는 시설원예용 하우스 공간의 에너지 소비 특성을 분석하고 보다 효율적이고 경제적인 하우스 난방계획 방안을 위한 기초 데이터를 제시하고자 2001년 2월말부터 4월말까지 총 2개월 간의 실험기간 중 대표일 7일을 선정하여 실내온열환경 및 사용유량을 측정하였으며 측정개요 및 방법은 다음과 같다.

1) 측정개요 및 측정방법

실험대상 하우스는 농촌 진흥청 제주 농업 시험장내에 위치해 있으며 2001년 2월말부터 4월 말까지 총 2개월간의 실험기간 중 위키온이 비교적 낮은 대표일 7일을 연속 선정(3월 12일~3월15일, 3월27일~3월 31일)하여 야간시간(20:00~익일 08:00)동안의 온열환경을 분석하였다. 하우스전경 및 규모는 Fig. 3-1, Fig. 3-2 와 같이 19.5m×30m×4.7m(폭×길이×높이)의 크기로 단동형의 양지붕형 하우스 3개 동을 연결하고 내부 칸막이를 제거하여 만든 3연동 플라스틱 하우스이다. 천정·벽의 마감재는 PC(Poly carbonate)판을 사용하여 마감하였고 각 하우스동의 전실에 온풍난방을 위한 보일러를 설치하고 직경 0.8m의 덕트를 설치하여 하우스의 구석구석에 온풍이 공급될 수 있도록 하였다.

각 하우스동의 온도 측정위치는 Fig. 3-1 에서 볼 수 있듯이, 평면상으로는 4.1 m간격으로 총 21개의 측정점을 설정하였다. 수직으로는 각 0.8m, 2.0m 높이에서 측정하고 중앙부에는 보다 상세한 측정을 위해 0.4m, 0.8m, 1.2m, 2.0m, 2.8m 높이에서 측정하였다. 온도의 측정은 T-type의 열전대를 사용, 이를 데이터 로거(Datascan 7320)에 연결시켜 컴

퓨터를 통해 매10초마다 데이터를 수집하도록 하였다. 복사온도의 측정을 위해서 지상 1.2m 높이에 흑구온도계(Vernon식, SATO)를 각각의 실내에 두 지점을 선정·설치하였다. 상대습도계(HK 8607, Delta OHM)를 설치하여 실내·외의 습도변화를 측정하였으며, 유량계(Flo-sensors Models 101, Mcmillan)를 설치하여 온풍 보일러의 유량사용을 매초마다 검침하였다.



(a) Plane views



(b) Elevation views



(c) Elevation views
(m)

Temperature

- Two measuring points (0.8 and 2.0m above the ground)
- △ Five measuring points (0.4, 0.8, 1.2, 2.0 and 2.8m above the ground)
- ◇ Six measuring points (0.4, 0.8, 1.2, 2.0, 2.8 and 4.0m above the ground)
- Measurement of globe temp.
- Measurement of outdoor air-temp.

Solar radiation

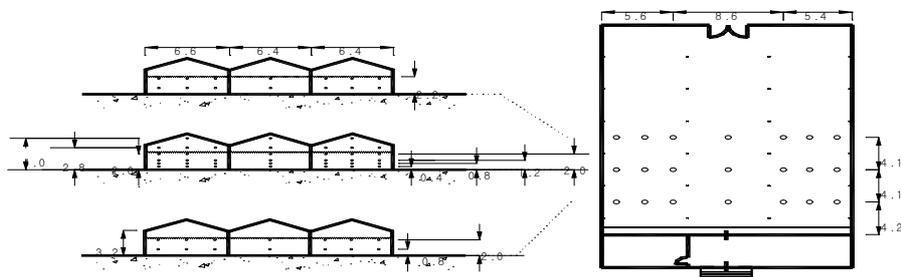
- ★ Outdoor solar radiation
- ☆ Indoor solar radiation

Relative humidity

- ▽ Outdoor relative humidity
- ▼ Indoor relative humidity

⊞ Boiler

— Hot-air duct



(d) Detail measurement points of the Greenhouse

Fig. 3-1 Plane views and details of the Greenhouse



(a) Outside of the Greenhouse



(b) House A



(c) House B



(d) House C



(e) House D



(f) Boiler



(g) Measurement of oil consumption



(h) Data logger

Fig. 3-2 The proving Greenhouse

2) 실험종류 및 설정조건

각 하우스의 온열환경을 보다 정확하게 파악하기 위해 하우스의 부지, 향, 형상 등을 똑같이 하고, 동시에 실험을 실시함으로써 실험결과에 대한 하우스 상호간의 객관적 비교가 가능하도록 하였다. 실험대상 하우스 4개동에는 각각 온풍난방기를 설치하고 지표면에 동일 형상 및 간격으로 배치된 온풍덕트를 통해 실내를 난방하며, 온풍덕트의 직상부(지면에 대해 90. 각도)에는 길이방향으로 일정 위치(약 2.4m간격)마다 온풍토출구를 두었다.

본 연구에서는 다음과 같은 두 가지의 실험을 하였다.

(1) 하우스별 설정온도차에 따른 열환경 특성

온도 조절에 따른 유류소비의 정도와 각 온도대에서의 실내 온열환경을 알아보기 위해 보일러 설정온도를 각 동마다 틀리게하여 유류소비량을 실측하고 이 때의 실내 열환경 변동특성을 파악하였다. 각 동은 온도이외의 다른 변수는 동일한 조건이며 D동의 경우에는 제주도의 기후 특성상 하우스내의 기온이 5℃ 이하로 떨어지는 날이 적어 무가온으로 설정하였다.

(2) 체적의 변화에 따른 열환경 분포 특성

체적변동에 따른 하우스 공간내의 열환경 특성과 유류 절감정도를 알아보기 위해 하우스 내부 각 동마다 각기 다른 높이에 수평으로 이중 보온 외피를 설치하여 체적을 변화시켜 단일 외피인 다른 동과 비교할 수 있도록 하였다.

2. 설정온도의 변화에 따른 하우스내 열 환경과 에너지 소비 특성

하우스 각 동의 보일러 설정온도를 각각 A동 20℃, B동 15℃, C동 10℃, D동 5℃로 하고 온풍난방이 실시되는 야간시간동안 실내 열환경 변동과 이때 보일러의 소비유량을 실시간 측정하였다. D동에서는 온풍 난방기를 작동하지 않고 외기변동에 따른 하우스내 온열 환경을 실시간 측정하여 다른동과 비교할수 있도록 하였다.

1) 하우스내 열환경 비교

분석대상 대표일(2001년 3월 12일 20:00~15일 08:00)의 외기조건은 Table 3-1, Fig. 3-3과 같다. 외기평균 기온을 살펴보면 연속된 3일 중 첫째 날인 12일의 경우 -1~4℃로 가장 낮은 기온을 보이고 시간이 지날수록 기온은 점차 상승하여 다음날인 13일은 평균 5℃, 14일은 10℃의 평균 기온을 나타낸다. 습도는 12일의 경우 60~80% 정도로 비교적 양호하지만 익일인 13일, 14일의 경우 80% 이상을 나타내는 것으로 보아 상당히 다습함을 알 수 있고, 복사열을 나타내는 흑구온도는 -6~20℃ 정도로 외기보다 온도 변화폭이 매우 크다.

Table 3-1 Experimental outdoor conditions

Date	Temperature(℃)			Relative humidity(%)	Globe temperature(℃)
	Max	Average	Min		
03/12 20:00 ~13 08:00	4.3	1.1	-0.9	60~80	-6~10
03/13 20:00 ~14 08:00	7.8	5	4	80~95	-1~13
03/14 20:00 ~15 08:00	16.1	10.3	6.3	80~100	3~20

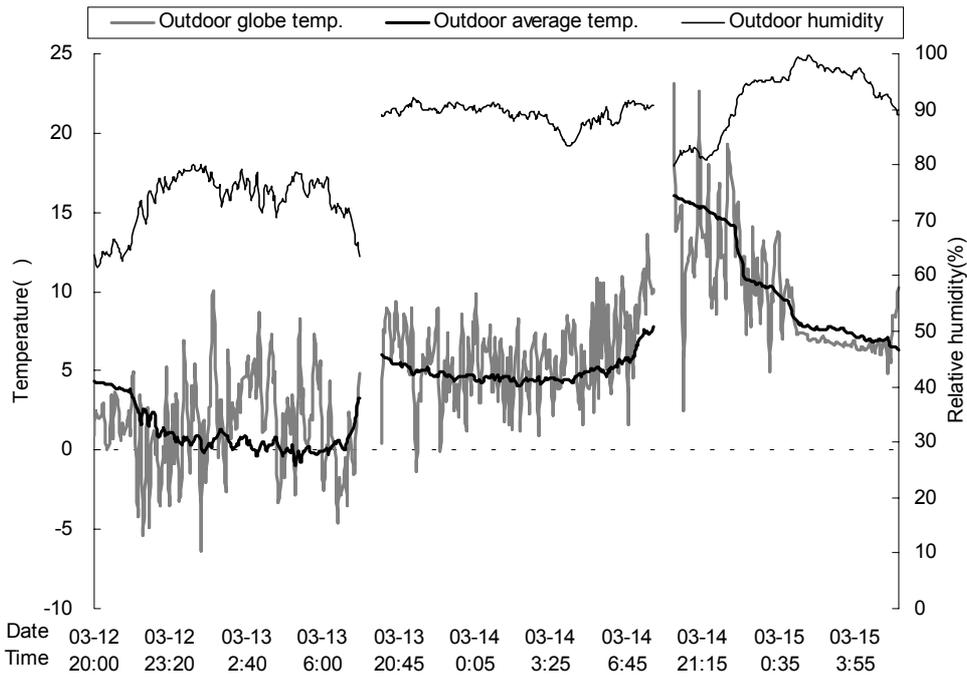
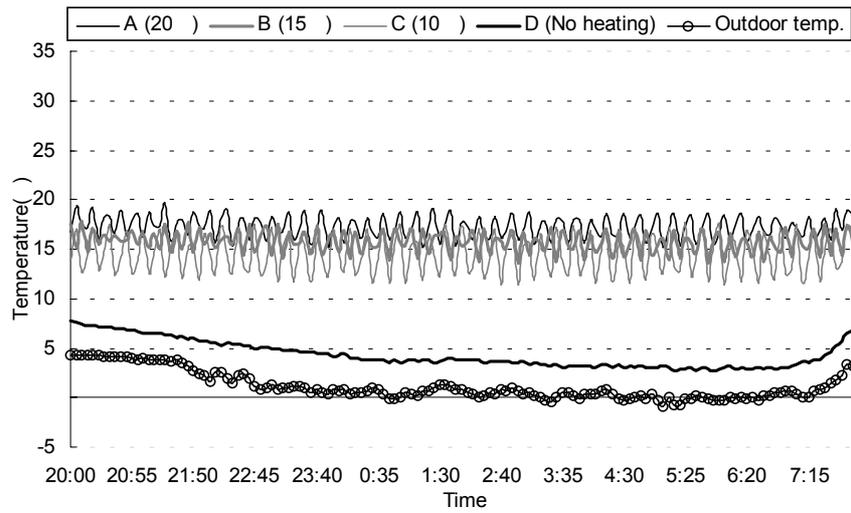
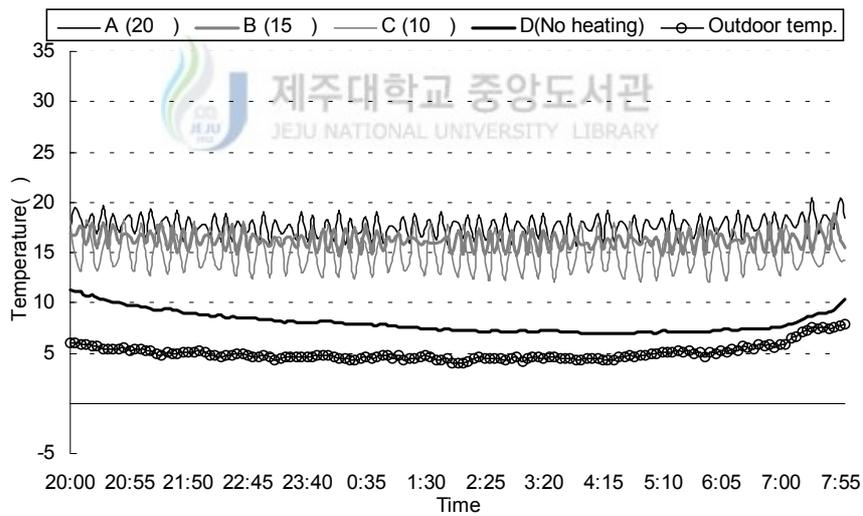


Fig. 3-3 Outdoor condition

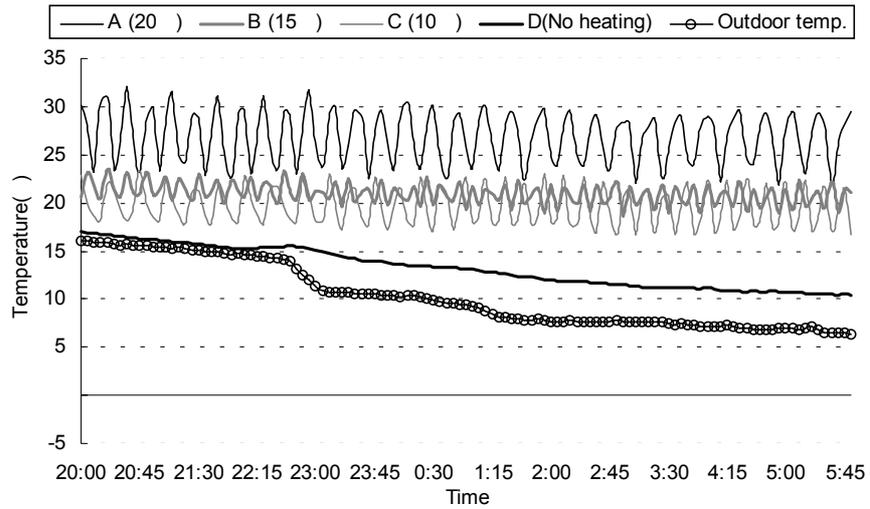
Fig. 3-4는 외기변동에 따른 각 하우스 내부의 중앙부 바닥에서 0.8m 높이의 평균실내기 온분포를 보여준다. (a)를 보면 20°C로 설정된 A동은 평균 17.3°C, 15°C로 설정된 B동은 평균 15.7°C, 10°C로 설정된 C동은 평균 14.5°C로 전 동에서 15°C~17°C 정도의 비교적 일정한 실내기온을 유지하고 있다. 또한, 각각의 외기온과 온풍난방을 실시하지 않는 D동의 그래프를 비교해보면 D동에서 외기보다 평균 3°C 정도 높은 경향을 나타내는데 이것으로 보아 야간 무가운 하우스에서 하우스 내부는 외기보다 평균 3°C정도 높은 온도분포를 유지한다는 것을 알 수 있다.



(a) March 12 20:00 ~ March 13 08:00



(b) March 13 20:00 ~ March 14 08:00



(c) March 14 20:00 ~ March 15 08:00

Fig. 3-4 Variations of indoor temperature

상대습도는 Fig. 3-5에서 볼 수 있듯이 보일러 설정온도가 가장 높은 A동이 평균 50%~60% 정도로 가장 낮고 평균 14.5°C로 A동 보다 3°C정도 낮은 온도분포를 보이는 C동의 경우는 A동보다 5~10% 높은 습도분포를 나타낸다. D동(무가온)의 경우는 실외습도와 비슷한 경향을 보이며 12일 D동의 경우 실외습도보다 10% 정도 더 높은 분포를 나타냈는데 습도가 80% 이상일 경우 다습에 의해 병해충의 발생위험이 있으므로 무가온 하우스에서도 습도조절을 위해 일시적으로 가온을 하는 것과 같은 방안이 강구되어야 함을 알 수 있다. B동의 경우는 데이터의 불량으로 제외되었다.

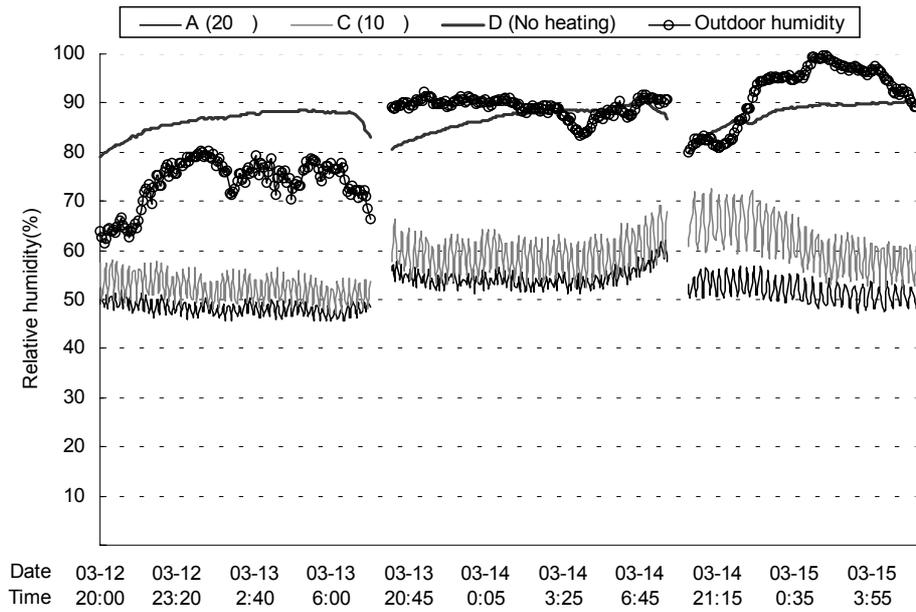


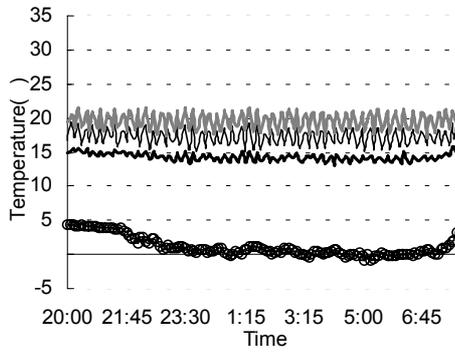
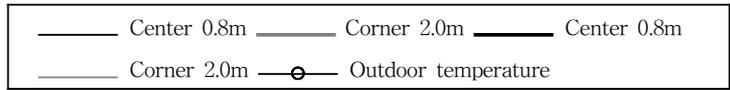
Fig. 3-5 Variations of relative humidity

Fig. 3-6 은 설정온도에 따른 각 하우스 공간의 0.8m 와 2.0m 높이에서 중앙부와 측부의 기온변화를 비교하여 보여주고 Table 3-2는 0.8m와 2.0m 높이의 평균온도와 수평·수직온도차를 나타낸다. Fig. 3-6 (a)를 보면 보일러 설정온도가 20℃인 A동의 중앙부 2.0m 높이 실내평균기온은 19.6℃, 설정온도가 15℃인 B동의 평균기온은 17.6℃, 설정온도가 10℃인 C동에서는 평균 17℃로 각 동에서 17℃~20℃ 내외의 비슷한 온도분포를 나타내고 있다. Table 3-2에서 중앙부 0.8m 와 2.0m 높이의 온도를 비교해보면 2.0m 높이에서 0.8m 높이에서의 평균 기온보다 2℃ 정도 더 높은 온도분포를 나타내는 것을 알 수 있다.

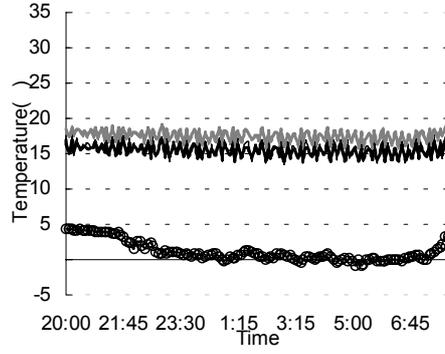
Table 3-2 Horizontal and vertical temperature difference at each height

Date	Position	House A(°C)			House B(°C)			House C(°C)		
		0.8m height	VTD	2.0m height	0.8m height	VTD	2.0m height	0.8m height	VTD	2.0m height
03/12 20:00 ~13 08:00	Corner	14.3	5.3	19.6	15.5	1.9	17.4	14	3.4	17.4
	Center	17.3	2.3	19.6	15.7	1.9	17.6	14.5	3.5	17
	HTD	3		0	0.2		0.2	0.5		0.4
	Outdoor temp.	-0.9~4.3°C(Average: 1.1°C)								
03/13 20:00 ~14 08:00	Corner	16.7	3.2	19.8	16.1	1.9	18	14.6	2.9	17.5
	Center	17.6	2.4	20	16.2	2	18.2	15	2.1	17.1
	HTD	0.9		0.2	0.1		0.2	0.4		0.4
	Outdoor temp.	4~7.8°C(Average: 5°C)								
03/14 20:00 ~15 08:00	Corner	21.9	4.8	26.7	20.6	1.7	22.3	19.5	2.4	21.9
	Center	26.9	0.5	26.4	20.8	1.7	22.5	19.6	1.9	21.5
	HTD	5		0.3	0.2		0.2	0.1		0.4
	Outdoor temp.	6.3~16.1°C(Average: 10.3°C)								

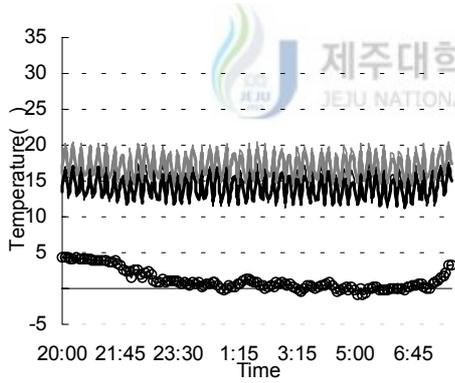
VTD : Vertical Temperature Difference
 HTD : Horizontal Temperature Difference



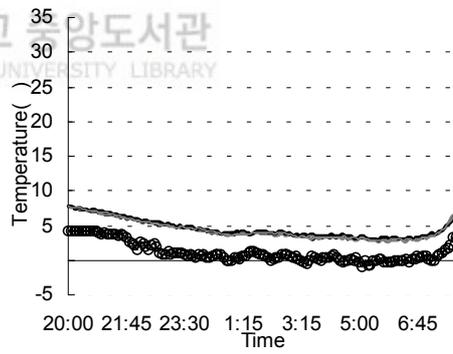
① house A



② house B

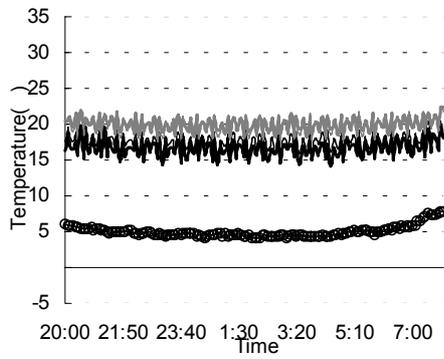


③ house C

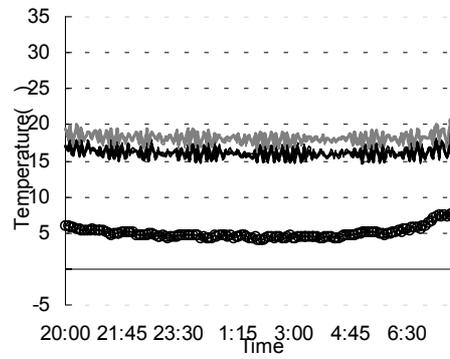


④ house D

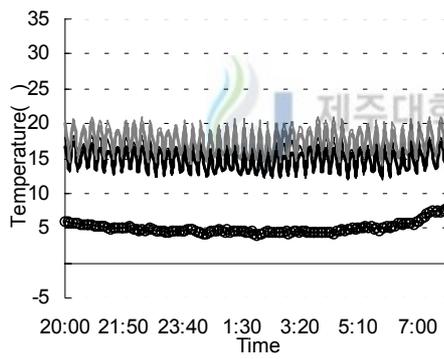
(a) Marth 12 20:00 ~ March 13 08:00



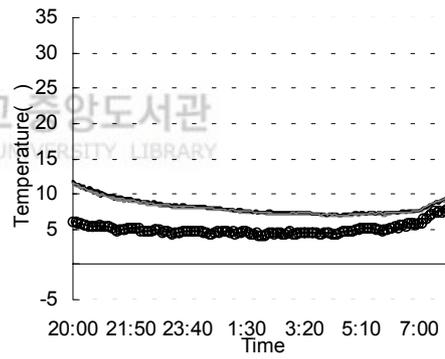
① house A



② house B

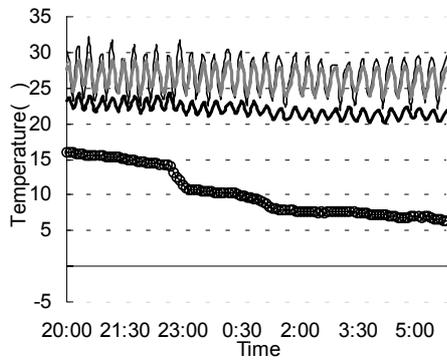


③ house C

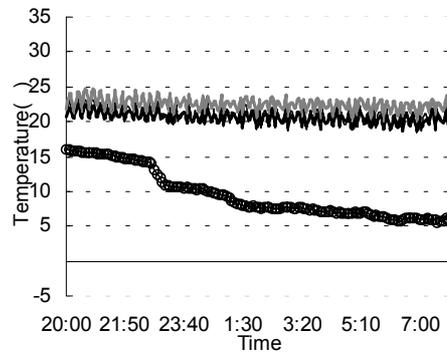


④ house D

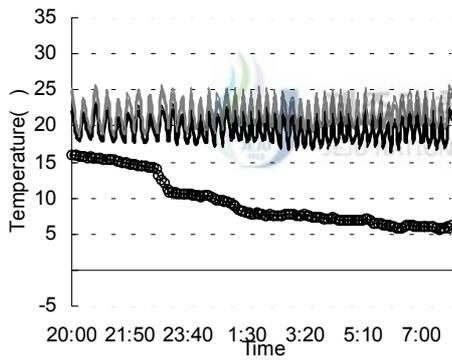
(b) March 13 20:00 ~ March 14 08:00



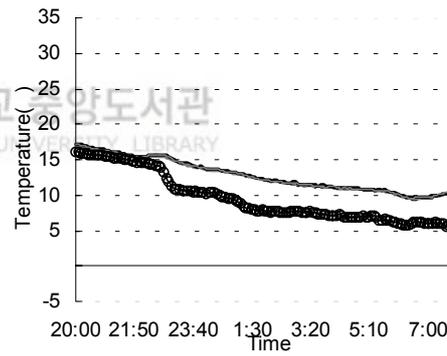
① house A



② house B



③ house C

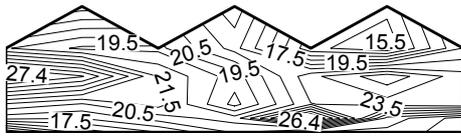


④ house D

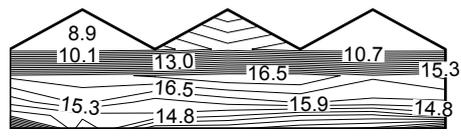
(c) March 14 20:00 ~ March 15 08:00

Fig. 3-6 Variations of indoor air-temperature at each house

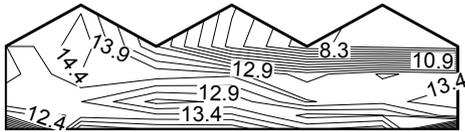
Fig. 3-7, Fig. 3-8에 각각 수직온도분포와 수평온도분포를 나타냈다. Fig. 3-7 (a)를 보면 A동 중앙부의 경우 높이에 따른 온도차가 17~20℃로 3℃ 미만의 차를 보이지만, 측부로 갈 경우 14~19℃ 정도로 5℃의 온도차가 나는 것을 알 수 있고 (b)의 경우 중앙부에서는 17~20℃, 측부에서는 17~21℃, (c)의 경우 중앙부에서는 26.5~27℃로 0.5℃ 이내의 온도차를 보이지만, 측부에서는 22~27℃로 5℃의 온도차를 보이게 된다. B동, C동의 경우도 비슷한 경향을 보이는데 이와 같이 수직온도편차가 중앙부에서는 3℃ 미만이나 측부로 갈수록 상하 온도차가 심해져 5℃ 이상 차이가 나는 이유는 피복재인 PC(Polycarbonate)외피로 인해 단열성능이 취약한 주변부로 손실되는 열류가 많아지므로 중앙부보다는 외주부의 온도강하가 보다 심해지기 때문인 것으로 보인다. 또한 실내온도가 낮은 B동이나 C동에서는 높이에 따른 온도편차가 2℃ 이내인 것에 반해 실내온도가 가장 높았던 A동의 경우 편차가 5℃까지 더 커지는 것으로 보아 실내기온과 외기온과의 차이가 커질수록 수직온도편차는 더 커진다는 것을 알 수 있다. Fig. 3-8의 수평온도를 비교해보면 0.8m 높이의 경우 중앙부와 측부에서의 온도차가 1~5℃ 정도의 차이를 보이는 것에 반해 2.0m 높이에서는 1℃ 이내의 미소한 차이를 보이는데 이는 0.8m 높이에 덕트 취출구가 집중되어 있음으로 인해 이의 영향을 받은 것으로 보이며 B동, C동의 경우 전체적으로 0.5℃ 이내의 변화를 보이며 안정된 수평온도분포를 나타낸다.



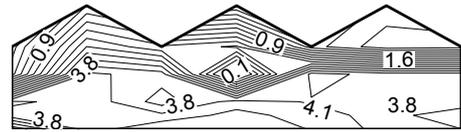
① House A



② House B

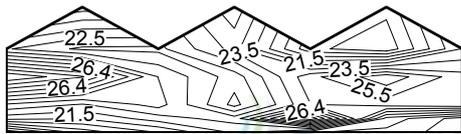


③ House C

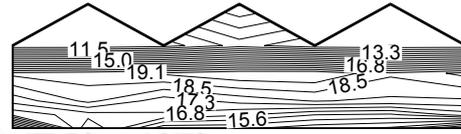


④ House D

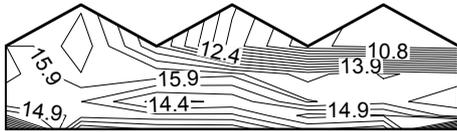
(a) March 12 24:00



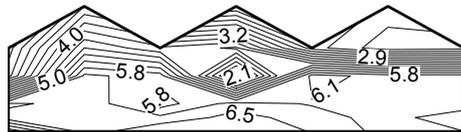
① House A



② House B

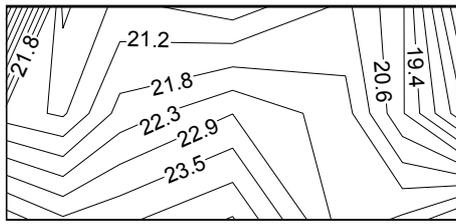


③ House C

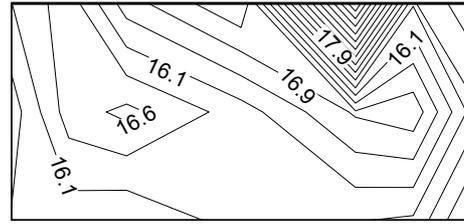


④ House D

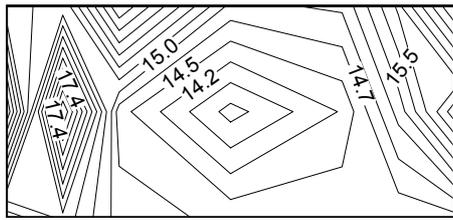
(b) March 13 24:00



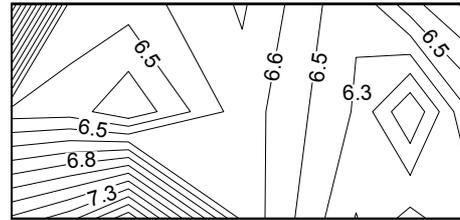
① House A



② House B

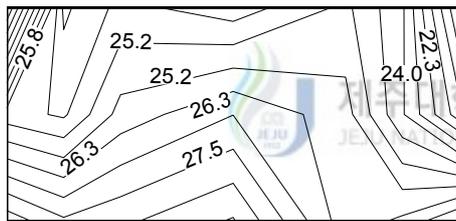


③ House C

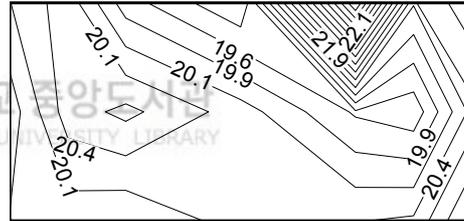


④ House D

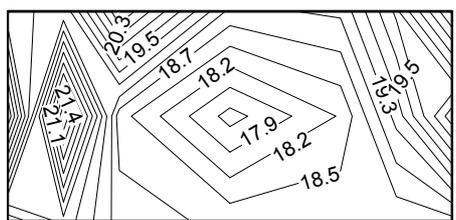
(b) March 13 24:00



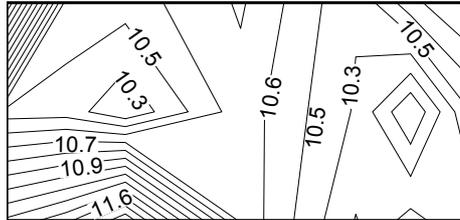
① House A



② House B



③ House C



④ House D

(c) March 14 24:00

Fig. 3-8 Temperature variations on plane at 0.8m height

Fig. 3-9는 각 하우스동의 중앙부 수직온도 분포를 비교하여 보여준다. 실내온도를 20℃로 높게 설정한 A동의 경우, 상·하부 모두에서 19~21℃의 고른 온도분포를 나타내지만, 설정 온도가 낮은 B, C동에서는 상·하부의 온도차가 7~8℃, 무가온인 D동의 경우는 10℃ 이상의 온도차이가 나는 것을 볼 수 있다.

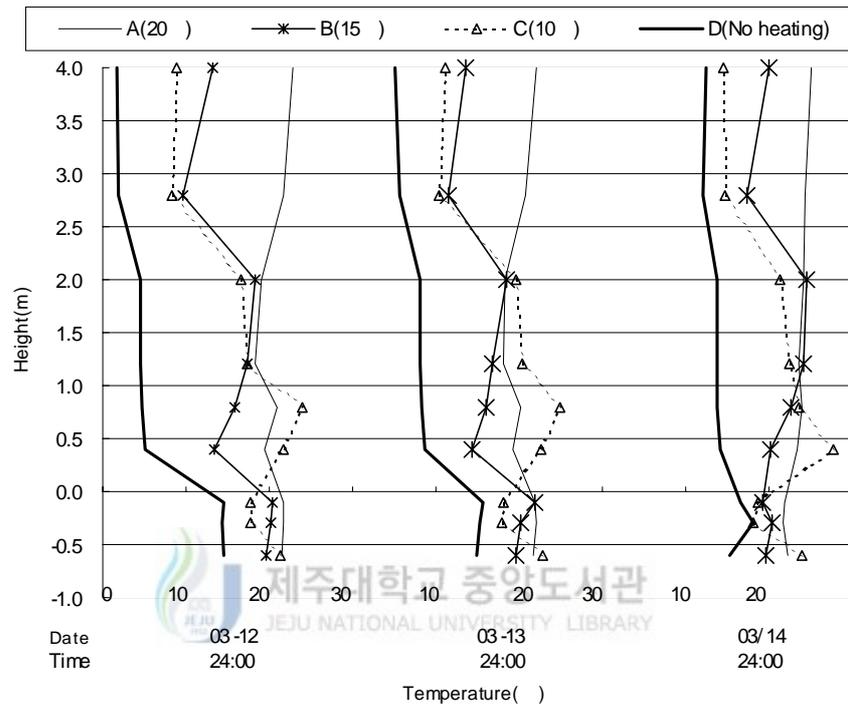


Fig. 3-9 Variations of vertical temperature at each height

2) 설정온도의 변화에 따른 에너지 소비량

Fig. 3-10과 Fig. 3-11, Table 3-3은 각각 보일러의 순간사용유량과 누적사용유량을 보여준다.

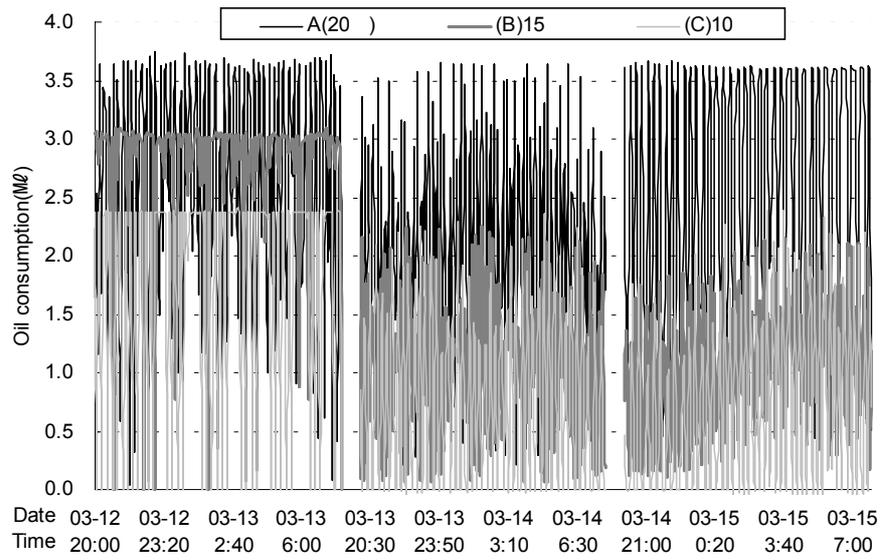


Fig. 3-10 Oil consumption at moment(ml/m)

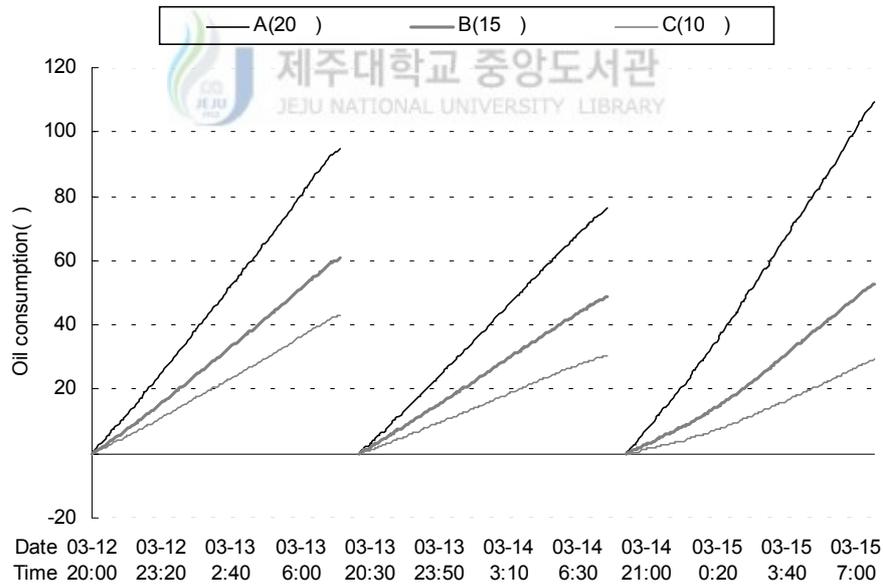
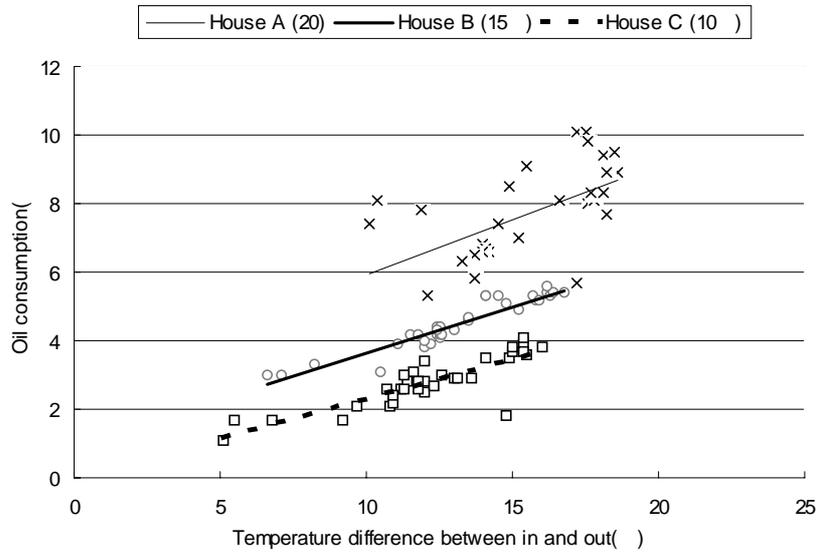


Fig. 3-11 Oil consumption at accumulation(l /m)

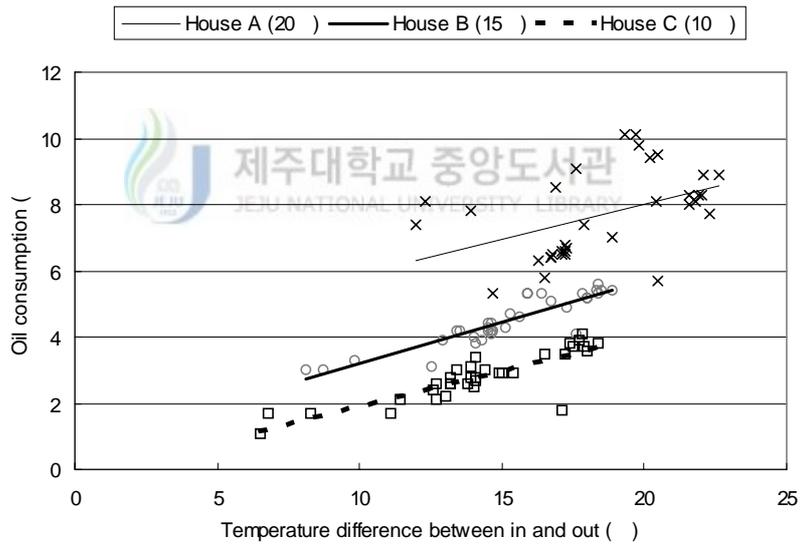
Table 3-3 Oil consumption

Date	Average oil consumption at moment (ml/m)			Max oil consumption at moment (ml/m)			oil consumption at accumulation (ℓ/m)		
	A	B	C	A	B	C	A (20℃)	B (15℃)	C (10℃)
03/12 20:00~13 08:00	2.5	2.8	1.7	3.7	3.1	2.4	95	61	43
03/13 20:00~14 08:00	2.0	1.3	0.8	3.6	2.6	2.4	76	49	30
03/14 20:00~15 08:00	2.6	1.3	0.7	3.6	2.5	2.4	110	53	29

Fig. 3-11에서 설정온도가 15℃인 B동과 10℃인 C동을 비교해보면 하우스의 중앙부 0.8m 높이 실내 평균기온이 12일의 경우 각각 B동은 15.7℃, C동은 14.5℃로 1.2℃의 온도차가 나고 이때의 사용유량을 살펴보면 C동이 B동에 비해 약 30% 정도 유류를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 평균 외기온이 5℃로 전날보다 4℃정도 더 높은 13일의 경우 B동은 16.2℃, C동은 15℃로 1.2℃의 온도차를 나타내며 사용유량은 C동이 B동보다 약 40% 정도 유류를 절감하는 것으로 나타났고, 평균 외기온이 10℃로 가장 높은 14일의 경우 B동은 20.8℃, C동은 19.6℃로 유지되고 C동이 B동보다 45% 더 적은 유류를 소비하는 것으로 나타났다. 3일 연속 B동과 C동은 1.2℃의 온도차가 나지만 15℃ 전후로 유지되는 12일에 비해 20℃ 전후로 유지되는 14일에 B동과 비교한 C동의 유류절감률이 30%에서 45%로 15% 더 절감할 수 있는 것으로 보아 실내 기온이 높을수록 설정온도에 따른 유류절감효과는 더 커지는 것으로 나타났다. 또한 중앙부 0.8m 높이 평균기온이 26.9℃인 14일 A동은 19.6℃로 유지되는 C동과 비교해 볼 때 7.3℃의 온도차가 나고 C동이 A동에 비해 약 74%의 유류를 더 절감할 수 있는 것으로 나타났으며 상대적으로 온도차가 작은 13일의 경우 (A동 17.6℃, C동 15℃로 2.6℃의 차를 나타내며 소비유량은 C동이 A동에 비해 약 61%를 절감)보다 더 큰 값을 나타낸다.



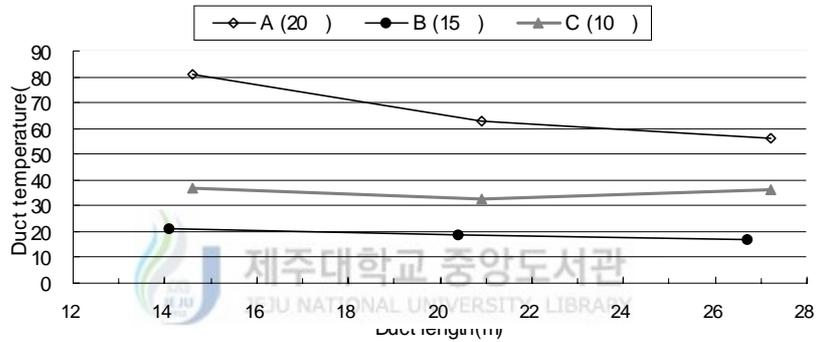
(a) 0.8m Height



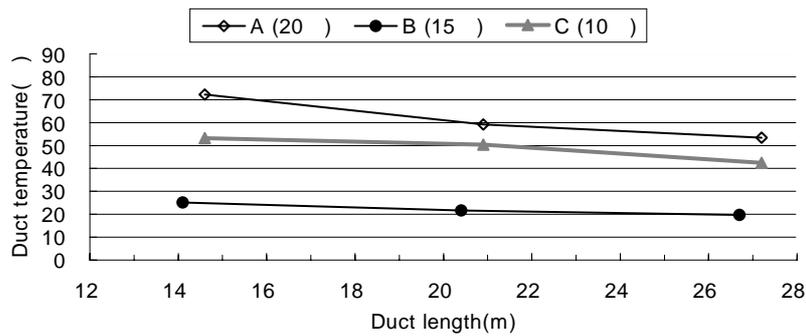
(b) 2.0m Height

Fig. 3-12 The relation between temperature difference and oil consumption

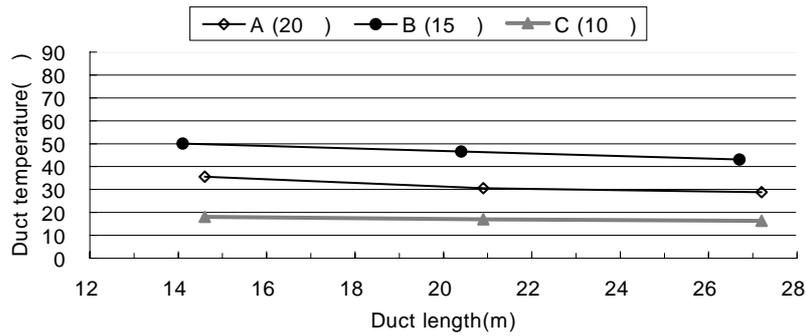
Fig. 3-12 는 0.8m 와 2.0m를 기준으로 하여 12일~14일까지 3일 간의 유류소비량과 온도차와의 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 누적사용유량을 한 시간 단위로 나누어 각각의 사용유량을 Y축에 나타냈고, 한 시간동안의 평균온도를 산출하여 그 평균치에서 외기온도의 평균치를 감하여 실제 외기온과의 온도차이를 X축으로 하여 나타낸 것이다. 두 그래프를 비교해보면 높이에 상관없이 (a), (b) 둘 다 비슷한 추세로 나타남을 알 수 있고 A동, B동, C동의 각각을 비교하여 보면 온도차가 10℃에서 15℃로 5℃의 차이가 날 때 A동은 2.2ℓ, B동은 1.5ℓ, C동은 1.1ℓ의 소비유량을 나타내는 것으로 보아 10℃로 설정된 C동이 20℃로 설정된 A동에 비해 2배, 15℃로 설정된 B동에 비해 약 1.4배의 유류를 더 절감할 수 있음을 알 수 있다.



(a) Marth 12 24:00



(b) Marth 13 24:00



(c) Marth 13 24:00

Fig. 3-13 Variations of temperature in duct

Fig. 3-13은 도달길이에 따른 덕트 내의 온도변화를 나타낸 것이다. A동, C동의 경우 전체 길이 27.2m의 덕트 중에서 각각 14.6m, 20.9m, 27.2m 부분에, B동의 경우는 전체 26.7m의 덕트 길이 중 14.1m, 20.4m, 26.7m 부분에 온도 측정점을 설치하여 길이에 따른 덕트 내부의 온도 강하 정도를 측정했다. 여기서 설정온도가 20°C인 A동의 경우는 상대적으로 설정온도가 15°C, 10°C인 B, C동의 경우보다 기울기가 급격하게 변하는 것을 알 수 있고 80°C 이상의 고온을 보이므로 덕트 주변의 고온피해가 우려된다. 또한, 전 동에서 덕트의 길이가 20m이상 길어질 경우, 20m를 전후하여 그 이후에는 온도의 강하폭이 거의 미미하게 나타남을 알 수 있다.

3) 소 결

각 하우스의 보일러 설정온도를 각각 A동 20°C, B동 15°C, C동 10°C로 설정하여 온풍난방이 실시되는 야간동안의 데이터를 실시간 측정하였다. 2001년 3월 12일 20:00 에서 3월 15일 08:00 까지 동일 규모의 3연동 하우스의 열환경 및 에너지 소비특성을 실측, 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 보일러 설정온도와 실제 하우스내 평균 기온과는 3~10℃ 이상 많은 차이를 보였으며 그 이유로는 외피재료의 단열성능부족으로 인해 열손실이 크고 하우스내에 온풍이 골고루 공급되지 못한 점 등을 들 수 있으므로 우수한 단열 성능을 갖춘 피복재를 선택 및 개발하고 덕트 배치에 관해서도 지속적인 연구가 필요하다.

2. 각 동의 수직 온도편차를 비교해보면 평균 20℃ 정도를 보이는 A동에서 5℃ 이내로 가장 작고 온풍을 가동한 하우스 중 평균 15℃ 정도로 가장 낮은 온도분포를 보였던 C동은 10℃ 이상 수직온도편차가 커지는 것으로 보아 실내온도가 높을수록 수직온도 편차는 더 작아지는 것을 알 수 있다. 수평온도는 0.8m 높이에서 위치에 따른 온도차가 5℃까지 차이가 나는 반면 2.0m의 높이에서는 하우스 전체에 걸쳐 1℃ 이내의 안정된 온도분포를 나타내는 것으로 보아 하우스 상부에서 좀더 안정된 수평온도분포를 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 0.8m 높이에 덕트 취출구가 집중되어 있어 이의 영향을 받아 0.8m 높이에서 온도가 불안정한 것일 수도 있으므로 덕트의 적절한 배치와 취출구의 설치위치 등에 관한 개선 및 연구가 필요하다.

3. 무가온 하우스의 경우 실내 상대습도가 80% 이상으로 실외습도보다 더 크게 나타나는 것으로 보아 병충해 방지를 위해 무가온 하우스에서도 따로 습도조절을 위한 대책이 강구되어야 한다.

4. 동일 체적의 시설원예용 하우스내 설정 온도차이에 따른 유류 소비 특성을 살펴보면 10℃로 설정된 C동의 경우 15℃로 설정된 B동에 비해 약 1.4배, 20℃로 설정된 A동에 비해 약 2배의 유류를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 시설원예용 하우스의 재배작물의 특성에 따라 최소 온도로 유지할 경우 에너지 절감 효과는 매우 클 것이다.

5. 온풍 덕트의 온도분포는 보일러 설정 온도가 높을수록 덕트의 길이에 따른 온도차이가 더 심하게 나고 덕트의 길이가 20m 까지 급격한 온도변화를 보이다가 그 이후에는 거의 일정한 경향을 보이므로 온풍취출구의 크기를 조절하여 보일러와 가까운 부분은 취출 풍량을 적게 거리가 먼 곳은 크게 하거나 온풍을 하우스내

부에 고르게 분산시킬 수 있는 분배기를 설치하면 보일러와의 거리에 따른 온도편차가 줄어들 것이다.

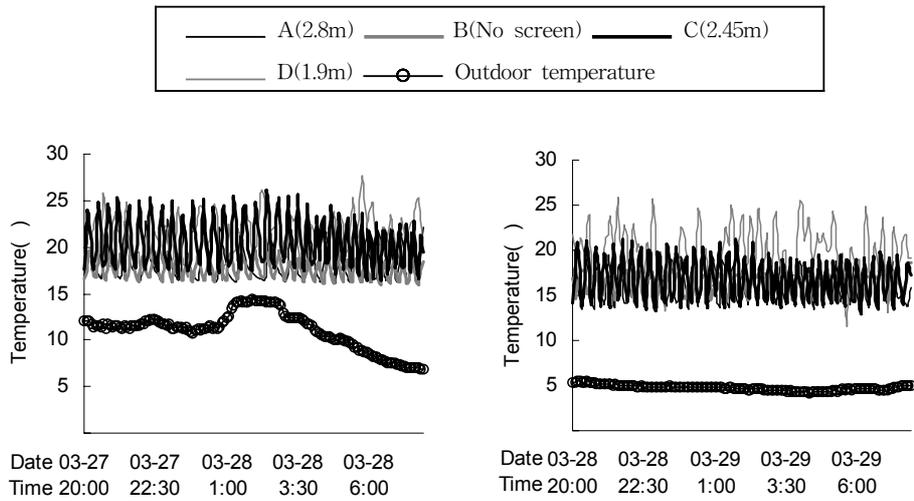
3. 체적변화에 따른 하우스내 열 환경과 에너지소비 특성

하우스의 실내공기용적 변화가 하우스내 온열환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 A동, C동, D동에는 지상 2.8m, 2.45m, 1.9m높이에 투명비닐을 수평으로 추가 설치하여 투명비닐막 하부의 온열환경을 상세히 검토할 수 있도록 하였다. 하우스 B동은 단일외피 상태(하우스내부에 추가적인 비닐막 미설치)로 설정하여 이중외피 적용유무에 따른 실내열환경분포 및 에너지 소비 특성을 상호 비교할 수 있게 하였다. 각각의 높이에 따른 비닐막을 씌우므로써 체적의 변화(A동 1394m³, B동 2022m³, C동 1232m³, D동 956m³이며 이는 B동의 체적을 100%로 산정시 각각 70%, 100%, 60%, 50%의 순이 된다)는 물론 재배작물의 높이에 따른 열환경 분포 특성도 파악할 수 있다. 대표일은 실험기간 중 2001년 3월 27일~3월 31일까지의 연속 4일을 선정하여 야간 시간(20:00~익일 08:00)동안 온풍난방가동시 유류소비량을 분석하였다.

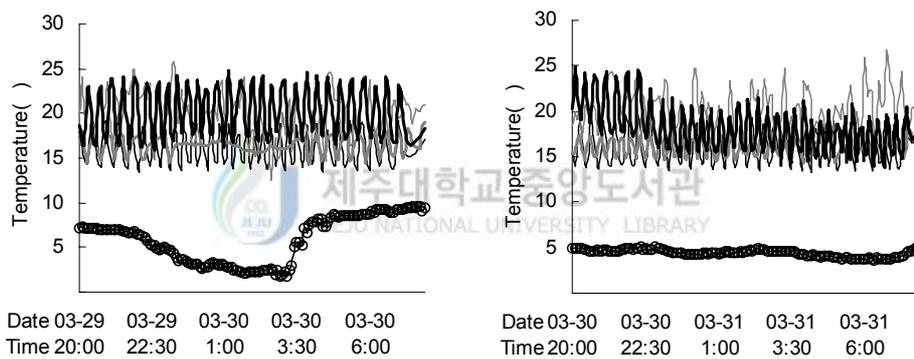
1) 체적감소에 따른 하우스내 열 환경

Fig. 3-14는 측정기간동안 외기변화 및 각 하우스의 실내 기온변화를 비교하여 보여준다. 외기온은 4℃~11℃로(27일~31일) 나타났고 (a)의 외기온이 6~14℃로 가장 높다. 지상 0.8m 높이의 중앙부 평균기온을 살펴보면 A동, B동에 비해 C동, D동이 2~4℃ 높은 18℃~20℃를 나타낸다. 또한 하우스 A동, C동, D동의 경우 이중 비닐막 설치에 따른 난방 공기용적 축소와 단열보강효과로 난방기 1회 작동에 따른 온도 변화폭이 B동에 비해

상대적으로 큰 것으로 조사되었다.



(a) March 27 20:00 ~ March 28 08:00 (b) March 28 20:00 ~ March 29 08:00



(c) March 29 20:00 ~ March 30 08:00 (d) March 30 20:00 ~ March 31 08:00

Fig. 3-14 Indoor air temperature by different screen height

Fig. 3-15를 보면 날씨의 영향으로 상대습도는 85%~100%로서 다소 높게 나타났는데 실내 평균기온이 가장 높은 D동의 상대습도가 50%~70%로 다른 동에 비해 낮게 나타났다. C동의 경우는 데이터의 불량으로 제외되었다.

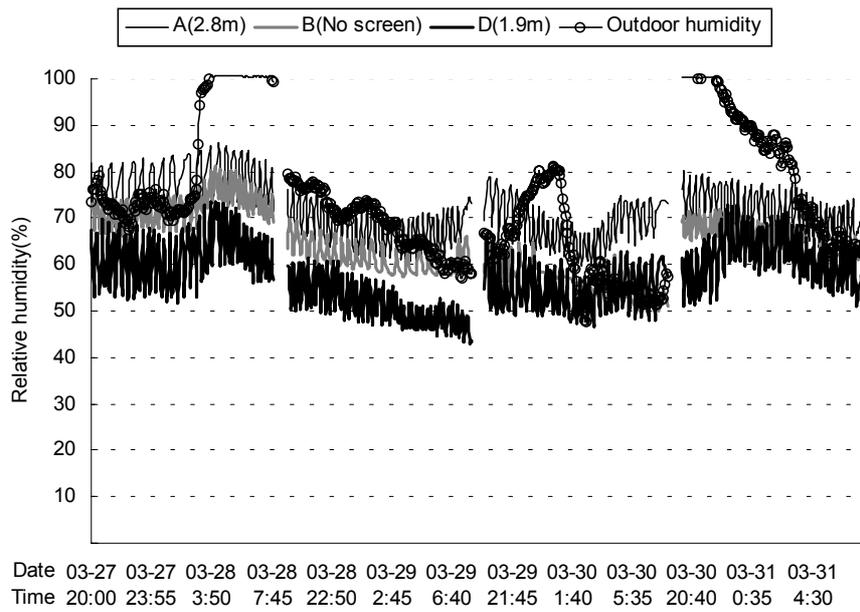


Fig. 3-15 Variations of relative humidity at each house

Fig. 3-16은 중앙부 수직온도분포를 각 동별로 비교하여 보여준다. 외기평균기온이 제일 높은 27일의 경우 막 내부의 상하온도차는 A동 2℃, C동은 8℃, D동은 4℃ 정도를 나타내며 막을 설치하지 않은 B동의 경우 전체 높이에서 1℃ 이내의 고른 온도분포를 나타낸다. 평균 외기온이 4.4℃로 가장 낮은 30일의 경우 A동 5℃, C동 5℃, D동 4℃ 정도로 각 동에서 비슷한 온도차가 나고 Fig. 3-9의 막을 설치하지 않은 경우와 비교해보면 막을 설치한 후에 막내부의 상하부 온도차는 2~5℃ 정도 줄어든 것을 알 수 있다.

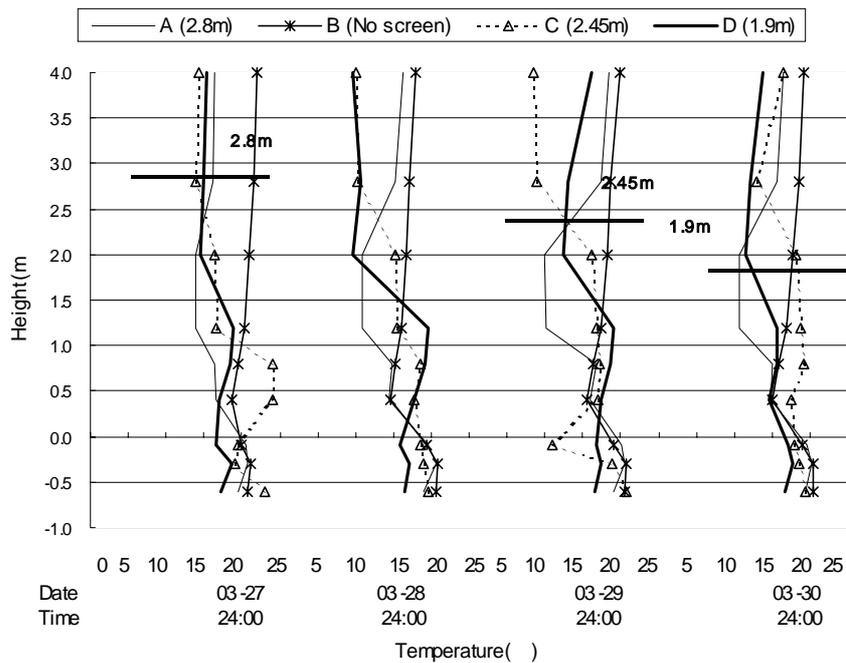


Fig. 3-16 Variations of vertical temperature at each height

2) 하우스의 에너지 소비 감소량



Fig. 3-17은 1.2m 높이에서의 온도차와 소비유량과의 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프를 보면 단일외피로 체적이 2,022m³ 인 B동에 비해 2.45m에 이중외피를 설치하여 체적을 약 40% 작게한 C동은 B동에 비해 약 2배의 유류가 절감되는 것으로 나타났고 1.9m 높이에 막을 설치하여 체적이 약 50% 작아진 D동은 C동과 거의 유사한 추세로 나타난다. 그러므로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 하우스내부에 이중외피를 설치하여 체적을 40% 이상 작게 하면 단일외피와 비교하여 소비유량을 반으로 절감할 수 있고, 체적이 40% 작아진 경우와 50% 작아진 경우에 체적이 10%가 더 줄어들었음에도 불구하고 소비유량은 거의 변함이 없는 것으로 보아 이중외피를 설치하여 체적을 40% 이상 줄이게 될 경우 40% 까지는 소비유량의 절감률이 매우 크지만 40% 이상 체적이 줄어들 경우 체적의 변화에

비해 소비유량의 절감률은 매우 미비한 것으로 나타났다. B동과 비교하여 체적이 약 30% 줄어든 A동은 실험상의 오차로 제외시켰다.

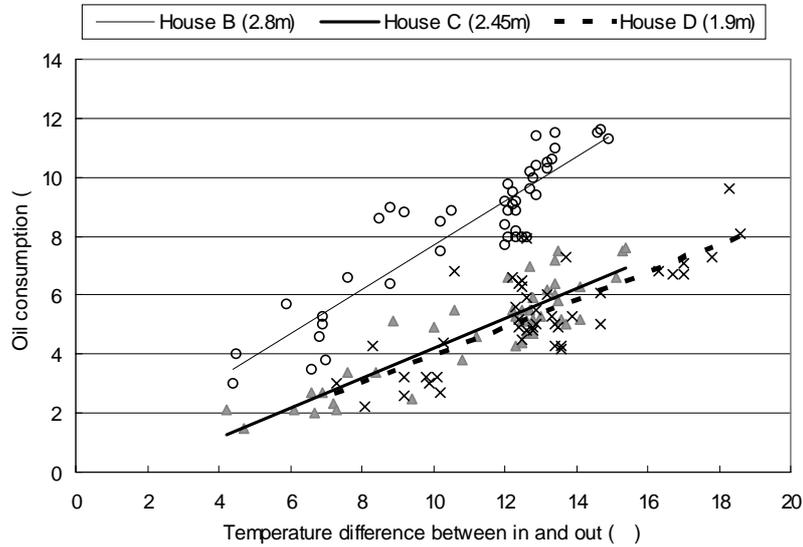


Fig. 3-17 The relation between temperature difference and oil consumption at 1.2m



3) 소 결

동일 규모의 3연동 하우스에 각각 A동 2.8m, C동 2.45m, D동 1.9m 높이에 실내 비닐막을 설치하여 막을 설치하지 않은 B동과 비교하여 체적의 감소에 따른 열환경 특성 및 에너지 소비 특성을 파악하였다.

1. 막을 설치하면 막의 높이에 따라 막을 경계로 상하부 3~10℃까지 온도차이가 나는 것으로 나타났다. 또한 높이 2.8m에 막을 설치한 경우 막 내부의 수직온도차는 2~5℃ 이고, 2.45m 높이에 막을 설치한 경우에는 4~8℃, 1.9m 높이에 막을 설치한 경우에는 4℃ 정도로서 막을 설치하지 않은 경우 10℃ 이상의 온도차이

가 나는데 반해 5℃ 이상 수직온도차가 줄어드는 것으로 보아 이중 비닐막이 실내 수직 온도분포의 안정에 영향을 끼친다는 것을 나타낸다.

2. 단일외피와 비교하여 이중외피를 설치하여 체적을 약 40% 감소시킨 경우 소비유량은 반으로 절감할 수 있는 것으로 나타났고, 체적이 40% 이상 작아질 경우 40% 까지는 체적의 변화에 따른 소비유량의 절감률이 매우 크지만 40% 이상 체적이 작아질 경우에는 체적의 감소에 비해 소비유량은 거의 변함이 없는 것으로 나타났다.



IV. 결 론

본 연구에서는 온풍 난방을 가동하는 시설원예용 하우스의 동절기 난방효율성을 위해 온풍난방이 가동되는 야간시간동안 하우스내의 온도분포 특성 및 소비유량을 실측실험을 통해 분석함으로서 시설원예용 하우스의 실내 열환경에 관한 기초 데이터를 제시하고 유류절감방안으로 실내 보일러 설정온도 조절과 하우스내 이중 비닐막을 설치하여 체적감소에 따른 에너지 절감방안을 제시하고자 하였다.

시설원예용 하우스와 실내 온열 환경요인에 관한 기초자료를 문헌을 통해서 파악하였다. 기존의 온풍난방방식의 문제점을 지적하고 온풍난방의 에너지 소비특성을 파악하기 위해 실측 실험을 통해 보다 효율적이고 경제적인 하우스 난방계획 방안을 위한 데이터를 제시하고자 하였으며 다음과 같은 두 가지의 실험을 하였다.

1) 설정온도 변화에 따라 온풍 난방을 사용할 때의 실제 사용유량을 실측하여 에너지 소비특성을 파악하고 실내 열환경 조건을 비교하기 위하여 외기와 하우스 내의 기온, 상대 습도, 흑구온도 및 지중온도의 변화를 측정하였다.

2) 에너지 절약을 위한 대안 중 하나로서 하우스공간의 체적을 감소시키고 실내 열환경 조건과 에너지 소비량을 측정, 비교하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 보일러 설정온도와 실제 하우스내 평균 기온과는 3~10℃ 이상 많은 차이를 보였으며 그 이유로는 외피재료의 단열성능부족으로 인해 열손실이 크고 하우스내에 온풍이 골고루 공급되지 못한 점 등을 들 수 있으므로 우수한 단열 성능을 갖춘 피복재를 선택 및 개발하고 덕트 배치에 관해서도 지속적인 연구가 필요하다.

2. 하우스내의 수직, 수평 온도분포를 살펴보면 수평온도는 1℃ 이내로 안정된 분포를 보이는 반면 수직 온도는 2~5℃ 내외로 다소 불균일함을 알 수 있었다. 또한, 이중외피를 설치할 경우 단일외피와 비교하여 더 안정적인 수직온도분포를 나타낸다.

3. 무가온 하우스의 경우 실내 상대습도가 80% 이상으로 실외습도보다 더 크게 나타나는 것으로 보아 병충해 방지를 위해 무가온 하우스에서도 따로 습도조절을 위한 대책이 강구되어야 한다.

4. 동일 체적의 시설원예용 하우스내 설정 온도차이에 따른 유류 소비 특성을 살펴보면 10℃로 설정된 C동의 경우 15℃로 설정된 B동에 비해 약 1.4배, 20℃로 설정된 A동에 비해 약 2배의 유류를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 시설원예용 하우스의 재배 작물의 특성에 따라 최소 온도로 유지할 경우 에너지 절감효과는 매우 클 것이다.

5. 온풍 덕트의 온도분포는 보일러 설정 온도가 높을수록 덕트의 길이에 따른 온도차이가 더 심하게 나고 덕트의 길이가 20m 까지 급격한 온도변화를 보이다가 그 이후에는 거의 일정한 경향을 보이므로 온풍취출구의 크기를 조절하여 보일러와 가까운 부분은 취출 풍량을 적게 거리가 먼 곳은 크게 하거나 온풍을 하우스내부에 고르게 분산시킬 수 있는 분배기를 설치하면 보일러와의 거리에 따른 온도편차가 줄어들 것이다.

6. 단일외피와 비교하여 이중외피를 설치하여 체적을 약 40% 감소시킬 경우 소비유량은 반으로 절감할 수 있는 것으로 나타났고, 체적이 40% 이상 작아질 경우 40% 까지는 체적의 변화에 따른 소비유량의 절감률이 매우 크지만 40% 이상 체적이 작아질 경우에는 체적의 감소에 비해 소비유량은 거의 변함이 없는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 1) 김문기 외 5인, 2000, 농업시설공학, 향문사
- 2) 최동호, 허종철, 임종환, 서효덕, 1999, 전기히터식 난방, 온풍난방시스템을 채용한 단동 플라스틱 하우스의 열부하 해석 및 난방성능평가, 생물환경조절학회지 제8권 제2호
- 3) 문두길 외 13인, 1993, 시설원예학, 향문사
- 4) 농촌진흥청, 2001, 농가보급형 자동화 하우스 표준 설계도서
- 5) 문영일 외 5명, 제주농업시험장 및 감귤 시험장, 하우스내 온도조절이 온주밀 감의 과실품질 및 성숙에 미치는 영향, 제주농업시험장
- 6) 조성환 외 5명, 2000, 그린하우스용 온수온풍겸용 난방기의 성능특성, 공기조화냉동공학회 2000 하계학술발표회 논문집 pp. 1320~1324.
- 7) 김진현 외 3인, 1995, 마이크로컴퓨터에 의한 시설재배의 자동화에 관한 기초 연구(Ⅲ), 한국농업기계학회지 제20권 제2호 pp. 162~172.

감사의 글

어느 덧 올해의 마지막 달력을 들춰보며 지난 2년이란 시간이 결코 긴 시간이 아니었다는걸 새삼느낍니다. 뭘가를 해냈다가보다는 이루지 못한 일에 대한 아쉬움이 더 많이 남습니다.

본 논문이 완성되기까지 긴 시간동안 물심양면으로 지도하여 주시고 이끌어주신 나수연 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 멀리서나마 저의 논문을 많이 이끌어주신 최동호 교수님께도 감사드립니다. 바쁘신 와중에 저의 논문심사를 맡아서 세심하게 검토해주시고 깊은 애정을 보여주신 서일교 교수님께도 감사드립니다. 지금까지 석사과정 동안 많은 가르침으로 이끌어 주신 은희창 교수님, 박철민 교수님, 김태일 교수님께도 감사드리고 같이 실험하며 많은 도움을 주신 기계과 허종철 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다.

논문기간 중 많은 편의를 제공해 주었던 환경 연구실 김라니, 양지혁, 고정범, 황미영 후배님과 우리 대학원생들에게도 고마움을 전합니다.

끝으로 오늘이 있기까지 한없는 사랑을 베풀어주었던 우리 가족들에게 진심으로 감사드립니다.

2002년 12월
전 삼 채 올림