

碩士學位論文

施設園藝用 하우스의 換氣 및 蒸發冷却에
따른 冷房效果와 熱環境分析에 관한 研究



110,912

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

康 禎 倫

2001

碩士學位論文

施設園藝用 하우스의 換氣 및 蒸發冷却에 따른
冷房效果와 熱環境分析에 관한 研究

指導教授：崔棟皓



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

康禎倫

2001

施設園藝用 하우스의 換氣 및 蒸發冷却에
따른 冷房效果와 熱環境分析에 관한 研究

指導教授 崔棟皓

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2001年 月 日

濟州大學校 産業大學院
제주대학교 중앙도서관
建設環境工學科 LIBRARY
建築工學專攻
康禎倫

康禎倫의 工學 碩士學位論文을 認准함.

2001年 月 日

委員長 徐 仁 教
委員 殷 旻 昌
委員 崔 棟 皓



목 차

List of Tables	ii
List of Figures	iii
Summary	iv
I. 서론	1
1. 연구의 배경과 목적	1
2. 연구의 방법 및 범위	3
II. 하우스 냉방시스템의 개론적 고찰	5
1. 하우스냉방의 필요성과 생육적온	5
2. 하우스냉방방법의 종류	6
3. 냉방보조방법	8
4. 하우스냉방용 미스트시스템의 고찰	9
5. 관수용 스프링클러시스템의 고찰	10
III. 실험장치 및 측정방법	13
1. 실험용 하우스	13
2. 측정항목 및 측정개요	15
3. 실험대상 하우스의 대칭성 실험	19
4. 하우스별 실험종류 및 설정조건	21
IV. 실험 결과의 분석 및 고찰	23
1. 비관수시의 천·측창 개폐 및 환기팬을 가동한 경우의 냉각 효과 검토 (Case 1)	23
2. 측창 개폐여부 및 수분무시 분무입자의 입경변화가 하우스내 온열환경에 미치는 영향(Case 2)	28
3. 측창 개폐여부 및 스프링클러 관수에 따른 냉각효과(Case 3)	35
V. 결론	41
참고문헌	

List of Tables

- Table 1. A suitable temp of birth and breeding and their critical temp.
Table 2. Specification of fan
Table 3. Mist particle size
Table 4. Sprinkler particle size
Table 5. Temperature comparison of each greenhouse by pre-test
Table 6. Experimental conditions
Table 7. Relative comparison of experimental results



List of Figures

- Fig. 1 Diagram of pad and fan method
- Fig. 2 Shapes and measuring points of green house models
- Fig. 3 An inner appearance of plastic greenhouse
- Fig. 4 An outer appearance of plastic greenhouse
- Fig. 5 Fan for ventilation
- Fig. 6 Location of mist in greenhouse
- Fig. 7 Location of sprinkler in greenhouse
- Fig. 8 Mist nozzle
- Fig. 9 Sprinkler nozzle
- Fig. 10 Globe thermometer
- Fig. 11 Comparison of IAT and OAT with time
- Fig. 12. Variations of indoor air temp. at each models (Case 1)
- Fig. 13. Variations of globe temp. with time (Case 1)
- Fig. 14 Vertical air temp. distributions in plastic greenhouse(Case 1)
- Fig. 15 Horizontal air temp. distributions in plastic greenhouse(Case 1)
- Fig. 16. Variations of relative humidity (Case 1)
- Fig. 17 Variations of indoor air temp. at each models (Case 2)
- Fig. 18 Variations of globe temp. with time (Case 2)
- Fig. 19 Vertical air temp. distributions in plastic greenhouse(Case 2)
- Fig. 20 Horizontal air temp. distributions in plastic greenhouse(Case 2)
- Fig. 21 Variations of relative humidity (Case 2)
- Fig. 22 Variations of indoor air temp. at each models (Case 3)
- Fig. 23 Variations of globe temp. with time (Case 3)
- Fig. 24 Vertical air temp. distributions in plastic greenhouse(Case 3)
- Fig. 25 Horizontal air temp. distributions in plastic greenhouse(Case 3)
- Fig. 26 Variations of relative humidity (Case 3)

A Study on Analysis of Indoor Thermal Environment and Cooling Effects by Ventilation and Evaporative Cooling of Single Span Plastic Greenhouses

Kang, Jeong-Yun

*Department of Construction and Environmental Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University
Supervised by Professor Choi, Dong-Ho*



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Summary

As crops recently can be cultivated all the year in greenhouses, we need to improve the environment in which crops are able to grow in the summer. Therefore, in this study, we quantitatively got the cooling effects of 4 single span plastic greenhouses in the following ways: by spraying mist or sprinkler, or by opening the side window. and with those variables, we simultaneously did experiments at 4 greenhouses under equivalent conditions to reduce the temperature of the greenhouses in the summer. The results of the experiments are as following: 1. the temperatures of the greenhouses were effectively reduced by both spraying mist and sprinkler. 2. when the mist is intermittently sprayed, the indoor temperature has decreased by 4 degrees centigrade, meanwhile, in the greenhouse to make experiments using sprinkler, the temperature of that has been reduced by 2 degrees centigrade. Therefore, we can see the cooling effects of smaller mist in size as more effective than those of sprinkler. 3. when the greenhouse is naturally ventilated by opening the side window, we have to apply another cooling system because the indoor temperature is higher than the outdoor one.

I. 서 론

1. 연구의 배경과 목적

기후 및 기상조건의 변화는 작물재배환경에 중요한 영향을 미치기 때문에, 작물재배에 부합되는 환경을 조성하는 것은 매우 중요하다 할 수 있다. 특히 우리 나라의 경우 계절변화에 따른 기후차가 심하기 때문에 노지재배의 경우에는 기온 및 기후차가 발생하여 작물생육에 적합하지 않다. 따라서 생산성을 증대하기가 곤란할 뿐만 아니라, 연중재배가 불가능하여 농산물을 안정적으로 생산할 수 없으며 고품질의 농산물을 생산하기가 어렵다. 이러한 이유로 작물에 적합한 환경조건을 만들어 작물을 재배하는 시설원예가 등장하여 작물의 연중재배가 가능하게 되었다.

시설원예는 플라스틱(plastic house) 또는 유리와 같은 피복재료로 외부와 격리된 공간 즉, 시설원예용 하우스를 만들어 각종 원예작물을 집약적으로 생산하기 때문에 작물생육에 적합하도록 제반환경을 인위적으로 조절하여야 한다. 이러한 시설원예용 하우스는 일반 건축물과 달리 피복재의 단열이 취약하고 개방성이 강한 투명재료로 마감되어 있어 하우스내 열환경은 일사량, 복사열, 외기온도에 의해 크게 영향을 받는다. 하우스내 기온을 작물생육에 적절하도록 유지하기 위하여 겨울철에는 난방, 보온 등 여러 가지 방법을 강구하고 있으나, 고온기인 여름철에는 휴경하거나, 자연환기 또는 강제환기 등에 의존하는 것이 일반적이었다. 그러나 최근에는 온실의 현대화, 대형화, 고정화 및 자동화와 함께 주년생산을 위한 연중재배체제가 도입되면서, 여름철 작물의 생육환경 조성을 개선하기 위하여 기존의 방법보다 더욱 적극적인 냉방시스템이 필요하게 되었다.

외기온이 상승하는 5월에서 9월의 기간동안 하우스내 온도는 온

실효과로 인하여 적정실온을 크게 상회하는 고온상태가 된다¹⁾. 고온시 작물은 증산작용과 광합성 작용이 정상적인 기능을 잃을 수 있으며, 고온의 피해가 심한 경우에는 원형질의 파괴, 세포의 기능 저하, 단백질의 불활성현상 등의 고온장해를 가져온다. 실온상승은 작물의 생장을 저해하고 실내 작업환경을 악화시키는 등 막대한 경제적 손실, 작업효율 저하 등의 문제점을 초래하고 있다²⁾. 따라서 실온상승을 억제하기 위한 냉방문제가 주요 현안으로 대두되고 있다.

지금까지 알려진 여름철 주간온실 냉방방식에는 여러 가지가 있으나, 그중 자연환기나 강제환기방식은 환기량에 불문하고 온실내의 온도를 외기온에 최대한 근접시키는 것은 한계가 있는 것으로 나타났다³⁾⁴⁾. 따라서 보다 적극적인 온실냉각 방식을 채택하지 않는 한 온실내부 기온을 외기온 이하로 내릴 수 없다. 대안으로서 미스트분무, 스프링클러 분무에 의한 증발냉각법이 주를 이루고 있다. 이러한 방법들은 이미 그 효과가 검증되어 널리 보급되어 왔으나, 환기량 부족에 따른 실온상승, 과도한 수분공급으로 인한 상대습도가 상승되는 등 재배작물의 품질을 저하시키는 부작용 또한 시급히 개선되어야 할 문제점으로 지적되고 있어⁵⁾⁶⁾⁷⁾ 이에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 하우스의 실온저하를 도모하기 위하여 동일부지

-
- 1) 최동호, 허종철, 임중환, 서효덕(1999). 관수, 천·측창 개폐 및 환기팬 조작에 따른 단동 플라스틱 하우스의 냉각효과 검토(제1편), 한국생물환경조절학회 학술논문발표요지, 8(2), p.51.
 - 2) 서원명, 민영봉, 박중춘(1994). 온실의 냉방관리를 위한 기화냉각 시스템 도입, 경상대 시설원예연구, p.173.
 - 3) 농촌진흥청(1994). 시설원예 현대화 하우스 모델선정 및 재배효과에 관한 연구보고서, p.285
 - 4) 서원명, 윤용철, 박중춘, 손영걸(1995). 우리 나라 온실의 냉방 시스템 도입검정, 경상대학교 시설원예연구 논문집 2권, p.123.
 - 5) 김영중, 유영선, 윤진하, 오권영, 김승희(1997). 포그노즐을 이용한 온실냉방 시스템 분석, 생물생산시설환경학회지, 6(1), pp.48~54.
 - 6) 박중춘, 민영봉, 서원명, 정한택, 김진일(1995). 온실의 고온극복을 위한 몇 가지 실험적 분석, 경상대학교 시설원예연구 논문집, pp.111~112.
 - 7) 최동호, 허종철, 임중환(1998). 일사량 조정이 시설원예용 하우스내 온열공기환경에 미치는 영향, 대한건축학회 논문집, 14(12), pp.219~230.

내에 설치된 4개동의 단동 플라스틱 하우스를 대상으로 천·측창 개폐에 따른 냉각효과와 미스트분무, 스프링클러 관수에 따른 냉각효과를 실험에 의해 정량적으로 비교, 분석하였다. 미스트분무, 스프링클러 관수시 냉각효과, 그리고 스프링클러의 살수성능에 대해서 검토한 연구사례(8)9)10)11)는 이미 다수 보고되어 있으나, 미스트분무시 냉각효과와 스프링클러 관수시 냉각효과를 비교 검토한 연구사례는 그다지 많지 않다.

따라서 본 연구에서는 각 하우스별 온도분포상의 문제점을 파악하고, 설정조건별 냉각효과를 분석함으로써 하우스 냉각시스템 선정과 하우스 온열환경 개선에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 농촌진흥청 제주농업시험장에 위치한 실험용 하우스에 최대한 동일한 환경조건이 유지 될 수 있도록 설계된 6.4×28.8×4.7m 규모의 경질판 PC(Poly Carbonate)구조 단동 플라스틱 하우스(이하에서는 약칭하여 하우스로 표기함) 4개동을 대상으로 냉각효과를 비교, 분석하였다. 대상하우스는 과수용 하우스로 과수가 식재된 상태에서 실험이 이루어졌다. 자연환기 및 증발냉각에 따른 하우스 냉각효과를 규명하기 위하여 스프링클러, 미스트분무 및 천·측창 개폐 여부를 주요변수로 설정하여 3 종류의 실험을 실시하였다.

(1) Case 1은 비관수시의 천·측창 개폐 및 환기팬을 가동한 경우 환기에 의한 냉각효를 검토하였고,

-
- 8) 서상룡, 유수남, 성제훈(1996). 미니 스프링클러의 살수 성능실험(1). 생물생산시설환경학회지, 5(2), pp.194~201.
 - 9) 서상룡, 성제훈(1997). 미니 스프링클러의 살수 성능실험(2). 생물생산시설환경학회지, 6(3), pp.183~189.
 - 10) 최동호, 허종철, 임중환, 서효덕(2000). 환기조건 및 관수에 따른 단동 플라스틱 하우스의 냉방효과와 열환경 분석, 생물환경조절학회지, 9(1), pp.27~39.
 - 11) 윤용철, 서원명, 이종열(1998). 온실냉방용 분무노즐의 분무특성. 생물생산시설환경학회지, 7(4), pp.298~310.

(2) Case 2는 축창 개폐여부 및 수분무에 따른 하우스내 증발냉각 효과를 도모하기 위하여 설정된 실험으로서 수분무의 경우 분무입자의 입경변화에 따른 냉각효과를 비교, 검토했으며,

(3) Case 3은 축창 개폐여부 및 스프링클러 관수시에 수반되는 냉각효과를 검토하기 위해 설정된 실험으로서, 스프링클러를 30분간 연속적으로 작동시켜 하우스내 온도하강 정도를 평가하였다.

각각의 실험은 하우스 4개동에서 동시에 실시함으로서, 하우스별 실험변수들이 실내 열 환경에 미치는 영향을 각 동별로 비교, 평가하였다. 또한, 다수의 온도 센서(140점)를 각 하우스에 설치하여 수평·수직 온도분포 등 하우스내의 온열환경에 관한 분포특성에 대해서도 상세히 검토하였다.



II. 하우스냉방 시스템의 개론적 고찰

1. 하우스냉방의 필요성과 생육적온

(1) 하우스냉방의 필요성

우리 나라는 대표적인 대륙성 기후를 나타내므로 겨울은 춥고 여름은 지나친 고온을 나타낸다. 특히, 시설내에서는 환기시설을 모두 개방하고도 실내온도가 35~40℃ 정도로 올라가는데, 이러한 상태에서의 온도는 많은 작물의 생육적온을 벗어난 온도로서 고온장해를 나타낸다.

그러나 고가의 시설을 연중 활용하고, 더욱이 과수류와 화초류의 장기재배에서는 여름 고온기를 피할 수 없는 상태이므로 여러 가지 냉방수단을 동원하여 시설내 온도를 외기온과 같은 수준이나 또는 그보다 낮게 조절하는 시설냉방(施設冷房)이 필요하다.

(2) 생육적온

원예작물의 생산지는 열대에서 아한대 지방까지 비교적 넓은 범위이다. 그리고 생존(生存)가능한 온도는 대단히 큰 폭이지만 생육(生育)가능한 온도는 대부분의 작물이 10~40℃ 범위에 있다. 생육이라는 말의 의미를 종자의 발아에서부터 결실까지라고 한다면, 생육의 여러 단계에서 최저온도, 최적온도, 최고온도의 존재가 인정되는 것이다.

생육적온은 대체로 발아적온 보다 2~5℃ 정도 낮은 경우가 많다. 생육적온을 하루동안 볼 때 낮의 온도보다도 야간온도가 수℃ 낮은 것이 좋다. 이것은 앞에서 생산된 광합성산물이 각 기관으로의 전류를 좋게 하기 때문이다¹²⁾.

생육적온을 유지하기 위해서는 Table 1에 보는 바와 같이 철저한 온도관리가 필요하다.

12) 장전익. 원예시설학의 기초지식, 제주대학교 출판부, p.131.

외부기온이 낮아도 시설의 밀폐된 상태에서는 내부의 온도는 상승하여 겨울에도 맑은 날은 40℃ 이상이 되는 경우가 있는데, 이때에는 어린잎이 장애를 받게되며, 온도가 높고 지속시간이 길어지면 그 정도가 심해져서 회복되지 않는 경우도 있다. 이와 같이 고온은 생육장애의 위험성이 있을 뿐만 아니라, 호흡량이 많아져서 광합성률이 낮아지게 된다는 사실을 염두에 두고, 30℃ 이상이 되지 않도록 온도관리를 해야한다¹³⁾.

Table 1. A suitable temp of birth and breeding and their critical temp.

(unit : ℃)

Section	Item	Minimum of critical temp.	A suitable temp of growth.	Maximum of critical temp.
eggplant	Tomato	5	20~25	35
	Eggplant	10	23~28	35
	Pepper	12	25~30	35
gourd	Cucumber	8	23~28	35
	Watermelon	10	23~28	35
	Greenhouse Melon	15	25~30	35
	Melon	8	20~25	35
	Pumpkin	8	20~25	35
Leafy vegetables and	Spinach	8	15~20	25
	Radish	8	15~20	25
	Cabbage	5	13~18	23
	Celery	5	15~20	23
Root crops	Crown daisy	8	15~20	25
	Lettuce	8	15~20	25
Rose	Strawberry	3	18~23	30

2. 하우스냉방방법의 종류

하우스냉방을 하기 위해서는 지금까지 개발된 방법에는 기화냉각

13) 이병일, 시설원예학, 향문사, pp.90~91.

법(氣化冷却法)이 있다. 기화냉각이란 덜 포화(飽和)된 공기가 이보다 저온의 물과 접촉하면 물에 열을 주어 증발시킴과 동시에 공기 자체가 냉각되는 것을 말하는데, 이때 공기는 온도저하와 동시에 습도상승이 일어난다.

이러한 기화냉각법은 물과 공기를 조우시켜 기온을 습구온도 부근까지 낮출 수 있고, 건구온도(기온)와 습구온도와의 차이가 클수록, 즉 공중온도가 낮을수록 그 효과가 크게 나타난다.

$$\text{냉각효율} = \frac{\text{외기의건구온도} - \text{유입기온(실내)}}{\text{외기의건구온도} - \text{외기의습구온도}} \times 100(\%)$$

많이 사용되는 기화 냉각법에는 패드앤드팬법(pad and fan method)과 세무냉방법(fog and fan method)이 있다.

(1) 패드앤드팬법

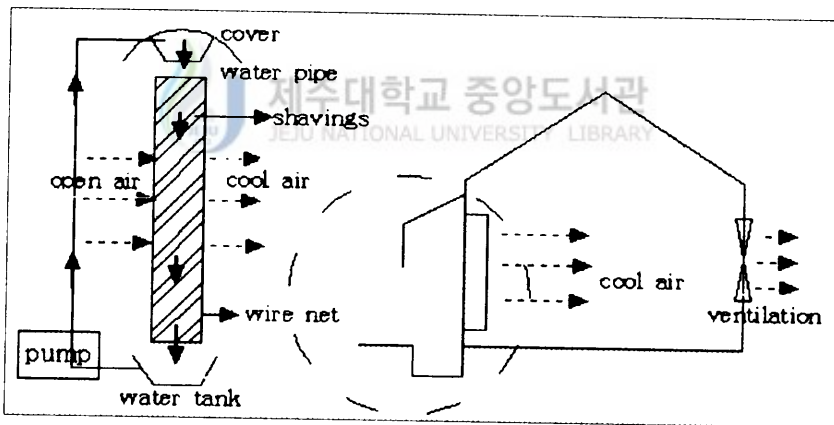


Fig. 1 Diagram of pad and fan method

패드앤드팬법(pad and fan method)은 1954년부터 이용되어 왔으며, 지금도 외국에서는 가장 보편적인 여름철 냉방시스템으로 이용되고 있다. 이 시스템은 온실의 외벽부분에 패드(pad)를 부착시키고 여기에 물을 흘려 내려보내면서 반대쪽에 풍압형 환기선(換氣扇)을 달아 실내공기를 밖으로 뽑아내면 실내에 형성된 외압에 의하여 공기가 패드를 통과하면서 냉각되고 실내로 유입되어 실내공기가 낮아지게 되는 방식을 말한다(Fig. 1 참조).

이 냉방방식은 물소비량이 적고 내구성이 길며 동력은 환풍선을 구동시키는 전력 정도밖에 들지 않는 장점이 있다. 한편, 풍압형 환기선과 패드의 설치비용이 많이 들고, 패드에 의한 차광 정도가 크며, 실내 온도구배가 생기는 결점을 지니고 있다.

(2) 세무냉방법(細霧冷房法)

온실내에 물방울의 입자를 $50\mu\text{m}(0.05\text{mm})$ 이하의 세무를 분사시켜, 가습 냉각된 환기선으로 배기시키게 되어 있는 냉각방식을 말한다. 이것은 작은 물입자의 물방울이 실내에 뿌려지면서 순간적으로 기화되면서 실내공기가 냉각되는 방식이라고 할 수 있다.

세무냉방장치는 동력분무기를 사용하여 보통 $7\sim 15\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도의 수압으로 노즐에서 세무를 분사시키고 있다. 노즐 1개당 분무량은 $50\sim 150\text{ml}/\text{min}$ 정도이지만, 무엇보다도 세무입자가 작은 것이 용이하게 기화되므로 기화가 용이한 작은 물입자로 분사시키는 것이 중요하다.



3. 냉방보조방법

냉방효과를 높일 수 있는 냉방보조방법에는 차광, 열선흡수 등이 있다.

(1) 차광

주간냉방에서 최대부하는 높은 일사량에 있으며, 이러한 높은 광도 하에서 효과적인 냉방을 도모하기 위한 보조수단으로 차광을 병용하는 것이 효과적이다.

차광자재는 지붕 위에 적당한 간격을 두고 설치해야 효과가 크다. 사용되는 재료는 한랭사와 각종 차광망을 활용하도록 하며, 차광량은 작물의 광요구량에 따라 조절해야한다.

(2) 열선흡수유리의 이용

가시광선을 투과시키면서 적외선을 흡수하는 유리를 피복재로 사용하여 시설내의 온도상승을 억제하는 방법이다. 열선흡수유리는

보통유리에 비하여 적외선흡수율은 높지만 재방사(再放射)가 많고 광합성에 유효한 적색광 부근의 광이 차단되는 결점이 있어 좀더 보완된 유리의 개발이 필요하다¹⁴⁾.

4. 하우스냉방용 미스트(Mist)시스템의 고찰

(1) 미스트

미스트에 의한 온실냉방은 분무노즐을 이용하여 직경 $50\mu\text{m}$ 이하의 미립자를 온실내로 분무하는 가습냉각 방식이다¹⁵⁾. 원래 미스트(Mist)란 분사되는 액입자의 크기를 대표하는 명칭으로 분사된 입자의 크기가 $400\sim 100\mu\text{m}$ ($1\mu\text{m}=1/1,000\text{mm}$)정도의 것은 분무립(噴霧粒, Spray), $100\sim 30\mu\text{m}$ 범위의 것은 미스트(Mist)립, $30\sim 0.1\mu\text{m}$ 범위의 것은 연무(煙霧, Fog)립이라 한다. 이방식은 분무입경을 가능한 가늘게 하여 물방울이 기화하기 쉽도록 하는 것이 중요하다. 물의 증발속도, 즉 공기의 냉각율은 물방울의 크기가 작아지는데 비례해서 증가한다. 따라서 이 시스템에 있어서 가장 중요한 구성요소가 분무노즐이므로 분무노즐은 주로 미립화를 목적으로 설계되거나 제작된다.

(2) 미스트의 특징

미스트분무는 보통 살수형태가 원형이므로 살수면적이 겹치기도 하나 비교적 정밀한 살수가 가능하고, 저압으로도 관수가 가능하다. 물입자가 작고 살수압력이 약하여 땅을 다지거나 작물의 잎에 상처를 입히지 않는 장점이 있어 비닐하우스 내의 채소류나 화훼류, 육묘장, 삼목상, 수막시설 등의 용도로 사용된다. 재질은 내구성이 뛰어난 플라스틱이며 저압의 일반 양수기와 배관자재로 시공할 수 있어 시설비가 저렴한 편이다.

(3) 미스트 노즐의 종류

14) 이병일, 시설원예학, 향문사, pp.126~130.

15) Paul V. Nelson(1995). 온실의 운영과 관리, 농어촌진흥공사

미스트 노즐은 미스트장치 성능을 좌우하는 가장 중요한 부분으로서 분무입자를 아주 미세하게 하고 될 수 있는 대로 크기가 균일한 미스트 입자를 만들어야 하는 부분이므로 설계제작상 가장 어려운 부분일 뿐만 아니라 취급하는데 특히 주의하여 변형되거나 부식되지 않도록 해야 한다.

미스트용 노즐은 수압에 따라 고압용과 저압용, 수압의 범위가 광범위한 것 등이 있다. $7\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 수압에서 분무되는 고압용 노즐은 물의입자가 $20\mu\text{m}$ 이하로 안개와 같이 공중에서 부유하는 시간이 길기 때문에 여름철 실내온도 하강을 위해 잠열 냉각장치로 많이 이용하고 있으며, 화목류의 번식 온실에서도 공중습도 상승용으로 이용된다. 저압용으로 이용되는 미스트용 노즐은 압력이 $1.0\sim 2.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 적용압력 범위가 넓은 미스트용 노즐은 관엽식물 재배와 육모상, 채소등 원예작물 전반에 걸쳐 이용된다.

5. 관수용 스프링클러시스템의 고찰

(1) 스프링클러(Sprinkler)

스프링클러를 이용한 관수는 최신 인공강우 설비로서, 작물과 기타 수분을 필요로 하는 장소에 원하는 양의 물을 공급할 수 있는 시설이다.

작동 방식별로는 충격에 의해서 회전하는 충격식과 기어식이 있는데 농업용으로 사용되는 것은 대부분 충격식이다. 충격식은 회전노즐과 노즐이 돌도록 때려주는 해머를 스프링으로 결합시켜 만든 것인데 날개가 물줄기를 맞아 밀려 나갔다가 스프링의 장력으로 원위치에 돌아올 때까지 노즐이 계속 회전하면서 살수하는 장치이다. 살수 방향도 360° 전방향 살수식과 벽면이나 도로 쪽을 피하여 180° 만 반복 회전하는 반원형 살수식이 있다.

(2) 스프링클러의 장단점

원하는 시기에 살수량을 마음대로 조절하여 관수할 수 있으므로

작물의 성장은 물론 증산(增産)에 효과적이다. 또 단기간에 많은 양의 물을 넓은 면적에 살수할 수 있는 장점이 있다. 스프링클러 관개는 관수목적 외에도 토양개량, 지온조절, 비료 및 농약살포 등 다목적으로 사용할 수 있다. 물에 의한 유힬방식이므로 구동장치 가 온도에 열을 받지 않는다. 반면 대부분 1.5kg/cm² 이상의 고압을 요구하기 때문에 고압 송수용 특수양수기를 갖추어야 한다는 어려움이 있다. 고압양수기를 사용할 경우 노즐까지의 파이프라인과 각종 부속자재가 파손되는 단점이 있다. 지하수를 고성능 양수기로 사용할 때는 콩알만한 자갈도 혼입되어 노즐 구멍을 막는 일이 빈번하므로 모래여과장치를 수압이 떨어지지 않도록 4대 이상을 병렬로 연결하여 사용해야 한다.

또, 미니스프링클러를 제외하고는 아주 정밀한 살수는 힘들다. 받이 마를 때는 주 물줄기가 지나가지 않는 부분이 현저하게 먼저 마른다. 또한 물이 멀리 날아가 여린 잎이나 장마기에 표피가 약한 잎에 손상을 주는 경향이 있다. 양수기로부터 노즐까지의 파이프라인과 체결구도 내압형, 견고형이 아니면 파손되는 경우가 많으므로 유의해야 한다.

(3) 작동 방식에 따른 스프링클러의 분류

1) 충격식(Impact Drive Type)

스프링클러의 암(ARM)이 노즐에서 분사되는 물줄기에 의해 충격을 받아 뒤로 밀렸다가 다시 되돌아오면서 몸체(body)를 치는 충격에 의해서 분사노즐을 회전시킨다.

[충격식의 장점]

- ① 이물질이 섞여 있어도 작동에 지장이 없어 적용범위가 넓다.
- ② 노즐까지 물이 아무런 장애 없이 흘러 에너지가 절약된다.
- ③ 수압변화에 관계없이 회전속도가 일정해 비교적 살수가 고르다.
- ④ 구조가 간단하여 손쉽게 작동할 수 있다.
- ⑤ 유지관리가 용이하여 고장이 거의 없다.

2) 기어식(Gear Drive Type)

스프링클러 밑으로 들어온 물이 수차(水車)를 빠른 속도로 회전시켜 감속기어를 통해 알맞게 회전시킨다. 작동시 소음이 거의 없고 회전이 부드럽다.

[사용시 주의사항]

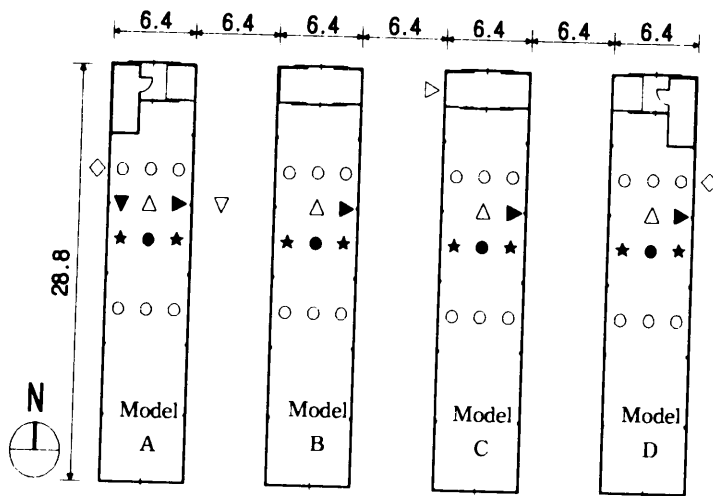
- ① 윤활용 기름이나 구리스가 물에 섞여 나와 피해를 줄 우려가 있다.
- ② 수압의 변화에 따라 회전 속도가 변화한다.
- ③ 모래나 작은 이물질이 있을 경우 기어를 손상시킬 우려가 있다.
- ④ 주관의 유입부쪽에 완벽한 여과장치를 반드시 설치해야 한다.



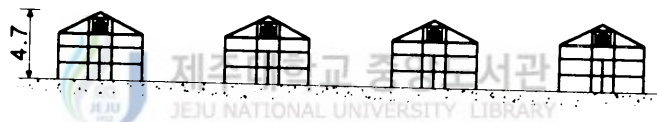
Ⅲ. 실험장치 및 측정방법

1. 실험용 하우스

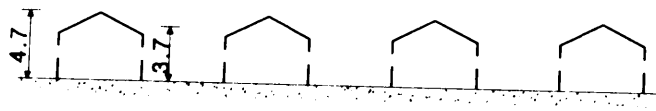
실험용 하우스는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이, 농촌진흥청 제주농업시험장에 위치한 $6.4 \times 28.8 \times 4.7\text{m}$ 규모의 경질판 PC(Poly Carbonate)구조 단동 플라스틱 하우스(이하에서는 약칭하여 하우스로 표기함) 4개동으로 구성되어 있으며, 동일 부지 내에서 동일한 인동간격, 크기, 향으로 배치함으로써 최대한 동일한 환경조건이 유지될 수 있도록 설계하였다(Fig. 3,4참조). 각 하우스의 중앙 최상부에는 길이 방향으로 부분적으로 개폐할 수 있는 천창이, 각 하우스의 양측면에는 권취형 측창이 설치되어 있고, 각 측창이 개폐되는 폭은 0.7m이다. 그리고, 하우스 단변방향 양측 출입구 상부에는 환기팬을 각각 설치하였다(Table 2, Fig. 5참조). 하우스 내부에는 과수(단감, 배)가 식재되어 있으며, Fig. 6, 7에 나타낸 바와 같이 환경조절을 위하여 미스트 분무장치, 스프링클러 관수장치를 설치하였다. 미스트 노즐과 스프링클러 헤드는 지상 2~3m 높이에 길이방향으로 각각 3개 라인, 5개 라인으로 일정간격마다 설치하였다(Fig. 8, 9참조). 또한 이들은 피스톤 펌프에 의해 가압된다. 미스트 노즐 및 스프링클러 헤드에서 분무되는 물입자의 입경을 현수법(懸僮法)에 의해 측정된 결과, Table 3, 4에 나타난 바와 같이 미스트 및 스프링클러 분무입자의 평균입경은 각각 $49\mu\text{m}$, $680\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 현수법은 분무되는 물입자의 밀도보다 밀도가 큰 실리콘 오일을 유리판에 균일하게 도포한 후, 이 곳에 물 입자를 점착시켜 그 직경을 측정하는 방법이다. 현수법을 이용함으로써, 분무된 물 입자를 형태가 왜곡되지 않은 진구상태(眞球常態)에서 측정할 수 있었다.



(a) Plane views



(b) Elevation views



(c) Vertical-section views

(unit : m)

Temperature

- Two measuring point. (0.8 and 2.0m above the ground.)
- ★ Five measuring point. (0.4, 0.8, 1.2, 2.0 and 2.8m above the ground.)
- Six measuring point (0.4, 0.8, 1.2, 2.0, 2.8 and 4.0m above the ground.)
- ◇ Measurement of outdoor air-temp.
- △ Measurement of globe temp. (1.0m above the ground.)

Solar radiation

- ▼ Indoor solar radiation.
- ◆ Outdoor solar radiation.

Relative humidity

- ▶ Indoor relative humidity
- ▽ Outdoor relative humidity

Fig. 2 Shapes and measuring points of green house models

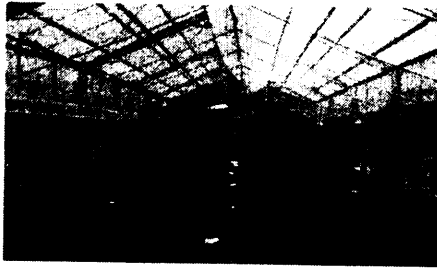


Fig. 3 An inner appearance of plastic greenhouse



Fig. 4 An outer appearance of plastic greenhouse

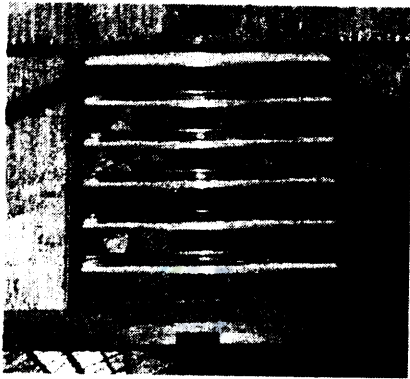


Fig. 5 Fan for ventilation

Table 2. Specification of fan

Fan blades Size	450 mm
Rated Speed	1,680 rpm
Power Consumption	450 W
Maximum Airflow	125 m ³ /min
Maximum Pressure	26 mmAg

2. 측정항목 및 측정개요

측정대상 공간은 Fig. 2와 같이 하우스 내부면적이 비교적 넓으므로, 해석대상공간의 대칭성과 실험의 편리성 등을 고려하여 하우

스내 온열공기환경에 관한 분포특성이 파악될 수 있는 최소한의 공간만을 측정대상 공간으로 선정하여 실험을 실시하였다. 이 공간 내 온도, 상대습도, 흑구온도는 각 센서로부터 데이터 로거 (Datascan 7320, Datascan사)를 통해 매분마다 컴퓨터에 입력된다. 하우스내 공기온도, 흑구온도 및 외기온도는 열전대(T-type)를 이용하여 측정하였다.

Table 3. Mist particle size

Particle size	Number	Ratio(%)
0 ~ 15 μm	4	2.5
15 ~ 30 μm	22	14.0
30 ~ 45 μm	43	27.4
45 ~ 60 μm	40	25.5
60 ~ 75 μm	27	17.2
75 ~ 90 μm	16	10.2
90 μm 이상	5	3.2
Sum	157	100

Table 4. Sprinkler particle size

Particle size	Number	Ratio(%)
0 ~ 300 μm	1	0.7
300 ~ 600 μm	78	53.8
600 ~ 900 μm	43	29.7
900 ~ 1200 μm	15	10.3
1200 ~ 1500 μm	1	0.7
1500 ~ 1800 μm	6	4.1
1800 ~ 2100 μm	1	0.7
Sum	145	100

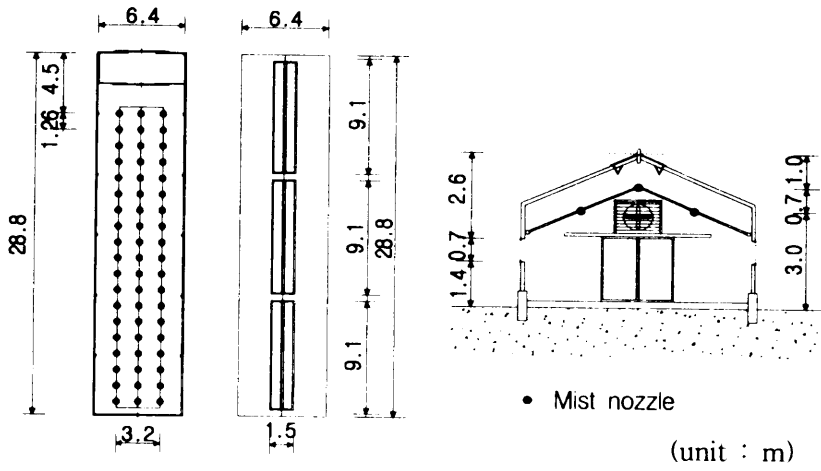


Fig. 6 Location of mist in greenhouse

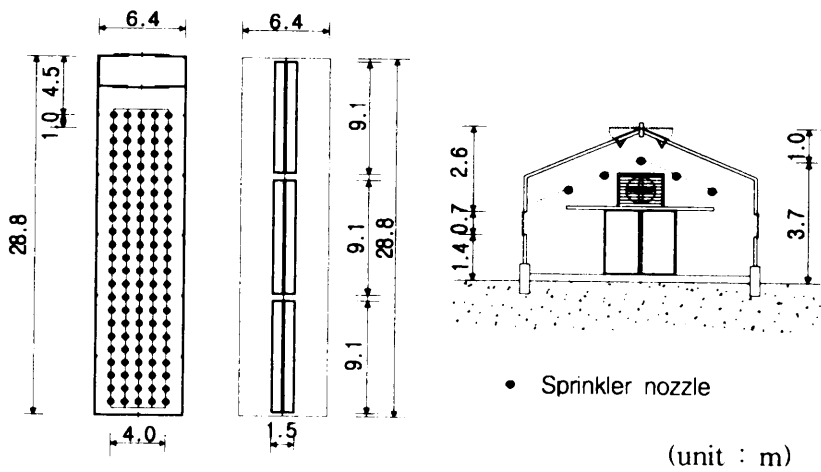


Fig. 7 Location of sprinkler in greenhouse

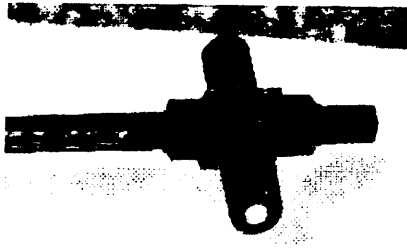


Fig. 8 Mist nozzle

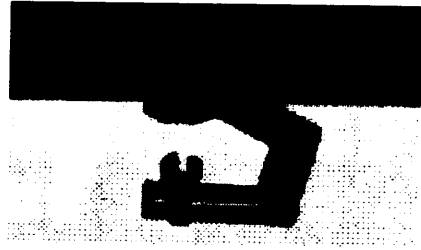


Fig. 9 Sprinkler nozzle

(1) 온도

온도 측정점은 하우스 내부공간의 온도분포를 상세히 파악할 수 있도록 4개동에 총 140여점을 선정하였다. 연직방향의 온도분포를 규명하기 위하여 각 하우스마다 길이방향으로 1개 단면을 상세 측정단면(3개의 측정군)으로 선정하고, 각 측정군당 지상 0.4, 0.8, 1.2, 2.0, 2.8, 4.0m높이에 열전대를 설치하여 측정하였다. 또한, 수평방향에 대해서도 각 하우스마다 9개의 측정군을 선정하고, 각 측정군당 상하 2개의 측정점(재배되는 작물의 높이를 2단계로 가정. 지상 0.8m높이와 지상 2.0m높이)을 설치하였다. 외기온도는 하우스 외부 2개소에서 측정하였다. 정확한 온도측정을 위하여 모든 온도 센서의 직상부에 일사차폐물을 설치하여, 센서부가 직접적으로 일사에 노출되지 않도록 배려하였다. 실험결과는 각 하우스마다 지상 0.8m 높이를 기준높이로 가정하여, 기준높이에 설치된 9개의 평균 공기온도를 실내기준온도로 정의하여 정리하였다.

(2) 상대습도

상대습도를 계측하기 위하여 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 각 하우스내측 중앙부(지상 1.2m높이)와 하우스외측 지붕상부에 각 한 점씩의 상대습도계(HD8608TC/150, Delta OHM사)를 설치하여 하우스내외의 상대습도를 매분마다 측정하였다.

(3) 흑구온도

실내 공기온도 이외에 하우스중앙 지상 0.8m높이(1개소)에 흑구 온도계(Vernon식, SATO사)를 설치하여 하우스내 복사환경까지 평

가하였다. 흑구온도계는 1930년에 H.M. Vernon에 의해 고안된 것으로 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 지름이 150~250mm인 무광택 흑색 구리구 가운데 건구온도계를 꽂은 것으로 복사효과와 기온을 복합적으로 반영한 온도이다.

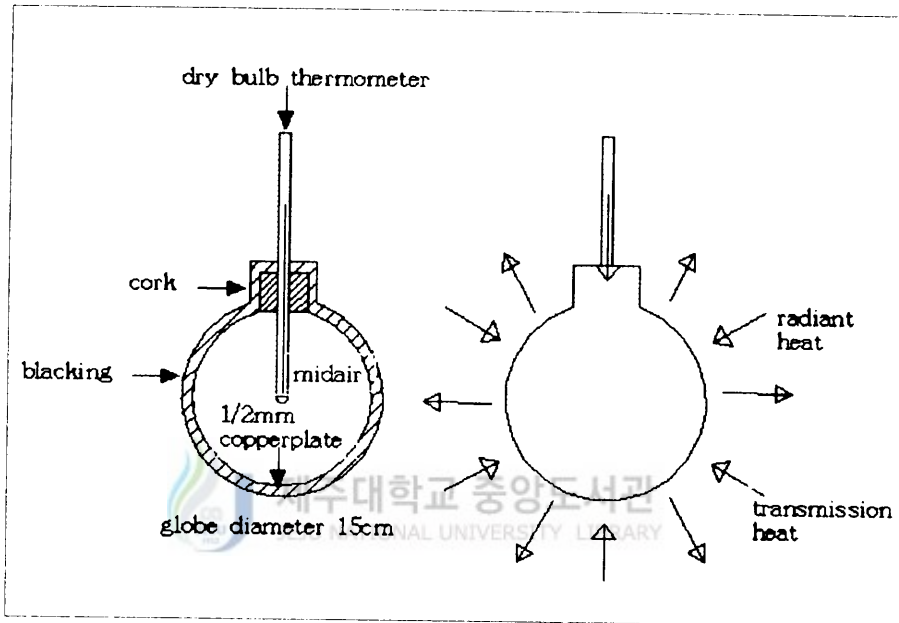


Fig. 10 Globe thermometer

3. 실험대상 하우스의 대칭성 실험

동일 부지내에 위치한 4개동 하우스에서 실시한 실험결과들을 보다 객관적으로 비교하기 위하여 본 실험에 앞서 각 하우스간 온도 분포의 발생여부를 확인하는 대칭성 실험을 실시하였다. 대칭성 실험은 모든 하우스의 천·측창을 개방한 상태에서 동시에 온도를 계측하여, 각 하우스간에 발생하는 온도차를 비교하였다. 기준높이(지상 0.8m높이)에서 측정된 공기온도를 각 하우스의 대표온도로 설정하였으며, 측정된 대칭성 실험결과를 Table 5 및 Fig. 11에 나타내었다. 각 하우스의 온도분포는 시간대에 따라 다소 차이를 나

타내고 있으나, 비교적 실온이 상승한 12~15시의 하우스간 온도차는 최대 1.1℃를 나타내었다. 이러한 온도차는 주로 외측(하우스A, D)과 내측(하우스B, C)에 위치한 하우스간에 발생된 온도차로서, 외측에 위치한 하우스의 경우 내측보다 천·측창을 통한 자연환기가 원활하여 상대적으로 낮은 온도를 나타낸 것으로 추정된다.

Table 5. Temperature comparison of each greenhouse by pre-test.
(August. 1, 1999)

House	Time	0:00~	3:00~	6:00~	9:00~	12:00~	15:00~	18:00~	21:00~
		3:00	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	0:00
Model A		-0.1	-0.1	1.6	4.0	3.1	1.9	0.2	-0.2
Model B		0.4	0.4	2.1	4.3	4.2	3.3	1.0	0.3
Model C		0.1	0.1	1.9	4.2	4.0	3.4	0.6	0.1
Model D		-0.2	-0.2	0.9	3.2	3.2	2.6	0.3	-0.3

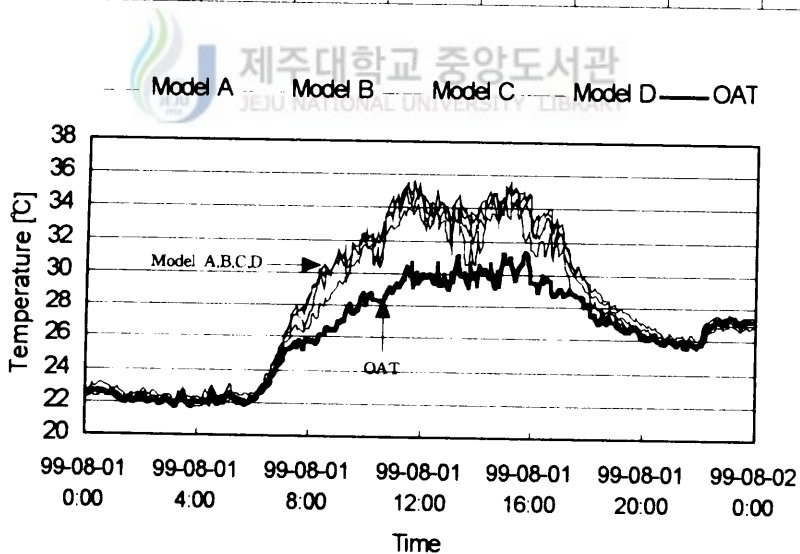


Fig. 11 Comparison of IAT and OAT with time.

(IAT : Indoor air temp., OAT : Outdoor air temp.)

* The value in this table mean temperature difference of indoor and outdoor

4. 하우스별 실험종류 및 설정조건

실험종류 및 설정조건의 상세를 Table 6에 나타내었다. 천·측창 개폐여부 및 미스트, 스프링클러 작동여부를 주요 실험변수로 설정하였으며, 실험은 동일 시간대에 동시에 실시함으로써 각 변수간의 냉각효과를 정량적으로 비교할 수 있도록 하였다. Case 1은 천·측창 개폐상태와 환기팬 작동여부를 변수로 하여, 이들 변수들의 조합에 따른 하우스 냉각효과를 비교·검토하기 위해 설정된 실험이다. 하우스 A는 천·측창을 인위적으로 폐쇄함으로써 개폐장치 고장 등의 조작 불능시를 가정하여 하우스내 온열환경을 검토하기 위한 실험조건이다. 하우스 B는 천·측창을 폐쇄한 상태에서 환기팬만을 가동시킨 경우이며, 하우스 C는 일선 농가에서 흔히 행해지고 있는 패턴으로써, 하우스 천측창을 모두 개방한 상태에서 추가적인 환기팬의 작동에 따른 냉각효과를 검증하기 위해 설정된 실험이다. 그리고, 하우스 D는 천·측창을 개방하여 자연환기를 도입한 경우이다. Case2는 측창 개폐여부 및 수분무에 따른 하우스내 증발냉각 효과를 도모하기 위하여 설정된 실험으로서 수분무의 경우 분무입자의 입경변화에 따른 냉각효과를 검토하였다. 하우스A는 측창을 인위적으로 폐쇄하여 하우스 개폐장치고장 등의 극한 상태에서의 하우스내 온열환경을 검토하기 위해 설정된 실험이다. 하우스B는 측창을 개방하고 미스트 분무시간을 90초, 휴지시간을 300초로 설정하여 미스트를 단속적으로 작동시킨 경우이고, 하우스 C는 하우스B와 동일한 실험조건에서 분무입자가 미립자인 미스트 대신 입경이 큰 스프링클러를 작동시킨 경우이며, 하우스D는 측창을 개방하여 자연환기가 이루어질 수 있도록 설정하였다. Case3은 스프링클러 관수시에 수반되는 냉각효과를 검토하기 위해 설정된 실험으로서 스프링클러를 30분간 연속적으로 작동시켜 하우스내 온도하강 정도를 평가하였다. 그 밖의 하우스A, B, D의 실험조건은 Case2와 동일한 조건으로 설정하였다. 실험은 1999년 10월 초순

의 맑은 날을 선택하여, 하우스내 온도가 상승하는 낮 시간에 국한하여 단속적으로 실시하였다. 실험결과는 각 하우스마다 지상 0.8m 높이를 기준높이로 가정하여, 기준높이에 설치된 9개의 평균공기온도(기준면온도)를 실내기준온도로 정의하여 정리하였다.

Table 6. Experimental conditions

Item	Condition					Working time of sprinkler [min]	Pause time of sprinkler [min]	Working time of mist [min]	Pause time of mistr [min]	
	Roof vent	Side vent	Fan	Sprinkler	Mist					
Case 1	Model A	x	x	x	x	x	-	-	-	-
	Model B	x	x	○	x	x	-	-	-	-
	Model C	○	○	○	x	x	-	-	-	-
	Model D	○	○	x	x	x	-	-	-	-
Case 2	Model A	x	x	x	x	x	-	-	-	-
	Model B	x	○	x	x	○	-	-	1.5	5
	Model C	x	○	x	○	x	1.5	5	-	-
	Model D	x	○	x	x	x	-	-	-	-
Case 3	Model A	x	x	x	x	x	-	-	-	-
	Model B	x	○	x	x	○	-	-	1.5	5
	Model C	x	○	x	○	x	30	-	-	-
	Model D	x	○	x	x	x	-	-	-	-

IV. 실험 결과의 분석 및 고찰

1. 비관수시의 천·측창 개폐 및 환기팬을 가동한 경우의 냉각효과 검토 (Case 1)

(1) 실내 기준온도

각 하우스의 실내 기준온도를 Table 7, Fig. 12에 나타내었다. 천·측창 개폐장치 및 환기팬 작동 불능시를 가정하여 천·측창 및 환기팬을 가동시키지 않은 하우스 A의 경우, 실내 기준온도는 외기온보다 약 16.4°C 높은 42.5°C 의 고온을 나타내었다. 이러한 온도는 하우스내 재배작물의 적정 생육온도를 크게 상회하는 사실상 극한 환경임을 시사한 것이다. 하우스 B의 경우는 하우스 A와 동일한 하우스 상태(고온)에서 환기팬을 일정시간(30분) 동안 연속적으로 가동할 경우의 냉각효과를 검토하기 위한 실험조건이다. 이 경우의 실내 기준온도는 35.8°C 로서 전술한 하우스 A보다 6.7°C 낮고, 외기온보다 9.7°C 높게 나타났다. 이러한 결과는 환기팬의 가동 시간, 환기량, 외기온도, 유입일사량 및 하우스 조건에 따라 다소 상이할 것으로 추정된다. 천·측창을 개방한 상태에서 추가적인 환기팬의 가동에 따른 냉각효과를 검토하기 위해 설정된 하우스 C, D의 경우, 환기팬의 가동여부에 관계없이 양 하우스 모두 거의 동일한 온도를 나타내었으며, 하우스 C, D의 실내 기준온도는 외기온보다 약 3.1°C 높고, 하우스 A의 경우보다는 13.3°C 낮게 나타났다. 이와 같이, 천·측창을 개방한 상태에서는 환기팬의 가동에 관계없이 동일한 실내 기준온도를 나타낸 것은 이미 하우스의 천·측창이 개방되어 비교적 충분한 환기량이 확보됨으로서, 환기팬에 의한 환기량이 추가로 확보되더라도 실온저하에는 거의 기여하지 못함을 입증한 것이다.

Table 7. Relative comparison of experimental results

Item			0.8m ^z [℃]	Outdoor air temp. [℃]	Globe temp. [℃]	Indoor relative humidity [%]	Outdoor relative humidity [%]
Case 1	Model A	WB ^y	41.9	24.7	54.1	60	34
		WA ^x	42.5	26.1	54.5	62	31
	Model B	WB ^y	41.8	24.7	-	65	34
		WA ^x	35.8	26.1	-	53	31
	Model C	WB ^y	29.7	24.7	43.5	43	34
		WA ^x	29.1	26.1	40.5	42	31
	Model D	WB ^y	28.7	24.7	45.4	43	34
		WA ^x	29.2	26.1	42.4	44	31
Case 2	Model A	WB ^y	39.3	18.7	54.1	60.2	20.0
		WA ^x	41.2	19.7	57.9	54.6	18.0
	Model B	WB ^y	22.9	18.7	37.2	60.9	20.0
		WA ^x	18.7	19.7	34.4	83.2	18.0
	Model C	WB ^y	23.1	18.7	37.1	50.6	20.0
		WA ^x	19.7	19.7	24.3	100	18.0
	Model D	WB ^y	23.3	18.7	37.1	50.8	20.0
		WA ^x	25.1	19.7	46.1	49.1	18.0
Case 3	Model A	WB ^y	31.1	20.1	36.5	77.7	39.4
		WA ^x	31.5	20.2	38.1	75.0	33.8
	Model B	WB ^y	22.3	20.1	27.1	74.5	39.4
		WA ^x	18.7	20.2	21.6	87.3	33.8
	Model C	WB ^y	21.6	20.1	26.7	70.7	39.4
		WA ^x	18.2	20.2	19.6	100	33.8
	Model D	WB ^y	22.1	20.1	27.6	71.6	39.4
		WA ^x	22.5	20.2	30.0	65.7	33.8

^z0.8m : Indoor air temp. at 0.8m height on the ground

^yWB : Working Before

^xWA : Working After

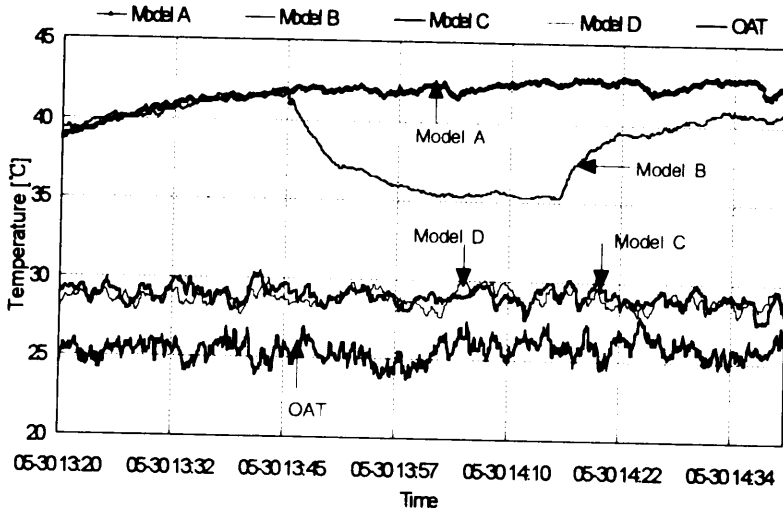


Fig. 12. Variations of indoor air temp. at each models (Case 1)
OAT : Outdoor air temp.

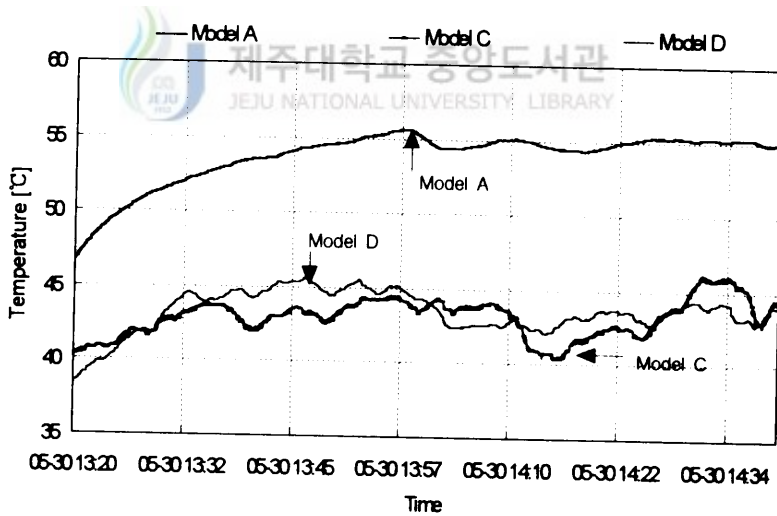


Fig. 13. Variations of globe temp. with time (Case 1)

(2) 실내 흑구온도

각 하우스별 실내 흑구온도를 Table 7, Fig. 13에 나타내었다. 하우스내 복사효과와 주변 공기온도를 복합적으로 반영한 온도지표인 실내 흑구온도는 하우스 A의 경우, 강한 태양복사의 유입과 고

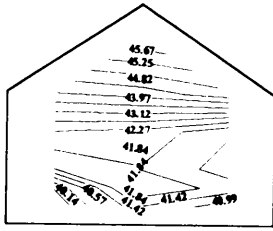
온의 실내온도가 흑구온도에 즉각 반영되어 실내 기준온도보다 1℃ 높은 54.5℃를 나타내었다. 실내 흑구온도는 실제 하우스내의 작물이 느끼게 되는 환경온도에 가까운 온도지표임을 감안한다면, 이러한 온도는 작물생존에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 극한온도로 풀이된다. 천·측창을 개방한 하우스 C, D의 실내 흑구온도는 각각 40.5℃와 42.4℃로써, 하우스 A보다 현저히 낮은 온도를 나타내었다.

(3) 실내 연직 및 수평 온도분포

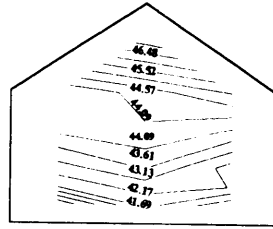
각 하우스별 연직, 수평 온도분포를 Fig. 14, 15에 나타내었다. 천·측창을 폐쇄한 하우스 A의 경우, 약 4~5℃ 정도의 상하온도차가 측정되었으며, 전술한 바와 같이 다량의 일사유입과 천·측창 폐쇄의 영향으로 하우스 전체가 고온을 나타내었다. 수평방향으로는 약 1℃ 정도의 균일한 온도분포를 나타내었다. 하우스 A와 동일한 조건에서 환기팬을 가동한 하우스 B의 경우는 환기팬 가동직전과 가동개시 30분 후의 연직방향 온도분포는 각각 약 5℃와 1.5℃, 수평방향으로는 1℃ 정도의 온도차가 측정되었다. 하우스 A, B의 실험결과에서 환기팬 가동시의 위치별 온도분포가 비가동시보다 상대적으로 작게 나타난 것은 환기팬에 의해 유입된 외기가 하우스내 공기를 효과적으로 유동시키기 때문인 것으로 풀이된다. 그리고, 천·측창을 개방한 하우스 C, D의 경우는 연직방향, 수평방향 모두 1℃ 정도의 극히 균일한 온도분포를 나타내었다.

(4) 상대습도

옥내의 상대습도를 Table 7, Fig. 16에 나타내었다. 옥외 상대습도는 약 31%로 나타났으나, 실내 상대습도는 각 하우스에 따라 상이한 분포를 나타내었다. 각 하우스별 평균 상대습도는 하우스 A가 62%를 나타내었으며, 천·측창을 폐쇄한 상태에서 환기팬을 가동한 하우스 B의 경우, 환기팬 가동전과 가동시의 상대습도는 각각 65%와 53%를, 천·측창을 개방한 하우스 C, D의 상대습도는 양자 모두 약 43%로서 거의 동일한 값을 나타내었다.

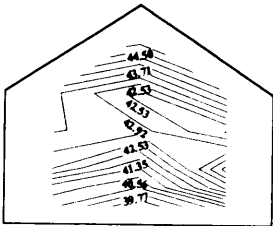


Elevation contour before fan operation (13:44)

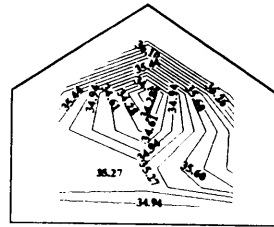


Elevation contour after fan operation (14:14)

(a) Model A

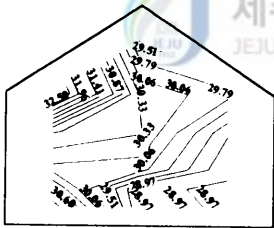


Elevation contour before fan operation (13:44)

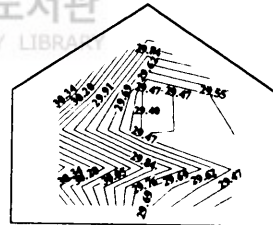


Elevation contour after fan operation (14:14)

(b) Model B

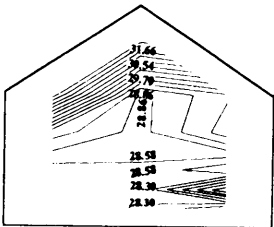


Elevation contour before fan operation (13:44)

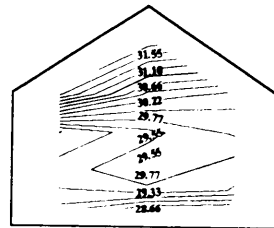


Elevation contour after fan operation (14:14)

(c) Model C



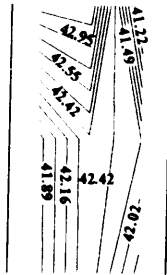
Elevation contour before fan operation (13:44)



Elevation contour after fan operation (14:14)

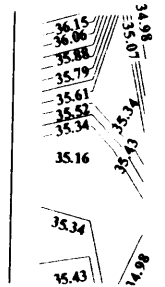
(d) Model D

Fig. 14 Vertical air temp. distributions in plastic greenhouse (Case 1)



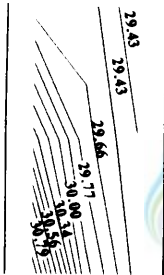
Plan contour after fan operation (14:14)

(a) Model A



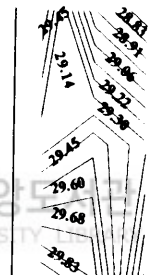
Plan contour after fan operation (14:14)

(b) Model B



Plan contour after fan operation (14:14)

(c) Model C



Plan contour after fan operation (14:14)

(d) Model D

Fig. 15 Horizontal air temp. distributions in plastic greenhouse (Case 1)

2. 측창 개폐여부 및 수분무시 분무입자의 입경변화가 하우스내 온열환경에 미치는 영향(Case2)

(1) 실내기준온도

각 하우스의 실내기준온도를 Fig. 17, Table 7에 나타내었다. 천·측창 개폐장치 및 환기팬 작동 불능시를 가정하여 천·측창 및 환기팬을 가동시키지 않은 하우스A의 경우, 실내기준온도는 외기온도보다 21.5℃가 높은 41.2℃로서 하우스내 재배작물의 적정생

육온도를 크게 상회하는 사실상 극한 환경을 형성하였다. 측창을 개방한 상태에서 미스트를 단속적으로 작동시킨 하우스B의 실내기 준온도는 미스트가 분무됨과 동시에 급격히 하강한 후 미스트작동이 멈춤과 동시에 온도는 반전하기 시작하여 시간이 경과함에 따라 미스트 작동전의 온도까지 상승하였다. 그 후, 재차 미스트가 분무됨에 따라 실내기 온도는 약 18.7~22.7℃를 나타내어 약 4℃의 온도변화폭을 나타내었다. 하우스B의 미스트 분무시와 동일한 조건에서 물입자의 입경이 큰 스프링클러를 작동시킨 하우스C의 경우는 스프링클러 작동과 동시에 온도가 급격히 하강하였다. 스프링클러 작동후 실내기 온도는 약 19.4~21.4℃를 나타내어 전술한 하우스B(미스트 분무시)의 온도하강폭인 4℃보다 적은 약 2℃의 온도하강폭을 나타내었다. 이것은 분무입자가 큰 스프링클러 작동 시에는 자체 비중에 의해 분무입자의 하강속도가 증가하여 미립자인 미스트의 경우보다 주변공기와의 접촉시간(증발냉각)이 크게 감소한 반면, 미스트의 경우 분무입자는 분무와 동시에 에어로졸(Aerosol)상태를 유지함으로써 증발냉각작용이 보다 촉진되었기 때문으로 풀이된다. 또한, 휴지시간에 실내기 온도는 스프링클러를 작동한 하우스C가 미스트를 분무한 하우스B보다 완만히 상승하는 것으로 나타났다. 이것은 노즐입경이 현저히 큰 스프링클러 작동 시에는 물입자가 지면을 적셔줌으로서 휴지시간중에도 증발냉각이 지속되었기 때문으로 추정된다. 미스트 분무시에는 휴지시간대에 비교적 빠른 온도상승을 나타냄으로 하우스를 일정실온으로 유지하기 위해서는 미스트 분무시간 및 휴지시간의 조정이 중요한 역할을 할 것으로 추정된다. 미스트 분무시 고온장해와 습도장해를 극복하고 보다 쾌적한 실내환경을 유지하기 위해서는 미스트 분무량 및 분무시간과 휴지시간을 적절히 고려해야 한다¹⁶⁾. 자연환기에 의한 냉각효과를 검토하기 위한 하우스D의 경우 실내기 온도는

16) 허종철, 최동호, 임종환, 서효덕(1999). 미스트 분무시간 및 휴지시간 변화에 따른 하우스 냉각효과 검토, 한국생물환경조절학회논문집, 8(2), p.61.

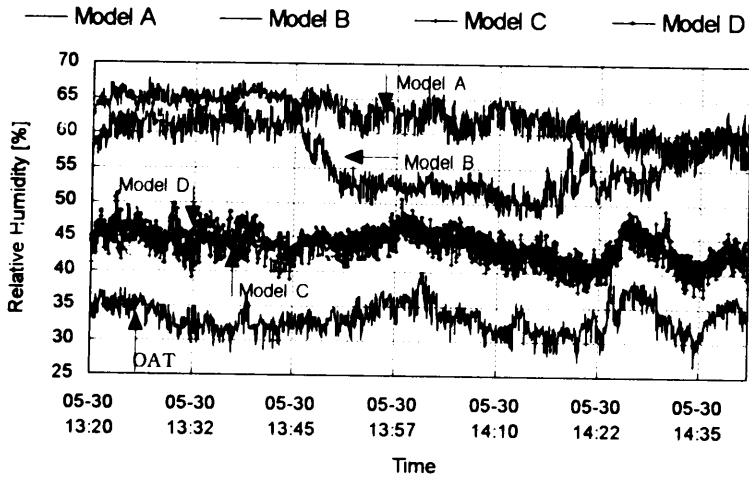


Fig. 16. Variations of relative humidity (Case 1)

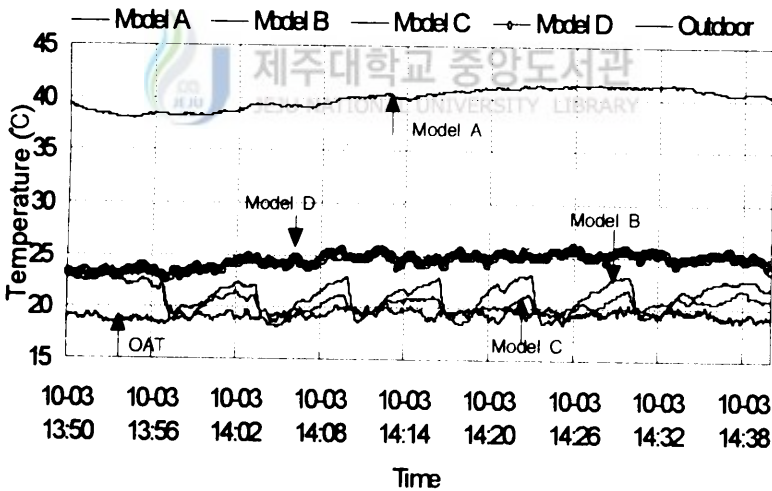


Fig. 17 Variations of indoor air temp. at each models (Case 2)

25.1°C로서 측창을 개방하지 않은 하우스A와 비교하면 무려 16.1°C나 낮은 온도를 나타냈으나, 외기온보다는 약 5°C정도 높게 나타났다. 이상의 결과에서 하우스내 온도를 외기온 이하로 유지하기 위해서는 자연환기만으로는 불가능하며 미스트 및 관수에 의한 수분

증발에 따른 증발냉각효과를 이용한 시스템의 적용이 유효한 것으로 조사되었다.

(2) 실내흑구온도

하우스내의 복사환경과 기온을 복합적으로 반영한 온도지표인 흑구온도는 하우스내 작물의 체감온도에 근사한 온도를 나타내므로 온열환경평가시 중요한 온도지표로 활용된다. 각 하우스별 실내흑구온도를 Table 7, Fig. 18에 나타내었다. 천·측창 및 환기팬을 가동하지 않은 하우스A의 경우 실내흑구온도는 57.9℃로서, 실내기준 온도보다 약 16℃정도 높은 고온을 나타내었다. 측창을 개방하고 미스트를 작동한 하우스B의 흑구온도는 미스트 분무전 37.2℃에서 분무후 34.4℃로 하강하여 약 3℃의 냉각효과를 나타내었고, 하우스B의 미스트 분무시와 동일한 조건에서 스프링클러를 작동시킨 하우스C의 경우에는 미스트 분무시보다 분무입자가 큰 스프링클러 헤드에서 분출된 물입자가 흑구온도계의 흑구표면에 수막을 형성시켜 흑구온도계 표면으로 유입되는 태양복사 에너지와 주변 공기로부터의 전달열량이 기화열로 치환됨으로서, 실내흑구온도는 미스

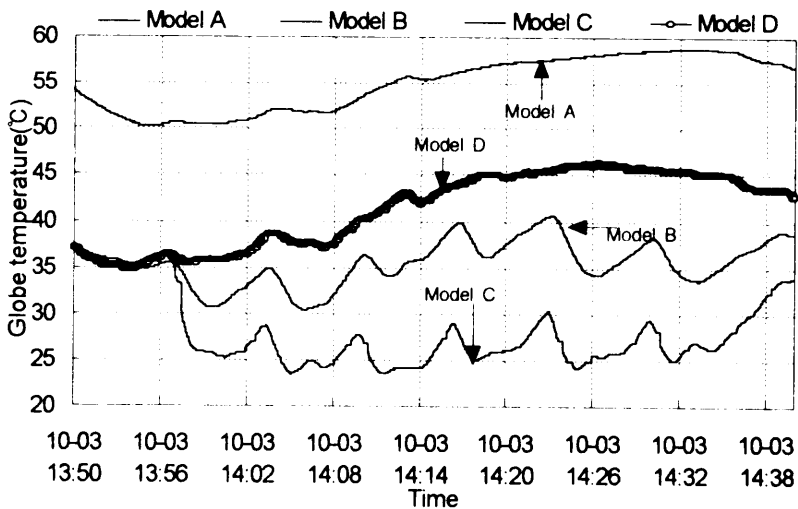


Fig. 18 Variations of globe temp. with time (Case 2)

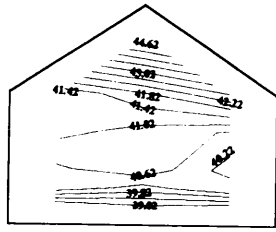
트 분무시보다 비교적 저온을 나타내었다. 스프링클러 작동전 37.1℃를 나타낸 흑구온도는 작동후 24.3℃까지 하강하여 약 13℃의 온도저하를 나타내었다. 측창을 개방하여 자연환기를 실내로 도입한 하우스D의 흑구온도는 46.1℃로 실내기준온도보다 21℃ 높게 나타났으며, 하우스A의 실내흑구온도보다 약 12℃ 낮은 온도를 나타내었다.

(3) 실내 연직 및 수평온도분포

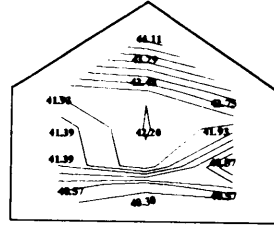
각 하우스별 연직, 수평온도분포를 Fig. 19, 20에 나타내었다. 천·측창을 폐쇄한 하우스A의 상하온도차는 약 4℃이내로서 현격한 온도차는 관측되지 않았으나, 다량의 일사가 실내로 유입됨에 따라 하우스내에는 40℃이상의 고온을 나타내었다. 미스트를 작동한 하우스B와 스프링클러를 작동시킨 하우스C의 연직온도분포는 분무헤드가 설치된 지상 2~3m높이보다 하부공간에서는 위치에 관계없이 상하온도차 1℃이내의 극히 균일한 온도분포를 나타내었으며, 상부공간에는 분출된 물입자가 상대적으로 적게 도달되므로 그 하부보다 높은 온도를 나타내었다. 측창만을 개방한 하우스D의 경우는 지상 3.7m이하에서는 약 2℃이내의 비교적 균일한 상하온도를 나타내었으나, 실 상부에서는 측창에 의한 자연환기의 영향을 거의 받지 않기 때문에 약 10℃내외의 비교적 큰 온도차를 나타내었다. 즉, 자연환기효과를 보다 촉진시키기 위해서는 하우스 측창뿐 아니라 이에 연동하여 천창을 개방한다면 상부에 정체된 열기를 보다 효과적으로 배출할 수 있을 것으로 추정된다. 한편, 수평온도분포는 모든 하우스에서 1℃이내의 균일한 온도를 나타내었다.

(4) 상대습도

옥내의 상대습도를 Table 7, Fig. 21에 나타내었다. 계측된 옥외 상대습도는 18%로서 다소 건조한 날에 실험이 실시되었다. 측창을 폐쇄한 하우스A의 상대습도는 54.6%를 나타내었으며, 측창을 개방한 하우스D의 상대습도는 비교적 건조한 외기가 실내로 유입됨으로서 다소 낮은 49.1%를 나타내었다. 미스트를 분무한 하우스B의

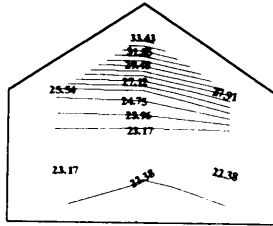


(a) Model A

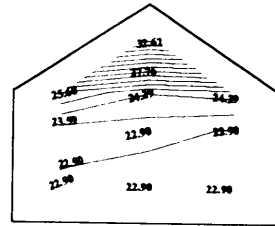


Elevation contour after sprinkler and mist operation (14:25)

Elevation contour before sprinkler and mist operation (13:50)

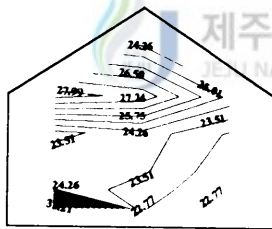


(b) Model B

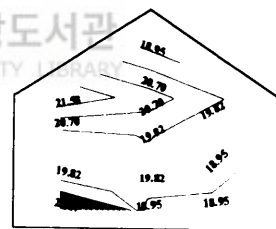


Elevation contour after sprinkler and mist operation (14:25)

Elevation contour before sprinkler and mist operation (13:50)

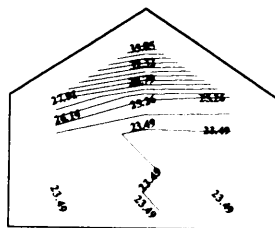


(c) Model C

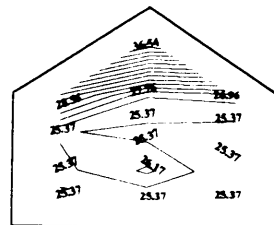


Elevation contour after sprinkler and mist operation (14:25)

Elevation contour before sprinkler and mist operation (13:50)



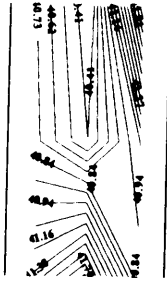
(d) Model D



Elevation contour after sprinkler and mist operation (14:25)

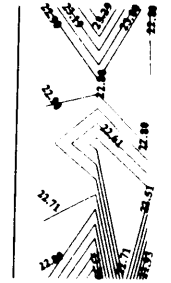
Elevation contour before sprinkler and mist operation (13:50)

Fig. 19 Vertical air temp. distributions in plastic greenhouse (Case 2)



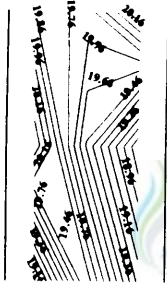
Plan contour after sprinkler and mist operation (14:25)

(a) Model A



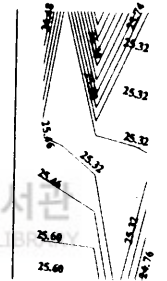
Plan contour after sprinkler and mist operation (14:25)

(b) Model B



Plan contour after sprinkler and mist operation (14:25)

(c) Model C



Plan contour after sprinkler and mist operation (14:25)

(d) Model D

Fig. 20 Horizontal air temp. distributions in plastic greenhouse (Case 2)

상대습도는 약 58~83.2%범위로서 최고최저상대습도의 차이는 약 25%를 나타내었으며, 작동전보다 약 22% 높게 나타났다. 식물의 생장은 낮은 상대습도에서보다 높은 여름철 하우스내 온도에 의해서 크게 영향을 받고 작물의 광합성에 대한 영향도 온도에 비하여 그다지 크지 않기 때문에 일반적으로 40~90%범위에서는 그 영향을 무시할 수 있으므로¹⁷⁾ 미스트 분무에 따른 과습은 없는 것으로 판단된다. 스프링클러를 작동시킨 하우스C의 상대습도는 작동과 동

17) 농촌진흥청(1993), 시설재배지 관수, 관비, 방제 종합시스템의 자동제어장치 개발, 제 3차년도 보고서, p.96.

시에 급격히 상승하여 상대습도 100%에 근접한 값을 나타내었다. 이것은 스프링클러 헤드에서 분출된 물입자가 비교적 단시간에 실내에 설치된 습도계의 센서부에 점착한 후 수막을 형성(과포화 상태)하므로써, 실제 상대습도보다 높게 측정된 것으로 풀이된다. 이러한 현상은 스프링클러 작동이 중단된 후에도 센서부에 형성된 수막이 증발하기까지(수분이 평행상태로 되는데 걸리는 시간)는 지속되고 있으므로, 정확한 습도측정을 위해서는 센서부의 수막형성을 억제할 수 있는 차폐물을 설치하는 등의 적절한 대책을 강구하여야 할 것으로 사료된다.

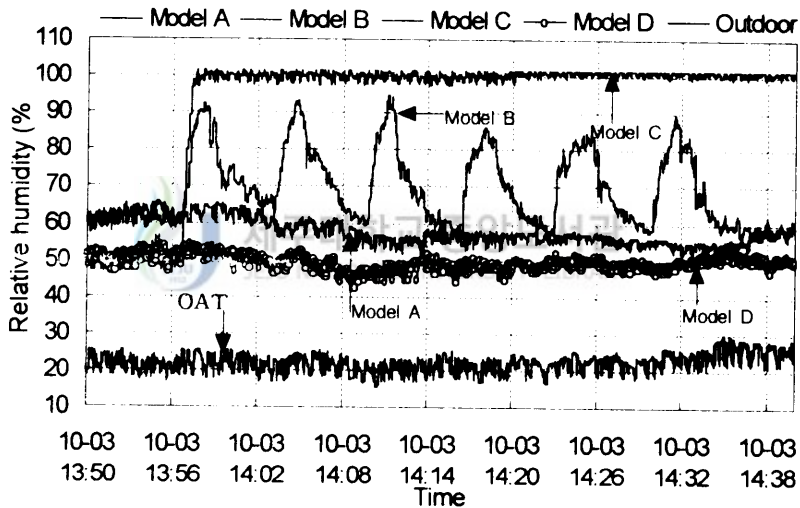


Fig. 21 Variations of relative humidity (Case 2)

3. 측창 개폐여부 및 스프링클러관수에 따른 냉각효과(Case3)

관수용 스프링클러를 작물에 수분을 공급할 때와 같이 30분동안 연속적으로 작동하였을 경우에 수반되는 하우스냉각효과를 검토하기 위한 실험이다.

(1) 실내기준온도

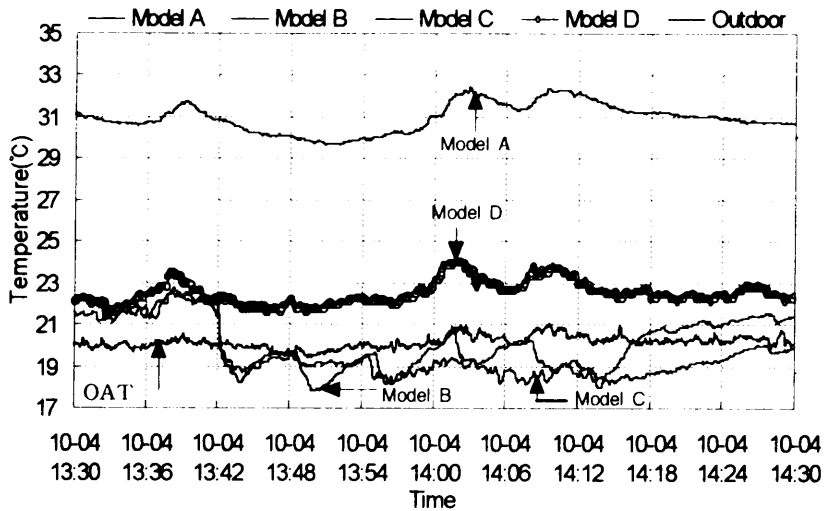


Fig. 22 Variations of indoor air temp. at each models (Case 3)

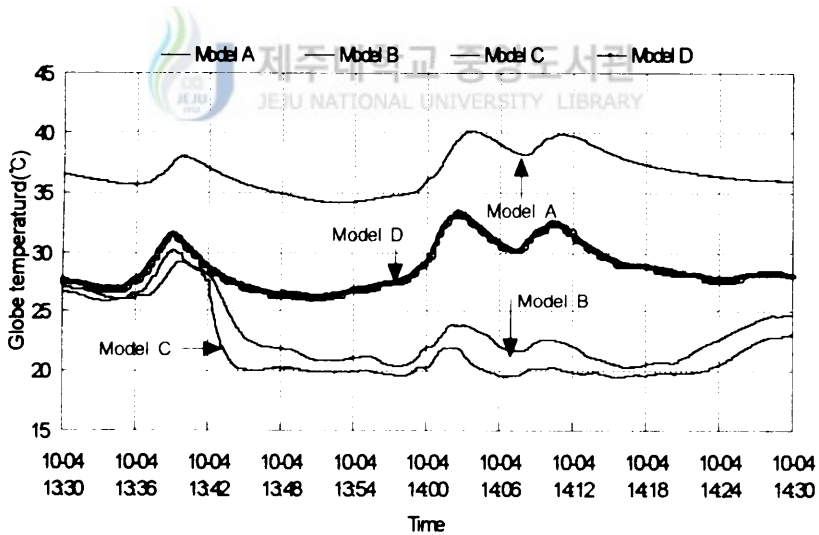


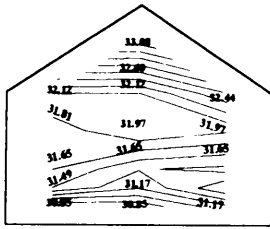
Fig. 23 Variations of globe temp. with time (Case 3)

각 하우스의 실내기준온도를 Table 7, Fig. 22에 나타내었다. 천·측창 및 환기팬을 가동하지 않은 하우스A의 경우, 실내기준온도는 31.5°C로서 외기온도보다 11°C 정도 높게 나타났다. 측창을

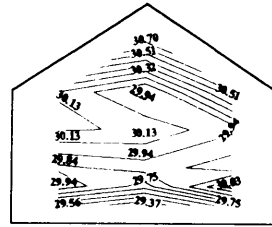
개방한 상태에서 미스트를 작동시킨 하우스B의 실내기준온도는 작동전보다 3.6℃ 낮은 18.7℃를 나타내었다. 관수를 목적으로 설치된 스프링클러를 30분동안 연속적으로 작동시킨 하우스C의 경우는 스프링클러 작동과 동시에 온도가 급격히 하강하여 작동전보다 3.4℃ 낮은 18.2℃를 유지하였으며, 온도변화폭 또한 비교적 적은 안정된 온도를 나타내었다. 이상의 결과에서 미스트를 분무한 하우스B와 스프링클러에 의해 관수한 하우스C를 비교하면 온도하강 정도는 미스트를 단속적으로 분무한 경우와 거의 유사한 것으로 조사되었다. 미립자를 분무한 미스트의 경우는 단속적으로 분무하더라도 하우스 증발냉각에 효과적으로 대응하였으며, 스프링클러 또한 관수 시에는 물론 관수종료후에도 일정시간동안 저온상태를 유지하였다. 이같은 결과는 고온기에 관수시간대를 적절히 설정한다면 관수가 하우스 실온저하에 크게 기여할 수 있음을 입증한 것으로 풀이할 수 있다. 자연환기에 의한 냉각효과를 검토하기 위한 하우스D의 경우 실내기준온도는 22.5℃로 측창을 개방하지 않은 하우스A와 비교하면 9℃가 낮은 것으로 나타났다.

(2) 실내흑구온도

각 하우스별 실내흑구온도를 Table 7, Fig. 23에 나타내었다. 전술한 바와 같이, 천·측창 모두를 폐쇄한 하우스A의 실내흑구온도는 34~40℃ 범위의 높은 온도를 나타내었다. 미스트를 작동시킨 하우스B는 20.2~23.8℃ 범위에서 최고최저흑구온도의 차이는 3.6℃를 나타냈다. 스프링클러를 작동시킨 하우스C의 흑구온도는 19.6℃로 최고최저온도차가 없이 균일한 흑구온도를 유지하였다. 이것은 관수용 간이 스프링클러 헤드에서 분출된 물입자가 흑구온도계의 표면을 젖게 하여 습윤상태를 지속시킴으로 인해 흑구온도계 표면으로 유입되는 태양복사열량과 주변공기로부터의 전달열량이 기화열로 치환됨으로서, 하우스C의 흑구온도가 가장 낮은 온도를 나타낸 것으로 풀이된다. 하우스D의 흑구온도는 26.2~33.1℃ 범위로 외기온보다 약 10℃ 상승한 것으로 나타났다.

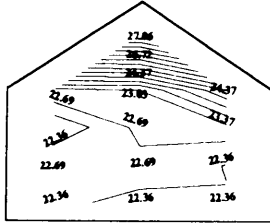


(a) Model A

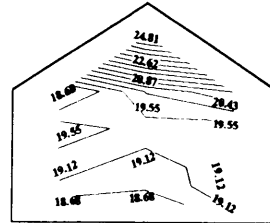


Elevation contour before sprinkler
and mist operation (13:30)

Elevation contour after sprinkler
and mist operation (13:56)

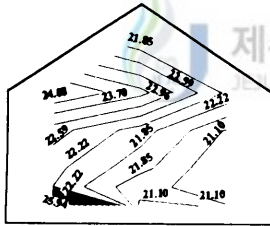


(b) Model B

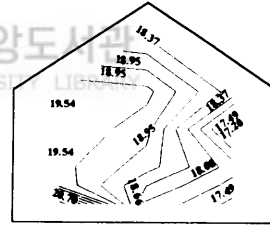


Elevation contour before sprinkler
and mist operation (13:30)

Elevation contour after sprinkler
and mist operation (13:56)

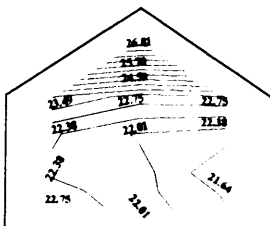


(c) Model C

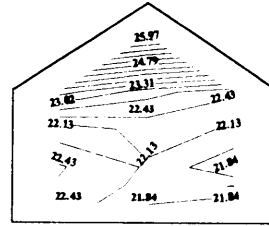


Elevation contour before sprinkler
and mist operation (13:30)

Elevation contour after sprinkler
and mist operation (13:56)



(d) Model D



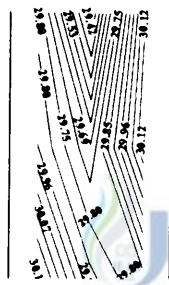
Elevation contour before sprinkler
and mist operation (13:30)

Elevation contour after sprinkler
and mist operation (13:56)

Fig. 24 Vertical air temp. distributions in plastic greenhouse(Case 3)

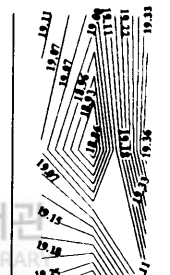
(3) 실내 연직 및 수평온도분포

각 하우스별 연직, 수평온도분포를 Fig. 24, 25에 나타내었다. 천·측창을 폐쇄한 하우스A의 상하온도차는 약 1°C이내로서 거의 균일한 온도를 나타내었다. 미스트를 작동시킨 하우스B와 스프링클러를 작동시킨 하우스C에서는 분무헤드가 설치된 지상 2~3m보다 하부공간에서는 위치에 관계없이 상하온도차 1°C이내의 극히 균일한 온도분포를 나타내었으며, 측창만을 개방한 하우스D의 경우는 약 2°C이내의 상하온도차가 관찰되었다. 수평온도분포는 모든 하우스에서 1°C이내의 균일한 온도를 나타내었다.



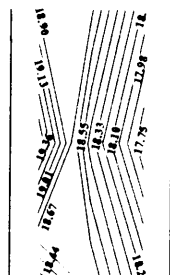
Plan contour after sprinkler and mist operation (13:56)

(a) Model A



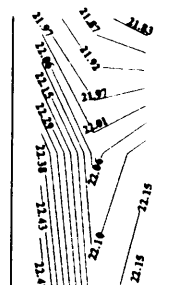
Plan contour after sprinkler and mist operation (13:56)

(b) Model B



Plan contour after sprinkler and mist operation (13:56)

(c) Model C



Plan contour after sprinkler and mist operation (13:56)

(d) Model D

Fig. 25 Horizontal air temp. distributions in plastic greenhouse (Case 3)

(4) 상대습도

각 하우스별 실내의 상대습도를 Table 7, Fig. 26에 나타내었다. 계측된 옥외상대습도는 33.8%로서, 다소 건조한 날에 실험이 실시되었다. 천·측창을 폐쇄한 하우스A의 상대습도는 75%를 나타내었으며, 측창을 개방한 하우스D의 상대습도는 비교적 건조한 외기가 측창을 통해 유입됨으로서 비교적 낮은 65%를 나타내었다. 미스트를 작동시킨 하우스B의 상대습도는 작동과 동시에 급격히 상승하여 상대습도 100%에 근접한 후 휴지시간 대에는 90%로 하강하였다. 스프링클러를 작동시킨 하우스C의 상대습도는 전술한 바와 같이 스프링클러 관수와 동시에 상대습도 100%에 근접한 값을 나타내었다.

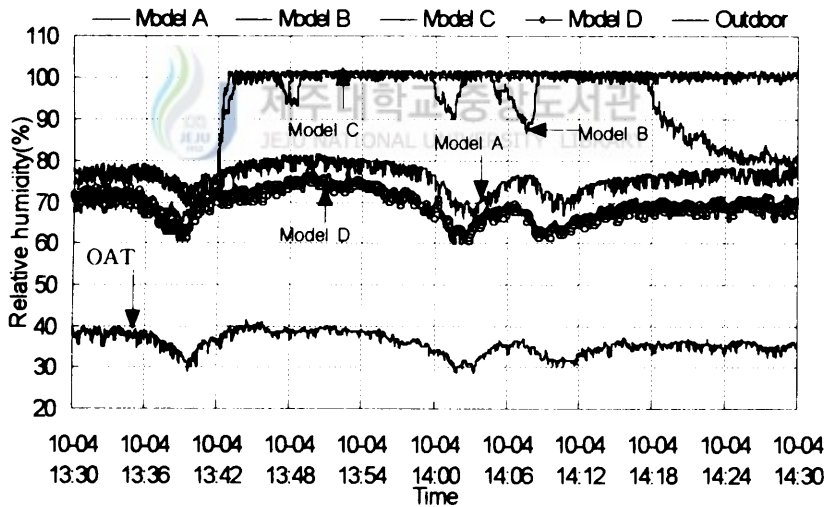


Fig. 26 Variations of relative humidity (Case 3)

V. 결론

본 연구에서는 하우스의 실온저하를 도모하기 위하여 천·측창 개폐여부 및 스프링클러, 미스트 분무를 변수로 하여 냉각효과를 검토하였다. 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 하우스 개폐장치 조작 불능시를 가정하여 천·측창을 인위적으로 폐쇄한 경우, 하우스내 온도는 외기온보다 약 16°C 높은, 즉 사실상 작물이 생육할 수 없는 고온상태를 나타내었다.

2. 천·측창을 개방한 상태에서는 환기팬을 추가로 가동시키더라도 이에 따른 추가적인 실온저하는 관찰되지 않았다.

3. 비관수시 천·측창을 개방한 경우 하우스내 온도분포는 연직방향, 수평방향 모두 1°C 정도의 극히 작은 온도차만이 계측됨으로서, 하우스내는 극히 균일한 온도를 유지하고 있음이 확인되었다.

4. 미스트, 스프링클러에 의한 냉각효과를 검토한 결과 모두 탁월한 냉각효과를 발휘하였으며, 측창만을 개방하여 실내에 자연환기를 도입한 경우보다 $6\sim 7^{\circ}\text{C}$ 정도 낮은 온도를 나타내었다.

5. 분무되는 물입자의 입경을 달리하였을 경우, 미스트를 분무한 하우스B와 스프링클러로 관수한 하우스C의 냉각효과는 온도하강폭이 각각 4°C , 2°C 로 나타나 미스트에 의한 냉각효과가 보다 우수한 것으로 조사되었다.

6. 하우스내 작물체감온도에 근사한 온도지표인 실내흑구온도는 비관수시의 경우 실내공기온도보다 현저히 높게 나타났으며, 미스트 분무 및 스프링클러 관수시의 흑구온도는 실내공기온도에 근접한 온도를 나타내었다.

7. 미스트를 작동시킨 경우의 하우스내 상대습도는 83% 로서 적정습도를 유지하였다. 미스트 분무 및 휴지시간은 실내온도는 물론 상대습도에 직접적인 영향을 미치므로, 미스트 분무 및 휴지시간은 재배작물의 습해 및 생육특성을 면밀히 검토하여 결정되어야 할

것으로 사료된다.

8. 측창에 의한 냉각효과(자연환기)는 우수하지만 하우스내 온도를 외기온 이하로 유지하기 위해서는 자연환기만으로는 불가능하며 미스트 및 관수에 의한 수분증발에 따른 증발냉각효과를 이용한 냉각시스템의 적용이 유효한 것으로 나타났다.

9. 미스트 분무 및 스프링클러를 관수한 경우, 물입자의 입경크기와는 상관없이 하우스내 온도분포는 연직방향, 수평방향 모두 1~2℃정도의 극히 작은 온도차만이 계측됨으로서, 하우스내는 극히 균일한 온도를 유지하고 있음을 알 수 있었다.

10. 미스트 분무 및 스프링클러를 연속적으로 관수한 경우, 온도하강 정도는 거의 유사한 것으로 조사되었다. 또한, 미립자인 미스트의 경우는 단속적으로 분무하더라도 하우스중 발냉각에 효과적으로 대응하였으며, 스프링클러 또한 관수시에는 물론 관수종료 후에도 일정시간동안 저온상태를 유지하였다. 즉, 고온기에는 스프링클러 관수시간을 적절히 설정한다면 관수가 하우스 실온저하에 크게 기여할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 최동호, 허종철, 임종환(1998). 일사량 조절이 시설원예용 하우스내 온열공기환경에 미치는 영향, 대한건축학회 논문집, 14(12).
- 최동호, 허종철, 임종환, 서효덕(1999). 관수, 천·측창 개폐 및환기팬 조작에 따른 단동 플라스틱 하우스의 냉각효과 검토(제1편), 한국생물환경조절학회 학술논문발표요지, 8(2).
- 최동호, 허종철, 임종환, 서효덕(2000). 환기조건 및 관수에 따른 단동 플라스틱 하우스의 냉방효과와 열환경 분석, 생물환경조절학회지, 9(1).
- 허종철, 최동호, 임종환, 서효덕(1999). 미스트 분무시간 및 휴지시간 변화에 따른 하우스 냉각효과 검토, 한국생물환경조절학회논문집, 8(2).
- 이병일. 시설원예학, 향문사.
- 장전익. 원예시설학의 기초지식, 제주대학교 출판부.
- 佐藤豪, 福井直静(1974). 液體の微粒化の基礎と應用. 經營開發センター經營教育部.
- 강정윤, 임홍성, 최동호, 허종철(2000). 미스트분무 및 스프링클러관수가 단동 플라스틱 하우스에 미치는 냉각효과, 제주대학교 산업기술연구소논문집, 11(2).
- 김영중, 유영선, 윤진하, 오권영, 김승희(1997). 포그노즐을 이용한 온실냉방 시스템 분석, 생물생산시설환경학회지, 6(1).
- 농촌진흥청(1993). 시설재배지 관수, 관비, 방제 종합시스템의 자동제어장치 개발, 제 3차년도 보고서.
- 농촌진흥청(1994). 시설원예 현대화 하우스 모델선정 및 재배 효과에 관한 연구보고서.
- 박중춘, 민영봉, 서원명, 정한택, 김진일(1995). 온실의 고온극

복을 위한 몇 가지 실험적 분석, 경상대학교 시설원예연구 논문집.

- Paul V. Nelson(1995). 온실의 운영과 관리, 농어촌진흥공사.
- 서상룡, 유수남, 성제훈(1996). 미니 스프링클러의 살수 성능실험(1). 생물생산시설환경학회지, 5(2).
- 서상룡, 성제훈(1997). 미니 스프링클러의 살수 성능실험(2), 생물생산시설환경학회지,6(3).
- 서원명, 민영봉, 박중춘(1994). 온실의 냉방관리를 위한 기화냉각 시스템 도입, 경상대 시설원예연구.
- 서원명, 윤용철, 박중춘, 손영걸(1995). 우리 나라 온실의 냉방 시스템 도입검정, 경상대학교 시설원예연구 논문집 2권.
- 우영희, 이정명, 남윤일(1995). 여름철 유리온실의 목표온도 유지를 위한 강제환기 회수, 생물생산시설환경학회지, 4(2).
- 윤용철, 서원명, 이종열(1998). 온실냉방용 분무노즐의 분무특성. 생물생산시설환경학회지, 7(4).

감사의 글

대학원 입학에서부터 본 논문이 완성되기까지 물심양면으로 지도하여 주시고 이끌어주신 최동호 교수님께 진심으로 깊은 감사를 드립니다.

또한 바쁘신 중에도 논문의 심사를 맡으셔서 세심하게 검토해주시고 부족한 점을 보완해 주신 서일교 교수님, 은희창 교수님께 감사를 드립니다. 또한, 지금까지 석사과정 동안 많은 가르침으로 이끌어주신 김태일 교수님, 박철민 교수님께도 감사를 드립니다.

연구 기간 중에 본 논문에 대해 여러 가지 조언과 자료를 제공해주고 배려를 아끼지 않고 도와준 임흥성, 김보연 후배님에게도 고마움을 전합니다.

그리고 어려운 환경에서도 서로 격려하며 이끌어준 학우들에게 감사드리며 그들의 앞날에 무궁한 발전과 행운이 함께하기를 기원합니다.

끝으로 오늘이 있기까지 한없는 사랑과 헌신으로 보살펴주신 부모님과 넉넉하지 못한 가정을 꾸려내며 두 자녀를 양육하는 등 어려운 가운데에서도 불평 한마디 없이 뒷바라지와 용기를 준 사랑하는 아내와 함께 이 기쁨을 같이 나누고자 합니다.

2001년 8월

강 정 윤 올림