

Analysis of Indoor Thermal Environment and Cooling Effects by Ventilation Condition, and Spray irrigation or Nonspray of Single Span Plastic Greenhouses¹⁾

Choi, Dong-Ho* · Huh, Jong-Chul¹ · Lim, Jong-Hwan¹ · Suh, Hyo-Duk²

*Dept. of Arch. Eng., Cheju National Univ., Cheju, Korea

¹Dept. of Mech. Eng., Cheju National Univ., Cheju, Korea

²Cheju Agricultural Experiment Station, RDA, Cheju, Korea

Abstract

In this study, we quantitatively compare the cooling effects of single span plastic greenhouses by opening or shutting of roof and side vents, and operation of fan or sprinkler. With those variables, we simultaneously made experiments at 4 greenhouses under equivalent conditions. By the experiments, the shutting of roof and side vents caused the high temperature difference of indoor and outdoor which the crops cannot be cultivated. However, the opening of the windows effectively reduced the indoor temperature and showed uniform temperature distribution in the greenhouses. The sprinkler abruptly reduced the indoor temperature, and showed excellent cooling effects. Finally, this paper provides the fundamental data for environmental control in greenhouses.

Key words : Ventilation, Evaporative cooling, Indoor thermal environment

* Corresponding author

¹⁾ 이 논문은 1999년도 제주대학교 발전기금 학술연구비에 의해 연구되었음.

서 론

기온이 상승하는 5월에서 9월의 기간 동안 하우스내 온도는 적정 실온을 상회하는 고온을 나타내므로, 이를 극복하기 위한 적절한 대책의 수립이 절실히 요구되고 있다. 하우스의 실온을 효과적으로 제어함으로써 농업생산성을 향상시키기 위한 노력은 끊임없이 진행되어 왔다. 그 결과 천·측창 개방과 환기팬에 의한 자연

및 강제환기 장치는 물론, 차광막 등에 의한 일사량 조절장치, 미스트 발생 등 실내 환경을 효율적으로 제어하기 위한 보다 적극적인 방법들이 도입됨으로서, 실질적으로 시설원예분야 발전에 크게 기여하였다(Choi 등(1998), Nam(1998), Suh 등(1995), Woo 등(1995), Yoon 등(1998a)). 이러한 방법들은 이미 그 효과가 검증됨으로서 하우스 냉각방식으로 농가에 널리 보급되어 있으나, 환기량 부족에 따른 실

온상승과 미스트에 의한 과다 수분공급으로 상대습도가 상승되는 등 재배작물의 품질을 저하시키는 부작용 또한 시급히 개선되어야 할 문제점으로 지적되고 있다 (Kim 등(1997), Park 등(1995), Suh 등(1994)).

본 연구에서는 실온이 상승하기 시작하는 봄, 가을과 하절기의 천·측창 개폐 및 환기팬 작동에 따른 단동 플라스틱 하우스의 냉각효과와 스프링클러 관수시 동반되는 냉각효과를 실험에 의해 검토하였다. 재배작물의 습해방지와 냉각효과, 그리고 스프링클러의 살수성능에 대해서 검토한 연구사례(Suh 등(1996, 1997), Yoon 등(1998b))는 이미 다수 보고되어 있으나, 재배작물에 수분을 일정시간 동안 연속적으로 공급하는 관수시의 냉각효과를 검토한 연구사례는 그다지 많지 않다.

따라서, 본 연구에서는 실험을 통해 천·측창 개폐 및 환기팬 작동, 스프링클러의 작동여부를 주요 실험변수로 설정하여 각 하우스간의 냉각효과를 정량적으로 비교하였다. 하우스의 천·측창을 인위적으로 폐쇄함으로써, 개폐장치의 고장 혹은 조작미숙을 가정한 극한 조건시의 하우스내 온열환경에 대해서도 검토하였다. 이를 위해, 본 연구에서는 각 하우스간의 냉각효과 이외에 다수의 열전대를 각 하우스에 설치하여 하우스내 온열환경에 관한 분포특성에 대해서도 상세히 검토하였다.

재료 및 방법

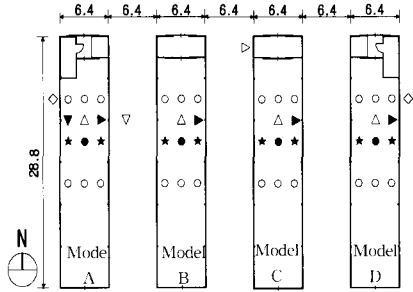
1. 실험대상 하우스

실험대상 하우스는 Fig. 1, 2에 나타난 바와 같이, 농촌진흥청 제주농업시험장에 위치한 6.4×28.8×4.7 m 규모의 경질판 PC(Poly Carbonate)구조 단동 플라스틱 하우스 4개동으로 구성되어 있다. 각 하우스는 동일 부지내에서 동일한 인동간격, 크기, 향으로 배치함으로써 최대한 동일한

환경조건이 유지될 수 있도록 설계, 시공하였다. 각 하우스의 중앙 최상부에는 길이방향으로 개폐할 수 있는 천창과 각 하우스의 양측면에는 권취형 측창, 그리고 하우스 단변방향 양쪽 출입구 상부에는 환기를 위한 환기팬을 각각 설치하였다 (Table 1 참조). 하우스 내부에는 과수(단감, 배)를 식재하였으며, 관수를 위해 지상 2~3 m 높이에 길이방향(5개 라인)으로 일정간격 마다 관수용 간이 스프링클러 헤드를 설치하였다(Fig. 2 참조). 스프링클러 헤드에서 분무되는 미스트의 입경을 현수법(懸僱法)에 의해 측정(佐藤 등, 1974)한 결과, Table 2에 나타난 바와 같이 미스트의 입경 분포와 평균입경은 각각 280~2,000 μm , 680 μm 로 측정되었다. 현수법은 미스트의 밀도보다 밀도가 큰 실리콘 오일을 유리판에 균일하게 도포한 후, 이 곳에 미스트를 접촉시켜 그 직경을 측정하는 방법이다. 현수법을 이용함으로써, 스프링클러에서 분무된 미스트입경 형태가 왜곡되지 않은 진구상태(眞球常態)에서 측정할 수 있었다.

2. 온도, 상대습도, 일사량 측정

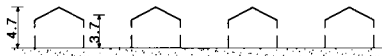
측정대상공간은 하우스내 열적 분포특성이 파악될 수 있는 최소한의 공간만을 선정하여 실험을 실시하였다. 실내외 공기온도, 흑구온도, 일사량 등은 각 센서로부터 데이터 로거(Datascan 7320, Datascan사)를 통해 매분마다 컴퓨터에 입력된다. 하우스내 공기온도, 흑구온도 및 외기온도는 열전대(T-type)를 이용하여 측정하였다. 온도 측정점은 하우스 내부공간의 열환경을 상세히 파악할 수 있도록 4개동에 총 140여점을 선정하였다. 연직방향의 온도는 각 하우스마다 길이방향으로 1개 단면을 상세 측정단면(3개의 측정군)으로 선정하고, 각 측정군당 지상 0.4, 0.8, 1.2, 2.0, 2.8, 4.0 m 높이에 열전대를 설치하여 측정하였다.



(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. 1. Shapes and measuring points of greenhouse models.

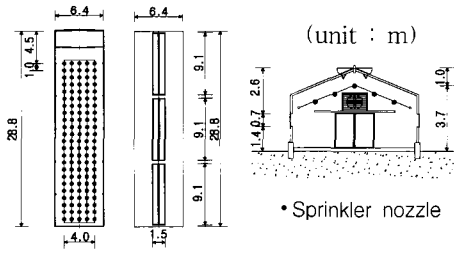


Fig. 2. Location of sprinkler in greenhouse.

Table 1. 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

Table 2. 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

Table 3. Temperature comparison of each greenhouse by pre-test. (August, 1, 1999)

	0:00~3:00	3:00~6:00	6:00~9:00	9:00~12:00	12:00~15:00	15:00~18:00	18:00~21:00	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

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

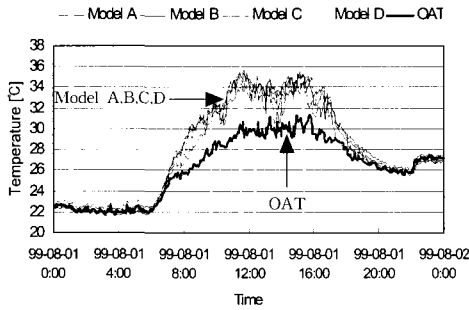


Fig. 3. Comparison of IAT and OAT with time. (IAT : Indoor air-temp., OAT : Outdoor air-temp.)

또한, 수평방향에 대해서도 각 하우스마다 9개의 측정군을 선정하고, 각 측정군당 상하 2개의 측정점(재배되는 작물의 높이를 2단계로 가정. 지상 0.8 m높이와 지상 2.0 m높이)을 설치하였다. 또한, 실내 공기온도 이외에 지상 0.8 m높이(1개소)에 후구온도계(직경 15 cm, Vernon식, SATO사)를 설치하여 하우스내 복사환경을 측정하였으며, 외기온도는 하우스 외부 2개소에서 각각 측정하였다. 정확한 온도측정을 위하여 모든 온도센서는 직상부에 일사차폐물을 설치하여, 센서부분이 직접적으로 일사에 노출되지 않도록 배려하였다. 또한, 상대습도를 계측하기 위하여 Fig. 1에 나타난 바와 같이 각 하우스 내부와 외부에 각 한 점씩의 상대습도계(HD8608TC/150, Delta OHA사)를 설치하였다. A동 하우스 실내외에 일사량계(LI200SZ, LI-COR사)를 각각 설치하여 하우스 내외의 일사량을 연속적으로 계측

하였다. 이 밖에 관수시의 수량을 측정하기 위하여 하우스내에 강우량계를 설치하였다.

3. 실험대상 하우스의 대칭성 실험

동일 부지내에 위치한 4개동 하우스에서 실시한 실험결과들을 보다 객관적으로 비교하기 위해서는 먼저 각 하우스간 온도분포의 발생여부를 확인하는 대칭성 실험을 실시하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 모든 하우스의 천·측창을 개방한 상태에서 대칭성 실험을 실시하여, 각 하우스간에 발생하는 온도차를 비교하였다. 기준높이(지상 0.8 m 높이)에서 측정된 공기온도를 각 하우스의 대표온도로 설정하였으며, 측정된 대칭성 실험결과를 Fig. 3 및 Table 3에 나타내었다. 각 하우스의 온도분포는 시간대에 따라 다소 차이를 나타내고 있으나, 비교적 실온이 상승한 12~15시의 하우스간 온도차는 최대 1.1℃를 나타내었다. 이러한 온도차는 주로 외측(하우스 A, D)과 내측(하우스 B, C)에 위치한 하우스간에 발생한 온도차로서, 외측에 위치한 하우스의 경우 내측보다 천·측창을 통한 자연환기가 원활하여 상대적으로 낮은 온도를 나타낸 것으로 추정된다.

4. 하우스별 실험조건

실험종류 및 실험조건을 상세를 Table 4에 나타내었다. 실험은 스프링클러 관수시와 비관수시로 구분하여 천·측창, 환기

Table 4. Experimental conditions.

Item		Condition			Sprinkling Amount [mm]	Working time of sprinkler [min]	Outdoor solar radiation [$W \cdot m^{-2}$]
		Roof and side vents	Fan	Sprinkler			
Case 1	Model A	Close	Off	Off	-	-	815
	Model B	Close	On	Off	-	-	815
	Model C	Open	On	Off	-	-	815
	Model D	Open	Off	Off	-	-	815
Case 2	Model A	Close	Off	On	6.5	30	852
	Model B	Close	On	On	6.5	30	852
	Model C	Open	On	On	6.5	30	852
	Model D	Open	Off	On	6.5	30	852

Table 5. Relative comparison of experimental results.

Item		$0.8m^z$ [°C]	Globe temp. [°C]	Outdoor air temp. [°C]	Flow-in air temp. by fan [°C]	Flow-out air temp. by fan [°C]	Indoor Relative humidity [%]	Outdoor Relative humidity [%]	
Case 1	Model A	WB ^y	41.9	54.1	24.7	-	-	60	34
		WA ^x	42.5	54.5	26.1	-	-	62	31
	Model B	WB	41.8	-	24.7	45.2	40.5	65	34
		WA	35.8	-	26.1	27.7	35.7	53	31
	Model C	WB	29.7	43.5	24.7	32.2	30.3	43	34
		WA	29.1	40.5	26.1	29.0	28.8	42	31
	Model D	WB	28.7	45.4	24.7	-	-	43	34
		WA	29.2	42.4	26.1	-	-	44	31
Case 2	Model A	WB	43.0	51.9	24.9	-	-	72	42
		WA	32.2	28.4	27.1	-	-	100	41
	Model B	WB	42.5	50.3	24.9	45.7	43.1	71	42
		WA	28.4	27.1	27.1	29.4	25.8	97	41
	Model C	WB	29.2	44.4	24.9	30.8	28.4	57	42
		WA	25.1	23.8	27.1	29.3	21.3	99	41
	Model D	WB	29.7	39.2	24.9	-	-	60	42
		WA	24.8	26.8	27.1	-	-	97	41

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

^yWB : Working Before ^xWA : Working After

팬 작동에 따른 냉각효과 및 하우스내 온도분포를 파악하기 위한 2종류의 실험을 실시하였다. 각 실험은 4개동의 하우스에서 동시에 실시되었으므로, 실험 결과에 대한 하우스 상호간의 객관적인 비교가 가능하였다. Case 1은 천·측창 개폐상태와 환기팬 작동여부를 변수로 하여, 이들 변수들의 조합에 따른 하우스 냉각효과를 비교·검토하기 위해 설정된 Case이다. 하우스 A는 천·측창을 인위적으로 폐쇄함으로써 개폐장치의 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 천·측창을 모두 개방한 상태에서 추가적인 환기팬의 작동에 따른 냉각효과를 검증하기 위해 설정된 실험이다. 그리고, 하우스 D는 천·측창을 개방하여 자연환기를 도입한 경우이다. Case 2는 스프링클러로 관수한 경우로서, 천·측창, 환기팬을 작동하지 않은 하우스 A, 환기팬을 작동시킨 하우스 B, 천·측창, 환기팬 모두를 작동한 하우스 C, 천·측창을 개방한 하우스 D로 설정하여 실험을 4개동에서 동시에 실시하였다. 환기팬 및 스프링클러의 작동시간은 30분간으로 설정하여 이에 따른 하우스내 각종 환경인자

들의 분포특성을 검토하였다. 실험은 1999년 5월하순과 6월 초순의 비교적 맑은 날에 실시하였으나, 실험을 보다 기온이 높은 하절기에 실시할 경우에는 본 논문의 실험결과보다 실험조건별 분포특성이 보다 현저하게 나타날 것으로 추정된다. 실험은 하우스내의 온도가 상승하는 낮시간에 국한하여 단속적으로 실시하였으며, 각 하우스마다 지상 0.8 m높이를 기준높이로 가정하여, 기준높이에 설치된 9개의 평균 공기온도(기준면 온도)를 실내 기준온도로 정의하였다.

결과 및 고찰

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

(1) 실내 기준온도

각 하우스의 실내 기준온도를 Fig. 4, Table 5에 나타내었다. 하우스 A의 경우, 실내 기준온도는 외기온보다 약 16.4℃ 높은 42.5℃의 고온을 나타내었다. 이러한 온도는 하우스내 재배작물의 적정 생육온도를 크게 상회하는 사실상 극한 환경임을 시사한 것이다. 하우스B의 경우는 하우스 A와 동일한 하우스 상태(고온)에서 환기팬을 일정시간(30분) 동안 단속적으로 가동할 경우의 냉각효과를 검토하기 위한 실험조건이다. 이 경우의 실내 기준온도는

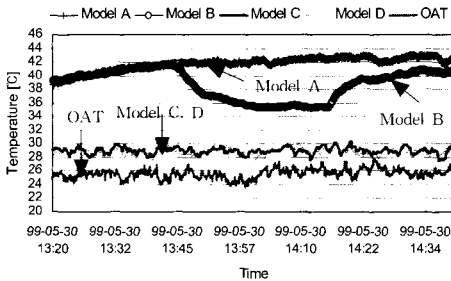


Fig. 4. Variations of indoor air temp. at each models (Case 1).
OAT : Outdoor air temp.

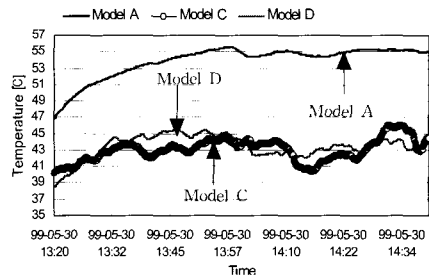


Fig. 5. Variations of globe temp. with time (Case 1).

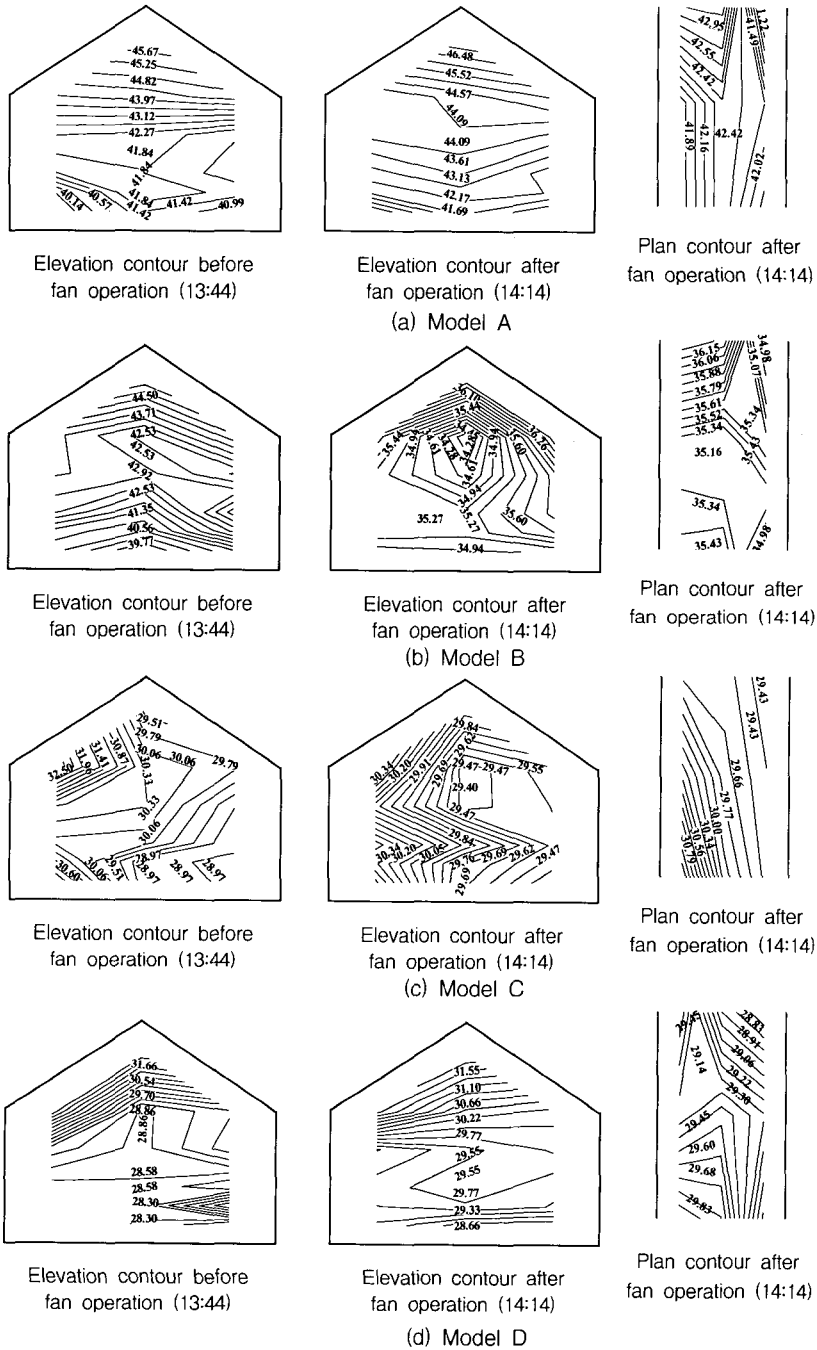


Fig. 6. Temp. distributions in plastic greenhouse (Case 1 : May. 30, 1999).

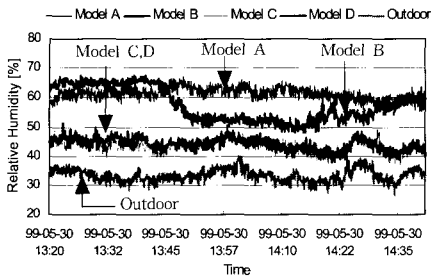


Fig. 7. Variations of relative humidity (Case 1).

35.8℃로서 전술한 하우스 A보다 6.7℃ 낮고, 외기온보다 9.7℃ 높게 나타났다. 이러한 결과는 환기팬의 가동시간, 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℃ 높고, 하우스 A의 경우보다는 13.3℃ 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.

(2) 실내 흑구온도

각 하우스별 실내 흑구온도를 Fig. 5, Table 5에 나타내었다. 하우스내 복사효과와 주변 공기온도를 복합적으로 반영한 온도지표인 실내 흑구온도는 하우스 A의 경우, 강한 태양복사의 유입과 고온의 실내온도가 흑구온도에 즉각 반영되어 실내 기준온도보다 12℃ 높은 54.5℃를 나타내었다. 실내 흑구온도는 실제 하우스내의

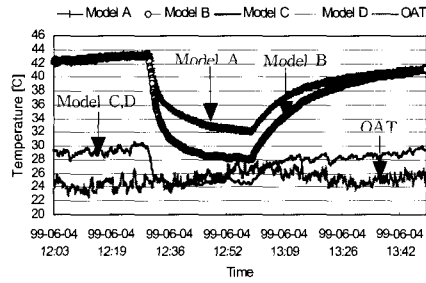


Fig. 8. Variations of indoor air temp. at each model (Case 2).
OAT : Outdoor air temp.

작물이 느끼게 되는 환경온도에 가까운 온도지표임을 감안한다면, 이러한 온도는 작물생존에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 극한 온도로 풀이된다. 천·측창을 개방한 하우스 C, D의 실내 흑구온도는 각각 40.5℃와 42.4℃로써, 하우스 A보다 현저히 낮은 온도를 나타내었다.

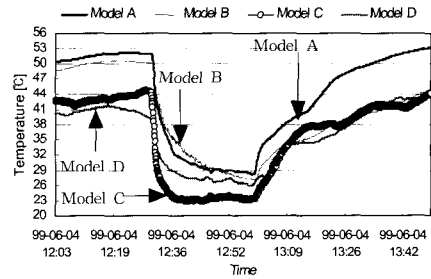


Fig. 9. Variations of globe temp. with time (Case 2).

(3) 실내 연직 및 수평 온도분포

각 하우스별 연직, 수평 온도분포를 Fig. 6에 나타내었다. 천·측창을 폐쇄한 하우스 A의 경우, 약 4~5℃ 정도의 상하온도차가 계측되었으며, 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

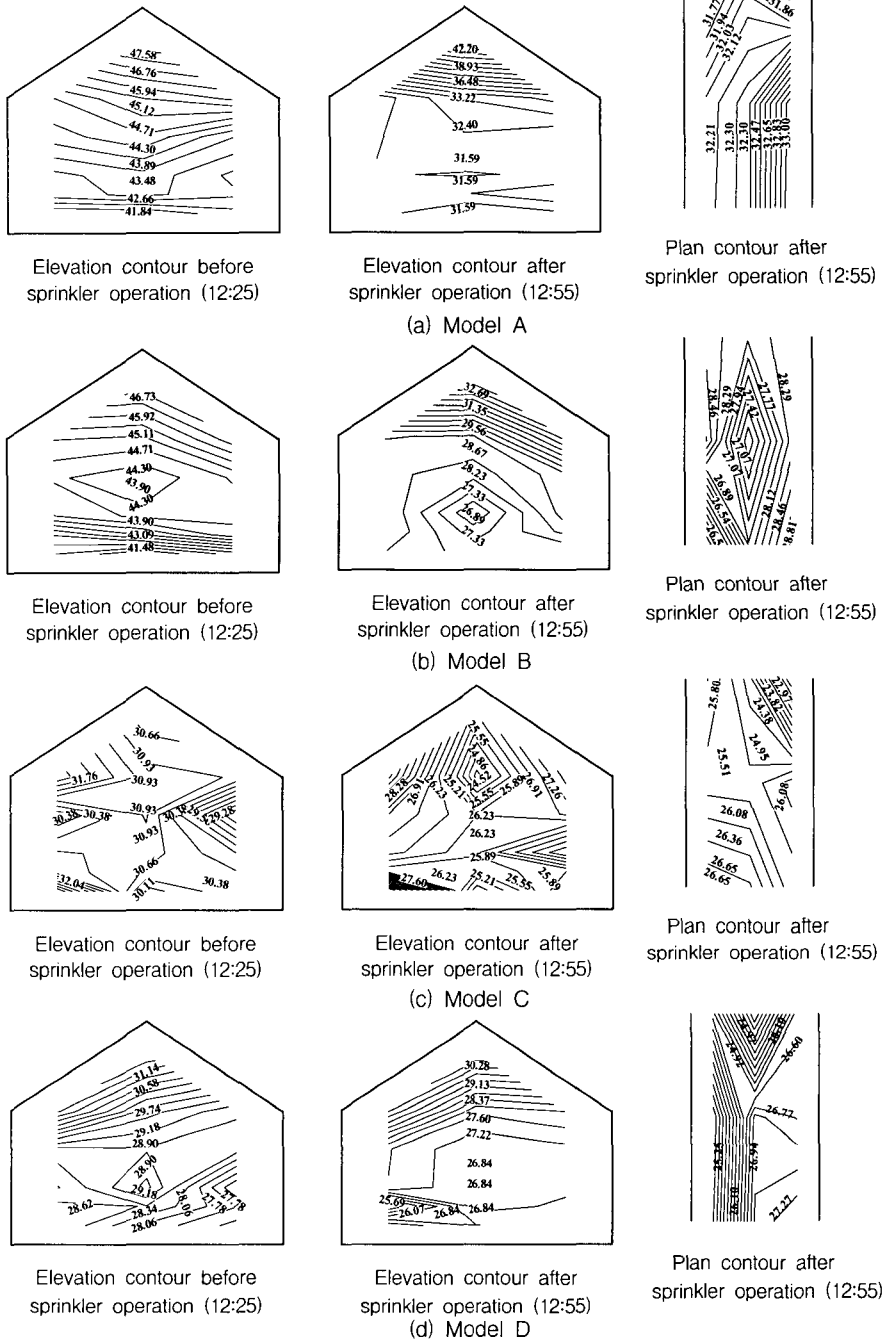


Fig. 10. Temp. distributions in plastic greenhouse (Case 2 : June. 4, 1999).

후의 연직방향 온도분포는 각각 약 5℃와 1.5℃, 수평방향으로는 1℃ 정도의 온도차가 계측되었다. 하우스 A, B의 실험결과에서 환기팬 가동시의 위치별 온도분포가 비가동시보다 상대적으로 작게 나타난 것은 환기팬에 의해 유입된 외기가 하우스 내 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 및 일사량

옥내의 상대습도 및 일사량을 Fig. 7, Table 5에 나타내었다. 옥외의 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. 한편, 하우스 외부의 일사량은 815 [W·m²]으로서, 실험이 진행되는 동안 일사량의 변화는 거의 수반되지 않은 극히 안정된 상태를 유지하였다.

2. 관수시의 천·측창 개폐 및 환기팬을 가동한 경우의 냉각효과 검토 (Case 2)

(1) 실내 기준온도

각 하우스의 실내 기준온도를 Fig. 8, Table 5에 나타내었다. 천·측창을 폐쇄한 상태에서 30분간 스프링클러로 관수한 하우스 A의 경우, 밀폐된 하우스의 실온이 약 43℃로서 고온을 나타내었으나, 관수와 동시에 실온이 급속히 하강하기 시작하여 관수개시 30분 후의 실내 기준온도는 관수이전보다 무려 11℃ 하강하였다. 그리고,

스프링클러와 환기팬을 동시에 가동시킨 하우스 B의 경우, 전술한 하우스 A보다 한층 냉각효과가 향상되어 관수 후의 최저온도는 외기온보다 1.3℃ 높은 약 28.4℃를 나타내었으며, 관수 및 환기팬 정지 후의 실내 기준온도는 전술한 하우스 A의 실내 기준온도와 동일한 추이로 서서히 상승하였다. 한편, 천·측창을 개방한 상태에서 환기팬의 가동조건을 달리한 하우스 C, D의 실내 기준온도는 거의 동일한 온도를 나타내었으며, 관수시의 실내 기준온도는 관수와 동시에 급속히 하강하여 관수전의 온도보다 약 4℃ 하강함으로써 외기온보다 약 2℃ 낮은 온도를 나타내었다. 이상의 실험결과들을 종합하면, 미세포그 분무장치보다 노즐 입경이 현저히 큰 스프링클러 관수의 경우도 하우스 실내 온저하에 효과적으로 작용하고 있음이 본 실험을 통해 입증되었다.

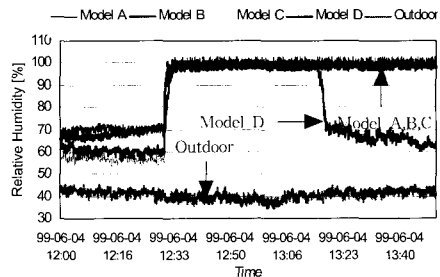


Fig. 11. Variations of relative humidity (Case 2).

(2) 실내 흑구온도

각 하우스의 실내 흑구온도를 Fig. 9, Table 5에 나타내었다. 실내 흑구온도 또한 관수 개시와 동시에 급속히 하강하기 시작하여, 전술한 실내 기준온도보다 낮은 온도를 나타내었다. 이것은 관수용 간이 스프링클러 헤드에서 분출된 물입자가 흑구온도계의 표면을 적게 하여 흑구온도계 표면으로 유입되는 태양복사 열량과 주변 공기로부터의 전달열량이 기화열로 치환됨으로서 실내 흑구온도는 낮은 온도를

나타낸 것으로 풀이된다. 관수전 하우스 A, B의 흑구온도는 50℃를 상회하는 고온을 나타낸 데 반해, 관수시의 최저 흑구온도는 27~28℃로서 큰 폭으로 하강하였다. 관수시 환기팬을 가동한 하우스 C의 흑구온도가 환기팬을 가동시키지 않은 하우스 D보다 약 3℃ 낮게 나타난 것은 환기팬에 의해 상대적으로 온도가 낮은 외기가 다량 실내로 유입되었기 때문으로 풀이된다.

(3) 실내 연직 및 수평 온도분포

각 하우스별 연직, 수평 온도분포를 Fig. 10에 나타내었다. 하우스내 연직 온도분포는 스프링클러 노즐이 설치된 지상 약 2~3 m높이 보다 상부 공간에는 분출된 물입자가 그다지 직접적으로 도달하지 않으므로 그 하부보다 상대적으로 높게 나타났다. 천·측창을 폐쇄한 상태에서 스프링클러를 작동한 하우스 A와 스프링클러와 환기팬을 동시에 가동한 하우스 B, 천·측창을 개방한 상태에서 스프링클러만을 작동시킨 하우스 D와 스프링클러와 환기팬 모두 가동시킨 하우스 C 모두 스프링클러 노즐 높이보다 낮은 부분의 온도는 약 1℃ 정도의 극히 균일한 상하온도를 나타내었다. 수평온도 또한 약 1℃ 정도의 온도차가 측정되었다.

(4) 상대습도 및 일사량

옥내의 상대습도 및 일사량을 Fig. 11, Table 5에 나타내었다. 실험이 진행되는 동안의 옥외 상대습도는 약 41%를 나타내었으나, 실내 상대습도는 하우스 4개동 모두 관수와 동시에 급격히 상승한 후 상대습도 100%에 근접한 값을 나타내었다. 이것은, 실내 상대습도의 경우 스프링클러 헤드를 통해 분출된 물입자가 비교적 단시간에 실내의 습도 센스부에 접촉한 후 수막을 형성함으로써, 측정된 상대습도는 실제 상대습도보다 높게 측정되었으며, 하우스의 관수를 중단한 후에도 센서부에

형성된 수막이 증발하기 이전까지는 실제 현상과 다른 결과를 나타내었다. 따라서, 관수시의 상대습도를 정확히 측정하기 위해서는 센서부의 수막형성을 억제할 수 있는 적절한 대책이 강구되어야 할 것으로 사료된다. 한편, 실험이 진행되는 동안 하우스 외부에서 측정된 일사량은 852 [$W \cdot m^{-2}$]으로 조사되었다.

Literature cited

1. Choi, D. H., Huh, J. C., and Lim, J. H. 1998. Influence of Solar Control on Indoor Thermal Environment in a Green House. Journal of the Architectural Institute of Korea. 14(12) : 219-230.
2. G. Sato and N. Fukui. 1974. Theory and Application of Liquid Particulation. KEIEIKAIHATSU Center (in Japanese) : 82-85
3. Kim, Y. J., Ryou, Y. S., Yun, J. H., Oh, K. Y., and Kim, S. H. 1997. Fog Nozzle-Greenhouse Cooling System Analysis. J. Bio. Fac. Env. 6(1) : 48-54.
4. Nam, S. W. 1998. Adaptability of Evaporative Cooling System for Greenhouses to the Weather Conditions of Korea. J. Bio. Fac. Env. 7(4) : 283-289.
5. Park, J. C., Min, Y. B., Suh, W. M., Jung, H. T., and Kim, J. I. 1995. Experimental Analyses for Overcoming High Temperature in Greenhouses. Journal of the Research Institute of Greenhouse Horticulture of gyeongsang National University 2 : 107-121.
6. Suh, W. M., Min, Y. B., and Park, J. C. 1994. On the Evaporative Cooling Systems for Cooling Control of

- Greenhouses. Journal of the Research Institute of Greenhouse Horticulture of gyeongsang National University 1 : 173-178.
7. Suh, S. R., and Sung, J. H. 1997. Performance of Mini-Sprinkler - (2) Size of Droplets. J. Bio. Fac. Env. 6(3) : 183-189.
8. Suh, S. R., Yoo. S. N, and Sung, J. H. 1995. Experimental Study on Performance of Mini-Sprinkler-(1) Sprinkling Flow Rate and Sprinkling Intensity Pattern. J. Bio. Fac. Env. 5(2) : 194-201.
9. Suh, W. M., Yoon, Y. C., Park, J. C, and Shon, Y. G. 1995. An Investigation on Cooling Systems of Domestic Greenhouses. Journal of the Research Institute of Greenhouse Horticulture of gyeongsang National University 2 : 123-145.
10. Woo, Y. H., Lee, J. M, and Nam. Y. I. 1995. Forced Ventilation Number of Air Changes to Set Point of inside Air Temperature in Summer Glasshouse. J. Bio. Fac. Env. 4(2) : 223-231.
11. Yun, N. K., Kim. M. K, and Nam. S. W. 1998. Dehumidification and Evaporative Cooling Efficiency by Water Pipes in Greenhouse. J. Bio. Fac. Env. 7(3) : 237-245.
12. Yoon, Y. C., Suh, W. M, and Lee, J. Y. 1998. Spray Characteristics of Spray Nozzles Used for Greenhouse Cooling. J. Bio. Fac. Env. 7(4) : 298-310

환기조건 및 관수에 따른 단동 플라스틱 하우스의 냉방효과와 열환경 분석

최동호* · 허종철¹ · 임중환¹ · 서효덕²

*제주대학교 건축공학과, ¹기계공학과, ²농촌진흥청 제주농업시험장

적 요

본 실험에 앞서, 하우스 4개동에 대한 대칭성 실험을 실시하였으나, 각 하우스간에는 최대 1℃이내의 작은 온도차만이 계측되었다. 하우스 개폐장치 조작 불능시를 가정하여 천·측창을 인위적으로 폐쇄한 경우, 하우스내 온도는 외기온보다 약 16℃ 높은, 즉 사실상 작물이 생육할 수 없는 고온상태를 나타내었다. 천·측창을 개방한 상태에서는 환기팬을 추가로 가동시키더라도 이에 따른 추가적인 실온저하는 관찰되지 않았다. 비교적 분무 입경이 큰 스프링클러에 의한 관수시의 냉각효과를 검토한 결과, 하우스내 온도는 스프링클러 작동과 동시에 급속히 하강함으로서, 관수는 하우스 실온저하에 크게 기여하고 있음이 확인되었다. 스프링클러 관수시와 비관수시로 구분하여 하우스내 열환경을 비교한 결과, 관수시와 비관수시 모두 하우스의 천·측창을 개방하여 외기를 도입한 경우가 하우스 실온 저하에 효과적으로 작용한 것으로 조사되었다. 하우스내 작물 체감온도에 근사한 온도지표인 실내 흑구온도는 비관수시의 경우 실내 공기온도보다 현저히 높게 나타났으나, 관수시의 온도는 실내 공기온도에 근접한 온도를 나타내었다. 비관수시 천·측창을 개방한 경우 하우스내 온도분포는 연직방향, 수평방향 모두 1℃ 정도의 극히 작은 온도차만이 계측됨으로서, 하우스내는 극히 균일한 온도를 유지하고 있음이 확인되었다.

주제어 : 환기, 증발냉각, 실내 열환경