Journal of Bio-Environment Control, 10(2):80-87, (2001)

Effects of Shading Rate and Method on Inside Air Temperature Change in Greenhouse[1)]

Suk Gun Lee · Hyun Woo Lee* · Kil Dong Kim · Jong Won Lee
Dept. of Agri. Eng., Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Abstract

This study was conducted to provide basic data for the design of shading facility of greenhouse. The proper distance between external shading screen and roof surface, transmissivity of shading materials, temperature difference between 85% and 55% shading greenhouses, variation of soil temperature, and shading effects of external and internal shadings were analyzed. About a distance of 10cm between inclined external shading screen and roof surface was enough to guarantee the external shading effect in the greenhouse without roof vent. The inside temperature of greenhouse installed with 85% internal shading screen was lower the maximum of 4°C and mean of 2°C than that with 55% internal shading screen in both natural ventilation and no ventilation condition. The difference of soil temperature between shading and no shading greenhouse was great, but the difference by shading rate or shading method was small. The performance of external shading for controlling inside temperature down was superior to that of the internal shading. The externally inclined shading screen parallel to the roof surface of greenhouse was more effective than the externally horizontal shading screen in controlling inside temperature of greenhouse without roof vent.

Key words: internal shading, external shading, greenhouse model, experimental greenhouse, transmissivity of solar radiation

* Corresponding author

1) 이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

서 론

온도는 작물의 다양한 대사작용에 영향을 주는 인자이기 때문에 작물의 생장적온에 맞게 온실내의 온도를 유지시키는 것이 대단히 중요하지만, 기술적인 한계와 소요되는 경비문제로 인하여 온실의 적정 온도환경 유지에 큰 어려움이 있다. 특히, 최근 온실이 대형화, 고정화 및 자동화되어 주년생산을 위한 연중 재배체계가 시도되면서 하절기의 고온현상이 작물의 생장을 저해하고 온실내의 작업환경을 악화시키는 등의 많은 문제점이 지적되고 있다. 이와 같은 여름철 고온에 대응할 수 있는 환경조절기술의 부족으로 많은 자본과 기술이 투자된 현대화된 온실의 경우 휴작을 하거나 열악한 환경하에서 재배를 하고 있기 때문에 시설의 주년이용과 활용도 제고에 심각한 문제가 되고 있고 원예산물의 가격불안정의 주요 원인의 하나로 대두되고 있다. 따라서 이러한 여름철 온실의 고온현상 및 작업환경을 개선할 수 있는 적극적인 냉방대책이 필요한 실정이다(Kim 등, 1997; Lee 등, 1997; Yoon, 1996).

여름철에 온실의 고온극복을 위한 적극적인 냉방방식에는 Fog & Fan, Mist & Fan, Pad & Fan, 지붕살수 등의 증발냉각방법이 이용되고 있으며 이들 모두 5°C 내외의 승온억제 효과가 인정되고 있지만 과다한 시설비, 운영비 및 과습 등의 경제적인 문제로 인하여 현재 그다지 많이 사용되고 있지 않은 실정이다(Woo, 2000). 따라서 냉방비용을 절감하기 위해서는 증발냉각 부하를 줄일 수 있는 보조수단에 관한 연구가 필요하며 특히 가장 잘 알려진 냉방보조수단인 차광방법에 관한 깊이 있는 연구가 요구되고 있다(Hanan, 1998; Meijer, 1980; Shabtai and Marcel, 1999).

차광은 화훼나 채소의 화아분화 및 개화시기 조절, 육묘에 있어서 고광도로 인한 소엽방지, 온실의 내부로 투과되는 일사량 조절에 의한 고온기의 승온억제 등의 장점을 가지는 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2000a,

2000b). 차광을 이용한 온실의 승온억제효과에 관한 기존의 연구결과를 살펴보면, Woo 등(1994)은 은색차광막, 포그시스템 및 환기팬을 병행처리한 온실냉방효과에 대해 분석하였고, Suh 등(1995)은 50% 흑색차광막, 하이미스트 및 환기팬을 병행처리한 온실냉방효과를 분석하였다. 또한, Park 등(1995)은 50%차광과 강제환풍기 작동시 실내온도의 변화를 분석하였고, Lee 등(1997)은 차광과 다양한 기화냉각방법들을 병용한 온도하강방법에 관한 연구를 수행하였으며, Woo (2000)는 차광율 50%의 은색차광망과 흑색차광망의 차광효과를 비교하였다. 이와 같이 지금까지의 연구결과는 대부분 차광재의 유무에 따른 온도상승억제효과를 분석한 내용이다. 그러나 온실에 차광재가 설치된다 하더라도 차광효과는 차광재의 설치방법, 설치위치, 차광율 등에 따라 달라질 수 있기 때문에 효율적인 차광설계를 위해서는 이들에 대한 근본적인 연구가 필요하다.

본 연구는 온실의 차광설계에 필요한 기초자료를 제시하기 위하여 외부차광재의 적정 설치간격 분석, 차광재별 광투과율 분석, 차광율에 따른 온실내부온도의 변화 분석, 차광이 온실내부의 지온변화에 미치는 영향 분석 및 외부차광과 내부차광의 차광효과 비교를 실시하였다.

재료 및 방법

1. 외부차광재의 적정 설치간격

Fig. 1은 외부차광재의 적절한 설치 간격을 결정하기 위하여 수행한 외부차광실험의 모형온실 단면도 및 설치방법을 나타낸 것이다. 모형온실의 크기는 1.1 m(폭) ×1.5 m(길이)×1.0 m(측고)이고 외부차광재의 설치방법은 지붕위에 차광재를 수평으로 설치한 수평설치방식(이하, 수평차광이라 함)과 지붕경사와 평행하게 설치한 경사설치방법(이하, 경사차광이라 함)을 택하였다. 외부차광재의 설치간격 a 및 b는 0~70 cm까지 변화시킬 수 있으며, 차광재는 차광율 50%인 알루미늄 스크린을 사용하였다.

모형온실 3개 동을 제작하여 1개 동은 대조온실로 이용하였고, 2개 동은 외부차광방법을 변화시킬 수 있도록 하였다. 실험기간동안 대조온실은 무차광 상태로 유지하였으며, 2개의 외부차광온실모형 중 1개 동은 수평차광을 하였고 다른 1개 동은 경사차광을 하였다. 또 차광재의 설치간격은 0~50 cm까지는 5 cm 간격으로, 50~70 cm까지는 10 cm 간격으로 변화시켰다. 지면으로부터 0.8 m 높이에서의 온도변화를 5분 간격으로 측정하였다.

2. 차광율 및 차광방법에 따른 차광효과 분석

온실의 차광효과를 분석하기 위해 사용한 실험온실은 크기가 7 m(폭)×11 m(길이)×2.2 m(측고)이고 동고가 4 m인 양지붕형 단동유리온실 2개 동으로 경북대학교 부속농장에 설치되어 있다. 온실의 건설방위는 동서동이며 자연환기를 위해 천창과 3-way 방식의 측창이 설치되어 있고, 환기창을 최대로 개방했을 때 폭은 천창이 1.0 m이고 측창은 1.4 m이며 환기창의 총 개

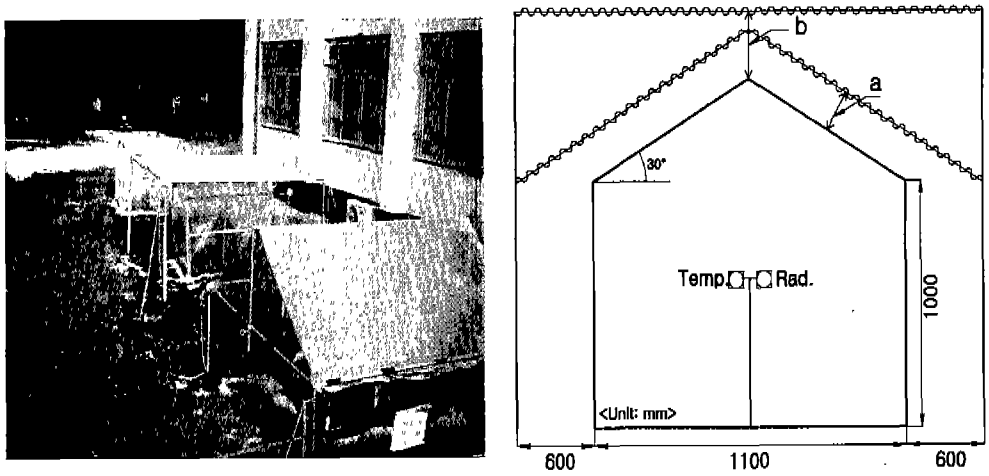


Fig. 1. Photograph and cross section of greenhouse model with external screen.

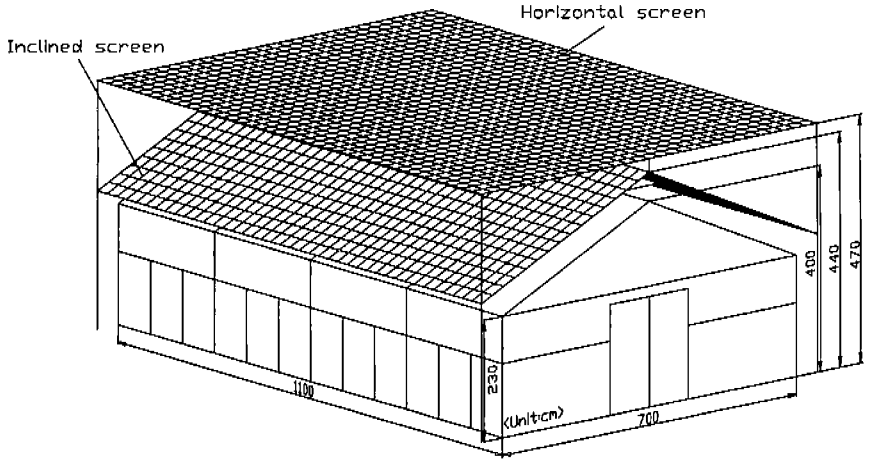
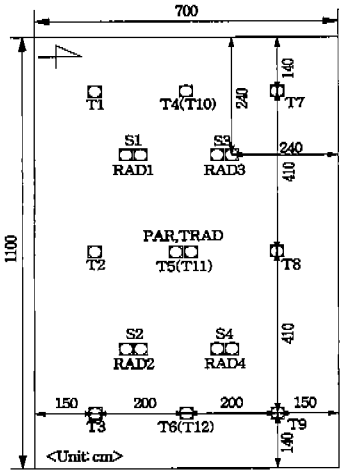


Fig. 2. Schematic diagram of experimental greenhouse.

방길이는 천창이 9.2 m, 측창 7.4 m이다. 실험온실 2개 동 중 1개 동은 차광율 55% 알루미늄 스크린으로 된 내부차광시설이 설치되어 있으며, 다른 1개 동은 차광율 85% 알루미늄 스크린으로 된 내부차광시설이 설치되어 있다. 외부차광효과를 분석하기 위해 온실외부에 차광시설을 설치하였으며, Fig. 2와 같이 차광율이 50%인 알루미늄 스크린을 이용하여 수평차광시설과 경사차광시설을 설치하였다.

Fig. 3은 실험온실내부의 온도센서, 지온 및 일사센서(300~1,100 nm)의 배치를 나타낸 것이다. 지면으로부터 1.2 m 높이에 온도센서 9점(T1~T9)과 지면으로부터 3 m 높이에 온실의 길이방향으로 온도센서 3점(T10~T12) 및 지온 변화를 분석하기 위해 지면아래 0.1 m에 지온센서 4점(S1~S4)을 설치하였다.

온실외부의 기상자료는 경북대학교 부속농장내에 설치된 종합기상관측장비를 이용하여 측정였다. 측정데이터는 15분 간격으로 계측 · 기록되도록 측정시스템을 구성하였으며, 차광시 환기조건에 따른 영향을 분석하고자 천창을 완전개방하고 측창을 1/3 개방한 상태와 무환기상태에서 온실내부의 기온 및 지온 변화를 측정하였다. 실험기간은 2000년 3월부터 9월까지이다.



PAR: PAR sensor, RAD: pyranometer
S: soil temperature sensor, T: air temperature sensor

Fig. 3. Location of sensors in experimental greenhouse.

결과 및 고찰

1. 외부차광재의 설치간격

Fig. 4는 외부차광재와 지붕표면과의 간격에 따른

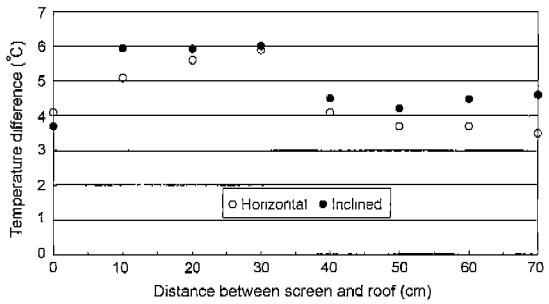


Fig. 4. Difference of inside temperatures between with and without external shading greenhouses as a function of distance between screen and roof.

무차광 온실과 외부차광 온실의 일평균온도차를 도시한 것이다. 모든 경사차광의 경우 간격을 두었을 때가 두지 않았을 때보다 차광효과가 우수한 것으로 나타났고, 이는 간격을 두지 않았을 경우 차광재가 흡수한 열이 온실피복재를 통하여 온실 내부로 전달되기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 일정 간격을 둔 모든 경우에 경사차광의 온도차가 수평차광보다 높게 나타나 무환기 상태에서는 경사차광의 차광성능이 수평차광보다 더 우수함을 알 수 있었다.

온실지붕과 외부차광재의 설치간격을 10~30 cm로 했을 때 온도차가 5°C 이상으로 가장 크게 나타나 차광효율이 가장 좋은 것으로 나타났고 40 cm 이상이 되면 효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 설치간격이 크게 되면 온실의 측면을 통하여 입사되는 일사량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. JGHA(1994)는 지붕과 외부차광재의 설치간격을 30~40 cm로 추천하고 있으며, 이 간격은 지붕에 환기창을 설치했을 경우 환기창의 개폐를 위한 필요공간을 제공하기 위한 것으로 추정된다. 본 연구 결과 경사차광재의 설치간격이 10~30 cm에서 차광효율이 가장 좋은 것으로 나타났으나 환기창의 개폐를 위한 공간이 필요하지 않는 온실에서는 10 cm 정도이면 충분한 간격이 될 것으로 판단된다.

2. 차광재별 광투과율 분석

Table 1은 맑은 날(구름양이 5보다 큰 날)에 온실의 광투과율을 측정하여 차광재별 광투과율을 계산한 결과이다. 평균(Average)은 온실에서 직접 측정한 광투과율이며, 기준값(Standard)은 무차광 온실에서 측정된 광투과율에 차광재의 투과율을 곱하여 계산한 광투과율이다. 차이(Difference)는 계산한 기준값과 측정값의 차이이다. 무차광 온실의 평균투과율은 70.9%로 나타났으며, 차광온실의 경우 50% 외부차광과 85% 내부차광 온실의 평균투과율은 기준값 보다 각각 3.4%와 1.6% 차이가 있었고, 55% 내부차광 온실은 8.3% 의 비교적 큰 차이가 있었다. 이는 차광재 제작사에서 제시한 투과율과 실제 온실에서 계측한 투과율이 상당한 차이를 나타내는 것으로, 차광재를 온실의 온도환경제어 목적으로 이용하고자 할 경우에는 차광재에 따른 정확한 투과율을 미리 측정을 통해 검증할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Table 1. Transmissivity of solar radiation of shading materials in greenhouse. (Unit: %)

Date	No shading greenhouse	Shading greenhouse		
		Internal shading ratio		External shading ratio
		55%	85%	50%
Mar. 31	72.8	-	-	-
Apr. 1	-	-	10.8	-
Apr. 6	72.1	-	7.9	-
Apr. 8	-	-	10.2	-
Apr. 17	70.0	-	-	-
Apr. 20	70.6	-	-	-
May 7	71.4	-	-	-
May 9	-	-	8.5	-
May 29	-	23.0	8.3	-
Jun. 4	-	23.3	8.5	-
Jun. 5	-	24.4	-	-
Jun. 7	-	-	8.3	-
Aug. 8	-	23.2	9.5	-
Aug. 10	-	23.9	-	32.6
Aug. 11	-	24.0	-	32.1
Aug. 12	-	23.0	-	-
Aug. 14	70.5	-	-	31.3
Aug. 15	70.0	-	-	31.6
Aug. 22	70.2	-	-	33.1
Aug. 23	-	-	-	32.0
Aug. 28	-	-	-	31.2
Aug. 30	-	-	-	33.0
Average	70.9	23.6	9.0	32.1
Standard[z]	70.9	31.9	10.6	35.5
Difference[y]	0.0	8.3	1.6	3.4

[z]Standard = (No shading) $\times \left(\frac{100-(\text{Shading ratio})}{100}\right)$

[y]Difference = Standard-Average.

3. 차광율에 따른 온실내부의 온도 변화

내부차광시 자연환기조건 및 차광율에 따른 온실내부의 온도 변화를 구명하기 위하여 자연환기 조건과 무환기 조건으로 구분하여 온도변화를 분석하였다. Table 2는 자연환기 및 무환기 조건에서 차광율 85%와 차광율 55% 차광온실의 최대, 최소 및 평균온도차를 나타낸 것이다. 자연환기와 무환기 조건 모두에서 85% 차광온실이 55% 차광온실 보다 최대 약 4°C, 평균 약 2°C 정도의 승온억제효과가 더 있는 것으로

Table 2. Difference(TD) of inside temperature between 85% and 55% shading greenhouses. (Unit: °C)

Date	No ventilation						Natural ventilation					
	Outside Temp.			TD			Outside Temp.			TD		
	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.
Apr. 8	20.5	13.2	17.5	3.1	1.3	2.6	19.3	10.1	12.3	3.6	0.8	2.2
May 28	28.3	24.2	26.7	3.0	0.9	2.4	30.5	26.8	29.3	3.0	1.1	2.2
Jun. 4	35.4	28.5	35.4	4.2	1.2	2.4	29.5	24.0	27.4	3.9	1.1	2.6
Jun. 5	32.5	30.1	31.4	2.5	1.0	2.2	34.1	29.2	32.3	3.9	1.3	2.3
Average				3.2	1.1	2.4				3.6	1.1	2.3

Table 3. Difference between the maximum and minimum soil temperatures. (Unit: °C)

Date	No shading		Internal shading		External shading			
					Horizontal		Inclined	
	0%		80%		50%		50%	
	Out[z]	In[y]	Out	In	Out	In	Out	In
Jul. 19	5.3 (29.4)[x]	6.6 (30.4)	-	-	-	-	-	-
Jul. 20	4.6 (28.1)	6.5 (28.2)	-	-	-	-	-	-
Jul. 22	-	-	5.0 (32.9)	2.1 (30.5)	-	-	-	-
Jul. 26	-	-	5.8 (27.3)	2.6 (28.4)	-	-	-	-
Jul. 27	-	-	5.6 (27.7)	2.2 (28.4)	-	-	-	-
Aug. 5	4.6 (28.2)	5.7 (28.4)	-	-	-	-	-	-
Aug. 8	-	-	5.6 (27.9)	2.5 (28.4)	-	-	-	-
Aug. 9	4.3 (29.3)	5.5 (28.4)	-	-	-	-	-	-
Aug. 10	-	-	-	-	5.6 (31.8)	2.8 (29.9)	-	-
Aug. 11	-	-	-	-	-	-	6.0 (32.2)	2.9 (30.0)
Aug. 12	-	-	-	-	5.3 (33.1)	2.5 (30.4)	-	-
Aug. 13	-	-	-	-	-	-	5.8 (33.0)	2.3 (30.1)
Aug. 14	-	-	-	-	5.8 (32.9)	2.8 (29.5)	-	-
Aug. 15	-	-	-	-	-	-	5.9 (33.8)	2.7 (30.1)
Aug. 22	-	-	-	-	4.9 (28.6)	2.1 (29.3)	-	-
Aug. 28	-	-	-	-	-	-	5.2 (27.8)	2.8 (28.8)
Average	4.7	6.1	5.5	2.4	5.4	2.6	5.7	2.7

[z]Difference of soil temperature at the outside of greenhouse
[y]Difference of soil temperature at the inside of greenhouse
[x]Soil temperature at the beginning of shading.

나타났다.

4. 차광이 온실내부의 지온 변화에 미치는 영향

Table 3은 실험기간 중 맑은 날에 온실내부 및 외부의 최고지온과 최저지온의 차를 각각 나타낸 것이다. 온실외부의 지온변화가 평균 4.7°C일 때 무차광온실 내부의 지온변화는 평균 6.1°C로 나타나 온실내부의 지온변화가 외부보다 1.4°C 높았다. 반면에 온실외부의 지온변화가 평균 5.4~5.7°C일 때 3가지 차광온실 내부의 지온변화는 평균 2.4~2.7°C로 나타나 온실내부의 지온변화가 외부보다 오히려 평균 3°C정도 낮았다. 차광온실내부의 지온변화는 차광율과 차광방법에 따른 차이는 매우 작았으나 무차광온실과는 큰 차이가 있었기 때문에 온실내부의 지온변화는 차광율과 차광방법

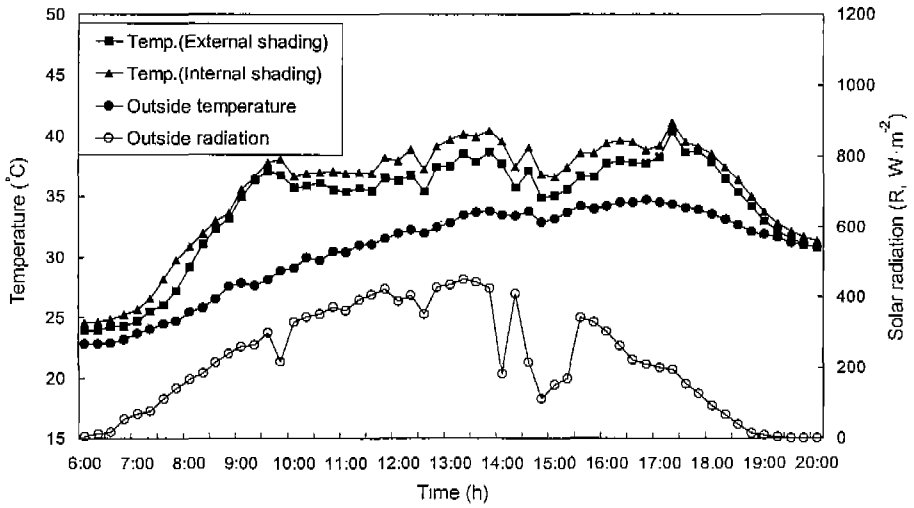


Fig. 5. Comparison of inside temperatures under horizontal external shading and internal shading (Aug. 10).

보다는 차광의 유무에 큰 영향을 받는다는 사실을 알 수 있었다.

5. 외부차광과 내부차광의 차광효과 비교

자연환기상태에서 차광율 50%인 알루미늄 스크린을 이용한 외부차광온실과 차광율 55%인 알루미늄 스크린을 이용한 내부차광온실에 대한 온실내의 기온변화를 분석하였다.

Fig. 5는 외부수평차광온실과 내부차광온실의 차광효과를 비교한 것이다. 외기온이 29.1~34.7℃(평균 32.7℃)로 변화할 때, 차광율 55%인 내부차광온실의 내부기온은 36.7~40.4℃(평균 38.3℃)였고, 차광율 50%인 외부차광온실의 내부기온은 35.7~38.7℃(평균 37.2℃)로 차광율 55%인 내부차광온실 보다 1.6~2.2 ℃(평균 1.8℃) 낮게 나타났다.

Fig. 6은 외부경사차광온실과 내부차광온실의 차광효과를 비교한 것이다. 외기온이 30.1~34.4℃(평균 32.8℃)로 변화할 때, 차광율 55%인 내부차광온실의 내부기온은 36.3~40.3℃(평균 38.4℃)였고, 차광율 50%인 외부차광온실의 내부기온은 36.3~39.5℃(평균 37.9℃)로 차광율 55%인 내부차광온실 보다 0.5~1.4 ℃(평균 0.8℃) 낮았다.

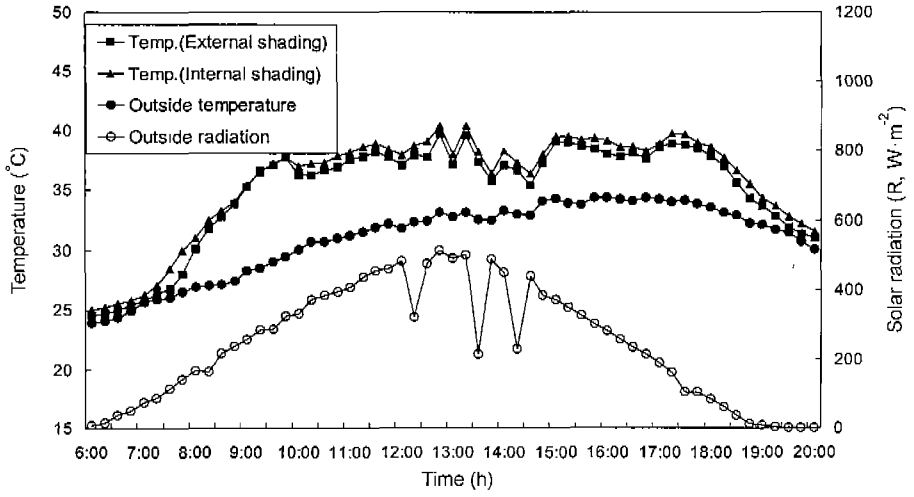


Fig. 6. Comparison of inside temperatures under inclined external shading and internal shading (Aug. 11).

Table 1의 투과율 분석결과 50% 차광재가 55% 차광재보다 광투과율이 높음에도 불구하고 차광율 50%인 외부차광온실이 차광율 55%인 내부차광온실보다 승온억제효과가 더 우수한 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 외부차광시 차광재가 흡수한 열이 온실내부로 전달되지 않을 뿐만 아니라 천창을 통한 환기효율이 내부차광보다 양호하기 때문인 것으로 판단된다.

Literature cited

1. Hanan, J.J. 1998. GREENHOUSE(Advanced technology for protected horticulture). CRC Press, NewYork, USA. p. 105-120, p. 146-147.
2. Japan Greenhouse Horticulture Association. 1994. Handbook of greenhouse horticulture. Japan Greenhouse Horticulture Association. p. 233-235 (in Japanese).
3. Kim, M.K., S.G. Lee, S.J. Chung, K.H. Ryu, W.M. Suh, Y.C. Yoon, J.E. Son, H.W. Lee and S.W. Nam. 1997. Design standards for greenhouse environment (II). Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation. p. 221-225 (in Korean).
4. Lee, J.S., Y.H Woo, S.Y. Lee, B.R. Ryu, and Y.H. kim. 1997, Studies on the dropping method of air temperature in the protected house for summer culture of flower crops. Ministry of Agriculture and Forestry. p. 1-175 (in Korean).
5. Lee, H.W., S.G. Lee, G.D. Kim and J.W. Lee. 2000a. Methods to raise the efficiency of external shading in greenhouse. Proceeding of Bio-Environment Control 9(2):124-127 (in Korean).
6. Lee, H.W., S.G. Lee, G.D. Kim and J.W. Lee. 2000b. Variations of the inside temperature of greenhouse according to shading methods. Proceeding of the annual conference, KSAE:321-326 (in Korean).
7. Meijer, J. 1980. Reduction of heat losses from greenhouses by means of internal blinds with low emissivity. Journal of Agricultural Engineering Research 25: 281-290.
8. Park, J.C., Y.B. Min, W.M. Suh, H.T Jung and J.I. Kim. 1995. Experimental analyses for overcoming high temperature in greenhouses. Journal of The Research Institute of Greenhouse Horticulture of Gyeongsang National University vol. 2:107-121 (in Korean).
9. Shabtai C. and F. Marcel. 1999. Measuring and predicting radiometric properties of reflective shade nets and thermal screens. Journal of Agricultural Engineering Research 73:245-255.
10. Suh, W.M., Y.C. Yoon., J.C. Park. and Y.G. Son. 1995. Examination for introduction of greenhouse cooling system in Korea. Journal of The Research Institute of Greenhouse Horticulture of Gyeongsang National University vol. 2:123-145 (in Korean).
11. Woo, Y.H., Y.I. Nam, C.H. Song, H.J. Kim. H.J and D.E. Kim. 1994. Studies on management of effective temperature and humidity in greenhouse at summer season. J. Bio-Environment Control 3(1):58-65 (in Korean).
12. Woo, Y.H. 2000. The technology for effective growing management of horticultural crop at summer season. National Agricultural Mechanization Research Institute. p. 5-30 (in Korean).
13. Yoon, N.K. 1996. The dehumidifying and zone cooling effects of the water pipe system in greenhouse. MS Diss., Seoul National Univ. p 1-5 (in Korean).

차광율 및 차광방법이 온실내부의 온도변화에 미치는 영향

이석건 · 이현우 · 김길동 · 이종원
경북대학교 농업토목공학과

적 요

온실의 차광설계에 필요한 기초자료를 제시하기 위하여 온실모형과 실험온실을 이용하여 외부차광재의 적정 설치간격 분석, 차광재별 광투과율 분석, 차광율에 따른 온실내부온도의 변화 분석, 차광이 온실내부의 지온변화에 미치는 영향 분석 및 외부차광과 내부차광의 차광효과 비교를 실시하였다. 외부경사차광시 온실 지붕과 차광재의 설치간격은 10~30 cm에서 차광효율이 가장 좋은 것으로 나타났으나 환기창의 개폐를 위한 공간이 필요하지 않는 온실에서는 10 cm 정도이면 충분한 간격이 될 것으로 판단된다. 경사차광의 온도차가 수평차광보다 높게 나타나 무환기 상태에서는 경사차광의 차광성능이 수평차광보다 더 우수함을 알 수 있었다. 차광제 제작사에서 제시한 투과율과 실제 온실에서 계측한 투과율이 상당한 차이가 있으므로 차광재를 온실의 온도환경제어 목적으로 이용하고자 할 경우에는 차광재의 투과율을 미리 측정하여 검증할 필요가 있었다. 자연환기와 무환기 조건 모두에서 85% 차광온실이 55%차광온실 보다 최대 약 4℃, 평균 약 2℃ 정도의 승온억제효과가 더 있었다. 차광온실 내부의 지온변화는 차광율과 차광방법에 따른 차이는 매우 작았으나 무차광온실과는 큰 차이가 있었기 때문에 온실내부의 지온변화는 차광율과 차광방법보다는 차광의 유무에 큰 영향을 받는다는 사실을 알 수 있었다. 50% 차광재가 55% 차광재보다 광투과율이 높음에도 불구하고 차광율 50%인 외부차광온실이 차광율 55%인 내부차광온실보다 승온억제효과가 더 우수한 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 외부차광시 차광재가 흡수한 열이 온실내부로 전달되지 않을 뿐만 아니라 천창을 통한 환기효율이 내부차광보다 양호하기 때문인 것으로 판단되었다.

주제어 : 내부차광, 외부차광, 온실모형, 실험온실, 광투과율