

적외선 흡수필름을 차광재로 사용한 모형 온실의 광환경 분석

Analysis of the Light Environment in Model Greenhouse
using Infrared Absorption Film as Shading Screen

권혁진* · 김기성 · 김문기 (서울대)
Kwon, Hyuck Jin · Kim, Kee Sung · Kim, Moon Ki

Abstract

This study was carried out to analyze the light and thermal environment in model greenhouse using infrared absorption film as shading screen and to compare with the case of no shading and using general shading screen such as aluminum foil-backed film, black polyethylene film and thermal blanket. PPF(photosynthetic photon flux density) of inside the model greenhouse under infrared absorption film was increased by 22% than under general shading screen on the average. And temperature of inside air under infrared absorption film was 2°C lower than under general shading screen on the average. So, it is expected that infrared absorption film is useful as shading screen.

I. 서론

여름철 온실 내 고온 문제를 해결하기 위해서 기본적인 방법인 차광이나 환기에 대한 효율을 높이는 것이 필요하다. 온실 내에 차광을 할 경우 50% 차광시 약 3~5°C의 승온 억제 효과가 있고 차광율이 증가함에 따라 승온 억제효과가 커진다는 보고가 있으나, 필요한 광량을 충분히 확보해 주지 못하여 작물의 생장에 영향을 끼치게 되는 문제가 발생하게 된다. 남 등은 60%이상을 차광할 경우 생산되는 상추의 상품성이 정상적인 조건에 비해 현저하게 저하된다고 보고하였으며, 장 등은 썩갯의 경우 차광을 65%할 경우 무차광에 비하여 엽수가 감소하고 개화일이 20일 정도 지연된다고 보고하였다. 따라서 효율적인 차광을 위해서는 충분한 광량을 확보하면서 온도를 억제하는 차광재에 관한 연구가 필요하다. 한편, 임은 적외선 흡수필름을 차광재로 이용한 박스모형의 열환경을 분석하여 동일한 차광율의 다른 차광재보다 20%정도 광합성유효광량자를 더 투과시키고 지면에서의 온도가 8°C정도 감소되는 것이 예측된다고 보고하였다. 적외선 흡수필름은 온실 내로 들어오는 일사 중에서 작물의 생장에는 영향이 적고 대부분이 열로 변환되는 적외선만을 차단하고 작물 생장에 필요한 가시광선 파장대의 일사를 더 많이 투과시키는 기능이 있다.

따라서 본 연구에서는 적외선 흡수필름을 차광막으로 사용한 모형온실의 광환경 및 열환경을 현재 차광재로 많이 사용되고 있는 알루미늄 차광막이나 흑색 차광막 또는 부직포를 차광

재로 사용한 모형온실의 환경과 비교하여 적외선 흡수필름이 차광재로서 유용하게 사용될 수 있는지 알아보려고 한다.

II. 재료 및 방법

실험에 사용된 모형온실은 양지붕형(3-1G형) 유리온실을 1/10로 축소하여 Fig. 1과 같이 제작하였고 길이는 70cm로 하였으며, 천창과 측창을 개방하였다. 모형온실은 3cm의 스티로폼 위에 흙을 약 2cm 정도 덮은 후 동서동으로 설치하였고, 모형온실간 거리는 3m로 하였다.

피복재는 투과율이 약 75%인 PE필름을 이용하였고, 차광재로는 적외선 흡수필름(WB50, 일사투과율57%, 광합성유효광량자 투과율 77%), 알루미늄 차광막(일사투과율 50%), 흑색차광막(일사투과율 50%), 부직포(보온커튼용)를 이용하였다.

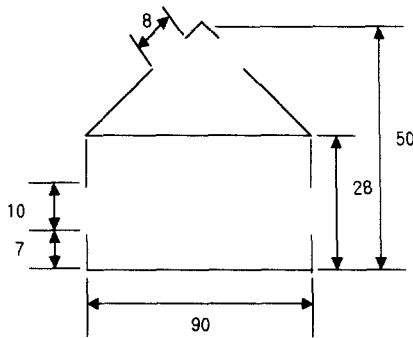


Fig. 1. Cross sectional view of model greenhouse (unit : cm)

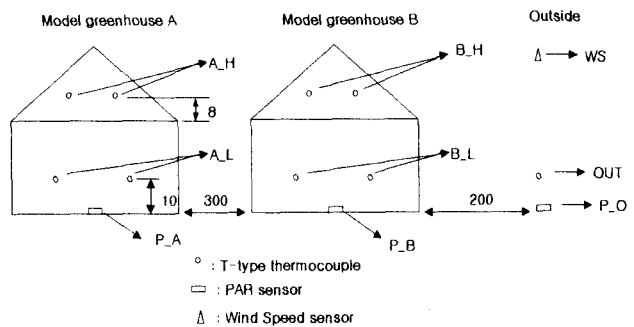


Fig. 2. Layout of distributed sensors (unit : cm)

모형온실 내의 환경과 외부 환경의 계측을 위한 센서의 배치는 Fig. 2와 같다. 광환경 분석을 위하여 각 모형온실의 바닥 중앙에 PAR센서(PAR-1, PP system)를 설치하여 PPFD(광합성유효광량자속밀도)를 측정하였으며, 열환경 분석을 위하여 각 모형온실의 차광막 설치 위치를 기준으로 상부와 하부로 나누어 각 부분에 T형 열전대를 2개씩 설치하였다. 그리고, 모형온실 외부에서도 기온과 PPFD를 측정하였다. 또한 환기에 의한 영향을 고려하기 위하여 모형온실의 천창과 동일한 높이에 일방향 풍속센서(Dwyer series 640, Dwyer Instruments Inc.)를 설치하였고, 실험 데이터는 디지털 다점기록계(DC100, Yokogawa)로 오전 8시부터 오후 6시까지 10분 간격으로 자동 저장하였다.

실험방법은 Table 1과 같이 적외선 흡수필름과 각 차광막을 비교실험 하였다.

Table 1. Experimental conditions

	case 1	case 2	case 3	case 4
Model greenhouse A	Infrared absorption film			
Model greenhouse B	no shading	aluminum foil-backed film	black polyethylene film	thermal blanket

III. 결과 및 고찰

1. 광환경 분석

Fig 3.1은 case 1(적외선 흡수필름 : 무차광)의 광환경 비교이다. 외부의 평균 PPFD가 $1176.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 이고 최대 PPFD가 $2033 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 일 때, 모형온실 A에서는 평균 $691.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 최대 $1658.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 의 값을 보였고, 모형온실 B에서는 평균 $869.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 최대 $1945.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 의 값을 보였다. 외부 PPFD의 58%정도가 모형온실의 A에서 측정되었다.

Fig 3.2는 case 2(적외선 흡수필름 : 알루미늄 차광막)의 광환경 비교이다. 외부의 평균 PPFD가 $1053 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 이고, 최대 $1802.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 일 때, 모형온실 A에서는 평균 $550.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 최대 $1014.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 였고, 모형온실 B에서는 평균 $286.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 최대 $638.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 의 값을 나타내 외부의 PPFD 중에서 모형온실 A에는 52%, B에는 27%가 온실 내부로 투과되었다. 알루미늄 차광막의 실제 차광율은 60%로 나타났다.

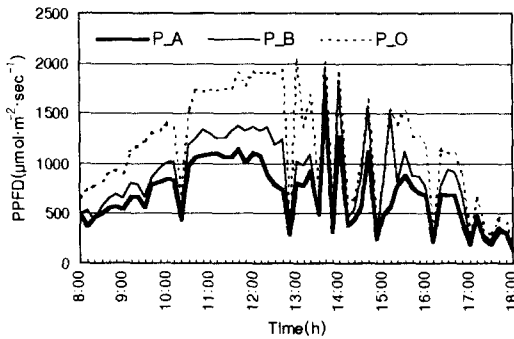


Fig 3.1. Changes of PPFD between Infrared absorption film and no shading

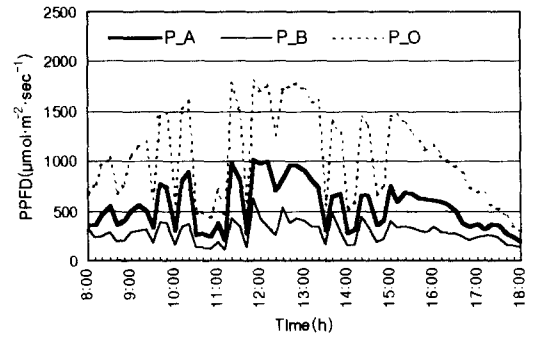


Fig 3.2. Changes of PPFD between Infrared absorption film and aluminum

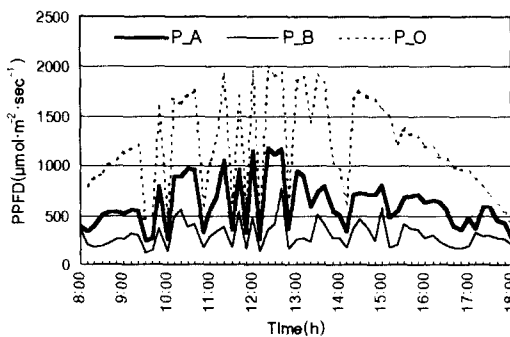


Fig 3.3. Changes of PPFD between Infrared absorption film and black net

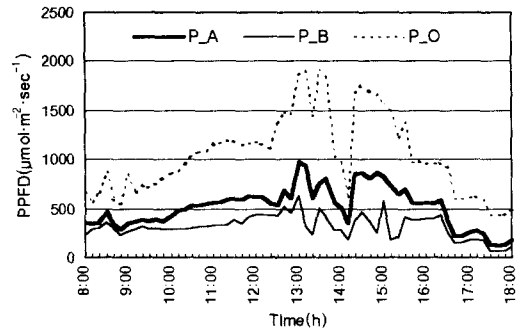


Fig 3.4. Changes of PPFD between Infrared absorption film and thermal blanket

Fig. 3.3.은 case 3(적외선 흡수필름 : 흑색차광막)의 광환경을 비교한 그래프이다. 외부의 평균 PPFd가 $1205.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 이고, 최대 $1985.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 일 때, 모형온실 A에서는 평균 $620.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 최대 $1182.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 이었고, 모형온실 B에서는 평균 $303.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 최대 $763.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 의 값을 나타내 외부의 PPFd 중에서 모형온실 A에는 51%, B에는 25%가 온실 내부로 투과되었다. 따라서 조건 2와 비슷한 광환경을 나타내었다.

Fig. 3.4.는 case 4(적외선 흡수필름 : 부직포)의 광환경을 비교한 그래프이다. 외부의 평균 PPFd가 $1045.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 이고, 최대 $1910.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 일 때, 모형온실 A에서는 평균 $513.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 최대 $973.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 였고, 모형온실 B에서는 평균 $313.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 최대 $632.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 의 값을 나타내 외부의 PPFd 중에서 모형온실 A는 49%, B는 30%가 모형온실 내부로 투과되는 것으로 나타났다. 부직포의 차광율은 50%로 나타났다.

결국 적외선 흡수필름을 사용한 경우 온실 내부의 PPFd의 값이 거의 두 배정도 높게 측정되어 광환경이 개선된 것으로 보이며, 알루미늄 차광막같이 다른 차광재를 사용한 경우에는 광부족 현상이 발생된 것으로 판단된다. 또한 주요 시설업체류의 광포화점이 $1000 \sim 1300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ (20~25klux)이라는 것을 감안하면 적외선 흡수필름을 사용한 경우 평균 PPFd 값은 다소 작게 나왔으나 최대값의 경우 $973.4 \sim 1658 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 으로 나타남으로써 작물 생육에 적절한 광환경이 조성되었다고 판단된다.

위의 결과를 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2. PPFd at each condition (unit : $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$)

	Model greenhouse A		Model greenhouse B		Outside	
	Mean ¹⁾	Max.	Mean	Max.	Mean	Max.
Case 1	691.5	1658.4	869.6	1954.4	1176.1	2033.0
Case 2	550.2	1014.6	286.0	638.1	1053.0	1802.1
Case 3	620.2	1182.6	303.1	763.8	1205.2	1985.0
Case 4	513.9	973.4	313.7	313.7	1045.6	1910.4

1) Mean of 8:00~18:00

2. 열환경 분석

Fig. 4.1.은 case 1(적외선 흡수필름 : 무차광)의 열환경을 비교한 그래프이다. 외부의 평균 온도가 29.3°C 이고, 최대 35.6°C 일 때, 모형온실 A의 하부에서는 평균 35.7°C , 최대 41.3°C 였고, 모형온실 B의 하부에서는 평균 37.4°C , 최대 47.8°C 의 값을 나타내 두 모형온실 하부간에 평균 1.7°C 의 온도차를 보였다. 외부풍속은 평균 0.83m/s 였다.

Fig. 4.2.는 case 2(적외선 흡수필름 : 알루미늄 차광막)의 열환경을 비교한 그래프이다. 외부의 평균 온도가 30.3°C 이고, 최대 35.6°C 일 때, 모형온실 A의 하부에서는 평균 36.5°C , 최대 39.5°C 였고, 모형온실 B의 하부에서는 평균 38°C , 최대 41.4°C 의 값을 나타내 두 모형온실 하부간에 평균 1.5°C 의 온도차를 보였다. 외부풍속은 평균 0.58m/s 였다.

Fig. 4.3.은 case 3(적외선 흡수필름 : 흑색 차광막)의 열환경을 비교한 그래프이다. 외부의

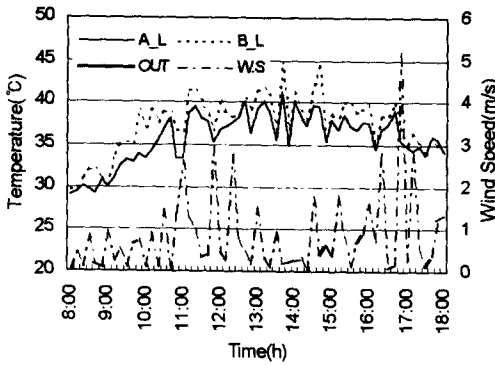


Fig. 4.1. Changes of Temperature and wind velocity between infrared absorption film and no shading

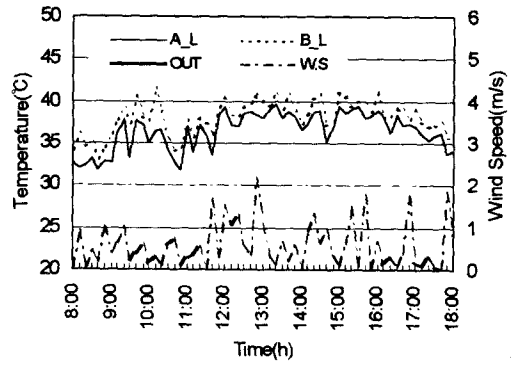


Fig. 4.2. Changes of Temperature and wind velocity between infrared absorption film and aluminum

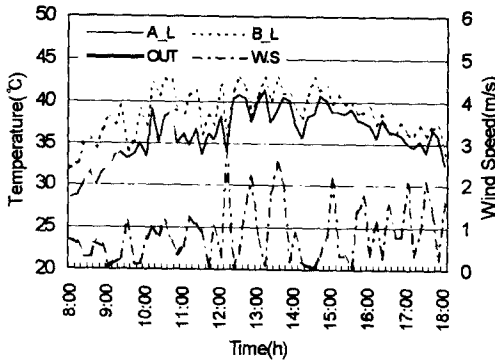


Fig. 4.3. Changes of Temperature and wind velocity between infrared absorption film and black net

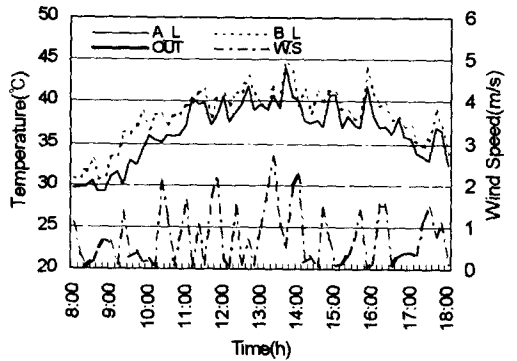


Fig. 4.4. Changes of Temperature and wind velocity between infrared absorption film and thermal blanket

평균 온도가 31.5°C이고, 최대 38.7°C일 때, 모형온실 A의 하부에서는 평균 36.2°C, 최대 41.4°C였고, 모형온실 B의 하부에서는 평균 38.5°C, 최대 42.8°C의 값을 나타내 두 모형온실 하부간에 평균 2.3°C의 온도차를 보였다. 외부풍속은 평균 0.83m/s였다.

Fig. 4.4.는 case 4(적외선 흡수필름 : 부직포)의 열환경을 비교한 그래프이다. 외부의 평균 온도가 31.1°C이고, 최대 36.0°C일 때, 모형온실 A의 하부에서는 평균 36.5°C, 최대 44.1°C였고, 모형온실 B의 하부에서는 평균 38.3°C, 최대 45.4°C의 값을 나타내 두 모형온실 하부간에 평균 1.8°C의 온도차를 보였다. 외부풍속은 평균 0.74m/s였다.

위의 결과를 살펴보면 적외선 흡수필름을 사용한 모형온실에서 다른 재료를 차광막으로 사용한 모형온실보다 내부 온도가 2°C정도 감소된 것으로 나타났지만 그 차이가 크지 않은 이유는 우선 모형온실의 부피(0.24m³)가 작고, 풍속(평균 0.75m/s)이 커서 환기율이 높기 때문이라고 생각된다. 실제로 풍속(평균 0.33m/s)이 작게 측정되었던, case 2의 9시부터 11시까지의 온도를 비교해 보면 모형온실 A와 B의 하부 온도차가 평균 2.8°C, 최대 5°C로 나타나 풍속이 작아지면 온도차가 더 커지게 되는 것으로 나타났다. 따라서 부피가 크고 환기율이 낮은 대형온

실의 경우에는는 적외선 흡수필름으로 인한 온도 감소효과가 크게 나타날 것이라고 판단된다.

위의 결과를 요약하면 Table 3과 같다.

Table 3. Analysis of thermal environment and wind speed at each case

	A_H(°C)		A_L(°C)		B_H(°C)		B_L(°C)		Out(°C)		wind speed(m/s)	
	Mean ¹⁾	Max.	Mean	Max.	Mean	Max.	Mean	Max.	Mean	Max.	Mean	Max.
Case1	39.3	52.5	35.7	41.3	37	45.1	37.4	44.8	29.3	35.6	0.83	5.2
Case2	40.6	48.3	36.5	39.5	42.5	50.9	38	41.4	30.3	35.6	0.58	2.1
Case3	38.6	51.5	36.2	41.4	42.3	50.8	38.5	42.8	31.5	38.7	0.83	2.8
Case4	39.5	52.6	36.5	44.1	39.7	49.1	38.3	45.4	31.1	36.0	0.74	2.7

1) Mean of 8:00~18:00

IV.결 론

적외선 흡수필름을 차광재로 이용한 모형온실의 광환경과 열환경을 현재 일반적으로 사용되는 흑색차광막이나 알루미늄 차광막, 부직포를 사용한 모형온실과 비교하여 분석한 결과 적외선 흡수필름을 차광재로 사용한 경우 PPF D 값이 알루미늄 차광막보다 25%, 흑색 차광막보다 26%, 부직포보다 19% 더 높게 나타나 광환경이 개선되었고, 다른 차광재를 사용했을 때보다 모형온실 내 온도가 2°C 정도 낮게 측정되었기 때문에 적외선 흡수필름은 실제 대형온실의 차광재로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김기성, 김문기, 1999, 플라스틱 온실내 2단 재배시스템의 생육환경 분석 및 개선, 생물환경 조절학회지 8(1) : 49-55
2. 남상용, 권용용, 1997, 배양액 온도 및 차광 정도가 청치마 상추의 생육에 미치는 영향, 생물 생산시설환경 6(4) : 270-276
3. 이석진, 이종원, 이현우, 이해진, 1998, 차광이 온실의 내부온도에 미치는 영향, 한국생물생산시설학회 학술논문 요지집 7(1) : 33-46
4. 임형택, 1999, 적외선흡수 필름을 차광재로 사용한 온실의 열환경 예측, 서울대학교 석사학위 논문
5. 장매희, 박권우, 1993, 썩갯의 화아분화에 미치는 일장, 차광 및 관수 처리의 영향, 생물생산 시설환경 2(2) : 136-146