

# 온실의 전천일사량 및 광합성광량자속의 상관관계 및 투과율

## The Relationship between Solar Total Radiation and Solar PPF and Transmission in Greenhouse

이 현 우\* · 이 석 건 · 이 종 원(경북대)

Lee, Hyun Woo · Lee, Suk Gun · Lee, Jong Won

### Abstract

It was needed to know the amount of PPF to design greenhouse and predict the growth of crops in greenhouse. Experiments have been conducted to determine the transmission of PPF at canopy level along sky clearness condition in greenhouse, the correlation between the hourly PPF and total solar radiation. Additional experiments are needed to confirm these experimental results.

### 1. 서 론

온실피복재의 투과율에 관한 현재까지의 연구들은 대부분 이상적인 실험조건에서 수행되었고 실제 유리온실이나 플라스틱온실의 수관부 위치에서의 투과율에 관한 연구는 많지 않다. 온실의 광투과율은 피복재의 종류, 태양입사각, 하늘의 청명도 등에 영향을 받는다. 특히, 작물의 수관부 위치에서의 투과율의 변화는 피복재의 위치에서보다 훨씬 복잡하며, 이는 구조재와 장치들의 영향을 많이 받기 때문이다. 일부 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 투과율을 계산하는 방법이 시도된 바가 있긴 하지만 온실내부의 여러 가지 요인들을 고려하여 작물의 수관부 위치에서의 투과율을 정확하게 모델링하는 것은 상당히 어렵다. 따라서 측정실험을 통하여 투과율을 얻는 것이 가장 효과적인 방법일 것이다.

광합성광량자속(PPF)은 작물의 생장이나 온실설계에 중요한 부분을 차지하고 있기 때문에 그 양을 계산하는 것은 상당히 중요하다. 전천일사량은 기상청에서 발간하는 기상자료에서 쉽게 얻을 수가 있는 반면에 광합성광량자속의 자료는 구하기가 어렵다. 따라서 전천일사량과 광합성광량자속의 상관관계가 얻어지면 광합성광량자속을 계산하는데 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

현재까지 제시된 온실의 광투과율은 기상의 청명도에 관계없이 일률적인 값을 제시하고 있으나 온실의 경우 구조재가 광투과에 많은 영향을 주기 때문에 산란광과 직달광의 비율에 따라 투과율이 달라질 수 있으며, 산란광과 직달광의 비율은 청명도에 따라 달라진다.

따라서, 본 연구는 실험을 통하여 온실의 수관부에서의 청명도에 따른 광합성광양자속의 투과율을 산정하고 전천일사와 광합성광양자속과의 상관관계를 구명하기 위하여 수행되었다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 실험온실은 크기가 7m(폭)×11m(길이)×2.2m(축고)이고 동고가 4m인 양지붕형 단동유리온실 2개 동으로 경북대학교 부속농장에 설치되어 있다. 온실의 건설방위는 동서동이며 자연환기를 위해 천창과 3-way방식의 측창이 설치되어 있다.

온실내의 일사량과 광합성광양자속의 변화를 계측하기 위하여 Delta-T Data-logger 및 CR10X Micro-logger를 사용하였다. 전천일사량은 GS1 전천일사센서(305nm~2,800nm)를 사용하고 광합성광양자속은 LI190SB 광양자센서(400~700nm)를 사용하여 측정하였다. 온실내의 센서는 지면으로부터 0.8m 높이에 설치하였다. 온실외부의 기상자료는 경북대학교 부속농장내에 설치된 종합기상관측장비를 이용하였다.

기상청에서 제시하는 기상조건은 전운량(全雲量)을 기준으로 하여 크게 4종류로 분류하고 있다. 본 연구에서는 전천일사량과 광합성광양자속의 상관관계를 분석하기 위하여 운량의 양에 따라 기상조건을 맑음(운량 < 5), 흐림(운량 > 5)으로 구분하였으며, 운량이 적은 날에도 비가 오는 경우가 있으므로 강우량 자료를 참조하여 날씨 상태를 구분하였다. 실험자료는 4월~7월까지의 기상자료와 실험온실에 측정된 자료를 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 온실의 광합성광양자속 수직분포

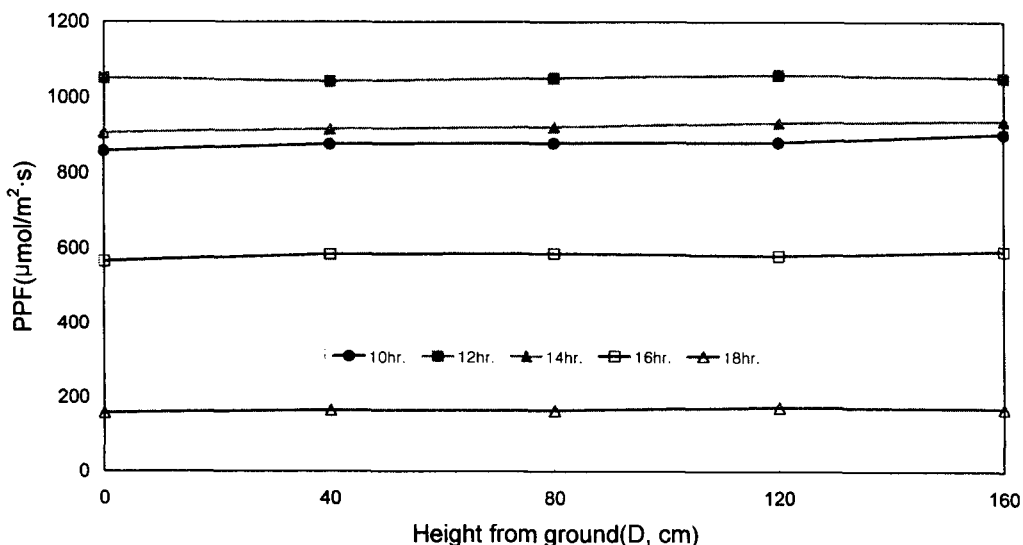


Fig. 1. Variation of PPf along the height from ground in greenhouse on clear day.

Fig. 1은 맑은 날 온실내부의 그림자가 없는 점에 대한 높이에 따른 광합성광양자속의 수직 변화를 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 바닥에서 160cm 높이까지의 변화를 시간대 별로 분석한 결과 높이에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나 일반적으로 지붕 피복재 위치에서의 일사량과 수관부 위치에서의 일사량은 차이가 있는 것으로 알려져 있으며 이러한 차이는 결국 골조재의 차광이 그 원인이다. 또한 차광의 영향은 기상의 청명도에 따라 달라진다. 따라서, 작물이 자라는 수관부 위치에서의 광합성광양자속의 투과율은 청명도에 따라 달라지게 될 것이다.

#### 나. 투과율

Table 1은 날씨 상태에 따른 일사 및 광합성광양자속의 투과율을 나타낸 것으로, 평균투과율은 맑은 날이 70.9% 및 70.5%, 흐린 날이 67.7% 및 68.1% 였다. 이 평균투과율은 09:00~17:00까지 온실내로 투과되는 일사량 및 광합성광양자속에 대한 투과율을 평균한 것으로 온실의 설치방향과 구조에 따라 다소 달라질 수 있을 것으로 판단되지만, 흐린 날 보다 맑은 날이 투과율이 약간 높았으나 전천일사와 광합성 광양자속의 투과율을 별로 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 1. Transmittance of total radiation and PPF according to weather condition.

(Unit: %)

Date	Weather condition			
	Clear		Cloudy	
	Total rad.	PPF	Total rad.	PPF
Mar. 31	72.8	71.0		
Apr. 4			67.4	69.4
Apr. 5			69.2	68.3
Apr. 6	72.1	71.8		
Apr. 17	70.0	70.4		
Apr. 20	70.6	70.2		
Apr. 21			67.9	67.6
Apr. 26			67.4	68.1
Apr. 27			66.7	67.3
May 7	71.4	69.4		
Aug. 14	70.5	71.0		
Aug. 15	70.0	69.3		
Aug. 22	70.2	71.2		
<b>Average</b>	<b>70.9</b>	<b>70.5</b>	<b>67.7</b>	<b>68.1</b>

Table 2는 외국에서의 실험결과로 이중 PE피복온실의 전천일사와 PPF의 투과율을 나타낸 것이다. 지붕위치에서는 전천일사와 광합성광양자속의 투과율이 거의 같았으나 수관부 위치에서는 광합성광양자속의 투과율이 전천일사보다 더 높은 것으로 나타나 본 연구의 결과와 차이를 보여주고 있으며, 그 이유는 분석중에 있다.

Table. 2 Transmittance of total radiation and PPF  
in double PE film greenhouse.

Location	Total rad.	PPF
At roof	67.4	67.1
At plant canopy	40.3	44.8

다. 전천일사와 광합성광양자속의 상관관계

Fig. 2와 Fig. 3은 온실외부에서 시간당 전천일사량(RAD)과 광합성광양자속(PPF)의 상관관계를 나타낸 것이다. 맑은 날의 경우 상관식은  $PPF = 1.9998 \times RAD$ 로 나타났으며 상관도( $r^2$ )는 0.9582였다. 또한, 흐린 날의 경우 상관식은  $PPF = 2.1948 \times RAD$ 로 분석되었으며 상관도( $r^2$ )는 0.9346였다. Blackburn과 Proctor(1983)은 시간당 전천일사량과 광합성광양자속 사이의 상관관계는 하늘의 청명상태에 의존한다고 하였으며 운량의 증가와 더불어 광합성광양자속은 증가한다고 보고하였다. 이는 본 연구 결과와 비교해 볼 때, 비록 맑은 날에 비하여 흐린 날의 상관도는 낮지만 상관식의 기울기는 큰 것으로 나타나 운량의 증가와 더불어 전천일사량 중에서 광합성광양자속이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 전체의 시간당 광합성광양자속과 전천일사량의 상관식은  $PPF = 2.0668 \times RAD$ , 상관도( $r^2$ )는 0.9446로 분석되었으며, 이 식은 Ting과 Giacomelli(1988)가 제시한  $PPF = 2.0699 \times RAD$ 와 유사한 기울기를 나타내었다. 또한, 온실내부의 경우에서와 같이 날씨가 흐린 날에는 전천일사량 중 광합성광양자속의 비율이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 이런 상관식을 이용한다면 시간당 전천일사량을 이용하여 시간당 광합성광양자속을 추정하는데 적절히 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

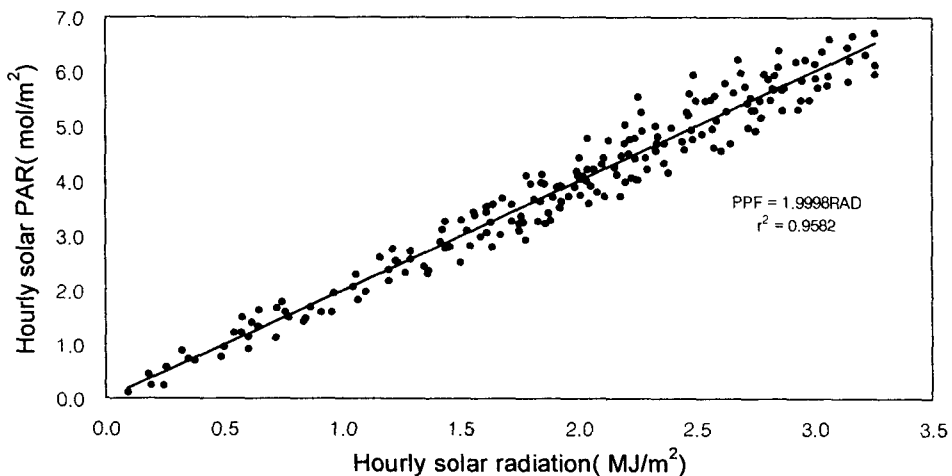


Fig. 2. Relationship between hourly solar PPF and total radiation during clear days in outside

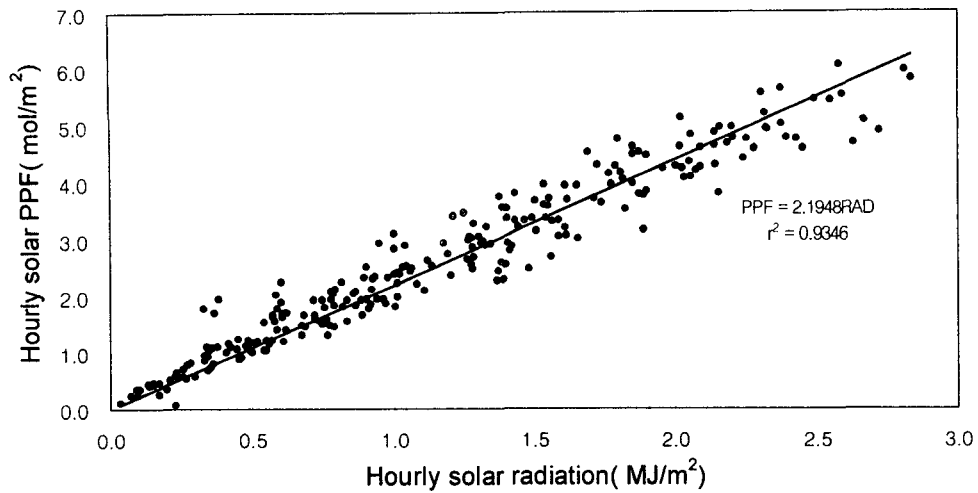


Fig. 3. Relationship between hourly solar PPF and total radiation during cloudy days in outside

Table 3. Comparison of correlation analyses results for total solar radiation and PPF.

Sky clearness condition	Outside		Within greenhouse		Difference of slope of regression lines
	Regression equations	Correlation coefficient	Regression equations	Correlation coefficient	
Clear	PPF=1.9998 X RAD	$r^2 = 0.9582$	PPF=2.0454 X RAD	$r^2 = 0.9416$	-0.0456
Cloudy	PPF=2.1948 X RAD	$r^2 = 0.9346$	PPF=2.1746 X RAD	$r^2 = 0.9365$	0.0202
Total	PPF=2.0668 X RAD	$r^2 = 0.9446$	PPF=2.0913 X RAD	$r^2 = 0.9413$	-0.0245

Table 3은 온실내부와 외부에서의 전천일사와 광합성광양자속의 상관관계를 비교한 것이다. 기상상태별로 상관식의 기울기가 비슷하게 나타났으며, 온실내부와 외부의 상관식 기울기의 차이가 맑을 때가 흐릴 때보다 더 큰 것은 온실내부의 경우 골조재의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 판단된다.

### 3. 결 론

온실의 수관부에서의 청명도에 따른 광합성광양자속의 투과율을 산정하고 전천일사와 광합성광양자속과의 상관관계를 구명하기 위하여 수행한 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 온실내외부의 전천일사량과 광합성광양자속의 상관관계식을 유도하였다.
2. 온실의 광합성광양자속의 투과율은 흐린 날 보다 맑은 날이 약간 높았으나 전천일사와 광합성 광양자속의 투과율의 차이는 크지 않았다.

3. 날씨가 흐린 날에는 전천일사량 중 광합성광량자속의 비율이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.
4. 온실내부와 외부의 상관식 기율기의 차이는 맑을 때가 흐릴 때보다 더 큰 것으로 나타났고 이는 온실내부의 광량변화가 골조재의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 판단된다.
5. 앞으로 추가 실험을 통하여 제시된 식에 대한 검증을 실시한 후 실용 가능한 식을 제안할 계획이다.

### 참 고 문 헌

1. 조일환, 조삼증, 권영삼. 1997. 시설원예의 피복자재가 광환경에 미치는 영향, 원예논문집 39권 1호. 140-144.
2. 김용현, 이석건. 1999. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 유리온실내의 일사 투과율에 미치는 골조율 및 동길이의 영향. 생물환경조절학회지 8권 3호. 202-208.
3. 이석건, 이현우, 김길동, 이종원. 2001. 차광율 및 차광방법이 온실내부의 온도변화에 미치는 영향. 생물환경조절학회지 10권 2호. 80-87.
4. C. Kittas and A. Baille. 1998. Determination of the spectral properties of several greenhouse cover materials and evaluation of specific parameters related to plant response. Journal of Agricultural Engineering Research Vol.(71). 193-202.
5. G.A. Giacomelli, K.C. Ting and S. Panigrahi. 1988. Solar PAR vs. Solar Total Radiation Transmission in a Greenhouse. TRANSACTIONS of the ASAE Vol 31(5). 1540-1543.
6. G.A. Giacomelli and W.J. Roberts. 1993. Greenhouse Covering Systems. HortTechnology Vol 3(1). 50-58.
7. I. Alados, F.J. Olmo, I. Foyo-Moreno and L. Alados-Arboledas. 2000. Estimation of photosynthetically active radiation under cloudy conditions. Agricultural and Forest Meteorology 102. 39-50.
8. K.C. Ting, and G. A. Giacomelli. 1987. Availability of Solar Photosynthetically Active Radiation. TRANSACTIONS of the ASAE.
9. Royal D. Heins, and Richard W. Thimijan. 1983. Photometric, Radiometric, and Quantum Light Units of Measure. HortScience Vol. 18(6). 818-822.
10. W.J. Blackburn and J.T.A. Proctor. 1983. Estimating photosynthetically active radiation from measured solar irradiance. Solar Energy Vol. 31(2). 233-234.