

Relationship between Total Solar Radiation and PPF, and Transmittance in Greenhouse at Different Weather Conditions¹⁾

Hyun-Woo Lee* · Suk-Gun Lee · Sang-Ho Lee

Dept. of Agri. Eng., Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Abstract

Since the transmittance of solar radiation directly affected by the structural frames of greenhouse can be changed according to the ratio of diffuse to direct radiations, it is necessary to investigate the transmittance of greenhouse at the different weather conditions. We can easily get the data of total solar radiation from the Meteorological Administration, but we have to personally measure the photosynthetic photon flux (PPF). If the relationship between total solar radiation and PPF is established, the PPF can be simply acquired from the relationship. So, it is required to develop the equation to calculate PPF depending on weather condition. This study was conducted to determine the transmittance of PPF at canopy level in glasshouse and the correlation between total solar radiation and PPF at clear and cloudy days. The variation phase of greenhouse transmittance at clear day was very different from that at cloudy day. It was concluded that the proper transmittance, depending on the weather condition, should be adopted to calculate the accurate total solar radiation and PPF in greenhouse. The transmittance of solar radiation was the same as that of PPF in greenhouse. It was confirmed that the ratio of PPF to total radiation increased as the amount of cloud increased. The correlation between the hourly total solar radiation and PPF was derived.

Key words: weather condition, hourly total solar radiation, hourly solar PPF, amount of cloud

*Corresponding author

¹⁾본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R02-2000-00389)지원으로 수행되었음.

서 론

온실 피복재의 광투과율에 관한 현재까지의 연구들은 대부분 피복재 자체의 투과율에 관하여 주로 수행되었고 실제 유리온실이나 플라스틱온실의 수관부 위치에서의 광투과율에 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 온실의 구조재와 내부에 설치된 장치들의 영향을 많이 받기 때문이다. 일부 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 투과율을 계산하는 방법이 시도된 바가 있지만(Kim과 Lee, 1999) 온실내부의 여러 가지 요인들을 고려하여 작물의 수관부 위치에서의 투과율을 정확하게 모델링하는 것은 상당히 어렵다. 따라서 측정 실험을 통하여 투과율을 얻는 것이 더 효과적인 방법일 것이다.

우리나라에서 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 기상조건에 따라 달라진다(Giacomelli 등, 1988; Kim과 Lee, 1999; Blackburn과 Proctor, 1983). 따라서 기상조건에 따른 온실내부의 광투과율을 구명할 필요가 있다.

광합성유효광량자속(Photosynthetic Photon Flux, PPF)은 작물의 생장이나 온실설계에 중요한 부분을 차지하고 있기 때문에 그 양을 파악하는 것은 상당히 중요하다. 전천일사량(Total Solar Radiation, RAD)은 기상청에서 제공하는 기상자료에서 쉽게 얻을 수가 있는 반면에 광합성유효광량자속의 자료는 직접 측정하지 않고는 구하기가 어렵다. 그러나 전천일사량과 광합성유효광량자속의 상관관계가 얻어지면 전천일사량으로부터 광합성유효광량자속을 쉽게 구할 수가 있을 것

기상조건에 따른 온실의 전천일사량 및 광합성유효광량자속의 상관관계 및 투과율

이다. 이와 관련하여 Blackburn과 Proctor(1983)은 186일 동안의 기상자료를 이용하여 광합성유효복사량과 전천일사량은 선형적인 상관관계가 있다는 것을 발견했으며 매시간 값들의 선형적인 상호관계는 하늘의 청명조건에 의존하고, 전천일사량 중에서 광합성유효복사량의 비율은 구름량의 증가에 따라 증가한다고 보고하였다. Ting과 Giacomelli(1987)는 미국 Rutgers대학(위도 : 40.5° N 경도 : 74.5° W)에서 시간당 전천일사량과 광합성유효복사량과의 상관관계를 유도하였다. 그러나 이러한 연구들은 년중 기상조건에 따라 온실의 광합성유효광량자속을 다르게 산정할 수 있는 연구결과가 아니다. 따라서 우리나라 온실에 대하여 기상조건에 따라 광합성유효광량자속을 산정할 수 있는 상관식의 개발이 필요하다.

본 연구는 실험을 통하여 온실의 수관부에서의 기상조건에 따른 광합성유효광량자속의 투과율을 산정하고 전천일사량과 광합성유효광량자속과의 상관관계를 구명하기 위하여 수행되었다.

실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 실험온실은 크기가 7m(폭)×11m(길이)×2.2m(높이)이고 동고가 4m이며 동간격이 5m인 양지붕형 단동유리온실 2개 동으로 경북대학교 부속농장에 설치되어 있다. 온실의 건설방위는 동

서동이며 자연환기를 위해 천창과 3-way 방식의 측창이 설치되어 있다.

온실내의 전천일사량과 광합성유효광량자속의 변화를 측정하기 위하여 Delta-T data-logger 및 CR10X micro-logger를 사용하였다. 전천일사량은 GS1 전천일사센서(305~2,800 nm)를 사용하였고 광합성유효광량자속은 LI190SB 광량자센서(400~700 nm)를 사용하여 측정하였다. 온실내의 센서는 지면으로부터 0.8m 높이에 설치하였다. 온실외부의 기상자료는 부속농장에 설치된 종합기상관측장비를 이용하였다.

기상청에서 제시하는 기상조건은 전운량(1~10, 소운량)을 기준으로 하여 크게 4종류(맑음, 구름조금, 구름많음, 흐림)로 분류하고 있으나, 본 연구에서는 기상조건을 맑음(운량 < 5)과 흐림(운량 > 5)으로만 구분하였다.

전천일사량과 광합성유효광량자속의 투과율을 비교하기 위하여 기상조건별로 일평균투과율을 산정하였다. 또한, 전천일사량과 광량자속과의 상관관계를 구명하기 위하여 기상조건별로 시간당 전천일사량과 시간당 광합성유효광량자속의 상관관계식을 구하였다.

결과 및 고찰

1. 투과율

Fig. 1과 Fig. 2는 하루 중 09:00~17:00시 사이의 기상조건에 따른 광합성유효광량자속의 변화를 나타낸

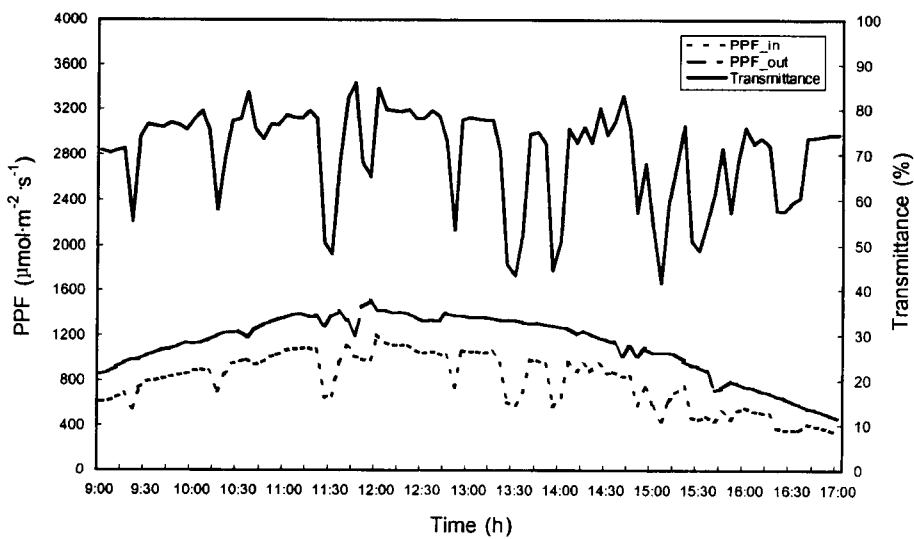


Fig. 1. Transmittance of solar PPF in glasshouse on a clear day.

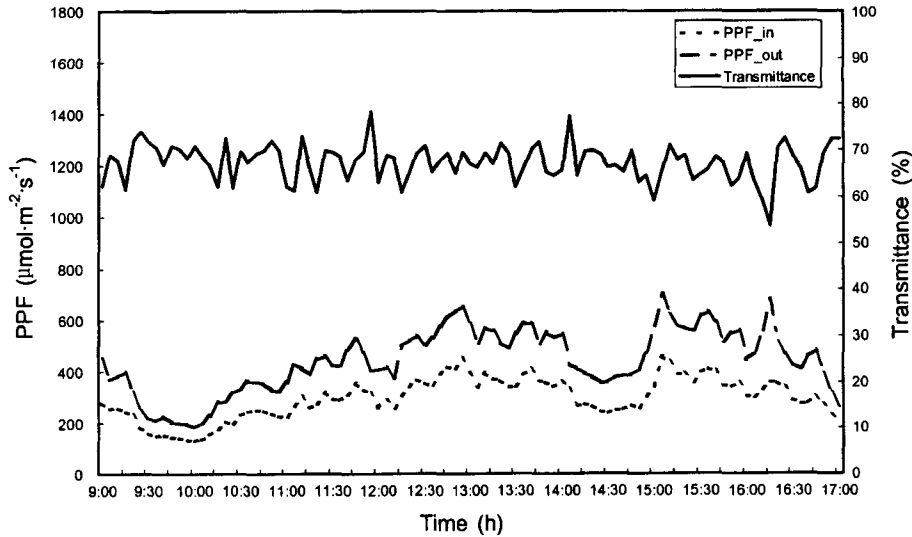


Fig. 2. Transmittance of solar PPF in glasshouse on a cloudy day.

것이다. Fig. 1은 맑은 날의 광합성유효광량지속의 변화를 나타낸 것이며, 투과율이 41.6~85.9%(평균 70.4%)로 골조재 및 태양입사각의 영향으로 인하여 온실내부에 입사되는 량의 시간에 따른 변동이 큰 것으로 나타났다. 반면에 Fig. 2는 흐린 날의 광합성유효광량지속의 변화를 나타낸 것이며, 투과율이 59.1~78.3%(평균 67.3%)로 맑은 날에 비해 골조재의 영향을 그다지 받지 않아 입사되는 량의 변동이 훨씬 적은 것으로 분석되었다. 따라서, 산란광이 많은 흐린 날과 직달광이 많은 맑은 날의 투과율 변화는 상당한 차이가 있음을 확인할 수 있었으며, 온실의 투과율은 기상조건에 따라 다르게 적용되어야 할 것으로 판단되었다.

Table 1은 기상조건에 따른 전천일사 및 광합성유효광량지속의 일일 평균투과율을 나타낸 것으로, 전체 평균값은 맑은 날이 각각 70.9% 및 70.5%, 흐린 날이 각각 67.7% 및 68.1%이었다. 일일 평균투과율은 09:00~17:00까지 온실내부로 투과되는 전천일사량 및 광합성유효광량지속에 대한 투과율을 평균한 것으로 온실의 설치방향과 구조에 따라 다소 달라질 수 있을 것으로 판단되지만, 흐린 날 보다 맑은 날이 투과율이 약간 높았고 전천일사와 광합성유효광량지속의 투과율 사이에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서, 온실의 전천일사량 투과율을 광합성유효광량지속의 투과율을 산정하는데 그대로 이용할 수

Table 1. Transmittance of total solar radiation and PPF according to weather condition. (Unit: %)

Date	Weather condition				Cloud amount
	Clear		Cloudy		
	Total rad.	PPF	Total rad.	PPF	
Mar. 31	72.8	71.0			4.8
Apr. 4			67.4	69.4	9.3
Apr. 5			69.2	68.3	6.0
Apr. 6	72.1	71.8			0.0
Apr. 17	70.0	70.4			1.3
Apr. 20	70.6	70.2			5.0
Apr. 21			67.9	67.6	6.8
Apr. 26			67.4	68.1	9.0
Apr. 27			66.7	67.3	9.3
May 7	71.4	69.4			0.0
Aug. 14	70.5	71.0			4.8
Aug. 15	70.0	69.3			3.5
Aug. 23	70.2	71.2			1.5
Average	70.9	70.5	67.7	68.1	

있을 것이다. Kim과 Lee(1999)는 산란일사 투과율에 미치는 골조율의 영향은 작다고 하였고, 직달일사의 투과율은 골조율의 영향을 많이 받기 때문에 산란일사가 많은 흐린 날보다 직달일사가 많은 맑은 날이 투과율이 약간 더 높았다는 본 연구의 결과는 실험 온실의 골조율에 따라 차이가 발생할 수 있을 것으로 분석되었다.

기상조건에 따른 온실의 전천일사량 및 광합성유효광량자속의 상관관계 및 투과율

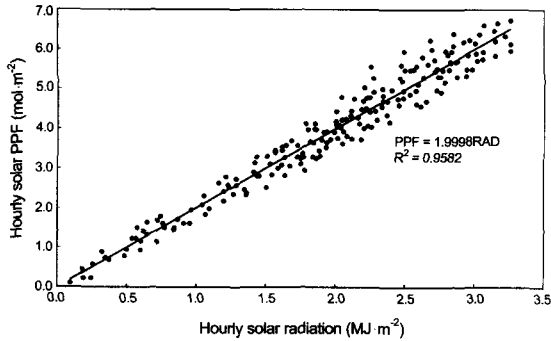


Fig. 3. Relationship between hourly total solar radiation and PPF in outside on clear days.

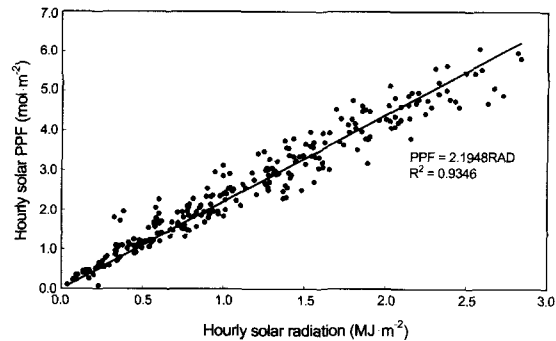


Fig. 4. Relationship between hourly total solar radiation and PPF in outside on cloudy days.

Table 3. Comparison of correlation equations between hourly total solar radiation and PPF.

Weather condition	Outside		Inside		Difference of slope of regression lines
	Regression equation	Correlation coefficient (R ²)	Regression equation	Correlation coefficient (R ²)	
Clear	PPF=1.9998 X RAD	0.9582	PPF=2.0454 X RAD	0.9416	0.0456
Cloudy	PPF=2.1948 X RAD	0.9346	PPF=2.1746 X RAD	0.9365	0.0202
Total	PPF=2.0668 X RAD	0.9446	PPF=2.0913 X RAD	0.9413	0.0245

2. 전천일사와 광합성유효광량자속의 상관관계

Fig. 3과 Fig. 4는 온실외부에서 시간당 전천일사량과 광합성유효광량자속의 상관관계를 나타낸 것이다. 맑은 날의 경우 상관식은 $PPF=1.9998 \times RAD$ 로 나타났으며 상관계수는 0.9582였다. 또한, 흐린 날의 경우 상관식은 $PPF=2.1948 \times RAD$ 로 분석되었으며 상관계수는 0.9346이었다. Blackburn과 Proctor(1983)은 시간당 전천일사량과 광합성유효광량자속 사이의 상관관계는 하늘의 청명상태에 의존한다고 하였으며 운량의 증가와 더불어 광합성유효광량자속은 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 광합성유효광량자속의 비율이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 외부의 시간당 광합성유효광량자속과 전천일사량의 상관식은 $PPF=2.0668 \times RAD$ 이었고 상관계수는 0.9446이었다. 이 식은 Ting과 Giacomelli(1987)가 위도 40.4도 경도 74.5도W인 위치에서 1986년 여름과 가을에 측정한 결과를 이용하여 제시한 $PPF=2.0699 \times RAD$ 와 유사한 기울기를 나타내어 타당성을 입증할 수 있었다. 따라서, 이러한 상

관식을 이용한다면 시간당 전천일사량을 이용하여 기상조건에 따른 시간당 광합성유효광량자속을 추정하는데 적절히 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3은 온실내부와 외부에서의 전천일사와 광합성유효광량자속의 상관관계를 비교한 것이다. 기상상태별로 온실내부와 외부에 대한 상관식의 기울기가 거의 같게 나타났기 때문에 온실외부에서의 상관식이 얻어지면 온실내부에 그대로 적용이 가능할 것으로 분석되었다. 온실내부와 외부의 상관식 기울기의 차이가 맑을 때가 흐릴 때보다 더 큰 이유는 맑은 날이 흐린 날보다 온실내부의 광량이 골조재의 영향으로 변화가 커서 두 식의 상관계수 차이가 많기 때문인 것으로 판단된다.

Literature cited

- Alados I., 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.
- Blackburn W.J. and J.T.A. Proctor. 1983. Estimating photosynthetically active radiation from measured solar irradiance. *Solar Energy* Vol. 31(2):233-234.
- Cho, I.H., S.J. Jo, and Y.S. Kwon. 1997. Effects of

- covering materials on light environment in protected horticulture. J. Horti. Sci. of Rural Development Administration. 39(1):140-144 (in Korean).
4. Giacomelli G.A., K.C. Ting, and S. Panigrahi. 1988. Solar PAR vs. solar total radiation transmission in a greenhouse. Trans. of the ASAE Vol 31(5):1540-1543.
 5. Giacomelli G.A. and W.J. Roberts. 1993. Greenhouse covering systems. HortTechnology Vol 3(1):50-58.
 6. Kim, Y.H. and S.G. Lee. 1999. Effects of frame ratio and length on the transmissivity of solar radiation in glasshouse by a computer simulation. J. Bio-Environment Control 8(3):202-208 (in Korean).
 7. Kittas C. 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.
 8. Lee, S.G., H.W. Lee, G.D. Kim, and J.W. Lee. 2001. Effects of shading ratio and method on inside air temperature change in greenhouses. J. Bio-Environment Control 10(2):80-87 (in Korean).
 9. Royal D. Heins, and Richard W. Thimijan. 1983. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure. HortScience Vol. 18(6):818-822.
 10. Ting K.C., and G. A. Giacomelli. 1987. Availability of solar photosynthetically active radiation. Trans. of the ASAE Vol 30(5):1453-1457.

기상조건에 따른 온실의 전천일사량 및 광합성유효광량자속의 상관관계 및 투과율

이현우* · 이석건 · 이상호
경북대학교 농업토목공학과

적 요

온실의 경우 구조재가 광투과율에 많은 영향을 주기 때문에 기상조건에 따라 달라지는 산란광과 직달광의 비율에 따라 투과율이 달라질 수 있다. 따라서 기상조건에 따른 온실내부의 광투과율을 구명할 필요가 있다. 전천일사량은 기상청에서 제공하는 기상자료에서 쉽게 얻을 수가 있는 반면에 광합성유효광량자속의 자료는 직접 측정하지 않고는 구하기가 어렵다. 그러나 전천일사량과 광합성유효광량자속의 상관관계가 얻어지면 전천일사량으로부터 광합성유효광량자속을 쉽게 구할 수가 있을 것이다. 따라서 우리나라 온실에 대하여 기상조건에 따라 광합성유효광량자속을 산정할 수 있는 상관식의 개발이 필요하다. 본 연구는 실험을 통하여 온실의 수관부에서의 기상조건에 따른 광합성유효광량자속의 투과율을 산정하고 전천일사와 광합성유효광량자속과의 상관관계를 구명하기 위하여 수행되었다. 산란광이 많은 흐린 날과 직달광이 많은 맑은 날의 투과율 변화는 상당한 차이가 있음을 확인할 수 있었으며, 온실의 투과율은 기상조건에 따라 다르게 적용되어야 할 것으로 판단되었다. 온실의 전천일사량 투과율을 광합성유효광량자속의 투과량에 산정하는데 그대로 이용할 수 있을 것으로 분석되었다. 비록 맑은 날에 비하여 흐린 날의 상관도는 낮지만 상관식의 기울기는 큰 것으로 나타나 운량의 증가와 더불어 전천일사량 중에서 광합성유효광량자속의 비율이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 시간당 광합성유효광량자속과 전천일사량의 상관식을 유도하였으며, 이러한 상관식을 이용한다면 시간당 전천일사량을 이용하여 시간당 광합성유효광량자속을 추정하는데 적절히 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

주제어 : 기상조건, 시간당 전천일사량, 시간당 광합성유효광량자속, 운량