

## 인공광 및 차광스크린을 이용한 온실의 일일적산 광합성유효광량자속 조절

이 현우

경북대학교 농업토목공학과

### Control of Daily Integral PPF by the Artificial Lighting and Shading Screen in Greenhouse<sup>1)</sup>

Lee, Hyun-Woo

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

**Abstract.** The object of this study was to develop the control technology of daily integral photosynthetic photon flux (PPF) by the artificial lighting and shading screen in greenhouse. The shading time needed to get the target PPF by using two types of shading screens having shading ratio of 55% and 85% was analyzed. The results showed the shading ratio of screen to be installed in greenhouse should be different depending on the amount of target PPF to be controlled. The PPF control experiment by using the 55% shading screen in July and August showed that the maximum difference between measured and calculated value was about  $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  in no shading condition. This difference is satisfactory result because the daily integral PPF is quite different depending on the weather condition. The simulation result about PPF distribution pattern shortened the time needed to find the proper arrangement of artificial lightings in greenhouse. But the further study was required to find the supplemental lighting arrangement to be able to provide the exactly uniform distribution of target light intensity. The supplemental irradiation time needed to acquire the target daily integral PPF for different supplemental light intensities, weather conditions, and months was analyzed. The result showed that the supplemental light intensity should be decided depending on the amount of target PPF to be controlled. The result of PPF control experiment conducted by using 55% shading screen and  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  supplemental light intensity from the end of May to the beginning of June showed that the maximum difference between target and measured value was about  $3 \text{ mol} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ . If we consider that the difference of the daily integral PPF depending on weather condition was the maximum  $30 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , the control effect was acceptable. Although the result of this study was the PPF control technology to grow lettuce, the data and control method obtained could be employed for other crop production.

**Key words :** shading time, supplemental irradiation time, shading ratio, light intensity, weather condition, amount of cloud

<sup>1)</sup>본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2000-000-00389-0) 지원으로 수행되었음.

#### 서 론

농산물은 기후와 시장동향에 따라 물량, 품질, 가격이 변동하고 산지에 따라 상품규격이나 품종이 다양하기 때문에 적기에 수출물량을 공급하고 지속적으로 확보하는 것이 어려운 문제로 대두되고 있다. 따라서 앞으로 농산물의 국제 경쟁력은 상품의 고품질화와 시장

의 변화에 따른 상품의 안정적 공급에 달려 있다고 할 것이다. 연구결과에 의하면 작물이 안정적으로 생산하고 고품질의 수확물을 지속적으로 생산하기 위해서는 적정 일일적산 광합성유효광량자속을 적절하게 공급할 수 있어야 한다.

우리가 잘 알고 있는 바와 같이 겨울철과 여름철의 일일적산 광합성유효광량자속은 큰 차이가 있다. 그러

## 이 현우

나 특이한 것은 여름철에도 많은 날이 겨울철과 비슷한 일일적산량을 나타내고 있다는 것이다(Lee et al., 2002a). 이는 생육기간이 짧은 작물들의 경우, 겨울철 뿐만 아니라 여름철에도 일사량이 적은 날이 계속되어 광부족으로 인한 생산량의 감소나 수확시기에 좋지 않은 영향을 줄 가능성성이 있기 때문에 추가적인 광공급이 필요하다는 것을 의미한다. 또한, 여름철에 광량이 작물의 광합성에 필요한 적정광량을 초과할 경우에는 온도조절 목적이 아닌 작물의 생장조절을 목적으로 차광을 실시해야 할 필요가 있다. 따라서 온실에서 고품질의 농산물을 년중 안정적으로 공급하기 위해서는 일일적산 광합성유효광량자속을 작물의 생육조건에 적합하게 유지시킬 수 있는 기술의 개발이 필요하다(Albright, 1999).

최근 세계적으로 고품질의 농산물을 안정적으로 생산하기 위하여 광환경 조절기술에 관심이 높아지고 있으며, 국내 온실에서도 보다 적극적인 작물의 광환경 조절을 위하여 인공광이나 차광스크린의 설치가 점점 확산되고 있는 실정이다. 우리나라의 경우, 온실에서의 인공광 사용에 관한 연구는 인공광을 이용한 작물의 생장조절효과에 관하여 많이 이루어지고 있으며(Kim and Kim, 2000; Lee et al., 1999; Park et al., 1992; Park and Lee, 1999), 차광스크린에 관한 연구는 생장조절의 목적으로 온도조절과 관련하여 최근 활발하게 이루어지고 있다(Lee, 1997; Lee et al., 2001). 일본의 경우, 인공광을 이용하여 광합성유효광량자속의 변화에 따른 생장량의 변화를 분석한 연구(宇野 등, 1991; 佐藤와 石田, 1991), 차광재의 투과율을 달리하여 광합성유효광량자속을 제어하는 연구(仁科 등, 1994) 및 차광재를 이용한 온도제어에 관한 연구(中屋 등, 1994)가 수행된 바 있다. 미국의 경우, 겨울철에 부족한 적신일사량을 인공광을 사용하여 보충하는 방법과 그 효과에 관한 연구가 다수 수행된 바 있고(Both and Albright, 1997, 1998), 차광 스크린을 이용하여 온도를 제어하는 연구가 수행된 바 있다(Roberts, 1993). 국내·외의 연구동향을 분석한 결과 인공광과 차광스크린을 이용하여 년중 광합성유효광량

자속을 적절하게 공급할 수 있는 제어방법에 관한 연구결과는 찾아보기 어려웠으며 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 자연광의 변화에 따른 온실 내부의 광합성유효광량자속 년중 변화와 상추재배를 위한 필요 보광량 및 차광량의 변화를 구명하고, 기상조건과 차광시간에 따른 일일적산 광합성유효광량자속의 변화를 분석하여, 차광스크린 및 인공광을 이용하여 온실의 일일적산 광합성유효광량자속을 조절하는 방법을 제시하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험온실 내부의 광합성유효광량자속

본 실험에 사용된 2동의 실험온실은 크기가 7 m(폭) × 11 m(길이) × 2.2 m(측고)이고 동고가 4 m이며 동간격이 5 m인 양지봉형 단동유리온실이다. 온실의 건설방위는 동서동이며, 자연환기를 위해 천창과 3-way 방식의 측창이 설치되어 있다.

1981년부터 2000년까지 20년간의 대구지역 전천일사량(total solar radiation, RAD)을 이용하여 기상조건에 따른 온실 내부의 광합성유효광량자속(photosynthetic photon flux, PPF)을 계산하였다. 이때 온실 외부의 광합성유효광량자속은 전천일사량으로부터 식(1)을 이용하여 산정하였다(Lee et al., 2002b). 온실 내부의 광합성유효광량자속은 계산된 온실 외부의 광합성유효광량자속과 Table 1의 투과율을 이용하여 계산하였다(Lee et al., 2001). 기상조건은 기상청에서 사용하고 있는 구분방법을 이용하였으며, 강수현상이 없는 날 운량(雲量)이 0~2.4는 맑음, 2.5~5.4는 구름조금, 5.5~7.4는 구름많음, 7.5~9.9는 흐림 그리고 10이면 비로 구분하였다. 동일한 달에서는 동일한 기상조건 하에서 일일적산 광합성유효광량자속의 차이가 크지 않았기 때문에 각 월마다 일일적산 광합성유효광량자속을 기상조건별로 평균하여 그 달의 기상조건별 대표값으로 하였다.

Table 1. Transmittance of experimental greenhouse depending on shading conditions.

Shading conditions	Without shading screen	55% shading screen	85% shading screen
Transmittance of experimental greenhouse (%)	70.5	25.7	8.3

$$PPF = 2.0668 \times RAD \quad (1)$$

여기서,  $PPF$  : 광합성유효광량자속( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )

$RAD$  : 전천일사량( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )

## 2. 필요 차광량 및 보광량

작물의 종류에 따라 생육에 필요한 적정 광량은 다른 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 잎상추(*Lactuca sativa L.*, cv. *Vivaldi*)를 공시작물로 선정하여 목표광량을 유지하는데 필요한 필요보광량과 필요차광량을 산정하였다. Both and Albright(1997)는 보광을 이용한 상추재배 연구에서 광합성유효광량자속이  $17 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  이하인 경우 잎끌마름이 발생하지 않고 빠른 생장을 하였다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서는  $11, 17 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 두 가지 적산량을 목표광량으로 가정하고 필요 차광량 및 보광량을 계산하였다.

## 3. 차광 실험

기상조건별로 광량이 다르고 차광재의 차광율에 따라 온실내부로 투과되는 광량이 다르기 때문에 Table 1에서의 2가지 차광재 및 5가지의 기상조건별로 여러 가지 차광시간대에 대한 일일적산 광합성유효광량자속을 계산하였다. 최소 차광시간은 차광재를 펴고 거두는데 소요되는 시간을 고려하여 1시간으로 하였으며, 무차광에서부터 1시간 간격으로 차광시간의 차이를 두어 종일차광까지 차광시간대를 변화시켰다. 계산된 결과를 이용하여 차광재 및 월별로 목표광량을 얻는데 필요한 차광시간대를 결정하였다. 또한, 결정된 차광시간대를



Fig. 2. Benches and artificial lightings used for the lettuce cultivation in greenhouse.

검증하기 위하여 광량조절을 위한 차광실험을 실시하였으며, 기상조건 및 차광시간대에 따른 광량의 측정값과 계산값을 비교하였다.

## 4. 보광 실험

광환경 분석용 소프트웨어인 Lumen-Micro(Lighting Technologies, Inc., USA)를 이용하여 다양한 광원의 배열 및 높이에 대한 광분포를 분석하여 균일한 광공급을 위한 적절한 광원배치를 Fig. 1과 같이 결정하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 온실 바닥으로부터  $0.8 \text{ m}$  높이에 상추재배용 벤치를 설치하였고, 시뮬레이션을 통한 광원배치 분석결과를 이용하여 벤치로부터  $1.9 \text{ m}$  높이에  $400 \text{ W}$  고압나트륨램프를 설치하였다. 광합성유효광량자속을 측정하기 위하여 온실 내부의 여러 점에 광량센서(LI1908B, LI-COR, USA)

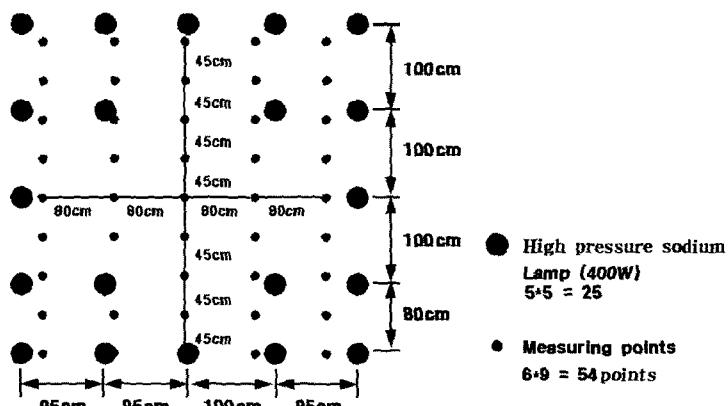


Fig. 1. Arrangement of artificial lightings and PPF measuring points.

를 설치하였다. 광강도 및 기상조건에 따른 목표광량을 얻기 위한 보광시간을 월별로 계산하였다.

### 5. 차광 및 보광 제어알고리즘의 성능 검증

온실내부의 일일적산 광합성유효광량지속 조절 목표량을  $17 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 하고, 55% 차광재 및  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 보광강도를 사용하여 광조절 성능실험을 실시하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 필요 차광량 및 보광량

Table 2는 상추재배를 위해 공급해야 할 일일적산 광합성유효광량지속량 목표값을  $11 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 과  $17 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 하였을 경우의 기상조건별 필요차광량 및 필요보광량을 계산한 결과이다. 목표값이  $11 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 인 경우 년중 차광 및 보광이 필요한 것

**Table 2.** Shading and supplemental values needed for gaining target PPF (unit:  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ).

Target PPF ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )	Cloud amount	Month											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	0.0~2.4	-4.0	-8.8	-14.9	-20.6	-24.3	-24.9	-24.6	-20.5	-15.5	-9.8	-4.5	-2.1
	2.5~5.4	-1.6	-5.9	-12.3	-17.5	-21.6	-21.5	-20.1	-17.9	-13.6	-7.7	-2.5	0.0
	5.5~7.4	+0.7	-3.1	-8.9	-13.1	-16.3	-17.4	-15.5	-13.8	-10.1	-5.2	-0.2	+1.8
	7.5~9.9	+3.8	+1.0	-2.0	-5.5	-8.6	-9.8	-7.5	-5.0	-2.8	0.0	+3.4	+4.4
	10.0	+7.2	+5.9	+4.6	+4.3	+2.6	+2.8	+2.8	+3.6	+5.1	+5.6	+7.7	+8.8
17	0.0~2.4	+2.0	-2.8	-8.9	-14.6	-18.3	-18.9	-18.6	-14.5	-9.5	-3.8	+1.5	+3.9
	2.5~5.4	+4.4	+0.1	-6.3	-11.5	-15.6	-15.5	-14.1	-11.9	-7.6	-1.7	+3.5	+6.0
	5.5~7.4	+6.7	+2.9	-2.9	-7.1	-10.3	-11.4	-9.5	-7.8	-4.1	+0.8	+5.8	+7.8
	7.5~9.9	+9.8	+7.0	+4.0	0.5	-2.6	-3.8	-1.5	+1.0	+3.2	+6.0	+9.4	+10.4
	10.0	+13.2	+11.9	+10.6	+10.3	+8.6	+8.8	+8.8	+9.6	+11.1	+11.6	+13.7	+14.8

-, Shading value; and +, Supplemental value.

**Table 3.** Shading time to get target PPF (unit: hour).

Shading ratio (%)	Target PPF ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )	Cloud amount	Month											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	0.0~2.4	11~13	10~14	10~17	A	A	A	A	A	10~18	10~14	11~13	12~13	
	2.5~5.4	12~13	10~13	11~17	8~18	A	A	A	8~18	10~17	11~14	12~13	W	
	5.5~7.4	S	11~13	10~14	10~16	8~18	8~18	9~17	10~18	10~15	11~13	W	S	
	7.5~9.9	S	S	12~13	10~13	11~16	11~17	10~14	10~13	11~13	W	S	S	
	10.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
17	0.0~2.4	S	12~13	10~13	10~15	10~17	10~17	10~17	10~15	11~14	11~13	S	S	
	2.5~5.4	S	W	11~13	10~14	11~17	11~17	10~15	10~14	11~13	12~13	S	S	
	5.5~7.4	S	S	12~13	11~13	10~14	10~14	11~14	10~13	12~13	W	S	S	
	7.5~9.9	S	S	S	W	12~13	12~13	12~13	S	S	S	S	S	
	10.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
11	0.0~2.4	12~13	10~13	10~14	10~15	10~16	10~16	10~16	11~17	10~14	10~13	12~13	W	
	2.5~5.4	W	11~13	11~14	11~16	11~17	11~17	11~16	11~15	11~13	W	W		
	5.5~7.4	S	12~13	10~13	10~14	11~16	10~15	11~16	10~14	11~14	11~13	W	S	
	7.5~9.9	S	S	W	11~13	11~14	11~14	10~13	11~13	W	W	S	S	
	10.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
17	0.0~2.4	S	12~13	11~13	11~14	10~14	10~14	10~14	11~14	11~13	12~13	S	S	
	2.5~5.4	S	W	12~13	10~13	11~14	11~14	11~14	10~13	11~13	W	S	S	
	5.5~7.4	S	S	12~13	11~13	10~13	10~13	11~13	11~13	12~13	W	S	S	
	7.5~9.9	S	S	S	W	12~13	12~13	W	S	S	S	S	S	
	10.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	

W, Without shading; S, Supplemental lighting; and A, All day shading.

## 인공광 및 차광스크린을 이용한 온실의 일일적산 광합성유효광량자속 조절

으로 나타났으며, 겨울철에 최대 약  $9 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  정도의 보광이 필요한 것으로 분석되었다. 목표값이  $17 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 인 경우는 년중 보광이 필요한 것으로 나타났고, 11월부터 1월까지는 모든 날에 보광이 필요한 것으로 분석되었으며, 이 기간 중 최대 필요보광량은 약  $15 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  정도인 것으로 나타났다. 그러나 차광은 11월부터 1월까지는 필요하지 않은 것으로 나타났고, 6월 경에 가장 높은 약  $19 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  정도의 차광이 필요한 것으로 분석되었다.

### 2. 광량조절을 위한 차광시간

55% 차광율과 85% 차광율을 가진 두 가지 종류의 차광스크린을 이용하여  $11 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 과  $17 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 목표광량을 얻는데 필요한 차광시간대를 기상조건 및 월별로 계산한 결과는 Table 3과 같다.

$W$ 는 차광이 필요 없는 날,  $S$ 는 보광이 필요한 날,  $A$ 는 종일차광이 필요한 날을 의미한다. 차광율이 55%인 차광재를 사용할 경우 4~8월의 맑은 날에는 하루 종일 차광을 하여도  $11 \text{ mol} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 을 초과하는 것으로 나타났다. 이와 같이 광량이 초과하여 광조절이 불가능한 경우에는 차광율이 더 높은 차광재를 사용하여야 할 것이다. 반면에 차광율이 85%인 차광재를 사용할 경우에는 광량이 초과하여 광량조절이 불가능한 경우는 발생하지 않았으나, 조절해야 할 광량이 적은 날(목표광량이  $11 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 인 경우 1월의 구름조금 날, 3월의 흐린 날, 9월의 흐린 날, 11월의 구름

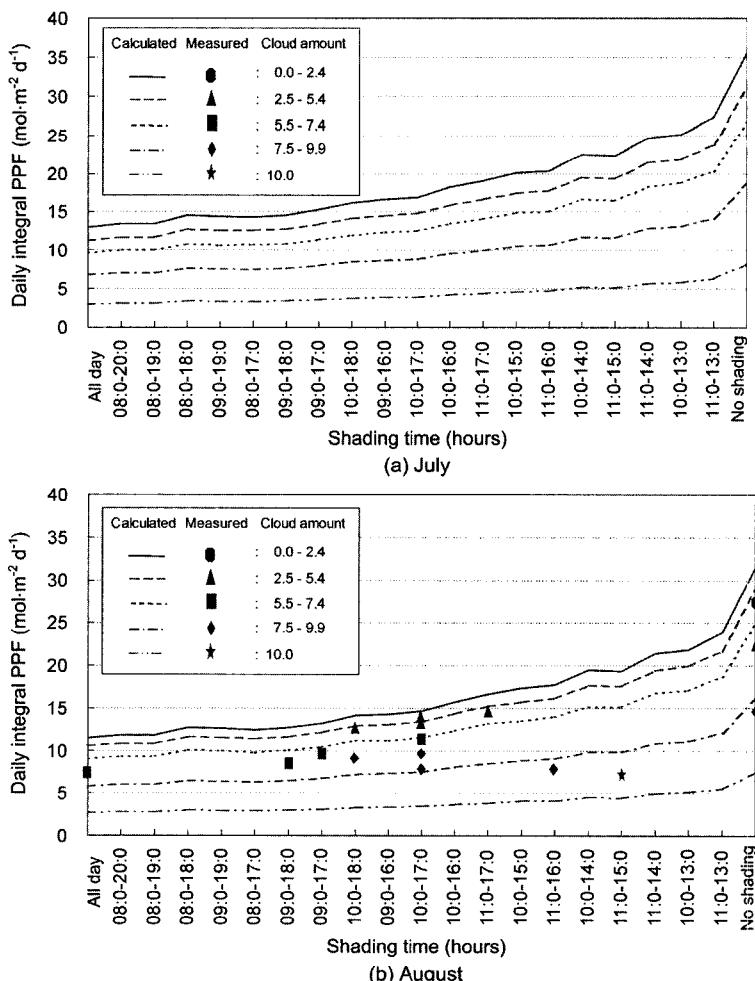


Fig. 3. Comparison of calculated daily integral PPF with measured values along the shading time in July and August.

조금 끈 날, 12월의 맑은 날)에는 1시간의 차광으로는 조절이 불가능한 것으로 나타났다. 이와 같은 경우에는 차광율이 더 낮은 차광재를 사용할 필요가 있을 것이다. 따라서, 조절하고자 하는 목표광량의 크기에 따라 적절한 차광율의 차광재를 설치할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

### 3. 차광시간에 따른 광량의 실측값 및 계산값의 비교

Fig. 3은 55%의 차광재를 이용하여 광량조절을 실시한 결과로서 기상조건에 따라 광량변화가 많은 7월과 8월에 대하여 기상조건별로 차광시간대에 따른 광합성유효광량자속의 변화를 계산한 결과와 실험한 결과를 비교한 것이다. 실측값이 계산값에 대부분 근접하였으나, 무차광시 최대 약  $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  정도의 차이가 발생한 날도 있었다. 이러한 차이는 하루 중의 빈번한 기상변화, 운량판독의 부정확 등 여러 가지 요인에 의해 발생된 것으로 판단된다. 그러나 7월과 8월에 무차광시 온실내부의 일일적산 광합성유효광량자속이 비오는 날에는  $7.4 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이고 맑은 날에는

$35.6 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 기상조건에 따라 큰 차이가 있음을 감안하면 계산값과 실측값의 이러한 차이는 대체로 만족할 만한 결과로 판단된다. 앞으로 기상조건을 보다 더 정확하게 관측하고 예보할 수 있는 기술이 개발된다면 차광에 의한 광조절량의 오차를 더 줄일 수 있을 것이다.

### 4. 인공광의 배치에 따른 광합성유효광량자속의 수평분포

Fig. 4는  $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  및  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광합성유효광량자속을 공급하기 위해 시뮬레이션을 실시하여 얻은 광분포도와 이들 결과를 토대로 실제 인공광을 배치하였을 때의 광분포도를 각각 나타낸 것이다. 시뮬레이션을 이용하여 적절한 광배치를 찾을 수 있었기 때문에 실제 인공광을 배치하는데 소요되는 시간을 많이 단축할 수 있었다. 그러나 Fig. 4에서 보는 바와 같이 정확하게 목표한 광강도를 고르게 분포하도록 할 수 있는 광배치를 찾기가 쉽지 않았으며, 이에 대한 보다 더 많은 분석이 요구된다. 이러한 시뮬레이-

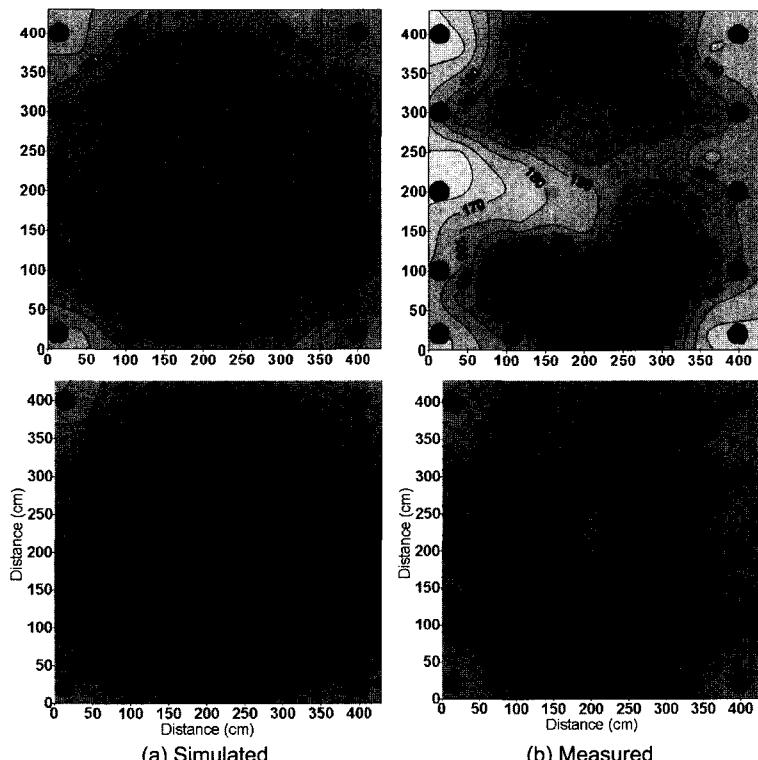


Fig. 4. PPF distribution patterns under the illumination of HPS lamps (unit:  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

## 인공광 및 차광스크린을 이용한 온실의 일일적산 광합성유효광량자속 조절

션으로부터 얻어진 광분포도는 균일한 분포의 광공급을 위한 광원의 적절한 배치를 결정하는데 이용될 수 있을 뿐만 아니라, 적정 광량을 공급하기 위한 광원의 높이 및 보광시간을 결정하는데도 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

### 5. 광량조절을 위한 보광시간

Table 2에서 제시한 필요보광량을 인공광을 이용하여 공급하기 위한 보광강도별 보광시간을 산정한 결과는 Table 4와 같다. 이것은 평균  $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

$300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  및  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 보광강도로 보광하여 목표값인  $11 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  및  $17 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 일일적산 광합성유효광량자속을 얻는데 필요한 기상조건별 보광시간을 월별로 계산한 결과이며,  $1 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  이하는 무시하였다. 비오는 날의 경우 10월~1월에는  $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 보광강도로는 보광시간이 너무 길기 때문에  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 강도로 보광하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 이와 같이 보광시간의 결정은 Table 4와 같은 계산 결과를 기초로 하고 전기료, 전구의 수명, 작업의 편리성, 생장효

**Table 4.** Supplemental irradiation time for each month (unit:  $\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ ).

Supplemental irradiation ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Target PPF ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )	Cloud amount	Month											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
200	11	0.0~2.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2.5~5.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		5.5~7.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5
		7.5~9.9	5.3	1.4	—	—	—	—	—	—	—	—	4.7	6.1
	17	10	10.0	8.2	6.5	6.0	3.6	3.9	3.9	5.0	7.0	7.8	10.7	12.2
		0.0~2.4	2.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.5	3.9
		2.5~5.4	4.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.5	6.0
		5.5~7.4	6.7	2.9	—	—	—	—	—	—	—	—	5.8	7.8
300	11	7.5~9.9	9.8	7.0	4.0	—	—	—	—	1.4	3.2	6.0	9.4	10.4
		10	18.3	16.5	14.7	14.3	11.9	12.2	12.2	13.3	15.4	16.1	19.0	20.6
		0.0~2.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2.5~5.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17	5.5~7.4	0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.7
		7.5~9.9	3.5	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	3.1	4.1
		10	6.7	5.5	4.3	4.0	2.4	2.6	2.6	3.3	4.7	5.2	7.1	8.1
		0.0~2.4	1.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.4	3.6
400	11	2.5~5.4	4.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.2	5.6
		5.5~7.4	6.2	2.7	—	—	—	—	—	—	—	—	5.4	7.2
		7.5~9.9	9.1	6.5	3.7	—	—	—	—	1.0	3.0	5.6	8.7	9.6
		10	12.2	11.0	9.8	9.5	8.0	8.1	8.1	8.9	10.3	10.7	12.7	13.7
	17	0.0~2.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2.5~5.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		5.5~7.4	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.3
		7.5~9.9	2.6	0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	2.4	3.1
	17	10	5.0	4.1	3.2	3.0	1.8	1.9	1.9	2.5	3.5	3.9	5.3	6.1
		0.0~2.4	1.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	2.7
		2.5~5.4	3.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.4	4.2
		5.5~7.4	4.7	2.0	—	—	—	—	—	—	—	—	4.0	5.4
		7.5~9.9	6.8	4.9	2.8	—	—	—	—	0.7	2.2	4.2	6.5	7.2
		10	9.2	8.3	7.4	7.2	6.0	6.1	6.1	6.7	7.7	8.1	9.5	10.3

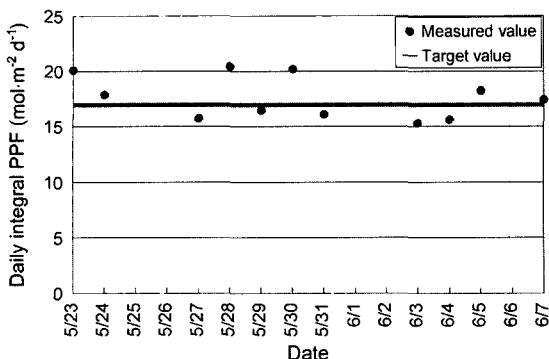


Fig. 5. Performance of PPF control algorithm.

과 등을 고려하여 결정하여야 할 것으로 판단된다.

## 6. 차광 및 보광 제어알고리즘의 성능 검증

Fig. 5는 온실내부에  $17 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 목표 광량을 공급하기 위하여 55% 차광재 및  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 보광을 이용하여 Table 3과 Table 4의 차광시간 및 보광시간에 의거 제어를 실시한 결과이다. 제어 결과 최대 약  $3 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  정도의 오차를 보여주고 있으며, 이러한 차이는 동일한 달에 같은 기상조건에서도 일일적산 광량이 차이가 있고 하루 중 기상상태도 많은 변화가 있기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 기상조건에 따른 일별 적산광량의 최대차이가  $30 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  정도임을 감안하면 조절효과는 만족할 만한 결과로 판단되며, 오차의 폭을 더 줄일 수 있는 방법의 개발이 요구된다.

본 연구의 결과는 비록 상추재배를 위한 광량조절기술이지만 다른 작물에 대해서도 본 연구에서 제시한 조절방법을 동일하게 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 적 요

본 연구의 목적은 차광스크린 및 인공광을 이용하여 온실에 적절한 일일적산 광합성유효광량자속을 공급하는 기술을 개발하는 것이다. 차광율이 55%와 85%인 두 가지 종류의 차광스크린을 이용하여 목표광량을 얻는데 필요한 차광시간대를 분석한 결과, 조절하고자 하는 목표광량의 크기에 따라 적절한 차광율을 가진 차광재를 선택할 필요가 있는 것으로 판단되었다. 기상조건에 따라 광량변화가 많은 7월과 8월에 대하여 55%

의 차광재를 이용하여 광조절 실험을 실시한 결과 무차광시의 실측값과 계산값의 차이가 최대  $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  정도로 나타났다. 이러한 차이는 기상조건에 따라 일일적산 광량이 큰 차이가 있음을 감안하면 대체로 만족할 만한 결과로 판단된다. 광분포 시뮬레이션을 이용하여 적절한 광배치를 찾을 수 있었기 때문에 실제 인공광을 배치하는데 소요되는 시간을 많이 단축할 수 있었지만, 정확하게 목표한 광강도를 고르게 분포하도록 할 수 있는 광배치를 찾기가 쉽지 않았으며, 이에 대한 보다 더 많은 분석이 요구되었다. 목표한 일일적산 광합성유효광량자속을 얻는데 필요한 보광강도별 보광시간을 기상조건 및 월별로 계산하여 분석한 결과 보광강도는 필요보광량의 크기에 따라 적절한 값을 선택하여야 할 것으로 판단되었다. 55% 차광재 및  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 보광강도를 이용하여 5월말에서 6월초 까지 광량 제어실험을 실시한 결과 최대  $3 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  정도의 오차를 보여주었다. 이러한 차이는 동일한 달에 같은 기상조건에서도 일일적산 광량의 차이가 있고 하루 중 기상상태도 많은 변화가 있기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 기상조건에 따른 일별 최대차이가  $30 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  정도임을 감안하면 조절효과는 만족할 만한 결과로 판단된다. 본 연구의 결과는 비록 상추재배를 위한 광량조절기술이지만 다른 작물에 대해서도 본 연구에서 제시한 자료 및 조절방법을 동일하게 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

**주제어 :** 차광시간, 보광시간, 차광율, 광강도, 기상조건, 운량

## 인용 문헌

1. Albright, L.D., 1999. Environment control for plant production. ACESYS III Conference. From protected cultivation to phytomation. p. 47-60.
2. Both, A.J. and L.D. Albright, 1997. Hydroponic lettuce production influenced by integrated supplemental light levels in a controlled environment agriculture facility. Acta Hort. 418:45-51.
3. Both, A.J. and L.D. Albright, 1998. Coordinated management of daily PAR integral and carbon dioxide for hydroponic lettuce production. Acta Hort. 456: 45-51.
4. Kim, H.J. and Y.S. Kim. 2000. Effects of irrigation control by time and integral solar radiation on muskmelon quality in perlite culture. J. Bio-Env. Con. 9:66-

- 72 (in Korean).
5. Lee, H.W., K.C. Ting, and S.G. Lee. 1999. Productivity analysis of single truss tomato production system for Korean locations. *J. Bio-Env. Con.* 8:164-171 (in Korean).
  6. Lee, H.W., S.G. Lee, J.W. Lee, and K.S. Son. 2002a, Control of photosynthetic photon flux by the artificial lighting in greenhouse. *Proceedings of Bio-Env. Con.* 11:20-24 (in Korean).
  7. Lee, H.W., S.G. Lee, and S.H. Lee. 2002b. Relationship between total solar radiation and PPF, and transmittance in greenhouse at different weather conditions. *J. Bio-Env. Con.* 11:56-60 (in Korean).
  8. Lee, J.S. 1997. Studies on the dropping method of air temperature in the protected house for summer culture of flower crops. Ministry of Agriculture and Forestry.
  9. Lee, S.G., H.W. Lee, K.D. Kim, and J.W. Lee. 2001. Effects of shading rate and method on inside air temperature change in greenhouse. *J. Bio-Env. Con.* 10: 80-87 (in Korean).
  10. Park, K.W., Y.J. Shin, and Y.B. Lee. 1992. Studies on the modeling of controlled environment on leaf vegetable crops. *J. Bio-Env. Con.* 1:135-141 (in Korean).
  11. Park, M.H. and Y.B. Lee. 1999. Effects of light intensity and nutrient level on growth and quality of leaf lettuce in a plant factory. *J. Bio-Env. Con.* 8:108-114 (in Korean).
  12. Roberts, W.J. 1993. Movable thermal insulation for greenhouse. Research paper NO. PO3130-01-81. Rutgers University. New Brunswick, New Jersey.
  13. 宇野 浩, 奥野向志, 鈴木咲三. 1991. 人工光を用いた制御環境下におけるトマトの生育. 日本農業氣象學會 講演要旨 p. 92-93.
  14. 仁科弘重, 馬越勝也, 橋本 康. 1994. 自然光利用型苗生産システムにおける環境制御. 日本生物環境調學會第32回集會 p. 172-173.
  15. 中屋耕, 岡野利明, 寺添齊 外. 1994. 自然光利用野菜工場の開発. 日本生物環境調節學會第32回集會 p. 168-169.
  16. 佐藤展之, 石田伸治. 1991. 冬期日照不足時における補光がメロンの生育に及ぼす影響. 日本農業氣象學會 講演要旨 p. 94-95.