

## 인삼재배용 유리온실의 구조물에 따른 광특성과 에너지 절감을 위한 광시뮬레이션

이봉주  
남서울대학교 전자공학과

### The Glass Greenhouse's Lighting Charactersitics for Ginseng with Structures and the Lighting Simulation for Energy Saving

Boong-Joo Lee  
Dept. of Electronic Engineering, Nameoul University

**요약** 본 연구는 자연광과 인공광원을 활용한 융합형 유리온실을 기준하여 설계인자에 따른 여러 가지 조건을 기준하여 광시뮬레이션을 하였다. 그 결과, 유리온실의 외부구조물은 여름과 겨울인 경우 각각 평균적으로 약 28%와 6%의 조도는 감소되며, 균제도 값은 약 83%, 7%씩 감소되어 조도 및 균제도에 영향을 준다. 유리온실내의 내부구조물은 유리온실의 설치 배향각을 90°로 설치할 때, 자연광과 나란한 상태로 가로 배열로 설치 하는것이 자연광 효과를 더 얻을수 있고 내부구조물의 배열 갯수와 층수에 대한 인자는 조도는 낮아지지만 균제도는 일정한 형태로 낮아지지는 않는다. 이처럼 유리온실 설계시 내외부 구조물에 대한 영향도를 고려하여 설계시 활용 되어야 한다. 이를 위해 선택적 인공조명의 배열과 광량 조절을 통해 양질의 광제어가 가능함이 예상되어진다. 붉은색광의 증가에 따라 조도는 증가하고, 광합성 광자속 밀도는 감소하고, 청색광의 증가에 따라 광합성 광자속 밀도는 증가하고, 조도는 감소한다. 자연광과 LED 인공광원 (R:B=3:1)을 활용하여 유리온실내에서 인삼을 재배하는 경우, 에너지 절감을 고려하여 자연광이 조사되는 시간에는 LED인공광원을 선택적으로 OFF하는 방식의 선택적 인공광원의 구동하는 경우 42% 에너지 절감효과를 얻을 수 있다. 본 연구결과가 실제적으로 융합광원을 활용한 유리온실의 광효율 극대화를 위한 최적 설계 연구에 도움이 될것으로 예상된다.

**Abstract** This research focused on a light simulation according to design factors in a fusion-type glass greenhouse using natural and artificial light sources. Typically, the illuminance decreases by about 28% and 6% on average in summer and winter, respectively. The uniformity decreases by about 83% and 7% in summer and winter, respectively. In addition, the external structure of the glass greenhouse affects the illuminance and uniformity. The optimal arrangement of the internal shelf structures for an installation orientation angle of 90° is a horizontal parallel achieving a more natural light effect. The illuminance decreases with the number of shelves and floors, but the uniformity is inconsistent. High-quality light control is possible with a selective artificial lighting arrangement and light quantity control. As the red light increases, the illuminance increases, and the PPFd decreases. The opposite happens when the blue light increases. In the case of cultivating ginseng in a glass greenhouse using natural light and LED (R:B=3:1), 42% energy saving can be obtained when the selective artificial light source is operated considering energy saving. It is expected that the results will be helpful for the optimal design of a glass greenhouse using a fusion light source.

**Keywords** : Fusion Type Glass Greenhouse, Design Factors, LED, PPFd, Learning Efficiency

---

본 논문은 2021년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

\*Corresponding Author : Boong-Joo Lee(Namseoul Univ.)

email: bjlee@nsu.ac.kr

Received January 3, 2022

Revised January 21, 2022

Accepted March 4, 2022

Published March 31, 2022

## 1. 서론

첨단산업의 발전함에 따라 지구 온난화로 인한 탄소배출과 더불어 예상하지 못하는 이상기후 현상이 유발되는 시점에서 유리온실을 이용한 식물공장은 외부 환경적인 요인을 제거하고 원하는 형상과 원하는 시간에 수확을 할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 고도의 환경 제어 및 작업의 자동화 구축을 통하여 식물의 생산량 예측이 가능하게 하는 시스템을 말한다. 식물 공장은 이용하는 광원에 따라 자연광원 이용형, 인공광원 이용형, 자연광원/인공광원 겸용형으로 분류될 수 있다. 특히 자연광원/인공광원 겸용형의 경우, 태양광이 부족한 계절과 시간대에 인공광원으로 보광할 수 있기에 재배효율을 높일수 있으며, 효율적인 에너지 절감제어가 가능하고 품질이 좋은 식물을 재배하는 것을 기대할 수 있다[1].

자연광원인 태양은 자연에서 얻을 수 있는 무한한 에너지 자원이다. 태양에서 조사되어 지구표면에 영향을 주는 여러 파장의 전자파 중 가시광선은 주로 식물성장에 중요한 역할을 하는 광합성에 주로 쓰이는 빛의 파장이다. 이때 식물성장을 위한 광합성 작용에서 엽록소는 모든 파장의 빛에너지를 흡수하여 광합성 작용만을 하는 것이 아니다. 즉, 엽록소는 가시광선 내의 파장에서 400~500 nm의 파란색 빛과 600~700 nm의 붉은색 빛을 잘 흡수하며, 500~600 nm의 초록색 빛은 거의 흡수하지 않는다. 이처럼 붉은색과 파란색 파장 대역의 빛을 흡수하고 녹색 빛은 반사하게 되어 사람의 눈에 식물이 녹색으로 보이는 이유라고 알려져 있다[2,3]. 이처럼, 효율적인 식물성장을 위해서는 전자파 파장에 따른 광특성(조도, 균제도)과 광합성에 중요한 인자인 광합성 광자속 밀도(PPFD: Photosynthetically active radiation Flux Density)에 대한 이해 및 면밀한 검토가 요구되어 진다 [4].

LED 인공광원은 이전 광원과 다르게 친환경적인 광원으로 알려졌으며, 높은 광전환 효율과 장수명으로 기존조명을 대체하고 있는 인공광원으로 각광받고 있다. 이러한 이유로 LED인공광원은 주거환경, 교통시설, 라이트, 전자제품 등 매우 다양하게 활용되고 있으며, 특히 농어업 및 의료용등 여러분야에 활용이 되고 있는 실정이다. 특히, LED 인공광원은 기존의 조명광원과 다르게 파장 제어를 통해 색온도, 색좌표, 조도등의 광특성 변화가 가능한 조명으로 조명분야 이외의 IT기술이 접목된 융합 분야(통신, 의학, 농·어업 등)에서 많은 연구가 진행되고, 유리온실내에서 식물성장의 최적조건의 도출을 위

한 조명설계에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[5,6].

본 연구는 한국형 유리온실 다형을 기준으로 유리온실의 광시뮬레이션을 하고자 한다. 이때, 실제적인 시뮬레이션 결과를 도출하고자 유리온실의 내외부의 구조물에 대한 영향성을 면밀히 파악하고, 자연광 및 인공광원의 광특성과 광합성 광자속 밀도의 상관관계를 도출하고자 한다. 또한, 유리온실 내에서 인삼을 재배하는 경우를 기준으로 하여 효율적인 에너지측면을 고려한 광시뮬레이션 결과를 얻고자 한다. 이러한 시뮬레이션 결과로부터 실제적인 자연광원과 인공광원을 활용한 인삼재배용 융합형 유리온실의 설계에 도움을 주고자 한다.

## 2. 유리온실의 내·외부 구조물 영향

광시뮬레이션은 Relux프로그램을 활용 하였고, Table 1은 광시뮬레이션을 위한 유리온실의 설계규격과 실제 자연광의 효과를 포함시키기 위한 광시뮬레이션의 조건을 나타내었다. 표에서 보듯이 광특성은 이전의 결과를 활용하여 실제 설치예정 장소인 강화도를 기준하였고 유리온실의 설치 배향각도는 90°로 설정하여 시뮬레이션 하였다[1,4].

Table 1. simulation conditions

Item	conditions of simulation
W/D/H	20/15/4.3 m
Height of roof	2 m
location	Ganghwa Island
Measuring position	0.75 m
installation angle	90°
maintenance factor,	0.75

### 2.1 유리 온실의 외부 구조물의 배치에 따른 광시뮬레이션

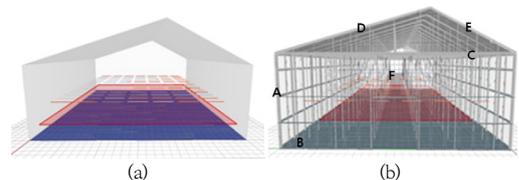


Fig. 1. Dimension of lighting design room  
 (a)greenhouse without columns  
 (b) greenhouse with columns

Fig. 1은 시뮬레이션을 위한 외부 구조물 유무에 따른 설계형태를 그림으로 표현한 것이며 Table 2는 시뮬레이션에 적용된 세부적인 외부 구조물에 대한 설계 스펙을 나타내었다.

Table 2. structure specification of greenhouse

Item [Mark in fig.1-b]	Specifications (W/D/H) m	Quantity
external column[A]	0.1/0.1/4.3	36
inner column[B]	0.023/0.038/4.3	108
floor column of roof[C]	0.1/15/0.1	18
long column of roof[D]	0.1/9.89/0.1	18
short column of roof[E]	0.1/5.675/0.1	18
column of door[F]	1.5/0.2/2.4	4
solar cell	0.9/0.2/1.2	326
LED	1.473/0.022/0.039	112

실제적인 결과값을 도출하고자 시뮬레이션시 유리온실의 외곽과 내부에 기둥을 설치하였고 내부구조물로 전등 등을 배치된 조건을 기준하였다.

Fig. 2는 실제적인 시뮬레이션 결과를 도출하기 위해 Fig. 1과 Table 1에서 제시한 유리온실의 외부구조물의 설계사양을 기준하여 구조물 유무에 따른 시뮬레이션을 진행한 결과이다.

유리온실의 구조물 유무에 따른 시뮬레이션 결과를 보면, 전반적으로 유리온실의 구조물이 있으므로 전체적인 조도 특성은 나쁜 결과를 보였고 계절별 특성을 볼 때 여름과 겨울인 경우 각각 평균적으로 약 28%와 6%의 조도 감소효과를 보였다. 특히 자연광의 효과가 가장 큰 시간대인 오후2시의 경우 32%의 조도 감소효과를 보이는 결과를 보였다. 이렇듯 자연광의 효과가 클수록 유리온실의 구조물로 인한 그림자 형성으로 조도의 값이 감소됨을 알았다. 이처럼 자연광에 따른 조도의 영향이 큰 경우 유리온실의 뼈대 구조물에 대한 고려를 해야 한다. 이에 대한 면밀한 검토를 위해 면적에 대한 조도의 편차특성인 균제도에 대한 내용은 Fig. 3와 같다.

시뮬레이션 결과, 유리온실의 외부구조물에 따른 조도의 불균일성은 명확히 보이고 특히 여름철인 하지 때의 오후2시에서는 약 83%의 균제도 값이 감소하고 상대적으로 동지의 오후4시의 경우 7%의 감소됨을 알았다. 이처럼 유리온실의 외부 투과율이 높은 재질을 활용하는 경우 뼈대의 영향성을 고려하여 제작되어야 함을 제시한다.

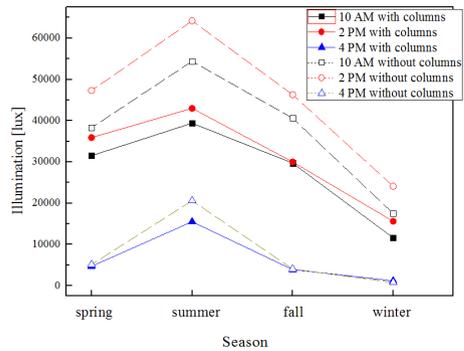


Fig. 2. Illuminance characteristics according to columns in glass greenhouses

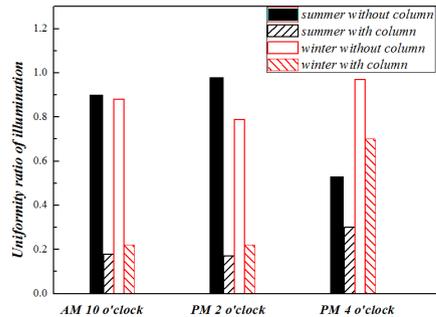


Fig. 3. Uniformity of illumination according to columns in glass greenhouses

## 2.2 유리 온실의 내부 구조물의 배치에 따른 광시뮬레이션

유리온실 내에서 적은 면적에 많은 작물을 재배하기 위해서는 효율적인 공간사용이 필요하고, 이러한 이유로 내부구조물인 선반이라는 구조물을 배치시키는 것이 일반적이다.

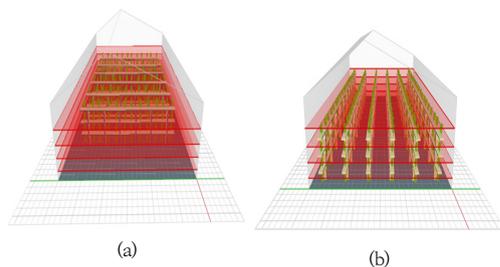


Fig. 4. Shelf arrangement in glass greenhouses  
(a) Horizontal arrangement (b) Vertical arrangement

단일층 재배보다는 선반을 여러 층 사용하여 층마다

식물을 배치해 더 많은 작물의 성장이 가능하다. 따라서 광시물레이션을 통해 유리온실내의 선반의 가로배치, 세로배치, 배열의 형태(행/열 수), 층수에 따른 조도와 균제도 특성을 구하고 각각의 결과값을 분석하여 선반 구조물의 효율적 배치를 제안하고자 한다.

Fig. 4은 설치 배향각이 90°를 기준으로 유리온실 내의 선반을 가로방향(Fig. 4-a)와 세로방향(Fig. 4-b)을 표현한 것이다. Fig. 5는 Fig. 4에서 표현된 배열방식인 가로배열과 세로배열에 따른 자연광의 조도특성을 시물레이션을 한 결과이다. 그 결과 내부구조물인 선반의 배열은 가로배열이 상대적으로 세로배열보다는 자연광의 효과를 더 볼 수 있다. 이러한 이유는 가로배열은 유리온실 설치 배향각이 90°를 기준할 때 태양의 동쪽과 서쪽방향과 나란하며 유리온실의 긴 측면 쪽으로 배열된 상태로 자연광의 조사면적이 커서 내부 구조물의 영향을 덜 받게 되기 때문이라고 생각되어진다. 이러한 결과를 기준할 때 내부의 구조물은 가로방향으로 배열하는 것이 자연광의 효과를 더 얻을 수 있다.

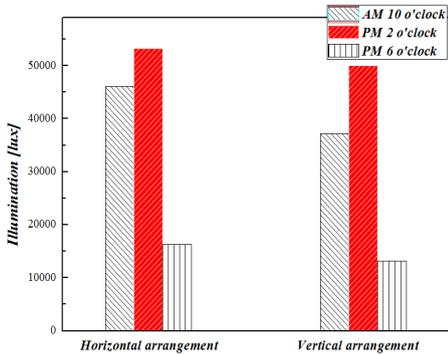
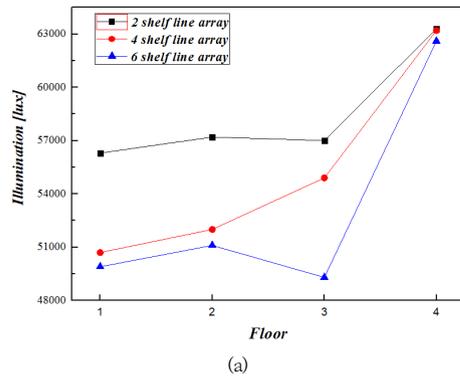


Fig. 5. Illuminance characteristics according to shelf arrangement in glass greenhouses

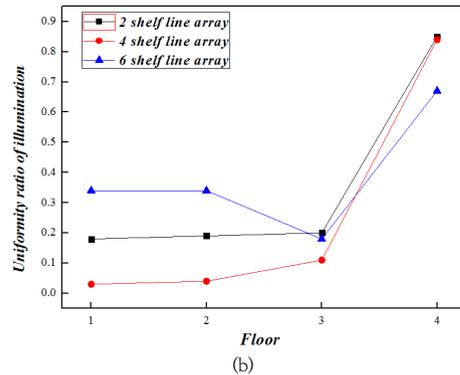
Fig. 6은 내부구조물인 선반을 가로배열로 한 경우, 선반의 배열과 층에 따른 광특성(조도, 균제도)을 보고자 한다. 재배효율을 증가시키기 위해서는 많은 선반의 배열과 층을 높이 할수록 좋기 때문에 최적의 배열상태를 제시하고자 한다.

그 결과, 조도의 특성의 경우 가장 위층대비 층수가 많아질수록 낮은 조도값을 보이며 배열이 많아 질수록 그 값은 더 낮아지는 경향을 보이지만, 균제도 측면을 시물레이션한 결과를 볼 때 배열의 개수에 따른 균제도의 일관성 있는 특성은 보이지 않는다. 즉, 이처럼 선반의 배열의 개수가 늘어남에 따라 전반적으로 자연광에 따른 조도의 특성은 상대적으로 낮아지지만, 균제도 특성에는

층수가 많아짐에 따라 일관된 감소효과는 보이지 않음을 알 수 있다. 이는 층수가 많아짐에 따라 내부구조물에 의한 자연광 조사되는 양이 작아지며, 선반에 의한 그림자 효과 및 계절별 자연광의 위치가 달라짐에 따라 나오는 현상으로 판단되어진다. 이러한 결과를 종합할 때, 유리온실의 재배효율을 증가시키기 위해서는 선반의 배열은 가로방향으로 배치가 중요하지만 선반의 배열 갯수와 층 갯수는 재배 효율을 높이는 큰 인자로 판단되어지는 않는다. 이에 대한 해결책으로는 자연광과 더불어 인공광원인 LED를 활용한 융합형 유리온실을 적용시켜 내부구조물에 대한 인공광원조명의 배열과 광량 조절에 따라 충분히 효율을 높일 수 있음이 예상되어진다.



(a)



(b)

Fig. 6 Light characteristics according to number of horizontal shelf arrangement in glass greenhouses (a) Illumination (b) Uniformity ratio of illumination

### 3. 유리온실의 최적식물 성장을 위한 광특성평가 및 광시물레이션

#### 3.1 식물성장을 위한 광특성평가

자연광원과 인공광원을 활용하는 융합형 유리온실의 설치를 위해 인공광원인 LED의 조도와 광합성 광량자속 밀도는 매우 중요한 인자이다. 자연광과 더불어 식물재배를 위한 특정파장의 광특성이 요구되어 지고 있다. 식물성장용 조명이 광합성에 필수적인 파장대인 약 450 nm 청색파장의 빛과 약 660 nm 적색 파장의 빛을 얼마나 포함하고 있는지가 중요하다고 할 수 있다. 이런 내용을 감안할 때 물리적인 빛의 세기인 조도와 광합성 광량자속 밀도와와의 특성을 알아보려고 한다[7,8].

실제 조도값과 광합성 광자속밀도와의 연관성을 알고 시 실제 LED 인공광원을 조사시켰고 광특성을 평가하였다. 이때, 조도값은 Chroma meter(CL-200A, Konica minolta Co.)를 이용하고, 광합성 광자속 밀도값은 Light Meter(LI-250A, LI-COR Co.)을 이용하여 특성값을 비교한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

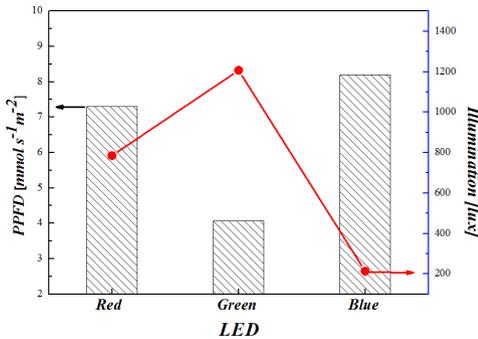


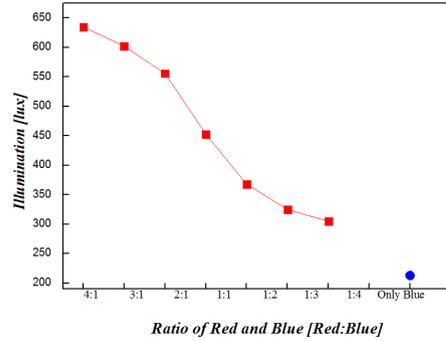
Fig. 7. Light characteristics according to number of horizontal shelf arrangement in glass greenhouses

측정 결과 조도의 특성은 Green, Red, Blue의 순서로 조도값이 크고, Blue, Red, Green의 순서로 광합성 광자속 밀도값이 큰 것을 알 수 있다. 즉 Green 빛은 조도값은 크고 광합성 광자속 밀도값은 적음을 알 수 있다.

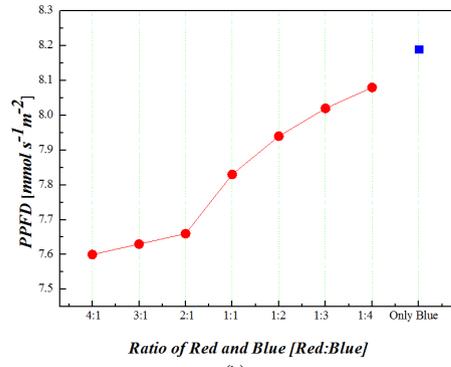
이처럼 식물성장을 위해 많이 사용되어지는 LED 인공광원의 경우, 초록빛의 파장을 가진 전자파가 아닌 엽록소 흡수에 따른 광합성 증진을 위해 붉은색, 파란색광의 적절한 조합에 의해 많이 활용되어지고 있다. 이를 위해 Red:Blue LED광원의 비율이 변함에 따라 조도와 광합성 광량자속밀도의 특성을 어떻게 되는지 알아보았고 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

측정결과, 적색광, 청색광의 비율 조절을 통한 광합성 광량자속밀도와 조도의 변화는 적색광의 증가함에 따라 조도는 증가하며, 광합성 광량자속밀도를 감소됨을 알 수

있었다. 즉, 적색광의 증가에 따라 조도는 증가하고, 광합성 광량자속밀도는 감소하고, 청색광의 증가에 따라 광합성 광자속 밀도는 증가하고, 조도는 감소한다. 이처럼 식물성장을 위해서는 적절한 광보상점 이상의 조도값과 광합성을 위한 광합성 광자속 밀도값을 충족해야한다.



(a)



(b)

Fig. 8. Light characteristics according to number of horizontal shelf arrangement in glass greenhouses

(a) Illumination with Red:Blue LED ratio  
(b) PPF with Red:Blue LED ratio

### 3.2 자연광과 인공광원을 활용한 유리 온실내의 인삼재배 에너지 절감 효과

유리온실 내에서 인삼을 재배하기 위한 최적의 생육환경은 온실내의 온도가 15~20 ℃ 이고 광보상점은 500 lux 고 광포화점은 15000 lux 이다. 즉 일반적인 식물성장을 위해서는 광보상점 이상부터 광합성이 되는 양이 증가되고 광포화점 이상이 되면 광합성이 포화된다고 알려져 있다. 즉 인삼재배를 위해서는 광보상점인 500 lux 이상의 광을 유지하는 것이 중요하다. 광합성을 위한 광특성으로는 광합성 광자속 밀도값이 중요하며, 일반적인 Red:Blue-광의 비율에 따른 식물성장의 효과를 검증하는 연구가 많이 시도되고 있다.

본 연구에서는 유리온실 내에서 인삼을 재배한다는 가정하에 광보상점이 500 lux 이상이며, Red:Blue LED의 비율이 3:1을 기준하여 시물레이션을 하고자 한다. 시물레이션에 사용될 LED 인공광원의 사양 및 설치내용은 Table 3에 표기하였다.

Table 3. LED specification

Item (Co.)	LED strip (RZB)
Product no.	451160.002.1
Red: Blue LED	3:1
Installation (W/D/H) m	1.2/0.35/2
Installation No.[Row/Column]	112 [7/16]

Fig. 9는 인삼재배를 기준하여 광보상점이 500 lux 이상의 조도값이며 균제도가 0.5이상으로 설정한 후 얻어진 시물레이션 결과이다. 이때 LED조명의 비율은 광합성 광자속 밀도의 특성에서 알 수 있듯이 Red:Blue의 값이 3:1을 기준하였다.

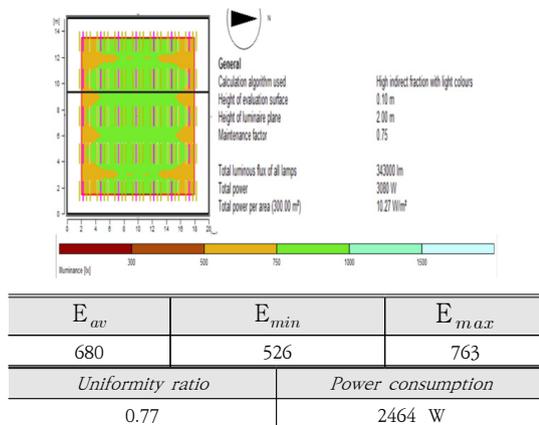


Fig. 9. Light characteristics according to Red:Blue(3:1) LED in glass greenhouses

시물레이션 결과 최소 조도값은 526 lux, 평균 조도값은 680 lux이며 균제도 값은 0.77로 광시물레이션이 잘 설계된 결과값을 얻을 수 있었다.

LED에 의한 식물성장은 특정파장에 의한 재배가 가능하지만 에너지측면을 고려할 때 낮에는 자연광을 활용하는것이 좋기 때문에 Table 4의 조건으로 LED를 적절한 조절에 따른 특성을 Fig. 10에 표기하였다. 적절한 LED 제어 방법은 자연광원과 인공광원을 융합하는 방식을 사용해야 하기 때문에, 낮시간에는 인공광원인 LED

를 OFF하는 방식이며 여름과 겨울에는 자연광의 영향도가 다르기에 각각의 절기(하지, 동지)를 기준하여 시물레이션을 한 결과는 Fig. 10과 같다.

Table 4. structure specification of greenhouse

Continuous LED	0~24hr ON	
	Controlled LED	summer
	winter	08~18hr OFF

시물레이션의 결과를 보면, 24시간 LED를 조사하는 경우 최소 조도값은 500 lux 를 유지할 수 있고 이때 필요한 전력소비량은 59 kwh 이다. 만약 에너지 절감을 고려하여 자연광이 조사되는 시간에는 인공광원을 OFF하는 경우 여름에는 31 kwh, 겨울에는 25 kwh 로 각각 53%, 42%의 에너지 절감을 얻을수 있음을 알았다.

이처럼, 자연광과 인공광원(Red:Blue=3:1)을 활용하여 유리온실 내에서 인삼을 재배하는 경우, 광보상점 이상의 조도값을 유지하면서 선택적 LED구동시 42% 에너지 절감효과를 얻을 수 시물레이션 결과를 얻었다.

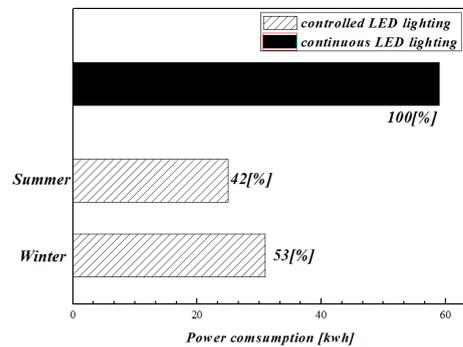


Fig. 10. Light characteristics according to number of horizontal shelf arrangement in glass greenhouses

#### 4. 결론

본 연구는 한국형 유리온실 다형을 기준으로 실제적인 유리온실의 외부 구조물 유무와 온실내의 작물재배를 위한 내구 구조물의 영향, 광합성 광자속 밀도를 고려한 효율적인 인삼재배용 유리온실에 대한 광시물레이션을 하였다. 광시물레이션 결과로부터 실제적인 자연광과 인공광원을 활용한 유리온실의 설계에 도움을 주고자 한다.

첫째, 유리온실의 외부구조물에 따른 자연광에 의한 조도의 영향성은 명확히 보이고 여름과 겨울인 경우 각

각 평균적으로 약 28%와 6%의 조도는 감소되며, 약 83%, 7%의 균제도 값이 감소된다. 이처럼 유리온실의 외부 투과율이 높은 재질을 활용하는 경우 구조물의 영향성을 고려하거나 인공광원을 활용한 광보상효과를 고려해야 할 것이다.

둘째, 유리온실의 내부구조물에 따른 자연광에 의한 조도특성은 선반의 배열은 가로배열이 상대적으로 세로 배열보다는 자연광의 효과를 더 볼수 있음을 알수 있다. 가로배열은 설치 배향각이 90°를 기준할 때 태양의 동쪽과 서쪽방향과 나란하며 유리온실의 긴 측면 쪽으로 배열된 상태로 자연광의 조사면적이 커서 내부 구조물의 영향을 덜 받게 되기 때문이라고 생각되어진다. 또한, 선반의 배열 갯수와 층수는 자연광의 효과를 낮추는 주요 인자로 판단되어지는 않으며, 이에 대한 해결책으로는 층별 인공조명의 배열과 광량 조절에 따라 충분히 효율을 높일수 있음이 예상되어진다.

셋째, 조도와 광합성 광자속 밀도의 관계성을 파악한 결과, 적색광의 증가에 따라 조도는 증가하고, 광합성 광자속 밀도는 감소하고, 청색광의 증가에 따라 광합성 광자속 밀도는 증가하고, 조도는 감소한다.

넷째, 자연광과 인공광원(Red:Blue=3:1)을 활용하여 유리온실 내에서 인삼을 재배하는 경우, 광보상점인 500 lux 이상의 조도값을 유지하면서 에너지 절감을 고려하여 자연광이 조사되는 시간에는 LED인공광원을 선택적으로 OFF하는 경우 42% 에너지 절감효과를 얻을 수 시뮬레이션 결과를 얻었다.

실험결과를 통해 얻어진 내용은 식물공장 조명설계 프로그램 구동시 중요설계인자 선택 및 기초 데이터로 활용되고 실제적으로 융합광원을 활용한 유리온실의 광효율 극대화를 위한 최적 구조 연구에 기여하고자 한다.

## References

[1] Hai-Young Jung,Boong-Joo Lee,Seok-Hyun Lee, "The Study of LED Lighting Simulation on Artificial Light Characteristics of Glasshouse using Solar Cell", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.32, No. 5, pp.1-9, 2018  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2018.32.5.001>

[2] Hyeong Gon Kim, Jae Su Lee, Yong Hyeon Kim, "Chlorophyll Fluorescence, Chlorophyll Content, Graft-taking, and Growth of Grafted Cucumber Seedlings Affected by Photosynthetic Photon Flux of LED Lamps", Protected Horticulture and Plant Factory, Vol.27, No.3, pp.231-238, July(2018)

DOI: <http://doi.org/10.12791/KSBEC.2018.27.3.231>

[3] N.Khan,N.Abas,"Comparative study of energy saving light sources", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.15,pp.296-309,2011.  
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.072>

[4] Boong-Joo Lee, "A Study on the Lighting and the Photosynthetic Photon Flux Density with LED for Light Reinforcement" Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.22, No.3, pp.333-338, 2021  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.3.333>

[5] Boong-Joo Lee, "Basic Research on Lighting Design for Learning Effect", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.21, No.4 pp.518-524, 2020  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.518>

[6] Young-Jin Hong, Soon-Ja Lim, Wan-Bum Lee, "A study on lighting system for LED color temperature control using wireless communication and smartphone", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.18, No.11, pp.72-77 (2017)  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.11.72>

[7] Xiao-Ming An, Young-Jin Hong, Hwan-Yong Kim, "Efficient LED lighting system design of the plant growing system", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.16, No.11, pp.7256-7261 (2015)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.11.7256>

[8] Jun-Hyuk Yang, Won-Ho Choi, Noh-Joon Park, and Dae-Hee Park, "A Study on Growth of the Green Leaf Lettuce Depends on PPF and Light Quality of LED Lighting Source for Growing Plant", Journal of Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng., Vol.28, No.2, pp.142-147 (2015)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2015.28.2.142>

이 봉 주(Boong-Joo Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 인하대학교 전기공학과 졸업(공학사)
- 1998년 2월 : 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
- 2003년 2월 : 인하대학교 전기공학과 졸업(공학박사)

- 2004년 ~ 2007년 : LG전자 디지털디스플레이연구소
- 2007년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

유기소자(트랜지스터,메모리), 태양전지, 발광소자(OLED, LED), 조명, 디스플레이