

# 자연광 투과에 따른 유리온실 조도분석에 관한 조명시뮬레이션 비교

이봉주  
남서울대학교 전자공학과

## A Difference Study on the Lighting Simulation of the Illuminance Values from Daylight for the Glass Greenhouse

Boong-Joo Lee

Department of Electronic Engineering, Namseoul University

**요약** 본 연구에서는 유리 온실에서 자연광과 인공 광원(LED; PROLED社 L6201, L6203)를 활용한 상추를 재배하는 경우, 자연광 및 인공광원의 효과를 극대화 하고 최적 조건을 얻기 위해 여러 가지 조명 시뮬레이션 소프트웨어들 중에서 DIALux 프로그램을 이용하여 자연광 및 인공 광원을 고려한 조명 시뮬레이션을 하였다. 유리 온실의 제작 시 배향 각도에 대한 시뮬레이션 결과를 보면, 90 [°](북남방향)로 설치하는 것이 좋고, 유리 온실의 유리 재질의 투과율에 따른 시뮬레이션 결과 유리 재질의 투과율이 높을수록 자연광 효과는 크게 됨을 알았다.

유리 온실에서 상추를 기준 하여 재배 시 인공 광원만을 활용 할 경우 대비 자연광 효과를 활용하여 인공 광원(LED)으로 상추 재배 시 소비 전력 측면 41% 수준의 전력 소비로 가능성을 알았다. 이 결과로 부터 에너지 절약형 유리 온실에서 상추를 재배하는 방안을 제시코자 하고자 한다.

**Abstract** In this study, the DIALux program was simulated for the optimal conditions of daylight and artificial light sources(LED) in a glass greenhouse. From the results of the daylight simulation, the optimal design conditions for the glass greenhouse were established, which had a 90° installation angle and a higher transmittance of glass. In the case of growing lettuce in a glass greenhouse, it was compared with artificial light sources, the artificial light source (LED) was used to produce a power consumption effect of 41%. These results suggest that lettuce be grown in an energy saving glass greenhouse.

**Keywords** : DIALux, greenhouse, Daylight, energy saving

### 1. 서론

문명의 발달과 산업화에 따른 지구 온난화 현상이 심화되고 있고, 이의 근본적인 해결방안은 온실 가스의 배출량을 줄이는 것인데 새로운 친환경적 대체 에너지의 개발, 폐기물 재활용 등과 더불어 에너지 절약이 중요한 해결방안이다. 이런 측면을 고려할 때 신재생에너지와 청정에너지에 대한 활용 비중은 점점 확대되고 있으며 특히, 태양광을 활용한 산업의 요구가 증대되고 있다.[1]

태양광을 활용하는 융합기술의 발전이 개발되고 있고 이 중 친환경 농업 및 신재생기술의 접목을 위한 태양광을 활용한 유리온실에 대한 연구가 활발하고 있는 실정이다. 본 연구진은 융합의 기술접목이라는 형태에서 유리온실에 태양전지의 효율적 채용 및 LED광원에 의한 식물성장 보광시스템에 대한 연구가 진행 중이고 이에 대한 자연광 및 인공광원에 대한 효과적인 예측을 위해 조명시뮬레이션을 하고자 한다.

조명 관련 소프트웨어는 크게 조명기구의 반사판과

이 논문은 2017년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

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

Tel: +82-41-580-2702 email: bjlee@nsu.ac.kr

Received April 26, 2017

Revised May 23, 2017

Accepted August 17, 2017

Published August 31, 2017

렌즈 등과 같은 광학적인 시스템의 설계와 분석을 진행하는 소프트웨어인 Photopia, TracePro 등 과 조명 기구의 배치 및 조명 기구가 위치할 공간을 대상으로 한 조명의 설계 및 분석에 사용되는 소프트웨어인 Relux, DIALux, AGi32 등으로 구분되어 진다.[1,2]

현재 자연채광시스템 또한 실내조명으로 이용되므로 조도 시물레이션이 필요하다. 그러나 자연채광시스템의 경우 인공조명용 측정 장비로는 광분포 데이터를 확보하기에는 어려움이 있어 별도의 광분포 측정 기구를 활용하여 광분포 데이터를 확보하고 조명시물레이션 프로그램을 이용하여 실내 빛 환경 조도 시물레이션을 해야 한다[3].

본 연구에서는 유리온실에서 LED를 활용한 상추를 재배하는 경우, 자연광 및 인공광원의 효과를 극대화 하기 위하여 최적 시물레이션을 위해 상용화된 여러 가지 조명 소프트웨어들 중에서 DIALux 프로그램을 이용하였다. 자연광의 효과를 가장 잘 받아야 하는 유리온실을 기준하여 시물레이션을 통한 얻어진 결과 값들을 분석하여 최적의 인공광원 조건으로 에너지 절약형 유리온실에서 상추를 재배하는 방안을 제시코자 한다.

## 2. 조명시물레이션 소프트웨어

조도를 계산하는 여러 방법 중 광선 추적기법은 광의 움직임에 대해 운동 방향과 크기를 벡터화 시킨다. 광 조사시 일어나는 반사, 굴절, 투과, 흡수 등과 같은 벡터의 방향이나 크기에 변화를 줄 수 있는 요인들을 고려하고 벡터의 새로운 방향과 크기를 결정하여 광자들의 최종 위치를 추적하며, 광의 최종 위치를 종합하여 각 공간의 최종 광량으로 전환해 이것을 통해 조도 계산을 수행한다. 조명 소프트웨어에서는 시각적인 재현을 위해 다양한 방법론과 알고리즘이 개발되었는데 Radiosity, Raytracing, Raster Graphic 등이 해당되며, 현재 대부분의 렌더링 소프트웨어에서 이용하고 있다.[1,4]

조명시물레이션 프로그램은 시물레이션 계산을 위해 수학적 모델로 전역조명모델인 역광선 추적법을 채용하고 있으며, 전술한 adiosity, Raytracing, Raster Graphic 을 모두 적용하고 있다. 특히 Raytracing 모듈을 사용하여 실사에 가까운 렌더링 결과물을 제공하며 시각적인 렌더링 결과물의 생성과 더불어 Tables, Iso contour

lines, false color images , 3D mountain display, 3D Luminance와 같은 다양한 형식으로 결과를 도출 할 수 있다. 조명 프로그램 도면상에 배치되는 구조물의 물성 및 기하학적인 구조 등의 데이터를 반영하여 조도 등을 계산하고 분석한다. 또한, 대상 공간에서 요구되는 조도를 직접 입력하고 공간의 용도에 따른 보수율을 결정한 후 개략적인 기구의 설치 높이 등을 설정하면 해당 조도를 만족하는 등기구의 수량과 조도 분포, 균제도 등을 바로 계산할 수 있다. [2,4,5]

## 3. 시물레이션

DIALux 프로그램을 활용하여 조명시물레이션을 위하여 그림1은 연구방법에 대한 표기를 하였으며, 표1은 유리온실의 시물레이션 수행조건을 표기하였다. 이때, 시물레이션을 수행한 정확한 장소는 인천시 강화군 이며, 날씨 조건은 CIE 표준 청천공(CIE Clear Sky)를 적용하였다. CIE 표준 청천공 모델은 태양 부근에서 가장 휘도가 높고 태양 위치로부터 90°의 각도에 있는 천공 부근에서 가장 낮은 휘도를 갖는다는 것을 가정한다.[6]

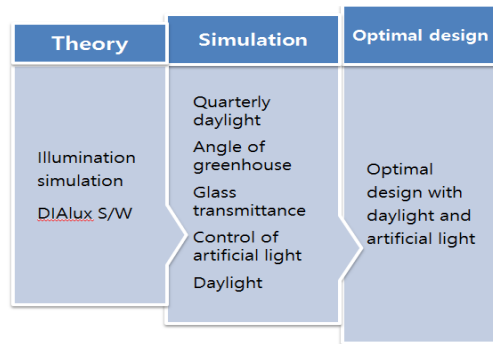


Fig. 1. General research plan

Table 1. The simulation condition of daylight

Title	Condition	Title	Condition
length	6 [m]	working plane	0.75 [m]
width	3 [m]	reflection	70/50/20
height	2.8 [m]	transmittance	variable
Site	Ganghwa	time	variable

### 3.1 DIALux에 의한 자연광 시물레이션

자연광에 따른 조도시물레이션 결과 유리온실의 설치

배향각에 따른 조도의 평균값( $E_{av}$ )과 조도의 최소값( $E_{min}$ )의 특성을 그림2에 나타내었다. 시뮬레이션 결과 배향각이  $90^\circ$ 인경우가 자연광의 조도값의 평균 및 최소값 특성이 가장 양호함을 알 수 있었다. 이런 특성을 좀 더 명확히 보고자 조도의 최소값을 조도의 평균값으로 나눈 값이 균제도값( $E_{min}/E_{av}$ )을 평가한 결과는 표2와 같다. 상대적으로 배향각이  $30^\circ$ 일 때 0.595의 가장 낮은 균제도 특성을 보였고,  $90^\circ$ 인경우가 0.995의 가장 양호한 특성을 얻었다. 이런 결과를 볼 때 유리온실의 설치 배향각은  $90^\circ$ 로 하는 것이 자연광 효과를 최대로 할 수 있음을 알았다. 이때 배향각  $90^\circ$ 의 의미는 그림3에 참고하여 표현하였다.

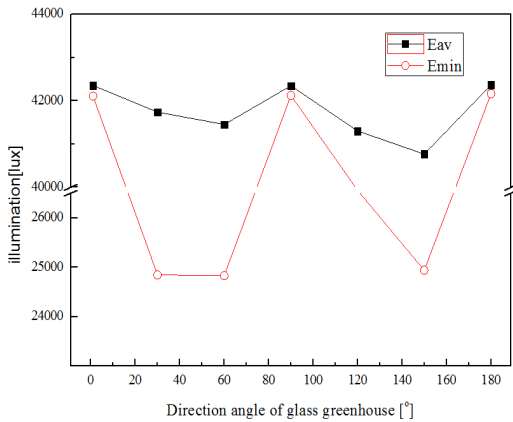
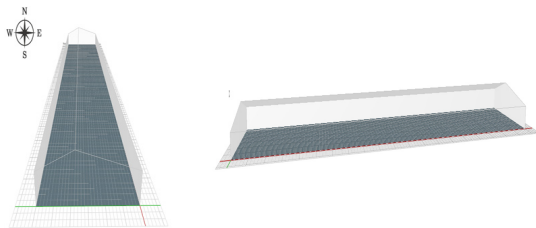


Fig. 2. Daylight illumination of glass greenhouse's angle

Table 2. The uniformity ratio of illumination with greenhouse's angle

angle	0	30	60	90	120	150	180
uniformity ratio	0.994	0.595	0.599	0.995	0.813	0.612	0.995



(a)  $90^\circ$  (north-south direction) (b)  $180^\circ$  (east-west direction)

Fig. 3. Direction structure of glass greenhouse.

유리온실의 자연광에 대한 계절별, 시간별 조도시뮬레이션 결과는 그림4에 나타내었다. 시뮬레이션 결과를

보면, 하지 일때가 자연광의 조도값이 가장 크며 시간도 가장 긴 것을 알 수 있으며, 동지 일때가 가장 작은 조도값과 시간도 가장 작은 것을 알 수 있었다.

이에 대한 조도값 차이를 계절별 파악한 결과는 표3에 나타내었다. 표3에서 볼 수 있듯이 하루동안 자연광의 조도값은 차이는 하지일 때 79044 [lux]이고 동지일 때 10853[lux]임을 알았다.

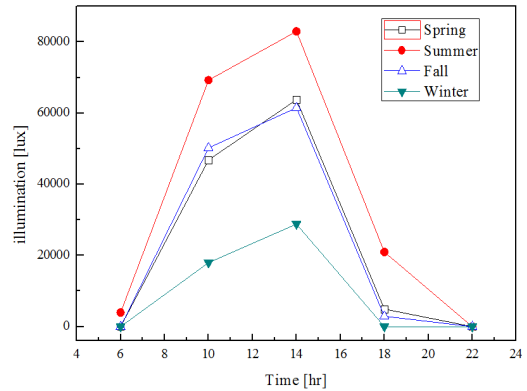


Fig. 4. Daylight illumination with season and time

Table 3. The difference of illumination with season and hours

	spring	summer	autumn	winter
illumination difference [lux]	58875	79044	58581	10853

자연광의 효과는 날씨에 따라서도 많은 영향을 받을 수 있기에 유리온실의 유리의 투과율과 날씨(맑은 하늘, 흐린 하늘, 혼합된 하늘)에 따른 조도시뮬레이션 결과는 그림5에 나타내었다. 시뮬레이션 결과 전체적으로 유리의 투과율이 좋을수록 조도값은 증가되며, 맑은 날의 경우가 투과율에 따른 자연광 조도값의 편차가 가장 큼을 알 수 있었다. 날씨가 좋을수록 자연광의 효과를 크게 볼 수 있고 흐릴수록 그 영향도는 작으나, 최적의 자연광효과를 얻으며 인공광원 설계시 고려대상이 될 것으로 예상된다. 즉 맑은 하늘을 기준할 때 유리투과율에 따른 조도의 증가비는 투과율 1%당 543[lux]인 반면 흐린 하늘을 기준할 때는 투과율 1%당 115[lux]의 증가비율을 알 수 있었다. 유리의 투과율이 좋을수록 자연광 효과를 더 얻을 수 있음을 인지하여 일반적으로 상용되는 투과율이 80%임을 감안하여 유리온실을 설계하고자 한다.

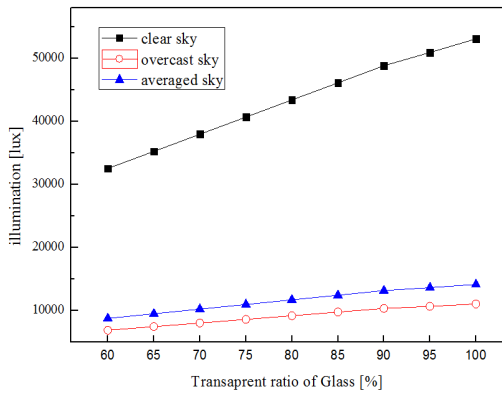


Fig. 5. Daylight illumination with transparent ratio of glass and weather

### 3.2 DIALux에 의한 자연광을 고려한 인공광원 시물레이션

본 연구에서는 유리온실에서 상추를 재배하는 것을 기준하여 인공광원을 설치하는 경우를 제안하고자 한다. 즉 유리온실 특성상 자연광과 인공광원의 적절한 제어를 한다면 상추를 키우기 위한 최적의 유리온실 구조 제안이 가능할 것으로 예상된다

상추 재배시 필요로 하는 조건을 알아본 결과, 생육온도는 15~20[°C], 광보상점은 1500[lux], 광포화점은 25000[lux]이고, 광보상점과 광포화점 사이의 조도값이 분포될 때, 상추를 재배하기 위한 최적의 재배환경임을 파악하였다. 즉, 상추의 최적재배를 위한 최소 조도값을 각 절기의 자연광의 영향이 전혀 없는 22시를 기준으로 조명의 개수와 높이, 조도가 계산될 높이를 조절하여 전체 제어일 때, 최소조도 값이 인삼의 최소 조도 값인 1500[lux]를 넘을 수 있도록 설정을 해주었다[7-10].

설치 LED는 bar LED형태로 PROLED社의 L6201(Blue)/L6203(Red)로 임의로 기준하였으며 시물레이션을 하였다. 이때, 상추의 재배시 최적의 LED보광 조건인 Red와 Blue의 비율을 3:1로 기준하였고 그 외의 시물레이션 조건은 표 4에 나타내었다.

Table 4. The simulation condition of daylight

Title	Condition	Title	Condition
LED(R:B)	3:1	LED position	1.18[m]
light loss factor	0.75	LED	900ea(36bundle)
working plane	0.75 [m]	LED interval	X(0.7m):Y(1.2m)

식물성장 촉진의 개념으로 LED 인공광원을 활용하는 경우 균제도가 0.5이상을 유지하며 LED 조명설계에 다른 조도시물레이션 결과는 표5에 나타내었다.

Table 5. The power and illumination's characteristics of LED

	power consumption [kwh]	uniformity ratio of illuminaiotn(avg.)	illuminaiotn(avg.)	illumination (min.)
spring	82 (100%)	0.562	12243	1503
summer	82 (100%)	0.514	18908	1503
autumn	82 (100%)	0.569	12192	1503
winter	82 (100%)	0.632	5958	1503

표5에서 볼 수 있듯이, LED조명을 24시간 100%켰다는 가정하에 최소조도를 1500[lux]로 시물레이션을 하였다. 그 결과 소비전력량은 82 [kwh]이었으며, 낮 시간에는 자연광의 효과가 포함된 특성이 보였으며, 태양이 뜨는 시간이 가장 긴 하지일 때 제일 큰 조도특성을 보였고, 동지일 때 상대적으로 균제도 평균이 높았다. 이와 같은 균제도의 특성은 인공광원의 효과를 상대적으로 더 크기 때문으로 생각되어진다.

광보상점을 기준할 때 최적의 상추성장을 위해서는 낮 시간에는 자연광을 활용한 재배를 하며 밤 시간에는 인공광원(LED)에 의한 재배시 에너지 절감을 최대로 할 수 있어서 표6는 시간대별 자연광과 인공광원에 따른 계획을 세워보았다.

표7은 세워진 광원 활용에 따른 상추재배시 조명시물레이션의 결과를 토대로 에너지효과 및 조명시물레이션 결과를 제시한다. 그 결과 조명을 최적점등 시킨 동시에 자연광을 고려한 가정 하에 시물레이션을 해주었다. 소비전력량은 하지때 34 [kwh]로 자연광을 효과적으로 활용하면 기존대비 41%수준으로 에너지 절약이 가능함을 알았다.

Table 6. The optimized LED control with daylight effect.

	spring	summer	autumn	winter
~5 o'clock	Artificial	Artificial	Artificial	Artificial
6	Artificial	Artificial	Artificial	Artificial
8	Artificial	Artificial	Artificial	Artificial
10	Daylight (10hrs)	Daylight (14hrs)	Daylight (10hrs)	Daylight (8hrs)
14	Daylight (10hrs)	Daylight (14hrs)	Daylight (10hrs)	Daylight (8hrs)
16	Daylight (10hrs)	Daylight (14hrs)	Daylight (10hrs)	Daylight (8hrs)
18	Daylight (10hrs)	Daylight (14hrs)	Daylight (10hrs)	Daylight (8hrs)
19	Daylight (10hrs)	Daylight (14hrs)	Daylight (10hrs)	Daylight (8hrs)
20	Artificial	Artificial	Artificial	Artificial
22 o'clock~	Artificial	Artificial	Artificial	Artificial

**Table 7.** The power and illumination's characteristics of LED with daylight effect.

	power consumption [kwh]	uniformity ratio of illuminaiotn(avg.)	illumination (avg.)	illumination (min.)
spring	44 (54%)	0.835	17814	1503
summer	34 (41%)	0.901	28596	1503
autumn	44 (54%)	0.835	17652	1503
winter	47 (58%)	0.802	7057	1503

#### 4. 결 론

본 연구에서는 유리온실에서 LED를 활용한 상추를 재배하는 경우, 자연광 및 인공광원의 효과를 극대화 하기 위하여 최적 시물레이션을 위해 상용화된 여러 가지 조명 소프트웨어들 중에서 DIALux 프로그램을 이용하였다. 이를 통해 자연광의 효과를 가장 잘 받아야 하는 유리온실을 기준하여 시물레이션을 통한 얻어진 결과 값들을 분석하여 최적의 인공광원 조건으로 에너지 절약형 유리온실에서 상추를 재배하는 방안을 제시코자 한다.

첫째, 조도특성 및 균제도 특성을 고려할 때, 유리온실의 설치 배향각은 90[°]로 하는 것이 자연광 효과를 최대로 할 수 있음을 알았다.

둘째, 하지 일때가 자연광의 조도값이 가장 크며 시간도 가장 길며, 동지 일때가 가장 작은 조도값과 시간도 가장 작은 것을 알 수 있었다.

셋째, 유리의 투과율이 높을수록 자연광효과는 크며, 맑은 날 기준할 때 유리투과율이 1% 높아질 때 마다 543[lux]의 조도값 상승효과를 얻을수 있음을 알았다.

넷째, 유리온실에서 상추를 기준하여 재배시 인공광원만을 활용할 경우대비 자연광을 활용하여 인공광원(LED)으로 상추 재배시 소비전력측면 41%수준의 전력 소비로 가능함을 알았다.

향후 연구에서는 소프트웨어별 자연광의 효과를 명확히 분석하기 위한 실제 환경과 동일한 설계와 조도값 측정결과와 비교하고자 한다. 이를 통해 자연광에 대한 시물레이션 소프트웨어별 조도 알고리즘을 분석예정이며 조명디자인 분석시 자연광분석에 대한 상황별 소프트웨어의 정확성에 대한 연구를 하고자 한다.

#### References

- [1] Hai-Young Jung, Boong-Joo Lee, Seok-Hyun Lee, Journal of the KIIEE, Vol.31, No.5, pp.25-32, 2017.
- [2] Kim Chul-Ho, Kim Kang-Soo, Journal of the Korean Solar Energy Society, vol. 36, no. 3, 2016.
- [3] Seul-Ki Won · Byung-Chul Pak · An-Seop Choi, Proceedings of KIIEE Annual Conference 2016.
- [4] Park, Y. M., Lee, C. S., Sung, T. K., Joung, C. B., Kim, B. C., Journal of the Korea Solar Energy Society, vol. 11, no. 11, pp. 199-200, 2014.
- [5] Yu-Sin Kim, Seul-Ki Won, Byoung-Chul Park, An-Seop Choi, The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, vol. 21, no. 8, 2007.
- [6] Hong, Sung-De, Journal of The Korean Digital Architecture-Interior Association, vol. 11, no. 1, 2011.
- [7] Yong Seub Shin, Mun Jung Lee, Eun Sook Lee, Joon Hyung Ahn, Jae Ha Lim, Ha Joong Kim, Hoo Won Park, Young Ghul Um, So Deuk Park, Jang Heui Chai, Journal of Bio-Enviroment Control, vol. 21, no. 3, pp. 180-185, 2012.
- [8] Jun-Gu Lee, Sang Seok Oh, Seon Hwa Cha, Yoon Ah Jung, Seung Yu Kim and Young Chul Um, Seung Ryong Cheong, Journal of Bio-Enviroment Control, vol. 19, no. 4, pp. 351-359, 2010.
- [9] Jung In-Sung, The conference of korean solar energy society, pp. 124-129, 2013.
- [10] Jae un Im, Yong Cheol Yoon, Kwang wook Seo, Kyu Hyeong Kim, Ae Kyung Moon, and Hyeon Tae Kim, Protected Horticulture and Plant Factory, vol. 22, no. 1, pp. 49-54, 2013.

#### 이 봉 주(Boong-Joo Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 인하대학교 전기공학 졸업(공학사)
- 1998년 2월 : 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
- 2003년 2월 : 인하대학교 전기공학과 졸업(공학박사)
- 2004년 6월 ~ 2007년 6월 : LG 전자디지털디스플레이 연구소
- 2007년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

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