

# 태양전지와 LED를 이용한 인삼재배용 유리온실의 조도 시뮬레이션

이봉주  
남서울대학교 전자공학과

## The Glass Greenhouse's Lighting Simulation for Ginseng with Solar Cell and LED

Boong-Joo Lee

Electronic Engineering, Namseoul University, Cheonan, Korea

**요약** 본 연구에서는 Si 및 DSSC의 태양 전지와 LED를 활용하여 제작될 유리 온실을 제작하기 전에 조명시뮬레이션 프로그램인 리룩스를 활용하여 최적의 유리 온실 설계 조건을 찾고자 진행 되었다. 천장의 투과율 15%과 측면의 투과율 40%을 기준으로 한 태양 전지가 다르게 설치되는 점을 감안하여 자연광에 따른 조명 시뮬레이션을 한 결과에 의하면, 유리 온실 건축물은 설계시 태양의 궤도에 대해 90도(북남방향) 배향 설계하는 것이 자연광을 가장 효과적으로 활용 할 수 있는 것을 확인하였고, 유리 온실내의 최적의 식물 성장을 위하여 자연광 조건을 고려한 시간별 인공 광원의 제어를 하는 경우 최대 에너지 절감은 하지인 경우 5.6 kwh (LED 제어 전 대비 42% 수준), 동지인 경우 7.8 kwh (LED 제어 전 대비 58% 수준)의 에너지 절감이 가능하며 광보상점 이상의 최적의 광특성 조건에서 인삼 재배가 가능함을 확인하였다.

**Abstract** In this study, the Relux illumination program was used to simulate the optimal lighting design for a glass greenhouse with Si and DSSC solar-cells and LEDs. The results of the daylight simulation show that the optimum conditions were a structure angle of 90o and higher transmittance. The results of the illumination simulation produced a power consumption effect of 5.6 kwh in the summer (42[%] energy savings compared to full LED control) and 7.8 kwh in the winter (58[%] energy savings compared to full LED control). The results suggest that ginseng should be grown in an energy-saving glass greenhouse.

**Keywords** : Solar cell, LED, greenhouse, energy, saving, simulation

### 1. 서론

인류 발전에 따른 지구 온난화 현상이 심화되고 있고, 이를 위해 온실가스의 배출량을 줄이는 노력을 하고 있으나, 근본적인 오염원을 줄이기 위한 친환경 대체 에너지에 대한 개발의 연구가 활발해 지고 있는 실정이다. 태양의 무한한 에너지원에 대한 활용을 위해서 태양전지에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이며, 기존의 실리콘(Si)을 활용한 태양전지 이외의 투과율 조절이 가능한 태양 전지인 DSSC ((Dye-Sensitized Solar Cell, 이하 DSSC)

에 활용이 요구되어지고 있다.

LED는 기존의 조명광원 대비 에너지효율이 매우 좋은 장점과 더불어 원하는 파장의 빛을 여러 가지로 다룰 수 있다는 특징이 있다. 식물 성장에 있어서 광환경이 제일 중요하며 이를 위해 사용하는 빛은 특정 파장 대역으로 제한되어 있다. 즉, LED는 식물 성장에 필요한 파장의 전자파를 인가할 수 있기에 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 더불어, 식물재배에서 인공광원을 사용하려면 광특성 이외의 경제성을 고려한 전력소비를 줄여야 하는 내용의 과제가 중요하게 된다[1].

이 논문은 2018년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

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

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

Received November 24, 2018

Revised (1st December 26, 2018, 2nd December 31, 2018)

Accepted February 1, 2019

Published February 28, 2019

유리온실(glass greenhouse)은 고정된 시설로 수명이 길고 계절에 상관없이 재배가 가능하다는 점과 여러 주변 장치들의 부설이 용이하고 관리가 쉬운 장점을 있다. 특히 유리온실 시설에서의 작물 재배 목적은 작물 특성, 지리적 환경, 절기, 사회적 여건 등에 따라 달라지는데, 우리나라의 경우 연중 생산을 주목적으로 하는 경우가 많지만 품질 향상이나 병충해 방지를 목적으로 하는 경우도 있다. 생산자 입장에서는 짧은 시간동안 작물을 생산함으로써 수익성을 높이고 농한기가 없이 연중 고른 소득을 얻을 수 있는 효과를 얻고 있다. 또한, 소비자 입장에서는 계절에 관계없이 신선하고 싱싱한 작물들을 공급 받을 수 있는 장점이 있다[2, 3]

조도시뮬레이션 프로그램인 리룩스(Relux)를 이용하여 실제 유리온실이 제작되기 전 최적의 설계인자를 제안하고자 한다. 리룩스는 조명 제조업체의 조명기구의 데이터와 사용자의 요구대로 사용자가 직접 구현한 조명 배치 및 구현 건축물 데이터를 이용하여 자연광 및 인공광원의 거동을 예측하고 그 결과를 수치화 및 시각적으로 표현 할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 이런 이유로 현재 가장 많이 활용되고 있는 조도 시뮬레이션 프로그램이다.

본 연구진은 현재 태양전지를 활용한 유리온실에 대한 실증연구에 대해 공동연구 중으로 본 연구는 이와 연계된 실제 유리온실 설계 전 시뮬레이션에 대한 연구이다. 제작 되어질 유리온실은 태양광 활용 및 융합기술의 발전이 개발되고 있고 Si태양전지와 DSSC 태양전지를 활용하는 신재생에너지 기술이 적용될 예정이며, 에너지 절약을 위한 LED 조명등기구를 활용하는 구조로 강화도에 제작되어질 예정이다.

본 연구의 목적은 제작되어질 유리온실의 최적구조를 제안함과 동시에 고부가가치인 인삼을 재배하는 경우를 기준하여 에너지 절감효과를 미리 예측하고자 한다. 이 시뮬레이션 분석 결과 값을 통해 인삼재배를 위한 태양전지와 LED를 활용한 유리온실의 최적 구조를 제안하고 향후 연구의 진행 방향 설정에 기여하고자 하였다.

## 2. 시뮬레이션

### 2.1 유리온실 조도 시뮬레이션 조건

Fig. 1은 제작되어질 유리온실의 형태이고 Table. 1은

자연광 시뮬레이션에 대한 조건이다. 유리온실의 형태는 여러 종류가 있지만, 본 연구에서는 한국형 유리온실 형태를 기준하여 지붕의 형태는 fig. 1과 같은 지붕을 기준하여 시뮬레이션 하였다. 또한, 자연광의 경우 실제 위치별 형태별 태양광 효과가 다르기 때문에 정확한 장소는 인천광역시 강화군에 설치될 것을 기준하고, 날씨 조건은 CIE 표준 청천공(맑은 하늘)을 적용하였다.

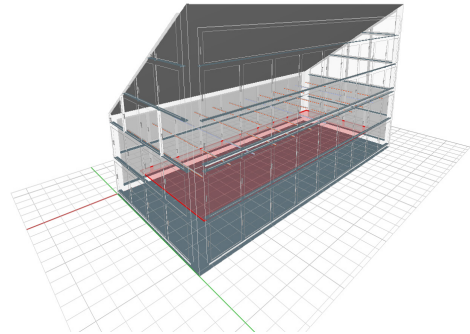


Fig. 1. The structures of glass greenhouse in simulation

유리온실의 구조는 천장의 경우 투과도가 낮으나 에너지 효율이 좋은 Si기준의 태양전지가 설치될 예정이고, 측면의 경우 투과도가 높으나 에너지효율이 낮은 DSSC의 태양전지가 설치될 예정이기에 투과율은 천장과 측면 각각 15%와 40%로 기준하여 시뮬레이션 하고자 한다.

Table 1. The simulation conditions

Title	Condition
Structure(W×L×H)	11.98m×5.63m×5.4086m
Date/Time	4 seasons/24hr
Place(latitude:longitude)	Ganghwado(126.3:37.45)
Targeting point	0.75m
Weather	clear sky
Transmittance	roof: 15% side wall: 40%
Maintenance factor	0.75

### 2.2 인공광원 조도 시뮬레이션 조건

본 연구는 유리온실에서 재배할 작물의 성장촉진을 위하여 LED 인공광원을 기준하였다. LED의 경우 식물별 특성을 고려한 특정파장의 광특성 조절이 가능하여

여러 연구가 진행되어지고 있다. Table. 2는 시뮬레이션에 사용한 조명등에 대한 세부 내용이며, fig. 2는 시뮬레이션을 한 결과의 예를 보여준 것이다. Table에서 보듯이 시뮬레이션을 위해 LED는 리록스에서 제공되어 지는데, 조명등기구 중 효율이 높은 bar형식의 Red, Blue LED인 RZB社의 LED strip-Light제품을 기준하였다[3]. 또한 유리온실에서 재배될 인삼의 성장효과를 고려한 연구를 바탕으로 Red : Blue의 비율은 3:1을 기준 하였다[4-6]. LED 등기구에 대한 시뮬레이션 조건은 table. 2에 나타내었다.

Table 2. simulation condition of artificial light

Title	Condition
LED lamp	RZB Co. LED strip-Light
LED (Red:Blue)	3:1
Efficiency	111.36 [lm/w]
Spec.(W×L×H)	1473mm×22mm×39mm

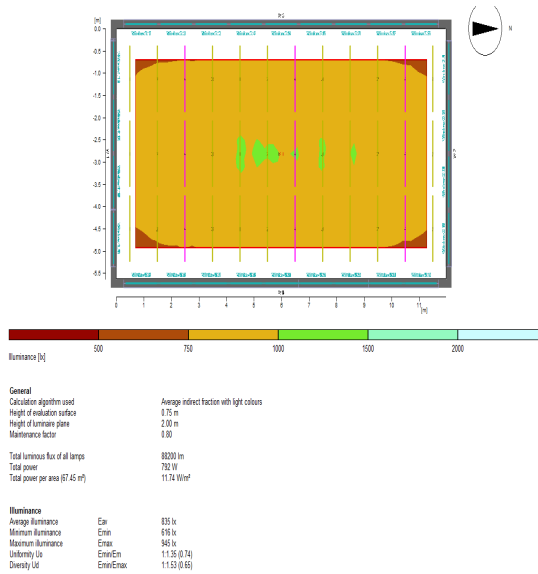


Fig. 2. The illumination simulation of glass greenhouse

### 2.3 인삼재배 최적조건

본 연구의 유리온실에서 제안하고자 하는 재배종은 인삼으로 하고자 한다. 고부가가치 종으로 알려진 인삼의 경우 재배가 어려운 종으로 알려졌다. Table. 3은 인삼의 성장에 최적조건을 표기하였다.

Table 3. simulation condition of artificial light

temperature[°C]	illumination [lux]	
	light compensation point	light saturation point
15~20	500	15000

Table에서 보듯이 광보상점과 광포화점 사이의 조도값이 분포 될 때 최적의 재배환경이 되기에 인공광원인 LED를 활용하여 제안하고자 한다. 이때, 외부로부터 입사되는 자연광이 없는 22시에 전체 점등의 최소 조도값(E<sub>min</sub>)이 광보상점 조도인 500 lux 이상이 되는 시뮬레이션 조건을 기준하였다.

## 3. 조도 시뮬레이션 결과

조도시뮬레이션은 강화도 지역을 기준하여 천장과 측면에 설치될 태양전지를 기준하고 유리온실 내부에 LED 등을 기준하여 조도시뮬레이션을 하였고 그 결과는 아래와 같다.

### 3.1 설치배향에 따른 조도시뮬레이션

Fig. 4는 태양전지와 LED가 설치된 유리온실내의 조도시뮬레이션을 한 결과이다. 설치 배향각에 따른 최소 조도값에 대한 내용으로 계절에 대해서 가장 높은 최소 평균 조도값을 비교해 보았을 때 봄의 경우 30°, 여름의 경우 270°, 가을의 경우 90°, 겨울의 경우 30°일 때 가장 높은 최소 조도값을 얻었다.

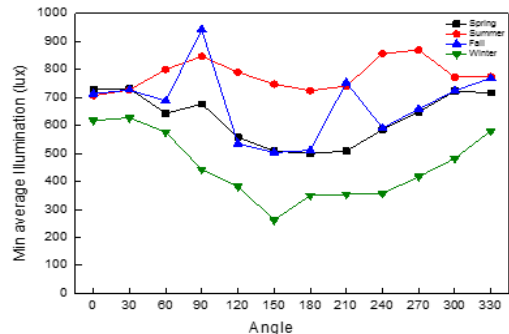


Fig. 4. The minimum illumination with greenhouse angle about 4-seasons

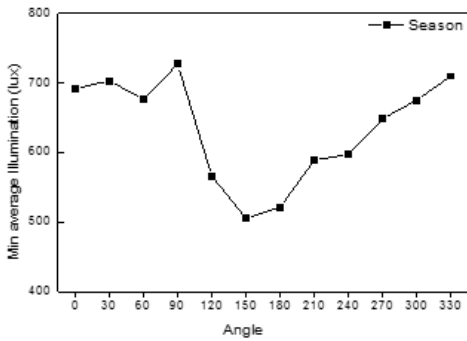


Fig. 5. The average illumination with greenhouse angle

Fig. 4의 시뮬레이션의 결과로부터 최적의 배향각을 찾고자 계절별 최소 조도값들을 포함시킨 평균값을 분석한 결과가 fig. 5이다. Fig에서 보듯이 배향각이 90° 일 때가 가장 큰 조도값을 보임을 알았다. 이와 같은 결과로부터 최적의 조도값을 얻기 위해 유리온실의 설치 배향각은 90°로 제안한다. 배향각 90°의 의미는 Fig. 6에 나타내었다.

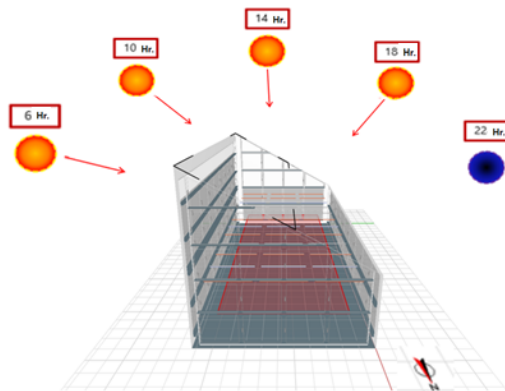


Fig. 6. The optimal angle about the greenhouse

### 3.2 자연광과 인공광원에 따른 조도시뮬레이션

Fig. 7은 태양전지와 LED가 설치된 유리온실내의 계절별 및 시간별 조도시뮬레이션을 한 결과이다.

결과에서 보듯이 태양전지를 고려한 지붕과 측면의 투과율을 각각 15%, 40%로 기준하여 시뮬레이션을 하였을 때, 사계절 중 가을의 경우가 모든 시간대비 평균으로 가장 높은 평균 조도값을 가지는 것을 알 수 있다. 해가 뜨지 않는 시간인 22시와 겨울에서 6시를 제외하면 10시에서 봄이 가장 높은 평균 조도값을 가지고 18시에

서 겨울이 가장 낮은 평균 조도값을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 오후2시에 조도값이 작고 이런 결과는 여름에서 더욱 작은 값을 얻었다. 이는 계절별 남중고도의 위치가 다르고 상대적으로 여름일 때, 태양의 위치가 지붕의 바로 위쪽에 위치하게 되어 이런 현상이 보이는 것을 유추할 수 있다.

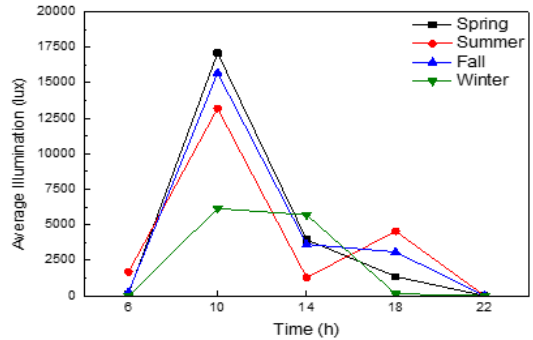


Fig. 7. The illumination with seasons and times

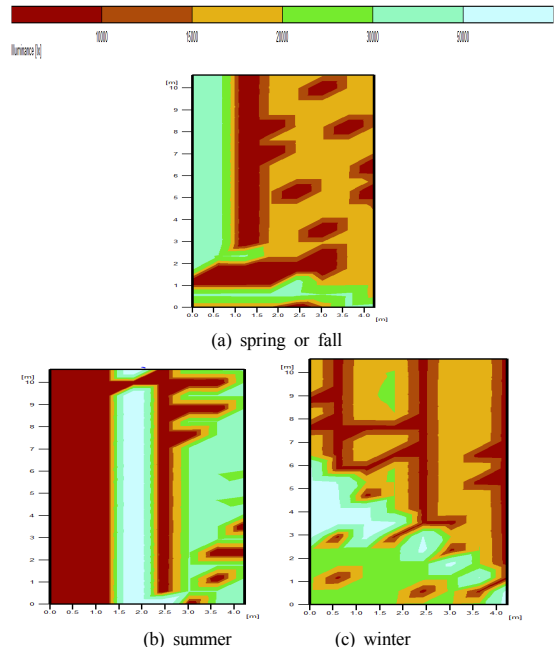


Fig. 8. The illumination with daylight (10 o'clock)

Fig. 8은 fig. 7의 조도시뮬레이션 결과 중 오전 10시에 자연광에 의한 조도값이 매우 큰 값을 보인 것을 좀더 확인하고자 조도분포를 분석한 결과이다.

계절별 건물 내부의 조도값 분포도를 보았을 때, 10시

에 하지보다 춘분 및 추분과 동지에서 더 높은 조도값이 나오는 이유를 더욱 쉽게 확인할 수 있다. 태양의 고도가 전체적으로 하지보다 낮은 춘분 및 추분과 동지에서는 태양광이 건물 내에 골고루 퍼져있는 것을 볼 수 있는데 하지의 경우에는 건물의 구조에 태양광 진입이 방해가 되어 한쪽 방향으로서는 현저히 낮은 조도값이 분포된 것을 볼 수 있다. 결과적으로 계절별 다른 태양의 고도는 건물 내부로 들어오는 태양광에 영향을 미치게 된다.

### 3.3 조도시물레이션을 통한 에너지 절감 효과

Table. 4는 인삼이 성장하기 위한 최적의 조건(광보상점 이상)을 기준하여 조명 시물레이션 상에서 인가한 LED조명의 광 특성을 표기한 것이다. Table에서 보듯이 최소 조도값인 500 lux 이상으로 조사시켜 최적의 조건을 제시하고자 한다. 즉, 각 절기에서 주광의 영향이 전혀 없는 22시를 기준으로 조명의 개수와 높이, 조도가 계산될 높이를 조절하여 전체 제어할 때, 최소 조도값이 인삼의 광보상점인 500 lux를 넘을 수 있도록 설정을 해주었다.

Table 4. The illumination simulation with LED

Illumination			Uniformity	Power consumption
avg.	min	max		
775	525	922	0.68	792W

Table 5. LED lighting simulation with seasons and time

	LED control			
	Power consumption	Uniformity (avg.)	Illuminaiton	
			avg.	min.
Spring	561Wh(100%)	0.558	3758.9	2262.1
Summer	561Wh(100%)	0.505	4532.8	1423.8
Fall	561Wh(100%)	0.559	3550.2	1143.2
Winter	561Wh(100%)	0.614	2094.5	875.7

Table. 5는 시물레이션의 결과로 태양광 및 LED 조명을 고려하여 계절별 소비전력을 표기한 것이다. Table에서 보듯이 LED를 100%켰다는 조건으로 시물레이션한 결과 소비전력은 561 Wh 이었으며, 하루를 기준할 때 13.46 kWh의 소비전력량이 필요할 것으로 예상된다. 평균 조도값은 태양이 뜨는 시간이 가장 긴 하지일 때

제일 컸고 반면 균제도 평균은 동지일 때 가 가장 높음을 알 수 있다. 이는 태양의 위치와 천장과 측면의 투과율에 따른 상관관계로 나타나는 현상으로 예상된다.

에너지 절감을 고려한다면 인삼의 생육 최적 값인 500 lux값보다 큰 경우 LED조명의 효과가 크지 않기에 에너지 절감을 위해서는 시간별 조명제어가 필요할 것으로 예상된다. 이런 내용을 포함시켜 최적의 조명제어를 시간별 제안한 것이 Table. 6에 나타내었다.

Table 6. LED lighting control with seasons and time

Time	Spring	Summer	Fall	Winter
5~6	on	on	on	on
6~7	on	off	on	on
7~8	off	off	off	on
8~9	off	off	off	off
10~14	off	off	off	off
14~18	off	off	off	off
18~19	off	off	off	on
19~20	on	off	on	on
20~22	on	on	on	on
22~5	on	on	on	on

Table 7. LED lighting optimal simulation with seasons and time

	LED control			
	Power consumption	Uniformity (avg.)	Illuminaiton	
			avg.	min.
Spring	6.7kWh(50%)	0.44	3568.9	675.2
Summer	5.6kWh(42%)	0.48	4259.8	785.2
Fall	6.7kWh(50%)	0.45	3359.2	684
Winter	7.8kWh(58%)	0.52	1980.5	586.1

소비전력량을 최소화 시켜 주는데 있어서 주간은 조명을 켜지 않아도 인삼이 성장할 수 있는 최소 조도값(광보상점)에 만족하는 광량이 들어오기 때문에 조명을 끄고 춘분, 추분일 때는 하지일 때에 비하여 해가 떠있는 시간이 짧기 때문에 조명이 켜있는 시간이 길어지므로 인삼재배를 위해 소비되는 전력량이 높아지고, 동지일 때는 해가 떠있는 시간이 가장 짧으므로 인삼재배를 위해 필요한 전력량이 가장 높아지게 된다.

Table. 7은 table. 6의 시간대별 조명제어를 기준으로 에너지 절감측면을 고려하고 효과적인 유리온실 내에서의 인삼성장을 위한 시뮬레이션 결과이다. 낮시간에는 자연광의 효과를 활용하며, 태양이 뜨고 지는 시간대에는 LED 조명제어를 통해 전체적인 에너지 절감을 얻을 수 있음 확인하였다. LED 인공광원을 24시간 에너지 절감을 위한 자연광과 인공광원을 활용한 유리온실 조도 시뮬레이션은 table. 5의 결과값 대비 자연광을 활용하는 경우 최대 에너지 절감은 하지인 경우 5.6 kwh로 42%수준이 가능하며, 동지인 경우 7.8 kwh로 58%의 수준으로 에너지 절감이 가능함을 예상할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 태양전지와 LED를 활용한 유리온실의 제작 전 조도시뮬레이션을 통한 최적의 설계조건을 찾고자 진행되었다. 즉, 자연광을 고려한 인공광원(LED)을 활용한 유리온실내의 효과적인 인삼 생육을 위하여, 태양과 LED의 조도 조건에서 리눅스 프로그램을 활용하여 조도시뮬레이션을 통해 유리온실의 설계 및 설치 전 고려할 내용을 제안하고자 한다.

첫째, 태양의 남중고도의 위치에 따라 유리온실에 인가되는 자연광의 특성을 파악할 수 있다. 자연광의 효과는 측면에 설치된 DSSC 태양전지의 투과율(40%)에 따른 춘분 및 추분, 오전 10시일 때 가장 큰 조도값을 보이고, 천장에 설치된 Si 태양전지의 낮은 투과율(15%)에 따른 하지 및 14시일 때 가장 작은 값의 조도값을 보였다. 시간별 계절별 조도시뮬레이션 결과로부터 판단할 때, 온실 건축물을 설계 시 태양에 대해 90o(북남방향) 위로 배향시키는 것이 자연광을 가장 효과적으로 활용하는 것을 확인 하였다.

둘째, 에너지 절감측면을 고려하고 효과적인 유리온실 내에서의 인삼성장을 위해 태양이 조사되는 시간에는 인공광원(LED)의 조사를 안 하고 자연광의 효과를 활용하며, 태양이 조사되지 않는 시간대에는 LED의 조명 제어를 통해 전체적인 에너지 절감을 얻을 수 있음 확인하였다. 기존의 인공광원만을 활용한 식물성장대비 자연광 및 인공광원의 제어 등을 활용하는 경우 최대 에너지 절감은 하지인 경우 5.6 kwh (LED 제어 전 대비 42% 수준), 동지인 경우 7.8 kwh(LED 제어 전 대비 58% 수준)

의 에너지로도 인삼 재배가 가능함을 확인하였다.

인삼 성장을 위해 인공광원을 활용하는 경우 식물의 성장을 촉진시킬 수 조건을 충족시킬 수 있으며, 최적 설계조건 및 조명제어를 통해 최대의 에너지 절감효과를 확인할 수 있었다.

#### References

- [1] Ji Eun Lee, Yong Seub Shin, Joung Do Cheung, HanWoo Do, Young Hwa Kang, Protected Horticulture and Plant Factory, 24, 106-112 (2015)  
DOI: <https://doi.org/10.12791/ksbec.2015.24.2.106>
- [2] In Ho Yu, Eung Ho Lee, Myeong Whan Cho, Hee Ryong Ryu, Doo Gyung Moon, Protected Horticulture and Plant Factory, 22(4), 371-377 (2013)  
DOI: <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2013.22.4.371>
- [3] Hai Young Jung, Boong-Joo Lee, Seok-Hyun Lee, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 32(3) : 1 ~ 9 (2018)  
DOI: <https://doi.org/10.5207/jieie.2018.32.3.020>
- [4] Boong-Joo Lee, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers 66, 1359-1363 (2017)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2017.66.9.1359>
- [5] Xiao-Ming An, Young-Jin Hong, Hwan-Yong Kim, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 16(11), 7256-7261 (2015)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.11.7256>
- [6] Yong-Seub Shin, Mun-Jung Lee etc, Journal of Life Science 2014, 24(2), 148-153 (2014)  
DOI: <https://doi.org/10.5352/jls.2014.24.2.148>
- [7] Mi-Kyung Cha, Ju-Hyun Cho, and Young-Yeol Cho, Protected Horticulture and Plant Factory, 22(4), 291-297 (2013).  
DOI: <https://doi.org/10.12791/ksbec.2013.22.4.291>

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