

에너지 절감을 위한 자연광과 인공광원을 활용한 유리온실 조도 시뮬레이션

The Illumination Simulation in the Greenhouse using Daylight and Artificial Light for Energy Saving.

이 봉 주*
(Boong-Joo Lee)

Abstract - In this study, the Relux program was simulated for optimum conditions of daylight and artificial light sources(LED) in the glass greenhouse. From the results of daylight simulation, the optimum design conditions for the glass greenhouse were established which were 90[o] installation angle and higher transmittance. In this case of growing lettuce in the glass greenhouse, the control method of the only artificial light source was compared that of daylight and LED. The result of illumination simulation produced a power consumption effect of 37.2[%] in the summer and 51.9[%] in the winter, respectively. From this results, we propose to suggest that we grow the lettuce in the energy saving glass greenhouse.

Key Words : Illumination simulation, Relux program, LED, Daylight, Energy saving

1. 서 론

자연환경의 많은 변화의 원인으로 예상되는 이유 중 온실가스의 배출량을 줄이고 새로운 친환경 에너지 개발에 대한 요구가 증대되어지고 있다. 이러한 점을 고려할 때 태양광을 활용한 융합기술로 친환경 농업 및 신재생기술을 접목시킨 태양광을 활용한 유리온실에 대한 연구가 진행되어 지고 있다.[1]

유리온실을 활용한 식물공장은 급변하는 기후변화, 자연재해, 환경오염 등에 의한 농작물 생산량 감소 및 가격 급등 등 불균형한 농업 경제를 해결함으로써 시장경쟁력을 확보하고 미래 식량 안보를 해결하기 위한 필수적인 개발과제로 대두되고 있다.

식물은 성장을 위해 자연광인 태양광의 이용이 가장 좋으나 기상이변으로 인한 자연광 부족이나 또는 특정파장의 광을 조사함으로써 식물성장 효과를 높이는 등의 특별한 목적으로 LED 등과 같은 인공조명에 대한 연구가 진행되고 있다. 식물 생육에 있어서 광환경이 제일 중요하며 식물이 성장을 위해 사용하는 빛은 특정 파장 대역으로 제한되어 있다. 식물재배에서 인공광원을 사용하려면 광특성 이외의 경제성을 고려한 전력소비를 줄여야 하는 내용의 과제가 중요하게 된다[2].

조명 등기구의 설계에 활용되는 소프트웨어는 크게 광학적인 시스템의 설계와 분석을 진행하는 소프트웨어인 Photopia, TracePro 등과 등기구의 위치 및 조명 기구가 위치할 공간을 대

상으로 한 조명의 설계 및 분석에 사용되는 소프트웨어인 Relux, DIALux, AGI32 등으로 구분되어 진다[3]. 이중 Relux 프로그램은 조명시뮬레이션에 가장 많이 사용되어지는 프로그램이며, 실제 조명 제조업체의 최신 조명기구 데이터를 프로그램 상에서 연동이 가능하고, 프로그램 도면상에 배치되는 구조물의 물성과 기하학적인 구조 등의 데이터를 반영하여 조도 등을 계산하고 분석 가능하다.

본 논문에서는 에너지 절전효과가 요구되어지는 유리온실을 기준하여 조명 분석 도구인 Relux 프로그램을 이용하여 자연광 및 인공광원에 대한 조명시뮬레이션을 하였다. 상추를 기준하여 자연광을 극대화 할 수 있는 유리온실 제작시 고려할 내용과 식물성장을 촉진시키고 광량 분포의 균일도를 향상시켜 보다 균일한 품질의 식물을 성장시키기 위하여, LED를 활용한 인공광원의 조명을 시뮬레이션 하였다. 즉, 자연광 효과 및 인공광원의 조명 제어방식을 활용하여 전력소비를 최소화 하는 제어방식을 제안하고자 한다.

2. 시뮬레이션

2.1 자연광 조도 시뮬레이션 조건

본 연구진은 현재 태양전지를 활용한 유리온실에 대한 실증 연구에 대해 공동연구 중으로 본 연구는 이와 연계된 실제 유리온실 설계전 시뮬레이션에 대한 연구이다. 시뮬레이션에 대한 조건은 표 1과 같다. 유리온실의 형태는 여러 종류가 있지만, 본 연구에서는 한국형 유리온실 다형을 기준으로 지붕의 형태는 삼

* Corresponding Author : Dept. of Electronic Engineering,
Namseoul University, Korea.
E-mail: bjlee@nsu.ac.kr

Received : May 21, 2017; Accepted : August 11, 2017

각지붕을 기준하여 시뮬레이션 하였다. 또한, 자연광의 경우 실제 위치별 형태별 태양광 효과가 다르기 때문에 정확한 장소는 인천 시 강화군에 설치될 것을 기준하고, 날씨 조건은 CIE 표준 청천 공(맑은하늘)를 적용하였다.

표 1 자연광 조도 시뮬레이션 조건

Table 1 Simulation condition of daylight

Title	Condition of simulation
Greenhouse's structure (W×L×H)	20m×15m×4m
Date/Time	Four seasons/24hr
Place(latitude:longitude)	Ganghwado(126.3:37.45)
Roof types	Triangle arch
Angle of structure	90°(north-south)
Weather	a clear sky
Glass transmittance	89%
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. 시뮬레이션을 위해 LED는 Relux에서 제공되어 지는데, 조명등기구 중 효율이 높은 bar형식의 Red, Blue LED인 RZB사의 LED strip-Light제품을 기준하였다. 또한 유리온실에서 재배될 상추에 대한 성장효과에 대한 연구를 바탕으로 Red : Blue의 비율은 3:1을 기준하였다[4-6]. LED 등기구에 대한 시뮬레이션 조건은 표 2에 나타내었다.

표 2 인공광원 시뮬레이션 조건

Table 2 Simulation condition of artificial light

Title	Condition of simulation
LED lamp	RZB Co. LED strip-Light
LED (Red:Blue)	3:1
LED position	2 m
Lamp arrangement	140ea(7 row 5 column)
Lamp space	X:1.45m / Y:1m

자연광을 활용하는 측면에서 에너지 절약의 개념을 예상해 보기 위해 조명 시뮬레이션시 여러 방법으로 조도시뮬레이션을 생각해 보았다. 일반적인 조명제어 방식으로는 가로열만 점등시키는 가로열 제어, 세로열만 점등시키는 세로열 제어, 한등씩 순서별로 On/Off하는 체크관 제어방식을 생각할 수 있고 이에 대한 실제 구현 형상은 그림 1에 나타내었다.

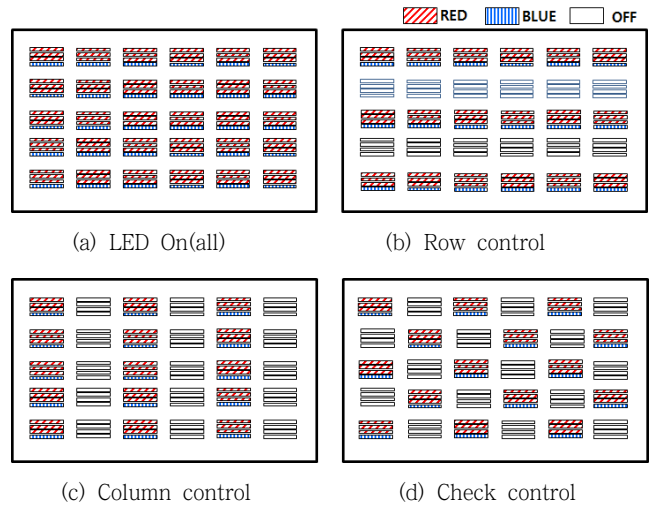


그림 1 LED 조명등 제어 방식

Fig. 1 Control method of LED

3. 자연광 및 인공광원 시뮬레이션 결과

3.1 Relux에 의한 자연광 시뮬레이션

그림 2는 자연광 시뮬레이션 조건을 기준하여 강화도 지역의 유리온실의 설치하는 경우 춘하추동 절기 및 시간에 따른 자연광의 평균 조도값을 보여준 것이다. 그 결과 우리가 일반적으로 예측 할 수 있는 것처럼 하지일 경우에 가장 높은 조도 값을 보이며 그 중에서도 14시에 가장 큰 수치를 보였다. 반면 동지일 경우에는 조도 값 낮았는데 이는 해가 떠 있는 시간이 현저히 적어 이로 인한 영향이 컸을 것으로 사료된다. 한편 봄과 가을의 절기인 춘분과 추분은 거의 동일한 수치의 조도를 보이고 있음을 알 수 있다.

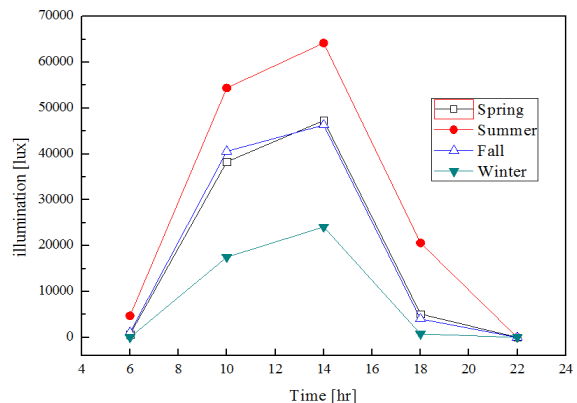


그림 2 자연광에 따른 유리온실 조도특성

Fig. 2 Daylight illumination of glass and hours

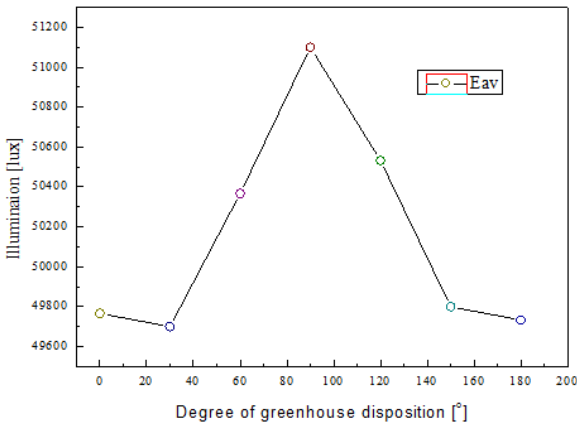


그림 3 유리온실의 유리 투과율에 따른 자연광 조도특성
 Fig. 3 Daylight illumination according to glass transmittance

태양의 일출과 일몰에 대해 유리온실의 배향에 따라 자연광의 조도값이 어떻게 변하는가에 대해 확인하고자 하였고 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 시뮬레이션을 수행한 결과 온실의 배향 위치 측면에서는 온실의 배향 위치가 직각인 90도, 즉 좁은 면이 북쪽과 남쪽에 있을 때 가장 큰 조도 값과 균일한 균제도를 가지는 결과를 알 수 있었는데 이것은 온실의 지붕의 배향이 짧으면서 넓게 분포하는 것 보다 태양의 조사 방향으로 길이로 길게 위치하는 것이 보다 자연광 유효 투과율 측면에서 유리하는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 온실 건축물을 설계할 때 태양에 대해 90도(북남방향) 위로 배향 시키는 것이 가장 적합한 설계라고 판단되어진다.

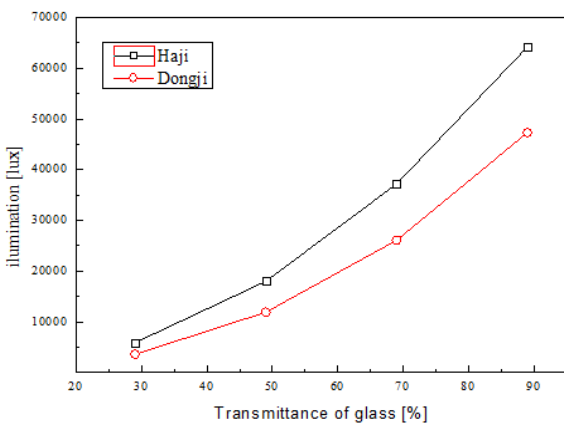


그림 4 유리온실의 유리 투과율에 따른 자연광 조도특성
 Fig. 4 Seasonal daylight illumination according to glass transmittance

유리 온실은 온실 건축물의 대부분을 유리에 의존하므로 사용된 유리 재질의 투과율이 중요한 인자로 될 수 있다 이에 하지와 동지를 기준으로 하여 14시일 때 자연광에 대한 시뮬레이션을 그

림4에 나타내었다. 그 시뮬레이션 결과를 보면 자연광의 조도값은 두 계절 역시 투과율이 증가할수록 조도 값이 모두 증가하는데 투과율에 따른 조도값의 상승되는 변화값의 기울기는 동지보다 하지의 경우가 더욱 큼을 보이는데 이는 하지일 때 태양이 떠있는 시간이 길어 유리온실 내로 침투하는 자연광의 절대량이 동지보다 훨씬 크기 때문으로 사료된다.

3.2 자연광을 고려한 인공광원 조도 시뮬레이션

본 연구에서는 유리온실에서 상추를 재배하는 것을 기준으로 하여 인공광원을 설치하는 경우를 제안하고자 한다. 즉 유리온실 특성상 자연광원을 잘 활용하는 구조에서 인공광원을 적절한 제어를 한다면 상추를 키우기 위한 최적의 유리온실 구조 제안이 가능할 것으로 예상된다. Relux 프로그램을 활용하여 표 1과 표 2에서 제시한 시뮬레이션 조건을 기준으로 하여 조도 시뮬레이션을 하였다. 더불어 재배하고자 하는 작물을 상추를 기준하였다. 이때, 상추성장을 위한 필요로 하는 최적 성장조건을 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.

상추의 최적재배를 위하여 인공광원의 조건은 각 절기별 자연광의 영향이 전혀 없는 22시를 기준으로 조명의 개수와 높이, 조도가 계산될 높이를 조절하여 고려하여 설정하였다. 특히, 균일한 균제도값을 얻기 위해 0.7 이상의 조건에서 상추의 최소 조도값인 1500[lux]를 넘을 수 있도록 설정을 해주었다[7-10].

그림5는 하지를 기준으로 하여 100% LED 조명등을 22시를 기준으로 하여 조명설계 한 후의 시뮬레이션 결과값을 보여준 것이다. 결과에서 볼 수 있듯이, 최소 조도값은 1520[lux]값을 보였으며, 이때 소비전력은 9240[W], 균제도는 0.77로 안정된 LED배열됨을 알 수 있었다.

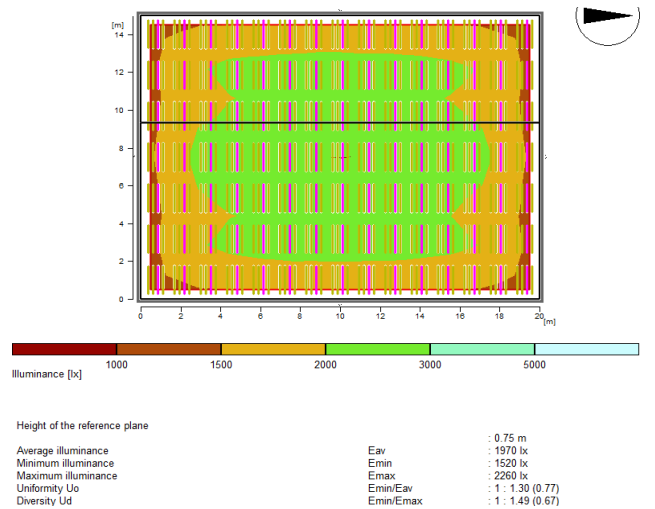


그림 5 인공광원 조명시뮬레이션 결과(기준-하지, 22시)
 Fig. 5 Simulation of artificial light (summer at 22:00)

표 3은 하지일 때 22시에 조명제어를 그림1과 같이 전체제어, 가로제어, 세로제어, 체스판제어를 하는 경우의 조명시뮬레이션 결과이다. 결과표에서 볼 수 있듯이 상대적으로 가로제어 및 세로제어의 경우 소비전력이 낮아지는 결과값을 보였으며, 체스판제어의 경우 균제도도 양호한 상황에서 소비전력이 낮아짐을 알 수 있다.

표 3 LED 조명 제어에 따른 조도시뮬레이션 결과

Table 3 Simulation results with LED lighting control

Control	E _{av}	E _{min}	E _{max}	Uniformity	Consumption
All	1970	1520	2250	0.77	9240W
Row	1040	503	1450	0.48	5280W
Column	1010	864	1210	0.53	4298W
Check	982	782	1190	0.8	4664W

상추를 기준으로 하여 유리온실에서 자연광을 포함시킨 시뮬레이션의 결과값을 최소조도값 1500[lux]이상의 특성을 보이는 조건에서 춘하추동의 절기상 24시간은 기준하여 조도시뮬레이션 내용을 표4에 나타내었다.

표 4 계절별 시간별 LED 조명 제어(100%조명 on)

Table 4 LED lighting control with seasons and times

Time	Spring	Summer	Fall	Winter
5	ON(all)	ON(all)	ON(all)	ON(all)
6	ON(all)	ON(all)	ON(all)	ON(all)
8	ON(all)	ON(all)	ON(all)	ON(all)
10	ON(all)	ON(all)	ON(all)	ON(all)
14	ON(all)	ON(all)	ON(all)	ON(all)
16	ON(all)	ON(all)	ON(all)	ON(all)
18	ON(all)	ON(all)	ON(all)	ON(all)
19	ON(all)	ON(all)	ON(all)	ON(all)
20	ON(all)	ON(all)	ON(all)	ON(all)
22	ON(all)	ON(all)	ON(all)	ON(all)

표 5 계절별 시간별 LED 조명 제어(100%조명 on)시 조도시뮬레이션결과

Table 5 LED lighting simulation with seasons and times

	100% 조명 on			
	소비 전력량	균제도 평균	조도값 평균	조도값 최소
춘분	221kwh	0.77	14428	1520
하지	221kwh	0.6	22033	1520
추분	221kwh	0.8	15617	1550
동지	221kwh	0.73	6734	1520

표 5는 표 4의 시뮬레이션 조건으로 24시간 LED 조사하는 경우 광특성 및 소비전력량을 구한 결과값이다. 이 결과값을 보면

광보상점인 1500[lux]의 조도 최소값을 얻는 조건에서 하루의 소비전력량은 221[kwh]이며, 균제도 특성은 하지가 낮은 결과값을 보이며 조도의 평균값은 하지가 가장 높고 동지가 낮은 것을 알 수 있다. 즉 이러한 현상은 하지일 때, 태양광이 매우 크기 때문에 조도값의 평균은 가장 크며, 유리온실의 구조물에 따른 태양의 음영부위로 인한 조도값의 편차가 크게 되어 하지일 때 균제도 값은 가장 낮음으로 설명할 수 있다.

에너지 절감을 고려할 때, 자연광의 효과를 얻을 수 있는 낮시간에는 LED조명을 제어하지 않고 춘하추동의 절기상 24시간은 기준하여 시간별 자연광의 효과를 포함한 조도시뮬레이션 내용 및 결과를 표 6와 표 7에 나타내었다.

표 6 계절별 시간별 LED 조명 제어(LED제어)

Table 6 LED lighting control with seasons and times

Time	Spring	Summer	Fall	Winter
5	ON(all)	Column	ON(all)	ON(all)
6	Column	Column	Column	On(all)
8	OFF(all)	OFF(all)	OFF(all)	OFF(all)
10	OFF(all)	OFF(all)	OFF(all)	OFF(all)
14	OFF(all)	OFF(all)	OFF(all)	OFF(all)
16	OFF(all)	OFF(all)	OFF(all)	OFF(all)
18	OFF(all)	OFF(all)	OFF(all)	Column
19	Column	OFF(all)	Column	ON(all)
20	ON(all)	OFF(all)	ON(all)	ON(all)
22	ON(all)	ON(all)	ON(all)	ON(all)

표 7 계절별 시간별 LED 조명 제어(LED 제어)시 조도시뮬레이션결과

Table 7 LED lighting simulation with seasons and times

	Control of LED scene			
	P-consumption (Effect)	Uniformity (avg.)	Illumination (avg)	Illumination (min)
Spring	101kwh (45.7%)	0.77	14428	1480
Summer	83kwh (37.2%)	0.58	20544	1480
Fall	101kwh (45.7%)	0.78	14579	1520
Winter	115kwh (51.9%)	0.74	5903	1510

표 6은 자연광을 효과가 포함된 절기상 시간별 조도 시뮬레이션 결과값을 기준하여 상추의 광보상점인 1500[lux]의 조도 최소값을 기준하여 각각의 조건별 조명제어방식을 제안한 내용을 표기하였으며, 그 시뮬레이션 결과값을 표 7에 나타내었다.

에너지 절감측면을 고려하고 효과적인 유리온실내에서의 상추 성장을 위해 낮시간에는 자연광의 효과를 활용하며, 태양이 뜨고 지는 시간대에는 세로열제어의 조명제어는 통해 전체적인 에너지 절감을 얻을 수 있을 확인하였다. LED 인공광원을 24시간 사

용하는 시뮬레이션(표 4, 표 5) 결과값 대비 자연광 및 인공광원의 제어등을 활용하는 경우 최대 에너지 절감은 하지만 경우 83 [kwh]로 37.2[%]수준이 가능하며, 동지인 경우 115[kwh]로 51.9[%]의 수준으로 에너지 절감이 가능함을 예상할 수 있었다.

4. 결 론

자연광을 고려한 인공광원을 활용한 유리온실내의 효과적인 식물성장을 위하여, 여러 조건에서 Relux 프로그램을 활용하여 조도시뮬레이션을 통해 유리온실의 설계 및 설치전 고려할 내용을 제안하고자 한다.

첫째, 자연광의 효과는 하지 및 14시일 때 가장 큰 값의 조도 값을 보이며, 온실 건축물을 설계할 때 태양에 대해 90도(북남방향) 위로 배향시키는 것이 자연광을 가장 효과적으로 활용하는 것을 확인하였으며, 유리온실의 유리에 대한 투과율이 높을수록 자연광 효과를 가장 잘 얻을 수 있음을 확인하였다.

둘째, 에너지 절감측면을 고려하고 효과적인 유리온실내에서의 상추성장을 위해 낮시간에는 자연광의 효과를 활용하며, 태양이 뜨고 지는 시간대에는 세로열 제어의 조명제어는 통해 전체적인 에너지 절감을 얻을 수 있음 확인하였다. 기존의 인공광원만을 활용한 식물성장대비 자연광 및 인공광원의 제어등을 활용하는 경우 최대 에너지 절감은 하지만 경우 37.2[%], 동지인 경우 51.9[%]의 에너지로도 상추재배가 가능함을 확인하였다.

식물은 성장을 위해 자연광인 태양광의 이용이 가장 좋으나 기상이변으로 인한 자연광 부족이나 또는 특정과장의 광을 조사함으로써 식물성장 효과를 높이는 등의 특별한 목적으로 LED등과 같은 인공광원을 활용하는 경우 식물의 성장을 촉진시킬 수 있으며, 최적 인공광원 조명제어시 최대의 에너지 절감효과를 조명시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

감사의 글

Funding for this paper was provided by Namseoul University

References

[1] H.Y. Jung, S.H. Lee, B.J. Lee, "Computer Simulation on the Characteristics of Daylight by Glass Greenhouse Structure", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2017) 31(5) : 25~32.
 [2] Ji Eun Lee, Yong Seub Shin, Joung Do Cheung, Han Woo Do, Young Hwa Kang, "Effect of LED Light Sources and Their Installation Method on the Growth of Strawberry Plants", Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 24, No. 2:106-112, June (2015).

[3] Kim Chul-Ho, Kim Kang-Soo, Journal of the Korean Solar Energy Society, 36(3), 2016.
 [4] J.M. Ha, S.H. Han, J.R. Park, B.H. Kim, "Effects of LED Light Ratio on Lettuce Growth", The summer conference of 2012 the institute of electronics engineering of Korea.
 [5] Yong-Seub Shin, Mun-Jung Lee etc, "Effect of Light Emitting Diodes Treatment on Growth and Quality of Lettuce", Journal of Life Science 2014 Vol. 24. No. 2. 148~153.
 [6] Mi-Kyung Cha, Ju-Hyun Cho, and Young-Yeol Cho, "Growth of Leaf Lettuce as Affected by Light Quality of LED in Closed-Type Plant Factory System", Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 22, No. 4:291-297, December (2013).
 [7] Yong Seub Shin, Mun Jung Lee etc, Journal of Bio-Environment Control, 21(3), 180-185, (2012).
 [8] Jun-Gu Lee, Sang Seok Oh, Seon Hwa Cha etc, Journal of Bio-Environment Control, 19(4), 351-359 (2010).
 [9] Jung In-Sung, The conference of Korean solar energy society, 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, 22(1), 49-54, (2013).

저 자 소 개



이 봉 주 (Boong-Joo Lee)

He received the B.S. degree in electrical engineering in 1996 and the M.S. and Ph.D. degrees in 1998 and 2003 respectively, all from Inha University, Incheon, Korea. Since 2007, he has been a Professor in the Department of Electronic Engineering, Namseoul University, Cheonan, Korea.

Tel : (041) 580-2702

Fax : (041) 580-2902

E-mail : bjlee@nsu.ac.kr