

자연광을 고려한 유리온실 구조물에 따른 광특성 연구

이봉주

남서울대학교 전자공학과

A Study on Light Characteristics according to the Internal Structure Characteristics of Glass Greenhouse with Natural Light

Boong-Joo Lee

Department of Electronic Engineering, Namseoul University

요약 자연광 효과를 극대화 할 수 있는 설계인자를 고려하기 위해 유리온실 구조에 대하여 Relux프로그램을 활용하여 광시뮬레이션을 하였다. 광시뮬레이션의 결과를 활용하여 강화도에 실제 유리온실을 제작할 때 설계인자별 영향을 파악하고자 연구하였다. 유리온실의 제작시 내부 구조물과 유리창 구조는 그림자 효과로 평균 조도값은 날씨와 상관없이 약 15% 감소하고 균제도도 낮아지는 결과를 얻었다. 유리온실의 다량의 식물을 재배 하기 위해 설치 되어야 할 내부 구조물은 동서방향으로 선반배열이 좁을수록 좋고 간격이 2.5 m일때는 12%의 감소하고, 여러층의 선반의 경우 아래층들은 층의 위치별 조도특성의 변화율을 비슷한 경향을 보인다. 구조적으로는 유리온실의 뼈대 구조물이 있을수록(Model B) 균제도가 낮아져서 인공광원의 보강이 필요하다. 유리온실(Model C)에 사용되어질 유리의 투과율에 대한 시뮬레이션으로 지붕과 측면의 유리 투과율에 대한 결과는, 지붕의 경우 약 6 lux/% 이고, 측면의 경우 약 37 lux/%로 유리 투과율의 변화율은 측면쪽 유리 투과율이 주요 설계인자이다. 또한, 균제도는 측면쪽 유리 투과율이 클수록 균제도 값은 낮게 됨을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 실제적인 자연광원의 효과를 최대한 활용할 수 있는 유리온실 구조를 제작하는데, 설계인자 선택에 좋은 가이드가 되길 바란다.

Abstract Light simulation was performed for a glass greenhouse with the Relux program to consider the design factors that can maximize the effects of natural light. The results of light simulation were studied to understand the influence of each design factor when manufacturing an actual glass greenhouse in Ganghwado. The average illuminance of the glass greenhouse was reduced by approximately 15 %, regardless of the weather. The uniformity was lowered due to the shadow of the inner frame and glass window structure. The internal structures should be installed in an east-west direction to allow for large cultivation in glass greenhouses. A narrower shelf arrangement is better. The illuminance was reduced by 12 % when the shelf arrangement was 2.5 m away. In the case of multi-layered shelves, the lower layers show similar trends in the rate of change of illuminance characteristics for each layer position. Structurally, a frame structure (Model B) has a lower uniformity, so the reinforcement of artificial light sources is required. As a simulation of the transmittance of the glass to be used in the glass greenhouse(Model C), the result is approximately 6 lux/% for the roof and approximately 37 lux/% for the side. Side glass transmittance is the main design factor. In addition, illuminance uniformity decreased as the side glass transmittance increased. These results will help obtain a design structure design that can make the most of the effect of a practical natural light source.

Keywords : Design Factors, Fusion Type Glass Greenhouse, Multi-layered Shelves, Practical Natural Light Source, Relux, Transmittance of Side and Top

본 논문은 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

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

email: bjlee@nsu.ac.kr

Received July 17, 2023

Accepted September 1, 2023

Revised August 9, 2023

Published September 30, 2023

1. 서론

공학 분야 이외의 여러 분야에도 새로운 첨단 IT 기술과 접목하려는 연구가 활발히 진행되고 있고, 자연재해, 기후변화 및 환경오염 등에 영향을 받지 않고 양질의 농산물 생산이 가능한 유리온실을 활용한 식물공장에 대한 많은 관심과 개발에 대한 요청이 있다. 특히, 유리온실에 관한 연구에서 효율적인 자연 광원 활용과 더불어 부족한 광원 특성을 얻고자 인공광원에 대한 요구가 대두되고 있다. 이는 태양광이 부족한 계절과 시간대에 인공광원으로 보광할 수 있기에 식물의 생산량을 높일 수 있다. 이는 농산물 재배에 있어서 효율적인 에너지 절감 제어가 가능하고 품질이 좋은 식물을 재배하는 것을 기대할 수 있다[1]. 유리온실에 대한 설계부터 최적화된 자연 광원을 잘 이용하고 추가적인 인공광원에 대한 활용방안이 적용된다면 농업 분야 이외의 IT 기술이 접목된 융합기술이 발전될 것이다[2,3].

광시뮬레이션에 활용되는 소프트웨어는 Photopia, TracePro 등이 광학적인 시스템의 설계와 분석에 사용되고, 리룩스(Relux), 다이아룩스(DIALux), AGi32 등의 프로그램은 조명 등기구의 설계 및 설치분석에 사용되는 소프트웨어로 구분되어 진다[4].

본 연구는 유리온실에 가정할 수 있는 설치될 위치 및 유리의 투과율 변화에 따른 특성, 설치시 뼈대구조물의 유무에 따른 특성 및 내부 선반의 배치 등에 따른 특성을 Relux 프로그램을 활용하여 유리온실에서 고려할 환경적인 요소에 따른 자연광 영향도를 파악하고자 한다. 또한 광시뮬레이션 결과로부터 실제적인 자연광원의 효과를 최대화 할 수 있는 구조설계 및 향후 활용 가능한 인공광원을 사용하는 유리온실의 설계에 도움을 주고자 한다.

2. 연구방법

2.1 시뮬레이션 조건

Table 1은 자연광의 효과를 포함시키기 위한 광시뮬레이션의 조건을 나타내었다. 제시한 조건은 실제 유리온실을 설치 전 분석을 위해 광시뮬레이션을 연구하였고 그 조건을 표현한 것이다. 유리온실의 설치방향은 북남방향(90°)를 기준하였고, 설치장소는 강화도를 기준하였다. 또한 조명시뮬레이션에서 측정지점은 0.75m이며, 보수율은 0.8, 제시 하지 않은 일반적인 경우의 유리창과 유리벽의 투과율은 80%를 기준하여 시뮬레이션을 수행

하였다[4,5].

Table 1. Simulation conditions

Item	Conditions of simulation
Location	Ganghwado
Measuring position	0.75 m
Installation angle	90°
Maintenance factor,	0.75

광학적인 시스템의 설계와 분석을 진행하는 소프트웨어로 주로 알려져 있는 프로그램중 본 연구에서는 Relux를 활용하였다. 다른 프로그램 대비 실제 연구에 많이 사용되어지는 이유로 선택하였다. 즉, Relux프로그램은 빛의 거동과 관련된 연구에서 신뢰성을 인정받은 Radiance기능이 있어 광학적인 시스템의 설계와 분석을 진행하는 소프트웨어로 주로 알려져 있는 프로그램중 본 연구에서는 렌더링 엔진을 내장하고 있고, 자연채광과 인공조명에 최적화 되어있다는 이유로 조명관련 많은 업체에서 활용도가 높은 조명시뮬레이션 도구로 알려져 있어서 본 광특성 시뮬레이션에 활용하였다[6].

2.2 유리온실 구조 조건

Fig. 1과 Table 2과 3는 Relux를 활용한 광시뮬레이션을 위한 유리온실의 세부 구조를 표현한 것이다. 전반적인 모델별 차이는 다음과 같다. Model A는 유리온실의 뼈대를 고려하지 않고 순수한 유리형태의 설계이고, Model B는 유리온실에 사용된 불투명한 뼈대구조를 감안한 설계이고, Model C는 실제 강화도에 제작될 설계를 기준하여 천장과 벽면에 설치예정인 태양전지의 투과율을 변화시킨 설계이다.

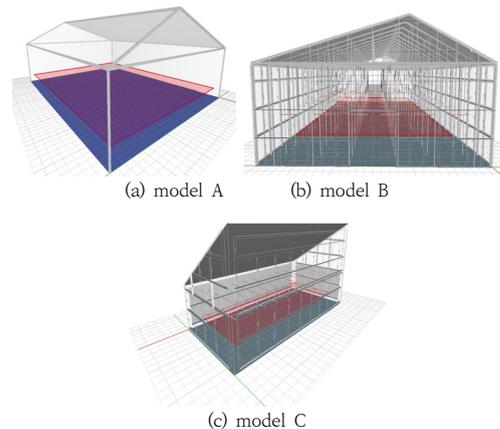


Fig. 1. Designs of lighting design room (a) without columns, (b) with columns greenhouse (c) with other transmittance

Table 2. Structure specification of greenhouse

Model	W×D×H (outside)	H (roof)
A	20×15×4 m	2.3 m
B	20×15×4.3 m	2 m
C	11.98×5.63×5.41 m	3 m

Table 3. Frame structure specification of greenhouse (model B)

Item	W×D×H	Qty
Outer pillar	0.1 x 0.1 x 4.3 m	36
Inside pillar	0.023 x 0.038 x 4.3 m	108
Roof floor	0.1 x 15 x 0.1 m	18
Roof floor frame(long)	0.1 x 9.89 x 0.1 m	18
Roof floor frame(short)	0.1 x 5.675 x 0.1 m	18
Door frame	1.5 x 0.2 x 2.4 m	4

3. 연구 결과

3.1 유리의 투과율에 따른 결과

유리온실 구조 중 Model A를 기준하여 계절별 시간별 조도의 평균값을 기준하여 유리의 투과율에 따른 광시뮬레이션의 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그 결과를 보면 투과도가 증가함에 따라 조도의 값은 상승하며 투과율이 50%이상부터는 급격한 증가특성을 보였다. 균제도 특성은 투과율이 9%로 낮은 경우는 전반적인 조도 값의 변화가 없기에 균제도 특성은 좋고, 투과율에 29% 이상이 되는 경우 0.6 전후의 안정된 값을 얻었다.

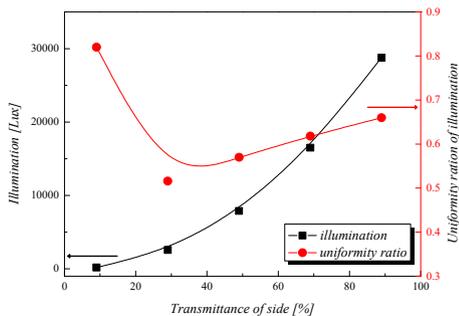


Fig. 2. Light characteristics with glasshouse's transmittance

3.2 유리구조 형태에 따른 결과

유리온실 구조 중 Model A를 기준하여 벽면을 모두 유리를 기준한 것과 벽면에 일정한 유리창문을 설치한

경우에 대하여 광시뮬레이션을 한 결과는 Fig. 3과 4에 나타내었다.

Fig. 3은 날씨에 따른 유리라 유리창에 대한 조도특성을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과를 보면, 조도특성을 조도 평균값은 맑은 날 대비하여 흐린 날이 조도값이 작으며, 유리형태보다는 창문인 경우 조도값은 감소하는데 이는 그림자로 인해 최소 조도값(E_{min})값이 작아지고 그로인해 평균조도값(E_{av})이 달라졌을 뿐 그림자를 제외하고 최대조도(E_{max})값으로 비교해 본다면 거의 같은 값이라는 것을 알 수 있다. 즉 조도의 감소는 창문의 틀에 의한 그림자 효과로 인한 것으로 생각된다. 감소하는 비율은 조도평균값을 기준할 때 맑은 날과 흐린 날 모두 약 15%감소 일정하다.

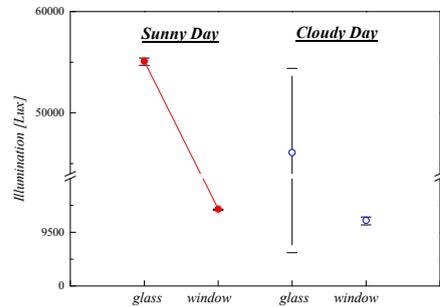


Fig. 3. Illumination of glass and window with weather

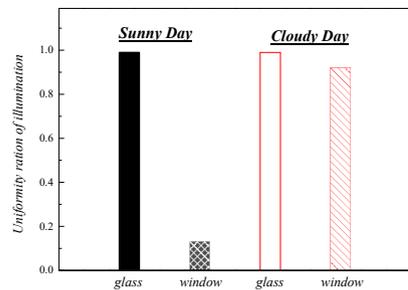


Fig. 4. Uniformity ratio of glass and window with weather

Fig. 4는 날씨에 따른 유리라 유리창에 대한 균제도 특성을 나타낸 것이다. 유리벽에서 창문형태로 변경하는 경우 균제도는 0.99에서 0.13으로 87%감소하며, 흐린 날의 경우 유리에서 창문으로 변경하는 경우 균제도는 0.99에서 0.92로 7%감소됨을 알 수 있다. 이는 창문의 틀에 대한 영향도를 볼 수 있으며 전면이 유리인경우의

균제도는 날씨와 상관없고 맑은 날일수록 창문의 틀의 영향도가 매우 큰 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있다. 즉, 유리벽의 상황은 그림자가 없으므로 일정한 균제도와 높은 평균조도값을 얻을 수 있다.

3.3 내부 구조물의 따른 결과

유리온실 구조 중 Model A를 기준하여 유리온실내의 구조물 배치에 대한 광시뮬레이션을 한 결과는 Fig. 5, 6과 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Structure specification of greenhouse

Time	East-West	North-South
10 o'clock	46050 lux	37150 lux
14 o'clock	53225 lux	42975 lux
18 o'clock	16300 lux	13192 lux

적은 면적에 많은 작물을 재배하기 위해서는 유리 온실 내부는 단층구조물 보다는 다층구조물의 형태가 좋을 것이라 생각되며, 효율적인 공간사용이 필요하다. Table 4는 이전 시뮬레이션의 결과를 활용하여 유리온실의 설치 배향을 북남방향으로 가정하여 유리온실 내의 선반을 동서방향과 북남방향으로 설치한 경우의 조도 특성을 시뮬레이션한 결과이다. 여름의 시뮬레이션 결과를 보면 전체시간대에서 조도특성은 동서방향인 경우가 더 좋은 특성을 보이는 것을 알 수 있다. 유리온실의 자연광의 조사 면적과 조사시간이 길기 때문이라 판단되어진다. 이러한 결과를 기준할 때 내부의 구조물은 동서방향으로 배열하는 것이 자연광의 효과를 더 얻을 수 있다.

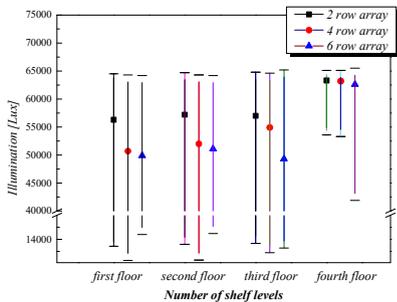


Fig. 5. Illuminance with number of shelf arrangement

Fig. 5는 동서방향의 선반을 기준하여 선반의 배열과 층수에 따른 시뮬레이션 결과이다. 전반적으로 배열이 증가함에 따라 조도값은 감소하며 가장 높은 층의 경우는

배열수가 증가함에 따라 조도값의 감소는 작는데 이는 그림자의 영향도를 전혀 안 받기 때문이며, 1, 2, 3층의 경우는 그림자로 인해 조도값의 감소되는 현상이 보인다.

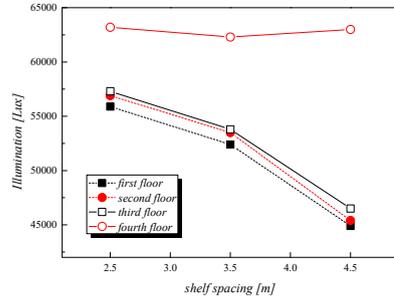


Fig. 6. Light characteristics with shelf's floor

Fig. 6은 이전의 결과로부터 선반의 배열은 적을수록 높은 자연광효과를 보일 수 있기에 2개의 선반을 기준으로 선반의 거리에 따른 자연광 효과를 보고자 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다. 그 결과 이전의 결과와 동일하게 4층의 특성을 간격이 2.5, 3.5, 4.5 m 증가함에 따라 가장 큰 값과 작은 값의 변화율은 2.5 m일때는 12%, 3.5 m일때는 16%, 4.5 m일때는 29%로 변화율을 간격이 클수록 증가됨을 알 수 있다. 즉, 선반간 거리는 작을수록 좋음을 알 수 있다. 또한 각 층별 변화율을 4층의 경우는 1%이지만, 1, 2, 3층의 경우는 약 20%의 변화율을 있음을 확인하였다.

3.4 구조변화(Model A/Model B)에 따른 결과

3.2절의 시뮬레이션의 결과를 통해 유추해 볼 때, 실제 유리온실을 설치하기 위해서는 순수한 유리재질의 투명도 유지할 수 없고 유리온실에 사용될 뼈대에 의한 불투명한 재료에 대한 영향도가 있을 것으로 예상된다. 그래서 유리온실 구조 중 Model A와 Model B를 기준하여 유리온실내의 구조물 배치에 대한 광시뮬레이션을 한 결과는 Fig. 7에 나타내었다.

시뮬레이션 결과를 보면, 계절과 유리온실의 뼈대구조에 따른 광특성 중 계절에 상관없이 Model B가 Model A보다 낮은 조도특성을 얻었다. 계절과 유리온실의 뼈대구조에 따른 광특성 중 균제도는 봄과 가을의 경우 11%, 19%의 균제도 값이 작아졌고, 여름의 경우 36% 작아졌고, 겨울의 경우 26% 낮아졌다. 이처럼, 광특성은 뼈대구조에 따른 그림자가 생기므로 조도의 최솟값이 작아지게 되며, 이에 대한 인공광원들의 보강효과를 얻을 수 있는 구조에 대한 노력이 필요할 것으로 생각된다.

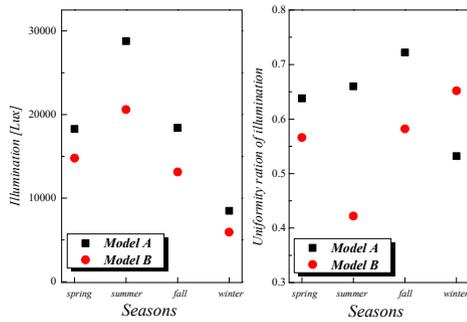


Fig. 7. Light characteristics with glasshouse's transmittance

3.5 지붕과 측면의 투과율에 따른 결과

향후 ICT 융합형 유리온실의 개발을 위해 천장과 벽면에 설치하고자 하는 태양전지를 고려하기 위한 시뮬레이션이다. 효율적인 측면을 고려한 실리콘 태양전지와 환경적인 요소를 고려하여 투명도 제어가 가능한 염료감응형 태양전지(DSSC: Dye-sensitized solar cell)가 사용예정이기에 이에 대한 투과도 변화에 따른 효과를 보고자 한다.

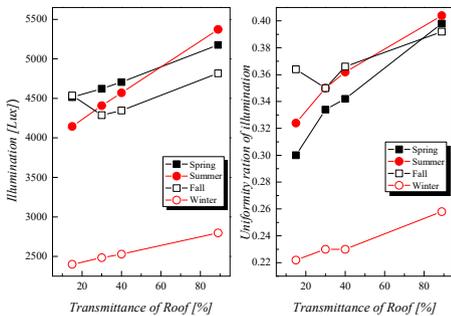


Fig. 8. Light characteristics with to roof transmittance

유리온실 구조 중 Model C를 기준하여 유리온실내의 천장의 투과율에 따른 광시뮬레이션을 한 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 시뮬레이션 결과를 보면, 계절별(춘분, 하지, 추분, 동지)조도특성은 전반적으로 투과율이 증가함에 따라 조도는 증가하나, 여름철의 경우는 높은 조도값에 투과율증가에 따른 조도증가율이 크고 상대적으로 겨울인 경우 낮은 조도값을 보이고 조도 증가율도 낮은 것을 알 수 있다. 또한, 균제도 특성도 비슷한 특성과 증가율을 보이고 있다. 이는 상대적으로 투과율이 높을수록 자연광의 효과가 크기 때문에 이런 결과가 나타나는 것으로 판단되며, 겨울에는 전반적인 균제도 값의 가장

낮은 값을 보이고 투과율에 따른 효과는 적는데 이 또한 겨울일수록 자연광의 조도값이 작기 때문으로 판단된다. 이러한 결과를 Model A와 비교 했을 때도 조도특성의 값은 작은 특성을 보이고 변화율도 작는데 이는 내부 뼈대 구조물의 영향인 것으로 생각된다.

유리온실 구조 중 Model C를 기준하여 유리온실내의 측면(벽면)의 투과율에 따른 광시뮬레이션을 한 결과는 Fig. 9에 나타내었다. 시뮬레이션 결과를 보면 천정투과율의 변화와 비슷한 특성이 보이면 투과율에 대한 변화율은 다소 작아 보이나 상대적으로 측면의 경우는 염료감응형 태양전지에 의한 투과율변화가 작기 때문에 절대적으로 결과를 판단하기는 어렵다고 생각된다.

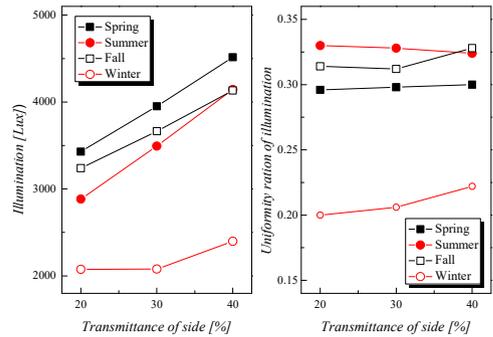


Fig. 9. Light characteristics with to side transmittance

Fig. 8과 Fig. 9의 결과를 정확히 판단하고자 얻어진 결과에 대하여 지붕쪽과 측면쪽의 투과율변화에 따른 조도특성의 차이 값을 Fig. 10에 나타내었다. 그 결과, 투과율이 전반적으로 커짐에 따라 증가되는 현상을 보인다. 지붕쪽의 유리 투과율이 15%에서 89%변화함에 따라 2100 lux에서 2600 lux의 조도변화율을 보이고, 측면쪽의 유리 투과율이 20%에서 40%변화함에 따라 1300 lux에서 2050 lux의 조도변화율이 보인다. 즉, 유리투과율변화에 따른 조도값 상승은 지붕의 경우 약 6 lux/% 이고, 측면의 경우 약 37 lux/%로 유리 투과율의 변화율은 측면쪽 유리 투과율이 크게 조도값이 변화되는 인자이다. 균제도 측면을 고려해도 측면쪽은 급격한 감소되어 계절별 시간별 작은 차이를 볼 수 있다.

이처럼 계절별 광특성을 볼 때 측면쪽의 투과율이 지붕쪽의 투과율대비 더 큰 조도특성이 상승하며, 균제도 측면은 측면쪽 투과율이 클수록 균제도는 낮은게 됨을 알 수 있다. 이처럼, 유리온실 설계시 자연광효과를 최적화시키기 위해서는 측면패널의 투과도를 중요하게 고려해야 한다.

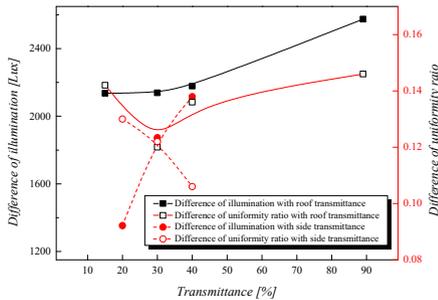


Fig. 10. Light characteristics with transmittance difference

4. 결론

유리온실에 가정할 수 있는 설계사양을 변화시켜 Relux 프로그램을 활용하여 환경적인 요소에 따른 자연광 영향도를 파악하였고 결과는 다음과 같다.

첫째, 유리온실의 모든 구조가 유리인 경우, 유리의 투과율이 50%이상부터는 급격한 증가특성을 보였고, 균제도 특성은 투과율에 29%이상인 경우 0.6 전후의 안정된 값을 얻었다.

둘째, 유리벽과 유리창의 구조 차이에 따른 특성은 창문의 틀에 의한 그림자 효과로 최소 조도값(E_{min})의 감소되며, 조도평균값(E_{av})을 기준할 때 날씨와 상관없이 맑은날과 흐린날 모두 약15%감소한다. 균제도는 맑은 날은 87%감소하며, 흐린날은 7%감소한다.

셋째, 내부의 구조물은 동서방향으로 배열하는 것이 자연광의 효과를 더 얻을 수 있고, 선반간 배열간격은 작을수록 좋으며, 가장 높은 층의 경우는 배열수가 증가함에 따라 조도값의 감소율은 작게 된다. 각 층별 변화율을 4층의 경우는 1%이지만, 1, 2, 3층의 경우는 약 20%의 변화율을 있음을 확인하였고, 배열간격이 2.5 m일때는 12%의 감소율을 보인다.

넷째, 광특성중 계절에 상관없이 Model B가 Model A보다 낮은 조도특성을 얻었다. 계절과 유리온실의 뼈대 구조에 따른 광특성중 균제도는 봄과 가을의 경우 11%, 19%의 균제도 값이 작아졌고, 여름의 경우 36% 작아졌고, 겨울의 경우 26% 낮아졌다. 이처럼, 광특성은 뼈대 구조에 따른 그림자가 생기므로 조도의 최솟값이 작아지게 되며, 이에 대한 인공광원들의 보강효과를 얻을 수 있는 구조에 대한 노력이 필요할 것으로 생각된다.

References

- [1] H. Y. Jung, B. J. Lee, S. H. 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] B. J. 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>
- [3] Y. J. Hong, S. J. Lim, W. B. 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>
- [4] B. J. Lee, "The Illumination Simulation in the Greenhouse using Daylight and Artificial Light for Energy Saving", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol.66, No.9, pp.1359-1363, 2017. DOI: <http://doi.org/10.5370/KIEE.2017.66.9.1359>
- [5] B. J. 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>
- [6] D. K. Jung, H. K. Park, J. S. Jung, "The comparison between measurement and prediction values for the vertical illuminances by relux program in the survey region", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.19, No.1, pp.98-104 (2018) DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.1.98>

이 봉 주(Boong-Joo Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 인하대 전기공 (공학사)
- 1998년 2월 : 인하대 전기공 (공학 석사)
- 2003년 2월 : 인하대 전기공 (공학 박사)
- 2004년 ~ 2007년 : LG전자 디지털디스플레이 연구소 선임연구원
- 2007년 ~ 현재 : 남서울대 전자공학과 교수
- 2019년 ~ 2020년 : University of Utah, 방문교수

<관심분야>

유기소자(트랜지스터,메모리), 태양전지, 디스플레이소자, 광기구