



스마트팜 적용 단일소재 피복재의 시험을 통한 빛환경 성능평가 및 주광분포 시뮬레이션

Evaluation and Simulation of Daylight Environment through Test of Single Covering Materials Applied to Smart Farm

박두용* · 이현제** · 정용대** · 류성우***

Doo-Yong Park* · Hyun-Je Lee** · Yong-Dae Jeong** · Seong-Woo Ryu***

* Main author, Engineer, Air Environment Center, KCL(Korea Conformity Laboratories), Jincheon, South Korea (pdy0528@kcl.re.kr)

** Coauthor, Assistant Engineer, Air Environment Center, KCL(Korea Conformity Laboratories), Jincheon, South Korea (qwax1313@kcl.re.kr, jyd@kcl.re.kr)

*** Corresponding author, Engineer, Research Institute, WooWon M&E Inc., Seoul, South Korea (ryusw91@300302.com)

ABSTRACT

Purpose: This study aims to provide a basic database that can be used as input data for simulation performance evaluation of smart farm daylight characteristics through test evaluation. **Methods:** Daylighting performance evaluation of four types of glass, PE film, PO film, and ETFE was conducted using FT-RI equipment to measure the surface radiation rate of single materials. The evaluation items were visible transmittance, visible reflectance, solar transmittance, solar reflectance, and thickness for simulation performance evaluation such as Energy Plus and DIVA for Rhino. **Result:** The average value of visible transmittance was 80.33% for glass, 87.13% for PE film, 84.44% for PO film, and 91.58% for ETFE. As a result of the daylight characteristic simulation with input value, the weak part of the side part of the up and down side were analyzed. The average of 25,613 lux for glass, 27,468 lux for PE, 26,968lux for PO, and 27,400 lux for ETFE was analyzed. In future research, we will provide guidelines for selecting appropriate covering materials for each crop by conducting comprehensive simulations of design variables such as shading ratio, visible transmittance, greenhouse type, and climate zone.

KEYWORD

스마트팜
단일소재 피복재
주광특성
성능평가
에너지플러스Smart Farm
Single Covering Materials
Daylight Characteristics
Performance Evaluation
EnergyPlus

ACCEPTANCE INFO

Received Jun. 21, 2021
Final revision received Jul. 21, 2021
Accepted Jul. 26, 2021

© 2021. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

「통계청 농림어업총조사」에 따르면 2020년 기준 전국의 농가는 2015년 대비 4.3%(5만 3000천) 감소한 것으로 조사되었다. [1] 또한 2015년 대비 2020년 65세 이상 비중이 4.1%p 증가하였으며 농가인구의 고령화 역시 빠른 속도로 진행되고 있다. 농가 인구감소 및 고령화, 지구온난화와 같은 기후변화에 대응하기 위하여 국내·외적으로 스마트 온실 사업이 활발하게 진행되고 있다. 현재 스마트 온실과 같은 농림업 분야 에너지 소비 구조에서 난방비가 전체 30%~50%의 에너지를 소비하는 것으로 조사되었으며, 열손실로 인한 에너지 사용량이 큰 것으로 나타났다.

이러한 열손실을 방지하고자 구조적, 재료적 연구가 진행중이며, 온실에 사용되는 피복재로는 대표적으로 유리, 연질필름, 경질필름, 경질판 등이 있다. 「농림축산식품부」에서는 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적을 매년 조사하고 있으며 국내 원예시설 피복재 설치 면적 현황은 Table 1.과 같다. 유리와 연질필름 6종, 경질필름 3종, 경질판 3종, 기타로 분류할 수 있으며 온실 종류로는 크게 유리온실, 플라스틱온실(연질필름, 경질필름, 경질판)로 구분할 수 있다. [2]

피복재의 성능평가는 광학적 성능과 열적 성능으로 구분할 수 있으며, 작물이 생육하는데 적합한 환경조건을 구현할 수 있는 특수성을 고려한 성능지표를 포함할 수 있다. 최근 스마트 온실의 연구개발과 함께 냉난방 단위기술 및 패키지기술의 성능평가에 관해서도 활발하지만 온실 설계 시뮬레이션 시, 입력변수 항목은 피복재 업체에서 제공하는

Table 1. Area by domestic greenhouse (vegetable) covering material[2]

Covering Material Type		Area(ha)
Glass		323
Soft Film	Total Soft Films	49,739
	PE (Poly ethylene)	39,470
	PVC (Polyvinyl chloride)	3,365
	EVA (Ethylene vinyl acetate)	4,210
	PO (Polyolefin)	2,380
	Woven Film	124
	Etc	190
Hard Film	Total Hard Films	842
	Fluorine Resin	99
	PET (Poly ethylene terephthalate)	673
	Etc	70
Hard Plate	Hard Plate Total	227
	PC (Polycarbonate)	76
	PVC (Polyvinyl chloride)	145
	Etc-1	6
	Etc-2	104

성능 데이터를 그대로 사용하는 경우가 대부분인 상황이다.

따라서 본 연구에서는 시험평가를 통해 스마트팜 주광특성 시뮬레이션 성능평가를 위한 입력자료로서 활용될 수 있는 기초 데이터베이스를 마련하고자 한다. 또한 피복재별로 실내 주광특성이 어떻게 분포되는지 케이스별 시뮬레이션 성능평가를 통해 분석하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 Fig. 1.과 같이 단일소재 재료의 표면방사율을 측정할 수 있는 FT-IR 장비를 활용하여 Tables 2.~3.과 같이 유리, 연질필름(PE), 연질필름(PO), 경질필름(볼소) 이상 4개 종류의 시료의 광학적 성능평가를 실시하였다. Table 2.에서는 제조사 제품자료를 참고하여 두께에 따른 전광선투과율수직입사(%)를 정리하였다.

평가항목은 에너지플러스, DIVA for Rhino 등의 시뮬레이션 성능평가를 위한 가시광선 투과율, 가시광선 반사율, 태양방사 투과율, 태양방사 반사율, 두께로 총 5개를 분석하였다.

2. 관련표준 및 선행연구 고찰

2.1. 단일소재의 시험평가(KS L 2514)

현재 온실 피복재의 성능을 평가할 수 있는 관련 표준이 전무한 관계로 피복재 조건별 반사, 투과, 흡수 및 열저항 평가 방법 선정을 위해 관련 표준인 KS L 2514, KS L 2525를 검토하였다.

KS L 2514에서는 판유리에 대한 가시광선의 투과율, 반사율 및 태양방사의 투과율, 반사율, 흡수율과 같은 상온 열방사의 방사율을 측정하는 시험방법과 태양열 취득률 계산 방법을 검토하였다. KS L 2525에서는 판유리의 열저항 및 건축 관련 열관류율 계산 방법을 검토하였다.

KS L 2514의 가시광선 투과율(τ_v) 및 가시광선 반사율(ρ_v) 산정과 태양방사 투과율(τ_e), 태양방사 반사율(ρ_e)의 기초식은 다음과 같다.

$$\tau_v = \frac{\sum D\lambda \cdot V\lambda \cdot \tau_{1,n}(\lambda)}{\sum D\lambda \cdot V\lambda} \quad (Eq. 1)$$

$$\rho_v = \frac{\sum D\lambda \cdot V\lambda \cdot \rho_{1,n}(\lambda)}{\sum D\lambda \cdot V\lambda} \quad (Eq. 2)$$

여기서,

$D\lambda$: CIE 일광 D_{65} 의 분광분포

$V\lambda$: CIE 밝기의 표준 비시감도

$D\lambda, V\lambda$ 에서는 부표 1의 파장 범위(380~780nm) 수치이용[3]

$\tau_{1,n}(\lambda), \rho_{1,n}(\lambda)$: n장의 유리판으로 구성되는 구성체의 분광 투과율 및 분광 반사율

$$\tau_e = \frac{\sum E\lambda \cdot \Delta\lambda \cdot \tau_{1,n}(\lambda)}{\sum E\lambda \cdot \Delta\lambda} \quad (Eq. 3)$$

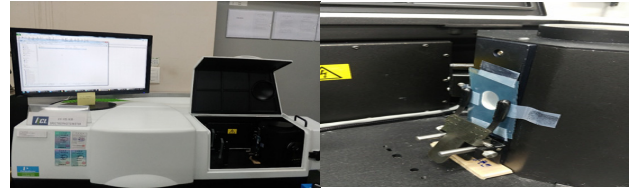


Fig. 1. Fourier-Transform Infrared Spectrometer(FT-IR)

Table 2. Measurement items and characteristics

Measure Items			Characteristics
Material	Picture	Light transmission rate vertical input by thickness	
Glass		Thickness : 2.5mm Rate : 91%	- 3-4 mm glass is the most used. - Transparent glass has a 90% visible light transmission rate.
PE Film		Thickness : 0.1mm Rate : 86~89%	- Manufactured by polymerizing LDPE, MLLDPE, EVA - Although it can be used for more than five years for a long time due to its high light transmission rate and excellent tensile strength, it is expensive.
PO Film		Thickness : 0.15mm Rate : 90%	- PO film permeates more ultraviolet and infrared than other soft films. - It penetrates a lot of long wavelengths, so it is less thermal, but the visible light penetration rate is similar.
ETFE		Thickness : 0.08mm Rate : 93.8%	- The film has a durability of 0.06 mm to 10 years and 0.1 mm to 15 years. - Even after time passes after the sheath, the light penetration rate is low and the dust proofness is excellent, but it is recommended that the spinning agent is treated every two to three years.

Table 3. Measurement and evaluation equipment

Measurement Item and Performance	Contents
Category	Equipment : FT-IR(Fourier transform infrared) - Insulation - Transmittance - Reflective - Material Surface Radiation Measurement - 4,000~2,000cm-1 - Measurement range: 0.001~1.5%

$$\rho_e = \frac{\sum E\lambda \cdot \Delta\lambda \cdot \rho_{1,n}(\lambda)}{\sum E\lambda \cdot \Delta\lambda} \quad (\text{Eq. 4})$$

여기서,

$E\lambda$: 직접 도달하는 태양방사 상대값의 표준 스펙트럼 분포

$E\lambda \cdot \Delta\lambda$: 부표 2에서의 파장 범위(300~2100)nm 수치이용[3]

$\tau_{1,n}(\lambda), \rho_{1,n}(\lambda)$: n장의 유리판으로 구성되는 구성체의 분광 투과율 및 분광 반사율

2.2. 광포화도 및 광보상점

스마트팜 작물재배관련 광환경은 작물의 광합성에 영향을 미치는 주요인자로 생육과 수량을 결정한다. 어두운 상태에서 광량이 증가하면 광합성을 시작하며 CO₂를 흡수하기 시작한다.

특정 광량에 도달하면 호흡작용으로 방출되는 CO₂의 양과 광합성으로 흡수하는 CO₂의 양이 일치하는데 이를 광보상점 이라고 한다. 광보상점 이상으로 광량이 증가하면 광합성량이 비례적으로 증가하다가 특정 광량에 도달하면 더 이상 광합성량이 증가하지 않는 데 이를 광포화점이라고 한다.

작물재배는 조도가 증가하면 광포화점까지는 광합성작용이 함께 증가하고 생육량도 늘어나는 경향을 보인다. 이는 작물에 따라 다르며 설계시 작물별 광포화도, 광보상점에 따른 피복재의 선정, 차광 스크린의 선정이 필요하다.

2.3. 관련 선행연구

김기세 외[4] 연구에서는 유리온실에 적용된 가동형 열반사 야간 단열 시스템을 대상으로 표면 방사율 특성에 따른 유리온실의 에너지소비 성능변화를 정량적으로 규명하였다.

김용현 외[5] 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션 모형 개발에 있어 단열 온실의 동방위가 온실 내 산란 일사 및 직달일사 투과율에 미치는 영향에 대해 보고하였다.

Harjunowibowo 외[6] 연구에서는 온실 설계에 있어서 Design Builder를 활용하여 폴리에틸렌, 폴리카보네이트, 불투명 PV 자재를 적용한 온실 에너지 시뮬레이션 프로세스를 수행하였다.

그린플러스[7]의 연구에서는 제조사의 제품자료를 참고하여 유리, 경질판, 경질필름, 연질필름 등 온실 피복재별 특성을 비교 분석하였다. 본 연구와 위 선행연구들의 공통점으로는 온실을 구성하는 자재를

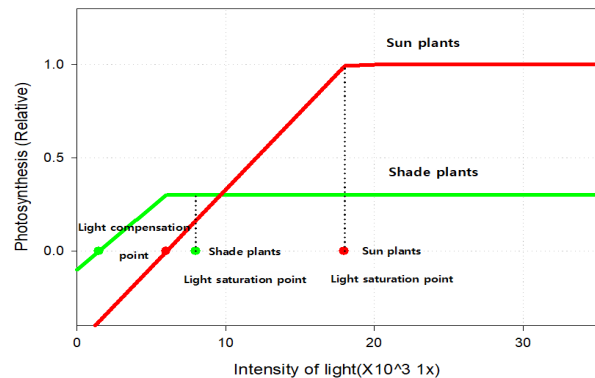


Fig. 2. Light compensation point and light saturation point

변수로 두어 에너지 사용량 및 주광분포를 예측할 수 있다는 점과 피복재별 특성을 비교한다는 공통점이 있다. 그동안 업체에서 제공하거나 문헌에서 제공하고 있는 입력데이터를 활용한 시뮬레이션 연구가 대부분 이었다면 본 연구에서는 시뮬레이션 결과치의 정확성 향상을 위해 주요 영향인자인 투과율, 반사율 등을 국가표준 시험방법론을 통해 측정하고 피복재별로 입력데이터를 도출하였다는 것에 차별성이 있다.

3. 연구방법 및 분석

3.1. 피복재별 성능분석

본 연구에서의 분석대상은 연구방법에서 정리하였듯 유리, 연질 필름(PE), 연질필름(PO), 경질필름(볼소) 4개 시료이다.

Table 4.와 같이 유리, PE 필름, PO 필름, 볼소수지의 경우 단일 소재로서, 일사 투과율에 대해서, 유리, 연질필름 PE, 연질필름 PO, 연질필름 볼소에 대한 빛의 파장에 따른 가시광선 투과율 결과는 Figs. 3.~6. 과 같으며, 그래프에서 최댓값, 최솟값, 평균값, 분산값을 분석하였다.

유리의 경우 300nm에서 2500nm까지의 빛의 파장 범위에서 시험하였으며, 가시광선 투과율의 최대값은 빛의 파장이 510nm일 때,

Table 4. Test standards according to sample type

Sortation	Sample Type	Test Standards
Single Material	Glass, PE, PO, ETFE	KS L 2514

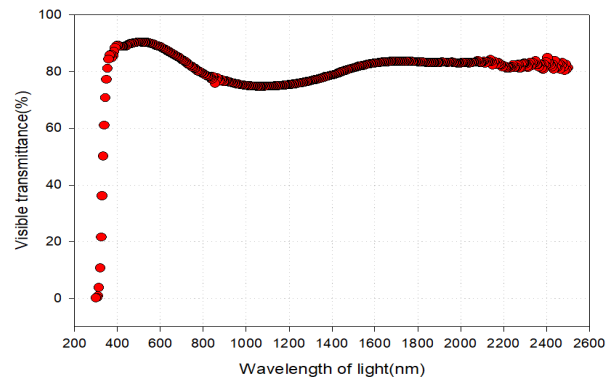


Fig. 3. Visible transmittance according to wavelength of light - Glass

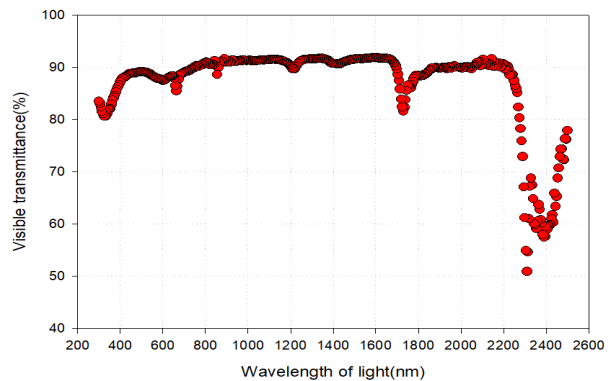


Fig. 4. Visible transmittance according to wavelength of light - PE Film

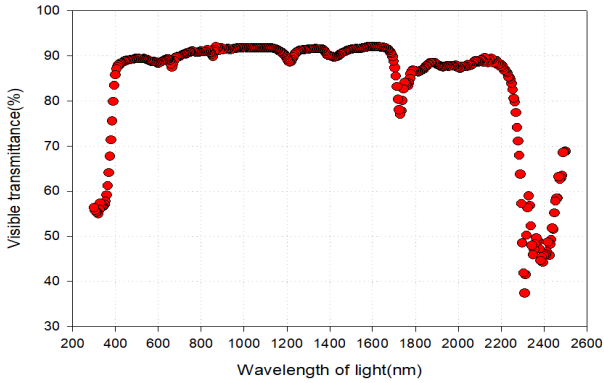


Fig. 5. Visible transmittance according to wavelength of light - PO Film

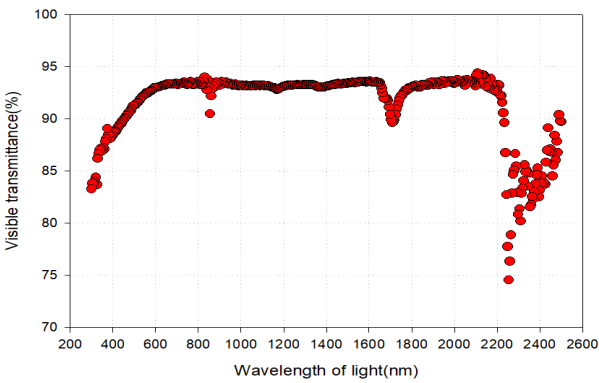


Fig. 6. Visible transmittance according to wavelength of light - ETFE

Table 5. Performance test results of smart farm covering materials

Test item	Unit	Result			
		Glss	PE	PO	ETFE
Visible Light Transmittance	%	89.5	88.4	89.0	92.3
Visible Light Reflectivity	%	7.6	8.2	8.1	6.6
Solar Radiation Transmittance	%	82.5	89.6	89.4	92.5
Solar Radiation Reflectivity	%	7.1	7.9	7.7	6.7
Thickness	mm	3.9	0.090	0.146	0.097

90.33%값을 보이며, 투과율의 최솟값은 빛의 파장이 300nm일 때, 0.13% 값을 보였다. 투과율의 평균값은 80.33%이며, 분산값은 102.30으로 분석되었다.

PE 필름의 경우 300nm에서 2500nm까지의 빛의 파장 범위에서 시험하였으며, 투과율의 최댓값은 빛의 파장이 1600nm일 때, 91.87%값을 보이며, 투과율의 최솟값은 빛의 파장이 2310nm일 때, 50.89% 값을 보였다. 투과율의 평균값은 87.13%이며, 분산값은 66.55로 분석되었다.

PO 필름의 경우 300nm에서 2500nm까지의 빛의 파장 범위에서 시험하였으며, 투과율의 최댓값은 빛의 파장이 1605nm일 때, 92.05%값을 보이며, 투과율의 최솟값은 빛의 파장이 2310nm일 때, 37.37% 값을 보였다. 투과율의 평균값은 84.44%이며, 분산값은

Table 6. Summary of Standard model

Category	Contents
Area	2,028m ² total (Crop space: 1,584m ² , Office& Cooling facilities: 444m ²)
Side Height	6m
North Axis	32(South-east)
Screen	Outside Shading
Bed	Hanging-gutter system
Additional System	Water-saving nutrient reuse, etc
Cooling PKG	Fan&Pad,Air duct, Air dehumidification cooling Fan, Fog system, Chiller system, Cooling Storage, Nutrient Cooling., etc
Weather data	Jeollanam-do Muan
Shading ratio	40%
Visible transmittance	Glass(80.33%), PE(87.13%), PO(84.44%), ETFE(91.58%)

161.26으로 분석되었다.

불소 필름의 경우 300nm에서 2500nm까지의 빛의 파장 범위에서 시험하였으며, 투과율의 최댓값은 빛의 파장이 2110nm일 때, 94.44%값을 보이며, 투과율의 최솟값은 빛의 파장이 2255nm일 때, 74.54% 값을 보였다. 투과율의 평균값은 91.58%이며, 분산값은 11.43로 분석되었다.

추가적으로 앞선 시료들에 대한 가시광선 투과율, 가시광선 반사율, 태양방사 투과율, 태양방사 반사율, 두께 시험을 진행하였으며 이는 Table 5.와 같다.

4. 피복재별 주광특성 시뮬레이션

4.1. 대상건물 개요 및 시뮬레이션 조건

피복재별 주광특성 시뮬레이션을 위한 대상건물의 개요는 Table 6.과 같으며 재배구역 1,584m², 측고 6m의 온실이다. 또한 주요 적용 기술로는 외부차광, 공랭식 스크류 칠러, 축냉조, 비닐덕트 등이 있다. 주광 시뮬레이션 프로그램은 미국에너지성의 EnergyPlus를 활용하였으며 1,584m²의 바닥면적에 총 100개의 조도센서를 배치하여 분석을 실시하였다. EnergyPlus의 주광 분석 알고리즘 두가지 중 하나인 Splitflux(분할광속법)은 창에서 가까운 쪽의 휘도가 높아 창에서 멀리 떨어질수록 실제 측정값과의 차이가 커진다는 한계성을 보이는 연구도 있지만 radiosity-method와 함께 가장 보편적으로 쓰이는 주광분석 알고리즘이다. 빛환경 분석 시 직달 성분(Direct component), 외부 반사 성분(Externally reflected component), 내부 반사 성분(Internally reflected component)로 나누어 계산할 수 있는 방법론이다. 주광특성 시뮬레이션에 사용한 한국패시브건축협회의 기상데이터 위치는 전라남도 무안으로 일사량, 온도, 상대습도, 조도 데이터를 사용하였다.(출처 : 한국패시브건축협회) 시뮬레이션 기준일은 온실 설계 시 광환경 뿐만 아니라 냉방부하 계산에 따른 장비선정도 필요하기 때문에 시간지연 효과를 고려한 최대냉방부하 계산 기준일인 7월로 선정하였다.

대상건물의 평면도 및 시뮬레이션 기본 모델링은 Fig. 7~8.과 같으며

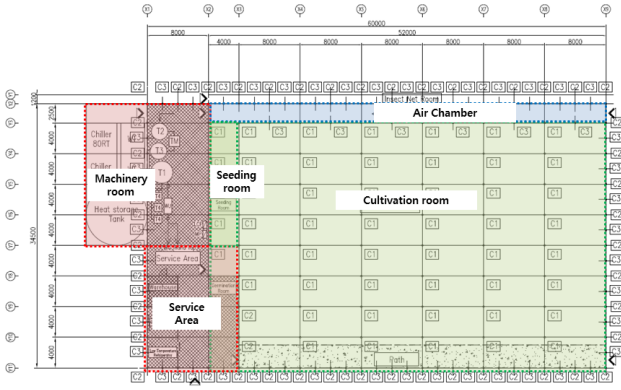


Fig. 7. Floor plan of smart farm

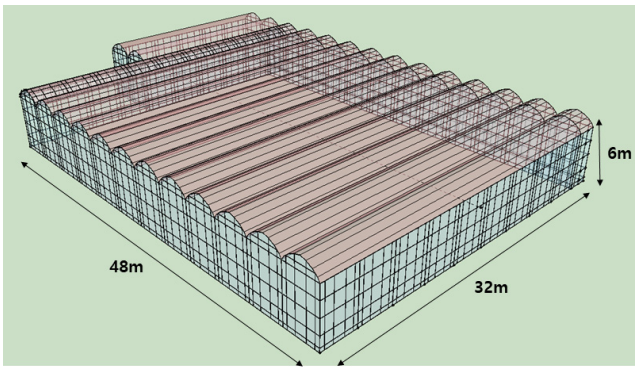


Fig. 8. Simulation modeling image of smart farm

Google sketchup 및 Openstudio를 활용하였으며 외부차광은 40%가 적용되었으며 EnergyPlus상의 Shading Type은 ExteriorShade를 사용하였다. EnergyPlus 주광 시뮬레이션은 피복재 시험항목과 같이 유리, PE, PO, 불소필름(ETFE)의 투과율을 변수로 진행하였다.

주광 시뮬레이션 분석은 시험 결과를 토대로 피복재별로 가시광선 투과율에 따른 실내조도가 어느 정도 변화하는지를 보기 위함이다. 64개 조도센서의 위치는 작물의 높이와 재배공간을 고려하여 바닥에서 75cm 기준으로 배치하였다. 유리의 주광특성 시뮬레이션 결과는 Fig. 9와 같다. 7/21 정오시간대 평면상 64개의 센서 실내조도 결과를 나타내며 최소 25,133 lux, 최대 26,865 lux, 평균 25,613 lux로 평가되었다. 온실의 방위는 남동향 32도로 평면 중 우측면의 실내조도가 많이 유입되며 위아래의 경우 일부 센서에서 상대적으로 빛이 덜 들어오는 부분이 발생함을 알 수 있다.

PE의 주광특성 시뮬레이션 결과는 Fig. 10과 같다. 7/21 정오시간대 평면상 64개의 센서 실내조도 결과를 나타내며 최소 26,945 lux, 최대 28,792 lux, 평균 27,468 lux로 평가되었다.

PO의 주광특성 시뮬레이션 결과는 Fig. 11과 같다. 7/21 정오시간대 평면상 64개의 센서 실내조도 결과를 나타내며 최소 26,463 lux, 최대 28,274 lux, 평균 26,968 lux로 평가되었다.

ETFE의 주광특성 시뮬레이션 결과는 Fig. 12와 같다. 7/21 정오시간대 평면상 64개의 센서 실내조도 결과를 나타내며 최소 26,856 lux, 최대 28,870 lux, 평균 27,400 lux로 평가되었다.

주광특성 시뮬레이션 결과 Glass와 PE간 평균조도 차이가 1,855 lux(7.2%)로 가장 큰 것으로 분석되었다. 본 시뮬레이션 결과

26080	26084	26206	26244	26245	26224	26196	26865
25257	25312	25465	25510	25513	25487	25437	26134
25175	25255	25425	25477	25480	25448	25386	26086
25189	25280	25458	25513	25515	25480	25414	26110
25178	25267	25445	25500	25502	25467	25402	26100
25133	25208	25377	25429	25432	25401	25342	26048
25141	25188	25338	25383	25386	25361	25316	26027
25688	25678	25796	25833	25835	25816	25793	26491

Fig. 9. Illuminance map- Glass

27943	27958	28094	28136	28136	28113	28078	28792
27071	27144	27313	27363	27366	27336	27278	28019
26991	27090	27279	27337	27340	27303	27231	27976
27008	27121	27318	27379	27381	27342	27264	28004
26996	27107	27304	27365	27367	27328	27251	27993
26945	27040	27227	27285	27288	27252	27183	27934
26946	27009	27175	27225	27228	27200	27146	27903
27518	27517	27648	27689	27691	27670	27641	28386

Fig. 10. Illuminance map- PE film

27450	27457	27586	27627	27627	27605	27574	28274
26590	26652	26813	26862	26865	26837	26783	27511
26507	26594	26774	26830	26833	26798	26732	27464
26522	26622	26810	26868	26871	26833	26762	27490
26510	26608	26796	26854	26857	26820	26749	27479
26463	26546	26724	26779	26782	26749	26685	27424
26469	26521	26680	26727	26731	26705	26656	27399
27038	27030	27155	27194	27196	27176	27151	27880

Fig. 11. Illuminance map- PO film

27972	27963	28098	28141	28142	28120	28093	28870
27007	27055	27223	27274	27278	27250	27199	28010
26904	26978	27166	27225	27228	27194	27129	27947
26916	27002	27200	27261	27264	27226	27157	27971
26903	26988	27185	27246	27249	27212	27143	27959
26856	26925	27112	27170	27173	27140	27079	27903
26875	26913	27079	27129	27133	27107	27061	27888
27525	27500	27631	27671	27674	27654	27633	28443

Fig. 12. Illuminance map- ETFE film

만을 바탕으로 서술하면 상추의 광포화도인 25,000 lux는 만족하나 오이의 광포화도 55,000 lux에는 미치지 못한다. 따라서 작물이 상추라면 문제없지만 오이라면 외부차광을 내부차광으로 변경하는 방법, 차광률을 낮추는 방법 등이 필요하며 후속 연구에서는 작물에 따른 종합적인 시뮬레이션 분석이 필요하다.

5. 결론

본 연구에서는 단일소재 재료의 표면방사율을 측정할 수 있는 FT-IR 장비를 활용하여 유리, 연질필름(PE), 연질필름(PO), 경질필름(불소) 이상 4개 종류의 시료 가시광선 투과율, 가시광선 반사율, 태양방사 투과율, 태양방사 반사율, 두께를 분석하였으며 결과는 아래와 같다.

유리의 경우 가시광선 투과율 평균값은 80.33%, PE 필름의 경우 87.13%, PO 필름의 경우 84.44%, 불소 필름의 경우 91.58%로 분석되었다. 이 결과를 입력값으로 주광특성 시뮬레이션을 진행한 결과 위아래 측면부의 주광이 취약한 부분을 분석할 수 있었으며 유리의

경우 평균 25,613 lux, PE의 경우 평균 27,468 lux, PO의 경우 평균 26,968 lux, ETFE의 경우 평균 27,400 lux로 분석되었다. 추후 연구에서는 설계변수인 차광율, 측정기반 피복재의 가시광선 투과율, 온실 형태, 기후대별 종합 시뮬레이션을 진행하여 작물별 적정 피복재 선정을 위한 가이드라인을 마련할 예정이다. 또한 Splitflux와 radiosity-method 및 실제 실내조도 측정값 간의 비교를 통해 측정을 통한 정확한 입력데이터 확보의 중요성을 추가로 검증할 예정이다.

Acknowledgement

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 1세대 스마트 플랜트팜 산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(320087-01-1-HD020).

Reference

- [1] 홍연권, 백순미, 2020년 농림어업총조사 결과(잠정) 보도자료, 통계청 사회통계국 농어업통계과, 2021. // (Y.K. Hong, S.M. Beak, 2020 Agricultural and Fishery Survey Results (Preliminary) Press Release, Agriculture and Fisheries Statistics Department, Social Statistics Bureau, Statistics Korea, 2021.)
- [2] 농림축산식품부 유통소비정책관 원예산업과, 2018, 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적, 농림축산식품부, 2019. // (Horticulture Industry Division, Distribution Consumption Policy Officer, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2018, Greenhouse Status of Facility Vegetables and Vegetables Production Performance, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2019.)
- [3] 한국표준협회, KS L 2525: 판유리류의 열저항 및 건축 관련 열관류율의 계산 방법, 2016. // (Korean Standard Association, Evaluation on thermal resistance of flat glasses and thermal transmittance of glazing, 2016.)
- [4] 김기세, 윤종호, 송인춘, 유리온실 적용 열반사 야간단열시스템의 에너지 성능평가 연구, 대한건축학회 논문집, 제16권 제10호, 2000, pp.153-161. // (G.S. Kim, J.H. Yoon, I.C. Song, Energy Performance Evaluation of Heat Reflective Radiant Barrier Systems for Greenhouse Night Insulation, Architectural Institute of Korea, 16(10), 2000, pp. 153-161.)
- [5] 김용현, 이석건, 유리온실내의 직달일사 및 산란일사 해석을 위한 시뮬레이션 모형, 한국생물환경조절학회지, 제6권, 제3호, 1997, pp.176-182. // (Y.H. Kim, S.K. Lee, A Simulation Model for the Analysis of Direct and Diffuse Solar Radiation in Glasshouse, The Korean Society For Bio-Environment Control, 6(3), 1997, pp.176-182.)
- [6] Dewanto Harjunowibowo, Reducing Greenhouse Energy Consumption using Novelty Rooftop: A Simulation, In 16th International Conference on Sustainable Energy Technologies, 2017, p.237.
- [7] 주식회사 그린플러스, 에너지 절감과 생산성 향상을 위한 신개념 온실 설계 및 표준화 연구, 농림축산식품부, 발간등록번호 11-1543000-001179-01. // (Green Plus Co., Ltd., The studies on design and standardization of advanced concept greenhouse for energy saving and productivity improvement, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Publication registration number 11-1543000-001179-01.)