RESEARCH ARTICLE

독립지주식 영농형 태양광 하부 농지 내 일사량 전산모사 및 실측 비교 연구

신윤찬[1] · 박정우[2] · 조건영[3] · 임철현[4] · 박정재[5†]

[1](재)녹색에너지연구원 태양에너지연구실, 선임연구원
[2]한국수력원자력(주) 재생에너지처, 주임
[3](재)녹색에너지연구원 태양에너지연구실, 대리
[4](재)녹색에너지연구원 태양에너지연구실, 책임연구원
[5]한국수력원자력(주) 재생에너지처, 선임연구원

Study on the Comparison of the Computer Simulation and Empirical Measurement of Solar Radiation in Farmland under the Independent Pillar type Agrophotovoltaic System

Shin Yunchan[1] · Park Jeong-woo[2] · Jo Geon-young[3] · Lim Cheol-hyun[4] · Park Jung-jae[5†]

[1]Senior Researcher, Solar Energy R&D Department, Green Energy Institute
[2]Assistant Manager, Renewable Energy Engineering Section, Korea Hydro & Nuclear Power Co., LTD
[3]Assistant Manager, Solar Energy R&D Department, Green Energy Institute
[4]Head of Department, Solar Energy R&D Department, Green Energy Institute
[5]Senior Researcher, Renewable Energy Engineering Section, Korea Hydro & Nuclear Power Co., LTD

[†]Corresponding author: niceparkjj@khnp.co.kr

OPEN ACCESS

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.43, No.1, pp.23-33, February 2023
https://doi.org/10.7836/kses.2023.43.1.023

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 13 December 2022

Revised: 27 December 2022

Accepted: 27 December 2022

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

This study entailed computational simulations and empirical measurements on solar radiation changes in farmland owing to shade generated from the lower part of an independent pillar-type agrophotovoltaic system structure with improved performance and economic feasibility. The computational simulation and empirical results show a relatively low average solar radiation incident ratio at positions 3 – 7. In particular, at position 5, the average solar radiation incident ratio exhibits the lowest value, as indicated by the computer simulation and demonstration results. Consequently, three types of improved models were devised to improve the long-term shading area at positions 3 – 7. The average solar radiation incident ratio on the direct rear side of the module in Model 1 is lower than that of the existing system, whereas that on the direct rear side of Model 2 is 74.4%, which is the highest value. Furthermore, the corresponding value on the direct rear side of the module in Model 3 is 70.0%, which was higher than that of the existing system. Therefore, Models 2 and 3 demonstrate that the growth environment of crops could be improved using an agrophotovoltaic system.

Keywords: 독립지주식(Independent Pillar type), 시뮬레이션(Simulation), 영농형 태양광(Agrophotovoltaic), 월누적 평균일사량(Monthly cumulative average solar radiation), 일사량 입사 비율(Solar radiation incident ratio), 장기 음영 지역(Long shading area)

1. 서 론

전세계적으로 탄소중립과 에너지 전환에 대한 이슈가 글로벌 사회에서 중대 화두로 부상하고 있다. 이는 농업에서도 마찬가지이며, 우리나라도 2050 탄소중립 선언 이후 농축산부문에서는 '18년 대비 20.6%인 약 2.5백만톤의 탄소배출량을 감축시켜야 한다[1]. 영농형 태양광은 농지의 상부에 태양광 모듈을 설치해 발전을 하고, 하부에서는 작물을 재배하는 발전 시스템이다. 이와 같이, 영농형 태양광은 농지에서 태양광 발전사업과 농업을 동시에 수행함으로써 국내의 재생에너지 전환과 국가 탄소중립의 목표 달성에 큰 기여를 할 수 있다. 이러한 영농형 태양광에 대하여 태양광 하부의 농작물 생육 환경, 영농형 태양광 구조물 등에 대한 다양한 연구들이 수행되고 있다. 영농형 태양광의 기존 연구들을 살펴보면, Kim et al. (2021)[2]은 배 과수를 대상으로 10 kW급의 접이식으로 구동이 가능한 태양광 발전용 모듈을 적용하여 영농형 태양광의 발전 시스템을 개발하였으며, 태양광 하부에서 배 과수의 생육 특성 및 생산량에 대한 변화를 조사하였다. 그 결과, 영농형 태양광 구조물의 차광으로 인해 동일한 시기에 과중 및 당도 등의 결과가 일반 노지와 비교하여 감소하였으며, 2주 완숙 후에는 큰 차이를 보이지 않음을 보고하였다. 또한, 같은 시기 수확량은 대조군 대비 약 7% 감소함을 확인하였다. Kwon and Lee (2021)[3]은 영농형 태양광 시스템에서 농작물의 수확량과 전력에 대한 발전량을 최적화하기 위해 영농형 태양광 시스템의 다양한 설계 변수에 따른 태양전지 모듈의 상부 및 하부의 일조량을 분석하였다. 그 결과, 태양전지 모듈의 설치 높이가 높을수록 하부의 평균 일조량이 증가하였으며, 경사각이 해당 지역 위도에 가깝고 방위각이 정남에 근접할수록 하부의 평균 일조량이 적게 나타남을 확인하였다. Katsikogiannis et al. (2022)[4]은 중대형 양면 태양광 모듈에 대한 최적의 토폴로지를 도출하기 위한 연구를 수행하였다. 그 결과, PV 모듈의 행 또는 셀의 간격이 넓어짐에 따라 PV 후면의 일사량이 크게 증가함을 보고하였다. Soon and Shin (2021)[5]은 단순 농가소득 산출모형을 구축하여 영농형 태양광 설치로 인한 농가소득에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 영농형 태양광 설치 목표 면적은 우리나라 국토 면적의 1.4%를 차지하고, 해당 면적에서의 생산량 감소는 전체 생산액에 큰 영향을 미치지는 않음을 보고하였다. Kim and Choi (2019)[6]는 태양광 발전사업의 수익성 및 위험성에 대한 전산모사를 통해 그 영향을 분석하였다. 농촌 태양광의 사용으로 문제점 및 위험성을 보완할 수 있는 방법을 제시하였다. Ahn et al. (2022)[7]은 영농형 태양광 구조물의 설치에 따른 포도나무의 생육 및 과실 특성에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과, 태양광 패널을 설치한 포도 과실의 당함량은 대조군과 비교하여 유의차가 없음을 확인하였다. Yoon et al. (2019)[8]은 영농형 태양광 하부에 미치는 일사량 변화를 분석하고자 하였으며, 이를 위해 모의 차광을 수행하여 관측하는 실험을 수행하였다. 그 결과, 태양광 모듈에 대한 차광효과는 직달광 비율이 높게 나타나는 맑은 날에 컸음을 확인하였다. Lee et al. (2020)[9]은 영농형 태양광 발전 솔라쉐어링에 따른 하부 일사량 변화에 대한 해석을 수행하였다. 해석 결과, 솔라쉐어링의 태양광 패널로 인해 직달일사가 도달하지 못한 부분은 솔라쉐어링 미설치 부분 대비 42%까지 일사량이 감소할 수 있음을 보고하였다. 기존의 영농형 태양광에 대한 연구는 해석적 연구가 대부분이다. 또한, 실험을 통한 연구는 기존의 시스템을 사용하는 연구가 대부분이며, 시공성에 기반을 둔 연구는 미비하다. 이에 본 연구에서는 국내에서 최초로 제안된 독립지주식 영농

형 태양광 발전 시스템 하부 농지내 일사량 전산모사 및 실측 결과를 비교 검토하고자 한다. 본 시스템의 경우 36셀 일반모듈(가로: 1.03 m, 세로: 2.17 m) 4매를 연속 배치하여 시공성 및 경제성을 개선한 반면, 모듈 직후면은 농지 내 다른 영역 보다 지속적인 장기음영이 예상되는 영역으로 농작물의 수확량 및 품질 저하가 예상된다. 따라서 발전 시스템에 의해 발생하는 음영으로 인한 농지 내 일사량 변화에 대한 전산모사 및 실측 결과를 비교 검토하고 시스템의 디자인 및 배치의 개선 방안을 도출하는데 최종 목적이 있다.

2. 영농형 태양광 시스템 하부 일사량 전산모사

2.1 전산모사의 모델링

영농형 태양광 시스템에서 하부 농지의 일사량 변화 값을 이해하는 것은 작물의 생육 환경을 이해하는데 중요한 요소이다. 영농형 태양광 발전 시스템 하부 농지 전체에서 일어나는 일사량 변화 값을 이해하기 위해서는 위치나 방위별로 다량의 일사량 센서를 촘촘히 설치하여 연중 변화 값을 모니터링해야 하지만 일사량 센서의 가격이 워낙 고가이고 많은 시간이 필요하므로 이를 수행하기에는 어려움이 있다. 따라서 유의성이 인정되는 일사량 전산모사는 영농형 태양광 하부에서 일사량 값을 이해하는데 매우 유용한 수단이다. Fig. 1에 본 연구에서 해석한 영농형 태양광 시스템의 배치도를 나타내었다. 태양광 어레이는 12직렬, 3병렬로 구성되어 있으며, 구조물의 높이는 3 m, 어레이 좌우 사이의 간격은 1.82 m로 설계하였다.

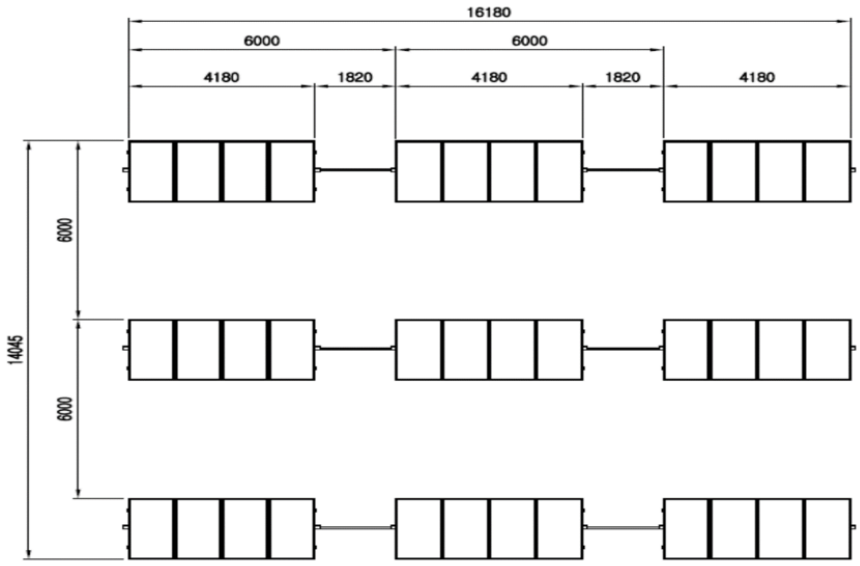


Fig. 1 Design of agrophotovoltaic system

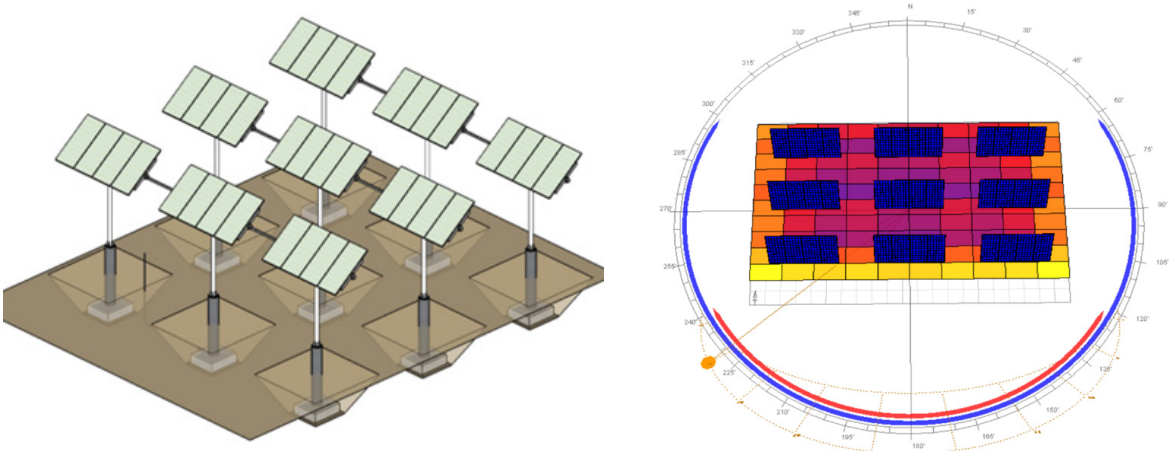
2.2 일사량 전산모사의 수행

본 연구에서 영농형 태양광 시스템의 하부에서 음영 및 일사량을 분석하기 위하여 Autodesk Ecotect

Analysis 프로그램을 사용하였다. 일사량 분석을 위한 기상데이터는 전남 나주시를 기반으로 일사량 온도, 습도, 등 8가지의 기상 데이터를 기반으로 만들어진 'Meteonorm' 데이터를 활용하였다. 이 데이터는 1985년부터 스위스 Meteotest사에서 개발한 글로벌 기후 데이터베이스이다[10]. Table 1은 'Meteonorm' 데이터에서 Energy Plus Weather 데이터로 변환되는 과정을 나타내었으며, Fig. 2에 본 연구에서 적용한 영농형 태양광 시스템의 개략도와 일사량 분석을 나타내었다.

Table 1 Convert Meteonorm to EPW (Energy Plus Weather) data[11,12]

Step	Directions
1	Star MEteonorm
2	Click the Site Button
3	Next click the WMO/OMM button and select the continent (WMO usually means there's a weather station recording hourly data).
4	In the search site box, enter the first one or two characters of the desired location name and '*' and click on the >> button.
5	Select the site (if available) from the list and click OK. If there isn't a WMO site available, go to step A.
6	If the location is there, click on the name and Meteonorm will give any warnings about the data. Write down the warnings (in a text file) and note that you used WMO, Station or City data, and the version of Meteonorm used.
7	Click the Format button, select TMY2, and click OK.
8	Click the Hourly Values button, then click the Save button and gave the TMY2 a name when prompted (Use the ISO 3-letter country abbreviation followed by the city and the format. For example, for Kathmandu, Nepal, this would be: NPL_Kathmandu_MN5.tm2).
9	Convert to EPW using the EnergyPlus WeatherConverter.
10	Post a .ZIP on the EnergyPlus_Support YahooGroup under Files/Meteonorm_Weather_files. The .ZIP should include the .EPW, .DDY, .STAT, and the warnings text file you created (give it a .INFO extension). Save the TMY2 source and the .AUDIT in a separate .ZIP but do not post it to the HYahooGroup.



(a) Schematic diagram (b) Shading analysis

Fig. 2 Schematic diagram and Shading analysis of agrophotovoltaic system

3. 영농형 태양광 시스템 및 일사량 센서 설치

본 연구에서는 전남 나주시의 유휴부지를 선정하였으며, 한화큐셀의 태양광 모듈을 사용하였다. 태양광 모듈의 1장당 출력은 455 W로 12직렬, 3병렬의 어레이로 구성되어 20 kW급 설치 용량에 대한 영농형 태양광 시스템을 구축하였다. 영농형 태양광 시스템은 발전량 효율을 가장 높일 수 있도록 남향으로 설치하였으며, 차광률이 30%가 되도록 설계하였다. 본 연구에서 적용한 독립지주식 구조물은 용접부위를 최소화하여 기존 시스템 대비 시공비용을 최대 20%까지 절감시킬 수 있으며, 공정 기간을 단축시킬 수 있는 구조물이다. Fig. 3에 본 연구에서 구축된 영농형 태양광 시스템을 나타내었다. 또한, 본 연구에서는 영농형 태양광의 실증을 위하여 토양 온습도 센서와 일사량 센서를 실험군 및 대조군 그룹에 설치하였으며, Fig. 4에 영농형 태양광 시스템의 실증을 위한 센서들의 위치를 나타내었다. 1 ~ 9번까지 총 9개의 일사량 센서를 설치하였으며, 1, 9번은 구조물 가운데, 2, 8번은 구조물 사이, 3 ~ 7번은 장기음영이 예상되는 영역으로 집중 설치하여 분석하였다. Table 2에는 본 연구에서 사용된 일사량 센서의 상세사양을 나타내었다.

Fig. 3 Photographic view of the installed agrophotovoltaic system

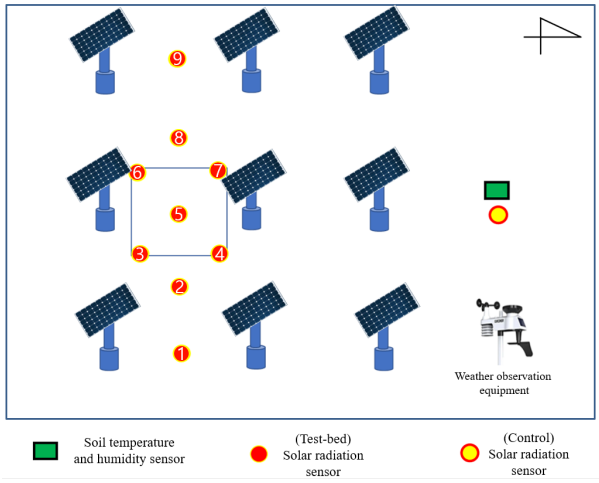


Fig. 4 Installation location of sensors in test-bed and control group

Table 2 Detailed specification of the solar radiation sensor

Item	Accuracy and range
Solar radiation sensor	• Power supply range : 10 ~ 30 V DC (0 ~ 10 v type need DC 24 V power supply) • Output : 4 ~ 20 mA/0 ~ 5 V/0 ~ 10 V • Working humidity : 0% ~ 100%RH • Working temperature : -40°C ~ 60°C • Spectral range : 0.3 ~ 3 μm • Measuring range : 0 ~ 1800 W/m^2 • Resolution : 1 W/m^2 • Response time : ≤ 10 s • Nonlinear : < ±2% • Annual stability : < ±2% • Cosine response : ≤ ±10% • Cable length : default is 60 cm (can be customized)

4. 영농형 태양광 하부 일사량 전산모사 및 실측 비교분석

Fig. 5는 영농형 태양광 하부의 연중 일사량 입사 비율의 전산모사 결과를 나타낸 것이다. 연중 일사량 입사 비율은 구조물이 없는 상태에서 입사되는 일사량 대비 영농형 하부에 입사되는 연평균 일사량의 입사 비율이다. 이해를 돕기 위해 해당 위치의 연중 일사량 입사 비율에 따라 색깔 및 수치로 표시되어 있다. 전산모사된 농지내 평균 연중 일사량 입사 비율은 80.0%이며 최대 96.8%에서 최저 64.3%로 13.5%의 편차를 보였다. 붉은 사각으로 표시된 농지내 중앙에 있는 태양광 발전 시스템 직후면에서의 연중 일사량 입사 비율은 64%에서 68%로 상대적으로 낮게 나타났다.

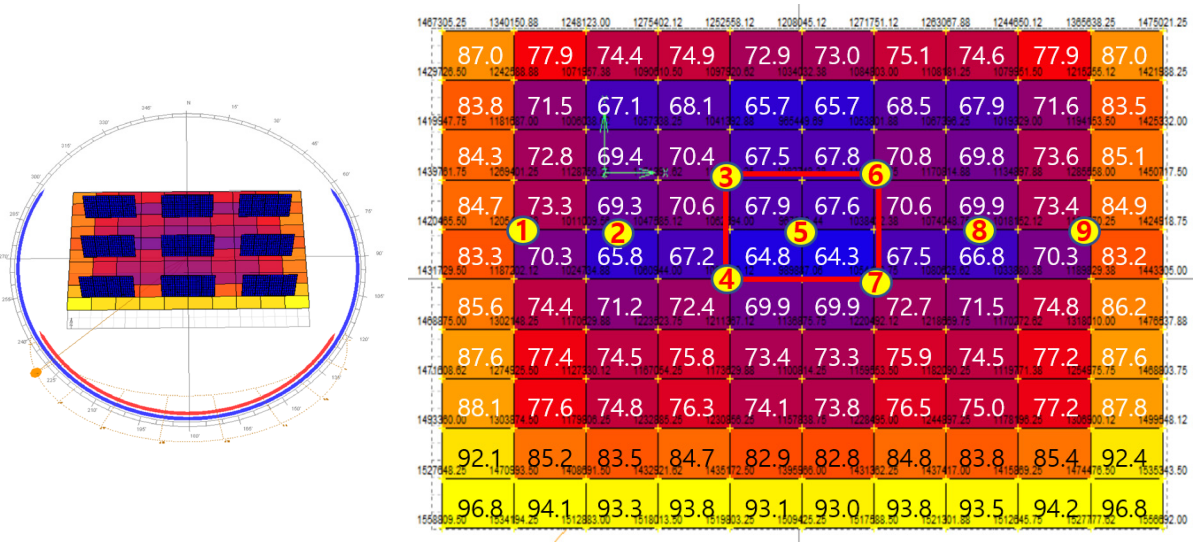


Fig. 5 Simulation result of annual average solar radiation incident rate for the agrophotovoltaic system

8월부터 11월까지 4개월간 독립지주식 영농형 태양광에 대한 실증을 통해 하부 일사량을 측정하였으며, 측정 및 계산된 태양광 하부에서의 월누적 평균일사량 및 일사량 입사 비율을 Table 3에 나타내었다. 구조물 가운데에 설치된 1, 9번은 56.8, 60.9%를 보였고, 구조물 사이에 설치된 8번은 64.7%로 상대적으로 높은 값을 보였다. 장기음영이 예상되는 3~7번이 상대적으로 낮게 나타났으며, 그 중 5번 위치에서 측정된 월누적 평균일사량이 350.77 kWh/m^{2}로 가장 낮게 나타남을 확인하였다. 대조군 대비 실험군에서의 일사량 비율을 나타낸 일사량 입사 비율도 5번 위치에서 53.5%로 가장 낮게 나타났으며, 전산모사 결과에서와 마찬가지로 가운데 위치한 태양광 모듈 하부에서 일사량이 낮게 나타나는 경향이 일치함을 확인하였다.

Table 3 Monthly cumulative average solar radiation and solar radiation incident rate of agrophotovoltaic system

Sensor No.	Monthly cumulative average solar radiation (kWh/m^2)					Solar radiation incident ratio (%)				
	August	September	October	November	Ave.	August	September	October	November	Ave.
1	453.79	399.49	388.38	352.45	398.53	69.6	52.8	54.7	66.6	60.9
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	406.73	463.34	488.05	413.65	442.94	62.4	61.3	68.7	78.2	67.6
4	461.93	475.72	431.31	276.23	411.30	70.9	62.9	60.7	52.2	61.7
5	424	363.86	323.5	291.73	350.77	65.0	48.1	45.5	55.1	53.5
6	376.04	392.37	492.02	424.5	421.23	57.7	51.9	69.2	80.2	64.8
7	508.88	526.13	467.37	271.27	443.41	78.1	69.6	65.8	51.3	66.2
8	516.58	469.26	433.28	298.6	429.43	79.2	62.1	61.0	56.4	64.7
9	454.87	378.94	368.32	292.91	373.76	69.8	50.1	51.8	55.4	56.8
Control	651.9	755.93	710.6	529.1	661.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

* No. 2 sensor acquisition value error occurred

Fig. 6은 영농형 태양광 하부에 설치한 일사량 센서 설치 위치에 따른 평균 일사량 입사 비율의 전산모사와 실측 결과를 나타낸 것이며, Fig. 7에 평균 일사량 입사 비율의 전산모사와 실측 결과에 대한 그래프를 나타내었다. 3 ~ 7번의 위치에 대한 전산모사와 실측 결과의 평균 일사량 입사 비율은 각각 68.34%와 62.76%를 나타내었으며, 표준편차는 각각 1.54%, 5.6%로 나타났다. 1, 9번의 위치에 대한 전산모사와 실증 결과의 평균 일사량 입사 비율은 각각 68.45%와 64.7%를 나타내었으며, 표준편차는 각각 1.64, 3.95를 나타났다. 2, 8번 위치에 대한 전산모사와 실증 결과의 평균 일사량 입사 비율은 각각 71.85%와 62.8%로 나타났다. 상대적으로 전산모사의 일사량 입사 비율의 값이 실증 결과보다 높게 나타났다. 이는 전산모사는 연중 평균 일사량 입사 비율을 나타낸 것이지만, 실증 결과는 8월에서 11월에 대한 월누적 평균일사량을 기반으로 분석되었기 때문이다. 그러나 전산모사와 실증 결과에서의 일사량 입사 비율은 센서 위치에 따라 유사한 증감 경향을 나타내었으며, 전산모사 및 실측 결과에서 모두 3 ~ 7번 위치에서의 평균 일사량 입사 비율이 가장 낮게 나타났다. 특히, 5번 위치에서 전산모사 및 실증 결과의 일사량 입사 비율이 가장 낮은 값을 나타내어 전산모사의 결과는 상대적으로 잘 예

측되었음을 확인하였다. 따라서 작물의 생산량 및 품질은 농지의 일사량 및 품질과 직결되어 있으므로 3 ~ 7번 위치에 해당되는 장기음영 면적의 개선이 필요하다.

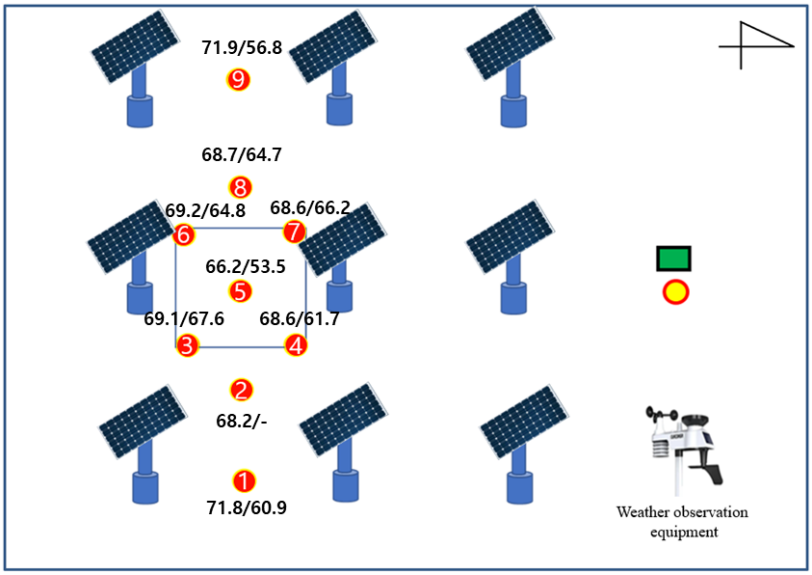


Fig. 6 Monthly cumulative average solar radiation incident rate for the position of solar radiation sensor (Simulation result/ Empirical measurement result)

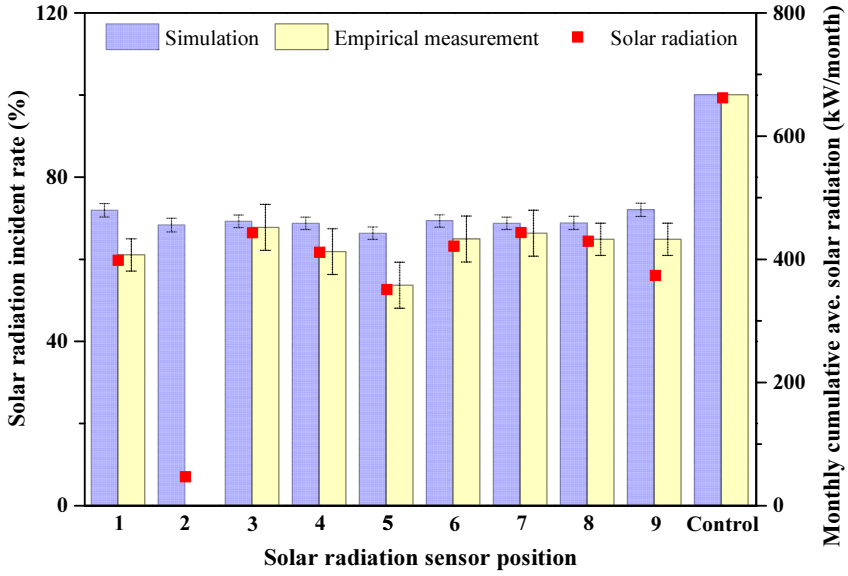
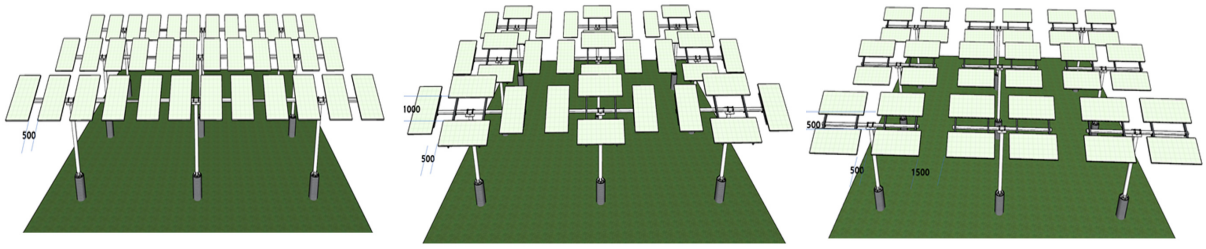


Fig. 7 Comparison of the empirical measurement and simulation results for solar radiation incident rate

위의 결과에서 3 ~ 7번 위치에 해당되는 장기음영 면적의 개선을 위해 4매의 모듈을 연속 배치하고 있는 현재 시스템에서 모듈간 공간을 두는 배치를 통해 개선이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 개선형 모델을 제안하

였으며, Fig. 8에 개선형 영농형 태양광 시스템에 대한 모델들을 나타내었다. 개선형 모델들은 하부면적 대비 상부의 태양광 모듈 면적이 70%로 개구율을 동일하게 설계하였다. 모델 1은 모듈 사이에 공간을 두는 형태로 배치하였다. 모델 2는 가로 2매, 세로 2매로 사각형 형태로 배치하였으며, 모델 3은 2행 2열로 모듈 사이의 공간을 확보함으로써 음영을 낮추는 형태로 배치하였다. 이러한 개선형 모델들에 대한 평균 일사량 입사 비율을 계산하였으며, 이에 대한 결과를 Table 4에 나타내었다. 기존의 영농형 태양광 시스템의 연평균 일사량 입사 비율은 80%로 나타났으며, 모델 1과 동일한 값을 가졌다. 모델 2의 연평균 일사량은 82%로 가장 높은 값을 나타내었으며, 모델 3은 80.8%로 계산되었다. 모델 1에 대한 모듈 직후면에서의 일사량 입사 비율은 67.8%로 기존의 시스템보다 낮은 값을 나타내었다. 모델 2에 대한 모듈 직후면에서의 일사량 입사 비율은 74.4%로 가장 높은 값을 나타내어 영농형 태양광 시스템 하부의 작물생육 환경이 가장 좋은 배치임을 확인하였다. 개선 시스템은 일사량 개선을 통해서 얻을 수 있는 농작물 생산성 개선 부분과 추가적으로 발생할 수 있는 시공 비용에 대한 경제성 분석을 통해 최적화가 필요하다. 또 작물의 재식 밀도나 식재 방법에 따라서는 장기음영이 미치는 영향을 최소화하는 방법도 고려될 수 있다.



(a) Model I (b) Model II (c) Model III

Fig. 8 Lower shading improvement model of the agrophotovoltaic system

Table 4 Analysis results for the solar radiation incident ratio of lower shading improvement model of agrophotovoltaic system

Design	1 year average		Module direct rear side
	Solar radiation incident ratio (%)	Deviation (%)	Solar radiation incident ratio (%)
Existing system (Continuity)	80.0	135	68.0
Model I	80.0	13.1	67.8
Model II	82.0	9.1	74.4
Model III	80.8	12.4	70.0

5. 결 론

본 연구에서는 시공성과 경제성이 개선된 독립지주식 영농형 태양광 구조물 하부에서 발생하는 음영으로 인한 농지내 일사량 변화에 대한 전산모사 및 실측을 수행하였다. 본 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 태양광 모듈이 있는 하부에서의 연중 일사량 입사 비율은 64%에서 68%로 상대적으로 낮게 나타났으며, 특히 전산모사 결과에서 연중 일사량 입사 비율은 태양광 모듈의 가운데 부분에서 가장 낮게 나타남을 확인하였다.

(2) 전산모사와 실증 결과에서의 일사량 입사 비율은 센서 위치에 따라 유사한 증감 경향을 나타내었으며, 3 ~ 7번 위치에서 전산모사 및 실증 결과 모두 평균 일사량 입사 비율이 상대적으로 낮게 나타났다. 이에 따라 영농형 태양광 하부에서 작물의 생육 환경 개선을 위해 3 ~ 7번 위치에서의 장기음영에 대한 개선이 필요함을 확인하였다.

(3) 3 ~ 7번 위치에 해당되는 장기음영 면적의 개선을 위해 개선형 모델을 제안하였으며, 모델 1의 모듈 직후면 평균 일사량 입사 비율은 기존 시스템보다 낮게 나타났다. 모델 2의 모듈 직후면 평균 일사량 입사 비율은 74.4%로 가장 높은 값을 가졌으며, 모델 3의 모듈 직후면 평균 일사량 입사 비율도 70.0%로 기존 시스템보다 높은 값을 나타내어 영농형 태양광 시스템 하부에서 작물의 생육 환경을 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

본 연구를 통하여 영농형 태양광 시스템의 하부에서의 일사량 및 작물의 생육 환경에 미치는 영향에 대한 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농업에너지 자립형산업모델 기술개발사업의 지원(321005-02-2-HD020)과 한국수력원자력의 재원으로 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. L20S071000).

REFERENCES

1. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2050 Agricultural Food Carbon Neutral Promotion Strategy, pp. 1-47, 2021.
2. Kim, W., Nam, J., Gim, G. H., Kim, D. S., and Lim, C., Investigation on the Effect of Abnormal Climate in High Value Added Crops Utilizing Agrophotovoltaic Structures, Current Photovoltaic Research, Vol. 9, No. 2, pp. 45-50, 2021, https://doi.org/10.21218/CPR.2021.9.2.045.
3. Kwon, O. and Lee, K., Agrophotovoltaic Designs : Irradiation Analysis on and under PV Modules, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 41, No. 2, pp. 9-23, 2021, https://doi.org/10.7836/kses.2021.41.2.009.
4. Katsikogiannis, O. A., Ziar, H., and Isabella, O., Integration of Bifacial Photovoltaics in Agrivoltaic Systems: A Synergistic Design Approach, Appl. Energy, Vol. 309, 118475, 2022, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118475.
5. Soon, B. M. and Shin, D. W., Impact of Agricultural Photovoltaic on the Farm Household Income, Journal of Climate Change Research, Vol. 12, No. 5-1, pp. 409-419, 2021, https://doi.org/10.15531/KSCCR.2021.12.5.409.

6. Kim, T. H. and Choi, Y. H., The Effectiveness of the Financial Investment of the MAFRA by Analyzing the Profitability and Risk of the Solar Power Generation Project Pursued by KRCC (in Korean with English abstract), J. Rural Dev., Vol. 42, No. 4, pp. 107-136, 2019, https://doi.org/10.36464/jrd.2019.42.4.006.
7. Ahn, S. Y., Lee, D. B., Lee, H. I., Myint, Z. L., Min, S. Y., Kim, B. M., Oh, W., Jung, J. H., and Yun, H. K., Grapevine Growth and Berry Development under the Agrivoltaic Solar Panels in the Vineyards, J.. Bio-Env. Con., Vol. 31, No. 4, pp. 356-365, 2022, https://doi.org/10.12791/KSBEC.2022.31.4.356.
8. Yoon, C., Choi, S., An, K., Ryu, J., Jeong, H., and Cho, J., Preliminary Experiment of the Change of Insolation under Solar Panel Mimic Shading Net, Korean J. Agric. For. Meteorol., Vol. 21, No. 4, pp. 358-365, 2019, https://doi.org/10.5532/KJAFM.2019.21.4.358
9. Lee, S., Choi, J., Sung, S., Lee, S., Lee, J., and Choi, W., Simulation and Analysis of Solar Radiation Change Resulted from Solar-sharing for Agricultural Solar Photovoltaic System, Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 62, No. 5, pp. 63-72, 2020, https://doi.org/10.5389/KSAE.2020.62.5.063
10. Kim, B. J., Park, J., W., Yoon, J. H., and Shin, W. C., 2015, The Development of Performance Evaluation Program of Building Integrated Photovoltaic System, J. Korea Inst. Ecol. Archit. And Environ, Vol. 15, No. 4, pp. 85-90.
11. Poup, J., How to Create Meteonorm Weather Files for Energyplus, The Building Energy Simulation User News, Vol. 26, No. 1, 2005.
12. Passive House Institute Korea, Configure Data within the epw File, 2016. https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z4_02&wr_id=2139. last accessed on the 15th November 2016.