

영농형 태양광 발전 시스템 구성에 따른 하부 농지 일사량의 전산모사 연구

김덕성¹⁾ · 김창현²⁾ · 박종성²⁾ · 김창한³⁾ · 남재우⁴⁾ · 조재영⁵⁾ · 임철현^{2)*}

Computer Simulation of Lower Farmland by the Composition of an Agrophotovoltaic System

DeokSung Kim¹⁾ · ChangHeon Kim²⁾ · JongSung Park²⁾ · ChangHan Kim³⁾ ·
JaeWoo Nam⁴⁾ · JaiYoung Cho⁵⁾ · CheolHyun Lim^{2)*}

Received 26 September 2019 Revised 4 December 2019 Accepted 11 December 2019

ABSTRACT The share of agrophotovoltaics in the “renewable energy 3020”, which is the Korean government policy for revitalizing new and renewable energy, is increasing gradually. In this study, the distribution of solar radiation received by crops growing on virtual farmland under a range of conditions, such as module height, module angle, shading ratio, and module type, was quantified and analyzed using an Ecotect program, which allows insolation analysis during the period from spring to fall. As the module angle increases, transmissive modules increase the amount of solar radiation delivered to the lower farmland. In addition, the difference between 3x12 Cell Type and 4x9 Cells Type, which are types of photovoltaic modules used in practice, was found to be small. The analysis results can be used as a design standard for the future establishment of agrophotovoltaic systems.

Key words Agrophotovoltaic(영농형태양광), Solar radiation(일사량), Simulation(시뮬레이션), Shading ratio(차광율), Transparent(투과형)

Subscript

EPW : Energy Plus Weather

-
- 1) Researcher, Solar Energy R&D Department, Green Energy Institute
2) Ph.D, Solar Energy R&D Department, Green Energy Institute
3) CEO, Solar-Farm Corporation
4) Vice President, Solar-Farm Corporation
5) Research Director, Institute Technology, Won-kwang Electric Power Corporation

*Corresponding author: chlim@gei.re.kr

Tel: +82-61-288-1010 Fax: +82-61-287-8006

1. 서론

정부에서는 2030년까지 국가 에너지의 20%에 해당되는 63.8 GW를 재생에너지로 대체하려는 정책을 발표하였으며, 이중 태양광 발전에 할당된 용량은 36.5 GW이다^[1]. 이러한 상황에서 기존 일반 태양광 발전시스템과 다르게 태양광 발전 시스템 하부의 경작지에서 작물 재배가 병행 가능한 영농형 태양광 발전시스템이 연구되고 있다. 영농형 태양광 발전 시스템이 국내에 도입되고, 시범적으로 실증 구축이 이루어진 부분은 5년이 채 안되지만 영농형 태양광 발전 시스템과 상생 위한 농작물 테스트 및 농사 기법 개발, 설치 구조물 개발이 진행되고 있다^[2].

영농형태양광 시스템에 관한 국내 연구동향을 살펴보면 Lim *et al.*은 국내의 추진되고 있는 영농형 태양광 발전 시스템의 동향조사 및 태양광 모듈, 구조물 규격 및 배치, 표준배배 기법, ICT 스마트 영농 기술 등 영농형 태양광에 고려되어야 할 요소들을 서술하였다^[3]. Son *et al.*은 경남 고성지역 영농형 태양광 발전 시스템 실증 논 부지를 대상으로 배치에 따른 하루 일사량 비교 및 6월부터 9월까지 실제 일사량 값과 프로그램을 이용한 예상일사량 값을 비교하였다^[4]. 그러나 사용한 프로그램에 대한 언급이 없으며, 비교 결과 값이 최대 65%까지 차이가 나므로, 보다 정교한 프로그램 및 신뢰성 있는 기상데이터로 예상 일사량 값을 구할 필요가 있다.

국내 영농형 태양광 발전 시스템에 관한 연구학술 및 설계 자료는 연구 자체가 초기단계이므로 아직 매우 한정적이다. 본 연구에서는 시범 실증단지 위치인 청주(오창)지역을 대상으로 농업이 본격적으로 진행되는 봄철부터 가을철(3월~11월)까지의 기간 동안 전산모사가 가능한 프로그램을 사용하였다. 이를 통해 영농형 태양광 모듈 높이, 모듈 각도, 차광율, 모듈 타입별 등 다양한 조건에서의 가상 농지에 자라는 농작물이 받는 일사량 분포를 수치적으로 해석하여 향후 영농형 태양광 발전 시스템 구축 시 참고할 수 있는 자료로 활용하고자 한다.

2. 전산모사 프로그램

2.1 전산모사 프로그램 개요

영농형태양광 시스템의 하루 농지 차광을 분석을 위해 사용한 프로그램의 정식 명칭은 'Autodesk Ecotect Analysis 2011'(이하 에코텍)이며, 영국의 Welse School과 호주의 Square One Research가 협업하여 만든 시뮬레이션 프로그램이다^[5]. Fig. 1은 에코텍 프로그램으로 분석 가능한 사항을 나타낸 것이며, 이 프로그램은 사용자 인터페이스(user interface), 모델링(modelling), 분석그리드(analysis grid) 및 이를 이용해 분석가능한 건축환경 요소들, 외부 프로그램으로부터 건물의 기하학적 정보를 분석하여, 초기설계 단계에서 효과적인 의사결정을 내릴 수 있도록 설계자들에게 피드백이 가능하다. 프로그램의 주요 분석 프로세스는

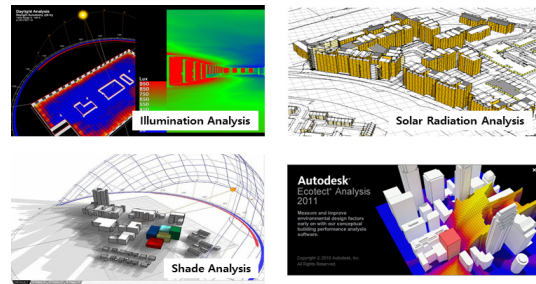


Fig. 1. Various analysis of Ecotect

일조, 일사, 채광, 열분석 등이며, 본 연구에서는 영농형 태양광 발전 시스템 하부의 농지가 받는 일사량 분석을 위해 프로그램의 일사량 분석 기능을 활용하였다.

2.2 기상데이터 선정

영농형 태양광 발전 시스템 하루 농지 일사량 분석을 위한 에코텍 프로그램 시뮬레이션에 사용한 청주(오창) 기상 데이터는 전 세계 8,300 곳의 기상관측소(Meteorological station)에서 일사량, 온도, 습도 등 8가지 기후자료 30년치를 기반으로 만들어진 'Meteonorm'데이터를 활용하여 만들었다. 이 데이터는 1985년부터 스위스 Meteotest사에서 개발한 글로벌 기후 데이터베이스이다^[6].

Fig. 2는 'Meteonorm' 데이터를 Energy Plus Weather (이하 EPW) 데이터로 변환하는 과정을 나타내며 후, Fig. 3은 변환된 EPW 데이터를 에코텍 기상데이터 전용 파일인 WEA 버전으로 변환하는 화면을 나타낸 것이다. EPW 데이터에는 Table 1과 같은 35개의 입력값들이 요구된다.

Step	Directions
1	Start 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 a " 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, DDD, 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 YahooGroup.

Fig. 2. Convert Meteonorm to EPW data^[7]

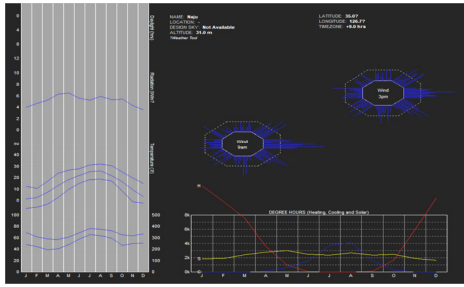


Fig. 3. EPW data conversion Ecotect screen

Table 1. EPW data detail element^[8]

	Input parameter	Unit
1	Year	-
2	Month	-
3	Day	-
4	hour	-
5	Minute	-
6	Data source	-
7	Dry bulb temperature	°C
8	Dew point temperature	°C
9	Relative humidity	%
10	Atmospheric pressure	Pa
11	Extraterrestrial horizontal radiation	Wh/m ²
12	Extraterrestrial direct normal radiation	Wh/m ²
13	Horizontal infrared radiation intensity from sky	Wh/m ²
14	Global horizontal radiation	Wh/m ²
15	Direct normal radiation	Wh/m ²
16	Diffuse horizontal radiation	Wh/m ²
17	Global horizontal illuminance	lux
18	Direct normal illuminance	lux
19	Diffuse horizontal illuminance	lux
20	Zenith illuminance	lux
21	Wind Direction	degrees
22	Wind speed	m/s
23	Total sky cover	tenths
24	Opaque sky cover	tenths
25	Visibility	km
26	Ceiling height	m
27	Present weather observation	-
28	Present weather codes	-
29	Precipitable water	mm
30	Aerosol optical depth	thousandths
31	Snow depth	cm
32	Day since last snow	-
33	Albedo	-
34	Liquid precipitation depth	mm
35	Liquid precipitation quantity	hour

3. 시뮬레이션을 통한 하부 일사량 분석

3.1 에코텍을 통한 모델링 구축

Fig. 4와 Fig. 5는 영농형 태양광 발전 시스템 하부 농지 일사량 분석을 위한 모듈 설계도면을 나타낸 것이며, 모델링은 시범실증 구축 단지에 설치되어 있는 36 Cell((1,946 mm × 510 mm, 3 × 12 Type), (1,459 mm × 664 mm, 4 × 9 Type)) 두 Type으로 적용하였다. Fig. 6은 영농형 태양광 발전 시스템 모듈 하부 일사량의 분포와 값을 나타내는 Section 구성도이다. 에코텍에서 가로 10 m × 세로 10 m 가상으로 생성이 가능하며, Section안에 일사량이 표시가 되는 Node를 통해 각 구역의 값이 분석된다. 이 Section을 통해 각 Node의 전체 평균값 또한 구할 수 있다.

이를 기반으로 ①모듈의 설치각도(30°, 90°) 및 높이(2~5 m), ②모듈 타입별(3 × 12 Type, 4 × 9 Type, ③모듈 형태별(일반형과 투과형) 세 가지 조건에 따른 영농형

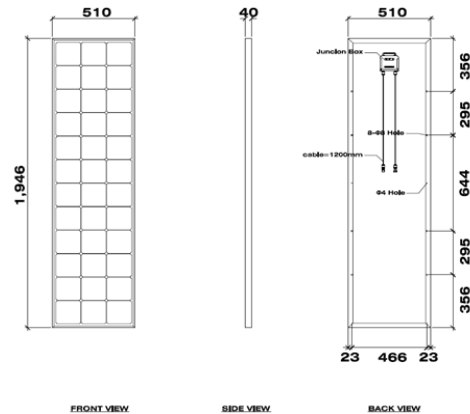


Fig. 4. 3 x 12 cell type module

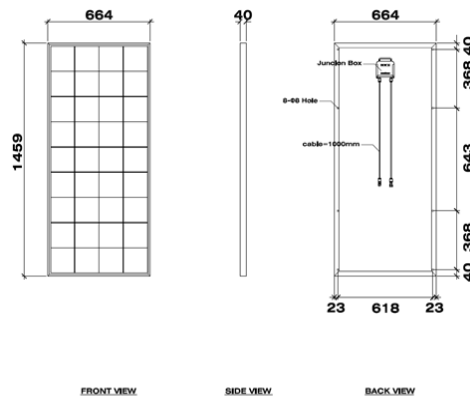


Fig. 5. 4 x 9 cell type module

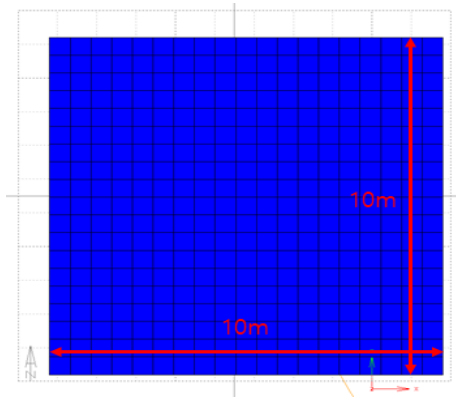


Fig. 6. Solar radiation analysis section

태양광 발전 시스템 하부 농지 일사량 분석을 진행하였다. 분석되는 일사량의 단위는 kWh/m²이며, 시뮬레이션 프로그램 기상데이터는 영농형 태양광 발전 시스템 시범실증단지 위치인 청주(오창) 기상데이터를 사용하였다.

3.2 모듈 설치각도 및 높이

Fig. 7 및 Table 2, Table 3은 청주지역의 기상데이터를 사용하여 모듈의 설치각이 30°, 90°일 경우, 모듈 높이(2~5 m) 및 차광율에 따른 각각의 하부 일사량의 평균을 분석한 것이며, 여기에서 차광율은 태양광발전부지면적 대비 태양광모듈 전체면적을 나타내는 개념이다^[1].

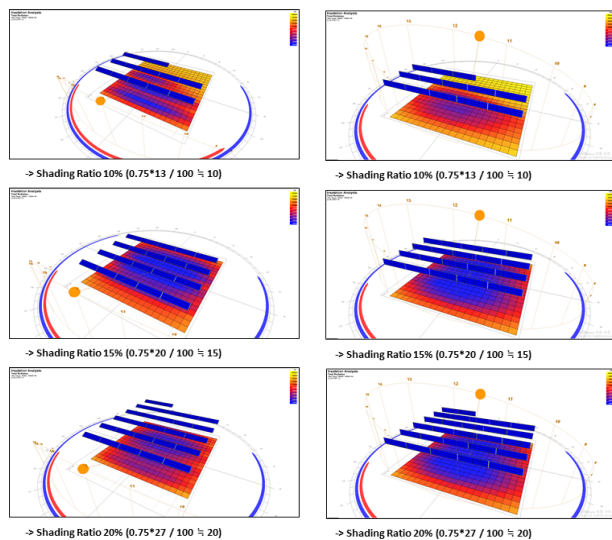


Fig. 7. Analysis of solar radiation by different shading ratio and height

분석결과 모듈 설치각도 30° 보다는 90°로 설치되는 것이 하부 농지에 일사량을 더 많이 주는 것으로 분석되었으며, 30°와 90° 모두 설치 높이가 높아질수록, 차광율이 낮을수록 대체적으로 하부 농지에 전달하는 일사량이 높은 것으로 나타났다. 이는 태양의 고도에 따른 일사량의 차이 때문으로 고찰된다. 90도의 경우 태양의 고도가 가장 높은 여름철에 3 m와 4 m의 설치 높이가 일사량에 미치는 영향이 미미하므로 경제성을 고려하여 3 m로 제안 할 수 있다.

Table 2. Analysis of solar radiation by different shading ratio and height (30°)

(Unit : kWh/m²)

		Shading ratio 10%	Shading ratio 15%	Shading ratio 20%
2 m	Spring	410,7	390,3	376,0
	Summer	403,4	384,8	371,7
	Fall	280,0	264,3	255,7
3 m	Spring	415,0	397,0	385,8
	Summer	406,8	390,6	380,1
	Fall	282,5	271,0	265,8
4 m	Spring	417,9	402,2	393,5
	Summer	410,1	395,8	385,9
	Fall	285,2	276,9	272,6
5 m	Spring	421,2	408,1	401,1
	Summer	413,2	400,5	392,9
	Fall	289,2	282,7	278,7

Table 3. Analysis of solar radiation by different shading ratio and height (90°)

(Unit : kWh/m²)

		Shading ratio 10%	Shading ratio 15%	Shading ratio 20%
2 m	Spring	430,6	419,1	408,5
	Summer	424,3	415,8	407,8
	Fall	290,8	280,1	271,5
3 m	Spring	432,3	422,8	413,5
	Summer	426,1	419,2	412,4
	Fall	291,9	283,4	277,9
4 m	Spring	436,6	429,5	423,1
	Summer	426,5	419,9	413,6
	Fall	294,8	288,9	285,7
5 m	Spring	437,8	432,2	428,1
	Summer	429,9	425,7	421,3
	Fall	297,7	293,6	291,5

3.3 모듈 타입별

Fig. 8 및 Table 4는 청주지역의 기상데이터를 적용하여 동일한 차광율일 때 3 × 12 Type과 4 × 9 Type에 따른 각각의 하부 일사량의 평균을 분석한 것이다. 분석결과 계절별 일사량 값의 오차는 거의 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 이 결과를 토대로 경제적 관점에서 보았을 때 농지의 형태가 한쪽으로 길 경우 3 × 12 Type, 폭이 좁을 경우 4 × 9 Type을 사용하는 것으로 제안 할 수 있다.

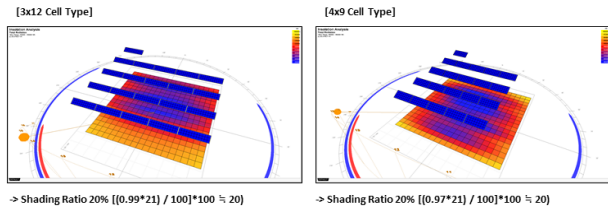


Fig. 8. Analysis of solar radiation by module size

Table 4. Analysis of solar radiation by module size (Unit : kWh/m²)

	3 × 12 Cell Type	4 × 9 Cell Type	Error (%)
Spring	433.8	432.4	0.3
Summer	438.8	437.1	0.3
Fall	319.2	317.9	0.4

3.4 모듈 형태별

Fig. 9 및 Table 5는 청주지역의 기상데이터를 적용하여 동일한 차광율, Cell 이격거리(30 mm)일 때 일반형과 투과형 각각의 하부 일사량의 평균을 분석한 것이다. 일반형 모듈은 후면재로 흰색 Back sheet를 사용하여 빛의 투과율이 낮지만, 이를 투명 Back sheet로 대체하여 빛의 투과율이 높도록 한 것이 투과형 모듈이다.

분석결과 계절별 일사량 최소 10.8%, 최대 15.4%까지

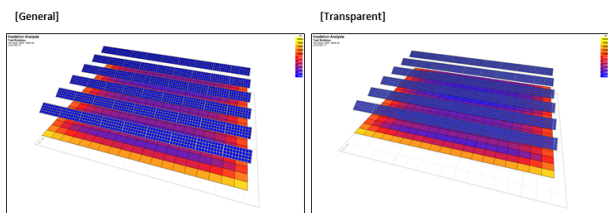


Fig. 9. Analysis of solar radiation by general and transparent modules

Table 5. Analysis of solar radiation by general and transparent modules (Unit : kWh/m²)

	General	Transparent	Error (%)
Spring	327.3	367.7	12.3
Summer	268.3	309.8	15.4
Fall	212.0	235.1	10.8

투과형 모듈이 일반형 모듈보다 하부 농지에 전달하는 일사량이 높은 것으로 분석되었다. 따라서 광포화점이 높은 작물이 재배되는 농지에서는 투과형 모듈로 영농형 태양광 발전 시스템을 구성하는 것이 유리하다.

4. 결론

본 연구에서는 영농형 태양광 발전 시스템이 구축된 청주(오창) 지역을 대상으로 모듈 설치각도 및 높이, 모듈 타입별, 모듈 형태별 조건에서의 일사량 분석을 통해 농지에 자라는 농작물이 받는 일사량 분포를 수치적으로 해석한 논문이다. 분석 결과 모듈 각도가 올라갈수록, 투과형 모듈일수록 하부 농지에 전달되는 일사량이 많아지며, 실제 사용되는 영농형 태양광 모듈 타입인 3 × 12 Type과 4 × 9 Type 간 일사량 차이는 근소한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(과제번호: 20173010013390).

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 수행한 결과입니다(과제번호 : 1545015977).

References

- [1] Lee, J.S., 2019, "Barriers to renewable energy promotion in Korea: based on the Perceptions of institutions,

- interests, ideas”, *The Journal of Korean Policy Studies*, **19**(2), 67-87.
- [2] Yoon, J.H., 2018, “Various Forms and Applications of Photovoltaic Generation”, *Journal of Electrical World*, 2018.02(494), 21-28.
- [3] Lim, C.H., Gim, G.H., Lee, S.H., Nam, J.W., Jang, Y.S., and Lee, S.R., 2018, “Analysis of global and domestic agro-photovoltaic system propulsion trend and value chain”, *The Magazine of Korean Solar Energy Society*, **16**(2), 31-38.
- [4] Son, J.K., Song, K.O., Jeon, H.I., Cho, S.Y., Yeo, J.S., Lee, D.K., Kim, C.G., and Park, S.H., 2017, “Simulation and analysis of solar radiation by module arrangement type for fanning solar generation system”, *The Korean Society of Mechanical Engineers, Proceedings of the KSME 2017 Annual Meeting*, 1492-1496.
- [5] Hong, S.K., and Choi, A.S., 2010, “A study on the analysis of solar radiation on the building facade”, *Proceedings of the KIIEE Autumn Annual Conference 2010*, 105-108.
- [6] 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*, **15**(4), 85-90.
- [7] Poup, J., 2005, “How to create Meteonorm weather files for energyplus.”, *The Building Energy Simulation User News*, **26**(1).
- [8] Passive House Institute Korea., 2016, “Configure data within the epw file”, http://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z4_02&wr_id=2139