

설치환경 및 조건에 따른 양면수광형 태양광발전시스템의 기초 특성 연구

장주희* · 권오현* · 이상혁* · 신민수** · 이경수****

*한국산업기술대학교 에너지·전기공학과, 석사과정

**한국산업기술대학교 에너지·전기공학과, 학사과정

***한국산업기술대학교 에너지·전기공학과, 조교수

A Preliminary Research of the Bifacial PV System Under Installation Conditions

Jang Ju-Hee* · Kwon Oh-Hyun* · Lee Sang-Hyuk* · Shin Min-Su** · Lee Kyung-Soo****

*Department of Energy and Electrical Eng., Korea Polytechnic University, Master Course

**Department of Energy and Electrical Eng., Korea Polytechnic University, Undergraduate Course

***Department of Energy and Electrical Eng., Korea Polytechnic University, Assistant Professor

†Corresponding author: kyungsoolee@kpu.ac.kr

Abstract

Nowadays the bifacial PV system market and its applications are increasing rapidly. The performance of the bifacial PV system take advantage of its rear surface irradiance. Also, the ground albedo, PV module tilt and azimuth, PV module installation height, shading effect and module temperature are factors of bifacial PV system performance. This paper investigates how the performance of bifacial PV system is influenced by above factors. First, we analyzed the energy yield depending on PV module installation by simulation. Secondly, we compare energy performance evaluation of monofacial and bifacial module on different weather condition by experiment. Thirdly, we tested the albedo effect and checked operating characteristics using Dupont Tyvek material for the bifacial PV module. Fourthly, we check the shading effect of bifacial PV module on bypass diode operating. Finally, we applied the bifacial PV module in the nearby subway station for the noise reduction barrier using a qualified simulation program. In summary, we confirm that the energy performance superiority of the bifacial PV module has a lot of application use including road. Also, we have confirmed the bifacial module and inverter design should be considered by rear surface irradiance.

Keywords: 양면수광형모듈(Bifacial module), 지면반사율(Albedo), 경사각(Tilt), 방위각(Azimuth), 높이(Height), 그림자 영향(Shading effect)

기호설명

I_{rear} : 후면 경사면 일조강도 (W/m^2)

DHI: 수평면 산란 일조강도 (W/m^2)

GHI: 전수평면 일조강도 (W/m^2)

F_V : View Factor

OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.38, No.6, pp.51-63, December 2018
<https://doi.org/10.7836/kSES.2018.38.6.051>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 02 December 2018

Revised: 21 December 2018

Accepted: 24 December 2018

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.

$P_{f,STC}$: STC 조건에서의 전면 출력(W)

$P_{r,STC}$: STC 조건에서의 후면 출력(W)

P_f : 전면 출력(W)

P_r : 후면 출력(W)

Y_{mono} : 단면수광형 모듈의 단위 생산량(kWh/kWp)

$Y_{bifacial}$: 양면수광형 모듈의 단위 생산량(kWh/kWp)

그리스 문자

ρ : 알베도

β : 모듈 경사각 (°)

η_f : STC 조건에서의 전면 모듈 효율(%)

η_r : STC 조건에서의 후면 모듈 효율(%)

1. 서론

양면수광형 모듈 발전성능은 후면 발전특성에 따라 달라지며 지면반사율, 높이, 경사각, 모듈사이의 거리, 방위각등의 환경적 요소에 영향을 많이 받는다¹⁾. 이에 양면수광형 모듈의 발전성능을 개선시킬 수 있는 연구가 이루어져 왔다. 선행연구로는 양면수광형 모듈의 설치 형태에 따른 후면에 입사되는 일조량 분석과 그에 따른 발전량 예측 및 분석이 진행되어 왔으며^{2,3)}, 양면수광형 모듈의 바닥면 반사조건 변화에 따른 발전성능 평가가 진행되었다^{4,5)}. 하지만 현재까지 경사각 및 방위각 그리고 높이에 따른 발전량의 추이 및 변화비율에 대한 데이터와 양면수광형 모듈에서의 손실로 작용할 수 있는 그림자영향 및 온도에 대한 연구는 부족하며 다양한 조건에 따른 실측데이터 수집에는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 양면수광형 모듈에 영향을 미칠 수 있는 환경적 요소에 따른 발전성능의 변화추이를 확인했다. 첫 번째로는 양면수광형 모듈의 설치 형태에 따른 등가 에너지 생산량을 시뮬레이션을 통해 분석했다. 두 번째로는 날씨에 따른 단면수광형 모듈과 양면수광형 모듈의 발전 성능 평가를 실증실험을 통해 진행했다. 세 번째로는 고밀도 폴리에틸렌 섬유로 뛰어난 빛 반사도를 가지고 있는 Tyvek을 반사매질로 사용해 양면수광형 모듈의 동작 특성을 확인하고 이를 통해 알베도에 따른 양면수광형 모듈의 발전량 비교를 진행했다. 네 번째로는 모듈의 그림자 효과를 바이패스 동작특성에 따라 비교했다. 더 나아가 양면수광형 태양광발전시스템을 전철역 주변 방음벽에 적용하여 방음벽 효과와 양면수광형 태양전지 모듈의 사용에 따른 발전량을 기대할 수 있는 사례연구를 진행했다.

1.1 이론적 배경

양면수광형 모듈의 특성은 Bifaciality factor와 Bifacial gain으로 나타낼 수 있다^{6,7)}. Bifaciality factor는 후면 일조강도에 따른 후면 에너지를 결정하는 요소로써 다음 식(1)과 같이 Standard Test Conditions(STC) 조건 (1000W/m², 25°C, AM 1.5)에서 전면과 후면의 효율의 비 또는 전면과 후면의 정격전력의 비율로 나타낸다. Bifacial gain은 양면수광형과 단면수광형 기술의 성능 간 비교를 위해 사용하며 다음 식(2)와 같이 동일한 설치 조건에서의 성능과 단위생산량 비교를 통해 나타낸다. 또한 정격이 동일한 양면수광형 모듈의 전면과 후면의 출력의 비로 나타낼 수 있다.

$$Bifaciality\ factor = \frac{\eta_r}{\eta_f} = \frac{P_{r,STC}}{P_{f,STC}} \quad (1)$$

$$Bifacial\ gain = \frac{Y_{bifacial} - Y_{mono}}{Y_{mono}} = \frac{P_r}{P_f} \quad (2)$$

위 두 요소에서 확인할 수 있듯이 양면수광형 모듈의 출력은 양면수광형 모듈의 전면조건뿐만 아니라 후면조건의 영향을 크게 받는다. 후면조건은 모듈 후면의 일조량에 따라 달라진다. 모듈 후면에 입사하는 일조량을 계산하는 방법으로는 Ray tracing 방식⁸⁾과 View Factor 방식⁹⁾이 있다. Ray tracing 방식은 3단계로 진행된다. 첫 번째로 모듈 설치 형태와 모듈에 의한 그림자의 영향을 받는 영역과 받지 않는 영역에 대한 구분을 진행한다. 그 후 빛이 입사되는 면에서 방출되는 빛을 나타내는 변수인 Configuration Factor(CF)를 이용해 지면이 받는 일조강도를 정의한다. 마지막으로 지면에 의한 반사광선과 대기에 의한 일조강도 그리고 뒷 열의 어레이 전면의 반사광선을 통해 모듈 후면의 일조강도를 정의한다. Ray tracing 방식은 참고문헌 8에서 자세하게 기술 되어있다. 본 논문에서 사용하는 시뮬레이션 프로그램인 PVsyst¹⁰⁾에서는 모듈의 후면에 입사하는 빛의 양을 “View Factor” 방식으로 계산한다. View Factor는 Fig. 1(a)와 같이 한 면에서 방출하는 빛이 다른 면에 작용하는 빛의 비율을 통해 나타낸다. 이 방식에서 지면의 반사는 대부분 산란광선에 의해 일어나고 그림자 영향은 직달성분에 의해서 일어난다고 가정한다. 이때, 변수로 작용되는 View Factor는 Fig. 1(b)와 같이 모듈 중심과 그림자 사

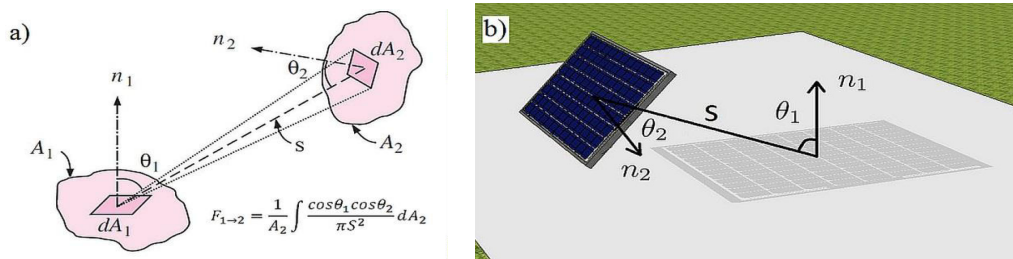


Fig. 1 (a) Definition of view factor and (b) its implementation for the ground reflected radiation⁹⁾

이의 관계를 나타내며 후면 일조량 계산에 적용된다. 모듈 후면의 일조량은 식(3)과 같이 산란분에 의한 영향과 그림자 영역을 제외한 직달분에 의한 계산으로 이루어진다.

$$I_{rear} = \rho DHI \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho(GHI - DHI) \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} - F_V \right) [W/m^2] \quad (3)$$

2. 실증실험 및 시뮬레이션 결과

Fig. 2는 본교 옥상에 설치된 단면수광형 모듈과 양면수광형 모듈 설치 사진이다. 실측 발전량 수집 위치는 본교 옥상으로 위도 37.34°, 경도 126.74°이며, 설치각도는 경사각 37°, 방위각 남서 37°이다. 양면수광형 모듈의 셀 타입은 N-Passivated Emitter and Rear Totally diffused(N-PERT)타입이며 단면수광형 모듈은 Interdigitated back contact(IBC)타입이다. 각 모듈은 Fig. 2와 같이 8개의 모듈을 직렬 연결하여 1개의 스트링을 구성하였고, 옵티마이저를 각 모듈 당 병렬로 연결하였다. 두 시스템에 사용된 모듈과 전력변환장치의 정보는 Tables 1과 2와 같이 나타낸다.

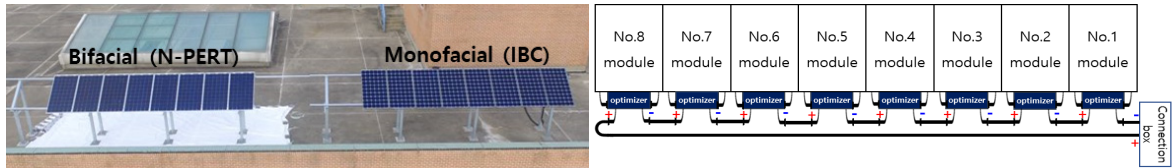


Fig. 2 Test bed of monofacial and bifacial PV system (Left: Installation condition, Right : Each type of PV system configuration)

Table 1 Specifications of PV modules

Monofacial (IBC type)	Rated Power(W)	346	Bifacial (N-PERT type)	Rated Power(W)	285
	Voltage at Pmax(V)	42.6		Voltage at Pmax(V)	32
	Current at Pmax(A)	9.64		Current at Pmax(A)	8.91
	Open-circuit voltage(V)	42.6		Open-circuit voltage(V)	39
	Short-circuit current(A)	10.76		Short-circuit current(A)	9.3

Table 2 Specifications of power conversion equipments

Optimizer for Monofacial PV module	MPPT Operating Range(V)	12.5~83	Optimizer for Bifacial PV module	MPPT Operating Range(V)	8~60
	Rated Input DC Power(W)	505		Rated Input DC Power(W)	370
	Weighted Efficiency(%)	98.8		Weighted Efficiency(%)	98.8
Each type of Inverter	Operating Voltage Range(V)	270~480			
	Nominal AC Power(kW)	3			
	Weighted Efficiency(%)	98.8			

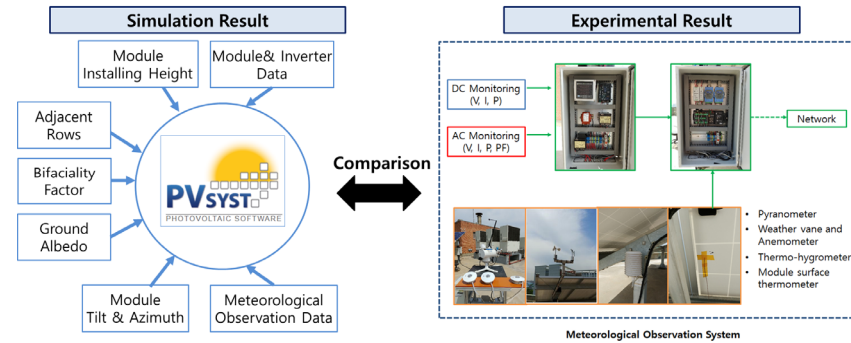
2.1 시뮬레이션

(1) 양면수광형 모듈의 시뮬레이션 타당성 검증

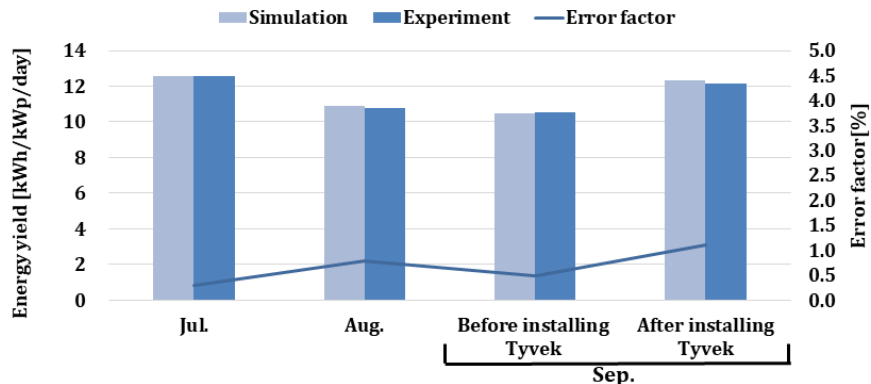
양면수광형 모듈의 시뮬레이션 진행에 앞서 시뮬레이션 타당성 검증을 진행했다. 양면수광형 모듈의 시뮬레이션 타당성 검증은 Fig 3(a)와 같이 실측데이터와의 비교를 통해 진행했으며 비교기간은 2018년 7월 1일부터 10월 15일로 선정했다. 시뮬레이션에 적용된 기상 데이터는 본교에서 측정한 일조량, 대기온도, 풍속 데이터를 적용하였으며, 실증에 사용한 모듈과 인버터 정보를 적용했다. 지면 반사율은 반사광선을 통해 계산된 값을 조건에 맞게 적용했다.

양면수광형 모듈의 시뮬레이션과 실측데이터의 비교결과는 Fig. 3(b)와 같다. Tyvek 설치 전 2018년 7월 1일부터 9월 17일의 시뮬레이션의 지면반사율은 시멘트 반사율인 23%로 선정했다. 8월의 오차율이 0.78%로 가장 높게 나타났고, 7월의 오차율이 0.3%로 가장 낮게 나타났으며 월평균 오차율은 0.52%였다.

더불어, 9월 29일부터 10월 15일까지는 지면의 반사매질로 Tyvek을 사용하였으며, 지면 반사율 값은 55%로 선정하였다. 이 때 실측값은 5.4 kWh/kWp/day이고, 시뮬레이션 값은 5.3kWh/kWp/day로 나타났다. 해당기간의 오차율의 평균은 1.1%로 나타났다. 시뮬레이션 결과와 실측데이터의 연간 발전량에 대한 오차율은 5% 미만으로 나타났고, 위 결과를 바탕으로 시뮬레이션 모델이 양면수광형 모듈 특성을 잘 반영하는 것으로 판단하였다.



(a) Data comparison both simulation result and experimental result



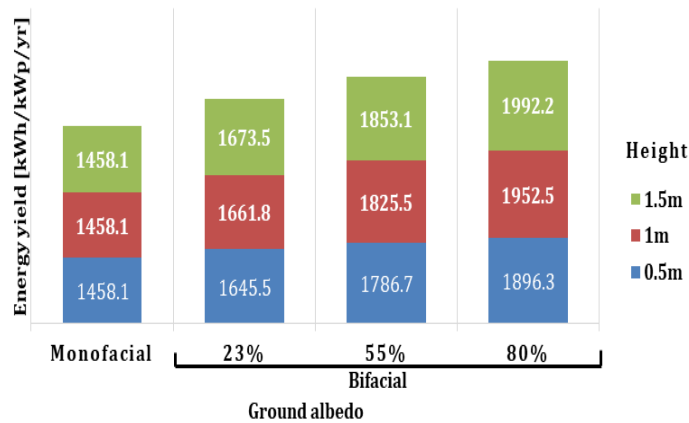
(b) Energy yield comparison and ground albedo effect

Fig. 3 Bifacial PV module comparison between simulation data and measured data

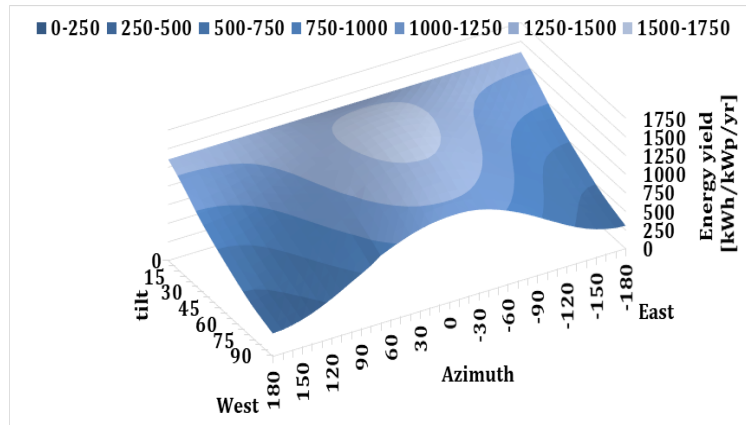
(2) 설치조건에 따른 양면수광형 모듈의 발전성능 분석

지면반사율은 23%, 55%, 80%¹, 높이는 0.5 m부터 0.5 m 간격으로 1.5 m까지 총 3가지 조건으로 분석을 진행했다. 시뮬레이션에 사용한 모듈과 인버터는 실증실험과 같은 모델을 사용했다. 경사각은 0°부터 90°까지 5° 간격으로 총 19개, 방위각은 0°(정남)를 기준으로 10°간격으로 총 36개의 조건을 통해 분석을 진행했다. 본교에서 측정된 기상환경데이터를 사용했으며, 총 발전량을 1 kWp 단위로 환산하여 진행했다.

후면에 전달되는 빛은 지면 반사율과 설치 구조에 따라 변화하게 된다. Fig. 4는 설치구조에 따른 발전량을 나타낸 그래프이다. Fig 4(a)는 지면반사율 및 높이에 따른 발전량을 나타낸다. 지면 반사율과 높이에 따른 발전량 비교는 같은 정격의 단면수광형 모듈과의 연간 발전량 비교를 통해 진행했다. 후면 부 경사면 일조량은 지면반사율에 비례한다. 따라서 단면수광형 모듈 대비 같은 정격의 양면수광형 모듈을 설치했을 때 연간 평균 13.9% 더 높은 발전량이 나타났으며, 지면반사율이 55%, 80%일 때 기준 대비 평균 24.9%, 33.5% 값이 증가한 것을 확인하였다.



(a) Ground albedo & Installation height



(b) Tilt & Azimuth

Fig. 4 Energy yield simulation results followed by the installation conditions

1 지면의 반사매질을 눈으로 선정했을 때의 지면반사율

후면에 전달되는 빛은 산란분과 그림자를 제외한 직달성분으로 계산된다. 높이에 따라 지면에 발생하는 그림자영향이 달라지며 높이가 높아질수록 모듈 아래의 그림자영향은 작아진다. 따라서 높이가 높아질수록 그림자영역에 따른 View Factor 값은 작아지게 되고 모듈 후면에 전달되는 빛의 양은 커진다. 시뮬레이션 결과에서도 양면수광형 모듈의 높이가 지면으로부터 높아질수록 발전량이 증가하는 모습이 나타났다.

Fig. 4(b)는 경사각과 방위각에 따른 양면수광형 모듈의 발전량을 나타낸다. 경사각은 0°~90°까지 5°간격으로 변경했으며 방위각은 정남(0°)기준 동, 서 방향으로 10°씩 변경했다. 또한 시뮬레이션 진행 시 지면 반사율은 23%로 선정하였다. 양면수광형 모듈의 후면에 입사되는 경사면 일조량은 경사각 및 방위각 변화에 따라 다른 특징을 보인다. 가장 높은 발전량을 보인 설치각도는 방위각 0°(정남), 경사각 40°로 1619 kWh/kWp/yr의 발전량이 나타났다. 방위각 -40°(남동)에서 40°(남서), 경사각 20°에서 40° 범위에서 양면수광형 모듈은 높은 발전성능을 보였다.

2.2 실증실험

(1) 직달광선과 산란광선 비에 따른 발전량 차이

Fig. 5(a)는 직달광선 및 산란광선 비를 나타낸 그래프이다. Fig. 5(b)는 구름이 없는 맑은 날과 구름이 많은 흐린 날을 각각 2일씩 선정하여 정격이 다른 단면수광형 모듈(346W)과 양면수광형 모듈(285W)의 일별 발전량을 비교하였다. 맑은 날은 직달광선 비율이 산란광선 비율보다 약 10 : 1 정도로 높았으며, 단면수광형 모듈이 양면수광형 모듈보다 일별 발전량이 높았다. 반면, 흐린 날은 직달광선 대비 산란광선 비율이 약 1.5 : 1로 나타났으며 단면수광형 모듈과 양면수광형 모듈의 일별 발전량이 유사하게 산출되었다. 이를 통해, 양면수광형 모듈의 발전량은 산란광선의 영향을 크게 받음을 알 수 있었다.

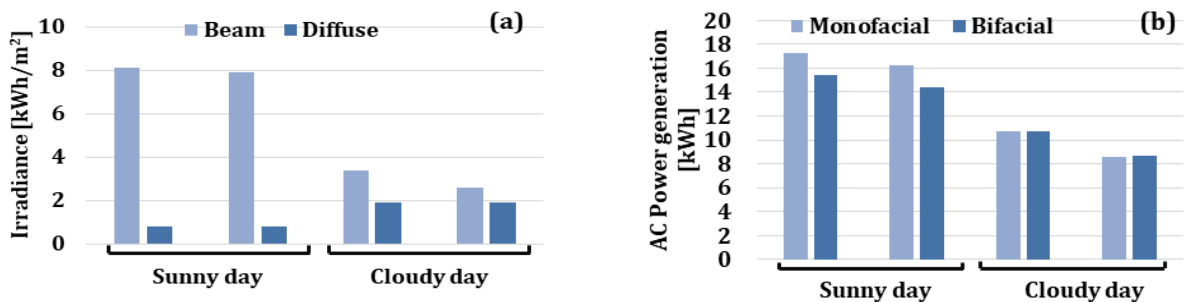


Fig. 5 Comparison amount of irradiance between monofacial and bifacial energy yield characteristics

(2) 모듈 미스매치

Fig. 6은 모듈의 종류와 일조강도에 따른 미스매치를 산출하기 위해 STC조건에서 모듈 초기 플래시 테스트 결과와 맑은 날과 흐린 날의 동일 시간에 각각의 모듈별 순시전력을 비교하였다. Fig. 6(a)와 같이 단면수광형

모듈의 초기 플래시 테스트 평균치는 350 W(정격 346 W), Root Mean Square Error (RMSE)는 0.4 W가 산출되었다. 양면수광형 모듈의 초기 플래시 테스트 평균치는 288 W(정격 285 W), RMSE는 1.0 W로 측정되었다. Fig. 6(b)와 같이 맑은 날(전면 일조강도 : 795.1[W/m²], 후면 일조강도 368.4[W/m²])은 단면수광형 모듈의 미스매치는 RMSE 2.5 W, 편차율 0.8%로 산출되었다. 양면수광형 모듈은 RMSE 4.7 W, 편차율 1.7%로 측정되었다. 흐린 날(전면 일조강도 : 238.7[W/m²], 후면 일조강도: 112[W/m²])에 있어서는 Fig. 6(c)와 같이 단면수광형 모듈은 RMSE 3.5 W, 양면수광형모듈은 RMSE 3.3 W로 산출되었으며 편차율은 각각 1.8%로 동일하게 나타났다. 이를 통해, 단면수광형 모듈과 양면수광형 모듈 모두 흐린 날에 있어서 모듈 간 미스매치가 증가함(편차율이 가장 큼)을 확인하였다.

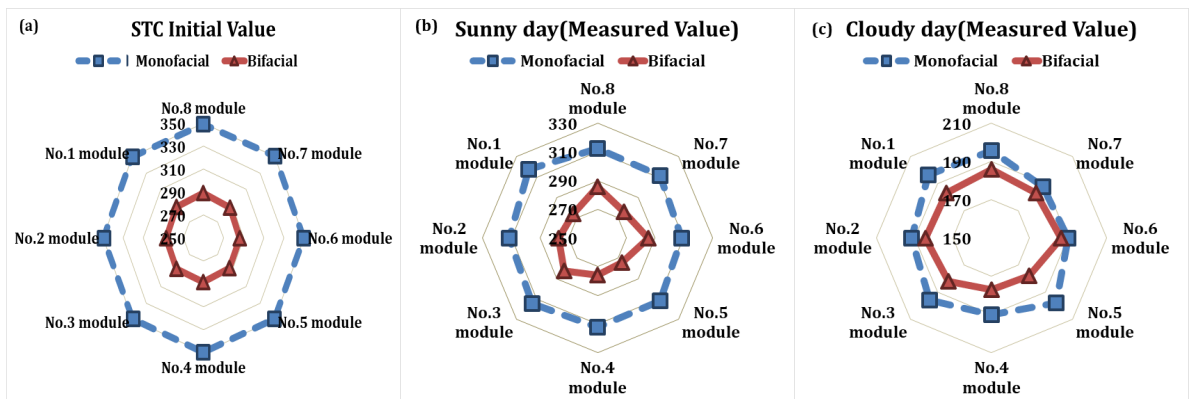


Fig. 6 PV module mismatch under the weather conditions

(3) Tyvek에 의한 모듈의 영향

Fig. 7(a)는 Tyvek 설치 이전(~9월 17일)과 Tyvek 설치 이후(9월 29일~)의 정격이 다른 단면수광형 모듈과 양면수광형 모듈의 일일 등가발전량을 나타냈다. Tyvek 설치 이후 단면수광형 모듈과의 일일 등가 발전량의 차이가 커졌다. 반사광선 측정을 통한 측정 알베도는 시멘트가 23%, Tyvek이 55%이며, 반사매질에 따른 양면수광형 모듈의 일일 등가발전량이 증가를 확인하였다.

Fig. 7(b)는 Tyvek 설치 후 모듈 표면 온도의 변화를 나타내며 동일한 경사각과 방위각을 갖는 단면수광형 모듈을 대상으로 Tyvek 설치 전·후의 모듈표면온도의 변화를 비교했다. 다음 그래프와 같이 Tyvek을 지면 반사매질로 설치하였을 시 지면의 열 흡수 차단으로 동일한 환경조건에서 모듈표면온도가 평균 6.8°C 낮아졌다. 이를 통해, Tyvek이 양면수광형 모듈에서도 모듈표면온도를 낮출 것으로 판단된다.

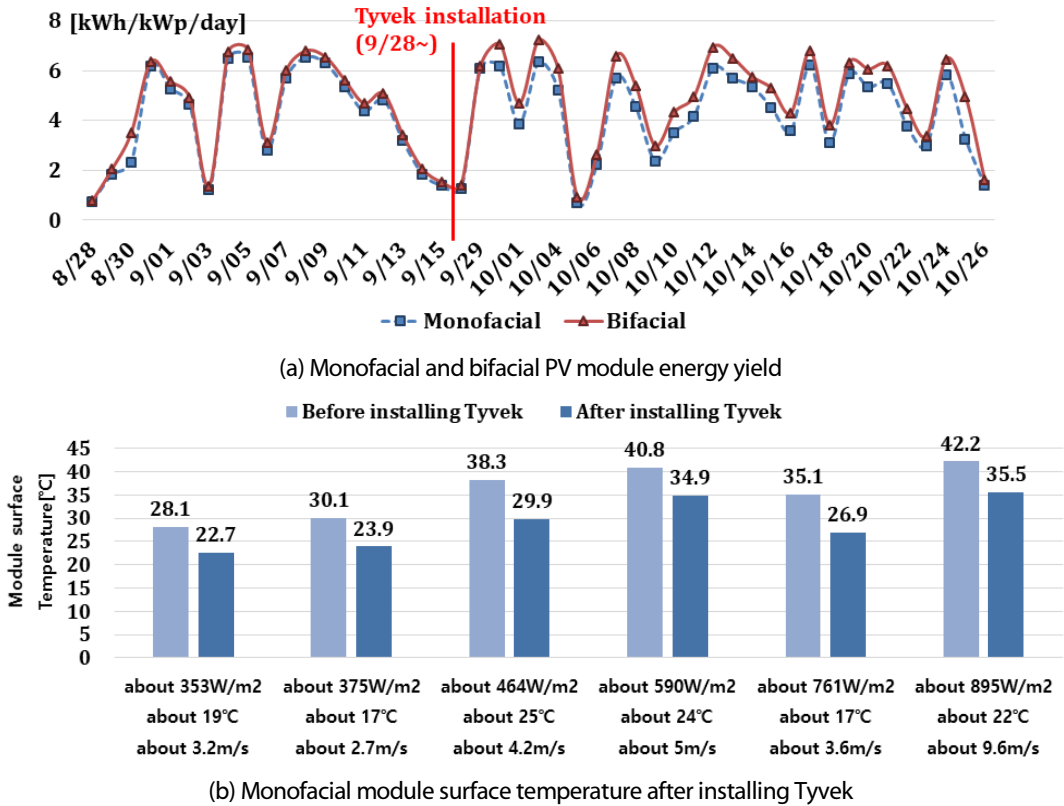


Fig. 7 Characteristic of PV module energy yield using Tyvek material

Fig. 8은 옵티마이저 동작 영역과 STC 조건의 I-V 곡선을 나타내며 양면수광형 모듈이 정격용량을 초과하여 발전한 날의 모듈별 동작 전압과 전류를 나타낸다. 다음 그래프에서 확인할 수 있듯이 동작 전압은 STC 조건에서 정격전압 범위 내에 존재했지만, 기존 전면에서의 모듈 발전 전력과 더불어 후면에서의 추가적인 발전 전력이 더해져 동작전류는 약 10% 정도 정격전류를 초과하는 경향을 보였다. 이를 통해, 양면수광형 모듈을 사용해 PV 시스템을 구축할 시에는 모듈과 인버터 설계를 적절히 고려하여야 함을 확인하였다.

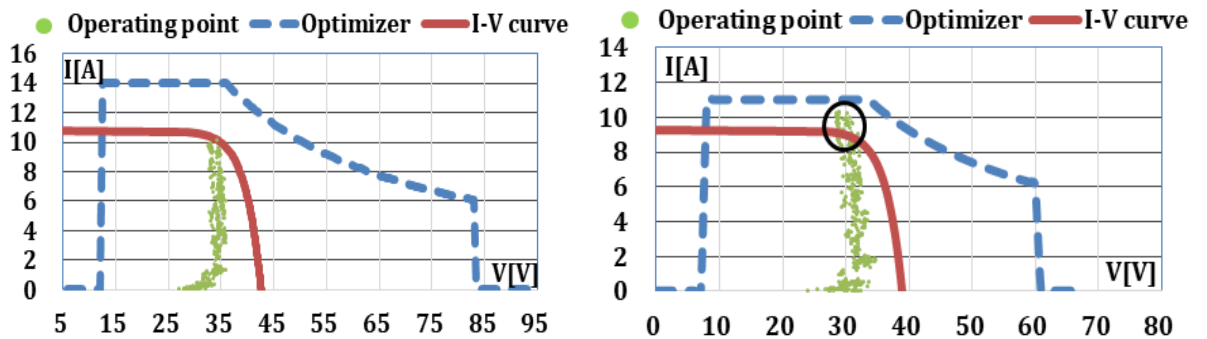


Fig. 8 Operating voltage and current of PV module when the bifacial module exceeded the STC rated power (Left : Monofacial, Right : Bifacial)

(4) 양면수광형 모듈의 그림자 영향

Table 3은 부분음영 실험조건과 전면과 후면의 그림자 영향에 대한 I-V 곡선이다. 하나의 양면수광형 모듈에 미치는 그림자 영역의 크기가 같다고 가정하고 음영에 따른 바이패스 다이오드의 동작 개수를 다르게 설정하였다. 일조량 계를 통해 전면과 후면의 일조량 측정을 진행했고, 적외선 카메라를 이용해 모듈표면온도를 측정하였다. 구름의 영향이 적은 맑은 날에 양면수광형 모듈의 전·후면 특성을 확인한 결과, 개방전압에 비해 단락전류의 차이가 크게 나타났으며, 단락전류는 전면이 후면보다 약 10배 가까이 높았다. Case 1, Case 2, Case 3의 동작하는 바이패스 다이오드의 개수에 따라 각각 개방전압의 1/3, 2/3, 1에 해당하는 전압강하가 발생했다. Case 4와 Case 5의 경우는 셀의 절반에 해당하는 그림자 영향에 단락전류의 50%에 해당하는 전류가 흐르는 것을 I-V 곡선에서 확인했다.

Table 3 I-V curve experimental test results depending on partial shading conditions

(No shading: 0, Half shading: 5, Full shading: 10), (Upper three rows: front surface, Bottom three rows: rear surface)

Graph	No Shading					Case 1				
	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp
	34.56	8.556	27.06	7.932	214.6	31.82	8.575	17.04	8.055	137.3
	36.06	5.683	29.18	5.397	157.5	34.18	5.962	19.1	5.619	107.3
Graph	Case 2					Case 3				
	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp
	31.14	8.345	7.81	7.661	59.8	32.4	0.018	14.87	0.009	0.1
	33.34	5.936	8.89	5.414	48.1	34.09	0	17.08	0.006	0.1
Graph	Case 4					Case 5				
	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp
	31.71	3.929	19.62	3.831	75.2	32.55	8.179	20.31	3.555	72.2
	33.51	2.724	21.22	2.663	56.5	34.43	5.75	21.86	2.632	57.5

Table 3 I-V curve experimental test results depending on partial shading conditions (Continued)

Graph										
	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp
	A 32.85	0.773	30.44	0.727	22.13	30.7	0.838	20.15	0.781	15.7
B 33.04	0.381	30.77	0.353	10.9	31.22	0.433	20.02	0.404	8.1	
Graph										
	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp
	A 30.16	0.786	9.64	0.748	7.2	31.19	0	10.24	0.002	0
B 30.88	0.426	9.54	0.398	3.8	31.73	0	10.83	0.002	0	
Graph										
	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp	Voc	Isc	Vmp	Imp	Pmp
	A 30.4	0.511	20.54	0.413	8.48	31.13	0.823	20.71	0.433	9
B 30.3	0.285	20.62	0.193	4	31.12	0.397	20.02	0.197	3.9	

2.3 양면수광형 모듈의 적용 사례 분석

실제 건축물에 동일한 정격의 양면수광형 모듈과 단면수광형 모듈을 설치하는 경우를 가정하여 시뮬레이션을 진행했다. 양면수광형 모듈은 Table 1에서 나타난 실측실험에서 사용한 모듈과 동일한 모델로 가정하였다. 양면수광형 모듈과 단면수광형 모듈을 각각 전철역 선로 양옆에 설치하여 철도역 주변 소음을 줄일 수 있는 효과까지 고려하여 경사각 90°, 방위각 37°(남서)로 20직렬 24병렬로 구성하였고 시스템 용량을 182 kWp로 구성하였다. Fig. 9는 철로 양면에 적용된 양면수광형 모듈의 설치 구조이며, Fig. 9의 우측 남색 부분에 모듈을 설치했다고 가정했을 시 단위용량 당 연간 발전량은 양면수광형 모듈의 경우 1378 kWh/kWp/yr이 출력되었고, 단면수광형 모듈은 871 kWh/kWp/yr가 산출되었다. 위와 같은 시뮬레이션 결과의 원인은 모듈의 설치 형태(경사각, 방위각, 어레이 간 설치 간격)에 따른 양면수광형과 단면수광형 모듈의 발전량 차이로 생각된다. 모듈은 Fig. 9와 같이 18 m의 간격을 두고 설치되어 있다고 가정하였다. 이에 따라 양면수광형 모듈 후면에 입사되는 산란광선은 뒷 열의 어레이에 의한 차단이 적어지며 지면에서 반사되어 입사되는 빛이 더 많아진다. 또한 모듈의 설치 방위각은 남서향이므로 모듈 후면에 입사되는 직사광선이 정남향으로 설치했을 경우보다 증가하게

된다. 이를 통해, 양면수광형 모듈은 단면수광형 모듈 대비 약 60% 더 높은 발전출력 향상을 기대할 수 있었고, 소음 방지도 도움이 되므로 이러한 도심 내 혹은 주변 철로, 도로 등에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

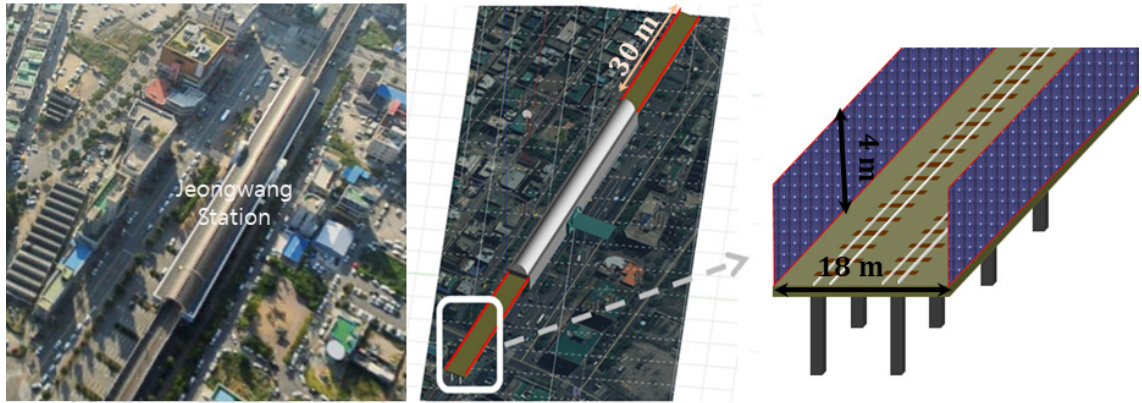


Fig. 9 Case study of the Bifacial PV system applied to the railway barrier

3. 결론

본 논문에서는 최근 시장이 확대되고 있는 양면수광형 모듈의 설치 형태별 성능 평가 및 응용 타당성 연구를 수행하였으며, 본 연구를 통해 양면수광형 모듈의 성능향상 방법 및 설치 응용 장소에 기초연구 자료로 널리 활용되길 희망한다. 본 연구 논문의 주요 내용은 다음과 같다.

- (1) 모듈의 설치 높이가 증가할수록 양면수광형 모듈의 발전량이 증가하는 추세를 보였으며, 지면반사율이 23%, 55%, 80%로 증가할 때 마다 발전량이 13.9%, 24.9%, 33.53% 증가하는 경향도 확인하였다. 방위 각 -40° 에서 40° , 경사각 20° 에서 40° 사이 범위에서 높은 발전성능이 산출되는 것을 확인하였다.
- (2) 양면수광형 모듈의 발전량은 산란광선의 영향에 크게 받음을 알 수 있었다.
- (3) 단면수광형 모듈과 양면수광형 모듈 모두 흐린 날의 모듈 간 미스매치가 증가(편차율이 가장 큼)함을 확인하였다.
- (4) 본 연구에서 사용한 반사매질인 Tyvek은 빛 반사율을 높이고 지면온도를 낮추는 역할을 하였으며 이를 통해, 양면수광형 모듈을 설치 시 반사매질을 고려하여 발전성능을 높이는 방법에 대해 확인하였다.
- (5) 양면수광형 모듈을 사용해 PV 시스템을 구축할 시에는 모듈의 출력과 인버터 입력용량 설계를 적절히 고려하여야 함을 확인하였다.
- (6) 양면수광형 모듈의 후면은 전면 대비 0.1배의 전류가 흐르는 것으로 나타났고, 동작하는 바이패스 다이오드의 개수가 1개/2개/3개 증가할수록 개방전압의 33%, 67%, 100%에 해당하는 전압강하가 발생함을 확인했다.

- (7) 양면수광형 모듈을 전철역 주변 선로 소음벽 용도로 설치한 경우에 단면수광형 모듈 대비 연간 등가 발전량이 약 60% 높은 출력을 기대할 수 있었으며 향후에는 도심 지역의 철로 및 도로 등에 소음방지벽대용으로 응용할 수 있을 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 2018년도 산업통상자원부의 재원으로 신재생에너지 표준화 및 인증지원사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호 : 2018G00341).

REFERENCES

1. Hansen, C., Riley, D., Deline, C., Toor, F., and Stein, J., A Detailed Performance Model for Bifacial PV Modules, Sandia National Lab., 2017.
2. Hansen, C. W., Deline, C., Alpine, S. M., Marion, B., Asgharzadeh, A., Toor, F., and Stein, J. S., Analysis of Irradiance Models for Bifacial PV Module, IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference, 2016.
3. Chiodetti, M., Kang, J., Reise, C., and Lindsay, A., Predicting Yields of Bifacial PV Power Plants-What Accuracy is Possible, 35th European PV Solar Energy Conference and Exhibition, 2018.
4. Cha, H. L., Bhang, B. G., Park, s. Y., Choi, J. H., and Ahn, H. K., Power Prediction of bifacial Si PV Module with Different Reflection Conditions on Rooftop, Applied Sciences, Vol. 8, Issue 10, 1752, 2018.
5. Park, D. H., Kim, M. S., So, W. S., Oh, S. Y., Park, H. W., Jang, S. H., Park, S. H., and Kim, W. K., Evaluation of Bifacial Si Solar module with Different Albedo Conditions, Current Photovoltaic Research, Vol. 6, No. 2, pp. 62-67, 2018.
6. Reise, C., Baarah, G., Schnabel, E., Kräling, U., Müller, B., From Bifaciality to Yield: Different Bifacial Cell Technologies May Differ Even More in Annual Outdoor Performance, 35th European PV Solar Energy Conference and Exhibition, 2018.
7. Libal, J., Kopecek, R., Bifacial Photovoltaics, Institution of Engineering and Teechnology, London, United Kingdom, 2018 .
8. Marion, B., Macapine, S., and Chris, D., A Practical Irradiance model for Bifacial PV Modules, IEEE 44th Photovoltaic Specialists Conference, 2017.
9. Yusufoglu, U. A., Lee, T. H., Pletzer, T. M., Halm, A., Koduvelikulathu, L. J., Comparotto, C., Kopecek, R., and Kurz, H., Simulation of Energy Production by Bifacial Modules with Revision of Ground reflection, Energy Procedia, Vol. 55, pp 389-395, 2014.
10. Mermoud, A., Wittemer, B., Yield Simulations for Horizontal Axis Trackers with Bifacial PV Modules in PVsyst, 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2018.