



루버일체형 양면형 태양광 모듈의 건축적 활용을 위한 발전성능 평가 -구름이 적은 맑은 날을 중심으로

Evaluation of Power Generation Performance for Architectural Applications of Louver-integrated Bifacial Solar Modules - Focus on clear day's data

조경주* · 조동우**

Kyungjoo Cho* · Dongwoo Cho**

* Main author, Research Specialist, Department of Living and Built Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology & Department of Architecture and Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea(kyungjoocho@kict.re.kr)

** Corresponding author, Senior Research Fellow, Department of Living and Built Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea(dwcho@kict.re.kr)

ABSTRACT

Purpose: To improve energy self-sufficiency of buildings, basic research about performance of louver-integrated bifacial photovoltaic(LIPV) modules was carried out. **Method:** With a chamber where real living environment is constructed, the ability of LIPV performance improvement has been analysed through field experiments as follows. First, initial power generations of LIPV modules were checked according to different conditions. Second, power generations of a combination of LIPV and window-integrated photovoltaic(WIPV) were measured to analyse the applicability of LIPV with WIPV(LWIPV) in reality. **Result:** Results of the experiments are as follows. First, in a sunny day in April, rear cells of the LIPV produced about 83.4% less electricity than the front cells of the LIPV. Second, the LIPV didn't show considerable power generation with only scattered solar radiation. Third, a LWIPV power generation influenced by LIPV shadow in a day was 9.27% lower than the LWIPV power generation without the LIPV shadow effect. This shows that even considering the influence of the LIPV shadow, installing LWIPV helps to improve the energy self-sufficiency of buildings than installing WIPV alone. This results are meaningful in that it clarifies the part that LIPV as a BIPV can contribute and provided a basis for application by combining it with various design elements in the field.

KEYWORD

양면형 태양광 모듈
BIPV
현장실험Bifacial Solar Module
BIPV
Field Experiment

ACCEPTANCE INFO

Received Aug. 13, 2020
Final revision received Sep. 22, 2020
Accepted Sep. 25, 2020

© 2020. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

태양전지는 태양의 빛 에너지를 이용하여 전기를 생산하는 것으로 건축물의 에너지 자립을 위해 가장 보편적으로 적용되는 신재생 에너지 시스템이라고 할 수 있다[1]. 태양전지는 전력을 생산하는 원리, 재료, 형태에 따라 그 종류가 다양하다[2]. 그 중 현장에 많이 적용되는 재료는 실리콘계로 단결정 태양광 모듈의 셀 단위 최고효율은 현재 26.1%로 조사되어 이론적 최대 효율에 근접했다고 볼 수 있으며 이 효율을 추가로 상승시키는 기술적인 어려움이 존재한다[3].

우리나라에서 2030년부터 신축되는 연면적 500m² 이상의 건축물은 '제로에너지건축물 인증'을 받아야하며 이 인증을 받기 위해서는 해당 건축물 1차에너지소요량의 최소 20% 이상을 자체적으로 생산할 수 있어야한다[4]. 태양전지를 적용해 이 자립률을 상승시키기 위해서는 건축물이라는 제한된 장소에 설치되는 만큼 그 발전성능을 향상시킬 필요가 있다. 이와 관련된 태양광 모듈 관련 연구는

다각도로 진행되고 있는데 그 중 하나의 아이템이 양면형 태양광 모듈이다. 이 양면형 태양광 모듈은 기존에 단면에만 적용된 전극을 양면에 적용하여 후면에서도 전력이 생산될 수 있도록 한 것이며 기존 연구 결과에 따르면, 조건에 따라 단면형에 비해 약 10%~30% 정도 상승된 전력을 생산할 수 있다[5,6]. 태양광 기술 국제로드맵에 따르면 이 양면형 PV 모듈 시장은 향후 지속적으로 증가할 것으로 예측되며 2028년에는 양면수광형 셀의 시장 점유율이 40%에 다다를 것으로 분석하였다[7]. 이 양면형 태양광 모듈은 양면에서 발전이 가능한 장점 외에도 하나의 프레임으로 양면 발전이 가능한 경제적 이점이 있다. 옥상 등에 최적 각도로 설치된 양면형 태양광 모듈에 바닥 반사재를 설치했을 때 30%의 추가 발전이 가능했다는 기존 실험 연구도 존재한다[6].

이 양면형 모듈의 가격은 단면형에 비해 단지 20% 정도 높을 뿐 아니라 프레임 하나로 두면에서 전력생산이 가능하므로 프레임도 반값이 되는 경제적 이점이 있다. 특히 루버의 형태로 동서에 면해 설치될 경우 남향에 수직으로 설치된 단면형 PV보다 더 높은 전력을 생산할 수도 있다[8].

지붕에 최적 각도로 PV를 설치하거나 벽체에 태양광 모듈을 마감재처럼 붙여서 설치하는 것만으로는 목표 자립률 달성에 한계가 있다[9,10]. 이에 양면형 태양광 모듈을 이용하여 전력생산을 극대화

하려는 다양한 연구가 진행되었다.

우선, 양면형 태양광 모듈을 가동형으로 가정하고 모듈의 경사각 제어, 태양추적제어 등을 시뮬레이션으로 계산하여 최적제어를 검토한 연구가 존재한다[12]. 이 연구에서는 초기에 동, 서측 배치한 후 남측의 일사량이 증가하는 시점부터 감소하는 시점까지 남, 북으로 회전시키고 서측의 일사량이 증가하기 시작하면 원래의 상태로 복원하는 제어가 가장 효과적임을 시뮬레이션을 통해 증명하였다. 창호에 BIPV를 적용한 후 시뮬레이션을 통해 발전성능을 분석한 연구는 다수 존재하였고[13-15], 현장 실험을 통해 모듈의 설치 높이 나 바닥의 반사율 등을 변경하여 발전량을 분석한 연구도 존재하였다[5,7,16]. 또한, 실제 BIPV를 커튼월에 적용하기 위해 단면형과 양면형 모듈 외피 시험체를 제작하여 옥외성능실험을 한 연구도 존재하였다[8,11]. 하지만, 양면형 태양광 모듈을 루버 형태로 건물에 설치하여 그 적용가능성을 검토한 연구는 그 필요성에도 불구하고 드문 것으로 분석되었다.

이에 루버일체형 양면형 태양광 모듈(이하 LIPV)을 챔버에 설치하여 실제 자연 태양일사 조건 하에서의 기초성능 및 건물의 에너지 자립률 향상을 위한 그 적용 가능성을 분석해 보았다.

2. 실험

2.1. 연구의 범위

LIPV는 동서향으로 설치되어야 하는 그 특성상 남향으로 설치되는 PV 모듈에 그림자를 드리워 전력생산을 저해하는 등의 문제가 발생할 수 있다. 하지만 만약 그 저해량이 크지 않다면, 그림자에 의한 저감량을 감수하고서 LIPV를 설치할 수도 있을 것이다.

또한, PV 모듈은 직달일사 뿐 아니라 산란일사에 의해서도 전력을 생산할 수 있는 것으로 알려져 있다. 하나의 정선박스로 연결되어 있는 양면형 PV의 특성상 오전 동향 PV의 전정일사로 인한 발전량과 서향 PV의 산란일사로 인한 발전량은 합산되어 전력량계에 표시된다. 산란일사에 의한 발전량이 클 경우 LIPV와 남향 PV의 조합 설계의 가능성도 커질 것이다.

위의 사항들을 고려하여 실험계획을 수립하고 챔버를 제작하여 현장 실험을 실시하였다. 단, 본 연구의 경우 기상청에서 제공하는 인근 지역(위도 37.88 경도 126.77) 10분위 전운량의 평균이 2 이하인 맑은 날을 대상으로 분석을 실시하였다.

2.2. 태양광 모듈

본 연구에서 사용된 PV 모듈은 단결정 실리콘 셀 60개를 직렬 연결한 양면형 모듈로서 투명한 반강화 유리커버를 적용한 제품이다. 이 모듈은 표준 태양광조건(1000W/m², 모듈 표면온도 25°C)에서 18.8%의 효율을 보이는 제품으로 정격출력 310W 급이다. 이는 현재 양면형 모듈 시험법의 부재로 전면 일사에 의해서 계산되어진 출력이라는 한계가 있다.

각 모듈의 전류-전압 특성곡선은 Fig. 1.과 같고 이 특성 곡선에서도 출된 최대출력, 최대전류, 최대전압, 개방전압, 단락전류, 개방전압 등이 Table 1.에 정리되어 있다. 인버터는 360W급 H사의 제품으

로 최대 95% 효율을 가진다.

본 실험에는 LIPV의 그림자로 인한 전력생산 저하 정도의 분석을 위해 전면 창호에 수직으로 부착된 창호일체형 태양광패널(이하 WIPV)도 설치된다. WIPV가 설치된 챔버에 LIPV를 설치하여 LIPV의 그림자로 인한 발전량 저하를 확인할 수 있게 하였다.

태양광 모듈의 사이즈는 LIPV와 WIPV가 동일하며 WIPV는 창호 프레임에 남향으로, LIPV는 루버 프레임에 동서향으로 설치된다.

2.3. 옥외 실증을 위한 챔버

본 PV 실험을 위하여 WIPV와 LIPV를 설치한 환경 챔버를 Fig. 2.와 같이 제작하였다.

주변 건물의 음영에 영향을 받지 않도록 남, 동, 서측으로 고층 건물이 없는 건물의 옥상을 설치 위치로 선정하였다. 챔버의 사이즈는 2,500mm×2,500mm×2,500mm이고 전면 창호의 사이즈는 2,000mm×1,750mm이다.

본 실증평가의 모니터링과 데이터 저장을 위한 소비전력측정기는 HPM-300A로 1V에서 1000V까지 측정이 가능하며 최대 500W 범위 내에서 주기적으로 전력량을 측정할 수 있는 시스템이다. 이를 USB 통신케이블과 RS232를 통해 노트북에 연결하고 1분 단위로 데이터를 수집하였으며 전력량의 측정오차는 ±0.1%rdg이다.

Table 1. Specification of Bifacial PV Modules for Experiments

	Bifacial PV module
Rated power (Pmax) (W)	310±3%
Rated current (Imax) (A)	9.23
Rated voltage (Vmax) (V)	33.59
Short circuit current (Isc) (A)	9.77±3%
Open circuit voltage (Voc) (V)	39.97±3%
Efficiency (%)	18.8
Module size (mm)	1650 x 990
Solar cell type	Single Crystal
Cell's number (EA)	60

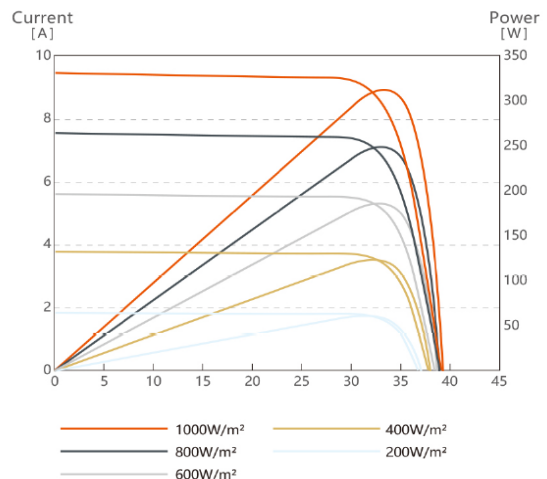


Fig. 1. I-P, P-V Curve (Provided by a Manufacturer)

Fig. 2.의 LIPV와 WIPV의 크기 및 사양은 Table 1.과 동일하다. WIPV는 모듈의 장변이 가로로, LIPV는 모듈의 장변이 세로로 설치되는 형태이다.

본 챔버는 주변 지형이나 건물의 영향을 받지 않도록 위도 37.67 경도 126.74에 위치한 건물 옥상에 정남향으로 설치되었다.

2.4. 실험방법

재료에너지 건축물의 자립률 향상을 위한 LIPV의 건축물 적용 가능성 분석 실험 조건은 아래와 같다.

1. LIPV 양면 초기 전력생산량 확인

Fig. 3(a).와 같이 LIPV 서측면과 동측면의 전청일사에 의한 전력생산량과 산란일사에 의한 전력생산량을 분석한다.

2. LWIPV(LIPV+WIPV) 발전량 확인

Fig. 3(b).와 같이 LWIPV의 전력생산량을 측정한다.

3. LIPV가 설치되지 않은 WIPV의 발전량 확인

Fig. 3(c).와 같이 LIPV가 설치되지 않은 WIPV의 전력생산량을 측정하고 LWIPV의 전력생산량과 비교한다.

3. 현장실험

3.1. LIPV 전후면 발전량 확인

LIPV는 정남향의 PV 모듈이 수집하기 어려운 오전 및 오후의 일사를 최적화된 각도로 수집할 수 있어 남향의 WIPV와 적절히 조합된다면 오전부터 오후까지 고르게 전력을 생산할 수 있는 시스템이 될 수 있다.

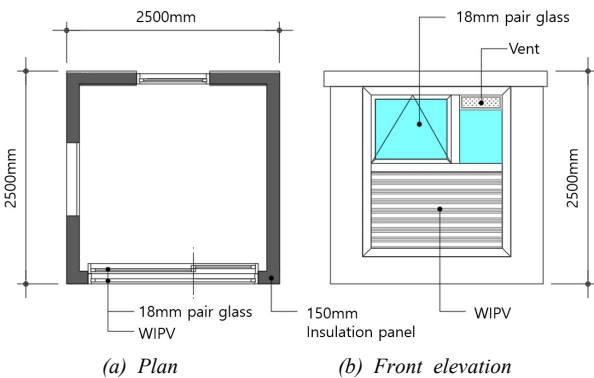


Fig. 2. The Chamber for Experiments

Fig. 3.의 (a) Case A와 같이 전후면 전청일사와 산란일사에 의한 발전량을 확인하기 위하여 검정색 시트를 LIPV에 설치하였다(Fig. 4.). Fig. 4.의 (a)와 (b)는 동측에 위치한 후면의 전청일사와 산란일사에 의한 전력생산량을 확인하기 위해 서측에 검정 시트를 설치한 모습이다. Fig. 4.의 (c)는 전청일사량을 측정하기 위한 일사량계를 설치한 모습으로 국외 K사의 제품이며 21.4℃, 습도 25.8%의 환경에서 교정유효기간동안 ±5%의 신뢰도를 보증한다.

본 실험은 6월 15일부터 6월 24일까지 수행되었다.

획득된 위 기간의 실험데이터 중 기상청에서 제공하는 인근 지역 10분위 전운량이 평균 2 이하인 6월 20일 12시부터 6월 23일 12시 까지의 실험 결과를 분석대상으로 선정하였다. 분석기간 동안의 외기온도는 19.5℃~32.3℃, 상대습도 33%~70%, 풍속 0.5m/s~2.5m/s로 측정되었다.

실험방법은 아래와 같다.

1. 모듈 동측면(후면)의 전청일사에 의한 발전량을 확인하기 위해 6시부터 12시까지 서측 면에 검정색 시트를 부착하였고(Case 2b), 모듈 서측면(전면)의 전청일사에 의한 발전량을 확인하기 위해 12시부터 18시까지 모듈 동측면에 검정색 시트를 부착하고(Case 1a) 발전량을 측정하였다. Case 2b와 1a 실험에는 검정색 시트를 부착하지 않은 면에 일사량계를 부착하여 전청일사에 의한 전력생산효

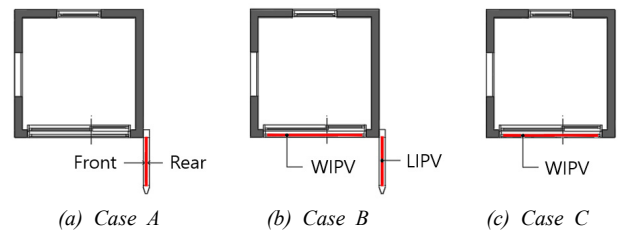
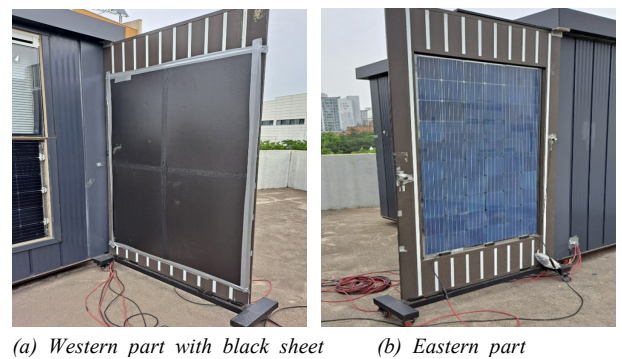


Fig. 3. Diagrams of LIPV Experiments



(a) Western part with black sheet (b) Eastern part



Fig. 4. Case A Experiments

을 분석하였다.

2. 모듈 서측면(전면)의 산란일사에 의한 발전량을 확인하기 위해 6시부터 12시까지 모듈 동측면에 검정색 시트를 부착하였고(Case 1b), 모듈 동측면(후면)의 산란일사에 의한 발전량을 확인하기 위해 12시부터 18시까지 모듈 서측면에 검정색 시트를 부착하고(Case 2a) 발전량을 측정하였다. 단, 실험에 사용된 일사량계는 전정일사의 측정값에 대해서만 교정이 되어있는 상태이기 때문에 산란일사에 대한 일사량 측정은 실시하지 않았다.

Table 2. Case A Experiments

	Month/Day	Time	Location of black sheet	
			West	East
Case 1a*	06/20	12:00~18:00	-	o
Case 1b'	06/21	06:00~12:00	-	o
Case 2a'	06/22	12:00~18:00	o	-
Case 2b*	06/23	06:00~12:00	o	-

* To check power generation by globe solar radiation
 ' To check power generation by scattered solar radiation

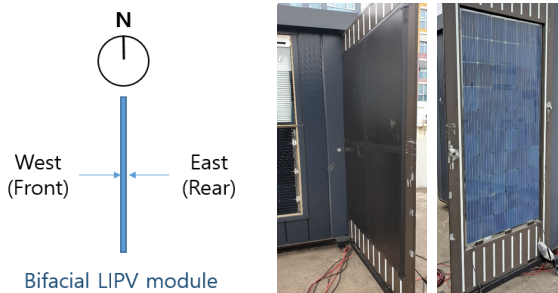
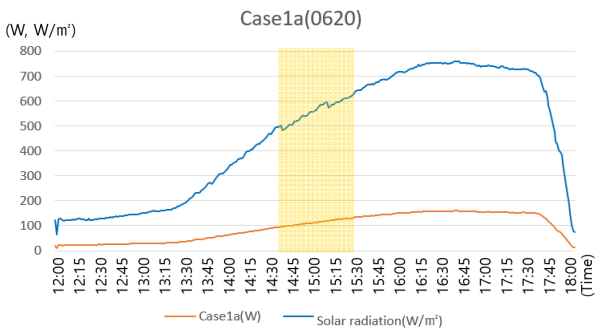
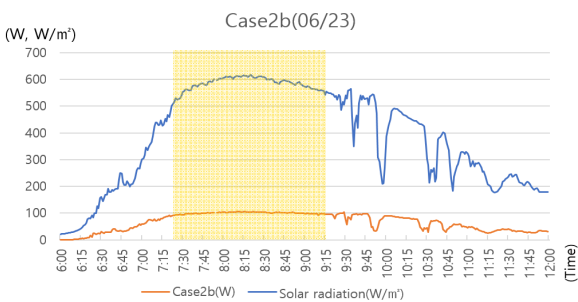


Fig. 5. Front and Rear Part of Bifacial Module for Experiments



(a) Front



(b) Rear

Fig. 6. Power Generation by Globe Solar Radiation

전정일사에 의한 양면형 모듈 전후면 발전량을 확인하기 위한 Case 1a, Case 2b 실험과, 산란일사에 의한 양면형 모듈 전후면 발전량을 확인하기 위한 Case 1b, Case 2a 실험의 결과 분석은 아래와 같다.

Fig. 6.은 전정일사에 의한 양면형 모듈 전후면 발전량을 분석한 것이다. Case 2b의 측정데이터 중 구름이 적고 안정적인 전정일사를 획득하는 것으로 판단되는 구간인 7시25분부터 9시 20분까지의 데이터를 대상으로 분석을 실시하였다.

분석 구간의 일사량은 501W/m²~617W/m²이었고 이 때 전력생산량은 89.08W~104.2W였다. 이는 1.63m²의 태양광모듈에서 생산된 전력량으로 이를 모듈의 단위면적당 전력생산량으로 환산할 경우 효율은 10.1%~10.9%로 분석되었다.

위의 데이터를 Case 1a의 동일한 501W/m²~617W/m² 일사량 구간의 데이터와 비교한 결과, 그 전력생산량은 94.73W~129.6W이며 모듈의 단위면적당 전력생산량으로 환산할 경우 효율은 11.7%~12.9%로 분석되었다.

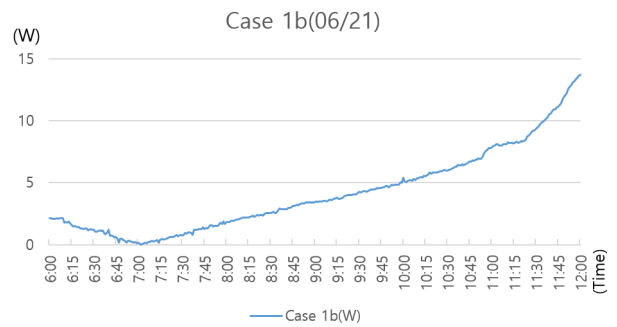
분석 구간에서 후면은 전면의 약 83.4%의 출력을 보였다.

단 본 결과는 한 장의 LIPV로 실험이 수행되어 동일한 날이 아닌 다른 날에 수집된 데이터를 비교 대상으로 삼았다는 점에서 한계를 가진다.

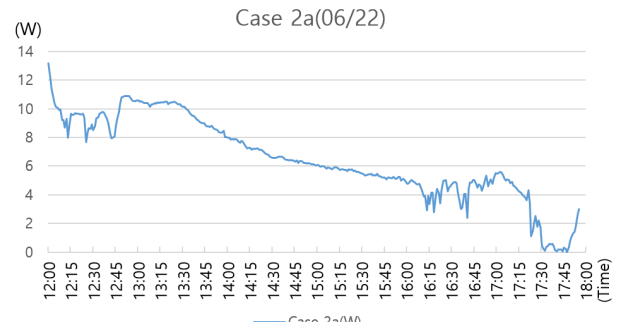
Fig. 7.은 실험이 실시된 날 모듈 전후면의 순수 산란일사에 의한 발전량을 측정된 결과이다.

산란일사에 의한 전력생산량을 측정된 6월 21일 6시~12시와 6월 22일 12시~18시에 전정일사를 받는 검정 시트 부위의 수직 최대 일사량은 6월 21일 8시 20분(동측) 615W/m², 6월 22일 16시 37분(서측) 762W/m²로 측정되었다.

남측의 일사가 최대인 12시에 가까워질수록 두면 모두 발전량이 높아지는 경향을 보였으나, 반대 측면 전력 생산량이 피크인 8시



(a) Front



(b) Rear

Fig. 7. Power Generation by Scattered Solar Radiation

15~30분, 16시 30~45분 발전량은 2W~4W 정도로 미미한 수준이었다.

3.2. LIPV와 WIPV 조합의 발전량 확인

1) LWIPV(WIPV + LIPV + WIPV_R)

Fig. 3.의 (b) Case B와 같이 WIPV가 설치된 챔버에 LIPV를 설치하여 4월 7일부터 4월 20일까지 이주일간 발전량을 측정하였다. Fig. 8.은 이 실험 기간 중 전운량의 평균이 2미만인 4월 8일의 데이터를 분석한 그래프이다.

분석된 4월 8일 외기온도는 7.1℃~16.6℃, 상대습도 18%~43%, 풍속 1.3m/s~3.6m/s로 측정되었으며 정남에 수직으로 설치된 일사량계의 최대 일사량은 12시 38분 761.9W/m²로 측정되었다.

WIPV는 루버로 인한 그림자의 영향으로 오전 11시 30분까지 40W대의 생산량을 보이다가 11시 54분부터 그림자의 영향을 벗어나 일반적인 발전량을 회복하였다. Fig. 8.에서 파란색으로 표시된 A부분은 같은 날 루버의 영향을 받지 않는 장소에 위치한 다른 WIPV의 데이터(Fig. 3(c). Case C)를 이용하여 복원한 것이다. 이는

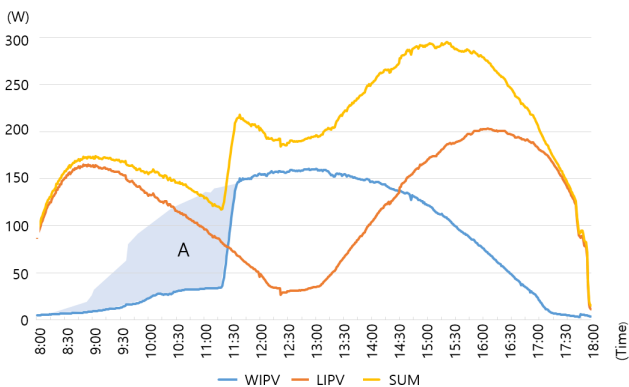


Fig. 8. Power Generations of Case B

Table 3. Power Generation Analysis of Case B

	Power generation *Separately installed (Wh/day)		Power generation *LWIPV (Wh/day)		Change
	WIPV	LIPV	WIPV	LIPV	
WIPV	952.62	-	750.35	-202.27	-21.23%
LIPV	1229.75	-	1229.75	-	-
Total(Wh)	2182.37	-	1980.10	-202.27	-9.27%

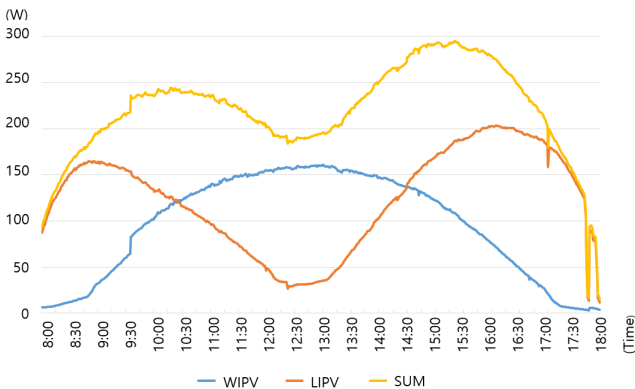


Fig. 9. Ideal Power Generation of LWIPV

루버를 설치하지 않았을 경우에 획득할 수 있었던 발전량으로 약 202.27Wh/day이다.

LWIPV의 4월 8일 총발전량은 1,980.10Wh/day로 측정되었다. WIPV가 LIPV의 그림자에 영향받지 않게 설치될 경우 총 202.27Wh/day의 추가생산이 가능하고, 2,182.37Wh/day의 전력 생산이 가능할 것으로 분석된다(Table 3.).

결론적으로 LIPV의 그림자로 인해 WIPV 단독 발전량은 21.23% 손실되나 LWIPV 전체 발전량을 분모로 두어 계산했을 때는 약 9.27%의 손실이 발생하는 것으로 계산되었다.

이는 WIPV 단독으로 설치할 때와 비교하면 208% 상승된 전력량이며 WIPV 2장을 설치하는 것보다 8% 높은 생산량을 보인다.

2) 이상적인 LIPV와 WIPV 조합의 발전량

Fig. 3.의 (c) Case C와 같이 LIPV가 설치되지 않은 WIPV를 그림자의 영향을 받지 않는 위치에 설치하고 그 발전량을 확인하였다.

WIPV는 남향으로 설치되기 때문에 10시~15시, LIPV는 동서향으로 설치되어 8시~10시, 15시~18시에 발전량이 높았다. 이런 이유로 WIPV와 LIPV의 조합(LWIPV)은 특정시간에 집중될 수 밖에 없는 PV의 발전량을 균등하게 하여 자체 수급을 원활하게 하는 장점이 있다.

Fig. 9.은 위의 실험이 실시된 4월 8일 LIPV 없이 설치된 WIPV의 전력생산량을 LWIPV에 조합하여 손실분을 복원한 그래프이다. LIPV의 총 발전량은 1,229.45Wh/day로 WIPV의 발전량 952.62Wh/day 보다 약 29.1% 높았다.

같은 날, 남향의 WIPV는 태양이 정남에 위치하는 12시에 약 150W의 전력을 생산했다. WIPV와 LIPV 각각이 150W 이상을 생산할 수 있는 시간은 120분과 233분에 불과했지만, 둘을 조합한 LWIPV가 150W 이상을 생산할 수 있는 시간은 545분에 달하는 것으로 분석되었다.

4. 결론

건축물이라는 제한된 장소에 LIPV를 가장 효율적인 방법으로 적용할 수 있는 방법을 분석하기 위하여 다양한 현장 조건에서 실증 실험을 실시하였으며 그 결과는 아래와 같다.

1. 4월 구름이 적고 맑은 날, 동서로 설치된 LIPV는 남향으로 설치된 WIPV보다 하루 동안 약 28.7% 많은 전력을 생산하였다.

2. 6월 구름이 적고 맑은 날, 동서로 설치된 LIPV에 검정 쉬트를 설치하고 전면과 후면의 발전량을 비교한 결과, 전면이 후면에 비해 약 83.4% 효율이 높은 것으로 나타났다.

3. 6월 구름이 적고 맑은 날 오전 동측면인 후면을 검정 종이 패널로 가리고 서측면인 전면의 산란일사에 의한 발전량을 측정하고, 오후 서측면인 전면을 검정 종이 패널로 가리고 동측면인 후면의 산란일사에 의한 발전량을 측정하고 그 발전량은 0W~14W로 크지 않았다. 특히, 전정일사에 의한 반대 측면 발전량이 피크인 8시 30분, 16시 30분 발전량은 2W~4W 정도로 미미한 수준이었다.

4. 남향의 WIPV와 동서향인 LIPV를 조합한 LWIPV의 하루 동

안의 발전량 합계는 LIPV의 그림자로 인한 손실이 없는 이상적인 경우에 비해 약 9.27% 작은 것으로 분석되었다. 이는 그림자의 영향을 감안하더라도 LIPV를 설치하는 것이 WIPV를 단독으로 설치할 때보다 건물의 자립률 향상에 도움이 되는 것을 보여주는 것이며 WIPV를 2장 설치할 때보다 작은 설치 면적에 8% 큰 효율을 보여주었다.

더하여 양면형 태양광패널의 경우 전후면에 효율차이가 있는데 건물의 에너지 사용량 패턴에 따라 이를 배치하면 건물의 실질적인 에너지 자립률을 높이는데 효과적인 것으로 분석된다.

본 연구는 맑은 날만을 대상으로 분석을 수행했다는 현실적 한계를 가진다. 하지만 BIPV로서의 LIPV가 기여할 수 있는 부분을 명확히 하고 현장에서 다양한 디자인 요소와 결합하여 응용될 수 있는 근거를 제공했다는 점에 의미가 있다고 본다.

양면형 태양광 모듈의 양면 전력생산효율이 다르므로 향후 계절별로 취득되는 발전량 및 LIPV의 실제 건물 자립률 분석과 더불어 건축물 외관 디자인 요소와 결합된 효율 향상 연구를 진행하려고 한다.

Acknowledgement

This study is a part of the research result conducted with research fund supporting in 2020 of Ministry of Science and ICT. The project code : 20200037-001

Reference

[1] 이겨레, 이윤선, 임재한, 음영조건을 고려한 공동주택 옥상 태양광모듈의 배치계획 평가 연구, 대한건축학회 논문집, 제35권 제5호, 2019 pp.169-179. // (K.R. Lee, Y.S. Lee, J.H. Lim, Evaluation on the Photovoltaic Module Arrangement Planning Considering Shading Conditions in Apartment Buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 35(5), 2019, pp.169-179.)

[2] 강준구, 김준태, 양면형 태양전지 기술 개발 동향, 한국태양광발전학회지, 제1권 제2호, 2015, pp.57-64. // (J.G. Kang, J.T. Kim, Development Trend of Bifacial Solar Cell Technology, Bulletin of the Korea Photovoltaic Society, 1(2), 2015, pp.57-64.)

[3] The National Renewable Energy Laboratory, Best Research-Cell Efficiencies, <https://www.nrel.gov>, 2020.07.25.

[4] 국토교통부, 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증기준, 국토교통부 고시 제2018-675호. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MLIT), Criteria for Building Energy Efficiency Certification and Zero Energy Building Certification, MLIT, 2018.)

[5] 박도현 외 7인, 양면수광형 실리콘 태양광 모듈의 바닥면 반사조건 변화에 따른 발전성능 평가, 한국태양광발전학회 논문집, 제6권 제2호, 2018, pp.62-67. // (D.H. Park et al., Evaluation of Bifacial Si Solar module with Different Albedo Conditions, Current Photovoltaic Research, 6(2), 2018, pp.62-67)

[6] 장주희 외 4인, 설치환경 및 조건에 따른 양면수광형 태양광발전시스템의 기초 특성 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 제38권 제6호, 2018, pp.51-63. // (J.H. Jang et al., A Preliminary Research of the Bifacial PV System Under Installation Conditions, Journal of the Korean Solar Energy Society, 38(6), 2018, pp.51-63.)

[7] VDMA Photovoltaic Equipment, International Technology Roadmap for Photovoltaic 9th Edition, 2018, <https://www.vdma.org>, 2020.07.10.

[8] 강준구, 김용재, 김준태, 양면형 BIPV 시스템의 커튼일 적용에 따른 온도 및 발전특성 분석, 한국태양에너지학회 논문집, 제35권 제4호, 2015,

pp.57-66. // (J.G. Kang, Y.J. Kim, J.T. Kim, Analysis of Temperature and Power Generation Characteristics of Bifacial BIPV System Applied into Curtain Wall, Journal of the Korean Solar Energy Society, 35(4), 2015, pp.57-66.)

[9] 정창현, PV시스템 적용 공동주택의 에너지 제로화를 위한 적정 건축규모 검토. 한국건축환경설비학회 논문집, 제11권 제2호, 2017, pp.113-120. // (C.H. Jeong, Appropriate Size of a Net Zero-Energy Multi-Family Housing using PV System, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 11(2), 2017, pp.113-120)

[10] 이응신, 허다운, 이명주, 태양광 전지판 설치를 통한 제로에너지 가능 공동주택 층수에 관한 연구. 대한건축학회 논문집, 제32권 제11호, 2016, pp.37-44. // (E.S. Lee, D.W. Hur, M.J. Lee, A Study on the Impacts of Number of Story to Obtain Zero Energy Apartment by Installing Solar Panels - Focused on apartment in Seoul, Journal of the architectural institute of Korea, 32(11), 2016, pp.37-44)

[11] 강준구, 김진희, 김준태, 양면형 BIPV 시스템의 설치환경에 따른 발전 특성 분석, 한국태양광발전학회 논문집, 제3권 제4호, 2015, pp.121-125. // (J.G. Kang, J.H. Kim, J.T. Kim, Analysis of generation characteristics of a bifacial BIPV system according to installation methods Bifacial solar cell, Current Photovoltaic Research, 3(4), 2015, pp.121-125.)

[12] 김경진, 이태규, 김정욱, 양면수광형 태양광 모듈의 운전 알고리즘 적용에 따른 발전성능 분석, 조명·전기설비학회 논문집, 제33권 제4호, 2019, pp.13-23. // (K.J. Kim, T.K. Lee, J.U. Kim, Analysis of Power Generation Performance by Applying Operational Algorithms for Bifacial Photovoltaic Module, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 33(4), 2019, pp.13-23.)

[13] 박보량 외 3인, 사무소 건물 적용 DSSC BIPV 창호의 환경 및 에너지 성능 분석, 한국생태환경건축학회 논문집, 제20권 제1호, 2020, pp.121-128. // (B.R. Park et al., Environmental and Energy Performance Analysis of DSSC BIPV Window in Office Buildings, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 20(1), 2020, pp.121-128.)

[14] Yuanda Cheng et al., Investigation on the Daylight and Overall Energy Performance of Semitransparent Photovoltaic Facades in Cold Climatic Regions of China, Applied Energy, Vol. 232, 2018.

[15] 윤종호 외 3인, 투광형 박막 BIPV 창호 적용에 따른 냉난방 및 조명 부하 저감에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 제13권 제3호, 2013, pp.91-96. // (J.H.Yoon et al., A Study on Analysis for Energy Demand of the Heating, Cooling and Lighting in Office Building with Transparent Thin-film a-Si BIPV Window, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 23(3), 2013, pp.91-96.)

[16] 유영균 외 8인, 인조잔디 바닥종류에 따른 양면수광형 실리콘 태양광 모듈의 발전성능 평가, 한국에너지학회 논문집, 제27권 제3호, 2018, pp.1-9. // (Y.K. Yoo et al., Evaluation of Power Generation Performance for Bifacial Si Photovoltaic Modules installed on Different Artificial Grass Floors, Journal of Energy Engineering, 27(3), 2018, pp.1-9.)