

건물일체형 태양광발전시스템의 특성 분석

강기환*, 소정훈*, 박경은**, 김현일*, 유권중*, 김준태**

*한국에너지기술연구원 태양광시스템연구센터, **공주대학교 건축공학과

Characteristic Analysis of Building Integrated Photovoltaic System

Gi-Hwan Kang*, Jung-Hun So*, Kyung-Eun Park**, Hyun-Il Kim*, Gwon-Jong Yu*, Jun-Tae Kim**

* Photovoltaic System Research Center, Korea Institute of Energy Research,

** Dept. of Architecture Engineering, Kongju National University

Abstract - The PV arrays were designed as sunshade devices at the building in the KIER(Korea Institute of Energy Research). The arrays are shaded by the above placed devices. In this paper, it was analyzed that the performance and characteristic of the BIPV system by partial shading could reliably be calculated with Solar Pro.

1. 서 론

BIPV시스템(Building Integrated Photovoltaic System)은 태양광시스템을 건축물과 일체화시키는 기술로서 전기 생산이라는 본래의 목적 이외에 건물 외장재를 대신하여 사용함으로서 경제적, 미적 측면에서 이중 효과를 거둘 수 있기 때문에 유효부지가 적은 우리나라의 지형적 조건에서 더욱 유리하다. BIPV 시스템의 설계 시 반드시 고려되어야 하는 설치조건들이 있는데, 대표적인 것으로 방위, 경사, 일사량, 온도 그리고 음영 등이 있다. 이 요소들 중에서도 특히 태양전지 어레이에 발생하는 음영에 관한 영향은 아직까지 많은 연구가 이루어지지 않은 실정이다.

본 논문에서는 음영에 의해 나타나는 BIPV 시스템의 발전성능에 영향을 시뮬레이션을 통하여 분석하고 연간 발전전력량을 예측하였다.

2. BIPV 시스템 특성 분석

2.1 대상건물 및 BIPV 시스템 개요

연구 대상으로 선정한 대상 건물은 대전광역시 유성구에 소재한 한국에너지기술연구원 내에 2003년에 조성된 제로에너지 실증타운(Zero Energy Demonstration Town ; ZEDT)의 신축 건물이다. 계획 초기 단계부터 PV 시스템의 적용을 고려하여 설계·시공한 국내 최초의 BIPV건물로, 연구 및 주거를 위한 건물로 사용되고 있다.

그림 1에서 보여지는 것과 같이 PV 시스템은 경사각 77°를 갖는 차양형과 경사각 90°의 벽면일체형의 두 가지 타입으로 건물의 전면에 적용되었다.

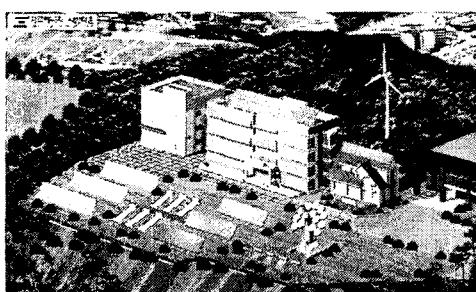


그림 1. 대상 건물 조감도(ZEDT)

그림 2는 차양형 BIPV 모듈의 상세 시공방법을, 그림 3은 벽면일체형 구조의 상세 시공방법을 나타낸 것이다.

대상건물에는 60W급 모듈 232매를 이용하여 16직렬 8병렬 1군, 18직렬 1병렬 5군 그리고 1직렬 4병렬 4군으로 어레이를 구성하여 설치하였다. 또한, 1kW PCS 5대 8kW PCS 대 그리고 0.3kW PCS 3대가 사용되었다. 사용된 모듈과 어레이, PCS의 규격 및 구성은 다음 표 1, 2와 같다.

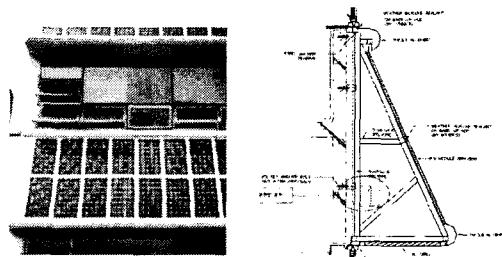


그림2. 차양형 PV 시스템

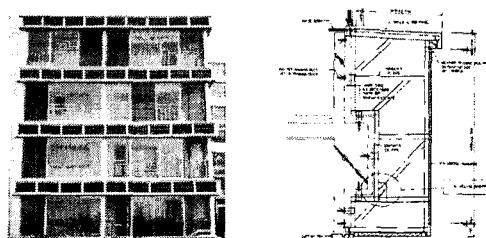


그림3. 벽면일체형 PV 시스템

표 1. BIPV모듈의 규격 및 어레이 구성

구 분	사 양	
보 듀	Pmax	60W
	Voc	23.3V
	Isc	3.35A
	Vm	19V
	Im	3.05A
	Cell type	단결정 Si
어 레 이	방위각	남동 10°
	설치조건	차양형 : 77°
		경사각
		벽면일체형 : 90°
	설치용량	13.9kW
	구성(군)	60W×232매
	차양형	16직렬×8병렬×1군
	벽면일체형	18직렬×1병렬×5군 1직렬×4병렬×4군

표 2. 계통연계형 PCS 규격

구 分	1kW	8kW	0.3kW
전력제어방식	MPIPT	MPPT	MPPT
정격입력전압	338V _{DC}	302V _{DC}	18V _{DC}
운전 전압범위	279~432V _{DC}	224~384V _{DC}	12~25V _{DC}
변환효율	90%이상	90%이상	91%이상
출력역률	98%이상	95%이상	99%이상
총합전류왜율	5%이하	5%이하	3%이하

2.2 음영을 고려한 BIPV시스템 특성 분석

2.2.1 음영 발생 현황

본 연구의 대상이 되는 ZEDT 건물의 경우, PV 어레이를 외장재를 대신하여 건물에 일체화시키기 위해 디자인 적인 측면에서 고려가 되었다. 또한, PV시스템을 건물에 일체화시킬 때 지상용 등의 다른 적용기법에서와는 달리 온도가 발전성능에 영향을 미치는 중요한 요소가 된다. 따라서 본 대상 건물에서는 PV 어레이와 건물 벽면 사이에 자연통풍이 이루어질 수 있는 공간을 두고 계획하였다(그림 2,3 참고). 차양형의 경우, 전력발전, 디자인 외에도 자연채광 조절 장치로서의 기능까지 하는 건물요소로 설계되었다. 그러나 실제로 건물이 지어진 후 이러한 건축적 요소들은 자체음영 요소로서 BIPV 시스템의 발전성능을 저해시키는 것으로 나타났다.

그림 4는 2005년 5월 오후 2-3시경, 실제로 차양과 열려진 창문에 의해 차양형 PV 어레이에 음영이 드리워지는 모습을 촬영한 것이다. 이와 같은 부분음영은 PV 발전 성능을 저하시키는 주요한 요인으로 분석되었다.

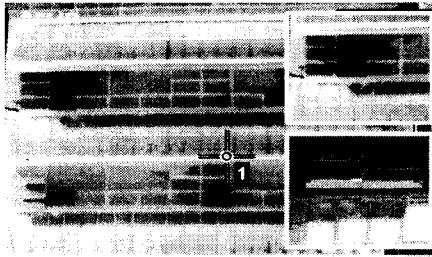


그림 4. 차양과 열린 창문에 의한 음영

2.2.2 대상 건물 및 음영요소 시뮬레이션

음영에 의해 발전성능에 영향을 받는 BIPV시스템의 특성을 분석하기 위하여, 시뮬레이션 툴인 Solar Pro를 이용하여 실제 건물과 유사하게 모델링을 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 보다 정확한 모델링을 위해 일사량, 온도 및 기타 입력 조건들은 실제 계측된 데이터를 이용하였다.

그림 5는 모델링 후 그림자의 영향이 고려된 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 시뮬레이션 시작은 5월 8일 오후 4시로 상부 PV 차양에 의해 최상부를 제외한 나머지의 대부분에 음영이 생기는 것으로 나타나는 등, 실제 상황에서와 유사한 음영 패턴을 나타내었다.

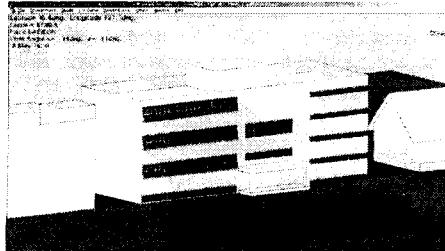


그림 5. 대상 건물 모델링 결과

2.2.3 부분 음영 발생에 따른 BIPV 어레이 특성

그림 6은 건물 요소에 의해 발생한 부분 음영을 보여주는 결선도이다. 그럼 7과 표 3은 60W모듈이 16직렬 8병렬로 구성되어 있는 8kW 차양형 PV 어레이에, 상부 구조물에 의해 부분 음영이 생긴 상태를 시뮬레이션 한 결과이다. 부분적인 음영으로 인해 전류가 감소되었고, 부분 음영이 없을 때 7146.50W였던 최대 출력이 부분음영이 발생한 뒤에 4759.66W까지 현저하게 감소되었다.

표 4는 60W모듈이 18직렬 1병렬로 구성되어 있는 1kW 벽면일체형 PV 어레이에 상부의 작은 돌출부에 의해 부분 음영이 생긴 경우이다. 이 경우에도 부분 음영으로 인해 음영이 없을 때 1097.64W였던 최대 출력이 부분 음영 발생 후 830.16까지 감소하는 것으로 나타났다.

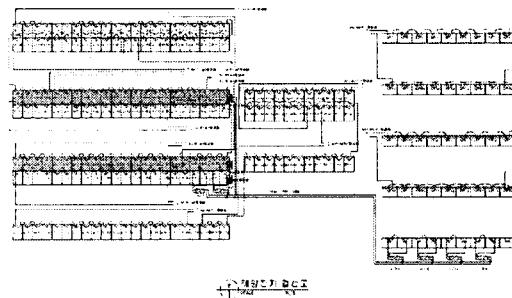


그림 6. 부분음영

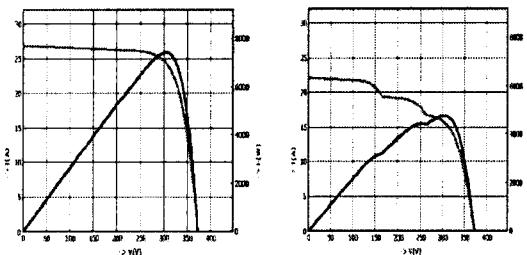
그림 7. 부분음영에 의한 전기적 성능 저하(차양형 8kW)
(좌: 부분음영 無, 우: 부분음영 有)

표 3. 부분음영에 의한 전기적 성능 저하(차양형 8kW)

	부분음영 無	부분음영 有
Voc	372.77V	372.74V
Isc	26.80A	22.09A
Vpm	305.32V	302.69V
Ipm	24.29A	15.72A
Pmax	7146.50W	4759.66W

표 4. 부분음영에 의한 전기적 성능 저하(벽면일체형 1kW)

	부분음영 無	부분음영 有
Voc	432.00V	426.6V
Isc	3.35A	3.34A
Vpm	357.84V	274.14V
Ipm	3.07A	3.03A
Pmax	1097.64W	830.16W

2.2.4 음영을 고려한 월별 발전전력량 예측 분석

음영을 고려한 ZEDT 건물의 연간 발전전력량을 예측하였다. 차양형과 벽면 일체형이 각각 77°와 90°로 모두 경사각이 크게 설치되어있고, 인접 건물이나 외부 장애물에 의한 그림자가 아니고 건물 자체의 작은 요소에 의해 음영이 발생하는 경우이므로, 일년 중 태양의 고도가 낮은 동절기에는 그림자의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 그러나 그림 8과 9에서 나타난 것과 같이 태양의 고도가 높은 하절기의 경우, 음영 발생이 BIPV 시스템의 발전 성능에 상당한 영향을 미치는 것을 나타났다. 특히 6월의 경우, 그림자를 고려하지 않았을 때 8kW급 차양형 BIPV 시스템의 월 발전량은 약 361kWh 이었으나, 음영을 고려하여 시뮬레이션 한 결과 도출된 월 발전량은 약 301kWh이었다. 약 60kWh, 월 발전량의 17% 정도가 음영에 의해 감소된 것으로 분석되었다.

또한 1kW급 5군으로 구성된 5kW 벽면일체형 BIPV 시스템의 경우에도 비슷한 결과가 도출되었다. 음영 고려 전과 고려 후의 월 발전량 값이 176kWh에서 150kWh로 15% 감소된 결과가 나타났다.

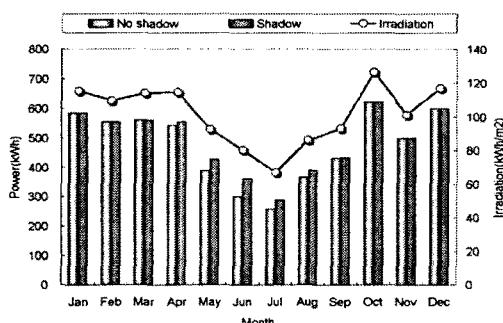


그림 8. 차양형 BIPV 시스템 월별 발전량 비교

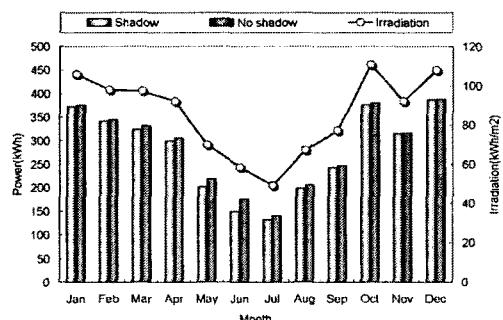


그림 9. 벽면일체형 BIPV 시스템 월별 발전량 비교

3. 결론

본 연구의 대상이 되는 건물에 적용된 PV 어레이는 외장재로서 건물에 일체화되도록 설계 초기 단계부터 계획되었다. 그러나 실제로 건물이 지어진 후 어레이 자체가 음영 요소가 되어 BIPV 시스템의 발전성능을 저해시키는 것으로 나타났다. 이에 대한 시뮬레이션 분석을 수행한 결과 부분 음영에 의해 전체 발전성능이 현저하게 저하되는 것으로 나타났다.

건물에 PV 시스템을 적용하는 것은 여러 가지 장점을 가지지만, 건물 자체 또는 인접 건물이나 장애물로부터의 음영, 건물에 PV 시스템을 일체화시키는 데에 따른 온도상승 등 필연적인 발전 성능 저하요인들이 존재한

다. 따라서 이에 대한 유동적인 대응 및 손실을 최소화하기 위한 방법이 강구되어야 한다.

우선, 손실을 최소화하기 위한 기본적인 방법으로 계획 초기 단계부터 건물과 BIPV 시스템에 대한 고려가 필요하다. 예를 들어 본 연구에서 수행된 것과 같이 음영에 대한 부분을 시뮬레이션을 통하여 미리 예측하여 손실을 최소화시킬 수 있도록 설계하는 방법이다.

또 다른 방법은 독일 등의 선진국에서 이용되고 있는 방법으로 PCS의 스트링 또는 멀티 스트링 설치방식이다. 이는 시스템을 분할하여 부분적인 시스템 손실이 전체 시스템에 영향을 미치지 않도록 하는 방법으로, 장기적인 측면에서 보면 소형 PCS의 대량생산을 유도하여 가격 경쟁력을 높이는 부가적인 효과까지도 기대할 수 있다.

이러한 방법들이 당장에 적용이 되기는 어렵더라도 향후 실증 연구 등을 통해 반드시 이루어져야 할 연구라고 사료된다.

[참고문헌]

- 한국에너지기술연구원, 중대규모 건축환경에서의 태양광발전 시스템 적용 요소기술 개발, 산업자원부, 2004.
- 유권종 외, 태양전지 어레이 모델링 및 구성법, 한국에너지 기술연구원, 1996.
- 김재원 외, 벽면부착방식 PV시스템의 건축물 적용가능성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 19권 6호, 2003.
- S.A.Omer, R.Wilson, S.B.Riffat, Monitoring results of two examples of building integrated PV(BIPV) systems in the UK, Renewable Energy 28, 1387-1399, 2003
- Takashi Oozeki, Toshiyasu Izawa, Kenji Otani, Kosuke Kurokawa, An evaluation method of PV systems, Solar Energy Materials & Solar Cells, 687-695, 2003