

발코니형 PV시스템의 최적설계를 위한 어레이 배열 특성 고찰

강 기 환, 소 정 훈, 김 현 일, 박 경 은, 유 권 종, 서 승 직^{*}
한국에너지기술연구원, 인하대학교[†]

A Study on the characteristic of array arrangement for the optimum design of the balcony PV system

Gi-Hwan Kang, Jung-Hun So, Hyun-Il Kim, Kyung-Eun Park, Gwon-Jong Yu, Seung-Jik Suh^{*}
Korea Institute of Energy Research, Inha University[†]

Abstract - This paper presents Building Integrated Photovoltaic system of the balcony type which is influenced by conditions such as irradiation, module temperature, shade and array arrangement. When architecture component, trees and cloud shade connecting array in series, total PV array current is reduced. So, before PV system design, a planner have to simulate many situations. And then array should be composed suitable for parallel and series modules. By the results, it is very important to develop optimal design of array considering shade effect for the balcony PV system.

1. 서 론

태양광발전을 포함한 신재생에너지는 깨끗하고 오염인 없는 무한정의 미래에너지원으로 전력수요의 증가에 따른 에너지원의 안정적 공급과 온실가스와 같은 지구환경 문제에의 대응 방안으로 전 세계적으로 이용보급이 확대되고 있다. 현재까지 국내에서는 대체에너지 보급 활성화를 위하여 산업자원부 주관 하에 태양전지 및 태양광 발전시스템의 국산화 연구개발 사업이 이루어졌으며, 2006년 1만호, 2010년 3만호 태양광발전 시스템 보급사업이 계획되어 있어, 저가화 및 고신뢰도 태양전지모듈의 국산제품 실용화 필요성이 절실히 요구되어 있다. 이에 태양광 시스템을 건축물의 외피부분에 적용함으로써 태양에너지를 이용한 환경친화형 건축의 개발과 환경오염의 방지에 따른 지구 온난화 방지와 더불어 삶의 질을 향상시키도록 유도할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 당 연구원에 설치 운영중인 발코니형 PV시스템을 대상으로 하여 일사량의 변화에 따른 일일시간대별 출력특성을 분석하고, 발코니형 PV시스템의 최적설계를 위한 어레이 배열 특성을 simulation하였다.

2. 발코니형 태양전지모듈의 특징

2.1 태양전지모듈의 구조와 성능

발코니형 투과형 BIPV모듈을 개발하여 설계기법 및 시공성을 검증하기 위하여 당 연구원의 건물에 적용하여 이미 종합적인 설계 시공 기술을 검토하였다. 기존 상용화된 불투명 Back Sheet 대신에 투명 Back Sheet 또는 투명 유리를 사용하여 태양빛이 투과할 수 있도록 한 투과형 BIPV모듈은 기존의 창을 대체하는 것이 주목적이며, 채광과 집열이 가능하고 조망까지 확보할 수 있기 때문에 건축적 용융측면에서 보다 큰 잠재성이 있을 것이다. 태양광시장의 활성화를 도모할 것이다.

발코니형 PV 모듈의 초기 평균출력은 49.9W, 오차범위는 ±2.74%였으며, 환경성능 실험(온도, 내열성, 내습성 등) 후 측정한 결과 평균출력이 49.05W로 우수한 모듈 특성을 나타내었다.

표 1. PV모듈 및 어레이 구성

PV모듈 및 어레이 구성		
Pmax(W)	50	Cell Size(mm)
Voc(V)	21.6	모듈무게(kg)
Isc(A)	3.2	Size(mm)
Vmp(V)	16.95	설치 모듈수량(매)
Imp(A)	2.95	어레이 구성
Cell type	단결정 Si	어레이 면적(m ²)

모듈 외관

2.2 출력 저해 요인

태양전지 어레이의 전류-전압, 전력-전압 곡선은 일사량과 온도에 따라서 출력 곡선이 변하게 되고, 결국 최대전력점이 수시로 변하게 된다. 만약 일사량이 일정하다고 가정하고 온도가 높아지면, 태양전지 어레이의 동작전압은 전압 범위에서 큰 비율로 작아지고, 반면 전류는 작은 비율로 커지게 되며 태양전지 어레이의 전력은 감소한다. 반대로 온도가 일정하고 일사량이 점점 줄어들면, 전류는 큰 비율로 감소하고 전압은 작은 비율로 감소한다.

일반적으로 우리나라의 연평균 일사량은 30~33° 경사각에서 가장 높은 출력 특성을 얻을 수 있으나 현실적으로 설치 유효면적이 적으므로 건축물의 외피에 태양광을 적용해야만 한다. 설치 가능표면적을 많이 확보할 수 있는 건축물의 외벽면에 PV모듈을 수직형으로 설치할 경우 30° 경사각보다 약 30%이상의 출력특성이 감소하게 된다. 온도의 경우 운전 시 PV모듈의 온도가 1°C 상승함에 따라 변환효율은 0.5%정도 떨어진다고 한다. 또한 태양전지 모듈을 직병렬로 연결하여 구성된 어레이에는 건축물 구성요소, 주변건물 그리고 수목 등에 의해 발생된 음영의 영향으로 발전 출력이 저하되거나 변동으로 일부 태양전지 모듈에 역바이어스 전압이 과도하게 걸림으로써 그 모듈을 파괴, 소손 시키고 연속적으로 주변 모듈을 파괴할 가능성이 있다.

이에 본 연구에서는 일사량에 따른 발코니형 PV시스템의 출력 특성을 비교분석하고 어레이 배열에 따른 음영의 영향을 비교하고자 한다.

3. 실험

3.1 실험방법 및 측정 장치

본 연구에서 실험 대상인 발코니형 PV시스템은 설치 방위각 15°(남서쪽), PV모듈 설치경사각은 90°이며, 50W급 국산 단결정 실리콘 태양전지모듈(BIPVSTM50)를

47매 사용하였다. PV어레이를 11직렬 2병렬 2군 그리고 3병렬 1직렬 1군으로 고정 설치되어있다. 본 실험에서는 11직렬 2병렬 1군을 대상으로 어레이 I-V특성을 분석하였다.

어레이 I-V특성시험은 Spire Array Tester™800을 사용하여 자연 광원법에 의해 측정하였다.

3.2 실험 결과

표 2는 발코니형 PV시스템 1군을 대상으로 5월말경 5일 동안 오전 8시~오후 6시까지 10분 간격으로 측정한 결과이다. 자연 광원법에 의해 측정된 값으로 수시로 변하는 기상조건 때문에 정확한 비교 데이터를 얻을 수가 없었다. 발코니형 PV시스템 1군의 일일 총출력량은 각각 1.34kWh, 1.85kWh, 1.76kWh, 1.79kWh, 1.91kWh로 일사량에 따른 증감정도를 알 수 있으며, 발코니형 PV 시스템이 실외에 설치되어 있어 자연통풍으로 모듈 후면 온도가 크게 상승하지 않음을 알 수 있다.

표 2. 발코니형 PV시스템 출력특성

	5월21일	5월23일	5월24일	5월29일	5월31일
Voc[V]	208.7	208.9	207.4	204.6	205.4
Isc[A]	0.92	1.23	1.18	1.23	1.30
FF[%]	67.2	68.2	66.9	67.9	71.2
Pp[kWh]	1.34	1.85	1.76	1.79	1.91
Vp[V]	147.6	145.6	148.5	149.3	157.7
Ip[A]	0.87	1.19	1.10	1.14	1.21
모듈온도[°C]	23.55	25.22	25.18	30.09	29.97
일사량[kWh/m ²]	1.14	1.58	1.50	1.49	1.71

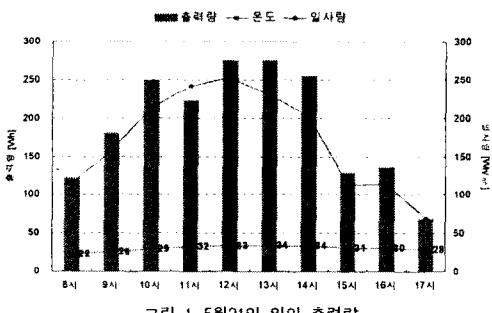


그림 1. 5월31일 일일 출력량

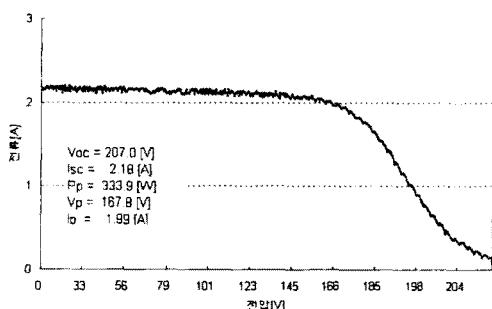


그림 2. 5월31일 12시30분 어레이 I-V특성곡선

4. 시뮬레이션

현재 본 연구의 실험 대상인 발코니형 시스템은 모니터링이 진행되고 있지 않아, 일본 Laplace System의 PV Generation System Simulation 프로그램 SolarPro를 이용하여 연간 발전량 및 경사각도에 따른 발전량 차이를 비교 분석을 하였으며, 기상 데이터는 대전지역 2004년도 연평균 데이터를 이용하였다. 그림 3은 발코니형 PV 시스템이 설치된 건물을 모델링 한 것이며, 그림 4는 SolarPro에서 건물의 일일 일영분석을 시행한 결과이다.

건물 구성요소나 주변건물에 의한 두드러진 그림자 영향이 나타나지 않았다.

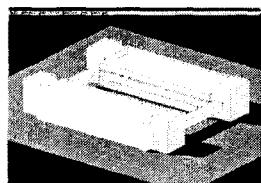


그림 3. 대상건물 모델링

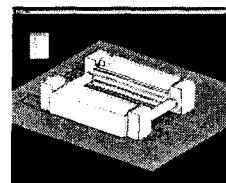


그림 4. 대상건물 일영분석

시뮬레이션 결과 30° 경사각 시스템의 연간 PV출력량은 2,706.23kWh, 인버터 출력량은 2,490.16kWh이며, 수직형 시스템의 연간 PV출력량은 1,894.69kWh, 인버터 출력량은 1743.12kWh로 경사형 시스템 출력량 대비 수직형 출력량은 30%정도 낮음을 확인하였다.

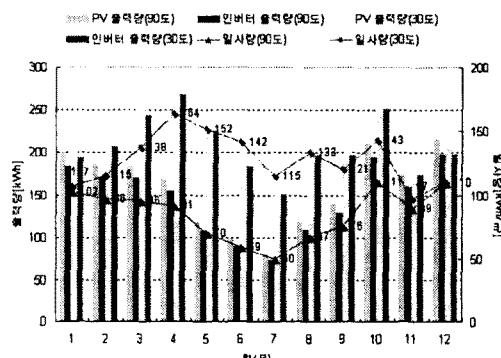


그림 5. 발코니형 PV시스템 경사각별 출력량 비교

5. 어레이 배열 특성

직렬 연결된 모듈의 DC전류는 그림자의 영향에 의해 감소된 특정한 모듈의 전류에 따라 결정된다. 직렬로 연결된 모듈 중에서 한 개의 모듈에 그림자가 발생하여 DC전류가 감소하면 그 전체의 직렬모듈의 DC전류는 한 개의 모듈에 준하여 감소한다.

이에 발코니형 PV 시스템의 최적설계를 위한 어레이 배열 특성을 알아보고자 간단한 simulation을 하였다. 본 연구의 대상 시스템은 출력량의 영향을 끼칠 정도의 그림자가 발생하지 않을을 일영분석으로 확인했지만, 부분적으로 그림자가 발생한다는 가정 하에 우선, 그림 6과 같이 ①가로방향 모듈 두개에 대한 그림자 영향, 그리고 ②세로방향 모듈 두개에 대한 그림자 영향을 I-V 특성곡선으로 나타내었다.

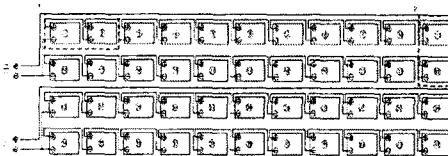


그림 6. 어레이 결선도

표 3. case(1)과 case(2) 음영 영향 비교

	Ideal array	Case ①	Case ②
Voc	237.59	237.55	236.29
Isc	6.40	6.40	6.40
Vm	187.37	154.95	165.84
Im	5.89	5.83	5.91
Pmax	1103.27	903.31	980.60

그 결과 그림 7과 같은 I-V특성을 보였으며, Case ②의 최대출력량 980.60kWh 대비 Case ①의 최대출력량 903.31kWh는 대략 7.9% 감소되는 것이 확인되었다.

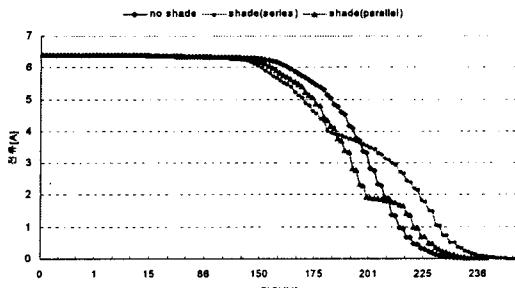


그림 7. case①과 case②의 I-V특성 비교

어레이를 구성하는 가장 기본 단위는 태양전지(cell)이다. 이에 디자인을 중요시하는 BIPV용 태양전지 모듈은 셀을 배열을 다양하게 시도하고 있는데, 미관과 시공성은 물론 셀의 배열에 따른 특성 즉, 건물 구성요소에 의한 음영 영향을 고려해야 하므로, 음영 면적과 방향에 따른 I-V 특성을 비교하였다. 아래 그림 8은 셀 36직렬의 발코니형 모듈의 설치방향에 따른 각각의 행과 열로 점차 음영이 드리워질 경우의 모듈의 특성을 비교하였다.

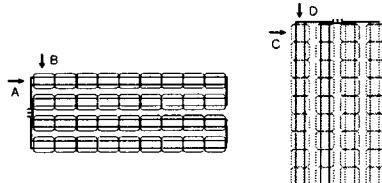


그림 8. 발코니형 모듈

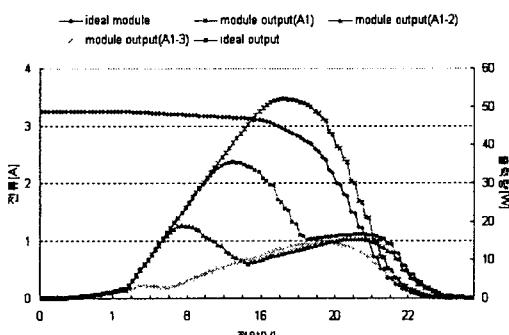


그림 9. A행(D열)에 대한 음영 영향

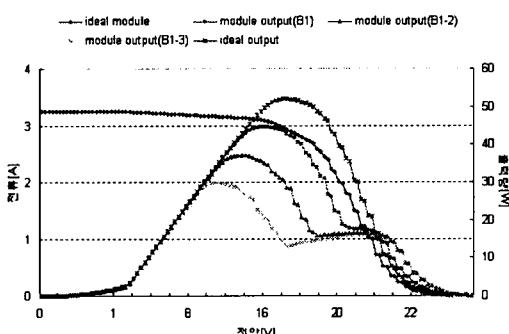


그림 10. B열(C행)에 대한 음영 영향

그 결과 그림 9와 그림 10에서 그림자가 발생시 직렬로 연결된 셀에서의 광기전류 제한으로 인해 최대출력이 크게 떨어짐을 볼 수 있다. 표 4에서와 같이 그림자 점유 면적이 넓을수록 최대출력의 저하가 현저하게 일어남을 볼 수 있다. 따라서 태양광 시스템 설계 시 일영분석을 선 수행함으로써 음영의 영향을 최소로 받을 수 있는 시스템 설계함으로서 적합한 용량을 산정해야 한다.

표 4. 음영 면적과 방향에 따른 출력량 비교

	Voc	Isc	Vm	Im	Pmax
Ideal module	21.60	3.25	17.75	2.93	52.02
A1	21.29	3.24	12.12	2.92	35.41
A1-2	20.98	3.21	6.50	2.90	18.85
A1-3	20.67	3.12	17.93	0.81	14.51
B1	21.46	3.24	15.08	2.96	44.63
B1-2	21.32	3.24	12.63	2.95	37.24
B1-3	21.19	3.23	10.18	2.93	29.36
C1	21.46	3.24	15.08	2.96	44.63
C1-2	21.32	3.24	12.63	2.95	37.24
C1-3	21.19	3.23	10.18	2.93	29.36
C1-4	21.05	3.22	7.73	2.91	22.51
C1-5	21.05	3.22	7.73	2.91	22.51
D1	20.91	3.20	18.52	0.82	15.21
D1-2	21.29	3.24	12.12	2.92	35.41
D1-3	20.98	3.21	6.50	2.90	18.85
D1-3	20.67	3.12	17.93	0.81	14.51

6. 결 론

본 연구에서는 외부조건(일사량, 음영 등)과 어레이 배열에 따른 PV시스템을 특성을 비교분석하고자 하였다. 실현 대상으로 설정한 발코니형 PV시스템의 경우 실외에 수직형으로 설치되었기 때문에 30° 경사형 시스템보다 30% 정도 출력량이 저하됨을 확인하였고, 모듈이 외기에 노출되어 있어 운전 시 모듈 온도가 외기온도와 비슷한 양상을 보임을 알 수 있었으며 직접적인 음영의 영향은 시뮬레이션 결과 나타나지 않았다.

일반적인 발코니형 PV시스템 특성상 어레이 배열이 직렬로 이루어져므로 건물의 방위각이 0°를 크게 벗어나거나 건물 구성요소가 둘러되어 있을 경우 음영의 영향으로 DC전류 감소로 인한 출력량 저하를 주의해야한다. 또한, 적용건물의 외측벽면에 설치할 경우 건물 구성요소에 의한 음영 영향은 비교적 적으나 주변건물에 의해 음영이 발생할 우려가 있으니 일영분석을 수행한 후 어레이를 구성하여 시스템의 손실을 최소화하여야만 한다.

더불어 어레이 배열 시에는 재설자의 조망권을 해치지 범위 내에서 설치 높이를 산정하며, 그에 따른 모듈 디자인 개발이 이루어져야 할 것이다.

향후 어레이 배열에 대한 특성을 평가하고, 외부 영향에 대한 여러 가지 상황을 미리 설정하여 시뮬레이션 하여 그에 대한 방안을 제안하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국에너지기술연구원, “중대규모 건축환경에서의 태양광발전시스템 적용 요소 기술 개발”, 산업자원부, 2004
- [2] 이경수 외, “태양광 시스템에서의 새로운 MPPT 알고리즘 제안”, 전력전자학회, p.21~28, 2003
- [3] 임종욱 외, “BIPV 건물 외피시스템 개발”, 대한건축학회논문집 계획체, 20권 2호, pp169~176, 2004. 02
- [4] 김희서, 이용직 외, “벽면부착 PV시스템의 건축물 적용 가능성에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 19권 6호, pp121~128, 2003. 06
- [5] Ingo B. Hagemann, “German BIPV Market - Framework Conditions and Trends”, Building Integrated Photovoltaic-Trends and Developments, European Seminar, 2003. 06