

일사량 변화에 따른 PV시스템 구성요소의 특성

변문걸 박정국 최연옥 조금배 백형래

조선대학교

Characteristics of Photovoltaics System for Changing Insolation

Bian W. J, Piao Z. G, Choi Y. O, Cho G. B, Baek H. L

Chosun University

1. 서론

태양광발전시스템은 광기전력효과에 의하여 빛에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 태양전지와 태양전지에서 발생하는 직류 전력을 상용 교류로 변환시켜 주는 전력변환시스템 즉 인버터로 구성된다.

현재 국내외에서 상용되고 있는 태양전지의 에너지변환효율은 12%~17%이고 인버터의 효율은 95% 좌우이다. 하지만 실제 장시간 운전시 태양전지 효율은 10%미만이고 인버터효율은 85%로 떨어진다.

본 논문에서는 조선대학교 태양에너지 실증연구단지내에 설치되어 있는 서로 다른 4기 3kW 태양광발전시스템(PV시스템:Photovoltaic System)의 장시간의 실증운전에 대한 원격 모니터링 감시계측을 통하여 데이터베이스를 구축하였으며 취득된 데이터에 대한 분석을 통하여 PV시스템의 구성요소인 태양전지와 인버터의 효율저하의 원인을 찾고자 한다.

2. 태양광발전시스템의 구성

조선대학교 태양에너지 실증연구단지에서는 3kW 계통연계형 PV시스템이 설치되어 장시간의 실증운전을 통해 환경조건의 변화에 따른 PV시스템의 발전성능, 신뢰성, 안정성 등의 운전특성을 비교 분석하기 위하여 실증연구를 수행하고 있다. 그림 1은 실증시험용 PV시스템의 기본 구성도를 보여주고 있다.

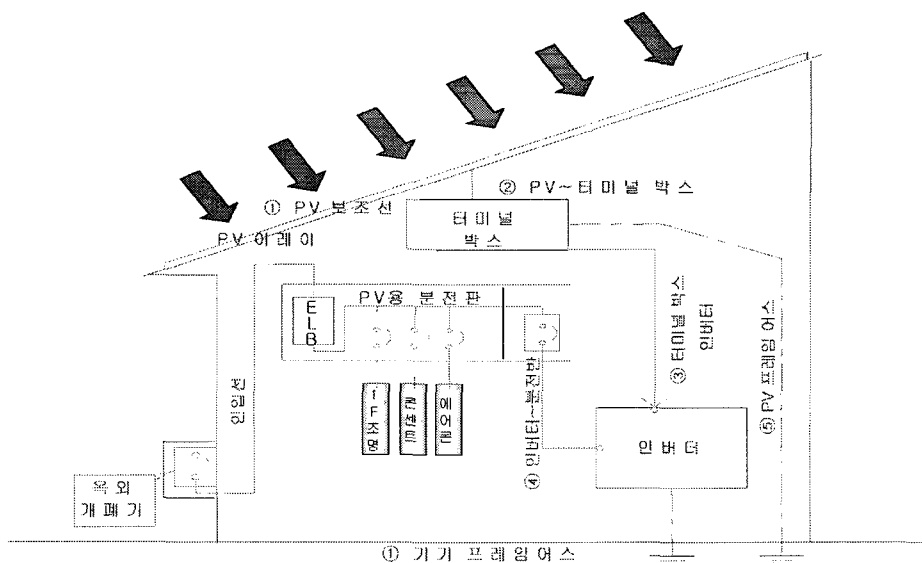


그림 2 실증시험용 PV시스템의 기본 구성도

PV시스템의 실증연구를 위하여 설치된 실증시험용 PV시스템의 태양전지 어레이 2.9kW~3.2kW, 인버터 3~4.2kW 정격출력의 범위로 구성되었다. 표 1은 각 시스템에 적용된 태양전지 모듈의 전기적, 구조적 특성을 나타내고 있고 표 2는 계통연계형 인버터의 사양을 나타내고 있다.

태양전지 모듈의 전기적 사양은 표준조건(STC, Standard Test Conditions) 즉 일사강도  $1000W/m^2$ , 모듈온도  $28^{\circ}C$  및 AM(Air Mass) 1.5 조건에서의 규격을 나타낸다.

표 1 시스템별 태양전지 모듈 사양

	운영실	Site2	Site3	Site4
Pmax(W)	77	53	75	50
Voc(V)	21.54	21.7	21.8	21.0
Isc(A)	4.88	3.35	4.75	3.23
Vm(V)	17.21	17.4	17.3	16.8
Im(A)	4.46	3.05	4.35	2.97
변환효율	11.6%	11.1%	11.1%	8.6%
Cell Type	다결정Si	단결정Si	다결정Si	다결정 Si
모듈무게(kg)	7.7	6.2	7.7	6.2
모듈 Size(mm)	125×538×50	1291×328×35	1204×538×50	935×502×38
설치모듈수량	42	60	40	60
어레이구성	14×3	20×3	20×2	20×3
어레이면적(m <sup>2</sup> )	27.2	25.41	25.91	28.16

표 2 시스템별 인버터 사양

		운영실	Site3	Site4	Site2
주회로 방식	PCS방식	전압형 전류제어방식	전압형 전류제어방식	전압형 전류제어방식	전압형 전류제어방식
	절연방식	저주파 절연변압기 내장	저주파 절연변압기 없음	저주파 절연변압기 내장	저주파 절연변압기 내장
제어 방식	전력제어	최대전력추종제어	최대전력추종제어	최대전력추종제어	최대전력추종제어
	운전제어	PV출력감시, 자동기동/정지	PV출력감시, 자동기동/정지	PV 출력감시, 자동기동/정지	PV출력감시, 자동기동/정지
정격	정격 입력전압	224[V <sub>DC</sub> ]	200[V <sub>DC</sub> ]	350[V <sub>DC</sub> ]	340[V <sub>DC</sub> ]
	정격 출력전압	220V	220V	220V	220V
	운전가능 전압범위	200~300[V <sub>DC</sub> ]	145~350[V <sub>DC</sub> ]	194 - 450[V <sub>DC</sub> ]	280~430[V <sub>DC</sub> ]
성능	변환효율	90[%]이상	93.5[%]이상	91[%]이상	91[%]이상
	출력역률	95[%]이상	95[%]이상	99[%]이상	98[%]이상
	총합 전류 왜율	5[%]이하	5[%]이하	3[%]이하	3[%]이하
	가차 전류 왜율	3[%]이하	3[%]이하	-	2[%]이하
보호 기능	계통보호	OV, UV, OF, UF 정전 및 단락보호	OV, UV, OF, UF 정전 및 단락보호	OV, UV, OF, UF 정전 및 단락보호	OV, UV, OF, UF 정전 및 단락보호

### 3. 실험결과

#### 3-1. PV시스템 운전특성

PV시스템의 장기간의 운전에 의한 종합적인 운전특성 즉 PV어레이변환효율, 인버터효율, 성능비 등을 2005년 1년간의 운전데이터를 토대로 PV시스템의 종합적인 운전특성들을 비교 분석하였다. PV어레이변환효율, 인버터효율, 시스템성능비, 시스템이용율, 시스템발전효율의 계산식은 아래와 같다.

$$\text{어레이변환효율} = \frac{PV\text{출력량}}{\text{일사량} \times PV\text{어레이면적}} \times 100\%, \quad \text{인버터효율} = \frac{\text{인버터출력량}}{PV\text{출력량}} \times 100\%$$

$$\text{시스템성능비} = \frac{\text{인버터출력}}{\text{어레이변환효율(정격)} \times \text{일사량} \times \text{어레이면적}} \times 100\%$$

$$\text{시스템이용율} = \frac{\text{인버터출력량}}{\text{설치용량} \times 24\text{시간} \times \text{일간}} \times 100\%$$

$$\text{시스템발전효율} = \frac{\text{인버터출력량}}{\text{일사량} \times PV\text{어레이면적}} \times 100\%$$

표 3은 2005년도 4기 PV시스템의 연간 출력량 및 종합적인 운전특성을 나타내고 있다. PV어레이변환효율은 11%정도밖에 안 되는 정격 값보다 약 2%정도 떨어지고 인버터 효율도 5%정도 떨어짐으로 인하여 종합적인 운전효율이 전반적으로 떨어지는 것을 알 수 있다.

표 3 시스템별 연간 출력량 및 종합 운전특성

		출력량	어레이 변환효율	인버터효율	시스템 성능비	시스템 이용율	시스템 발전효율
일사량	수평면	1,041kWh/m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
	경사면	1,297kWh/m <sup>2</sup>					
운영실	PV	2,800kWh	9.52%	87.96%	72.17%	11.38%	72.17%
	인버터	2,437kWh					
Site2	PV	2,852kWh	9.09%	86.80%	71.09%	9.67%	71.09%
	인버터	2,472kWh					
Site3	PV	3,103kWh	9.63%	87.64%	76.01%	10.54%	76.01%
	인버터	2,699kWh					
Ste4	PV	2,512kWh	7.10%	89.21%	57.58%	8.66%	57.58%
	인버터	2,224kWh					

3-2. PV시스템 구성요소 특성

PV시스템의 종합적인 운전효율에 영향이 제일 큰 것은 일사강도의 변화이다. 또한, 장기간 실증운전 분석결과 일사강도는 1000W/m<sup>2</sup>을 넘지 않는다는 것을 알게 되었다. 때문에 본 논문에서는 일사강도를 0~100W/m<sup>2</sup>, 100~200W/m<sup>2</sup> 과 같이 100단위로 900~1000W/m<sup>2</sup>까지 10등분으로 나누어 시스템의 운전특성을 분석하였다.

그림 2는 일사강도에 따른 2005년도 1년간의 일사량 분포도를 보여주고 있다. 2005년도 년중 일사강도가 800W/m<sup>2</sup> 일 때의 일사량이 236kWh/m<sup>2</sup>으로 제일 많으며 연간 일사량 총량 1,297kWh/m<sup>2</sup>의 약 17% 차지한다.

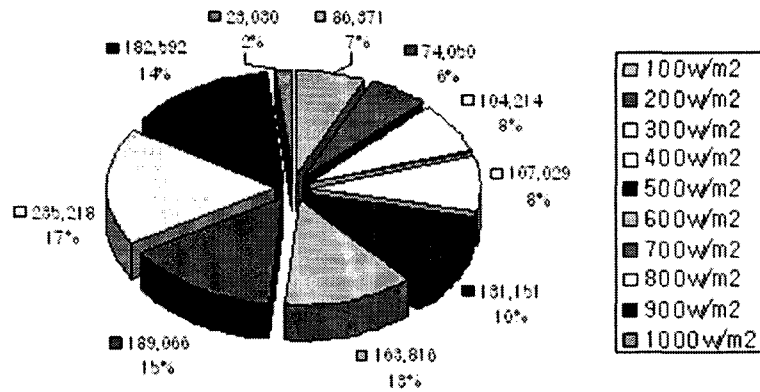


그림 3 경사면 일사량 분포도

그림 3 ~ 그림 6은 2005년도 1년간의 일사강도에 따른 시스템별 PV어레이 출력량 분포도를 보여주고 있다. 시스템별 출력량은 다소 차이가 있지만 시스템 자체 출력량의 일사강도에 따른 분포는 일사량의 분포와 비슷하게 나타나고 있다. 일사강도가 600~900W/m<sup>2</sup> 시 PV 출력량은 전체 출력량의 약 65% 이상이다.

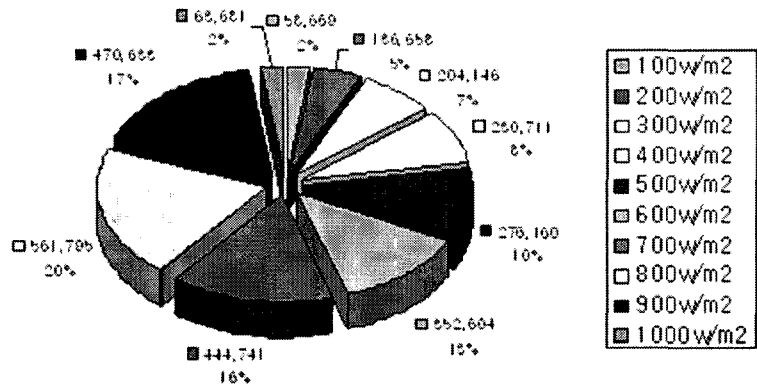


그림 4 운영실 PV 출력량 분포도

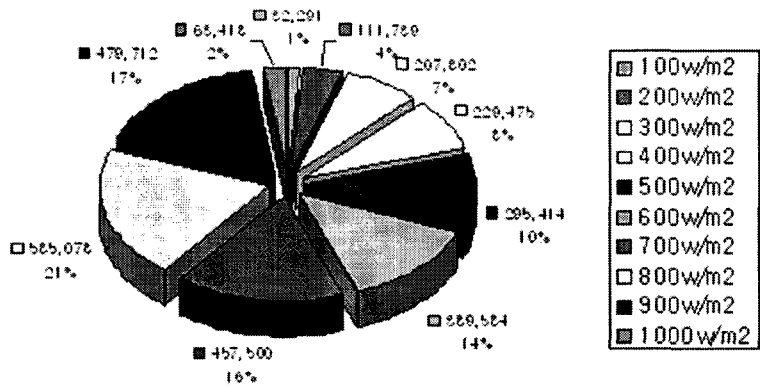


그림 5 Site2 PV 출력량 분포도

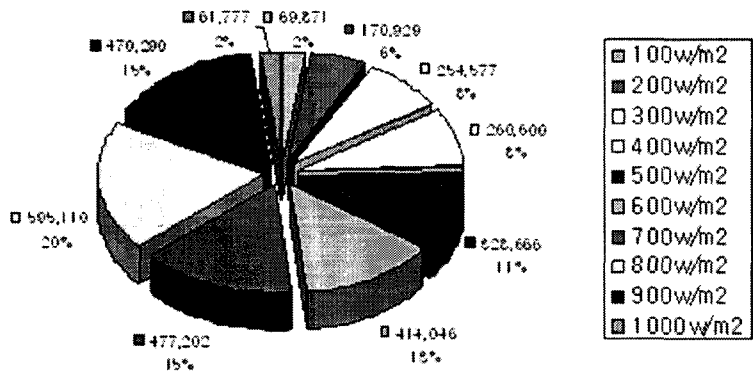


그림 6 Site3 PV 출력량 분포도

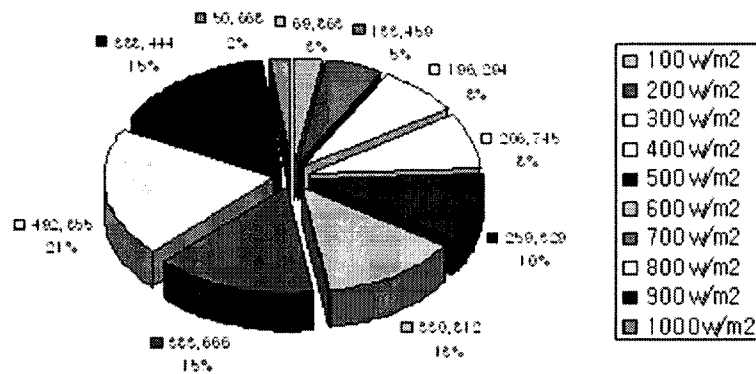


그림 7 Site4 PV 출력량 분포도

그림 7은 2005년도 1년간의 일사강도에 따른 시스템별 PV어레이변환효율 분포도를 보여 주고 있는데 효율은 항상 정격보다 낮게 운전함을 나타내고 있으며 일사강도가 PV 출력량이 많은 600~900W/m<sup>2</sup> 시 변환효율은 정격 값보다 약 1.5%정도 떨어짐을 알 수 있다.

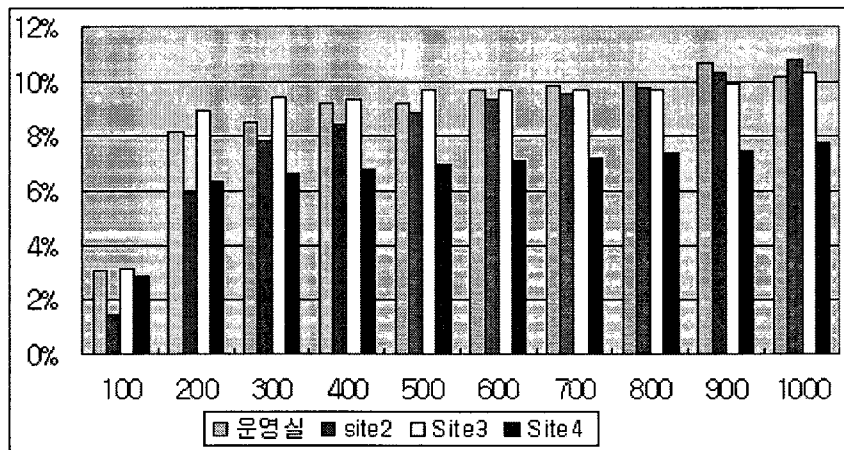


그림 8 일사강도에 따른 어레이변환효율 분포도

그림 8은 2005년도 1년간의 일사강도에 따른 시스템별 인버터효율 분포도를 보여주고 있다. 인버터효율은 일사강도가  $600\text{W}/\text{m}^2$  이상이면 정격 운전하고 있으나 일사강도가 그 이하로 떨어지면 즉 PV 전체 출력량의 약 35%는 인버터 효율이 급격히 떨어진 60~70%에서 운전함을 알 수 있다.

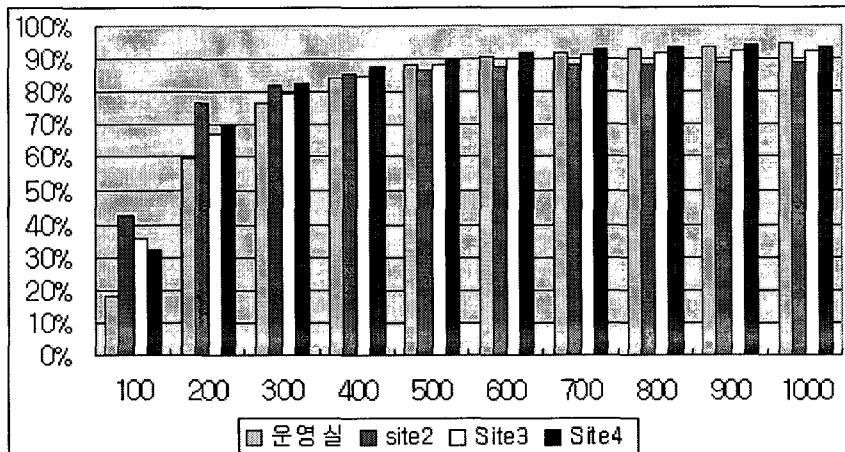


그림 9 일사강도에 따른 인버터효율 분포도

#### 4. 결론

본 논문에서는 조선대학교 태양에너지 실증연구단지내에 설치되어 있는 서로 다른 4기 3kW PV시스템의 실증운전에 대한 원격 모니터링 감시계측을 통하여 취득된 데이터를 분석하였으며 일사강도에 따른 PV시스템의 구성요소인 태양전지와 인버터의 효율 저하에 대하여 분석하였다.

분석결과 일사강도가  $600\text{W}/\text{m}^2$  이상시 PV 출력량은 2005년 전체 출력량의 65%이상임을 알 수 있었다. 어레이변환효율은 항상 정격보다 낮고 일사강도가  $600\sim 900\text{W}/\text{m}^2$  시 변환효율은 정격 값보다 약 1.5%정도 떨어지며 일사강도가 그 이하로 떨어지면 변환효율 또한 현저히 떨어짐을 알 수 있었다. 인버터는 일사강도가  $600\text{W}/\text{m}^2$  이상이면 정격 운전하고 있으나 일사강도가 그 이하로 떨어지면 즉 PV 전체 출력량의 약 35%는 인버터 효율이 급격히 떨어진 60~70%에서 운전함을 알 수 있었다.

앞으로도 태양광발전시스템에 대한 지속적인 운전특성 분석을 통하여 PV시스템의 구성요소인 태양전지 및 인버터 효율 개선에 기여하고자 한다.

#### 5. 참고문헌

1. Dr. F. Lasnier, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, Vol. 1 (1998), pp. 10-50.
2. Tomas Markvart "Solar Electricity", October 2000, John Wiley & Sons, LTD
3. Kazuyoshi Tsukamoto, "Photovoltaic Power System Interconnected with Utility", Proceedings of the American Power Conference, pp.276~281
4. Kotsopoulos A., Duarte J. L., Hendrix M. A. M., Heskes P. J. M., "Islanding behaviour of grid-connected PV inverters operating under different control schemes" Proceedings of the 2002 IEEE 33rd Annual IEEE Poser electronics Specialists Conference, Vol. 3 (2002), pp. 1506-1511.