

계통연계형 태양광 발전시스템의 운전특성에 관한 연구

안교상, 황인호,* 정승주,** 임희천
전력연구원, 옥천전문대학,* 충남대학교**

A Study on the Operating Characteristics for a Grid-Connected Photovoltaic Power System

K. S. Ahn, I. H. Hwang,* S. J. Jeong,** H. C. Lim
KEPRI, Okcheon College,* Chungnam Nat. Univ.**

Abstract - The operating characteristics of a 3 kW grid-connected photovoltaic (PV) power system was studied by analyzing annual photovoltaic data. The system performance for grid connection was investigated using a DC/AC inverter. The results of a demonstration test show that the system utilization rate is 15.6% and the system efficiency is 8.03%.

1. 서 론

태양광 발전은 무공해, 저소음, 무연료 등의 장점과 운전과 유지·보수가 용이한 특성을 갖고 있는 새로운 발전기술로서, 선진 각국은 기술개발을 지속적으로 추진하여 상용화 보급단계에 있는 기술이다. 현재 국내에서는 유인도서 전회사업의 일환으로 독립형 태양광 발전시스템이 보급되어 운전 중이다.

계통연계형은 가정용에서부터 중·대규모 전력 사업용에 이르기까지 분산형 전원 및 전력 peak cut 등으로의 개발의 필요성을 더하고 있다. 이에 전력연구원에서는 1996년 5월부터 50 kW급 계통연계형 태양광발전 시스템 개발을 추진하고 있다.

현재는 단상 3 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템에 대한 운전특성을 분석중이며, 설치 후 초기 시험운전 중인 10 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템은 53 Wp 태양전지판 190 매를 직·병렬 구성하여 설계 최대 출력 9.5 kVA와 10 kW급 전력 변환장치(변환효율 91% 이상)등으로 구성하여 전력연구원 동력실 계통선에 연결하였으며, 이 때 교류측 최대출력 5.8 kW를 나타내는데, 이는 일일 최대 일사량 시점의 주변환경의 영향으로 태양전지판 일부가 성능을 발휘 못하고 기타 기기의 문제점에서 발생하는 것으로 현재 분석 중에 있다.

본 논문에서는 3 kW 계통연계형 태양광 발전시스템의 태양전지 어레이 구성, 전력 변환장치의 설계 및 지난 1년간의 운전자료 분석결과에 대하여 논하고자 한다.

2. 본 론

2.1 계통연계형 태양광 발전시스템의 특성

본 시스템은 반도체 소자인 태양전지에 의해 발전된 전력을 교류전력으로 변환하여 전력계통과 연계가 가능하도록 하는 전력변환장치를 사용하여, 태양전지의 발전 전력을 콘덴서와 같은 전력 저장장치를 사용하지 않고 직접적으로 부하 측에 전력을 공급하는 방식이다.

이 때 태양전지 전력이 부하 측에서 필요한 전력보다 많을 때는 잉여전력을 계통에 공급하도록 하고 발전전력이 부하 측에서 요구하는 전력보다 적을 때는 전력계통과 연계하여 부하 측에서 필요한 전력을 공급받도록 한다.

이와 같은 계통연계형 태양광 발전시스템은 크게 태양광 발전에 필요한 태양전지 어레이와 계통연계운전에 있어서 핵심인 전력변환장치 및 교류계통과의 연계시 발생할 수 있는 사고로부터 시스템을 보호하기 위한 연계보호장치와 검출장치로 구성되어 있다.

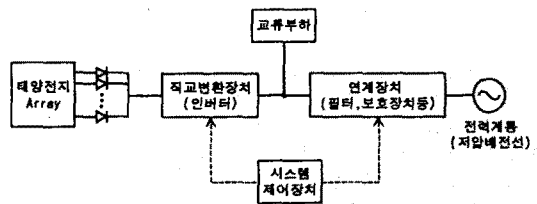


그림 1. 계통연계형 태양광 발전시스템

2.2 계통연계형 전력변환장치 구성

계통연계형 태양광 발전시스템에서 전력변환장치는 태양광발전의 고효율화, 발전전력의 고품질화 및 배전계통과의 연계시 안정성확보 등의 기능을 필요로 한다.

본 연구에서는 태양광발전의 고효율화를 위한 최대 출력점 추적제어를 통해 고효율화를 도모하였으며, 전류 제어형 전력변환장치를 사용하여 출력 정현파 전류를 제어하였고, 시스템의 보호기능 외에 계통연계에 따른 배전계통에서의 역충전 등의 문제를 해결하기 위한 검출장치를 구성하였다. 다수의 시스템이 계통과 연계할 경우, 태

양광 발전시스템은 일기변화에 따라 계통에 공급되는 전압 변동성분의 증대와 고조파 전류의 유입 등에 의한 계통전력의 품질 열화문제가 발생할 수 있으며, 또한 배전선 보호 시스템의 교란에 따른 신뢰도 저하와 계통과의 연계가 단절되어 배전계통으로 역충전이 생겨 선로작업시 안정성이 문제가 될 수도 있다. 따라서, 전력변환장치는 전압 조정기능, 전력 조정기능, 주파수 조정기능, 무효전력 조정기능 및 역충전 운전 방지기능 등을 가지며 연계된 전력계통에 대한 제어기능을 수행한다.

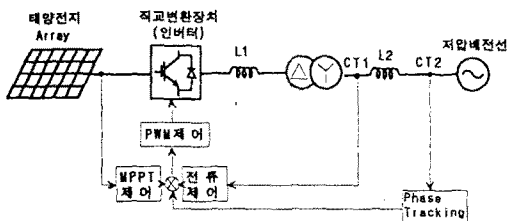


그림 2. 계통연계형 전력변환장치 구성도

2.3 3-kW 계통연계형 태양광 발전시스템

본 연구에서는 3 kW 계통연계형 태양광 발전시스템 제작을 위해 50 Wp 단결정 실리콘 태양전지 모듈을 사용하였으며 직렬 15 × 병렬 4개의 결선방법으로 3 kWp 용량을 구성하였다. 전력변환장치는 전압형 전류제어방식으로 3.5 kW 정격출력을 가지며, MPPT(최대전력점추적)제어 방식으로 최대전력을 공급하도록 하였다.

그림 3은 3 kW 계통연계 시스템의 회로 구성도를 보여주며, 그림 4는 전력변환장치에 의해 변환된 교류전압과 전류파형을 나타낸다.

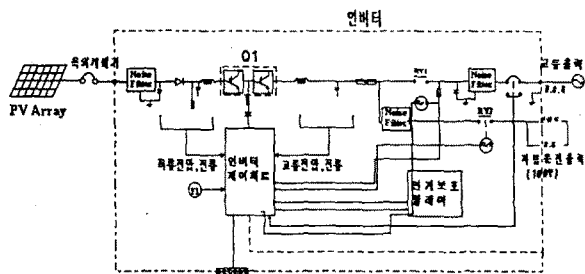
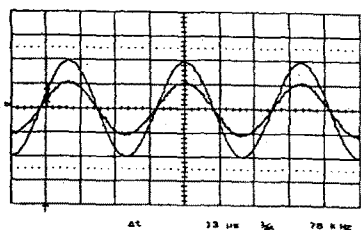


그림 3. 단상 3 kW 계통연계형 발전시스템



(발전량 P = 2.2 kW, 일사량 : 845 W/m²)

그림 4. 3 kW 전력변환장치 전압 - 전류 출력 파형

2.4 3-kW 계통연계형 발전시스템 발전량 분석

3 kW 계통연계형 태양광 발전시스템은 설치 후 기기 점검 및 교정을 거친 후 1997년 2월 운전개시후 1998년 6월 현재까지 시스템의 출력특성이 분석되고 있다. 시스템 구동에 따른 운전특성은 CR7 data acquisition system에 의해 수집되었으며, 별도 제작된 기상관측용 기기에 의해 태양광의 수평면, 경사면 일사량 및 어레이 표면온도 등이 측정되어 태양광 발전특성에 미치는 영향 등과 함께 고찰 되었다.

2.4.1 3-kW 발전시스템 월별 운전특성 분석

그림 5, 6, 7, 8은 1997년 2월 발전시스템을 가동 후 매월의 전력 발전량과 누계를 나타낸 그림이며, 태양광 발전은 계절에 따른 온도와 날씨조건에 따라 일일 및 매월의 발전량에 차이가 있음을 살펴볼 수 있다.

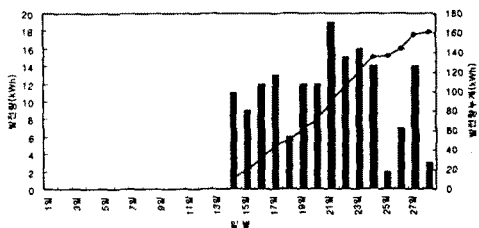


그림 5. 계통연계형 PV 시스템 2월 발전량 추이('97)

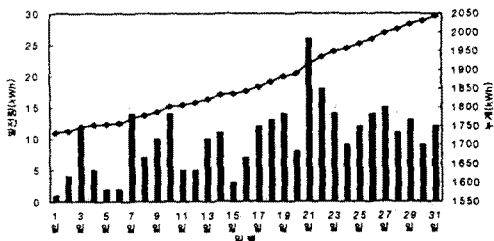


그림 6. 계통연계형 PV 시스템 7월 발전량 추이('97)

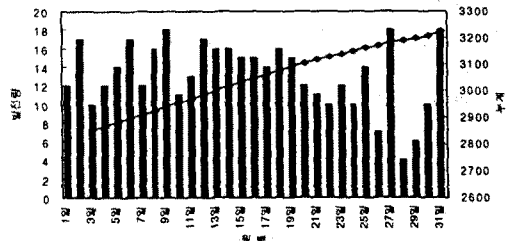


그림 7. 계통연계형 PV 시스템 10월 발전량 추이('97)

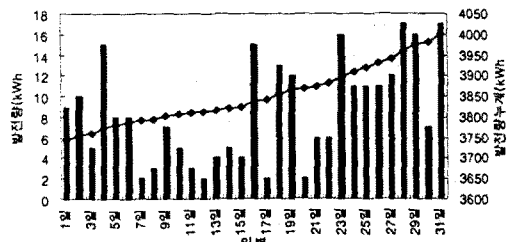


그림 8. 계통연계형 PV 시스템 1월 발전량 추이('98)

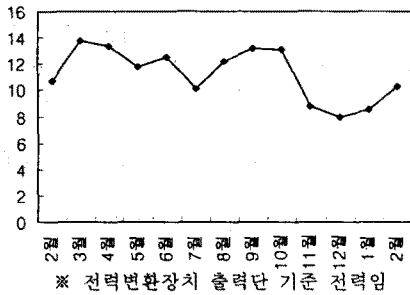


그림 9. 3 kW 태양광 발전시스템 일 평균 발전량 추이 ('97~'98년도, 단위 : kWh)

그림 9는 1997년 2월부터 1998년 2월까지의 3 kW 태양광 발전시스템의 매월별 일 평균 발전량을 나타내고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 3~4월과 9~10월을 중심으로 태양광 발전량이 피크를 이루며, 계절별 큰 차이를 보여주는데, 이는 여름철의 온도상승과 장마철의 일사량감소, 그리고 겨울철에 태양의 남중고도가 낮아짐에 따른 경사면 일사량의 감소가 가장 주된 원인으로 분석된다.

본 연구의 3 kW 계통연계형 태양광 발전시스템은 1997년 2월 운전을 시작해서 1998년 6월 현재 약 15개월 동안 총 전력량은 5,497 kWh를 발전하였으며, 월평균 약 330 kWh/month, 일평균 약 11.3 kWh/day를 발전한 것으로 분석되었다.

2.4.2 3-kW 계통연계형 발전시스템 발전특성

표 1은 전력변환장치의 입·출력 특성을 보여주며, 표 2는 1997년 2월부터 1998년 2월까지 3 kW 계통연계형 태양광 발전시스템의 연간 시스템 이용률과 시스템의 발전효율을 보여준다.

계통연계형 태양광 발전시스템의 발전특성을 그 동안의 운전기간('97. 2. 14~ '98. 2. 28) data를 이용하여 분석하였다. 시스템 설계와 평가의 필수적인 시스템 이용률 및 발전효율은 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\text{시스템 이용률} = \frac{\text{시스템 발전전력량(kWh)}}{\text{시스템정격출력} \times 24(\text{h}) \times \text{일수}} \times 100(\%)$$

$$\text{시스템발전효율} = \frac{\text{시스템총발전량(kWh)}}{\text{경사면일사량} \times \text{어레이면적}(m^2)} \times 100(\%)$$

표 2는 실증시험 운전기간 동안의 발전특성을 분석한 것으로 시스템 이용률은 15.6%, 시스템 발전효율은 8.03%를 기록하였다. 이 수치는 비슷한 조건이라 할 수 있는 일본 동경전력(시스템 이용률 : 7.33%, 시스템 발전효율 : 6.34%) 및 북해도 전력(시스템 이용률 : 10.6%)의 발표 수치를 상회하였다. 이러한 차이는 효율이 높은 단결정 태양전지를 사용하였고, 태양의 경사면 일사량의 크기가 가장 크도록 태양전지 어레이가 적절한 위치와 각도로 설치되었기 때문으로 파악되며, 또한 우

리 나라의 지난 한 해 동안의 일기가 전체적으로 태양광 발전에 양호 하였으므로 고찰 된다.

표 1. 전력변환장치 입·출력 특성

출력 (%)	직류입력		교류출력		효율 (%)	역률	교류전류 총합(%)
	전압(V)	출력(kW)	전압(V)	출력(kW)			
0	245	0.06	213.0	0.00	-	-	-
12.5	249	0.51	213.5	0.44	86.3	0.993	0.9
50	250	1.89	213.2	1.75	92.6	0.999	1.1
100	255	3.79	213.6	3.50	92.3	1.000	1.2

표 2. 발전시스템 발전특성

월 별	발전 전력량 (kWh)	시스템 이용률 (%)	계측 일수	월 별	발전 전력량 (kWh)	시스템 이용률 (%)	계측 일수
2	161	14.9	15	9	396	18.3	30
3	428	19.2	31	10	408	18.3	31
4	401	18.6	30	11	264	12.2	30
5	366	16.4	31	12	247	11.1	31
6	375	16.8	30	1('98)	264	11.8	31
7	312	14.0	31	2('98)	287	14.2	28
8	378	16.9	31				
				평균 (합계)	4,287	15.6	380

* 연간 발전시스템 발전효율(%) : 약 8.03%

3. 결 론

본 연구에서는 계통연계형 태양광 발전시스템의 설계 및 제작과 실증운동을 통하여 계통연계형 태양광시스템의 고찰과 발전특성을 연구하였다.

3 kW급 계통연계 태양광 발전시스템의 설계 및 제작을 통한 실증시험 운전의 주요결과로는 약 1년 3개월 동안 5,497 kWh의 전력을 발전하여, 일평균 11.3 kWh, 시스템 이용률 15.6%, 시스템 발전효율 8.03%인 것으로 분석되었다.

향후 10 kW급 3상 계통연계형 태양광 발전시스템의 특성분석을 지속하고, 설계·운영 및 평가 기술개발을 통하여 시스템 효율 개선과 가격 저감에 대한 방안 등을 연구 추진 할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] U. S. Department of Energy, "National Photovoltaic Program : Five Year Research Plan (1987-1991)," pp. 26, 1987.
- [2] 通商産業省エネルギー廳, "新資源エネルギー便覽," 通商産業調査會出版部, 1995.
- [3] France Lasnier, and Tony Gan Ang, "Photovoltaic Engineering Handbook," Adam Hilger, 1990.
- [4] 황인호, "태양광발전을 위한 직·교류 전력변환 시스템의 설계 및 제어," 충남대, pp. 72-111, 1997.