

## 계통연계 태양광 발전시스템의 운전특성분석

황인호, 정승주  
전력연구원 에너지환경고등연구소

### An Analysis of the Operation Characteristics of a Grid-Connected Photovoltaic Power Generation System

In-Ho Hwang\*, Seung-Ju Jeong\*, Se-Jin Seong\*\*

Center for Advanced Studies in Energy and the Environment, KEPRI\*, Chungnam Nat. Univ.\*\*

**Abstract**-In this paper, a characteristics analysis of the grid-connected photovoltaic power generation system which uses the simulation method of PV array is reported. The control method of DC/AC power conversion were suggested to establish the basic application technology of photovoltaic systems.

The results of the demonstration test of a 3 kW grid-connected PV system show that the system utilization rate is 17.6% and the system efficiency is 8.9%.

#### 1. 서 론

깨끗한 대체에너지원으로 주목 받고 있는 태양광 발전은 태양전지의 고효율화, 인버터 등 주변장치의 고성능화 및 전체시스템의 저가화를 위한 연구가 활발히 진행되면서 가장 실용화에 근접한 신발전기술로서 평가되고 있다.

그중에서도 실용화보급효과가 클 것으로 예상되는 소규모 계통연계 태양광발전시스템은 일반 가정에 설치하여 기존 전력계통에 연계하는 형태로서, 피크전력저감등과 같은 장점이 기대되는 반면에, 전력품질, 안전성, 안정성 등의 면에서 여러 문제를 일으킬 수도 있기 때문에 적절한 계통연계 기술이 필요로 한다.

본 논문은 인버터를 포함한 소규모 용량의 태양광 발전시스템의 계통연계 실용화기술확립을 위해 제작 설치한 3 kW 시스템의 실증시험 결과를 바탕으로 시스템 운전특성 등을 분석, 검토하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 태양광발전시스템의 개요

현재까지 널리 실용화 되어 사용되고 있는 태양광 발전시스템은 대부분이 직류부하를 대상으로한 소규모 용량의 것으로 시스템 구성은 태양전지와 축전지가 결합되어 있는 간단한 형태이지만, 본격적인 전력용으로서의 일반적인 시스템은 교류부하를 대상으로 한 것이 많고, 전력계통과의 연계가 일반적이다.

태양광 발전 시스템의 구성은 그 이용 형태에 따라 다르지만, 기본 구성은 그림 2-1과 같다.

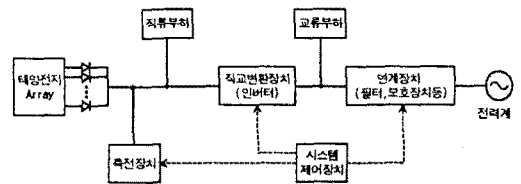


그림 2-1 태양광 발전시스템의 구성도

##### 2.2 태양전지 어레이 발전특성

###### 2.2.1 태양광발전원리

아래 그림 2-2는 직렬·병렬저항을 고려한 태양전지의 실제적인 등가회로이다.

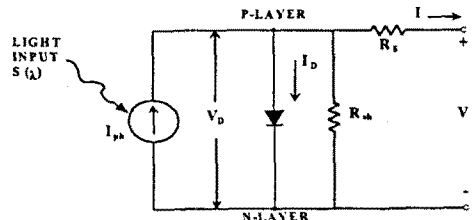


그림 2-2 태양전지의 실제 등가회로

태양전지 출력전류는

$$I = I_{ph} - I_0 \{ \exp q(V + IR_s) / A_0 KT - 1 \} - V / R_{sh}$$

되며, 여기서  $R_{sh}$ 를 무시하면

$$I = I_{ph} - I_0 \{ \exp q(V + IR_s) / A_0 KT - 1 \}$$

$$V = -IR_s + A_0 KT / q \ln \{ 1 + (I_{ph} - I) / I_0 \}$$

이 되며, 태양전지로 부터 얻어지는 태양전지 출력(output power)은 직렬저항과 병렬저항을 각각 무시하였을 경우 태양전지의 출력전압과 출력전류의 곱이며

$$P = I \cdot V$$

$$= \{ I_{ph} - I_0 (\exp qV / A_0 KT - 1) \} V$$

$$= I_{ph} \cdot V - I_0 \{ \exp qV / A_0 KT - 1 \} V$$

이다. 그림 2-3은 태양전지의 I-V 및 P-V특성을 나타낸다.

여기서,  $I_0$  다이오드 포화전류,  $I_{ph}$   
 $R_s$  직렬저항,  $K$ : 불쯔만 상수,  
 $R_{sh}$  병렬저항,  $q$ : 전자의 전하량,  
 $I_{sc}$  단락전류,  $I_D$ : 다이오드 전류,  
 $V_{oc}$  개방전압,  $T$ : 모듈온도 이다.

### 2.2.2 어레이 시뮬레이션

태양광 발전시스템의 개발, 설계 및 운용에 있어서, 각각의 태양전지의 기본특성값으로부터 각종일사강도·모듈온도조건에 있어서 I-V커브를 작성하는 기술은 이미 설치한 태양광발전시스템의 출력·발전량의 평가 및 태양광 발전시스템의 발전량의 확률계산등 다방면에 필요하며, C언어로 작성된 시뮬레이션 프로그램에 의해 태양전지의 I-V곡선을 작성하였다. 일사량, 온도, 직렬저항( $R_s$ ), 병렬저항( $R_{sh}$ )의 변화 및 태양전지의 직·병렬수 변화에 따른 I-V곡선을 시뮬레이션하였다. 사용된 계수는 솔라시뮬레이터 및 어레이 테스터에 의해 실측된 값을 사용하였고, 태양전지 모듈은 국내 A사의 50 Wp 단결정 실리콘 태양전지에 대하여 측정하였다.

특성이 같은 모듈을 1직렬×1병렬, 15직렬×4병렬인 경우에 대하여 각각 시뮬레이션 하였으며 실측 Data와 근사적으로 일치함을 확인하였다.

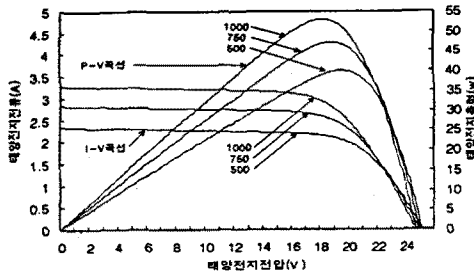


그림2-4 일사량(1000, 750, 500 W/m²) 변화시의 I-V, P-V 곡선 (모듈 1개)

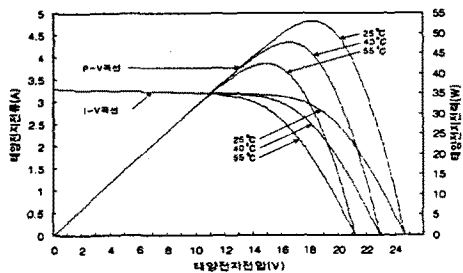


그림2-5 T(25°C, 40°C, 55°C)변화시의 I-V, P-V 곡선 (일사량 1000W/m²)(모듈 1개)

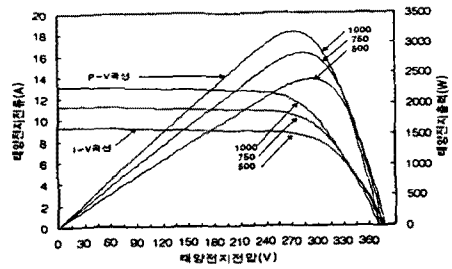


그림2-6 일사량(1000, 750, 500 W/m²) 변화시의 I-V, P-V 곡선 (모듈 15직렬×4병렬)

### 2.3 계통연계형 태양광발전시스템 구성

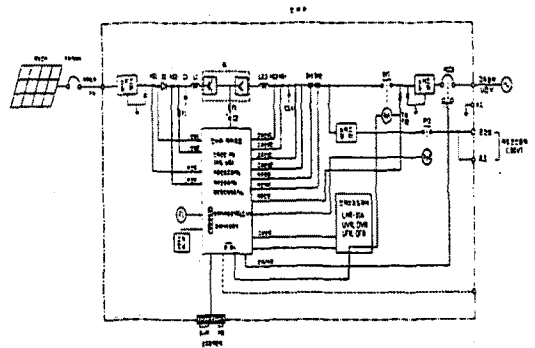


그림2-7 시스템 회로 구성도

표1 3kWp 시스템 주요제원

항목	규격
태양전지 모듈	종류: 단결정 실리콘 태양전지
	용량: 50Wp
태양전지 어레이	효율: 14%
	결선방법: 직렬 15× 병렬 4
인버터	경사각: 30°
	용량: 3kWp (50Wp 모듈 60개)
	연계운전방식: 전압형 전류제어방식(정현파 PWM)
	정격출력: 3.5kW
	직류입력전압: DC 120~350V
	전력제어방식: MPPT 제어
	정격출력: AC 220V 60Hz
계통연계 보호기능	전력변환효율: 92% 이상(정격 출력시)
	단독운전검출: 수동적 방식: 전압위상도약방식 자동적 방식: 무효전력변동방식
	보호계전기: UVR, OVR, UFR, OFR등

### 2.4 실증시험 운전특성분석

시스템 설치후 기기점검 및 조정을 거친 후 1997년 2월 14일부터 본격적인 운전을 개시되었다. 운전데이터는 CR7 Data logger로 구성된 Data Acquisition System에 의해 수집되었고, 그림2-8은 CR7에 의해 계속된 태양광 발전시스템의 운전실적의 한 예를 보여준다.

또한 그림 2-9, 10, 11은 운전개시후 '97년 4월말 까지의 주요 운전실적을 요약 정리한 것이며, 5월 운전분을 포함한 약 3.5개월 동안 3 kW 계통연계 태양광 발전시스템으로부터 발전된 총 전력량은 1,356 kWh로 월평균

380 kWh/mon, 일평균 12.67 kWh/day를 발전한 것으로 분석되었다.

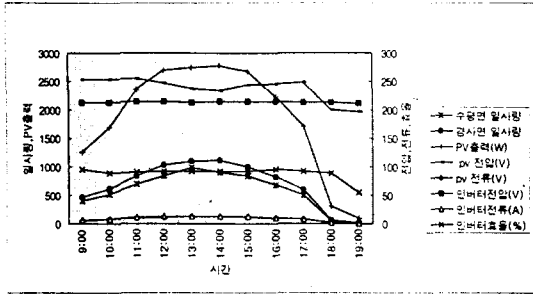


그림2-8 3 kW 계통연계 PV 시스템의 시간별 발전특성곡선 (1997.4.9. 맑음)

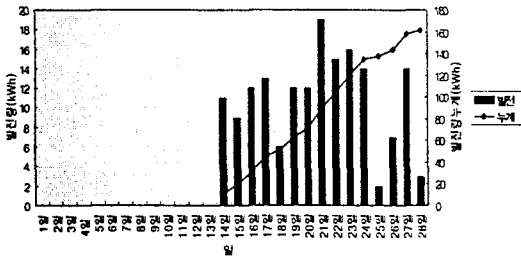


그림2-9 PV 시스템 2월 운전실적

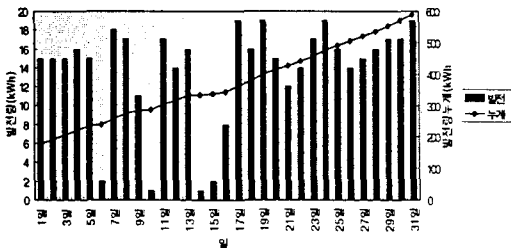


그림2-10 PV 시스템 3월 운전상황

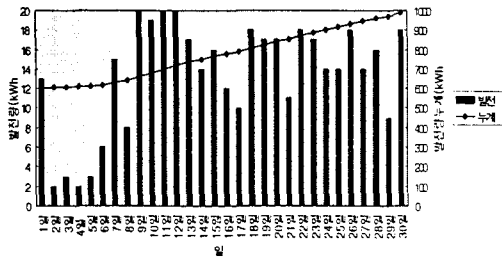


그림2-11 PV 시스템 4월 운전실적

표2 주요 운전실적(경사각 30°)

		월별	2	3	4	5
발전량(kWh)	합계		161	428	401	366
	일평균		10.73	13.80	13.36	11.81
계속일수			15	31	30	31

※ 인버터 출력단 기준 전력임

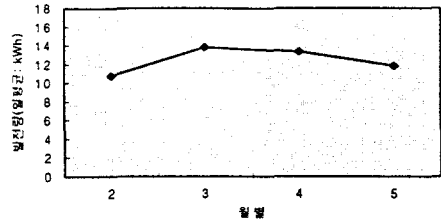


그림 2-12 월별 일평균 발전량 추이

표3 인버터 입력력 특성

출력 (%)	직류입력		교류출력		효율 (%)	역율	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

표4 시스템 발전특성

월 별	발전전력량 (kWh)	시스템 이용율(%)	시스템 발전효율(%)	계속일수
2	161	14.9	8.7	15
3	428	19.2	9.1	31
4	401	18.6	8.9	30
5	366	16.4	8.8	31
평 균(합계)	(1,356)	17.6	8.9	(107)

### 3. 결 론

본 연구를 통하여 태양광발전시스템의 설계 및 평가에 필수적인 시스템 시뮬레이션 기술확보를 위해 태양전지 어레이의 I-V 발전특성을 등가적으로 모의할 수 있는 시뮬레이션 프로그램을 작성하였다.

3 kW급 계통연계 태양광발전시스템의 설계 및 제작을 통한 실증시험운전의 주요결과로는 약 3.5개월 동안 1,356 kWh의 전력을 발전하여 일평균 12.67 kWh, 시스템이용율 17.6%, 시스템 발전효율 8.9%인 것으로 분석되었다. 향후 50 kW규모의 실증시스템 구성을 통하여 다양한 형태의 실증시험운전을 지속적으로 추진함으로써 계통연계 태양광발전시스템의 설계, 운영 및 평가 기술 개발과 시스템 효율 개선 및 가격저감기법 등을 검토할 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Electric Power Research Institute, AP-3351 : Photovoltaic Power Systems Research Evaluation : A Report of the EPRI Ad Hoc Photovoltaic Advisory Committee, prepared by Strategies Unlimited, EPRI, Palo Alto, CA, 1983.
- [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] 황인호 외, "상태공간 모델링을 이용한 계통연계 태양광발전시스템용 단상인버터의 설계 및 제어" 대한전기학회 하계학술대회, 1996.7.