

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol.18. No.1, 1998

3 kW 계통연계형 태양광 발전시스템의 설계 및 실증운전특성 분석

황인호 *, 정승주 **, 안교상 **, 임희천 **

* 옥천전문대학 전기과,

** 전력연구원 에너지환경고등연구소

Design and Characteristics Analysis of a 3 kW Grid-connected Photovoltaic Power Generation System

I. H. Hwang *, S. J. Jeong **, K. S. Ahn **, H. C. Lim **

* *Okchon College, Dept. of Electrical Eng.*

** *Korea Electric Power Research Institute*

Abstract

This paper describes a design method and characteristics analysis of the 3 kW grid-connected photovoltaic power generation system to establish the basic application technology of photovoltaic systems.

The design specification of a 3 kW photovoltaic power generation system including a DC/AC inverter is suggested to investigate the system performance for grid connection.

The results of the demonstration test from February to October show that the system with utilization rate up to 17% has reliable operation characteristics and is useful for peak-shaving of utility power.

1. 서 론

최근 하절기 피크 전력수요는 국민생활수준의 향상으로 인한 소비전력의 증대와 계절별, 시간대별 부하의 불균형 및 기상조건에 관계한 주간의 특정시간대의 최대부하로 제한송전의 위기에까지 직면하고 있다. 반면, 세계적으로는 그린라운드(Green round, GR)를 통해 지구 온난화 방지를 위한 각국별 이산화탄소 배출량을 규제하기 시작하였고 우리나라 또한 OECD가입과 더불어 지구환경문제 해결에 적극적으로 동참하기 시작하였다.

이와 같은 상황에서 전력수급의 안정적 확보를 위해 노력하고 있지만, 원자력, 화력, 수력 등의 발전소 건설은 투자비의 급증과 건설기간의 장기화뿐만 아니라 지역이기주의 현상까지 발생하여 많은 문제를 안고 있다.

깨끗한 신에너지원으로 주목받고 있는 태양광발전은 대체에너지 발전중에서도 가장 실용화에 가깝고 운전이 쉬우며, 유지 및 보수 용이와 발전규모 선택이 자유롭다는 여러 가지 장점을 가지고 있어 미래 유력한 대체에너지원으로 각광을 받고 있다. 뿐만 아니라 태양광 발전이 최대전력을 발전하는 시간대가 하절기 피크 전력 소비시간대와 비슷하여 주택용으로 계통연계 운전시 전력 수급 불균형 해소에 기여할 수 있고 그 특성상 주택 및 건물의 지붕이나 옥상, 벽면등에 설치함으로써 국토의 효율적 사용이 가능한 전력공급원으로 그 활용이 가능하다.[1]-[4]

본 논문은 계통연계형 태양광발전시스템의 실용화기술확립을 위해 제작 설치한 3 kW 시스템의 계절별 및 시간대별 실증시험결과를 바탕으로 계통연계형 태양광발전시스템의 운전 특성 및 효율성을 비교분석, 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 계통연계형 태양광발전시스템의 개요

계통연계형 태양광발전시스템은 Fig. 1과 같이 배전계통과 연계하여 대규모 발전소를 보완하는 분산전원의 역할을 하는데 시스템 이용형태를 대별하면 주택, 빌딩 등의 옥상에 설치되는 분산형 시스템과 대규모(수 MW) 발전시스템에 이용되는 집중형 시스템으로 분류할 수 있다. 연계장치는 태양광 발전시스템 또는 전력계통의 이상시에, 쌍방을 신속히 분리하는 보호 제어장치가 주가 되지만, 고조파 억제 필터 및 전력계통으로부터의 침입 서지의 방지 그리고 전력 조류의 방향에 따라 별도로 계량할 수 있는 전력량계 등도 필요하다. 시스템 제어장치는 전체적으로 이상적인 운전이 가능하도록, 각 시스템 구성기기를 감시, 제어하는 것이 있지만 규모에 따라 생략되어 인버터의 제어회로에 포함되고 있다.[3]

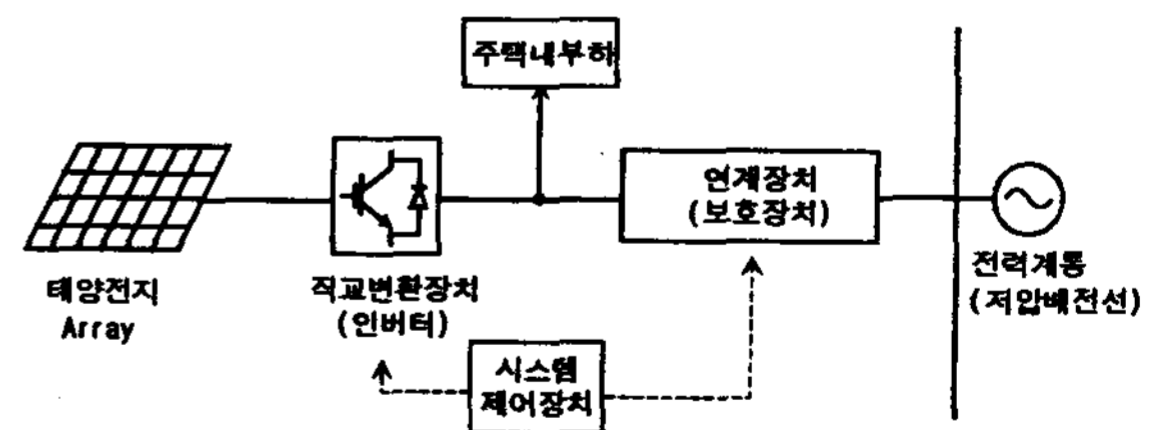
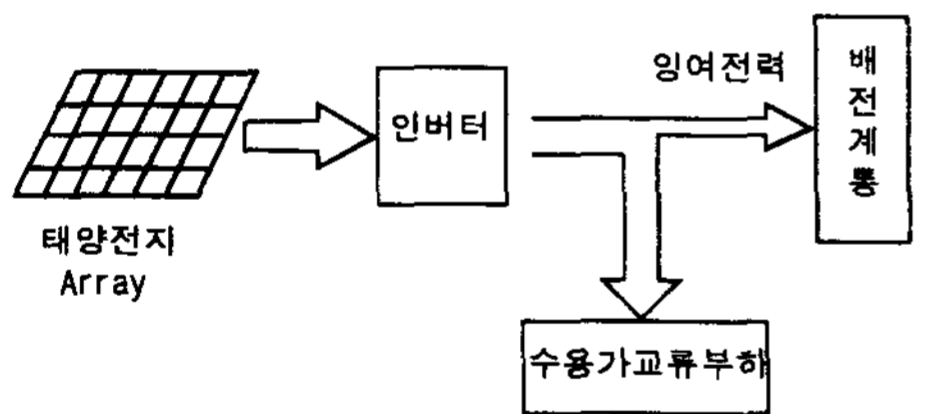


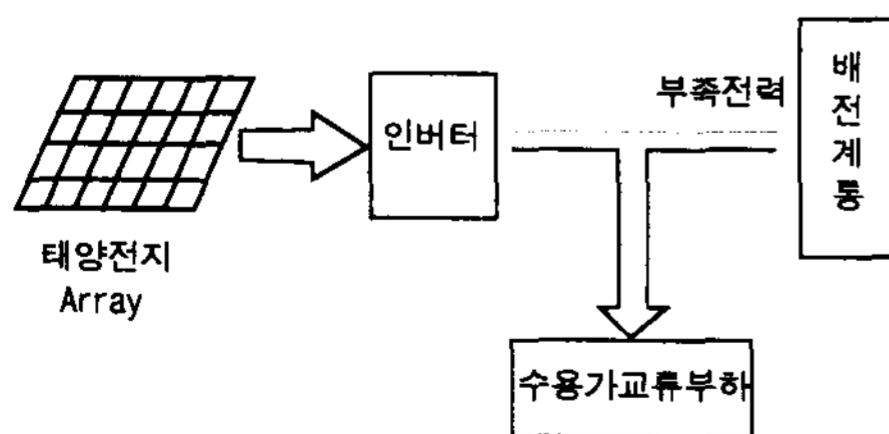
Fig. 1 계통연계형 태양광 발전시스템의 구성도

2.2 계통연계형 태양광발전시스템의 연계 방식

발전방식에 따라 계통연계형 태양광 발전 시스템은 태양에너지를 효과적으로 이용하기 위해 시스템의 출력을 배전선에 접속하여 Fig. 2의 (a)와 같이 태양광 발전시스템의 출력이 수용가 부하보다 큰 경우에는 잉여전력을 계통으로 회생시키고 (b)처럼 부족한 경우에는 부족분을 계통으로부터 보충 받는 양방향 조류방식과, 그리고 발생전력의 잉여분을 계통으로 회생시키지 않는 단방향 조류방식으로 분류된다. 전력계통의 안전 및 전력품질의 유지면에서는 단방향 조류방식이 유리하지만 발전효율을 높이고 분산형 전원형태로서 대규모 전원의 보완적 역할을 수행하도록 하기 위해서는 양방향조류방식을 고려해야한다.[2][6]



(a) 잉여전력 발생시



(b) 부족전력 발생시

Fig. 2 양방향 조류방식의 전력공급 개념도

2.3 3kW 계통연계형 시스템 설계

발전장치인 태양전지 어레이는 단결정 태양전지를 사용하여 교류측 출력전압이 220V 이므로 모듈 15개를 직렬로 연결하였고 경사각은 대전지역의 위도를 고려하여 30°로 결정하였다.

주회로 구성은 자여식 전압형으로 최대출력 추종제어가 가능하며, 고조파 왜율은 총 5%이내이고, 연계운전을 위한 제어방식으로 단독운전 검출면에서 유리한 전류제어형 인버터를 채택하였다. 계통연계 보호기능으로는 UVR, OVR, UFR, OFR 등의 보호계전기 이외에, 단독운전 검출기능으로 전압위상도약방식의 수동적 방법과 무효전력변동방식의 능동적 방법을 부가 하였다.

Fig. 3은 인버터를 포함한 전체시스템의 회로구성도를 보여주고 Table 1은 3 kW 시스템의 주요설계규격을 요약한 것이다.

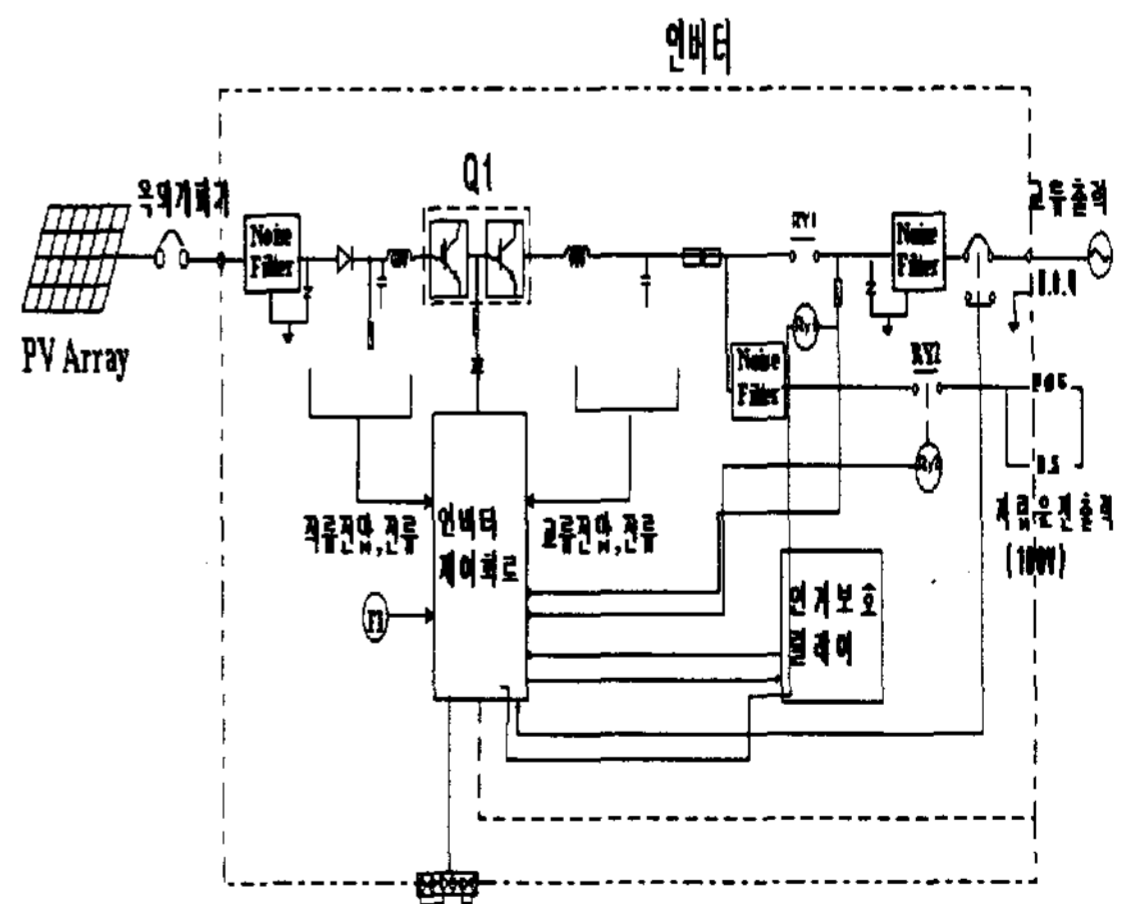


Fig. 3 3 kW 시스템 회로 구성도

Table 1 3 kWp 시스템 설계규격

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

2.4 실증시험 운전특성분석

3 kW 계통연계형 태양광시스템은 설치후 기기점검 및 조정을 거친 후 1997년 2월부터 본격적인 운전을 개시하였다. 운전데이터는 CR7 Data logger로 구성된 Data acquisition system으로 수집되었으며 10분 간격으로 수평 및 경사면 일사량과 태양광발전에 많은 영향을 끼치는 태양전지모듈의 표면온도 및 대기온도등의 기상자료 그리고 각종 동작전압, 전류 및 발전량 등을 수집하였다.

2.4.1 시스템 월별 운전실적

Table 2, Fig. 4는 '97년 2월 운전개시후 '97년 10월말까지의 3 kW 계통연계형 태양광 발전시스템의 월별 운전실적을 나타낸 것으로 각각 2월부터 10월까지의 월별발전량을 나타

낸 그림이다. 월별 일사량 및 발전량과의 관계를 살펴보면 모듈표면온도 및 어레이 경사각의 영향으로 봄, 가을의 발전실적이 여름보다 더 많은 것으로 나타났다. 10월말까지 약 9개월 동안 3 kW 시스템으로부터 발전된 총 전력량은 3,225 kWh로 월평균 376 kWh/mon, 일평균 12.31 kWh/day를 발전한 것으로 분석되었다.

Table 2. 3 kW 월별운전실적 (어레이 경사각 30°)

		월별	2	3	4	5	6	7	8	9	10
발전량 (kWh)	합계		161	428	401	366	375	312	378	396	408
	일평균		10.73	13.80	13.36	11.81	12.5	10.1	12.2	13.2	13.1
수평면일사량 (kW/m ²)			3.45	4.54	5.17	4.75	5.53	4.73	5.81	4.43	4.42
계측일수			15	31	30	31	30	31	31	30	31

※ 발전량은 인버터 출력단 기준전력임

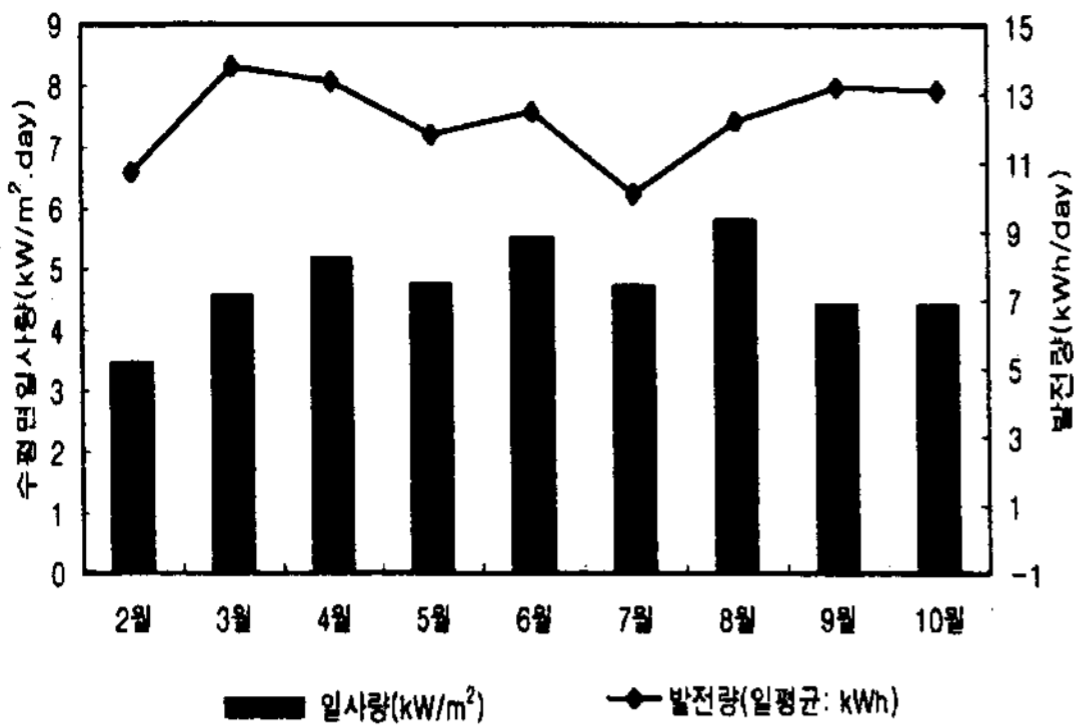


Fig. 4 월별 일평균 발전량 추이

2.4.2 시스템 발전특성

장기적인 면에서 볼 때 전력부하는 경제 성장 및 경기 변동, 경제구조변화에 의해서 영향을 받으며 단기적으로 하계 기상 요인에 의해 상당한 폭을 가지고 변동하는 특성을 가진다. 최근 계통운용 측면에서 중요한 피크전력발생은 여름철 주간의 냉방부하에 의한 영향이 크다고 할 수 있으며 '94~'96년의 부하패턴은 Fig. 5와 같다.

Fig. 6, 7은 3 kW 계통연계형 시스템의 발전특성곡선으로 각각 봄철과 여름철의 시간별 발전특성을 나타낸다. Fig.5와 Fig. 6, 7로부터 전력수요에 대한 부하곡선과 주간의 태양광 발전특성곡선이 유사한 상관관계가 있음을 알 수 있고, 이는 태양광발전시스템이 여름철 주간 피크전력의 저감이 가능함을 의미하며 계통의 피크 전력 삭감효과는 태양광발전설비용량의 40~50%정도인 것으로 분석되고 있다.[5][6]

또한 Table 3은 인버터 입출력 특성의 시험결과로 효율은 50%이상 부하에서 90%이상의 효율을 기록하였으며 계통연계시 중요특성인 고조파 왜율(Total harmonic distortion,

THD)은 1~2%이내의 양호한 결과를 보여주었으며, Table 4는 '97. 2월부터 10월까지의 3 kW 계통연계형 태양광발전시스템의 가동 효율을 나타낸 것으로 17%의 높은 이용율을 갖는 것으로 분석되었다.

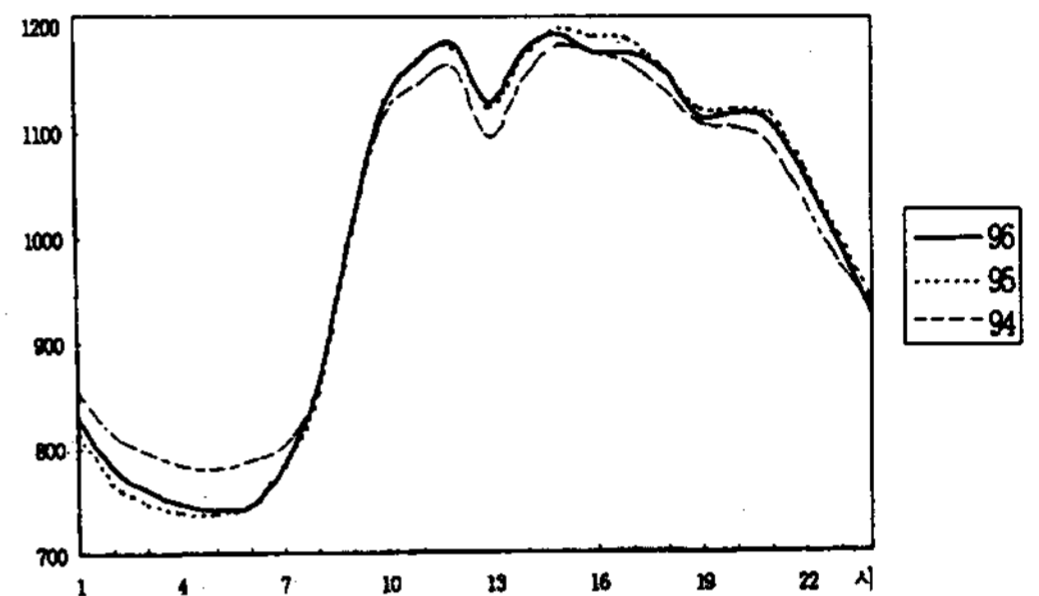


Fig. 5 여름철 시간별 부하패턴 ('94~'96년 맑은날, 평균=1000)

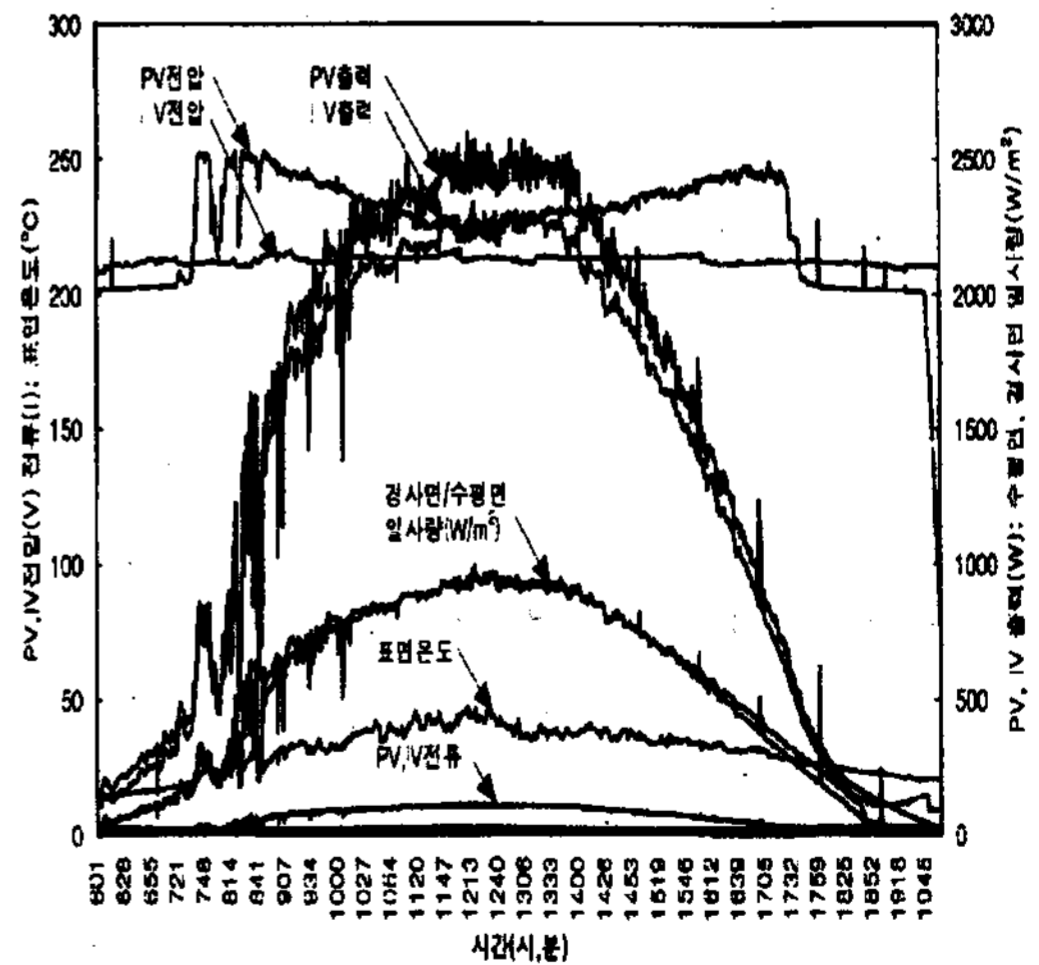


Fig. 6 봄철 시간별 발전특성곡선('97. 5. 31)

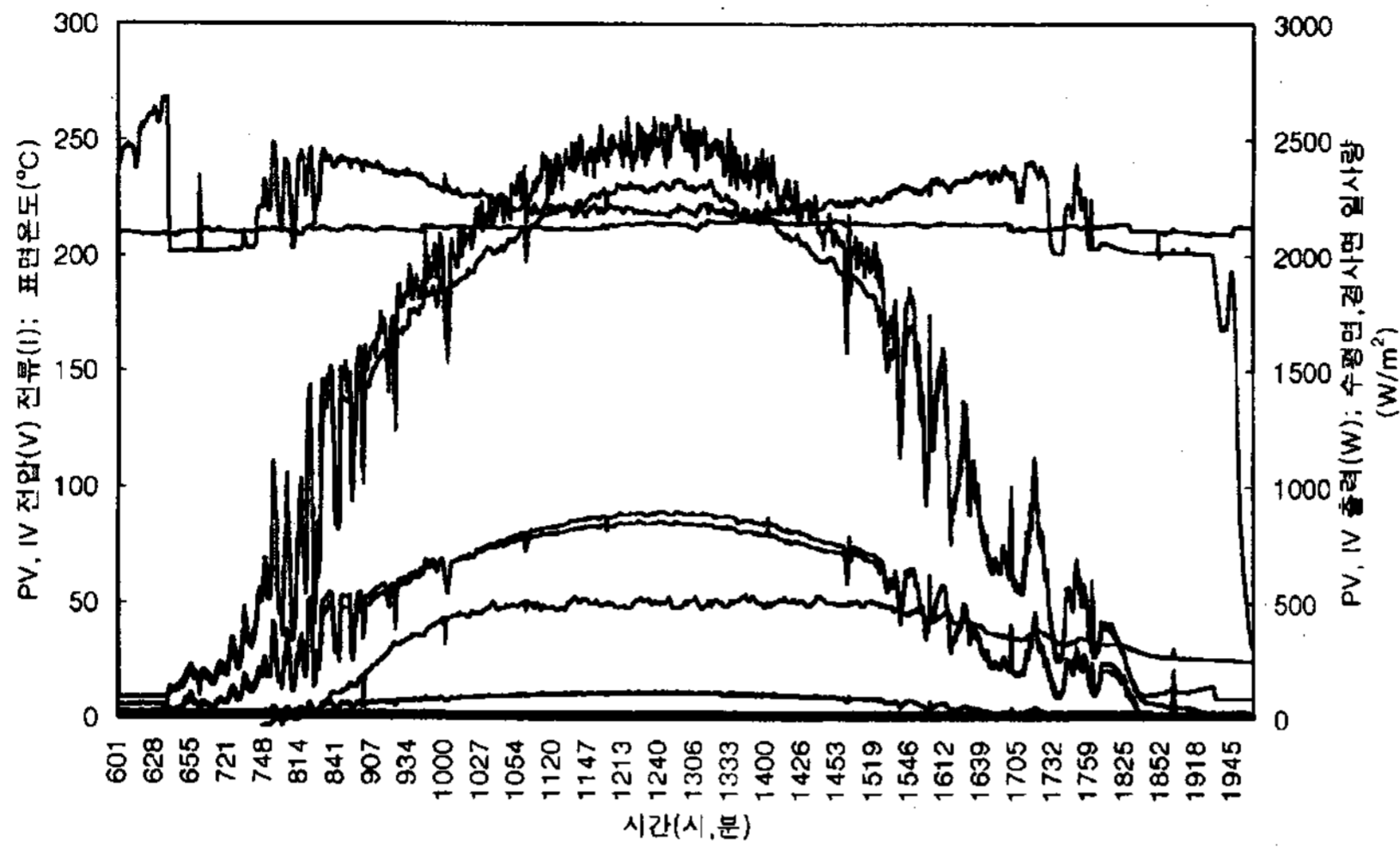


Fig. 7 여름철 시간별 발전특성곡선('97. 8. 5)

Table 3 인버터 입출력 특성

출력 (%)	직류입력		교류출력		효율 (%)	역율	교류전류 THD(%)
	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

Table 4 시스템 이용율

월별	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균
이용율 (%)	14.9	19.2	18.6	16.4	16.8	14.0	16.9	18.3	18.3	17.0

3. 결 론

본 연구에서는 태양광발전시스템의 설계 및 평가기술 개발을 목적으로 국내에서는 그동안 연구실적이 미흡했던 계통연계형 태양광 발전시스템의 실증시험 운전결과를 분석하였다.

소규모 주택용 시스템으로 보급이 예상되는 3 kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 설계 및 제작을 통한 실증시험운전의 주요결과로는 약 9개월 동안 3,225 kWh의 전력을 발전하여 일평균 발전량은 12.31 kWh, 시스템 이용율은 평균 17.0%인 것으로 분석되었다. 또한 장기간의 운전을 통하여 양방향 전력조류방식의 계통연계 시스템의 설계규격의 적정성을 확인하였다.

향후 계통연계형 태양광발전시스템의 실용화를 촉진하기 위한 방법으로는 소규모 주택용 시스템 이외에 빌딩 등 공공건물에 적용할 수 있는 중규모 계통연계형 태양광발전시스템의 실증시험 운전과 병행한 시범보급 사업이 더욱 활성화 되어야 할 것으로 사료된다.

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] S. Krauthamer, K. Bahrami, R. Das, T. Macie and W. Rippel, "Photovoltaic Power Conditioning Subsystem : State of the Art and Development Opportunities," U.S.DOE Reports, DOE-ET-20356-9, 1984.
- [3] W. T. Miles and J. Patmore, "System Reliability Implications of Distributed Power Sources in the Electric Grid," New Energy Conservation Technologies and Their Commercialization, Vol. 3, 2773-2783, 1981.
- [4] 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.
- [5] 한국전력공사, "하계냉방부하 특성분석", 1996.
- [6] 황인호, "부하평준화를 위한 태양광발전 시스템" 전력전자학회 논문지, Vol. 2, No. 2, pp12-18, 1997.

Design and Characteristics Analysis of a 3 kW Grid-connected Photovoltaic Power Generation System

I. H. Hwang *, **S. J. Jeong ****, **K. S. Ahn ****, **H. C. Lim ****

* *Okchon College, Dept. of Electrical Eng.*

** *Korea Electric Power Research Institute*

Abstract

This paper describes a design method and characteristics analysis of the 3 kW grid-connected photovoltaic power generation system to establish the basic application technology of photovoltaic systems.

The design specification of a 3 kW photovoltaic power generation system including a DC/AC inverter is suggested to investigate the system performance for grid connection.

The results of the demonstration test from February to October show that the system with utilization rate up to 17% has reliable operation characteristics and is useful for peak-shaving of utility power.