

방위각과 경사각에 따른 계통연계형 태양광발전 시스템

김기범\*, 조금배\*, 이강연\*, 최연옥\*, 백형래\*, 김동휘\*\*  
\* 조선대학교, \*\* 여수공업대학

Utility Interactive Photovoltaic Generation System  
with the Angle of Inclination and Direction

K. B. Kim\*, G. B. Cho\*, K. Y. Lee\*, Y. O. Choi\*, H. L. Baek\*, D. H. Kim\*\*  
\* Chosun University, \*\* Yosu technical college

**Abstract** - This paper presents a utility interactive photovoltaic generation system with the angle of inclination and direction.

This paper summarizes the results of these efforts by offering a snapshot of the configuration of photovoltaic in residential applications. The status of PV system components and inter-connection and safety equipment will be summarized. also, This System is able to alteration the angle of inclination and direction. Hence this paper discusses only points that might be useful for application.

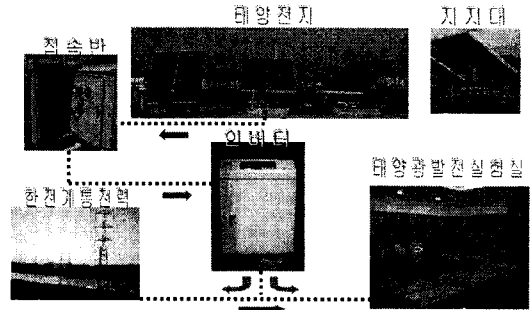


Fig. 1 3kW utility interactive residential photovoltaic generation system

1. 서 론

태양광발전은 무한정, 무공해의 태양에너지를 이용하여 연료비가 불필요하며 대기오염이나 폐기물 발생이 없고, 특히 발전부위가 반도체 소자나 전자부품이므로 진동과 소음이 없으며, 전반적인 시스템을 반자동화 또는 자동화시키기에 용의한 장점을 가지고 있어, 앞으로 도서 벽지나 관공서는 물론, 일반 주택에도 무한한 공급이 예상되고 있다.<sup>[1]</sup> 태양전지판의 활용이 일반 유흥지에 그치지 않고 주택 지붕, 건물 차양, 건물 외벽등으로 다양해지고, 증차 보급이 증가함에 따라 태양에너지의 입사각에 따른 효율이 크게 대두되고 낮은 비용으로 최대의 효율을 만들어 내는데 관심이 집중되고 있다. 주택보급용 계통연계형 태양광발전시스템은 태양광발전의 고효율화, 발전전력의 고품질화, 배전계통의 안정성 확보등의 기능을 필요로 한다. 태양광발전의 고효율화를 위해서 태양전지의 최대 전력점에서의 운전이 반드시 필요하며, 발전전력의 고품질화를 위해서 인버터 출력전류를 단위역율, 정현파로 제어해야 하며, 배전계통의 안정성 확보를 위해서 시스템 보호 기능외에 계통과의 연계가 단절되었을 경우, 이를 검출하여 배전계통으로의 역충전을 방지하여야 한다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 위도와 방위각의 가변이 가능한 지지대와 실제 주택구조의 부하로 구성된 주택보급용 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템을 가지고, 주택용 태양광발전시스템으로 적용 가능한 3kW급 계통연계형 PV시스템의 구성과 제어방식에 대해 간단히 기술하고 실증시스템의 운전을 통한 실험결과를 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 시스템의 구성

그림 1은 주택보급용 계통연계형 태양광발전시스템의 전체 구성도를 나타낸다.

시스템은 1kW급의 태양전지 어레이 3개, 위도와 방위각의 가변이 가능한 지지대, 3kW 계통연계형 인버터, RTU와 양방향 디지털전력계를 이용하여 계측에서 운전, 정지, 경보 등을 디스플레이 및 일정 Format으로 DATA를 보관 할 수 있는 감시제어 시스템이 설치되어 있으며, 주택을 모델로 하여 일반 가정과 같은 구조로 설계되고 가정용 전기전자제품 부하로 사용함으로써 실제 가정생활 상황에서의 주택에 보급된 시스템과 같은 상태로 DATA를 분석 연구하고 있다. 표1은 이 시스템의 시스템 사양서이다.

Table 1 System specification

품명	규격	수량	MAKER	비고
태양전지모듈	M531 53Wp	60EA	LG산전	
전지판지지대		3SET	"	
인버터	3KVA(계통연계형)	1EA	HEX	
접속반		1SET	LG산전	
RTU	AI:4P,DI:8P,DO:4P	2EA	LG산전	
DC V T/D	DSH-DV, Out:4~20mA	1EA	대주전기	
DC A T/D	DSH-DMV, Out:4~20mA	1EA	"	
PYRANOMETER	LI-200SA I=0~3000	1EA	NGR(미)	
THERMOCOUPLE	SA-1 MAX180	1EA	대연 C&I	
전력량계	GIMAC III	1EA	LG산전	
컴퓨터	IPC-610 500MHZ	1EA	ADVEN	
UPS(3kW)	Back-up Time:30Min	1EA	대한전력	

### 2.1.1 태양전지와 지지대

Solar Cell은 단결정 실리콘으로 제작되었으며, 모듈의 개방전압이 21V, 단락전류는 3.35A, 정격용량은 53Wp, 전력 변환 효율은 14%이다. 위 시스템에 설치된 태양전지로 한 어레이당 모듈은 20개이며, 총 3개의 어레이가 모듈 60개로 구성되어 최대 3kW를 출력할 수 있다. 3개의 어레이는 각 지지대에 올려있으며, 이 지지대는 경사각과 방위각을 자유자제로 변경하여 실험할 수 있도록 설계되어, 방위각은 360° 회전가능하며, 경사각은 15° 에서 70° 까지 가변할 수 있도록 구성되어 있다. 그림 2는 방위각과 경사각의 가변이 가능한 지지대의 도면이다.

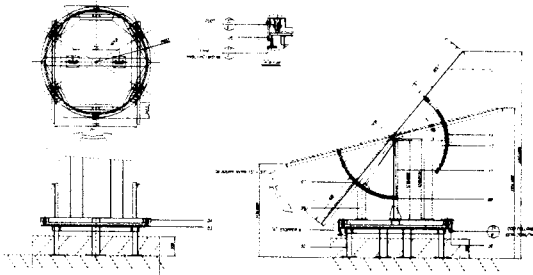


Fig. 2 Support equipment

### 2.1.2 계통연계형 인버터(3kW)

시스템의 출력부에 전력계통과 부하가 병렬로 연결되어 있는 형태의 양방향 조류방식을 채택하여 잉여전력을 한전계통으로 반환하거나 부족전력을 계통으로부터 공급받을 수 있으므로 배터리가 불필요하고, 특히 지금까지 최대전력점 추적기법은 주로 각종 직류초퍼의 구성 및 제어기법을 중심으로 개발되어 왔는데 반면 DC-DC컨버터를 적용하지 않는 구조를 가지고 있어 저 가격이며 소형, 경량이고, 직류 초퍼를 제어하지 않으므로 단일 제어 루프를 가지고 있어 초퍼 스위칭 손실이 없다는 점을 장점으로 들 수 있다. 그림 3은 DC-DC컨버터를 적용하지 않은 계통연계형 인버터의 전체 구성도를 나타낸다.  $C_d$ 는 태양전지의 동작점 규정을 위한 전압원 역할을 하면서 동시에 DC/AC 컨버터의 일부분이 되고 DC/AC 컨버터는 MPPT 기능을 구현하는 알고리즘에 의해 전압지령치를 가변하는 가변 전압형 전류제어(정현파PWM)를 하고 있고, 각종 계통연계 보호기능으로 직류 과전압과 저전압, 계통 과전압과 저전압, 동기 이상, 온도 이상, 단락, 정전등이 포함되어 있다.<sup>[3,4]</sup> 특히 모든 운전이 자동화되어 자기운전 진단이 가능하고, 감시제어 시스템과 연계되어 24시간 감시 및 운전이 가능하다. 그림 3은 계통연계형 인버터의 구성도를 나타낸다.

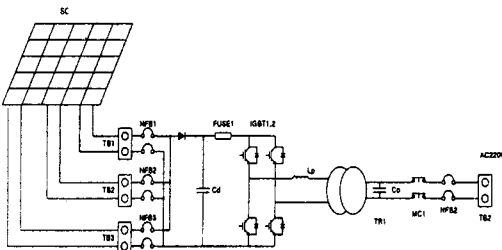


Fig. 3 Inverter configuration

### 2.1.3 감시제어 시스템

감시제어 시스템은 크게 3부분으로 나뉘어 있다. 먼저 3개의 어레이의 전압과 전류를 접속반을 통해 각각 측정이 가능함으로써 각 어레이의 위도와 경도를 변경하여 값을 얻을 수 있으며, 발전량에서부터 부하량 그리고 계통사용량까지 PC에서 감시제어가 가능하다. 현재 어레이의 전압 전류값은 Transducer를 거쳐 RTU를 통해 PC와 RS-422통신으로 DATA를 실시간 주고 받으며, 디지털 양방향 전력계를 통해 부하측의 전류값, 전압값, 전력량 등을 주고 받아 전력감시용 자동화 프로그램을 세팅하여 감시제어하고 있다. 그림 4는 감시제어 시스템의 구성도를 나타내고 있다.

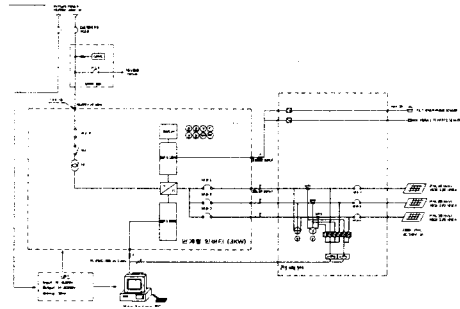


Fig. 4 Monitoring system configuration

### 2.1.4 부하

태양광발전실험실을 주택형 일반가정에서와 같이 구성하여 실증실험을 하고 있다. 거실, 안방, 부엌과 같은 구조로하여, 거실에는 TV, 오디오, PC, 조명을 부하로 하였으며, 안방에는 조명, 냉방기가 설치되었으며, 부엌에는 조명, 냉장고, 전자렌지를 부하로하여 설치되었으며, 일반 가정에서와 같은 시간대를 고려하여 사용하고 있다. 주택용 태양광발전시스템의 보급에 앞서 중요한 자료가 될 것이며, 데이터를 통해 정확한 경제성 평가 및 가정용 가전기기에 미치는 영향등이 연구될 것이다.

## 2.2 실험 결과

시스템 설치 후 기기점검 및 조정을 거친 후 2000년 12월 1일부터 본격적인 운전을 개시하였다. 운전데이터는 매 분단위로 부하, 계통, 인버터, 태양전지, 어레이 별로 전압, 전류, 전력량등이 다양하게 수집되었으며, 일별, 주별, 월별, 계절별, 년별 단위로 분석할 수 있다.

### 2.2.1 인버터 운전 결과

태양광발전의 계통연계시 전력품질면에서 시스템의 영향을 검토하기 위해 3kW 태양광발전시스템의 출력단과 계통연계지점에서의 계통과 부하전류파형을 보았다.

그림 5는 3kW급 인버터의 출력단에서 발생된 출력파형을 보여주고 있다.

일반 가정용 부하에 계통연계하여도 파형이 일정한 형태로 유지되어 계통연계형 태양광발전시스템이 적절히 운전되고 있음을 알 수 있으며, 역률이 거의 1에 가까우나 다소 위상차를 보여주고 있다. 가상부하가 아닌 우리 가정에서 사용하고 있는 실제부하를 가지고 실험을 한 결과 부하단의 전류파형이 많이 왜곡되어 계통선으로 보내주는 전류가 많이 왜곡되었으며 리플이 발생하고 있음을 보여주고 있다.

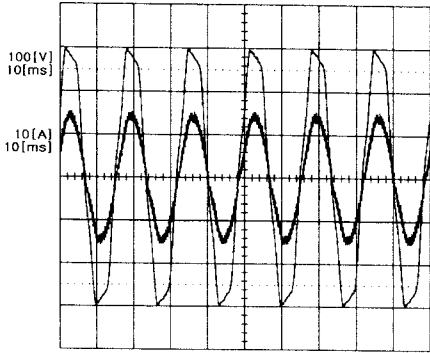


Fig. 5 Inverter out voltage and current waveforms

그림 6은 부하량의 변동에 따른 부하 전류파형을 보여주고 있다. 그림 7은 부하량의 변동에 따른 계통전류 파형을 보여주고 있다. 인버터에서의 발전량이 부하사용량보다 많아 잉여전력을 계통선으로 보내준다. 부하사용량이 인버터 발전량보다 많아 계통선에서 부족전력을 가져오고 있음을 보여주고 있다. 그림 6의 전류파형과 그림 7의 전류파형을 혼합하면 그림 5의 인버터의 출력전류파형과 흡사하는걸로 보아 계통상에서의 전력의 수급이 적절히 운전되고 있음을 보여주고 있다.

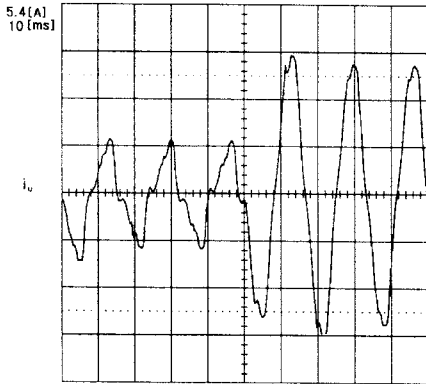


Fig. 6 Load current waveform as change of load

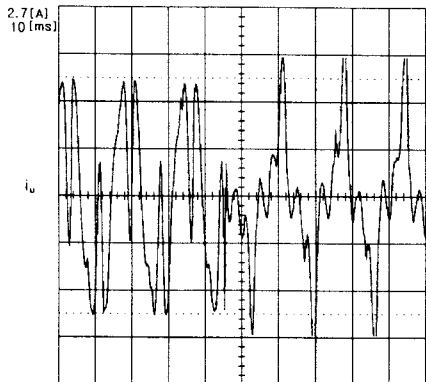


Fig. 7 Utility current waveform as change of load

## 2.2.1 태양광발전시스템 운전 결과

그림 8은 방위각과 경사각에 따른 일일 발전전력 곡선이다. 3개의 어레이의 태양에너지 입사각을 각기 다르게 고정하여 같은 일기조건에서 태양전지의 방위각과 경사각에 따른 다른 데이터값을 얻을 수 있었다. PV\_1은 방위각은 180° 경사각은 50°, PV\_2는 방위각은 180° 경사각은 30°, PV\_3는 방위각은 230° 경사각은 30°로 고정하여 발전량을 수집하였고, 발전당일인 4월 2일 데이터 분석결과 방위각이 정남향인 180°이고 경사각이 위도와 같은 30°인 PV\_2가 발전량이 가장 많았음을 보여주고 있다.

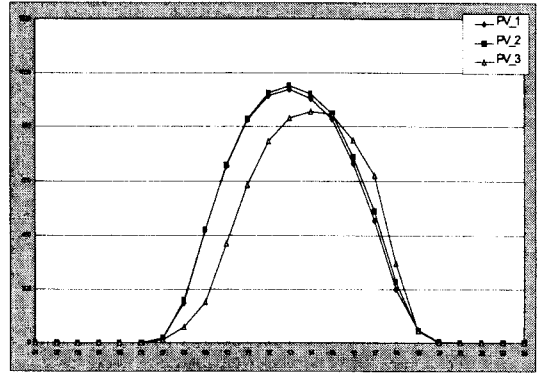


Fig. 8 Generated value with the angle of inclination and direction.

표 2는 3kW 태양광발전시스템의 시간별운전 DATA이다. 2001년 4월 3일 맑은날 데이터이며, 총 발전전력은 20,075Wh/day, 총 인버터 출력전력은 18,311Wh/day, 총 부하 소비전력은 20,127Wh/day, 계통선에서 1816Wh/day 만큼 소비하였다. 그림 8은 3kW 계통연계 태양광발전시스템의 시간별 특성곡선이다. 전력 수요에 대한 부하곡선과 주간의 태양광발전 특성곡선이 유사한 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있다. 주간에 부하가 요구하는 전력이 인버터 출력전력 보다 작은 경우에는 인버터가 부하전력을 공급하고 잉여전력을 계통측으로 공급한다. 그리고 인버터의 출력전력이 부하전력보다 작은 경우에는 계통측으로부터 부족분의 전력을 공급받고 있음을 알 수 있다. 이는 최근 여름철 주간 냉각부하에 의한 영향으로 낮 시간대의 부하가 크게 증가하여 피크전력이 상승하고 있는데, 태양광발전의 주간 잉여전력에 의하여 여름철 계통의 피크 전력이 삭감효과를 볼 수 있는 것을 보여주고 있다.

Table 2 Working data of photovoltaic system (2001.4.3)

시간	일사량 w/m <sup>2</sup>	PV출력 W	PV전압 V	인버터출력 W	인버터전압 V	인버터효율 %
08	179	343	359	218	225	63
09	523	956	343	830	224	86
10	757	1644	329	1512	221	93
11	965	2200	320	2050	221	93
12	1032	2541	310	2376	222	93
13	1029	2680	307	2510	224	93
14	1001	2646	305	2473	222	93
15	957	2495	314	2329	222	93
16	836	2091	319	1941	223	92
17	626	1565	325	1430	222	91
18	374	725	304	610	222	84

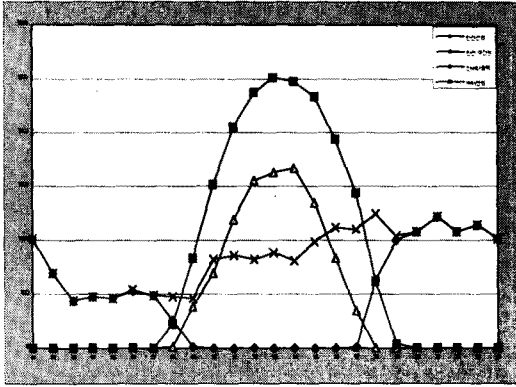


Fig. 9 Load power, utility power and inverter power data of photovoltaic system

### 3. 결 론

본 논문에서는 위도와 방위각의 가변이 가능한 지지대와 실제 주택구조의 부하로 구성된 주택보급용 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템을 가지고, 주택용 태양광발전시스템으로 적용 가능한 3kW급 계통연계형 PV시스템의 구성과 제어방식에 대해 간단히 기술하고 실증시스템의 운전을 통한 실험 결과를 제시하였다.

방위각과 경사각을 가변함으로써 태양에너지 입사각에 따른 발전량의 차이를 볼 수 있었고, 태양전지를 미래지향적 건축물의 구조에 쉬이 친화되면서 최대의 효율을 낼수 있는 자료가 되리라 본다. 향후 계통연계에 따른 배전선의 상태 변화에 대한 추정성, 계통의 주파수나 전압변화에 대한 운용 능력, 계통 사고시에 적절히 대응하는 기능과 자체 발생 고조파로 인한 장애발생 방지등과 관련한 계통연계 제어기술 연구를 수행할 것이다. 또한, 지속적인 데이터 수집을 통해 월별 년별 자료를 일기량에서 발전량, 소비량등을 구분 정리분석하여 차후에 주택이나 각종 빌딩의 태양에너지 입사각 설정에 중요한 데이터가 되도록 연구할 것이며, 이를 통해 주택형 태양광발전시스템이 일반 가정에 널리 보급되는데 크게 이바지하도록 연구할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김동휘, "신경망 제어기법을 이용한 에어컨 구동용 태양전지의 MPPT 제어특성", 조선대학교 공학박사학위논문, 1998
- [2] Dong. H. Sugimoto, "A New Utility Interactive Photovoltaic Power Conditioning System And Its Maximum Power Tracking Control", IPENMC97, PP238-243, 1997
- [3] C. Hua, C. Shen, J. Lin, "Implementation of a DSP-Controlled photovoltaic System with peak PowerTracking", Proceeding of the 23rd International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation Vol 2, 1997
- [4] S.Nonaka, K. Kesamaru, K. Yamasaki, et al, "Interconnection System with Sinusoidal Output PWM Current Source Inverter between Photovoltaic Arrays and the Utility Line", IPEC-Tokyo, pp. 144~151, 1990