

소규모 주택용 태양광 발전시스템의 운전 특성

안교상, 임희천, 강병삼, 황인호*, 김신섭**
 한전전력연구원, 충북과학대학*, 헥스파워시스템(주)**

The operating characteristics of a small-scale residential PV power system

K. S. Ahn, H. C. Lim, B. S. Kang, I. H. Hwang*, S. S. Kim**
 KEPRI, Chungbuk Provincial College of science & Technology*, Hex Power System**

Abstract - In this paper, the operating characteristics of a 3 kW class grid-interactive photovoltaic(PV) power system was analysed from January 1998 to December 2000. The construction of the PV system includes a DC/AC inverter for grid connection, PV module, and data Monitoring & Acquisition system.

The major results of the field test of the 3 kW class grid-interactive PV system showed that the system utilization rate was 13.83%, the conversion efficiency of the inverter was 88% at an over half load, and the PV system generated the electricity more then 300 kWh per month.

결선방법으로 3.18 kWp급의 용량으로 구축하였다. 직류 출력의 교류 전력사용을 위한 전압형 전류제어방식의 최대출력점(Maximum Power Point Tracking: MPPT) 제어 방식을 갖는 3.5 kW의 전력변환장치를 사용하여 전력연구원 실험실내의 배전계통에 연결하였다. 그림 1은 본 고에서 논하는 주택용급 계통연계형 태양광 발전시스템의 구성도를 보여 주고 있으며, 그의 기본 구성은 53 W 모듈 60 매, 3.5 kW 인버터, 그리고 시스템 감시 및 자료 저장을 위한 모니터링 시스템으로 구성되어 있다.

1. 서 론

태양광발전은 저공해, 저소음, 무연료 등의 장점은 물론 운전 유지보수가 용이한 특성을 갖고 있는 발전방식으로서 지구 환경문제에 적극적으로 대처하는 새로운 대체에너지기술로서 상용화 보급에 박차를 가하고 있는 신발전방식이다. 특히 부존자원이 거의 없는 국내 실정에서는 에너지의 자급 노력의 일환으로 태양광 발전을 비롯한 대체에너지 개발은 필수적이라 할 수 있다. 그러나 대부분의 신 에너지 기술과 마찬가지로 발전시스템의 경제성과 실용화 기술개발은 대체에너지 보급 확대를 위해 해결해야 될 과제로 남아 있다.

현재 국내에서는 유인도서의 전화사업의 일환으로 독립형 태양광발전시스템이 보급을 증대하는 가운데 상용 전력계통에 연계 운전되는 계통연계형 발전시스템의 보급 사업에 지역에너지 사업의 일환으로 강력히 추진되고 있다. 태양광 발전시스템 중에서 향후 보급의 잠재력이 큰 계통연계형 태양광 발전시스템은 주택용 소규모 발전시스템부터 중·대규모 전력사업용에 이르기까지 분산형 전원으로서는 혹은 전력사업용으로 전력부하의 피크전력을 감소시키는 발전방식으로서 필요성을 더하고 있다. 이에 정부는 세계 기후협약에 따라 2006년 대체에너지 보급률 2%를 목표로 3 kW급 일만호 보급을 목표로 적극적인 보급사업 계획을 수립하여 추진하고 있다.

본 고에서는 주택용 태양광 발전시스템으로 보급이 유력시되는 3 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템에 대하여 1998년 1월부터 2000년 12월까지 3년여에 걸친 실증시험 운전결과에 대하여 같은 시기의 가정용 주택의 전력 사용량과 관련한 운전특성과 이에 관련하여 논하고자 한다.

2. 본 론

2.1 계통연계형 태양광 발전 시스템

2.1.1 발전시스템 구성

3 kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 제작을 위하여 53 Wp 단결정 실리콘 태양전지 모듈을 사용하여, 모듈 15매를 직렬로 결선 하였으며, 이것을 4개의 병렬

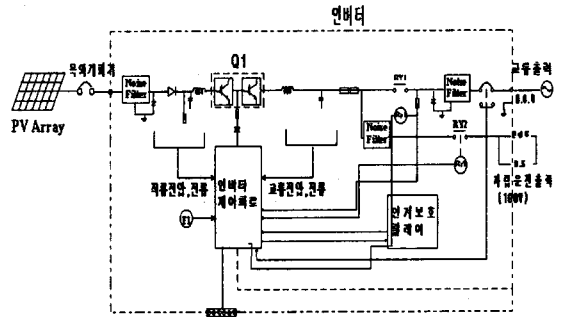


그림 1. 태양광 발전시스템 구성도

2.1.2 발전시스템 규격

본 계통연계형 태양광 발전시스템의 규격은 표 1에 나타내었다. 태양전지 어레이는 국내에서 제작된 53 W의 태양전지를 사용한 에너지 변환효율 14%의 모듈 60매로 이루어진 3.18 kWp급의 용량으로 구성하였다. 그리고 태양전지 어레이는 대전광역시 지역의 연 평균 일사량이 최대가 되는 경사각 30도로 고정된 고정방식을 채택하였다. 인버터는 정격 출력에서 92% 이상의 전력변환 효율과, 과전압, 단락, 정전, 결상, 주파수 이상의 보호 장치를 내장하고 있다.

표 1. 발전시스템 규격

항 목	규 격	
태양전지 모듈	종 류	단결정 실리콘 태양전지
	용 량	53 Wp
	효 율	14%
태양전지 어레이	결선방법	15직렬×4병렬
	경 사 각	30°
	용 량	약 3.18 kWp
인버터	연계운전방식	전압형 전류제어방식
	정격출력	3.5 kW
	직류입력전압	DC 120~350 V
	전력제어방식	MPPT 제어
	정격출력	단상 220V, 60 Hz
	전력변환효율	92% 이상(정격 출력시)
	보호기능	과전압, 단락, 정전, 결상, 주파수

2.2 발전특성 분석

태양광 발전시스템은 일사조건에 의하여 발전출력이 변화하는 특성이 있다. 일조량이 있는 낮 시간대와 일몰 후의 시간 또는 우천과 구름의 영향에 따라 변화하므로 발전시스템의 이용률은 다음 식에 의하여 계산된다.

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

2.2.1 일일 발전출력 특성

3 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템의 실증운전시험의 분석기간은 1998년 1월부터 2000년 12월까지 만 3년에 걸쳐서 연중 발전특성을 비교 분석하였다. 발전시스템 운전에 따른 시스템의 감시 및 자료의 수집은 CR7 DATA Acquisition System에 의해 수행되어 졌다. 그림 1은 일일 발전시스템의 수집된 자료를 도식화 한 것이다. 계측되어진 날의 최대 일사량은 오후 2시로서 1.105Wh/m², 출력은 2,770 Wh, 인버터의 전력 변환 효율은 92.5%를 보여주고 있다. 정상 출력에서는 90% 이상의 직·교류 전력변환 효율을 기록하고 있으며, 연결된 220V의 저압 배전선으로 송전 전류는 동 시간대에 12.8A를 보여 주고 있다.

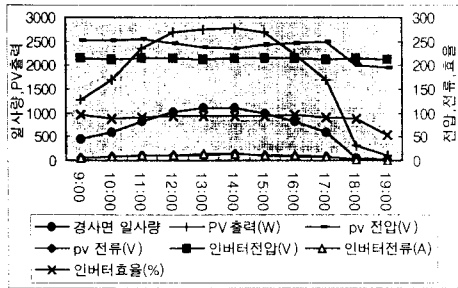


그림 2. 일일 발전현황

2.2.2 인버터 출력 특성

태양광 발전시스템의 배전 계통연계시 전력품질면에서 시스템의 영향을 검토하기 위해 3 kW급 태양광 발전시스템의 발전량 변동에 따른 인버터의 입·출력특성을 살펴 보았다. 그림 2에서 보는 바와 같이 부하가 증가될수록 인버터의 효율도 따라서 향상되고 있다. 역률 역시 1에 가까운 제어가 가능하였으며, 부하의 증가에 따라 역률도 개선되고 있음을 보여 주었다. 본 인버터의 출력 파형은 정현파로서 파형은 리플이 거의 없는 깨끗한 정현파를 나타내었으며, 인버터 전류의 총합 왜율(THD)은 정격출력에서 2% 이내로 제한치 5% 보다 낮은 양호한 특성을 보여주므로써 본 전력변환시스템에 채택된 인버터가 양호한 형태로 동작되고 있음을 확인하였다.

2.2.3 발전특성

그림 3은 1998년 1월부터 2000년 12월까지 3년간의 운전 실적을 표시하고 있다. 태양광 발전량은 계절에 따른 온도와 날씨조건에 따라 일일 및 매월의 발전량에 커다란 차이가 나타나고 있음을 알 수 있다. 월별 운전현황자료를 보면 3년간의 분석기간 중에서 최대 발전은 2000년 3월로서 420 kWh를 기록하였으며, 각 년도를 보면 1998년에는 3월 382 kWh, 다음으로 10월 357 kWh, 1999년에는 4월 392 kWh, 2000년 3월 420 kWh를 보임으로서 대체적으로 봄철과 가을철의 발전특성이 양호함을 볼 수 있다. 분석 기간중의 총 발전량은 11,356 kWh이었으며, 년 평균 발전량은 3,785 kWh를 기록하였다. 이 기간 중의 월 평균 발전량은 315.4 kWh로서 한국전력공사에서 발표한 통계자료의 주택 부하 소비량과 유사함을 볼 수 있다. 여름철과 겨울철의

발전출력의 저하는 여름철은 일조 시간의 증가에 비하여 외기 온도의 상승과 장마철의 우천으로 인한 것으로 사료되며, 겨울철은 낮은 외기 온도로 출력의 상승에 비해 일조시간의 감소와 눈 등에 의한 일조량 부족으로 인한 것으로 분석되어 진다.

총 발전량을 기준으로 하여 분석기간의 월 평균 발전량을 분석하면 1998년은 평균을 상회하는 달은 6개월, 1999년은 7개월, 2000년은 5개월로 나타났으며, 전체 평균 315.4 kWh를 기준으로 하여 1998년은 7개월, 1999년은 8개월, 2000년은 5 개월로 분석되었다. 전체 36 개월 중에 평균을 상회하는 달은 20 개월로 55%를 보여 주었다. 대체적으로 본 태양광 발전시스템이 설치된 현 지점의 기상 조건은 양호하였음을 알 수 있다.

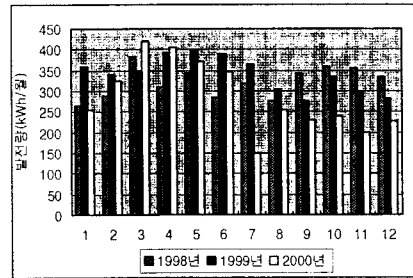


그림 3. 월간 발전 현황(1998년-2000년)

그림 4는 발전시스템의 중요 특성 분석의 변수인 시스템 이용률을 분석기간에 연차별 1월부터 12월까지 분류하여 도식화하였다. 1998년부터 2000년까지 월 평균 이용률은 각각 13.83%, 14.67%, 12.99%를 기록하였으며, 전체 평균 발전시스템 이용률은 13.83%로 계산되어졌다. 가장 높은 이용률은 2000년 3월로 17.75%를 기록하고 있으며, 가장 낮은 이용률은 동년 11월로 8.65%를 보여 주고 있다. 각 연차별로 커다란 차이는 볼 수 없으나, 2000년 8월 이후의 이용률은 본 시스템을 건물 옥상에서 초저로 둘러 쌓인 대지로 옮긴 것으로 인한 것과 별도의 자료를 검출하기 위한 계측장비의 설치로 인한 발전시스템의 자체 소비 전력으로 인한 것으로 분석되고 있다.

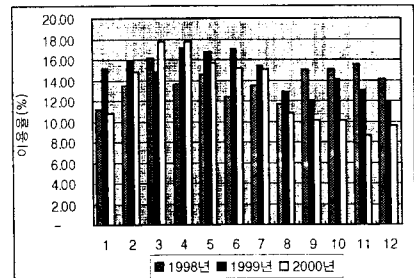


그림 4. 발전시스템 이용률(1998년-2000년)

2.3 고찰

한전 전력통계 속보 자료에 따른 1999년 9월부터 2000년 8월까지 1년 동안의 주택용 가구당 전력소비량은 1월~3월 사이에 전력 소비가 가장 많은 것으로 나타났는데 이는 국내의 경제 상황과 당해 연도의 기후 여건에 따라 전력 소비 패턴도 다소 편차 있을 수 있음을 보여준다. 또한 2000년 8월까지의 자료분석에 의한 가구당 월 평균 전력 소비량은 316 kWh로 1999년 월 평균 전력 소비량인 284 kWh보다 훨씬 큰 폭으로 증가한 것으로 나타났다. 이는 1999년보다 호전된 경제

여건으로 전력 소비가 증가한 것으로 해석된다.

주택의 옥상이나 지붕에 설치 가능한 태양전지 용량은 1 kWp부터 5 kWp까지로 고려 될 수 있다. 이 중에서 태양전지 용량 3 kWp급 설치의 경우 태양광 발전량과 주택의 전력소비량과 가장 비슷한 분포를 보인다. 주택의 평균 전력 소비량에 해당하는 316 kWh의 전력을 생산할 수 있는 태양전지 설치용량은 3 kWp급 정도임을 알 수 있다. 태양광 발전시스템 설치 규모별로 연간 발전량을 기준으로 월 평균 발전량을 계산하면 주택의 전력소비량의 많고 적음에 따라 적정 태양광 발전시스템의 설치용량의 선정이 가능하며 누진제를 적용하는 주택용 전력요금의 특성을 고려하면 적은 규모의 태양광 발전시스템에 의해서도 그 설치 효과는 클 것으로 예상된다.

3. 결 론

본 연구에서는 계통연계형 태양광 발전시스템의 1998년 1월부터 2000년 12월까지 3년 동안 실증시험운전을 통하여 계통연계형 태양광시스템의 발전특성을 분석하였다.

주택용의 가정용 기본 전력인 3 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템에 대한 실증시험운전의 주요결과로는 총 전력 11,356 kWh를 송전하였으며 연평균 3,785 kWh, 월 평균 315.4 kWh, 시스템이용률 13.83%인 것으로 분석되었다. 이는 한전의 통계자료와 비교하면 가정용 전력 사용량과 가장 유사한 발전특성을 나타내고 있음을 보여주고 있다. 초기의 시설 투자비용이 큰 태양광 발전시스템이지만, 주택용 전력 요금의 누진제를 고려할 때 설치 용량의 선정에 따라 효과는 매우 클 것이라 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] France Lasnier and Tony Gan Ang, "Photovoltaic Engineering Handbook", Adam Hilger, 1990.
- [2] 한국전력공사 기획본부 경영경제연구소, "부하곡선 변화추이 및 요인분석", 1996.
- [3] 안교상, 임희천, 황인호, 정승주, "계통연계형 태양광 발전시스템의 운전특성에 관한 연구", 대한전기학회, pp. 2436 - 2438, 1998.
- [4] 안교상, 임희천, 황인호, "50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템 개발 최종보고서", 전력연구원, 1999.10.
- [5] 한국전력공사, "전력통계속보", 263호, 2000. 9.