

3kW 계통연계형 태양광발전시스템의 운전특성

김형석, 박정민, 나중덕, 백형래, 조금배
 조선대학교*

The Operating Characteristics of 3kW Utility Interconnected Photovoltaic System

Hyung Seok-Kim*, Jeong Min-Park, Hyung Rae-Baek, Geum Bae-Cho
 Chosun University*

Abstract - Consider the optimal design for PV system, it is apply to 3kW interconnected electric power PV system, that is a point of reference for 3kW PV the spread residential section system. Through the driving various practical system, we look into that for efficiency of generation and stability of interconnected system. Using obtained data acquisition, It can be suggest that installation and management for system parameter to optimal design maximum generation electric power. PV system have some losses that are variation radiation, shadow, change temperature, unbalanced grid connection, serial circuit loss, MPP deference loss, PCS loss and so forth. Using obtained various performance characteristic result, we can make database in the future, through the this study, we can get the reliance and have regard to spread PV system.

1. 서 론

최근 태양광발전산업의 시장은 태양전지 제조기술의 발달에 힘입어 고효율, 저비용화가 진행되면서 시장이 확대되어지고 있는 실정이다. 그러나 기존의 발전방식에 비해 발전단가가 높고, 에너지 밀도가 희박하여 일정한 전력을 이용하기 위해서는 비교적 커다란 면적의 태양전지 모듈의 설치장소가 요구된다. 더욱이 설치장소의 기상 및 자연조건에 절대적인 영향을 받고 태양전지에서 발생되는 전력은 직류지만 대부분의 부하는 교류로 사용하기 때문에 태양광발전의 출력을 교류로 변환시켜야 하므로 변환효율에 의한 손실을 고려하여야 한다.

태양광발전 설비가 설치될 장소의 온도 및 일사량 등의 환경데이터에 대한 세부적인 지식과 유사하게 설치된 발전시스템의 동작특성의 결과를 요구하므로 환경데이터의 분석, 취득이 필요하다.

본 연구에서는 태양광발전시스템의 최적 설계에 있어 외부 환경조건, 태양전지 어레이의 설정과 계통연계형 인버터 시스템의 설계 및 설치 조건 등의 파라미터에 따라 발전효율의 차이와 태양광발전의 주택 실용화 보급시스템의 기준이 되고 있는 3kW 계통연계형 태양광발전시스템을 적용하여 실제 시스템의 운전을 통한 발전효율과 시스템의 안정성에 대하여 고찰하여 획득된 데이터를 통해 최대 발전효율을 낼 수 있는 시스템과 최적의 태양광발전시스템을 설계할 수 있는 설치 및 이용에 관한 파라미터를 제시하고자 한다.

2. 3kW 태양광발전시스템 구성

2.1 3kW 태양광발전시스템

본 실증연구를 위해 설치된 3kW 태양광발전시스템은

2기의 국내 PV system과 1기의 외국 PV system으로 모두 3기의 태양광발전시스템을 설치하였고 인버터는 3개 종류의 제품을 이용하였다.

PV시스템은 경도 126.92°, 위도 35.1°에 위치하고 있으며 시스템의 설치 조건은 국내에 보급된 일반 주택들의 지붕경사각을 고려하여 계산한 결과를 토대로 지붕경사각을 약 18°로 설치되었다. 설치 방위각은 일사량 분포를 고려할 경우, 발전효율이 가장 양호한 정남향(0°)으로 하여 장시간의 운전을 통해 환경조건 변화에 따른 태양광발전시스템의 발전성능, 신뢰성, 안정성 등의 운전특성을 비교 분석하였다. 그림 1은 태양광발전시스템의 기본 결선도를 보여주고 있다.

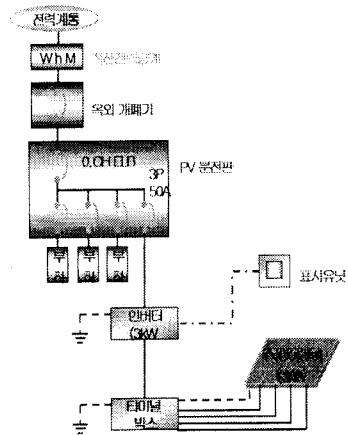


Fig. 1 Block diagram of PV system

2.2 PCS 특성

각 시스템별 태양전지 어레이의 정격출력은 2.9kW~3.2kW, PCS의 정격출력을 3~4.2kW로 범위로 하여 시스템이 구성되었다.

SiteA의 PCS는 최대전력 추종제어를 하는 전압형 전류제어방식을 사용한 저주파절연변압기가 없는 3kW 정격용량을 사용하였으며 PCS의 정격 입력전압은 200V로서 93.6% 이상의 변환효율을 가지고 있다. SiteB의 PCS는 최대전력 추종제어를 하는 전압형 전류제어방식을 사용한 고주파절연변압기가 내장된 3kW 정격용량을 사용하였으며 PCS의 정격 입력전압은 340V로서 91% 이상의 변환효율을 가지고 있다. SiteC의 PCS는 최대전력 추종제어를 하는 전압형 전류제어방식을 사용한 고주파절연변압기가 내장된 3kW 정격용량을 사용하였으며 PCS의 정격 입력전압은 224V로서 90% 이상의 변환효

을 가지고 있다. 그리고 태양광발전시스템에 적용된 계통연계형 인버터의 파라메타는 표 1과 같다.

Table 1. PCS Parameter

		A	B	C
주요 방식	PCS방식 (절연방식)	전압형 전류제어방식 (저주파절연변압기 내장)	전압형 전류제어방식 (저주파절연변압기 내장)	전압형 전류제어방식 (저주파절연변압기 없음)
	제어 방식	전력제어	최대전력추종제어	최대전력추종제어
정격	운전제어	PV출력감시, 자동기동/정지	PV출력감시, 자동기동/정지	PV출력감시, 자동기동/정지
	정격입력전압	224[V _{DC}]	340[V _{DC}]	200[V _{DC}]
성능	운전가능전압범위	200~300[V _{DC}]	280~430[V _{DC}]	145~350[V _{DC}]
	최적동작전압범위	210~280[V _{DC}]	280~390[V _{DC}]	-
보호 기능	변환효율	90[%]이상	91[%]이상	93.5[%]이상
	출력역률	95[%]이상	98[%]이상	95[%]이상
	총합전류 왜율	5[%]이하	3[%]이하	5[%]이하
	가차전류 왜율	3[%]이하	2[%]이하	3[%]이하
보호 기능	계통보호	OV, UV, OF, UF 정전 및 단락보호	OV, UV, OF, UF 정전 및 단락보호	OV, UV, OF, UF 적류분점출 정전 및 단락보호
	단독운전방식			수동적, 능동적

3. 시스템 운전 결과

설치된 감시계측시스템을 이용하여 각각의 PV시스템의 운전특성을 실시간으로 모니터링하고, 운전특성을 분석하였다. 3kW급 계통연계형 태양광 발전시스템의 실증 운전시험의 분석기간은 2003년 1월 1일부터 2003년 9월 까지 발전특성을 비교 분석하였다. 운전데이터는 6분단위, 1시간 단위로 일사량, 부하, 계통, 인버터, 태양전지, 어레이별로 전압, 전류, 전력량을 수집하였고, 일별, 주별, 월별, 계절별, 년별 단위로 취득하여 배열하였다.

3.1 PCS 발전전압, 전류 특성

그림 3부터 그림 5는 각 Site PCS 출력단의 전압, 전류 특성곡선을 나타낸 것이다. SiteA, SiteC은 적절한 운전되고 있음을 알 수 있고, SiteB는 전류에서 약간의 리플이 보이지만 일반 부하에 계통연계하여도 파형이 일정한 형태로 유지되어 계통연계형 태양광발전시스템이 적절히 운전되고 있음을 알 수 있다.

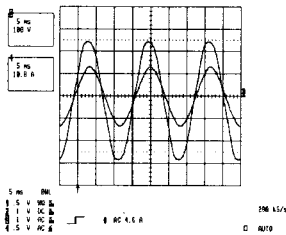


Fig 2. Out voltage and current waveforms for PCS (siteA)

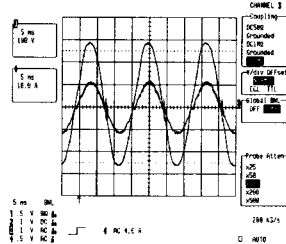


Fig 3. Out voltage and current waveforms for PCS (siteB)

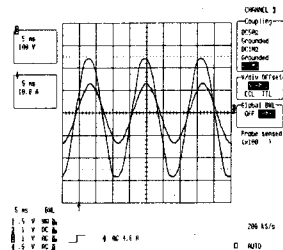


Fig 4. Out voltage and current waveforms for PCS (siteC)

3.2 PCS 발전전력 특성

그림 6은 각 Site에 설치된 태양광발전시스템의 월별 출력전력량과 발전효율 특성을 보여준다. 각 Site의 시스템의 총 출력전력량은 2,590kWh(SiteA), 1,561kWh(SiteB), 2,152kWh(SiteC)가 발전되었다.

SiteB가 크게 차이가 나는 것은 주로 PCS에서 정확한 MPP 추적제어의 실패로 인하여 태양전지어레이로부터 발전 전력 저하로 인한 것으로 나타난다. 그리고 SiteC는 태양전지어레이의 손실보다는 PCS손실로 인해서 편차가 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

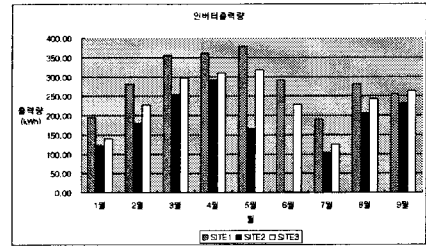


Fig.5 PCS Output Power Level by Months[kWh]

3.3 환경조건 변화에 따른 출력 특성

그림 6부터 그림 8은 일사량 변화에 따른 태양전지어레이 출력 특성을 나타내는 그래프이다. SiteA, SiteC는 일사량 변화에 따라 태양전지어레이 출력이 균일하게 증가한다. 그러나 SiteB는 일사량 증가에 따라 태양전지어레이출력이 균일하지 못하다. 이것은 태양전지어레이의 직병렬 불균형, MPP 추종제어에 문제가 있다는 것을 나타낸다.

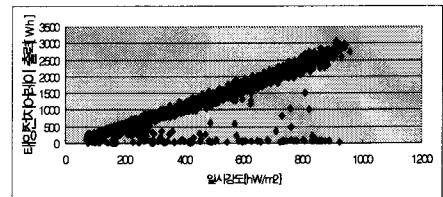


Fig. 6 Characteristics of solar cell(siteA)

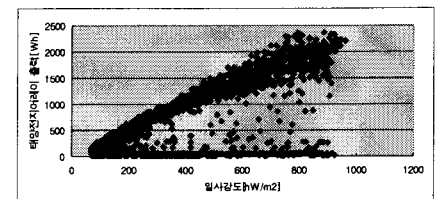


Fig. 7 Characteristics of solar cell (siteB)

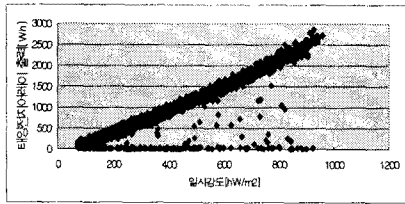


Fig. 8 Characteristics of solar cell (siteC)

그림 9부터 그림 11은 일사량 변화에 따른 태양전지어레이 변환효율 특성을 나타내는 그래프이다. SiteA는 일사량 변화에 따라 태양전지어레이 변환효율이 양호하게 나타난다. SiteC도 변환효율이 양호하지만 200 W/m² 이하의 일사량에서는 변환효율이 떨어진다. 그리고 SiteB는 일사량 증가에 따라 태양전지어레이 변환효율이 비선형적이다. 이것은 태양전지어레이의 변환효율에 문제가 있다는 것을 나타낸다.

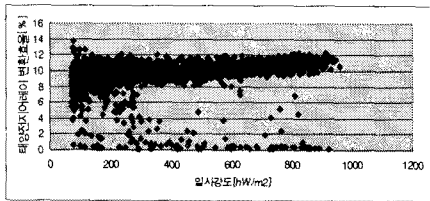


Fig. 9 Efficiency characteristics of solar cell (siteA)

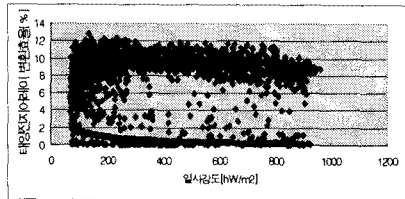


Fig. 10 Efficiency characteristics of solar cell (siteB)

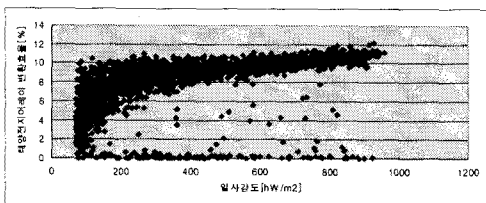


Fig. 11 Efficiency characteristics of solar cell (siteC)

그림 12부터 그림 14까지는 태양전지어레이 출력에 따른 PCS 효율을 나타낸 것이다. Site1은 태양전지어레이 출력에 따라 비교적 효율이 일정하게 나타나지만 Site2, Site3은 출력이 500W 이하 일때 효율특성이 안정되지 못함을 알 수 있다.

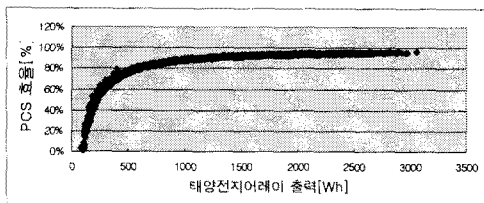


Fig. 12 Efficiency characteristics of PCS (siteA)

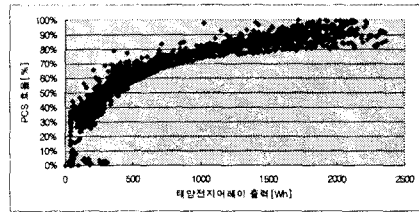


Fig. 13 Efficiency characteristics of PCS (siteB)

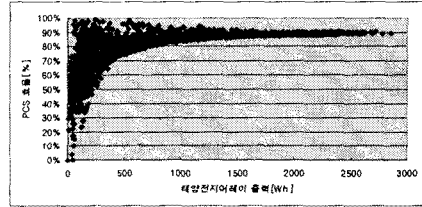


Fig. 14 Efficiency characteristics of PCS (siteC)

3.4 시스템 성능

그림 15, 16은 설치된 태양광발전시스템의 월별 발전 시스템 이용률과 성능비를 나타낸다. 각각 Site의 총 평균 이용률은 13.2%(SiteA), 7.95%(SiteB), 10.97%(SiteC)를 가지며, 총 평균 성능비는 74.66%(SiteA), 49.87%(SiteB), 67.98%(SiteC)를 나타내고 있다. siteB의 경우 시스템 이용률과, 성능비가 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 이것은 태양전지 어레이의 결선 문제 및 PCS의 고장으로 분석기간 동안의 운전시간이 적어지고 PCS의 성능문제 등으로 다른 Site에 비해 현저하게 감소했음을 알 수 있다. 성능비는 표준상태에서 손실요인을 고려하지 않은 태양광발전시스템의 성능과 실제 성능에 대한 비를 의미 한다. 따라서, 그림자영향, PCS손실, MPPT 미스매칭, 어레이 온도상승 등의 손실요인에 의해서 시스템의 성능이 결정되므로 성능비는 태양광발전시스템의 성능을 분석하고 평가하는데 있어 중요한 분석항목 중의 하나이다. 일반적으로 성능비가 0.7보다 작을 경우, 이러한 손실요인에 의한 전력손실이 증가되어 시스템의 성능 특성이 저하된다는 것을 의미 한다. 따라서 SiteB에 설치된 태양광발전시스템은 설계 및 응용기술에 문제가 있다는 것을 실증운전을 통해서 수집된 성능특성 분석결과를 통해서 판단할 수 있다. A사의 PCS를 설치한 Site가 전반적으로 높은 발전량과 시스템 성능비를 나타내었고, 그 다음의 B사의 PCS 가 2위를 C사의 PCS를 설치한 시스템이 3위를 나타내었다. 그리고 이용률은 SiteA,C,B 번순으로 나타났으며, 성능비는 SiteA,C,B번으로 나타났다.

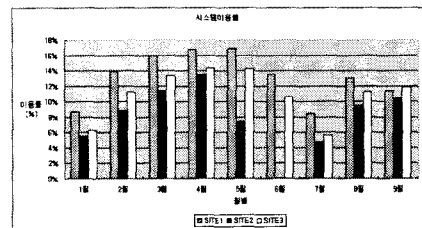


Fig15. Utilization Ratio by Months[%]

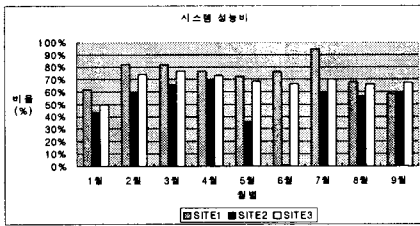


Fig 16. Performance ratio by months(PR)[%]

4. 운전특성 결과 고찰

SiteA는 태양전지어레이가 기상조건 변화에 대해서 균 일한 변환효율특성을 가며 PCS성능도 1/3정격시 90%이 상의 효율특성을 가지며 MPPT 제어성능이 양호하며 전 반적인 태양광발전시스템의 성능이 우수한 것을 알 수 있었다. SiteB는 태양전지어레이는 기상조건변화시 균 일한 변환효율특성을 가지며 저일사강도에서 변환효율특 성의 변화가 있다. 그리고 PCS 성능은 1/3 정격시 77%, 1/2 정격시 80%이상의 효율특성을 가진다. PCS의 S/W, H/W의 최적화를 통한 MPPT제어성능 및 1/3정격시 90%이상 이 되도록 효율개선이 필요하다. SiteC는 태양 전지어레이가 기상조건변화시 변환효율특성이 약간 변화 가 있다. 온도가 낮을 경우 그리고 저일사강도에서 변환 효율특성이 변화가 있었다. 또한 어레이 직병렬불균형 에 따른 출력손실도 다소 발생된다고 생각되어진다. PCS성능은 1/3 정격시 83%, 1/2 정격시 88%이상의 효 율특성을 가지며 PCS의 MPPT 제어성능은 비교적 양호 하나 PCS의 1/3정격시 90%이상 이 되도록 효율개선이 필요하다.

5. 결 론

본 연구에서는 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템 의 시험운전을 수행하였다. 계측기간 동안 3기의 태양광 발전시스템의 성능 특성을 비교 분석하였고 각각의 태양 전지어레이, PCS에 따른 발전량의 차이를 확인하였다. 계측기간 동안 환경조건의 변화에 따른 시스템의 성능특 성을 비교 분석하였고 손실요인에 대해서 검토하였다. 전반적으로 SiteA의 태양광발전시스템의 성능은 우수한 것으로 나타났으며 SiteB는 PCS의 MPP 정확한 추적제 어의 실패, 저일사강도일 때 태양전지어레이의 변환효율 특성이 변화가 있었고 SiteC는 저일사강도에서 변환효율 특성이 변화가 있었다. 또한 태양전지 어레이 직병렬불 균형에 따른 출력손실이 발생되었음을 확인 할 수 있었 다. 특히, SiteB의 태양광발전시스템의 성능이 떨어지는 원 인은 PCS 의 최대출력 동작점에서 차이에 의한 손실, 구성기기의 선정 및 설계에서 최적화 과정에 문제가 있 음을 확인하였다.

태양광발전시스템의 주요 손실요인으로는 일사량변동 에 의한 손실, 그늘 발생에 의한 손실, 온도변화에 의한 효율 변동, 직·병렬 접속의 불균형, 직류회로 손실, 최대 출력 동작점에서 차이에 의한 손실, PCS손실 등으로 나 타났다. 이러한 분석결과들을 토대로 태양광발전시스템 에서 수집된 성능특성 결과를 데이터베이스화하여 향후 이를 통해 주택보급형 태양광발전시스템이 최적설계를 통한 성능개선, 안정성 및 응용기술들에 대한 연구에 기 여를 하고 태양광발전시스템을 실용화, 제품화하고 소비 자 차원에서 신뢰도를 확립하고 일반에게 널리 보급되는 데 기여할 것으로 사료된다.

- [1]. Fumio Harashima and seiji Kondo, "Optimal Power Flow Control of Photovoltaic Solar Energy System", Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 7-22-1, Roppong, Minato-ku, Tokyo 106, JAPAN
- [2]. Victorio Arcidiacono, Sando Co rsi, Luciano Lambri, "Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Power Plants", IEEE. pp. 507-512, 1982.
- [3]. Masato Hoshino, Gunji Kimula, Mitsuo Shioya, "DC-DC Converter and Inverter for Photovoltaic Modules", IECON. pp. 569-574, 1988.
- [4]. Kazuyoshi Tsukamoto, "Photovoltaic Power System Interconnected with Utility", Proceedings of the American Power Conference, pp.276-281, 1992