

계통연계형 PV시스템의 성능특성 평가방법

소 정 훈*, 유 병 규*, 정 영 석*, 황 혜 미*, 유 권 중*, 최 주 엽**
한국에너지기술연구원*, 광운대학교**

Performance Evaluation Method of Grid-Connected PV System

Jung-Hun So*, Byung-Gyu Yu*, Young-Seok Jung*, Hye-Mi Hwang*, Gwon-Jong Yu*, Ju-Yeop Choi**
Korea Institute of Energy Research*, Kwangwoon University**

Abstract - In present, as the various PV system have been installed and disseminated, research and development of photovoltaic(PV) system is the most important issues to establish usefulness of design, installation, supervision and maintenance of PV system with performance improvement. This paper presents evaluation and analysis method for estimating performance and losses of PV system and components using monitoring data.

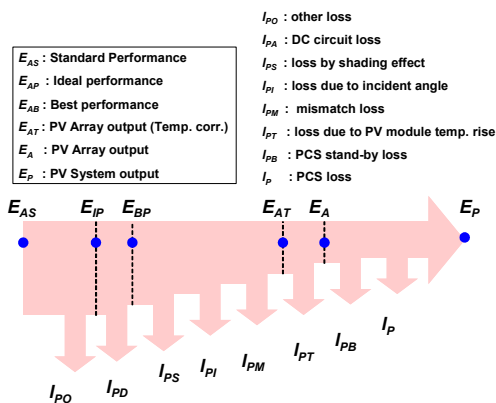
1. 서 론

21세기의 시작과 함께 효율적인 에너지이용기술과 안전하고 지속가능한 새로운 에너지원의 개발에 대한 관심이 전 세계적으로 확대됨에 따라 미래 국가경쟁력이 될 에너지원의 안정적인 공급과 확보를 위하여 신 재생에너지원의 이용보급이 본격적으로 시작되고 있다. 특히 재생가능에너지원 중에서 태양광발전(PV, Photovoltaic)을 중심으로 기후변화협약에 따른 해결방안으로 무한하고 청정한 미래의 에너지원으로 전 세계가 주목하고 있으면 이에 대한 기술 개발과 실용화가 진행되고 있다.[1],[2]

본 논문에서는 PV모듈 및 PCS(Power Conditioning System) 등의 구성요소기기의 성능향상을 통한 이용효율 개선 및 PV시스템의 최적설계 등의 다양한 응용기술 개발과 함께 신뢰성있고 안정성을 가진 시스템이 될 수 있도록 PV시스템의 성능 및 발생손실을 진단할 수 있는 평가분석방법에 대해서 서술하고 실제 PV시스템에서 수집된 계측데이터를 이용하여 평가분석한 결과에 대해서 검토하였다.

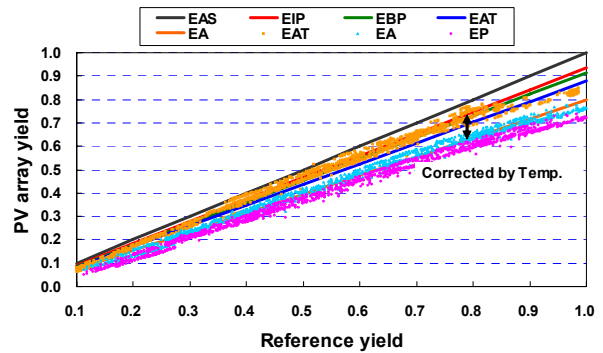
2. PV시스템 평가분석 개요

PV시스템은 PV모듈, PV어레이 및 PCS 등의 구성요소기기의 성능뿐만 아니라 일사강도 및 온도 등의 환경변화에 따라서 발전능력이 결정된다. 따라서 실제 운전중인 PV시스템의 손실저감을 통한 에너지이용 효율개선 및 최적설계를 위해서는 성능과 발생손실에 대해서 정량적인 평가분석이 필요하다. 그림 1은 PV시스템의 정량적인 평가분석을 위해서 입력에너지인 경사면 일사량으로부터 출력에너지인 시스템 출력전력량까지의 성능 및 발생손실과의 관계를 보여준다. PV시스템에서 발생하는 주요 손실들은 설치환경과 설계제어에 의한 손실로 구분할 수 있다. 설치환경에 의한 손실은 그늘, 입사각 변동, 오염, 열화, 적설 및 온도상승 등에 의한 것이고, 설계제어에 의한 손실은 직류회로, 미스매치 및 PCS 등에 의한 것이다.[1]-[3]



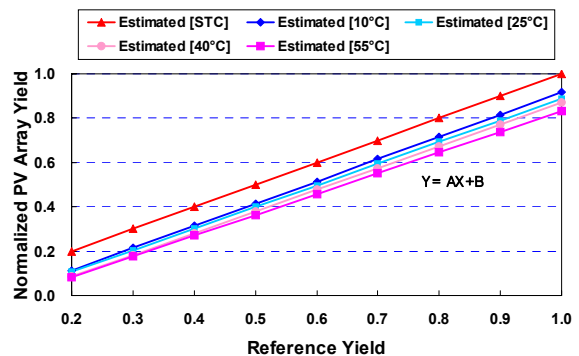
<그림 1> PV시스템 성능 및 발생손실 흐름

그림 1의 PV시스템의 성능 및 발생손실을 평가분석하기 위해서 계측 데이터로부터 등가 태양 일조시간에 대한 PV어레이 및 시스템의 정규화 성능특성을 나타내면 그림 2와 같다. 그림에서 보면 PV시스템의 성능은 PV어레이의 표준성능 E_{AS} , 이상성능 E_{IP} , 최대성능 E_{BP} , 온도보정후의 성능 E_{AT} , 실측성능 E_A 그리고 PCS의 실측성능인 E_P 로 나타난다. PV어레이는 표준시험조건(STC, Standard test conditions)에서 PV어레이의 정격출력과의 비교해서 PV어레이는 PV모듈의 오염, 열화 및 정격용량 부족 등으로 PV어레이의 이상성능인 E_{IP} 보다 떨어진다. 따라서 표준성능과 실측성능과의 차이값이 발생 손실을 의미한다. E_{AS} 와 E_{IP} 의 차이값이 기타 손실인 I_{PO} 이다. E_{IP} 와 E_{BP} 의 차이값이 직류회로 손실인 I_{PA} 이다. E_{BP} 와 E_{AT} 의 차이값에는 그늘손실 I_{PS} , 입사각변동 손실 I_{PI} , 미스매치손실 I_{PM} 가 포함된다. E_{AT} 와 E_A 의 차이값은 온도상승에 의한 손실 I_{PT} 이고, E_A 와 E_P 와의 차이값이 PCS 손실인 I_P 를 나타낸다.

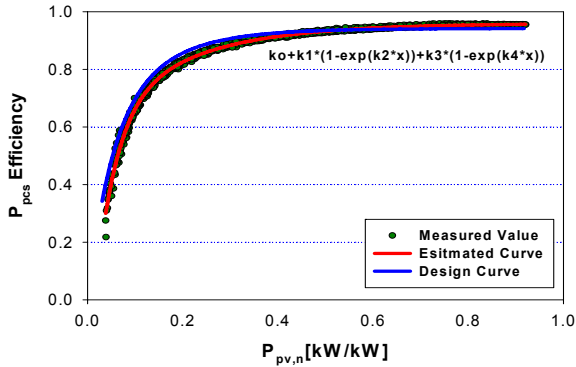


<그림 2> PV시스템 정규화 성능특성

환경변화에 대한 PV어레이의 성능과 발생손실들을 평가분석하기 위해서 계측데이터로부터 온도변화에 대한 일사강도와 PV어레이의 출력특성과의 관계를 정규화하여 1차방정식으로 PV어레이 출력모델을 근사화하여 나타내면 그림 3과 같다. PCS의 성능과 손실들을 평가분석하기 위해서 계측데이터로부터 PCS 과 변환효율특성과의 관계를 정규화하여 2차 비선형 회귀방정식으로 PCS의 출력모델을 근사화하여 나타내면 그림 4와 같다.[2]



<그림 3> PV어레이의 정규화 출력특성



〈그림 4〉 PCS의 정규화 출력특성

3. PV시스템 평가분석 방법

PV시스템은 그늘, PCS 손실, 미스매치, 온도상승 등에 의해서 발전성능이 결정되므로 성능개선과 최적설계를 위해서는 평가분석방법의 신뢰성과 정확성이 필요하다. PV시스템 및 구성요소기기의 정규화하여 근사화시킨 출력모델을 사용하여 성능 및 발생손실에 대해서 정량적인 평가분석에서는 성능지수인 등가 가동시간을 사용한다. 등가 가동시간은 다음의 식으로 나타낸다.[3]-[5]

$$Y_r = \frac{H_{A,d}}{G_{STC}} \quad (1)$$

$$Y_A = \frac{E_{A,d}}{P_{AS}} \quad (2)$$

$$Y_P = \frac{E_{P,d}}{P_{AS}} \quad (3)$$

여기서 Y_r 은 등가 태양 일조시간, Y_A 는 등가 PV어레이 가동시간, Y_P 은 등가 시스템 가동시간, $H_{A,d}$ 는 일별 평균 경사면일사량, $E_{A,d}$ 은 일별 평균 PV어레이 출력전력량 그리고 $E_{P,d}$ 는 일별 평균 시스템 출력전력량이다.

등가 가동시간을 이용하여 성능지수인 PR(Performance Ratio), Lc(Capture Losses) 및 Ls(System Losses)을 계산하여 PV시스템의 성능과 발생손실을 정량적인 값으로 상세하게 평가 분석한다. PR은 STC에서 손실을 고려하지 않은 PV시스템의 이상 발전성능과 실제 발전성능에 대한 비로 PV시스템의 고장 및 결함 등의 성능특성을 신속하게 평가할 수 있다. Lc는 태양에너지로부터 PV어레이가 직류전력으로 변환하는 과정에 발생하는 PV어레이 손실이고 Ls는 직류전력에서 교류전력으로 변환하는 과정에서 발생하는 PCS 손실 혹은 시스템 손실이다. PR, Lc 그리고 Ls는 다음 식으로 나타낸다.[1]-[5]

$$PR = Y_P / Y_r \quad (4)$$

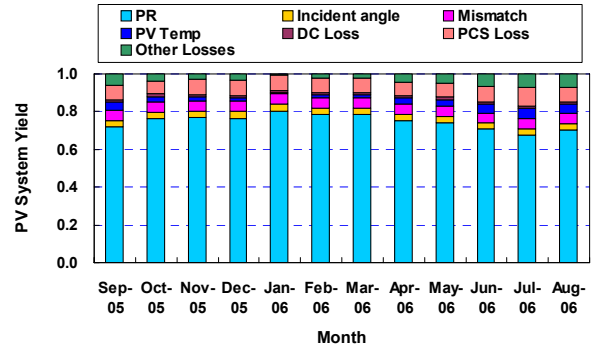
$$L_c = Y_r - Y_A \quad (5)$$

$$L_s = Y_A - Y_P \quad (6)$$

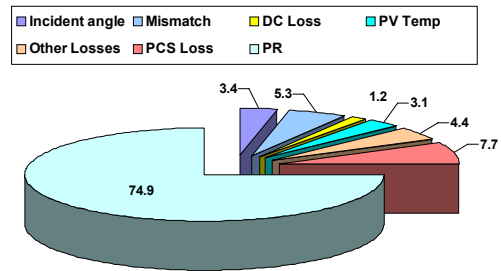
여기서 내용을 PR은 성능계수, Lc는 PV어레이 손실 그리고 Ls는 시스템 손실이다.

4. PV시스템 평가분석 결과

그림 5, 6는 실제 운전중인 PV시스템에서 수집된 계측데이터로부터 PV시스템 성능과 발생손실을 평가분석한 결과를 보여준다. 그림에서 보면 PV시스템의 성능특성을 평가분석한 결과 발생하는 주요 손실은 PCS, 미스매치 및 기타손실이다. 입사각 및 온도상승에 의한 손실은 설치환경에 영향을 받는 손실로 이를 개선하기는 어렵다. 따라서 설치환경 및 설계시공별로 다양한 PV시스템에 대해서 신뢰성있는 평가분석 방법을 확립하여 정량적인 값으로 나타낸다면 PV모듈 및 PCS의 성능향상, 설계기술의 최적화와 사후운영관리에 따른 에너지이용효율 개선 등의 다양한 응용기술의 개발이 가능하다. 또한 사용용도에 맞는 다양한 PV시스템 및 구성요소기기의 개발과 함께 이용보급이 확대되면서 신·재생에너지지원의 다양한 적용기술 개발이 가능하다.



〈그림 5〉 PV시스템 월별 성능 및 손실 분포



〈그림 6〉 PV시스템 평가분석 결과

4. 결 론

PV시스템은 설치환경 및 설계시공에 따라서 다양한 시스템들이 존재하지만 환경변화에 따라서 성능특성은 변화된다. 따라서 PV시스템의 성능특성을 조사 분석하여 정확성과 신뢰성을 가진 평가분석방법을 개발하여 정량적인 값으로 나타낼 필요가 있다. 본 논문에서 제시한 평가분석의 접근방법을 실제 운전중인 PV시스템의 계측데이터를 이용하여 성능 및 발생손실들에 대해서 평가분석하였다. 평가분석 결과는 PV구성요소기기의 성능향상, 시스템의 최적설계 등의 다양한 핵심응용기술의 개발에 있어서 중요하다. 향후에는 다양한 PV시스템에 대한 모델설계 및 평가분석 기술의 신뢰성과 유효성을 검증할 계획이다.

후 기

본 논문은 산업자원부 에너지·자원기술개발사업(2006-N-PV12-P-04)의 연구비 지원으로 수행된 결과임.

[참 고 문 헌]

[1] 소정훈, 정영석, 유병규, 유권중, 최주엽, "PV시스템 최적화를 위한 손실요인 분석", 전력전자학회 논문집, 11권, 1호, pp. 22-28, 2006.
 [2] 소정훈, 정영석, 유권중, 최주엽, 최익, "3kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능특성 평가분석", 대한전기학회 논문집, 53B권, 8호, pp.509-514, 2004.
 [3] T. Oozeki, K. Otani and K. Kurokawa, "An Evaluation method for PV system to identify system losses by means of utilizing monitoring data", 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pp. 2319-2322, 2006.
 [4] B. Decker, and U. Jahn, "Performance of 170 grid connected PV plants in northern germany analysis of yields and optimization potentials", Solar Energy, 59권, 4호, pp. 127-133, 1997
 [5] M. Sidrach cardona and L. Mora Lopez, "Performance Analysis of a grid-connected photovoltaic system", Energy, 24권, 3호, pp. 93-102, 1999.