

PV시스템 최적화를 위한 손실요인 분석

蘇楨訓[†], 鄭永錫^{*}, 俞柄圭^{**}, 劉權鍾^{***}, 崔宙燁^{****}

The Loss Factor Analysis for PV System Optimization

Jung-Hun So, Yeong-Seok Jung, Byung-Gyu Yu, Gwon-Jong Yu, and Ju-Yeop Choi

요 약

PV(Photovoltaic) 시스템의 국내 이용보급이 확대되면서 PV시스템의 최적화 및 운전시에 발생하는 문제점에 대한 대책기술에 대한 실용화기술 확립의 중요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 PV시스템의 최적화를 통한 성능개선을 위해서 실측결과를 토대로 종합적인 성능특성을 분석 평가하여 PV시스템의 손실요인을 비교 분석하였다. 그리고 시뮬레이션과 실측결과를 비교하여 PV시스템의 주요 손실요인을 분석함으로써 성능저하 및 문제점에 대해서도 검토하였다.

ABSTRACT

Establishment of practicalization technologies is becoming more important as dissemination of domestic PV system has been increased. To improve performance through PV system optimization, this paper presents loss factors analysis of PV system based on results of field operational test. Also, as simulation results are compared with actual operational ones, the main loss factors of PV system due to performance degradation are reviewed.

Key Words : PV system, Power conditioning system, Performance ratio, Capture losses, System losses, Loss factor

1. 서 론

미래에너지원의 안정적 공급과 지구환경에 대한 대응방안으로 태양광발전, 연료전지 및 풍력발전 등의 분산전원 기술개발에 대한 국내외 관심과 정부의 연구 지원이 확대되고 있다. 이에 따라 분산전원의 국내 이용보급이 확대되면서 실제 운전시의 분산전원의 손실 저감을 위한 최적화 및 발생하는 문제점에 대한 대책

기술 등의 실용화기술 확립의 중요성이 대두되고 있다. 그러나 국내의 분산전원에 대한 실용화 기술개발에 대한 연구는 이제 시작단계라 할 수 있다^[1,2].

PV시스템의 설계시 고려되는 손실요인으로는 설치 환경에 의한 손실과 설계·제어에 의한 손실로 구분할 수 있다. 그림 1은 PV시스템의 주요 손실요인들을 보여준다. 그림에서 보면 PV시스템은 설치환경에 의한 손실에는 입사각에 따른 일사강도의 변동, 적운, 적설 및 온도상승 등에 의한 손실로 구분되고, 설계·제어에 의한 손실은 그림자영향, 직류회로 손실, 미스매치 손실 및 PCS(Power conditioning system) 손실 등이 포함된다^[3,4]. PV시스템에서 발생하는 손실요인 중에서 PCS 손실, 미스매치 손실 및 PV어레이 온도상승에 의한 손실이 대부분을 차지하고 입사각에 따른 일사강도의 변동, 적운, 적설, 그림자영향, 직류회로 손실,

[†]교신저자 : 정회원, 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단 선임연구원

E-mail : jhso@kier.re.kr

^{*}정회원, 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단 선임연구원

^{**}정회원, 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단 연구원

^{***}정회원, 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단 단장

^{****}정회원, 광운대 전기공학과 부교수

접수일자 : 2005. 8. 23

1차 심사 : 2005. 10. 12

2차 심사 : 2005. 11. 21

심사완료 : 2005. 11. 25

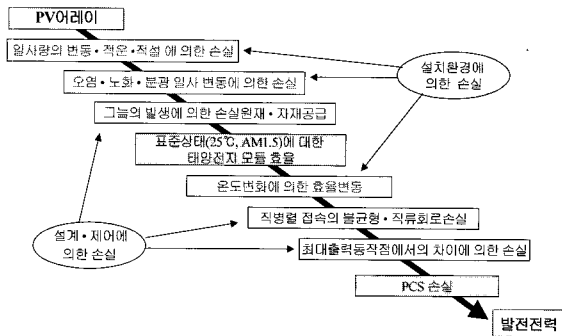


그림 1 PV시스템 손실요인
Fig. 1 Loss factors of PV system

PV모듈의 오염 및 노화 등을 포함한 기타 손실로 구분할 수 있다. 따라서 손실저감을 위한 최적화를 통해서 PV시스템의 성능개선 및 실용화 기술의 확립을 위해서는 이러한 주요 손실요인들에 대한 분석평가가 필요하다.

본 논문에서는 PV시스템의 최적화에 의한 성능개선 신뢰성 및 안정성 등의 실용화 기술개발의 확립을 위한 초기단계로서 계통연계형 3kW급 PV시스템에 대해서 실증연구를 수행하여 환경조건 변화에 따른 PV시스템 및 구성요소기기에 발생하는 손실요인 및 문제점을 조사 분석하였다. 그리고 PV시스템의 종합적인 성능특성을 분석할 수 있는 감시계측시스템을 설치 운영하여 분석평가에 필요한 실측결과를 수집하였다. 수집된 실측결과를 토대로 PV시스템의 종합적인 운전특성 및 손실요인을 분석 평가하였다. 또한 시뮬레이션과 실측결과를 비교하여 PV시스템에서 발생하는 세부 손실요인을 비교 분석함으로써 성능저하에 따른 문제점에 대해서도 검토하였다.

2. PV시스템 개요

PV시스템의 종합적인 성능특성을 수집하여 최적화를 위한 손실요인 및 이에 대한 문제점을 조사 분석하기 위한 적용대상 시스템으로 지붕일체형 계통연계형 3kW급 PV시스템을 설치하였고, 실측결과 수집을 위해서 감시계측시스템을 설치 운영하였다. 그림 2는 PV시스템의 종합적인 성능특성을 분석하기 위해서 설치 운영되고 있는 전체시스템의 개요를 보여준다. 설치된 PV시스템의 PV어레이는 경사각 18°, 방위각 0°(정남향)인 고정방식으로 설치하였다. 실리콘 다결정 태양전지 36매를 직렬 연결한 75W급 PV모듈 10직렬, 4병렬로 설계 구성하여 설치하였다. 계통연계형 PCS

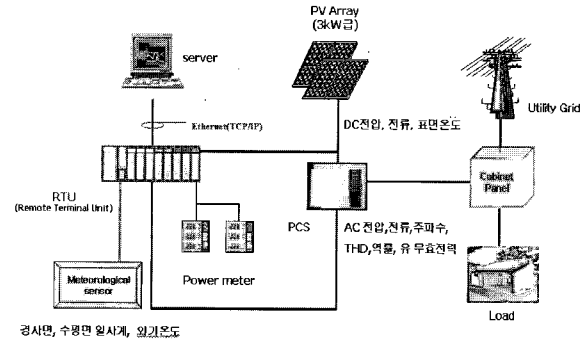


그림 2 전체 시스템 개요도
Fig. 2 The whole system overview

의 정격출력은 3kW, 정격입력전압은 173V, 운전동작 전압은 100~220V 그리고 변환효율은 정격에서 93.5% 이상이다.

원격단말기(RTU, Remote terminal unit)를 사용하여 PV시스템의 손실요인 분석을 통한 종합적인 성능특성을 평가하기 위해서 19개의 측정항목의 데이터를 수집할 수 있는 온라인 감시계측시스템을 설치 운영하였다. 감시계측시스템은 0.1초의 샘플링시간 간격으로 PV시스템 구성요소기기의 입출력 및 기상정보를 분당

표 1 PV모듈 사양 (표준조건)
Table 1 PV module specification(STC)

항목	PV모듈
종류	다결정 Si
정격출력 [W]	75
단락전류 [A]	4.75
개방전압 [V]	21.8
최대출력전류 [A]	4.35
최대출력전압 [V]	17.3

표 2 PCS 사양(정격시)
Table 2 PCS specification (under rated condition)

항목	PCS
회로방식	PCS방식 전압형 PWM (무변압기형)
제어방식	전력제어 운전제어 MPPT 자동기동/정지
정격	정격입력전압 173 V _{DC} 운전동작전압 100~220 V _{DC}
성능	정격출력 3 kW(단상) 변환효율 93.5%이상 출력역률 0.95 이상

데이터로 수집하고 계통연계시의 PCS의 역률, 전압 및 전류왜율 등의 전력품질도 분석 평가할 수 있는 측정장치를 사용하여 시스템을 설계 구성하였다. 표 1, 2는 실증연구에서 사용된 표준조건(STC, Standard test conditions) 즉 일사강도 1000W/m², 모듈온도 25°C 및 AM(Air Mass) 1.5 조건에서의 PV모듈과 정격시의 PCS의 사양을 보여준다.

3. PV시스템 성능특성 결과분석

3.1 PV시스템 성능특성 결과

그림 3은 적용대상 PV시스템의 분석기간인 2004년 1월~2004년 12월까지 실측결과를 토대로 분석한 PV시스템의 성능특성을 보여주고 있다. 분석기간 동안 PV시스템의 PV어레이와 PCS에서 발전된 출력전력량은 각각 3.9MWh, 3.5MWh이다. PV어레이의 평균변환효율은 9.1%, PCS의 평균변환효율은 89.2%이다. PV시스템 출력전력량과 표준조건^[4, 5]에서의 PV어레이 출력전력량에 대한 비인 시스템이용률은 12.8%이고, PV시스템 출력전력량과 일사량에 따른 PV어레이의 출력전력량에 대한 비인 시스템 발전효율 8.1% 이다.

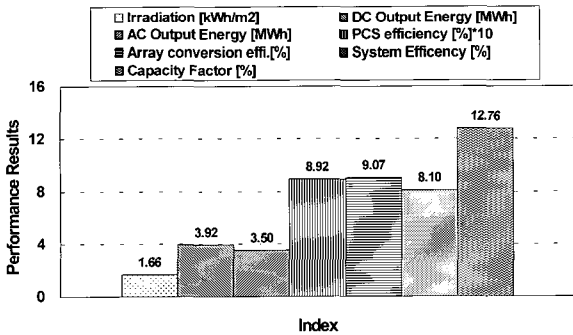


그림 3 PV시스템 성능특성 결과
Fig. 3 The performance result of PV system

그림에서 보듯이 분석기간 동안 PV시스템의 성능특성결과에서는 PV시스템 및 구성요소기기의 성능특성을 종합적으로 분석 평가하여 운전시 발생하는 문제점을 조사하는 것이 어렵다. PV시스템은 PCS, 태양전지 모듈 및 PV어레이 등의 구성요소기기의 성능뿐만 아니라 일사량과 표면온도 등의 환경조건에 따라서 PV시스템의 발전성능이 결정된다^[5, 6]. 따라서 PV시스템의 성능저하 및 손실요인에 따른 문제점들을 분석하기 위해서는 일사강도 및 표면온도변화에 따른 PV어레이 성능특성, PV어레이군별 전압-전류의 불균형에 따른

성능특성 그리고 PCS의 변환효율특성 등에 대한 실측결과에 대해서 종합적인 성능특성을 조사하여 하여야 한다.

3.2 PV시스템 성능특성 분석

PV시스템의 성능저하 및 손실요인에 따른 문제점들을 조사하기 위해서 일사강도에 따른 표면온도 변화시 PV어레이와 PCS의 성능특성 등을 분석기간 동안 수집된 실측결과를 이용하여 분석하였다.

환경조건의 변화에 대한 PV어레이의 성능특성, 성능저하 및 손실요인 등의 분석하기 위해서 PV어레이 시 모듈표면온도에 대한 일사강도와 PV어레이의 출력특성과의 관계를 수집된 실측결과를 사용하여 식 (1)과 같이 선형 회귀방정식으로 근사화하였다

$$P_{PV} = B_0 * G_A + B_1 \tag{1}$$

여기서 P_{PV}는 PV어레이의 출력전력, G_A는 일사강도, B₀, B₁는 각각 회귀계수를 나타낸다. PV어레이의 설계치와 예측치사이의 잔차는 식 (2)와 같다.

$$R_{PV} = \frac{(P_{PV, Desi} - P_{PV, Est})}{P_{PV, Desi}} \tag{2}$$

여기서 R_{PV}는 PV어레이의 설계치와 예측치의 잔차, P_{PV, Desi}, P_{PV, Meas}는 각각 PV어레이 사양에서 제시된 출력전력인 설계치와 실측치를 기반으로 근사화한 회귀방정식에서 계산된 출력전력인 예측치를 나타낸다.

그림 4는 식 (1), (2)를 사용하여 분석기간 동안 수집된 실측결과에서 PV어레이의 표면온도 변화시 일사강도에 따른 PV어레이의 성능특성을 보여준다. 그림에서 보면 PV어레이의 성능은 일사강도에 대해서 거

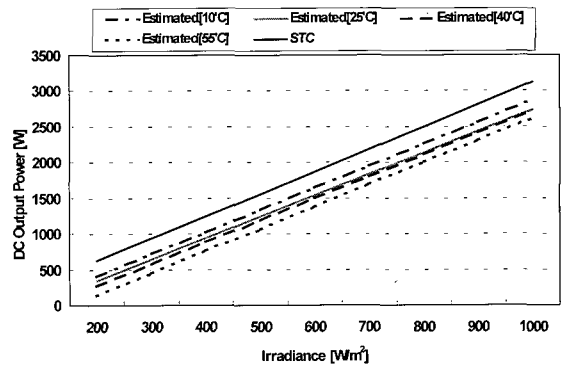


그림 4 표면온도에 대한 PV어레이 성능특성
Fig. 4 PV array performance for surface temperature

의 선형적인 비례관계를 가진다. 그러나 PV어레이의 성능을 표면온도 25°C, 일사강도 1,000W/m² 및 A.M 1.5인 표준조건과 옥외 표준조건을 비교하면 계속오차, 환경조건의 변화 등을 고려하더라도 잔차값이 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 환경조건 변화시 PV모듈의 성능저하 및 미스매치 등에 따른 PV어레이의 손실이 설계치와 비교해서 크다는 것을 의미한다.

PCS의 성능특성을 분석하기 위해서 PCS 입력전력에 대한 변환효율과의 관계를 수집된 실측결과를 사용하여 비선형 회귀방정식으로 근사화하여 비교 분석하였다. PCS의 변환효율 특성을 근사화한 비선형 회귀방정식은 식 (3)과 같다.

$$\eta_{PCS} = A * (1 - e^{-B * P_{IN}}) + C * (1 - e^{-D * P_{IN}}) \quad (3)$$

여기서 η_{PCS} 는 PCS의 변환효율, P_{IN} 은 PCS의 입력전력, A, B, C 및 D는 각각 회귀계수를 나타낸다. PCS 변환효율의 설계치와 예측치사이의 잔차는 식 (4)와 같다.

$$R_{\eta_{PCS}} = \frac{(\eta_{PCS, Desi} - \eta_{PCS, Esti})}{\eta_{PCS, Desi}} \quad (4)$$

여기서 $R_{\eta_{PCS}}$ 는 PCS 변환효율의 설계치과 예측치사이의 잔차, $\eta_{PCS, Desi}$, $\eta_{PCS, Esti}$ 는 각각 PCS 사양에서 제시된 변환효율인 설계치와 실측치를 기반으로 근사화한 회귀방정식에서 구한 변환효율인 예측치를 나타낸다.

그림 5는 식 (3), (4)를 적용하여 분석기간 동안 PCS의 변환효율 성능특성을 보여준다. 전동작영역에서 PCS의 변환효율이 일사강도 200W/m²이하를 제외하고는 설계치과 거의 같은 성능특성을 가진다는 그림에서 알 수 있다. 일사강도 200W/m²이하 즉, PCS의 입력전력이 500W이하에서는 PV어레이의 성능특성이 비선형성을 가지게 되어 PCS의 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어의 정확성이 떨어지게 되기 때문에 일사강도 200W/m² 이상과 비교해서 변환효율의 특성변화가 다소 크다.

이러한 분석결과를 이용하여 환경조건 변화시 태양 전지 모듈, PV어레이 및 PCS의 성능특성을 근사화시켜 모델링하면 설치방식에 따른 PV시스템의 성능특성을 보다 정확하게 예측하여 PV시스템의 손실요인 및 문제점 등을 미리 파악할 수 있으므로 PV시스템의 최적화를 통한 성능개선 및 대책기술을 확립할 수 있을 것이다.

PV시스템의 손실요인과 이에 따른 문제점을 분석하

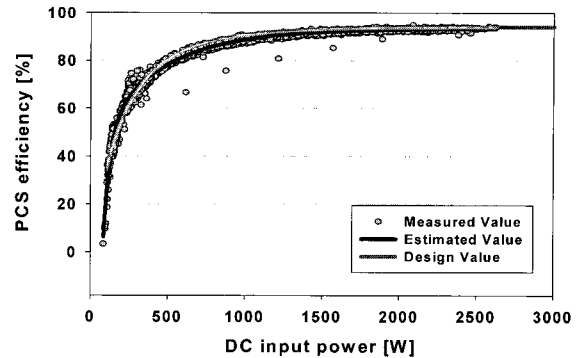


그림 5 PCS 변환효율 특성
Fig. 5 PCS efficiency

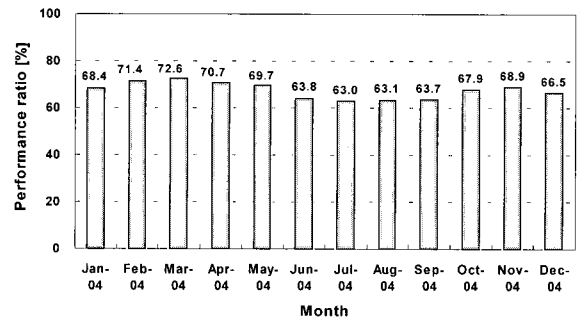


그림 6 PR 성능특성
Fig. 6 PR performance

기 위해서 성능계수인 PR (Performance ratio)를 사용하여 PV시스템의 성능특성을 분석하였다. PR은 PV시스템이 표준조건에서 손실요인을 고려하지 않은 이상적인 발전능력과 실제 발전능력에 대한 비로 식 (5)와 같이 정의한다^[3-6].

$$PR = (E_{PCS} \times G_{STC}) / (P_{PV, nom} \times G_A) \quad (5)$$

여기서 PR은 성능계수, E_{PCS} 는 PCS 출력전력량, $P_{PV, nom}$ 은 표준조건(STC)에서 공칭출력전력, G_A 는 전일사량 그리고 G_{STC} 는 표준조건(STC)에서 일사강도 1kW/m²이다.

그림 6은 식 (5)를 사용하여 분석기간 동안 PV시스템의 월별 PR특성을 보여준다. 분석기간 동안 PV시스템의 PR은 63.0%~72.6%의 범위를 가지고 연평균 PR은 67.5%이다. 일반적으로 PR > 80%인 경우는 PV시스템은 양호한 성능을 가지고, PR < 70%인 경우는 PV시스템의 고장 혹은 결함에 따른 손실요인이 증가되어 PV시스템의 성능특성이 떨어진다는 것을 의미한다^[3]. 따라서 대상 PV시스템은 실제 운전시에 성능특

성이 설계치에서의 성능특성과 비교해서 손실요인이 증가되어 PV시스템의 성능이 저하된다는 그림에서 알 수 있다.

대상 PV시스템의 성능특성을 분석 평가하기 위해서 시뮬레이션과 실측결과에서의 PV시스템의 성능특성을 비교 분석하였다. 시뮬레이션의 결과에 대한 정확성 및 유효성을 확보하기 위해서 PV시스템의 경사각, 방위각 및 PV어레이 설계구성 등의 실제 설치조건을 조사하고 구성요소기기인 PV모듈 및 PCS의 사양 및 성능시험 결과를 적용하였다. 그리고 감시계측시스템에서 수집된 측정항목에 대한 실측결과들을 분석하여 PV시스템 및 구성요소기기 등의 시스템 파라미터를 결정하여 시뮬레이션 툴인 PVSYST를 이용하여 PV시스템의 성능특성을 비교 분석하였다. 그림 7은 PV시스템의 종합적인 성능특성 및 손실요인을 비교 분석하기 위한 시뮬레이션 흐름도를 보여준다.

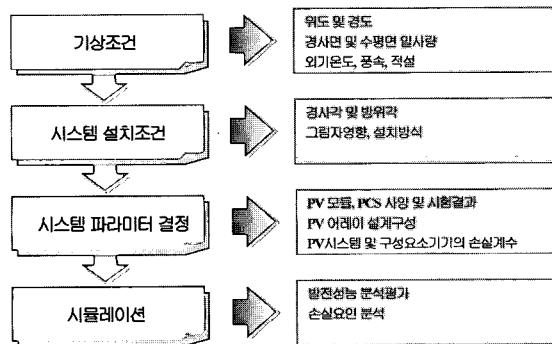


그림 7 시뮬레이션 흐름도
Fig. 7 The flow chart of simulation

그림 8은 분석기간 동안 PV시스템의 PR, Lc (Capture losses) 및 Ls(System losses) 등의 성능특성에 대한 시뮬레이션 및 실측결과를 보여준다. 실증연구에서 감시계측시스템에서 수집된 실측결과에서 PV시스템의 평균 PR은 67.5%, PV어레이 손실인 Lc는 24.6% 그리고 PCS 손실인 Ls는 7.9%이다. 실측결과를 토대로 시뮬레이션한 결과에서 PV시스템의 평균 PR은 68.6%, PV어레이 손실인 Lc는 24.2% 그리고 PCS 손실인 Ls는 7.2%이다. PV시스템의 시뮬레이션과 실측결과를 비교하였을 경우 다소의 잔차가 발생하지만 기상조건 및 계측오차 등에 대한 영향들을 고려한다면 적용 대상 PV시스템의 시뮬레이션 결과는 비교적 정확하다는 것을 확인 할 수 있다. PCS 손실의 경우 일사강도 200W/m²이하에서는 PV어레이 변환효율의 비선형성으로 정확한 성능특성을 예측 분석하는

것이 어렵기 때문에 다소의 편차가 발생하지만 설계사양에서의 제시한 성능특성과 거의 같은 성능을 가진다. PV어레이의 경우 설치환경에 의한 손실이 증가되어 PV시스템의 성능특성이 떨어지는 것을 알 수 있다. 따라서 시뮬레이션과 실측결과에서 PV시스템의 시스템 파라미터를 분석한 결과 일사강도변화시 온도상승에 따른 PV어레이 변환효율감소, PV어레이균별 전압, 전류특성의 불균형으로 인한 미스매치 손실이 증가되어 PV시스템의 발전성능이 감소되었다.

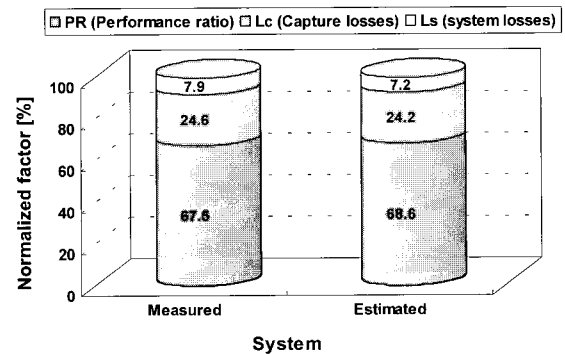


그림 8 PV시스템 성능결과
Fig. 8 Performance result of PV system

4. PV시스템 손실요인 분석

PV시스템은 PCS 손실, 미스매치, 그림자, PV어레이 온도상승에 따른 변환효율감소 그리고 적운, 적설, 오염, 직류손실 등의 손실요인에 따라서 발전성능이 결정되므로 PV시스템의 최적화를 위해서는 손실요인 및 이에 대한 문제점에 대해서 정확한 분석평가가 필요하다. 그림 9는 PV시스템에서 발생하는 손실요인을 비교 분석하기 하기 위해서 PV시스템의 월별 주요 손실요인을 분석한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림에서 보면 PV시스템의 주요 손실요인 중 PCS 손실, 미스매치, PV어레이 온도상승에 따른 변환효율 감소로 인한 손실은 각각 6.6%~7.6%, 6.5%~7.5%, 3.7%~4.4% 범위를 가진다. 적운, 적설, 오염 및 입사각에 의한 일사량의 변화 등을 포함한 기타손실은 6.4%~17.9% 범위를 가진다.

그림 10은 분석기간 동안 PV시스템의 주요 손실요인에 따른 성능특성을 비교하기 위해서 설계치를 이용한 시뮬레이션과 실측결과를 분석하였다. 그림에서 보면 PV시스템의 설계치와 실측치 성능에 있어서 손실잔차가 PV어레이 온도상승에 따른 효율감소로 인한 손실이 1.6%, 미스매치 손실이 4.5%, PCS 손실이

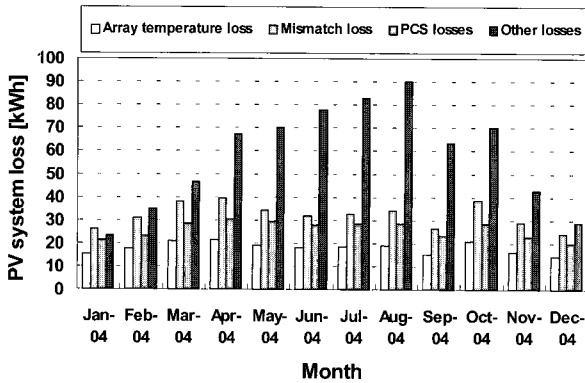


그림 9 PV시스템 손실요인 분석
Fig. 9 Loss analysis of PV system

1.4% 그리고 적은, 적설, 입사각에 따른 일사강도, 손실 잔차가 PV어레이 온도상승에 따른 효율감소로 인한 손실이 1.6%, 미스매치 손실이 4.5%, PCS 손실이 1.4% 그리고 적은, 적설, 입사각에 따른 일사강도, PV 모듈의 오염 및 노화 등을 포함한 기타 손실이 11.4%를 가진다. PV어레이 온도상승으로 인한 효율감소 및 미스매치 손실이 다른 손실과 비교해서 잔차가 상대적으로 크다. 이것은 PV모듈의 성능저하 및 PV어레이의 설계제어시 미스매치로 인한 출력전압 및 전류특성이 설계치와 비교해서 떨어지면서 PV어레이의 출력이 4%이상 감소되었기 때문에 PCS가 MPPT제어를 정확하게 수행되더라도 PV시스템의 성능특성은 저하된다. 따라서 PV시스템에서는 PCS 손실, 미스매치 및 PV어레이 온도상승에 따른 변환효율 감소가 발생하는 주요 손실요인이므로 이러한 손실을 최소화 할 수 있는 대책기술을 개발하여 최적화 설계가 된다면 PV시스템의 신뢰성, 안정성을 위한 실용화 기술을 확립할 수 있고 대상 PV시스템의 발전능력이 5.0%이상 개선될 수 있다는 것을 시뮬레이션에서 예측할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 계통연계형 3kW급 PV시스템의 실증 연구에서 수집된 실측결과를 토대로 PV시스템의 종합적인 성능특성을 분석 평가하여 성능저하 및 손실요인에 대한 문제점을 조사 분석하였다. 또한 시뮬레이션과 실측결과를 이용하여 PV시스템의 주요 손실요인을 비교 분석하고 이에 대한 문제점을 검토하였다. 그 결과, PV시스템은 환경조건의 변화시 PV어레이의 온도상승에 따른 변환효율 감소와 직렬불균형에 대한 미스매치 손실의 증가로 설계치와 비교하였을 경우 약

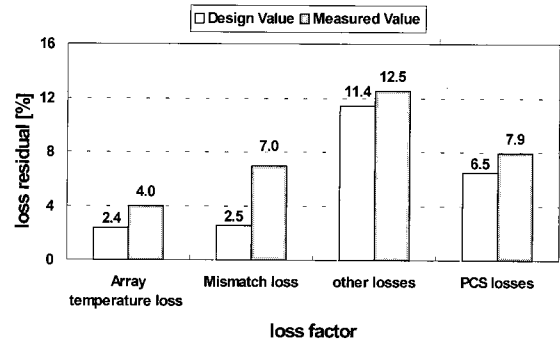


그림 10 PV시스템 손실분포
Fig. 10 Loss residual of PV system

7%이상 성능특성이 감소되었다. 따라서 PV시스템에서 발생하는 주요 손실요인에 대해서 손실을 저감할 수 있는 대책기술을 개발하여 최적화 설계가 된다면 PV시스템의 성능개선 뿐만 아니라 국내 이용보급의 확대에 따른 신뢰성, 안정성을 위한 실용화 기술을 확립할 수 있을 것이다. 그리고 이러한 PV시스템의 성능특성 분석평가에 대한 결과의 정확성 및 신뢰성을 확보하기 위해서 국내 보급된 PV시스템별로 실측결과를 수집하여 데이터베이스를 구축하고 있으며 향후에는 모델링을 통한 분석평가기술과 운전시 발생하는 문제점에 대한 대책기술을 조사하여 PV시스템의 최적화 설계기술에 대해서 연구를 수행할 계획이다.

이 논문은 산업자원부 에너지·자원기술개발사업 (2004-N-PV11-P-02-0-000)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 소정훈, 정영석, 유권중, 최주엽, 최익, "3kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능특성 평가분석", 대한전기학회논문지, 53B, pp.509-516, 2004.
- [2] J.H. So, Y.S. Jung, G.J. Yu, J.Y. Choi, and J.H. Choi, "Monitoring and analysis of 3kW grid-connected PV system for performance evaluation," KIEE International Transaction on Electrical Machinery and Energy Conversion Systems, Vol. 5B, No. 1, pp 57-62, 2005.
- [3] Sugiura. T, Yamada. T, Nakamura. H, Umeye. M, Sakura. K, Kurokawa, K, "Measurement, analyses and evaluation of residential PV systems by Japanese monitoring program", Solar Energy Materials & Solar

Cell, Vol. 75, Issues 3-4, pp.767-779, 2003.

[4] Oozeki, T, Izawa, T, Otani, K, Kurokawa, K, "An evaluation method of PV systems", Solar Energy Materials & Solar Cell, Vol. 75, pp.687-695, 2003.

[5] B. Decker and U. Jahn, "Performance of 170 grid connected PV plants in northern germany-analysis of yields and optimization potentials", Solar Energy, Vol. 59, Issues. 4-6, pp. 127-133, 1997.

[6] T. Erge, V. U. Hoffmann, and K. Kiefer, "The german experience with grid-connected PV systems", Solar Energy, Vol. 70, Issue 6, pp. 479-487, 2001.



최주엽(崔宙燁)

1961년 2월 11일생. 1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 Texas Univ. of Arlington 졸업(석사). 1994년 Virginia Tech. Electrical Eng. 졸업(공학). 1994년~1995년 Virginia Tech (Post Doc.). 1995년~1999년 한국과학기술연구원 지능제어연구센터 선임연구원. 2000년~현재 광운대 전기공학과 부교수.

저 자 소 개



소정훈(蘇楨訓)

1970년 5월 4일생. 1994년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 광운대 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1996년~현재 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단 선임연구원.



정영석(鄭永錫)

1970년 12월 9일생. 1994년 충북대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 박사과정 수료. 1996년~현재 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단 선임연구원.



유병균(兪柄圭)

1976년 8월 31일생. 2002년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 한국과학기술원 대학원 전자전산학과 졸업(석사). 2004년~현재 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단 연구원.



유권중(劉權鍾)

1954년 8월 5일생. 1982년 조선대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 일본 KOBE대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1989년~1990년 일본 Fuji전기(주) 종합연구소 주임연구원. 1990년~현재 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단 단장. 당 학회 부회장.