태양광 발전시스템의 설계치에 대한 성능 비교분석

소 정 훈 , 유 권 종 , 강 기 환, 이 종 건* , 석 줄 기* , 최 주 엽**
한국에너지기술연구원, 영남대학교*, 광운대학교**

A Performance Analysis On Designed Value Of Photovoltaic System

J.H. So, G.J. Yu, G.H. Gang, J.K. Lee*, J.K. Seok*, J.Y. Choi**
Korea Institute Of Energy Research, Yeungnam Uni*,Kwangwoon Uni**.

Abstract - This paper compares the performances of photovoltaic system by computer simulation with those of real photovoltaic system. We evaluate the performances of photovoltaic system by computer simulation considering system parameters of system specifications, installation and surrounding conditions etc. In the future , we will intend to develop an analysis tools and construct database for optimal design of photovoltaic system

1. 서 론

산업발전과 더불어 경제적·사회적 생활 수준의 가속화에 따른 에너지 수요증가, 특히 전력 수요가 크게 증가되고 있다. 이러한 상황에서 미래 에너지원의 안정적 공급과 지구환경문제에 대한 대응 등에 대한 관심으로 태양광 및 풍력발전 등의 무한정·무공해의 대체에너지 기술에 대한 연구개발 및 기대가 증가되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 태양광 발전시스템의 발전성능에 큰 영향을 미치는 외부 환경조건, 시스템의 설계 및 설치조건 등의 파라메터들을 고려한 시뮬레이션 발전성능과 시스템의 실측 발전성능을 비교 분석함으로써 그 타당성을 제시하였다. 또한 시스템 파라메터들의 변화에 따른 성능을 시뮬레이션을 통해 분석함으로써 향후 미래에너지원으로 관심이 집중되고 있는 태양광발전시스템의 최적설계를 위한 데이터베이스 구축, 성능예측 및 분석 tool을 개발하고자 한다.

2. 태양광발전 시스템 구성

그림 1은 설계치에 대한 성능 비교분석을 위한 대상 시스템인 30kW급 계통연계형 태양광발전시스템을 보여준다.

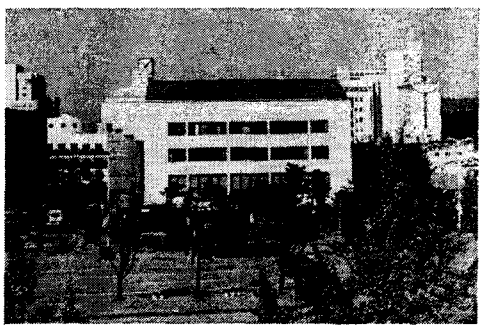

그림 1 30kW급 계통연계형 태양광 발전시스템

표 1,2는 그림 1의 태양광 발전시스템에서 사용된 인버터의 규격 및 태양전지 모듈의 규격을 나타낸다. 시스템의 태양전지 어레이는 36개의 단결정 실리콘 태양전지로 이루어진 50Wp급 태양전지 모듈을 20직렬, 30병렬로 연결하여 구성되었다. 시스템 어레이는 경사각 25 °,방위각 -60 °(동남쪽)인 고정방식으로 설치되었다. 인버터는 정격 출력에서 90%이상의 변환효율, 98%이상의 역률을 가지고, 과전압, 단락 등의 이상 발생시 회로를 보호할 수 있는 장치가 내장되어 있다.

표 1 태양전지 모듈(SM-50) 규격

구 분	규 격
태양전지 종류	단결정 실리콘
정격출력	50 Wp
단락전류 (I_{SC})	3.4 A
개방전압 (V_{OC})	21.0 V
최대전력점 전류 (I_{MPP})	3.05 A
최대전력점 전압 (V_{MPP})	16.4 V
태양전지 크기	100×100 (mm)
태양전지 수량	36 개
모듈크기	991×448 (mm)
모듈무게	6.5 Kg
모듈수량	500 매
측정조건	AM 1.5, 1kW/m^2, 25°C

표 2 인버터(PWR-30T) 규격

구 분		규 격
시스템 구성	시스템방식	저주파 절연변압기형
	출력방식	삼상
	입력제어방식	MPPT
	인버터제어방식	전압형 전류제어
	제어소자	DSP
	스위칭소자	IGBT
	Display	LCD
입력사양	정격입력전압	340 [V_{DC}]
	입력전압변동범위	200~500 [V_{DC}]
	최적입력전압변동범위	200~480 [V_{DC}]
출력사양 및 성능	정격출력용량	30kW
	정격출력전압	삼상 380 [V_{AC}]
	정격출력주파수	60[Hz]
	주파수변동율	±3Hz 이내
	변환효율	90%이상(정격출력시)
	역률	98%이상(정격출력시)

3. 시뮬레이션

3.1 시스템 파라메터

30kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능을 시뮬레이션하기 위해서 사용된 시스템 파라메터로 일사량,

풍속, 외기 및 표면 온도, 경도, 위도, 경사각, 방위각, 시스템 효율, 온도 계수, 시스템 사양 등을 적용하였다. 또한 시스템 운전에 따른 손실(그림자 영향, 경사각에 의한 손실, 온도에 의한 손실, 인버터 손실 및 기타 손실 등)도 고려하였다.

시스템 파라메터의 변화에 따른 시스템의 성능을 비교 분석하기에 앞서 실측 기상데이터와 계통연계형 30kW급 태양광발전시스템의 사양 및 운전데이터를 수집, 분석하였다. 시스템의 설치조건은 위도 35.05°, 경도 129.1°, 고도 69m이고, 어레이는 경사각 25°, 방위각 -60°(동남쪽)로 설치되었고 주변 장애물에 대해 그림자 영향을 받지 않는다. 어레이는 50Wp급 태양전지 모듈(SM-50)을 20직렬, 30병렬로 연결하여 구성되었고, 30kW급 용량의 인버터(PWR-30T) 1대로 구성되었다.

3.2 시뮬레이션 결과

시스템 파라메터를 이용하여 30kW급 계통연계형 태양광 발전시스템의 성능을 시뮬레이션하여 실측치와 비교분석 하였다.

그림 2는 태양광발전시스템의 실측 월별발전량과 시뮬레이션에 의한 월별발전량을 보여주고 있다.

그림 3은 시스템의 실측 발전량과 시뮬레이션에 의한 발전량의 월별 오차율을 보여주고 있다.

그림에서 30kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 발전량과 시뮬레이션에 의한 발전량 결과를 비교하면 실제 시스템의 년간발전량은 31.5[MWh/year]이고, 시뮬레이션에 의한 년간발전량은 31.0[MWh/year]으로 약 2%의 발전량 오차율을 가진다. 월별발전량 오차에서는 3월,11월에만 10%이상의 발전량 오차율이 발생하지만, 그 외는 월별발전량 오차율이 10%미만인 것을 알 수 있다. 환경조건, 시스템 손실, 계측 손실 등에 대한 영향을 고려하면 월별발전량에 대한 오차율이 크지 않다는 것을 생각할 수 있다. 따라서, 시뮬레이션 방법이 환경조건, 시스템의 설계 및 설치조건 등의 변화와 운전유지에 따른 태양광발전시스템의 성능에 대해서 비교적 정확히 예측할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 시뮬레이션 성능해석방법의 타당성을 확인함과 동시에 태양광발전시스템의 성능에 큰 영향을 미치는 어레이의 설치각도(경사각)와 방위각의 변화에 따른 태양광발전시스템의 성능을 비교 분석하였다.

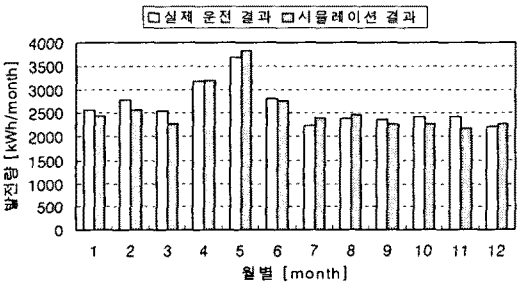

그림 2 월별 발전량 비교

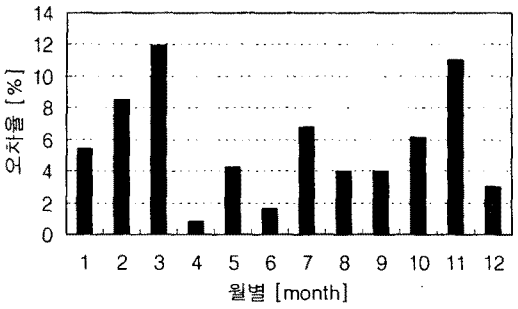

그림 3 월별 발전량 오차율

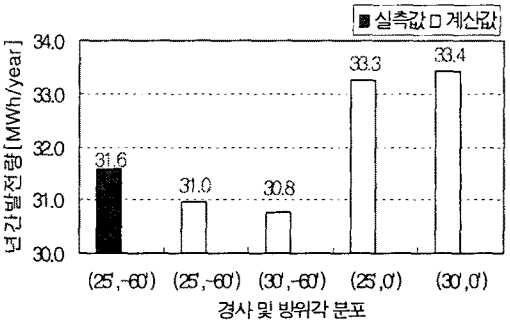

그림 4 설치조건에 따른 년간 발전량 비교

그림 4는 시스템의 실측 발전량과 어레이의 경사각 및 방위각 변화시 시뮬레이션에 의한 발전량을 보여주고 있다. 그림에서 방위각이 -60°일 경우 경사각에 따른 발전량에는 큰 차이가 없지만, 방위각을 0°로 하였을 경우 발전량이 약 10%정도 증가하는 것을 알 수 있다.

표 3은 경사각 및 방위각의 변화에 따른 년간발전량의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 표에서 알 수 있듯이 어레이의 경사각과 방위각에 따른 성능을 시뮬레이션한 결과, 경사각 30±5°, 방위각 0°(정남향)일 때 성능이 가장 양호하다는 것을 알 수 있다. 최대 년간 발전량을 내는 경사각 및 방위각의 최적 조건이 30±5° 와 0° (정남향)인 이유는 경사각 및 방위각이 30±5° 와 0° 로 설치되었을 경우 최고 태양시간(Peak sun hour)일 때 어레이와 태양과의 입사각이 최저가 되어 어레이 표면에 받는 태양의 전일사량이 증가 년간 발전량이 최대가 되는 것이다.

그림 5는 태양광발전시스템의 실제 어레이 경사각인 25°로 하였을 경우 방위각의 변화에 따른 월별발전량의 분포를 보여준다. 그림에서 보면 방위각이 증가할수록 동절기에서는 방위각에 따라 월별발전량이 최대 약 1.0 [MWh/month]의 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 이것은 동절기에 어레이의 설치방위각이 ±45°이상이 되면 산란일사량에 비해서 직달일사량이 많이 감소되어 경사면 전일사량이 줄어들기 때문에 발전량이 감소하게 되는 것이다.

표 3 경사각 및 방위각의 변화에 따른 년간 발전량 (단위 : kWh/year)

경사각	방위각												
	-90°	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	70°	90°
15°	29,362	30,173	30,909	31,538	32,028	32,373	32,419	32,307	31,991	31,500	30,846	30,099	29,290
20°	28,561	29,805	30,954	31,910	32,656	33,140	33,268	33,112	32,620	31,838	30,869	29,732	28,456
30°	28,026	29,456	30,764	31,872	32,725	33,275	33,428	33,251	32,665	31,796	30,694	29,366	27,925
45°	25,952	27,751	29,388	30,778	31,876	32,572	32,809	32,532	31,842	30,699	29,318	27,661	25,814
60°	23,255	25,166	26,932	28,365	29,551	30,301	30,559	30,299	29,522	28,323	26,858	25,083	23,102
70°	21,195	23,100	24,739	26,137	27,672	28,002	28,252	28,006	27,258	26,133	24,684	23,024	21,069

그림 6은 어레이의 설치방위각을 실제 태양광발전시스템의 방위각인 -60°로 하였을 경우 경사각의 변화에 따른 월별발전량의 분포를 보여주고 있다. 하절기에는 어레이의 경사각이 증가할수록 반사일사량은 증가하지만 직달일사량은 크게 감소되어 경사면 전일사량이 줄어들기 때문에 발전량이 감소하게 된다. 어레이의 경사각을 계절별로 조정이 가능하다면 년간발전량을 약 2~3%정도 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

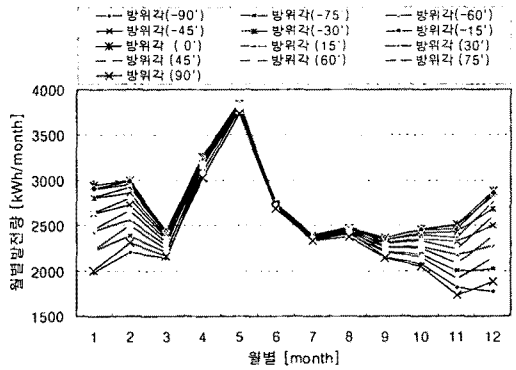

그림 5 방위각에 따른 월별 발전량

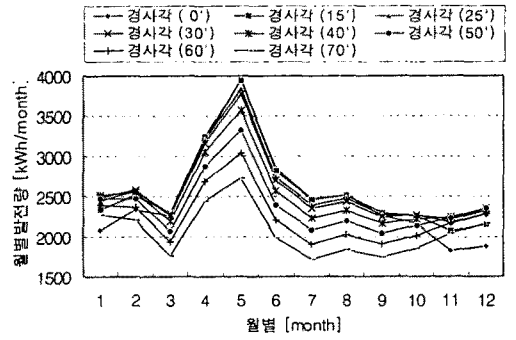

그림 6 경사각에 따른 월별 발전량

4. 결론 및 검토

지구환경문제와 미래에너지원의 안정적 공급 등에 대한 관심이 고조되면서 선진국을 중심으로 대체에너지기술의 연구개발 및 보급의 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 태양광을 이용한 발전시스템의 시스템 규격, 환경 조건 등의 파라메터를 이용하여 시뮬레이션에 의한 성능과 실제 시스템의 성능을 비교 분석하여 그 타당성을 확인하였다. 또한 시스템 파라메터의 변화 및 운전유지에 따른 시스템의 성능을 시뮬레이션하여 비교 분석함으로써 최대 성능을 나타내는 최적 조건을 제시하였다. 이것은 태양광발전시스템의 초기 설계 단계에서 시뮬레이션을 통해 시스템 파라메터들을 변화시켜가며, 태양광발전시스템의 성능을 미리 예측하고, 그 타당성을 검토할 수 있으므로써 시스템의 최적 설계 및 설치에 중요한 데이터베이스 구축에 유용할 것으로 사료된다.

향후 태양광발전시스템에 대한 실시간 데이터베이스를 구축하여 시스템별 최적의 태양광발전시스템 설계 및 설치를 위해서 보다 정확한 성능해석 및 분석 tool을 개발하기 위한 연구를 수행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

[1] Pitts.A.C. Gyouh.L.E, "Optimisaton Of Photo voltaic Cladding Installation Procedures", 14th E.C.Photovoltaic Solar Energy Conference, pp1835-37, 1997.

[2] Takashi Oozeki,Toshiyasu Izawa,"The Eval luation Method Of PV systems", Technical Digest Of The International PVSEC-12, pp741-742, 2001.

[3] John A.Duffie, William A.Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley and Sons, 1991.

[4] D.Yogi Goswami, Frank Kreith, "Principles of Solar Engineering", Taylor&Francis, 1999.

[5] "태양광 발전 시스템의 설계와 시공", ohmsha, 2000.

[6] Roger Messerger, "Photovoltaic Systems Engineering", CRC, 1999.