

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 23, No. 3, 2003

시뮬레이션에 의한 PV시스템 설치방식의 최적설계에 관한 연구

소정훈*, 유권종*, 최주엽**

* 한국에너지기술연구원

** 광운대학교(juyeop@daisy.gwu.ac.kr)

A Study on Optimal Design of PV System Installation by Simulation

So, Jeong-Hoon*, Yu, Gwon-Jong*, Choi, Ju-Yeop**

* Korea Institute of Energy Research

** Kwangwoon University

Abstract

This paper compares the operation characteristics of PV(Photovoltaic) system by computer simulation with those of real PV system and the operation characteristics of PV system by computer simulation are evaluated and analyzed considering system parameters of specifications, installation and surrounding conditions etc. From the basis of these results, this study will intend to develop an evaluation, analysis tool and construct database for optimal design of PV system.

Keywords : 태양광발전시스템(Photovoltaic system), 최적설계(Optimal design), 계통연계(Grid connected)

1. 서 론

산업발전과 더불어 경제적·사회적 생활수준의 가속화에 따른 에너지 수요증가, 특히 전력 수요가 크게 증가되고 있다. 이러한 상황에서 미래 에너지원의 안정적 공급과 지구환경문제에 대한 대응방안으로 태양광 및 풍력 발전 등의

무한정·무공해의 신재생에너지 기술에 대한 연구개발 및 기대가 증가되고 있다.¹⁾⁻³⁾ 따라서 본 연구에서는 30kW 계통연계형 PV(Photovoltaic) 시스템의 발전성능에 큰 영향을 미치는 시스템 및 설치 조건 등의 설계 파라미터를 고려한 PV 시스템의 시뮬레이션 발전성능과 실측 발전성능을 비교분석하여 시뮬레이션^{4),5)} 방법의 타당성

을 제시하였다. 또한 설계 파라미터의 변화시, 특히 PV시스템 설치방식에 따른 운전특성을 시뮬레이션하여 시스템의 성능을 미리 예측분석하고, 데이터베이스를 구축하여 PV시스템 설치방식에 따른 최적설계조건 제시함으로써 향후 미래에너지원으로 기대가 증가되고 있는 PV시스템의 최적설계를 위한 시스템 파라미터를 결정할 수 있는 성능평가 및 분석 기법을 개발하고자 한다.

2. PV시스템 개요

그림 1은 PV시스템 설치방식에 따른 운전특성을 비교분석하기 위해서 적용된 시뮬레이션 대상시스템인 30kW급 계통연계형 PV시스템을 보여준다. 표 1, 2는 그림 1의 PV시스템에 설치된 태양전지 모듈 및 인버터의 규격을 나타낸다. 시스템의 태양전지 어레이는 36개의 단결정 실리콘 태양전지로 이루어진 50W급 태양전지 모듈(SM-5)을 20직렬, 30병렬로 연결하여 구성되었다. 태양전지 어레이는 경사각 25°, 방위각 60°(동남쪽)고정방식으로 설치되었다. 인버터(PWR-30T)는 30kW급 인버터를 사용하여 정격출력에서 90%이상의 변환효율, 98%이상의 역률을 가지고, 과전압, 단락 등의 이상 발생시 회로를 보호할 수 있는 장치가 내장되어 있다.

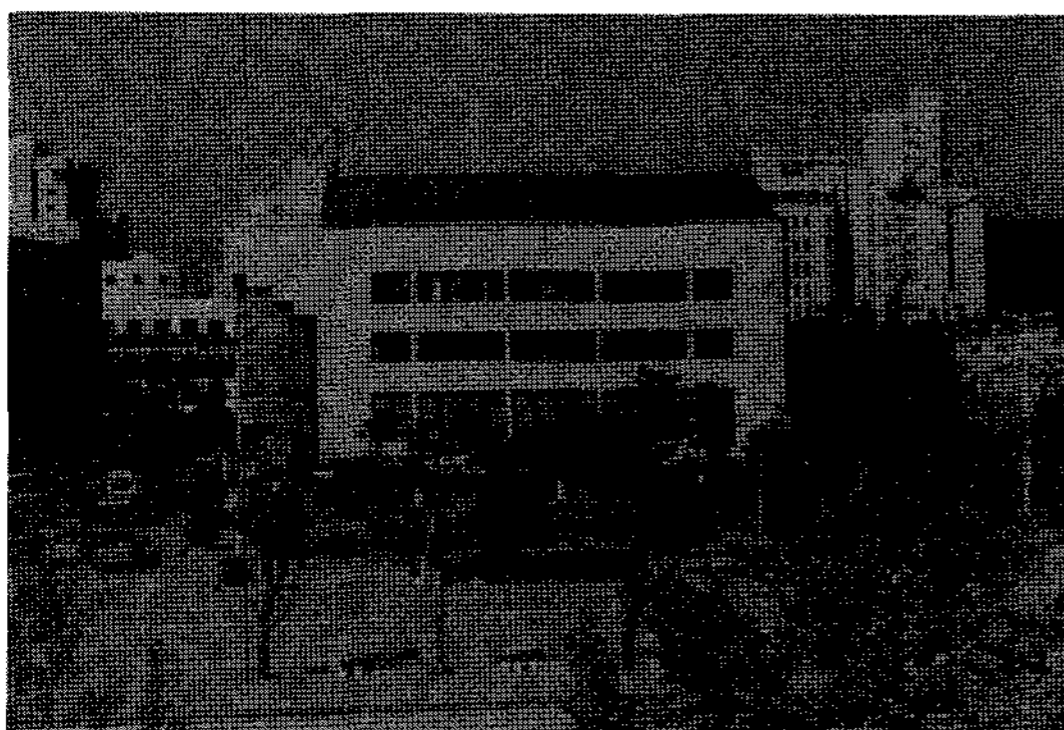


그림 1. 30kW급 계통연계형 PV시스템

표 1. 태양전지 모듈(SM-50) 규격

구 분	규 격
태양전지 종류	단결정 실리콘
정격출력	50 Wp
단락전류 (Isc)	3.4 A
개방전압 (Voc)	21.0 V
최대전력점 전류 (Impp)	3.05 A
최대전력점 전압 (Vmpp)	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 [VDC]
	입력전압변동범위	200~500 [VDC]
	최적입력전압 변동범위	200~480 [VDC]
출력사양 및 성능	정격출력용량	30kW
	정격출력전압	삼상 380 [VAC]
	정격출력주파수	60(Hz)
	주파수변동을	±3Hz 이내
	변환효율	90%이상(정격출력시)
	역률	98%이상(정격출력시)

3. 시뮬레이션 및 결과비교

3.1 시뮬레이션 방법

30kW급 PV시스템의 시뮬레이션에 의한 시스템의 운전특성을 비교분석하기 위해서 필요한

기상조건 및 시스템 설계 파라미터 즉, 일사량, 외기온도, 풍속, 경도, 위도, 경사각, 방위각, 시스템 효율 등을 적용하였고 또한 시스템의 운전에 따른 손실계수(그림자 영향, 선로 손실, 태양전지 어레이 손실, 인버터 손실 및 기타 손실 등)를 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다.^{4),5)}

설계 파라미터의 변화에 따른 시스템의 운전특성을 비교 분석하기에 앞서 실제 기상데이터와 계통연계형 PV시스템의 사양 및 운전데이터를 수집하였다. 시스템의 설치조건은 위도 35.05°, 경도 129.1°, 고도 69m이고, 태양전지 어레이는 경사각 25°, 방위각 60°(동남쪽)로 설치되어 주변 장애물에 대해 그림자 영향을 받지 않는다. 본 연구에서는 PV시스템의 설치조건 및 실측데이터를 이용하여 PV시스템의 종합적인 성능특성 평가 분석 tool인 PVSYST⁴⁾를 사용하여 설치조건에 따른 PV시스템의 최적설계를 위해서 시스템의 운전특성을 시뮬레이션하여 비교분석함으로써 PV시스템 설계 파라미터의 최적조건을 확립할 수 있고, PV시스템 최적화에 의한 성능개선, 신뢰성 및 안정성을 확보하는데 중요한 자료로 이용할 수 있다.¹⁾⁻³⁾ 그림 2는 PV시스템의 운전특성을 비교분석하기 위한 시뮬레이션 흐름도를 보여준다.

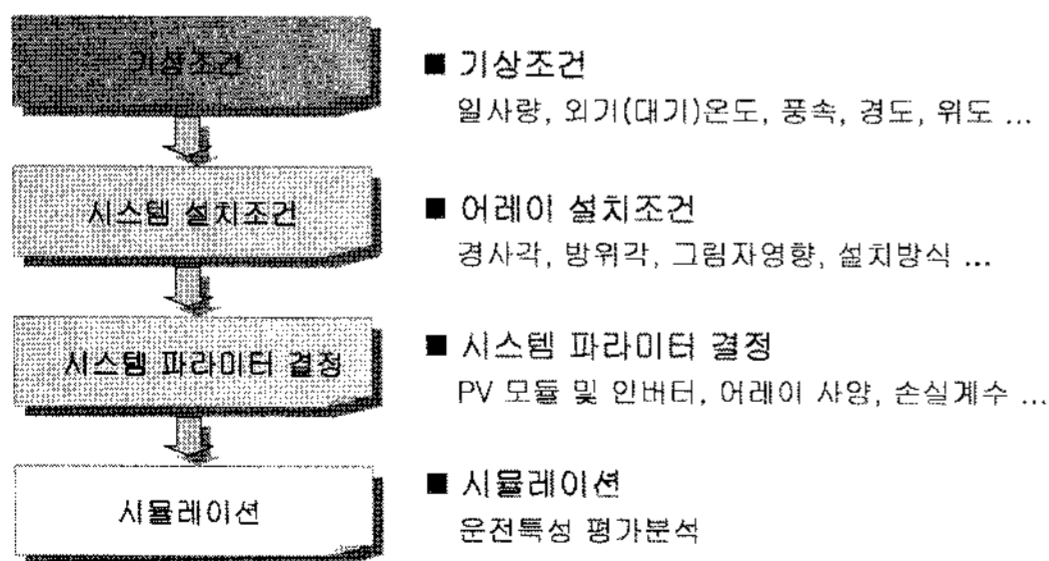


그림 2. 시뮬레이션 흐름도

3.2 시뮬레이션 결과

대상시스템인 30kW급 계통연계형 PV시스템의 설치조건 및 시스템 파라미터⁵⁾를 사용하여 시뮬

레이션을 수행하여 실제 PV시스템의 운전특성과 비교분석하였다. 그림 3은 PV시스템의 실측 월별 발전전력량과 시뮬레이션에 의한 월별 발전전력량을 보여주고 있다. 그림 4는 PV시스템의 실측 발전전력량과 시뮬레이션 발전전력량의 월별 편차 특성을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 PV시스템의 실측 발전성과 시뮬레이션 발전성능 결과를 비교하면 PV시스템의 실측 연간 발전전력량은 31.5MWh/year이고, 시뮬레이션에 의한 연간 발전전력량은 31.0 MWh/year으로 실측 연간 발전전력량과 비교해서 약 2%정도의 편차범위를 가진다. 월별 발전전력량 편차에서는 3월, 11월의 경우 10%이상의 편차를 가지고 있지만, 기타 월별 발전전력량 편차는 10%미만인 것을 알 수 있다. 환경조건, 태양전지 어레이, 시스템 손실 및 계측 손실 등에 대한 영향을 고려하면 월별 발전전력량에 대한 편차는 크지 않다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 사용된 시뮬레이션 틀에 환경조건, 시스템 설계 및 설치조건 그리고 운전 에 따른 시스템의 손실계수 등의 설계 파라미터를 결정하여 시뮬레이션에 적용한다면 PV시스템의 운전특성을 비교적 정확히 예측할 수 있다는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과로부터 시뮬레이션 적용방법의 타당성을 확인함과 동시에 PV시스템의 운전특성에 큰 영향을 미치는 태양

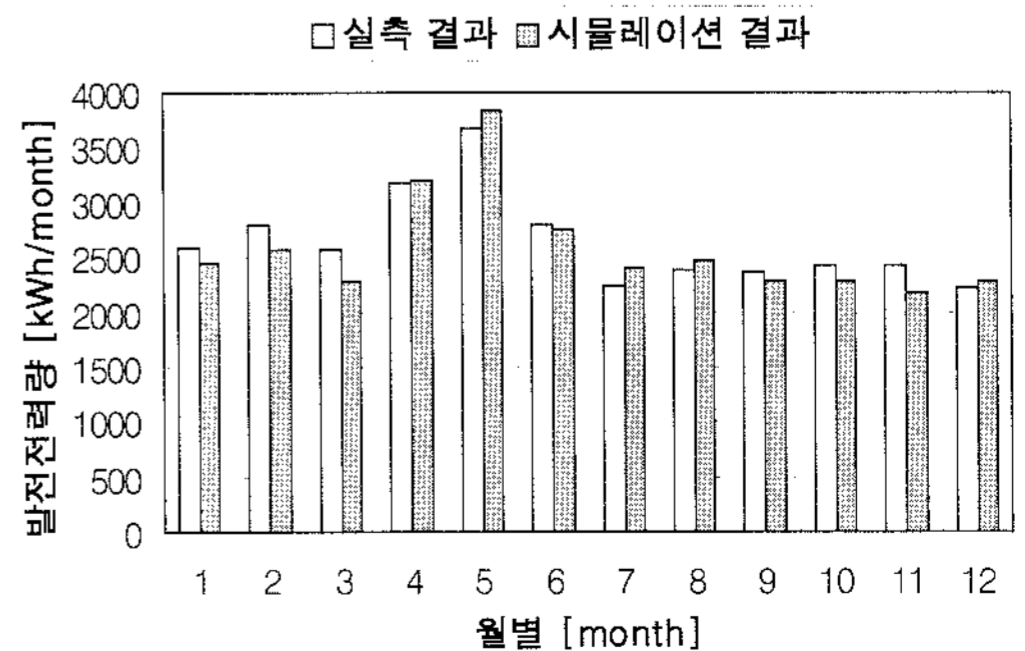


그림 3. PV시스템 월별 발전전력량

전지 어레이의 경사각(설치각도)과 방위각 변화 등의 설치방식(4), (5)에 따른 PV시스템의 운전특성을 비교 분석하였다.

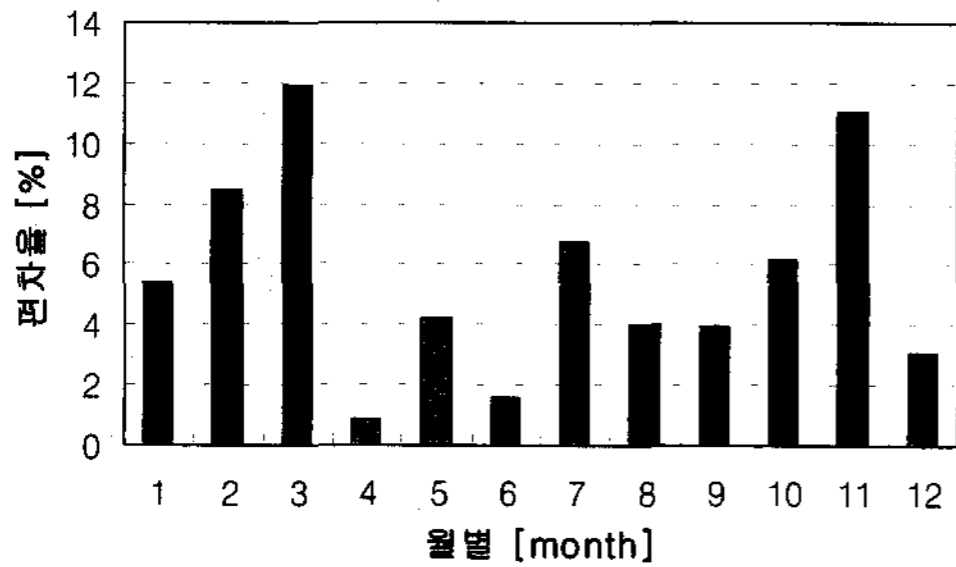


그림 4. PV시스템 월별 발전전력량 편차

표 3은 태양전지 어레이의 경사각을 15°~70°, 방위각을 -90°~90°로 변화시켰을 경우 PV시스템의 연간 발전전력량에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 표에서 보듯이 태양전지 어레이의 경사각과 방위각에 따른 운전특성을 시뮬레이션한 결과, 경사각 30°±5°, 방위각 0°(정남향)일 때 운전특성이 가장 양호하다는 것을 알 수 있다. 즉 PV시스템 설치조건이 경사각이 30°±5°, 방위각이 0°(정남향)일 경우, 최고 태양시간(Peak sun hour)⁴⁾에서 태양전지 어레이와 태양과의 입사각이 최저가 되어 태양전지 어레이에 입사되는 태양의 전일사량이 증가하여 최대 발전성능을 가지기 때문이다.

3.3 설치방식에 따른 시뮬레이션 결과

그림 5는 태양전지 어레이를 고정방식으로 설치하였을 경우 경사각과 방위각에 따른 연간 발전전력량을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 경사각이 30°±5°이고, 방위각이 0°(정남향)일 때 발전성능이 가장 양호하다는 것을 알 수 있다. 그림 6은 방위각이 최적(0°)일 때 경사각 변화에 따른 월별 발전전력량을 보여준다. 그림에서 4월~9월(하절기)에는 월별 최대 발전전력량이

최적 경사각(30°)보다 작을 경우 최대 발전성능을 보여주고, 10월~3월(동절기)에는 최적 경사각보다 클 경우 최대 발전성능을 가지는 것을 알 수 있다. 이것은 하절기에는 태양의 고도가 높아 태양전지 어레이의 경사각이 커질수록 전일사량이 감소하여 월별 발전전력량이 감소하게 되고, 동절기에는 태양의 고도가 낮아 태양전지 어레이의 경사각이 커질수록 태양의 입사각과 수직인 시점까지는 월별 발전량이 증가하였다가 그 이후에는 감소하게 되기 때문이다. 그림 6의 경우에서 태양전지 어레이의 경사각을 3월과 9월에 즉 년 2회 정도 조정이 가능하다면 연간 발전전력량이 3~5%정도 개선될 수 있다는 것을 알 수 있다.

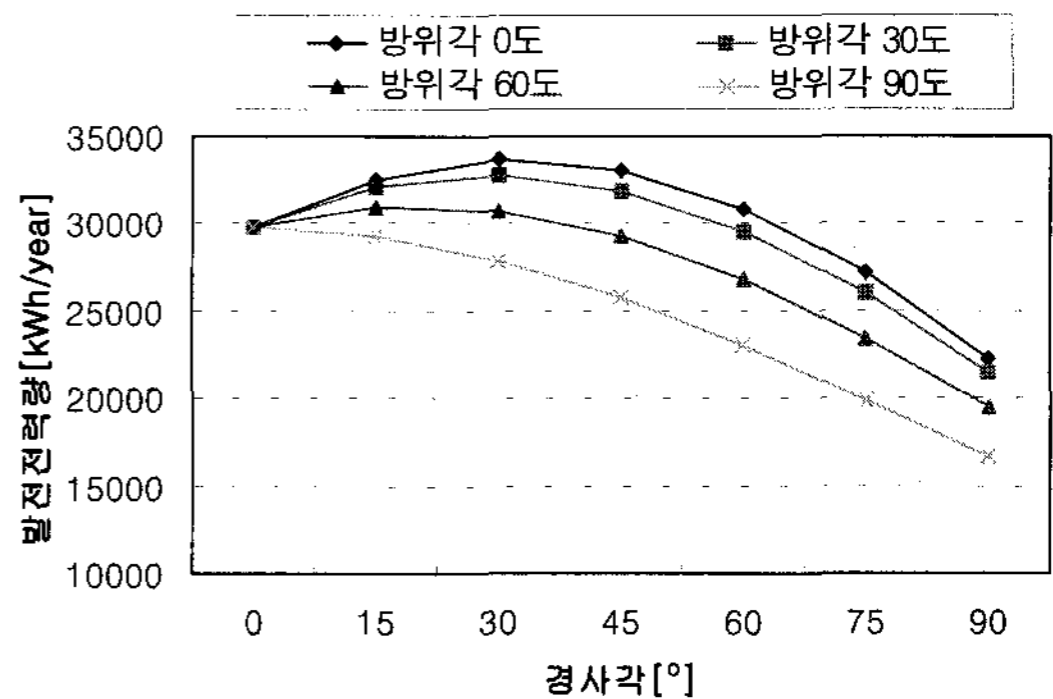


그림 5. 경사각과 방위각에 따른 연간 발전전력량

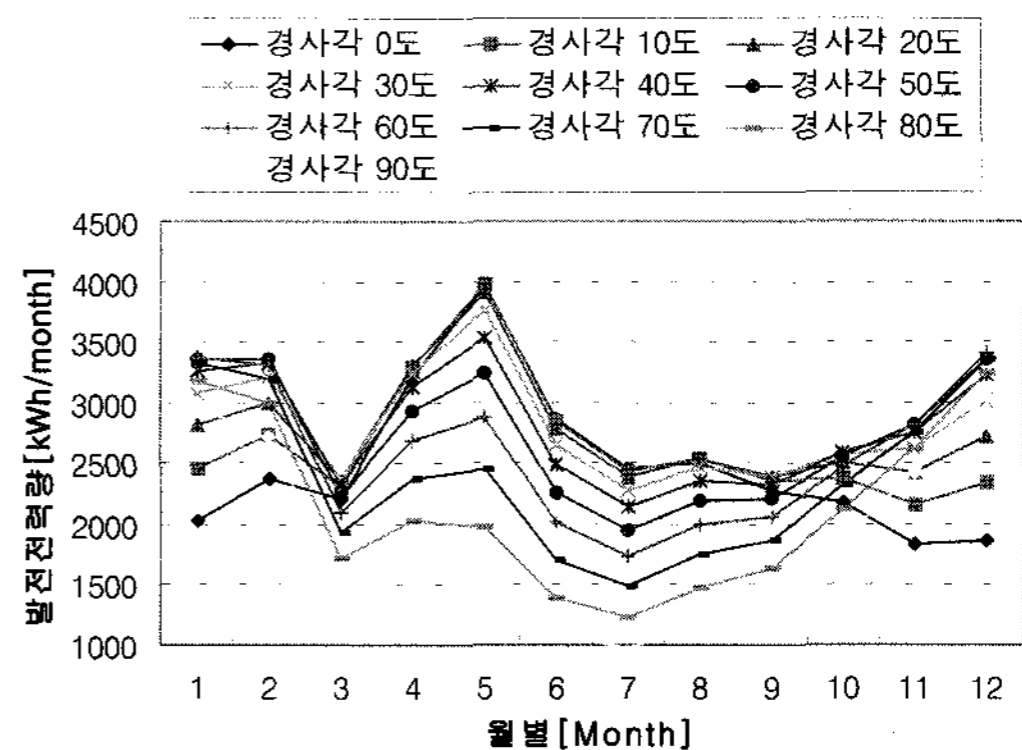


그림 6. 경사각의 변화에 따른 월별 발전전력량

표 3. 경사각 및 방위각 변화에 따른 연간 발전전력량 (kWh/year)

경사각	방 위 각												
	-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 7은 태양전지 어레이를 계절별 조정방식으로 설치하였을 경우의 경사각 변화에 따른 연간 발전전력량 변화를 보여준다. 그림에서 보면 계절별 조정방식을 적용하였을 경우를 시뮬레이션 한 결과 하절기에 경사각을 15°, 동절기에 경사각을 50°로 조절하였을 경우 발전성능이 가장 양호하다는 것을 알 수 있다. 계절별 조정방식의 경우 기존의 고정방식과 비교하여 경사각 제어에 따른 추가설치비용이 다소 저렴한 소규모 PV시스템에 적용한다면 효율적인 시스템의 운전이 가능한 설치방식이 될 수 있다.

그림 8, 9는 태양전지 어레이의 설치방식에 따른 종합적인 월별 그리고 연간 발전성능을 보여준다. 그림에서 보듯이 설치방식을 계절별 조정방식으로 하였을 경우 고정방식에 비해서 1,206kWh 정도 발전성능이 개선되고, 일축 혹은 양축 추적방식을 사용하였을 경우 고정방식 및 계절별 조정방식과 비교해서 발전성능이 상당히 양호하다는 것을 알 수 있다. 그러나 일축 및 양축 추적방식의 경우 태양궤도를 정확히 추적할 수 있는 제어기 설계 문제, 추적 및 구동장치 등의 제작에 따른 추가설치비용이 많이 든다는 단점이 있다. 따라서 PV시스템의 설계 시 공시 이러한 시뮬레이션 결과를 토대로 PV시스템의 설치방식에 따른 발전성능 대비 설치비용과의 경제성 평가를 통해 실제 적용가능성을 조

사하는데 아주 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

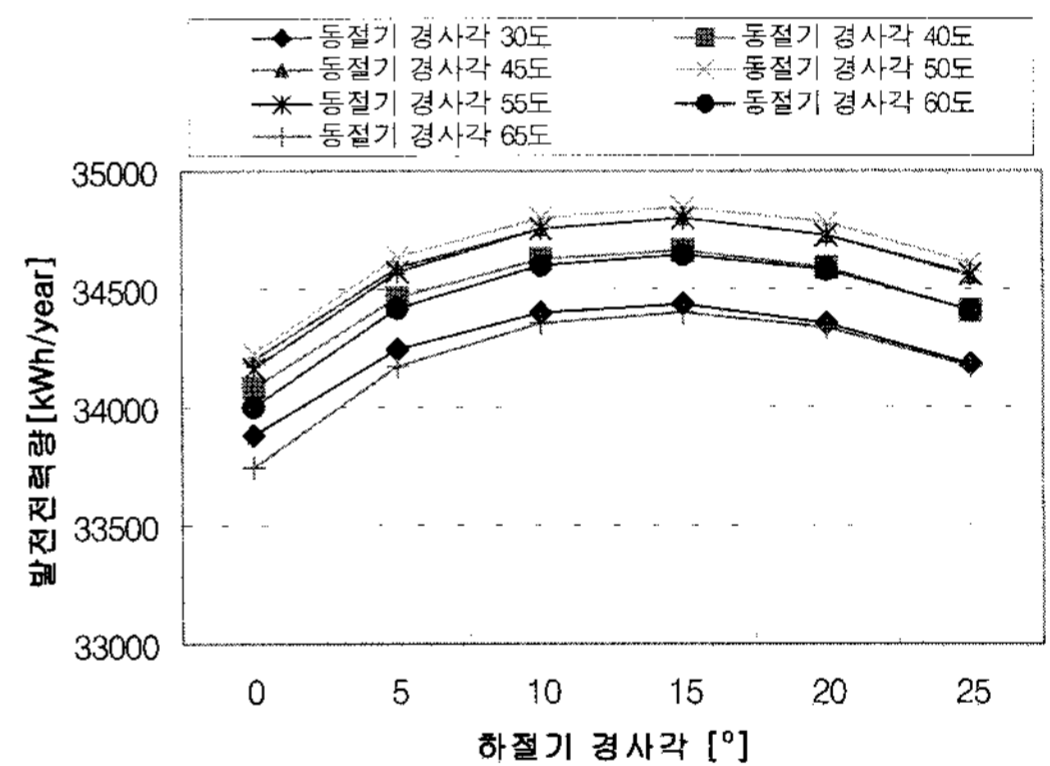


그림 7. 계절별 조정방식에 따른 연간 발전전력량

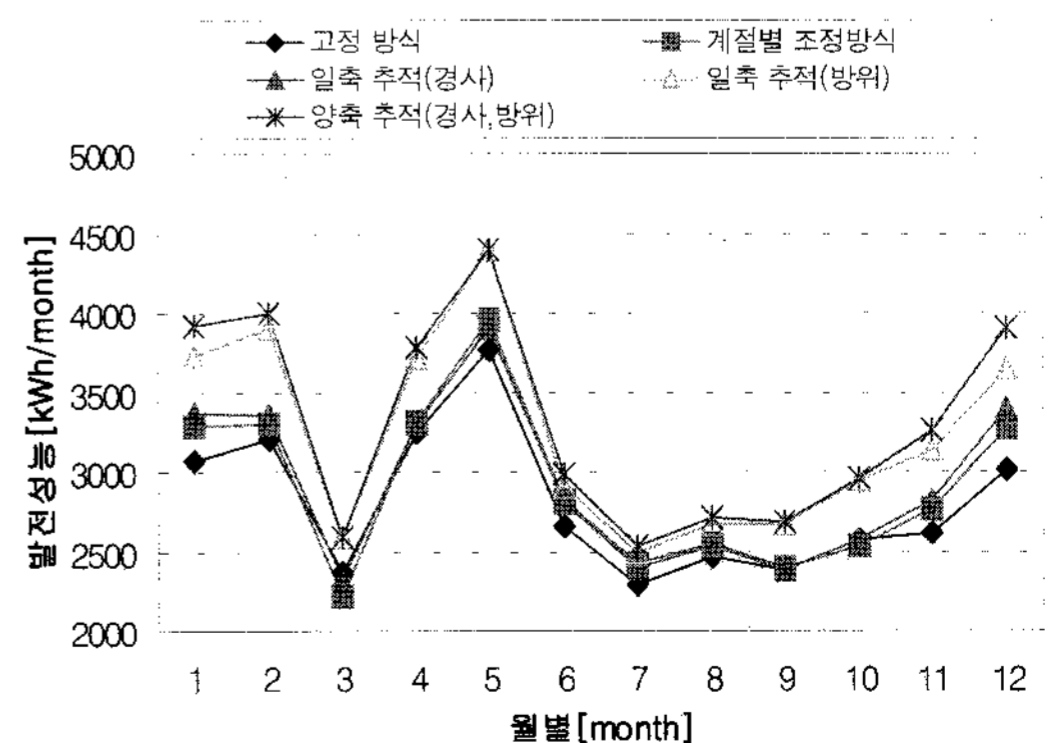


그림 8. 설치방식에 따른 월별 발전전력량

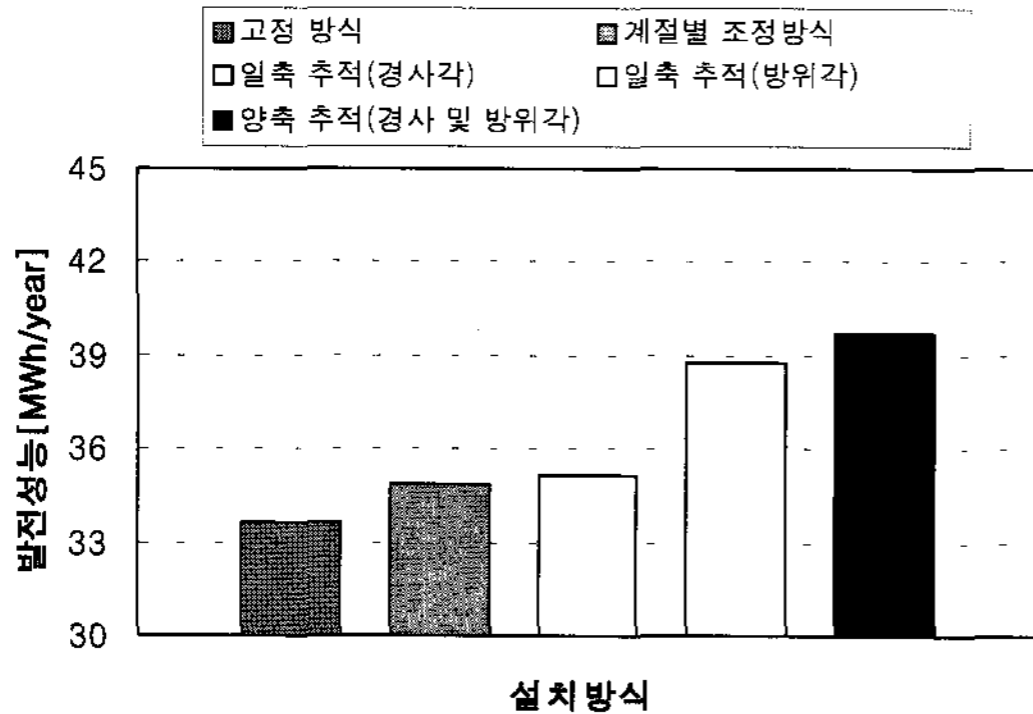


그림 9. 설치방식에 따른 연간 발전전력량

4. 결 론

PV시스템의 발전성능에 큰 영향을 미치는 시스템 및 설치조건 등의 설계 파라미터의 변화에 대해서 시뮬레이션에 의한 운전특성을 미리 예측 분석하여 PV시스템의 최적설계를 위한 종합적인 데이터베이스 구축을 위한 것으로 본 연구에서 수행한 결과는 다음과 같다.

- (1) 시뮬레이션에 의한 발전성능과 실측 발전성능을 비교한 결과, 연간 발전전력량 오차가 약 2% 정도로 설계 파라미터를 이용한 시뮬레이션 방법의 타당성을 확인하였다.
- (2) 시스템 및 설치조건 등의 설계 파라미터 변화에 따른 PV시스템의 운전특성을 시뮬레이션을 통해 비교분석하여 PV시스템 최적설계를 위한 데이터베이스를 구축하였다.
- (3) PV시스템 최적설계를 위해서 설치방식별로 시뮬레이션을 수행한 결과 고정방식의 경우 방위각 0°, 경사각 35°±5°, 계절별 조정방식에서는 방위각 0°, 경사각을 하절기 15°, 동절기 50°로 하였을 경우 최대발전성능이 가진다는 것을 알 수 있었다. 일축 혹은 양축 추적방식의 경우는 다른 설치방식에 비해서 발전성능이 가장 양호하나, 태양궤

도를 정확히 추적할 수 있는 제어기 설계문제, 추적 및 구동장치 등의 제작에 따른 추가설치비용이 많이 드는 단점이 있으나, 경제성 평가를 통해 실제 적용가능성을 조사하는데 유용한 설계 자료로 활용될 수 있다.

향후 실증연구를 통한 PV시스템의 감시제측시스템 및 On-Line 데이터베이스를 구축하여 장시간 운전시 PV시스템의 문제점 조사 및 손실계수 분석 등의 종합적인 운전특성을 평가 분석하여 PV시스템의 성능개선, 안정성 및 신뢰성을 확립할 수 있는 최적설계기술, 평가분석 및 응용기술 개발에 대한 연구를 수행할 계획이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구지원으로 수행되었음(과제번호 : R01-2001-00313-0-2002)

참 고 문 헌

1. Pitts. A. C and Gyoh. L. E, (1997), "Optimisation Of Photovoltaic Cladding Installation Procedures", 14th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, P.1835-1837
2. Takashi Oozeki and Toshiyasu Izawa, (2001), "The Evaluation Method of PV Systems", Technical Digest of the International PVSEC-12, P.741-742
3. Werner Knaupp, (1997), "Evaluation Of PV Module Design at Irregular Operation Conditions", 26th PVSC, P.1213-1216
4. John A. Duffie and William A. Beckman, (1991), "Solar Engineering of Thermal Processes", John wiley and Sons
5. D. Yogi Goswami and Frank Kreith, (1999), "Principles of Solar Engineering", Taylor & Francis