

500kW급 태양광시험장 구축을 위한 최적설계에 관한연구

김의환*, 장주연*, 임희천*

*한전 전력연구원(kimehwa@kepcoco.kr/bomool57@hanmail.net/imhchn@kepcoco.kr)

A Study on optimal design for installation of 500kWp PV system testing ground

Kim, Eui-Hwan* Jang, Ju-Yeon* Lim, Hee-Chun*

*KEPRI (kimehwa@kepcoco.kr/ bomool57@hanmail.net/ imhchn@kepcoco.kr)

Abstract

The performance of photovoltaic systems could be affected by various factors including installing conditions of modules, and their own efficiencies of solar cells and inverters. The installing conditions of a photovoltaic system including array types, tilting angles, azimuth, locations, quantities of sunshine, optimum angles of inclination and separated distance are analyzed using the SolarPro & Minitop SW simulation program, in order to set up the installing conditions for improving system performance. The result from the simulation of the 500 kWp PV system of Kochang with optimal installing conditions compared with normal conditions shows that the capacity factor has been increased from 11.02% to 12.06%

Keywords : 태양광발전시스템(PV System), 집광조건(concentration condition), 경사각(Tilting Angle), 시스템 이용율(capacity factor), 발전 전력량(Generation electricity)

기 호 설 명

kW : 전력 (kilo watt)
kWh : 전력량 (kilo watt-hour)
MJ : 일사합(MJ/m²)
hr : 일조합

1. 서 론

청정 에너지원으로 주목받고 있는 태양광 발전방식은 신 재생에너지원 중에서 가장 실용화된 발전방식으로 운전 및 유지보수가 용이하며, 태양전지 모듈화가 가능하여 용량의 신축성이 있고, 무한의 태양에너지를 이용할

투고일자 : 2010년 6월 14일, 심사일자 : 2010년 6월 20일, 게재확정일자 : 2010년 8월 15일
교신저자 : 김의환 (kimehwa@kepcoco.kr)

수 있다는 장점이 있는 반면에 일사량에 의한 출력변동 등 기상조건의 영향을 받는 단점이 있다. 이러한 특성으로 인해 태양광 발전은 차세대 성장 에너지원으로 각광 받고 있으며, 최근 문제되고 있는 지구환경문제 해결에도 부합할 수 있는 잠재력을 갖고 있다. 또한 계통 연계형 태양광 발전시스템의 확대 보급시 태양광 발전시스템의 출력특성에 의한 기존 전력계통의 피크전력을 감소시키는 효과도 기대할 수 있다. 국내 태양광발전은 정부 지원 정책에 힘입어 지속적으로 보급이 확대되고 있다.으며, 현재 약 400 MWp 이상의 설비가 전력시장에 진입하여 상업 운전 중에 있다. 이러한 태양광발전의 확대 보급은 분산 전원 설비로서 전력계통과의 안정성 및 신뢰성 확보가 아주 중요한 문제이다. 태양광발전시스템은 일반적으로 모듈의 집광조건, 태양전지 셀 자체효율, 변환기의 변환효율 등에 따라 발전량에 큰 영향을 미친다. 본고에서는 그림 1.과 같이 현재 고창지역에 진행 중인 “500kW 급 태양광시험장 구축” 사업에 적용하기 위한 시스템 설계의 일환으로 설치조건을 개선하여 최적의 시스템을 구축하기 위한 연구결과이다. 본 태양광시험장은 Inverter 시험장치, Module 시험장치, 계통연계 시험장치 등으로 구성되며, 본 연구결과를 반영하여 고창지역에 구축될 계획이다.

2. 시험장 개요

2.1 시험장 구성

500 kWp급 태양광 발전 시스템은 크게 태양전지 모듈로 구성된 태양전지 Array, 발생된 DC 전원을 AC 전원으로 변환시키는 PCS, 그리고 보호설비가 있는 분전반과 계통연계 설비로 구성될 계획이다.

특히 본 설비는 현장시험(Field test)을 지원하기 위하여 구축되는것으로서 태양광시험장에는 전체시스템의 운용상태와 관계없

이 독립적으로 Module 시험을 수행할수 있도록 30kW 용량의 Module 전용 시험장치와 Inverter 시험을 위한 Inverter 시험장치, 그리고 계통연계시 전력품질을 시험할 수 있게 계통연계 시험장치로 구성된다.

표 1. 시험장 개요

항 목	규 격
종 류	단결정, 박막 태양전지
Array형식	고정식, 반고정식, 추적식
용 량	504 kWp
인 버 터	3, 5, 10, 50, 100, 150, 250 kVA
시험장치	인버터, 모듈, 계통연계 시험장치
부지면적	14,500㎡
위 치	고창 시험센터 내

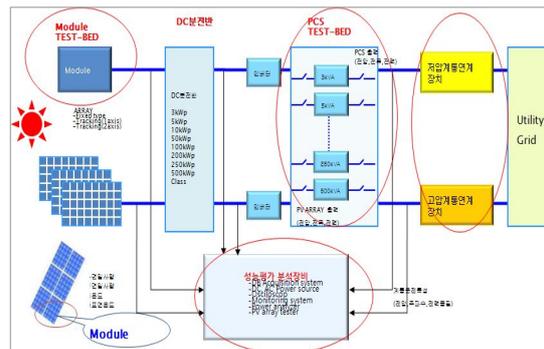


그림 1. 시험장 계통도

2.2 파라미터 도출

그림 2. 에서 보는 것 과 같이 태양광발전 시스템에서는 일사량, 이격거리, 표면온도 및 청결상태 등 설치조건에 따라서 발전량에 영향을 미치게 된다. 그리고 사용 연수에 따른 경년열화 등도 이용율을 좌우하는 요소이다.

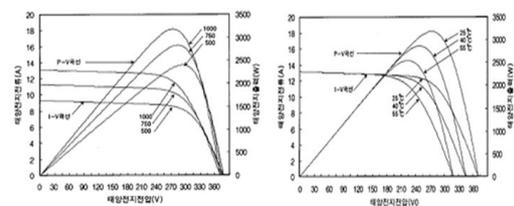


그림 2. PV 곡선 (일조량, 온도)

이처럼 전체적인 시스템에 영향을 주게 되는 잠재요인으로는 그림 3과 같이 인적요인, 기계적요인, 환경적요인, 운용요인 등 다양한 요인을 찾을수 있는데 이들중에 실험가능한 실험변수를 선정함으로써 잠재인자간의 상관관계를 분석하고 이를 시스템구축에 필요한 상세설계에 반영하기 위함이다.

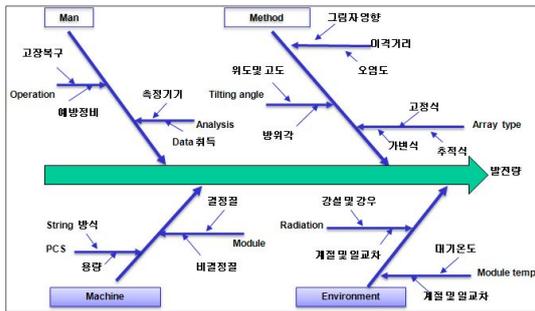


그림 3. 잠재적 인자도출

3. 실험 및 분석

3.1 상관관계 분석

태양광발전이 영향을 주는 여러 가지 파라미터에서 실험계획법 시행을 위하여 특성요인도를 통해 도출한 잠재인자에 대하여 Minitap 프로그램에 의한 실험변수 및 실험수준을 검토하였다. 그 결과 파라미터 인자중에서 Array 경사각 및 이격거리 인자가 발전량에 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다.

표 2. 실험변수 선정

구 분	잠재인자	단위	실험변수 선정	실험수준
Man	운전기술		×	운전경험
	운전분석		×	고장복구
Machine	PCS		×	String
	Module		×	결정질
Environment	Radiation		×	계측값
	Module temp		×	계측값
Method	Array 경사각	도	○	5~65
	이격거리	m	○	3~7

따라서 잠재 인자중에서 영향이 큰 Array 경사각과 이격거리 간에 상관분석을 통하여 발전량에 영향을 주는 목표값을 도출함으로써 시스템의 최적화를 도모하였다.

3.2 Simulation

태양광 Array Type, Array 경사각, 방위각, 이격거리, 일조량 등을 설치조건에 따른 발전량 분석 소프트웨어인 SolarPro 를 사용하여 데이터를 분석하였다. SolarPro는 태양광 발전과 관련된 모든 항목을 포함하는 고급 Simulation 프로그램으로 건물의 경도, 위도, 모듈의 방위각, 경사각 그리고 주위 건물에 대한 그림자의 영향 등을 기초로 예상 발전량, 이용율 등을 산출할 수 있으며, 인버터 특성과 감소율을 기초로 예상 전력을 계산하고 그래프와 데이터로 보고서를 작성 할 수 있는 태양광 분석 프로그램이다. 여기서 활용한 일사량 데이터는 표 3. 과 같이 태양광 시험장이 들어서게 될 고창지역의 일사량 데이터를 활용하였다.

표 3. 고창지역 일사량과 일조합

월별 (2009년)	일사량 (MJ/m ²)	일조합 (hr)
Jan	215.08	137.7
Feb	221.42	111.5
Mar	393.83	196.2
Apr	469.26	230.6
May	531.55	255.2
Jun	484.19	191.2
Jul	356.21	105.8
Aug	422.96	168.5
Sep	393.56	188.2
Oct	358.54	225.8
Nov	204.84	122.9
Dec	174.73	120.7
소계	4226.17	2054.3

3.3 실험 분석

태양전지 Array 경사각은 우리나라에서 보통 30°로 설계하는 경우가 많지만, 그 적용범

위는 10~90°의 범위에서 각각 목적에 맞도록 계획하는 것이 바람직하다. 표 4. 는 Array 간 이격거리를 7m로 고정하고 Array 경사각을 단계적으로 변경했을 때의 고정식 태양광발전 시스템의 발전량과 이용률 데이터이다.

본 연구에서는 Array 경사각과 이격거리에 따른 이용률 추이를 알아보기 위해 현재 500 kW급 태양광시험장이 들어설 고창지역 위도와 경도 데이터를 활용하였다. 최초에는 Array 경사각을 5°에서 65°까지 단계별로 다양하게 변화시켜 발전량을 분석하였다.

표 4. 500kW급 월별 발전량 및 이용률

구분	20도	25도	30도	35도	40도	45도	50도
Jan	33,278	35,184	36,849	37,805	38,951	38,943	39,493
Feb	36,884	38,208	39,287	40,112	40,678	40,807	40,851
Mar	47,496	48,198	48,610	48,728	48,553	48,086	47,329
Apr	54,939	54,712	54,182	53,351	52,046	50,656	48,988
May	56,806	55,865	54,625	52,837	51,079	48,768	46,529
Jun	49,223	48,118	46,754	45,141	42,727	40,771	38,603
Jul	44,380	43,462	42,304	40,721	39,155	37,149	35,222
Aug	46,610	46,101	45,334	44,205	42,959	41,328	39,644
Sep	45,215	45,446	45,411	45,112	44,550	43,729	42,655
Oct	45,768	46,927	47,799	48,376	48,656	48,597	48,279
Nov	32,365	33,962	35,328	36,456	37,294	37,477	37,830
Dec	29,808	31,710	33,028	33,874	35,003	35,888	36,539
소계	522,772	527,893	529,511	526,718	521,651	512,199	501,962
이용률	11.9%	12.1%	12.1%	12.0%	11.9%	11.7%	11.5%

분석결과 5~35° 구간에서는 Array 경사각이 증가함에 따라서 이용률도 증가하는데 반하여 35~65° 구간에서는 오히려 저하되는 것을 알 수 있다. 따라서 최적의 조건을 도출하기 위해서 20~50°구간에서 0.5도 간격으로 추가 실험을 수행하였고, 그 결과 고창지역에서는 설치방위각을 정남향으로 했을 때 이격거리 6.1m(고정식 지지대), Array 경사각 27°에서 발전량이 최대로 도출되었다.

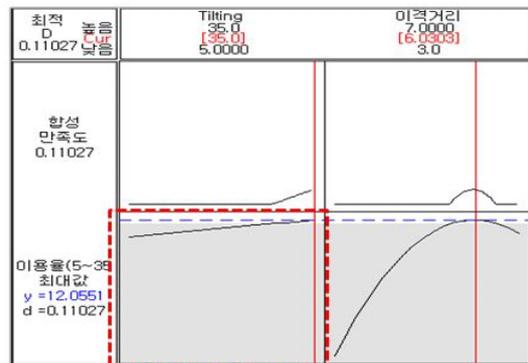


그림 4. Array 경사각 5~35° 구간

이처럼 Array 경사각은 태양광발전 시스템의 설치조건 및 발전량에 큰 영향을 미치므로 지역적 특성을 고려해 발전출력을 극대화 하는 방향으로 시스템을 설계하는 것이 바람직하다.

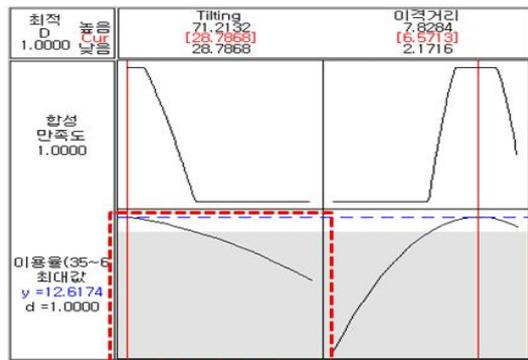


그림 5. Array 경사각 35~65° 구간

본 연구에서는 주어진 부지에서 설비용량을 고려한 그림자 영향을 최소화 하고, 적당한 이격거리를 유지해 발전 출력을 최대화하기 위해 Array의 설치형태 (고정식, 추적식)에 따른 발전량도 함께 비교 해 보기위해 설치 Type별로 나누어 분석을 수행하였다. PV Array의 Type으로는 Fixed (No Tracking), Horizontal (Azimuth), Vertical(Zenith), All (Azimuth, Zenith) 이 있다. 우선 동일한 조건(이격거리, Array 경사각)에서 각 Type별

발전량을 Simulation 하였다.

표 5. 에서 Array가 Fixed Type인 경우 이격거리 3m 에서 발전량이 433,520kWh 인 것에 반해 5m, 7m 에서는 각각 567,254kWh, 572,100kWh 로 약 20~30% 증가한 것을 볼 수 있다. 다른 Type 에서도 마찬가지로 이격거리가 늘어날수록 발전량이 증가한다. 이는 이격거리가 작을수록 그림자 영향을 많이 받아 발전량이 줄어드는 것으로 해석 할 수 있다. 그러나 효과적으로 시스템을 구축하기 위해서는 가장 적합한 Array 경사각 및 이격거리를 산출하여야 한다. 동일조건에서는 Array Type 별 발전량을 비교해 보았을 때 전체적으로 Fixed Type 보다 Tracking Type이 출력이 더 높은 것을 알 수 있다.

표 5. Array Type별 이격거리에 따른 발전량(kWh)

Type	이격거리 (m)	발전량(kWh)
Fixed	3	433,520
	5	567,254
	7	572,100
	9	572,998
Horizontal	3	416,030
	5	525,345
	7	573,710
	9	601,311
Vertical	3	446,434
	5	579,669
	7	602,038
	9	603,903
All	3	433,455
	5	539,216
	7	596,426
	9	627,536

그러나 예외적으로 이격거리 3m의 Fixed Type의 경우 Horizontal Type 보다 17,490kWh 정도 발전량이 더 높게 나타났다. 이는 태양전지 판이 태양을 따라 Tracking중 생기는 그

림자 영향으로, Fixed Type보다 소요 면적과 범위가 늘어나므로 생기는 결과라 할 수 있겠다. 결과적으로 태양빛에 따라 모듈이 움직이도록 설계된 Tracking Type의 경우에도 이격거리가 너무 짧은 경우 오히려 Fixed Type 보다 그림자 영향을 더 많이 받아 발전량이 떨어진다는 것을 알 수 있다. 적절한 이격거리에서의 태양광 발전량은 All > Vertical > Horizontal > Fixed Type 순으로 분석되었다. Tracking Type은 Fixed Type보다 설치단가가 비싸다는 단점이 있으나 효율 측면에서는 더 높은 것을 알 수 있다. 따라서 태양광 설치를 위해서는 용도, 비용 및 Array간 이격거리 등을 잘 고려해 설계 할 필요가 있다.

4. 분석결과 및 고찰

4.1 특성요인도 분석

Simulation을 통하여 분석된 결과를 실험 계획법 시행을 위하여 특성 요인도를 통해 도출한 잠재인자에 대하여 실험 변수 및 실험 수준을 검토해 보았다.

그 결과 최적화 가능한 Parameter로는 경사각과 이격거리로 도출되었다. Array 경사각과 이격거리의 최적조건 영역에서 SolarPro Simulation을 통해 검증실험을 수행해 보았고 그 결과 데이터 값은 아래 표 6. 과 같이 도출되었다.

표 6. 검증실험 결과값

경사각(°)	이격거리(m)	이용율(%)
27.5000	6.36213	12.50
25.0000	6.00000	12.00
31.0355	6.15000	12.10
30.0000	6.00000	12.10
30.0000	6.30000	12.10
27.5000	5.93787	12.50
27.5000	6.15000	12.50
23.9645	6.15000	12.00
25.0000	6.30000	12.00

이는 Array 의 설치조건에서 경사각 과 이격거리의 영향이 가장 크게 작용하는 인자로서 최적의 조건을 도출할수 있는 변수로 적용됨을 알 수 있다. 그러나 최적의 영역에서는 Array 경사각이 25° 에서 30° 범위, 이격거리는 6 m 에서 6.3 m 에서의 이용율의 차이는 0.4 % 이내로 비교적 미미한 것으로 나타났다.

4.2 최적화 영역 도출

표 6. 의 데이터를 토대로 등고선도 분석한 결과 그림 6. 과 같이 타원형의 짙은 녹색으로 표시된 Vital Few(경사각, 이격거리)의 이용율에 대한 최적화 영역이 도출되었다. 각 변수에 대한 이용율의 영향도는 이격거리 > Array 경사각으로 나타났으며, 그림 6. 에서 보는 것과 같이 이격거리가 6~6.3m, Array 경사각이 25~30°일 때 이용율이 최대가 되는 것을 알 수 있다.

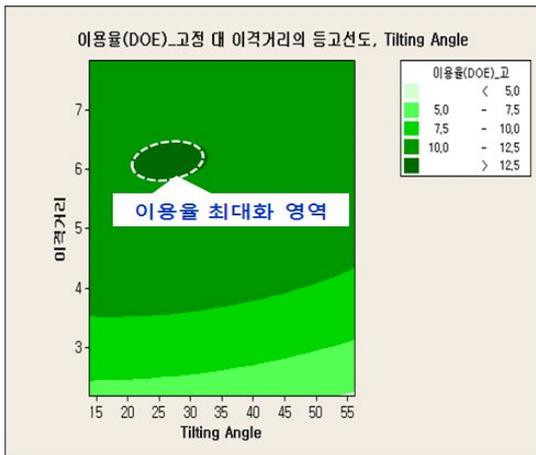


그림 6. 검증실험 결과 값

5. 결 론

500kW급 태양광시험장을 구축하기 위한 최적 설계에 대한 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 본 태양광발전시스템에서 영향인자의 잠재요인을 도출하여 상관관계를 분석한 결과 경사각과 이격거리에 따라서 이용율에 영향이 큰 것으로 분석되었다.
- (2) 태양광발전 이용율은 Array 경사각이 5~35° 구간에서는 Array 경사각이 증가함에 따라서 증가하는데 반하여 35~65° 구간에서는 감소되는 것을 알 수 있다.
- (3) 동일조건에서 Array Type별 이격거리에 따른 발전량을 분석 했을 때 Fixed Type 보다는 Tracking Type이 20~30% Point 발전량이 높은 것으로 나타났다.
- (4) 태양광발전 이용율의 영향도는 이격거리 > Array 경사각으로 분석되었으며, 500 kWp 급 최적화 영역은 이격거리가 6~6.3 m, Array 경사각이 25~30°일 때 이용율이 최대가 되는 것을 알 수 있다.
- (5) 500kWp 급 태양광발전시스템의 이용률 개선을 위해 등고선도 분석과 반응최적화를 수행한 결과 기존의 11.02 %의 이용률을 12.06 %로 개선시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

1. P.Baltas, M. Tortoreli, P. E. Russell, " Evaluation of power output for the fixed and step tracking photovoltaic arrays", Solar Energy, Vol. 37 (1986), p.147-163
2. H. J. Noh, D. Y. Lee, D. S. Hyun, "An improved MPPT converter with current compensation method for small scaled PV-applications", IEEE IES, Vol.2 (2002), p.1113-111
3. 한국 전력공사, "50 kWp급 계통연계형 태양광 발전시스템 개발 최종보고서", 1999.
4. 김의환, "중규모 태양광발전시스템 장기 실증운전평가", 태양에너지학회논문집, 2009. 10