

### 최적의 파라미터를 적용한 태양광발전시스템 운전특성

박정민\*, 최연옥\*, 정병호\*\*, 조금배\*, 백형래\*  
 조선대학교\*, 남부대학교\*\*

### A Operation Characteristics of Photovoltaic System for Optimum Parameter calculation

Jeong-Min Park\*, Youn-Ok Choi\*, Byoung-Ho Jung\*\*, Hyung-Lae Baek\*, Geum-Bae Cho\*  
 Chosun University\*, Nambu University\*\*

**Abstract** - 현재까지 국내 PV시장은 신재생에너지 개발 이용 보급 촉진법을 통해서 태양광발전시스템의 이용 보급의 확대를 목표로 하고 있지만 이에 따른 해결해야할 기술적인 문제점들이 많다.

즉, PV시스템의 성능특성 평가분석은 발전성능에 중대한 영향을 미치는 주요 발생손실을 평가·진단함으로써 손실저감을 통한 시스템의 성능개선, 최적절계, 사후운영관리 및 유지점검 등의 응용기술을 개발하는데 있다. 이러한 기술개발을 위해서는 입력된 태양에너지로부터 PV어레이의 직류출력에서 시스템의 교류출력까지의 성능 및 발생손실에 대해서 정량적인 값으로 나타낼 필요가 있다. 본 논문에서는 태양광발전 설비의 효율에 관한 파라미터인 위도와 경도, 온도 및 일사량, 시스템 구성요소에 대한 세부적인 기술검토와 태양광발전시스템의 효율을 개선시킬 수 있는 파라미터에 접근하기 위해 정확한 시스템의 운전특성을 분석하고자 한다.

#### 1. 서론

태양광발전시스템은 설치환경, 설치방식 및 설계구성 등에 의해서 용도에 맞는 다양한 시스템들이 존재하지만 동일한 시스템은 존재하지 않는다. 실제 PV시스템은 동일한 구성요소기기를 사용하더라도 온도 및 일조강도 등의 환경변화에 따라서 성능특성이 변화되기 때문이다.

환경변화에 따른 PV시스템 및 구성요소기기의 저가, 고성능 및 고신뢰성 등의 핵심기술들을 개발하기 위해서는 실제 PV 시스템에서 수집된 데이터로부터 성능과 운전특성을 분석하여 발생손실을 정확하게 예측 진단할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 태양광발전 설비의 효율에 관한 파라미터인 위도와 경도, 온도 및 일사량, 시스템 구성요소에 대한 세부적인 기술검토와 태양광발전시스템의 효율을 개선시킬 수 있는 파라미터에 접근하기 위해 정확한 시스템의 운전특성을 분석하고자 한다.

3kW 계통연계형 태양광발전시스템을 제작한 시뮬레이션을 통해 검증하고, 또한 시스템의 실증운전을 통하여 태양전지 어레이의 특성, 인버터 특성, 시스템 효율, 시스템 성능에 따른 운전특성과 시스템의 안정성에 대하여 고찰하였고, 실증운용 특성분석을 통해 3kW 계통연계형 태양광발전시스템 효율을 향상시킬 수 있도록 성능평가 분석을 하고자 한다.

#### 2. 본론

##### 2.1 시뮬레이션

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 시스템 사양 중에 지역을 선택하고 모듈을 선정할 다음에 인버터를 선정 그리고 시스템을 설치할 어레이의 경사각 방위각 태양전지 모듈의 직렬연결 수, 병렬연결 수를 선택한 다음에 시뮬레이션을 실행한다.

즉, 시뮬레이션을 위한 파라미터 입력은 3kW 태양광발전시스템으로 광주광역시 경도 126.55°, 위도 35.8°와 경사각은 18°로 방위각은 정남향으로 어레이를 구성하였다.

태양전지 모듈은 개방전압이 21.80 [V], 단락전류가 4.35 [A]의 최대출력이 75 [W]인 다결정 실리콘의 태양전지를 사용하여 시뮬레이션을 하였다.

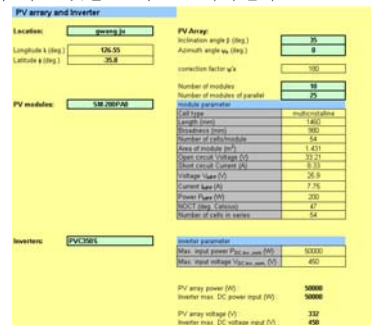
시스템의 파라미터를 입력하면 그림 1에서 보는 바와 같이 PV array와 Inverter 파라미터가 출력된 화면을 나타낸다.

일사량과 외기온도에 따라 발전량의 차이가 남으로 시뮬레이션을 수행하고자 하는 지역의 위도와 경도에 따른 각각의 일사량, 외기온도의 파라미터를 입력해 주어야 한다. 그 일사량과 외기온도에 따른 그 지역의 태양의 고도각을 계산해서 나온 데이터를 그래프화 한 것을 그림 2에 나타내었다.

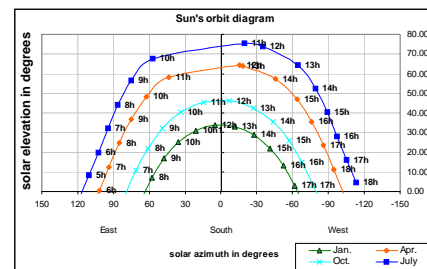
아침부터 저녁까지의 월별 시간별 고도각을 보면 여름철에 태양의 고도각이 90도에 가까워지고 봄 가을 겨울로 갈수록 태양의 고도각이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

일사량 변화에 따른 셀의 온도, 출력 전압, 발생 전력을 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 2는 시뮬레이션을 수행하고자하는 지역의 태양의 궤도가 월별 시간에 따라 변화 하는 것을 그래프로 나타낸다.



〈그림 1〉 Parameter of PV array and Inverter



〈그림 2〉 Sun's orbit diagram

표 1은 PV System 인버터 출력량을 나타낸 것이다.

Table. 1 Calculation of the active PV system power output PPV

hour	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
8	0.3	13.3	109.5	303.8	412.6	291.2	227.3	196.1	182.2	186.2	110.0	24.8
9	113.9	241.7	448.4	680.8	737.5	559.4	461.8	486.8	443.0	570.8	396.5	213.2
10	524.1	734.8	769.6	1023.6	1056.0	748.4	631.4	699.8	662.3	974.2	798.8	497.7
11	864.4	1126.0	1005.4	1305.0	1312.3	933.1	779.1	904.8	896.0	1178.2	1128.0	773.2
12	1063.7	1320.0	1172.8	1487.1	1430.3	1040.4	923.3	1112.1	996.8	1339.9	1301.8	967.0
13	1168.3	1393.7	1251.2	1498.7	1470.8	1039.7	931.0	1174.1	1010.2	1412.1	1338.6	1020.4
14	1181.8	1418.2	1230.4	1407.7	1352.6	986.5	896.6	997.9	851.9	1331.7	1287.2	934.4
15	1076.1	1327.2	1130.3	1175.4	1131.8	842.2	851.3	891.6	763.7	1182.8	1174.6	900.3
16	959.6	1095.9	858.1	907.7	911.3	672.1	751.1	685.1	572.9	979.6	969.5	1100.2
17	68.7	1448.0	620.0	545.4	557.9	412.2	439.5	442.9	358.9	158.7	74.9	40.0
18	2.1	26.5	69.6	132.2	194.0	130.7	150.0	130.8	53.7	27.0	9.8	7.1
total	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
$\sum_{(Wh)}$	7023	10145	8681	10530	10720	7775	7140	7777	6822	9354	8590	6478

##### 2.2 실험 및 성능분석 결과

PV시스템의 성능특정 평가분석에 앞서 대상 PV시스템에 대해서 구성요소기기 및 설계구성에 대해 서술하고 평가분석에 필요한 계측데이터를 수집하기 위해서 별도의 감시계측시스템을 설계 구성하여 데이터베이스를 구축하였다. 감시계측시스템에서 수집된 계측데이터로부터 일

사강도 및 온도 등의 환경변화 시 PV시스템 및 구성요소기기의 운전 시 발생하는 성능저하 및 문제점 등의 종합적인 성능특성을 비교 분석하고 수집된 계측데이터를 이용한 PV시스템의 성능특성을 비교 분석하여 발생손실과의 관계를 비교 분석하였다.

### 2.2.1 3kW 계통연계형 시스템 구성

성능분석을 위해서 설치된 3kW 태양광발전시스템은 5개의 국내 제품으로 이루어진 시스템과 1개의 외국 태양광발전 시스템으로 총 6개의 시스템을 설치하였다. 태양전지 어레이 모듈은 6개의 제품을 사용하여 3kW를 구성하여 실험하였다. 모든 3kW 태양광발전시스템에 설치된 PCS는 3개의 제품으로 A사 3대, B사 2대, C사 1대로 구성되어 있다.

그림 5-1은 본 실험에 적용된 실증연구를 위한 감시계측 시스템의 구성도를 나타낸 것으로 각 태양전지 어레이에서 발전된 전력은 접속반을 통하여 인버터에 공급되고 인버터는 전력의 변환 및 조류를 제어한다. 각 출력량들을 모니터링 하기위해 계측시스템을 동일하게 설치하여 데이터를 실험실에서 백업하는 구조로 구성되어 있다.

태양광발전시스템은 경도 126.92°, 위도 35.1°를 설치하였으며, 시스템의 설치 조건은 국내에 보급된 일반 주택들의 지붕경사각을 고려하여 경사각을 약 18°로 설치하였고 설치 방위각은 일사량 분포를 고려한 경우, 발전효율이 가장 양호한 0°를 기준으로 한 정남향 방향으로 하여 장시간의 운전을 통해 환경조건 변화에 따른 태양광발전시스템의 발전 성능, 출력 특성, 시스템 성능 등의 운전 특성을 비교 분석하였다.

표 2는 각각의 태양전지 모듈의 파라미터를 나타낸 것이다.

Table 2. PV cell and array parameter

	Site1	Site2	Site3
$P_{max}(W)$	77	50	53
$V_{oc}(A)$	21.54	21.0	21.7
$I_{sc}(A)$	4.88	3.17	3.35
$V_m(V)$	17.21	17.1	17.4
$I_m(A)$	4.46	2.92	3.05
Cell Type	다결정Si	단결정Si	단결정Si
Cell Size(mm)	125×125	103×103	103×103
모듈무게(kg)	7.7	5	6.2
모듈 Size(mm)	1250×538	984×445	1291×328
	×50	×35	×35
설치모듈수량	42	60	60
어레이구성	14×3	15×4	20×3
어레이면적(m <sup>2</sup> )	27.2	26.27	25.41

표3은 각 Site에 설치된 태양광발전시스템의 월별 출력전력량을 나타낸다. 각 Site의 시스템의 총 출력전력량은 2,590kWh (Site 1), 1,561kWh (Site 2), 2,152kWh (Site 3)가 발전되었다

Site 2가 크게 차이가 나는 것은 주로 PCS에서 정확한 MPP 추적제어의 실패로 인하여 태양전지 어레이로부터 발전 전력 저하로 인한 것으로 나타난다.

그리고 Site 3은 태양전지 어레이의 손실보다는 PCS 손실로 인해서 편차가 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

Table 3. PCS output power level by months

	Irradiation	PCS site1	PCS site2	PCS site3
jan	82.88	194.05	122.77	140.06
feb	108.28	280.80	179.78	226.26
mar	137.79	356.34	254.42	297.71
apr	150.02	362.54	292.77	309.99
may	101.56	236.77	165.20	192.50
jun	121.58	291.76	2.62	228.62
jul	34.57	72.25	54.20	61.46
aug	130.62	280.95	206.39	243.22
sep	138.71	255.14	231.82	263.31
oct	148.10	219.44	269.28	311.56
nov	89.76	38.39	131.59	170.53
dec	94.06	0.00	167.70	176.84

### 2.2.2 시스템 성능 특성 고찰

각 Site의 총 평균 이용률은 13.2% (Site 1), 7.95% (Site 2), 10.97% (Site 3)을 가지며, 총 평균 성능비는 74.66% (Site 1), 49.87% (Site 2), 67.98% (Site 3)를 나타내고 있다.

Site 2 경우 시스템 이용률과 성능비가 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 이것은 태양전지 어레이의 결선 문제 및 PCS의 고장으로 분석기간 동안의 운전시간이 적어지고 PCS의 성능문제 등으로 다른 Site에 비해 현저하게 감소했음을 알 수 있다.

성능비는 표준상태에서 손실요인을 고려하지 않은 태양광발전시스템의 성능과 실제 성능에 대한 비를 의미 한다. 따라서, 그림자영향, PCS 손실, MPPT 미스매칭, 어레이 온도상승 등의 손실요인에 의해서 시스템의 성능이 결정되므로 성능비는 태양광발전시스템의 성능을 분석하고 평가하는데 있어 중요한 분석항목 중의 하나이다. 일반적으로 성능비가 0.7 보다 작을 경우, 이러한 손실요인에 의한 전력손실이 증가되어 시스템의 성능특성이 저하된다는 것을 의미 한다. 따라서 Site 2에 설치된 태양광발전시스템은 설계 및 응용기술에 문제가 있다는 것을 실증운전을 통해서 수집된 성능특성 분석결과를 통해서 판단할 수 있다.

C사의 PCS를 설치한 Site가 전반적으로 높은 발전량과 시스템 성능비를 나타내었고, B사의 PCS가 좀 낮고 A사의 PCS를 설치한 시스템이 가장 낮게 나타났다. 그리고 이용률은 Site 1, Site 3, Site 2순으로 나타났으며, 성능비는 Site 1, Site 3, Site 2순으로 나타났다.

Table 4. Utilization ratio by months

	site1	site2	site3
jan	8.7%	5.5%	5.9%
feb	13.9%	8.9%	10.6%
mar	16.5%	11.8%	13.0%
apr	16.8%	13.6%	13.5%
may	10.6%	7.4%	8.1%
jun	16.9%	0.2%	12.5%
jul	6.3%	4.7%	5.0%
aug	13.9%	10.2%	11.4%
sep	12.7%	11.5%	12.3%
oct	10.5%	12.9%	14.1%
nov	1.9%	6.5%	8.0%
dec	0.0%	7.8%	7.7%
	10.7%	8.4%	10.2%

## 3. 결 론

전반적으로 Site 1의 태양광발전시스템의 성능은 시뮬레이션 결과와 실제 운전특성과 유사한 결과를 얻을 수 있었고, 다른 시스템 보다 우수한 것으로 나타났으며 Site 2는 시뮬레이션결과와 실증운전실험의 결과에 약간 오차가 있었다. 그것은 실제 시스템의 고장으로 인하여 실제 운전시간이 시뮬레이션과 동일하지 못하여 약간의 오차를 보였다. 그것은 PCS의 MPP 정확한 추적제어의 실패, 저 일사강도일 때 태양전지 어레이의 변환효율 특성이 저하가 있었고, Site 3은 저 일사강도에서 변환효율특성이 변화가 있었다. 또한 어레이 직·병렬 불균형에 따른 출력손실도 다소 발생했다고 생각되어진다.

특히, Site 2의 태양광발전시스템의 성능이 떨어지는 원인은 PCS의 최대출력 동작점에서 차이에 의한 손실, 구성기기의 선정 및 설계에서 최적화에 문제가 있다는 것을 알 수 있었다.

태양광발전시스템의 주요 손실요인으로는 일사량변동에 의한 손실, 그늘 발생에 의한 손실, 온도변화에 의한 효율 변동, 직·병렬 접속의 불균형, 직류회로 손실, 최대출력 동작점에서 차이에 의한 손실, PCS 손실 등으로 나타났다.

시뮬레이션을 통해 예측 할 수 있는 발전량과 시스템의 실증운전을 통해 나타난 발전량을 비교했을 때 오차가 발생 하는 요인으로는 시스템의 고장으로 인한 시스템의 가동 시간의 차이로 인하여 발생된다.

시스템이 고장으로 인한 가동시간이 변화가 없다면 site1 과 같이 유사한 발전량이 예측되어서 실제 운전 시간과 시뮬레이션결과와 비교했을 때 오차가 많이 발생되지 않음을 알 수 있었다.

본 논문에서 적용한 시뮬레이션이 자연적인 고장이 아닌 정상상태에서는 발전량을 예측이 실증운전을 통한 발전량과 차이가 나지 않았다.

이러한 분석결과들을 토대로 태양광발전시스템에서 수집된 성능특성 결과를 데이터베이스화하여 향후 이를 통해 태양광발전시스템의 최적설계를 위한 성능개선, 안정성 및 응용기술들에 대한 연구에 기여를 하고 태양광발전시스템을 실용화, 제품화 하고 소비자 차원에서 신뢰도를 확립하고 일반에게 널리 보급되는데 기여할 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Roger Messenger, Jerry Ventre, "Photovoltaic Systems Engineering", CRC, pp.283, 2004
- [2] 소정훈 정영석 유병규 강기환 유진중 최주엽 "PV시스템 최적화를 위한 손실요인 분석", 전력전자학회, 514-516, 2005