ARTICLE

# 한국 중부 지역의 태양광 모듈 타입에 따른 발전량 특성

장효식†

충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과

# Power Output in Various Types of Solar Panels in the Central Region of Korea

Chang Hyo Sik†

Graduate School of Energy Science and Technology, Chungnam National University

†Corresponding author: hschang@cnu.ac.kr

## Abstract

Solar panels are modules made up of many cells, like the N-type monosilicon, P-type monosilicon, P-type multisilicon, amorphous thin-film silicon, and CIGS solar cells. An efficient photovoltaic (PV) power is important to use to determine what kind of cell types are used because residential solar systems receive attention. In this study, we used 3-type solar panels - such as N-type monosilicon, P-type monosilicon, and CIGS solar cells - to investigate what kind of solar panel on a house or building performs the best. PV systems were composed of 3-type solar panels on the roof with each ~1.8 kW nominal power. N-type monosilicon solar panel resulted in the best power generation when monitored. Capacity Utilization Factor (CUF) and Performance Ratio (PR) of the N-type Si solar panel were 14.6% and 75% respectively. In comparison, N-type monosilicon and CIGS solar panels showed higher performance in power generation than P-type monosilicon solar power with increasing solar irradiance.

**Keywords:** 결정질 실리콘 태양전지(Crystalline silicon solar cell), CIGS태양전지(CIGS thin-film solar cell), 태양광발전(Photovoltaic Power), 태양광모듈(Solar panel)

OPEN ACCESS

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.38, No.1, pp.37-44, February 2018
https://doi.org/10.7836/kses.2018.38.1.037

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

**Received:** 08 December 2017

**Accepted:** 29 December 2017

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 기호설명

Wp : 최대전력 (Watt peak)

CUF : 태양광설비 가동 지수 (Capacity utilization factor, %)

PR : 성능계수 (%)

KMA : 한국기상청

## 1. 서 론

지난 10년간 결정질 실리콘 태양전지의 급격한 기술 개발 및 저가화를 바탕으로 태양

광발전에 이용되어 왔고, 저가 고효율의 박막태양전지도 기술 개발이 꾸준하게 진행되어 왔다. 그 결과로써 결정질 실리콘 태양전지는 전통적인 P형 단결정, 다결정 태양전지가 있고, 효율을 더 향상시킨 N형 단결정 태양전지가 생산·공급되고 있다. 박막형 태양전지는 박막실리콘 태양전지, CIGS태양전지, CdTe태양전지가 지붕형(rooptop)발전이나 건물일체형발전(BIPV)으로 보급되어지고 있다. 최근에 원자력 발전 사고와 탈원전의 추구가 요구되고 있으며, 각 가정의 전기세 증가, 설치 장소 문제, 온실가스 감축 등에 의하여 가정용 태양광에 대한 관심도가 높아지고 있다. 가정용 태양광 발전은 지붕형(rooptop)형태로 주로 설치되어지고 있어, 주어진 면적안에 효율적인 태양광 설치가 요구된다. 이에 상용적인 생산과 효율을 고려하게 되면, 현재 결정질 실리콘 태양전지와 CIGS박막 태양전지정도가 효용적인 태양광 패널로 판단된다. N형 단결정 실리콘을 이용한 태양전지는 대면적에서 26% 이상의 태양전지 효율을 기록하고, P형 실리콘을 이용한 태양전지도 20% 이상의 효율을 나타내어 고효율 실리콘 태양전지로써 기록을 갱신하고 있다[1)2)3)]. GICS박막태양전지는 소면적에서 22% 이상의 효율과 양산셀에서 15% 이상의 효율을 나타내어, CdTe태양전지와 함께 박막 태양전지에서 비교적 높은 효율을 나타내는 태양전지이다[3)]. 향후에는 이들 박막태양전지의 25% 효율 달성과 시장 확대가 기대되고 있다. 국내의 경우, CIGS태양전지는 도시형 BIPV발전 적용등에 대한 연구들이 진행되고 있고, 결정질 실리콘 태양전지는 주택 발전용으로도 많이 보급되고 있다. 하지만 실제 가정 소규모 발전에서 어떤 태양전지가 더 효율적인지, 소용량 규모의 발전에 대한 발전 성능의 차이에 대한 데이터가 미미한 편이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 중부지역인 대전의 주택 지붕에 일반적으로 많이 가정용으로 사용하고 있는 P형 결정질 실리콘 태양전지와 고효율 태양전지로 부각되고 있는 N형 결정질 실리콘 태양전지 그리고 CIGS박막 태양전지를 설치하여 실제 발전량에 대한 차이를 파악, 분석하고자 하였다.

## 2. 설치 시스템의 사양 및 구성

본 연구에서는 대전 유성 지역의 단독주택 지붕(재료: 징크)에 각 3가지 모듈 타입인 N형 결정질 실리콘 태양전지, P형 결정질 실리콘 태양전지, CIGS박막 태양전지를 같이 설치하였으며, 각각 3 kW의 인버터로 계측 평가하였다. 태양광 모듈의 설치각도는 22°이고, 정남향 방향으로 설치하였다. 지붕위에 설치(rooftop)된 각 모듈의 사진을 Fig. 1에 보여지고 있다. 아래 1열의 패널 6장이 N-type, 그 다음 2열이 P-Type, 마지막 3~4열이 CIGS태양전지 모듈이다. 설치된 모듈에는 일사량계와 모듈온도, 외기온도를 측정하는 계측기를 오른쪽 중앙에 같이 설치하였으며, 모듈재료 구성에 의한 차이를 배제하기 위하여 P형 결정질 실리콘과 N형 결정질 실리콘의 모듈 재료 구성이 거의 동일한 제품인 60셀로 설치하였다. 그러나 각 태양전지에 따른 효율 차이에 따른 패널당 제품 출력이 N형 실리콘 태양전지는 300 Wp, P형 실리콘 태양전지는 285 Wp, CIGS태양전지는 150 Wp이었다. 패널당 출력차이로 인해 각 시스템 구성의 차이가 발생하였으나 유사한 용량인 1.8 kW 수준으로 설치하였다. 따라서 N형 실리콘 태양전지와 CIGS 태양전지는 1.8 kW를 설치하였고, P형 실리콘 태양전지만 다소 작은 1.71 kW를 설치하여 모니터링 하였다. 각 자세한 모듈과 인버터 사항은 Tables 1과 2에 정리하였다.

**Fig. 1** Installation of rooftop photovoltaic system

**Table 1** Specification of module

| | N-type Si | P-type Si | CIGS |
|---|---|---|---|
| Max power (Wp) | 300 | 285 | 150 |
| Module efficiency (%) | 18.3 | 17.4 | 13.8 |
| Voc (V) | 39.8 | 38.8 | 86.1 |
| Isc (A) | 9.98 | 9.50 | 2.66 |
| Operation voltage (V) | 32 | 31.7 | 62.5 |
| Operation current (A) | 9.4 | 9.00 | 2.40 |
| Installed capacity (kW) | 1.8 | 1.71 | 1.8 |

데이터 취득기간은 2016년 9월1일부터 2017년 6월 30일까지 총 10개월 기간이었고 모든 데이터 수집은 10분 간격으로 저장되었다. 그러나 추가적인 정밀한 모니터링을 위한 프로그램 수정 및 인버터 교체로 인하여 2017년 7월에 데이터 수집이 중단되었다. 10개월의 짧은 기간이지만 같은 일사량, 온도, 환경조건에서 세 가지 모듈 종류에 따른 발전 성능의 차이를 비교할 수 있었다.

**Table 2** Specification of inverter

| | | |
|---|---|---|
| Input | Operating voltage range (V) | 100 V - 500 V |
| | MPPT DC voltage range (V) | 100 V - 400 V |
| | Rated voltage (V) | 350 V |
| | Maximum open circuit voltage (V) | 500 V |
| Output | Nominal AC power (kW) | 3.1 kW |
| | Efficiency (%) | 96.76% |

## 3. 태양광 발전 시스템 성능평가

PV시스템 가동 시간에 맞추어서 수집된 경사면 일사량계를 데이터의 일일 누적 일사량을 Fig. 2에 정리하였다. 수집에러 및 장비 고장 일자는 해당 환경데이터와 발전 성능데이터 제외하였다. 즉, 시스템 가동 시간의 데이터만 수집하여 평가하였다. 일일 일사량의 편차는 당일의 온도 및 운량 등에 의하여 많은 편차를 나타내는 것으로 판단된다. 경사일사량계의 누적 하루최대치는 약 5 kWh/$m^2$이었으며, 시간당 하루 최대 일사량은 1.2 kWh/$m^2$로 측정되었다.

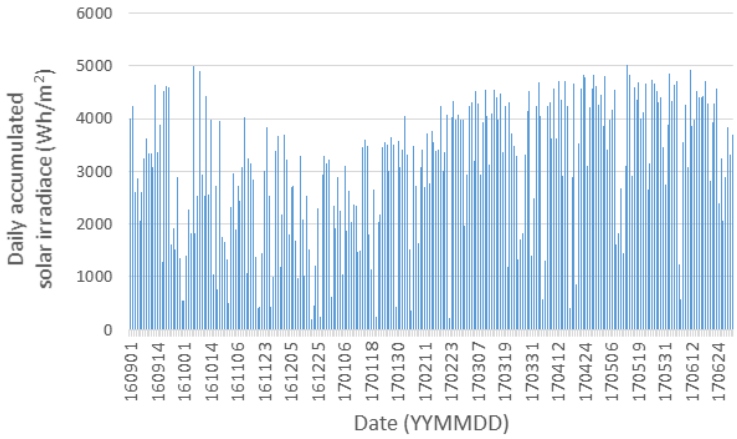


**Fig. 2** Daily accumulated solar irradiance

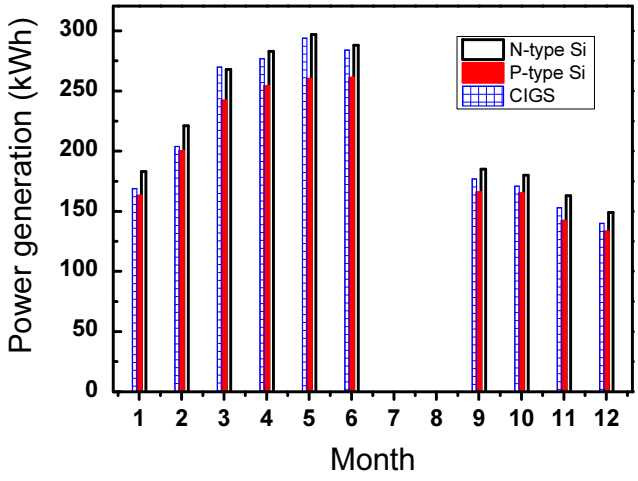


**Fig. 3** Monthly power generation according to each module type

각 모듈 타입에 따른 월별 태양광 발전 출력량을 Fig. 3에 나타내었다. 각 모듈의 발전량은 월별 유사한 출력 경향을 보이고 있다. 12월에 가장 적은 발전량을 보이다가 5월에 최대 발전량을 보이는 패턴을 보이고 있다. 모니터링 장비 문제로 7, 8월 데이터가 수집되지 못하였으나 6월 이후부터 가을철까지 출력량이 점점 줄어드는 경향을 보일 것으로 예측된다. 결론적으로 3월부터 6월까지가 많은 발전량을 보이며, 모듈 타입에 상관없이 모두 5월에 최대 발전량을 나타내었다. 각 모듈 형태에 따른 최대 월 발전량은 N-type 실리콘 태양전지는 297 kWh, P-type 실리콘 태양전지는 261 kWh, CIGS태양전지는 294 kWh를 기록하였다.

Fig. 4는 모듈 타입에 따른 월 출력량은 일사량과 비교하였다. 각 모듈들은 일사량에 따라서 출력량이 변하고 있음을 잘 보여주고 있다. 모든 일사량 범위에서 N-type 실리콘 태양전지가 가장 높은 출력량을 나타내고 있다. CIGS박막 태양전지가 낮은 일사량에서 좀 더 발전량이 많을 것으로 예측하였으나, 일사량이 3 kWh/$m^2$이하에서는 각 모듈 타입에 따른 발전량의 차이는 크게 나타나지 않았다. 3 kWh/$m^2$ 이상의 고 일사량에서는

P-type실리콘 태양전지의 발전량이 가장 적게 나타나면서 다른 태양전지와의 차이가 크게 나타나게 되었다. 고일살량에서 오히려 CIGS박막 태양전지의 발전량이 N-type 실리콘 태양전지와 거의 유사하게 발전량을 기록하였다. 이 부분에 대해서는 모듈각도와 일사량, 그리고 추가적인 누적 데이터를 통한 분석이 필요해 보인다. 현재 결과에서는 저일사량에서는 세 모듈 타입의 성능차이는 크게 차이 나지 않으나, 고일사량에서는 P-type의 발전량이 가장 작게 나타난다고 판단할 수 있다.

각 모듈의 설치장소와 일사량은 같기 때문에, 각 모듈의 최대 출력값(nominal max power)대비 실제 발전량의 비율을 비교하면 성능계수 평가 없이 직접적으로 간단하게 비교할 수 있다. 이 출력비율을 Fig. 5에 나타내었다. 3월을 제외하고는 N-type 실리콘 태양전지가 가장 좋은 성능을 보이고 있으며, 그 다음으로 CIGS태양전지와 P-type실리콘 태양전지 순으로 나타내었다. 연간 총 비율로 계산하게 되면 N-type 태양전지는 123, CIGS 태양전지는 119, P-type태양전지는 116으로 계산되었다.

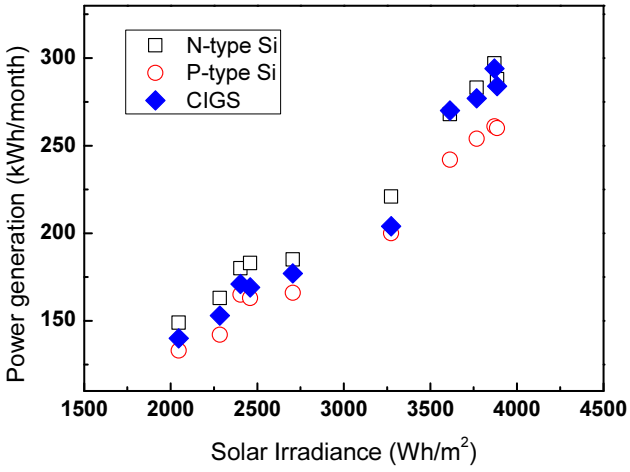


**Fig. 4** Power generation as a function of solar irradiance

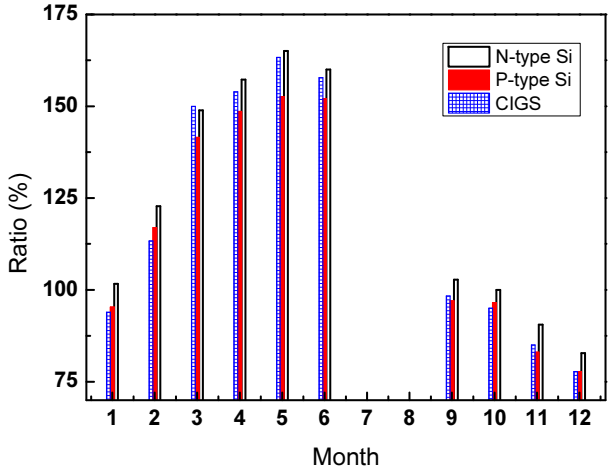


**Fig. 5** Power generation ratio according to nominal power

태양광 발전 시스템의 성능 평가하는 주요 지표는 다음 두 가지에 의하여 평가될 수 있다[4)5)]. 하나는 설비가동지수(Capacity Utilization Factor, CUF)이고, 다른 하나는 성능계수(Performance Ratio, PR)이다. CUF는 하루 24시간 작동하는 출력 능력대비 시스템에서 실제 출력량의 비율이다. 즉, 시스템의 CUF는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$CUF = \frac{Annual\ yield}{(kW) \times 24h \times 365\,days} \times 100$$

CUF로 평가된 출력율은 N-type이 14.1%, CIGS가 13.6%, P-type이 13.3%로 나타내었다. CUF는 시스템이 설치된 경사일사량의 영향을 받지만, 논문에서 보고된 13-19% 범위 내에 속한다[5)]. PV시스템의 성능을 평가하는 데 가장 보편적인 지수 중의 하나가 PR이다. PR은 이론적으로 계산된 출력과 실제 에너지 출력간의 비율이다. 시스템 운영상 및 전기적 인자 등으로 인한 에너지 손실을 고려한 실제 이용 가능한 에너지 출력율을 의미한다고 할 수 있어 Quality factor라고도 불린다. PR은 다음 계산식에 의해 계산될 수 있다[6)].

$$PR = \frac{Actual\,reading\,of\,plant\,output\ (kWh/annum)}{Nominal\,plant\,output\ \ (kWh/annum)}$$

PR을 통한 평가는 N-type이 75%, P-type이 74%, CIGS가 72%를 나타내었다. CIGS는 설치면적을 고려하지 않고 발전량만 고려하면 P-type태양전지 보다 좋은 성능을 보이지만, 낮은 모듈 효율로 인하여 설치면적을 고려하게 되면 P-type보다 성능계수가 낮게 나오는 것을 알 수 있다.

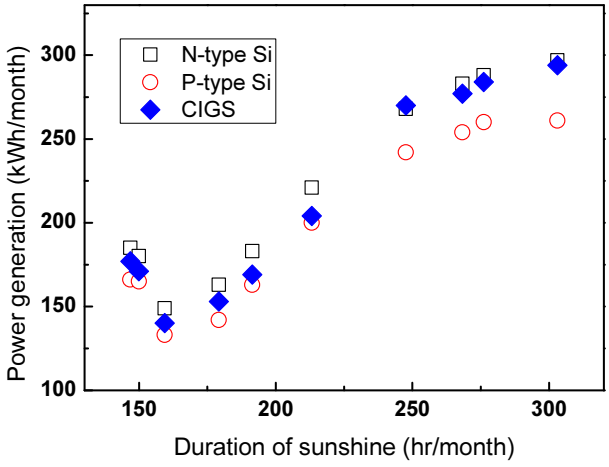


**Fig. 6** Power generation according to duration of sunshine

기상청의 대전지역 데이터를 이용하여 출력량 및 환경 센서의 차이를 비교해 보았다. Fig. 6은 대전 지역의 기상청 일조시간과 각 모듈의 출력량을 나타내었다. 일조 시간과도 비교적 출력량이 잘 일치되는 것을 알 수 있다. 150시간 근처의 두 개의 데이터인 9, 10월에 대해서는 약간의 차이를 보이고 있는데, 이는 데이터 수집되는 가을철 기간에 일조시간은 적으나 일사량이 많은 것으로 판단되었고, 앞의 월별 발전량의 가을철 부분을 더 검사해볼 필요가 있다.

기상청(KMA)의 대전지역 평균 온도와 설치장소에서 모듈이 가동되는 시간에서의 측정 온도를 Fig. 7에 비교하였다. 설치 장소의 외기온도(ambient temperature)와 모듈온도가 기상청 평균온도와 잘 일치되는 것을 볼 수 있어, 환경 측정 데이터를 신뢰할 수 있음을 알 수 있다. 온도가 올라감에 따라서 모듈온도와 외기 온도의 차이가 점점 더 커지게 되었고, 모니터링 기간에에서 최대 평균온도 차이는 9℃로 나타내었다. 모듈온도와 외기온도의 차이가 모듈 성능의 영향을 줄 수 있음으로, 이에 대한 추가 측정 분석이 필요해 보인다[7].

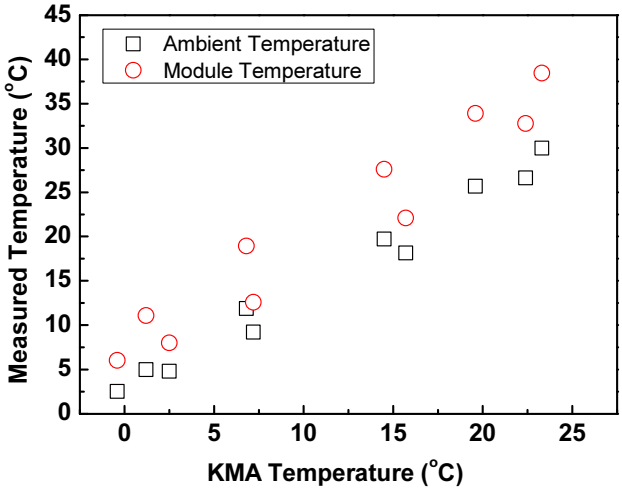


**Fig. 7** Comparison with measured temperature and KMA temperature

## 4. 결 론

태양광발전성능이 태양광 모듈 종류에 따른 출력 영향성을 파악하고자 소규모 지붕형 태양광 발전을 통하여 분석하였다. N-type 실리콘, P-type 실리콘, CIGS솔라 패널을 이용한 지붕형 태양광 발전에 대한 데이터들을 확인하였으며, 본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 세 가지 모듈 타입에서 N-type실리콘 태양전지의 발전 성능이 가장 좋게 나타내었다. 데이터 수집동안 설비가동지수 (CUF)는 14.3%이고 성능계수 (PR)는 75%를 기록하였다.

(2) 설치 면적을 고려하지 않으면, CIGS발전 성능이 P-type실리콘 모듈보다 좋았으며, 설치면적을 고려한 성능계수에서는 반대로 나타났다.

(3) 3 kWh/m$^2$ 이하의 저일사량에서는 세 모듈의 발전량 차이가 크지 않았으나, 고일사량에서는 N-type실리콘과 CIGS 모듈의 발전량 증가량이 P-type실리콘 모듈의 발전량 증가량보다 더 많았다.

데이터 수집 기간을 확대하여 연간 날씨 변화에 따른 계절별 월별 발전량 차이의 정확성 향상과 국내 발전용으로 어떤 모듈이 더 좋은 성능을 나타내는지에 대한 추가 분석을 진행할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 충남대학교의 학술진흥 연구비지원으로 수행되었음(과제번호: CNU 2016-1339).

## REFERENCES

1. Yoshikawa, K., Yoshida, W., Irie T., Kawasaki, H., Konishi K., Ishibashi, H., Asatani, T., Adachi, D., Kanematsu M., Uzu, H., and Yamamoto, K., Exceeding Conversion Efficiency of 26% by Heterojunction Interdigitated Back Contact Solar Sell with Thin Film Si Technology, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 173, pp. 37-42, 2017.
2. Zhang, S., Pan, X., Jiao , H., Deng, W., Xu, J., Chen, Y., Altermatt, P. P., Feng, Z., and Verlinden, P. J., 335-W World-Record p-Type Monocrystalline Module with 20.6% Efficient PERC Solar Sells, IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 6, No. 1, pp. 145-152, 2016.
3. Martin, A. G., Yoshihiro, H., Wilhelm, W., Ewan, D. D., Dean, H. L., Jochen, H-E., Antia, W. H. H-B., Solar Cell Efficiency Tables (version 50), Progress in Photovoltaic, Vol. 25, No. 7, pp. 668-676, 2017.
4. Verma, A. and Singhal, S., Solar PV Performance Parameter and Recommendation for Optimization of Performance in Large Scale Grid Connected Solar PV Plant-case Study, Journal of Energy Power Sources, Vol. 2, No. 1, pp. 40-53, 2015.
5. Vasisht, M. S., Srinivasan, J., and Ramasesha, S. K., Performance of Solar Photovoltaic Installations: Effect of Seasona Variations, Solar Energy, Vol. 131, pp. 39-46, 2016.
6. Khalid, A. M., Mitra, I., Warmmuth, W., and Schacht, V., Performance Ratio - Crucial Parameter for Grid Connected PV Plants, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 65, pp. 1139-1158, 2016.
7. Lee Y. -J. and Kim Y. -S., Prediction and Accuracy Analysis of Photovoltaic Module Temperature Based on Predictive Models in Summer, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 37, No. 1, pp. 25-38, 2016.