

## 고정식 및 단축식 태양광 발전의 발전량과 운전시간의 비교

송환기, 이경섭, 최용성<sup>a</sup>

동신대학교 전기공학과

### Comparison of Generation Amount and Operating Time for Fixed-concentrated Type and Single Axis Trace Type of Photovoltaic

Hwan-Kee Song, Kyung-Sup Lee, and Yong-Sung Choi<sup>a</sup>

Department of Electrical Engineering, DongShin University, Naju 58245, Korea

(Received October 20, 2015, 2015; Revised October 22, 2015; Accepted October 24, 2015)

**Abstract:** In this paper, the power generation efficiency of the 4 [kW] fixed-concentrated type photovoltaic power generation system and that of the 4 [kW] single axis trace type photovoltaic power generation system were compared. For that purpose, the two types of photovoltaic power generation systems have been in operation for 1 year on an experimental basis. The amounts of power generated by the two types during the months of January through December and the characteristics of their operating times during the same period have been compared and analyzed. For the study, the type with higher efficiency was selected and the following conclusions have been reached. It was shown that the amount of power generated and the average operation times during the spring months of March through May are higher than those of the summer months of June through August when more sunlight is available. The reason for this phenomenon is thought to be that as the temperatures of the solar panel surface and the surrounding environment go up, the electric current decreases.

**Keywords:** Photo-voltaic, Fixed-concentrated type photovoltaic, Single axis trace type photovoltaic, Power generation

#### 1. 서론

낮은 발전 효율을 높이기 위하여 기존의 고정식 태양광 발전에서 태양광을 추적하는 추적식 태양광 발전으로 바뀌고 있는 추세에 있다. 태양광을 이용한 발전 시스템은 태양전지 모듈, 태양광 추적 시스템, 전력변환 장치로 나눌 수 있다. 그 중 태양광 추적 시스템의 추적성능은 태양광이 태양전지 표면에 조사되는 일사

량에 직접적으로 영향을 줌으로써 동일한 태양전지 모듈일지라도 발전 효율에 큰 영향을 미친다 [1,2].

태양광 추적 시스템에서 태양광 추적 방식에는 1축 추적 방식 (단축식)과 2축 추적 방식 (양축식)이 있다. 1축 추적 방식은 태양의 일출에서 시작하여 일몰까지 연속적으로 추적한다 [3]. 이는 일반적으로 광트랜지스터를 2개 이용하여 추적이 단순하고 가격이 저렴하다. 그러나 계절에 따른 태양의 고도각이 바뀔 때 이를 추적할 수 없는 단점을 가지고 있다. 2축 추적 방식은 4개의 광트랜지스터를 각각 서로 90°가 되도록 한 평면에 부착된 구조로 되어 있다. 이는 태양의 방위각과 고도각을 동시에 추적한다. 즉, 일출에서 일몰까지, 봄, 여름, 가을, 겨울과 같이 4계절의 변화에 따른 태양의

a. Corresponding author; yschoi67@dsu.ac.kr

방위각과 고도각의 변화에도 불구하고 정밀하게 태양을 추적할 수 있는 장점이 있다 [4-7].

또한, 태양광 발전의 발전 효율을 높이기 위하여 일반적으로 태양전지 셀 자체의 효율을 높이는 연구도 이루어지고 있지만, 변환기인 인버터의 변환 효율 및 MPPT (maximum power point tracking) 제어를 실시하여 효율을 높이는 방법, 태양이 항상 태양광 모듈과 법선을 이루면서 입사되게 하는 방법 등을 사용하고 있다 [8]. 태양전지 셀 자체의 효율을 높이는 연구나, 변환기 효율을 높이는 연구는 발전단가를 높이는 한 요인이므로 난해한 문제이다 [8,9]. 한편, 국내·외적으로 고정식과 단축식 및 양축식 태양광 발전 시스템이 널리 보급되고 있으며, 이들 발전 규모나 발전 방식별로 실증 운전하여 효율 등을 연구한 예는 있으나 [8,9], 이를 실증·비교한 연구는 그다지 많이 존재하지 않는다 [10].

따라서 본 논문에서는 4 [kW]급 고정식 및 4 [kW]급 단축식 계통연계형 태양광 발전 시스템의 발전효율을 비교하기 위하여 2가지 방식의 태양광 발전 시스템을 1년간 실증시험 운전하였으며, 이들 결과로부터 1~12월 발전량과 1~12월 운전 특성을 비교·분석하여 발전효율이 높은 방식을 제시하였다 [11].

## 2. 실험 방법

### 2.1 실험 장치 및 방법

#### 2.1.1 실험 장치

실험을 위하여 사용된 태양광 모듈의 기계적 사양, 전기적 사양을 표 1 및 표 2에 나타내었다. 태양광 모듈은 단결정 실리콘이 사용되었으며, 태양광 모듈의 최대전력 ( $P_{mp}$ )은 250 [W]이다. 고정식 태양광 어레이의 발전 용량은 4.152 [kW]이며, 단축식 태양광 어레이의 발전 용량은 4.152 [kW]이었다.

인버터는 충전부, IGBT를 사용한 인버터부, 구동부, 제어회로 등으로 구성되어 있다. 인버터의 제어는 IGBT 반도체 소자를 사용하여 PWM 방식으로 고효율의 전력변환을 하며, 정격출력에서 96 [%] 이상의 고효율 특성을 가지고 있다. 무변압기(Transformerless) 형으로서 태양전지의 출력 특성은 온도, 습도, 기후, 환경 및 일사량에 따라 균일하지 않은 직류가 발생하므로 인버터는 최대 전력점 추종 제어 (MPPT 제어)를

**Table 1.** Mechanical specification of photovoltaic module.

Cell	6×10
Cell	6 [inch]
Cell type	Single crystal Si
Cell size	156×156 [mm <sup>2</sup> ]
Module size (L×W×H)	1,640×989×40 [mm]
Mass	18 [kg]
Bypass diode	3
Cable length	2×1,000 [mm]

**Table 2.** Electrical specification of photovoltaic module.

$P_{mp}$ : maximum power	250 [W]
Module Efficiency	15.42 [%]
Voc : open circuit voltage	37.51 [V]
Isc : short circuit current	8.70 [A]
$I_{mp}$ : maximum power current	8.17 [A]
$V_{mp}$ : maximum power voltage	30.61 [V]

통해 태양전지 모듈이 최대 전력점을 유지할 수 있도록 제어하였다.

#### 2.1.2 실험 방법

태양광 어레이로부터 발전된 전력은 인버터를 통하여 전력계통으로 전달된다. 이때 교류전력량, 교류전력, 모듈온도, 주위온도, 일사량 등의 데이터는 15분 간격으로 저장된다. 태양광 모듈의 모듈온도와 주위온도를 비교하기 위하여 특정일의 00:15분부터 24:00까지의 15분 간격 데이터를 취득하여 플롯트하였다. 또한, 일사량과 교류전력 특성을 조사하기 위하여 특정일의 00:15분부터 24:00까지의 15분 간격 데이터를 취득하여 플롯트하였다.

태양광 어레이의 발전량과 일평균 운전시간 특성을 조사하기 위하여 특정일의 00:15분부터 24:00까지의 15분 간격 데이터를 취득하여 플롯트하였다. 여기서, 일평균 운전시간은 1일 발전 전력량을 태양광 어레이의 발전용량으로 나누어 계산하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 1년 중 단축식 태양광 발전 시스템 (어레이)의 발전 전력량 (32.833 [kWh])이 가장 많고 일평균 운전시간 (7.91 [h])이 가장 긴 4월 28일 0시 15분 ~ 24시 0분까지 15분 단위로 측정한 모듈 온도와 주위 온도의 변화를 나타낸 결과이다. 그림 1(a)에서 태양광 발전 시스템의 주위 온도는 0시 15분부터 6시 30분까지 2~5 [°C] 사이를 나타내었다. 주위 온도는 6시 45분부터 상승하기 시작하여 12시 30분, 14시 45분 및 15시 00분에 24 [°C]로 최고점을 나타내었다. 그리고 주위 온도는 19시 30분부터 24시 00분 사이에 12 [°C] ~ 13 [°C]를 유지하였다.

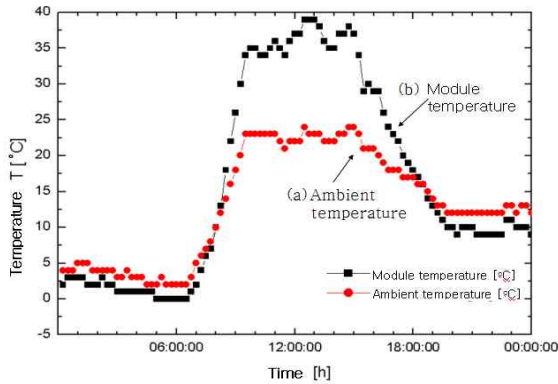


Fig. 1. Change of module temperature and ambient temperature.

한편, 그림 1(b)에서 태양광 발전 시스템의 모듈 온도는 0시 15분부터 6시 30분까지 0~3 [°C] 사이를 나타내었다. 모듈 온도는 6시 45분부터 상승하기 시작하여 12시 30분~13시 00분에 39 [°C]로 최고점을 나타내었다. 그리고 모듈 온도는 19시 30분부터 24시 00분 사이에 9 [°C]~ 11 [°C]를 유지하였다.

그림 1에서 발전중의 모듈온도는 주위 온도보다 10 ~ 15 [°C] 높게 나타남을 알 수 있었다.

그림 2는 1년중 발전량이 가장 많고 일평균 운전시간이 가장 긴 4월 28일 0시 15분~24시 0분까지 15분 단위로 측정한 일사량과 태양광 발전 시스템 (어레이)에서의 발전 전력을 나타낸 결과이다. 그림 2 (a)에서 일사량은 6시 15분에 3 [W/m<sup>2</sup>]이었으며, 13시 15분에 979 [W/m<sup>2</sup>]로 최고 일사량을 나타내었다. 그리고 19시 00분에 일사량은 22 [W/m<sup>2</sup>]를 나타내었다.

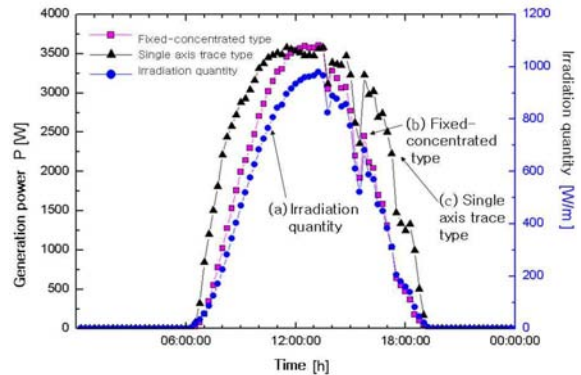
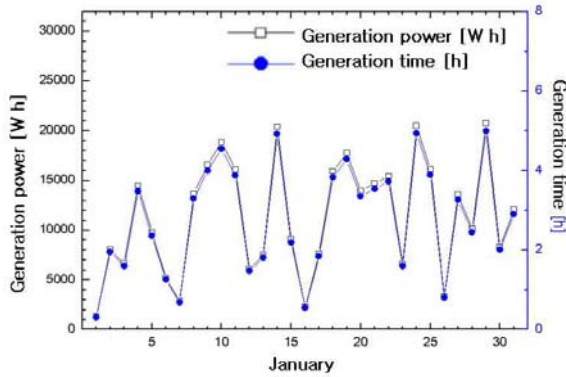


Fig. 2. Relationship between amount of solar radiation and power.

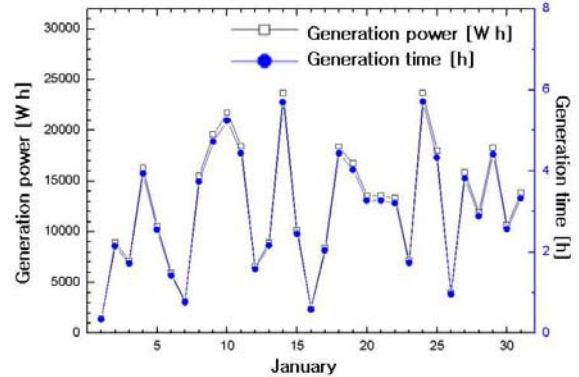
한편, 그림 2(b)에서 고정식 태양광 발전 시스템 (4.152 [kW])에서의 발전 전력은 6시 30분에 20.21 [W]을 나타내기 시작하여 12시 30분에 3.5947 [kW]로 최고의 발전 전력을 나타내었다. 그리고 19시 00분에 발전 전력은 46.71 [W]를 나타내었다. 그림 2(b)의 고정식 태양광 발전 시스템에서 6시 30분부터 19시 00분까지 모든 전력을 더한 1일간의 발전 전력량은 24.938 [kWh]이었다. 발전 전력량을 고정식 태양광 발전 시스템 (어레이)의 발전 용량 (4.152 [kW])으로 나누면 일평균 운전시간이 얻어지며, 이때 얻어진 일평균 운전시간은 6.01 [h]이었다.

또한, 그림 2(c)에서 단축식 태양광 발전 시스템 (4.152 [kW])에서의 발전 전력은 6시 30분에 76.16 [W]를 나타내기 시작하여 11시 30분에 3.580 [kW]로 최고의 발전 전력을 나타내었다. 그리고 19시 00분에 발전 전력은 0.171 [kW]를 나타내었다. 그림 2(c)의 단축식 태양광 발전 시스템에서 6시 30분부터 19시 00분까지 모든 전력을 더한 1일간의 발전 전력량은 32.833 [kWh]이었다. 발전 전력량을 단축식 태양광 발전 시스템 (어레이)의 발전 용량 (4.152 [kW])으로 나누면 일평균 운전시간이 얻어지며, 이때 얻어진 일평균 운전시간은 7.91 [h]이었다.

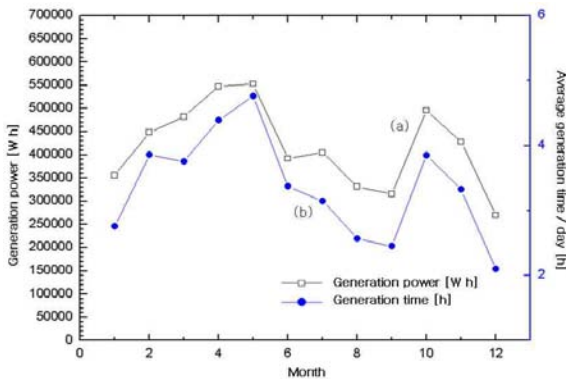
그림 3은 고정식 태양광 발전 시스템 (어레이) (발전 용량 4.152 [kW])에 대하여 1월 1일부터 1월 31일까지 일사량과 일평균 운전시간의 변화를 나타낸 결과이다. 그림 3에서 발전량과 일평균 운전시간이 가장 많은 날은 1월 29일로서 발전량은 20.743 [kWh]이며, 일평균 운전시간은 5.00 [h]이었다. 또한, 발전량과 일평균 운전시간이 가장 적은 날은 1월 1일로서 발전



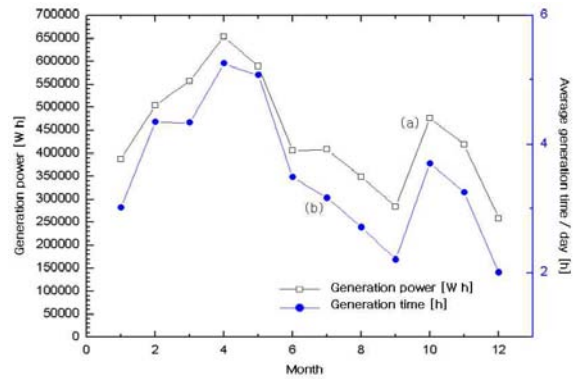
**Fig. 3.** Change of power amount and daily average operating time on January for fixed-concentrated type photovoltaic array.



**Fig. 5.** Change of power amount and daily average operating time on January for single axis trace type of photovoltaic array.



**Fig. 4.** Monthly change of power amount and daily average operating time for fixed-concentrated type photovoltaic array.



**Fig. 6.** Monthly change of power amount and daily average operating time for single axis trace type of photovoltaic array.

량은 1.305 [kWh]이며, 일평균 운전시간은 0.31 [h]이었다. 한편, 1월 중의 총 발전량은 355.786 [kWh]이었다. 일평균 발전량은 11.477 [kWh]이며, 일평균 운전시간은 2.76 [h]이었다.

그림 4는 고정식 태양광 어레이 (4.152 [kWh])의 월별 발전량과 일평균 운전시간 변화를 나타낸 결과이다. 그림 4 (a)에서 4월의 발전량은 547.124 [kWh]이었고, 그림 4 (b)에서 일평균 운전시간은 4.39 [h]로 높게 관측되었다. 반면에, 12월의 발전량은 269.815 [kWh]이었고, 일평균 운전시간은 2.10 [h]로 낮게 관측되었다. 고정식 태양광 어레이의 1년간 발전량은 5,024.994 [kWh]이었다. 한편, 그림 4에서 일사량이 많은 여름철인 6~8월 보다 봄철인 3~5월의 발전량이나 일평균 운전시간이 높게 나타났는데 이 원인은 태양전지의 표면 및 주위 온도가 상승하여 전류가 감소하기 때문으로 사료된다.

그림 5는 단축식 태양광 발전 시스템 (어레이) (발전용량 4.152 [kW])에 대하여 1월 1일부터 1월 31일까지 일자별 발전량과 일평균 운전시간을 나타낸 결과이다. 그림 5에서 발전량과 일평균 운전시간이 가장 많은 날은 1월 24일로서 발전량은 23.706 [kWh]이며, 일평균 운전시간은 5.71 [h]이었다. 또한, 발전량과 일평균 운전시간이 가장 적은 날은 1월 1일로서 발전량은 1.414 [kWh]이며, 일평균 운전시간은 0.34 [h]이었다. 한편, 1월중의 총 발전량은 387.906 [kWh]이었다. 일평균 발전량은 12.513 [kWh]이며, 일평균 운전시간은 3.01 [h]이었다.

그림 6은 단축식 태양광 어레이 (4.152 [kWh])의 월별 발전량과 일평균 운전시간 변화를 나타낸 결과이다. 그림 6(a)에서 4월의 발전량은 654.215 [kWh]이었고, 그림 6(b)에서 일평균 운전시간은 5.25 [h]로 가장 높

게 관측되었다. 반면에, 12월의 발전량은 259.110 [kWh]이었고, 일평균 운전시간은 2.01 [h]로 가장 낮게 관측되었다. 단축식 태양광 어레이의 1년간 발전량은 5,295.596 [kWh]이었다.

그림 4에서 고정식 태양광 어레이의 1년간 발전량인 5,024.995 [kWh]를 발전 용량인 4.152 [kWh]로 나누면 연간 운전시간인 1,210.25 [h]가 얻어진다. 또한, 그림 6에서 단축식 태양광 어레이의 1년간 발전량인 5,295.596 [kWh]를 발전 용량인 4.152 [kWh]로 나누면 연간 운전시간인 1,275.43 [h]가 얻어진다. 이것은 단축식 태양광 어레이가 태양을 일방향으로 추적하여 발전하기 때문에 사료된다.

그림 4와 그림 6의 월별 발전량으로부터 고정식 태양광 어레이와 단축식 태양광 어레이의 월평균 발전량을 비교하면 1월에서 5월까지의 단축식 태양광 어레이의 발전량이 6.17 [%]~16.3 [%] 많이 발전됨을 알 수 있다. 그리고 6월부터 8월까지의 단축식 태양광 어레이의 발전량이 0.72 [%]~5.10 [%]로 약간 많이 발전됨을 알 수 있다. 그러나 9월부터 12월까지의 오히려 고정식 태양광 어레이의 발전량이 2.21 [%]~11.13 [%] 많이 발전됨을 알 수 있다. 1년간 평균한 발전량은 단축식 태양광 어레이가 고정식 태양광 어레이보다 5.11 [%] 더 많이 발전한 것을 알 수 있다. 이 결과는 여름철에 주위 온도가 상승하여 전류가 감소하기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 단축식 태양광 어레이가 고정식 태양광 어레이보다 5.10 [%] 더 많은 일평균 운전시간을 갖는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문은 4 [kW]급 고정식 및 4 [kW]급 단축식 계통연계형 태양광 발전 시스템의 발전효율을 비교·분석하기 위하여 2가지 방식의 태양광 발전 시스템을 1년간 실증시험 운전하였다. 고정식 및 단축식 계통연계형 태양광 발전 시스템의 1~12월 발전량과 1~12월 일평균 운전시간 특성을 비교·분석하여 발전효율이 높은 방식을 제시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고정식 태양광 어레이의 4월 발전량은 547.124 [kWh]이었고, 일평균 운전시간은 4.39 [h]로 가장 높게 관측되었다. 1년간 발전량은 5,024.994 [kWh]이었다. 1년간 1,210.25 [h]의 운전시간이 얻어졌다.

2. 단축식 태양광 어레이의 4월 발전량은 654.215 [kWh]이었고, 일평균 운전시간은 5.25 [h]로 가장 높게 관측되었다. 1년간 발전량은 5,295.596 [kWh]이었다. 1년간 1,275.43 [h]의 운전시간이 얻어졌다.

3. 고정식 태양광 어레이와 단축식 태양광 어레이의 일평균 운전시간을 비교하면 단축식 태양광 어레이가 고정식 태양광 어레이보다 5.10 [%] 더 많은 일평균 운전시간을 갖는 것을 알 수 있었다.

#### REFERENCES

- [1] C. S. Kwon, K. S. Kim, T. Y. Do, S. J. Park, and F. S. Kang, *Trans. of KIEE*, **62**, 342 (2013).
- [2] K. B. Han, T. H. Han, S. W. Lee, and S. W. Han, *J. of the Kor. Solar Energy Soc.*, **32**, 29 (2012).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.7836/kses.2012.32.6.029>]
- [3] T. K. Sung, C. S. Lee, E. Y. Lee, Y. M. Park, C. B. Jung, and B. C. Kim, *J. of the Kor. Solar Energy Soc.*, **32**, 129 (2012).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.7836/kses.2012.32.3.129>]
- [4] Y. W. Kim and W. B. Kim, *J. of the Kor. Soc. of Manufacturing Tech. Eng.*, **21**, 747 (2012).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2012.21.5.747>]
- [5] Y. J. Kim, J. S. Lee, Y. G. Chung, and J. T. Kim, *KIEAE Journal*, **12**, 113 (2012).
- [6] K. H. Kim, *J. of the Kor. Institute of Information and Communication Engineering*, **15**, 2072 (2011).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2011.15.10.2072>]
- [7] Y. H. Jeong and J. Y. Lim, *J. of IKEEE*, **15**, 211 (2011).
- [8] P. Baltas, M. Tortoreli, and P. E. Russell, *Solar Energy*, **37**, 147 (1986).  
[DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(86\)90072-1](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(86)90072-1)]
- [9] H. J. Noh, D. Y. Lee, and D. S. Hyun, *IEEE IES*, **2**, 1113 (2002).
- [10] P. H. Kim, H. L. Baek, and G. B. Cho, *J. of the Kor. Solar Energy Soc.*, **25**, 1 (2005).
- [11] H. G. Song, *MS Thesis*, p. 1-54, Graduate School of Dongshin University, Naju (2014).