

# 태양광 패널의 등가회로 모델링 알고리즘 개선

박준영, 최성진  
울산대학교 전기공학부

## Improved Parameter Extraction Algorithm for Photovoltaic Array Circuit Model

Jun-Young Park and Sung-Jin Choi  
School of Electrical Engineering, University of Ulsan

### ABSTRACT

태양광 PCS개발과정에서는 온도나 방사량 등을 변화시키며 태양전지 패널의 I-V곡선을 모사할 수 있는 태양광 시뮬레이션 모델이 필요하다. 이러한 용도로 볼 때 특히 다이오드 기반의 등가회로 모델은 물리적인 성질을 바탕으로 태양광 패널의 특성을 비교적 정확히 설명할 수 있으나 특유의 비선형성으로 인하여 복잡한 회로 모델 파라미터 추출 기법을 필요로 한다. 본 논문에서는 데이터 시트값에 기반한 새로운 태양광 패널 회로 모델링 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법의 성능을 검증하기 위해 단결정 태양광 패널의 실제 데이터를 기반으로 최대전력점  $\pm 10\%$ 부근의 전류오차 적분값을 기준으로 기존 방법과 정확도를 비교한 결과 20%의 정확도 개선을 얻었다.

### 1. 서론

통상 태양광PCS(power conditioning system)는 에너지 이용을 극대화 하기 위해서 최대전력점 추종을 사용하는데, 이는 태양광(photovoltaic)패널모델의 최대전력점(maximum power point) 부근에서의 정확도가 중요함을 의미하며, 이를 위해서 패널의 특성을 최소화한 과정으로 빠르고 정확하게 추출할 수 있는 모델링방법이 필요하다.

패널의 I-V특성을 나타내는 단일 다이오드 모델은 그림 1과 같이 표현되며, 이 모델을 수학적으로 표현하면 다음과 같다. 여기서 전기적 등가회로 구현을 위한 주요 파라미터  $R_s$ ,  $R_{sh}$ ,  $A$ 는 여러 모델링 방법을 이용해서 얻을 수 있지만, 최근의 연구동향은 데이터시트에서 얻을 수 있는 값들만 이용해서 파라미터를 추출하는 것이다[1~3].

본 논문은 최대전력점부근에서의 정확도가 기존의 방법보다 개선된 태양광 패널 모델링 알고리즘을 제시한다. 제안방법으로 도출한 특성곡선과 실제 패널의 데이터를 이용함으로써 그 타당성을 검증한다.

$$i = I_{ph} - I_o \left( e^{\frac{v+iR_s}{N_s V_T}} - 1 \right) - (v + iR_s) G_{sh} \quad (1)$$

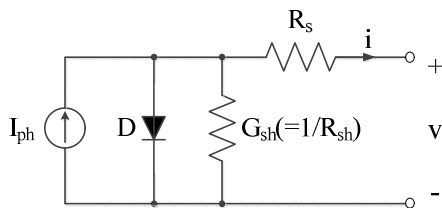


Fig 1. Single-diode model of PV panel

$$V_T = \frac{AKT}{q} \quad (2)$$

### 2. 제안 알고리즘

식(1)은 최대전력점( $V_{mpp}$ ,  $I_{mpp}$ )점을 지나야 하므로 식(3)을 얻을 수 있고 최대전력점을  $P_{mpp}$ 라 정의하면 식(4)를 만족한다.

$$I_{mpp} = I_{ph} - I_o e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s}{N_s V_T}} - (V_{mpp} + I_{mpp} R_s) G_{sh} \quad (3)$$

$$P_{mpp} = \left( I_{ph} - I_o e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s}{N_s V_T}} - (V_{mpp} + I_{mpp} R_s) G_{sh} \right) V_{mpp} \quad (4)$$

여기서 최대전력점에서 접선의 기울기를 표현하면 다음과 같다.

$$\left. \frac{dP}{dV} \right|_{@mpp} = I_{mpp} + V_{mpp} \frac{-\frac{(I_{sc}/G_{sh} - V_{oc} + I_{sc} R_s) G_{sh}}{N_s V_T} e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s - V_{oc}}{N_s V_T}} - G_{sh}}{I + \frac{R_s (I_{sc}/G_{sh} - V_{oc} + I_{sc} R_s) G_{sh}}{N_s V_T} e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s - V_{oc}}{N_s V_T}} + R_s G_{sh}} \quad (5)$$

식(3)을  $V_T$ 에 대해서 정리하면

$$V_T = \frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s - V_{oc}}{N_s \ln \left( \frac{I_{mpp} - I_{sc} + (V_{mpp} + I_{mpp} R_s - I_{sc} R_s) G_{sh}}{-I_{sc} + (V_{oc} + I_{sc} R_s) G_{sh}} \right)} \quad (6)$$

또, 식(5)로부터 다음을 얻는다.

$$\frac{I}{G_{sh}} = \frac{-V_{oc} + I_{sc} R_s}{\left( \frac{-I_{mpp}}{I_{mpp} R_s - V_{mpp}} \right) N_s V_T e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s - V_{oc}}{N_s V_T}} - I_{sc}} \quad (7)$$

식(7)에 식(6)을 대입하고 그 식의 우변을 함수  $g(R_s, G_{sh})$ 라 두고 다음의 식(8)에 대하여  $R_s$ 를 조금씩 증가시키며 수치해석을 이용하면  $R_s$ 와  $G_{sh}$ 의 값을 얻을 수 있는데 구해진 값이 아래의 조건(9), (10)을 만족하면 그 값이 해가 되는 것이다.

$$i_h - \frac{I}{g(R_s, G_{sh})} = 0 \quad (8)$$

$$\left| \frac{P_{mpp\ model} - P_{mpp\ sheet}}{P_{mpp\ sheet}} \right| \leq \delta_2 \quad (9)$$

여기서  $P_{mpp\ sheet}$ 는 데이터시트에 주어진 STC(standard test condition)조건의 최대전력값이고  $P_{mpp\ model}$ 은 제안모델의 최대전력값이다. 최종적으로  $R_s, G_{sh}$  값을 통해 식(6)과 (2)로 A를 구한다. 이를 순서대로 표현하면 그림 2와 같다.

본 논문에서는 이분법(bisection method)를 사용해 방정식의 풀이를 하며,  $\delta_1$ 과  $\delta_2$ 는 알고리즘의 종료와 수렴속도를 결정하는데 본 논문은  $\delta_1=0.1, \delta_2=0.01$ 로 두었다. 그리고  $R_s, G_{sh}$ 의 초기값은 다음과 같이 주도록 하였다.

$$R_s = \frac{-V_{mpp}}{I_{mpp}} \quad (11)$$

$$G_{sh} \in \left(0, \frac{I_{sc} - I_{mpp}}{V_{mpp}}\right) \quad (12)$$

### 3. 알고리즘구현 및 성능비교

결정형 패널의 I-V 특성 데이터 (AT50 - Air ThermSolartechnik 社)를 PSIM 등가회로 모델을 만들어 I-V 특성을 추출하고 비교하였다. 특히 EN50530 규정에 준해 최대전력점  $\pm 10\%$  부근에서의 전류오차를 적분하고 비교하여 정확도를 검증하였다. 그림 3은 실제 패널의 각 방법에 대한 I-V 특성커브와 최대전력점 부근에서의 오차를 비교한 그래프이며, 표 1에 전류오차 적분값을 화하여 제시하였다. 그림 3에서 문헌[1]의 방법은 P-V 곡선의 최대 전력점에서의 접선기울기와  $I_{sc}$ 점에서의 기울기를 판정 기준으로 삼기 때문에 오차가 좀 더 높을 수 있다. 문헌[2]의 방법은 사용자가 실제 PV패널의 I-V 특성커브를 바탕으로 A를 적당한 값으로 맞춰야 하므로 시행착오적인 과정을 반하고 알고리즘의 정확도를 보장하기 어렵다. 제안방법은 최대전력점부근의 오차적분 10% 정도 개선됨을 확인하였다.

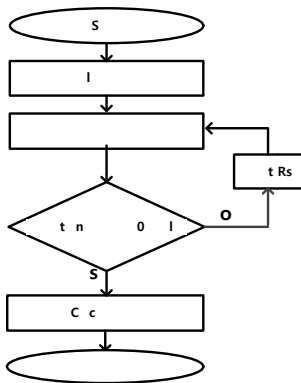


Fig 2. Flow chart of the proposed method

Table 1. Integration error near MPP

	전류오차적분	백분율(%)
Proposed	0.055	100

Wagner	0.331	600
Pedro [1]	0.071	128
Villalva(A=2) [2]	0.141	256

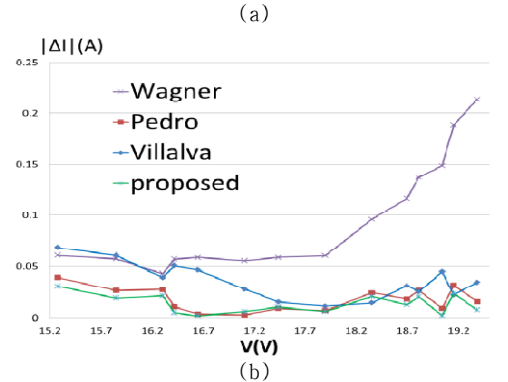
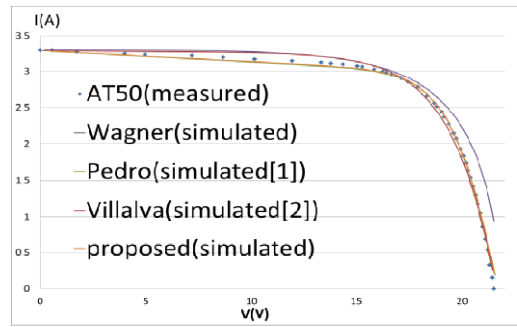


Fig 3. Performance comparison

(a) I-V curve (b) absolute current error near MPP

### 4. 결론

제안방법은 패널의 데이터시트 값만 알고 있으면 비교적 빠르고 정확하게 회로모델을 구축할 수 있는 방법으로 추가적인 측정을 할 필요가 없다는 장점이 있어 이를 이용하면 실제패널 없이도 데이터 시트에 제공된 정보만으로패널의 성능평가나 PCS의 효율예측 등의 다양한 활용이 가능하다.

특히 최대전력점부근의 정확도가 기존보다 향상되도록  $P_{mpp}$ 값과 이 점에서의  $dP/dV$ 값을 동시에 비교하므로 이에 따라서 최대전력점에서의 오차를 더욱 줄일 수 있었다.

본 알고리즘은 결정형패널에만 적용하였지만향후에는 비결정형패널도 모델링이가능하도록 알고리즘을 개선할예정이다.

### 참고문헌

- [1] D.Sera, R.Teodorescu, and P.Rodriguez, "PVPanel Model Based on Datasheet Values," in Proc. on ISIE07, 2007, pp. 2392-2396
- [2] M.G.Villalva, J.R.Gazoli, and E.R.Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," IEEE Trans. on PE, Vol. 24, No. 5, pp. 1198-1208, May 2009.
- [3] H.-A. Park and H.-S. Kim, "Mathematical Consideration on PV Cell Modeling," Transactions of Korean Institute of Power Electronics, Vol. 19, No. 1, pp. 51-56, Feb. 2014