

A Study on the Parameter Estimation of Solar Cell Module

金兌燁*·李允揆**·安鎬均***·朴勝圭***

(Tae-Yeop Kim · Youn-Kyu Lee · Ho-Gyun Ahn · Seung-Kyu Park)

Abstract - It is necessary to measure the solar cell parameter for understanding characteristic of solar cell and applying to many other fields. Since photovoltaic system consists of solar cell module, which are connected each other in series and parallel, it is not proper to apply a solar cell parameter to photovoltaic system. Therefore, to estimate the solar cell module and to solve the problem of the established algorithm is on demand. In this paper the authors have improved the accuracy of solar cell module parameter estimation by compensating series and parallel resistance, and developed a new parameter estimation algorithm, which can be applied to photovoltaic system without high cost measuring equipment. And the validity of proposed algorithm is verified by the simulation and experimentation.

Key Words : Photovoltaic system, Parameter Estimation, Solar Cell, Solar Cell Module, Compensating series and parallel resistance.

1. 서 론

세계적으로 태양전지의 사용이 증가함에 따라 태양전지의 성능을 평가하고 표준화하기 위하여 국제적인 규격이 마련되어 있으며, 표준 환경조건에서 측정된 태양전지의 단락전류, 개방전압, 충전율(Fill factor), 최대전압, 최대전류 등을 평가 기준[1]으로 사용하고 있다. 하지만 이러한 성능평가 항목만으로는 태양전지의 특성을 이해하고 여러 응용분야에 활용하기에는 많은 어려움이 있다.

따라서 태양전지의 물리적 특성을 이해하고, 설계 및 해석을 위해 태양전지 및 모듈의 파라미터를 측정할 필요성[2][3]이 대두되고 있으나, 고가의 측정장비와 매우 엄격한 측정환경조건[4]에서의 측정이 필요하므로 태양광 발전 시스템에 활용하기에는 적합하지 않다.

이러한 단점을 극복하기 위하여 고가의 측정장비 없이 태양전지 파라미터를 추정할 수 있는 알고리즘에 대한 연구[5~7]가 이루어지고 있으며, 이러한 파라미터 추정에는 태양전지 등가회로가 많이 이용되고 있다.

태양전지 등가회로는 직·병렬 기생 저항의 고려여부에 따라 달리 구분되며, 다이오드 이상계수의 특성에 의해 하나의 다이오드로 표현되는 One-Diode 모델과 두 개의 다이오드로 표현되는 Two-Diode 모델로 구분된다[8~12].

현재까지 Two-Diode 모델은 다결정 실리콘 태양전지를 제외한 태양전지모델에 가장 적합한 것으로 알려져 있으며

태양전지의 정밀한 물리적 해석이 가능하여 태양전지 설계 및 해석에 이용되고 있다. 그러나 Two-Diode 모델은 해석이 어렵고 계산 알고리즘 및 계산량이 파라미터 추정의 정확도에 영향을 준다[3]. 반면 One-Diode 모델은 이상계수 및 역포화 전류 파라미터가 함축적으로 표현될 수 있어 태양전지 모듈의 성능을 평가하기에 용이하고, 해석이 쉬워 태양전지 모듈 파라미터 추정에 적합하다고 할 수 있다.

Z.Ouennoughi[5]는 직·병렬 저항을 고려한 One-Diode 모델을 사용하고, I-V 특성곡선을 $dG/(I_{ph}-I) - dG$ 로 직선화하여 태양전지의 파라미터를 추정하였다. 이 알고리즘은 쉽고 간단하게 태양전지 특성을 파악할 수 있어 활용가치가 높은 반면, 태양전지의 직렬 및 병렬저항의 영향을 무시하였으므로 태양전지 모듈에 적용할 경우 많은 오차를 발생시킬 수 있다.

실제 태양전지 모듈은 태양전지의 직렬연결로 구성되며, 태양광 발전 시스템에서는 모듈의 직·병렬연결로 태양전지 전원을 구성하게 된다. 모듈의 등가회로는 태양전지의 등가회로와는 달리 직렬 및 병렬 저항의 영향을 많이 받으며, 구성된 태양전지간의 특성 차이에 영향을 받는다. 특히 태양전지 모듈 구성을 위한 직렬 연결시 각 태양전지간의 특성 차이로 인해서 각 태양전지가 최대 출력점에서 동작할 때의 출력의 할에 비해 태양전지 모듈의 출력이 낮아질 수 있다. 따라서 태양광 발전 시스템의 정확한 특성 해석과 MPPT 제어기 및 인버터 설계에 활용하기 위해서 직·병렬 저항의 영향을 고려하여 태양 전지 모듈 및 전원의 파라미터를 추정해야 할 것이다.

본 연구에서는 태양전지 모듈의 파라미터를 추정하기 위해 직·병렬 저항 및 One-Diode 모델을 사용하며, 그 등가회로를 해석하고, Z.Ouennoughi가 제시한 알고리즘의 문제점을 해결하기 위해 직·병렬 저항 전류성분을 보상한다. 또한

* 正 會 員 : STX 技術研究所 研究員 · 工博

** 準 會 員 : 昌原大 電氣工學科 碩士課程

*** 正 會 員 : 昌原大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2001年 8月 22日

最終完了 : 2001年 12月 13日

LMS(Least Mean Square)알고리즘을 통해 고가의 측정 장비 없이도 실제 태양광 발전 시스템에 적용할 수 있는 태양전지 모듈 파라미터 추정 알고리즘을 제안한다. 그리고 시뮬레이션 및 DSP TMS320C31로 구성된 시스템을 이용한 실험을 통해 제안한 알고리즘의 타당성을 검증한다.

2. 태양전지의 등가회로

태양전지의 특성을 이해하고 해석하기 위해 일반적으로 등가회로가 많이 이용되고 있다. 등가회로를 이용함으로써 해석이 용이하고, 표준화된 방식으로 소자의 특성을 묘사할 수 있기 때문에 전지의 복잡한 물리적 과정을 효과적이고 쉽게 설명할 수 있게 된다.

실제의 태양전지는 직렬 및 병렬 기생저항을 가지고 있으며, 이를 고려한 등가회로는 그림 1로 나타내어진다[3][5][12].

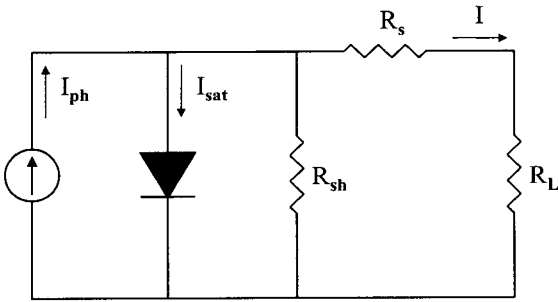


그림 1 직·병렬 저항을 고려한 태양전지 등가회로
Fig. 1 Equivalent circuit including series and shunt resistance for solar cell

직렬 병렬 저항을 고려한 태양전지의 특성방정식은 식(1)로 나타내어진다.

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left\{ \exp \left[\frac{q(V + IR_s)}{AKT} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

- I_{ph} : 광전류 (generated current under given insolation)
- I_{sat} : 역포화전류 (dark reverse saturation current of the diode)
- q : 전하량 (charge on an electron : $q=1.602177 \times 10^{-19}$ [C])
- K : 볼츠만 상수 (Boltzman constant $k=1.38065 \times 10^{-23}$ [j/K])
- T : 온도 (absolute temperature [K])
- A : 이상계수(ideal factor)
- R_{sh} : 병렬저항(parallel resistance)
- R_s : 직렬저항(series resistance)

3. 태양전지 모듈의 파라미터 추정

태양전지 모듈의 등가회로 파라미터는 I-V 특성곡선의 측정값과 특성방정식간의 곡선접합(curve fitting)을 통해 추정한다.

식(1)의 태양전지 등가회로 방정식에서 추정해야 할 파라미터는 직렬저항(R_s), 이상계수(ideality factor: A), 포화전류(saturation current: I_{sat})와 병렬저항(R_{sh})이 있으며[12], 이때 광전류(I_{ph})조건을 알아야 한다.

3.1 병렬저항 및 광전류 추정

광전류($I_{ph}=0$)가 영인 상태를 암전류(dark current)상태라고 하며, 이때 역방향 전압 특성을 측정함으로써 병렬저항을 쉽게 측정할 수 있다[13].

암전류 상태에서 태양전지의 병렬 저항(R_{sh})을 측정하기 위해 태양전지 출력단자에 반대 극성의 전압을 인가하고 이때의 전류를 측정하여 저항값을 계산하게 된다. 또한 태양전지 모듈의 by-pass 다이오드를 제거하여야 하며 역전압을 인가하기 위한 전원이 필요하다.

$$\begin{aligned} I_{in} &= I_{sat} + I_{sh} \\ &= I_{sat} + V_{in} / (R_{sh} + R_s) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 다이오드의 역포화 전류(I_{sat})와 직렬저항(R_s)은 각각 $I_{sh} \gg I_{sat}$, $R_{sh} \gg R_s$ 이므로 무시할 수 있다. 따라서 식(2)는 식(3)으로 정리할 수 있다. 단, 이때 인가되는 전압(V_{in})은 열전압(V_T)에 비하여 매우 커야 한다.

$$R_{sh} = \frac{V_{in}}{I_{sh}} = \frac{V_{in}}{I_{in}} \quad (3)$$

광기전력을 생성중인 태양전지의 특성은 암전류 상태와는 많은 차이가 있다[3][14]. 따라서 태양전지의 광기전력상태에서 태양전지 모듈의 파라미터를 측정하고 이용하여야 한다.

직·병렬저항을 포함한 태양전지의 I-V 특성곡선중 식(4)의 조건을 만족하는 전류원 영역에서 식(1)의 태양전지 특성방정식은 식(5)로 변형될 수 있다.

$$0 \cong -I_{sat} \left\{ \exp \left[\frac{q}{AKT} (V + IR_s) \right] - 1 \right\} \quad (4)$$

$$I = -\frac{1}{R_{sh} + R_s} V + \frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_s} I_{ph} \quad (5)$$

식(5)에서 $R_{sh} \gg R_s$ 인 조건에 의해 직렬저항을 무시하면, 식(6)으로 간략화 시킬 수 있다.

$$I = -\frac{1}{R_{sh}} V + I_{ph} \tag{6}$$

$$= k_2 V + k_1$$

간략화된 식(6)의 k_1, k_2 를 추정하기 위해 LMS 알고리즘을 적용하였으며, 식(7)을 통해 병렬저항(R_{sh}) 및 광전류(I_{ph})를 추정할 수 있다.

$$R_{sh} = -\frac{1}{k_2} \tag{7}$$

$$I_{ph} = k_1$$

식(7)은 직렬저항성분을 무시하여 간략화한 식으로 이를 이용하는 경우 병렬저항 값에 직렬저항 값이 포함되게 된다. 만일 직렬저항을 아는 경우 식(8)을 이용하면 보다 정확한 병렬저항 및 광전류를 추정할 수 있게 된다.

$$R_{sh} = -\left(R_s + \frac{1}{k_2}\right) \tag{8}$$

$$I_{ph} = \frac{k_1}{k_2 R_s + 1}$$

3.2 직렬저항 및 이상계수의 추정

직렬저항(R_s) 및 이상계수(A)의 추정을 위해 Z. Ouennoughi[5]가 제시한 방법에서 태양전지 특성방정식의 병렬저항(R_{sh})을 무시하였으며 이로 인하여 오차가 발생한다. 태양전지 모듈을 측정하는 경우 모듈이 단위 셀의 직렬연결로 구성되므로 직렬저항이 커지게 되어 병렬저항 측정에 영향을 주게 된다. 병렬저항에 흐르는 전류는 식(9)로 나타낼 수 있다.

$$I_{R_{sh}} = \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \tag{9}$$

식(9)를 이용하여 측정된 전류에 병렬저항 전류성분을 더하게 되면 병렬저항성분을 무시할 수 있게 된다. 병렬저항 전류성분을 보정한 실제 전류(I_{real})는 식(10)으로 나타낼 수 있으며, 파라미터 추정의 정확도를 향상시킬 수 있다.

$$I_{real} = I_{ph} + \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \tag{10}$$

컨덕턴스 변화율(dG) 계산시 병렬전류성분을 보상하면 보다 정확한 추정이 가능하다.

$$\frac{dG}{I_{ph} - I_{real}} = -\frac{q}{AKT} (1 + R_s dG) \tag{11}$$

파라미터를 추정하기 위하여 LMS 알고리즘을 사용하여 직선 방정식(11)의 기울기($k_2 = -\frac{qR_s}{AKT}$) 및 절편

($k_1 = -\frac{q}{AKT}$)을 계산하고 식(12)을 이용하여 직렬 저항(R_s) 및 이상계수(A)를 계산할 수 있다.

$$R_s = \frac{k_2}{k_1} \tag{12}$$

$$A = -\frac{q}{KT} \frac{1}{k_1}$$

3.3 역포화전류의 추정

태양전지의 역포화전류(I_{sat})는 광전류(I_{ph}), 병렬저항(R_{sh}), 이상계수(A) 및 직렬저항(R_s) 파라미터를 추정하고, 태양전지 특성방정식 및 추정된 전압, 전류로부터 계산이 가능하다. 식(1)을 역포화전류에 대해 정리하면 식(13)으로 나타내어진다.

$$I_{sat} = \frac{I_{ph} - I - \frac{V + IR_s}{R_{sh}}}{\exp\left(\frac{q}{AKT}(V + IR_s)\right) - 1} \tag{13}$$

하지만, 식(13)은 태양전지의 I-V특성곡선의 전체를 포함하고 있으며, 앞에서 추정한 파라미터의 오차에 의한 영향을 받게 되어 전체영역에서 동일한 값으로 나타나지 않게 된다. 따라서 이러한 오차를 최소화 할 수 있는 영역에서 측정된 역포화전류를 실제 값으로 사용하여야 한다.

태양전지의 특성영역은 개방회로, 단락회로, 최대전력점으로 분리할 수 있다. 그중 개방회로에서는 단자전압이 직렬저항의 영향을 받지 않게 되며, 병렬저항에 의한 영향이 커지게 된다. 또한 다이오드 전류(I_d)가 크며, 역포화전류에 의한 영향이 많이 나타나게 되어 이 영역에서는 역포화 전류 측정의 정확도를 향상시킬 수 있게 된다. 따라서 태양전지의 특성방정식인 식(1)을 개방회로 영역에서 역포화 전류에 대해 정리하면 식(14)로 나타낼 수 있다.

$$I_{sat} = \frac{I_{ph} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}}{\exp\left(\frac{q}{AKT}\right) - 1} \tag{14}$$

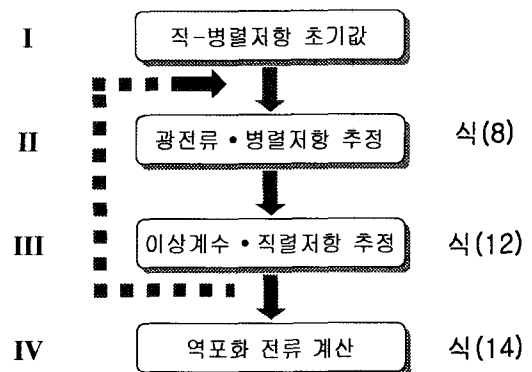


그림 2 파라미터 추정 알고리즘
Fig. 2 Parameter Estimation Algorithm

본 논문에서 사용한 파라미터 추정 알고리즘을 그림 2에 나타내었다. II단계에서 광전류, 병렬저항을 추정하고 III단계에서 이상계수, 직렬저항을 추정한 후 II, III단계를 반복적으로 수행한 값을 가지고 IV단계에서 역포화 전류를 계산하여 얻게 된다.

4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 위한 태양전지 모델 식(1)은 그림 3과 같으며, 전체 계통은 전류원, 직렬저항, 병렬저항 및 다이오드 특성방정식으로 구성되어진다. 또한 일사량 변화에 의한 광전류 변화성분을 입력받도록 구성되어 있다. 본 시뮬레이션에서는 표 1의 태양전지 사양 및 표 2의 파라미터 값을 사용하였다.

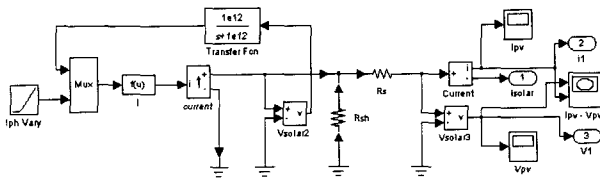


그림 3 시뮬레이션에서 사용한 태양전지의 블록도
Fig. 3 Block diagram of solar cell for simulation

표 1 사용한 태양전지의 사양
Table 1 Specification of used solar cell

모델명	GMG 01530
Rated Power	53Wp
Open Circuit Voltage	21.7V
Short Circuit Current	3.35A
Max Operating Voltage	17.4V
Max Operating Current	3.05A

표 2 사용한 태양전지의 파라미터
Table 2 Parameter of used solar cell

모델명	GMG 01530
온도	43°C
병렬저항	381Ω
직렬저항	0.817Ω
이상계수	52.7(직렬 36개)
역포화전류	5.35e-6A

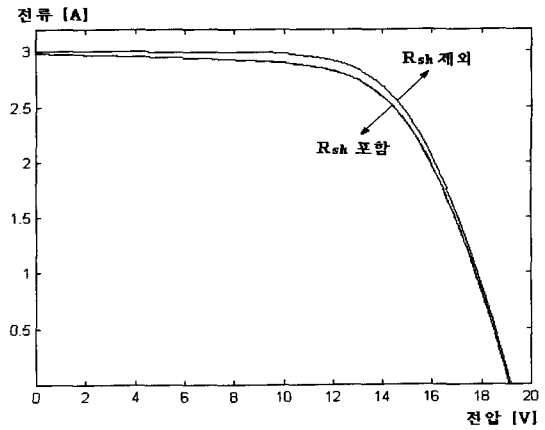


그림 4 병렬저항을 고려한 태양전지의 I-V 특성

Fig. 4 I-V characteristics including shunt resistance

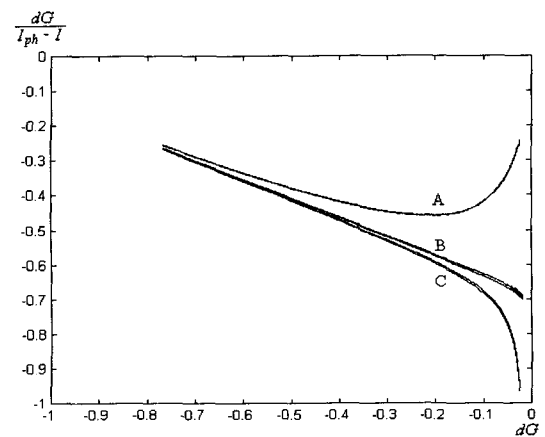


그림 5 병렬저항 전류성분 보상에 따른 추정 차이

Fig. 5 Estimation difference by compensating the shunt resistance current

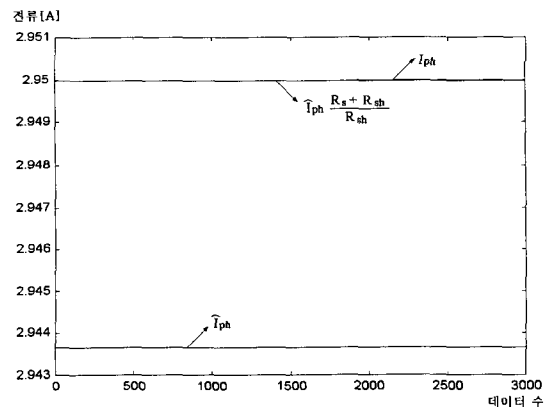


그림 6 직렬저항 보상에 따른 광전류 추정의 차이

Fig. 6 Estimation difference of photocurrent by compensating the series resistance

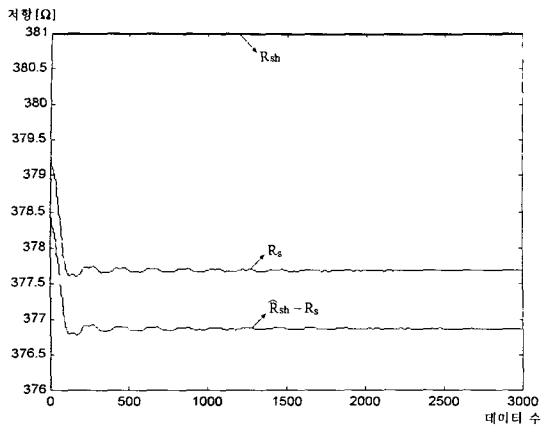


그림 7 직렬저항 보상에 따른 병렬저항 추정 차이
 Fig. 7 Estimation difference of shunt resistance by compensating the shunt resistance

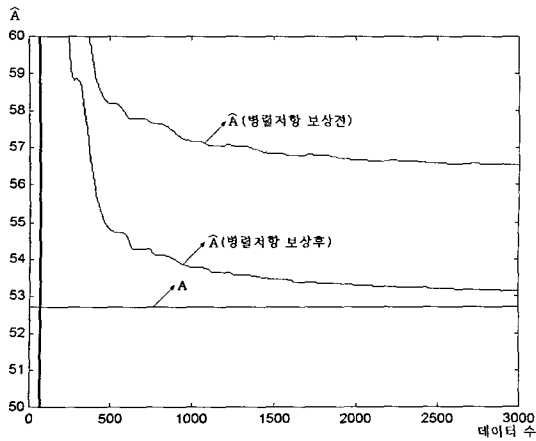


그림 8 병렬저항 보상에 따른 이상계수 추정 차이
 Fig. 8 Estimation difference of ideality factor by compensating of shunt resistance

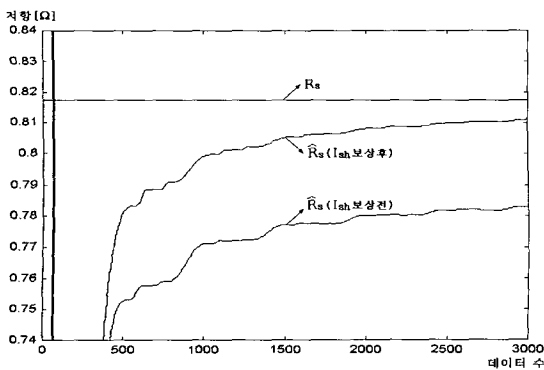


그림 9 병렬저항 보상에 따른 직렬저항 추정 차이
 Fig. 9 Estimation difference of series resistance by compensating the shunt resistance

그림 4는 병렬저항 성분을 고려한 특성방정식과 고려하지 않은 특성방정식의 시뮬레이션 차이를 보여준다. 그림 4에서 보면 단락전류(I_{sc})와 광전류(I_{ph})가 일치하지 않으며, 개방전

압에서도 오차를 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 파라미터 추정 시 병렬저항의 영향에 대한 보상의 필요성을 알 수 있다.

그림 5는 태양전지 파라미터 중 이상계수(A) 및 직렬저항(R_s)을 추정한 시뮬레이션 결과이다. 곡선 A는 Z. Ouennoughi[5]가 제시한 방법을 이용하였고, 곡선 C는 식(10)을 이용하여 병렬저항 전류성분을 보상한 결과이다. 곡선 B는 식(11)에서 dG 값에 병렬저항 전류성분을 보상한 것으로서 직선성 및 파라미터 추정의 정확도가 향상되는 것을 보여주고 있다.

그림 6은 태양전지의 광전류 추정에 대한 시뮬레이션 결과로 본 논문에서 제시한 방법을 이용함으로써 추정된 값에 직·병렬 저항성분에 의한 오차를 보상할 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 오차는 I-V 특성곡선 및 이상계수 그리고 직렬저항 추정 알고리즘에 영향을 미치지 않는다.

그림 7은 태양전지의 병렬저항 추정에서 실제값과 약 3~5[Ω]의 오차 값이 발생하고 있음을 보여주고 있다.

그림 8은 태양전지의 이상계수 추정곡선으로 병렬저항 보상으로 보다 정확한 추정이 가능함을 보여주고 있다.

그림 9는 태양전지의 직렬저항 추정곡선으로 병렬저항 전류를 보상으로 보다 정확한 파라미터 추정이 가능함을 보여주고 있다.

5. 실험 결과

태양전지의 I-V 특성곡선을 측정하기 위해 12개의 저항을 이용하여 저항뱅크를 제작하고 이를 DSP TMS320C31의 I/O를 통해 제어함으로써 가변저항기의 역할을 하도록 하였다.

그림 10은 태양전지 파라미터 중 이상계수(A) 및 직렬저항(R_s)을 추정할 실험결과로서 병렬저항 전류성분 보상에 따른 추정 정확도의 변화를 보여주고 있다. 그래프 1은 Z. Ouennoughi가 제시한 방법을 이용하였고, 그래프 3은 식(10)을 이용하여 병렬저항 전류성분을 보상한 그래프이다. 그래프 2는 식(11)에서 dG값 계산에 병렬저항 전류성분을 보상한 것으로 직선성이 향상되고 있는 것과 함께 파라미터 추정 정

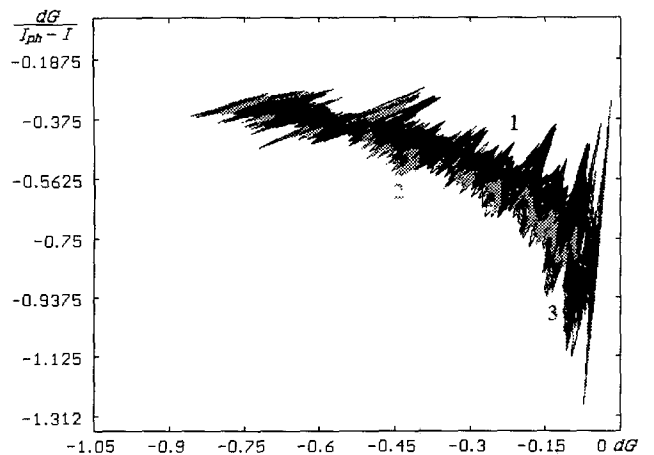


그림 10 병렬저항 전류 성분 보상에 따른 추정 차이
 Fig. 10 Estimation difference by compensating the shunt resistance current

확도가 향상되는 것을 보여준다. 그림 10에서 노이즈 성분은 센서의 비선형성, AD 컨버터의 양자화 오차 등에 기인한 것으로서 LMS 알고리즘을 통해 제거되고 이상계수와 직렬저항으로 계산되어진다.

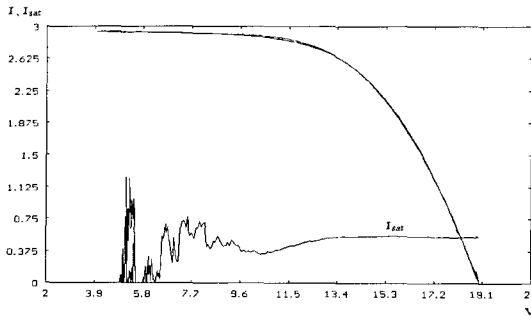


그림 11 43°C에서의 I-V 특성곡선 및 추정된 역포화전류

Fig. 11 I-V characteristic curve and estimated I_{sat} 43°C

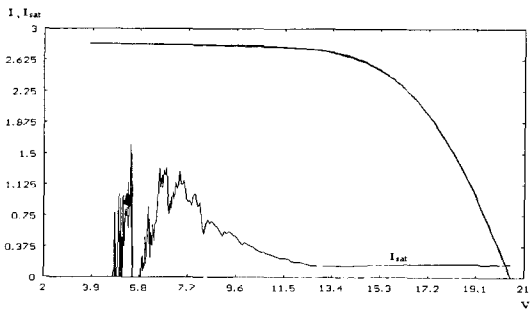


그림 12 22°C에서의 I-V 특성곡선 및 추정된 역포화전류

Fig. 12 I-V characteristic curve and estimated I_{sat} on 22°C

그림 11과 그림 12는 태양전지의 I-V 특성곡선과 광전류(I_{ph}), 병렬저항(R_{sh}), 직렬저항(R_s), 이상계수(A) 그리고 역포화 전류(I_{sat})를 추정하고, 그 결과를 식(1)에 적용하여 I-V 특성곡선을 재구성한 것으로 추정된 I-V 특성곡선과의 오차를 보여주고 있으며, 전체 전압구간에서의 역포화 전류를 계산한 결과를 나타낸 것이다.

그림 11 및 그림 12에서는 최대 출력점 부근에서 가장 큰 오차가 관찰되었으며, 이 부분에서 계산된 역포화 전류값은 개방상태에 비해 작다는 것을 알 수 있었다. 따라서 이 영역에서 추정된 이상계수는 실제값 보다 작으며 그 결과로서 역포화전류의 크기가 작게 추정되고 있는 것으로 예상된다. 또한 이러한 현상은 그림 5 및 그림 10에서도 관찰되고 있다. 그림 10에서는 그림 5에 비해 y축 절편으로 접근할수록 그래프 2의 직선성이 저하되고 있으며 아래로 내려가고 있다.

역포화 전류 계산시 태양전지의 전류원 구간에서는 개방시 측정값에 비해 상승하는 형태를 가지고 정확도가 거의 없다.

이 영역에서 추정된 역포화 전류는 노이즈 및 추정된 파라미터 오차의 영향을 많이 받게 된다. 그 원인은 병렬저항 추정시 역포화 전류값을 무시하여 병렬저항 값이 실제보다 작게 추정된 결과에 의한 것으로, 병렬저항의 추정오차에 민감한 특성을 가지고 있음이 관찰되었다.

실험을 통하여 측정된 I-V 특성곡선의 전구간에서 계산되어진 역포화 전류값은 비교적 안정된 특성을 보여주고 있다. 이러한 역포화 전류 계산값의 변화는 추정된 파라미터 정확도의 지표로 이용되어질 수 있다.

표 3 온도 변화에 따른 태양전지의 파라미터

Table 3 Solar cell parameter at temperature change

온도(°C)	43	32	22
$I_{ph}(A)$	2.95	2.75	2.83
$G_{sh}(\Omega)$	381	457	518
$R_s(\Omega)$	0.817	0.81	0.778
A	52.7	53.6	55.08
$I_{sat}(\mu A)$	5.35	2.252	1.53

표 3은 온도 변화 시 측정된 태양전지의 파라미터를 나타내고 있다. 온도증가에 의하여 병렬저항과 이상계수는 감소, 역포화 전류와 직렬저항은 증가하고 있음을 알 수 있다. 태양전지가 온도증가에 따라 직렬저항이 감소하는 특성을 가지고 있는 점과는 반대로 직렬저항이 증가하고 있다. 따라서 이러한 결과는 모듈에서 직렬저항 구성 성분 중 정(正)의 온도특성을 가지는 성분이 태양전지 셀에 비하여 많이 증가했을 것으로 예상되어진다.

표 3에서 광전류(I_{ph})는 자연상태 조건이며 실험시 측정시간에 따라 일사량에 차이를 가지고 있으나 추정의 정확도에는 많은 영향으로 주지 않았다. 하지만 일사량 변화가 전지 파라미터의 변화를 발생시킬 수 있으므로 실험시 3~2.5[A]의 범위 내에서 I-V 특성곡선을 측정하였다.

6. 결론

본 논문은 태양전지 전원이 설치된 상태에서 고가의 계측장비 없이 일반적인 센서와 DSP(TMS320C31)만으로 태양전지 모듈 파라미터를 추정할 수 있을 뿐만 아니라 추정된 태양전지 모듈 파라미터의 정확도 및 신뢰성을 향상시킬 수 있는 태양전지 모듈 파라미터 추정 알고리즘을 제안하였다.

본 연구에서 등가회로 모델로 직·병렬 저항 및 One-Diode 모델을 사용하고, 그 등가회로를 해석하였으며, Z.Ouenough가 제시한 알고리즘의 문제점을 해결하기 위해 병렬 저항 및 광전류 추정 시 직렬저항 성분을 보상하고, 이상계수 및 직렬저항 추정 시 병렬저항 전류 성분을 보상하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 타당성 및 우수성을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다.

나아가 태양전지 모듈 및 전원 구성 시 추정된 태양전지 모듈의 파라미터를 이용하여 동일한 특성의 전지 및 모듈로 분류하여 재구성하는 것만으로도 추가비용 없이 태양전지 모듈 및 전원의 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] Keith Emery, "The Rating of Photovoltaic Performance", IEEE Transactions On Eletron Devices. Vol. 46, No. 10, October, 1999

[2] I.C. Ndukwe, "Measurement of solar energy radiation at Okigwe using silicon solar cell", Energy Conversion & Management, V. 41, No. 2, 2000-01-01

[3] Gottschalg R, Rommel M, Infield DG, Kearney MJ, "The influence of the measurement environment on the accuracy of the extraction of the physical parameters of solar cells", Measurement Science & Technology, V. 10, No. 9, 1999-09-01

[4] Antonio Parretta, "Effects of solar irradiation conditions on the outdoor performance of photovoltaic modules", Optics Communications, July. 1998

[5] Z Ouenoughi, "A simpler method for extraction solar cell parameters using the conductance method", Solid-State Electronics, V. 43, 1999

[6] Raphae l Mukaro and Xavier Francis Carel, "A Micro-ontroller Based Data Acquisition System for Solar Radiation and Environmental Monitoring", IEEE Trans. on instrumentation and measurement, V. 48, NO. 6, December, 1999

[7] S. Silvestre, L.Sentis, and L.Castaner, "A Fast LowCost Solar Cell Spectral Response Measurement Syst-em with Accuracy Indicator", IEEE Transactions on instrumentation and measurement, V. 48, No. 6, December, 1999

[8] Jozef Szlufcik, S. Sivoththaman, Johan F. Nijs, and Roger Van Overstraeten, "Low-Cost Industrial Technologies of Crystalline Silicon Solar Cells", Proceedings of the IEEE, V. 85. No. 5, MAY 1997

[9] G. Friesen, M.E. Ozsar, E.D. Dunlop, "Impedance model for CdTe solar cells exhibiting constant phase element behaviour", Thin Solid Films, 2000

[10] A. Vishnoi, R. Gopal, R. Dwivedi, S.K. Srivastava, "Distributed parameter analysis of dark I-V characteristics of the solar cell: Estimation of equivalent lumped series resistance and diode quality factor", IEE Proceedings, V. 140, No. 3, June, 1993

[11] M. Nurgelman, P. Nollet, S. Degrave, "Modelling polycrystalline semiconductor solar cells", Thin Solid Films, 2000

[12] Merten J, Asensi JM, Voz C, Shah AV, Platz R, Andreu J, "Improved Equivalent Circuit and Analytical Model for Amorphous Silicon Solar Cells and Modules", IEEE Transactions on Electron Devices, V. 45 N. 2, 2, February, 1998

[13] Adolf Goetzberger, Joachim Knobloch, Bernhard Voss, "Crystalline Silicon Solar Cells", John Wiley & Sons Ltd, 1998

[14] N. Veissid, D. Bonnet and H. Richter, "Experimental

Investigation of the Duble Exponential Model of a Solar Cell under Illuminated Conditions : Considering the Instrumental Uncertainties in the Current, Voltage and Temperature Values", Solid-State Electronics, V. 38, No. 11, 1995-11-01

저 자 소 개



김 태 엽(金 兌 燁)

1971년 1월 28일생. 1995년 창원대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2001년~현재 (주) STX 기술연구소 연구원
Tel : 055-266-5929
E-Mail : drkimty@orgio.net



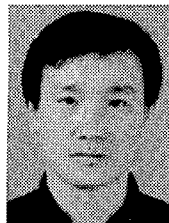
이 윤 규(李 允 揆)

1976년 8월 28일생. 2000년 창원대학교 전기공학과 졸업. 2000년~ 현재 창원대학교 전기공학과 석사과정
Tel : 055-546-5917
E-Mail : gomtangi@orgio.net



안 호 균(安 鎬 均)

1958년 1월 14일생. 1981년 고려대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1992~현재 창원대학교 전기공학과 부교수
Tel : 055-279-7516
E-Mail : ahog@sarim.changwon.ac.kr



박 승 규(朴 勝 圭)

1960년 4월 15일생. 1984년 고려대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1990~현재 창원대학교 전기공학과 교수
Tel : 055-279-7514
E-Mail : skpark@sarim.changwon.ac.kr