

Lambert W 함수를 이용한 태양전지 모델링

배종국^{a1}, 강기환^a, 김경수^a, 유권종^a, 안형근¹, 한득영¹

건국 대학교 대학원 전기공학과¹(mela1027@kier.re.kr),
한국에너지기술연구원^a(ghkang@kier.re.kr)

The solar cell modeling using Lambert W-function

Bae, Jong-Guk^{a1}, Kang, Gi-Hwan^a, Kim, Kyung-Soo^a, Yu, Gwon-Jong^a,
Ahn, Hyung-Geun¹, Han, Deuk-Young¹

Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University¹(mela1027@kier.re.kr)
Photovoltaic Research Group, Korea Institute of Energy Research^a(ghkang@kier.re.kr)

Abstract

This system can predict the maximum output about all illumination levels so that the PV system designer can design the system having the best efficiency. For the output prediction exact about the solar cell, that is the device the basis most in the PV system, the basis has to be in order to try this way.

The solution based on Lambert W-function are presented to express the transcendental current-voltage characteristic containing parasitic power consuming parameters like series and shunt resistances. A simple and efficient method for the extraction of a single current-voltage (I-V) curve under the constant illumination level is proposed. With the help of the Lambert W function, the explicit analytic expression for I is obtained. And the explicit analytic expression for V is obtained. This analytic expression is directly used to fit the experimental data and extract the device parameters.

The I-V curve of the solar cell was expressed through the modeling using Lambert W-function and the numerical formula where there is the difficulty could be logarithmically expressed. This method expresses with the I-V curve through the modeling using Lambert W-function which adds other loss ingredients to the equation 2 as to the research afterward. And the solar cell goes as small and this I-V curve can predict the power penalty in the system unit.

Keywords : 태양전지(Solar cell), 태양전지 모듈(Photovoltaic(PV) module), 초월함수(Transcendental function), 램버트 함수(Lambert W-function)

기 호 설 명

n	: 이상계수
V_{th}	: thermal voltage (V)
I_{PH}	: 광생성 전류 (A)
I_0	: 역포화 전류 (A)
R_S	: 직렬 저항 (Ω)
R_{SH}	: 병렬 저항 (Ω)

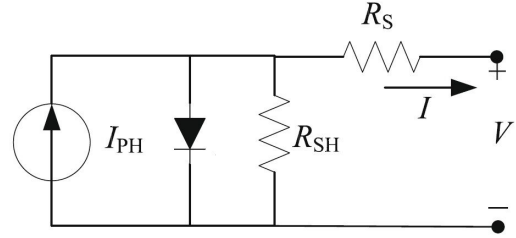


그림 2. 손실 저항 성분을 고려한 태양전지의 등가회로

1. 서 론

태양광 시스템 설계자는 최고의 효율을 가지는 시스템을 설계하기 위해서 그 시스템이 모든 일사 레벨에 대한 최대 출력을 예측할 수 있어야 한다. 그러기 위해서 태양광 시스템에서 가장 기본이 되는 소자인 태양전지에 대한 정확한 출력 예측이 기본이 되어야 한다.

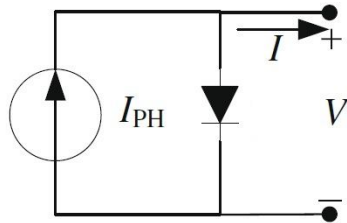


그림 1. 이상적인 태양전지의 등가회로

이상적인 태양전지는 그림 1과 같이 R_S 와 R_{SH} 가 없는 형태이다.

$$I = I_{PH} - I_0 \left(e^{\left(\frac{V}{nV_{th}} \right)} - 1 \right) \quad (1)$$

이상적인 모델인 수식 1은 실질적인 태양전지 출력의 손실 성분을 나타내는 R_S 와 R_{SH} 를 고려하지 않았기 때문에 이 모델링을 이용해서 모듈 단위 그리고 나아가 시스템 단위에서 출력 예측의 신뢰성은 크게 떨어진다. 그렇기 때문에 손실 성분을 고려한 모델을 사용해야 한다.

$$I = I_{PH} - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} - I_0 \left(e^{\left(\frac{V + IR_S}{nV_{th}} \right)} - 1 \right) \quad (2)$$

손실 저항 성분을 고려한 수식 2는 $I-V$ curve를 표현하는데 어려움이 있다. 수식 2를 살펴보면 독립 변수 V 와 종속변수 I 가 대수적인 의존관계가 아닌 초월함수의 형태를 가지기 때문이다.

본 논문에서는 실질적인 손실 저항 성분을 고려한 태양전지의 $I-V$ 관계가 초월함수의 형태를 가지므로 Lambert W-function을 이용해서 수학적으로 모델링 하였다.

2. 이 론

$$f(x) = xe^x \quad (3)$$

Lambert W-function $W(x)$ 는 수식 3의 역함수이다. Lambert W-function은 Omega Function이나 product log로도 불린다.[3]

수식 3을 미분하면

$$f(x) = xe^x + e^x = (x+1)e^x \quad (4)$$

미분 값이 0이 되는 지점은 $x = -1$ 이고 극소 값을 갖는다. 그리고 이 점은 $(-1, \frac{-1}{e})$ 이다.[3]

수식 3을 역함수를 취해서 Lambert W-function $W(x)$ 그래프를 살펴보면

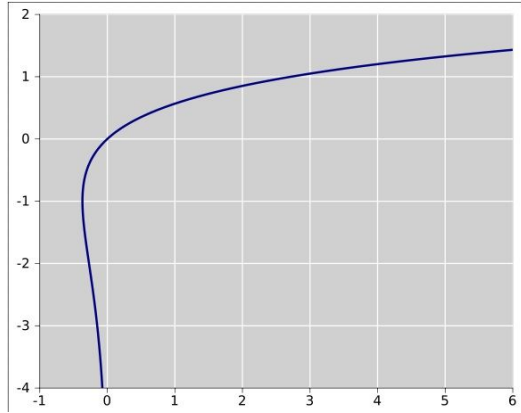


그림 2. Lambert W-function 의 그래프 [3]

여기서 정의역 내 한 값에 2개 이상의 함수 값이 대응되지 않아야 하므로 $W(x)$ 는 $(-\frac{1}{e}, -1)$ 위쪽에서 정의된다. 그리고 $W(x)$ 가 $-\frac{1}{e} < x < 0$ 에서 두 개 이상의 함수 값을 갖는 것을 허용한다면 풀고자 하는 방정식에 해가 2개 있는 경우를 모두 얻을 수 있다.[3]

3. 수학적 모델링

Lambert W-function $W(x)$ 을 이용해서 수식 2를 V 에 대한 I 의 함수로 나타내면

$$I = -\frac{V}{R_S + R_{SH}} - \frac{W\left(\frac{R_{SH}I_0 R_{SH} e^{\left(\frac{R_{SH}(R_S I_{PH} + R_S I_0 + V)}{n V_{th}(R_S + R_{SH})}\right)}}{n V_{th}(R_S + R_{SH})}\right) n V_{th}}{R_S} + \frac{R_{SH}(I_0 + I_{PH})}{R_S + R_{SH}} \quad (5)$$

Lambert W-function $W(x)$ 를 이용해서 수식 2를 I 에 대한 V 의 함수로 나타내면

$$V = -IR_S - IR_{SH} + I_{PH}R_{SH} - n V_{th} W\left(\frac{I_0 R_{SH} e^{\left(\frac{R_{SH}(-I + I_{PH} + I_0)}{n V_{th}}\right)}}{n V_{th}}\right) + I_0 R_{SH} \quad (6)$$

태양 전지의 단락 전류 I_{SC} 는 수식 5에서 $V=0$ 일 때 Lambert W-function $W(x)$ 을 이용해서 나타낼 수 있다.

$$I_{SC} = -\frac{W\left(\frac{R_S I_0 R_{SH} e^{\left(\frac{R_{SH}(R_S I_{PH} + R_S I_0)}{n V_{th}(R_S + R_{SH})}\right)}}{n V_{th}(R_S + R_{SH})}\right) n V_{th}}{R_S} + \frac{R_{SH}(I_0 + I_{PH})}{R_S + R_{SH}} \quad (7)$$

태양전지의 개방 전압 V_{OC} 는 수식 6에서 $I=0$ 일 때 Lambert W-function $W(x)$ 을 이용해서 나타낼 수 있다.

$$V_{OC} = I_{PH}R_{SH} - n V_{th} W\left(\frac{I_0 R_{SH} e^{\left(\frac{R_{SH}(I_{PH} + I_0)}{n V_{th}}\right)}}{n V_{th}}\right) + I_0 R_{SH} \quad (8)$$

태양 전지의 전력은 $P = VI$ 이므로 Lambert W-function $W(x)$ 을 이용해서 나타내게 되면

$$P(I) = I \left(-IR_S - IR_{SH} + I_{PH}R_{SH} - n V_{th} W\left(\frac{I_0 R_{SH} e^{\left(\frac{R_{SH}(-I + I_{PH} + I_0)}{n V_{th}}\right)}}{n V_{th}}\right) + I_0 R_{SH} \right) \quad (9)$$

이와 같이 Lambert W-function $W(x)$ 을 이용해서 태양전지의 V , I , V_{OC} , I_{SC} , P 을 모델링 할 수 있었다.

4. 결 론

Lambert W-function $W(x)$ 을 이용한 모델링을 통해서 $I-V$ curve를 표현하는데 어려움이 있는 수식 2를 대수적으로 표현할 수 있었다.

이 방법은 향후 연구에 있어서 수식 2에 다른 손실 성분들을 추가하고 Lambert W-function $W(x)$ 을 이용한 모델링을 통해서 $I-V$ curve로 표현하는데 이점을 가지고 있다. 그리고 이 $I-V$ curve는 작게는 태양 전지 나아가 시스템단위에서의 출력 손실을 예측할 수 있다.

이 모델링을 바탕으로 PV모듈의 손실 성분을 예측해서 고효율 PV모듈 개발에 매진할 것이다.

후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

(No. 20113010010010-11-1-000)

참 고 문 헌

1. 홍종경, 정태희, 강기환, 안형근, 한득영, Matlab을 이용한 PV모듈의 I-V시뮬레이션 관한 연구, 한국태양에너지학회, 논문집 Vol 29, 2009.
2. R.M. Corless, G.H. Gonnet, D.E.G. Hare, D.J. Jeffrey, D.E. Kunth, On the Lambert W-function, Adv. Comput. Math. 5, 1996, pp.329 - 359.
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Lambert_W_function
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Diode_modeling
5. A. Jain, A. Kapoor, Exact analytical solutions of the parameters of real solar cells using Lambert W-function, Solar

Energy Mater. Solar Cells 81, 2004, pp.269 - 277.