

MATLAB을 이용한 태양광 모듈의 출력 예측 및 해석

허윤석¹, 김재규¹, 김지만², 권보민², 송한정^{1*}
¹인제대학교 나노공학부, ²인제대학교 나노시스템공학과

Prediction and Analysis of Photovoltaic Modules's Output using MATLAB

Yun-Seok Heo¹, Jae-Gyu Kim¹, Ji-Man Kim², Bo-Min Kwon² and Han-Jung Song^{1*}

¹Department of Nano Eng., Inje University

²Department of Nano Systems Eng., Center for Nano Manufacturing

요 약 본 논문에서는 일사량과 온도의 조건에 따른 MSX 60 태양광 모듈의 출력을 예측하였다. MATLAB 모의실험을 통하여 온도, 직렬저항 및 일사량 변화를 고려한 2차원, 3차원 I-V 곡선을 구하였으며, 단락전류(Isc) 3.8 A, 개방전압(Voc) 21 V, 최대전력(Pmax) 60W 등의 전기적 파라미터 등을 얻을 수 있었다. 한편, 예측한 결과와 실제 태양광 모듈을 비교하였을 때 모듈의 사양서와 예측 결과 값의 오차율 3 % 이내에 일치함을 보였다.

Abstract In this paper, we have predicted and analyzed the MSX 60 photovoltaic module's output according to the temperature and solar radiation conditions by MATLAB program. 2 and 3-dimensional I-V curves of the PV module considered temperature, series resistance and solar radiation variation. are shown. Also, calculated PV's electrical parameters are $I_{sc} = 3.8$ A, $V_{oc} = 21$ V, $P_{max} = 60$ W. Compared with the actual photovoltaic module's data, these simulated results agreed well with within the manufacturer's maximum error range 3%.

Key Words : Photocurrent, Photovoltaic module, Matlab

1. 서론

최근 들어 화석연료의 고갈과 환경오염의 심각성 및 기존 전력설비의 노후 및 용량증대에 따른 문제점이 대두되면서 신재생 에너지원의 개발 및 기존 전력설비와의 연계에 대한 필요성이 절실히 요구되고 있다.[1] 이러한 신재생 에너지원 중에 서도 태양광 발전은 가장 실용화에 가깝고 운전이 쉬우며, 유지 및 보수가 간단하고 발전규모 선택이 자유롭다는 여러 가지 장점을 가지고 있어 대체 에너지원으로 각광받고 있다.[2] 특히 21세기 들어 글로벌 인터넷과 무선 정보 통신 기기 산업의 발전에 따라 IT 정보사업화 사회로 가속화 되고 있다. 따라서 무선 통신 수단의 에너지원으로서 공간적 지배를 받지 않고 자가 발전이 가능한 태양전지의 필요성은 더욱 증대

될 전망이다.[3]

태양전지는 태양빛을 전기로 직접 변환시키는 전기발생 기술 장치로서, 간단하게는 시계, 계산기 등의 전원으로 이용되며 크게는 이동통신 기지국, 인공위성 등의 전기에너지원으로 사용된다. 그러나 태양광 발전 시스템을 연구하기 위해서는 태양광 발전 시스템을 설치할 넓은 장소와 재료비용이 많이 든다는 단점이 있다.[4] 게다가 태양전지는 기후조건(특히, 온도와 일사량)에 따라 그 출력특성이 변하기 때문에 일정조건에서 실험을 반복하거나 연구자가 원하는 특정조건에서의 실험을 하기가 어렵다. 그렇기 때문에 태양광발전 시스템을 연구하는데 있어서 태양전지의 특성을 가상구현 할 수 있는 장치는 필수적이라고 할 수 있다. 이에 본 논문은 임의의 일사량 및 온도 등의 조건에 따라 태양광 모듈의 출력특성을

본 논문은 IDEC(IC Design Education Center)의 지원으로 이루어졌음.

*교신저자 : 송한정(hjsong@inje.ac.kr)

접수일 10년 06월 03일

수정일 10년 08월 05일

게재확정일 10년 08월 10일

MATLAB 시뮬레이션하여 제작사의 태양광 모듈의 파라미터와 비교 검토하고, 태양광 모듈 어레이를 시뮬레이션하여 일사량과 온도에 대한 최적인 출력전력도 시뮬레이션을 통하여 알아보고자 한다. 2장에서 태양광 모듈의 동작원리와 해석적 모델 및 관련 수식을 유도하고, 3장에서 60W급 MSX 60 모델의 태양광 모듈에 대한 MATLAB 모의실험을 실시하고 4장에서 결론을 내린다.

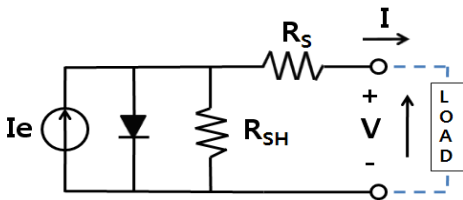
2. 태양광 모듈의 해석적 모델

태양광 모듈은 광기전력 효과(Photovoltaic effect)를 이용하여 태양의 광(빛)에너지를 전기에너지로 변환해주는 기능을 가진 최소 단위 이다.

다결정 실리콘 태양광 모듈은 10~15(4~8") cm 의 실리콘 판위에 P-N 접합을 형성한 반도체의 일종으로 태양광 모듈은 태양전지의 성능에 크게 의존하는 특성을 보인다. 이러한 태양전지는 기본적으로 P-N접합 반도체의 특성을 나타내고 있는데 여기서 태양에너지가 입사되면 광기전력 효과에 의해 광전류 I_L 이 발생하게 된다. 일반적인 태양전지 전류-전압 관계식은 다이오드의 등가회로에 의해 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = I_L - I_S \left[\exp\left(\frac{q(V + R_S I)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

태양전지가 이상적인 경우 식 (1)과 같이 나타나지만, 실제로는 태양전지 내부의 병렬저항 R_{SH} 와 직렬저항 R_S 가 존재한다. 병렬저항은 태양전지 내부의 누설 저항을 나타내고, 직렬저항은 외적인 저항요소이다. 그림 1은 태양전지의 등가회로를 보여주고 있다. [5]



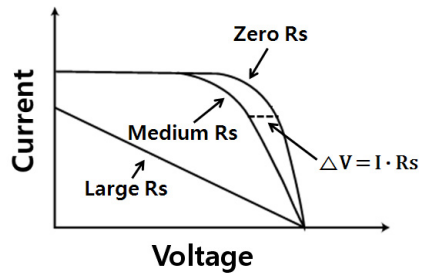
[그림 1] 태양전지 등가회로

태양전지 등가회로에서 직렬성분과 병렬성분의 저항을 근사화 시켰으며, 이때의 전류 식은 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$I = I_L - I_S \left[\exp\left(\frac{q(V + R_S I)}{nkT}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_S I}{R_{SH}} \quad (2)$$

직렬저항의 경우 기존의 방법은 입사되는 광도의 세기에 변화를 주어 전류-전압 관계에 의해 표현한다.[6]

이상적인 등가회로는 직렬저항이 0 옴이고 병렬저항은 성분이 무한대 이어야 한다. 태양전지의 직렬저항 성분이 증가하게 되면 부하 저항 값이 커질수록 그 영향이 크게 나타나며 개방 전압 부근의 기울기가 변화하게 된다. 이러한 현상이 그림 2에 나타나 있다.



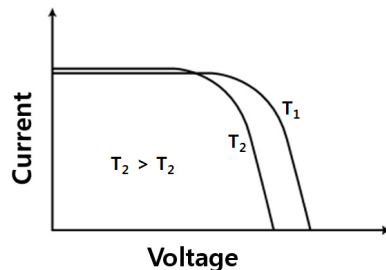
[그림 2] 직렬 저항 성분의 증가에 따른 I-V특성 곡선의 변화

비슷한 개념으로 병렬저항 성분이 감소하게 되면 작은 부하 영역에서 큰 영향을 나타내는데 단락 전류 근방에서 기울기가 변화하게 된다.

또한 태양전지의 온도가 증가하게 되면 출력 특성이 변화하게 되는데, 온도가 증가 할수록 식 (3)처럼 나타낼 수 있다. 개방전압은 감소하고, 단락전류는 온도 증가에 따른 캐리어 수의 증가로 미세하게 증가하게 된다.

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_S} + 1\right) \cong \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_S}\right) \quad (3)$$

이러한 원인에 의하여 온도가 증가하게 되면 태양전지의 최고 출력이 감소하게 된다. 그림 3에서는 온도변화에 따른 태양전지의 출력 특성 변화를 나타내고 있다.[7]



[그림 3] 온도 변화에 따른 I-V 특성 곡선의 변화

태양전지에 입사되는 일사량이 변화하게 되면 태양전지의 출력 또한 변화하게 되는데, 일사량이 감소하게 되면 출력 전압(전류)의 크기가 일사량에 비례하여 선형적으로 감소한다. 온도의 특성으로는 온도가 증가할수록 Voc(개방전압)가 감소할 것이라 예상 할 수 있고 일사량의 크기가 더 클수록 모듈에 흐르는 전류의 크기가 더 클 것이라고 예측 할 수 있다.[8]

3. MSX 60 태양광 모듈의 MATLAB 모의실험 해석

MATLAB 시뮬레이션은 60 W급 다결정 태양광 모듈 MSX 60의 파라미터 값을 사용하였고 시뮬레이션을 통해 각각의 변동 요소들에 의한 출력 변화를 살펴보았다.

[표 1] 다결정 태양광 모듈 MSX 60의 출력 파라미터

Irr [W/m ²]	T[°C]	Isc[A]	Voc[V]
1000	25	3.8	21.1
Imp[A]	Vmp[V]	P _{MAX} [W]	N _s
3.5	17.1	60	36

표 1에서는 좀 더 자세한 MSX 60 모듈의 출력 특성 값을 보여주고 있다. 그림 4에서는 MSX 60 그림과 MSX 시리즈 모듈 파라미터 값을 나타 내었다.



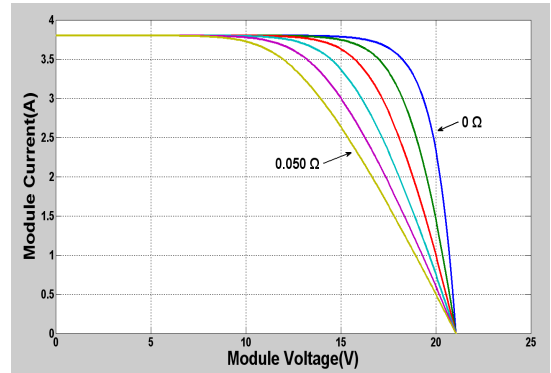
Module	Peak Power	Voltage @Peak Power	Current @Peak Power	Length (inches)	Width (inches)
MSX-40	40W	17.1V	2.34A	30.13"	19.75"
MSX-60	60W	17.1V	3.5A	43.63"	19.75"
MSX-64	64W	17.5V	3.66A	44.63"	19.75"
MSX-77	77W	16.9V	4.56A	43.63"	26.0"
MSX-83	83W	17.1V	4.85A	43.63"	26.0"

[그림 4] 다결정 태양전지 모듈 MSX 시리즈 모듈 파라미터

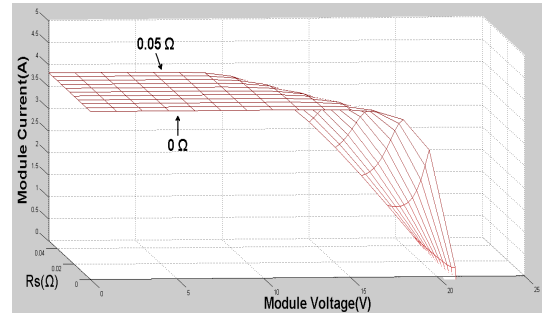
MATLAB을 이용하여 다음과 같은 시뮬레이션 결과를 볼 수 있다.

태양전지의 직렬저항 성분이 증가 시키게 되면 직렬저항 값이 증가함에 따라 Voc근처에서의 I-V 기울기가 감소하게 된다. 그림 5에서는 직렬저항의 증가에 따른 태양

전지 모듈의 I-V특성 그래프를 보여주고 있다.



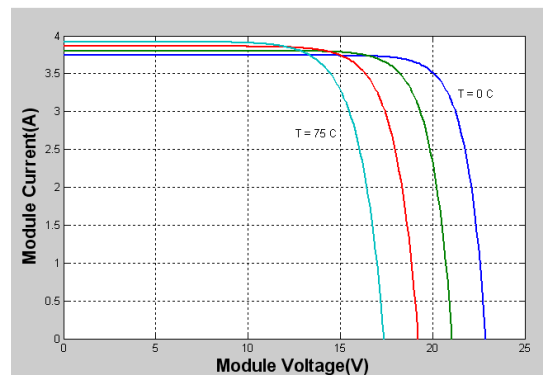
[그림 5] 직렬저항 변화에 따른 I-V특성 곡선의 모의실험 결과



[그림 6] 직렬 저항 변화에 따른 3차원 I-V특성 곡선의 모의실험 결과

그림 6은 그림 5의 2차원 MATLAB 결과를 3차원 함수를 사용하여 나타낸 그래프이다.

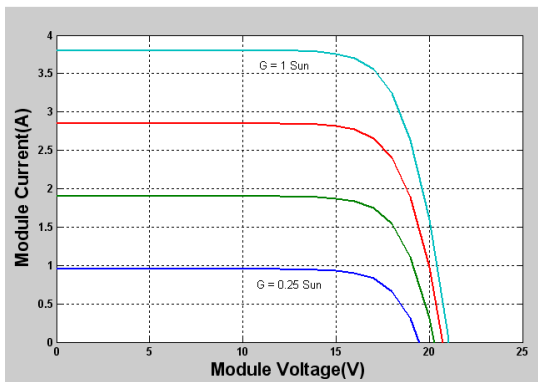
그림 5와 마찬가지로 직렬저항의 크기가 커질수록 Voc근처에서의 I-V 기울기가 감소함을 확인 할 수 있다.



[그림 7] 온도의 변화에 따른 I-V특성 곡선의 모의실험 결과

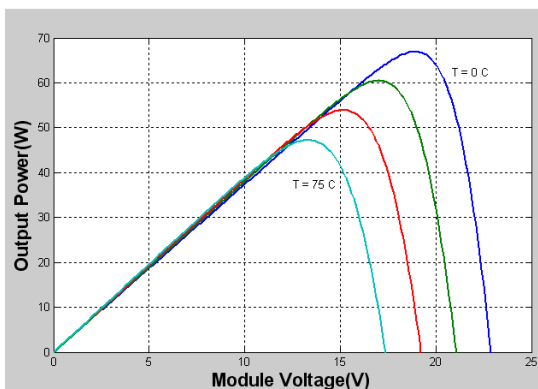
그림 7은 일사량이 1 Sun ($1000\text{W}/\text{m}^2$)일 때 온도를 0°C , 25°C , 50°C , 75°C 로 변화 시키면서 계산한 모듈의 출력 특성 곡선이다.

온도가 증가함에 따라서 I_{sc} 는 미세하게 증가하고, V_{oc} 는 좀 더 큰 폭으로 감소함을 확인 할 수 있다. 그림 8은 일사량을 $250\text{W}/\text{m}^2$ 에서 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 까지 변화 시켜 가며 모듈의 출력 특성을 시뮬레이션 한 결과이다. 일사량의 크기가 줄어들수록 모듈의 전류 값의 크기가 줄어드는 것을 시뮬레이션을 통해 확인 할 수 있었고 예측했던 바와 같은 결과를 보이고 있다.

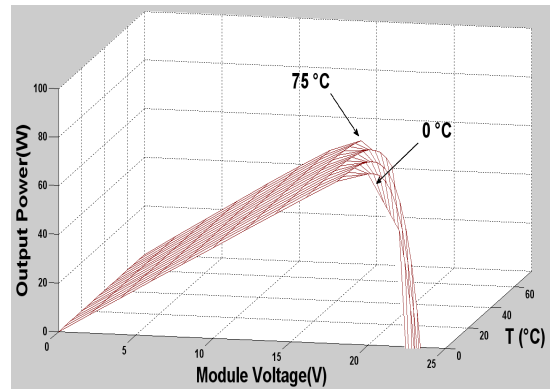


[그림 8] 일사량 변화에 따른 I-V 특성 곡선의 모의실험 결과

온도가 증가하게 되면 I_{sc} 는 미세하게 증가하고, V_{oc} 는 좀 더 큰 폭으로 감소하므로 최대전력의 크기는 온도가 낮을 때 더 높은 출력 전압을 가진다. 온도 T 가 25°C 일 때 약 60W 의 최대전력을 가지는 것을 그림 9에서 확인할 수 있었다.



[그림 9] 태양전지 모듈의 최대 전력점의 온도변화에 따른 특성 곡선 모의실험 결과



[그림 10] 태양전지 모듈의 최대 전력점의 온도 변화에 따른 3차원 특성 곡선 모의실험 결과

그림 10은 그림 9의 최대 전력점을 3차원 시뮬레이션을 통해 구현한 그래프이다. 2차원 그래프의 결과와 마찬가지로 온도가 높아질수록 모듈의 출력 전압과 최대전력의 크기가 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 Sun-simulator의 측정 없이 일사량과 온도의 변화에 대한 태양광 모듈의 특성을 MATLAB 시뮬레이션을 이용하여 출력 예측 및 해석하였다.

MATLAB을 이용한 시뮬레이션의 정확도를 알아보기 위해 실제 60W 급 다결정 태양광 모듈 MSX 60을 Sun-simulator로 측정하였으며, 이 결과 데이터를 MATLAB 시뮬레이션 결과와 비교 분석하여 3% 미만의 오차를 갖는 출력 결과를 얻을 수 있었다.

또한 2차원뿐만 아니라 3차원 시뮬레이션을 통해 좀 더 시각적으로 이해하기 쉽고, 더 많은 변수의 설정을 통해서 다양한 결과를 얻을 수 있었다. 결론적으로 본 논문의 MATLAB 시뮬레이션을 통하여 태양광 모듈의 출력 특성을 예측하고 분석할 수 있으며, 유용하게 사용될 것이라고 생각한다.

참고문헌

- [1] IEA-PVPS, "TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS," 2008. 8
- [2] Future Generation Photovoltaic Technologies, ed. by R.D. McConnell, American Institute of Physics Conf. Proc. 404, Woodbury, NY, (1997)

- [3] Photovoltaics for the 21st Century II, Electrochemical Society Proc. Vol. 2001-10, Pennington, NJ (2001).
- [4] <http://www.energy.or.kr>, 에너지관리공단 신재생에너지 센터
- [5] 이준신, 김경해 “Solar cell Engineering 태양전지공학” 도서출판 그린, 2007
- [6] S.R. Wenham, M. A Green, M. E. Watt and R. Corkish, "applied PHOTOVOLTAICS", EARTHSCAN, 2007.
- [7] D. MacDonald and A. Cuevas, Progress in Photovoltaics, June 2000.
- [8] EPIA, “Solar Generation V-2008”, 2008. 9

허윤석(Yun-Seok Heo)

[준회원]



- 2005년 3월 ~ 현재 : 인제대학교 나노공학부 (학부과정)

<관심분야>
반도체, 회로설계, 소자

김재규(Jae-Gyu Kim)

[준회원]

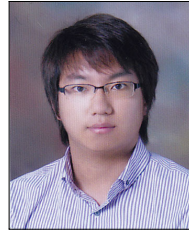


- 2004년 3월 ~ 현재 : 인제대학교 나노공학부 (학부과정)

<관심분야>
반도체, 회로설계, 소자

김지만(Ji-Man Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 인제대학교 나노공학부 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 인제대학교 나노시스템공학과 재학 중

<관심분야>
반도체, 회로설계, 소자

권보민(Bo-Min Kwon)

[정회원]



- 2009년 2월 : 인제대학교 나노공학부 (공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 인제대학교 나노시스템공학과 재학 중

<관심분야>
반도체, 회로설계

송한정(Han-Jung Song)

[정회원]



- 1986년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
- 1988년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 인제대학교 나노공학부 부교수

<관심분야>
반도체 소자 신뢰성 및 회로설계