PV 모듈에서 자연광 스펙트럼의 특성에 따른 전기적 특성 분석

홍종경*, 박지홍*, 강기환**, 화이티루*, 류세환*, 안형근*, 한득영*
건국대학교 전기공학과*, 한국에너지기술연구원**

Analysis of Electrical Characteristics of natural light spectrum in PV module

Jong-kyoung Hong*, Chi-Hong Park*, Gi-Hwan Kang**, Waithiru L*, Sehwan Ryu*, Hyungkeun Ahn* and Deuk-Young Han*
Konkuk Univ*, Korea Institute of Energy Research**

Abstract : Recently, characteristic research by the changes in the spectrum, one of the factors that influence analysis of maximum output power of PV module, has been studied. In this paper, a one-day intensity of solar irradiation, change of spectrums with time and electrical output for spectrums are analyzed. As a result, blue-rich wavelength compared with red-rich wavelength has large variation of solar irradiance with time. It is recognized that change of solar irradiance is predominately on variation of blue-rich wavelength. Also in same intensity of solar irradiance, electrical output in blue-rich wavelength was 4-8[%] higher compared to in red-rich wavelength.

Key Words : Spectrum, Irradiance, Wavelength, PV module

1. 서 론

최근 PV 모듈의 출력 특성을 영향을 미치는 요소들 중 하나인 스펙트럼 변화에 따른 특성 연구가 진행되어 오고 있다. 실제 자연광에서는 스펙트럼의 변화와 일사강도의 변화가 같이 동반된다. 이러한 부분을 고려해서 본 논문에서의 자연광 상태에서 스펙트럼의 변화에 따른 PV 모듈의 전기적 출력 특성 및 동일한 일사강도가 주어졌을 조건에서의 가시광선 영역에서 짧은 파장과 긴 파장이 PV 모듈의 출력특성에 미치는 영향을 실험을 통해 나타내었다.

2. 실 험 및 장 치

본 실험에서는 시간과 일사강도변화에 의한 스펙트럼 분석 및 동일한 일사강도에서 가시광선 내 짧은 파장과 긴 파장의 전기적 출력 특성을 알아보기 위해 맑은 날 오전 6시부터 오후7시까지 15분 단위로 측정을 하였으며, 긴 파장이 많은 일출과 일몰시간의 경우 1분단위로 측정을 실시하여 흐린 날 오전 9시부터 오후 4시 사이 스펙트럼 및 전기적 출력 특성과 비교분석하였다. 사용된 모듈과 장비는 170[W] 급 단결정 태양전지 모듈과 EKO사의 스펙트럼 분석기(MS-720) 및 Solar pyranometer (MS-420)의 방향을 일치시킨 후 tracking을 통하여 실험을 하였으며, 전기적 출력 특성은 EKO사의 MP-160을 통해 알아보았다.

표 1. 170[W] 단결정 PV 모듈 parameter.

$Irrad.$[W/m^2]	T[℃]	I_{sc}[A]	V_{oc}[V]	P_{max}[W]
1000	25	5.12	44.5	170

3. 결과 및 고찰

그림 1에서는 전체 스펙트럼 중 태양전지가 발전하는데 이용하는 스펙트럼 영역을 나타내었다.[1]

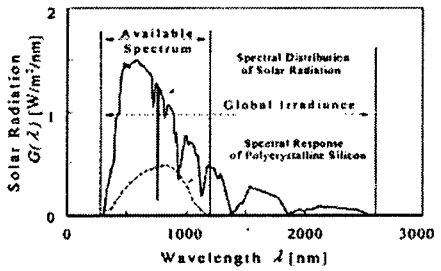


그림 1. 태양전지가 발전하는 영역의 스펙트럼

c-Si의 에너지레벨에 대한 파장의 관계식은 식 (1)에 주어지며 식 (2)는 단위 면적당 W의 총 일사강도 에너지를 나타낸다.[2]

$$\lambda_g = \frac{hc}{E_g}(nm) \tag{1}$$

$$E_{irr} = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_\lambda(\lambda)d\lambda \tag{2}$$

식 (1)에 의해 eV이 1.12eV인 c-Si 태양전지는 1200nm 보다 짧은 파장 안에서 발전하므로, 실제 실험은 그림 2와 같이 350-1150nm 사이에서 일사강도 및 시간이 경과함에 따라 변화하는 스펙트럼을 측정하였으며, 결과를 보여주고 있다.

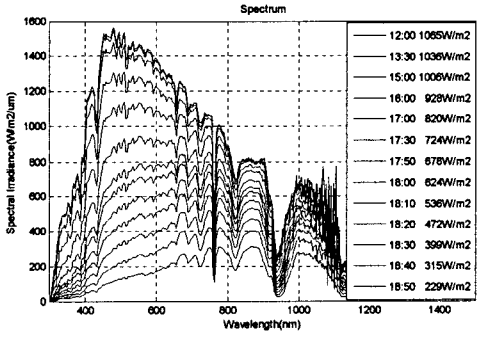
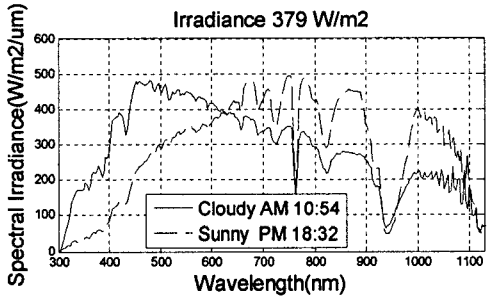


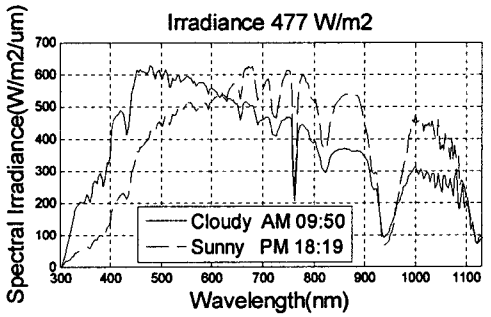
그림 2. 시간별 일사량과 스펙트럼의 변화

실험결과 일사강도의 감소로 인해 스펙트럼의 강도역시 낮아지고, 시간이 경과함에 단파장 영역이 장파장 영역에 비해 눈에 띄게 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

동일한 일사강도에서 각각 가시광선 內에 짧은 파장 범위가 높게 나타날 때와 긴 파장의 범위가 높을 경우의 스펙트럼 및 PV 모듈의 I-V 출력 특성 결과를 그림 3, 4와 표 2에 나타내었다.

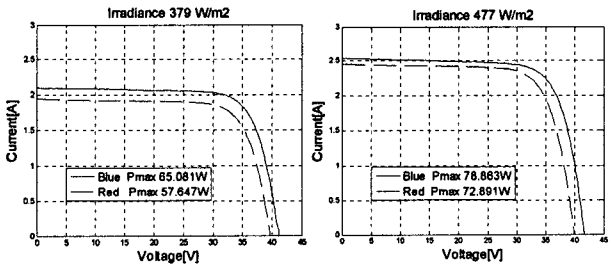


(a) 일사강도 379 W/m^2



(b) 일사강도 477 W/m^2

그림 3. 동일한 일사강도에서 가시광선 영역안의 짧은 파장과 긴 파장의 스펙트럼 비교



(a) 379 W/m^2 의 I-V출력 (b) 477 W/m^2 의 I-V출력

그림 4. 그림 3의 PV 모듈 I-V 특성 그래프

표 2. 동일한 일사강도에서 스펙트럼에 따른 전기적 출력

Irrad. [W/m^2]	*conditions*	*T*[℃]	I_{sc}[A]	V_{oc}[V]	P_{max}[W]
379	Sunny	37.3	1.95	39.70	57.64
	Cloudy	28.7	2.10	41.07	65.08
477	Sunny	38.9	2.46	39.90	72.89
	Cloudy	27.2	2.54	41.62	78.86

가시광선 內 짧은 파장의 범위가 클 경우 높은 출력을 얻었지만 이는 온도에 의한 변수를 고려하지 않았다. 온도가 1℃ 증가하게 되면 식(3)에 의해 전류가 미소하게 증가하나 식(4)에서 보듯이 전압이 크게 떨어져 전체적인 출력이 크게 감소한다. 결과적으로 Pmax를 살펴보면 식(5)와 같다.[3]

$$\frac{1}{I_{sc}}\frac{dI_{sc}}{dT} \approx +0.0006\,^{\circ}C^{-1} \tag{3}$$

$$\frac{1}{V_{oc}}\frac{dV_{oc}}{dT} \approx -0.003\,^{\circ}C^{-1} \tag{4}$$

$$\frac{1}{P_{\max}}\frac{dP_{\max}}{dT} \approx -0.005\,^{\circ}C^{-1} \tag{5}$$

표 3. 온도 보정 후 스펙트럼에 따른 전기적 출력

Irrad. [W/m^2]	*conditions*	*T*[℃]	P_{max}[W]	*Dff*[W]	*Dff*[%]
379	Sunny	28.7	60.44	4.64W	7.13
	Cloudy	28.7	65.08		
477	Sunny	27.2	75.69	3.71W	4.70
	Cloudy	27.2	78.86		

실험결과 동일한 일사강도에서 파장이 짧은 영역에서의 전기적 출력이 평균 4.15[W]높은 것을 알 수 있다. 이것은 동일 일사강도에서 짧은 파장이 4~8[%]정도 더 높음을 알 수 있다. 이론적으로 접근한 것과 실제 측정 데이터가 비슷한 결과를 나타내었으나, Cell 내부의 저항 및 모듈의 저항 요소 등을 배재한 실험이었기에 이러한 요소들을 포함시킨다면 보다 정확한 근거를 제시할 수 있을 거라 확신한다.

4. 결 론

본 논문은 일일 태양광의 일사강도와 시간에 따라 변화하는 스펙트럼과 그에 따른 출력을 비교분석하기 위한 실험으로 단파장이 장파장에 비해서 시간에 따른 변화가 큰 것을 알 수 있었으며, 따라서 일사량의 변화는 파장이 짧은 영역의 변화에 의해서 좌우됨을 인식 할 수 있었다. 또한 동일한 일사강도에서 가시광선 內에 짧은 파장이 긴 파장보다 높은 경우 출력이 높은 것을 확인하였다.

이러한 결과를 스펙트럼의 변화에 따른 PV 모듈의 출력 특성에 대한 이론적 근거를 제시하고자 한다.

참고 문헌

[1] Y. Hirata, T. Inasaka and T. Tani, "Output variation of photovoltaic modules with environmental factors-II : Seasonal variation", Solar Energy, Vol. 63, No. 3, p. 185 - 189, 1998

[2] T. Minemoto, S. Nagae, H. Takakura, "Impact of spectral irradiance distribution and temperature on the outdoor performance of amorphous Si photovoltaic modules", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 91, p. 919 - .923, 2007

[3] S. R. Wenham, M. A.Green, M. E. Watt and R. Corkish "Applied Photovoltaics", EARTHSCAN, p.49-51,