

Cell-Type에 따른 PV모듈의 일사강도와 온도 특성 비교

배종국*, 김경수*, 강기환**, 유권중**, 안형근*, 한득영*
 건국대학교*, 한국에너지기술연구원**

The analysis of temperature and light intensity characteristics of PV modules with solar cell type

Jong-Guk Bae*, Kyung-Soo Kim*, Gi-Hwan Kang**, Gwon-Jong Yu**, Hyung-gun Ahn*, Deuk-Young Han*
 KonKuk University*, Korea Institute of Energy Research**

Abstract - This paper presents analysis of temperature and light intensity characteristics of PV modules with solar cell type. Taking the effect of sunlight irradiance on the cell temperature, the first experiment takes ambient temperature as reference input and uses the solar insolation as a unique varying parameter. Then taking the effect of the cell temperature on sunlight irradiance, the second experiment takes 1000W/m² as reference input and uses the cell temperature as a unique varying parameter. As a result, varying sunlight irradiance, the Cell-Type with the smallest change in output is HIT and the Cell-Type with the biggest change in output is a-Si. Varying the cell temperature, the Cell-Type with the smallest change in output is Single-Si. And considering both temperature and light intensity characteristics, the Cell-Type with the smallest change in output is HIT.

1. 서 론

사막은 일사량이 풍부하고 일조시간이 길기 때문에 태양광발전의 최적의 장소로 주목받고 있다. 또한 인구 및 대지 이용률도 낮기 때문에 태양광 발전소를 건설하기에도 매우 적합하다. 그리고 그 규모는 다른 지역에 비해서 대용량화 되어 가고 있다. 하지만 태양광발전의 최적의 장소라는 이점과 함께 혹독한 환경이라는 불안 요소가 존재한다.[1]

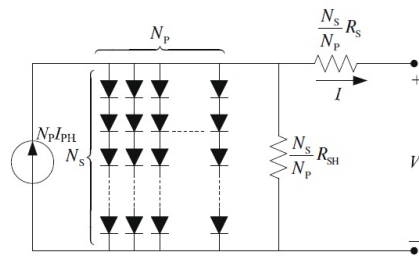
이런 환경일수록 태양광 발전의 핵심인 태양전지와 태양광모듈에 미치는 영향은 크므로 혹독한 지역적 특성에 따라서 에너지 발전량에도 큰 영향을 미친다. 결과적으로 태양광발전소 건설을 계획하는 과정에서 건설 지역의 환경적인 요인을 고려함은 필수불가결하다.

앞으로 사막 지형에서의 환경적인 요인을 고려하여 태양광발전량 예측에 관한 연구를 진행 할 예정이다. 하지만 이에 앞서 많은 종류의 Cell-Type들이 개발되어있고 각각의 Cell-Type마다 물성과 구조, 공정이 다르기 때문에 일사강도와 온도에 따라서 어떠한 특성을 보이는지 분석할 필요가 있다.

본 논문에서는 이런 환경적인 요인 중 일사강도와 온도에 의한 6가지 Cell-Type별 태양광모듈의 특성을 측정하기 위해서 시료로는 후면전극 태양전지와 HIT, a-Si, CIGS, 다결정 태양전지, 단결정 태양전지를 사용한 각각의 태양광모듈을 쏘라시플레이트를 이용하여 STC조건에서 일사강도에 따른 I-V 특성과 온도조건에 따른 I-V 특성을 비교분석하였다.

2. 본 론

2.1 이론적 배경



N_s : 모듈의 cell-string에서 직렬로 구성된 cell 개수

N_p : 모듈에서 병렬로 구성된 cell-string 개수

〈그림 1〉 PV모듈의 등가 회로

우선 태양광모듈의 등가회로는 위 <그림1>과 같다. 그리고 일사강도, 대기온도, 풍속이 고려된 수식은 다음과 같다.[2]

$$I_{sc} = I_{sc0} \cdot f_1(AM_a) \cdot \left\{ (E_b \cdot f_2(AOI) + f_d \cdot E_{diff}) / E_0 \right\} \cdot \left\{ 1 + \alpha_{I_{sc}} \cdot (T_c - T_0) \right\} \quad (1)^{\textcircled{1}}$$

$$I_{mp} = I_{mp0} \cdot \left\{ C_0 \cdot E_c + C_1 \cdot E_c^2 \right\} \cdot \left\{ 1 + \alpha_{I_{mp}} \cdot (T_c - T_0) \right\} \quad (2)^{\textcircled{2}}$$

$$V_{mp} = V_{mp0} + C_2 \cdot N_s \cdot \delta(T_c) \cdot \ln(E_c) + C_3 \cdot N_s \cdot \left\{ \delta(T_c) \cdot \ln(E_c) \right\}^2 + \beta_{V_{mp}}(E_c) \cdot (T_c - T_0) \quad (3)^{\textcircled{3}}$$

$$E_c = \frac{I_{sc}}{I_{sc0} \cdot \left\{ 1 + \alpha_{I_{sc}} \cdot (T_c - T_0) \right\}} \quad (4)$$

식(1)을 살펴보면 모듈 내 태양전지 온도 T_c 와 일사량에 대한 파라미터 E_{diff} 와 E_{dni} 가 I_{sc} 값에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 여기서 $f_1(AM_a)$ 는 태양광스펙트럼에 의한 손실을 나타내고 $f_2(AOI)$ 은 광학적 손실에 대해서 나타낸다. 이러한 항들은 I_{mp} 에서도 변수로 작용하여 영향을 미친다.[2]

V_{mp} 를 나타내는 식(3)에서 T_c 와 E_c 에 영향을 받아 최종적으로 출력에 변화를 야기함을 알 수 있다. 그리고 태양전지 온도에 영향을 미치는 환경적인 요인들을 살펴보면 다음과 같다.[2]

$$T_m = E \cdot \exp(a + b \cdot WS) + T_a \quad (5)^{\textcircled{4}}$$

$$T_c = T_m + \frac{E}{E_0} \cdot \Delta T \quad (6)$$

식(5)에서 풍속과 태양광모듈 표면에 입사되는 일사강도에 의한 T_c 와의 관계를 나타낸다. 단, 풍향은 고려되지 않았다. 그리고 이 관계는 태양광모듈 구조에 따라서 풍속의 T_c 에 대한 영향력이 달라지는데 그것을 나타내는 계수 a, b 는 실증적인 수치이다. 그 계수에 대한 자료를 <표 1>에 나타냈다.[2]

〈표 1〉 Module type별 계수 a, b

Module type	Mount	a	b	ΔT °C
Glass/cell/glass	Open rack	-3.47	-0.594	3
Glass/cell/glass	Close roof mount	-2.98	-0.471	1
Glass/cell/polymer sheet	Open rack	-3.56	-0.750	3
Glass/cell/polymer sheet	Insulated back	-2.81	-0.455	0
Polymer/thin-film/steel	Open rack	-3.58	-0.113	3
22X linear Concentrator	Tracker	-3.23	-0.130	13

2.3 실험장치

본 실험에서 사용된 쏘라시플레이트는 국내 태양전지 모듈의 인증시험을 위해 구축된 A등급 쏘라시플레이트로서 대면적 태양전지모듈의 발전성능시험이 가능한 장치이다.

STC조건에서 일사강도에 따른 I-V 특성을 비교분석 하기 위해서 WACOM 쏘라시플레이트로 I-V 특성시험을 수행하였다.

① E_0 : 1000 W/m², E_{diff} : 일사량의 산란 성분, E_{dni} : 일사량의 Beam 성분, $E_b = E_{dni} \cos(AOI)$, $\alpha_{I_{sc}}$: I_{sc} 온도계수, T_0 : 25°C,

f_d : Fraction of diffuse radiation used by the cell typically 1.

② $\alpha_{I_{mp}}$: I_{mp} 의 온도 계수

③ $\beta_{V_{mp}}$: V_{mp} 의 온도 계수, $\delta(T_c)$: 'Thermal voltage' per cell at T_c

④ T_m : 모듈의 후면온도, T_a : 대기온도, E : 일사량, WS : 풍속

STC조건에서 온도조건에 따른 I-V 특성을 비교분석 하기 위해서 PASAN솔라시뮬레이터로 I-V 특성시험을 수행하였다. 태양전지모듈의 온도 변화를 주기 위해서 Heating Chamber를 사용했다.

2.4 실험 방법

시료는 태양전지 타입을 Single-Si, Poly-Si, HIT, IBC, CIGS, a-Si 로 정하고 각각의 태양전지모듈을 선정하기 위해서 육안 검사를 먼저 실시했다. 선정된 시료들은 모두 Field에 설치되지 않은 태양전지모듈들이다.

2.4.1 일사강도 변화에 따른 특성 실험

STC조건에서 일사강도에 따른 I-V 특성을 비교분석 하기 위해서 일사강도를 600~1200W/m² 로 200W/m² 간격으로 측정했다.

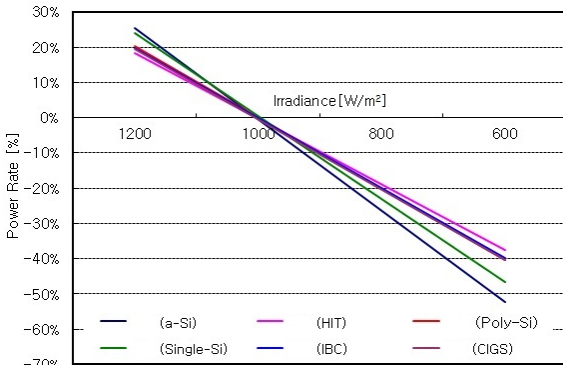
2.4.2 온도 변화에 따른 특성 실험

STC조건에서 온도조건에 따른 I-V 특성을 비교분석 하기 위해서 항온습습기로 태양전지모듈에 온도를 0℃, 25℃, 35℃, 45℃, 50℃에서 I-V 특성을 측정했다.

2.5 결과 및 고찰

2.5.1 일사강도 변화에 따른 특성

WACOM 솔라시뮬레이터로 일사강도에 따른 I-V 특성을 측정하고 1kW/m²일 때 출력 대비 일사강도 변화에 따른 출력 비로 환산하여서 <그림 2>에 나타냈다.



<그림 2> 일사량 변화에 따른 출력 비 (1kW/m² 기준)

일사량 변화에 따라서 출력 변화가 가장 적은 Cell-Type은 HIT이고 출력 변화가 가장 큰 Cell-Type은 a-Si이다. Poly-Si, IBC, CIGS의 출력비는 일사량 4개의 포인트에서 1%내의 차이를 보였다. 이는 서로 다른 물질과 구조 그리고 공정이 다름에도 일사량 변화에 비슷한 경향을 보이는 점이 흥미로웠다. 이는 차후 원인분석에서 눈여겨 봐야할 부분이다. 그리고 Poly-Si와 Single-Si를 비교해보면 Single-Si가 Poly-Si에 비해서 2~3% 더 출력이 감소했다.

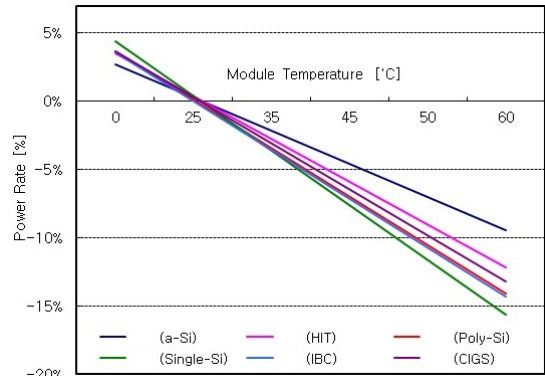
<표 2> Cell Type별 모듈의 일사계수

	a-Si	HIT	Poly-Si	Single-Si	IBC	CIGS
일사계수 (ΔP%/Δ100W)	8.65%	6.35%	6.75%	7.83%	6.68%	6.76%

일사강도 100W/m² 감소할 때 마다 출력 변화를 나타내는 일사계수는 <그림 2>의 각 태양광모듈의 1kW/m²일 때 출력 대비 일사량 변화에 따른 출력 비 그래프 기울기를 나타내며 일사계수가 작을수록 일사강도 감소에 따라 출력 감소가 적다는 것을 나타낸다. 위의 <표 2>를 살펴보면 HIT가 가장 작은 일사계수를 나타내며 박막태양전지모듈에서는 CIGS가 가장 작은 일사계수를 가진다. 그리고 a-Si이 가장 큰 일사계수를 가지면서 일사강도 변화에 따라서 출력변화가 큼을 알 수 있다.

2.5.2 온도 변화에 따른 특성

PASAN솔라시뮬레이터로 일사강도에 따른 I-V 특성을 측정하고 25℃일 때 출력 대비 온도 변화에 따른 출력 비로 환산하여서 <그림 3>에 나타냈다.



<그림 3> 온도 변화에 따른 출력 비 (25℃ 기준)

온도 변화에 따라서 가장 출력 변화가 적은 Cell-Type은 a-Si이고 출력 변화가 가장 큰 Cell-Type은 Single-Si이다. Poly-Si, IBC 출력비는 온도 5개의 포인트에서 모두 동일했다. 그리고 HIT와 CIGS 출력비는 50℃에서 1% CIGS가 더 출력이 감소되는 것을 제외하고 나머지 온도 4개의 포인트에서 모두 동일한 출력비를 보였다. 차후 원인분석에서 눈여겨 봐야할 부분이다. Poly-Si와 Single-Si를 비교했을 때 Single-Si가 Poly-Si에 비해서 1% 더 출력이 감소했다.

<표 3> Cell Type별 모듈의 온도계수

	a-Si	HIT	Poly-Si	Single-Si	IBC	CIGS
온도계수 (ΔP%/℃)	-0.27%	-0.34%	-0.40%	-0.43%	-0.39%	-0.38%

온도 1℃감소할 때 마다 출력 변화를 나타내는 온도계수는 <그림 3>의 각 태양광모듈의 25℃일 때 출력 대비 온도 변화에 따른 출력 비 그래프 기울기를 나타내며 온도계수의 절대값이 작을수록 온도 증가에 따라 출력 감소가 적다는 것을 나타낸다. 위의 <표 3>를 살펴보면 a-Si가 가장 작은 온도계수를 나타내며 Single-Si의 온도계수의 절대값이 가장 크므로 온도에 따른 출력저하가 가장 크다고 할 수 있다.

3. 결 론

일사량 변화에 따라서 가장 출력 변화가 적은 Cell-Type은 일사계수 6.35%인 HIT이고 가장 출력변화가 큰 Cell-Type은 일사계수 8.65%인 a-Si으로 측정되었다. 그리고 온도 변화에 가장 출력 변화가 적은 Cell-Type은 온도계수 -0.27%인 a-Si이고 가장 출력 변화가 큰 Cell-Type은 온도계수 -0.43%인 Single-Si 이었다.

일사계수가 가장 좋았고 온도계수가 두 번째로 좋았던 HIT가 온도와 일사강도에 대한 영향을 가장 덜 받는다고 할 수 있다. 하지만 AM필터를 바꿀 수 없었던 실험적 한계 때문에 모든 지역에서 HIT가 우수하다고 판단하는 것은 한계가 있다.

그리고 실제로는 NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)와 일사량 S에 따라서 모듈 내의 태양전지 온도 T_c와 밀접한 관련이 있다.^⑤ 추후 연구에서 이 점은 빠질 수 없는 요소이다.

앞으로 온도와 일사강도 뿐만 아니라 다른 환경적인 요인들을 고려해 사막 지역에서의 태양광발전량 예측에 관한 연구를 진행 하고 추가적으로 문 논문의 결과에 대한 원인을 각 Cell-Type에 따른 물질, 구조, 공정 측면에서 분석할 예정이다.

[참 고 문 헌]

[1] ASIF RASOOL, "To Develop the Technical Feasibility of Very Large Scale Photovoltaic Systems for Desert Areas of Pakistan", Karachi Institute of Power Engineering, 2010
 [2] King, D.L., Boyson, W.E., Kratochvil, J.A., "Photovoltaic array performance model", Sandia Report No. SAND2004-3535 available from US Department of Commerce, 2004
 [3] N.H. Reich, W.G.J.H.M. van Sark, E.A. Alsema, S.Y. Kan, S. Silvester, A.S.H. van der Heide, R.W. Lof, R.E.I. Schropp, "WEAK LIGHT PERFORMANCE AND SPECTRAL RESPONSE OF DIFFERENT SOLAR CELL TYPES", the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2005
 [4] 강기환, 박지홍, 유권중, 박이준, 안형근, 한득영, "Solar Simulator의 시험조건에 따른 태양전지모듈의 전기적 특성 분석", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, P1775~1777, 2005

⑤ $T_c = T_{amb} + \frac{NOCT - 20}{0.8} S$