

Solar Simulator의 시험조건에 따른 태양전지모듈의 전기적 특성 분석

*강기환, **박지홍, *류권종, *박이준, **안형근, **한득영

한국에너지기술연구원, 건국대학교

Electrical Properties of Photovoltaic Modules with test condition of Solar Simulator

*Gi-Hwan Kang, **Chi-Hong Park, *Gwon-Jong Yu, *I-Jun Park, **HyungKeun Ahn, **Deuk-Young Han
Korea Institute of Energy Research, Konkuk University

Abstract – In this paper, maximum output of three different temperature conditions of the photovoltaic modules have been tested and compared to obtain the optimum conditions for the maximum power operation. Temperatures of the cell and module have been set to 20°C, 25°C and 30°C under the constant light intensity of 1kW/m². 125x125mm 36 single crystal solar cells having 80 [W] each have been serially connected in the module. From the results, maximum output deviation of 4.67% has been obtained under the cell temperature of 20°C and module temperature of 30°C while minimum deviation of 0.41~0.92% has been measured under the same temperatures of cell and module. Therefore it has been found that the temperature of both cell and module should be fixed to 25°C to obtain stable data unless the temperature coefficient should be compensated for the testing sample.

1. 서 론

태양전지모듈의 I-V 특성시험은 자연광원에서 시험하는 방법이 가장 정확한 시험결과를 얻을 수 있으나, 일사강도 및 온도 등 갖은 시험환경의 변화로 재현성 있는 시험이 불가능하여 일반적으로 쿠라시뮬레이터를 사용하여 인공광원법에 의해 I-V 특성시험을 수행하고 있다.

쿠라시뮬레이터는 제논 램프를 사용하여 태양광원의 스펙트럼과 가장 유사한 스펙트럼을 구현하고 기준 태양전지를 사용하여 25°C, 1kW/m²의 STC(Standard Testing Condition)상태의 일사강도를 얻게 된다.

그러나 태양전지모듈의 온도나 기준 태양전지의 온도 또는 기준 태양전지의 정밀보정 값의 변화에 따라서 태양전지모듈의 I-V 특성결과는 서로 다르게 나타날 수 있어, 재현성 있는 시험결과를 얻기 위해서는 시험조건의 정확성에 신중할 필요성이 있다.

따라서 본 논문에서는 쿠라시뮬레이터를 사용하여 인공광원법에 의해 태양전지모듈의 I-V 특성시험을 수행할 때, 정확한 I-V 특성 결과를 얻기 위해 필요한 온도 조건 및 일사강도, 기준 태양전지 등의 시험조건에 따라서 I-V 특성을 비교분석 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 실험에서 사용된 쿠라시뮬레이터는 국내 태양전지모듈의 인증시험을 위해 구축된 A등급 쿠라시뮬레이터로써, 대면적 태양전지모듈의 발전성능시험이 가능한 장치이다. 인공광원에 의해 태양전지모듈의 정확한 I-V

특성을 얻기 위해서는 정확한 측정환경의 유지도 중요하지만 광원의 안정도와 균일도가 매우 중요하다. 표 1은 인공광원의 일사강도 균일도를 분석하기 위하여 기준 태양전지를 이용하여 2mx2m의 시료설치대 중앙점을 기준으로 하여 상하좌우 1m씩의 거리를 두고 9점에 대한 균일도를 측정해 보았다. 시험결과 최소 110.5mA, 최대 111.8mA로써 식(1)과 같이 IEC60904-9의 균일도 시험방법에 따라 산출해본 결과 ±0.58%로 매우 우수한 광원의 균일도를 보여주고 있다.

표 1. 광원의 조사균일도 계측 결과

	1m right	Center	1m left
1m high	110.8 mA	111.3 mA	110.5 mA
Center	111.6 mA	111.8 mA	111.2 mA
1m low	111.2 mA	111.5 mA	110.8 mA

$$\text{Uniformity}(\%) = \pm \frac{(\text{max Value} - \text{min Value})}{(\text{max Value} + \text{min Value})} \times 100$$

$$= \pm \frac{(111.8 - 110.5)}{(111.8 + 110.5)} \times 100$$

$$= \pm 0.58\% ----- (1)$$

광원의 안정도 시험은 인공광원을 1kW/m²으로 조사했을 때 I-V curve의 계측이 시작되는 지점 10~100point에서 최소값 0.994kW/m², 최대값 1kW/m²을 얻을 수 있었으며, 식(2)와 같이 IEC60904-9의 광원의 안정도 시험방법에 따라 산출해본 결과 ±0.3%의 매우 우수한 광원의 안정도를 확인할 수 있었다.

$$\text{Stability}(\%) = \pm \frac{(\text{max Value} - \text{min Value})}{(\text{max Value} + \text{min Value})} \times 100$$

$$= \pm \frac{(1 - 0.994)}{(1 + 0.994)} \times 100$$

$$= \pm 0.30\% ----- (2)$$

2.2 실험방법

본 실험에서는 태양전지모듈의 성능시험에서 가장 중요한 전기적 성능의 결과를 보다 정확하게 얻기 위하여 온도, 조사강도 등 시험환경 및 시험조건에 따라서 태양전지모듈의 I-V 특성을 정밀 분석하였다.

온도, 일사강도, 기준 태양전지의 정밀보정계수 등 시험조건에 따라서 최대출력 및 오차시험에 사용된 시료는 125x125mm의 다결정 실리콘 태양전지 36매가 직렬 연결되어 구성된 80W급 태양전지모듈 1매를 사용하였으며, 시험장치의 출력 균일도 시험은 125x125mm의 단결정 실리콘 태양전지 36매가 직렬 연결되어 구성된 80W급 태양전지모듈 20매를 사용하였다.

시험방법은 IEC 60904-3에 적합한 A등급 쿠라시뮬레이터를 사용하여 25°C, 일사강도 1kW/m²의 STC 상태에서 IEC 60904-1의 시험방법에 따라 태양전지모듈의 I-V 특성을 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도에 따른 전압-전류 특성

태양전지모듈의 I-V 측정에 사용되는 콜라시뮬레이터는 일반적으로 특정 시험환경에 제한하지 않고 일반적인 실내 환경에서 시험한 후 25°C, 1kW/m²의 STC 상태로 보정하여 결과를 얻게된다. STC 상태의 변환은 측정된 I-V 곡선에서 기준상태에서의 전압, 전류, 일사강도 및 온도를 각각 V_2 , I_2 , I_{SR} , T_2 로 하고, 측정한 전압, 전류, 일사강도 및 온도를 각각 V_1 , I_1 , I_{MR} , T_1 으로 하여 식(3)에 의해 I_2 와 V_2 를 얻게된다.

$$I_2 = I_1 + I_{SC} \left(\frac{I_{SR}}{I_{MR}} - 1 \right) + \alpha(T_2 - T_1)$$

$$V_2 = V_1 - R_S(I_2 - I_1) - KI_2(T_2 - T_1) + \beta(T_2 - T_1) \quad (3)$$

I_{SC} : 시편의 측정된 단락회로 전류

α : 온도 1°C 변화 했을때의 I_{SC} 변동값

β : 온도 1°C 변화 했을때의 V_{oc} 변동값

R_S : 모듈의 내부 직렬저항

K : 곡선 보정 인자

식(3)에서 태양전지모듈의 출력전류 온도계수 α 와 출력전압 온도계수 β 는 태양전지 출력전류 온도계수 α_c 와 출력전압의 온도계수 β_c 를 근거로 하여 식(4)에 의해 산출하게되며, 직렬저항 R_S 는 조사강도를 다르게 하여 Δ_I 와 I_{SCI} , Δ_V 와 I_{SC2} 를 측정하고, P점과 Q점, P점과 Q점 사이의 전압 변위를 Δ_V 를 결정한 후 식(5)에 의해 R_{SI} 를 계산한다. 동일한 방법에 의해 R_{S2} 와 R_{SS} 를 결정한 후 R_{SI} , R_{S2} , R_{SS} 의 중간 값을 R_S 값으로 한다.

$$\alpha = n_p \cdot \alpha_c$$

$$\beta = n_s \cdot \beta_c \quad (4)$$

n_p 는 모듈 내부의 병렬 접속 셀 수

n_s 는 모듈 내부의 직렬 접속 셀 수

$$R_{SI} = \frac{\Delta V}{I_{SCI} - I_{SC2}} \quad (5)$$

그러나 위에서와 같이 태양전지모듈의 I-V 특성을 수식에 의해 STC 상태로 보정할 경우 온도계수 및 직렬저항 등의 정확한 보정계수가 요구되고 있어, 보정계수의 정확도에 따라서 I-V 특성 오차는 더욱더 커질 수 있다.

그림 1은 조사강도가 1kW/m² 일 때 태양전지모듈과 기준 태양전지의 온도를 20°C, 25°C, 30°C로 동일하게 유지한 후 I-V 특성시험을 수행하여 STC 상태로 보정하여 얻은 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 태양전지모듈과 기준 태양전지의 온도가 동일한 조건인데도 불구하고 보정된 I-V값은 시험온도 25°C 조건에서 보다 0.41~0.92%의 오차를 보여주고 있으며, 20°C에서 시험한 시료의 경우 79.3W, 25°C에서 시험한 시료의 경우 80.04W, 30°C에서 시험한 시료의 경우 80.37W의 결과를 얻을 수 있었다.

그림 2는 기준 태양전지의 온도는 25°C로 일정하게 유지시킨 후 태양전지모듈의 온도를 20°C, 25°C, 30°C로 변화시키면서 실험한 결과이다. 그림에서 보듯이 I-V의 보정은 기준 태양전지의 온도를 기준으로 하지만, 측정시 태양전지모듈의 온도가 서로 다르기 때문에 25°C 시료를 기준으로 하여 최대출력 오차는 2.41%~-2.85%로 나타났으며, 이때 최대출력은 20°C 일 때 81.97W, 30°C 일 때 77.76W를 나타내고 있다.

그림 3은 태양전지모듈의 온도를 25°C로 유지시킨 후 기준 태양전지의 온도를 20°C, 25°C, 30°C로 변화시키면서 시험한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 태양전지모듈의 온도가 일정하더라도 기준 태양전지의 온도가 서로 다르기 때문에 온도에 따른 기준 태양전지 차체

의 I-V 특성 차이로 3.21~3.54%의 최대출력 오차를 나타내었으며, 기준 태양전지의 온도가 20°C 일 때 77.21W, 30°C 일 때 82.61W를 나타내었다.

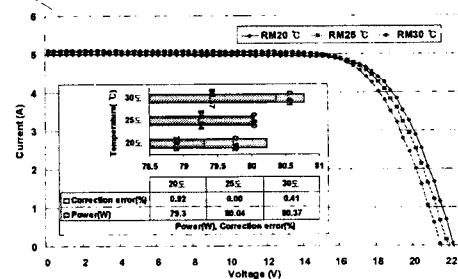


그림 1. 시험온도에 따른 I-V Curve 특성
(RM20°C, RM25°C, RM30°C)

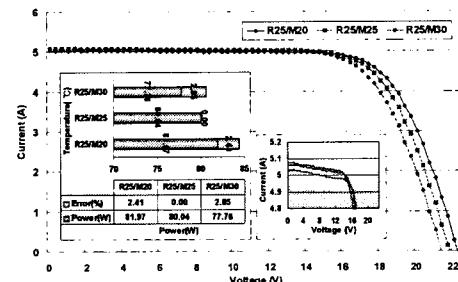


그림 2. 시료온도에 따른 I-V curve 특성
(R25/M20, R25/M25, R25/M30)

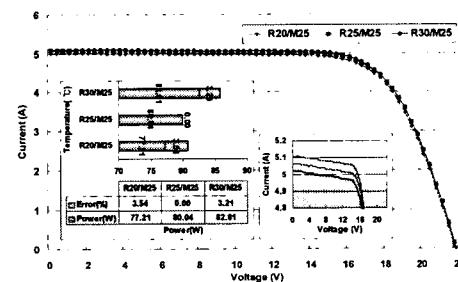


그림 3. 기준 셀 온도에 따른 I-V curve 특성
(R20/M25, R25/M25, R30/M25)

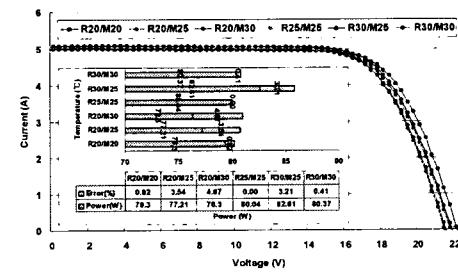


그림 4. 온도 오차에 따른 I-V curve 특성
(R20/M25, R20/M30, R25/M30, R30/M25, R30/M30)

그림 4는 기준 태양전지와 태양전지모듈의 온도가 각각 다를 때 시험한 결과로써, 그 오차는 그림 1~그림 3에서 나타낸 결과보다 큰 오차를 보여주고 있다. 이러한 결과는 태양전지모듈의 I-V 특성 시험에서 가장 주의해야 할 시험 조건으로써, 이때 기준 태양전지 온도가 20°C이고 태양전지모듈의 온도가 30°C 일 때 4.67%의 출력

오차를 나타내어 기준온도 25°C 일 때 보다 약 3.74W 부족한 76.3W를 나타내었다.

3.2 일사강도에 따른 전기적 특성

태양전지모듈은 일사강도의 변화에 따라서 I-V 특성이 매우 달라지게 된다. 본 실험에 사용된 콜라시뮬레이터는 앞에서와 같이 광원의 균일도가 ±0.58%, 광원의 안정도가 ±0.3%로써 매우 정밀한 시험장비라 할 수 있다. 따라서 본 실험에서 얻은 인공광원의 조사강도는 0.998kW/m²으로 매우 안정된 광원을 조사하였다.

콜라시뮬레이터의 조사강도는 기준 태양전지의 정밀한 교정에 의해 태양전지모듈의 정확한 I-V 특성을 얻을 수 있다. 그림 5는 기준 태양전지의 정밀보정계수를 미세하게 변화시켜 얻은 I-V 특성 결과이다. 그럼에서 보는 바와 같이 정밀보정계수의 미세한 변화에 I-V 곡선은 크게 변화되지 않고 있으나, 정밀보정계수의 증가에 따라서 전류 값이 미세하게 증가하여 이때, 최대출력은 79.69W~80.47W까지 약 0.64%의 출력오차를 나타내고 있다.

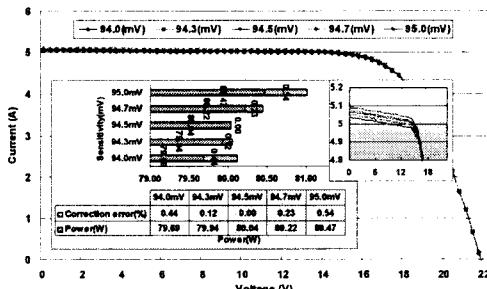


그림 5. 기준 태양전지의 정밀보정계수에 따른 I-V curve

3.3 I-V Curve 오차 및 균일도 특성

태양전지모듈의 I-V 특성시험을 정확하게 수행하기 위해서는 위에서 설명한 온도 및 일사강도의 균일도가 매우 중요하다. 하지만 아무리 시험조건을 정확하게 한다고 해도 시험장치의 측정오차가 크다면 정확한 시험을 수행할 수 없게 된다.

그림 6은 이러한 결과를 확인하기 위하여 태양전지모듈 1매의 시료에 대해서 몇 회에 걸쳐 I-V 특성시험을 수행하여 얻은 최대출력 결과를 보여주고 있다. 그럼에서 볼 수 있듯이 최대출력은 79.65W~80.04W를 나타내고 있으며, 이때 최대 값을 나타낸 80.04W를 기준으로 하여 최대 0.49%의 측정오차를 나타내어 본 실험에 사용된 콜라시뮬레이터의 정밀도는 매우 높게 나타났다.

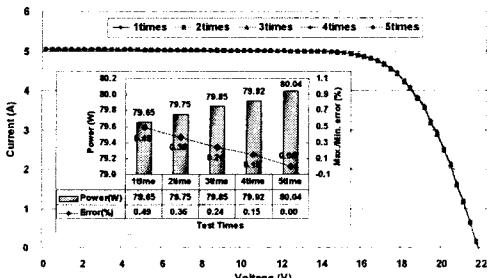


그림 6. I-V curve의 측정 오차

그림 7은 동일 모델 20매의 시료를 대상으로 실제 시험환경을 25°C, 1kW/m²의 STC조건에서 오전, 오후 2

회에 걸쳐 I-V 시험을 수행한 결과를 보여주고 있다. 시험결과 모든 시료에서 균일도 ±5%의 매우 정밀한 I-V 특성 결과를 얻을 수 있었다.

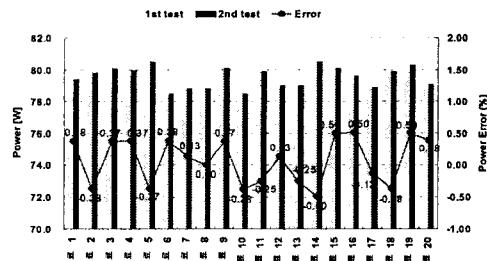


그림 7. 시험횟수에 따른 최대출력 오차

4. 결 론

본 연구에서는 인공광원법에 의한 태양전지모듈의 I-V 특성시험법에서 보다 정확한 I-V 특성의 결과를 얻기 위하여 온도 및 일사강도 등 시험조건의 보정계수를 변화시켜 태양전지모듈의 전기적 특성을 비교분석 하였다. 시험결과에서 STC 상태의 25°C에 균접하지 않고 태양전지모듈과 기준 태양전지의 온도가 서로 다를 때 4.67%의 가장 높은 최대출력 오차를 확인할 수 있었으며, 기준 태양전지의 온도가 25°C 일 때 2.41~2.85%, 태양전지모듈의 온도가 25°C 일 때 3.21~3.54%를 나타내었고, 기준 태양전지와 태양전지모듈의 온도가 서로 동일한 경우 0.41~0.92%의 최대출력 오차를 나타내어 시험환경이 25°C의 STC 상태에 균접하지 않더라도 기준 태양전지와 태양전지모듈의 온도가 동일할 경우 가장 적은 최대출력 오차를 나타내었다.

따라서, 태양전지모듈의 보다 정확한 I-V 특성 결과를 얻기 위해서는 일사강도가 균일하다고 가정할 때 각각의 시료에 대한 온도계수를 정확하게 보정하고, 기준 태양전지와 태양전지모듈의 온도를 동일하게 하여 시험해볼 것으로 판단되며, 또한, STC 상태의 보정이 불가능할 경우 기준 태양전지와 태양전지모듈의 온도를 25°C로 정확하게 유지시켜 시험해야만 가장 정확한 I-V 특성 결과를 얻을 수 있을 것으로 분석되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] International Electrotechnical Commission, "Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices", IEC60891, 1987.
- [2] International Electrotechnical Commission, "Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics", IEC60904-1, 1987.
- [3] International Electrotechnical Commission, "Measurement principles for terrestrial photovoltaic solar devices with reference spectral irradiance data", IEC60904-3, 1989.
- [4] International Electrotechnical Commission, "Solar simulator performance requirements", IEC60904-9, 1995.
- [5] International Electrotechnical Commission, "Crystalline silicon terrestrial photovoltaic modules - Design qualification and type approval", IEC61215, 1993.
- [6] 한국에너지기술연구원 연구보고서, "PV시스템 구성요소 기기의 성능평가법 및 기술기준(안) 확립연구", 산업자원부 대체에너지 실용화평가사업, 2004. 09.