

연속 광조사 조건에서의 태양전지모듈의 연간 최대출력 저하율 변화 예측 분석

김경수^{1)*} · 윤재호²⁾

¹⁾태양광연구실, 한국에너지기술연구원, 대전광역시, 34129

²⁾신재생에너지연구소, 한국에너지기술연구원, 대전광역시, 34129

Analysis of Maximum Generating Power Drop of PV Module Under the Continuous Artificial Light Irradiation Test Condition

Kyungsoo Kim^{1)*} · Jaeho Yun²⁾

¹⁾Photovoltaic Laboratory, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 34129, Korea

²⁾New and Renewable Energy Institute, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 34129, Korea

Received June 27, 2018; Revised August 14, 2018; Accepted August 20, 2018

ABSTRACT: PV system is consisted with PV module, inverter and BOS(balance of system). To have robustic operation more than 20 years, the expected and guaranteed durability and reliability of products should be met. Almost components of PV system are qualified through IEC standards at test laboratory. But the qualification certificate of product does not ensure long-term nondefective operation. PV module's expected life time is nowadays more than 20 years and annual maximum power degradation ratio would be less than -1%. But the power degradation ratio is basically based on real data more than several years'record. Developing test method for ensuring annual maximum power degradation ratio is very need because there are many new products every month with new materials. In this paper, we have suggested new test method under continuous artificial light irradiation test condition for analyze expected maximum power drop ratio.

Key words: Solar energy, Renewable energy, PV system, Solar cell, PV module, Reliability test

Nomenclature

Voc : open circuit voltage, V

Vmp : maximum power operating voltage, V

Isc : short circuit current, A

Imp : maximum power oprating current, A

Pmp : maximum operating power, W

subscript

F.F : fill factor

PV system : photovoltaic system

1. 서론

태양전지모듈은 대개의 경우 태양빛의 가시광선을 흡수하여 전기에너지로 변환시키는 태양광시스템의 구성 요소로 전력변화장치를 거쳐 교류 전기로 변환이 된다. 장기적인 태양광발전 시스템의 안정적인 전력 공급원으로써의 역할을 감당하기 위하여 최소 20년 이상의 내구성을 요구하고 있다. 그러나 국제 표준을 제정 및 개정하는 IEC에서 발간되는 표준으로는 정량적인 방법으로의 수명 예측과 관련된 것은 발간되지 않아, 제조사에서 주장하는 장기 수명에 대한 객관적인 근거가 없는 실정이다. 보통 연간 태양전지모듈의 수명은 -1.0% ~ -0.6%의 최대출력 감소가 발생할 것으로 예상되고, 이를 근거로 태양광시스템의 기대 전기요금을 계산하고 있다¹⁻⁶⁾.

또한 국내에서는 2030년까지의 태양광발전시스템의 기대 설치용량이 약 40 GW 로 예상되고 있는 상황에서 태양광시스템의 가장 중요한 태양전지모듈의 수명을 예측할 수 있는 시험

*Corresponding author: kskim@kier.re.kr

법 개발 및 실험 데이터가 어느 때보다 절실히 필요한 상황이다. 또한 태양광시스템의 설치 지역에 따라 최대출력의 감소율 또한 다르기 때문에 설치 지역을 고려한 평가 개발도 반드시 고려되어야 한다⁷⁾.

이에 본 연구에서는 자체적으로 대한민국 대전지역의 기상 데이터 수집 자료를 분석하여 실내 챔버에서의 온도변화 및 일사량 조건을 설정하였으며, IEC 61215-2의 광조사 시험법을 참고하여 연간 또는 장기간동안의 태양전지모듈의 최대출력 감소율을 정량적으로 평가할 수 시험법 및 그 결과를 도출하여 이를 통하여 소비자 및 태양광발전 사업자들이 시스템의 설계 및 유지보수에 도움이 될 수 있도록 하였다. 또한 실제 동일한 재료의 250 W 급 태양전지모듈을 옥외에 22개월 동안 설치하여 출력 감소율을 매월 측정하였으며, 제안된 시험 방법에 대한 타당성도 비교 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 환경 데이터 분석 및 실험 조건

순수하게 옥외에서 연간 태양전지모듈이 받게 되는 환경적 데이터를 수집하기 위하여 Glass/EVA/Solar Cell/EVA/BackSheet의 구조인 다결정 실리콘 태양전지모듈로 개방형(open rack)구조로 설치된 3 kW 시스템을 활용하였다. 설치 형태는 open-rack

구조이다. 위치는 대전광역시 유성구 장동 71-2이며, 2008년 1월 1일부터 2008년 12월 31일까지의 안정적으로 얻어진 데이터를 분석하다. 데이터 측정주기 1분이며 외기온도, 태양전지모듈의 온도 및 일사강도 값 등을 모니터링 하였다. 태양전지모듈의 전기적 특성은 Table 1과 같고 인버터의 사양은 Table 2와 같다.

총 60장의 다결정 53 W 급 다결정 실리콘 태양전지모듈을 20 직렬 3병렬로 연결하여 3 kW 급 계통형 인버터에 연결하여 운영하였다. Table 3은 PV시스템의 설치환경, 설치방식 및 설계구성 등의 설계시공에 대한 기본 정보를 정리한 것이다.

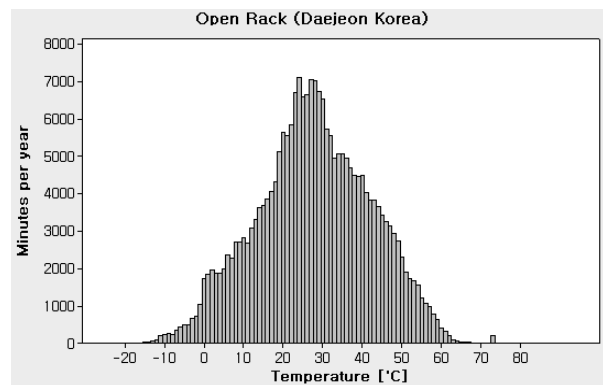


Fig. 1. Accumulated time at constance temperature interval during one year's operation

Table 1. Specifications of module

Maximum power	Open circuit voltage	Short circuit current	Maximum power voltage	Maximum power current
P_{max} (W)	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	V_m (V)	I_m (A)
53	21.7	3.35	17.4	3.05

Table 2. Specifications of inverter

Input voltage	Operating voltage	Maximum input voltage	Rating power	Conversion efficiency
$[V_{dc}]$	$[V_{dc}]$	$[V_{dc}]$	[kW]	[%]
340	150~400	500	3	94.0

Table 3. Specifications of PV system

PV Module		Class : 53 [W]
PV Array	Number of modules	60
	Installation capacity	3.18 kW
	Array design	20×3
	Installation	flat roof type
PCS	Operation method	grid connected
	Caparcity	3 kW
	Converstion efficiency	more than 92%

Table 4. Annual record of PV modules' temperature, irradiance time and duration time

Module's temperature (°C)	Irradiance time (@intensity: 1 kW/m ²)	Temperature duration time (hour)
-20	0	0.2
-15	0.4	8.1
-10	1.4	27
-5	4.4	66.9
0	15.6	156.1
5	31.4	183
10	55.2	228.2
15	91.2	367.7
20	137.6	521.6
25	168.9	567.8
30	173.9	420
35	190.1	385.3
40	189.7	303
45	148.3	219.9
50	94.5	121.3
55	58	54.1
60	13.5	28.9
65	1.6	22.5
70	3	13.6
75	0.1	0.2
80	0	0

Table 5. Applied test condition to test chamber based on PV system's annual environment data

Chamber temperature(°C)	Module temperature (°C)	Accumulation irradiance (kWh/m ²)
0	20	337
10	30	343
20	40	380
30	50	243
40	60	76
Total accumulation irradiance (1 kWh/m ²)		1379

이를 통하여 Fig. 1과 같이 태양전지모듈은 일 년 동안 최소 -20°C에서 최대 80°C의 온도 변화가 발생된다고 분석되었다. 이때 가로축은 △ 1°C 온도 변화에서 태양전지모듈이 1년 동안 각 온도에서 머물게 되는 총 시간을 누적한 결과를 세로축에 나타낸 것이다.

Table 4는 태양전지모듈이 태양빛에 노출될 때 모듈온도 최저 -20°C에서 최대 80°C의 구간에서 서 누적 일사량과 그때의 온도 지속시간을 요약한 것이다. Table 5는 Table 4의 실제 환경 요소를 챔버에 입력한 조건을 나타낸 것이다.

2.2 실험 시료 및 실험 환경

최대출력 저하율 평가를 위하여 사용된 태양광 모듈은 6인치 급 결정질 실리콘 태양전지(다결정)로, 태양전지 4장을 직렬연결한 후 Glass/EVA/ SolarCells/EVA/ Backsheet의 구조로 라미네이션 후 모듈을 제작하였다. 제작된 태양전지모듈의 전기적 사양은 Table 6과 같이 최대출력 16.3 W이며 충전율(F.F)는 71.8%이다. 시료의 크기는 40 cm x 40 cm로 제작되었다.

내구성 평가를 위하여 제작된 가속 시험 챔버(Fig. 2)는 최대 1100 W/m²의 조사를 할 수 있으며, 최저 -30°C, 최대 90°C의 온도사이클 기능을 포함하는 장치이다. 시료 사이즈에서 불균일도(non-uniformity of irradiance)는 조사강도 약 1.0 kW/m²에서 ±4.8%이며, 스펙트럼 합치도(spectral match)는 Class B 등급, 장기 광안정도(temporal instability of irradiance)는 ±0.84%으로 BBA Class (Fig. 3)의 광조사용 챔버이다⁸⁾.

태양전지모듈은 평균 조사강도 1000 W/m²에서 챔버 온도와 모듈의 온도를 조정하여 Fig. 4와 같이 모듈 표면에 수직으로 설정된 광조사가 될 수 있도록 하였다. 이때 모듈은 최대출력 조건에서 발생된 전력을 소모할 수 있도록 전기부하(electric load)에 연결하였다. 대한민국의 경우 일일 약 3.6 kW/m²의 누적 일사량으로 계산하면 연간 누적 약 1300 kW/m²의 광량이 모듈에 평균적으로 도달하는 것이다.

태양전지모듈의 시험 전·후의 출력 변화는 Class AAA 등급의 Pasan IIIb 쉐라시뮬레이터(solar simulator)(Fig. 5)를 이용하여 전기적 데이터를 측정하였다. 이를 통하여 최대 출력변화율

Table 6. Initial electric measurement result of test PV module sample

Voc [V]	Isc [A]	Vmp [V]	Imp [A]	Pmp [W]	F.F [%]
2.5	9.07	1.9	8.52	16.3	71.8



Fig. 2. Acceleration test chamber

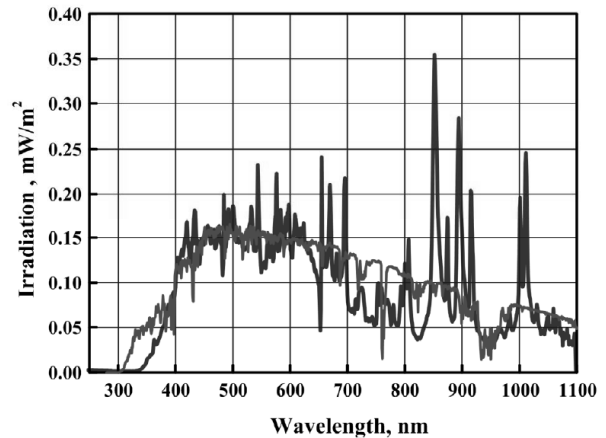


Fig. 3. Irradiance lamp's light spectrum

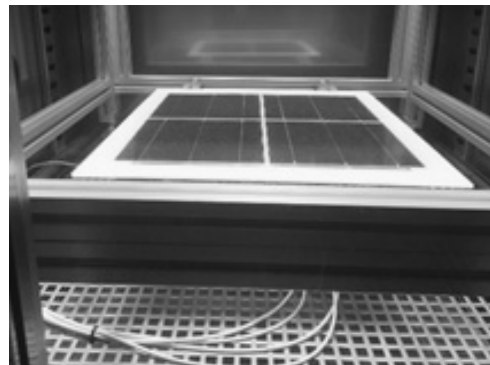


Fig. 4. Test image of PV module sample in temperature-irradiance controllable test chamber

$\Delta P_{\text{최대출력변화율}} = [(P_{\text{시험후}} - P_{\text{초기출력}}) / P_{\text{초기출력}}] \times 100 [\%]$ 을 계산하였다.

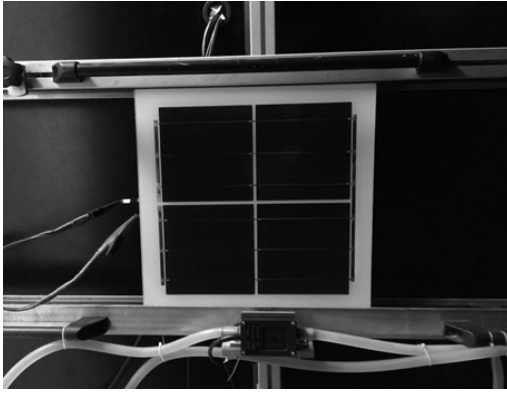


Fig. 5. Maximum power measuring image with solar simulator

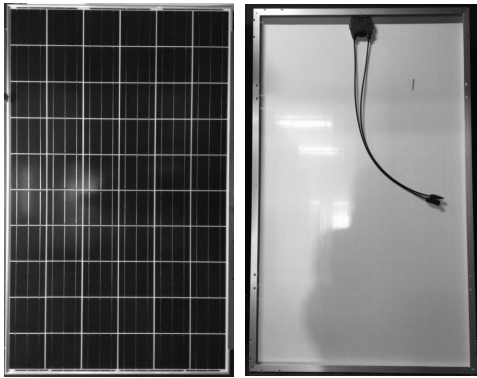


Fig. 6. 250W PV module for outdoor test

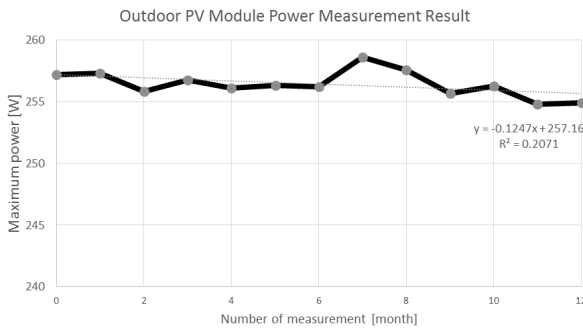


Fig. 7. 250 watt PV module's monthly maximum power measurement results graph

3. 결과 및 고찰

위 실험 샘플과 동일한 재료(태양전지, EVA, Backsheet)를 이용한 모듈을 옥외 시험을 통한 출력 감소율을 비교하기 위하여 Fig. 6과 같이 250 W 급 태양전지모듈을 제작하였다. 초기 측정결과 최대출력은 257.18 W이다. 총 옥외 시험 기간은 12개월이며 이때 모듈은 계통 연계형 AC 인버터(제조사: ABB 250 W micro inverter, 최대입력 전력 265 W)를 통하여 최대출력 상태로 전력을 소모하는 구조로 연결하였으며, 매일 쏘라시물레이터를 이용하여 전기적 측정을 평가하였다.

Fig. 7는 250 W 급 태양전지모듈의 총 12개월 동안의 최대출력

Table 7. Initial and final I-V measurement result

	P_{mp}	V_{oc}	I_{sc}	V_{mp}	I_{mp}
Initial power measurement (measurement result after 60 kWh/m ² outdoor Exposure Test)	16.0	2.5	8.93	1.9	8.35
Final power measurement (measurement result after one year's irradiance accumulation test)	15.9	2.5	8.93	1.9	8.34

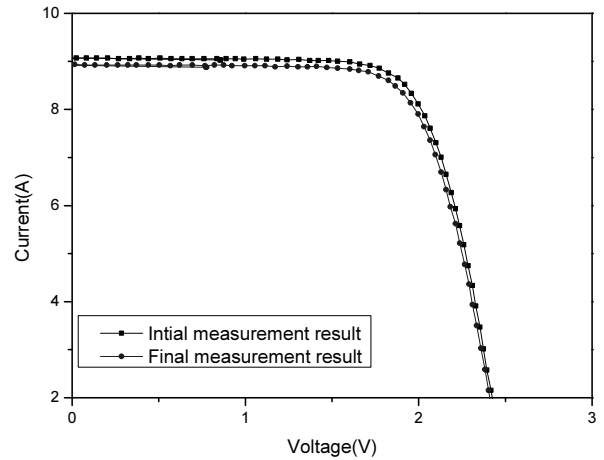


Fig. 8. I-V curve comparison of initial and final measurement

변화를 나타낸 것으로 그 값들을 1차 선형 보관법(interpolation)으로 표현하면 최대출력(P_{mp}) = $-0.1247 \times \text{개월} + 257.16$ [W]로 표현된다. 이 식을 통하여 초기출력 연간 출력 감소율을 계산해 보면 -0.59%의 최대출력 감소가 나타남을 알 수 있게 된다.

옥외에서의 태양전지모듈의 출력 감소와 비교하여 본 논문에서 제안한 환경 데이터 기반 실내 환경 챔버 시험을 통하여 모듈의 출력값을 측정된 결과 Table 7 및 Fig. 8과 같이 최종 모듈의 최대 출력값은 초기대비 약 -0.6%의 수준의 감소로, 옥외에서의 모듈의 최대출력 감소율과 거의 유사한 값으로 분석되었다.

4. 결론

태양전지모듈은 온도, 일사, 습도, 눈, 바람 등의 다양하고 가혹한 환경에서 전기를 생산하는 태양광발전시스템의 구성요소로서, 최근에는 20년 이상 기대수명을 요구하고 있다. 이에 본 논문에서는 일반적인 모듈제조사에서 제시하는 연간 모듈의 최대 출력 감소율에 대하여 실내 실험 방법을 옥외 시험과 비교를 통한 최대출력 감소율을 정량적으로 분석하였다. 동일한 소재의 재료로 250 W 급 모듈을 AC 인버터로 연결하여 22개월의 장기적인 출력 감소를 측정하여 연간 -0.6%의 출력 감소가 발생함을 확인하다. 또한 2x2 미터 모듈을 제작하여 동일 설치지역의 기후 조건(온도변화 및 일사조건)을 분석한 후 환경챔버를 이용하여 광조사 시험을 진행하였다. 그 결과 옥외 시험과 거의 유사

한 -0.6%의 최대출력 감소율을 얻을 수 있었다.

이를 통하여 태양전지모듈의 출력변화를 실내 실험을 통하여 정량적으로 유추할 수 있음을 확인하였고, 기타 참고 논문 및 연구 결과를 바탕으로 추후 바람, 최대시스템 전압, 습도 변화 등의 다양한 파라미터에 대하여 추가적인 연구를 진행할 계획이다⁹⁻¹¹⁾.

후 기

This work was supported by the New & Renewable Energy of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) grant funded by the Korea government Ministry of Knowledge Economy (No. 20163010012310). Project Name : The Construction of MW class PV power generation R&BD demonstration complex.

References

1. IEC 61215-1, "Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1: Test requirements", 2016.
2. IEC 61215-1, "Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures", 2016.
3. IEC 61215-1, "Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1-1: Special requirements for testing of crystalline silicon photovoltaic (PV) modules", 2016.
4. R. A. Zha., 2011, "Life Prediction for CIGS Solar Modules", DOE PV Module Reliability Workshop.
5. S. Kurtz, J. Wohlgemuth, "Photovoltaic Module Qualification Plus Testing", Technical Report, NREL/TP-5200-60950, 2013.
6. W. W. Oh, S. H. Bae, "Field degradation prediction of potential induced degradation of the crystalline silicon photovoltaic modules based on accelerated test and climatic data", Microelectronics Reliability, Vol. 76-77, pp. 596-600, 2017.
7. Ministry of Trade, Industry and Energy, "Direction of Energy Conversion Policy", Presentation on the New & Renewable Energy 3020 Strategic Forum, 2017.
8. IEC 60904-9, "Photovoltaic devices - Part 9: Solar simulator performance requirements", 2007.
9. D. J. Kim, "Degradation of Backsheets for Crystalline Photovoltaic Modules under Damp Heat Test", New & Renewable Energy, Vol. 12, No. 3, pp. 36-43, 2016.
10. Sung Ju Tark, "Light Induced Degradation in Crystalline Si Solar Cells", New & Renewable Energy, Vol. 8, No. 1, pp. 24-34, 2012.
11. Kyungsoo Kim., "Current Induced Stabilization (CIS) of Large Area Commercial Amorphous Silicon Photovoltaic Module and Its Performance Variation", New & Renewable Energy, Vol. 13, No. 1, pp. 54-59, 2017.