

기후데이터 분석을 통한 태양광모듈의 내구성 평가 기준 제안

김경수^{1)*} · 윤재호²⁾

¹⁾태양광연구실, 한국에너지기술연구원, 대전광역시, 34129

²⁾신재생에너지연구소, 한국에너지기술연구원, 대전광역시, 34129

Suggestion of PV Module Test Methods Based on Weathering Monitoring

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 May 21, 2019; Revised June 14, 2019; Accepted June 14, 2019

ABSTRACT: The photovoltaic (PV) system consists of solar cells, solar modules, inverters and peripherals. The related evaluation and certification are proceeding as standards published by the IEC (International Electrotechnical Commission) TC (Technical Committee) 82. In particular, PV module is a component that requires stable durability over 20 years, and evaluation in various external environments is very important. Currently, IEC 61215-based standards are being tested, but temperature, humidity, wind and solar radiation conditions are not considered in all areas. For this reason, various types of defects may occur depending on the installation area of the same photovoltaic module. In particular, the domestic climate (South Korea) is moderate. The various test methods proposed by IEC 61215 are appropriate, excessive, or insufficient, depending on environmental condition. In this paper, we analyze the climate data collection for one year to understand the vulnerability of this test method of PV modules. Through this, we propose a test method for PV module suitable for domestic climatic conditions and also propose a technical consideration for installation and design of PV system.

Key words: Solar Energy, Renewable Energy, PV System, Certificate, PV Module, Weathering Monitoring

1. 서론

태양광시스템(Photovoltaic System)의 핵심 기술은 태양전지 및 태양전지모듈 제조 기술, PCS 기술, 시스템 최적 구성 및 설계 기술, 유지점검 등의 기술이 복합적으로 완성되어야 하는 융합기술이다.

태양전지 모듈의 구조는 일반적으로 저 철분 강화유리/충진재/태양전지/충진재/후면시트의 구조로 되어 있으며, 태양전지와 달리 모듈의 제조 공정 및 부자재의 품질에 의해 수명이 좌우된다. 태양광시스템은 무엇보다도 고효율 태양전지를 가혹한 외부환경 요인에 영향 없이 25년 이상 발전 가능하도록 만드는 것이 핵심 기술이다.

태양광모듈은 설치 지역의 환경에 따라 온화한 지역, 고온지역, 고온 고습지역, 건조 기후 및 극한 기후 등으로 나눌 수 있다. 미국의 캘리포니아의 데스밸리의 경우 58.3°C까지 온도 기록이

있으며, 중동의 두바이 지역의 경우 일일 최대 30°C의 온도 차이가 나타나기도 한다.

2019년 발간된 IEA PVPS 자료에 의하면, 2018년 설치용량 기준으로 태양광 시장은 100 GW를 수준이며, 세계 누적용량은 500 GW에 육박했다. 중국(45 GW), 인도(10.8 GW), 미국(10.6 GW)이 태양광 시장을 주도하고 있으며, 태양광의 가격 경쟁력이 향상되면서 세계적으로 신형 시장이 확대되고 있다. 설치된 태양광모듈의 90%는 결정질 실리콘 태양전지로 이루어져있다¹⁾.

태양광모듈은 IEC에서 발간된 IEC 61215 시험 기준을 통하여 평가를 진행하며, 이를 토대로 제품에 대한 인증 마크를 발행하고 있다. 비록 표준에 의한 시험을 통과했다고 하더라도 외부 환경에서의 태양전지모듈의 장기적 내구성은 모듈의 제조방법 및 설치 기법에 따라 다양하게 불량 사례가 나타난다^{2,4)}.

IEC 61215 표준은 태양광모듈의 설치시 초기에 발생할 수 있는 불량을 점검하는 것으로 장기적인 내구성에 대하여서는 보장하지는 않는다. 특히 태양광모듈은 20년 이상 태양빛에 의한 전기 발생하지만 인증 시험에서는 장기 운영에 대한 고려를 하

*Corresponding author: kskim@kier.re.kr

지 않는 매우 낮은 수준(약 10 kWh/m²)의 초기 안정화를 위한 평가를 수행하고 있다. 또한, 자외선 환경에 대하여 태양광모듈의 전면에 15 kWh/m²의 조사를 수행하고 있는데 이는 매우 낮은 수치이다. 즉 IEC 61215 표준은 모든 설치지역의 환경을 고려한 시험법이 아니라 경우에 따라 가혹하거나 또는 낮은 수준의 평가 방법이다.

이에 국내에서도 국내 환경을 고려한 태양광모듈의 시험법 개발을 통하여 현재 시행되고 있는 태양광모듈의 인증 시험법의 개정을 위한 근거 자료가 필요한 상황이다⁵⁾.

본 연구에서는 대한민국 대전지역에 기상데이터 수집을 위하여 기후 측정 장비를 설치하였다. 이를 토대로 태양광모듈이 겪는 연간 기후 조건을 분석하였고 또한 분석된 기후 조건을 토대로 국내 기후 조건에 적절한 태양광모듈의 합리적인 평가 방법을 도출하고 IEC 61215와 비교하여 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 환경 데이터 수집 장치 설명

외부 환경에서 연간 태양전지모듈이 받게 되는 환경적 데이터를 수집하기 위하여 Fig. 1과 같이 시스템을 설치하였다. 총 3가지의 형태로 설치하였다. 첫째로 태양빛을 추적(tracking system)하여 직달일사량, 산란일사량 및 전체 일사량을 측정하였다. 이때 사용된 트래커 본체는 일본 EKO 제품의 STR-22이고 직달일사량(MS-54), 산란 및 전체 일사량(MS-802)를 적용하였다. 트래커가 태양을 추적할 때 직달 일사량 센서와 수평면 일사량 센서(EKO, MS-602)를 동일 평면상에 설치하여를 트래킹시 수평면 일사량 센서로 입사되는 일사강도를 측정하였다. 두 번째로 수평면에 위치하는 형태로 여기서는 전체 일사량

(CMP-10, RC01) 및 자외선센서(CUV5)를 설치하였다. 셋째로 45도 각도로 전체 일사량(CMP-10,RC01) 및 설치 형태는 open-rack 구조이다. 전체 일사량 측정을 위하여 설치된 EETS 제조사의 RC01 센서는 결정질 실리콘 태양전지를 사용한 것으로 고가의 일사량 센서와의 측정값의 차이를 확인하기 위하여 설치하였다.

기후 측정 시스템의 설치 위치는 대전광역시 유성구 장동 71-2이며, 2018년 3월부터 2019년 2월까지의 안정적으로 얻어진 데이터를 분석하였다. 데이터 측정주기는 1분이며 이때 외부 온도, 습도, 풍속, 풍향 등도 함께 측정하였다. 측정 장비에 대한 제조사 및 모델명은 Table 1에 정리하였다.

본 데이터 수집을 통하여 데이터를 분석하고 이를 통하여 얻고자하는 내용은 아래와 같다.

1. 태양광모듈의 자외선 시험 조건 검토
2. 풍속을 고려한 기계적 내구성 평가 시험 조건 검토 및 모듈 제조 방법에 대한 제안
3. 연간 누적 일사량을 고려한 광조사 시험의 검토
4. 최고 및 최저 온도 측정을 통한 챔버 시험(온도사이클시험, 결로동결 시험)의 검토
5. 국내 기후 조건에서의 고정식과 추적 태양광 시스템의 일사량 비교
6. 고가의 일사량 센서와 태양광모듈과 구조가 같은 태양전지를 이용한 센서와의 차이점 확인

3. 결과 및 분석

3.1 환경 데이터 분석 및 IEC 61215 표준과의 비교

1년(2018.3-2019.2) 동안의 외기 온도의 변화를 관찰한 결과 최고온도는 8월에 39.1°C, 최저온도는 12월에 -11.3°C 이었다.

IEC 61215는 지상에 설치되는 태양광모듈은 Fig. 2의 온도 프로파일과 같이 최저 -40°C에서 최고 85°C에서 작동되는 경우



Fig. 1. Weather data monitoring system

Table 1. Specifications of monitoring sensor

Sensor and measurement type	Manufacturer	Model
Pyranometer, diffuse horizontal	EKO	MS-802
Pyranometer, global horizontal	EKO/ Kipp&Zonen/ Eppley/ EETS	MS-802/ CMP 10/ PSP/ RC01
Pyrheliometer, direct normal	EKO/ Kipp & Zonen	MS-54/ CHP1
GPS solar tracker w/ shading ball	EKO	STR-22
Barometric pressure sensor	Lufft	WS503
Wind set, speed and direction	Lufft	WS503
Relative humidity and temp sensor	Lufft	WS503
UV Sensor	Kipp & Zonen	CUV5

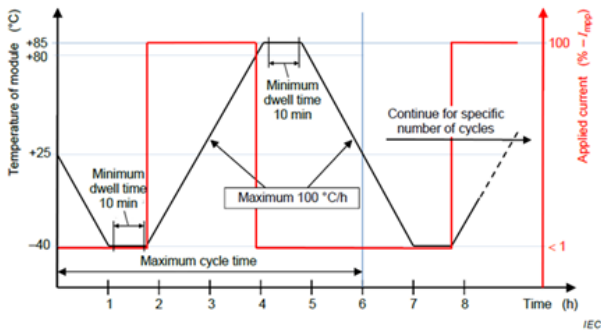


Fig. 2. Thermal cycling test profile³⁾

에 한하여 시험하고 있다. IEC TS 63126 (표준명: Guidelines for qualifying PV modules, components and materials for operation at high temperatures)에서는 태양광모듈의 설치 환경이 높은 온도 조건의 경우 핫스팟(hot-spot endurance test), 자외선 시험, 온도 사이클 시험 등에서의 최대 온도를 높이는 것에 대하여 가이드라인을 설정하고 있는데 본 실험을 통한 기후 측정 분석 결과에서는 IEC TS 63126에서 제안하고 있는 최대 온도 범위 70°C 이내의 기후 환경으로 기존 IEC 61215에서의 시험법을 준용하면 문제가 없게 된다. 그러나 1년 동안의 외기 온도의 모니터링 데이터를 기반으로 하여 국내 모듈 시험의 경우 온도 사이클 시험에서의 최대 온도(85°C)를 낮추고, 최소 온도(-40°C)를 높여도 특별한 문제가 나타나지 않을 것으로 판단된다.

자외선 시험의 경우 280 nm ~ 400 nm의 파장 범위에서 누적 15 kWh/m²로 태양광모듈의 전면에 조사를 진행하게 된다. 자외선 센서를 통하여 측정된 연간 누적 자외선량은 53.8 kWh/m²으로 IEC 61215에서 제안하는 시험의 약 3.6배에 해당된다. 그러므로 자외선에 대한 시험 방법은 현재의 시험 방법 보다 강화할 필요성이 높다고 판단된다. 또한 1년 동안의 연평균 습도는 약 65%로 분석되어 태양광모듈의 자외선 시험에 습도 조건을 포함하여 진행하는 것이 바람직하다고 판단된다. 현재의 시험은 시험 모듈의 온도를 60°C±5°C로 유지하는 것으로 평가하고 있다.

풍속의 경우 최대 풍속 13.2 m/s, 평균 풍속 1.2 m/s로 측정되었다. IEC 61215의 경우 최소 모듈이 견뎌야 하는 정적하중은 2400 Pa로 모듈 표면에 눈 등의 정적 하중에 의한 내구성을 평가하고 있다. 태양광 시스템 설계시 보통의 경우 풍속 30 m/s ~ 40 m/s 수준을 고려하고 있으므로, 설치 지역의 최대 및 최소 풍속에 대한 측정 데이터를 기준으로 하여 과설계에 대한 시스템 시공비를 낮추고 모듈에 대한 기계적 강도의 요구 사항도 낮출 필요성이 있다. 특히 눈에 의한 적설 하중을 고려한다면 2400 Pa에 해당되는 모듈의 기계적 강도의 최소 사양은 적설량 약 1.2 m에 해당되므로 겨울철 눈에 의한 피해가 예상되는 강원도 등의 도서산간지역을 제외하고는 태양광모듈의 기계하중에 대한 내구성 평가 기준을 2400 Pa 이하로 낮출 필요성이 있다.

Typical applications	Class A High precision	Class B Medium precision	Class C Basic precision
Basic system performance assessment	X	X	X
Documentation of a performance guarantee	X	X	
System losses analysis	X	X	
Electricity network interaction assessment	X		
Fault localization	X		
PV technology assessment	X		
Precise PV system degradation measurement	X		

Fig. 3. Monitoring system classifications and suggested applications

	Class A High precision	Class B Medium precision	Class C Basic precision
Maximum sampling interval			
For irradiance, temperature, wind, & electrical output	10 seconds	1 minute**	1 minute**
For soiling, rain, snow, & humidity	1 minute	1 minute**	1 minute**
Maximum recording interval	1 minute	60 minutes	60 minutes

Fig. 4. Sampling and recording interval requirements

전 세계의 주요 이해 관계자들이 채택한 태양광 발전소 모니터링에 관한 여러 국제 표준이 있다. 가장 새롭고 포괄적인 표준은 2017년 3월에 제정된 IEC 61724-1 (Photovoltaic system performance - Part 1: Monitoring)으로써 IEC 61724-2 와 IEC 61724-3을 통하여 측정된 데이터 분석에 대한 기본을 제공하고 있다. IEC 61724-1은 일사강도 입력에서 AC 전원 출력에 이르는 태양광시스템의 성능 모니터링 및 분석을 위한 장비, 방법 및 용어에 대해 설명을 하고 있다. IEC 61724-1 표준에는 3가지 등급의 모니터링 시스템 (A, B, C)으로 분류하고 있는데 이는 다양한 수준의 불확실도와 사용 방법에 따라 정의하고 있다. Fig. 3은 IEC 61724-1에 규정한 모니터링 시스템 등급에 대한 분류를 정리하였고 Fig. 4는 각 등급에 맞는 일사량, 온도, 풍속 등에 데이터 수집에 대한 샘플링 시간 및 최대 기록 시간에 대하여 정의하였다⁶⁻⁸⁾.

설치 각도에 따른 연간 일사 조건을 분석하였다. 수평면으로 설치된 일사량계의 연간 누적 일사량은 1342 kWh/m²이고, 45도로 설치된 경우 1536 kWh/m²으로 관측되었다. IEC 61215 시험에서는 초기 안정화(initial stabilization)시험에서 약 10 kWh/m²과 옥외폭로시험에서 약 60 kWh/m²으로 실제로 인증용 모듈이 시험을 통하여 받게 되는 총 누적 일사량은 연간 태양광모듈이 받는 총 일사량과 비교하면 10분의 1 수준으로 매우 낮은 수준이다. 이에 인공 광원을 이용한 태양광모듈의 장기 내구성 평가가 필요하다고 판단된다.

또한 고정식(45°)과 트래킹 태양광시스템의 운영에 따른 누적 일사량은 비교하였다. 트래커가 태양을 추적할 때 직달 일사량 센서와 함께 설치된 일사량계(EKO, MS-602)의 연간 누적 일사량은 1990 kWh/m²로 고정식(45°)대비 약 30%의 높아 국내의 경우 트래커를 이용한 단축 또는 양축의 태양광시스템의 운영에 대한 검토도 긍정적으로 필요한 것으로 판단된다.

ISO 9060 표준은 “태양 에너지- 반구 태양 및 직접 태양 복사 측정을 위한 장비의 명세 및 분류”에 관한 것으로 그것은 수평 또는 기울어진 방사 조도를 측정하기 위한 것이다. 일사량계는 사

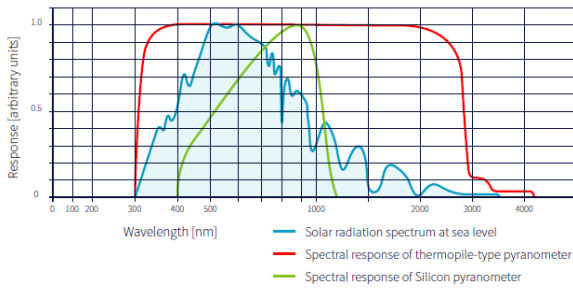


Fig. 5. Sampling and recording interval requirements



Fig. 6. Pyranometer(left) and Si solar cell(right) type irradiance sensor

용되는 PV 셀 또는 태양열 집열기의 유형에 상관없이 가능한 모든 들어오는 태양 에너지를 측정하기 위해 넓은 스펙트럼 대역폭에 걸쳐 평평한 스펙트럼 응답을 가져야한다. 이 측정은 일반적으로 들어오는 방사선을 흡수하고 서모 파일을 가열하며 온도 상승을 작은 전압으로 변환하는 검은 색으로 코팅된 thermoelectric 유형의 감지기를 사용하여 측정된다. Fig. 5의 경우 일반적인 일사량계와 실리콘 태양전지를 사용한 일사량계의 입사 태양광 파장에 대한 반응도를 나타낸 것이다. 실리콘 태양전지를 사용한 센서 대비 전 파장 영역에서의 반응 속도가 균일하게 나타나는 것을 확인할 수 있다⁹⁾.

높은 등급의 일사량계는 수백만 원에 이르는 고가의 센서로 일반 태양광발전 사업자가 설치하여 사용하기는 부담이 있어 보통의 몇 만원에서 수십만 원 이하의 실리콘 형태의 센서를 이용하여 일사량을 측정하는 곳이 많다. 이에 본 실험에서는 태양광발전 시스템에서 설치되는 모듈의 구조와 동일한 태양전지를 이용한 센서(영국 EETS사, 모델명 RC01)로 고가의 일사량계를 대체할 수 있는지에 대한 검토 및 분석을 진행하였다. 태양전지 센서의 구조는 glass/EVA/solar cell/ EVA/Backsheet이며 독일 Fraunhofer 연구소에서 STC (Standard Test Condition)에서의 검교정을 완료하다. 이때 온도계수시험을 통하여 태양전지의 온도 변화에 따른 전류 변화율(0.043%/K) 및 전압 변화율(-0.329%/K)을 일사강도 계산에 반영하였다. Fig. 6은 본 실험에서 사용된 일사량계(thermopile type pyranometer)와 실리콘 태양전지를 이용하여 제작된 센서의 이미지이다.

수평면(0°)와 45° 설치된 실리콘 태양전지모듈 형태의 센서의 경우 연간 1292 kWh/m²와 1440 kWh/m²으로 측정되었다. 이는 수평면에서는 약 3%의 오차와 45°의 경우 약 6%의 오차를

나타내는 것으로 태양전지의 반응 계수가 Thermopile 형태의 일사량계와 비교하여 일정하지 않아도 태양광 발전소에서 설치하여 운영하는 데 3%~6% 수준의 오차를 감안하고 사용한다면 저렴한 가격으로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

3.2 국내 환경을 고려한 태양광모듈 시험법 및 일사량 취득 센서 제안

국내 대전 지역의 장기적 기후 데이터의 수집과 분석을 통하여 다음과 같이 IEC 61215 기반 태양광모듈의 내구성 시험법에 대한 수정 및 변경을 제안하고자 한다.

1. 자외선 시험법: 280 nm ~ 400 nm 파장에서의 총 누적 자외선량 15 kWh/m²에서 50 kWh/m²으로 변경. 자외선 시험 시 습도 조건을 포함한 시험 진행.
2. 온도사이클 시험법: 고온조건(80°C)에서 70°C로 변경. 저온조건(-40°C)에서 -20°C로 변경
3. 기계강도 시험법: 2400 Pa에서 설치 지역을 고려한 제조사 및 고개의 요구에 맞는 2400 Pa 이하에서의 시험도 허용

그리고 시스템 설계 및 설치 기준으로, 1. 일사량 측정을 위하여 기존 thermopile 형태의 일사계 또는 설치된 태양광모듈의 기술과 동일한 검교정된 실리콘태양전지 센서의 설치도 고려할 수 있도록 검토 2. 태양광시스템 설치시 1년 이상의 장기 데이터를 기반으로 하여 태양광모듈의 시험조건 검토 등을 제안한다.

4. 결론

태양전지모듈은 온도변화, 일사강도(자외선, 기사광선, 적외선), 습도, 눈, 바람 및 진동 등의 다양한 환경 변화 가운데 전기에너지를 생성하게 된다. 국내는 IEC 61215 국제 표준을 기반으로 하여 KS C 8561을 제정하여 결정질 태양전지모듈에 대한 시험과 인증을 진행하고 있다. 국내 대전지역의 1년 동안의 기후 데이터를 분석하고 이를 설치 지역의 기후 조건을 고려한 태양광모듈의 일부 시험에 대한 시험법 변경에 대하여 제안하게 되었다. 그리고 태양광시스템의 설계시 두 가지 기술의 일사량계를 설치하여 연간 누적 일사량을 계산하고 그 값을 기반으로 하여 일사량 센서의 선택에 대한 기술적인 의견도 기술하였다.

이를 통하여 추후 국내 태양광모듈의 국내 환경에 대응하는 인증, 연구 및 시험에서의 정보를 제공하고자 하였다. 추후 대전 지역 뿐 아니라 국내의 장기적인 환경 모니터링 데이터를 수집 및 분석하여 태양광모듈의 내구성 평가 기술 및 표준 개발에 기여할 계획이다.

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. IEA PVPS “Snap shot of global PV market,” International Energy Agency, 2019.
2. IEC 61215-1, “Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1: Test requirements,” IEC Central Office, 2016.
3. IEC 61215-2, “Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures,” IEC Central Office, 2016.
4. IEC 61215-1-1, “Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1-1: Special requirements for testing of crystalline silicon photovoltaic (PV) modules,” IEC Central Office, 2016.
5. KS C 8561, “Crystalline silicone photovoltaic(PV) module(performance),” IEC Central Office, 2016.
6. IEC 61724-1, “Photovoltaic system performance - Part 1: Monitoring,” IEC Central Office, 2017.
7. IEC TS 61724-2, “Photovoltaic system performance - Part 2: Capacity evaluation method,” IEC Central Office, 2016.
8. PD IEC TS 61724-3, “Photovoltaic system performance. Energy evaluation method,” IEC Central Office, 2016.
9. KIPP&ZONEN, “The benefits of accurately measuring solar irradiance,” www.kippzonen.com, 2019.