

# 가혹조건에서의 태양전지모듈 내구성 평가를 통한 최적의 시험조건 제안

김경수\*, 강기환, 유권종, 윤순길\*\*

\*한국에너지기술연구원, 충남대학교 재료공학과(kskim@kier.re.kr),

\*\*충남대학교 재료공학과(sgyoon@cnu.ac.kr)

## Suggestion of Long-term Life Time Test for PV Module in Highly Stressed Conditions

Kim, Kyung-Soo\* Kang, Gi-Hwan Yu, Gwon-Jong Soon-Gil Yoon\*\*

\*Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research,

\*Chungnam National University, Materials Science and Engineering(kskim@kier.re.kr),

\*\*Chungnam National University, Materials Science and Engineering(sgyoon@cnu.ac.kr)

### Abstract

To guarantee life time more than 20 years for manufacturer without stopping photovoltaic(PV) system, it is really important to test the module in realistic time and condition compared to outside weather. In here, we tested PV modules in highly stressed condition compared to IEC standards. In IEC 61215 and IEC 61646 standards, damp-heat, thermal cycle(TC200) and mechanical test are main test items for evaluating long-term durability of PV module in controlled temperature and humidity condition. So in this paper, we have lengthened the test time for TC200 and damp-heat test and increased the loading stress on surface of module. Through this test, we can get some clue of proper the method for measuring realistic life cycle of PV modules and suggested the minimum time for PV test method. The detail description is specified as the following paper.

Keywords : 태양전지모듈(photovoltaic module), 내구성(durability, weathering), 신재생에너지(new&renewable Energy), 최대출력(maximum power), 온도사이클시험(temperature cycling test), 내열내습시험(damp-heat test), 기계강도시험(mechanical load test)

### 1. 서론

태양전지모듈이 전기 생산을 목적으로 외부

에 설치되어 운영 시 기계적, 전기적 및 재료적으로 다양한 외부 스트레스를 받게 된다. 기계적 변형은 전면 유리, 프레임, Junction Box

투고일자 : 2010년 8월 12일, 심사일자 : 2010년 8월 25일, 게재확정일자 : 2010년 10월 4일

교신저자 : 김경수(kskim@kier.re.kr)

등의 파손이 있으며 재료적으로는 EVA Sheet의 황변현상, Back Sheet의 접착력 저하, Ribbon과 태양전지의 부식 등이 있다. 그리고 전기적으로는 국부적 열집중(Hot Spot)에 의한 화재 등의 발생이 있을 수 있다. 국내에서는 KS C IEC61215(결정계 실리콘 지상용 태양전지 모듈\_설계인증 및 형식승인)과 KS C IEC61646(지상용 박막 태양광 모듈의 설계요건과 형식승인)을 바탕으로 2007년 이후로 인증시험을 진행하고 있다. 이를 기반으로 태양전지모듈의 내구성이 10년 또는 20년 이상이라고 제조자 측에서 주장하고 있다. 그러나 태양전지모듈이 제조되어 최종 설치되는 지역 및 장소는 매우 상이한 환경적인 조건이 되어 예측되는 수명보다도 오히려 짧거나 길 수도 있다. 이와 관련하여 태양전지모듈의 시험과 관련된 IEC 및 UL의 시험 방법과 비교하여 현재 수준에서 예측 가능한 모듈의 수명과 좀 더 실제적인 모듈의 내구성 평가를 위한 시험 방법을 제안하고자 하였다.

따라서 본 논문에서는 실리콘 결정질 태양전지모듈을 이용하여 일반적인 시험 기준에 준하여 결과를 도출하고 가혹상황이 지속됨에 있어서 모듈이 받게 되는 전기적 외부적인 특징 변화를 관찰하였다. 이를 토대로 모듈의 장기적 수명 예측을 위한 적합한 시험 방법을 제안하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 배경

태양광 모듈은 옥외에서 장기간 노출되어 사용되기 때문에, 고온, 고습, 염분, 강풍, 모래폭풍, 강설, 강포(우박내림) 등 혹독한 기상 조건뿐 아니라 자외선에 의한 열화나 변색 억제 특성 및 열화 특성이 우수해야 한다. 20~30년의 장기적 작동에 따른 PV모듈의 변화를 예측하고자 태양광 모듈의 규격에 대해서는 IEC를 중심으로 운영되고 있으며, 우리나라도

IEC61215, IEC 61646 기준을 근거로 하여 각각 KS IEC 61215와 KS IEC 61646라는 국내 기준이 작성되어 2007년 이후로 운영되고 있다.

태양전지의 장기적 내구성 특성은 단순히 한 가지 시험 및 변수에 의하여 판정하기는 어렵다. 그러나 만약 태양전지모듈이 온도에 의해서만 주도된다고 가정하면 재료의 변형 속도는 아래와 같이 식 (1)에서와 같이 Arrhenius 방정식으로 나타내어 질 수 있다.

$$Rate \propto \exp\left[\frac{-E_a}{kT}\right] \quad (1)$$

$E_a$  : the effective activation energy of degradation process

$k$  : Boltzmann's constant

$T$  : the sample temperature

위의 식에서 다양한 온도조건으로 태양전지모듈의 내구성을 평가한 결과  $E_a$ 의 값은 대략 1.1eV가 가장 특성 값으로 가장 많이 관찰되는 것으로 나타났다.

만약 장기적 모듈의 내구성을 평가하기 위한 방법으로 실내 항온항습 챔버를 통하여 일정 온도에서 가능하다면 아래 식(2)에서와 같이  $t_1$ 에서  $t_2$ 시간동안에 모듈의 온도가  $T_m(t)$ 로 변한다고 생각하면 챔버온도  $T_{eq}$ 에서의 실험을 통하여 시뮬레이션이 가능할 수 있게 된다.

$$\exp\left[\frac{-E_a}{kT_{eq}}\right] = \frac{1}{t_1 - t_2} \int_{t_1}^{t_2} \exp\left(\frac{-E_a}{kT_m(t)}\right) dt \quad (2)$$

$T_{eq}$  : equivalent temperature

$t$  : time

$T_m(t)$  : the time-dependent module/cell temperature

$t_1$  : time of test start

$t_2$  : time of test end

관련 논문<sup>(5)</sup>에서는  $E_a(1.1eV)$ 인 경우 개방형으로 설치된 태양전지모듈의 경우 항온항

습 챔버에서 온도조건 85°C에서 1000시간 동안 진행되는 시험은 옥외에서 25년~50년 가까이 내구성을 평가하는 기준임을 제시하였다.

본 실험에서는 IEC의 태양전지모듈 시험 방법 중 모듈의 내구성에 가장 영향을 줄 수 있는 몇 가지 시험을 통하여 평가가 진행되어질 때 제한된 시험 방법으로 장기적인 모듈의 내구성을 검증할 수 있는지를 확인하고 이에 더하여 시험 시간 및 가혹조건을 변경하여 시험한 결과 나타날 수 있는 현상을 관찰하고 분석하고자 하였다.

### 2.2 실험 방법

본 실험에 사용되어진 태양전지모듈은 결정질실리콘 태양전지를 Glass/EVA/ SolarCell/EVA/BackSheet의 형태로 라미네이션 공정을 이용하여 제작되었다.

출력 특성 변화를 관찰하기 위하여 최대 모듈 사이즈 2m x 2m까지 측정가능하며 방사 균일도 ±2%, 방사안정도가 ±2%인 A급 Solar Simulator (PasanIIIb)를 사용하였으며 측정 조건은 측정 온도 25°C, AM 1.5, 방사조도 1kW/m<sup>2</sup> 조건에서 기준셀을 이용하여 I-V curve를 측정하였다. 인공광원은 Xenon Lamp 펄스타입으로 최대 일사량에서 10msec의 Pulse Duration Time을 가지는 특성이 있다.

Back sheet의 습기침투 특성을 살펴보고자 WVTR(Water vapor transmission rate) 실험을 진행하였다.

환경 가속 시험을 진행하기 위하여 사용된 환경챔버는 크기 2.5mx2.5mx2.5m이며 고온 120°C에서 저온 -50°C 까지 프로그램 제어 방식으로 운전이 가능하며 실험동안 데이터로거 (Agilent 34970A)를 이용하여 1분마다 전기 및 온도 특성을 모니터링 하였다.

태양전지모듈의 하중 변화에 따른 특성을 알아보고자 최대 6000Pa까지 제어가 가능한 하중 시험기를 이용하여 모듈의 전·후면에 일정 하중조건에서 전면 1시간 후면 1시간을 1사이클로 진행하여 총 3사이클씩을 진행하였다.

결정질 태양전지모듈의 current-voltage 커브를 측정하여 모듈 표면에 가해지는 응력 변화에 따라 전기적 저항 변화를 측정하고자 그림 1과 같이 시스템을 구축하였다.

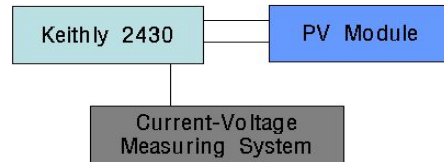


그림 1. Dark I-V 측정 시스템 개요

### 2.3 실험 결과

태양광 모듈 구조에 따라서 다르기도 하지만, 일반적으로 Back sheet는 태양광 모듈의 구조에서 맨 후면에 위치하게 되며, 각 층간의 접착력이 좋아야 하고, 다루기가 간편해야 한다. 또한, 후면에서 습기가 침투하는 것을 방지하여 태양전지를 외부환경에서 부터 보호해야 한다. Back sheet의 습기 침투 특성을 관찰하기 위하여 WVTR(Water vapor transmission rate) 실험을 그림 2과 같이 진행하였다. 실험 조건 습도 85%R.H., 온도 60°C의 조건에서 Back sheet를 통하여 침투되는 수분이량은 5.3212g/m<sup>2</sup>·day의 속도로 침투가 일어남을 알 수 있었다.

본 실험에 사용된 태양전지모듈의 사이즈 (1m x 1.7m)의 경우 하루에 9.04g의 수분이 투입이 발생한다. 모듈 내부에 수분이 침투 가능한 공간을 태양전지의 두께(약 200µm)로 환산해보면 약 37일이 경과 후 최대 335.9g의 수분이 누적되어 모듈 내부의 수분이 누적 가능한 최대 상태가 된다.

고온고습시험(온도 85°C, 습도 85% R.H.)의 경우 장기간 침투에 대한 모듈의 내구성을 조사하는 것을 목적으로 하는 것으로 1000시간까지의 재료의 열적 스트레스를 시험한다. 본 논문에서는 기준이 되는 시험의 4배에 해당하는 최대 4000시간까지의 가혹조건에서 전기적 특성을 평가하였다.

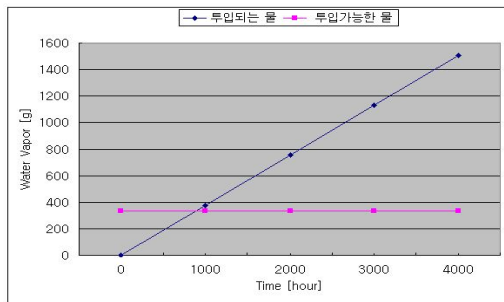


그림 2. Backsheet를 통한 습기침투 변화

그림 3의 경우 시험시간 2250시간과 그림 4의 경우 4000시간에 따른 태양전지모듈의 출력값의 변화를 나타낸 것으로 기준시간 1000 시간동안에는 출력 변화가 -5% 이내로 출력 감소에 대한 문제가 없었으나 약 2500시간이 초과될수록 급격한 출력 감소가 나타났다. 이는 모듈의 후면 재료로 사용되는 Backsheet의 미세 크랙 발생을 통한 습기 침투 및 전극 부식이 그 원인인 것으로 보인다.

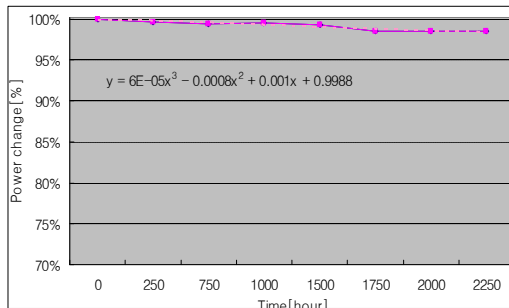


그림 3. 온도사이클 실험에 따른 모듈 출력 변화(1)

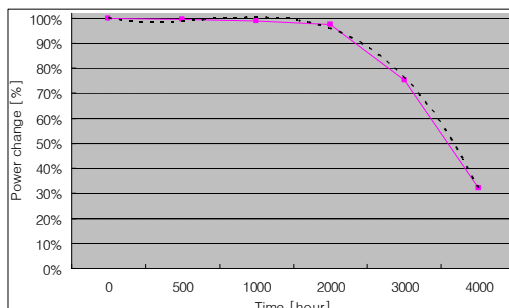


그림 4. 온도사이클 실험에 따른 모듈 출력 변화(2)

기계하중시험의 목적은 모듈의 바람, 눈, 정지 하중 또는 얼음 하중에 대한 내구성을 조사하는 것을 목적으로 하는 것으로 본 논문에서는 2400Pa의 조건과 5400Pa 이상의 조건에서의 내구성 평가를 진행하였다. 그림 5와 같이 가혹한 조건에서 모듈의 출력 감소가 두드러지게 높아짐을 확인할 수 있었다. 이는 적설량이 매우 큰 조건에서 장기적 모듈 안정성 및 출력 확보를 위하여 현재 조건의 2400Pa보다 더 큰 하중에서의 시험이 추가적으로 진행되어야 할 것으로 보인다.

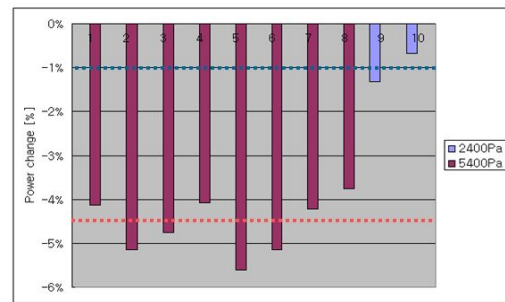


그림 5. 기계강도실험에 따른 모듈 출력 변화

일반적인 태양전지의 다이오드 식은 그림 6에서와 같이 직렬저항( $R_s$ )과 병렬저항( $R_{sh}$ )를 이용하여 도식화하여 다음의 수식 (3)으로 유도된다.

$$I = I_L - I_0 \exp\left[\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right] - \frac{V + IR_s}{R_{SH}} \quad (3)$$

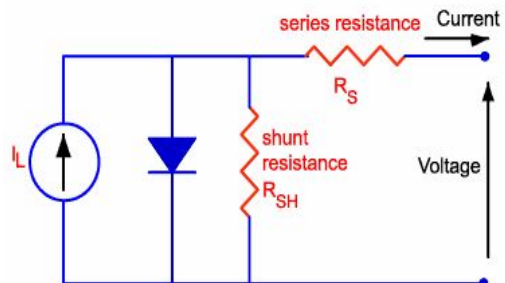


그림 6. 태양전지의 등가회로

태양전지모듈의 표면에 작용 응력의 증가에 따른 전기적인 특성을 평가한 결과 응력이 없는 경우 병렬저항은 약 125Ω, 작용 응력이 1100Pa에서 118Ω, 2000Pa에서는 115Ω로 응력 증가에 따라 병렬저항성분이 작아지는 것을 알 수 있다. 병렬저항 성분의 증가는 크게 태양전지의 P-N 접합(junction)의 결함도와 태양전지 테두리의 분리(edge isolation) 및 누설전류의 상태를 가늠하는 잣대로써 본 실험을 통하여 육안으로 확인하기 힘든 마이크로 크랙이 발생하였음을 유추 알 수 있다.

그림 7,8은 미국 S社에서 모듈을 고온 조건(UL1703 시험방법의 경우 최대온도 90℃)의 온도보다 약 20도 높은 120도로 설정하여 온도 사이클 시험을 진행한 후 그림과 같이 200사이클 이내의 구간에서는 전기적인 손실 특성이 발생하지 않았고 일정하게 유지되었다. 그러나 높은 온도의 경우 500사이클 낮은 온도의 경우 약 700사이클의 장기적인 시험이 진행될수록 모듈의 출력 감소에 영향을 주는 직렬 저항 성분이 크게 증가함을 확인할 수 있었다.

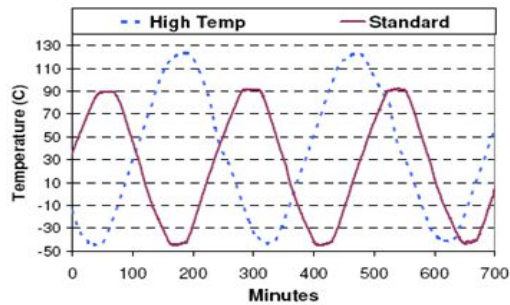


그림 7. 온도사이클 시험 조건(1)

온도사이클시험(TC200)은 온도 변화의 반복에 따라 일어나는 열적 부정합, 피로, 기타 스트레스에 대한 모듈의 내구성을 조사하는 것을 목적으로 하는 것으로 본 논문에서는 200사이클 이상의 시험을 통하여 특성 분석을 진행하였다. 그림 9과 같이 최대 350사이클(1사이클은 6시간)을 통하여 -5%이내의

출력 감소가 나타났으며 전기적 및 외관적인 변화에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

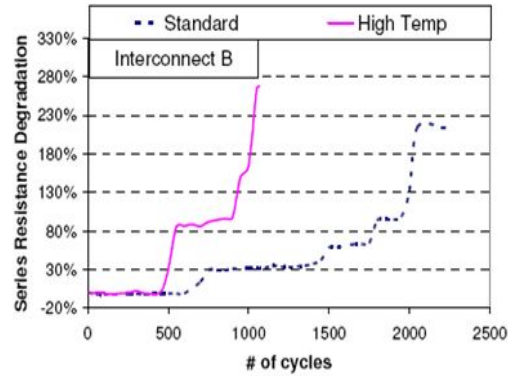


그림 8. 온도사이클 시험 조건(2)

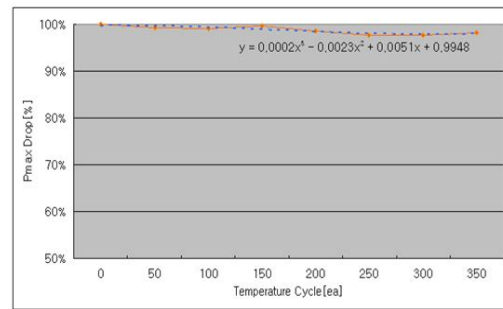


그림 9. 온도사이클 시험에 따른 모듈 출력 변화

### 3. 결 론

본 논문에서는 가혹조건에서의 태양전지모듈 내구성 평가를 통한 최적의 내구성 평가 시험조건 제안을 시도하였다.

태양전지모듈의 내구성 평가 시험 항목으로 고온고습시험, 온도사이클시험, 기계적하중시험 등의 평가를 IEC 시험 기준에 준하여 시행하고 변수가 되는 시험 시간 및 하중을 조건을 증가하여 이상적인 내구성 평가를 위한 시험 조건을 찾고자 하였다.

온도사이클시험을 통하여 기준이 되는 200사이클 시험에서는 전기적, 외관적인 특성 저하를 관찰하기 힘들었으며 지속적인 실험을

통하여 확인할 필요성이 있었다. 고온고습시험을 통하여 2500시간 이후에 모듈 출력 특성이 습기 침투에 의하여 급격한 감소가 나타났다. 기계강도 시험을 통하여 2400Pa 보다 높은 5400Pa의 경우 초기 출력대비 -5.5%까지 감소가 나타났으며 태양전지모듈의 급격한 기후(눈 및 바람 등)에 의하여 육안으로 확인하기 힘든 마이크로 크랙이 발생하였음을 유추 알 수 있었다.

이를 통하여 현재의 시험조건인 온도사이클 200시험은 500사이클 이상, 고온고습시험은 2500시간 이상, 기계하중시험은 5400Pa 이상으로 진행하여 20년 이상 내구성 확보를 가능한 모듈임을 입증할 수 있도록 신규 시험방법을 제안하게 되었다.

Modules", Conference Paper NREL/ CP-520-45986 June 2009

### 참 고 문 헌

1. G.H.Kang, G.J.Yu, H.G.Ahn and D.Y.Han, "Consideration of Electrical Properties in Field-aged Photovoltaic Module", KIEEME, vol.17, no.12, p.1289, 2004.
2. G.H.Kang, K.S.Kim, C.H.Park, G.J.Yu, H.K.-Ahn and D.Y.Han, "Analysis of Photovoltaic module's Phenomena of aging with Acceleration Test", Proceeding of KIEE Annual Summer Conference, 2006.
3. Dixon PR, "Thermal aging predictions from an Arrhenius plot with only one data point" IEEE Transactions on Electrical Insulation EI-15, 331 (1980)
4. Y. Meydbray, K. Wilson, E. Brambila, A. Terao, S. Daroczi Krauter, "SOLDER JOINT DEGRADATION IN HIGH EFFICIENCY ALL BACK CONTACT SOLAR CELLS", SunPower Corporation
5. Y. Meydbray, K. Wilson, E. Brambila, A. Terao, S. Daroczi Krauter, "Evaluation of High-Temperature Exposure of Photovoltaic