

태양전지모듈의 국부적 열특성 변화에 따른 장기적 내구성 및 출력특성 분석

강기환¹, 김경수¹, 박지홍^a, 유권종¹, 안형근^a, 한득영^a
¹한국에너지기술연구원, ^a건국대학교

The analysis on long-term durability and output power characteristics of PV modules by variation on local thermal property

Gi-Hwan Kang^{a1}, Kyung-Soo Kim¹, Chi-Hong Park^a, Gwon-Jong Yu¹, HyungKeun Ahn^a, Deuk-Young Han^a
¹Korea Institute of Energy Research(KIER), ^aKonkuk University

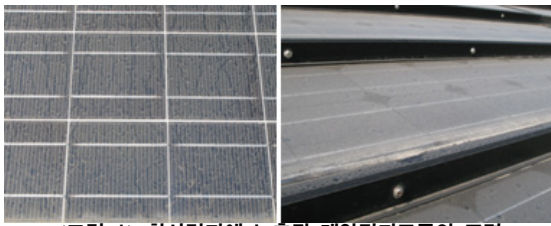
Abstract - In this paper, we studied the analysis on long-term durability and output power characteristics of PV modules by variation on local thermal property. Using 5 modules(80W), we measured the maximum output power change during the test period. And the optical transmittance of glass was compared with PV module's maximum power fluctuation. The external environment change effected contamination on the entire or local surface of module. This caused the local temperature variation of each solar cell on PV module. The specific analysis is shown in the following paper.

1. 서 론

일반적으로 태양전지모듈의 내구성은 20년 이상을 가진다고 알려져 있다. 전기 생산을 목적으로 외부에 설치 시 초기 태양전지모듈의 발전 성능으로부터 예측되어지는 연간 전력생산량은 실제와 많은 차이가 있는데 이는 크게 2가지로 원인으로 나눌 수 있다. 구성 재료적 관점에서는 저철분 유리의 파손, EVA Sheet의 황변현상, 태양전지 특성변화 및 전극리본의 부식, 습기 침투, 접착력 약화, Hot-Spot 현상등과 환경적인 관점에서 온도, 습도, 자외선, 눈, 비, 먼지 등에 의한 태양전지모듈의 출력 저하가 있다. <그림 1>은 최근 발생한 황사 먼지에 의한 태양전지모듈의 표면의 상태를 나타낸 것으로 모듈로 입사되는 광량의 감소로 인한 출력저하가 매우 클 것으로 예상할 수 있다.

구성 재료의 변화는 모듈 공정 조건 최적화와 환경 가속시험에 의하여 내구성을 검증할 수 있지만 환경변화에 따른 태양전지모듈의 출력변화는 많은 경우에 예측하기 어렵다.

본 실험에서는 태양전지모듈을 외부에 노출하여 환경변화에 따른 전기적 출력 변화를 측정하였으며 이에 따른 국부적 열특성 차이에 의한 모듈의 장기적 내구성 및 출력 특성에 대하여 분석하였다.



<그림 1> 황사먼지에 노출된 태양전지모듈의 표면

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 방법

태양전지모듈의 국부적 열특성 변화에 따른 장기적 내구성 및 출력특성 분석을 위하여 5인치의 단결정 태양전지 36장을 직렬로 연결된 80W 급 모듈 5장을 외부에 노출하였다. 태양전지모듈의 전기적 출력 특성은 <표 1>에 나타나있다.

총 실험기간은 49일이며 실험 장소는 대한민국 대전광역시 장동에 위치한 한국에너지기술연구원이며 정남향 방향으로 45도 경사각을 가지도록 설치되었다.

태양전지모듈의 표면을 통한 빛의 광투과율의 변화를 측정하기 위하여 5cm x 5cm 의 저철분 유리를 같은 위치에 노출시켰으며 모듈 출력 측정시 함께 투과율을 분석하였다. 그리고 환경요인에 따른 모듈의 표면 변화와 열특성 변화를 측정하였다.

환경변화는 기상청(www.kma.go.kr)자료를 이용하여 강우량, 적설량, 황사농도를 수집하였다.

태양전지모듈의 발전성능 및 투과율은 2007년 2월 22일부터 4월 12일까지 49일간 7회에 걸쳐 측정되었다.

<표 1> 태양전지모듈의 사양

Module Name	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
P _{max} [W]	75.9	76.4	78.1	75.9	75.7
V _{oc} [V]	21.7	21.6	21.8	21.6	21.7
I _{sc} [A]	4.93	5.02	5.05	4.95	4.97
V _{max} [V]	17.1	17.1	17.4	17.1	17.1
I _{max} [A]	4.44	4.47	4.49	4.44	4.43

2.2 실험 장치

태양전지모듈의 전기적 출력 특성을 측정하기 위하여 최대 모듈 사이즈 2m x 2m까지 측정가능하며 방사균일도 ±2%, 방사안정도가 ±2%인 A급 Solar Simulator (PasanIIIb)를 사용하였으며 측정조건은 측정 온도 25°C, AM 1.5, 방사조도 1kW/m²조건에서 기준셀을 이용하여 I-V curve를 측정하였다.

광투과율 측정에는 파장 재현성 ±0.1 nm(자외선, 가시광선), ±0.4 nm(적외선)인 Spectrophotometer(V570, JASCO)를 사용하여 파장 범위 200nm~1100nm 범위에서 측정하였다.

외부 환경변화 및 환경 조건에 따른 태양전지모듈의 전체와 국부적 열특성 분포 및 차이를 관찰하기 위하여 적외선 카메라 (FLIR System)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

태양전지모듈을 외부에 노출한 후 시간에 따른 모듈 표면의 변화를 관찰하였다. <그림 2>은 시험기간 동안에 눈, 비, 먼지 등의 환경요인에 의한 대표적인 표면 사진이다. 3월 7일은 황사농도가 119.8μg/m³로 매우 높게 나타난 경우이며 3월 9일은 적설량 1.1cm 이후 눈이 녹은 후의 경우이다. 4월 4일은 3월 28일부터 3월 31일까지 42.5mm의 강수량을 나타낸 후 4일후의 모듈 표면 사진이다. 이와 같이 태양전지모듈의 최대 전력 생산량에 영향을 주는 설계제어요소인 미스매치, PCS, 전압상승, 고장 및 정지, 스트링 결합 등의 내부적인 요소뿐만 아니라 설치 환경에 따라 많은 차이가 있음을 예상할 수 있다.

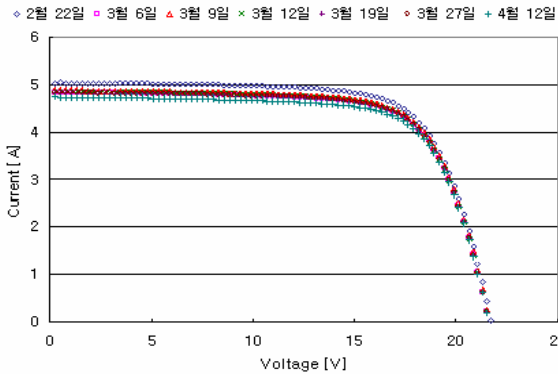


<그림 2> 환경요인에 의한 태양전지모듈의 표면 변화

외부환경에 노출된 A-3 태양전지모듈의 발전성능 변화를 측정한 결과가 <그림 3>에 나타나 있다. 2월 22일 초기 최대 출력값 78.1W에서 49일이 지난 4월 12일에는 5.9% 출력이 감소한 73.5W를 나타내었다.

설치된 모듈의 측정 날짜별 출력 변화율을 비교한 결과 <표 2>에서와 같이 5개 모듈이 평균적으로 초기 최대 출력대비 5%감소를 나타내었으며 모듈별 5.9W에서 3.7W의 출력 감소가 있었다.

특히 3월 9일 측정결과 3월 6일에 비하여 약 1W의 최대 출력상승이 있었는데 이는 1.1cm의 적설량으로 인한 모듈 표면의 오염을 줄여준 효과로 인한 것이며 이는 <그림 2>에서 확인가능하다. 그리고 3월 24일에는 19.5mm의 많은 강수량이 있었지만 3월 27일 측정 시 모듈의 출력 증가는 4차 측정(3월 19일)에 비하여 0.5W에 그쳤다. 이를 통하여 눈에 의한 모듈 표면 정화가 빗물에 의한 경우보다 효과가 큼을 확인할 수 있었다.



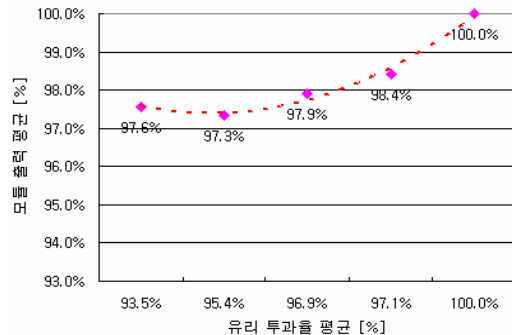
〈그림 3〉 외부 환경에 노출된 A-3 모듈의 I-V 측정 결과

〈표 2〉 외부 환경에 노출된 태양전지모듈의 출력 변화율

날짜	2월22일	3월6일	3월9일	3월12일	3월19일	3월27일	4월12일
A-1	100.0%	98.6%	99.7%	98.9%	98.6%	98.8%	96.3%
A-2	100.0%	97.5%	98.4%	97.6%	97.1%	97.4%	94.9%
A-3	100.0%	96.2%	97.1%	96.4%	95.9%	96.2%	94.1%
A-4	100.0%	97.9%	98.7%	98.6%	98.2%	98.0%	95.4%
A-5	100.0%	96.8%	98.2%	98.0%	97.0%	97.5%	94.2%
균일도	2.2%	1.5%	1.2%	0.8%	1.3%	1.0%	1.8%

태양전지모듈의 출력 균일도 변화 추이를 관찰해 보면 초기 2.2%에서 시험기간 동안에 따라 평균 1.2%로 모듈의 균일도가 높아지는 것으로 확인되었으며 환경 변화에 따른 태양광발전시스템의 구성요소인 모듈의 출력 불균일도는 감소는 것으로 관찰되었다.

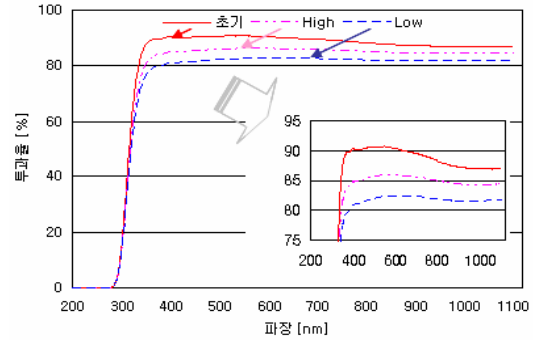
태양광모듈의 표면으로 투과되는 빛의 투과율과 태양전지모듈의 출력 특성을 초기값에 대한 감소율을 비교한 결과 <그림 4>에서와 같이 유리 투과율 감소율이 태양전지모듈의 최대출력의 감소율보다 크고 비례하지 않는 이유는 모듈 제조시 유리면과 EVA Sheet의 접합으로 인한 반사율의 감소와 국부적 투과율 차이 때문이다.



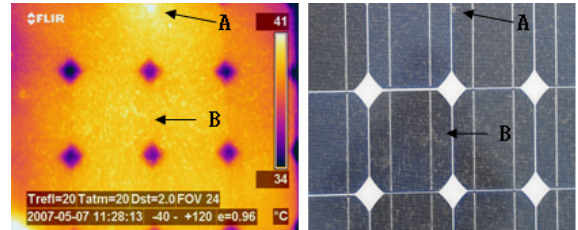
〈그림 4〉 저철분투명유리의 광투과율과 모듈 출력 특성 비교

특히 태양전지모듈의 표면에 국부적 오염이 발생하면 태양전지의 광투과율의 차이를 발생시키며 이로 인하여 발전성능의 불균형 및 열특성 변화를 예상할 수 있다. <그림 5>은 모듈 표면의 먼지등의 환경요인에 의하여 나타난 광투과율의 차이를 측정 한 것인데 550nm 파장에서 초기 저철분유리의 투과율 91%에서 국부적 오염이 심한 부분은 86%이며 나머지부분은 82%로 오염에 의하여 약 4%의 광투과율의 차이가 나타남을 확인할 수 있었다.

국부적 투과율의 차이로 인하여 출력 특성의 변화에 영향을 미치는 열적 영향을 분석하기 위하여 적외선 카메라를 이용하여 태양전지모듈 표면의 온도 분포를 측정하였다. <그림 6>의 오른쪽 사진은 모듈 표면의 오염의 상태를 나타낸 것이며 이때의 열특성을 적외선 카메라를 사용하여 확인하였다. 특히 그림의 A, B 로 표기된 부분이 육안 검사상 투과율이 가장 나쁠 것으로 예상할 수 있었으며 측정결과 A영역은 인접 영역의 태양전지보다 약 5.2℃ 높은 것으로 나타났으며 B영역은 1.5℃ 높은 온도를 보였다. 각 개별 태양전지 내에서의 온도 차이를 측정한 결과 1.1℃에서 5.2℃까지 온도 특성이 다름을 알 수 있었으며 이를 통하여 국부적 투과율 차이에 의하여 태양전지의 출력 특성뿐 아니라 모듈의 출력에서도 손실 요인으로 작용할 수 있음을 예상할 수 있다. 이는 장기적 모듈의 구성 재료인 EVA Sheet와 태양전지의 내구성 감소에 영향을 줄 것으로 예상할 수 있다.



〈그림 5〉 외부 환경에 노출된 저철분투명유리의 광투과율



〈그림 6〉 외부 환경에 노출된 태양전지모듈의 온도분포

4. 결 론

본 연구에서는 태양전지모듈의 국부적 열특성 변화에 따른 장기적 내구성 및 출력특성 분석을 하였다. 실험을 위하여 80W급 결정질 실리콘 태양전지모듈을 실외에 약 49일간 노출하였으며 출력 변화를 주기적으로 측정하였으며 외부 환경 변화에 따른 모듈의 투과율을 측정하기 위하여 저철분유리를 모듈과 동일 환경에 설치하였다.

이를 통하여 태양전지모듈의 출력이 초기 출력에 비하여 49일후 최대 5.9%의 감소가 일어남을 확인할 수 있었으며 평균 출력 감소율이 5%였다. 그리고 출력 균일도 변화를 확인할 결과 초기 2.2%에서 실험 기간 동안 평균 1.2%로 균일도 에서 오히려 안정한 값을 나타내었다.

외부 환경요소인 비, 눈, 먼지 등에 의하여 모듈 표면의 오염정도가 전체적으로 혹은 국부적으로 변하는 것을 관찰할 수 있었다. 저철분유리의 투과율과 모듈의 최대 출력 변화율 비교를 통하여 유리 투과율 감소율이 모듈의 최대출력의 감소율보다 크고 비례하지 않는 이유는 모듈 제조시 유리면과 EVA Sheet의 접합으로 인한 반사율의 감소와 국부적 투과율 차이 때문임을 확인할 수 있었다. 그리고 국부적 오염에 의하여 모듈의 광투과율이 약 4% 정도 차이가 나타남을 확인할 수 있었다. 이것은 태양전지의 국부적 열분포 특성에도 차이를 나타내었는데 동일 모듈 내 태양전지에서 최소 1.1℃에서 5.2℃까지 온도 특성의 차이가 있음을 확인하였다.

이를 통하여 전력생산을 위하여 태양전지모듈을 외부에 설치시 외부 환경 변화에 따른 모듈의 출력 변화가 나타나며 표면 오염에 따른 입사되는 광투과율의 차이와 국부적 열특성 변화를 통하여 초기 예상된 전력량과 차이가 있으며 장기적 모듈의 구성 재료의 내구성 감소에 영향을 줄 것으로 예상할 수 있다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] John H.W, "Long Term Photovoltaic Module Reliability", PV and Solar Program Review Meeting 2003
- [2] 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.
- [3] G.H.Kang, G.J.Yu, H.K.Ahn and D.Y.Han, "The Effect of Electrical Properties with Degradation of EVA sheet and Electrode in Photovoltaic Module", Proceeding of KIEEME Annual Summer Conference, 2005.
- [4] 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.
- [5] G.H.Kang, K.S.Kim, C.H.Park, G.J.Yu, H.K.- Ahn and D.Y.Han, "The Effect of Environmental Changes on Photovoltaic Module's Optical and Electrical Output Power Characteristics", Proceeding of the KSES Spring Annual Conference, 2007.