

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 3, 2007

환경변화 요인에 따른 결정질 실리콘 태양전지모듈의 최대출력 특성 분석

강기환*, 김경수*, 박지홍**, 유권종*, 안형근**, 한득영**

*한국에너지기술연구원(ghkang@kier.re.kr), **건국대학교(dyhan@konkuk.ac.kr)

The Analysis on Maximum Output Power Characteristics of Crystalline Silicon Photovoltaic Module by Change of Environmental Effects

Kang, Gi-Hwan*, Kim, Kyung-Soo*, Park, Chi-Hong**,
Yu, Gwon-Jong*, Ahn, HyungKeun**, Han, Deuk-Young**

*Photovoltaic Research Group, Korea Institute of Energy Research (ghkang@kier.re.kr),

**Konkuk University, Department of Electrical Engineering (dyhan@konkuk.ac.kr)

Abstract

In this study, we analyzed the maximum output power characteristics of crystalline silicon photovoltaic module by change of environmental effects. The electrical, optical and thermal property of PV modules were investigated during outdoor test period about 70 days. There was a fluctuation in maximum output power by change in transmittance caused by environment effects like rain, snow and dust. The effects of external environmental change were analyzed using climate data. Also local thermal temperature variation and transmittance imbalance on surface of PV module which might lead degradation of constituent material were detected using infrared camera. The further analysis is describe in the following paper.

Keywords : 태양전지모듈(Photovoltaic module), 최대출력(Maximum power generation), 환경요인(Environmental effect)

기 호 설 명

P_{max} : 최대 전력 (W)

V_{oc} : 개방 전압 (V)

I_{sc} : 단락 전류 (A)

V_{max} : 최대 출력 (동작) 전압 (V)

I_{max} : 최대 전류 (동작) 전류 (A)

접수일자 : 2007년 5월 25일, 심사완료일자 : 2007년 7월 20일

교신저자 : 강기환(ghkang@kier.re.kr)

1. 서론

태양광발전은 현재의 화석에너지를 이용한 에너지공급의 한계를 극복하고 무한한 자연 친화적 무공해 에너지자원을 이용하는 재생에너지 기술개발의 한 분야이다. 태양광발전 시스템의 구성요소인 태양전지모듈은 태양광의 가시광선을 이용하여 전기에너지의 형태로 변환하는 태양전지를 구성 재료와 모듈화 시킨 것이다.

전기생산을 목적으로 태양전지모듈을 외부에 설치 시 초기 태양전지모듈의 발전성능으로부터 예측되어지는 연간 전력생산량은 실제와 많은 차이가 있는데 이는 크게 2가지로 원인으로 나눌 수 있다.

장기적인 관점에서는 저철분 유리의 파손, EVA Sheet의 황변현상, 태양전지 특성변화 및 전극리본의 부식, 습기 침투, 접착력 약화, Hot-Spot 현상 등에 의한 태양전지모듈의 내구성저하가 있으며 단기적인 관점에서는 온도, 습도, 자외선, 눈, 비, 먼지 등에 의한 태양전지모듈의 출력 변동이 있다.^{1) .2), 3), 4), 5)}

장기적 요소는 공정 조건의 최적화와 환경 가속 시험에 의하여 내구성을 검증할 수 있지만 단기적 요소에 의한 출력 감소는 많은 경우에 예측하기 어려운 부분이 많다.

그림 1은 2007년 봄에 발생한 황사 현상에 의하여 모듈의 표면이 오염된 상태를 나타낸 것으로 모듈로 입사되는 광량의 감소로 현저한 출력저하가 예상된다.

본 논문에서는 결정질 실리콘 태양전지모듈을 외부에 설치하고 최대 출력특성에 영향을 주는 환경변화 요소를 확인하고 이를 바탕으로 전기적 광학적 열적 관점에서 그 영향을 분석하였다.

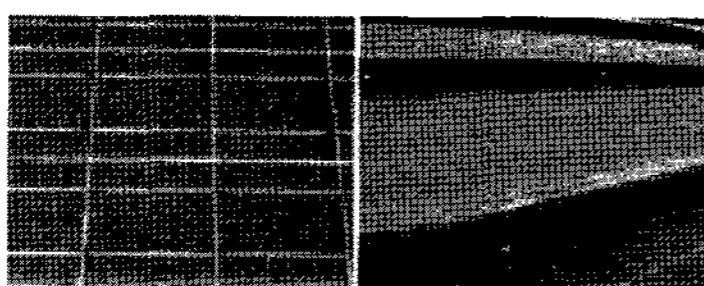


그림 1. 황사먼지의 의한 태양전지모듈의 표면

2. 본론

환경변화에 따른 결정질 실리콘 태양전지모듈의 최대 출력 변화 분석을 위하여 실시된 실험방법 및 측정 장치 설명은 다음과 같다.

2.1 실험방법 및 측정 장치

본 연구에는 5inch 크기인 Q-Cell사의 단결정 태양전지 36장을 직렬 연결하여 제조된 80W급 태양전지모듈 5장을 이용하였다. 외부 노출 장소는 대한민국 대전 장동에 위치한 한국에너지기술연구원이며 정남향 방향으로 45도 기울여 설치하였다.

실험기간동안 환경변화의 요인에 대한 데이터는 시료가 설치된 장소의 기후 조건을 기상청(www.kma.go.kr)의 자료를 토대로 분석하였으며 강수량, 강우량은 대전지역을 기준으로 모듈 표면의 오염에 영향을 미치는 대기의 상태는 황사농도를 기준으로 하여 대전에서 약 19km 거리에 위치한 청원지역으로 하였다.

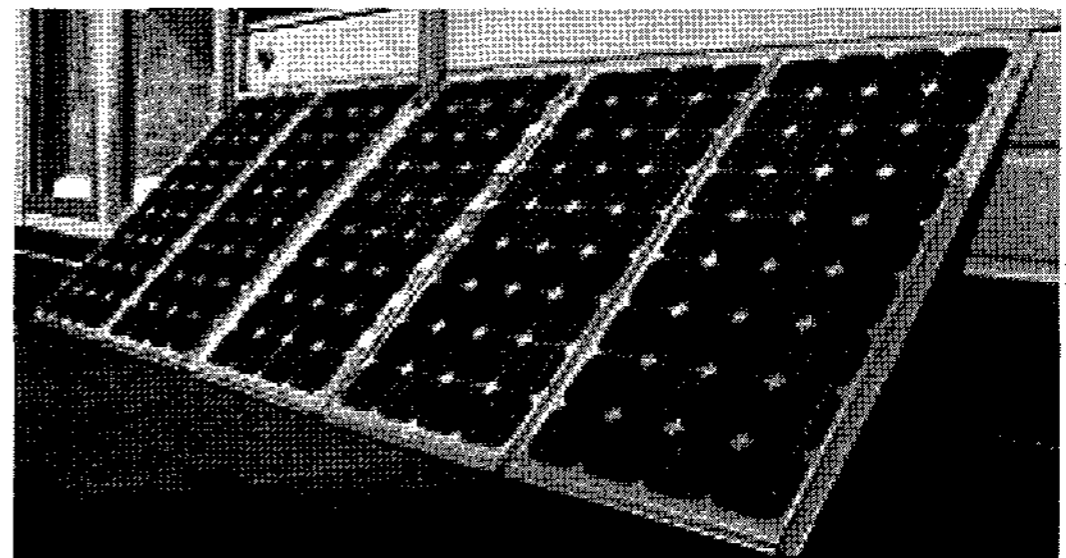


그림 2. 태양전지모듈 및 투과율 시료의 설치 사진

태양전지모듈의 전기적 출력 특성을 측정하기 위하여 최대 모듈 사이즈 2m × 2m까지 측정가능하며 방사균일도 ±2%, 방사안정도가 ±2%인 A급 Solar Simulator (PasanIIIb)를 사용하였으며 측정조건은 측정 온도 25℃, AM 1.5, 방사조도 1kW/m² 조건에서 기준셀을 이용하여 I-V curve를 측정하였다.

태양전지모듈의 표면을 통한 빛의 투과율의 변화를 측정하기 위하여 5cm × 5cm의 저철분 유리 7개를 같은 실험 환경에 노출시켰으며 모듈 출력 측정시 함께 투과율을 분석하였다. 광투과율 측정에는 파장 재현성 ±0.1nm(자외선, 가시광선), ±0.4nm(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-Therma CAM)를 사용하였다.

2.2 실험 결과 및 고찰

본 실험에 사용된 태양전지모듈의 사양은 표 1에 나타나있다. 출력 분포는 최대 78.1W, 최소 75.7W이며 평균 출력 균일도 2.2%로 우수한 특성을 가지고 있다.

표 1. 태양전지모듈의 사양

Module Name	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Pmax [W]	75.9	76.4	78.1	75.9	75.7
Voc [V]	21.7	21.6	21.8	21.6	21.7
Isc [A]	4.93	5.02	5.05	4.95	4.97
Vmax [V]	17.1	17.1	17.4	17.1	17.1
Imax [A]	4.44	4.47	4.49	4.44	4.43

시험기간 동안의 태양전지모듈의 출력 변화에 영향을 주는 요소를 확인하기 위하여 일사량의 감소를 야기하는 대기 중의 황사농도와 자연적으로 표면 오염 감소에 영향을 주는 강우량을 비교하여 데이터를 그림 3에 정리하였다.

시험기간 동안 22회에 걸쳐 총 135.5mm의 강우량을 기록하였으며 3월 8일부터 3월 9일에는 1.1cm의 적설량을 보였다. 그리고 황사 농도의 추이를 살펴보면 4월 1일에 562.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 값을 나타냈으며 실험 기간 평균 53.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 황사 관측은 3월에 4회 4월에 2회로 총 6회에 걸쳐 발생하였으며 이는 2006년도와 비슷한 수

준이다.⁶⁾

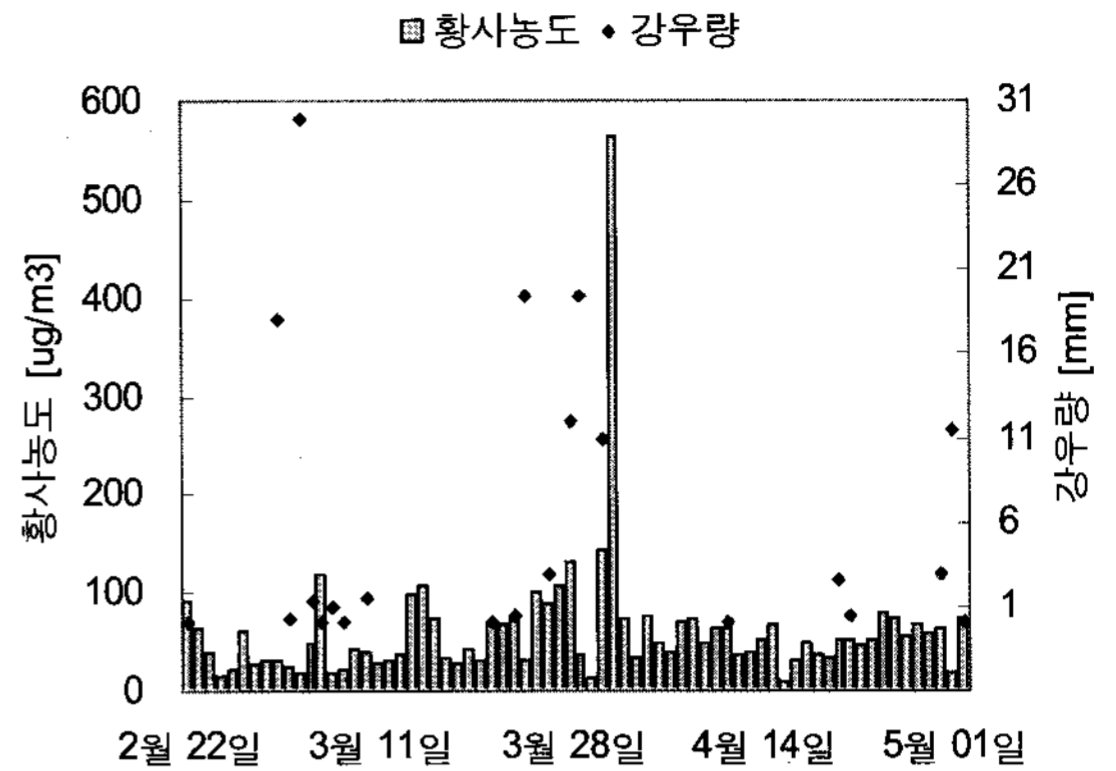


그림 3. 시험기간 동안의 강우량 및 황사 농도

외부에 설치된 A-5모듈의 발전성능 변화를 측정 한 결과가 그림 4에 나타나있다. 이때 측정은 모듈 온도 25 $^{\circ}\text{C}$, 방사조도 1 kW/m^2 조건에서 실시하였다. 2월 22일 초기 75.7W에서 약 70일이 지난 5월 2일에는 6.2%감소한 71.0W를 나타내었다.

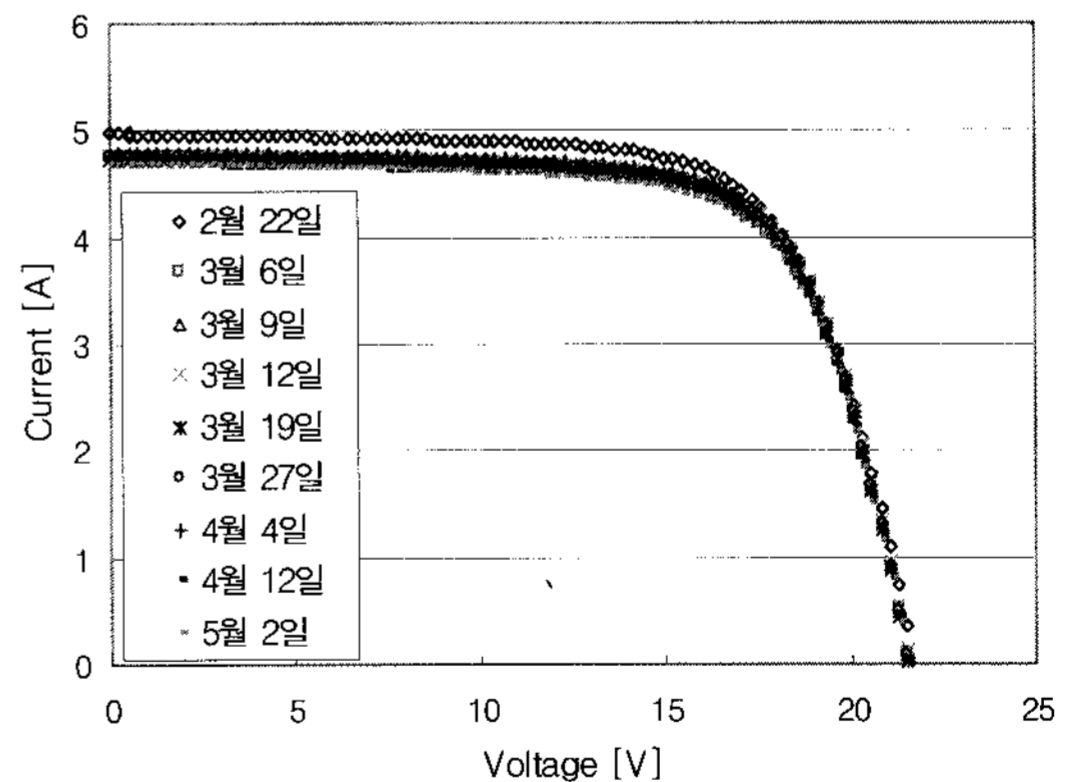


그림 4. 외부 환경에 노출된 A-5 모듈의 I-V 측정 결과

5개의 모듈의 외부 환경 변화에 따른 최대 출력의 변화를 측정한 결과가 그림 5와 표 2에 나타나 있다. 전체 모듈에서 초기 출력에 비하여 평균 5%의 감소가 나타났다.

72일의 비교적 짧은 시험기간동안 태양전지모듈의 발전성능이 초기 출력에 비하여 크게 감소하는

이유를 분석하기 위하여 태양전지모듈의 발전 성능에 영향을 줄 수 있는 환경변화 요소와 그 영향 정도를 살펴보고 모듈 표면의 오염에 의한 광투과율 측정을 통하여 출력 감소에 대한 원인을 찾고자 하였다.

외부에 노출된 12일 후(3월 6일) 모듈별로 초기 출력에 비하여 최대 3.8% 최소 1.4%의 출력 감소를 나타내었으며 15일 후(3월 9일) 측정시 평균 1%의 상승을 나타내었다. 이는 3월 7일과 8일에 약간의 비와 1cm가량의 눈이 내렸는데 눈이 쌓이고 녹을 동안에 표면 오염 물질이 씻겨 내려간 것으로 예상된다.

3월 24일에는 19.5mm의 많은 강수량이 있었지만 3월 27일 측정 시 모듈의 출력 증가율은 3월 19일 측정값에 비하여 0.3%에 그쳤다. 이를 통하여 빗물에 의한 씻겨 내려가는 태양전지모듈의 표면 오염물질의 제거는 상대적으로 크지 않은 것으로 나타났으며 오히려 눈에 의하여 모듈 표면의 투과율 증가가 큼을 확인할 수 있었다.

4월 1일의 경우 실험 기간 동안 황사농도가 가장 높은 562.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내었는데 4월 4일의 측정 결과 3월 27일에 비하여 평균 1.1% 감소를 나타내었으며 4월 12일에는 1.5%의 추가적인 출력 감소가 있었다. 4월 11일에는 0.1mm의 강수량이 있었지만 모듈 표면의 오염 물질의 제거 속도가 늦어 지속적으로 출력 감소가 나타났음을 예상할 수 있다.

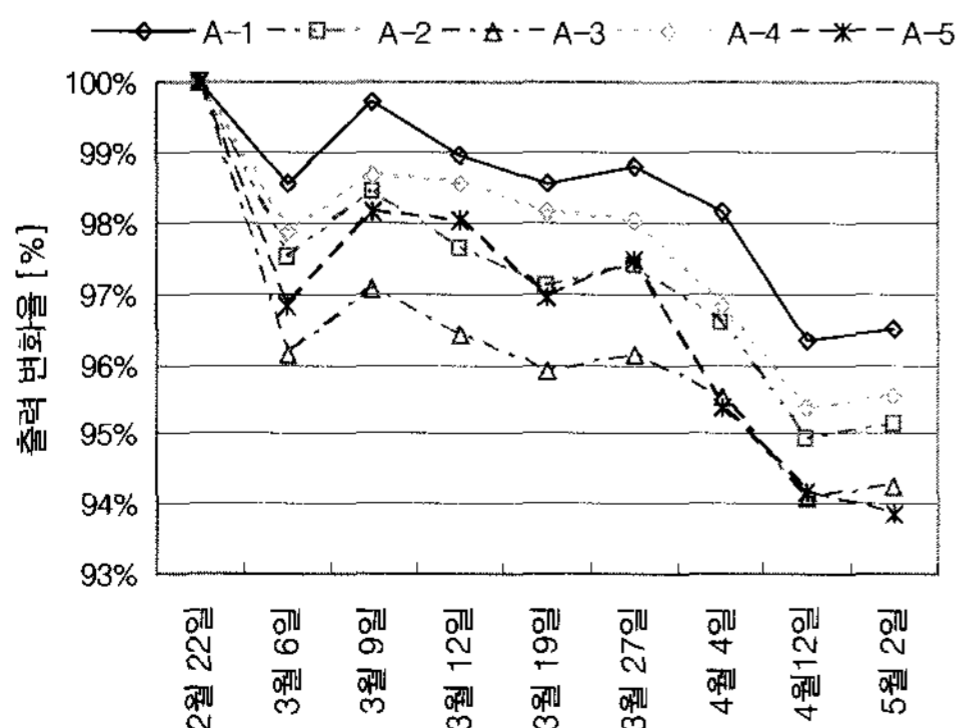


그림 5. 태양전지모듈의 발전 성능 변화 [%]

표 2. 초기 출력값에 대한 출력 변화율 [%]

	2월 22일	3월 6일	3월 9일	3월 12일	3월 19일	3월 27일	4월 4일	4월 12일	5월 2일
A-1	100	98.6	99.7	98.9	98.6	98.8	98.2	96.3	96.5
A-2	100	97.5	98.4	97.6	97.1	97.4	96.6	94.9	95.1
A-3	100	96.2	97.1	96.4	95.9	96.2	95.5	94.1	94.3
A-4	100	97.9	98.7	98.6	98.2	98.0	96.8	95.4	95.5
A-5	100	96.8	98.2	98.0	97.0	97.5	95.4	94.2	93.8
균일도	2.2	1.5	1.2	0.8	1.3	1.0	2.1	1.8	2.2

태양전지모듈의 출력 균일도 변화를 살펴보면 초기 2.2%에서 시험기간 동안 최소 1.0%에서 최대 2.2%로 균일도는 안정된 값을 유지하고 있음을 확인할 수 있었다.

그림 6은 태양전지모듈의 표면의 투과율의 변화를 관찰하기 위하여 같은 환경에 노출한 저철분 유리의 투과율과 태양전지모듈의 발전 성능의 변화를 함께 나타낸 그림이다. 이때 투과율은 실온조건에서 측정하였고 가시광선 영역인 550nm에서 그 값을 비교하였다.

투과율 측정시 사용되어진 기준 광원은 330nm ~1100nm 범위에서 halogen lamp, 200nm ~330nm 범위에서는 deuterium lamp 이다.

외부환경 노출 후 42일 후인 4월 4일에는 초기에 비하여 광투과율이 8.6%감소한 91.4%로 측정되었다.

저철분 유리의 평균 투과율 변화율이 모듈의 평균 출력 감소 변화율보다 크게 나타남을 알 수 있는데 이것은 라미네이션(Lamination) 공정을 통하여 저철분 유리와 EVA Sheet가 접합된 경우 표면 반사를 낮추기 때문에 모듈을 통하여 입사되는 광원의 반사율이 줄어들어 투과율 시료보다 태양전지모듈로 입사되는 태양 빛의 세기가 커지기 때문이다.

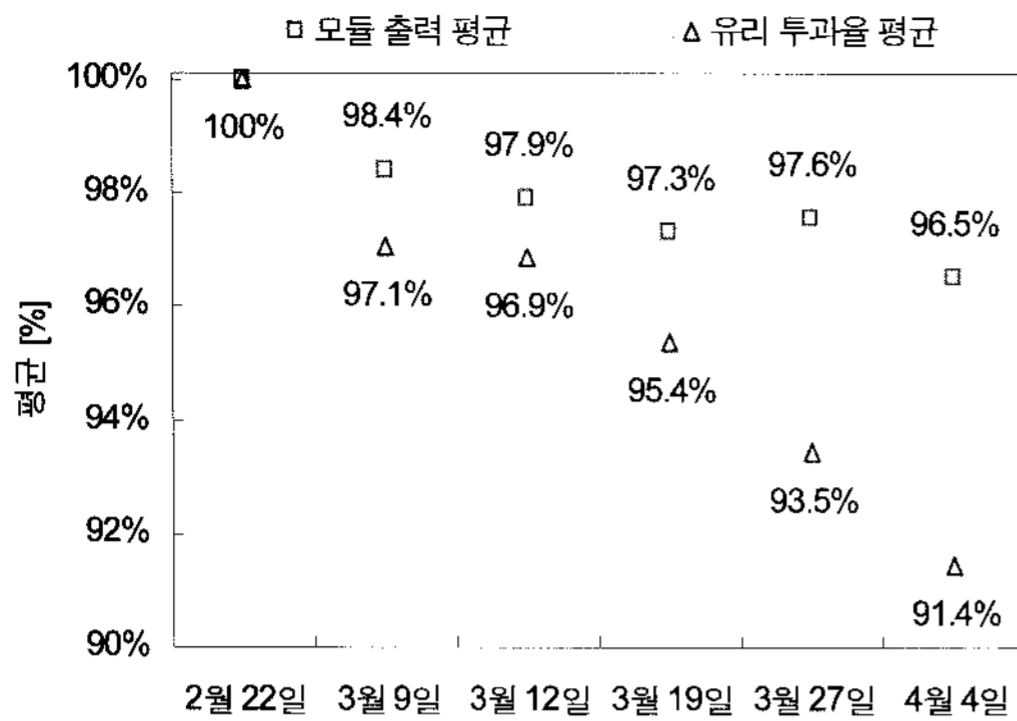


그림 6. 태양전지모듈의 출력 평균과 저철분 유리의 투과율 평균 비교

설치된 태양전지모듈의 환경변화에 따른 모듈 표면 살펴보면 그림 7의 내부 사진과 같이 표면 유리의 국부적인 오염 정도가 다름을 관찰할 수 있었다. 이는 빗물, 먼지 등의 환경적 요소에 의하여 나타내어진 것으로 모듈 표면의 투과율 감소에 따른 모듈의 발전성능의 저하에 따른 개별적인 태양전지와 모듈간의 출력 편차에 영향을 주게 된다.

그림 7은 국부적인 오염에 따른 광투과율의 차이를 측정해본 것인데 550nm 파장에서 초기 저철분 유리의 투과율 91%에서 국부적 오염이 심한 부분은 82%이며 나머지부분은 86%로 오염에 의하여 약 4%의 광투과율의 차이가 나타남을 확인할 수 있었다.

국부적 투과율의 차이로 인한 발전성능의 변화를 예상하고 태양전지모듈의 온도 특성을 분석하기 위해 설치된 태양전지모듈을 약 850W/m²의 일사량 조건하에서 오후 2시경 적외선 카메라(FLIR-ThermaCAM)를 이용하여 태양전지모듈 표면 온도의 분포를 측정하였다.

그림 8의 (a) 경우 A, B로 표기된 부분이 육안 검사상 투과율이 가장 나쁠 것으로 예상할 수 있었으며 측정결과 A영역은 인접 영역의 태양전지보다 약 5.2°C 높은 것으로 나타났으며 B영역은 1.5°C 높은 온도를 보였다. 각 개별 태양전지 내에서의 온도 차이를 측정해본 결과 1.1°C에서 5.2°C까지 온

도 특성이 다름을 알 수 있었다. 그림 8의 (b) 경우 국부적인 오염으로 인한 동일 태양전지 내에서 2.8°C의 온도 차이를 나타내었다.

위 결과를 통하여 국부적 투과율 차이에 의하여 태양전지의 출력 특성뿐 아니라 모듈의 출력에서도 손실 요인으로 작용할 수 있음을 예상할 수 있으며 이는 장기적으로 모듈의 구성 재료인 EVA Sheet와 태양전지의 점진적인 내구성 감소를 야기하는 하나의 원인이 될 수 있다.

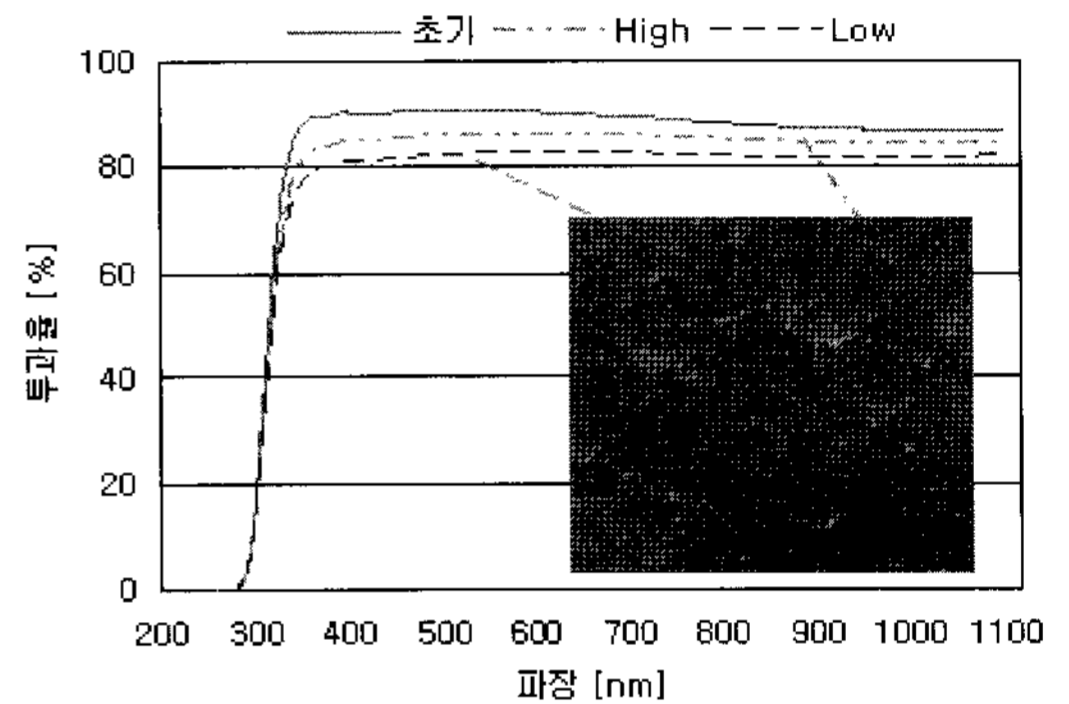


그림 7. 외부 환경에 노출된 저철분 유리의 광투과율

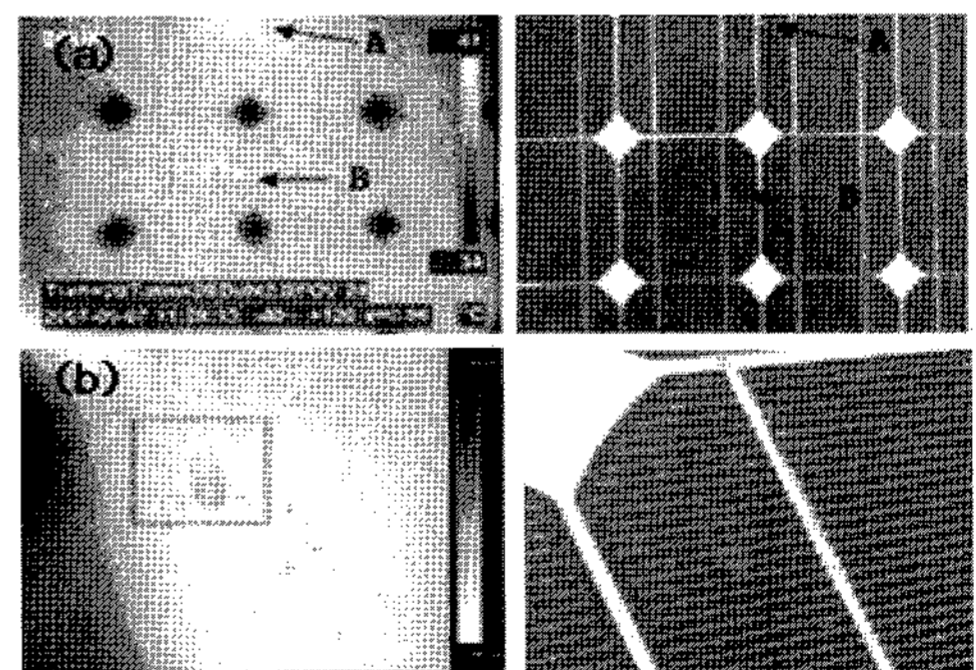


그림 8. 환경변화에 따른 태양전지모듈의 온도 특성

3. 결론

본 연구에서는 환경 변화 요인에 따른 결정질 실리콘 태양전지모듈의 최대출력 특성 분석을 하였다. 실험을 위하여 80W급 결정질 실리콘 태양전지모듈 5장을 실외에 약 72일간 노출하였으며 출력 변화를

주기적으로 측정하다. 외부 환경 변화에 따른 모듈 표면으로 입사되는 광투과율을 측정하기 위하여 저철분 유리를 모듈과 동일 환경에 설치하였다.

이를 통하여 태양전지모듈의 최대 출력이 초기 값에 비하여 70일 후 최대 6.2%의 감소가 일어남을 확인할 수 있었으며 평균 출력 감소율은 5%로 나타났다. 그리고 출력 균일도 변화를 확인한 결과 초기 2.2%에서 시험기간 동안 최소 0.8%에서 최대 2.2%로 균일도는 안정된 값을 유지하고 있음을 관찰하였다.

외부 환경요소인 비, 눈, 먼지 등에 의하여 모듈 표면의 오염정도가 전체적으로 혹은 국부적으로 변하는 것을 관찰할 수 있었다. 저철분 유리의 투과율과 모듈의 최대 출력 변화율 비교를 통하여 유리 투과율 감소율이 모듈의 최대출력의 감소율보다 크고 비례하지 않는 이유는 모듈 제조시 유리와 EVA Sheet의 접합으로 인한 반사율의 감소와 국부적 투과율 차이 때문임을 확인할 수 있었다. 그리고 국부적 오염에 의하여 모듈의 광투과율이 약 4% 정도 차이가 나타났는데 이것은 태양전지의 국부적 열분포 특성에도 차이를 주어 동일 모듈 내 태양전지에서 최소 1.1°C에서 5.2°C까지 온도 분포 특성이 다름을 알 수 있었다.

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.

특히 태양전지모듈의 광투과율은 설치 환경 및 조건에 따라서 변동되기 때문에 주기적으로 모듈 표면의 오염을 제거하는 적극적인 방법과 광촉매 코팅처리된 저철분유리를 사용하여 광촉매에 의한 오염물질의 제거 효과를 통하여 환경요인에 의해

예상되는 태양전지모듈의 발전량 저하를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. John H.W, "Long Term Photovoltaic Module Reliability", PV and Solar Program Review Meeting 2003Podlowski, "Weak light performance and annual yields of PV modules and systems as a result of the basic parameter set of industrial solar cell" 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, p. 2190, 2004.
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 EVA sheet gel content on photovoltaic modules durability", Proceeding of KIEEME Annual Summer Conference, 2006.
6. 기상청 (www.kma.go.kr)