

옥외 설치된 비정질 실리콘 박막태양전지모듈의 전기적 출력 특성 분석

김경수*, 강기환, 유권종

*한국에너지기술연구원(kskim@kier.re.kr)

Analysis of Electrical Characteristics of Amorphous Silicon Thin Film Photovoltaic Module Exposed Outdoor

Kim, Kyung-Soo*, Kang, Gi-Hwan, Yu, Gwon-Jong

*Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research (kskim@kier.re.kr)

Abstract

In this study, we analyze the electrical characteristics of amorphous silicon thin film photovoltaic module which are installed about 5 years ago. Four modules from PV system are extracted and measured the maximum power change ratio using solar simulator(Class A). Also, infrared camera is used to get thermal distribution characteristics of system. The external appearance change is compared with initial module by naked eye examination. Through this experiment, 31% maximum output power drop is observed. The detail description is specified as the following paper.

Keywords : 비정질 실리콘(Amorphous silicon), 박막 태양전지모듈(thin film photovoltaic module), 최대출력(Maximum power generation), 내구성(Durability), 재생에너지(Renewable Energy), 태양에너지(Solar energy)

기 호 설 명

V_{oc}	: 개방 전압 (V)
I_{sc}	: 단락 전류 (A)
V_{max}	: 최대 전압 (V)
I_{max}	: 최대 전류 (A)
P_{max}	: 최대 출력 (W)

1. 서 론

태양전지모듈은 태양전지를 봉합 재료를 사용하여 전·후면 재료와 라미네이션 공정을 통하여 제조되어진다. 태양전지는 크게 실리콘계와 화합물 반도체계로 나눌 수 있으며 실리콘을 사용하는 경우는 결정질 실리콘과 비정질 실리콘으로

분류된다. 2007년 태양전지 생산량은 2006년 2.53 GW에서 69%의 폭발적인 증가로 4.279GW가 생산되었다. 이중 CdTe, a-Si/ μ c-Si 및 CIS의 비율이 7.6%에서 10.4%로 시장이 급속히 확대되고 있음을 확인할 수 있다. 표 1은 세계 상위 10위 박막 태양전지 모듈 제조사의 생산량을 나타낸 것으로 이중 7개 업체가 비정질 실리콘 기술을 사용하고 있다.¹⁾

표 1. 박막태양전지 생산량(2006년, 2007년)

업체명	순위	기술	2007년 생산량	2006년 생산량
First Solar	1	CdTe	200	60
United Solar	2	a-Si	48	28
Kaneka	3	a-Si	45	28
Trony	4	a-Si	25	5.8
Sharp	5	a-Si/ μ c-Si	21	8.2
Wurth Solar	6	CIS	15	1
Sinonar	7	a-Si	15	-
Mitsubishi Heavy Industries	8	a-Si	14	13
Fuji Electric Systems	9	a-Si	12	0.5
Bangkok Solar	10	a-Si	11.1	6.8

박막 태양전지모듈은 bulk형 실리콘 태양전지 모듈에 비하여 온도 변화에 대한 전기적 특성이 다르게 나타내며 표 2에서와 같이 최대 출력값이 온도 1 증가에 따라 -0.21% 감소가 나타나는 데 이는 기존의 bulk형 실리콘의 약 -0.5% 출력 감소에 대비하여 절반 가까운 온도 상승에 대한 출력 이득이 있음을 알 수 있다. 실제로 박막 태양전지모듈을 설치한 시스템의 경우 온도가 높은 여름철에 전력 생산량이 기존 결정질 실리콘계의 시스템보다 약 20% 높은 것으로 나타난다.

태양전지는 종류에 따라 태양빛의 파장에 따른 변환효율과 외부양자효율에 차이가 나타난다. 그림 1에서는 결정질실리콘 태양전지와 비정질 실리콘 태양전지의 외부양자효율을 나타낸 것으

로 입사파장 400nm~1000nm에서 비정질실리콘 태양전지는 약 550nm에서 외부양자효율이 가장 높으며 750nm에 이르기까지 감소가 나타나 단 파장에서 높은 효율특성을 지니고 있으며 이에 비하여 단결정실리콘 태양전지는 장파장인 800nm 근방에서 가장 높은 외부양자효율을 나타내며 흡수 스펙트럼이 비정질실리콘 태양전지에 비하여 넓은 것이 특징이다.

표 2. 태양전지 종류에 따른 온도계수 특성

종류	Voc(%/°C)	Isc(%/°C)	Pmax(%/°C)
다결정	-0.326%	0.072%	-0.498%
단결정	-0.341%	0.052%	-0.468%
박막	-0.38%	0.10%	-0.21%

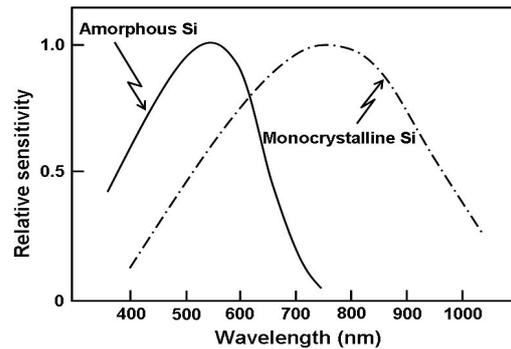


그림 1. 결정질 및 비정질 실리콘 태양전지의 Relative Spectrum Sensitivity

15년, 20년의 장기적 태양전지모듈의 내구성 검증에 위하여 전 세계적으로 내구성 및 신뢰성 있는 태양전지모듈의 성능인증을 위하여 결정계 실리콘 태양전지모듈과 박막 태양광 모듈에 대한 설계요건과 형태 인증 기준이 제정되어 운영되고 있으며 대한민국에서도 KS IEC61215 및 KS IEC61646의 기준을 제정하여 운영되고 있다.

그러나 실제로 Field에서 사용된 태양전지모듈의 경우 10년 이내에 많은 노화 현상들이 발견되고 있어 선진국의 많은 국가에서는 해결방안을 모색하기 위한 연구를 수행 중에 있다. 그 중

대표적인 내용이 표 3에 정리하였다. 현재까지 태양전지모듈의 노화 현상은 결정질 실리콘에 집중되어 있으나 박막 모듈에 대한 연구 발표는 미흡한 상태이다.

표 3. 태양전지모듈 노화분석 연구개발 현황

연구기관	주요 연구개발 내용	주요 결과
Florida Solar Energy Center	노화 시료 구성 재료 접촉력 평가 (c-Si)	접촉력 80% 감소
BP Solar	8년동안 판매된 field aged PV module 불량 현상 분석	부식 45.3% Cell 및 연결 불량 40.7%, J-Box 3.6% Delamination 3.4%
Humboldt State University	11년 field aged PV module 성능 평가 (c-Si)	Isc 6.3% 감소 Voc 변화 없음 Pmax 4.39% 감소
University of Negev	집광,비집광형 모듈 노화분석, 8.4년 field aged PV module, 3.4년 field aged PV module	집광형 모듈의 경우 매년 1%의 발전성능 감소 나타남 비집광형 모듈의 경우 매년 0.3%의 발전성능 감소 나타남
University of Port Elizabeth	모듈의 노화 분석 15개월 평판형 PV module, 13개월 집광형 PV module	mismatch cell, hot spot formation, low shunt resistance 현상 보임
JET	20여년된 대규모 태양광발전 평판형 PV module 노화 분석 (c-Si, p-Si)	EVA 변색 발생 96.4% 단자부 변색 27.1% 부분적 hot spot 발생

본 연구에서는 한국에너지기술연구원에 기 설치된 비정질 실리콘 박막 태양전지모듈의 설치 후 초기 제품에 대한 전기적 특성 및 외관적 변화의 관찰을 통하여 모듈의 내구성에 대한 분석을 시도하였으며 이 결과를 토대로 박막 태양광 시스템에 장기적 신뢰성에 대한 기본 정보를 제공코자 하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

본 연구 대상은 2003년에 설치된 모듈로 일본 K사의 비정질(amorphous)실리콘 박막 타입이며 그림 2에서와 같이 설치되어 있는 시스템이다. 태양전지모듈에서 생산된 전기는 SMA(SUNNY

BOY社 SWR850)를 통하여 교류로 변환된다. 태양전지모듈은 총 2가지 종류로 구성되어 있으며 이는 표 4에서와 같이 58W급(A-Type) 24장 36.5W급(B-Type) 40장으로 총 2.85kW가 계통연계형으로 설치되어있다.

그림 3에서와 같이 시스템에서 각 모듈별 2장의 시료를 채취하여 옥외 설치된 시간에 따른 노화의 정도와 출력 특성 변화를 관찰하기 위하여 최대 모듈 사이즈 2m x 2m까지 측정가능하며 방사균일도 ±2%, 방사안정도가 ±2%인 A급 Solar Simulator (PasanIIIb)를 사용하였으며 측정조건은 측정 온도 25℃, Air Mass 1.5(설명 : 태양광선이 대기를 통해 지표면에 도달하는 길이가 실험자 머리 위에 태양이 있을 경우 태양광선이 대기를 통과하여 도달할 때의 길이의 1.5배), 방사조도 200W/m²~1000 W/m² 조건에서 기준셀을 이용하여 I-V curve를 측정하였다. 인공광원은 Xenon Lamp 펄스타입으로 최대 일사량에서 10msec의 Pulse Duration Time을 가지는 특징이 있다.



그림 2. 박막 태양전지모듈 시스템 설치 전경

표 4. 태양전지모듈 종류 및 사양

Type	A-Type	B-Type
Pma [W]	58.0	36.5
Voc[V]	85.0	65.0
Isc[A]	1.12	0.866
Vma [V]	63.0	48.6
Ima [A]	0.92	0.75
Si e [mm]	920 920	950 465

추가적으로 초기에 입고된 모듈 중 설치되지 않고 남아있는 태양전지모듈의 출력을 측정하여 노화정도를 분석하고자 하였다.



그림 3. 채취된 박막 태양전지모듈
(좌: B-Type, 우 : A-Type)

실제 자연 태양광에서의 발전성능 특성을 실내 인공광원과의 차이를 비교하고자 MP-160(EKO사) I-V Tracer를 이용하여 2007년 8월 16일에 일사량이 조건이 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 에 근접한 날에 측정하였다.

외부 환경변화 및 환경 조건에 따른 태양광시스템 전체와 국부적 열특성 분포 및 차이를 관찰하기 위하여 적외선 카메라 (FLIR-Therma CAM)를 사용하여 관찰하였다.

2.2 실험결과

시스템에 설치되지 않고 보관된 모듈과 시스템과 설치된 모듈을 각 모델별로 2장씩 채취하여 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 일사량 조건에서 최대 출력을 측정하여 출력 변화를 관찰하였다.

그림 4는 A-Type 모듈의 경우로 보관된 모듈의 경우 최대 출력값이 59.2W로 공칭규격 58.0W와 거의 일치 하는 것으로 나타났다. 약 5년 동안의 발전 후 채취한 모듈의 경우 초기 출력값에 비하여 평균 30.6% 감소한 40.5W와 41.6W로 나타났다.

B-Type의 경우도 A-Type과 같이 비교를 하였다. 초기 모듈의 최대 출력값이 35.2W로 공칭

규격 36.5W와 거의 같은 출력을 나타내었다. 5년 동안의 발전 후 초기 값에 비하여 평균 31.8% 감소한 40.5W와 41.6W로 나타났다. (그림 5 참조) 시스템에서 채취된 두 모델의 모듈 4장 모두가 약 31%의 출력 감소가 발생되었음을 확인할 수 있었다.

인공광원과 자연광에 따른 출력 측정을 비교하고자 시스템에 설치되지 않은 초기 모듈을 실외에서 측정하였다. 이때 사용된 장비는 어레이 테스터(EKO社 MP-160)로 최대 360W까지 측정 가능한 장비이다.(그림 6²⁾ 실외에 노출된 B-type 박막모듈 측정결과 평균 일사량 $1000\text{W}/\text{m}^2$, 모듈 온도 25°C 및 온도 계수 ($\Delta P_{max} : 0.2\%/^\circ\text{C}$) 기준으로 환산한 결과 평균 26.8W로 약 2W 정도의 오차가 발생됨을 알 수 있었다.

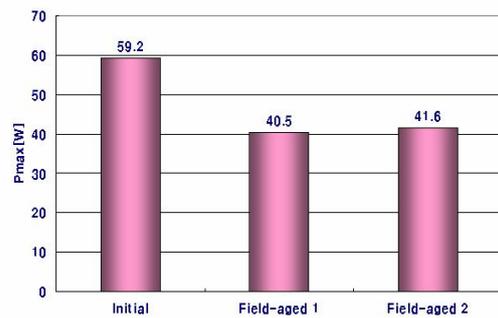


그림 4. A-Type 박막모듈의 출력 변화
(설치 후 5년경과)

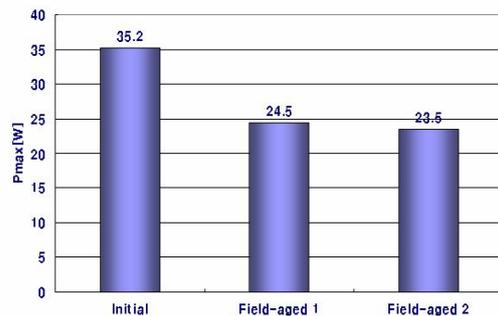


그림 5. B-Type 박막모듈의 출력 변화
(설치 후 5년경과)

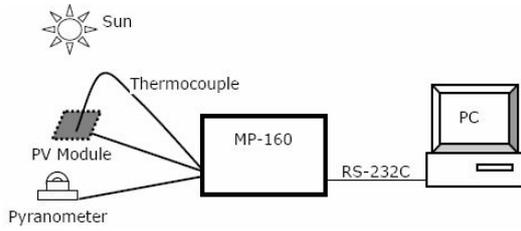


그림 6. 옥외 자연광 이용 출력 측정 시스템 구성도

그림 7은 솔라시뮬레이터를 이용하여 일사량을 $200\text{W}/\text{m}^2$ 에서 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 까지 변화시켜 노화에 따른 전기적 출력 특성을 변화를 관찰하였다. A-Type의 모듈은 일사량 $100\text{W}/\text{m}^2$ 증가에 따라 4.32W , B-Type의 모듈은 2.56W 의 증가로 모듈 종류에 따른 출력 증가율의 차이는 나타나지 않았다.

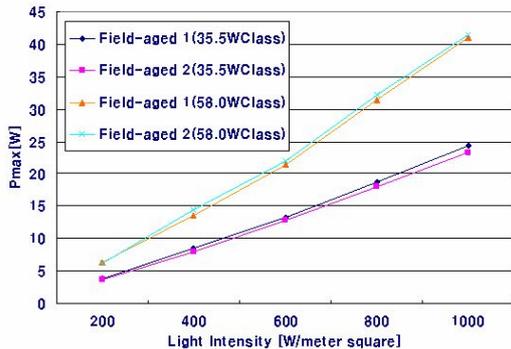


그림 7. 일사량 변화에 따른 박막모듈의 출력 변화

그림 8과 그림 9는 적외선 카메라를 이용하여 모듈의 표면 온도 특성을 관찰한 결과이다. 시스템 후면에 심겨진 나무 형상의 반사로 측정에 영향이 없는 일정 방향으로 카메라를 들고 움직이며 전체 모듈을 관찰한 결과 모듈의 설치 위치 및 종류에 따른 온도 특성에 대한 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다.

특이한 점은 두 모델에 대한 육안검사 결과 초기 시료와 뚜렷한 차이는 나타나지 않았고 옥외 설치 후 개별 모듈의 출력 저하 현상이 매우 크게 나타남을 확인할 수 있었다.^{3,4)}

이는 일반적으로 실리콘 박막 모듈의 경우 *Stabler Wronki Effect* 불리는데 실리콘 원자들 간의 결합이 약하여 태양빛의 조사로 인하여 그 결합이 분해되어 태양전지 내부의 결합이 증가하여 장기적 내구성과 효율에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

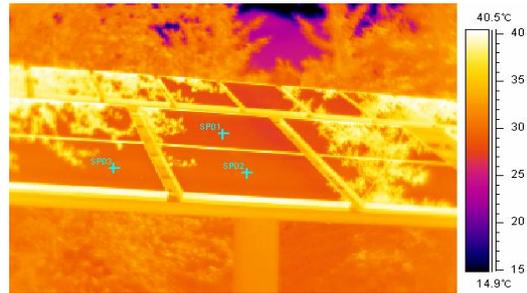


그림 8. 열화상 카메라를 이용한 온도 특성 측정 (A-Type)

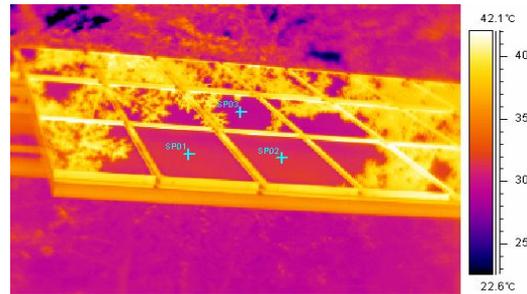


그림 9. 열화상 카메라를 이용한 온도 특성 측정 (B-Type)

3. 결 론

본 논문에서는 옥외 설치된 비정질 실리콘 박막태양전지모듈의 전기적 출력 특성에 대한 분석을 하였다.

2003년 설치되어 약 5년 동안 계통연계형으로 58W 및 36.5W 용량의 2종류의 모듈로 총 2.85kW 로 구성되어 있다. 각 모델별 두 장을 시스템에서 채취하여 *Solar Simulator*로 초기 출력에 대한 변화를 측정된 결과 두 모델 모두에서 평균 31%의 급격한 출력 저하가 나타났다. 적외선 카메라

를 이용하여 Hot-Spot 등의 국부적 모듈의 열특성 변화를 관찰한 결과 시스템 전체에서 모듈의 설치 위치 및 종류에 따른 온도 특성에 대한 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 평균 모듈의 온도 분포는 28°C~32°C이며 매우 균일한 특성을 보였다. 그리고 육안 검사결과 초기 모듈에 대비한 변형 현상도 관찰하기 어려웠다.

이를 통하여 비정질 실리콘 박막모듈에 대한 내구성에 감소 현상에 재료적, 전기적인 관점에서 모니터링결과 및 연구 발표가 계속 진행되어야 할 것으로 예상된다.

그리고 지속적인 박막 모듈의 생산 및 보급시장을 고려할 때 다양한 재료 형태에 따른 내구성 평가를 실시하고 결과를 논문과 학술대회를 통해 지속적으로 공유할 계획이다.

참 고 문 헌

1. PHOTON *International Magazine*, March, 2008
2. WWW.EKO-USA.COM
3. 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.
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*, 200