

지붕 설치형 결정질 실리콘 태양전지모듈의 온도 특성

김경수*,**, 강기환, 유권종, 윤순길***

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

***충남대학교 재료공학과(sgyoon@cnu.ac.kr)

Roof-attached Crystalline Silicon Photovoltaic Module's Thermal Characteristics

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

*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 expect accurately the maximum power of solar cell module under various installation conditions, it is required to know the performance characteristics like temperature dependence. Today, the PV (photovoltaic) market in Korea has been growing. Also BIPV (building integrated photovoltaic) systems are diversified and become popular. But thermal dependence of PV module is little known to customers and system installers. In IEC 61215, a regulation for testing the crystalline silicon solar cell module, the testing method is specified for modules. However there is limitation for testing the module with diverse application examples. In extreme installation method, there is no air flow between rear side of module and ambient, and it can induce temperature increase. In this paper, we studied the roof type installation of PV module on the surface of one-axis tracker system. We measured temperature on every component of PV module and compared to open-rack structure. As a result, we provide the foundation that explains temperature characteristics and NOCT (nominal operation cell temperature) difference. The detail description will be specified as the following paper.

Keywords : Photovoltaic Module(태양전지모듈), New&Renewable Energy(신재생에너지), Maximum Power(최대출력), Solar Cell(태양전지), BIPV(건물일체형 태양광시스템)

ubmit data : 2012. 1. 3, Judgment data : 2012. 1. 8, Publication decide date : 2012. 6. 14

Communication author : Kim, Kyung-Soo(kskim@kier.re.kr)

기 호 설 명

- NOCT : Nominal Operating Cell Temperature
- BIPV : Building Integrated PhotoVoltaic
- Voc : Open circuit voltage [V]
- Isc : Short circuit current [A]
- Pmp : Maxium power [W]
- Vmp : Maximum voltage [V]
- Imp : Maximum current [A]
- ΔI_{sc} : Temperature coefficient of short circuit current [%/ $\Delta^{\circ}C$]
- ΔV_{oc} : Temperature coefficient of open circuit voltage [%/ $\Delta^{\circ}C$]
- ΔP_{mp} : Temperature coefficient of maximum power [%/ $\Delta^{\circ}C$]

1. 서 론

태양전지모듈은 태양에너지의 가시광선 영역의 빛 에너지를 이용하여 직류형태의 전기에너지로 바꾸는 태양광시스템의 구성 요소로써, 태양전지를 외부의 환경적인 스트레스로부터 보호하기 위하여 보통 라미네이션(lamination) 공정을 거쳐 제작한다. 2010년에는 전 세계적으로 약 18GW의 태양광설비가 설치되었으며 2011년 이후 평균 20% 정도의 꾸준한 시장 성장을 예측하고 있다. 이 중 일본 및 한국과 같은 국토면적이 협소한 지역에서는 기존 건축물을 활용한 BIPV(Building Integrated PhotoVoltaic) 시스템에 대한 관심 및 적용이 점차 증가하고 있는데 국내의 경우 결정질 실리콘 태양전지모듈을 이용하여 설치가 되고 있다.

그러나 국내외 개별 모듈에 대하여 IEC 61215 또는 IEC61646의 스탠다드를 토대로 제품 인증을 진행하고 있지만 실제로 모듈이 적용되는 환경 또한 매우 다양하며 각 상황에서의 BIPV 건축적, 전기적 관점의 다양한 측면에서의 검증 및 그 적합 유효성에 대한 평

가가 부족한 상황이다. 특히 국내의 경우 Fig. 1과 같이 후면이 대기 중에 노출된 여름철에 최대 70 $^{\circ}C$ 정도 모듈 표면 온도가 상승하는 경우가 발생하기도 한다.

이에 본 논문에서는 태양전지모듈이 설치될 수 있는 여러 유형중 평면 지붕형태로 제작된 나무 재질의 판넬(panel)에 고효율 태양전지모듈을 설치하고 추적 시스템(tracking system)을 통한 각 모듈의 구성 재료의 온도 특성을 관찰하였다. 이를 통하여 다양한 설치 환경에서의 모듈 특성이 각 모듈 제조사를 통하여 소비자에게 제공되어 BIPV설치에 대한 전반적인 사회적 지식의 확장을 위한 기본적인 정보를 제공하고자 하였다.



Fig. 1 PV module installation example with open-rack structure

2. 본 론

2.1 배경

태양전지는 일반적으로 Fig. 2와 같이 전류 및 전압이 온도변화에 따른 특성을 가지고 있는데 국내 T사의 233W급 다결정 실리콘 태양전지모듈을 이용하여 측정된 결과 $\Delta V_{oc}[\%/^{\circ}C] \cong -0.3$, $\Delta I_{sc}[\%/^{\circ}C] \cong +0.04$, $\Delta P_m[\%/^{\circ}C] \cong -0.43$ 의 온도 특성을 가지고 있으며 일사량 변화에 대하여 400W/m²의 조건에서 선형

적이 특성을 나타내고 있다. (Fig. 3 참조) 그리고 단락전류의 온도변화량은 매우 낮아 Y 축 변화는 거의 없으며, 태양전지는 dark 상태에서 일반 바이패스 다이오드 특성을 가지고 있어 light bias 조건에서는 turn on voltage 이하에서는 Fig. 2와 같이 수평 형태로 나타난다.

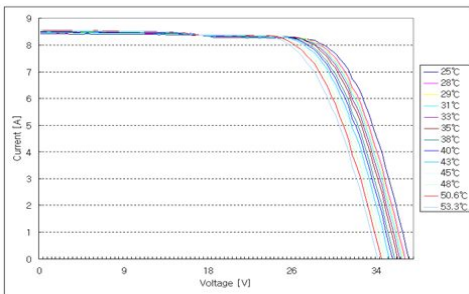


Fig. 2 I-V characteristics curve depending on temperature change of multi-crystalline silicon solar cell module

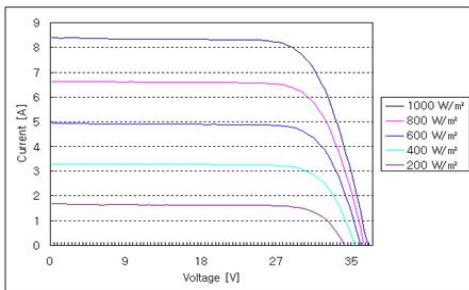


Fig. 3 I-V characteristics curve depending on irradiance change of multi-crystalline silicon solar cell module

KS C IEC 61215에서는 태양전지모듈을 측정조건 STC(Standard test condition, 25°C, 1kW/m²)에서 효율 및 최대 출력을 측정하고 있으며 이는 실제 외부에 설치되어 운영될 때의 특성이 아니기 때문에 태양전지모듈이 실제로 작동될 때의 조건에서의 온도를 가늠하도록 NOCT(nominal operating cell temperature)의 시험 항목으로 시험 규격을 정하여 놓고 있는

데 이는 아래와 같은 조건에서 온도를 측정하는 것이다.

- 경사각: 수평면 기준 45°
- 경사면 방사조도: 800 W/m²
- 주위 온도: 20 °C
- 풍속: 1 m/sec
- 전기적 부하: 없음(개방 회로)

이 NOCT 온도 측정을 통하여 다양한 모듈 설계의 성능을 비교할 때의 유용한 변수가 될 수 있도록 소비자 및 시스템 설계자에 의해 사용되고 있다. 특히 개방형(Open rack)이 아닌 후면 배기가 어려운 조건에서는 NOCT 온도가 높게 측정될 수 있기 때문에 반드시 설치 조건을 고려한 온도 측정이 뒤따라야 한다.

따라서 본 논문에서는 지붕형태의 거치대에 실리콘 결정질 태양전지모듈을 밀착형태로 설치하여 부하조건에 대한 태양전지 및 구성 재료에 대한 온도 특성을 측정하였고 또한 개방형태의 설치조건과 비교를 하였다. 이를 통하여 설치조건에 대한 태양전지모듈의 NOCT 온도 및 구성 재료의 온도 특성의 기본적인 정보를 소비자 및 시스템 운영자에게 제공하고자 하였다.

2.2 실험 방법

본 실험에 사용되어진 태양전지모듈은 후면 전극 태양전지를 이용한 미국 S社에서 제작된 225W급 후면전극 태양전지모듈로 Glass/EVA/SoalrCell/EVA/BackSheet의 형태로 제작되었다.

시험 모듈을 경사각 변동이 가능한 단축형 트레커위에 Fig. 4과 같이 10mm 두께의 나무 재질의 판을 올리고 표면에 검은색 페인트로 색칠을 하여 일반 나무 지붕에 태양전지모듈이 설치된 상황을 재현하였다. 그리고 모듈과 지붕사이에는 공기 통로를 확보하지 않는 밀착형으로 부착을 하여 극한 상황에서의 태양전지모듈의 온도 변화를 관찰하고자 하였다. 설치장소는 대한민국 대전광역시 유성구 장동이다.



Fig. 4 PV module installation with Roof-attached type

본 실험에는 일사량센서(EKO-MS602)와 온도센서(T/C, J-Type)가 사용되었으며 온도 및 일사량 모니터는 2011년 5월 24일부터 2011년 12월 12일까지 1분마다 수집하였다.

그리고 태양전지모듈의 커넥터(connector)를 일정기간 동안 Open 및 Short 상태로 유지 및 생산된 전기를 소비하기 위하여 200W 급 저항을 설치하여 온도 특성을 비교하였다. Table 1은 모듈 표면에 부착한 온도센서의 수집 위치를 정리한 것으로 태양전지모듈 전.후, 대기온도, 프레임, 바이패스 다이오드, 전면 유리 등의 온도 변화를 관찰하였다.

NOCT 온도 특성을 살펴보고자 단축 형태 Fig. 4 구조에서의 온도 및 일사량 데이터를 이용하여 아래 계산식으로 Fig. 8과 같은 결과를 도출하였다.

$$NOCT = (T_m - T_{amb}) + 20^{\circ}C + T_{correct}$$

(T_m : module 후면 온도, T_{amb} : 대기온도, $T_{correct}$: 온도 보정계수)

Table. 1 Thermocouple sensor(T/C) attachment location in PV module.

Naming	T/C attachment point
Back air (ambient) temp.	Air temperature
Front cell	Front solar cell
Inter cell(glass)	Front solar glass

Frame	Frame
Back cell	Rear side solar cell
Bypass diode	Bypass diode
Inside JB	Internal Junction box room
outside JB	Junction box cover
Connector	Connector
Temp. bw module and plate	Room between module and roof panel

2.3 실험 결과

(1) PV Connector 개방(Open)상태에서의 특성

커넥터(connector)를 개방(open circuit)형태로 유지한 경우는 무부하 상태 또는 인버터 작동이 멈춘 경우로 해석할 수 있는데 이뎨 [Fig. 5 (A)]에서와 같이 일사량 조건 $1000W/m^2$ 의 조건에서 대기온도 $23^{\circ}C \pm 3^{\circ}C$ 에서 모듈 후면온도가 최대 $71^{\circ}C \pm 3^{\circ}C$ 의 온도 특성을 보였다. 그리고 지붕과 모듈 사이의 공간온도는 [Fig. 5 (B)] $57^{\circ}C \pm 3^{\circ}C$ 로 측정되었다. [Fig. 5 (C,D)] 는 태양전지모듈의 구성소재의 온도 특성을 나타낸 것으로 최대 온도(T_{max})를 살펴보면 프레임(T_{max} : $50^{\circ}C$), 전면 유리(T_{max} : $63^{\circ}C$), 바이패스다이오드(T_{max} : $66^{\circ}C$), 단자함 내부 및 외부(T_{max} : $57^{\circ}C$)의 온도 분포를 나타내고 있었다.

(2) PV Connector 단락(Short)상태에서의 특성

커넥터(connector)를 단락(short circuit)형태로 유지한 경우는 생산된 전류가 내부태양전지의 저항 성분에서 소비되는 경우로 해석할 수 있는데 이뎨 [Fig. 6 (A)]에서와 같이 일사량 조건 $1000W/m^2$ 의 조건에서 대기온도 $30^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ 에서 모듈 후면온도가 최대 $70^{\circ}C \pm 10^{\circ}C$ 의 온도 특성을 보였다. 그리고 지붕과 모듈 사이의 공간온도는 [Fig. 6 (B)] $60^{\circ}C \pm 10^{\circ}C$ 로 측정되었다. [Fig. 6 (C,D)] 는 태양전지모듈의 구성소재의 온도 특성을 나

타낸 것으로 최대 온도(T_{max})를 살펴보면 프레임(T_{max} : 60°C), 전면 유리(T_{max} : 85°C), 바이패스다이오드(T_{max} : 70°C), 단자함 내부 및 외부(T_{max} : 65°C)의 온도 분포를 나타내고 있었다. 특히 이 경우 전면 태양전지중 한 장을 약 3%가린 경우 생산된 전류가 가려진 태양전지 즉 비활성 태양전지 영역에서 소비가 되는데 이때는 [Fig. 6 (A)]에서와 같이 최대 표면 온도가 112°C까지 상승되는 상황이 발생되었다.

(3) PV Connector 부하(Loader)상태에서의 특성

커넥터(connector)를 부하(resistance loader) 형태로 유지한 경우는 생산된 전류가 외부에 연결된 저항[Fig. 7 (A) 좌측하단 사진, 시멘트 저항]에 의하여 소비되는 경우로 해석할 수 있는데 이땐 예서와 같이 일사량 조건 1000W/m²의 조건에서 대기온도 10°C ± 5°C에서 모듈 후면온도가 최대 45°C ± 10°C의 온도 특성을 보였다. 그리고 지붕과 모듈 사이의 공기온도(air temperature)는 [Fig. 7 (B)] 23°C ± 5°C로 측정되었다.

[Fig. 7 (C,D)] 는 태양전지모듈의 구성소재의 온도 특성을 나타낸 것으로 최대 온도(T_{max})를 살펴보면 프레임(T_{max} : 40°C), 전면 유리(T_{max} : 50°C), 바이패스다이오드(T_{max} : 42°C), 단자함 내부 및 외부(T_{max} : 39°C)의 온도 분포를 나타내었다.

(4) 부하 상태 및 설치 조건에 따른 공칭동작 태양전지모듈(NOCT) 비교

IEC 61215 등과 같은 태양전지모듈의 공칭동작온도를 측정하는 기준은 보통 개방형 랙(open rack)에서 무부하의 조건에서의 온도를 측정하는 것으로 한다. 그러나 최근 BIPV 및 설치 방법의 다변화가 나타나고 있는 경우에는 각 설치방법에 따른 NOCT 온도를 고객에서 제공할 필요성이 있다.

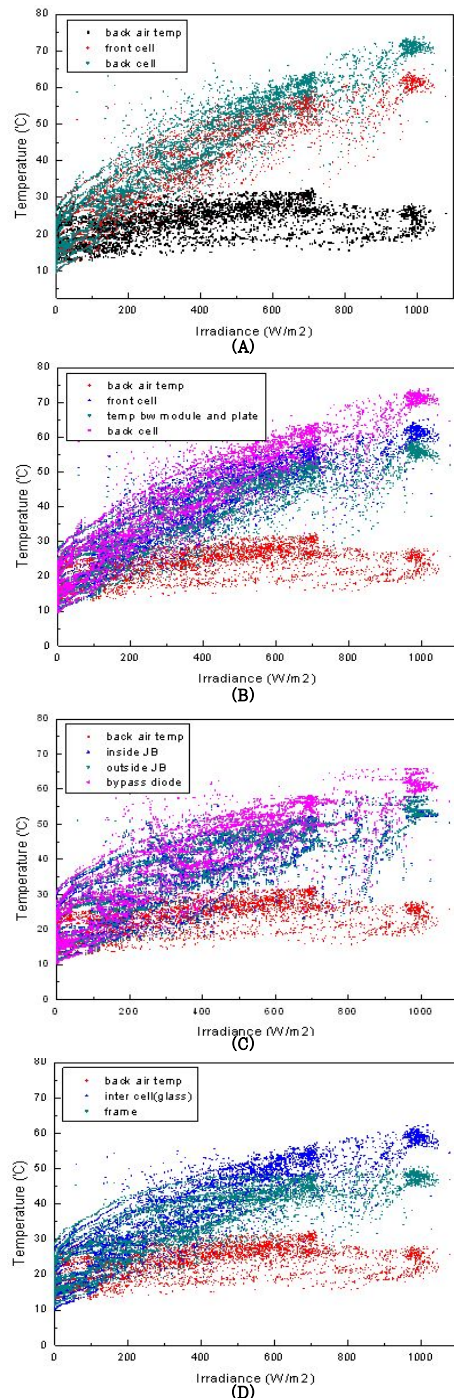
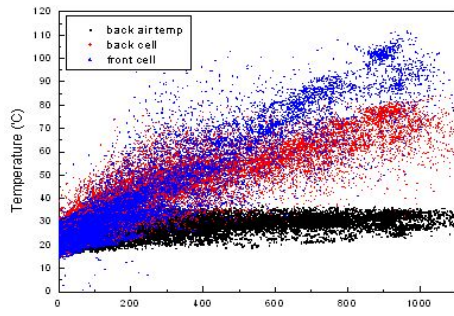
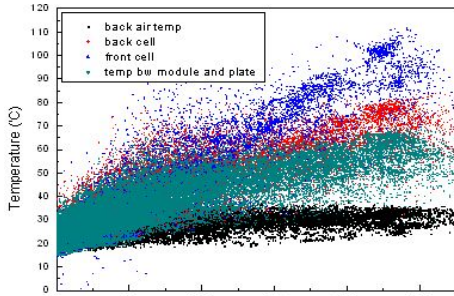


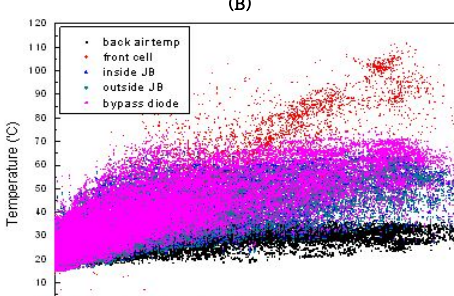
Fig. 5 Temperature characteristics curve of PV materials depending on irradiance and ambient condition with open circuit connection



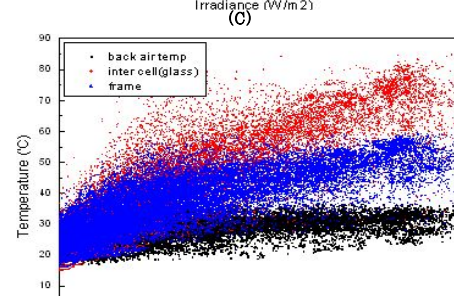
(A)



(B)

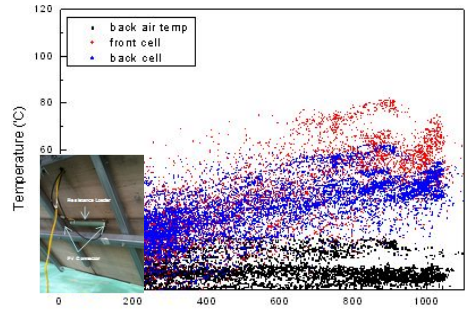


(C)

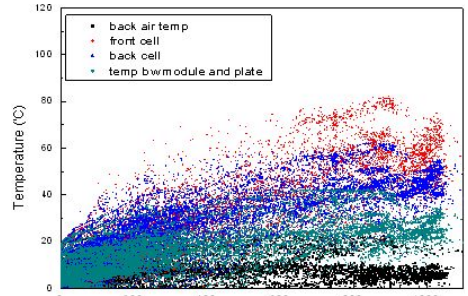


(D)

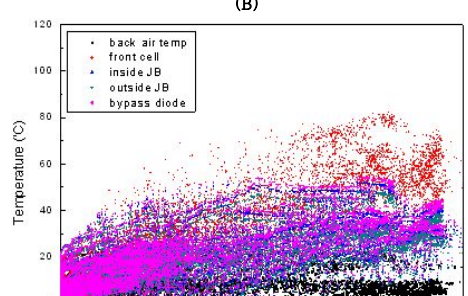
Fig. 6 Temperature characteristics curve of PV materials depending on irradiance and ambient condition with short circuit connection



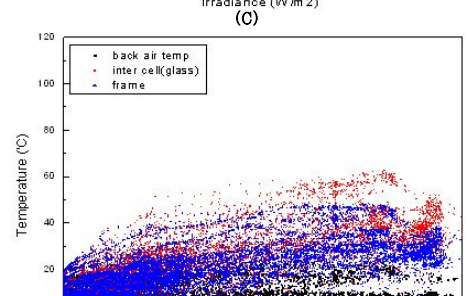
(A)



(B)



(C)



(D)

Fig. 7 Temperature characteristics curve of PV materials depending on irradiance and ambient condition with resistance connected

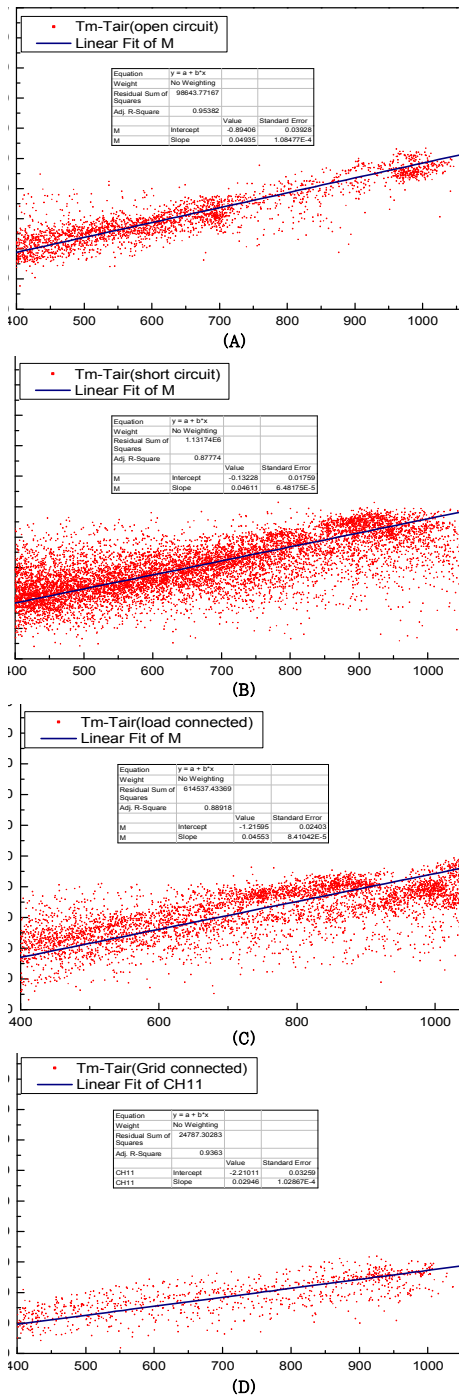


Fig. 8 Temperature-Irradiance characteristics curve of PV module depending on connection types

Fig. 8은 4가지의 경우의 일사량에 따른 Tmodule(모듈온도)-Tamb.(대기온도)특성을 나타낸 것으로 각각 (A) : 개방 상태(open circuit), (B) : 단락 상태(short circuit), (C) : 부하 연결상태 (resistance loader connected)의 상태를 Fig. 4의 설치조건에서 도표로 표현하였으며 Fig. 1의 설치 조건인 (D) : 개통연계 (grid connected)의 조건에서 생산된 전력이 외부로 생산되는 경우에 대하여 나타내었다. 이를 통하여 NOCT를 계산한 결과 (A): 59°C, (B): 58 °C 로 단락 유무에 따른 NOCT 특성은 거의 같았고 (C): 55 °C로 부하 상태에서는 약 3°C ~ 4°C 정도의 온도 감소가 나타났다. 개방형 상태에서는 (D): 42°C로 (A) ~ (C)의 경우에서와 다르게 약 16°C ~ 17°C 정도 낮게 측정되었다.

이를 통하여 공기 순환이 잘되는 개방형 (Open Rack)의로의 설치는 태양전지모듈의 열방출이 억제되는 형태로 설치되었을 때와 비교하여 (NOCTopen-rack- NOCTclosed-rack× (ΔPmax/Δ°C) 만큼의 출력 증가가 예상되며 만약 결정질 실리콘 태양전지모듈의 경우 최대출력 온도계수(ΔPmax/Δ°C) 값이 약 -0.43%로 계산하면 최대 -7.3% 만큼의 손실이 발생할 수 있다. 이를 토대로 STC조건에서의 측정된 태양전지모듈의 출력 값을 기본으로 하여 시스템 설계가 되기보다 지붕 또는 기타 설치 방법에 대하여 예측 및 실측된 NOCT온도를 고려한 설계가 되어야함을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 지붕형태의 밀착 설치조건에서 결정질실리콘 태양전지모듈을 설치한 후 부하조건에 따른 모듈 각 구성요소의 온도 특성을 관찰하고 개방형 설치조건에서의 NOCT와 비교하였다.

- (1) 이를 통하여 밀착구조에서는 태양전지모듈의 후면 최대 온도를 살펴보면 단락조건(short circuit), 일사량 조건 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 의 환경에서 대기온도 $30^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 인 경우 모듈 후면온도가 최대 $70^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 의 온도 특성을 보였다. 그리고 지붕과 모듈 사이의 공간온도는 $60^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 로 측정되었다. 태양전지모듈의 구성소재의 최대 온도(T_{max})를 살펴보면 프레임(T_{max} : 60°C), 전면 유리(T_{max} : 85°C), 바이패스다이오드(T_{max} : 70°C), 단자함 내부 및 외부(T_{max} : 65°C)로 여름철과 같은 상황에서는 온도 상승에 의한 최대출력 감소 뿐 아니라 그늘짐 현상(shading) 발생시 바이패스 다이오드를 통하여 흐르는 전류에 의하여 다이오드 소자의 파손 위험이 매우 높을 수 있음을 예상할 수 있다.
- (2) 그리고 NOCT 계산을 통하여 지붕형 구조에서 태양전지모듈이 단락(short circuit) 또는 개방(open circuit)에서는 대략 $58^\circ\text{C} \sim 59^\circ\text{C}$ 로 거의 차이가 없었으며 부하 설치시 약 $3^\circ\text{C} \sim 4^\circ\text{C}$ 정도의 온도 감소가 나타났다. 개방형 구조(open rack)에서는 $16^\circ\text{C} \sim 17^\circ\text{C}$ 정도 낮은 42°C 로 측정되었다. 이를 통하여 설치 방법에 따른 온도 및 예상되는 전력 생산이 현저한 차이가 있을 수 있음을 확인하였다. BIPV등의 미래시장 팽창을 예상하면 설치 방법에 따라 NOCT값을 추정하여 예상 획득 전력량을 시뮬레이션할 필요성이 있음을 알 수 있었다.
- (3) 본 논문을 통하여 태양전지모듈의 설치방법에 따른 모듈 및 관련 구성 재료 등의 온도 특성 분석을 통하여 예측되는 모듈 효율 및 전기적 파라미터 등을 제조자 및 소비자에게 정보를 제공함으로써 올바른 제품 선택 및 설치 지침의 길잡이가 되고자 하였다.

후 기

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(고효율 태양광발전의 신뢰성 향상 및 최적화 연구)입니다. (No. 2009T00200136)

References

1. M. Koehl et al. Solar Energy Materials & Solar Cells 95 (2011) 1638 - 1646
2. D. Faiman, Assessing the outdoor operating temperature of photovoltaic modules, Prog. Photovolt.: Res. Appl. 16 (2008) 307 - 315.
3. KE. Skoplaki, J.A. Palyvos, Operating temperature of photovoltaic modules: a survey of pertinent correlations, Renew. Energy 34 (2009) 23 - 29.
4. IEC61215ed.2(Crystalline Silicon Thin-Film Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules - Design Qualification and Type Approval) and IEC61646 ed.2 (Thin-Film Terrestrial Photovoltaic(PV) Modules - Design Qualification and Type Approval).