

# 표면냉각을 통한 PV 모듈의 출력 향상에 관한 연구

김대현\*, 김동준\*

\*강원대학교 농업생명과학대학 바이오시스템공학과

## Improving the power of PV module by a surface cooling system

Kim, Dae-Hyun\* Kim, Dong-jun\*

\*Department of Biosystems engineering, Kangwon National University

### Abstract

This study was conducted to improve the power of PV module using a surface cooling system. One of the unique characteristics of PV module is power drop as a module surface temperature increases due to the characteristics of crystalline silicon used in a solar cell. To overcome the output power reduction by temperature effect, module surface cooling using water circulation was performed. By cooling effect, module surface temperature drops maximally 20.3℃ predicting more than 10% power enhancement. Maximum deviation of voltage and current between a control and cooled module differed by 5.1V and 0.9A respectively. The maximum power enhancement by cooling system was 12.4% compared with a control module. In addition, cooling system can wash the module surface by water circulation so that extra power up of PV module can be achieved by removing particles on the surface which interfere solar radiation on the cells. Cooling system, besides, can reduce the maintenance cost and prevent accidents as a safety precaution while cleaning works. This system can be applied to the existing photovoltaic power generation facilities without any difficulties as well.

Keywords : PV모듈(PV module), 모듈표면온도(module surface temperature), 냉각시스템(cooling system)

### 기 호 설 명

$V_{oc}$  : open circuit voltage, V  
 $n$  : diode factor  
 $k$  : Boltzmann constant, J/K ·molecule  
 $T$  : temperature, K  
 $q$  : magnitude of electron charge  
 $I_{sc}$  : short circuit current, A  
 $I_o$  : dark saturation current, A

### 1. 서 론

현재 화석연료는 세계 경제 성장의 원동력 역할을 하고 있지만 연소 시 발생하는 이산화탄소, 질소산화물, 프레온가스 등이 환경오염 및 지구온난화의 주범으로 인식되고 있다. 이에 비해 태양에너지로부터 발생하는 이산화탄소의 양은 현저히 적어 친환경적인

에너지로 각광을 받고 있으며 경제성 및 실용성이 매우 높아 화석 연료 부존량의 한계성을 해결할 대체에너지로 입증되고 있다.

광전변환소자를 이용해 태양에너지로부터 전기를 생산하는 태양전지는 모듈 표면 온도가 상승함에 따라 출력이 떨어지고 태양광의 입사각도의 비례하여 출력이 상승하게 되는 특성을 가지고 있다. 태양전지로부터 끌어낼 수 있는 최대 전류인 단락전류( $I_{sc}$ )와 개방전압( $V_{oc}$ )과의 관계는 다음과 같다.

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left[ \left( \frac{I_{sc}}{I_0} \right) + 1 \right] \quad [1]$$

$I_{sc}$ 는 입사각도와 수광 면적에 비례하고  $V_{oc}$ 은 입사각도의 대수(exp)에 비례한다. 모듈 온도와  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , 출력과의 관계는 그림 1에서처럼 모듈 온도가 상승함에 따라서  $I_{sc}$ 는 약간 증가하지만,  $V_{oc}$ 과 최대 출력은 약  $-2mV/^\circ C \cdot cell$ ,  $-0.5\%/^\circ C$ 로 각각 감소한다(1).

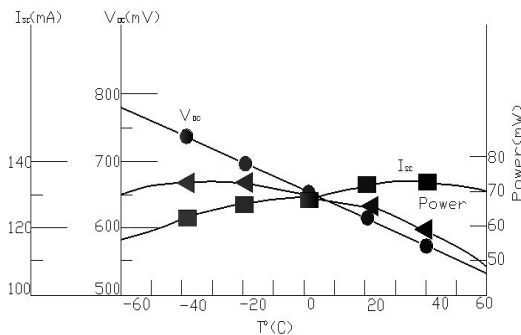


그림 1. 모듈온도에 따른  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ , 출력 변화 (2)

이러한 특성 때문에 하절기에 얻을 수 있는 높은 태양광에도 불구하고 태양전지 재질의 특성상 출력이 떨어지고  $70^\circ C$  이상의 고온발생시 모듈 수명이 단축되는 원인이 된다(3). 이와 같은 특성을 극복하여 태양전지의 출력을 향상시키기 위해서는 모듈 표면의 온도를 낮추어야 하는데 표면에 냉각수(물)를

흐르게 하여 모듈 주위 온도와 모듈 표면 온도를 낮추는 방법이 있다. 경사진 태양열 집열기에 물을 흐르게 하면 표면 온도를 약  $30^\circ C$  이상 낮출 수 있는데(4), 모듈 표면 온도가  $30^\circ C$  이상 냉각되면 출력은 약 15% 정도 증가할 것으로 예측된다. 이와 같은 원리를 응용, 셀 표면에 충돌제트를 분사하여 표면 온도를 최고  $44.63^\circ C$ 까지 감소시키는 연구가 수행되었고(3), 또한 냉각수를 이용하여 모듈의 뒷면을 냉각하는 방법으로 출력을 최대 12%이상 향상시키는 연구도 수행되었다(2).

선행된 연구들(2, 3)은 냉각 시 사용된 물의 온도를 일정하게 유지하기 위한 냉각장치가 사용되었는데, 본 연구는 펌프를 이용하여 냉각수를 순환시킴으로서 대기와의 열전달을 통한 자연냉각을 구현하여 시스템 구동 시 필요한 소요 동력을 최소화하고 동시에 PV 모듈의 출력을 향상시키기 위한 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 실험재료 및 방법

본 실험에는 Suntech 사의 STP060-12/sb 모듈 2개를 사용하였다. 두 모듈은 정남향으로  $23^\circ$  경사지게 설치하였고, 한 모듈은 컨트롤러로서, 다른 하나는 냉각시스템을 부착하여(그림 2, 3) 각 모듈에서 생산된 전압, 전류, 출력을 비교, 분석하였다. 표1은 실험에 사용한 모듈에 대한 제원을 나타낸다.

표1. PV 모듈 제원

모델명	STP060-12/sb
개방전압	21.6V
정격전압	17.4V
단락전류	3.9A
정격전류	3.45A
최대출력	60Wp
작동온도	$-40 \sim 85^\circ C$
셀	156×78mm
모듈	771×665×30mm
무게	6.2kg



그림 2. 모듈 설치 모습

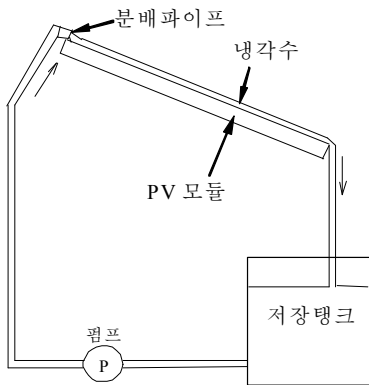


그림 3. 냉각시스템의 구성

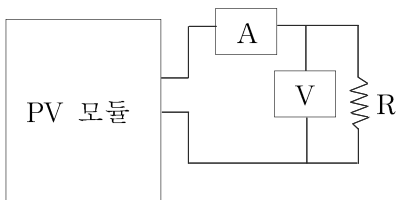


그림 4. 전류, 전압 측정을 위한 회로 구성

냉각시스템은 펌프(PW-200SMA, 윌로 펌프), 저장탱크, 연결호스, 그리고 분배파이프로 구성되어 있다. 펌프에 의해 10L/min의 유량으로 냉각수가 모듈 표면으로 흐른 후 모듈 아래에 배수관을 거쳐 저장탱크로 이동하고 그 물을 다시 순환시키는 시스템으로 구성하였다(그림 3). 기상 측정 장치(WatchDog 2800, Spectrum Technologies, Inc., Plainfield, IL,

USA)를 설치하여 실험 당일의 기온, 일사량, 바람의 세기와 방향, 강수량, 상대습도를 측정하였다. 온도 측정을 위하여 각 모듈의 앞면과 뒷면, 저장 탱크에 열전대를 설치하고, 모듈의 전압, 전류 측정을 위해 그림 4와 같이 회로를 구성하였으며, 전압과 전류는 열전대와 함께 데이터 로거(GL800, Graphtech, 요코하마, 일본)에 연결하여 데이터를 저장하였다.

실험은 강원도 춘천시 강원대학교 3층 건물 옥상에서 2009년 9월 29일, 일출시간인 6시부터 일몰시간인 19시까지 진행되었다. 타이머를 설치하여 일출시간에 맞추어 펌프를 가동하였으며 저장탱크에는 물 20L를 채우고 주기적으로 증발량을 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

기상 측정 장치로 측정된 결과 실험 당일상대습도의 최고 수치는 오전 2시 30분경 97.8%, 풍속의 최고 수치는 오후 4시 10분과 오후 4시 40분경 1.3m/s, 일사량의 최고 수치는 오후 12시 40분경 858W/m<sup>2</sup>, 최고기온은 오후 3시경, 29.3°C 로 나타났다(그림 5, 6, 7, 8).

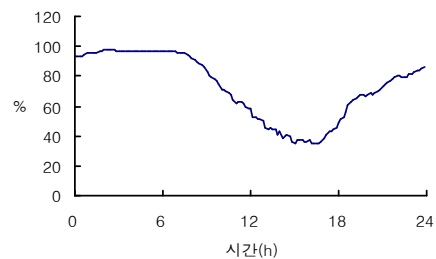


그림 5. 상대습도

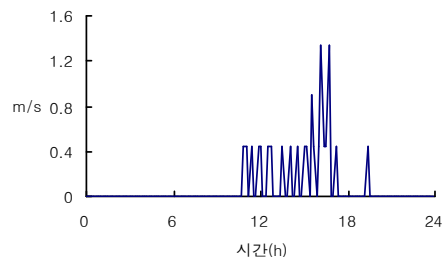


그림 6. 풍속

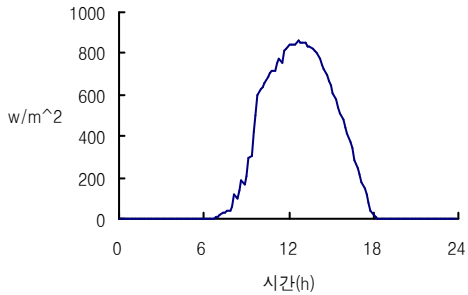


그림 7. 일사량

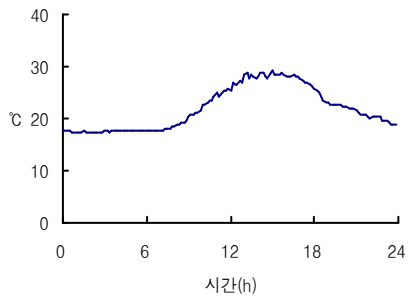


그림 8. 기온

그림 9에서와 같이 냉각시스템을 설치한 모듈과 컨트롤 모듈 표면의 온도를 비교해 보면 오후 1시경에 냉각모듈은 35.2°C, 컨트롤은 55.5°C로 최대 20.3°C로 가장 큰 차이를 보였는데 이 결과로 미루어 약 10%이상의 출력 상승이 예상되었고 평균온도차는 10.7°C로 나타났다. 냉각수의 온도는 냉각모듈의 표면 온도와 유사한 흐름을 보였고 최고 35°C까지 상승하였다.

그림 10에서 보는 바와 같이 컨트롤모듈과 냉각모듈의 최대 전압 차는 5.1V, 전류의 차이는 약 0.9A로 나타났다(그림 11). 모듈의 온도가 상승할수록 전류는 감소해야 하나 전류-전압 특성을 나타낸 식 [1]을 보면 온도와 전압이 동시에 전류의 출력에 영향을 주는 것을 알 수 있는데 이 때 온도의 감소보다는 냉각으로 인한 전압의 증가가 전류에 더 많은 영향을 주어 전류의 증가가 발생한 것으로 보여 진다. 측정된 전압과 전류를 바

탕으로 출력을 분석해 본 결과 컨트롤모듈의 출력은 최대 62W, 냉각모듈은 최대 69.7W로 12.4%의 출력향상이 발생한 것으로 확인 되었다(그림 12).

일출 후 약 3시간 동안은 두 모듈의 출력의 차이가 두드러지지 않았으나 태양복사에너지가 약 400W/m<sup>2</sup> 이상 상승하였을 때부터 (10:00AM, 그림 7) 차이가 나타나기 시작하였으며 태양복사에너지가 최대인 1시경을 기준으로 출력차가 10%이상 꾸준히 지속되는 것을 알 수 있었다. 실험이 9월 29일에 행해진 것으로 미루어 하절기에는 냉각모듈의 출력 향상이 더 높을 것으로 사료된다.

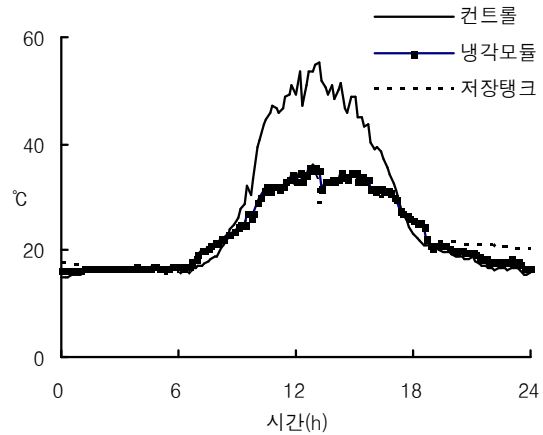


그림 9. 컨트롤모듈, 냉각모듈, 저장탱크 내 냉각수의 온도 변화

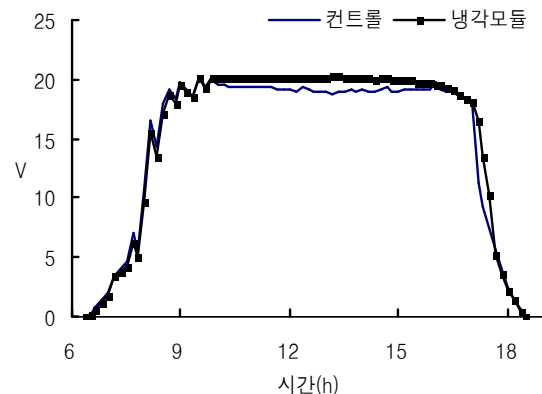


그림 10. 컨트롤모듈과 냉각모듈의 전압 변화

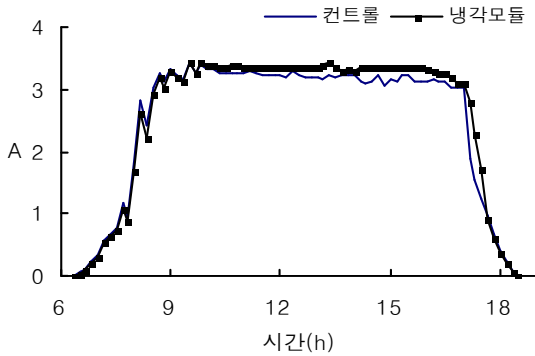


그림 11. 컨트롤모듈과 냉각모듈의 전류 변화

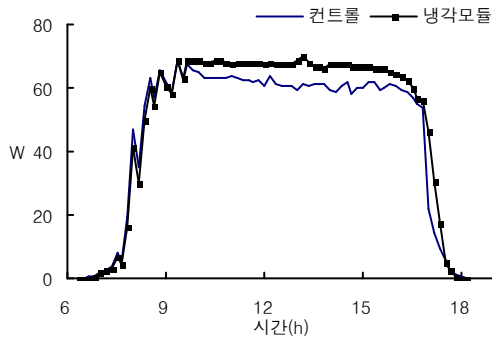


그림 12. 컨트롤모듈과 냉각모듈의 출력 변화

표2. 컨트롤모듈과 냉각모듈의 최대출력 비교

실험날짜	컨트롤(W)	냉각모듈(W)	상승률(%)
09.9.16	61.9	69.0	11.5
09.9.17	62.4	69.4	11.2
09.9.18	62.1	68.3	10.0
09.9.19	65.4	71.1	8.8
09.9.20	61.6	67.8	10.0

표 2에서는 날짜별 컨트롤모듈과 냉각모듈의 최대출력과 그에 따른 출력상승률을 비교하였다. 이전 실험결과와 마찬가지로 냉각시스템을 적용한 모듈에서 약 10%이상 출력이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

냉각수 순환을 위한 펌프의 출력을 고려하여 실제적인 출력상승을 계산해 볼 수 있다.

20W DC모터펌프를 이용하여 냉각시스템을 구성한다면 이번 실험에 이용된 PV 모듈을 3개 이상 사용해야 실질적인 출력향상의 이익을 얻을 수 있고, 일반적인 AC모터펌프(200W 이상)를 이용한다면 30개 이상의 PV 모듈이 설치되어야 출력향상을 꾀할 수 있다. 따라서 표면냉각시스템은 대규모의 전력생산에 적합하며 냉각시스템의 소요동력을 최소화하는 데에도 연구 및 개발이 이루어져야 할 것이다.

#### 4. 결 론

하절기 높은 태양복사에너지에도 불구하고 PV 모듈의 특성상 출력이 감소되는데 이를 극복하기 위해 냉각수를 이용, 모듈표면의 온도를 감소시켜 출력을 향상시키는 연구가 수행되었다. 컨트롤과 표면냉각 시스템을 설치한 냉각 모듈에서 생산되는 전압, 전류, 그리고 출력을 측정하여 비교, 분석하였는데 그 결과를 살펴보면,

- (1) 컨트롤과 냉각 모듈의 표면 온도를 비교해보면 평균온도차는 10.7°C였고 오후 1시경에 20.3°C로 가장 큰 차이를 보였는데 이는 약 10%이상의 출력 상승을 예상할 수 있었다. 최대 출력은 냉각모듈에서 오후 1시경 69.7W로 가장 높았고 컨트롤에서 62W로 측정되어 약 12.4%의 출력향상이 발생되었다. 이 결과는 예상치인 10%의 출력 상승보다 약간 더 높게 나타났다.
- (2) 냉각시스템의 냉각수의 온도는 35°C까지 상승하였다. 이와 같이 냉각수 온도 상승에 따른 온수를 생산할 수 있는데, 이 온수를 이용하여 시설 난방 등 에너지 활용 분야에 대한 추가 연구가 진행되어야 할 것이다.
- (3) 표면냉각시스템은 출력 향상뿐만 아니라 표면에 쌓일 수 있는 먼지나 기타 이물

질을 제거하는 효과도 가져올 수 있다. 현재에도 태양광의 흡수를 방해하는 이물질들에 의해 출력이 상당히 낮아지고 있으며 또 이를 제거하기 위한 세척작업 시 안전사고가 발생할 수 있는 위험성이 있다. 냉각수 순환에 의한 냉각시스템은 모듈 표면 온도 하강과 표면의 이물질 제거를 통한 출력 향상을 꾀할 수 있고 모듈 표면 세척작업을 동시에 수행할 수 있어 자칫 발생할 수 있는 안전사고 예방 및 유지 관리비 절감에도 상당 부분 기여할 수 있다. 또한 냉각시스템은 기존에 설치된 태양광발전 시스템에도 간단하게 추가 설치하여 출력을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

### 참 고 문 헌

1. 서인선, 박창걸, 김강희, 권영일, 박영서, 태양전지, 한국과학기술정보연구원, 2002.
2. Al-Baali, A. A., Improving the power of a solar panel by cooling and light concentrating, Solar & Wind Technology, Vol. 3, No. 4, pp. 241-245, 1986.
3. 유상필, 진주석, 김혁균, 김이현, 정성대, 서용석, 정남조, 셀 표면의 충돌체트를 이용한 태양광발전 시스템 효율향상에 관한 연구 - 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, Vol. 29. No 1, pp. 241-244, 2009.
4. Kim, D. H., Dissertation, Simulation of agricultural drainage water concentration for the recovery of salts, University of California, Davis, 2006.