

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 1, 2006

후면 환기조건에 따른 건물외피용 태양광발전(BIPV) 모듈의 열적 영향에 관한 실험연구

윤종호*, 김재웅**

*한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr), **한밭대학교 산업대학원(at961007@hanbat.ac.kr)

Experimental Study on the Thermal Effect of BIPV Modules Depending on the Ventilation Type of PV Module Backside

Yoon, Jongho*, Kim, Jae-Ung**

*Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr),

**Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Hanbat National University(at961007@hanbat.ac.kr),

Abstract

Building integrated photovoltaic(BIPV) system operates as a multi-functional building construction material. They not only produce electricity, but also are building integral components such as facade, roof, window and shading device. On the other hands, lots of architectural considerations should be reflected such as installation position, shading, temperature effect and so on. As PV modules function like building envelope in BIPV, combined thermal and PV performance should be simultaneously evaluated. This study is on the combined thermal and PV performance evaluation of BIPV modules. The purpose of this study is to investigate a temperature effect of PV module depending on the ventilation type of PV module backside. Test cell experiment was performed to identify the thermal and power effect of PV modules. Measurement results on the correlation of temperature and power generation were obtained. Those results can be utilized for the development of optimal BIPV installation details in the very early design stage.

Keywords : 건물일체형 태양광발전(Building Integrated Photovoltaic, BIPV), 태양광발전(Photovoltaic, PV), 통기(통풍)조건(Ventilation Type), 열적효과(Thermal Effect)

접수일자:2006년 2월 22일, 심사완료일자:2006년 3월 9일

1. 서론

건물외피용 태양광발전(이하 BIPV로 표현) 시스템은 PV모듈을 건축 외장재용으로 전자재화하여, 건물 외피에 적용함으로써 경제성을 포함한 각종 부가가치를 높여 보다 효율적으로 PV시스템을 보급시키려는 개념이다. BIPV시스템은 전기 에너지 생산이라는 본래의 기능 외에 외벽, 지붕, 창호, 파사드, 차양장치 등의 건축외장재를 대체함으로써 다양한 역할을 하며 특히 최근의 건물에서 흔히 나타나는 고가의 건축외장재를 대체할 경우 경제성은 더욱 높아진다. 한편 성능측면에서 현재 주류를 이루고 있는 결정계 태양전지 PV모듈을 건물 외장재로 사용할 경우 태양전지 표면의 온도상승에 따른 발전성능 저하가 예상됨으로⁽¹⁾, 단열재의 설치 위치, 환기구조의 유무, 부착방식 등에 따라 BIPV모듈의 발전성능이 크게 달라진다. 즉 PV모듈이 건축외장재로 적용될 경우 건물 외피의 일부로 구성되기 때문에, 최적의 BIPV시스템 구성을 위해서는 건물의 열성능에 미치는 영향과 PV모듈 표면의 온도 상승에 따른 발전성능 저하 등을 비롯하여 건축화 전반에 대한 종합적 고려가 이루어져야 한다⁽²⁾.

본 연구에서는 태양광발전(PV) 모듈을 건물 수직 외벽재로 적용할 경우 발생하는 열 및 발전 성능의 상관관계를 Test Cell을 이용한 실험적 방법으로 규명 제시함으로써, 건물일체형 태양광발전(BIPV)을 위한 건축설계 초기단계의 외벽부착방식 디테일 개발을 위한 기초자료를 제시하는데 주 목적이 있다.

2. PV모듈 열적영향 평가를 위한 실험조건

2.1 실험개요 및 장치

PV모듈을 건축자재화하여 BIPV로 적용할 경우 후면 배기조건이 기존과 다르기 때문에 온도에 의한 발전성능이 변화하게 된다. 따라서 본 연구

에서는 다양한 후면 배기조건을 모사할 수 있는 실험장치를 구성한 후 후면배기 조건에 따른 PV 모듈 온도변화 및 이에 따른 발전성능 변화를 측정하였다.

실험장치는 동일회사에서 제작된 50Wp 단결정 PV모듈(H985mm*W440mm) 3장을 이용해 후면 통기조건을 변화시킬 수 있는 Test Cell 실험장치를 제작하여 정남향 수직벽면에 부착한 후(그림 1 참조), 3개 PV모듈의 상/하부 통기 조건을 다양하게 조합 구현한 3개의 실험조건으로 실측실험을 수행하였다

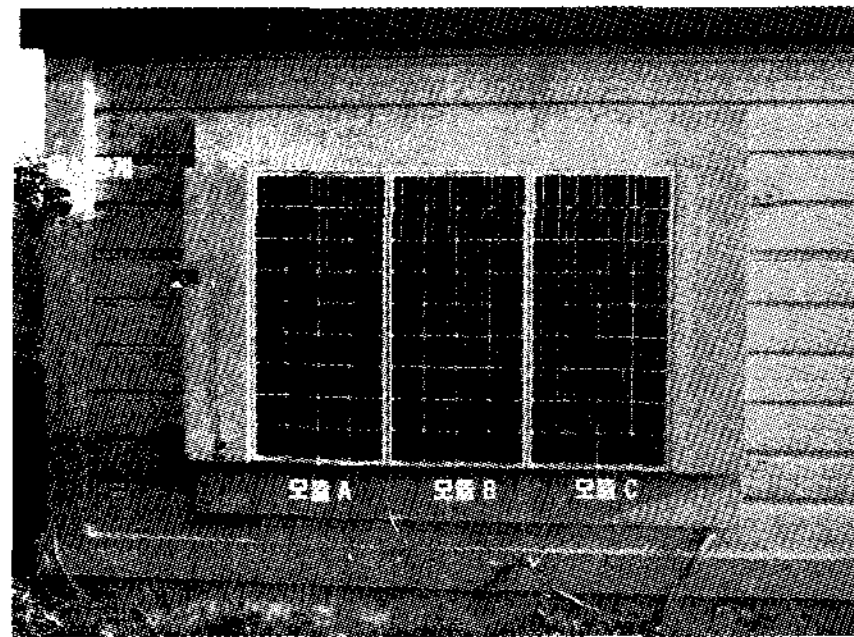


그림 1. 실험모델의 전경

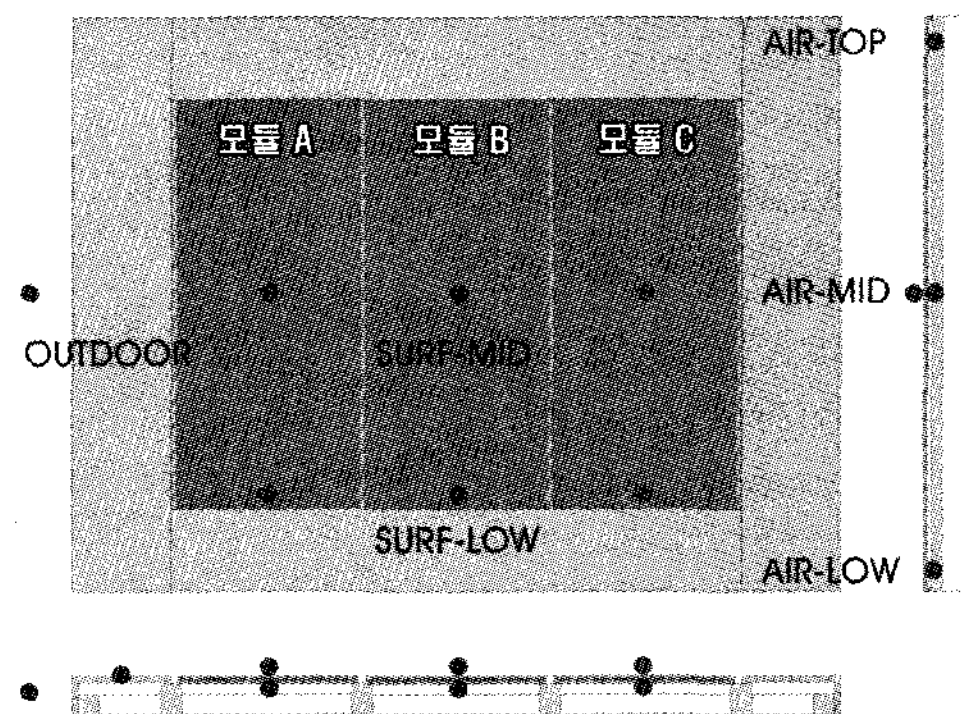


그림 2. 온도센서의 위치

Test Cell은 아연강판에 단열재를 충전하여 제작하였으며, PV모델의 구분을 위해 그림 1과 같이 좌측으로부터 모듈A, 모듈B, 모듈C로 명명하였다. 각 PV모듈 사이에 열전달을 최소화시키기

위해 단열 및 기밀처리를 하였다. 각 PV모듈의 통기조건 변화를 위해 모듈A는 상·하부를 모두 단열재로 밀폐시켰으며 모듈B는 상·하부 통기가 될 수 있도록 개폐가 가능하게 단열재로 제작하였고, 모듈C는 상·하부 완전 개방한 형태이다.

그림 2는 Test Cell의 온도계측 지점을 나타낸 것으로 각 모듈의 후면 통기부 상, 중, 하 지점의 공기온도와 각 모듈 전면의 표면온도 및 외기온도를 계측하였다. 온도는 T-type 열전대를 사용하였으며, 설치전에 모든 센서의 영점보상을 실시하였다. 일사량은 PV모듈의 설치각도와 동일하게 수직벽면에 부착하여 90도 경사면의 전일사량을 계측하였다. PV모듈의 발전량 산출을 위해 각 모듈의 전류 및 전압을 측정하였으며, PV모듈의 부하는 저항으로 처리하였다. 데이터로거는 Agilent사의 34970A를 사용하였으며, 매 스캔주기마다 측정된 값을 5분 간격으로 평균하여 저장 모니터링 하였다.

2.2 실험방법

실험은 3개 모듈의 초기조건 평가를 위한 예비 실험 단계를 거쳐, PV모듈의 후면 통기조건에 따라 총 3개의 실험조건에 대해 실측을 수행하였다.

예비실험은 실험실내의 인공광원 시뮬레이터(모델명 PASAN111b)를 통한 모듈 자체의 전기적 I-V특성 및 효율 측정실험⁽³⁾을 통해 3개 모듈간의 제작오차를 확인하였으며, 이들 모듈을 옥외 Test Cell 설치후 현장 시공조건에 각 모듈간 초기상태 동일여부에 대한 예비실험을 수행하였다. 이때 3개 모듈의 통기조건은 상하부 모두 밀폐하여 모든 조건이 동일한 상황에서 초기 성능을 평가하였다. 예비실험에서 나타난 각 모듈간의 초기조건 오차는 본 실험결과의 보정값으로 적용하였다.

본 실험은 각 모듈의 상하부 통기조건에 따라 표 1와 같이 3개의 실험조건으로 구분하여 수행하였으며, 실험기간은 8월부터 11월까지 수행하

였다. 이때 상하부의 통기 개구율은 PV모듈 면적 대비 5% 또는 2.5%의 조건으로 구성하였다. 그림 3에 각 모듈의 통기조건을 단면상으로 도식하였다.

표 1. 실험조건별 통기조건 및 실험기간

	실험조건 구성	기간
실험 조건 1	모듈A : 상부 밀폐, 하부 밀폐	8/17
	모듈B : 상부 밀폐, 하부 밀폐	~
	모듈C : 상부 5%* 개방, 하부 5% 개방	10/10
실험 조건 2	모듈A : 상부 밀폐, 하부 밀폐	10/11
	모듈B : 상부 밀폐, 하부 5% 개방	~
	모듈C : 상부 5% 개방, 하부 5% 개방	10/31
실험 조건 3	모듈A : 상부 밀폐, 하부 밀폐	11/1
	모듈B : 상부 2.5% 개방, 하부 5% 개방	~
	모듈C : 상부 5% 개방, 하부 5% 개방	11/15

* 5% : 환기 벤트면적비율로 PV모듈면적의 5%를 한다.

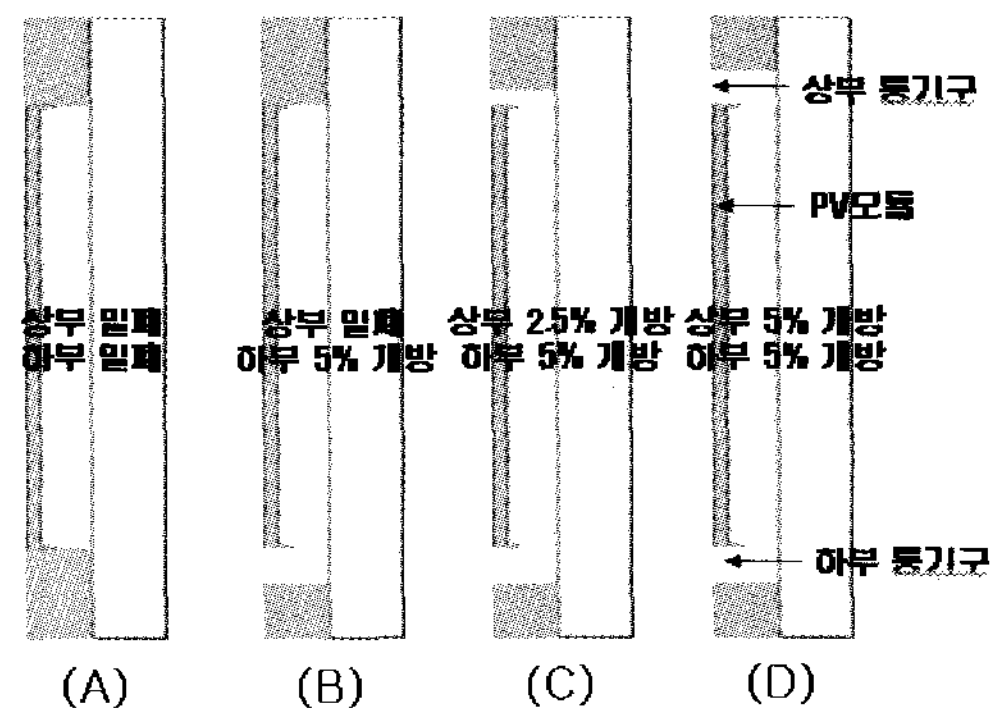


그림 3. 실험조건별 실험모델의 형상

3. Test Cell 실험결과 및 분석

3.1 실험조건1의 분석결과

실험조건 1의 상태로 2004년 8월17일-10월 10일까지 총 53일간에 걸쳐 측정을 실시하였다. 그림 4는 실험기간 중 일부인 10월4일-6일까지 3일간에 대해 3개 PV모듈 후면 상·중·하 지점의 시간별 공기온도 변화를 일사량 및 외기조건 변화와 함께 도식한 것이다. 통기조건에 따른 3개 모듈간의 온도차가 확연히 구분되고 있다.

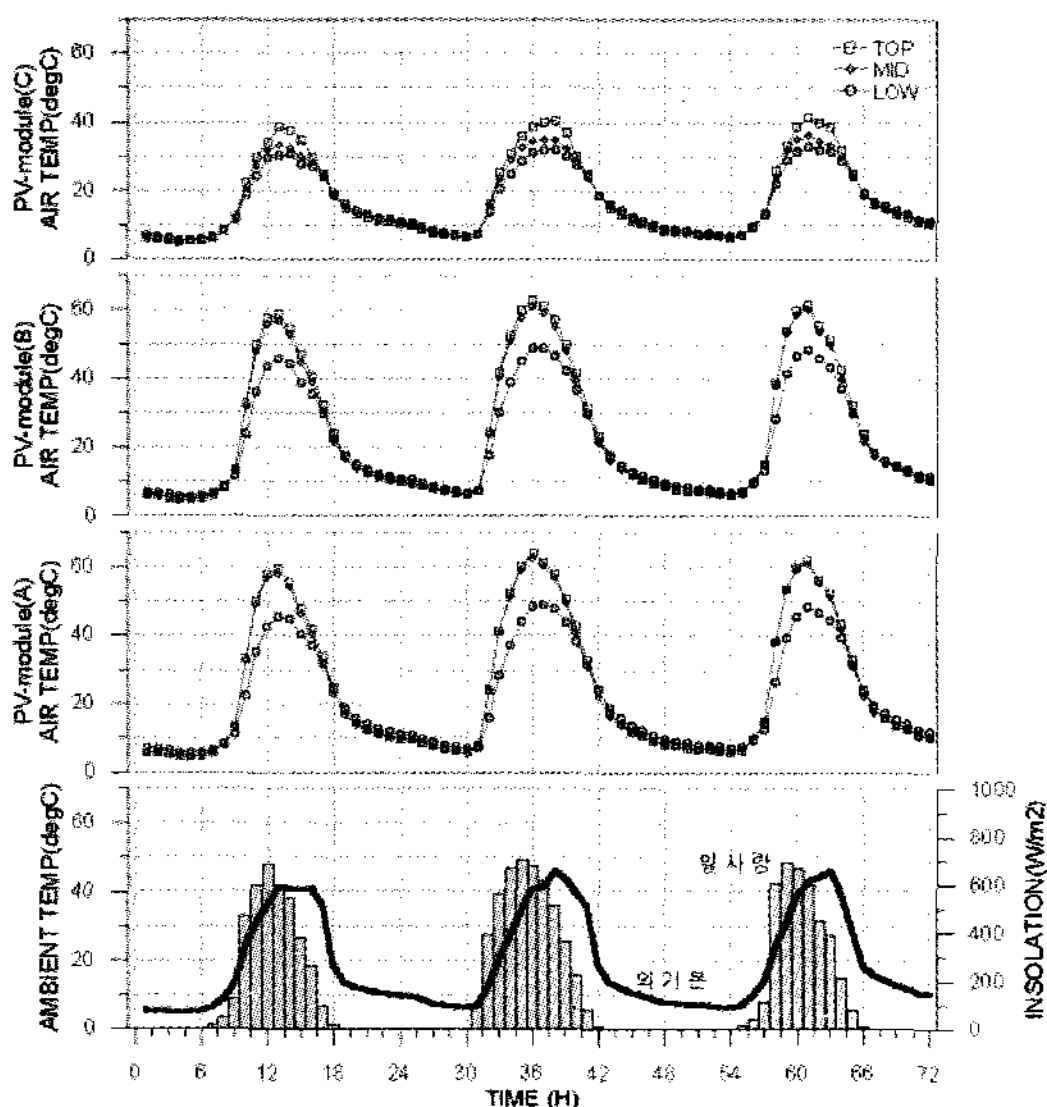


그림 4. PV모듈 후면의 공기층 온도 변화 (실험조건 1, 10월 4일~10월 6일)

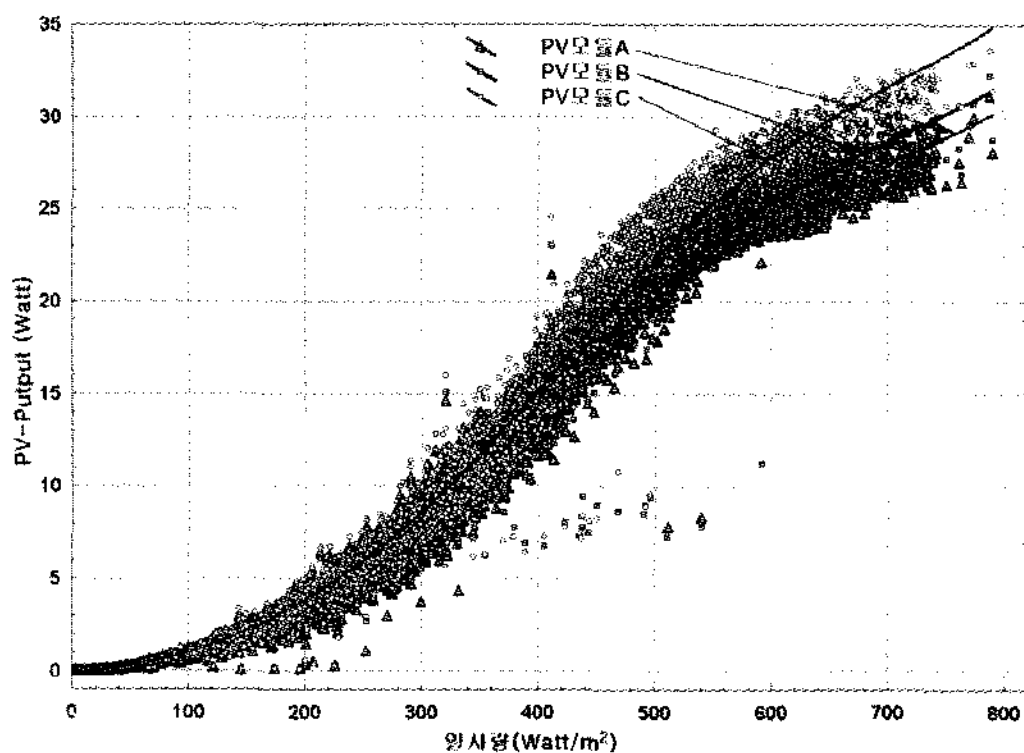


그림 5. 일사량에 따른 모듈별 발전량 분포(실험조건 1)

그림 5는 측정기간 전체 데이터에 대해 일사강도에 따른 모듈별 발전량의 차이를 도식한 그래프다. 일사량이 낮은 조건에서는 3개 모듈간의 발전량이 큰 차이를 나타내지 않지만, 일사강도가 커짐에 따라 모듈간의 발전성능이 확연히 차이를 드러낸다. 이는 온도에 따른 발전성능의 차이에 기인한 것이다. 분석 결과 상·하부를 밀폐한 동일한 조건의 모듈A, 모듈B는 예비실험 때와 동일한 경향을 보이며, 상·하부를 개방한 모듈C는

다른 모듈과 평균 3%이상의 발전량 차이를 보이며 증가하는 것으로 분석되었다.

표 2. 실험조건1 - 모듈후면 공기층 상, 중, 하부 온도

위치	일사량 (W/m²)	모듈A (°C)				모듈B (°C)				모듈C (°C)			
		Min 최소	Max 최대	S.D 표준편차	Avg 평균	Min	Max	S.D	Avg	Min	Max	S.D	Avg
AIR - TOP	≤200	1.8	63.4	7.6	21.5	1.8	62.5	7.3	21.4	1.9	42.1	5.6	20.2
	(200,300)	4.5	63.9	9.3	38.3	3.7	63.7	9.1	37.9	3.9	44.7	6.0	30.0
	(300,400)	10.4	62.7	9.3	42.6	10.3	61.8	9.1	42.2	7.1	43.5	6.6	32.8
	(400,500)	15.8	64.3	8.6	47.6	15.5	63.3	8.5	47.3	12.0	48.5	6.7	36.4
	(500,600)	22.7	64.3	7.6	51.4	22.5	63.9	7.5	51.3	15.2	49.7	6.4	38.5
>600	28.3	65.8	7.2	54.0	27.1	65.4	7.0	53.6	19.8	48.0	6.2	36.2	
AIR - MID	≤200	1.7	62.2	7.3	21.4	1.8	60.6	7.1	21.2	1.9	38.2	5.5	20.2
	(200,300)	4.0	62.8	9.0	37.6	3.9	62.0	8.6	37.2	3.6	39.9	5.6	29.1
	(300,400)	10.1	61.5	9.2	41.8	9.9	60.5	8.7	41.3	7.0	39.8	5.8	30.8
	(400,500)	15.3	63.2	8.6	46.7	15.6	61.6	8.1	46.3	11.7	41.6	5.5	32.9
	(500,600)	22.0	63.1	7.5	50.4	22.3	62.2	7.1	50.1	14.6	42.1	4.8	33.7
>600	27.2	64.6	7.1	52.9	26.5	63.6	6.8	52.1	18.3	41.7	4.8	32.2	
AIR - LOW	≤200	2.7	50.5	6.4	21.3	2.5	50.2	6.3	21.0	2.7	36.3	5.2	20.2
	(200,300)	3.4	50.8	8.1	32.6	3.3	51.6	7.6	33.0	3.3	38.9	5.4	28.0
	(300,400)	5.9	48.5	8.7	35.3	6.9	48.8	7.9	35.9	6.1	38.8	5.7	29.3
	(400,500)	11.3	51.4	8.0	38.2	12.6	50.9	7.5	39.1	10.0	39.4	5.5	31.1
	(500,600)	14.7	51.8	6.7	39.6	16.6	51.9	6.4	41.1	13.2	39.0	4.8	31.4
>600	19.9	51.3	6.3	40.4	21.2	51.7	6.1	41.4	15.7	38.9	4.9	29.4	

표 3. 실험조건1 - 모듈 전면 표면온도(SURF-MID)

일사량 (W/m²)	모듈A (°C)				모듈B (°C)				모듈C (°C)			
	Min	Max	S.D	Avg	Min	Max	S.D	Avg	Min	Max	S.D	Avg
≤200	0.7	62.1	7.4	20.9	0.8	60.8	7.2	20.8	1.1	50.3	6.5	20.4
(200,300)	6.0	64.0	8.2	38.6	6.0	63.6	8.0	38.0	5.7	52.8	6.5	34.9
(300,400)	13.0	63.5	8.1	43.2	12.8	62.3	7.8	42.4	11.3	51.2	6.4	38.3
(400,500)	19.0	64.1	7.4	48.6	19.0	62.9	7.3	48.0	17.4	52.9	6.0	42.3
(500,600)	27.8	65.1	6.6	52.9	27.3	64.2	6.5	52.5	24.7	53.6	5.2	45.2
>600	32.0	67.1	6.4	55.6	30.9	66.4	6.4	54.8	27.7	54.8	5.2	45.8

표 4. 실험조건1 - PV모듈의 발전량

일사량 (W/m²)	모듈A (watt)				모듈B (watt)				모듈C (watt)			
	Min	Max	S.D	Avg	Min	Max	S.D	Avg	Min	Max	S.D	Avg
≤200	0.0	4.7	0.7	0.3	0.0	4.8	0.7	0.3	0.0	5.0	0.7	0.3
(200,300)	0.3	10.5	1.5	5.5	0.3	10.1	1.5	5.3	0.3	11.4	1.6	5.6
(300,400)	3.7	16.7	2.3	10.8	5.5	17.6	2.4	10.7	5.7	19.2	2.6	11.5
(400,500)	11.4	22.1	2.2	18.0	6.7	23.3	2.9	18.5	7.1	25.7	3.3	20.0
(500,600)	7.8	26.0	1.6	22.8	7.2	27.2	1.8	23.9	19.9	29.8	1.6	26.1
>600	23.5	31.1	1.3	25.7	24.0	32.2	1.4	26.8	27.1	33.6	1.3	29.5

한편 분단위 간격으로 측정된 많은 데이터를 대상으로 일사강도에 따른 각 모듈간의 특성을 분석하기 위해서는, 시간별 변화에 따른 단순 비교

를 통해서 정확한 결과 값을 판단하기 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 전체 측정 데이터를 일사량 강도 구간별로 그룹화하여 산술평균 및 표준편차, 최대 및 최소값을 산출하는 통계처리를 수행함으로써 일사량 강도에 따른 온도와 발전 성능 특성 분석을 수행하였다.

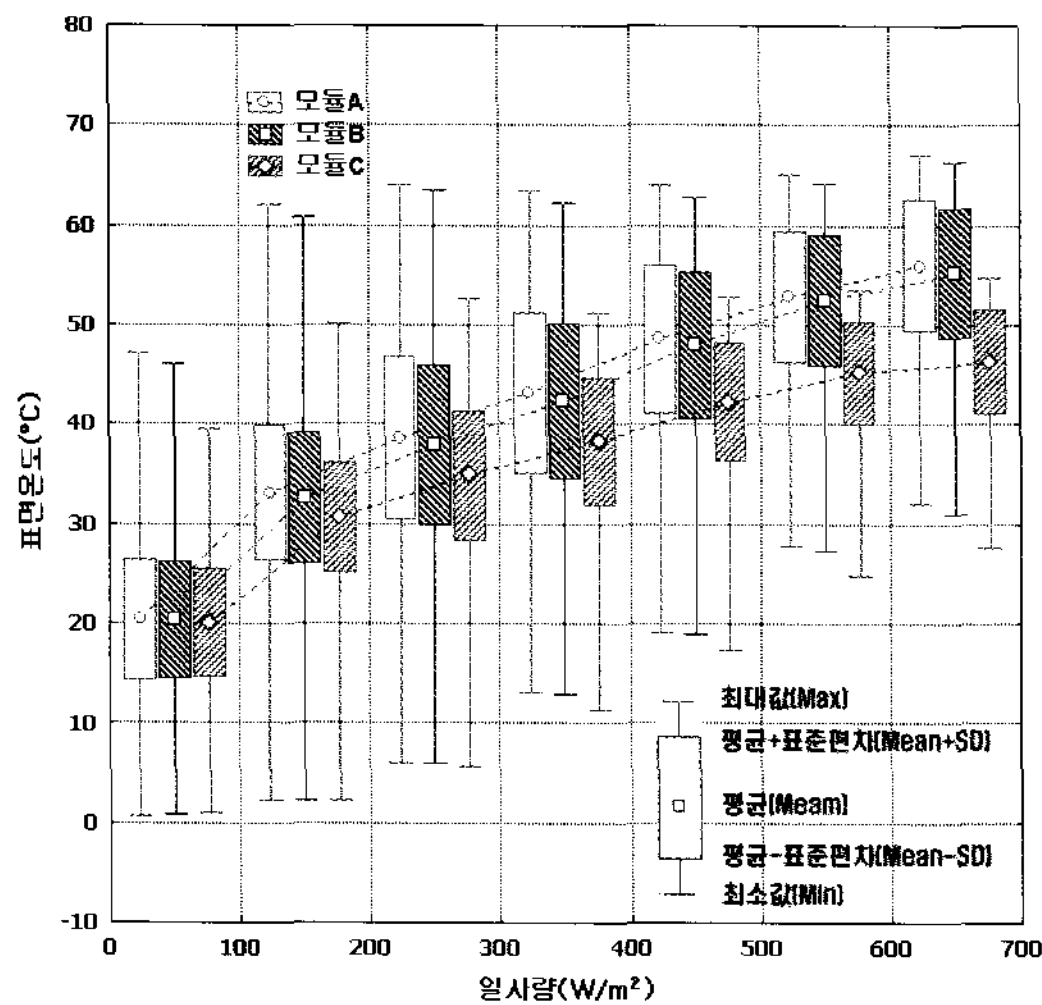


그림 6. 일사량구간별 표면온도 통계분석결과(실험조건1)

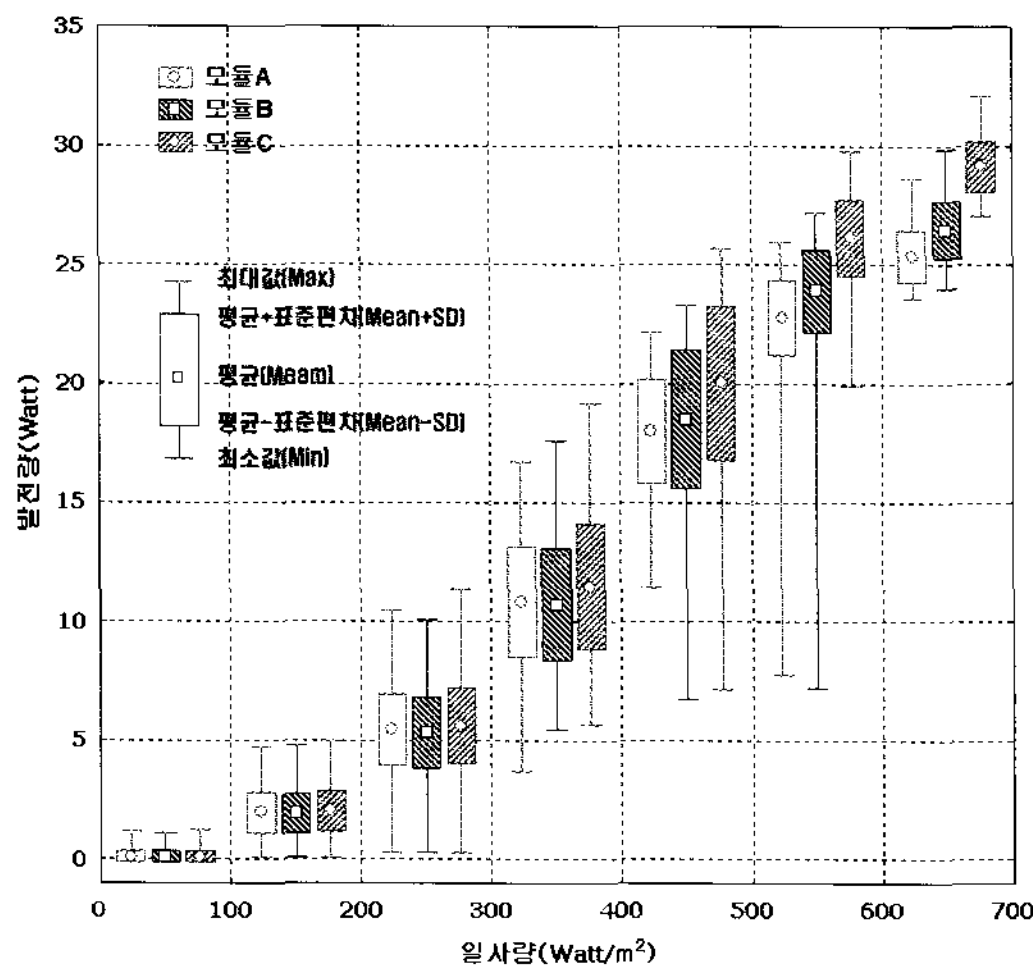


그림 7. 일사량구간별 발전량 통계분석결과(실험조건1)

표 2 ~ 표 4는 53일에 걸쳐 수행된 실험조건 1의 측정데이터를 상기의 방법으로 통계 처리한

결과이다. 표 2는 PV모듈 후면 공기온도에 대한 결과를 나타내며, 표 3은 PV모듈 전면 표면온도, 표 4는 발전량의 분석결과이다.

한편 그림 6 및 그림 7은 일사량 구간별에 따른 통계처리 결과에 근거해 Box-Whisker 형태의 그래프로 표면온도 및 발전량의 거동특성을 분석, 도식한 결과이다. 그림에서 각 Box 중앙의 \circ , \square , \diamond 기호는 각 일사강도 구간별로 3개 모듈 각각의 평균값(Mean)을, Box \square , \square , \square 기호는 평균 \pm 표준편차(Mean \pm S.D)의 범위를, Whisker I 기호는 최대값(Max) 및 최소값(Min)의 변화 범위를 나타낸다.

예를 들면 그래프 좌측의 첫 번째 컬럼은 53일 동안 측정된 데이터 중 일사강도가 100W/m^2 이하인 데이터를 대상으로 PV모듈 A, B, C의 평균(Avg), 표준편차(S.D), 최대(Max)/최소값(Min)의 변화범위를 나타낸 것이다. 이 그래프를 통해 일사량 강도의 크기에 따라 온도편차가 어느 정도 발생하는지의 통계 값을 손쉽게 파악할 수 있으며, 특히 최대 최소의 변화범위 또한 동시에 판정 가능하기 때문에 PV 모듈간의 거동특성을 매우 효과적으로 비교 분석할 수 있다.

실험조건 1에서 PV모듈 후면 공기층 각 부의 온도 분석 결과 상부온도는 모듈A가 54°C , 모듈 B 53.6°C , 모듈C 38.5°C 로 나타났고, 공기층의 중앙부에서는 모듈A 52.9°C , 모듈B 52.1°C , 모듈C 33.7°C 로 나타났으며 공기층의 하부에서는 모듈A 40.4°C , 모듈B 41.4°C , 모듈C 31.4°C 로 나타났다. 즉 상하부 개방된 모듈C는 공기층 상부에서는 28%, 공기층 중앙부에서는 36%, 공기층 하부에서는 23%정도 온도가 낮게 유지되었다.

PV모듈 전면의 표면온도 분석 결과는 표 3 및 그림 6과 같이 일사량이 600W 초과할 때 모듈A 55.6°C , 모듈B 54.8°C , 모듈C 45.8°C 로 평균 최대를 나타내었다. 즉 모듈C가 다른 모듈에 비해 17%정도 온도가 낮게 유지되는 것으로 분석되었다.

발전량의 분석 결과는 표 4 및 그림 7과 같이 일사량이 600W를 초과할 때 전류와 전압이 최대를 나타냈으며 모듈A 25.7W, 모듈B 26.8W, 모듈C 29.5W로 평균 최대의 발전량을 보인다.

이상 실험조건 1에서의 수행한 실험 결과, 상·하부 개방한 모듈C는 PV모듈 전면의 표면온도가 다른 모듈에 비해 평균 9.2°C, 최대 11.9°C 까지 낮아지는 효과를 나타내었다. 또한 이로 인해 모듈C의 발전량은 다른 조건의 모듈에 비해 10~13%이상 개선되는 것으로 나타났다. 이 결과는 PV모듈 후면의 공기층에서 공기 순환에 의한 냉각 효과가 발생하여 PV모듈 표면온도가 저하되고 이로 인해 발전 성능도 상승되는 것이 입증되었다.

3.2 실험조건 2의 분석결과

실험조건 2에서는 모듈의 후면 상·하부를 밀폐한 조건(모듈A), 모듈의 후면 상부 밀폐하고 하부를 5% 개방한 조건(모듈B)과 모듈의 후면 상·하부를 5%씩 개방한 조건(모듈C)으로 PV모듈의 열적 영향 및 발전 성능을 분석하기 위해 실험을 실시하였다. 실험기간은 10월 11일부터 10월 31일까지 20일간이다. 실험방법 및 결과분석 방법은 앞서의 실험조건 1의 경우와 동일하게 수행하였다.

그림 8은 실험조건 2에 대한 일사량 구간별 표면온도 분석결과를 도식한 것이며, 그림 9는 동일상황에서 PV모듈의 발전량을 도식한 결과이다.

표면온도 분석결과 모듈C가 모듈A, B보다 평균 10~11.2°C, 모듈B가 모듈A 보다 평균 1.2°C정도 낮아지는 효과를 나타내었고 발전량은 모듈C가 모듈A, B보다 평균 10~15%, 모듈B가 모듈A보다 평균 5% 좋아지는 것으로 나타났다.

실험조건 2 모듈B의 온도강하에 따른 발전 성능의 향상율이 실험A와 비교해 비례적 관계⁽⁴⁾를 보이지 않는 것은 모듈 하부만 개방한데 따른 온도의 불균형 냉각효과 때문인 것으로 판단된다.

즉 모듈B와 같이 후면 환기를 위해 하부만 개방한 경우는 상하부로 원활한 공기순환이 이루어지지 않아, 하부의 개방된 일정 영역에서만 부분적인 냉각효과가 있으며 전체적으로 온도강하 효과가 크지 않음에 따라, 실질적인 발전성능 향상은 기대만큼 나타내지는 않는 것으로 판명되었다.

따라서 후면환기를 위해서는 상하부를 모두 개방시켜야 최대의 효과를 기대할 수 있으며, 하부만 개방할 경우 발전량에서 큰 성능개선을 기대하기는 곤란한 것으로 밝혀졌다.

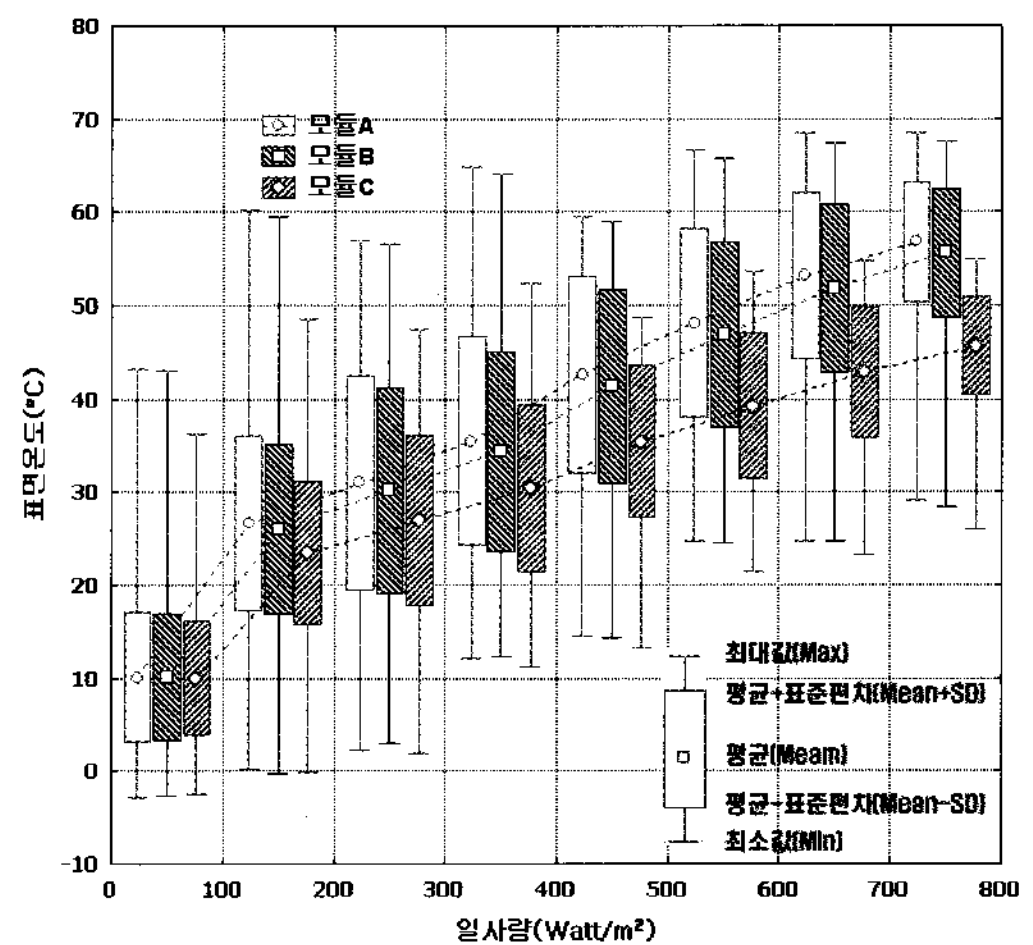


그림 8. 일사량구간별 표면온도 통계분석결과(실험조건2)

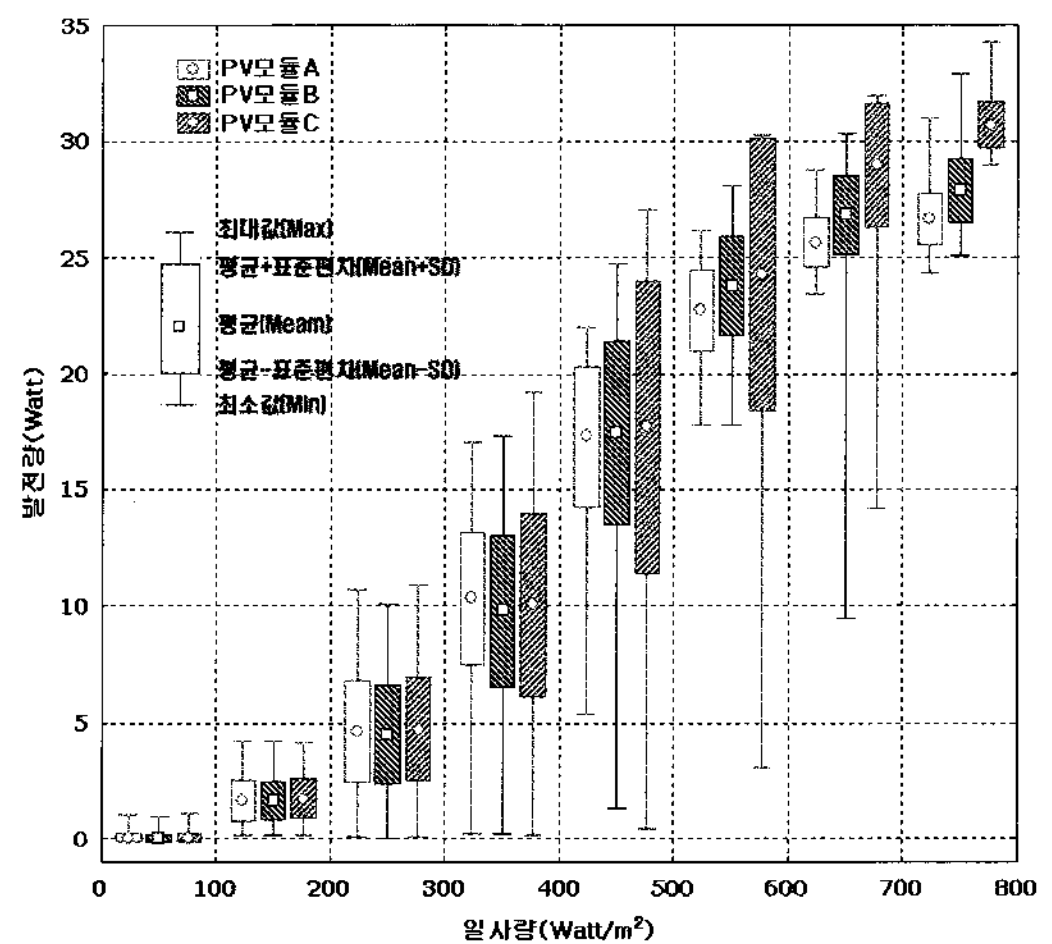


그림 9. 일사량구간별 발전량 통계분석결과(실험조건2)

3.3 실험조건 3의 분석결과

실험조건 3은 PV모듈 후면 상·하부를 밀폐한 조건의 모듈A, 상부 2.5% 개방, 하부 5% 개방한 모듈B, 상·하부 5% 개방한 모듈C의 3개 조건으로 11월1일부터-11월15일까지 15일간 실시하였다.

그림 10은 실험조건 3에 대한 일사량 구간별 표면온도 분석결과를 도식한 것이며, 그림 11은 동일상황에서 PV모듈의 발전량을 일사량 구간별로 3개 모듈에 대해 비교 도식한 결과이다.

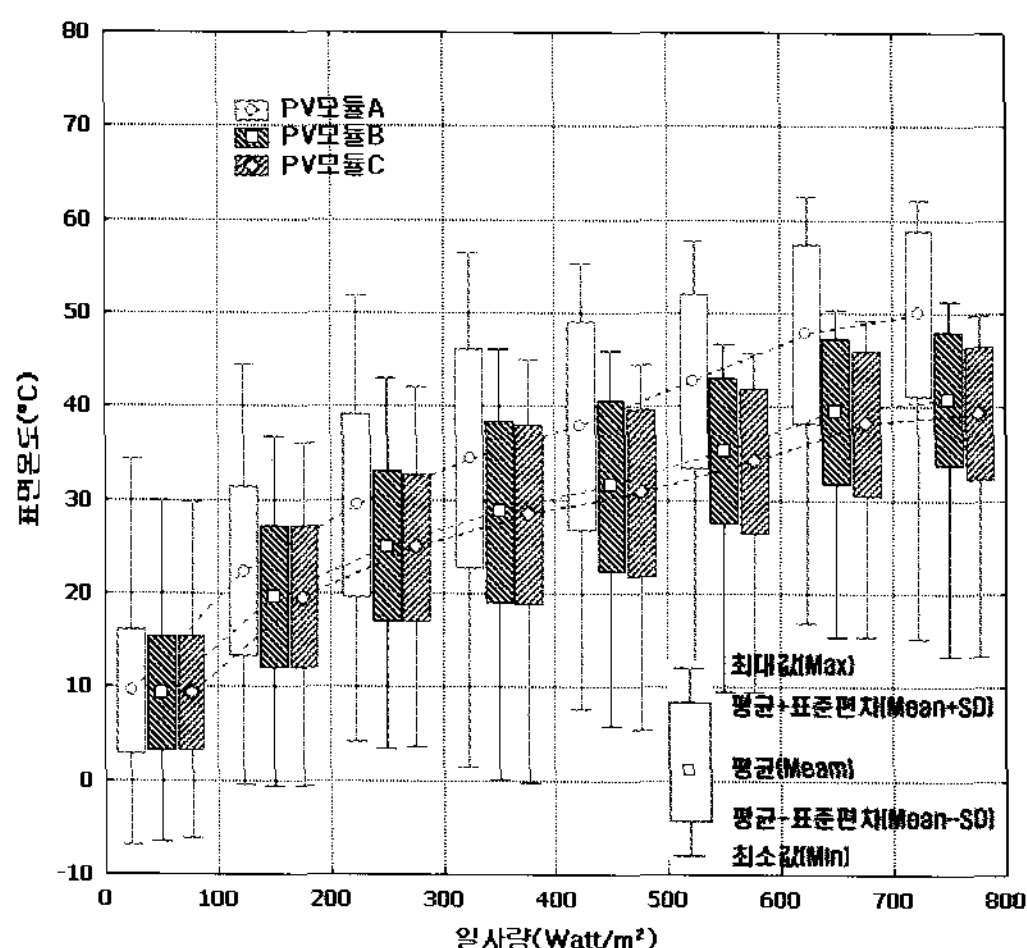


그림 10. 일사량구간별 표면온도 통계분석결과(실험조건3)

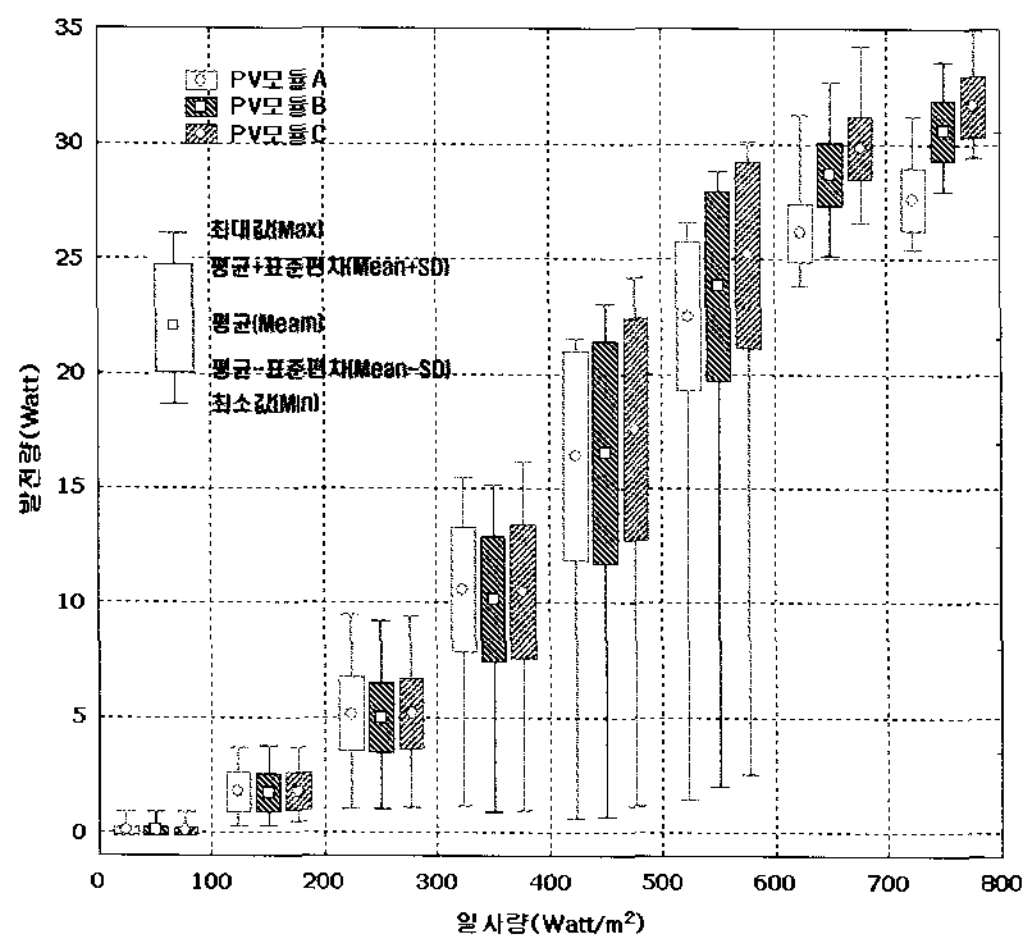


그림 11. 일사량구간별 발전량 통계분석결과(실험조건3)

PV모듈 전면의 표면온도와 발전성능 분석결과 모듈B, 모듈C는 거의 유사한 것으로 판명되었으며, 모듈B, C가 모듈A보다 평균 8~10°C 낮아지는 효과를 나타내었고 발전량은 모듈B, C가 모듈A보다 평균 10~13% 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 실험조건 3의 주목적인 모듈B의 상부 개구부 2.5% 통기조건에 대한 검증결과 부분적 개방에도 불구하고 완전개방 조건인 모듈C의 발전량과 거의 유사한 경향을 나타냈다. 따라서 상부 개구부의 경우 부분적 통기조건에도 온도 냉각 효과 및 PV모듈의 발전성능 개선은 큰 효과를 기대할 수 있는 것으로 판명되었다.

3.4 종합고찰

PV모듈을 수직벽면의 건축 외장재로 사용했을 때, 열 및 발전 성능의 상관관계를 규명하기 위해 PV모듈의 후면 통기조건에 따라 수행한 측정 실

표 5. 실험조건별 PV표면온도 및 발전량 분석결과 (일사강도 500Watt/m² 이상인 경우의 평균값)

		실험조건 1			실험조건 2			실험조건 3		
		모듈 (A)	모듈 (B)	모듈 (C)	모듈 (A)	모듈 (B)	모듈 (C)	모듈 (A)	모듈 (B)	모듈 (C)
통기 방식	상부	X	X	O	X	X	O	X	△	O
	하부	X	X	O	X	O	O	X	O	O
PV 표면 온도 (°C)	평균	54.3	53.8	45.5	52.8	51.5	42.7	47.3	38.7	37.2
	비율	100%	99%	84%	100%	98%	81%	100%	82%	79%
중양부 SUR F-MID	비율	101%	100%	85%	102%	100%	83%	122%	100%	96%
	비율	119%	118%	100%	124%	121%	100%	127%	104%	100%
PV 표면 온도 (°C)	평균	n/a	n/a	n/a	43.4	37.5	33.4	35.5	26.8	27.6
	비율	n/a	n/a	n/a	100%	86%	77%	100%	75%	78%
하단부 SUR F-LOW	비율	n/a	n/a	n/a	116%	100%	89%	133%	100%	103%
	비율	n/a	n/a	n/a	130%	112%	100%	129%	97%	100%
PV 발전량 (W)	평균	24.3	25.4	27.8	25.0	26.2	28.0	26.4	28.9	30.1
	비율	100%	105%	115%	100%	105%	112%	100%	110%	114%
	비율	96%	100%	110%	95%	100%	107%	91%	100%	104%
	비율	87%	91%	100%	89%	94%	100%	88%	96%	100%

X : 밀폐
 O : 태양에너지를 받는 PV모듈 면적의 5% => 통기 면적 PV모듈 수직 높이의 5% => 통기 깊이
 △ : 태양에너지를 받는 PV모듈 면적의 2.5% => 통기 면적 PV모듈 수직 높이의 2.5% => 통기 깊이

험결과 중 일사조건이 양호한 시점의 데이터만을 선별하여 분석한 결과를 요약하면 표 5와 같다.

이때 일사량 기준값은 500Watt/m²이상인 시점의 데이터만을 대상으로 통계처리한 결과이다.

표 5의 실험조건 1에서, 상·하부 개방한 PV 모듈C가 다른 PV 모듈보다 PV 표면온도가 평균 8°C 이상 낮게 유지되는 것으로 나타났으며, 이러한 현상은 PV모듈 후면 공기층에서도 동일한 현상을 확인할 수 있었다. 이러한 온도강하 효과는 PV모듈의 발전효율에도 영향을 미쳐 모듈C의 발전량이 다른 모듈에 비해 9~13% 더 많이 발전되는 것으로 나타났다. 따라서 PV모듈 후면의 공기층에서 공기 순환에 의한 냉각 효과는 확실히 나타나며, 이에 따른 발전성능의 개선 또한 크게 기대할 수 있을 것으로 판명되었다.

실험조건 2에서, 상·하부 밀폐한 PV 모듈A와, 상부밀폐/하부개방한 PV 모듈B 사이의 모듈 중심부 표면온도차는 2%내로 거의 동일한 것으로 나타났다. 반면 PV모듈 하단부의 온도를 비교해 보면 모듈B가 모듈A보다 평균 5.9°C(14%) 낮게 나타난다. 따라서 통기구를 상부밀폐, 하부 개방할 경우 개방에 따른 냉방효과는 하단부 일부 영역에만 그치며, 모듈 중심부까지는 냉각효과가 거의 미치지 않음을 알 수 있다. PV모듈의 발전량은 온도가 가장 높은 모듈A의 발전량이 평균 25W로 가장 작으며, 모듈A에 비해 모듈B는 5%, 모듈C는 12% 더 많은 발전량을 나타내었다. 이상의 결과에서 상부는 밀폐하고 하부만 개방한 모듈의 경우 PV모듈 하부의 부분적인 냉각 효과 및 이에 따른 발전성능의 향상이 있는 것으로 나타났으나 냉각효과가 미치는 영역은 그렇게 크지 않음에 따라, 실질적인 발전성능 향상에 있어서는 기대만큼 큰 개선효과를 나타내지는 않는 것으로 판명되었다.

실험조건 3은 실험조건 2와 비교하여 상부의 통기구 면적비에 변화를 준 경우이다. 상·하부를 밀폐한 모듈A, 상부 2.5% 부분개방, 하부 완전

개방한 모듈B, 상·하부 완전개방한 모듈C를 대상으로 실험을 수행한 결과, PV모듈 전면의 표면온도와 발전 성능에 있어 모듈B와 모듈C는 거의 유사한 것으로 판명되었다. 모듈B 및 모듈C가 모듈A에 비해 평균 9~10°C 낮은 표면온도를 나타내며, 발전량은 모듈B, C가 모듈A 보다 평균 10~14% 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 실험조건 3의 주목적인 PV모듈 B의 상부 개구부 2.5% 개방조건에 대한 검증결과 부분적 개방에도 불구하고 완전개방 조건인 모듈C의 발전량과 거의 유사한 경향을 나타낸다. 따라서 상부 개구부의 경우 부분적 개방조건에도 온도 냉각효과 및 PV 발전성능 개선은 큰 효과를 기대할 수 있는 것으로 판명되었다.

4. 결 론

그림 12는 2004년 준공된 국내 최초의 외벽일체형 BIPV건물의 전경 및 남측면에 일체화된 차양형 PV모듈의 단면상세를 예시한 것이다⁽⁴⁾. 이 건물의 설계당시 PV모듈의 후면환기를 위해 하부 통기 및 상부통기에 대한 디테일 검토가 있었으며, 제반 여건상 최종적으로는 상부밀폐, 하부통기만 적용된 사례이다. PV모듈을 건물 외장재로 적용할 경우 예시한 바와 같이 설계조건에 따라 PV모듈의 설치여건도 매우 다양한 형태를 나타

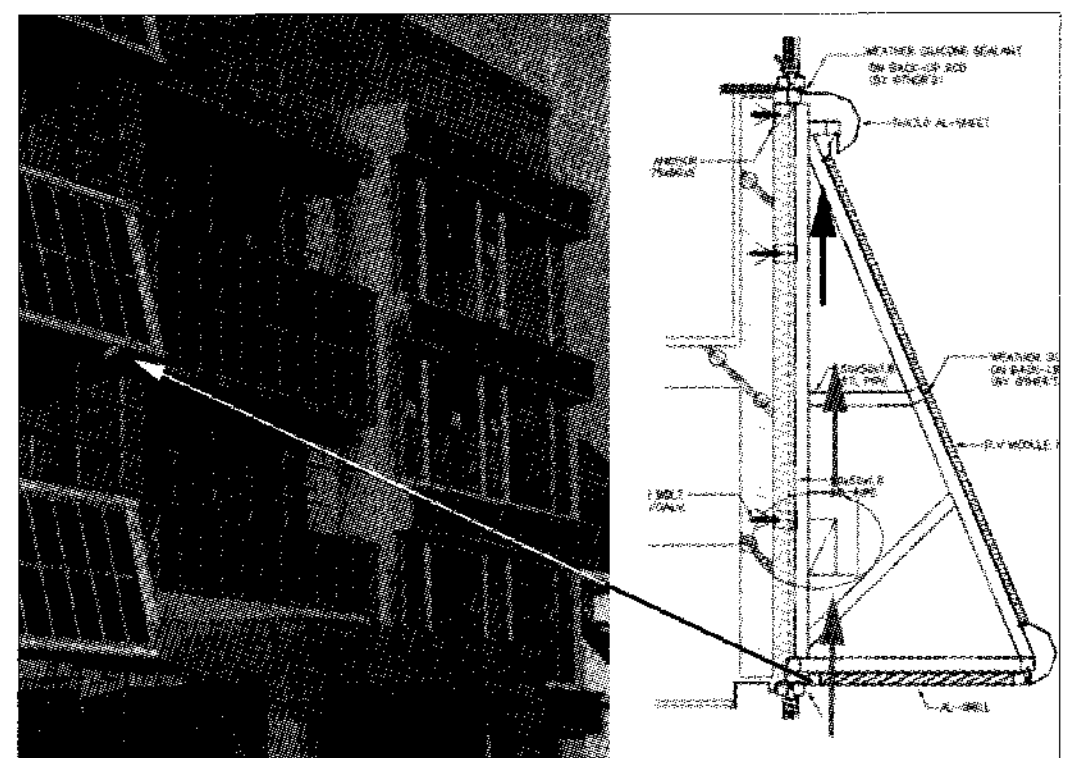


그림 12. PV차양 및 후면환기의 설계사례

내는 반면, PV모듈의 설치조건에 따른 발전성능의 상호관계에 대한 정보가 부족하여 실무건축가들이 BIPV건물을 설계하는데 많은 어려움을 호소하고 있다.

본 연구는 이러한 배경 하에 건물외피형 태양광발전(BIPV) 모듈의 열적 영향에 대한 평가를 실시하기 위해 후면 통기조건에 따른 3가지 유형 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- PV모듈 상·하부 개구부의 개방효과를 평가한 실험조건 1의 실험결과에 따르면 PV모듈 후면 배기를 통해 확실한 온도강하 효과 및 이에 따른 발전성능 상승 효과가 있음이 입증되었다.
- 상부 배기구는 밀폐시키고, 하부만 개방시킨 조건을 평가한 실험조건 2의 실험결과 하부의 부분적 온도강하 효과는 나타났지만 PV모듈 냉각영역이 하부의 적은 영역에만 해당하기 때문에 발전성능은 크게 개선되지 않는 것으로 나타났다. 따라서 경사형 PV모듈 차양장치와 같이 하부만 개방되는 설치조건은 예상보다는 큰 발전성능의 향상을 기대하기는 힘든 것으로 나타났다.
- 하부는 완전 개방하고 상부는 부분적으로 개방한 실험조건 3의 평가결과 상부 및 하부를 완전 개방한 모듈의 온도분포 및 발전성능과 거의 유사한 성능을 발휘하였다. 따라서 상부 배기구는 배기구의 크기가 작더라도 냉각효과를 크게 개선할 수 있는 것으로 나타났다. 향후 PV모듈을 외벽에 설치할 경우 방수문제의 해결과 함께 작은 규모라 할지라도 상부 배기구를 형성할 수 있는 디테일의 개발이 매우 중요

할 것으로 판단된다.

본 연구결과는 최근 다양한 용도로 적용되고 있는 BIPV모듈의 건물 부착시 후면 통기조건을 고려한 시공 디테일 개발시 효과적인 설계 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

향후 연구로는 BIPV 모듈의 후면 통기조건에 따른 온도 및 발전성능의 상호관계를 정밀 모사할 수 있는 이론적 해석모델 및 프로그램을 개발하여, 다양한 설치여건에 대한 설계 지침을 수립할 예정이다.

후 기

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-003-D00522).

참 고 문 헌

1. Randall Thomas, Photovoltaics and Architecture, Spon Press, London, 2001, p14
2. 윤종호, "BIPV를 위한 PV모듈의 전자재화 기술동향", 한국태양에너지학회지, v.2 n.4, 2003.11
3. GSES, "Planning and Installing Photovoltaic Systems", James & James, 2005, pp71
4. 한국에너지기술연구원, "중대규모 건축환경에서의 태양광발전시스템 적용 요소기술개발", 산업자원부 보고서, 2001