

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

*Journal of the Korean Solar Energy Society*

Vol. 25, No. 1, 2005

# PV 모듈을 부착한 블라인드형 이중외피 시스템의 성능에 관한 연구

조혜진\*, 최창호\*\*, 이현우\*\*\*

\* 광운대학교 건축과 대학원(archy-98@hanmail.net),

\*\* 광운대학교 건축공학과 조교수, 공학박사(choi1967@kw.ac.kr),

\*\*\* 광운대학교 건축공학과 교수, 공학박사(hwlee@daisy.kwangwoon.ac.kr)

## A Study on the Performance of Blind type Double-Skin Facade System with PV modules

Jo, Hye-Jin\*, Choi, Chang-Ho\*\*, Lee, Hyun-Woo\*\*\*

\*Dept. of Architecture, Graduate School, Kangwoon University(archy-98@hanmail.net),

\*\*Dept. of Architecture, Kangwoon University(choi1967@kw.ac.kr),

\*\*\*Dept. of Architecture, Kangwoon University(hwlee@daisy.kwangwoon.ac.kr)

### Abstract

---

The present society have been polluted the earth environment by the rapid industrial growth. So, the meaning of sustainable development is doing more important. Therefore the technology skills of sustainable architecture techniques have been studied many-side of energy as like energy saving and substitutive energy, But, See the studies until now, there have been just one system either energy saving or substitutive energy. So, the paper studies about energy saving system with substitutive energy system(the double-skin facade system with PV modules) and presents the performance of system through the analysis of reduction of the energy load, the solar radiation on the slope angle of PV module, the blind effect in system.

**Keywords** : 에너지 저감 시스템(energy saving system), 대체에너지 시스템(substitutive energy system), 이중외피 시스템(double-skin facade system), PV 모듈(PV module), 에너지부하 저감(reduction of the energy load)

---

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

현대사회는 급속한 산업발전으로 인해 에너지 고갈 및 환경오염이라는 문제에 당면하면서 청정에너지의 개발 및 대체에너지에 관한 연구가 촉구되고 있다. 대체에너지 중 PV시스템에 의한 전기생산은 고부가가치에너지이며, 청정에너지이고, 태양에너지를 기반으로 하는 무한에너지라는 점에서 매우 훌륭한 대체에너지의 조건을 지니고 있다.

그러나 우리나라에서는 태양에너지의 특징인 가변성에 의해 생기는 잉여전기에너지를 폐기해야 한다는 문제점으로 인하여 PV시스템에 관한 다양한 연구가 적어왔다. 하지만 잉여전기를 국가로 수급하는 방안이 모색되면서 PV시스템, 그중에서도 BIPV에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

그러나, 현재 BIPV시스템은 주로 건축물의 남측면 외피에 다양한 형태로 부착하는 방법과 그때의 성능에 관하여 다양하게 연구되고 있으나, 다른 시스템과의 병행에 관한 연구는 많이 이루어지지 않고 있다.

### 1.2 연구의 목적

따라서 본 논문의 목적은 PV시스템과 이중외피 시스템을 병행할 수 있는 시스템을 설계하여 그 특성을 정량적으로 분석하는 것이며 이를 통해 하나의 시스템으로 에너지부하 절감과 전기에너지 생산이라는 두 가지 목적을 동시에 달성할 수 있는 방안에 대해 연구했다.

### 1.3 연구 순서

본 연구의 순서는 먼저 단일외피모델과 PV모듈을 부착한 이중외피 시스템을 설치한 이중외피모델의 에너지 해석 시뮬레이션을 통하여 냉·난방 부하를 비교분석하여 열성능을 평가하였다. 두 번째로 단일외피모델과 이중외피모델에서의 조도분석을 통하여 이중외피 모델의 차양효과를 입증하였다. 마지막으로

단일외피모델과 이중외피모델에서의 PV설치 가능면적을 도출하고 그때 PV경사면에서 획득 가능한 일사량 값을 비교하여 보았다.

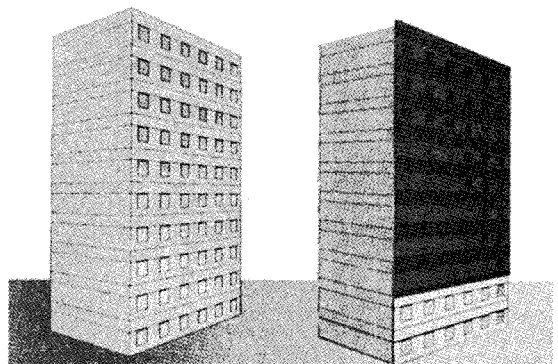
## 2. 열성능 평가

열성능 평가는 IES-VE 통합 에너지 해석 시뮬레이션 프로그램을 통하여 이루어졌다. 이 중 Aparch 시뮬레이션을 이용해 에너지 부하 절감 효과를 입증하였고, Radiance 프로그램을 통하여 PV모듈을 부착한 이중외피 시스템의 차양효과를 입증하였다.

### 2.1 비교모델 정립

#### 1) 단일외피모델

이 모델은 시뮬레이션을 위하여 동서를 축으로 한 24.9m×15.0m의 장방형의 가상모델이다. 전체 10층의 건물이며, 한 층의 층고는 4.2m(공조 공간 1.5m)로 옥상면 난간높이를 더하여 총 건물 높이는 42.9m이다. 또한 이 건물에서는 남측 면에만 6개의 창이 있고 그 외의 개구부는 없는 것으로 계획하였는데 이는 시스템 부착에 의한 에너지 절감 효과를 명확히 하기 위한 것이다.(그림 1)

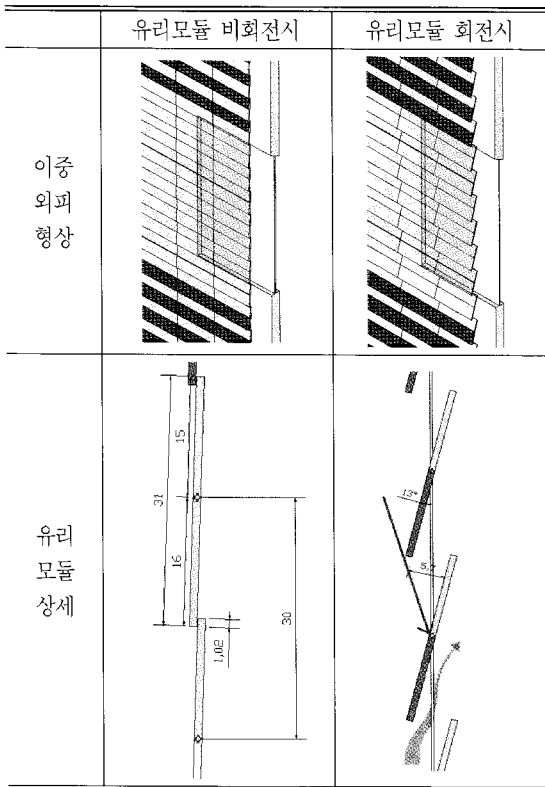


(a) 단일외피모델

(b) 이중외피모델

그림 1. 단일외피모델과 이중외피모델의 형상

표 1. 유리블라인드의 형상



을 고려하여 여름철 최대 회전각을 12.9°로 산정하였다.(표 1)

2.2 시뮬레이션 입력조건

시뮬레이션을 위해 먼저 공통되는 실내의 조건을 설정하였다. 두 모델의 경우 모두 난방온도는 22°C이며, 냉방온도는 26°C, 상대습도 50%이다. 기기 부하는 12W/m<sup>2</sup>, 조명부하는 20W/m<sup>2</sup>이다. 또한 재실밀도는 7m<sup>2</sup>/p이며 현열, 잠열부하는 냉방온도 26°C를 기준으로 각각 69W, 53W 총 122W로 계획하였다. 단 건물의 사용은 전 평면의 70%를 사용한다고 가정하였다.(표 2)

표 2. 실내 설정조건

실내설정조건		
난방설계	22°C	
냉방설계	26°C, 50% (범위 : 25~27°C, 50~60%)	
기기부하	12W/m <sup>2</sup>	
조명부하	20W/m <sup>2</sup>	
인체부하	인체부하 (26°C기준)	122W
	재실부하	현열/잠열: 69/53W
		7m <sup>2</sup> /p

2) 이중외피모델(PV모듈을 부착한 이중외피 시스템 설치모델)

이 모델은 단일외피모델의 건물의 남측면에 폭 54cm의 PV모듈을 부착한 이중외피 시스템을 설치한 것으로서 블라인드 형이며 Whole타입으로 설계하였다(그림1). 또한, 하단부의 공기유입을 돕고 식물에 의하여 PV 모듈에 음영이 지는 것을 방지하기 위하여 3층부터 부착되며 10층까지 8개 층에 설치하였다.

각각 하나의 블라인드형 유리모듈의 길이는 31cm로서 한 층에 14개의 유리모듈이 설치된다. 이중 7개가 유리면과 PV모듈의 복합 모듈로 이루어져 있다. 이 개수 및 PV모듈의 길이는 냉방기에 실내로 음영을 주고 난방기에 음영을 방지하기 위한 것이다. 또한 이 시스템의 환기는 블라인드의 회전으로 이루어지는데 이때, PV모듈 위로의 음영발생

건물의 구조는 일반 콘크리트 건물이며, 건물의 유리는 6+12+6mm 두께의 Low-e 복층유리이며 이중외피의 쓰이는 유리는 6mm 두께의 투명 유리이다. PV모듈은 상용화 제품으로 생산되고 있는 샌드위치 글래스 PV모듈을 대상으로 계획하였다. 이 샌드위치 글래스 PV모듈은 충분한 내구성을 지니고 있어 건물 외피에 부착할 수 있다. 이 구조의 열관류율 값은 다음 표 3과 같다.

표 3. 건물 물성치

(열관류율 : W/km<sup>2</sup>, 투과율, 반사율 : %)

열관류율 및 기타 물성치					
외벽	열관류율 0.3359				
PV모듈	열관류율 5.1				
	열	광			
	투과율	반사율	관류율	투과율	반사율
건물유리	45	7	1.74	88	6
이중외피 유리	79	7	6.14	88	6

### 2.3 시뮬레이션 결과 및 분석

난방 부하 분석 결과 전체 건물에서 약 22.2%의 난방부하 저감량을 보였으며, 이중외피가 적용되는 3~8층에서는 28.35%의 에너지 저감량을 보여주고 있다.(표 4 참조) 또한, 난방부하의 저감량은 하부층에서 상부층으로 올라갈수록 그 절감효과가 큰데 이는 Whole Type 이중외피의 특성상 중공층 내부의 더운 열기가 상층부로 상승하기 때문으로 여겨진다.

표 4. 연간 냉·난방부하(MWh.%)

	난방부하			냉방부하		
	단일 외피	이중 외피	저감량	단일 외피	이중 외피	저감량
Flr01	3.87	3.87	0.07	10.33	10.3	0.29
Flr02	3.8	3.77	0.71	10.40	9.85	5.29
Flr03	3.19	2.98	6.61	10.78	9.55	11.41
Flr04	3.05	2.28	25.34	10.88	9.53	12.41
Flr05	3.02	2.28	24.58	10.91	9.51	12.83
Flr06	3.03	2.14	29.26	10.91	9.44	13.47
Flr07	3.06	2.07	32.38	10.89	9.42	13.50
Flr08	3.21	2.07	35.51	10.82	9.11	15.80
Flr09	3.84	2.47	35.69	10.57	8.98	15.04
Flr10	4.76	3.17	33.35	12.83	8.88	30.79
Sum	34.83	27.10	22.20	109.3	94.57	13.48

냉방 부하 분석 결과 전체 건물에서 약 13.48%의 냉방부하 저감량을 보였으며, 이중외피가 적용되는 3~8층에서는 15.99%의 에너지 저감량을 보여주고 있다.(표 4 참조) 전반적으로 이중외피가 적용되는 층에서는 10%이상의 고른 저감율을 보여주고 있으며 상층부로 갈수록 환기에 의해 냉방부하의 저감량이 큰 것을 볼 수 있다. 특이점은 2층에서도 약 5%의 냉방부하 저감현상을 볼 수 있는데 이는 여름철에 3층의 하단부에 설치된 PV모듈에 의한 차양 효과로 인한 것으로 여겨진다.1)

1) 본 논문 p.4 2.5 시스템의 차양효과 참조

### 2.4 중공층 내부온도 검토

이중외피모델에서 냉방기에 중공층의 내부온도가 상승할 경우 실내의 냉방부하를 상승시킬 수 있으므로 중공층의 내부온도가 외기온보다 5℃이상 상승하지 않도록 환기량을 조절하는 것이 중요하다.

이중외피의 환기창은 중공층의 내부온도가 일정한 온도 이상 상승시 개방되는 것을 원칙으로 하였다. 이는 냉방설정온도가 26℃이므로 실내의 냉방부하를 저감시키기 위한 값이다. 따라서 난방기에는 중공층의 환기시간이 적고, 환절기 및 냉방기에는 환기시간이 길어진다. 이때, 중공층내의 환기는 각 유리블라인드간의 회전에 의한 개구부를 통하여 이루어지게 된다. 본 연구에서는 하기의 회전각이 PV 모듈에 의한 음영을 방지하기 위하여 약 13°가 되므로 그 개구부의 크기가 작아 단 시간내에 충분한 환기가 이루어지지 못하게 된다.(표 1) 따라서 환절기에는 오후 12시~오후 4시 사이에 항상 개방하도록 설정하였으며, 여름철에는 충분한 프리쿨링 시간이 필요하여 환기를 위한 개방시간을 오전 6시~오후 9시로 설정하였다.

이 중공층의 환기 개방 설정온도는 20℃~26℃로 변화를 주어 시뮬레이션 후 설정하였다. 먼저 24℃~26의 경우 온도가 낮을수록 난방부하가 저감되었으나 환절기에 항상 개방하도록 한 시간을 제외한 오전시간과 오후 4시 이후에 저감량이 국한되어 있다. 또한 20℃~24℃에는 별다른 차이를 보이지 않고 있는데 이는 평가모델에서 환절기의 오전시간과 오후4시 이후에는 냉방부하가 잘 발생하지 않기 때문으로 여겨진다. 위와 따라 본 논문에서는 중공층의 환기창 설정온도를 24℃로 계획 하였다.

그 결과 그림 2에서 볼 수 있듯이 난방기와 환절기에는 중공층의 온도가 설정온도 이하로 유지되고 있으며 냉방기에는 그 이상으로 상승하지만 이는 외기온이 24℃이상으로 상승하기 때문이며 이때 프리쿨링과 지속적인 환기의 영향으로 외기온과 하절기의 중공층 내부의 온도 차이는 -0.5~4℃임을 보여주고 있다.

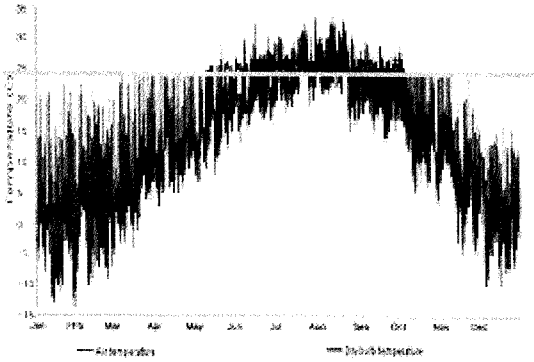


그림 2. 중공층과 건구온도의 비교

## 2.5 시스템의 차양효과

### 1) 차양효과와 기대

앞서 말하였듯이 이중외피모델은 환기를 위해 회전을 하게 되는데 이 때 PV모듈에 의해 건물에 음영이 발생한다. 이를 이용하여 태양고도가 높은 여름철에는 실내로의 일사유입을 막아 주어 냉방부하의 저감에 효과를 주고 태양고도가 낮은 겨울철에는 실내로 음영이 생기지 않도록 중공층의 폭을 조절하여 자연스러운 차양효과를 계획하였다.

### 2) 실내의 조도 분석

이중외피 모델의 차양효과를 명확히 하기 위하여 단일외피모델과 이중외피모델의 하지·동지의 정오의 실내조도를 분석해 보았다.(표 5)

먼저 하지 때의 조도를 살펴보면 단일외피모델에서는 창가의 바닥면 조도가 대략 400LUX이상으로 최대 975LUX가 명시됨을 그림에서 확인할 수 있다. 이에 비해 이중외피모델에서는 전반적인 바닥조도가 250LUX로 실내로의 직달일사유입을 저감시키는 것을 명확히 표현하고 있다.

또한 동지에는 두 모델 모두 창가 바닥면이 400LUX 이상의 밝은 조도를 보이고 있으며, 다만 이중외피모델에서 창가의 조도가 단일모델보다 약 50~100LUX 가량이 낮게 나타나는데 이는 이중외피의 유리면을 한 번 더 투과함으로써 직달일사의

양이 다소 감소하기 때문으로 여겨진다.

표 5. 조도분포

	하지	동지	Lux
개념			
단일외피 모델			975 925 875 825 775 725 675 625 575 525
이중외피 모델			475 425 375 325 275 225 175 125 75 25

## 3. PV경사면에서의 일사 획득량 비교분석

단일외피모델과 이중외피모델에 각각 PV모듈을 설치하였을 때, 연간 획득 가능한 일사량을 Ret-Screen 프로그램을 이용하여 구해보았다. 그리고 각 모델에서 설치가능 PV모듈면적을 산출하여 각 경우의 PV경사면에서의 획득가능한 일사량 값을 비교해 보았다.

### 3.1 서울지역의 연간 일사 획득량

서울지역의 연간 경사면별 일사 획득량은 Ret-Screen program을 이용하여 도출하였으며 그 결과는 다음 표 6에서 보이는 바와 같다. 37.5°에서의 일사획득량이 제일 많으며 90°에서의 획득량이 제일 적다.

### 3.2 PV 설치 가능면적 산출

#### 1) 단일외피모델의 PV설치가능면적

단일외피모델을 비롯한 일반 건물의 외피에 PV 시스템을 설치시 경사각인 37.5°설치는 연간 일사량을 가장 많이 받을 수 있음에도 불구하고 여름철

음영으로 인한 외피 설치 면적이 적으므로 고려되지 않고 있다. 본 연구에서도 단일외피 설치시 설치 가능한 면적과 돌출 폭을 고려하여 최대의 일사량을 획득 할 수 있는 각도를 산정하면서 하기에 PV 모듈위로 음영이 지지 않으며 동기에 실내로의 일사유입을 방해하지 않도록 고려하여 최대길이 및 넓이를 산정하였다.

본 연구에서의 이중외피 모델의 최대 돌출 폭이 60cm임을 감안하여 어느 경사각으로 설치하더라도 PV 모듈의 돌출 폭은 60cm를 넘지 않도록 계획하였으며 또한 PV 모듈의 크기가 10cm 단위로 이루어지는 점을 감안하여 약간의 보정을 하였다. 그 결과는 다음 표 7에서 보이는 바와 같다. 이때 경사각 0°~55°에서는 한 층에 설치 가능한 면적이 30m<sup>2</sup>를 넘지 않으므로 표현을 제한하였다.

표 6. 서울지방의 경사면 각도별 일사량 (kWh/m<sup>2</sup>)

	0°	37.5°	52.6°	65°	77.1°	89°	90°	이중외피
1월	1.92	2.92	3.10	3.15	3.10	2.95	2.94	2.95
2월	2.72	3.63	3.69	3.61	3.42	3.12	3.09	3.12
3월	3.33	3.74	3.61	3.37	3.04	2.63	2.59	3.04
4월	4.42	4.45	4.11	3.68	3.17	2.61	2.56	3.17
5월	4.81	4.44	3.96	3.45	2.89	2.30	2.25	2.89
6월	4.47	4.00	3.53	3.07	2.55	2.04	2.00	2.55
7월	3.11	2.84	2.54	2.23	1.90	1.55	1.52	1.90
8월	3.78	3.64	3.31	2.95	2.53	2.08	2.04	2.53
9월	3.64	3.91	3.7	3.4	3.02	2.56	2.52	3.02
10월	3.08	3.88	3.87	3.71	3.44	3.06	3.03	3.44
11월	1.94	2.71	2.79	2.75	2.61	2.40	2.38	2.61
12월	1.5	2.18	2.27	2.27	2.18	2.04	2.02	2.04
연간 합계	1178	1287	1230	1143	1028	891	878	1010
90° 비율	134.1%	146.5%	140.0%	130.1%	117.0%	101.4%	100.0%	115.0%

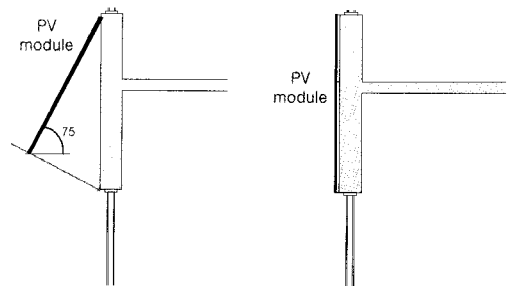
표 7에 따르면 본 연구의 단일외피 모델에서 차양형으로 설치시 경사각 75°가 최대의 설치넓이를 가지게 된다. 따라서 단일외피 모델의 PV모듈 설치 가능면적은 차양형(경사각 75°)과 PV의 부착이 용이한 수직부착형(경사각 90°)으로 PV시스템을 부

착하였을 경우만을 고려하기로 한다.(그림 3)

차양형의 경우, 각층에 설치할 수 있는 PV모듈의 최대 길이는 210cm이며 총 면적 423.36m<sup>2</sup> (52.92m<sup>2</sup>/층)에 설치 가능하다. 마찬가지로 수직부착형의 경우, 각층에 설치할 수 있는 PV모듈의 최대 길이는 240cm이며, 이 때 총 면적 483.8m<sup>2</sup> (60.48m<sup>2</sup>/층)에 설치 가능하다.

표 7. 단일외피모델의 최대 PV 설치 가능면적 및 획득가능 일사량

경사각	60	65	70	75	80	85	90
PV 모듈길이 (cm)	120	140	170	210	220	220	240
PV 모듈 돌출길이 (cm)	60	59.2	58.1	54.4	38.2	19.2	0
PV 모듈 넓이 (m <sup>2</sup> /층)	30.24	35.28	42.84	52.92	55.44	55.44	60.48
총일사 획득량 (MWh/층)	35.71	40.32	47.04	55.57	55.22	52.06	53.10



(a) 차양부착형 (b) 수직부착형

그림 3. 단일외피모델의 PV모듈 설치

2) 이중외피모델의 PV 설치 가능면적

이중외피모델은 각층에 16cm의 PV 모듈을 7개 지니므로 총 면적 225.8m<sup>2</sup> (28.22m<sup>2</sup>/층)의 PV 모듈이 설치 가능하다.

그런데 이중외피모델의 경우 블라인드에 의한 회전량에 의해 경사각이 생기게 되므로 경사각별 일사

량을 고려할 때, 계절별로 경사각의 고려를 달리 해주어야 한다. 경사각은 (90°-회전각도)이므로, 겨울에는 블라인드의 회전이 없다고 가정하여 경사각 89°로 계산하며, 봄~가을에는 일조량이 많은 오후 시간에 대부분 환기를 위해 회전시키므로 경사각 77.1°로 존재한다.(표 6의 이중외피)

### 3.3 연간 일사 획득량 분석

각각의 면적과 경사각별 획득가능한 일사량을 분석해 보았을 때 단일외피모델에서는 차양부착형이 약 444.6MWh, 수직부착형이 약 425MWh, 이중외피모델이 약 228.1MWh의 일사량을 획득하여 차양부착형이 가장 많은 일사량을 획득하게 되는 것으로 나타났다. 이때 이중외피모델은 이에 비해 51.31 % 가량의 일사량이 획득 가능하다.

표 8. 각 모델의 연간 획득 일사량

	단일외피모델		이중외피 모델
	차양부착형	수직부착형	
면적	423.36	483.8	225.8
연간획득 일사량 (MWh)	444.6	424.8	228.1
90°대비 %	100%	95.55%	51.31%
면적대비 연간 일사 획득량 (MWh/m <sup>2</sup> )	1.050 (100%)	0.878 (83.61%)	1.010 (96.19%)

이중외피모델의 PV모듈의 일사량 획득량이 적더라도 일반적인 이중외피 시스템에서는 PV설치로 인한 전기생산을 고려할 수 없다는 점을 감안할 때, 그리 불만족스러운 수치는 아니다. 그리고 면적대비 연간 일사 획득량을 살펴보았을 때 단일외피모델의 차양부착형이 1.050MWh/m<sup>2</sup>로 가장 많지만 이중외피모델도 1.010MWh/m<sup>2</sup>로 적지 않은 수치를 나타내고 있다 또한 동일한 면적의 차양부착형에 비하여 4%정도 일사 획득량이 적더라도 수직부착형에 비하여 약 15%정도의 일사획득량추가로 기대할 수

있으므로 수직부착형으로 PV를 설치하는 것에 비해 기초투자에 비해 상당히 유리하다고 고려된다.

또한 PV모듈은 모듈의 온도가 1℃ 상승시 0.5%의 효율이 저하되는 것으로 알려져 있는데<sup>2)</sup> 수직부착형의 경우 후면과 건물과의 거리에 따라 하기 오후에 75℃~90℃ 이상 온도가 상승하는데 비하여<sup>3)</sup> 시뮬레이션 결과, 이중외피모델의 경우 중공층내에서 가장 더운 공기가 모이는 최상층의 모듈 후면의 온도가 동일날, 동일시에 최고 31.9℃ 까지만 상승하는 것으로 산출<sup>4)</sup>되어 외벽부착형에 비하여 상당히 높은 효율을 지닐 수 있을 것으로 고려된다.

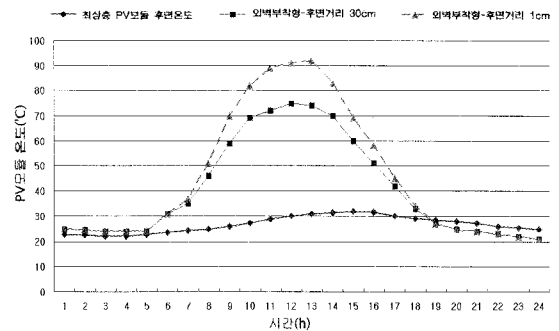


그림 4. PV 모듈의 온도(8월4일)

## 5. 결론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) PV 모듈을 부착한 블라인드형 이중외피 시스템에서는 전체건물에서 난방 부하 22.2%, 냉방부하 13.48%의 저감량을 보여주고 있다. 또한 이중외피 시스템이 적용된 층에서는 각각 28.35%, 15.99%의 부하 저감량을 보여주고 있어, 충분히 이중외피의 성능을 만족

2) Staiss F, Photovoltaic, VicWeg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, p12~15, 1995

3) 김진희 외, PV 모듈온도를 고려한 BIPV시스템의 성능평가

4) 이는 중공층 내의 환기에 의한 냉각효과로 인한 것으로 여겨진다.

하고 있다고 여겨진다.

또한 이중외피내의 중공층 온도는 하기에 외기온과 4℃이내 온도차를 보여주어 과열로 인한 냉방부하의 상승을 방지함을 볼 수 있으며, 이중외피모델의 PV모듈의 회전에 의해 자연스러운 차양효과를 지녀 냉방기에 실내로 음영을 지게 한다.

- 2) PV 모듈에서 획득가능한 일사량을 분석해 보았을 때 이중외피모델이 단일외피모델의 차양 부착형에 비해 51.31% 가량의 일사량이 획득 가능하다. 그러나 단일외피모델의 수직부착형에 비해 면적대비 일사량을 15%정도 더 획득 가능하므로 초기 투자비나 효율이 유리하다고 고려된다. 또한 이중외피모델의 경우 하기에 PV모듈의 상승온도가 낮으므로 보다 높은 효율이 기대된다.

## 참 고 문 헌

1. 안형준 외, 건물부하 저감을 위한 투명 PV를 이용한 이중외피 시스템의 건축물 적용 가능성 연구
2. 서정훈외, 이중외피시스템의 에너지 성능 및 경제성 예측에 관한 연구
3. 김진희 외, PV 모듈온도를 고려한 BIPV 시스템의 성능평가
4. Staiss F, Photovoltaic, VieWeg & Sohn, Braunschweig/ Wiesbaden, p12~15, 1995
5. 김희서 외, PV의 건축물 적용기법에 관한 연구
6. 김현일 외, 발코니형 BIPV 시스템 개발, 한국태양에너지학회 춘계 학술대회 논문집
7. 건축환경공학, 기문당