

태양전지모듈 후면의 냉각조건에 따른 조립식 건축자재와 일체화에 관한 연구

이소미*, 이용호, 홍성민

A Study on the Integrated Prefab Building Materials Depending on the Cooling Type of PV Module Backside

So Mi Yi, Yong Ho Lee, Sung-Min Hong

Abstract The application of photovoltaics into building as integrated building components has been paid more attention worldwide. Photovoltaics or solar electric modules are solid state devices, directly converting solar radiation into electricity; the process does not require fuel and any moving parts, and produce no pollutants. And the prefab building method is very effective because the pre-manufactured building components is simply assembled to making up buildings in the construction fields especially the sandwich panel.

So, the purpose of this research is to integrated prefab building materials depending on the cooling type of PV modules. It is concluded that the prediction of BIPV system's performance should be based on the more accurate PV module temperature. From the basis of these results on the correlation of temperature and irradiation were obtained.

Key words Photovoltaic(태양광발전), Prefab Building(조립식 건축), Cooling type(냉각조건)

* (주) 에스에너지 연구원

□E-mail : yssom@s-energy.co.kr □Tel : (02) 801-7100 □Fax : (02)801-8788

1. 서론

오늘날의 태양광 발전시스템은 전력생산이라는 고유의 기능 뿐만 아니라 건축요소로서의 지붕, 외벽, 차양, 창호 등에 부착되는 건물의 마감재로서 다양하게 적용되고 있다. 건물의 외부 재료로 사용되는 건물 통합형 태양광 발전시스템 (BIPV : Building Integrated Photovoltaic)은 건축자재 비용의 절감 효과를 가져다 줄 뿐만 아니라 건축적으로 미적인 기능을 부가

하여 준다.

그러나 BIPV 시스템의 성능은 기존의 외기에 노출되어 설치된 단순히 부착식의 PV시스템 성능과는 다른 특성을 가지는데 그중 가장 중요하게 고려해야 할 것은 바로 PV모듈과 건축자재와의 일체화를 통해 외기와의 순환이 되지 않아 온도가 상승하여 발전효율이 저하되는 것을 방지 하는 것이 가장 중요하다. 따라서 BIPV시스템의 성능을 높이기 위해서는 일사량의 확보와 더불어 건축자재와 PV모듈의 일체화 시 발전하면서 발

생된 열을 배출시키는 것이 필요하다.

본 연구에서는 지붕자재 중 조립식 시공이 가능한 샌드위치 패널과 일체화된 BIPV모듈을 설계 및 시제품을 제작하여 이를 외기 환경에 노출시켜 PV모듈온도와 일사량등의 관계를 통해 통풍조건을 설정하여 지붕마감재형의 BIPV모듈의 개발에 기초 자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

2. 샌드위치 패널과 PV모듈의 특징

2.1 조립식 샌드위치 패널

조립식 건축은 용어적 측면에서 프리패브(prefab)라는 어원에서 출발하는데, 이는 ‘앞서 만들어 내다’ 또는 ‘조립부분품으로 만든다’는 뜻을 가지고 있다. 건축생산에서 최종목표로 삼고 있는 생산성 향상과 공기단축을 위해 건축의 전과정에서 타분야 특히 제조업의 진보된 기술과 공정을 응용하여 엔진 혹은 OS(Operating System)가 바로 공업화 개념이고 조립식 건축은 바로 이러한 공업화를 구성하는 일부 요소기술이라고 할 수 있다. 조립식 건축물의 크게 골조 시스템과 건물 구성재 시스템으로 분리될 수 있다.

특히 건축자재용 샌드위치 패널은 외부로부터 비나 바람을 막고 소음이나 열을 차단하는 구실을 하며 특히 외부 장식용으로서 큰 기능을 갖는다. 공장에서 제작되기 때문에 대량생산이 가능하고 규격화하여 통일되는 것이 특징이며, 이 때문에 건물의 외관도 공업적인 새로운 구성을 보여준다. 고층 건축에서는 건물의 자체중량이 기둥이나 보의 굵기에 큰 영향이 있으므로 중량을 줄이기 위하여 가벼운 재료가 사용된다. 금속패널을 사용하는 마무리 재료에는 일반적으로 스테인리스강 · 알루미늄 · 청동 · 법랑철판 등의 금속판이 사용되며, 단열재로는 우레탄 · 암면(岩綿) · 유리솜 등의 가볍고 효율이 큰 것이 사용된다. 그 특징을 살펴보면 아래와 같다.

샌드위치 패널은 건축물 내 · 외벽 및 지붕구조에 쓰이며 양면 도장한 철판 사이에 단열성능이 우수한 단열재로 구성된 합성복합자재이며 건설현장의 인력난, 자재난 및 건식 공법의 적용으로 인한 시공의 편리성 등을 이점으로 시장규모가 급속하게 팽창하여 사용량이 증가하고 있는 건축용 자재이다. 샌드위

Table 1. 조립식 샌드위치 패널의 특징

- 견고성 : 아주 가벼우면서도 뛰어난 자립 구조체로서 활용이 가능, 설계 시공이 간편
- 난연성 : 패널 자체가 난연 성능을 가지므로 난연재의 첨가로 인한 품질의 손상이 없음
- 단열효과 : 단열효과가 뛰어나 일반 콘크리트의 49배, 시멘트 벽돌의 42배나 되므로 냉난방 유지비를 절약함으로써 일반 건축자재에 비해 30% 이상의 에너지 절감 효과
- 방수, 방음효과 : 습기흡수를 하지 않기 때문에 방수, 방습 효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 안전하고 견고하게 시공 조립하고 모든 접합부분을 완전히 차단
- 공기 단축 : 간단한 부자재로 만들어지는 틀 위에 짜 맞추어 조립함으로써 시공이 완료되므로 공사기간이 대폭 단축되어 공사비가 절감

치 패널의 공업용 건축 및 창고시설 등의 용도로 사용되었지만 최근에는 주택 및 상업용 등으로도 확대되는 경향을 보이며 매년 30%씩 성장하는 것으로 추산된다. 현재 국내에서 유통되고 있는 샌드위치 패널의 기본 구성은 양면 칼라강판과 단열용 심재로 이루어지며 단열용 심재에 의한 구분으로는 폴리스티렌 폼(Expanded poly-styrene foam), 우레탄폼(Polyurethane foam), 그라스울(Glass wool) 등이 있다.

2.2. 샌드위치패널과 PV모듈 일체화

단위 면적에 비례하여 발전용량이 나오는 PV모듈과 대량 설치 및 간단한 설치 기술의 장점을 가진 샌드위치 패널의 일체화는 패널의 상부표면재가 태양전지 모듈로 대체됨으로써 방습 및 직사열을 차단함으로써 건물 외피마감재를 성질을 보강할 수 있을 것이다.

전기를 생산하는 에너지 창출의 PV모듈과 조립식 건축물의 장점 및 특히 샌드위치 패널의 장점이 합쳐 외장 재료는 경제적인 조건과, 이용방향에 따른 변화에 크게 작용할 것이며, 재료와 공법의 혁신은 앞으로의 디자인 변화에 지대한 영향을 주게 될 것이다. 패널일체형 PV모듈은 조립화 작업을 통해 인건비의 절약을 대폭 가져다주고, 운반 조건이 불량하고 작업 인원의 출입이 곤란한 장소이거나 가급적 동일형태의 건축, 모듈 코디네이션으로 규격화 및 조립식이 요구되는 건축시장에서의 필요성이 확대되고 있다.

기준에 선진국에서 상품화되고 있는 기밀성만을 확보된 금속

Roof-top PV Module에 비해 진보된 건자재 일체형 태양전지 모듈인 일체형 샌드위치 판넬은 지붕골조위에 설치함으로써 지붕의 완성과 더불어 태양광 어레이의 설치도 끝이 난다.

태양전지 모듈과 혁신적인 일체화를 목표로 하는 일체형 샌드위치 패널은 최근 들어 건축재로 많이 사용되어지고 있는 샌드위치 판넬을 활용하여, 이상적인 열전도율(0.0185 Kcal/mh°C)과 콘크리트 구조의 65배에 달하는 단열 및 결로 방지 효과로 에너지 낭비를 줄일 수 있다. 또한 자체 강도가 강한 자립 구조체이며, 연결부분의 이음새가 없고 한 장의 패널 처럼 이어져 강한 견고성이 있다. 이러한 샌드위치 판넬과 일체화를 위한 재료 및 재원은 표 2와 같다.

Table 2. PV 일체형 샌드위치 판넬의 재원

재 료	외 피 재	두 계 : 0.8mm 표면마감 : 4coat불소수지도료(PVDF)
	내 피 재	두 계 : 0.5mm 표면두께 : 실리콘폴리에스터수지도료(SIP)
	단 열 재	PIR (Poly Isocyanurate Resin) 밀 도 : 45 (kg/m ³) 열전도율 : 0.0185(kcal/m · h · °C)
재 원	폭 (mm)	300 ~ 1,000(mm)
	길이 (mm)	생산길이 : 500~4,000(mm)
	무게	14.8(kg/m ²)

2.3. PV모듈 후면의 온도 상승

태양전지모듈은 태양빛이 갖는 발열과 더불어 태양전지가 갖는 광전자효과 (Photovoltaic- Effect)로 인하여 전기를 발생할 경우 열을 발생하여 상온(25°C)이 경우에 비교할 경우 고온에 출력이 저하되는 특성을 갖고 있다. Fig. 1에서는 현재 국내에서 유통되어지는 80Wp급 태양전지 모듈의 온도에 따른 변화특성을 나타내고 있다. 태양전지 모듈은 고온일수록 출력이 저하되어지므로 태양전지 모듈의 발열현상을 저감시킬 수 있는 방안이 모듈 설치 시 모색되어야 하는데 일반적인 연구 결과에 의하면 태양전지 모듈 후면 개방형보다 폐쇄형은 약 3~7°C상승하는 것으로 알려져 있고 이로 인한 출력저하는 약 0.6~1%정도로 예측되어 진다.¹⁾

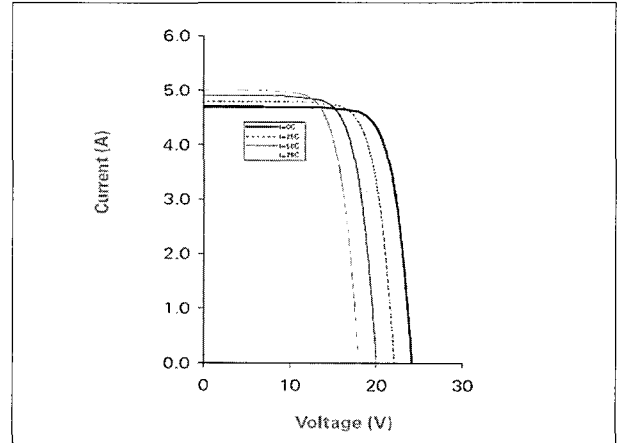


Fig. 1 80Wp급 태양전지 모듈 I - V Curves

태양전지 셀의 온도 상승은 70°C 이하가 되게 하는 것이 가장 이상적이다. 유럽에서는 설계 경험치로 벽면에 부착되는 시스템의 손실율을 아래와 같다.²⁾

- No Air Gap - 10% loss
- 5cm Air Gap - 5% loss
- 15cm Air Gap
 - minimal loss from temperature effects

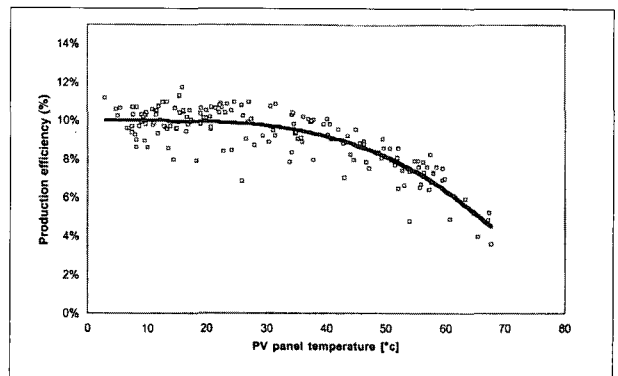


Fig. 2 PV Panel 온도와 효율과의 관계

따라서 본 연구에서는 태양전지의 발열을 효과적으로 전열시키기 위하여 전열성이 우수한 금속재를 태양전지 모듈의 후면에 부착 샌드위치 패널의 상판 금속을 활용하고, Waffle Stud를 활용 통풍을 하는 방식으로 모형설계 하였다. 하지만 후면 금속의 열팽창으로 인한 모듈의 변형이 일어날 수 있는 우려가 있으며 통풍역할을 하는 Waffle Stud는 자연스런 공기

1) Staiss F. Photovoltaic, Vieweg & Sohn, Braunschweig/ Wiesbaden p.12,15 1995

2) Design with solarpower, 2005,Prasad, Deo 외

의 흐름이 발생하는 경사각을 찾는 것도 해결해야할 문제점이다.

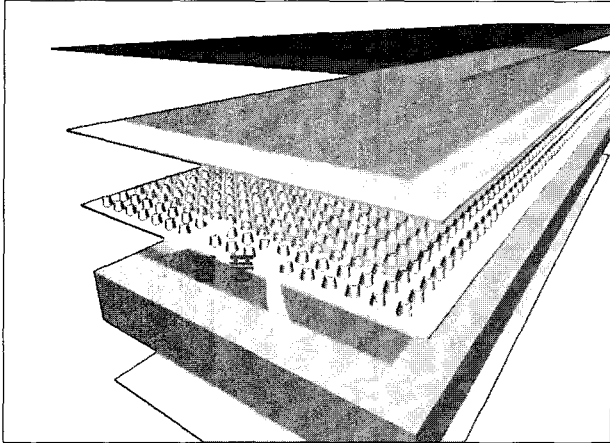


Fig. 3 패널일체형 PV모듈의 통풍 개념

3. 패널일체형 PV모듈 모형 제작

3.1 패널일체형 PV모듈 모형 설계

샌드위치 패널과 일체화된 PV모듈과 온도상승과의 관계에 대한 실험을 위해 다음과 같은 모형을 제작하였다.

Table 3. 패널일체형 모듈 사양

항 목	내 용
크 기(W × L × H _{mm})	480 × 2,600 × 75
금 속	STEEL Galvanize 0.5T
Waffle Stud 높이	15mm
단열재	PIR
Cell	5" 30매
최대 출력	120 Wp급

태양전지모듈에 금속을 부착한 기준모형을 중심으로 단열재만 포함 또는 통풍효과를 위한 Waffle Stud 부착 등으로 분리하여 그 모듈 내부의 온도 변화를 살펴보았다(Fig 3).

A type 실험은 태양전지모듈에 단열재만 부착하여 통풍이 전혀 생기지 않는 후면이 밀폐된 형태이고, 금속을 부착하고 단열재로 충전시킨 샌드위치패널과 태양전지모듈과 일체화한 B type, C type은 Waffle stud로 통풍이 가능하게 하였으며, D type은 금속의 전열성과 함께 통풍이 가능한 타입으로 제작하였다.

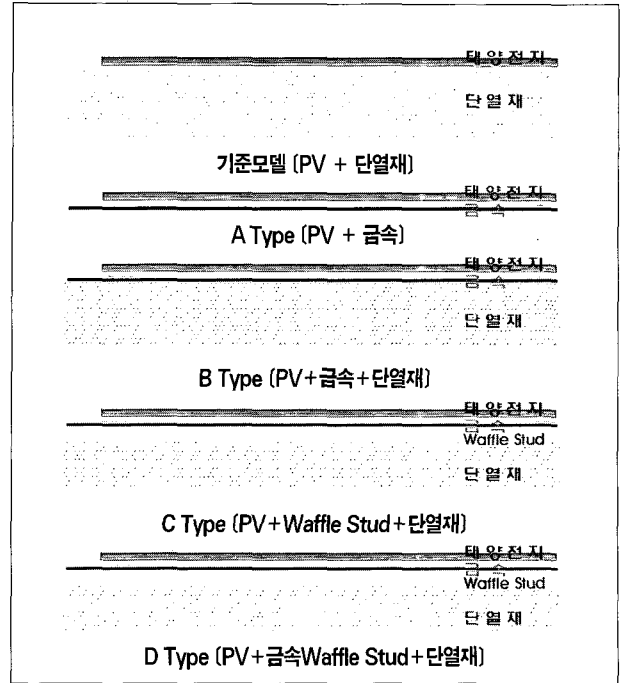


Fig 4. 실험조건에 따른 모델 형상

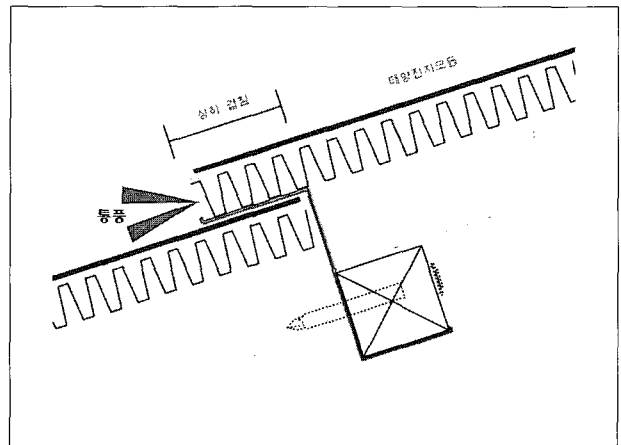


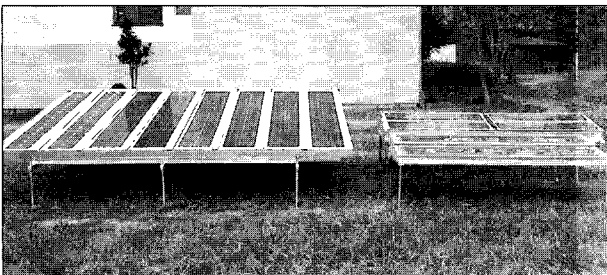
Fig 5. 상하부 통풍

3.2 실험 장치 및 방법

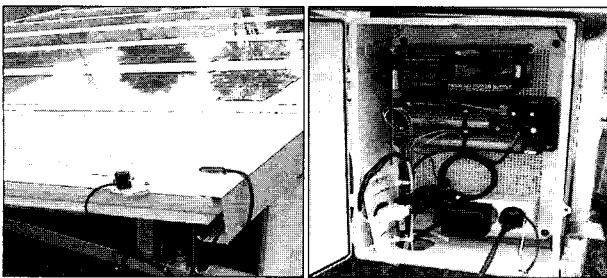
성능 평가를 위해 제작된 패널 일체형 PV모듈 실험은 충남 부여 B단지에 설치 되었다. 설치 경사각은 12°, 정남향을 향하도록 배치하였다. 실험체에는 각기 PV 내부의 온도를 측정하기 위한 온도계와 외기 온도, 일사량을 측정하기 위해 측정 장치를 연결하였다. 또한 생산된 전력을 소비하기 위한 인버터를

장착하여 차후 실험에 추가되는 태양전지 모듈을 부하 연결 시 온도 변화 및 생산전력량을 모니터링할 수 있도록 장착하였다.

실험은 2005년 11월 ~ 12월까지 실시되었으며, 일사량 및 PV모듈 온도, 외기 온도 등을 측정하였다. PV모듈온도는 모듈 하부로 단열재로 충전한 경우 그 센서를 삽입한 후 충전하여 제작하였다.



Picture 1. 실험모델 전경



Picture 2. 센서 및 데이터수집기 설치

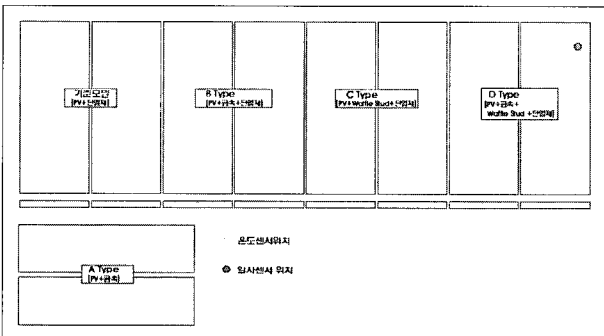


Fig 6. 센서 위치

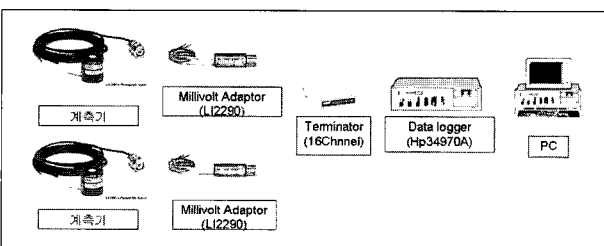


Fig 7. 모니터링 구성

3.3 실험결과

본 연구에서는 맑은 날씨의 기상상태에서 기준모델 및 실험구의 온도상승 비교를 위해 측정일자 중 데이터의 이상 없이 모니터링 된 하루 (11월 4일)를 선정하여 실험결과를 비교·분석하였다.

1) 외기온도와 기준모델의 온도 변화

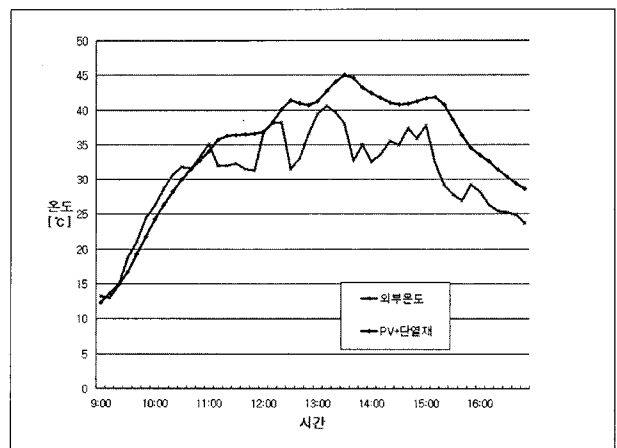


Fig 8. 외기온도와 기준모델의 온도차이

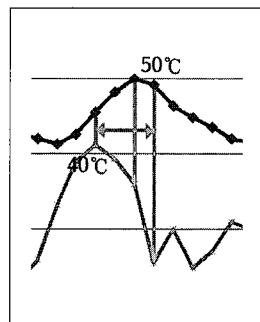


Fig 9. 온도차

외부 온도와 기준모델인 [PV+단열재]의 온도차는 최대 11.8°C 차이가 났다. 단순히 단열재를 충전시킨 경우 통풍 및 금속에 의한 전열효과도 없기 때문이라 판단된다. 또한 약 12°C의 온도차로 발전량은 최대 6~10% 정도 감소할 것으로 예상된다.

2) 실험모델의 온도변화

실험모델의 모듈 후면의 온도변화는 일사량의 변화에 따라 나타났으며, 외기온도 보다 적게는 1°C에서 최대 15°C이상의 온도 차이를 보였다. 금속의 전열효과와 Waffle stud의 통풍효과를 비교해 보았을 때 C type은 D type에 비해 온도가 현격하게 높게 나타났다.

Table 5. 모듈과 패널간 적층구조별 시험 데이터(°C)

시간 \ 구분	기준	A Type	B Type	C Type	D Type	외부온도	일사량 [W/m²]
9:00	15.95	12.36	10.25	9.97	8.91	13.23	41.72
9:30	20.99	16.72	14.35	14.82	12.34	18.78	181.9
10:00	26.76	24.21	19.56	20.51	16.82	26.2	227
10:30	32.07	30.03	25.84	26.93	22.34	31.84	270.3
11:00	36.5	34.06	32.8	34.34	28.6	35.13	315.3
11:30	39.43	36.43	38.45	40.2	33.81	32.27	636.4
12:00	41.73	36.88	41.97	44.23	37.53	36.8	662.2
12:30	43.72	41.33	45.9	48.31	40.57	31.52	688.8
13:00	44.52	41.29	47.51	50.19	42.3	39.46	691.2
13:30	44.23	45.01	49.47	51.4	43.38	37.99	681.2
14:00	44.94	42.44	48.69	50.95	43.9	32.48	618.6
14:30	43.61	40.74	47.34	49.75	43.67	34.99	575.3
15:00	41.22	41.67	46.21	48.07	42.45	37.73	508.5
15:30	38.16	38.53	43.11	44.58	40.31	27.88	396.8
16:00	34.93	33.53	38.59	40.33	37.17	28.26	304.3
16:30	31.02	30.37	34.59	35.88	33.83	25.27	193.4

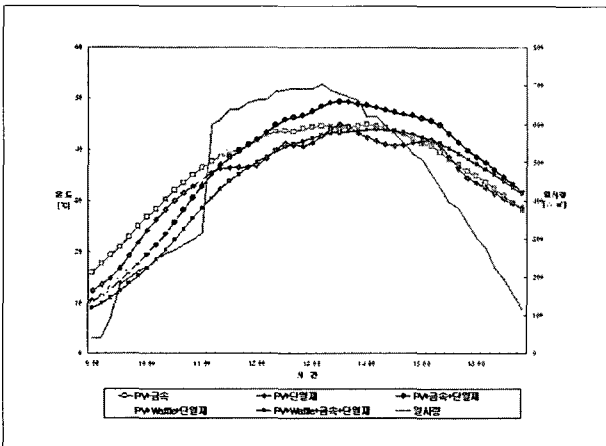


Fig 10. 실험모델의 온도변화

Table 6. 각 적층구조의 최대 온도 (°C)

기준모델	B Type	C Type	D Type	외기
51.93	51.4	49.47	45.01	40.6
14:10	13:30	13:40	13:30	13:20

하루 중 최대 일사시간대인 12시부터 14시까지의 적층구조 간 모듈내 온도변화를 살펴본 결과 금속과 Waffle Stud가 함께 적층된 구조가 가장 낮은 온도를 나타내고 있다. 또한 각 구조에 따른 최대 온도는 B type 51.4°C, C type 49.47°C, D type 45.01°C로 모듈의 온도와 발전성능 저하에 영향을 미치는 70°C 이하로 나타났다.

이는 단순히 통풍역할을 하는 Waffle stud만 있을 때보다 전열성을 가진 금속이 함께 있어야 더 효과적이라 판단할 수

있다. 현재 진행된 실험에서는 통풍역할을 하는 Waffle stud 높이가 15mm로 고정되어 있어 높이와 경사각에 따른 통풍의 조건이 어떻게 다른지에 대한 여부도 판단되어야 할 것이다. 일사량 변화에 따른 온도 및 발전량의 차이도 차후 연구과제로 진행할 예정이다.

4. 결론

본 연구에서는 지붕에 적용된 패널 일체형 태양전지모듈이 금속에 의한 전열 효과 및 Waffle stud에 의한 자연통풍이 이뤄지는 여부에 대해 실험하였다.

조립식 건축의 경우 그 건축공기 및 시스템의 안정성으로 인해 최근 설치가 급증하고 있는데 이중 샌드위치 패널은 단열성을 확보하면서 패널 자체가 외장재인 동시에 내장재도 될 수 있는 효율적인 건축재료라 할 수 있다. 이 패널시스템에 태양전지 모듈을 부착할 경우 그 시공 측면에서 더욱 효과적이며, 태양전지가 부착된 패널이 설치 되면서 건물의 마감공사도 동시에 끝나기 때문에 앞으로 BIPV 시장에서 선도적인 보급효과를 이끌수 있을 것이다.

하지만 앞서 언급한 바와 같이 건축구조적인 측면 뿐만 아니라 태양전지모듈의 효율을 유지하기 위해서는 후면의 온도가 상승하는 것을 방지하는 것이 무엇보다도 중요하다.

실험을 통해 샌드위치 패널과 일체화된 태양전지모듈은 외

기온도에 비해 최대 11.8℃이상 온도 차이가 나기 때문에 온도 차이를 방지하기 위해서는 금속 및 Waffle stud를 부착하여 최대 온도차가 7℃이내 인 것을 확인할 수 있다.

현재 실험된 패널 일체형 PV모듈의 온도와 시스템의 전기적 성능과의 관계를 보다 실증적으로 밝히기 위해서는 실제 전력을 가동시킬 수 있을 만한 크기의 Mock-Up test를 통해 추가적인 연구를 수행하는 것이 필요하다. 예를 들어 실제 발전량과 온도와의 실제적인 차이를 통해 효율의 얼마나 감소하는지의 여부를 판단하거나 통풍 조건등을 다양하게 설정하여 비교군과의 복합적인 실험이 이루어져야하고, 이를 토대로 BIPV시스템의 온도와 발전량과의 관계를 효과적으로 분석할 수 있는 틀의 개발이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 산업자원부 지원, 에너지관리공단 신재생에너지

센터의 “지붕재용 금속일체형 태양전지모듈의 개발”(과제번호 2004-N-PV12-P-09-0-000)의 일환으로 추진된 연구 결과 일부로 진행되었음.

References

- (1) 김진희 외, 건물통합형 PV Solar Roof의 통풍효과 실험 분석, 한국태양에너지학회 논문집, Vol 26, No. 1, 2006, 73~79p
- (2) 임석호 외, 조립식 건축물 관련 PATENT MAP작성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, Vol 21, No5
- (3) 윤중호 외, 후면 환기조건에 따른 건물외피용 태양광발전(BIPV)모듈의 열적 영향에 관한 실험연구, 한국태양에너지학회 논문집, Vol 26, No.1,2006 81~89p
- (4) 강기환 외, Solar Roof용 복합기능성 모듈의 설계 및 제작, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, Vol.2, 1999, 27~35p

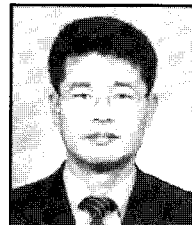
이 소 미



2003년 경희대학교 건축공학과 공학사
2005년 경희대학교 건축공학과 공학석사

현재 (주)에스에너지 기술연구소, 선임연구원
(E-mail ; yssom@s-energy.co.kr)

이 용 호



1986년 인하대학교 금속공학과 공학사
1991 ~ 2001년 삼성전자(주)

현재 (주)에스에너지 전무이사
(E-mail ; solarlee@s-energy.co.kr)

홍 성 민



1982년 고려대학교 전기공학 공학사
1984년 고려대학교 전기공학 공학석사
1983 ~ 2001년 삼성전자(주)

현재 (주)에스에너지 대표이사
(E-mail ; hongsm@s-energy.co.kr)