

단열복합 구조에 따른 지붕일체형 태양전지모듈의 성능 분석

강기환*, 김현일*, 박경은*, 유권중*, 이소미**
한국에너지기술연구원*, (주)에스에너지**

Analysis of Roof Integrated Photovoltaic Module's Performance with Insulation Hybrid Structure Layer

Gi-Hwan Kang*, Hyun-il Kim*, Kyung-Eun Park*, Gwon-Jong Yu*, So-Mi Yi**
Korea Institute of Energy Research*, S-ENERGY**

Abstract - Building-integrated photovoltaic(BIPV) perform traditional architectural function of walls and roof while also generating electricity. But most of the absorbed solar energy appears passively as heat, raising the temperature of cells and reducing the efficiency with which the active part is converted into electricity. Therefore this paper presents the comparison of electrical, architectural and thermal performance of roof integrated photovoltaic(PV) modules, which is composed of different hybrid structure layer such as urethane form, waffle stud etc.

1. 서 론

에너지 소비 세계 10위, 석유소비 세계 7위, 에너지소비 증가율 OECD국가 중 1위인 우리나라는 2013년부터 발표되는 온실가스감축 의무와 에너지 시장의 불안정을 해결하기 위해 신재생에너지의 적극적인 개발, 보급, 확대 정책이 이루어지고 있다. 그 중에 무한한 에너지원인 태양에너지를 변환하여 전기를 생산하는 태양광발전 시스템과 더불어 건자체에 대체 가능한 BIPV(건물일체형 태양광발전시스템, Building-Integrated Photovoltaic) 시스템이 전 세계적으로 각광을 받고 있다.

우리나라의 경우도 태양광발전의 활발한 보급을 위해 2004년에 시작된 태양광주택 10만호 보급사업을 2012년까지 시행될 예정이다. 이에 비용 절감효과 및 미적효과를 고려하여 단순히 기존의 지붕에 얹혀지는 방식이 아닌 지붕외장재로써의 태양전지(PV)모듈을 활용함으로써 부가가치를 높여 보다 효율적으로 PV시스템을 보급할 수 있다. 그에 앞서 지붕일체형 PV모듈의 전기적, 건축적 특성 분석이 필요하다.

이에 본 논문에서는 지붕일체형 PV모듈의 적층구조에 따른 건축재료서의 열적 성능 및 전기적 성능을 분석하고자 한다.

2. 지붕일체형 태양전지모듈

현재 우리나라에서는 태양광의 보급 확대를 위해 정부에서도 태양광을 3대 중점 과제 중 하나로 선정하여 적극적인 지원을 하고 있다. 그 중에서도 가장 대표적인 정부지원 보급사업 중 하나가 '주택용 태양광발전시스템 10만호 보급사업'이다. 이 보급 사업에서 PV시스템은 주택의 지붕 부분에 적용이 되는 사례가 많다. 건물에 PV시스템을 적용할 때 지붕부분에의 적용은 일사획득이 가장 용이하고 설치 또한 비교적 간단하기 때문이다. 또한, 지붕에 부착하는 형식의 적용기법은 건물의 구조 및 재료에 관계없이 독립적으로 PV 모듈을 설치할 수 있는 방식으로 신축 건물은 물론 기존 건물에도 적용할 수 있다는 이점이 있다. 다만 태양전지 모듈은 전기를 발전하는 과정에서 자체적으로 발생하는 열과 주변대기의 상태에 따라 온도가 상승하게 되어 실질적 변환효율은 더 낮아지게 된다. 또한 태양전지모듈 표면에 조사되는 일사량이 많다고 해도 발전량이 비례적으로 증가되는 것이 아니다. 결국 태양전지모듈 자체 온도를 가능한 낮게 유지할수록 변환효율과 실내공간의 단열성능에 유리하므로 시스템 주변온도로부터 PV모듈의 온도 저감방안이 고려되어야 한다.



〈그림 1〉 지붕형 PV모듈 설치 사례

이에 본 논문에서 실험한 지붕일체형 모듈은 <표 1>과 같은 구조로 이루어졌으며, 적층구조에 따른 모듈온도와 발전량을 비교하였다.

〈표 1〉 지붕일체형 PV모듈 적층 구조

적층 구조		P _{max}	V _{oc}	I _{sc}	V _{mp}	I _{mp}
PMPP 1	1 유리-EVA-셀-EVA-Back sheet-프레임-우레탄-Steel sheet	41.7	11.0	5.21	8.8	4.76
	2 유리-EVA-셀-EVA-Back sheet-프레임-Waffle stud-우레탄-Steel sheet	41.5	11.0	5.16	8.5	4.85
	3 유리-EVA-셀-EVA-Back sheet-Steel sheet-프레임-우레탄-Steel sheet	39.9	10.9	5.16	8.5	4.68
	4 유리-EVA-셀-EVA-Back sheet-Steel sheet-프레임-Waffle stud-우레탄-Steel sheet	40.0	10.9	5.16	8.5	4.69
PMPP 2	유리-EVA-셀-EVA-Back sheet-프레임-우레탄-아크릴 마감-Steel sheet	38.3	10.9	5.09	8.5	4.48
PMPP 3	유리-EVA-셀-EVA-Back sheet-프레임-우레탄-Steel sheet	57.0	9.7	8.47	7.4	7.65
PMPP 4	유리-EVA-셀-EVA-Back sheet-프레임-우레탄-Steel sheet	58.7	9.7	8.66	7.4	7.93

3. 실험방법 및 결과

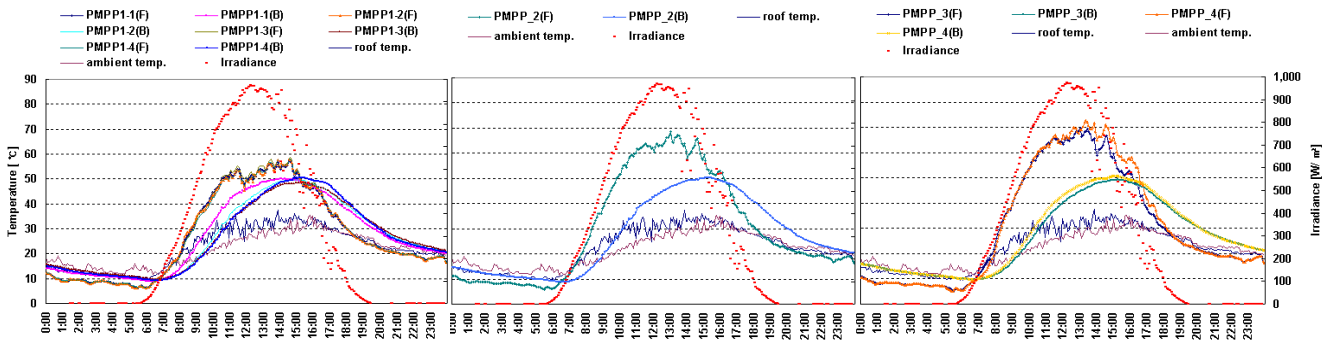
〈그림 2〉는 한국에너지기술연구원에 실험동의 전경이다. 지붕은 박공 구조로 되어있으며, PV모듈의 효율을 고려하여 정남향으로 15° 경사를 이루고 있다. 각각의 시료의 경격에 맞춰 저항을 선정 및 연결한 후 모듈의 정면유리면과 모듈후면과 지붕면 사이에 각각 1개씩 T-type 열전대를 부착하여 5분 간격으로 데이터를 수집하였다.



〈그림 2〉 지붕형 PV모듈 설치 전경

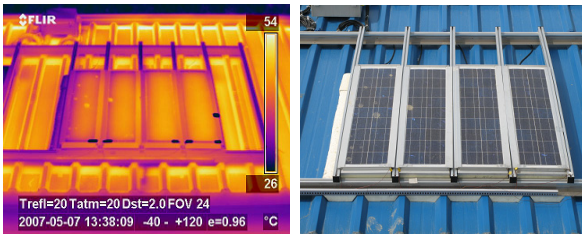
3.1 온도 측정

〈그림 3〉은 2007년 5월 5일 하루 동안의 실측결과를 시간별로 모듈의 표면온도와 후면온도 그리고 기상조건을 도식한 것이다. 오전 6시부터 오후 7시까지 구간동안에는 일사의 영향으로 모듈온도가 PMPP1_1(전면, F) 50.7°C, PMPP1_1(후면, B) 46.3°C, PMPP1_2(F) 50.1°C, PMPP1_2(B) 42.1°C, PMPP1_3(F) 52.4°C, PMPP1_3(B) 39.4°C, PMPP1_4(F) 50.6°C, PMPP1_4(B) 40.0°C, PMPP2(F) 63.7°C, PMPP2(B) 43.2°C, PMPP3(F) 65.9°C, PMPP3(B) 41.0°C, PMPP4(F) 66.5°C, PMPP4(B) 44.0°C로 상승하였다. 모듈전면 온도는 일사강도에 따라 크게 변하나 모듈후면 온도의 경우 비교적 안정적으로 변화하며 적층재료에 따라 최대온도가 모듈전면 온도 대비 평균 2시간30분 정도 지연되는 것을 볼 수 있다. 셀 후면에 바로 우레탄이 적층된 모듈(PMPP1_1) 대비 waffle stud와 steel sheet가 적층된 모듈(PMPP1_4)의 후면 최대온도는 1시간 후에 나타났다.



〈그림 3〉 지붕일체형 PV모듈의 온도변화(2007년 5월 5일)

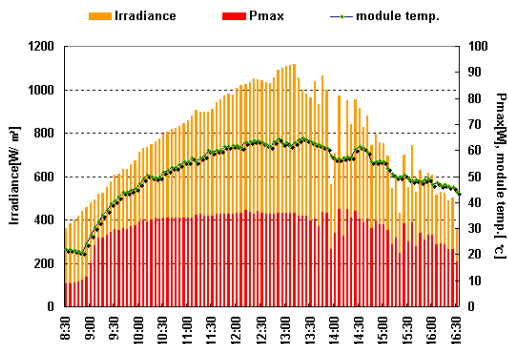
〈그림 4〉는 외부환경요인 즉, 먼지, 송화가루, 조류의 배출물 등에 의해 모듈이 오염된 것을 보여준다. 이러한 오염물질 등에 의해 hot spot이 나타나 부분적인 모듈 표면 온도의 상승이 나타났으며, 장기적으로는 발전량에도 영향을 끼칠 것으로 사료된다.



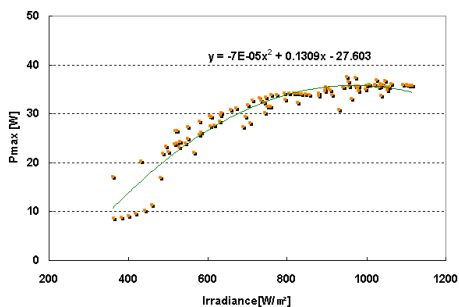
〈그림 4〉 지붕일체형 모듈의 온도분포

3.2 출력 측정

전기를 생산하는 과정에서 자체적으로 발생하는 열과 주변 대기의 상태에 따라 주변에 비해 온도가 상승하여 실내공간의 열부하 증가와 시스템 변화효율에 영향을 미치게 된다. 이에 관한 연구에 의하면 태양전지모듈의 자체온도가 1°C 상승함에 따라 변환효율은 0.5% 정도 감소한다.¹⁾



〈그림 5〉 일사강도, 모듈온도 및 발전량



〈그림 6〉 일사강도에 따른 발전량

STC조건 1,000W/m², AM 1.5, 25°C하에 Solar Simulator(PasanIIIb)를 사용하여 측정된 PMPP4 모듈의 전기적 성능은 Pmax 58.6W, Voc 9.8V, Isc 8.63A, Vmp 7.5V, Imp 7.8이다. 이 모듈을 비교적 일사량이 좋은 5월 5일 하루 동안 외기에 노출시킨 상태로 EKO사의 mp160 Array tester를 이용하여 5분 간격으로 실측하였다. 그 결과, 최대 일사강도 1,116W/m²일 때 Pmax 35.8W, Voc 7.857V, Isc 8.178A, Vmp 5.178, Imp 6.913A 그리고 모듈 표면 온도는 62.9°C로 측정했음을 <그림 5>에서 볼 수 있다.

태양전지모듈 표면에 조사되는 일사량이 많다고 해도 발전량이 비례적으로 증가되는 것이 아니다. <그림 6>는 PMPP4 모듈에 조사된 일사량에 따른 발전량을 보여주고 있다. 태양전지모듈 자체 온도의 증가로 일사강도가 1,000W/m² 이상임에도 발전량의 증가폭이 미미함을 볼 수 있다.

3. 결 론

독일, 일본, 미국 등 세계태양광발전산업을 이끌고 있는 선진국들도 처음에는 주거용 건물을 대상으로 크고 작은 “PV Roof” 보급 정책들을 수행하였고, 그것을 기반으로 보급 규모 및 범위를 확대하며 관련 산업을 육성시켜왔다. 우리나라도 2012년까지 태양광주택 10만호를 보급한다는 야심찬 목표를 세우고 과제를 수행 중에 있으며, 시너지 효과를 얻기 위해서는 PV Roof에 적절한 모듈개발이 우선이라 사료된다.

이에 본 논문에서는 지붕일체형으로 개발된 PV모듈의 옥외 시험을 통해 전기적, 환경적 성능 분석을 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 지붕일체형 PV모듈의 표면온도와 후면온도 차이는 평균 13.4°C, 최대 22.3°C로, 결과적으로 그 차이만큼 실내로 유입되는 것을 적층된 재료들이 차단한 것이다.
- 2) 셀 후면에 바로 우레탄이 적층된 모듈(PMPP1_1) 대비 waffle stud와 steel sheet가 적층된 모듈(PMPP1_4)의 후면 최대온도는 1시간 후에 나타났으며, 전면과 후면의 온도 차이는 6.6°C로 온도저감효과 및 단열효과가 나타남을 알 수 있다.
- 3) 일사강도 1,116W/m²로 좋은 조건하에서도 모듈 자체 발생 온도 62.9°C로 인해 58.6W급 모듈의 Pmax가 35.8W로 38.91% 출력 감소가 나타났다.

결론적으로 STC 조건하에 측정된 전력량 대비 외부환경에서 측정된 전력량은 일사량에 의해 태양전지모듈 자체에서 생산된 열이 모듈 내부 우레탄과 같은 건자재로 전달되어 장시간 축적되면서 변화효율의 감소를 나타낸다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] Staiss F. Photovoltaic, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Weiesbaden p.12~15, 1995
- [2] 이소미 외, “지붕재 일체형 태양전지 모듈의 개발에 따른 내구성 평가/조립식 건축시스템을 중심으로”, 한국생태환경건축학회 논문집, v.6, n.4(통권 22호), p 17~24, 2006. 12
- [3] 강기환 외, “사례분석을 통한 PV Roof Top System의 발전성능 향상 방안 연구”, 한국태양에너지학회 추계학술발표회 논문집, p 176~181, 2006. 11
- [4] Xiangyang Gong, “design optimization a large scale rooftop photovoltaic system”, solar energy, 78, p.362~374, 20055