

Mock-up 실험을 통한 BIPV Module의 외벽 성능평가

이소미*, 윤철**, 이용호***

*(주)에스에너지 기술연구소(yssom@s-energy.co.kr), ***(주)에스에너지(chul.yoon@s-energy.co.kr)

****(주)에스에너지(solarlee@s-energy.co.kr)

A Experimental Study on Finished Envelope Performance of BIPV Module

Yi, So-Mi*, Yoon, Chul**, Lee, Yong-Ho***

*S-ENERGY(yssom@s-energy.co.kr), **S-ENERGY(chul.yoon@s-energy.co.kr),

***S-ENERGY(solarlee@s-energy.co.kr)

Abstract

Nowaday, The Sustainable Development about global environment is the most important subject. In urban environment, a variety of the nature energy utilization such as the solar energy are the most efficient solution to solve this issue. One of these efficient solutions, a photovoltaic system using sunlight has been introduced to the building with an advantage such as cost-effective, safe for using and good for environment friendly in light with energy utilization.

The BIPV is one of the most interesting and promisingly possibilities of an active use of solar energy at the building. Therefore the goal of this study is to get securing the application information of BIPV as finished envelope. The purpose of this study is to investigate the current performance measurement methods of BIPV module and to measure the performance of BIPV Module by mock-up tests.

Keywords : 건물일체형 태양전지(Building Integrated Photovoltaic), 실물크기모형(Mock-up), 외장재료(Finished envelope)

1. 서 론

우리나라는 OECD회원국이자 에너지 다소비국
가(온실가스배출 세계 10위, 원유수입량 세계 6위)

로서 자발적 온실가스 의무감축 압력을 강하게 요
구받고 있는 현실이다. 이에 그동안 에너지절감
정책이 국가적인 중요한 이슈로 부각되면서 건축
부문의 비율이 국가 전체 에너지의 약 1/4을 차지

하고 있음에도 최근 서비스산업 활성화 및 생활편의 증대에 따른 에너지소비의 증가, 건축물이 대형화·복합화에 따라 에너지 다소비형 건축물 증가 등으로 인하여 사용하는 워너단위는 오히려 증가한 것으로 나타나 미래 국제협약에 적극 대처할 수 있는 정책의 전환이 필요하다. 또한 건축물 에너지소비총량제도의 도입으로 2020년 건축부문 에너지 소비량 15% 절감을 목표로 하고 있다.

이 중 태양광발전시스템은 전기적 측면에서는 전력생산이라는 고유의 기능뿐만 아니라 건축적 측면에서는 외벽, 지붕, 입면, 창호 등에 부착되는 건물의 마감 재료로 보다 다양하게 적용되고 있다. 건물의 외부 마감 재료로 사용되는 건물일체형태양광발전시스템 (BIPV:Building Integrated Photovoltaic)은 건축자재 비용의 절감효과 뿐만 아니라 자연채광이나 차양에도 이용 가능하여 건물의 전체적인 에너지 성능 및 쾌적성을 향상시킬 수 있고, 경제성을 포함한 각종 부가 가치를 창출하는 특징을 가지고 있어 전 세계적으로 그 시장이 빠르게 확대되고 있다.

그러나 시장의 확대는 이루어지고 있으나 BIPV로 설치할 수 있는 제품 즉, BIPV모듈 또는 시스템이 전무하여 그 보급에 방해가 되고 있다. BIPV모듈은 건축 구성재료로 사용되기 위한 건축적 요구조건 및 특성분석이 필요하며, 건물구조의 특성에 맞는 적정 설치 및 시공방법 등의 정립등 실용화 보급을 위해서는 많은 기술적 해결 사항 및 보급메뉴얼, 시험성적서 등이 필요하다.

따라서 본 연구는 외벽에 적용이 가능한 BIPV 모듈의 설계 및 시제품을 통해 시장 적용 가능성을 타진하여보고 건축적 기술기준에 부합하기 위한 Mock-up 성능시험을 실시하여 제품의 기술적 완성도를 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 외벽 BIPV 모듈 고찰

2.1 외벽용 BIPV 모듈 설계

일반적인 외벽 마감재료는 실내공간을 외부로부터 차단, 보호하고 때로는 구조체의 역할도 할

수 있기 때문에 방수, 내구성과 같은 기능적인 차원과 함께 건축물의 이미지를 잘 표출할 수 있도록 미적인 요인을 강조하고 있다. 일반적인 패널 설치기법으로 태양전지모듈을 설치하기 위해서는 외벽에 설치가 용이하도록 프레임 설계가 필요하다.

일반적인 외장판넬로 흔하게 사용되는 사이즈는 1,200*900, 등의 3배수 단위로 올라가기 때문에 그에 맞는 모듈을 설계 디자인 하였으며 설계안은 <그림 1>과 같다. 완성된 외벽 패널형 PV 모듈은 일반적인 건축외장재 마감방식인 클로즈드 조인트 방식과 오픈 조인트 방식으로의 적용이 용이하다. 클로즈드 조인트 방식(Closed Joint System)은 가장 일반적인 방법으로, 수밀성을 확보하기 위하여 패널설치 후, 코킹으로 마감하는 방식이며, 시공이 간단하고 경제적인 장점을 가지고 있다. 오픈 조인트 방식(Open Joint System)은 외측의 외벽을 개방하고 내측에 기밀한 재료를 사용하여 이중 외피를 구성하는 방식으로, 줄눈부분에 코킹 마감을 하지 않는 것이 특징이다.

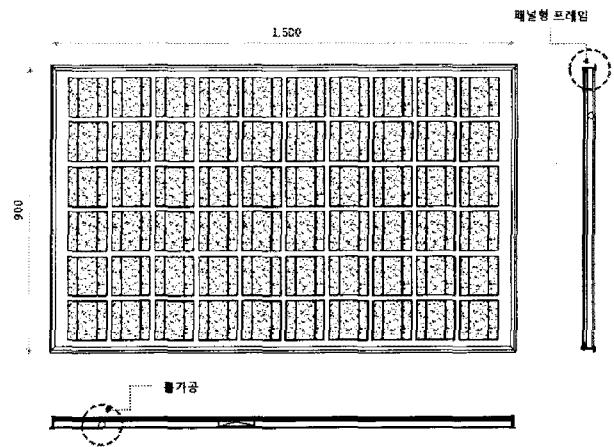


그림 1. Panel형 모듈 설계안

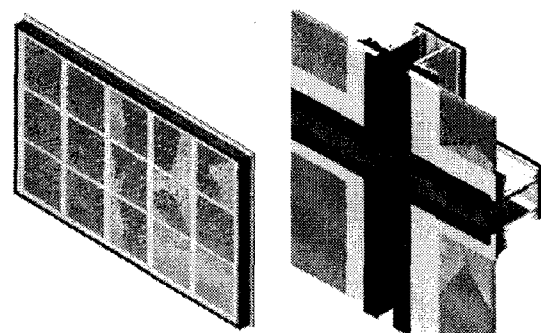


그림 2. 벽부형 설계 디자인

2.2 외벽용 BIPV모듈 제작

외벽용 모듈구조적인 성능을 파악하기 위해서, 일반적인 태양광용 저철분강화유리 3.2T 두께를 4T로도 설계하여 실제 현장 적용이 가능한 두께를 파악해보기로 했다.

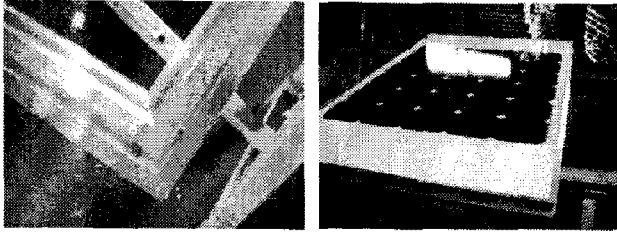


그림 3. AL. 프레임 조립 및 모듈 끼우기

그림 과 같이 알루미늄 프레임은 모서리가 모여지는 부분을 Coner-kit으로 구성하여 빠짐이나 흔들림 없는 구조로 제작하였고 프레임 내로 태양전지모듈을 끼워 가스켓으로 고정하였다.

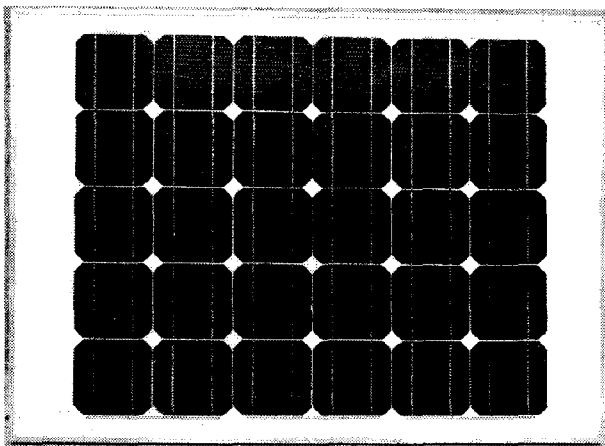


그림 4. 외벽용 BIPV모듈 외관

3. 외벽성능평가를 위한 Mock-up Test

3.1 Mock-Up Test 개요

Mock-Up 시험을 위한 구조물 설치는 2008년 10월 4일~ 6일까지 총 3일간에 걸쳐 시공되었으며, 10일 시험을 실시하였다.

Mock-up 시험을 위해 아래와 같이 총 24장의 외벽 BIPV모듈이 소요되었고 설치는 <그림 5>

와 같다. 이중 변위차를 측정하기 위한 측정포인트는 Closed Joint구간의 8개를 지정하였다.

표 1. 실험모듈 사이즈

유리두께	패널 사이즈	수량	용량(Wp)
3.2T	1,500*600	4	65
	1,200*900	4	110
4.0T	1,500*600	4	65
	1500*900	4	110
	1200*600	4	65
	1200*900	4	110

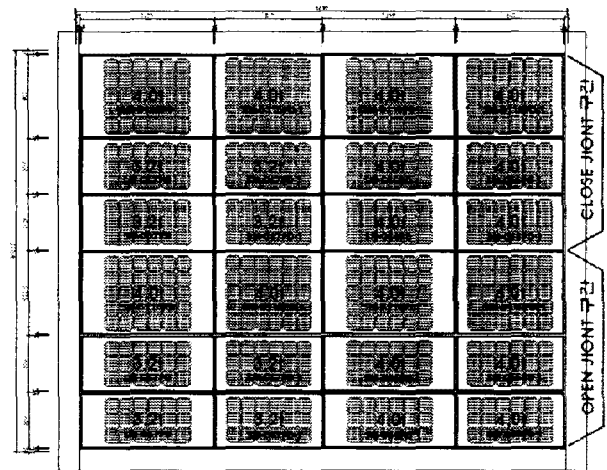


그림 5. Mock-Up 시험

3.2 Mock-Up Test 조건 및 방법

외벽 Panel의 Mock-up 시험은 다음과 같은 시험 기준에 의해 진행되었다.

표 2. Mock-up 시험 항목 및 기준

시험항목	기 준
기밀성능시험	ASTM E-283
정압하의 수밀성능시험	ASTM E-331
동압하의 수밀성능시험	JIS A 1517
정압하의 구조성능시험	ASTM E-330

- 설계풍압 [$\pm 200\text{kgf/m}^2$]

- Pre-Load Test

설계풍압력의 50%인 풍압 100kgf/m²를 가압하여 Chamber에 설치된 시험체 점검 및 시험 실시 가능 여부를 판단하고자 예비시험을 실시한다.

- 기밀성능시험

ASTM E-283에 의거하여 풍압 7.6kgf/m²에서 시험체 고정장치 부위의 단위 면적당 통기량을 산출하고자 Venturi Tube에서 Anemometer를 이용하여 유속을 측정하며, 표준조건으로 환산하여 누기량을 계산한다. (단, 기밀시험에서 Open Joint 지점은 Tape으로 밀봉하여 Fix 개념으로 실시한다.)

- 정압하의 수밀성능시험

ASTM E-331에 의거하여 설계풍압력의 20%인 풍압 40kgf/m² 압력하에서 표준주수량 3.4ℓ/min.m² 유량으로 15분간 Water Spray를 실시하면서 Water Leak 상태를 점검한다.

- 부압하의 수밀성능시험

JIS A 1517에 의거하여 맥동압력 40kgf/m²±20kgf/m²(상한60kgf/m², 하한20kgf/m²), 주기 2초, 표준주수량 4ℓ/min.m² 유량으로 10분간 Water Spray를 실시하면서 Water Leak 상태를 점검한다. (맥동압 ; 설계풍압력 20%의 중압값 ± 50% 압력)

- 정압하의 구조성능시험

ASTM E-330에 의거하여 설계풍압력의 100%에 대하여 Positive Pressure인 +100kgf/m² (+50%), +200kgf/m² (+100%) 와 Negative Pressure인 -100kgf/m² (-50%), -200kgf/m² (-100%) 압력 하에서 Glass 두께, 크기에 따른 변위량 및 ST'L Truss의 변위량을 측정 하고자 Deflection Gauge를 각각의 측정 지점에 설치한다.

- 정압하의 구조성능시험[설계하중의 150%]

ASTM E-330에 의거하여 설계풍압력의 150%에 대하여 Positive Pressure인 +150kgf/m² (+75%), +300kgf/m² (+150%) 와 Negative Pressure인 -150kgf/m² (-75%), -300kgf/m² (-150%)의 압력을 가한 후 잔류변위량을 측정하기 위하여 0kgf/m² 압력에서 각각의 지점에 대한 변위량을 측정한다.

4. 외벽성능평가 실험결과 분석

외벽성능평가를 위한 Mock-up 시험은 아래와 같은 결과가 도출되었다.

표 3. Mock-up 성능시험 결과 1

시험항목	내 용	
Pre-Load Test	규 격	시험체에 이상이 없을 것.
	시험결과	시험체에 이상이 없었음.
기밀	규 격	0.0183 m ³ /min.m ² 이하
	시험결과	0.0060 m ³ /min.m ²
정압하 수밀성능	규 격	조절할 수 없는 물이 누수 되지 않을 것.
	시험결과	시험체 전면에 누수가 발생되지 않았다.
부압하 수밀성능	규 격	조절할 수 없는 물이 누수 되지 않을 것.
	시험결과	시험체 전면에 누수가 발생되지 않았다.

설계풍압력인 정압 +200kgf/m²와 부압 -200kgf/m²의 압력 조건하에서 Displacement 측정 및 파손 여부를 관찰한 결과 <표 4>와 같은 결과가 도출되었다.

표 4. Mock-up 성능시험 결과 2 [구조성능]

구분 시료	Span (L)	+200 kgf/m ²	-200 kgf/m ²	육안관찰
3.2 T	1207mm	6.2mm	-6.5 mm	이상없음
3.2 T	1477mm	10.8 mm	-12.0 mm	이상없음
4.0 T	1207mm	4.3 mm	-4.7 mm	이상없음
4.0 T	1477mm	8.1 mm	-8.3 mm	이상없음

설계풍압력의 150%인 정압 +300kgf/m²와 부압 -300kgf/m²을 가한 후 0 kgf/m² 으로 압력을 제거 시 잔류변위량을 측정하며 파손 여부를 관찰한 결과 <표 5>와 같았다.

표 5. Mock-up 성능시험 결과 3

시료	구분	Span (L)	0 kgf/m ²	육안관찰
3.2 T		1207mm	0.1 mm	이상없음
3.2 T		1477mm	0.2 mm	이상없음
4.0 T		1207mm	0.1 mm	이상없음
4.0 T		1477mm	0.2 mm	이상없음

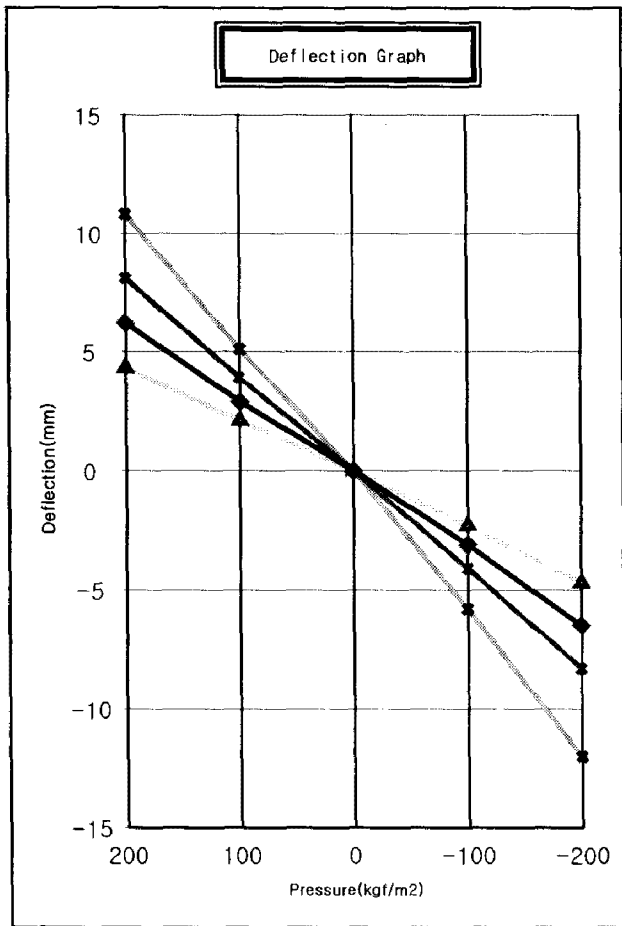


그림 6. 휨 그래프

5. 결 론

본 연구는 태양광발전시스템 중 건축물과 통합하여 설치가 가능한 BIPV 모듈 중 외벽 패널용 BIPV 모듈에 대한 Mock-up test에 대한 실험결과를 분석하였다.

외벽 BIPV 모듈은 건축의 외벽디자인 단위인 3배수를 활용하여, 1,200*600, 1,500*900 로 설계

하였으며 이를 이용한 전기적 출력은 110Wp급 60Wp급이 되었다. 이를 외벽에 부착하기 위해서는 외벽이 갖는 건축적 특성에 부합하는 설계 디자인을 하였는데, 예를 들면 외벽 풍하중에 따라 프레임 내 모듈이 유동성을 확보 할 수 있는 공간을 설계에 반영하고, 전기출력을 위한 전선의 배선이 외벽에서도 용이할 수 있도록 설계되었다.

제작된 외벽 BIPV 모듈은 기밀, 수밀, 구조적 성능을 측정하기 위해 일정규모의 구조물로 설치되었고 이때 설치 방식은 국내 건축현장에서 외벽 마감 관벌을 시공하는 방식과 동일한 방식인 오픈조인트방식과 클로즈조인트 방식으로 시공되었다. 이는 두 가지 타입의 구조적성능을 비교하기 위함이다.

Mock-up 시험결과 기밀과 수밀성능에서 특이사항이 발견되지 않고 기준과 동등한 결과를 보였으며 구조적 성능에서는 처음 설계하중에 대해서 이상없는 데이터를 보였고 설계하중의 150%를 주었을 때 모듈의 휨 변형이 모듈의 두께 3.2t일 때, 최대 12mm이고, 모듈 두께가 4.0t일 때 최대 8mm 결과가 나왔다. 이는 국내 고층건물의 외벽에 설치되었을 때 모듈이 유동성을 확보하면서 구조적인 성능에 만족한다고 볼 수 있으며, 이를 통해 태양광발전시스템의 건축물 보급향상을 기대할 수 있다.

후 기

이 논문은 대한주택공사 지원, 2007 중소기업 기술개발 지원사업의 “에너지 절약형 공동주택을 위한 PV 시스템의 적용기술 개발”의 일환으로 진행된 연구 결과의 일부임.

참고문헌

- 이용직, BIPV시스템에서의 모듈 종류에 따른 건축적 특성연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, 2008.04
- 이소미, 노지희, 공동주택을 위한 PV 시스템 적용에 관한 연구, 한국신·재생에너지학회 논문집, pp.276-279, 2007.6
- 윤종호 외, 건물외피용 태양광발전 BIPV모듈

개발 연구, 한국생태환경건축학회 논문집
Vol.4, No.3, pp.113-120, 2004.9

4. 이미진 외, Mock-up 실험을 통한 통기성 커튼월의 단열 및 결로방지 성능평가, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2006.6
4. Photovoltaics : Design and Installation Manual, Solar Energy International, New Society Publishers, 2004