# 지붕재 일체형 태양전지 모듈의 개발에 따른 내구성 평가 (조립식 건축시스템을 중심으로)

# A Study on the Development of Roof Integrated PV Module (Focused on the Prefab Building System)

이 소 미 보지 희 이 응 직 Yi, So-Mi Noh, Ji-Hee Lee, Eung-Jik

# 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.

Architecture considerations for the integration of PV module to building envelope such as building structure, construction type, safety, regulation, maintenance etc. have been carefully refelected from the early stage of BIPV module design. Trial product of BIPV module are manufactured and sample construction details for demonstration building are purposed. Therefore, this paper intends to advanced its practical use by proposing how to get integrated PV system which can be applied to prefab building material, and how to apply it.

Keywords: BIPV (Building Integrated Photovoltaic), Prefab Building, Case Study

#### 1. 서 론

에너지의 97% 이상을 수입에 의존하고 있는 우리나라 의 경우 유엔기후변화협약과 같은 국제환경에 능동적으로 대처하고 에너지 위기의 근본적인 해결을 위해 신재생에 너지의 개발, 보급, 확대정책을 지속적으로 추진하여 자체 에너지 수급의 능력을 키워나가는 노력이 무엇보다도 중 요하다.

이 중 태양광 발전시스템은 전력생산이라는 고유의 기능뿐만 아니라 건축요소로서의 지붕, 외벽, 차양, 창호 등에 부착되는 건물의 마감재로써 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, 건물 외피에 적용함으로서 경제성을 포함한 각종 부가가치를 높여 보다 효율적으로 PV시스템을 보급, 활성화 시키려는 개념이다.

그러나 BIPV 시스템의 성능은 기존의 외기에 노출되어

설치되는 단순한 부착식의 PV시스템 성능과는 다른 특성을 가지는데 그중 가장 중요하게 고려해야 할 것은 바로 PV모듈과 건축자재와의 일체화를 통해 건축적 기능을 얼마나 완벽하게 수행하느냐이다.

PV모듈을 지붕의 마감재로 개발 적용시키기 위해서는 우선 어떤 종류의 지붕재에 부합하는 모듈을 설계할 것인지 결정해야 한다. 요즘 건축의 공기단축 및 성능확보를 위해서 조립식 건축물의 설계가 확산되고 있으며, 예전의 저가형 공업용 및 창고시설에만 국한되어 있던 샌드위치패널은 외관 디자인의 발전으로 그 적용분야가 확대 되고 있어, 그 시장규모가 매년 30%씩 성장하는 것으로 추산된다.

따라서 본 연구에서는 태양광모듈의 조립식 샌드위치패널과 일체화를 위해, 조립식건축의 특성분석과 이에 부합되는 태양전지모듈의 특성분석과 아울러 BIPV모듈의설계 및 시작품을 제작하여 지붕마감재형의 BIPV모듈 개발에 기초 자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

<sup>\* (</sup>주) 에스에너지 기술연구소 연구원

<sup>\*\* (</sup>주) 에스에너지 기술연구소 연구원

<sup>\*\*\*</sup> 세명대학교 건축공학과 조교수

#### 2. 조립식 건축과 PV모듈의 특징

#### 2.1 조립식 샌드위치 패널의 특징

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 전 과정에서 타 분야 특히 제조업의 진보된 기술과 공정을 응용하여 엔진 혹은 OS(Operating System)가 바로 공업화 개념이고 조립식 건축은 이러한 공업화를 구성하는 일부 요소기술이라고 할 수 있다. 조립식 건축물은 크게 골조 시스템과 건물 구성재 시스템으로 분리될 수 있다.

건축자재용 샌드위치 패널은 외부로부터 비나 바람을 막고 소음이나 열을 차단하는 구실을 하며 특히 외부 장 식용으로서 큰 기능을 갖는다. 공장에서 제작되기 때문에 대량생산이 가능하고 규격화하여 통일되는 것이 특징이며, 이 때문에 건물의 외관도 공업적인 새로운 구성을 보여준 다. 현재 국내에서 유통되고 있는 샌드위치 패널의 기본구 성은 양면 칼라강판 또는 스테인리스강・알루미늄・청 동ㆍ법랑철판 등의 금속판이 사용되고 단열용 심재로 이 루어지며 단열재 종륜,S 폴리스티렌 홈(고층 건축에서는 건물의 자체중량이 기둥이나 보의 굵기에 큰 영향을 미치 므로 중량을 줄이기 위하여 가벼운 재료가 사용된다. 금속 패널을 사용하는 마감 재료에는 일반적으로 스테인리스강 ·알루미늄 ·청동 ·법랑철판 등의 금속판이 사용되며, 단열 용 심재로 이루어지며 단열재 종류는 폴리스티렌 폼 (Expanded poly-styrene foam), 우레탄폼(Poly-urethane foam), 그라스울(Glass wool) 등이 있다. 그 자세한 특징 을 정리하면 아래와 같다.

- 견고성 : 아주 가벼우면서도 뛰어난 자립 구조체로 서 활용 가능, 설계 시공이 간편
- 난연성: 패널 자체가 난연 성능을 가지므로 난연
  재의 첨가로 인한 품질의 손상이 없음
- 단열효과: 단열효과가 뛰어나 일반 콘크리트의 49 배, 시멘트 벽돌의 42배에 달해 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 조립하여 모든 접합부분을 완전히 차단
- 공기 단축: 간단한 부자재로 만들어지는 틀 위에
  짜 맞추는 조립을 통해 시공이 완료되므로 공사기
  간이 크게 단축되어 공사비가 절감

# 2.2 PV 모듈의 특징

태양전지의 크기는 4", 5", 6" 등의 inch 단위로 생산이되기 때문에 직렬 혹은 병렬로 연결, 일정한 전력을 발생시킨다. 이때 모듈면적에 대비하여 태양전지모듈의 효율이결정되기 때문에 태양전지모듈은 조립식건축재와 마찬가지로 규격화된 사이즈의 도출이 가능하다.

특히, BIPV의 경우 단순히 전기를 생산하는 태양전지기능에서 건축적인 기능을 가져야 하기 때문에 유지보수를 고려한 모듈의 설치 및 제작이 용이하도록 설계해야한다. 대부분의 태양전지모듈의 경우, 20년 이상의 내구성을 가지지만, 1~2개의 PV모듈에 이상이 생길 경우 전체모듈을 제거하지 않고 부분적으로 탈착이 용이하게 설계하는 것이 중요하다. PV모듈의 경우 발생된 전력을 연결하는전기적인 배선이 필요하다. 하지만 배선의 길이가 길어질수록 전선 내 저항이 발생하여 기대하는 효율을 가지지못하는 경우도 발생하므로, 모듈간 결선은 매우 중요하다.BIPV 설계 시 태양광발전시스템의 출력에 영향을 주는요소들은 다양하나, 크게 세 가지요소로 정리할 수 있다.

- 일사량과 발전량
- 온도의 영향과 발전량
- 음영과 발전량

위에서 언급한 건축적 태양광 발전시스템의 고려요소에 따라 설계함에 있어 PV모듈을 지붕에 설치하는 경우에는 지붕자재와 완전히 밀착시켜 통풍이 불가능한 warm facade와 통풍이 가능한 cold facade로 구분되어 통풍이 불가능할 경우 발전효율에 영향을 미칠 수 있으므로 추가적인 검토가 필요하다. 태양광발전시스템의 출력에 영향을 주는 요소들 중 일사량과 음영은 그 지역의 기상환경 혹은 주변 상황에 의해 결정되어지는 부분이지만 온도에 의한 영향은 설계자가 사전에 충분히조절이 가능한 부분이다. 더욱이 태양광발전시스템에서 태양전지의 온도는 발전량에 가장 큰 영향을 미친다.

태양전지모듈은 태양빛이 갖는 발열과 더불어 태양전지가 갖는 광전자효과 (Photovoltaic - Effect)로 인하여 전기를 발생할 경우 열을 발생하여 상온(25℃)이 경우에 비교할 경우 고온에 출력이 저하되는 특성을 갖고 있다. <그림 1>에서는 현재 국내에서 유통되어지는 80Wp급 태양전지 모듈의 온도에 따른 변화특성을 나타내고 있다. 태양전지 모듈은 고온일수록 출력이 저하되므로 태양전지모듈의 발열현상을 저감시킬 수 있는 방안이 모듈 설치시 모색되어져야 하는데 일반적인 연구결과에 의하면 태양전지모듈 알려져 있고 이로 인한 출력저하는 약 0.6~1%정도로 예측되어 진다.1)

Staiss F. Photovoltaic, Vieweg & Sohn, Braunschweig/ Wiesbaden p.12.15 1995

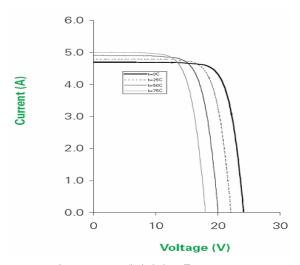


그림 1. 80Wp급 태양전지 모듈 I - V Curves

최대 효율을 얻기 위해서는 태양전지 셀의 온도상승을 70℃ 이하가 되게 하는 것이 가장 이상적이다. 유럽에서 설계 경험 치로 도출된 벽면에 부착되는 시스템의 손실율은 아래와 같다.<sup>2)</sup>

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

# 2.3 샌드위치 패널과 PV 모듈의 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 일사를 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 작용할것이며, 재료와 공법의 혁신은 앞으로 디자인 변화에 지대한 영향을 주게 될 것이다. 패널일체형 PV모듈은 조립화작업을 통해 인건비의 절약을 대폭 가져다 줄 뿐만 아니라, 운반 조건이 불량하고 작업 인원의 출입이 곤란한 장소이거나 가급적 동일형태의 건축, 모듈 코디네이션으로 규격화 및 조립식이 요구되는 건축시장에서의 필요성이확대되고 있다.

기존 선진국에서 상품화되고 있는 기밀성만이 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 일체 형 샌드위치 구조는 최근 들어 건축재로 많이 사용되어지 (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 이음 새가 없고 한 장의 패널처럼 이어져 수밀성이 좋다. 이러한 샌드위치 패널과 일체화를 위한 재료 및 재원은 <표1>과 같다.

고 있는 샌드위치 패널을 활용하여, 이상적인 열전도율

표 1. PV 일체형 샌드위치 판넬의 재원

	외 피 재	두 께 : 0.8mm 표면마감 : 4coat불소수지도료(PVDF)		
재	내피재	두 께 : 0.5mm 표면두께 : 실리콘폴리에스터수지도료 (SIP)		
显	단 열 재	PIR (Poly Iscyanurate Resin) 밀 도 : 45±5(kg/m²) 열전도율 : 0.0185(kαl/m·h·℃)		
제	폭 (mm)	300 ~ 1,000(mm)		
	길이 (mm)	생산길이 : 500~4,000(mm)		
원	무게	14.8(kg/m²)		

# 3. 조립식 지붕 일체형 태양전지모듈 설계 및 시제품 제작

# 3.1 지붕재 일체형 태양전지모듈 설계

본 연구의 건축 재료로 사용된 조립식 샌드위치 패널의경우, 기본적으로 생산되는 제품의 생산치수는 1자(尺)단위, 1M단위이다. 생산치수의 경우 KS규정에 따라 생산되는 것도 있지만 대부분의 경우 패널의 부속으로 사용되는건축 기본 구조 등의 치수와 연관되어 있으므로 본 연구에서 제작된 시작품의 경우 1M단위로 설계하였다. 또한조립식 패널의 경우 대 면적으로 제작하는 경우가 많고패널 제조 설비는 그 길이방향으로 최대 7M까지 생산이가능하기 때문에 태양전지모듈을 부착하고 시공자가 현장에서 조작이 자유로운 사이즈인 1,000\*2,000m로 설정하였다. 이 크기의 경우 패널은 그 제작의 폭과 길이에 한계가없으나 태양전지모듈의 제조 설비는 한계가 있기 때문에그것을 감안한 설계이다.

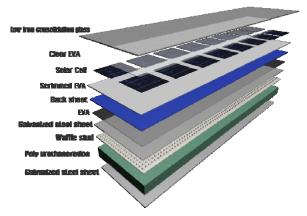


그림 2. 조립식 패널 일체형 지붕재용 태양전지모듈의 개념도

<sup>2)</sup> Design with solarpower, 2005.Prasad, Deo 외

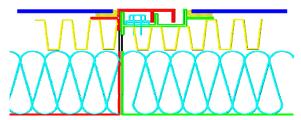
조립식 샌드위치 패널과 결합된 태양전지 모듈의 설계를 위해서는 앞서 고찰한 바와 같이 일체화에 따른 건축적 전기적 설계변수들이 고려되어야 한다.

패널의 상부는 금속판으로 이루어져 있기 때문에 이 금속판이 태양전지모듈이 전기를 생산하면서 발생시키는 발열을 빠르게 전도시키는 역할이 가능하다 할 수 있다. 하지만 이렇게 빠져나간 열이 어느 한 공간에 머물러 있거나 금속판 아래로 내려가 단열재의 성능에 영향을 미칠경우 본래의 건축자재 역할은 물론이고 태양전지의 발전량에도 큰 영향을 미치기 때문에 Waffle Stud라고 하는재료를 금속판의 하부에 부착시켜 발생된 열을 외부로 배출시키는 역할을 한다. 이 발생된 열은 강제 열 송풍장치로 열 에너지원으로도 이용가능성이 있다.

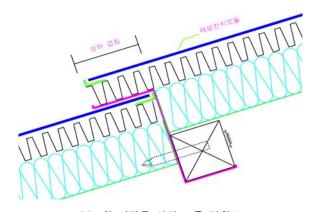
표 2. 1차 시작품의 모듈 사양

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		

프레임이 있는 PV모듈은 기존 건축자재인 샌드위치패널을 대신하여 풍우에 견디는 마감재의 역할을 수행한다. 또한 이 모듈은 특수형태의 프레임에 의해 수평으로 배치된 후에 일정한 이음매를 가지고, 아래의 모듈이 상부의모듈에 덮여지는 겹쳐잇기 마감이 되어 물이 역류하여 침투하는 것을 방지하도록 되어있다. <그림 3>시스템의 경우 일정한 경사로 이루어진 지붕에만 적용할 수 있다.



(a) 1차 시작품 좌우 모듈 결합도



(b) 1차 시작품 상하 모듈 결합도 그림 3. 1차 시작품의 좌우(a)/ 상하(b) 결합도



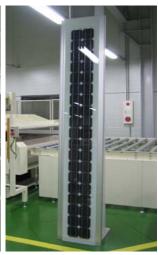


그림 8. 1차 시작품 전경

1차 시작품의 경우 기존의 패널이 가지는 장점인 내외 부의 마감이 필요 없는 특징을 배제한 채 설계된 한계가 드러났다. 즉, 전력생산을 위한 태양전지모듈 간 결선을 패널의 하부에서 연결하도록 하여 내부에서 천장을 보았 을 때 결선이 그대로 노출되는 문제가 발생하여 미관상의 문제가 있다. 국내·외로 태양전지 모듈의 결선 방식은 Junction Box를 부착하여 내부에 다이오드를 설치하는데 이 박스의 소형화 혹은 외형이 건축자재로서의 사용이 가 능한지를 판단할 것이다. 결선은 전기적인 특성을 가지는 태양광 발전시스템의 중요한 요소로써 태양전지 한곳이라 도 단락되거나 결선이 끊기는 경우가 발생할 요지가 있기 때문에, 사후관리가 용이한 방식으로 설치되어야 한다. 또 한 1차 시작품의 경우 지붕면에 그림자가 발생하거나 기 타 태양광 설치가 불가한 부분에는 기존의 샌드위치 패널 을 설치해야 하는데 기존 제품과의 연계성이 부족한 단점 이 있다

태양전지모듈의 경우 전기적인 특성을 가지기 때문에 설치 후 모듈의 부분적인 파손 혹은 유지보수의 필요성이 발생할 경우를 대비해야 하기 때문에 시공이 간단해야 함 은 물론이고, 유지보수의 측면에서 태양전지모듈 패널이 한 장씩 교체가 가능한 시스템이어야 한다.

2차 시작품은 1차 디자인의 보완적인 측면과 기존 건축 물과의 설치 연계성을 고려한 디자인이다. 결선은 상부에 서 진행하고, 상부에 노출된 배선은 별도의 배선관을 통해 서 외부 노출문제를 해결하였다.

표 3. 2차 시작품의 모듈 사양

항 목	내 용		
크 기(W ×L×H_mm)	1,000 × 2,000 × 75		
금 속	STEEL Galvanize 0.5T		
Waffle Stud 높이	15mm		
단열재	PIR		
Cell	6" 44매		
최대 출력	160 Wp급		

그 구조는 기존의 샌드위치 패널의 상판을 금속 가공하여 태양전지모듈과 일체화한 방식이다. 부가적인 지지고정대 없이 겹쳐 시공하며, 모듈의 전선배선은 상부에서 결선이 이루어져, 사후관리가 용이하도록 하였다.

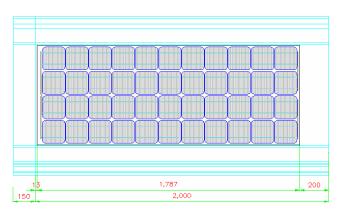


그림 9. 2차 시작품 [1,000\*2,000mm] 모듈 설계도

본 디자인의 가장 큰 장점은 기존의 샌드위치 패널을 그대로 사용해도 된다는 점이다. 좌우 및 상하 연결하는 방식이 기존의 패널 시공과 동일하기 때문에 별도의 시공자 교육이 필요치 않다.

# 3.2 지붕재 일체형 태양전지모듈의 시작품

모듈의 구성은 현재 국내에서 가장 많이 사용하는 125\*125mm, 156\*156mm의 결정질 태양전지(Solar Cell)를 사용하고, 유리는 저 철분유리로 두께는 3.2mm의 투과율 평균 91.5%(파장 0.5~1.1um)로 안쪽 면은 엠보싱 처리가 된강화유리를 사용하였다. 또한 불투명 소재인 백쉬트(Back-sheet)대신 금속판을 사용하여 모듈에서 발생된 열을 빨리 전도시킬 수 있도록 하였고, 유리와 태양전지, 금속판과의 밀봉을 위해서는 EVA를 사용하였고 시작품에사용된 알루미늄은 부식방지를 위해 아노다이징 표면처리가 된 프레임을 사용하였다.



그림 10. 2차 시작품 전경

#### 4. 지붕재 일체형 태양전지모듈 내구성 평가

#### 4.1 태양전지모듈의 구조

지붕재 일체형 태양전지모듈의 내구성 평가를 위해서 1, 2차 시작품을 다시 제작하였다. 기존에 제작된 시작품 구조와 동일한 방식으로 전체 사이즈에만 변경을 주었다. 이에 따라 변화되는 전기적 사양을 살펴보면, A-type모듈 (1차 시작품)은 5inch Cell 18개가 직렬 연결된 40W급으로. B-type(2차 시작품)은 6inch Cell 16개가 직렬 연결된 60W급으로 제작되었다. <그림 7-8>

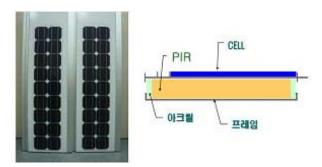


그림 11. 지붕일체형 태양전지모듈의 구조 (A-type)

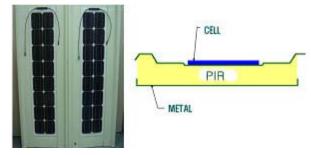


그림 12. 지붕일체형 태양전지모듈의 구조 (B-type)

# 4.2 초기 태양전지모듈의 발전성능 분석

본 연구에 사용된 40W(A-Type)급과 60W (B-Type)급의 환경시험 전 발전성능을 살펴보면, A-type의 지붕일체형 태양전지모듈의 경우 <그림 9>에서와 같이 최대 출력이 37.8W에서 40.4W까지의 분포를 나타내었으며 평균 출력 38.9W와 ±3.8%의 다소 편차가 큰 출력 균일도를 가지고 있음을 확인할 수 있었다. B-Type의 지붕일체형 태양전지모듈은 <그림 10>에서와 같이 최대 출력이 56.7W에서 58.3W까지의 분포를 보이며 평균 출력은 57.5W를 나타내었고 출력 균일도는 ±1.4%의 매우 우수한 성능을 나타났다.

#### 4.3 초기 태양전지모듈의 절연저항 및 내전압

IEC61215의 시험방법에 따라 환경적 가속시험 전 지붕일체형 태양전지모듈의 절연저항 및 내전압 성능을 측정

하였다. 시험 방법으로는 각각의 시료에 대해서 출력단자 와 패널사이를 최대 시스템 전압의 두 배에 1000V를 더한 전압을 인가하여 절연저항을 측정하였으며, 내전압은 1000V의 전압을 1분간 인가하여 절연파괴 등의 이상이 없는지를 살펴보았다. 절연저항 측정결과 최소 1.40GΩ와 최대 7.81GΩ의 분포를 보였으며, 내전압 시험결과 모두 우수한 성능을 확인할 수 있었다.<그림 9-10>

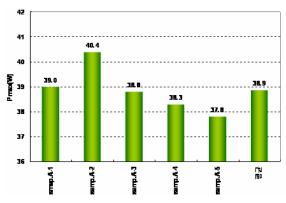


그림 13. A-Type 태양전지모듈 환경시험 전 발전성능

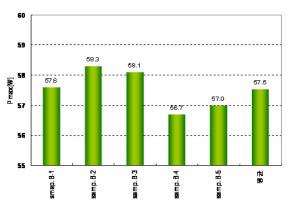


그림 14. B-Type 태양전지모듈 환경시험 전 발전성능

# 4.4 환경시험 후 태양전지모듈의 발전성능 분석

두 가지 시제품(A-Type, B-Type)에 대해서 온·습도 사이클, 온도 사이클, 내열·내습성 시험을 실시하여 환경 시험 전후의 발전성능의 변화를 관찰하였다. 그 결과 <표 4>에서 보는바와 같이 환경적 가속시험이 완료된 후에도 시험 전 초기 최대출력 값의 95%이상의 발전성능을 나타내어 모두 우수한 발전성능 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

A-1 모듈의 경우 초기 39.0W의 최대출력을 나타내었으며 온·습도 사이클 후 39.8W, 온도 사이클 후 39.3W를 나타내었고 내열·내습성시험 후 38.7W로 평균 출력 39.2W, 출력 변화율 ±1.5%를 나타내었다.

B-1 모듈의 경우 57.6W의 초기 최대출력에서 온·습도 사이클, 온도 사이클 및 내열·내습성 시험 후 각각 57.0W,

56.9W, 57.3W의 출력을 보였고 평균 출력 57.2W, 출력 변화율 ±0.6%를 나타내었다.

위의 결과로부터, 두 가지 구조의 지붕일체형 태양전지 모듈 모두 환경시험에 의한 안정된 발전성능 특성을 나타 냄을 확인하였고 <그림 11>과 <그림 12>에서 보는바와 같이 환경시험 전후의 동일한 I-V curve결과를 나타냄으 로써 환경변화에 따라서도 태양전지모듈의 발전성능은 매 우 안정적임을 확인할 수 있었다.

표 4. 환경시험 후 태양전지모듈의 발전성능 측정 결과

	전기적성능 시험	환경적 성능 시험		
모듈 No.	발전성능, 절연저항,내전압	온숩도 사이클	온도 사이클	내열 '내습성
A-1	39.0	39.8	39.3	38.7
A-2	40.4	40.6	-	-
A-3	38.8	-	39.2	-
A-4	38.3	-	1	36.9
B-1	57.6	57.0	56.9	57.3
B-2	58.3	57.3	-	-
B-3	58.1	-	57.9	-
B-4	56.7	-	-	56.5

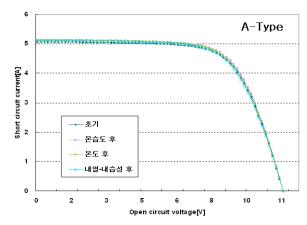


그림 15. 환경시험 전후의 I-V Curve (B-Type)

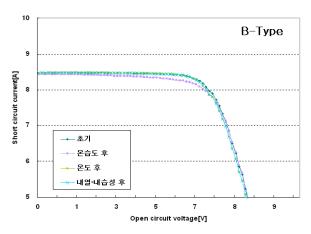


그림 16. 환경시험 전후의 I-V Curve (B-Type)

#### 4.5 환경시험 후 태양전지모듈의 절연저항 및 내전압

환경시험 후 모듈의 절연저항 및 내전압 시험 결과로부터 두 가지 구조의 모듈 모두 절연파괴의 위험성과 내전압성에서 우수함을 확인할 수 있었으나, 그러나, <그림 13>과 <그림 14>에서의 절연저항 측정 결과로부터 온·습도 사이클 후 절연저항의 감소가 나타나며 온도 사이클후 절연저항의 증가가 관찰되었다. 그리고 내열·내습성시험 후 절연저항이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 절연성능 기준인 50MQ 보다는 훨씬 큰 절연저항 값을 가지고 있지만, 태양광모듈이 건물외피로 설치되었을 때 반복적인 외부 환경의 변화에 따라서 절연저항이 변화할 수 있는 특성이 잠재되어 있어 절연파괴 및 장기적 모듈의 내구성에 위험한 요소로 작용될 수 있음을 예측할 수 있다.

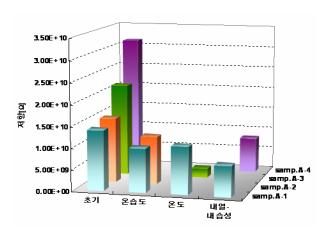


그림 17. 환경시험 후의 절연저항 변화

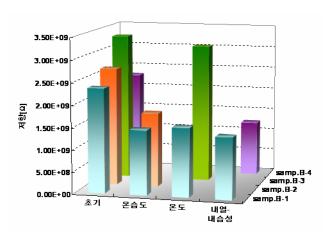


그림 18. 환경시험 후의 절연저항 변화

# 4.6 환경시험 후 태양전지모듈의 외관 변형

본 연구에서의 시제품인 지붕일체형 태양전지모듈에 대해서 환경적 가속시험을 실시한 후 시료의 외관변형 현상

을 관찰하였다.

A-type 태양전지모듈의 경우 <그림 15>에서 보는바와 같이 온·습도 사이클 시험 후 내부 충진 재의 팽창에 의해 아크릴의 분리현상(A)과 습기 침투에 의한 Bubble현상(C)이 발생되었으며, 내열·내습성시험 후 모듈 내부 충진 재의 팽창으로 인한 모듈 후면 금속판의 변형(B)과 모듈 내부 Connection Ribbon에 수분 침투현상(D)을 관찰할 수있었다.

B-type 태양전지모듈의 경우 <그림 16>에서 보는바와 같이 온도 사이클 시험 후 모듈 Frame 밖으로 충진 재가 팽창하여 돌출되는 현상(A)을 관찰할 수 있었으며, 모듈과 Frame의 고정을 위한 접착제가 녹아 흘러내리는 현상(B)이 발생하였다. 내열·내습성시험 후에는 수분 침투에 의한 Bubble현상(C)과 Back sheet와 Frame과의 분리현상(D)을 관찰할 수 있었다.

이러한 결과로부터 태양전지모듈 내부의 습기침투현상은 모듈 내부에서 태양전지의 단락현상을 유발시켜 모듈의 발전성능 저하와 설치된 모듈 어레이 전체에 대한 시스템 성능을 감소시키는 원인으로 작용될 수 있고, 자재의 변형 및 분리현상 등은 지붕일체형 태양전지모듈이 건축자재로써의 내구성에 문제가 있음을 확인해 주는 결과라할 수 있다.

따라서, 내구성 있는 지붕일체형 태양전지모듈을 제작하기 위해서는 외부 환경변화에 저항성을 지닌 자재 선정, 공정조건 확보 및 작업환경 개선 등이 앞으로 보완되어야할 것으로 판단된다.

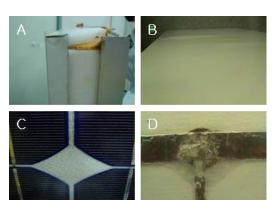


그림 19. 환경시험 후 외관 변형 (A-Type)

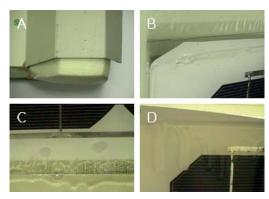


그림 20. 환경시험 후 외관 변형 (B-Type)

#### 5. 결 론

조립식 건축의 경우 그 건축공기 및 시스템의 안정성으로 인해 최근 설치가 급증하고 있는데 이중 샌드위치 패널은 단열성능을 확보하면서 패널 자체가 외장재인 동시에 내장재도 될 수 있는 효율적인 건축 재료라 할 수 있다. 또한 지붕은 건물의 최상부에 위치하여 그림자의 방해가 적고 보통 면적도 충분한 상태일 경우가 많아 초기부터 PV장치의 설치장소로 이용되어 왔다. 이런 지붕의 면적을 건물일체형 태양전지 모듈을 사용한다면, 태양전지가부착된 패널이 설치되면서 건축적 단열성능을 확보하면서건물의 마감공사도 동시에 끝낼 수 있기 때문에 앞으로 BIPV 시장에서 선도적인 보급효과를 이끌 수 있을 것이다. 종전에 지붕의 자재비와 시공비, 태양전지 모듈 값과그 시공비 중에서 이중으로 적용되었던 시공비를 절약하는 효과를 꾀할 수 있다.

이에 본 연구에서는 BIPV모듈의 다양한 적용방법 중조립식 시공이 가능한 샌드위치 패널 일체형 태양전지모듈에 대한 모듈 및 시공방법 등에 대해 설계하고 시작품개발 과정을 제시하면서, 건축자재인 패널의 설계 규격을설정하여 제작 가능한 태양전지모듈의 크기를 도출하였다. 1, 2차 환경시험용 시작품을 이용하여 내구성 평가를 실시한 결과, 절연저항 및 내전압 성능은 기준치인 50M2이상을 훨씬 초과하여 우수한 절연성능을 확인할 수 있었으나, 온·습도 사이클 및 내열·내습성시험 후에는 절연저항의 감소 현상이 나타남으로써, 환경 변화에 따라서 절연파괴의위험성이 잠재하고 있다고 판단되었으며. 초기 발전성능에대한 출력 변화율은 A-type ±1.5%, B-type ±0.6%로 매우 안정적인 성능을 확인할 수 있었다.

한편 환경적 가속시험 후 외관 변형을 관찰한 결과 대부 분 모듈에서 내부 충진재 팽창에 의해 Frame의 변형 현 상과 습기 침투에 의한 Bubble현상 Back sheet와 Frame 간의 분리현상을 발견할 수 있었다.

위 결과로부터 본 연구에 사용된 지붕일체형 태양전지 모듈이 건축 자재로 설치되었을 때 외부 환경의 지속적 변화에 의해 절연저항 감소와 구조적, 재료적 변형에 의해 모듈의 내구성에 대한 문제점이 도출되었으며, 내구성 있 는 지붕일체형 태양전지모듈을 제조하기 위해서는 향후 자재 선정, 공정 및 작업 환경개선에 대한 집중적이 연구 와 노력이 필요할 것으로 사료된다.

따라서, BIPV 모듈의 개발 및 상품화과정에서 건축 재료로서, 특히 지붕재로서의 기능평가가 이루어져, 각 항목별 체크리스트 작성을 통해 그 검토를 세분화함으로서 건축적 측면에서 보다 쉽게 접근할 수 있는 가능성을 마련할 수 있다. 건물지붕재로서의 물리적 특성을 충분히 견뎌낼 수 있음과 동시에 전기발전이라는 본래의 목적에도 최상의 기능을 발휘할 수 있고, 또 건축디자인 주요요소인색감이나 질감에 있어서도 변화를 줄 수 있는 태양전지와모듈개발을 활발히 이루도록 다양한 시작품의 제작과 평

가가 더욱 필요하다고 판단된다.

본 연구에서 제작된 시제품들은 외부에 설치하여 발전 량과 외기 온도 및 기상환경에 따라 어떠한 변화가 발생하고 있는지에 대한 외부환경 Mock-Up test를 실시하고 있으며, 추후 실험결과에 따른 지붕일체형 태양전지모듈특성분석을 수행하고, 개발품 및 설치방식을 표준화하는 작업을 진행할 예정이다.

# 후 기

이 논문은 산업자원부 지원, 에너지관리공단 신·재생에너지센터의 "지붕재용 금속일체형 태양전지 모듈의 개발" (과제번호 2004-N-PV12-P-09-0-000)의 일환으로 추진된 연구 결과 일부로 진행되었음

# 참고문헌

- 1. Staiss F. Photovoltaic, Vieweg & Sohn, Braunschweig/ Wiesbaden p.12.15 1995
- 2. Design with solarpower, 2005.Prasad, Deo 외
- 3. 윤종호 외, 건물외피용 태양광발전 BIPV모듈 개발 연구, 한국 생태환경건축학회 논문집 Vol.4, No.3
- 4. 이응직, 김회서, PV의 건축물 적용기법에 관한 연구, 한국태 양에너지학회 논문집, Vol.22 no.2, 2002.6
- 5. 이응직, 이소미, 심헌, 지붕용 BIPV모듈의 건축적 요구 성능 및 적용사례 고찰, 한국생태환경건축학회 2005 추계학술발표 대회
- S.Rummel, A.Anderberg, K.Emery, D.King, etal, "Results from the Second International Module Inter- Comparison", WCPEC, 2006.
- G.H.Kang, G.J.Yu, H.K.Ahn and D.Y.Han, "The Effect of Electrical Properties with Degradation of EVA sheet and Electrode in Photovoltaic Module", Proceeding of KIEEME Annual Summer Conference, 2005.
- 8. G.H.Kang, K.S.Kim, C.H.Park, G.J.Yu, H.K.— Ahn and D.Y.Han, "Analysis of Photovoltaic module's Phenomena of aging with Acceler— ation Test", Proceeding of KIEE Annual Summer Conference, 2006.