

# BIPV시스템의 건물적용 실증에 대한 구성요소별 발전성능 분석

## A study on the performance of various BIPV modules applied in a real building demonstration

이상문\* · 허정호\*\*†

Lee Sang-Moon\* and Huh Jung-Ho\*\*†

(Received 04 February 2016; Accepted 27 April 2016)

**Abstract :** Building Integrated Photovoltaic (BIPV) is one of the best ways to generate electric power using the solar energy, which is clean and inexhaustible energy resources. The most of BIPV modules have the form of GtoG (Glass to Glass) photovoltaic in building applications. Degradation leading to failure in photovoltaic modules is very important factor in BIPV modules. This paper analyzed the performance of various BIPV modules through outdoor exposure tests. Performance of three BIPV modules(c-Si type, a-Si type and DSSC type) with three installation angles influenced by sun light, outdoor temperature, and wind velocity was monitored and analyzed. As a result, c-Si type BIPV module outperforms other BIPV modules(a-Si type). In terms of power efficiency of the module, the installed angle of 45° is better than others(90 degree, 0 degree). In addition, more realistic data of various BIPV system performance could be available through the field test and integrated building test. In this study, relationship of the BIPV system is identified module's installation angle, power generation, architectural performance, etc.

**Key Words :** BIPV(Building Integrated Phovoltaics), GtoG(Glass to Glass) module, 실증(Demonstration), 발전성능 (Generation characteristics)

### 기 호 설 명

	$V_{oc}$	: 개방전압 (V)	
	$P_{max}$	: 최대출력전력 (W)	
$I_{sc}$	: 단락전류 (A)	$V_{mp}$	: 최대출력전압 (V)

\*\*† 허정호(교신저자) : 서울시립대학교 건축공학과  
E-mail : huhj0715@uos.ac.kr, Tel : 02-2210-2616  
\*이상문 : 서울시립대학교 (한국건설생활환경시험연구원)

\*\*† Huh Jung-Ho (corresponding author) : Department of Architectural Engineering, University of Seoul  
E-mail : huhj0715@uos.ac.kr, Tel : 02-2210-2616  
\*Lee Sang-Moon : University of Seoul (Korea Conformity Laboratories)

$I_{mp}$  : 최대출력전류 (A)  
 FF : 곡선인자 (%)

## 1. 서 론

현재 전 세계 산업별 최종에너지 소비비율은 산업 57%, 수송 20%, 건물 23%를 차지한다. 특히 건축물 분야에서 소비되는 전기에너지의 경우 약 50%를 차지하고 있으며 저에너지 효율 건물시스템으로 인하여 매년 약 17조 원 이상의 에너지 비용이 낭비되고 있는 실정이다.

세계적으로 신재생에너지원의 건축물 적용 방안에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히 태양광, 태양열, 지열 등의 신재생에너지원이 많이 적용되고 있다. 건축물에 적용되는 BIPV(Building Integrated Photovoltaics) 시스템은 건물의 지붕 및 입면에 외벽마감재를 PV 모듈로 대체하는 시스템으로서 전기 생산 이외의 건축물의 외장재로 사용될 수 있는 시스템이다.<sup>1)2)</sup> 신축건물은 물론 기존 건물에도 쉽게 적용할 수 있으며 유지보수가 쉬운 장점을 가진다. 또한 나대지가 부족하고 고층건물이 많은 국내 환경에 가장 적합한 시스템으로 각광받고 있다.<sup>3)</sup>

BIPV 시스템에 대한 관심이 증대됨에 따라 태양광 시장에서 BIPV 선점 비중이 2012년 394.3 MW에서 2019년 13,607 MW로 약 34배 증가할 것으로 전망되고 있다. 또한, 국내외적으로 BIPV 시스템의 설치를 장려하기 위하여 각국의 기준에 따라 BIPV를 분류하고 기존 PV 모듈에 대해 높은 혜택을 부여하고 있다. 다음 Fig. 1에 따르면 향후 건축물 적용 태양광 시스템의 성장률은 2014년 이후를 기점으로 감소하지만, 설치용량은 지속적으로 증가할 것으로 판단된다.

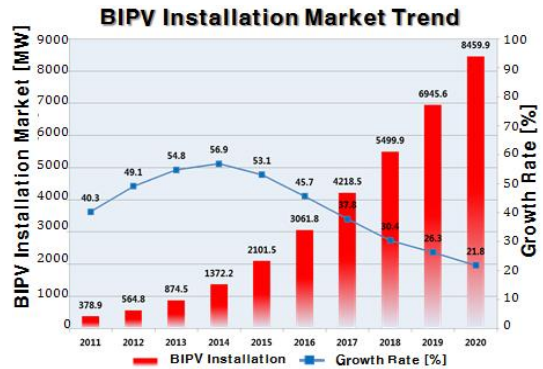


Fig. 1 BIPV future market of the world

본 연구에서는 BIPV 시스템의 국내 연구동향을 분석하여 건물적용에 최적화된 BIPV 모듈 구조를 설계하였다. 이후 실제 건물에 BIPV 모듈을 적용하여 적용 부위별(창호형, 지붕형), 적용 모듈별 발전량을 분석하였다. 실제 건물에 적용된 BIPV 시스템 발전 효율을 비교하기 위해 옥외에 소규모 BIPV 시스템을 설치하였으며, 두 경우의 상관관계 분석을 실시하였다. 이를 통해 향후 건물에 적용되는 BIPV 시스템 구성요소별 발전량에 대한 기초 연구가 되는 자료를 제공하고자 함이 본 연구의 목적이다.

## 2. BIPV 시스템개발을 위한 예비적 고찰

BIPV 시스템에 사용되는 PV 제품의 모듈 형태는 대부분 PVB(Poly Vinyl Butyl)를 사용하여 Glass와 Glass를 접합한 G-to-G 형태로 구성되어 있다. 국내의 경우에는 BIPV 시스템이 창호, 커튼월, 지붕 등에 80% 이상이 G-to-G를 사용한 복층유리의 형태로 설치되어 있다.

BIPV 시스템에 적용될 수 있는 태양전지는 결정형 실리콘 태양전지, 비정질 실리콘 태양전지, CIGS(Copper Indium Gallium Selenide

solar cell), 염료감응형 태양전지, 유기태양전지 등이 있는데, 결정형 실리콘 태양전지와 비정질 실리콘 태양전지가 상용화 제품으로 생산되고 있으며 시장의 약 95% 이상을 점유하고 있다.<sup>4)</sup>

Fig. 2 및 Table 1의 BIPV 모듈의 조사연구에서 나타내는 것처럼 빌딩 혹은 철도역사 등 대형건축물에 적용되는 G-to-G형 태양전지는 광투과도를 가져야 하는데 결정형 실리콘 태양전지의 경우 태양전지 셀의 배열을 조절하여 광투과를 구현하고 있으며, 비정질 실리콘 태양전지의 경우는 박막 셀의 레이저 스크라이빙 등을 통하여 광투과를 구현할 수 있다.

CIGS 태양전지의 경우 낮은 생산단가와 비교적 높은 효율 등의 장점으로 인하여 최근 각광받는 태양전지 소재로 주목받고 있으나, 셀 소재 및 구조의 특성상 광투과를 구현할 수 없기 때문에 일부 광투과가 요구되지 않는 스펠드럴 등에 적용되고 있다. 이들 태양전지 소재들이 창호 및 커튼월에서 요구되는 광투과를 구현하고 있으나, 소재 측면에서 투과도를 구현할 수 없기 때문에 염료감응형 태양전지와 유기태양전지가 BIPV 시스템에 적용하기에 적합한 소재로 대두되고 있다.

염료감응형 태양전지와 유기태양전지는 소재의 개발을 통하여 다양한 색상 및 투과도 구현이 가능하며 공정이 간단하여 생산단가가 저렴한 장점이 있는 반면 낮은 에너지변환효율, 짧은 수명, 낮은 내구성 등의 단점으로 인하여 현재 연구단계 및 시험생산단계에 머물고 있다.

국내 설치된 BIPV 모듈을 조사한 결과는 다음 Fig. 3과 같다. 설치형태 및 역할에 있어서 커튼월 형태로 설치된 경우가 61%(25건)으로 가장 많으며, 지붕마감재(Roof) 형태는 19.5%(8건), 천창(Skylight)형태가 17%(7건)의 순서로 설치되었다.

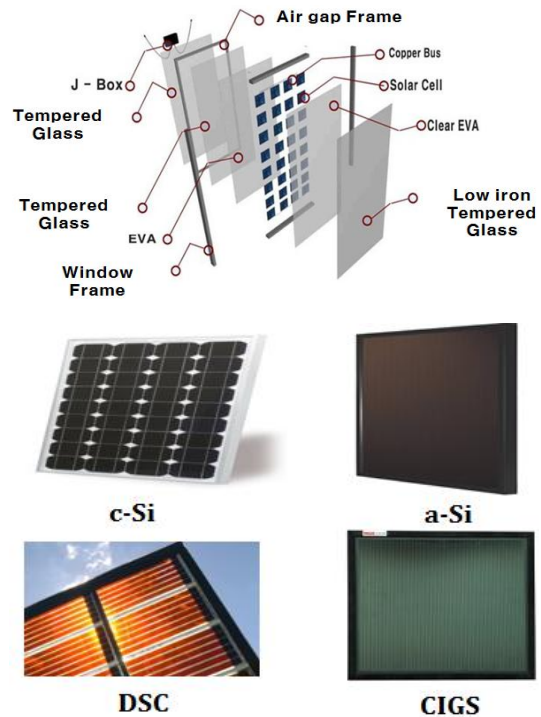


Fig. 2 BIPV module composition and application

Table 1 Solar cell Efficiency & Market share

Type	Efficiency	Market share
c.Si	15%	87%
	BIPV Application Window, Certain-wall, Roof, Spandrel	
a-Si	8%	12%
	BIPV Application Window, Certain-wall, Roof	

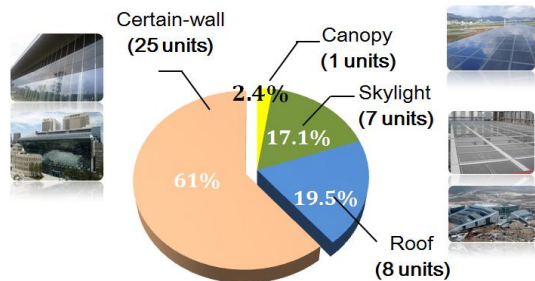


Fig. 3 Domestic BIPV Installation type

BIPV가 설치된 장소에 있어서 주로 공공용 업무시설(33%)와 사회용 교육연구시설(27%)이 많이 설치된 이유는 설치의무화 대상 확대로 인해 증가 하였고 BIPV 제품형태에 있어서는 대부분은 G-to-G 복층유리 형태로 G-to-T(Glass to Tedlar)형태의 경우도 마감재로 사용된 경우도 있었다.

### 3. BIPV 시스템 설치개요

선행연구에 따르면 BIPV 시스템의 대부분을 차지하는 G-to-G type의 복층형태 모듈을 구성하였으며, 결정질(c-Si)과 박막(a-Si) 태양전지 소자들로 구성되어있다. 국내는 건물의 창호(커튼월)와 지붕에 BIPV를 적용하는 형태가 90% 이상을 차지하고 있다.<sup>5)</sup>

따라서 본 연구에서는 BIPV 시스템이 실제 건물에 창호(커튼월)과 지붕의 형태로 적용된 경우에 PV를 통하여 생산되는 실제 발전량에 대한 모니터링을 진행하였으며, 외부환경에서 발전에 대한 기준을 잡기 위해서 소규모 옥외 시스템을 설치하여 발전량 및 발전특성을 비교 분석하였다.<sup>6)</sup>

#### 3.1 BIPV 설치 및 모니터링 시스템 구성

건물에 BIPV 시스템을 적용하는데 있어서 고려해야할 사항은 다음과 같다.

첫 번째로 BIPV 시스템을 적용할 부위를 선택해야하며, 두 번째로 BIPV 모듈의 종류 및 형태를 결정해야한다. 그리고 BIPV 모듈들의 건축적인 성능과 전기적인 성능을 검증하여 건물에 적용했을 때 안전성을 고려해야 한다. 이러한 모듈의 특성을 고려하여 소규모 옥외 시험장에 설치할 BIPV 시스템과, 실제 운영중인 건물에 적용할 BIPV 시스템을 구성하였다.



Fig. 4 BIPV module applied to outdoor field test

Fig. 4와 같이 건물에 적용되는 BIPV 모듈의 형태와 같은 BIPV 모듈의 크기는 건물에 적용되는 창호에 적합한 박막모듈 사이즈(1100 X 1300 mm)로 동일하게 제작이 되었으며, 실증 적용에 앞선 모듈의 초기값은 Table 2와 같다.

Table 2 BIPV module performance [Power : W]

c-Si		Voc	Isc	Vmp	Imp	P
sample #1	1	27.7	8.7	22.1	8.2	180.4
	2	27.0	8.6	22.2	8.1	179.9
	avg	27.4	8.6	22.1	8.2	180.2
sample #2	1	26.9	8.6	21.7	8.3	179.7
	2	26.9	8.7	21.9	8.2	179.3
	avg	26.9	8.7	21.8	8.2	179.5
sample #3	1	27.6	8.6	22.4	8.2	182.7
	2	27.4	8.6	21.9	8.3	182.3
	avg	27.5	8.6	22.2	8.2	182.5
a-Si		Voc	Isc	Vmp	Imp	P
sample #1	1	147.5	1.1	119.9	0.9	108.0
	2	147.2	1.1	117.7	0.9	108.6
	avg	147.3	1.1	118.8	0.9	108.3
sample #2	1	150.7	1.1	117.0	0.9	106.5
	2	150.7	1.1	115.1	0.9	106.2
	avg	150.7	1.1	116.1	0.9	106.3
sample #3	1	148.1	1.0	116.6	0.8	104.0
	2	146.5	1.1	117.3	0.9	103.9
	avg	147.3	1.0	116.9	0.8	103.9

DSSC(Dye-Sensitized Solar Cell)의 경우에는 대면적 모듈이 현재 개발 중에 있으며, 모듈에 적합한 성능측정 방법 또한 연구 개발 중이므로 본 연구에서는 DSSC 모듈에 대한 성능평가 및 건자재 평가 방법에 대해서는 기술하지 않았다.

BIPV 시스템의 실제 발전량을 모니터링하기 위해서는 BIPV 모듈의 내부환경에 대한 모니터링과 모듈이 설치된 외부환경에 대한 모니터링이 동시에 이루어져야 한다. 결정형(c-Si) 및 박막형(a-Si) 실리콘 BIPV G-to-G 모듈의 초기성능측정에서 광원의 측정조건은 온도 25도를 유지하고, AM 1.5 및 광량 1000 W/m<sup>2</sup>을 조사하였다. 총 3장의 샘플을 2회 반복 측정을 실시하였다.

다음 Fig. 5 및 Fig. 6에서 BIPV 모니터링 구성 및 계측인자에 대한 하드웨어(Hardware) 구성과 소프트웨어(Software) 구성을 나타내고 있다.

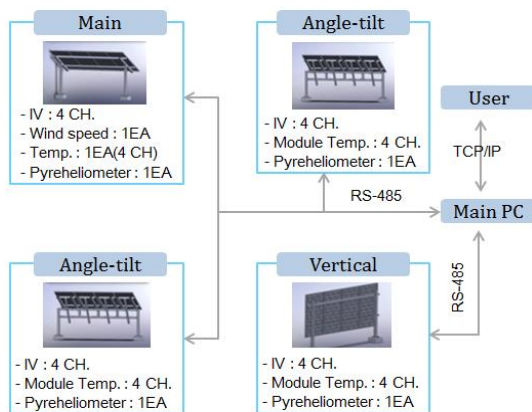


Fig. 5 Outdoor monitoring system composite diagram

BIPV 모니터링 구성 및 계측인자에 대한 특징은 다음과 같다.

- (1) 건물의 BIPV 설치형태를 고려하여 45° 고정형(기준), 90° 고정형, 각도 가변형(0~90°)의 각도 가변형 시스템 구축하였다.

- (2) 결정형, 박막형, DSSC(Dye-sensitized solar cell) 모듈성능을 측정하기 위한 I-V sourcemeter를 구축하여 BIPV 모듈의 Isc, Voc, Pmax, FF, 온도의 파라미터 값을 주기적으로 측정하였다.

- (3) 외부환경(풍향풍속계, 대기온도센서, 일사량 등)을 모니터링하는 메인 환경 측정 시스템을 구축하였다.

모니터링을 위한 사용자 소프트웨어 구성은 다음 Fig. 6과 같다.

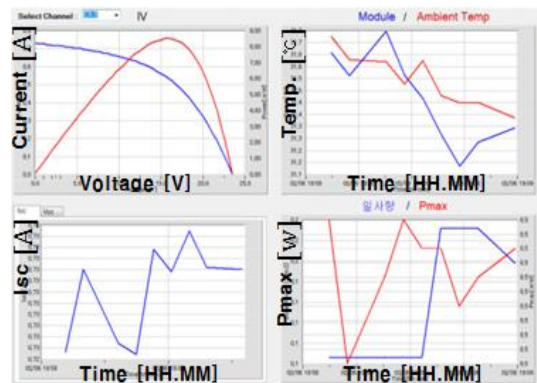


Fig. 6 BIPV monitoring software user interface for outdoor system

### 3.2 BIPV 건물 및 옥외 시험장 적용

BIPV 시스템이 적용된 실측 건물은 충청북도 음성-진천 충북혁신도시에 위치하고 있으며 지상 2층으로 구성되어 있다. 한국건설생활환경시험연구원(KCL)의 건물에너지기술센터에서 실제로 사용하는 공간에 BIPV 시스템을 적용한 형태이다. 건물은 남서방향에 위치하여 BIPV 발전에 영향을 줄 수 있는 음영은 존재하지 않는다. 실제 건물에 적용된 BIPV 모듈의 종류 및 위치에 따른 BIPV 설치 현황은 다음 Fig. 7과 같다.

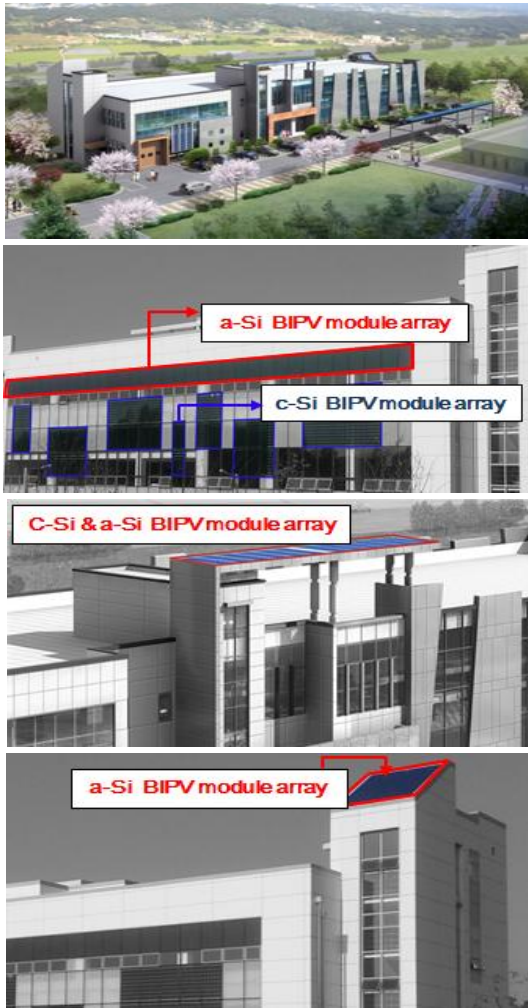


Fig. 7 BIPV system installation in the building

실증건물에는 결정질과 박막 형태의 BIPV 모듈이 각각 커튼월(설치각도: 90°), 지붕(설치각도: 0°, 45°)의 형태로 적용되었다.

건물에 적용된 BIPV 설치형태(커튼월, 지붕, 등)에 대한 적합한 BIPV 모듈을 찾아내기 위하여 소규모 옥외 실증을 진행하였다. 창호형과 지붕형 BIPV 시스템을 모사하여 45°, 90°의 각도로 설치했으며 다음 Fig. 8과 같다. 이후 9개월('14.07.01~'15.03.31) 동안의 태양광 발전량 모니터링을 실시하였다.



Fig. 8 BIPV system installation in the building

실제 건물에 적용된 BIPV 시스템과 옥외 시험장에 설치된 BIPV 모듈 모두가 정남향에 위치하고 있으며, 주변 구조물에 의한 음영의 간섭은 없는 것으로 판단되었다.<sup>7)</sup>

#### 4. BIPV 시스템 성능에 대한 분석

실증 건물에서 BIPV 시스템 성능을 확인하기에 앞서 기준이 되는 소규모 옥외실증 시스템에서 BIPV 발전특성을 평가 및 분석하였으며, 옥외 BIPV 시스템의 성능과 실증건물에서의 BIPV 성능을 통계기법인 상관관계 분석을 실시하였다. 소규모 옥외실증은 실제 건물적용을 통해 얻어지는 데이터들의 기준값을 얻기 위해서 수행되었고 Table 3의 구성으로 설치되었다. 마이크로인버터로 DC발전량 모니터링을 진행하였다.

Table 3 BIPV module installation spec. and monitoring factor in test building

part	current condition
Installation module	< Total : 6 units > - Module : Crystalline, Thin film type - Installation angle : 0°, 45°, 90°
factor of monitoring	Power generation, Solar radiation, indoor/outdoor temperature, wind velocity

#### 4.1 BIPV 옥외 실증 데이터 분석

옥외실증 BIPV 시스템의 설치각도별, BIPV 모듈 종류별, 계절별 발전량 데이터를 획득하여 발전량 분석 상관도 분석을 통해 BIPV 시스템의 성능을 파악할 수 있었다.

Fig. 9는 설치각도별 BIPV 시스템의 누적 발전량을 나타내고 있다.

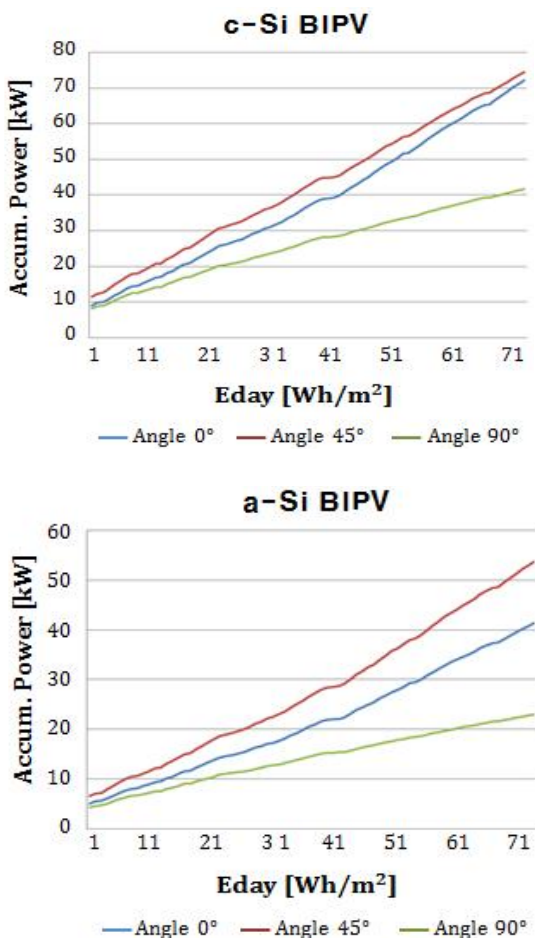


Fig. 9 Accumulated power generation amount with BIPV Installation angles

Fig. 9의 옥외실증 데이터 분석을 통하여 건물에 적용되는 설치형태 (커튼월, 지붕, 등)에 적합한 BIPV 모듈 타입을 찾아내고자 했으

며, 4.2절에서 실제 건물에 적용된 형태를 통하여 검증하였다. 결정질 BIPV와 박막 BIPV 모두 설치각도 45°에서 누적발전량이 가장 큰 것으로 나타났다. 결정질 BIPV의 경우, 지붕의 형태로 사용되는 설치각도 0°와 45°에서의 BIPV 누적발전량의 차이(Gap)는 적었으나, 박막 BIPV의 경우, 0°와 45°에서의 누적 발전량에는 큰 차이가 났다.

지붕에 BIPV 시스템을 설치하면서 심미적 특성을 고려하여 BIPV를 설치하고자 한다면 결정질 태양전지를 사용하는 것이 누적발전량의 각도별 영향을 줄일 수 있는 방안이라고 분석된다. 그러나 설치각도 90°의 경우는 결정질 및 박막 BIPV 시스템 모두 다른 설치각도 대비 비슷한 비율로 감소하는 것으로 나타났다.<sup>8)</sup> 따라서, 설치각도 90°로 설치되는 커튼월(창호)의 형태는 결정질 및 박막 BIPV 모듈 형태가 가능한 것으로 분석된다.

다음 Fig. 10에 따르면 결정질 BIPV와 박막 BIPV 모두 설치각도 45°에서 누적 발전량이 가장 큰 것으로 나타났다.

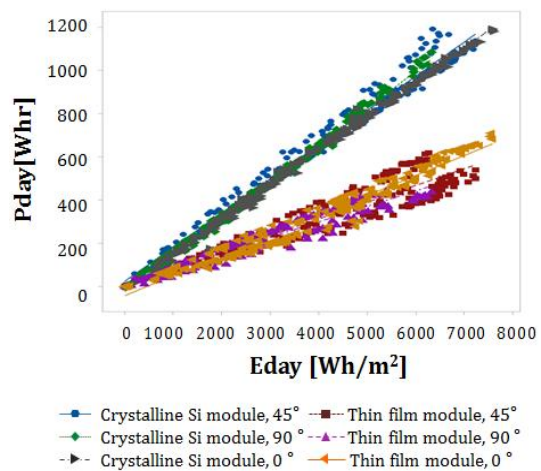


Fig. 10 Correlation analysis between generated power amount and irradiance amount with BIPV Installation angles [Outdoor field test]

결정질 BIPV의 경우, 지붕의 형태로 사용되는 설치각도 0°와 45°에서의 BIPV 누적발전량의 차이(Gap)는 적었다. 그러나 박막 BIPV의 경우는 0°와 45°에서의 누적발전량의 차이가 크게 나타난 것으로 판단된다. 따라서, 지붕에 BIPV 시스템을 설치하면서 심미적 특성을 고려하여 BIPV를 설치하고자 한다면 결정질 태양전지를 사용하는 것이 누적발전량의 각도별 영향을 줄일 수 있는 방안이라고 분석된다.

일사량 대비 BIPV 설치각도별 발전량에 대한 상관관계를 분석한 것은 다음 Table 4와 같다.

Table 4 Correlation analysis results

	45°		90°		0°	
	c-si	a-si	c-si	a-si	c-si	a-si
<b>Slope</b>	0.158	0.077	0.169	0.071	0.158	0.093
<b>Dispersion (R<sup>2</sup>)</b>	98.2%	87.6%	99.5%	92.6%	99.7%	96.5%

누적 일사량 대비 누적 발전량은 각각 양의 상관관계를 나타내고 있으며, PCC (Pearson Correlation Coefficient: 피어슨 상관계수) 상관계수(R<sup>2</sup>)는 대부분 85% 이상으로 상관성이 높은 것으로 나타나고 있다. 특히 결정질 BIPV 모듈의 경우, 각각 98.2%, 99.5%, 99.7%의 강한 상관성으로 박막 모듈 대비 일사량에 따른 태양광 모듈의 발전량 데이터가 안정적으로 수집된다고 분석되었다.

#### 4.2 BIPV 건물 실증 데이터 분석

건물 실증 BIPV 시스템의 발전량은 설치각도별, BIPV 모듈 종류별, 계절별 발전량 데이

터를 취득하였다. 이후 발전량을 상관도 분석을 통하여 건물에 적용된 BIPV 시스템의 성능을 파악할 수 있었다.

Table 5와 같이 건물에너지기술센터에 설치된 BIPV 시스템은 창호(커튼월)와 지붕의 설치형태를 가지고 있으며 창호(커튼월)는 90°의 설치각도, 지붕은 0°와 45°의 설치각도로 구성되어있다.

Table 5 BIPV capability and monitoring factor in test building

	<b>current condition</b>
<b>Capacity</b>	<Total capacity : 20.1kWp> - Window/Certain-wall(90°) : 11.6kWp - Roof(45°) : 1.1kWp - Canopy(0°) : 8.4kWp
<b>Module Type</b>	Crystalline/Thin film silicon GtoG BIPV module
<b>Inverter</b>	Mix-using : 3kW / 10kW inverter
<b>Array</b>	consists of parallel
<b>Factor of monitoring</b>	Power generation, Solar radiation, indoor/outdoor temperature, wind velocity

창호(커튼월)는 박막(a-Si, DSC)과 결정질 BIPV 모듈을 사용하여 11.58kW가 설치되어 있으며, 지붕형(0°)은 박막 BIPV 모듈을 사용하여 8.35kW, 지붕형(45°)은 박막과 결정질 모듈을 사용하여 1.08kW가 설치되어 있다.

창호(커튼월) 및 지붕형(0°, 45°)에 설치되어있는 박막 및 결정질 BIPV 모듈들은 일사량(수평, 경사), 외기온도, 모듈온도에 따른 각 모듈들의 발전량, 누적발전량, I-V Curve 특성 등을 모니터링을 하였고 시스템은 다음 Fig. 11과 같다.





Fig. 11 Window-type and Roof-type BIPV module monitoring system

창호(커튼월) 형태로 90° 각도로 설치되어있는 결정질(c-Si) 및 박막(a-Si), DSSC(Dye-sensitized solar cell) BIPV 모듈을 분석한 결과는 다음 Fig. 12와 같다.

누적 일사량에 대한 누적 발전량은 결정질 BIPV 모듈이 가장 크게 나타났으며, 박막(a-Si), 박막(DSSC(Dye-sensitized solar cell)) BIPV 모듈이 순서대로 작게 나타났다.

Table 6의 PCC(Pearson Correlation Coefficient: 피어슨 상관계수) 분석결과, 누적 일사량 대비

누적 발전량의 상관계수( $R^2$ )가 모두 85%이상으로 높은 양의 상관관계를 나타내고 있다. 이는 일사량에 따른 발전량의 데이터가 안정적으로 수집된다고 볼 수 있다.

또한, 누적 일사량 대비 누적 발전량 분석에 있어서 옥외 시험에서와 마찬가지로 회귀곡선의 기울기가 결정질(c-Si) BIPV 모듈이 박막(a-Si) BIPV 모듈 대비 2배 이상 차이가 나고 있다. 이러한 정보는 건축물 설계에 있어서 에너지 관점과 심미적 관점에서 의사결정을 하는데 있어서 중요한 정보를 전달할 수 있다.

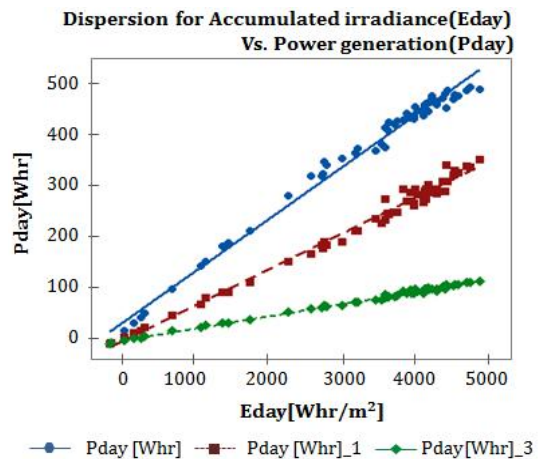


Fig. 12 Correlation analysis between generated power amount and irradiance amount with BIPV Installation angles [Building field test]

Table 6 Correlation analysis results about 90° installed module

	90°		
	c-si	a-si	DSC
<b>Slope</b>	0.1583	0.07727	0.1695
<b>PCC (<math>R^2</math>)</b>	98.2%	87.6%	99.5%

심미적 관점 및 씨쓰루(See-through) 효과

를 만족하기 위해서는 발전량은 조금 떨어지지만 성능구현이 우수한 박막(a-Si) BIPV 시스템에 대한 적용이 요구될 것으로 사료된다. 또한 건물에너지 관점에서는 발전효율이 우수한 결정질(c-Si) BIPV 시스템의 설치가 필요할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구는 건물에 적용되는 건물일체형 태양전지(BIPV)에 대한 모듈 종류별, 설치각도별 발전특성에 대한 옥외 실증시험을 통하여 약 1년간의 모니터링 데이터를 기반으로 발전성을 분석하였으며, 발전성능 분석을 통하여 건물에 적용되는 설치형태(커튼월, 지붕, 등)에 대한 적합한 BIPV 모듈의 종류를 찾아내었다. 또한 실제 건물 실증을 통하여 옥외 실증에서 분석된 결과들이 건물 실증에서도 동일한 결과를 나타냄을 검증하였다. 결론적으로 BIPV 모듈의 발전성능 분석을 통하여 건축적인 적용형태에 적합한 모듈의 종류를 검증하였다. 이에 대한 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 건물에 적용되는 크기 1.1 x 1.3 m<sup>2</sup> 의 BIPV 모듈의 초기특성에 있어서, 결정질(c-Si) 모듈의 경우, 개방전압이 27V, 단락전류가 8.6A, 출력전압이 180W 수준의 안정적인 성능을 나타내고, 박막(a-Si)의 모듈의 경우, 개방전압이 148V, 단락전류가 1.1A, 출력전압이 106W 수준의 성능을 가지고 BIPV 모듈을 사용하여, 옥외 필드 시험의 결과를 바탕으로 실제 건물에 BIPV 시스템을 적용하였으며, 그 결과를 비교한 결과, 누적 일사량에 따른 누적발전량이 동일한 경향을 나타내었다.
- (2) 누적일사량에 대한 BIPV 발전성능은 옥외

실증과 실제 건물 실증에 있어서 동일한 경향을 나타내고 있다. 모듈의 종류에 있어서 결정질(c-Si) 모듈, a-Si 박막 모듈순으로 높은 발전성능을 보이며, 설치 각도에 있어서 45°, 90°, 0°의 설치각도 순으로 높은 발전성능을 나타내고 있다.

- (3) 누적 일사량에 대한 취득된 발전량의 분표에 있어서는 결정질(c-Si) 모듈, a-Si 박막 모듈, DSSC(Dye-sensitized solar cell) 박막 모듈 모두 약 90% 이상의 피어슨 상관계수(R2)를 나타내어 옥외 실증과 건물 실증 모두 안정적인 데이터 취득이 되었다고 분석되고 있다.
- (4) 발전성능 분석결과는 결정질의 경우 설치각도 0°와 45°에서의 BIPV 누적발전량의 차이는 적었으나, 박막 BIPV의 경우, 0°와 45°에서의 누적발전량의 큰 차이가 났다. 따라서 지붕에 BIPV 시스템을 설치한다면 결정질 태양전지를 사용하는 것이 누적발전량의 각도별 영향을 줄일 수 있는 방안이라고 분석된다. 그러나 설치각도 90°에 대한 발전성능 분석 결과에서는 결정질 및 박막 BIPV 시스템 모두 다른 설치각도 대비 비슷한 비율로 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 설치각도 90°로 설치되는 커튼월(창호)의 형태는 결정질 및 박막 BIPV 모듈 형태가 가능한 것으로 사료된다. 누적 일사량에 대한 취득된 발전량의 분표에 있어서는 결정질(c-Si) 모듈, 박막(a-Si) 모듈, DSSC 박막 모듈 모두 약 90% 이상의 피어슨 상관계수(R2)를 나타내어 옥외 실증과 건물 실증 모두 안정적인 데이터 취득을 했다.

## 후 기

본 연구는 2014년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받은 연구 과제(과제번호 : 20143010011910)이며, 또한 국토교통과학기술진흥원에서 전담하는 철도기술연구사업(과제번호:15RTRP-B070765-03-000000)에 의하여 지원되었음.

## Reference

1. Yoon. J. I, Ye. B. H, Heo. J. H, Kim. H. J and Lee. H. S, Performance analysis of 20 kW OTEC power cycle using various working fluids, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 37, No. 8, pp. 836-842, 2013.
2. Yoon. J. I, Son. C. H, Baek. S. M, Kim. H. J, Lee. H. S, Efficiency comparison of subcritical OTEC power cycle using various working fluids, Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.50, No.7, pp. 985-996, 2014
3. Yoon. J. I, Son. C. H, Ye. B. H, Heo. J. H, Kim. H. J and Lee. H. S, Performance Characteristics of a Mixed Refrigerant OTEC Power Cycle Using Hot Waste Water, Journal of the Korea Society for Power system Engineering, Vol. 17, No. 8, pp. 103-108, 2013.
4. T. C. Hunga, S. K. Wanga, C. H. Kuob, B. S. Peic, K. F. Tsaid, A study of organic working fluids on system efficiency of an ORC using low-grade energy sources, Journal of the Korea Society for Power system Engineering, Vol. 35, No. 3, pp. 1403-1411, 2013.
5. Athanasios I. Papadopoulos, Mirko stijepovic, Patrick Linke, On the systematic design and selection of optimal working fluids for Organic Rankine Cycles, Applied Thermal Engineering 30, pp. 760-769, 2010.
6. Aspen HYSYS. Version 8.0, Aspen Technology Inc, 2014.