

# 5kW급 투광형 박막 BIPV시스템의 실증연구

안영섭\*, 김성태\*, 이성진\*, 송종화\*\*, 황상근\*\*\*, 윤종호\*\*\*\*

\*코오롱건설(주) 기술연구소(ysan@kolon.com), \*\*건국대학교 차세대 태양전지연구소(song3705@hanafos.com),  
\*\*\*알루이엔씨(주)(skhwang@aluenc.com), \*\*\*\*국립 한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr)

## Case Study on 5kWp Transparent Thin-Film BIPV System

An, Young-Sub\* Kim, Sung-Tae\* Lee Sung-Jin\* Song Jong-Hwa\*\*  
Hwang, Sang-Kun\*\*\* Yoon Jong-Ho\*\*\*\*

\*Kolon E&C Institute of R&D Technical(ysan@kolon.com),  
\*\*Konkuk University MAT-Fraunhofer ISE Next Generation Solar Cell Research Center(song3705@hanafos.com),  
\*\*\*Aluenc Corp.(skhwang@aluenc.com)  
\*\*\*\*Dept. of Architectural Eng., Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr)

### Abstract

This study has been carried out empirical research on Transparent Thin-film BIPV modules, BIPV modules installed on the exterior of the building are applied a laminated module 1kWp, double-glazing module 3kWp and triple-glazing module 1kWp. Applied to the total capacity of BIPV modules are 5kWp. In this study, design and construction process of BIPV systems is presented. In addition, through monitoring of the BIPV system, the temperature and the power characteristics of each module were analyzed. During the measurement period, the module temperature measurement results, the maximum surface temperature of 51.5°C triple-glazing BIPV module showed the highest, followed by double-glazing BIPV module 49.1°C, 44.7°C laminated modules, respectively. Power output results, the daily average double-layer modules showed 4.10kWh/day, triple-glazing module 1.57kWh, respectively 1.81kWh laminated modules. In particular, the power efficiency of triple-glazing BIPV module was lower than the power efficiency of the laminated BIPV module. This phenomenon is considered to be affected by the module temperature. In the future, BIPV modules in this study the relationship between module temperature and power characteristics plans to identify.

Keywords : 건물일체형 태양광발전 시스템(BIPV, Building Integrated Photovoltaic System), 투광형 박막(Transparent Thin-Film), 발전특성(Power characteristics), 고단열 모듈(Triple-Glazing Module)

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경 및 목적

전 세계는 화석연료 고갈로 인한 대체에너지

수급에 모든 관심이 집중되어 있다. 대부분의 국가들은 대체에너지 확보를 위한 국가적 차원에서 전략을 수립하고 있고 이를 실현하기 위하여 활발한 연구개발과 대규모 투자를

투고일자 : 2010년 6월 1일, 심사일자 : 2010년 6월 10일, 게재확정일자 : 2010년 7월 12일  
교신저자 : 윤종호(jhyoon@hanbat.ac.kr)

아끼지 않고 있다. 국내의 경우에도 2008년 8월 15일 정부에서 ‘저탄소 녹색성장’이라는 국가비전을 선포하였으며 이를 실현하기 위하여 각층의 학계 및 연구기관 등의 전문가들이 세부 목표를 설정하고 그 목표를 달성하기 위하여 조직적으로 활동하며 관련정보의 보급 및 확대를 수행하고 있다. 특히 정부에서는 2008년도 국내 신재생에너지 보급비율이 2.43%에 불과하였으나 2030년까지 11%<sup>1)</sup>의 확대목표를 설정하고 보급 확산을 다짐하였다. 2009년도 미국발 금융위기로 신재생에너지 산업이 전반적으로 잠시 주춤하면서 산업 전반의 투자가 다소 감소하는 것으로 보였으나 신재생에너지 관련 전문가들은 2010년 이후에는 회복세를 보여 지속성장이 가능할 것이라고 전망<sup>2)</sup>하고 있다.

특히, 태양광 분야에서 건물일체형 태양광 발전(BIPV)시스템은 ‘그린홈 100만호 보급사업’의 사업대상 분야 중 하나로서 보급이 현저히 증대하고 있다. 투광형 박막 BIPV시스템은 일반 결정계 타입의 BIPV모듈과 같이 건물외피를 대체하여 건자재로 사용하기 때문에 소요대지가 불필요 하고, 전기를 생산하여 조명기구 등과 같은 전원장치에 전력을 공급하여 건물의 유지비용을 절약한다. 결정계 모듈과 다른점은 10%의 균일한 가시광선 투과율로 차양장치 없이 직달일사를 차단한다.

또한 외관이 미려하여 건축물과의 조화성이 우수하다. 이러한 장점들로 공공기관과 건축가들의 수요가 급증하고 있다. 하지만 BIPV관련 시공사례가 많지 않고 관련 전문가의 인력이 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 5kWp급 규모로 박막 투광형 모듈을 이용한 BIPV시스템을 설계 및 시공 자료를 바탕으로 한 기초자료와 적용된 모듈별 발전 특성을 분석하여 투광형 박막 BIPV시스템

특성을 파악 할 수 있는 분석데이터를 제시 하는데 주목적이 있다.

### 1.2 연구방법

본 연구는 그림 1과 같은 연구방법으로 진행되었다. 실제건물을 대상으로 5kWp급 규모의 BIPV시스템을 적용하여 발전성능 및 적용성을 분석하였다. 실제 건물에 적용된 BIPV 모듈은 투광형 박막 10mm 접합 모듈, 투광형 박막 27mm 복층모듈, 투광형 박막 56mm 삼중 고단열 모듈로서 총 3type이 적용되었다.

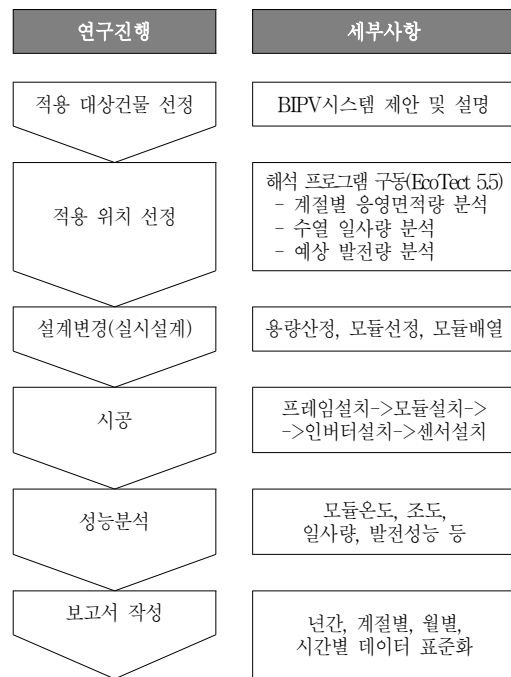


그림 1. 연구진행 방법

외부 환경변화에 의한 모듈의 온도상태를 파악하기 위하여 온도센서(T-type Thermo Couple)를 설치하여 각 모듈의 온도분포를 시간대별로 측정하였다. 또한 각 모듈이 가지고 있는 투과특성 및 적용된 모듈별 투과정도를 비교하기 위하여 조도를 측정하였다. 특히, 국내 박막 모듈을 이용한 BIPV시스템

1) Energy Balance of OECD Countries(2008), IEA  
2) 삼성경제연구소, “PV World Forum”, 2010

의 시공사례<sup>3)</sup>가 많지 않아 건축가들이 적용성에 대한 어려움을 많이 호소하고 있다. 이에 본 연구에서는 설계 및 시공과정에서 고려했던 세부요소들과 모듈의 발전효율에 영향을 미치는 요소 등을 체크하고 발생 가능한 문제의 해결방안을 모색하였다.

## 2. BIPV모듈의 개요

본 연구에서 적용된 투광형 박막 BIPV모듈은 표 1에 나타낸 것과 같이 91.8V의 고전압과 0.972A 저전류의 전기적 특성을 가지고 있다. 단위 모듈의 최대출력은 44W이며 모듈의 크기는 가로 980mm, 세로 950mm로 구성되어 있다. 특히, 그림 2와 같이 BIPV모듈은 10%의 태양광 투과율을 지니고 있다. 이것은 단위모듈의 전체면적 대비 태양빛이 투과되는 면적으로서 그림과 같이 BIPV모듈 후면에 있는 물체(화분)를 식별할 수 있다.

표 1. BIPV모듈의 전기적 특성

항 목	규격
최대출력	44W
최대전압	59.6V
최대전류	0.74A
개방전압	91.8V
단락전류	0.972A
평균효율	6.3%
크 기	980*950mm

또한 균일한 가시광선 유입으로 채실자의 현휘(눈분심)현상을 예방할 수 있으며 차양장치가 불필요하기 때문에 경제적이다. 하지만 복층화 및 삼중화를 하였을 경우에는 투과율이 다소 감소한다. 본 연구에서 사용된

3) 박경은 외 "12kW급 건물일체형 태양광발전시스템 설계분석", 박세준 외 "건물통합형 30kW태양광발전시스템의 설계 및 효율적 운전관리에 관한 연구", 서유찬 외 "고정식 집속형 PV모듈 복합패널의 BIPV적용성 검토", 이강록 외 "주택지붕용 2kWp BIPV시스템의 성능 실험 및 전기부하 감당에 관한 연구" 등

BIPV모듈은 그림 3과 같이 총 3type으로서 가장 기본이 되는 모듈은 10mm 두께의 접합모듈이다. 적층형태는 5mm두께의 전극이 형성된 유리(TCO glass)에 비정질 실리콘 박막 태양전지가 증착이 되어있고 후면에 접착필름(EVA Film)과 5mm투명유리가 접합되어 있다.



그림 2. BIPV모듈 전·후면

복층 BIPV모듈은 국내 건축창호 기준<sup>4)</sup>에 적합하도록 설계된 것으로 총 27mm의 두께를 갖으며 접합 BIPV모듈에 그 후면으로 12mm의 공기층과 5mm의 투명유리를 덧댄 것이다.

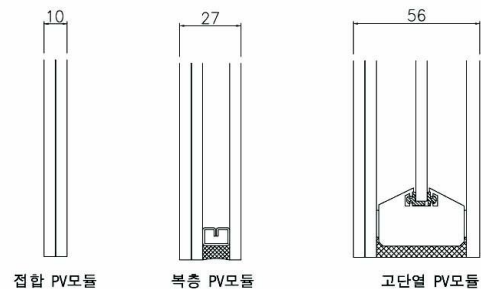


그림 3. BIPV모듈 단면 상세도

표 2. BIPV모듈의 일반적 특성

종류	두께 (mm)	투과율 (%)	열관류율 (W/m <sup>2</sup> K)
접합	10	10.1	6.8
복층	27	8.0	2.78
삼중고단열	56	6.0	1.26

4) 건축물 에너지절약 설계기준(전문) : 일반복층창 2.8W/m<sup>2</sup>K (공기층 : 12mm, 창틀종류 : 플라스틱 또는 목재)

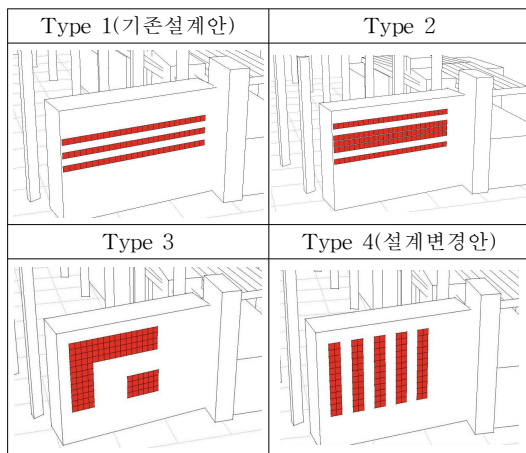
삼중 고단열 BIPV모듈은 접합 BIPV모듈에서 17.5mm 공기층(1), 6mm 일반유리, 17.5mm 공기층(2), 6mm 로이(Low-e)유리를 덧댄 것이다. 특히 삼중 고단열 BIPV모듈은 열관류율이 1.26W/m<sup>2</sup>K의 초단열성을 가지는 BIPV 모듈이다. 표 2는 모듈의 투과율과 열관류율과 같은 일반적인 특성을 나타낸 것이다.

### 3. BIPV시스템의 설계 및 시공

#### 3.1 BIPV시스템의 설계

투광형 박막 BIPV시스템의 실증평가를 위한 건축물은 용인에 소재한 용인시민체육센터를 대상으로 실시하였다.

표 3. 적용 설계안



본 건물의 외피는 설계전 단계부터 BIPV 시스템이 반영되어 있지 않았으며 최초 설계는 90°의 설치각도에 방위는 남서향 30°로 일반 투명 복층창으로 설계가 되어 있었다. 이에 일반복층창을 투광형 박막 BIPV모듈로 설계변경을 하기 위해서 시공에 관련된 발주처 및 시공사 그리고 본 연구의 책임자가 적용 협의를 진행하였고 협의를 통해 4개의 대안을 도출하였다. 도출된 대안을 대상으로 모듈별 총 5kWp 규모의 용량으로

계획하여 설계에 반영시켰다. 최종 실시설계를 완료하기 전 4Type 설계안이 임의로 도출되었고, 도출된 설계안을 대상으로 BIPV 시스템의 최적위치를 해석프로그램(EcoTect 5.5)<sup>5)</sup>을 통하여 선정하였다. 평가는 계절별, 월별, 일별, 시간별 음영영향을 평가 및 수열 일사량 분석을 수행하였다. 또한 분석된 데이터를 바탕으로 각 Type별 예상 발전성능을 분석하였다.

분석결과 Type 4가 가장 효율적인 설계안으로 선정되었다. 선정된 설계안을 바탕으로 설치용량 5kWp 범위 내에서 10mm 접합 모듈 1kWp, 27mm 복층 모듈 3kWp, 56mm 삼중 고단열 모듈 1kWp를 나누어 적용하였다. 이는 각 PV모듈의 종류별 건축 환경성능과 전기적인 성능을 비교하기 위한 것이다. 그림 4는 최종적으로 Type 4가 적용된 건축물의 입면도를 도식화 한 것이다.

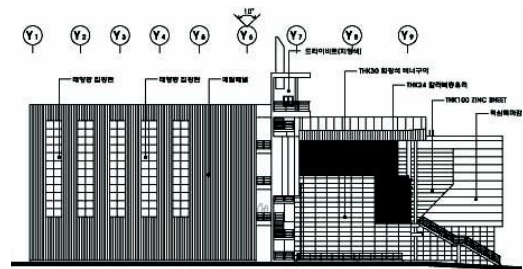


그림 4. 최종 설계안 입면도(Type 4)

#### 3.2 BIPV시스템의 시공

BIPV모듈 시공은 kWp단위로 프레임에 모듈을 선 고정된 후 모듈에 부착된 단자함(Junction Box)을 배선하는 방식으로 수행하였다. 그림 5는 본 연구에서 사용된 BIPV전용 프레임으로서 프레임 내부에 전선배선 및 시공 후 유지보수가 용이하도록 개폐가 가능한 수평재 커버를 두었다.

5) 해석프로그램(EcoTect 5.5)은 건축물의 빛, 열, 음 등의 분석으로 보편적으로 활용되고 있는 프로그램이다.

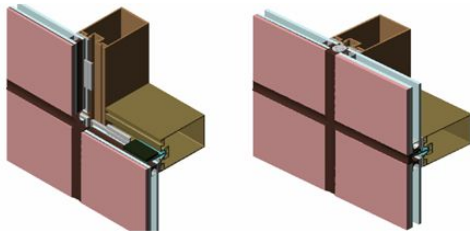


그림 5. BIPV전용 프레임 상세도

특히 프레임으로 인한 음영을 최소화하기 위해서 프레임이 외부로 도출되지 않도록 설계하였다.



그림 6. 모듈시공 상세도

또한 BIPV모듈이 고층건물에 적용되는 것을 감안하여 구조적 안전성과 수밀, 기밀성 등의 성능을 갖도록 설계하였다. 프레임 내부를 통해 배선이 완료된 모듈은 휴대용 전류·전압측정기를 이용하여 배선상태를 점검(DC)하였고 점검상태가 양호한 모

5) 내풍압성능 350kgf/m<sup>2</sup> (KSF 2296-2004), 기밀성 1등급 (KSF 2292-2003), 수밀성 50kgf/m<sup>2</sup> (KSF 2293-2003)

듈은 인버터로 인입하고 인버터(AC)에서 건물내 분전반에 접속함으로써 배선작업이 종료된다. 모듈 설치시 발생하는 2cm크기의 모듈간 틈새에는 방수용 실링제를 충전하여 모듈의 설치를 완료하였다. 그림 6은 모듈시공 전과정을 나타낸 것이다.

#### 4. BIPV시스템의 성능분석 결과

##### 4.1 모니터링 시스템 개요

본 연구에서는 모듈의 실시간 발전성능 및 주변 기상환경을 모니터링 할 수 있는 시스템을 그림 7과 같이 구축하였다. 구축방법은 적용된 모듈의 종류별 전류, 전압, 전력, 모듈 온도 등을 각각 계측하고 저장될 수 있도록 하였다. 이것은 투광형 박막 BIPV모듈의 장기간 발전성능 분석을 통하여 전기적인 특성을 파악하고 시간이 지남에 따라 발전효율의 저감 정도를 파악할 수 있다. 또한 모듈의 표면온도의 변화를 관찰하여 온도에 의한 발전효율 정도를 분석할 수 있다. 특히 모니터링 시스템은 계측되고 있는 BIPV시스템의 고장 등 관련정보의 상태를 파악할 수 있어 신속한 조치를 취할 수 있으며 정기적인 유지보수 및 점검이 가능하다.



그림 7. 모니터링 화면

##### 4.2 발전성능 분석 결과

그림 8은 시공된 모듈을 대상으로 4월 7일부터 9일까지 시간에 따른 일사량과 발전량

을 도식한 것이다. 수집된 데이터의 분석기간동안 일사량을 분석한 결과 수직 설치면의 최대 일사량은 오후 4시에  $701\text{W}/\text{m}^2$ 를 평균 일사량은 오후 3시에  $443\text{W}/\text{m}^2$ 를 보였는데 이와 같이 오후에 최대값과 평균값이 분포된 것은 모듈이 적용된 외피가 남서향을 향하고 있기 때문인 것으로 분석되었다.

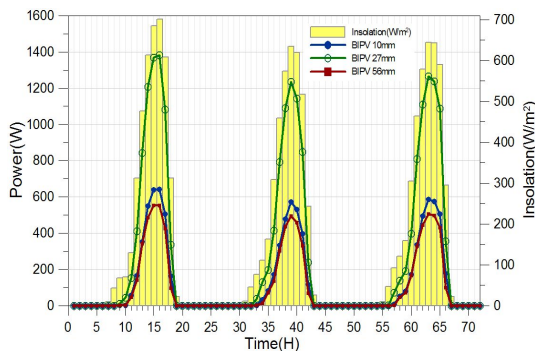


그림 8. 모듈종류별 시간에 따른 발전량

발전량 분석결과  $1\text{kWp}$ 가 적용된  $10\text{mm}$ 두께의 접합모듈은  $1.81\text{kWh}/\text{day}$ 의 발전량을 나타냈고,  $3\text{kWp}$ 가 설치된  $27\text{mm}$  복층모듈은  $4.10\text{kWh}/\text{day}$ ,  $1\text{kWp}$ 가 시공된  $56\text{mm}$  고단열모듈은  $1.57\text{kWh}/\text{day}$ 의 발전성능 보였다.

고단열 모듈이 동일용량으로 적용된 접합모듈 보다 발전성능이 낮게 나타난 것은 그림 9에 나타난 것과 같이 일조시간대 모듈의 일일평균 표면온도가 고단열 모듈이  $30.1^\circ\text{C}$ 로 접합모듈의 표면온도  $27.8^\circ\text{C}$  보다 약  $2.3^\circ\text{C}$ 가 높게 나타나 모듈의 온도상승에 의해 발전효율이 저하된 것으로 판단된다.

적용된 모듈의 표면온도 분포는 일조시간대인 주간과 비 일조시간대인 야간에 큰 온도차를 보였으며 주간의 모듈별 최대온도는 접합모듈이  $44.7^\circ\text{C}$ , 복층모듈이  $49.1^\circ\text{C}$ , 고단열모듈이  $51.3^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 야간에는 측정된 모듈별 최소온도는 접합모듈이  $2.5^\circ\text{C}$ , 복층모듈이  $0.8^\circ\text{C}$ , 고단열모듈이  $0.1^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 이와 같은 결과는 접합모듈이 다른 모

듈 보다 외기에 의해 쉽게 반응하는 것으로 분석되었다.

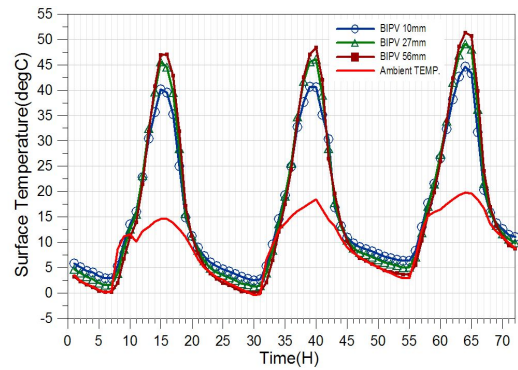


그림 9. 모듈종류별 시간에 따른 모듈표면온도

## 5. 결 론

본 연구는  $5\text{kWp}$ 급 소규모의 투광형 박막 BIPV모듈을 대상으로 실증평가를 수행하였으며 모니터링을 통한 모듈의 발전성능과 표면온도 분석결과는 다음과 같다.

- (1) BIPV시스템은 건축물의 기본설계 단계부터 검토가 수행 되어야 한다. 이것은 모듈의 최대 효율을 나타내기 위한 기본조건이며 최적 위치를 선정하는 중요한 단계임을 파악하였다. 또한 설계안을 대상으로 모듈의 음영영향 평가, 예상 일조량 및 발전량을 검토하여 최적 설계안을 선정할 수 있는 것으로 나타났다. 시공과정에서는 모듈의 전류·전압을 측정함으로써 모듈의 상태를 사전에 파악하여 시공 후 발생할 수 있는 하자보수를 줄일 수 있는 것으로 파악되었다.
- (2) 본 연구에서 측정된 기간동안 모듈별 발전량 분석결과는 일일 평균 접합모듈( $1\text{kWp}$ )  $1.81\text{kWh}/\text{day}$ , 복층모듈( $3\text{kWp}$ )  $4.10\text{kWh}/\text{day}$ , 고단열 모듈( $1\text{kWp}$ )은  $1.57\text{kWh}/\text{day}$ 의 발전성능 보였다.
- (3) 동일용량으로 설치된 접합모듈과 고단열

모듈의 발전성능의 차이를 보이는 것은 모듈의 표면온도에 의한 영향인 것으로 분석되었고, 일조시간대의 고단열 모듈의 온도가 접합모듈의 온도보다 약 2.3℃가 높았다. 이것은 고단열 모듈이 접합모듈보다 단열성능이 우수하기 때문인 것으로 분석되었다.

향후 본 연구에서는 장기간의 수집된 데이터를 바탕으로 투광형 박막 BIPV모듈의 표면온도와 발전성능의 상관관계를 규명할 계획이다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부의 2007 신재생에너지기술개발 연구비 지원으로 수행되었음  
(과제번호 : 2007-N-PV12-P-02)

## 참 고 문 헌

1. 송중화 외 “건물일체형 투광성 PV모듈의 설치각도별 발전특성에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 28, No. 2, 2008,
2. 윤중호 외 “건물통합형 태양광발전(BIPV) 시스템의 설계요소 및 접근방법” 태양광발전기술세미나, 2001
3. 박경은 외 “12kW급 건물일체형 태양광발전시스템 사례분석”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 29, No. 1, 2009
4. 박세준 외 “건물통합형 30kW태양광발전 시스템의 설계 및 효율적 운전관리에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 28, No. 3, 2009
5. 서유진 외 “고정식 집속형 PV모듈 복합패널의 BIPV적용성 검토“, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 25, No. 4, 2005
6. 이강록 외 “주택지붕용 2kWp BIPV시스

템의 성능실험 및 전기 부하 감당에 관한 연구“, Vol. 26, No. 1, 2006

7. 최원기 “녹색건설 구현을 위한 투광형 비정질(a-Si) BIPV 기술개발”, 저탄소 녹색성장으로 리드하는 건축기술
8. “AMORPHOUS, MONO-AND POLY-CRYSTALLINE SILICON PV MODULES : A COMPARATIVE STUDY OF THEIR RELATIVE EFFICIENCIES UNDER VARIOUS OUTDOOR CONDITIONS” 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Convention May 11-18, 2003 Osaka, Japan.
9. Jong-Hwa Song, “Power output analysis of transparent thin-film module in building integrated photovoltaic system(BIPV), Energy and Buildings 40 (2008) 2067-2075.