

# BIPV를 활용한 건축물 디자인 계획에 관한 연구

A Study on the Architectural Design Plans Using BIPV

전 근 식 | Juen, Guen-Sik

정회원, 공주대학교 건축학과, 석사과정

류 수 훈 | Ryu, Soo-Hoon

정회원, 공주대학교 건축학부, 부교수(교신저자)

---

## Abstracts

In this study, features and design effects of PV(Photovoltaic) modules were classified to help the installation of BIPV(Building Integrated Photovoltaic)

In addition, through domestic and international trends and cases survey, installation method was organized and applicable range of efficiency and design from First-generation solar cells to the third-generation solar cell was classified.

Frist, Crystalline Solar cell module of first-generation is appropriate for the wall type, roof, louver, shading and etc. It has superiority of technology and price stability and can be achieved by a variety of aesthetic effects.

Second, Dye-Sensitized Solar Cell of Thin Film solar cell can express a variety of colors, adjust light transmittance and maximize the aesthetic splendor. It is appropriate for the wall type, window type, curtain wall type and etc.

Also, see-through type solar cell can provide comforts cause of free flow of light. And it is advantageous from economic due to adjust the indoor temperature. It is appropriate for the atrium type, curtain wall type, window type and etc.

---

## Keywords

PV, BIPV type, Architectural Design

## 키워드

태양광, BIPV 유형, 건축물 디자인

---

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

에너지를 이용하는 방식은 70억 세계 인류의 생존에 매우 중요한 과제이다. 에너지의 이용은 삶의 질 향상에 큰 도움이 되었지만 전기나 지속가능한 청정에너지를 쓸 수 없는 15억 명 이상의 사람이 낙후된 삶을 살고 있다.

인류는 에너지의 80% 정도를 화석연료로 사용하고 있으며 이는 자연이 화석연료를 축적하는 것보다 4배나 빠른 속도로 화석연료를 사용하고 있다. 현재와 같은 에너지 소비속도가 계속 된다면 언젠가 에너지는 바닥날 것이며, 화석연료로 인해 발생하는 이산화탄소는 지구의 대기환경을 악화시킬 것이다.<sup>1)</sup>

태양광은 지속가능한 친환경 에너지로 가장 주목받고 있는 신재생에너지 중 하나이며 전 세계적으로 가장 빠른 성장세를 보이고 있다. 이에 우리나라도 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법<sup>2)</sup>의 법령을 마련하여 공공기관에서 발주한 3,000m<sup>2</sup> 이상의 건물에 대해 총 건축비의 일부를 신재생에너지에 의무적으로 포함하여야 하는 신재생 에너지 의무 사용을 권장하고 있는 가운데 신재생에너지 보급에 박차를 가하고 있다. 이에 따라 태양광 기술이 발전 되면서 태양광의 보급이 늘어가고 있지만 일률적이고 의무적인 설치로 고가의 비용을 들여 태양광 발전시설을 설치할 하면서도 대부분 건물 지붕에 거치하여 에너지 효율성의 이득 이외의 건축 디자인의 심미적인 부분에 대한 효과는 부정적인 실정이다.

이에 본 연구는 국내에서 시행되고 있는 신재생 에너지 의무화 촉진법에 발맞춰 건물 일체형 태양광의 설치에 도움이 되고자 건축자재 및 디자인요소로서의 다양한 국내외 태양광외피 디자인을 조사한다. 그리고 건물 일체형 태양광의 건축물 설치에 있어 정량적인 측면과 심미적인 측면을 조율하며 건축물에 BIPV 디자인을 효과적으로 활용할 수 있도록 건축물에 적용할 수 있는 건물 일체형 태양광의 다양한 디자인 방법을 제안하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법과 범위

본 연구는 국내에서 정하고 있는 8개 분야의 신재생에너지인 태양열, 태양광발전, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지 중에서 태양열 에너지를 대상으로 지구의 온난화와 건축물 CO<sub>2</sub> 배출량을 분석하

1) KBS2, 세상의 모든 다큐, "1장-인간과 에너지", 2012년 4월 25일 방영분.

2) 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법, 제12조 제2항(신·재생에너지설비의 의무사용),법제처 06-0334, 2006.12.29., 산업자원부.

고, 각국의 온실가스 저감목표를 정리 하였다. 두 번째로 태양광 발전의 기본 원리와 시스템 구성요소를 파악하고 태양전지 모듈을 세대별로 연구하여 적용 가능한 디자인 방법을 분류하고 건축물에 활용할 수 있는 다양한 방법의 디자인 활용 방법을 제안하였다. 세 번째로 국내·외 태양광 동향을 파악하여 앞으로의 태양광 산업의 방향을 예측해 보고, 국내·외 BIPV 사례들을 유형별로 비교·분석한다. 국외 사례건축물들은 관련 문헌에서 대표적인 사례로 소개된 건축물을 제시하였으며, 국내사례건축물들은 신에너지 및 재생에너지 관련법에 적용되어 계획된 건축물을 위주로 선정하였다. 마지막으로 위에 분석한 자료를 바탕으로 국내 건축물에 적용하는 BIPV 디자인에 일조하여 경제적 측면만이 아닌 심미적으로도 활용할 수 있는 다양한 디자인 방법을 제안하고자한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 지구온난화와 건축물CO<sub>2</sub> 배출량

지구 온난화란 지구 표면의 평균온도가 상승하는 현상을 말하며, 온난화에 의한 기온상승으로 해수면이 상승하는 등 여러 문제가 발생해 환경을 파괴하고 있다. 지구 온난화를 유발하는 온실가스는 6가지 기체로 나눌 수 있으며 이 가운데 절반 이상은 이산화탄소를 비롯하여 프로온가스가 있다. 실제로 최근 우리나라는 온난화로 인하여 아열대 기후로 변해 가고 있는 실정이다.

교토 의정서(기후변화협약에 따른 온실가스 감축목표에 관한 의정서)가 발효된 이후 2020년까지 중기 계획으로 우리나라를 포함한 선진국의 온실가스 감축 의무 부과 및 감축목표가 다음 표<sup>3)</sup>와 같이 설정되었다.

표 1. 각국 온실가스 저감목표

국가	중기목표(~'20)
일본	'05년 대비 30% 감축('09.9 UN정상회의)
영국	'90년 대비 36% 감축('09.7 후변화에너지부)
미국	'05년 대비 17%감축('09.6Waxman-Markey법인)
캐나다	'06년 대비 20% 감축
호주	'00년 대비 5 ~15% 감축
EU	'90년 대비 20% 감축
한국	'05년 대비 30% 감축('09.11 국무회의)

유럽, 일본, 미국 등의 선진국과 같이 우리나라도 2005년 대비 30%의 온실가스 감축 목표를 설정하며, 강력한 에너지 저감 목표를 수립 및 시행 하고 있는 가운데 건축분야 CO<sub>2</sub> 배출량은 전체 30~40%를 차지하고 있고 산업이 선진화될수록 증가 추세를 보이고 있다.

아래의 [그림 1]은 우리나라를 포함한 선진국의 CO<sub>2</sub>발

3) 녹색성장위원회(2010), <http://www.greengrowth.go.kr>

생현황이다. 그림에서 알 수 있듯이 선진국일수록 건물의 에너지 소비량이 많다는 것을 확인 할 수 있다.

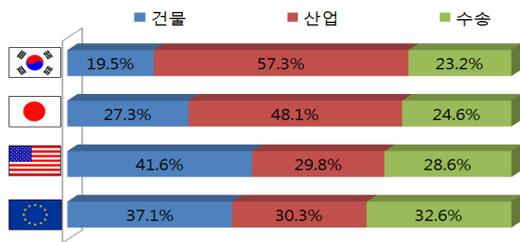


그림 1. 건물의 CO<sub>2</sub> 발생현황<sup>4)</sup>

우리나라도 선진국의 대열에 들어서고 있는 가운데 건물의 에너지 소비량이 급격히 늘고 있다. 국내 기후가 점차 아열대 기후로 바뀌면서 더 많은 에너지가 필요로 하고, 사계절 중 무더운 여름이 겨울보다 길어지고 대규모 정전사태(블랙아웃)가 발효되는 날이 많아져 건물의 에너지 대책이 필요하며 에너지 절약이 시급한 실정이다.<sup>5)</sup>

## 2.2 태양전지 시스템 개요

### (1) 태양전지의 원리

일반적으로 반도체에 빛이 입사하면 흡수되어 빛과 반도체를 구성하고 있는 물질과 상호 작용이 일어난다. 그리고 음전하(-)와 양전하(+)를 띤 전자와 정공(전자가 빠져나간 구멍)이 발생하여 전류가 흐르거나 전기 그 자체가 발생하기도 한다. 이것을 반도체의 광전효과라 한다. 즉, 빛을 받으면 pn접합을 가진 반도체 속에 빛과 물질의 상호 작용이 일어나 (+)전하와 (-)전하가 발생하고, 그 전하를 밖으로 방출함으로써 전기가 흐르는 에너지로부터 모터를 회전시키거나 전등을 켤 수 있다. 따라서 태양 전지는 빛을 전기로 바꾸는 변환기라고 할 수 있다.<sup>6)</sup>

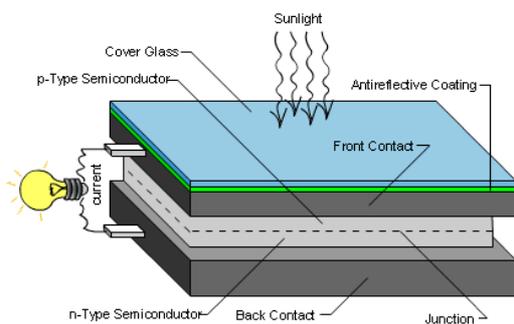


그림 2. 태양전지의 원리<sup>6)</sup>

4) 김진호(2012), 한국과 삼성의 제로에너지 빌딩[Net Zero Energy Building], 제로에너지 건축기술 국제세미나(채구성)

5) 윤종호(2005), BIPV 시스템 활용 및 설계 사례, (사)한국그린빌딩협회, 그린빌딩 설계기술강습회

6) <http://blog.naver.com/zoomgo75/60008882291>(2004.12.31)

### (2) 태양전지의 기술 분류

본격적인 태양전지의 상업화는 1940~50년대 사이에서 시작되었는데 1941년에 적절한 효율을 내는 실리콘 태양전지가 연구되었고, 1954년에 이르러 고순도 결정질 실리콘을 생산할 수 있는 Czochraski 방법이 개발되어 Bell 연구소로부터 4%의 효율을 내는 첫 번째 결정질 실리콘 태양전지가 만들어졌다.<sup>7)</sup>

현재까지 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 것은 결정질 실리콘 태양전지이다. 실리콘 태양전지 기술 분야에서 신뢰성이 높은 태양광 방식으로 전체 태양전지의 90%이상 사용되고 있다. 오늘날 태양전지 분야의 눈부신 성장으로 실리콘 기술과 더불어 화합물 반도체, 신소재, 유기물 태양전지 기술의 발전으로 다양한 종류의 효율성과 심미성의 각각 장점을 가지고 있는 태양전지들이 점차 증가 되고 있는 실정이다. 과거에는 결정질 실리콘 태양전지의 효율이 가장 높았지만 기술의 발달로 효율성 측면에서 차이는 비슷한 실정이다.

[그림 3]은 광전변환소재에 따른 태양전지 기술 계통도이다. 가장 크게 실리콘과 비실리콘으로 나눌 수 있으며, 사용되는 반도체 소재의 형상에 따라 결정형(입체형)과 박막형(평면형)으로 구별된다. 결정형으로는 단결정(mono-crystalline) 실리콘 태양전지, 다결정(poly-crystalline) 화합물 반도체 태양전지가 있다. 화합물 반도체는 구리-인듐-갈륨-셀레늄(CuInGaSe<sub>2</sub> 혹은 CIGS)과 카드뮴 텔루라이드(CdTe)가 널리 알려져 있다. 이와 더불어 식물의 광합성을 모방한 유기물 및 무기물 소재로서 전도성 염료(dye)와 폴리머 등의 다양한 소재가 있으며, 차세대 기술로서 연구 개발 되고 있다.<sup>8)</sup>

### (3) 태양전지의 세대별 분류

1950년대 처음으로 태양전지가 상용화된 이후 3세대로 태양전지를 분류 할 수 있다.

1세대 태양전지는 빛에너지를 전지에너지로 변환 가능한 물질을 이용한 단일 접합(single junction)구조이다.

현재 가장 많이 사용되고 있는 태양전지로 단결정 및 다결정 Si 태양전지인 단결정 태양전지 셀의 경우 효율이 약 25% 정도로 단일접합 태양전지의 이론 효율치인 30%대에 거의 근접할 정도로 매우 높은 효율을 보이고 있다. 그러나 태양전지 모듈의 경우 효율이 약 10~15%이고 에너지 생산단가는 \$ 3.5/Wp(2011년 기준 \$ 2.0/Wp)로 현재 전기 생산단가인 \$ 0.4/Wp에 비해 매우 높은 가격이다.

7) 김현일(2010), BIPV 시스템의 발전성능 분석 및 신뢰성 평가에 관한 연구, 인하대학교 박사 논문, pp19-20.

8) 김제하(2009), 화합물반도체 박막태양광발전 기술과 산업동향, IT SOC magazine, 한국반도체산업협회, p31.

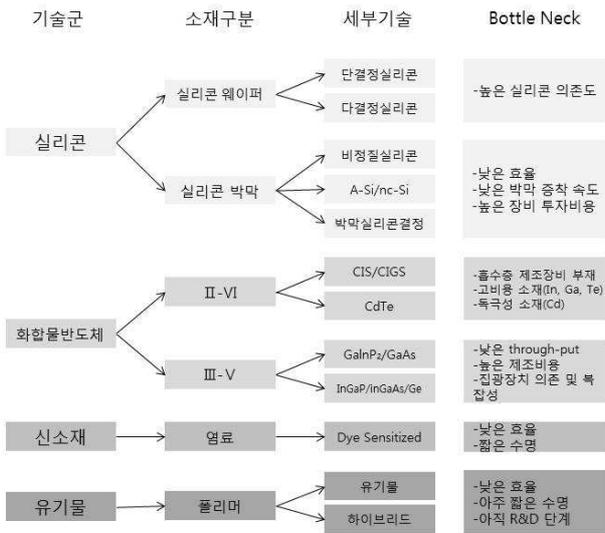


그림 3. 광흡수 소재와 형상에 따른 태양전지 기술 분류<sup>9)</sup>

2세대 태양전지는 빛 흡수를 극대화하기 위해 빛흡수 대역을 넓혀 광 흡수율을 높이는 구조를 가진다. 1세대 태양전지의 이론적 최대 효율이 30%를 넘지 못하는 이유는 pn 접합을 이루는 반도체 박막의 밴드갭 에너지보다 매우 큰 에너지를 가지는 빛을 흡수하면 여과된 전자들이 열로 소멸되고 밴드갭 에너지보다 낮은 에너지를 가지는 빛은 투과됨으로써 좁은 흡수 대역으로 인한 손실이 매우 크기 때문이다. 종류에는 무기 화합물박막 태양전지(특히 Cu(I)nxGa(1-x)Se2, CIGS), 염료감응형 태양전지(Dye sensitized solar cells, DSSC), 유기박막 태양전지(Organic photovoltaic cell, OPV)가 있다. 이들 태양전지는 흡광계수가 높아 박막화가 가능하고, 유연기판에 제조가능 할 뿐만 아니라 연속적인 생산이 가능하기 때문에 제조단가가 1세대 태양전지에 비해 매우 낮은 강점을 지니고 있으나, 모듈효율이 낮다는 단점이 있다.<sup>10)</sup>

1,2세대 태양전지의 광전 변환 방법은 흡수되는 광자의 에너지에는 무관하고 오직 흡수된 광자의 수에 비례하여 전자-양공쌍을 생성함으로써 높은 에너지를 가지는 광자의 남은 에너지는 열로 손실되므로 매우 비효율적이다. 그러나, 3세대 태양전지는 높은 에너지 광자를 흡수하여 여기 상태에 생성된 전자와 양공이 낮은 에너지 상태로 천이하면서 1개의 전자-양공쌍을 생성하고, 천이 때 생성되는 빛에너지를 재흡수하여 2개 이상의 전자-양공쌍을 생성하는 메커니즘을 이용하고 있으며 이러한 태

9) 김재하(2010), 화합물 반도체 CIGS 박막전지, 태양전지 세라믹기 기술 (특집), 한국전자통신연구원(재구성), p13.

10) 정현석(2011), 멀티스케일 에너지기술 기반 차세대 태양전지, 서울대학교\_공대지 84호, p27.

양전지를 MEG 태양전지라고 한다. 3세대 태양전지는 획기적으로 효율이 높고 발전단가가 저가형인 친환경인 제품이 될 것이다.<sup>11)</sup>

표 2. 세대별 태양전지 분류

세대	1세대	2세대	3세대
모듈	결정형 태양전지	박막형 태양전지	
		CIGS, 염료감응형	유기물, 나노전지
특징	태양전지시장 80% 점유	연구기술 발전으로 높은 효율	저가형 태양전지 친환경 제품

단결정 실리콘 태양전지는 다결정 실리콘 태양전지에 비해 발전 효율이 높은 대신 가격이 다소 비싸며, 흐리거나 비오는 날에도 발전 효율이 높아 장소를 가리지 않고 일정 능력을 발휘할 수 있는 것이 특징이다. 다결정 실리콘 태양전지는 가공이 쉽고, 대량 생산이 용이해 저렴한 가격에 공급이 가능하다. 현재 가장 많이 보급되어 있는 타입으로 발전 효율은 단결정에 비해 약간 떨어진다. 비정질실리콘 태양전지는 박막형 태양전지의 초기형으로 비정질 실리콘을 유리, 금속등의 기판위에 얇게 증착시켜서 만든다. 그러나 그 효율이 높지 않아 현재까지는 계산기, 시계나 완구 등에 많이 사용되고 있다. 단결정과 비정질이 병용된 태양전지는 단결정의 효율성과 비정질의 높은 온도 특성 성능을 혼합한 태양 전지로, 발전 효율이 높아 가정용은 물론산업용에 많이 쓰이게 된다. 하지만 효율이 좋아서 값은 제일 비싸다. 이외에도 차세대 태양전지인 화합물 태양전지나 유기 태양전지 등이 있다.<sup>12)</sup>

표 3. 태양전지의 종류별 사진<sup>12)</sup>

구분	실리콘형	화합물형	염료감응형	유기형
투명성	불가능	가능	가능	가능
Flexible	불가능	가능	가능	가능
색상	흑, 청	흑, 청, 황동	다양함	다양함
모듈효율(Wh)	~12%	~12%	~7%	~3%
제품가격	4\$ /W	3.8\$ /W	1\$ /W	1\$ /W

11) ETRI(2007), 전자통신동향분석, 22(5)

12) 이권창호(2010), <https://www.eagon.com>

### 3. PV 모듈에 따른 디자인 적용방법

#### 3.1 결정형 태양전지

현재 가장 큰 시장점유율을 기록하고 있는 PV의 중요 재료는 결정형 규소이다. 이것은 높은 품질과 내구성을 지니고 있으나, 가격이 높다. 첨단으로 발달된 자동 제작 방법과 대량 생산 공정라인의 설치를 통해 생산단가는 중기적으로 일정하게 하락할 전망이다. 단결정, 다결정형 태양 전지는 약 0.4mm 두께의 얇은 판이며, 크기는 10cm x 10cm에서 15cm x 15cm이다. 둥근 규소 덩어리로부터 만들어져 모양이 원형이나 사각형 또는 사각형의 모서리를 자른 형태로 제작된다.<sup>13)</sup> 결정형 모듈인 a-Si (아멀퍼스 규소)가 기술적으로는 박막형 소재보다 앞서 있으나 효율이 낮다는 것과 특유의 장기판 모양으로 디자인적으로 활용범위가 좁다는 것이다.

표 4. 결정형 모듈 디자인 활용 방법

구분	그림	특징
Roof Type		국내에서 가장 큰 시장점유율을 가진 보편적인 지붕 설치 방식 ( <a href="http://cnews.co.kr">http://cnews.co.kr</a> )
Canopy Type		결정형의 불투광을 이용한 차양형 설치 방식. ( <a href="http://exposolar.org">http://exposolar.org</a> )
Louver Type		통풍과 환기에 효율적인 형태로 디자인적 측면으로 우수 (중앙일보, 2011.09.14)
Facade Type		낮 동안 에너지를 비축해 밤에는 발광다이오드를 이용한 디자인 활용 방법 ( <a href="http://e-architect.co.uk">http://e-architect.co.uk</a> )

#### 3.2 화합물 태양전지(박막형)

현재 국내 태양전지 산업에서 생산력을 기준으로 살펴본다면 크리스탈 실리콘 태양전지의 경우는 2008년도를 기점으로 완만한 성장이 이루어지고 있지만, 박막형 태양전지의 경우는 2010년도 이후에 급격한 성장을 예상하고 있다.

박막형 태양전지의 효율과 디자인적 다양한 활용 범위가 넓어 최근 가장 각광 받고 있다. 크게 화합물 태양전지를 투광형, 염료 감응형 그리고 앞으로의 유기형으로 분류를 해볼 수 있다.

#### (1) 투광형

최근 국내에서는 대기업과 대학교가 연계해 기술개발로 태양전지 셀의 전선을 외벽으로부터 숨길 수 있는 기술을 개발했다. 곧 국내에서도 투광형 태양전지가 사용화 될 것으로 사료된다.

화합물형, 염료감응형, 유기형 모듈의 태양전지는 투광성을 줄 수 있는 모듈이다. 그중에서도 화합물형 모듈이 근래에 가장 많이 쓰이고 있다. 태양전지의 투명성은 외적인 이미지와 효과와 빌딩 내부 환경의 직접적인 연관이 있다. 태양전지는 불투광형, 투광형이 있으며, 불투광형은 일반적인 태양전지로 지붕이나 외벽에 적용되는 외장재로 사용된다. 투광형은 빛을 실내로 투과해 채광성이 요구되는 개구부에 적용되고 있으나 비용이 고가라는 단점이 있다.<sup>14)</sup>



그림 4. 투광형 태양전지(출처:한재경(2010))

#### (2) 염료감응형

1991년 스위스의 마이클 그레첼 박사가 세계 최초로 광합성 반응 원리를 이용하여 전기를 생산하는 새로운 형태의 염료감응태양전지를 발명했다. 염료감응 태양전지는 금속산화물인 산화티타늄 표면에 특수한 염료를 흡착시키고, 흡착된 특수 염료가 태양빛을 흡수하면 광전기화학적 반응을 일으켜 전기를 생산하는 원리이다. 다양한 색상의 염료를 사용하며 발전하는 원리로 디자인적 활용이 넓다.

실용적인 측면에서 염료감응형 태양전지는 옥외용의 소규모보다는 100kW이상의 중대형 발전에 적합하므로, 대면적, 대용량화의 방향으로 연구가 진행될 것으로 전망되고, 태양전지의 응용 가능성을 높이기 위한 초소형 고효율 인버터의 개발이 이루어질 것으로 기대된다. 이러한 것을 종합하면 기존 태양전지에 비해 친환경적, 저가의 특성 때문에 미래 대체에너지원으로써 크게 부각될 것으로 예상되며, 2010년 후반부 이후 본격적 대용량 실용화 시점으로 전망된다.<sup>15)</sup>

14) 한재경(2010), 환경 친화적 공동주택 태양광 적용 디자인 계획에 관한 연구, 동국대학교 석사논문

15) 서선희 외2(2007), 광전기화학적 염료감응형 태양전지 기술, 한국물리학회 물리학과첨단기술, 제16권(7) pp.16-19.

13) 이웅직(2005), 건축과 태양광 발전, 세진사, p40.



그림 5. 염료감응형 태양전지(출처:한재경(2010))

(3) 유기, 나노 태양전지

에너지 전문 리서치 기관인 솔라엔 에너지에 따르면 공액계 고분자 도너와 플러렌계 억셉터를 이용하는 차세대 태양전지인 유기태양전지는 미래 태양광발전 분야에서 높은 성장 가능성이 점쳐지고 있다. 2016년까지 연간 187%의 성장률을 기록할 것으로 전망하고 있다.



그림 6. 유기형 태양전지(http://kookje.co.kr)

이와 같이 투광형 태양전지는 빛을 유입하기 위한 방법으로 통풍 채광과 같은 건축물의 설비적인 효과를 높이기 위한 방법뿐만 아니라 생활공간에 쾌적한 환경을 조성할 수 있다. 염료감응형 태양전지의 활용은 다양한 색상으로 단조로운 색상에서 벗어나 화려한 디자인적 측면의 장점이 있다. 커튼월, 창호, 벽면등 다양한 곳에 적용가능하고 태양광 디자인의 새로운 지표를 열 것으로 기대된다. 유기, 나노 태양전지는 향후 기술개발로 건축물뿐만 아니라 실생활에 다양하게 적용될 것으로 보이며, 특히 국내 전통 건축물의 기와지붕과 같이 곡선이 많은 전통 건축물에 다양한 형태의 플렉시블한 디자인으로 스며들 수 있을 것이다.

표 5. 화합물 태양전지 디자인 활용방법

구분	특징
투광형	신소재 태양전지인 염료 감응형은 다양한 모양의 전지 셀을 만들 수 있다.
염료감응형	다양한 모양의 셀을 만들 수 있고 여러 가지 색을 착색하여 디자인적 활용이 우수하다.
유기, 나노형	유기 태양전지는 플렉시블한 형태의 다양한 디자인 적용이 가능하다.

4. 국내·외 BIPV 동향 및 사례

4.1 국외 동향 및 사례

미국, 영국, 호주, 이태리, 스웨덴, 일본, 벨기에, 폴란드 등 전 세계적으로 44개 이상의 국가, 주와 지자체에서는 신재생에너지 의무할당제(RPS)가 법제화 되어 있다. 2000년대 들어 RPS제도는 전력공급량 중 목표연도의 의무비율을 정하는 방식으로 운영되고 있으며, 대체로 5~20%의 범위를 보이고 있다.<sup>16)</sup>

주요국가의 태양광 발전 기술 보급계획을 보면 미국 민간 시장 개척 및 상업화 지원 중심으로 2010년까지 300MW 보급을 목표로 하는 100만호 Solar roof주택 계획 사업을 추진하고 있고, 일본은 정부 주도하에 상용화 기술 개발과 보급촉진 위해 주택용 3kW 태양광발전시스템으로 연평균 54.7%이상의 두드러진 성장세를 보이고 있다.<sup>17)</sup>

본 연구에서는 다양한 방식으로 태양광 모듈을 적용한 대표적인 외국사례 조사를 통해 건축물에 디자인적으로 활용한 예를 분석하였다.

국의 사례에는 국내 사례들보다 다양한 종류와 설치방식으로 친환경적 디자인에 대한 활용을 여러 방식으로 시도하고 있다. 설치방식으로는 지붕형, 벽면형, 발코니형, 아트리움형, 발코니형, 루버형, 등 건축물에 다양한 방식으로 설치 된 것을 알 수 있다.

벽면형 사례로 독일의 'Kunden Center'와 'Heme building'에서 볼 수 있듯이 결정형과 박막형의 모듈을 주로 사용하였고, 건축디자인측면에서 모듈활용을 하기가 용이하다.

지붕형으로 프랑스의 'Elithis Tower'와 'Energy plus office building'은 결정형 모듈을 사용하였는데 디자인적으로 크게 영향을 주지 않는 지붕면에 효율이 높은 결정형 태양전지를 사용함으로써 효율을 극대화 시킬 수 있는 장점이 있다.

차양형 방식으로 'Zurich Airport(스위스)'와 'Academie Mont-Cenis(독일)'와 같이 단결정과 다결정 모듈의 사용으로 차양에 효과적인 결정형 태양전지를 사용하였다.

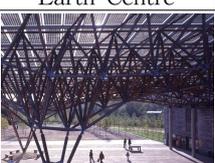
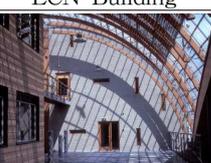
'Apartment Building(핀란드)'과 'Single-Family House(스위스)'도 태양전지를 발코니에 결합함으로써 차양효과와 시선차단효과를 동시에 주고 있다.

아트리움형 방식으로 영국의 'Earth Center'와 'ECN Building' 건물은 결정형모듈을 아트리움에 적용하였지만 채광 측면에서 부족함을 알 수 있었다.

16) 이창호(2010), 해외 주요국의 신재생에너지 의무할당제(RPS) 운영사례, 한국전기연구원, 59(12)

17) 송진수(2001), 태양광 발전 기술의 개발 및 보급동향, 전기저널, pp34-35

표 6. 국외 BIPV 적용 사례 및 특징

설치 방식	구분	사 례 내 용	
 벽면형	사례	Kunden Center	Herne building
			
	설치년도	2004(독일)	2004(독일)
	설치용량	4kW	10.4kW
	적용모듈	박막형	결정형
특징	Façade	Façade	
 지붕형	사례	Elithis Tower	Energy plus office building
			
	설치년도	2009(프랑스)	2009(프랑스)
	설치용량	40.2kW	250kW
	적용모듈	결정형	결정형
특징	Roof	Roof	
 루버형	사례	Zurich Airport	Academie Mont-Cenis
			
	설치년도	2003(스위스)	1999(독일)
	설치용량	290kW	1,000kW
	적용모듈	단결정형	다결정형
특징	Façade/Awning shading	Façade and Roof-integrated	
 발코니형	사례	Apartment Building	Single-Family House
			
	설치년도	2002(핀란드)	2003(스위스)
	설치용량	24kW	15kW
	적용모듈	다결정형	다결정형
특징	Façade/Balcony	Façade/Balcony	
 아트리움형	사례	Earth Centre	ECN Building
			
	설치년도	2001(영국)	2001(네덜란드)
	설치용량	107kW	23.73kW
	적용모듈	단결정형	단결정형
특징	Canopy	Roof	

## 4.2 국내 동향 및 사례

국내 태양광발전의 실질적인 보급은 2003년 이후부터 시작되었다. 정부의 적극적인 태양광발전 보급 정책으로 2003년 0.6MW, 2006년 5.0MW, 2007년 10월 61MW로 급성장 추세이나 선진국과는 상당한 격차를 보이고 있다. 화석에너지에 비해 생산단가가 상대적으로 높아 시장규모가 국내 산업에 영향을 미칠만한 정도에 도달하지 못하고 있다. 또한, 자생적 시장창출이 어렵고 정부 재정투자에 의존할 수밖에 없는 취약한 산업구조로 인하여 관련 산업의 리더 그룹을 창출하지 못하고 있는 실정이다.

1997년 교토 의정서 협약으로 인해 우리나라도 온실가스 저감 의무 국가로 선정된 이후 에너지소비의 가장 큰 부분을 차지하는 건축물의 신재생에너지 보급이 확산되고 있고, 이에 따라 다양한 건축물에 적용과 활용이 요구되는 실정이다.

이와 같이 신재생에너지 보급이 확산 되면서 여러 창호 시스템 회사에서는 태양광 양산을 늘리고 전국적인 보급에 열기를 고조 시키고 있다. 하지만 아직까지는 신재생에너지의 다양한 적용이 이루어지지 않고 일률적이고 맹목적인 디자인으로 인해 건축물 디자인적 활용이 부족한 실정이다.

국내 태양광 설치 사례를 파악해 보았을 때 대규모의 창호 업체들을 중심으로 대부분 적용건물들은 특정업체의 제품을 적용하고 있다.

태양광 모듈을 살펴보면 Glass to Glass Type 타입으로 유리 사이에 결정형 태양광 모듈을 부착하여 태양광 발전을 하는 시스템이 대표적이다. 이 모듈은 유리 표면에 이기에 청량한 느낌을 준다. 국내 대부분 건물에 사용되고 있으며, 이에 따라 국내 대다수의 건물들이 창호형 태양광을 채택하고 있다. <표7>의 국내 사례를 보면 국내에는 대부분 크게 지붕형과 벽면형으로 BIPV 설치방식이 이루어진 제한적인 설치인 것을 알 수 있다.

‘섬진강 토산어류 생태관’은 국내 최초로 BIPV시스템을 도입한 건물로 국내 신재생에너지 의무 설치 기준에 맞게 설계된 첫 번째 건축물이다. 이 건물을 필두로 국내 신재생에너지 건물의 설계가 활발하게 진행되고 있는 실정이다. ‘GS Building’은 옥상면에 아트리움형식과 같이 설치하여 민간 건물로 태양광일체형을 디자인적 측면에서의 활용이 부각되고 있다. ‘전남보건환경 연구원’과 ‘울진원전사옥’에서는 지붕형으로 디자인적 측면을 배제하고 옥상층에 거치식으로 BIPV를 설치하였다. ‘제주웰컴시티’, ‘S에너지사옥’, ‘에너지기술연구원’은 결정형의 Glass to Glass Type의 모듈을 사용하였고, ‘부산항만공사’는 아몰포스 타입의 박막형 태양전지를 사용한 건

물로서 커튼월 입면에 일부를 박막형 태양전지를 적용함으로써 미적 디자인 효과를 기대하고 있다.

표 7. 국내사례

설치 방식	구분	사 례 내 용	
지붕형	사례	섬진강토산어류 생태관	GS Building
			
	설치년도	2007	2007
	설치용량	184kW	20kW
	적용기법	결정형	결정형
	특징	glass to glass type	glass to glass type
	사례	전남보건환경 연구원	울진원전사옥
			
	설치년도	2011	2011
	설치용량	50kW	60kW
적용기법	결정형	결정형	
특징	glass to glass type	glass to glass type	
벽면형	사례	제주웰컴시티	S에너지사옥
			
	설치년도	2007	2007
	설치용량	21.4kW	26kW
	적용기법	결정형	결정형
	특징	glass to glass type	glass to glass type
	사례	에너지기술연구원	부산항만공사
			
	설치년도	2007	2009
	설치용량	12kW	20kW
적용기법	결정형	박막형	
특징	glass to glass type	glass to glass type	

## 5. 국내·외 BIPV 분석

### 5.1 국내·외 BIPV 추이 및 현황

국내·외 BIPV 추이를 살펴보면 국외 선진국에서는 다양한 설치 방식으로 건축물의 효율과 디자인을 적절하게

조합하는 여러 가지 방식으로 접근을 하고 있는 반면, 국내 건축물들은 몇몇 업체의 개발된 국내 모듈을 사용하고, 일률적인 설치방식으로 디자인적 활용이 많이 미흡한 실정이다. 현재 국내 태양광 기술이 선진국과 대등한 실정으로 올라가고 있는 가운데 다양한 설치방식과 디자인 요소로서의 건물 일체형 태양광 발전의 건축자재로서 활용이 적극 반영되어야 하고, 정부에서는 신재생 에너지 설치에 대한 구체적인 대안이 필요 할 것으로 파악된다. PV모듈을 건축에 일체화해 적용할 수 있는 건물 구성요소는 커튼월, 천장, 차양, PV지붕 타일, 투명 PV창호 등 매우 다양하며 특성에 따라 자연채광이나 차양에도 이용 가능해 건물전체적인 에너지성능 및 쾌적성을 향상시킬 수 있다.

### 5.2 태양광 시스템 적용 디자인 모듈별 분석

국내외의 사례들을 설치방식별로 비교하여 유형별로 나누어 보았다. 국내 사례들은 대부분 지붕형과 파사드형 두가지 종류로 일률적인 디자인인 반면, 국외 건축물 사례들은 지붕형, 차양형, 루버형, 아트리움형 등 BIPV를 여러 가지 방식으로 사용한 것을 볼 수 있다. 태양광 모듈의 특징과 위의 사례들을 분석하여 국내에 적용가능한 태양광디자인을 모듈을 중심으로 아래의 표로 정리해보면 결정형 모듈은 벽면형, 지붕형, 루버형, 차양형 등 디자인적 측면 보다는 효율적 측면에서 건축물에 활용이 다양하고, 화합물 소자인 박막형 태양전지의 투광형 모듈에서는 아트리움형, 커튼월형, 창호형 등 채광과 설비적인 측면에서 활용이 가능하다. 염료감응형 모듈은 벽면형, 창호형, 커튼월 형에 적합하고 다양한 색상으로 건축물의 다양한 곳에 적용될수 있다. 유기형 모듈은 지붕형, 커튼월형 등에 사용할수 있고 플렉시블한 디자인으로 감각적인 디자인 표현을 위한 건축물의 외관상 미적 효과를 높일 것으로 보인다.

표 8. 전지 모듈별 디자인 적용 방법 및 특징

전지 모듈	설치방식	특징
화합물형	결정형	디자인 측면 보다는 에너지 효율적 측면에 유리
	투광형	건물의 채광, 환기 등 환경적 측면에 유리
	염료감응형	건축물에 다양한 색상 및 문양 적용 가능
	유기형	건축물에 다양한 디자인 효과 부여 가능

## 6. 결 론

본 연구에서는 태양광 모듈의 특징과 디자인적 효과를 파악하고 종류를 분석하여 건축자재로서의 모듈별 특성을 분석해보았다. 또한 BIPV가 적용된 건축물의 사례를 조사하여 설치방식을 정리하고 1세대 태양전지부터 3세대 태양전지까지 에너지 효율적 측면과 감성적 디자인 측면에서 건축물에 적용 가능한 범위를 분류하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, BIPV 태양광 설치방식으로 가장 일반적인 1세대 태양전지인 결정형 모듈은 세계적으로 가장 많이 쓰이는 태양전지로 획일적인 모듈로 디자인에 제한이 있다. 불투광성으로 차양성을 가지는 루버 등에 적용할 수 있고 LED조명 기술 등의 효과를 이용한 미적 디자인으로 활용하는 등 기술개발과 가격의 안정성으로 다양한 미적 효과를 거둘 수 있다. 건축물에 벽면형, 지붕형, 루버형, 차양형 등의 디자인 요소로 적용이 적합하다.

둘째, 화합물 태양전지인 박막형 태양전지의 활용을 살펴보면 다음과 같다. 염료감응형 태양전지는 상용화가 얼마 남지 않았으며 국내에서도 기술개발이 가장 활발히 진행되고 있다. 다양한 색상의 자유로운 표현이 가능하고 빛 투과율을 조절 할 수 있는 태양전지로 미적 화려함을 극대화 할 수 있다. 국내 건축물 디자인에 큰 영향을 미칠 것으로 보이며, 설치방식으로는 벽면형, 창호형, 커튼월형 등에 적합하다. 또한, 투광형 태양전지는 설치 건물에서 중요한 빛의 유입을 자유롭게 할 수 있어 실내에 쾌적한 청량감을 줄 수 있고, 실내 온도를 조절하여 경제적인 효과를 볼 수 있다. 아트리움형, 커튼월형, 창호형 등으로 활용하여 건물의 디자인에 적용할 수 있다.

셋째, 3세대 유기형 태양전지는 아직까지는 개발 단계여서 에너지 효율이 낮아 대규모 설치가 유리하다. 그러나 지붕디자인에 유연한 형태의 유기형 태양광을 적용할 수 있고, 도시의 고층빌딩의 커튼월형 또는 다양한 형태로 접목시킴으로서 단조로운 도시 건물 디자인을 탈피 할 수 있는 장점이 있다. 설치 방식으로는 지붕형, 커튼월형 등에 적합하다.

지금까지 BIPV의 건축물 적용방법을 태양광 모듈의 종류에 따라 분류하여 분석해 보았다. 최근 건설사들의 친환경 경영마인드는 커지고 있지만 BIPV 적용에 대해서는 경제성을 결부하고 있어 실질적으로 새로운 건축물에 BIPV를 건물의 디자인적 요소로 적용하기는 어려운 점이 남아있다.

기존 BIPV는 건축물의 에너지 효율측면에서 접근하였으나, 본 연구를 토대로 다양한 도시건축 경관에 감성적

디자인을 제공하는 태양광 디자인기법으로 접목되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 김진호, 한국과 삼성의 제로에너지 빌딩[Net Zero Energy Building], 제로에너지 건축기술 국제세미나, 2012
2. 정현석, 멀티스케일 에너지기술 기반 차세대 태양전지, 서울대학교\_공대지 84호, p27, 2011
3. 김현일, BIPV 시스템의 발전성능 분석 및 신뢰성 평가에 관한 연구, 인하대학교 박사학위논문, 2010
4. 한재경, 환경 친화적 공동주택 태양광 적용 디자인 계획에 관한 연구, 동국대학교 석사학위논문, 2010
5. 이창호, 해외 주요국의 신재생에너지 의무할당제(RPS) 운영사례, 한국전기연구원, 59(12), 2010
6. 김제하, 화합물반도체 박막태양광발전 기술과 산업동향, 한국반도체산업협회, 2009
7. 김제하, 화합물반도체 박막형태양광발전 기술, IT SoC Magazine, 박막태양광기술연구소, 2009
8. 서선희 외2, 광전기화학형 염료감응형 태양전지 기술, 한국물리학회 물리학과첨단기술, 16(7), 2007
9. ETRI, 전자통신동향분석, 22(5), 2007
10. 이웅직, 건축과 태양광 발전, 세진사, 2005
11. 윤종호, BIPV 시스템 활용 및 설계 사례, (사)한국그린빌딩협회의, 그린빌딩 설계기술강습회, 2005
12. 송진수, 태양광 발전 기술의 개발 및 보급동향, 전기저널, pp34-35, 2001
13. 신에너지 및 재생에너지 개발·이용 보급 촉진법, 제12조제2항(신·재생에너지설비의의무사용), 법제처, 2006
14. KBS2 세상의 모든 다큐, "1장. 인간과 에너지", 2012.4
15. 녹색성장위원회;http://www.greengrowth.go.kr.
16. 이진창호;https://www.eagon.com

논문접수일 (2012. 7. 25)

심사완료일 (1차 : 2012. 8. 10, 2차 : 해당 없음)

게재확정일 (2012. 8. 16)