

BIPV의 아파트 건물 적용 가능성에 대한 연구

A study on the application of BIPV to the Apartment Building

이 응 직*

Lee, Eung-Jik

Abstract

Regarding to the Domestic housing politics to improve residing environment and effective use of country land, apartment buildings have been constructed since early of 1970s. Now apartment is taking over 50% out of entire housing in Korea. In the view point of PV application to the apartment, PV has many advantages because of the wideness of out-walls and high floors building in APT. Therefore, if APT could use the electricity produced by BIPV, we can solve more easily environment and energy problems caused by housing. The research conclusion by analysing conditions and application method to introduce BIPV application to APT in near future is as below.

-The out look of APT has been developed periodically and recently gable roof or canopy is popular which PV installation is more favorable.

-For Balcony part with double skin facade sassy window, It has a preferable condition to install on the wall depending on the window direction.

-In case of shorter distance between buildings due to high ratio of outside measurement, it is more desirable to install PV on the roof than on the wall of Apartment by considering low solar altitude.

-Also depending on the direction of APT building, it is more effective and productive in electricity in the broad surface of side wall of APT.

-In case of superhigh floor APT where facade system is mostly double skin facade of curtain wall system, PV module can replace the traditional curtain wall and will reduce architectural materials and obtain various out look design thereof.

Keywords : BIPV(Building Integrated Photovoltaic, apartment, application)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리주변에서 가장 쉽게 얻을 수 있는 신·재생에너지는 태양에너지로서 이미 오래전부터 자연형(passive)으로 건물 등에 이용된 태양열분야와 설비형(active)으로 근래 괄목할만한 발전을 이룬 태양광(photovoltaic, 이하 PV)분야가 세계적으로 널리 활용되고 있다.

국내에서도 최근 배럴 당 60달러에 육박하는 국제유가와 온실가스 감축을 목적으로 하는 기후변화협약의 압박으로 국가경제발전에 상당한 부담으로 작용할 것을 우려하며 이에 대한 대책의 하나로 정부에서는 적극적인 신·재생에너지 기술개발과 이용확대라는 계획을 통해 새로운 에너지 시스템으로의 국면전환을 모색하고 있으며, 이러한 과정에서 특히 PV의 건축물 적용은 PV설치대지의

불필요, 청정·자연에너지의 이용에 따른 자원절약 및 친환경, 그리고 건축디자인 측면에서 아주 흥미로운 분야로 주목의 대상이 되고 있다.

한편 생활의 쾌적성과 편리성을 위해 건물내부에서 사용하는 에너지는 일반적으로 국가 최종에너지 소비의 20~30%정도 비중을 차지하는 것으로 알려져 있다. 물론 근래에 단열시공의 강화와 기밀성이 좋은 창호 사용 등으로 그 비중이 낮아지고 있는 경향을 보이고 있기는 하나 에너지원의 고급화 추세와 각종 기기사용이 늘어나면서 전기에너지의 사용 증가가 두드러지게 나타나는 특징을 보여주고 있다. 이러한 상황에서 한국의 아파트건물은 일부분의 부정적인 측면이 있음에도 불구하고 주거문화의 질적 향상에 상당부분 기여하며 전체주택 보급률에서 50%이상¹⁾을 상회하는 대표적인 주거형태로 자리매김하고 있다. 그러므로 전국적으로 분포되어있는 아파트들의

* 세명대학교 건축설비시스템학과 조교수
이 논문은 2004년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의함

1) 통계청 2005년 인구주택 총 조사 결과에 의하면 단독주택 32.1% 아파트 52.5%

넓은 외피에 PV를 적용시켜 청정전기 에너지를 생산한다면 기존의 소비전기 절약은 물론, 그에 따른 화석에너지원의 수입 억제와 지구온난화의 가장 큰 요인인 이산화탄소 배출억제 등 상당한 부가효과를 예상할 수 있고 이 점을 고려하여 최근 정부에서도 PV를 이용해 전력을 자체 생산할 수 있는 1,600가구의 임대 태양광 아파트를 올해에 시범 공급한다고 발표한 바가 있다.²⁾

그러나 지금까지 이 분야에 대한 실질적 연구는 활성화되지 못하였던 바, 본 연구의 목적은 우리주거형태에서 큰 비중을 차지하고 있는 아파트건물에 PV를 적용·도입하는데 있어서 문제점을 도출하고 그 가능성을 검토하여 바람직한 BIPV(Building Integrated Photovoltaic)적용기법을 제시함으로써 차후 이 분야 활성화에 기여하는데 있다.

1.2 연구의 범 및 방법

본 연구의 내용범위 및 방법은 연구의 목적을 충실히 달성하기 위하여 다음과 같이 규정하기로 한다.

첫째, BIPV는 다양한 모든 건물에 적용이 가능하므로 BIPV의 개념과 국내/외의 동향을 분석한다.

둘째, PV의 건축적 측면에 주안점을 둔 본 연구에서는 그 전기적 특성과 BIPV의 경제성은 구체적으로 다루지 않는다.

셋째, 주 연구 대상건물은 국내의 주요 주거형태인 아파트이므로 현재의 아파트건물 외형을 분석하고자 한다.

넷째, 분석되어진 외형 특성에 의해 적용가능 BIPV부위를 도출한다.

마지막으로 선정된 부위에 BIPV적용에 따른 가능성을 제시한다. 여기에서 BIPV의 자료는 외국문헌을 이용하며 아파트에 대한 자료는 대한주택공사를 비롯한 각 건설회사의 해당 자료를 인용 분석하였다.

2. BIPV의 이론적 고찰

2.1 PV

PV는 태양광선을 기본 구성품인 태양전지(Solar cell)를 이용하여 직접 전기로 바꾸는 것으로서, 사용할 수 있는 충분한 출력을 얻기 위하여 이 태양전지를 여러 장으로 연결하고 외부기후로부터 보호될 수 있도록 패널화시킨 것이 PV모듈이다. 이러한 태양전지 이용은 우리 주변의 건전지가 필요 없는 전자계산기나 시계 등에서 쉽게 접할 수 있는 것이다.

태양전지의 분류는 그림1과 같이 다양하게 나타낼 수 있으나 현재 PV에 이용되고 있는 태양전지는 대부분 실리콘 태양전지이고 이는 다시 단결정 태양전지(mono crystalline solar cell), 다결정 태양전지(poly crystalline solar cell), 비정질 태양전지(amorphous solar cell)로 세분된다. 이 들은 각각 독특한 색깔과 표면구성형태를 가짐으로써 효율과 표면이미지가 달라진다.

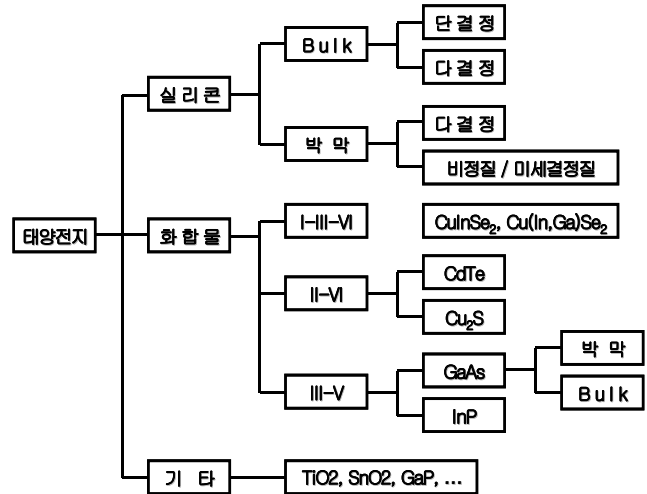


그림 1. 태양전지의 종류

여기에서 태양에너지 이용의 PV발전특징은 다음과 같다.

- 태양이 에너지원이므로 태양이 존재하는 한 무한하다.
- 청정자연에너지로서 오염이 없다.
- 소 용량(마이크로 와트)부터 대 용량(기가 와트)까지 필요에 따라 다양하게 설치가능하다.
- 사용 장소에서 발전하여 전기를 사용함으로써 대규모 송전설비 등이 필요 없다.

이와 같은 장점과 아울러 단점으로 지적되는 것은,

- 태양광은 무한한 반면, 에너지밀도가 미약한 편이어서 전력발생에 비교적 넓은 면적이 필요하다.
- 태양광선에 의한 작동이므로 기상상태에 따라 발전량이 변한다.
- 광선이 있는 동안만 발전하고 전기의 비축이 어렵다.

이러한 특징으로도 알 수 있듯이 PV는 태양광선이 비추는 곳이면 어디든 설치/이용할 수 있는 것으로 가능한 일조시간이 길고 직사광이 풍부한 조건이면 가장 바람직하다. 그러나 국토의 유효면적이 충분하지 않은 한국의 경우 PV설치를 위한 넓은 대지 확보는 제한적일 수밖에 없음도 생각할 일이다.

2.2 PV의 설치조건

PV의 에너지원이 태양이며 그에 의한 최대에너지를 얻기 위해서는 계절과 시간의 변화에 따른 태양의 움직임과 설치 지역의 기후특성 등을 분석·이해하고 최상의 조건으로 설치되도록 계획하여야할 것이다. 이에 대한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

-설치방향과 설치각도

이것은 PV표면이 가능하면 최대한 오랜 시간 일사를 받아들이 수 있도록 하는 기본조건이다. 지구의 지축이 23.5도 기울어진 채로 자전과 공전을 하기 때문에 태양의 궤적은 지구상의 위도에 따라 다르게 나타나고 한국은 북위 37도를 중심으로 하는 지구의 북반구에 위치하여 사계절 남쪽에서 일사를 받게 된다. 또한 설치경사각도는 PV표면에 도달한 태양광선의 밀도가 가능한 높아

2) 제일 경제신문 2005.12.28

지도록 그 태양광선의 입사각이 직각에 가깝도록 설치하는데 의의가 있다. 이러한 내용은 국내의 20~30년간의 일사량측정 데이터를 분석하면 연간 가장 일사량이 큰 경우가 남향으로 약 30도의 경사각일 때로 확인된다.

-PV표면의 그림자 방지

PV모듈 구조는 최소단위의 태양전지를 직렬로 연결하여 만들어지고, 이 모듈들을 다시 직렬로 연결하여 어레이(array)를 구성하며 여러 어레이들이 병렬로 연결되어 하나의 태양광 발전소(기)가 형성된다. 이러한 연결과정에서 모듈의 일부 또는 전부분에 그림자가 생기면 해당 모듈뿐만 아니라 그 어레이 전체가 작동이 되지 않도록 영향을 미치게 된다. 따라서 PV 주 작동시간 대의 PV 표면 그림자 방지는 시스템의 출력저하를 막는 최선의 방법이라고 할 수 있으므로 PV시설 주변의 나무나 건물 등에 의한 음영상황을 우선적으로 파악하여야 한다. 또한 모듈 상호간이나 시설보호용 피뢰침 또는 안테나 등도 유의하여 계획하여야 한다. 특히 태양의 고도가 낮은 겨울을 기준으로 한 음영스터디는 기타 계절의 안전성 보장에 유효하다. 그러나 적용되는 PV모듈이 비정질 또는 박막 형일 경우에는 이러한 그림자의 영향은 큰 위험이 되지 않은 특성이 있다.

-일사강도 및 PV자체온도와 효율관계

많은 전문연구 보고서와 문헌의 PV 전압·전류 및 출력·전압 특성곡선에 의하면 PV모듈 표면에 입사되는 일사강도와 PV모듈 자체온도에 따라 PV 변환효율이 영향을 받는다고 한다. 그러므로 최대출력을 내기 위해서는 가능한 최고의 일사강도를 받아들일 수 있도록 설치하여야만 한다는 것인데 이는 곧, 이미 앞서 언급한 설치의 방향성과 경사각도와 관계가 깊은 사항으로 태양광선에 대해 PV표면이 법선면에 가깝다면 바람직하다. 또한 PV주변온도의 상승과 동작과정에서의 모듈 발열현상으로 PV표면온도가 상승하여 모듈효율을 떨어뜨리는 요인이 된다. 결국 PV모듈의 자체상승온도는 어쩔 수 없다고 하더라도 설치방법에 따라 자연냉각의 정도가 달라지므로 PV모듈이 낮은 온도에서 작동할 수 있는 설치방안이 모색되어야 한다. 이 문제도 결정형 PV모듈일 때에만 해당된다.

2.3 BIPV와 건축

PV발전장치로 큰 출력을 얻기 위해서는 대면적의 부지가 필요하지만 비싼 땅값과 오히려 자연을 훼손할 수 있다는 우려, 그리고 필요한 곳에서 직접 에너지획득, 소비라는 PV본연의 장점을 고려한다면 인간생활의 주요공간이면서 반드시 외피로 덮여있는 기존 건축물을 PV설치 장소로 이용하자는 것으로 BIPV가 시작되었다.

-건축물외피

전통적인 건물의 외피기능은 시시각각 변화하는 외부기후를 차단하여 실내를 보호하므로써 쾌적한 실내 환

경을 만드는 것이다. 또 현대 건축에 있어서의 외피는 기존의 전형적 의미에서 한 발짝 더 나아가 건축가 또는 건물의 다양한 표현 욕구에 의해 점점 복잡적이고 다기능적인 의사표현의 도구로 사용되는 경향을 보이고 있다. 에너지 측면에서도 외피를 통해 소비만 되는 것이 아닌, 도리어 에너지를 생산할 수 있다면 건물에서 사용되는 꼭 필요한 에너지의 전부 또는 일부를 자급자족할 수 있는 가능성이 주어질 것이고, 이는 PV적용을 통해 가시화할 수 있는 문제이다. 여기에서 기존외피의 기능적인 중요 요구조건으로는 기후보호기능, 단열기능, 방습기능, 내구성 등이다.

-BIPV의 정의

Building Integrated Photovoltaic의 약자로서 흔히 '건자재일체화 PV' 또는 '건물통합형 PV'라고 이르는 BIPV는 건축물에 PV를 설치하는 입장에서 단순히 기존외피에 부가적으로 덧붙이기 보다는 PV모듈이 건자재의 역할과 전기발전이라는 기기기능을 동시에 만족시키자는 의미를 갖는다. 즉, 외부마감재로서의 기본조건을 충족시키는 건축적 기능과 전기발전기로서의 전기적 기능이라는 서로 이질적인 특성을 어떻게 복합적인 다기능성으로 통합할 수 있는가에 초점을 맞추는 것이다. 따라서 이상적인 BIPV는 다음과 같은 3가지 요소를 동시에 고려할 때 가능할 것이다.

첫째, 건축기술적인 요소

둘째, 전기적 성능요소

셋째, 건축 및 모듈의 디자인 요소

그러나 PV 건축물적용의 초기단계에서는 일반적으로 전기적 성능요소가 우선순위로 취급되면서 건축기술적인 요소를 부가적으로 다루게 되고 디자인요소는 어느 정도의 기술적 노후가 확립된 후에야 고려되는 경향을 보이고 있다.

-BIPV 모듈의 요구성능

건물의 외피는 실내와 실외의 경계부로서 각종 외부환경을 차단하여야 할뿐 만아니라 한편으로는 실내·외의 완충부로서 실외의 환경을 실내로 끌어들이어야 하는 이중적인 성격을 띠게 되므로, 건물외피 마감재로서의 BIPV 모듈 또한 물리적으로 상당한 내구성과 안정적인 기능을 유지하며 외부온도 변화와 자외선, 태풍, 우박 등에도 문제없이 전기를 생산하는 발전기능을 인정받아야만 한다. 결국 외부기후조건에 견딜 수 있는 조건이 기본이 되며 그 주요 항목은 다음과 같다.

- 기후차폐성능: 비, 바람, 일사 등 외부기후의 영향 배제
 - 단열성능: 외부기온 변화에 대한 쾌적한 실내 환경유지
 - 방습성능: 실내공간과 건축물 자체의 습기 보호
 - 방음성능: 외부소음에 대한 실내 공간 보호
 - 내화성능: 외부화재에 대한 일정시간 실내 공간 보호
 - 디자인성능: 색감과 재질에 의한 건물외부디자인 성능
- 따라서 BIPV모듈은 제작 최종단계에서 상응하는 성능 평

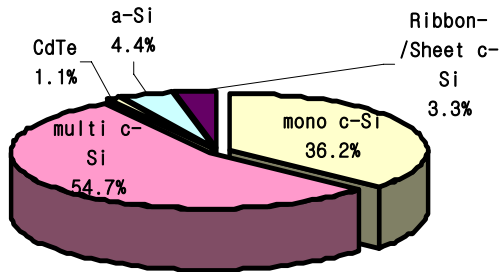
가를 거치게 되고 여기에 현재 대표적으로 적용되는 국내외의 표준 규격은 다음과 같다.

표 1. PV모듈의 국내외 표준규격

적용규격	내용	해당시험	
국내	KSC 8530	결정계 태양전지 모듈의 환경시험 방법 및 내구성 시험 방법	내 풍압시험, 강박시험, 단자강도시험, 비틀림 시험, 내열성 시험
	KSC 8531	결정계 태양전지 모듈	내 풍압시험, 강박시험, 단자강도시험, 비틀림 시험
국외	DNEN/IEC 6121545	결정질 실리콘 태양광 모듈 및 형식 조건과 형식인증	온도 사이클 시험, 내습성 시험, 열적 내구성 시험
	EC 61345	태양광 모듈의 자외선 시험	자외선 시험
	EC 61730	PV모듈의 안전 품질	전기적 안전성 및 건축성능시험, 내화시험

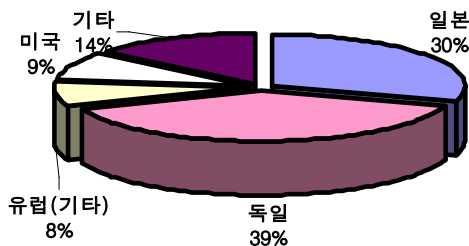
2.4 BIPV의 동향

그림 2의 2004년 세계 태양전지 생산현황에서 확인할 수 있는 것과 같이 현재의 태양전지생산 추세는 결정질실리콘 태양전지가 90%이상 차지하고 그 중에서도 다결정 태양전지가 절반 이상인 관계로 PV모듈도 다결정 모듈이 많으며 국내에서는 거의 전부라고해도 과언이 아닌 실정이다. 이러한 내용은 곧 BIPV모듈의 재질과 색깔이 건물 외관 디자인을 결정짓는 중요 요소로서 큰 영향을 줄 것임을 시사한다. 다결정전지의 특성은 높은 효율과 단결정 전지에 비해 생산 공정의 간편화로 비교적 경제적이란 장점 외에도 청색의 반짝이는 표면은 사람들의 호기심 자극과 호감을 가지게 하는 매력을 발휘하는 것이다.



출처 : PHOTON International, March 2005

그림 2. 2004년 세계 태양전지 생산현황



출처 : <http://www.solarbuzz.com>, Marketbuzz 2005

그림 3. 2004년 국가별 PV설치 현황

세계 PV모듈 생산의 90%이상은 일본과 독일, 미국이 차지하고 있으며 그의 소비 역시 3개국 중심구도로 이루어져 전체 세계시장을 석권하고 있는 실정이다. 이는 이 3개국이 오래전부터 정부주도로 대규모 주택용 태양광발전 시스템적용에 눈을 돌리고 과감한 투자와 기술개발의 결과로 보아진다.

한편 1990년대 초반 독일을 중심으로 일어나기 시작한 BIPV상용화 및 보급계획을 통해 BIPV기반기술이 확립되는 계기가 되었으며, 구체적으로 1995~1997년 사이에 OECD 선진14개국이 이 분야에 투자한 액수가 3,400억 원에 달했고 1992년부터 10년간의 세계 BIPV 년 평균 성장률이 24.3%를 나타냈다. 이러한 과정에서 현재까지 상품화된 BIPV모듈이 50여개에 이르고 2010년의 세계BIPV시장은 700MW에 달할 것으로 예상하고 있다.³⁾

국내에서도 이러한 추세에 상응한 조치로 2012년까지의 주택보급사업 로드맵을 수립하여 2004년 310호를 시작으로 2005년 800호 보급을 이루었고 2010년에 3만호, 2011년 6만호, 2012년 10만호 보급을 목표로 설정, 추진하고 있다. 또한 이와 관련하여 ‘발전차액 지원제도’나 ‘공공건물 설치의무화’ 등과 같은 각종 정책과 지원 사업을 활성화시키고 주택공사가 추진 중인 집단주거시설의 100만호 임대아파트건설 사업에 우선 보급한다는 방침이다.⁴⁾

3. 아파트건물 적용 가능성

한국에서 아파트의 의미는 주거공간으로서 뿐만 아니라 일종의 재테크 수단으로도 인식되어 사회, 경제, 문화적으로 다양한 영향력을 행사하고 있고 국민들도 선호하는 전국 도시 어디에나 존재하는 상황으로 발전해 왔다. 이러한 대중화된 아파트건물의 실상을 분석하고 그 특성을 파악하여 바람직한 BIPV계획과 설계 방안을 도출하고자 한다.

3.1 국내 아파트건물의 실상

국내의 주택정책은 근대화과정에서 인구의 도시 집중화 및 핵가족화에 따른 주택난 해소와 좁은 국토의 효율적 이용, 주거환경개선이라는 관점에서 아파트 보급을 적극 활용한 이래 40여년이 흘렀다. 이 과정에서 전체 주택 보급 율 중에서 아파트의 구성비는 1970년도 0.8%, 1980년도 7.0%에서 1995년도 37.4%로 그 비율이 급격히 늘어나 2005년도에는 50%를 넘는 실정으로 아파트는 우리의 보편적인 주거형태로 확실한 자리를 잡았다고 할 수 있다. 그러나 지나친 물량위주와 경제성에 치중한 공급경향은 어디에서나 획일적인 외관과 다양하지 못한 평면으로 도시 및 건축계획에 대한 고려가 충분치 못하다는 비판을 받아왔다.

초기의 아파트는 열악한 건축자재와 건설기술의 한계 등

3) (주) 에스에너지, 태양광 발전시스템 사업분야 및 발전방향 태양광 산업 활성화를 위한 Workshop, 2005. 9

4) 신재생에너지 센터, 앞의 자료집

으로 저층위주로 건설되기 시작하여 오늘 날까지 점차적으로 고층화경향을 나타내게 되었고, 그 가운데 수직 동선의 움직임인 엘리베이터 시설이 일정 역할을 했다고 볼 수 있다. 이러한 관점에서 연대별 아파트 변화추이를 살펴보면 다음과 같다.⁵⁾

- ‘60년대: 초기생성단계-6층 이하, 저층화
- ‘70년대: 생성보급단계-10층 내외, 중층화
- ‘80년대: 대중적 보급정착단계-15층 내외, 고층화
- ‘90년대: 신도시 개발에 의한 새로운 모색 단계, 20층 내외, 초고층화 초기단계
- 2000년대: 분양 자율화에 따른 다양화, 친환경화-50층 내외의 초고층 주상복합단계

그 한 예로 서울시에 2000년 1월부터 2003년 6월까지 공급된 주거전용 고층집합주거는 총 2,337동이었고 전체 공간의 76%에 해당하는 1,615개동이 16층 이상 주거공간으로 공급된 사실로도⁶⁾ 아파트 주거환경이 점점 더 고밀화, 고층화로 변화함을 알 수 있다.

3.2 아파트외관의 특성

아파트 외관의 특성은 단지 내 아파트의 배치, 건물의 크기 등에 의한 단지의 규모 및 형상과 각 건물의 형태, 색채 등에 의한 주거 동의 형상, 그리고 발코니나 창호모양에 의한 입면형상이 서로 복합적으로 작용하여 규정될 수 있겠으나 본 연구의 목적에 가장 필요한 대상인 주거동 형상에 한하여 상부 형태인 지붕 및 옥탑, 그리고 입면형태에 초점을 두고 특성을 파악한다.

-지붕형태 유형

아파트 외관에 대한 선행연구에⁷⁾ 의하면 외관 구성형태 요소 중 지붕유형의 분류는 시공 연도별에 따라 뚜렷한 형태적 특징이 나타남을 확인 할 수 있는 것으로 아파트 건설의 초기 단계였던 ‘70년대에는 판상구조에 평지붕형식이 대부분이었던 반면, ‘80년대와 ‘90년대의 지붕형태는 눈썹지붕과 모임지붕 형식의 출현, 그리고 박공지붕도 빈번히 나타나기 시작했다는 점이다.⁸⁾ 또한 그 변화의 흐름은 ‘90년대 후반부터 박공지붕이 주류를 이루는 가운데 2000년에 들어 초고층 아파트를 중심으로 난간형 장식의 새로운 디자인형식이 선보여 점점 다양화 되는 추세를 보이고 있다. 따라서 국내아파트 지붕형태의 특징은 다음 표와 같이 크게 5가지로 요약될 수 있다.

표 2. 아파트의 대표적 지붕형태

평지붕	눈썹지붕	모임지붕	박공지붕	난간장식

-옥탑층 구조물 형태유형

지금까지 대부분의 아파트에서는 고가수조방식에 의한 급수시설과 엘리베이터 기계실의 편의성을 위해 계단 부의 상부를 높게 올린 구조물형태로 처리되었고, 이 경우 최상층에서의 최소수압 확보를 위해 2층 또는 3층 형으로 지붕면에서 상당히 돌출된 옥탑형태이기 때문에 아파트외관 디자인 측면에서는 조화롭지 못한 이질적 존재라고 할 수 있다. 그러나 2000년에 들어 새로운 경향인 난간형 장식 형태에서는 이러한 문제점이 개선되어 좀 더 다양한 주거동 디자인이 이루어지고 있다. 옥탑의 변화추이는 ‘90년대 중반부터 2000년대를 넘는 과정에서 박공지붕 형태의 옥탑비율이 증가한다.⁹⁾ 또한 옥탑구조물은 계단부의 위치에 따라 박공지붕의 한 면 또는 두 면 모두 걸쳐 위치하는 경우가 있고, 만약 남측경사면까지 차지하는 구조라면 상당한 일사 방해요소로 작용할 수 있다. 물론 옥탑 또는 옥탑지붕자체도 PV설치가 가능하다. 표 3은 이러한 옥탑형태를 분류 정리한 것이다.

표 3. 옥탑구조물의 대표적 형태

박스형	상부돌출박스/박공형	긴변박공형
상부돌출짧은변박공형	짧은변박공형	박스장식형

-입면의 형태유형

아파트 전면부의 입면은 발코니와 난간 그리고 창의 형태와 코어의 위치에 의해 달라진다. 발코니는 평면 모양에 따라 평면형, 곡선형, 다각형으로 나눌 수 있고,¹⁰⁾ 아파트보급 초기시절인 ‘70년대의 저층아파트에서는 요철 형태도 찾을 수 있다. 그러나 중층 및 고층아파트들은 일반적으로 평면형 발코니로 주로 계획 되었다. 그 발코니에는 예외 없이 새시 창을 추가로 시공하여 공간 활용도를 높이고 방풍효과를 얻고자 하는 경향을 보였다. 결국 대부분의 아파트는 남향위주의 건물배치와 기능 및 실용에 치중한 판상형 건물형태로 그 외관은 평면형 발코니에 일률적 창호의 크기, 형태, 재료 등으로 개성 없

5) 조종수, 서울지역 고층집합주거 건축계획의 흐름과 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 2004.8

6) 조종수, 앞의 논문

7) 손수일 외, 아파트 주거동 외관의 시대별 형태 변화 특성에 관한 연구, 대한건축학회 2000.4

이남학 외, 아파트 외관의 다양화 양상에 관한 연구, 대한건축학회 2001.10

8) 이남학, 앞의 논문

9) 이남학, 앞의 논문

10) 이남학, 앞의 논문

는 도시 풍경을 만들고 말았다. 이와 같은 입면형태는 각 주호의 진입방식과도 무관치 않는 것으로 '70년대의 복도식이 '80년대 이후에는 계단식으로 바뀌기 시작했고 2000년에 들어서는 고층집합주거의 타워형 건물형태로서 평면구성의 변화와 고급 창호재의 요구에 따라 다양한 외관 디자인이 시도되는 추세에 있다. 그림4는 이러한 입면변화를 보여주고 있다.



그림 4. 아파트 외관의 형태

3.3 BIPV 적용 가능부위

아파트건물에서 외부경계는 지붕과 창을 포함한 외벽으로 구분되며, 2.2에서 살펴 본 BIPV설치조건을 고려한 적용부위 선정이 우선되어야만 한다.

지붕은 일반적으로 그 형상에 따라 건물의 다른 부위보다 하늘에 노출되는 조건이 양호하고 그림자의 영향도 적어 BIPV적용에 유리한 점이 많다. 특히 아파트가 도시의 높은 지가형성과 아파트 건설의 경제성극대화에 의한 용적률 증가에 따라 (초)고층화되는 상황에서 그 지붕은 주변 아파트건물에 관계없이 좋은 일사조건을 갖게 된다. 근래 아파트외관의 특성에서 아파트지붕의 형태는 박공지붕을 중심으로 일부에서는 난간장식을 이용한 평지붕 형태도 나타나고 있고 또 대부분 아파트들의 남향에 준한 배치 특성을 감안하면 남향의 박공지붕 지붕면은 지붕경사각도가 곧 PV모듈의 설치경사각도로 작용하므로 발전효율측면에서 바람직한 적용 장소로 꼽을 수 있고, 난간장식 지붕형태에서도 난간장식을 PV모듈 설치대응용이 가능하다. 그러나 3.2의 옥탑구조물 형태유형에서 살펴 본대로 지붕위로 돌출된 옥탑에 의한 지붕면의 그림자 문제가 가장 큰 걸림돌이 될 수 있으므로 BIPV를 위한 건물외형설계가 계획단계에서 반영되어야 한다.

아파트건물의 전체표피에서 외벽 면이 차지하는 비율은 건물의 고층화 및 대형화로 증가하게 되고 그에 따라 지붕면과 비교하면 PV설치면적도 커질 수 있는 조건이 주어진다. 건물배치에 따라 일사가 풍부히 드는 남측외벽이 주 대상이 될 것이고, 그 외벽의 형태에는 창호가 있는 입면부와 창호가 없는 건물 측면부가 있다. 그러나 이런 외벽들도 아파트건물의 고밀도에 따라 하루 중 또는 계절별 태양고도에 따라 주변건물이나 조경 수목 등의 원인에 의해 그림자가 들 수 있고, 특히 지상과 가까운 건물하층 부분은 대부분 이러한 어려움에 놓이게 되어 PV설치장소로는 적합지 않게 된다.

창호가 있는 외벽으로서의 아파트입면은 대부분 발코니 새시창이 해당되어 여기에서는 채광과 외부조망에 방해되지 않는 창의 아랫부분 적용을 고려할 수 있고, 만약 배치가 동이나 서향으로 창이 없는 건물 한 측벽이 남쪽으로 향하면서 그림자문제로부터 자유로울 경우라면 아주 넓은 PV설치 면적을 제공하게 되는 것이다. 외벽적용

의 단점은 남향의 경우에도 지면(수평면)과 수직으로 설치될 경우는 최적 설치각도에서보다 30%정도 전일사량이 감소하여 자연히 발전량도 줄어든다는 점이다. 이 문제에 대한 대응책으로는 경사지게 부착을 할 수도 있지만 부가적인 지지체가 필요하게 된다.

한편 아파트의 구조와 형태가 관련 기술의 발달과 소비자의 욕구에 의해 초기 판상 형에서 탑상 형 구조에 외부마감은 커튼월 시스템으로 변화한 것처럼 바람직한 BIPV구현을 위해서는 지금까지 이어온 기존의 건축디자인에서 벗어나 좀 더 BIPV에 합당한 지붕과 옥탑, 그리고 외관 디자인으로의 진화에 관심을 가져야할 때라고 보아진다. 지금까지의 내용을 종합하면 아파트 건물에서 BIPV장소로 그 가능성을 찾을 수 있는 부위는 다음과 같다.

표 4. 아파트건물에서의 설치가능 부위 및 특징

	특징	장점	단점
지붕	-박공지붕의 남측면 -평지붕 (옥상) -난간 장식 구조체	-부가적 지붕기능 부여(지붕+발전) -발전효율 양호	-설치면적 한계 -외부 인지곤란
외벽	-남측 발코니 새시부분 -창호 없는 남향 측벽 -옥탑 외벽	-대면적 설치가능 -외부 식별가능 -디자인 요소	-효율 저하 -그림자영향 큼

4 아파트건물 BIPV 적용 방법

모든 건물의 형태와 외피는 사용된 건축재의 종류와 형태, 구성방법 등에 의한 특성을 나타내게 되고, BIPV는 그러한 특성을 감안하여 각각의 상황에 따라 계획, 시공되어야 한다. 일반적으로 PV의 건축물 적용에는 크게 다음의 두 가지 방법이 이용되는데, 첫 번째가 PV모듈 부가적으로 덧붙이는 설치 방법, 두 번째가 기존 마감재를 대체하는 일체화 방법(BIPV)이 그 것이다. 물론 두 번째 방법이 BIPV의 목적에 부합한 가장 이상적인 방법이지만 기술의 초기단계와 PV모듈 종류가 다양하지 못한 국내 현실에서는 첫 번째 방법인 기존외피에 덧붙이는 초기단계의 설치 방법도 충분히 활용할 가치가 있다. 이상적인 BIPV는 기존 건축재를 충분히 활용하면서 새로운 기술로의 진화가 이루어질 때 더욱 큰 의미를 찾을 수 있기 때문이다.

4.1 지붕적용방법

PV 지붕적용의 기본 고려요소는 우선 지붕면의 형태, 지붕면의 경사각, 지붕면의 방향, 지붕면의 외장마감재 그리고 지붕구조 형태 등이다. 이는 PV면을 태양 일사에 가장 효과적으로 노출시키기 위한 것이다.

국내의 아파트 지붕재로 가장 많이 사용되는 것이 콘크리트구조나 경량철골구조의 지붕면에 시공하는 아스팔트 싱글, 또는 금속기와이다. 싱글 시공으로는 콘크리트 바탕에 아스팔트 프라이머를 발라 방수를 하고 길이 25mm, 머리 지름 6mm의 콘크리트 못으로 싱글을 고정하게 된다(그림 5). 이 경우에는 비교적 가격이 싼 아스팔트 싱글의 PV모

들로의 대체는 큰 의미가 없으므로 오히려 기존 시스템의 마감재인 아스팔트 싱글 면과 간격을 유지하여 PV모듈 뒷면의 통풍을 가능토록 하여 그 냉각작용으로 모듈효율을 높이는데 초점을 맞춘 덧대기 방식이 유리하다. 그림6은 여기에 해당하는 예시로서의 도면이다.

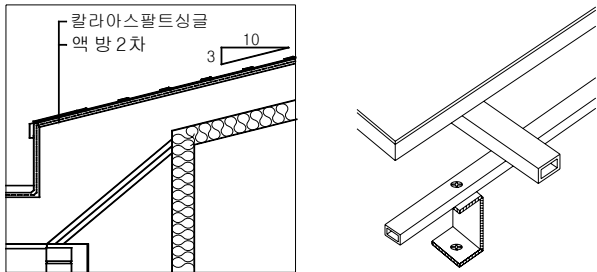


그림 5. 아파트 싱글 지붕 단면도 및 덧대기 방법상상도

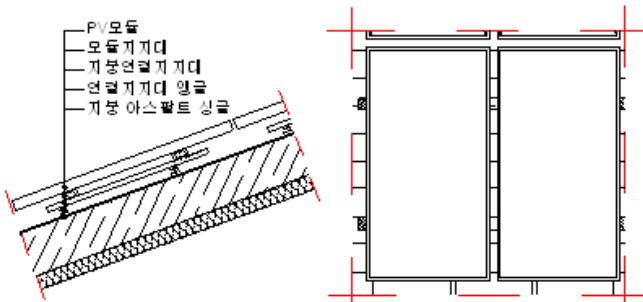


그림 6. 덧대기 방법의 단면도 및 평면도 안

아스팔트 싱글과 금속기와 등의 마감재를 대체할 수 있는 BIPV적용을 위해서는 다양한 모듈개발이 필수적이며, 그 한 예로서 프레임이 없는 모듈과 특수 알루미늄 프로필을 이용한 고정지지대 시스템을 들 수 있다. 이 알루미늄지지대는 세로방향으로 설치되고 그 위에 양쪽 두개의 모듈이 고정되어 세로 이음매를 형성한다. 가로 이음매는 아래위 모듈이 겹치게 시공되어 방수가 이루어진다. 그림7과 같이 시공되는 이 형태는 아파트 지붕뿐만 아니라 일반 주택 지붕에도 적용될 수 있다.

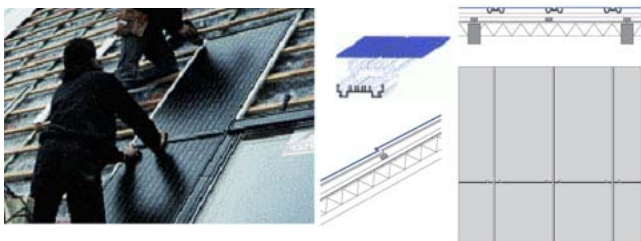


그림 7. 지붕 BIPV 실 예

4.2 외벽적용방법

BIPV의 외벽적용은 3.3에 의해서 창호가 있는 부위와 콘크리트로 된 아파트건물 측벽부위로 구분할 수 있다.

창호는 발코니 새시창이 거의 대부분이고 발코니확장에 따라 거실 및 각 실의 창호일 경우도 있을 수 있다, 발코니 새시창의 적용에 있어서 기존의 발코니 안전 난간대가 PV모듈의 설치대로의 활용가치를 높여 살펴볼 필요가 있다. 이 경우 일반 PV모듈의 무게를 지탱할 수 있도록 기존 안전 난간대의 구조적 보강작업이 이루어진 후, 안전 난간대 바깥쪽에 모듈을 장착하는 한 방법과(그림8) 이러한 수직 장착에서 지적되는 효율감소의 대책으로 그림 9와 같이 모듈 설치대인 발코니 안전 난간대의 변형으로 장착 PV모듈 표면이 일사를 받아들이기에 유리한 설치각도를 가지도록 할 수 있는 두 가지 방법을 채택한다.

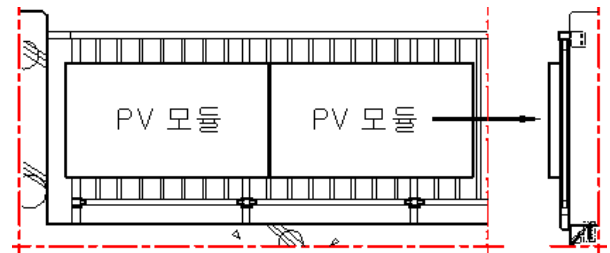


그림 8. 안전 난간대를 이용한 PV모듈 설치 안

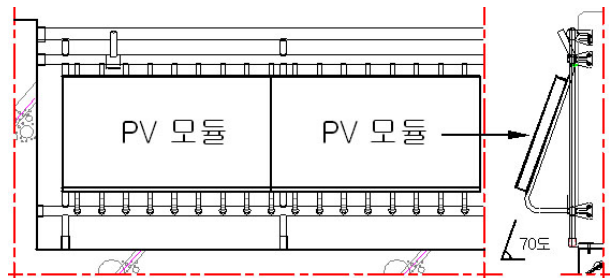


그림 9. 안전 난간대의 변형에 의한 설치 안

특히 후자의 경우에는 설치 각도에 따라 외부설치 차양 장치의 역할도 가능하다. 이는 현재 국내에서 시판되는 표준모듈의 적용에도 무리가 없는 방법이지만, 장착 PV모듈이 실내에서의 시야범위 안에 위치하게 되는 만큼 모듈 뒷면과 배선처리를 매끈하게 마무리 하여야 하며, 장착 위치상 거주자들과의 접촉이 이루어질 수 있으므로 전기설비기술기준에 의한 정확한 접지공사의 시행으로 감전 사고방지를 염두에 두어야 한다. 이와 같이 기존 건축 재료를 최대한 이용하거나 약간의 변형으로 BIPV시공에 활용된다면 더욱 바람직할 것으로 판단된다.

창호시스템의 변경과 BIPV모듈의 개발을 전제로 한 적용 방법을 살펴보면 지금의 대형 창호를 좌우, 아래위로 세분화하여 아래 부분의 유리대신 PV모듈을 장착하여 고정창으로 사용하면서 창 의 윗부분은 여닫이가 가능한 창호로 계획할 수 있다.(그림10) 이때 PV모듈 고정 창 의 높이가 기존의 발코니 안전난간 높이에 준하면 철재안전난간을 대신 하게 될 것이며 안전난간에 의한 그림자의 영향도 배제할 수 있다. 여기에 적용되는 모듈은 건축재료 중 유리에 준하도록 앞뒤 두 장의 유리사이에 결정형 태양

전지를 삽입한 형태나 유리판에 직접 증착한 박막형 모듈 형태가 있고 그림11은 결정형전지 모듈의 실제 예를 보여주고 있다.

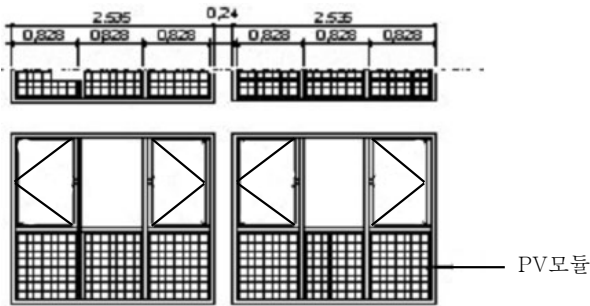


그림 10. 창호시스템 변경에 의한 창호용 BIPV 적용 안



그림 11. 창호용 BIPV적용 예(시뮬레이션), 외국의 실적용 예

현재 아파트외벽은 내단열 구조인 콘크리트외벽으로 여기에 BIPV를 적용하기 위해서는 그 외벽에 PV모듈을 고정할 수 있는 지지구조를 설치하여야 한다. 설치의 첫 단계로 해당 콘크리트 외벽에 계획에 의해 일정 간격으로 지지앵글을 박은 후, 알루미늄 지지대를 설치하며 그 지지대에 PV모듈을 고정한다. 이 경우 BIPV설계자의 디자인에 따라 다양한 설치각도와 모양의 연출이 가능하여 단순한 아파트외벽이 건축 외적인 의미의 발전소로서, 또 디자인요소로서 중요한 역할을 담당하게 된다. 모듈의 수직설치에 따른 발전량저하가 일반적으로 지적될 수 있는 상황이나 BIPV관점에서 그 특성을 고려하면 국내 (초)고층아파트의 넓은 외벽은 상당히 큰 가능성을 제공하고 있다.

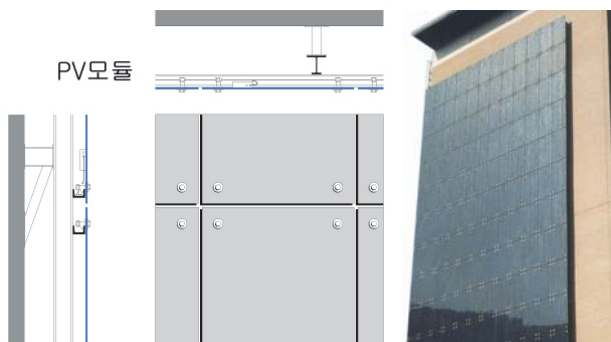


그림 12. PV모듈의 외벽설치 예

5. 결론

APT 건물은 그 외관 특성상 외피면적이 넓으며 고층화

에 따라 높이가 높아 태양광발전 설비(PV)에 유리한 점이 많다. 그러므로 국내 주거형태의 주를 이루는 아파트 건물의 BIPV 설비를 통하여 거지에서 생산되는 전기를 APT에서 직접 이용할 수 있다면 에너지 및 환경문제의 해결은 보다 쉬워지게 된다.

따라서 우리 주거형태에서 큰 비중을 차지하고 있는 아파트에 BIPV설비 도입 가능성을 위한 제반 조건 및 적용 기법을 분석·제시하여, 차후 이 분야의 활성화에 필요한 가이드라인을 제공하는 목적으로 연구를 수행하여 얻어진 결론을 정리하면 아래와 같다.

-아파트의 외관은 시대의 흐름에 따라 발전되었고, 특히 근래에는 지붕부위의 모양이 박공지붕 또는 케노피 형식으로 바뀌면서 PV설치에 유리하게 작용할 수 있다.

-발코니 부위는 채시창의 설치로 이중외피 구조로 향에 따라서는 벽면 설치에 좋은 조건을 가진다.

-아파트 단지가 용적율이 높을 경우 동간의 거리가 가까워 태양고도가 낮은 겨울에는 벽면보다 지붕부위가 설치 장소로 바람직하다.

-아파트의 향에 따라 옆 벽면의 넓은 공간은 벽면 설치 장소로 대단히 유효하고, 그 곳에서 얻어지는 전기량도 대용량이다.

-초고층 아파트의 경우 외피형식이 커튼 월 이중외피 시스템이 대부분이므로 PV모듈이 기존 커튼월을 대체하는 효과도 가질 수 있어 외관 디자인의 다양화와 건축자재절감에도 효과가 있다.

-아파트건물 외피에 새로운 기술통합인 BIPV실현을 효과적으로 구현하기 위해서는 BIPV에 준한 아파트외형 디자인의 개발 및 변화가 절실하다.

참고문헌

1. Claudia Lueling 저, 이응직 역, 건축과 태양광 발전, 세진사, 2005
2. 정상진 외 15인, 사진으로 보는 시공프로세스-아파트, 기문당, 2004
3. 김재원 외 5인, 벽면부착방식 PV시스템의 건축물적용 가능성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2003
4. 발레리 줄레조 저, 길혜연 역, 한국의 아파트 연구, 아연출판부, 2003
5. 대한주택공사, 주택도시 40년, 대한주택공사, 2002
6. 산업도서출판공사, 아파트, 대한주택공사, 2001
7. Roger Messenger, Jerry Ventre, Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press, 2003
8. Ingo Hagemann, Gebaeudeintegrierte Photovoltaik, Rudolf Mueller, 2002