

건물일체형 태양광 발전 (BIPV) 기술 동향

윤종호^{1,a}

¹ 한밭대학교 건축공학과

The State of the Art in BIPV Technology

Jong-Ho, Yoon^{1,a}

¹ Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

(Received November 27, 2013; Revised December 2, 2013; Accepted December 4, 2013)

Abstract: The current downturn of BIPV sector has an enormous potential to rebound and expand into the PV sector for construction market in the foreseeable future. Solar technology has already gained a significant market due to lack of natural resources in the Korean domestic market. Given the technical infrastructure of state-of-the-art fusion technology, the competitiveness of software-driven BIPV market in the world can be very attractive and have the potential to develop as a key national technology. To do this, from the viewpoint of complexity, technical R&D, national political aspect, social aspect, economic aspect and institutional support systems need to be parallelly formulated. A dedicated BIPV sector has not yet been established, especially policy and institutional framework have very crucial impact on the establishment of BIPV sector.

Keywords: BIPV

1. 서론

기존의 고전적 에너지 절약 기술의 한계를 뛰어 넘어, 주변에 풍부히 넘쳐나는 자연에너지원을 이용해 건물 내에서 열 및 전기에너지를 생산할 수 있는 신재생에너지 기술은 현시점의 지구현안을 고려할 때 필수 불가결한 기술 분야로 판단된다. 하지만 신재생에너지 기술을 건물에 효과적으로 적용 보급시키기 위해서는 시스템의 기능적 성능 외에 건물과 조화롭게 일체화 시키는 Bi (building integrated) 즉, 건물 일체화 기술 또한 매우 중요한 핵심 요소임을 인식할

필요성이 있다.

그동안 신재생에너지 기술의 건축응용 및 보급을 위해 태양광 10만호 보급사업, 태양열 난방지원사업, 그린빌리지사업, 지역에너지사업 등 각종 제도적 행정적 지원 사업을 벌이고 있지만 그 중에서도 건축 시장에 가장 큰 영향을 미친 계기는 공공기관 신재생 의무화 제도의 시행일 것이다. 2004년 3월부터 시행된 공공기관 신재생에너지 이용 의무화 법규는 연면적 3,000 m² 이상의 신축 공공 건축물에 대해 건축 공사비의 5% 이상을 신재생에너지설비에 설치토록 의무화한 법안이다. 최근에는 건물 총부하의 일정 비율 이상을 적용하도록 개정되었다. 기존의 주거건물이 주도하던 시장을 탈피하여 비주거건물로 시장이 확대되었다는 점, 법안을 통해 의무적으로 설치해야 됨에 따라 그동안 이 시장에 매우 소극적으로 대처해왔던 건축 실무자 및 건설 업계의 적극적 참여 확대가 현실화되었다는 점에서 매우 큰

a. Corresponding author; jhyoon@hanbat.ac.kr

Copyright ©2014 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



Fig. 1. Conventional installation type of PV, solar thermal and wind power system.

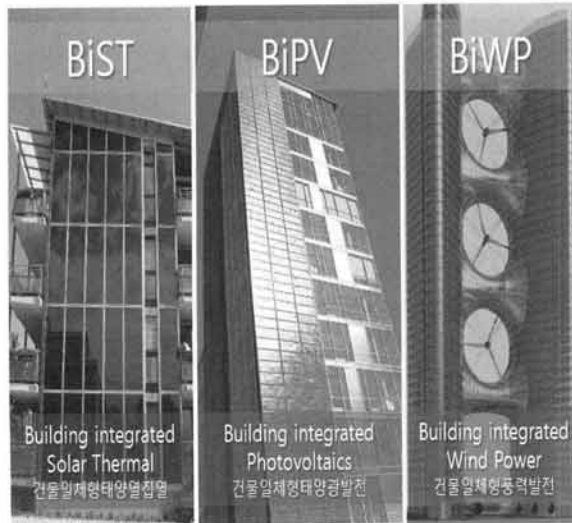


Fig. 2. New installation type of BiST, BiPV and BiWP with Bi-(Building integrated-) technology.

의미를 가진다고 볼 수 있다. 실제로 2004년 법안의 발효이후 많은 전문가들이 그동안 회망해왔던 대형 규모의 제대로 된 신재생에너지 응용 건축물의 본격적 보급을 기대해온 것이 사실이다.

하지만 그동안 운영되어 온 시행 결과를 고찰해 보면 주 보급 시스템인 태양열, 태양광, 지열 시스템 중에서 에너지원별로 많은 보급 편차를 보이고 있다.

다양한 원인이 있을 수 있겠지만 조사 결과 가장 큰 이유 중의 하나는 태양열 및 태양광 시스템의 경우 지열과 달리 건물 외부에 설치됨에 따라 건물과의 조화 문제로 의장적, 기술적 측면에서 회피하는 경향이 강하게 나타났다. 특히 태양광의 경우도 상당수가 건물외피와 일체화된 형태 보다는 지붕에 단순 거치하는 형태가 대부분이었다.

그림 1은 현재 국내에서 적용되고 있는 대부분의 태양열 및 태양광, 풍력시스템의 보급 형태에 대한 실례를 예시한 것이다. 긴 설명을 부연하지 않더라도 왜 태양열, 태양광시스템이 지열시스템 보다 선호되지 못했는가에 대한 이유를 알 수 있을 것이다. 특히 공공건물의 경우 설계 공모 과정을 거쳐야 하며, 여러 가지 측면에서 건물의 의장적 요소에 큰 비중을 둘 수밖에 없는 상황을 고려할 때 이러한 설치 형태는 신재생에너지 시스템의 건물적용 보급을 저하시키는 근본적 요인이 될 것이다. 이미 선진 외국의 경험에서도 입증된 것이지만, 아무리 좋은 성능을 가진 시스템이라 할지라도 건물과의 조화가 우선시 되지 않으면 건축 시장에 절대로 수용될 수 없는 것이다.

이러한 이유로 인해 전 세계 신재생에너지 시장에서는 10여 년 전부터 Bi (building integrated) 즉, 건물 일체화의 중요성을 매우 강조해 왔으며 태양광발전 (PV)의 경우는 이미 건물 일체형 태양광발전 (building integrated photovoltaic, BiPV)이 이 시장을 주도하고 있다. 2000년대 초부터는 오스트리아, 독일, 스위스 등 유럽을 중심으로 태양열시스템도 외벽에 일체화시키려는 건물 일체형 태양열 (building integrated solar thermal, BiST) 시스템의 기술 개발 및 보급이 매우 활발히 진행되고 있다.

또한, 최근 몇 년 사이에는 풍력발전 시스템을 건물 외피에 응용하는 BiWP (building integrated wind power) 기술까지도 상용화되고 있으며, 실제로 많은 건물에 적용되고 있는 시스템을 그림 2에 나타내었다. 기능적으로 아무리 좋은 성능과 혜택을 준다 할지라도 건축 그 자체의 가장 기본적 구성 요소 중 일부를 훼손시킨다면 장기적 측면에서 그 기술은 건축 시장에 생존하기 힘들 것이다. 즉 건물 외관의 의장적 의미를 존중하고 건물과 조화롭게 융화될 수 있는 방안을 모색하지 않는 한 기술적, 기능적 성공만을 통해서만 신재생에너지의 건축응용 기술이 성공할 수 없음을 의미한다 [1].

이러한 이유로 태양광 시스템의 응용 시장 중에서도 최근 BiPV에 대한 관심이 매우 높아지고 있다.

2. 실험 방법

2.1 BIPV의 개념 및 응용 분야

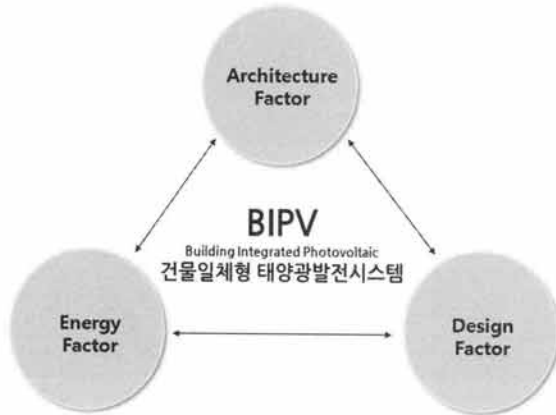


Fig. 3. Concept diagram of BiPV.

건물 일체형 태양광발전시스템 (BIPV)은 PV 모듈을 건축 외장재용으로 전자재화하여 건물 외피에 적용함으로써 경제성을 포함한 각종 부가가치를 높여 보다 효율적으로 PV시스템을 보급 활성화시키려는 개념이다 [2]. 특히, 건물 분야의 전기에너지 절감에 대한 확실한 기술적 대안이 없는 실정에서, 태양광발전 (PV)을 통한 건물의 자체적 전기수급 기술은 21세기를 주도할 미래 산업분야로 관심이 집중되고 있다. BIPV시스템은 신재생에너지의 핵심인 태양광발전을 건축 분야에 적용한 시스템으로서 단순히 신재생에너지를 적용하는데 그치는 것이 아니라 건축, 토목, 전기, 전자 및 화학, 신소재 등의 다양한 기술이 융합된 분야이며 이에 따라 기술개발, 연관 산업 파급 효과가 큰 분야이다.

건물에너지 소비 요소 중 점차 증대되고 있는 부분인 전력 부문에 대해서는 BIPV시스템을 적용할 경우 에너지 상쇄가 가능하고, 하절기 및 동절기의 전력부하로 인한 전력피크 완화에 기여할 수 있다. 또한 시스템의 설치를 위한 별도의 설치 부지가 필요 없으며, 실제 거주 면적이 협소한 지형 조건에 매우 적합한 형태라고 할 수 있다. 더불어 태양에너지 이용이라는 환경 친화적인 요소 기술의 도입으로 인한 건물의 부가가치를 높일 수 있을 뿐만 아니라 신축 또는 기존의 건물의 개보수에 모두 적용이 가능하기 때문에 그 잠재성이 매우 크다고 할 수 있다.

2.2 시스템의 건물 통합 방법 및 종류

PV모듈을 건물 외장재로 대체하는 방법은 건물과의 결합 수준에 따라 크게 완전 일체형과 단순 거치형으로 구별할 수 있으며, 부착방식 및 통기 구조에 따라 보다 세부적으로 다양하게 구분할 수 있다.

Table 1. Integration level of BIPV for building envelope.

Wall type	
Glazing Type	
Standing Type	
Roof Type	
Others	

표 1은 BIPV 모듈을 건물의 어느 부위에 적용시켜 통합하느냐의 여부에 따라 구분된 일레이다 [3].

그림 4는 창호 일체형 BIPV시스템의 사례를 예시한 것이다. 창호 일체형 태양광시스템의 경우 유리창의 본래의 기능인 투과성과 채광성을 가지고 있는 것이 특징이다. 쉘의 배치 변화에 따라 그림자 패턴을 줄 수 있으며, 투과율 조절을 통해 다양한 건축적 기법으로 활용이 가능하다. 가시성 확보를 위해 기존의 유리와 혼합하여 입면에 적용할 수 있으며, 공공건물에서의 유리소재 사용이 급증 (커틀윌)하고 있는 추세에서 유용하게 적용될 수 있는 기법이다.



Fig. 4. BiPV systems for building window application.



Fig. 5. Wall integration PV systems.

그림 5는 외벽일체형 사례를 나타내는 것으로 건물의 입면에 적용되는 외벽 일체형 태양광시스템은 건물의 외장자재를 대체할 수 있으며, 새로운 건물뿐만 아니라 기존의 건물의 외피를 교체하는 개보수에도 적용이 가능한 장점이 있다. 비록 최적의 경사각으로 설치되었을 경우와 비교하면 예상되는 발전량이 더 낮은 수준이지만, 모듈의 사이즈 및 형태, 패턴, 색상 변화에 따라 다양한 디자인이 가능하다. 또한 건물의 전체 표면적 대비 수직면이 많은 도심형 건물의 경우 건물의 부지를 최대한 활용할 수 있기 때문에 그 잠재력이 매우 크다고 할 수 있다.

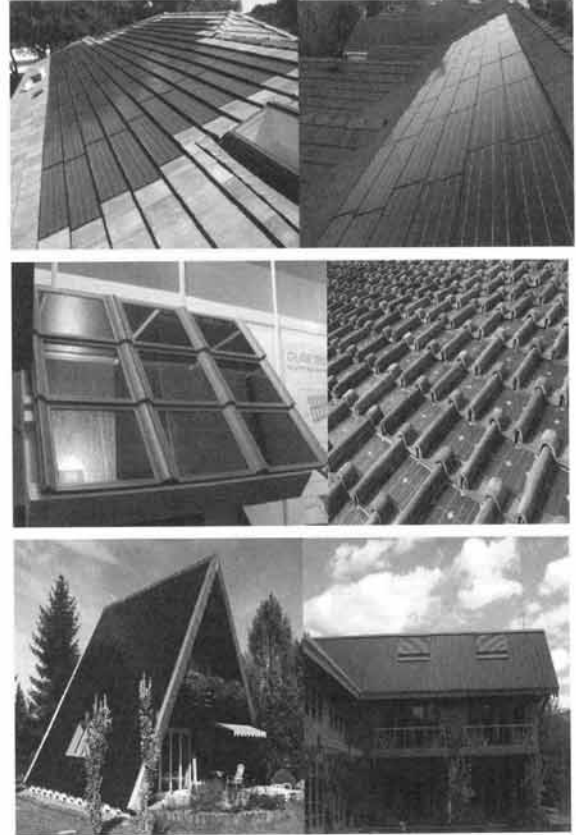


Fig. 6. Roof integration PV systems.

그림 6은 지붕일체형 시스템의 사례이다. 지붕에 PV시스템을 적용하는 것은 일사확득이 가장 용이한 방법으로써 외피면적 대비 지붕 면적이 큰 건물에 적합한 방식이다. 지붕일체형 태양광발전시스템은 경사 지붕과 통합하여 자연스럽게 모듈 설치가 가능하며, 모듈의 패턴을 이용하여 이미지의 형상화가 가능한 장점이 있다. 또한 지붕에 적용되기 때문에 최적의 설치 여건, 최적의 각도로 설치가 가능하여 발전효율을 극대화할 수 있다. 현재 시중에 나와 있는 BIPV 관련 지붕소재에는 PV 슬레이트, PV 타일, PV 싱글, PV 지붕 금속판 등이 있으며, 기존 지붕공사 공법을 그대로 사용하여 쉽게 시공할 수 있을 뿐만 아니라 기존 지붕 소재와 혼용하여 사용하여도 시각적으로 일체화된 느낌을 유지할 수 있다. 그 외에도 기존의 PV 패널을 단일 지붕패널과 일체화한 제품은 기존 건물 및 신축 건물의 지붕 단열을 높일 수 있을 뿐만 아니라 발전을 할 수 있는 이중 효과를 기대할 수 있다.

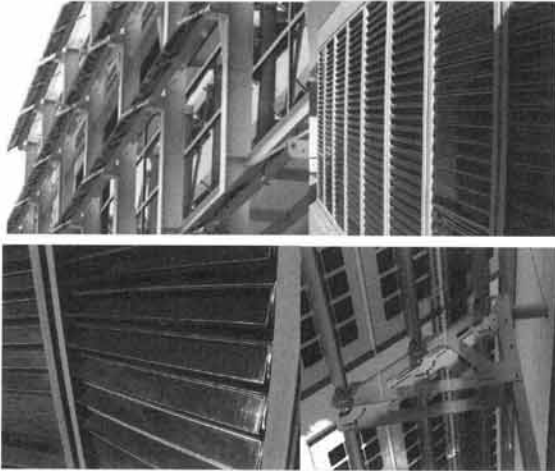


Fig. 7. BiPV systems for external shading device.



Fig. 8. BiPV systems for balcony.

그림 7은 차양 장치 및 루버형 BIPV 시스템의 적용 사례이다. 루버와 일체화된 PV 시스템의 경우 과도한 직사일광과 현회를 막아주어 실내 조명부하를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 재실자의 시각적 쾌적성을 확보할 수 있는 장점이 있다. 또한 루버의 각도를 태양광발전을 위한 최적 각도로 맞추어 입면에서도 최대한 발전 효율을 유지할 수 있다. 루버는 가변형과 고정형 등으로 다양하게 디자인될 수 있으나, 하부 음영을 고려하여 모듈의 경사각 및 루버의 간격을 조절하여 디자인해야 한다.

그림 8과 같이 건물의 발코니 난간에 적용된 BIPV 시스템은 반투명 태양전지를 통해 채광성을 유지하거나 발코니가 외부에 노출되어 있는 경우에는 불투명 태양전지를 이용하여 보다 효율을 높일 수 있다. 이 방식은 발코니 면적이 넓은 공동주택에 적합한 방식으로, 수직으로 설치되기 때문에 공간의 여유가 생기고 옥상 부분을 녹화, 휴식 공간 등 다른 용도로 활용할 수 있어 공간의 유효성이 증대되는 장점이 있다.

2.3 BIPV 접근 방법 및 통합설계 평가 요소

BIPV 시스템은 독립형 PV 시스템과 달리 건물이라는 특수한 조건과 결합되어야 하기 때문에 독립형 시스템에서는 포함되지 않았던 수많은 고려 변수가 추가된다. 독립형 시스템에서와 같이 에너지 성능의 극대화만이 설계의 최종 목표가 될 수 없으며, 많은 건축 계획적 요소를 포함하여 계획 전 과정에 걸쳐 종합적인 통합 설계안이 체계적으로 도출되어야 한다.

Table 2. Design parameters for BIPV system.

	NATURALLY INTEGRATED
1	The PV system is a natural part of the building. Without PV, the building would be lacking something - the PV system completes the building.
	ARCHITECTURALLY PLEASING
2	Based on a good design, does the PV system add eye-catching features to the design
	GOOD COMPOSITION
3	The colour and texture of the PV system should be in harmony with the other materials. Often, also a specific design of the PV system can be aimed at (e.g. frameless vs. framed modules)
	GRID, HARMONY AND COMPOSITION
4	The sizing of the PV system matches the sizing and grid of the building
	CONTEXTUALITY
5	The total image of a building should be in harmony with the PV system. On a historic building, tiles or slates will probably fit better than large glass modules
	WELL- ENGINEERED
6	This does not concern the watertightness of PV roof, but more the elegance of design details. Have details been well-conceived? Has the amount of materials been minimised? Are details convincing?
	INNOVATIVE NEW DESIGN
7	PV is an innovative technology, asking for innovative, creative, thinking of architects. New ideas can enhance the PV market and add value to buildings

따라서 빌딩 엔지니어를 포함한 전기 및 PV전문가, 시공 기술자들이 건축설계자와 유기적인 관계를 유지하며 계획 초기 단계부터 설계 과정에 참여하여야 한다.

특히 BIPV는 건물의 이미지를 결정하는 의장적 요소가 매우 큰 비중을 차지하기 때문에 건축설계자의 역할이 매우 중요하다. 따라서 효과적 결과물을 도출하기 위해서는 건축가 스스로가 BIPV에 대한 물리적 기초 지식 및 통합 설계에 대한 이해를 일정 수준 습득할 필요성이 있다.

표 2는 성공적인 BIPV 건물설계를 위해 반영해야 할 각종 고려 요소를 항목별로 구분한 것이다 [5]. PV 시스템의 에너지 성능은 고려 요소의 일부에 불과하며, 나머지 모든 성능 요소가 효과적으로 종합되어 설계 안에 반영될 경우에만 성공적인 BIPV 건물이 건립될 수 있는 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 BIPV 시장의 최근 변화 동향

세계 태양광 시장은 최근 몇 년간 일시적 침체현상과 함께 매우 큰 구조 조정의 시기를 겪고 있다. 2011년 이후 세계적 태양광 시장의 전반적 공급 과잉 현상과 함께 태양광 보급의 핵심 지역인 유럽발 경제 위기가 겹쳐 시장이 크게 위축되는 현상이 도래하였다. 이는 최근 중국산 모듈의 저가공급과 함께 태양광 시스템 가격의 폭락을 초래하였으며, 이로 인해 수많은 태양광 관련 핵심기업들이 큰 위기를 맞이하고 있다. 국내의 상황도 매우 좋지 않아 그동안 열심히 시장개척을 해오던 많은 기업들이 이미 합병 또는 도산의 수순을 밟고 있는 실정이다. 하지만 이러한 현상은 일시적 공급과잉에 따른 중간 구조조정의 일환이라는 예측에 대부분의 관련 전문가들은 동의하고 있다. 실제로 이러한 어려움 속에도 전 세계 태양광 시장의 설치용량은 지속적으로 증가하였으며, 내년부터는 본격적으로 공급과잉이 해소되기 시작하면서 재편된 태양광 시장을 중심으로 재도약의 성장을 할 것으로 기대하고 있다 [4].

한편 세계 건물에너지 관련 시장은 탄소경제시대로의 전환에 따른 큰 패러다임의 변화를 겪고 있다. 90년대 초부터 시작된 탄소 배출권의 문제는 이미 2005년부터 발효된 교토의 정서에 따라 세계는 CDM 청정개발체제 (clean development mechanism, 淸淨開發體制)의 경쟁으로 진입한지 오래이다. 이에 따라 2010년을 전후해 세계 대부분의 국가 기본정책에 그린시장 개발이 핵심 이슈로 자리 잡았다. 세계 탄소

배출량에 큰 비중을 차지하고 있는 건물에너지 소비분야도 당연히 주요 관리 대상이 되었으며, 과거의 진행 속도보다 매우 빠르고 강력한 수준으로 건물에너지 소비의 효율성을 요구하는 각종 정책 및 제도가 확립되고 있다. 지금부터 3년 뒤인 2016년부터 영국의 모든 신축 주택은 화석연료의 사용이 억제된 제로에너지 주택 또는 탄소제로 주택이 의무화되며, 2020년을 전후해서는 EU 전역에 걸쳐 신축 주거 및 비주거건물 전체를 대상으로 화석연료의 사용을 최대한 억제시킨 제로에너지 건물 (nearly net zero energy building, nnZEB)의 의무화가 시작될 예정이다. 이는 국가별로는 틀리지만 이미 각 국가의 건물에너지 정책 로드맵에 반영되어 매년 단계적으로 급속히 화석 에너지 소비량의 억제를 요구하고 있는 실정이다. 국내의 경우도 2017년에 기존대비 60% 절감의 제로에너지 주택, 2025년에 완전 제로에너지주택의 의무화를 선언하고 단계별 기준강화를 시행해 가고 있다. 이러한 배경 하에 이미 전 세계 건축시장은 화석에너지의 사용으로부터 탈피된 제로에너지빌딩 시장체제로 재편되고 있으며, 이는 건설 산업은 물론 이와 관련된 많은 산업 분야에 걸쳐 매우 큰 시장 변화를 요구하고 있다.

제로에너지 건물의 구현을 위해서는 우선 건물의 부하를 최소화시키기 위한 패시브 (passive)적 기술 즉 건물에너지 절감 및 효율과 관련된 기술이 우선 적용된 후, 액티브 (active)적 기술 즉 백업 설비시스템 및 신재생에너지 관련 기술을 통해 잔여부하를 제거하는 형식으로 설계가 진행되어야 하며, 이러한 접근방법은 이미 대부분의 현업 설계사무소에서 실무에 응용되고 있을 정도로 빠르게 시장에 정착하고 있다. 이 과정에서 신재생에너지 시스템은 잔여 부하를 처리하기 위한 최종 단계의 기술로 열 및 전기부하의 충당을 위해 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 특히 비주거용 건물에서 큰 주도적 비중을 차지하고 있는 전기부하의 경우 에너지 절감 및 효율을 통해 저감시킬 수 있는 한계가 매우 제한적이기 때문에 전기를 생산 충당할 수 있는 신재생에너지기술의 개발은 다른 어떠한 기술보다 시급히 제로에너지 빌딩의 구현을 위해 제공되어야 하는 분야이다. 현재의 기술 수준을 고려할 때 풍력, 연료전지, 바이오 열병합발전, 태양열 발전 등의 전기 생산 관련 신재생에너지 기술은 아직 건물로 곧바로 응용되기에는 많은 장벽이 남아있는 실정이며, 이러한 관점에서 건물 외장재의 역할을 겸용할 수 있는 BIPV 기술은 효율 및 비용의 논쟁을 차지하더라도 미래 제로에너지 빌딩의 구

현에 결정적 영향을 기여해야 한다는 잠재성에는 어느 누구도 이견을 달지 못할 것이다.

이러한 배경으로 인해 전 세계 많은 관련 기업들이 이미 오래 전부터 BIPV 시장에 지속적인 관심을 두고 시장개척과 기술개발에 매진하고 있으며, 이는 최근 전문 시장예측기관으로부터 활발하게 발간되기 시작한 BIPV 시장예측 전망 보고서를 통해서도 입증되고 있다.

각 보고서마다 약간의 차이는 있지만 대부분의 예측기관에서 보고 있는 BIPV 시장의 향후 잠재 규모는 2017년에 전체 태양광시장의 9.0%까지 성장할 것으로 보고 있다. 현재 세계 PV시장의 규모가 2012년 기준 32 G에서 2017년 64 G로 성장할 것으로 예측하고 있으며, 이에 따라 BIPV 시장의 규모는 2012년 기준 0.4 G 규모에서 2017년 5.8 G로 매우 큰 시장 확대가 일어날 것으로 보고 있다. 이는 향후 국가의 R&D 개발 우선분야에서도 그 중요성이 인정되어 올해 새로이 수립된 국가에너지기본계획 산업기술 로드맵의 태양광 기술체계 분류에서 기존에 시스템분야의 일부로 포함되어 있던 BIPV 분야가 별도의 독립된 중분류 분야로 자리잡게 되었다.

4. 결론

머지않은 시간 내에 엄청난 규모의 시장으로 확대될 것으로 예측되고 있는 BIPV 분야는 현재 침체된 국내 건설시장 및 태양광 시장의 제도약을 위한 촉진제 역할을 할 수 있는 충분한 잠재성을 가진 기술 분야이다.

부존자원이 부족한 국내의 현실에서 이미 상당한 기술력을 확보하고 있는 건설 시장과 태양광 시장의 기술 인프라를 고려할 때 소프트웨어적 첨단 융합기술 중심의 BIPV 시장은 세계 경쟁력을 갖출 수 있는 매우 매력적이고 유망한 국가 중점개발 기술 분야 중 하나로 자리 매김할 것이다. 이를 위해서는 기술적 R&D는 물론이고 국가차원의 정책적 측면, 사회적 관점, 경제적 관점에서 복합적인 지원체계와 제도의 정립이 병행되어야 할 것이다. 특히 아직 시장기반이 확립되지 못한 BIPV 분야의 경우는 다른 무엇보다도 정책적, 제도적 기반의 확립이 BIPV 시장 활성화의 성패를 가름하는 결정적 영향 요소가 될 것이다.

REFERENCES

- [1] J. H. Yoon, *Journal of KIRA*, KIRA(Korea Institute of Registered Architect, 2008)
- [2] J. H. Yoon, *Journal of KGBC*, KGBC(Koera Green Building Council, 2004)
- [3] Research Report of Hanbat National University, "Design and Construction Guideline for BIPV System", *MOTIE*. (2013).
- [4] J. H. Yoon, "The state of the art in BIPV policy and market status" *Journal of KGBC*, KGBC(Koera Green Building Council, 2013)
- [5] T. Schoenl, *TASK 7 of the IEA PV Power Systems Program - Achievements and Outlook* (17th European Photovoltaic Solar Conference, 2001)