

# 건물일체형 태양광(BIPV) 및 태양열(BIST) 시스템의 최신 기술동향



글 윤종호 \ 한밭대학교 건축공학부 교수 \ 전화 042-821-1126 \ E-mail jhyoon@hanbat.ac.kr



## 1. 머리말

2000년대 후반 들어 전 세계적인 저탄소 녹색성장의 붐은 급기야 건설시장에도 직접적 영향을 미치기 시작하여, 불과 1~2년 사이에 국내 대부분의 건설사는 자사만의 특화된 그린홈 및 그린빌딩 아이টে을 개발하기 위해 발 빠른 행보를 보이고 있다. 이미 상당수의 건설사는 데모주택을 건립해 운영하고 있으며, 그린 브랜드의 차별화를 통한 마케팅에도 많은 노력을 경주하고 있다.

한편 최근의 그린빌딩에 대한 기술적 접근은 궁극적으로 10~15년 내에 건물 내에서의 화석에너지 소비를 제로화한다는 국가적 목표를 충족시켜야 한다는 점에서 과거의 부분, 독립적 접근방식의 그린빌딩 관련 에너지 절약 및 효율, 신재생에너지 기술 적용과는 근본적 차이를 가지고 있다. 최근 패시브적(Passive) 기술접근과 액티브적(Active) 기술접근에 대한 논의가 활발한 것도 이러한 원인에 기인한 것이다.

본고에서는 미래 제로에너지 그린빌딩의 달성을 위해 필요한 여러 액티브적 기술요소 중 핵심적 역할을 담당해야 할 건물일체형 태양광(BIPV, Building Integrated PV) 및 태양열(BIST, Building Integrated Solar Thermal) 기술의 필요성 및 그린빌딩 내 역할과 최신 기술동향에 대해 고찰하고자 한다.

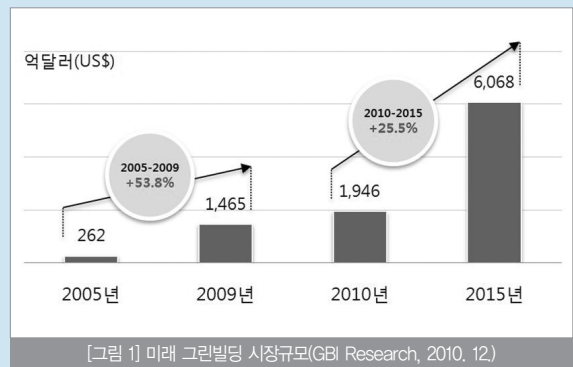
## 2. 세계 그린홈, 그린빌딩 시장동향

### 2-1. 그린빌딩의 세계시장 규모

최근 발표된 GBI의 시장동향 보고서에 따르면 세계 그린빌딩 시장규모는 그 동안 매우 빠른 속도로 시장이 확대되어 왔으며, 향

후 2015년까지 지속적으로 가파른 성장을 할 것으로 예측하고 있다(GBI Research, 2010. 12).

2005년 US\$262억이던 세계 그린빌딩 시장규모는 2009년 US\$1,465억으로 성장해 연평균 성장률이 53.8%에 이르렀다. 2010년은 US\$1,946억을 달성할 것으로 예상하고 있으며, 2015년까지 연평균 성장률 25.5%를 나타내며 US\$262억 시장으로 성장할 것으로 내다보고 있다. 시장규모가 확대된 상태에서 이 정도의 연평균 성장률을 지속한다는 것은 기하급수적 시장규모의 확대를 의미하는 것이다.



### 2-2. 그린빌딩의 성장동력, 탄소제로건축

이러한 성장의 원동력은 최근 급속한 붐을 이루고 있는 전 세계적 저탄소 녹색성장의 바람이 건설분야에도 매우 강력하게 직접적 영향을 미치고 있음을 입증하는 것이다. 근본적인 화석에너지자원의 고갈과 함께 지구환경 기후변화에 대한 세계적 관심과 위기의식의 고조로, 각국 정부에서는 앞 다투어 저탄소 녹색성장의 정책

을 강력히 추진하고 있으며, 전 세계 에너지소비의 상당량을 차지하고 있는 건축분야에 있어서도 근본적 패러다임의 변화가 피부로 느낄 수 있을 정도에 이르렀다.

이 분야에 가장 빠른 행보를 보이고 있는 유럽연합(EU)의 경우 이미 10여 년 전인 2002년부터 EU 25개국의 통일된 에너지절약 정책수립을 위해 건물에너지절약규범인 EPBD (Energy Performance of Building Directive)를 제정 추진하고 있다. 2008년 말에는 건물분야의 화석에너지사용 제로에너지화에 대한 잠재성을 제시하며 EPBD의 개정을 제안했으며, 2009년 11월 급기야 EU의회와 집행위, 이사회의 3자회담 합의를 통해 2019년부터 EU 내 신축 공공건물을 대상으로, 2021년부터는 EU 내 모든 1,000㎡ 이상의 신축건물을 대상으로 'Nearly Zero Energy' 화를 의무화할 것을 선언하였다.

향후 10년 뒤에 탄소제로건물을 의무화한다는 것은 그 과정에 있는 준비기간 동안 매우 강력하고 급속한 정책변화가 필수적으로 따를 수밖에 없음을 의미하며, 이는 곧 건설시장 자체에 매우 큰 패러다임적 변화가 초래됨을 의미하는 것이다. 실제로 영국의 경우 2013년에 기존대비 44% 절감의 패시브하우스 수준을 의무화하고, 2016년부터는 신규주택 내 모든 난방, 급탕, 조명, 가전기기를 포함해 화석연료를 통한 탄소배출을 제로화한 제로에너지주택만 건립할 수 있도록 추진하고 있다.

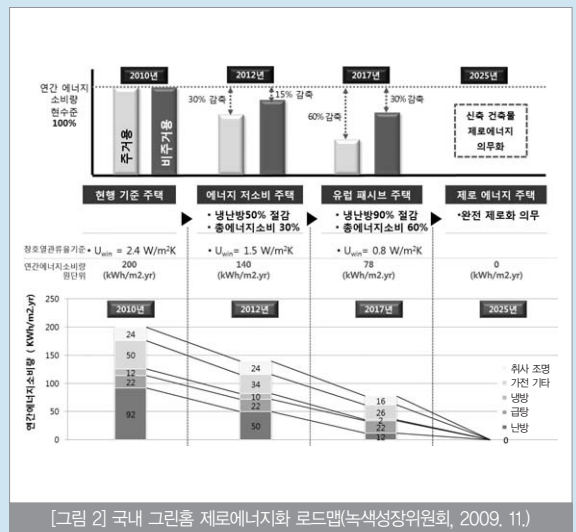
미국, 캐나다 등 북미 지역에서도 2020년 넷제로(Net Zero Energy)에너지 주택, 2025년 넷제로에너지 상업건물의 의무화를 목표로 추진하고 있으며, 기타 상당수의 국가에서도 전 세계적인 제로에너지화 기조에 동참할 수밖에 없는 상황에 놓여있다.

### 2-3. 국내 그린홈, 그린빌딩 동향

우리나라도 2008년 8월 15일 MB정부의 저탄소 녹색성장 선언 이후 매우 급격한 사회 경제적 그린화 물결이 일고 있다. 특히 건축시장에서는 강력한 그린홈 그린빌딩의 보급정책에 따라 매우 급박한 시장 대응력을 요구받고 있는 실정이다.

[그림 2]와 같이 2009년 11월에 발표된 녹색성장위원회의 건물 관련 제로에너지화 로드맵에 따르면 2025년 제로에너지주택 의무화를 기준으로 단계별 기준강화를 추진해가고 있다. 특히 최근 전격적으로 시행된 건물에너지총량제 및 에너지효율등급제, 상호 열관류율 강화 등은 얼마나 시장이 급격하게 변화되고 있는지를 잘 보여주는 예시라 할 수 있다.

이상 살펴본 바와 같이 최근의 제로에너지 그린빌딩화 동향은 절대 일시적 유행으로 볼 수 없으며, 세계 각국에서 수립한 로드맵에 따라, 매우 적극적이고 시급하게 대응해야 할 눈앞의 변화이다.

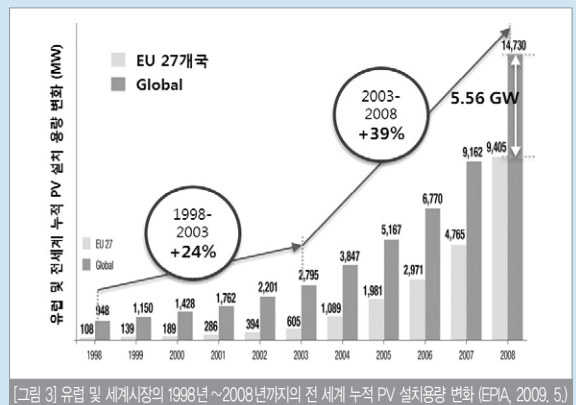


[그림 2] 국내 그린홈 제로에너지화 로드맵(녹색성장위원회, 2009. 11.)

## 3. 태양광 BIPV 시장 및 기술 동향

### 3-1. 태양광 세계시장 동향

[그림 3]은 2009년 5월 유럽태양광산업협회(EPIA)에서 발표한 유럽 및 전 세계의 1998년부터 10년간 세계 태양광시장의 누적 설치량 통계를 나타낸 것이다. 2008년까지 설치된 총 PV 규모는 14.73GW이며 2008년 한 해에만 5.56GW가 설치되었다. 2008년 한 해 동안 설치된 PV 규모가 2005년까지의 전체 누적 설치량을 상회하는 급성장세를 보이고 있다. 연평균 성장률을 살펴보면 2003년부터 2008년까지 최근 5년간의 연평균 성장률은 39%이며, 2007년은 40%, 2008년의 경우는 60%에 다다르고 있다. 1992년부터 15년간의 평균 성장률을 따졌을 경우도 연평균 30%의 성장을 나타내고 있다. 시장규모에 있어서는 2007년 US\$1,290만으로 1992년과 비교할 때 50~60배의 성장률을 보이고 있다.



[그림 3] 유럽 및 세계시장의 1998년~2008년까지의 전 세계 누적 PV 설치용량 변화 (EPIA, 2009. 5.)

한편 연평균 30% 이상의 고속성장을 해오던 태양광 시장은 2009년 들어 전 세계적인 경기침체와 태양전기 원재료의 부족현상 등으로 그 성장세가 꺾이는 듯 하였으나 최근 통계에 따르면 작년 2010년 한 해는 각 분야 기록이 경신된 해가 될 정도로 다시 높은 성장률을 나타내었다. 2010년 EU 내에서 달성한 PV 분야의 괄목한 성장은 지속적인 정치적 지원, 시스템의 비용 감소, 새로운 응용의 시도 및 과감한 투자 등을 통해 달성된 것이며, 이를 통해 각국의 2020년 탄소저감목표를 달성할 수 있는 가장 확실한 신재생에너지 기술 중의 하나임을 입증하고 있다. 특히 고무적 사실은 신규 태양광 시스템의 70% 이상이 중소규모의 PV시스템이라는 점으로, 이는 대면적의 PV 상용발전소보다는 분산전원의 건물연계 BIPV 시장이 급속히 성장하고 있음을 간접적으로 시사하고 있는 것이다.

### 3-2. BIPV 세계시장 동향

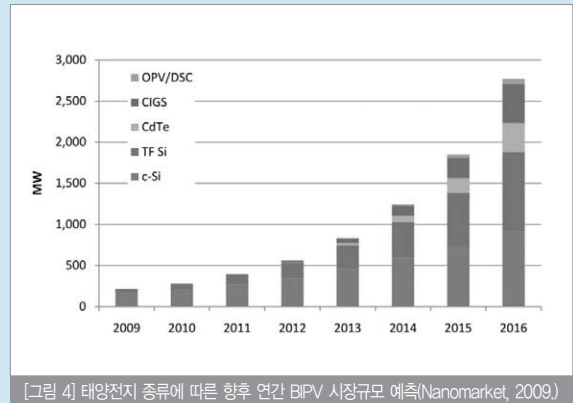
전 세계 BIPV 시장의 규모는 2008년 기준으로 전체 PV 시장의 약 4%대에 머물고 있지만 세계 각국의 저탄소 녹색성장과 관련된 정책 및 탄소제로건물의 추구를 인해 매우 큰 성장을 할 것으로 기대되고 있다. 전문 조사기관의 최근 연구에 따르면 BIPV 시장은 향후 몇 년간 급속한 성장을 이루어 태양광 전체시장의 주도 산업으로 자리 잡을 것으로 예측하고 있다.

[그림 4]와 같이 분석 결과에 따르면 2013년까지 BIPV 누적 설치규모는 10.8GW에 이를 것으로 보고 있으며, 연간 BIPV 설치 규모가 2013년에 837MW, 2015년에 1.9GW 규모로 예측된다.

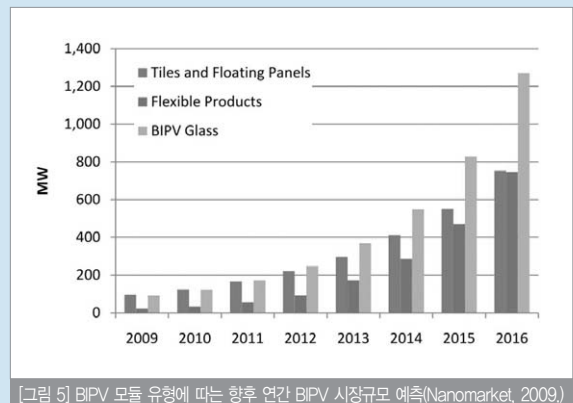
2010년을 기준으로 현재는 결정계(c-Si) 태양전지가 BIPV 시장의 74%를 점유하며 시장을 주도하고 있으며, 박막전지인 비정질(a-Si) 실리콘이 나머지 시장을 차지하고 있다. CIGS의 경우 일부 작은 시장을 형성하고 있는 반면 유해성분을 함유하고 있는 CdTe는 BIPV용으로 전혀 적용되지 못하고 있다. 향후 5년 뒤인 2015년에는 BIPV 시장규모가 7배 성장해 연 1.9GW 설치될 것이며, 결정계(c-Si) 태양전지와 비정질(a-Si) 태양전지가 39%와 36%로 시장을 양분하고 있으며, 신개념 태양전지인 염료감응 및 유기태양전지도 14%의 시장점유율을 차지하며 급성장할 것으로 내다보고 있다.

[그림 5]는 BIPV 모듈유형에 따라 향후 시장이 어떻게 변화될지에 대한 예측결과이다. 과거의 BIPV 예측 보고서가 지붕형 불투명 모듈이 대부분을 차지할 것이라는 예측결과와 달리 가장 최근에 출시된 본 보고서에서는 BIPV Glass 즉, 유리판을 이용한 모듈이 BIPV 시장을 주도할 것으로 예측하고 있다. BIPV Glass는 기존의 반투명 결정계 G/G 모듈과 함께 균일투광성의 박막 태

양전지도 포함하기 때문에 커튼월 시장과 함께 창호시장을 대체하는 BIPV 시장의 잠재성을 매우 높게 평가한 결과라 볼 수 있다.



[그림 4] 태양전기 종류에 따른 향후 연간 BIPV 시장규모 예측(Nanomarket, 2009.)



[그림 5] BIPV 모듈 유형에 따른 향후 연간 BIPV 시장규모 예측(Nanomarket, 2009.)

### 3-3. 건물일체화 기술 국내현황

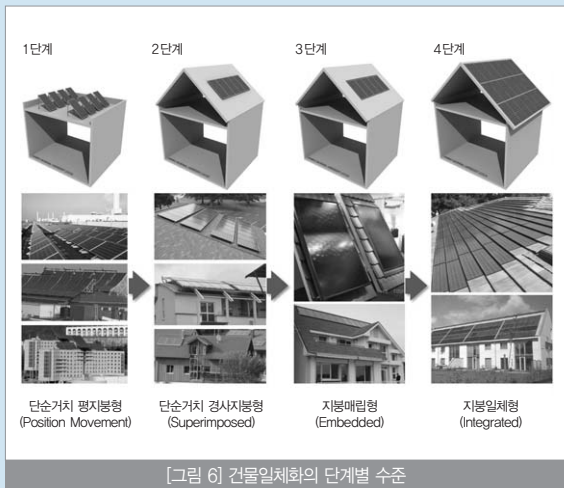
제한된 국토와 인구밀도가 높은 상황에서 태양광발전의 효율적 보급을 위해서는 건물의 지붕 및 건물의 입면 파사드에 태양광을 접합시키는 방법이 매우 효율적이다. BIPV 모듈은 별도의 설치부지가 필요 없으며 특히, 기존 건축외장재를 대체하기 때문에 비용 절감의 이중효과를 기대할 수 있다. 또한 커튼월, 천창, 차양, PV 지붕 타일, 반투명 PV 창호 등 매우 다양한 형태로 개발 가능한 첨단 유망기술 분야이기 때문이다.

한편 국내에서 2004년부터 시행된 공공건물 신재생에너지 의무 설치 조치에 따라 주택 이외의 건물에 PV를 적용해야 하는 수요가 급속히 증가하고 있다. 하지만 현재까지 적용되었거나 설계되고 있는 공공건물의 PV 설치사례는 아직까지도 대부분이 지지대를 이용해 건물옥상에 거치시키는 형태의 불완전한 BIPV 형태로 적용되고 있다. 이는 건물외관의 미적인 측면에서 볼 때 건축가 및 수요자들에게 큰 거부감을 주고 있으며, 무엇보다도 건물 외관

에 가장 우선권을 주고 있는 현실을 고려할 때 궁극적으로 PV시스템의 건물적용 보급을 저하시키는 근본적 요인이 될 것이다. 현재 옥상에 거치시키는 형태의 경우, 기존의 건물외장재를 대체함으로써 경제적 이득을 본다는 BIPV의 근본적 개념에도 위배되는 것이다. 이러한 이유로 인해 외국의 BIPV 사례에서는 국내와 같은 옥상 거치식 방식을 거의 찾아보기 힘들다.

[그림 6]에 나타낸 바와 같이 건물일체화의 수준은 크게 4개 유형으로 구분될 수 있는데, 국내의 실제 보급건물의 적용유형 수준은 주로 1, 2단계가 주를 이루고 있어 빠른 시일 내에 완전한 통합화를 이룬 4단계로의 이진이 시급한 실정이다.

BIPV기술의 정의, 장단점 및 특징, BIPV모듈의 종류, BIPV를 위한 건축적 고려요소, 성능평가 방법 및 경제성 등 여러 기술적 사안과 다양한 설치사례에 대해서는 기 발표되었던 여러 문헌(참고문헌 참조)으로 같음하고 본고에서는 지면 제한상 생략하기로 한다.



[그림 6] 건물일체화의 단계별 수준

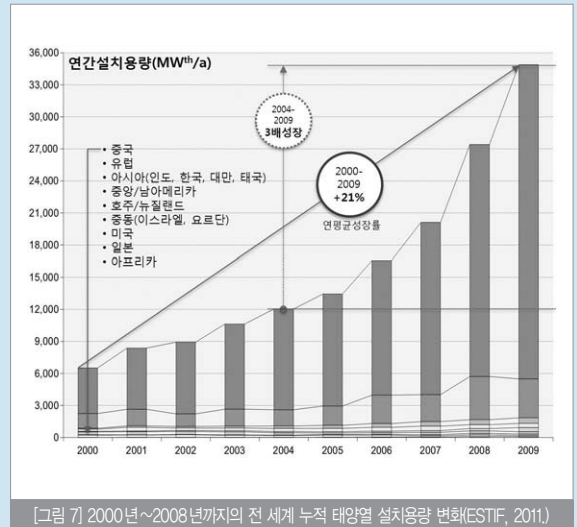
## 4. 태양열 BIST 시장 및 기술동향

### 4-1. 태양열 세계시장 동향

2009년 말까지 전 세계에 작동하고 있는 태양열집열기의 용량은 172.4GWth이며 집열면적으로는 2억4,620만 m<sup>2</sup>이다. 이중 평판형 및 진공관형 집열기가 151.5GWth, 투과체가 없는 집열기가 19.7GWth, 공기식집열기가 1.2GWth를 차지했다. 국가별로는 중국이 101.5GWth, 유럽이 32.5GWth, 미국 및 캐나다가 15.0GWth로 전체시장의 86.4%에 해당한다.

2009년 한 해 동안 신규로 설치된 용량은 [그림 7]과 같이 36.5GWth(집열면적 5,200백만 m<sup>2</sup>)로 전년대비 25.3%의 성장을

나타내었다. 2004년에서 2009년까지 거의 3배 가까운 시장 확대가 있었으며, 2000년~2009년간 10년 동안의 연평균 성장률은 20.8%를 나타내어 앞서 태양광과 함께 매우 가파른 속도로 시장이 성장하고 있음을 알 수 있다.



[그림 7] 2000년~2008년까지의 전 세계 누적 태양열 설치용량 변화(ESTIF, 2011)

### 4-2. 그린빌딩 내 태양광과 태양열의 역할

앞서 기술한 바와 같이 제로에너지 그린빌딩의 구현을 위해서는 건물 내 화석연료의 사용을 완전히 배제해야 하므로 설계 초기 접근부터 방법론을 달리해야 한다. 이 경우 설계 초기단계부터 건물의 전체 열부하와 전기부하를 성분별로 구분하여, 기술의 종류와 우선순위를 철저히 준수하며, 종합적인 제로화 전략을 단계별로 통합설계에 입각해 시행하여야 한다. 이 과정에서 경제성 또한 매우 중요한 요소가 되기 때문에 디자인적 기법이 위주가 되는 패시브적 기술의 우선 적용 후에, 잔여부하에 대한 설비적 액티브기술이 최소화되어 적용되는 것이 일반적이다.

일반적으로 주거건물의 경우 열부하가 2/3 이상을 차지하는 반면, 비주거건물의 경우는 전기부하가 2/3 이상을 차지한다. 주거건물의 열부하는 슈퍼단열, 슈퍼창 및 기밀화 등의 패시브적 기법으로도 기존대비 최소 50% 이상의 부하저감을 가져올 수 있기 때문에, 설비적 기법으로 해결해야 할 열부하의 규모는 대폭 감소된다. 따라서 일반적인 고단열 고기밀의 주택에서는 잔여 난방부하와 급탕부하는 태양열 시스템에 의해 효과적으로 처리될 수 있다. 다만 주택의 연간 전기사용량을 대응하기 위한 태양광 시스템의 설치면적 규모와 난방 및 급탕을 대응하기 위한 태양열 시스템 설치면적을 하나의 지붕에서 모두 처리하기 위해서는 적절한 지붕 계획 및 규모계획이 수반되어야 하며, 경우에 따라서는 남측 수직

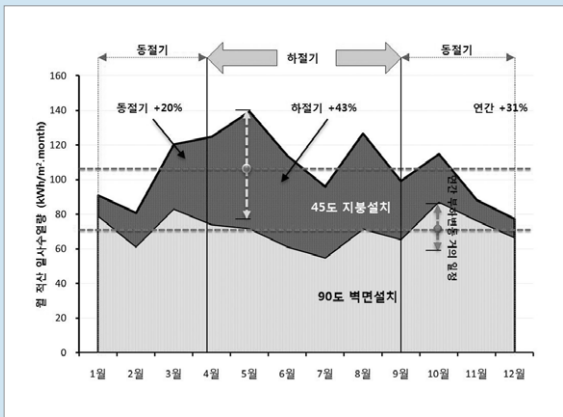
외벽면적도 활용할 필요가 있게 된다.

태양광과 태양열의 역할이 균형있게 중요한 기능을 담당하는 주거건물과 달리 비주거건물의 경우는 기본 전기부하 및 열부하를 대폭 줄일 수 있는 방법이 여의치 않아 주거건물 대비 제로에너지화가 용이하지 않다. 특히 자연채광과 연계된 조명제어를 제외하고는 건물 내 확실한 전기에너지의 절감대책이 없기 때문에 신재생에너지원인 태양광의 의존비율이 높아질 수밖에 없다. 향후 태양광 시장에서 BIPV시장의 규모가 성장하게 될 원동력 중의 하나가 여기에 기인한다고 할 수 있다.

### 4-3. 파사드일체형 BIST의 필요성 : 설치면적, 각도, 의장성 등

신재생에너지원 중 태양열은 비교적 가격 경쟁력이 높으며 기술적으로도 성숙되어 있어 큰 시장을 형성할 수 있지만, 여전히 건물분야의 화석연료 절감에는 큰 역할을 담당하고 있지 못하고 있다.

여기에는 하절기 과열현상에 따른 시스템 규모계획의 한계, 건물내 수배관 처리의 난점, 축열탱크의 공간적 제약 등 다양한 기술적 이유가 있을 수 있지만, 디자인적 측면에서도 건축물의 외피와 통합시키기가 어려워 건물외관의 의장적 측면에서도 한계를 보이고 있는 것이 사실이다. 태양광발전이 BIPV의 건물 외장재 형태로 비교적 손쉽게 개발되어 전 세계에서 급속히 시장이 성장하고 있는 것과 대조적이다.



[그림 8] 월별 일사수열량에 따른 BIPV, BIST 시스템의 적정 설치각도 개념도(대전)

[그림 8]은 대전지역을 대상으로 45도 지붕경사면에 떨어지는 월별 적산 일사량과 90도 수직벽면에 떨어지는 적산 일사량을 비교 도식한 그림이다. 연간일사수열량을 볼 때 45도 설치의 경우가 1,271 kWh/m<sup>2</sup>.month로 90도 설치의 850kWh/m<sup>2</sup>.month보다

31% 더 많은 양을 수열하게 된다. 하지만 이 양의 대부분은 하절기 수열량의 차이에 기인한 것이며 10월~3월까지의 동절기만을 기준할 경우 20% 정도의 차이만 발생한다. 특히 [그림 8]에 도식된 바와 같이 90도 설치시의 월별 수열량 변화폭이 매우 작아 연중 거의 일정한 양을 공급받을 수 있음을 알 수 있다.

일반적으로 태양열 시스템은 지붕 설치시 하절기 과열문제 때문에 시스템 규모를 크게 하지 못한다. 따라서 보통 연간 급탕부하의 30~60% 정도 규모만 설치되고 있으며, 주거건물의 경우 대략 1인당 2m<sup>2</sup> 수준에 해당한다. 하절기 과열온도는 배관 내 유량에 따라 변화되지만, 45도 설치 시 과열에 의해 200℃를 넘을 수 있으며, 진공관식의 경우는 300℃ 까지도 올라간다. 이 경우 플라스틱과 실리콘 부품의 손상을 초래하게 되며, 심할 경우 팽창 밸브가 파손되는 경우도 발생한다.

[그림 8]의 경우에서 보았듯이 만일 태양열 집열기를 남측 수직벽면(파사드)에 설치할 경우 첫째, 태양에너지 시스템을 설치할 수 있는 추가의 외피면적을 확보 가능한 장점이 생기며, 둘째, 하절기 과열위험의 고민 없이 시스템 규모를 비교적 자유롭게 설계할 수 있는 장점을 확보할 수 있다.

이러한 배경으로 2000년대 중반부터 유럽을 중심으로 태양열시스템에서도 BIPV와 같이 건물일체화 태양열 시스템인 BIST에 대한 연구 및 실제 적용사례가 꾸준히 증가하고 있다.

### 4-4. BIST의 적용사례

BIPV에 비해 BIST의 경우 비교적 개발역사가 짧기 때문에 사례건물이 많지는 않지만, 최근 주거건물을 중심으로 의장성과 기능성을 겸비한 다양한 적용시도가 활발히 이루어지고 있다.



[그림 9] 95m<sup>2</sup> 파사드일체형 BIST / 25m<sup>2</sup> 지붕설치형 PV, Salzburg, Austria, 2005. (Source : AKS DOMA)



[그림 10] 295㎡ 발코니형 태양열급탕시스템, Leipzig, Germany, 2005.,  
(Source : Schuco International KG)



[그림 11] 140㎡ 파사드일체형 BIST, Spar-und Bauverein, Germany, 2002.,  
(Source : Schuco systems)



[그림 12] 236㎡ 발코니일체형 BIST, 호텔 태양열급탕 및 수영장난방, Hotel  
Jezerka, Czech Republic, 2007., (Source : IEA-SHC)



[그림 13] 창호일체형 BIST 및 투명 BIPV 커튼월, 한밭대학교, 대전, 2009.

## 5. 맺음말

태양광 및 태양열 시스템을 건축에 응용하는 태양에너지 시스템 시장규모는 지난 10년간 연평균 시장성장률이 20~30%를 상회하면서 기하급수적 성장을 해오고 있다. 한편 이미 세계 각국에서 수립해 놓은 탄소제로 또는 제로에너지 그린빌딩에 대한 로드맵 정책 목표에 대응하기 위해서는 태양열 및 태양광의 역할 비중이 갈수록 높아질 수밖에 없다. 다만 태양에너지 시스템이 건축시장에 확고히 뿌리내리기 위해서는 성능위주의 기능성 외에 의장성 또한 매우 중요한 요소임을 간과해서는 안 될 것이다. 이러한 측면에서 건물일체형 BIPV 및 BIST 기술은 미래시장의 무한한 잠재성을 보여주는 새로운 블루오션이며, 이를 위해 서둘러 미래시장을 대비할 필요가 있을 것이다. **S**

### 참고문헌

- ① "Incentives for Green Initiatives and Minimum Level of Standards to Boost Growth Opportunities", Green Buildings Market to 2015., GBI research, 2010. 12.
- ② Annual Report 2009., EPIA(European Photovoltaic Industry Association), 2009.
- ③ "Solar Heat Worldwide- Market and contribution to the energy supply 2009." IEA-SHC, 2011.
- ④ "BIPV 시스템 구현을 위한 건축적 3대 중점 고려요소", 그린빌딩, (사)한국그린빌딩협회, 2004. 12. Vol.5 No.4
- ⑤ "상업용 건물의 BIPV(건물통합형태양광발전) 모듈 건축 통합화 연구", 한밭대학교 연구 보고서, 산업자원부, 2004. 1.