

태양 에너지와 'Zero Energy Green Building' 건설의 꿈

- 태양광과 태양열; 약속된 미래 에너지원, 건물안에서 모든 에너지 공급 현실화 기대 -



향후 50년 후의 전 세계에너지소요량은 지금의 두 배가 넘을 것이라는 전문가들의 전망이 나오고 있는 가운데, 화석에너지는 이미 그 생산량이 줄어들고 있는 실정이며, 세계는지금에너지확보전쟁에돌입해 있는 상황이라 해도 과언이 아니다. 석유를 비롯한 화석 연료 잔존량 부족의 가속화와

이산화탄소배출증대에따른지구온난화는 지구촌에살고있는인류들에게대재앙의위협이 되고 있는 대표적인 양대 축으로 등장하고있다. 이러한상황에서, 세계각국은대체 에너지 개발에 심혈을 기울이고 있으며, 그 성과들이 일정 부분 가시화되고 있긴 하지만 아직도 석유를 완전히 대체할 만한 획

독일의환경하우스(Klimahaus).

기적인기술의등장이이루어지지않고있는 실정이다.

태양 에너지와 새로운 개념의 건축

엄격한 의미에서 화석 연료, 바이오에너지, 풍력, 조력 등 지구상에 존재하는 모든

종류의 에너지들은 궁극적으로 태양 에너지로부터 만들어진 것들이다. 또한, 모든 에너지는 기존 형태에서 다른 형태의 에너지로 변환될 때마다 일정 수준의 손실을 가져와 효율이 떨어지게 되므로, 에너지 형태의 변환 단계가 많을수록 그만큼 에너지 손실이 커지게 된다. 이러한 원리로, 가장 근원적인 에너지인 태양 에너지를 직접 사용하는 것이 가장 높은 효율의 에너지를 사용하는 방법이 된다. 따라서, 현재 기술 개발이 이루어지고 있는 다양한 형태의 대체 에너지 중 태양 에너지를 직접 사용할 수 있는 태양광 및 태양열, 그리고 태양 에너지의 발생 원리를 그대로 적용한 핵융합이 가장 궁극적인 에너지원으로 인식되고 있으며, 미래의 인류가 사용할 수 있는 가장 풍부한 에너지원일 것으로 전문가들은 내다보고 있다. 이 두 가지 종류의 에너지원은 다른 어떤 에너지원들에 비해서도 비교가 안 될 만큼의 거의 무한한 자원인 태양과 풍부한 바닷물이 있기 때문에 약속된 미래의 에너지원으로 손색이 없다고 할 수 있다.

최근에 들어와 Green Building의 개념으로, 환경 오염을 최소화하면서 에너지 소비를 줄일 수 있는 설계를 통한 에너지 절약형 첨단 건축물들이 건설되고 있다. 나아가 태양 에너지를 이용하여 빌딩 내에 필요한 모든 에너지를 공급할 수 있는 Zero Energy Building 등의 새로운 개념의 건축물에 대한 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있는 상황이다. 이러한 진일보된 개념들은 Solar Cell에 대한 기술 개발이 획기적인 발전을 이루면서 건축물 분야에도 더욱 빠르게 적용되고 있으며, 향후 이 분야에 대한 전망도 매우 밝은 편이라 할 수 있다.

비약적인 기술 발전

인류는 태고적부터 태양 에너지를 직·간접적으로 사용하여 왔으나, 현재와 같은 첨단 방식의 기술 개발은 수십 년 전부터 이

루어져 왔다. 대표적인 시스템으로는 태양광 전지(Photovoltaic)와 태양열 집열(Solar-thermal Concentrating) 기술이 있다. 이 중 PV(Photovoltaic) 시스템은 PV Module와 Inverter, Battery 등으로 구성되어 있다. 현재까지는 실리콘 결정체를 이용한 PV(Si-crystalline-based Cell)가 주축을 이루고 있으나, 원료 물질인 실리콘의 공급 부족 및 단가 상승 등으로 이를 대체할 다양한 형태의 PV들이 개발되고 있는 상황이다. 최근에는 특히 Dye-sensitized Solar Cell(DSSC)과 Organic Solar Cell 등이 각광을 받기 시작하고 있다. 태양열 집열 기술로는 Solar-thermal Trough System과 Solar-thermal Tower System, 그리고 Dish-stirling System 등이 있는데, 에너지 생산 단가가 상대적으로 비싸다는 단점이 있어 확대 보급이 안 되고 있는 상황이다.

태양광을 이용하는 태양전지 시장은 지난 10년 간 괄목할 만한 성장을 해 왔으며, 전 세계적으로 2010년까지 30억 달러 이상의 규모로 시장이 성장할 것으로 예측되고 있다. 최근 Photovoltaic(PV) 기술이 날로 발전하면서 태양광을 이용하는 전기 생

산은 점차 그 효율을 높여가고 있을 뿐만 아니라, PV 시스템 생산 단가도 점점 낮춰가는 추세에 있다. 이러한 PV 관련 기술의 발달에도 불구하고, 대부분의 PV에 의한 전기 생산들은 정부의 세금 지원과 저금리에 의존해 오고 있는 상황일 뿐만 아니라 현재 PV 시스템에 대한 적절한 국제 표준 또한 정립되어 있지 않은 상태에 있다.

현재까지 비교적 앞선 기술의 PV 시스템으로는 Si-crystalline-based Cell로서, Single 또는 Poly Crystalline Cell들로 구성되어 있으며, 2003년도 기준으로 전 세계 Cell 및 Module 생산의 약 88%를 차지하고 있는 상황이다. 더구나 계속적인 원가 절감 및 제조 기술 향상으로 향후 20년간 PV 시스템의 주축이 될 것으로 예측되고 있다. 그러나, 이러한 전망은 곧 원료 물질인 저가 실리콘의 공급 부족으로 이어질 가능성이 높은 것으로 예상되고 있다. 2030년이전에 Crystalline Silicon, Thin Film 등 새로운 컨셉의 다양한 PV 시스템들이 상업적 생산을 시작하여 시장에 등장할 것으로 예상되며, 실리콘의 품귀 현상이 발생하면 비록

환경하우스 실내전경.



낮은 효율과 아직은 생산 단가가 높다는 단점들이 있음에도 불구하고 Thin-film Copper-indium Diselenide Cell과 같은 Thin-film Silicon Cell이 각광을 받을 것으로 예측되고 있다. 더불어 비싼 가격과 Gallium과 Indium의 부족이라는 단점에도 불구하고 Compound Semiconductor 또한 PV Concentration 시스템 시장에 등장할 것으로 예측되고 있다.

그 외에도 다소 불안정하다는 단점이 있는 Dye-Sensitized Cell과 낮은 효율 및 광안정성이 단점인 Polymer Solar Cell 등이 가정 및 빌딩 등의 건축물에 적용 가능한 태양광 전지로 도입될 것으로 예측되고 있다. 이 밖에도 Paraphenylene-vinylene으로 만들어진 Polymer Solar Cell, Nano-structured Semiconductor 및 Conducting Oxygen Layer, Multiple-threshold 및 Multi-junction Device, Quantum Multiplication, Intermediate Bandgap Solar Cell, Hot Carrier Cell 및 Thermophotovoltaic Generation, 터널효과를 가진 Energy Coupling, 광안테나를

이용한 Ultrafast Diode, Nanocomposite Photocell 및 Porous Wide Bandgap Semiconductor(Gr tzel Cell) 등이 현재 개발되고 있다. 많은 Solar Cell 전문가들은 PV 시스템의 획기적인 발전을 위해서는 재료공학, 광전자공학, 양자물리학과 같은 기초과학에 대한 연구가 필수적이라고 주장하고 있으며, 2010년 내에 상용 Solar Cell의 Conversion Efficiency가 약 20~30% 이상으로 향상될 것이며, Solar Cell의 수명 또한 30년까지 늘어날 것으로 예상하고 있다.

PV 시스템이 가지고 있는 긍정적인 요소로는 생산 단가가 급격히 떨어지고 있다는 점이다. 예를 들면, 1990년 기준으로 1kW의 전기 생산에 필요한 자본 비용이 1만 8,360 달러였으나, 2000년에는 8,000 달러로 떨어졌으며, 2010년에는 5,400 달러까지, 그리고 2030년에는 4,000 달러까지 줄어든 것으로 전망하고 있다. 일부 전문가들은 검사 또는 유지비용이 절반으로 줄어들면 총 비용 또한 위에 제시된 단가의 절반 수준으로 줄어든 것으로 예측하고 있다.

초기 PV 시스템은 1950년에 미국이 처음 개발하였으나, 세계시장에서의 일본의 점유율이 40%로 증가되는 동안, 미국의 점유율

은 급격히 줄어들어 40%에서 1997년에 14%로 감소되었다. 이에 미국은 PV Solar 시스템 기술의 적극적인 개발을 위하여 막대한 정부 지원을 하기 시작하였는데, 미 에너지부(DOE)는 2003년에 발의된 'National Photovoltaic Program'을 통해 미국 내 PV 산업에 7,400만 달러를 제공하고 있다. 특히, 미국이 군사용과 우주용으로 개발한 Thermal Management와 Interconnecting Device는 BIPV(Building-integrated Photovoltaic) 시스템에 사용되고 있다. 특히 뉴욕, 미네소타, 매사추세츠 등의 일부주에서는 'Green Building' 프로그램을 시행하여 인센티브를 부여하고 있으며, 일리노이와 몬태나주에서는 공립학교에 PV 시스템의 설치를 권장하고 있다. 아울러 현재 미 전국적으로는 1,200개 이상의 지역별 조직과 69개의 협력기관이 'One Million Solar Roofs' 프로젝트를 만들어 많은 건축물 지붕에 태양광 시스템의 설치를 추진하고 있다. 뿐만 아니라 연방 정부는 PV 시스템의 사용을 권장하기 위하여 관련 법안의 제정을 통하여 재생에너지 원으로 생산된 전기의 잉여분을 전기회사들이 의무적으로 구입해 주도록 정하고 있다.

일본의 Solar Ark. 태양에너지 박물관 형태로 운영되며, 최대 630kW의 전기를 생산하고 있다.



태양 에너지를 이용한 건축물

앞에서 살펴본 바와 같이, 태양광을 이용한 에너지 생산에 다양한 PV 시스템들이 개발, 사용되고 있으나, 특별히 건축물 외벽 또는 지붕에 활용하는 시스템을 BIPV 시스템이라 분류하고 있으며, 현재 상당한 기술 발전이 이루어지고 있다. 아직은 CIS(Copper Indium Selenide) PV가 주종을 이루고 있어 고비용의 설치비가 들지만, DSC(Dye-sensitized Solar Cell), 고분자 합성을 통한 Flexible Thin-film Solar Cell 등의 기술 발전이 빠르게 진척되고 있어, 조만간 비교적 저렴한 비용으로 널리 사용될 것으로 보인다.

BIPV를 적용한 건축물은 현재 국제적인 관심의 대상으로 떠오르고 있으며, 세계 최대 수준의 환경 박물관이 될 것으로 예상되고 있는 독일의 환경하우스(Klimahaus; Climate House)가 대표적이다. 이 건축물은 독일 북부의 항구도시인 Bremerhaven시에 건설되었다. Bremerhaven시가 7,000만 유로(약 1,000억원)의 건설비를 투입하였으며, 민간 건설링회사인 Petri & Tiemann GmbH가 프로젝트를 담당하였다.

수평 형태의 낮은 구조의 강낭콩 모양에 구름을 형상화한 이 건축물은 지난 2006년 8월에 건설을 시작하여 2008년 3월에 완공되었다. 연면적 총 2만 평방미터에 3개의 독립된 전시공간을 마련하였으며, 지구온난화와 환경 변화를 다루는 다양한 볼거리들과 교육적인 내용들을 준비하고 있는데, 2008년 3월에 일반인들에게 개장할 예정이다. 특히, 부속 건물로 호텔과 각종 회의 공간들을 보유하고 있어 앞으로 환경 관련 국제적인 각종 회의, 심포지엄 등이 개최될 것으로 예상되는 곳이기도 하다. 이 환경하우스의 지붕과 벽면에 BIPV가 설치되어 있는데, 지붕 외벽의 유리면에 14장의 Photovoltaic 패널로 된 BIPV를 부착하여 36.8kW에 대 36.8kW의 전기 생산 용량을 갖추고 있다. 뿐만 아니라 외벽은 단열처리, 내기 후성, 내부로의 햇빛 차단 등의 기능을 갖추고 있다.

또 다른 BIPV 건축물 사례로는 영국의 맨체스터에 있는 CIS Tower 빌딩으로서, 영국 내 가장 큰 규모의 BIPV 프로젝트라 할 만하다. 이 빌딩 400피트 높이의 외벽 3개의 면에 약 7,000개의 Photovoltaic Solar Cell을 부착하여, 연간 약 180MWh 정도의 전기를 생산하는데, 이것으로 1,000대의 데스크탑 컴퓨터에 충분한 전원을 공급할 수 있을 뿐만 아니라, 77톤의 이산화탄소를 저감할 수 있다.

일본에서는 Solar Ark로 잘 알려진, 디자

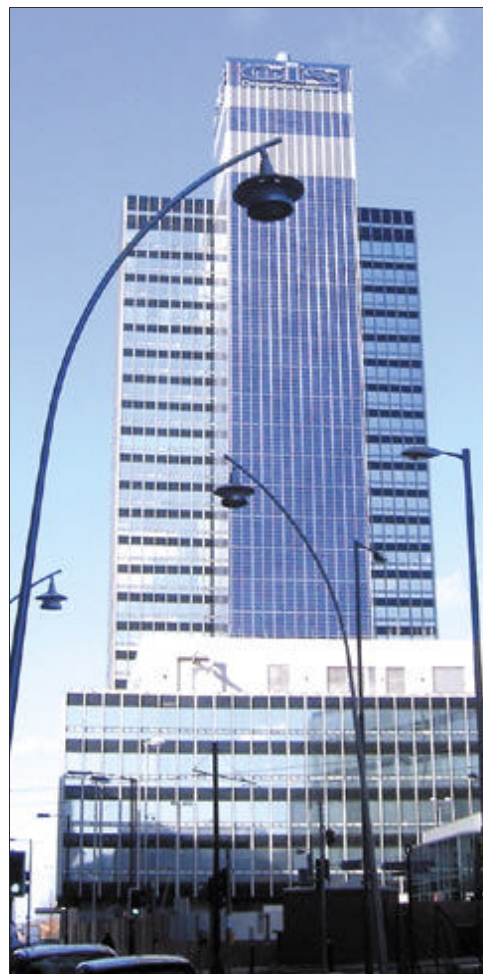
인이 뛰어난 Photovoltaic Solar Cell 구조물이나 고탄성 지역의 기후(Gifu) 지역에 산요에 의해 건축되었다. 폭 315m에 높이가 37m인 이 구조물은 산요가 생산, 판매하고 있는 Solar Cell Module로 BIPV를 설치하였으며, 내부에는 Solar Lab 등의 Solar Energy 관련 각종 전시물들을 진열하여 Solar Energy 박물관 형태로 운영하며 산요사의 홍보 역할을 하고 있다. 건물 외벽에는 5,040개의 Solar Battery Cell을 부착하여, 최대 630kW의 전기를 생산하고 있는데, 이것은 2007년의 1년 전기 사용량과 맞먹는 정도에 해당한다.

이외에도 선진 각국들은 물론, 두바이를 비롯한 여러 중동 국가 내 많은 도시들도 BIPV를 적용한 다양한 형태의 건축물들을 건설하고 있으며, 이러한 추세는 점점 더 많은 지역과 도시로 확산되고 있다.

에너지 자가 생산 건물 머잖아

실리콘 결정체를 이용한 태양광 전지의 이용에서 출발하여, 지속적이고 급격한 기술의 발전으로 고분자 합성 또는 염료를 이용하는 기술과의 접목으로 생산 단가를 획기적으로 줄일 수 있는 Flexible Thin-film 형태의 Photovoltaic Solar Cell의 등장으로까지 이루어질 것으로 예상됨에 따라, 과거의 건물 지붕에서만 한정적으로 사용할 수 있었던 Solar Cell의 설치 공간을 빌딩의 외벽 면까지 확대하여 형태에 관계없이 자유자재로 이용할 수 있게 만듦으로써 BIPV의 적용 영역을 대폭 확대시키고 있다.

다만, 아직도 실리콘을 이용한 PV에 비해 Polymer Solar Cell과 Dye-sensitized Solar Cell의 효율이 상대적으로 낮은 한계를 극복해야 하는 과제가 남아 있는 상황이지만, 머지않은 시기에 이러한 한계를 돌파할 수 있는 한층 더 앞선 기술들이 등장할 것으로 기대되고 있다. 이렇게 되면 빌딩이 과거의 단순 공간 확보 개념의 건축물에



영국 맨체스터의 CIS Tower. 연간 180MWh 정도의 전기를 생산한다.

서한 단계진보한 현재의 인텔리전트 빌딩의 차원을 넘어 에너지 자급자족할 수 있는 새로운 개념의 빌딩으로 자리매김할 것으로 예측된다.

현재 가장 양호한 Solar Cell의 효율이 15~20% 수준이나, BIPV의 계속된 기술 발전으로 효율을 지속적으로 높여 나갈 경우, 지구온난화를 방지하며 환경 오염이 없으면서도 외부로부터의 에너지 공급이 전혀 필요 없는 이른바 'Zero Energy Green Building'을 건설이라는 꿈도 가까운 시기에 현실화할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 



김덕한
SK에너지 수석연구원
dhkwin@skenergy.com