특집 소형분산 에너지시스템

현재, 건물일체형 태양광발전시스템(BIPV)은 선택이 아니라 필수

유권종 · 박경은 · 김현일(한국에너지기술연구원)

1. 서 론

"1[℃] 상승 시 알프스 산맥 만년설이 사라져 산사태 빈발 및 해양생태계 해체, 2[℃] 상승 시 이상 폭염으로 수만 명 사망, 생명체 3분의 1 멸종 위기, 3[℃] 상승 시 아마존 열대 우림 산불로 전소, 기후변화로 수십억 이재민 발생, 4[℃] 상승 시 온난화 악순환 시작, 사하라 사막 유럽까지 확대, 5[℃] 상승 시 극지방 빙하 완전히 사라짐, 메탄하이드레이트(methane hydrate) 분출, 6[℃] 상승 시 지구상 생명체 95[%] 멸종"

이것은 재난 영화나 공상과학소설에서만 일어날 수 있는 상황을 설명한 것이 아니다. 지금까지와 같이 지구 온난화를 방치한다면, 우리가 살고 있는 지구에 실제로 이런 일들이 발생할 수 있다고 유엔 정부간기후변화위원회(IPCC)는 경고하고 있다. 이는 지구가 심각한 위기 상황에 빠져들고 있다는 것을 말해 주는 것이다. 지금 세계는 고유가와 기후변화의 위기에 직면해 있다. 이러한 위기 상황에 대해서 지구환경의 보호 및 새로운 친환경에너지개발의 필요성에 대한 목소리가 높아지고 있고, 그 해결 방안으로 세계는 태양광, 태양열, 바이오 등의 그린에너지를 필요로 하고 있다. 그 중 태양광산업은 최근 세계적인 관심 속에 급속한 속도로 성장을 하고 있는 산업 중 한 분야이다. 특히 2000년부터 2008년 사이 평균 51[%]이상의 놀라운 증가율을 보이고 있는 점이나, 지금 처해있는 지구환경 및 에너지 문제를 고려해 볼 때, 향후에도 이러한 증가추세는 계속될 것으로 예측되고 있다.

2. 친환경 건축 - 그린홈, 탄소제로시티

'건축'은 '저탄소 녹색성장산업'의 주요 요소이다. 전 세계적으로 건물부문에 사용되는 에너지는 전체에너지 소비량의 약 37[%]정도이다. 삶의 질과 편의를 추구하는 생활문화, 가전기기 사용증가 등에 의해 건물에너지 소비량은 앞으로도 지속적으로 증가할 전망이며, 이는 우리나라도 예외는 아니다. 현재 우리나라 에너지 자원의 해외의 의존도는 약 97.5[%]에 달하고 있으며, 건물부분 에너지 소비량은 전체 에너지소비의 23[%] 정도를 차지하고 있다. 이와 같은 비중은 선진국일수록 증가하는 경향을 보이는데, 그림 2에서 보이는 바와 같이 유럽의 경우 건물부문 에너지 소비율이 40[%]를 웃돈다.

대부분의 건축물은 최소 20년 이상의 수명을 가지며 시간이 지나갈수록 에너지 효율은 떨어지게 마련이다. 따라서 신축하는 건물을 얼마나 에너지 효율적

으로 계획하는지, 기존의 건축물의 에너지 사용량을 얼마나 잘 관리하는지, 노후화된 건물의 에너지 효율성을 얼마나 높이는지가 건축물 에너지 절감의 주요 이슈이다.

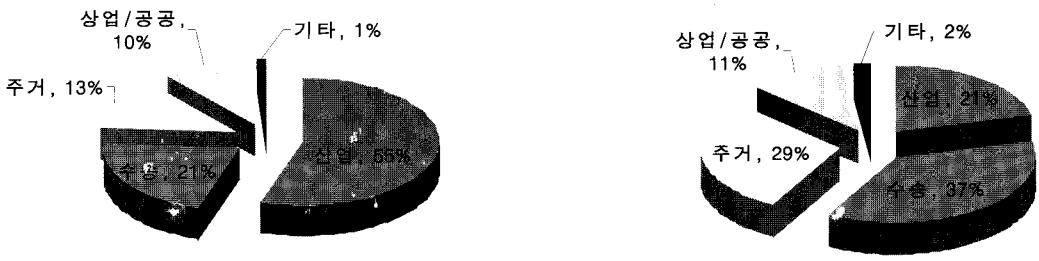
그림 1. 도시 야경

이와 같이 증가하는 건물에너지 소비량을 감당하기 위해서 신재생에너지를 적극적으로 건물에 도입한다면 에너지 소비량은 그만큼 줄일 수 있다. 이것이 건축·건설 산업의 기술과 자재 개발 등이 그린산업에 동참해야하는 이유이다. 이에 정부는 저탄소 녹색성장의 그린에너지산업의 일환으로 '그린홈(Green Home) 100만호 프로젝트'와 '탄소제로도시(Carbon-Zero City)' 건설을 추진 중이다.

2.1 그린홈(Green Home)

그린홈은 태양광, 지열, 풍력, 수소 연료전지 등 신재생에너지를 이용해 주택 내에서 필요로 하는 에너지를 자급하고 탄소 배출을 제로로 하는 친환경 주택을 의미한다. 우리나라에서 수행할 예정인 '그린홈 100만호 프로젝트'는 2020년까지 신재생에너지원을 일반주택 및 공동주택에 설치 시 설치비의 일부를 무상으로 지원하여 그린홈을 보급하는 정책이다. 표 1은 그린홈 100만호 프로젝트의 지원내용을 정리한 것이다.

그린홈의 사례인 일본의 세키스이하우스의 탄소제로주택의 경우 4인 가족용(건축면적 196[㎡]) 단층주택은 풍력발전기와 태양전지판으로 모든 에너지를 자체 조달한다. 일본 주택 평균 상용전력의 5배 수준인 15[kW]의 전력을 생산하다. 이 주택은 지붕의 태양전지판 옆에 이끼를 재배하여 주택 내부의 온도를 1[℃] 낮추는 기능까지 갖췄다. 전 세계 에너지 소비의 25[%]를 차지하는 주택부문에서 이와 같은 탄소제로주택의 성장 가능성은 무궁무진하다고 사료된다.



a. 한국 에너지 소비(2005년)

b. 영국 에너지 소비(2005년)

그림 2. 우리나라 건물에너지 증가 전망

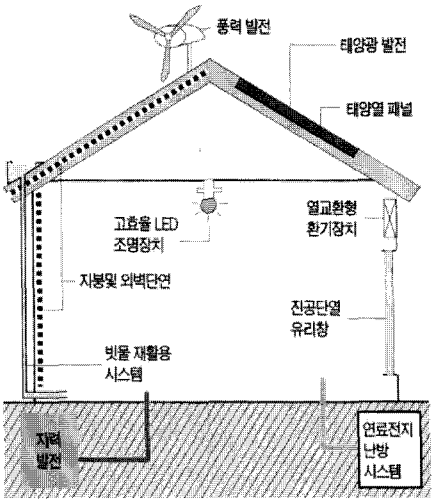


그림 3. 그린홈 개념도

표 1. 우리나라 그린홈 100만호 보급사업

분야	구 분	지원규모	지원비율
태양광	고정식	3[kW]이하/호	최대 60[%]이내
	BIPV		
	추적식		
태양열	평판형	12~30[㎡]이하/호	최대 50[%]이내
	단일진공관형		
	이중진공관형		
바이오	목재펠렛보일러	23.3[kW]이하/호	최대 50[%]이내
소형풍력	소형풍력	3[kW]이하/호	최대 60[%]이내
지열	수직밀폐형	주택제외	최대 60[%]이내

2.2 탄소제로도시

탄소제로도시는 석유나 석탄을 쓰지 않아 탄소를 배출하지 않거나 청정에너지를 자체 생산해 이산화탄소 배출을 상쇄시키는 친환경 무공해 도시를 의미한다. 세계 최대 규모의 탄소제로 도시는 그림 4의 아부다비 '마스다르 시티'다. 총 220억달러를 투입하여 2016년에 완공될 마스다르 시티는, 박막 태양전지를 지붕과 벽의 소재로 사용해 건물에 필요한 에너지를 태양에서 얻고, 자연통풍이 잘되도록 건물과 길, 녹지를 배치할 계획이다. 대부분의 에너지는 태양광(82[%])에서 충당하고, 일부는 쓰레기에서 얻는 재생에너지(17[%])나 풍력에너지(1[%])에서 공급받는다. 그림 5는 세계에서 진행되고 있는 탄소제로도시 프로젝트를 나타낸 것이다.

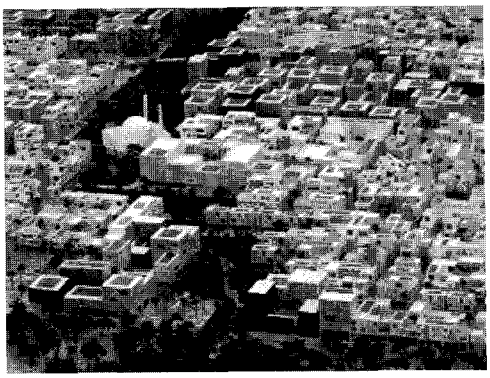


그림 4. 마스다르 시티

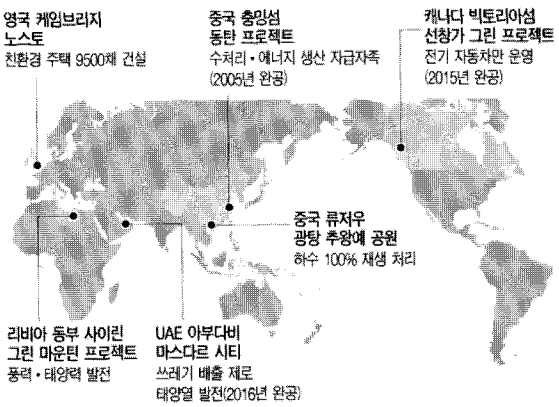


그림 5. 세계 각국이 건설중인 탄소제로 도시

우리나라도 서남해안 관광레저도시와 무안 기업도시가 친환경 탄소 제로 도시로 조성된다. 엄밀하게 말하면 '탄소중립도시(Carbon-Neutral City)'다. 탄소중립도시는 이산화탄소 배출량만큼 청정에너지를 자체 생산해 탄소를 배출하는 효과를 상쇄시키는 환경도시로, 탄소제로 도시와 같은 의미로 쓰인다. 배출되는 탄소의 양만큼 나무를 심어 흡수하거나 재생에너지 개발 등에 투자함으로써 궁극적으로 발생량을

'0'으로 만드는 것을 의미한다.

3. 건물 적용 태양광발전시스템

앞서 언급한 바와 같이, 그린에너지에 대한 전 지구적 관심 속에 태양광발전은 다른 신재생에너지와 함께 급속한 성장추세를 나타내고 있다. 실제로, 세계 PV시장은 2000년부터 2008년 사이 평균 51[%]이상의 놀라운 증가율을 보이고 있고, 향후에도 이러한 증가추세는 계속될 것으로 전망되고 있다.

이와 같이 태양광산업이 활발한 공급과 수요가 이루어지는 가운데, 기술적 측면에서는 태양광발전시스템의 효율이 점점 좋아지고 있고, 경제적 측면에서는 가격이 점점 하락하고 있다. 또한, 설치 규모와 적용 대상 및 범위에 있어서도 변화가 나타나고 있다. 이전까지는 태양광발전시스템이 대부분 소규모로 설치되어 자가발전 자가소비가 이루어졌던 것에 비해서 점점 설치 용량이 증가하고 있는 추세이고, 최근에는 대규모 태양광발전시스템을 발전사업용으로 활용하며 그 시장이 크게 확대되고 있다. 또한, 적용 분야도 위성용에서 지상용으로, 지상용에만 국한되었던 것에서 건물을 비롯한 다양한 분야에서 적용이 되고 있다. 특히, 태양광발전시스템을 건물에 적용하는 기술은 PV를 효과적으로 적용할 수 있는 분야로, 대부분의 PV 선진국에서는 보급 초창기에 주거용 건물에 PV를 적용하는 프로그램들을 수행하였다. 그림 6은 과거에 수행되었거나 현재 수행중인 Solar Roof 프로그램들로, 이는 현재의 태양광산업의 기틀을 마련하는 견인차 역할을 감당하였다. 현재는 PV 선진국 및 세계 각국의 높은 관심과 노력 속에 주거용 건물 뿐 아니라, 공공·상업용 건물까지 그 범위가 확대되었고, 최근에는 마을이나 도시 단위의 적용 사례들이 점차 증가하고 있다.

3.1 개념 및 원리

건물에의 태양광발전시스템 적용이 각광을 받고 있는 가장 큰 이유 중 하나는 태양광발전시스템이 전력을 공급해 주는 발전자 역할 이외에도 건물 외장재로 적용이 가능하므로, 건설비용 감소 및 건물의 가치를 높이는 디자인 요소로 사용될 수 있다는 데 있다. 특히, 이용가능면적이 적은 우리나라의 지형적 특성을 감안할 때, 매우 유용하게 활용될 수 있다. 또한, 생산지와 소비지가 동일하므로 송배전손실을 저감시킬 수 있고, 여름철 발생하는 피크부하에 대한 환경친화적 대안으로 이용이 가능하다. 그리고 무엇보다 지구환경을 보호하거나 에너지소비를 절감시키기 위해서는 환경오염의 주범이며 에너지소비자인 사람의 인식

그림 6. 세계의 Solar Roof 프로그램

전환이 반드시 필요한데, 태양광발전시스템을 비롯한 각종 그린에너지 기술을 사람이 거주하는 건물에 적용함으로 가장 자연스러운 인식 전환 및 홍보·교육의 장을 마련할 수 있다.

그림 7은 계통과 연계된 형태의 소규모 주거용 태양광발전시스템을 설명한 것으로, 일사량이 많은 날에는 태양전지에서 발전된 직류전력이 인버터로 전달된다. 여기서 받은 직류전력을 가정에서 쓸 수 있는 교류로 전환하여 가정의 각 전력 소비체로 보내게 되는데, 이때 사용하고 남은 잉여분에 대해서는 전력선을 통하여 전력계통회사에 팔 수 있다. 미미한 양의 전력을 발전하는 흐린 날이나 전력 생산이 어려운 밤에는 전력계통회사로부터 전력을 공급받아 사용한다.

그림 8은 상업용 건물에 적용된 태양광발전시스템을 설명한 것으로, 그림에서 보이는 바와 같이 태양광발전시스템 규모나 설치위치의 차이에 의해 나타나는 발전특성에 따라 적절하게 태양광 어레이를 설계하고 그에 따른 적절한 BOS(Balance of System) 선정이 이루어진다. 설치 후 발전 및 건물에서 발생하는 에너지부하에의 이용, 그리고 잉여전력 및 부족전력

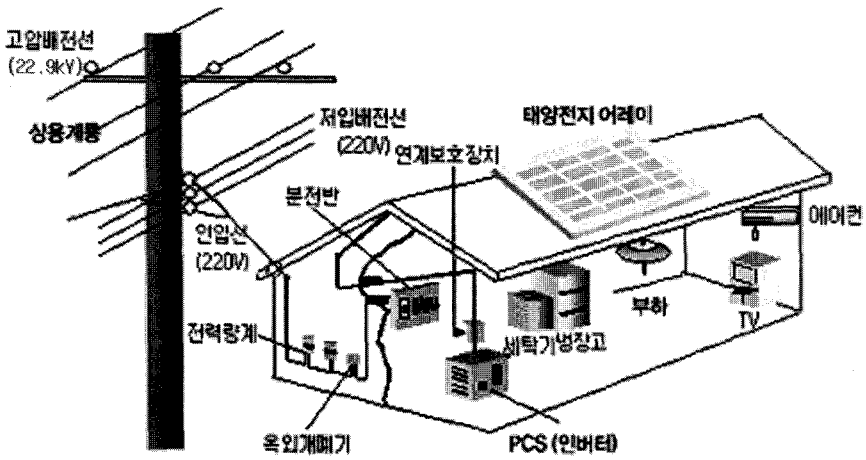


그림 7. 주거용 건물에 적용된 PV시스템 구성도

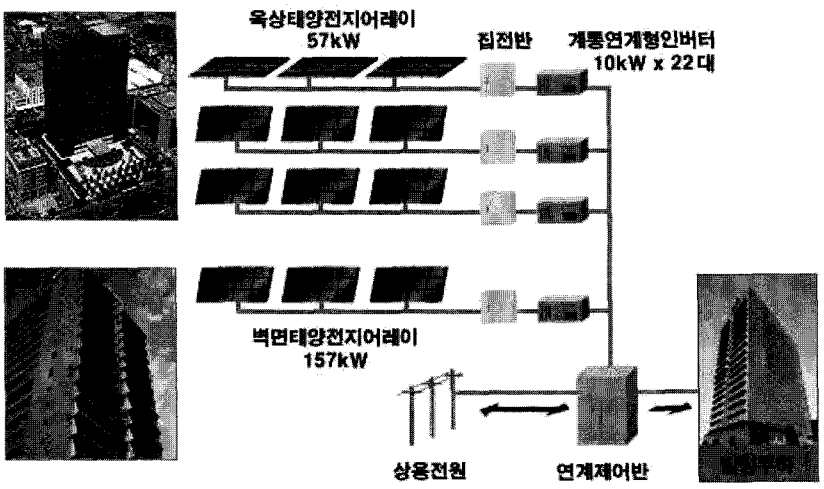


그림 8. 상업용 건물에 적용된 PV시스템 구성도

발생으로 이루어지는 송배전의 기본 원리는 주거용 건물과 유사하다.

3.2 적용 기법

건물에 태양광발전시스템을 적용하는 기법은 적용 방식에 따라서는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 건물일체형 PV시스템(Building Integrated Photovoltaic, BIPV) 즉, 설계 초기 단계부터 건물의 한 요소로서 디자인이 되어 사용하는 방식과 건물의 구조 및 재료에 관계없이 독립적으로 PV 모듈을 설치할 수 있는 방식이 있다.

건물일체형 PV시스템은 전력 생산 이외에 건축 외

표 2. 건물 적용 태양광발전시스템의 기법

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th colspan="2">내 용</th><th>개 략 도</th></tr>
<tr><td rowspan="4">지붕</td><td rowspan="2">평판형</td><td colspan="2">설치각도 : 0~15[°]
적용부분 : 대면적 지붕, 아트리움 등
모듈타입 : back-sheet모듈, Glass to Glass모듈, 대면적모듈</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>개념도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">경사형</td><td colspan="2">설치각도 : 15~75[°]
적용부분 : 지붕재(슁글, 타일), 아트리움 등
모듈타입 : Glass to Glass모듈, back-sheet모듈, 금속모듈</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>개념도</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">파사드</td><td colspan="2">설치각도 : 75~90[°]
적용부분 : 발코니, 수직형·경사형 커튼월 등
모듈타입 : Glass to Glass모듈,back-sheet모듈, 금속커튼월모듈</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>개념도</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">기타
건물 구성 요소</td><td colspan="2">적용부분 : 차양, 천창, 옥상난간, 온실, 캐노피 등
모듈타입 : Glass to Glass모듈, back-sheet 모듈</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>개념도</td></tr>
</table>

장재 비용을 절감할 수 있다는 장점을 살릴 수 있는 방법으로 초기에 건물의 한 부분으로서 디자인이 되므로, 전체 건물과 조화를 이뤄 건물 미관을 더 아름답게 만드는 디자인 요소도 될 수 있다. 단점으로는 설계나 시공 시 설치공법 및 PV시스템의 발전성능과 관련해서 부가적으로 고려해야 할 사항이 있고, 신축 건물이나 대수선 또는 건물을 크게 개보수하는 경우에 가능하다. 반면, 건물부착형 태양광발전시스템의 경우는 설치, 시공이 비교적 용이하고, 기존 건물의 경우에도 쉽게 적용 가능하다는 장점이 있다. 그러나 PV시스템을 건물에 부착시키기 위한 가대 등의 별도의 지지물이 필요하고, 건물과 조화롭지 못하게 적용이 될 가능성이 있어서 건물 미관을 해칠 우려가 있으므로, 적용성에 대한 고려가 필요하다.

또한, 적용 부위에 따라 여러 기법들로 분류가 될 수 있는데, 본고에서는 크게 지붕 등 건물 상부 요소, 벽면 등 건물 입면 요소, 그리고 차양 또는 채광 요소로 구분하였다. 표 2는 각각의 기법별로 적용 이미지와 함께 간략한 내용을 정리한 것으로, 이 외에도 훨씬 다양한 기법으로 적용이 가능하다.

4. 태양광 도시 사례

4.1 일 본

전 세계 태양광산업의 선두자리를 장기간 고수했었던 일본은 태양광발전도시조성을 위해 2000년도 초반부터 2004년도까지 주택형 PV시스템의 실증연구 및 고밀도 계통연계형 PV시스템의 문제점을 분석하기 위한 연구를 수행하였다. 표 3은 일본의 주거용 지역 내 고밀도 계통연계형 PV단지 사례를 보여주며, 그림 9에서 대표적인 사례로 Ota시를 보여주고 있다. Ota시에 조성된 Pal town Josai-no-mori는 총 용량 2,160[kW] 계통연계형 PV시스템이 553개의 주택의 경사 또는 평지붕에 거치형으로 가구당 평균 3.89[kW]씩 설치되어, 단지내 연간 전력 사용량은 평균 4,600[kW]인데 태양광전지를 통해 연간 3,600[kW]까지 생산할 수 있다. 즉, 지붕 위에 설치된 태양광전지를 통해 집에서 쓰는 전기의 50~70[%]를 조달한다. 이 단지의 PV시스템의 성능계수(PR)는 71.1[%]로 이는 가능한 발전량의 28.9[%]가 전압억제운전(11.5[%]), PCS운전소실(3.7[%]), 온도손실(1.7[%]), MPPT 미스매치(0.3[%])와 같은 요인으로 손실됨을 의미한다.

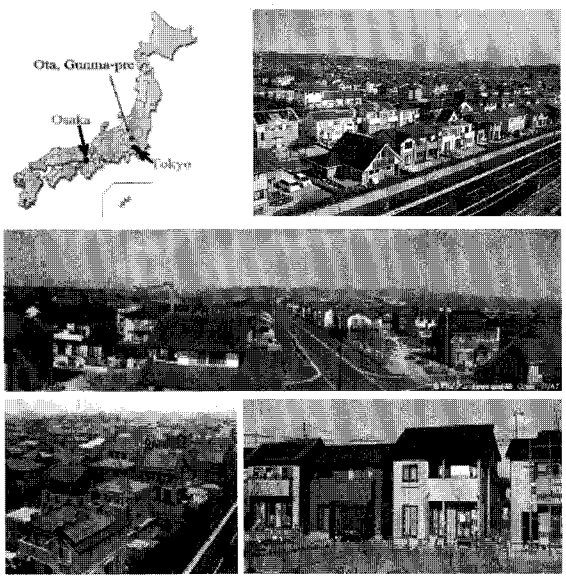


그림 9. 일본 Ota시 Pal town Josai-no-mori 전경

3.2 독 일

태양광발전산업의 선두주자인 독일은 1992년부터 시의 공공건물이나 시가 대여하거나 매각하는 토지에 건축되는 모든 건물에 대해 '저에너지 건축'만을 허가하는 조례를 제정 시행하고 있다. 그림 10은 국제적인 환경도시 중에 하나인 독일에 Freiburg를 보여준다. 이 도시에는 총용량 445[kW] 계통연계형 PV시스템이 60여개 주택의 경사지붕에 타일타입의 일체형으로 설치되어 연간 420,000[kWh]를 생산한다.

표 3. 일본 주거용 지역 내에 PV Community 사례

위 치	이 름	가구수(호)	용량(kW)
Tiara Court Kasukabe	Kasukabe, Saitama	35	101
Villa Garten Shin-Mastsudo	Mastsudo, Chiba	41	123
Cosmo-Town Kiyomino	Yoshikawa, Saitama	79	237
Cherry-Town Izumi-Chuo	Izumi, Osaka	30	90
Jo-Town Kanokodai	Kobe, Hyogo	95	285
Laperta Tahi	Takamatsu, Kagawa	49	100
Cherry-Town Izumi-Sunagawa	Sennan, Osaka	43	129
Panahome-City Seishin-Minami	Kobe, Hyogo	100	296
Jo-town Rinkuu-Hawaiian-Village	Tajiri, Osaka	258	516
Hills-Garden Kiyota	Sapporo	500	1,500
Pal-Town Jyosai-No-Mori	Ota, Gunma	533	2,160

그림 10. 독일의 Freiburg 전경

3.3 네덜란드

그림 11에서 보여주는 네덜란드의 대표적인 태양광발전 도시인 Nieuwland는 총용량 1,350[kW] 계통연계형 PV시스템이 500여개 주택의 경사 또는 평지붕에 일체형으로 가구당 평균 2.55[kW]씩 설치되어 연간 1,012,000[kWh]를 생산한다. 다른 사례로 그림 12에서 보여주는 Stad van de zon은 총용량은 5,000[kW] 계통연계형 PV시스템이 3,500여개 주택의 경사 또는 평지붕에 일체형으로 가구당 평균 1.45[kW]씩 설치되어 연간 3,750,000[kWh]를 생산한다.

5. 결 론

미국의 앨 고어는 "북극 얼음이 녹는다"가 아니고 "우리가 북극의 얼음을 녹이고 있다"고 말하고 있다. 지구환경과 에너지 문제는 더 이상 미루어 둘 수 없는 당면과제이다. 이에 전 세계는 지금 그린에너지(GREEN ENERGY)의 바람이 불고 있다. 그린에너지의 이용은 궁극적으로는 지구를 살리기 위한 방책이지만, 이제 그린에너지 산업은 국가를 살릴 수 있

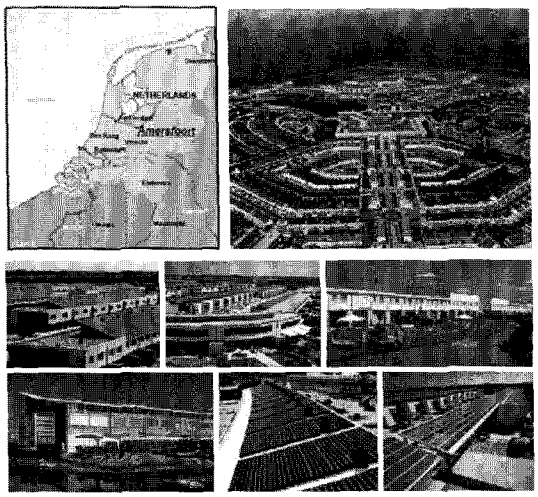


그림 11. 네덜란드의 Nieuwland 전경

그림 12. 네덜란드의 Stad van de zon 전경

는 국가 경쟁력으로 간주되고 있다. 이에 다양한 분야에서 그린에너지, 특히, 태양광발전기술이 적용되고 있으며, 에너지 소비에 있어서 큰 비중을 차지하고 있는 건물부분에서도 BIPV 기술을 적극적으로 도입하여 에너지 절약 및 에너지 효율 향상을 꾀하려는 노력들이 점차 증가되고 있다.

우리나라도 고유가 및 기후변화협약에 대한 적극적 대응이 필요한 시기이다. 이에 대한 대안 중 하나인 그린 홈 및 탄소제로시티의 실현에 있어서 BIPV 기술은 선택이 아니라 필수이다.

◇ 저 자 소 개 ◇

유권종(劉權鍾)
1955년 8월 5일생. 1982년 2월 조선대학교 전기공학과 졸업. 1985년 10월 일본 KOBE대학교 전기공학과 졸업(석사). 1989년 3월 일본 KOBE대학교 전기공학과 졸업(박사). 1989년 3월~1990년 2월 일본 Fuji전기 주임연구원. 1997년 2월~7월 일본전력중앙연구소 객원연구원. 1998년 1월 2003년 12월 전력전자학회 학술이사. 2000년 1월~현재 태양에너지학회 편집이사. 2001년 1월~현재 전기학회 대체에너지시스템 연구회장. 2001년 3월~2003년 6월 산업자원부에너지관리공단 태양광발전기술연구회장. 2003년 1월~현재 전기학회 국제이사. 1990년 3월~현재 한국에너지기술연구원 태양광연구단 단장.

박경은(朴庚恩)
1977년 7월 13일생. 한국에너지기술연구원 태양광연구단 학연생(공주대 박사 수료).

김현일(金賢一)
1978년 7월 4일생. 한국에너지기술연구원 태양광연구단 학연생(인하대 박사 수료).