

태양광발전 도시 프로젝트의 개발현황과 발전방향 고찰

김현일*, 서승직**, 박경은***, 강기환****, 유권종*****

*인하대학교 대학원 건축공학과(hikim@kier.re.kr),
**인하대학교 건축공학과(energeti@inha.ac.kr),
***한국에너지기술연구원 태양광연구단(kepark@kier.re.kr),
****한국에너지기술연구원 태양광연구단(ghkang@kier.re.kr),
*****한국에너지기술연구원 태양광연구단(y-gj@kier.re.kr)

A Study on The development status and future of Photovoltaic Urban Project

Kim, Hyun-Il*, Suh, Seung-Jik**, Park, Kyung-Eun***,
Kang, Gi-Hwan****, Yu, Gwon-Jong*****

*Dept. of Architectural Eng. Graduate School, Inha University(hikim@kier.re.kr),
**Dept. of Architectural Eng. Inha University(energeti@inha.ac.kr),
***Korea Institute of Energy Research, Photovoltaic Research Group(kepark@kier.re.kr),
****Korea Institute of Energy Research, Photovoltaic Research Group(ghkang@kier.re.kr),
*****Korea Institute of Energy Research, Photovoltaic Research Group(y-gj@kier.re.kr),

Abstract

Buildings are responsible for approximately 50% of current carbon dioxide emissions. Energy planning at a town and city scale needs a strategic approach, supported by strong planning policies. The purpose of this study was to investigate the urban scale grid-connected photovoltaic(PV) system for urban residential and commercial sector applications. The integration of PV technology into roof of houses is an approach that is being championed in Germany, Japan and United states etc. In the Korea, PV roofing systems already are given the large number of houses which are projected to be built by 2012. However unlike germany and Japan, urban scale grid-connected PV system is not yet installed. The solar city which is installed building-integrated photovoltaic system is available to use of renewable energy sources such as solar to meet demand, instead of fossil fuels, with the goal of realizing an ecologically oriented energy supply.

Keywords : 솔라시티(Solar City), 도시계획(Urban planning), 태양광발전 도시(Urban Scale Photovoltaic), 건물일체형 태양광발전시스템(Building-Integrated Photovoltaic)

투고일자 : 2008년 11월 29일, 심사일자 : 2008년 11월 30일, 게재확정일자 : 2008년 12월 19일
교신저자 : 김현일(hikim@kier.re.kr)

1. 서 론

무분별한 도시개발로 인해 도시지역에는 열섬 현상과 에너지 이용에 의해 발생하는 폐열로 우리가 살아가는 환경이 더 이상 인간이 살아가는 환경으로 적합하지 않다. 이러한 점을 인식하여 인간과 자연이 더불어 살아가며 환경오염과 에너지 고갈에 대한 걱정이 없는 도시 즉, '생태건축(Ecological architecture), 친환경건축(Environmentally friendly architecture), 지속가능한 건축(Sustainable architecture), 그린빌딩(Green building), 에코하우스(Eco-house), 웰빙 건축(Wellbeing architecture), 제로 또는 로우에너지 빌딩(Zero or low energy building) 등으로 명명되는 친환경적 도시개발에 관심을 갖게 되었으며 전 세계적으로 이를 실천하는 계획된 도시들이 점점 늘어가고 있다. 많은 연구자들은 도시계획에 대해 다음과 같이 정의 내렸다. George Mcaneny는 '도시계획은 도시장래의 발전에 대해 준비하는 일' 즉 가로, 공원, 고속철도 등 물리적 요소의 발전을 의미하며, James Ford가 정의 내린 도시계획은 '도시의 끊임없이 변화하는 외형에 직접 관련되는 과학과 예술' 즉 순수과학과 응용과학의 발전을 말한다. 이는 미래도시를 위한 일련을 작업으로 물리적 요소뿐만 아니라 사회적, 경제적 요소를 포함한 종합적 계획을 의미한다. 이와같이 지금까지의 도시란 더 나은 미래를 위해 우리에게 필요한 터전을 마련함과 동시에 여러 가지 환경적 문제를 야기 시켰다면, 현재 인류에게 필요한 도시는 삶의 질의 증대는 물론 친환경적 가치 증대로 도시 자체가 에너지 절약적이고 신재생에너지의 이용 비중이 높은 도시이다. 그러나 전 세계 인구 50% 이상이 도시에 살고 있고 물론 우리나라는 특히 80% 이상이 도시에 거주하고 있으며, 도시가 배출하는 온실가스의 70~80%에 달하고 있다. 에너지 최대 소비처인 도시가 온실가스를 감축하지 않으면 지구 온난화와 석유고갈에 대한 해답이 없다. 이에 대한 대안으로 태양광발전을 최대한 적용한 도시조성으로 도시의 지속가능한 발전을 도모할 수

있으며 친환경적 도시조성에 대한 시민참여가 가능하다. 또한 계획단계에서부터 발전성능 손실을 유발하는 요인들을 다양한 전문가들이 충분히 고려한다면 시스템의 발전효율의 상승으로 에너지 절약과 온실가스 배출량 감소는 물론 잉여분은 계통에 팔 수 있어, 에너지 사용에 대한 효율성 및 경제성이 높아 질 수 있다. 이러한 가치향적인 생활방식은 주변보다 다소 비싼 집값에도 불구하고 친환경적인 라이프스타일을 가능하게 하여 거주자의 만족도를 높이고, 시민의식 향상에 도움을 준다. 하지만 우리나라는 커뮤니티 내에서의 체계적인 계획 및 관리 하에 고밀도 계통연계형 태양광발전(PV)시스템의 적용이 원활히 이루어지고 있지 않다.

이에 본 논문에서는 태양광발전도시를 위한 도시계획 및 시스템 설계 정립에 앞서 국내외 태양광발전보급정책 및 태양광발전 도시에 대한 사례조사를 수행하여 태양광발전도시의 현황 및 발전방향을 제시하였다.

2. 지속가능한 태양광발전 도시

2.1 태양광발전 도시 계획(Urban scale photovoltaic planning)의 개념

현재 우리나라의 솔라시티는 사전적 의미 그대로 태양에너지를 활용하는 도시로만 해석하고 있다. 진정한 솔라시티는 한정된 자원을 절약하면서 무한한 태양에너지를 이용하여 지구 환경을 파괴하고 있는 온실가스 배출을 줄여가며, 에너지를 자급자족할 수 있는 에너지 선진 도시를 의미한다. 이에 온실가스 배출 저감을 위한 방법의 하나로 태양광 등 신재생에너지 보급을 확대하는 것이고, 에너지효율을 높이는 건축물을 장려하는 것이다. 이에 전 세계적으로 건물일체형 태양광발전시스템(BIPV; Building-Integrated Photovoltaic) 시장이 확대되고 있는 것이며, 대구와 광주 같은 도시에서는 PV시스템을 설치하여 자원절약형 도시를 추구하고 있다. 이는 태양에너지를 이용한다는 포괄적 의미에서는 솔라시티이며,

구체적으로는 태양광발전 도시(Urban scale photovoltaic)라 명하며, 이러한 도시는 건축·전기 및 에너지부문의 전문가들이 함께 모여 도시계획(Urban planning)을 통해 구축해야한다. 반면 우리나라의 태양광발전 도시는 주택용 Roof top 태양광시스템 또는 특정건물의 전기적부하담당과 이미지 창출을 위해 설치하는 정도의 적용이 이루어지고 있다.

2.2 태양광발전 도시의 지원정책

(1) 건축법규

건축법규(Building code)는 일반적으로 건축물의 안정·기능 및 미관을 향상시킴으로써 공공복리의 증진에 이바지함을 목적으로 한다. 건물에 적용되는 태양광발전시스템의 경우 건축물의 구조내력에 관한 기준, 건축물의 피난·방화구조 기준에 관한 규칙 및 건축법에 일조 등의 확보를 위한 건축물의 높이 제한 등을 고려해야한다. 또한 건축법 시행령에 의해 연면적 3000m² 이상인 공공기관 신재생에너지 설치의무화제도 대상건축물을 '신축·증축 또는 개축시' 총공사비용의 5%를 신재생에너지 설비에 투자하도록 하고있다. 2012년부터는 공공건물에도 총에너지 부하량의 5%이상을 신재생에너지로 사용·설계하도록 의무화하고 한전 등 전력공급사는 총발전량의 일정비율을 신재생에너지 의무공급을 하도록 유도할 것이다.

(2) 건물에너지효율등급인증제도

건물에너지효율등급인증제도는 에너지 절약형 건물에 성능별 등급을 부여하는 인증제도로 18세대 이상 공동주택에 한해 자발적인 신청에 의해 이루어진다. 건물 에너지성능과 같은 객관적인 정보를 제공하여 건설사업주체, 소유주체 및 건물사용자 등 건물과 관련된 모두에게 이익이 돌아가도록 하고, 나아가 에너지 절약기술에 대한 투자를 유도하여 경제적 효과 및 건물부문에서의 에너지 절

약에 대한 인식을 제고하고자 만들어진 제도이다. 대부분의 나라에서 주거용 roof top PV시스템으로 보급사업을 활발히 하고 있으며, 독일의 경우 '1천만호 solar roof top 계획'과 '10만호 solar roofs 보급사업'을 통해 300MW 설치 목표를 달성하였다. 미국의 경우도 2010년까지 총 10억 달러를 투입하여 '1백만호 solar roof 보급촉진계획'을 수행중이다. 우리나라 또한 2004년부터 2012년까지 '주택용 3kW PV시스템 10만호 보급사업'을 추진 중이며 2007년까지 14,498호에 총 19.7MW보급, 2006년부터 공동주택에도 태양광발전시스템을 보급 중이다. 태양광발전시스템이 적용된 공동주택의 경우 건물에너지효율등급인증을 받을 시 실질적인 거주민들에게 이익이 돌아갈 뿐만 아니라 적극적인 재생에너지의 활용이 건축시장에 활발한 투자를 유도할 것이다.

(3) 친환경건축물 인증제도

'친환경건축물'이라 함은 지속가능한 개발의 실현을 목표로 인간과 자연이 서로 친화하며 공생할 수 있도록 계획·설계되고 에너지와 자원 절약 등을 통하여 환경오염부하를 최소화함으로써 쾌적하고 건강한 거주환경을 실현한 건축물을 말한다. 친환경건축물 인증제도는 건축물의 자재생산, 설계, 건설, 유지관리, 폐기 등 전 과정을 대상으로 에너지 및 자원의 절약, 오염물질의 배출감소, 쾌적성, 주변 환경과의 조화 등 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 평가를 통해 건축물의 환경성능을 인증함으로써 친환경건축물 건설 유도·촉진하기 위한 제도이며, 많은 국가에서 시행하고 있으나 모든 건물에 적용되는 건축법규와는 달리 이 인증제도는 임의적이다. 다만, 친환경건축물로 인증으로 받았을 경우 건축물의 생애주기 경비 감소 및 부동산 가치 상승의 효과를 얻을 수 있다.

표 1. 우리나라 태양광 발전차액지원제도

적용시점	적용기간	30kW>	30kW이상			
~08.09.30	15년	711.25	677.38			
08.09.30 ~ 09.12.31	적용기간	30kW ≥	30kW <, 200kW ≥	200kW <, 1MW ≥	1MW <, 3MW ≥	3MW <
	15년	646.96	620.41	590.87	561.33	472.70
	20년	589.64	562.84	536.04	509.24	428.83
10.01.01 이후	20년	매년 재고시				

표 2. 국가별 발전차액지원제도

구분	산정기준	요금체계	요금구분	적용기간(년)	조정기간	요금 조정율
독일	발전원가	단일	입지(3), 규모(3)	20	2년	매년 5%감소
스페인	발전원가/전기요금	선택(고정, 변동)	규모(2)	25	4년/매년	전기요금 연동화
프랑스	전기요금	단일	입지(2)	20	매년	
네덜란드	전기요금	단일	단일(1)	10	-	
일본	전기요금	단일	종별(18)	-	매년	

(4) 일반보급보조사업

신·재생에너지 설비에 대하여 설치비의 일정부분을 정부에서 무상보조 지원함으로써 국내 개발제품의 상용화를 촉진하고 초기 시장창출 및 보급 활성화를 유도하는 사업이다. 태양광발전의 경우 자가용에 한해 소요 시설비용의 60%이내 지원하며, 2007년까지 8.9MW 보급되었다.

(5) 발전차액지원제도

신재생에너지 투자경제성 확보를 위해 신재생에너지 발전에 의하여 공급한 전기의 전력거래 가격이 지식경제부 장관이 고시한 기준가격보다 낮은 경우, 기준가격과 전력거래와의 차액(발전차액)을 지원해주는 제도이다.¹⁾ 태양광발전의 경우 2008년 1월까지 225 개소에 46MW가 완공되었으며 899개소에 567MW가 계획 또는 공사 중이다.

발전차액 기준가격의 산정기준은 독일과 스페인 등에서는 발전원가를, 프랑스와 네덜란드 등에서는 전기요금을 적용한다. 기준가격의 적용기간을 증장기(10~25년)로 설정하여 발전사업자의 적정 투자비회수를 보장하고, 가격사정기준의 변동을 반영하기 위해

기준 가격을 주기적으로 조정한다.²⁾ 표 1과 2는 우리나라 태양광발전차액지원제도와 국가별 발전차액지원제도를 나타낸 것이다.

(6) 지방보급사업

지역특성에 맞는 환경친화적인 신재생에너지 공급체계구축, 에너지이용합리화를 통한 지역경제의 발전을 위하여 지방자치단체에서 추진하는 제반사업이다. 지자체가 지역내의 에너지를 효율적으로 개발하거나 활용하기 위한 능력을 확충하기 위한 기반구축사업의 경우 소요자금의 100%이내 지원, 지역내의 에너지수급안정 또는 에너지이용합리화를 목적으로 설치하는 신재생에너지관련 시설 및 지원사업을 위한 시설보조사업의 경우소요자금의 60%이내 지원한다. 중앙정부 60% 또는 지방자치+수익자 40% 지원하여 2007년까지 태양광발전시스템은 10MW 보급되었다.

3 태양광발전 도시계획 시 고려사항

3.1 도시와 조화

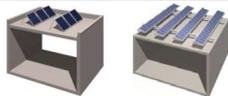
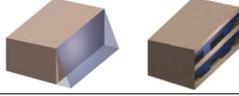
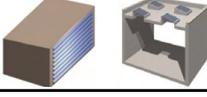
PV 시스템을 확산하기 위해서는 무엇보다

2) 산업자원부, 신·재생에너지 발전차액지원제도 개선 및 RPS제도와 연계방안, 2006. 03. 31

1) 에너지관리공단 신재생에너지센터

도시 내에 효과적 통합성이 매우 중요하다. 즉, 전력생산이라는 본래의 기능 외에 BIPV는 건축물 마감 재료로서의 의장성 및 경제성이 고려되어야 하며, 가로등과 파고라와 같은 조형물의 경우는 심미성을 고려해야 한다. BIPV 시공은 건자재를 건축물에 설치하는 공법과 기본적으로는 동일하나 단자부와 전선은 구조물을 이용해서 될 수 있는 한 눈에 띄지 않도록 처리해야하고 건축 설계자와 설비 설계자가 충분히 상의해서 아름답게 완성될 수 있도록 연구해야 한다. 표 3은 BIPV 시스템의 디자인 패턴을 나타낸 것이다.

표 3. BIPV 시스템의 디자인 패턴

구분	내용	개략도
지붕	설치각도: 0°~15° 적용부분: 대면적지붕, 아트리움 등	
	설치각도: 15°~75° 적용부분: 지붕재(청글, 타일), 아트리움 등	
파사드	설치각도: 75°~90° 적용부분: 발코니, 수직형·경사형 커튼월 등	
	적용부분: 차양, 천장, 옥상난간, 온실, 캐노피 등	

3.2 방위각과 음영

전력생산에 있어서 가장 중요한 요소인 일사량은 위도에 따라 변화하며, PV시스템의 설치 위치 즉, 방위각과 경사각에 의해 결정된다. 일반적으로 최대 일사획득이 가능한 방위는 정남향이고, PV시스템이 정서 또는 정동향으로 설치되는 경우 정남향으로 설치했을 때

의 60%정도의 일사량만을 획득한다. 또한 연중일수에 의해서도 변화되는데 태양고도가 낮은 동절기의 경우 수평면보다는 수직 파사드에 설치된 PV시스템이 보다 많은 획득량을 기대할 수 있다. 더불어 인접건물이나 주변 식생 등으로 인한 음영은 반드시 고려되어야 할 요소이다. 인접 건물에 의한 음영은 도심지와 같이 건물간의 거리가 조밀하고 고층인 경우 연중 상당기간동안 영향을 받으므로 보다 큰 인동간격이과 적절한 배치계획이 필요하다.

3.3 전기적 고려사항

소규모 PV시스템이 아닌 도시를 형성 시, 다수의 PV시스템이 연계된 경우 배전선선로의 말단에서 전압상승과 같은 문제점이 발생한다. 이는 배전계통 안전성 및 운전 효율의 악화는 물론 최종적으로 발전량의 감소를 초래할 수 있다. 일본, 미국, 유럽은 이러한 원인분석 및 개선을 위해 실증연구를 수행하였으나 우리나라는 고밀도 연계시 PV시스템의 현상 및 미치는 영향에 대한 연구는 수행되고 있지 않다. 태양광발전 도시를 조성하기 위해서는 이러한 연구가 선행되어야 할 것이라 사료된다.

4. 태양광발전 도시 사례

4.1 일본

전세계 태양광산업의 선두자리를 장기간 고수했었던 일본은 태양광발전도시조성을 위해 2000년도 초반부터 주택형 PV시스템의 실증연구 및 고밀도 계통연계형 PV시스템의 문제점을 분석하기 위한 연구를 수행하였다. 표 4는 일본의 주거용 지역내 고밀도 계통연계형 PV단지 사례를 보여주며, 그림 1에서 대표적인 사례로 Ota시를 보여주고 있다. Ota시에 조성된 Pal town Josai-no-mori는 총용량 2.16MW PV시스템이 553개의 주택의 경사·평지붕에 거치형으로 가구당 평균 3.89kW씩 설치되어있다. 단지내 연간 전력 사용량은 평

균 4.6MW인데 태양광전지를 통해 연간 3.6MW 까지 생산할 수 있다. 이 단지의 PV시스템의 성능계수(PR)는 71.1%로 이는 가능한 발전량의 28.9%가 전압역제운전(11.5%), PCS운전손실(3.7%), 온도손실(1.7%), MPPT 미스매치(0.3%)와 같은 요인으로 손실됨을 의미한다.

표 4. 일본 주거용 지역 내에 대표적 PV 단지 사례

위치	이름	가구수 [호]	용량 [kW]
Villa Garten Shin-Mastsudo	Mastsudo, Chiba	41	123
Cosmo-Town Kiyomino	Yoshikawa, Saitama	79	237
Jo-Town Kanokodai	Kobe, Hyogo	95	285
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 Yosai-No-Mori	Ota, Gunma	533	2,160



그림1. 일본 Ota시 Pal town Josai-no-mori 전경

4.2 독일 및 네덜란드

태양광발전산업의 선두주자인 독일은 92년부터 터 시의 공공건물이나 시가 대여하거나 매각하는 토지에 건축되는 모든 건물에 대해 ‘저에너지 건축’만을 허가하는 조례를 제정 시행하고 있다. 국제적인 환경도시 중에 하나인 독일에 Freiburg에는 총용량 445kW 계통연계형 PV시스템이 60여 개 주택의 경사지붕에 타일타입의 일체형으로 설치되어 연간 420MWh를 생산 중이다.

네덜란드의 대표적인 태양광발전 도시인 Nieuwland는 총용량 1.35MW 계통연계형 PV 시스템이 500여개 주택의 경사·평지붕에 일체형으로 가구당 평균 2.55kW씩 설치되어 연간 1,012MWh를 생산한다. 다른 사례로는 Stad van de zon은 총용량은 5MW 계통연계형 PV시스템이 3,500여개 주택의 경사·평지붕에 일체형으로 가구당 평균 1.45kW씩 설치되어 연간 3,750MWh를 생산한다.

5. 결 론

독일, 일본 및 유럽이 태양광발전기술개발 및 보급에 있어서 오늘날의 성과를 거둘 수 있었던 가장 큰 이유는 태양광발전산업의 초기시장 창출을 위한 주택형 PV시스템보급과 발전차액지원제도와 같은 정부 차원의 관심과 지원이었다. 또한 친환경 도시개발의 수단으로 태양광발전 단지를 조성하여 실증연구를 진행함으로써 유한한 에너지원으로부터 자생할 수 있는 도시를 건설한 것이다. 세계적인 추세도 인구 8백만의 뉴욕 같은 거대 도시도 솔라시티로 가고 있다. 우리나라 역시 10만호 태양광주택 보급정책을 시행하고 있지만 1.3GW라는 가시적인 계획이 아닌 도시의 환경문제를 해결하고 에너지를 절약하며 동시에 에너지를 생산할 수 있는 친환경도시의 조성이 필요하다고 사료된다. 또한 소규모 PV시스템이 아닌 MW급 태양광발전도시를 형성 시, 다수의 PV시스템이 연계된 경우 배전선선로의 말단에서 전압상승과 같은 전기적 문제점이 발생하므로 이를 분석할 수 있는 실증 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

1. 지식경제부 태양광사업단. PV 국내 현황 및 전망, 태양전지 기술 워크샵.
2. Urban scale photovoltaic systems. <http://www.pvdatabase.org/>