

## 태양광발전 기술의 보급현황과 전망(I)

-일본, 미국, 유럽을 중심으로-

박경은\*, 유권중\*, 정명웅\*, 최주엽\*\*  
한국에너지기술연구원\*, 광운대학교 전기공학과\*\*

## Distribution Status and Perspective of Photovoltaic Technology(I)

K.E. Park\*, K.J. Yu\*, M.W. Jung\*, and J.Y. Choi\*\*  
Korea Institute of Energy Research\*, Kwangwoon University\*\*

### ABSTRACT

In recent years, the Photovoltaic(PV) industries have been increasing steadily by an average of 30% per year. However, it is necessary to reduce PV module cost and to improve conversion efficiency to be promoted distribution of PV. Japan, USA and Europe have been researching cost and efficiency of that.

In this paper, we try to review diffusion status and policy of PV in these countries. From the results, we will intend to suggest a suitable future course for domestic PV distribution.

### 1. 서론

산업의 발달은 인간의 삶의 질을 향상시킨 반면, 그것을 위해서 점점 더 많은 양의 에너지 소비를 필요로 하게 되었다. 이에 지금까지 주된 에너지원으로 사용된 화석연료의 한계성과 그것의 사용으로 인한 환경오염 문제로, 이를 대체할 만한 에너지원에 대한 필요성이 커지고 있다. 이에 선진국들을 중심으로 청정하고 무한한 에너지원-태양광, 태양열, 바이오메스, 풍력, 조력, 지열, 연료전지, 수소에너지, 폐기물에너지 등-에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

2002년 우리 나라는 에너지소비에 있어서 세계10위에 랭크된 반면 에너지 해외 의존도는 97%이상인 것으로 조사되어, 우리 나라도 대체에너지 개발이 절실하게 필요한 것으로 나타나고 있다.<sup>[1]</sup> 특히 최근에는 여름철 냉방부하가 현격하게 증가하고 있는 실정으므로, 일사량 특성곡선과 부하특성곡선의 유사성을 이용하여 여름철에 상호보완효과를 얻을 수 있는 태양광발전방식의 보급 활성화는 에너지 측면에서도 매우 바람직하다 하겠다.<sup>[3]</sup>

현재 일본, 미국, 독일과 같은 나라들이 세계 태

양광발전산업 시장을 이끌어 가고 있다.

본 보고에서는 일본, 미국, 유럽 등의 선진국의 태양광발전시스템의 보급정책 및 현황을 분석하여, 향후 우리 나라 태양광발전산업의 활성화와 보급 촉진을 위한 정책추진 방향 등을 모색하면서 국내 태양광발전산업의 미래에 대하여 조심스럽게 의견을 개진하고자 한다.

### 2. 세계의 PV 보급 현황

세계 태양광발전산업 시장이 활발하게 움직이고 있는 가운데, 각국의 PV 설치 누적 전력량을 살펴보면, 다음 그림 1에서 나타난 것과 같이 일본, 미국, 유럽(특히 독일)이 압도적인 우위를 보이며 세계 태양광발전산업 시장을 이끌고 있음을 알 수 있다. 특히 일본은 1990년대 후반부터는 급격한 증가로 다른 국가들과의 차이를 더욱 크게 벌이며 가장 선두에 서게 되었다.

1990년대 초반까지만 해도 가장 선두에 있었던, 미국은 수출 위주의 정책으로 일본이나 독일에 비해 자국 시장이 약한 점과 독일의 성장으로 인한 유럽 시장에서의 점유율 감소 등의 이유로 일본과 독일에 이어 세 번째 순위에 랭크되었다.

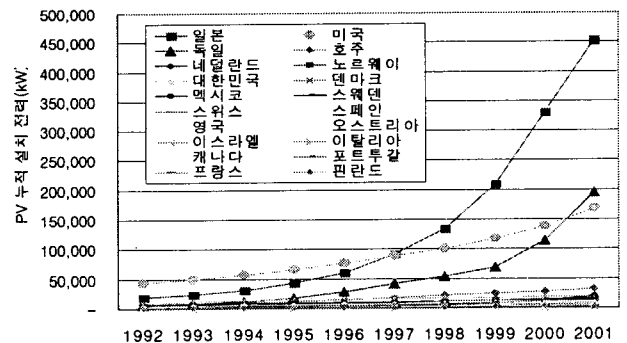


그림 1 일본의 주택용 roof-top 시스템 설치 추이<sup>[9]</sup>  
Fig. 1 Increase of PV roof-top installation

독일은 꾸준한 증가추세를 보이다가 최근에는 비교적 급속한 성장을 보이며 미국을 추월하여 세계 2위의 PV 국가로 올라서게 되었다.

아래의 표 1은 각 국가별, 유형별 PV 누적 설치량을 나타내는 것이다. 독립형 태양광시스템은 주로 캐나다, 핀란드, 프랑스, 이스라엘, 멕시코, 노르웨이, 스웨덴에 90% 이상이 설치되어 있다. 핀란드, 노르웨이, 스웨덴에서는 독립형 태양광시스템을 주로 계절과 관련된 건물이나 휴양을 목적으로 하는 건물이나 거리가 조금 떨어져 있는 오두막집 등에 이용하고 있다. 프랑스와 멕시코에서는 태양광이 도서지역의 전기 공급 방법으로 사용된다. 호주, 캐나다, 대한민국, 일본에서는 독립형 태양광발전 시스템을 주로 비주거용 건물이나, 펌프, 농업용, 교통신호, 통신 등에 사용하고 있다.<sup>[9]</sup>

일본, 독일, 미국, 네덜란드에서 정부와 공공단체에 의해 지원되는 프로젝트들은 일반적으로 도심환경에 초점을 맞추어 진행하므로, 이에 따라 계통연계분산형 부분이 빠르게 성장하게 되었다.

표 1. 2001년 말까지의 PV 누적 설치 전력<sup>[9]</sup>

Table 1. Cumulative installed PV power

국가	Off-grid domestic (kW)	Off-grid non-domestic (kW)	Grid-connected distributed (kW)	Grid-connected centralized (kW)	Total (kW)
네덜란드		4,330	13,699	2,480	20,509
노르웨이	5,810	335	65		6,210
대한민국	376	3,857	524		4,757
덴마크	50	160	1,290		1,500
독일	6,200	10,500	162,000	16,000	194,700
멕시코	12,349	2,614	9		14,972
미국	50,500	64,700	40,600	12,000	167,800
스웨덴	2,376	507	149		3,032
스위스	2,480	220	13,340	1,560	17,600
스페인	5,900	1,100	600	1,480	9,080
영국	135	385	2,226		2,746
오스트리아		1,955	4,440	241	6,636
이스라엘	253	200	6	14	473
이탈리아	5,300	6,350	1,635	6,715	20,000
일본	600	68,960	379,770	2,900	452,230
캐나다	3,322	5,162	341	11	8,836
포르투갈	484	176	268		928
프랑스	8,912	3,972	972		13,856
핀란드	2,392	249	87	30	2,758
호주	10,960	19,170	2,800	650	33,580
	118,399	194,002	624,821	44,091	982,203

### 3. 각 국가별 PV 보급 정책과 현황

일본, 미국, 독일과 같은 몇몇 선진국들은 태양광과 관련된 다양한 정책들을 수립하고 수행해 왔다. 그 결과, 현재 PV 기술의 향상으로 인한 PV 모듈 가격인하 및 변환효율 향상 등의 성과를 이루었고, 보급 또한 활발한 증가추세를 보이고 있다.

이러한 성과들이 이루어지게 된 각 국가별 PV 보급 정책과 현황을 살펴보면 다음과 같다.

#### 3.1 일본의 PV 보급 정책과 현황

현재 일본은 수요와 공급의 양 측면에 있어서 가

장 선두에서 세계 태양광 시장을 이끌고 있다. 이러한 것이 가능하게 된 가장 큰 원인은 태양광에 대한 일본 정부의 꾸준한 관심과 지원이라고 할 수 있다. 1974년의 Sunshine Project를 시작으로 태양광발전기술을 개발하기 위한 프로그램들을 수행하였고, 80년에는 신에너지개발기구(NEDO)를 설립하여 대체에너지개발 촉진법 및 전기요금 전원개발 촉진세를 부가할 수 있는 특별회계법을 제정하였다. 1993년에는 태양광발전기술연구조합(PVTEC)을 결성하였고, 1997년에는 신재생에너지법을 제정하여 정부 및 에너지 소비자, 공급자, 제조자들이 신에너지를 도입, 확대 적용하도록 하였다<sup>[11]</sup>. 또한 2002년에는 신재생에너지 포트폴리오 기준법을 제정하여 에너지 소매업자들이 일정량 이상의 신재생에너지를 의무적으로 사용하도록 하였다. 이러한 노력들의 결과, 현재 일본은 세계 태양광 분야의 리더로서 자리 매김을 하였고 이러한 현상은 앞으로도 계속될 전망이다.

특히 최근 몇 년 사이에는 주택용 태양광발전 시스템이 매우 활성화되고 있는데, 이는 실제 거주가능 면적이 적고 땅값이 비싼 일본의 특성상 건물의 지붕에 태양광을 적용하는 것이 경제적이기 때문이다. 다음 그림 2는 일본의 PV roof-top 설치, 보조금, 시스템 가격 등의 추이를 나타낸 것이다<sup>[7]</sup>. 정부의 보조금 지원 비율이 점점 감소하고있는 반면, 설치 수는 증가하고 있고 시스템의 평균가격도 감소추세를 보이고 있어, 향후 주택 부분에서의 태양광 보급에 대한 잠재성을 보여준다. 이와 관련해서, 1994년부터 1996년 사이에 New Energy Foundation(NEF)는 "Monitoring Program for Residential PV systems"이라는 프로그램을 수행되었다. 이것은 일본의 태양광, 특히, 주택용 태양광 시스템의 보급이 가속화되는 계기가 되었다. 이 프로그램에서는 초기투자비의 50%를 보조금으로 지원하였는데, 그 결과 kWp당 시스템 가격이 1994년 2백만 엔에서 1996년 1.2백만 엔으로 낮아지게 되었다. 이때 예산은 연간20-40억엔, 연간 보급 시

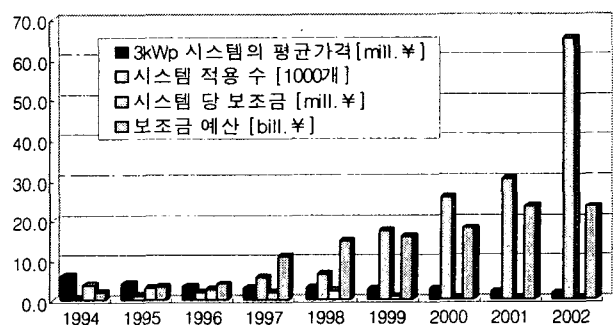


그림 2 일본의 주택용 roof-top 시스템 설치 추이<sup>[7]</sup>  
Fig. 2 Increase of PV roof-top installation

스텝 수는 1994년 539건, 1996년 1986건이었다. 이것은 1997년에 9600건으로 대폭 증가하였다. 이 때 "Programme for the Development of the Infrastructure for the Introduction of Residual PV Systems"이 시작되었는데, 이 기간동안의 예산은 1997년 111억 엔에서 2001년 235억 엔으로 증가한 반면, 정부보조금은 kW당 34만 엔에서 12만 엔으로, 2002년에는 10만 엔까지 감소하였다. 또한 시스템 평균 가격이 kW당 1백만 엔에서 75만 엔으로 낮아지게 되었다.

일본에 설치된 PV 누적전력을 살펴보면, 그림 3에서와 같이 1997년 이후 급속한 증가가 이루어지고 있음을 알 수 있다.<sup>[2][10]</sup> 특히, 계통연계분산형이 다른 부분들에 비해 압도적으로 많은 부분을 차지하고 있다.

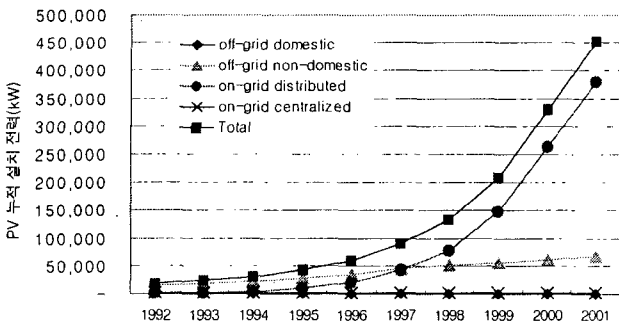


그림 3 일본에 설치된 PV 누적전력<sup>[3][10]</sup>  
Fig. 3 The Cumulative Installed PV Power

### 3.2 미국의 PV 보급 정책과 현황

1972년부터 에너지성(DOE) 주관으로 지상용 태양광발전 시스템의 실용화를 위하여 5년 주기의 국가 PV 프로그램을 수립하여 수행하였다. 특히, National Renewable Energy Laboratory(NREL)와 Sandia National Laboratory (SNL)가 태양광산업과 관련해서 중추적 역할을 담당해왔다.

2001년 미국에서 생산된 PV 모듈은 100W에 이르렀고, 2002년에는 그보다 20% 이상 증가하였다. 또한, 2001년 미국 내 33개 주가 net-metering제도를 실시하여 잉여전력 판매가 가능하도록 했다.<sup>[3]</sup>

지금까지 미국의 태양광 시장은 독립형 시스템이 주도해 왔지만, 최근 시장활성화 정책으로 계통연계형 시스템의 보급이 증대되고 있다. 대표적인 프로그램으로 1997년에 시작된 "Million Solar Roofs Program"이 있는데, 이것을 중심으로 2010년까지 약 3,000MW의 전력을 확보할 계획을 가지고 있다.

현재 미국은 연간 15MW 이상의 계통연계형시스템을 설치하고 있다. 거의 7MW 가까이 되는 2-4kW 지붕설치형 시스템들이 개인 주택에 설치되고 있다.<sup>[8]</sup>

미국에서는 연방정부가 세금의 일부를 감면해주는 제도 이외에 태양광 시장 활성화를 위한 획일적인 인센티브 제도는 없지만, 여러 인센티브제도 중에서 각 주정부나 지방정부의 실정에 맞는 것을 선택하여 진행하고 있다. 우선, 연방정부 인센티브는 태양에너지 및 기타 재생에너지 발전 전력에 대해서 일정량의 세금을 면제해주는 "Production Tax Credit" 이외에, 태양에너지, 지열 발전 장비 투자 자금에 대해 세금혜택을 부여하거나, 태양에너지, 풍력, 지열에 투자한 자금을 감가상각 공제로 회수할 수 있도록 하는 제도, 연방정부로부터 보조금이나 재정지원을 받은 부분에 대해 연방정부의 세금혜택을 받을 수 있도록 하는 제도, 그리고 기술개발이나 시범사업 등에 연방정부가 비용 분담 차원에서 자금을 지원하는 제도가 있다. 또한, 많은 주정부 및 지방 정부는 태양광이나 다른 재생에너지에 대한 투자에 대한 세금감면 혜택을 주는 것 이외에도 태양광 보급을 활성화시키기 위한 다양한 재정 지원 제도를 추진하고 있다. 실례로 Florida 주는 JEA-Solar incentive program에 의해 시스템 설치 시 W당 2-4달러를 지원하고 있다.<sup>[7]</sup>

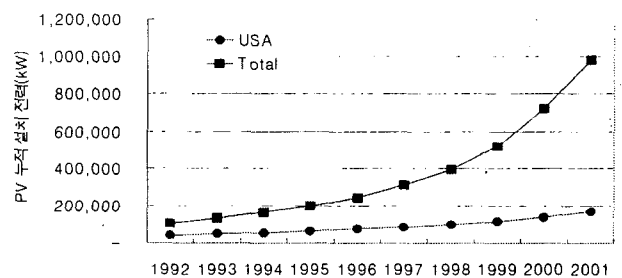


그림 4 미국의 PV 누적전력<sup>[9]</sup>  
Fig. 4 The Cumulative Installed PV Power in USA

그림 4는 세계의 PV 누적전력량과 미국의 PV 누적전력량을 나타낸 것이다. 미국은 현재 일본의 급속한 PV 전력량 증가로 세계 PV 전력량이 급격하게 증가하고 있는것에 비해, 완만하지만 꾸준한 증가곡선을 그리고 있다.

### 3.3 독일의 PV 보급 정책과 현황

유럽 국가들은 공동체(EU)를 결성하여 태양광발전 기술개발을 계속해 오면서, 동시에 각 국가별로 자체적인 태양광발전 기술개발 및 보급을 위한 노력을 해왔다. 그 중에서도 독일은 유럽의 태양광산업을 이끄는 가장 중추적인 역할을 하는 나라이다.

다음 그림 5는 독일의 PV 누적설치전력을 유럽과 세계의 전력량과 나타낸 것이다. 독일의 전력량 변화에 따라 유럽의 누적 전력량도 변화하고 있음을 알 수 있다.

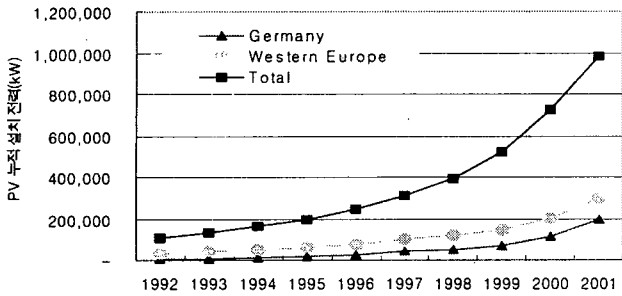


그림 5 유럽의 PV 누적전력<sup>[9]</sup>  
Fig. 5 The Cumulative Installed PV Power in Europe

독일에서는 1990년 태양광발전 설비용량이 1.5MW이었지만 1997년에는 34MW로 크게 증가하게 되었다. 1990년에서 1992년까지 수행된 "1000 Photovoltaic Roof Program"은 세금 감면 혜택과 함께 설치비용의 30-50%를 지원해 줌으로써, 그 당시 독일의 태양광발전 시장확대와 기술발전에 영향을 주었다. 그 후 1995년까지는 별다른 변동을 보이지 않다가 1996년 "Full Cost Rate(총비용가격 보장제도)"가 도입되면서 빠른 속도로 증가하기 시작했다. 이것은 "1000 PV Roof Program"의 단점을 보완하여 도입한 제도로, 태양광발전설비를 설치할 경우 1kWh당 2.2마르크까지 지원을 해 주는 것을 주요 내용으로 한다. 2000년에는 "Renewable Energy Sources Act(EEG)이 도입되었다. 이후 태양광 전력에 대해 20년간 kWh 당 일정가격으로 전력을 매입해 주고, 매년 새로운 시스템에 대해서는 시스템의 가격을 낮추기 위해 5% 씩 단가를 낮추도록 하였다. 이것은 실제로 2002년에 조성된 PV 시스템에 적용되었다. 1999년 1월에 시작된 "100,000 Rooftops Solar Power Programme"은 연 1.9% 이율의 연화차관(soft loan)프로그램으로 2003년 말까지 300MWp의 PV 전력 설비 설치를 목표로 하고 있다.<sup>[2][6]</sup>

그밖에도 대체에너지 이용발전지원프로그램을 통하여 태양광 시스템 비용의 50%를 지원하고 있는 호주를 비롯하여<sup>[3]</sup>, 이탈리아와 네덜란드, 프랑스 등 여러 나라들도 PV 보급 활성화를 위해 태양광 시스템 설치에 대한 보조, 세금혜택, 융자 제도 등의 지원제도를 도입하는 노력을 기울이고 있다.

#### 4. 결 론

선진국들이 태양광발전기술개발 및 보급에 있어서 오늘날의 성과를 거둘 수 있었던 가장 큰 이유는 태양광발전산업의 초기시장 창출을 위하여 범정부 차원의 관심과 지원이었다. 이러한 노력으로 선진국은 이미 초기시장이 형성되고 있다고 판단하여 지원 비중을 줄여가며 해외 시장창출을 위한 프로

그램을 개발하고 있는 상황이다.

우리나라는 1987년 대체에너지기본법의 국회 통과로 태양광발전에 대한 기술개발이 1990년대 초반부터 본격적으로 시작되었으나, 정부의 노력에도 불구하고 예산확보의 어려움과 IMF 등으로 선진국과의 기술격차는 심화되고 있는 실정이다. 그러나 최근, 정부에서는 여러 대체에너지들 중 태양광을 3대 중점 과제로 선정하여 여러 가지 지원을 추진 중에 있다.

필자는 우리나라의 산업 인프라를 고려한다면 우리의 차세대산업으로 태양광발전산업이 충분히 가능성을 가지고 있으며, 반도체 및 IT산업의 다음을 이어갈 산업으로서 세계시장 석권도 가능하다고 생각하고 있다. 이러한 타당성은 반도체산업의 인프라는 태양전지 셀 제조설비의 초기 투자비용을 절대적으로 줄일 수 있으며, 우리의 화학산업과 유리산업은 태양전지 모듈 제조의 코스트 다운에 기여, 충전기 산업은 PCS(Power Conditioning System)의 제조에 크게 기여하게 되어 후발주자로 태양광발전산업에 참여하였지만, 반도체산업이 세계시장을 석권하였듯이 본 태양광발전산업도 세계시장을 충분히 석권할 것으로 전문가들은 전망하고 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 문영석, "국내외 에너지시장 여건 변화와 우리나라의 에너지 안보체계", Energy News in Korea, 2003. 4.
- [2] 유권중, "햇빛발전산업의 현황과 전망".
- [3] 유권중, "태양광발전 산업시장 확대와 Business Chances", 제1회 태양광발전기술세미나, 산업자원부, 태양광발전기술 연구회, 2001.
- [4] 유권중, "태양광발전기술의 현황과 전망", 설비 통권 213호, 한국설비기술협회, 2002.
- [5] 이필렬, "재생가능에너지의 세계적 동향과 시사점", 제 1차 지속가능하고 평화로운 미래를 위한 재생가능에너지 워크숍, 1998.
- [6] 최창식, "태양에너지 이용 현황과 보급발전방향", 태양에너지 제2권 제2호, 2003.
- [7] Arnulf Jager-Waldau, "Status of PV Research, Solar Cell Production and Market Implementation in Japan, USA and the European Union", PVNET Workshop RTD Strategies for PV Ispra, European Commission Joint Research Centre, 2002.
- [8] Ichiro Hashimoto, PVPS Annual Report 2002; Japan, IEA, 2003.
- [9] IEA-PVPS, "Trends in Photovoltaic Applications: In selected IEA countries between 1992 and 2001", Report IEA-PVPS T1-11, 2002.
- [10] Ken Ichiro Ogawa, PVPS Annual Report 2001; Japan, IEA, 2002.
- [11] [http://www.konetic.or.kr/koneticreport/analreport/e1ca01/006\\_3511.htm](http://www.konetic.or.kr/koneticreport/analreport/e1ca01/006_3511.htm)