

# 태양광 발전

송진수\*

(\*한국에너지기술연구소 책임연구원)

## 1. 서론

태양광 발전은 광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용하여 태양에너지를 직접 전기에너지로 변화시키는 기술이며, 전기를 공급할 수 있는 태양광 발전 시스템은 일반적으로 반도체 변환소자인 태양전지와 전기를 저장하는 축전지, 그리고 직류전기를 교류전기로 변환하는 인버터로써 구성된다. 따라서 화력, 수력, 원자력발전등 기존 발전방식에 비해

- 무한정, 무공해의 태양에너지를 이용하므로 연료가 불필요하고 열적 공해와 환경오염이 없으며,
- 기계적 가동부분이 없어 소음, 방사능 폭발의 위험이 없을 뿐만 아니라
- 운전, 유지가 간편하고 자동화, 무인화가 용이한 'clean & safe' 에너지원이다.

그러나 이러한 태양광 발전은 아직까지 발전단가가 현저하게 높고 기상조건의 변화에 따라 발전량이 일정하지 못하며, 한정된 일조시간때문에 발전시간도 제한되는 단점이 있다. 그러므로 태양광 발전기술을 실용화 하기 위해서는 변화효율을 높이고 가격을 낮출수 있는 새로운 태양전지 재료와 제조기술, 그리고 시스템 이용기술이 개발되어야 한다.

특히 석유자원이 없어 대부분의 에너지를 수입에 의존하는 국내 실정으로는 태양광 발전기술의 개발과 태양광 발전시스템의 보급촉진이 필연적 과제이다.

## 2. 선진국의 기술개발 동향

1970년대 초 부터 미국과 일본을 중심으로 개발되어 온 태양광 발전기술은, 최근에는 미래의 에너지확보와 지구환경 보전의 필요성 때문에 선진국뿐만 아니라 아시아와 남미의 개발도상국들도 국가주도의 장기개발 계획을 적극 추진하고 있다.

미국의 경우 태양광 발전기술을 개발하기 위한 장기계획은, 1972년 수립된 태양광 발전계획(National Photovoltaic Program)이후 연구의 중간결과 및 최종결과의 평가를 토대로 5개년 계획으로 입안, 추진되고 있다.

이러한 계획은 Department of Energy(DOE)의 주도하에 Solar Energy Research Institute(SERI), Jet Propulsion Laboratory(JPL), Sandia National Laboratory(SNL)에서 중추적 역할을 수행하고 있으며, JPL가 SNL이 주로 자체연구에 의해 Si 태양전지의 저가화와 집광형 태양광 발전 시스템의 기술개발을 수행하는데 비해, SERI는 자체연구 뿐만 아니라 산업체·대학·연구소와의 공동연구 및 위탁연구 형식으로 태양전지 전반에 관한 개발을 담당하였다.

그러나 종래의 연구개발정책이 재료와 태양전지의 기초연구에 치중하였다는 자체판단에 따라, 최근에는 실용화 및 상품화 기술을 중심으로 수정 보완된 새로운 장기계획을 발표하였으며, DOE를 기술분야별 조직에서 이용분야별로 개편하고 SERI를 NREL(National Renewable Energy Laboratory)로 개정하여 역할을 부여하였다[1].

또한 태양광 발전시스템 설치가격의 대폭 저감을 목적으로 태양전지 모듈과 관련된 모든 제조기술을 개발하기 위한 PVMaT(Photovoltaic Manufacturing Technology) Project[2]가 추진중이며, 태양광 발전시스템의 실증시험과 주변장치의 기술 및 제품 개발을 위하여 PVUSA(Photovoltaic Utility Scale Application) 사업도 1985년 부터 수행하고 있다.

일본의 경우에는 1974년에 처음으로 Sunshine Project를 수립했으나 체계적이고 집중적인 연구개발은 '신 에너지산업기술 종합개발기구'(NEDO)가 설립된 1980년 부터 본격적으로 추진 되었다. 통상 산업성 산하의 정부기관인 Sunshine Project 추진본부에서 정책과 예산을 주관하고, NEDO에서 분야별 전문위원회의 자문을 얻어 산업체, 대학과의 연구위탁 및 관리를 담당하고 있다.

특히 1990년에는 24개 회사와 2개 단체로써 구성된 태양광 발전기술 연구조합(PVTEC)을 설립하여, 정부기관과 기술개발 참여기관이 협조체제를 구축함으로써 상호 정보교환과 대민홍보 뿐만 아니라 제품개발의 중추적인 기능도 수행하고 있다[3]. 이러한 정부주도형의 기술개발은 개발된 기술의 상품화와 실용화를 효율적으로 추진할 수 있었으며, 그 결과 결정질 실리콘과 비정질 실리콘태양전지의 제품성능은 미국의 기술수준을 앞지르고 있다.

최근 발표된 새로운 Sunshine Project[4]는 태양전지 제조기술을 신형태양전지, a-Si 태양전지 그리고 초고효율(Super-High Efficiency)태양전지 제조기술의 3분야로 구분하고, 시스템의 이용기술은 주변기기개발, 시스템 평가기술, 시스템 기초 연구와 각

종 시스템의 실증 시험으로 구분하여 기술개발을 수행하고 있다.

미국과 일본의 장기개발 목표는 표 1에 나타난 바와 같이, module 효율 15% 이상, module 가격 \$1/Wp 이하의 고효율 저가 박막태양전지를 대량생산함으로써 상용전원과 경쟁가능한 발전단가인 5~7¢/kWh의 가격 목표를 달성하는데 있다. 그러나 미국이 최근발표된 장기개발 목표[5]에서 1987년에 수립된 5개년 계획[6]의 2000년도 목표를 2010년으로 지연 시킨데 반해, 일본은 그대로 지속시키고 있는 점에 특이하다.

한편 유럽EC회원국의 태양광발전 기술개발 동향[7] EC 회원국의 비핵에너지 프로그램인 JOULE (Joint Opportunities for Unconventional or Long-term Energy Supply) 계획에 의한 공동연구와, 각국의 독자적인 기술개발을 병행하고 있다. 독일의 경우에는 연방연구기술부(BMFT)의 주관하에 1974년 부터 태양전지 모듈, 시스템 및 주변장치의 각 분야에서 가격경쟁력이 있는 기술을 개발 하기 위하여 노력하고 있으며, 태양광 발전시스템의 개선 및 시범사업도 하고 있다. 연구분야는 GaAs, CuInSe<sub>2</sub>, a-Si 등의 박막 제조기술과 저가의 다저정 Si 태양전지를 중점개발 하고 있으며, 최근에는 태양전지 관련 4개의 연구기관으로 태양에너지 연구협회를 설립하여 공동연구체제를 구축하였다. 또한 1000호의 개인주택 지붕위에 1~5kW의 소규모 태양광 발전시스템을 설치하고 실증시험을 하기 위한 One-Thousand-Roofs Project를 추진 중이며, 이 계획은 통일된 동독지역을 포함시켜 Two-Thousand-plus-Roofs Project로 확대 추진할 계획이다. 한편

표 1 미국과 일본의 장기개발 목표

구 분	현재수준	장기개발목표	
		미국	일본
module 효율	15-15.5%	15-25%	20%
module 가격	\$4.5/Wp		\$1/Wp
module수명	12-20 년	30년	25년
발전단가	29 ¢/kWh	5-6 ¢/kWh	7 ¢/kWh
생산용량	14.5-50 MWp	10-50GWp	500MWp

표 2 선진국 1990년도 연구개발 예산 단위 : US\$

	기초연구	태양전지	이용기술	기타	계
미국	6.7	24.3	2.4	0.9	34.3
독일	1.9	48.4	11.0	-	61.3
이탈리아	-	17.9	8.6	-	26.5
프랑스	1.4	2.1	0.5	1.8	5.8
캐나다	0.02	0.06	0.3	0.22	0.6
일본	4.0	34.6	12.0	2.7	53.3

AFME(에너지관리청)를 중심으로한 프랑스와, EN EA(원자력 에너지 및 대체 에너지 개발기관)를 중심으로한 이탈리아의 태양광 발전기술 개발도 활발히 추진되고 있다.

주요 선진국의 연구개발 예산[8]은 1970년대 이후 미국이 가장 많은 예산을 투입하였으나, 1980년대 중반부터 Sunshine Project가 본격적으로 추진됨에 따라 일본의 연구개발비가 미국을 능가 하였으며, 1990년에는 표2에 나타난 바와 같이 독일이 가장 많은 연구비를 투입하고 있다.

기술분야별 연구개발비는, 미국이 상대적으로 기초연구를 중요시하는 반면 독일과 일본, 이탈리아 등은 태양전지의 제조기술 개발에 집중투자 하고 있다. 기초연구의 핵심 분야인 박막 태양전지의 경우, a-Si 태양전지는 지난 15년간 선진국의 집중적인 연구개발에 의해 대면적과 효율향상 기술은 어느 정도의 성과를 얻을 수 있었으나, 신뢰도 향상을 위한 열화 현상의 개선방안 연구는 아직까지 연구결과가 미흡하여 전력용 제품 생산이 어려운 실정이다.

따라서 최근의 연구동향은 a-Si 보다는 CuInSe<sub>2</sub> 또는 CdTe 등의 화합물 반도체 태양전지에 관한 연구가 활발하며, 이에 따라 괄목할 만한 연구성과도

발표되고 있으므로 향후 저가, 고효율의 박막태양전지 개발이 기대된다.

그림 1은 대면적 박막태양전지 module의 변환효율 추이를[9]를 나타낸 것으로써, a-Si 태양전지의 변환효율이 10.05% 인데 비해 CuInSe<sub>2</sub> 태양전지의 변환효율은 11.1%에 이르고 있으며, 특히 소면적의 경우 a-Si 태양전지의 변환효율이 최근 12.65%[10] 인데 비해 CuInSe<sub>2</sub> 태양전지는 14.1% 변환효율[11]이 이미 발표된바 있다. 그러나 이러한 박막태양전지의 개발은 박막의 제조, 특성향상 및 이론적 기구 해석등 많은 기초연구의 보완이 필요하며, 상품화를 위해서도 대면적화, 신뢰도향상 및 재현성의 확보가 선결되어야 한다. 최근 a-Si/CuInSe<sub>2</sub>, a-Si/p-Si 또는 CuInSe<sub>2</sub>/GaAs 등의 tandem structure 태양전지[12]에 대한 관심은, 상호 결점을 보완할 수 있는 새로운 구조의 박막태양전지로서 주목된다.

### 3. 국내의 연구개발 현황

국내에서의 태양광 발전기술 개발은 1970년대 초부터 대학을 중심으로 CdS/Cu<sub>2</sub>S 태양전지등에 관한 기초연구가 수행되어 왔으며, 1970년대 후반부터는 출연연구기관에서 단결정 또는 다결정실리콘태양전지의 설계 및 제조에 관한 연구가 추진되었다. 이 무렵 비정질실리콘태양전지에 관한 연구도 시작되어 대학을 중심으로 박막의 제조공정 및 특성에 관한 많은 연구결과가 발표되었으며, 최근에는 연구소와 기업에서도 적극참여하여 활발한 연구가 진행되고 있다. 한편 태양광 발전시스템의 국내 실용화를 위한 기상자료의 정밀분석, 시스템의 설계 및 설치등 이용기술에 관한 연구는 1979년 이후 에너지기술연구소와 한국전력의 연구팀에 의해 꾸준히 지속되어 왔으며, 기술개발 뿐만 아니라 실증시험과 시범설치를 병행함으로써 태양광 발전시스템의 보급을 촉진 하였다. 그러나 1980년대 중반까지 국내에서의 태양광 발전기술 개발연구는 한정된 연구인력과 연구시설의 미비, 연구비의 부족등 산재한 문제점 때문에 지속적, 체계적인 개발연구가 불가능하였으며, 기술수준도 태양전지의 기초연구와 시스템 이용기술에 국한된 미흡한 실정이었다.

태양광 발전기술의 본격적인 연구개발은, 두 차례의 석유파동 이후 대체에너지의 중요도와 개발 필요

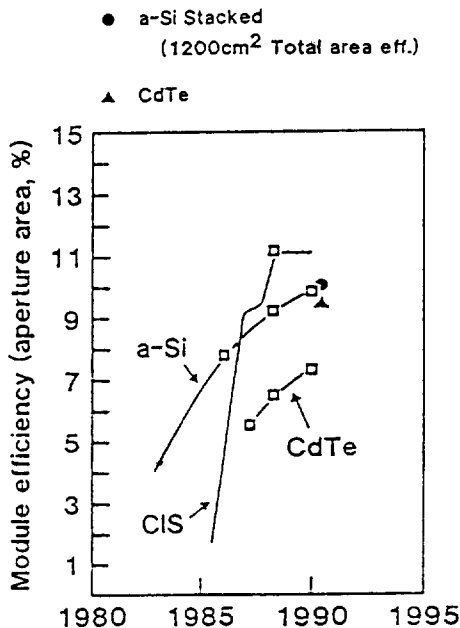


그림 1 대면적 박막태양전지의 변화효율 추이

성에 따라 1988년 제정된 대체에너지 개발 촉진법이 제기가되었으며, 특히 태양광발전 분야는 1989년 범국가적 연구사업으로 지정됨으로써 체계적인 기술개발이 가능하였다.

태양광 범국가적 연구사업은[13]은 1989년 부터 1991년 까지를 1단계 사업기간으로 하여, 동력자원부 주관 하에 예산, 정책, 행정의 우선지원과, 에너지관리공단의 체계적 연구관리, 그리고 기업, 연구소, 대학의 공동참여에 의해 효율적으로 연구사업을 수행할 수 있는 추진체계를 형성하였다.

기술개발의 최종 목표는, 태양광 발전기술의 국내 실용화를 위하여 상용전력과 경쟁가능한 가격수준의 태양전지 제조기술과 시스템 이용기술을 개발하는데 있다. 그러나 우선 1단계 기간동안은 선진국과의 기술격차를 줄이고 향후 기술개발에 필요한 기반을 구축하기 위하여 변환효율 12%이상, 가격 2500원/Wp (1988년 불변가격)이하의 태양전지 module을 대량 생산할 수 있는 제조기술의 확립과, 100kWp급 태양광 발전시스템을 구성하기 위한 주변장치의 국산화에 의해, 낙도전원용 독립형 태양광 발전시스템의 발전단가가 750원/kWh에 도달할 수 있도록 개발 목표를 설정하였다.

사업기간동안 수행된 연구기관별 연구과제 수와 연구비의 지원 실적은 표3과 같다.

정부의 연구지원 이외에도, 민간기업에서 연구개발을 위하여 약 5880백만원을 자체부담 하였으며, 1766백만원의 특정연구설비를 구입하여 연구기간 동안 무상으로 대여 하였다. 연구사업에 참여한 연구인력은 연 625명으로써 그중 약 300명이 선임급 이상의 고급인력이었다. 이러한 노력으로 얻을 수 있었던 1단계 연구사업의 주요성과는

— 단결정실리콘태양전지의 양산기술 확립 및 생산설

비 보유('92년도 연간 생산용량 350kWp)  
 — a-Si, CuInSe<sub>2</sub> 등 박막태양전지의 기초기술개발  
 — 태양광발전용 직교류 변환장치, 연축전지등 주변 장치의 국산제품화

— 독립형 태양광 발전시스템의 이용기술 확립  
 등을 들 수 있으며, 정량적인 가격 목표에는 약간 미흡한 부분이 있으나 대체적으로 1단계 개발목표에 근접한 기반기술을 구축하였다고 평가하고 있다. 개발된 기술은 연구결과의 발표회와 시제품의 전시회를 통하여 성능과 신뢰도를 확인한 후 현재 제품 생산단계에 있으며, 생산된 태양전지와 주변 장치를 사용하여 금년 10월 까지 충청남도 보령군 호도에 100kWp급의 낙도 전원용 태양광 발전시스템이 시범 설치될 계획이다. 또한 1단계 연구사업의 평가 결과와 국내의 현재 기술 수준을 감당하여 2001년 까지

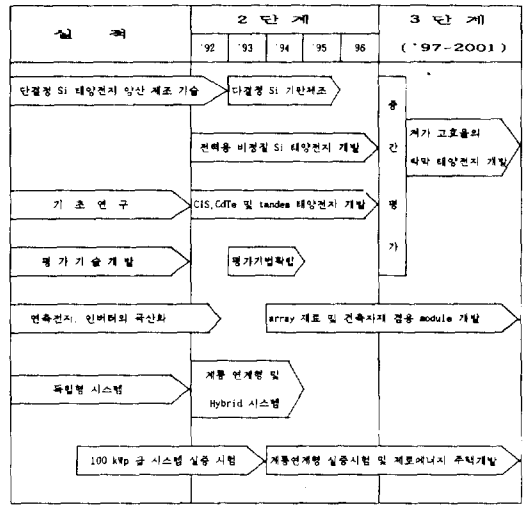


그림 2 태양광 발전기술의 개발 추진일정

표 3 태양광 범국가적 연구사업의 지원실적

구분	'89		'90		'91		'92	
	과제수	연구비	과제수	연구비	과제수	연구비	과제수	연구비
기업	5	854	6	1522	5	997	6	3373
연구소	5	281	10	597	12	989	12	1867
대학	7	196	9	339	9	256	9	791
계	17	1331	25	2458	27	2242	27	6031

표 4 태양광 발전기술의 단계별 개발목표

	현재 수준('91년말)	2단계('92~'96)	3단계('97~2001)
태양전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 단결정Si태양전지 상품화                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 350KWp생산용량</li> <li>- 4300원/Wp</li> </ul> </li> <li>○ 박막태양전지 기반기술                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- a-Si, CIS, CdTe</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 결정질Si태양전지 양산                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1MWp생산용량</li> <li>- 2500원/Wp</li> </ul> </li> <li>○ 박막태양전지 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 효율 12%(10×10cm)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저가태양전지 양산                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 5MWp 생산용량</li> <li>- 1000원/Wp</li> </ul> </li> <li>○ 박막태양전지 실용화                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 효율12%(30×40cm)</li> </ul> </li> </ul>
이용기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ INVERTER, 연축전지 성능개선</li> <li>○ 독립형시스템 표준화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주변장치 및 기술 개발</li> <li>○ 연계형시스템최적화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 실증실험 및 응용제품 개발</li> <li>○ 발전단가 : 50~100원/Kwp</li> </ul>

2단계, 3단계 연구사업의 장기계획(안)[14]이 수립되었으며, 단계별 개발목표는 표 4와 같다.

이와 병행하여 2000년대 초에는 국내의 기술수준이 선진국으로 도약할 수 있는 핵심기술을 개발하기 위하여 기획중은 HAN(Highly Advanced National) Project에서도 신에너지 분야에 태양광 발전기술이 포함되어 있다. HAN Project의 기획과정에서, 태양광 발전기술의 전 부분을 망라한 기술분야중 국내의 기술수준과 개발필요성을 감안하여 선별적으로 기술개발과제를 도출하였으며, 기술개발의 추진 일정은 그림 2와 같다[15]. 또한 각 과제는 산·학·연의 공동연구에 의해 집중개발되어 궁극적으로 상품화와 연계되며, 필요한 경우 선진국의 연구기관과 공동연구도 추진할 계획이다.

#### 4. 보급현황과 시장전망

태양전지의 연도별 세계 생산량 규모[16]는 1986년 이후 매년 12~19%의 안정된 시장생산율을 나타내어 1990년에는 46.5MWp가 생산되었으며, 비공식 집계에 의한 1991년도의 세계총생산량도 53MWp로써 1983년의 2.5배에 이르고 있다.

국가별 생산량은 그림 3과 같이 미국, 일본 및 유럽의 주요생산국으로 구분되어 있으며, 80년대 초기에 50%이상의 생산량을 점유하고 있던 미국은 1983년 이후 감소추세를 나타내어 1985년 부터 일본이 최대 생산국의 위치를 차지 하였다. 그러나 최근에는 미국과 유럽, 그리고 개발도상국의 생산량이 꾸준히

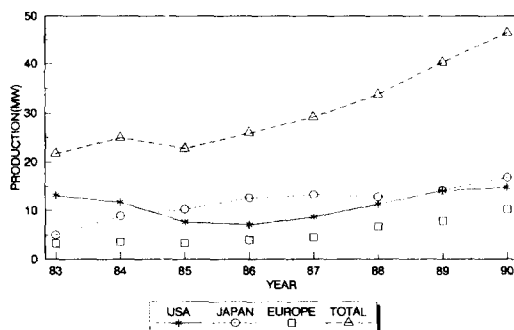


그림 3 태양전지의 국가별 생산량

준히 증가하고 있는 반면, 일본은 거의 답보 상태이다. 이러한 국가별 생산량의 추이변화는, 일본의 집중적인 태양전지개발 및 상품화에 따라 시장점유율이 급격히 증가하고 상대적으로 미국의 시장점유율은 감소하였으나, 일본의 주종제품인 비정질실리콘 태양전지의 응용분야 민수용 전원으로 국한되어 증가추세가 둔화한 반면, 화석연료의 한계성 및 환경오염의 심각성에 대한 인식고조 때문에 태양광 발전시스템의 보급이 증가하고, 전력용 태양전지의 자체 생산이 적극적으로 추진됨에 따라 미국과 유럽 및 개발도상국의 생산량이 계속 증가하였기 때문이다.

태양전지 세계시장의 향후 전망은 유가의 변동, 기술개발 성과, 개발 및 보급정책에 따라 크게 변동될 수 있으나, 태양전지 경제전문가에 의한 시장전망[17]은, 1988년의 생산량을 기준하여 연간 12~15%의 성장율을 적용할 경우 1995년에 124MWp, 2000년에는 195MWp의 약 8억불 시장규모를

예측하고 있다. 그러나 공해의 심각성과 환경보전의 필요성에 따라 적극적인 개발정책과 획기적인 기술개발이 병행될 경우, 연간 25%의 시장성장율을 나타내어 1995년에 210MWp, 2000년에는 440MWp까지 시장이 증가할 수 있는 것으로 전망된다.

또 다른 시장예측은 최근 DOE에 의해 발표된 「SOLAR 2000」 프로그램[18]으로써 2000년 까지 1400MWp의 태양전지를 미국에서 생산하여 900MWp는 미국에 설치하고 나머지는 해외에 설치함으로써, 기술개발과 병행하여 보급확대와 시장개척을 적극적으로 추진하기 위한 장기계획이다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 현재의 연간 20MWp 생산능력을 400MWp의 생산능력으로 증가하여야 하며, 기술개발과 시장개척에 따른 태양전지의 주요 생산국인 일본과 유럽 그리고 개발도상국의 생산량 증가 추세를 고려한다면, 태양전지의 향후 시장규모는 2000년대 초에는 연간 400MWp이상 될 것으로 기대된다.

한편 국내의 태양전지 보급현황[19]은 그림 4에 나타난 바와 같이, 1972년 해운항만청에서 국내 최초로 무인등대 전원용 소형시스템을 설치한 이후 1990년 말까지 국내에 설치보급된 태양광 발전시스템은 2343개소의 총 768.5kWp에 이른다. 또한 1980년 이전까지는 1kWp 미만이었으나 매년 꾸준히 증가하여 1990년에는 170MWp에 이르렀으며, 1991년에 완공된 30kWp의 제주 마라도 태양광 발전시스템과 계획중인 100kWp급의 충남 호도 태양광 발전시스템등 낙도전화 사업이 추진됨에 따라 이러한 증가추세는 지속될 것으로 전망된다. 또한 초기에는 응용분야가 무인등대, 측정장치전원등의 소규모시스

템에 국한되어으나, 최근 유인등대, 가로등 D.D.D. 전화전원등으로 확대 되었으며, 앞으로는 낙도전화 사업, 대규모 시범단지 건설, 민수용전원 뿐만 아니라 주택용 소규모 태양광 발전시스템의 대량보급도 예상된다. 특히 국내에서 태양전지가 생산되고, 시장창출을 위한 정부의 적극적인 지원정책이 병행될 경우 국내 시장규모는 급격히 증가할 것으로 전망된다. 따라서 박막태양전지의 실용화와, 태양전지의 저가화가 기대되는 2000년대 초에는 국내시장 규모가 10MWp 이상이 될 것으로 예상되며, 국내수요 뿐만 아니라 해외수출을 고려할 경우 연간 20MWp ~ 40MWp의 생산능력을 보유하여 전세계 생산량의 10% 정도를 점유할 수 있을 것으로 기대된다.

### 5. 결 론

태양광 발전기술에 관한 선진국의 개발동향을 분석하고, 국내의 연구실적 및 태양광 범국가적 연구사업의 1단계 연구성과를 토대로 현재의 기술수준을 파악하였으며, 앞으로 추진될 대체에너지 개발사업과 HAN Project중에서 태양광 발전분야에 관한 개발목표와 주요연구 대상과제, 그리고 추진일정에 관한 장기계획을 요약 하였다. 이와 아울러 지난 10년간의 태양전지 세계시장규모와 국내의 보급현황을 분석하였으며, 선진국에서의 향후 시장 전망과 정책적인 보급방안도 소개하였다. 그 결과, 지금까지의 경험과 연구인력을 활용하여 태양광 발전기술을 실용화 하기 위한 정부주도의 산·학·연 공동연구 및 국제 협력을 체계적으로 추진한다면, 2000년대 초에는 선진국의 기술수준에 도달할 것으로 기대된다.

개발된 기술을 상품화와 연계시키고, 정책적인 시장창출 및 보급확대 방안이 병행된다면, 무한정, 무공해의 미래에너지 확보와 환경 보전효과 뿐만 아니라 새로운 첨단산업의 육성 및 수출증대에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] M. B Prince : Technical Digest of 5th Int'l PVSEC, Kyoto, Japan, 26-30Nov(1990)
- [2] R. L. Mitchell et al : Proc. of Int'l Solar Energy Conference, Maui, Hawaii. 4-8 April(1992)

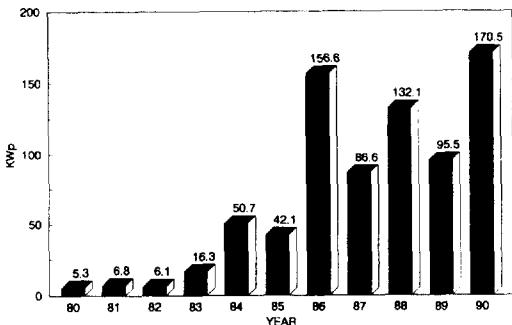


그림 4 태양전지의 국내 보급현황

- 
- [ 3 ] 太陽光發電 技術研究組合 : PVTEC News. Vol. 1, No.1(1991)
  - [ 4 ] NEDO : Sunshine Project-Solar Energy Utilization Technology(1991.3)
  - [ 5 ] U. S. DOE: Photovoltaic Program Plan, FY 1991-FY 1995(1991)
  - [ 6 ] U. S. DOE: Five year Research Plan. 1987-1991(May 1987)
  - [ 7 ] K. Wollin et al : Proc. of 10th E. C. Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisbon, Portugal. 8-12 April(1991)
  - [ 8 ] 黒田哲平 : 第8回 太陽光發電 SYSTEM SYMPOSIUM. 東京(1991.6)
  - [ 9 ] K. Zweibel et al : SERI/TR-211-3571, CuInSe<sub>2</sub> and CdTe(Dec. 1989)
  - [10] Y. Arai et al : IEEE Electron Device Lett. Vol. 12, No. 8, p. 462(Aug. 1991)
  - [11] K. Mitchell et al : Proc. 20th IEEE Photovoltaic Specialists Conf. Las Vegas, 26-30 Sep.(1988)
  - [12] 小長井誠 : 第8回 太陽光發電 SYSTEM SYMPOSIUM, 東京(1991.6)
  - [13] 동력자원부 : 범국가적연구사업 세부추진 계획 (1989.7)
  - [14] 동력자원부 : 대체에너지 기술개발 기본계획 개선 방안(1992.3)
  - [15] G-7 전문가 기획단 : 21세기선도 기술개발사업 연구기획에 관한 워크샵(1991.12)
  - [16] Photovoltaic News, Vol 10, No. 2(Feb. 1991)
  - [17] P. D. Maycock : Proc. of 10th E. C. Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisbon, Portugal, 8-12 April(1991)
  - [18] R. H. Annan : Proc. 22nd IEEE Photovoltaic Specialists Conf. Las Vegas, 7-11 Oct.(1991)
  - [19] 에너지관리공단 : 대체에너지 관련자료집(1991)
- 



**송진수(宋鎭洙)**

1949년 9월 5일생. 1971년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 고려대 대학원 박사과정 수료(공학). 1979~80년 미국 Argonne Nat'l Lab. 교환연구원. 1986~87년 미국 Univ. of Minnesota Visiting Scholar. 현재 한국에너지기술연구소 책임연구원.