
태양광발전기술의 개발현황 및 시장 전망

송진수

한국에너지기술연구소 책임연구원

1. 서론

무한정·무공해의 태양에너지로부터 직접 전기를 얻을 수 있는 태양광발전기술은 1839년 E. Becquerel에 의한 광기전력효과(Photovoltaic Effect)의 발견과 1954년 D.M. Chapin 등에 의한 PN 접합구조의 Si 태양전지 제조¹⁾ 및 1958 인공위성 Vanguard I호의 전원으로 사용됨으로써 실용화가 가능하게 되었으며 그 이후 시대적 배경변화에도 불구하고 꾸준한 기술개발과 응용보급이 지속되어 왔다.

즉, 1960년대의 미·소 냉전에 따라 인공위성의 전원개발을 위한 기술경쟁을 거쳐서 두 차례의 석유파동을 겪은 1970년대에는 에너지의 석유의존성을 탈피하기 위한 대체에너지개발정책의 일환으로 본격적인 태양광발전기술의 개발이 추진되었으며, 1980년대에는 미국과 일본을 중심으로 개발된 Si 태양전지의 제조기술을 상품화하고 이용기술을 보완함으로써 지상전원용 태양광발전시스템의 보급이 확대되었다. 그러나 최근 환경부하증대 및 지구온난화에 따른 지구환경문제가 심각하게 대두되고 Green Round(GR) 및 Technology Round(TR) 등 환경과 기술에 관한 다자간 협상이 쟁점으로 부상됨에 따라 상용전원과 가격경쟁이 가능한 청정에너지로서의 태양광발전을 실용화함으로써

써 첨단에너지 기술의 국제화·기술전략화에 적절히 대처해야 할 시점에 이르렀다.

2. 선진국의 개발계획 및 기술 현황

1972년부터 지상용 태양광발전시스템의 실용화를 위하여 5년을 주기로 National Photovoltaic Program을 수립하고, 기술개발목표와 가격목표를 설정하여 장기계획을 추진해온 미국은 Department of Energy(DOE)의 주도하에 National Renewable Energy Laboratory(NREL, 전 SERI)와 Sandia National Laboratory(SNL)가 중추적 역할을 담당하고 있다.

최근에는 1991년에 발표된 Photovoltaic Program Plan(1991~1995)²⁾에 의한 태양전지의 변환 효율 및 가격목표를 달성하기 위한 기술개발과 병행하여, 태양전지의 저가, 제조기술을 개발하기 위하여 PVMaT(Photovoltaic Manufacturing Technology) Project와 태양광발전의 상업화에 필요한 실증시험과 주변장치의 가격절감을 위한 시스템 기술개발을 목적으로 하는 PVUSA(Photovoltaic Utility Scale Application) Project, 2000년까지 1000MW의 시스템을 설치 보급하기 위한 'SOLAR 2000'계획 및 태양발전기술을 건물에 적용하기 위한 PV: BONUS 계획이 동시

에 추진되고 있다.³⁾

또한 1992년에는 PVUSA Project에 의해 개발된 제조기술을 상업화하기 위하여 관련제조업체들로 구성된 Photovoltaic Utility Group이 주관하는 TEAM-UP(Technical Experience to Accelerate Market) Project도 추진되고 있다.

이에 비해 일본은 1974년 국가주도의 태양광발전기술을 개발하기 위한 Sunshine Project를 수립하였으며, 1980년에는 신에너지 산업기술 종합개발기구(NEDO: New Energy and Industrial Technology Development Organization)를 설립함과 아울러 대체 에너지 개발촉진 법률이 제정되고 전기요금에 전원개발 촉진세를 부과할 수 있는 특별회계법이 제정됨에 따라 본격적인 기술개발과 지속적인 정책 및 재정지원이 가능하게 되었다.

이러한 정부주도형의 추진체제는 결과적으로 가장 효율적인 목표 달성을 이룩할 수 있었으며 특히 첨단 반도체 기술을 기반으로 하여 민간업체에 대한 정부의 강력한 상품화 유도는 결정적 실리콘과 비정질 실리콘 태양전지의 기술수준이 미국을 앞지를 수 있게 하였다.

이와 함께 1987년에는 기술 및 시장정보의 상호 교환 및 협력체제를 구성하기 위한 목적으로 관련 기업과 연구기관이 태양광 발전 간학회(Japan Photovoltaic Energy Association)를 발족하였으며 1990년에는 Sunshine Project의 기술개발에 참여하는 24개 회사와 2개 단체를 구성원으로 하여 태양광발전기술 연구조합(PVTEC: Photovoltaic Power Generation Technology Research Association)을 설립함으로써 정부기관, 기업 및 연구소의 상호 협력뿐만 아니라 대민 홍보와 연구개발의 중심기관으로서의 기능을 수행하고 있다.⁴⁾ 특히 1993년에는 경제성장, 에너지, 환경보전에 대한 균형있는 대책과 종합적인 기술개발을 위하여 종래에 독립적으로 추진되어온 Sunshine Project,

〈표 1〉 미국과 일본의 장기개발목표

	현재수준	장기개발목표	
		미국(2010)	일본(2000)
Module 효율	15~15.5%	15~25%	20%
Module 가격	\$3.5~4.5/Wp		\$1/Wp
Module 수명	12~20년	30년	25년
발전단가	29¢/kWh	5~6¢/kWh	7¢/kWh

Moonlight Project 및 지구환경기술개발을 일체화하여 New Sunshine Program(에너지·환경영역 종합기술개발 추진계획)을 수립⁵⁾하여 수행하고 있다.

표 1은 미국과 일본의 태양광발전기술에 관한 장기개발목표를 나타낸 것이다.

한편 유럽 공동체(EC)의 태양광발전기술개발⁶⁾은 비록 소규모이지만 1975년 이후 EC위원회를 중심으로 꾸준히 계속되고 있으며, 1989년부터 Non-Nuclear Energy Program(JOULE: Joint Opportunities for Unconventional or Long-term Energy Supply)을 수립하여 태양전지 및 태양광발전시스템의 기술개발을 추진하고 있다. 2004년까지 이 계획의 모듈 가격 목표는 1 ECU/Wp이며 이러한 목표달성을 위하여 1992년부터 1994년까지의 JOULE II 계획은 상업화를 목적으로 다결정 실리콘 태양전지 제조기술 개선과 태양광발전시스템에 대한 연구에 중점을 두고 있다. 또한 저가의 박막 태양전지를 개발하기 위하여 EUR-OCIS 컨소시엄을 형성하여 독일과 스웨덴을 중심으로 CuInSe₂ 태양전지를 집중연구함으로써 괄목할 만한 연구성과를 얻고 있다.

이와는 별도로 유럽 각국은 장기계획에 의해 태양광발전기술개발 및 보급을 추진하고 있다.

독일의 경우 2000호 이상의 개인주택 지붕위에 1~5kW의 태양전지를 설치하여 전력계통과 연계함으로써 소규모 태양광발전 시스템을 보급하기 위한 '2250 Roofs Project'를 추진하고 있으며

Siemens Solar사는 미국의 Arco Solar사를 합병하여 세계최대 태양전지 제조업체가 되었을 뿐만 아니라 연산 30MW의 박막 태양전지 제조 공정을 계획중이다.

이탈리아의 경우에는 전력용의 100kW 표준 태양광발전시스템을 개발, 건설하기 위하여 PLUG (Photovoltaic Low Cost Utility Generator Project)를 추진하고 있으며 5개년 기술개발계획에 의해 1995년까지 25MW의 태양광 발전소를 건설할 계획이다.

스위스에서 개인주택에 소규모 태양광발전시스템을 보급하기 위한 MW House Project (3kW×333가구)를 계획하고 전력회사는 태양광발전 에 의한 전력을 의무적으로 구입하게 하였으며 프랑스의 경우 2000년까지 태양전지 모듈효율 20%, 모듈가격 20Fr/W, 발전단가 2Fr/kWh를 목표로 한 PV 20 Project를 수립하였다. 이러한 연구개발의 궁극적인 목표는 상용전원과 가격 경쟁이 가능한 태양광발전시스템의 실용화이며 이를 위해서는 태양광발전시스템의 구성요소중 기술과 가격면에서 가장 핵심적인 저가·고효율의 태양전지가 개발되어야 한다.

그러나 현재 상용화되고 있는 결정질(단결정 또는 다결정) Si과 GaAs, InP 등은 효율과 신뢰도는 높으나 가격에 한계성을 가지며 저가의 박막 태양전지인 비정질 Si 태양전지는 태양광 조사시의 초기 특성열화 현상과 낮은 효율 때문에 민수용으로 응용분야가 국한되고 있다. 따라서 최근에는 CuInSe₂, CdTe 등의 화합물 반도체가 새로운 저가 고효율 박막 태양전지 재료로 각광받고 있으며 Spheral Soalr Cell⁷⁾, Nanocrystalline Solar Cell⁸⁾ 등도 주목된다.

표 2는 대표적인 태양전지재료별 이용효율과, 연구성과로서 발표된 실험실적 도달효율⁹⁾을 나타낸 것이다.

〈표 2〉 태양전지 재료별 변환효율의 이론한계와 도달효율(%)

재 료	이론한계	도달효율	연구기관
다결정 Si	25-30	24.2	UNSW
다결정 Si	20-22	17.8	UNSW
a-Si	14-15	13.7	ECD
GaAs	27-30	25.7	SERI
InP	26-28	22.0	NTT
CuInSe ₂	17-18	17.5	Univ. Stuttgart
CdTe	18-20	15.8	Univ. S. Florida
a-Si/CuInSe ₂	20	15.6	Siemens
a-Si/다결정 Si	20	16.8	Osaka Univ.

3. 국내의 기술현황

국내에서의 태양광발전기술은 1970년대초부터 대학과 연구소를 중심으로 연구되었으나 태양전지의 기초연구에 국한되었으며, 두 차례의 석유파동 이후 대체에너지에 관한 인식이 고조됨에 따라 정부출연연구소를 중심으로 개발 및 응용연구가 수행되었다.

특히 1987년 12월 대체에너지개발촉진법이 제정되고 이에 따라 1988년 6월 동력자원부(현 상공자원부) 주관하에 대체에너지기술개발 기본계획이 수립되었으며, 개발필요성과 중요도를 감안하여 1989년 7월 태양광발전 범국가적 연구사업 세부추진계획과 장기개발계획이 수립되었다. 또한 1993년부터 과학기술의 선진화를 위한 『G7 프로젝트』의 신에너지분야에 태양광발전기술이 포함됨으로써 기술개발과 보급촉진을 보다 강화할 수 있는 기틀이 마련되었다.¹⁰⁾

그러나 태양광발전기술의 최종목표는 상용전원과 경쟁가능한 발전단가 수준의 제품과 이용기술 개발에 의한 태양광발전기술의 실용화이므로 기술수준과 예산 및 연구인력 등의 개발여건을 고려한 단계적 추진방법이 바람직하다.

따라서 우리나라의 장기계획은 I단계 기간('89~'91)동안 결정질 실리콘 태양전지 및 주변장치의

국산화와 이용기술을 개발하고, 2단계('92~'96)기간은 저가·고효율 박막 태양전지를 중점 개발하고 주변장치의 저가화와 신뢰도를 확립함으로써 실용화 기반을 구축하며, 3단계('97~2001)기간은 박막 태양전지의 상품화와 응용제품 개발에 의해 태양전지의 보급확대 및 태양광발전시스템의 실용화를 목표로 설정하고 있다.

1단계 연구기간 동안 수행된 과제수는 총 27개로서 연 인원 652명이 참여하였으며; 62억 3100만원의연구비가 투입되고 27억 6600만원의 연구장비가 지원되었다.

이러한 노력으로 얻어진 1단계 태양광 범국가적 연구사업의 주요 성과는

- (주)실트론에 의한 변화효율 12%의 Module 상품화 및 연간 300kWp 생산능력의 대량생산 체제 확립
- 금성산전연구소의 한국에너지기술연구소에 의한 태양광 발전용 직·교류 변환장치의 국산화
- 세방전지(주)에 의한 태양광발전용 연축전지의 성능개선
- 한국에너지기술연구소와 한전기술연구원에 의한 도서전원용 태양광발전시스템의 표준화 및 계통 연계형 태양광발전시스템의 개발
- 한국에너지기술연구소에 의한 태양전지 및 시스템의 성능측정과 평가기법확립 등을 들 수 있으며

〈표 3〉 태양광 범국가적 연구사업의 장기개발 목표

기술분야	개 발 목 표	
	제 2 단계('92~'96)	제 3 단계('97~2000)
태양전지	<ul style="list-style-type: none"> ○ 결정질 실리콘 태양전지 <ul style="list-style-type: none"> - 태양전지 변화효율 : 18% - Module 변화효율 : 15% - Module 가격 : 2,500원/Wp ○ 비정질실리콘 태양전지 <ul style="list-style-type: none"> - 태양전지 변화효율 : 10% (30cm×40cm) - 초기열화율 : 15% 이내 - 투명전도막 : 투과율 85% 이상 저항 5Ω/□ 이내 ○ 화합물 반도체 박막태양전지 <ul style="list-style-type: none"> - 변화효율 12% (10cm×10cm) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 박막 태양전지 (비정질 실리콘, 화합물 반도체) <ul style="list-style-type: none"> - 태양전지 변화효율 : 12% 이상 (30cm×40cm) - 초기열화율 : 10% 이내 - 가격 : 1,000원/Wp
주변장치	<ul style="list-style-type: none"> ○ 직교류 변환장치 <ul style="list-style-type: none"> - 효율 : 90% 이상 - 왜율 : 1.5% 이내(독립형) 2% 이내(계통연계형) - MTBF : 15,000시간 이상 - 가격 : 250원/W ○ 연축전지 <ul style="list-style-type: none"> - 수명 : 3000CPS (60% DOD) - 자기방전율 : 0.3%/일 이하 - 보수간격 : 2년 이상 - 가 격 : 70원/Wh 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 직교류 변환장치 <ul style="list-style-type: none"> - 효율 : 90% 이상 - 왜율 : 1.0% 이내(독립형) 1.5% 이내(계통연계형) - MTBF : 20,000시간 이상 - 가격 : 100원/W ○ 연축전지 <ul style="list-style-type: none"> - 수명 : 5000CPS (60% DOD) - 자기방전율 : 0.3%/일 이하 - 보수간격 : 3년 이상 - 가 격 : 50원/Wh
이용기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 계통연계형 시스템의 이용효율 향상 ○ Hybrid System의 최적화 기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시스템의 실증시험 및 Clean Enertopia 건설 ○ 응용제품 개발

- 화학연구소에 의한 다결정 실리콘 기관의 국산화
- 표준과학원에 의한 밀폐형 연축전지의 개발
- 비정질 실리콘 태양전지와 $CuInSe_2$ 및 $CdTe$ 태양전지의 기반기술 확립 등의 연구성과도 얻을 수 있다.

또한 1단계 연구기간 동안의 연구성과를 종합하고 실증시범을 통한 신뢰도를 확인하기 위하여 한전기술연구원의 주관으로 '93년 1월 충남 보령군 호도에 90kWp 태양광발전시스템이 건설되어

- 태양전지 : 48Wp×730매((주)실트론 개발품)
53Wp×1,038매
- 축 전 지 : 2,700Ah×270개(세방전지(주) 개발품)
- 직·교류 변환장치 : 35kVA×2대(금성산전(주) 개발품)

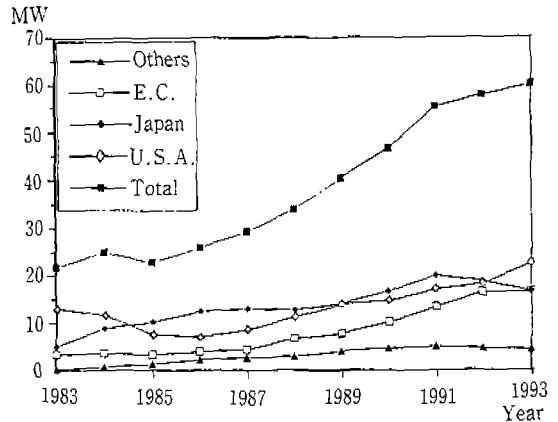
등 국내에서 자체개발된 제품과 기술만으로 태양광발전시스템에 의한 도서전화사업을 성공적으로 완료하였다.¹¹⁾

1단계 연구사업 성과를 토대로 경제성이 있는 태양광발전기술을 실용화하기 위한 2000년대초까지의 장기개발 계획은 '92. 7월 수립되었으며 세부 개발 내용은 표 3과 같다.¹²⁾

4. 태양전지의 보급현황 및 시장전망

태양광발전 분야의 생산현황 또는 시장규모는 일반적으로 태양전지의 용량으로 나타낸다.

1983년부터 1990년까지 연도별 세계의 태양전지 생산량은 그림 1에서와 같이 1985년을 제외하고는 1986년 이후 매년 12~19%의 안정된 증가현상을 나타내었으나 최근 1992년과 1993년에는 약 4% 선으로 증가율이 둔화되었다. 1993년의 세계 총생산량은 60.09MW로서 미국, 일본 및 유럽이 대부분의 시장을 점유하고 있으며 특히 1985년부터 1992년까지 일본에 비해 시장 점유율이 뒤떨어졌



<그림 1> 세계의 박막 태양전지 생산량¹³⁾

던 미국이 1993년에는 최대생산국의 위치를 탈환하였고 유럽과 개발도상국의 신장세가 두드러진다.

종류별 태양전지의 생산량은 단결정 실리콘 태양전지가 1983년 이후 40% 이상으로 주종을 이루고 있으며 1986년까지 20%이내의 점유율을 나타내었던 다결정 실리콘 태양전지가 그 이후 30% 이상의 수준까지 증가하고 있다. 또한 1985년부터 1988년까지 35% 이상의 시장점유율을 나타내었던 비정질실리콘 태양전지는 점점 감소하여 1993년에는 21.0%에 지나지 않았으며 화합물 반도체 태양전지는 1992년 이후 1.7%(1MW)를 차지하고 있다.

이러한 종류별 태양전지 생산량의 분포는 태양전지의 응용분야와 밀접한 관련을 가지며 비정질 실리콘 태양전지의 경우 민수용 가전기기전원이 쇠퇴하고 이에 대처할 수 있는 전력용 전원으로서의 특성열화현상이 해결되지 않아 현저한 시장감소를 초래하였으며, 신뢰성의 확보와 양산기술의 향상에 따른 결정질 실리콘 태양전지가 2000년까지는 태양전지 시장의 주종을 이룰 것으로 예상된다. 현재의 태양전지 가격은 \$4.5~\$5.5선으로 1970년대 중반에 비해 1/30~1/40까지 감소하였으

나 단결정·다결정 Si 및 비정질 Si 등 태양전지 재료별 가격차이는 거의 없다. 그러나 단기적으로 다결정 Si 태양전지의 가격저하가 기대되며 CuInSe₂ 및 CdTe 태양전지의 효율향상과 양산체제가 구축될 2000년대초부터는 화합물 반도체 박막 태양전지의 저가화와 급격한 시장 확대가 기대된다.

이러한 추세를 감안하여 일본의 New Sunshine Program에서는 다결정 Si 태양전지(case I)와 전채 일체형 박막 태양전지(case II)를 구분하여 2000년대초에 달성가능한 태양광발전시스템의 설치가격을 추정하였으며 3kW 규모의 계통연계형 태양광 발전시스템을 지붕위에 설치할 경우 발전 단가는 25~30₩/kWh로써 상용전원과 경쟁가능한 수준에 도달할 것으로 기대되고 있다. 또한 100MW/년의 대량생산일 경우 태양전지 제조에 사용된 에너지를 태양광발전에 의한 전기에너지로 회수할 수 있는 Energy Pay-back Time을 1.2~1.7년으로 추정하며 발전방식에 따른 사회적·환경적 비용을 감안할 경우 태양광발전의 부수적인 기대효과는 더욱 클 것으로 예상된다.

이러한 추세를 감안하여 추정한 향후 10년간의 태양전지 시장 전망은 태양전지 경제전문가인 P. D. Maycock¹⁵⁾에 따르면 1988년의 생산량을 기준으로 하여 연간 12~15%의 성장률을 가정하면 1995년에 124MW, 2000년에는 195MW의 약 8억불 시장규모를 예측하고 있다. 이에 비해 보다 낙관적

인 견해는 환경오염이 심각한 사회적·정치적 문제점으로 대두되고 지구환경보전과 첨단 기술개발을 위한 GR, TR 등 국제다자간 협상이 본격화될 경우, 향후 태양전지 시장은 연간 25% 성장률을 유지하여 1995년에 210MW, 2000년에는 440MW까지 증가할 수도 있을 것으로 예측하고 있다.

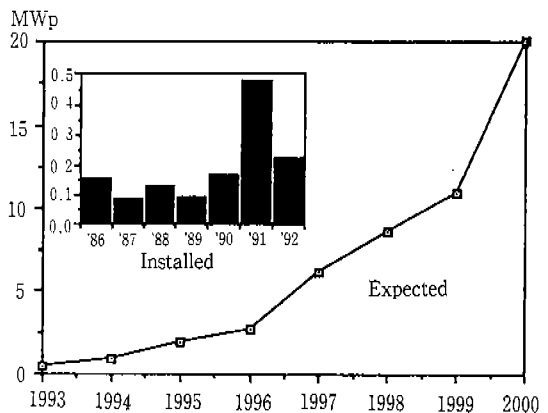
한편 국내의 연도별 태양전지 보급량¹⁶⁾은 그림 2에서와 같이 꾸준한 증가세를 나타내어 1986년부터 100kW 이상의 지속적인 수요가 유지되었으며 1991년에는 약 500kW로 급격히 증가하여 상품화에 대량생산에 필요한 최소한의 시장규모를 확보하였다.

1992년과 1993년의 경우에는 태양광 범국가적연구사업의 중간평가와 연계된 정부의 보급정책이 유보되어 일시적으로 감소하였으나 1994년부터 낙도전화사업을 비롯한 태양광발전시스템의 보급계획이 본격화됨에 따라 현저하게 증가할 것으로 기대된다.

따라서 태양전지의 향후 국내시장은 저가의 태양전지재료 및 제조기술개발과 개발된 기술의 상품화 및 대량생산체제를 확립하고 광범위한 응용분야에서의 보급정책을 강화할 경우 2000년의 국내 태양전지 시장은 연간 20MW에 이를 것으로

〈표 4〉 2000년대의 태양광발전시스템 설치 가격¹⁴⁾

	Case I	Case II	현재의 양산기술 수준
시스템 전체가격	320₩/W	320₩/W	320₩/W
태양전지 (Module 효율)	210₩/W (15%)	170₩/W (10%)	330₩/W (15%)
주변장치	110₩/W	90₩/W	120₩/W
발전단가	30₩/kWh	25₩/kWh	40₩/kWh



〈그림 2〉 국내의 태양전지 보급 및 시장전망

추정되며 기술개발과 대량생산에 의해 해외 수출 시장을 개척한다면 국내의 태양전지 생산량은 연간 20~40MW의 낙관적인 전망도 가능하다.

그러나 이러한 수요와 시장창출을 위해서는 기술개발과 정책지원뿐만 아니라 국내 생산업체의 생산량 증가도 병행해야 하므로 현재의 생산 수준인 연간 300kW의 생산용량을 '95년까지 1MW 수준으로 증설하고 '96년 이후에는 2MW 생산용량의 다결정실리콘 태양전지 제조업체의 설립뿐만 아니라 2000년대에 대비한 박막 태양전지의 상품화가 적극 검토되어야 한다.¹⁷⁾

5. 결론

태양광발전기술은 에너지의 수급안정을 위한 석유 대체에너지의 단계를 거쳐 지구환경보전을 위

한 미래의 청정에너지로서 각광받고 있으며 미국, 일본, 유럽을 비롯한 선진국의 경우 2000년대까지 상용전원과 경쟁가능한 태양광발전 기술을 개발하기 위하여 국가 주도의 장기계획을 추진하고 있다. 국내에서도 상공자원부 주관하의 장기개발이 수립되어 기술개발과 보급확대가 병행되고 있으며 태양광발전기술의 국내 실용화를 보다 효율적으로 추진하기 위해서는 태양광발전기술의 전략화, 국제화에 대비한 정책보완 및 지속적인 예산확보, 산·학·연 협력체제 구축 및 기술인력의 저변확대, 그리고 실질적인 국제협력과 공동연구방안이 모색되어야 할 것으로 판단된다. 특히 발전분야에 종사하는 전문가들이 태양광발전기술의 중요성과 필요성에 대한 인식을 새롭게 하고 기술개발과 보급에 동참함으로써 미래의 에너지확보와 발전기술의 선진화가 원활하게 이루어질 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Chapin, D.M., Fuller, C.S. and Pearson, G.L. : J. Appl. Phys., 25, 676(1954)
2. National Photovoltaic Program, Five Year Reserch Plan(1991~1995)
3. Annan, R.H. : Proc., 22nd IEEE Photovoltaic Specialists Conf. p. 12, Oct. 1991.
4. 日本太陽光發電技術研究組合 : PVTEC News, 1(1), 1991
5. 日本通産省 : New Sunshine Program Handbook, 1993. 5
6. Wollin, K. and Batsch, J. : Proc. of 10th EC PVSEC 1381, Lisbon, Portugal, 1991
7. J.D. Levine et al : 22nd IEEE Photovoltaic Spec. Conf. 1045, Las Vegas, U.S.A, 1991
8. M.Gratzel et al : Solar Energy Materials and Solar Cells, 32, 3, 1994
9. M.Konagai : 11th PV System Symposium, p. 4-13, 1994. 6
10. 과학기술처, G7프로젝트 신에너지기술개발 연구기획보고서, 1992
11. 동력자원부 : 범국가적 연구사업관련 기술자료집(II), 1992. 12
12. 동력자원부, 대체에너지기술개발 기본계획 (1992~2001), 1992. 6
13. Photovoltaic News, Vol. 2-12, No. 2, 1983 ~1994
14. Sunshine Journal, Vol. 13, No. 2, 2-7, 1993
15. P.D. Maycock : Proc. of 10th EC PVSEC, Lisbon Portugal, 1991
16. 에너지관리공단, 신·재생에너지 관련 자료집, 1994
17. Jinsoo Song : Technical Digest of Int'l PVSEC-7, Nagoya, 1993