

태양광발전기술의 국내외 개발동향

송진수

한국에너지기술연구소 책임연구원

이 글은 지난 4월 20일 산업자원부·에너지 관리공단 주최 「대체에너지 개발·보급 대토론회」에서 발표된 내용을 개재한 것이다.

1. 서론

태양광발전은 무한정, 무공해의 햇빛을 직접 전기로 바꿀 수 있는 첨단기술이다. 따라서 햇빛이 비치는 곳에서는 어디서나 전기를 얻을 수 있으며, 다른 발전방식과는 달리 대기오염, 소음, 발열, 진동 등의 공해가 전혀없는 깨끗한 에너지원이다. 또한 연료의 수송과 발전설비의 유지관리가 거의 불필요하며, 수명이 길고 설비 규모의 선택과 설치공사가 쉬운 장점이 있다. 그러나 태양에너지의 밀도와 태양광발전시스템의 변환효율이 낮아 넓은 설치면적이 필요하고, 발전단가가 상대적으로 높은 단점이 있기 때문에 태양광발전기술의 궁극적인 실용화를 위해서는 기존발전방식과 경쟁 가능한 가격수준의 저가·고효율 기술개발 및 대량보급이 선행되어야 한다.

이러한 태양광발전기술은 1954년 미국의 Bell Lab에서 단결정 Si를 사용한 태양전지가 개발되어 1958년 인공위성 Vanguard I호의 보조전원으로 사용됨으로써, 1996년대의 미·썬 냉전

시대에 우주용 전원으로 실용화되었다.

1970년대에 들어 두 차례 석유파동을 거치면서 석유자원의 제한된 부존량과 지역편중성에 따른 위기를 극복하기 위하여, 석유를 대체할 수 있는 새로운 미래에너지원으로서의 지상용 태양광발전시스템이 선진국을 중심으로 개발되기 시작하였으며, 그 결과 상용전원의 송전이 불가능한 외딴 지역의 전원 또는 휴대용, 군사용 전원 등 특수한 용도의 시장이 형성되었다. 1980년대에는 유가하락에 따른 상대적인 경제성의 열세 때문에 태양광발전의 개발과 보급 열기가 한때 주춤하였으나, 1990년대에 들어서 기후변화협약에 따른 환경문제가 범세계적으로 심각하게 대두됨에 따라 삶의 질을 향상시킬 수 있는 환경 친화적 에너지기술로써 새로운 각광을 받게 되었으며, 그동안의 저가·고효율 기술개발의 성과와 사회·환경비용의 정량적 평가기법의 확립과 적용에 의한 경제성의 상승 효과 때문에 급격한 시장증가 추세를 나타내고 있다.

이러한 동향은 태양광발전의 개념이 석유를 대체할 수 있는 미래에너지일 뿐만 아니라, 지구의 환경을 보전할 수 있는 대처방안으로 인식이 변화되었기 때문이다. 특히 IMF사태 이후의 경제적 위기와 기후변화협약 추진에 따른 CO₂배출량 규제 및 석유가의 폭등에도 불구하고, 97% 이상의 에너지를 해외에서 수입하며

수입금액 또한 전체 수입액의 20% 수준인 국내실정을 감안하면 태양광발전의 실용화 기술 개발 및 이용보급 확대는 가장 시급한 당면과제이다.

2. 기술개발 현황

2.1 시스템의 구성 및 기술의 분류

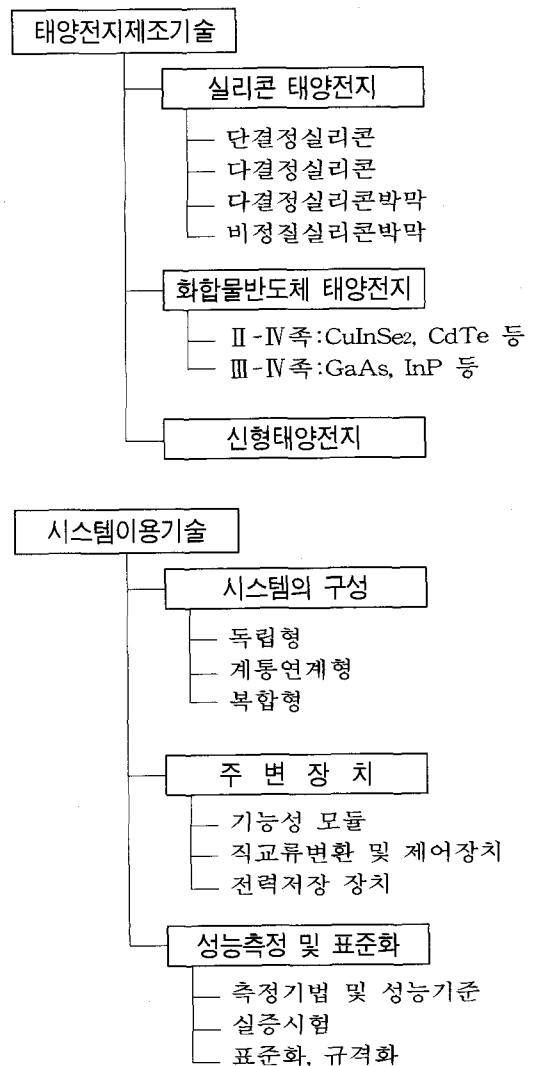
태양광발전의 기본원리는 반도체 pn접합으로 구성된 태양전지(solar cell)에 태양광이 입사되면 광에너지에 의해 전자-정공 쌍이 여기되고, 분리된 전자와 정공이 이동하여 n층과 p층을 각각 음극과 양극으로 대전시킴으로써 기전력이 발생하며, 외부에 접속된 부하에 전류가 흐른다.

이러한 태양전지는 필요에 따라 직·병렬로 연결하여 내후성과 신뢰성을 가진 재료와 구조의 용기 내에 봉입함으로써 단위 용량의 태양전지 모듈(solar cell module)로 제품화된다. 그러나 태양전지는 비·눈 또는 구름에 의해 태양광이 비치지 않는 날과 밤에는 전기를 발생하지 않을 뿐만 아니라 일사량의 강도에 따라 불균일한 직류전기가 발생되므로, 독립형 태양광발전시스템은 모듈을 직·병렬로 연결한 태양전지 어레이(solar cell array)와 안정된 전기공급을 위한 전력조정기(power controller) 또는 직·교류변환장치(inverter)와 전력저장용 축전지(storage battery) 등의 주변장치(balance of system)로 구성된다. 그러나 계통연계형 시스템은 전력저장용 축전지 대신에 상용전원과 연결하여 부하변동에 따라 계통선과 전력을 상호 교류할 수 있도록 구성된다.

한편 태양광발전 기술의 분류는, 핵심소자인

태양전지의 제조기술과 주변장치를 포함한 시스템이용 기술로 대분된다. 세부 분류는 형태와 구성에 따라 달라질 수 있으며 기술내용이 중복될 수도 있으나, 재료별 태양전지 제조기술과 태양광발전시스템의 사용목적에 따른 이용기술로 구분하는 것이 일반적이며, <표 1>과 같이 분류될 수 있다.

<표 1> 태양광발전 기술의 분류



2.2 선진국의 개발 현황

태양광발전 분야의 기술선진국인 미국·일본 및 유럽의 개발정책은 2000년대 초까지 태양광 발전에 의한 발전단가가 기존의 발전방식과 경쟁이 가능한 수준까지 도달할 수 있는 기술의 실용화를 목표로 설정하고, 저가·고효율의 태양전지 및 이용기술개발에 주력하고 있다. 그러나 이러한 기술개발은 장기간의 막대한 투자와 고급인력의 확보가 필요할 뿐만 아니라 대량생산에 의한 저가화 노력도 병행하여야 하므로, 지속적 연구개발을 위한 장기계획과 시장창출을 위한 보급지원정책을 수립하여 국가주도로 추진하고 있다.

미국의 경우 연방에너지부(DOE)의 주관 하에 1972년부터 5년주기의 National PV Program을 수립하고, 국립연구소인 NREL과 SNL을 중심으로 기술개발 사업을 수행하고 있다.

이러한 기술개발과 병행하여

- Solar 2000 : 태양광발전의 경제성 향상, 국내외 시장확대
- PVMaT : 세계시장에서 제조업체의 경쟁력 확보
- PVUSA : 전력사업용 중규모 시스템의 실증사업
- PV-BONUS : 주택건물용 시스템의 활성화 등의 실용화를 위한 대형 프로젝트를 수립하고 연방정부, 주정부, 산업체와 전력회사가 공동으로 사업을 추진중이다.

한편 일본은 1974년에 태양광발전기술을 개발하기 위한 국가주도의 Sunshine Project를 수립하였으며, 1980년에는 신에너지 산업기술 총합개발기구(NEDO)를 설립함으로써 본격적인 기술개발에 착수하였다. 이와 함께 1987년 관련 기업과 연구기관 등이 태양광발전간대화

(JPEA)를 구성하여 기술 및 시장에 관한 정보 교환과 공동연구를 추진하고 있으며, 1990년에는 24개 회사와 2개 단체로써 태양광발전기술 연구조합(PVTEC)을 결성하여 정부와 기업 및 연구소의 정보교환, 대민홍보와 연구개발의 기능을 수행하고 있다. 특히 1993년에는 경제 성장, 에너지 확보, 환경 보존에 대한 균형 있는 대책과 종합적인 기술개발을 위한 Sunshine Project, Moonlight Project 및 지구환경 기술개발 계획을 통합한 New Sunshine Program을 수립하여 체계화하였으며, 태양광발전기술은 중장기적 첨단기술 개발과 단기적 실용화과제를 병행하여

- 막막 태양전지의 성능향상
- 신재료 또는 소자구조의 태양전지 제안
- 원료부족에 대비한 실리콘 원료의 실용화 개발
- 태양전지의 양산화 기술개발
- 건재일체형 모듈개발에 의한 코스트 절감
- 대규모 계통연계시의 문제점 해결
- 태양광발전 각종 이용 시스템의 표준화, 저가화

등에 관한 연구개발을 수행하고 있다.

또한 유럽은 1975년 이후 EC를 중심으로 DGX II(과학연구개발)이 주관하는 연구개발을 위한 JOULE 프로그램과, DGX VII(에너지)이 주관하는 시범실증을 의한 THERMIE 프로그램 및 보급지원을 위한 ALTENER에 의해 태양광발전 기술개발을 꾸준히 추진하고 있다. 이 계획의 2000년까지의 가격 목표는 1ECU/Wp이며, 이러한 목표 달성을 위하여 고효율 태양전지 제조기술과 이용기술에 대한 연구에 중점을 두고 있다. 또한 저가의 막막 태양전지를 개발하기 위한 EURO CIS 컨소시엄을 형성하여 독일을 중심으로 CuInSe₂ 태양전지를 집중 연구

함으로써 괄목할 만한 연구 성과를 얻고 있다. 이와는 별도로 유럽 각국은 자체적인 장기 계획에 의해 태양광발전 기술개발을 추진하고 있으며, 특히 성능 측정 및 표준화, 대규모 시범단지의 조성 및 실증사업을 국가간의 협력사업으로 추진하고 있다.

2.3 국내현황

국내의 기술개발은 1987년 12월에 제정된 「대체에너지 기술개발 촉진법」을 근거로 1988년부터 대체에너지 기술개발 기본계획이 수립됨으로써 본격적인 기술개발이 추진되었다. 태양광발전기술은 개발필요성과 중요도에 따라 범국가적 연구사업으로 수행되었으며, 1단계('89~'91) 기간동안 결정질 실리콘 태양전지 및 주변장치의 국산화와 이용기술을 개발하고, 2단계('92~'96)기간은 저가·고효율 박막 태양전지의 기초기술 및 주변장치의 저가화와 신뢰도를 확립함으로써 실용화 기반을 구축하며, 3단계('97~2001)기간은 박막 태양전지의 상품화와 응용 제품 개발에 의한 태양전지의 보급 확대 및 태양광발전시스템의 실용화를 목표로 설정하고 있다.

1단계 태양광 국가적 연구사업의 주요 성과는

- (주)실트론에 의한 단결정 Si 태양전지의 상품화
- LG산전과 에너지기술연구소에 의한 직·교류 변환장치의 국산화
- 세방전지(주)에 의한 태양광발전용 연속전지의 성능개선
- 에너지기술연구소와 전력연구원에 의한 낙도전원용 태양광발전 시스템의 표준화 및 계통연계형 태양광발전시스템의 개발
- 화학연구소에 의한 다결정 실리콘 기관의

국산화 등을 들 수 있다.

이러한 연구결과는 1993년 1월 충남 보령군 호도에 90kWp 태양광발전시스템을 건설함으로써 자체 개발된 제품과 기술만으로 성공적인 도서 전화사업을 완료하였다.

'92~'96년까지 2단계 연구 사업의 주요 성과는

- (주)유공, 경희대, 과학기술원의 공동 노력으로 7.1% 효율의 대면적 비정질 실리콘 박막태양전지가 개발되었으며, 이에 필요한 투명전도막이 한국유리와 에너지기술연구소에 의해 개발되었고,
- 에너지기술연구소, 과학기술원, 서울대의 공동연구에 의해 CuInSe₂의 8% 효율을 달성하여 차세대 박막태양전지의 실용화 가능성을 제시하였다.

2단계 사업기간이 종료된 1996년 12월에는 그동안의 기술개발성과와 경험을 바탕으로 보다 효과적인 추진전략을 위하여 『에너지기술개발 10개년계획』을 수립하였으며, 1997년 12월 「대체에너지 개발 및 이용 보급촉진법」으로 개정하였다. 이러한 기본법과 장기계획을 근거로 2006년까지 총에너지수요의 2%를 대체에너지로 공급하기 위한 기술개발과 보급목표를 설정하였고, 제3단계('97~2001)기간동안 시장창출을 위한 실용화 기술을 개발하며, 제4단계(2002~2006)기간에는 기술의 상용화에 의한 보급확대를 추진할 계획이다.

또한 기술개발과 보급을 효과적으로 추진하기 위하여, 대체에너지의 중점 프로그램인 태양광발전 분야는 1997년 8월부터 산·학·연의 전문가들로 구성된 태양광발전 연구회를 운영중이며,

- 정기모임과 토론회에 의한 투자 우선 순위와 기술개발 대상과제 도출
- 외국전문가 초청 세미나 및 연구성과 발표

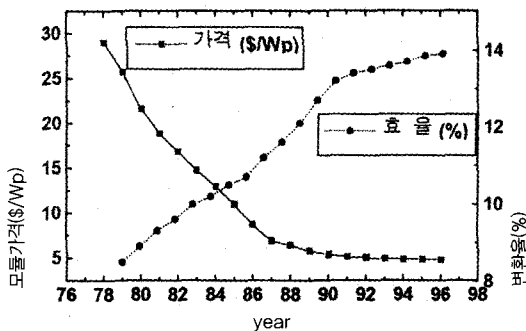
회 개최

- 소식지 발간과 홈페이지 운영에 의한 기술 보급 및 홍보
- 국내외 기술자료의 수집, 분석 및 가공, 배포
- 국제 공동 세미나, 국제학술대회 개최 등 국제 협력사업 추진

등의 역할을 담당하고 있다.

2.4 기술수준의 평가

[그림 1]은 생산 판매된 실리콘 태양전지의 연도별 가격과 변환효율을 나타낸 것이다. 태양전지 가격의 경우 현재의 시판가격은 1978년에 비해 약 1/6까지 떨어졌으며, 변환효율은 약 1.7배 가량 향상되었다. 이러한 가격과 효율은 효율이 향상될수록 가격이 저하되는 상반된 상관성이 있으나 대량 생산에 의한 저가화도 중요한 가격저하의 변수이다. 그러나 1990년 이후 가격과 효율의 변동이 포화상태에 이른 원인은 결정질 실리콘 태양전지의 재료와 제조기술이 더 이상의 개발가능성과 가격저감효과를 기대할 수 없음을 의미하므로, 태양전지의 개발동향은 저가·고효율 박막태양전지에 집중되고 있다.



[그림 1] 실리콘 태양전지의 모듈가격 및 변환효율

<표 2> 모듈 제조가격의 현황 및 전망

(\$/Wp)

구 분	1997	2000	2010
결정질 실리콘	3.90~4.25	1.50/2.50	1.20/2.00
비정질 실리콘	2.50~4.50	1.20/2.00	0.75/1.25
CIS	-	1.20/2.00	0.75/1.25
CdTe	-	1.20/2.00	0.75/1.25
실리콘 박막	-	1.20/2.00	0.75/1.25

<표 2>는 재료별 태양전지 모듈의 현재 가격과 향후 예상가격을 나타낸 것으로서, 현재 세계시장의 주종을 이루는 실리콘의 가격은 포화상태에 이르러 기술개발과 생산량 급증에도 불구하고 장기적으로 가격하락을 기대하기 어렵다. 그러나 현재 실용화 단계의 박막 태양전지가 상용화 될 2010년경에는 태양전지의 가격이 현저하게 저하하여 세계시장의 대부분을 차지하며, 태양광발전 기술에 의한 발전단가도 상용전원과 경쟁 가능한 수준에 도달하여 보급이 급격히 증가할 것으로 기대된다. 이러한 가격 목표를 달성하기 위하여 일본을 비롯한 선진국은 박막 태양전지의 효율향상 뿐만아니라 대면적화와 양산기술의 개발에 집중투자하고 있으며, <표 3>에 나타난 바와 같이 2000년대 초에 괄목할 성과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

<표 3> 박막 태양전지 변환효율의 목표와 실적

구 분	1998년 말까지 도달 상황	2000년까지의 목표
a-Si	9.2%(30cm×40cm)	10.0%(90cm×90cm)
CdTe	10.5%(27cm×60cm)	13.0%(60cm×90cm)
CIS	12.5%(10cm×30cm)	13.0%(30cm×30cm)
Ⅲ-V	30.9%(1cm×1cm)	30.0%(5cm×5cm)

이에 비해 국내의 태양전지 개발성과는 단결정 실리콘 태양전지는 LG실트론에서 상용화되고 국제수준의 태양전지 모듈이 삼성전자, LG전자 등에서 생산 판매되고 있으나, 최소 경제단위의 국내 시장창출과 양산기술이 미흡하여 가격 경쟁력을 잃어가고 있으며, 기술개발과 생산투자도 침체된 실정이다.

비정질 실리콘 태양전지의 경우 KAIST와 경희대를 비롯한 연구실적은 부분적으로 세계수준에 도달하였고 유공에 의해 대면적 모듈이 개발되었으나, 개발과 투자여건이 미흡하여 상용화 단계에 이르지 못하고 있다. 그리고 CuInSe₂계 태양전지의 경우에도 에너지기술연구소와 KAIST, 서울대의 공동연구에 의해 세계수준에 근접한 14.8% 태양전지를 개발함으로써 선진국의 주목을 받고 있으나, 집중적인 지원이 미흡하여 후속 연구가 지연되고 있다. 다행히 2000년도부터 태양광발전 분야의 연구개발 투자가 확대되어, 다결정 실리콘 태양전지의 상용화와 박막 태양전지 개발 및 주택건물의 적용기술 개발이 추진되고 있으며, 대학에서의 기초연구와 인력양성을 위한 학술진흥 사업이 추진되고 있다. 이러한 태양전지의 주요 기술 및 국내외 실용화 기술수준의 평가결과는 <표 4>와 같다.

3. 보급현황

3.1 정책 및 지원제도

외국의 경우 태양광발전 분야의 시장개척과 고용증대 및 환경보전을 목적으로 국가주도의 대규모 보급사업을 전개하고 있으며, 이와 병행하여 중앙 및 지방정부, 전력회사, 공공기관 등에서 다양한 지원제도를 시행 중이다.

미국의 경우 1997년 Clinton 대통령이 공포한 『Million Roofs Solar Power Initiative』 계획은 2010년까지 매년 1천만불의 예산을 투입하여 1백만호의 주택에 태양광발전시스템을 보급하고, 총 보급목표 3,025MWp(최종연도 생산용량 610MWp), 발전단가 목표 7.7¢/kWh 및 3,510천 T-C의 CO₂ 감축목표를 달성함으로써 세계시장의 주도와 기후변화협약의 대처 및 고용증대효과를 기대하는 원대한 내용을 포함하고 있다.

일본의 보급확산 프로그램은 통상산업성 주관 하에 신에너지재단과 NEDO가 각각 수행하고 있으며, '94년부터 추진해온 주택용 태양광발전시스템 모니터사업('97년부터 주택용 태양광발전 도입기반 정비사업으로 변경)은 개인주

<표 4> 국내외 기술수준의 평가

기 술		국 내	국 외	국 내 현 황
태양 조 기 술	○ 단결정 실리콘	상용화	상용화	국내 업체에서 생산, 판매
	○ 다결정 실리콘	실용화	상용화	현재 상용화 기술개발 중
	○ 비정질 실리콘 박막	실용화	상용화	기술보유(상용화 미흡, 시계시장 침체)
	○ CuInSe ₂ 박막	개 발	실용화	실험실 규모로 세계수준 근접
	○ 다결정 실리콘 박막	개 발	실용화	기초연구 완료
이 용 기 술	○ 독립형	상용화	상용화	시범사업, 지역에너지사업
	○ 계통연계형	실용화	상용화	실증연구 중
	○ 대규모 발전	기 초	실용화	기초연구 및 국제협력 사업
	○ 복합발전	실용화	상용화	태양광-풍력(디젤)복합시스템 운용

택에 최대 4kWp의 태양광발전시스템을 적용할 경우 설치비의 1/3까지 보조해 주는 제도로써, '97년까지 203억엔을 투입하여 총 45MWp(11,919건)의 주택용 태양광발전시스템을 보급하기 위한 계획이다.

또한 '92년부터 총 81.3억엔을 투입하여 박물관, 학교, 공민관 등의 공공시설에 5MWp(179건) 태양광발전시스템을 설치하는 Field Test사업과 '98년(24억엔)부터 착수한 산업용 태양광 Field Test사업을 전개하고 있다.

또한 유럽국가에서도 태양광발전시스템의 실증시험 및 상용화 보급을 위한 독일의 소규모 태양광발전 시스템의 실증시험 및 개인주택의 실용화 보급을 위한 2250 Roofs Project, 이탈리아의 100kW급 태양광발전 시스템의 표준화 및 보급을 위한 PLUG Project, 스위스의 MW House Project 및 프랑스의 PV 20 Project가 수행되고 있다.

이러한 직접적인 보급 프로그램과 병행하여 보급확산을 위한 대표적인지원제도는 세제지원과 전력 구매제도이다.

세제지원의 경우 일본은 기준 취득가액의 7% 또는 초기년도 30% 특별감가상각 중 선택할 수 있으며 지방자치단체에서는 고정자산세를 경감하는 지원대책을 시행하고 있다. 또한 미국은 연방정부에서 에너지 사업체에 대한 10% 영업세 감면과 5년간 특별 감가상각 제도를 실시하고 주정부에서도 15~35%범위에서 세제감면 혜택을 주고 있으며, 이탈리아 등 유럽국가에서도 부가세를 19%에서 9%로 감면하는 지원방안을 실시중이다.

전력구매 제도인 Buy-Back rate는 $r = C_{pv} / C_{out}$ 로 정의된다. 여기에서 C_{pv} 은 태양광발전으로 인해 생산된 전력을 정부 또는 전력회사에서 매입하는 가격이며, C_{out} 는 기존 계통

전원의 전력판매 가격이다. 따라서 r 이 높으면 태양광발전에 대한 재정적 투자가 많다는 것을 의미한다.

현재까지 계통연계형 태양광발전 시스템을 상용화하지 않는 한국을 포함하는 스웨덴, 덴마크, 캐나다 등에서는 buy-back rate를 적용하지 않고 있으나 그 외 선진국에서는 부분적 또는 지역적으로 전력 구매제도를 시행하고 있다. 대부분의 유럽국가는 0.31~0.68의 낮은 buy-back rate를 적용하고 있으나, 이탈리아와 스위스 등에서는 비록 기관과 적용지역의 제한은 있으나 1.4~5.0의 아주 높은 buy-back rate를 적용하며, 이와 별도로 초과지급된 전력요금을 신재생에너지에 이용한 전력생산에 사용하는 Green Electricity제도도 스위스, 독일, 네덜란드 등에서 일부 적용되고 있다.

일본은 1992년부터 전력회사에 의해 기준 판매가격과 동일한 가격으로 여분의 태양광발전 전력을 구매하여 소비자에게 판매하고 있으며, 미국의 경우에는 주정부, 전력회사별로 다양한 모델을 적용하여 일률적으로 설명하기에는 매우 복잡하다. 그러나 일반적으로 설치보조금과 세제지원을 병행하여 1-5¢/kWh의 낮은 도매 가격으로 구매하여 왔으며, 최근에는 6-21¢/kWh의 소매가격으로 매입하는 보급촉진 제도가 확산되고 있다.

3.2 실증시험 및 표준화

태양광발전기술의 보급을 촉진하기 위해서는 개발된 새로운 태양전지와 태양광발전 시스템을 사용조건에서 장기간 동안 운전, 평가하여 실용화, 제품화하고 소비자 측면에서의 신뢰도를 확립하여야 한다.

이러한 실증시험은 기초연구-기술개발-응용

연구의 과정에서 얻어진 개발성고를 상용화 보급과 연계시키는 최종단계이므로 반드시 거쳐야 하며, 대부분의 선진국에서는 오랫동안 대규모 실증시험을 전개하고 있다.

미국의 경우 오래 전부터 주관연구기관인 NREL내에 Outdoor Test Facility를 운영하여, 태양전지뿐만 아니라 주변장치와 각종 시스템의 정밀 성능측정과 옥외 폭로시험 및 가속열화 시험을 수행하고 있으며, 평가결과를 효율향상과 저가화 연구에 반영하고 있다.

일본에서도 전력회사를 중심으로 실증시험과 교육, 홍보의 목적으로 대규모 실증단지를 조성하여 운영하고 있으며, 현재 대량 보급중인 주택용 태양광발전 시스템도 Rokko Test Center에서 실증시험을 거쳐 추진된 대표적 사례이다. 뿐만 아니라 전력회사들이 공동 투자하여 설립된 Akagi Test Center는 태양광발전의 이용기술을 개발하기 위하여 인력과 설비를 공동으로 활용하고 있으며, NEDO에서는 Okinawa 등지에 도서전원용 태양광발전시스템을 설치·운영하고 그 결과를 토대로 전력공급 비중을 점차 확대하고 있다.

또한 유럽의 경우에는 EU가 공동 운영하는 JRC(Joint Research Center)산하에 ESTI (European Solar Test Installation)를 설립하여 태양전지와 시스템의 성능측정 인증시험을 담당하고 있으며, IEA/PVPS 시범단지와 네덜란드의 IMW Solar City 등은 태양광발전 기술의 주택 및 건물적용을 위한 대표적인 실증시험 사업이다.

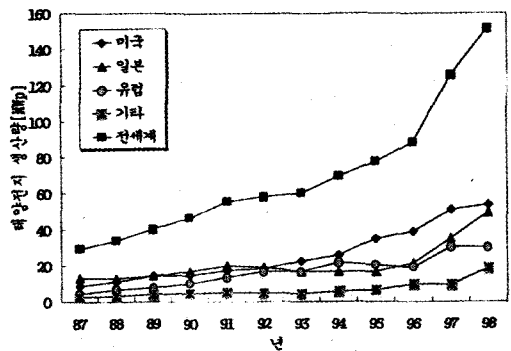
한편 태양광발전 관련제품의 품질관리와 대량생산을 유도하기 위한 측정기법 및 성능기준의 규격화와 제품 및 기술의 표준화는 선진국과 국제기구를 중심으로 추진되고 있다.

국제적인 기술의 표준화와 제품의 규격화는 IEC(Int'l Electrotechnical Commission)에서 주관

하고, 미국의 ASTM과 IEEE, 일본의 JQA와 JET, 유럽의 ESTI 등에서 성능측정과 인증사업을 수행하고 있다. 그러나 태양광 발전 기술의 급속한 개발과 상이한 제품특성 때문에 국제규격이 광범위하게 표준화되지 못한 실정이다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 국제적인 품질인증 제도의 구축을 통한 태양광발전 기술의 산업화 촉진과 시장개척을 목적으로 1997년도 PVGAP(Global Approval Program for PV)이 설립되었으며, EU, 미국, 일본의 관련기관 및 기업이 회원으로 구성되어 있다.

3.3 생산현황과 시장전망

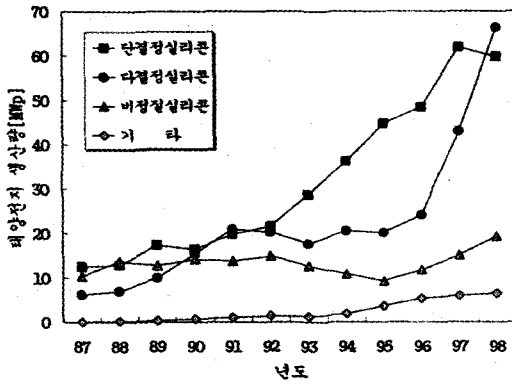
태양전지의 세계시장 규모는 [그림 2]에서와 같이 1998년의 경우 151.7MW로써 1987년 이후 매년 15% 이상의 증가율을 나타내며, 특히 최근의 1997년과 1998년에는 전년대비 42%와 24%의 급격한 시장증가 추세이다.



[그림 2] 국가별 태양전지 생산량

1998년의 국가별 시장점유율은 미국 35.4%, 일본 32.4%, 유럽 19.8%, 기타 12.4%이며 미국의 경우 기술개발과 보급사업을 정책적으로 추진함으로써 한때 뒤떨어진 시장점유율을 만회하고 우위를 유지하고 있다. 1992년 이후 상대

적으로 시장점유율이 감소한 일본은 최근 주택용 태양광발전시스템을 대량 보급함으로써 생산과 보급량이 증가추세이며, 유럽의 경우에도 개발도상국의 Solar Home System 수출과 주택·건물용 시스템 활성화 및 대규모 주거단지의 시범건설에 따라 시장점유율이 지속적으로 증가하고 있다.



[그림 3] 재료별 태양전지 생산량

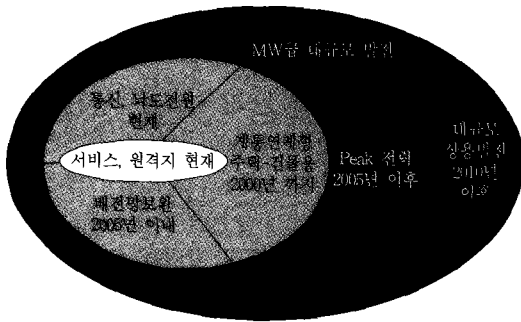
태양전지 세계시장의 재료별 분포는 [그림 3]이 나타낸 바와 같이 a-Si의 경우 민수용 전원으로 각광받던 1990년까지는 결정질 Si와 비슷한 규모의 시장을 형성하였으나, 기술과 가격의 한계성 때문에 생산량이 계속 감소 또는 침체된 상태이다. 이에 비해 신뢰도가 확립된 결정질 Si 태양전지는 1992년 이후 전력용 수요가 증가함에 따라 세계시장의 주종을 이루며, CdTe, CIS 박막 태양전지도 저가화 가능성과 Si 재료의 품귀현상 때문에 서서히 증가하는 추세이다. 따라서 향후 5년간 태양전지 시장의 재료별 분포는 결정질 Si이 주도하고 a-Si의 시장은 화합물 반도체 박막 태양전지에 의해 교체될 것으로 전망된다. 특히 단결정 Si에 비해 저가화 및 대면적화가 기대되는 다결정 Si 태양전지는 1996년 이후 시장점유율이 급격히 증가하여

1998년에는 단결정 Si을 추월하였으며, 이러한 추세는 지속될 것으로 예상된다.

최근 입수된 비공식 통계에 따르면, 1999년도 세계 태양전지 생산량은 201.5MW로 집계되어 전년대비 32.8%의 증가율을 나타냈다. 또한 국가별 시장점유율은 미국 32.0%, 일본 39.7%, 유럽 18.0%로써 일본의 시장점유율이 1992년 이후 처음으로 미국을 추월하였으며, 단결정 실리콘 및 다결정 실리콘 태양전지가 80.1%를 점유하여 시장을 주도하고 있다. 특히 주목할 점은 10MW 이상을 생산하는 8개 대형업체가 세계 총 생산량의 80.8%를 차지함으로써 태양전지 생산업체의 생산설비 증가와 합병에 의한 초대형화 추세를 반영하고 있다.

태양전지의 향후 시장전망은 1996년까지의 매년 10~15% 시장 증가율을 감안하여 2010년에는 연간 생산량 630MW, 전세계 누적 설치량 3,900MW로 예측되어 왔다.

그러나 최근의 급격한 시장증가 추세를 감안한 낙관적 시나리오는 <표 5>에 나타낸 바와 같이 2005년 650MW, 2010년에는 1700MW로 수정되었으며, 태양전지 가격이 기술개발성과에 의해 1.25~2.0\$/Wp로 하락하여 약 25억불의 태양전지 시장이 형성되고, 응용분야도 [그림 4]에서와 같이 독립형 시스템에서 탈피하여 주택 및 건물적용 시스템으로 대량 보급될 경우 충분히 실현가능성이 있을 것으로 평가된다. 특히 2010년 이후의 장기전망은 현재 Solar Home System에 한정된 개발도상국의 응용분야가 주택·건물용으로 확대되고, 사막지역에 대규모 발전소건설(VLS-PV)이 실현될 경우 연간 300MW 이상의 시장형성이 예측되며, 이러한 수요를 충족하기 위해서는 Si 재료 공급과 가격 한계성에 대비한 새로운 박막 태양전지의 상용화가 촉진될 것으로 전망된다.



[그림 4] 응용분야별 경제성 전망

[표 5] 태양광발전 세계 시장 전망

응용분야	1998	2000	2005	2010
민수용	30	40	70	100
독립형	34	50	110	250
통신용	31	30	60	200
복합발전형	20	25	60	150
계통연계형	36	60	200	700
대규모 발전소	2	5	50	300
계	153	210	550	1700

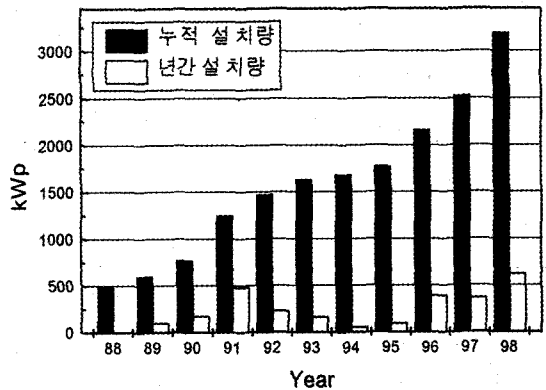
3.4 국내의 보급현황

국내의 태양광발전시스템 이용분야는 '80년대 말까지 통신용 또는 측정용 전원과 등대용 전원 및 실증시험 목적으로 설치되었으나, '90년대부터 도서지역의 낙도전화사업과 시범보급사업으로 확대되고 있다.

연도별 보급량은 [그림 5]에 나타난 바와 같이 '88년까지 500kWp의 소량이 설치되었으나 '96년에는 누적설치량이 2MWp를 초과하였으며, '98년말 현재 약 3.2MWp에 이른다. 이러한 보급량의 증가는 대체에너지 기술개발사업에 의해 단결정 실리콘 태양전지 및 모듈이 상용화되었고, 설계·설치·운전 및 유지관리를 위한 이용기술이 자체 개발되어 보급의 기틀이

마련되었기 때문이다.

그러나 연도별로 큰 편차를 나타낼 뿐만 아니라 지속적으로 증가하지 못한 문제점을 내포하고 있으며, 특히 국내에서는 연간 350kWp 생산용량의 태양전지 제조업체 1개와 총생산용량 2MWp의 모듈조립업체 3개가 있는데도 불구하고, 모듈생산량은 '95년 452kWp, '96년 352kWp, '97년 370kWp로써 20%이하의 가동률과 세계 총 생산량의 0.3%에 불과한 점유율을 나타내고 있다.



구 분	~'90	'91	'92	'93	'94
설치 용량 (kWp)	770	478	225	160	50
	'95	'96	'97	'98	계
	92	388	410	619	3,192

[그림 6] 태양전지모듈의 국내보급 추이

또한 대부분의 보급은 시범보급사업 또는 지역에너지 사업으로 설치되었으며 [표 6]에 나타난 바와 같이 지난 8년 동안 약 100억원의 정부예산이 투입되었다. 그러나 이러한 보급사업은 장기계획에 의한 체계적 추진이 아니라 당해년도 예산확보에 의존하므로 연도별 보급실적의 변동이 심하며, 그나마 8년 동안의 총 예산이 일본의 한해 보급예산의 10%에 미치지 못하고 있는 실정이다.

〈표 6〉 국내의 연도별 보급사업 예산

(단위 : 백만원)

구 분	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	계
¹⁾ 시범보급사업	116.2	476	495.3	730.6	680	630	400	-	3528.1
지역에너지사업	-	-	-	-	1160	770	64	4931	6925
계	116.2	476	495.3	730.6	1840	1400	464	4931	10453.1
²⁾ 일본의 보급예산(억¥)	-	20.3	33.1	40.6	124.6	172.7	185.6	186.0	762.9

- 1) 시범보급 사업중 민간부담 791백만원 제외
 2) 일본 자원에너지청 : 신에너지 편람('99) 및 NEDO NEWS.

4. 보급촉진 방안

최근 우리나라가 당면하고 있는 에너지·환경여건은 IMF사태와 고유가 시대를 극복하기 위한 에너지 해외의존도의 감소와 기후변화협약에 대비한 온실가스의 배출 감소이다. 그러므로 에너지절약과 더불어 대체에너지의 보급을 확대하여야 하며, 특히 부하평준화효과와 CO₂ 저감효과가 기대되는 태양광발전기술의 적극적인 보급시책이 필요하다. 앞에서 기술된 선진국의 정책, 기술개발 및 보급현황을 분석한 결과를 토대로 국내의 태양광발전시스템 보급확대 방안을 검토한 결과는 다음과 같다.

4.1 개발정책

국내의 기술개발은 1996년 12월 산업자원부에서 수립한 「에너지기술개발 10개년 계획」과 1997년 개정된 「대체에너지 개발 및 이용보급

촉진법」을 토대로 대체에너지 기술개발사업이 추진되고 있다. 또한 이용보급을 위한 대체에너지 시범보급사업 및 지역에너지사업과, 신재생에너지의 보급촉진을 위한 시설 및 운전자금의 지원제도를 시행하고 있다.

그러나 이러한 정책과 지원제도는

- 보급목표의 설정근거와 구체적 추진방안의 부재
- 기술개발, 시범보급 및 지역에너지사업의 연계성 부족
- 개발비와 사업지원금의 배정시 객관성 결여 등의 문제점을 내포하고 있으며, 무엇보다도 예산이 적을 뿐만 아니라 안정적, 지속적 확보방안이 마련되지 않은 점이다.

〈표 7〉에 나타난 미국과 일본의 연도별 태양광발전 연구개발비는 매년 증가추세이며, 특히 우리나라와 에너지 여건 및 주거환경이 유사한 일본의 경우 태양광발전 기술을 집중적으로 개발하기 위하여 우리나라보다 50~100배의 예산을 투입하고 있다.

〈표 7〉 선진국의 연도별 연구개발비

구 분	1996	1997	1998	1999	2000
¹⁾ 미국(백만\$)	61.3	59.2	65.5	70.6	65.9
²⁾ 일본(억¥)	77.6	77.3	88.1	99.6	100.7
한국(억원)	18.9	13.8	16.0	8.7	18.2

- 1) DOE : FY2000 Congressional Budget, Feb. 1999
 2) 일본 자원에너지청 : 신에너지 편람('99) 및 NEDO NEWS

IEA전체 회원국의 신재생에너지 연구개발 예산중 기술분야별 분포는 태양광발전 39.4%, 풍력 22.2%, 바이오매스 16.5%, 태양열과 지열 10.0% 등의 순이며 소수력과 해양발전은 각각 0.8%와 0.5%로써 미미한 실정이며, 일반적으로 태양광발전이 가장 높은 비중을 나타내고 있다.

이에 비해 국내의 대체에너지 기술분야별 예산분포는 연료전지 28.4%, 태양광 18.5%, 석탄이용 14.0%, 태양열 10.3%의 순이다. 따라서 선진국에 비해 신재생에너지의 연구개발투자가 절대적으로 열세이며, 특히 태양광발전분야의 비중이 선진국의 비중에도 절반에도 미치지 못하여 기술개발을 저해하는 가장 큰 요인으로 작용하고 있다.

이러한 태양광발전기술의 보급확대를 위해서는 지금까지의 개발성과를 정밀 분석하여 기술개발을 위한 장기계획을 구체화하여야 하며, 이 과정에서 이미 정해진 선별기준의 획일적 적용을 지양하고, 과제 선정과 효율적 수행 및 결과의 활용이 가능할 수 있도록 연구관리 되어야 한다. 그러므로 세부과제의 기술내용에 따라 기초연구, 개발, 실용화의 단계별로 구분하여 상용화가 가능한 과제를 중점 지원하여야 하며, 제품의 성능향상과 시스템의 신뢰도 확립을 위한 실증시험 및 시장개척을 위한 이용기술연구를 수행하여 보급촉진과 연계되어야 한다.

이와 같은 관점에서 수행되어야 할 중점과제는 태양전지제조기술의 경우, 단결정 실리콘 태양전지에 비해 저가화 및 CO₂저감효과가 기대되는 다결정실리콘 태양전지의 단기적 상용화가 필요하며, 차세대 태양전지의 가장 큰 가능성을 지닌 CuInSe₂계 태양전지연구를 지원하여 현재 14.8%의 소면적 태양전지를 세계 최고수준으로 향상시키고 대면적화 함으로써 미래 시장에 참여할 수 있어야 한다.

또한 세계시장의 가장 큰 응용분야로 전망되는 주택·건물용 태양광발전시스템을 실증시험

을 거쳐 보급에 착수하여야 하며, 단기적으로 국내시장에서 가장 큰 비중을 차지할 50호 미만의 낙도전화사업을 위해서도 태양광·풍력복합발전시스템의 적용연구를 지속하는 것이 바람직하다.

특히 기술개발성과를 보급촉진과 연계시킬 수 있는 실증단지를 조성하여, 태양광발전뿐만 아니라 신재생에너지의 모든 실용화단계의 기술분야를 점진적으로 적용하여 실증시험을 통한 제품의 성능향상과 신뢰도확립이 이루어 질 수 있는 계기를 마련하여야 하며, 대량생산과 수출시장에 대비하여 성능기준에 규격화와 제품의 표준화 연구도 수행되어야 한다.

4.2 이용보급

대체에너지기술개발사업의 목표인 2006년까지 총 에너지수요의 2.0%를 대체에너지로 공급하기 위해서는 태양광발전의 경우만 하더라도 2006년까지 39.0천TOE에 해당하는 약 140MW의 누적 설치량이 보급되어야 한다. 그러나 지금까지의 누적 설치량 2.5MW를 감안하면 목표달성을 위한 구체적·정량적 보급계획의 수립과 아울러 막대한 예산의 지속적 확보방안이 반드시 마련되어야 한다. 그러므로 정확한 산출근거에 의해 실현 가능한 연도별 보급량을 설정하고, 이에 따른 국내의 생산계획과 필요한 기술개발 및 응용분야의 다변화가 지원되어야 한다.

국내의 보급 잠재량은 <표 8>에 나타낸바와 같이 대상분야의 2%만 적용하더라도 목표달성이 가능할 것으로 추정된다.

이러한 목표를 달성하기 위해서는 현재 추진 중인 시범보급사업과 지역에너지사업을 재검토하여 사업성격과 내용이 체계적으로 조정되어야 하며, 선진국과 같은 대규모 보급확산 프로그램으로 개편 추진하여야 한다. 이와 아울러 미래에너지의 실수요자인 청소년과 교사를 대

〈표 8〉 국내의 태양광발전 보급 잠재량

보급 가능영역 구분		대 상	보급 가능량(MWp)	비 고
독립형	도 서 전 화	50호 미만	3 ¹⁾	1,000가구, 가구당 3kWp
		50호 이상	30 ²⁾	10,000가구, 가구당 3kWp
	기 타	도로 조명 등	7	
		기타	10	
소 계			50	
계통연계형	주택		12,119	일본 119,848 MWp
	학교, 공공 건물		1,104	5,527
	상업용 건물		2,908	44,357
	유흥지		3,000	37,530
소 계			19,131 ³⁾	207,262 MWp ⁴⁾
실현 가능한 보급 잠재량			~250 MWp	~2,700 MWp*

- 1) '99년 7월 현재, 50호 미만의 미전화 도서 87개소에 1038 가구 거주
- 2) '99년 7월 현재, 50호 이상 도서 전화사업 완료 도서 88개소에 10,191 가구 거주
- 3) 1997년도 통계연감을 근거로 설치가능한 시설물에는 100% 설치하는 것으로 간주
- 4) ニュサンシャイン計劃における 太陽光發電技術開發の 今後の 進め方, 1997, NEDO

상으로 한 교육·홍보프로그램의 제작과 배포가 필요하며, 시범사업의 경우에도 초·중등학교에 태양광발전 시스템을 설치·보급함으로써 부하평준화뿐만 아니라 체감교육효과를 얻을 수 있는 좋은 사례가 될 수 있다.

태양광발전시스템의 주택·건물적용을 위한 미국의 『Million Roofs Solar Power Initiative』와 일본의 '모니터사업 및 Field Test 사업'의 '98년도 예산으로 각각 1천만불과 1728억엔이 책정된 것을 감안하면 국내에서의 이용보급촉진은 예산확보가 선결되어야할 문제점이지만, 우선은 제한된 예산을 효율적으로 사용할 수 있는 사업의 조정과 지원금의 분배가 필요하다. 그리고 장기적으로는 안정적, 지속적 재원확보를 위한 녹색가격제도 등의 검토가 요구된다.

4.3 국제협력

선진국의 기술개발은 핵심기술의 독자적으로

개발하며, 이용기술 및 실증시험은 공동으로 수행하는 추진전략이다. 또한 태양광 발전의 보급도 국가별 프로그램에 의한 국내시장확산과 병행하여, 개발도상국을 대상으로 한 기술협력프로그램 및 시장개척을 공동 추진하고 있다. 이러한 추세는 태양광발전이 기술전략화에 필요한 첨단 기술이지만 인류가 공유하는 태양에너지의 특성뿐만 아니라 에너지와 환경이 특정 국가에 국한된 문제점이 아니라 대륙간 또는 세계적인 당면 과제이기 때문이다. 그러나 현재의 국제협력은 선진국과 개발도상국, 그리고 지역별 협력체계가 혼재되어 있는 양상이며, UN, WEC, IEA 등 국제기구를 통한 협력사업과 양국 또는 지역별 다국간의 협력사업이 추진되고 있는 실정이다.

한국은 UN, WEC 및 OECD의 회원국으로써 각종 협력사업에 참여하며, 특히 비회원국이지만 IEA 에너지 협력사업에 적극 참여하고 있다. 또한 APEC을 비롯하여 미국·유럽·일본·중국 및 동남아국가와도 기술협력사업을 추진하고

있으나, 모든 에너지 관련 국제협력이 체계적·효율적으로 수행되고 있다고 평가하기는 어렵다. 따라서 태양광발전분야의 국제협력사업은 지금까지의 투자와 사업성과를 정밀 분석하여

- 한국의 기술적·경제적 위상의 제고
- 실질적 참여 효과를 고려한 국제협력사업이 선별
- 전문가의 양성과 지속적 참여에 의한 사업성과의 활용등을 고려하여야 한다.

이러한 관점에서 범세계적 국제기구의 참여는 계속되어야 하며, 환경적·지리적으로 인접한 아시아권의 국제협력사업을 주도하는 것이 바람직하다. 특히 기술선진국인 일본과 무한한 시장잠재력을 가진 중국과의 쌍무간 또는 다자간 협력을 강화하여야 하며, 큰 소득을 기대할 수 없는 유럽지역의 쌍무간 기술협력을 강화하여야 하며, 큰 소득을 기대할 수 없는 유럽지역의 쌍무간 기술협력은 IEA/PVPS 프로그램의 적극 참여로 대체하고, 대신 동남아시아시장의 개척을 위한 기술제공과 교육훈련을 시도하는 것이 바람직하다.

5. 결 론

태양광발전기술의 이용보급을 확대하기 위해서는 정부주도하에 태양광발전 기술연구회를 중심으로 관련산업체, 대학 및 연구기관 그리고 소비자 측면에서의 에너지, 환경관련 시민단체의 협력체제 구축과 공동노력이 필요하다.

정책 및 지원제도는

- 기술개발과 보급확산에 필요한 소요예산을 점진적으로 일본의 10%수준까지 증가하고 안정적 재원 확보방안의 수립

- 선진국의 신재생에너지분야별 예산배정을 참조하여 태양광발전의 연구개발비 비중을 상향조정
- 세제지원과 전력구매 및 관련법규의 개정 등 미비한 지원제도의 개선이 필요하며

기술개발 측면에서

- 제3·4단계(1997~2006)의 개발목표를 달성하기 위한 단기적, 중기적 연구과제의 선별적 도출
- 보급촉진 및 시장개척과 연계될 수 있는 연구과제의 중점지원
- 개발성과를 실용화하기 위한 실증단지의 조성 및 운영 등이 실천되어야 한다.

또한 이용보급 측면에서

- 2006년까지의 대체에너지 공급목표인 2.0%를 달성하기 위하여 연도별 보급계획 수립
- 시범보급사업과 지역에너지사업의 목적, 내용, 운영실태를 분석하여 파급효과 극대화
- 정부 주도에 의해 보급확산을 위한 Solar-Roof 프로그램, 낙도전화사업등 대형사업을 신설하고 공급자와 소비자 및 전문가 그룹이 참석하여 체계적으로 추진

그리고 국제협력의 경우

- 범세계적 국제기구의 지속적인 참여와 함께 아시아권의 기술협력 강화 및 중추적 역할을 담당할 국제실증시험단지 육성
- IEA/PVPS 사업의 활성화 및 한·일, 한·중 기술협력사업의 계속 수행
- 선진기술 흡수를 위한 실질적 공동연구의 수행과 기술교류를 위한 국제 공동세미나 및 대규모 국제학술대회의 지원
- 비정치적 기술분야인 태양광발전의 남북 기술협력 추진 등이 필요하다. ☞