

# 태양열에너지 기술개발 현황 및 전망

강 용 혁

공학박사/본부장

한국에너지기술연구원

## I. 개 요

### 1. 태양열 원리

태양으로부터 방사되는 복사에너지가 대기층을 투과하여 지표면에 떨어진 열 및 광 에너지를 모아 필요한 곳에 이용하는 기술로 태양열의 흡수·저장·열변환 등을 통해 온수 급탕, 건물의 냉·난방, 산업공정열, 농수산분야, 폐수처리, 열발전 등에 활용한다.

### 2. 태양열의 특징

#### 가. 태양에너지 장단점

장 점	단 점
- 무공해, 무한량, 무가격의 청정에너지원 - 기존의 화석에너지에 비해 지역적 편중이 적은 분산형 에너지원 - 지구온난화 대책으로 탄산가스 배출을 저감할 수 있는 재생가능 에너지원	- 고급 에너지이나 에너지 밀도가 낮음 - 에너지 생산이 간헐적임 - 지속적인 수요에 안정적 공급 어려움

#### 나. 태양열산업의 특징

- 「신재생에너지 개발 및 이용보급 촉진법 제2조」 근거로 한 국가 에너지산업.
- 무한정의 미래 에너지 확보 및 산업구조 전환에 필수적이며 지속가능한 에너지산업 ( 화석연료의 가채가능년수 : 석유 41년, 가스 63년, 석탄 223년/자료 : BP, Statistical Review of World Energy)
- 화석 연료를 바탕으로 하는 기존 에너지생산을 대체함과 동시에 환경문제도 해결할 수 있는 청정에너지 생산 산업
- 에너지 소비 및 수급 특성상 우리나라 여건에 필수적인 산업 (에너지 수입의존도 97.7 % (2004), CO2 배출 세계9위 (2004))

### 3. 국내 태양에너지 자원량

태양에너지는 무한량하다. 지구가 태양으로부터 받는 에너지는 우리가 상상할 수 없는 정도로 막대한 양이며, 이것은 태양이 존재하는 한 유지된다(약 50억년). 지구의 대기권

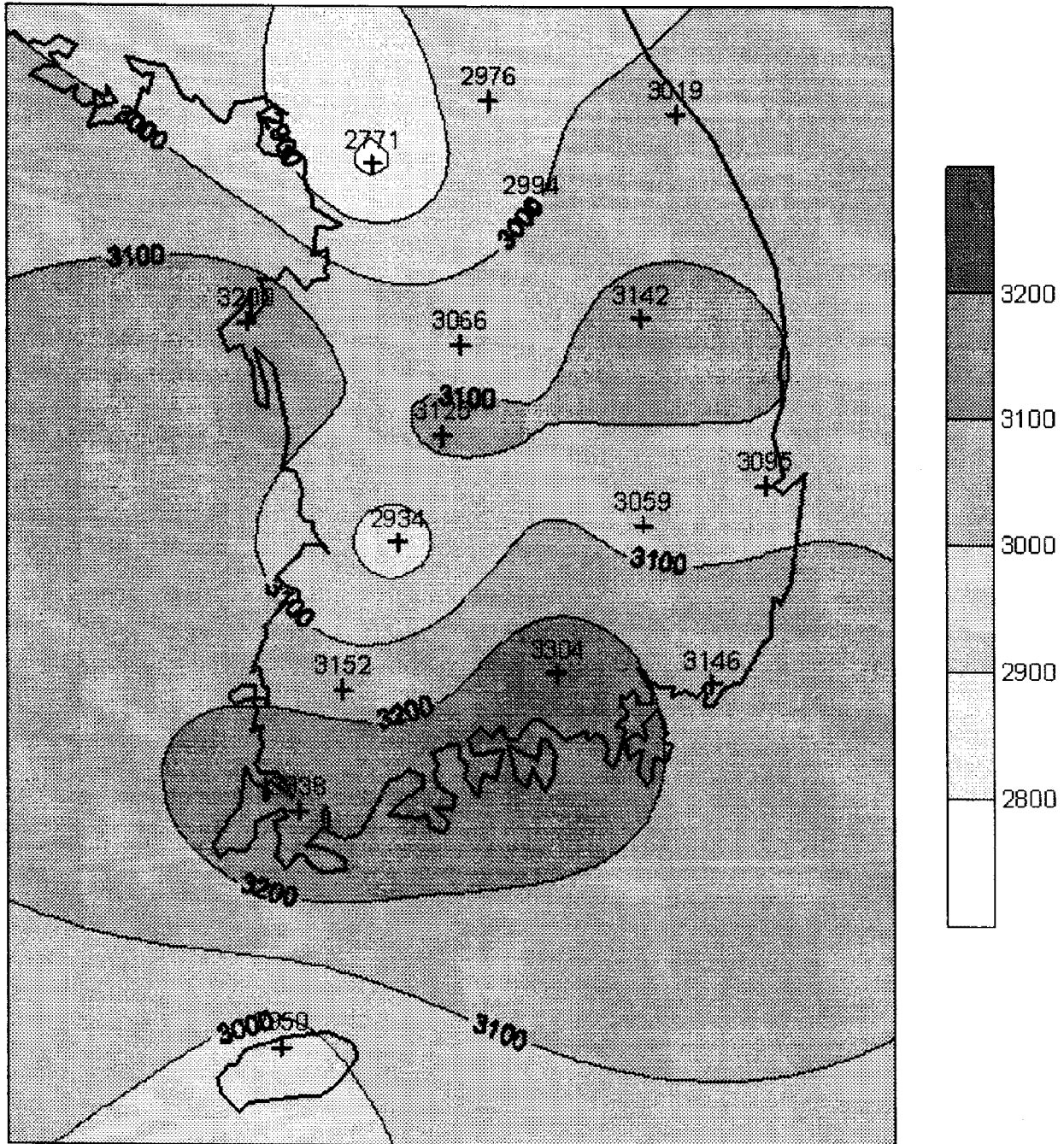
에서 반사되는 에너지량은  $2.4 \times 10^{15}$  kcal/min, 또는  $1.7 \times 10^{14}$  kW으로 이중 약 35%는 대기권에서 반사되고, 18%는 대기권에서 흡수되고 바람을 일으키며, 47% 정도가 지구에 도달한다.

국내 연평균 1일 수평면 전일사량은  $3,079$  kcal/m<sup>2</sup>로 그 결과 남한면적(통계청자료  $99,143$  km<sup>2</sup>)의 태양에너지자원 부존량은  $1.11 \times 10^{17}$  kcal/Yr로 연간 111억 TOE의 석유에너지에 해당되며 태양에너지자원의 연간 가용량은 국토면적중 임야와 하천면적 등을 제외한 사람이 살수 있는 거주지면적( $30,870$  km<sup>2</sup>)으로 계산하여 부존량  $1.11 \times 10^{17}$  kcal/Yr의 31.5%(35억 TOE)로 추정하고 있다.

<표 1> 우리나라 주요지역의 월별 1일 평균 수평면 전일사량(1982~2004)

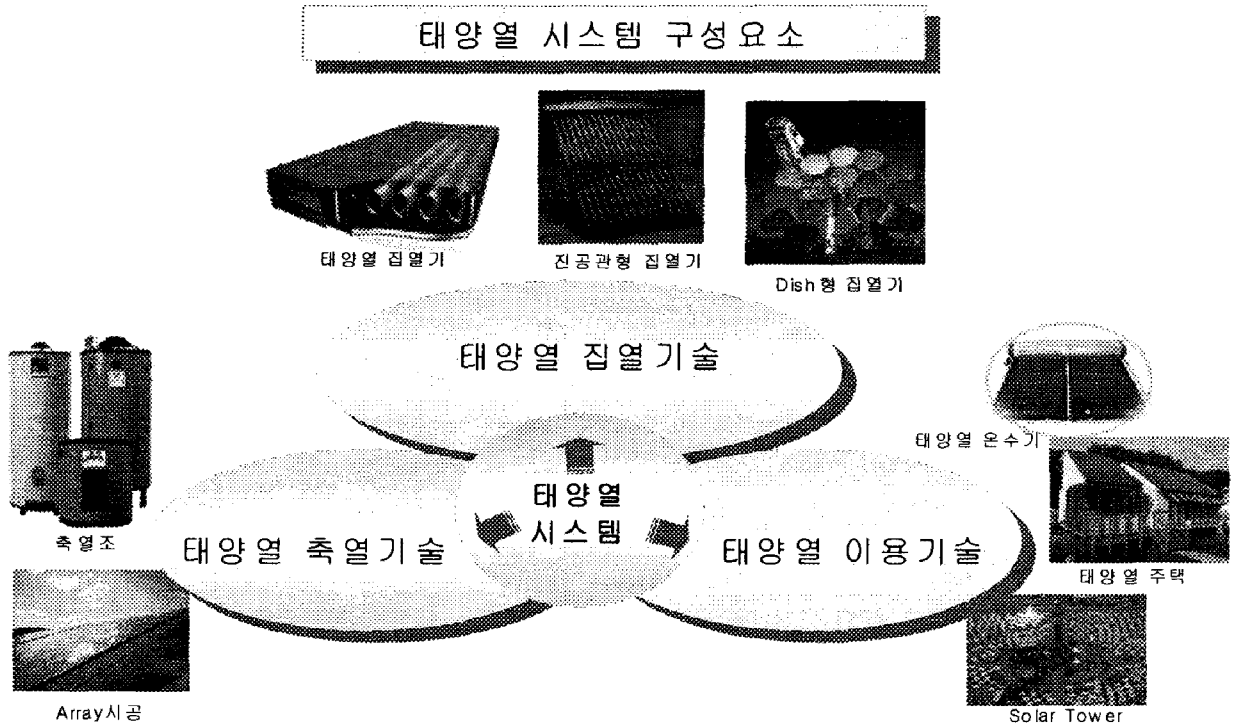
(단위 : kcal/m<sup>2</sup>/day)

지역명	월 별												연평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
춘천	1759	2415	3112	3921	4260	4179	3465	3590	3224	2540	1738	1510	2976
강릉	2042	2575	3153	3967	4271	3883	3453	3250	3081	2719	2014	1815	3019
서울	1699	2366	2986	3760	3988	3723	2820	3064	3055	2606	1730	1458	2771
원주	1802	2438	3071	3921	4228	4095	3417	3543	3252	2724	1846	1593	2994
서산	1973	2694	3371	4171	4535	4295	3522	3736	3503	2955	1950	1693	3200
청주	1897	2588	3144	3989	4344	4067	3528	3542	3298	2825	1924	1645	3066
대전	1942	2644	3288	4142	4300	3977	3612	3646	3290	2894	2014	1747	3125
포항	2102	2682	3175	4029	4321	3957	3500	3460	2988	2782	2200	1947	3095
대구	2006	2587	3255	4008	4266	3952	3514	3387	3058	2778	2064	1835	3059
전주	1795	2388	3015	3875	4107	3829	3378	3391	3154	2793	1892	1591	2934
광주	1987	2637	3295	4078	4310	3930	3569	3692	3414	3036	2108	1766	3152
부산	2200	2766	3198	3872	4170	3898	3636	3691	3107	2926	2276	2007	3146
목포	2005	2685	3438	4277	4551	4232	3886	4186	3605	3194	2219	1776	3338
제주	1251	2004	2818	3808	4227	3983	4205	3859	3212	2834	1901	1302	2950
진주	2346	2936	3492	4174	4371	3948	3723	3718	3332	3108	2371	2134	3304
영주	1988	2584	3300	4126	4478	4144	3555	3551	3321	2838	2033	1780	3142
평균	1925	2562	3194	4007	4295	4006	3549	3582	3243	2847	2018	1725	3079



(그림 1) 전국 연평균 1일 수평면 전일사량 자원분포도 (kcal/m<sup>2</sup>/일, 1982-2004)

#### 4. 태양열시스템 구성



#### 5. 태양열 종류

태양열 에너지는 집열온도에 따라서 저온 및 중고온분야로 분류되며, 저온분야는 주로 건물의 난방 및 급탕과 대규모 온수급탕 시설이 여기에 포함되며, 중고온분야는 산업공정열 및 열발전과 태양화학 등에 이용되며 구체적으로 다음과 같다.

구분	자연형	설비형		
		저온용	중온용	고온용
활용온도	60℃이하	100℃이하	300℃이하	300℃이상
집열부	자연형시스템	평판형집열기	진공관형집열기 PTC형집열기 CPC형집열기	Dish형집열기 Power Tower 태양로
축열부	공기, Throme Wall	저온축열	중온축열	고온축열 화학축열
적용분야	건물난방, 온실	건물난방 및 급탕, 농수산분야	건물냉·난방, 산업공정열, 폐수처리	태양열발전, 태양화학 우주용

## 6. 태양열 기술분야 분류

### ○저온 태양열 기술의 분류

대분류	중분류	소분류	세분류
저온 태양열 기술 (건물 및 산업 태양열 기술)	저가 고효율 첨단 집열 기술	신소재 적용 집열기 자동화기술	집열기 신 생산공정 기술
			신소재 적용 집열 기술
			선택 흡수막 코팅 자동화 기술
		복합이용 집열기 기술	광복합 PVT 집열 기술
			CPVT (Concentrated PhotoVoltaic-Thermal) 기술
			건물 일체형 신 집열 기술
		성능 평가 및 인증 평가 기술	연간 성능평가 기술
			규격 표준화 및 국제화
		고효율 축열 기술	현열 축열 기술
	고효율 수축열 시스템 기술		
	잠열 축열 기술		PCM 잠열 축열 기술
			고효율 MPCM 기술
	대규모 복합화 및 산업이용 기술	태양열 구동 고효율 냉방 기술	태양열 구동 고효율 흡수식 냉방 기술
			태양열 구동 고효율 흡착식 냉방 기술
		건물 적용 태양열 복합기술	가정용 Combi-Plus 시스템 기술
			최적 ZESH 적용 기술
		태양열 이용 집단에너지 기술	태양열 이용 집단에너지 공급 기술
			태양열 지역에너지 복합시스템 설계 기술 및 실증
		산업이용 기술	산업 공정열 생산 기술
			해수 담수화 기술
			태양열 냉동 기술
			태양열 수처리 기술
		시스템 신뢰성 향상 기술	Smart 제어 및 모니터링 기술
			태양열 이용 시스템 성능 평가 및 인증 평가 기술
	태양열 이용 시스템 표준화 및 국제화		
	태양에너지자원 측정 및 분석기술	일사량 측정/교정, 네트워킹, 모니터링 기술	
		일사량 성분 분석과 자료 표준화 기술	
일사량 예측, 분석, 및 평가 기술			

○ 중고온 태양열 기술의 분류

대분류	중분류	소분류	세분류	
중고온 태양열기술 (태양열발전기술, 태양연료생산기술)	중대규모발전기술	Novel 흡수기 기술	과열증기 이용 흡수기 기술	
			Volumetric Air 흡수기 기술	
			Molten Salt 흡수기 기술	
			초임계 유체 이용 흡수기 기술	
		고온 축열 기술	고온 고체 축열 기술	
			고온 상변화 축열기술	
			화학반응 이용 축열 기술	
		중대규모 고 집열기술	PTC 집열기술	Tower 용 집열기술
				Fresnel 집열기술
				화석연료 복합발전기술
		복합발전기술	재생에너지 복합발전기술	시스템 설계 및 평가 기술
				시스템 운전, 제어 및 모니터링 기술
	발전시스템 최적화 기술	Dish 집열기술	소형 타워 집열기술	
			고효율 스테어링 엔진 기술	
	소규모 분산형 발전기술	차세대 소규모 집열기술	CPV 발전기술	
			메탄 리포밍 수소생산 기술	
		소규모 태양열발전 기술	메탄 직접 분해 기술	
			고효율 태양열 반응기 설계 기술	
	화석/바이오 에너지 태양열 전환기술	메탄 수소생산기술	태양열 석탄 가스화 시스템 기술	
			고효율 태양열 반응기 설계 기술	
		석탄 가스화 기술	태양열 바이오매스 가스화 시스템 기술	
			태양열 IS 사이클 수소생산 기술	
		바이오매스 가스화 기술	하이브리드 열화학 수소생산 기술	
			다단계 열화학반응 수소생산 기술	
	태양열 수소생산 기술	금속산화물 이용 수소생산 기술	반응기 설계 기술	
			금속산화물 회수 기술	
			금속 산화물 내구성 향상 기술	
		직접 물분해 기술	고온, 고압 반응기 설계 기술	
			분리 저장 기술	
		초고온태양로 기술	초고온 집광 기술	초고온 재료 기술

## II. 국내외 태양열 이용기술 개발 및 보급 현황

### 1. 국내 기술개발 및 보급 현황

#### 가. 투자규모

- 태양열분야 기술개발 예산은 1988~2006년 18년간 총 206억원 (신재생에너지 전체 기술개발 예산의 4.7%수준)

#### 나. 단계별 추진

- 신재생에너지 기술개발 단계별 추진
  - 1단계('88~'91년) : 기반구축 위한 대학 및 연구소 중심의 기초응용 연구
  - 2단계('92~'96년) : 실용화기반 구축 및 기업참여 유도로 보급 증진
  - 3단계('97~'01년) : 실용화를 위한 산·학·연의 연구가 중점적으로 추진
  - 4단계('02~'11년) : 중장기계획 확정, 중점분야 기술개발 및 상용화 추진
- 집열 및 온수 급탕기술은 상용화 단계로 가정용온수기(약 19만대) 및 골프장, 양어장 등의 급탕시설에 보급중임.
- 저온 활용 분야는 한정된 수요처에 보급이 집중되고 있으나 품질향상을 위한 생산, 평가, 대규모시스템 설계기술의 확보가 필요함.
- 중고온 활용 분야는 대부분이 보급 초기단계로 진공관형은 상용화되었으나, 태양열발전은 실증 중에 있음
- 냉방 및 산업공정열 분야에 대한 상용화 기술이 미흡하고, 발전분야는 국제공동연구 단계임.

#### 다. 국내보급현황

(단위: 대수)

구분	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	계
가정용	19,657	7,796	16,106	41,149	77,226	12,012	4,833	5,924	1,206	826	735	880	188,350
골프장	66	3	6	6	11	11	-	-	-	-	1	-	104
양어장	16	3	5	5	5	10	-	4	-	-	4	1	53
지중난방	-	-	-	9	71	40	31	23	5	-	1	-	180
기타시설	2,462	6	1	9	28	49	18	19	17	48	60	87	2,804
합 계	22,210	7,808	16,118	41,178	77,341	12,122	4,882	5,970	1,228	874	801	968	191,491

주) 기타시설은 목욕탕, 여관, 기숙사, 공장 등에 설치된 급탕시설임.

### 2. 외국 기술개발 및 보급 동향

#### 가. 기술개발 동향

태양열 이용기술 개발은 저온분야의 경우 첨단소재 개발을 통한 고효율, 저가화에

집중하고 있으며, 최근에는 중고온분야의 태양열발전, 태양열 화학시스템의 응용 개발에 많은 연구 투자가 이루어지고 있음.

### 1) 미 국

- 미국 DOE를 중심으로 건물용의 Solar Building Tchnolgy와 태양열 발전을 전담하는 Solar Thermal Energy System으로 구분하여 추진
- 미국의 경우 '70년대 저온 분야(집열기, 온수기, 자연형시스템) 개발, '80년대 자연형 건물과 중고온 분야에 연구 투자, '90년대 이후 중고온분야 중 태양열 집광형 발전분야에 집중적으로 연구 투자
- 태양열 발전 및 산업 이용기술 의 상업화 (365MW) : 10MW Solar Tower Power, 25Kw Dish Engine , Hybrid PTC Plant, 산업공정열, 유독성폐기물
- 태양열 건물 통합프로그램 개발 : Loan-Star Project, 120만호 적용

### 2) 일 본

- 일본 NEDO를 중심으로 이루어지고 있으며, New Sunshine 계획에 따라 대규모 설비형 태양열시스템 등이 중점 개발 보급되고 있음.
- 태양열 온수기, 상변화형, 진공관형 집열기 실용화 : 년10만대 규모 생산보급 (약 500만기보급)
- 태양열 냉난방 흡수식시스템 (3RT)개발완료 실용화
- 태양화학열펌프 개발 (250~300℃)
- 대규모 산업용 시스템 개발 : New Sunshine 계획

### 3) 유 럽 (EC)

- 유럽의 기술개발 및 보급의 핵심은 태양열 난방 및 온수기, 자연형 태양열 등이고, 수출을 목적으로 한 태양열 발전 등의 개발이 지속적으로 추진중임.
- 1977년부터 IEA SHC를 통해 총 18개의 태양열 건물 냉난방 관련 Task가 수행완료 되었으며, 현재 10개의 Task가 수행 중에 있으며, 신규 2개 Task가 구성 중에 있음.
- 태양열 건물이용 Program : JOULE (설비형, 자연형시스템), THERMIE (대형 건물, 집단주택의 냉난방)
- 진공관형 집열기 개발 : 상업화(Thermomax, Daimler-Benz)
- 태양열 발전 실용화 : IEA SolarPACES Program, 7.5kW Dish형 개발, 태양화학 공정 (폐수, 유독성폐기물처리)

### 4) 호 주

- 태양열온수기 상업화 : 주요 수출 품목, 년 10만대 이상 규모 생산
- 태양열 발전 실용화 : PTC, 50Kw Big Dish 운전



5) 중 국

- 막대한 자국시장수요에 맞춰 국가개발계획수립(2006-2010, 제11차 )
- 발전분야 보급목표 : 2020년 전체 발전의 10% 신재생에너지로 대체
- 열에너지 보급목표 : 2020년까지 400 MTCE 신재생에너지 연료 및 열공급

나. 보급 현황

1) 세계 태양열 에너지 보급현황

- 저온용 태양열 집열기는 세계각국이 생산·보급되고 있으며 미국·일본·호주 등에서 많이 보급
- 중·고온용 집열기는 미국과 일본에서 생산·보급되고 있으며, 특히 미국에서는 고온용 집열기도 보급

<표 2> 주요 선진국의 태양열 집열기 연간 생산현황 (단위: m<sup>2</sup>)

국 가 별		독일	그리스	오스트리아	네덜란드	미국	(중국)
년도	2000	420,000	160,000	141,000	30,000	38,460	5,000,000
	누계	2,290,000	2,645,000	1,476,000	146,000	750,000	10,000,000

※ 자 료: Renewable Energy World, DOE Annual Report

2) 태양열발전 보급계획

- 미국에서는 태양열발전 기술을 저가화하여 2020년에는 발전단가를 5¢/kWh로 하여 20백만MW 보급 추진중.

<표 3> 태양열 발전단가 전망 (미국)

구 분	1997	2010	2020
태양열발전보급(MW)	365	5,000	20,000
태양열발전단가(¢/kWh)	17	-	5

다. 국내외 기술수준

핵심기술	국외	국내 개발 현황
<p>집열 및 축열기술 개발</p>	<p>-대부분 기술이 상용화 수준에 도달 -대량생산에 의한 시스템의 저가화와 신뢰성 확보</p>	<p>-집열기 흡수판의 흡수율과 투과체의 투과율 향상 -최적운전을 위한 제어기술 -다양한 방법의 축열조 소형화기술</p>
<p>태양열이용 시스템 통합 및 최적화 기술 개발</p>	<p>-유럽 등에 대규모 주거단지용 집단 난방 및 급탕 시스템 보급 -연립 주택 및 아파트 등 대규모 건물에 일체형 태양열시스템 개발 및 시범적용 -태양열 냉·난방 시스템설계기술 확립 : 흡수식, 흡착식 개발중(미,일,프)</p>	<p>-시스템 최적화 기술 -기존 시스템과의 연계기술 -집열 및 축열성능 향상기술 -통합제어기술 -성능평가 및 진단기술</p>
<p>보급형 제로에너지 솔라하우스 개발</p>	<p>2020년까지 미국내, -100,000 ZNE 주택 -20,000 ZNE비주거용(학교,사무실등) -신규 공공건물 ZNE화</p>	<p>-핵심요소기술:난방,온수,공조,BIPV, 복합조명, thermochromic 창 및 자연냉방기술과 시스템최적화 기술</p>
<p>산업용 태양열시스 템 개발</p>	<p>-집광부 설계제작(900℃) -고반사율 반사경 제작 (반사율95%) -화학축열 개발(400℃)</p>	<p>-고반사율 반사체 제조기술 -집광구조설계 및 제조기술</p>
<p>태양열발전 시스템 개발</p>	<p>-증기랭킨, 유기랭킨 50kW급 -Dish/Stirling 25Kw급 -태양화학반응기 개발중</p>	<p>-집광형 태양열 시스템 이용 고온 생산기술</p>

### Ⅲ. 향후 기술개발 및 전망

#### 1. 기술개발 목표

- ◆ 효율 축열 기술과 저가 고효율 첨단 집열 기술을 적용하는 태양열 시스템의 대규모 복합화, 산업 이용, 및 건물 이용 기술의 개발
- ◆ 중고온 태양열을 이용, 발전 및 연료생산을 위한 다양한 규모와 경로의 태양열 발전시스템 및 태양열 화학반응 시스템 기술개발

#### 2. 기술개발 추진전략

- 태양열 에너지 중 잠재수요를 개발하고 보급 극대화를 위한 난방 및 냉방 복합 시스템을 지속적으로 상용화 추진, 이를 위한 저가 고효율화를 지속적 추진
- 잠재수요 개발과 보급확대를 위한 보급형 Solar House(SH) 개발과 시장확대 방안 구축
- 대규모 산업화와 복합화 단지 구성을 목표로 하는 기술개발과 상용화
- 기존 에너지원에 의한 열에너지 공급의 대체를 위하여 중고온 태양열시스템 및 태양열 발전시스템을 중점 개발
- 태양열 발전분야의 상용화, 대형화 및 이와 연관된 핵심 요소기술 개발
- 태양열을 이용하여 이송가능한 연료를 직접 생산하는 태양열 연료생산분야 의 조속한 기술확보 및 실용화 추진
- 태양열 상용화가 발전가능한 산업화가 될 수 있도록 개발단계부터 기업 참여유도

#### 단계별 추진계획

**1단계(1~12)**  
기술자립 및  
산업화구축



- 저가 고효율 집열 및 복합집열 기초 기술 개발
- 대규모 복합화, 건물·산업용 태양열 기술 기초/응용화 개발
- 소규모 태양열 발전기술 실용화 및 중대규모 태양열 발전 요소기술 개발
- 태양열연료 생산 기초/응용기술 개발

**2단계(13~20)**  
응용기술/고도화



- 저가 고효율 집열 및 복합집열 응용/실용화 개발
- 중·저온 산업용 및 대규모 복합 태양열시스템 개발·실용화 (고효율 축열 기술 적용)
- 소규모 태양열 발전기술 상용화, 중대규모 태양열 발전 기술 실용화
- 태양열 연료생산기술 실용화

**3단계(21~30)**  
고부가가치  
산업화



- 대규모 복합 단지화 및 산업용 태양열 시스템 실용화·상용화
- 태양열 발전 상용시스템 보급확대
- 태양열 연료 생산기술 상용화

### 3. 산업화 추진전략

- 저온 태양열 집열기의 저가, 고효율화 및 신뢰성 확보 등을 통한 산업화
- 복합 집열 기술의 제품화를 통한 신규 시장 진입이 가능하도록 산업화 추진 위한 지원 체계 확보
- 보급형 솔라하우스 및 건물·상업·대규모 단지용 태양열 시스템 산업화
- 중·고온 산업용 태양열시스템을 개발하여 에너지를 다량 소비하는 산업체에 보급하는 태양열 에너지 산업화
- 무한정한 청정에너지인 태양열 발전기술 개발·산업화
  - ※ 본력이 큰 대기업 참여로 미래에너지 확보를 위한 열에너지 생산산업 형태로 육성
- 핵심 요소기술 전문기업 연계 및 이전과 학,연간 협력강화 및 전문인력 양성
- 전력 및 에너지기업, 플랜트 엔지니어링 기업 등 민간 대기업 참여 유도
- 국제협력(SolarPaces, APP, FP 등) 강화를 통한 개발 요소기술 적용 및 검증과 국외 컨소시엄사업 참가, 대규모 독자적 국외실증 및 보급 추진

### 4. 향후 전망

가. 첨단 신기술 창출로 고도성장이 전망되는 미래 유망산업 주도

- 새로운 에너지 패러다임 전환의 중심 역할 기대
- 21세기의 첨단 우주산업, 생명공학, 환경과도 불가분의 공생관계 확립  
(위성발사체, 태양광화학, 폐수처리 등)
- 우리나라 어느 곳이든 획득 가능하고 적용 가능한 기술산업으로 정착

나. 타 산업과의 연계성 증대

- 우주산업 연계 : 태양열발전, 인공위성 태양열발사장치, 태양구동레이저 발생시스템 등의 미래우주 산업
- 생명공학 연계 : 광합성 등 태양광화학 산업
- 환경산업 연계 : 유독성폐기물처리, 슬러지건조 등
- 태양연료 생산산업 : 메탄, 물로부터 수소생산

다. 타 산업에 미치는 영향 확대

- 에너지이용 전 분야의 태양에너지이용 산업구조로의 변환에 따른 활성화
- 자연에너지 사용에 따른 자연친화적 산업 및 제품 증대
- 기존 적용분야 관련산업 확대 : 건축, 냉난방, 산업공정, 발전 등

#### 참고문헌

1. 강용혁, "Solar Thermal Energy Technologies in Korea", The 1st Seminar between CIEC and KIER, Zhaoqing China, 2005
2. 강용혁, "New and Renewable Energy(NRE) in Korea", 2005 JSES-KSES Joint conference on the Solar Energy, Chino Japan, 2005
3. 강용혁 외, 산자부, "2006신재생에너지 백서". 2006
4. 강용혁 외, 산자부, "신재생에너지 R&D전략 2030 - 태양열", 2007