

태양열발전시스템 개발 현황

SYSTEM

1. 기술의 개요

무궁무진하며 무공해한 대체에너지원인 태양에너지의 직접이용은 집열온도, 즉 활용온도에 따라 저온, 중온, 고온 활용분야로 세분한다. 활용온도의 증가에 따라 기술의 난이도는 증가하기 때문에 상업적 측면에서 보다 큰 부가가치를 창출할 수 있어 현재 선진각국에서는 태양열이용 첨단기술개발 분야로 중고온 이용분야에 연구투자를 집중하고 있다.

과거 수십년간 진행된 집광시스템의 연구개발은 온수급탕과 난방 등의 저온이용을 위해 다양한 평판형 집열시스템 개발에 집중되거나, 중온 이상의 온도를 사용하고자 할 때에는 효율이 급격히 떨어져 사용할 수 없다. 그러므로, 중온이상의 온도를 얻기 위해서는 PTC형, CPC형, DISH형 등의 고집광시스템의 사용이 필수적이다. 고집광 시스템은 집열방식에 따라 구분되며, 가장 핵심 요소기술은 집열부 설계 및 소재 개발, 태양 추적장치 설계 및 제어기술이다.

국가적 에너지 소비구조의 절반을 차지하는 산업분야에 태양열 중고온 이용은 이 분야에 대체에너지원 및 대체시스템의 적용으로 범국가적 에너지절감 및 새로운 대체에너지원의 확보가 가능

하다. 이와같은 태양열 중고온 산업이용 분야는 공정열수(Process heat water), 건조탈수(drying & dehydration) 및 공정증기(process steam) 등 세분야로 대별된다.

우리나라보다 에너지 조건이 좋은 선진국에서도 1970년대말부터 산업분야에 대한 태양열 적용을 꾸준히 해 왔으며, 특히 미국의 경우는 많은 다양한 분야에서 시범적용을 수행하였다. 최근에는 태양열 중고온 산업시스템을 활용온도 및 공정별로 적용하기 위하여 광범위하게 각 요소 및 시스템 연구가 진행되고 있다.

현재까지 개발된 집광형 태양열 집열기는 태양을 추적할 수 있으며, 태양광을 집속하여 흡수기로 반사시키기 위한 반사경으로 구성된다. 평판형 집열기는 모두 고정형이며, 온도범위도 100°C 이하로 공정열 및 전력발생용으로 사용할 수 없다.

집광형 집열기는 100~500°C의 온도를 얻을 수 있어 태양열 발전 및 산업공정열 등에 널리 보급되어 활용되고 있다. 집광형 집열기는 반사경 면적과 흡수기 면적비(집광비)로서 필요한 온도를 집광할 수 있다. 집광형 집열기는 집광형태의 기하학적 구조에 따라 진공관형, PTC(prabolic

trough concentrator)형 이나 CPC(compound parabolic concentrator), parabolic dish형 및 그외의 집광형 집열기등이 있다.

집광기 구경은 태양광이 통과하는 입사면이다. 대개 입사면은 거울 또는 렌즈가 사용된다. 태양열 변환 시스템에서의 작동 유체는 물, 증기 및 가스등을 이용하여 흡수기로부터 열교환기를 거쳐 에너지를 전달한다.

흡수기는 집광된 태양광속을 잘 받아 들이도록 설계되어야 한다. 평판형 집열기에서는 수광면적과 흡수면적이 동일하다. 중·고온용 집열기에서는 집광의 의미가 명확히 이해되어야 하며, 태양광의 집광은 수광면에 조사된 태양광과 흡수면에 들어온 태양광속의 비로서 표현된다. 즉 기하학적 집광비(Concentration)는 흡수기의 면적과 수광면적의 비이다.

거의 집광형 집열기는 태양추적장치를 가지며, 수광각이 큰 집광장치는 계절별로 추적토록 하며, 수광각이 작은 집광장치는 계속하여 태양을 추적할 수 있도록 해야 한다. 수광각은 태양광을 수광면으로 편향시켜 흡수면에 이르도록 제한받는다.

태양 추적 방법으로는 수동식, 시계방법(Clock-driven) 및 써보시스템(Servo system)등이 있는데, 수동식은 부정확하고, 시계방법은 지구 자전 속도에 맞춘 시계에 의하여 컴퓨터로 제어하는 방법이다. 써보시스템 방식은 광 검출 장치로 포토다이오드나 포토트랜지스터를 사용하며, 좌우 상하 운동방향으로 2개씩 설치하여 태양의 위치와 광축과의 편차를 검출하고 광전류차를 증폭시켜 써보모터를 작동시킨다.

집광형 집열기의 열성능 평판형 집열기와 마찬가지로 열효율로 정의되며, 집광기의 열효율은 집열기 수광면을 통과한 총 태양에너지에 대한 유효에너지의 비로써 나타낸다. 작동유체의 엔탈피(enthalpy)증가는 가용에너지의 측정방법으로

사용된다.

태양광은 직달광과 확산광으로 구분되며, 확산광은 대기중에 산란에 의해 일어난다. 집광형 집열기는 직달광을 대부분 이용하여, 확산광은 거의 이용하지 못한다. 청명한 날의 확산광은 총태양광의 20%에 달한다. 집광형 집열기로 얻을 수 있는 최고 온도는 태양로의 경우로 3,000°C 이하이다.

집광형 집열기에서는 반사 및 굴절이 중요한 요소이다. 반사 및 굴절의 여러 가지 기하학적 형태에 따라 많은 종류의 집열기가 제안되었다. 그러나 반사 및 굴절로서 시스템을 정의하기에는 매우 어려우며, 기하학적 집광비(CR)로서 정의하는 것이 매우 타당하다. 집광비를 증가 시킴으로써 높은 온도를 얻을 수 있다.

Compound parabolic 및 V-Trough 형 집열기의 집광비는 1~10범위이며, 반사경을 사용하는 Dish형은 수천까지 얻을 수 있다. 또한 태양을 정확히 추적함으로써 더 높은 온도를 얻을 수 있다. 온도 수준에 따라 시스템 가격에 많은 영향을 미친다.

집광비가 25~75 범위의 PTC형 집광형 집열기는 상용화 중에 있으며, 시스템 가격은 \$150~\$250/m²이며, 설치비를 포함하면 \$300~\$400/m²이다.

집광형 집열기는 복사, 전도, 대류에 열손실을 최대한 줄이거나, 광집속에 의한 태양에너지의 강도를 높이도록 해야 한다.

광학적 집광장치는 집열면에 떨어지는 태양복사량을 태양으로부터의 정상적인 복사량보다 증가시키며, 기하학적 집광비는 집열면적과 집열에너지 흡수하는 유효흡수면의 비로 나타낸다.

집광비를 높이는데는 많은 비용이 소요될뿐더러 그렇게 중요하게 인식되어지질 못하였다. 적절한 집광비의 선정은 대단히 중요하며, 그 범위는 수십 kW/m²에서 105~10kW/m²에 이른다.

집광비가 낮은 시스템에서는 열손실 억제에 위

해 선택흡수면($\lambda < 1\mu\text{m}$)이 사용되며, 선택 흡수면은 흑체복사($5762\text{k}, \lambda < 2\mu\text{m}$) 파장과 흡수면의 복사($400\sim 700\text{k}, \lambda > 2\mu\text{m}$) 파장의 차이를 이용한 것으로 $2\mu\text{m}$ 이하의 파장에서 강하게 흡수하고($\lambda < 1\mu\text{m}$), $2\mu\text{m}$ 이상의 파장에서 약하게 흡수하는 집열표면이 고온에선 태양에너지를 효율적으로 집열할 수 있다.

집광형집열기를 사용한 태양열발전시스템에서는 시설투자비의 가장 큰 몫을 차지하는 집열기(50%차지)의 가격을 저렴화시키는 것이 중요하다.

경제적인 면을 고려할 때 시스템효율은 집광비가 클수록 높으며 집열기 면적규모는 시스템 효율과 반비례 관계에 있으므로 집광면적, 고반사 효율 및 고흡수성 수신장치 등의 개발로 시스템 효율을 증가시키는 것이 바람직하다. 일반적으로 저온용 평판형집열기는 태양열발전에는 적합하지 않으며 고온용 집광형집열기가 적합하다는 것은 집열온도에 대한 변환효율 곡선을 보면 잘 알 수 있다.

일반적으로 평판형 집열기의 최대시스템 효율은 93°C 에서 5%이며, 그밖의 진공관식, 프레넬 렌즈 및 추적식 집광 집열기는 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 에서 시스템 효율이 10%이다. 특히 추적식 Dish형 집광집열기를 사용한 시스템효율은 315°C 에서 거의 11%까지 증가시킬 수 있다. 또한 전력생산량당 소요집열면적을 보면 최대 시스템 효율시 평판형집열기는 $16\text{m}^2/\text{hp}$ 가 소요되나 고온용 집열기는 $8.4\text{m}^2/\text{hp}$ 가 소요되므로 태양열발전 시스템에서는 고온용집열기가 평판형 집열기와 비교할 때 가격면에서 경쟁이 될 수 있다.

태양열집광시스템을 이용하여 태양열로 전기를 얻는 방법은 간접전환방법이며 시스템은 집열부, 에너지수송부,

에너지전환부 및 저장부로 구성된다. 태양열 발전시스템은 집열방식에 따라 집중형과 분배형으로 나누며, 집중형의 경우는 대규모 발전 플랜트에 적합하고 분배형은 중규모 이하 플랜트나 독립형 발전시스템에 적합하다. 에너지 전환 시스템으로는 발전기와 열방출 부설시스템이 부착된 열엔진(증기랭킨, 유기랭킨, 가스브레이튼 또는 스테링)으로 구성되며, 열엔진에 따라 시스템 설계 및 구성이 변한다. 에너지 수송 및 저장은 기존 타열원 발전시스템과 유사하여 기술의 공유가 가능하다.

태양열 발전시스템의 개발과 더불어 운전기술의 확보는 시스템 최적화 및 효율 향상을 위해 필수적이며, 시스템의 성능 및 경제성 평가를 위한 측정평가 기술도 필요하다.

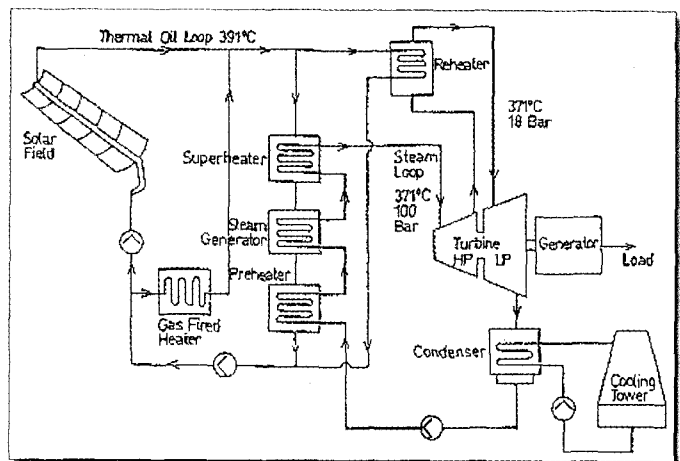
향후 모든 기술이 복합화 기술로 통합되어 태양열 중고온 이용시스템 및 발전시스템의 복합화는 다양한 에너지 수요를 만족시킬 것이다.

2 태양열발전시스템 종류 및 특징

2.1 집광기술(Concentrating Technologies)

(1) Parabolic Troughs

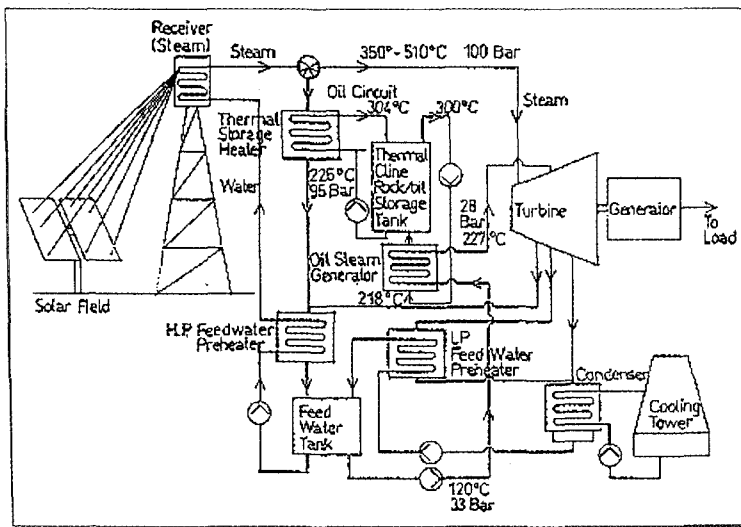
PTC의 반사면은 trough의 초점에 놓인 집열관



에 태양열을 모은다. 집열관내의 가열된 열매체는 파이프를 통해 터빈/발전기에서의 사용을 위해 열교환기로 수송되어 증기로 때로는, 직접 집열관에서 증기로 만들어지기도 한다. PTC는 1축은 고정되어 1축산 태양을 추적한다. 이 기술은 공정열이나 화학반응을 위해 열을 제공하기 위해 제공되며, 현재는 전력생산을 위해 많이 사용되고 있다. 집광비는 10~30sun정도이다.

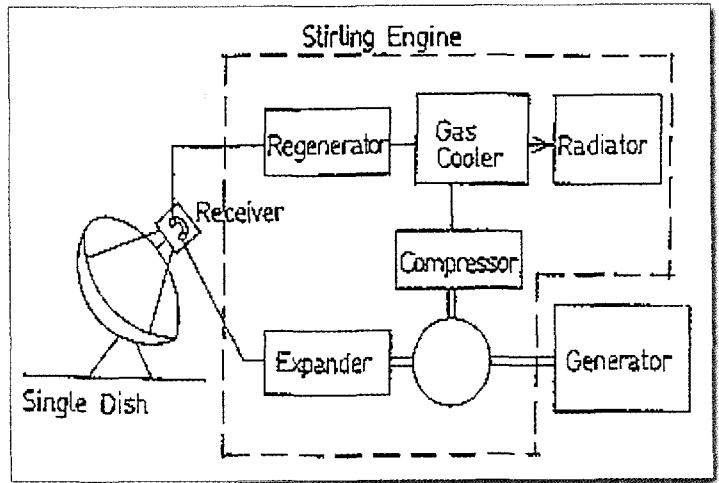
(2) Power Towers

Power Towers 시스템에서는 heliostat가 중앙타워에 설치된 집열기에 태양일사를 반사하고 모으는 역할을 한다. 집열기의 열전달 매체로는 molten salt, 공기 또는 액체금속등이 사용된다. 가열된 열매체는 축열소를 거쳐 전력 변환장치에서 전기를 생산한다. 이 시스템의 집광비는 300~1500sun정도이며 1500°C 이상에서도 작동이 가능하다.



(3) Dish Systems

Dish 시스템은 dish의 초점에서 태양열을 모은다. 이 시스템은 수천 sun의 집광비를 얻을 수 있다. 이 집열기는 태양에너지를 직접 열로 변환시



켜 열로 직접 이용하거나 화학공정에 사용할 수 있으며, 가장 보편적인 사용형태는 전력생산이다.

2.2 Dish/Stirling 태양열 발전 시스템

(1) 개요

Dish/Stirling 태양열 발전 시스템은 오목한 포물형 태양열 집광기(Dish), 동공 흡수기(Cavity receiver)와 전기 발전기와 교류기를 갖는 Stirling 엔진으로 구성되어 있다.([그림 1-1]참조) 이런 구성요소들의 역할은 다음과 같다.

- 태양 추적시스템은 직접 태양을 향하여 태양과 광학적 축을

유지하면서 태양 집광기가 2축으로 회전한다. 집광기의 형상은 집광기의 초점에 위치한 동공 흡수기에 태양광선을 반사한다.

- 동공 흡수기는 집광된 태양에너지를 흡수한다. 그때 열에너지가 스테링 엔진에 있는 작동가스를 가열한다.

- 스테링 엔진은 가열과 냉각을 교대로 작동가스(주로 수소 혹은 헬륨)로 채워진 밀봉된 시스템으로 구성되어 있다. 엔진 내부에서 지속적으로 재순환되고, 소비되지 않기 때문에 작동가스라고 부른다. 엔진은 냉각될 때 작동가스는 압축되고 가열될 때 팽창하면서 작동된다. 냉각가스가 압축할 때 보다 가열가스의 팽창에 의하여 더 많은 동력이 생산된다. 이러한 작동은 엔진의 피스톤에서 상승 그리고 하강압력을 생산하여 이 운동이 기계적인 동력으로 변환한다. 몇몇 스테링 엔진은 기계적인 동력을 전기로 변환하기 위해서는 분리된 전기 발전기 또는 교류기에 의존하지만 반면 나머지는 교류기가 엔진에 통합된다. 결국 보조장치가 부착된 엔진/교류기는 종종 변환기 혹은 동력변환장치로 불리운다.

Dish/Stirling응용에 사용된 태양열 집광기는 일반적으로 점 집광 포물선집시 집광기(Point-focus parabolic dish concentrator)이다. 작은 면적에 입사하는 태양광선이 반사하는 금속박판 유리 혹은 플라스틱으로 된 반사표면을 초점이라 부른다. 집광기가 2차원적으로 태양에너지를 집광시킴으로 이러한 집광기를 2축을 따라 태양의 궤적을 추적한다. Dish/stirling 시스템에서 집광기의 크기는 최대 일사량(일반적으로 $1,000W/m^2$)에서 원하는 동력, 집광기 그리고 동력 변환효율에 의하여 결정된다. 현재까지의 기술을 토대로 5kW Dish/stirling 시스템은 약 직경 5.5m 크기의 Dish가 요구되고, 25kW 시스템은 직경 10m 크기의 Dish가 요구된다.

집광기는 일반적으로 알루미늄의 반사표면, 유

리의 앞과 뒷면에 은을 코팅하거나, 플라스틱 필름을 사용한다.

얇은 유리 거울에 은을 코팅한 반사경은 과거에 사용되었다. 요즘은 알루미늄에 얇은 폴리머 필름을 사용하거나 혹은 필름의 앞 뒷면에 은을 코팅하여 사용하고 있다.

태양 집광기 설계에서 최근의 혁신적인 경향은 Stretched membrane의 사용이다. 여기서 얇은 반사 membrane은 rim 혹은 hood을 가로 질러 펼쳐지고, 뒷면에 2차 membrane으로 마감하여 일정 공간을 형성한다. 이 공간에 약간의 진공을 걸면 반사 membrane은 거의 구에 가까운 형상(Spherical shape)이 된다.

(2) 연구 개발된 시스템

먼저 폭넓은 시험을 마친 주요 시스템과 구성요소들을 요약하였고, Dish/stirling 시스템 개발의 이정표를 제시하고자 한다. <표 1-1>에 이러한 시스템의 디자인과 성능 특성들을 요약하였다. 이러한 시스템들은 상업적 시판을 목적으로 개발되었고, 경제성은 dish/Stirling 시스템의 상업화를 위한 중요한 문제가 되고 있다.

(가) Vanguard 25kWe 시스템

제트추진 연구소(JPL)에서 출발한 Advanco사는 1984년에 25kWe Vanguard dish/Stirling 시스템을 개발했다. 이 시스템은 캘리포니아의 Ranco Mirage에 설치되어 태양열-전기 변환 효율이 29.4%를 기록했다.

Vanguard 집광기는 대략 직경이 11m(36ft)이고 트러스 구조물 위에 336개의 조각거울(mirror facets)로 구성되어 있다. 각각의 조각거울의 크기는 $45 \times 60cm$ ($18 \times 24inch$)이다. 이러한 면들은 Glass back-surface mirror의 발포유리(foamglass)로 만들어져 있다. 거울들은 기계적으로 구형 곡률 형태로 구부러져 있으며 두 개의 다른 곡률이 Vanguard 집광기에 사용되었다. 태양 추적 장치

SYSTEM							
Name	Vanguard	MDAC	German/Saudi	SBP 7.5-m	CPG7.5-kW	Aisin/Miyako	STM Solar PCS
Year	1984	1984-88	1984-88	1991-	1992-	1992-	1993-
Net Electricity*	25kW	25kW	52.5kW	9kW	7.5kW @950W/m ²	8.5kW @900W/m ²	25kW(design)
Efficiency*	29.4%2760°C gas temp.	29%-30%	23.1%	20.3%	19% 950W/m ²	16% 900W/m ²	- † † †
Number	1	6	2	5	3 Built, 14 planned	3 planned	1
Location(no.)	CA	CA(4),CA,NV	Riyadh,Saudi Arabia(2)	Spain(3), Germany(2)	CA, TX, PA	Miyako Is, Japan	SNL-TBC
Status	Testing completed	Testing completed	Occasional ops.	Testing now	Initial testing of 5-kW prototype	Fabrication	-

CONCENTRATOR							
Manufacturer	Advanco	MDAC	SBP	SBP	CPG	CPG	-
Diameter**	10.57 m	10.57 m	17 m	7.5 m	7.3 m	7.5 m	-
Type	Faceted glass mirrors	Faceted glass mirrors	Stretched membrane	Stretched membrane	Stretched membrane	Stretched membrane	-
No. of Facets	336	82	1	1	24***	24	-
Size of Facets	0.451 × 0.603 m	0.91 × 1.22 m	17 m dia.	7.5 m dia.	1.524 m dia.	1.524 m dia.	-
Surface	Glass/silver	Glass/silver	Glass/silver on stainless steel	Glass/silver on stainless steel	Aluminized plastic film	Aluminized plastic film	-
Reflectance(initial)	93.5%	91%	92%	94%	85% to 78%	85% to 78%	-
Concentration †	2750	2800	600	4000	1670	1540	-
Tracking	Exocentric gimbal	Az-el	Az-el	Polar	Polar	Polar	-
Efficiency	89%	88.1%	78.7%	82%	78%	78%	-

* At 1000 W m² unless otherwise noted

** Equivalent disk

*** 32 for temporary high output

† Geometric concentration ratio

† † † Depends on concentrator used

는 필요로 하는 토크 부하를 줄이고 비상시 추적을 멈추도록 혁신적인 외심 수평 조절 메커니즘을 사용하였다.

이러한 시스템에 사용된 United stirling

AB(USAB)모델 4-95Mark II 엔진은 실린더 당 95cm(5.8in³)의 배기량을 가진 4 기통 스텔링 엔진이다. 이러한 4개의 실린더는 서로 평행하게 정사각형으로 배열하였고 각각의 실린더는 히터와 재생기, 그리고 냉각기에 서로 연결되었고 double

acting 피스톤을 사용하였다. 이러한 배치를 Siemens 배열이라고 한다. 작동 기체(working gas)는 수소(헬륨을 사용할 수도 있음)를 사용했고, 최대 평균 사용 압력과 온도는 각각 20MPa(2900psi), 720°C(1330F)이다. 엔진 출력은 작동기체의 압력을 변화시킴으로 해서 조절된다. 480-VAC, 60-Hz 교류 발전기가 출력 축에 연결되어 있다.

Advanco/Vanguard 시스템의 흡수기(receiver)는 직접 태양광을 받게 된다. 동공(cavity) 안쪽에 원뿔형으로 배열된 많은 소구경 Heater-tube들은 집광기로부터 반사된 태양광을 흡수해서 엔진의 수소 작동기체에 열이 전달된다.

(나) McDonnell Douglas 25-kWe 시스템

면적이 88m²(944ft²)인 dish 집광기는 82개의 구형 곡률을 가지는 조각거울(mirror facets)로 구성되었고 각각의 미러면은 91×122cm(36×48inch)이다. 거울면은 dish 상에 위치하는 지점에 따라서 다섯 개의 곡률중에 하나의 곡률을 가지게 된다. 조각거울을 지탱하는 축은 아래 부분에 흡이 만들어져 있어 동력 변환 장치가 servicing을 위해서 낮춰 질 수 있다. 이러한 배열로 인해서 집광기 구동 장치는 집광기와 동력 변환 장치의 균형점 가까이 위치할 수 있다. 유리 반사 표면은 재래식 장비로 세척할 수 있다. 또한 이러한 배열은 집광기 표면의 오염을 최소화하는 수직채움(vertical stowing)이 가능하다.

United Stirling 4-95 Mark II 엔진은 수소를 작동유체로 사용하며 설정온도는 720°C(133F)이다.

최대 압력 20MPa(2900psi)에서 이 엔진은 일사량 1000W/m²하에서 25kW의 순수 동력을 전달한다. McDonnell Douglas사의 모든 dish/Stirling 시스템은 최고 20~25%의 태양열-전기 변환 효율을 갖는다.

(다) German/Saudi 50-kWe 시스템

50kW United Stirling 4-275 엔진을 가진 세 개의 17m(56 ft) dish는 Schlaich에 의해 만들어졌고, DLR의 도움을 받아 시험되어졌다.(Noyes, 1990) 첫 번째 시스템은 1984년 독일의 Lampoldshausen에 설치되었고 이것은 유럽에서 처음으로 운전한 대용량 dish/Stirling 시스템이다. 또 다른 두 개의 시스템은 과학 및 기술 목적으로 리야드 근처의 사우디아라비아의 국립센타 내의 Solar Village에 설치되었다. 이 리야드 시스템은 53kW의 순수 전기 출력을 낼 수 있고 1000W/m²의 일사량에서 태양열-전기 변환 효율은 23%이다.

Schlaich 집광기는 직경이 17m인 single-facet stretched membrane dish이다. 이러한 membrane는 뒷면에 2차 membrane를 가진 테두리 상에서 늘린 0.5mm 두께의 얇은 stainless steel sheet이다. 두 membrane 사이의 진공은 front membrane를 최종 형태로 변형시키고 이러한 형상은 포물면도 구형도 아니다. 얇은 유리로 된 미러들이 membrane에 접착된다. 그 형상은 부분적 진공에 의해서 유지된다. 집광기는 위도/경도를 추적하는 축 상에 고정된다.

Schlaich dish/Stirling 시스템은 작동 기체로 수소를 사용한 United Stirling 4-25엔진에 초점이 맞춰지고 이 엔진의 작동온도와 압력은 620°C(1120F)와 15MPa이다. 4-25엔진은 실린더 당 배기량이 275cm³(16.8in³)을 가진 four-cylinder와 double-acting Stirling 엔진이다. Schlaich dish/stirling 흡수기는 흡수기 동공 뒷면에 위치한 heater tube에 의해 반사광을 직접 흡수한다.

(3) 현재 개발중인 시스템

현재 개발 중에 있는 4개의 dish/Stirling 시스템(다양한 집광기와 결합될 수 있는 3개의 완전한 시스템과 하나의 태양열 변환 시스템)에 대한 디

자인과 성능에 대하여 기술하고자 하며, <표 1-1>에 요약되어 있다.

(가) Schlaich, Bergemann und Partner 9-kWe 시스템

독일의 Stuttgart에 있는 Schlaich, Bergemann und Partner(SBP)는 7.5m(25ft)의 단일면(single-facet)을 가진 확장된 막(stretched-membrane) 형태의 dish와 stirling 엔진을 병합시킨 dish/stirling 시스템을 개발하였다. 현재 5개의 이러한 시스템이 시험 가동중에 있다.

Schlaich 집광기는 직경이 7.5m이고 두께가 0.23mm인 확장된 막(stretched membrane) 형태의 stainless steel로 이루어져 있다. 이러한 막은 거의 이상적인 포물면을 형성하기 위해 앞면의 물의 무게와 뒷면의 진공의 결합을 이용하여 그 탄성한계 이상으로 이미 확장되어져 있다. 막 앞뒤의 약간의 진공이 그 반사체 모양을 유지한다. 막 드럼(membrane drum)은 경사각의 변화에 따라 지구의 극축(polar axis)에 대해 추적을 할 수 있는 구조에 설치되어 있다.

V-160엔진은 하나의 압축 팽창 실린더 사이에서 생기는 160cm³(10in³)의 최고 부피를 가지고 630°C(1170F)에서 작동 기체로서 헬륨을 사용한다. 그리고 작동 기체의 압력을 4에서 15MPa(580에서 2200psi)로 변화 시킴으로써 엔진 출력을 조절한다. 이 엔진의 효율은 30%이고, 총 태양열-전기 변환 효율은 20.3%이다. 이러한 7.5m 시스템은 현재 6개가 건설이 되었다. 그 중 3개가 현재 스페인의 Almeria에 있는 Plataforma Solar에서 가동 중이며, 매일 작동되는 상태하에서 시스템의 장기 성능을 시험하고 있다. 또 다른 Schlaich dish/stirling 시스템은 독일의 Pforzheim에서 가동 중이고 나머지 두 개가 독일의 Stuttgart에 건설되어져 있다.

(나) Cummins Power Generation 7.5-kWe System

Cummins Engine Company의 자회사인 Indiana 주 Columbus의 Cummins Power Generation 주식회사(CPG)는 태양열 발전을 목적으로 free-position Stirling 엔진을 사용한 태양열 dish/Stirling 시스템을 세계 최초로 제작하고 작동시킨 곳이다. 이것은 액체 금속 히트 파이프를 사용한 흡수기의 최초 모델이 되었다. 이 시스템의 "개념 타당성(concept validation)"용으로서 5kWe의 순수출력을 가지는 3개의 시스템원형을 현재 시험중이다. 전기 생산 시스템의 경우 예상되는 순수출력은 7.5kWe가 될 것이다. CPG사는 이 3개의 원형 시스템 이외에도 여러 다른 지역에서의 시험을 위해 14개의 7.5kWe급 시스템을 생산할 계획이다. 그 시스템의 태양열-전기 변환 효율 목표치는 약 19%정도이다.

CPG-460 집광기는 space frame 상에 설치된 24개의 stretched-membrane facets으로 구성된다. 각각의 facet은 지름이 1.52m(5ft)이고 두께가 0.8mm인 aluminized polymer membrane이 원형 테두리 양면에 확장되어져 있다. 이러한 두 membrane 사이는 약간의 진공 상태가 유지되는데, 이러한 진공으로 인해서 형상이 거의 구형에 가까운 형태를 유지하게 해준다. 이 집광기는 극추적(polar tracking)시스템을 가지고 있다.

Sunpower 주식회사는 시스템을 위한 선형 교류 발전기가 장착된 9kWe급 free-position Stirling 엔진을 개발 중이다. 작동 기체는 629°C(1250F)의 헬륨이다. 엔진 housing에 장착된 선형 교류 발전기 때문에 이 시스템은 단지 casing을 통하는 전기적 연결만으로 완전히 밀봉되어질 수 있다. 유일하게 움직이는 두 부분은 출력 그리고 여과 피스톤이다. 시스템의 예상 수명 목표는 고장 간격이 평균 4,000 시간인 40,000 시간이다. 엔진/ 교류 발전기 효율 목표치는 33%로 이미 설정이 되었

다.

Cummins Power Generation 시스템은 Thermacore 주식회사에서 디자인된 히트 파이프 동공 흡수기(cavity receiver)를 장착하고 있는데 이것은 중간 열전달 유체로서 나트륨을 이용한다. 이 흡수기의 작동 온도는 675°C(1250F)이다.

(자) Aisin Seiki Miyako Island System

일본 Kariya사의 Aisin Seiki 주식회사 일본 정부의 New and Industrial Development Organization(NEIDO) Project하에서 NS30A 30kW급 엔진을 제작했다. 이것은 고정된 각도의 회전 경사판 구동 장치를 사용하는 4개의 피스톤 2중 작동 엔진이며 헬륨 기체를 사용해서 683°C(1260F)의 온도와 14.5MPa(1740psi)의 압력에서 작동한다.

Aisin사는 Okinawa 남서쪽 290km지점에 있는 Miyako Island에 전력을 공급하기 위해 3개의 dish/stirling 엔진을 제작 중에 있다. 집광기는 CPG-460 stretched-membrane dish 형태이다. 이러한 적용을 위해 Aisin사의 NS30A 30kW급 four-cylinder 고정 회전 경사판 운동형 엔진이 사용되므로 8kW로 하향 조정되어 사용될 것이다. 이러한 엔진은 태양광을 직접 흡수하는 튜브형 흡수기를 가지고 있다.

일몰 후와 흐린 날 전력 공급을 위해서 Aisin은 dish와 엔진, 교류 발전기 각각에 하나씩 색다른 전기 화학적 배터리를 가지고 있다. 일본 Meidensha Corporation에 의해 개발되어진 이 배터리들은 두 개의 펌프형 순환 루프와 탱크 저장형 루프를 가지고 있는 아연-브롬 배터리이다.

Miyako Island project외에 Aisin Seiki는 현재 우주 응용을 위해 디자인된 200W급 free-piston Stirling 엔진 원형을 시험하고 있다. Aisin사는 CPG-460 dish를 사용해서 Sophia-Antipolis 근처에 있는 그들의 프랑스 자회사인 IMRA에서 이 엔

진의 시험을 하고 있다. IAS-200 엔진은 하나의 모터로 작동되는 여과기와 각각의 선형 교류 발전기를 가지고 있는 두 개의 출력 피스톤을 부착한 free-piston Stirling 엔진이다.

마지막으로, Aisin사는 약 10W급 free-piston dish/stirling 발전기를 태양열을 이용한 경주용 자동차에 정착시켜 광전지 배열 출력을 돕게 했다.

(차) Stirling Thermal Motors 25-kWe Solar Power Conversion System

Stirling Thermal Motors 주식회사와 Detroit Diesel Corporation은 STM4-120 Stirling 엔진을 병합한 태양열 변환 시스템을 디자인하고 시험해왔다. STM4-120은 1800rpm에서 총 출력이 25kWe이고 히터-튜브 온도가 800°C를 나타낸다. 이러한 엔진은 다양한 태양열 집광기와 결합할 수 있다. [그림 1-6]에 보여지는 것처럼 이 시스템은 Sandia National Laboratory의 Test Bed Concentrator위에 장착되었다.

Stirling Thermal Motors의 태양열 변환 시스템은 가변적 출력 변위 제어 장치가 장착된 STM4-120엔진을 가지고 있다. 이 변환 시스템은 직접 반사광을 흡수하는 tube-bank 흡수기, 교류 발전기, 그리고 엔진 냉각 시스템을 포함하고 있다. 크기는 86cm×86cm×198cm(34in×34in×78in)이며 무게는 725kg(1600lb)이다. 이 엔진은 SAE #5 Flywheel Housings를 위해서 NEMA 284/286 단독형 베어링 발전기를 장착할 수 있다.

3. 국내의 기술개발 현황

3.1 국내 기술개발

최근에 국내외적으로 각광을 받고 있는 중고온 이용 산업용 태양열 시스템 기술 및 태양열 발전 시스템 개발은 기본적으로 성분별 및 파장별 일사량 자원에 의존한다는 점에서 이에 관한 자원

측정과 분석 연구사업의 필요성이 날로 증대되고 있다. 그러나 이에 대한 국내 평가자료가 전무하여 개발사업 자체가 지연되고 있는 등, 국내 태양에너지 자원평가에 대한 인식부족이 현재까지도 시스템 개발과 보급에 커다란 장애가 되고 있는 실정이다. 따라서 특정성분에 대한 보다 전문적인 평가, 분석을 통하여 태양열발전시스템 개발 분야에 실질적인 활용자료를 제공하고, 이들 자료를 이용하여 대체에너지 개발을 극대화하기 위한 해당 이용지역의 일사량 평가가 필요하다.

태양열 저온 이용기술에 대해서는 이미 많은 연구가 행하여져 왔고 최근 태양열 중온 이용기술 개발 연구를 통하여 반사경 및 PTC 집열기 등에 대한 연구를 행하므로써 태양열발전을 위한 기초를 구축하였으며, 태양열 일사량 데이터 수집시스템 구축에 대한 노하우(know-how)를 갖추는 등 기반연구가 이루어졌다. 현재 중온 집광시스템 개발을 위한 기초기술 기반연구가 진행중에 있다.

전국 일사량의 상세분석을 통한 국내 태양열발전 타당성 검토와 더불어 국적용가능한 Dish형 태양열발전 시스템 개발이 필요하다. 그리고 국내는 물론 해외로의 기술수출을 위한 Dish형 태양열발전 시스템 설계 및 제작기술의 확보도 필요하다.

또한 태양열 이용 광화학, 신물질 개발 및 우주산업 등의 고부가 첨단기술의 국내기반구축을 위해서는 Dish형 집광시스템의 개발은 절대적으로 필요하다. 태양열 발전용 집열기의 자동 운전 및 제어시스템은, 집열기의 기구학적 설계 기술과 더불어 태양열 발전시스템의 핵심기술을 확보하는데 중요한 역할을 수행할 것으로 생각된다. 이 연구는 Parabolic Dish형 태양발전시스템을 위한 Parabolic Dish형 집열기의 태양추적 장치의 개발과, 이의 정상 운전 및 안전 운전을 위한 자동제어시스템의 개발을 목적으로 한다. 이미 언급한

것과 같이, 미국 등 기술 선진국에서의 이와 같은 시스템은 이미 실용화 단계에 이르고 있으나, 국내의 경우, 극히 초보적인 연구단계에 머무르고 있는 분야이며, 아울러 외국으로부터의 직접 기술도입 조차 대단히 어려운 상황에 처해 있는 분야이다. 바꾸어 말해서 외국에서 일부 상용화되어 국내로 반입 가능한 태양열 발전 시스템의 경우, 시스템의 운영 및 제어에 관한 부분은, 집열기의

구조 등과는 다르게, 외형으로 공개되어 있지 않은 부분이며, 따라서 국내기술로서 개발되어야 하는 핵심기술중 하나이다.

예상되는 국내에너지 수요의 급격한 증가와, 이를 충족시키기 위한 태양열 응용 시스템의 개발은 국내 에너지원의 자급자족 측면에서 대단히 중요한 역할을 담당할 것으로 기대된다. 특히 태양열 발전시스템의 국산화는, 예상되는 국내 에너지 수요의 국산화뿐만 아니라, 국내 에너지 자급 기술의 확보를 위해서도 대단히 중요한 의미를 갖는다.

32 국외 기술개발

이미 선진국들에서는 태양열발전 연구에 상당한 투자를 하여 왔기 때문에 일부 응용시스템은 실용화를 목적에 두고 있는 실정이다. 태양열발전은 동일 발전량을 기준으로 볼 때 효율면에서 태양전지보다 2배 이상인 것으로 밝혀져 있다. 따라서 선진국가들은 태양열 발전시스템의 각 요소 기술에 대한 연구가 적극적으로 진행되어 왔음에도 국내에서는 잘못된 인식, 전문가 부족, 정부지원의 미흡 등으로 연구가 전무한 실정이다.

미국을 비롯하여 독일, 스페인, 이스라엘, 일본, 이태리, 프랑스, 호주 등에서 연구가 수행되었으며, 미국에서 가장 활발하게 연구가 이루어져 오고 있다. 지금까지 태양열발전을 위한 연구는 지

난 10여년 동안 집열기 부분에서 대단한 발전을 하여 헬리오스타트 등을 비롯한 많은 경우에 있어서 건설단계 절하를 이룩하였으며, 세계적으로 총 10~20MWe 정도까지 낼 수 있는 발전시스템이 완공되어 시험되어 기술적 가능성은 이미 확고히 증명되었다. 1980년대에는 고온형 중앙집중식과 중온형 PTC 및 CPC형이 개발되었으며, 미국 NREL에서는 DOE 주도하에 Dish형 개발에 주력하고 있다. 미국에서는 상업발전을 계속적으로 시도하여 캘리포니아 LUZ SEGS(Solar Electric Generation System) I-IV를 건설, 발전중에 있으며, 계속하여 SEGS V-XVII를 계획, 설계하고 있다. LUZ 플랜트의 경우에는 미국 정부와 캘리포니아주가 전기매입 계약을 맺어 구매하고 있으며, 세금 특별혜택 등으로 향후 경제성 전망이 밝다

고 보고되고 있다. 1995년 Sandia National Lab.에서는 Cumming사와 공동으로 20kW급 Dish형 태양열 발전시스템을 완성, 설치하였으며 향후 1997년부터는 50kW급까지 상용화할 계획에 있다.

태양열 발전시스템은 선진국가에서는 이미 상업화가 되고있을 정도로 집열기 및 집중식 수집기에 대해서는 연간 성능특성, 신뢰성, 가득성, 성능퇴화, 기대수명 및 작동인력 등을 포함한 보수, 유지문제까지 거의 완벽한 데이터가 수집, 확보되어 있는 것으로 알려져 있다. 예를들면 집열수단 및 발전기중에 대해서는 1~2kWh/(m²·day)의 경우 접시/스터링 단위가 좋고, 3~4kWh(m²·day)의 경우에는 파라볼라 통식이 바람직하며, 4~5kWh(m²·day)급에는 중앙집중식 발전형이 알맞다고 보고되고 있다.

1950년대 이후 미, 일 등 선진국은 자국의 대기환경을 보다 정확하게 평가하기 위하여 전국적인 측정네트워크를 구성하여 운영해 오면서 측정장치와 자료의 분석기술을 꾸준히 연구개발하였다. 특히, 지난 20여년간에는 태양에너지 자원조사와

더불어 이를 응용한 일사량 측정을 통한 대기오염 분석을 연구논문도 수없이 발표되어 왔다.

미국의 경우에는 1960년대 급속한 산업의 발전과 도시화로 대기오염이 심각해지자 개발된 태양에너지 이용기술을 활용하여 국내 일사량 측정망을 새로이 정비하고 국내 대기환경의 정밀 측정사업에 착수하였다. 즉, 1988년 전국 39개소에 전일사량(Global Radiation) 및 직달 일사량(Direct Beam Radiation)을 동시에 측정하여 일사량 뿐만 아니라 대기청명도와 대기투과율을 분석하는 등 대기환경 변화 등에 따른 일사량 분석을 보완키 위한 실측사업을 강화하였다. 따라서 현재는 기존 대체에너지연구소 산하의 측정망에 의하여 측정활동이 계속되고 있으며, 이 분야에 대한 연구개발은 대기의 조건 혹은 기타 특수한 상황변수들에 의한 일사량에 변화 등 주로 전문적인 분야에 치중하고 있다.

3.3 IEA Solar PACES Program

Solar PACES 프로그램은 태양열 발전 및 태양화학에너지 시스템 분야의(Solar Thermal Power and Chemical Energy System) IEA(International Energy Agency) 사업으로 1977년 소규모 태양열 발전 시스템(SSPS : Small Solar Power System) 개발을 위해 10개국이 참여하여 시작되었다.(오스트리아, 벨기에, 독일, 영국, 그리스, 이탈리아, 스페인, 스웨덴, 스위스, 미국)

SSPS그룹은 1단계로 2개의 500kWe급 태양열 발전소를 설계하고, 2단계로 스페인 남부 알메리아(Almeria)에 2개의 발전소를 건설하고 운영에 들어갔다.

1983년과 1984년에 태양열 발전소의 건설 및 운영이 기술적으로 타당하고 입증되었거나, 상업화를 위해서는 보다 실용적인 연구와 개발이 필요하였다. 더욱이 태양열을 공정열이나 화학에너지

로 전환해야 하는 필요성이 대두하였다. 1, 2단계를 바탕으로 3단계에서는 오히려 연구개발호 되돌아가 저장, 집열기, 태양연료 및 화학, dish/stirling 시스템 등 특정 목적에 연구가 집중되었다.

1990년에 IEA REWP(Renewable Energy Working Party)이 SSPS사업의 성공을 확인한 후 1991년부터 몇 개국(러시아, 이스라엘, 호주)이 추가로 참가하여 제4단계 계획에 돌입하였으며, 동시에 프로그램 이름도 SSPS에서 Solar PACES로 바뀌었다. 제4단계에서는 실험실수준의 소규모 태양열 발전소에서 거의 상업용 대형발전소와 이를 위해 아직 수행해야 할 연구 분야를 포함하는 광범위한 태양열 응용 분야로 확대되었으며, 현재 연구개발 분야에서 산업 및 작용분야에서의 시범실증 실험단계로 계획되고 진행되고 있다.

Task I : Solar Thermal Electric Power Systems

Task II : Solar Chemistry Research

Task III : Solar Technology and Application

· Task I : 시스템 개발

Task I는 2개 분야의 주요목표를 가지고 있다.

1) 분배형(Dish) 태양열 발전 시스템의 개량
분배형 시스템의 목적은 2000년까지 독립형 7.5kw dish/stirling 시스템 개발 및 연계형 25kw 시스템의 상업화이다.

2) 개선된 집중형(Tower) 태양열 발전 시스템의 개발 및 시험

집중형 시스템은 PTC의 운전 유지비의 감소와 첨단 열전달 기술을 포함한 Tower의 대규모 시스템의 입증등이 목표이다.

· Task II : 화학공정에서의 R&D

태양화학 분야는 현재 태양열 발전보다 앞서있다. 이 분야의 태양에너지를 장기저장과 먼 거리 수송이 될 수 있는 화학에너지로의 전환이다.

· Task III : 부품개발

여기서는 Task I, II를 위한 필수적인 부품, 장비, 지원도구 등을 제공하는 것이다. 이것은 부품과 Subsystem의 개발, 시험 및 실증을 포함한다.

; 집광장치, 집열기, 축열조, 시험장비 및 시설, 측정장치 및 기술, 이론치 및 시뮬레이션 값의 DB, 평가방법, 평가기준

보약이 되는 음식 이야기 3

뇌세포를 활발하게 하는 호두



* 호두가 뇌세포를 활발하게 하는 건뇌식품(健腦食品)이라는 것을 아는 사람은 적다. 신경쇠약인 경우에는 매일 2개씩 3개월 정도 먹으면 되고, 불면증이 있는 사람은 매일 3개씩 1개월 정도 먹으면 효과가 나타난다고 한다. 호두로 만드는 영양식 호두라크 만드는 법을 소개하면 호두를 까서 내피를 벗기고 물에 불린 쌀과 같이 갈아서 설창을 넣고 끓여서 죽을 만드는 것인데,

이 호두죽은 머리를 맑게하고 피부를 아름답게 하며, 머리털이 빠지지 않고 윤기있게 하는 효과가 있다. 호두는 기억력을 좋게 해주기 때문에 시험준비를 하는 자녀들에게 간식으로 줄만하다.