

태양열발전 실증설비 개발 현황

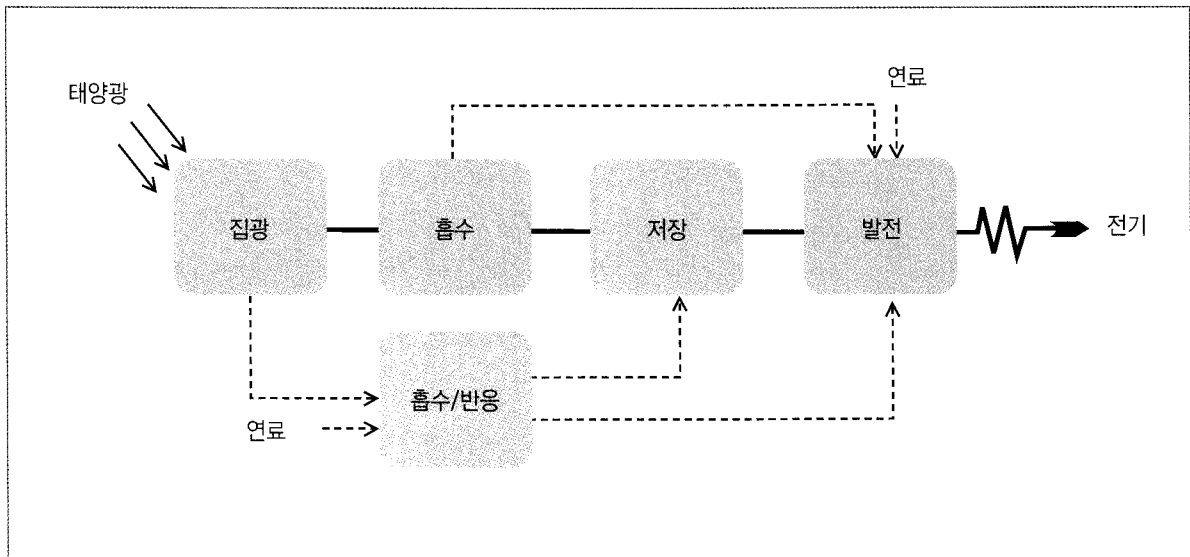
- 국내 · 외 사례를 중심으로 -



강용혁
한국에너지기술연구원
신재생에너지연구본부 본부장

국내 태양열 발전 분야 연구는 1994년부터 한국 에너지기술연구원에서 시작되었으며 현재까지 이어져 오고 있다. 이미 상업화에 접어든 온수, 냉·난방 분야 태양열과 구별되는 의미로 국내에서는 고온 태

양열 분야 또는 집광형 태양열분야로 명시되며 세계적으로는 CSP(Concentrated Solar Power)로 통용된다. 태양열 발전기술은 태양광을 집광하여 획득한 고온의 열을 이용하여 전력을 생산하는 기술로서 그



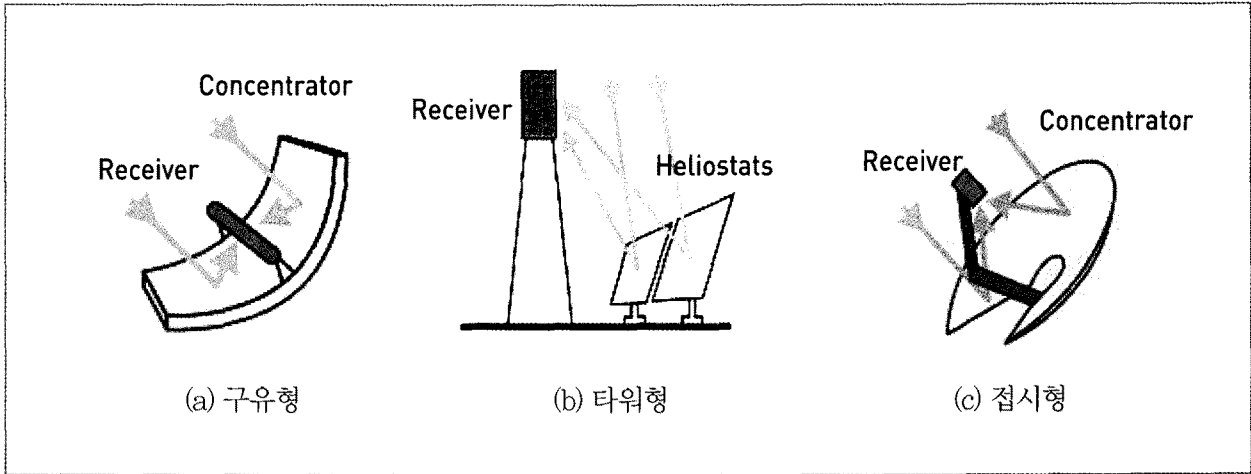
[그림 1] 태양열발전 기본 구성

림 1과 같이 집광, 흡수, 저장, 발전을 담당하는 기기로 구성된다.

집광은 주로 유리를 이용한 반사판으로 유리 자체가 곡률을 가지고 집광하는 형식과 여러 평면유리에서 반사한 태양광을 중첩시켜 집광하는 방식으로 나뉜다. 또한 저장이라 함은 태양열을 이용함에 있어 가장 문제가 되는 비연속적인 에너지원 공급 문제를 해결하고 24시간 가동을 위한 장치로서 향후 화석연료에 의한 발전설비를 대체하기 위해 열을 저장하고 필요시 전력을 생산하는데 이용하는 장치이다.

이와 같이 구성되는 태양열 발전은 그림 2와 같이 접시형(Dish), 구유형(Parabolic Trough), 타워형(Tower)의 3가지 형태로 나뉜다. 접시형은 접시형태의 반사면에 도달하는 태양광을 집광하여 외연기관인 스텔링 엔진(Stirling Engine)에 열을 보내 발전하는 형태로서 Dish-Stirling 시스템이라 한다. 접시형 태양열발전은 분산형 발전시스템으로 세계적으로 10kW, 25kW급이 있으며 현재 상업화를 목전에 두고 있다. 구유형과 타워형은 대규모 발전시스템

으로 랭킨사이클(Rankine Cycle)을 형성하며 증기 터빈을 구동하여 전력을 생산하고 있다. 구유형은 1984년부터 미국에서 상업운전을 시작하였으며 하나의 단위 플랜트가 약 50MW 규모로 현재 세계적으로 가장 많이 설치되고 있는 발전형태이다. 이는 기술적으로 완성단계라고 할 수 있는 시스템으로 태양의 방위각만을 추적하여 구유형의 반사판에 도달하는 태양광을 선 형태로 집광하여 최대 약 400℃의 열을 획득, 발전할 수 있다. 타워형 태양열발전 시스템은 태양의 고도와 방위를 추적하는 반사판(Heliostat)이 태양광을 집광/반사하여 타워의 높은 곳에 태양광을 모아 작동유체 온도를 250~1000℃ 까지 높일 수 있다. 타워형 태양열발전의 경우 구유형과 달리 기술적으로 개발 중에 있으며 상업발전은 2007년에 11MW규모로 시작되었다. 태양을 2축으로 추적하여 구유형에 비하여 높은 온도를 획득할 수 있어 발전 시스템 측면에서 효율을 높일 수 있으며 열을 저장하여 활용할 수 있는 범위가 넓다. 따라서 현재 상업 진입시기에서 구유형 보다 늦지만 향후 기술개발에

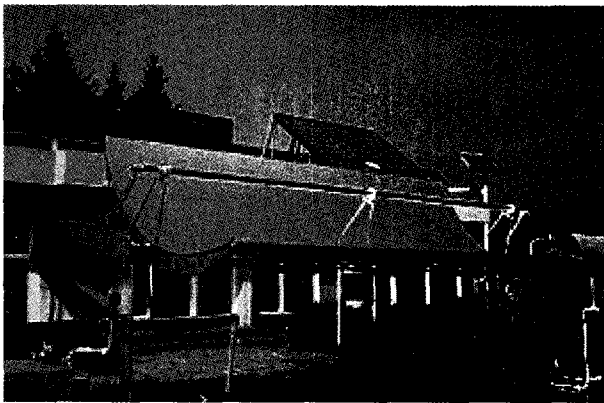


[그림 2] 태양열발전시스템 종류

따른 상업화 활용가치는 높다고 할 수 있다.

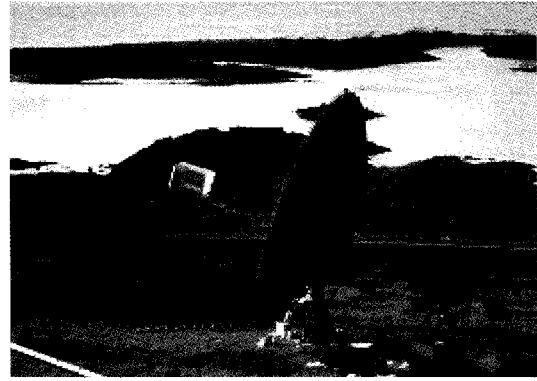
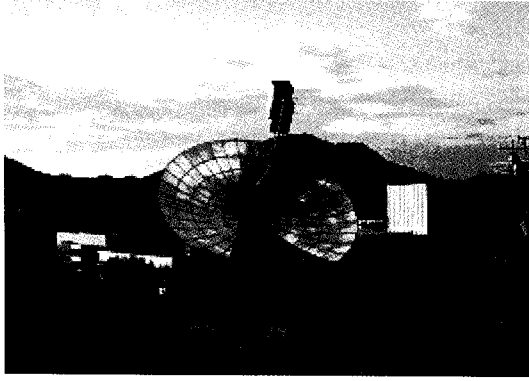
1994년부터 1999년까지 2단계로 구유형 태양열발전 분야 기술개발이 시작되었으며, 최초에는 구유형 반사경의 설계, 1축 태양추적 제어기술개발 및 고온의 태양열을 이용한 증기 생산 및 비독성화(Detoxification) 연구를 시작하였다. 이를 바탕으로 국내에서 구유형 반사판에 대한 기술을 획득하였다.

다음 단계로 접시형 집광시스템에 대한 연구를 1996년부터 2003년까지, 접시형 발전시스템에 대한 실증연구를 2003년 이후 진행하고 있다. 집광시스



[그림 3] 한국에너지기술연구원에서 개발한 구유형 반사판

템은 접시형 반사판, 태양추적 제어시스템 및 열흡수기를 포함한 기술이며 접시형 발전시스템은 집광시스템에 발전엔진인 스테링 엔진을 장착하여 전력을 생산할 수 있는 설비를 말한다. 초기 집광시스템 개발 당시 집광면적이 11.7m²에서 36m²로 증가하였으며, 현재 발전시스템은 전력용량 10kW급 스테링 엔진을 사용하기 위하여 집광면적을 42m²로 확장하였다. 접시형 발전시스템은 국내 태양열발전 시스템 중 가장 상업화에 근접해 있는 시스템으로서 2006년 실증운전 당시 독일 SBP사의 SOLO V-161 스테링 엔진을 장착하여 최대 발전효율(Solar-to-Electricity) 19.2%를 달성하였다. 이후 무인운전 능력, 운전 제어능력 및 모니터링 성능 향상 등을 보완하여 현재 가동 중에 있다. 최대 발전효율 약 21%까지 획득하였으며, 이러한 성과와 운전경험을 바탕으로 현재 국내에서 상업화를 준비 중이다. 현재 접시형 발전설비에 사용하고 있는 스테링 엔진은 세계적으로 25kW급(미국), 10kW급(독일), 3kW급(미국), 3종류가 생산되고 있으며 10kW급은 SOLO 엔진 1종류가 생산되고 있다. 따라서 엔진을 제외한 집광시스템은 100% 기술자립에 성공하였으나 아쉽게도 전



[그림 4] 한국에너지기술연구원에서 개발한 접시형 태양열발전시스템
(왼쪽부터 대전(에기연), 제주도(에기연) 설치 전경)

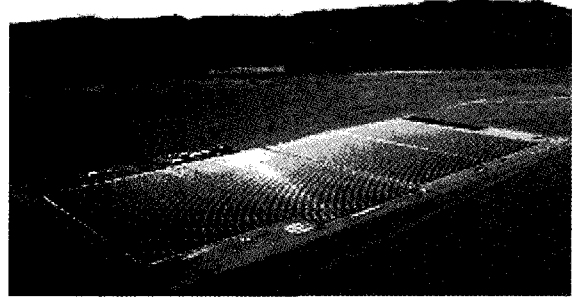
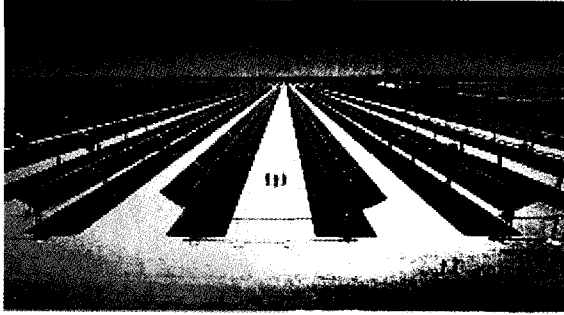
체 발전시스템의 기술자립은 성공하지 못하였으며 전체 시스템에 대한 국산화를 위해서는 엔진개발이 필수적이다. 현재 국내에서 태양열발전용 10kW급 엔진을 개발 중에 있으며 향후 전체 시스템에 대한 기술이 확보될 전망이다.

타워형 태양열발전시스템에 대한 연구는 2006년부터 한국-중국 국제공동연구를 시작으로 진행 중에 있다. 이는 중국서부의 높은 일사량을 이용하려는 중국정부의 태양열발전 진흥 정책에 부응, 향후 예상되는 중국시장 진출을 목적으로 양국 정부의 합의하에 1MW급 규모의 발전플랜트를 중국 북경에 건설하고 있다. 국내에서는 태양열발전시스템의 요소설비인 흡수기와 저장기를 설계/제작하고 중국에서는 부지조성, 집광시스템 및 발전시스템을 설치하여 전체 태양열발전 플랜트를 운전함으로써 기술개발과 실증설비에 대한 노하우를 취득하고 향후 관련 분야 기술개발의 시험설비(Test-Bed) 역할을 기대하고 있다. 그러나 이러한 설비의 필요성이 국내에도 요구되며 향후 독자기술 개발과 높은 일사량 지역으로의 수출 가능성이 예상됨에 따라 2008년 대구도시가스 주관인 전략기술개발과제로 200kW급 태양열발전

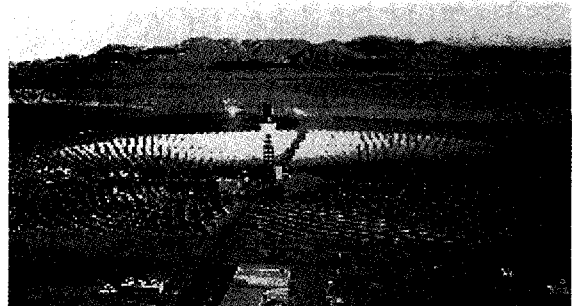
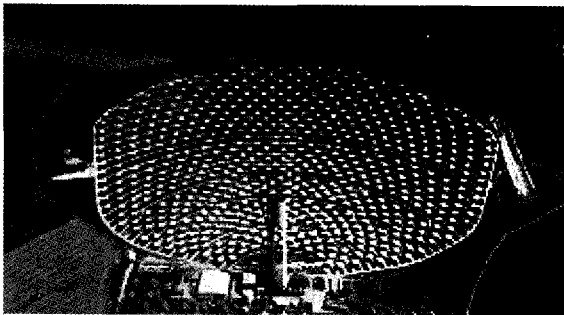
태양열 발전은 접시형, 구유형, 타워형의 세가지 형태로 구분

설비의 기술개발과 실증연구가 시작하였다. 2년 10개월의 연구기간을 거쳐 2011년 완료 예정으로 진행 중에 있다.

Green peace 2009년 보고서(Concentrating Solar Power: Global Outlook 09)에 의하면 현재 발전중인 태양열발전 플랜트의 총 용량은 543MW 이고 건설 중인 플랜트의 용량은 954MW, 향후 건설이 제안된 플랜트는 7,463MW 규모로 밝히고 있다. 현재는 주로 미국, 스페인 등에서 주로 운전 중이거나 건설이 예정되어 있지만, 향후 북아프리카, 중동, 중국 등 높은 일사량 지역에서의 태양열발전의 확대가 예상됨에 따라 향후 건설 규모는 더욱 확대될 것으로 기대하고 있다. 현재는 태양열발전시장이 형성되었다고 할 수 없는 상황이며, Green peace의 보고서에 의하면 2010년 이후 본격적으로 시장이 형성될 것으로 예측하고 있다. 2015년 세계 태양열발전 누적용량이 29 GW, 2050년까지는 1,000 GW 규모에 이를 것으로 예상하고 있다. 따라서 2015년경부터



[그림 5] 구유형 태양열발전 플랜트
(좌: 354 MW SEGS 플랜트, 우: 64 MW Nevada Solar One 플랜트)



[그림 6] 타워형 태양열발전 플랜트
(좌: 10 MW PS-10 플랜트, 우: 20 MW Solar Two 플랜트)

2025년 부터는 석탄화력과 동등한 경쟁력 확보 예상

대규모 시장을 형성하여 2025년부터는 석탄화력과 동등한 경쟁력을 가질 것으로 전망된다.

2009년 중동/북아프리카(MENA, Middle East and North Africa), 유럽(EU)의 나라들이 규합하여 신재생 에너지 산업, 특히 CSP 산업 육성에 중점을 두고 개발하는데 그 목적을 두고 정치, 사회, 산업, 지역의 구분을 넘어 DF(Desertec Foundation)을 창

립하여 Desertec 프로젝트를 진행을 시작하였다. 기후적 자원이 풍부한 중동 및 북아프리카 지역에 발전 플랜트를 건설하여 국가적 수익을 창출하고 유럽 각 지역과 전력 계통을 연결하여 전력을 공급하는 사업으로 MENA지역과 유럽 간의 전력은 고전압 직결 전송 방식을 응용한 HVDC(High Voltage Direct Current) 시스템을 이용할 예정이다. 그리고, TREC (Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation) 네트워크를 구성하여 각 참가국 및 참여업체 간의 정보 교환, 자금운영, 기술교환 등을 원활하게 추진하고 있다. 2050년까지 MENA 지역에서 생산된 전력을 2.5~5GW의 HVDC 전송시스템을 통해 연간 700 TWh의 전력을 공급할 예정이다.(그

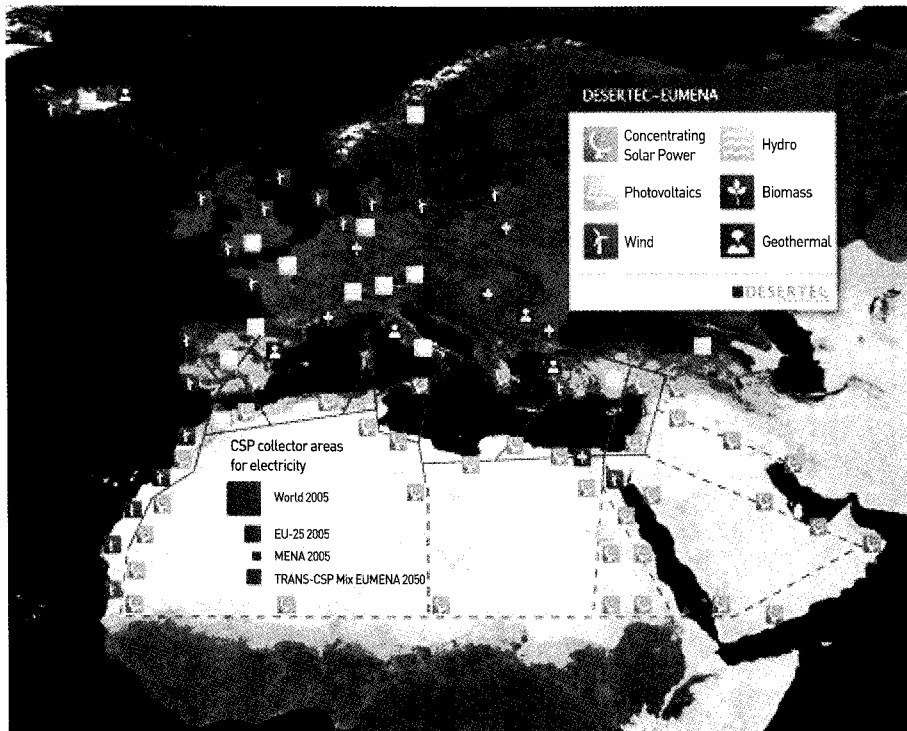
지역	참가국수	참가국
중동, 북아프리카	11	알제리(Algeria), 바레인(Bahrain), 두바이(Dubai), 이집트(Egypt), 이란(Iran), 요르단(Jordan), 리비아(Libya), 모로코(Morocco), 팔레스타인(Palestine), 튀니지(Tunisia), 예멘(Yemen)
유럽	10	체코(Czech), 프랑스(France), 독일(Germany), 이탈리아(Italy), 네덜란드(Netherlands), 스페인(Spain), 스웨덴(Sweden), 스위스(Switzerland), 터키(Turkey), 영국(UK)
기타	2	호주(Australia), 파키스탄(Pakistan)

Desertec Project 참가국 현황

림 6 참조)

태양열발전 기술을 보유하고 있는 나라로는 미국, 독일, 스페인 등을 꼽을 수 있다. 미국의 경우, 켈리포니아 남부 모하비 사막지역에 연간 약 2,900 kWh/m²의 높은 일사량 지역을 보유하고 있어 기술과 시

장을 확보하고 있다. 스페인은 연간 일사량 2,000 kWh/m²로 비교적 양호한 일사량을 보유하고 최초의 태양열발전 차액지원제도를 실시하여 국가적으로 태양열발전 기술개발에 앞장서고 있으며 현재 진행 중인 전 세계 태양열발전 프로젝트에 스페인 기업



[그림 7] Desertec 계통도

○ Special Issues

이 다수 참여하여 상업적인 성공을 거두고 있다. 독일은 우리나라와 유사한 일사조건에도 불구하고 이미 오래전부터 자국 내 또는 스페인에 건설된 1.2MW급 실증설비를 이용하여 태양열 발전기술을 개발하였으며 세계적인 수준에 도달하였다. 현재 1.5MW급 태양열 발전 실증플랜트를 독일 내에 건설하였고, 향후 기술개발에 활용할 계획을 가지고 있으며 다수의 독일 기업이 태양열발전 분야에서 활동하고 있다. 독일의 경우와 같이 우리나라가 빈약한 태양열 자원

에도 불구하고 국내 기술개발과 실증을 지속적으로 추진하는 것은 태양열발전이 아직 시장이 형성되지 않은 몇 안되는 신재생에너지 분야로서 국내 기술개발 속도에 따라 미래의 막대한 시장에서 경쟁할 수 있기 때문이다. 이와 더불어 우리나라는 세계적인 발전플랜트 기술을 보유한 다수의 기업이 있고 높은 일사지역인 중동 등지에서 많은 프로젝트를 수행해온 경험을 가지고 있어 태양열 발전 기술개발에 따른 플랜트 수출 전망이 기대되고 있다. KEA