

국내의 태양열발전 기술개발 동향 및 설계

강 용혁¹⁾, 김 진수²⁾, 김 종규³⁾, 이 상남⁴⁾, 유 창균⁵⁾, 윤 환기⁶⁾

Design and Development Trends of Solar Thermal Power Generation in Korea

Yong-Heack Kang, Jin-Soo Kim, Jong-Kyu Kim, Sang-Nam Lee, Hwan-Ki Yoon, Chang-Kyun Yu

Key words : solar thermal(태양열), power generation(발전), Dish(접시형), PTC(구유형), Power Tower(타워형)

Abstract : KIER have been developing high-temperature solar technology, especially the solar thermal power generation system, since the early of 1990s. In 1994, the first research on high temperature solar technology started with PTC technology. At the moment the most advanced 10kW dish system is under demonstration for 10kW solar thermal power generation. Test results showed about 19.2% solar to electricity average efficiency. Another research activities of KIER is hybrid power generation. For hybridization, solar and LFG(landfill gas) are used. Another hybrid solar system is with solar chemical reaction. In this system, power unit is gas turbine, and the heat content of fuel(like natural gas) is upgraded by solar energy through chemical reaction. The latest project on solar thermal power generation is for 1 MW power tower system. This is the Korea-China Joint project.

1. 서론

전 세계적으로 IEA SolarPACES를 중심으로 태양열발전이 개발 보급되고 있는 시점에서 국내의 경우 태양열발전에 관한 연구는 아직 개발단계이며 상용화 설치된 예가 전무한 상태이다.

신재생에너지 발전의 여러 형태가 국내에서 보급되고 있는 실정에서 전력계통 및 운전기술은 어느 정도 활용이 가능하나, 태양열발전이 전무한 국내 실정에서 연구개발과 병행하여 태양열발전 운전의 데이터 수집 및 분석, 연간 발전량 예측 및 장기성능평가 등이 절대적으로 필요하다.

본 논문에서는 지난 약 10년 이상 연구개발되어온 국내 태양열발전의 기술 동향과 현황을 소개하고자 한다.

2. 태양열발전 기술 개요

태양열 발전은 일사된 태양복사에너지를 고비율로 집광하여 회수된 고온(250~1200℃)의 열에너지를 이용, 발전설비를 구동하여 전기에너지를 얻는 것으로서, 대규모 태양열 발전설비는 기본적으로 집광, 흡수, 저장, 발전 시스템을 포함

하고 있다.

이때 전달된 고온의 태양에너지는 열에너지의 형태로 발전설비에 공급되어 직접 전기를 생산하거나 열함량이 증가된 연료 혹은 수소 등의 화학에너지를 생산을 위한 흡열반응의 열원으로 공급되어 발전을 위한 연료의 생산에 이용되기도 한다. 또한 발전방식 및 고온 태양열 연계방식에 따라

-
- 1) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부
E-mail : yhkang@kier.re.kr
Tel : (042)860-3518 Fax : (042)860-3739
 - 2) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부
E-mail : jnskim@kier.re.kr
Tel : (042)860-3549 Fax : (042)860-3739
 - 3) 한국에너지기술연구원
E-mail : rnokim@kier.re.kr
Tel : (042)860-3744 Fax : (042)860-3739
 - 4) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부
E-mail : snlee@kier.re.kr
Tel : (042)860-3223 Fax : (042)860-3739
 - 5) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부
E-mail : hkyoon@kier.re.kr
Tel : (042)860-3513 Fax : (042)860-3739
 - 6) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부
E-mail : ckyu@kier.re.kr
Tel : (042)860-3515 Fax : (042)860-3739

별도의 연료를 사용하는 복합시스템을 구축하기도 한다.

집광장치를 통하여 고온으로 집열된 태양에너지를 활용하는 응용분야는 다양한 형태의 집광방식에 따라 분류될 수 있는데, 각각의 집광방식이 가지는 특성과 한계로 인하여 획득 온도 및 활용방식이 결정되며 기존에 널리 사용되는 집광방식은 크게 4가지로 분류한다.

Parabolic Trough형 집광방식은 1축 방식의 태양추적이 가능한 Parabolic 곡면의 반사경을 통하여 300°C 내외의 열원을 얻을 수 있는 집광장치로 주로 스팀생산을 통한 태양열 발전설비에 응용되어지는 집광비가 10~30sun정도인 고전적인 집광 방식이다. Central Tower형 집광방식은 개별적으로 태양을 추적하는 수백개의 반사경(Heliostat)을 이용하여 중앙의 Tower에 집광을 행하는 방식으로 집광비는 300~1500sun정도이며 1500°C 이상 높은 온도의 획득이 가능하여 대규모 발전 및 화학반응에 응용되고 있다. 작은 집열면적으로 수천 sun의 고집광이 가능한 Dish형 집광방식은 스테어링엔진 등을 구동하는 소규모 독립형 발전시스템에 주로 응용되고 있다. 마지막으로 기존의 Central Tower형 집광에 반사경을 설치하고 이를 통하여 반사된 빛을 CPC라 불리는 2차 집광장치로 빛을 전달하여 보다 높은 초고온의 획득이 가능토록 하는 특별한 집광 형식으로 이때 CPC는 Tower에 직접 설치될 수도 있다.

3. 태양열발전을 위한 일사량

국내 연평균 1일 수평면 전일사량은 3,079 kcal/m²로 그 결과 남한면적(통계청자료 99,143 km²)의 태양에너지자원 부존량은 1.11×10¹⁷ kcal/Yr로 연간 111억 TOE의 석유에너지에 해당되며 태양에너지자원의 연간 가용량은 국토면적 중 임야와 하천면적 등을 제외한 사람이 살수 있는 거주지면적(30,870 km²)으로 계산하여 부존량 1.11×10¹⁷ kcal/Yr의 31.5% (35억 TOE)로 추정하고 있다.

일사 성분은 직달과 산란성분으로 구분되며, 태양열발전을 위한 일사량은 법선면 직달일사량만이 필요하다.

우리나라 주요 16개 지역에서 '90. 12 ~ 2004. 12 사이에 청명한 날 측정된 지역별 법선면 직달일사량의 연평균치를 살펴보면, 하루에 5.6 kWh/m² 이상의 법선면 직달일사량을 받는 비교적 큰 지역은 광주 일원의 남원분지 일대와 대전-청주를 잇는 대전분지, 그리고 역시 분지지대인 춘천과 -영주-포항을 잇는 일대임을 알 수 있으며, 그 중에서도 특히 대전지역은 하루에 6.0 kWh/m² 이상인 것으로 나타났다.

4. 국내 태양열발전기술개발

4.1 PTC형 태양열발전기술

1994년 고온태양열 이용기술에 대한 연구가 PTC를 국산화하는 연구로 본격적으로 시작되었다.

1단계(1994-1996) 연구에서는 국내 설계 및 제작 기술이 전무한 상태에서 외국 제품을 도입

하여 중온의 온수 생산 및 유독성폐기물 처리를 위한 시스템 운영을 통해 태양열 중온이용 기본 기술의 정착이 이루어 졌다.

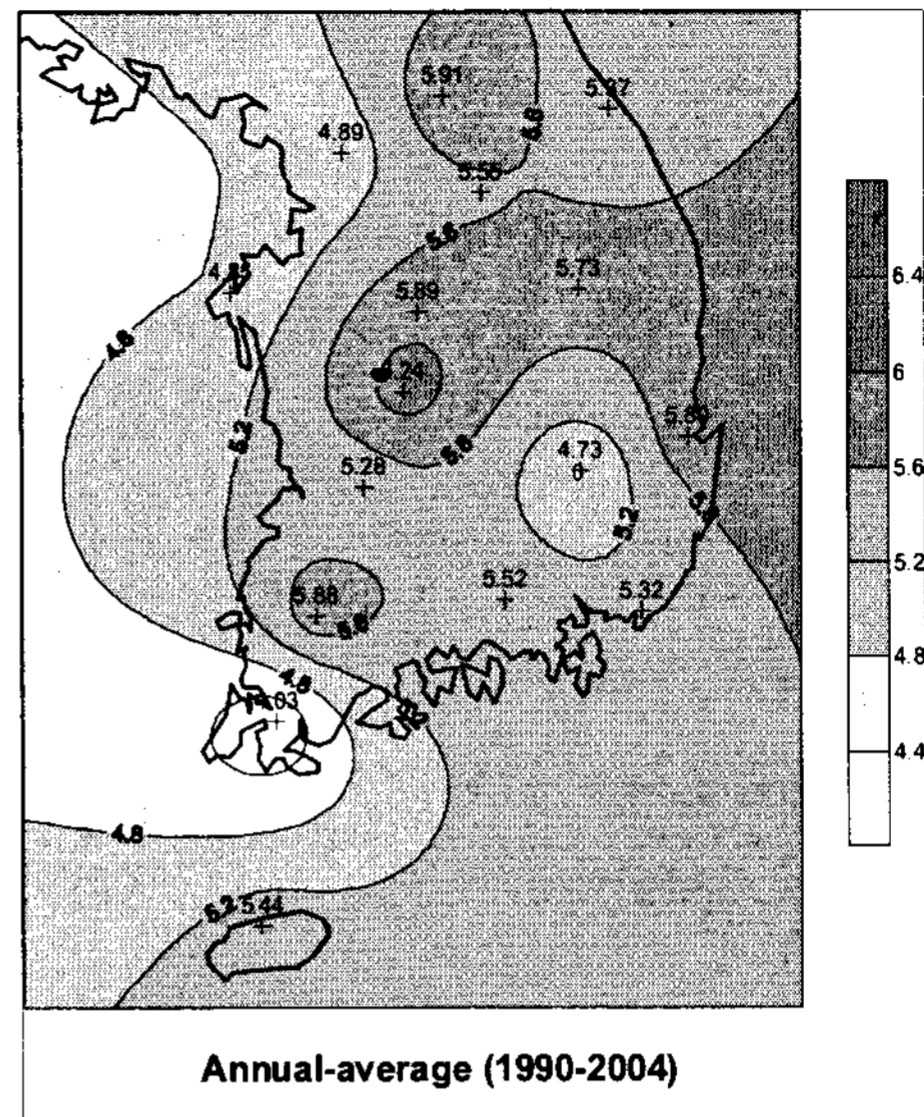


Fig. 1. 전국 연평균 1일 법선면 직달일사량 자원분포도 (kWh/m²/day)

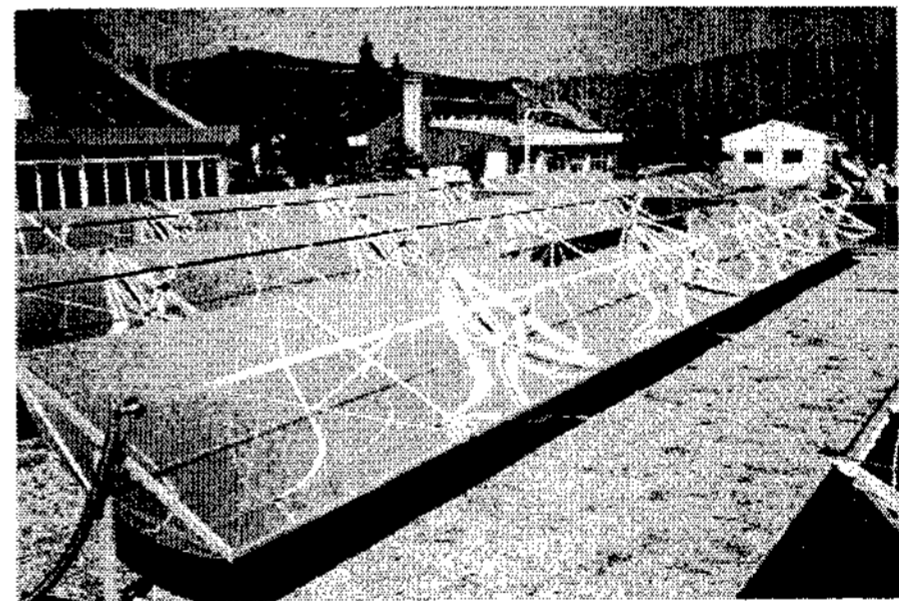


Fig. 2. 국내 최초로 설치된 PTC 시스템 (예기연, 1995)



Fig. 3. 국산화된 PTC 시스템 (예기연, 1998)

2단계(1997-1999) 연구에서야 비로소 PTC를 이용하여 산업이용(공정열)을 위한 증기생산 시스템

템을 설계 제작하여 성능시험을 완료하였으며, 이 과정에서 반사판 및 태양열추적(1축)기술이 국산화 되었다.

4.2 Dish형 태양열발전기술

본격적인 태양열발전 관련 연구는 1996년 Dish형 집광기 개발을 시발로 Dish-Stirling 발전시스템 실증까지를 완료하였다(2006).

1단계(1996-1999) Dish형 집광기 개발에서는 초점거리 2.2m인 1m 직경의 원형반사경 15개를 장착한 집광기를 개발하였다. 총반사면적이 11.7m²으로 시스템 용량은 3kWe이다. 이때 태양센서 및 2축 태양자동추적 시스템이 개발되었으며, 집광비 600이상을 실현하였다. 그리고 관련 특허 3건도 이때 출원되었다.

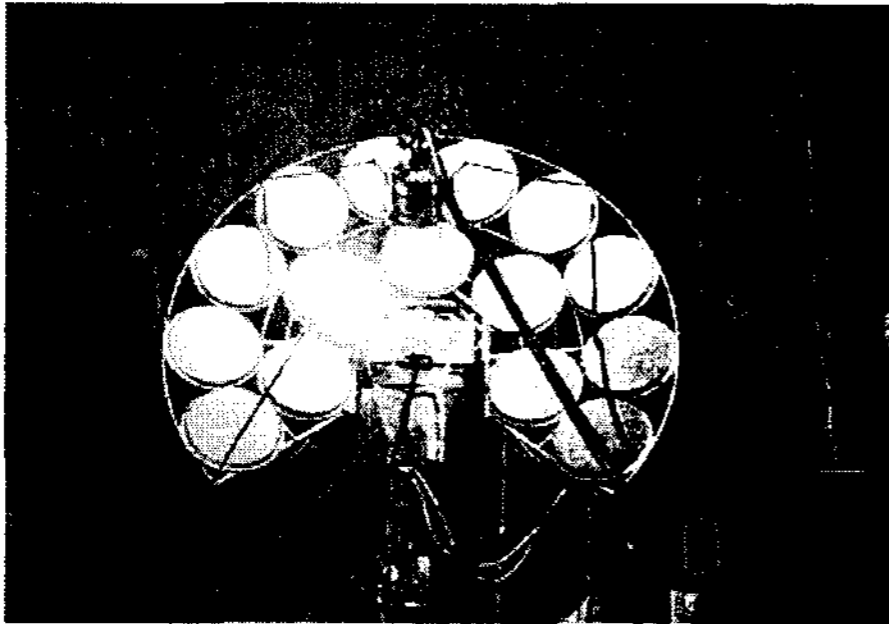


Fig. 4. 1단계 Dish형 태양열 집광기(1997)

2단계(2000-2003) 연구에서는 실용화를 위한 시스템 및 요소기술에 치중하여 기업이 참여하여 공동으로 기술개발을 수행하였다. 실용화 목표를 10kwe급으로 정하여 총 반사면적이 36m²이 되도록 하였다. 이를 위해 초점거리 4.4m인 반사경을 직경 8.2m가 되도록 타원형 곡면을 갖는 집광기에 설치하였다. 이때 집광기, 반사경, 흡수기, 구동부, 제어기 등이 모두 모듈화되어 실용화 준비를 완료하였다.

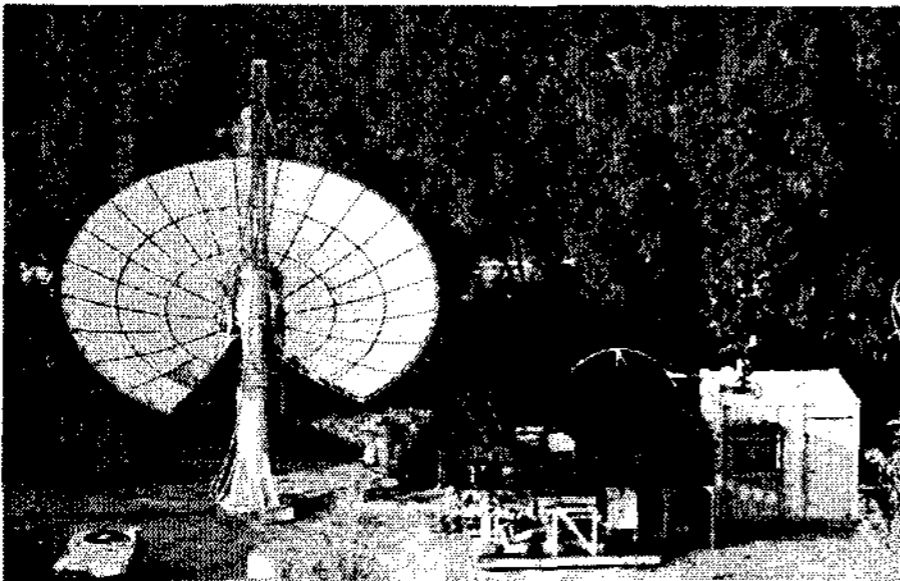


Fig. 5. 1단계 Dish형 태양열 집광기(1997)

3단계(2003-2007) 연구는 실증단계로 진해와 제주에서 진행 중이다.

새로 개발된 초점거리 4.8m인 반사판을 9m 직경의 집광기에 설치하여 총 반사면적 42m²를 확보

하여, 흡수기의 개구부 18cm안으로 정밀 집광을 실현하여 10kW급 스텔링엔진을 장착하여 국내 최초로 태양열발전을 실증완료하였다. 실증결과 지갈일사량 대비 19.2%의 효율을 확인하였다.

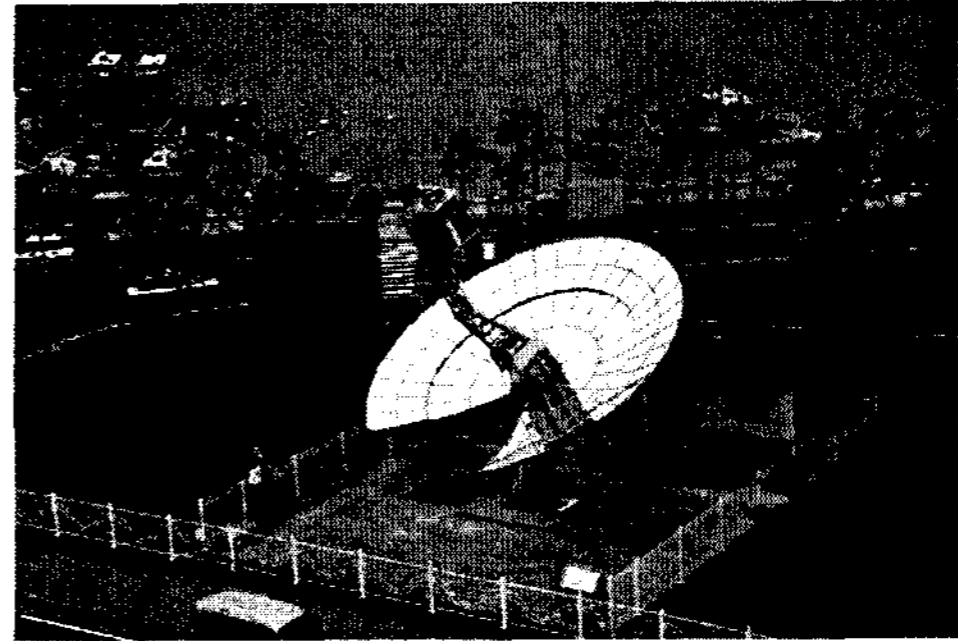


Fig. 6. 스텔링엔진을 장착한 Dish형 태양열 발전시스템(진해)

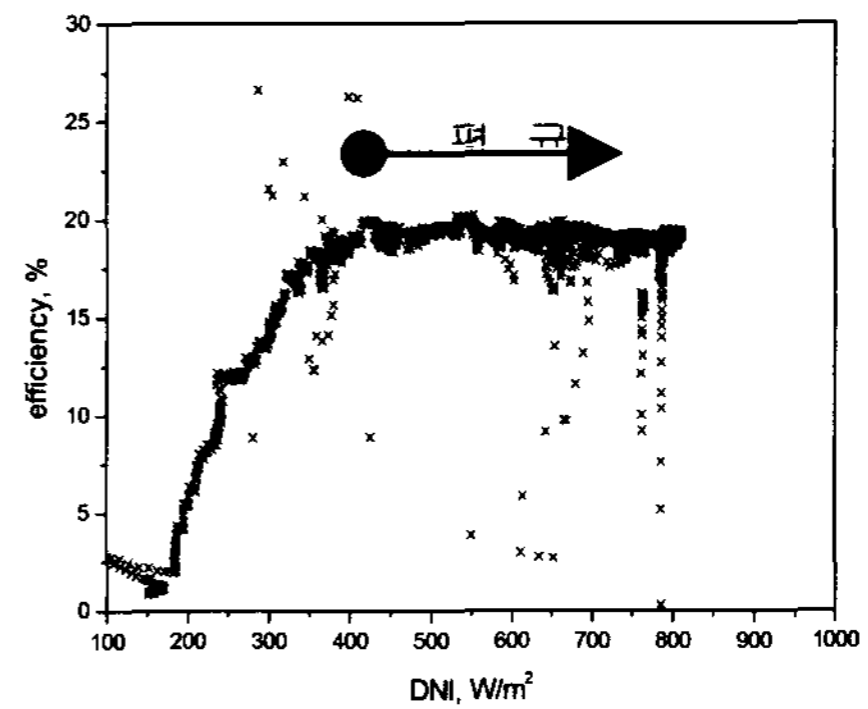


Fig. 7. 직달일사 조건에 따른 발전효율

4.3 LFG-태양열 복합발전기술

태양열발전의 단점인 불연속성을 보완하고, 실질적으로 현재 적용이 가능한 태양열 복합발전 연구는 다양한 방법들이 있다.

10kW급 LFG-태양열 복합발전(2004-2007) 연구의 핵심은 엔진 전면에 설치되는 흡수기 개발이다. 태양열과 연소열을 겸용으로 사용할 수 있는 흡수기로 히트파이프 흡수기를 개발하였다.

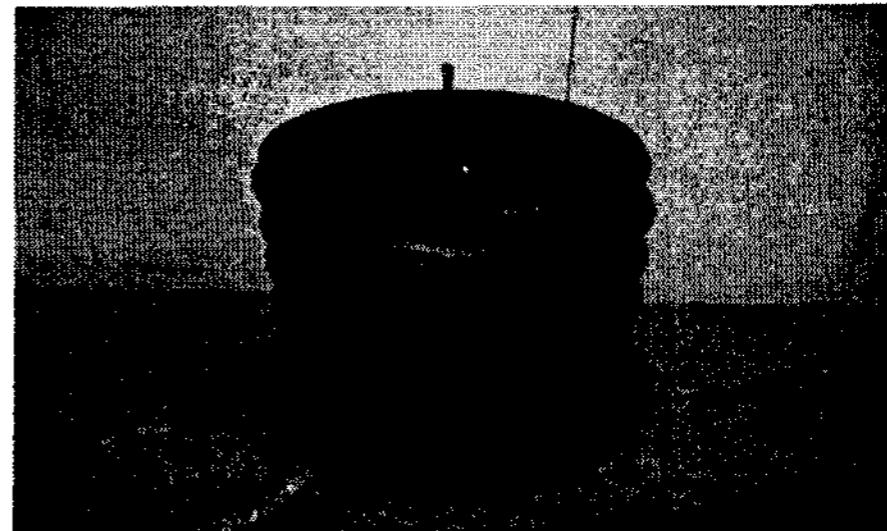


Fig. 8. LFG-태양열 겸용 히트파이프 흡수기

4.4 태양열 화학반응 복합발전기술

태양열과 NG(천연가스) 복합발전 기술개발(2004-2007)은 기존 가스터빈발전의 연료의 성능을 태양열을 이용하여 향상시켜 전체 발전효율을 높이는 연구이다.

이 연구를 통해 국내 최초로 heliostat가 개발되었으며, 집광기는 기존 개발된 접시형 집광기를 사용하였다. 헬리오스타트의 수평면 반사경은 저철분유리 후면에 알루미늄을 진공증착하여 총 120매(면적 약 80m²)를 6매씩 모듈화 하여 조립하였다. 60kw급 가스터빈의 태양열 기여분은 10kw이며, 집광기의 초점부에 설치된 화학반응기를 통해 메탄 리포밍이 이루어진 후 수고를 포함한 합성가스가 가스터빈으로 들어 간다.

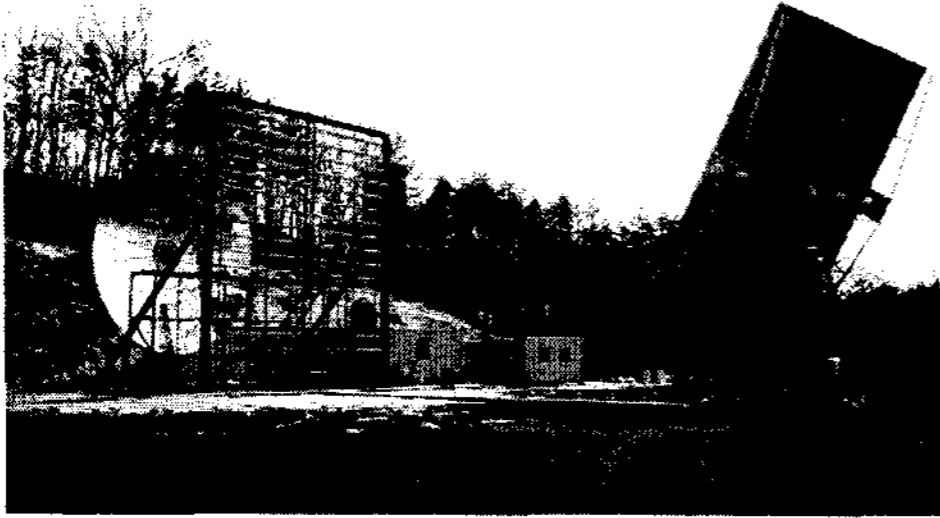


Fig. 9. 태양열 화학반응 복합 발전시스템(2006)

4.5 Power Tower 태양열발전기술

10여년간의 축적된 고온태양열분야 기술을 바탕으로 대규모 MW급 태양열발전 기술개발(2005-2009)을 아시아 최초로 한중 국제공동과제로 진행하게 되었다.

이 연구를 통해 1MW급 Power Tower형 태양열발전시스템을 개발하여 중국 만리장성 근처 연경에 설치하여 실증 운영하게 된다. 현재 시스템 해석, 고온 흡수기 개발, 고온축열, 자동제어 등의 요소기술 개발이 진행되고 있다.

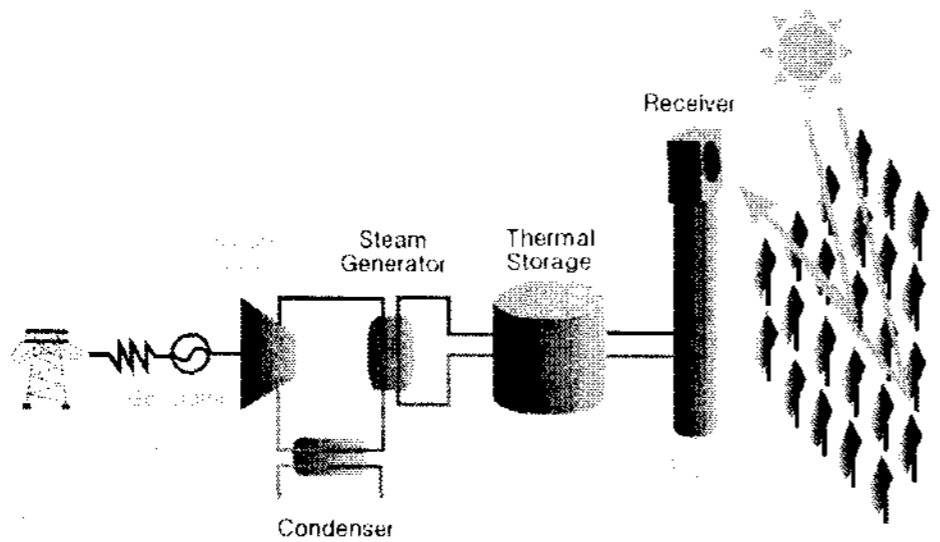


Fig. 10. 1MW급 Power Tower 태양열발전시스템 개략도

중국은 향후 수십년간 수 GW 급 태양열 발전 설비를 중국내에 구축하는 것을 목표로 삼고 있으며, 이를 위하여 단계적으로 2010 까지 1 MW

급, 2015년 까지 10 MW 급, 2020년 까지 500 MW 급 태양열 발전시스템을 구축하고자 하는 기본 계획은 가지고 있다. 또한 장치의 대규모화를 통하여 시설비 및 전력 단가가 경제성을 가지도록 하려는 구체적 목표를 가지고 있다. 현재 진행하고 있는 공동연구의 성공적 수행 이후, 약 5백억 원 ~ 1조원의 설비투자가 필요하게 되며 한국측이 기득권을 가질 수 있는 분야의 규모는 전체 설비투자의 약 40%에 이를 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결론

본 논문에서는 국내 태양열발전 기술개발 현황에 대하여 간략하게 소개하였다.

2020년 이후 태양열 발전이 일정한 수준의 경제성을 확보하게 되면 태양열발전이 가능한 세계 각 지역에서의 대규모 발전설비 구축이 본격화 될 것이며 1 GW급 발전설비당 약 2조원이라는 대규모의 시장(발전설비 구축 시장만을 고려할 경우)이 형성될 것으로 예상된다.

전 세계의 태양열발전 기술개발 및 상업화의 현재 상황을 감안할 때, 기술력 확보와 공동연구 등을 통한 잠재시장의 보유라는 유리한 여건은 향후 국제사회에서의 시장경쟁력 확보를 용이하게 하는 주요한 인자가 될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단의 연구비지원으로 수행되었음.

References

- [1] 강용혁, "재생에너지기술", 에너지-환경기술총서 06-2, 2006.4, 태양열발전기술, pp 53-90
- [2] 강용혁 등, "Dish형 태양열집광시스템 실증연구를 위한 집열성능 특성 분석", 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 26, No.1, 2006.3
- [3] 조덕기, 강용혁, "국내 태양열발전단지 건설을 위한 법선면 직달일사량 자원 조사", 한국태양에너지학회 논문집, 2005.3.30, Vol.25, No.1, pp11-18
- [4] 김진수, 강용혁, "PROGRESS OF R&D EFFORTS FOR SOLAR THERMAL POWER GENERATION IN SOUTH KOREA", SolarPACES 13th International Symposium, Seville Spain, 2006.6.20
- [5] 강용혁, "The Present Status of Solar Thermal Power Generation in Korea and Future Plan for the Joint Project on the Field of Solar Thermal", 제6차 한중 신재생에너지 워크샵, 2006.7.6