

태양열 복합발전기술의 개요와 국내 연구개발 현황

김진수¹⁾, 강용혁²⁾, 이상남³⁾, 윤환기⁴⁾, 유창균⁵⁾

Solar Thermal Hybrid Power Generation: technology overview and state of the art in Korea

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

Key words : solar thermal(태양열), power generation(발전), CSP(태양열발전), hybrid power generation(복합발전)

Abstract : Solar thermal power generation is one of promising and well-proven ways to convert solar energy to electricity. Though it requires high initial cost for system construction and continuous efforts for maintainment, it is more positive in terms of efficiency than other solar power generation technologies. Moreover, solar thermal power generation allows additional benefits of cheap thermal storage and easy hybridization with other fossil fuel-driven power generation. Owing to these benefits, large scale solar thermal power generation technology is expected to be competitive to other commercial technologies in the near future. In this paper an overview on the solar thermal hybrid power generation technology and the state of the art in Korea were briefly introduced.

1. 서론

고온 태양열을 이용하여 전기를 생산하는 태양열 발전 기술은 이미 수 십년 동안 여러 곳의 대규모 발전설비의 운전을 통하여 그 가능성이 검증된 기술이다. 최근의 태양열 발전 기술은 다양한 집광기술 및 이에 대응하는 서로 다른 발전 사이클을 활용하여 수 kW에서 수백 MW에 이르는 다양한 형태의 시스템에 응용되고 있으며 내구성을 향상시키고, 효율과 운전율을 증가시켜 발전단가를 높여 상용화를 앞당기려는 많은 노력이 기울려 지고 있다¹⁾.

본 논문에서는 특별히 태양에너지 공급의 비연속성을 효과적으로 극복하고 장치의 설계 및 운전을 최적화하기 위한 다양한 형태의 복합(화석연료-태양열)발전 기술 및 이와 관련된 국내의 연구현황을 소개하였다.

2. 태양열 발전

태양열 발전은 일사원 태양복사에너지를 고

비율로 집광하여 회수된 고온(250-1200 °C)의 열에너지를 이용, 발전설비를 구동하여 전기에너지를 얻는 것으로서, 대규모 태양열 발전설비는 fig. 1과 같이 기본적으로 집광, 흡수, 저장, 발전 시스템을 포함하고 있다. 이때 전달된 고온의 태양에너지는 열에너지의 형태로 발전설비에 공급되어 직접 전기를 생산하거나 열함량이 증가된 연료 혹은 수소 등의 화학에너지 생산을 위한 흡열반

-
- 1) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부
E-mail : jnskim@kier.re.kr
Tel : (042)860-3549 Fax : (042)860-3739
 - 2) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부
E-mail : yhkang@kier.re.kr
Tel : (042)860-3500 Fax : (042)860-3739
 - 3) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부
E-mail : snlee@kier.re.kr
Tel : (042)860-3223 Fax : (042)860-3739
 - 4) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부
E-mail : hkyoon@kier.re.kr
Tel : (042)860-3513 Fax : (042)860-3739
 - 5) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부
E-mail : ckyu@kier.re.kr
Tel : (042)860-3515 Fax : (042)860-3739

용의 열원으로 공급되어 발전을 위한 연료의 생산에 이용되기도 한다. 또한 발전방식 및 고온 태양열 연계방식에 따라 (효과적, 안정적 발전을 위해) 별도의 연료를 사용하는 복합시스템을 구축하기도 한다

태양열에 의한 현재의 발전단가는 약 US\$ 12-20/kWh 정도인데, 장기적으로는 약 US\$ 5-10/kWh 정도의 발전단가를 형성할 수 있을 것으로 예상되어, 미래에 화석연료 발전과 경쟁할 수 있는 경제성 높은 신재생에너지 발전기술 중 하나로 여겨지고 있다⁽²⁾.

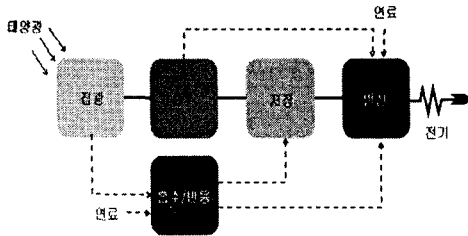


Fig. 1 Solar thermal power generation

2-1. 태양열 복합발전

태양에너지는 일조시간 및 기후조건에 따른 자원활용의 시간적 한계를 가지고 있다. 이러한 이유로 태양에너지를 전기나 화학물질 등 유용한 형태로 전환하고자 하는 공정은 최적의 운전조건에서 장치의 용량을 최대한 활용하여 연속적인 조업을 하지 못하게 되는 결과를 가져와 전체적인 태양에너지 이용효율의 저하를 가져온다는 약점을 지니고 있다.

이러한 약점을 보완할 수 있는 방법은 크게 두 가지로, 첫째는 태양에너지를 일정한 저장매체를 통하여 저장하고 야간이나 기후조건이 좋지 않은 시기에 적절하게 활용하는 방법으로, 이는 사막 등에 설치된 대규모 태양열 발전설비에서 일반적으로 사용되고 있는 방법이다. 두 번째는 태양에너지와 천연가스 등의 화석연료를 동시에 이용하는 복합시스템을 구축하는 것으로, 이러한 방식은 일조조건에 따라 화석연료의 사용량을 조절하여 (발전의 경우) 발전설비를 최적의 조건에서 최대용량으로 운전하여 일정한 량을 전기를 지속적으로 생산할 수 있으며, 공급되는 태양에너지를 모두 발전에 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 별도의 화석연료 공급이 불가능한 (사막 등) 특수한 지역에서의 태양열 발전설비가 아니라면 두 번째 방법인 '복합발전'은 중.단기적으로 태양열을 이용하여 고효율, 양질의 발전을 행할 수 있는 가장 효과적인 대안이 될 수 있다.

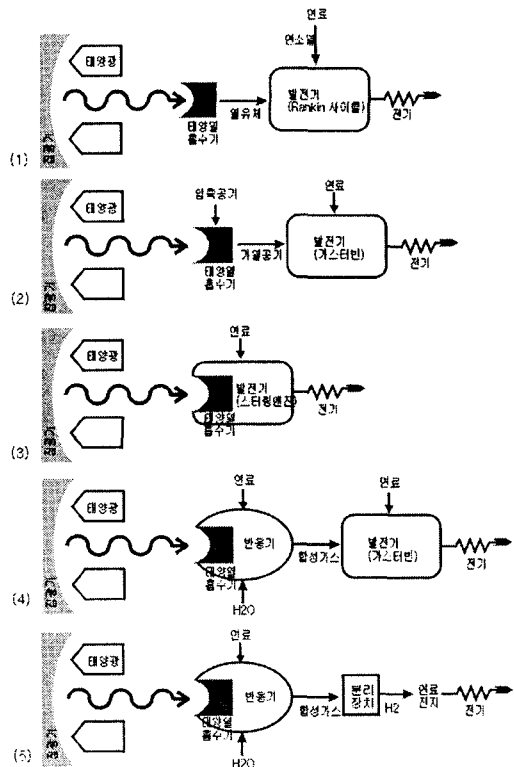


Fig. 2 Scenarios of solar thermal hybrid power generation

복합발전은 태양열 집열방식, 이에 따른 집열 온도, 발전방식, 사용되는 화석연료의 종류, 복합열원 연계방식, 발전용량 등 다양한 조건에 따라서 다른 시나리오를 가지게 되는데, 현재 전세계적으로 적용 가능한 기술수준을 고려할 때에 fig. 3 와 같이 5가지로 크게 분류할 수 있다.

시나리오 (1)-(3)의 경우 집광기를 통하여 얻어진 고온의 태양열을 발전설비에 열의 형태로 전달하는 경우인데, (1)은 태양열을 열유체를 이용하여 회수한 후 ORC 등의 발전사이클을 별도의 연료와 함께 구동하여 복합발전을 행하는 경우로 복합발전기의 구성은 용이하나 비교적 낮은 발전효율을 가진다. (2)의 경우는 발전설비로 가스터빈을 이용하고 터빈으로 공급되는 압축공기를 태양열을 이용하여 가열하여 공급되도록 하는 장치구성으로, 이때 태양열은 터빈 발전기의 효율을 향상시키고 연료를 절감시키는 데에 기여하게 된다. (3)의 경우는 외연기관인 스테링 엔진을 이용하여 발전을 행하고 열원공급을 위한 고온부를 태양열과 연료의 연소열에 함께 이용할 수 있도록 설계한 방식으로, 간단한 구조를 가지면서도 비교적 작은 규모의 고효율 복합발전을 행할 수 있으나

복합열원의 효과적 사용을 위한 복합기를 필요로 한다. 시나리오 (4)-(5)의 경우 고온태양열을 반응에 이용하고 이를 통하여 얻어진 생성물을 발전 설비에 연료의 형태로 공급하는 경우로서, NG 등의 연료를 고온태양열로 열분해하여 수소함량이 높은 연료로 개질하고 이를 터빈에 연료로 사용하거나 수소만을 분리하여 연료전지에 사용토록 하는 방식이다.

그 밖에도 기존의 발전 설비와 적절한 방식으로 열을 교환하여 전체적인 열효율을 높임과 동시에 발전을 위해 태양에너지를 효과적으로 활용토록 하는 다양한 형태의 복합시스템의 구축이 가능하다.

3. 복합발전 국외 동향

화석연료를 열원으로 동시에 사용하는 복합발전은 투자리스크 감소, 태양열 발전효율 증가, 설비비의 감소 등 많은 이점을 가져다 줄 수 있어 실제로 현존하는 모든 PTC(Parabolic Trough Concentrator)형 Power Plant는 화석연료를 복합으로 사용하는 복합(Hybrid) 시스템이며 화석연료에 의한 에너지 공급은 약 25%이다. 다만 이러한 기존의 발전설비들이 스태터빈을 이용하는 발전사이클을 적용하고 있는 관계로, 상대적으로 낮은 온도영역의 구동에 따른 효율상의 한계를 가지고 있어 가스터빈을 사용하는 고효율 발전, 스테링엔진을 사용하는 외연기관 발전 등을 복합화하기 위한 연구들이 활발하게 이루어져 온 바 있다. 이들 주요 연구들에 관한 개요는 아래와 같다.

3.1 SOLARSYS Project (1998-2002)

- 연구기관: 독일 DLR, 이스라엘 WIS
- 집광/발전방식: Power Tower/가스터빈
- 메탄을 태양열로 개질
- 합성가스+별도연료의 가스터빈 연소
- 400 kWt급 Solar Receiver Reactor 개발

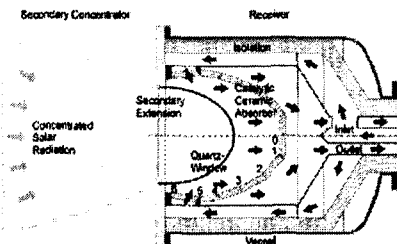


Fig. 3 Solar reformer of SOLARSYS project⁽³⁾

3.2 REFOS 1, 2 project (1996-1999, 2002-)

- 연구기관: 독일 DLR, 스페인 PSA
- 집광/발전방식: Power Tower/가스터빈

- 압축공기를 태양열로 가열
- 가열공기+별도가스연소 터빈 구동 발전
- 350 kWt 급 Solar Receiver 개발
- 1MWt급 Solar Receiver 목표(REFOS 2)

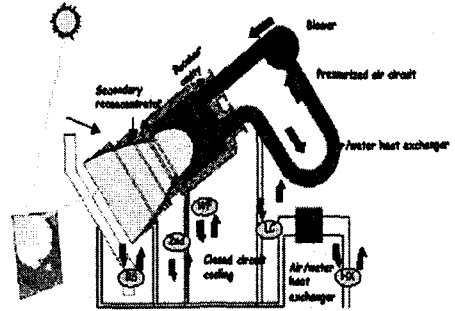


Fig. 4 Absorber of REFOS project⁽³⁾

3.2 HyHPIRE Project (1998-1999)

- (독일 DLR) 1998-1999
- 집광/발전방식: Dish/스테링 엔진
- Hybrid Heat Pipe Receiver 개발
- 태양열/가스연소 혼합열원 사용
- 10 kWe 급 복합 발전

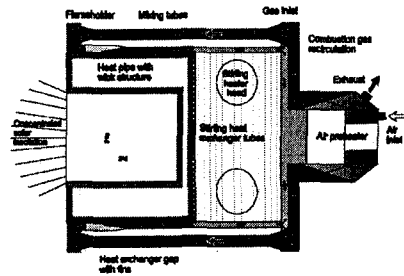


Fig. 5 Receiver of HyHPIRE project⁽⁴⁾

4. 국내 연구 현황

태양열 발전 관련 국내의 연구는 최근 한국에너지기술연구원(KIER)에서 개발을 완료한 dish형 집광시스템을 이용 소규모 발전의 실증을 행하는 수준 이르고 있으며, 보다 진보된 형태로 복합발전 시스템을 구축기 위한 2개의 연구과제가 현재 진행 중이다. 90년대 초반부터 현재까지의 관련 연구현황은 다음과 같다.

- '94-'97 중,고온 집광시스템 개발
- '96-'99 3kWe급 Dish형 집광시스템 개발

- '98-'00: PTC형 중고온 집광시스템 개발
- '00-'03: 10 kWe급 Dish형 집광시스템 개발
- '03-현재: 10kWe급 Dish-Stirling 발전 실증
- '04-현재: 화학반응 복합발전 기술개발
- '04-현재: Solar-LFG 복합발전 기술개발

4.1 화학반응 복합발전

KIER에서 수행중인 화학반응 복합발전 연구는 Fig. 2에 도시된 시나리오 중 (4)에 해당하는 것으로 고온태양열을 이용하여 메탄(천연가스)을 개질하여 수소함량이 높은 합성가스를 제조하고 이를 별도의 연료와 함께 가스터빈에서 연소시켜 발전을 행하는 방식이다. 이 경우 전체 발전에서 태양에너지가 차지하는 비중은 최고 약 25% 정도이며 복사열을 이용 반응을 수행하는 메탄개질 반응기의 개발이 중요한 핵심 기술 중 하나이다.

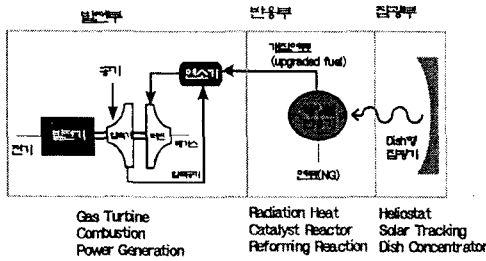


Fig. 6 Solar thermal hybrid power generation

본 연구는 현재 집광시스템 설계를 완료하고 최적 반응기의 개발을 위한 연구를 진행 중이며 Fig. 7과 같은 2중(복사열 직접전달방식, 히트파이프 이용 열전달방식)의 반응기를 고려하고 있다.

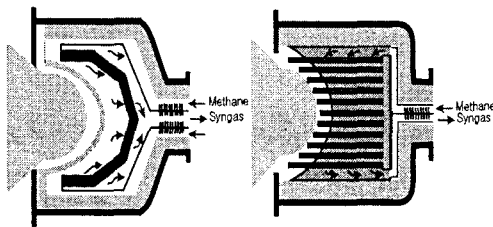


Fig.7 Sketch of solar reformer

4.2 Solar-LFG 복합발전

KIER의 Solar-LFG 복합발전 연구는 Fig. 2에 도시된 시나리오 중 (3)에 해당하는 것으로 이때 별도의 열원으로 LFG가스를 사용하는 경우이다. 이러한 복합발전 시스템은 매립지에 설치하여 현장에서 발생하는 LFG를 사용하여 발전을 행하는 것을 목표로 하고 있으며, 따라서 발전을 위한 모

든 에너지원이 신재생에너지라는 큰 의미를 가지게 된다. 본 연구의 핵심기술은 태양열과 가스의 연소열을 동시에 발전장치(스터링엔진)의 수열부에 공급하는 복합기의 개발이며, 현재 나트륨을 사용한 고온 히트파이프를 적용, 복합기 시작품을 제작하고 기초성능을 검증 중이다.

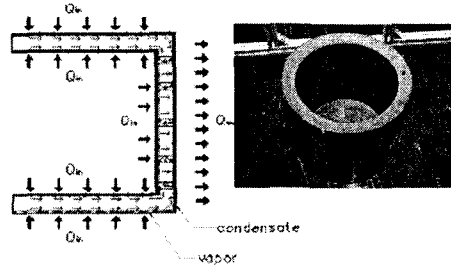


Fig. 8 High-temperature heat pipe receiver

5. 결론

2010 까지 계획된 전 세계 태양열 발전설비의 총 발전량은 약 2,250MW (중국제외)에 이르는 것으로 알려져 있다. 2020년 이후 태양열 발전이 일정한 수준의 경제성을 확보하게 되면 태양열발전이 가능한 세계 각 지역에서의 대규모 발전설비 구축이 본격화 될 것이며 1GW 급 발전설비당 약 2조원이라는 대규모의 시장(발전설비 구축 시장만을 고려할 경우)이 형성될 것으로 예상된다. 국내의 경우 고온태양열 활용과 관련된 응용분야의 수요가 형성되어 있지 못하고 관련 산업이 활성화되어있지 않은 것이 현실이나 복합 발전 등 관련 분야에서의 연구개발 노력을 통하여 주요 핵심기술을 선점할 경우, 새로운 신재생에너지의 적극 활용은 물론 새로운 수의 산업의 창출이 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] DOE Multi-Year Plan, Solar Energy Technologies Program: Multi-Year Plan 2003-2007 and Beyond, DOE, USA.
- [2] IEA SolarPACES Summary, Concentrating Solar Power in 2001, IEA SolarPACES Task I: Electric Power Systems.
- [3] PSA Annual Report, 2001, CIEMAT, Spain.
- [4] Doerte Laing, Magnus Palsson, 2002. "Hybrid Dish/Stirling Systems: Combustor and Heat Pipe Receiver Development", Transactions of the ASME, vol. 124, pp.176-181.