

## 복합발전용 고온 집광시스템의 집열 특성 분석

김 진수<sup>1)</sup>, 이 상남<sup>2)</sup>, 강 용혁<sup>3)</sup>, 윤 환기<sup>4)</sup>, 유 창균<sup>5)</sup>, 김 종규<sup>6)</sup>

### Thermal Test of High-Temperature Solar Concentrating System for Hybrid Power Generation

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

**Key words** : solar thermal(태양열), power generation(발전), hybrid power generation(복합발전), solar concentration (태양열 집열)

**Abstract** : A small-scale solar concentrating system was developed and demonstrated for supplying process heat required in solar thermo chemical reaction. The concentration system consists of a heliostat equipped with a solar tracking device and a dish concentrator. From the initial thermal test of the concentrating system it was found that the system works very well with around 500-600 concentration ratio capable of supplying about 3kW thermal energy to the reactor. Once the concentration system was turned on, the reactor temperature rapidly increased over 1,000 °C and could be maintained high enough for solar chemical reaction.

#### 1. 서론

태양에너지를 이용하는 기술 영역은 크게 열을 이용하는 태양열 분야와 빛을 이용하는 태양광 분야로 분류될 수 있다<sup>(1)</sup>. 태양열 이용분야의 경우 복사에 의해 전달되는 태양에너지중 주로 가시광선 영역의 파장을 흡수율이 높은 검은 표면을 가진 물체에 흡수시켜 열에너지 형태로 전환시키고 획득된 열을 활용한다. 고온 태양열을 이용한 발전기술은 이와 같이 흡수된 고온의 태양열을 이용하여 전기를 생산코자 하는 기술로서<sup>(2)</sup> 이를 위해서는 태양 복사에너지를 고밀도로 집적하는 집광장치가 있어야 한다. 본 연구에서는 특별히 집광된 에너지를 이용하여 화학반응을 행하고 그 생성물을 이용 복합발전을 수행하는 것을 목적으로 고온 집광시스템을 개발하고 구축된 집광장치의 기초 성능을 테스트한 결과를 소개하고자 한다.

#### 2. 복합발전

태양에너지는 일조시간 및 기후조건에 따른 자원활용의 시간적 한계를 가지고 있다. 이러한

이유로 태양에너지를 전기나 화학물질등 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

- 
- 1) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부  
E-mail : jnskim@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3549 Fax : (042)860-3739
  - 2) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부  
E-mail : snlee@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3223 Fax : (042)860-3739
  - 3) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부  
E-mail : yhkang@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3518 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
  - 6) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부  
E-mail : rnokim@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3477 Fax : (042)860-3739

많은 시기에 적절하게 활용하는 방법으로, 이는 사막 등에 설치된 대규모 태양열 발전설비에서 일반적으로 사용되고 있는 방법이다. 두 번째는 태양에너지와 천연가스등의 화석연료를 동시에 이용하는 복합시스템을 구축하는 것으로, 이러한 방식은 일조조건에 따라 화석연료의 사용량을 조절하여 (발전의 경우) 발전설비를 최적의 조건에서 최대용량으로 운전하여 일정한 양을 전기를 지속적으로 생산할 수 있다<sup>(2)</sup>.

KIER(한국에너지기술연구원)에서 수행중인 화학반응 복합발전 연구는 고온태양열을 이용하여 메탄(천연가스)을 개질하여 수소함량이 높은 합성가스를 제조하고<sup>(3)</sup> 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.

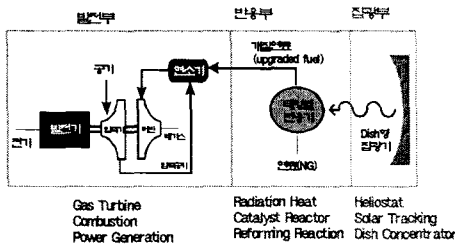


Fig. 1 화학반응 복합발전시스템 개념도

### 3. 고온 집광시스템

#### 3.1 집광 개요

본 연구에서 사용되는 고온 집광시스템은 향후 대규모 설비로의 실질 적용을 고려하고, 태양열 반응장치의 설치 및 운용의 편의성 고려하여 아래 Fig. 2와 같은 구조를 갖도록 개발되었다.

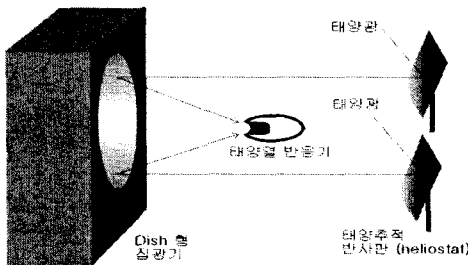


Fig. 2 복합발전을 위한 태양열 집광장치

즉, 일사되는 태양광은 평판형 태양추적 반사판인 Heliostat를 통하여 반사되어 Dish형 고정형 집광기를 통하여 집광기 전면에 위치한 반응기로 공급되도록 한다. 이러한 집광시스템의 경우, 기존의

태양추적 Dish형 집광기에서 반응기가 Dish와 함께 움직여야 한다는 문제점을 극복할 수 있다. 또한, 태양추적 반사판의 수를 늘이고 고정형 Dish의 크기를 확장시키는 것만으로 대규모 설비로의 확장이 가능하다는 이점을 가지게 된다. 한편, 향후 반응기 부분에 2차 집광을 위한 반사경만을 추가로 설치할 경우 초고온의 태양열 집열장치 (solar furnace)로의 응용이 가능하다는 부가적인 이점을 가지게 된다.

Heliostat로 입사되는 태양광을 집광기가 설치되어 있는 지점(Target Position)으로 반사시키기 위해서 Heliostat는 태양위치의 변화에 따라 Heliostat의 방향(Surface Normal Direction)을 변화시켜 주어야 한다. 즉 Heliostat 추적제어시스템은 태양위치의 변화에 따라 Heliostat의 방향을 제어함으로써 태양으로부터 입사되는 태양광이 항상 집광기로 반사되도록 한다.

#### 3.2 실험용 집광장치의 구성

Heliostat 및 고정형 Dish 집광장치를 사용하여 고온의 태양열을 획득하는 장치는 국내에서 처음 시도되는 관계로, 약 10kW급(열기준 약 40kW급) 발전을 목표로 하는 full-scale 집광설비의 구축에 앞서 동일한 원리로 작동하는 소형 실험용 집광장치를 구성하고 열실험을 행하였다. 구성된 장치는 Dish 기준 집광면적이 약 5.6m<sup>2</sup>에 해당하는 소형 장치로서 이론적으로 열기준 약 5kW의 태양에너지 공급이 가능토록 설계 되었다. 특별히 본 실험 장치는 Heliostat와 Dish형 집광장치를 사용하여 태양열 반응 시스템을 구축할 경우 태양광의 반사되는 경로에 반응기가 설치되어 전체적인 집광능력을 떨어뜨리는 단점을 보완하기 위해 Dish형 반사경을 Fig. 3과 같이 원형 Dish중 일부만을 사용토록 구성하였으며 따라서 초점이 맺히는 반응부는 집광경로에서 벗어나 구축이 가능토록 하였다.

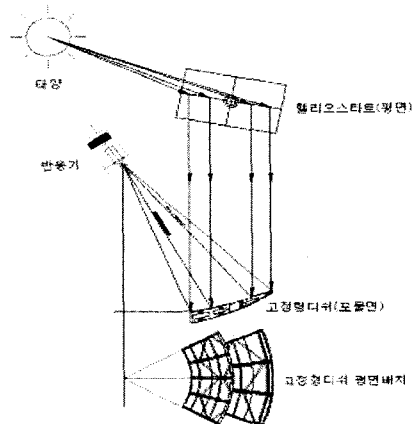


Fig. 3 실험용 집광장치 구성도

Fig. 4는 구성된 Dish형 반사경 전면에 보호 코팅지를 부착한 상태에서 Heliostar에 의해 반사되어 전달된 태양빛의 형상을 촬영한 것이다.

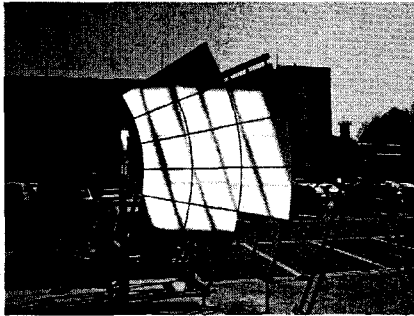


Fig. 4 Dish형 집광기

Heliostar에 의한 빛의 반사는 태양의 고도 및 방위에 따라 형상을 달리하며 반사된 빛을 집광하는 Dish 반사경은 부채꼴 모양으로 구성된 관계로 분 장치를 통하여 실제적으로 반응장치에 전달이 가능한 열량은 일사조건에 따라 최고 약 3kW 정도이다.

### 3.3. Flux Mapping

Flux Mapping은 태양에너지 집광시스템에서 초점부위의 집광 정도와 그 분포를 측정하기 위하여 사용하는 방법이다. 집광된 빛의 초점부위에 냉각장치 및 flux 측정용 radiometer 가 부착된 원형 타깃 판을 설치하고, ND(Natural Density) 필터가 장착된 CCD 카메라를 사용하여 촬영된 이미지를 분석하여 집광된 빛의 flux 분포를 분석하는 과정으로 수행된다. Fig. 5는 전체 집광시스템이 작동하여 태양빛이 타깃 판으로 모아지고 있는 장면을 보여주고 있다.



Fig. 5 Flux mapping 수행중인 집광장치

집광부위에 장착된 타깃판을 촬영하여 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. 분석결과 그림과 같이 전형

적인 bell모양의 flux 분포를 가지고 집광이 이루어진 것을 확인할 수 있었으며, 무엇보다 직경 약 10cm 이내로 대부분의 집광된 빛이 모아지고 있음을 확인할 수 있었다.

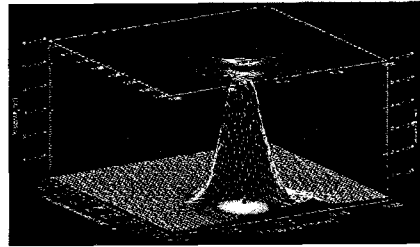


Fig. 6 Flux 분포 분석 결과

### 3.4. 반응기 및 열 실험

Fig. 7은 본 연구의 최종 목표인 태양열 화학 반응을 복합발전을 위한 화학반응기의 설계도이다. 설계도의 우측은 태양빛에 의한 화학반응이 수행되는 반응부로 Quartz 원도우 내부로 들어오는 집광된 태양에너지가 내부에 장착된 촉매로 전달되어 흡열반응의 반응열로 공급되는 구조를 가지고 있다. 그림의 좌측은 집광된 빛을 보다 효율적으로 사용하기 위해 반응기 전면에 장착되는 CPC(Compound Parabolic Concentrator)로서 좌측 개구부를 통해 내부로 들어오는 빛을 보다 좁은 면적의 우측 개구부로 전달하여 화학반응기로 전달토록 하는 장치이다. 이와 같이 CPC를 추가로 사용할 경우 (본 장치의 경우) 약 3.5배의 추가적 집광을 얻을 수 있다.

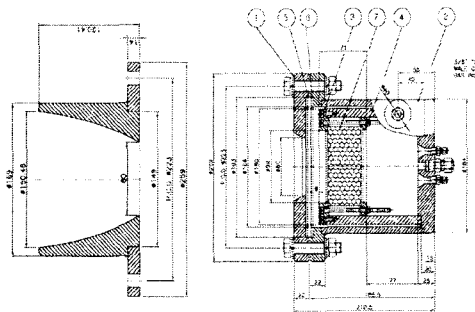


Fig. 7 CPC 및 화학반응기 설계도

Fig. 8은 CPC가 장착된 반응기 전면을 촬영한 사진으로 본 반응기는 최종적으로 노출직경 8cm의 Quartz 원도우를 통하여 집광된 태양에너지를 반응기로 전달할 수 있다. 이 경우 약 500-600에

해당하는 집광비를 얻을 수 있다.

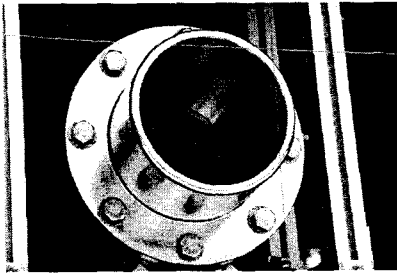


Fig. 8 제작된 화학반응기 전면 노출부

Fig. 9는 구성된 집광 및 반응장치의 정상적 작동여부를 확인코자 행한 열실험 시운전 결과로, 집광장치를 가동하여 반응기 내부로 집광된 태양 에너지를 전달하고 반응기 내부에 장착된 열전대를 통하여 측정된 온도를 도시한 것이다.

실험은 각각 다른 조건(시간 및 일사조건)에서 3회에 걸쳐 수행하였으며 초기 2회는 반응기 내부에 아무런 냉각가스의 흐름이 없는 상태에서 촉매 전단의 온도를 off line으로 측정하였으며, 마지막 1회는 반응기 내부로 질소가스를 고속으로 주입하여 장치를 냉각시켜 일정한 열에너지를 외부로 배출토록 하여 측정한 결과이다. 그림에서 좌측의 두 온도 변화는 각각 12:50 및 13:20 에 냉각가스의 흐름 없이 수행한 실험결과로 두 결과 모두 매우 빠른 속도로 1,000 °C 이상의 온도에도달하였으나, 두 번째 실험의 경우 약간의 구름으로 인한 순간적인 일사량의 저하가 온도상승에 영향을 미쳤다. 유사한 온도변화 경향을 보이는 우측의 5개 온도변화는 질소가스를 이용한 냉각을 행하면서 측정된 것으로 위로부터 각각, 촉매 전단온도 1개, 촉매 후단 온도 3개, 그리고 가스의 입출구 온도를 나타낸다. 측정시간은 15:10 이었으면 약간의 구름을 포함한 기상조건이었다. 반응장치는 먼저 냉각가스의 유입 없이 이전실험과 유사하게 약 1,000 °C까지 빠른 속도록 온도가 상승하는 것을 관찰한 후, 냉각가스의 밸브를 순차적으로 열어 온도가 약 1,000 °C 내외를 유지하도록 한 것이다. 최종적으로 장착된 밸브를 완전히 열었을 때도 반응기 전단의 온도는 조금씩 증가되는 것을 관측할 수 있었으며 이 경우 냉각가스는 약 7m 길이의 1/4inch 배관을 통하여 약 4기압의 입출구 압력차를 가지고 유입되었다.

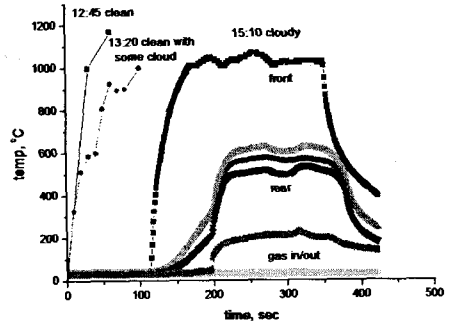


Fig. 9 집광을 통한 반응기 가열 실험 결과

#### 4. 결론

Heliostat 및 고정형 Dish 반사경을 적용하여 집광용량 약 3kW, 집광비 약 500-600의 고온 집광 시스템을 제작하여, 복합발전용 화학반응 시스템으로의 열에너지 공급에 관한 실험을 수행하였다. 본 실험은 구성된 집광장치를 통하여 반응기로의 열에너지 공급이 원활히 이루어지는지, 그리고 반응을 수행하기에 필요한 정도의 온도를 획득할 수 있는지 여부에 관한 초기단계 실험으로, 메탄 개질 반응의 경우 반응에 필요한 온도가 최고 약 850 °C임을 감안할 때에 구성된 집광장치를 통한 효과적이고 빠른 열에너지 공급이 가능하다는 사실을 확인할 수 있었다.

#### 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] Kodama, 2003. "High-Temperature Solar Chemistry for Converting Solar Heat to Chemical Fuels". Progress in Energy and Combustion Science vol. 29, pp.567-579.