

태양열 화학반응 복합발전시스템의 설계 및 시공 사례

이 상남¹⁾, 강 용혁²⁾, 김 진수³⁾, 윤 환기⁴⁾, 유 창균⁵⁾, 김 종규⁶⁾

Design and Construction Experiences of Solar Thermal Chemical Reaction Hybrid Power Generation

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

Key words : solar thermal(태양열), power generation(발전), chemical reaction(화학반응), hybrid power generation(복합발전)

Abstract : Solar thermal power generation allows additional benefits of cheap thermal storage and easy hybridization with other fossil fuel-driven power generation. KIER has been performing the project for solar thermal chemical reaction hybrid power generation. The project is to build and operate the first solar thermal chemical reaction hybrid power generation system in Korea. For concentrating solar thermal energy m^2 dish type concentrator was adapted and a heliostat is installed for reflecting horizontal insolation to the dish concentrator. At the moment building the dish concentrator including mirror and heliostat with sun tracking system was completed and it's performance are being closely evaluated. This paper will introduce some detailed designs and construction procedures which we have experienced so far.

1. 서 론

태양열 발전은 일사된 태양복사에너지를 고 비율로 집광하여 회수된 고온(250~1200 °C)의 열 에너지를 이용, 발전설비를 구동하여 전기에너지를 얻는 것으로서, 전달된 고온의 태양에너지는 열에너지의 형태로 발전설비에 공급되어 직접 전기를 생산하거나 열함량이 증가된 연료 혹은 수소 등의 화학에너지 생산을 위한 흡열반응의 열 원으로 공급되어 발전을 위한 연료의 생산에 이용되기도 한다. 또한 발전방식 및 고온 태양열 연계방식에 따라 (효과적, 안정적 발전을 위해) 별도의 연료를 사용하는 복합시스템을 구축하기도 한다

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 약

점을 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

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

태양에너지와 천연가스등의 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.

복합발전은 태양열 집열방식, 이에 따른 집열 온도, 발전방식, 사용되는 화석연료의 종류, 복합열원 연계방식, 발전용량 등 다양한 조건에 따라 서로 다른 시나리오를 가지게 되는데, 본 논문에서 제시하는 태양열 화학반응 복합발전은 고온 태양열을 반응에 이용하고 이를 통하여 얻어진 생성물을 발전설비에 연료의 형태로 공급하는 경우로서, NG 등의 연료를 고온태양열로 열분해하여 수소함량이 높은 연료로 개질하고 이를 터빈에 연료로 사용하는 방식이다.

본 논문은 국내 최초로 연구되는 태양열 화학반응 복합발전시스템의 설계 및 시공 사례를 소개하고자 한다.

2. 태양열 화학반응 복합발전시스템

KIER에서 수행중인 태양열 화학반응 복합발전 연구는 고온태양열을 이용하여 메탄(천연가스)을 개질하여 수소함량이 높은 합성가스를 제조하고 이를 별도의 연료와 함께 가스터빈에서 연소시켜 발전을 행하는 방식이다.

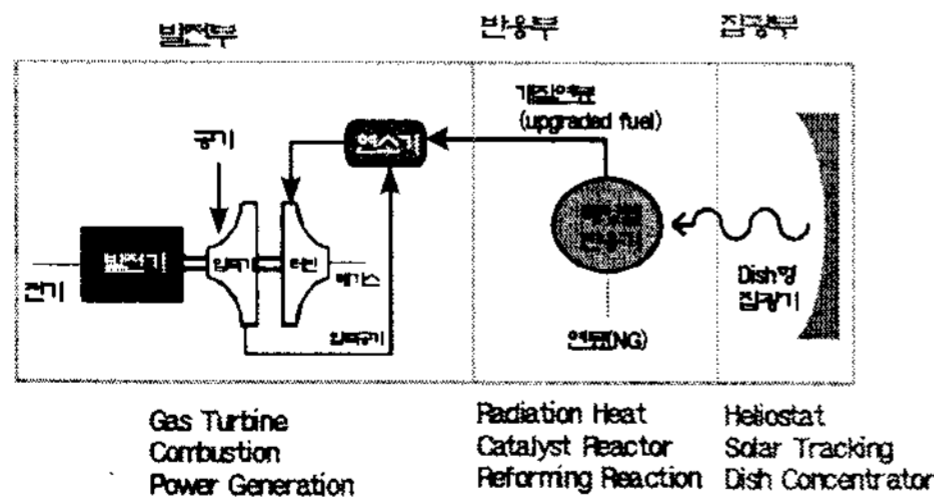


Fig. 1 Solar thermal hybrid power generation

태양열 화학반응 복합발전시스템은 크게 Heliostat, 고정형 집광기, 태양광조절장치, 화학반응기, 발전시스템, 통합제어 등으로 구성된다. 시스템 전체 용량은 60kWe급이나 태양열 기여도는 고정형 집광기의 용량인 10kWe이다.

3. 실증시스템의 기본 및 상세 설계

3.1 Heliostat

수평면 반사경은 900mm X 750mm X 3.2t의 저철분유리 후면에 알루미늄을 진공증착하여 총 120매(면적 약 80m²)를 6매씩 모듈화 하여 조립하였다.

구동부는 Fig. 2와 같이 시스템 고정용 Bottom Column, 1st Middle Column, 2nd Middle Column 등 3부분으로 대별할 수 있다.

Bottom Column은 태양열 발전시스템을 설치기초위에 고정시켜주는 부분으로서 바닥기초 및 토목공사시 매립·설치되는 L형-앵커볼트와 체결이 되도록 하부는 플랜지 모양이며 Column의 강도보강을 위해서 원주방향 45° 각도로 코너플레이트를 배치하여 설계하였고, 이때 Bottom Column 고정용 플랜지 볼트의 수량 및 직경은 Heliostat 전체가 자중은 물론 태풍과 같은 풍압에 충분히 견딜 수 있는 강도로 설계하였다.

그리고 Heliostat의 태양추적장치는 실시간으로 태양의 위치를 자동 계산하여 방위각과 고도각을 계산하고 구동부에 설치된 태양추적센서로 현재의 태양 위치 데이터를 수신 받아 구동부로 하여금 태양 방위각과 고도각을 추적할 수 있도록 2축 제어시스템으로 설계하였다. 이를 위하여 구동부를 1st Middle Column과 2nd Middle Column으로 나누어서 설계를 하였으며 1st Middle Column의 Servo Motor는 1st Cyclo Reducer를 구동하여 실시간으로 계산된 태양 방위각을 추적하고, 또한 2nd Middle Column의 Servo Motor는 2nd Cyclo Reducer를 구동하여 태양 고도각을 항상 추적할 수 있도록 하였다.

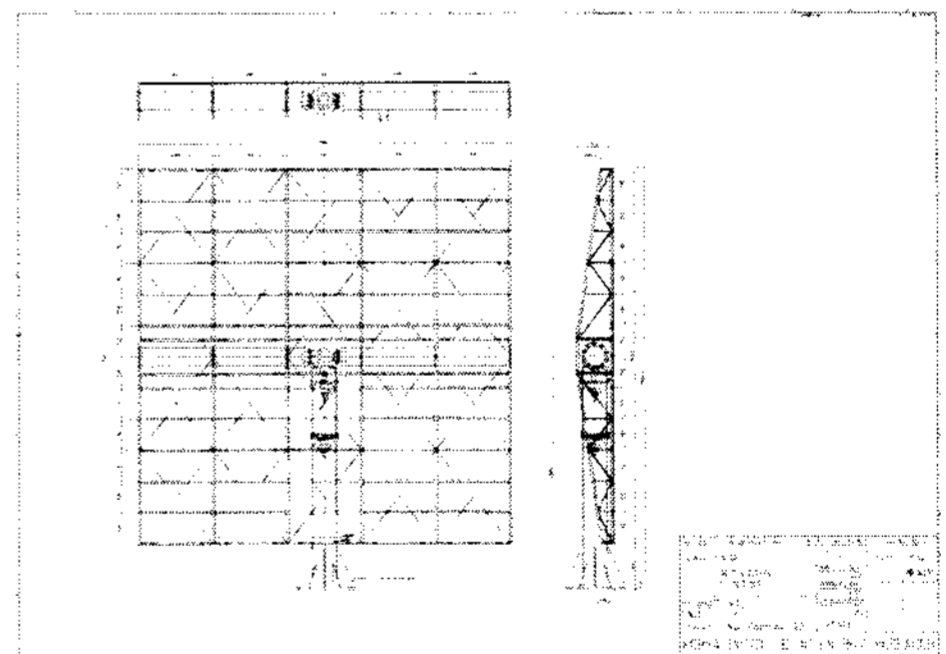


Fig. 2 Heliostat 전체 조립도

Heliostat 추적제어시스템은 Heliostat로 입사되는 태양광을 일정하게 Parabolic Dish 형태인 고정형 집광기로 반사시키기 위하여 Heliostat의 방향을 제어하는 시스템이다.

Fig. 3은 현재 본 연구에서 개발된 추적제어시스템의 구조를 도식적으로 나타낸 것이다. 통합제어시스템은 Heliostat의 태양추적을 위하여 우선 시간, Heliostat가 설치되어 있는 지점의 위도 및 경도를 사용하여 현재 시간에서의 태양위치를 계

산한다. 통합제어시스템은 이와 같이 계산된 태양 위치를 기준으로 현재 시간에서 요구되는 Heliostat의 방향을 계산하며, 계산된 방향은 다시 Fig. 3에서와 같이 통합제어시스템에 설치되어 있는 서보모터 동작제어기(Motion Controller)에 의하여 Heliostat의 위치제어를 수행하기 위한 입력 정보(Command Input)로 사용된다.

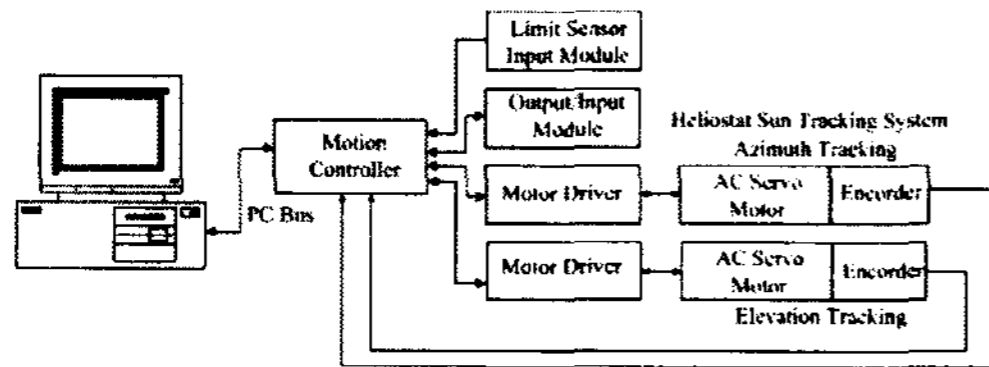


Fig. 3 Heliostat 추적제어시스템의 구조

현재 본 연구에서 사용되고 있는 서보모터 동작 제어기는 삼성에서 개발된 MMC(Multi Motion Controller) Board로서, 산업용 PC의 Data Bus에 설치되어 최대 4축의 서보모터를 동시에 제어할 수 있으며, 또한 Heliostat의 태양추적을 위한 구동시스템에 설치되어 있는 근접센서의 동작신호 입력을 위한 Limit Sensor 입력모듈과 외부에 설치되어 있는 주변기기의 동작제어를 위한 24V Digital I/O모듈을 가지고 있다.

3.2 고정형 집광기

10kWe/h의 발전용량에 맞는 집열면적을 계산하여 설계 완료한 Concentrator의 프레임 외경은 9,000mm, 내경 1,500mm인 포물선면 형상으로 총 집광면적은 52.7m²가 되도록 설계하였으며, 이 Concentrator는 Fig. 4와 같이 호의 각이 30°인 12개의 선형 모듈로 구성되어 360°를 이루고 있다. Concentrator는 트러스트 구조로서, 주 프레임 재질은 SS400 앵글을 포물선면으로 밴딩·조립하고, 부식방지를 위해서 용융아연도금 처리를 하도록 설계하였다. 또한 화학반응기의 수열부와 반사판의 초점거리는 4,980mm가 되도록 설계하였다.

Press 금형으로 알루미늄 반사판 거치대를 생산하여 반사율 95%, 두께 1mm 고정밀 반사경을 부착하여 반사판을 제작하였다.

반사판의 초점이 화학반응기 수열부측 개구부(직경 180mm) 안으로 집광되도록 설계하였다. 이때 집광비는 약 1,500 정도가 획득 가능하다.

그리고 이 선형 Concentrator Frame 위의 반사판 배열방법은 원주방향으로 5열이 배치되도록 하여 총 144매(규격이 다른 5종류 배열)의 조각 반사판으로 구성되도록 설계하였다.

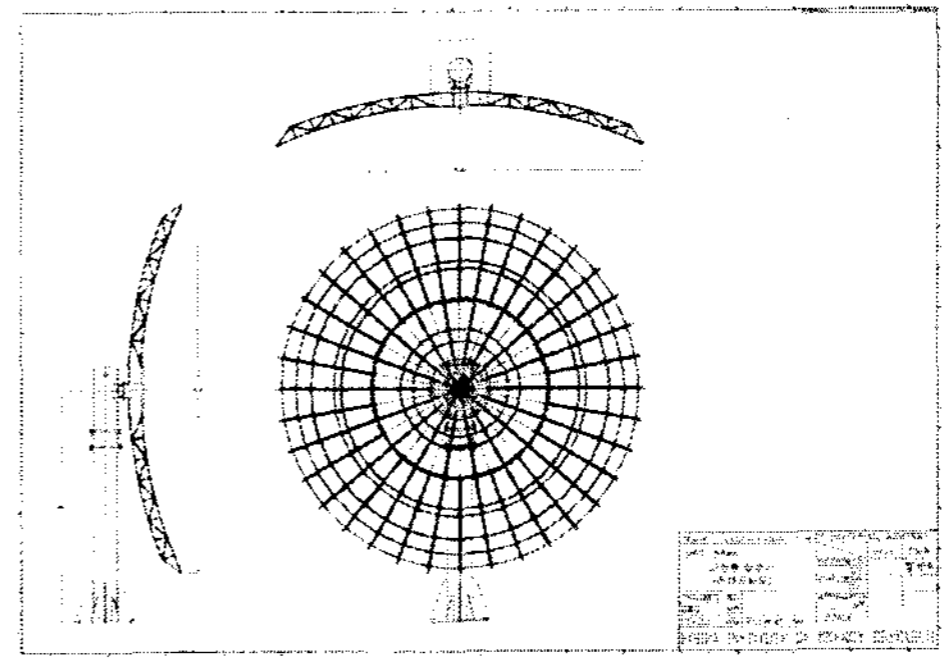


Fig. 4 고정형집광기(Concentrator) 전체 조립도

3.3 태양광조절장치

Heliostat으로부터 반사되어 들어오는 태양 수평광은 고정형 집광기로 들어가는데, 이때 고정형 집광기로 들어가는 태양광량을 조절하여 화학반응기의 온도조절 및 위급한 상황 발생시 입사광을 차단하는 안전장치의 역할을 한다.

Fig. 5에서와 같이 Horizontal Type 태양광 조절장치의 외형(가로x세로x폭)규격은 10,100mm x 11,080mm x 890mm로서, 블레이드 수는 총 16개로 구성되어 있으며, 하단부에 서보모터와 워엄감속기를 장착하여 수평을 기준으로 약 60°가 개폐될 수 있도록 설계를 하였다.

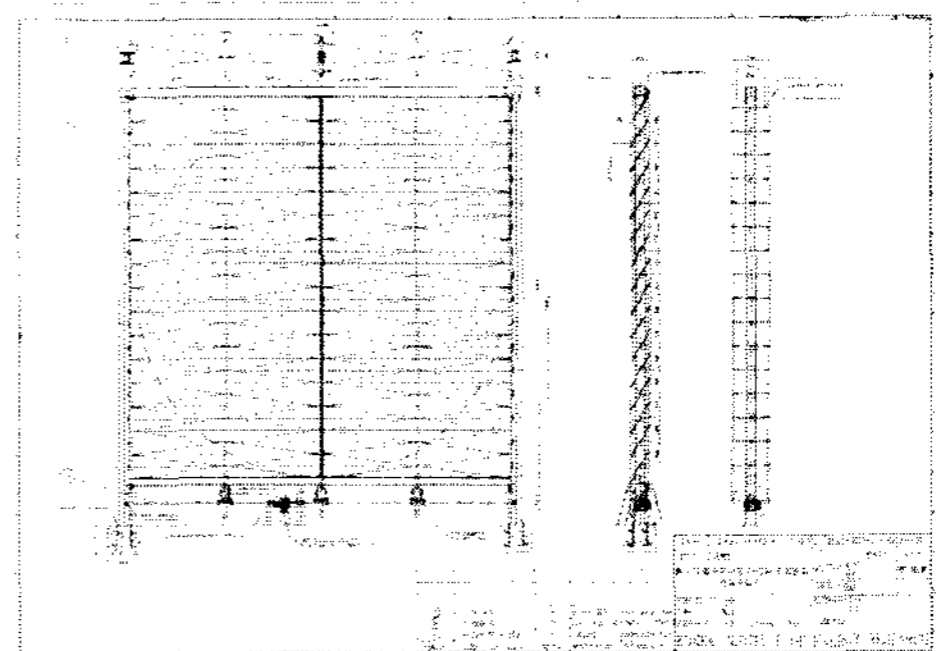


Fig. 5 태양광 조절장치 전체 조립도

3.4 화학반응기

Fig. 6은 같은 2종(복사열 직접전달방식, 히트 파이프 이용 열전달방식)의 반응기를 고려하고 있다.

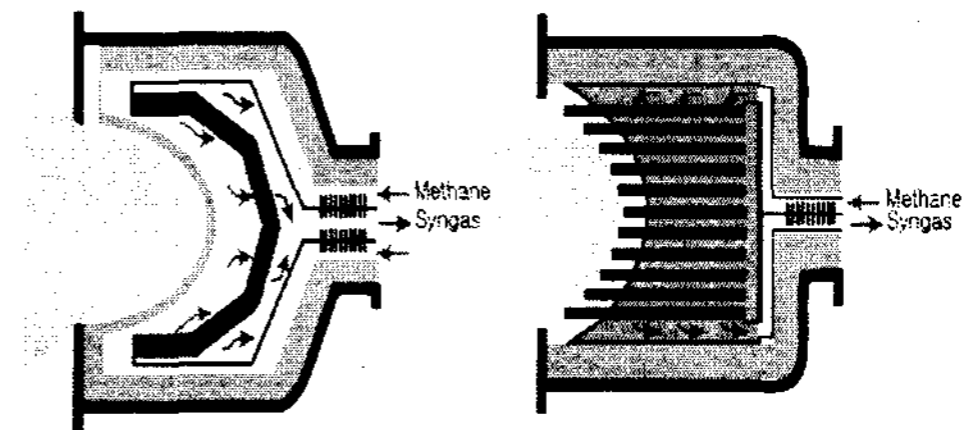


Fig.6 Sketch of solar reformer

3.5 발전시스템

발전시스템은 가스터빈으로 용량이 60kW급(C사 상용모델)으로 10kW급 태양열 화학반응기로부터 얻어진 합성가스와 메탄가스를 혼합하여 60kW급 터빈을 구동하는데 사용할 경우, 가스터빈을 상대적으로 안전하게 구동할 수 있을 뿐 아니라 태양열 화학반응에 의해 얻어진 합성가스를 모두 발전 연료로 사용할 수 있다.

3.6 통합제어시스템

10kW급 태양열 화학반응 복합발전시스템의 통합 제어시스템은 Heliostat의 태양 추적시스템, Heliostat로부터 고정형 집광기로 반사되는 반사광의 개폐 및 일부 차단 기능을 수행하는 태양광 조절장치, 기상데이터(풍향, 풍속, 일사량) 측정기와 같은 센서로 구성되는 주변 환경 감시시스템, 그리고 화학반응기 및 발전시스템을 구성하는 화학반응복합시스템 같은 시스템의 통합적 운영을 담당하는 자동제어시스템이다.

Fig. 7은 현재 본 연구에서 개발하고 있는 통합 제어시스템을 도식적으로 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 통합제어시스템은 우선 태양으로부터 입사되는 태양광을 고정형 Parabolic Dish로 반사시키기 위한 Heliostat의 태양추적을 수행한다. Heliostat 태양추적은 계산된 현재시간에서의 태양위치를 기준으로 입사되는 태양광을 고정된 Dish로 반사시키기 위한 Heliostat의 방향을 계산하고 이를 입력으로 하는 Heliostat 구동시스템의 위치제어를 수행함으로써 이루어진다.

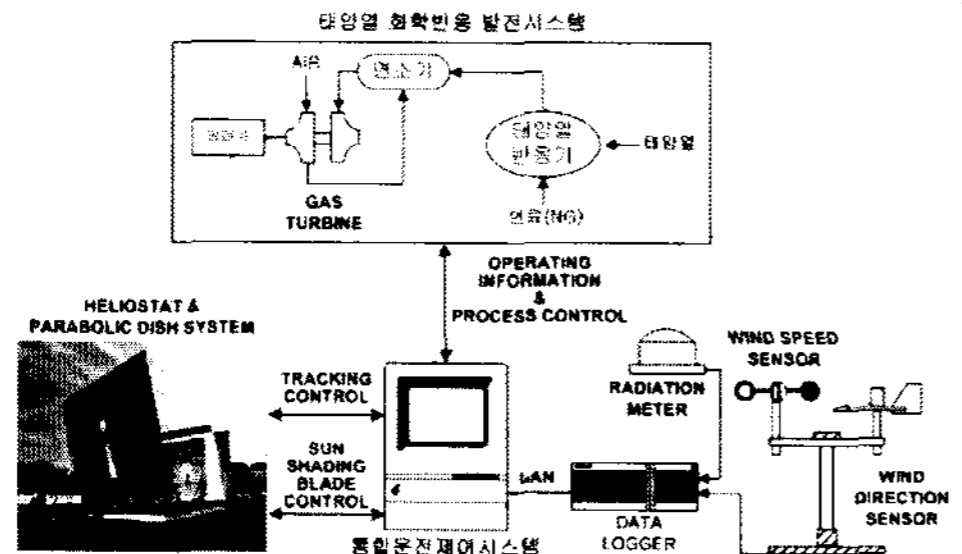


Fig. 7 통합제어시스템

4. 실증시스템의 적용처 현장 설치

4.1 설치장소 기반작업

설치장소는 대전 소재 한국에너지기술연구원 파이롯트플랜트 설치부지내에 설치하였으며, 이곳 지반은 산 절개지 흙을 매립한 지형이므로 부동침하 및 횡력에 견디게 하기위해 Heliostat설치장소는 기초보강 파일 4개를 박아 콘크리트로 기초공사(2.4m x 2.4m x 1.5m)를

하였다. 또한 고정형집광기 및 태양광 조절장치의 설치장소는 최대풍압(설계 기준: 44m/sec)을 고려하여 철근을 배근한 후 L형-앵커볼트 기초를 콘크리트로 매립하였다. 특히 Heliostat과 고정형집광기의 기초볼트 방위는 남쪽에 고정형집광기, 북쪽에 Heliostat이 일치하도록 설치하였다. 그리고 Heliostat과 고정형집광기 사이의 거리는 태양광조절장치의 상단부로 인한 그림자 발생이 최소가 되도록 동절기 고도각 30°를 기준하여 거리를 이격시켜서 설치하였다.

4.2 주요 공정(장치)별 현장 설치 (현장설치 사진 중심으로...)

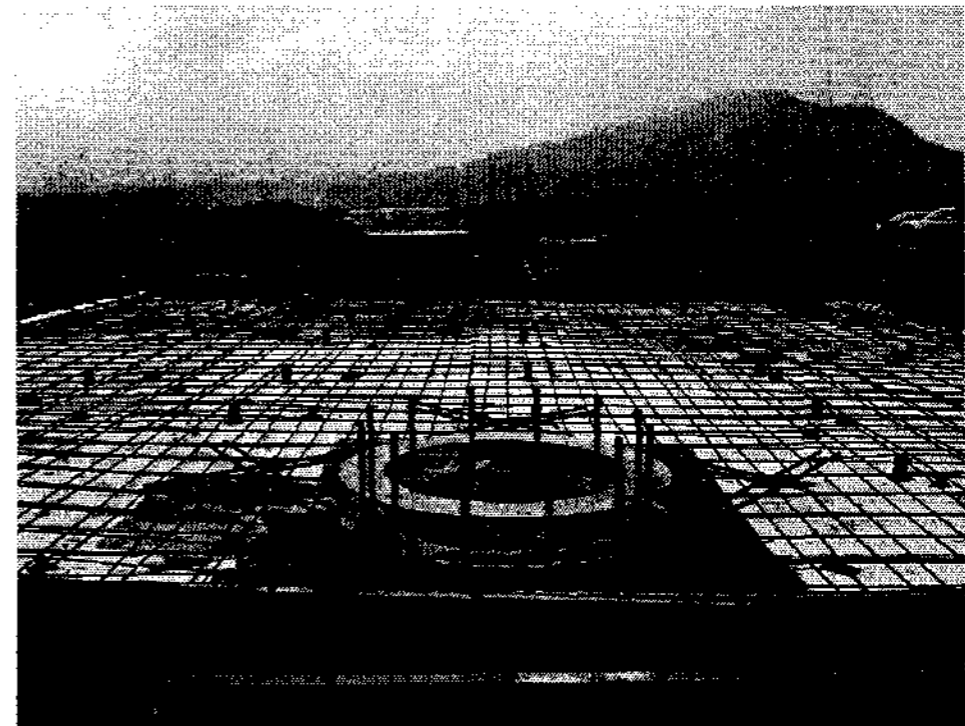


Fig. 8 설치장소 기초공사 전경

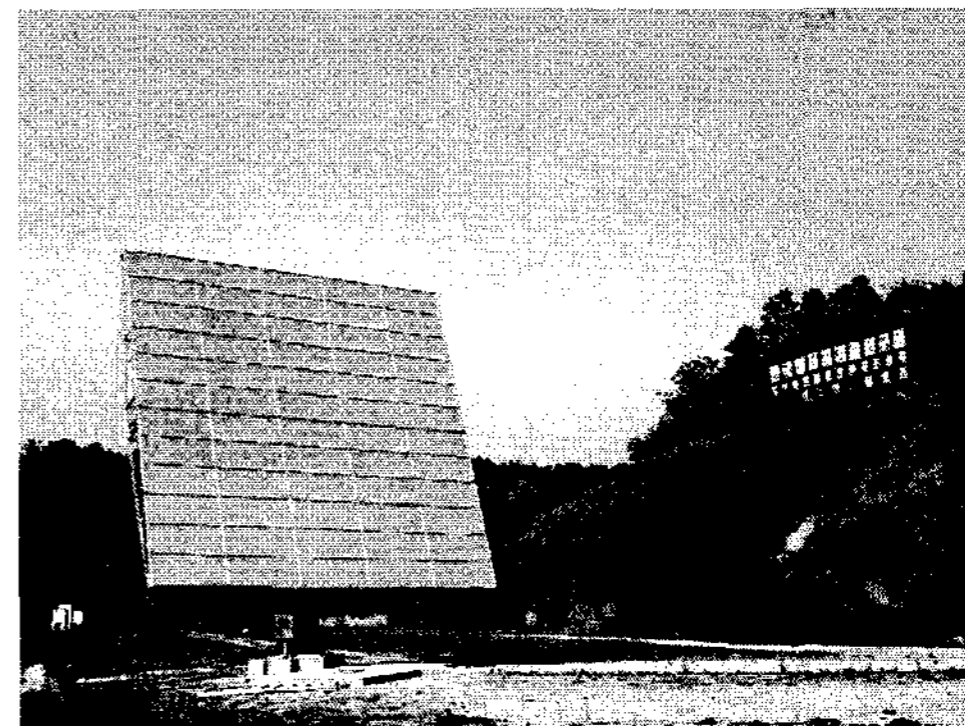


Fig. 9 Heliostat 설치전경

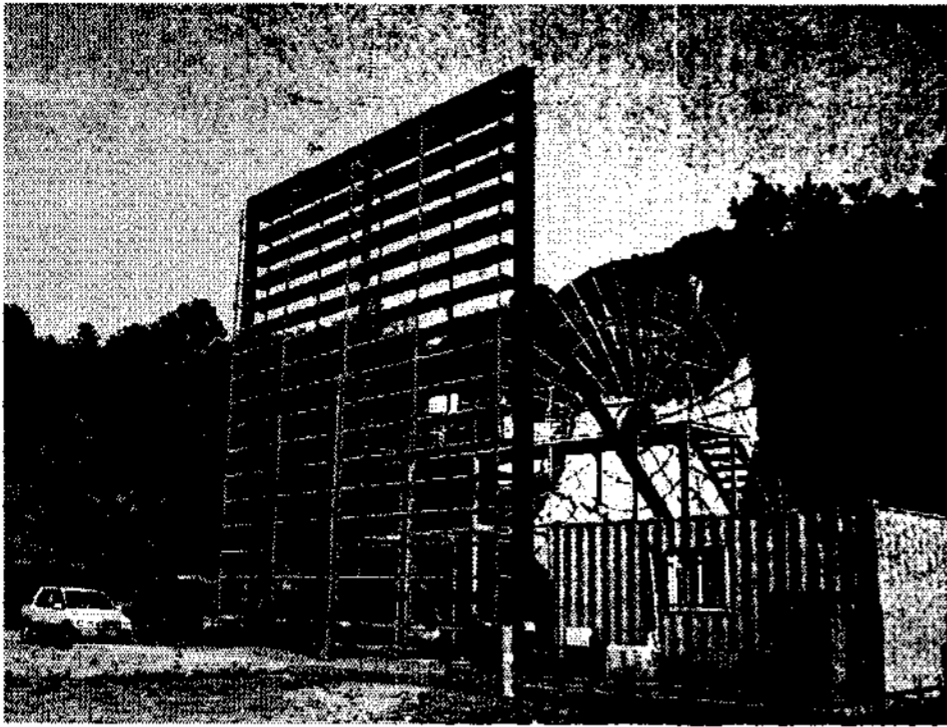


Fig. 10 태양광조절장치와 고정형 집광기 설치전경

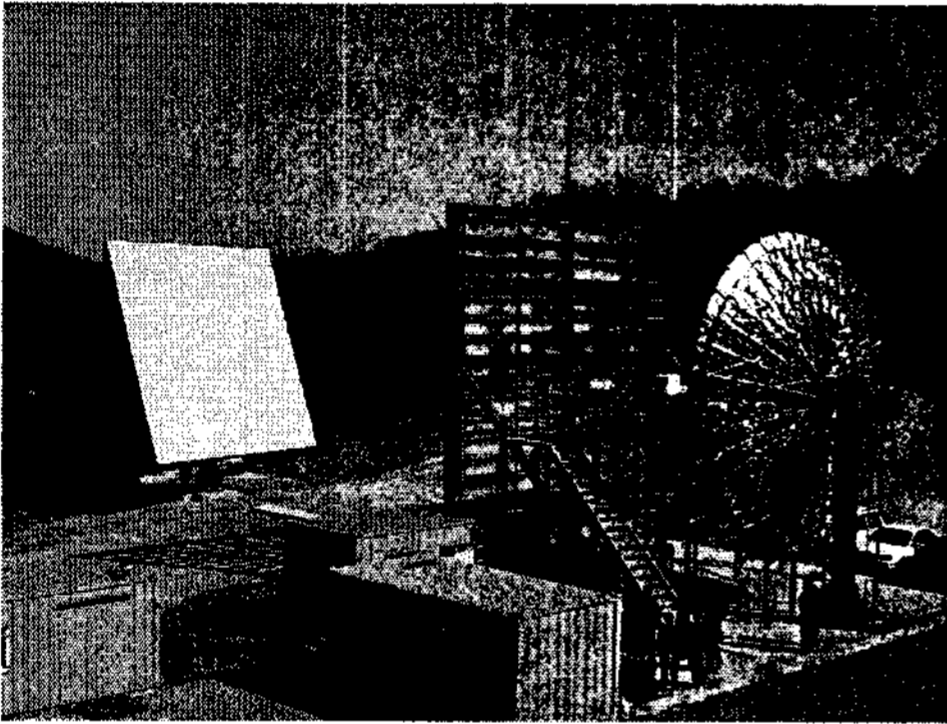


Fig. 11 태양열 화학반응 복합발전시스템 전체 설치전경

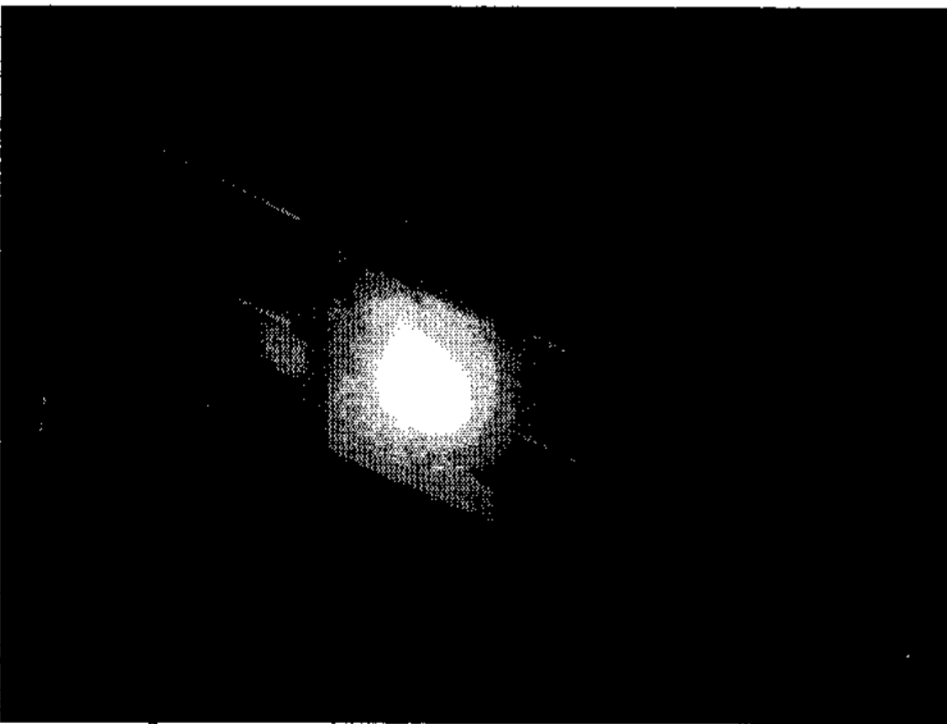


Fig. 12 고정형집광기의 태양열 2차 집광모습

5. 결론

본 논문에서는 태양열 화학반응 복합발전시스템의 설계 및 시공에 대해서 간략하게 소개하였다.

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 태양열발전

이 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 활성화되어 있지 않은 것이 현실이나 복합 발전 등 관련 분야에서의 연구개발 노력을 통하여 주요 핵심기술을 선점할 경우, 새로운 신재생에너지의 적극 활용은 물론 새로운 수익 산업의 창출이 가능할 것으로 기대된다

후 기

본 연구는 에너지관리공단의 연구비지원으로 수행되었음.

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.