

Dish형 집광장치 이용 10kWe급 태양열 발전시스템 설계 및 시공 사례

이 상남¹⁾, 강 용혁²⁾, 조 덕기³⁾, 유 창균⁴⁾, 윤 환기⁵⁾, 김 진수⁶⁾

Design and Construction Experiences of 10kWe Dish-type Solar Thermal Power Generation System

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

Key words : Solar thermal power generation(태양열 발전), Dish-type concentrator(접시형 집광기), Stirling engine(스터링엔진), Sun tracking system(태양추적시스템)

Abstract : KIER has been running a demonstration project for 10kWe solar thermal power generation. The project is to build and operate the first solar thermal power generation system in Korea. For concentrating solar thermal energy 40m² dish type concentrator was adapted and a stirling engine is going to be integrated to the system for power production. At the moment building the dish concentrator including mirror and 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. 서론

현재 세계적으로 태양열 고집광 관련 기술군은 기술적면에서 성장기에 있으며, 향후 중장기적 관점에서 국내 태양열이용 극대화를 달성하기 위해서는 보다 새로운 개념의 고효율 집광기술 응용과 태양열발전의 보급이 절대적으로 필요하다.

중,고온 집광 시스템의 경우에는 수평면 일사량보다 상대적으로 높은 겨울철 직달일사량을 이용할 수 있어 겨울철 획득열량이 평판형에 비해 높고, 기존 평판형 태양열집열기의 한계인 중고온 생산에 년중 높은 집열효율을 유지하여 4계절 내내 같은 부하의 공급이 이루어져 태양열시스템의 년중 사용에 따른 경제성 증가 및 적용분야 확대가 가능하다.

고집광기술의 선진국인 미국, 프랑스, 독일, 이스라엘 등에서는 태양열발전을 위한 집광비 600sun이상의 Dish형 시스템에서 부터 초고온(2,000℃) 획득을 위한 집광비 10,000sun이상의 태양로를 실현하여 첨단 신물질 및 신소재 제조 등에 이용하고 있다^{1,2)}.

전 세계적으로 태양열발전이 대규모 발전에서 소규모 발전으로 개발 보급되고 있는 시점에서 국내의 경우 태양열발전에 관한 연구는 아직 개발단계이며, 설치된 예가 전무한 상태이다.

국내의 경우 Dish형 태양열 집광기의 설계, 제작 기술을 확보한 상태이나 태양열발전을 위한 스텐링

엔진의 개발은 초보단계이다^{3,4)}.

이러한 시점에서 기술적으로 대체에너지 발전의 여러 형태가 국내에서 보급되고 있는 실정에서 전력계통 및 운전기술은 어느 정도 활용이 가능하나, 태양열발전이 전무한 국내 실정에서 태양열발전 운전의 데이터 수집 및 분석/ 고장율 분석 및 운전특성 분석 평가/ 집열성능 및 발전효율 등 시스템 성능평가/ 구동부 및 반사판 등 요소 성능평가/ 계통선 연결(분산형) 시스템 구축 및 태양열발전 시스템 자동 제어 기술/ 태양열발전 시스템의 복합이용 분석 및 년 간 발전량 예측/ 장기 성능평가 등이 절대적으로

- 1) 한국에너지기술연구원
E-mail : snlee@kier.re.kr
Tel : (042)860-3223 Fax : (042)860-3739
- 2) 한국에너지기술연구원
E-mail : yhkang@kier.re.kr
Tel : (042)860-3500 Fax : (042)860-3739
- 3) 한국에너지기술연구원
E-mail : dokkijo@kier.re.kr
Tel : (042)860-3561 Fax : (042)860-3739
- 4) 한국에너지기술연구원
E-mail : ckyu@kier.re.kr
Tel : (042)860-3515 Fax : (042)860-3739
- 5) 한국에너지기술연구원
E-mail : hkymoon@kier.re.kr
Tel : (042)860-3513 Fax : (042)860-3739
- 6) 한국에너지기술연구원
E-mail : jskim@kier.re.kr
Tel : (042)860-3549 Fax : (042)860-3739

필요하다.

그래서 한국에너지기술연구원에서는 2003년 10월부터 산업자원부 대체과제로 “Dish형 집광시스템 이용 태양열발전 실증연구”를 수행하고 있으며, 이 실증연구는 기 개발 완료된 Dish형 태양열 집광기를 이용하여^{3,4)} 국내 최초로 태양열발전의 타당성 및 신뢰성 확보는 물론 향후 국내 대체발전의 한 축으로 보급될 수 있는 태양열발전의 실측데이터를 제공할 수 있을 것이다.

본 논문은 이 실증연구의 현장 실증시스템인 “Dish형 집광장치 이용 10kWe급 태양열 발전시스템”의 설계 및 현장시공 사례를 소개하고자 한다.

2. 실증시스템의 기본 및 상세 설계

Dish형 집광장치 이용 10kWe급 태양열 발전시스템은 크게 구동부, Concentrator, 반사판, 발전부, 자동제어부로 구성되어 있다. 구동부는 태양의 방위와 고도를 추적하기 위해서 2축 회전이 가능해야 하며, Concentrator는 Parabolic Dish형으로서 윗면에 Parabolic 곡면을 형성하고 있는 반사판을 부착하여 반사면에 들어오는 태양광을 집광하여 발전부의 Stirling Engine 흡수기로 보내면 이 열에너지를 이용하여 Stirling Engine에서 발전을 할 수 있도록 되어있다. 그리고 자동제어부는 Master 및 Local 제어기로 나누어져 있다.

2.1 구동부

직달일사량 자원분석 및 평가는 고온집열 및 태양열발전시스템의 개발과 최적화를 위해서 절대적으로 요구되는 기초분야이며, 장기 성능예측 및 평가를 위해서도 필수적인 자료이다. 이를 토대로 본 실증시스템의 적용처는 Fig. 1과 같이 지리적인 위치가 적합할 뿐 만 아니라 지방자치단체에서도 설치장소 무상임대 및 기반시설공사비 지원 등 실증시스템 설치에 따른 적극적인 지원이 이루어지는 진해시 에너지환경과학원으로 선정하였다. 이 에너지환경과학공원은 환경기초시설에 대한 Nimby 현상 해소 및 균형적인 지역발전을 도모하고자 지방자치단체에서 추진하고 있는 신재생에너지 홍보관이어서 태양열 발전 실증시스템에 대한 홍보효과 또한 높을 것으로 판단된다.

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

Bottom Column은 태양열 발전시스템을 설치 기초 위에 고정시켜주는 부분으로서 바닥기초 및 토목공사시 매립·설치되는 L형-앵커볼트와 체결이 되도록 하부는 플랜지 모양이며 Column의 강도보장을 위해서 원주방향 30° 각도로 코너플레이트를 배치하여 설계하였고, 이때 Bottom Column 고정용 플랜지 볼트의 수량 및 직경은 Dish형 태양열 발전시스템 전체가 자중은 물론 태풍과 같은 풍압에 충분히 견딜 수 있는 강도로 설계하였다.

그리고 본 발전시스템의 태양추적장치는 실시간으로 태양의 위치를 자동 계산하여 방위각과 고도각을 계산하고 구동부에 설치된 태양추적센서로써 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 Worm Reducer를 구동하여 실시간으로 계산된 태양 방위각을 추적하고, 또한 2nd Middle Column의 Servo Motor는 2nd Worm Reducer를 구동하여 태양 고도각을 항상 추적할 수 있도록 하였다.

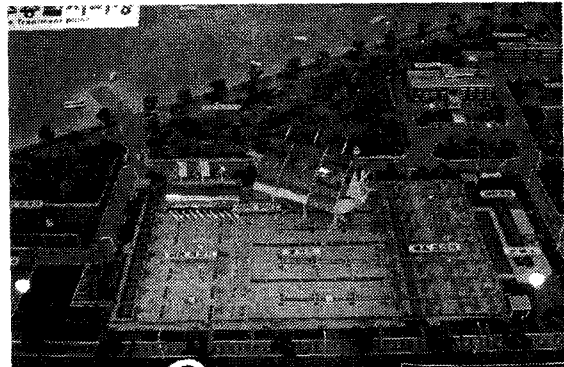
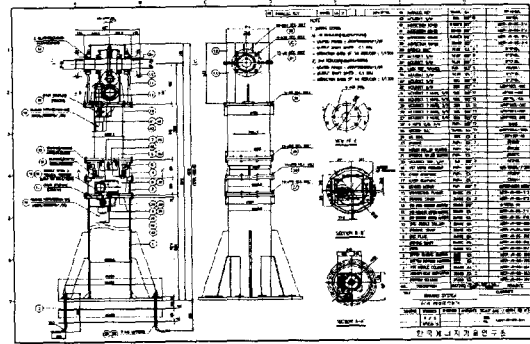


Fig. 1 진해시 에너지환경과학공원 조감도 (실증시스템 적용처)

Fig. 2 구동부 전체 조립도

2.2 Concentrator

10kWe/h의 발전용량에 맞는 집열면적을 계산하여

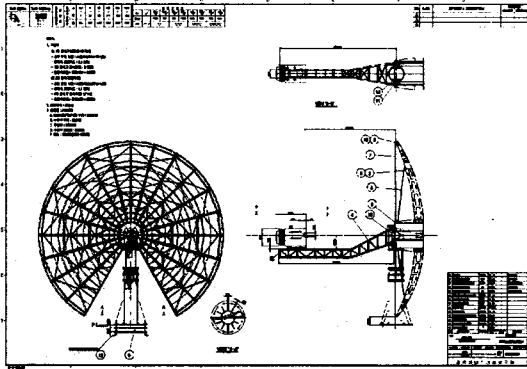


설계 완료한 선형(부채꼴) Concentrator의 프레임 외경은 8,300mm, 내경 1,500mm로서 포물선면 형상이 되도록 설계하였으며, 이 Concentrator는 Fig. 3과 같이 호의 각이 30°인 10개의 선형 모듈로 구성되어 300°를 이루고 있다. Concentrator는 트러스트 구조로서 주 프레임 재질은 SS400 앵글을 포물선면으로 밴딩·조립하고, 부식방지를 위해서 용융아연도금 처리를 하도록 설계하였다. 또한 발전부인 Stirling Engine의 수열부와 반사판의 초점거리는 4,980mm가 되도록 설계하였으며, 이 발전용 Stirling Engine 설치대는 트러스트 구조로서 전, 후, 좌, 우 방향으로 Stirling Engine의 위치 조정 및 탈부착이 용이하도록 설계하였다.

Fig. 3 Concentrator 전체 조립도

2.3 반사판

표면은 포물선면으로 가공하여 반사판의 초점이 스티어링엔진 수열부측 개구부(직경 180mm) 안으로 집광되도록 설계하였다. 그리고 이 선형 Concentrator Frame 위의 반사판 배열방법은 원주방향으로 3열(제1열 : 30° 각도-10매, 제2열 : 15° 각도-20매, 제3



열 : 15° 각도-20대)이 배치되도록 하여 총 50대(규격이 다른 3종류 배열)의 조각 반사판으로 구성되도록 설계하였다.

포물면을 갖는 규격별(3종류) 반사판을 제작하기 위한 금형의 크기는 실제 유리 규격보다 가로와 세로 방향 모두 60mm 이상 크게 설계하였다. 재질은 냉연강판 앵글을 사용하고 프레임의 가공은 초정밀급(오차범위 \pm 0.01mm) 레이저 가공기에서 가공하도록 설계하였다. Fig. 4와 같이 제작된 금형위에 두께가 3.2mm인 저철분 투명유리를 올려놓고 균일한 온도가열을 위하여 좌, 우, 전, 후, 천정 등 5면에 전기히터가 장착된 가열로에서 약 600-650°C로 1시간 이상 성형한 후, 가열로내 각면의 온도편차가 80°C 이상이 되지 않도록 서냉을 통한 어닐링으로 Parabolic면을 가지는 3가지 유형의 반사판을 제작하도록 하였다.

포물면으로 성형된 3.2mm 투명 반사판 뒷면에 태양광을 반사시키기 위한 반사코팅을 하는데, 이 반사코팅재의 특성은 햇빛, 습기, 바람, 일교차 및 계절변화로 인한 표면 온도변화 등과 같은 외기 자연 조건에 장시간 노출되었을 때 코팅재가 탈색되거나 반사판으로부터 탈락되지 않고 항상 높은 반사율을 낼 수 있어야 한다. 이를 위해서 1차 코팅재는 알루미늄(순도 : 99.99%, 두께 : 100Å), 2차 코팅재는 Mirror용 보호도료(두께 : 30-50 μ m), 3차 코팅재는 에나멜(두께 : 30-50 μ m)을 사용하였다.

그리고 반사율 감소 최소화를 위하여 얇은 유리로 만들어진 반사판은 조그마한 외력에도 Parabolic면으로 되어있는 초점이 분산되는 것을 방지하기 위하여 햇빛에 장시간 노출되어도 탈색되거나 변형이 생기지 않는 썬라이트판으로 뒷면을 보강하였다. 이 썬라이트판에는 반사판과 접촉축이 되도록 돌기를 설치했고, 돌기사이에 방열홀을 가공하여 외기와 통풍이 원활하게 이루어져 습기와 열충격 등으로 인한 코팅재 부식 또는 반사판 파손을 방지하도록 설계하였다.

2.4 발전부

고온으로 집광된 태양열을 이용해 발전을 행하기 위해서는 열을 동력으로 전환시키는 적절한 사이클의 엔진과 얻어진 동력으로 전기를 생산하는 발전기가 필요하다. 외연기관인 스테링엔진은 오토 혹은 디젤 엔진과 같은 내연기관과 달리 외부 열원에 의해 구동되는 폐쇄 사이클로서 태양열에 의한 동력의 생산에 매우 적합하고, 엔진 내부에서 연소과정이 없는 관계로 소음이 매우 적은 특징이 있다. 또한

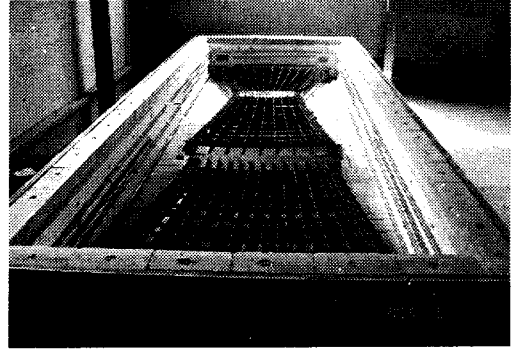


Fig. 4 반사판 제작용 금형(3종류) 및 전기로 LFG, 바이오에너지 등을 이용해 전기를 생산할 수 있다는 장점을 지니고 있어 다양한 신재생에너지의 효과적 활용을 위해서 널리 주목받고 있다.

그러나 국내에서는 아직 이 스테링엔진의 연구개발은 미흡한 실정이며, 본 현장 실증시스템에서는 독일의 S사에서 생산하는 10kWe급 태양열 전용 스테링엔진을 도입하여 부착할 예정이다.

2.5 자동제어부

자동제어부는 크게 추적제어시스템(Master 및 Local 제어기)과 전원통제시스템으로 나눌 수 있다.

추적제어시스템의 Master 제어기는 기상데이터 측정 장치나 각종 센서 등으로 입력되는 신호로 태양 추적시스템의 동작 상태를 결정하는 신호를 Local 제어기에 전송, 수동 및 자동 운전제어, 일출 및 일몰 시간을 계산하여 주간 및 야간 운전모드 등을 결정할 수 있도록 설계하였다.

전원통제시스템은 발전기의 정상동작 및 나오는 전력을 검사하여 정상출력시 상용전력선에 송전하고, 비 정상출력시 안전조치를 취하게 하는 역할을 한다.

Fig. 5와 같이 자동제어시스템은 상용 PLC(Programmable Logic Controller)를 Master 제어기로 사용하여 구축하였다. 상용 PLC는 신뢰성이 보장되어 있는 범용 제어기로서 본 연구의 통합 자동제어시스템의 구조를 단순화 시킬 수 있으며, 태양추적을 위한 Servo Motor 제어기, Analog Data 및 각종 Digital Data의 입출력 등을 분리하여 사용함으로써 유지보수가 편리하다는 이점을 가지고 있다. 또한 PLC는 자체 진단 기능을 보유하고 있어서 시스템의 고장과 같은 동작 상태의 파악이 용이하고, 주변 장치와의 데이터 통신을 위한 RS-232 등 표준 통신 프로토콜을 제공함으로써 시스템 확장 및 통합시스템의 구축을 편리하게 하는 이점을 가지고 있다.

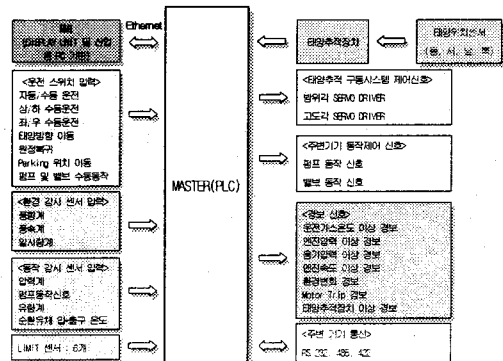


Fig. 5 자동제어시스템 구조도

3. 실증시스템의 적용처 현장 설치

3.1 설치장소 기반작업

적용처의 지반은 바다를 매립한 지형이므로 부동침하 및 횡력에 견디게 하기 위해 기초보강 파일 2개를 박아 콘크리트로 기초공사(3m x 3m x 1.5m)를 하였다. 또한 본 실증시스템의 보호 및 작업공간을 확보하기 위해 12m x 10m x 12m x 0.2m 크기의 바닥 콘크리트와 높이가 1.2m의 보호용 펜스를 설치하였다.

3.2 주요 공정별 현장 설치

(현장설치 사진 중심으로...)

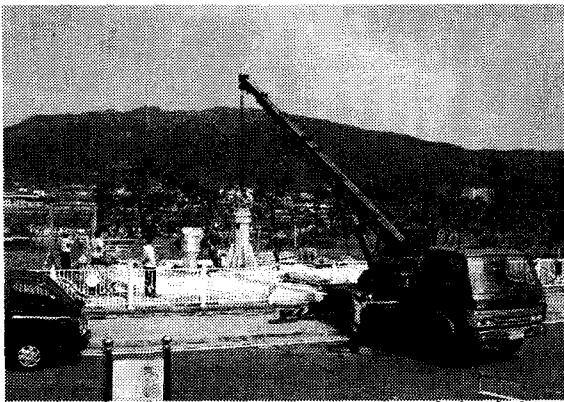


Fig. 6 구동부 및 Concentrator 설치 전경

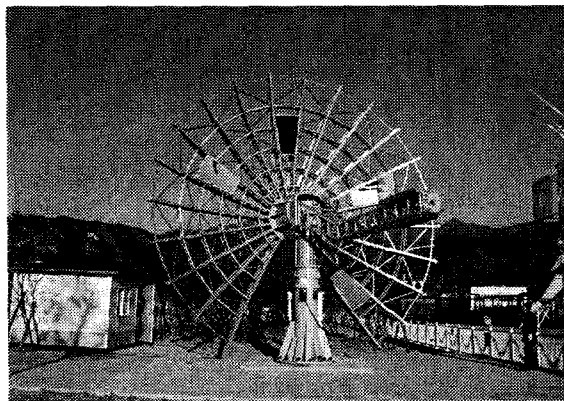


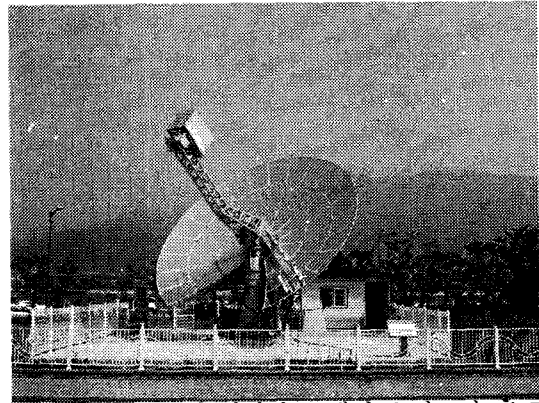
Fig. 7 구동부 및 Concentrator 조립완료 후 포물면 반사판 부착 전경

Fig. 8 태양열 발전시스템 전체 설치 전경

4. 결론

본 논문에서는 산업자원부 대체과제 실증화평가사업으로 2003.10~2006.2월까지 수행예정인 "Dish형 집광시스템 이용 태양열발전 실증연구"의 현장 실증시스템 설계 및 시공에 대해서 간략하게 소개하였다.

향후 연구 추진계획은 1) 추적제어시스템의 정밀



도 실험 및 포물면 반사판 50매의 초점조정 후 Flux Mapping, 2) 기상조건에 따른 집광시험 및 결과분석 후 스테어링엔진의 열원으로서의 타당성 예측, 3) 10kW급 스테어링엔진 부착 및 한국전력 계통선에 연결하여 발전전력 공급, 4) 각 요소별 특성시험, 장단기 성능데이터 모니터링, 운전 실증평가 등을 수행할 예정이다.

과제 최종목표는 국내에서 최초로 개발된 Dish형 태양열 집광기를 이용한 태양열 발전시스템의 현장 실증 및 평가를 수행한 후 국내적용 타당성을 확보 하자는 것이다. 이 목표가 달성되면 Dish/Stirling 태양열 발전시스템을 국내에 보급은 물론 해외수출을 추진하여 미래 첨단 대체에너지발전사업으로 확대가 기대된다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단의 연구비지원으로 수행되었음 (과제번호 : KIER A44910)

References

- [1] L.D Jaffe, "Test Results on Parabolic Dish Concentrator for Solar Thermal Power Systems" Solar Energy, Vol.42, No.2, 1989, pp.173-187
- [2] Primatov, I., Riskiev, T., and Sagatov, A., 1998, "The Calculation Technique for the Mirror-Concentrating System Radiation Field", Applied Solar Energy, Vol.34, No.5, pp.49-55
- [3] 강용혁 등, "Dish형 태양열 집광시스템 개발", 한국에너지기술연구소, 1999.
- [4] 강용혁 등, "Dish형 집광시스템 적용 산업용 태양열시스템 실용화 개발", 한국에너지기술연구원, 2000N-S001-P-01, 2003.