

집광형 태양광 열병합 발전시스템 개발 연구

전기와 온수생산이 가능한 집광형 태양광 열병합발전시스템 연구개발 성과에 대해 소개하고자 한다.

집광형 태양광 열병합발전시스템은 태양광을 집광하여 전기를 생산하는 태양전지 모듈과 집광 시 축열된 태양열을 온수나 증기로 변환하는 보일러장치를 결합한 에너지생산시스템으로 태양광을 이용해 전기와 온수생산이 가능한 것이 특징이다. 개발배경 및 동기는 기존의 집광형 태양광 발전 및 보일러 장치를 결합한 하이브리드시스템 모델의 단점이 추적기 및 집광시 초점 제어 애로, 무거운 중량 구조 및 중앙제어방식 운전으로 가동률 저하 및 운전시 자체 소모전력이 많고 경제성이 낮아 이러한 단점을 개선하는 데 있다. 2013년도 서울시의 중소기업 제품 상용화 지원사업의 일환으로 약 1년에 걸쳐 산학연 연구개발사업으로 추진되었다.

개발목표는 1.5 kW의 전력과 3.0 kW의 온수를 생산할 수 있는 집광형 태양열보일러 장치를 개발하는 것이며, 현재는 태양전지 발전효율 25%, 온수생산 효율 50% 이상 총 효율 75%이상의 전력과 온수 생산이 가능한 시제품을 완성하여 상용화를 위해 시험운영 중이다.

집광에 의한 태양광발전 시스템 원리

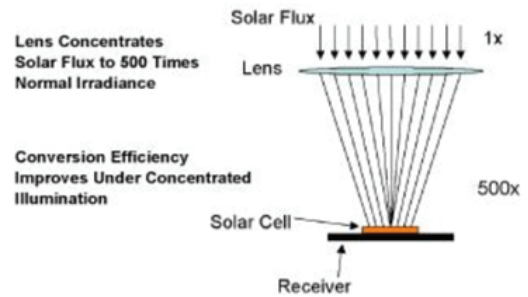
집광형 태양광발전시스템은 태양광 집광을 위해 그림 1과 같이 렌



[그림 1] 집광형 태양광 발전 시스템 비교

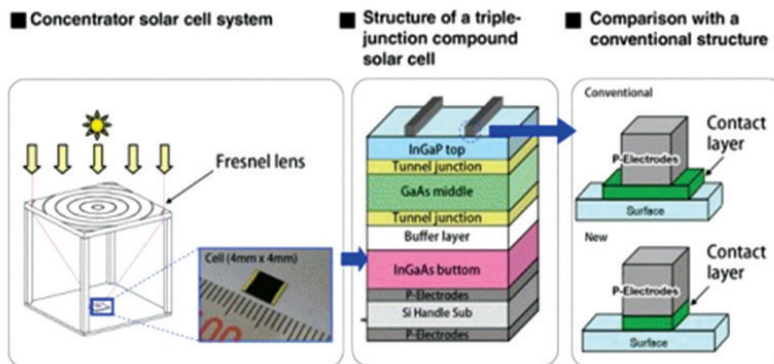
즈를 이용한 집광방법과 반사관을 이용한 집광 방법을 적용하고 있으며, 두 가지 모두 저, 중, 고집광에 따른 설비를 갖출 수 있고, 모듈 효율이 PV나 박막 태양전지보다 높다. 집광효율은 2013년부터 실험단계이지만 현재 최대 44%(Amonix Co.)를 달성하였고, 집광에 사용되는 소자는 화합물을 이용한 소자로 열에 강하나, 여전히 높은 온도일수록, 최대 효율을 달성할 수 없으므로 효율 향상을 위해 방열 시스템을 개선하여 구현해야만 보다 높은 성능을 향상시킬 수 있다.

- 집광을 위해 사용되는 렌즈(Fresnel Lens)에 대한 고집광 기술이 필요하며, 이와 관련하여 집광을 위한 충분한 거리가 필요하다. 렌즈 타입 고집광형 태양광 발전의 원리는 그림 2와 같다.
- 집광된 태양광의 효율적인 발전은 태양광 모듈



[그림 2] 렌즈 타입 고집광형 태양광 발전 원리

- 렌즈를 이용한 고집광형 태양광 발전 시스템은 태양광을 500~1,000배율로 집광함으로써 높은 효율을 갖는 태양광 발전 방식이다.



[그림 3] 렌즈 타입 고집광형 태양광 발전 모듈 구성

의 성능 및 태양광 모듈에서 발생하는 열에 대한 충분한 냉각 성능이 발휘되어야 달성되며, 태양광 발전 모듈은 그림 3과 같이 구성된다.

- 또한, 렌즈와 모듈간의 공간에서 태양광에 의해 생성된 높은 온도의 공기와 온도 증가로 인한 격벽의 열팽창으로 인해 발생하는 구조적 문제를 해결하기 위한 대책이 중요하다.
- 이러한 열에 의한 기구적 문제를 해결하기 위해서 방열판을 적용하거나, 수냉식의 방열 방법 또는 최대 방열면적을 이용한 공냉식 방법을 적용하고 있다.

집광형 태양광발전(CPV) 기술개발 추세

- 고집광형 태양발전은 발전단가를 크게 낮출 수 있는 잠재력이 큰 기술로 알려져 있으나, 그동안 더딘 산업성장을 보여 왔으며 2008년 경제위기 침체에서 벗어나 재도약을 위한 기지개를 펴고 있어 2010년부터 2020년까지 125.3% CAGR의 고속성장이 예상되고 있다.
- 고집광형 태양발전은 최근 Soitec, SolFocus사 등이 미국 캘리포니아를 중심으로 Silicon사업자를 제치고 몇몇 대형발전 사업을 수주한 바 있으며, 그동안 기술적 검증이 많이 되었고, 특히 고효율 III-V족 화합물반도체 셀의 경쟁적 개발과 단가 하락으로 고집광 발전의 선순환적 시장구조를 서서히 형성하고 있으며 2015년경에는 경제성면에 있어서 CdTe 발전을 제외하고는 경제성이 가장 높은 기술로 전망되고 있다(DNI ≥ 7 kWh/m²/day 지역의 경우).
- 중집광형 태양광 발전은 고집광 태양광 발전처럼 고가의 고효율의 III-V 화합물계 태양전지를 사용할 때 가격 경쟁력을 확보하기는 어려운 상태이다.
- 중집광형에서는 Si기반의 태양전지를 이용하여

100× 미만의 집광배율에서 최적의 효율을 갖는 집광형 태양전지를 제작하여 저가의 집광형 태양광 시스템을 제공함으로써 일반 태양광 발전 시스템에 비해 가격 경쟁력을 확보하는 방향으로 추진되고 있다.

- 중집광 태양광 발전 시스템은 1축 추적기에서 구동이 가능하며 2축 추적기의 경우에도 고집광 시스템 같은 고정밀 추적에 대한 제약이 덜 해 중저가형 가격으로 시장 진출이 가능할 것으로 예상된다.

집광형 태양광 열병합발전시스템 개발 내용 및 성과

기존 장치는 전력생산 600 W로써, 온수생산을 위한 열에너지는 방열하여 버려졌으나, 구조적 성능 및 용량 개선으로 1.5 kW의 전력과 기존 방열시켰던 열에너지를 흡열하여 활용함으로써, 3.0 kW의 온수를 생산할 수 있는 태양열 보일러 장치를 제작하여 상품화하는 데 있다.

개발 핵심 내용 및 주요 기능

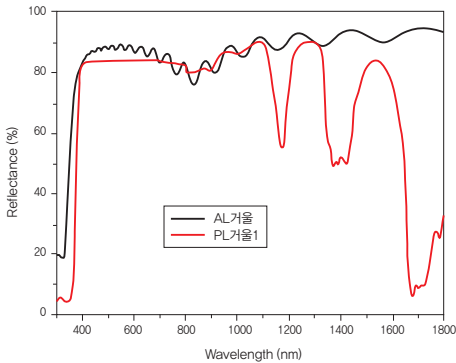
- 핵심 개발내용은 중집광 CPVT 모듈(전기 1.5 kW, 온수 3.0 kW) 및 열병합발전시스템 개발과 CPVT 열병합발전시스템 부품을 국산화하는 것으로 시스템효율은 태양광 전체 수율 75%(발전 25%, 온수50%) 수준으로 양산시 20년 이상 장수명 및 경제성이 우수한 저비용 고품질의 보급형 시스템을 개발하였다.
- 주요기능으로는 자동운전 및 자동 초점 기능을 구현하여 태풍시 자동으로 모듈 보호모드를 선택하여 풍압으로 인한 피해를 방지하고, 비와 눈, 구름 등으로 일시적으로 발전이 멈췄다가 재가동될 경우에는 자동으로 누적 기상 데이터값을 적용하여 태양을 다시 추적하며, 정밀도 측면

에서 무유격($\pm 0.1^\circ$)의 정밀한 태양광 자동추적 기능이 특징이다.

- 주요부품으로 집광판 및 반사판은 가볍고 단순한 현장 조립형 DIY-Kit 상용화 모델로 개발하였으며, 온수겸용 하이브리드 집광모듈은 기존 PV 모듈보다 2/3 정도 작은 면적으로 온수 및 전기 생산이 가능하도록 적용하였고, 일사량이 많은 사막형 고온 지역에서도 고효율 발전이 가능토록 냉각기능을 보강하였다.

집광형 태양광 열병합발전시스템 개발 목표 및 성과

집광형 태양광 열병합발전시스템 개발목표 및 성과에 관한 상세내용은 표 1에 나타내었으며, 구성품 중 알루미늄 유리거울 반사판의 반사율 측정 시험 특성표는 그림 4와 같다.



[그림 4] 알루미늄 반사판 반사율 측정시험 특성표 (측정 : 한국나노소자 센터)

[표 1] 개발목표 및 성과치

구성품	개발 목표치	개발 성과치
태양추적 구동장치	방위각 체인유격 1.0 mm 이하 고도각 전동실린더 유격 1.0 mm 이하	방위각 유격 1.0 mm 이하 고도각 유격 1.0 mm 이하
반사판	반사율 90% 이상, 반사곡률 정밀도는 초점 위치에 100 mm 이내	반사율 평균 92% 이상
열교환기	열교환 율 80% 이상	열교환 율 80% 이상
CPV 모듈 및 어레이	25% 전력생산	25% 전력생산, 50% 온수생산

집광형 태양광 열병합발전시스템 개발 시제품 결과

시제품 주요 기능 및 제원

Helio-6H Hybrid CPV는 가능한 가장 효율적인 태양광 발전 및 온수생산이 가능한 집광형 태양광 열병합발전시스템이다. Helio-6H는 태양광을 선형 초점에 반사 및 집중하는 고도의 반사 알루미늄으로 처리된 유리 주입 거울을 활용하는 집중 태양열 발전(Concentrated Solar Power, CSP) 기술을 적용하였다.

Helio-6H 하이브리드시스템은 전기 전력 최대 1.5 kW와 시간당 3 kW의 열(2,500 kcal/시간)을 생산하며, 타 기술 대비 6년 이상 원금회수 기간을 단축할 수 있는 것으로 평가되었다.

Helio-6H는 가장 극단적인 기상 조건에서 견딜 수 있도록 구축된 최첨단의 하이브리드 태양광발전 및 온수생산시스템으로 그린홈 태양광 보급시장을 선도할 것으로 전망된다.

- 태양 추적장치 : Helio-6H 하이브리드시스템의 '태양 그림자 2축 제어 추적 시스템(Sun Shadow Controlled 2-Axis Tracking System)'이 종일 태양을 추적한다. 이것은 기존의 고정 설치된 PV 태양광 및 태양열 패널에 비해 800% 더 경제적이고 효율적으로 태양에너지 수집을 극대화시킨다.
- 솔라 응용 제품 : Helio-6H는 주로 태양열 전력

과 난방 온수 시스템이나 냉방 기능을 추가로 제공할 수 있다. Helio-6H는 태양열 온수난방 또는 냉방을 위한 통상적인 PV와 평판식 집열기 또는 진공관 기술보다 더 많은 응용 프로그램에 적용할 수 있으며, 하이브리드 CPV 태양광 기술을 응용하여 다음과 같은 용도로 사용될 수 있다.

- 태양열 발전기

- 태양열 발전소
- 난방
- 흡수 냉각기를 이용한 냉방
- 온수
- 프로세스 발열

○ 시제품 Helio-6H의 상세제원은 표 2와 같다.

〈표 2〉 시제품 Helio-6H의 제원

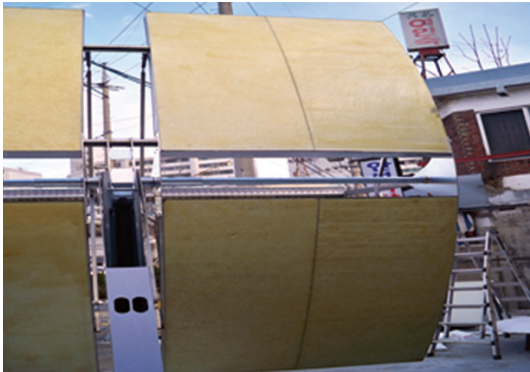
제품제원서	
집열기 영역	6 m ²
태양열 전기 효율	25%
열효율	50%
추적기능	2개 축
온도 보호 야간 리턴 및 파킹(Dark return and parking)	과열, 동결 센서 자동 스톱우 모드
최대 리시버 온도	150°C
일차 (냉각제)루프의 최대 유체 온도	90°C
최대 유체 압력	150 kPa
과열 보호	자동 집열기는 서바이벌 위치(수직 축)에서 중지
열전달 유체	프로필렌 글리콜 /물 혼합액(40%/60% to -18°C) or (50%/50% to -30°C)
유량	10 L/Min
전원 공급	24 VDC, 3 A
치수 & 영역	
반사체 치수	2 m x 3 m(6 m ²)
초점 거리	1.2 m
집열 수신기	100 mm x 2000 mm Fin type
마운팅 포스트(Mounting Post)	0.4 m
전력 생산 @ 1000 watts/m²	
Kwp 전기	1.5 kW/hour
최대치 전압, 전류	176 VDC, 6.3 Amps
온수 생산 @ 1000 watts/m²	
Kwp 열	3 kW/hour
최대치 열	2,500 kcal/hour
소재	
반사체	알루미늄 처리된 유리(92% 반사율)
마운팅 포스트(Mounting Post)	철
무게	250 Kg
전력 소모	
수직축 모터	15 W
수평축 모터	15 W
예비 전원	태양 전지와 충전배터리

○ CPV 최종시제품(전면, 측면, 후면 등)

그림 5는 시제품 Helio-6H의 단위 부품을 개발 및 제작하여 조립한 실물 완성품 사진이다.



(a) 전면 가로 2.5 미터 세로 3.3 미터



(b) 후면 1.25 미터 x 1.5 미터 4조 조합



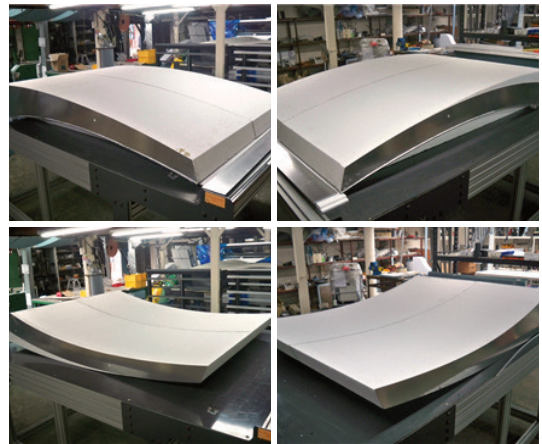
(c) 측면 하이브리드 모듈 설치

[그림 5] CPV 최종시제품

집광형 태양광 열병합발전시스템 주요 부품 개발 결과

○ CPV 반사판(유리 반사거울) 개발 시제품 사진

그림 6은 시제품 Helio-6H에 적용한 92% 반사율의 반사판 모습을 나타낸 것으로써 알루미늄 처리된 유리를 사용하여 반사곡률 정밀도가 초점위치 100 mm 이내로 제작한다.



[그림 6] CPV 반사판(유리 반사거울)

○ 열교환장치 개발 시제품 사진

CPV 셀 리시버 모듈에서 방열되는 400℃ 이상의 고온의 태양열에너지를 순식간에 90℃ 이상의 온수로 변환토록 하는 워터젯 방식의 판형 열교환 장치를 그림 7과 같이 제작한다.



[그림 7] 판형 열교환장치

○ 추적장치 및 구동장치 시제품 사진

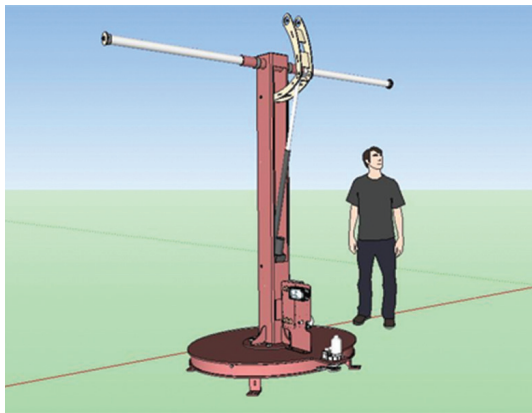
정밀도 0.1도의 초정밀 태양광 추적센서와 반사판의 방위각과 고각을 자동으로 조절하는 2축의 유압 실린더형 구동장치를 그림 8과 같이 제작한다.

기존제품과의 차별성 및 기대효과

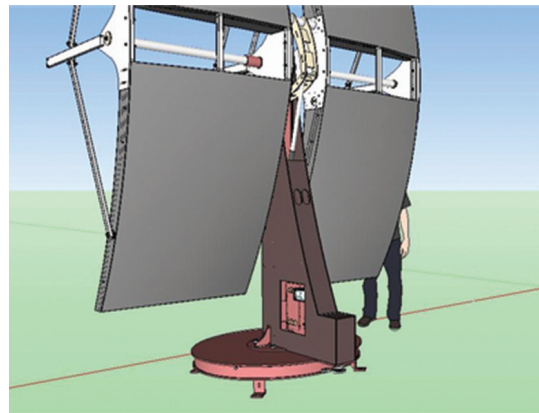
신규 개발제품은 태양광 집광장치의 개념을 실

용화하기 위하여 태양전지 발전효율 25% 이상 온수생산 효율 50% 이상 총 효율 75% 이상의 태양열 보일러장치로서 성능 면에서 기존 제품의 기능과 용량을 확장하여 그린홈사업에 활용하도록 개선 제작하였다.

기존제품과의 가장 큰 차이점은 기존 제품들이 전력 또는 온수만 생산하는 시스템이나, 개발제품은 전력과 온수를 동시에 생산함으로써 에너지비용



(a) 고도각 구동모터 및 실린더 구동장치와 열교환기 및 트래커 컨트롤러 설치



(b) 반사판 설치



(c) 시제품 최종 조립 완성모습

[그림 8] 태양광 추적장치 및 구동장치

절감이 2배 이상 달성 가능하다는 점이다. 기존 600 W급 집광형 태양광발전시스템에 온수생산 장치와 모듈 용량을 1.5 kW급으로 확대 적용하여 제품을 개선함으로써 전력 및 온수 생산이 가능토록 일체화하였다.

핵심기술은 태양추적기술, 고집광기술, 고집광 쉘리시버 및 흡열장치를 제작하여 태양광 열병합 시스템을 구현하는 것이며 이를 위해 구동장치 등 기존의 기술과 부품을 응용하여 실패 요인을 최소화하였으며, 실용적 가치를 최적화하여 최소비용으로 최대성적을 달성하도록 시제품 개발을 완성하였다.

현재 국내 태양광 산업은 공급과잉으로 시장이 위축되어 있지만, 태양광 설치 시장은 매년 꾸준하게 성장하여 향후 2015년에는 51.2 GW, 2020년에는 83.3 GW의 설치가 예상되며, 2020년까지 누적 설치 규모는 총 565 GW에 이를 것으로 전망되고 있다.

세계시장은 2014년 907억 달러에서 2023년에는 2,285억 달러로 연평균 10.2% 성장이 예상되고, 국내시장 역시, 2014년 약 9,982억 원에서 2025년 25,139억 원으로 세계 시장과 유사한 연평균 10.2% 씩 성장할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구개발 제품이 하루 빨리 현장 시험운영이 완료되어 태양광 산업 발전에 기여하길 기대한다.

사사

상기 원고는 “서울시 산학연 협력사업(JP130018)” 지원사업에 의해 수행한 연구성과를 기초로 작성 제시한 내용입니다.

참고문헌

1. 2013년도 중소기업 제품상용화 사업 계획서(서울시, 과제번호 JP130018).
2. 가스열병합 발전과 타 에너지원과의 연계활성화 방안 연구, www.keca.or.kr.
3. 글로벌 태양광산업의 전망과 전략적 시사점, www.hanyang.ac.kr/home_news/.
4. www.solarnenergy.com/kor/pr_service/analyst_show.php?sub_cat=3&bbsId=2942&tbl=bbs.
5. 2013 재생에너지 현황 보고서-REN21, 번역 신·재생에너지학회 녹색에너지전략연구소.
6. 태양광산업 현황 및 발전 전략, 한국에너지기술평가원, 2012.
7. 한국지역난방공사 2013년 분기 보고서, 한국지역난방공사, 2013.
8. 2014년 세계 태양광산업 전망, 한국수출입은행 해외경제연구소. 