

◆ 특집 ◆ 태양광 활용기술

국내의 태양열 이용 기술 개발 현황

Status of Technology Development for Applying Solar Thermal Energy in Korea

이주한¹, 서태범²
Juhan Lee¹ and Taebeom Seo²

¹ 인하대학교 기계공학과 대학원 (Graduate School, Department of Mechanical Engineering, Inha University)

² 인하대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Inha University)

✉ Corresponding author: seotb@inha.ac.kr, Tel: 032-860-7327

Key Words: Solar Thermal Technology (태양열 기술), Renewable Energy (신·재생에너지)

1. 개요

폭증하고 있는 개발도상국들의 에너지 소비 증가율, 독과점 체제가 형성된 자원시장, 끊이지 않는 원유보유국에서의 분쟁으로 인한 에너지 수급비용의 폭등으로 신·재생에너지의 상용화가 더욱 절실해지고 있다. 이르면 2010 년, 늦어도 2027 년 정점에 도달한 후 급격히 감소할 것으로 전망되는 원유생산량은 화석에너지를 주축으로 한 에너지 시스템의 개혁을 요구하고 있으며, 대다수 전문가들은 근본적인 해법으로 신·재생에너지의 개발을 꼽고 있다.

신·재생에너지는 석유 고갈 문제 및 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 지속 가능한 에너지 시스템으로서, 태양광·풍력·연료전지·수소·태양열·바이오·소수력·지열·폐기물·석탄액화 및 가스화·해양에너지 등 총 11 개의 에너지원으로 정의되고 있다(신에너지 및 재생에너지 이용·개발·보급 촉진법 제 2 조). 국내의 경우 1987 년부터 개발을 시작하였으나, 1990 년대 저유가시대를 거치면서 관심과 투자가 저조한 실정으로 2004 년 말 현재 총 1 차 에너지 소비의 2.3% 수준에 불과하며, 그나마 폐기물과 수력이 대부분(95.8%)으로 기술 집약형 신·재생에너지인 풍력, 태양열

등은 극히 미미(0.9%) 한 실정이다. 이와 같은 상황에서 정부는 2011 년까지 총 1 차 에너지의 5%를 신·재생에너지로 공급한다는 목표(신·재생에너지기본계획, 2003.12 월)를 갖고, 2004 년을 신·재생에너지 원년으로 삼아 예산, 조직, 법령 등 정책기반을 강화하는 동시에 기술개발 및 보급사업을 적극추진하고 있다.

그 중에서도 태양열은 태양으로부터 오는 복사에너지를 흡수하여 열에너지로 변환 시키거나 고밀도로 집광하여 전기로 변환하여 이용되는 클린 에너지로서, 공해문제 해결과 에너지 수급을 위해 필수적으로 발전시켜야 할 에너지 기술 분야이다.

본 논문에서는 국내 신·재생에너지 분야 중 태양열에 관련된 연구 및 기술동향의 분석과 해외 선진 사례를 토대로 앞으로 나아가야 할 방향에 대하여 모색하고자 한다.

2. 국내 연구 동향 분석

Table 1 에서와 같이 태양열 이용 시스템은 활용 온도에 따라 저, 중, 고온용으로 나눌 수 있다. 활용 온도 90℃ 이하를 저온용이라 정의하며 건물 난방 및 대규모 온수 급탕 시설이 여기에 포

함된다. 대표적인 집열 방법으로 CPC 형이 있다. 300℃ 이하의 온도를 사용하는 것을 중온용 이라 하며 주로 PTC 형, 진공관형 집열기 방식으로 사용된다. 일반적으로 건물냉난방, 산업 공정열, 폐수처리에 이용된다. 300℃ 이상의 온도를 사용하는 것을 고온용이라고 하며 대표적인 집열 방식으로 디쉬형, 솔라 타워형이 있으며 대규모 발전, 광화학용으로 이용된다.

Table 1 Type of solar thermal system

| | 저온용 | 중온용 | 고온용 |
|-------|-----------------|---------------------|---------------|
| 온도 | 90℃ 이하 | 300℃이하 | 300℃ 이상 |
| 장치 | CPC 형 집열기 | PTC 형, 진공관형 집열기 | 디쉬형 집열기, 솔라타워 |
| 적용 분야 | 건물난방, 대규모 온수 급탕 | 건물 냉난방, 산업공정열, 폐수처리 | 발전, 광화학용 |

2.1 저온용

2.1.1 CPC 형 집열기 (Compound Parabolic Concentrator)

CPC 형 집열기란 90℃ 이하의 온도를 활용하는 것으로서 지표면으로 도달하는 태양복사에너지를 그대로 집열하는 방법이다. 활용온도를 기존의 평판형 집열기와 비교하였을 경우에 좀 더 발전된 형태라 할 수 있다. CPC 형 집열기는 전도 및 대류 열손실을 최소화하기 위해 이중 진공관 내부에 집열기를 설치하여 사용한다. 선행 연구로는 방위각을 변화시키는 태양 추적을 통해 보다 높은 효율을 얻을 수 있도록 집열기의 열성능에 대한 연구가 있다.¹

국외에서도 국내와 마찬가지로 태양을 2 축으로 추적할 수 있는 제어시스템에 대한 연구와 집열기 형상 및 재질의 변화에 따른 집열 효율을 향상시키는 연구가 진행되었다.² Fig. 1 은 태양의 고도각 및 방위각 추적이 가능한 시스템이며 집광된 태양 복사 에너지를 이용하여 물을 가열할 수 있는 CPC 형 집열기이다.

국내의 선행연구사례와 같이 CPC 형 집열 장치의 열성능을 향상시키기 위해서는 다른 시스템들과 접목하여 복합적으로 운용할 수 있는 방안을 연구해야 할 것이다.

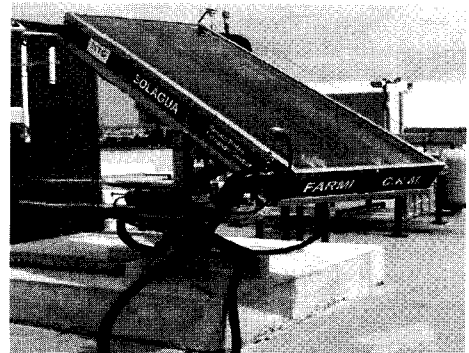


Fig. 1 Sun tracking CPC collector²

2.2 중온용

2.2.1 PTC 형 집열기 (Parabolic Trough Concentrator)

활용 온도의 구분에 따라 중온용에 포함되어 있는 PTC 형 집열기는 태양열 집열 장치 중에서 가장 활발한 선행연구들이 진행되어서 이미 상용화단계에 있다. PTC 형 집열기는 포물선형 반사판에 의해 태양복사에너지를 집열하여 300℃ 이하의 중온을 얻을 수 있는 태양열 집열 시스템이며 1 축 태양 추적 장치에 의해서 태양을 추적한다.

앞에서 언급한 CPC 형 집열기는 태양 복사 에너지 흡수 면적이 외부의 열손실과 비례하기 때문에 열효율이 낮은 단점을 갖고 있다. 따라서 주로 온수 급탕과 같은 낮은 온도에 사용된다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 반사경과 흡수면이 결합되고 축 제어가 가능한 PTC 형 집열기에 대한 선행 연구가 있다.³ PTC 형 집열기는 태양복사에너지가 흡수되는 개구부의 면적이 넓기 때문에 많은 에너지를 집광할 수 있고 방출되는 면적이 상대적으로 작기 때문에 열손실을 최소화하여 저온용에 비하여 상대적으로 높은 온도를 얻을 수 있는 장점이 있다. 선행연구로는 집열 성능을 향상시키기 위해서 PTC 형 집열기를 항상 태양복사에너지가 입사되는 방향으로 일치시키는 자동제어시스템 연구가 진행되었으며 집광 시스템의 작동조건 및 집광비의 변화에 따른 집열성능의 변화를 분석하였

다.⁴ PTC 형 집열기의 성능은 설계 기술, 제조기술, 재질이 성능에 영향을 미치는 중요한 요소이다. PTC 형 집열기의 광학적 분석을 토대로 하여 광학적 오차가 흡수기 직경에 미치는 영향, 흡수관 직경 및 유리관과 흡수관 사이의 간격을 결정하는 연구가 있다.⁵

국외에서는 PTC 형 집열기에 의해 집광된 태양에너지와 히트파이프를 이용한 냉동기 시스템을 분석하였다. Fig. 2 는 PTC 형 집열기와 히트 파이프가 결합된 냉동시스템의 개략도이다. 1 번이 PTC 형 집열기이고 2 번이 히트파이프 이다. 흡수기인 3 번에서 집광된 에너지는 6 번인 벨브를 통해 냉동시스템으로 이동한다.

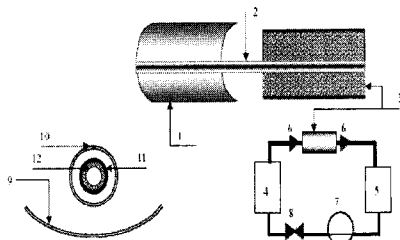


Fig. 2 Refrigerating system using the PTC collector

2.2.2 진공관형 태양열 집열기 (Evacuated Tube Solar Collector)

진공관형 태양열 집열기는 증온용(300°C 이하)으로 사용되며 진공관 안에 반사경을 부착하여 태양을 2 축으로 추적하여 태양 복사 에너지를 집광하는 기술을 말한다. 진공상태에서 작동하므로 흡수관에서의 열손실을 최소한으로 줄일 수 있으며 높은 집열 효율을 얻을 수 있다.

진공관형 태양열 집열기는 내관으로 히트파이프를 이용하는 경우와 이중 유체관을 이용하는 두 가지 경우로 나눌 수 있는데 국내에서는 주로 내관을 히트파이프로 사용한다. 히트파이프의 작동 유체는 일반적으로 물과 에탄올을 사용한다. 히트파이프의 작동유체로써 물은 20°C~200°C 범위에서는 사용 가능하지만 종종 동절기 결빙 지역에서는 사용이 제한된다. 에탄올의 경우에는 가용 온도 범위가 -30°C~140°C에서 사용할 수 있지만 히트파이프가 과열이 될 경우 구리와 화학적 반응에 의해 히트 파이프의 기능을 상실하게 된다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위해 히트파이프의 내부

작동 유체인 물과 에탄올의 변화에 따른 열성능 연구가 이루어졌다.⁶ Fig. 3 은 진공관형 태양열 집열기 모습이다. 실내에서 실험이 진행되었기 때문에 인공 광원인 할로겐 램프를 사용하였다.

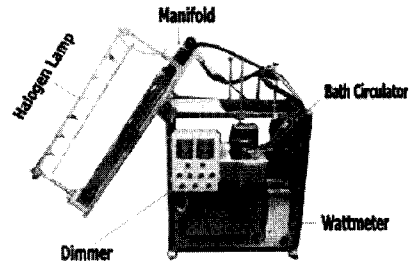


Fig. 3 Evacuated tubular solar collector⁶

히트파이프의 응축부는 열매체와의 열전달 면적을 증가시키기 위해 확장형 응축부를 사용하는데 효율적인 면에서는 많은 이점이 있지만 생산 단가가 높고, 제작과정이 복잡한 단점이 있다. 진공관형 태양열 집열기의 특성상 히트파이프의 응축부와 열매체간의 직접 열교환 방식이 아닌 매니폴드와 히트파이프 응축부간의 Metal to Metal 방식을 사용함으로 매니폴드와 응축부 사이에 미세한 간격에서 발생하는 접촉 열저항으로 인한 열손실이 발생한다. 응축부의 면적이 커질수록 접촉 열저항에 따른 열손실도 증가하기 때문에 상대적으로 생산 단가가 낮으며 제작과정이 간단한 직관형 응축부에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.⁷ Fig. 4 는 각각 확장형, 직관형 응축부를 갖는 진공관형 태양열 집열기이다. 집열기는 유리관, 흡수관 히트파이프로 구성된다.

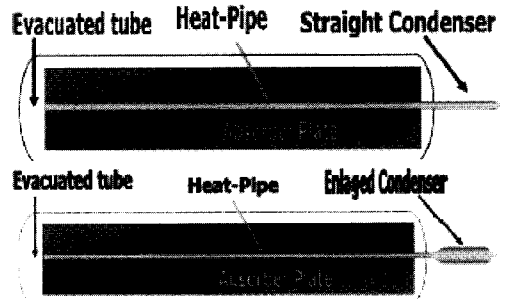


Fig. 4 Straight and enlarged condenser for evacuated tubular solar collector⁷

국외에서는 히트파이프 방식을 벗어나 Metal-in-Glass 방식과 매니폴드 방식보다 열효율이 높은 Water-in-Glass 방식의 진공관형 태양열 집열기를 이용하여 물을 가열하여 에너지로 이용하는 선행 연구가 있다. Fig. 5 는 Water-in-Glass 방식의 진공관형 태양열 집열기이다. 진공관 내부에서 집광된 태양 복사 에너지에 의해 가열된 물은 자연 순환하여 탱크에 저장에 되는 시스템이다.

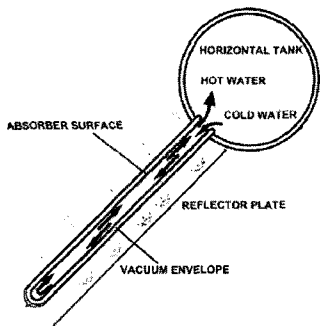


Fig. 5 Water-in-Glass evacuated tubular solar collector

현재 진공관형 태양열 집열기에 대한 연구는 좀 더 많은 양의 태양복사에너지를 집광하여 효율을 향상시키는 목적 보다는 집광된 태양에너지를 열손실을 최소화하여 직접 사용할 수 있는 시스템 개발에 초점을 맞추고 있다.

2.3 고온용

2.3.1 디쉬형 태양열 집열기

디쉬형 태양열 집열기는 이론적 집광비가 600suns 이상으로서 지표면으로 도달하는 태양복사에너지를 반사경으로 집광하여 고온의 태양복사에너지를 얻는 집광 방식을 말한다.

2 축으로 제어되는 반사경은 정확성 및 효율을 유지하면서 태양의 이동에 따라 추적하며 움직인다. 태양은 일정시간에 따라 고도가 일정하게 움직이기 때문에 태양을 추적하는 기술이 매우 중요하다. 태양추적을 위한 방위각, 고도각 추적 방식을 사용하는 2 축 구동 메카니즘의 설계 및 제작에 대한 연구가 있다.⁸ Fig. 6 은 태양 추적 센서이다. A, B 는 방위각을 추적하며 C, D 는 고도각을 추적한다. 센서 E 는 기상상태를 체크한다.

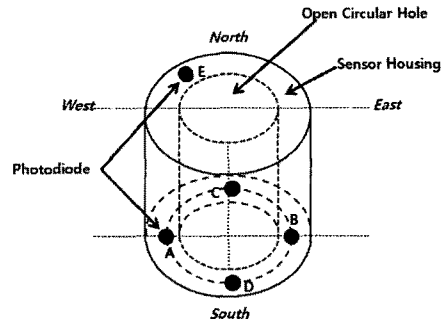


Fig. 6 Sun tracking sensor system⁸

집광된 태양복사에너지를 이용하기 위해서는 흡수기가 필요하다. 최적의 흡수기 개구부 설계는 열손실을 최소화 하여 전체 시스템의 효율을 높일 수 있다. 태양 복사 에너지가 집광되는 타겟을 중심으로부터 열유속 중심의 위치를 평가함으로써 흡수기의 정확한 위치를 찾는 연구가 이루어지고 있다. 연구결과에 의해 실제 초점 거리에서 반경까지의 거리에 따른 에너지 비율을 분석함으로써 흡수기 개구부의 최적화된 직경을 결정할 수 있다.⁹ Fig. 7 은 개구부 지름의 크기를 측정하기 위한 실험장치이며 실험에 사용되는 타겟이다. 집광된 태양빛을 CCD 카메라로 촬영하여 플럭스 분포를 분석한다.

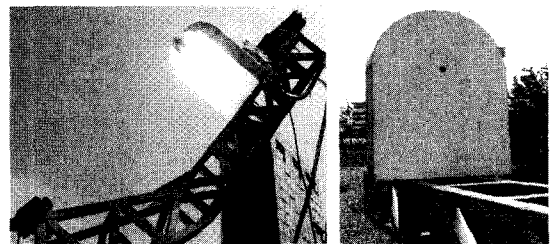


Fig. 7 Flux mapping test equipment and target⁹

디쉬형 집열기에 사용되는 흡수기는 일반적으로 공기를 직접 가열하는 방식과 물을 가열하여 스팀을 발생시키는 방식으로 나눌 수 있다. 공기식 흡수기는 수증기를 작동 유체로 사용하는 경우에 비해 낮은 압력에서 사용할 수 있고 흡수기의 부식을 줄일 수 있으며 상대적으로 높은 열유속 및 토출 온도를 얻을 수 있다. 이와 같은 조건에

서 최적설계가 이루어진다면 집열 면적을 현저히 줄일 수 있으므로 전체 시스템 설치비용을 줄일 수 있다는 장점이 있다. Fig. 8 은 공기를 작동유체로 사용하는 흡수기의 형상이며 흡수기 내부에 다공성 물질을 삽입하여 공기의 거주시간 및 방출면적을 증가시켰으며 경계조건 변화에 따른 시스템의 열성능을 평가하였다.¹⁰

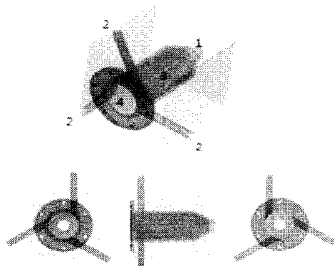


Fig. 8 Volumetric air receivers¹⁰

또 다른 선행 연구로는 이중 원관 형태로 내부 동공으로는 태양열에 의한 열원을 사용하고 외부로 가스를 연소시켜 열을 공급하는 형태의 흡수기를 제안하였다. 외부에 히트파이프를 사용하여 복합 흡수기를 개발하고 정상상태에서 작동특성을 규명하였다.¹¹ Fig. 9 는 연소 시스템을 적용한 하이브리드 히트파이프 흡수기이다. 태양열 방식, 가스 방식, 그리고 두 열원을 조화시킨 복합방식이 있다. 하단의 그림은 히트파이프 흡수기 내부의 연소모습이다.

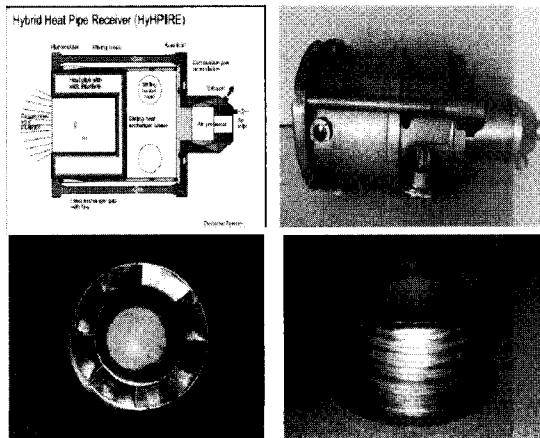


Fig. 9 Hybrid heat pipe receivers and combustor¹¹

흡수기의 초점상의 온도는 설계조건에 따라 약 1200℃ 이상까지 올라간다. 흡수된 열은 열전달에 의해 엔진으로 전달된 후 전기를 생산하기 위해 스테링 엔진과 발전기를 작동시킨다. 디쉬-스테링 엔진 시스템의 효율은 약 20% 이상이다. 디쉬-스테링 엔진 시스템에 적용을 위해 하이브리드 태양열 흡수기에 대한 연구가 있다. 태양열과 가스 연소열을 복합적으로 사용하기 위해 히트파이프를 적용한 복합 태양열 흡수기를 제안하였다.¹² Fig. 10 은 복합 태양열 흡수기의 연소 반응을 알아보기 위한 실험 장치이다. 실험장치의 구성은 흡수기, 연소시스템, 냉각시스템 등으로 구성되어 있다. 연소열은 버너의 초기온도를 설정하여 제어되고 일정한 온도로 공급된다.

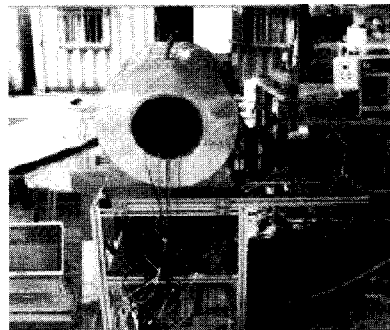


Fig. 10 Hybrid solar receiver¹²

실제 스테링 엔진을 시스템에 장착하여, 상용화를 앞둔 Solo 161 엔진의 흡수기에 대한 연구가 이루어지고 있다.¹³ Fig. 11 은 Solo 161 엔진 및 디쉬-스테링 엔진 시스템이며 V 형의 2 개의 실린더 엔진 구동장치에 의해 전력을 생산하며 용량은 10kWe 급이다. 작동유체는 수소, 헬륨 모두 가능하나 디쉬-스테링 엔진 시스템 운전시 수소를 사용하였다. 디쉬-스테링 엔진 시스템은 스테링 엔진을 이용하여 발전하는 방식으로 한국에너지기술연구원(KIER)에서 제작하였다.

현재 화학 반응기 연구는 태양에너지를 에너지 전달매체로 활용하는 기술이며 수소를 비롯한 주요 에너지 연료 생산에 관한 연구이다. 화학 반응기의 장점은 시간적으로 변동이 있는 태양에너지를 화학에너지로 변환하여 장시간 저장하거나, 장거리 수송이 용이하다는 점이다.

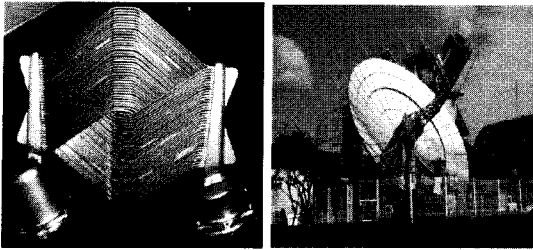


Fig. 11 Solo 161 engine receiver and dish-stirling engine system¹³

최근에는 초고온에서 가능한 흡열반응을 통하여 수소를 생산하는 연구가 집중적으로 이루어지고 있다. 선행연구사례로는 태양열 흡수기를 이용하여 메탄의 수증기를 개질시키는 연구와 메탄의 전환율 및 수소 생산량을 통하여 상업적으로 진행되는 개질반응의 성능과 태양복사에너지를 매체로 하는 개질반응의 성능을 비교하였다.¹⁴ Fig. 12 은 수증기 개질을 이용한 태양열 개질 시스템의 전체 개략도이다. 1.2kW 용량의 램프를 인공광원으로 태양을 모사하였다.

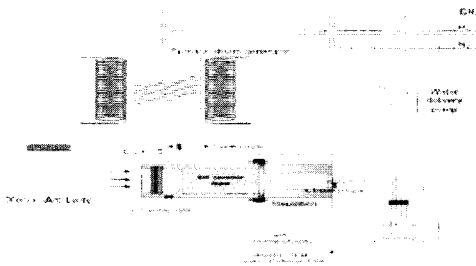


Fig. 12 Schematic of methane steam reforming system¹⁴

화학 반응기 내부에서는 반응이 일어나는 면적을 증가 시키는 것이 전체 시스템의 효율을 상승시키는데 주요한 인자로 작용한다. 따라서 기존의 태양열 화학 반응기의 내부에서 반응이 일어날 수 있는 면적을 넓힐 수 있도록 반응기의 내부에 적층된 메쉬를 삽입하고 반응기 내부에서의 열전달을 현상적으로 분석하여 화학반응에 최적화된 흡수기의 설계 기법을 찾는 연구가 보고 되었다.¹⁵

Fig. 13 은 실험에서 사용된 메쉬와 허니콤이다. 메쉬를 삽입하였을 경우에 반응면적이 증가하는 점 이외에도 유체가 전열면에 충돌하면서 작아진 입자는 난류를 형성한다. 발생된 난류에 의해 충돌영역에서 열전달성능이 좋아지게 된다.

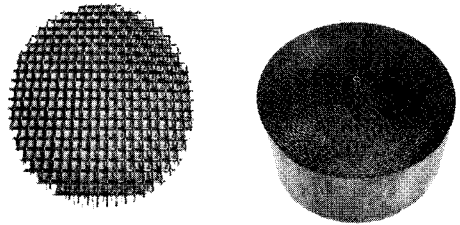


Fig. 13 Mesh and honeycomb¹⁵

이상과 같이 디쉬형 태양열 집열기의 국내 연구 동향을 흡수기, 디쉬/스터링 엔진 시스템, 화학 반응기의 세 분야로 나누어 분석하였다. 각 분야 별로 국내에서 활발한 연구가 진행되고 있으나 국외에서 진행되고 있는 연구와 비교하였을 경우에 초기단계로서 아직 미진한 상태이다. 현재 국외에서는 디쉬형 태양열 집열기를 이용하여 실제 전력 생산을 하고 있으며 화학 반응기는 상용화 단계에 있다.

2.3.2 솔라 타워형 집열기

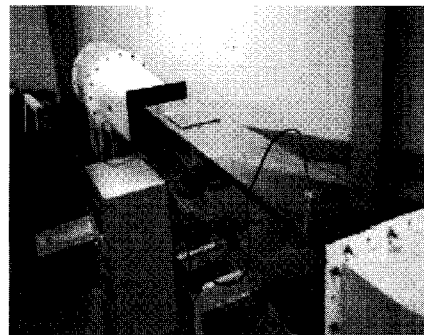
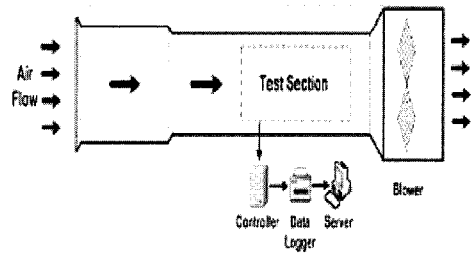


Fig. 14 Solar tower volumetric air receivers¹⁶

300℃ 이상 고온의 태양열을 이용할 수 있는 방법 중의 하나인 솔라 타워는 타워형 집광방식으로 개별적으로 태양을 추적하는 수백개의 반사판

을 이용하여 중앙의 타워에 집광을 하는 방식이다. 집광비는 보통 300~1500suns 정도이며 1800℃ 이상 높은 온도의 활용이 가능하며 현재 대규모 발전 및 화학반응에 응용되고 있다. 대규모 발전시스템에 적용시킬 수 있기 때문에 국내뿐만 아니라 국외에서도 많은 연구가 진행되고 있다.

솔라 타워형 발전 방식은 디쉬형 태양열 발전과 달리 대규모의 반사판을 사용한다. 각각의 반사판에서 반사된 태양 복사 에너지를 흡수기 내부로 효율적으로 집광하는 것이 매우 중요하며 흡수기 설치각에 따른 열손실을 최소화하는 것이 전체 시스템 효율을 향상 시키는데 중요한 조건이다. 이와 관련된 연구로는 흡수기의 설치각도와 흡수기의 외기 조건 및 흡수기 내부 표면온도의 변화에 따른 열손실을 실험적으로 분석하여 흡수기의 열성능을 평가한 사례가 있다.¹⁶ Fig. 14 는 Solar tower 용 흡수기의 외기조건에 따른 열손실을 실험적으로 분석하기 위한 장치이다.

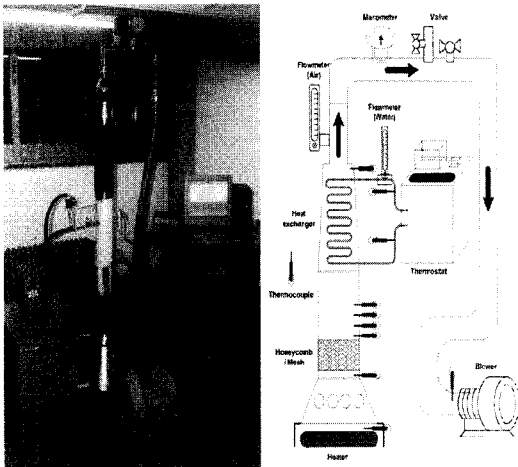


Fig. 15 Solar tower test equipments¹⁷

흡수기 내부에서 열전달을 향상 시키는 것이 전체 시스템의 효율을 향상시킨다. 주로 공기를 작동 유체로 사용하는 공기식 흡수기의 경우 다공성 금속이나 허니콤 등을 집열체로 사용하는데 금속의 재질이나 다공도에 따라 열전달 특성이 변화하기 때문에 이에 대한 해석은 전체 시스템 설계에서 매우 중요한 부분이다. 따라서 충전재로 사용된 메쉬와 허니콤의 적층 방식 즉, 적층 두께 변화에 따른 열전달 특성 연구가 시스템 성능을

결정하는 중요한 요인이다.¹⁷ Fig. 15 는 솔라 타워형 흡수기의 열성능을 실험적으로 분석하기 위한 실험장치 개략도이다. 실험 장치는 열원, 흡수기, 열교환기로 구성되어 있다. 전체 시스템은 열원에서 발생하는 복사열에 의해 예열된 흡수기로 대기 중의 공기가 통과하며 가열된 후 열교환기를 지나면서 냉각되어 다시 대기 중으로 방출되는 개방형 시스템이다.

솔라 타워형 태양열 발전 흡수기의 연구 개발을 위해 1MW 급 태양열 흡수기를 대상으로 실험장치를 구성한 연구가 있다.¹⁸ Fig. 16 은 실험에서 사용된 1MW 급 태양열 흡수기 실험장치 사진이다. 실험장치는 태양열 흡수기를 나타내는 시험부, 시험부에서 발생된 증기를 응축시키는 응축기, 응축된 물을 다시 증기드럼으로 보내는 순환펌프, 증기드럼으로 들어가는 물의 온도를 일정하게 하기 위한 예열기 등으로 구성되어 있다.

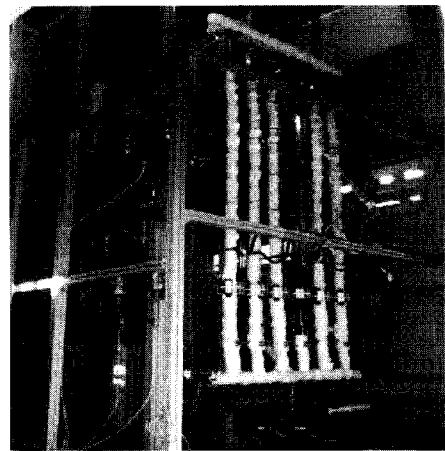


Fig. 16 1MW solar receiver¹⁸

타워형 태양열 발전과 화력 발전은 최종 목표인 전기에너지의 생성이라는 점에서 시스템 설비의 구성과 작동 원리가 유사하다. 화력 발전과 태양열 발전을 비교 분석하여 화력 발전과의 차이점인 불규칙적인 태양에너지가 발전 성능에 미치는 영향을 분석하여 개선 방향 도출하는 연구가 보고되었다.¹⁹ Fig. 17 은 솔라 타워형 태양열 발전 시스템의 개략도이다. 흡수기에서 발생한 증기 중 일부는 직접 증기터빈을 구동시켜 전기를 발생시키고, 나머지 증기는 열교환기를 통하여 저장기에 열에너지의 형태로 저장된다. 축열시스템을 제외

하고는 랭킨 사이클과 동일하다. 태양열 발전 시스템을 상용화하기 위해서는 기존 화력발전 시스템의 인프라를 적극 활용하며 국내 현실에 맞는 태양열 발전 시스템에 대한 연구 및 개발이 필요하다. 국외에서는 직접 전력생산으로 이어지는 솔라 타워형 발전 시스템 및 흡수기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재까지 주로 사용 및 연구된 솔라 타워용 흡수기의 작동유체는 물, 증기, 공기 등이 있다. 솔라 타워형 태양열 발전시스템이 건설된 1980년대 초에는 증기터빈을 구동하기 위해 필요한 증기를 직접 생산하기 위하여 흡수기의 작동유체로서 주로 물, 증기를 이용하는 시스템을 사용하였다. 그러나 태양열 발전시스템의 특성상 열원인 태양의 복사강도 변화 등에 따른 물, 증기용 흡수기의 부하변동 및 시스템 부하로의 영향 등 운전조건의 문제점 등이 발생함에 따라 다른 열매체를 이용하는 연구가 이루어졌다.²⁰

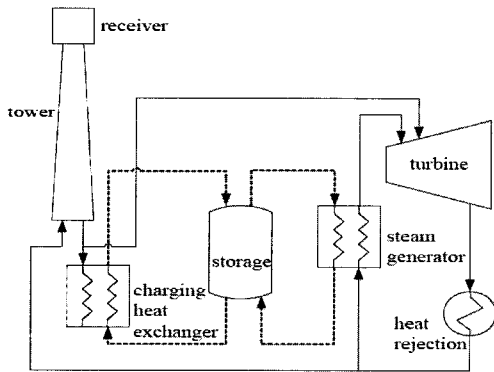


Fig. 17 Solar power system with solar tower¹⁹

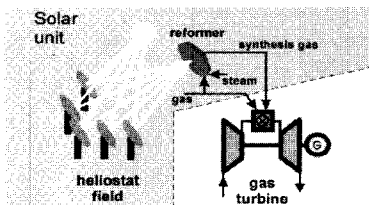


Fig. 18 Solar power system with preheater²⁰

Fig. 18 은 가스 터빈과 스팀 사이클이 결합된 태양열 예열 발전 시스템이다. 예열된 공기가 집광되는 흡수기안으로 유입되기 때문에 다른 복합 태양열 발전 시스템보다 열효율이 뛰어나다. 또한

스팀을 이용하는 발전 시스템보다 반사판의 설치 면적을 줄일 수 있기 때문에 생산단가를 낮출 수 있다.

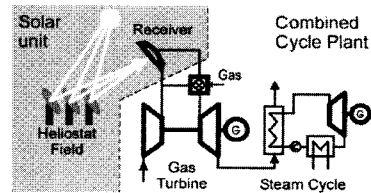


Fig. 19 Solar power system with chemical reforming²¹

Fig. 19 는 태양열을 이용한 화학개질 발전 시스템이다. 메탄이 스팀과 결합하여 태양 복사 에너지가 집광된 흡수기로 유입되어 다시 가스 터빈 사이클로 이동한다. 다른 태양열 발전 시스템과 비교하여서 진행 단계를 줄일 수 있고 기존의 화력 발전의 시스템을 활용 할 수 있는 장점이 있다.

3. 결론

신·재생에너지로서의 국내 태양열 이용 연구는 기반 기술 확보 단계를 넘어서 태양열 발전시스템의 운용, 태양열을 이용한 화학플랜트 공정, 기존 전력생산 시스템 및 곧 상용화될 수소연료 시스템과의 복합운용과 같은 태양열의 상용화 연구에 큰 비중을 두고 진행될 것으로 예상된다. 태양열 기술 개발을 위해서는 소규모 기업들이 독자적으로 기술개발에 투자하기보다는 정부주도로 설비 표준화, 간소화, 효율향상, 시스템자동화 기술을 개발할 필요가 있다. 기존 시설물을 이용한 태양열 기술 개발이 다양하게 이루어질 수 있도록 해야 하며 태양열 활용사업자의 수요 창출, 국민인식 변화, 제도적인 기반 마련, 관련 산업 육성 등 다각적인 노력도 필요하다. 이런 노력이 이루어질 때 우리나라가 화석에너지 시대를 벗어나 지속 가능한 에너지 시대로 진입함에 있어 태양열도 한몫을 할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Yun, S. Y., Kim, Y. and Seo, T. B., "Comparison of the Thermal Performance with Stationary and Tracking Evacuated CPC Collectors," Journal of the

- Korean Solar Energy Society, Vol. 24, No. 4, pp. 19-26, 2004.
2. Gata, A. P., Ribeiro, E., Brites, R. and Gaspar, F., "SolAgua, a non static compound parabolic concentrator (CPC) for residential and service buildings," The International Conference on Renewable Energies and Power Quality 2006, 2006.
 3. Park, Y. C., Kwak, H. Y. and Kang, Y. H., "A Development of Sun Tracking Control System for Parabolic Trough Concentrator," Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 18, No. 3, pp. 25-31, 1998.
 4. Kang, Y. H., Kwak, H. Y., Yoon, H. K. and Yu, C. K., "Study on Collection on Thermal Performance of Parabolic Trough Concentrating Collector," Proceedings of the Korean Solar Energy Society, Vol. 2, pp. 77-83, 1998.
 5. Kang, Y. H., Kwak, H. Y., Yoon, H. K., Yoo, C. G., Lee, D. G. and Seo, T. B. "Determination of the Optimal PTC Receiver Diameter Considering Heat Losses," Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 20, No. 1, pp. 73-81, 2000.
 6. Joo, H. J., Kwak, H. Y. and Kim, J. B., "Thermal Performance Study of Heat Pipe for Evacuated Tubular Solar Collector," Proceedings of the Korean Solar Energy Society, Vol. 1, pp. 16-23, 2007.
 7. Joo, H. J., Kim, J. B. and Kwak, H. Y., "Experimental Study on Thermal Performance of Different Condenser Shape for Evacuated Tubular Solar Collector," Proceedings of the Korean Solar Energy Society, Vol. 2, pp. 78-84, 2007.
 8. Park, Y. C. and Kang, Y. H., "Sun Tracking System for the Parabolic Dish Concentrator," Proceedings of the Korean Solar Energy Society, Vol. 1, pp. 70-78, 1999.
 9. Hyun, S. T., Chon, Y. K., Kang, Y. H., Yoon, H. K., Yoo, C. G., Kwak, H. Y. and Choi, J. Y., "Experimental Study on Flux Distributions Produced by Dish Solar Reflector", Proceedings of the Korean Solar Energy Society, Vol. 2, pp. 53-59, 2001.
 10. Seo, J. H., Ma, D. S., Kim, Y., Seo, T. B., Han, G. Y., Lee, S. N. and Han, G. Y., "Thermal performance of volumetric air receiver filled with porous material for 5kWt dish-type solar thermal system in inha university," 2008 SolarPACES, 2008.
 11. Kang, M. C., Kim, J. S., Kang, Y. H., Kim, N. J. and Yoo, S. Y., "Design and Fabrication of Hybrid Sodium Heat Pipe Solar Receiver for Dish Concentrating System," Proceedings of the Korean Solar Energy Society, Vol. 1, pp. 170-176, 2006.
 12. Kang, M. C., Kim, J. S., Kang, Y. H., Kim, N. J. and Yoo, S. Y., "An Experimental Study on the Thermal Characteristics of Hybrid Solar Receiver for Dish/Stirling System," Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 3, pp. 7-14, 2007.
 13. Kim, J. K., Lee, S. N. and Kang, Y. H., "Study of Stirling Engine Receiver for Solar Thermal Power," Proceedings of the Korean Solar Energy Society, Vol. 1, pp. 227-233, 2008.
 14. Kim, K. M., Han, G. Y., Seo, T. B. and Kang, Y. H., "Steam reforming of methane in a solar receiver reactor," Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 1, pp. 75-82, 2007.
 15. Won, S. M., Kim, Y., Jeon, Y. H., Seo, T. B. and Kang, Y. H., "Research for thermal characteristics of the mesh-type solar chemical reactor," Proceedings of the Korean Solar Energy Society, Vol. 2, pp. 50-56, 2006.
 16. Kang, K. M., Lee, J. H., Kim, Y., Seo, T. B. and Kang, Y. H., "Convective Heat Loss from the Receiver for a Solar Tower System," Proceedings of the Korean Solar Energy Society, Vol. 2, pp. 146-152, 2007.
 17. Lee, J. H., Kim, Y., Jeon, Y. H., Seo, T. B. and Kang, Y. H., "Heat transfer performance with different fills as volumetric air receivers for concentrated solar radiative energy," Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 2, pp. 71-79, 2007.
 18. Seo, H. Y., Kim, J. K., Kang, Y. H. and Kim, Y. C., "Water Circulation Characteristics of a Water/Steam Receiver for Solar Power Tower System at Various Heat Fluxes," Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 28, No. 2, pp. 1-9, 2008.
 19. Kim, J. K., Kang, Y. H., Kim, J. S., Yoon, H. G., Yoo, C. G. and Lee, S. N., "Basic Design and Dynamic Simulation of Large Scale Solar Thermal Power Plant," Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 1, pp. 55-62, 2007.

20. Romero, M., Buck, R. and Pacheco, J. E., "An update on solar central receiver systems, projects and technologies," *Solar Energy Engineering*, Vol. 124, Issue 2, pp. 98-108, 2002.