

국내 고온 태양열 기술 개발 현황

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

이 주 한

인하대학교 대학원 기계공학과(leejuhan@empal.com)

서 태 범

인하대학교 기계공학과(seotb@inha.ac.kr)

이르면 2010년, 늦어도 2027년 정점에 도달한 후 급격히 감소할 것으로 전망되는 원유생산량은 화석 에너지를 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 11개의 에너지원으로 정의되고 있다(신에너지 및 재생에너지이용·개발·보급 촉진법 제2조).

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. 태양열은 가용 온도에 따라 저, 중, 고온으로 나눌 수 있는데 고온 태양열 분야는 300℃ 이상의 온도를 사용하는 것으로써 대표적인 집열 방식으로 디쉬형, 솔라 타워형이 있으며 대규모 발전, 광화학용으로 이용된다.

디쉬형 태양열 집열기

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

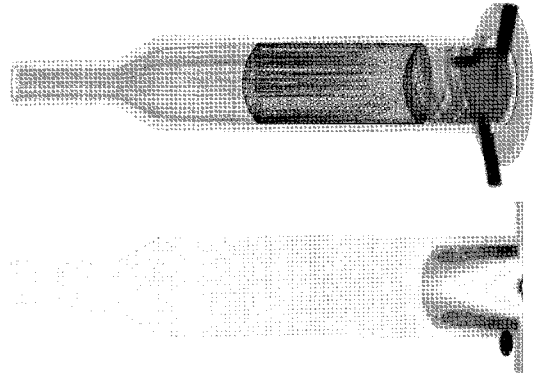
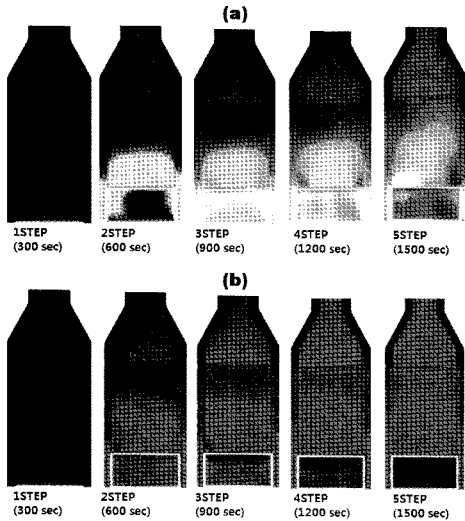
집광된 태양복사에너지를 이용하기 위해서는 흡수기가 필요하다. 디쉬형 집열기에 사용되는 흡수기는 일반적으로 공기를 직접 가열하는 방식과 물을 가열하여 스팀을 발생시키는 방식으로 나눌 수 있다. 공기식 흡수기는 수증기를 작동 유체로 사용하는 경우에 비해 낮은 압력에서 사용할 수 있고 흡수기의 부식을 줄일 수 있으며 상대적으로 높은 열유속 및 토출 온도를 얻을 수 있다. 이와 같은 조건에서 최적설계가 이루어진다면 집열 면적을 현저히 줄일 수 있으므로 전체 시스템 설치비용을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 그림 1은 흡수기 내부에서 일어나는 현상을 수치해석 기법을 사용하여 분석한 결과이다. 이와 같이 내부의 현상을 분석하여 이상적인 흡수기를 설계하는 것이 중요한 과제이다.

디쉬형 태양열 집열기는 스팀링 엔진과 복합적으로 사용하기도 한다. 흡수기의 초점상의 온도는 설

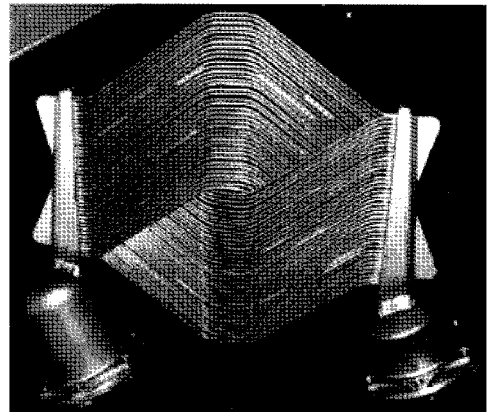
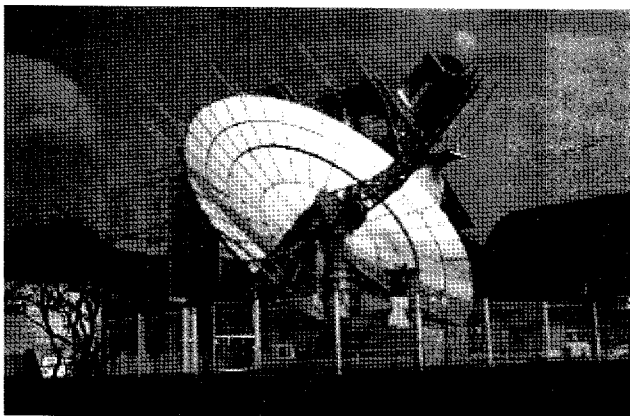
계조건에 따라 약 1200℃ 이상까지 올라간다. 흡수된 열은 열전달에 의해 엔진으로 전달된 후 전기를 생산하기 위해 스테링 엔진과 발전기를 작동시킨다. 실제로 스테링 엔진을 시스템에 장착하여, 상용화를 앞둔 Solo 161 엔진의 흡수기에 대한 연구가 이루어지고 있다. 그림 2는 Solo 161 엔진 및 디쉬-스테링 엔진 시스템이며 V형의 2개의 실린더 엔진 구동장치에 의해 전력을 생산하며 용량은 10 kWe급이다. 작동유체는 수소, 헬륨 모두 가능하나 디쉬-스테링 엔진 시스템 운전시 수소를 사용하였다. 디쉬-스테

링 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. 최근에는 초고온에서 가능한 흡열반응을 통하여 수소를 생산하는 연구가 집중적으



[그림 1] 디쉬형 태양열 흡수기 내부의 온도분포



[그림 2] 디쉬-스테링 엔진 시스템



로 이루어지고 있다.

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

솔라 타워형 집열기

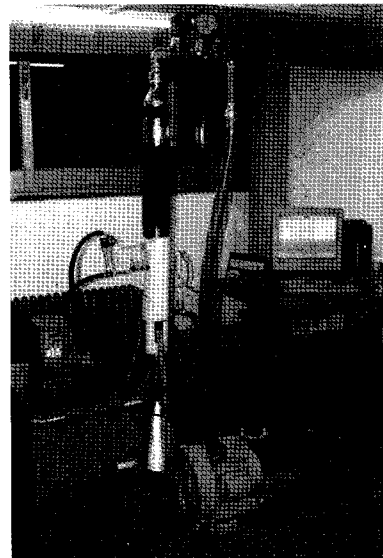
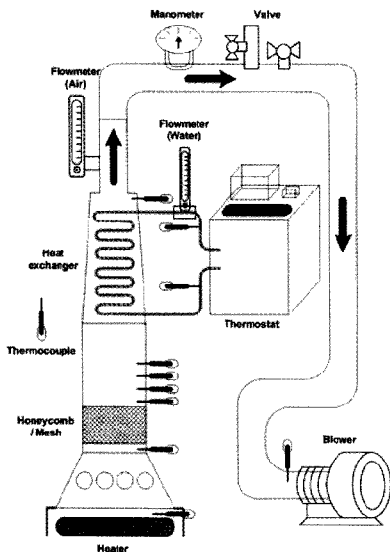
300℃ 이상 고온의 태양열을 이용할 수 있는 방법 중의 하나인 솔라 타워는 타워형 집광방식으로 개별적으로 태양을 추적하는 수백개의 반사판을 이용하여 중앙의 타워에 집광을 하는 방식이다. 집광비는 보통 300 ~ 1500 suns 정도이며 1800℃ 이상 높은 온도의 활용이 가능하며 현재 대규모 발전 및 화학 반응에 응용되고 있다. 대규모 발전시스템에 적용시킬 수 있기 때문에 국내뿐만 아니라 국외에서도 많은 연구가 진행되고 있다.

솔라 타워형 발전 방식은 디쉬형 태양열 발전과 달리 대규모의 반사판을 사용한다. 각각의 반사판에서

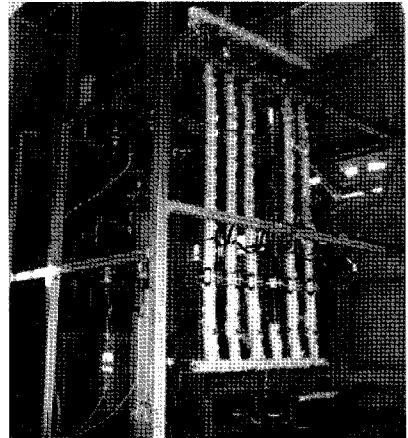
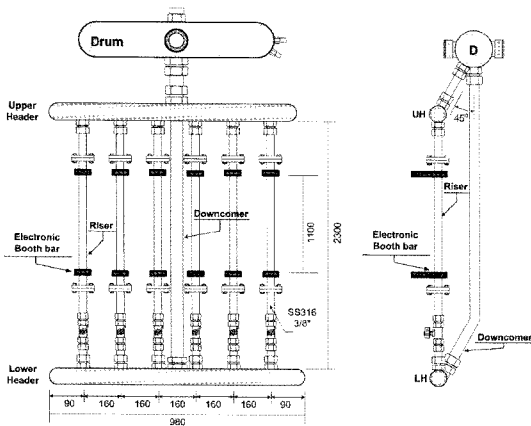
반사된 태양 복사 에너지를 흡수기 내부로 효율적으로 집광하는 것이 매우 중요하며 흡수기 설치각에 따른 열손실을 최소화하는 것이 전체 시스템 효율을 향상 시키는데 중요한 조건이다.

타워형 태양열 발전시스템에서는 흡수기 내부의 열전달 성능을 향상 시키는 것이 전체 시스템의 효율을 향상시키는 주요 변수 이다. 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. 그림 3은 솔라 타워형 흡수기의 열성능을 실험적으로 분석하기 위한 실험장치 개략도이다. 실험장치는 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.

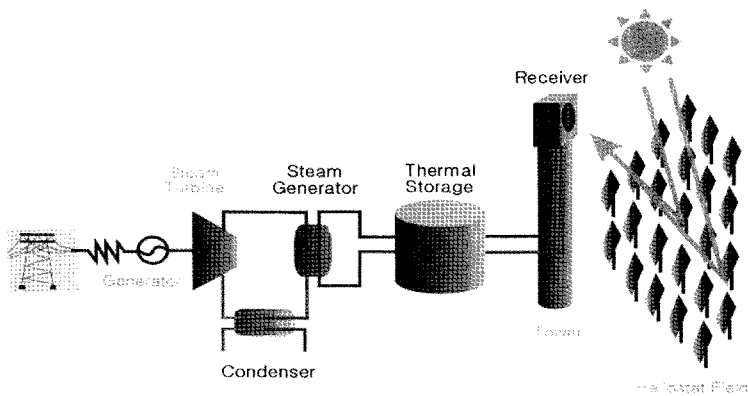
이 밖에도 솔라 타워형 태양열 발전 흡수기의 연구 개발을 위해 1 MW 급 태양열 흡수기를 대상으로 실



[그림 3] 타워형 공기식 흡수기 개략도 및 실험장치



[그림 4] 1 MW급 태양열 흡수기 개략도 및 실험장치



[그림 5] 타워형 태양열 발전 시스템 개략도

협장치를 구성한 연구가 있다. 그림 4는 실험에서 사용된 1 MW급 태양열 흡수기 실험장치이다. 실험 장치는 태양열 흡수기를 나타내는 시험부, 시험부에서 발생한 증기를 응축시키는 응축기, 응축된 물을 다시 증기드럼으로 보내는 순환펌프, 증기드럼으로 들어가는 물의 온도를 일정하게 하기 위한 예열기 등으로 구성되어 있다.

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 연

구된 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. 그림 5는 솔라 타워형 태양열 발전 시스템의 개략도이다. 흡수기에서 발생한 증기 중 일부는 직접 증기터빈을 구동시켜 전기를 발생시키고, 나머지 증기는 열교환기를 통하여 저장



기에 열에너지의 형태로 저장된다. 축열시스템을 제외하고는 랭킨 사이클과 동일한 것을 알 수 있다.

신·재생에너지로서의 국내 태양열 이용 연구는 기반 기술 확보 단계를 넘어서 태양열 발전시스템의 운용, 태양열을 이용한 화학플랜트 공정, 기존 전력 생산 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. ❷