

태양열 시스템의 개요 및 현황

■ 이 동 원 / 한국에너지기술연구원, dwlee@kier.re.kr

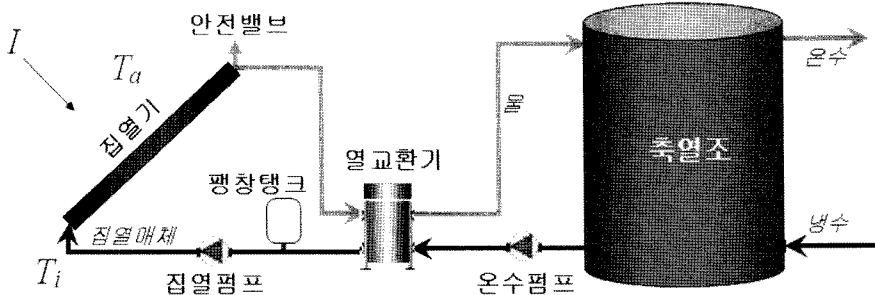
태양열 시스템에 대한 개요 및 특징과 이용에 따른 문제점, 그리고 최근의 시장 및 기술 동향에 대해 간략하게 소개하고자 한다.

태양열 시스템은 태양 에너지를 열에너지로 변환시켜 생산된 열을 이용하는 설비이다. 태양광발전 시스템에서 생산되는 전기에너지와 같이 다른 에너지원으로 변환시키기 어렵다는 단점은 있지만, 태양열 시스템은 상대적으로 효율이 높고 경제성이 있기 때문에 보급 가능성이 큰 신재생에너지 이용설비라고 할 수 있다. 최근 그린 홈 100만 호 보급과 관련하여 태양열 시스템에 대한 관심이 증가하고 있는데, 건물의 온수급탕 설비에 태양열을 이용하려는 태도는 매우 바람직한 방향이라고 할 수 있다. 본 기고에서는 태양열 시스템의 특징을 설명하고 이용 시 문제점을 제시함으로써 올바른

태양열 시스템 이용에 기여하고자 하였다. 또한 최근의 시장 및 기술 동향을 살펴봄으로써 앞으로 전개될 태양열 시스템 시장을 전망하는데 도움을 주고자 하였다.

시스템 개요

우리가 흔히 이용하는 저온형 태양열 시스템은 일반적으로 100℃ 이하의 열원을 얻어 온수급탕 및 난방에 이용하는 설비를 일컫는다. 이외에 중온형 및 고온형 태양열 시스템이 있지만, 이러한 설비는 극히 제한적으로 이용되고 있기 때문에 본 기고에서는 자세히 다루지 않기로 한다. 이러한 저온형 태양열 시스템은 그림 1과 같이 태양열을 모으는 집열기, 모아진 열을 저장하는 축열조, 그리고 저장된 열을 이용하는 이용부로 구분할 수



[그림 1] 태양열 시스템 개념도

있다. 이 밖에 집열기와 축열조 사이에서 집열매체(부동액)와 축열매체(물) 사이에 열을 교환하는 열교환기, 각 매체를 순환시키는 펌프, 그리고 이러한 구성요소들이 최적조건에서 원활하게 동작될 수 있도록 하는 제어가 포함된다.

태양 에너지는 그 밀도가 비교적 작기 때문에 태양열을 집열하는 집열기의 역할이 매우 중요한데, 크게 평판형(Flat Plate), 진공관형(Evacuated Tubular), 집중형(Concentrating or Focusing) 집열기로 구별된다. 저온형 태양열 시스템에서는 그림 2와 같은 평판형 집열기와 진공관형 집열기가 이용되는데, 10여 년 전만 해도 대부분 평판형 집열기를 이용했으나 중국에서 생산된 진공관형 집열기가 저가로 수입되면서 현재는 이것이 더 많이 보급되고 있다. 이러한 집열기에서의 에너지 전환은 집열기의 흡열판에 태양 에너지가 흡수되어 흡열판이 더워지면 흡열판 내부 또는 상부를 흐르는 집열매체로 이 열이 전달되고, 집열매체의 열이 열교환기를 거쳐 축열부로 수송되는 과정을 거친다.

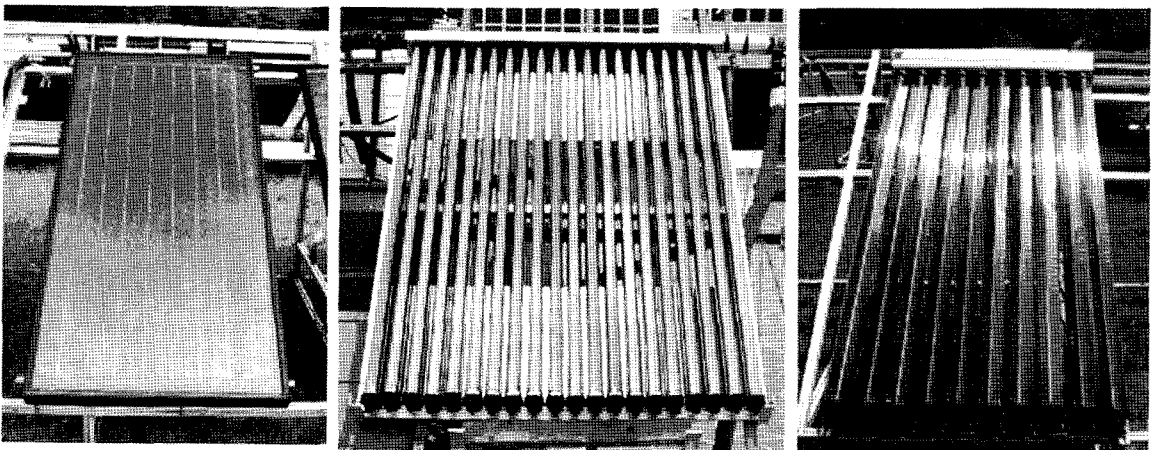
태양열 시스템을 통해 얻을 수 있는 열에너지는 기후조건에 따라 변하고, 열에너지의 수요와 공급 사이에는 시간적, 양적, 질적 차이가 있는 특징이 있다. 따라서 이러한 부하격차를 해소하기 위한 축열조 또한 매우 중요한 요소기라고 할 수 있다. 태양열 시스템의 축열조가 일반적으로 갖추어

야 하는 조건은 단위부피 또는 단위질량당 저장할 수 있는 열에너지가 커야 하며, 열을 저장하는 축열매체가 인체나 환경에 무해하고 경제적이어야 한다는 점 등이다. 일반적으로 저온형 태양열 시스템에서는 물을 축열매체로 이용하는데, 축열조 내 온도성층화가 전체적인 태양열 시스템의 효율에 미치는 영향이 크므로 이에 대한 고려가 충분히 이루어져야 한다.

태양열 시스템의 효율적 운전을 위해서는 열에너지의 획득이 가능한 조건에서 집열매체가 집열기를 순환하여 열을 얻을 수 있도록 제어되어야 한다. 일반적으로는 온도가 가장 높은 지점으로 예상되는 집열기 상단부와 가장 낮은 지점인 축열조 하단부 사이의 온도차를 이용하여 작동여부를 판단하는 차온제어 방식을 사용한다. 즉, 이 온도차가 설정된 값을 넘으면 집열기로부터 열을 획득할 수 있는 것으로 판단하여 집열매체 순환펌프가 작동하며, 온도차가 작은 경우는 그렇지 않다고 판단하여 순환펌프가 정지하는 방식이다. 축열조 외부에 별도의 열교환기를 설치하는 중대형 시스템인 경우, 축열조와 열교환기 사이의 축열매체 펌프는 집열매체 순환펌프와 연동하여 작동된다.

집열기 및 이용 효율

태양열 집열기의 효율은 집열기에 입사되는 태



[그림 2] 평판형 및 진공관형 집열기



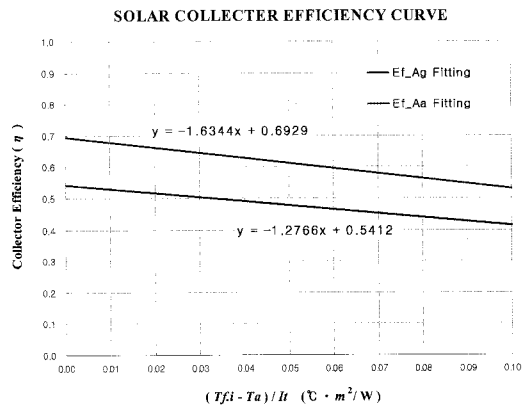
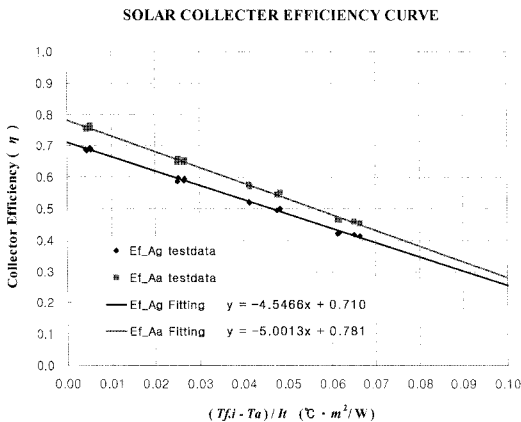
양 에너지 중에서 집열매체로 전달된 열에너지의 비율로 정의된다. 집열매체로 전달된 열에너지, 즉 태양열 집열기가 취득한 열에너지는 투과체를 통과하여 흡열판에서 흡수된 열에너지에서 주위로 손실된 열에너지를 빼주면 된다. 따라서 집열기를 통해 얻는 열에너지를 크게 하려면 투과체의 투과율(τ)과 흡열판의 흡수율(α)을 높이고, 외부로의 열손실을 적게 해야 한다. 집열기의 효율은 집열기가 얻은 열량(Q_u)을 입사된 단위 면적당 일사량과 집열기 면적의 곱(IA)으로 나눈 값으로서, 다음과 같은 일차식으로 표현된다.

$$\eta = \frac{Q_u}{IA} = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(t_i - t_a)}{I}$$

여기서 우변 첫 번째 항은 흡열판에서 흡수한 에너지를, 그리고 두 번째 항은 외부로의 열손실을 의미한다. 또한 t_i 는 집열기 입구에서의 집열매체 온도, t_a 는 외기온, I 는 일사량을 나타낸다. 일반적으로 집열기가 정해지면 $F_R(\tau\alpha)$ 와 $F_R U_L$ 의 값은 크게 변화하지 않기 때문에, 집열기의 효율곡선은 $(t_i - t_a)/I$ 를 x좌표로 하고 효율 η 를 y좌표로 하는 좌표상에서 절편 $F_R(\tau\alpha)$, 기울기 $-F_R U_L$ 의 일차식으로 표현된다. 위 식으로부터 알 수 있듯이 태양열 집열기의 효율은 하나의 값이 아니라 운전조건에 따라 수시로 변할 수 있는 값이라는 점을 이해해야 한다.

진공관 집열기는 대류 열손실을 억제하기 위해 흡열판과 투과체 사이를 진공상태로 만들어 $F_R U_L$ 값이 평판형 집열기보다 작은 특징을 갖고 있다. 따라서 상대적으로 고온의 열원을 얻고자 하는 경우 평판형 집열기에 비해 매우 유리하다는 장점이 있지만, 원통형 구조의 진공관이 태양 일사를 일부 반사시키기 때문에 최대효율(집열기 입구 전열매체의 온도와 외기온이 같은 경우의 효율)은 평판형 집열기보다 낮은 단점을 가질 수밖에 없다. 또한 각각의 진공관을 지지하는 지지대 때문에 각 진공관 사이에 틈이 생길 수밖에 없어 집열기에 입사되는 태양 에너지의 일부를 흡수하지 못하는 문제점도 있다. 따라서 진공관 집열기는 평판형 집열기에 비해 고온의 열을 얻는 경우 보다 유리하다는 장점이 있지만, 최대효율은 낮다는 특징을 갖게 된다(그림 3 참조).

집열기의 효율이 아닌 태양열 시스템의 효율은 하루 중 입사된 태양 에너지 대비 시스템이 얻은 열량으로 산정된 효율이다. 집열기에서 얻어진 열은 축열조에 저장되었다가 이용하는 경우가 일반적이므로, 이 과정을 모두 고려한 후 태양열 시스템이 얻은 총 열량을 기준으로 성능을 산정하는 것이다. 가장 일반적인 시스템 효율 분석방법은 교반시험이다. 일출 전 축열조 내 물을 교반하여 초기온도를 측정하고 일출 후 다시 교반하여 최종 온도를 측정해서, 그 온도차와 축열조 내 물의 양



[그림 3] 평판형 및 진공관형 집열기의 집열효율(예시)

을 이용하여 태양열 시스템이 얻은 열량을 구하게 된다. 태양열 시스템을 난방용으로 이용하고자 하는 경우에는, 온수급탕보다 고온의 열이 필요하기 때문에 집열효율과 함께 시스템 효율이 저하되게 된다. 따라서 이러한 태양열 시스템의 특성에 따른 이유와 경제적 이유로 태양열 난방은 별로 시도되지 않는데, 온실과 같이 비교적 저온의 열원으로 난방이 가능한 곳은 태양열 시스템이 적용되기도 한다.

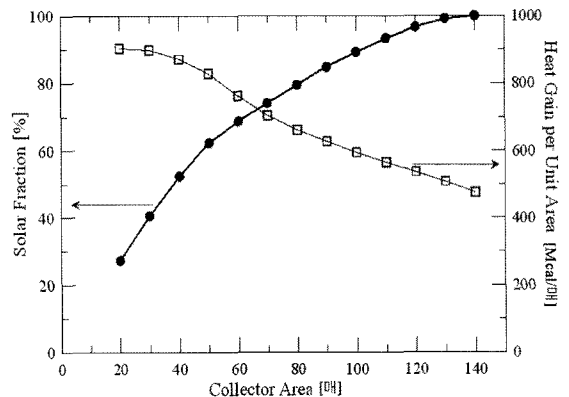
한편 태양열 시스템의 이용효율은 입사된 태양에너지 대비 실제 이용된 열량을 기준으로 산정된 효율이다. 축열조에 저장된 열에너지가 많이 있어도 이용하지 않는다면 이용효율은 저하될 수밖에 없다. 이용효율이 저하되는 주원인은 필요 이상으로 태양열 시스템의 규모를 크게 설치하였을 경우이다. 즉, 겨울철 급탕 또는 난방부하를 충분히 담당하기 위해 시스템의 규모를 늘리게 되면 여름철 많은 열량이 남게 되고, 이것은 태양열 시스템의 이용효율을 떨어뜨리는 원인이 되는 것이다. 이용효율이 낮다는 것은 투자비 회수기간을 늦추는 요인으로 경제성 면에서 더욱 불리한 결과를 초래하게 된다. 일반적으로 태양열 시스템의 시스템 효율은 50% 전후로 측정되고 있지만, 이용효율은 현장 여건에 따라 크게 달라진다. 대부분의 태양열 시스템은 온수급탕을 위한 용도로 활용되고 있는데, 기숙사, 요양시설, 목욕탕과 같이 연중 온수 사용량이 많은 곳에서는 태양열 시스템의 이용효율이 40% 이상을 유지한 상태에서 운전되고 있는 곳이 많다.

적절한 태양열 시스템의 규모

태양열 시스템은 열에너지를 효과적으로 생산하는 신재생에너지 설비이지만, 생산된 열원을 이용하지 않는 경우 이용효율을 저하시킬 뿐만 아니라 자칫 과열에 의한 시스템 파손의 원인이 되기도 한다. 최근에는 이러한 이유로 과열방지 장치의 설치를 의무화하고 있을 정도이다. 시스템의 과열은 일반적으로 생산된 열원을 이용하지 않았기 때문에 발생하는 것으로, 열에너지 부하가 적은 여름철에 불가피하게 발생하는 측면이 있다.

일반적으로 열에너지 부하는 겨울철에 많고 여름철에 적기 때문에 태양열 시스템의 규모를 결정하는 것은 매우 어렵다. 겨울철 부하를 대비하여 규모를 크게 하는 경우 여름철 과열을 우려해야 하며, 여름철 부하에 맞추어 작은 규모로 설치하는 경우 필요 열에너지 중 태양열 시스템이 공급하는 비율인 태양열 의존율이 심하게 낮아지기 때문이다. 따라서 적절한 태양열 의존율을 결정해야 하는 문제가 있으며, 일반적으로 40 ~ 70%가 적절한 것으로 알려져 있다. 그러나 많은 열에너지가 필요한 난방의 일부를 태양열로 공급하려는 경우 이러한 의존율은 제고되어야 하는데, 이는 겨울철과 여름철 열에너지 부하 격차가 더욱 두드러져 여름철 과열을 피하기 어렵기 때문이다. 태양열 의존율을 향상시킬수록 태양열 시스템의 이용효율은 그림 4와 같이 저하된다는 것을 염두에 두어야 한다.

여름철 과열을 방지하는 방법은 집열기에 차양 또는 냉각용 팬을 설치하거나 축열조에 저장된 열에너지를 버리는 방법밖에 없음을 감안할 때, 적절한 규모의 태양열 시스템을 결정하는 것이 매우 중요하다는 점이 인식되어야 한다. 태양열 시스템의 규모를 늘려 난방에도 활용하려는 경우 발생하는 여름철 과잉 열에너지를, 흡수식 또는 흡착식 히트펌프를 이용하여 냉방에 활용하려는 시도 및 연구개발이 진행되고 있다. 이러한 방법은 태양열을 매우 적극적으로 이용하려는 시도로서 지속적



[그림 4] 집열기 설치 규모에 따른 의존율 및 이용효율(예시)

으로 추진되어야 할 내용이지만, COP가 상대적으로 낮으면서 고가인 해당 히트펌프를 사용한다는 점에서, 태양열 시스템의 경제성을 더욱 악화시키지 않는지 유념해야 한다.

태양열 시스템 관련 동향

약 2년 전에 분석된 자료를 보면 저온형 태양열 시스템의 국산화 비율은 80%에 육박하고 있어, 이 분야에 대한 연구개발은 어느 정도 성숙단계에 도달했다는 것을 나타내고 있다. 따라서 최근에는 태양열 이용 냉방설비 관련 기술이나 타 에너지 시스템과의 연계기술, 그리고 태양열 시스템을 이용한 담수화 공정기술 등 이용범위를 확대하기 위한 연구개발이 시도되고 있다. 한편, 태양광발전 시스템의 BIPV(Building Integrated Photovoltaic)와 유사한 벽면 일체형 태양열 집열기에 대한 개발도 완료단계에 이르고 있으며, 다양한 신재생에너지원을 이용하는 제로에너지 주택이나 제로에너지 커뮤니티 개발 등이 진행되고 있다. 이와 함께 태양열 발전 분야에서도 기술수준이 진척되어, 최근에는 대구에 200 kW급 태양열 발전 설비가 국내 최초로 건설되고 있다. 관련된 기반기술을 어느 정도 확보한 상태이며, 이러한 기술을 중동이나 아프리카 등지에서 활용하기 위한 국제적 노력이 진행되고 있다.

중국은 세계 태양열 시장의 60% 이상을 차지하고 있으며, 이 외에 유럽 및 일본에서 그 보급이 확대되어 있다. 스위스 Sarasin 은행의 보고서에 따르면 2020년경에는 한해에만 약 1억 6천만 m²의 집열기가 설치될 것으로 예측하고 있다. 또한 EU에서는 2020년 설치 누계를 2억 m² 이상으로 계획하여, 현재의 2배 이상이 될 것으로 예측하고 있다. 상대적으로 태양열 시스템 시장이 크지 않은 미국에서도 지역단위의 태양열 시스템 보급 필요성을 인식하기 시작하였으며, 특히 스페인이나 독일 등 EU 국가와 함께 태양열 발전 시스템의 건설에 대한 국제적 협력을 시도하고 있다. 이러한 국내외적 동향을 살펴볼 때 태양열 시스템의 보급은 계속 증가할 것이 확실하며, 따라서 국내 기업은 보다 신뢰성 있는 제품 개발과 시공으로 관련

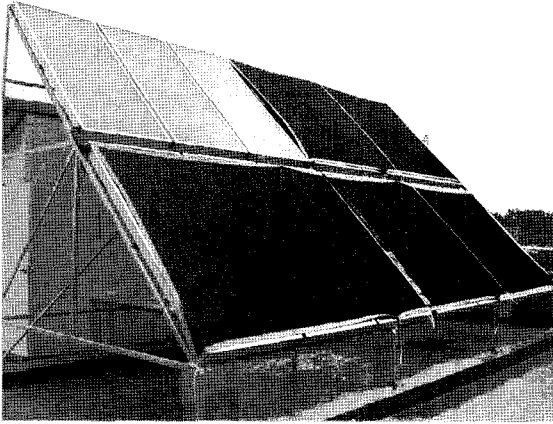
시장개척에 매진해야 할 것으로 생각된다.

태양열 시스템에 대한 기대

1970년대부터 보급되기 시작한 태양열 시스템은 오랜 보급기간만큼 많은 문제점이 제기되어 왔다. 특히 혹독한 기상조건에 그대로 노출되어 있기 때문에 전술한 바와 같이 동파와 과열에 의한 시스템 파손 위험이 상존한다고 할 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 자동차와 같이 주기적인 점검이 필수적인데, 집열기 설치 위치상 소비자들이 직접 점검하기는 어렵다는 문제가 있다. 2005년부터 1년 6개월에 걸쳐 진행되었던 태양열 시스템에 대한 광범위한 조사에서, 집열기 및 배관, 그리고 축열조에서의 파손이 가장 큰 A/S 요인이었던 점을 상기해야 할 것이다. 즉, 간단한 정기점검을 통해 태양열 시스템의 대부분 문제를 해결할 수 있다고 판단되는 것이다. 따라서 관련 기업은 시스템 설치시 주기적인 점검의 필요성을 소비자에게 뚜렷이 인식시키고, 가능한 정기적인 연락이나 방문을 통해 태양열 시스템이 점검되도록 노력할 필요가 있다.

에너지관리공단(신재생에너지센터)에서는 집열기 및 태양열 온수기에 대한 인증제도를 두어 소비자가 보다 신뢰성 있는 제품을 선택할 수 있도록 도와주고 있으며, 여러 가지 지원사업 등을 통하여 태양열 시스템 보급에 주력하고 있다. 대다수 태양열 관련 업체가 영세한 점을 감안할 때, 위와 같은 사후관리는 태양열 시스템 보급을 관리하는 동 기관에서 별도의 프로그램을 마련하여 진행되어야 할 것으로 판단된다. 정부에서 주도하는 다양한 보급사업의 예산 중 극히 일부를 사후관리 예산으로 배분하는 것만으로도, 태양열 시스템의 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 이와 함께 무분별하게 확장되어 있는 태양열 전문기업 중에서 옥석을 가려 중견기업을 선정하고 지원하면서, 사후관리 등 문제해결에 적극적인 관련기업을 선택적으로 지원하는 것이 바람직하다고 생각된다.

기업에서는 내구성 있는 제품을 보급하는데 노력해야 할 것이며, 그림 5와 같이 과도한 설비를



[그림 5] 여름철 이용되지 않고 있는 태양열 집열기

설치함으로써 이용효율을 저하시키지 않도록 유념해야 한다. 정부나 지자체의 지원으로 설치되는 태양열 시스템이 쉽게 고장이 나서 버려진다는

이용하지 못하는 기간이 길다든지 하는 것은 결국 국민의 세금이 낭비되는 결과를 초래하기 때문이다. 또한 일부 업체에서는 아직도 소비자를 현혹하는 과장 광고를 하는 경향이 있다. 이러한 과장 광고는 소비자의 기대치를 상식 이상으로 끌어올림으로써, 실제 태양열 시스템을 이용하면서는 부정적 인식을 갖도록 하는 주원인이 되고 있다. 보다 우수하고 신뢰성 있는 제품을 원한다면 소비자는 적정한 값을 지불하고 인증받은 제품과 시공능력이 있는 기업을 선택해야 할 것이다.

신재생에너지 이용설비 중에서 설치비용 대비 에너지 생산량이 높은 태양열 시스템의 보급 확산을 위해서는 정부와 기업의 노력, 그리고 소비자의 현명한 선택이 모두 필요하다. 이러한 노력이 이루어진다면 태양열 시스템의 보급이 확대되어, 화석연료 사용 억제와 에너지 자립화 그리고 기후변화협약 대응에 크게 기여할 수 있을 것이다. (50)