태양열 이용 기술

무한하고 청정한 태양 에너지를 열로 변환시켜 활용하는 기술인 태양열 이용 기술에 대하여 소개하고자 한다.

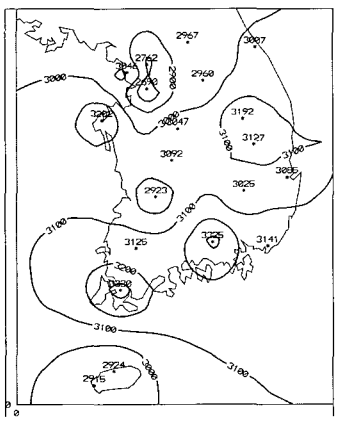
이 동 원
한국에너지기술연구원 태양열연구센터(dwlee@kier.re.kr)

태양열 이용 현황

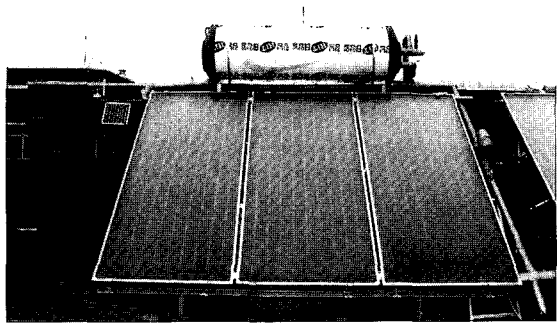
여러 가지 신재생 에너지 중 태양 에너지는 무공해이며 그 양이 거의 무한하다는 점에서 인류 생존을 위한 영원한 에너지원으로서 인식되고 있다. 현재 주로 사용하고 있는 석유, 석탄, 가스 등 화석 에너지는 부존량에 한계가 있으며, 에너지로 전환될 때 각종 환경 오염 물질이나 온실 가스를 배출한다는 중요한 제약이 있기 때문이다. 또한 원자력 발전에 의한 에너지 확보도 잠재되어 있는 가공할 위험성과 폐기물 처리 문제 때문에 앞으로 그 보급을 확대하는데 큰 어려움이 있을 것으로 예상되고 있다.

풍력이나 바이오매스, 수력 등의 다른 신재생 에너지도 결국 태양 에너지에 의해 나타나는 에너지원이지만, 태양 에너지를 직접 이용하는 기술로는 크게 태양열 이용 기술과 태양광 발전 기술이 있다. **그림 1**에서 알 수 있는 바와 같이 국내 주요 지역에서 측정된 연평균 수평면 일사량은 하루에 약 3,040 kcal/m²이므로, 우리 나라 면적을 감안하면 연간 약 110억 TOE의 태양 에너지를 얻을 수 있는 것으로 단순 계산할 수 있다. 하지만 모든 지역을 태양열 집열판으로 덮을 수는 없기 때문에 이용 가능량은 약 9천 7백만 TOE로 추정되고 있으며, 이는 우리 나라 연간 에너지 소비량인 약 2억 TOE의 50%에 육박하는 거대한 양이다.

그러나 현재 국내에 설치되어 있는 태양열 기기는 주로 **그림 2**와 같은 가정용 태양열 온수기 20 만대



[그림 1] 국내 일사량 분포도



[그림 2] 가정용 태양열 온수기

정도로써, 이를 통해 얻는 에너지는 연간 약 4만 TOE에 불과한 실정이다. 우리 나라와 에너지 사정 및 기후 조건이 유사한 일본에서는 400만기 이상의 태양열 온수기가 설치되어 이용되는 점과 비교해보면, 우리 나라에서의 태양열 이용 실태가 너무 빈약하다는 것을 알 수 있다. 태양열 시스템은 이용 온도에 따라 저온, 중온, 고온 시스템으로 구분하는 것이 일반적이다. 100℃ 이하 저온 분야는 난방 및 급탕에 이용되며, 300℃ 이하 중온용은 흡수식 냉동기를 활용한 냉방이나 산업공정열 등에, 그리고 300℃ 이상 고온 분야는 열발전이나 우주용으로 활용 가능하다.

태양열 이용 시스템

태양열 시스템은 태양 에너지를 열의 형태로 모아서(집열, 集熱) 이용하는 모든 시스템을 의미하는데, 일반적으로 쉽게 접할 수 있는 시스템으로는 난방 및 급탕용 태양열 시스템이 있으며 이 외에 건조용, 냉방용, 산업용, 발전용 태양열 시스템 등이 있다. 태양열 시스템은 일반적으로 태양열을 모으는 집열기, 모아진 열을 저장하는 축열조, 그리고 저장된 열을 이용하는 이용부로 구성되며, 이 밖에 이러한 구성 요소들이 원활하게 또 최적 운전 조건에서 동작될 수 있도록 하는 제어기가 있을 수 있다.

집열기

태양 에너지는 그 에너지 밀도가 낮기 때문에 태양열을 집열하는 집열기의 역할이 매우 중요하며, 크게 평판형(flat plate), 진공관형(evacuated tubular), 집중형(concentrating or focusing) 집열기로 구별된다. 비교적 저온을 얻고자 하는 경우에는 평판형 집열기를, 그리고 고온을 얻고자 하는 경우에는 집중형 집열기가 이용된다. 태양열 집열기에서의 에너지 전환은 흡열판에 태양 복사 에너지가 흡수되어 흡수판이 더워지면 흡수판 내부를 흐르는 전열 매체로 이 열이 전달되고, 전열 매체의 열이 축열부 또는 이용부로 수송되는 과정을 거친다.

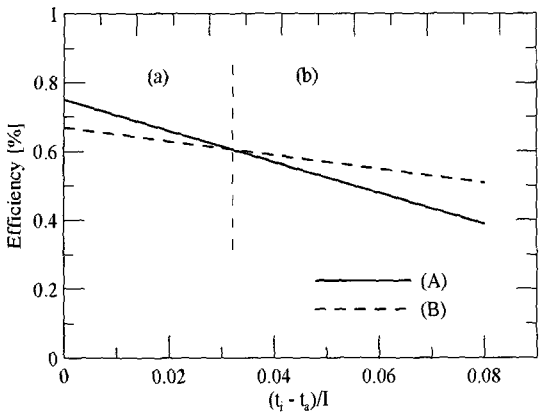
급탕 및 난방을 위한 저온형 태양열 시스템에서 사용하는 집열기는 평판형 집열기로써, 직달 및 분산 일사량 성분 모두를 이용할 수 있으며 태양을 추적하지 않아도 된다는 장점이 있다. 그러나 집열기 전체에 흡수판이 존재하므로 외부로의 열손실이 많아 100℃ 이상의 열원을 얻기는 어렵다는 단점이 있다. 평판형 집열기는 검은색으로 코팅된 흡수판에 열전달 매체가 흐를 수 있는 도관이 설치되어 있고, 흡수판 밑에는 단열재가 흡수판 위에는 투과체가 있어 외부로의 열손실을 억제하는 구조로 되어 있다.

정상 상태에서 주어진 시간 동안에 태양열 집열기가 취득한 에너지는, 흡수판에서 흡수한 에너지에서 주위로 손실된 에너지를 빼주면 된다. 따라서 집열기가 취득하는 에너지를 크게 하려면 투과율과 흡수율을 높이고, 외부로의 열손실을 적게 해야 한다. 일반적으로 태양열 집열기의 효율은 집열기가 얻은 열량(Q_u)을 입사된 총 일사량(IA)으로 나눈 값으로서, 다음과 같은 일차식으로 표현된다.

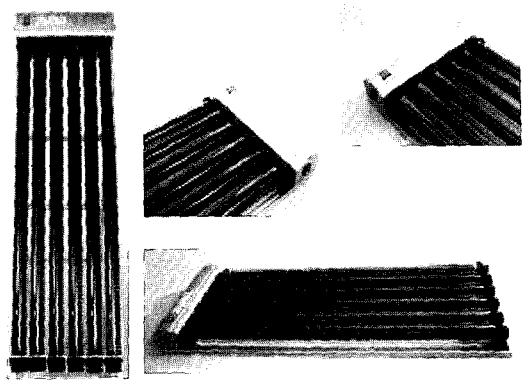
$$\eta = \frac{Q_u}{IA} = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(t_i - t_a)}{I} \quad (1)$$

여기서 우변 첫 번째 항은 흡수판에서 흡수한 에너지를, 그리고 두 번째 항은 외부로의 열손실을 의미한다. 또한 t_i는 집열기 입구에서의 전열 매체 온도, t_a는 외기 온도, I는 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 x 좌표로 하고 효율 η를 y 좌표로 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 운전상태에 따라 수시로 변할 수 있는 값이다. 따라서 최고 효율이 우수한 집열기를 이용하는 것보다는 최상의 효율을 갖는 조건에서 태양열 시스템이 운전되도록 하는 것이 보다 더 중요할 수 있다. **그림 3**은 두 대의 가상 집열기 효율 곡선을 나타낸 것으로, 만약 (a) 영역에서 시스템이 운전된다면 A 집열기를 이용하는 것이 유리하지만 (b) 영역에서 운전된다면 B 집열기가 유리하다는 것을 쉽게 알 수 있다. 진공관형 집열기는 **그림 4**와 같이 열손실 방지 등을 위하여 진공 유리관을 이용하는 집열기로써, 평판형보다 고가이지만 B 집열기와 같이 열손실이 극도로 억제되는 효과를 얻을 수 있다. 따라서 진공관형 집열기는 평판형 집열기보다 고온의 열을 큰 손실 없이 얻을 수 있는 집열기이다.



[그림 3] 집열기 효율 곡선



[그림 4] 진공관식 집열기

축열조

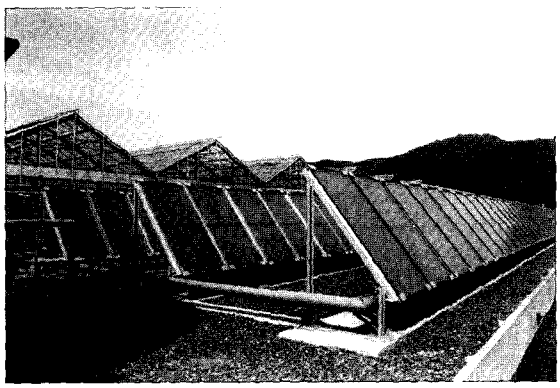
열저장, 즉 축열은 열에너지의 수요와 공급 사이에 발생하는 시간적, 양적, 질적 차이를 극복하는데 필요하다. 따라서 시간과 기후 조건에 따라 취득하는 열에너지가 변하는 태양열 시스템에서는 축열조가 매우 중요한 역할을 하게 된다. 태양열 시스템의 축열조가 일반적으로 갖추어야 하는 조건은 단위 부피 또는 단위 질량당 저장할 수 있는 열에너지가 커야 하며, 열을 저장하는 매체가 인체나 환경에 무해하고 경제적이어야 한다는 점 등이다. 일반적으로 저온 태양열 시스템에서는 물을 열저장 매체로 이용하는데, 공기식 태양열 시스템의 경우는 자갈 등을 이용하기도 한다. 축열조 내 온도 성층화도 전체적인 효율에 미치는 영향이 크므로 이에 대한 고려도 충분히 이루어져야 한다.

태양열 이용 시스템의 분류

태양열 시스템을 구성하는 각 요소 사이의 열전달 방법이 기계적 강제 순환에 의할 때 이를 설비형(設備型, active) 태양열 시스템이라고 하며, 자연 순환에 의할 때 이를 자연형(自然型, passive) 태양열 시스템이라고 한다.

자연형 태양열 시스템

자연형 태양열 시스템은 전술한 바와 같이 각 구성요소 사이의 열전달 방법이 전열 매체의 자연 순환



[그림 5] 대규모 설비형 태양열 시스템

에 의한 것으로써, 특별한 기계 장치 없이 태양 에너지를 자연적인 방법으로 집열, 저장하여 이용할 수 있도록 한 것이다. 열전달이 자연 대류에 의하므로 열적 성능이 낮은 단점이 있으나, 경제성이 높고 고장의 염려가 적으며 관리가 쉽다는 장점이 있다. 일반적으로 쉽게 볼 수 있는 시스템으로는 주택의 지붕 또는 옥상에 설치된 태양열 온수기가 있으나, 태양열을 최대한 받아들이고 취득된 태양열이 외부로 손실되지 않도록 설계된 건물도 그 자체가 자연형 태양열 시스템이라고 할 수 있다.

설비형 태양열 시스템

설비형 태양열 시스템은 집열기와 축열조 외에 펌

프와 제어기가 추가로 설치된다. 집열기에서의 열 전달이 강제 순환에 의하므로 집열 효율이 높고, 축열조의 위치와 형태를 임의로 변경할 수 있으며, 집열 효율이 높도록 별도의 제어가 가능하여 자연형 태양열 시스템보다 효율이 높은 것이 일반적이다. 그러나 별도의 순환펌프와 제어 장치 등이 필요하고 이에 따라 고장 가능성이 증가한다는 단점도 있다. 가정용으로는 평판형 집열기를 이용하는 태양열 시스템이 일반적이며 **그림 5**와 같이 온실 난방을 위한 대규모 설비형 태양열 시스템도 국내에 설치되어 있다. 산업용 또는 발전용으로 활용하기 위해서는 진공관형이나 집중형 집열기를 이용해야 한다.

자주 접하는 질문

태양열과 관련하여 많은 사람들이 잘못 이해하고 있거나 궁금해 하는 사항을 정리해 보았다.

태양열 발전(發電)에 대해서 알고 싶다.

이 질문을 하는 사람들은 거의 모두 태양열(太陽熱)과 태양광(太陽光)을 구분하지 못하는 경우이다. 태양열 기술이란 집열기를 이용해서 태양 에너지의 열(熱)을 집열하여 축열조에 저장하였다가 이용하는 기술이며, 태양광 기술이란 태양 에너지를 전기(電氣)에너지로 변환시키는 태양 전지(solar cell)를 이용해서 전기를 발생시켜 이를 이용하는 기술이다. 즉, 태양열 기술은 태양 에너지의 열을 이용하는 기술이며, 태양광 기술은 태양 에너지를 이용하여 전기를 생산하는 기술이다.

따라서 사람들이 얘기하는 태양열 발전이란 대개 태양광 발전을 염두에 두고 말하는 경우이다. 물론 반사경 등을 이용하여 태양열을 집적하여 고온의 열을 만들고 이를 이용해서 발전하는 태양열 발전 시스템도 있다. 그러나 이러한 태양열 발전 시스템은 일반적인 태양열 이용 시스템이나 태양광 발전 시스템에 비해 아주 드물며, 우리 나라에서는 현재 기초 연구와 실증 연구 수준에 머물고 있어 일반 사람이 접하기는 어려운 시스템이다. 태양열 이용 기술과 태양광 발전 기술은 그 분야가 아주 다르다는 것을 인지해야 할 것이다.

태양열을 가지고 난방도 가능한가?

결론부터 말한다면 물론 난방도 가능하다. 우리가 이용할 수 있는 태양열의 양은, 태양열을 집열하는 기기인 태양열 집열기의 면적에 비례한다. 즉, 태양 에너지로부터 많은 열량을 얻고 싶으면 집열기의 면적을 넓히면 되는 것이다. 일반적으로 태양열의 이용은 온수 급탕에 국한되는 경우가 많은데, 이것은 경제적인 면을 고려하여 집열기를 작게 설치하였기 때문이다. 난방은 주로 겨울철에 이루어지는데 겨울철은 태양의 고도가 낮아 일사량도 적고, 외기 온도가 낮아 집열기의 효율도 저하되는 문제점이 있다. 따라서 난방을 위한 집열기의 면적은 상당히 크게 산정될 수밖에 없고 이러한 이유로 태양열에 의한 난방 시스템이 매우 드문 것이 사실이다. 그러나 난방 보조의 역할을 하는 태양열 시스템은 국내에도 여러 군데 보급되어 있다. 즉, 태양열을 온수 급탕은 물론 난방에도 이용할 수 있으나, 단지 경제적인 측면에서 이러한 시스템이 배제되고 있는 것이다.

태양열의 효율은 어느 정도인가?

태양열 기기는 효율 대신 성능이라는 표현을 주로 사용하는데, 그 이유는 여러 가지 조건이 기기의 효율에 영향을 미치기 때문이다. 태양열 집열기를 통해 얻어지는 열량은 일사량, 외기온, 전열 매체의 온도, 풍속, 이용 방법 등에 따라 달라지기 때문에, 효율을 하나의 값으로 표현할 수 없는 것이다.

태양열 기기의 성능으로는 집열 성능과 시스템 열성능, 그리고 사용 성능이 있을 수 있다. 집열 성능은 집열기의 효율을 의미하는 것으로, 전술한 바와 같이 집열기의 상태 외에 외기 조건에 따라 크게 달라지기 때문에 하나의 값으로 표현하지 못하고 식으로써 표현된다. 예를 들면 집열 성능은 하루에도 10%에서 70%까지 다양하게 변할 수 있는 것이다.

한편 시스템 열성능은 태양열 시스템이 획득한 열량을 기준으로 산정된 효율이다. 집열기에서 얻어진 열은 축열조에 저장되었다가 이용하는 경우가 일반적이므로, 이 과정을 모두 고려한 후 태양열 시스템이 얻은 열량을 기준으로 성능을 산정하는 것이다. 가장 일반적인 시스템 열성능 분석 방법은 교반 시험이다. 일출 전 축열조 내의 물을 교반하여 초기 온도를 측정하고 일몰 후 다시 교반하여 최종 온도를

측정해서, 그 온도차와 축열조 내 물의 양을 이용하여 태양열 시스템이 얻은 열량을 구하게 된다. 이 시스템 열성능 또한 외기 조건에 영향을 받으며, 따라서 일사량과 외기 온도가, 정해진 기준 내에 부합되는 날에 측정하도록 정해져 있다. 우리가 흔히 볼 수 있는 가정용 태양열 온수기의 경우 이 시스템 열성능은 대략 40~50% 수준이다. 그러나 이 열성능은 매우 청명한 날에 측정된 것이기 때문에, 일반적인 기후 조건에서 얻을 수 있는 열성능은 아니다. 따라서 최근에는 일사량과 외기온을 변수로 하는 2원 일차 방정식으로 시스템의 열성능을 표현하는 것이 일반적인 추세이다. 중대형 태양열 시스템의 경우는 열성능에 미치는 인자가 태양열 온수기보다 더욱 많기 때문에 일률적으로 말할 수 없다.

한편 사용 성능은 소비자가 이용하는 열량을 기준으로 산정된 효율이다. 집열되어 저장된 열이라고 해서 모두 이용하는 것은 아니기 때문에 사용 성능은 열성능보다 작은 값을 갖게 된다. 사용 성능은 전술한 외기 조건 외에 소비자의 열이용 방법, 축열조의 형태, 보조 열원의 위치 등에 따라 또 달라지기 때문에 더더욱 일률적으로 말할 수 없다. 따라서 시험 조건을 열거하고 그러한 상태일 때 어느 정도의 효율을 갖는다고 표현할 수 밖에 없다.

태양열 시스템이 경제성이 있는가?

경제성이 있고 없고의 기준이 애매하지만, 거의 모든 신재생 에너지 이용 시스템은 경제성이 결여되어 있다는 공통된 특징을 갖는다. 따라서 우리 나라를 포함한 대부분의 나라에서는 신재생 에너지 이용 시스템에 대해 설치 의무화 제도를 시행하여 강제하거나, 지원 제도를 통해 소비자의 부담을 줄여주는 방법을 취하고 있다. 하나의 예로써 태양광 발전 시스템에 대해서는 설치비의 70%를 정부가 지원하며 잉여 전력을 700원/kW 정도의 고가로 한전에서 구매해 주는 제도를 시행하고 있다. 이를 역으로 얘기하면 그만큼 경제성이 없지만 보급을 늘려야 할 필요성이 있다는 것을 의미한다. 태양열 시스템은 그나마 경제성이 양호한 편이라서 그런지, 저리의 융자를 제외하고는 별다른 지원 제도가 없는 상태이다. 그러나 단순히 온수를 얻기 위해서 상대적으로 고가인 태양열 온수기를 선택하기에는 소비자 입장에서 주저할 수밖에 없는 것이 사실이다. 특히 운전비가 저렴한 심야 전력 온수기와 비교하게 되면 경제성은 더욱 뒤떨어질 수밖에 없다. 따라서 태양열 시스템의 보급 확대를 위해서는, 정부의 보다 적극적인 지원 방안이 요구되고 있다.

태양열 시스템을 설치하여 실패한 사례가 많다.

어느 정도 사실임을 인정하지 않을 수 없다. 굳이 변명을 하자면 과거 무분별하게 보급된 태양열 시스템 중에 저가의 제품이 상당수이며, 이러한 제품은 기본적으로 고장이 잦았다는 점을 말할 수 있다. 그러나 현재는 국내 관련 기업에서 상당히 우수한 집열기가 생산되고 있으며, 중대형 시스템에 대한 시공 능력도 많이 향상된 상황이다. 소비자가 보다 우수하고 신뢰성 있는 제품을 원한다면 적정한 값을 지불해야 할 것이며, 저가의 조악한 수입 태양열 온수기는 피해야 할 것이다. 겨울철 동파 방지를 위해 전열 매체로써 부동액을 이용하는 태양열 시스템의 특성상 소비자는 부동액 점검 정도의 관심은 갖고 있어야 하며, 이는 자동차 냉각 라인의 부동액 점검과 유사하다고 할 수 있다.

우수한 효율을 갖는 태양열 시스템이 있다고 하는데.

같은 평판형 태양열 집열기에 대해서 그러한 말이 있다면 사실이 아닐 확률이 높다. 우리 나라의 제품이나 외국 제품 모두 엇비슷한 집열 성능을 갖고 있으며, 그 차이가 혹시 있다 할지라도 소비자가 느낄 정도의 수준은 되지 못하는 것이 일반적이다. 태양열 시스템의 특성상 특별하게 고효율의 제품이 있을 수도 없으므로 소비자의 입장에서는 효율보다는 신뢰성에 더 큰 비중을 갖고 선택하는 것이 바람직할 것이다.

신재생 에너지원 중 가장 쉽게 접하고 이용할 수 있는 태양열 시스템에 대하여 설명하였다. 태양열 시스템의 보급을 통해 국가 에너지 자급률을 다소나마 높이고, 온실 가스는 물론 환경 오염 물질 저감을 이루어야 할 것이다.