

태양열 집열기의 효율곡선*

- William A. Wright -

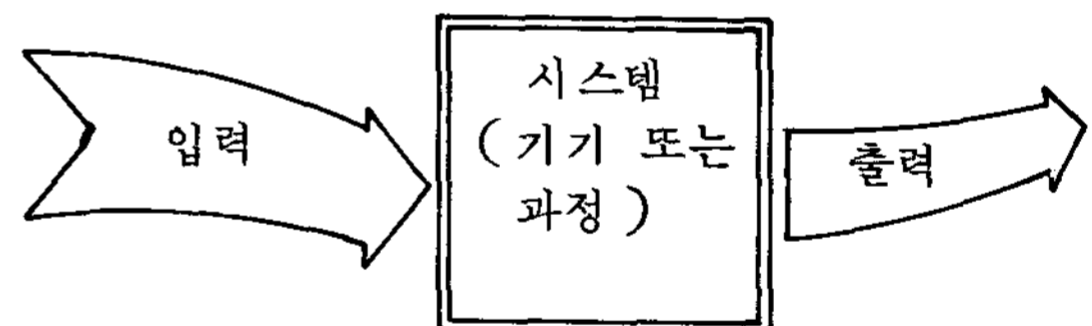
경제, 경영 및 공학분야에서 흔히 사용하는 효율이란 단어는, 예를 들어 어떤 제품의 경우 그 제품에 투입되는 단위입력에 대하여 반응하는 출력의 비율을 의미한다. 그림 1에서 보는 바와 같이 대부분의 물리적 현상에서 우리는 이들 입출력간의 관계를 하나의 시스템(기기 또는 과정)으로 설명할 수 있다. 그리고 입력과 출력은 시스템의 성질에 따라 각각 다르게 결정될 것이다. 가령 시스템이 보험취급기관에서 본 의료보험계획이라면 입력은 피보험자가 불입하는 보험금이 될 것이고 출력은 진료시 지급되는 보조금이 될 것이다. 이 경우 시스템의 효율은 1보다 적어야 한다. 왜냐하면 보험취급기관에서 일상적으로 지불되는 행정사무 및 기타 업무상 필요한 비용을 감안할 때, 지급되는 보조금이 들어오는 보험금보다 반드시 적어야 하기 때문이다. 그림 1과 같은 시스템의 출력은 입력과 같지 않게 구성되어 있다. 이와 같은 계획의 효율은 경제, 조직, 개인 및 일반적인 조건에 대한 함수로서 외부조건과 내부의 특성에 따라 변화할 것이다.

태양열 집열기에 대하여 이 방법을 적용한다면 입력은 집열기가 태양으로 부터 받아들인 에너지(일사량)가 될 것이며 출력은 집열기로

부터 사용자가 얻어 쓸 수 있는 가용(可用)에너지로 생각할 수 있을 것이다. 그림 1을 태양에너지와 관련된 시스템으로 간주한다면, 이는 태양에너지를 받아 가용에너지를 제공하는 기기나 시스템으로 이해할 수 있을 것이다.

이 경우의 입출력간의 비율을 기기나 시스템의 효율(η)로서 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\text{효율}(\eta) = \frac{\text{가용에너지(출력)}}{\text{집열기에 쬐여진 태양에너지(입력)}} \dots \textcircled{1}$$



[그림 1] 효율의 개념

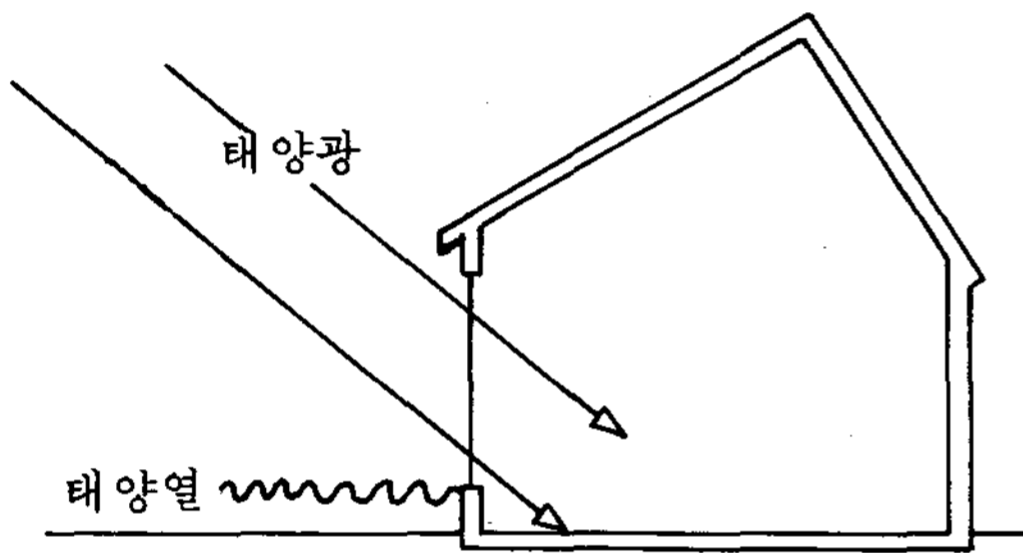
1. 태양열 집열기

자연적으로 생성되었거나 혹은 인공적으로 만들어진 물건들 중에서 태양열 집열기라 볼 수 있는 것은 매우 많다. 이를테면 나무나 태양전지 등은 일종의 훌륭한 태양열집열기로 자연상태에

* "Solar Age" Sept 1979. p.44~49

* 이 기사는 미국의 Northeast Solar Energy Center에 의해 제작된 Design Notes 시리즈의 하나이다.

서 태양에너지를 받아 성장한 나무를 연소시키므로써 우리는 열에너지를 간단히 얻을 수 있으며 인공적으로 만들어진 태양전지는 태양에너지를 받아 전기를 공급해 준다. 일반적으로 태양열집열기는 변환기의 성질을 갖는다. 이는 태양광을 직접 사용하는 예는 드물고 태양광을 열로서 변환하여 우리생활에 유익한 에너지를 제공해 준다. 또한 태양에너지를 열로 변환시키는 방법이 비교적 간단하고 활용하기에 편리하기 때문에 대체에너지원으로서 그 이용분야가 무한하다 할 것이다.

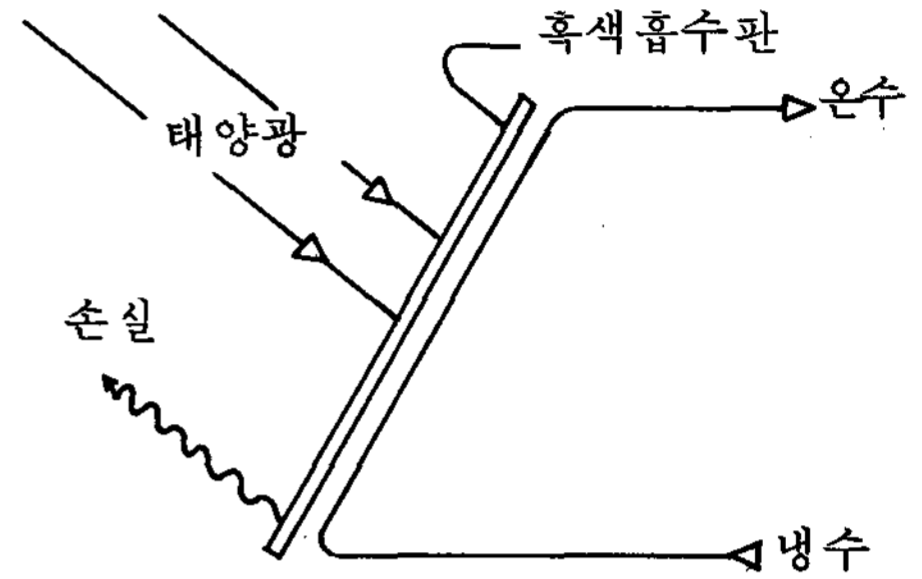


[그림 2] 태양열집열기로 사용된 주택의 개념도

그림 2는 건물자체가 집열기로 사용되는 것을 나타내었다. 남향면의 창문을 통하여 들어온 태양에너지는 내부표면에 의해 흡수되어 열로 변환된다. 이 변환에 의해 생긴 열은 실내공간을 적당한 온도로 유지 시켜주는데 사용될 것이다. 열을 소모하는 건물자체가 직접 태양에너지를 흡수하여 이를 내부에서 열에너지로 바꾸어 사용하는 것이 가장 이상적이지만, 주위환경이나 기타 사정으로 인하여 태양에너지의 흡수부분을 건물과 분리시켜, 건물과 떨어진 (열손실을 고려하여 가급적 가까운) 곳에서 흡수된 열을 건물로 옮겨올 수도 있다.

어떤 기기가 광 - 열 변환에 사용됐을 때 일반적으로 이를 태양열집열기라 부르며 그 대표

적 형태는 그림 3과 같이 검은색을 칠한 평면 금속판(흡수판)에 가는 도관을 접합하여 도관 내에 유체가 통과하도록 제작된 소위 평판형액체식 집열기로 이를 태양에 노출시키면 흡수판은 태양에너지를 받아 열로 변환시켜 도관을 흐르는 유체에 전달해 주도록 설계된 것이다.



[그림 3] 간단한 평판형 태양열 집열기

2. 집열기의 효율

거의 모든 열변환시스템의 공통적인 특성은 시스템으로 부터 나오는 출력이 시스템에 투입하는 입력보다 작다는 점이다. 이는 시스템 또는 열변환 과정상에 필연적으로 발생하는 열적 손실 때문이다. 외기와의 온도차에 의해 발생하는 열적손실 때문에 도관을 흐르는 유체에 흡수된 열은 흡수판에 쏘여진 태양에너지 보다 항상 적을 것이다. (열펌프를 통하여 집열기로부터 열을 흡수할 경우 특정한 조건하에서는 태양뿐만 아니라 대기중에서도 열을 얻을 수 있으나 일반적인 경우가 아니므로 여기서는 고려치 않기로 한다)

앞서의 의료보험계획이 자체 운영경비를 지출해야 하듯이 평판형집열기도 역시 그 자체에 의한 열적손실을 초래한다. 그림 3에서 뜨거워진 흡수판의 표면은 대류와 복사 현상에 의하여 열을 대기중으로 빼앗긴다. 여기서 대류에 의한 손실은 대기온도보다 흡수판의 온도가 상대적으로 높기 때문에 발생하며 열손실은 흡수판으로

부터 그와 접해있는 대기중으로 전달된다. 또한 복사손실은 흡수판이 그 주위에 에너지를 복사함으로 자연히 생기게 된다. 즉 집열기 주위 환경은 흡수판보다 온도가 상대적으로 낮으므로 하늘로부터 흡수판에 복사된 에너지의 양은 흡수판으로부터 복사된 양보다 적기 때문에 생기는 손실을 말한다.

만일 태양으로부터 입사되어 흡수판이 흡수한 에너지가 도관내의 유체에 흡수된 가용에너지와 대류 및 복사에 의한 손실로 구성된다 가정하면 다음과 같은 방정식이 성립한다.

$$\text{可用에너지} = \text{흡수판에 의해 흡수된 태양에너지} - \text{손실에너지} \dots\dots\dots ②$$

따라서 집열기의 효율(η)은 입력에너지와 가용에너지(출력)와의 비로서 표현되므로 양변을 입력에너지(일사량)로 나누어 식③과 같이 도출할 수 있다.

$$\eta = \frac{\text{흡수된 태양에너지}}{\text{일사량}} - \frac{\text{손실에너지}}{\text{일사량}} \dots\dots\dots ③$$

3. 효율의 구성요소

식③의 우변, 첫째 항은 흡수된 열에너지와 일사량의 비이다. 이 비가 1에 가까와 질수록 집열기의 효율은 높아지며 마찬가지로 둘째 항의 값이 0으로 접근해 갈때 즉, 손실이 없을 때 효율은 높아질 것이다. 이와 같이 일사량과 흡수된 열에너지와의 비는 집열기의 효율과 밀접한 관계가 있으며 실제로 집열기의 최대효율결정에 결정적인 역할을 한다. 일반적으로 투과체를 고려하지 않은 간단한 집열기에 있어서 흡수된 태양에너지의 양은 α 라 일컫는 태양흡수율에 일사량을 곱한 값이 되며 흡수된 에너지와 일사량의

비율은 α 가 될 것이다. 여기서 α 는 흡수표면의 특성으로 구성재료 자체에 기초를 두는 것은 아니다. 흡수표면이 검은색인 경우에는 보통 0.9~0.98의 값을 갖는 것으로 알려져 있다.

따라서 식④은,

$$\eta = \alpha - \frac{\text{손실에너지}}{\text{일사량}} \dots\dots\dots ④$$

한편 둘째 항은 일사량에 대한 손실에너지의 비율로 이에 대한 명확한 정의는 없지만, 다음과 같은 가정하에 설명할 수 있을 것이다. 즉 분모와 분자를 개별적으로 생각하면 일반적으로 손실에너지는 흡수표면의 온도(T_p)와 대기온도(T_a)와의 차이에 비례한다고 할 수 있으므로 다음과 같은 식이 성립된다.

$$\text{손실에너지} = \text{비례상수} \times (T_p - T_a) \dots\dots\dots ⑤$$

여기서 비례상수는 대류 및 복사에 의해 생기는 에너지의 손실특성을 의미한다.

열전달분야에 전문지식이 있는 사람은 대개 제한개의 상수만을 사용한 대략적인 가정은 피하는게 보통이지만 그림 3과 같이 투명한 덮개를 씌우지 않은 간단한 집열기의 해석에 적용하기에는 상당히 좋은 방법이다. 식⑤의 비례 상수를 U_L (흡열판 단위면적당 총 열손실계수)이라 칭하면,

$$\text{손실에너지} = U_L(T_p - T_a) \dots\dots\dots ⑥$$

일사량(I)는 단위시간당 에너지의 양(kw/m^2 혹은 $\text{BTU}/\text{ft}^2/\text{hr}$)으로 표시되며 일사량과 손실에너지와의 비는 식⑥의 양변을 일사량으로 나누어 줌으로서 얻어진다. 즉,

$$\frac{\text{손실}}{\text{일사량}} = \frac{U_L(T_p - T_a)}{I} \dots\dots\dots ⑦$$

식⑦을 식④에 대입하면

$$\eta = \alpha - \frac{U_L(T_p - T_a)}{I} \dots\dots\dots ⑧$$

따라서 $U_L(T_p - T_a)$ 의 향이 가장 적은 값을 가질 때 효율(η)은 최대가 됨을 알 수 있다. 다시 말해서 일사량에 관계없이 흡수표면의 온도(T_p)가 대기온도(T_a)에 가까울 수록 효율은 높아짐을 의미한다. 그러므로 높은 효율을 얻기 위해서는 집열기 표면온도를 가능한한 대기온도와 가깝게 유지하여야 한다. 만일 효율을 0(零) 즉, 집열도관내에 유체를 통과시키지 않게 한다거나 해서 집열기로 부터 얻어 쓸 수 있는 가용에너지가 없다고 가정하면 식⑧은,

$$\frac{U_L(T_p - T_a)}{I} = \alpha \dots\dots\dots \text{⑨}$$

가 된다.

윗 식의 의미는 흡수된 에너지 전부가 대기중으로 빼앗김을 뜻하며 다만 α , U_L , I , T_a 등은 재질이나 주어지는 조건에 따라 결정되는 인자로서 흡수표면온도(T_p)만이 유일한 변수로서 작용하게 된다. 또한 윗 식의 좌변은 일반적으로 陽(+)^{의 값을 가져야 함으로 (α 값은 0~1)} 흡수판의 온도는 항상 대기 온도보다 높아야 한다. 실제로 그림 3과 같이 집열기에 태양에너지가 도달하게 되면 흡수판의 온도는 어느 한계점에 도달하면 더 이상 상승하지 않는 것을 경험하게 된다. 이때의 온도를 가리켜 정체온도(Stagnation temperature: T_s)라 한다. 여름철 대기온도가 27℃정도에서 그림 3과 같은 투과체가 없는 집열기의 정체온도는 대략 70℃가 된다. 이런 상태하에서는 흡수판이나 표면이 손상 되기가 쉽다. 따라서 각각의 집열기가 갖는 정체온도는 그 집열기를 훼손으로 부터 보호할 수 있는 조건형성에 유용한 요소로서 사용되며 또한 식⑧은 집열기를 동작시키는 방법, 흡수판의 온도와 효율등을 결정하는데 좋은 자료를 제공해 준다.

4. 투과체의 추가

투과체가 없이 간단히 흡수표면에 흑색도장을 하여 사용하는 집열기는 낮은 온도에서 작용시키면 좋은 성능을 발휘한다. 예를 들어, 수영장 물의 온도는 그렇게 높은 수준의 온도를 필요로 하지 않기 때문에, 집열표면의 온도가 대기온도와 크게 차이가 생기지 않아 에너지 손실율이 상대적으로 낮아진다. 그러나 온수급탕 또는 주택 난방의 용도로 사용하는 집열기의 경우, 흡수판의 온도와 대기온도는 50℃이상 차이가 발생한다. 예를 들어, 겨울철 대기온도가 0℃일때에도 가용온수는 50℃이상을 요구함을 상상하면 쉽게 이해가 될 것이다. 이런 조건하에서는 U_L 의 값이 매우 중요한 인자로 작용한다. 기온이 낮고 바람이 많이 부는 맑은 날, 흡수표면의 온도가 50℃이상이 되었다해도 손실율(U_L)이 상대적으로 커서 집열기의 효율이 오히려 陰(-)의 값을 갖는 경우가 생길 수도 있다는 것을 뜻한다. 다시 말해서 이런 경우의 집열기는 충분한 열량을 흡수하지만 정체온도가 낮아져 높은 효율을 기대할 수가 없는 상태를 의미한다.

식⑧에서의 α 와 U_L 값은 단지 집열기에 관련된 고유한 값이기 때문에 그중 하나의 값이 달라지면 집열기의 효율 역시 달라지게 된다. α 의 값은 대체로 0.9정도로 1을 초과할 수는 없으므로 이 값의 조정으로 인한 집열기 효율의 대폭적인 증가는 기대할 수 없다. 그러므로 집열기의 효율을 높이는 가장 이상적인 방법은 α 의 값을 감소시키지 않고 U_L 을 적게 만드는 것이다. 그 방법 중의 하나는 흡수면을 투명한 덮개로 덮어주는 방법이다. 투명한 덮개는 입사에너지의 대부분을 통과시키므로 α 값이 같은 수준으로 유지되면서 흡수판과 투과체 사이에 공기층이 형성되어 단열효과를 가져와 U_L 값은 자연히 감소하게 된다.

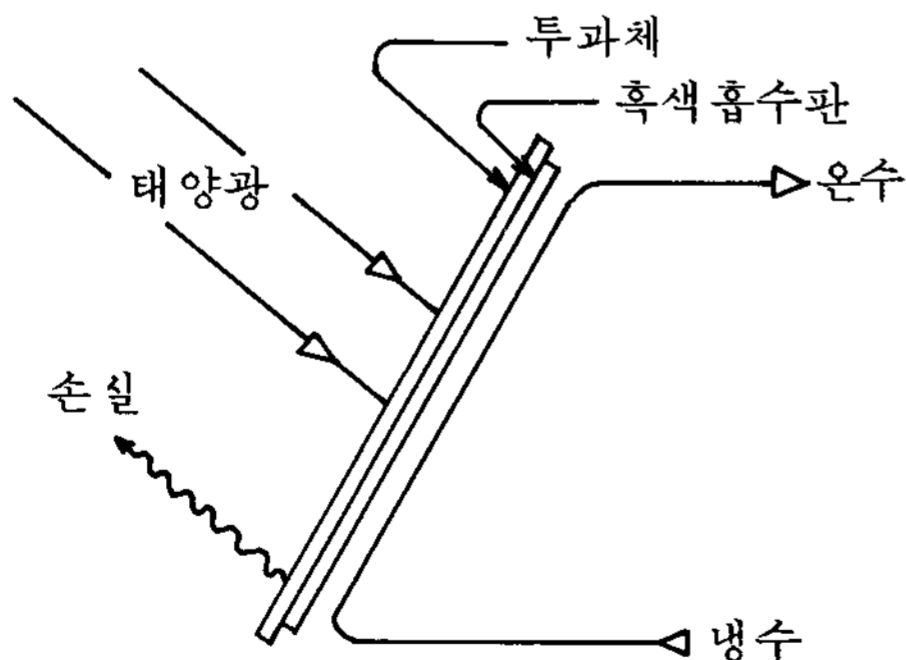
그러나 실제로 완전히 투명한 덮개를 기대할

수 없으므로 흔히 사용되는 유리나 플라스틱 같은 재질의 투과특성을 고려해야 한다. 여기서 투과특성을 나타내는 투과율(τ)의 정의는 다음과 같다.

$$\tau = \frac{\text{투과된 에너지}}{\text{입사 에너지}} \dots\dots\dots ⑩$$

유리와 같은 투과체는 입사와 복사에너지의 변동폭을 줄여주는 부수적인 효과도 갖고 있다. 또한 에너지의 복사현상은 눈으로 식별할 수 없는 파장범위에서 발생하기 때문에 흡수판으로부터의 복사량은 눈에 보이지 않는다.

대부분의 유리나 플라스틱은 가시광선의 영역에서는 높은 투과율(0.8 ~ 0.95)을 갖는 반면에 가시광선보다 더 긴파장을 갖는 적외선(Infra-Red: IR)영역(0.05 ~ 0.2)에서는 낮다. 그러므로 투과체를 통과한 복사에너지는 흡수판에 흡수되(그림 4) 열로 변환되며 다시 적외선 파장내에서 일부가 흡수판으로부터 재복사된다. 그러나 이 적외선은 투과체에 의해 대기로 나가지 못하고 유리안에서 다시 흡수된다. 이러한 현상을 복사에너지의 포획(Trapping)이라 하며 결국 복사손실을 감소시키는 역할을 하게 된다.



[그림 4] 투과체를 씌운 간단한 평판형 집열기

투과체를 덮어줌으로서 투과되는 입사에너지는 약간 줄어들지만 복사와 대류손실이 감소하

여 보다 높은 효율의 집열기를 만들 수가 있다. 특히 흡수판과 대기온도와의 차이가 심할 수록 이 효과는 더욱 현저하게 나타난다.

투과체를 덮어준 집열기의 효율방정식은 투과체를 사용하지 않은 경우의 식③을 변형시켜 얻을 수 있다. 즉 우변 첫째항의 분자는 흡수된 태양에너지의 양으로 투과체를 사용하였을 경우, 이는 투과체를 통과한 입사에너지 τI 가 흡수판에 도달하여 다음과 같이 변형된다.

$$\text{흡수된 에너지} = \tau \alpha I \dots\dots\dots ⑪$$

따라서 식③을 일사량으로 나누면,

$$\frac{\text{흡수된 에너지}}{\text{입사 에너지}} = \tau \alpha \dots\dots\dots ⑫$$

이 된다.

여기서 흡수판에 의해 흡수되지 않는 가시광선은 반사작용에 의하여 다시 투과체에 되돌아가 재흡수되거나 일부가 집열기 밖으로 나가버리게 되어 엄밀한 의미에서 식⑫가 옳다고는 할 수가 없으나 밖으로 나가는 에너지의 양이 최종 흡수된 에너지의 양($\tau \alpha I$)보다 훨씬 적기 때문에 이를 무시할 수가 있다. 이와 같은 논리적 배경 아래 우리는 「유효투과흡수율($\overline{\tau \alpha}$)」이란 용어를 집열기의 효율분석에 흔히 사용하게 된다. 식③의 우변 둘째 항은 입사에너지에 대한 손실의 비이며 입사에너지 즉 일사량은 일정하므로 손실에너지의 변화만을 고려하면 된다. 식⑥에서 손실에너지는 U_L, T_p, T_a 의 함수이고 U_L 값은 나머지 변수들 만으로 부터 영향을 받는 함수이므로 투과체를 추가하여도 식⑥은 변화하지 않는다. 즉 U_L 의 값은 숫자상으로 변한다 하더라도 손실은 흡수판과 대기온도와의 차이에 비례한다는 개념은 변함없음을 뜻한다. 열전달 분야의 전문가들은 손실에 대한 이런 접근방법이 실제와 일치한다는 것을 실험을 통해 증명한 바 있다. 따라서 투과체를 사용함으로써 식③은 다음과 같

이 전개된다.

$$\eta = \overline{\tau\alpha} - \frac{U_L(T_p - T_a)}{I} \dots\dots\dots ⑬$$

윗 식을 식⑧과 비교할 때, 집열기의 최대효율은 $\overline{\tau\alpha}$ 가 되며 방정식의 형태는 같다. 이와 비슷한 방법으로 두개의 투과체를 사용한 경우, $\overline{\tau\alpha}$, U_L 의 값은 변동 되더라도 식⑬의 형태를 변화시키지 않고 적용할 수 있다.

5. 유량의 의미

앞에서 전개한 이론은 단지 투과체에 초점을 두고 그 사용유무에 따라 변하는 요소에 대해서만 언급하였을 뿐 열전달유체 (Heat Transfer fluid : 이하 "유체"로 표시)와 밀착된 흡수판의 온도가 집열기의 에너지손실 특성에 미치는 영향에 대해서는 전혀 고려하지 않았다. 그러면 집열기로 부터 얻어진 열은 사용처에 전달해주는 유체가 집열도관을 통과하면서 덮혀질 때 흡수판의 온도 (T_p)와는 어떤 관계에 있는가를 살펴보기로 한다. 흡수판이 유체가 통과하는 집열도관과 밀착되어 있다면 흡수판의 온도가 유체의 온도에 의해서 영향을 받을 것이라는 것을 쉽사리 짐작할 수 있을 것이다. 집열기의 효율을 분석과 관련하여 생각할 때, 만일 유체가 일정한 속도로 집열도관을 흐르고 있다면 그 기간 동안에는 흡수판과 유체의 온도가 거의 같아야 할 것이 예상되지만 실제로는 흡수판의 온도는 입구측보다 출구측이 더 높다. 앞에서 다룬 식⑬은 흡수판의 온도를 총체적인 의미로 사용했지만 흡수판의 각 지점에서 이 식이 만족하려면 별도의 방법을 도입해야만 할 것이다. 따라서 집열기의 효율 (η)을 산출하고자 할 때 흡수판의 온도 (T_p)를 결정해 주기 전에 다음과 같은 방법을 생각해 보기로 한다. 즉 각 지점마다의 흡수판 온도가 다르고 설사 어느 한 지점을 표준점으로 정하여 온도를 측정한다 하여도 내부의 유체온도

역시 계속 변하는 과정이므로 정확하게 흡수판 온도를 측정한다는 것은 거의 불가능하다. 이와 같은 이유로 하여 흡수판온도측정을 지양하고 다른 방법으로 집열기의 입구측 유체온도 (T_i)와 출구측 유체온도 (T_o)를 측정하여 효율계산에 적용해 보면 매우 편리하게 결과를 얻을 수가 있다. 그러나 엄밀한 의미에서 T_p 대신에 T_i 를 측정하여 효율계산에 식⑬을 직접 적용할 수는 없기 때문에 약간의 보정작업이 필요하다. 즉 식의 보정계수를 결정하는 과정은 T_p , T_i 와 연관을 지을 수 있는 유체 및 유량, 집열판과 유체의 접촉상태 및 구조등을 사용하여 해석한 결과가 많은 보고서들에 의하여 수학적으로 증명되어 있으므로 여기서는 생략하고 그 결과에 의하여 보정계수 (F_R)를 식⑬에 도입, 전개한다.

$$\eta = F_R \left\{ \overline{\tau\alpha} - U_L \left(\frac{T_i - T_a}{I} \right) \right\} \dots\dots\dots ⑭$$

윗 식에서 효율의 최대치는 식⑧에서와 같이 $T_i = T_a$ 일 때이며 그 값은 $F_R \overline{\tau\alpha}$ 가 된다. 또한 $\eta = 0$ 일 경우에는,

$$\overline{\tau\alpha} = U_L \left(\frac{T_i - T_a}{I} \right) \dots\dots\dots ⑮$$

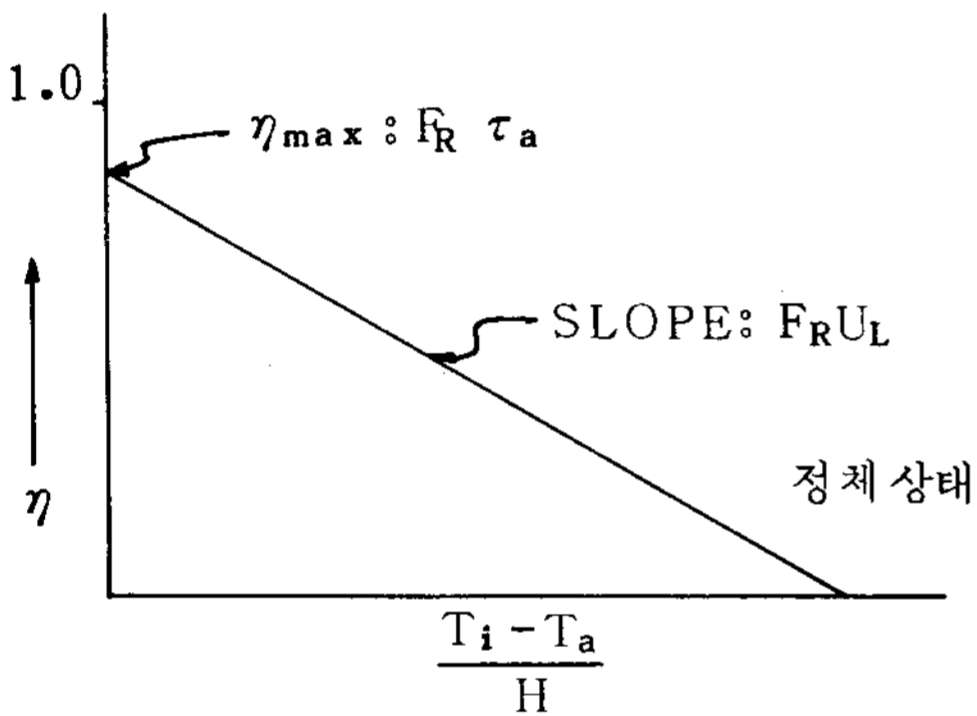
한편 F_R 은 정체온도 즉 유체가 열을 전달할 수 없는 상태 ($T_i = T_s$)하에서는 영향을 미치지 못하므로 (F_R 은 열을 전달하는 유체에만 관련이 있음) 정체온도 (T_s)는 다음과 같이 표시된다.

$$T_s = I \cdot \frac{\overline{\tau\alpha}}{U_L} + T_a \dots\dots\dots ⑯$$

6. 효율 그래프

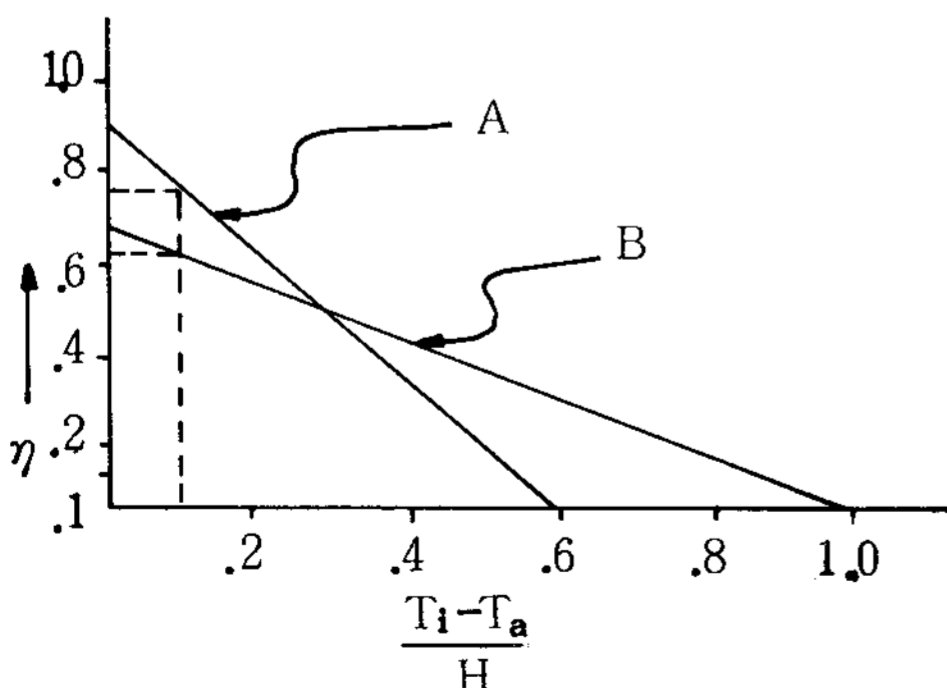
집열기의 효율은 식⑭로 부터 그림 5와 같은 직선의 그래프를 얻을 수 있다. 이 때 수직축은 효율 η (%)을, 수평축은 $(T_i - T_a) / I$ 값을 나타낸다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 최대치는 $T_i =$

T_a 일 경우에 발생하며 그 값은 $F_R \overline{\tau \alpha}$ 이다. 또한 직선은 $(T_i - T_a) / I$ 값이 증가할 수록 $F_R U_L$ 의 비율로 효율이 감소하다가 $\eta = 0$ 가 되는 지점에서 효율직선은 수평축과 교차한다. 이 교차점을 가르켜 정체상태의 조건이라 부른다. 따라서 집열기의 효율특성은 $(T_i - T_a) / I$ 값이 적은 상태, 즉 $(T_i - T_a)$ 값이 낮은 조건하에서 동작시킬 때 효과적이므로 높은 효율을 얻고자 할 때에는 이점에 유의해야 한다. 다시 말하면 열전달유체가 대기온도에 접근한 상태에 있을 때 집열기는 최대의 에너지를 흡수할 수 있음을 의미한다.



[그림 5] 태양열 집열기 효율곡선

집열기의 특성은 이를 이용하는 시스템의 구성 재료나 형태의 결정에 많은 영향을 미친다. 즉 집열기의 효율특성은 이용시스템의 장기성능



[그림 6] 전형적인 2종류 집열기의 효율곡선

(Long-Term Efficiency)의 예측은 곤란하지만 시스템 자체의 설계과정에 중요한 결정요소로 작용한다.

2개의 집열기효율을 그림 6에서 살펴보면 투과체로 1장의 필름을 덮은 A라는 집열기(가격이 낮을 것으로 예상됨)는 직선A의 특성을 가지며 이중 투과체에 선택 흡수막 처리한 B제품보다 최대효율은 높지만 기울기가 상당히 급강하하고 있다(즉 $F_R U_L$ 이 크다). $(T_i - T_a) / I$ 의 값이 0.25 이하일 경우 집열기 A는 집열기 B보다 효율적이지만 그 이상이면 B가 A보다 우수하다. 실제로도 A는 0.6 이상에서는 열을 흡수할 수 없지만 B는 1.0의 조건하에서도 사용할 수 있는 것으로 나타났다.

만약 동작조건이 알려져 있어 $(T_i - T_a) / I$ 값이 결정되면 집열기의 선택은 수월할 것이다. 즉 수영장의 물을 데울 때 물온도가 25°C 이고 T_a 가 10°C 라면 $(T_i - T_a) / I$ 값은 0.25~0.1 정도이다. (이때 I 는 $100 \sim 250 \text{ BTU}/\text{ft}^2 \text{ hr}$) 특히 $250 \text{ BTU}/\text{ft}^2 \text{ hr}$ 에서 $(T_i - T_a) / I$ 는 0.1이므로 A의 효율은 0.75이고 B는 0.63이다. 바꾸어 말하면 집열기 A는 집열기 B보다 $30 \text{ BTU}/\text{ft}^2 \cdot \text{hr}$ 정도의 열을 많이 얻을 수 있으므로 효율 면에서는 A가 유리하다.

비슷한 방법으로 온수급탕을 생각하면 $(T_i - T_a)$ 는 $25 \sim 40^\circ\text{C}$ 정도이다. 그러므로 $(T_i - T_a) / I$ 는 0.25 이상 동작하므로 집열기 B가 A보다 유리할 것이다. (이때 T_i 는 전체 시스템에 의하여 결정되므로 일반적으로 집열기의 형태와 수량을 결정하기는 상당히 어렵다. 예를 들어 설계자에 따라 설비형 난방시스템에서 용량이 큰 저장탱크를 사용하여 낮은 온도로 동작시킬 수도 있고 이와는 반대로 동작시킬 수 있으므로 집열기의 형태와 난방에 관련된 일반성은 없다고 볼 수 있다.

그림 5와 같은 효율직선은 제작자의 요청에 따라 공인된 연구소의 실험결과에 의해서 만들어진

다. 따라서 이와 같은 효율직선과 동작조건들은 각각의 집열기가 갖는 열적 특성이며, 집열기를 서로 비교하는데 가장 유익한 자료로 사용되고 있다. 여기서 T_a 와 I 가 순간적인 자료라는 것은 매우 중요한 의미를 갖으며 이 직선을 사용하여 집열기가 일정한 조건하에서 어떻게 동작하는가를 결정하는 것은 가능하지만 오랜기간에 걸친 집열기의 성능은 알 수가 없다. 이는 T_i 가 저장조의 크기, 형태, 부하의 성질 및 시간, 시스템의 제어방법등에 영향을 받기 때문이다.

T_a 와 I 를 시스템의 변수와 연결시키는 것은 쉽지가 않으므로 장기간에 걸친 동작방법은 컴퓨터를 이용한 TRNSYS, F-Chart, Solcost등의 특별한 방법을 사용한다. 이와 같은 시스템의 동작방법에 관한 것은 여기서 생략한다. 그러나 설계자는 효율직선으로부터 $F_R \overline{\tau\alpha}$ 와 $F_R U_L$ 을 구해 장기간에 걸친 효율분석의 입력자료로 사용해야 한다.

그림 5를 다시보면 $F_R \overline{\tau\alpha}$ 를 알기 위해서는 $(T_i - T_a)/I$ 가 0일때의 효율 η 를 보아야 하며 이 값이 최대효율로서 $F_R \overline{\tau\alpha}$ 값이 된다. 앞에서 예를 든 집열기 A는 0.9의 값을 가진다. 또한 $F_R U_L$ 은 효율직선의 기울기 이므로 $(T_i - T_a)/I$ 가 0.0에서 0.6으로 변할때 η 는 0.9에서 0이 되므로 $0.9 \div 0.6 = 1.5$ (BTU/ft²)이 된다. 같은 방법으로 집열기 B는 $F_R \overline{\tau\alpha} = 0.7$, $F_R U_L = 0.7$ 의 값을 갖는다.

7. 결론

집열기 효율직선은 집열기의 특성에 대한 많은 자료를 제공하며 우리는 이 직선으로부터 집열기의 일정한 조건하에서의 동작상태를 알 수 있다. 이 동작을 정하는 기본원칙을 이해함으로써 설계자는 집열기의 효율을 최대로 높일 수 있으며 이 내포하는 의미를 이용하여 투자효용성을 최대로 한 시스템을 구성할 수 있을 것이다. 다시 말하면 집열기는 그것이 갖는 효율특성을 완전히 파악하고 실제에 적용하는 것이 능률적인 시스템의 설계를 위한 첫걸음이 될 것이다.