

태양열온수기의 성능시험

SYSTEM

제 1 장 태양열온수기란?

가. 발생 동기

소규모 급탕을 목적(주로 가정용)으로 에너지 원으로 기존에너지(전기, 가스, 기타 화석연료) 의존도를 낮추고 태양에너지로 대체하려는 시도에서 출발.

나. 태양에너지의 속성

청정성과 무한성이 가장 큰 장점이나 기상상태에 따라 민감한 가변성을 내포하고 있으므로 이의 극복이 태양에너지 이용기술의 특징임. 따라서 축열기술과 기존에너지 절감기술이 필수적 요인임.

다. 태양열온수기의 구성요소

집열부, 축열부, 이용부로 분류하나, 협의의 개념으로 별도의 설비를 포함하지 않고 집열과 축열기능을 혼합한 형태로소 정의함.

1. 집열부 : 태양에너지를 흡수하여 열에너지로

변화하는 장치를 말한다.

2. 축열부 : 집열부를 통해 얻어진 열에너지를 축열하는 장치로서 축열매체는 태양열온수기의 경우 용수를 말하며, 저탕조와 열교환기, 기타 각종 부품으로 이루어진다.

3. 태양열온수기의 분류 (81p.표 참고)

라. 태양열온수기의 기본적 구비조건

1. 에너지 절감요인의 충족.(효율성능 및 보온성능)

기존에너지원을 태양에너지로 대체하려는 소기의 목적달성을 위하여 에너지 절감목표를 위한 고효율, 축열성능 확보를 위한 양질의 보온성을 동시에 만족하여야 한다.

2. 초기투자비의 회수조건 충족(내구성)

일반 온수기에 비해 집열부의 초기투자요인이 발생하므로 에너지 절감을 통해 초기비용을 회수할 수 있는 기간까지의 내구성 확보를 통해 경제

3. 태양열온수기의 분류

구분	형식	내용
제작 방식	일체형	집열부, 저장부 일체
	분리형	집열부, 저장부 분리
열교환 방식	직접식	열매체가 따로 없이 용수로 직접 가열
	간접식	열교환기(파이프 배열, 핀코일, 열매체축열, 기타)
		이중탱크
	히트파이프(상변환)	
열매체 순환	강제순환식	펌프 등을 사용하여 열매체를 이송
	자연순환식	열싸이폰 작용에 의해 열매체를 이송

성을 만족하여야 한다.

3. 온수의 목표온도 충족(사용성능)

기본적으로 열량이란 상대적인 개념으로 타겟과 주변환경의 온도차로 표기되는 것이므로 자연상의 모든 상태는 열량을 지니는 상태임. 태양열온수기는 얻어진 열량이 사용자가 추구하는 온도(45°C 이상)로 나타나야 한다. 즉, 목표로 한 온도 획득에 실패할 경우는 획득열량이 없다고 볼 수 있다.

제 2 장 시험 준비

가. 시험의 단계별 분류 및 필요성

1. 제품의 목표달성의 확인(검증작업)

제품 개발단계 또는 품질관리 전 단계에서는 각 부품이나 항목별 성능 등이 설계목표에 도달하는가에 대한 시험을 필요로 한다. 이 경우 시험의 작업 성격은 목표치의 구체적인 정량화 작업이라기보다는 검증작업일 경우가 많다. 수입검사, 또는 완제품 검사 등도 비슷한 실례라고 할 수 있다.

2. 목표달성 요소의 정량화(자료작성작업)

제품 개발이 완료된 상태에서 규격에 제시된

부품과 공정대로 탄생한 완제품의 성능을 구체적으로 정량화하여 소비자나 관련대상들에게 제시할 필요가 있다. 이 같은 자료는 제품이 사용되는 장소에서의 에너지사용이나 적용가능성 등을 예측하는데 필요한 자료로 활용될 수 있다.

3. 제품개발의 기본자료 축적(비교작업)

기존제품의 R&D과정에서 는 반드시 필요한 작업

으로서 시험환경 역시 다양하게 변화하여 개선 정도를 체크할 필요가 있다. 아주 사소한 내용도 노하우 축적에 기여하는만큼 매우 필요한 부분이다.

나. 시험 구비조건

1. 제품의 이해 및 시험기술 확보

시험대상이 되는 제품 고유의 기능과 시험을 통하여 확인할 사항(온수 획득, 효율, 보온성, 내구성 및 기타)이 무엇인가를 정확히 이해한 후 시험방법을 결정하고 스테디한다.

2. 시험장소 및 시험장비 확보

각 시험항목(집열성능, 보온성능, 사용성능 및 기타)에 적합한 장소와 장비를 선정한다.

▶ 시험장비 : 일사량계, 데이터수집장치, 각종 열전대, 유량계 및 기타

3. 시험인력 및 시간 확보

시험에 필요한 인력과 시간에 대한 견적을 산출하고 대비한다.

제 3 장 태양열온수기의 항목별 시험

가. 집열성능

1. 기본 이론식

$$\eta \text{ (집열효율)} = \frac{Q \text{ (얻어진열량에너지)}}{I \text{ (획득 일사량에너지)}}$$

$$Q = m \text{ (유량)} \times C_p \text{ (열매체비열)} \times \Delta T \text{ (출구온도-시수온도)}$$

$$I = I_T \text{ (집열면일사량)} \times A_a \text{ (유효집열면적)}$$

여기에서 집열효율이란 매우 추상적인 용어이며 수치이므로, 소비자가 이해하기 쉽도록 정량적으로 산출한 열량으로 대체한다. 단, 그 열량이란 집열면에 조사된 일사량이 5000kcal/m²일 경우에 환산된 열량으로 표기한다.

$$S \text{ (집열성능)} = 5000 \times \eta \text{ (집열효율)}$$

현재 집열성능은 2000kcal/m² 이상이 인정기준이다. 이 뜻은 시험 대상 태양열온수기의 일일집열효율이 40% 이상이며 하루 5000kcal/m²의 일사량 조건에서 면적 당 2,000kcal 이상의 열량을 얻을 수 있어야 한다는 의미이다.

예 : 집열성능 S가 2200kcal/m²이고 유효집열면적이 6m², 저탕조 용량 300리터의 태양열온수기가 1일일사량 5500kcal/m²에 노출되었을 경우 시수온도 20°C의 용수로 채웠을 때 얻을 수 있는 온도는?

1. $2200 / 5000 = 0.44$
(1일 집열효율)
2. $5500 \times 6 \times 0.44 = 14520$ (획득 열량)
3. $14520 / 300 + 20 = 68.4$ (얻어진 온도)

2. 시험 조건

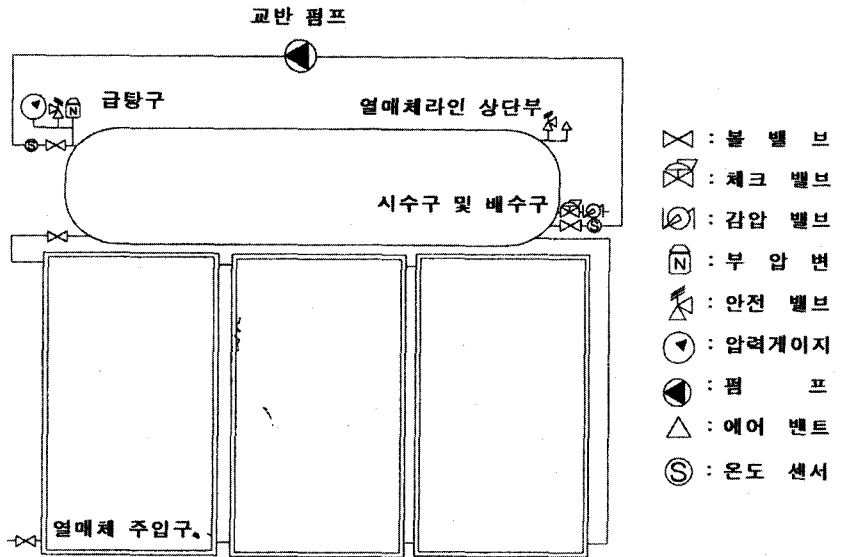
▶ 일일 집열면일사량 4000kcal/m² 이상, 시험시간

중 평균 대기온도 15°C 이상, 시수온도 평균 대기온도 ±2°C 이내

모든 기기들은 구성품들이 정상상태에 이르기 까지 목적인 바의 활동이 원활하지 못하다. 일사량이 4000kcal/m² 이상, 평균 대기온도 15°C 이상인 이유는 기기가 정상상태에 도달하여 열에너지가 열량으로 전환되기 위한 필요조건인 셈이다.

또한 시수온도와 평균대기온도를 일치시키려는 의도는 열손실에 의한 시험결과와의 차이를 최소화 하려는 시도이다.

따라서 옥외테스트만이 필요한 태양열온수기의 시험여건 상 상기의 기상조건을 만족하는 국내의 연중 시기는 3월초~7월초, 9월초~11월초 정도일 것이다. 그러나 시험의 정확도보다는 상대비교가 목적인 시험일 경우는 조건에 제한을 받을 필요는 없으며, 비교 대상품 두 세트를 설치하여 운전 상태를 기록하여 분석하여도 무방하다.



집열성능시험 시료설치 개념도

3. 측정 및 기록

▶ 측정 및 기록부위 : 집열면 일사량, 시수 온도, 대기온도, 유량, 급탕온도

집열면 일사량 측정(단위 : kcal) 집열부 설치면과 동일한 경사각과 방위각으로 일사량계를 설치하여 시험 개시 시부터 시험 종료 시까지(오전8시~오후 4시:태양시 기준)최대 10초 간격으로 측정하여 적산한다. 적산계가 있는 일사량계일 경우는 적산수치를 적용하면 되나 그렇지 않을 경우는 다음 식을 이용한다.

$$I = I + \frac{x(\text{측정 수치})}{m(\text{일사량계 감도정수})} \cdot T(\text{측정간격}) \times S(\text{환산식})$$

☞ 예 : 일사량계 감도가 $9.87 \times 10^{-6} \text{V/Wm}^2$, 측정장비의 감지 패턴이 mV, 측정간격이 5초일 경우 이를 kcal/m²으로 적산하면

$$I = I + \frac{x}{9.87 \times 10^{-3}} \times 5 \times \frac{1}{4186.8}$$

으로 적산할 수 있다.

유량 측정(단위:kg) 저장부 내의 유체의 총량을 측정한다. 즉, 축열조의 용수뿐만 아니라 저장부 내의 열교환기에 포함하는 열매체까지를 측정해야 한다. 이는 대형저울을 이용하여 시험대상품의 저장부 빈무게와 찬무게를 1회 측정하여 그 차이로 알 수 있다.

대기온도(단위:℃) 시험품이 설치된 인접장소에 일사량이 직접 조사되지 않는 부위에 센서를 설치하여 매 시간 측정 기록하고 그 평균온도를 산출한다.

시수 및 급탕온도(단위:℃) 시수온도와 급탕온도는 시험개시 10분 전과 시험완료 10분 전쯤에 저장부 내의 용소를 충분히 단열된 경로를 통하여 펌프를 이용하여 교반하여 관찰한 온도가 변화가 없는 시점에 1회 측정하여 기록한다.

* 기준에 적합하지 않은 환경이 발견될 때의 자료도 축적해 두어야 한다. 이러한 자료는 비교를 통하여 시험품의 성능 예측이 가능한 자료로 활용할 수 있기 때문이다.

나. 보온성능

1. 기본 이론식

어떤 고형물에 의해 외부와 단절된 공간이 있을 경우 내부와 외부에 흐르는 열량은 다음 식으로 표기된다.

$$Q = K(\text{열손실계수}) \cdot \Delta T(\text{외부,내부의온도차}) \cdot A(\text{단면적}) \cdot T(\text{시간})$$

이를 정리하면

$$KA(\text{실효열손실계수}) = \frac{Q(\text{잃은 열량})}{n(\text{시간}) \cdot \Delta T}$$

여기서

$$Q = m \times [T_s(\text{시험초기 용수온도}) - T_k(\text{시험완료 용수온도})] \text{ 이므로}$$

$$KA = \frac{m \times (T_s - T_k)}{n \cdot \Delta T} \text{ 로 표기할 수 있다.}$$

이는 일정한 시간에 내부와 외부의 온도차에 의해 손실되는 열손실량을 산출 할 수 있는 근거가 된다. 현재 기준인 5.81의 수치는 온도차가 1℃일 때 1시간에 5.81kcal이하의 열손실을 의미하는 것이다.

☞ 예 : 실효열손실계수 5.5이고 용량 300리터인 태양열온수기에 60℃의 용수가 채워져 있을 때, 외기온도 10℃의 상태에서 8시간 경과한 후 저장조의 용수온도는?

1. $5.5 \times (60-10) \times 8 = 2200$ (손실 열량)

2. $60 \times 300 - 2200 = 15800$ (남은 열량)

3. $15800 / 300 \approx 52.7$ (저탕조 용수 온도)

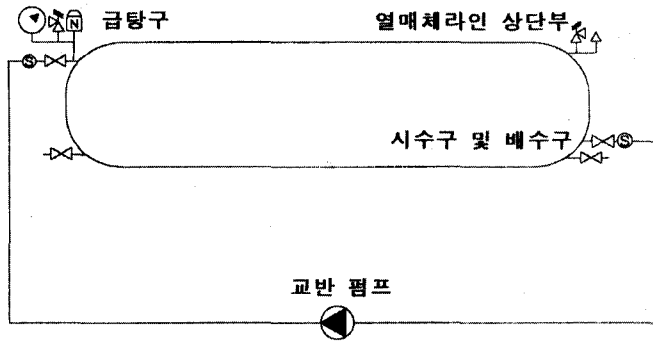
* 그러나 8시간 후 저장조의 실제 용수온도는 52.7℃보다 높게 나타날 것이다. 그 이유는 저장조의 용수온도가 최초 60℃에서 열손실에 의해 점차적으로 낮아질 것이므로 열손실량 역시 점차

적으로 줄어줄 것이기 때문이다.

2. 시험 조건

▶ 일사의 영향이 없는 상태, 저탕조 충전 용수 온도는 대기온도보다 35°C 이상, 방치시간 3시간 이상.

옥외시험일 경우, 일사가 있는 주간에는 집열보의 열매체를 방출시키거나, 열매체의 자연대류 현상을 차단하는 조치를 취함으로써 가능하다. 야간의 경우에는 조치가 필요없으며, 가장 바람직한 방법은 저탕조만 따로 분리하여 옥내에 설치하는 방법을 권장하고 싶다.



보온성능시험 시료 설치 개념도

3. 측정 및 기록

▶ 측정 및 기록부위 : 시험시간, 초기온도, 대기온도, 유량, 완료온도

먼저 용수를 가득 채우고 현재의 대기온도보다 35°C 이상의 수온이 되도록 저탕조에 설치된 히터를 가열한다. 최초 시험 초기의 용수온도를 측정하고 최소 3시간 이상 그대로 방치한 후 저탕조의 용수온도를 측정한다. 유량이나 기타 온도 등의 측정요령은 집열성능시험을 참조한다.

* 반드시 3시간의 시험시간을 고수할 필요는 없다. 유효열손실계수 산출식의 n값을 실제 시험시간으로 대입하면 된다. 그러나 시험의 정밀도를 향상시키기 위하여 저탕조 내부의 온도변화

폭이 어느 정도 큰 편이 유리하므로 시험시간을 3시간 이상이 되어야 한다. 그러므로 용량이 큰 온수기일 경우는 가급적 시험시간이 긴 편이 좋다.

다. 급탕사용성능

급탕사용성능은 제1장의 태양열온수기의 구비조건 중 온수의 목표온도 충족이라는 조건을 알아보기 위한 것이다.

온수를 사용하기 위하여 급수처에서 급수꼭지를 작동하는 순간 사용되는 물의 양만큼 보충하기 위해 탱크의 시수구를 통해 탱크의 내부로 냉수가 유입하기 시작한다. 만일 이미 충전되어 있는 온수와 유입되는 냉수가 혼합되지 않도록 적절한 조치가 없을 경우 서로 혼합되어 이미 가열된 온수가 쓸모없이 될 가능성이 많아진다. 따라서 온수 사용이라는 소기의 목표달성을 위하여는 냉수와 온수가 혼합되지 않도록 적절한 조치가 있어야 하는 셈이다. 바람직한 온수기는 이미 가열된 온수가 규정된 용량을 사용할 때까지 그 온도를 계속 유지하여야 할 것이다. 그리하여

규정된 용량을 모두 사용한 이후에는 완전히 새로운 시수(냉수)가 채워져 가열될 준비를 하고 있어야 하는 것이다. 이 시험에서 고려하여야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 저탕조 내 온수의 온도구배층
- 2) 시수에 의한 온도구배층의 파괴영향
- 3) 시수유량 제어의 정밀도 확보 및 측정정밀도 확보

1. 기본 이론식

$$\text{▶ } \eta_t (\text{급탕사용성능}) = \frac{T_2 - T_w}{T_1 - T_w} \times 100$$

여기서

T_w : 시수온도

T_1 : 저탕조 내의 초기온도

T_2 : 저탕량의 1/2의 출탕시점에서 2/3까지의

출탕된 용수의 평균온도

현재 기준의 시험방법 중 온수 충전 후 2~3시간 이상 방치하는 이유는 1)의 온도구 배가 충분히 이루어지도록 하기 위한 조치이고, 10 l/min의 시수유량은 2)의 영향을 최소화하기 위한 조치로서 유량에 따른 온도구배층 파괴의 정도를 상대적으로 비교하기 위해 똑같은 조건을 제공하기 위한 조치라고 보면 된다. 그러나 이 모든 조치에도 불구하고 유량계의 정밀도라든가 시수유량의 정밀도를 유지하기 위한 별도의 장치가 마련되지 않는다면 무의미하다고 할 것이다.

※ 단, 시험장비 등이 열악한 현장에서는 위와 같은 기본취지를 이해하고, 시수유량이나 기록정밀도에 대한 적절한 조치가 없더라도 대략적인 성향을 관찰하기 위한 간이시험방법도 충분히 고려할 수 있다고 하겠다.

2. 시험 조건

▶ 일사의 영향이 없는 상태, 저탕조 충전 용수 온도는 대기온도보다 35°C 이상, 방치시간 3시간 이상, 시수유량은 10 l/min, 기록간격 10초.

욕외시험일 경우, 일사가 있는 주간에는 집열보의 열매체를 방출시키거나, 열매체의 자연대류 현상을 차단하는 조치를 취함으로 가능하다. 야간의 경우에는 조치가 필요없으며, 가장 바람직한 방법은 저탕조만 따로 분리하여 욕내에 설치하는 방법을 권장하고 싶다.

3. 측정 및 기록

▶ 측정 및 기록부위 : 시험시간, 초기온도, 대기온도, 유량, 완료온도

먼저 용수를 가득 채우고 현재의 대기온도보다 35°C 이상의 수온이 되도록 저탕조에 설치된 히터를 가열한다. 최초 시험 초기의 용수온도를 측정하고 최소 2시간 이상 그대로 방치한 후 저탕조의 용수온도를 측정한다.

라. 내구도 시험

내구도 시험이란 우선, 노출을 통해 실제 사용하는 자연적인 상태에서 얼마나 정상적인 작동을 하는가 확인하기 위한 노출시험을 비롯하여, 예상치 못한 극한상황(비교적 짧은 시간일 경우가 많다)에서 파손위기를 벗어날 수 있는 가를 알아보기 위해 열악한 환경조성을 임의로 가하여 실시하는 각종 시험, 투자비용회수에 필요한 사용기간을 만족하기 위해 설계되어진 각 부품이나 부위의 충분한 강도 등의 확인을 위한 강도시험 등을 포괄적으로 다루는 시험이라고 할 수 있다. 여기에서는 제작현장에서 직접 실시해야 할 여러 항목에 대하여 알아보기로 한다.

1. **노출시험** : 시작품이거나 현재 시판 중인 제품이거나 관계없이 설치하여 운전하여 본다. 규격에 명시된 조건은 아무래도 좋다. 적어도 5년 이상 운전하면서 관찰하면 기기의 문제점이 드러나기 마련이다.

2. **열응력 시험** : 개발단계에서 시작품에 대하여 가끔 실시해본다. 일반적으로 노출시험 중인 기기에 적당한 시기(기기가 상당히 과열되었을 경우)를 택하여 시수분무나 냉수주입 시험을 한다. 이 시험으로 부품에 손상이 가는 경우는 문제가 상당히 심각한 상태라고 할 수 있다. 이들 시험은 빈쪼이기로 하는 편이 좋다.

3. **강도시험** : 규격에 제시된 시험은 대개 기기의 구조설계나 시공성과 밀접한 관련이 있다. 강성이 약한 기기일수록 시공 시 파손될 우려가 많기 때문이다. 또한 바람이 심한지역과 같이 외부의 물리적 충격이 예상되는 곳에서의 변형유무를 예측할 수 있다. 이 역시 개발단계에서 기기의 구조적 결함을 확인하기 위하여 실시하여 볼 것을 권한다.

4. **압력시험** : 보통 내누설시험이라고도 부른다. 열응력 시험 후 이 시험을 병행하여야 한다. 그러나 그 외에 탱크나 집열기 등의 부분품의 경우는 반드시 전수검사를 통하여 확인하여야 한다.