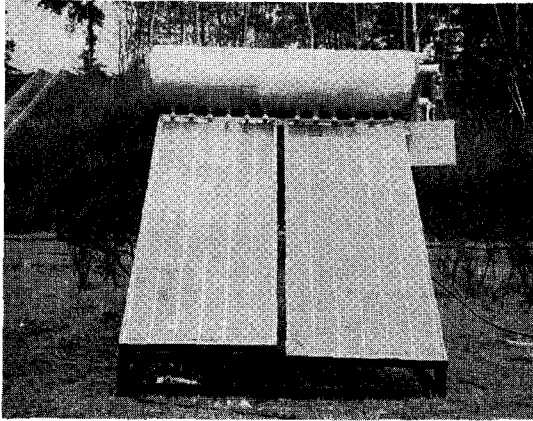


상변화형 태양열 온수급탕시스템



千院基(기계공학 박사 / 한국에너지기술연구소, 태양열연구부 자연형 태양열 연구팀長)

郭喜烈(같은 연구팀 연구원 / 박사과정)

姜龍嬾(")

全明碩(")

이 「상변화형 태양열 온수 급탕시스템의 개발」연구과제는 動資部에서 시행한 대체에너지 기술개발의 연구사업의 하나로 이루어진 내용이다.

1. 서 론

국가적 에너지 절약과 쾌적한 주거환경 및 생활의 편리함을 위해 기존 화석 에너지로부터 무공해 고급에너지로 그 사용형태가 바뀌어가는 지금, 그 양과 질적인 면에서 무한정이고 무공해인 대체 에너지원으로서 태양에너지는 다양한 이용분야가 개발되어 실용화되고 있다.

태양에너지 이용분야 중 특히, 온수급탕을 위한 연구 및 실용화는 '80년 이후 전세계적으로 많은 연구가 이루어져 왔다.

현재 국내의 태양열 온수 급탕 시스템은 그동안 대부분 유럽이나 호주에서 완제품을 수입하거나 혹은 국내에서 조립되는 형식으로 국내 시장의 상당부분을 차지하고 있다. 이와같은 실정을 감안하여 정부에서는 80년대 중반부터 태양열 온수 급탕 시스템의 국내 생산을 위한 연구개발이 꾸준히 추진되어 상당한 기술 축적과 함께 그 실용화가 곧 이루어질 전망이다.

태양열 온수 급탕 시스템은 크게 다음 표와 같이 분류할 수 있다.

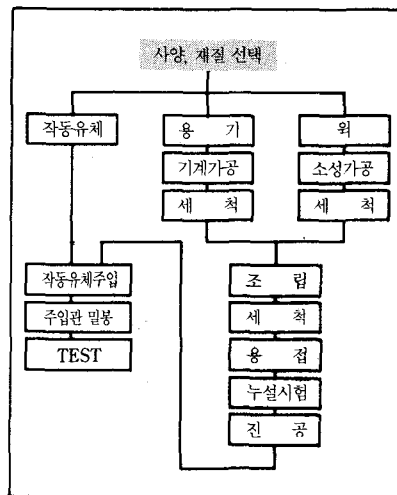
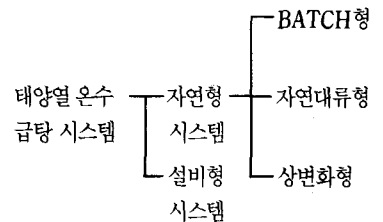


Fig. 1 : Flow Chart for heat pipe manufacturing.

BATCH형 태양열 온수 급탕 시스템은 저렴한 가격으로 집열과 축열을 동시에 만족하는 시스템이나 동절기 사용의 불편함이 지적되고 있다.

또한 자연대류형 태양열 온수 급탕 시

시스템은 일체형인 BATCH형과는 달리 집열기와 축열조가 분리되어 있으며 보다 넓은 집열 면적과 열교환 방식을 채택한 축열 탱크로 구성되어 있어 국내 기후와 같은 동절기 사용의 문제점을 해결하고 높은 효율을 유지하는 시스템이다.

그리고 상변화형 태양열 온수 급탕 시스템은 집열기에 열수송 능력이 탁월한 고효율 전열소자(히이트 파이프)를 사용함으로써 자연대류형에 비해 집열면적 및 시스템 중량을 소형화하면서 보다 높은 시스템 효율을 얻을 수 있을 것이다.

2. 개 요

상변화형 시스템의 경우 집열부는 다수의 히이트 파이프(전열소자)로 구성되어 있다.

각 전열소자는 작동 유체가 밀폐된 용기내에서 증발과 응축의 상변화를 반복하면서 자력으로(태양열을 열원으로) 증발부와 응축부 사이를 자연 순환하며 작은 온도차에서 많은 열을 수송하는 대단히 효과적인 열전달 기구이다. 한편, 이와 같은 상변화형 집열기를 이용한 태양열 온수 급탕 시스템의 장점을 간추려 보면 다음과 같다.

- ① 소형 경량으로써 구조가 간단하다.
- ② 열응답성이 대단히 빠르며 적은 온도차에서도 많은 열수송이 가능하다.
- ③ 작동유체의 선택에 따라 적용온도 범위가 매우 크다.(100~1000K)
- ④ 전열소자는 일종의 열 다이오드(thermal diode)이며, 따라서 집열기의 온도가 작동유체의 온도보다 낮을때 열손실을 막을 수 있다.
- ⑤ 집열기로부터 축열조로 연결되는 배관을 없앨 수 있어 미관이 좋을 뿐 아니라 배관 열손실을 줄일 수 있다.
- ⑥ 작동매체의 충전내지 교환등의 번거로움이 없고 집열기의 문제발생시 수리가 비교적 간단하다(문제된 전열소자

의 교체).

그밖에 히이트 파이프 자체가 고진공과 같은 첨단 기술을 이용 제작하는 것이므로 선진기술의 축적이란 면에서 매우 유리하다. 히이트 파이프는 위와 같은 우수한 열전달 특성에 의하여 폐열회수, 전자부품의 냉각, turbine blade의 냉각, heat pump, 인공위성 등 매우 광범위한 산업분야에 현재 적용이 모색되고 있다.

3. 집열부의 전열소자의 제작

전열소자의 제작과정은 Fig.1과 같은 순서와 방법에 의해 수행하였다. 제작과정 중에 특히 주의해야 할 사항은 세척, 진공, 주입관 밀봉이다.

세척은 기름등의 유기물을 제거하기 위해서 Trichloroethane과 산화피막을 위하여 Sodium dichromate(30Kg/cm³)와 Sulfuric acid(6% 체적당)용액을 혼합하여 사용하였다. 전열소자의 고진공 및 작동유체 정제와 주입을 위하여 Fig.2와 같은 고진공 장치를 제작하였다. 고진공장치는 oil diffusion pump(1300ℓ/sec)와 oil rotary pump(600ℓ/min)를 이용하여 10⁻⁶Torr까지 진공하였고, 진공 측정장치로는 PENNING VACUUM GAUGE(10⁻⁶Torr)를 사용하였다.

작동유체를 탈기 봉입하는 방법은 진공배기법을 사용하였다. 또한 주입관 밀봉은 유압을 이용한 압착공구를 사용하여 압착 절단하여 전열소자를 완성하였다.

4. 시스템 고찰

집열기는 전열소자를 이용한 태양열 온수급탕 시스템에서 요구하는 온수온도 및 전열소자의 작동유체 온도범위에 따라 적정해야 하며 국내제작 및 기술수준도 고려하여 Panel-type 평판형 집열기를 제작하여 사용하였다.

구 분		주 요 사 양
型		Panel-type Flat Plate
OVERALL DIMENSION		680×1700×55(×3EA)
ABSORBER PLATE DESIGN		Heat Pipe and Sheet Type
ABSORBER SURFACE TREATMENT		Bi-Cr electric Selective Black Spray Coating
ABSORBER PLATE	재질/THK.	Copper/0.3mm
	AREA	2.24m ² (1.12×2)
HEAT PIPE	재질/THK.	Copper/t 0.7mm
	SPC.	9.52mm O. D.
CASE	재질/THK.	Sus 304/1.5mm
GLAZING	MATERIAL	Single Tempered Glass
	THK/ 전도율	4mm/93%
INSULATION	재질	Glasswool+Compressed fitm
	THK.	20mm+1mm

Table 1 : Details of the collector unit.

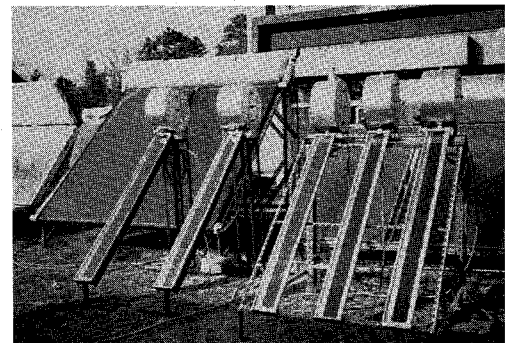
전열소자에 사용되는 작동유체는 극한상황에서 누수되더라도 축열탱크내의 물과 혼합되었을 때 인체에 미치는 영향 등을 충분히 고려하여 선정하였다.

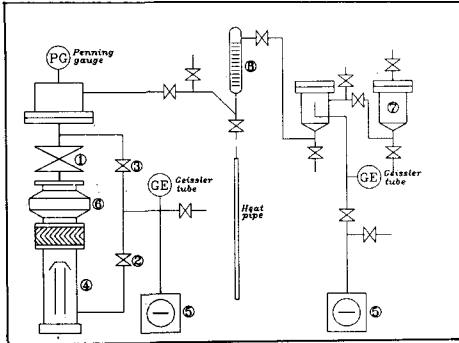
온수급탕의 경우, 온도범위가 40℃~60℃ 정도의 중간 온도범위의 온수가 필요하므로 우리나라 외기조건하에서는 주로 단층유리로 된 평판형 집열기 형태가 효율 및 경제성 면에서 적합하다. 따라서 이 연구에서는 국내에서 구입, 제작이 용이한(두께 4mm인) 강화유리(Tempered glass)를 선택하였다.

또한 집열기의 집열효율에 가장 큰 영향을 주는 인자로서 집열기 흡수관의 Coating은 전기도금에 의한 Bi-Cr coating과 Selective Black Spray Coating(Thermalox)을 비교 실험으로 사용하였다.

집열유리와 흡수표면사이는 단열효과를 증진시키고, 대류 열손실을 최대한 억제하기 위해 30mm간격을 두었으며, 집

(시작품 제작을 위해 5유형의 축소 모델을 개발)





- 1 : Main valve
- 2 : Fore-line valve
- 3 : Roughing valve
- 4 : Diffusion valve
- 5 : Rotary pump
- 6 : Cyro trap
- 7 : Mass cylinder
- 8 : Stainless container

열기와 축열탱크와의 연결을 용이하게 하고 부식이 전혀 없는 Urethane socket를 제작하여 사용하였고, 그밖에 본 연구에서 설계 제작된 Panel-type 평판형 집열기의 주요사항을 정리하면 Table.1과 같다.

5. 결과 분석

Fig.3은 맑은 날 동절기의 하루동안의 시스템 열성능을 나타낸 것이다. 20분 간격으로 일사량, 외기온, 축열조내의 평균수온, 전열소자의 벽면온도, 그리고 전열소자의 핀(Fin) 온도 등을 나타내고 있다.

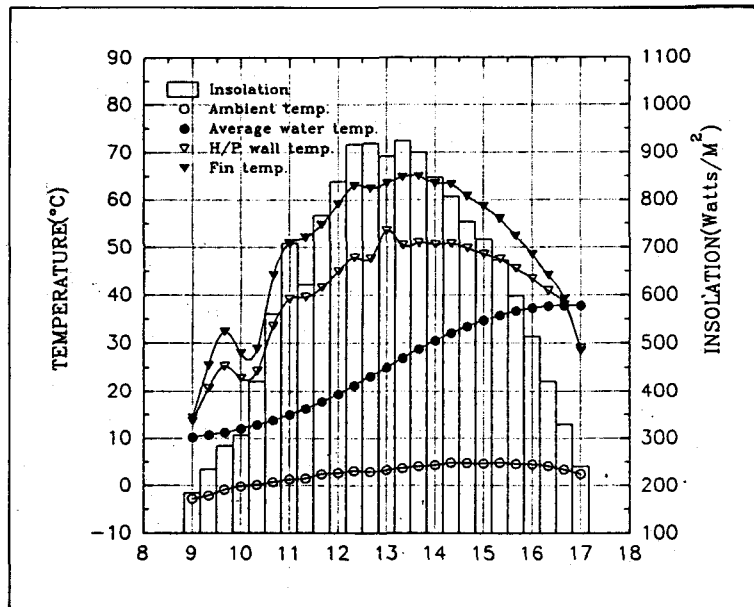


Fig.3 : Thermal performance of the system on a typical clear day in winter.

Fig.2 : A layout of the rig used for the heat pipe evacuation and filling.

수온은 오전 9시의 10°C에서부터 오후 5시까지 8시간 동안 약 28°C 상승하는데 축열조의 열용량(물 150ℓ)에 비해 작은 집열면적(2.211m²)을 감안한다면 이는 상당한 폭의 온도 상승임을 알 수 있다. 다만 축열조의 용량 150ℓ는 겨울 뿐만 아니라 봄, 여름 그리고 가을의 일사조건을 고려하여 설계된 것으로 동절기의 하루 수온 상승폭을 더 크게 하려면 현시 작품보다 전열소자의 수를 다소 증가시켜야 할 것이다.

전열소자의 수를 증가시켜 집열면적을 늘린다 하더라도 평판형 집열기보다 시스템 효율이 높으므로 본 시스템은 자연순환식 태양열 온수 급탕 시스템에 비해 그 규모를 작게 설계할 수 있다.

한편 전열소자의 벽면 및 핀의 온도는 그 시간대의 일사조건을 잘 반영하고 있으며 전열소자의 작동상태를 파악하는데 중요한 자료를 제시하고 있다.

그리고 전열소자 Fin 표면온도와 벽면온도가 오전 9시에서 10시 사이에 다소 Fluctuation을 보이는데 이는 전열소

자 특성에서 일사량이 400watts/m² 이하에서 불안정한 천이영역을 나타낸 것으로 실제 시스템 열성능에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Fig.4는 시간별 시스템효율을 나타낸 것으로 시간당 수온의 온도 상승에 유효하게 쓰여진 열량을 그 시간대에 집열기에 입사된 총일사량으로 나눈 값이다. 최고치는 일사량이 양호한 12시부터 13시 그리고 13시부터 14시에 걸쳐 나타나는데 각각 약 50%의 시스템 효율을 나타내고 있다. 11시에서 12시까지의 시스템 효율도 약 47%로 상당히 고무적인 결과를 보여주고 있다.

전체적으로는 약 45%의 시스템 효율을 나타내며 이는 통상적인 평판형 집열기의 효율 30~40%에 비해 상당히 좋은 결과로 보여진다. 추가적으로 BI-Cr Selective Coating 기술을 적용하고, 시스템 열손실 인자를 보강하고, 응축부의 전열면적을 증대시킨다면 전체 효율은 한층 더 상승할 것으로 보인다.

6. 결론

본 연구에서는 히이트 파이프를 이용한 태양열 온수 급탕 시스템의 제작 및 실험 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① 연구 개발된 상변화형 태양열 온수 급탕 시스템은 연구소와 국내 기술에 의해 제작되었으며, 실제 일사 조건하에서 안정적인 작동 특성을 보임으로써 국내 실용화 가능성을 충분히 입증하였다.

② 전열소자(히이트 파이프)의 형태는 워이 있는 경우가 워이 없는 Thermosyphon방식에 비해 초기 작동 및 낮은 열부하 조건에서 다소 양호한 작동 특성을 보이나 정상상태에 도달한 후에는 별 차이가 없었다. 실용화를 위한 대량 생산등을 고려하면 워 제작 공정, 청결도 유지 그리고 경제성 등에 있점이 있는 Thermosyphon방식의 전열소자

가 더 바람직할 것으로 생각한다.

③ 전열소자의 작동매체로는 축열조 내의 직접 열교환 방식에 따른 유독성 등을 고려할 때 메탄올이나 아세톤보다 작동상 변화가 없는 에탄올이 바람직하다.

④ 태양열의 집열을 촉진하기 위해 전열소자의 중발부에 부착한 핀(Fin)의 폭너비는 그 재질에 따라 다소의 차이는 있으나 구리의 경우 이론적으로 약 11 cm 정도가 적당하며 실제 측정결과 이보다 1~2cm 작게 하여도 무방한 것으로 나타났다.

⑤ 태양열의 집열 효율을 높이고 저온 복사로 인한 열손실을 줄이기 위해 집열판에 Black-Chrome 도금과 Selective Spray Coating의 두가지 방식이 고려되었다. 성능 및 내구성 등에서는 전자가 우수하나 아직 국내에서는 이를 효율적으로 수행할 수 있는 여건이 못되어 이 연구에서는 후자의 방식을 이용하여 시작품을 제작하였다. Black-Chrome 도금 방식을 이 시스템의 제작에 적용할 수 있었다면 시스템의 효율 및 내구성에 있어서 보다 나은 결과를 도출해 낼 수 있었을 것으로 생각한다.

⑥ 시스템 효율은 시간대 별로 12시부터 13시, 13시부터 14시 사이가 최고치인 약 50%로 나타났고, 11시부터 12시의 효율도 약 47%로 상당히 고무적인 결과를 나타내고 있으며, 결과적으로 동절기 맑은 날의 경우 하루 평균 시스템 효율은 약 45%로 나타났다.

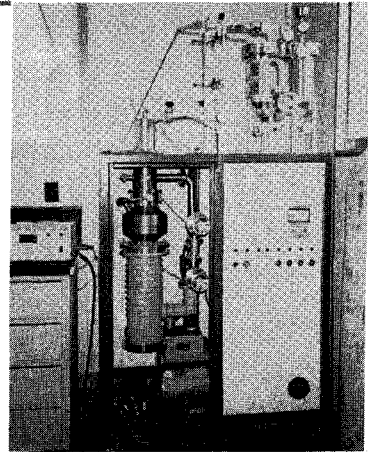
⑦ 전열소자 제작시 작동유체 주입 후의 끝마무리(End cap sealing)는 실제 실용화를 위한 대량생산시에도 매우 중요한 인자이며 이에 대한 충분한 연구가 이루어져야 한다. 또한 시스템 효율 및 열성능을 높이기 위해서 집열면적에 대한 축열용량 규모, 전열소자 응축부의 전열면적 증대, 집열기와 축열탱크의 Fitting 및 열교환 형태 등의 실제 제작공

정에 대한 여러가지 문제들에 대한 보완이 뒤따라야 할 것으로 본다.

이상에서와 같이 본 연구에서는 상변화형 태양열 온수 급탕 시스템의 제작 및 그 성능에 관련하여 제반 사항에 대한 상당한 검토가 이루어졌으나 이의 실용화를 위하여는 보다 충분한 보완 연구가 뒤따라야 할 것이다.

참고문헌

- ① H. P. Garg and Usha Rani, "Theoretical and Experimental Studies on Collector/Storage Type Solar Water Heater", Solar Energy, Vol. 29, No.6, pp.446-478, 1982
- ② Gregory L. Askew, PE, "Performance Simulation and Comparison to Test Result for TVA Passive Bread Box Water Heater", 5th National Passive Solar Conf., Vol.5.2, pp.1141-1145, 1980
- ③ Z. Lavin and J. Thompson, "Experimental Study of Thermally Stratified Hot Water Storage Tank", Solar Energy, Vol.19, pp. 519-520, 1977
- ④ S. M. Han S. T. Wu, "The Effects of Thermal Stratification Water Storage Tank for Performance of A Solar Hot Water System", ERDA, #EG-77-S-02-4479, 1977
- ⑤ D. J. Close, "The Performance of Solar Water Heaters with Natural Circulation", Solar Energy, Vol.6, pp.33-40, 1962
- ⑥ A. Shitzer etc, "Experiments with Flat Plate Solar Water Heating System in Therodynamic Flow", Solar Energy, Vol.22, pp.27-35, 1979
- ⑦ Cotter, T. P., "Theory of Heat Pipes", Rep. LA-3246-MS, Los



〈Heat Pipe제작을 위한 고진공장치〉

Alamos Scientific Lab., Feb. 23, 1965

- ⑧ Dunn, P. D. and Reay, D. A., "Heat Pipes", 3rd ED., Pergamon Press, Oxford, UK, 1982
- ⑨ 한국에너지기술연구소, "상변화와 고효율 전열소자를 이용한 태양열온수급탕시스템 개발(II)", 911A203-112DG1, 1991
- ⑩ 한국동력자원연구소, "자연대류형 태양열 온수급탕기 개발(II)", KE-88-16, 1988

