

## 6kW급 태양열 온수급탕 시스템의 실증실험

김진홍, 김성수, 최봉수, 홍희기<sup>†</sup>

경희대학교 대학원, \*경희대학교 기계산업시스템공학부

### Verification Experiment for 6kW Solar Water Heating System

Jin Hong Kim, Sung Soo Kim, Bong Su Choi, Hiki Hong<sup>†\*</sup>

Graduate School, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

\*School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

**ABSTRACT:** As environment-friendly alternative energy, solar energy becomes noticed again in Korea. This paper deals with possibility of using solar energy in Korea. Verification experiment was performed on commercial 6kW solar hot water heating system with a shower facility. Through the experiment, actual operating data were obtained but various problems of domestic solar thermal system were found out. As a result, solar fraction is 71% and the collector efficiency is 36.6% during 7 months. So it can be concluded that the solar thermal system should be reevaluated in economy and technology.

**Key words:** Solar thermal energy(태양열 에너지), Water heating system(온수급탕시스템), Verification experiment(실증실험)

#### 기 호 설 명

#### 그리스 문자

$C_p$  : 정압 비열 [kJ/kgK]

$F$  : 태양열 의존도

$I_t$  : 경사면 투사 일사량 [kJ]

$\dot{m}$  : 질량유량 [kg/s]

$Q_u$  : 집열기 획득열량 [kJ]

$Q_{load}$  : 부하측 공급열량 [kJ]

$Q_{aux}$  : 보조열원의 소요열량 [kJ]

$T_c$  : 집열관 온도 [°C]

$T_s$  : 축열조 온도 [°C]

$T_{sup}$  : 샤워기 공급 온수 온도 [°C]

$T_w$  : 시수 온도 [°C]

$\eta$  : 집열 효율

#### 하첨자

$i$  : 입구측

$o$  : 출구측

$w$  : 물

1 : 1차측

2 : 2차측

#### 1. 서 론

환경친화적인 대체에너지로서 태양에너지의 가치가 다시 주목받고 있다. 태양열과 태양광의 이용으로 구분되는 태양열 에너지의 이용분야는 한

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-2625

E-mail address: hhong@khu.ac.kr

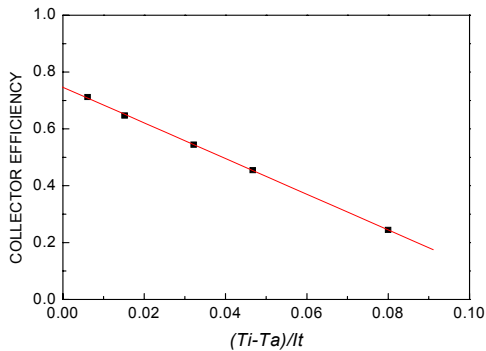


Fig. 1 Collector efficiency curve.

때 열에너지의 밀도가 낮고 투자비가 비싸기 때문에 국내에서는 경제성이 없다고 평가되기도 하였다. 그러나 현재 세계적으로 기술적인 면에서 그 이용가능성이 충분히 입증되고 있다.<sup>(1)</sup> 우리나라의 경우 1970년대 후반부터 보급되기 시작한 태양열 시스템은 아직까지도 그 활용가능 여부에 대해 논란이 계속되고 있다. 한때는 태양에너지 활용의 붐이 일어났을 정도로 활발히 보급되었으나 당시 기술수준의 낙후로 인해 국민 대부분에게 태양열에 대한 부정적인 인식을 초래하게 되었다.<sup>(2),(3)</sup> 그 동안 보급된 태양열 시스템의 대부분이 온수급탕 분야에 국한되어 있지만 역시 열악한 기술과 미비한 사후관리 등으로 그 활용도가 높지 않은 것으로 알려져 있다. 심지어 외관상 정상 작동을 하는 것으로 보여도 실제로는 심야 전기 보일러 등의 보조열원에 의존하는 경우도 적지 않다. 이러한 점에서 볼 때 현재 국내 태양열에너지 이용의 전망은 그다지 밝다고 할 수 없다. 따라서 이러한 태양열 에너지의 부정적인 이미지를 회복시키기 위해서는 끊임없는 연구와 기술개발이 요구된다.

이에 본 연구에서는 상용화되어 있는 태양열 온수급탕 시스템과 실제상황의 샤워실을 가동하며 운전과정에서 발생되었던 문제점들을 분석하였다. 또한 실측된 데이터를 통하여 그 동안 논란이 되어온 국내 태양에너지의 활용여부에 대해 고찰해보기로 한다.

## 2. 시스템의 설치 및 실험방법

### 2.1 시스템의 개요

Table 1 Specification of system.

Control module	Type	Digital difference temperature control	
Collector	Size	1179×2228 mm	
	Area	2.5 m <sup>2</sup>	
	Unit	4	
	Slope	40°	
Storage Tank	Capacity	430 ℓ	
	UA	0.15 W/K	
Heat Exchanger	Type	Coil in shell	
	UA	370 W/K	
	Materials	Shell : STS Coil : Copper	
Pump	1st	Capacity	60 lpm (H : 4 m)
		Output	80 W
	2nd	Capacity	35 lpm (H : 3 m)
		Output	40 W
Pipe	Material	Copper	
	Diameter	20 mm	
Auxiliary Heater	Type	Electric geyser	
	Capacity	13.2 kW	

본 실험에서는 이미 상용화된 설비형 태양열 시스템을 기본으로 하였다. 최대 집열효율 75%인 800W/m<sup>2</sup> 용량의 집열기(면적 2.5 m<sup>2</sup>) 4장을 직렬로 연결하여 6kW 급의 태양열 온수급탕 시스템을 구성하였다. 집열기의 성능곡선은 Fig. 1에 나타내었다. 집열기의 설치각도는 일반적으로 권장되는 위도에 가까운 40°로 하였으며 집열기와 열교환기 사이 1차측 배관계통의 작동매체로는 동과방지를 위해 40wt%의 프로필렌글리콜 수용액을 사용하였다. 집열기로부터 획득한 열량을 2차측으로 전달해주는 열교환기는 스테인리스로 만들어진 환형 모양의 셸에 구리로 된 코일이 들어가 있는 coil in shell type을 이용하였다. 축열조의 용량은 총 430ℓ로서 원래 전기온수기로 생산된 제품이나 온수기의 기능은 사용하지 않고 단순히 저장탱크로서만 이용하였다. 시스템의 제어는 집열기 출구온도와 축열조 출구온도의 차이를 이용하며, 8°C 이상이 되면 집열기 순환펌프가 on, 4°C 이하가 되면 off가 되도록 설정하였다. 시스템에 대한 제원을 Table 1에 정리하였다.

경희대학교 공학관의 실험동에 태양열 온수급탕 시스템과 샤워실을 설치하였고, 철저한 관리를 위해 사용대상은 대학원생으로 제한하였다.

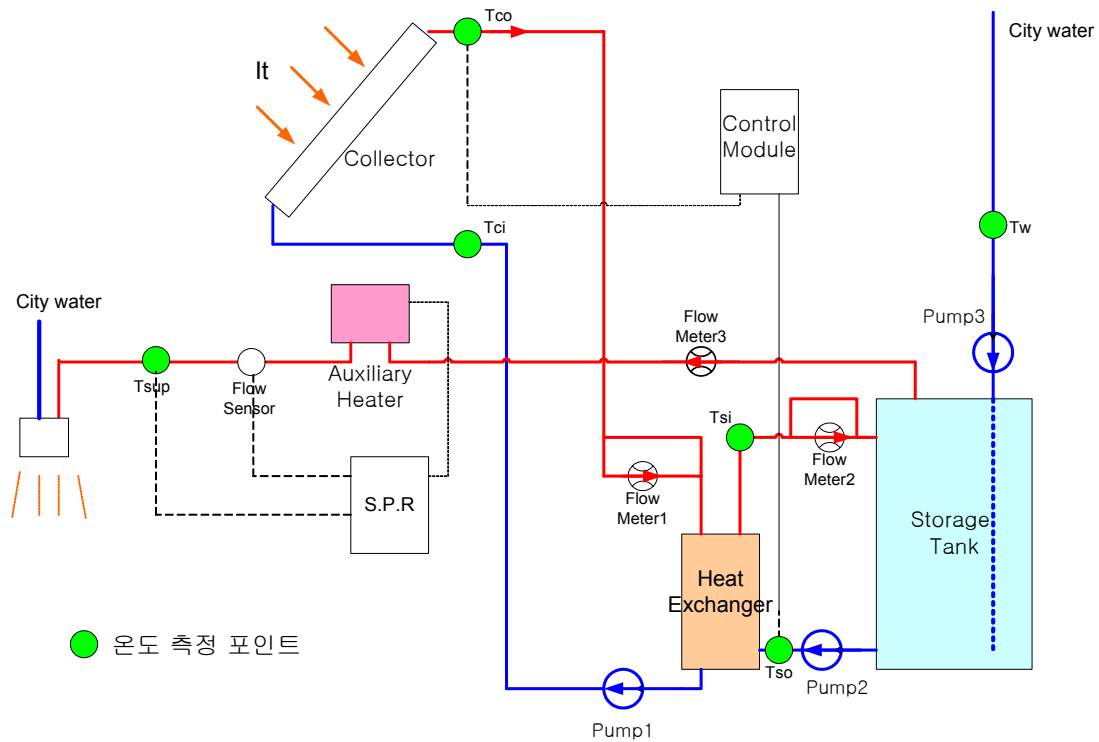


Fig. 1 Schematic diagram of system and measurement points.

총 3개의 샤워부스를 설치하여 동시에 3명의 샤워가 가능하도록 하였으며 부스 내에 온도계를 설치하여 샤워기 출구의 사용온도를 기록하도록 하였다.

## 2.2 실험 방법

2003년 1월말에 설치를 완료하고 측정을 시작하였으며 시스템을 모니터링하며 이상 유무를 지속적으로 파악하였다. 시스템에 이상이 있을 경우 그 현상을 기록하고 그에 맞는 대처 방안을 검토하여 개선해나갔다.

시스템의 주요 데이터 측정점은 Fig. 2에 보이며, 36초 간격으로 각각의 센서에서 측정된 값은 연구실 내에 설치되어 있는 데이터로거를 통해 PC에 저장된다.

경사면에 투사되는 일사량은 집열기와 같은 각도로 일사계를 설치하여 측정하였으며 온도는 K-type의 열전대로 측정하였다. 1차측과 2차측 유량의 경우 변화량이 매우 적기 때문에 적산유량계를 설치하여 주기적으로 점검하였고, 부하로 공급되는 부분은 순간유량계를 설치하여 순시값을 측정하였다. 보조열원의 사용열량은 순간값의

측정이 가능한 전력계를 부착하여 측정하였으며 순환펌프의 소비동력은 변화가 거의 없으므로 적산전력계로 측정하였다. 또한 순환펌프의 on/off 작동상태를 기록하였다.

부하패턴 등의 데이터를 확보하기 위해서 시스템을 설치한 후 샤워실을 제한된 인원에게 공개적으로 사용할 수 있도록 하였으며 사용자가 샤워실을 이용할 때마다 샤워온도, 샤워시간 등을 기록하도록 조치하였다.

시스템의 획득열량은 최종적으로 축열조에 저장되는 2차측의 획득열량을 기준으로 하였고 이를 통하여 집열효율을 계산하였다.

계산시 사용된 식은 다음과 같다.

$$Q_u = \dot{m}_2 C_{pw} (T_{s,o} - T_{s,i}) \quad (1)$$

$$Q_{load} = \dot{m}_{load} C_{pw} (T_{sup} - T_w) \quad (2)$$

$$\eta = \frac{Q_{u,2}}{I_t} \times 100 (\%) \quad (3)$$

$$F = \frac{Q_{load} - Q_{aux}}{Q_{load}} \quad (4)$$

### 3. 실험결과

#### 3.1 시스템 문제현상 및 조치

2003년 1월말부터 현재까지 시스템을 가동해오면서 여러가지 문제점들이 발견되었고 이를 보완해왔다.

보조열원의 경우 초기 2개월 동안에는 축열조에 내장되어 있는 전기히터를 사용하였는데 이 방식은 축열조 내부의 온도가 설정온도보다 낮을 때 히터를 가동하게 되나 사용시간대가 일정치 않은 경우 에너지 손실이 커 적합지 않은 것으로 판단되었다. 이에 대한 대안으로 축열조의 외부인 부하측 배관에 보조열원을 부착하여 샤워기 공급온도가 설정치(40°C)보다 낮은 경우에만 히터가 작동되는 방식을 채택하였다.<sup>(4)</sup>

본 실험에서는 일반적인 가스온수기 대신 에너지 소비량의 측정을 용이하게 하기 위하여 순간전기온수기를 부착하였다. 순간온수기의 용량은 13kW 정도로서 3인이 동시에 사용할 경우 시수에서 약 13°C 정도의 온도를 올려줄 수 있도록 산정하였다. 그 결과 불필요한 에너지의 소모는 해결하였으나 히터의 용량제어가 불가능해 1인 혹은 2인이 샤워할 경우 과도한 온도의 온수가 공급되는 현상이 발생하였다. 따라서 히터의 용량을 제어하기 위해 추가로 히터 전력량 조절기를 부착하여 안정적인 온도의 온수를 공급해줄 수 있게 하였다.

한편 2차측 순환펌프에 누수문제가 발생하였는

데, 처음에 펌프의 불량으로 간주하고 펌프를 교체하였으나 그 후로도 이러한 현상이 반복적으로 발생하였다. 이 기간에 대한 데이터 분석 결과, 계산된 집열기측의 획득열량과 축열부측의 획득열량이 역전되었는데 이는 2차측 순환펌프에 과부하가 걸려 펌프가 정상적으로 작동하지 못하고 이로 인해 2차측의 순환이 제대로 이루어지지 않아 입출구의 온도차가 지나치게 증가했기 때문이었다. 결국 축열조 및 2차측 배관계통에 체적팽창으로 인해 압력이 높아짐으로써 발생한 현상이었으며, 안전밸브(0.5 MPa)를 축열조 입구 시수관에 추가설치 함으로써 해결하였다.

시수의 수압이 낮아 부하측에 온수의 공급이 원활하지 못해 가압급수펌프를 설치하였다. 그 결과 안전밸브에서 빠져나가는 수량만큼 보충해주기 위하여 시간당 2~3회 정도로 약 2초간 가압급수펌프가 작동하게 되고 이때 미세하게 흐르는 유량을 보조열원내의 유량센서가 감지하여 보조열원이 가동되는 현상이 나타났다. 이로 인해 부하가 걸리지 않는 상태에서 보조열원이 가동되어 불필요한 에너지가 소모되었다. 이에 지속적이지 않은 유량은 무시하고 5초 이상의 유량이 흐를 때만 보조열원이 가동되도록 유량감지계를 제작하여 부하측 배관에 부착하고 이를 통해 히터전력량제어기를 on/off 시킴으로써 해결하였다.

시스템에 공급되는 물이 시수와 지하수가 혼합되었기 때문에 물의 온도상승에 따라 지하수 내에 포함되어 있던 칼슘이나 마그네슘 등이 석출<sup>(5)</sup>되면서 유량계 입구의 여과기에 걸려 배관이 막히기도 하였다. 축열조로 들어오는 시수관 측

Table 2 Summary of measured data.

(unit : MJ)

Month	March	April	May	June	July	August	September	Total
Total								
Irradition	4,281	4,040	5,040	4,580	3,481	2,984	3,600	28,006
Heat collected	2,022	1,997	2,176	1,002	1,015	856	1,187	10,255
Heat load	904	1,146	913	957	1,028	732	1,479	7,159
Auxiliary energy	186	354	241	342	353	220	390	2,086
Pump load	103	118	145	70	117	103	118	774
Efficiency	47.2%	49.4%	43.2%	21.9%	29.2%	28.7%	33.0%	36.6%
Solar Fraction	0.79	0.69	0.74	0.64	0.66	0.70	0.74	0.71

Table 3 Summary of data reduction.

	Temperature (°C)				Load per man (MJ)	Supplied water at 40°C (ℓ)	Supplied water at 60°C (ℓ)	Average time in shower (min)
	Outdoor	City water	Room	Terminal				
March	7.8	14.4	16.2	38	6.2	58.2	32.7	11.12
April	12.9	16.5	18.9	37.1	5.0	50.6	27.4	10.58
May	19.6	18.5	23.7	36.1	3.3	36.5	18.9	10.98
June	21.9	20.4	25.6	35.2	3.2	38.9	19.2	11.73
July	24.2	22.7	26.9	33.9	3.7	51.5	23.9	11.36
August	24.5	23.4	27.4	32.2	2.6	37.0	16.8	10.73
September	20.9	20.7	25.3	34.6	5.1	62.9	30.9	10.3
Average					4.16	47.9	24.3	11.08

에 별도의 여과기를 부착하고 1, 2차측 배관에 바이패스관을 설치하여 평상시에는 온수가 유량계를 거치지 않도록 조치하였으나, 보급되어 있는 시스템 중에서도 지하수를 사용하는 경우 유사한 사례가 다수 보고되는 만큼 각별한 대책이 요구된다.

### 3.2. 측정 결과

2003년 1월말부터 운전 및 측정을 시작하였으나, 지속적인 보수와 보완으로 실질적인 데이터는 3월부터 획득할 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 3월부터 9월까지 측정된 데이터를 분석 대상으로 하였다.

먼저 Table 2에 9월까지 측정된 에너지 및 효율을 나타내었다. 하계인 6, 7, 8월의 집열효율이 다른 달에 비해 상당히 낮게 나타났는데, 이는 2003년 여름에 유난히 비가 온 날이 많았기 때문이다. 그러나 총부하 중 태양열에 의한 것의 비율인 태양에너지 의존율은 평균 0.7 정도로 비교적 고른 분포를 보인다.

Table 3에 월별 1인당 에너지 사용량과 샤워온도 및 40°C 기준의 온수사용량을 나타내었다. 1인당 사용열량의 경우 외기 및 실내온도와 반비례하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 1인당 평균 사용열량의 경우 4.16 MJ, 40°C 기준 1회 샤워시의 온수사용량은 약 48ℓ 정도, 60°C 기준의 온수사용량은 약 24ℓ 정도로 나타났으나 계절에 따라 거의 2배까지 차이를 보임을 알 수 있

다. 또한 Table 3에서 샤워온도의 경우 외부온도에 따라 변화하는 것을 확연히 알 수 있으며 샤워 시간의 경우 외부의 온도나 계절과는 무관하게 거의 일정하게 나타났고 평균 약 11분임을 알 수 있었다. 물론 본 실험의 대상인원이 20대의 성인남성으로 국한되지만 그 동안 많은 인원을 대상으로 샤워온도, 공급된 에너지양에 대한 신뢰성 있는 데이터가 극히 적은 상황에서 유용한 부수적인 결과로 생각된다. 즉 설계시의 샤워온도는 60°C, 공급수량은 45ℓ 정도로 알려져 있으며, 가혹한 조건으로 용량이 설정되어야 하나, 급탕에너지 소비량의 추정시에는 Table과 같은 자료를 토대로 계절적인 변화를 고려할 필요가 있다.

본 시스템으로 사용가능한 최대인원을 알아보기 위하여 부하가 많은 날에 대한 태양에너지 의존율을 계산해본 결과 17인이 사용한 경우 0.88 정도까지 이르렀다. 향후 시뮬레이션을 통한 체계적인 경제성 분석에 의해 결론지을 수 있겠지만 상당히 경쟁가능성 있는 결과로 판단된다.

### 4. 결론

실험을 수행하면서 국내에 설치된 태양열 온수 급탕 시스템들의 문제점들을 찾아보았고 그 해결책을 강구하였다. 급탕부하의 이용시간대가 일정치 않은 경우에 부적합한 보조열원으로 인해 초래되는 불필요한 에너지 낭비가 시스템의 경제성을 떨어뜨리는 요인이 되었다. 이를 순간온수기

로 대체할 경우 에너지의 낭비는 현격히 줄어들지만 시스템이 다소 복잡해지게 되므로 이에 대한 설계시의 대책이 필요할 것으로 보인다. 또한 적절치 못한 펌프를 선정하거나 시스템 배관의 정확한 특성을 파악하지 못할 경우 내부에 발생하는 과도한 압력으로 인하여 정상적으로 펌프가 가동하지 못하는 현상이 발생하였으며 시스템에 무리가 생겨 고장의 원인이 되기도 하였다. 그리고 지하수를 여과없이 사용하는 경우의 문제점도 본 실험을 통해 확인되었다.

7개월간 획득된 데이터를 통해 분석해 본 결과 평균 집열효율은 36.6%로 비교적 낮은 수치가 나왔으나 이는 역시 2003년 여름의 날씨 특성에 따른 영향이라고 볼 수 있다. 또한 6kW급 시스템에 1일 평균사용인원이 8.3명일 때 태양열 의존율은 71% 정도 되는 것으로 나타났다.

결론적으로 장기간의 온수급탕 시스템 실증실험을 통하여 실제 시스템에서 발생할 수 있는 문제점들을 발견할 수 있었으며, 실제 부하를 대상으로 획득한 데이터를 통해 우리나라의 태양열 에너지 이용의 전망이 결코 부정적이지 않음을 알 수 있었다. 이에 대한 정확한 평가는 계속적인 연구를 통한 데이터의 획득과 경제성 분석을 통해 수행해나갈 예정이다.

## 후 기

본 연구는 에너지관리공단 지원 에너지·자원 기술개발사업에 의해 수행되었으며 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. Kang, Y. H. and Yang Y. S. 1998, Development of solar technology in Korea, Solar energy, Vol. 18, No. 2, pp. 1-7
2. Baek, N. C., Yu J. Y., Yoon E. S., Lee D. W., Joo M.C., 2001, A study on the field test and simulation of active solar system for residential house, Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 21, No. 1, pp 93-100
3. Jung H. C., 1998, Future of Korea Solar Energy Technology, Solar Energy, Vol. 18, No. 3, pp 1-7
4. Duffie, J. A. and Beckman, W. A., Solar engineering of thermal process, 1991, c, John Wiley & Sons pp. 487-512
5. SAREK, 2001, Equipmenets Engineering Handbook, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineerings of Korea, pp 1.4 1-41
6. Holman, J. P. Holman, 2001, Experimental Methods for Engineers, McGraw-Hill, Seventh Edition, pp 355-418
7. Stoecker, W. F. and Jones, J. W., 1982, Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill, Second Edition, pp. 380-400
8. McQuiston, F. C., Parker, J. D., Spitler, J. D., 2000, Heating, Ventilating, and Air Conditioning, John Wiley & Sons, Fifth Edition, pp. 297-340