

# 6 kW급 태양열 온수급탕 시스템의 실증실험 및 분석 (제1보 실증실험)

김진홍, 김성수, 최봉수, 홍희기\*  
경희대학교 대학원, \*경희대학교 기계산업시스템공학부

## Verification Experiment and Analysis for 6 kW Solar Water Heating System (Part 1 : Verification Experiment)

Jin Hong Kim, Sung Soo Kim, Bong Su Choi, Hiki Hong\*†

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

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

(Received November 20, 2003; revision received December 17, 2003)

**ABSTRACT:** In order to verify and take measures against a variety of troubles which cannot be predicted in a well-controlled laboratory, it is necessary that solar system should be experimented in an actual situation during a long period. Through this experiment it can be also understood how the load pattern and operational conditions expected in a design process become different to those in the actual running, which can be applied to a new system design. We installed 6 kW solar hot water heating system with a shower facility and operated during 7 months. As a result, average 8.3 persons took a shower a day; solar fraction is 71% and total collector efficiency is 40% during the periods from March to September. We confirmed several troubles encountered in the actual situation and considered practical countermeasures.

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

### 기 호 설 명

$C_p$  : 정압비열 [kJ/kg·K]  
 $F$  : 태양열 의존도  
 $I_t$  : 경사면 투사일사량 [kJ]  
 $\dot{m}$  : 질량유량 [kg/s]  
 $Q_{aux}$  : 보조열원의 소요열량 [kJ]

$Q_{load}$  : 부하측 공급열량 [kJ]  
 $Q_u$  : 집열기 획득열량 [kJ]  
 $T_c$  : 집열판 온도 [°C]  
 $T_r$  : 실내 온도 [°C]  
 $T_s$  : 축열조 온도 [°C]  
 $T_{sup}$  : 샤워기 공급 온수 온도 [°C]  
 $T_w$  : 시수 온도 [°C]

† Corresponding author

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

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

### 그리스 문자

$\eta$  : 집열효율

## 하첨자

- $a$  : 대기  
 $i$  : 입구측  
 $load$  : 부하측  
 $o$  : 출구측  
 $w$  : 물  
 1 : 1차측  
 2 : 2차측

## 1. 서 론

환경친화적인 대체에너지로서 태양에너지의 가치가 다시 주목받고 있다. 태양열과 태양광의 이용으로 구분되는 태양열 에너지의 이용분야는 열 에너지의 밀도가 낮고 투자비가 비싸기 때문에 국내에서는 경제성이 없다고 평가되기도 하였다. 그러나 현재 세계적으로 기술적·경제적인 면에서 그 이용 가능성이 충분히 입증되고 있다.<sup>(1)</sup> 우리나라의 경우 1970년대 후반부터 보급되기 시작한 태양열 시스템은 아직까지도 그 활용 가능 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> 그동안 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 심야전기 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 실증연구를 통한 신뢰성 확보가 절실히 요구된다.

이에 본 연구에서는 상용화되어 있는 태양열 온수급탕 시스템과 실제상황의 샤워실을 가동하며 운전과정에서 발생되었던 문제점들을 분석하고, 또한 실측된 데이터를 통하여 그동안 논란이 되어 온 국내 태양에너지의 활용 여부에 대해 고찰해 보기로 한다. 특히 장기간에 걸쳐 실제 사용 조건하에서 획득된 실증실험 데이터는 시뮬레이션의 검증자료로 유용하게 사용할 수 있으며,

이를 통해 최적의 설계 및 작동조건, 경제성 분석 등이 가능해진다.

## 2. 시스템의 설치 및 실험방법

### 2.1 시스템의 개요

본 실험에서는 이미 상용화된 설비형 태양열 시스템을 기본으로 하였다. 최대 집열효율 75%인  $800 \text{ W/m}^2$  용량의 집열기(면적  $2.5 \text{ m}^2$ ) 4장을 직렬로 연결하여 6kW급의 태양열 온수급탕 시스템을 구성하였다. 집열기의 성능곡선은 Fig. 1에 나타나 있으며, 일반적으로 사용하는 변수인  $(T_i - T_a)/I_i$ 에 대해 집열효율을 표시한 것이다. 집열기의 설치 각도는 일반적으로 권장되는 위도에 가까운  $40^\circ$ 로 하였으며 집열기와 열교환기 사이의 1차측 배관계통 작동매체로는 동파방지를 위해 40 wt%의 프로필렌글리콜 수용액을 사용하였다. 집열기로부터 획득한 열을 2차측으로 전달해 주는 열교환기는 스테인리스 재질의 환형 모양의 셀에 구리로 된 코일이 들어가 있는 원통-코일형을 이용하였다. 축열조의 용량은 총 430L로서 원래 전기온수기로 생산된 제품이나 온수기의 기능은 사용하지 않고 단순히 저장탱크로서만 이용하였다. 시스템의 제어는 집열기 출구온도인  $T_{c,o}$ 와 축열조 출구온도인  $T_{s,o}$ 의 차온을 이용하며,  $8^\circ\text{C}$  이상이 되면 집열기 순환펌프가 on,  $4^\circ\text{C}$  이하가 되면 off가 되도록 설정하였다. 시스템에 대한 제원을 Table 1에 정리하였다.

경희대학교 공학관의 실험동에 태양열 온수급탕 시스템과 샤워실을 설치하였고, 철저한 관리

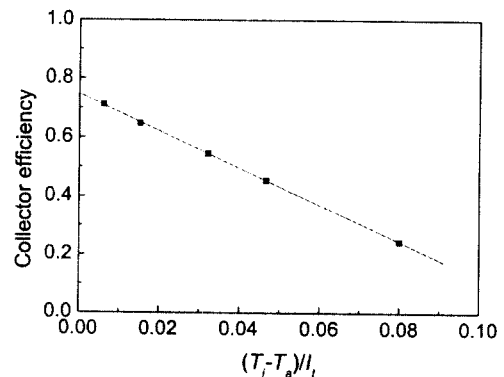


Fig. 1 Collector efficiency curve.

Table 1 System specification

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
Control module	Type	Digital difference temperature control
Pipe	Material	Copper
	Diameter	20 mm
Auxiliary heater	Type	Electric geyser
	Capacity	13.2 kW

를 위해 사용대상은 대학원생으로 제한하였다. 총 3개의 샤워부스를 설치하여 동시에 3명의 샤워가 가능하도록 하였으며 부스 내에 온도계를

비치하여 샤워기 출구의 사용온도를 수동으로 기록하도록 하였다.

## 2.2 실험방법

2003년 1월말에 설치를 완료하고 측정을 시작하였으며 시스템을 모니터링하며 이상 유무를 지속적으로 파악하였다. 시스템에 이상이 있을 경우 그 현상을 기록하고 그에 맞는 대처방안을 검토하여 개선해 나갔다. 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 일사계(제조사 : 일본 PREDE, 모델 : PCM-03F, 정도 : ±2.5%)를 설치하여 측정하였으며 온도는 K-type의 열전대로 측정하였다. 1차측과 2차측 유량의 경우 변화량이 매우 작기 때문에 적산유량계를 설치하여 주기적으로 점검하였고, 부하로 공급되는 부분은 순간유량계를 설치하여 순시값을 측정하였다. 그러나 적산유량계의 압력손실이 크고 이물질이 유량계 내부 스트레이너에 걸려 시스템의 정상적인 작동을 방해하게 되는 현상이 나타나 5월 이후에는 초음파 유량계를 이용

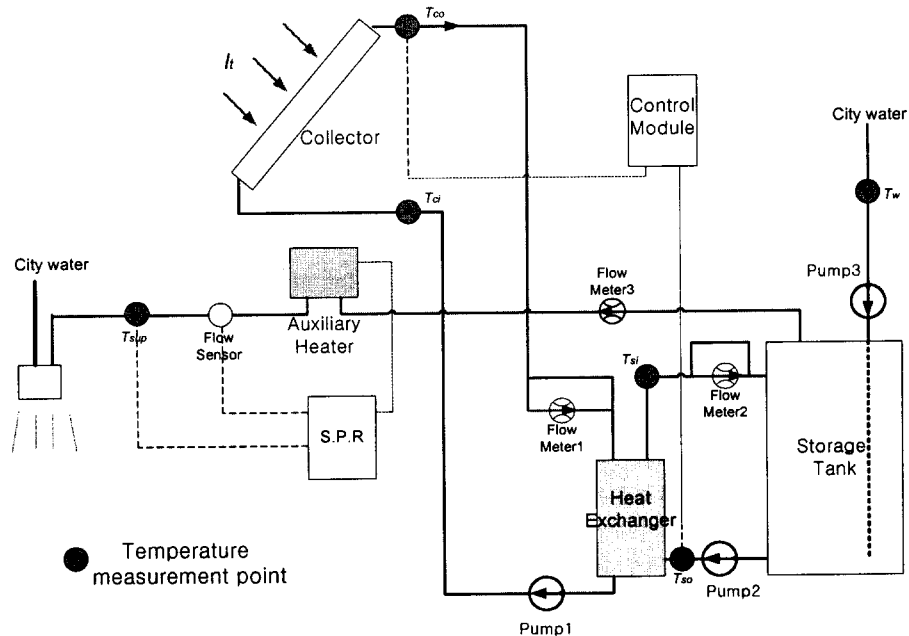


Fig. 2 Schematic diagram of system and measurement points.

하여 유량을 주기적으로 측정하였다.

보조열원의 사용열량은 시간에 따른 변동이 심하고 1인당 소요열량을 파악하기 위해 순간값의 측정이 가능한 전력계를 부착하여 측정하였다. 반면에 1, 2차측 순환펌프의 소비동력은 변화가 거의 없으므로 적산전력계로 측정하였고, 순환펌프의 on/off 작동상황을 기록하였다. 부하패턴 등의 데이터를 확보하기 위해서 시스템을 설치한 후 샤워실을 제한된 인원내 대해 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.

$$\dot{Q}_{u,2} = \dot{m}_2 C_{p,w} (T_{s,i} - T_{s,o}) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{load} = \dot{m}_{load} C_{p,w} (T_{sup} - T_w) \quad (2)$$

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

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

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 시스템 문제현상 및 조치

2003년 1월말부터 현재까지 시스템을 가동해 오면서 여러 가지 문제점들이 발견되었고 이를 보완해 왔다.

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 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 심야전기 할인시간대인 오후 10시부터 오전 8시까지 축열조 내의 보조열원인 전기히터가 작동되며 축열조 내의 수온은 설정된 일정온도를 유지하게 된다. 따라서 오전의 부하시간대가 집열운전이 시작되기 전에 집중되어 있어 저장된 열을 충분히 사용할 수 있는 용도로는 적합하나 그렇지 못한 경우에는 축열조의 온도가 높은 상태에서 집열운전이 시작되어 집열효율의 저

하가 불가피하다. 또한 주간에 획득한 열이 불충분한 경우 집열운전이 종료된 저녁부터 오후 10시 사이에 온수를 이용할 수 없거나 또 다른 보조열원을 사용해야 하는 문제점이 있다.

본 연구의 샤워실 이용시간대는 심야시간대에 집중되어 있지 않고 또한 샤워실 이용자의 수도 일정하지 않아, 이에 대한 대안으로 축열조의 외부인 부하측 배관에 보조열원을 부착하여 샤워기 공급온도가 설정치(40℃)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℃ 정도의 온도를 올려 줄 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 공급해 줄 수 있게 하였다.

운전중에 2차측 순환펌프에 누수가 발생하는 문제가 있었는데, 펌프의 불량으로 간주하고 새 것으로 교체하였으나 그후로도 이러한 현상이 반복적으로 발생하였다. 이 기간에 대한 데이터 분석결과, 2차측 순환펌프에 과부하가 걸려 펌프가 정상적으로 작동하지 못하고 이로 인해 2차측의 순환이 제대로 이루어지지 않아 열교환기의 2차측 온도차가 지나치게 커지는 것을 알 수 있었다. 결국 집열운전중 축열조의 온도가 상승되면서 체적팽창으로 인해 압력이 높아짐으로써 발생한 현상으로 판명되었으며, 안전밸브(0.5 MPa)를 축열조 입구 시수관에 추가 설치함으로써 해결하였다. 팽창탱크 및 안전밸브의 설계가 적절하지 않은 경우에 흔히 발생할 수 있는 현상으로서, 적절한 용량의 안전밸브를 설치하여 순환펌프가 견딜 수 있는 최대허용압력보다 작게 배관 내의 압력을 유지할 필요가 있다.

경희대 공학관의 경우 시수의 수압이 낮아 부하측에 온수의 공급이 원활하지 못해 가압급수펌프를 설치하였다. 그 결과 안전밸브에서 빠져나가는 수량만큼 보충해 주기 위하여 시간당 2~3회 정도로 약 2초간 가압급수펌프가 작동하게 되

고 이때 미세하게 흐르는 유량을 보조열원 내의 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 석출되면서 유량계 입구의 여과기에 걸려 배관이 막히기도 하였다.<sup>(5)</sup> 축열조로 들어오는 시수관 측에 별도의 여과기를 부착하고 1, 2차측 배관에 바이패스관을 설치하여 평상시에는 온수가 유량계를 거치지 않도록 조치하였다. 보급되어 있는 시스템 중에서도 지하수를 사용하는 경우 유사한 사례가 다수 보고되는 만큼 각별한 대책이 요구된다.

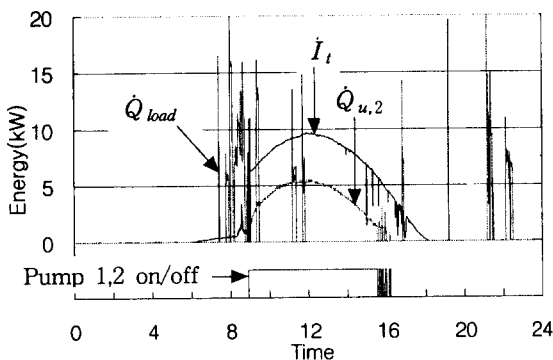
이외에도 1차측 작동매체인 브라인을 자동 보충해 주는 계통의 이상으로 간혹 배관 내에 브라인이 부족함에도 작동되지 않거나 가득 차 있음에도 공급펌프가 작동되는 현상이 관찰되었다. 역시 시스템의 정상작동을 저해하는 요인이므로 신뢰성 높은 보급 펌프의 사용이 필수적이다.

### 3.2 측정결과 및 고찰

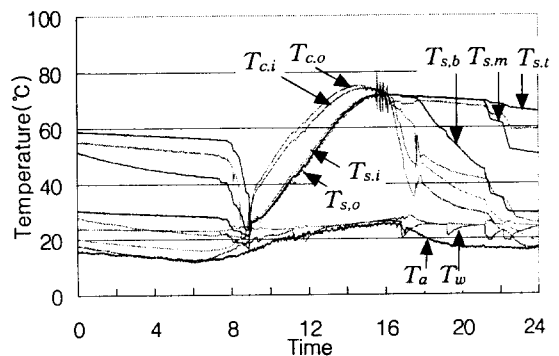
2003년 1월말부터 운전 및 측정을 시작하였으

나, 지속적인 보수와 보완으로 실질적인 데이터는 3월부터 획득할 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 3월부터 9월까지 측정된 데이터를 분석 대상으로 하였다.

일사조건이 양호하고 1일 샤워인원이 16명으로서 9월 중에 대표적인 부하패턴을 보인 9월 22일의 24시간 결과 그래프를 Fig. 3에 보인다. Fig. 3(a)에는 경사면에 투사된 일사량, 획득된 열량 및 축열조로부터 부하측에 공급된 열량을 나타내었다. 이 중 부하측 공급열량은 짧은 샤워시간(1인 평균 11분 정도)에 집중되며 축열조에서 공급된 온수온도 및 사용자의 개인차에 따라 이용온도가 상이하여 다소 불규칙한 양상을 띤다. Fig. 3(b)에서 열교환기측 축열조 입출구온도  $T_{s,i}$ 와  $T_{s,o}$ 는 2°C 이내의 차이를 보인다. 이는 성층화 촉진기구를 전혀 사용하지 않고 순환유량을 비교적 크게 유지함으로써 집열운전 중에는 축열조 내부가 완전혼합의 양상을 보이기 때문이다. 반면에 부하운전 시에는 축열조 하부에서 수평방향으로 시수가 유입되고 최상부에서 부하측으로 온수가 공급되므로 축열조 내부의 성층화가 비교적 잘 유지되는 경향으로서 축열조 하·중·상부의 온도  $T_{s,b}$ ,  $T_{s,m}$ ,  $T_{s,t}$  순으로 온도가 떨어짐을 알 수 있다. 7개월 간의 측정데이터로부터 부하는 오전 8~10시와 오후 9~11시에 집중되는 경향이며 집열운전이 시작되기 전에 축열조의 온도는 거의 시수온도로 떨어져 오전 중에 특히 집열효율이 높음을 알 수 있다. 이와 같은 부하패턴에서 만약 심야전기에 의한 보조열원을 채택하였다면 저장된



(a) Solar radiation, acquired heat and load



(b) Timeswise variation of temperatures

Fig. 3 Result graph about representative day.

Table 2 Summary of measured data (Unit: MJ)

Total \ Month	March	April	May	June	July	August	September	Total
Irradiation	4,281	4,040	5,040	3,248	3,481	3,000	3,830	26,920
Heat collected	2,022	1,997	2,176	868	1,216	1,032	1,431	10,742
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
Average no. of persons	4.7	7.4	9.0	9.7	8.9	9.2	9.3	8.3
Efficiency	47.2%	49.4%	43.2%	26.7%	34.9%	34.4%	37.4%	40.0%
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	38.0	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

열을 전부 사용하지 못하는 경우가 빈번하고 집 열효율의 저하는 불가피할 것이다.

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

Table 3에 하루 평균 샤워실 이용인원수, 월별 1인당 에너지사용량과 샤워온도 및 40°C, 60°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 48 L 정도, 60°C 기준의 온수사용량은 약 24 L 정도로 나타났으나, 사용열량은 계절에 따라 거의 2배까지 차이를 보임을 알 수 있다. 또한 Table 3에서 샤워온도의 경우 외부온도에 따라

변화하는 것을 확연히 알 수 있으며, 반면에 샤워시간의 경우 외부의 온도나 계절과는 무관하게 거의 일정하게 나타났고 평균 약 11분임을 알 수 있었다. 물론 본 실험의 대상인원이 20대의 성인 남성으로 국한되지만 그동안 많은 인원을 대상으로 샤워온도, 공급된 에너지양에 대한 신뢰성 있는 데이터가 극히 적은 상황에서 유용한 부수적인 결과로 생각된다. 즉, 설계시의 샤워온도는 60°C, 공급수량은 45 L 정도로 알려져 있으며,<sup>(6)</sup> 설계시에는 가혹한 조건으로 용량이 설정되어야 하나, 급탕에너지 소비량의 추정시에는 Table 3과 같은 자료를 토대로 계절적인 변화를 고려할 필요가 있다.

본 시스템으로 사용 가능한 최대인원을 알아보기 위하여 일사조건이 좋으면서 부하가 많은 날에 대한 태양에너지 의존율을 계산해 본 결과 17인이 사용한 경우 0.88 정도까지 이르렀다. 향후 시뮬레이션을 통한 체계적인 경제성 분석에 의해 결론지을 수 있겠지만 설계시 적정인원수

에 대한 가이드라인의 제시가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

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 순간온수기로 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 작동하지 못하는 현상이 발생하였으며 시스템에 무리가 생겨 고장의 원인이 되기도 하였다. 그리고 지하수를 여과 없이 사용하는 경우의 문제점도 본 실험을 통해 확인되었다.

7개월간 획득된 데이터를 통해 분석해 본 결과 평균 집열효율은 40.0%로 다소 낮은 수치가 나왔으나 이는 역시 2003년 여름의 날씨 특성에 따른 영향이라고 볼 수 있다. 또한 6kW급 시스템에 1일 평균 사용인원이 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 확인할 수 있었다. 이에 대한 정확한 평가는 지속적인 연구를 통한 데이터의 획득과 경제성 분석을 통해 수행해 나갈 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. and Joo, M. C., 2001, A study on the field test and simulation of active solar system for residential house, J. 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., 1991, Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, pp. 487-512.
5. SAREK, 2001, Equipments Engineering Handbook, Vol. 4, pp. 1.4 1-41.
6. Korean Solar Energy Society, 2001, Solar Energy Handbook, Taerim, pp. 369-416.
7. Holman, J. P., 2001, Experimental Methods for Engineers, McGraw-Hill, 7th ed., pp. 355-418.
8. Stoecker, W. F. and Jones, J. W., 1982, Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill, 2nd ed., pp. 380-400.
9. McQuiston, F. C., Parker, J. D. and Spitler, J. D., 2000, Heating, Ventilating and Air Conditioning, John Wiley & Sons, 5th ed., pp. 297-340.