

# 태양열이용 Baffle식 축열조를 갖는 급탕난방시스템의 열성능 해석

서 정 세<sup>†</sup>, 이 중 섭<sup>\*</sup>, 윤 지 훈<sup>\*\*</sup>

경상대학교 기계항공공학부, \*경상대학교 BK21사업단(첨단기계), \*\*경상대학교 대학원

## Analysis of Thermal Performance of Solar Hot-Water and Heating System with Baffle Storage Tank

Jeong-Se Suh<sup>†</sup>, Chung-Seub Yi<sup>\*</sup>, Ji-Hoon Yoon<sup>\*\*</sup>

*School of Mechanical and Aerospace Engineering, ERI, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea*

*\*2nd Stage BK21(AMAEPP), Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea*

*\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea*

*(Received June 9, 2010; revision received August 3, 2010)*

**ABSTRACT:** A numerical study has been performed to investigate the thermal performance of solar heating system with baffle type of storage tank by using the commercial code TRNSYS. As a result, the solar fraction depends strongly on the efficiency and heat loss coefficient of solar collector as well as the heating capacity of house and the water temperature supplied to the shower. In addition, the solar fraction has been basically ranked to higher level in baffle type of storage tank than typical type of single storage tank for the range of operation condition.

**Key words:** Solar collector(집열기), Storage tank(축열조), Baffle(격막), Hot water(급탕), Heating(난방)

### 기 호 설 명

|  |  |
|--|--|
| <p><math>A_c</math> : 집열면적 [m<sup>2</sup>]</p> <p><math>C_p</math> : 정압비열 [J/kg °C]</p> <p><math>F_R</math> : 열전달비(Heat removal factor)</p> <p><math>f</math> : 태양열의존률</p> <p><math>G_t</math> : 일사량 [W/m<sup>2</sup>]</p> <p><math>k</math> : 열전도율 [W/mK]</p> <p><math>m</math> : 작동유체 유량 [kg/min]</p> <p><math>Q_{aux}</math> : 보조열원이 공급한 열량 [W]</p> <p><math>Q_{load}</math> : 부하열량 [W]</p> | <p><math>Q_u</math> : 집열기 획득 가용 열량 [W]</p> <p><math>T_a</math> : 대기온도 [°C]</p> <p><math>T_h</math> : 실내온도 [°C]</p> <p><math>T_{hw}</math> : 급탕 온도 [°C]</p> <p><math>T_i</math> : 집열기 입구온도 [°C]</p> <p><math>U_L</math> : 집열기 열손실계수 [W/m<sup>2</sup>°C]</p> <p><math>V</math> : 축열조의 전체 부피 [m<sup>3</sup>]</p> <p><math>V_{L,r}</math> : 하층부 축열조의 부피비, <math>V_L/V</math></p> |
|--|--|

### 그리스 문자

|          |            |
|----------|------------|
| $\alpha$ | : 집열기의 흡수율 |
| $\eta_c$ | : 집열기 효율   |
| $\theta$ | : 입사각      |
| $\tau$   | : 집열기의 투과율 |

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-55-751-5312; fax: +82-55-757-5622

E-mail address: jssuh@gnu.ac.kr

## 1. 서 론

에너지 수요의 급증은 주요 에너지 공급원인 화석에너지의 고갈 위기와 화석에너지의 사용에 따른 환경오염의 문제를 야기하고 있으며, 환경보존과 에너지원의 효율적인 이용을 위해 기존의 화석에너지 시스템을 환경 친화적인 에너지 활용 시스템으로 대체하고 전환하는 다양한 방법들이 시도되고 있다. 이런 관점에서 청정한 무공해 에너지이며 양에 있어서도 무한한 태양열의 활용 및 연구가 활발히 진행되고 있으며, 일부는 이미 실용화되어 사용되고 있다. 그러나 태양에너지는 비교적 에너지 밀도가 낮고 기상조건에 따른 공급에너지의 불균일성으로 사용에 있어서 제약조건을 가지고 있기 때문에 그 사용조건에 적합한 효율적인 집열시스템의 개발이 필요하다. 기존에는 태양열 집열기를 이용한 급탕시스템을 중심으로 주로 연구되어 있으나,<sup>(1)</sup> 태양에너지의 효율적인 사용을 위해 산업용 공정열 및 가정용 급탕과 난방에 적합한 태양열 복합시스템에 대한 연구<sup>(2,3)</sup>도 진행되고 있다.

지금까지의 태양열 시스템에 관한 연구를 살펴보면, 대부분의 연구가 집열기의 효율을 향상시키고자 하는 데 주로 이루어져 왔으며,<sup>(4,6)</sup> 태양열 시스템을 구성하는 축열조에 대해서는 현열 축열의 경우에 축열조내의 성층화 향상을 위한 연구가 주로 이루어져 왔다.<sup>(7-9)</sup> 그러나, 급탕과 난방부하가 동시에 이루어지는 복합시스템의 경우에는 단일축열조를 사용하여 시스템의 성능을 향상시키는 데는 한계가 있으며, 이를 극복하기 위한 방안으로 급탕과 난방용 축열조를 각각 사용하는 2개의 축열조 방식이 채택되어 오고 있으나, 이러한 방식에 대한 체계적인 연구가 아직 보고된 것이 없는 것으로 파악된다.

급탕과 난방부하에 동시에 대응하는 태양열 복합시스템을 위해 본 연구에서는 Baffle식 축열조를 적용하고자 하며, 이를 통해 태양으로부터 획득한 축열된 열을 급탕 및 난방부하에 요구되는 온도에 따라 효율적으로 활용함으로써 태양열의 활용을 극대화하고자 한다. 기존의 단일축열조를 사용한 난방시스템의 경우 축열조 용량이 크게 되고, 일정한 온도이하에서는 축열에너지를 활용할 수 없어 전체적으로 이용율이 저조하다는 단점을 Baffle식 축열시스템을 통해 극복하면서, 에너지의 이용을 극대화하고자 한다. 즉, 축열조내에 Baffle를 설치하여, 축열조의 온도가 난방에서 요구하는 온도 이하의 경우

에 Baffle 상단의 축열조만 활용하여 난방을 함으로써 난방보조열원의 추가적인 에너지 소모를 최소화하고, 반면 급탕의 경우에는 축열조 전체의 에너지를 활용함으로써 급탕보조열원의 추가 에너지 소모량을 극소화하여, 전체적으로 복합시스템의 효율을 향상시키고자 한다.

본 연구에서는 급탕과 난방부하에 동시에 대응할 수 있는 태양열 복합시스템에서 Baffle식 축열조를 적용하였을 경우에 대해 시스템의 열성능을 TRNSYS를 이용하여 평가하고자 한다. 부가적으로 주어진 조건에서 집열기의 효율 및 손실률, 급탕 및 난방의 설정온도에 따른 시스템의 열성능변화를 태양열 의존률을 중심으로 알아보하고자 한다.

## 2. 태양열이용 급탕난방 복합시스템

### 2.1 Baffle식 축열시스템

본 연구에서 예측하고자 하는 급탕 및 난방용 태양열 복합시스템을 Fig. 1에 나타내었다. 복합시스템은 기본적으로 크게 집열부, 축열부, 부하부로 나눌 수 있으며, 입사한 태양열을 집열기를 통해 흡수하여 시스템의 축열부에 저장하였다가 급탕 및 난방 부하부에 전달하는 구조이다. 추가적으로 급탕에서 요구하는 온도( $T_{hw}$ ) 및 난방장치에서 요구하는 온도( $T_r$ )를 맞추기 위해서는 반드시 보조열원이 요구된다.

일반적으로 축열시스템의 작동원리는 Fig. 1에서 보듯이 집열기로부터 열을 축열조에 저장하였다가, 급탕과 난방 부하부로 방열하게 되면서 축열조의 온도가 점차 낮아지게 된다. 그러나 축열조의 온도가 난방부의 출구온도보다 낮아지게 되면(온도역조 현상) 난방부하의 보조열원이 오히려 축열조의 온도를 높이는데 사용됨으로써, 보조열원에 의한 에너지 손실을 가속화 시킨다.

따라서 온도역조 발생시, 난방수의 축열조 통과를 최소화하는 것이 필요하며, 기존의 시스템에서는 Fig. 1(a)에서 보듯이 보조열원을 축열조와 병렬로 연결하여, 온도역조시 난방수의 축열조 통과를 차단함으로써 축열조내 전체 열을 포기하고, 보조열원에 의해서만 열을 공급하게 된다. 결국, 부하에 따른 보조열원의 가동/정지가 빈번하게 발생하고, 축열조의 열을 효율적으로 활용하지 못하게 된다. 따라서 이러한 문제를 개선하고자 본 연구에서 제

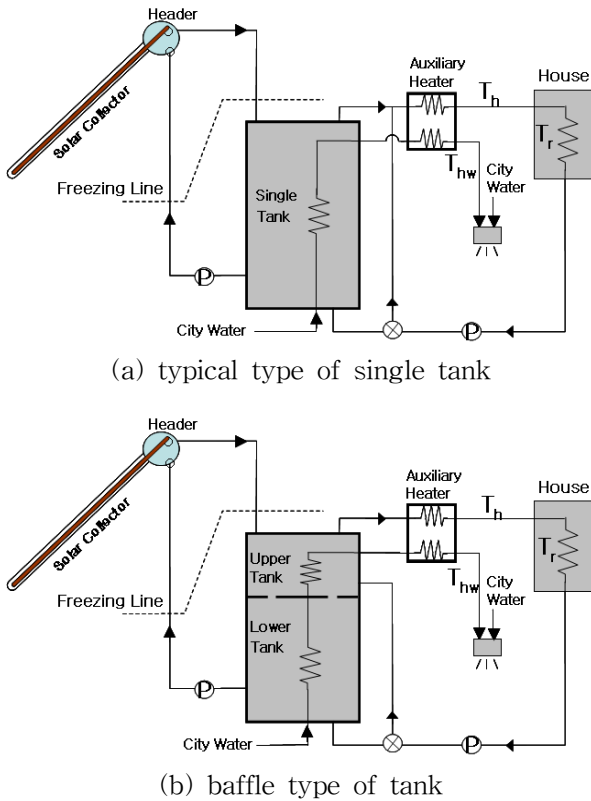


Fig. 1 Schematic diagram of solar system with storage tank.

안한 Baffle식 축열조를 사용하는 경우에는 난방수가 축열조 전체를 통과하면서 축열조내 열을 충분히 활용하다가, 온도역조시 Fig. 1(b)에서 보듯이 축열조 Baffle 하부로 통과가 차단되고, Baffle 상부로만 난방수가 통과하도록 함으로써 Baffle 상부 축열조의 열을 적극 활용함으로써 난방부하의 증가를 최소화할 수 있다.

또한, 급탕의 경우에는 축열조 전체 및 고온의 Baffle 상부 축열조와 열교환함으로써, 축열조내의 열을 효율적으로 활용하여 보조열원에 의한 공급열량을 최소화하고자 한다.

한편, 본 연구에서 적용된 태양열 복합시스템의 주요 구성 장치들은 기본적으로 중소형 급탕난방장치에 적합하도록 시스템 용량을 구성하였으며, Table 1에 열용량 및 전열계수로 나타내었다. 집열부 및 축열 이용부의 작동유체는 모두 물로 하였으며, 급탕은 오후 6시~10시(4시간)기간에 사용하는 것으로 설정하였으며, 축열조의 크기는 500 l (0.5 m<sup>3</sup>)를 기준으로 하였다. 보조열원은 급탕 및 난방부하의 요구조건에 충분히 만족되도록 가열능력 3 kW의 전기히터를 사용하는 것으로 하였으며, 기타의

Table 1 Characteristics of the solar hot-water and heating system

| Parameter        |                                 | Specification                |
|------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Collector        | $F_R(\tau\alpha)$               | 0.65                         |
|                  | $F_R U_L$                       | 0.2                          |
|                  | Area                            | 25 m <sup>2</sup>            |
|                  | Slope                           | 35°                          |
|                  | Max Flowrate                    | 30 kg/hr                     |
|                  | $\Delta T_{on}, \Delta T_{off}$ | 10°C, 3°C                    |
| Storage Tank     | Initial Temperature             | 30°C                         |
|                  | Upper Tank Volume               | 0.15 m <sup>3</sup>          |
|                  | Lower Tank Volume               | 0.35 m <sup>3</sup>          |
|                  | Heat Loss Coeff.                | 3.0 kJ/hr · m <sup>2</sup> K |
| Auxiliary Heater | Capacity                        | 3.0 kW                       |
| Hot Water        | City Water Temperature          | 15°C                         |
|                  | Outlet Temperature (Thw)        | 40°C                         |
|                  | Max Flowrate                    | 10 kg/hr                     |
|                  | Conductivity of Tube Wall(ks)   | 1.4 kJ/hr · mK               |
|                  | OD of Tube(do)                  | 0.012 m                      |
|                  | Length of Tube                  | 4 m                          |
|                  | Thickness of Tube               | 0.002 m                      |
| House            | Heat Conductance                | 50 kJ/hr °C                  |
|                  | Heat Capacity                   | 1000 kJ/°C                   |
|                  | Room Temperature(Tr)            | 22°C                         |
|                  | Supply Temperature(Th)          | 60°C                         |
|                  | Max Flowrate                    | 50 kg/hr                     |
|                  | $\Delta T_{on}, \Delta T_{off}$ | 3°C, 0°C                     |

시스템 구성품들의 세부사양들이 Table 1에 제시되었다.

## 2.2 관계식 및 수치해석방법

임의의 매 시간동안에 태양열 집열기가 획득하는 순수 열에너지는 집열기가 흡수한 에너지에서 주위로 방열되는 에너지를 뺀 값으로,<sup>(10)</sup>

$$Q_u = A_c F_R [G_t (\tau\alpha) - U_L (T_i - T_a)] \quad (1)$$

이며, 여기서  $T_i$ 는 집열기의 입구온도이다. 집열기

효율은 태양열 집열기에 입사한 태양에너지와 작동 유체가 얻은 에너지의 비로 정의하며,

$$\eta_c = \frac{Q_u}{A_c G_t} = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_t} \quad (2)$$

이고, 여기서  $U_L$ 은 집열기의 열손실계수이다.

결국, 하루 동안 총 집열량은

$$Q_{u,a} = \sum_{h=1}^{24} Q_u \quad (3)$$

이며, 여기서  $Q_u$ 는 매시간의 집열량이다.

매 시간에 요구되는 열부하량  $Q_{load}$ 를 만족하기 위해 공급되는 보조 열량  $Q_{aux}$ 는

$$Q_{aux} = Q_{load} - (Q_u - Q_{loss}) \quad (4)$$

이며, 여기서  $Q_{loss}$ 는 축열조 및 난방부에서 외기로 손실되는 열량이다. 본 연구에서는 기본적으로 축열조의 형식을 달리하였을 경우의 시스템의 효율을 평가하고자 하는 것이 주된 목적이므로, 해석의 단순화를 위해 집열기, 축열조 및 부하부에서의 열손실외 기타 연결관 등의 열손실은 무시하고자 한다. 한편, 급탕을 위한 축열조내 코일열교환기의 열전달계수는

$$h = 0.48 Ra^{1/4} \frac{k}{d_o} \quad (5)$$

$$Ra = \frac{g\beta(\overline{T}_{tank} - \overline{T}_{tube})d_o^3}{\alpha\nu} \quad (6)$$

이며<sup>(11)</sup>, 여기서  $\overline{T}_{tank}$ 와  $\overline{T}_{tube}$ 는 각각 축열조 및 급탕관의 평균온도이며, 기타의 열물성값들은 기존의 자료<sup>(12)</sup>에서 참조할 수 있다.

수치해석방법으로, 본 연구의 대상인 태양열 복합 시스템은 열적으로 비정상상태로 이루어지며, 이를 효과적으로 처리하기 위해 연속 대입법(successive substitution method)을 사용하였다. 매시간 증분은 1시간 단위로 하였으며, 적분 및 수렴은 상대적 오차가 0.1% 이내에서 이루어지는 것으로 하였다. 계산시간은 1년 간의 시간 즉, 8,760시간 범위에서 이루어졌으며, 상업코드인 TRNSYS를 이용하여 수치해석을 수행하였다.

한편, 본 연구에서 적용된 기상 데이터는 기상청에서 제공하는 2003년의 경남 진주지역의 기상자료를 기초로 하였다.<sup>(13)</sup>

### 3. 결과 및 토의

본 연구에서는 급탕 및 난방겸용 Baffle식 축열조를 적용하였을 경우에 시스템의 열성능을 평가하고자 하는 데 주안점으로 두고 있으며, 대표적 지표인 월평균 태양열의존률(solar fraction)을 중심으로 알아보고자 한다. 태양열의존률,  $f_{solar}$ 는 총 소요 부하열 중 태양열로 공급되는 열의 비율로서

$$f_{solar} = \frac{\int Q_{load} dt - \int Q_{aux} dt}{\int Q_{load} dt} \quad (7)$$

로 정의된다.

#### 3.1 축열조 형식의 비교

본 연구에서 Baffle식 축열조를 사용하고 있는 시스템의 열성능을 해석적으로 평가하기 위해, 동일 조건에서 Baffle이 없고 크기가 같은 일반 축열조의 경우와 비교하여 태양열의존률의 월평균 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 결과비교에서 축열조를 제외한 기타의 장치 및 모든 조건은 동일하게 적용하여 해석하였다. 월별 태양열의존률의 변화가 하절기에

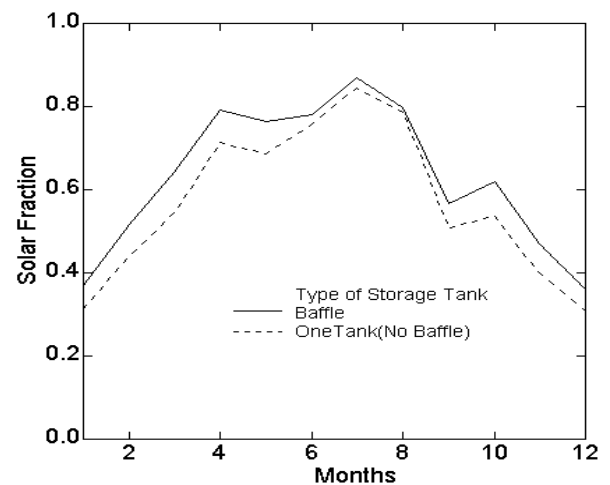


Fig. 2 Comparison of monthly solar fractions for baffle storage system to single storage system.

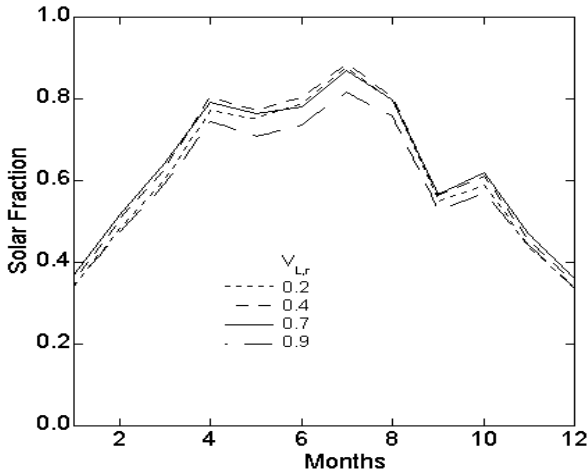


Fig. 3 Monthly variation of solar fractions for several values of volume fraction of lower storage tank.

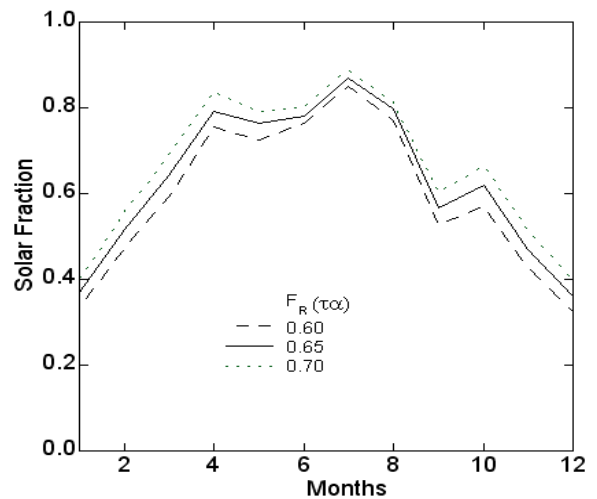
는 높고 동절기에는 상대적으로 낮은 전형적인 경향을 보이고 있다. 한편, Baffle식 축열조를 사용한 경우가 단일 축열조를 사용한 경우에 비해 전반적으로 태양열의존률이 높게 나타나고 있다. 특히, 춘추절 및 동절기에서 하절기(6월~8월)보다는 상대적으로 높은 차이를 보이고 있으며, 이는 이 기간에 Baffle식 축열조의 성능이 단일 축열조에 비해 우수한 특성을 보이고 있음을 의미한다. 따라서 이후의 결과에서 Baffle식 축열조를 사용한 시스템을 중심으로 제시하고자 한다.

한편, 축열조내 Baffle의 위치가 미치는 영향을 파악하기 위해 축열조 전체부피에 대한 Baffle 하부 축열조 부피비  $V_{L,r}$ 를 변화시켰을 경우에 대한 태양열의존률의 월별 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 춘추절과 동절기에 Baffle 하부 축열조의 부피가 차지하는 비율이 매우 작거나, 크면은 태양열의존률이 낮아지는 특성을 보이고 있으며,  $V_{L,r} = 0.7$ 에서 가장 높은 값을 나타내고 있다. 이는  $V_{L,r}$ 가 매우 높아 상부 축열조내 물의 양이 매우 적어서 급탕 및 난방부하에 적절히 대응하지 못하는 것이 되고, 반대로  $V_{L,r}$ 가 매우 낮아 상부 축열조내 많은 물을 난방을 위해 공급하는 물의 온도로 맞추기 위해 보조열원으로 가열하는 데서 비롯된다.

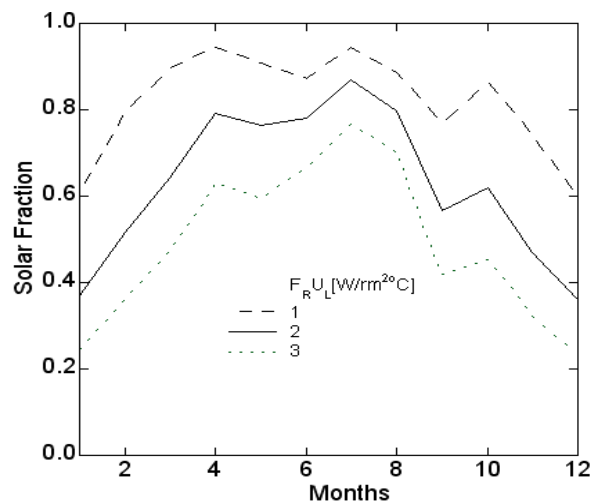
### 3.2 집열기의 영향

Fig. 4는 집열기의 효율에 따른 Baffle식 축열조를 사용한 급탕난방시스템의 월별 평균 태양열의존률의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 4(a)에서 집열기

의 효율,  $F_R(\tau\alpha)$ 가 증가할수록 태양열의존률이 증가하고 있으며, 특히 하절기(6월~8월)보다 춘추절 및 동절기에 증가하는 폭이 상대적으로 크게 이루어지는 것을 알 수 있다. 또한, 집열기의 열손실률( $F_R U_L$ )따른 태양열의존률변화를 나타낸 Fig. 4(b)에서 집열기의 열손실률이 증가할수록 태양열의존률이 상당히 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 태양으로부터 집열한 열이 축열조에 전달되기 전에 집열기에서 손실되는 정도의 영향이 시스템의 효율에 상당히 크게 영향을 주고 있음을 의미한다. Fig. 4(b)에서 열손실계수( $F_R U_L$ )가  $3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ 인 경우에는 1월의 태양열의존률이 0.3이하로 감소하게 되어, 결국 시스템의 전체적인 소요에너지에서 태양열에너지의 대체율이 상당히 감소함을 의미한다.



(a) thermal efficiency

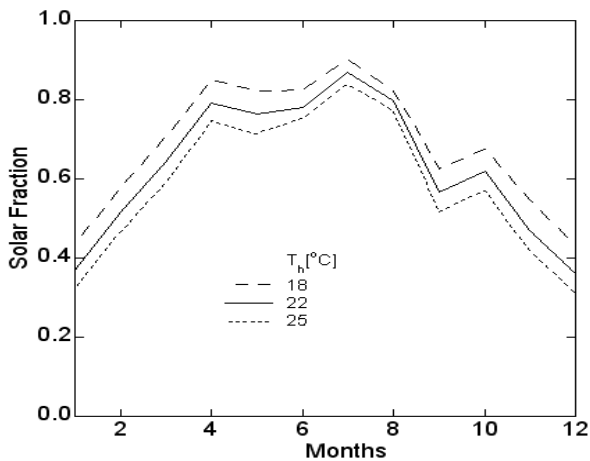


(b) heat loss coefficient

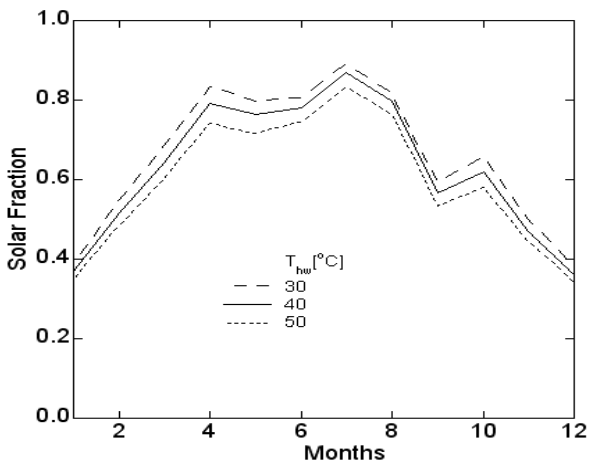
Fig. 4 Monthly variation of solar fraction for solar collector.

### 3.3 급탕 및 난방 설정온도의 영향

태양열 시스템의 변화 특성에 미치는 설정온도의 영향을 파악하기 위해, 급탕 및 난방공간의 설정온도를 변화시키면서 태양열의존률의 변화를 알아보고자 한다. 이를 위해 먼저, 난방공간의 설정온도( $T_h$ )를 변화시키면서 월별 평균 태양열의존률의 변화를 Fig. 5(a)에 나타내었다. 난방설정온도를 증가시킬수록 태양열의존률이 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 난방부하 증가에 따라 소요되는 열량이 증가하면서 추가적인 부하열량을 보조열원이 공급하는데 기인한다. 한편, 공급급탕 설정온도의 변화가 시스템의 태양열 의존율에 미치는 영향을 Fig. 5(b)에 나타내었다. 공급수의 설정온도를 증가시킬수록 태양열 의존율이 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 공급급탕



(a) setting temperature of heating room



(b) setting temperature for hot water

Fig. 5 Monthly variation of solar fraction for solar system.

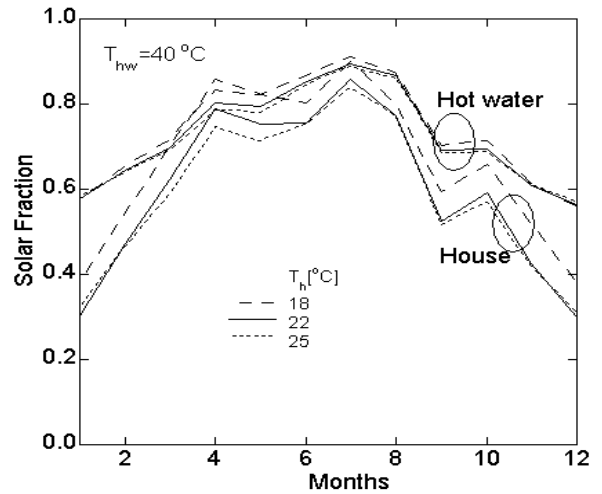


Fig. 6 Monthly variation of solar fraction of hot water and house heating load for hot water temperature  $T_{hw} = 40^\circ\text{C}$  and several values of room temperatures.

의 설정온도를 증가하여도 난방부하 설정온도의 변화에 비해 상대적으로 태양열의존률의 변화량이 상대적으로 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 열부하면에서 난방부하가 급탕공급을 위한 열부하에 비해 상대적으로 크기 때문인 것으로 파악된다. Fig. 6에서는 급탕 및 난방부하에 대한 각각의 태양열의존률의 변화를 월별로 나타내었다. 그림에서 보듯이 난방부하에 대한 태양열의존률의 변화가 급탕의 것에 비해 상대적으로 심하게 변하고 있다. 이는 시스템의 전체부하 중 난방부하가 차지하는 비율이 상대적으로 크고, 겨울철에는 난방부하 대비 태양열의 공급이 상당히 부족한데서 비롯된 것으로 파악된다. 또한, 난방설정온도가 증가할수록 난방부하의 증가로 인해 난방부 태양열의존률이 낮아지고 있다. 그러나 급탕공급온도가 일정함에도 불구하고, 급탕부의 태양열의존률도 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이는 태양열 공급이 난방부하에 주로 이루어지면서, 급탕부로의 태양열 공급이 줄어드는 데서 비롯된 것으로 파악되며, 태양열의존률의 변화가 난방부에 비해 상대적으로 적음을 확인할 수 있다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 태양열집열시스템을 이용한 급탕 난방시스템에서 TRNSYS를 이용하여 태양열시스템의 열성능을 태양열의존률을 중심으로 평해석적 평가를 하였다. 결과에서 Baffle식 축열시스템이 단

일 축열조시스템에 비해 태양열의존률이 높게 나타났으며, 동시에 집열기의 효율 및 열손실계수가 시스템의 태양열의존률에 상당히 영향을 미침을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구의 일부는 2단계 BK21 대학원 육성사업 및 공학연구원, 세운전재의 지원으로 이루어 졌으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Duffie and Beckman, 1991, Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley and Sons.
2. Bae, C. H., Kang, C. H. and Suh, J. S., 2004, An Experimental Study of the Utilization of Heat Pipes for Solar Collectors with Type of Heat Pipe, Proc. SAREK Winter Annual Conference, pp. 451-456.
3. Kwak, H. Y., Boo, J. H. and Chung, W. B., 2003, Development and Application of Evacuated Tube Solar Collector with Heat Pipe in Korea, 7th IHPS, pp. 373-376.
4. Chi, S. W., 1976, Heat Pipe Theory and Practice, Willey.
5. Morrison, G. L., Budihardjo, I. and Bhnia, M., 2004, Water in glass Evacuated Tube Solar Water Heaters, Solar energy, Vol. 76, pp. 135-140.
6. Assilzadeh, F., Kalogirou, S. A., Ali, Y., and Sopian, K., 2005, Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors, Renewable Energy, Vol. 30, pp. 1143-1159.
7. Rosen, M. A., Tang, R. and Dincer, I., 2004, Effect of stratification on energy and exergy capacities in thermal storage systems, Int. J. Energy Res., Vol. 28 pp. 177-193.
8. Nelson, J. E. B., Balakrishnan, A. R. and Murthy, S. S., 1999, Parametric studies on thermally stratified chilled water storage systems, Appl. Therm. Eng., Vol. 19, pp. 89-115.
9. Jack, M. W. and Wrobel, J., 2009, Thermodynamic optimization of a stratified thermal storage device, Appl. Therm. Eng., Vol. 29, pp. 2344-2349.
10. Goswami and Kreith, 1999, Principles of Solar Engineering, Taylor and Francis.
11. Morgan, V. T., 1975, The Overall convective heat transfer from smooth circular cylinders, Advances in Heat Transfer, Academic Press, New York, Vol. 11, pp. 199-264.
12. Raznjevic, K., 1976, Handbook of thermodynamic tables and charts, Hemisphere.
13. Kim, B. G., Jang, H. Y., Chung, K. T. and Suh, J. S., 2007, Analysis on the Effect of Thermal Performance with Various Load Patterns for Solar Hot Water Heating System, Int. J. Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 15, No. 3, pp. 108-113.