공동주택용 태양열원 급탕시스템의 운전성능 연구

이 윤 규†, 황 인 주*
한국건설기술연구원 건축연구부, *한국건설기술연구원 화재 및 설비연구부

A Study on the Operating Performance of Solar Assisted Hot Water System for Apartment Houses

Yun-Gyu Lee†, In-Ju Hwang*
Building Research Department, KICT, Koyang 411-712, Korea
**Fire and Engineering Services Research Department, KICT, Koyang 411-712, Korea*

(Received March 6, 2003; revision received September 24, 2003)

ABSTRACT: In the present study, feasibility investigation on the solar assisted hot water supply system for apartment houses was carried out by the review of service facility and heat load pattern. Also analysis and experiment of the small sized system model were performed. This hybrid system are consists of solar collector, heat storage tank, controller, and gas boiler using LPG as a secondary heat source.

The analytical results showed a good agreement with experimental data. We found that this hybrid system could reduce the energy cost by 30% for hot water compared to typical boiler system in the apartment houses. Also we showed that this model could be used for the energy and economic analysis of the hybrid system.

Key words: Solar energy(태양에너지), Solar assisted hot water system(태양열원 급탕시스템), Solar fraction(태양 기여율), Load pattern(부하패턴), Solar collector(태양열 집열기)

기 호 설 명

A : 면적 [m^2]
C : 비열 [kcal/kg℃]
d : 원관의 직경 [m]
E : 지구의 이심률
F_R : 집열효율 수정계수
h : 대류 열전달계수 [kcal/m^2 h ℃]
k : 열전도계수 [kcal/m^2 h ℃]
k_T : 대기권 밖 일사량 대비 수평면 전일사량 비
I : 단위면적당 수평면 전일사량 [W/m^2]
I_T : 단위면적당 평면상 전일사량 [W/m^2]
I_o : 대기권 밖 태양의 일사량 [W/m^2]
k : 유체의 열전도계수 [kcal/m h ℃]
m : 질량유량 [kg/h]
Nu : Nusselt number
Ra : Rayleigh number
S_c : 태양상수
T : 온도 [℃]
U : 열손실계수 [kcal/m^2 h ℃]

그리스 문자

ρ : 밀도 [kg/m^3]

† Corresponding author
Tel.: +82-31-910-0351; fax: +82-31-910-0361
E-mail address: yglee@kict.re.kr

η : efficiency [%]
δ : 태양의 편위 [°]
ϕ : 위도 [°]
γ_s : 태양 방위각 [°]
θ : 각 [°]
ω : 시간각 [°]

하첨자

a : 주위
b : 보일러, 직달일사
c : 집열기
d : 산란일사
h : 집열계
i : 입구
in : 입력
L : 급탕계
L/T : 집열기 효율식에서 2차 항의 계수
o : 출구, 원관 외부
s : 태양, 부하 공급
st : 축열조
w : 물

1. 서 론

최근 선진국을 중심으로 환경친화적인 태양에너지(solar energy)의 보다 효율적인 활용을 위한 기술개발 및 보급방안에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있으나, 국내의 경우 상당한 기초결과가 축적되어 있음에도 불구하고 상대적으로 경제성이 낮은 자연에너지 이용에 대한 최적설계와 적용방안 등의 미비로 적극적인 활용 및 실용화에 한계를 보이고 있다.

태양열을 이용연구는 주로 집열기의 성능 최적화 분야에 관심과 연구가 집중되어 평판형 집열기에서 집열관의 피치(pitch)나 흡수면 두께 등의 핀효율(fin efficiency) 이론을 도입하여 최적설계 인자를 도출하려는 시도가 큰 비중을 차지하였다. 또한, 집열시스템의 최적운전을 위한 제어기법에 있어서도 시스템 구성이나 적용대상에 따라 차온제어, 집열판 온도에 따른 제어, 일사량에 따른 제어 등 많은 제어이론이 적용되고 있으나 최근에는 대부분 차온제어기법을 적용하고 있다.[1,2]

또한 태양열원 이용시스템의 경우, 부하 및 일사조건의 불일치로 인하여 축열조를 필요로 하게 되는데, 이러한 축열조에 관한 연구는 선행 연구자들에 의하여 확립되어 있다고 볼 수 있다.[2,6]

그러나 상대적으로 경제성이 낮은 태양에너지의 실용화를 위한 시스템 최적설계와 적용방안 등에 관한 연구는 단독주택 등의 단순구조의 자연형 급탕을 위주로 진행되어지고 있으며, 시스템의 최적설계를 위한 선행연구로 태양열시스템의 제어와 급탕 및 난방시스템의 연간 성능평가에 관한 연구 및 실증실험이 이루어지고 있으며 일부가 주거 분야에 적용되어지고 있다.[1,5]

한편, 일부 해석 프로그램 등을 이용한 자연형 태양열시스템의 연간 성능평가나 경제성 평가에 대한 연구가 진행된 바 있으나 국내 공동주택을 대상으로 수행한 연구사례나 결과들은 다소 미비한 실정이다.[2,5] 이와 같은 기초 및 응용연구 외에도 제반 환경특성과 가용 일사량 등을 고려한 태양열원시스템의 구성과 설계가 필요하며, 적용시스템의 이용률 증대를 통한 경제성 향상을 위하여 보조열원과의 연계 및 통합제어기술의 개발이 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 단순구조를 갖는 설비형 태양열원 급탕시스템의 공동주택 적용시에 집열면적 및 미관상 집열경사각의 제한과 실측한 급탕 부하패턴을 고려하여 운전특성을 예측하였다. 이러한 적용효과를 분석하기 위하여 TRNSYS 해석모델 및 실험장치를 구축하였으며, 실측된 급탕 부하패턴을 적용하여 시스템의 성능평가 및 연간 에너지소비형태 등에 관한 기초적인 자료를 도출하였다.

2. 시스템 모델링 및 검증실험

본 연구에서는 공동주택 발코니형 태양열원 이용시스템의 특성해석을 위해 난방 계통을 배제한 급탕 전용시스템을 고려하였다. 그리고 TRNSYS 프로그램을 이용한 시스템 해석 및 소규모 시뮬레이터를 제작하여 검증실험을 수행하였다.

2.1 시스템 구성 및 모델링

2.1.1 시스템 구성

주요 모듈 및 구성요소는 Fig. 1에, 시스템을

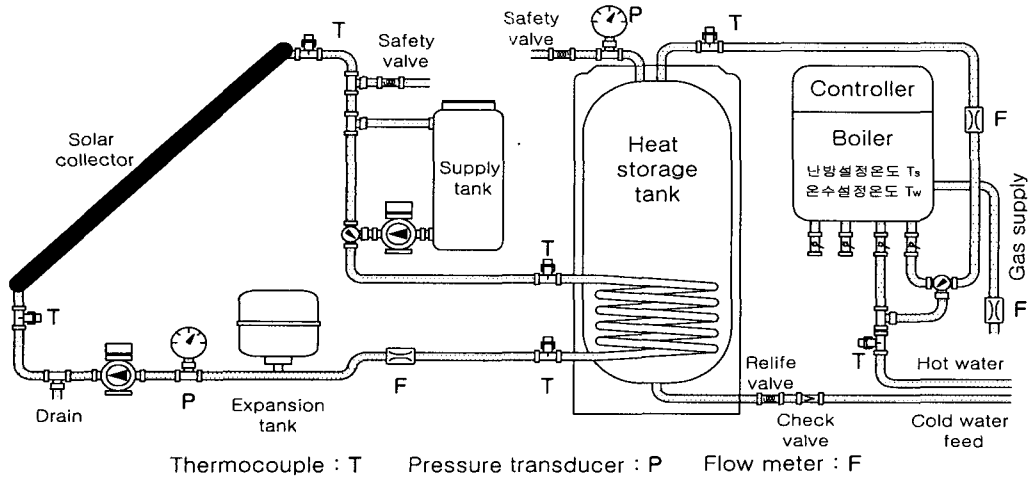

Fig. 1 The schematic diagram of a solar assisted hot water system.

구성하는 세부요소의 사양과 운전조건은 Table 1에 나타내었다. 시스템을 구성하는 요소의 특징을 살펴보면 집열기의 집열판과 열매가 순환하는 동관을 초음파 용접하는 방식을 고려하였으며, 축열조는 200 L 용량으로 내부 열교환 코일을 가지는 형식으로 고려하였다. 또한 시스템 제어기법은 차온제어신호에 따른 on/off 방식으로 8℃의 온도차 발생시 운전되고, 3℃의 온도차 이하에서는 정지하도록 설정하였다. 이와 같은 해석대상을 선정하고 구성요소별로 적합한 TRNSYS 해석모듈을 선정하여 Fig. 2에서와 같이 시스템에 대한 해석모델을 구현하였다.

Table 1 System specification for simulation

			Specification
Collector	Type		Flat plate
	Area		4.8 m^2
	Flow rate		60 kg/hr·m^2
Storage tank	Capacity		200 L
	Height		1.27 m
	Inlet		0.05 m
	Outlet		1.22 m
	Heat exchange	Length	30 m
		Diameter	15 m
		Material	Cu
		Inlet position	0.1 m
		Outlet position	0.4 m
Control	ΔT_on		8℃
	ΔT_off		3℃

2.1.2 일사량 계산

본 연구에서는 Reindl이 개발한 확산일사 관계식을 기초로 직달일사와 산란일사를 일정비율로 계산하는 Liu and Jordan correlation을 사용하였다.[6] 먼저, 대기권 밖의 일사량은 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며, 실제로 지구상 수평면에 도달한 전일사량과의 비(k_T), 즉 청명계수는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_o|_{\omega'}^{\omega''} = \int_{\omega'}^{\omega''} S_c E \cos\theta_z \, d\omega \tag{1}$$

여기서, $\cos\theta_z = \sin\delta\sin\phi + \sin\phi\cos\delta\cos\omega$,

$\sin\gamma_s = \dfrac{\cos\delta\sin\omega}{\sin\theta_z}$ 이다.

$$k_T = \frac{I}{I_o} \tag{2}$$

본 연구에서 설정한 TRNSYS 해석모듈 Type 16은 k_T의 범위에 따라 전일사량에서 확산일사량을 다음과 구할 수 있으며, 집열기의 경사각에 따라 환산하여 이용한다.

(1) $0 \le k_T \le 0.3$, $I_d/I \le 1.0$인 경우

$$I_d/I = 1.020 - 0.254\,k_T + 0.0123\sin(\alpha)$$

(2) $0.3 \le k_T \le 0.78$, $0.1 \le I_d/I \le 0.97$인 경우

$$I_d/I = 1.400 - 1.749 k_T + 0.177 \sin(\alpha)$$

(3) $0.78 \le k_T$, $0.1 \le I_d/I$인 경우

$$I_d/I = 0.486 k_T + 0.182 \sin(\alpha)$$

2.1.3 집열량 계산

일반적으로 태양열 집열기의 열성능을 평가하는 효율계산에 있어 흡수 표면의 평균 온도를 구하기가 어렵기 때문에 집열기 입구온도와 집열효율수정계수(F_R)를 사용하여 식(3a)를 주로 이용한다. 식(3b)는 식(3a)에서 집열효율수정계수(F_R)와 투과율(τ), 흡수율(α), 열손실계수(U_L) 등으로 표시되는 차원군을 순서대로 묶어서 각각 a_0, a_1, a_2로 나타내었다.

$$\eta = \frac{Q_u}{AI_T} = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_T} - F_R U_{L/T} \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \quad (3a)$$

$$\eta = \frac{Q_u}{AI_T} = a_0 - a_1 \frac{(T_i - T_a)}{I_T} - a_2 \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \quad (3b)$$

2.1.4 축열량 계산

축열조에 저장되는 열량은 식(4)와 같으며, 이는 열매체, 온수급탕, 그리고 주위와의 온도차에 의한 열손실의 합으로 표현된다.

$$\dot{Q}_t = \dot{Q}_{st} - \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{env} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_L C_p (T_l - T_L)$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_h C_p (T_h - T_N) \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{env} = \sum_{i=1}^{N} UA_i (T_i - T_{env})$$

2.1.5 열교환기 열전달계수

축열조 열교환기에서 열전달계수는 Nusselt 수, Rayleigh 수, 상수(C, n) 등에 의해서 결정되어진다. 본 연구에서는 축열조 열교환기에 일반적으로 적용되는 상수로 C=0.5, n=0.25를 사용하였다.

$$h_o = \frac{\mathrm{Nu}_D(k)}{d_o}, \quad \mathrm{Nu}_D = C\mathrm{Ra}^n \quad (6)$$

2.2 해석조건 및 방법

일반적인 평판형 집열기를 대상으로 식(3b)를 활용하여 효율을 계산하였으며, 이때 각 상수는 TRNSYS 매뉴얼에서 제시하는 a_0=0.7, a_1=15, a_2=0을 각각 적용하였다. 축열조에서의 열손실을 0.72 kcal/h · m^2℃, 펌프의 운전에 의한 발열은 없는 것으로 가정하였고, 급탕부하는 공동주택단지를 대상으로 조사한 지역난방공사의 자료를 토대로 동절기 및 하절기의 평균 급탕 부하패턴을 Fig. 2와 같이 수정하여 적용하였다.[3]

계산결과의 수렴조건을 0.001 이하로 설정하여 계산을 수행하였다. Fig. 3은 해석모델 각 요소를

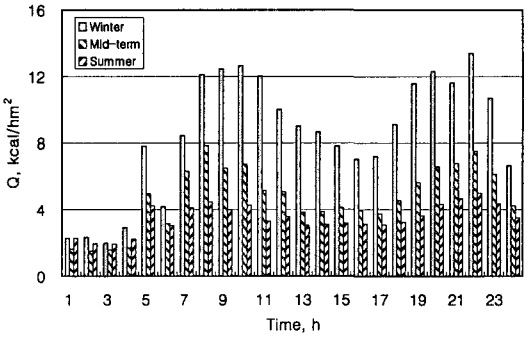

Fig. 2 The load pattern of hot water.

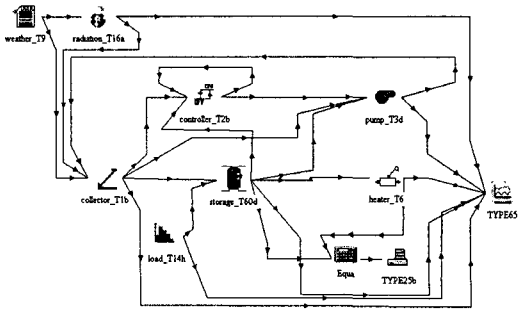

Fig. 3 The diagram of TRNSYS model.

통합하여 하나의 해석모델로 구현한 상태를 도식적으로 보여주고 있다.

2.3 실험장치 및 방법

시뮬레이션 결과를 검증하기 위한 검증용 시뮬레이터를 Table 1과 같은 사양으로 Fig. 4와 같이 제작하여 해석결과와 비교하였다. 시뮬레이터는 설비형 시스템으로 급탕과 난방 계통 회로의 변경이 가능하며, 또한 운전특성 비교를 위해 별도의 가스보일러를 추가설치하여 독립운전하였다.

집열기는 선택 흡수판과 헤더에서 분배되는 동관을 초음파방식으로 용접한 사양을 적용하였으며, 단위모듈당 약 2.4 m^2의 집열판 2개를 단독적 및 병렬로 이용 가능하도록 하였다. 집열기의 설치경사각은 45~90° 범위에서 수동으로 변경이 가능하도록 하였다. 본 연구에서 집열경사각은 시뮬레이션을 통하여 동계집열량을 극대화할 수 있도록 60~70°로 유지하였다.

집열기 입구 및 출구에 삽입형 열전대를 부착하였고, 집열기 입구측 배관에 계측 및 기록이 가능한 유량계를 설치하였다. 축열조는 스테인레스강을 사용하여 제작하였으며, 축열조 측면과 상부에 열교환기 입출구를 두었다. 집열 계통의 열교환기는 동재질의 코일을 축열조 내부에 설치하였다. 급수입구 및 축열조 출구에 유량계 및 삽입형 열전대를 설치하였으며, 축열조의 과도응답특성을 파악하기 위하여 축열조 중심에 일정한 높이별로 열전대를 삽입하였다.

본 실험장치의 집열 및 축열제어기는 축열조 하부온도와 집열기 출구온도의 차이를 이용하여 순환펌프를 작동하도록 되어 있으며, 보일러 급탕 출구 배관에 전동밸브와 시간별 일정 설정이 가능한 디지털 타이머(digital timer)를 설치하여 급탕 부하패턴을 변화시킬 수 있도록 하였다.

급탕부하는 전용면적 80 m^2를 기준으로 하여 Fig. 2에 도시한 부하패턴을 적용하였으며, 절대량을 2~3배로 변화시켜 가며 실험을 수행하였다. 실험결과는 시스템 요소별 온도와 유량을 측정하여 추가 설치되어 독립적으로 운전되는 보일러와 부하패턴에 대하여 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

이상과 같이 TRNSYS 프로그램 및 시뮬레이터를 이용하여 공동주택을 대상으로 해석 및 실험을 수행하였으며, 결과 및 고찰은 다음과 같다.

3.1 해석모델의 타당성 평가

먼저 기상청 평균 기후 데이터와 유사한 일사량을 보이는 날의 실험결과를 이용하여 Fig. 5와 같이 해석모델의 타당성을 검증하였다.

Fig. 5에 나타낸 바와 같이 집열온도가 오후 3시까지 지속적으로 상승하여 55℃ 전후까지 증가하였다. 이는 주간 급탕부하가 작고 일사량이 많기 때문으로 분석되며, 이후 일사량의 감소와 급탕부하의 증가로 인하여 집열기 온도가 감소하는 현상을 보였다. 축열조 온도는 오후 9시까지 50℃ 정도로 유지되었으며, 이후 감소하는 경향을 보였다. 그리고 집열기와 축열조 출구에서 일부 구간을 제외하고는 5℃ 전후의 온도편차를 나타

Fig. 4 The appearance of a experimental apparatus.

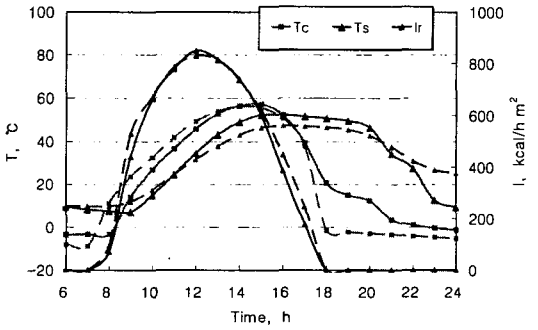

Fig. 5 Comparison of analytical and experimental results (solid line: experiment, dashed line: analysis).

내고 있으며, 주간의 축열조 온도를 기준으로 비교한 결과 10% 전후의 오차를 보이고 있다. 이는 입력데이터의 미소한 차이와 외기온도의 불일치에 따른 결과로 판단되며, 전체적인 해석모델의 결과는 신뢰할 수 있는 것으로 평가되었다.

3.2 해석결과

Fig. 6은 유사한 일사조건에 대하여 Fig. 3의 급탕 부하패턴을 적용하였을 경우 태양열원 급탕시스템의 운전효과를 나타낸 결과이다. 자정부터 오전 8시 사이에는 급탕부하의 대부분을 보조보일러에서 감당하고 있으며, 오전 9시 이후에 일사량의 증가와 함께 전체 부하의 상당부분을 태양열원에 의해서 공급할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 주간 12시부터 태양열원에 의한 급탕 공급량이 보조열원에 의한 공급량보다 많음을 알 수 있다. 이러한 현상은 야간인 오후 9시를 전후하여 다시 반전되는 현상을 보였다.

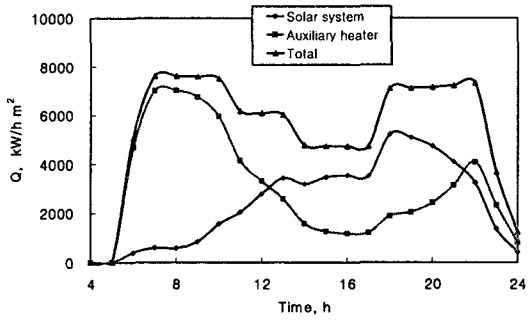

Fig. 6 The daily energy consumption of solar assisted hot water system.

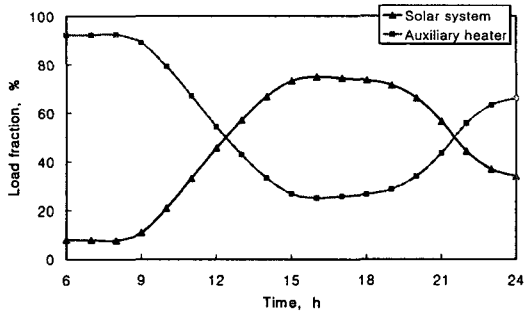

Fig. 7 The load fraction with heat sources.

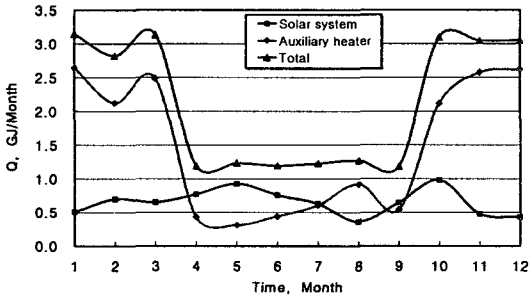

Fig. 8 The annual energy consumption of solar assisted hot water system.

Fig. 7은 일간 전체 부하에 대한 열원시스템별 기여도를 나타낸 결과로서 태양열원 급탕시스템에 의한 급탕 기여도는 오전 9시부터 점차 증가하여 오후 3시경 정점에 도달하며, 오후 7시경 다시 감소하는 경향을 보인다. 이는 주간의 잉여축열량으로 야간의 일부 급탕량을 충족할 수 있음을 보여주는 사례로 볼 수 있다. 그리고 동계 청명일의 경우, 하루 중 전체 열량의 44%를 태양열시스템에서 공급하고 나머지 56%의 열량은 보조열원시스템에서 공급되는 것으로 계산되었다.

Fig. 8은 동계와 하계의 부하패턴에 따른 태양열시스템의 연간 운전특성을 나타낸 것으로서, 운전특성은 기상청 실측데이터를 적용하였기 때문에 청명일 기준 태양열시스템의 급탕 기여도 44%보다 작은 값을 나타내었고 집열경사각 70°에서 동계와 하계 일사량 편차가 비교적 작아 급탕 공급량이 연중 고르게 나타남을 알 수 있다.

본 연구에서 적용한 공동주택 부하패턴에서 태양열원 급탕시스템은 전체 급탕부하 중 약 30% 정도를 공급하는 것으로 계산되었다.

3.3 실험결과 평가

먼저 Fig. 9는 동계 외기온도가 5℃ 전후로 유

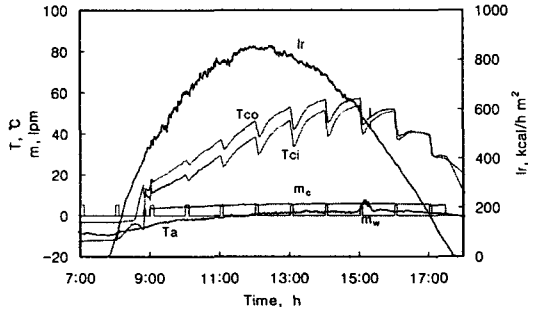

Fig. 9 The operating characteristics of solar collector.

지되는 청명일 집열기의 운전특성을 나타낸 결과이다. 비교적 양호한 일사조건에서 오전 9시 이후부터 집열시스템의 순환펌프는 연속적으로 작동되고 있음을 알 수 있다. Fig. 9에서 급탕부하가 부가될 경우, 축열조 하부에서 공급되는 낮은 온도의 급수와 열교환이 이루어짐으로써 집열기 입구 및 출구온도가 급격히 변화함을 볼 수 있다. 그리고 집열기 온도는 지속적으로 증가하는 경향을 보이는데, 이는 오전부터 일사량이 점증하고 있지만 주기적으로 부가되는 급탕 부하량은 집열량에 비하여 상대적으로 작기 때문이다.

본 연구에서 수행한 동절기 연구결과에서 순간적인 집열기 최고효율은 약 60%까지 상승하는 것으로 계산되었으며, 이는 집열펌프의 가동 유무, 입출구 온도차의 지연시간, 천이상태 등에 의한 영향으로 판단된다. 전일사량 대비 실제로 축열조에 저장된 열량을 기준으로 계산한 결과 본 연구에서 설계 및 적용한 시스템의 전반적인 효율은 동계 평균 42% 정도로 나타났다.

Fig. 10 및 Fig. 11은 축열조 내부의 열교환 방식에 따른 과도응답특성을 파악하기 위하여 각각

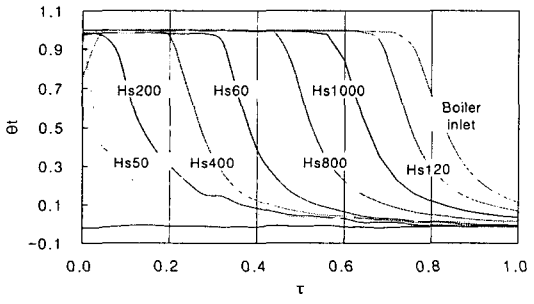

Fig. 10 Discharging characteristics of storage tank (open circuit).

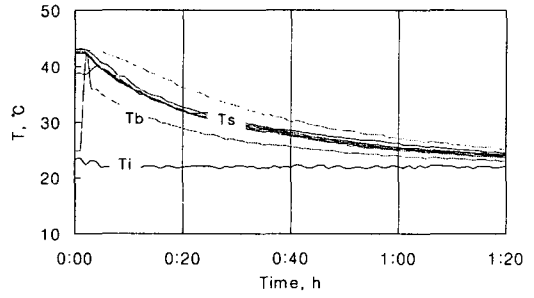

Fig. 11 Discharging characteristics of storage tank (closed circuit).

직수 공급형(개방형)과 내장 코일형(폐쇄형)을 적용한 경우이다. 먼저 Fig. 10은 축열조 초기 온도를 50℃로 설정하고 약 23℃의 급수를 8 lpm의 유량으로 공급하는 동안 과도응답특성을 무차원화하여 도시한 결과이다. 이때 축열조에 저장된 고온수는 출구를 통하여 방출되고, 동시에 급수가 축열조 하부로부터 공급된다. Fig. 10에서 고온수의 방출과 저온급수의 유입에 따라 각 위치별 온도가 점진적으로 감소하는 결과를 보이고 있다. 보일러 입구로 연결되는 축열조 출구에서의 온도는 방출유량에 따라 일정시간 동안 초기 온도를 유지하는 결과를 보였다.

그리고 축열수의 온도가 감소하기 시작하여 급수온도에 접근하는 데 걸리는 시간은 전체 방출시간의 약 80%로 나타났는데, 이는 급탕에 적용 가능하다고 판단되는 4~8 lpm의 범위에서 80~85%의 방열특성을 보였다.

다음으로 Fig. 11은 폐쇄회로로 구성된 시스템의 방열시 축열조 내부 및 출구의 과도응답특성을 나타낸 결과이다. 축열조 내부의 온도가 전체적으로 완만한 감소율을 따라 감소한다. 축열조에 저장된 열량을 모두 방열하는 데 소요된 시간은 개방회로의 3배 이상의 시간이 소요되는데, 이는 방열시간 증가에 의한 열손실이 증가하고 온수의 온도가 축열조 내부의 온도보다 낮게 되어 열적인 비효율성을 볼 수 있다.

이와 같이 개방형과 폐쇄형을 비교한 결과, 일상 부하에서 30분 이상 급탕을 사용하는 부하패턴이 적은 것을 감안하면, 개방회로의 적용이 태양열원 급탕시스템의 운용에 보다 적합한 것으로 판단된다. 그러나, 합리적으로 안전성을 고려한다면, 보일러 자체적으로 일정한 온도 또는 유량을 제어할 수 있는 기능을 갖추는 것이 필요하다.

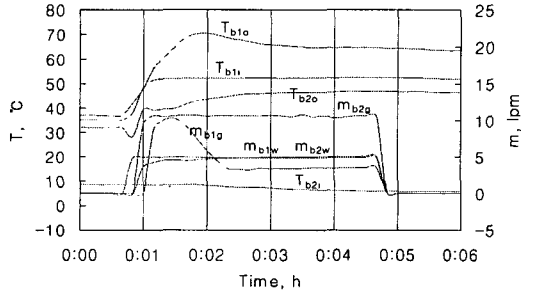

Fig. 12 Operating characteristics of boilers.

Fig. 12는 태양열원 연계형 급탕시스템의 보일러와 독립적인 가스보일러의 운전특성을 동시에 비교한 결과이다. 이때 적용한 보일러는 온수의 온도에 따라 가스량이 비례 제어되는 기능을 갖추고 있다. 급수 직결식 축열조를 갖춘 태양열원 연계 보일러와 독립 보일러의 경우, 모두 초기에는 동일하게 가스소비량이 증가하는 경향을 보였으나, 일정시간이 지난 이후에 태양열원 연계 보일러의 경우 운전 후 약 30초 후부터 가스소비량이 감소하는 경향을 나타내었다.

태양열원 연계 보일러의 이러한 경향은 운전 후 약 1분 후에는 독립적으로 운전하는 보일러에 비하여 약 1/3 수준으로 감소하는 현상을 관찰할 수 있었다. 이러한 가스소비율은 급탕 부하패턴의 절대량이 증가함에 따라 태양열원 연계시스템의 기여율은 감소하나 축열조 내부의 온도 감소에 따른 시스템의 효율 증가로 인하여 부하패턴별 절대량에 따라 가스보일러에 의한 공급열량이 11,214~12,157 kcal 가량 증가하는 경향을 보였다.

이러한 가스소비량 감소는 보일러의 운전 및 제어방식에 따라 보다 향상시킬 수 있으며, 보일러로 공급되는 온수의 온도나 유량 등에 따라 보다 정교한 제어기법이 요구된다.

Fig. 13은 실제 측정한 급탕부하패턴을 인위적으로 적용하였을 경우, 태양열원 급탕시스템의 기여도를 일간 시간대별로 도시한 결과이다. 공동주택에서 태양열원 급탕시스템의 경우 일사량 및 급탕부하에 따라 주간 12시 전후에 기여도가 증가하기 시작하였으며, 잉여열량을 이용하여 오후 6시 이후 야간에 기여도가 크게 나타나는 특징을 보였다. 공동주택에서 측정한 급탕 부하패턴의 경우에 약 48%의 급탕부하를 공급하는 것으로 계산되었으며, 부하 절대량을 2배로 증가시켰을 경우, 약 27%의 기여도를 나타내었다. 이러한 결과는 TRNSYS 프로그램을 이용한 해석모델에서 도출한 Fig. 6과 유사한 결과를 보였다.

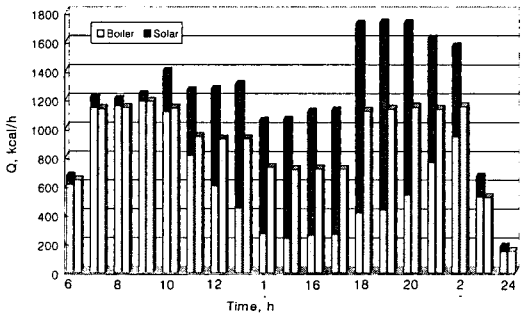

Fig. 13 Solar fraction for the hot water supply (load pattern I).

4. 결 론

이상과 같이 공동주택의 제한요소 및 부하특성을 고려하여 태양열원 급탕시스템의 운전특성 및 적용효과를 해석하고 실험을 통해 평가함으로써 다음과 같은 주요 결론을 도출하였다.

(1) 해석모델과 실험결과는 오차범위 10% 전후에서 유사한 결과를 보이고 있으며, 이러한 결과를 기초로 평가한 공동주택의 태양열원 급탕시스템의 연간 운전성능 결과는 그 신뢰성이 높은 것으로 판단된다.

(2) 동계 청명일에 공동주택에서 측정한 실제 급탕 부하패턴에 대한 분석결과, 태양열에 의한 급탕 공급비율이 45% 이상 상회하는 결과를 보였으며, 부하 절대량을 2배 가량 증가시킴에 따라 기여도가 약 25%까지 감소하는 결과를 보였다.

(3) 실측한 공동주택 급탕 부하패턴에 대한 태양열원 급탕시스템의 연간 운전성능을 분석하여 본 결과, 연간 약 30% 이상의 에너지절약 효과를 나타냄으로써 적절히 설계가 보완될 경우, 경제적인 시스템 구성이 가능할 것으로 판단되었다.

향후, 보다 정교한 모델링과 정확한 상수값의 적용을 통하여 구체적인 경제성 평가자료를 제시하고자 한다.

참고문헌

1. Argirioul, A. and Klitsikas, N., 1997, Active solar space heating of residental buildings in morthern Helas－a case study, Energy and Buildings, Vol. 26, pp. 215-221.
2. Homme, T. P. and Gillet, D., 2001, Advanced control strategy of a solar domestic hot water system with a segmented auxiliary heater, Energy and Buildings, Vol. 33, pp. 463-475.
3. Alizadeh, S., 1999, An experimental and numerical study of thermal stratification in a horizontal cylindrical solar storage tank, Solar Energy, Vol. 66, No. 6, pp. 409-421.

4. Hong, H. K. and Kim, H. K., 1986, A study on thermally stratified hot water storage tank in a solar heating system, Journal of SAREK, Vol. 15, No. 1, pp. 87-96.
5. Ji, M. K., Kong, T. W. and Bae, H. M., 2000, Study on the heat collecting performance of flat-plate solar collector by the angle, Proceeding of the KSME 2000 Spring Annual Conference, pp. 316-321.
6. Hwang, I. J., Shin, H. J. and Lee, H. C., 2002, An experimental study on the operating performance of solar assisted heat supply system for apartment houses, Proceedings of SAREK 2002 Summer Annual Conference, pp. 554-562.