

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 27, No. 2, 2007

지붕대체형 집광집열기를 이용한 태양열 난방시스템의 동절기 성능 평가

김용기*, 이태원*, 윤광은**

*한국건설기술연구원 화재·설비연구부(kimyk@kict.re.kr / twlee@kict.re.kr),
**(주)찬성에너지(chansung@solareng.com)

A Study on the Field Test of the Solar Heating System with Parabolic Solar Collectors Integrated the Roof of a Residential Building

Kim, Yong-Ki*, Lee, Tae-Won*, Yoon, Kwang-Eun**

*Fire & Engineering Services Research Dept., Korea Institute of Construction Technology
(kimyk@kict.re.kr / twlee@kict.re.kr),
**Chansung Energy Co., Ltd.(chansung@solareng.com)

Abstract

The final energy consumption in the building sector in Korea represents almost 20% of the total energy consumption. Besides, Space heating and hot water generation in Korea are based on fossil fuels, with a serious environmental impact. Despite the popularity of simple solar domestic hot water systems, active solar space heating remains, for various reasons, marginal. And thus, the aim of this paper is to demonstrate potentialities of solar assisted space heating systems, both technically and economically. From this study found that the solar heating system with CPC solar collectors integrated the roof of a single-story residential building shares 50~55% of the annual heating load.

Keywords : 태양열 난방시스템(Solar heating system), 성능 평가(Performance evaluation), 집광형 집열기(Compound parabolic concentrator), 태양열 의존율(Solar fraction)

기 호 설 명

SR : 일사량(W/m²)
T_{a,ave} : 주축열조 평균 온수온도(°C)

T_{a,aux} : 보조축열조 온수온도(°C)
T_{c,s} : 집열기 입구온도(°C)
T_{c,r} : 집열기 출구온도(°C)
T_{h,s1} : 축열조 난방용 출구온도(°C)
T_{h,s2} : 보조보일러 난방용 출구온도(°C)
T_{h,r} : 난방 환수온도(°C)

접수일자 : 2007년 4월 16일, 심사완료일자:2007년 6월 7일
교신저자 : 김용기(kimyk@kict.re.kr)

- T_{hi} : 실내온도(°C)
- FR_c : 집열기 순환유량(L/min)
- FR_h : 난방수 순환유량(L/min)
- FR_o : 오일 유량(L/h)
- Q : 시간당 공급열량(kcal/min)

1. 서 론

지금까지 국내에서의 태양열에 관한 연구개발은 건물에서의 급탕을 위한 온수기 및 집열기 자체의 성능향상을 주로 다루어왔다. 그러나 건물에서의 에너지 소비는 급탕부문보다는 난방부문에서 훨씬 크며, 평판형 집열기의 경우, 집열성능이 예전보다 많이 향상되어 어느 정도의 수준에 도달한 것으로 판단된다. 따라서 이제는 건물분야에서의 신재생에너지의 도입을 위하여 태양열 이용 난방시스템의 도입이 필요한 실정이며, 집열기의 성능 향상보다는 시스템에 대한 연구를 강화해야 할 것이다. 한편, 건물 난방에서의 태양열 의존율을 향상시키기 위해서는 무엇보다도 집열기 설치면적을 확대시킬 수 있는 방안을 강구하여야 하며, 가장 좋은 방법은 지붕 등을 이용한 건물일체형으로 집열기를 설치하는 것이다. 최 등¹⁾이 공동주택의 지붕을 이용하여 태양열 이용 난방 및 급탕 시스템에 대한 연구를 수행하였으나, 집열기를 기존 지붕 위에 설치하였으며, 설치된 집열기 면적은 전체 공동주택 난방 및 급탕 부하에 비하여 너무 협소한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지붕대체형 집광집열기를 이용한 난방시스템을 전용면적 82.5 m² 규모의 단독주택에 설치하고, 난방 실증실험을 수행함으로써 집광집열기의 열성능을 분석하고, 외기온도에 따른 시스템의 태양열 의존율을 분석하고자 한다. 또한, 에너지 절감에 의한 태양열 난방시스템의 경제성을 분석하였다.

1) 산업자원부, 공동주택의 태양열이용시스템 보급을 위한 적용 방안 연구, 산업자원부 연구보고서 2001N-SO02-P-02, 2004.

2. 태양열 이용 난방시스템의 설계

2.1 집열면적의 설계

실험주택에 설치하고자 하는 집열기의 소요 면적 및 난방시스템의 용량을 계산하기 위해서는 먼저 해당 건축물에 대한 난방부하를 계산하여야 한다. 본 연구에서는 실험주택에 대한 난방부하를 얻기 위하여 외기온도에 따라 건물의 실내온도를 22°C로 유지할 수 있는 공급열량을 실험을 통하여 구하였다. 실험 대상건물은 한국건설기술연구원 내 위치한 실험주택 1층(전용면적 82.5m²)이며, 측정기간은 2005년 3월 15일부터 2005년 4월 7일까지이다. 그림 1은 위의 실험으로부터 얻은 결과

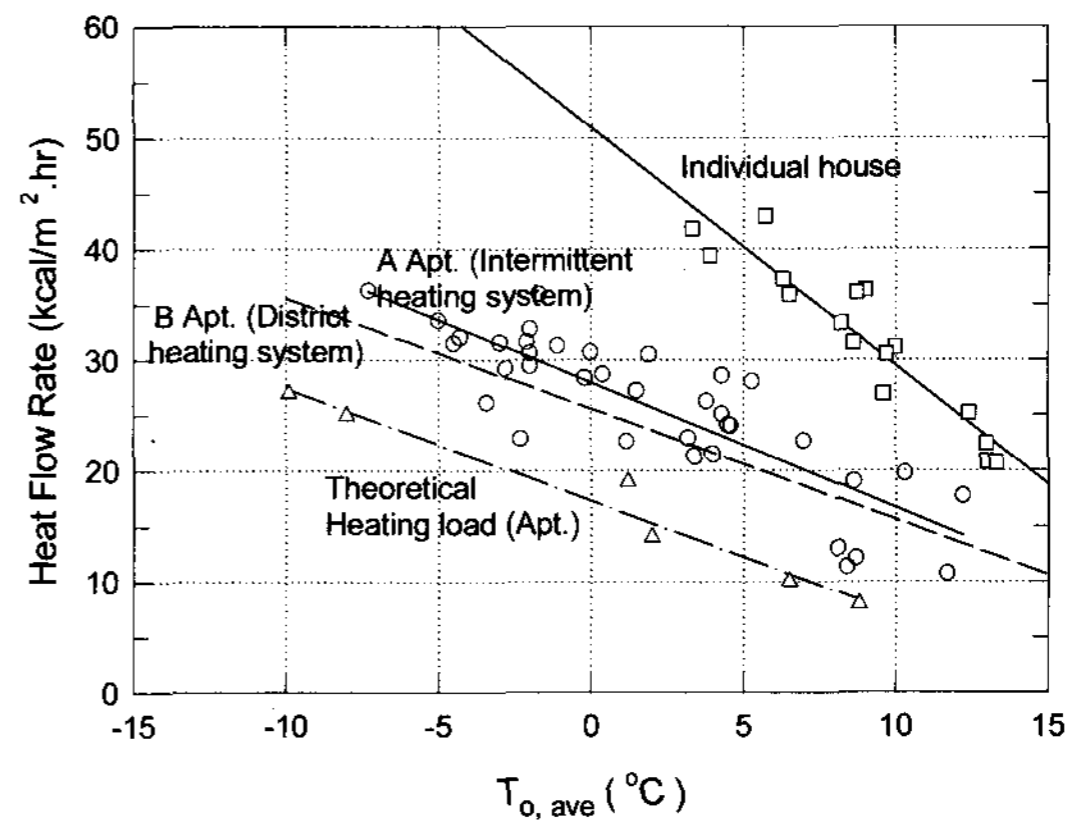


그림 1. 실험주택과 공동주택의 단위 난방부하 비교

로서, 실험주택 및 공동주택에 있어서의 외기온도에 따른 단위 난방부하를 보여주고 있다. 실험주택은 단독주택으로써 공동주택보다 난방부하가 높음을 볼 수 있다. 즉, 실험주택의 단위 난방부하는 공동주택의 실측 단위 난방부하보다 약 1.5~2.0배 높다. 따라서 단독주택에서의 난방에너지 소비량은 공동주택보다 많고, 이에 따라 집열기 소요면적도 커져야 함을 알 수 있다.

실험주택(1층) 난방부하 실측결과, 일간 최저 외기온도가 난방부하 설계기준 외기온도(서울 기준)

인 -11.3°C 일 경우의 최대 난방부하는 $128,874 \text{ kcal/day}$ 이며, 단위 난방부하($59.8 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$, 단독주택, 60m^2 초과, 수도권 기준)를 이용하여 계산한 $114,816 \text{ kcal/day}$ 과 12.2% 의 오차를 보인다. 위의 난방부하 측정 실험결과를 토대로 집열기의 설치 면적을 설계하였다. 중부지방 평균 경사면 일사량이 $2,300 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{day}$ 이고, 집열기 효율을 55% 라고 가정하였을 경우의 일간 집열 열량은 $1,265 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{day}$ 이다. 따라서 실험주택 1층 난방을 위한 집열기의 소요면적은 일간 최대 난방부하를 일간 집열 열량으로 나누면 101.9 m^2 에 달한다. 집열기 1장당 면적이 6 m^2 이므로 실험주택의 최대 난방부하를 만족시키기 위한 집열기의 수는 17장이 소요된다. 실제 실험주택에 적용한 집열기는 최대난방부하의 40% 수준을 부담할 수 있도록 42 m^2 (7장)를 설치하였다.

2.2 집열기의 경사각, 방위각 및 순환유량 설계

집열기의 경사각 및 방위각은 태양열 이용 시스템의 효율을 결정하는데 있어 아주 중요한 요소이다. 태양에너지 핸드북²⁾에서는 일반적으로 집열기의 설치 방위각은 정남향을 원칙으로, $\pm 20^{\circ}$ 의 변위를 가질 수 있으며, 태양열 난방시스템의 경우, 집열기 설치 경사각은 그 지방의 위도 $\pm 10^{\circ}$, 급탕의 경우는 그 지방의 위도를 기준으로 하되, 각각 $\pm 15^{\circ}$ 의 변위를 가질 수 있다고 명시하고 있다. 그림 2는 강원도 홍천(위도 37.68°)에서의 정남향에서의 월별 경사면 일사량²⁾을 도시하고 있다. 겨울철 일사량은 경사각 40° 와 50° 에서의 약 4% 미만의 차이를 보이고 있다. 고양시의 위도 및 경도는 북위 37.38° , 동경 126.51° 이므로 홍천에서의 월별 경사면 일사량과 유사한 경향을 가진다. 위의 결과 및 건축적인 측면을 고려하여 실험주택에 설치되는 집열기의 설치 경사각은 42° 로 선정하였다.

그리고 실험주택의 방위각은 정남향이다.

집열기의 설계유량은 태양에너지 핸드북²⁾에서 제시한 집열면적 1 m^2 당 약 0.015 L/s 와 최 등³⁾이 제시한 집열면적 1 m^2 당 약 $0.013 \sim 0.017 \text{ L/s}$ 를 고려하여, 집열기 1장당 5.4 L/min 으로 하였다. 집열기는 7장이 병렬로 연결되어 있으며, 집열기 장당 유량이 동일하게 흘러갈 수 있도록 관경을 32A, 25A, 20A로 구분하여 설계하였다.

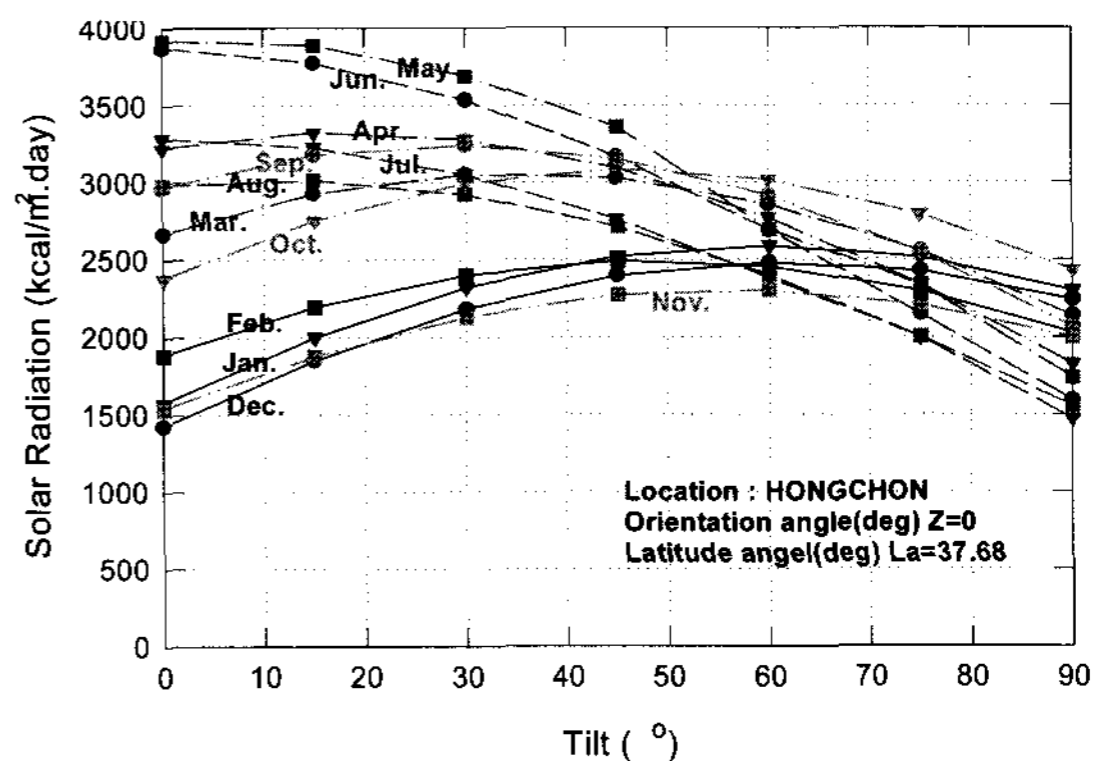


그림 2. 경사각에 따른 일사량의 변화(위치 : 홍천)

3. 실험장치 및 방법

태양열 이용 난방시스템은 크게 집열부, 축열부 및 이용부로 구분될 수 있으며, 세부 사양은 표 1과 같으며, 그림 3은 지붕대체형 집광집열기가 설치된 실험주택의 모습을 보여주고 있다. 그림 4는 본 연구에서 설치한 태양열 이용 난방시스템의 계통도를 보여주고 있다.

그림 5는 집광집열기의 구조를 도시하고 있다. 집열기는 폭 1m 와 길이 6m 의 구조체로서, 집광판(반사판), 집열핀 및 집열관으로 이루어져 있으며, 집열기 하단에는 그라스울로 단열되어 있다. 집열기는 1장당 직경 8 mm 의 4개의 지관이 있다.

축열조는 주축열조(용량 $1,200 \text{ L}$) 1개, 보조축

2) 한국태양에너지학회, 태양에너지 핸드북, 1991, pp. 201~208, 325.

3) 산업자원부, 공동주택의 태양열이용시스템 보급을 위한 적용방안 연구, 산업자원부 연구보고서 2001N-SO02-P-02, 2004.

열조(용량 800 L) 2개를 설치하였으며, 축열조 용량을 집열 면적당 28.6 L/m²(1,200 L), 47.6 L/m² (2,000 L) 및 66.7 L/m²(2,800 L)로 변경하면서 실험을 수행하였다. 축열조는 열손실을 줄이기 위하여 두께 50 mm의 암면으로 단열을 하였다. 집열기 및 축열조는 개방형으로 설치되어 있어, 열매체가 직접 집열기와 축열조를 순환한다. 동파방지를 위하여 집열기 내의 배관을 충분히 경사지게 하여, 순환펌프가 정지할 시 집열기의 내의 열매체가 바이패스 배관을 통하여 축열조 내로 빠지게 된다. 열매체는 물을 사용하였다.



그림 3. 태양열 난방시스템이 설치된 실험주택의 모습

표 1. 실험주택에 설치된 태양열 난방시스템의 규격

구분	규격
집열기의 형태	CPC (Compound Parabolic Concentrator) type (집열면적: 6 m ² /EA×7 EA= 42 m ²)
집열기 순환유량	48 L/min
축열조의 용량	주축열조: 1,200 L × 1 EA 보조축열조: 800 L × 2 EA
보조 난방 방식	유류보일러 (용량: 30,000 kcal/hr)
난방 방식	바닥복사난방 (난방면적: 82.5 m ²)
난방 공급수 온도	45±1℃
실내 온도	20℃

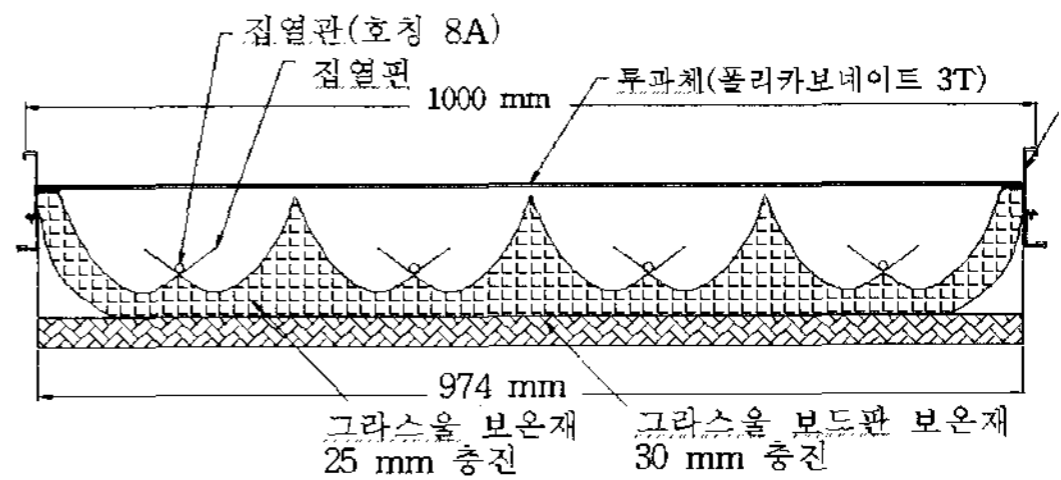


그림 5. 집광집열기의 단면 구조

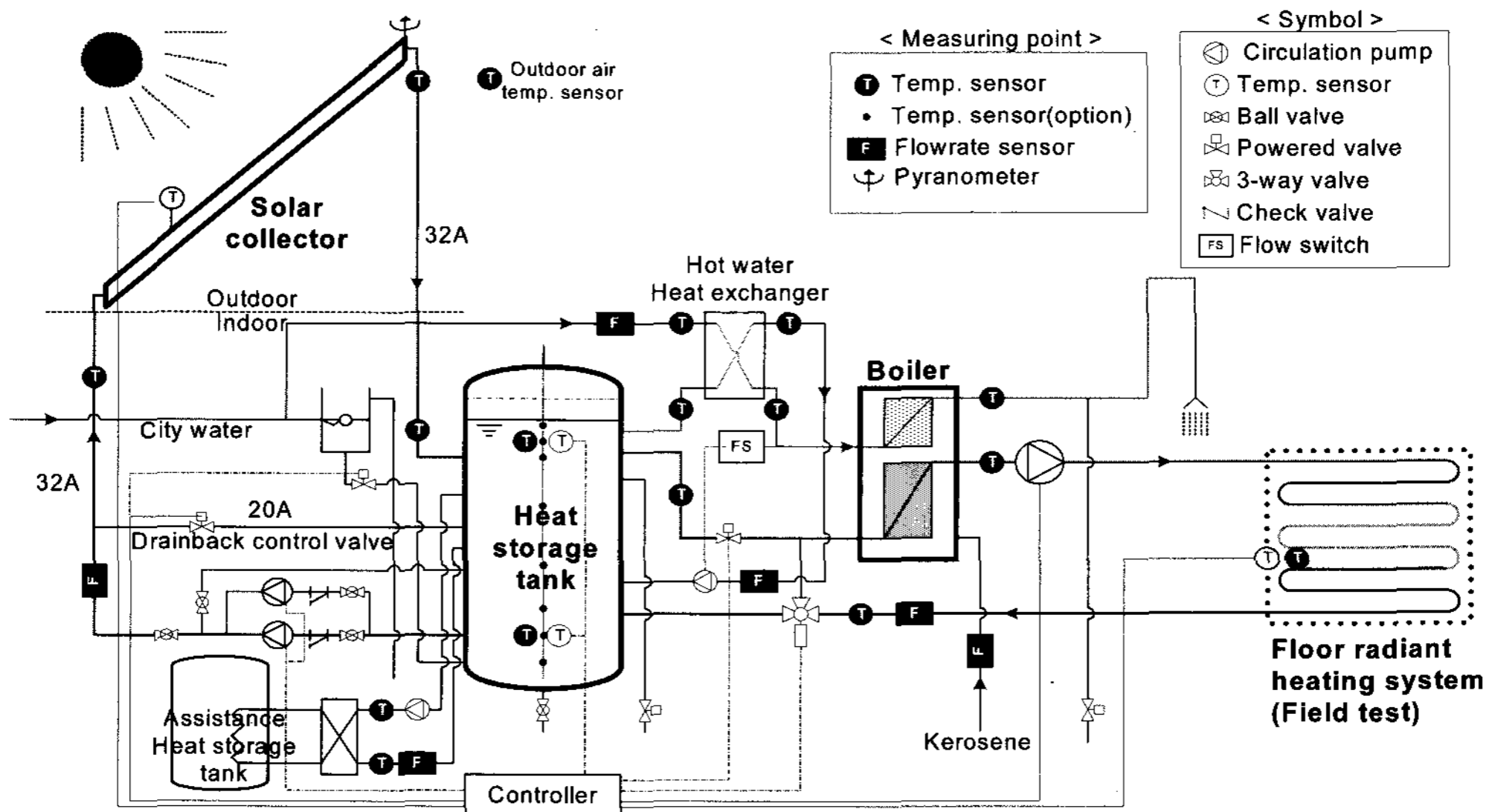


그림 4. 태양열 난방시스템 개념도

태양열 난방시스템의 효율에 크게 영향을 미치는 중요한 설계 변수로는 집열면적, 축열조의 용량, 난방공급방식 등이다. 본 연구에서는 집열면적 및 난방공급온도, 실내온도(20℃)를 고정하고, 축열조의 용량 및 외기온도에 따른 태양열 의존율을 분석하였다. 집열기 순환펌프를 제어하기 위하여 집열기 동파이프 표면온도와 축열조 온도를 상호 비교하여 온도차가 7℃ 이상 날 경우 펌프를 순환시키는 차온제어기를 사용하였으며, 온도차가 2℃ 미만일 경우 펌프를 정지시켰다. 실험기간은 2005년 11월의 시운전을 거쳐 2005년 12월부터 2006년 4월까지이다. 데이터수집장치로는 요코가와사(YOGOKAWA Co.)의 DA100을 이용하였으며, 데이터의 저장간격(sampling time)은 1분으로 하였다. 집열기 및 난방 순환유량을 측정하기 위하여 전자유량계(도시바 LF430)를 사용하였으며, 보조열원의 오일 유량을 측정하기 위하여 오일 유량계(Macnaught M1 series)를 사용하였다. 일사량계는 민감도(sensitivity)가 7.08 mV/kW·m²인 제품(MS-601F)을 사용하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 집광형 집열기의 열성능

먼저 집광형 집열기의 열성능을 분석하였다. 열성능 평가를 위한 집열기 면적은 투과체 면적을 기준하였으며, 각 측정점에서의 집열기의 순간열효율은 식 (1)에 의하여 계산한다. 여기서, η 는 집열기 순간 열효율, ρ 는 밀도, \dot{m} 은 평균 체적유량, C_p 는 열매체 비열, t_e 는 열매체 출구온도 평균, t_i 는 열매체 입구온도 평균, A_g 는 집열기 총면적, G 는 집열기 표면 전일사량 평균을 나타낸다. 또한, 순간효율은 단순화된 온도차 T_m^* 의 함수로 나타낼 수 있으며, 순간효율 η 곡선은 식 (2)의 형태로 표현된다. 여기서, η_0 및 a_1 은 효율곡선에서 구하는 상수이며, T_m^* 은 단순화된 온도 차로써 식 (3)으

로 표현된다. 여기서 t_a 는 집열기 주변온도이다.

$$\eta = \frac{\rho \dot{m} C_p (t_e - t_i)}{A_g \cdot G} \quad (1)$$

$$\eta = \eta_0 - a_1 T_m^* \quad (2)$$

$$T_m^* = \frac{t_i - t_a}{G} \quad (3)$$

그림 6은 본 연구에서 설치된 집광형 집열기의 열성능을 보여주고 있다. 열성능 분석을 위하여 2006년 1월 3일, 1월 5일, 1월 14일, 2월 9일 및 3월 30일 데이터를 이용하였으며, 1시간 간격으로 하루에 5개씩의 순간효율(10분간 평균한 값)을 계산하였다. 집광형 집열기의 최대효율은 64.1%로 신·재생에너지설비 인증을 받은 평판형 집열기(11개 모델)의 평균 최대효율 73.4%에 비하여 약 10% 감소한 반면, T_m^* 이 0.05 이상에서는 평판형 집열기보다 우수한 열성능을 보인다. 즉, 본 연구에서 적용한 C사의 집광형 집열기는 평판형 집열기 보다 최대효율은 약 10% 감소하였으나, 일사량이 적고, 집열기 공급온도와 외기온도의 차가

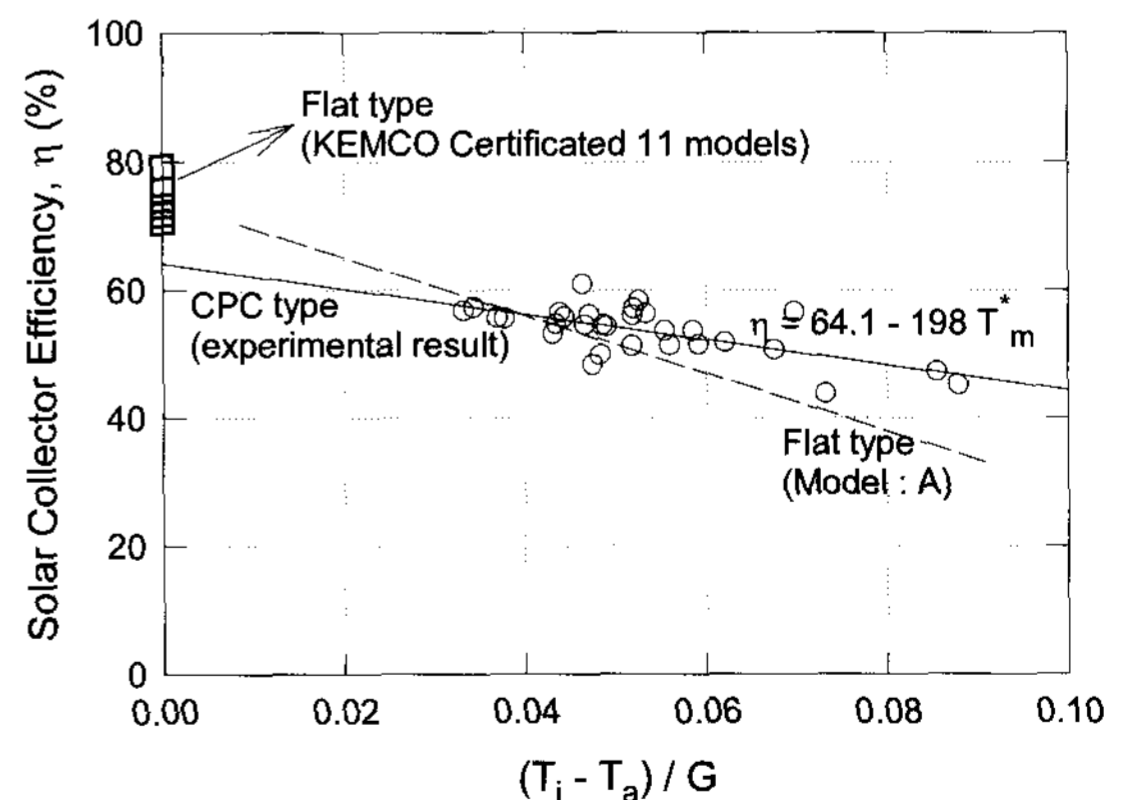


그림 6. 집광형 집열기와 평판형 집열기의 효율 비교

큰 경우에는 평판형 집열기보다 효율이 높다. 따라서 동절기에 태양열 이용 난방을 하기 위해서는

C사의 집광형 집열기가 기존의 평판형 집열기보다 시스템효율 증가 측면에서 유리하다고 할 수 있다.

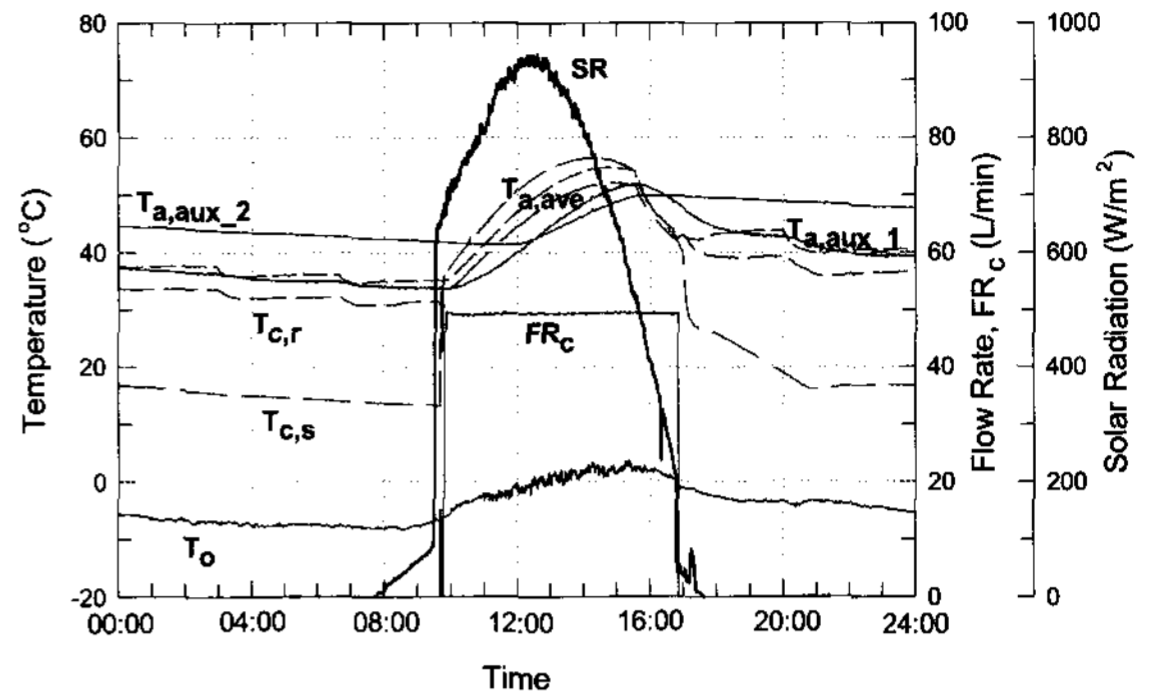
4.2 일간 난방운전패턴

그림 7은 태양열 이용 난방시스템의 일간 난방 운전패턴(2006년 1월 23일)을 보여주고 있다. 먼저 그림 7의 (a)는 시간에 따른 일사량 및 외기 및 축열조 온도, 집열기 입·출구온도 및 순환유량에 대한 정보를 보여주고 있다. 일반적으로 동절기 일사량은 오전 8시 이전부터 증가하기 시작하나, 본 연구에서 대상으로 하는 실험주택은 좌측면의 건물로 인하여 오전 9시 이후부터 햇빛이 비추게 된다. 따라서 집열기 순환펌프는 오전 10시경부터 운전되어 오후 5시경에 정지하였으며, 약 7시간 동안 운전되었음을 볼 수 있다.

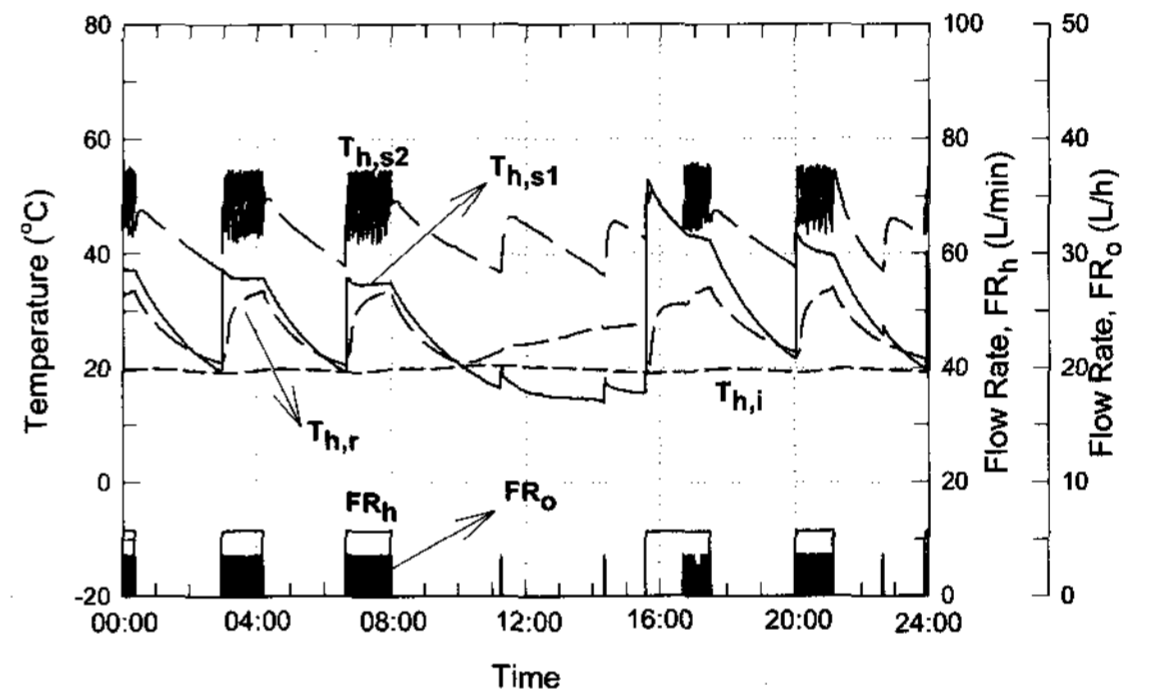
그림 7의 (b)는 일간운전실적에서 난방운전계통의 정보를 보여주고 있다. 축열조에서 공급되는 난방공급온도($T_{h,s1}$)는 난방수행시 오전 8시 이전에는 40°C 미만이었으나, 일사량의 증가에 따라 축열조 온도도 상승하여 오후 3시 이후에는 50°C 까지 증가함을 볼 수 있다. 그림 7의 (c)는 난방공급 열량에서 축열조가 부담하는 공급열량을 보여주고 있다. 오전 8시 이전에는 축열조 온도가 난방 설정 온도보다 낮아 보조보일러에 의해 주로 난방공급이 이루어졌음을 볼 수 있고, 오후 3시 이후에는 높은 축열조 온도로 인하여 주로 축열조에 의하여 난방이 공급되었음을 볼 수 있다.

한편, 오전 12시부터 오후 3시까지는 축열조 온도가 하루중 가장 높음에도 불구하고, 외기온도의 상승 및 거실 및 안방 창문을 통한 일사획득으로 인하여 난방순환펌프가 가동하지 않음을 볼 수 있다. 만약, 이 기간 동안에 실내온도를 높여서라도 난방을 할 수 있다면, 집열기 효율을 높일 수 있으므로 전체적으로 시스템 효율을 높일 수 있다. 추후, 이 부분에 대한 추가 연구가 필요하다 하겠다.

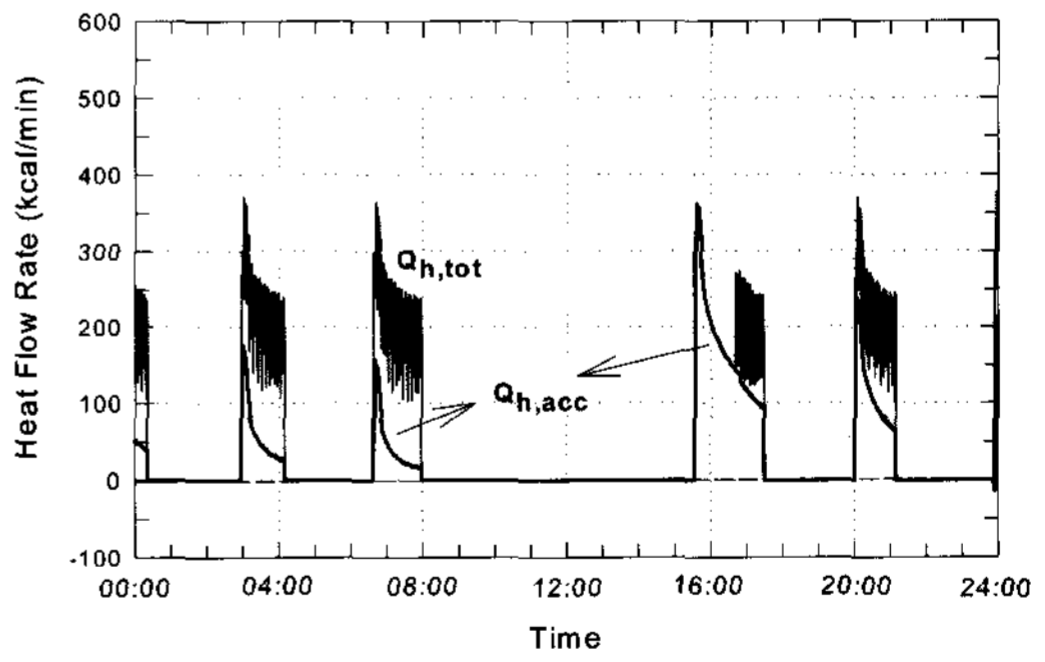
4.3 태양열 의존율



(a)



(b)



(c)

그림 7. 태양열 난방시스템 일간 운전특성 실측결과 (2006년 1월 23일)

그림 8은 일간 평균 외기온도가 $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ 이고, 일간 일사량 합계가 $3.3\sim 3.7 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{day}$ 일 때, 축열조 용량에 따른 태양열 의존율의 변화를 보여주고 있다. 축열조 용량이 집열기 면적당 30 L/m^2 일 경우의 태양열 의존율은 30% 미만이고,

축열조 용량이 50 L/m^2 일 경우의 태양열 의존율은 약 50%이다. 그리고 축열조 용량이 70 L/m^2 일 경우, 태양열 의존율은 57%에 달한다. 그러나 이 이상으로 축열조 용량을 증가시킬 지라도 태양

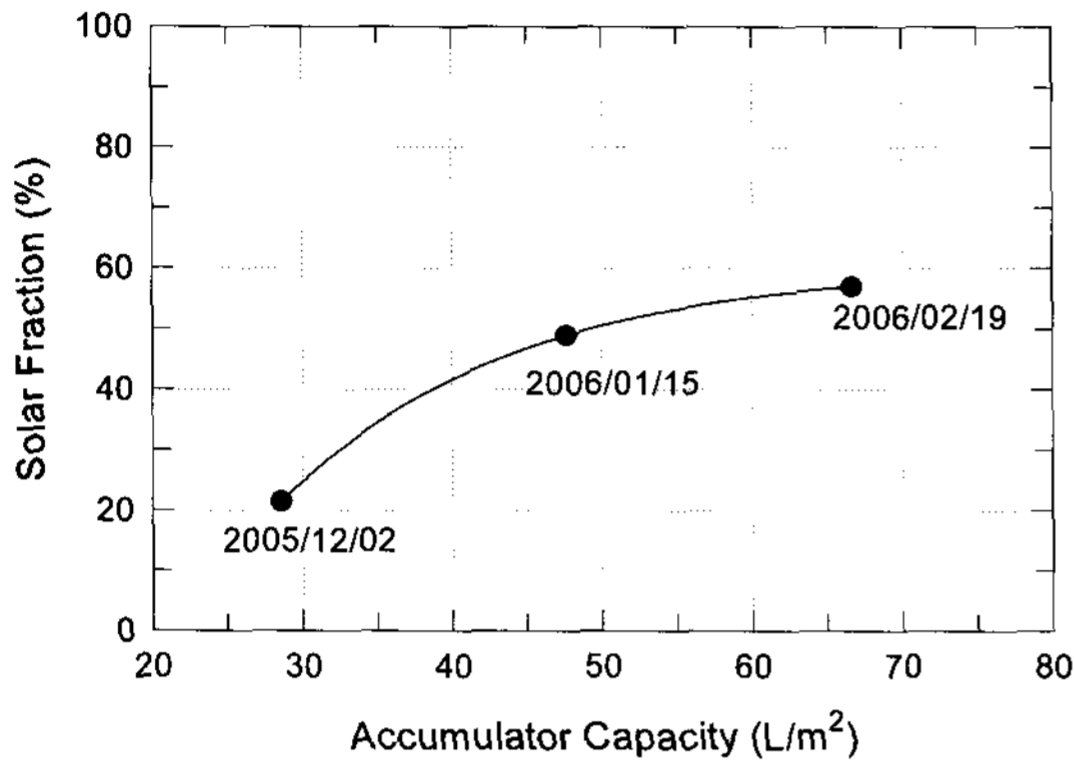


그림 8. 축열조 용량에 따른 태양열 의존율 변화

열 의존율은 거의 증가하지 않음을 볼 수 있다. 따라서 본 연구의 제한조건 하에서의 동절기 동안 난방공급온도를 45°C 로 할 경우, 태양열 난방시스템의 축열조 용량은 집열기 면적당 70 L/m^2 으로 설계하는 것이 태양열 의존율을 높이는 데 효과적이다. 이는 최 등4)이 주장한 축열조 용량 40 L/m^2 및 태양에너지 핸드북5)에서 주장한 50 L/m^2 보다 높은 값을 가진다. 이는 집열기의 집열 성능이 태양에너지 핸드북이 발간된 시점보다 향상되었고, 주거용 단독주택의 경우 난방부하가 야간에 주로 발생하기 때문이다. 따라서 태양열 의존율을 높이기 위해서는 난방공급온도를 감소시키고, 축열조 용량을 충분히 증가시켜야 함을 알 수 있다.

그림 9는 일간 평균 외기온도 변화에 대한 난방시스템의 태양열 의존율 변화를 보여주고 있다. 이 그림은 2006년 1월부터 4월까지의 일간 운전실측 결과에서 일간 일사량 합계가 $3.3 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{day}$

이상일 때의 데이터를 일간 평균 외기온도에 따라 태양열 의존율을 선형회귀 곡선화 한 것이다. 예상되는 바와 같이 외기온도가 증가하면, 태양열 의존율도 증가한다. 즉, 외기온도 일간 평균값이 -5°C 이면, 태양열 의존율은 36.3%이고, 외기온도 일간 평균값이 5°C 이면, 태양열 의존율은 65.3%에 달한다. 이와 같이 태양열 의존율이 높게 나타나는

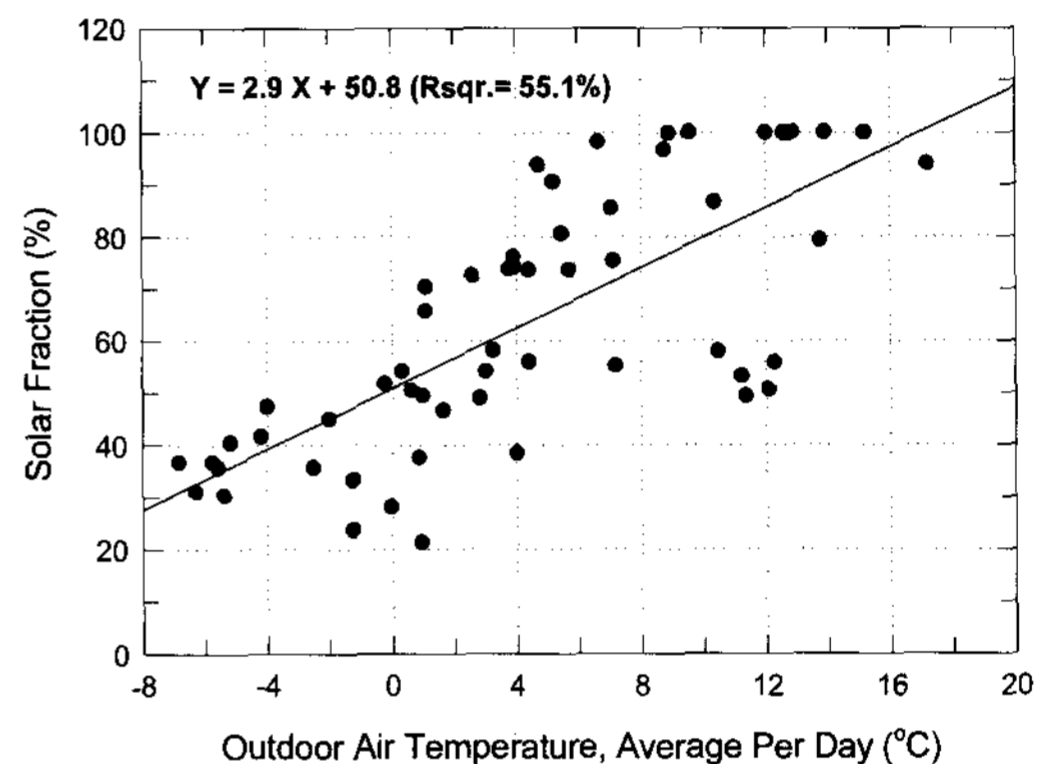


그림 9. 일간 평균 외기온도 변화에 대한 난방시스템의 태양열 의존율 변화

것은 일간 일사량 합계가 $3.3 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{day}$ 이상일 때의 경우를 가정한 결과로, 흐린 날의 태양열 의존율을 포함하지 않았기 때문이다.

그림 10은 2006년 1월부터 4월까지의 난방시스템의 월평균 태양열 의존율 실측 결과를 도시하고 있다. 1월에서는 33.1%, 2월에서는 50.5%, 3월에서는 78.2%, 4월에서는 72.3%의 태양열 의존율을 기록하였다. 4월의 난방부하가 3월보다 적음에도 불구하고, 태양열 의존율이 낮게 나타난 것은 4월의 평균 운량이 5.5로 3월의 평균 운량이 4.0보다 크기 때문이다. 즉, 날씨가 흐려서 4월의 일사량이 3월 보다 작았기 때문이다. 이 기간 동안의 난방부하 대비 태양열 의존율은 51.2%를 기록하였다. 서울지방의 연간 난방도일은 2,879.3일6)이며, 이중 1월에서 4월까지의 난방도일이 전체의

4) 산업자원부, 공동주택의 태양열이용시스템 보급을 위한 적용방안 연구, 산업자원부 연구보고서 2001N-SO02-P-02, 2004.

5) 한국태양에너지학회, 태양에너지 핸드북, 1991, pp. 201~208.

6) 이현영, 남한 주요도시의 난방도일, 지리학 제22호, 1980, pp. 10~22.

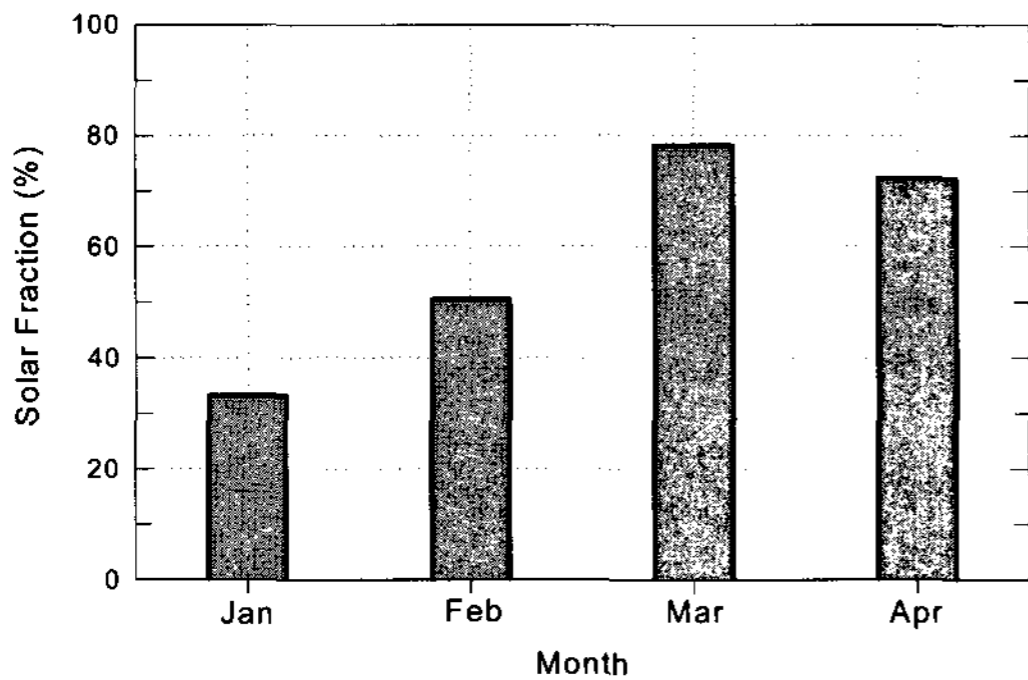


그림 10. 태양열 난방시스템의 월평균 태양열 의존율
실측 결과(2006년 1월 ~ 4월)

61.5%를 차지한다. 이러한 결과를 반영하면, 실험주택에 설치된 난방시스템의 연간 태양열 의존율, 즉, 연간 에너지 절약율은 50~55% 정도를 기록할 것으로 추정된다. 실험주택의 연간 에너지 소비량이 15,773.1 Mcal/호·년⁷⁾이라고 가정하였을 경우, 태양열 난방시스템을 이용하여 가구당 연간 0.828 TOE를 절감할 수 있다.

5. 태양열 난방시스템의 경제성 분석

앞 장에서 기술한 에너지절약 성능분석 결과를 기초로 하여 지붕대체형 집광집열기를 이용한 난방시스템에 대한 경제성 분석을 수행하였다. 표 2는 지붕대체형 태양열 난방시스템의 단순투자회수기간을 계산한 결과이다. 전용면적 25평에 개별난방(연료: 등유)을 수행하는 경우의 연간 난방비용이 1,360천원이라고 가정하고, 앞 절에서 산출한 연간 난방에너지 절감율 52.5%를 적용하면, 연간 난방비용 절감액은 714천원에 달한다. 실험주택에서 지붕대체형 태양열 난방시스템을 건설하는 데 소요된 비용은 총 32,000천원이며, 여기에서 지붕공사비 10,000천원을 제외하면 순수한 지붕대체

형 태양열 난방시스템 공사비용 22,000천원이 산출된다. 이 비용은 실증 연구를 위해 기존의 건물의 지붕을 허물고, 다양한 배관 공사를 추가 하는 등의 비용 증가 요소가 발생하여 일반적인 설치공사보다 많은 비용을 지불하였다. 따라서 실제 보급 현장에서는 보급 판매 예상 비용을 적용하는 것이 바람직하다. 다만, 보급 판매 예상비용은 시스템 보급 대수 및 경제상황에 따라 다소 유동적임을 주지해야 한다. 시설 투자비용을 보급 판매 예상 비용으로 하였을 경우의 단순투자회수기간은 21년이며, 정부 보조금으로 시설비의 50%를 무상 지원 받았을 경우의 단순투자회수기간은 11년이다. 또한, 향후 연료요금은 지속적으로 상승할 것으로 판단되며, 이 때 요금 상승률을 10%로 적용하였을 경우의 단순투자회수기간은 8년으로 산출되었다.

표 2. 태양열 난방시스템의 경제성

	보조금 미지원일 경우		보조금 지원일 경우(시설비의 50% 무상 지원)	
	실험주택 적용비용	보급판매 예상비용	실험주택 적용비용	보급판매 예상비용
시설 투자비용 (지붕공사비 제외) <천원>	22,000	15,000	11,000	7,500
단순투자회수기간	31년	21년	16년	11년
단순투자회수기간 (연료요금 상승률 10% 적용)	15년	12년	10년	8년

6. 결론

지붕일체형 집광집열기를 이용한 난방시스템을 전용면적 25평 규모의 실험(단독)주택에 설치하여 난방운전을 수행함으로써, 집광집열기의 열적 특성 및 설치된 난방시스템의 연간 태양열 의존율 등을 분석하고, 경제성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 본 연구에서 적용한 집광형 집열기는 평판형 집

7) 산업자원부 에너지총조사보고서, 2002, 가구당 평균 연간 에너지소비량, 개별난방방식

열기 보다 최대효율은 약 10% 감소하였으나, 일사량이 적고, 집열기 공급온도와 외기온도의 차가 큰 경우, 즉, 동절기에는 평판형 집열기보다 효율이 높다. 따라서 동절기에 태양열 이용 난방을 하기 위해서는 C사의 집광형 집열기가 기존의 평판형 집열기보다 시스템효율 증가 측면에서 유리하다.

- (2) 본 연구의 제한된 조건하에서는 동절기 동안 난방공급온도를 45℃로 할 경우, 태양열 난방시스템의 축열조 용량은 집열기 면적당 약 70 L/m²으로 설계하는 것이 태양열 의존율을 높이는데 효과적이다.
- (3) 태양열 난방시스템의 일간 운전 특성 실측결과, 2006년 1월부터 4월까지의 난방부하 대비 태양열 의존율은 평균 51.2%를 기록하였으며, 이러한 결과를 반영하면, 실험주택에 설치된 난방시스템의 연간 태양열 의존율, 즉, 연간 에너지절약율은 50~55% 정도를 기록할 것으로 추정된다.
- (4) 전용면적 25평 규모의 단독주택에 지붕대체형 태양열 난방시스템을 설치하는 경우, 시설 투자비용을 보급판매 예상 비용 15,000천원으로 하였을 경우의 단순투자회수기간은 21년이며, 정부 보조금으로 시설비의 50%를 무상 지원받았을 경우의 단순투자회수기간은 11년이다. 또한, 연료요금 상승률이 10%이고, 보조금을 50% 무상 지원 받았을 경우의 단순투자회수기간은 8년으로 산출되었다.

후 기

- (1) 본 연구는 산업자원부에서 시행하는 2004년도 신·재생에너지기술개발사업(과제번호 : 2004-N-SO11-P-01)의 지원으로 수행되었음.
- (2) 본 논문은 학술발표대회에서 발표한 내용(참고 문헌 5, 6)을 일부 수정하고, 편집한 것임.

참 고 문 헌

1. 산업자원부, 공동주택의 태양열이용시스템 보급을 위한 적용방안 연구, 산업자원부 연구보고서 2001N-SO02 -P-02, 2004.
2. 한국태양에너지학회, 태양에너지 핸드북, 1991, pp. 201~208, 325.
3. 이현영, 남한 주요도시의 난방도일, 지리학 제 22호, 1980, pp. 10~22.
4. 산업자원부 에너지총조사보고서, 2002, 가구당 평균 연간 에너지소비량-개별난방방식.
5. 김용기, 이태원, 박해성, 건물일체형 집광집열기를 이용한 태양열 난방시스템의 성능 평가, 대한기계학회 2006년도 춘계학술발표대회 논문집, pp. 4257~4262, 2006. 6.
6. 김용기, 이태원, 윤광은, 지붕대체형 집광집열기를 이용한 태양열 난방시스템의 동절기 성능 평가, 한국태양에너지학회 2006년도 추계학술발표대회 논문집, pp. 126~131, 2006. 11.