

시뮬레이션을 이용한 사무소건물 적용 태양열 급탕시스템의 에너지성능 분석

고명진*, 최두성**, 김용식***

*인천대학교 대학원 건축공학과(whistlemj@incheon.ac.kr),

한경대학교 건축학과(trebelle@empal.com), *인천대학교 건축공학과(newkim@incheon.ac.kr)

Energy Performance Analysis of Solar Hot Water Heating System used in an Office Building Using the Dynamic Simulation

Ko, Myeong-Jin*, Choi, Doo-Sung**, Kim, Yong-Shik***

*Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, University of Incheon(whistlemj@incheon.ac.kr),

**Dept. of Architecture, Hankyong National University(trebelle@empal.com),

***Dept. of Architectural Engineering, University of Incheon(newkim@incheon.ac.kr)

Abstract

This paper is to simulate a solar hot water heating system used in a medium-scale office building using the dynamic simulation. This study is focused chiefly on the annual variation of energy performance, the solar fraction with respect to the difference of hot water load temperature. For this purpose the simple model of a solar hot water heating system has been considered with TRNSYS program and the simulations were performed with the weather data in Seoul, Korea.

The share ratio of solar hot water system of the summer season appeared higher than the winter season because that the decrease of the domestic hot water load was far despite the relative decrease of the solar radiation. As the temperature was lower from 60°C to 50°C, the solar fraction increases 8.1 percent due to 20-percent decrease of annual hot water load.

Keywords : 태양열 급탕시스템(Solar hot water heating system), 에너지 성능(Energy performance), 태양열 의존율(Solar fraction), TRNSYS(TRNSYS)

기 호 설 명

F_R : 집열기 열제거 계수

U_L : 집열기 열손실계수 (W/m^2K)

τ : 집열기 투과율

α : 집열기 흡수율

m_{HW} : 시간당 급탕 공급 열량

1. 서 론

최근 전 세계적으로 환경보호 및 에너지 절약의 중요성이 강조되면서 환경친화적인 신재생에너지 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 다양한 신재생에너지시스템 중 청정하고 무한한 태양에너지를 이용하는 태양열 급탕시스템은 비교적 저온의 열에너지를 사용하고 유지관리비가 저렴하여 적용이 증가하고 있다. 또한 태양열 급탕시스템 분야는 1970년대 후반부터 건물의 급탕분야에 이용되어 다른 신재생에너지 설비에 비하여 관련 기술개발 수준이 높아 적용성이 높은 장점이 있다.

도시지역의 공간적 특성을 분석해 보면, 주거 및 업무, 상업시설의 구성 비율이 월등히 많고 에너지 소비량도 높은 비중을 차지한다. 따라서 이러한 용도의 건축물에 대한 에너지 절감의 필요성이 꾸준히 제기되고 있는 실정이며, 에너지 소비의 급탕부하 절감을 위해 환경친화적인 태양열 급탕시스템의 적용이 요구되고 있다. 이러한 건물 중 주거용 건물은 급탕부하가 여타 용도의 건축물에 비해 큰 비중을 차지하여 태양열 급탕시스템의 적용에 대한 연구는 꾸준히 진행되고 있다. 그러나 업무용 건축물에 대한 태양열 급탕시스템의 적용에 대한 연구는 찾아보기 힘든 실정이다.

건축물의 에너지소비량은 재실자의 거주형태에 영향을 받게 되는데, 사무용 건축물의 급탕부하는 주거용 건축물과 달리 재실인원이 집중되는 주간 발생한다. 이는 태양에너지를 이용하는 태양열 급탕시스템을 통한 에너지생산과 유사하여 사무용 건축물에 태양열 급탕시스템을 적용하였을 경우 적용성이 높을 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 태양열 급탕시스템에 대한 이론적 고찰을 실시하고 중규모 사무용 건축물에 적용 가능한 시스템방식을 검토하여 선정하였으며 이를 토대로 사무용 건축물

적용 태양열 급탕시스템의 에너지성능을 분석하고자 한다. 태양열 급탕시스템의 에너지성능을 분석하기 위해 TRNSYS 프로그램을 이용하였으며, 사무용 건축물의 급탕부하량과 태양열 급탕시스템을 통한 에너지 생산량을 파악하고 태양열 급탕시스템의 의존율을 분석하였으며, 급탕부하 담당율과 온수 설정 온도 변화에 따른 시스템의 에너지성능 변화를 평가하였다.

2. 태양열 급탕시스템 에너지성능 시뮬레이션

2.1. 급탕부하 산정

급탕사용량을 산정하기 위한 방법으로는 사용 인원수에 의한 방법과 급탕 기구수에 의한 방법이 있으나 일반적으로 인원수에 의한 급탕량 산정방법이 보다 정확한 값을 얻을 수 있다. 대상 건물은 사무소 건축물로 연면적은 10,368m²로 사무소 건축물의 유효면적당 인원수 0.2인/m²과 인당 급탕량 10ℓ/day를 고려했을 때 급탕인원은 1,245명이며 최대 1일급탕량은 12,441.6ℓ/d, 1시간 최대 급탕량은 2,500ℓ/h이다. 따라서 연간 시간당 급탕사용량[mHW(ℓ/h)]은 식(1)을 통해 산정할 수 있다.

$$m_{HW}(l/h) = \text{시간당최대 급탕량}(l/h) \times \text{일일 급탕사용부하율} \times \text{연간급탕스케줄} \quad (1)$$

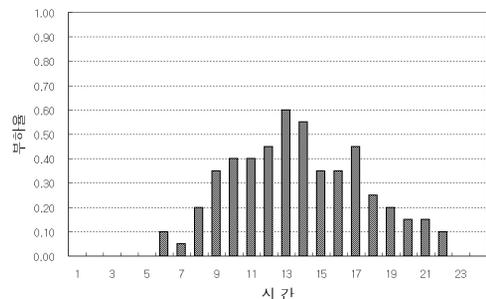


그림 1. 일일 시간별 급탕사용 부하율

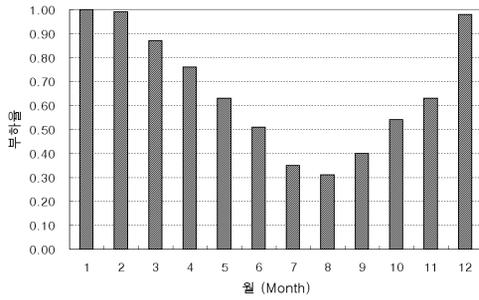


그림 2. 연간 급탕사용 부하율

2.2. 태양열 급탕시스템 모델링

(1) 태양열 급탕시스템의 구성

본 연구에서는 다양한 태양열 급탕시스템 중 평판형 집열기를 사용하는 열교환기 강제 순환형 태양열 급탕시스템을 선정하였으며, 태양열 급탕시스템의 제원은 표 1과 같다. 집열기는 평판형 집열기로 $F_R(\tau\alpha)$ 은 0.8, $F_R U_L$ 은 $5.17 \text{ W/m}^2\text{K}$ 이며 2m^2 의 집열기를 직렬로 7개 연결하여 총 70개로 구성하였다. 축열조는 2m 높이의 cylinder형으로 용량은 $5,400\text{kg}$ 이다. 태양열 급탕시스템을 위한 제어는 집열량과 펌프의 소비동력과의 상관성을 고려하여 집열기 출구측 유체온도와 축열조 출구측 유체온도가 10°C 이상이면 시스템의 운전을 시작하고 4°C 이하이면 가동을 중지하도록 설정하였다. 또한 태양열 급탕시스템의 용량은 ASHRAE 기준을 고려하여 태양열 의존율이 60%가 되도록 산정하였다.

태양열 급탕시스템의 우수한 성능을 위해서는 최대의 일사량을 받을 수 있는 경사각으로 집열기를 설치해야 한다. 이러한 경사각을 산정하기 위해 방위각 0° (남향)를 기준으로 경사각이 0° 에서 90° 까지 각 10° 간격에서의 월별 일사량을 분석하였으며, 그림 3에 나타내었다. 경사각에 따른 일사량은 경사각이 $20^\circ \sim 40^\circ$ 에서 많이 나타났으며, 월별 일사량은 4~5월의 일사량이 가장 높고, 12~1월 및 6~7월이 비교적 낮게 나타나는 경향을 보였다.

표 1. 태양열 급탕시스템의 제원

Parameter		Specification
Collector	$F_R(\tau\alpha)$	0.8
	$F_R U_L$	5.17
	Area	$2 \text{ m}^2/\text{ea}$
	Unit	70 ea
	Slope	35°
	Flowrate	$0.013 \text{ kg/m}^2\text{s}$
Storage Tank Volume	Type	Vertical cylinder
	Capacity	5,400 kg
	Height	2 m
	Inlet	0.2 m
	Outlet	1.8 m
Control Module	Type	Digital difference temperature control
	ΔT_{on}	10°C
	ΔT_{off}	2°C
Auxiliary Heater	Type	Master/Slave
	Capacity	116 kW
Heat Exchanger	Efficiency	0.65
	Flow rate	$8,400 \text{ kg/hr}$

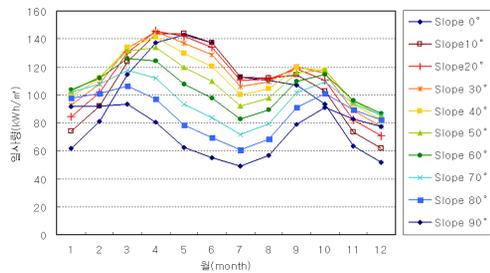


그림 3. 경사각에 따른 연간 월평균 일사량

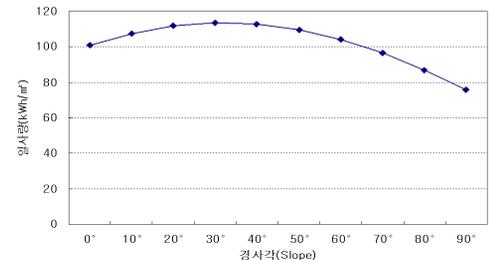


그림 4. 경사각에 따른 연평균 일사량

그림 4는 경사각에 따른 연평균 일사량을 나타낸 것으로 산출결과 경사각이 30°일 때 113.43 kWh/m²로 일사량이 가장 높고, 90°일 때 75.89 kWh/m²로 가장 낮았다. 이때의 일사량 차이는 약 60%일 정도로 매우 크기 때문에 태양열 집열기의 설치 경사각 산정이 중요함을 확인 할 수 있으며, 이에 따라 본 연구에서는 태양열 집열기의 경사각을 35°로 산정하였다.

그림 5는 시뮬레이션에서 모델링한 태양열 급탕시스템을 나타낸다. 기상 데이터는 TRNSYS 제공 국내 TMY2 기상자료 중 서울지역 기상데이터를 이용하였으며, 집열기는 Type 1b를 사용하였다. 집열기의 집열유량은 0.013 kg/m²s이며, 집열유체는 물과 부동액 비율이 1:1로 밀도는 1,066.2kg/m³, 비열은 3,339kJ/kgK이다.

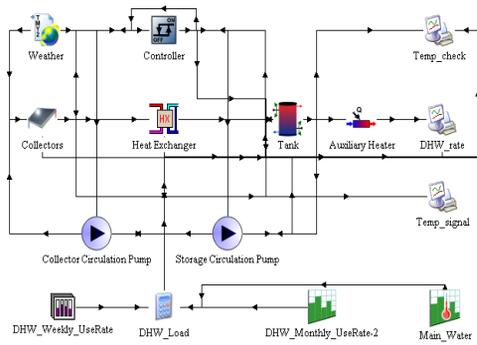


그림 5. 태양열 급탕 시스템 TRNSYS 모델링

3. 태양열 급탕시스템 에너지성능 분석

3.1 시스템의 에너지성능

태양열 급탕시스템의 급탕담당율을 60%, 급탕온도 60°C로 설정하여 8760시간 동안 TRNSYS를 이용하여 태양열 급탕시스템의 에너지성능을 분석하였다. 그림 6은 연간 급탕부하 대비 태양열 급탕시스템을 통해 공급한 급탕열량을 나타낸 것으로, 1월에 54,404 MJ의 가장 큰 편차를 보였으며 하절기에 가까워질수록 그 차이가 줄어들기 시작하여

6~8월에는 3,564MJ로 줄어들었다.

그림 7은 급탕부하에 대해 태양열 급탕시스템이 담당하는 비율인 태양열 의존율을 나타낸 것이다. 하절기인 6월에서 8월까지 태양열 의존율이 80%를 상회하였으며, 급탕사용량이 가장 많은 동절기 12월에서 2월까지 태양열 의존율이 20~30% 정도로 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 하절기에 비해 동절기의 급탕부하가 상대적으로 많아 전체 급탕열량 대비 태양열 급탕시스템을 통한 공급열량이 작아지기 때문으로 판단된다. 또한 연평균 일사량의 변화에서 알 수 있듯이 겨울철 일사량이 낮아 집열되는 열량이 작았기 때문이다. 이러한 일사량과 태양열 의존율과는 하절기를 제외하고 대체로 비슷한 패턴을 보인다. 하절기의 경우에는 일사량의 감소에도 불구하고 급탕열량의 감소폭이 훨씬 크기 때문에 태양열 의존율은 높은 값을 나타내는 것으로 분석되었다.

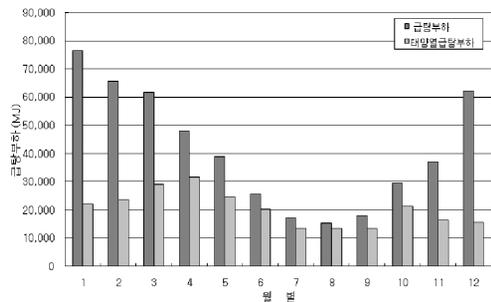


그림 6. 연간 급탕부하 대비 태양열 급탕시스템 공급열량 분포

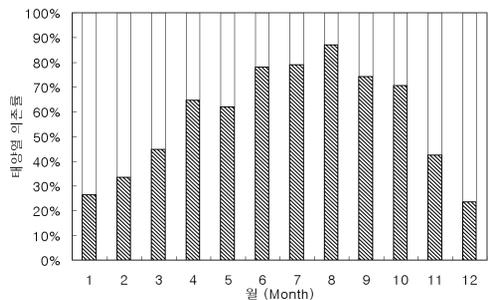


그림 7. 월별 태양열 급탕시스템 의존율

3.2 급탕공급온도 변화에 따른 에너지성능 사무용 건축물에서 사용되는 급탕온도는 이용 특성상 40~50°C 정도이며, 급탕 공급온도는 배관을 통한 열손실 등을 감안하여 좀 더 높은 공급온도를 갖는다. 이에 공급설정온도를 60°C에서 50°C로 변화함에 따라 태양열 의존율의 변화를 살펴보면 그림 8과 같다.

공급설정온도가 50°C로 낮아짐에 따라 전체적으로 태양열 급탕시스템의 의존율이 높아짐을 알 수 있으며, 연평균 8.1%의 증가를 보였다. 계절별 의존율의 변화특성을 살펴보면 중간기와 하절기에는 10% 내외로, 동절기에는 7%정도의 차이를 보였다.

급탕공급온도에 따른 연간 태양열 급탕시스템의 태양열 의존율을 표 2에 나타내었다. 급탕공급온도가 60°C에서 50°C로 낮아짐에 따라 연간 급탕열량은 495,897MJ에서 394,820MJ로 약 20% 낮아졌으며, 태양열을 통한 공급열량은 거의 변화가 없어 전체적인 의존율은 8.1% 증가하여 나타났다.

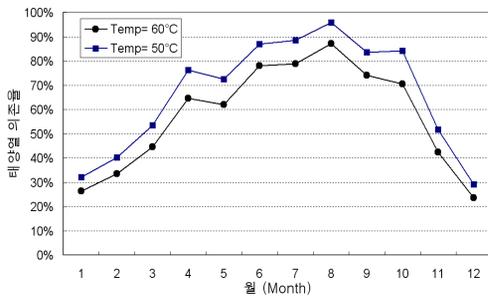


그림 8. 설정온도 변화에 따른 태양열 의존율

표 2. 급탕공급온도별 태양열 의존율 변화

지역	부하 온도	Q_u (MJ)	Q_{aux} (MJ)	태양열 의존율
서울	60°C	495,897	251,408	49.3 %
	50°C	394,820	168,183	57.4 %

4. 결론

본 연구에서는 시뮬레이션을 이용하여 사무소 건축물 적용 평판형 집열기를 사용하는 열교환기 강제 순환형 태양열 급탕시스템의 에너지성능을 분석하였다. 주요 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 시뮬레이션을 통하여 평판형 집열기의 에너지성능은 집열기의 설치 각도 및 일사량, 급탕공급온도, 급탕부하 및 스케줄에 의한 영향을 받음을 확인 할 수 있었다.
- (2) 연간 태양열 급탕시스템의 의존율은 월별 급탕부하 및 일사량의 영향으로 하절기가 동절기에 비해 높게 나타났다.
- (3) 급탕공급온도를 60°C에서 50°C로 변화함에 따라 연간 급탕열량은 약 20% 감소하였으며, 태양열 의존율은 8.1% 증가하였다.

후 기

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2008년도 첨단도시개발사업(과제번호:07도시재생B04) 지원 사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 최기환 외, 공동주택의 태양열이용시스템 보급을 위한 적용방안 연구, 한국건설기술연구원, 2004.
2. 장환영, 김병기, 서정세, 태양열 온수급탕 시스템에서 보조열원 연결방식에 따른 열성능 비교, 대한설비공학회 2006년도 동계 학술발표대회 논문집, 2006.
3. Solar energy lab., Univ. of Wisconsin Madison TRNSYS User Manual v. 16