

사무소 건물 적용 태양열냉난방시스템의 냉방성능 분석

장재수*, 고명진**, 김용식***

*인천대학교 대학원 건축공학과(inferno1982@naver.com),
**인천대학교 대학원 건축공학과(whistlejm@incheon.ac.kr),
***인천대학교 도시건축학부(newkim@incheon.ac.kr)

Cooling Performance Analysis of Solar Heating and Cooling System in an Office Building

Jang, Jae-Su*, Ko, Myeong-Jin**, Kim, Yong-Shik***

*Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, University of Incheon(inferno1982@naver.com),
**Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, University of Incheon(whistlejm@incheon.ac.kr),
***Dept. of Architectural Engineering, University of Incheon(newkim@incheon.ac.kr)

Abstract

This study examined the cooling performance of a solar heating and cooling system for an office building using the dynamic simulation program (TRNSYS). This solar heating and cooling system incorporates evacuated tube solar collectors of 204m², storage tank of 8m³, 116.2kW auxiliary heater, single-effect LiBr/H₂O absorption chiller of 20RT nominal cooling capacity. It was found that for the representing day showed peak cooling load the annual average collection efficiency of the collector was 32.9% and coefficient of performance of single-effect LiBr/H₂O absorption chiller was 0.68. And the results shows for the cooling season the solar fraction of the solar heating and cooling system was 32.2% and maximal and minimal solar fraction was 63.4% for May 17.9% for July respectively.

Keywords : 태양열냉난방시스템(Solar heating and cooling system), 사무소 건물(Office building), 냉방성능(Cooling performance), 태양열 의존율(Solar fraction)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

화석연료는 수급불균형으로 인한 가격 변동성과 매장자원의 한정성, 환경문제 유발 등으로 인해 앞으로 에너지원으로서의 사용에 제약이 심화될 것이다. 이에 따라 무한하

며 청정한 신재생에너지를 에너지원으로 하는 시스템에 대한 연구와 개발이 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다.

다양한 신재생에너지 시스템 중 태양열시스템은 지속적인 연구와 개발로 인해 상당부분 적용성이 확보되어 활발한 적용이 이루어지고 있다. 그러나 태양열시스템의 적용 분

야를 살펴보면 온수 및 급탕분야로 한정되어 있으며, 여름철 잉여열의 활용을 통해 건물의 전력수요 및 피크부하의 저감 및 과열문제를 해소할 수 있는 태양열냉난방시스템에 대한 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 사무소 건물을 대상으로 건물 냉난방시스템으로써 태양열냉난방시스템의 적용성을 분석하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구의 대상건물은 서울지역 3층 규모의 사무소 건물로써 태양열냉난방시스템은 대상건물의 최상층 열원시스템으로 계획되었다. 태양열냉난방시스템의 종류로는 현재의 개발 수준 및 적용성 등을 고려하여 단일진공관형 집열기와 1중효용 LiBr/H₂O 흡수식 냉동기를 이용한 시스템으로 구성하였다.

태양열냉난방시스템의 적용성은 시스템 작동에 따른 운전 및 열에너지 성능, 태양열 의존율 등의 분석을 통해 평가하였으며, 본 연구에서는 냉방성능에 한정하여 나타내었다.

아울러 본 연구의 시뮬레이션 프로그램으로는 태양에너지시스템의 동적 해석에 널리 사용되는 TRNSYS를 이용하였다.

2. 태양열냉난방시스템 성능평가 모델 구축

2.1 대상건물

태양열냉난방시스템의 성능을 평가하기 위한 대상건물은 위도 37°33'의 서울지역에 위치한 연면적 1,080m²의 3층 규모 사무소 건물로 선정하였다.

대상건물의 냉난방 부하를 분석하기 위한 구조체 경계조건 및 부하요소별 입력 자료는 표 1과 2와 같으며, 표 3은 냉난방시스템의 운전조건을 나타낸다.

그림 1은 구조체 경계조건 및 부하 입력조건을 토대로 산출된 냉방 및 난방부하 결과로 연간 총 냉방부하는 162GJ/h, 난방부하는 123GJ/h로 산출되었으며 이는 사무소 건물

의 특성상 조명 및 기기에 의한 발열이 크기 때문으로 판단된다. 한편 최대 냉방 및 난방 부하는 각각 7월 23일 10시에 473MJ/h, 1월 22일 10시에 499MJ/h로 나타났다.

표 1. 대상건물 경계조건 열관류율

구조체	열관류율 (W/m ² K)
외벽	0.228
지붕	0.186
최하층바닥	0.284
중간층바닥	2.245
창	1.76 (g-value: 0.597)

표 2. 대상건물 냉난방부하 요소별 입력 자료

항 목	입력 자료	
기상 자료	서울지역 표준년 기상데이터	
인체 발열	현열	65 W/인
	잠열	55 W/인
	채실인원	0.2 인/m ²
조명 발열	25 W/m ²	
기기 발열	10 W/m ²	
환기	2 ACH	
철기	0.1 ACH	

표 3. 냉난방시스템 운전 조건

항 목	내 용
운전 시간	08:00 ~ 18:00 (월~금)
냉방 설정온도	26 °C
난방 설정온도	20 °C
냉방 기간	5월 ~ 9월
난방 기간	1~3월, 11월~12월

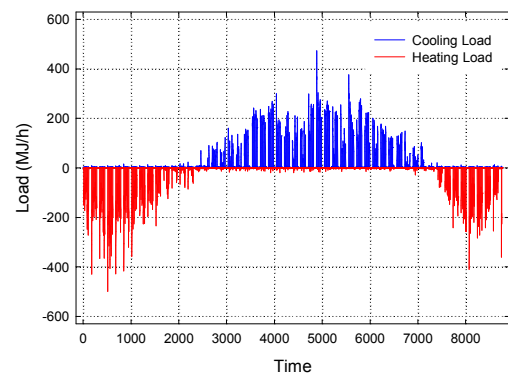


그림 1. 대상건물 냉·난방부하

2.2 태양열냉난방시스템

본 연구의 대상건물 냉난방은 각각 1~2층과 3층을 담당하는 2개의 AHU에 의해 공조가 이루어진다. 2개의 AHU의 온열원은 일차적으로 진공관형 집열기와 열교환기, 축열조로 구성된 태양열시스템에 의해 공급되며, 공급열량 부족 시 보조보일러가 가동된다. 한편, 1~2층의 AHU와 3층의 AHU의 냉열원은 각각 압축식냉동기와 태양열을 열원으로 하는 흡수식냉동기에 의해 공급되는 것으로 계획되었다.

사무소 건물 적용 태양열냉난방시스템의 에너지 성능 분석을 목적으로 하는 본 연구에서는 1차적으로 시스템의 냉방성능에 대해 분석을 실시하였으며, 태양열 구동 흡수식냉방시스템으로 연구의 범위를 제한하였다.

본 연구의 태양열냉난방시스템 냉방 시 작동원리를 살펴보면, 건물 상부에 설치된 진공관형 집열기를 통해 집열된 에너지는 열교환기에 의해 축열조에 저장되며 냉방부하 발생시 중온수 흡수식냉동기의 열원으로 공급된다. 이때 흡수식냉동기의 정격운전 시 중온수 공급온도는 95℃로 축열조의 부하측 출구온도가 이보다 낮을 경우 보조보일러에 의해 가열되어 공급되며, 흡수식냉동기는 냉동사이클에 의해 약 8℃의 냉수를 생산하여 AHU의 Cooling Coil에 공급하게 된다.

표 4는 태양열냉방시스템의 주요 구성기기 및 제원을 나타낸다. 태양열 집열기는 전면적을 기준으로 $F_R(\tau\alpha)$ 와 $F_R U_L$ 이 각각 0.5350과 0.7204인 단일진공관형 집열기로 선정하였으며, 30°의 경사각으로 총 80매로 구성하였다. 집열기 순환유체는 30%의 에틸렌글리콜 수용액을 사용하였다. 냉동기는 95℃의 중온수 공급시 8℃ 냉수를 생산하는 20RT의 1중 효용 LiBr/H₂O 흡수식냉동기로 선정하였다.

그림 2는 태양열냉난방시스템의 구성 및 주요 기기의 제원을 바탕으로 TRNSYS 프로그래밍을 통해 모델링한 결과를 나타낸다.

표 4. 태양열냉난방시스템 제원

구성 요소		제 원	
집열기	$F_R(\tau\alpha)$	0.5350	
	$F_R U_L$	0.7204	
	면 적	2.55 m ² /ea	
	매 수	80 ea	
	방위각	0°	
	설치각	30°	
축열조	유 량	10,656 kg/hr	
	종 류	수직 원통형	
	부 피	8 m ³	
흡수식 냉동기	loss	7.2 kJ/hr·m ³ ·k	
	종 류	LiBr/H ₂ O	
	정격용량	70 kW	
	COP	0.7	
보조 보일러	유 량	12,100 kg/hr	
	설정온도	8 °C	
열교환기	용 량	116.2 kW	
	설정온도	95 °C	
펌프	유효도	0.73	
	집열기	유 량	10,656 kg/hr
		소비전력	1.1 kW
	축열조	유 량	10,656 kg/hr
		소비전력	0.55 kW
	중온수	유 량	5,700 kg/hr
소비전력		0.55 kW	
냉각수	유 량	78,000 kg/hr	
	소비전력	5.5 kW	
냉수	유 량	12,100 kg/hr	
	소비전력	1.1 kW	
태양열시스템 제어방식	종 류	차온제어	
	ΔT_{on}	10 °C	
	ΔT_{off}	2 °C	

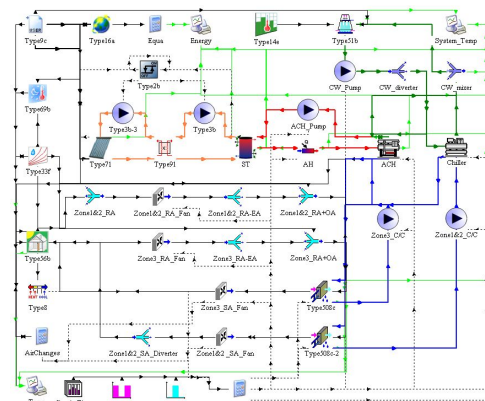


그림 2. 태양열냉난방시스템 TRNSYS 모델링

3. 태양열냉난방시스템 냉방성능

3.1 일일 냉방성능

사무소 건물에 계획된 태양열냉난방시스템의 적용성 분석을 위해 최대냉방부하를 나타내는 대표일의 시스템 작동에 따른 일일 냉방성능에 대해 검토를 실시하였다. 그림 4는 대상건물이 10시 경에 473MJ/h의 최대냉방부하를 보이는 7월 23일의 실내 및 AHU의 온도변화를 나타낸다.

공조가 이루어지는 08:00에서 18:00까지 외기 온도는 29.5℃에서 최대 34.0℃까지 증가하고 내부발열이 발생하는 동안 실내온도는 25.8℃~27.5℃의 온도분포에 평균 26.5℃를 보여 실내 냉방설정온도인 26℃에 따라 적합하게 유지되는 것으로 나타났다. 이때 AHU 냉각코일의 출구 공기온도는 16.0℃~17.0℃로 설정값 16℃를 대체로 만족하였으며, 냉각코일 냉각수 입·출구온도는 공조시간 초기 8.0℃~12.3℃로 정격운전 범위를 보이거나 12:00시 이후 냉방부하의 증가로 인해 12.5~17.5℃로 운전되는 것으로 나타났다. 따라서 최대냉방부하를 보이는 대표일의 실내온도 및 냉각코일 입·출구의 공기 및 순환수의 온도를 살펴볼 때 태양열냉난방시스템을 통한 냉방은 적정한 것으로 판단된다.

그림 5는 실내온도를 유지하기 위한 태양열냉난방시스템의 주요 기기인 축열조와 보조보일러, 흡수식냉동기, 냉각탑에서의 순환 유체 온도변화를 정리하여 나타낸 것이다. 95℃로 공급되는 중온수에서 정격 효율을 보이는 흡수식냉동기를 위해 축열조의 부하측 출구에 보조보일러가 설치되었다. 흡수식냉동기 작동에 따라 축열조에 집열된 에너지가 열원으로 사용되며 흡수식냉동기가 운전되는 동안 약 80℃의 중온수가 축열조로 환수되었다. 대표일 냉방기간 중 축열조의 출구 온도는 흡수식냉동기의 지속적인 운전에 따라 감소하였으나 설정조건에 맞춰 흡수식냉동기의 중온수 입구온도는 보조보일러에 의

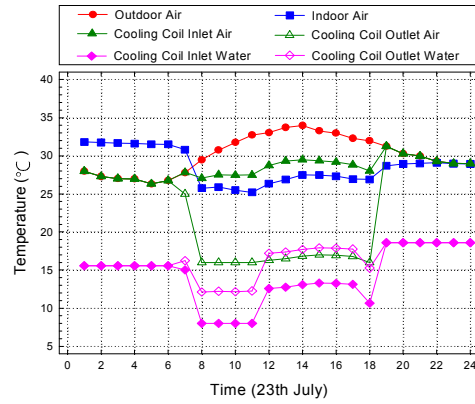


그림 6. 최대냉방부하일의 태양열냉난방시스템 실내 및 냉각코일 온도 변화

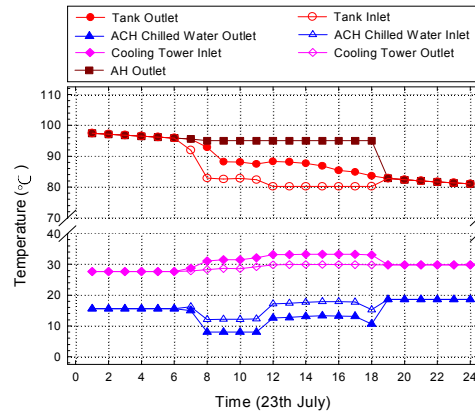


그림 7. 최대냉방부하일의 태양열냉난방시스템 주요 기기 온도 변화

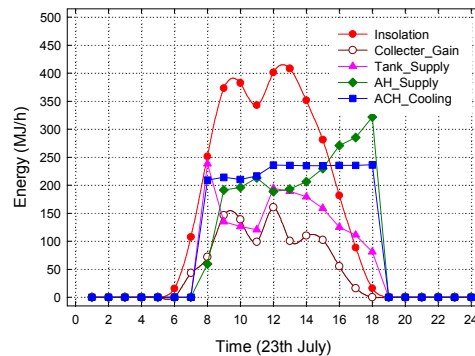


그림 8. 최대냉방부하일의 태양열냉난방시스템 주요 기기의 에너지 변화

해 95℃의 일정 온도로 공급되었다.

그림 6은 최대냉방부하를 보이는 대표일의 집열기 일사량 및 태양열냉난방시스템 주요 기기의 에너지변화를 나타낸다.

일사에너지의 경우 대표일인 7월 23일의 집열기 단위면적당 획득 최대 일사량은 2,002kJ/hm²로 양호한 일사량을 보였으며 일간 총 집열면적에서의 일사량은 3,202MJ/h로 나타났다. 일간 단일 진공관형 집열기의 유효 집열에너지는 일사량의 변화와 대체로 유사한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 한편 집열기의 집열효율은 일 평균 32.9%를 보였으며, 최대 및 최소 효율은 각각 12:00에 40%, 17:00에 18.1%로 분석되었다.

공조시간 동안 흡수식냉동기는 냉방부하에 대응하기 위해 축열조 및 보조가열기를 통해 각각 1,660MJ/h와 2,357MJ/h 열에너지를 공급받아 냉각코일에 2,498MJ/h의 냉방에너지를 공급하였으며 일 평균 COP는 0.68로 산출되었다. 이때 흡수식냉동기의 열원으로 사용된 축열조와 보조가열기의 공급에너지는 그림 6을 통해 알 수 있듯이 상반되는 경향을 보이며, 특히 일사량 및 집열에너지의 감소로 인해 축열조 공급에너지가 감소하는 15:00시 부터 보조가열기 공급에너지가 증가하는 것으로 분석되었다.

3.2 연간 냉방성능

태양열냉난방시스템의 연간 냉방성능은 태양열시스템의 에너지 성능평가의 주요 지표로 주로 사용되는 태양열 의존율을 통해 검토를 실시하였다. 그림 7은 5월~9월로 설정된 냉방기간 동안 태양열 의존율을 나타낸다.

냉방기간 평균 태양열 의존율은 32.2%로 나타났으며, 5월에 최대 63.4%, 7월에 17.9%의 가장 낮은 값을 보였다. 5월의 태양열 의존율은 63.4%로 가장 높게 나타났으며 7월에 17.9%로 가장 낮은 비율을 보였으며, 냉방기간 평균 태양열 의존율은 35.6%로 나타

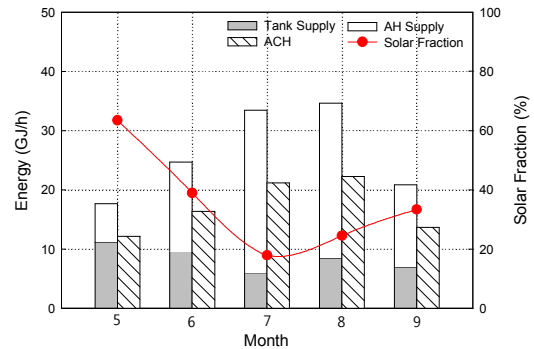


그림 9. 태양열냉난방시스템 냉방기간 의존율

났다. 이와 같은 결과는 5월의 경우 냉방부하에 비해 상대적으로 높은 일사량으로 인해 집열에너지가 크지만 7월에는 냉방부하와 태양열을 통한 집열에너지가 5월과 상반되는 현상이 나타나기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 사무소 건물을 대상으로 건물 냉·난방시스템으로써 냉방기간 동안의 태양열냉난방시스템의 적용성 분석을 위해 대표일의 일일 냉방성능과 연간 냉방성능 등에 대하여 검토를 실시하였다. 연구의 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 최대 냉방부하를 보이는 대표일의 냉방성능 분석 결과 실내온도는 평균 26.5℃로 적합하게 유지되었으며 이때 집열기 효율은 평균 32.9%, 흡수식냉동기의 일 평균 COP는 0.68로 양호한 성능으로 작동되고 있음을 확인할 수 있다.
- (2) 5월~9월의 냉방기간 동안 평균 태양열 의존율은 32.2%로 분석되었으며, 최대 및 최소 태양열 의존율은 각각 5월 63.4%와 7월 17.9%로 분석되었다.

후 기

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2010년도 컴

단도시개발사업(과제번호:07도시재생B04)
지원 사업으로 이루어진 것으로 이에 감사
를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 곽희열 외, 태양열 구동 흡수식 냉방시스
템 실증연구, 산원자원부, 2006.
2. 최창용, 고상철, 곽희열, 태양열 냉난방 부
하산정을 위한 TRNSYS 동적 시뮬레이
션, 한국태양에너지학회논문집, Vol. 26,
No. 1, 2006.
3. 곽희열, 신우철, 태양열 냉·난방시스템의
열성능 분석, 한국태양에너지학회논문집,
Vol. 28, No. 4, 2008.
4. 고명진 외, 사무소건물 태양열급탕시스
템의 LCC 최적화 시뮬레이션, 설비공학논
문집, Vol. 22, No. 12, 2010.
5. Solar energy Lab., TRNSYS 16.1 reference
manual, University of Wisconsin-Madison,
2005.
6. KESE Registration Number-incheon-R-04