

공동주택의 열부하 및 탄소배출량 저감을 위한 태양열시스템의 최적 적용 방안 연구

윤중호*, 심세라**, 신우철***, 백남준****, 곽희열****

*한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr), **한밭대학교 대학원 건축공학과(simsera1110@naver.com),
대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.ac.kr), *한국에너지기술연구원(hykwak@kier.re.kr)

A Study on the Optimum Application Method of Solar Thermal System to reduce Thermal Load and Carbon Emission in Apartment Building

Yoon, Jong-Ho* Sim, Se-Ra** Shin, U-Cheul*** Kwak, Hee-Yul****

*Dept. of Architecture Eng, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr),

**Dept. of Architecture Eng, Graduate School, Hanbat National University(simsera1110@naver.com),

***Dept. of Architecture, Daejeon University(shinuc@dju.ac.kr),

****Solar Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research(hykwak@kier.re.kr)

Abstract

Architectural market in the world is trying to develop Zero Carbon Building that doesn't use fossil fuel. Residential building that thermal load such as heating and domestic hot water is over 70% in energy consumption is easy to make Zero Carbon Building compared with office building that is mainly electric load. So, As a preliminary for analyzing the effect of Solar thermal system in the building, an annual energy consumption of residential building and total heat loads are calculated. Based on this result, three alternatives of solar thermal system for hot water and heating are applied in the building while installation area is increasing. Solar thermal system is applied on balcony and roof of apartment building as the way to reduce thermal load. In the first case that solar thermal system for hot water is applied on the balcony, optimum installation area is 56m². And you could install 40m² of this system in the roof that angle is 30°. In the second case of solar thermal system for heating and hot water, you can install 40m² on the roof. As a result of economic evaluation, the most economical application method is to install 40m² of solar thermal system for only hot water on the roof of the building. At that time, you can payback the initial investing cost within 10 years. And carbon emission of this method can be reduced until about 4 ton per year.

Keywords : 공동주택 (Apartment Building), 태양열시스템(Solar Thermal System), 열부하(Thermal Load), 탄소배출량(Carbon Emission)

투고일자 : 2011년 4월 1일, 심사일자 : 2011년 4월 4일, 게재확정일자 : 2011년 4월 25일
교신저자 : 신우철(shinuc@dju.ac.kr)

3.2 해석대상 공동주택의 에너지소비량

태양열시스템 적용에 앞서, 해석대상 공동주택의 열부하량을 확인하기 위해 난방부하 및 급탕부하를 산출하였다. 해석도구로는 ESP-r 알고리즘 기반의 IES_VE를 이용하였으며, 그림 2는 본 해석에 적용된 서울지역의 기상데이터이다.

급탕 스케줄은 표 1에서 알 수 있듯이, 최대 급탕사용량을 나타내는 2월을 기준으로 월별 사용량을 상대적 비율로 나타냈으며, 시간에 따른 스케줄은 하루 시간대별 급탕사용량을 비율로 나타낸 것이다. 해석대상의 난방은 11월~3월까지로 가정하였으며, 난방설정온도는 22℃이다.

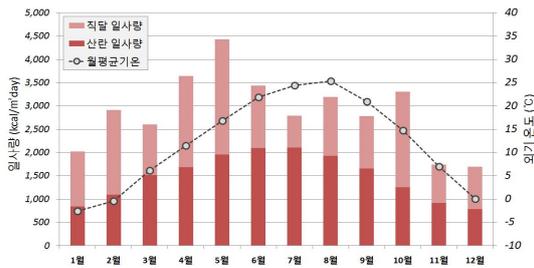


그림 2. 서울지역의 월별 일사량 및 평균기온

표 1. 시간별 및 월별 급탕스케줄

	월별 스케줄			시간별 스케줄	
	급탕량 (ℓ/day)	월간사용량 (ℓ/day)	비율(%)	시간	비율(%)
1월	210	6,510	90	2	4
2월	232	6,496	100(기준)	4	0
3월	198	6,138	85	6	1
4월	203	6,090	87	8	15
5월	172	5,332	74	10	21
6월	156	4,680	67	12	10
7월	114	3,534	49	14	5
8월	73	2,263	32	16	5
9월	102	3,060	44	18	15
10월	136	4,216	59	20	15
11월	166	4,980	72	22	7
12월	191	5,921	82	24	2
총량	1,953	59,220	-	총량	100

표 2. 해석대상 공동주택의 구조체 열관류율

	열관류율 (W/m²℃)
외벽 및 내벽	0.1659
지붕	0.1205
내부바닥 및 최하층바닥	0.5056
투명복층창호(6-12-6)	2.537

표 3. 인체, 조명, 기기 밀도

인체	조명	기기
현열 45W/인, 잠열 40W/인	6W/m²	5.3W/m²

분석 결과, 그림 3에 나타난 바와 같이 해석대상 공동주택의 용도별 건물부하 중 급탕부하가 25%, 난방부하가 33%로, 총 열부하가 전체 열부하의 58%를 차지하는 것을 알 수 있다. 또한 해석대상의 원단위 에너지 소비량은 115.4kWh/m².yr(건물부하/공조면적)로 분석되었으며, 해석대상의 월별 급탕부하 및 난방부하는 표 4와 같다.

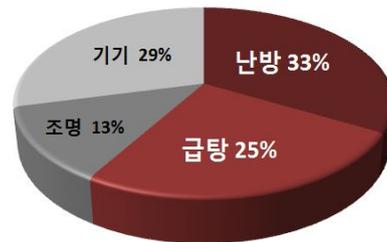


그림 3. 해석대상 공동주택의 용도별 건물부하

표 4. 공동주택의 월별 급탕 및 난방부하량 (14세대)

	급탕부하 (kWh)	난방부하 (kWh)		급탕부하 (kWh)	난방부하 (kWh)
1월	5,537	18,456	7월	1,926	-
2월	5,794	12,555	8월	1,055	-
3월	5,194	8,767	9월	1,611	-
4월	4,637	-	10월	2,542	-
5월	3,561	-	11월	3,309	3,688
6월	2,657	-	12월	4,619	12,166
총 급탕부하	42,444	총 난방부하	55,631		

4. 태양열시스템 적용효과 분석

4.1 개요

태양열 급탕시스템의 최적공급안을 평가하기 위해 평판형 집열기, 진공관식 집열기, 이중진공관식 집열기 총 3가지 시스템을 대상으로 해석을 실시하였으며, 각 시스템의 주요 사양은 다음 표 4와 같다. 성능평가는 TRNSYS 알고리즘 기반의 ASOLIS 해석프로그램으로 평가하였다.

표 4. 태양열 집열기 사양

구분	평판형 집열기	단일진공관형 집열기	이중진공관형 집열기
크기 (mm)	1020×1940×78	1165×2185×162	1516×1990×134
무게(kg)	35.0	65.0	65.5
면적 (㎡)	2.0 (투과면적 1.87 흡수면적 1.86)	2.55 (투과면적 1.87 흡수면적 1.66)	3.02 (투과면적 2.46 흡수면적 1.61)
최대효율	79.3%	53.5%	61.24%
열손실율 (W/㎡K)	5.1758	0.7204	2.1545

태양열 급탕 시스템의 열교환기 및 보일러의 효율은 각각 80%이며, 물의 공급온도는 50℃로 일정하게 공급되는 것으로 가정하였다. 시스템의 제어 방식은 ON/OFF로, 집열기 상단부와 축열조 하단부의 온도차로 제어되며, ON은 상하부 온도차 11℃ 이상 OFF는 2℃ 이상일 경우로 설정하였다. 축열조는 설치면적당 50ℓ를 기준으로 그 크기를 산정하였으며, 1일 1세대(4인) 필요 급탕량은 300ℓ(1인당 75ℓ)로 설정하였다.

또한 표 6과 같이 태양열 급탕시스템을 발코니에 적용한 경우와 지붕에 적용한 경우, 급탕 난방 겸용 시스템을 지붕에 적용한 경우로 나누어 설치면적에 따른 온수생산량 및 태양열 의존율을 분석하였다.

표 6. 태양열 시스템 적용 방안

	적용 위치	설치 각도	용도	설치면적
1	발코니	90	급탕	단위세대당 2~7㎡ (1㎡씩 증가, 총 24~94㎡)
2	지붕	30	급탕	30~60㎡ (5㎡씩 증가)
3	지붕	30	급탕난방겸용	30~60㎡ (5㎡씩 증가)

4.2 태양열 시스템 성능평가 결과

4.2.1 발코니적용 태양열 급탕전용시스템

난방부하는 동절기에 치우쳐 있기 때문에 태양열시스템은 주로 연중 부하가 있는 급탕용으로 사용되고 있다. 따라서 공동주택 발코니에 태양열 급탕시스템을 적용하여 그 성능을 평가하였다. 표 7은 본 대안에 적용된 급탕시스템의 개요를 나타낸 것이다.

표 7. 적용된 태양열 급탕 시스템 개요

집열부	열교환기	외장형
	유체	부동액 40% + 물 60%
축열부 및 이용부	축열조/보일러 분리방식	
	보일러 열원 : 도시가스 (LNG)	
경사각 및 방위	90°, 정남향	

그림 3은 평판형 집열기를 대표적으로, 14세대의 급탕부하에 대하여 설치면적 증가에 따른 태양열 의존율을 분석한 결과이다. 과열로 인해 발생하는 문제를 최소화하기 위해 의존율 90%이상으로 나타나는 면적의 적용은 고려하지 않았다. 아래의 그래프에서 알 수 있듯이 8월, 10월의 태양열 의존율이 연중 가장 높은 것으로 나타났으며, 56㎡(각 세대당 4㎡)를 설치하였을 때 과열을 방지함과 동시에 급탕부하를 가장 많이 저감시킬 수 있는 것을 알 수 있다.

표 8은 총 56㎡를 설치하였을 경우의 집열기 종류에 따른 성능 평가 결과이다. 분석 결과, 평판형 집열기의 연간 온수생산량은 18,890kWh로, 51%의 의존율을 보이며 다른 집열기에 비해 가장 성능이 우수한 것으로 나타났다.

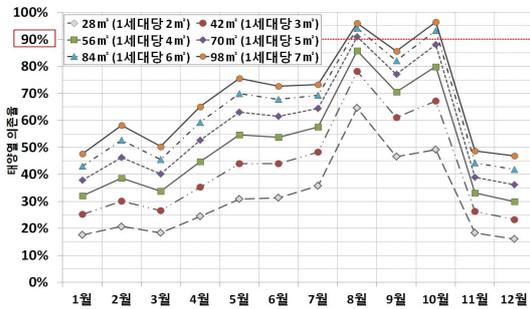


그림 4. 설치면적 증가에 따른 월별 태양열 의존율

표 8. 56㎡ 설치시 월별 온수생산량 및 태양열 의존율

월	평관형		단일진공관형		이중진공관형	
	생산량 (kWh)	의존율	생산량 (kWh)	의존율	생산량 (kWh)	의존율
1	1,772	32%	1,744	32%	1,728	31%
2	2,237	39%	2,051	35%	2,109	36%
3	1,756	34%	1,465	28%	1,569	30%
4	2,073	45%	1,697	37%	1,827	39%
5	1,944	55%	1,642	46%	1,759	49%
6	1,430	54%	1,159	44%	1,265	48%
7	1,107	58%	897	47%	971	50%
8	905	86%	911	86%	901	85%
9	1,136	71%	1,134	70%	1,131	70%
10	2,031	80%	2,003	79%	1,996	79%
11	1,099	33%	1,125	34%	1,095	33%
12	1,386	30%	1,381	30%	1,363	30%
총량	18,890	51%	17,192	47%	17,701	48%

또한 단일 및 이중진공관형 집열기의 경우 연간 온수생산량이 각각 17,192kWh, 17,701kWh로, 각각 47%, 48%의 의존율을 나타냈다. 이는 온수공급온도가 50℃로 저온이기 때문에 저온에서의 집열효율이 높은 평관형 집열기가 상대적으로 유리하게 작용한 것으로 판단된다. 또한 각 세대별 축열조를 개별적으로 설치할 경우에는, 축열조의 크기가 단위 세대당 0.2m³가 되는 것으로 나타났다.

4.2.2 지붕적용 태양열 급탕전용시스템

공동주택에서 태양열시스템의 설치공간으로 발코니 외에도 부대시설의 설치공간 확보를 위해 지붕이 고려될 수 있다. 따라서 급탕

전용시스템을 지붕에 설치하여 성능을 평가하였으며, 지붕면적의 유효공간 확보 및 의장성을 고려하여 설치면적을 최대 60m²으로 제한하였다. 시스템의 설치 각도는 30°이며, 적용된 시스템은 발코니에 적용한 경우와 같다.

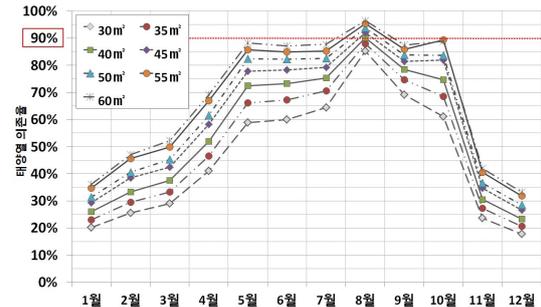


그림 5. 설치면적 증가에 따른 월별 태양열 의존율

그림 5는 태양열시스템의 설치면적을 5m²씩 증가시키며 분석한 결과 그래프이다. 분석 결과, 지붕용 태양열급탕시스템의 적정설치면적은 40m²로, 그 이상의 면적에서는 8월에 과열문제의 발생가능성이 높은 것으로 평가되었다.

표 9. 40㎡ 설치시 월별 온수생산량 및 태양열 의존율

월	평관형		단일진공관형		이중진공관형	
	생산량 (kWh)	태양열 의존율	생산량 (kWh)	태양열 의존율	생산량 (kWh)	태양열 의존율
1	1,440	26%	1,406	25%	1,423	26%
2	1,931	33%	1,785	31%	1,854	32%
3	1,950	38%	1,730	33%	1,828	35%
4	2,411	52%	2,240	48%	2,323	50%
5	2,582	73%	2,471	69%	2,503	70%
6	1,948	73%	1,852	70%	1,887	71%
7	1,450	75%	1,360	71%	1,392	72%
8	950	90%	968	92%	958	91%
9	1,264	79%	1,248	78%	1,252	78%
10	1,897	75%	1,889	74%	1,902	75%
11	1,010	31%	1,006	30%	1,006	30%
12	1,078	23%	1,067	23%	1,062	23%
총량	19,910	54%	19,017	52%	19,399	53%

표 8은 태양열 급탕전용 시스템을 총 40㎡로 지붕에 설치했을 경우 월별 온수생산량 및 태양열의존율을 분석한 결과이다. 집열기 종류에 따른 열부하 저감 성능은 발코니에 적용한 결과에서처럼 평판형 집열기가 가장 우수하며, 그때의 온수생산량이 연간 19,910 kcal로 총 14세대의 연간 급탕부하의 54%를 감당할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 이는 연간 총 온수생산량만을 고려할 때 6세대의 급탕사용량을 충당할 수 있는 양이며, 단위세대에 개별적으로 축열조를 설치할 경우 그 크기는 0.14㎡가 될 것으로 분석되었다.

4.2.3 지붕적용 태양열 급탕/난방 겸용시스템

태양에너지를 이용하여 급탕 뿐만 아니라 난방부하까지 충당하기 위해 공동주택의 지붕에 태양열 급탕/난방 겸용 시스템을 적용하여 성능을 평가하였다. 표 10은 본 대안에 적용된 태양열 급탕 시스템의 개요를 나타낸 것이다.

표 10. 적용된 태양열 급탕 시스템 개요

집열부	열교환기	외장형
	유체	부동액 40% + 물 60%
축열부 및 이용부	축열조 자연대류 온수가열방식 + 축열조(저탕조) 가열방식	
	보일러 열원 : 도시가스 (LNG)	
경사각 및 방위	30°, 정남향	

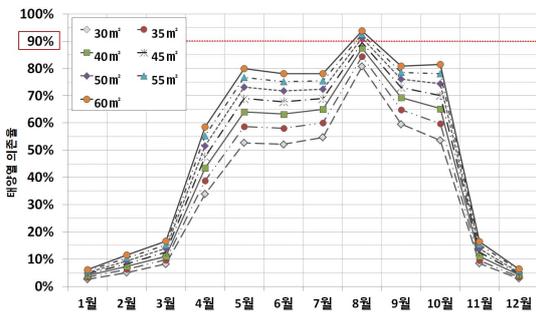


그림 6. 설치면적 증가에 따른 월별 태양열 의존율

그림 6에 나타난 바와 같이 설치면적을 증

가시키면서 태양열 의존율을 분석한 결과, 급탕/난방 겸용시스템의 경우, 설치면적 45㎡부터는 8월의 태양열 의존율이 90%가 넘어 과열이 우려되기 때문에 적용이 부적절할 것으로 판단되었다. 따라서 40㎡를 적용하여 전체 열부하에 대한 각 집열기별 성능을 분석하였으며 그 결과는 표 11에 나타내었다. 분석 결과, 평판형 집열기가 14세대에 대한 열부하(급탕 및 난방) 중 18%를, 단일 및 이중진공관형의 경우 각각 17%를 충당할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 단일진공관형 집열기는 8월에 태양열의존율이 90%가 넘기 때문에 설치면적이 40㎡이하가 적절할 것으로 판단된다. 평판형 집열기의 전체 온수 생산량은 연간 16,289kWh로, 각 세대의 급탕 및 난방 사용량만을 고려하였을 경우 약 2세대의 사용량을 충당할 수 있는 양으로 분석되었다. 또한 각 세대에 축열조를 개별 설치시 그 크기는 0.14㎡가 될 것으로 나타났다.

표 11. ㎡설치시 월별 온수생산량 및 태양열의존율

월	평판형		단일진공관형		이중진공관형	
	생산량 (kWh)	태양열 의존율	생산량 (kWh)	태양열 의존율	생산량 (kWh)	태양열 의존율
1	944	4%	944	4%	899	4%
2	1339	7%	1186	6%	1224	7%
3	1545	11%	1298	9%	1391	10%
4	2012	43%	1845	40%	1896	41%
5	2283	64%	2219	62%	2226	63%
6	1680	63%	1661	63%	1650	62%
7	1250	65%	1244	65%	1233	64%
8	922	87%	960	91%	938	89%
9	1116	69%	1176	73%	1140	71%
10	1658	65%	1691	67%	1658	65%
11	776	11%	830	12%	776	11%
12	716	4%	716	4%	677	4%
총량	16289	18%	15694	17%	15694	17%

4.3 경제성 및 탄소배출 저감량 평가

태양에너지는 미래의 에너지원으로써 기술 개발 및 보급을 위해서는 경제성뿐만 아니라

탄소배출량이 고려된 환경적 측면을 검토해야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 상기 결과를 토대로 시스템의 적용위치 및 구성별 성능이 우수한 적용방안을 선정하여 표 12와 같이 3가지 대안을 제안하고 경제성 및 탄소배출량을 평가하였다. 표 13은 경제성 및 탄소배출저감량 평가를 위한 입력값을 나타낸 것이다.

표 12. 각 대안별 개요 (평판형 집열기)

	면적 및 위치	용도	초기투자비 ¹⁾
대안1	발코니 56m ²	급탕	28,560천원
대안2	지붕 40m ²	급탕	20,400천원
대안3	지붕 40m ²	온수급탕겸용	20,400천원

표 13. 경제성 및 탄소배출 저감량 평가를 위한 입력값

열원 및 가격	도시가스(LNG), 856원/m ³ ²⁾
발열량	순발열량 9,550 kcal 총발열량 10,550 kcal
연료비상승률	8.54% ³⁾
석유환산계수	0.955
탄소배출계수	0.637 TonC/TOE

표 14. 대안별 연간 탄소 배출량 (단위 : kg/yr)

기준안	대안1	대안2	대안3
19,700	15,906(-3,794)	15,701(-3,999)	16,428(-3,272)

분석결과, 표 14에 나타난 바와 같이 연간 탄소배출량은 대안3, 대안1, 대안2의 순으로 많은 것으로 분석되었으며, 특히 대안 2의 경우 태양열 시스템을 적용하기 전인 기준안보다 연간 약 3,999kg의 탄소배출량을 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한 연간 연료비 절감액을 계산하여 초기투자비를 회수할 수 있는 기간을 산정하였을 때, 그림 6에 나

타난 바와 같이 대안 1, 2, 3이 각각 13년, 10년, 12년이 소요되는 것으로 분석되어 대안 2가 가장 경제적인 것을 알 수 있었다.

한편, 각 대안의 태양열 시스템을 20년 거치한다고 가정할 경우, 대안 1, 2, 3 각각 33,433,027원, 44,941,963원, 33,058,542원의 이익이 발생할 것으로 분석되었다.

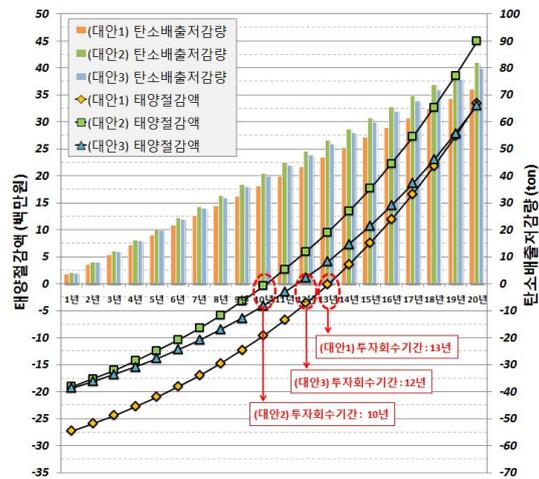


그림 7. 각 대안별 투자 회수기간 및 연간 누적 탄소배출저감량

5. 결론

본 연구에서는 공동주택의 열부하를 저감시키기 위해 단지 전체부하 측면에서 태양열 시스템의 연계 운영 및 최적 구성 방안을 검토하였으며, 주요 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 비교대상 기준모델로 설정한 일반적 공동주택 해석모델의 연간에너지소비량을 평가한 결과, 기준모델의 원단위는 115.4kWh/m².yr이며, 연간 총 급탕부하 및 난방부하는 각각 42,444kWh, 55,631kWh로 분석되었다.

둘째, 집열기 종류 및 설치면적에 따른 성능 해석결과, 평판형 집열기가 가장 우수한 것으로 분석되었으며, 발코니에 태양열 급탕 전용 시스템을 적용할 경우 최적설치면적은

1) 신재생에너지 보급보조사업 : 태양열시스템 소요시설비용의 50%이내 지원 (평판형 설치단가 : 1,020천원/m²)
2) 충남도시가스, 2011년 1월 1일 기준, 요금 856원(부가세 10%포함)
3) 통계청, 최근 5년간 도시가스 요금 상승률통계결과

56㎡, 지붕에 30°각도로 적용할 경우 40㎡로 나타났다. 지붕에 태양열 급탕난방 겸용 시스템을 적용할 경우 역시 적정 설치면적은 40㎡로 분석되었다.

셋째, 각 대안의 경제성 및 탄소배출량을 평가한 결과, 지붕에 평판형 태양열 급탕시스템을 30°각도로 40㎡ 설치할 경우 초기투자비에 대한 회수기간이 10년, 탄소배출 저감량이 연간 약 4ton/yr로, 경제적, 환경적 측면에서 가장 유리한 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 산업기술연구회 협동연구 연구비 지원으로 수행되었음
(과제번호 : B551179-09-04-00)

참 고 문 헌

1. 신우철, 백남춘, 김종형, 아파트 적용 태양열 난방 및 급탕시스템의 열적 거동에 관한 실험연구, 한국태양에너지학회 논문집 2006.04
2. 최봉수, 이봉진, 김진홍, 홍의기, 태양열 온수급탕시스템의 최적설계 및 경제성 평가, 대한설비공학회 2004 하계학술발표대회 논문집
3. H.Druck, W.Heidemann, H.Muller-steinhagen, Comparison test of thermal solar systems for domestic hot water preparation and space heating, Proceedings of EuroSun 2004.06