

공동주택용 태양열 급탕시스템 최적공급 방안 해석연구

이철성*, 박재성**, 박재완***, 신우철****, 윤종호*****

*한밭대학교 대학원 건축공학과(aeerulab@gmail.com), ** (주)이건창호시스템 연구소(jspark@eagon.com),
대전대학교 대학원 건축공학과 (mil0516@dju.ac.kr), *대전대학교 건축공학과 (shinuc@dju.ac.kr),
*****한밭대학교 건축공학과 (jhyoons@hanbat.ac.kr)

Optimal Supply Scheme of Solar Hot Water Heating Systems for the Apartment Complexes

Lee, Chul-Sung^{*}, Park, Jason^{**}, Park Jae-Wan^{***}, Shin, U-Cheul^{****}, Yoon, Jong-Ho^{*****}

*Dept. of Architectural Eng. Graduate School of Hanbat National University(aeerulab@gmail.com),
**EAGON Window&Door Systems Research Institute(jspark@eagon.com),
***Graduate School, Daejeon University(mil0516@dju.ac.kr),
****Dept. of Architectural Eng. Daejeon University(shinuc@dju.ac.kr),
*****Dept. of Architectural Eng. Hanbat National University(jhyoons@hanbat.ac.kr)

Abstract

This study is on the availability of solar thermal energy in Korean high-rise apartment complex depending on the installation type of solar collectors to roof or façade of building. Firstly, solar access evaluation on the roof and the facade of apartment buildings was carried out. The total thermal load of each apartment unit and building was investigated and matched with the energy which was produced by solar thermal systems on the facade. The considered layout patterns of apartment buildings were '—type', 'alternative —type', '∩type' and '□type' and that was analyzed in prior studies.

Extensive dynamic hourly energy simulations with the solar thermal system were performed with the TRNSYS of SEL. We assumed that the apartment complex is composed of 9 buildings and located in Daejeon. The collectors are the heat-pip evacuated tube collectors and the number of collectors are 45 tubes. We assumed that the collectors are installed on the balcony of each unit and the angle of incilation is 90°. As a result, the supply amount of solar thermal systems is about 4,850,086kJ/hr and the solar fraction is about 66%. The solar fraction according to each azimuth is about 66% on the south, 62% on the south-east 30° and 56% on the south-east 60°. So, we quantitatively got a line on the optimal azimuth for installing the solar thermal systems. The solar fraction has differences from 5% to 15% of each floor, 6th, 12th and 20th and those tendencies are same in analyzed each 4 types of the apartment complexes.

Keywords : 공동주택(Apartment Complex), 태양열 급탕시스템(Solar Hot Water Heating System), 태양 의존율(Solar Fraction)

1. 서 론

1.1 연구의 목적

공동주택은 제한적인 인접건물의 위치 및
형상으로 인해 신재생에너지 시스템을 적용
함에 있어 상당히 불리한 점이 있으며, 특히

신재생에너지 중 상당부분을 차지하고 있는 태양에너지 시스템을 적용함에 있어 고층의 인접건물로 인해 많은 제약사항이 따른다.

즉 공동주택은 단지 내 인동간격 및 배치형태, 방위에 따른 단위세대내의 음영영향이 크게 변화되며, 이는 태양열 및 태양광 시스템 적용 시 매우 큰 영향요소가 된다.

본 연구에서는 아파트 배치형태에 따른 주동 외피의 연간 적산일사수열량 분석과 위치에 따른 등급화 및 패턴분석을 통해 공동주택 단지의 종합적인 태양접근성 평가와 그에 따른 열부하의 부하매칭 평가를 실시한 선행연구¹⁾를 토대로 태양열 급탕시스템을 공동주택의 외피에 적용하였을 경우 열에너지 생산량을 알아봄으로써 공동주택에 대한 태양열 급탕시스템의 최적 공급 방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

2.2 연구의 방법

공동주택에 대한 태양열 급탕시스템 최적 공급방안 해석을 위해 본 연구에서는 이미 선행연구에서 해석대상이 되는 아파트 단지 및 주동 외피에 대한 태양열 급탕시스템 적용 부위를 결정하였다.

· 배치형태 4 유형

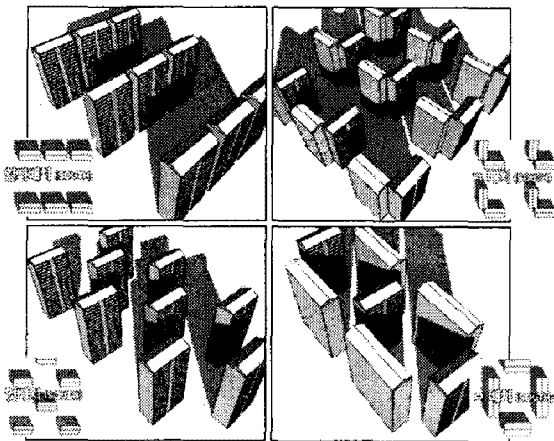


그림 1. 공동주택 배치형태 유형화

해석대상이 되는 아파트 단지는 그림 1에서 보는 바와 같이 9개동으로 구성된 20층의 고층아파트 4개 단지를 해석대상으로 가정하였으며, 대전지역의 시간별 표준기상자료를 이용하여 각 배치형태에 따른 주동 외피의 일사수열량을 그림 2와 같이 분석하였다. 이를 바탕으로 태양열 급탕집열기의 설치부위를 선정된 후, 각 부위에 적용될 시스템의 기본 설계를 실시하였다. 또한 현재 소비되고 있는 급탕 에너지 소비량을 조사한 후, 설계된 시스템을 적용하였을 경우 생산되는 공급열량을 비교, 분석하였다.

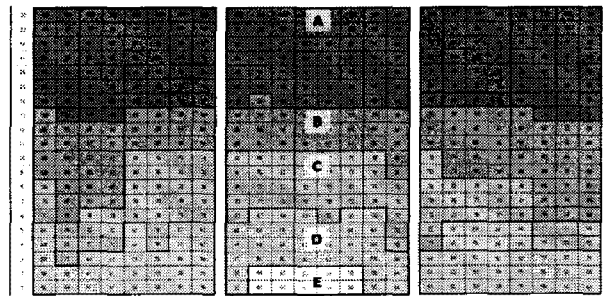


그림 2. 선행연구의 일사수열등급화 예시

2. 태양열 급탕시스템 최적공급을 위한 평가 방법

2.1 태양열 급탕시스템의 최적화 기본 설계
태양열 급탕시스템은 주택 내 운수 소비패턴을 기본으로 급탕 에너지의 수요가 많은 동절기에 태양열에너지 획득이 유리하도록 하기 위해 설치 경사각이 90°인 각 세대 발코니의 난간부분에 태양열 집열기를 설치하도록 하였다. 이때 태양열 집열기는 진공관식 집열기로, 집열기가 외기에 직접 면하기 때문에 진공관을 이루는 유리관의 강도와 난간에 설치되는 집열기의 하중을 고려하여 설계하였다.

그림 3은 발코니용으로 설계된 태양열 집열기의 기본도를 나타낸 것이다. 집열기 설치면적은 가로 4.8m, 세로 1.2m로 발코니 전면적 면적의 약 1/4에 해당되는 면적이다. 집

1) 윤중호, 박재성, The Thermal Loads Matching Analysis of Apartment Complex for Installation of Solar Thermal Systems, Sustainable Energy Technologies 2008 in Seoul

열기는 단일진공관식 집열기이며, 진공관의 규격은 직경 78mm, 높이 1.005m이고 집열기 1모듈에 사용되는 진공관은 45tube, 튜브간 간격은 10mm로 설계하였다. 그림 4와 그림 5는 집열기의 시작품 형태 및 설치사례를 나타낸 것이다.

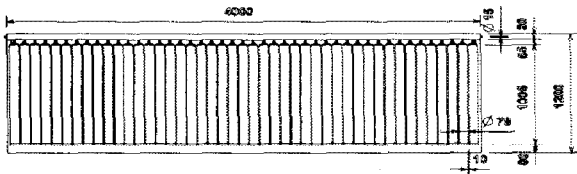


그림 3 진공관식 집열기 설계 도면

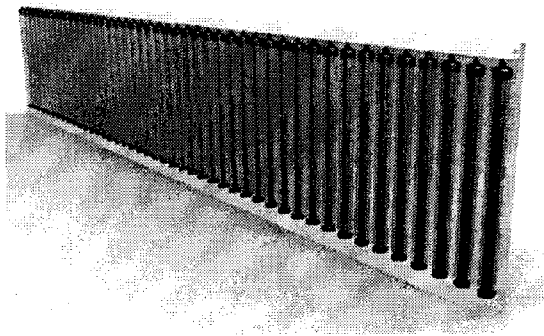


그림 4 발코니 설치용 태양열 집열기 형상

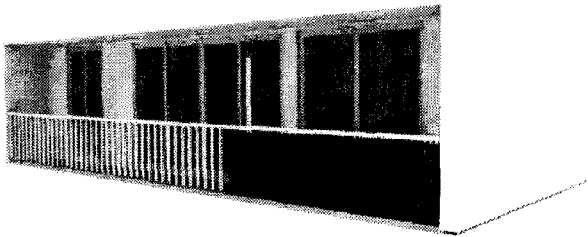


그림 5 태양열 집열기 발코니 설치 형상

표 1 태양열시스템 사양

구분	항목	사양
집열기	최고효율(FRτα)	0.535
	열손실계수(FRUL)	2.5934kJ/hrm²K
	경사각	90°
	방위각	0°, 30°, 60°
	집열면적	4.8m²
축열조	형식	원통입형
	급탕조	200liter
펌프	출력	40W
	유량	345kg/hr

표 1과 같이 시스템에 적용되는 축열조의 용량은 0.2m³이며, 열교환기는 축열조 내부에 설치되는 내장형으로 하였다. 또한 시스템에 사용되는 보조열원은 기존 난방에 사용되는 보일러이다. 태양열시스템의 제어는 일반적으로 사용되는 히스테리시스(hysteresis)가 있는 차온제어방식을 사용하였으며, 시스템의 계통도는 그림 6과 같다.

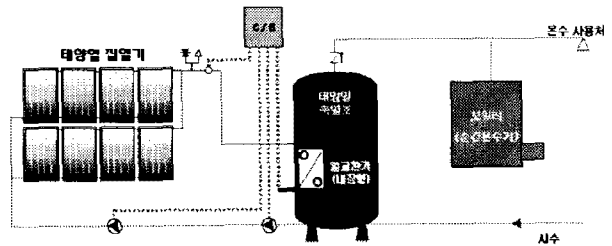


그림 6 발코니 설치용 태양열 급탕시스템 계통도

2.2 시뮬레이션 해석도구

공동주택 발코니에 적용된 태양열 급탕시스템의 최적공급 평가를 위해 본 연구에서는 TRNSYS 15(A Transient System Simulation Program)를 사용하였다. TRNSYS는 열 에너지 시스템의 비정상 상태 거동을 분석할 수 있는 프로그램으로 미국의 Wisconsin University의 Solar Energy Lab.에서 개발되어 각종 에너지 시스템의 동적 열전달 해석에 폭넓게 사용되고 있는 프로그램이다.

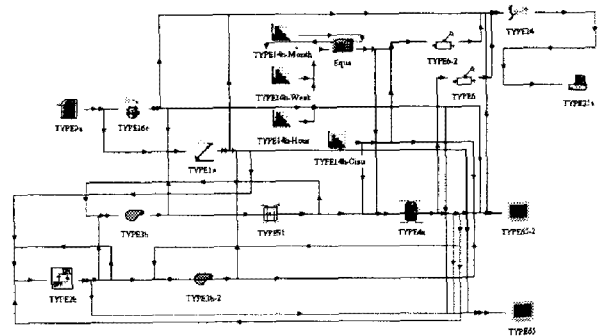


그림 7 TRNSYS IISiBat 컴포넌트 구성

TRNSYS는 메인 프로그램과 컴포넌트로 구성되어 있는데 집열기와 열교환기, 순환펌프, 축열조, 제어장치 등과 같은 컴포넌트를 서로 연결하여 실제 모델을 구성할 수 있으며, 메인 프로그램에서 시뮬레이션을 구현하게 되면 각 시스템 구성요소 등을 수치해석하게 된다. 그림 7은 TRNSYS의 IISiBat로 구현된 본 시스템의 해석모델을 나타낸 것이다.

2.3 기상자료 및 급탕부하

본 연구에서 기상데이터는 기상청의 관측 자료를 기반으로 제작된 대전지역 표준기상 데이터를 사용하였다. 시뮬레이션에 사용되는 주요 기상자료는 시간별 외기온과 상대습도, 풍속, 경사면 일사량 등이 해당된다. 그림 8은 대전지방의 연간 수평면 일사량 및 외기온 분포를 나타낸 것이다.

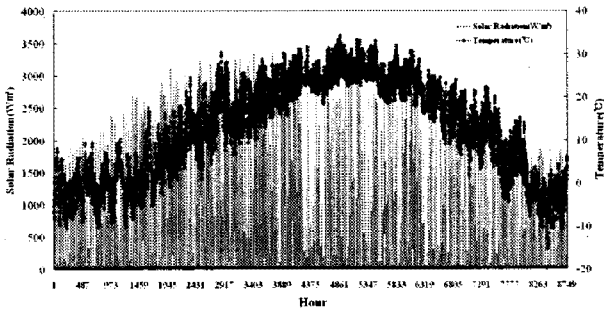


그림 8 대전지역 시간별 수평면전일사량 및 기온

표 2 월평균 일일 급탕량 및 시수온도

월	급탕량 (liter/세대)	비율 (%)	시수온도 (°C)
1	286	100	13.4
2	267	93	12.3
3	263	92	9.8
4	266	93	14.3
5	224	78	17.9
6	155	54	23.2
7	127	44	23.6
8	102	36	27.5
9	111	39	26.1
10	130	46	22.9
11	176	62	18.9
12	213	75	15.4

표 2는 태양열 급탕시스템 분석에 필요한 단위세대의 월평균 일일 급탕량과 시수온을 나타낸 것이다.

3. 태양열시스템 최적공급 평가 결과

3.1 태양열 급탕시스템 최적공급 평가 결과

표 3은 전면 차폐물에 의해 일사 제한을 받지 않는 상태에서 태양열 집열기를 정남향 발코니 난간부분에 경사각 90°로 설치하였을 경우의 한 세대의 시스템 월별 열성능을 분석한 것이다. 여기서 태양 의존율은 총 급탕부하에 대한 태양열 공급열량비를 의미한다.

표 3 발코니 설치용 태양열 급탕시스템 열성능

월	일사량 (kJ/m² · mon)	급탕부하 (kJ/mon)	태양열공급량 (kJ/mon)	태양 의존율 (%)
1	256,355	1,049,120	551,421	53%
2	193,131	913,098	381,262	42%
3	293,215	1,067,870	618,000	58%
4	268,579	919,394	566,011	62%
5	269,674	702,005	521,850	74%
6	230,849	377,311	346,395	92%
7	201,944	316,005	279,283	88%
8	268,833	206,425	206,425	100%
9	232,430	234,523	225,873	96%
10	298,123	333,690	330,244	99%
11	244,133	514,285	396,894	77%
12	225,328	731,226	426,428	58%
계	2,982,594	7,364,952	4,850,086	66%

연간 총 급탕부하 7,364,952 kJ에 대한 태양열 공급열량은 4,850,085 kJ로서 약 66%의 연평균 태양 의존율을 갖는 것으로 분석되었다. ASHRAE에서 제안하는 급탕의 적정 태양 의존율이 60~80%인 점을 고려할 때 본 시스템이 적정하게 설계된 것을 알 수 있다. 한편 그림 9의 월별 태양 의존율을 살펴보면 동절기(1월-4월, 11월-12월)의 평균 59%로서 급탕부하가 크게 증가하는 이 기간에도 태양열 공급열량은 상대적으로 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

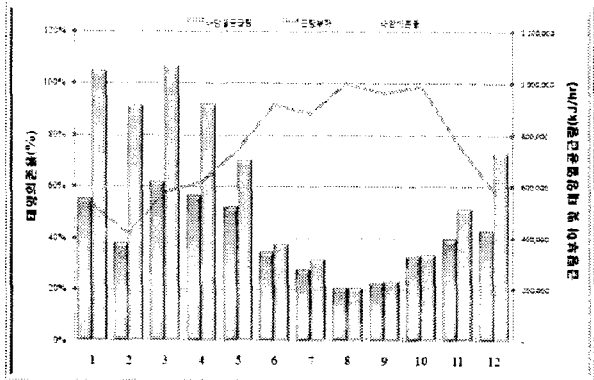


그림 9 발코니 설치용 태양열 급탕시스템의 열성능

3.2 방위별 태양열 급탕시스템의 최적공급 평가 결과

정남향, 남동 30°, 남동 60°의 방위별 태양열 급탕시스템의 연간 공급열량은 표 4와 그림 10과 같다. 태양열 집열기의 설치방위각이 동측으로 치우칠수록 태양열 공급열량비는 정남향에 비해 남동 30°가 약 6%, 남동 60°가 약 15% 떨어지는 것으로 나타났으며 태양 의존율은 정남향에 비해 남동 30°가 약 4%, 남동 60°가 약 11% 떨어지는 것으로 나타났다.

표 4 태양열 집열기 설치방위에 따른 열성능

	일사량 (MJ/m ² /yr)	태양열공급량 (MJ/yr)	공급열량비 (%)	태양의존율 (%)
정남향	2,983	4,850	100	66
남동 30°	2,943	4,595	94	62
남동 60°	2,751	4,145	85	56

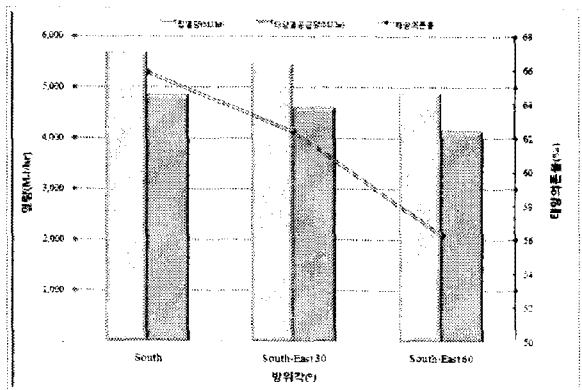


그림 10 태양열 집열기 설치방위에 따른 열성능

3.3 수직벽면의 높이에 따른 태양열시스템의 최적공급 평가 결과

본 연구의 태양열 급탕시스템은 단위 주동의 수직 벽면에 적용하기 때문에 인접동으로 인한 음영 영향으로 각 층에 따라 태양열시스템의 공급열량이 틀려진다. 따라서 본 절에서는 주동 및 수직 세대 위치에 따른 태양열 공급량의 변화 평가를 위해 그림 11과 같이 9개 위치 세대를 대상으로 음영의 영향을 고려한 태양열 시스템 성능 해석을 수행하였다. 9개 세대의 위치선정 배경은 선행연구¹⁾에서 실시한 주동배치 형태별 태양접근성 평가 결과에 따라 그림 2 및 그림 11과 같이 일사수열등급 A등급에 해당되는 최상층인 20층과 B~C등급에 해당되는 12층, C~D등급에 해당되는 6층을 대표로 하여 각각의 배치 형태에 따른 시간별 태양열 공급량 해석을 수행하였다. 각 세대 위치에 따른 인접동의 음영영향은 TRNSYS의 음영해석 모듈 (Type 68: Shadings of openings by external objects)을 이용해 인접동의 기하학적 형상을 정의, 반영하였다.

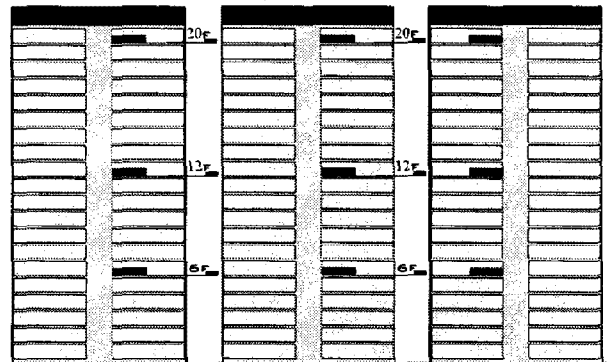


그림 11 발코니 설치용 태양열 집열기 해석 세대

일사수열량에 따른 태양열 급탕시스템 성능평가 결과 4가지 배치유형에서 층수가 낮을수록 태양열공급량과 태양의존율은 낮아지는 것으로 나타났다. 표 5에서 보는 바와 같이 -자형 배치의 경우 좌측동, 중앙동, 우측동의 6층의 태양의존율은 각각 59%, 43%, 44%로 나타났고 12층은 각각 59%, 51%, 54%로 나타났으며, 20층은 모두 66%로 나타

났다. 좌우측동 보다는 중앙동 세대에서 층간 높이에 따른 편차가 크게 나타나 중앙동 6층과 20층의 경우는 23%의 의존율 차이를 보이고 있다. 층간 높이에 따른 의존율 변화 패턴은 다른 3가지 배치형태에서도 유사한 경향을 보이고 있다.

표 5 수직벽면의 높이에 따른 태양열공급량 평가

-자형 배치						
	좌측동		중앙동		우측동	
	태양열 공급량 (MJ/yr)	태양 의존율 (%)	태양열 공급량 (MJ/yr)	태양 의존율 (%)	태양열 공급량 (MJ/yr)	태양 의존율 (%)
20층	4,850	66%	4,850	66%	4,850	66%
12층	4,310	59%	3,762	51%	3,944	54%
6층	4,310	59%	3,133	43%	3,252	44%
-자형 엇배치						
20층	4,850	66%	4,850	66%	4,850	66%
12층	3,939	53%	3,762	51%	3,699	50%
6층	3,521	48%	2,906	39%	3,228	44%
-자형 배치						
20층	4,850	66%	4,850	66%	4,850	66%
12층	3,922	53%	3,803	52%	3,679	50%
6층	3,442	47%	3,250	44%	3,049	41%
□자형 배치						
20층	-	-	4,850	66%	-	-
12층	-	-	3,883	53%	-	-
6층	-	-	3,250	44%	-	-

4. 결론

태양열 급탕시스템을 공동주택에 적용하기 위한 최적공급방안을 제시하기 위해 본 연구에서는 진공관식 집열기를 각 세대의 발코니 난간부분에 적용하는 것으로 하였으며 그 분석 결과는 다음과 같다.

집열기는 45tube로 이루어진 진공관식 집열기로 경사각 90°의 발코니에 적용하여 분석한 결과 태양열 공급량은 약 4,850,086 kJ/hr로 태양 의존율은 약 66%로 나타났다. 또한 방위각별로는 정남향의 태양 의존율이 66%, 남동 30°일 경우 62%, 남동 60°일 경우 56%로 시스템 성능은 정남향일 경우 가장 우수하다는 것을 정량적으로 제시하였으며, 일사 수열량에 따른 시스템 성능평가 결과

시뮬레이션을 실시한 4가지 배치 형태의 단위주동 6층, 12층, 20층에 대하여 태양의존율은 4가지 배치형태에서 저층에서 고층으로 갈수록 평균 약 5~10%의 차이가 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 공동주택에 신재생에너지 즉, 태양에너지 시스템을 적용하기 위한 단계별 연구 중 3단계의 연구로 상세 기본 설계를 통해 시스템 적용시 생산되는 에너지를 평가하였다. 본 연구를 통하여 국내에는 전무한 공동주택의 태양열 급탕시스템 최적공급방안을 정량적 수치와 근거로 제시하였으며 이를 통해 설계자 및 시공자, 소비자를 위한 기초 자료로 제시하고자 한다.

본 연구를 토대로 시스템 직접 제작, 설치 실험과 시스템 적용에 따른 경제성 평가 등에 대한 후속연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 윤종호, 박재성, 진경일, 신우철, 공동주택의 배치형태 및 방위변화에 따른 주동 전면부의 태양접근성 평가, 대한건축학회 논문집, 2008
2. 신우철, 백남춘, 김종현, 아파트 적용 태양열 난방 및 급탕시스템의 열적 거동에 관한 실험연구, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 26, No. 4, 2006.
3. 김병수, 윤종호, 송인춘, 이진숙, 아파트의 급탕량 조사 및 태양열 온수급탕 시스템 적용에 관한 연구 '대전시를 중심으로', 대한건축학회 논문집, Vol. 18, No. 12, 2002.
4. TRNSYS 15 Reference manual, University of Wisconsin - Madison, 1994.