

태양열 집열기 성능실험을 통한 공동주택 효율적 설치방안 연구

김미연*, 최병도**, 김형근***, 박진철****

*SH공사 도시연구소(miyeon8377@i-sh.co.kr), **중앙대학교 대학원 건축학과(cbdguy@hanmail.net),
SH공사 도시연구소(hgkim@i-sh.co.kr), *중앙대학교 건축학과(jincpark@cau.ac.kr)

A Study on the Effective Installation to the Apartment Through Solar Collector Performance Test

Kim, Mi-Yeon*, Choi, Byung-Do**, Kim, Hyung-Geun***, Park, Jin-Chul****

*Urban Research Institute, Seoul Metropolitan SH Corporation (miyeon8377@i-sh.co.kr),
**Dept. of Architecture, Chungang University(cbdguy@hanmail.net),
***Urban Research Institute, Seoul Metropolitan SH Corporation (hgkim@i-sh.co.kr),
****Dept. of Architecture, Chungang University(jincpark@cau.ac.kr)

Abstract

The application of solar energy in residential building is general and natural in today. And application methods of solar thermal energy is divided in two kind of form, single evacuated tube and flat-plate form. Then in this study, the efficiency of single evacuated tube and flat-plate system is compared by total and effective area considering the time receiving the solar radiation between 24 hours and the specific time(10:00~15:00).

As a result of the experiment, single evacuated tube and flat-plate collector's efficiency is varied by the quantity of solar radiation. And especially, the flat-plate system is more affected by outdoor temperature.

Therefore the application of solar thermal system should be considered the solar radiation and outdoor temperature.

Keywords : 태양열 집열기 효율(Solar Collector Efficiency), 기후설계(태양열 집열기 : 평판형 Flat-plate, 단일 진공관형 : Single Evacuated Tubular), 급탕부하(Hot Top Water Load)

1. 서 론

우리나라는 2008년부터 '저탄소 녹색성장'을 새로운 국가 발전의 패러다임으로 제시하였다.

건축분야에서도 저탄소 녹색성장의 움직임 이전부터 "지속가능한 개발(Sustainable Development)"과 "친환경 건축물(Green Building)"에 대한 관

심이 증가하고 있었으며, 에너지 사용량을 감축시키는 저에너지 기술과 청정에너지 생성 기술인 신재생에너지시스템의 건축물 적용연구가 시행되고 있다. 이에 정부 및 서울시에서는 '2030 그린디자인 서울' 마스터플랜(2009.7.02)의 발표와 함께 저탄소 녹색성장 비전에 부응하고, 건축부문의 목표달성을 위해 2020년까

지 에너지사용량 20% 절감, 신재생에너지이용률 20% 확대, 온실가스배출량 40% 감축을 목표로 하였다. 따라서 공동주택 또한 신재생이용률 20% 확대를 위한 기술적용이 필요함에 따라 총 공사비 1% 의무사용에 따른 효율적인 공동주택 신재생에너지시스템 우선 선정 방안을 제시하고자 하였다. 실제 Mock-up 실험동을 통한 태양열 성능실험과 에너지성능시뮬레이션 프로그램에 SH공사 A지구 공동주택을 적용하여 최종 태양에너지시스템 적용방안을 도출하고 평가하였다.

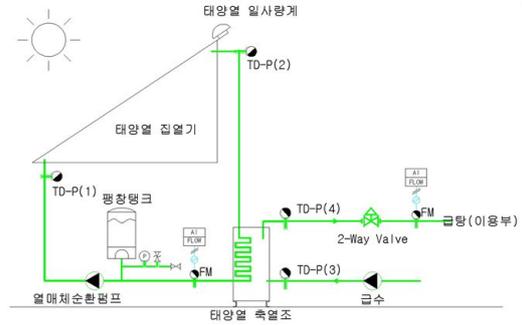


그림 1. 태양열 시스템 계통도

표 1. 성능실험 태양열 집열기의 제원

구분	내용		사진
	형식	일반형	
평판	전면적	2m ²	
	집열면적	1.86m ²	
	형식	일체형	
	전면적	6m ²	
진공관	집열면적	5.4m ²	
	형식	단일	
	집열관 수	10tubes	
	전면적	2.55m ²	
	집열면적	1.87m ²	
	형식	이중	
집열관 수	16tubes		
전면적	3.02m ²		
	집열면적	2.46m ²	

2. 태양열 집열기 성능실험

공동주택의 효율적인 태양열시스템 설치방안을 위해 평판형 집열기 중 일반형과 일반형 크기의 3배가 되는 일체형 집열기의 성능분석, 진공관형 집열기는 단일형과 이중형을 성능분석 하였다. 일체형의 경우, 기존 일반형의 단점인 투과체와 흡수판 사이에서 일하는 대류현상, 집열기와 집열기를 연결하는 구조프레임, 프레임의 이음매 모서리 부분 등에서 열손실을 줄이기 위해 개발된 집열기다.

성능실험수행을 위해 정남향의 Mock-up 실험동을 구축하여 9월~11월까지 1차적으로 집열기별 기본적인 성능실험을 수행하였고, 2차적으로는 하절기와 동절기로 나누어 실험을 진행하였다.

2.1 성능실험 개요

실험수행 방법은 첫 번째, 최적의 설계각도를 적용하여 실험동에 집열기를 설치한 후, 집열기에 따른 축열조 용량을 산정하였다. 두 번째, 집열기의 취득량 측정 및 축열조 급·배수량, 온수배관의 온도를 측정하기 위해 각 일사계와 유량계, 온도센서(Resistance Temperature Detector)를 설치하였다. 마지막으로 데이터 로거(Data Logger)를 통해 측정된 데이터를 수집하고 그 결과를 정리하였다.

현재 우리나라의 집열기 효율은 전면적을 기준으로 시스템의 효율을 평가하고 있으며, 집열기의 형태 및 종류와 관계없이 적용된다. 따라서 평판형은 집열기의 유효면적과 전면적의 차이가 적어 효율에 큰 변화가 없다. 반면 진공관의 경우 흡수판 외에 열교환을 하는 응축부, Manifold(진공관사이를 연결하는 곳) 부분과 그 외의 구조체 부분도 전면적에 포함되기 때문에 유효면적과 전면적 기준의 효율 변화율이 많다. 본 실험에서는 전면적에 따른 성능비교를 수행하였으며, 24시간동안 취득한 열량과 효율을 분석하였다.

2.2 집열기 형태에 따른 성능실험

집열기 형태에 따른 성능 비교를 평가하기

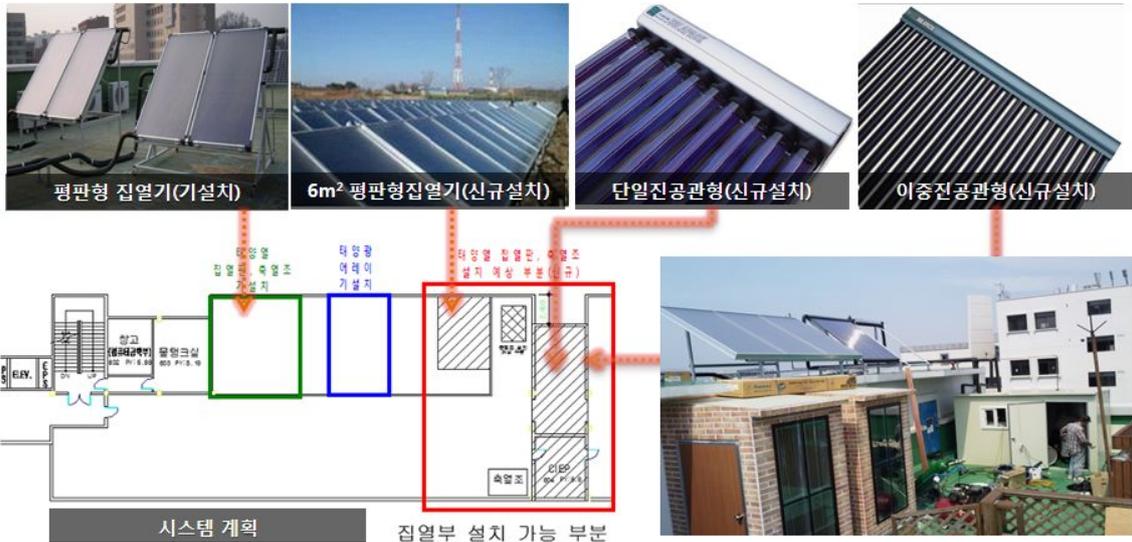


그림 2. 태양열 집열기 설치모습

위해 평판형은 일반 2m² 집열기와 일체형 6m² 집열기, 진공관형은 면적이 비슷한 단일진공관과 이중진공관을 평가하였다. 평판형의 경우, 일반형에서 열손실이 개선된 집열기의 성능을 비교하였으며, 진공관형의 경우에는 히프파이프식으로 열교환기를 이용하여 온수생산을 하는 방식인 단일진공관과 열교환이 없이 U자 배관을 통해 순환하여 온수가 생산되는 이중진공관과의 성능을 비교하였다.

각 집열기의 기본성능평가 후, 특징이 다른 3가지 타입의 집열기를 선정하여 공동주택 하절기 및 동절기에 적합한 집열기를 제안해 보았다.

실험결과, 6m² 일체형 집열기가 총 취득열량이 49,519kcal/day/m²으로 일반형 대비 약 10% 열을 더 취득하였으며, 시스템의 효율 또한 4% 높게 나타났다. 그 이유는 일반형의 각 모서리부분에서 발생하는 열손실이 일체형에서는 모서리이음매 부분이 집열판과 이어져 있어 열손실부분을 방지해 준 것으로 판단된다. 반면 실험기간 중 11월 4일, 9일, 15일의 취득열량이 현저히 낮게 나타난 것으로 날씨변화로 인해 일사량이 500kcal/m² 이하로 떨어졌기 때문인 것으로 보인다.

(1) 평판형 집열기

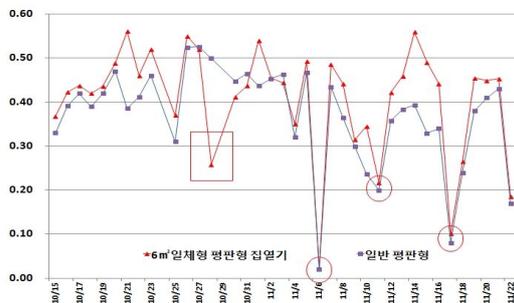


그림 3. 평판형 성능실험결과[kcal/day/m²]

(2) 진공관형 집열기

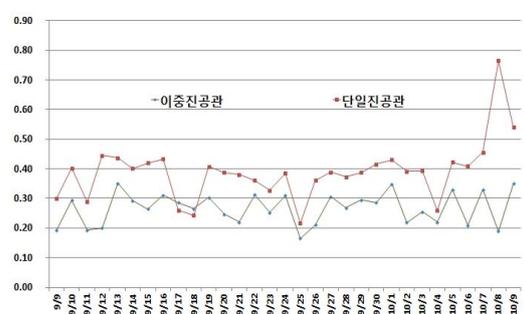


그림 4. 진공관형 성능실험결과[kcal/day/m²]

실험결과, 단일진공관이 단위면적당 취득 열량 45,965kcal/m²로 이중진공관 대비 약 28% 열을 더 취득하였으며, 시스템 효율 또한 26% 높게 나타났다.

진공관형 집열기 실험에서는 평판형과 달리 외기온도에 의한 성능은 크게 변하지 않은 것으로 보인다. 하지만 진공관형 또한 일사량이 적을 시 성능이 약 10% 이내로 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

2.3 계절에 따른 집열기 성능실험

집열기별 성능평가 결과, 평판형의 경우 일반형 대비 일체형이 열취득 및 효율이 각각 10%, 4% 높게 나타나 일체형을 선정하게 되었고, 진공관형의 경우는 이중진공관 대비 단일진공관이 열취득 및 효율이 각각 28%, 26%로 뛰어난 성능을 가져 선정하게 되었다. 하지만 이중진공관형의 경우, 평판형 및 단일진공관 보다 열취득이 현저하게 낮음에도 불구하고 온수생산방식 및 열취득의 특징이 다르기 때문에 추가적으로 선정하여 3가지 타입으로 선정하였다. 실험을 수행하는데 있어 측정기준을 하절기는 9월, 동절기는 10월~11월로 나누어 성능실험을 수행하였다.

(1) 하절기

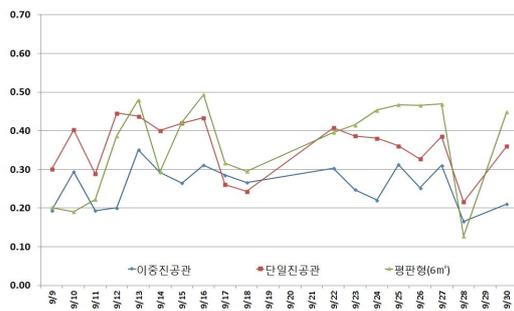


그림 5. 하절기 성능실험결과[kcal/day/m²]

하절기 집열기별 취득열량 결과, 평판형 집열기(6㎡ 일체형)가 27,413kcal/m²으로 가장 많은 취득량을 나타냈다. 또한 평판형은 가장 낮게 나타난 이중진공관형 대비 33% 높은

것으로 확인되었다. 하지만 성능그래프패턴에 있어서 일체형 평판형이 단일진공관형 보다 우수한 성능을 보임에도 불구하고 외기조건이 저하되거나 일사량이 부족할 때 단일진공관형 보다 열저장능력이 급격히 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 동절기



그림 6. 동절기 집열기별 성능평가결과(kcal/m²)

동절기 집열기별 취득열량 결과, 단일진공관형이 70,934kcal/m²으로 가장 많은 취득량을 나타냈다. 또한 단일진공관형은 가장 낮게 나타난 이중진공관형 대비 24% 높은 것으로 확인되었다.

성능패턴에서 알 수 있듯이 일사량이 낮아지면 이중진공관형과 평판형의 경우 에는 효율이 급격히 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 단일진공관형의 경우 오히려 효율이 상승되는 것을 볼 수 있는데 그것은 평판형의 열취득 방식과 달리 직달일사에 의한 열취득이 많아 열취득이 좋은 오전10시~15시 사이에 순간적으로 집열하는 특징을 갖고 있기 때문이다. 반면 이중진공관형의 경우는 단일진공관형과 달리 U자 패턴으로 온수가 급배수로 순환하기 때문에 관에서 열손실이 발생한 것으로 보이고 있다.

3. 시뮬레이션을 통한 성능평가

태양열 집열기 측정결과를 토대로 실제 공동주택에 적용하여 시뮬레이션을 통한 성능을

검증하였다. 프로그램은 미국 에너지국(Department of Energy, DOE)에서 배포한 에너지해석프로그램인 Energy Plus를 사용하였다. 범위설정에 있어 적용대상아파트는 서울시 강일동에 위치한 A단지(관상형, 타워형)를 선정하였다. 시스템은 태양열을 중심으로 하루 중 태양복사에너지를 길게 받을 수 있는 아파트 옥상, 발코니(벽면)부분에 설치하였다.

시뮬레이션을 통한 다양한 적용평가를 위해 태양열 집열기 설치각도는 각 30°, 45°, 60°, 90°로, 설치방위는 정남, 남동, 남서향으로 최대 일조량을 확보하기 위한 변수를 설정하여 평가를 수행하였다.

3.1 시뮬레이션 개요

(1) 급탕량 산정

아파트의 1인 1일 최대 급탕량은 75~150L로 제시하며 1일 사용에 대한 필요한 시간당 최대치 비율은 1/7로 명시하고 있다. 4인 가족을 기준으로 했을 경우 시간당 피크 급탕 사용량은 42.86~85.71L이다. 따라서 분석한 시간당 피크 사용량이 범위 안에 적합하다고 판단되어 급탕사용량을 약 57L로 설정 후, 25%의 안전율을 주어 축열조 용량을 2L로 설정하였다.

(2) 모델링 설정

전용면적 84㎡세대 60가구로 구성되어진 아파트 동을 모델링하고, 에너지소비량 평가는 4인 가족이 재실 하는 것으로 예측하였다.



그림 7. 관상형

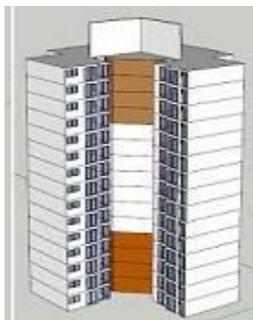


그림 8. 타워형

(2) 변수설정

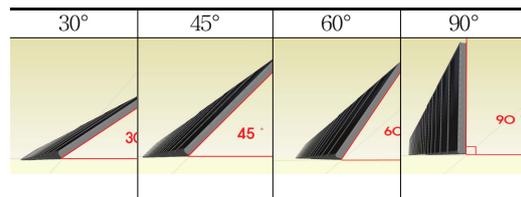
다양한 태양에너지시스템의 적용평가를 위해 태양에너지시스템의 설치각도와 방위를 변수로 설정하였다. 설치각도는 각 30°, 45°, 60°, 90°, 설치방위는 정남, 남동, 남서향으로 최대 일조량을 확보하기 위한 평가를 수행하였다.

관상형의 경우 직사각형으로 인해 전세대가 정남향의 직달 일사를 받으므로 설치각도만 변수로 설정하였다. 타워형의 경우에는 옥상 부분은 직달 일사가 가능하지만 발코니부분은 전세대가 직달 일사를 받지 못한다. 따라서 발코니부분은 정남향을 기준으로 남동, 남서향에 설치각도에 변화를 주어 수행하였다.

표 2. 시스템 설치면적 산정

Case	설치 위치	설치면적
관상	옥탑	456㎡ x 0.5(설치비율) = 228㎡
	발코니	각 세대 3.5㎡(3.3mX1.06) x 60세대 = 210㎡
타워	옥탑	427㎡ x 0.38(설치비율) = 162㎡
	발코니	각 세대 3.5㎡(3.3mX1.06) x 60세대 = 210㎡

표 3. 시스템 설치각도의 변화



관상형의 경우, 태양광과 태양열을 설치할 때 직사각형의 형태로 공간 활용에 있어 제약을 받지 않지만, 타워형의 경우는 평면 중간에 배기구 및 입상배관의 관통으로 인해 설치를 할 수 있는 공간이 넓지 않다. 표 2와 같이 실제 설치 가능한 공간을 계산해보면 설치 최대 길이는 약 11m인 것으로 나타나, 설치가 능면적으로 비율을 계산하게 되면 관상형의 경우는 최대 50%, 타워형의 경우는 최대 38%

설치가 가능하다.

3.2 옥상부분 태양열 성능평가

(1) 판상형

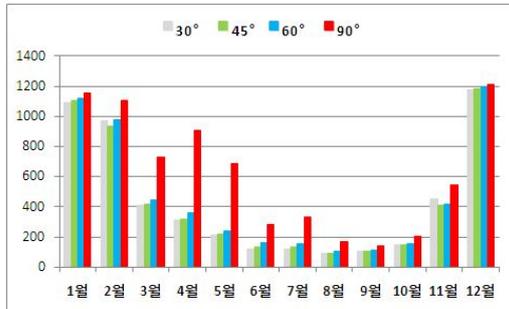


그림 9. 판상형 월별 에너지소비량(MWh)

판상형 최적 설치각도는 45°도로, 에너지소비량은 5,346MWh이며, 30°>60°>90° 순으로 나타났다. 45°의 에너지소비량은 가장 높은 90° 대비 30% 낮은 소비량을 보였다. 하지만 취득 일사량패턴에 있어서 30° 설치각도가 45° 보다 우수한 일사취득을 보임에도 불구하고 동절기 시 급격히 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 타워형

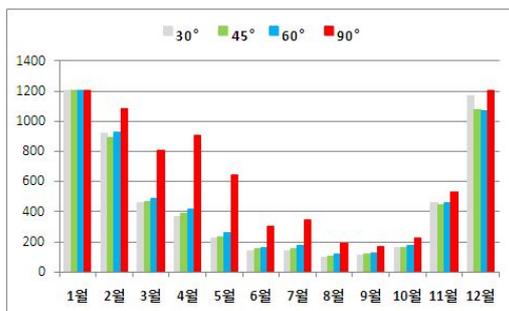


그림 10. 타워형 월별 에너지소비량(MWh)

타워형 옥상부분 최적 설치각도는 45°도로, 에너지소비량은 5,401MWh이며, 30°>60°>90° 순으로 나타났다. 45°의 에너지소비량은 가장 높은 90° 대비 29% 낮은 소비량을 보였다.

3.3 발코니부분 태양열 성능평가

(1) 판상형

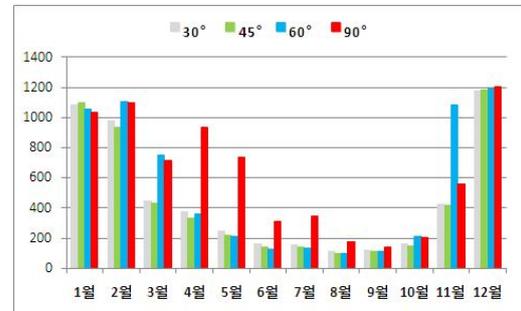


그림 11. 판상형 월별 에너지소비량(MWh)

판상형 발코니부분 최적 설치각도는 45°도로, 에너지소비량은 5,407MWh이며, 30°>60°>90° 순으로 나타났다. 45°의 에너지소비량은 가장 높은 90° 대비 29% 낮은 소비량을 보였다. 취득 일사량 패턴에 있어서는 하절기시 60° 설치각도가 30°보다 우수한 일사취득을 보였지만, 동절기시에는 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 타워형

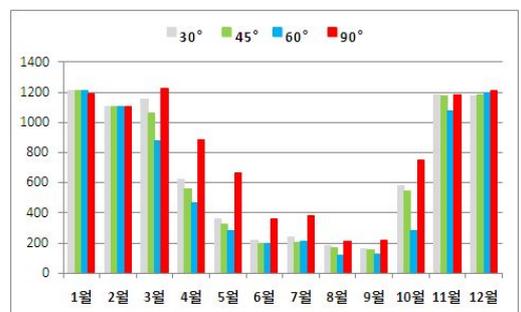


그림 12. 타워형 정남향 월별 에너지소비량(MWh)

타워형 정남향 발코니부분 최적 설치각도는 60°도로, 에너지소비량은 7,191MWh이며, 45°>30°>90° 순으로 나타났다. 60°의 에너지소비량은 가장 높은 90° 대비 15.5% 높게 나타났다. 그러나 취득 일사량패턴에 있어서 평균적으로 45° 설치각도가 60° 보다 18% 우수한 일사취득을 보였지만, 실제로 발코니부분

설치시 60° 설치각도가 집열성능은 뛰어난 것으로 판단된다.

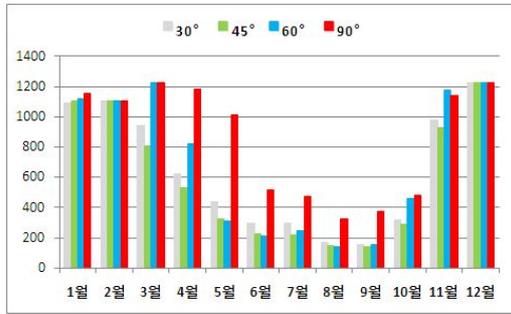


그림 13. 타워형 남동향 월별 에너지소비량(MWh)

타워형 남동향 발코니부분 최적 설치각도는 45°도로, 에너지소비량은 7,153MWh이며, 30°>60°>90° 순으로 나타났다. 45°의 에너지 소비량은 가장 높은 90° 대비 31.5% 낮은 소비량을 보였다. 그러나 취득 일사량패턴에 있어서는 45°와 30°의 설치각도가 거의 차이가 나지 않은 것으로 판단되어, 태양열 적용 시 45°와 30° 설치각도로 설치하는 것이 적합하다고 보여 진다.

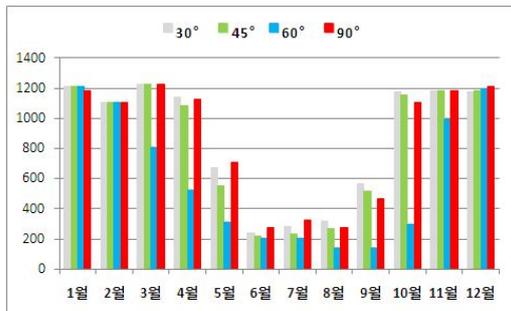


그림 14. 타워형 남서향 월별 에너지소비량(MWh)

타워형 남서향 발코니부분 최적 설치각도는 60°도로, 에너지소비량은 7,161MWh이며, 45°>90°>30° 순으로 나타났다. 60°의 에너지 소비량은 가장 높은 30° 대비 30% 낮은 소비량을 보였다.

그러나 취득 일사량패턴에 있어서 평균적

으로 45° 설치각도가 60° 보다 2% 높은 일사 취득을 보였지만, 실제로 발코니부분 설치 시 60° 설치각도가 집열성능은 뛰어난 것으로 판단된다.

4. 결론

실제 Mock-up 실험등을 통한 태양열시스템 성능실험을 수행하고, 최종 검증하는 단계로 에너지성능시뮬레이션 프로그램에 SH공사 지구를 적용하여 우리공사 공동주택 태양열시스템 적용방안을 도출하고 평가한 결과는 다음과 같다.

- (1) 먼저 태양열시스템 적용할 경우, 태양광 대비 사용용도의 폭이 넓어 아파트의 에너지부 하를 많이 차지하고 있는 온수 및 난방부분에 적용되고 있고, 에너지생산량 및 효율 또한 40% 이상으로 설비비용 대비 효과를 볼 수 있는 것으로 판단된다.
- (2) 태양열 집열기 종류별 성능실험을 진행한 결과, 평판형 집열기 중에는 일체형 집열기가 기존 평판형 대비 10% 높은 효율을 나타냈으며, 진공관형 집열기 중에는 단일진공관형이 이중진공관형 보다 25% 높게 나타났지만 종합적으로 볼 때, 평균적으로 일사량이 적거나 외기의 온도가 낮아도 판형 보다 진공관형이 더 우수한 것으로 나타났다.
- (3) 태양열 에너지 소비량 예측 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 공동주택 옥상부분과 발코니부분에 태양열을 설치하여 에너지소비량을 예측한 결과, 옥상부분은 판상 및 타워형 모두 45° 경사각이 에너지소비를 적게 하는 것으로 나타났다. 발코니부분은 판상일 경우, 45°로 타워형일 경우 정남향에 60°로 설치하는 것이 적합한 것으로 판단된다. 따라서 태양열 시스템 설치 시 급탕사용량이 많은 주거동은 진공관형, 급탕사용량이 적은 부대시설동은 판형이 더 좋을 것으로 판단된다. 또한, 사후관리에 있어서는 태양광시

스텝, 효율에 있어서는 태양열시스템을 적용하되 열매체 부동액 관리 및 동파방지를 해결할 수 있는 제품을 엄격히 선별하여 적용가능토록 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 SH공사의 연구비지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. A. Mitia et al, "Integration of Solar Components in Buildings", The European Commission, 1998, pp.14~15
2. Schoen.T, Building-Integrated PV installation in the Netherlands: examples and operational experiences, Solar Energy, Vol 70, No 6, 2001, pp.467~477
3. <http://www.tu-chemnitz.de/mb/SolTherm/ST2000/auswahl.htm>