第 118 回 碩士學位論文

指導敎授 朴 辰 哲

공동주택에서 태양열 집열기의 실험적 연구

An Experimental Study on Solar Collector in Apartsment Housing

中央大學校 大學院

建築工學科 建築設備 및 에너지專攻

崔 秉 道

2013年 2月

공동주택에서 태양열 집열기의 실험적 연구

An Experimental Study on Solar Collector in Apartment Housing

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.

2013年 2月

中央大學校 大學院

建築工學科 建築設備 및 에너지專攻

崔 秉 道

崔秉道의 碩士學位論文으로 認定함.

審査委員長

審査委員

審査委員

中央大學校 大學院

2013年 2月

목 차

제 1 장 서 론 ····· 1

1.1 연구의 배경 및 목적 ····· 1

1.2 연구의 범위 및 방법 ····· 3

제 2 장 태양열 집열기 이론고찰 및 공동주택 적용사례 분석 ··· 5

2.1 태양열 집열기의 이론적 고찰 ····· 5

2.1.1 태양열 집열기의 개요 ····· 5

2.1.2 태양열 집열기의 종류 및 특성 ····· 9

2.1.3 태양열 집열기 설계를 위한 고려 요소 ····· 16

2.2 태양열 집열기의 공동주택 적용사례 분석 ····· 20

2.2.1 공동주택에서의 태양열 적용 가능성 분석 ····· 20

2.2.2 국내 공동주택 적용 사례 분석 ····· 21

2.2.3 국외 공동주택 적용 사례 분석 ····· 24

2.3 공동주택의 태양열 집열기 적용 요소 분석 및 공동주택 적용타당성 평가 ·· 28

2.3.1 태양열 집열기 적용을 위한 고려요소 ····· 28

2.3.2 공동주택 적용여건 ····· 29

2.4 소결 ····· 32

제 3 장 태양열 집열기의 Mock-up 실험 ····· 34

3.1 Mock-up 실험 개요 ····· 34

3.2 태양열 집열기 형태에 따른 Mock-up 실험 ····· 37

3.2.1 평판형 집열기 ····· 37

3.2.2 진공관형 집열기 ····· 42

3.3 6㎡ 일체형, 진공관형 집열기 Mock-up 실험결과 비교 ····· 46
3.3.1 6㎡ 일체형 평판형, 단일진공관형 Mock-up 실험결과 비교(9월) ····· 47
3.3.2 6㎡ 일체형 평판형, 단일진공관형 Mock-up 실험결과 비교(10, 11월) ····· 50
3.4 소결 ····· 54

제 4 장 공동주택의 태양열 집열기 적용 시뮬레이션 ····· 57
4.1 태양열 집열기 시뮬레이션 개요 ····· 57
4.1.1 시뮬레이션을 통한 평가 개요 ····· 57
4.1.2 시뮬레이션 도구 선정 ····· 57
4.1.3 시뮬레이션 입력데이터 ····· 58
4.1.4 시뮬레이션 성능평가를 위한 모델링 및 Case 선정 ····· 61
4.2 태양열 집열기 설치위치 및 각도에 따른 시뮬레이션 ····· 66
4.2.1 태양열 집열기 옥상 설치에 따른 성능평가 ····· 66
4.2.2 태양열 집열기 발코니 설치에 따른 성능평가 ····· 76
4.3 공동주택형태 및 인동간격에 따른 시뮬레이션 ····· 88
4.3.1 인동간격에 따른 온수 생산 에너지 소비량 비교 ····· 89
4.3.2 판상형 공동주택의 일조분석을 통한 태양열 사용 가능성 분석 ···· 90
4.3.3 탑상형 공동주택의 일조분석을 통한 태양열 사용 가능성 분석 ···· 94
4.4 소결 ····· 100

제 5 장 결 론 ····· 103

참 고 문 헌 ····· 106

국 문 초 록 ····· 109

ABSTRACT ····· 111

표 목 차

<표 2-1> 태양열 시스템의 분류 (에너지관리공단, 2008) ····· 6
<표 2-2> 평판형 및 진공관형 집열기의 정의 및 특성 ····· 7
<표 2-3> 평판형 집열기의 흡열판 제조방식에 따른 분류 ····· 11
<표 2-4> 태양에너지 시스템 성능 비교 ····· 20
<표 2-5> 국내 공동주택 태양열집열기 적용사례 ····· 21
<표 2-6> Solarthermie 2000의 세부 프로젝트 설치사양 및 적용모습 ····· 25
<표 2-7> 태양열 집열기 적용을 위한 고려 요소 ····· 28
<표 2-8> 집열가능 면적 검토(아파트 백과, 서울 및 수도권) ····· 30
<표 3-1> Mock-up 실험동 제반사항 ····· 34
<표 3-2> Mock-up실험 태양열 집열기의 제원 ····· 37
<표 3-3> 평판형(6㎡일체형, 일반형) 집열기 태영열 취득열량 ····· 38
<표 3-4> 진공관형 집열기의 제원 ····· 42
<표 3-5> 진공관형(이중진공관, 단일진공관) 집열기 태영열 취득열량 ···· 43
<표 3-6> 집열기(단일, 6㎡ 일체형)의 태영열 취득 열량표 [kcal/day·㎡] ··· 47
<표 3-7> 10월 11월 집열기의 취득열량표 [kcal/day/㎡] ····· 50
<표 4-1> 건물종류별 급탕량 ····· 59
<표 4-2> 서울지역 25평형 급탕 사용량 ····· 60
<표 4-3> 공동주택 입면도 ····· 63
<표 4-4> “A”부분 발코니 태양열 집열판 설치 상세도 ····· 64
<표 4-5> 태양열 집열판 설치 각도의 변화 ····· 64
<표 4-6> 태양열 시스템 온수 에너지 소비량 평가를 위한 변수 설정 ···· 65
<표 4-7> 판상형 집열기 옥상 설치시 각도에 따른 온수생산을 위한 에너지 소비량[kWh](정남향) ···· 67
<표 4-8> 판상형 옥상 집열기 설치각도에 따른 취득일사량[W/㎡](정남향) ····· 70
<표 4-9> 탑상형 집열기 옥상 설치시 각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량[kWh](정남향) ··· 71

<표 4-10> 탑상형 옥상 집열기(4개) 설치각도에 따른 취득일사량[W/㎡](정남향) … 74
<표 4-11> 판상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량[kWh](정남향) ·· 76
<표 4-12> 판상형 옥상 집열기(60개) 설치각도에 따른 취득일사량[W/㎡](정남향) …· 77
<표 4-13> 탑상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량[kWh](정남향) ·· 79
<표 4-14> 탑상형 발코니 집열기(60개) 설치각도에 따른 취득일사량[W/㎡](정남향) ·· 80
<표 4-15> 탑상형 발코니 집열기 설치 각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(남동향) ·· 82
<표 4-16> 탑상형 발코니 집열기(60개) 설치각도에 따른 취득일사량[W/㎡](남동향) ·· 83
<표 4-17> 탑상형 발코니 설치시 각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량[kWh](남서향) ·· 85
<표 4-18> 탑상형 발코니 집열기(60개) 설치각도에 따른 취득일사량[W/㎡](남서향) ·· 86
<표 4-19> 인동간격 변화 투시도 ……88
<표 4-20> 인동간격에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량[MWh] ……89
<표 4-21> 인동간격에 따른 층별 취득 일사량[W/㎡] ……90
<표 4-22> 인동간격에 변화에 따른 일조분석 [방위 : 하단=남향] ……92
<표 4-23> 탑상형 공동주택 인동간격에 따른 취득일사량(정남향)[W/㎡] …· 94
<표 4-24> 탑상형 공동주택 인동간격에 따른 취득일사량(남동향)[W/㎡] …· 96
<표 4-25> 탑상형 공동주택 인동간격에 따른 취득일사량(남서향)[W/㎡] …· 97
<표 4-26> 인동간격에 변화에 따른 일조분석 [방위 : 하단=남향] ……98

그림 목차

(그림 1-1) 연구의 흐름도 ····· 4
(그림 2-1) 태양열 시스템 구성요소 ····· 5
(그림 2-2) 태양열시스템의 기본 구성 ····· 7
(그림 2-3) 평판형 태양열 집열기의 구조 ····· 10
(그림 2-4) 진공관형 태양열 집열기 구조 ····· 13
(그림 2-5) 진공관형 집열기의 종류별 단면도 ····· 13
(그림 2-6) 히트파이프 원리 개략도 ····· 14
(그림 2-7) 진공관형 태양집열기 구조 및 설치예 ····· 15
(그림 2-8) 태양열 온수급탕 시스템의 축열 방식 개략도 ····· 18
(그림 2-9) 은평1지구 ····· 22
(그림 2-10) 강일1지구 ····· 22
(그림 2-11) 신정3지구(평판형, 1000ℓ) ····· 22
(그림 2-12) 천왕 1지구(이중진공관형, 2800ℓ) ····· 23
(그림 2-13) DLSC의 구성도 ····· 27
(그림 2-14) DLSC의 전경 ····· 27
(그림 3-1) 태양열 집열기 및 시스템 설치 전경 ····· 35
(그림 3-2) 태양열 시스템 계통도 ····· 36
(그림 3-3) 태양열 시스템 성능 그래프(평판형 비교) ····· 39
(그림 3-4) 평판형 비교실험 당시 일사량 그래프[kcal/㎡] ····· 40
(그림 3-5) 평판형 비교실험 당시 외기온도 그래프[℃] ····· 40
(그림 3-6) 태양열 시스템 성능 그래프(진공관형) ····· 44
(그림 3-7) 진공관형 집열기 비교실험 당시 일사량 그래프[kcal/㎡] ····· 44
(그림 3-8) 진공관형 집열기 성능비교 당시 외기온도 그래프[℃] ····· 45
(그림 3-9) 태양열 집열기 효율 성능 그래프(9월) ····· 48
(그림 3-10) 태양열 시스템 성능비교 당시 일사량 그래프[kcal/㎡](9월) ····· 48

(그림 3-11) 태양열 집열기 성능비교 당시 외기온도 그래프[℃](9월) ····· 49
(그림 3-12) 태양열 집열기 효율 성능 그래프(10월 11월) ····· 52
(그림 3-13) 태양열 시스템 성능비교 당시 외기온도 그래프[℃](10월, 11월) ····· 52
(그림 3-14) 태양열 시스템 성능비교 당시 일사량 그래프[kcal/㎡](10월, 11월) · 53
(그림 4-1) Energy Plus프로그램의 에너지해석 화면 ····· 58
(그림 4-2) 시뮬레이션 대상건물 조감도(판상형, 탑상형) ····· 61
(그림 4-3) 탑상형의 설치 가능 공간 ····· 63
(그림 4-4) 탑상형 향에 대한 정의 ····· 65
(그림 4-5) 판상형 옥상 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향) ····· 67
(그림 4-6) 판상형 집열기 설치 각도에 따른 월별 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향) ···· 68
(그림 4-7) 판상형 옥상 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 절감량(정남향) ····· 69
(그림 4-8) 판상형 옥상 집열기 설치 각도에 따른 월별 취득 일사량(정남향) ···· 70
(그림 4-9) 탑상형 집열기 옥상 설치시 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향) ··· 72
(그림 4-10) 탑상형 집열기 옥상 설치시 설치각도에 따른 월별 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향) ···· 72
(그림 4-11) 탑상형 집열기 옥상 설치시 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 절감량(정남향) · 73
(그림 4-12) 탑상형 집열기 옥상 설치각도에 따른 월별 취득 일사량(정남향) ···· 74
(그림 4-13) 판상형 발코니 집열기 설치 각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향) ····· 77
(그림 4-14) 판상형 발코니 집열기 각도에 따른 월별 취득 일사량(정남향) ····· 78
(그림 4-15) 탑상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향) ··· 80
(그림 4-16) 발코니 집열기 각도에 따른 월별 취득 일사량(정남향) ····· 81
(그림 4-17) 탑상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(남동향) ·· 83
(그림 4-18) 탑상형 발코니 집열기 각도에 따른 월별 취득 일사량(남동향) ····· 84
(그림 4-19) 탑상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(남서향) ····· 86
(그림 4-20) 탑상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 월별 취득 일사량(남서향) ····· 87
(그림 4-21) 탑상형 형태의 집열기 일사 취득 영역 ····· 94

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전세계적으로 에너지 수급에 대한 문제가 대두되고 있는 가운데 우리나라는 전세계 국가 중 에너지소비 10위, 석유소비 10위, 석유수입 세계 5위 등으로 에너지 다소비국가로 분류되어지고 있다. 이와 같은 상황에서 총 에너지 사용량의 96%를 해외에 의존하고 있어 에너지 절감에 대한 대책이 시급한 상황이다. 이와 더불어 기후변화의 주요 원인인 온실가스(GHG, Green House Gas)[1]의 배출에서도 우리나라는 세계 7위라는 불명예스러운 순위에 자리하고 있다. 에너지 소비와 온실가스의 관리를 위하여 정부에서는 원전사업을 추진하고 있다. 하지만 최근 일본 후쿠시마 원전사고로 인하여 원전에 대한 회의적인 분위기로 인하여 원전을 지속적으로 증가시키는 것은 어려워지고 있다. 따라서 대안의 부재로 기존 원전의 활용과 더불어 신재생에너지에 대한 관심과 보급이 확대되고 있는 추세이다. 정부에서는 2008년 8월에 제1차 국가기본 녹색성장을 선포함과 동시에 신재생계획을 수립하였고 2010년에는 '저탄소 녹색성장'을 새로운 국가 발전의 패러다임으로 제시하였다. 화석연료에 대한 의존도를 낮추고 청정에너지의 사용 및 보급을 확대하며 녹색기술 연구개발을 통하여 온실가스를 적정수준 이하로 줄임과 동시에 에너지· 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 기후변화와 환경 훼손을 줄이고 청정에너지와 녹색기술의 연구개발을 통하여 국가의 성장동력을 확보하며 새로운 일자리를 창출하여 경제와 환경이 조합을 이루는 정책을 진행하고 있다.[2] 또한 건축분야에서는 저탄소 녹색성장의 움직임 이전부터 "지속가능한 개발(Sustainable Development)"과 "친환경 건축물(Green Building)"에 대한 관심이 증가하고 있었으며, 에너지 사용량 감축을 위한 저에너지 기술과 청정에

1) 이산화탄소(CO2), 메탄(CH4), 아산화질소(N2O), 수소화불화탄소(HFCS), 과불화탄소(PFCS), 육불화황(SF6)의 6가지를 온실가스로 구분함.
2) 저탄소 녹색성장 기본법(안) 제1장 총칙 제2조, 2009.01

너지 생성 기술인 신재생에너지의 건축물 적용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이에 정부에서는 건축부문의 에너지 저감 및 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서 2030년까지 제로에너지하우스를 의무화하고 신재생에너지의 보급을 확대하고 있다. 이러한 정책의 일환으로 2020년까지 신재생에너지주택(Green Home) 100만호 보급사업과 그린빌리지사업을 연계시킴으로써 신재생에너지의 보급은 더욱 과속화 될 것으로 판단된다.

신재생에너지 중 비교적 공동주택에 쉽게 적용할 수 있는 태양열 시스템은 태양복사에너지를 이용하여 온수를 생산하는 시스템으로 온수 사용량이 많은 공동주택에 적용 시 매우 효과적인 재생에너지로 판단된다. 이미 1970년대 태양열 에너지를 화석에너지의 대체에너지로 사용하였지만 그 당시에 무분별하게 설치되어지고 집열기 및 시스템을 외국에서 수입하여 사용함으로써 경제성은 물론 기술력에서 한계점에 봉착하게 되었다. 또한 그 시기 화석에너지의 저렴한 가격 때문에 대체에너지의 필요성에 대한 인식이 부족하여 보급이 확대되지 못했다. 하지만 최근 에너지에 대한 인식과 국제정세의 변화와 더불어 다시 각광을 받고 있다.

따라서, 본 연구에서는 공동주택에서의 태양열 집열기를 대상으로 Mock-up 실험을 통하여 집열기 성능을 확인하였고, 또한 이 성능결과를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 공동주택의 적용방안을 제시하였다. 본 연구는 공동주택의 신재생에너지 보급의 기초적 자료를 제시하고자 했다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 수행된 각 단계별 연구의 범위와 방법은 다음과 같다.

(1) 태양열 집열기의 이론고찰 및 공동주택 적용사례 분석

태양열 집열기를 적용한 국내외 공동주택에 대한 현황과 문제점에 관한 기술들을 고찰함으로써 신재생에너지시스템에서 태양열 시스템의 성능 및 효율성을 검토하였다.

(2) 태양열 집열기의 Mock-up 실험

Mock-up 실험은 집열기 형태(평판형 : 일반형, 6㎡ 일체형, 진공관형 : 단일진공관형, 이중진공관형)에 따른 실험을 실시하였다.

(3) 공동주택의 태양열 집열기 적용 시뮬레이션

시뮬레이션은 태양열 집열기 적용요소(집열기 설치 위치, 설치 각도)에 따라 또한, 공동주택형태 및 인동간격에 따라 시뮬레이션을 실시하였다.

(그림 1-1)은 연구의 흐름도를 나타낸 것이다.

태양열 집열기
1단계
이론고찰
• 태양열 집열기의 종류 및 특성 고찰
• 태양열 집열기의 공동주택 적용사례 분석
2단계
Mock-up실험
• 태양열 집열기의 종류에 따른 Mock-up실험
- 평판형 집열기(일체형, 일반형)
- 진공관형 집열기(단일진공관, 이중진공관)
• 태양열 집열기의 외기의 온도에 따른 Mock-up실험
3단계
시뮬레이션
• 공동주택의 태양열 집열기 적용 시뮬레이션
- 공동주택 형태에 따른 성능평가
- 집열기 설치 위치에 따른 성능평가(Balcony, Roof)
- 집열기 설치 각도
- 공동주택 형태별 인동간격에 따른 음영분석
공동주택의 태양열 집열기 적용 방안 제시

(그림 1-1) 연구의 흐름도

제 2 장 태양열 집열기 이론고찰 및 공동주택 적용사례 분석

2.1 태양열 집열기의 이론적 고찰

2.1.1 태양열 집열기의 개요

(1) 태양열 시스템의 개요

태양열에너지 시스템은 태양으로부터 오는 복사에너지를 이용하여 열에너지로 이용하는 방법이다. 태양열 시스템의 구성은 집열부와 축열부로 나뉘는데 태양에너지를 모아 열에너지로 변환하는 부분이고, 모아진 열을 저장하는 부분이 축열부이다. 그리고 축열부에 저장된 태양열을 급탕, 냉난방 등으로 공급하는 부분을 이용부라고 한다. 또는 이러한 모든 것을 제어하는 제어장치로 구성된다. 태양열 에너지는 집열온도에 따라 저온분야와 중·고온분야로 분류하여 저온분야는 주로 건물의 급탕에 사용되고, 중·고온부분야는 산업공정열 및 열발전 등에 사용된다.

(그림 2-1) 태양열 시스템 구성요소

(2) 태양열 시스템의 종류

태양열 시스템은 크게 열 구동장치의 유무에 따라 자연형(passive)시스템과 설비형(active)시스템으로 구분되고, 집열온도에 따라 저온분야와 중고온분야로 분류된다. 저온분야는 주로 건물의 급탕에 이용되고, 중고온분야는 산업공정열 및 열발전과 기타 특수분야에 이용된다. <표 2-1>[3]은 에너지관리공단에서 분류한 태양열시스템의 분류표이다.

① 자연형 : 욕실, 축열벽체(Tromb Wall)과 같이 남측의 창문이나 벽면 등 주로 건물구조물을 활용하여 태양열을 이용하는 장치

② 설비형 : 집열기를 별도로 설치해서 구동장치(펌프, 송풍기 등)를 활용해서 태양열을 집열하는 일반적인 태양열 시스템

<표 2-1> 태양열 시스템의 분류 (에너지관리공단, 2008)

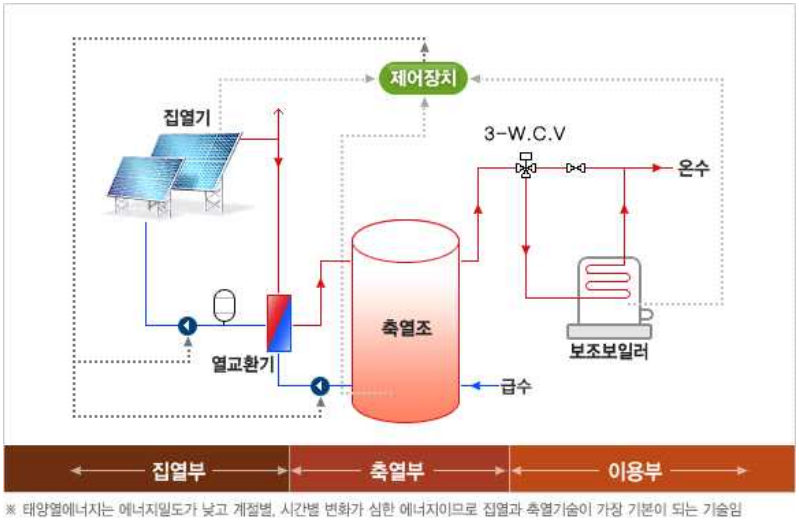
구 분	자 연 형	설 비 형		
		저온용	중온용	고온용
활용 온도	60℃ 이하	100℃이하	300℃이하	300℃이상
집열부	자연형시스템	평판형집열기	진공관형집열기 PTC[4]형집열기 CPC[5]형 집열기	DISH형 집열기 Power Tower 태양로
축열부	공기, Tromb Wall	저온축열	중온축열	고온축열
적용분야	건물난방, 온실	건물난방 및 급탕, 농수산분야	건물냉난방, 산업공정열, 폐수처리	열발전, 태양화학 우주용

(3) 태양열시스템 구성요소

태양열시스템은 아래 (그림 2-2)[6]와 같이 구성된다. 간단히 각 요소에 대해 설명하면 다음과 같다. 태양열을 집열하는 집열부, 집열부에서 취득한 열에너

3) 에너지관리공단 신재생에너지센터(http://www.energy.or.kr/knrec/index.asp)
4) PTC(parabolic trough collector)
5) CPC(compound parabolic collector)
6) 태양열시스템 기본 구성요소(신재생에너지센터)

지를 저장하는 축열부, 온수를 이용하는 이용부, 전반적인 태양열시스템의 펌프 및 시스템을 제어하는 제어부로 나눌 수 있다.



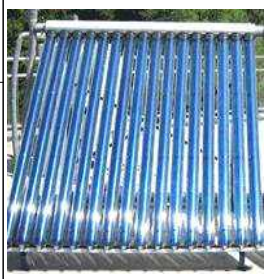
(그림 2-2) 태양열시스템의 기본 구성

가) 집열부

태양열 집열기는 태양 복사 에너지가 입사되는 것을 보통 가열된 공기나 액체 형태의 유용한 에너지로 전환해 주는 기기이다. 집열기는 여러 가지 형태가 있으나 태양열 난방 및 급탕 시스템 등 저온 분야에는 평판형 집열기와 진공관형 집열기가 주로 사용된다. 각 집열기의 정의 및 특성은 다음 <표 2-2>와 같다.

<표 2-2> 평판형 및 진공관형 집열기의 정의 및 특성

구 분		내 용	적용모습
평판형 집열기	정의	집열면이 평면을 이루면서 태양에너지 흡수면적이 태양에너지의 입사면적과 동일한 집열기 태양열 난방 및 급탕 시스템 등 저온이용분야(100℃이하)에 사용	
	장점	전 일사량(직달 및 분산 일사 성분)을 모두 이용할 수 있음 태양광을 추적하지 않아도 발전 가능	

	구성	투명덮개(transparent cover) 흡열판(absorber plate) 집열 매체 도관(riser) 단열재(thermal insulation) 집열기 외장박스(housing)	
진공관 집열기	정의	집열체가 내부를 진공으로 한 유리관 내에 유지된 형태의 집열기	
	종류	단일진공 유리관형 이중진공 유리관형	
	장점	진공기술을 사용하여 집열면의 대류 열 손실 감소 설치면적 감소 중온 활용에서도 고효율 유지 경량, 설치 용이 기존 건물의 외관과 친화적 유리관 파손시 파손된 유리관만을 교체사용 태양빛의 입사각에 상관없이 모든 방향에서 빛을 흡수할 수 있는 구조	

나) 축열부

열을 생산하는 열원과 그 열을 이용하는 열기기 사이에는 대체로 공간적, 시간적인 거리가 있다. 공간적인 거리를 극복하기 위해서는 열을 이동시킬 수 있는 열 교환기와 배관이 필요하며, 시간적인 거리를 극복하기 위해 축열이 필요하다.[7] 특히 태양 일사의 일간 패턴이 주기적이나 비연속적이며, 기후 또는 일시적인 기상현상에 의해 간헐적으로 에너지를 생산하게 된다. 따라서 집열된 열을 에너지를 사용하고자 하는 시점에 에너지를 사용하기 위해 사용하고 남은 잉여 열에너지를 축열부에 저장한다.

다) 순환장치

집열기 및 축열장치로부터 공급된 에너지를 건물 내 각 소비처로 분배하는

7) 정선미, 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 연구, 중앙대 석사학위논문, 2008.12, p.29

장치로서, 덕트나 파이프 등 온풍이나 온수를 이동시키는 장치를 말한다. 또한 집열기와 저장조를 통해 흐르는 열매체의 양을 조절한다. 순환 장치는 펌프, 밸브, 배관 등으로 구성된다.

라) 보조열원장치

보조 열원 장치는 태양열시스템을 운전할 수 없는 기간, 혹은 흐린 날씨에 의해 집열 온도가 건물의 난방이나 급탕부하를 만족시킬 수 없을 때 사용한다.

마) 제어장치

태양열 시스템의 제어방법에는 단순히 집열 및 축열 펌프의 ON-OFF를 제어하는 차온제어(Differential Temperature Control Scheme) 방법과 태양열시스템을 순환하는 열매체의 유량까지 제어하는 비례제어(Propertional Control) 방법이 있다. 전자는 열매체 펌프가 작동될 경우에는 항상 동일한 유량이 순환되며, 후자는 일사량에 따라서 적당한 유량이 흐르도록 유량제어가 되는 변유량 제어방법이다. 따라서 후자의 경우 펌프의 ON/OFF는 차온 제어에 의해 이루어지며, 펌프가 켜진 상태에서는 적정하게 유량이 제어된다.

2.1.2 태양열 집열기의 종류 및 특성

태양열 집열기는 태양열시스템의 핵심기술로써 태양복사에너지를 집열하는 장치이다. 다양한 집열기의 종류가 있으나, 본 연구에서는 국내외 가장 널리 사용되고 있는 평판형 집열기와 진공관형 집열기에 대해 알아보았다.

(1) 평판형 집열기

평판형 집열기는 집열면이 평면을 이루면서 태양에너지 흡수면적이 태양에너지의 입사면적과 동일한 집열기라 정의하며, 태양열 난방 및 급탕 시스템 등 저온 이용분야에 사용되는 기본적인 태양열 기기이다. 집열기로 입사된 태양 에너지를 흑색으로 도장된 집열판에 열에너지로 대부분 흡수되며, 흡수

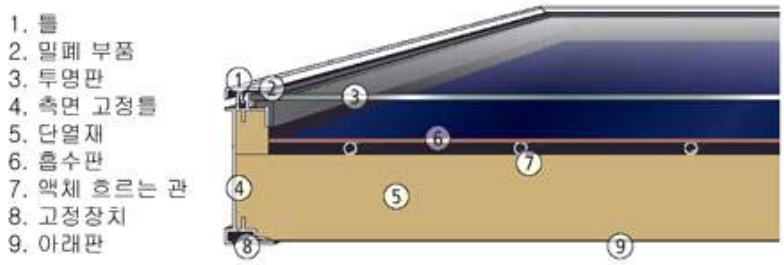
된 열에너지는 순환되는 열전달 매체에 전달되고 일부는 주위로 손실된다. 열전달 집열매체에 옮겨진 열에너지는 가용 집열량으로 저장되거나 열 부하에 직접 공급된다.

평판형 집열기는 집열 매체의 취득 온도를 외기 온도 이상 100℃ 이하의 범위로 보며, 이 집열기의 장점은 전 일사량, 즉 직달 및 산란일사 성분 모두를 이용할 수 있다는 점과 태양광을 추적하지 않아도 된다는 점이다.

평판형 집열기의 필수적인 구성품은 투명판, 흡수판, 열매체도관(액체흐르는관), 단열재 및 집열기 케이스로 이루어진다.

가) 평판형 집열기의 구조

(그림 2-3)은 평판형 태양열 집열기의 기본 구조이다.



(그림 2-3) 평판형 태양열 집열기의 구조

① 열흡수판

흔히 금속판으로 열 흡수를 증진시키기 위하여 검게 칠을 한 열 전도성이 뛰어난 재료를 사용한다. 요즘 흔히 블랙크롬 도금(흡수율 95% , 방사율 11%) 을 한 동판을 사용하고 있다. 열 흡수판을 통해 흐르는 유체에 에너지가 전달되어 저장고로 운송된다

② 단열재

집열기의 열 손실을 최소화 하기 위하여 집열기 뒷면에 단열재를 부착하는데 보통 폴리우레탄 폼을 사용한다. 폴리우레탄 폼은 밀도 35-40 kg/㎥ 정도에서 단열성이 가장 우수하고 쉽게 구할 수 있고 설치도 간단한 재료이다.

③ 투명덮개

집열기 내에 열을 받아 들이는 곳에 빛의 단파장에 투과성이 좋으면서 장파장은 투과시키지 않는 재료를 사용하여 덮개를 설치한다. 보통 유리나 투명 플라스틱 판을 사용하는데 외부의 충격에도 쉽게 깨지지 않게 강화유리를 사용하며, 내부에 테프론 필름을 사용하여 효과적으로 외부로 빠져 나가는 열을 차단하고 있다.

<표 2-3> 평판형 집열기의 흡열판 제조방식에 따른 분류

구분	형식	비 고
흡열판 제조방식에 따라	판붙임방식	2매의 판을 절곡하여 맛대어 붙여 유로를 형성
	도관접합방식	판에 도관을 용접하여 유로를 형성
	압출재삽입방식	판붙임방식의 유로내부에 이종금속관을 삽입하고 압출하여 유로를 형성
	성형식	
	관형식	

나) 평판형 집열기의 특징

평판형 태양열 집열기는 현재 가장 널리 보급되어 있는 태양열 집열기로서 그 모양이 사각 평판 형태로 주로 낮은 온도 범위(<70℃)의 태양열 활용에 적용되고 있으며 태양열 집열 효율이 대개 50% 이하이다. 이 평판형 태양열 집열기는 물을 직접 집열기에서 가열하여 이용하는 경우도 있지만 우리나라와 같이 겨울철 혹한기가 존재하는 지역에서는 물보다는 부동액을 열매체로 집열기를 통과시켜 가열한 후 뜨거워진 부동액이 다시 물을 데우는 방식을 취하고 있다. 평판형 집열기는 집열판이 태양열에 의해 가열되면 뜨거워진 집열판으로부터 대류에 의해 외부로 열손실이 발생하므로 그 적용에는 한계가 있다. 기술과 태양열의 집열에 그 동안 태양열 이용보급분야의 실용화는 평판형 태양열 집열기를 채용한 가정용 태양열온수기를 중심으로 상당히 보급이 활발하게 진행되어 왔다. 그러나, 평판형 태양열 집열기는 비교적 낮은

온도(70℃ 이하)에서 온수급탕 및 난방 보조 열원으로 높은 효율을 유지하는 집열기로서, 70℃ 이상 열원을 요구하는 건물의 난방 및 냉방용으로는 부적합한 것으로 평가받고 있다.

(2) 진공관형 집열기

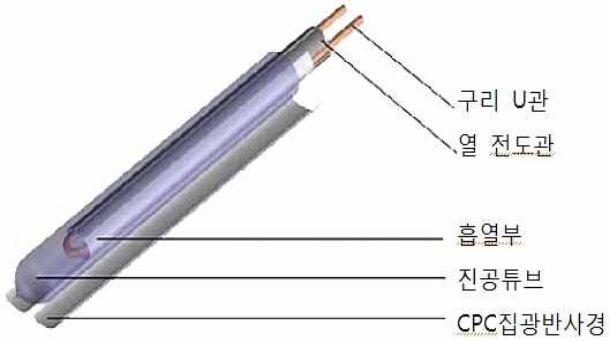
진공관형 태양열 집열기는 집열체가 내부를 진공으로 한 유리관 내에 유지된 형태의 집열기라 정의하며, 진공기술을 사용함으로 인해 집열면에서의 대류열손실을 획기적으로 줄일 수 있어, 설치면적을 줄일 수 있고, 중온 활용에서도 높은 집열효율을 유지한다.

가) 진공관형 집열기의 구조

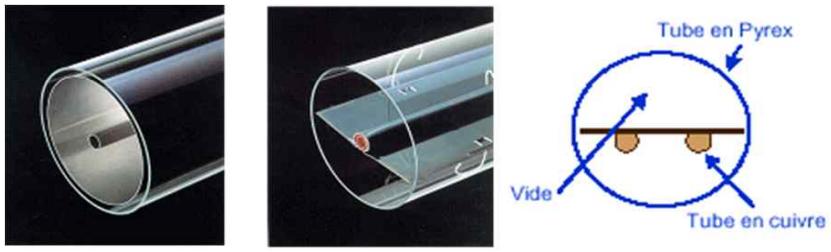
진공관형 태양열 집열기는 유리관이 파손 되더라도 파손된 유리관만을 교체 사용할 수 있으며, 태양빛의 입사각에 상관없이 모든 방향에서 빛을 흡수할 수 있는 구조를 가지고 있으며 작동 유체로는 공기가 사용된다.

진공관형 태양열 집열기는 크게 두가지로 나뉘어 지는데, 단일진공 유리관형과 이중 진공 유리관형이다. 단일진공 유리관형 집열기에는 대부분 히트파이프가 집열체로 삽입되어 밀봉 처리된다. 진공으로 밀봉된 유리관 내에 히트파이프로 구성된 태양열 집열기의 구조 및 작동은 다음과 같다. 집열체는 작동매체로 채워진 밀봉된 히트파이프(Heat Pipe)로 상단에는 선택 흡수처리된 집열판이 부착되어 있다. 각 튜브의 상단 끝에 있는 열교환기(Manifold)를 통해 집열체로 집열된 열을 축열조나 이용부로 가져간다.

이중진공 유리관식 태양열 집열기는 내부유리관과 외부유리관 사이를 진공처리하여 열손실을 최소화하는 방식으로 U자형 등의 열매체 순환 튜브를 삽입하여 집열하는 집열기이다. 선택흡수막은 내부유리관 외벽에 코팅하여 사용한다. 아래의 (그림 2-4)은 U자형진공관형 태양열 집열기중 원형 휜의 안쪽에 U자 관이 부착된 관의 형태이다. (그림 2-5)는 그 외의 진공관 집열기의 형태로써 종류별 단면도이다. 좌측사진은 이중진공관, 가운데 사진은 단일진공관, 우측사진은 단면을 나타난 그림이다.



(그림 2-4) 진공관형 태양열 집열기 구조



(그림 2-5) 진공관형 집열기의 종류별 단면도

나) 진공관형 집열기의 특징

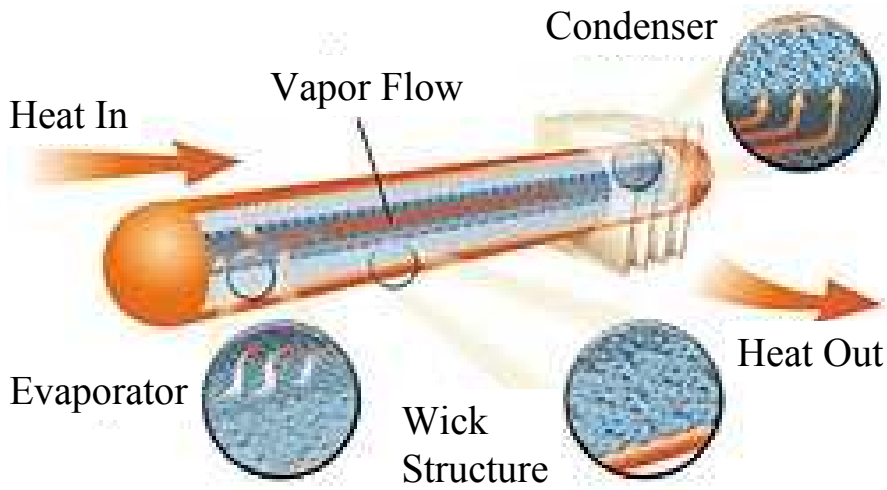
진공관형 히트파이프 태양열 집열기는 시장에서 이용되고 있는 다른 집열기와는 다르게 작동이 된다. 진공으로 밀봉된 유리관 내에 히트파이프로 구성된 이러한 태양열 집열기는 다음과 같다.

각 튜브는 작동매체로 채워진 밀봉된 파이프(Heat pipe)이다. 이 파이프에는 흑색 구리 휜이 부착되어있다(Absorber plate). 각 튜브의 상단 끝의 돌출부는 밀봉된 파이프에 부착된 금속 팁(tip)이(Condenser) 있고, 이러한 튜브는 금속 팁(tip)이 상부로 향하여 열교환기(Manifold)에 연결된다. 태양이 휜의 흑색 표면에 비추면, 작동매체는 가열되고, 가열된 뜨거운 증기는 파이프의 상단 끝으로 이동한다. 물 혹은 글리콜이 Manifold를 통해 흘러서 튜브로부터 열을 가져간다. 가열된 액체는 다른 열교환기를 통해 순환하고 그 열은 물에 발산하고, 태양열 저장조에 저장한다.

① 히트파이프 기술(Heat Pipe Technology)

(그림 2-6)은 히트파이프 원래의 개략도이다. 히트파이프는 높은 열전도도를 갖는 열전도체이다. 이러한 열-물리적인 성질 때문에 열전달율은 같은 크기의 가장 열전도도가 뛰어난 고체 열전도체의 열전달율보다 수천배 크다.

응축부가 증발부보다 항상 높은 위치에 있어 응축부에서 응축된 유체는 중력 영향으로 증발부로 귀환한다. 따라서 모세관의 윅(Wick)구조는 필요가 없으며 최대 작동온도는 사용된 열전달 유체의 임계온도이다. 임계온도 위에서는 증발/응축이 가능하지 않기 때문에 열역학적 사이클은 증발부 온도가 임계온도를 초과할 때 자동적으로 멈추게 된다.



(그림 2-6) 히트파이프 원리 개략도

② 진공기술

집열기 케이스의 밀봉과 관련된 대기압과 기술적인 문제 때문에 진공관형 집열기는 평판형 집열기의 구조보다 어려운 기술이 도입되어야 한다.

원통형 진공관식 태양열 집열기의 이상적인 진공 단열은 내부의 가스형태의 대기를 통한 열손실(대류 열손실)을 줄이기 위해 장치의 수명동안 유지되어야 한다. (그림 2-7)은 진공관형 집열기의 구조와 설치 예이다.

(그림 2-7) 진공관형 태양집열기 구조 및 설치예

2.1.3 태양열 집열기 설계를 위한 고려 요소

(1) 집열기 선정

집열기의 선정에 있어 가장 먼저 고려해야 할 사항은 대상 건물의 열 부하 측에서 필요로 하는 온도이다. 집열기 종류별 작동 온도의 범위에 차이가 있고, 집열 효율 또한 큰 차이를 보이며 일반적으로 일차 함수의 형태로 나타나게 된다. 적합한 집열기를 선택하기 위해서는 첫째, 적용하고자 하는 온도 범위에서 집열효율이 높은 집열기를 선정한다. 둘째, 집열기의 제품 가격과 설치 면적, 시공 비용 등 수요자 측면에서 경제성이 고려되어야 한다. 마지막으로 집열부는 온도 변동이 심하기 때문에 온도의 변화에 따른 부식, 균열, 내구성 등을 고려해야 하며, 하절기 과열 문제 또한 고려하여야 한다.

집열에너지[kcal/h]Qu의 계산은 아래 [식 1]과 같다. Ac는 집열면적[㎡], It는 집열면 일사량[kcal/㎡·hr], τ는 투명 덮개 투과율, α는 흡수판 흡수율, UL은 열손실계수[kcal/㎡·hr·℃], Tp는 흠수판 표면의 평균 온도[℃], Ta는 외기 온도[℃]를 나타낸다.

$$Qu - Ac[I(\tau\alpha) - UL(tp-ta)] \qquad [식\ 1]$$

(2) 집열기 면적 결정

태양열 시스템의 규모는 전체 시스템 중 가장 큰 면적을 차지하는 집열기의 면적에 의해 결정되어진다고 할 수 있다. 집열기의 면적을 결정하는 두 가지 요소는 크게 설치 장소의 제약과 경제성에 따른 최적 크기의 선정이다. 설치 장소의 제약은 설치 대상 부지의 공간적 한계에 의한 요인으로 집열기 면적이 크기를 제한하게 되는 요소이다. 여기서 태양열 의존율(%) f의 정의는 아래의 [식 2] 와 같다.

$$f = \frac{\text{태양열에 의한 에너지 절감량}}{\text{전체 열부하}} \times 100 \qquad [식\ 2]$$

태양 의존율이 60%이하인 구간에서는 집열 면적의 증가와 태양 의존율이

거의 비례하는 일차 함수의 형태를 취하지만, 태양 의존율이 60%를 넘어가게 되면 집열 면적의 증가분에 대한 태양 의존율 증가분은 점점 작아지게 된다.

태양열 시스템에서 집열 면적은 태양열 시스템의 전체적인 크기를 결정하게 되고, 그 크기는 초기 투자비와 비례하게 된다. 이는 태양의존율이 60% 이하인 영역에서는 초기 투자비가 태양열 시스템의 증가에 선형적인 관계를 가지지만, 태양 의존율이 60%를 넘게 되면, 그 이상인 구간에서는 지수 함수의 형태로 초기 투자비의 비중이 커지게 되고 경제성 측면에서 불리하다는 것을 알 수 있다. [식 3]을 이용하여 집열 면적을 구한다.

$$A = \frac{Q_L \times n_c}{M_{day}} \qquad \text{[식 3]}$$

QL은 필요부하이고 nc는 집열효율 Mday는 하루동안의 일사량이다.

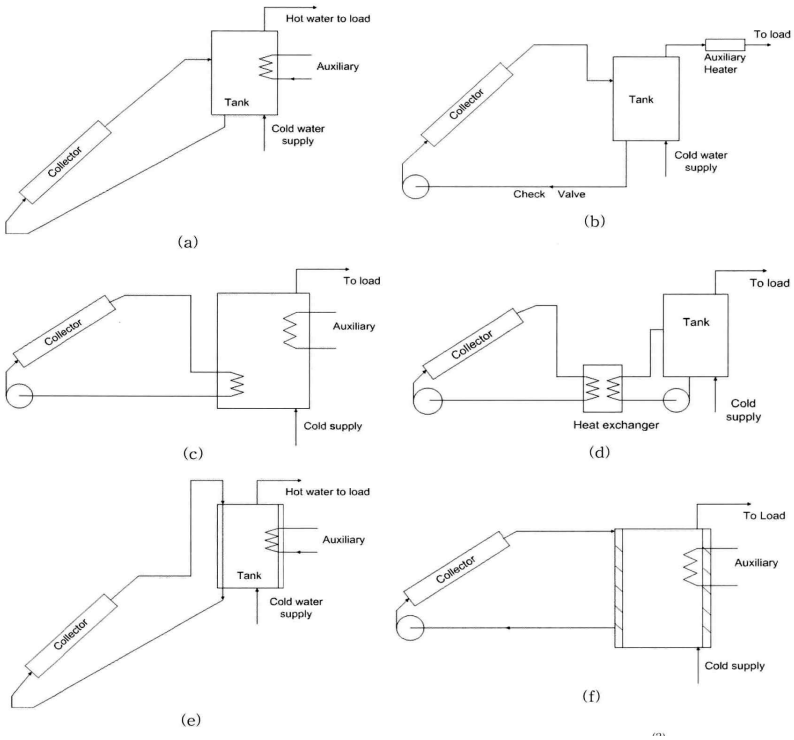
(3) 축열조 설계

축열조 설계는 형상을 장방형 또는 원통형 등 여러 가지가 가능하다. 가장 이상적인 형상은 표면적 대 부피의 비가 가장 작아 열 손실을 줄일 수 있으면서 내압성이 좋고 제작이 쉬운 원통형이 일반적으로 사용되나 장, 정방형 등도 많이 사용된다. 축열조의 재질은 물을 축열 매체로 사용하는 경우에는 축열조는 형상과 크기의 제한, 누수의 가능성 또는 내압성 등 여러 가지 요인들을 검토한 후에 결정 하게 된다. FRP 탱크의 경우에는 출입구의 크기는 탱크가 통과할 수 있어야 하는 것도 주의 하여야 한다. 축열조 안에서의 온도 성층화는 축열 매체의 온도변화에 따른 밀도 차이로 축열조 윗부분에 온도가 높은 물, 밑 부분에는 온도가 낮은 물이 위치하여 상당히 안정된 상태를 유지함을 의미한다. 이러한 상태에는 밀도가 낮은 매체가 축열조 상단부에 밀도가 큰 매체가 축열조 하단부에 위치하기 때문에 열 대류 현상은 일어나지 않고 단지 경계층에서 열전도만이 이루어진다. 온도 성층화된 축열조는 완전 혼합된 축열조와 비교하여 약 10% 정도의 축열 효율이 증가한다는 것이 일반적으로 알려져 있다.

축열조 설계 구비 조건 및 연결 배관 부분을 살펴보면 내부 부식방지를 위

하여 처리가 되어야 하고 배관, 맨홀, 설치대 구조, 제어용 센서 등에 대한 구체적인 설계가 필요하다. 온수 공급관과 집열기로부터 유입되는 고온 입구 배관은 상단부, 저온입구 및 출구 배관은 최하단부에 위치하도록 하고 축열조 내 온도층화를 위해서 각각의 배관은 수평으로 물이 분산되도록 디퓨저 설치를 해야 한다. 또한 수평의 횡형 축열조는 고온 배관은 상단부, 저온 배관은 하단부에 위치시키되 서로 반대 방향에 놓이도록 양측면을 위치시켜야 한다.

주로 사용되는 태양열 온수급탕 시스템의 축열조를 살펴보면 대부분(그림 2-8)과 같다.[8)]



(그림 2-8) 태양열 온수급탕 시스템의 축열 방식 개략도

ⓐ 자연순환형

-가장 단순한 구조를 가지며 집열기의 열매체가 온도에 따른 밀도 차에

8) 태양열 온수 급탕 시스템의 축열 방식 개략도 (김성수 외, 2008)

의해 자연순환되며, 축열조 내에 성층화가 자연스럽게 이루어진다. 이 방식의 단점으로는 동파의 가능성이 높기 때문에 이에 대한 방지법을 필요로 한다.

ⓑ 강제 순환형

- 순환 펌프를 사용하여 열매체인 물을 순환시킨다. 집열기 입출구의 온도차를 감지하여 제어부에 의해 on/off 작동을 하게 된다. 열교환기를 사용하지 않는 방식으로 집열기 입구 온도가 낮아 집열 효율이 높으며, 순환 유량을 줄일 경우 성층화를 촉진시킬 수 있어 태양열 의존도가 높은 방식이다. 영하의 기온에서는 동파에 대비하여 축열조 및 배관의 물을 축열조 혹은 별도의 조에 완전히 빼내는 구조를 취하게 된다. 이로 인해 개방형 축열조를 사용해야 하므로 펌프 동력 면에서 다소 손해이며, 공기와의 접촉으로 부식이 촉진되어 수명이 짧아지는 단점이 있다.

ⓒ 코일 내장 강제 순환형

- 동파 방지를 위해 집열기 순환 루프에는 부동액을 사용하고 축열조 내부에 내장된 열교환 코일을 통해 열을 전달하는 방식. 구조가 간단하지만, 축열조 내의 열교환이 자연대류에 의존하므로 작은 열전달계수를 넓은 면적으로 보상해야 한다.

ⓓ 외부 열교환기 강제 순환형

- 혹한기가 존재하는 한국의 기후 특성에 가장 적합한 방식. 소형에서 대형까지 모두 적용 가능하지만 시스템이 2대의 펌프가 필요한 2개의 순환 루프로 구성되어 시스템이 복잡하다. 상대적으로 고장율이 높고 초기 투자 비용이 큰 단점이 있다.

ⓔ 맨틀형 축열조

-자연순환형으로 탱크 내 탱크(tank-in-tank) 방식으로도 불리는 축열조로써, 작동 매체는 탱크와 탱크 사이의 재킷부를 통과하면서 축열조내의 물을 가열하게 된다. 열 교환 코일 내장 자연 순환형보다 단순한 구조이다. 그러나 역시 동파에 취약한 단점이 있다.

ⓕ 나선 재킷형 축열조

- 강제 순환형으로 맨틀형 축열조를 강제 순환형에 확장한 것으로써 여러 선행 연구를 통해 그 실효성이 검증되어 있는 방식이다. 유속의 증가를 위해 유로를 나선 구조로 하여 열전달계수를 높인 방식이며 구조가 간단하면서도 코일 내장 강제 순환형과 동일한 효력을 얻게 된다.

2.2 태양열 집열기의 공동주택 적용사례 분석

2.2.1 공동주택에서의 태양열 적용 가능성 분석

태양에너지 시스템의 효과적인 공동주택 적용을 위한 기초자료로써, 시스템의 적용 가능성에 대해 살펴보고자 했다. 이러한 시스템 특성 및 사례분석을 기초로 하였을 때, 공동주택에 신재생에너지 시스템 우선적용 시 건물에 받는 에너지 중 가장 풍부한 태양에너지를 중심으로 주로 고려되어야 할 사항은 '에너지 생산 효율'과 '시스템 설치 후 사후관리'인 것으로 판단된다.

<표 2-4> 태양에너지 시스템 성능 비교

구분	태양광	태양열
에너지	3.6kWh/㎡·day(1kW/㎡)	3,100kcal/㎡·day(1kW/㎡)
시스템 효율	15%(0.15kW/㎡)	44%(0.45kW/㎡)
월 생산에너지(㎡)	16kWh (7~9%부담)	47kWh (22~24%급탕부담)
원별 공사비[9]	5,650 원/kW	1,012 천원/kW
경제성(㎡)	22년(3.6만원 절감/년)	18년(3.6만원 절감/년)
월 이상화탄소 저감	7.1kg CO2	14kg CO2
사후관리 및 기타	・수명주기(10~15년) 이후 전지판 교체비용(5,650원) ・우기 등 날씨영향으로 인한 전지판 이물질 제거 청소	・일정사용 후 열매체 부동액 교체비용 ・동파 및 누수발생 후 집열 튜브 교체 비용 ・여름철 잉여열 처리의 문제 ・우리 등 날씨영향으로 인한 보조열원 처리 및 난방비용 발생의 문제점

9) 2011년 신재생에너지 원별 기준단가, 지식경제부 고시

에너지부하 대체 및 경제성 등 효율에 있어서는 태양열 시스템 적용방안이 높게 나오지만, 사후관리에 있어서는 태양광 대비 설비기기 설치수가 많아 이에 따른 교체비용이 발생되어 공동주택 시스템 적용 시 태양광시스템을 우선 적용하는 것이 좋다 판단할 수 있지만, 공동주택의 부하특성상 전력부하 대비 급탕부하가 많아 효율적인 측면에서 보면 태양열 시스템을 중심으로 적용되는 것이 더 경제적이고 효율적이라고 사료된다.

2.2.2 국내 공동주택 적용 사례 분석

현재 국내 공동주택 태양열시스템 적용에 있어서 서울의 경우, 태양광과 달리 단독주택에만 적용하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 설치 후 거주자들의 사후관리 미숙 및 설치업체들의 사후관리 미수행으로 설비들만 방치해 놓은 실정이다.[10)]

<표 2-5> 국내 공동주택 태양열집열기 적용사례

구 분		내 용	적용모습
광주 내방	설치용량	평판형 집열기 24㎡, 축열조 800L	
	특성	집열 열교환기 효율은 약 80%이상을 유지 800L의 온수를 초기온도 25℃에서 61℃정도까지 하루에 축열이 가능함	
오산 누읍	설치용량	평판형 집열기 1700㎡, 47,000L	
	특성	최초로 기존주택 전 단지(14개동)지붕에 태양열 집열기 설치 태양열 분담비율은 35%, 이산화탄소 저감량은 280ton/년으로 세대 당 절감되는 급탕사용비는 월 6,700원으로 나타남	

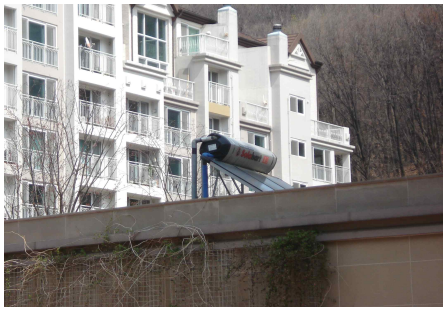
국내 태양열 집열기를 설치하여 태양열을 이용하여 온수를 이용하는 공동주택의 적용사례는 <표 2-5>에 나타난 것처럼 L사의 광주 내방지구와 오산 누읍지구가 있으며, 민간건설사로는 현재 사례가 없는 것으로 나타났다. 아직까지는 단독주택 및 실험용주택으로만 쓰이는 경우가 많다. 일사량이 풍부한

10) '그린홈' 곰팡이에 성에까지, 애물단지 전락, SBS뉴스, 2011.11.06

지역에서는 태양열 급탕 및 난방시스템 도입을 준비하는 건설업체, 정부기관 등을 확인 할 수 있었다.

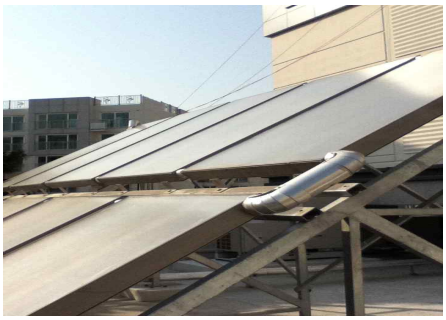
추후에 태양열 시스템은 주거에너지소비에 있어서 전력부하보다는 난방부하가 많을 것으로 사료되며 주거용 급탕부하에 많은 절감량을 예상할 수 있을 것으로 판단된다.

국내 공동주택의 태양열시스템은 현재 은평1지구를 시작으로 작게는 3,200kcal 설치용량부터 신축 천왕2지구 2,800kcal 이상의 용량까지 설치 및 계획 중에 있으며, 생산된 열은 모두 단지의 관리소, 노인정, 보육시설 등 부대시설의 급탕사용으로 대체가 되고 있다. 하지만, 실제로 현장조사를 통한 결과는 일사를 받지 못하고 있는 위치에 태양열 집열기를 설치하여 집열을 하지 못하고 있을 뿐 더러 설비 작동오류 발생이 된 가운데에도 관리사무소들의 관리 미처리 등 문제가 나타나고 있었다.

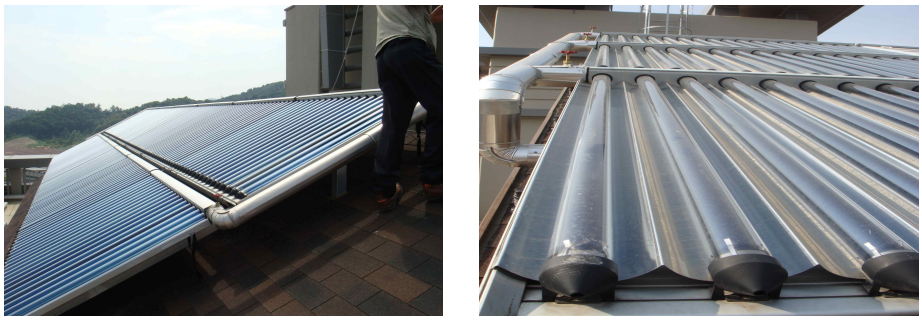


(그림 2-9) 은평1지구
(평판형, 300ℓ)

(그림 2-10) 강일1지구
(평판형, 300ℓ)



(그림 2-11) 신정3지구(평판형, 1000ℓ)



(그림 2-12) 천왕 1지구(이중진공관형, 2800ℓ)

또한 하절기에는 온수 수요가 많지 않아 생산되는 온수량에 대한 소비비율이 적고, 여름철 과열로 인한 문제가 발생하는 것으로 나타났다. 이와 같은 문제를 방지하기 위해서 집열기에 덮개를 씌워 일사의 취득을 차단하거나 집열기 순환유체를 방열기와 연결하여 불필요한 열을 방열하기는 사례도 있었다. 이를 방지하기 위해서 태양열 집열기의 일사취득을 줄일 수 있는 대책이 필요할 것으로 사료된다.

2.2.3 국외 공동주택 적용 사례 분석

(1) Solarthermie 2000(German)[11][12]

solarthermie 2000 프로젝트는 지역난방에 태양열에너지시스템을 적용한 대표적인 사례로써, 1993년에 착수되어 2003년까지 7개의 대규모 태양열 지역난방 시스템이 시범 적용되었다. 또한 약 10년간에 걸친 운전 결과 보급효과가 우수하여"Solarthermie 2000 Plus"라는 프로젝트로 사업을 지속적으로 연장하여, R&D 및 보급 사업을 현재까지 수행하고 있다.

Solarthermie 2000는 총 7개 단지에 대규모 중앙집중식 태양열 시스템을 적용한 7개의 세부 프로젝트로 구성되어있으며, 단지 조성단계에서부터 태양열 시스템이 고려되어 설계되었다. 따라서 대부분의 건물 옥상이나 주차장 등 집열기 설치가 가능한 공간에 집열기가 설치되어 통합 운전되고 있다. 특히 Rostock 프로젝트의 경우 집열기를 지붕과 일체화시킴으로써 태양열 시스템의 건축적 활용의 가능성을 보여주고 있다. 대상 단지는 주로 다세대주택, 사무실, 호텔 및 단독주택 단지, 복합단지로 구성되어있다. 각 세부 프로젝트별 설치사양 및 적용모습은 다음 <표 2-6>과 같다. 생산된 에너지는 모두 해당지역의 난방 및 온수급탕의 용도로 사용된다. 또한 본 프로젝트의 시스템은 대규모 지역난방 태양열시스템이므로 부하가 없는 하절기의 태양열을 효과적으로 활용하기 위해 계간축열[13] 방식을 사용한다. 따라서, 축열조는 설치비용이 적게 드는 지중 축열이나 대수층 축열 등의 다양한 형태의 대규모 축열조가 개발되어 사용되고 있다. 태양의존율[14]은 용도가 난방 및 온수급탕임을 감안하여, 태양 의존율은 일반적으로 적합한 50%가 되도록 시스템 용량을 선정하였다.

---

11) http://www.tu-cheminits.de/mb/SolTherm/ST2000/auswahl.htm

12) 산업자원부, 대규모 태양열 지역냉난방 및 급탕시스템 개발 및 적용연구, p.10~, 2007.05

13) 일사량이 풍부한 하절기에 태양열을 집열하여 적절한 저장공간에 장기간 저장하였다가 동절기의 난방열원으로 사용하는 것

14) 전체부하 중 태양열로 공급되는 비율

<표 2-6> Solarthermie 2000의 세부 프로젝트 설치사양 및 적용모습

구 분			적용모습
Hamburg	적용규모(세대 수)	단독주택(124)	
	난방면적(㎡)	14,800	
	열부하(MWh/yr)	1,610	
	집열면적(㎡)	3,000	
	축열조용적(㎥)	4,500 온수축열조	
	태양열이용량 (MWh/yr)	789	
	태양열의존율(%)	49	
Friedrichsfe n	적용규모(세대 수)	다세대주택(570)	
	난방면적(㎡)	39,500	
	열부하(MWh/yr)	4,106	
	집열면적(㎡)	5,600	
	축열조용적(㎥)	12,000 온수축열조	
	태양열이용량 (MWh/yr)	1,915	
	태양열의존율(%)	47	
Nechasulum (2단계)	적용규모(세대 수)	다세대, 학교, 상가	
	난방면적(㎡)	49,000	
	열부하(MWh/yr)	3,900	
	집열면적(㎡)	6,500	
	축열조용적(㎥)	63,360 duct축열조	
	태양열이용량 (MWh/yr)	1,950	
	태양열의존율(%)	50	
Cheminits	적용규모(세대 수)	오피스, 호텔, 창고	
	난방면적(㎡)	4,680	
	열부하(MWh/yr)	1층:573	
	집열면적(㎡)	540, 진공관	
	축열조용적(㎥)	8,000 자갈-물	
	태양열이용량 (MWh/yr)	1층:169	

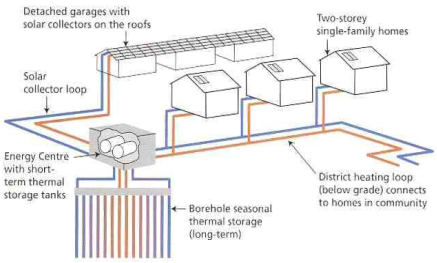
	태양열의존율(%)	1층:30	
Steinfurt	적용규모(세대 수)	주택(22), 다세대(42)	
	난방면적(㎡)	3,800	
	열부하(MWh/yr)	325	
	집열면적(㎡)	510	
	축열조용적(㎥)	1,500 자갈-물	
	태양열이용량 (MWh/yr)	110	
	태양열의존율(%)	34	
Rostock	적용규모(세대 수)	다세대주택(108)	
	난방면적(㎡)	9,100	
	열부하(MWh/yr)	497	
	집열면적(㎡)	980	
	축열조용적(㎥)	20,000 aquifer	
	태양열이용량 (MWh/yr)	307	
	태양열의존율(%)	48	
Hannover	적용규모(세대 수)	다세대주택(106)	
	난방면적(㎡)	7,365	
	열부하(MWh/yr)	694	
	집열면적(㎡)	1,350	
	축열조용적(㎥)	2,750 온수축열조	
	태양열이용량 (MWh/yr)	269	
	태양열의존율(%)	39	

(2) Drake Landing Solar Community(DLSC, Alverta, Canada)[15]

Drake Landing Solar Community(DLSC)는 2007년 6월 21일부터 시범 실시된 북 아메리카 지역의 첫 번째 태양열 분산형 열에너지공급 시스템 단지로서, 태양에너지를 통해 난방 및 온수급탕을 공급받는 52세대의 주택으로 구성되어 있다. 다음 (그림 2-13]와 (그림 2-14]는 DLSC에 적용된 태양열시

15) 곽희열, 분산형 에너지시스템의 태양열 계간 축열 기술, 조명· 전지학회지 제 23권 제2호, 2009.04

스템 구성도와 단지 전경을 나타낸다.



(그림 2-13) DLSC의 구성도

(그림 2-14) DLSC의 전경

위의 구성도에서 볼 수 있듯이, DLSC단지는 여름철의 잉여 태양열을 활용하기 위해 BTES(borehole thermal energy storage) 축열방식을 이용하여, 지중에 열원을 저장하여 겨울철에 사용하는 계간축열 방식으로 설계되었다. DLSC 단지의 52가구 주택은 매장형 배관을 통해 열에너지를 공급 받으며 각각의 가정에서 생산된 열에너지는“Energy Centre”를 거쳐 BTES에 저장된다. Energy Centre는 지름 0.762m, 길이 10.67m, 120㎥의 축열 탱크 2개로 구성되어 있으며, 각 가정에서 단기간에 필요한 열에너지를 Energy Centre에 있는 단기축열탱크에 저정한 후, 잉여열원을 BTES에 공급한다. DLSC 단지에 사용된 태양열 집열기는 800개로 약 2,300㎡의 평판형 태양열 집열기가 단독주택의 경사지붕과 차고의 옥상에 적용되었으며, 태양열 집열기를 통해 여름철에는 평균 1.5MW/day의 열에너지를 생산한다.

DLSC 단지의 태양의존율은 현재까지의 에너지 저장량 및 사용량의 분석 및 연구를 통해 5년 이내에 90%이상을 달성할 수 있을 것으로 전망되고 있다.

2.3 공동주택의 태양열 집열기 적용 요소 분석 및 공동주택 적용타당성 평가

2.3.1 태양열 집열기 적용을 위한 고려요소

태양열 집열기를 이용한 태양열시스템을 공동주택단지에 적용하기 위해서는 건축요소와 설비요소를 통합적으로 계획하여야 한다. 건축요소들은 시스템의 적용가능성에서부터 시스템의 설치 위치, 규모, 집열기 설치 각도와 같은 시스템 설계와 성능에 많은 영향을 미치게 된다.

<표 2-7>[16]은 공동주택에 태양열 집열기 및 시스템 적용시 고려할 사항을 나타냈다.

<표 2-7> 태양열 집열기 적용을 위한 고려 요소

구분		고려사항
건축계획	단지계획	단지 위치 및 향
		주변 건물이나 주동
		단지내 식생 및 조경
	주동계획	주동 형태와 향
		규모(층수, 층고)
		지붕 형태 및 향
		입면 계획 요소(발코니, 차양 등)
		창면적비(남측 창 면적)
태양열 집열기 및 시스템		집열기 선정(평판형, 진공관형 등)
		집열기의 크기
		축열조의 크기

태양열 에너지를 이용하기 위해서는 집열기의 설치와 축열조의 크기 그리고 생산온수량에 대한 정확한 예측이 필요하며, 이를 바탕으로 최대 효율을 내기 위한 방법이 적용되어야 한다. 그러기 위해서는 우선 건축계획적인 요소가 가장 먼저 고려되어야 한다. 태양복사에너지 자원을 취대한 집열할 수 있기 위해서는 단지의 위치 및 향, 그리고 주변건물의 음영 간섭을 고려해야

16) 정선미, 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 연구, 2008.12

하며, 지붕의 형태 및 향과 집열기를 발코니에 설치할 시 입면계획 등 계획 단계부터 통합적인 설계가 진행되어야 한다.

2.3.2 공동주택 적용여건

(1) 공동주택의 부하특성

공동주택의 난방이나 급탕부하는 열 사용시설기준 등에 따라 산정하며, 특히 급탕부하의 경우에는 세대별 거주 인원수나 급탕사용기기의 종류 및 수량에 따라 적절한 산정방법을 도입하여 주로 최대부하량을 계산하여 설계자료로 활용한다. 그러나 축열기기를 이용하는 시스템의 경우에는 일일 시간대별 부하패턴이 중요하며, 태양열원설비시스템의 경우에도 이러한 부하패턴은 시스템의 적정운전 및 출열조의 용량설계에 영향을 미치는 인자이다.

태양열 집열시간대는(09:00~16:00)에 평균적으로 9.62kcal/hr·㎡의 급탕부하를 보이고 있으며 집열시간대는 전체로 79.78kcal/㎡의 부하량을 가지는 것으로 나타났다.

난방부하의 패턴은 급탕부하에 비교하여 볼 때 전체적으로 약 3배, 집열시간대의 약 2.5배의 크기를 보이고 있으며, 급탕부하와는 달리 주간보다는 야간을 중심으로 난방부하가 분포하고 있어 공동주택에서 난방을 고려할 경우 충분한 집열면적과 축열조 설치공간이 필요하며, 하절기에는 과열에 대한 대책이 필요하다.

(2) 집열가능 면적

공동주택에서 집열기를 설치 할 수 있는 공간은 전면 발코니에서 침실 전면과 최고층 경사 지붕으로 사료된다. 우선 각 층별 전면발코니를 대상으로 아파트백과를 활용하여 대표적인 건축구조와 설치가능 공간을 3단계 정도 통계적으로 도출하여 <표 2-8>[17]에 예시하였다. 일반적으로 전면발코니의 경우에는 미관을 고려한 높이 1.0m를 기준하였을 때, 3~7.5㎡의 범위내에서 집열면적을 확보할 수 있을 것으로 판단되며, 설치시 적용성을 향상시키기 위하

17) 아파트백과 상권(서울 및 수도권), 2006

여 집열기 좌우길이를 1m, 2m, 3m등으로 모듈화 할 필요가 있다.

<표 2-8> 집열가능 면적 검토(아파트 백과, 서울 및 수도권)

구분	21평형	31평형	49평형	비고
설치 길이(L)	3.4m	4.5m	7.5m	침실 전면 발코니 활용
집열면적(A)	3.4㎡	4.5㎡	7.5㎡	A=H×L[㎡] 집열기 높이(H)=0.8m
집열기 모듈화	L=1m 또는 2m			평형별 모듈 조합 설치

(3) 공동주택 적용시 설계고려 사항 설정

가) 공동주택 특성 반영

공동주택의 경우 공간적으로 많은 제약을 갖고 있으며, 급수 및 난방배관 등이 밀집되어 있기 때문에 공동주택의 특성을 충분히 반영하여 특성상 집중되어져 있는 배관과의 연계성을 높이고 최고의 공간을 점유하도록 단순 밀집된 시스템으로 모듈화 하여야 한다. 또한 고층의 건축물임을 감안 일조시간 등을 파악하여 설계가 되어야 한다.

나) 시스템 구성

공동주택의 태양열원설비는 집열기의 설치위치에 따라 발코니형과 경사 지붕형으로 구분할 수 있는데, 발코니형의 경우 배관이 단순하고, 집열면적이 작아 급탕전용으로, 경사지붕의 경우 설치면적에 대한 제약이 없어 급탕뿐만 아니라 난방에도 적용이 가능하다. 경사지붕형은 특성상 배관이 복잡하여 개별난방에 적합한 발코니형과는 달리 기존의 설비와 이용이 가능한 지역난방이나 중앙난방지역에서 기저부하로 활용하는 것이 바람직하다.

다) 시스템 최적설계

부품의 감소 및 배관을 단순화하여 전체 시스템의 효율을 높일 수 있도록 설계가 되어야 하며, 단위 모듈별로 분리 및 조합하여 시공에 편리성을 도모하여야 한다. 또한 모듈별 제어방식을 연계·통합하여야 한다.

라) 설계기준

하계의 과열을 막고 동계의 급탕 및 난방부하에 적정한 설계를 위하여 동계 청명일 일사조건 및 동계 대표적 급탕 부하패턴을 사용하여 시스템이 설계되어야 할 것이다.

마) 운전기준

축열조의 크기를 최소화하고, 방열을 최소화하기 위하여 집열시간에 많은 급탕을 우선하고 잉여열을 난방에 활용할 수 있도록 하여야한다. 태양열시스템은 일사가 없는 우천시나 운천시에는 기대할 수 없으므로, 태양열을 무시한 용량의 보조열원기기를 연계 운전하여야 한다.

바) 유지 및 보수 기준

사용자가 사용하기에 단순·편리한 제어 시스템을 갖추어야 하며, 사용자의 부재중에도 동파나 과열에 의한 파손이 없고 수리가 간편해야 한다.

2.4 소결

본 장에서는 태양열 에너지를 이용하여 효과적인 공동주택 적용을 위한 기초자료로써 시스템의 개요 및 태양열 집열기의 종류와 특징, 국내외 태양열 시스템 설치에 대한 사례를 바탕으로 공동주택에 적용하기 위한 요소를 분석하고 타당성을 판단하였다.

태양열 시스템은 태양복사에너지를 집열하는 집열부, 그 열에너지를 축열하는 축열부, 온수를 사용하는 사용부 이렇게 크게 세부분으로 구성되게 된다. 태양열 집열기는 시스템 중 가장 중요한 요소이자 전체적인 태양열 시스템의 효율을 결정짓는 핵심요소이다.

집열기는 사용용도 및 온도에 따라 많은 종류가 사용되고 있다. 대표적으로 가장 많이 사용되는 집열기는 평판형, 진공관형 집열기이며, 이 두 집열기는 국내외 많은 건물에서 사용되어지고 있으며, 공동주택에 적용하는데 최적의 집열기라고 할 수 있다. 공동주택의 경우 급탕과 난방을 위한 온수 사용량이 많기 때문에 태양열 시스템을 적용하여 에너지를 줄이는 것 신재생에너지를 공동주택에 적용하는 것이 가장 효율적인 설치방안이라고 할 수 있다. 하지만 아직까지는 공동주택에 태양열 집열기를 이용한 태양열 시스템이 설치 된 곳이 극소수에 불과하다. 적용되었다 하더라도 대부분 단독주택에 국한되어 있는 실정이며, 공동주택에 설치되었더라 하더라도 공용공간에 적용하거나 커뮤니티 시설에서 주로 사용되고 있고 그 사용빈도 역시 아주미비한 실정이였다. 이에 공동주택에 태양열 시스템의 보급을 위해서는 많은 고려요소가 필요하며, 설계단계부터 통합적으로 이루어져야 한다. 태양열 집열기를 설치하기 위해서는 건축요소와 설비요소가 통합적으로 계획, 설계되어야 한다. 이 과정에선 건물의 향과 설치면적, 설치위치, 경사각도 등에 최적의 시스템이 구현되도록 설계되어야 하며, 부품과 배관을 단순화하고 유지보수가 가능하도록 해야한다. 또한, 공동주택에 집열기가 적용하기 가장 최적의 공간이 선정되어야 한다. 공동주택에서 태양열 집열기가 설치될 수 있는 최적의 장소로는 음영의 간섭이 적은 옥상이 적절할 것으로 사료된다. 하지만 옥상의 경우는 설치면적이 제한적이고 다른 부대설비와의 충돌이 있어 넓은 면적을 설치할 수 없다. 이와 같은 설치면적에 문제는 세대내 발코니를 이용하면 좋을

것으로 사료된다. 따라서 최적의 설치 위치와 각도에 대한 방안을 제시하고자 한다. 아직까지는 태양열 집열기는 일사가 없는 우천시나 운천시에는 효율을 기대할 수 없고, 투자대비 경제성과 여름철 발생할 수 있는 과열에 대한 문제점을 가지고 있다. 하지만, 이러한 문제로 인해 신재생에너지를 적용하지 않는다면 미래에 에너지 부족문제는 점점 커져갈 것이다. 따라서 공동주택에서 태양열 집열기를 중심으로 집열기별 효율적 설치 방안을 제시하고자 한다.

제 3 장 태양열 집열기의 Mock-up 실험

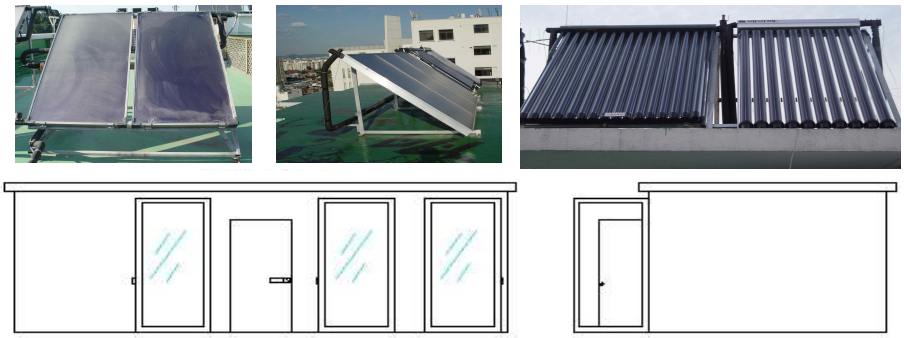
3.1 Mock-up 실험 개요

본 장에서는 태양열 집열기의 성능효율실험을 위하여 Mock-up 실험실을 구축하였다. 이 실험은 공동주택에 보다 효율적인 태양열 집열기를 적용하기 위한 것으로 특히, 태양복사열을 집열하여 온수를 생산한 방법으로 집열기 형태별 성능 및 특성을 파악하기 위하여 서울에 있는 C대학교 공대 건물 옥상 남향에 태양열 집열기를 평판형 두 종류(일반형, 6㎡ 일체형), 진공관형 두 종류(단일진공관형, 이중진공관형) 총 4 종류의 집열기를 설치하였다. <표 3-1>은 Mock-up 실험실 태양열 집열기 설치에 대한 개요를 나타냈다.

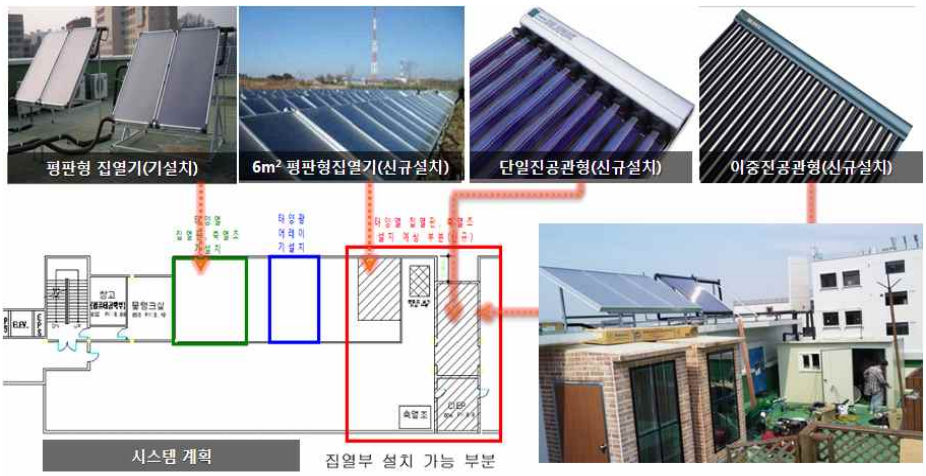
<표 3-1> Mock-up 실험동 제반사항

구 분	내 용			
	적용위치	설치각도	공동주택설치 가능위치	모니터링 장비
평판형 집열기 (6㎡ 일체형)	실험동 지붕면	설계 각도적용 (38°)	건물 옥상부	데이터로거 유량계 온도계 일사계
단일진공관형 집열기	실험동 지붕면		건물 벽면 및 옥상부	
이중진공관형 집열기	실험동 지붕면			
평판평 집열기 (일반형)	축열조실 전면부		건물 옥상부	

(그림 3-1)은 태양열 집열기 설치를 위한 평면도로 물탱크실 앞에 일반 평판형 집열기가 설치되었고, 나머지 6㎡일체형 평판형 집열기, 단일진공관 집열기, 이중진공관 집열기가 설치되었다.



실험동 정면도 우측면도

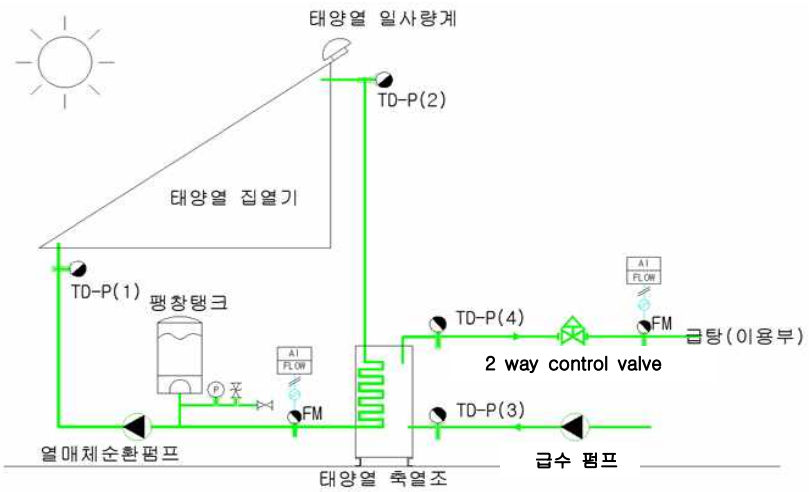


(그림 3-1) 태양열 집열기 및 시스템 설치 전경

Mock-up 실험동에 설치된 태양열 집열기의 시스템계통도는 다음과 같다. ((그림 3-2) 참조) 집열기 시스템은 집열기 열매체 순환측과 축열부의 열교환을 위해 축열조 내부에 열교환 코일이 삽입되어 있는 시스템으로 구성하였으며, 열매체 순환 유량을 조절하기 위해 밸브와 유량계를 설치 각각 설치하였다. 그리고 집열기 입·출구 열매체의 온도를 측정하기 위해 배관에 RTD(Resistance Temperature Detector)를 설치했다. 집열기와 일사계의 설치각도는 모두 정남향 46°로 동일한 기울기로 설치하였다. 또한, 열매체 배관이 외부에 노출되어 열손실을 줄이기 위해 고무발포 보온재로 보온을 하였고, 배관 최상부에는 공기배출밸브를 설치하여 배관 내 공기를 외부로 배출

하도록 하였다.

집열기의 입·출구 온도차는 5~7℃가 되도록 유량을 설정하여 실험을 진행하였다. 각 측정 위치에서의 데이터는 1분마다 수집하였으며, 온도측정은 총 7개점 위치에서 측정을 하며, 열전대를 이용하여 일정한 시간간격을 두어 데이터로고를 통해 기록하였다. 이때, 축열조에서 이용부로 연결되는 배관에는 2-WAY Control Valve를 설치하여 축열조의 급탕온도가 설정온도(80℃) 이상이 되면 방류하도록 설정하였으며, 온도감지를 하는 각 부분은 태양열 집열기의 입출구 각 2개소씩 총 4개소, 이용부로 가는 배관에 1개소, 축열조에 급수가 채워지도록 하는 배관측에 1개소, 실외온도, 집열기의 표면온도 측정용으로 총 8개소를 설치하였다. 본 Mock-up 실험은 태양열 집열기 실험은 KS B ISO 9806-2[18] 기준으로 하였다.



(그림 3-2) 태양열 시스템 계통도

18) 태양열 집열기 시험 방법 - 제 2부 : 품질 시험 절차, KS B ISO 9806-2, 2003

3.2 태양열 집열기 형태에 따른 Mock-up 실험

3.2.1 평판형 집열기

태양열 집열기 종류 중 평판형 집열기에 대한 성능평가를 수행하였다. 평판형 집열기 중 일반적으로 가장 많이 쓰이는 평판형 집열기와 일반형 평판형 집열기의 단점인 프레임 이음매 모서리 부분과 집열기와 집열기를 연결하는 구조부분, 투과체와 흡수판 사이에 발생하는 대류현상에 의해 발생하는 열손실을 개선한 프레임 일체형 평판형(이하 6㎡ 일체형 또는 6㎡ 평판형 집열기라 칭함)을 비교하였다.

<표 3-2>는 평판형 집열기의 제원을 나타냈다.

<표 3-2> Mock-up실험 태양열 집열기의 제원

구분	내 용		
평판형 집열기	형식	평판형(일반형)	
	집열기 전면적	2㎡	
	유효 집열면적	1.86㎡	
	형식	평판형(6㎡ 일체형)	
	집열기 면적	6㎡(2m x 3m)	
	유효 집열면적	5.4㎡	

일반형 평판형 집열기는 전면적 2㎡이고 유효 집열면적은 1.86㎡이고 일체형 평판형 집열기는 전면적 6㎡이고 유효 집열면적은 5.4㎡이다. 유효집열면적은 실제로 태양복사열을 집열하는데 실질적인 면적이지만 국내 집열기의 집열면적을 기준은 전면적으로 계산하여 본 실험의 결과를 계산하는 것은 집열기의 전면적으로 결과를 정리하였다.

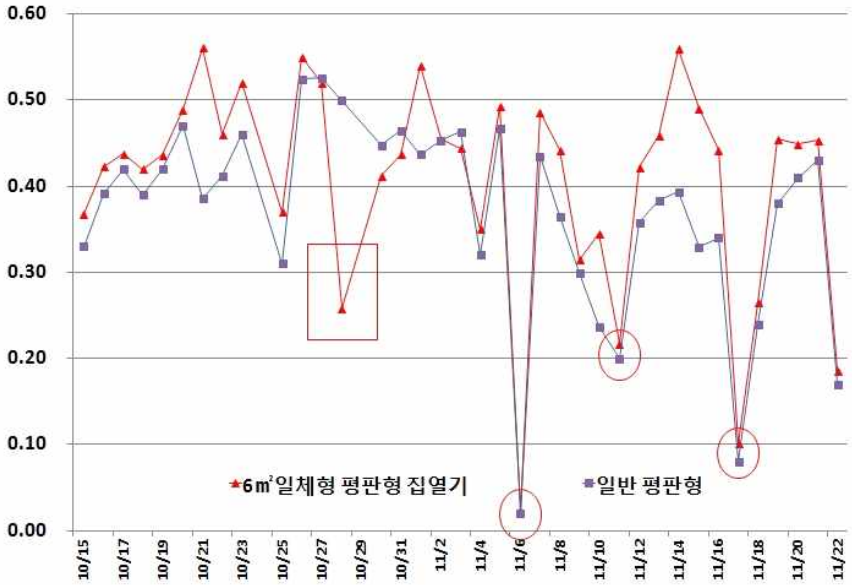
<표 3-3>은 6㎡일체형, 일반형 집열기의 취득 열량표로 Mock-up실험은 총 27일 동안 수행하였고 결과는 다음과 같다.

<표 3-3> 평판형(6㎡일체형, 일반형) 집열기 태영열 취득열량

실험일		평판형 집열기(6㎡일체형)		평판형 집열기(일반형)		총일사량 [kcal/㎡]	평균 외기 온도
		열매체 취득열량 kcal/㎡	효율	열매체 취득열량 kcal/㎡	효율		
10/15		371.63	0.37	333.52	0.33	1,011	13.6
10/16		1539.55	0.42	1425.37	0.39	3,643	15.2
10/17		2615.90	0.44	2509.40	0.42	5,975	13.6
10/18		2466.14	0.42	2290.91	0.39	5,874	10.4
10/19		2509.24	0.44	2414.49	0.42	5,749	13.3
10/20		1515.35	0.49	1457.42	0.47	3,101	17.9
10/21		1655.43	0.56	1137.75	0.39	2,951	17.3
10/22		1173.09	0.46	1050.51	0.41	2,550	17.9
10/23		1772.68	0.52	1568.37	0.46	3,409	17
10/24		2065.31	0.37	1730.39	0.31	5,582	8.3
10/25		2297.65	0.55	2190.09	0.52	4,178	10.2
10/26		2040.80	0.52	2063.54	0.53	3,925	12.8
10/27		176.39	0.26	341.28	0.50	683	13.23
10/28		1904.89	0.41	2070.00	0.45	4,628	15.4
10/29		1826.60	0.44	1943.27	0.46	4,180	15.7
10/30		2487.39	0.54	2012.95	0.44	4,606	16.3
10/31		1457.88	0.46	1451.69	0.45	3,204	17.1
11/1		1803.49	0.44	1879.00	0.46	4,061	17.1
11/2		354.40	0.35	324.03	0.32	1,013	18.8
11/3		1270.12	0.49	1202.00	0.47	2,573	20.1
11/4		5.43	0.02	4.73	0.02	236	15.3
11/5		557.78	0.49	498.24	0.43	1,147	15.4
11/6		949.04	0.44	783.42	0.36	2,147	15.2
11/7		310.72	0.31	296.49	0.30	988	14.9
11/8		515.04	0.35	353.17	0.24	1,492	14.2
11/9		103.07	0.22	94.97	0.20	475	13.1
11/10		978.06	0.42	828.30	0.36	2,318	12.7
11/11		1382.79	0.46	1155.13	0.38	3,016	12.2
11/12		2736.49	0.56	1926.53	0.39	4,891	7.3
11/13		1910.47	0.49	1282.76	0.33	3,897	8
11/14		1292.53	0.44	994.00	0.34	2,924	11.3
11/15		48.87	0.10	38.72	0.08	484	13.9
11/16		103.68	0.26	93.97	0.24	392	14.7
11/17		589.27	0.45	492.47	0.38	1,296	11.8
11/18		2311.40	0.45	2112.41	0.41	5,152	1.7
11/19		2301.14	0.45	2184.74	0.43	5,081	2.8
11/20		120.10	0.19	109.95	0.17	647	6.2
소계	단위면적당 총 취득열량 [kcal/㎡]	**49519.82**	**0.41**	**44645.98**	**0.37**	**120,313**	**19.42**
	단위면적당 일일평균 취득열량 [kcal/day/㎡]	**1338.37**		**1206.65**			

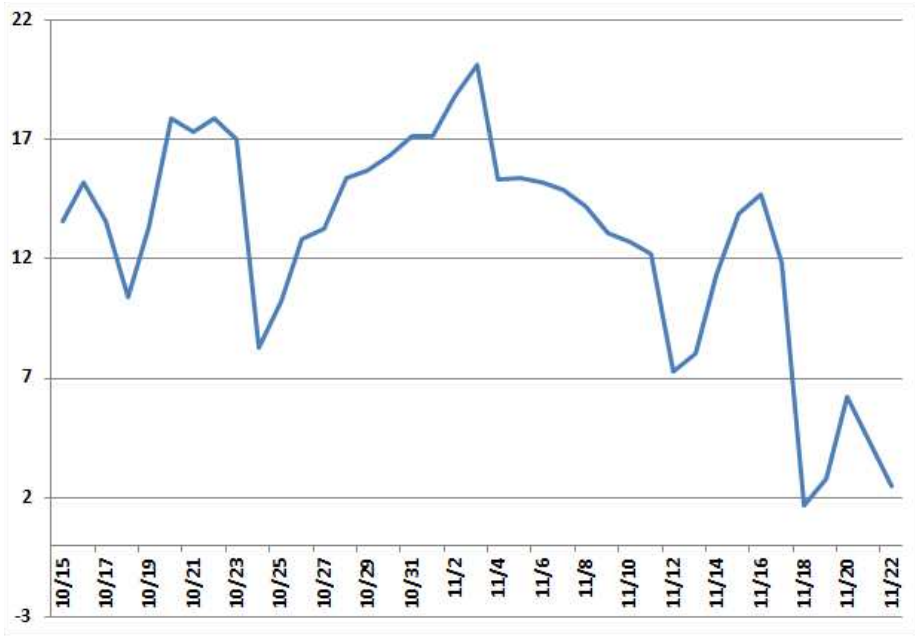
위의 평판형 집열기 취득 열량표 결과에서 열매체 취득열량은 위에서 제시한 태양열 시스템 효율을 구하는 공식으로 효율을 계산하여 나타냈으며, 이 값을 총일사량으로 나누어 효율을 구했다. 10월 15일부터 11월 20일까지 실험기간 중 6㎡ 일체형 평판형 집열기는 단위면적당 총 49519.83 kcal/㎡을 취득했으며, 일일 평균 취득열량은 1338.37kcal/day로 나타났다.

일반 평판형 집열기는 총 44645.98kcal/㎡을 취득하였고 일일 평균 취득열량은 1206.65kcal/day/㎡으로 나타났다. 6㎡ 일체형 평판형 집열기가 단위면적당 총 취득열량이 4873.83kcal/㎡ 더 많았으며, 일일 평균 집열열량은 131.73kcal/㎡가 더 많은 것으로 나타났다. 이는 일반형 집열기 대비 약 10% 정도 높은 취득열량을 보였고, 시스템의 효율은 4%정도 높게 나타났다.



(그림 3-3) 태양열 시스템 성능 그래프(평판형 비교)

(그림 3-4) 평판형 비교실험 당시 일사량 그래프[kcal/㎡]



(그림 3-5) 평판형 비교실험 당시 외기온도 그래프[℃]

(그림 3-3)의 집열기 성능그래프를 살펴보면, 일반형과 6㎡ 일체형 집열기가 비슷한 패턴의 효율곡선을 가지는 것으로 나타났다. 효율 그래프 결과 중에서 두 집열기의 성능이 급격히 낮아진 실험일(11월 4일, 9일, 15일)의 경우 일사량이 500 kcal/㎡이하로 낮았기 때문인 것으로 분석되었다.

실험일 중 10월 24일 실험결과의 효율 그래프에서 당시 그날의 일사량이 5,500kcal/㎡로 실험기간 중에서도 임에도 불구하고 두 집열기의 효율이 일체형 0.37, 일반형 0.31로 낮게 나타났다. 이는 외기의 온도가 평균 8.3℃로 낮아 다른 실험일에 비해 낮은 효율을 보이는 것으로 나타났다. 평판형 집열기의 경우 외기의 온도에 따라 효율이 변화하게 되는 특징을 가진 집열기인 것을 확인할 수 있었다. 그밖에도 실험일 중 효율이 급격히 낮았던 11월 4일, 15일, 20일의 경우 일사량이 낮아 효율이 떨어진 것으로 나타났다 위의 결과를 간단히 정리해보면 평판형 집열기는 일사량이 많고, 외기의 일정한 온도까지 높을 경우에는 집열 성능이 우수하지만, 일사량이 적거나, 외기의 온도가 낮을 경우에는 성능이 급격하게 떨어지는 것으로 나타났다.

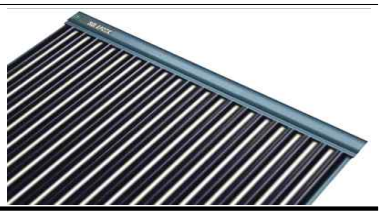
3.2.2 진공관형 집열기

태양열 집열기 종류 중 진공관형 집열기에 대한 Mock-up 실험을 수행하였다. 일반적으로 가장 많이 쓰이는 단일진공관형 집열기와 이중진공관형 집열기 성능을 비교하였다.

실험은 9월9일부터 10월 9일까지 총 31일 동안 실험을 진행하였다.

<표 3-4> 진공관형 집열기의 제원을 나타냈다.

<표 3-4> 진공관형 집열기의 제원

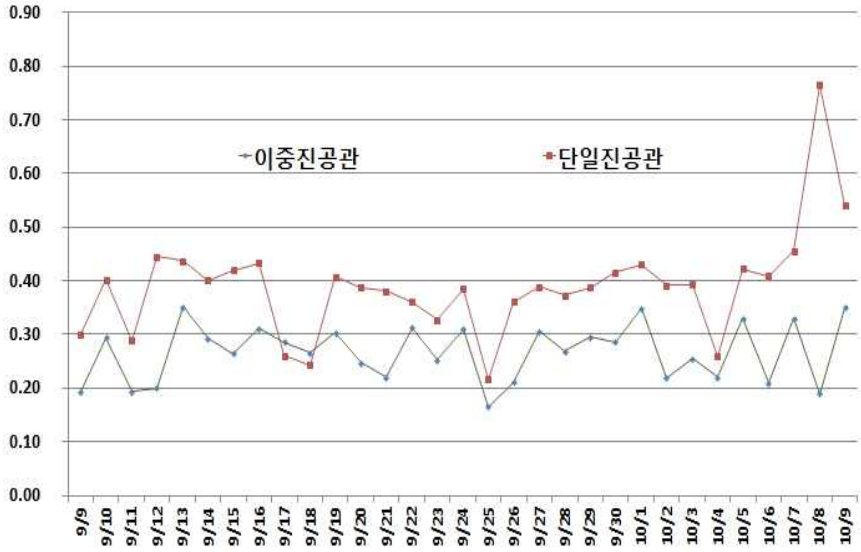
구분	내 용		
진공관형 집열기	형식	단일 (히트파이프식)	
	집열관 수	10tubes	
	집열기 전면적	2.55㎡	
	유효 집열면적	1.87㎡	
	형식	이중(CPC type)	
	집열관 수	16tubes	
	집열기 전면적	3.02㎡	
	유효 집열면적	2.46㎡	

단일진공관형 집열기는 히트파이프식이며 전면적 2.55㎡이고 유효 집열면적은 1.87㎡이다. 이중진공관형 집열기는 전면적 3.02㎡이고 유효집열면적은 2.46㎡이다. 진공관형 집열기 역시 전면적으로 계산하여 본 실험의 결과정리하였다.

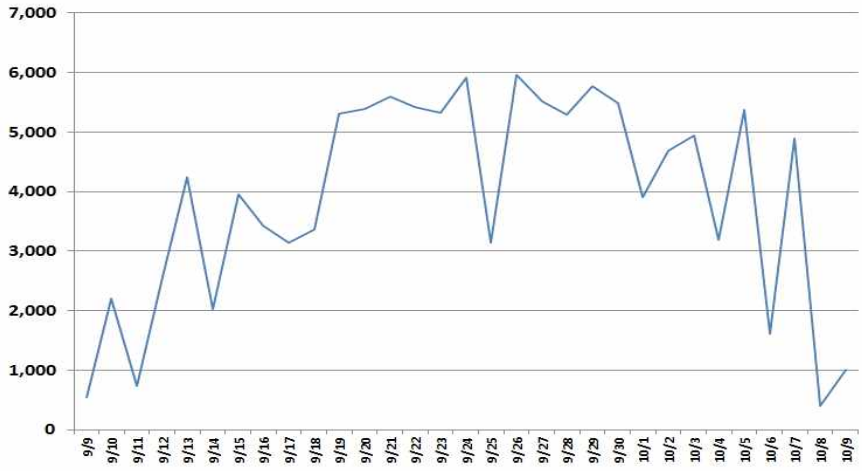
<표 3-5>는 단일진공관과 이중진공관 집열기의 취득열량표로 실험결과는 다음과 같다.

<표 3-5> 진공관형(이중진공관, 단일진공관) 집열기 태영열 취득열량

실험일		이중진공관형 00~24시		단일진공관형 00~24시		총일사량 [kcal/㎡]	평균 외기 온도
		열매체 취득열량	효율	열매체 취득열량	효율		
9/9		105.07	0.19	162.77	0.30	542	20.2
9/10		647.55	0.29	887.16	0.40	2,204	21.5
9/11		143.89	0.19	214.27	0.29	743	20.9
9/12		514.94	0.20	1144.24	0.45	2,567	23.7
9/13		1486.83	0.35	1853.22	0.44	4,235	25.4
9/14		590.42	0.29	808.18	0.40	2,018	25.1
9/15		1046.83	0.27	1657.05	0.42	3,948	26.1
9/16		1067.08	0.31	1485.24	0.43	3,425	26.1
9/17		898.63	0.29	819.73	0.26	3,144	26.4
9/18		898.63	0.27	819.73	0.24	3,373	22.1
9/19		1610.06	0.30	2165.22	0.41	5,306	19.2
9/20		1333.45	0.25	2083.34	0.39	5,383	20.3
9/21		1233.37	0.22	2129.05	0.38	5,593	20.3
9/22		1695.41	0.31	1956.06	0.36	5,422	20.5
9/23		1343.88	0.25	1741.50	0.33	5,326	22.05
9/24		1836.74	0.31	2281.34	0.39	5,918	22.2
9/25		521.47	0.17	679.22	0.22	3,144	20.2
9/26		1258.67	0.21	2152.72	0.36	5,970	15.8
9/27		1685.13	0.31	2146.08	0.39	5,512	13.3
9/28		1422.75	0.27	1973.56	0.37	5,289	14.1
9/29		1699.27	0.29	2230.64	0.39	5,764	14.3
9/30		1569.27	0.29	2280.50	0.42	5,482	15.7
10/1		1366.14	0.35	1680.94	0.43	3,910	17.1
10/2		1022.88	0.22	1834.32	0.39	4,681	17.3
10/3		1263.08	0.26	1941.92	0.39	4,950	16
10/4		700.674	0.22	826.74	0.26	3,185	17.6
10/5		1772.872	0.33	2271.78	0.42	5,372	17.4
10/6		338.12	0.21	658.45	0.41	1,610	15.5
10/7		1612.846	0.33	2228.93	0.46	4,887	17.3
10/8		75.718	0.19	305.01	0.77	399	14.9
10/9		353.729	0.35	546.28	0.54	1,011	13.6
소계	**단위면적당 총 취득열량 [kcal/day/㎡]**	**33115.38**	**0.28**	**45965.17**	**0.38**	**120,313**	**19.42**
	단위면적당 일일평균 취득열량 [kcal/day/㎡]	**1068.24**		**1482.75**			



(그림 3-6) 태양열 시스템 성능 그래프(진공관형)



(그림 3-7) 진공관형 집열기 비교실험 당시 일사량 그래프[kcal/㎡]

(그림 3-8) 진공관형 집열기 성능비교 당시 외기온도 그래프[℃]

단일진공관형 집열기는 실험기간동안 단위면적당 총 45,965.17kcal/㎡ 취득열량을 보였고, 이중진공관형 집열기 대비 약 40% 높은 취득열량을 가진 것으로 나타났다. 단위면적당 하루평균취득열량 결과에서도 1482.75kcal/day·㎡으로 이중진공관형 집열기 대비 약 40% 높은 취득열량을 보이는 것으로 나타났다.

일반적으로 단일진공관형의 집열기가 이중진공관형 집열기에 비해 높은 효율을 보이는 것으로 나타났다.

단일, 이중진공관형 집열기의 효율 곡선은 일사량 그래프와 유사한 패턴을 가지고 변화하는 것으로 나타났다. 일사량이 높은 날에는 두 집열기 모두 높은 효율을 보였으며, 그렇지 않은 날에는 효율이 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다. 실험일 중 9월 27일은 5,512kcal/㎡로 높은 일사량을 보였고, 외기온도는 3.3℃로 실험기간 중 가장 낮은 온도를 기록하였다. 평판형의 경우 외기의 온도가 낮아지면 성능이 급격히 낮아지는 것을 볼 수 있었으나 진공관형의 경우는 외기온도가 낮았음에도 불구하고 성능이 떨어지지는 않았다. 하지만 일사량이 적은 날에는 진공관형 집열기 역시 효율이 현저하게 떨어지는 것으로 나타났다.

3.3 6㎡ 일체형, 진공관형 집열기 Mock-up 실험결과 비교

앞의 Mock-up 실험결과는 같은 형태의 평판형 두 종류와 단일진공관형 두 종류를 비교하였다. 이번 절에서는 앞선 실험결과내에서 가장 우수한 성능을 보였던 6㎡ 일체형 평판형과 단일진공관형의 실험결과를 비교하였다. 앞선 실험을 통해 집열기는 외기의 온도와 일사량에 따라 성능이 변하는 것을 확인하였다. 이에 이번 실험은 외기의 온도가 평균 약 22℃였던 9월과 13℃였던 10월 11월을 나누어 실험결과를 분석해 보았다.

Mock-up실험은 총 67일 동안 진행되었으며, 일사량과 외기온도는 변화가 많아 실제 서울지역의 공동주택에 집열기를 설치했을 때 외기환경과 유사할 것으로 사료되며, 같은 기간동안 실험을 진행하였기 때문의 외부의 조건은 동일하였다.

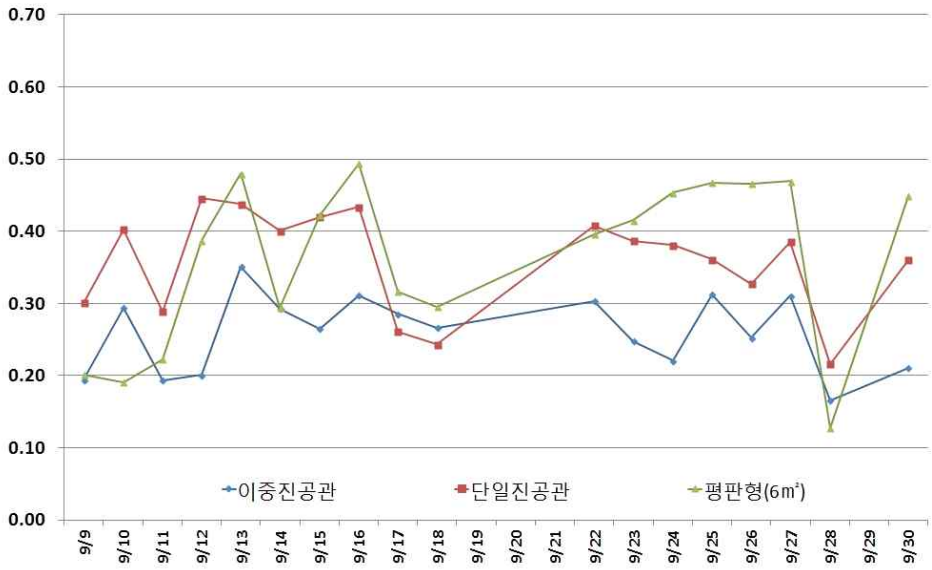
3.3.1 6㎡ 일체형 평판형, 단일진공관형 Mock-up 실험결과 비교(9월)

9월 외기의 온도가 평균 22.1℃로 비교적 높았던 기간 중 집열기 형태에 따른 태양열 취득 열량표와 효율은 아래 <표 3-6>과 같이 나타났다.

<표 3-6> 집열기(단일, 6㎡ 일체형)의 태영열 취득 열량표 [kcal/day·㎡]

실험일		단일진공관형		편광형 집열기		총일사량 [kcal/㎡]	평균 외기 온도
		00~24시		00~24시			
		열매체 취득열량	효율	열매체 취득열량	효율		
9/9		162.77	0.30	109.19	0.20	542	20.2
9/10		887.16	0.40	421.61	0.19	2,204	21.5
9/11		214.27	0.29	165.31	0.22	743	20.9
9/12		1144.24	0.45	995.20	0.39	2,567	23.7
9/13		1853.22	0.44	2032.65	0.48	4,235	25.4
9/14		808.18	0.40	593.03	0.29	2,018	25.1
9/15		1657.05	0.42	1668.37	0.42	3,948	26.1
9/16		1485.24	0.43	1691.78	0.49	3,425	26.1
9/17		819.73	0.26	995.17	0.32	3,144	26.4
9/18		819.73	0.24	995.17	0.30	3,373	22.1
9/22		2165.22	0.41	2099.85	0.40	5,306	19.2
9/23		2083.34	0.39	2236.26	0.42	5,383	20.3
9/24		2129.05	0.38	2536.43	0.45	5,593	20.3
9/25		1956.06	0.36	2535.56	0.47	5,422	20.5
9/26		1741.50	0.33	2481.75	0.47	5,326	22.05
9/27		2281.34	0.39	2776.51	0.47	5,918	22.2
9/28		679.22	0.22	400.62	0.13	3,144	20.2
9/30		2152.72	0.36	2679.40	0.45	5,970	15.8
소계	총 취득열량 [kcal/㎡]	25040.02	0.37	27413.85	0.40	68,263	22.1
	일일평균 취득열량 [kcal/day·㎡]	1482.75		1522.99			

집열기별 태양열 취득열량 결과, 평판형 집열기(일체형 6㎡)가 27,416.85kcal/㎡으로 단일진공관형(25,040.02 kcal/㎡)에 비해 약 10%정도 많은 일사량을 취득한 것으로 나타났다. 평판형 집열기(6㎡ 일체형)은 단위면적당 태양열 취득열량에서도 1522.99 kcal/㎡로 단일진공관(1,482.75 kcal/day·㎡)에 비해 일일 평균 40kcal/day·㎡ 많은 일사량을 취득한 것으로 나타났다.



(그림 3-9) 태양열 집열기 효율 성능 그래프(9월)

(그림 3-10) 태양열 시스템 성능비교 당시 일사량 그래프[kcal/㎡](9월)

(그림 3-11) 태양열 집열기 성능비교 당시 외기온도 그래프[℃](9월)

태영일 집열기의 성능곡선 그래프를 보면 두 종류의 집열기 모두 일사량 그래프 변화 추이와 유사한 패턴을 가지고 효율이 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

실험일 중 태양열 일사량이 5000kcal/㎡ 이상인 기간의 효율과 취득일사량을 확인해보면 평판형 집열기(6㎡ 일체형)의 효율이 평균 0.45로 가장 높았으며 일사 취득량도 17,345.76 kcal/㎡로 단일진공관형 집열기(효율 : 0.37, 일사 취득량 : 14,509.23 kcal/㎡)에 비해 17% 정도 높은 것으로 나타났다.

일사량이 3,000 kcal/㎡ 이하였던 실험일의 결과를 분석해 보면 총 일사량 8,074 kcal/㎡ 중 단일진공관형 집열기가 3,216.62 kcal/㎡로 6㎡ 일체형 집열기(2,284.34 kcal/㎡)에 비해 약 40% 정도 높은 일사 취득량을 가진 것으로 나타났다.

3.3.2 6㎡ 일체형 평판형, 단일진공관형 Mock-up 실험결과 비교(10, 11월)

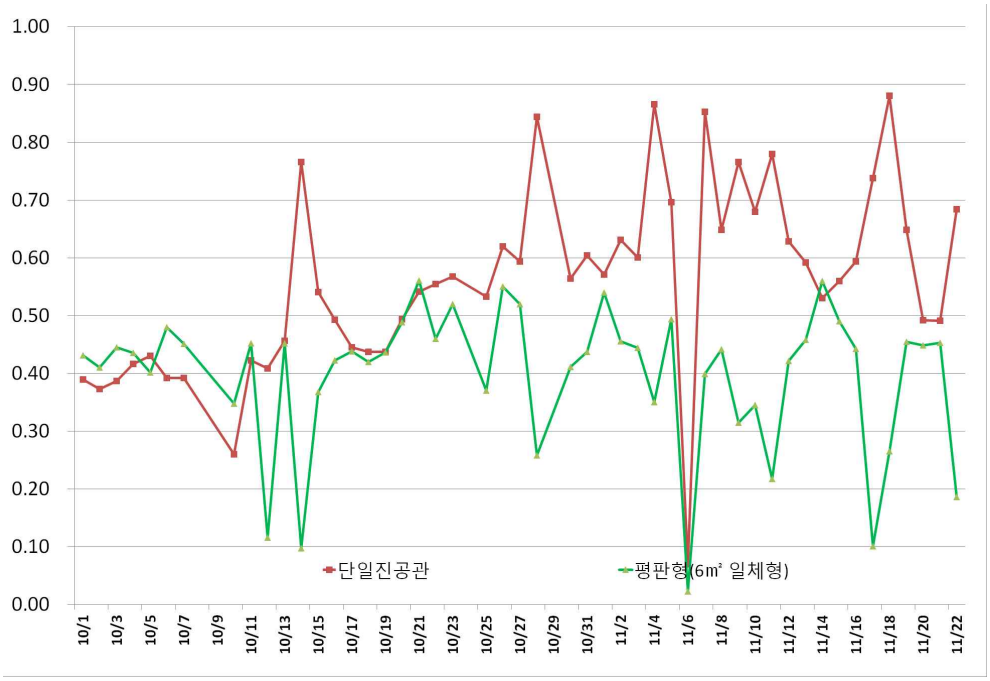
10월 11월의 태양열 집열기 Mock-up실험 결과이며, 집열기별 취득열량은 <표 3-7>과 같다

<표 3-7> 10월 11월 집열기의 취득열량표 [kcal/day/㎡]

실험일	단일진공관형		편팡형 집열기		총일사량 [kcal/㎡]	평균 외기 온도
	00~24시		00~24시			
	열매체 취득열량	효율	열매체 취득열량	효율		
10/1	2146.08	0.39	2378.52	0.43	5,512	13.3
10/2	1973.56	0.37	2169.27	0.41	5,289	14.1
10/3	2230.64	0.39	2562.96	0.44	5,764	14.3
10/4	2280.50	0.42	2387.29	0.44	5,482	15.7
10/5	1680.94	0.43	1568.75	0.40	3,910	17.1
10/6	1834.32	0.39	2246.69	0.48	4,681	17.3
10/7	1941.92	0.39	2233.85	0.45	4,950	16
10/10	826.74	0.26	1106.44	0.35	3,185	17.6
10/11	2271.78	0.42	2428.78	0.45	5,372	17.4
10/12	658.45	0.41	185.72	0.12	1,610	15.5
10/13	2228.93	0.46	2207.65	0.45	4,887	17.3
10/14	305.01	0.77	39.00	0.10	399	14.9
10/15	546.28	0.54	371.63	0.37	1,011	13.6
10/16	1794.60	0.49	1539.55	0.42	3,643	15.2
10/17	2656.77	0.44	2615.90	0.44	5,975	13.6
10/18	2570.10	0.44	2466.14	0.42	5,874	10.4
10/19	2515.98	0.44	2509.24	0.44	5,749	13.3
10/20	1529.95	0.49	1515.34	0.49	3,101	17.9
10/21	1599.39	0.54	1655.43	0.56	2,951	17.3
10/22	1413.38	0.55	1173.09	0.46	2,550	17.9
10/23	1933.81	0.57	1772.68	0.52	3,409	17
10/25	2975.52	0.53	2065.30	0.37	5,582	8.3
10/26	2590.47	0.62	2297.65	0.55	4,178	10.2
10/27	2328.82	0.59	2040.80	0.52	3,925	12.8
10/28	576.73	0.84	176.39	0.26	683	13.23
10/30	2611.56	0.56	1904.89	0.41	4,628	15.4
10/31	2524.70	0.60	1826.60	0.44	4,180	15.7

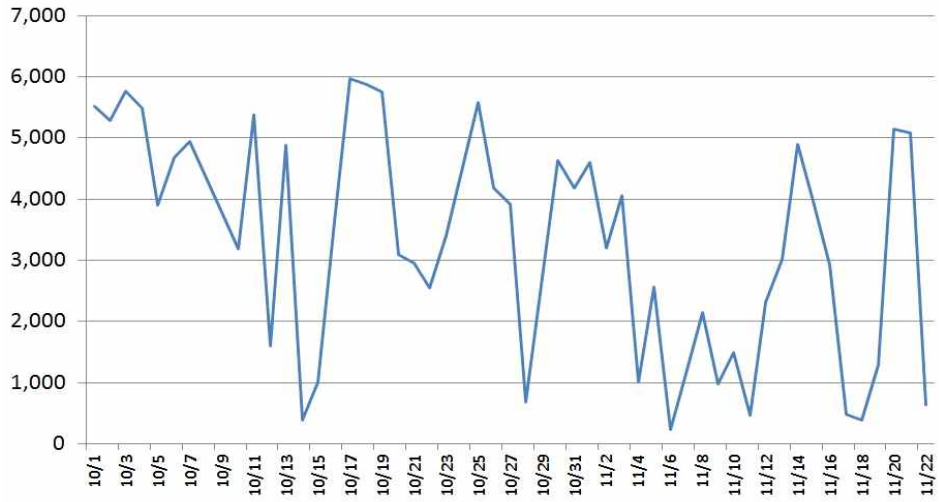
11/1		2631.23	0.57	2487.39	0.54	4,606	16.3
11/2		2021.45	0.63	1457.88	0.46	3,204	17.1
11/3		2438.09	0.60	1803.49	0.44	4,061	17.1
11/4		876.46	0.87	354.40	0.35	1,013	18.8
11/5		1790.59	0.70	1270.12	0.49	2,573	20.1
11/6		16.54	0.07	5.43	0.02	236	15.3
11/7		978.19	0.85	457.78	0.40	1,147	15.4
11/8		1392.37	0.65	949.04	0.44	2,147	15.2
11/9		756.72	0.77	310.72	0.31	988	14.9
11/10		1013.91	0.68	515.04	0.35	1,492	14.2
11/11		370.38	0.78	103.07	0.22	475	13.1
11/12		1455.93	0.63	978.06	0.42	2,318	12.7
11/13		1784.16	0.59	1382.79	0.46	3,016	12.2
11/14		2593.88	0.53	2736.49	0.56	4,891	7.3
11/15		2182.80	0.56	1910.47	0.49	3,897	8
11/16		1735.93	0.59	1292.52	0.44	2,924	11.3
11/17		357.25	0.74	48.87	0.10	484	13.9
11/18		344.55	0.88	103.68	0.26	392	14.7
11/19		840.59	0.65	589.27	0.45	1,296	11.8
11/20		2534.25	0.49	2311.40	0.45	5,152	1.7
11/21		2494.93	0.49	2301.14	0.45	5,081	2.8
11/22		442.15	0.68	120.10	0.19	647	6.2
소계	**총 취득열량 [kcal/㎡]**	**81599.28**	**0.51**	**70934.73**	**0.44**	**160517**	**13.93**
	일일평균 취득열량 [kcal/day/㎡]	**1665.29**		**1447.65**			

10월 11월 외기와 일사량 변화에 따른 집열기 형태별 일사 취득량과 효율 결과는 단일진공관형 집열기가 81,599.28 kcal/㎡으로 가장 높은 취득열량을 보였으며 이는 6㎡ 일체형 평판형(70,934.73 kcal/㎡)에 비해 약 13% 높은 일사 취득량을 보였다. 또한 단위면적당 평균 취득열량에서도 단일 진공관이 1665.29 kcal/㎡로 우수하였다.



(그림 3-12) 태양열 집열기 효율 성능 그래프(10월 11월)

(그림 3-13) 태양열 시스템 성능비교 당시 외기온도 그래프[℃](10월, 11월)



(그림 3-14) 태양열 시스템 성능비교 당시 일사량 그래프[kcal/㎡](10월, 11월)

실험은 총 49일간 진행되었으며 실험결과는 다음과 같다. 태양열 시스템 효율 그래프는 성능변화에 원인인 일사량과 외기온도의 영향에 따라 변화하는 것으로 나타났다.

성능곡선에서 알 수 있듯이 일사량이 낮아지면 6㎡ 일체형 평판형의 경우 효율이 급격히 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 단일진공관의 경우 6㎡ 일체형에 비해 효율이 상승되는 것을 볼 수 있었다. 이는 평판형의 열취득 방식과 달리 직달일사에 의한 열취득이 많은 단일진공관은 직달일사량이 많은 10~15시 사이에 순간적으로 집열하는 특징을 가지고 있기 때문인 것으로 나타났다.

3.4 소결

태양열 집열기 Mock-up 실험에서는 공동주택의 효율적인 태양열시스템 설치방안을 위해 평판형 집열기 중 일반형과 일반형의 열손실 문제점을 향상시킨 6㎡ 일체형 평판형 집열기, 진공관형 집열기 중 단일진공관과 이중진공관형에 대한 성능분석을 수행하였다.

실험수행과정은 집열기별 Mock-up실험을 수행하여 일사취득량과 시스템 효율에 대해 비교하였고 그 중 평판형과 진공관에서 가장 우수한 성능을 보인 6㎡ 일체형 평판형와 단일진공관의 실험결과를 비교하였다.

첫째, 집열기 형태에 따른 Mock-up 실험결과는 다음과 같다.

1) 평판형 집열기 Mock-up 실험 결과 6㎡ 일체형 집열기가 단위면적당 취득열량이 49,519 kcal/㎡로 일반형 대비 약 10%정도 일사열을 더 취득하는 것으로 나타났으며, 시스템의 효율 또한 약 4%정도 높게 나타났다. 그 이유는 6㎡ 일체형의 경우 일반형 집열기에 비해 각 모서리와 집열기 모듈을 접합하는 연결부분에서 발생하는 열손실이 적기 때문인 것으로 나타났다. 전체적으로 평판형 집열기는 일사량이 많고 외기온도가 집열기에 비해 과하게 높지않는 정도의 범위내에선 취득열량이 우수하게 나타나지만 외기온도가 낮을 경우, 취득열량이 급격하게 낮아지는 특성을 가지는 것으로 나타났다.

둘째, 진공관형 집열기 Mock-up실험 결과, 단일진공관의 단위면적당 취득열량이 45,965 kcal/㎡로 이중진공관 대비 약 28% 정도 높은 취득 일사량을 보였고 시스템 효율에서도 약 26% 정도 높게 나타났다. 진공관형 집열기 실험에서는 평판형 집열기와는 달리 집열기 성능이 외기온도의 변화에 크게 변하지 않는 것으로 사료된다. 하지만 진공관형 집열기 또한 일사량이 적을 시 성능이 급격하게 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 6㎡ 일체형과 단일진공관형 집열기 Mock-up실험 결과는 다음과 같다.

1) 평균 외기온도가 22℃인 9월의 집열기별 성능설험 결과에서는 평판형 집열기(6㎡ 일체형)가 약 27,413 kcal/㎡으로 단일진공관에 비해 높은 일사취득량을 보였다. 하지만 성능그래프 추이 결과에서는 평판형 집열기(6㎡ 일체형)가 단일진공관형 전체 실험기간 중에는 우수한 성능을 보였었으나 외기가 낮아지거나 일사량이 부족할 시에는 단일진공관형 보다 일사취득 성능이 급격히 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

2) 평균 외기온도가 13℃였던 10~11월 집열기 Mock-up 실험 결과에서는 단일진공관형이 81,599 kcal/㎡으로 평판형(6㎡ 일체형, 70,934 kcal/㎡)에 비해 높은 일사 취득량을 보였다. 성능그래프 추이 결과에서는 일사량이 낮아지면 평판형(6㎡ 일체형)의 경우 효율이 급격히 떨어졌지만 단일진공관형은 평판형에 비해 효율이 상승하는 것을 볼 수 있었다. 그 이유는 직달일사를 순간적으로 집광하여 취득하는 단일진공관의 특성으로 인해 열취득이 가장 많이 일어나는 시간대인 오전10~오후3시 사이에 순간적으로 효율이 높았던 것으로 사료된다.

단일진공관형 집열기의 경우 다른 집열기에 비해 일사량의 풍부하면 외기의 온도가 낮아지는 경우에도 우수한 성능을 가지는 것으로 나타났다. 이는 단일진공관의 흡수판을 둘러싸고 있는 유리관 내부 전체가 진공으로 되어있어 열손실이 다른 집열기에 비해 낮기 때문인 것으로 사료된다.

높은 외기온도와 풍부한 일사량의 취득이 가능한 하절기에 태양열 시스템을 미가동하게 되면 이론상 배관의 온도가 300℃이상까지 상승하게 되어 시스템과 배관에 문제를 일으키는 단점이 있다. 따라서 하절기에 미가동시 집열기에 덮개를 씌여주거나 태양열 취득을 차단하도록 해야하는 관리상의 어려움이 있다. 평판형 집열기는 투과체와 흡열판 사이의 대류현상으로 인해 외기온도가 낮아지게 되면 열손실이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 하지만 일사량이 많고, 외기가 일정온도까지 높아지게 되면 진공관형 집열기에 비해

높은 성능을 발휘 하는 것으로 나타났다.

Mock-up 실험에서 나타난 결과를 통해 공동주택에서 집열기별 적용성을 판단해 보면 다음과 같다. 다른 집열기에 비해 외기의 온도가 낮은 조건에서도 열손실이 적은 단일진공관의 경우 동절기 적용 시 적합하다고 판단하며, 하절기의 경우 미가동에 따른 각별한 주의가 필요하기에 시설관리자가 그에 따른 대책을 마련해야할 것으로 판단된다. 평판형의 경우 외기의 온도에 영향을 받지만, 옥상 지붕에 설치할 경우 건축마감재로써의 역할과 더불어 온수의 생산이 가능할 것으로 판단된다. 또한 하절기 과열에 대한 문제점은 진공관형에 비해 평판형 집열기가 유리할 것으로 사료된다.

제 4 장 공동주택의 태양열 집열기 적용 시뮬레이션

4.1 태양열 집열기 시뮬레이션 개요

4.1.1 시뮬레이션을 통한 평가 개요

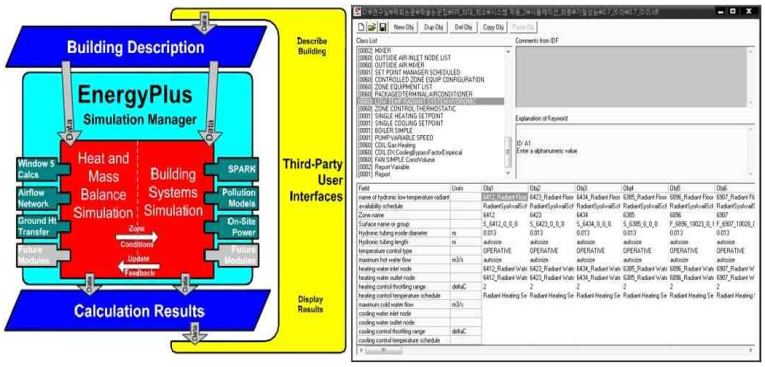
본 장에서는 앞선 태양열 집열기 Mock-up실험을 통해 각 집열기 형태에 따른 성능을 평가하였고 이를 토대로 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 실제 공동주택에서 태양열 집열기를 적용함에 있어 공동주택 설치의 최적의 위치 및 설치각도를 알아보고자 한다. 앞서 살펴본 사례를 보면 집열기의 위치와 각도, 음영분석에 대한 미흡으로 시스템을 사용하지 않는 경우가 많았으며, 대부분 커뮤니티 시설에 적용하여 이번 장에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 이와 같은 오류를 줄이며 태양열 집열기를 설치하는데 최선의 방법을 제안하고자 했다.

시뮬레이션 프로그램은 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)에서 배포한 Energy-Plus를 사용하였다. 범위설정에 있어 적용대상 아파트는 2장에서 조사한 공동주택의 태양열 에너지 시스템 설치에 따른 판상형, 탑상형의 공동주택 형태를 선정하였다. 시스템은 우선 선정한 건물을 대상으로 태양복사 에너지를 가장 많이 취득할 수 있는 옥상, 발코니 부분에 설치하는 것으로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

4.1.2 시뮬레이션 도구 선정

태양열 집열기 설치에 따른 에너지 성능을 평가하기 위해서 사용된 프로그램은 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)에서 배포한 Energy-Plus로 DOE-2(에너지해석 프로그램)와 BLAST(에너지부하분석)의 장점만을 종

합한 프로그램이다. 부하부분의 경우 BLAST의 알고리즘을 기반으로 하고 시스템 해석부분의 경우 DOE-2의 알고리즘의 영향을 받았다. Energy-Plus는 해석 시간간격 설정이 자유로우며, 모듈형 구조를 가지므로 사용자 임의로 시스템을 구성할 수 있는 장점이 있는 프로그램이다.



(그림 4-1) Energy Plus프로그램의 에너지해석 화면

4.1.3 시뮬레이션 입력데이터

공동주택의 태양에너지 취득에 따른 시뮬레이션 수행을 위한 경계조건은 다음과 같다.

① 기후 : Korea of Republic, Seoul(태양에너지학회 제공)

② 난방방식 : 개별난방(급탕량 선정 개별)

③ 태양열 집열기 : Flat-plate Collector(순환유량 : 단위면적당 1.2 ℓpm)

④ 장비용량 - 보일러 난방능력 : 27,000 kcal/hr, 온수출력 : 27,000 kcal/hr
사용연료 : LNG(도시가스), Instantaneous Water Heater : 3.6 ㎥/hr, 1,480W, Storage Tank : 8 ㎥

⑤ 급탕량 산정

급탕량을 선정하기 위해 <표 4-1>을 참고하였다.

<표 4-1> 건물종류별 급탕량
(공동주택설비설계, 한국엔지니어링진흥협회,2008)

건물의 종류	1인1일당 급탕량(L)	1일 사용에 대해 필요한 1시간당 최대치 비율	피크로드의 계속 시간	1일 사용량에 대한 저탕비율	1일 사용량에 대한 가열 능력 비율
	Qd	Qb	h	υ	ϒ
주택·아파트·호텔 등	75~150	1/7	4	1/7	1/5

Tank Volume의 시간당 피크 급탕사용량을 결정한다. 본 연구에서 분석한 시간당 피크 급탕사용량은 56.52L였으며, 일반적으로 아파트의 1인 1일 최대 급탕량은 75~150ℓ로 제시하며 1일 사용에 대한 필요한 시간당 최대치 비율을 1/7로 명시하고 있다. 이를 통해 계산하면, 4인 가족을 기준으로 했을 경우 시간당 피크 급탕 사용량은 42.86~85.71ℓ이다. 따라서 본 연구에서는 분석한 시간당 피크 사용량이 범위 안에 설정, 유효하다고 판단하고 시간당 피크 급탕사용량을 약 57ℓ로 설정 후 25%의 안전율을 주어 Tank Volume은 72ℓ로 설정하였다. 급탕시스템의 용량은 시간당 피크 급탕부하로 산정한다. 본 연구에서 분석된 급탕량을 기준으로하면 약 1000W의 용량이 산출된다.

아래 <표 4-2>[19]는 서울지역의 25평형 150세대의 급탕량 사용량을 조사하여 나타낸 것이다. 내용을 살펴보면 주중 일요일의 순간최대 피크치가 381.1ℓpm으로 나타났다. 이를 기준으로 60세대의 급탕 사용량을 비율로써 예측하고 그 값을 시뮬레이션 경계 값에 입력하였다.

19) 아파트의 적정 급수, 급탕량 산정에 관한 연구, LH공사

<표 4-2> 서울지역 25평형 급탕 사용량

서울		순간최대피크치		1시간 최대사용량		1시간평균사용량	1일 사용량	세대당 1일 사용량
		피크치 (ℓ/min)	시각	사용량 (ℓ/동.h)	시간	사용량 (ℓ/동.h)	사용량 (ℓ/동)	사용량 (ℓ)
25 평형 (150 세대)	금요일	361.3	8시 43분	3,158	6-7시	382	9,177	61.1
	토요일	367.9	13시 14분	5,314	13-14시	904	21,705	144.7
	일요일	381.1	14시 28분	5,619	19-20시	797	19,138	127.6
	월요일	376.7	16시 45분	4,549	12-13시	748	17,948	119.7
	화요일	376.7	19시 33분	5,993	21-22	1,335	32,093	213.6
	수요일	354.7	11시 27분	5,940	12-13시	1,286	30,865	205.8

4.1.4 시뮬레이션 성능평가를 위한 모델링 및 Case 선정

시뮬레이션을 수행하기 위한 해석대상 공동주택은 A지구 공동주택 표준모델로 전용면적 84㎡, 총 60세대로 구성되어진 아파트 한동을 Skctchup Openstudio 로 모델링을 하고 각 세대는 4인의 가족이 재실 하는 것으로 설정하고 시뮬레이션을 수행하였다.

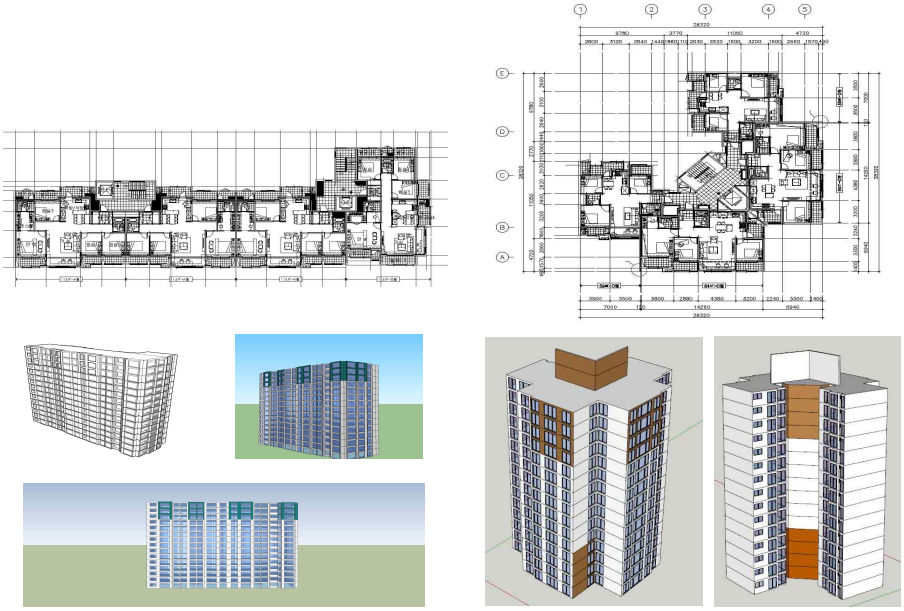
해석 대상건물은 공동주택 한 세대를 기준으로 평가한 것이 아니고 건물 한동 전체를 기준으로 평가하였다.

실제 공동주택 한 동에 태양열 집열기를 설치하고 태영복사열의 취득량을 분석해보고자 하였다.

(1) 시뮬레이션 수행을 위한 모델링

시뮬레이션 수행을 위해 해석대상 건물은 A지구 공동주택 표준모델로 전용면적 84㎡ 세대, 60세대 한 동을 대상으로 모델링하였다.

공동주택의 형태는 판상형과 탑상형을 선정하여 모델링 하였다.



(그림 4-2) 시뮬레이션 대상건물 조감도(판상형, 탑상형)

(2) 시뮬레이션 수행을 위한 변수 설정

시뮬레이션을 통해 공동주택에 집열기를 적용을 통해 태양열 취득열량을 평가를 위해 태양열 집열기의 설치각도와 방위를 변수로 설정하였다.

설치각도는 각 30°, 46°(Mock-up 실험시 설치각도), 60°, 90°, 설치방위는 정남, 남동향, 남서향으로 최대 일사량을 확보하기 위한 평가를 수행하였다.

판상형의 경우 직사각형인 형태의 특징으로 인해 전세대가 직달일사의 취득을 받기 때문에 설치각도만 변수로 설정하였다.

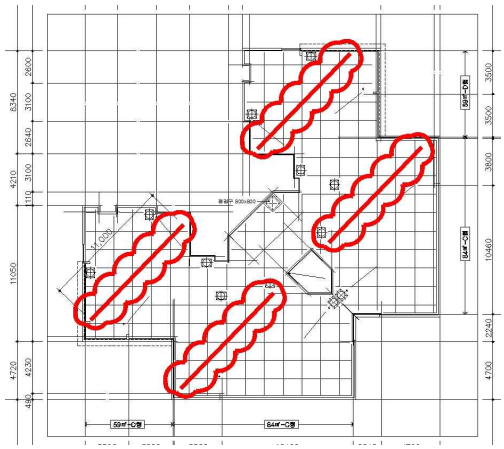
탑상형의 경우에는 옥상부분은 직달일사가 가능하지만 발코니 부분은 전세대가 직달일사를 받지 못하기 때문에 발코니 부분은 정남향을 기준으로 남동, 남서향와 함께 집열기 설치각도에 변화를 주어 수행하였다.

태양열 집열기 최적 설치를 위한 시뮬레이션을 수행하기 위해 <표 4-3>과 같이 변수를 설정하였다.

변수 설정에 앞서 우선 공동주택의 형태에 따른 설치면적을 계산하였다.

태양열 집열기의 옥상 지붕 설치면적은 판상형과 탑상형을 따로 구분하였다. 판상형의 경우 직사각형 형태로 공간의 활용이 가능함에 따라 설치면적이 탑상형에 비해 넓으며 평면 중간에 배기구 및 입상배관의 관통과 지붕의 마감을 다양한 디자인으로 시공할 경우 인해 설치공간은 더 더욱 줄어들게 되고 제약이 많은 것으로 나타났다. 이에 탑상형의 경우 실제 설치 가능한 공간을 계산해보면 탑상형은 (그림 4-3)에서 붉은 선으로 나타난 것처럼 설치공간이 판상형에 비해 협소하고 집열기를 설치하더라도 지붕 구조물에 의해 음영의 영향을 받을 수 있다. 아래 그림에서 최대 설치 길이는 약 11m 인 것으로 나타났고 이는 2m가 넘는 기성품의 집열기를 2단으로 설치하는 10개의 모듈이 설치될 공간이다.

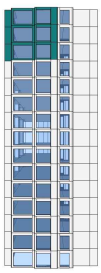
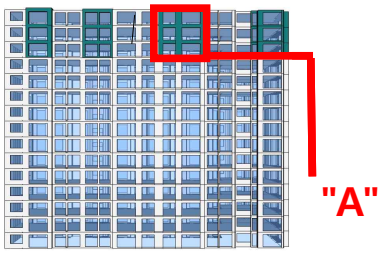
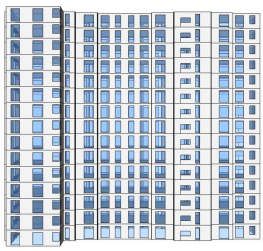
따라서 옥상 면적에서 설치가능 면적으로 비율을 계산하게 되면 판상형의 경우 최대 50%, 탑상형의 경우 최대 38%정도가 될 것으로 사료된다.



(그림 4-3) 탑상형의 설치 가능 공간

발코니와 옥상의 집열기를 설치하고 일사 취득량을 확인하여 연 중 최적의 설치각도를 평가하고 하절기와 동절기의 최적 경사각을 각각 도출하는 것으로 설정하였다. 그리고 층과 층 사이의 공간에 샤시(Sash)부분 중 난간대에 설치하는 것으로 모델링 하였다. <표 4-4>는 발코니 설치 시 태양열 집열기의 설치 조감도이다.

<표 4-3> 공동주택 입면도

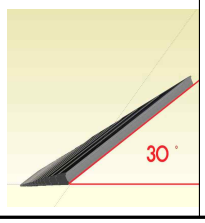
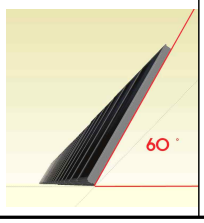
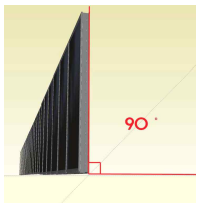
우측면도 (동향)	좌측면도 (서향)
	
정면도 (남향)	배면도 (북향)
	

<표 4-4> “A”부분 발코니 태양열 집열판 설치 상세도

발코니 설치 부분 상세도

또한 시뮬레이션은 지붕 옥상에 설치하는 것으로 설치 각도는 발코니 설치와 동일한 각도인 30°, 46°, 60°, 90°[20]로 설정하였고, 설치면적은 <표 4-4>에서 제시한 값을 입력하여 시뮬레이션을 수행하였다.

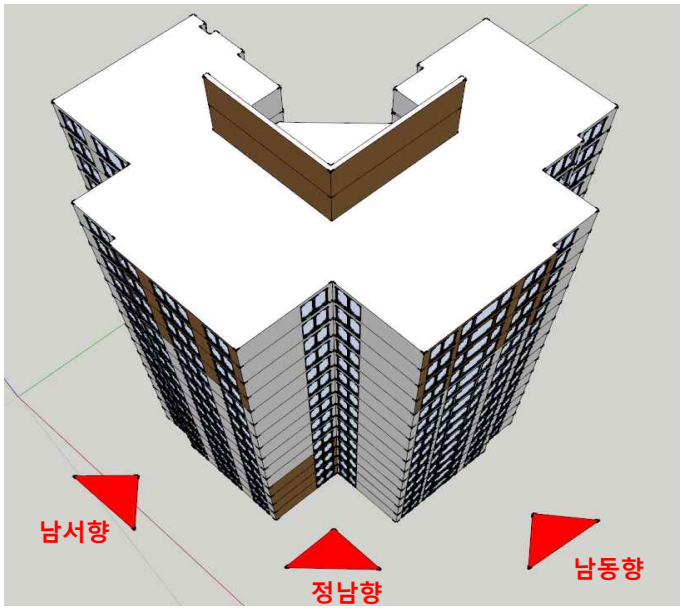
<표 4-5> 태양열 집열판 설치 각도의 변화

30°	46°	60°	90°
			

탑상형 형태의 경우 (그림 4-4)와 같이 평면이 직사각형인 판상형과 달리 정사각형의 형태로 평면의 중심부분에 Core가 위치하며 Core를 중심으로 방사형으로 각 세대가 둘러싸고 있는 형태여서 판상형과 달리 한쪽 방향을 정남향으로 배치하게 되면 나머지 입상면이 남동향, 남서향이 되기 때문에 일사취득에 있어 불리한 면이 있어 탑상형의 형태에서는 태양열 집열기를 발코

20) 지역별 일사량 및 집열판 경사각의 영향, 김영일, (설비저널 2008.12)

니에 설치하고 정남향, 남동향, 남서향에 따라 설치각도를 변화하여 일사 취득평가에 대한 시뮬레이션을 변수를 설정하였고 다음과 같다.



(그림 4-4) 탑상형 향에 대한 정의

<표 4-6> 태양열 시스템 온수 에너지 소비량 평가를 위한 변수 설정

Case	설치위치	설치방위	설치각도	설치면적
판상형	옥상	정남향	30°, 46°, 60°, 90°	456㎡ x 0.5(설치비율) = 228㎡(판상형)
	발코니		30°, 46°, 60°, 90°	각 세대 3.5㎡(3.3mX1.06) x 60세대 =210㎡
탑상형	옥상	정남향	30°, 46°, 60°, 90°	427㎡ x 0.38(설치비율) = 162㎡(탑상형)
	발코니	정남향, 남동향, 남서향	30°, 46°, 60°, 90°	각 세대 3.5㎡(3.3mX1.06) x 60세대 =210㎡

발코니에 집열기를 설치하는 면적의 산출은 2장에서 아파트 백과사전에서 분석한 설치가능면적을 기준으로 선정하였다.

4.2 태양열 집열기 설치위치 및 각도에 따른 시뮬레이션

4.2.1 태양열 집열기 옥상 설치에 따른 성능평가

(1) 판상형 형태에서 집열판 설치각도에 따른 시뮬레이션 결과

태양열 집열기를 옥상에 설치하고 집열기의 각도 변화에 따른 에너지 소비량을 비교해 보고자 하였다. 이는 태양열을 취득하여 온수를 생산하는 방식에 있어 세대별 발코니 설치와 옥상 지붕에 설치하는 것을 비교하고자 함이다.

현재 대부분의 태양열 집열기는 지붕에 설치되는 것으로 나타났다. 그 이유는 집열기를 각 세대에 설치했을 경우 유지보수를 위해서 세대에서 불편함을 감수해야하는 문제점을 가지고 있다. 이에 대부분 설치위치를 옥상에 설치하있는 것으로 분석됐다.

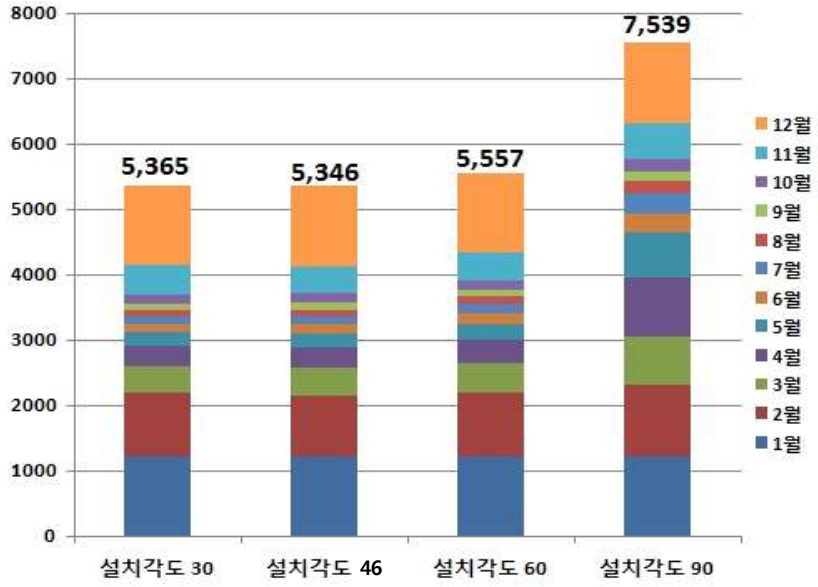
시뮬레이션은 지붕 옥상에 설치하는 것으로 설치 각도는 발코니 설치와 동일한 각도인 90°와 30°, 46°, 60° 로 설정하였고, 설치면적은 <표 4-6>에서 제시한 값을 입력하여 시뮬레이션을 수행하였다.

판상형 형태에서 태양열 집열기를 옥상부분에 설치 한 후, 설치 각도에 따른 에너지 소비량 결과는 다음과 같다.

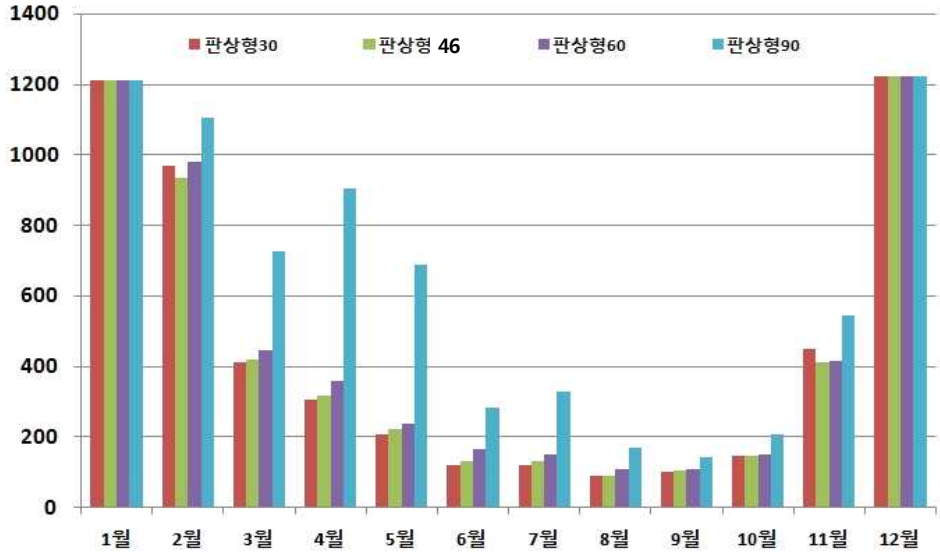
집열기의 설치 각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량 결과 집열기를 46°로 설치한 모델의 에너지 소비량이 5.346MWh로 가장 적은 것으로 나타났고, 그 다음으로는 30°(5.365MWh)>60°(5.557MWh), 90°(7.539MWh) 순으로 집열기 설치각도에서는 90°로 설치하는 것이 가장 에너지 소모가 많은 것으로 나타났다.

<표 4-7> 판상형 집열기 옥상 설치시 각도에 따른 온수생산을 위한 에너지 소비량[kWh](정남향)

월/Case	설치각도30	설치각도46	설치각도60	설치각도90
1월	1,213	1,213	1,213	1,213
2월	969	936	979	1,105
3월	413	419	445	726
4월	307	318	361	905
5월	209	221	236	687
6월	122	131	164	285
7월	121	131	151	329
8월	89	91	108	171
9월	102	106	109	143
10월	146	146	151	206
11월	451	411	417	546
12월	1,223	1,223	1,223	1223
합 계	**5,365**	**5,346**	**5,557**	**7,539**

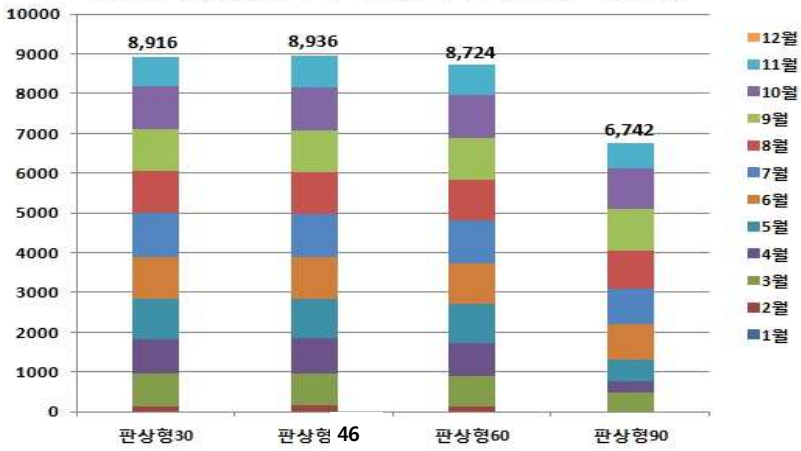


(그림 4-5) 판상형 옥상 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향)



(그림 4-6) 판상형 집열기 설치 각도에 따른 월별 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향)

(그림 4-6)의 온수 생산을 위한 에너지 소비량을 월별로 살펴보게 되면 집열기 각도가 30°, 46°, 60°의 모델은 세 가지 모델이 비슷한 패턴의 에너지 소비량을 보이는 것으로 나타났다. 동절기, 하절기 소비량은 3가지 모델이 90°에 비해 적은 에너지 소비량을 보이는 것으로 나타났다. 집열기의 각도가 90°인 모델은 동절기, 하절기 모두 가장 높은 에너지 소비량을 보이는 것으로 나타났다.



(그림 4-7) 판상형 옥상 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 절감량(정남향)

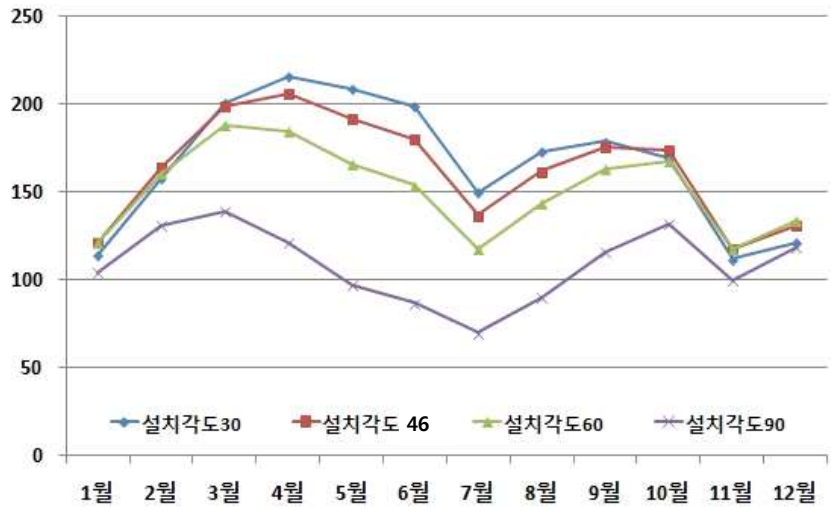
(그림 4-7)의 옥상 집열기 설치각도에 따른 온수생산을 위한 에너지 절감량 결과를 살펴보면 46°의 모델이 가장 높은 에너지 절감량(8,936MWh)을 보였고 그 다음으로 30°(8,916MWh)>60°(8,724MWh)>90°(6,742MWh) 순으로 나타났다.

<표 4-8>의 설치각도에 따른 일사 취득량의 결과를 살펴보면 설치각도 30°에서의 단위 면적당 일사 취득량이 2,002W/㎡로 가장 높은 것으로 나타났고, 그 다음으로는 46°(1,960W/㎡)>60°(1,820W/㎡)>90°(1,306W/㎡) 순으로 나타났다.

단위 면적당 일사 취득량이 많았던 30° 모델에서 앞서 살펴본 에너지 절감량 결과 역시 가장 높은 에너지 절감량을 보이는 것이 일사 취득량과 에너지 절감의 비례를 이루는 것이 옳은 결과임에도 불구하고 에너지 절감량이 46° 모델에 비해 적은 이유를 분석해 보면 급탕 및 온수의 수요가 가장 많은 동절기(1~3월, 10~12월)의 기간에 일사 취득량이 46°모델에 비해 적기 때문인 것으로 나타났다.

<표 4-8> 판상형 옥상 집열기 설치각도에 따른
취득일사량[W/㎡](정남향)

월 / Case	설치각도30	설치각도46	설치각도60	설치각도90
1월	114	121	121	104
2월	158	164	161	131
3월	201	199	188	139
4월	216	206	185	121
5월	209	192	166	97
6월	199	180	154	87
7월	150	137	118	70
8월	173	162	144	90
9월	179	176	163	116
10월	170	174	168	132
11월	112	118	118	100
12월	121	131	134	119
합 계	**2,002**	**1,960**	**1,820**	**1,306**



(그림 4-8) 판상형 옥상 집열기 설치 각도에 따른 월별 취득
일사량(정남향)

월별 취득 일사량을 분석해 보면 일반적으로 하절기 중 7~8월의 일사취득량이 많을 것으로 예상했으나 그렇지 못했던 이유는 우리나라의 기후 특성 중하나 인 6월, 7월의 장마로 인한 태양열 자원의 부족이 있었기 때문인 것으로 분석되었다.

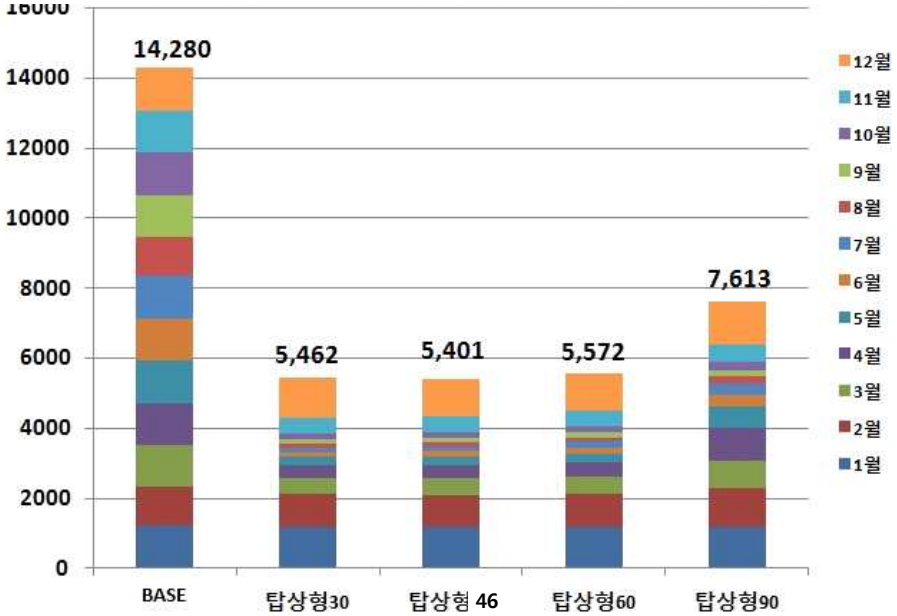
(2) 탑상형 형태에서의 집열판 설치각도에 따른 시뮬레이션 결과

탑상형 형태에서 태영열 집열기를 옥상에 설치하고 집열기의 각도 변화에 따른 에너지 소비량과 일사 취득량에 대한 평가를 하였고 그 결과는 다음과 같다.

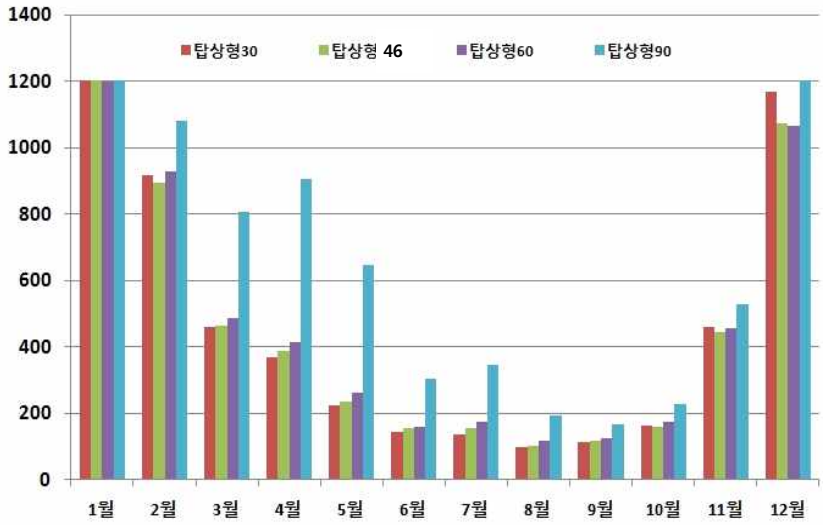
집열기 설치 각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량 결과 판상형의 결과와 마찬가지로 집열기를 46°설치한 모델의 에너지 소비량이 5,401MWh로 가장 적은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 30°(5,462MWh)>60°(5,572MWh)> 90°(7,613MWh) 순으로 집열기 설치각도에서는 90°로 설치하는 것이 가장 에너지 소모가 많은 것으로 나타났다.

<표 4-9> 탑상형 집열기 옥상 설치시 각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량[kWh](정남향)

월/Case	탑상형30	탑상형46	탑상형60	탑상형90
1월	1,203	1,203	1,201	1,202
2월	919	895	929	1,081
3월	461	465	487	806
4월	369	388	416	907
5월	225	234	263	646
6월	143	154	160	305
7월	138	157	174	345
8월	98	103	116	193
9월	114	119	125	169
10월	162	161	176	228
11월	461	447	458	528
12월	1,169	1,075	1067	1,203
합 계	**5,462**	**5,401**	**5,572**	**7,613**

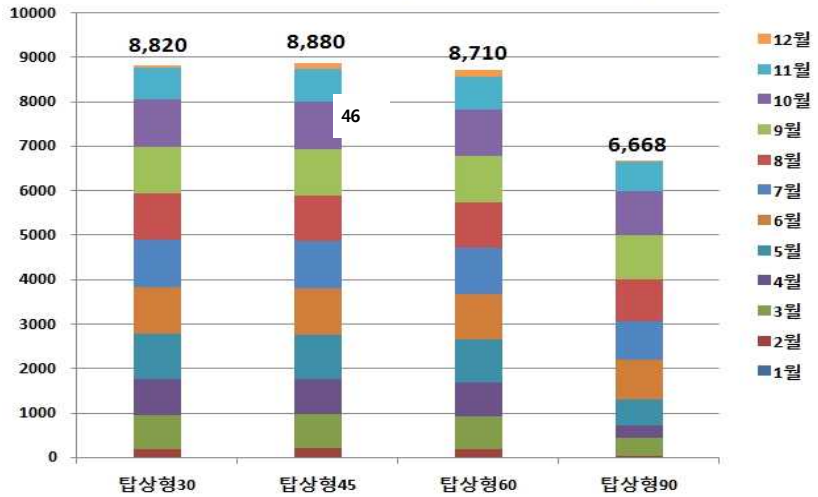


(그림 4-9) 탑상형 집열기 옥상 설치시 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향)



(그림 4-10) 탑상형 집열기 옥상 설치시 설치각도에 따른 월별 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향)

(그림 4-10)의 온수 생산 에너지 소비량을 월별로 살펴보게 되면 집열기 각도가 30°, 46°, 60°의 모델은 세 가지 모델이 비슷한 패턴의 에너지 소비량을 보이는 것으로 나타났다. 동절기, 하절기 소비량은 3가지 모델이 90°에 비해 적은 에너지 소비량을 보이는 것으로 나타났다. 집열기의 각도가 90°인 모델은 동절기, 하절기 모두 가장 높은 에너지 소비량을 보이는 것으로 나타났다



(그림 4-11) 탑상형 집열기 옥상 설치시 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 절감량(정남향)

(그림 4-11)의 옥상 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 절감량 결과를 살펴보면 46도의 모델이 가장 높은 에너지 절감량(8,880MWh)을 보였고 그 다음으로 30°(8,820MWh)>60°(8,710MWh)>90°(6,668MWh) 순으로 나타났다.

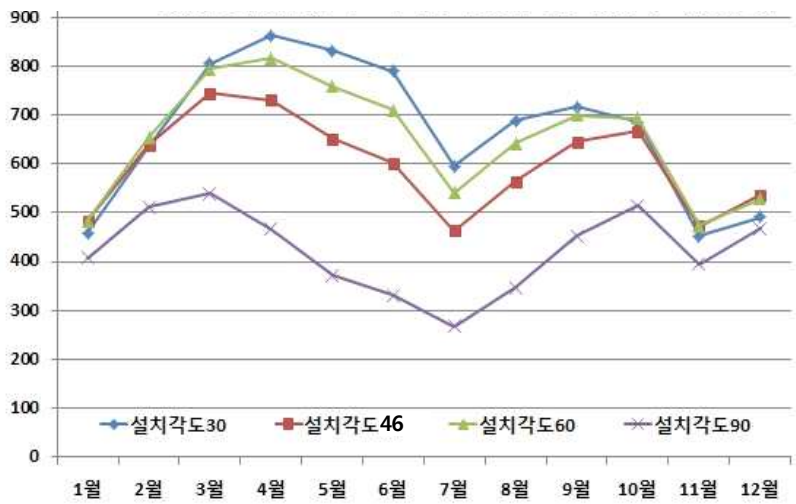
<표 4-10>의 설치각도에 따른 일사 취득량의 결과를 살펴보면 설치각도 30°에서의 단위 면적당 일사 취득량이 8,016 W/㎡로 가장 높은 것으로 나타났고, 그 다음으로는 46°(7,798 W/㎡)>60°(7,199 W/㎡)>90°(5,075 W/㎡) 순으로 나타났다.

단위 면적당 일사 취득량이 많았던 30° 모델에서 앞서 살펴본 에너지 절갈량 결과 역시 가장 높은 에너지 절감량을 보이는 것이 일사취득량과 에너지

절감의 비례를 이루는 것이 옳은 결과임에도 불구하고 에너지 절감량이 46° 모델에 비해 적은 이유를 분석해 보면 급탕 및 온수의 수요가 가장 많은 동절기(1~3월, 10~12월)의 기간에 일사 취득량이 46°모델에 비해 적기 때문인 것으로 나타났다.

<표 4-10> 탑상형 옥상 집열기(4개) 설치각도에 따른 취득일사량[W/㎡](정남향)

월 / Case	설치각도30	설치각도46	설치각도60	설치각도90
1월	459	484	483	408
2월	637	655	639	512
3월	805	795	744	540
4월	863	816	730	467
5월	832	759	652	371
6월	789	710	602	332
7월	596	541	464	268
8월	689	642	565	347
9월	717	699	645	452
10월	685	694	667	515
11월	453	475	472	395
12월	491	528	536	468
합 계	**8,016**	**7,798**	**7,199**	**5,075**



(그림 4-12) 탑상형 집열기 옥상 설치각도에 따른 월별 취득일사량(정남향)

월별 취득 일사량을 분석해 보면 일반적으로 하절기 중 7~8월의 일사 취득량이 많을 것으로 예상했으나 그렇지 못했던 이유는 장마기간과 운량이 다른 달에 비해 많아 태양자원이 부족했기 때문인 것으로 분석되었다.

4.2.2 태양열 집열기 발코니 설치에 따른 성능평가

이번 절에서는 태양열 집열기를 공동주택의 발코니에 설치하고 설치각도에 따른 에너지 성능평가를 하였다. 공동주택의 형태는 판상형, 탑상형을 나누어 시뮬레이션을 진행하였다

(1) 판상형의 형태에서의 발코니에 집열기 설치시 시뮬레이션 결과

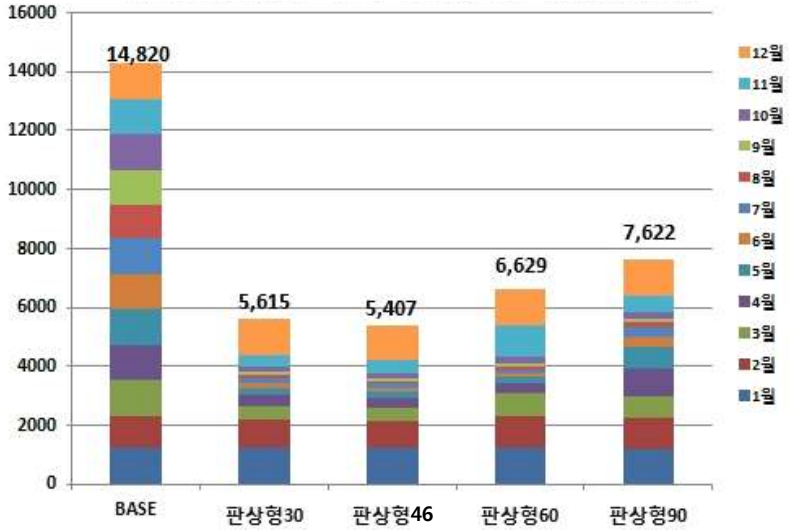
Base 모델의 경우 온수를 생산하기 위해 년간 14,281MWh를 사용하는 것으로 나타났고, 월별로 에너지 소비량을 비교해 보면 대략 6~7%로 높은 소비량을 보이는 것으로 나타났다. 이는 급탕 공급 온도를 일정하게 설정하여 보일러의 가동이 일정하게 유지되고 있기 때문인 것으로 나타났다.

판상형 형태에서 태양열 집열기를 발코니 부분에 설치한 후, 설치 각도에 따른 에너지 소비량 결과는 다음과 같다.

집열기의 46° 설치한 모델의 에너지 소비량이 5,407MWh로 가장 낮은 에너지를 사용하는 것으로 나타났다. 그 다음으로는 30°(5.615MWh)> 60°(6.629MWh)>90°(7.622MWh) 순으로 나타났다. 설치각도 90° 모델이 가장 많은 에너지를 소모하는 것으로 나타났다

<표 4-11> 판상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량[kWh](정남향)

월/Case	판상형30	판상형46	판상형60	판상형90
1월	1,214	1,214	1,214	1,170
2월	979	933	1,105	1,101
3월	446	433	752	714
4월	372	333	358	936
5월	247	220	211	733
6월	164	140	129	312
7월	154	137	132	347
8월	110	99	96	179
9월	118	110	111	143
10월	161	146	214	207
11월	427	419	1,084	557
12월	1,223	1,223	1,223	1,223
연간 소비량 합 계	**5,615**	**5,407**	**6,629**	**7,622**
하절기 합계	**1,165**	**1,039**	**1,037**	**2,650**
동절기 합계	**4,450**	**4,368**	**5,592**	**4,972**

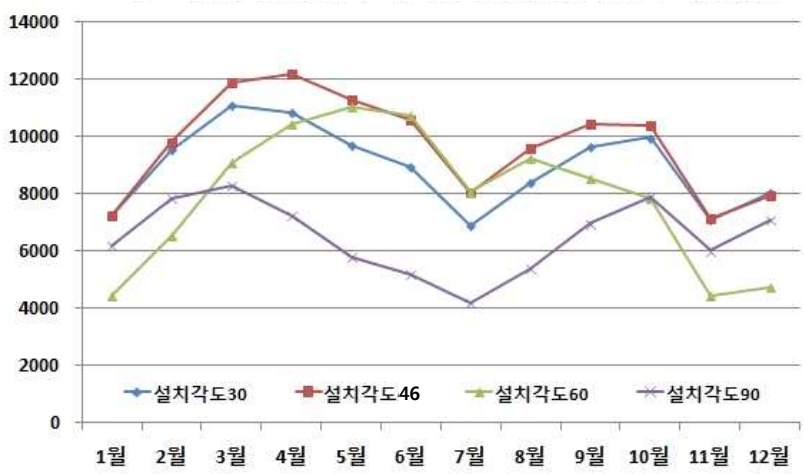


(그림 4-13) 판상형 발코니 집열기 설치 각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향)

발코니 집열기 설치 각도에 따른 일사 취득량에 대한 결과를 <표4-12> 살펴보면 연 중 최대 일사량을 받는 각도는 46°로 총 116,643W/㎡를 취득하였고, 그 다음으로는 30°(107,422 W/㎡) > 60°(95,154 W/㎡) > 90°(78,248 W/㎡) 순으로 나타났다.

<표 4-12> 판상형 옥상 집열기(60개) 설치각도에 따른 취득일사량[W/㎡](정남향)

월 / Case	설치각도30	설치각도46	설치각도60	설치각도90
1월	7,234	7,261	4,438	6,216
2월	9,560	9,825	6,568	7,832
3월	11,114	11,896	9,081	8,314
4월	10,866	12,185	10,429	7,263
5월	9,690	11,319	11,044	5,810
6월	8,933	10,587	10,730	5,203
7월	6,898	8,069	8,074	4,185
8월	8,407	9,580	9,227	5,414
9월	9,630	10,454	8,543	6,971
10월	9,975	10,402	7,826	7,901
11월	7,074	7,131	4,464	6,022
12월	8,041	7,934	4,730	7,117
합 계	**107,422**	**116,643**	**95,154**	**78,248**



(그림 4-14) 판상형 발코니 집열기 각도에 따른 월별 취득 일사량(정남향)

(그림 4-14) 그래프를 살펴보면 설치각도 46°는 하절기 동절기 모두 가장 높은 일사 취득량을 보였고 설치각도 60°의 경우 동절기에는 낮은 일사 취득량을 보이지만 하절기 높은 취득량을 보이는 것으로 나타났으며, 이와 반대로 30° 모델의 경우 하절기에는 낮은 취득량을 보이는 반면에 동절기의 경우 높은 일사 취득량을 보이는 것으로 나타났다.

(2) 탑상형의 형태에서 발코니에 집열기 설치시 성능평가

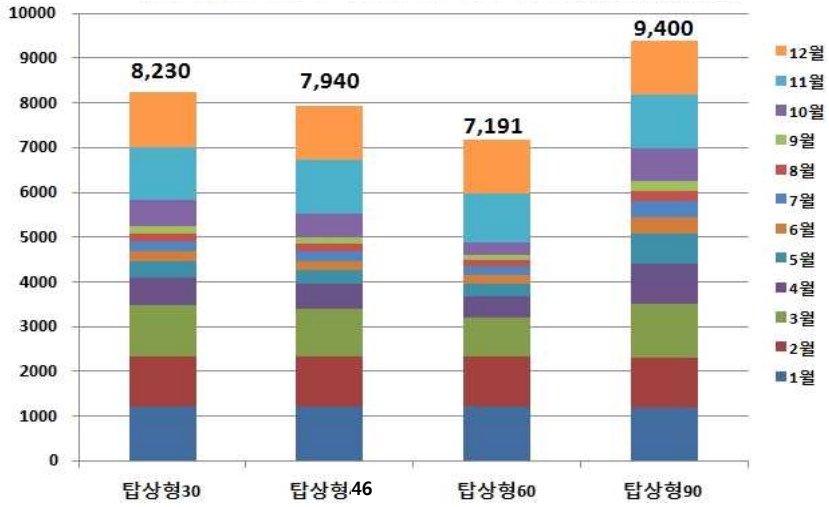
가) 탑상형 형태의 공동주택 정남향 배치시 성능평가

탑상형 형태의 공동주택을 정남향에 배치하고 설치각도에 따른 에너지 성능평가 결과는 다음과 같다. <표 4-13>은 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량에 대한 값이다.

설치각도 60° 모델의 에너지 소비량이 7,191kWh로 가장 낮은 에너지를 사용하는 것으로 나타났다. 그 다음으로는 46°(7,940kWh)>30°(8,230kWh)>90°(9,400kWh) 순으로 나타났다. 설치각도 90° 모델이 가장 많은 에너지를 소모하는 것으로 나타났다

<표 4-13> 탑상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량[kWh](정남향)

월/Case	탑상형30	탑상형46	탑상형60	탑상형90
1월	1,214	1,214	1,214	1,191
2월	1,105	1,105	1,105	1,105
3월	1,152	1,065	880	1,223
4월	626	560	466	885
5월	357	326	282	665
6월	218	198	199	362
7월	237	206	212	378
8월	182	169	120	213
9월	159	153	129	220
10월	577	543	281	751
11월	1,180	1,178	1,080	1,184
12월	1,223	1,223	1,223	1,223
연간 소비량 합 계	**8,230**	**7,940**	**7,191**	**9,400**
하절기 합계	**1,779**	**1,612**	**1,408**	**2,723**
동절기 합계	**6,451**	**6,328**	**5,783**	**6,677**

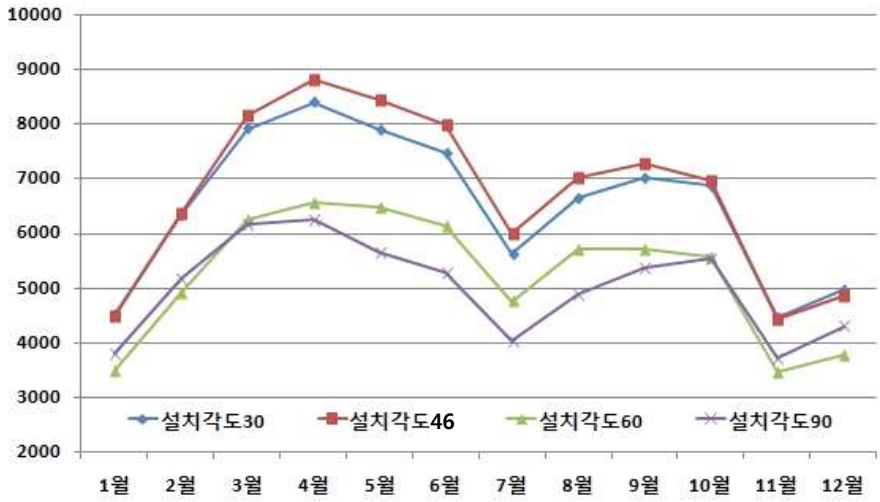


(그림 4-15) 탑상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(정남향)

발코니 집열기 설치 각도에 따른 일사 취득량에 대한 결과를 살펴보면 연중 최대 일사량을 받는 각도는 46°로 단위면적당 총 80,826 W/㎡를 취득하였고, 그 다음으로는 30°(78,204 W/㎡) > 60°(62,880 W/㎡) > 90°(60,252 W/㎡) 순으로 나타났다.

<표 4-14> 탑상형 발코니 집열기(60개) 설치각도에 따른 취득일사량[W/㎡](정남향)

월 / Case	설치각도30	설치각도46	설치각도60	설치각도90
1월	4,532	4,489	3,496	3,805
2월	6,335	6,372	4,922	5,170
3월	7,919	8,148	6,247	6,165
4월	8,401	8,815	6,578	6,263
5월	7,915	8,442	6,475	5,663
6월	7,473	7,997	6,149	5,299
7월	5,635	6,005	4,763	4,045
8월	6,641	7,012	5,712	4,879
9월	7,025	7,280	5,722	5,379
10월	6,883	6,969	5,570	5,549
11월	4,466	4,438	3,470	3,728
12월	4,979	4,859	3,776	4,307
합 계	**78,204**	**80,826**	**62,880**	**60,252**



(그림 4-16) 발코니 집열기 각도에 따른 월별 취득 일사량(정남향)

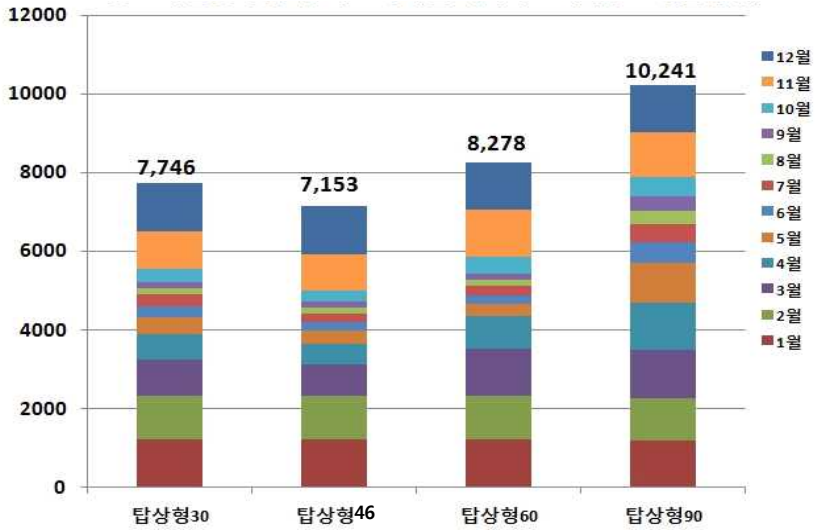
나) 탑상형 형태의 공동주택 남동향 배치시 성능평가

탑상형 형태의 공동주택을 남동향에 배치하고 설치각도에 따른 에너지 성능평가 결과는 다음과 같다. <표 4-15>는 집열기 설치 각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량을 표로 나타냈다.

설치각도 46°모델의 에너지 소비량이 7,153 kWh로 가장 낮은 에너지를 사용하는 것으로 나타났다. 그 다음으로는 30°(7,746 kWh)> 60°(8,278 kWh)>90°(10,241 kWh) 순으로 나타났다. 설치각도 90° 모델이 가장 많은 에너지를 소모하는 것으로 나타났다

<표 4-15> 탑상형 발코니 집열기 설치 각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(남동향)

월/Case	탑상형30	탑상형46	탑상형60	탑상형90
1월	1,214	1,214	1,214	1,180
2월	1,105	1,105	1,105	1,105
3월	942	804	1,223	1,223
4월	624	533	821	1,184
5월	441	327	309	1,015
6월	294	228	214	513
7월	293	220	244	476
8월	168	146	137	326
9월	151	138	155	375
10월	317	289	456	483
11월	974	926	1,177	1,138
12월	1,223	1,223	1,223	1,223
연간 소비량 합 계	**7,746**	**7,153**	**8,278**	**10,241**
하절기 합계	**1,971**	**1,592**	**1,880**	**3,889**
동절기 합계	**5,775**	**5,561**	**6,398**	**6,352**

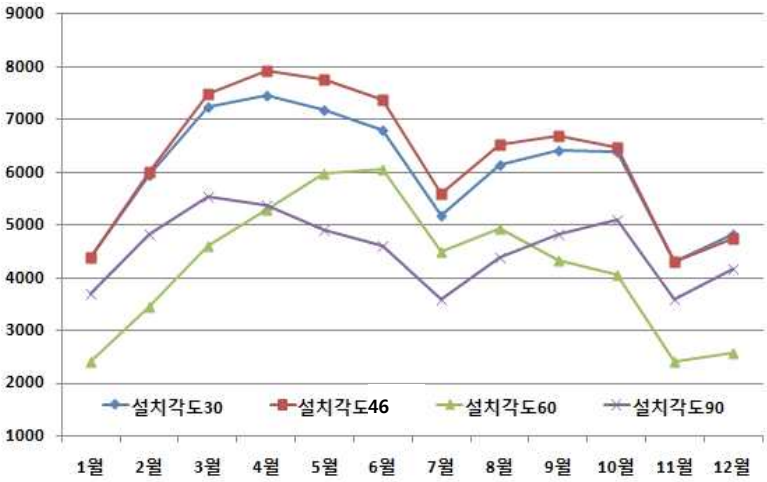


(그림 4-17) 탑상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(남동향)

발코니 집열기 설치 각도에 따른 일사 취득량에 대한 결과를 살펴보면 연중 최대 일사량을 받는 각도는 46°로 단위면적당 총 75,309 W/㎡를 취득하였고, 그 다음으로는 30°(72,286 W/㎡) > 60°(62,880 W/㎡) > 90°(60,252 W/㎡) 순으로 나타났다.

<표 4-16> 탑상형 발코니 집열기(60개) 설치각도에 따른 취득일사량[W/㎡](남동향)

월 / Case	설치각도30	설치각도46	설치각도60	설치각도90
1월	4,400	4,383	2,,415	3,700
2월	5,942	6,003	3,471	4,833
3월	7,230	7,481	4,600	5,542
4월	7,468	7,923	5,286	5,368
5월	7,177	7,766	5,977	4,910
6월	6,796	7,389	6,074	4,620
7월	5,192	5,604	4,,510	3,588
8월	6,149	6,543	4,,938	4,378
9월	6,415	6,685	4,342	4,826
10월	6,383	6,484	4,070	5,102
11월	4,311	4,311	2,411	3,595
12월	4,823	4,737	2,576	4,165
합 계	**72,286**	**75,309**	**50,670**	**54,627**



(그림 4-18) 탑상형 발코니 집열기 각도에 따른 월별 취득 일사량(남동향)

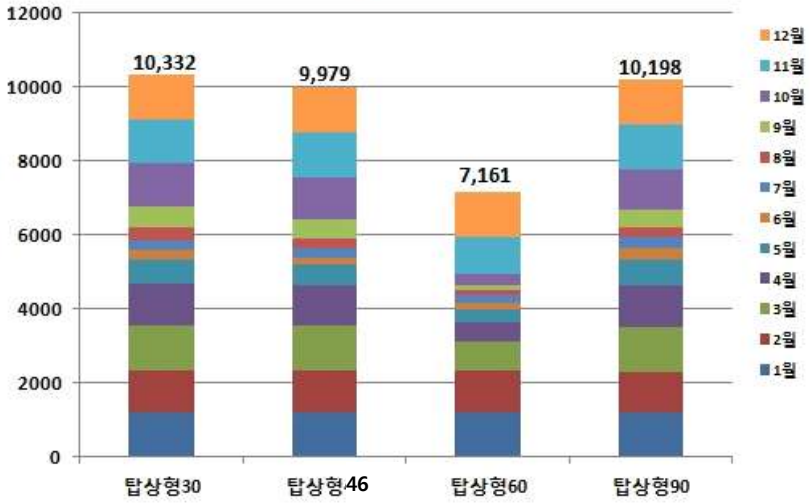
다) 탑상형 형태의 공동주택 남서향 배치시 성능평가

탑상형 형태의 공동주택을 남서향에 배치시 집열기 설치각도에 따른 에너지 성능평가 결과는 다음과 같다.

설치각도 60° 모델의 에너지 소비량이 7,161 kWh로 가장 낮은 에너지를 사용하는 것으로 나타났다. 그 다음으로는 46°(9,979kWh)> 30°(10,332 kWh)>90°(10,198 kWh) 순으로 나타났다. 설치각도 90° 모델이 가장 많은 에너지를 소모하는 것으로 나타났다

<표 4-17> 탑상형 발코니 설치시 각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량[kWh](남서향)

월/Case	판상형30	탑상형46	탑상형60	탑상형90
1월	1,214	1,214	1,214	1,183
2월	1,105	1,105	1,105	1,105
3월	1,223	1,223	808	1,223
4월	1,138	1,085	520	1,125
5월	672	554	313	706
6월	236	215	205	278
7월	279	234	206	327
8월	315	270	140	275
9월	568	516	138	463
10월	1,175	1,156	298	1,106
11월	1,184	1,184	991	1,184
12월	1,223	1,223	1,223	1,223
연간 소비량 합 계	**10,332**	**9,979**	**7,161**	**10,198**
하절기 합계	**3,208**	**2,874**	**1,522**	**3,174**
동절기 합계	**7,124**	**7,105**	**5,639**	**7,024**

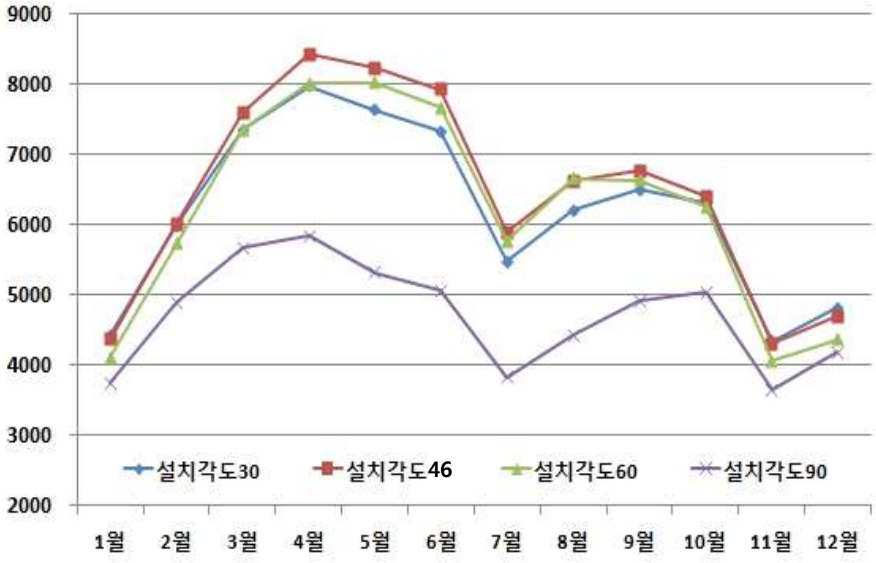


(그림 4-19) 탑상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량(남서향)

발코니 집열기 설치각도에 따른 일사 취득량에 대한 결과를 살펴보면 연 중 최대 일사량을 받는 각도는 46°로 단위면적당 총 77,308 W/㎡를 취득하였고, 그 다음으로는 60°(74,703 W/㎡) > 30°(74,422 W/㎡) > 90°(56,618 W/㎡) 순으로 나타났다.

<표 4-18> 탑상형 발코니 집열기(60개) 설치각도에 따른 취득일사량[W/㎡](남서향)

월 / Case	설치각도30	설치각도46	설치각도60	설치각도90
1월	4,427	4,372	4,111	3,744
2월	5,987	6,015	5,736	4,889
3월	7,367	7,607	7,366	5,672
4월	7,984	8,430	8,024	5,842
5월	7,642	8,236	8,030	5,320
6월	7,340	7,936	7,670	5,072
7월	5,480	5,902	5,774	3,834
8월	6,211	6,623	6,662	4,440
9월	6,510	6,779	6,640	4,923
10월	6,309	6,,406	6,257	5,043
11월	4,348	4,309	4,060	3,654
12월	4,817	4,693	4,373	4,185
합 계	**74,422**	**77,308**	**74,703**	**56,618**



(그림 4-20) 탑상형 발코니 집열기 설치각도에 따른 월별 취득 일사량(남서향)

4.3 공동주택형태 및 인동간격에 따른 시뮬레이션

건물의 인동간격에 따른 태양열 사용에 대한 에너지 소비량과 건물의 음영을 분석하였다. 시뮬레이션의 목적은 공동주택 옥상부 및 벽면, 발코니에 신재생에너지 시스템 설계 시 충분한 음영분석을 한 후 적용해야 에너지부하를 대체할 수 있으므로 설계 초기단계에 필요한 과정이라고 판단된다.

성능평가를 위해 공동주택 간 인동간격을 각 1H, 1/2H, 1/3H로 변화를 주고 일조량이 풍부한 오전10시~오후4시까지 하지와 동지로 나누어 시뮬레이션을 수행하였다. 공동주택은 정남향으로 배치하고 태양열 집열기는 발코니에 설치하고 각도는 90°로 동일하게 설정하였다.

<표 4-19> 인동간격 변화 투시도

인동간격	인동간격 변화 투시도
1H(남측면에 위치한 건물의 높이와 동일한 간격) 공원 및 놀이터 설치에 있어서 인동간격이 적당하며 심리적으로 안정되어 있다.	
1/2H(남측면에 위치한 건물 높이의 1/2 간격) 소규모 공원 및 놀이터를 설치할 수 있으며, 심리적으로 건물이 다소 밀집하여 있는 것처럼 느껴진다.	
1/3H(남측면에 위치한 건물 높이의 1/3 간격) 공원 및 놀이터 설치가 불가하며, 심리적으로 압박감이 들어 위축되게 된다.	

4.3.1 인동간격에 따른 온수 생산 에너지 소비량 비교

인동간격에 따른 에너지 소비량의 결과는 아래 <표 4-20>과 같다. 인동간격에 의해 영향을 받지 않는 Base 모델의 경우 7.6223 MWh를 소비하는 것으로 나타났고, 그 외의 인동간격을 설정한 Case의 경우 1H의 인동간격의 온수 생산을 위한 에너지 소비량은 Base에 비해 약 18.7% 높은 9.048MWh 소비하였고, 1/2H는 10.707MWh, 1/3H는 11.338MWh로 인동간격이 좁아질수록 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 이는 (그림 4-20)에서 확인 할 수 있듯이 인동간격이 좁을수록 태양열 집열기에서 취득할 수 있는 일사량이 줄어들게 때문인 것으로 나타났다.

<표 4-20> 인동간격에 따른 온수 생산을 위한 에너지 소비량[MWh]

인동간격 / 월	Base	1 H	1/2 H	1/3 H
1월	1.1696	1.197865	1.197881	1.197895
2월	1.1006	1.105067	1.105067	1.105067
3월	0.7142	0.922057	1.223467	1.223467
4월	0.9364	1.087541	1.184	1.184
5월	0.7326	0.897271	1.091516	1.183213
6월	0.3116	0.460376	0.612902	0.692989
7월	0.3473	0.445342	0.561078	0.62136
8월	0.1794	0.248176	0.359596	0.443539
9월	0.1434	0.156236	0.355858	0.474878
10월	0.2070	0.234793	0.61394	0.804539
11월	0.5567	1.069742	1.178114	1.183662
12월	1.2235	1.223467	1.223467	1.223467
연 에너지 소비량 소계	**7.6223**	**9.047932**	**10.70688**	**11.33808**
월 평균 에너지 소비량	**0.6352**	**0.753994**	**0.89224**	**0.94484**
비 율	**1**	**1.187**	**1.405**	**1.487**

4.3.2 판상형 공동주택의 일조분석을 통한 태양열 사용 가능성 분석

<표 4-21>는 인동간격에 따른 각 층의 취득 일사량에 대한 결과 값이다. Base 모델의 경우 1층부터 15층까지 일정한 일사량을 취득하는 것으로 나타났지만, 그에 반해 인동간격에 의해 음영에 영향을 받는 경우 최상층에서 최하층으로 내려갈수록 취득일사량이 현저하게 줄어드는 것으로 나타났다.
일사 취득율을 살펴보면 1H의 경우에는 15층에서 6층까지는 비교적 높은 일사 취득율을 보였고, 1/2H의 경우 15층부터 9층까지만 70%정도의 취득 비율을 보이고 그 아래층에서는 일사 취득율이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 가장 좁은 인동간격을 가진 1/3H에서는 13~15층을 제외하고는 80%이하의 낮은 일사 취득율을 가지고 있었으며, 다른 인동간격에 비해 최하층으로 내려갈수록 일사취득율이 급격히 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 결과적으로 인동간격이 좁아질수록 취득일사량과 일사취득율의 감소는 더욱 커지는 것으로 나타났다.

<표 4-21> 인동간격에 따른 층별 취득 일사량[W/㎡]

층별	Base		1H		1/2H		1/3H	
	취득 일사량	비율	취득 일사량	비율	취득 일사량	비율	취득 일사량	비율
1층	5,217	1	4,147	0.79	2,821	0.54	2,227	0.43
2층	5,217	1	4,203	0.81	2,894	0.55	2,254	0.43
3층	5,217	1	4,292	0.82	2,964	0.57	2,284	0.44
4층	5,217	1	4,393	0.84	3,019	0.58	2,352	0.45
5층	5,217	1	4,495	0.86	3,086	0.59	2,411	0.46
6층	5,217	1	4,611	0.88	3,231	0.62	2,446	0.47
7층	5,217	1	4,777	0.92	3,385	0.65	2,554	0.49
8층	5,217	1	4,837	0.93	3,424	0.66	2,697	0.52
9층	5,217	1	4,921	0.94	3,715	0.71	2,852	0.55
10층	5,217	1	4,998	0.96	3,952	0.76	3,104	0.59
11층	5,217	1	4,998	0.96	4,190	0.80	3,248	0.62
12층	5,217	1	4,998	0.96	4,576	0.88	3,707	0.71
13층	5,217	1	4,998	0.96	4,854	0.93	4,154	0.80
14층	5,217	1	5,023	0.96	4,882	0.94	4,666	0.89
15층	5,217	1	5,217	1.00	4,909	0.94	4,813	0.92
소계	**78,255**	**1**	**70,908**	**0.91**	**55,902**	**0.71**	**45,769**	**0.58**

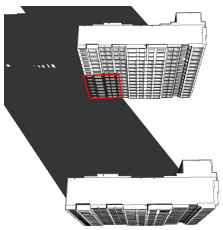
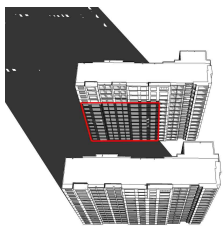
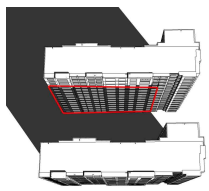
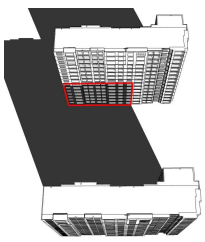
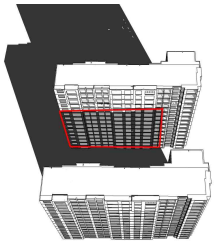
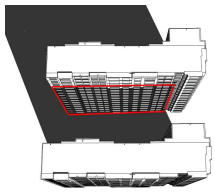
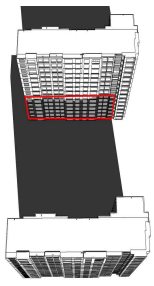
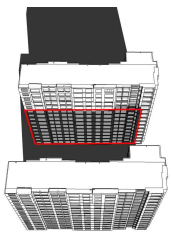
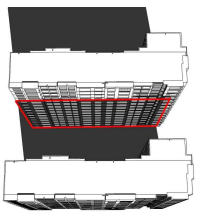
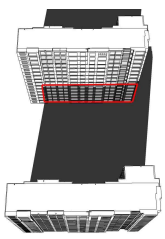
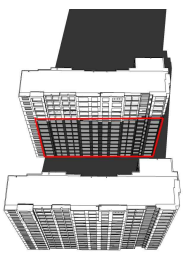
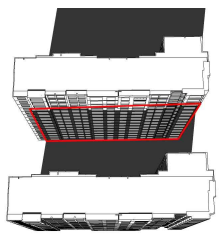
아래 <표 4-22>는 정남향으로 평행 배치되어 있는 아파트의 일조영향에 대한 음영분석을 오전 10시부터 오후 4시를 기준으로 분석한 자료이다. 이 분석에 의하면 하지에는 인동간격과 측정시간에 관계없이 북향에 배치되어 있는 공동주택에는 전 층에 걸쳐서 음영부분이 생기지 않는 것으로 나타났다. 하지만 동지에 경우 인동간격이 1H 인 경우를 제외하고는 오전, 정오, 오후 모두 음영구역이 발생하는 것으로 나타났다.

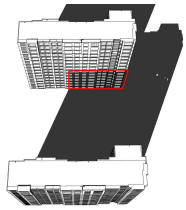
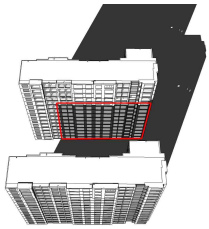
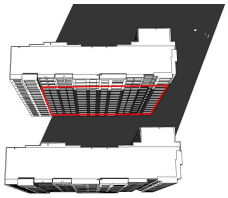
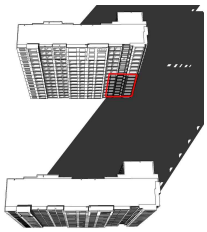
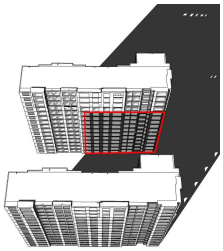
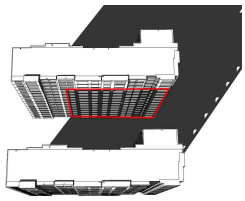
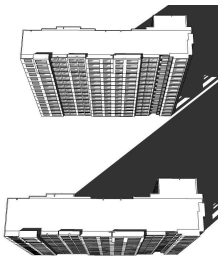
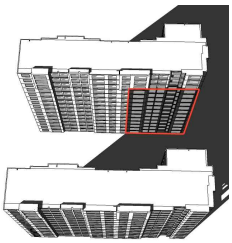
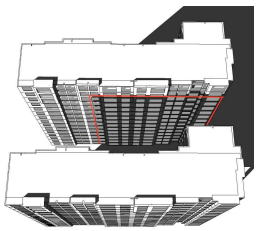
1/2H의 경우 오전 10시에 좌측세대의 전 층에 걸쳐 음영이 발생하고 정오에는 10층 이하의 전 세대, 오후 4시에는 우측 세대 13층 이하 세대에서 음영이 발생하는 것으로 나타났다.

1/3H의 경우 오전 10시에는 중앙부와 좌측의 전세대, 정오에는 12층 이하의 전세대, 오후 4시에는 중앙부 우측의 13층 이하 세대에서 음영이 발생하는 것으로 나타났다. 전체적으로 하지에는 태양의 고도가 높아 동지에 비해 음영의 비율이 적은 것으로 나타났다.

음영구역이 발생하는 부분은 붉은 생으로 표시를 해보았다. 결론적으로 인동간격이 1H인 음영구역이 동지 정오에만 발생하기 때문에 연중 직달일사의 유입이 평판형 집열기를 설치함에 있어 충분하다고 사료되고, 1/2H의 경우에는 일사량의 양이 상대적으로 적은 오전을 제외하고는 12층 이상의 세대에 일중에 직달일사가 충분히 유입된다. 하지만 1/3H의 경우에는 전층에 걸쳐서 음영구역이 많이 발생하기 때문에 태양열을 이용하여 온수를 생산이 가능할 정도의 직달일사는 최고층(15층) 혹은 그 하부층(14층) 그리고 옥상에 국한되는 것으로 사료된다.

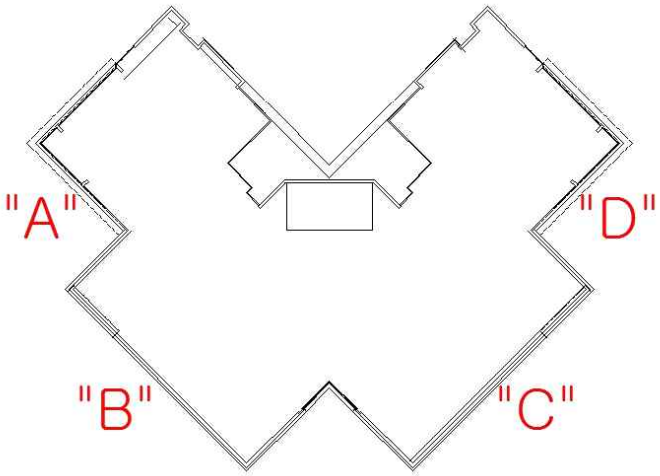
<표 4-22> 인동간격에 변화에 따른 일조분석 [방위 : 하단=남향]

분석시간 \ 인동간격		1 H	1/2 H	1/3 H
10시	동지			
11시	동지			
12시	동지			
13시	동지			

14시	동지			
15시	동지			
16시	동지			

4.3.3 탑상형 공동주택의 일조분석을 통한 태양열 사용 가능성 분석

<표 4-23>는 인동간격에 따른 각 층의 취득 일사량에 대한 결과 값이다. 탑상형의 경우 직사각형의 판상형과 다르게 평면상의 장단변 비 차이가 거의 없어 향에 따라 세대의 일사 취득량에 달라 그림의 표시된 A~D까지의 세대에 따른 일사취득량을 확인하였다.



(그림 4-21) 탑상형 형태의 집열기 일사 취득 영역

<표 4-23> 탑상형 공동주택 인동간격에 따른 취득일사량(정남향)[W/㎡]

층별	Base				1H			
	A	B	C	D	A	B	C	D
15층	657	635	683	693	635	657	683	693
14층	642	601	642	674	601	642	642	674
13층	626	584	615	662	584	626	615	662
12층	618	569	600	654	557	604	600	654
11층	613	560	591	651	547	600	591	651
10층	610	555	589	645	542	596	589	645
9층	605	552	587	641	539	590	587	641
8층	603	551	587	641	537	589	587	641
7층	603	550	586	640	535	588	586	640
6층	602	549	586	638	526	582	586	638

5층	600	549	586	637	522	576	586	637
4층	600	549	586	637	521	574	586	637
3층	599	549	586	636	519	572	586	636
2층	599	549	586	636	516	571	586	636
1층	599	549	586	636	514	569	586	636
소계	**9,176**	**8,451**	**8,996**	**9,721**	**8,195**	**8,936**	**8,996**	**9,721**
합계	**36,344(100%)**				**35,848(98.6%)**			
층별	**1/2H**				**1/3H**			
	A	**B**	**C**	**D**	**A**	**B**	**C**	**D**
15층	635	657	683	693	634	657	683	693
14층	600	642	642	674	595	641	642	674
13층	555	612	615	662	550	606	615	662
12층	534	603	600	654	533	593	600	654
11층	524	597	591	651	521	587	591	651
10층	518	603	589	645	491	574	589	645
9층	497	579	587	641	480	562	587	641
8층	487	575	587	641	475	556	587	641
7층	481	572	586	640	469	548	586	640
6층	474	567	586	638	457	541	586	638
5층	471	562	586	637	443	531	586	637
4층	467	556	586	637	438	526	586	637
3층	450	548	586	636	436	519	586	636
2층	446	545	586	636	434	516	586	636
1층	445	542	586	636	432	514	586	636
소계	**7,584**	**8,760**	**8,996**	**9,721**	**7,388**	**8,471**	**8,996**	**9,721**
합계	**35,061(96.5%)**				**34,576(95.1%)**			

탑상형의 경우 일사 취득량은 판상형의 비해 인동간격에 의한 영향은 적은 것으로 나타났다. 판상형의 경우 장단변비가 탑상형에 비해 차이가 많고 직사각형의 형태로 인해 인동간격에 따른 음영의 면적이 크게 변화하지만, 탑상형의 경우 장단변비 차가 거의 없어 세대별로 유사한 일사량을 취득할 수 있는 것으로 나타났다.

다음 <표 2-24>는 남동향 배치시 일사 취득량에 대한 결과이다.

남동향의 결과 정남향에 비해 높은 일사 취득량을 보이는 것으로 나타났다. 인동간격에 따른 일사 취득량은 0.3H의 일사 취득량과 주변건물 간섭이 없는 Base 모델의 일사 취득량이 차와 거의 3%내인 것으로 나타났다.

<표 4-24> 탑상형 공동주택 인동간격에 따른 취득일사량(남동향)[W/㎡]

층별	Base				1H			
	A	B	C	D	A	B	C	D
15층	575	554	971	975	554	575	971	975
14층	563	525	918	946	525	563	918	946
13층	551	515	891	920	515	551	891	920
12층	544	507	875	896	502	544	870	891
11층	540	503	865	882	498	540	860	877
10층	538	502	860	866	497	538	855	861
9층	534	501	856	858	496	534	851	853
8층	533	501	854	852	496	533	849	847
7층	533	500	852	845	495	533	847	841
6층	532	500	851	840	494	532	842	835
5층	531	500	850	836	490	531	840	827
4층	530	500	849	834	490	530	837	826
3층	530	500	849	834	490	529	835	824
2층	530	499	848	834	490	529	833	823
1층	530	499	848	833	490	529	831	822
소계	8,094	7,606	13,037	13,051	7,522	8,091	12,930	12,968
합계	41,788(100%)				41,511(99.3%)			
층별	1/2H				1/3H			
	A	B	C	D	A	B	C	D
15층	554	575	971	975	553	575	971	975
14층	524	563	913	945	520	563	913	945
13층	510	547	886	915	510	547	886	915
12층	502	539	870	891	501	539	867	891
11층	498	535	858	877	494	535	853	877
10층	493	533	851	860	493	533	841	861
9층	492	529	841	852	492	524	830	847
8층	491	524	834	842	490	523	822	838
7층	490	524	827	834	487	523	817	828
6층	488	522	821	824	487	522	814	820
5층	487	521	817	818	487	521	810	814
4층	487	520	815	814	487	518	808	809
3층	487	520	813	810	486	517	806	807
2층	487	518	810	808	485	517	805	805
1층	487	517	808	807	485	517	803	805
소계	7,477	7,987	12,735	12,872	7,457	7,974	12,646	12,837
합계	41,071(98.2%)				40,914(97.9%)			

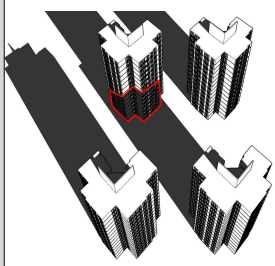
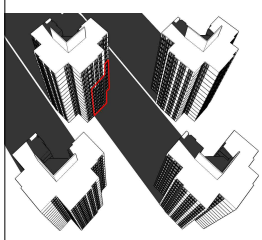
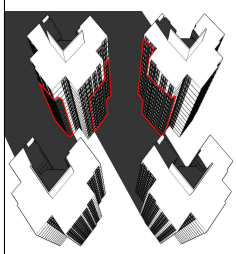
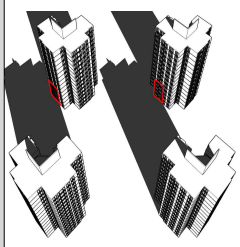
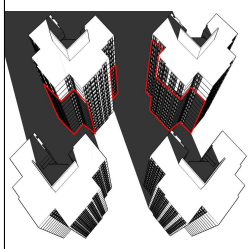
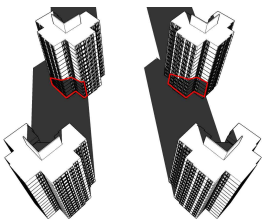
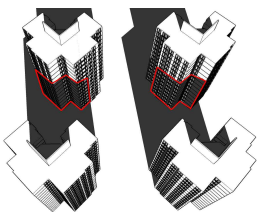
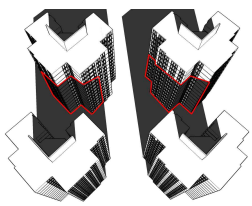
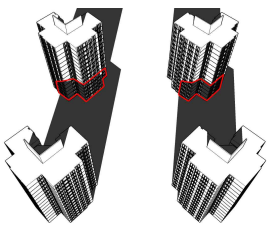
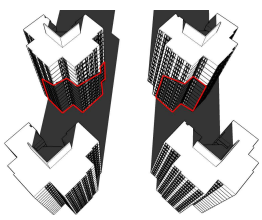
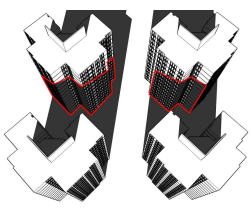
다음 <표 4-25>는 남서향 배치시 일사 취득량에 대한 결과이다.
남서향의 결과 정남향에 비해 높은 일사 취득량을 보이는 것으로 나타났다.
인동간격 0.3H 모델의 취득일사량은 주변건물 간섭이 없는 Base 모델의 취득량 대비 약 15% 감소하는 것으로 나타났다.

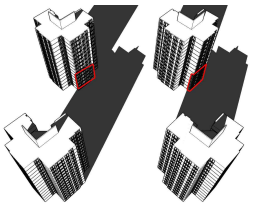
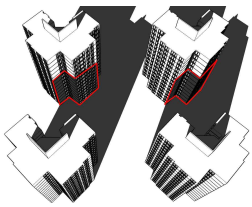
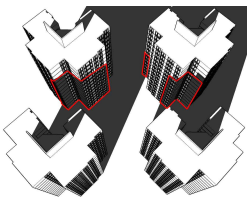
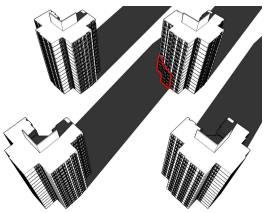
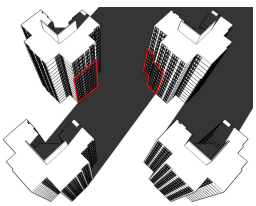
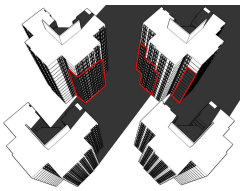
<표 4-25> 탑상형 공동주택 인동간격에 따른 취득일사량(남서향)[W/㎡]

층별	Base				1H			
	A	B	C	D	A	B	C	D
15층	888	870	555	564	870	888	555	564
14층	862	836	534	556	836	556	534	556
13층	832	811	527	550	810	831	522	545
12층	810	790	523	543	766	783	518	538
11층	794	779	519	541	742	753	514	536
10층	783	773	518	537	734	742	513	531
9층	772	769	518	534	729	728	512	529
8층	766	767	518	534	724	721	512	525
7층	761	764	516	534	720	714	507	524
6층	756	763	516	532	700	691	507	523
5층	751	762	516	532	693	677	507	522
4층	749	761	516	531	689	670	507	521
3층	748	761	516	531	683	664	506	521
2층	748	760	516	531	669	651	506	520
1층	748	760	516	531	661	645	506	518
소계	**11,774**	**11,731**	**7,833**	**8,089**	**11,026**	**10,714**	**7,726**	**7,973**
합계	**39,428(100%)**				**37,439(94.9%)**			
층별	**1/2H**				**1/3H**			
	A	B	C	D	A	B	C	D
15층	870	888	555	564	869	888	555	556
14층	835	861	529	544	824	541	528	541
13층	780	545	522	538	746	773	520	528
12층	745	751	517	527	721	748	512	516
11층	730	731	511	519	698	724	507	513
10층	716	715	508	514	665	677	506	502
9층	691	668	508	510	633	648	504	500
8층	675	649	508	509	599	621	502	500
7층	659	633	505	505	577	599	500	497
6층	637	610	504	503	554	559	500	493
5층	622	592	504	503	538	538	500	493
4층	600	559	504	501	517	524	499	492
3층	588	545	504	500	505	508	499	492
2층	578	535	503	500	493	498	498	492
1층	572	526	503	498	484	490	498	492
소계	**10,298**	**9,808**	**7,685**	**7,735**	**9,423**	**9,336**	**7,628**	**7,607**
합계	**35,526(90.1%)**				**33,994(86.2%)**			

탑상형 공동주택의 태양열의 이용가능성을 평가하기 위한 일조분석을 하였고 그 결과는 아래 <표 4-26>과 같다.

<표 4-26> 인동간격에 변화에 따른 일조분석 [방위 : 하단=남향]

분석시간 \ 인동간격		1 H	1/2 H	1/3 H
10시	동지			
11시	동지			
12시	동지			
13시	동지			

14시	동지			
15시	동지			

탑상형 공동주택의 일조를 기준으로 인동간격에 따른 음영부분을 오전 10시부터 오후 3시 기준으로 분석한 결과로 하지에는 주변의 다른 동에 영향을 거의 미치지 않지만 일조의 방향에 따라서 자체적으로 형태에 영향으로 음영부분이 발생하는 것으로 나타났다.

동지의 경우 인동간격이 1H인 모델은 5층 이하의 부분에서, 1/2H Case는 10층 이상의 세대까지도 음영이 발생하는 것으로 나타났다. 붉은색으로 표시한 영역은 음영이 발생하는 부분으로써, 결론적으로 북측에 위치한 건물은 판상형에 비해 하루 중 일조의 유입량이 불규칙적으로 각 향에 따라서 다양하게 나타나는 것으로 분석되었다. 판상형의 경우 정남향에 위치한 경우 다량의 일사량을 취득할 수 있지만 탑상형의 경우 정남향에 위치하더라도 불규칙적으로 유입되는 것으로 분석되었다.

4.4 소결

본 장에서 2~3장의 적용사례와 측정결과를 토대로 실제 공동주택에 적용하여 시뮬레이션을 통한 성능을 검증하였다.

시뮬레이션은 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)에서 배포한 에너지해석 프로그램인 Energy-Plus를 사용하였다. 범위설정에 있어 적용대상 아파트는 2장의 국내 공동주택에 적용한 태양열 집열기 및 시스템에 설치 사례를 공동주택을 대상으로 판상형, 탑상형 형태의 공동주택을 선정하였다.

공동주택 형태에 따라 집열기를 옥상과 발코니에 설치하고, 집열기 각도를 30°,46°,60°,90°로 설정하고, 설치방위는 정남, 남동, 남서향으로 최대 일조량을 확보하기 위한 변수를 설정하여 평가를 수행하였다. 또한 최종적으로 최적의 태양열 집열기 적용을 위한 아파트 간 인동간격에 따른 급탕 생산을 위한 에너지 소비량 및 일사 취득량과 음영을 분석하였고 결과는 다음과 같다.

첫째, 태양열 집열기를 옥상과 발코니에 설치하고 설치각도에 따른 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

1) 태양열 집열기를 옥상에 설치하고 각도에 따른 시뮬레이션 결과에서는 판상형의 경우 정남향일 때 연중 최적각도는 30°와 46°로 두 경사각의 결과값은 크게 차이가 없는 것으로 나타났다. 옥상의 경우 태양열 집열기 설치면적에 대한 결과 값의 차이가 있는 것으로 판단된다.

2) 태양열 집열기를 발코니에 설치한 경우, 판상형은 46°의 각도가 가장 적은 에너지를 소비하였고, 타워형의 경우 정남향, 남서향에서는 60°, 남동향에서는 46° 경사각이 가장 적은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 판상형과 타워형 형태에 따른 소비량 비교결과, 타워형 대비 판상형이 약 25%정도 적은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다.

둘째, 인동간격에 따른 에너지소비량 및 음영분석결과는 다음과 같다.

1) 에너지 소비량 결과, 1H(남측에 위치한 건물높이와 동일한 간격)의 경우

9.0479 MWh으로 가장 적은 에너지 소비량을 보였다. 1H의 인동간격의 에너지 소비량은 1/2H(남측에 위치한 건물높이의 1/2 간격) 대비 약 15.5%, 1/3H(남측에 위치한 건물높이의 1/3 간격) 대비 약 20.2%로 인동간격이 좁아질수록 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다.

2) 판상형의 음영분석 결과, 하지의 경우 인동간격과 측정시간에 관계없이 북향에 배치된 아파트에는 전 층에 걸쳐서 음영지역이 생기지 않는 것으로 나타났다. 하지만 동지의 경우 인동간격이 1H인 경우를 제외하고는 오전, 정오, 오후 모두 음영구역이 발상하였다. 1/2H인 경우 오전 10시에 음영구역이 좌측세대 전 층에 걸쳐 나타났으며, 정오에는 10층 이하 전세대, 오후 4시에는 우측세대 13층 이하에서 나타났다. 1/3H인 경우, 오전 10시에 중앙부와 좌측의 전 세대, 정오에는 12층 이하의 전 세대, 오후 4시에는 중앙부와 우측의 13층 이하에서 나타났다.

3) 탑상형 형태는 코어를 중심으로 각 세대가 둘러싸고 있는 형태로 일사취득이 유리한 판상형에 비해 장단변비의 차가 적어 향에 따른 일사 취득량이 적었다. 하지만 인동간격에 따른 음영의 면적은 판상형에 비해 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다. 정남향과 남동향의 경우 인동간격에 따른 일사취득량의 최대값과 최소값이 거의 차이가 없었다. 하지만 남서향의 경우 최대값과 최소값이 약 14%정도 차이가 나는 것으로 나타났다. 따라서 탑상형의 건물에 태양열 집열기를 설치할 경우에는 상대적인 일사 취득량에는 남동향이 가장 유리한 것으로 나타났으며, 정남향과 남서향의 경우는 음영분석과 일사 취득에 대한 시뮬레이션이 필요할 것으로 사료된다.

결론적으로 태양열 집열기를 효과적으로 적용하기 위해서는 우선 일사를 가장 많이 취득할 수 있는 정남향(판상형의 경우), 남동향(탑상형의 경우) 위주로 설치되어야하며 많은 일사량을 취득할 수 있는 방법으로는 장변형태의 판상형이 유리하며, 태양열 집열기의 설치각을 하절기와 동절기로 나누어 활용시기에 맞추는 것이 중요하다. 그리고 인동간격을 넓게 하거나 음영분석을

통해 일조시간 5시간 이상을 확보하여 일사취득을 충분히 할 수 있도록 해야 할 것으로 사료된다.

제 5 장 결 론

최근 온실가스의 감축과 더불어 신재생에너지의 적용이 더욱 확대되고 있는 상황이다. 이에 본 연구에서는 공동주택을 대상으로 태양열 시스템의 적용을 위하여 태양열 집열기 형태에 따른 Mock-up 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 이와 같은 연구는 태양열 시스템 보급의 기초자료로 활용 될 것이다.

지금까지의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 태양열 집열기는 사용용도와 온도에 따라 다양한 집열기가 사용되어지고 있다. 그 중 공동주택에 적합한 집열기로는 사용온도가 중저온인 평판형 집열기와 진공관형 집열기가 적합하며, 두 집열기는 국내외에서 가장 많이 사용되어지고 있는 것으로 파악되었다.

둘째, 국내 공동주택의 태양열 시스템 적용 사례를 살펴본 결과 시스템 설치 후 운전미숙과 사전 음영분석의 오류으로 인해 미가동하는 사례가 많았다. 이와 같은 문제를 줄이기 위해서는 시스템 계획 단계부터 시스템 적용에 대한 다양한 분석이 필요하며, 운영관리에 문제가 없도록 관리자의 교육이 필요할 것으로 판단된다. 태양열 시스템의 효율을 극대화하기 위해서는 태양열 집열기를 효율적으로 사용하여야 한다. 그러기 위해서는 건축적 요소와 설비적 요소가 통합적으로 계획 및 설계되어야 한다. 태양열 집열기의 건축적 고려요소로는 건물의 향, 주동형태, 규모, 주변지형지물 및 다른 건물과의 음영 분석 등이 고려되어야 하며, 설비적 요소로는 집열기 종류, 설치면적, 설치위치, 설치각도가 고려되어야 한다. 또한, 추가적으로 유지보수가 쉽도록 시스템과 배관을 단순화해야 한다.

태양열 집열기의 설치공간은 태양복사에너지를 가장 많이 취득할 수 있는 옥상부분이 최적이고, 옥상 설치 시 설치면적에 한계가 있기 때문에 발코니에 설치하는 것을 고려하여야 한다.

태양열 집열기를 효율적으로 설치하기 위해서는

셋째, 평판형(일체형, 일반형)과 진공관형(단일진공관, 이중진공관)의 태양열 집열기 Mock-up 실험은 결과는 다음과 같다.

1) 평판형 집열기 Mock-up 실험 결과, 일체형 집열기가 일반형 집열기에 비해 약 10% 높은 일사 취득량을 보였고, 온수의 생산이 많았던 것으로 나타났다. 그 이유는 일체형은 일반형에 비해 집열기 모서리와 이음매 부분에서 발생하는 열손실이 적기 때문인 것으로 나타났다.

2) 진공관형 집열기의 Mock-up 실험 결과, 단일진공관이 이중진공관에 비해 약 28% 높은 일사 취득량을 보였고, 온수의 생산이 많았던 것으로 나타났다. 단일진공관형은 유리관 내부 전체가 진공으로 되어 있어 이중진공관에 비해 열손실이 적기 때문인 것으로 나타났다.

3) 또한 형태가 다른 평판형(일체형)과 단일진공관의 비교 실험결과 외기온도(실험기간 중 일일평균온도 22℃)가 높았을 때는 평판형 일체형이 우수하였고, 이와 반대로 외기온도(실험기간 중 일일평균온도 13℃)가 낮았을 때는 단일진공관형 집열기가 우수한 것으로 나타났다.

넷째, 태양열 집열기의 설치위치(공동주택의 주동형태별 옥상과 발코니 설치) 및 설치각도(30°, 46°, 60°, 90°)와 인동간격에 따른 시뮬레이션의 결과는 다음과 같다.

1) 태양열 집열기의 주동형태에 따른 최적의 설치형태로는 판상형이 탑상형에 비해 일사취득이 유리한 것으로 나타났고, 특히 발코니 보다는 옥상에 설하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 이때 설치 향으로 정남이 가장 유리하며, 설치각도는 30°, 46°가 우수한 것으로 나타났다.

2) 공동주택의 인동간격에 따른 에너지 소비량과 음영분석의 결과에서는 인동간격 1H(남측전면에 위치한 건물높이 와 같은 간격)가 가장 적은 에너지 소비량을 보였고, 1H의 에너지 소비량 대비 1/2H(남측전면에 위치한 건물높이의 1/2 간격)는 약 15.5%, 1/3H(남측전면에 위치한 건물높이의 1/3 간격)는 20.2% 정도 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 그 이유는 인동간격이

좁을수록 건물외벽에 음영구역 발생하여 일사 취득량이 감소하기 때문인 것으로 나타났다 그 중 하지의 경우 태양의 고도가 높아 인동간격과 측정시간에 영향에도 음영구역이 비교적 많이 발생하지 않았지만 동지의 경우 인동간격이 좁아질수록 상부층을 제외한 전세대에 음영이 발생하는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과를 종합해보면 공동주택의 부하특성상 온수와 급탕의 수요가 많은 동절기에는 외기의 온도에 의한 열손실이 적은 단일진공관을 적용하는 것이 적합하다고 판단된다. 하지만, 평판형의 경우 옥상지붕의 건축마감재로써의 역할과 함께 집열기의 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단되며 하절기 과열로 인한 시스템에 대한 관리는 진공관에 비해 평판형이 유리할 것으로 판단된다. 마지막으로 공동주택에서 태양열 시스템을 활용하기 위해서는 태양열 집열기 설치각도는 동절기 위주로 활용시기에 맞추는 것이 중요하며, 인동간격을 넓게하거나 음영분석을 통하여 일조시간 5시간 이상을 확보하고 일사 취득을 충분히 할 수 있도록 해야 할 것을 사료된다.

참 고 문 헌

<국내문헌>

1. 곽희열, 분산형 에너지시스템의 태양열 계간축열 기술, 조명・ 전지학회지 제 23권 제2호, 2009.04

2. 그린홈' 곰팡이에 성에까지, 애물단지 전락, SBS뉴스, 2011.11.06.

3. 강창호, 하절기 태양열 시스템 적용을 위한 이중진공관 히트파이프형 집열기 열성능의 실험적 연구, 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 2004.

4. 김기철, 이중진공관형 태양열 집열기의 연간 집열효율에 관한 연구, Vol. 28, No.4, 2008.

5. 김미연, 태양열 집열기 성능실험을 통한 공동주택 효율적 설치방안 연구. 한국태양에너지학회, Vol.32, No.1, 2012.03

6. 김성수, 태양열 온수 급탕 시스템의 축열방식 개략도

7. 김영일, 지역별 일사량 및 집열판 경사각의 영향, 설비저널, 제37권 제12호, 2008.12

8. 김인환, PTC와 평판형 태양열집열기의 성능평가 비교 연구, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.30, No.6, 2010

9. 김정배, 국내 저온용 집열기의 열성능 특성, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 27, No. 3, 2007

10. 백남춘, 제로에너지 태양열주택의 실증실험 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표 논문집, 2007.04

11. 산업자원부, 대규모 태양열 지역냉난방 및 급탕시스템 개발 및 적용연구, p.10~, 2007.05

12, 송수원, 수평면 전이랏량 측정데이터 보정에 관한 실험적 연구, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.30, No,5. 2010

13. 신우철, 아파트 적용 태양열 난방 및 급탕시스템의 열적 거동에 관한 실험적 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 제26권, 제4호, 2006.12

14. 아파트의 적정 급수, 급탕량 산정에 관한 연구, LH공사

15. 유호천, 에너지분석을 위한 시간당 일사량의 비교·분석 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, Vol.30, No.1, 2010.04

16. 윤종호, 공동주택의 열부하 및 탄소배출량 저감을 위한 태양열시스템의 최적 적용 방안 연구, 한국태양에너지학회 논문집,VOL.32, No.2, 2011

17. 저탄소 녹색성장 기본법(안) 제 1장 총칙 제 2조, 2009.01

18. 정선미, 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 연구, 중앙대 석사학위 논문, 2008.12, p.29

19. 태양열 집열기 시험 방법 - 제 2부 : 품질 시험 절차, KS B ISO 9806-2, 2003

20. Heat Pipe를 내장한 진공관 태양열집열기의 성능 연구, 대한설비공학회, 2002 하계발표대회 논문집, 2002. pp 58-63

<국외문헌>

1. A. Mitja et al., “Integration of Solar Components in Building”, The European Commission, 1998, pp.14~15
2. BP, BP Statistical Review of World Energy, 2007.06
3. Gammon AJ, Solar chimney cycle analysis with system loss and solar collector performance, Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of The ASME, Vol.122, No.3, 133-137, 2000
4. Hottel. H, Evaluation of flat-plate Solar Collector Performance
5. H.J. Hou, Z.F. Wang, R.Z. Wang, P.M. Wang, 2005, "A new method for the measurement of solar collector time constant," Reewable Energy.
6. Trond Bergene, Model calculations on a flat-plate solar heat Collector with Integrated solar Cells, Solar Energy, Vol.55, Issue 6, 1995. pp453-462
7. Soteris A. Kalogirou, 2004, "Solar thermal collectors and applications," Progress in Energy and Combustion Science.
8. S. Lecoeuche, S. Lalot, 2005, "Prediction ofthe daily performance of solar collectors,"Int Communications in Heat and Mass Trnasfer.

<Web Site>

1. http://www.energy.or.kr/knrec/index.asp
2. http://www.energy.or.kr/knrec/12/KNREC120100.asp
3. http://www.tu-cheminits.de/mb/SolTherm/ST2000/auswahl.htm
4. http://www.kses.re.kr/
5. http://www.kemco.or.kr/

국 문 초 록

공동주택에서 태양열 집열기의 실험적연구

최 병 도

건축공학과 건축설비 및 에너지전공

중앙대학교 대학원

전세계적으로 에너지 수급에 대한 문제가 대두되고 있는 가운데 우리나라는 에너지 다소비국가로 분류되어지고 있다. 이와 같은 상황에서 총 에너지 사용량의 96%를 해외에 의존하고 있어 에너지 절감에 대한 대책이 시급한 상황이다. 정부에서는 2008년 8월에 제1차 국가기본 녹색성장을 선포함과 동시에 신재생계획을 수립하였고 2010년에는 '저탄소 녹색성장'을 새로운 국가발전의 패러다임으로 제시하였고. 에너지 저감 및 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서 2030년까지 제로에너지하우스를 의무화하고 신재생에너지의 보급을 확대하고 있다. 신재생에너지 중 비교적 공동주택에 쉽게 적용할 수 있는 태양열 시스템은 태양복사에너지를 이용하여 온수를 생산하는 시스템으로 온수 사용량이 많은 공동주택에 적용 시 매우 효과적인 재생에너지로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 공동주택에서의 태양열 집열기를 대상으로 Mock-up 실험을 통하여 집열기 성능을 확인하였고, 또한 이 성능결과를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 공동주택의 적용방안을 제시하였다. 본 연구는 공동주택의 신재생에너지 보급의 기초적 자료를 제시하고자 했다. 우선 태양열

핵심어 : 신재생에너지, 공동주택, 태양열 집열기(평판형, 진공관형), Mock-up 실험, 컴퓨터 시뮬레이션,

집열기를 효율적으로 설치하기 위해서는 건축적 요소와 설비적 요소가 통합적으로 계획, 설계되어야 한다. 태양열 집열기의 건축적 고려요소로는 건물의 향, 주동형태, 규모, 주변지형지물 및 다른 건물과의 음영 분석 등이 고려되어야 하며, 설비적 요소로는 집열기 종류, 설치면적, 설치위치, 설치각도가 고려되어야 한다. 또한, 추가적으로 유지보수가 쉽도록 시스템과 배관을 단순화해야 한다.

Mock-up 실험결과 평판형 집열기 결과에서는 일체형 평판형이 일반형에 비해 우수하고 진공관형 집열기 결과에서는 단일진공관 집열기가 이중진공관 집열기에 비해 우수한 성능을 보였다. 또한 형태가 다른 평판형(일체형)과 단일진공관의 비교에서는 외기온도가 높았을때는 평판형(일체형)이 우수하고 이와 반대로 외기온도가 낮을 경우에는 단일진공관 집열기가 우수했다.

태양열 집열기 시뮬레이션에서는 공동주택의 주동형태로는 판상형이 탑상형에 비해 일사 취득이 유리하며, 집열기의 설치향으로는 정남향, 남동향이 우수한 것으로 나타났다. 그리고 집열기 설치각도는 30°, 46°가 일사 취득에 유리한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과를 종합해보면 공동주택의 부하특성상 온수와 급탕의 수요가 많은 동절기에는 외기의 온도에 의한 열손실이 적은 단일진공관을 적용하는 것이 적합하다고 판단된다. 하지만, 평판형의 경우 옥상지붕의 건축마감재로써의 역할과 함께 집열기의 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단되며 하절기 과열로 인한 시스템에 대한 관리는 진공관에 비해 평판형이 유리할 것으로 판단된다. 마지막으로 공동주택에서 태양열 시스템을 활용하기 위해서는 태양열 집열기 설치각도는 동절기 위주로 활용시기에 맞추는 것이 중요하며, 인동간격을 넓게하거나 음영분석을 통하여 일조시간 5시간 이상을 확보하고 일사 취득을 충분히 할 수 있도록 해야 할 것을 사료된다.

ABSTRACT

An Experimental Study on Solar Collectors in Apartment Housing

Byeong-do Choi
Major in Building Services & Energy System
The Graduate School of Architectural Engineering
Chung-Ang University

As the problem of energy supply and demand is emerging all over the world, South Korea is classified as an energy-guzzling country. In this situation, since we import 96% of the total energy consumption from overseas countries, it is urgently needed to take measures to save energy. The government announced '1st Country-based Green Growth' and drew up a new & renewable project in August, 2008; suggested 'Low-carbon Green Growth' as a new paradigm of national development in 2010; to achieve the goal of energy and greenhouse gas emissions reduction, the government is making 'Zero Energy House' compulsory by 2030 and expanding the dissemination of new & renewable energy. Among new & renewable energy, solar thermal systems which you can easily apply to an apartment house are a system producing hot water by using solar

---

Keywords: New & Renewable Energy, Apartment House, Solar Thermal Collector(Flat-plate Type, Evacuated Tubular Type), Mock-up Test, Computer Simulation

radiation energy; and I suppose that it is a very effective renewable energy when applying to an apartment house using a huge amount of hot water. Therefore, in this study, I verified the performance of solar collectors through a mock-up test targeting the solar collectors in an apartment house; by running a computer simulation of the performance results, suggested application methods for apartment houses. This research intended to suggest basic data on the dissemination of new & renewable energy in apartment houses. Most of all, to install a solar collector efficiently, it is required to plan and design by integrating factors of architecture and equipment. Architectural factors in a solar collector to consider include building orientation, building type, building dimension, the surroundings and shading analysis with other buildings; equipment factors include types of solar collectors, installation area, installation location and installation angle. In addition, easy maintenance requires simple system and plumbing.

As a result of the mock-up test, in the results of flat-plate solar collectors, the integrated flat-plate type was rather excellent than the general-type; in the results of evacuated tubular solar collectors, evacuated tubular solar collectors showed excellent performance rather than concentric evacuated tubular solar collectors. Furthermore, comparing the flat-plate type(integrated type) and the evacuated tubular type in different types, when outdoor temperature is high, the former was excellent and vice versa.

In the simulation of solar collectors, in terms of building type of an apartment house, the flat-plate type was more favorable than the tower-type in solar heat gain; in terms of collector installation direction, southern and southeastern aspect were excellent.

To sum it up, due to the load characteristics of apartment houses, in winter season when the demand for hot water and hot-water supply is high, I suppose it is appropriate to apply evacuated tubular solar collectors which lose less heat because of outdoor temperature. However, I suppose that the flat-plate type can serve as a solar collector as well as finishing materials of a roof; the flat-plate type appears to be more favorable than the evacuated tubular solar collectors when managing overheat in a system in summer season.

Finally, to use a solar thermal system in an apartment house, it is important to adjust the installation angle of a solar thermal collector to the using period based on winter season; by widening the distance between buildings or analyzing shading, it is needed to secure over 5-hour sunshine duration and gain enough solar heat.