

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 22, No. 4, 2002

제로에너지 솔라하우스의 난방/급탕용 태양열 시스템 설계 및 분석

Active Solar Heating System Design and Analysis for the Zero Energy Solar House

백남춘*, 유창균*, 윤응상*, 유지용*, 윤종호**

N.C. Baek*, C.K.Yoo*, E. S. Yoon*, J. Y. Yoo*, J. H. Yoon**

Key words : 제로에너지주택(Zero Energy House), 태양열시스템(Solar Heating System), 시뮬레이션(Computer Simulation)
주택 에너지분석(Energy Analysis of House), 태양열시스템설계(Solar Heating System Design)

Abstract

This study is on the design and evaluation of Zero Energy Solar House(ZeSH) including active solar heating system. Various innovative technologies such as super insulation, passive solar systems, super window, ventilation heat recovery system...etc were analyzed by individual and combination for the success of ZeSH. The ESP-r simulation program was used for this. Simulation results shows that almost 77% of heating load can be reduced with the following configuration of 200mm super insulation, super windows, passive solar system and 0.3 ventilation rate per hour.

Active solar heating system (ASHS) was designed for the rest of the heating load including hot water heating load. The solar assisted heat pump is used for the auxiliary heating device in order to use air conditioner but not included in this study. The yearly solar fraction is 87% with a solar collector area of 28 m². The parametric studies as the influence of storage volume and collector area on the solar fraction was analyzed.

* 한국에너지기술연구원

** 한밭대학교

* *Korea Institute Energy Research*

** *Hanbat National University*

1. 서론

국내 주거 건물에서 사용되는 에너지 중 78% 이상이 난방과 급탕에 소비되고 있으며, 아파트를 제외한 주거건물에서 사용되는 이 에너지는 국가 총에너지소비의 10.6%나 되는 막대한 양이다. 이러한 점을 감안해서 주거 건물에서의 에너지 절감을 위한 태양에너지 이용기술, 단열기술, 환기열 회수, 고효율 냉난방 기기 개발 등 건물관련 요소기술에 대한 개별적인 연구가 80년대부터 꾸준히 추진되어 왔다. 그러나 이러한 요소기술별 산발적 접근은 효율적인 주거건물 에너지 절감 차원에서 볼 때 한계에 이르렀다고 판단된다.

따라서 선진국에서는 이미 10여 년 전부터 주택의 에너지 소비를 최소화하기 위해 슈퍼단열, 슈퍼윈도우, 배열회수시스템, 자연형 및 설비형 태양열 시스템 등을 통합 적용한 제로 또는 로우 에너지 솔라하우스(Zero or Low Energy Solar House)에 대한 연구, 개발 및 보급을 활발히 진행하고 있다. 이러한 에너지 자립형 주택은 주택 부하구성비에 맞는 절약 및 대체 에너지 핵심 요소기술을 선별, 체계적인 단계별 기술적용을 통해, 화석연료나 외부 전원공급을 최소화하여 주택 자체에서 대부분의 에너지를 자급하는 미래 지향적 기술이다. 우리나라의 경우는 한국에너지기술연구원에서 주택 난방 및 급탕 분야의 에너지 자립을 목표로 일차로 2003년까지 데모건물 수준의 70% 순부하 에너지자립주택을 개발하는 것을 시작으로 해서 2010년까지 100% 에너지 자립화된 제로에너지 솔라하우스를 개발하는 것을 궁극적 목표로 연구를 진행하고 있다[1].

본 논문에서는 전술한 건물 에너지와 관련된 요소기술의 산발적인 접근의 한계를 극복하고 에너지를 70% 이상 자립할 수 있는 에너지 자립형 솔라하우스를 개발하기 위한 일환으로 주요 건축 계획적 요소기술인 단열, 환기열회수장치, 자연형 태양열 기술, 창호 등 각각의 요소

기술에 대한 에너지 절감효과와 이들 요소기술의 통합 적용시에 대한 에너지 성능평가를 수행해서 최종 설계된 주택에 대한 에너지 분석을 수행하고, 이 결과를 토대로 설비형 태양열시스템을 설계하고 분석하였다.

2. 제로에너지 솔라하우스(ZeSH)

2.1 ZeSH 개요

단순형상의 주택 기준모델[1,2]을 통해 에너지 자립형 솔라하우스의 일반적인 구성요소에 대한 에너지 성능평가 결과[1]를 토대로 작성된 설계안에 대한 종합적인 에너지 성능평가를 난방부하를 중심으로 분석하였다. 이 결과로부터 설계된 ZeSH는 그림 1~그림 4에 있는바와 같

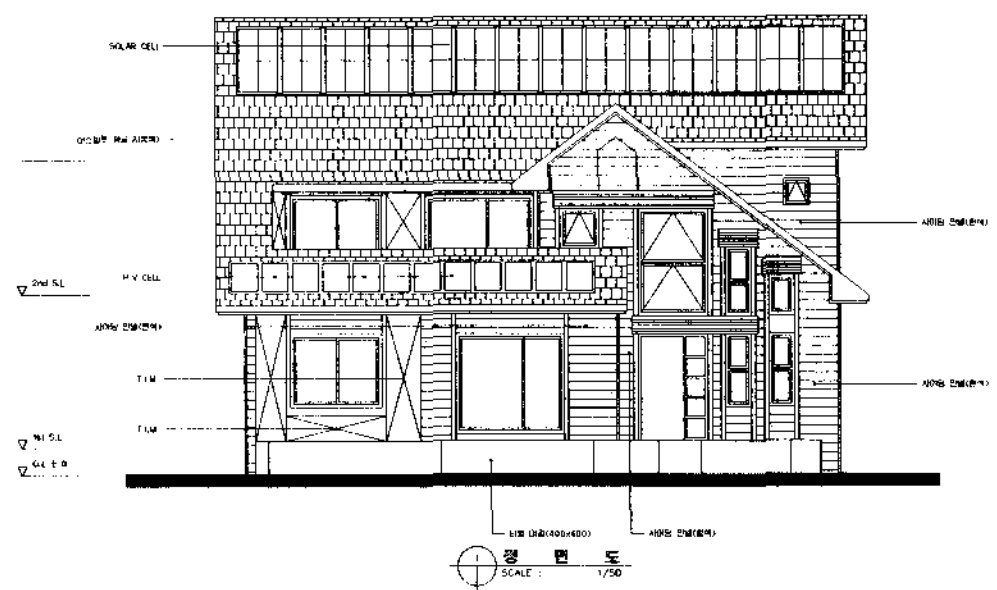


그림 1. ZeSH의 정면도

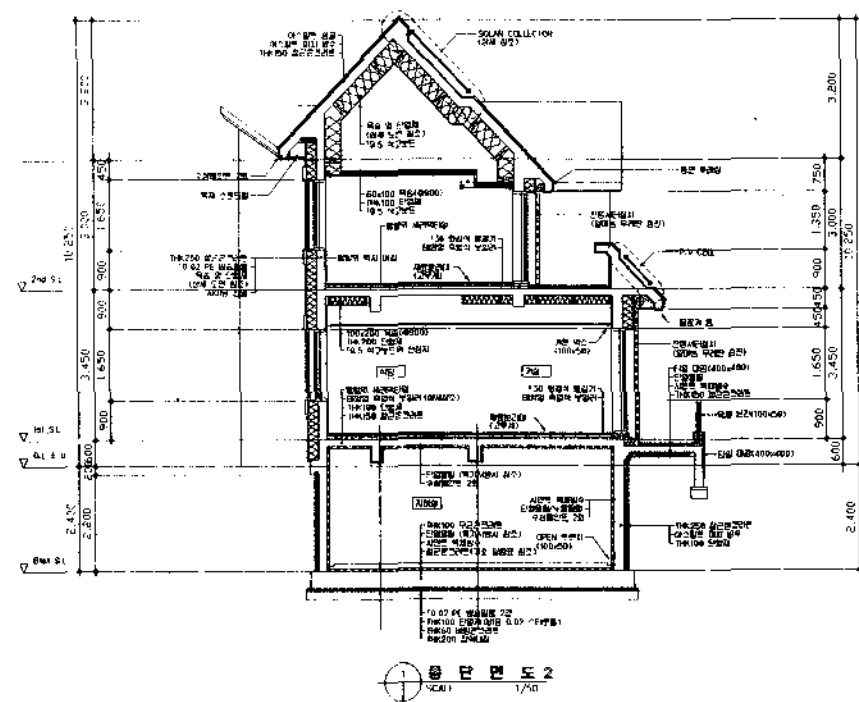


그림 2. ZeSH의 주단면도

으며, 지상 2층의 주택으로 지하실 98m², 1층 94m², 2층 70m²로 총 262m²이며, 실제 난방 면적은 1층 83.4m², 2층 55.2m²으로 총 138.6m²(42평)이다.

기준모델 대비 ZeSH 설계모델의 건축구성요소별 단열재의 두께 및 열관류율, 각실의 면적과 부피 그리고 공조에 관한 내용을 표 1과 표 2에 나타내었다.

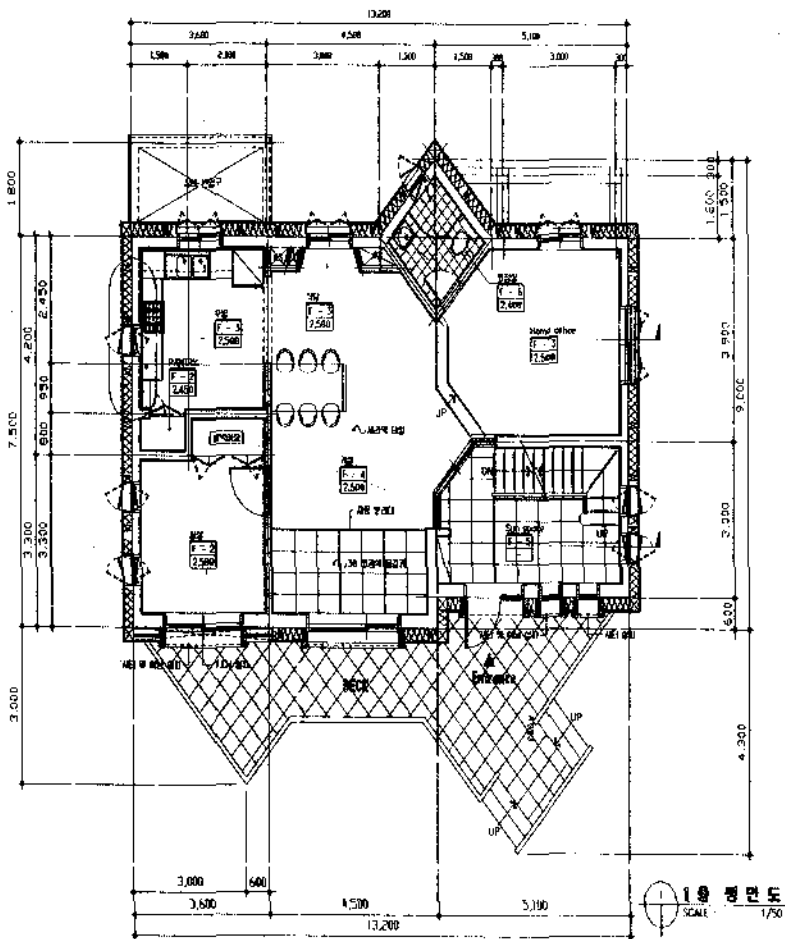


그림 3. ZeSH 1층 평면도

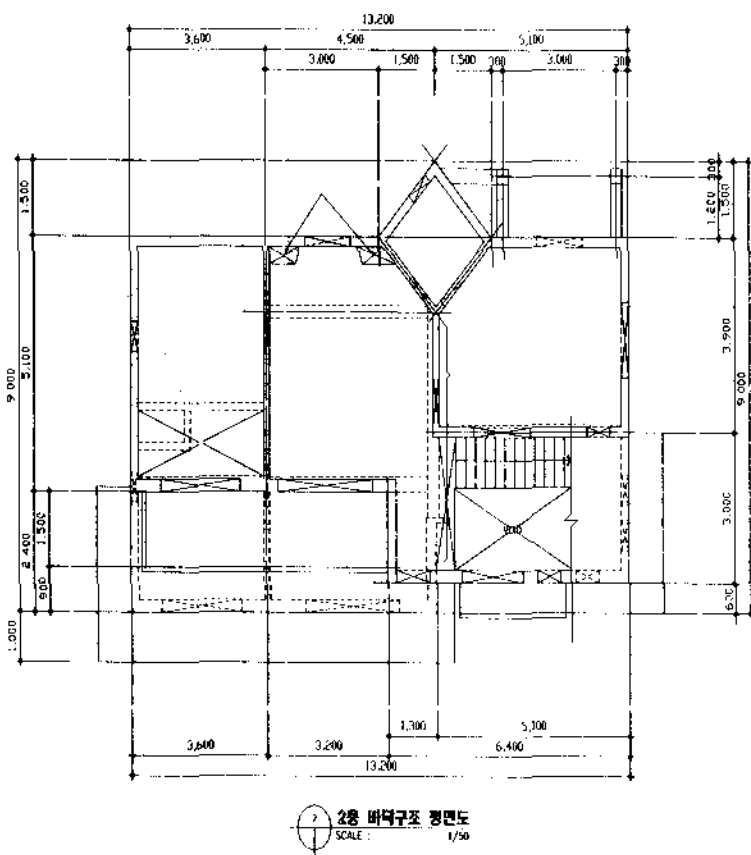


그림 4. ZeSH의 2층 평면도

표 1. 기준모델과 설계모델의 부위별 단열재두께 및 열관류율

| 구성요소 | 기준 모델 | | 설계 모델 | |
|----------|----------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|
| | 단열재의 두께 (mm) | 열 관 류 율 (W/m ² ·℃) | 단열재의 두께 (mm) | 열 관 류 율 (W/m ² ·℃) |
| 외 벽 | 50 | 0.43 | 250 | 0.11 |
| 지 붕 | 50 | 0.5 | 400 | 0.07 |
| 천정(반자) | 50 | 4.98 | 100 | 0.28 |
| 지하실외벽 | 50 | 0.49 | 100 | 0.27 |
| 지하실 바닥 | 50 | 0.36 | 100 | 0.22 |
| 각실의 바닥 | 50 | 0.48 | 100 | 0.27 |
| 부착온실 바닥 | 50 | 0.49 | 50 | 0.49 |
| 2층발코니 바닥 | 50 | 0.45 | 200 | 0.14 |
| 창 호 | 2중창 | 2.9 | | |
| 침기량 | ACH = 0.5 회/hr | | | |

표 2. ZeSH의 최종 설계안의 실별 특징

| 구분 | 실 명 | 면적 (m ²) | 부피 (m ³) | 창면적 (m ²) | 벽면적 (m ²) | 공조 유무 |
|-------|-------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 지하층 | 지하실 | 87.39 | 262 | 0 | 303 | × |
| | 지하실입구 | 10.8 | 32.4 | 0 | 61.20 | × |
| 1층 | 침실 | 13.6 | 40.68 | 5.61 | 67.71 | ○ |
| | 주방 | 13.4 | 40.32 | 3.31 | 70.37 | ○ |
| | 거실 | 34.9 | 104.63 | 12.02 | 131.22 | ○ |
| | 욕실 | 4.5 | 13.5 | 0.8 | 33.66 | ○ |
| | 홈 오피스 | 17.0 | 50.9 | 4.78 | 77.30 | ○ |
| 2층 | 침실1 | 13.4 | 55.08 | 3.7 | 85.22 | ○ |
| | 침실2 | 17.0 | 56.30 | 2.48 | 86.42 | ○ |
| | 거실 | 20.3 | 60.8 | 5.26 | 90.23 | ○ |
| | 욕실 | 4.5 | 13.5 | 0.8 | 33.66 | ○ |
| 부착 온실 | 부착온실1 | 10.8 | 29.7 | 15.79 | 45.2 | × |
| | 부착온실2 | 14.85 | 34.05 | 2.25 | 70.60 | × |
| | 부착온실3 | 19.2 | 39.41 | 3.14 | 73.38 | × |
| 지붕 | 반자공간 | 61.89 | 97.83 | 0 | 185 | × |

2.2 ZeSH의 적용요소별 에너지 분석

2.2.1 적용기술과 에너지 분석

ZeSH에 적용되는 각종 요소기술에 대한 종합적 에너지 성능평가를 수행하여, 각 설계변수의 최적화를 도모하였으며, 궁극적으로 계획된 설계안을 통해 도출할 수 있는 에너지 자립도를 예측하였다. 그 결과는 표 3에 있는 바와 같다. 참고로 실내 설정온도는 22°C로 하였다. 여기서 에너지 해석은 그 신뢰성이 입증되어 널리 사용되고 있는 ESP-r 9.0[3] 프로그램을 사용하였으며, 기상자료는 대전지역의 30년 표준기상자료를 사용하였다.

표 3의 분석결과에 나타난 바와 같이 여러 요소기술 중 절감 폭이 가장 큰 것은 슈퍼단열로 기준모델 대비 약 49%의 난방에너지 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 이중창을 모두 슈퍼윈도우로 대체할 경우에는 약 15%, 그리고 1층 및 2층 침실에 적용한 축열벽 방식의 자연형 태양열 시스템은 구성 방식에 따라 약 8~13%의 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타나, 슈퍼단열 및 슈퍼윈도우의 적용효과 보다는 절감 폭이 상대적으로 작게 나타났다. 이는 자연형 태양열 시스템의 경우 약 15m²의 부분적인 남측 집열면에만 적용하였기 때문으로 판단된다. 단창 매스월 대신 투명단열 시스템을 적용할 경우 추가적으로 약 5%의 에너지 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

외피의 기밀시공에 따른 강제환기 배열회수 시스템과 직접적으로 연관되는 침기량 해석결과 에너지 성능에 상대적으로 매우 큰 영향을 미치는 변수로 판명되었다.

각종 요소기술을 조합하여 통합 에너지 성능평가를 수행한 결과 조합방식에 따라 65~92%의 난방에너지 절감효과가 있는 것으로 분석되었다. 이 결과로부터 ZeSH 최종 설계안은 슈퍼단열과 슈퍼윈도우, 1층 및 2층 남측면 공간에

투명단열 시스템, 우측 남측 공간에 비난방 온실시스템, 1층 및 2층 거실 남면에 바닥축열 집적획득 방식이 적용된 것으로 하였으며, 기준주택 대비 약 77%의 난방에너지 자립율을 달성할 수 있는 것으로 나타났다.

표 2. 제로에너지 주택의 적용기술별 난방에너지 소비량 (난방면적 : 138.6m² 기준)

| 적용 기술 | | 총난방에너지 | | 절감량 (kWh/m ²) | 절감비율 (%) | |
|--------------------------------|--------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|----------|-----|
| | | (kWh) | (kWh/m ²) | | | |
| 기준모델 | | 12,379 | 89.3 | - | - | |
| 슈퍼단열 | | 6,417 | 46.3 | 46.03 | 49% | |
| 슈퍼윈도우 | | 10,570 | 76.3 | 13.1 | 15% | |
| 침기량 | 0.1회/h | 7,923 | 57.2 | 32.15 | 36% | |
| | 0.3회/h | 10,235 | 73.9 | 15.5 | 17% | |
| 자연형 시스템 | 단창 매스월(약15m ²) | 11,392 | 82.2 | 7.1 | 8% | |
| | 이중로이유리 매스월(약15m ²) | 11,114 | 80.2 | 9.1 | 10% | |
| | 투명단열 매스월(약15m ²) | 10,684 | 77.0 | 12.2 | 13% | |
| 부착 온실 | 예열 환기 (X) | 이중유리 (투명) | 12,379 | 89.3 | - | - |
| | | 투명단열 (불투명) | 12,401 | 89.5 | -0.02 | -1% |
| | 예열 환기 (O) | 이중유리 (투명) | 11,912 | 86.0 | 3.3 | 4% |
| | | 투명단열 (불투명) | 11,332 | 85.2 | 4.1 | 5% |
| 슈퍼단열 + 침기량0.1회/h | | 2,683 | 19.4 | 70.0 | 79% | |
| 슈퍼단열 + 침기량0.3회/h | | 4,357 | 31.4 | 57.9 | 65% | |
| 슈퍼단열 + 침기량0.1회/h + 슈퍼윈도우 | | 1,195 | 8.6 | 80.7 | 90% | |
| 슈퍼단열 + 침기량0.3회/h + 슈퍼윈도우 | | 2,851 | 20.6 | 68.7 | 77% | |
| 슈퍼단열 + 침기량0.1회/h + 슈퍼윈도우 + TIM | | 969 | 7.0 | 82.3 | 92% | |
| 슈퍼단열 + 침기량0.3회/h + 슈퍼윈도우 + TIM | | 2,266 | 16.4 | 73.0 | 81.6 | |

개별적 적용 해석

통합적 적용 해석

이 설계모델에 대해서 설비형 태양열 난방/급탕 시스템을 설계하는데 필요한 월별 난방에너지 분석 결과를 기준모델과 함께 그림 5에 나타내었다. 한편 침두 부하일(peak load day) 일 에 대한 부하는 46.6kWh이며, 침두부하 시간은 08시이며 이 때 부하는 11.06kWh이다.

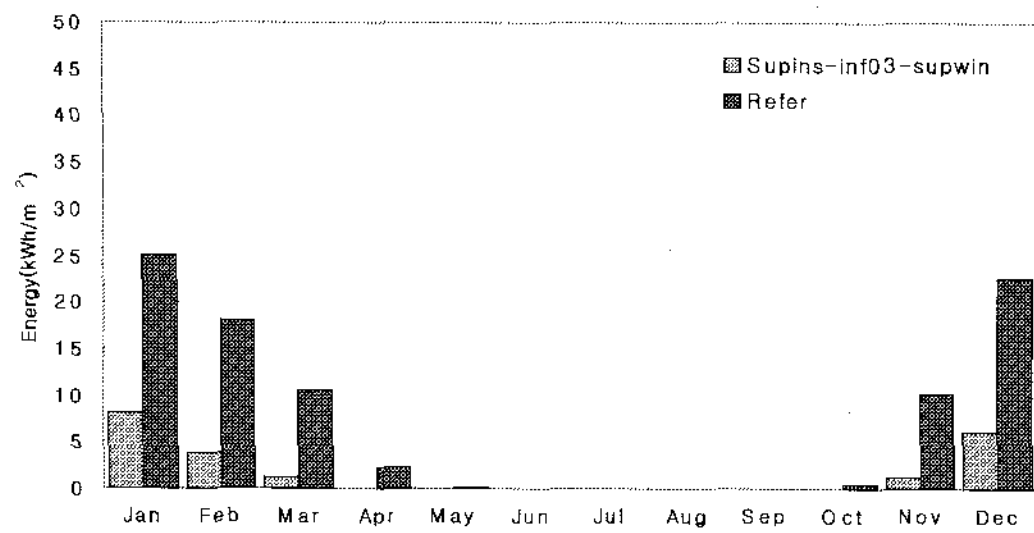


그림 5. ZeSH 설계모델(슈퍼단열+침기량 0.3회/h+슈퍼윈도우)의 월별에너지 소비량

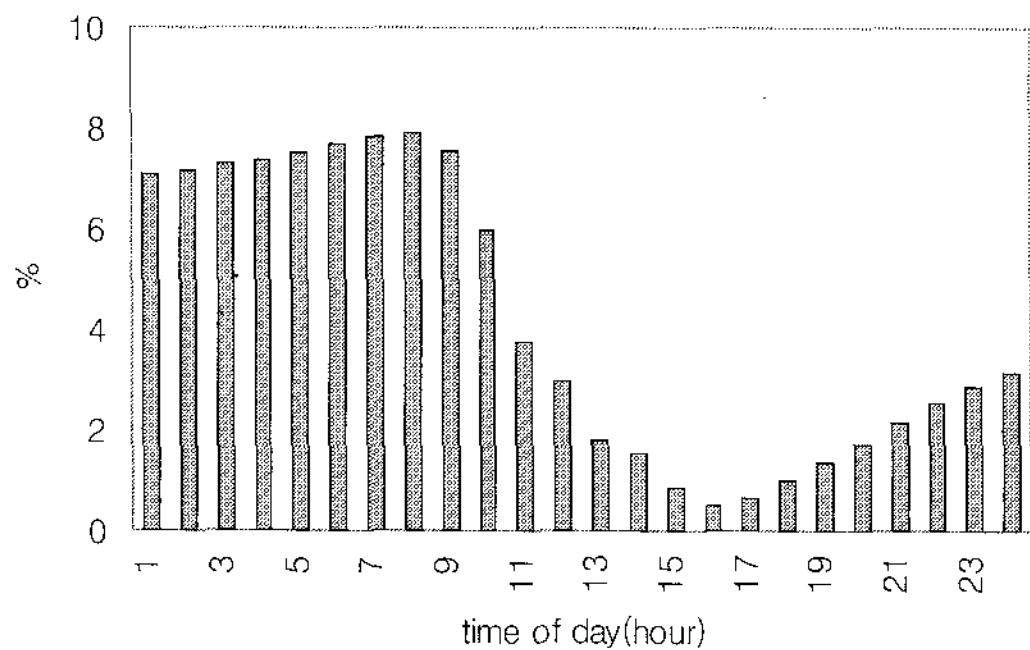


그림 6. 침두부하일에 대한 시간별 부하 분포

2.2.2 온수부하

주택에서의 온수 사용량은 대략 5인 기준으로 해서 50°C의 온수를 250 l/day 사용하는 것으로 하였으며, 하절기(7-9월)는 동절기 사용량의 50%로 가정하였다. 설비형 태양열시스템의 설계에 중요한 변수인 시간별 온수사용패턴은 현실을 고려해서 그림 7에 있는 바와 같이 가정하였다. 이러한 가정하에서 계산된 월별 온수부하는 그림 8에 있는 바와 같다. 이 때 시수온도는

지중 1m 온도를 가정하였다.

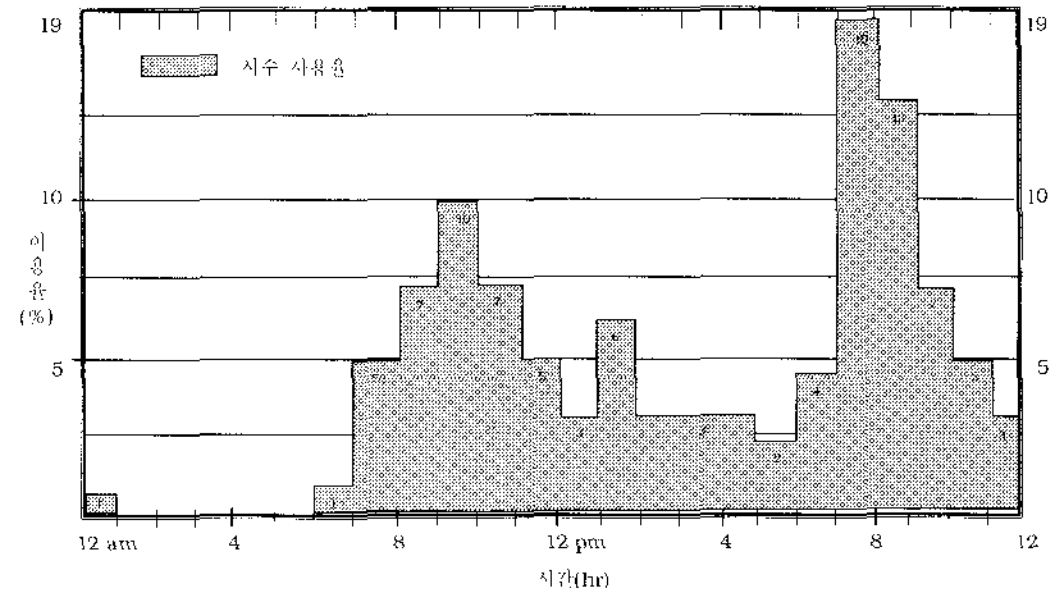


그림 7. 시간별 온수사용패턴

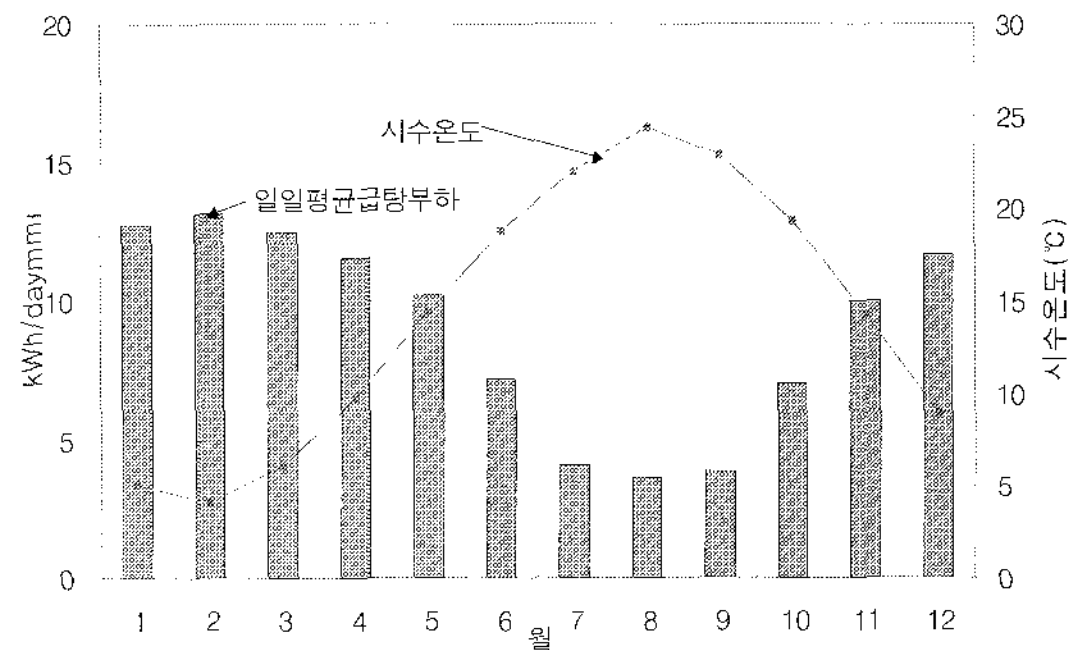


그림 8. 월별 일 온수급탕 부하 및 시수온도

3. 설비형 태양열 난방 및 급탕 시스템 설계

앞에서 설계된 제로에너지 주택의 에너지 분석 결과를 토대로 난방 및 급탕부하의 대부분을 설비형 태양열시스템으로 공급하기 위해 시스템을 설계하고 분석하였다.

3.1 시스템 개요 및 작동

ZeSH를 위한 설비형 태양열 난방 및 급탕 시스템은 태양열시스템의 작동효율을 높이면서 태양의존율을 높일 수 있도록 하는 것을 기본 개념으로 하였다. 보조열원으로는 본 연구에서는 제외하였으나 태양열을 열원으로 작동하는 고효율 히트펌프를 사용할 수 있도록 하였다.

히트펌프는 적당한 열원(5~35°C정도)만 있으면 동절기에도 COP가 3.0~5.0 정도의 높은 성능으로 작동될 수 있을 뿐만 아니라 하절기에는 냉방도 가능하기 때문에 ZeSH의 보조 기기로 적당한 것으로 사료된다[4]. 이 시스템은 또한 태양열을 히트펌프의 열원으로 사용하기 때문에 집열효율도 높일 수 있는 장점도 있다. 이러한 개념의 시스템을 그림 9에 나타내었다.

태양열시스템은 온수축열조를 우선 가열하고 난 후 난방용 축열조를 가열하는 방식의 밀폐형 부동액 시스템이다. 태양열축열조 온도가 난방 가능한 일정온도 이상(약 40°C)이면 태양열축열조로부터 난방이 공급되고, 태양열 축열조 온도가 난방부하를 감당할 수 없는 온도 이하가 되면 히트펌프에 의해서 가열된 고온축열조로부터 난방이 공급된다. 일단 태양열 축열조의 온도가 난방을 충족할 수 없을 정도로 온도가 낮아지면 히트펌프는 태양열축열조의 물을 저온열원으로 해서 온수축열조의 상단부와 고온축열조의 물을 가열하게 된다. 이 때 태양열축열조의 낮은 온도

의 물은 히트펌프의 저온열원으로 사용된다. 이와같이 태양열을 히트펌프 열원으로 사용하는 것은 외기가 낮은 동절기에 외기를 열원으로 하는 히트펌프는 작동이 어렵거나 작동 가능하다 하더라도 COP가 낮기 때문이다.

비 하절기에는 히트펌프는 외기를 히트싱크로 해서 태양열축열조에 축냉을 해서 이 냉수로 냉방을 하게 된다. 이 경우에도 온수축열조를 히트펌프에 의해서 가열하게 될 경우 히트펌프는 냉수를 생산하면서 동시에 온수도 생산하여 2가지 기능을 동시에 해서 에너지 효율을 크게 높일 수 있게 된다.

본 분석에서는 히트펌프 대신에 보일러를 보조기기로 사용하는 것을 가정하여 분석하였다.

3.2 태양열 시스템 용량설계

시스템 개요에서 언급한 집열효율 향상과 높은 태양의존율을 목표로 설계된 태양열시스템의 제원은 표 4에 있는바와 같다. 축열조 용적을 제외한 다른 설계인자에 대해서는 주로 f-chart 기준치[5,6]를 사용하였으며, 축열조 용적은 기

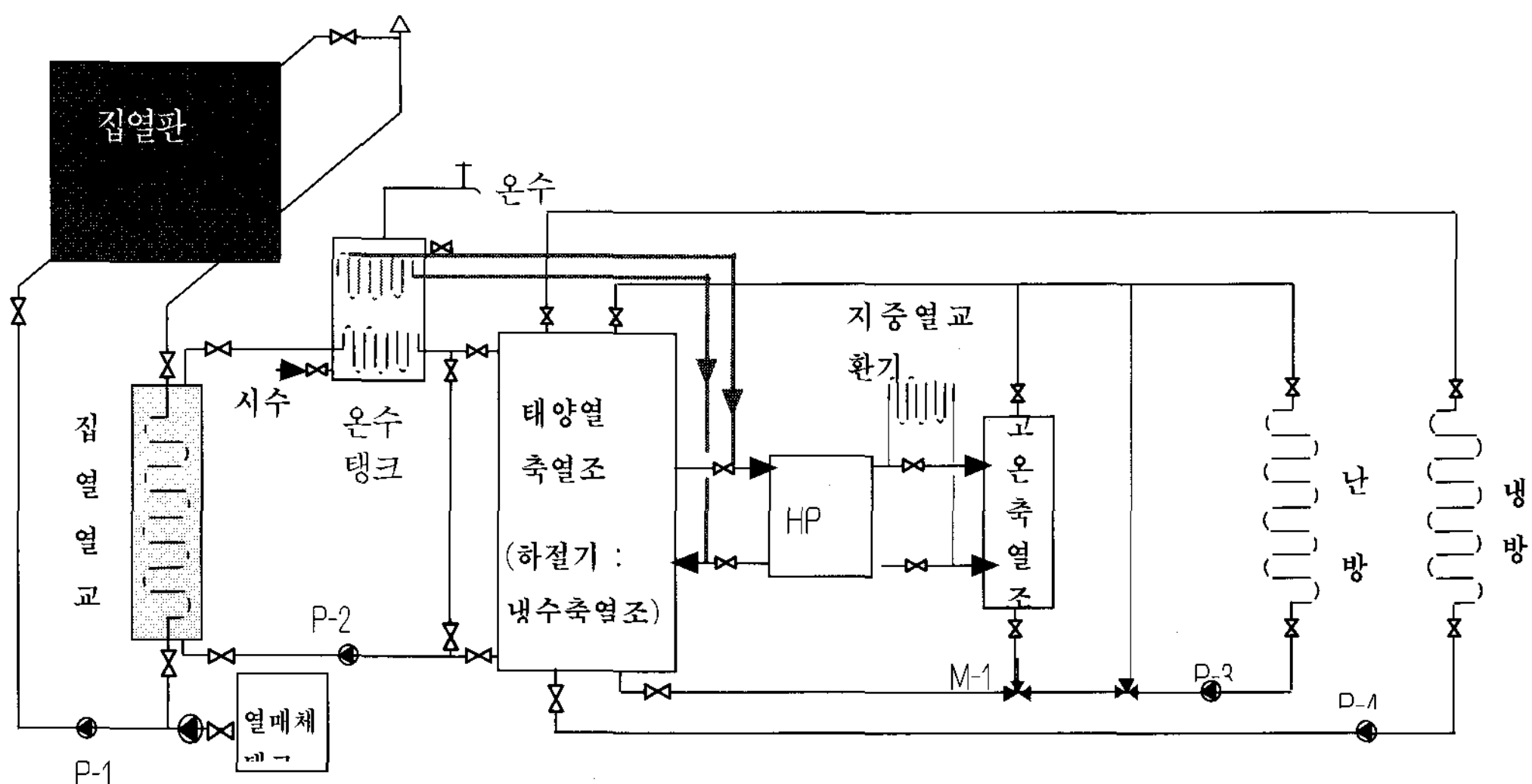


그림 9. 태양열 시스템 개요도

준치(약 40-50 l/m² 내외)보다 큰 집열면적당 196 l/m²으로 하였다. 이것은 적은 집열면적으로 태양열 의존율을 높게 하고, 추후 태양열을 히트펌프의 열원으로 사용하기 위함이다[4].

이러한 규모의 축열조는 추후 태양열을 히트펌프의 열원으로 사용할 경우 일일 최대 난방 및 온수부하 즉, 총부하 62.6kWh(난방부하 42.6kWh, 온수부하 16kWh)를 태양열 집열 없이도 약 3일동안 난방 및 온수부하를 공급할 수 있는 용량이다.

표 4. 태양열시스템 주요 제원

| 구 분 | | 제 원 |
|----------------------|---------------------|-------------------|
| 집열면적 | | 28m ² |
| 집열기 성능 | $F_R(\tau\alpha)_n$ | 0.77 |
| | $F_R U_L$ | 4.5 |
| 태양열 축열조 | | 4.5m ³ |
| 온수축열조 | | 0.5m ³ |
| 집열매체 순환유량 | | 34 l/m |
| 집열열교환기 effectiveness | | 0.7 |
| 히트펌프 용량(압축기용량) | | 2.5kW |

3.3 시뮬레이션 및 결과분석

3.3.1 시뮬레이션

본 시스템의 분석은 TRNSYS 15.1을 사용하였으며[7], 기상자료는 대전지역의 30년 표준 자료를 사용하였다[8]. TRNSYS Dec에 사용된 시스템 주요 모델은 다음과 같다[6].

- 축열조 : 태양열 축열조와 온수축열조는 원통형으로 온도 계층화 모델
- 집열기 : 평판형 집열기로 Efficiency mode는 n vs. $(T_i - T_a)/I_T$
- 집 열 열 교환 기 : 판 형 열 교환 기 (effectiveness=0.7)
- 시스템 제어 : 차온제어로 $\Delta T_{ON} = 15^\circ C$,

$$\Delta T_{OFF} = 2^\circ C$$

- 주택 난방부하 : Energy/(Degree-hour) 모델
- 난방제어 : 2nd stage 제어모델

3.3.2 결과분석

ZeSH에 대한 월별 태양열의존율을 난방 및 급탕 부하에 대해서 각각 그림 10에 나타내었다. 동절기(11월~2월)에는 태양열 의존율이 난방의 경우 79%, 온수급탕은 87%로 전체 열부하의 83%를 태양열로 공급하는 것으로 나타났으며, 연평균치는 시스템 설계시 예상했던 85%보다 약간 높았으며 난방과 온수급탕이 각각 81% 와 93%로 전체 열부하의 88%를 태양열로 공급하는 것으로 나타났다.

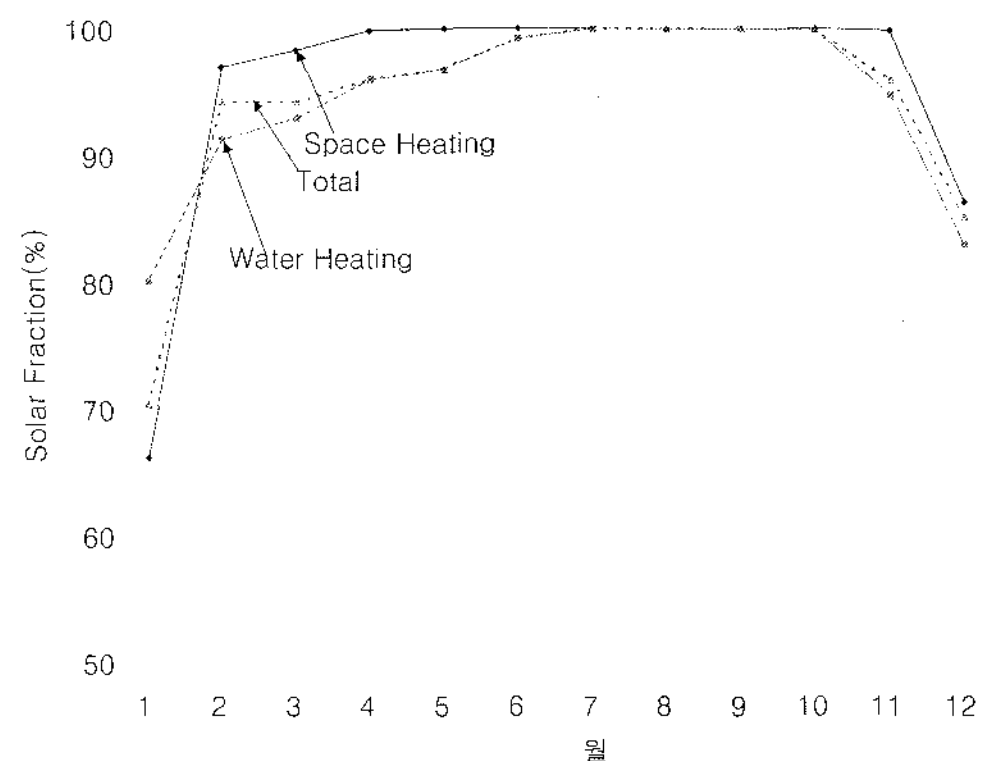


그림 10. 월별 태양열 의존율

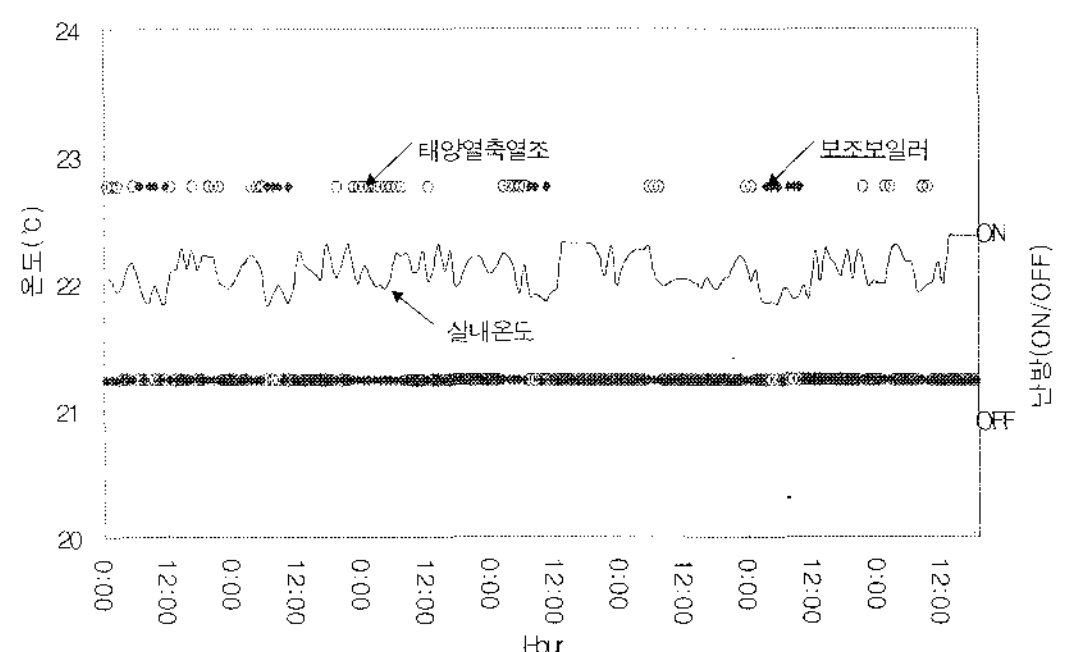


그림 11. 동절기 일주일간 태양열 축열조와 보조 열원에 의한 난방 공급 ON/OFF 및 실내온도

그림 11는 동절기 일주일간 태양열 축열조와 보조보일러에 의한 난방 공급ON/OFF 및 실내 온도를 보여주는 그래프로 실내온도가 실내설정 온도인 22℃ 내외에서 움직이는 제어되는 것을 보여주고 있다.

3.2 Parametric Study

태양열시스템에 영향을 미치는 중요한 인자인 집열면적과 축열조 용적이 태양열시스템 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

그림 12에 집열면적 증가에 따른 태양열 의존율 변화를 나타내었다. 이 결과로부터 태양열 집열면적 증가에 따른 태양의존율 증가는 집열면적이 증가할수록 그 증가율이 둔화되고 있음을 알 수 있다. 특히 30m² 이상에서는 더욱 그러한 현상이 심화되고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상 때문에 일반적으로 태양열 시스템 규모는 태양의존율이 50% 내외가 되도록 설계되는 것이 일반적이다. 만약 태양의존율을 높일 경우 집열면적당 축열조 용적이 커야 이러한 현상을 줄일 수가 있다. 본 태양열시스템 설계에서 축열조 용적을 크게 한 것도 바로 이러한 이유 중 하나이다. 결론적으로 태양의존율 증가폭으로 보아 집열면적 30m² 이상에서는 태양의존율 증가폭 둔화가 비교적 크지 않은 것으로 사료되어 비교적 적절한 것으로 평가된다. 여기서는 건물 형상 및 외관을 고려해서 28m²로 하였다.

그림 13은 집열면적이 28m²일 때 축열조 용적증가에 따른 태양의존율 변화를 나타낸 것으로 축열조 용적이 커짐에 따라 태양열 의존율 증가폭이 크게 감소함을 알 수 있다. 특히 축열조 용적이 3m³ 이상에서는 더욱 그러한 현상이 두드러지게 나타나고 있어 본 태양열시스템에서의 적절한 축열조 용적은 약 3m³ 전후 인 것으로 사료된다. 그러나 본 설계에서는 축열조 용적을 이보다 큰 5m³로 하였는데, 이것은 추후 보조기기로 태양열 열원식 히트펌프를 사용하기

위함이다.

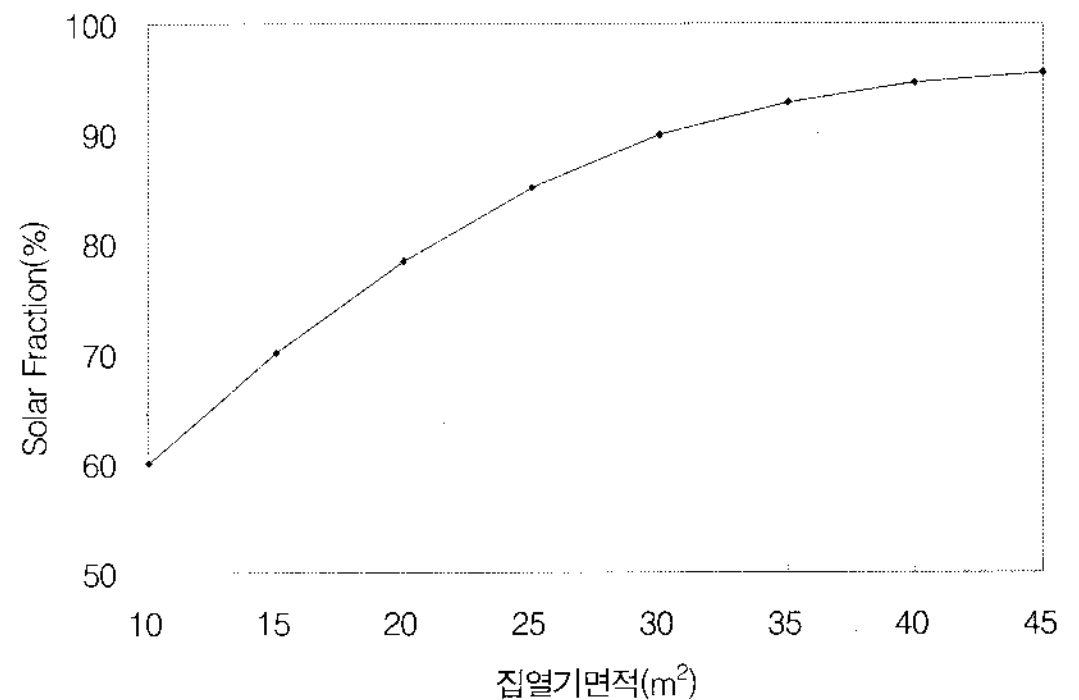


그림 12. 집열면적에 따른 태양열의존율

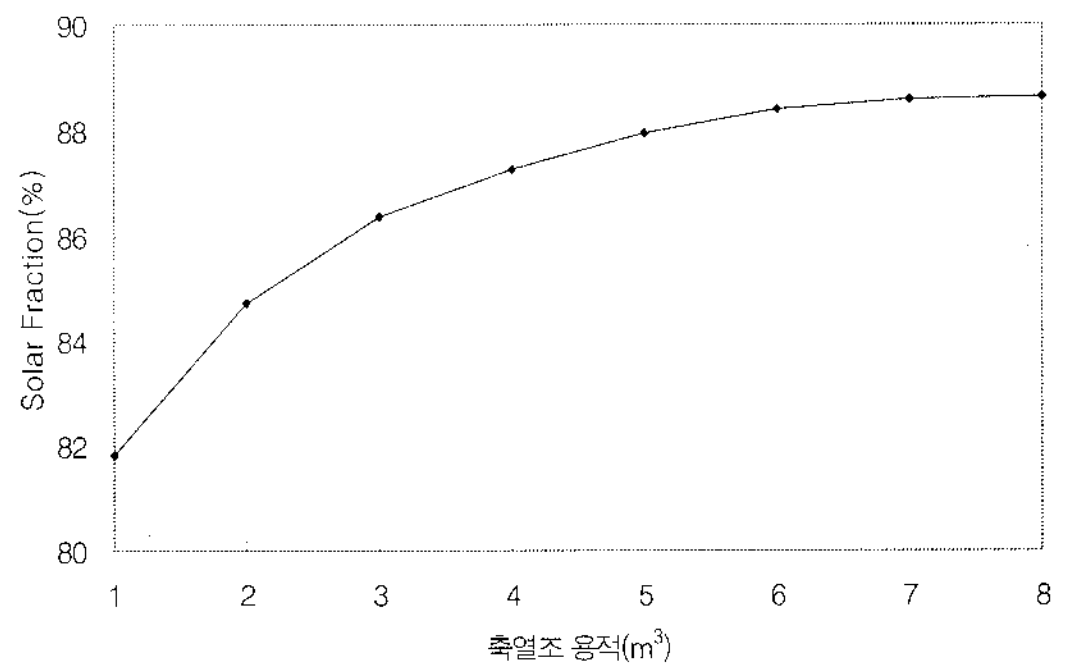


그림 13. 축열조 용적에 따른 태양열 의존율

4. 결론

본 논문에서는 제로에너지 솔라하우스 개발을 위한 목적으로 슈퍼단열, 슈퍼윈도우, 자연형 시스템, 환기 등 건물 구성에 대한 에너지 분석과 이들 요소기술의 통합 에너지 성능평가를 거쳐 설계된 주택에 난방부하와 온수부하를 감당하기 위한 설비형 태양열시스템을 설계하고 분석하였다. 제로에너지 솔라하우스 분석은 단순형상의 주택 기본모델을 기준으로 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 각종 요소기술에 대한 종합적 에너지 성

능평가를 수행하여 설계안을 통해 도출할 수 있는 에너지 자립도를 예측하였다. 그 결과 슈퍼단열이 에너지 절감효과가 가장 큰(약 49%) 것으로 나타났으며, 기존 이중창을 모두 슈퍼윈도우로 대체할 경우는 약 15%, 축열벽 방식의 자연형 태양열 시스템에 의해 약 8~13%, 단창 매스월 대신 투명단열 시스템을 적용할 경우 추가적으로 약 5%, 온실공간에 의해 약 4~5%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 외피의 기밀시공 및 이에 따른 강제환기 배열회수 시스템과 직접적으로 연관되는 침기량 해석결과 에너지 성능에 상대적으로 매우 큰 영향을 미치는 변수로 판명되었다.

- 이러한 각종 요소기술을 조합하여 통합성능 평가를 수행한 결과 조합방식에 따라 65~92%의 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

(2) 설계된 에너지 자립하우스의 난방 및 급탕을 위한 태양열시스템을 설계 및 분석하였다. 시스템은 집열효율이 높고 추후 태양열을 열원으로하는 히트펌프 시스템이 보조열원으로 사용될 수 있도록 시스템을 구성하였다.

- 시스템 구성은 약 3일동안 태양열이 없어도 축열조의 잔유열량을 히트펌프의 열원으로 사용해서 난방 및 온수급탕이 가능하도록 하였다.

- 연평균 태양의존율은 약 88%(난방 81%,

온수 93%)로 높게 나타났으며, 이는 난방의존율 81%는 거의 설계치(80%)와 부합되었다.

- 시스템 성능 및 경제성에 중요한 영향을 미치는 집열면적, 축열조 용적이 태양열 의존율에 미치는 영향을 분석하였다.

참고문헌

- 1) 한국에너지기술연구원, "보급형 제로에너지하우스 개발", 한국에너지기술연구원 중간보고서, KIER-A12205, 2002. 2
- 2) 김병수, 윤종호, 백남춘, 이진숙 "자립형 주택 기본 계획안을 위한 시뮬레이션 성능평가" 태양에너지학회, Vol.21. 2001. No. 4
- 3) University of Strathclyde, 2000. 10 "The ESP-r system for Building Energy Simulation User Guide Version 9 Series"
- 4) 백남춘, 박준언, 송병하, 이진국, 김홍제 "태양열 및 외기열원식 히트펌프 시스템 시뮬레이션", 태양에너지 Vol. 20, No. 4, 2000.
- 5) J. A. Duffie and W. A. Beckman, 1974, "Solar Energy Thermal Processes", Wiley, New York,
- 6) ASHRAE, 2000, "Active Solar heating System Design Manual"
- 7) Solar energy laortory, 1944, "TRNSYS MANUAL" Univ, of Wisconsin Madison
- 8) 한국에너지기술연구원, "국내 일사량 분석·평가 및 데이터 표준화 연구" 1999년도 최종보고서, 산업자원부