

ZeSH-II에 적용된 태양열 +지열 하이브리드시스템 사례

- 김 용 경 / (주)한화건설 기술연구소, yongs25@hanwha.co.kr
- 임 형 찬 / (주)한화건설 건축사업본부, hyung66@hanwha.co.kr
- 홍 성 근 / (주)한화건설 건축사업본부, sghong@hanwha.co.kr
- 백 남 춘 / 한국에너지기술연구원 태양열·지열센터, baek@kier.re.kr

에너지의 85% 이상이 자립형 주택인 제로에너지솔라하우스에 적용된 신재생에너지 기술 중 태양열+지열 하이브리드 시스템을 소개한다.

머리말

국내 총에너지 소비의 약 1/4을 차지하는 건물분야에서의 에너지 저감을 위해 지금까지 많은 기술 개발을 진행해 왔다. 최근의 기술개발 및 실행 방향은 '제로에너지 건물', '탄소 중립 건물', '친환경 건물' 등 건물에너지 자립형 건물에 초점이 맞춰지고 있다. 따라서 에너지 자립형 건물을 위해서는 에너지 절약기술과 신재생에너지 기술이 동시에 적용되는 기술개발이 필요하다.

이에 한화건설은 한국에너지기술연구원과 제로에너지 솔라하우스(Zero Energy Solar House, 이하 ZeSH) 기술실시 및 상호협력을 위한 기술 실시협약을 체결하였으며 지속적인 기술 교류를 통해 건물 분야의 '저탄소 녹색성장' 관련 주요 정책인 친환경 주택 보급사업, 저탄소 녹색 시범도시 사업, 녹색마을 조성 사업 등에 활용 가능한 기술 개발을 진행하고 있다.

ZeSH는 건물에너지 절약기술과 신재생에너지 기술의 최적화 설계를 통해 외부로부터의 에너지 공급을 최소화하고 자연 에너지를 통해 주택에 사용되는 에너지의 자립을 추구하는 미래지향적인 친환경 주택이다. 주택에서의 에너지소비 비중이

큰 난방 및 급탕 부하의 자립을 위해 1단계 연구(ZeSH-I)에서 70%의 열부하를 자립하는 에너지자립형 주택을 개발하였으며, 이를 근거로 2단계 연구(ZeSH-II)에서는 전기에너지까지 포함한 총부하의 85% 이상 에너지를 자립하는 상용화 주택기술을 구현하였다.

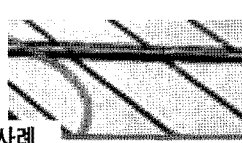
ZeSH-II 소개

ZeSH의 개요

한국에너지기술연구원에서는 건물에서의 에너지 저감을 위해 「제로에너지 솔라하우스(Zero Energy Solar House) 기술」개발을 추진하였으며 2010년 현재 표준 주택 공사비 대비 20% 이내의 추가비용으로 85% 이상의 에너지를 자립할 수 있는 실제적인 경제성을 갖춘 차세대 에너지 자립형 주택 기술을 확보했다.

표 1은 ZeSH-II의 건축개요를 나타낸 것으로 1층과 동일한 면적의 지하실과 지상 2층으로 구성되어 있다. 지상 1층과 2층이 주거용도이며 지하실은 기계실 및 수납공간으로 계획되었다. 지하실과 1층 다용도실을 제외한 모든 공간이 난방공간이 되며 그 면적은 145.8 m²이다. 그림 1은 ZeSH-II 평면도, 남측면도를 나타낸 것이다.

ZeSH-II는 방식이나 사양에 있어 일부 차이가 있지만 적용된 기술의 종류는 ZeSH-I에 적용된 것과 동일하게 에너지부하를 줄이기 위한 슈퍼단열기



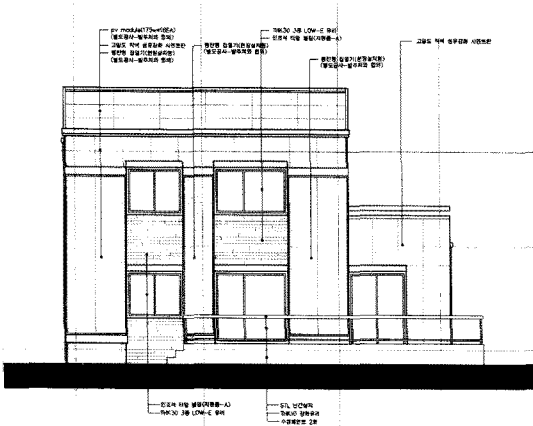
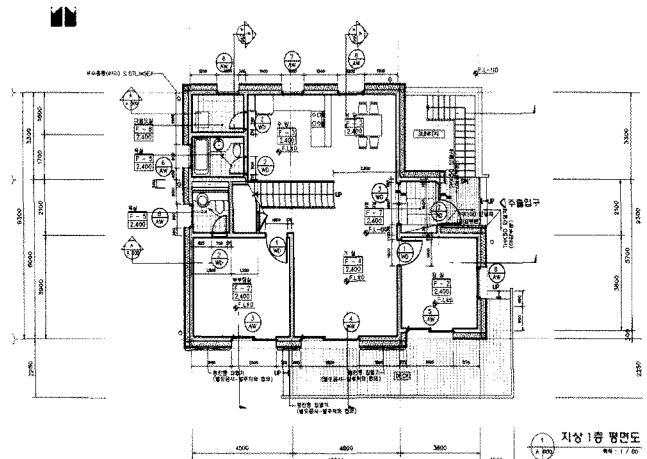
슬과 자연형 태양열기술, 배열회수기술 등 패시브(passive) 기술과 태양열·태양광·지열 등 신재생에너지를 활용한 에너지 생산 개념의 액티브(active) 기술로 나눌 수 있다. 또한 신재생설비의 설치면적 확보와 건물의 의장성을 높인 건물 일체화기술과 에너지효율화기술, 친환경기술 등의 핵심기술이 복합적으로 적용됐으며 ZeSH-II의 전경 및 주요 적용 기술은 그림 2와 같다.

ZeSH-II 주요 적용기술

<표 1> ZeSH-II의 건축개요

| 구분 | 내용 |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 규모 | 지하1층, 지상2층 |
| 건축면적 | 107.01 m ² |
| 연면적 | 266.67 m ² |
| 구조 | 철근콘크리트 구조 |
| 건물외피 | 고밀도 착색 섬유강화 시멘트판, 인조석 타일 |
| 창호 | 고기능성 시스템창호, 로이 3중유리 |
| 층별면적 | 지하1층 : 107.01 m ² 지하1층 : 103.86 m ² 지하1층 : 55.80 m ² |

ZeSH-II에 적용된 기술은 크게 외벽구조 및 창호, 신재생 설비 시스템 기술, 배열 회수기술 등이 있으며 외벽기술은 열교환 방지 및 내부 축열성능 향상을 위해 외단열을 적용하였으며 실내 마감재 + HDF+콘크리트+200 mm단열재+50 mm단열재+외장재의 구조로 구성된다. 지붕은 박공부분과 평슬래브 부분으로 구분되고 2개소 모두 250 mm 외단열을 적용하였다. 바닥의 경우 지하실 바닥은 250 mm, 지하실과 1층 사이의 슬래브는 50 mm 일반단열을 적용하였다. 창호시스템은 국내에서 상용화된 최고 성능을 가진 삼중로이 유리창호 시



[그림 1] ZeSH-II 평면도 및 남측면도



[그림 2] ZeSH-II 전경 및 주요 적용기술

시스템을 적용하였으며, 창호 단열성능 개선효과를 평가하기 위해 일반 투명복층 유리의 경우도 해석하였다. 해석에 적용된 창호의 열관류율은 삼중로이의 경우 $1.28 \text{ W/m}^2\text{°C}$, 투명복층의 경우 $2.67 \text{ W/m}^2\text{°C}$ 을 적용하였다.

신재생 설비시스템 기술로 벽면일체형 태양열 집열시스템(BIST, Building Integrated Solar Thermal, 이하 BIST), 건물일체형 태양광시스템(BIPV, Building Integrated Photovoltaic, 이하 BIPV), 지열이용 히트펌프시스템을 적용하였다. 주택의 경우 지붕 면적이 한정되어 있기 때문에 태양광 발전 시스템과 태양열 시스템을 모두 지붕에 설치하기에는 면적이 부족하다. 따라서 에너지자립형 주택의 경우 지붕에는 건물 일체형 태양광시스템(BIPV)을 설치하고 태양열 시스템은 주택의 남측 벽면을 이용하여 벽면일체형 태양열 집열시스템 기술을 적용하였다. 열부하가 큰 겨울철에 태양열을 가능한 많이 집열하도록 하기 위해서 집열기는 정남으로 하되 설치각도는 가능한 한 크게 하였다.

환기설비는 전반환기와 주방의 국소환기로 구분된다. 전반환기는 CO₂ 센서의 제어조건에 따라 화장실의 배기팬에 의해 실내공기가 강제 배기되면 거실이나 침실의 급기구를 통해 외기가 자연 유입되는 하이브리드 방식으로 설계되었다.

ZeSH-II 태양열+지열 하이브리드 시스템

ZeSH-II '신재생 하이브리드시스템 기술'은 태양광·태양열·지열 등 신재생에너지원으로 냉·난방 및 급탕, 전기 생산에 활용되는 통합시스템으로 건물에 설비별로 독립적으로 적용되어왔던 시스템의 단점을 극복, 콤팩트화 및 건물일체화를 실현하였다.

또한 ZeSH-II의 주요 특징인 '벽면일체형 태양열 집열 장치'는 부하가 많은 겨울철에는 집열이 많이 되고 부하가 적은 여름철에는 집열이 적게 되도록 주택 남측 벽면에 수직으로 설치하였다. 따라서 벽면설치용 태양열 집열기는 건물의 외장재 역할은 물론이고 집열기 설치면적 확보와 또한 기존 태양열 시스템이 안고 있는 여름철에 과열되는 현상을 막을 수 있게 되었다.

시스템 개요

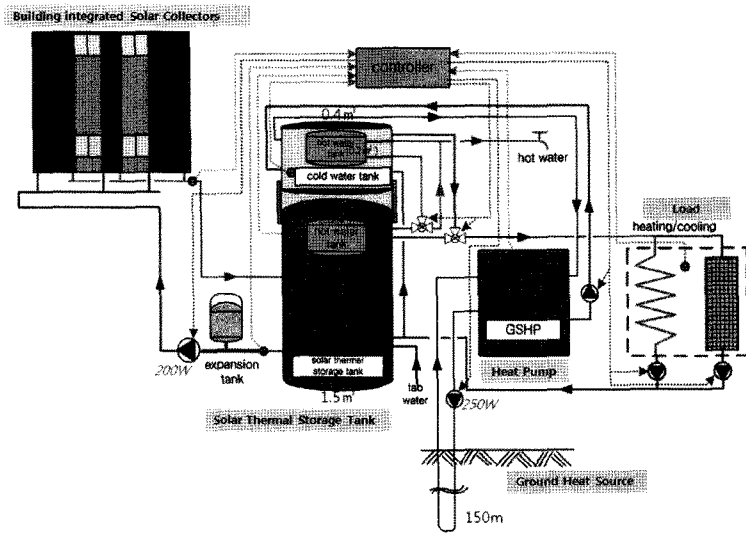
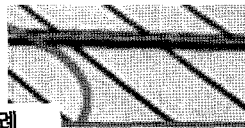
냉난방 및 급탕을 위한 신재생하이브리드 시스템기술은 건물일체형 태양열 시스템(BIST), 건물일체형 태양광시스템(BIPV), 지열 히트펌프시스템을 적용하였다. 주택의 경우 지붕 면적이 한정되어 있기 때문에 태양광 발전모듈과 태양열 집열기 두가지를 모두 지붕에 설치하기에는 면적이 부족하다. 따라서 ZeSH-II의 경우 지붕에는 태양광 발전 모듈을 지붕일체형(BIPV)으로 설치하고 주택의 남측 벽면에는 태양열 집열시스템을 벽면일체형으로 설치하였다.

또한 냉난방과 온수급탕용으로는 태양열 시스템과 지열히트펌프 시스템을 하나의 시스템으로 구성하였다. 이 시스템은 난방 및 급탕이 필요할 경우 태양열이 우선적으로 공급되고, 태양열이 부족하거나 없을 경우 지열히트펌프에 의해서 공급되는 방식이다. 또한 여름철의 냉방은 지열히트펌프를 활용하여 생산된 냉수를 천장형 팬코일유닛을 통해서 냉방이 되도록 하였으며 그림 3은 태양열+지열 하이브리드시스템 개요도이다.

이 지열 히트펌프 보조열원방식의 태양열 지열 하이브리드 시스템의 주요제원을 정리하면 표 2와 같다.

시스템은 태양열 축열조, 항온조, 열교환기, 지열원식 히트펌프로 구성된다. 태양열 축열조는 벽면일체형 태양열 시스템에서 집열되는 태양열을 저장하게 되며, 이 축열조 내에 온수예열을 위한 소형의 저장조 역할을 하는 열교환 코일이 설치되어 있다. 그 상단부에 설치되어 있는 탱크는 태양열이 부족할 경우와 여름철 냉축열을 위해 항상 일정온도로 지열히트펌프에 의해 가열되거나(비하절기) 냉각되는(여름철) 항온조 역할을 하는 축열조가 태양열 축열조 상단부에 있다(이하 항온조라 함). 따라서 여름철에는 난방부하가 없기 때문에 온수공급은 직접 태양열 축열조에서 공급되며, 상단부에 있는 항온조는 냉방용으로만 사용된다. 이것은 난방부하가 없는 여름철에 태양열 축열조의 온도가 비교적 높은 상태로 유지되고 축열용량도 크고 급탕부하도 적기 때문에 이러한 방식의 운전이 가능하다.

겨울철에는 지열히트펌프에 의해서 축열되는



[그림 3] 태양열+지열 하이브리드시스템 개요도

<표 2> 급탕 및 냉·난방시스템의 주요제원

| 구분 | 제원 | 비고 | |
|---------|--------|--------------------|---------------------------|
| 태양열 시스템 | 집열면적 | 25 m ² | 벽면일체형 3 set |
| | 축열조 용량 | 1.2 m ³ | |
| | 순환펌프동력 | 200 W | |
| 지열 시스템 | 용량 | 2.5 USRT | |
| | 지중열교환기 | 150 m | 수직형 |
| | 축냉조 용량 | 0.4 m ³ | 급탕조 0.2 m ³ 포함 |
| | 난방 COP | 3.0 | |
| | 냉방 COP | 4.0 | |
| 순환펌프동력 | 250 W | | |
| 급탕시스템 | 급탕조 용량 | 0.2 m ³ | 축열조내 열교환코일 별도 |

향온조는 태양열 축열조 온도가 낮을 경우 이 탱크로부터 직접 난방수가 공급된다. 급탕은 전술한 바와 같이 여름철을 제외하고는 어떠한 경우라 하더라도 태양열 축열조에서 예열된 온수가 향온조 내부의 탱크로 들어와서 온수가 공급된다.

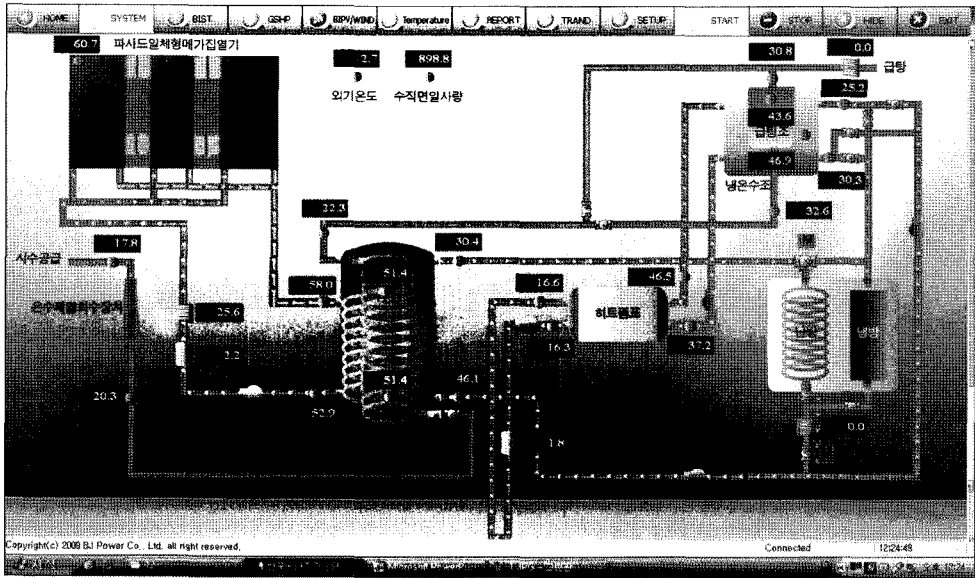
성능측정 및 분석

그림 4는 태양열+지열 하이브리드시스템의 운전여부 및 작동상태를 확인할 수 있는 모니터링

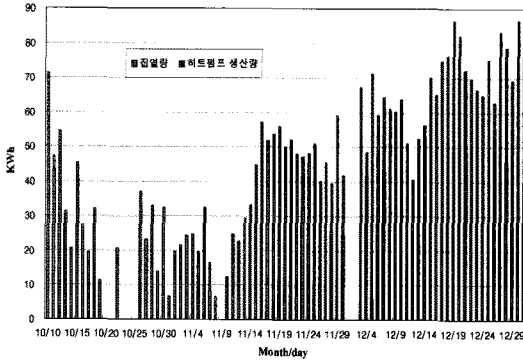
화면이다. 외기온도, 일사량, 각 장치의 입출구 온도와 열매체 유량 등이 표시되며 펌프의 작동상태와 펌프가 작동될 때 유체의 흐름방향을 표시하도록 화면이 구성되어 있다.

2009년 10월 10일부터 12월 31일까지 모니터링한 결과 태양열과 지열히트펌프에 의해서 생산된 에너지양을 일별로 그림 5에 나타내었다. 10월 초의 경우 난방 및 급탕 부하가 크게 나타난 것은 예비테스트를 위하여 부하를 주어 시험하였기 때문이다. 일별 생산된 에너지양과 건물에 공급된 에너지양은 열손실, 축열조 및 향온조의 축열량 변화 등으로 인해 약간의 차이가 있으나 분석 대상기간이 장기간임을 고려한다면 거의 무시할 수준이다.

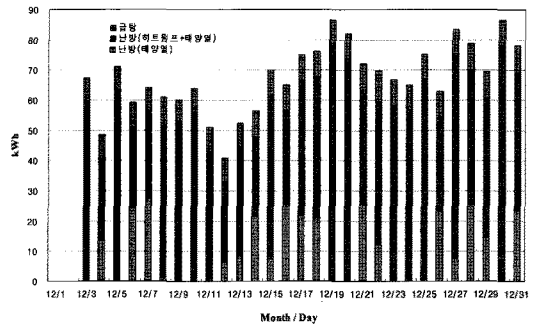
동일기간에 ZeSH-II의 태양열 축열조와 향온조로부터 공급된 양을 그림 6에 표시하였다. 태양열에 의해서 공급된 에너지는 난방축열조로부터 공급된 양과 향온조로부터 공급된 양의 일부가 포함되며 온수부하는 태양열 축열조에서 1차로 예열되어 향온조 내부에 있는 급탕조로 들어간다. 이 과정에서 태양열 축열조의 온도가 향온조보다 높을 경우에는 축열조에서 예열된 온수에 의해서 향온조의 온도가 승온된다. 따라서 향온조로부터



[그림 4] 태양열+지열이용 히트펌프시스템 모니터링 화면



[그림 5] 태양열 집열량 및 지열히트펌프 생산열량



[그림 6] 축열조 및 항온조에 의한 난방 및 급탕공급량

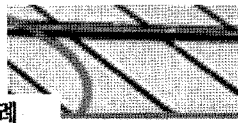
공급되는 난방과 급탕에너지의 일부는 태양열로부터 공급된 것이다.

ZeSH-II는 태양열 시스템과 2.5 kW 용량의 소형 지열히트펌프로 100% 부하의 충족함을 보여주고 있다. 특히 작년 겨울은 외기온도가 낮은 날이 많고 태양열 일사량이 낮았기 때문에 태양열 의존율이 그리 높지 않은 것으로 나타났으나 부하대응에는 전혀 문제가 없었다.

맺음말

본 원고에서는 저에너지 친환경 건축기술이 적용된 에너지 자립형 주택인 ZeSH-II에 적용된 태양열+지열 하이브리드시스템 사례를 소개하였다.

ZeSH-II에 적용된 '신재생 하이브리드 시스템은 태양광·태양열·지열 등 신재생에너지원만으로 냉·난방 및 급탕, 전기 부하의 대부분을 공급하



도록 설계되었다. 특히 열공급 시스템은 하나의 통합시스템으로 패키지화를 위해 설계된 것으로 설비별로 각각의 시스템을 설치해야 하는 기존 시스템의 단점이 대폭 보완되고 또한 건물 일체화를 실현하였다. 이 시스템은 향후 그린홈은 물론이거니와 에너지 자립형 주택의 냉난방 및 급탕용 시스템으로 활용이 크게 기대된다. 게다가 ZeSH-II는 경제성 확보와 에너지자립을 위해 추가되는 비

용을 최소화하였으며, 그 결과는 추가비용 20% 이하로 총 부하의 85% 이상의 에너지 자립을 달성하였다. 신재생 하이브리드시스템과 더불어 실제적인 경제성을 확보한 기술로서 차세대 에너지 자립형 주택의 실현 가능성을 보여주고 있으며, 향후 ZeSH-II 기술을 활용하여 에너지 자립형 공동주택 모델 개발 및 친환경 건축물 보급사업을 적극적으로 추진할 계획이다. 