

Facade 일체형 태양열 집열기를 갖는 태양열/지열 하이브리드 시스템의 태양열 집열시스템 작동특성 연구

백남춘*, 이진국**, 유창균***, 윤응상****, 윤종호*****

*한국에너지기술연구원(baek@kier.re.kr), **한국에너지기술연구원(jklee@kier.re.kr),
한국에너지기술연구원((ckyu@kier.re.kr), *한국에너지기술연구원(yoon@kier.re.kr), *****한밭대학교
건축학과(jhyoon@hanbat.ac.kr)

A Study on the Operating Characteristics of Solar Collecting System in Solar Thermal/Geothermal Hybrid System with Facade Integrated Solar Collector

Baek, Nam-Choon* Lee, Jin-Kook** Yu, Chang-kyun*** Yoon, Eung-Sang**** Yoon, Jong-Ho*****

*Korea Institute of Energy Research(baek@kier.re.kr), **Korea Institute of Energy Research(jklee@kier.re.kr),
Korea Institute of Energy Research(ckyu@kier.re.kr), *Korea Institute of Energy Research(yoon@kier.re.kr),
*****Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr),

Abstract

In this study, the solar thermal and geo-source heat pump(GSHP) hybrid system for heating and cooling of Zero Energy Solar House(ZESH) was analyzed by experiment. The GSHP in this hybrid system works like as a back-up device for solar thermal system. This hybrid system was designed and installed for Zero Energy Solar House (KIER ZeSH) in Korea Institute of Energy Research.

The purpose of this study is to find out that this system is optimized and operated normally for the heating load of ZeSH. The analysis was conducted as followings ;

- the thermal performance of facade integrated solar collector
- the on/off characteristics of solar system and GSHP
- the contribution of solar thermal system.
- the performance of solar thermal and ground source heat pump system respectively.
- the meet of thermal load (space and water heating load).

This experimental study could be useful for the optimization of this system as well as its application in house. This hybrid system could be commercialized for the green home if it is developed to a package type.

Keywords : 태양열시스템(solar heating system), 지열원 히트펌프(Geo-source heat pump), 벽면일체형 태양열 집열기 (Facade integrated solar collector), 태양열 지열 복합시스템(Solar thermal and geothermal hybrid system)

기 호 설 명

Aa	: 집열기 투과면적(m ²)
Ag	: 집열기 전면적(m ²)
$F_R(\tau\alpha)_n$: 법선면에서의 투과 흡수율
$F_R U_L$: 집열기 열손실 계수((W/m ² .K)
T	: 건구온도 (°C)
Tc,o	: 집열기 상단부 온도 (°C)
Tsto,b	: 축열조 하단부 온도 (°C)
T _{bt,u} p	: 버퍼탱크 상단부 온도
T _{bt,d}	: 버퍼탱크 하단부 온도

1. 서 론

국내 총에너지 소비의 약 24%를 차지하고 있는 건물분야에서의 에너지 저감을 위해 지금까지 많은 노력이 있어왔다. 노력은 크게 단열이나 고성능 창호와 같은 건물에너지 “절약요소기술”에 의한 것이나 태양열 또는 태양광과 같은 신재생에너지 단순 적용하는 차원이었다. 그러나 최근 “Zero Energy 건물”, “탄소중립 건물”, “Energy Plus 건물” 등 건물에너지의 대부분을 자립하는 에너지 자립형 건물에 연구의 초점이 맞춰지고 있다. 이들 제로에너지 하우스는 건물에너지 저감기술과 신재생에너지 기술이 적절하게 조화를 이루어야 비로써 경제적인 에너지 자립이 가능하다.

주택에 적용가능한 신재생히팅시스템은 주로 태양열과 지열히트펌프 시스템이다. 태양열시스템은 운전비는 거의 안드는 반면 반드시 백업설비를 필요로 하며, 지열히트펌프 시스템은 백업설비는 없어도 되나 많은 양의 전기에너지가 들어가게 된다.

에너지 자립형 주택에서는 화석에너지를 사용하는 보일러 사용 없이 아주 적은 운전비로 냉난방 및 급탕이 가능해야 한다. 이러한 목적으로 본 연구를 통해서 개발된 것이 태양열과 지열이 복합된 “태양열/지열 하이브리드 냉난방 및 급탕시스템”이다. 본 연구에서

는 처음으로 “KIER ZeSH -2”에 적용된 “태양열/지열 하이브리드시스템”의 작동특성 및 성능을 실증시험을 통해서 수행하였다.

2. 시스템 개요

2.1 KIER ZeSH -2 개요

KIER ZeSH -2(이하 ZeSH)의 사진은 그림 1에 있는 바와 같다. 이 주택은 슈퍼단열, 고효율창호, 기밀화 등 다양한 건물에너지 저감기술로 냉난방부하를 대폭 저감시켜놓고 나머지 부하를 태양열/지열 하이브리드 시스템과 태양광 발전시스템을 통해서 공급하는 주택으로, 지하 1층, 지상 2층으로 되어있다. 난방면적은 총 145.8m²이다. 지붕남측 경사면에는 3.15 kW 용량의 BIPV, 남측벽면에는 25 m²의 벽면일체형 태양열 집열기, 그리고 지하에는 태양열 집열기를 제외한 태양열/지열 하이브리드 시스템이 설치되어 있다.



그림 1. ZeSH-II 사진

2.2 태양열/지열 하이브리드 시스템 개요

태양열/지열 하이브리드 시스템은 태양열과 지열히트펌프 시스템이 연계된 시스템으로 지열히트펌프 시스템이 난방 및 급탕의 백업 역할을 하면서 하절기 냉방을 감당하도록 되어 있다. 이 시스템에서 태양열 집열기는 그림 1과 같이 대규모 사이즈의 집열기가 남측 수직벽면에 벽면일체형으로 설치되었다. 시스템

구성은 그림 2와 같이 지열원 히트펌프 및 지중열교환기, 태양열 축열조, 히트펌프용 버퍼 탱크(이하 항온조), 급탕탱크, 팽창탱크, 펌프, 제어장치 등으로 구성된다. 시스템 주요 제원은 표1에 있는 바와 같다. 태양열 축열조는 집열열교환기 내장형으로 온수급탕용 열교환 코일(이하 온수열교환기)이 내부에 설치되어 있다. 항온조는 태양열이 부족할 때를 대비해 지열히트펌프에 의해 항상 일정온도 이상으로 축열되는 것으로, 그 내부에는 급탕탱크가 그림과 같이 내장되어 있다. 비냉방기간에는 태양열 축열조의 온도가 난방 가능한 온도 이

아져 이 온수가 항온조를 가열하게 되어 히트펌프의 작동시간이 줄어들게 되는 장점이 있다.

냉방기간에는 온수부하도 적고 또한 높은 온도를 필요로 하지 않기 때문에 온수는 태양열 축열조 내의 온수열교환기로부터 직접 공급되고, 항온조(Buffer tank)와 급탕조는 전부 냉열이 저장되어 여기로부터 필요시 냉방수가 공급된다.

한편 냉방기간에는 난방부하가 없기 때문에 태양열 축열조는 넓은 집열면적으로 인해 비교적 높은 온도를 유지하게 되고 또한 온수부하도 적기 때문에 급탕부하에 비해 상당히

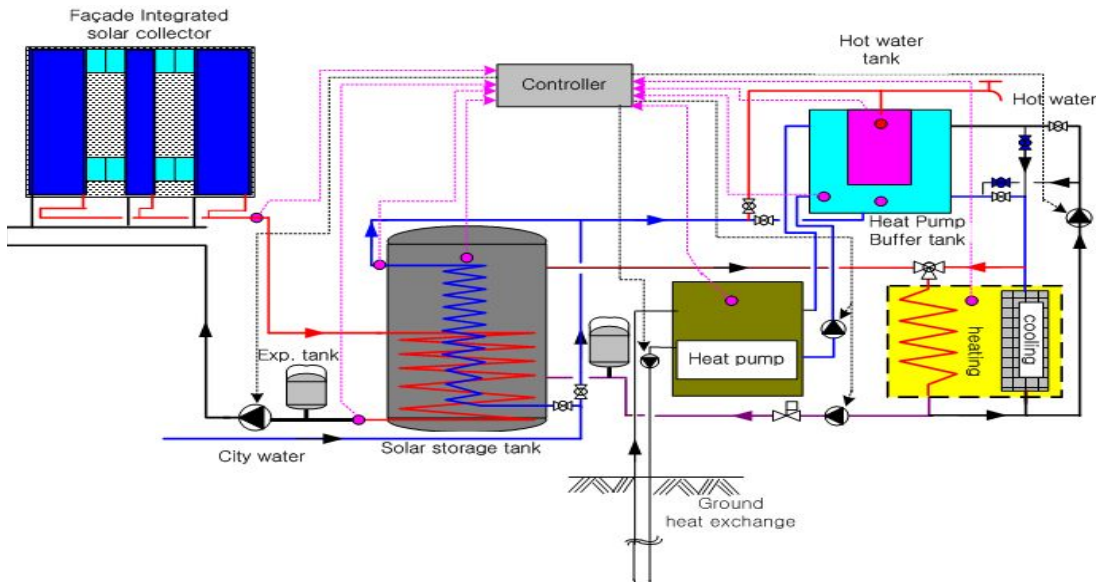


그림 2. 태양열/지열 설비시스템 개요

상이면 난방수는 태양열 축열조에서 공급되며, 난방이 불가능한 온도 이하로 저하되면 항온조에서 난방수가 공급된다. 온수는 시수가 태양열 축열조의 급탕열교환기를 통해서 예열된 것이 항온조의 급탕탱크의 하단부로 들어가고 상단부에 있는 온수가 공급된다. 따라서 태양열 축열조의 온도가 높을 경우에는 태양열 축열조의 온수열교환기를 통해서 항온조 내의 급탕탱크로 가는 온수의 온도도 높

많은 열량이 저장되어 있어 며칠 동안 일사량이 적어도 온수를 공급할 수 있게 된다.

한편 벽면일체형 태양열 집열기는 국내에서 최초로 적용되는 건물일체형 태양열집열기(이하 BiST : Building integrated Solar Thermal)로서 남측벽면에 설치되었으며, 2m*5m 크기 2장과 1m*5m 크기 1장으로(집열면적은 총 25m²) 이들이 병렬로 연결되어 있다. 이 벽면 일체형 집열기의 열성능은 태양열 집열기의

성능시험기준에 의거 측정된 결과 표2에 있는 바와 같이 나타났다.

평판형 집열기에 대한 국내 인증기준은 Ag 기준으로 $F_R(\tau\alpha)_n$ 은 0.68 이상, $F_R U_L$ 은 6.0W/m².K 이하로서 집열능력이 좋은 것으로 나타났다. 특히 현재까지 국내 인증제품 중에서 열손실계수인 $F_R U_L$ 값이 가장 작은 평판형 집열기는 -5.0W/m².K로, 이것보다도 작은 것으로 나타나서 고온 집열능력이 우수한 집열기로 판단된다. 이것은 집열기 크기가 기존 평판형 집열기인 2m²(1m x 2m)에 비해 크기 때문에 측면손실면적이 크게 줄어들었고 또한 집열기가 남측 벽면에 삽입된 상태이기 때문인 것으로 사료된다.

표 1. 시스템 주요제원

구분	제원	비고	
태양열 시스템	집열면적	25m ²	벽면일체형
	축열조 용량	1.2m ³	
	순환펌프동력	200W	
지열 시스템	용량	2.5RT	
	지중열교환기	150m	수직형
	항온조 용량	0.6m ³	내부에 급탕탱크 0.2m ³ 포함
	순환펌프동력	250W	
	급탕조 용량	0.2m ³	

표 2. 집열기 열성능 계수

$F_R(\tau\alpha)_n$		$F_R U_L(W/m^2.K)$	
Ag	Aa	Ag	Aa
0.787	0.848	-4.63	-4.99

2.3 시스템 제어

■ 태양열시스템 제어

태양열시스템 제어는 집열부 상단부 출구 온도($T_{c,o}$)와 축열조 하단부 출구온도($T_{sto,b}$)와의 차(ΔT_{sol})로 집열순환펌프의 ON-OFF를 제어하는 차온제 방식으로 구체적으로 다음과 같다.

- 펌프가 OFF 상태일 때
 $\Delta T_{sol} \geq 15^\circ\text{C}$ 이면, pump ON
 $\Delta T_{sol} < 15^\circ\text{C}$ 이면, 계속 pump OFF
- 펌프가 ON 상태일 때
 $\Delta T_{sol} < 3^\circ\text{C}$ 이면, pump OFF
 $\Delta T_{sol} \geq 3^\circ\text{C}$ 이면, 계속 pump ON

■ 지열히트펌프 제어

히트펌프 제어는 항온조(buffer tank) 상단부인 히트펌프와의 배관 연결부위 온도($T_{bt,up}$)와 하단부 배관 연결부위 온도($T_{bt,d}$)에 의해서 다음과 같이 제어된다.

a) 비냉방기간

- 히트펌프가 OFF 상태일 때
 $T_{bt,d} < 42^\circ\text{C}$ 이면 히트펌프 ON
- 히트펌프가 ON 상태일 때
 $T_{bt,up} > 50^\circ\text{C}$ 이면 히트펌프 OFF

b) 냉방기간

- 히트펌프가 OFF 상태일 때
 $T_{bt,d} > 12^\circ\text{C}$ 이면 히트펌프 ON
- 히트펌프가 ON 상태일 때
 $T_{bt,up} > 7^\circ\text{C}$ 이면 히트펌프 OFF

■ 지열히트펌프 제어

비냉방기간에 급탕공급은 항상 시수가 태양열 축열조의 열교환기를 거쳐 예열(가열)된 것이 항온조 내의 급탕조로 들어가 여기서 온수급탕이 공급된다. 이러한 개념의 시스템 구성방법은 전술한 것처럼 가능한한 태양열을 최대한 이용하고 전기에너지로 구동되는 지열히트펌프의 작동을 최소화시키기 위한 것이다. 한편 냉방기간에는 태양열축열조의 열교환기를 통해서 직접 공급된다.

3. 성능측정 및 결과 분석

3.1 측정방법 및 운전조건

ZeSH는 야간에는 사람이 거주하지 않고 주

간에만 업무용으로 사용하면서 시스템을 운영하였으며, 실내 설정온도는 22℃로 하였다. 온수는 매일 아침 7:00~7:30와 저녁 19:00~19:30에 총 250리터의 온수를 강제 배출하는 것으로 하였다. 측정 데이터는 1분 간격으로 PC에 저장되도록 하였다.

온도센서는 태양열 축열조에 등간격으로 4개를 설치하였으며, 각각의 열매체 순환회로에 전자식 질량유량계, 수평면 및 집열면에 각각 일사량계를 설치하였다. 집열기 및 탱크와 연결된 모든 배관의 입출구의 열매체 온도를 측정하였으며, 그 중 일부를 그림 3의 모니터링 시스템에 표시하였다.

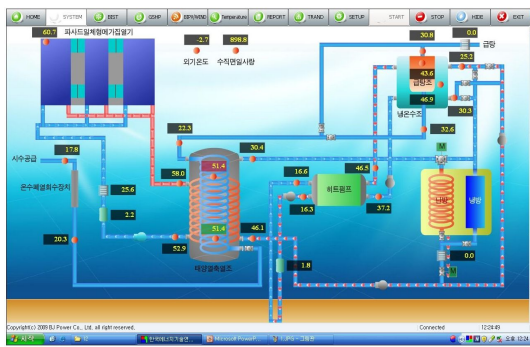


그림 3. 모니터링 시스템 화면

3.2. 시스템 작동특성

1) 태양열 시스템

태양열시스템의 작동특성은 집열면 일사량, 집열기 열성능, 열매체 순환유량, 축열조 온도, 제어조건 등 여러 가지 요소에 의해서 결정된다. 그림4는 일사량이 좋은 날(그림 5)의 시스템의 작동상태를 나타낸 것으로, 집열 순환펌프의 ON/OFF 작동과 집열기 입출구 열매체 온도를 나타낸 그림이다. 집열면 일사량 강도가 약한 아침 9:30분 이전과 15:00 이후 시간대에 집열순환펌프의 ON/OFF가 비교적 빈번한 것으로 나타났다. 특히 집열기 열매체 순환온도가 높은 오후 시간대에 더욱 많은 것으로 나타났다. 이것은 집열기 출구와

축열조 하단부 온도차인 ΔT_{sol} 에 의해 제어되는 차온제어에서 펌프가 OFF되는 온도차인 $\Delta T_{sol,OFF}$ 가 크거나 ON되는 온도차인 $\Delta T_{sol,ON}$ 이 작을 경우, 집열매체 순환유량이 많을 경우나 축열조의 하단부 온도와 외기온 차가 클 경우에 나타나는 현상[2] 집열기의 $F_R U_L$ 값이 클수록 심하게 나타난다. 이러한 인자들에 대한 적정 값은 시스템에 따라서 달라지기 때문에 일반적으로 시운전을 통해서 적당한 값으로 조정되어야 한다. 이 시스템의 경우에는 집열매체 순환유량을 줄이고 $\Delta T_{sol,OFF}$ 의 온도를 약간 낮게 설정할 경우 이러한 현상은 감소할 것으로 사료된다.

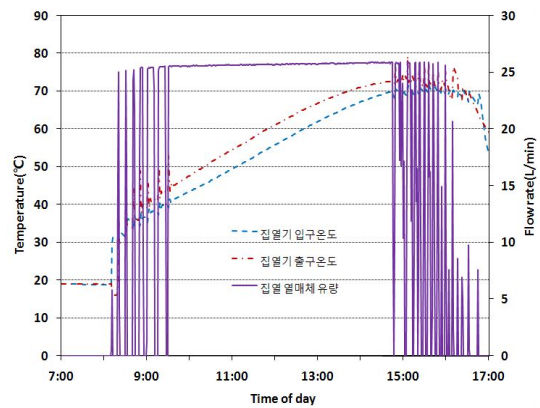


그림 4. 태양열시스템 ON-OFF 작동

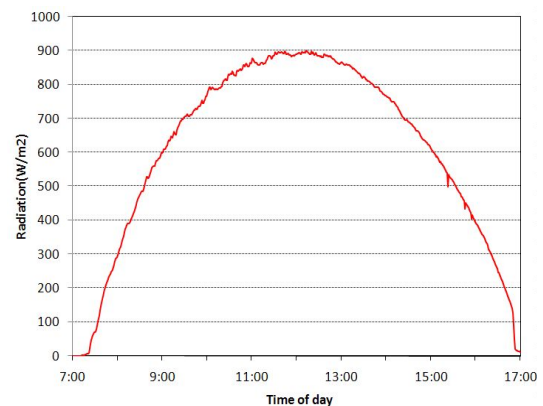


그림 5. 집열면 일사량 변화 (11월 21일)

그림 6은 이 날 난방 및 급탕공급과 유량, 축열조의 온도변화를 나타낸 것이다. 난방은 일일동안 5회 공급되었으며, 오전에 3번은 항온조로부터 공급되었으며, 오후에 2번은 태양열 축열조에 의해서 공급되었다. 태양열 축열조로부터 난방이 공급되면서 축열조 온도가 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다.

급탕은 시험조건에서 언급한 것과 같이 2번 공급되었으며, 태양열 축열조에서 시수가 예열되어 항온조로 들어갔음을 축열조의 온도 저하로부터 알 수 있다. 한편 축열조는 태양열이 작동되기 전에 약 37°C 이었던 것이 오후 3시 정도에 이미 70°C 정도까지 태양열에 의해서 되었음을 알 수 있다. 이러한 축열조의 높은 온도상승은 태양열시스템의 집열효율 저하를 가져오게 됨은 물론 그림 4에서 오후에 집열순환펌프의 ON/OFF 작동이 더욱 빈번하게 되는 요인 중에 하나이다. 따라서 열성능이 좋지 않은 집열기 일수록 태양열 축열조의 용량을 크게 해주는 것이 효과적이다.

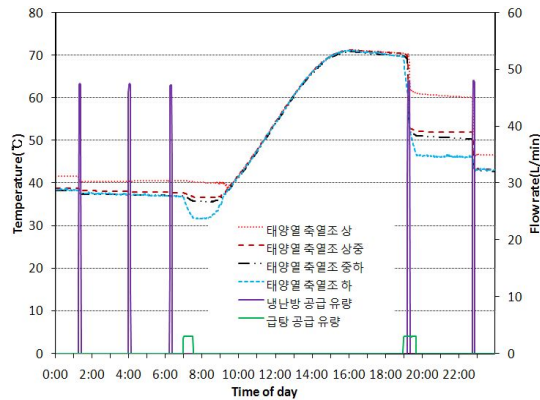


그림 6. 난방 및 급탕 공급과 축열조 온도변화

한편 일사량이 좋지 않았던 12월 15일의 일사량과 태양열시스템 작동상태를 각각 그림 7과 그림 8에 나타내었으며, 난방 및 급탕공급과 축열조 온도변화 등을 그림 9에 나타내었다. 그림 7과 같이 일사량이 좋지 않은 날에는 펌프의 잦은 ON, OFF 작동이 하루 중

일 나타남을 알 수 있다. 이날 난방은 그림 9에서 알 수 있는 바와 같이 총 11회 공급되었으며, 축열조 온도변화로부터 03시에 한번 태양열 축열조에서 공급되었음을 알 수 있다. 참고로 이날 일평균 집열효율은 34.16%이다.

전술한바와 같이 집열면 일사량이 낮은 시간대에 펌프의 잦은 ON/OFF 작동을 줄이기 위해서는 집열기 순환유량을 줄이거나 집열기 출구온도에 따라서 순환유량이 제어되는 변유량 제어방식이 적용된다면 이러한 현상은 크게 줄어들 수 있을 것으로 예상된다[6].

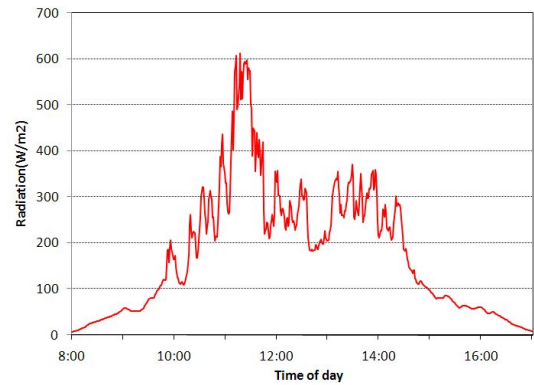


그림 7. 수직면(집열면) 일사량 (12월 15일)

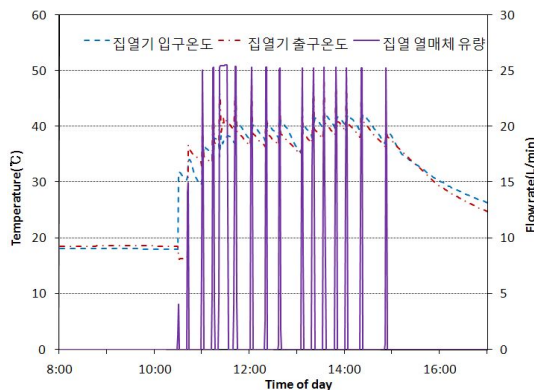


그림 8. 태양열시스템 작동 상태 (12월 15일)

이 시스템에서 급탕공급은 항온조 내의 급탕탱크에서 공급되지만 태양열을 최대한 이용할 수 있도록 시수가 태양열 축열조를 통해

서 예열되어 급탕탱크로 들어가기 때문에 급탕 공급시에도 태양열 축열조의 온도가 저하됨을 알 수 있다.

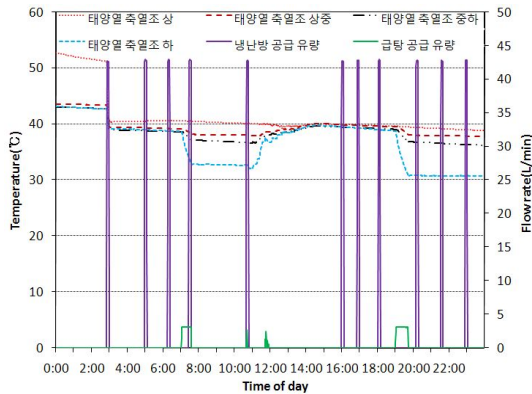


그림 9. 난방 및 급탕 공급과 축열조 온도변화(12월 15일)

지중열교환기 주위의 지중온도가 낮아져서 히트펌프의 작동 COP가 낮아지기 때문에 이러한 것도 지열히트펌프 적용시 고려되어야 할 중요한 요소 중에 하나이다.

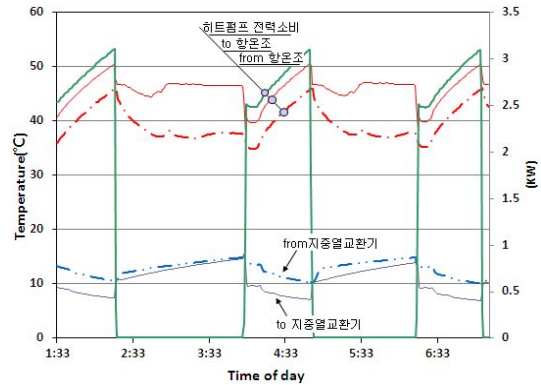


그림 10. 지열히트펌프 작동상태(11월 21일)

2) 지열히트펌프

태양열의 백업 역할을 하는 지열원식 히트펌프의 작동을 특정일(11월 21일)에 대해서 그림 10에 나타내었다. 이 그림은 밤 12시부터 7시까지의 작동상태를 나타낸 것으로 히트펌프의 작동은 3회 이루어졌으며, 1회 작동 지속시간은 약 40분 정도이다. 히트펌프의 COP는 그림 11과 같이 작동 초기에는 약 4.0 정도이나 작동시간이 경과하면서 점차적으로 COP가 저하되어 작동이 종료되기 직전에는 약 3.0 정도가 된다. COP는 일반적으로 증발온도 및 응축온도에 의해 결정되는데 이 시스템에서 응축온도는 축열조의 온도, 증발온도는 지중열교환기 주위의 온도가 영향을 미친다. 그림 11의 결과로부터 히트펌프 작동시간이 지속됨에 따라 향온조의 온도는 증가하는 반면 지중열교환기로부터 히트펌프로 들어오는 열매체 온도는 저하됨을 알 수 있다. 따라서 이들 두가지 모두가 히트펌프의 COP를 저하시키는 원인으로 작용하므로 향온조의 축열온도 설정과 탱크의 용적 관계간의 적절한 조정이 필요할 것으로 사료된다. 특히 히트펌프의 작동지속시간이 길어질 경우에도

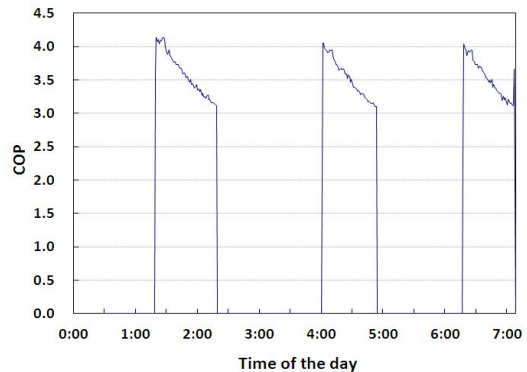


그림 11. 지열히트펌프 작동상태(11월 21일)

4. 결 론

본 연구에서는 KIER의 제로에너지 솔라하우스(ZeSH)에 적용된 Facade 일체형 태양열 집열장치를 갖는 태양열/지열 하이브리드 시스템의 작동특성에 대한 연구를 시험을 통해서 수행하였다. 그 결과를 종합하면 다음과 같다.

- (1) Facade 일체형 태양열 집열장치의 열성능은 배면손실 및 측면손실을 크게 줄일 수 있기 때문에 기존의 평판형 집열기의

- 집열성능을 향상시킬 수가 있다.
- (2) 동절기 태양열시스템의 잦은 ON-OFF 작동이 주로 집열면 일사량이 적은 시간대 특히 축열조 온도가 높은 오후시간대에 잦은 것으로 나타났다.
 - (3) 보일러 없이 2.5kW의 적은 용량의 지열 히트펌프를 보조열원으로 하는 태양열시스템으로 난방 및 급탕을 100% 공급할 수 있었다.
 - (4) 백업용으로 작동되는 지열원식 히트펌프에 의해 축열되는 항온조의 온도를 42~50°C로 유지할 경우 COP는 4.0~3.0으로 나타났다으며, 1회 작동 지속시간은 약 40분 정도로 나타났다. 축열온도를 높이면 높일수록 1회 작동지속시간은 길어지나 COP는 저하된다.

이들 결과는 본 시스템 최적화 설계 및 적용시 고려되어야 한다.

끝으로 태양열 지열하이브리드 시스템이 복잡함을 감안하여 본 시스템을 보급을 확대하기 위해서는 Factory Made 형 시스템 컴팩트화 연구가 필요할 것으로 본다.

후 기

본 연구는 산업기술연구회의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호 : KIER-A92416)

참 고 문 헌

1. 백남춘 외, 제로에너지 솔라하우스의 난방/급탕용 태양열 시스템의 설계 및 분석, vol.22, No.4, 2002. 12
2. 백남춘, 신우철, 차온제어기의 On-Off 온도 설정에 따른 태양열시스템 열성능, 한국태양학회논문집 Vol25.No2, 2005.
3. 「에너지 자립형 주택기술 개발」, 한국에너지기술연구원 3차년도 보고서, KIER-A92416, 2010. 1.
4. 「보급형 제로에너지하우스 개발」, 한국에너지기술연구원 3차년도 보고서, KIER-A32406, 2003, 12
5. 백남춘 외, 태양열 지역난방시스템 설계 및 분석, 한국태양학회학술대회 논문집 2005.