

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 25, No. 4, 2005

냉매를 작동유체로 사용하는 태양열 난방시스템에 관한 연구

김지영*, 고광수**, 박윤철***

*제주대학교 대학원 기계공학과(bigkjy@cheju.ac.kr), **제주대학교 대학원 기계공학과(gongvil@msn.com),

***제주대학교 기계에너지시스템공학부(ycpark@cheju.ac.kr)

A study on the solar assisted heating system with refrigerant as working fluid

Kim, Ji-Young*, Ko, Gawng-Soo**, Park, Youn-Cheol***

*Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Cheju National University(bigkjy@cheju.ac.kr),

**Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Cheju National University(gongvil@msn.com),

***Faculty of Mechanical, Energy and System Engineering, Cheju National University(ycpark@cheju.ac.kr)

Abstract

An experimental study was conducted to analyze performance of a heating system with variation of control logic of the system. The system uses a solar as heat source and composed with heat pump that uses R-22 as working fluid. The difference between the developed system and the commercially available heating system is working fluid. The solar assisted heating system which was widely distributed in the market uses water as a working fluid. It could be freezing in case of the temperature drops down under freezing point. The anti-freezing fluids such as methyl-alcohol or ethylene-glycol are mixed with the water to protect the freezing phenomena. However, the system developed in this study uses a refrigerant as a working fluid. It makes the system to run under zero degree temperature conditions.

Another difference of the developed system compare with commercial available one is auxiliary heating method. The developed system has removed an auxiliary electric heater that has been used in conventional solar assisted heating system. Instead of the auxiliary electric heater, an air source heat exchanger which generally used as an evaporator of a heat pump was adapted as a backup heating device of the developed system.

As results, an efficiency of the developed system is higher than a solar assisted heat pump with auxiliary electric heater. The merit of the developed system is on the performance increment when the system operates at a lower solar energy climate conditions. In case of the developed system operates at a normal condition, COP of the solar collector driven heat pump is higher than the air source heat exchanger driven heat pump's.

Keywords : 열펌프(heat pump), 태양열 집열기(solar collector), 공기 열원(air source heat)

1. 서 론

태양열은 다른 종류의 대체에너지보다 가장 쉽게 이용할 수 있는 에너지원 중의 하나이며, 우리나라는 일사량이 풍부하고 전국적으로 고른 분포를 보이고 있기 때문에 접근이 용이하다. 그러나 태양에너지는 에너지 밀도가 낮고 외기조건 및 시간에 따라서 시시각각 변화하는 에너지원이라는 단점이 있다. 이러한 태양에너지의 시간의존성을 극복하기 위한 기술은 집열기술과 축열기술로 볼 수 있다.

시중에 널리 보급되어 있는 태양열이용 시스템은 태양열 온수기로써, 작동유체로 물을 이용하여

축열을 하고 있고 보조열원으로 전기히터를 사용하고 있다. 태양열 온수기 시장은 1997년에 큰 폭으로 성장하다가 정부정책의 변경 및 제품신뢰성 등의 여러 가지 원인으로 인하여 현재에는 소비자들의 신뢰를 받지 못하고 있는 기술 중의 하나이다. 이러한 이유는 잦은 고장과 성능저하 들 수 있는데 태양열 온수기의 각 요소부품별로 고장 빈도수를 분석하면 가장 빈번하게 발생하는 고장 원인은 집열판의 파손 및 열매체의 누수이다. 특히 겨울철 동파에 의해 생기는 집열판의 파손 및 열매체 누수는 열매체에 석여 있던 부동액의 유출을 동반하게 된다.

초기의 태양열 온수기는 일본에서 도입되었으

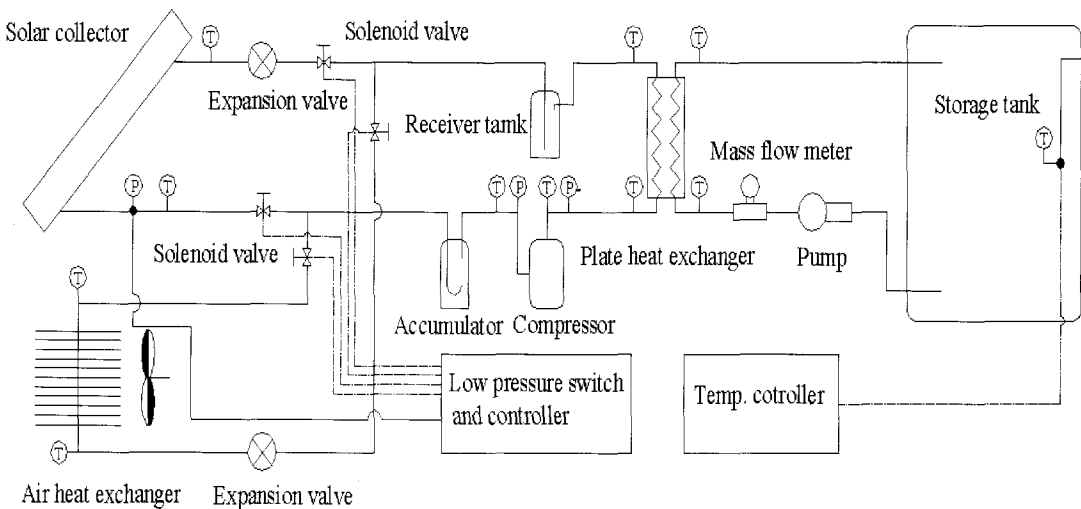


그림 1. 태양열 하이브리드 난방시스템의 개략도

며, 우리나라와 일본의 기후 차이를 고려하지 않았기 때문에 겨울철 동파문제가 다수 발생하였다. 현재까지도 동파방지기술은 집열매체와 축열매체를 구분하고, 외기에 노출된 집열기를 순환하는 집열매체에는 물에 부동액을 혼합하여 사용하는 방법이 적용되고 있다. 부동액을 사용할 경우에는 부동액의 수명, 불안정성 및 부족액의 보충방법 등에 문제점이 있을 수 있다. 또한 부동액의 주요 성분인 에틸렌글리콜의 유해 위험성은 CERCLA (0-3)지수로 보건의 3, 화재가 1이며, NFPA (0-4)지수로 보건의 1, 화재 1인 물질이다. 에틸렌글리콜은 호흡기관, 피부 및 눈에 자극을 야기시키고 신경, 신장 및 중추신경에 영향을 미칠 수 있다.

또한 집열매체와 축열매체가 분리될 경우에는 하나의 열매체(물)를 사용하는 시스템에 비하여 두 매체간의 열교환이 필요하며, 이 같은 열교환 과정에서 열손실이 동반된다. 빈번하게 발생하는 문제는 아니지만 시공과정에서 설비자에 의한 실수나 제작상 착오로 인하여 집열매체와 축열매체가 혼용되는 경우가 발생하여 소비자가 유독물질에 이 노출 될 수도 있다.

본 연구에서는 상기와 같은 태양열 온수기의 문제점을 해결함과 동시에 태양의 간헐적인 조사에 따라서 태양열이 부족할 경우에도 난방 혹은 급탕부하를 충족할 수 있는 하이브리드 난방시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 난방시스템은 집열기에서 획득한 태양열을 열펌프의 열원으로 이용하는 운전, 태양이 비추지 않을 경우에 공기열원 열펌프로 운전되는 두 가지 방식의 운전이 가능하도록 제작하였다.

이러한 하이브리드 난방시스템은 태양에너지가 부족할 경우에도 공기를 열원으로 사용하기 때문에 소비자는 태양의 조사 유무를 걱정할 필요가 없는 시스템이다. 또한 기존의 태양열 시스템과는 달리 작동유체를 물이 아닌 냉매를 사용함에 따라 동파에 대한 문제를 해결하고, 에어컨디셔너와 같

이 하나에 패키지화된 상품으로 개발하여 설치 및 사용이 편리한 태양열 난방시스템이다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치의 구성

본 연구에서 개발한 태양열 난방시스템은 크게 열펌프, 축열조, 집열기 및 공랭식 열교환기로 구성되어 있다. 그림 1은 난방시스템의 개략도이며, 일사량에 따라서 태양열원과 공기열원을 선택적으로 이용할 수 있도록 두개의 열원을 병렬로 연결하여 열원의 다양화를 통한 안정적인 에너지 공급이 가능하도록 하였다.

열펌프는 1/2 마력의 증기압축식 밀폐형 왕복동식 압축기를 사용하였고 응축기는 판형열교환기를 사용하여 축열조의 물과 열교환 할 수 있도록 설계하였다.

축열조는 PE(polyethylene)재질로 만들어진 40ℓ의 원형물통으로 두께 15mm인 고무발포 보온재를 사용하여 단열하였다.

태양열 집열기와 열펌프의 증발기의 역할을 하는 공랭식 열교환기는 다양한 외기상태의 변화에 대하여 효과적으로 제어하기 위해서 외부 균압형 온도 팽창밸브를 각각 하나씩 장착하였다. 태양열 집열기와 공랭식 열교환기는 각각의 배관경이 다르기 때문에 시스템에 충전되어야 하는 최적의 냉매량도 달라진다. 이러한 최적 냉매량을 확보하기 위하여 잉여의 냉매를 저장할 수 있는 냉매의 완충공간으로 수액기를 장착하였으며, 압축기의 액해머를 방지하기 위하여 액분리기를 부가적으로 설치하였다.

본 연구에서 이용한 태양열 집열기는 그림 2에 나타낸 바와 같은 이중진공관식 집열기이다. 이중진공관식 집열기는 평판형 집열기에 비하여 대류에 의한 열손실이 적어서 높은 효율을 나타낸다. 이중진공관 안에는 흡열체가 있고 U자관을 통해 작동유체가 순환하면서 열교환을 할 수 있는 구조

로 되어 있다. 이중진공관 후면에는 태양에너지를 효율적으로 집열하기 위한 반사경이 부착되어 있으며 집열기의 설치방향은 정남향으로 바닥과의 설치각도는 약 33°이다.

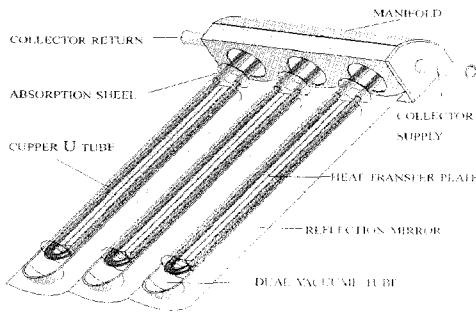


그림 2. U자관이 삽입된 이중진공관형 집열기

본 연구에서는 일반적인 태양열시스템과는 달리 집열기의 집열튜브(copper U tube)에 열펌프의 팽창밸브를 통과한 저온 저압의 냉매를 순환하게 함으로써 냉매가 직접 태양에너지와 열전달을 할 수 있도록 하였다. 본 연구에 사용된 집열튜브는 구경이 8mm로 허용압력이 10 kg/cm² 인 동관이며, 작동유체인 R22는 열펌프 펌프 사이클 시스템에서 주로 사용되는 냉매로써 열펌프의 저압측은 약 2-4 kg/cm²이며, 고압측은 14-18 kg/cm²에서 작동된다. R22는 응결점이 -160℃로서 난방시스템이 운전되는 통상의 온도범위에서는 동파가 발생하지 않으므로 이에 따른 문제를 해결할 수 있다.

2.2 실험장치의 제어와 계측장치

난방시스템의 전체적인 제어는 온도조절기를 사용하였으며, 제어용 온도조절기에 축열조의 목적온도를 설정한 후에 축열조의 온도를 계속적으로 측정하여 축열조의 온도가 설정온도 이상이 되기 전까지는 난방시스템이 자동적으로 외부의 기후조건에 따라 운전된다.

기후조건에 따른 자동운전은 태양열 집열기와

공랭식 열교환기를 저압스위치를 사용하여 태양열 집열기의 압력을 체크하고 압력이 설정한 압력이 하로 떨어지면 제어용 솔레노이드 밸브가 작동하여 냉매의 흐름을 태양열 집열기에서 공랭식 열교환기로 바뀌도록 하였다.

태양열사량이 양호하여 과도한 집열이 이루어져 태양열 집열기의 출구가 과열될 경우에는 집열기를 통과하는 냉매가 직접 압축기에 흡입되어 압축기의 소손을 가져올 수 있으므로 압축기의 안전을 위하여 압축기의 흡입압력을 제어하기 위한 조절기(evaporating pressure regulator, EPR)를 설치하였다.

실험을 위해서 요소기기의 입·출구에 T-type 열전대를 설치하여 온도를 측정하였고 축열조와 응축기에는 물용 유량계를 설치하여 순환하는 물의 유량을 자동으로 측정하고 기록하였다. 난방시스템의 효율을 계산하기 위해서 필요한 소비전력은 전력량 측정장치(power meter)를 사용하였으며, 모든 데이터는 데이터로거(data logger)를 통하여 수집한 후 컴퓨터에 저장하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 태양열 난방시스템의 운전형태는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 그림 3과 같이 태양열 집열기를 사용하는 방법과 두 번째는 그림 4와 같이 공랭식 열교환기를 사용하는 방법이다. 집열기와 열교환기의 두 집열부에 대한 선택

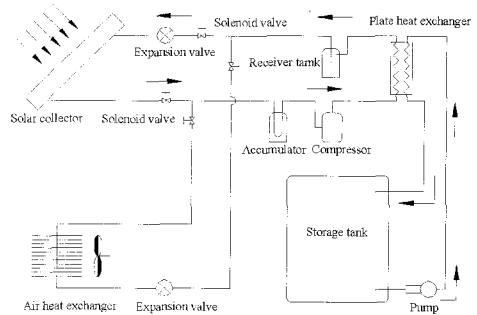


그림 3. 태양열 집열기를 이용한 운전모드

적 제어는 저압차단기를 사용하며, 우선적으로 태양열 집열기를 사용한다. 집열기내의 냉매의 압력이 설정압력 이하로 떨어질 경우에는 공랭식열교환기를 사용하고, 집열기의 압력이 설정압력 이상이 되면 태양열 집열기로 자동 복구하도록 시스템을 제어하였다. 이 경우에 잦은 반복운전을 방지하기 위하여 작동압력의 편차는 약 4 kg/cm²로 설정하였다.

표 1. 실험장치의 사양과 실험조건

solar collector	size(mm)	2080×1640×100
	area(m ²)	3.00
	slope(°)	33
storage tank	capacity(L)	400
low pressure control	Start pressure (kg/cm ²)	7
	bias(kg/cm ²)	4
temp. control	stop temp.(°C)	50
circulation flow rate (L/H)		830
heat exchanger type (water- refrigerant)		plate
compressor capacity(Hp)		1/2
expansion valve type		TEV
refrigerant		R22
air heat exchanger (air-refrigerant)	capacity (Hp)	1/2
	type	plate-fin & tube
fan consumption power (w)		6

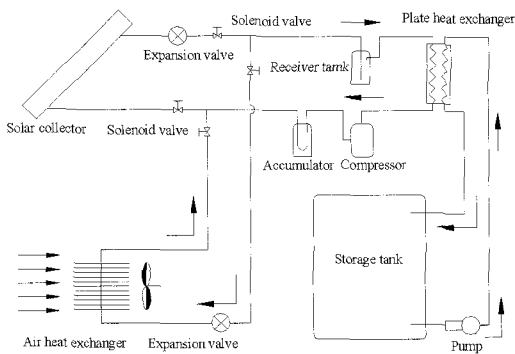


그림 4. 공랭식 열교환기를 이용한 운전모드

실험은 새벽 6시 30분부터 12시간동안 난방시스템을 가동하여 집열기에서 집열된 열을 축열조에 축열하도록 하였다. 축열조의 온도가 일정온도 이상이 되면 온도조절기를 사용하여 난방시스템이 정지하도록 하였고, 축열을 하는 동안에는 부하에 대한 영향을 배제하고 실험을 수행하였다. 자세한 실험장치 사양과 실험조건은 표 1과 같다.

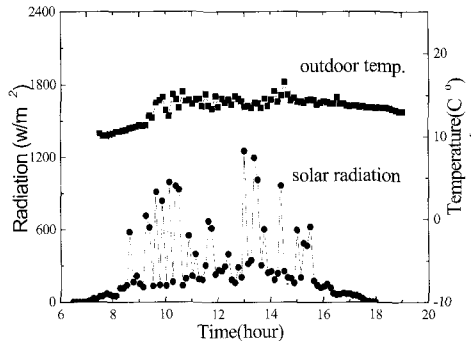


그림 5. 시간의 변화에 따른 일사량과 외기온도의 변화

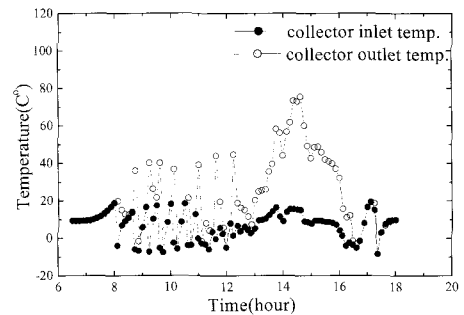


그림 6. 시간에 따른 축열조의 입출구 온도의 변화

3. 결과 및 고찰

3.1 기상자료 및 집열성능

그림 5는 일사량과 외기 온도의 변화를 시간에 따라 나타내 것으로 일사량이 변화와 외기온도는 거의 비례하여 변화하고 있는 것을 알 수 있다.

그림 6은 태양열 집열기의 입·출구 온도 변화를 나타낸 것으로써 오전에는 on-off운전을 반복

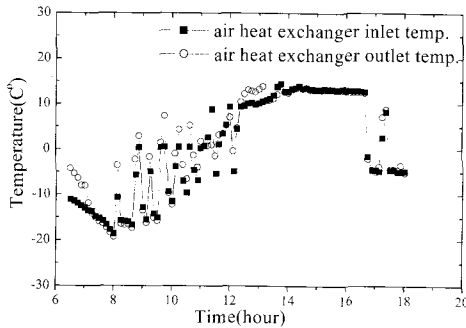


그림 7. 공랭식 열교환기의 입출구 온도의 변화

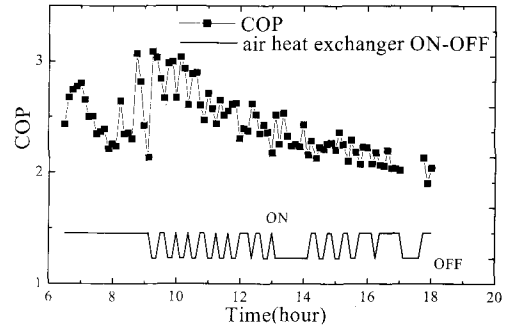


그림 9. 시간에 따른 시스템의 COP변화

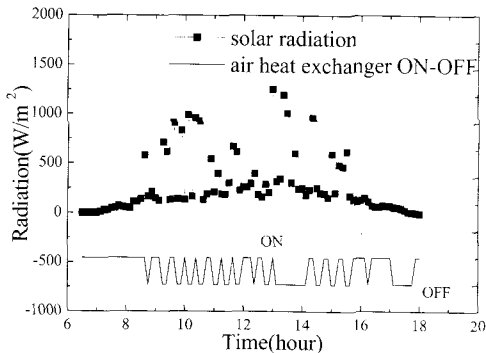


그림 8. 일사량의 변화에 따른 공랭식 열교환기의 운전상태

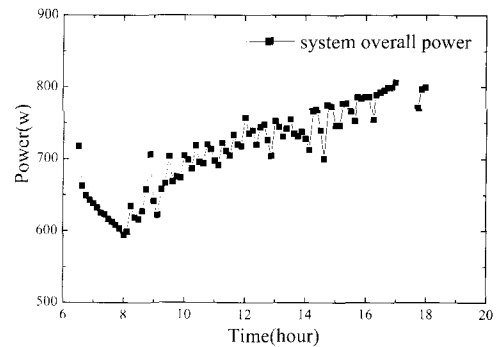


그림 10. 시간에 따른 소비전력의 변화

하지만 오후에 접어들어 일사량이 상승하면 on-off 운전의 반복횟수가 감소한다. 집열기 입구와 출구의 온도차는 일사량에 따라서 약간의 차이를 보이고 있으며, 일사량이 적을 경우에는 거의 차이가 없으나 오후에 접어들어 일사량이 증가하면 입출구 온도차가 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 입출구 온도차는 냉매의 상태가 2상유체 상태에서 과열 증기 상태로 변화하는 것이며, 오후 2시경의 일사량이 최대가 되는 경우에는 냉매의 과열도가 매우 크다는 것을 나타내고 있다. 이와 같은 과열도의 증가는 집열기에서의 열전달 효율이 떨어지는 결과를 초래한다. 즉, 태양에너지와 열교환하는 냉매의 상태가 증기의 상태이므로 단상열교환이 이루어지는 경우로써 오전의 일사량이 작을 경우의 이상상태의 열전달보다 열전달효율이 낮다. 이러한 결과로부터 태양열 집열기의 집열면적 뿐만 아니라 집

열기내의 냉매량을 결정하는 배관의 환경 또한 본 연구에서와 같이 냉매를 사용하는 집열기의 설계에서는 중요한 변수임을 알 수 있다.

그림 7은 공랭식 열교환기의 입·출구 온도를 나타내고 있다. 공랭식 열교환기는 집열기와는 달리 과열현상 적게 발생하는 것을 알 수 있다. 그림 8은 이때 일사량과 시스템의 동작상태를 나타내고 있다. 오전에는 공랭식 열교환기도 태양열 집열기와 같이 on-off 작동을 반복하고 있으나, 일사량이 풍부한 오후에는 태양열 집열기에서 충분한 흡열을 하므로 공랭식 열교환기는 거의 작동을 하지 않고 있다.

3.2 열펌프와 축열조의 성능

그림 9는 열펌프의 COP 변화를 시간에 따라 나타낸 것으로 시간이 지남에 따라 COP는 감소

하는 것을 알 수 있다. 이것은 부하를 배제함에 따라 축열조의 온도가 계속 상승하고 냉동 사이클의 고압이 계속 증가하여 압축기에 소비 전력이 증가했기 때문이다. 열펌프의 운전상태를 살펴보면 태양열 집열기가 운전될 때가 공랭식 열교환기가 운전될때 보다 높은 COP를 보이고 있다.

그림 10은 난방시스템의 전체소비전력을 나타낸 것으로 축열이 진행됨에 따라 압축기의 소비전력이 증가하고 축열조의 온도는 그림 11에 나타낸 바와 같이 증가한다. 그림 11의 축열조의 온도변화를 살펴보면 운전기간동안 태양일사량은 크게 변화하였으나 축열량은 공랭식 열교환기와 태양열 집열기를 번갈아 이용하여 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

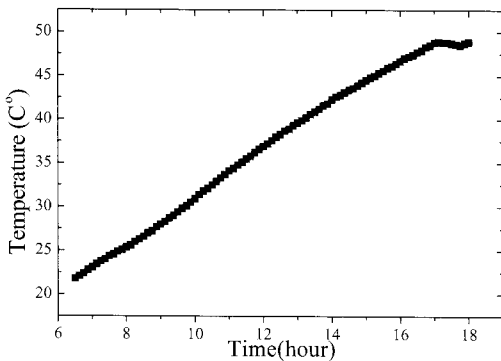


그림 11. 시간에 따른 축열탱크 내부의 온도

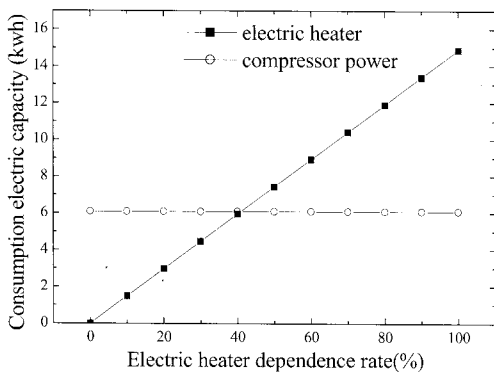


그림 12. 전열기의 부하 분담율에 따른 소비전력의 변화

3.3 경제성평가

본 연구에서 개발한 하이브리드 난방시스템은 하루 동안의 평균 일사량이 268W/m²이고 평균 외기온도가 13.6°C일 때 약 10.5시간 가동되며, 이때 총 생산열량은 14.2kWh이다. 실험기간동안 축열된 14.2kWh의 에너지 중에서 태양열 집열기를 통해서 획득한 에너지는 약 42.1%이고 나머지 57.9%는 공랭식 열교환기를 통하여 얻어졌다. 따라서 공랭식 열교환기의 이용율이 태양열 집열기의 이용율보다 약간 높다는 것을 알 수 있다.

그림 12는 실험결과를 바탕으로 전기히터를 보조열원으로 채택하고 있는 태양열 온수기와 본 연구에서 개발한 공랭식 열교환기 및 열펌프로 구성된 하이브리드 태양열 난방시스템의 경제성을 비교하였다. 그림에서 x축은 획득한 전체열량 중에서 전기히터가 감당한 부하이고, y축은 소비전력을 나타낸다. 경제성 평가에 있어서 열펌프의 압축기 소비전력은 600W로 일정하다고 가정하였다. 전기히터의 부하분담율이 0%이면 소비전력은 0W이고, 전기히터의 부하분담율이 100%이면 소비전력은 태양열 난방시스템의 획득열량인 14.2kWh이다. 경제성 평가결과 전기히터의 부하분담율이 38% 이상이 되면 본 연구를 통하여 개발한 태양열 난방시스템이 기존의 태양열 온수기보다 높은 경제성을 가질 수 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 일사량이 일정하지 못한 계절이나 일사량이 좋지 않은 지역에서는 경제성이 더욱 높아지는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 개발한 하이브리드 태양열 난방시스템의 성능은 집열기, 축열조, 열펌프 등의 각 요소기기의 설계상의 용량선정도 중요하지만 시스템의 운전제어가 시스템의 성능에 큰 영향을 미친다. 개발된 난방시스템은 태양열을 열펌프의 열원

으로 이용함으로써 신·재생 에너지를 난방에 이용하며, 기존에 보급되었던 태양열 온수기의 동파 문제를 해결하기 위하여 작동유체로 냉매를 적용한 제품이다. 본 연구를 통하여 보조열원으로 전기히터를 사용하는 태양열 온수기와 비교하여 전기히터의 부하 분담율이 약 40%이상이 되면 개발된 하이브리드 태양열 난방시스템이 보다 경제적인 운전이 가능함을 확인 하였다.

이러한 연구결과는 향후 개발될 태양열 보일러 등의 신·재생에너지를 이용한 난방기기의 개발에 활용될 수 있으며, 태양열 등의 신·재생에너지만을 이용한 난방장치는 건물의 난방부하를 전부 감당하지 못하기 때문에 필수적으로 부가적인 열원장치가 필요하며 이러한 보조열원의 용량선정이 난방시스템의 경제성에 중요한 역할을 함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. U-Cheul Shin and Nam-Choon Baek, Performance of Solar Thermal System by On-Off Differential Temperature of Differential Temperature Controller, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 25, No. 2, pp. 1-8, 2005.
2. Nam-Choon Baek and Jin-Kook Lee, Byoungha Song, Performance of Dual Source Heat Pump System with Solar with Solar-Assisted Evaporator, SAREK 2001 Summer Conference, pp. 1334-1338, 2001.