

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 17, No. 1, 1997

태양열 이용 비프레온계 $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ (R-134a)적용 열펌프시스템에 의한 학교교실 난방에 관한 연구(Ⅱ)

선경호 · 정현채 · 김기선*

경희대학교 부설 태양에너지연구소

* 대불대학교 화학 · 환경공학부

The performance of solar heat pump with non-freon refrigerant $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ (R-134a) for school classroom heating [II].

Kyung Ho Sun · Hyun Chai Jung · Ki Sun Kim*

Institute for Solar Energy, Kyung Hee University

* *Dept. of Chemical & Environmental Engineering, Daebul University*

요 약

본 연구는 R-12(CF_2Cl_2) 대체냉매인 R-134a($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$) 적용 태양열 열펌프시스템에 의하여 학교교실(20~25평형)이나 학교 화장실(13~17평형)의 난방에 관한 것으로서 대체냉매 적용할 때 시스템의 안정성과 성능에 관해 실험되어졌다. 학교교실 난방을 위한 방법 중에서 온풍난방을 택하여 실험하였는데 대체냉매 적용 실제와 모형시스템의 난방성능을 비교 해석하였다. 이 결과를 근거로 R-22(CHClF_2)와 그 대체냉매들에 대한 성능을 예측하였다. 서울지방 봄 · 가을철, 겨울철의 외기 온도에서 실내온도가 18~20℃, 23~25℃로 유지할 수 있도록 설계 · 제작되었다.

Abstract

The goal of this paper is to measure and compare the performance of solar heat pump for school classroom heating. To accomplish the goal, solar heat pump with aluminum roll bond type evaporator and indoor heat exchanger(condenser) was built and fully instrumented with thermocouples and pressure transducers etc. The test results showed that the COP and capacity of R-134a(CF₃CH₂F) were higher than those of R-12(CF₂Cl₂). The solar heat pump system for room heating was designed to show the best efficiency that the room temperature make 18~20°C and 23~25°C in Seoul during November, December, and January.

1. 서 론

현재 학교의 교실은 추운 날씨에 난방능력이 충분하지 못하여 학생들이 수업을 받는데 어려움이 많았다. 특히 석유와 가스 난로에 의한 교실 난방에 있어서 화재의 위험성과 가스에 의한 폭발 위험성이 산재되고 있는 실정이었다. 또 학교 공동 화장실은 대부분 수세식 방법을 채택하고 있지만 추운 겨울철 날씨에는 수세식을 위한 물저장수조가 얼어붙어 기능에 문제가 있었는데 이에 대한 해결이 시급하게 되었다. 그 해결책의 일환으로 본 경희대태양에너지연구소에서 1989년이래 지속적으로 연구개발되어온 학교교실난방을 위한 태양열이용 열펌프시스템이 제시되었다. 그러나 본 시스템의 작동유체로 사용되는 프레온 냉매는 환경문제와 관련이 되어있고 앞선 연구에서 제시된 온수순환난방은 효과적인 실내 난방에 여러 가지 측면에서 효과적이지 못하였다.

태양열 열펌프시스템의 작동유체로 프레온 냉매를 적용할 수 있으나 프레온 냉매는 시스템으로부터 누출된 후 지구상공으로 올라가 성층권에 이르러서는 오존과 산소가 가역적으로 존재하는 것을 파괴하여 오존의 생성량을 급격하게 감소시켜 태양광의 자외선을 직접

지구표면에 통과하게 한다. 이로 인하여 지구상에 존재하는 생물들에게 치명적인 피해를 입히게 된다는 것이다. 또 증기압축식 냉동사이클이 개발된 이후 안정된 화학적 성질과 뛰어난 물리적 성질로 인하여 냉매로 널리 사용되어온 CFC 및 HCFC계열의 냉매들이 오존층 파괴 및 온난화 현상의 주된 원인이 알려진 이후에 그 사용이 규제되고 있다¹⁾. 이러한 문제점을 극복할 수 있는 방법은 태양열 열펌프시스템에 적용되는 작동유체로서 프레온 대체냉매를 적용하여 성능이 향상될 수 있을 것이다. 대체냉매는 우수한 열역학적 성질, 안정한 물리화학적 성질, 독성, 가연성 등의 안정성 등 기존의 냉매 선정기준을 만족해야 한다. 이와 같은 선정기준에 대한 적합한 새로운 냉매가 결정되면 기존 규제대상 냉매의 대체가능성이 검토되어야 한다. 즉, 열역학적 사이클 측면의 성능, 증발 잠열, 포화압력 등이 기존의 냉매와 유사한 성질을 가져야 한다. 또한 증발잠열을 포화증기의 비체적으로 나눈 값인 냉매의 단위체적당 열용량(volumetric capacity for refrigerant: VCR)은 압축기의 재설계없이 기존 냉매를 대체할 수 있다는 면에서 오히려 성능계수보다 더 중요한 인자가 될 수도 있다.

한편 규제대상 냉매의 대체방법으로 혼합냉

매의 사용 또한 연구되고 있다. 혼합냉매를 사용하는 이점은 상변화할 때의 온도변화로 인해 열교환과정의 비가역성을 줄일 수 있기 때문에 성능향상을 기대할 수 있다는 것이다. 또한 냉매 대체의 관점에서 성분비를 조절함으로써 규제대상 냉매와 유사한 성능계수 또한 VCR을 갖게 할 수 있다는 면에서 그 사용이 적극 검토·연구되고 있다. 가정용 냉장고와 자동차용 냉방기의 주 냉매로 사용해왔던 R-12의 대체냉매는 사용량이 많고 파급효과가 크므로 가장 가능성이 높은 냉매로서 R-134a(CF_3CH_2F)가 이미 개발되어 실용화 단계에 있고 R-12를 R-134a로 교체하였을 때 시스템의 에너지 효율의 저감과 기계적 손상을 방지하기 위하여 시스템을 구성하는 각 부품의 R-134a에 대한 특성을 연구하여 새로운 설계기준을 제시하여야 한다. 또 에어컨디셔너 및 열펌프의 냉매로 사용되어온 HCFC계열의 R-22($CHClF_2$)의 대체냉매와 같이 2성분 혹은 3성분 혼합물이 이용되는 경우가 있다. 대체냉매는 지구환경을 파괴시키는 성분을 포함하고 있지 않아야 함은 물론 기존에 사용하던 냉매와 열역학적 물성치들이 유사하여야 한다. 열펌프의 성능에 영향을 주는 냉매의 주된 열역학적 물성치는 포화압력과 VCR(volumetric capacity for refrigerants)로서 이 두 가지 물성치들이 기존에 사용되었던 냉매와 유사한 대체냉매를 찾는 데 어려우면 2성분 또는 다성분 혼합물을 대체냉매로 사용하여야 한다⁽²⁾. 즉 혼합물을 사용하는 경우 기존에 사용하던 냉매의 포화압력과 유사한 포화압력을 얻기 위해서 기존의 냉매보다 포화압력이 높은 물질과 낮은 물질을 적당한 성분비로 혼합하여야 한다. 태양열 열펌프장치 주요 구성요소 중의 하나인 팽창장치로 널리 사용되는 모세관은 가늘고 긴 관으로서 압축

기의 토출유량과 평형을 이루도록 장치 내를 흐르는 냉매의 유량을 조절함은 물론 저온을 얻기 위하여 압력을 감소시키는 역할을 하므로 냉동장치의 용량에 적절한 모세관을 선택하는 일이 중요하다. 따라서 냉매들의 모세관 내에서의 유동특성이 필요하며, R-12 및 R-22 등의 기존의 냉매들에 관한 연구는 실험 및 수치모델 등이 많이 개발되어왔다⁽³⁾⁽⁴⁾.

본 경희대 태양에너지연구소에서 이미 발표한 연구⁽⁵⁾는 6평 규모의 실내 난방 함에 있어서 온수순환난방법을 채택하였던 반면에 본 연구는 13과 20평 규모의 실내 난방 함에 있어서 온풍난방법을 채택하여 실험을 수행한 것이다. 그리고 학교 교실은 물론 학교화장실의 난방을 위한 태양열 난방시스템의 성능실험에 관한 것으로서 최적 설계조건하에 제작 설치된 태양열 열펌프의 열적성능과 실내 난방 효과를 분석한다. 또 프레온 대체냉매 적용 태양열 난방시스템이 서울지방 봄·가을철, 겨울철의 외기 온도에서 실내온도 18~20°C, 23~25°C, 25~27°C의 범위에서 최대의 난방효과를 나타내도록 설계 제작되어졌던 다음과 같은 연구내용을 검토·분석하였다.

(1) 본 비프레온계 냉매 적용 태양열 난방시스템이 최적의 난방성능을 갖도록 여러 가지 결과를 검토·분석하여 실험을 행한다. 시스템에 적용되는 작동유체의 종류, 주입량에 따른 성능변화를 관찰하고 특히 알루미늄 롤본드형 태양열 집열기의 집열면적을 변화시키면서 설계·제작하여 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 모색한다.

(2) 본 연구는 기존의 연구에서 얻어진 데이터를 근거로 프레온 대체냉매를 적용하는 실험으로서 프레온냉매를 사용하는 태양열 열펌프장치와 동일한 성능을 얻기 위한 새로운 냉매의 적합한 냉매의 봉입량, 과열도 및 과

냉도, 팽창장치 등의 최적화를 확인한다.

2. 태양열 열펌프사이클의 분석

태양열 열펌프사이클은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 그려질 수 있는데 다음과 같은 내용으로 고찰할 수 있다. 사이클은 3가지 형태로 서 즉,

- 실선 [1-2-3-4] : 정상적인 열펌프사이클,
- 점선 [1-2-3'-4'] : 집열기의 과열에 의하여 확장된 열펌프사이클,
- 점선 [1-2-3''-4''] : 집열기내에서 2차 팽창되어 확장된 열펌프사이클로 나눌 수 있다.

향상된 태양열이용 열펌프사이클은 정상적인 열펌프사이클보다 훨씬 더 많은 열량을 태양열과 공기열(대기열), 바람 등에서 획득하여 압축기에 보내 새로운 사이클을 구성한다. 4점에 도달한 냉매 액체는 1차적으로 팽창밸브

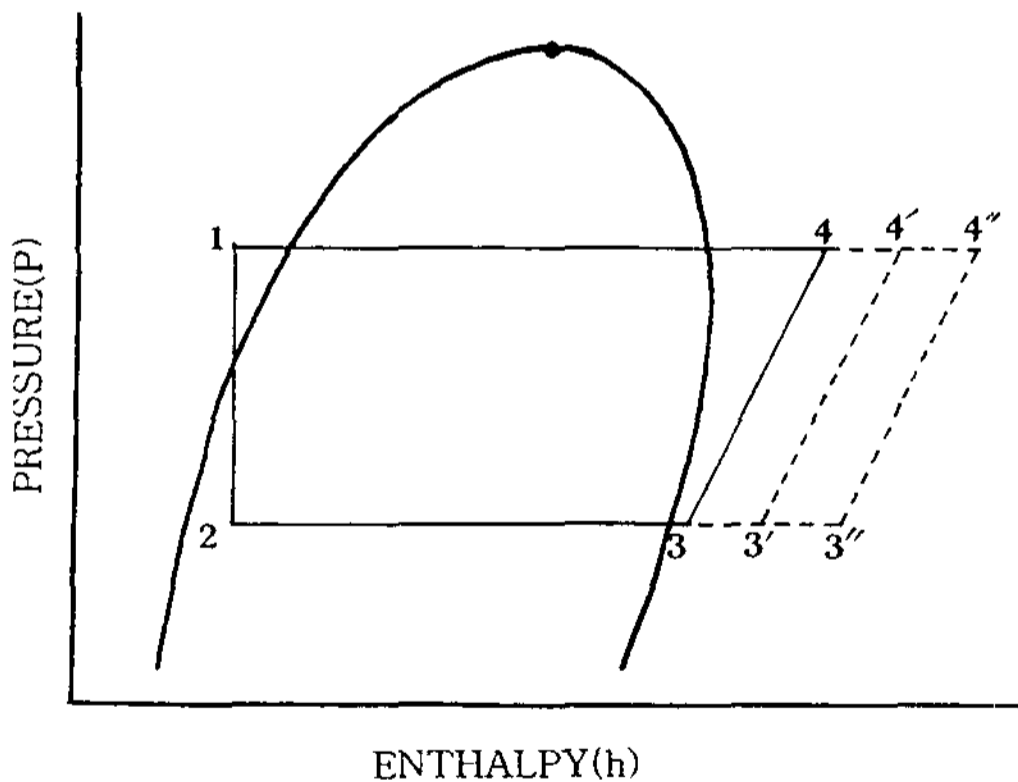


Fig. 1 P-h diagram for solar heat pump cycle

{solid line: standard cycle[1-2-3-4], dotted line(1): enhanced cycle[1-2-3'-4'] due to solar thermal heating effect, dotted line(2): [line 1-2-3''-4''] due to expansion twice}

에서 팽창되고 팽창된 냉매는 태양열 집열기 내의 1차 증발기에서 가열된다. 다시 여러 개의 모세관에 분산되어 2차적으로 팽창되어 2차 증발기에서 완전한 기화 및 태양열과 대기열, 바람을 외기에서 획득한 상태로 압축기 입구에 도달되는 새로운 열펌프사이클을 구성한다. 압축기에서 고온기체상태로 압축된 냉매는 실내열교환기에서 충분히 냉각되어 다시 1차 팽창부인 온도감응식 팽창밸브에 도달하여 열역학적으로 안정한 사이클을 그려줄 수 있다.

3. 비-프레온계 대체냉매의 연구 동향

염소원자가 없는 CF₃CH₂F는 ODP(오존 파괴지수) 0, GWP(지구온난화지수) 0.26이고 제3세대 냉매가 가까운 시일 내에 개발되지 않은 상황에서 CF₂Cl₂와 CHFCl₂의 대체냉매로서 인정받을 수 있다. 그러나 대체냉매는 냉매의 열역학적 성질과 transport성질 때문에 현재의 냉동시스템에 적용되어질 때 열교환기의 설계 변경을 요구되어진다. 냉매의 열역학적 성질을 얻기 위하여 상태방정식 같은 실험방정식, 증기압, 이상기체에 대한 일정 압력 하에 specific heat, 포화액체에 대한 specific volume 등이 필요하다. 즉 대체냉매를 기존의 태양열 시스템에 사용하는 경우 기존의 냉매를 사용하는 경우와 동일한 효율 및 냉동용량을 얻기 위해서는 냉동기 구성요소의 재설계가 필요하다⁽⁶⁾.

Table 1에서 보는 바와 같이 대체냉매 CF₃CH₂F를 선정한 이유⁽⁷⁾는 증발잠열이 높아 냉매로서의 열전달량이 크기 때문에 냉각 사이클에 적합하고 그 열전도율이 높아 열교환 성능 면에서 유리하다. 그러나 냉매의 응축온도범위내에서의 포화압이 CFC-12보다

Table 1 Thermophysical properties of CF₃CH₂F & CHClF₂

	R-22	R-134a
Molecular weight(kg /kmol)	86.48	102.03
Critical Temperature(K)	369.15	374.21
Critical Pressure(Mpa)	4.974	4.056
Critical Density(kg /m ³)	525	515
Normal Boilling Temperature(K)	232.4	247.0
Density @ 101.3kPa(kg /m ³)		
Saturated liquid	1409.1	1374.3
Saturated vapor	4.705	5.259
Dynamic viscosity(μ Pa · s)		
Saturated liquid	210.1(@273.2K)	278.5(@271.26K)
Saturated vapor	11.96(@273.6K)	10.94(@273.15K)

높아 압축기의 토출압을 필요이상 증가시킨다. 그러므로 태양열 열펌프에서는 필요이상의 토출압력에 대비하여 고압제어기를 설치할 필요가 있다.

한편 이에 반하여 혼합냉매의 경우, 기존의 연구에 의하면 R12에 대한 대체냉매로서 R134a, R22/R142b, R22/R152a/R124와 R22 대체냉매는 R32/R134a, R32/R125/R134a 등이 고려되고 있다. 특히 혼합냉매들은 열역학 물성치만을 고려하여 기존의 냉매를 사용하는 경우와 동일한 범위의 효율을 가질 수 있음을 보였고 성분비에 따라 COP가 13.7%정도 증가함을 예측하였다. 또한 이들은 대향류형식의 열교환기를 이용하면 효율상승의 이점을 가질 수 있다고 보고한 바 있다. R134a의 COP는 R12보다 상대적으로 더 낮지만 VCR은 거의 비슷하다. R22/R142b(50/50 mass fraction), R22/R152a(10/90), R22/R152a/R124(30/25/45)는 R12에 대한 대체물질로 우수하고 R32/R134a(30/70)가 COP와 VCR의 측

면에서 R22의 것에 적당하다.

R22의 대체냉매는 2성분 공비혼합냉매인 R32/125(25/75%), 3성분 비공비 혼합냉매인 R32/125/134a(23/25/52%), 2성분 비공비 혼합냉매인 R32/134a(25/75%)인데 압축기의 토출압력은 R32/R134a와 R32/125/134a는 R22에 비해 약간 감소하여서 R22를 냉매로 사용하는 온풍난방시스템에서는 거의 변화가 없는 것으로 알 수 있고, 그러나 R32/125는 매우 증가하여 압축기를 고압에 견딜 수 있도록 재설계변경이 요구된다. 단위체적 유량당 냉방능력은 R32/134a의 경우 R22에 비해 약간 감소하고 R32/125/134a는 약간 증가한다. 규제대상 냉매의 대체방법으로 혼합냉매의 사용 또한 연구되고 있다. 혼합냉매를 사용하는 이점은 상변화할 때의 온도변화로 인해 열교환과정의 비가역성을 줄일 수 있기 때문에 성능향상을 기대할 수 있다는 것이다^(8,9).

4. 실험

4.1 실험장치

비프레온계 대체냉매 적용 태양열 열펌프시스템의 난방성능 실험은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 장치를 설계·제작하였다. 실험은 크게 두 가지로 실시하였는데 실제적용시스템과 모델시스템을 비교하여 실험하였다. 실제적용시스템은 압축기부, 실내열교환부, 팽창부, 태양열 집열부의 4부분으로 구성된다. 소형 모델시스템도 역시 마찬가지로 구성된다. 여기서 태양열 집열부에는 1차 증발기, 모세관 팽창부, 2차 증발기로 나뉘어질 수 있다.

4.1.1 실제적용시스템 실험장치

실제적용시스템은 기존의 연구에서 수냉식 열교환기를 사용하여 온수순환난방한 것에 반하여 13평 규모의 실내에 직접 공간 가열하는 온풍난방이 가능하게 설계·제작되었다. 사용된 압축기의 소요동력은 1.5HP이었고 압축기에서 고온가압된 냉매는 오일분리기를 거쳐서 액분리기(liquid receiver)를 통과한다. 이어서 고온의 냉매는 2종류의 응축기인 실내열교환기의 시험부분에 도달하여 최적의 열교환기의 크기를 결정하도록 단속밸브로 냉매의 유로를 수시 변경 가능하도록 설치하였다. 이때 실내 열교환기 출구에는 냉매가 완전히 액화되어 팽창부로 유입되는지를 확인하고 냉매주입량이 최적인지를 관찰하기 위하여 수분지시기(sight glass)를 연결하였다. 팽창되기 전에 냉매유로내 불순물과 수분제거를 위하여 필터드라이어를 연결하였으며 내용물은 교체할 수 있게 하였다. 이때 필터드라이어의 내용물은 silica gel(덕산사제품)과 molecular sieve(일본의 약리화학공업사제품)를 압축기의 윤활유로 사용되는 oil은 mineral oil과 polyalkyle-

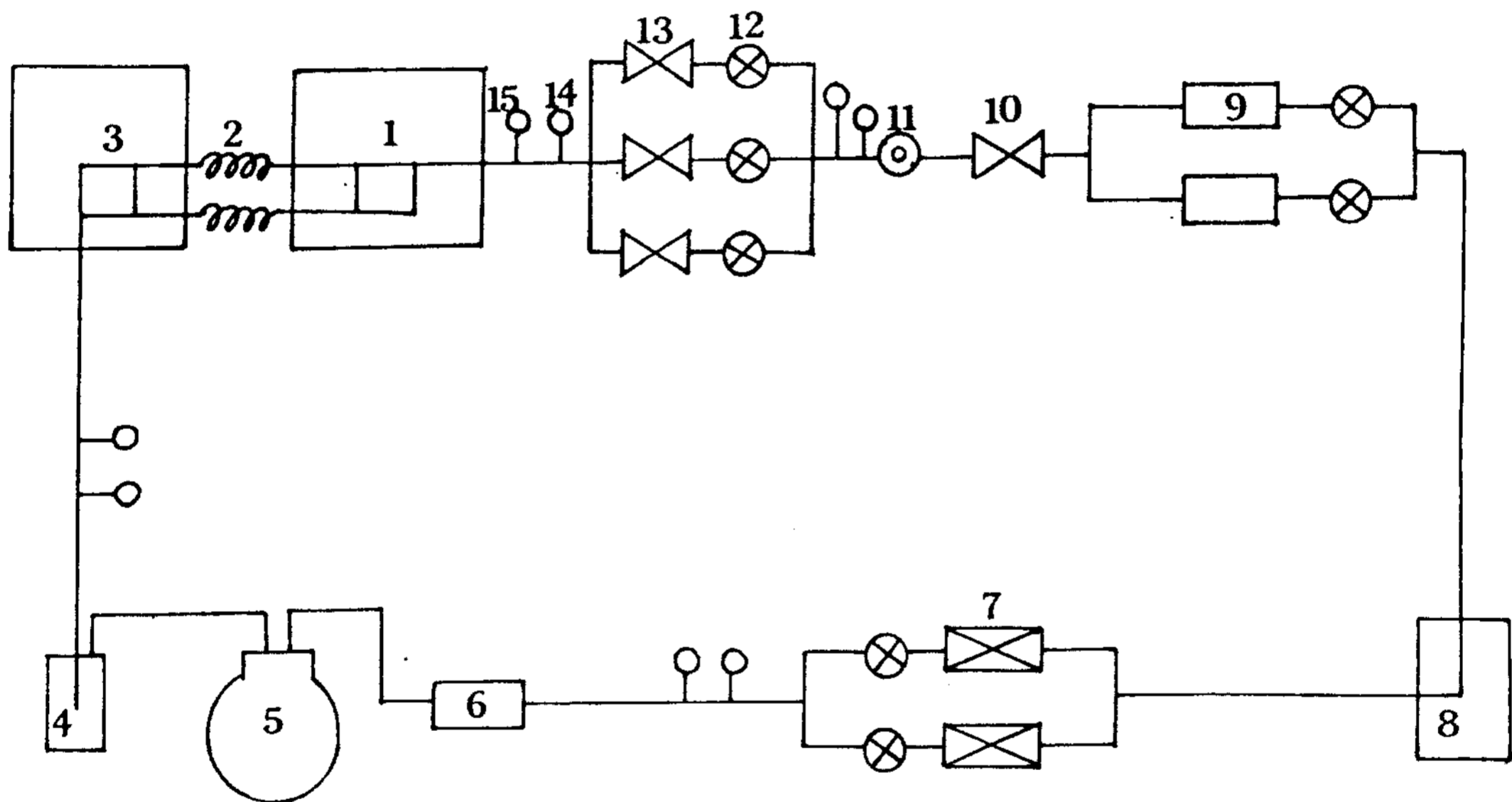
neglycol(일본의 Sun Oil사제품)을 사용하였다. 과냉된 액상의 냉매는 팽창밸브 시험부분에 도달하여 3종류 용량 변화에 따른 성능 실험을 할 수 있도록 설치하였다. 이때 온도감응 팽창밸브의 용량변화를 용이하게 하기 위하여 단속밸브를 연결하였다. 팽창밸브의 온도감지봉은 태양열 집열부의 출구 동관외부에 부착하였다. 부착된 온도감지봉은 수시로 변하는 태양열 집열부에서 가열된 냉매의 온도를 감지하여 팽창밸브의 팽창정도를 결정하도록 고안되었다. 실제적용시스템과 모형시스템의 태양열 집열부는 1차 증발기, 병렬 연결된 모세관부와, 2차 증발기부의 3가지 부분으로 구성되는데 1차 증발기는 팽창된 저온 냉매가 기화되기 시작하여 병렬 연결된 모세관에서 2차 팽창되고 최종적으로 태양열 집열기인 2차 증발기를 거쳐 대기열, 태양열 등을 집열할 수 있게 제작되었다. 실내는 충분히 단열하고 실내의 설정 온도를 18~20℃, 23~25℃, 25~27℃ 범위 내에서 태양열시스템의 난방성능을 실험하였다. 냉매의 고저압력스위치는 압축기의 토출압력이 필요이상 걸리는 것을 방지하고 저압측은 pump-down cycle에 의하여 최저 압력을 제한하고 압축기의 기동을 제어할 수 있고 고압제어기는 설정된 압력조건에서 실내열교환기의 팬모타의 기동을 제어할 수 있게 설치하였다. 온도감응팽창밸브의 용량조절에 의한 최대 집열조건과 이와 관련된 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기의 전열면적을 확인하였다.

4.1.2 모형시스템의 실험장치

봄·가을철 날씨에 해당하는 실외온도를 유지하기 위해 환경제어시험설비가 필요한데 냉각장치와 가열장치를 설치하였고 설정된 온도는 에어컨디셔너를 구동시킨 상태에서 적외

선 전구를 온도조절기(thermostat)와 교류차단기로 단속하여 조절하였다. 이 온도범위 조건하에 태양열 시스템의 성능실험이 행하여지고 얻어진 데이터를 분석하여 시스템의 최적화를 위해 장치를 재설계 변경하게 하였다. 태양열 시스템의 압축기는 실외 단열 챔버내부에 설치되고 실내열교환기인 응축기는 실내 단열챔버 내부에 위치하게 제작하였다. 실내의 설정온도는 약 27~29℃를 유지하였다. 태

양열 시스템의 주요변수는 팽창부인 모세관의 길이변화, 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기의 성능과 성적계수의 향상을 보기 위해 팬모타에 의하여 냉각되는 냉각기를 설치하여 태양열 집열기의 성능효과와 비교하고 소모전력량을 측정하여 성능향상과 함께 에너지 절약효과를 확인하였다. 사용된 압축기는 소비동력이 1/5HP이고 온도감응식 팽창밸브 대신 모세관을 사용하였다. 모세관의 길이의 변화



- | | |
|---|----------------------------------|
| 1. Evaporator(1) | 8. Liquid Receiver |
| 2. Capillary Tube | 9. Filter Drier |
| 3. Solar Panel | 10. Solenoid Valve |
| 4. Accumulator | 11. Sight Glass |
| 5. Compressor | 12. Stop Valve |
| 6. Oil Separator | 13. Thermostatic Expansion Valve |
| 7. Indoor Heat Exchanger
(condenser) | 14. Temperature Sensor |
| 15. Pressure Transducer | |

Fig. 2 A schematic diagram of solar heat pump apparatus for the school classroom heating.

에 따라 실내열교환기의 성능과 태양열 집열기의 집열성능이 결정된다. 봄·가을철 날씨를 유지할 수 있는 외부 투명 상자는 아크릴의 재질로 제작되었으며 크기는 100×80×100cm이고 내부의 것은 58×58×80cm이었다. 태양열 시스템의 압축기는 외부 상자내부에 위치하여 실제적용 시스템의 봄·가을철 날씨의 외기 온도와 비슷한 온도인 5~7℃를 유지한다. 실내 열교환기는 내부 상자 속에 설치되어 실내의 온도를 높여줄 수 있게 하였다. 태양열 집열기로는 알루미늄 롤 본드형을 사용하였는데 태양열 집열성능의 최적화를 위하여 실제적용시스템에서 사용되어지는 집열기를 병렬 연결시켜서 태양열 집열 성능을 분석할 수 있게 하였다. 팽창부인 모세관은 태양열 집열기의 입구에 연결하였는데 모세관의 길이와 내경의 크기에 따른 효과 실험을 위하여 단속밸브를 사용하였다.

4.3 실험방법

압축기는 밀폐형 로터리 압축기를 사용하였는데 대상 압축기의 소요동력은 1, 1½, 2HP이고 온도감응식 팽창밸브의 용량은 2.3ton(8.3kW), 3.0ton(10.5kW), 4.5ton(15.5kW)이었다. 태양열 난방 시스템의 성능의 최적화를 위한 실험에 근거하여 온도감응팽창밸브의 용량조절에 의한 최적 설계조건을 찾는다. 최대의 태양열 집열을 위해 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기의 전열면적을 기본단위인 1개 30×200cm의 개수를 변화시키면서 실험을 행하였다. 실험은 성능, 소비전력, 공기측 온도 및 풍량 등을 측정하였고 사이클의 특성을 분석하기 위해서 각 구성요소의 주요부분의 온도 및 압력을 측정하였다. 태양열 난방시스템의 특성을 분석하기 위해 T형 열전대를 압축기 출·입구, 실내열교환기 출·

입구, 1차 증발기 출·입구, 모세관 출·입구, 태양열집열기(2차 증발기) 출·입구, 팽창밸브 출·입구 등 총 12개 부착하였고 압력트랜스듀서는 증발기 및 응축기 입출구, 압축기 흡입부 및 팽창밸브 입구 등 총 6개를 설치하였으며, 측정자료는 Konics사의 Hybrid Recorder를 이용하여 수집하였다. 실험 대상 냉매는 R-22를 기준 냉매로 하고 R-134a를 선정하였고 압축기의 오일은 PAG오일을 사용하였다. 알루미늄 롤 본드형 태양열집열기의 기본단위를 30×200cm로 하고 전열면적을 태양열 난방시스템의 안정성을 도모하면서 난방 성능을 측정하였다. 먼저 모델시스템에서는 R-12, R-22와 R-134a에 대해 냉매 량을 변경시키면서 태양열집열기의 전열면적을 확인하는 실험을 하였다. 앞의 실험에서 태양열 집열기의 전열면적에 따른 성능변화를 확인한 후 냉매 량에 따른 실내열교환기의 전열면적에 따른 성능변화를 측정할 때 팽창부로 태양열집열기 출구 과열도에 따라 실험을 하였다. 이 실험 결과에 의해 결정된 최적 실내열교환기 전열면적으로 각 냉매종류에 대해서 냉매 량을 변경시키면서 여기서는 팽창밸브로 최적 과열도가 나오는 상태를 찾아 결과를 얻었다.

5. 결과 및 고찰

5.1 외기 상황에 따른 시스템의 태양열 의존도 변화

Fig. 3에서 보는바와 같이 태양열난방시스템에 있어서 온도감응식 팽창밸브(Thermostatic expansion valve)의 용량에 따라 각 부위별 온도가 차이가 나는데 이는 냉매량의 차이에 따른 변화로 볼 수 있다. 압축기의 소요동력이 1½HP인 경우 최적의 팽창밸브의 용량은 2.3냉동톤이었고, 이 때의 팽창밸브의

입구온도와 태양열 집열기의 출구 온도의 차, 즉 태양열 집열도는 봄·가을철 날씨에서 대체로 13℃내외였지만 외기 온도가 낮아질수록 그 차이의 폭은 줄어들었다. 그러나 태양열 집열기의 출구 온도는 대체로 외기 온도보다 약간 높게 나타났다. 팽창밸브 용량이 1.5 냉동톤인 경우의 실험에서 보다 2.3 냉동톤의 경우가 더 전력 소모량이 많았는데 이는 냉매 유량이 증가한 것에 기인한 것이다.

팽창밸브의 용량에 따른 각 부위별 온도 및 압력변화, 열량의 변화, 태양열 집열도를 고려하여 얻은 데이터를 비교 분석한 결과, 온풍 난방시스템 실험에 있어서 6~8평형 규모(13~17평형, 20~25평형)의 실내의 태양열 열펌프시스템에 사용되는 압축기의 소요동력

은 1.5HP(2.5HP, 3.5HP), 이때 사용되는 온도감응팽창밸브의 용량은 2.3ton(8.0kW), 3.0ton(10.5kW), 4.5ton(15.5kW), 사용된 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기는 면적이 120×200cm ×2(240 ×200cm ×2, 360 ×200cm×2)이었다. 여기서 태양열집열기는 온도감응팽창밸브와 실내열교환기(응축기)의 용량에 따라 최적의 집열면적을 결정한 것이다.

모델시스템에서 사용된 모세관은 길이 91cm와 내경 2.2인치 가 가장 최적임을 확인하였고, 최적 태양열 집열기의 크기는 30×200cm이었음을 확인하였다. 모델 태양열 난방시스템의 여러 가지 데이터 중 대표적인 것을 Table 2에 나타내었다.

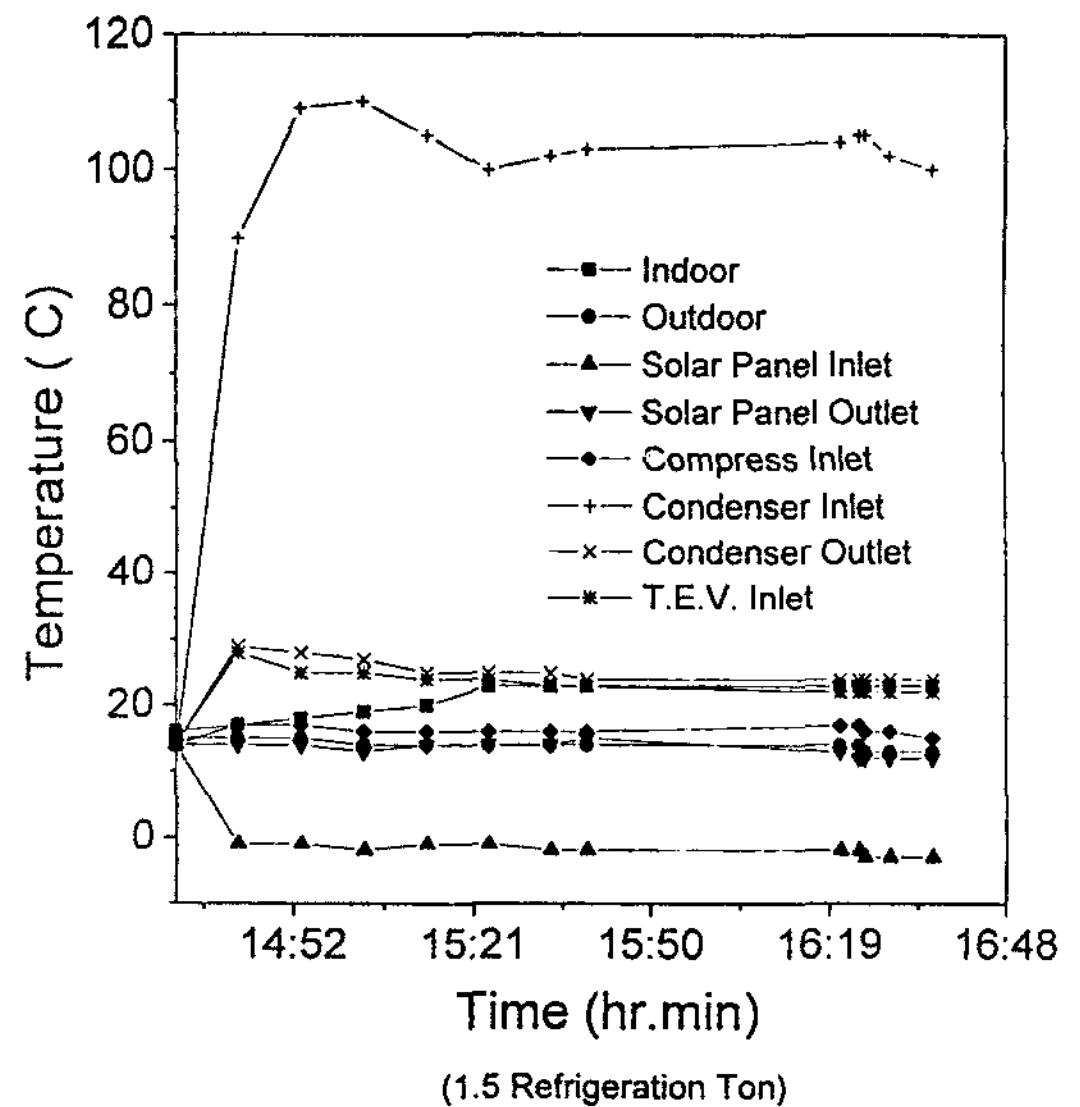
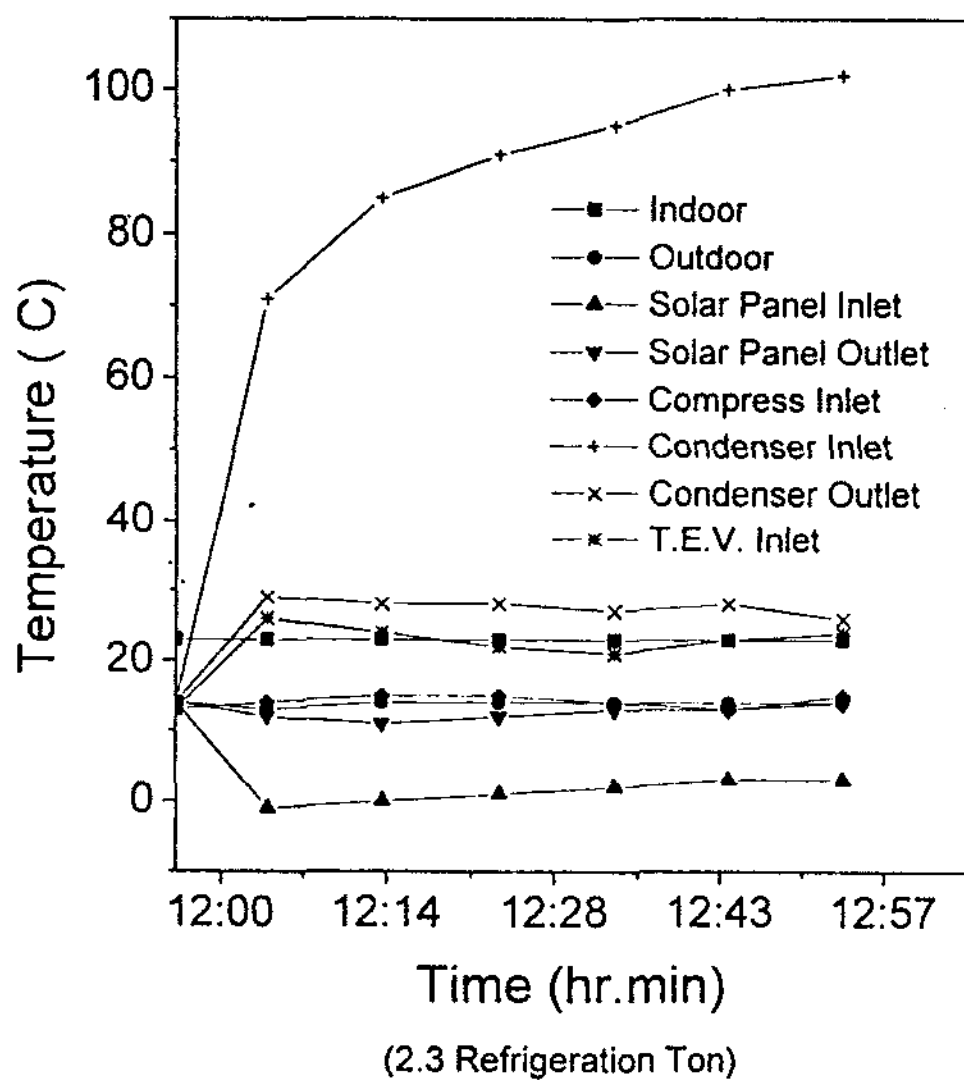


Fig. 3a Variations of temperature according to time in different thermostatic expansion valve capacity

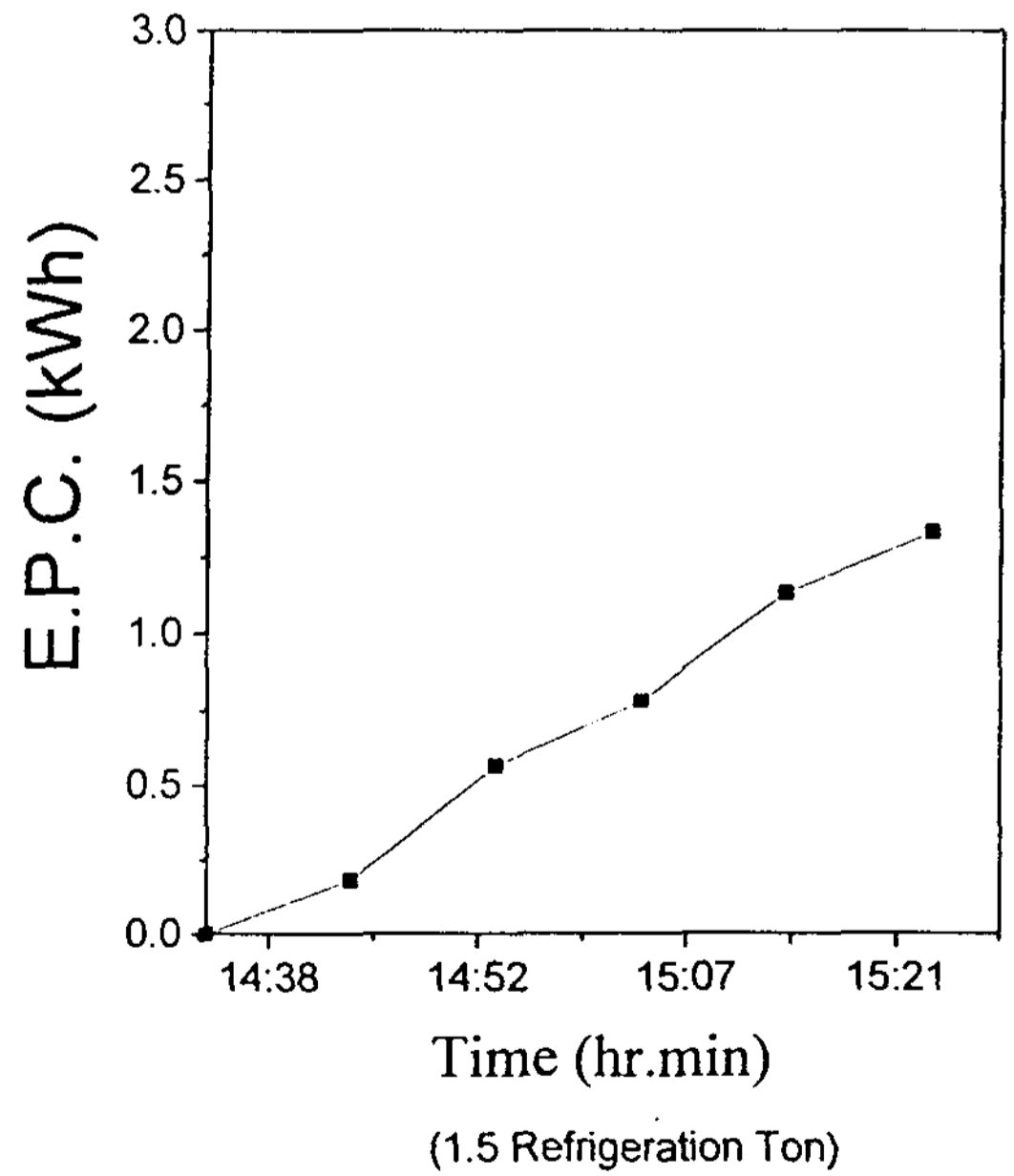
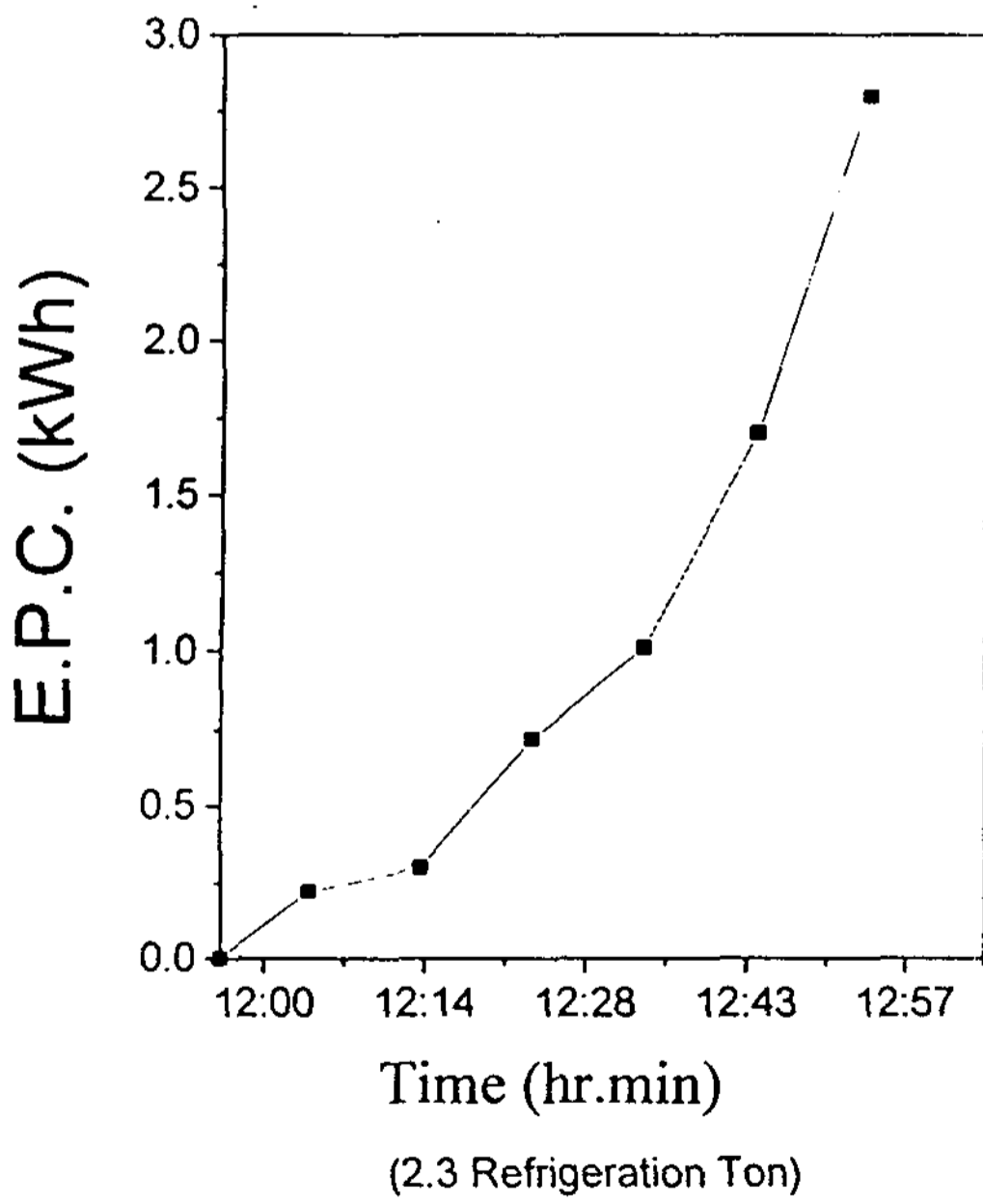
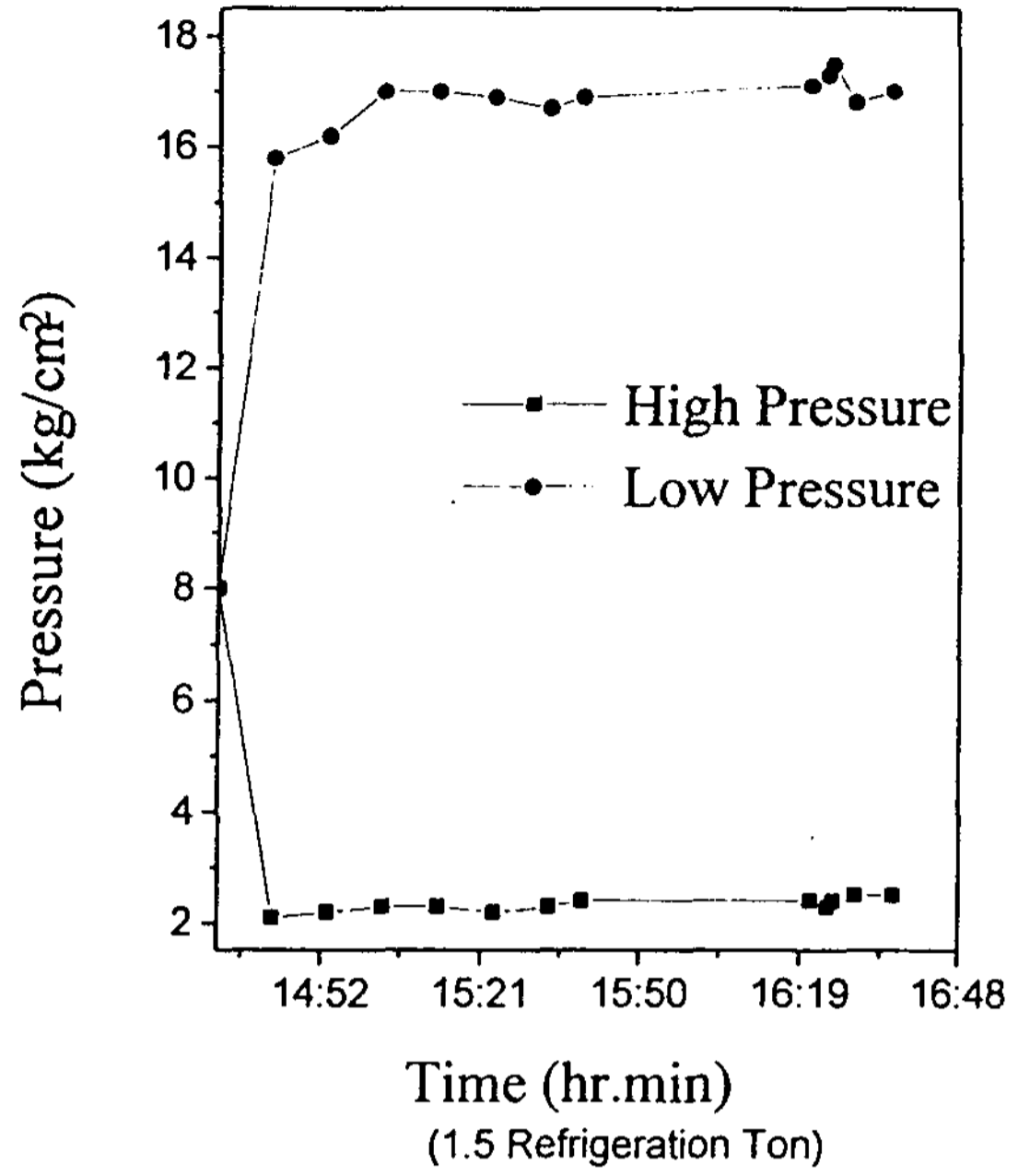
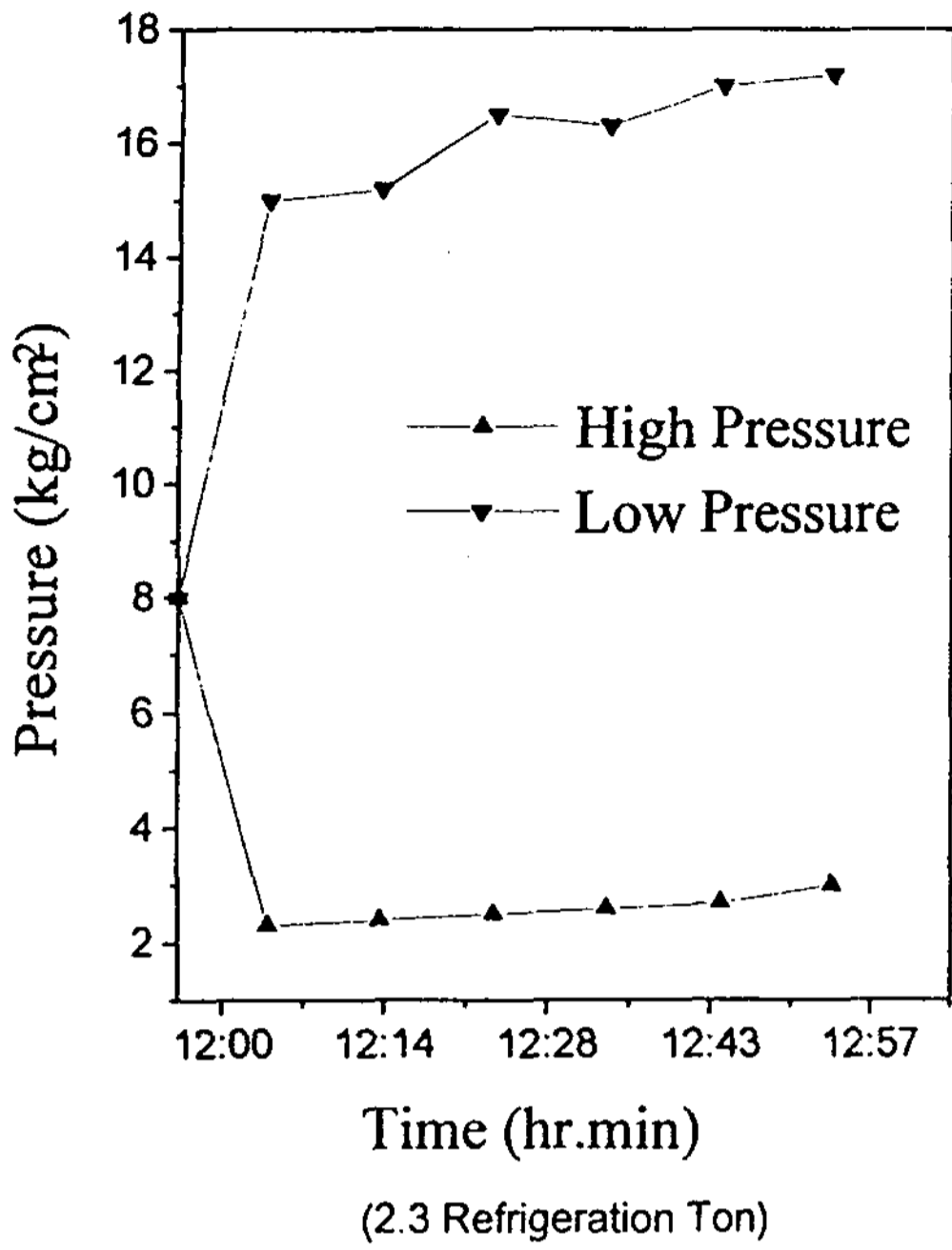


Fig. 3b Variations of high and low pressure, electric power consumption according to time in different thermostatic expansion valve capacity

Table 2 The data of 6 points temperature, pressure(high & low), electric current and electric power consumption according to measured time in model system for room heating.

Time (min)	Temperature(°C)						Pressure (kgf/cm ²)		E.P.C. (kWh)
	Indoor	Out door	Condenser Inlet	Capillary Inlet	Solar Panel		High	Low	
					Outlet	Inlet			
0	17.5	10.1	19.6	24.2	28.4	27.2	7	7	0
2.5	26.8	7.1	44.2	24.5	27.9	11.3	13.0	1.2	
3.5	27.9	6.8	46.4	24.9	27.3	7.3	12.5	1.1	
4.5	28.2	6.7	47.5	25.1	26.9	5.6	12.0	1.1	0.05

Outdoor room temperature: 28±1°C,

Indoor room temperature: 7±1°C

Capillary Tube length: 91cm

5.2 시스템의 성능에 영향을 미치는 인자

압축기의 성능비교에서 CF₃CH₂F가 냉각성능 및 동력 소비면에서 CF₂Cl₂에 비해 동등 이상의 결과를 보여줌을 알 수 있었다. CF₃CH₂F는 증발잠열이 더 크므로 CF₂Cl₂와 동일한 냉각성능을 얻기 위해서는 CF₃CH₂F의 유량을 주어진 결과보다 약 20% 낮게 설정하여야 한다. 만약 CF₂Cl₂와 CF₃CH₂F의 증발기 흡열량(heat absorption capacity)과 응축기 방열량(heat radiation capacity)이 동일하면 시스템의 밸런스를 유지하기 위해서는 CF₃CH₂F의 압축기의 압축율이 CF₂Cl₂보다 약 10% 정도 상승되어야 한다. 그러나 양쪽 모두의 사이클에서 응축기의 냉각조건이 동일하므로 CF₃CH₂F사이클의 응축온도가 CF₂Cl₂의 사이클의 수준 정도까지 상승한다. CF₃CH₂F사이클은 응축기의 방열량이 CF₂Cl₂와 동일해질 때 균형을 유지할 수 있음을 추측할 수 있다. CF₃CH₂F의 압력이 그 자체의 물질적 특성 때문에 더 높아지며 압축율도 커진다. 이것은 결국 냉각력 저

하 및 동력소비의 증가로 인한 성능저하를 초래한다.

응축기의 성능에서는 CF₂Cl₂ 적용 시스템에 CF₃CH₂F를 사용하여 CF₂Cl₂와 유사한 성능을 얻기 위해서는 응축기의 응축성능을 약 10% 정도 증가시켜야 함을 알 수 있었다. 또한 안전한 작동을 위해서는 응축기의 용량은 약 20% 정도 증가시켜야 한다.

CF₂Cl₂ 시스템에서는 광유(mineral oil)가 압축기의 윤활에 사용되고 있는데 CF₃CH₂F와는 호환되지 않고 폴리알킬렌글리콜(PAG)오일이 CF₃CH₂F 시스템의 압축기의 윤활유로서 사용된다. 그 이유는 PAG오일이 우수한 유동성을 갖고 있고 광유와 CF₂Cl₂가 혼합되었을 때보다도 PAG와 CF₃CH₂F가 혼합되었을 때 더 안정되기 때문이다.

필터드라이속에 내장된 건조제는 CF₂Cl₂ 시스템에 복합 지오라이트가 사용되며 이것은 체구(sieve pore)가 작은 분자만을 흡수한 후 재질은 냉매와 윤활유에서 수분을 제거한다. 실리카겔은 직경이 0.42nm인 체구를 갖고 있다. CF₃CH₂F분자는 CF₂Cl₂분자보다 직경이 작기 때문에 종래의 건조제로 흡수되어 분해될 수 있다. 이러한 단점을 제거하기 위하여 새로운

건조제는 molecular sieve 사용하였는데 CF₃CH₂F와 CF₂Cl₂ 둘 다 분해시키지는 않지만 silica gel은 CF₃CH₂F를 분해시킨다. CF₃CH₂F와 PAG 윤활유는 CF₂Cl₂와 광유보다 물을 더 많이 흡수하는 경향이 있으므로 고흡습성을 해결하기 위해 CF₃CH₂F시스템의 건조량을 증가시켜야 한다.

실내공기온도의 증가는 성적계수 및 냉동능력을 감소시키므로 동시에 압축기의 소요동력을 증가시켜 결국 시스템의 성능을 저하시킨다. 냉매질량유량은 실내공기온도의 증가에 따라 감소하고 R-134a의 질량유량은 R-12보다 적어 실제 냉동시스템에서는 더 많은 냉매 봉입량을 필요로 함을 알 수 있었다. R-134a 냉매가 R-12에 비해 냉동시스템의 성능은 조금 크게 나타내지만 실내공기온도가 낮아질수록 그 차이는 더 크다. 모든 냉매의 성적계수는 응축기의 주위의 공기온도가 증가함에 따라 거의 선형적으로 감소한다. 응축기의 주위 공기온도가 증가하게 되면 공기의 냉매사이의 평균온도 차이가 감소하게 되고 이로 인해 냉매에서 공기로 방출되는 열량 및 엔탈피의 변화가 보다 작아지므로 높은 엔탈피와 낮은 과냉도의 액체 상태 냉매가 팽창밸브로 유입되기 때문이다. 팽창밸브는 과냉도가 낮을수록 팽창기구를 지나는 냉매 질량 유량은 감소, 응축압력 및 증발압력이 증가한다. 실내의 공기온도가 증가함에 따라 응축압력이 증가, 압축기의 토출압력이 증가, 압축기를 지나는 냉매질량유량은 감소한다. 실내 공기온도가 커질수록 냉동능력이 감소하는데 응축기에서 전달열량의 감소, 응축압력이 커져 냉매질량 유량 및 과냉도를 감소, 증발기내의 엔탈피의 변화가 줄어든다. 실내공기온도의 증가로 응축온도가 증가 더 많은 압축기 동력이 필요하다. 압축기의 소요동력이 실내 공기온도가 증가함에 따라 증가하는데

CF₃CH₂F 냉매가 약간 크게 나타나는데 이는 동일 온도에서의 비체적의 차이 때문이다.

5.3 태양열 열펌프시스템의 난방성능 분석

위와 같은 실험결과를 바탕으로 13~17평형의 학교화장실과 20~25평형의 학교 교실의 난방 및 급탕의 가능성을 예상하고 성능을 계산한다. 데이터의 분석은 앞으로 행하여질 실험에서 비교 데이터로서 사용될 것이지만 실제 적용시는 상당한 오차가 있을 것이라고 예상된다. 그 이유는 실내의 여러 가지 조건들(실내에 거주하는 사람의 수, 실내에 설치된 가구들, 실내에 설치된 창문들, 환기통, 빈번한 출입문의 개폐 등)에 따라서 난방성능이 상당히 차이가 날 것으로 예상된다. 태양열 열펌프시스템에 의한 실내의 난방의 실용화는 많은 현장 실험이 이루어진 후에 이루어질 것으로 기대된다. 본 연구는 비프레온계 R-134a 냉매 적용 태양열난방시스템의 현지적용실험으로서 앞으로 시스템의 성능향상을 위한 그 외 비프레온계 혼합냉매 실험이 이루어지면 시스템의 COP는 증가되리라 기대된다. 본 연구는 아직은 만족할 만한 태양열 학교교실 난방성능을 보이지 못하였지만 현재에도 진행 중에 있는 실험이므로 앞으로 연구가 성공적으로 진행된다면 그 연구 결과는 충분히 만족할 만한 것이라고 기대된다.

6. 결론

1. 온풍난방시스템 실험에 있어서 6~8평형 규모(13~17평형, 20~25평형)의 실내의 신개발 태양열 열펌프시스템에 사용되는 압축기의 소요동력은 1.5HP(2.5HP, 3.5HP)이고, 이 때 사용되는 온도 감응 팽창밸브의 용량은 2.3ton(8.0kW), 3.0ton

(10.5kW), 4.5ton(15.5kW)이고, 사용된 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기는 면적이 120 × 200cm × 2(240 × 200cm × 2, 360 × 200cm × 2)이었다.

2. 비프레온계 대체냉매적용 태양열 시스템에 의한 난방실험 결과 서울지방 봄·가을철, 겨울철의 외기 온도에서 실내온도가 18~20℃, 21~23℃에서 COP 4~6 범위의 열성능을 보이도록 설계·제작되었고 본 태양열난방시스템의 열적성능의 우수성을 확인하였다.
3. 본 태양열 난방시스템이 약 6~8평형 규모의 실내난방은 물론 13~17평형의 학교 화장실, 20~25평형의 학교 교실의 난방에 적용가능됨을 확인하였다.

후기

이 논문은 경희대학교 교비지원에 의한 결과임을 밝히며 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. UNEP, 1992, Copenhagen Decision, the Fourth Meeting of the Parties to the Montreal Protocol.
2. 장세동, 노승탁, 1994, "R22의 대체냉매를 사용한 공기조화기의 성능 시뮬레이션," 공기조화냉동공학 논문집, 제6권, 제1호, pp. 47-53.
3. Didion, D. and Bivens, D. B., 1990, "Role of Refrigerant Mixtures as Alternatives to CFCs," Int. J. Refrig., Vol. 13, pp. 163-175.
4. Bolstad, M. M. and Jordan, R. C., 1948, "Theory and use of the capillary tube expansion device," Refrigerating Engineering, Vol. 56, No. 12, pp. 519-523.
5. 선경호, 정현채, "태양열이용 열펌프시스템에 의한 태양열 연구실 난방에 관한 연구 (I)," 태양에너지, 제14권 3호, pp. 15-25, 1994.
6. Radermacher, R. and Jung, D., 1993, "Theoretical Analysis of Replacement Refrigerants for R-22 for Residential Uses," ASHRAE Trans., Vol. 99, Part 1, pp. 333-343.
7. Piao, C., Sato, H. and Watanabe, K., 1991, "Thermodynamic Charts, Tables, and Equations for Refrigerant HFC-134a", ASHRAE Transactions, Vol. 99, Part 2, pp. 268-284.
8. Kondepudi, S. N., 1993, Drop-in Testing of R-32 Blends as R-22 Alternatives in a Split-System Air conditioner," ASHRAE Trans, Vol. 99, Part 2, pp. 406-413.
9. Kruse, H., 1981, "The Advantages of Non-Azeotropic Refrigerant Mixtures for Heat Pump Application", Int. J. Refrig., Vol. 4, pp. 119-125.
10. 장세동, 신지영, 노승탁, "R12 및 R22 대체냉매의 열역학적 물성치 및 냉동기의 성능 비교", 공기조화·냉동공학 논문집, 제5권 제1호, pp. 73-83, 1993.
11. S. C. Fischer, C. Kl. Rice, "The Oak Ridge Heat Pump Models: A steady-state computer design model for air-to-air heat pumps", Oak Ridge National Laboratory, August 1983.
12. Shinji Takahashi, "Transport Properties of Alternative Refrigerants", Refrigeration (Japan), vol. 68, no. 786, pp. 89, April 1994.

The performance of solar heat pump with non-freon refrigerant $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ (R-134a) for school classroom heating [II].

Kyung Ho Sun · Hyun Chai Jung · Ki Sun Kim*

Institute for Solar Energy, Kyung Hee University

** Dept. of Chemical & Environmental Engineering, Daebul University*

Abstract

The goal of this paper is to measure and compare the performance of solar heat pump for school classroom heating. To accomplish the goal, solar heat pump with aluminum roll bond type evaporator and indoor heat exchanger(condenser) was built and fully instrumented with thermocouples and pressure transducers etc. The test results showed that the COP and capacity of R-134a($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$) were higher than those of R-12(CF_2Cl_2). The solar heat pump system for room heating was designed to show the best efficiency that the room temperature make 18~20°C and 23~25°C in Seoul during November, December, and January.