[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 23, No. 2, 2003

CH_2F_2-CF_3CH_2F-CF_3CHF_2계 냉매적용 태양열 열펌프시스템 성능 연구(I)

A Study on the Performance of Solar Heat Pump Cycle System for CH_2F_2, CF_3CHF_2 and $CF3CH_2F$(I)

이순복*, 정현채*, 배준우*, 선경호**
Lee, Soon-Bok*, Jung, Hyun-Chai*, Bae, Chun-Woo*, Sun, Kyung-Ho**

Key words : HFC-32/125/134a, 태양열펌프(Solar heat pump), 성능계수(COP), 알루미늄 본드형 증발기(Aluminum roll bond type evaporator)

Abstract

The goal of this paper is to measure and compare the performance of solar heat pump for refrigerants. To accomplish the goal, solar heat pump with aluminum roll bond type evaporator and indoor heat exchanger(condenser) was built. The test results showed that the COP and heating capacity of HFC-32/125/134a(23/25/52 wt%, CH_2F_2 / CF_3CHF_2 / CF_3CH_2F) were higher than those of HCFC-22($CHClF_2$). A study proved that best conditions to use heating system that is about 40㎡ and 80㎡. The COP range of the whole system was from 4 to 6 according to the solar collector's area variation. Hydrochlorofluorocarbon HCFC-22($CHClF_2$) is included in the compound to be controlled. HFC-32/125/134a(23/25/52 wt%, CH_2F_2 / CF_3CHF_2 / CF_3CH_2F) is the most suitable replacement HCFC-22($CHClF_2$) in solar heat pump application. The solar heat pump system was designed to show the best efficiency that the room temperature make 18~20℃ and 23~25℃ in Seoul during the fall season.

* 경희대학교 화학과
** 대불대학교 보건학부

* *Department of Chemistry, Kyung hee University*
** *Faculty of Public Health, Daebul University*

1. 서 론

기존의 CFC(chlorofluorocarbon) 냉매는 지극히 안정한 물질이기 때문에 대기 중에 방출되어도 대기권에서 분해되지 않고 공기와 잘 혼합되어 전 지구상에 골고루 분포되어 있다가, 성층권으로 확산되면서 오존과 반응하여 오존층을 파괴하는 현상이 발생하는 크나 큰 문제점을 발생했다. 오존층 보호 문제가 전 세계적인 환경문제로 인식하게 되어 1987년에 몬트리올 의정서가 전 세계 국가들에 의하여 조인되었고, 새로운 대체냉매의 연구가 활발히 진행되었다.[1]

그렇다고해서 만일 냉매가 너무 쉽게 분해되거나 다른 물질과 반응하여 성질이 다른 화학물질을 형성한다면 냉매의 고유한 특성이 무의미하게 될 것이다.[2]

부분적으로 약간의 수소를 포함하는 HFC(hydrofluorcarbon) 계열의 대체냉매들은 거의 대부분 시스템 내에서 안정상태를 유지하며 그 안에 포함된 수소원자들 때문에 대기 중에서의 수명은 매우 짧으므로 성층권에 도달하는 양도 적고 오존층의 파괴 정도도 CFC 계열에 비하면 매우 작다. 따라서 HFC 계열의 냉매들의 연구가 진행되고 있으며 이에 본 연구에서는 이러한 대체냉매들을 직접 실제 실험에 작용하여 태양열을 이용한 난방성능에 대한 연구를 수행한 바 있다.[3]

기존의 연구에서는 직접팽창 집열식 열펌프를 이용하였으나 기후조건이 나쁠 때에는 온도가 저하되기 때문에 효율적인 성능이 얻어지지 않는다는 점과 일사량이 소량일 경우에는 많은 집열량과 온도 보정 기간이 요구되는 것이 문제점으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 보완할 수 있는 시스템을 이용하여 태양열을 이용한 열펌프의 성능에 관계되는 집열량, 외기온도, 증발온도, 응축온도 등의 난방에 관한 열역학적인 고찰을 하고자 한다. 냉매기체의 특성을 이용하여 태양열과 대기열을 흡수하도록 금속흡열판을 직접 제작하여 사용함으로써 양산시 제작이 간단하고 제작비가 저렴한 장점을 가지게 된다.

한편 실험에 사용하는 냉매는 프레온 계열의 냉매에서 나타난 오존층 파괴 및 온난화 문제점을 해결할 수 있는 열역학적으로 우수한 성질, 안정한 물리화학적 성질, 독성 및 가연성 등의 안정성의 기준을 만족하며 열역학적인 성능뿐만 아니라 증발잠열, 포화압력, VCR(Volumetric capacity for refrigerant) 등이 기존의 냉매와 유사한 성질을 가지는 것을 선택해야 한다.[4][5]

이미 냉매 HFC-134a(CF_3CH_2F)는 CFC-12의 대체냉매로서 시스템의 에너지 효율과 기계적 손상을 방지하기 위한 장치와 설계를 제시했고(김영주, 1997) 실제로 HFC-134a(CF_3CH_2F)는 ethan계 냉매 특성상 methane계인 CFC-12에 비하여 증가율이 큰 증기압선도를 보이고 있지만 이것을 완전한 CFC-12의 대체라고 하기에는 여러 가지 문제점들을 가지고 있다.[6]

성능저하를 줄일 수 있는 방법은 두가지가 있는데 하나는 기존의 시스템을 수정하는 것이며 또 하나는 HFC-134a(CF_3CH_2F)와 열역학적 특성이 좋고, ODP(ozone depletion potential, 오존파괴지수)가 0이며, Boiling point가 비슷한 냉매를 혼합하여 작동유체로 사용하는 것이다. Boiling point가 비슷한 냉매로 혼합하는 이유는 일정압력하의 상변화시에 온도차가 작기 때문에, 온도차가 큰 혼합냉매에 비하여 상변화시의 열전달계수의 감소를 막을 수 있기 때문이다.[7][8]

따라서 본 연구에서는 시스템을 변경하지 않고 HFC-134a와 ODP, Boiling point가 비슷한 HFC-32, HFC-125의 냉매들을 섞어서 만든 3성분 혼합물인 HFC-32/125/134a[9][10]를 작동냉매로 사용했다.

본 연구에서는 냉매의 순환방식으로 강제순환방식[11]이 사용되었는데 이것은 순환펌프를 이용하여 강제적으로 순환시키는 방법으로써 자연순환식의 순환력의 한계에서 오는 여러 가지 문제점

을 해결하기 위한 것이다. 최적의 설계 조건 하에서 제작된 태양열 열펌프의 열적성능과 실내난방 효과를 분석하고 대체 냉매적용 태양열 난방시스템이 봄·가을·겨울철의 외기 온도에서 실내온도 10~25℃범위에서 최대의 난방효과를 내도록 설계·제작하였다. 또한 기존의 HCFC-22와 대체냉매인 3성분 혼합냉매 HFC-32/125/134a를 각각 실험함으로서 이 냉매들의 특성을 비교·분석하여 다음과 같은 연구내용을 실시하였다.

첫째, 태양열 이용 열펌프 사이클에서 기존의 냉매와 대체냉매의 열역학적인 물성값을 측정하여 비교하였으며 아울러 사이클 변화에 따르는 영향도 조사·검토하였다.

둘째, 기존의 연구에서 얻어진 자료를 비교·분석함으로써 기존의 냉매와 새로운 냉매혼합물의 적합한 냉매의 과열도 및 과냉도, 봉입량, 팽창장치 등에 의한 최적화 조건을 직접 확인하였다.

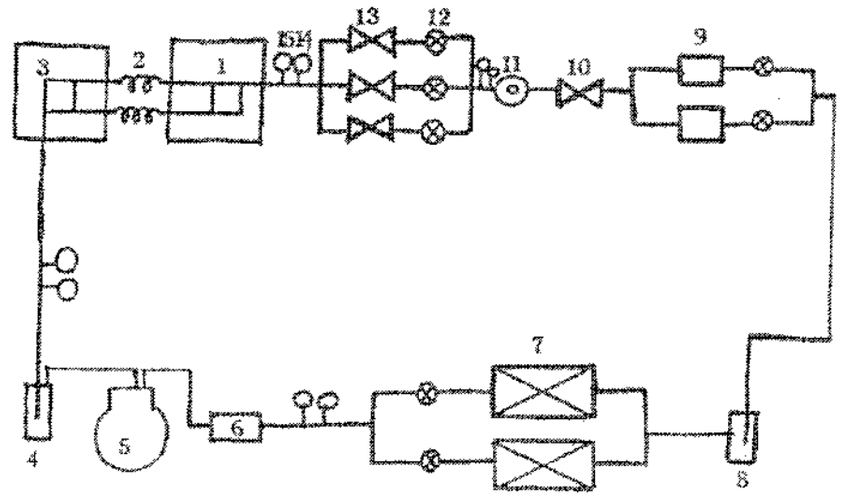
셋째, 태양열 열펌프 시스템의 온수, 모형난방 시스템에 적용된 대체냉매가 기존의냉매보다 얼마나 열역학적인 성질이 우수하며 앞으로 기존의 냉매를 대신하여 대체냉매가 사용될 수 있는 가능성을 조사·검토하였다.

2. 실 험

본 연구에서 제작한 태양열 시스템의 구성은 그림 1에서 보는 바와 같이 태양열 집열기 부분, 압축기 부분, 팽창밸브 부분, 난방 부분, 축열조 부분, 열교환기 부분인 6가지 부분으로 나눌 수 있고 각 부분은 동관으로 연결되어 있다. 알루미늄롤 본드형 태양열 집열기는 그림 2와 같이 직접 설계·제작되었다.(Photograph 1,2) 집열기 한 개의 면적은 30×200 ㎝이고 냉매의 통로가 된 부분에는 미리 흑갈색을 칠한 두 장의 알루미늄판을 프레스 용접하고 접착하지 않는 채 수압의 이용으로 부풀어 오르게 하여 판상으로 제작했다. 전체면적은 판형 집열기 3개를 병렬 연결하여 90×200 ㎝이다.

태양열 온수시스템 연구에서 적용된 작동유체는 HCFC-22, 3성분 혼합물인 HFC-32/125/134a이다. 열교환기는 축열조 내에 설치하였고 축열조는 200ℓ 용량으로 축열온도를 40~60℃로 유지 시키기 위해 50 ㎜ 두께의 폴리우레탄으로 단열 하였다. 압축기는 1/2 HP의 냉동용 압축기를 사용하였고, 압축기의 열손실을 방지하기 위하여 축열조 바로 밑에 설치했다. 감압장치로는 자동팽창밸브를 사용했으며 장치내의 냉매의 온도, 압축기흡입 및 토출온도차, 축열조의 입·출구온도는 Pt 100Ω 열전대로 측정했고, 압축기 및 온수순환펌프의 소비전력은 적산전력계를 사용하여 측정했다.

그 외 실내온도는 원통형 전자식 온도기록계를 사용하여 측정하였다.

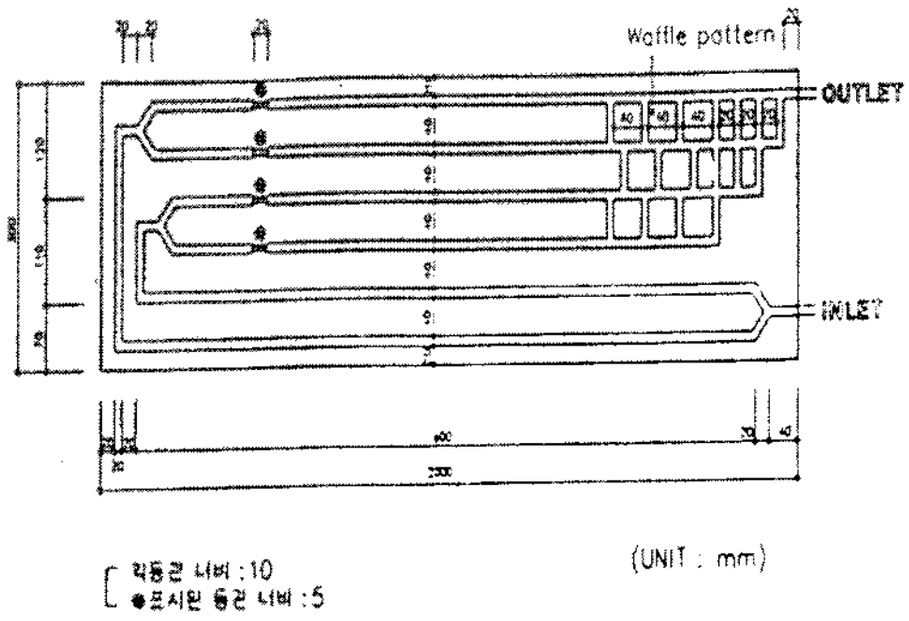


1. Evaporator(1) 2. Capillary tube
3. Solar Panel {Evaporator(2)} 4. Accumulator
5. Compressor 6. Oil separator
7. Indoor heat exchanger(Indoor condenser)
8. Liquid receiver 9. Filter drier
10. Solenoid 11. Sight glass
12. Stop valve 13. Thermostatic expansion valve
14.Temperature sensor 15. Pressure transducer

그림 1. A schematic diagram of the solar heat pump apparatus.

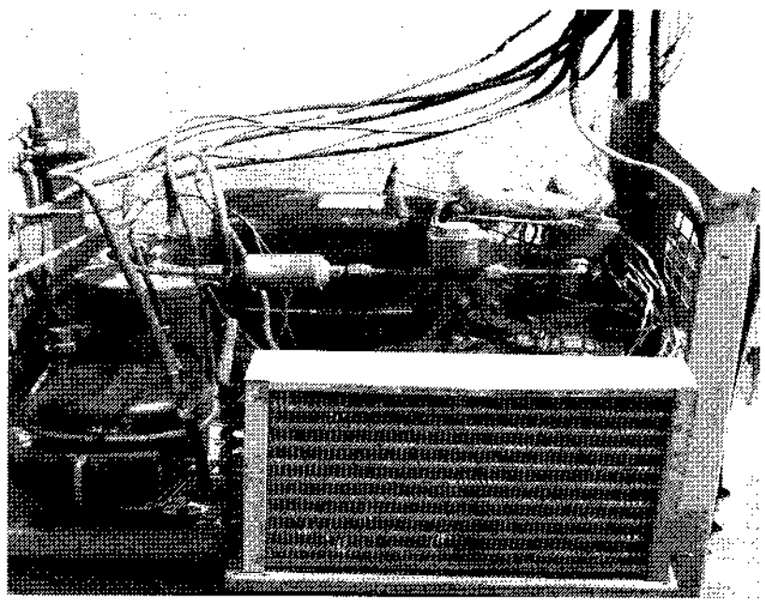
방열부는 radiator형으로 12줄의 구리관을 수직하게 530개의 알루미늄 판을 끼워 전열면적을 넓혔으며 실내의 공기를 구리관 내의 온수가 데워

두게 된다. 한 개의 방열기의 면적은 885×1800 ㎜이고 난방면적에 따라 손쉽게 연결이 가능하도록 설계·제작되어있고 축열조로 부터 방열기까지 원활한 열전달을 위하여 강제로 온수를 순환시키는 펌프를 사용했다.

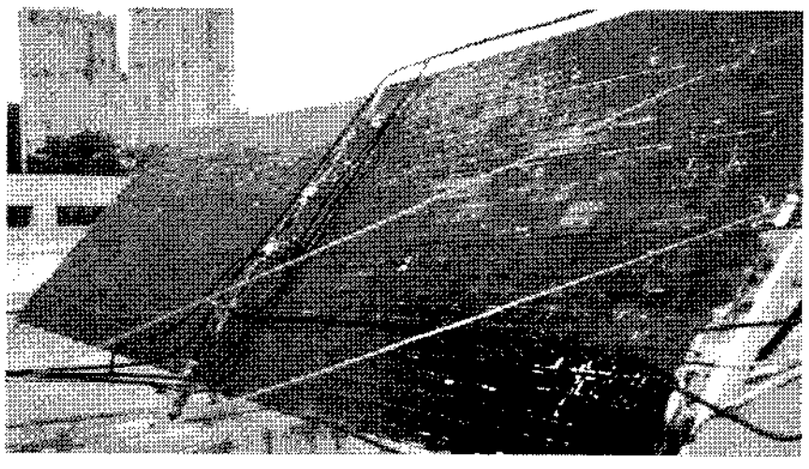


- tube width : 10
- • labelled tube width : 5 (UNIT : mm)

그림 2. A schematic diagram of roll-bond evaporator solar panel.



Photograph 1. Photograph of the solar heat pump apparatus.



Photograph 2. Photograph of roll-bond evaporator solar panel.

실내 열교환기 출구에는 냉매가 완전히 액화·팽창되어 유입되는지 확인하고 냉매 주입량이 최적이 되도록 수분지시기(sight glass)를 연결하여 관찰했다. 팽창이 되기 전에 불순물과 수분의 제거를 위하여 필터드라이어를 연결하였으며 내용물 교체가 용이하도록 했다. 과냉된 액상의 냉매는 팽창밸브의 시험부분에 도달하면 단속밸브에 연결되어 밸브의 용량변화를 용이하게 했으며 이 곳에는 온도감지봉을 연결하여 팽창 밸브의 팽창정도를 결정할 수 있게 했다.

태양열 열펌프 난방 시스템은 기존의 온수 순환 난방이 아닌 실내를 직접 가열하는 온풍난방방식으로 설계·제작되었다. 사용된 압축기의 소요동력은 2HP이고 압축기에서 고온 가압된 냉매는 오일분리기를 거쳐 액 분리기를 통과하여 2종류의 응축기인 실내 열교환기의 시험부분에 도달하여 최적의 열교환기의 크기를 결정하도록 변경이 가능하게 했다.

실제적용시스템과 모형시스템의 집열부는 1차 증발기, 병렬 연결된 모세관부와 2차 증발기부의 3부분으로 구성되는데 1차 증발기는 팽창된 저온 냉매가 기화되기 시작하며 병렬 연결된 모세관에서 2차 팽창이 일어나며 2차 증발기를 거치면서 대기열, 태양열 등을 집열할 수 있게 제작되었다. 실험 시 실내의 온도는 18~27 ℃ 범위 내에서 태양열 난방시스템의 난방성능을 실험했다. 따라서 최대의 태양열 집열을 위하여 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기의 전열면적을 기본단위인 1개 20×200 ㎝의 개수를 변화시키면서 진행하며 성능, 소비전력, 공기 측 온도 및 풍량 등을 측정하면서 각 구성요소의 온도와 압력을 측정했다. 실험대상 냉매는 HCFC-22를 기준 냉매로 하고 이의 대체냉매인 3성분 혼합물인 HFC-32/125/134a를 선정하였다.

태양열 시스템의 주요변수인 팽창부의 모세관 길이변화, 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기의 성능과 성적계수의 향상을 보기 위해 팬모터에 의

하여 냉각되는 냉각기를 설치하여 태양열 집열기의 성능효과와 비교하고 소비전력량을 측정하여 성능향상과 함께 에너지 절약효과를 직접 확인했다.

3. 결과 및 고찰

3.1 외기 조건에 따른 태양열 의존율

(1) 외기 온도에 의한 변화

난방 시스템에서 11월의 맑고 흐린 날씨를 선택하여 외기 온도에 따른 태양의존율을 조사한 결과 표 1에 수록하였다. 이 결과를 분석해보면 총 획득열량 중 전기에너지가 투입된 것이 35~40 %일 때 나머지 약 60~65 %정도는 태양열과 대기로부터 획득한 열량이라고 할 수 있다. 날씨가 좋다면 상대적으로 전기량이 적게 든다는 것도 알 수 있었다.

모형시스템의 경우에는 사용된 모세관의 길이가 91 ㎝, 안지름 1.2inch인 것이 가장 최적임을 확인하였고, 최적 태양열 집열기의 크기는 30×200 ㎝이라는 것도 확인했다. 모형 태양열 난방시스템의 여러 가지 결과를 표 2에 수록하였다.

표 1. Performance characteristics according to weather condition
〔The total heat to raise the storage water (ΔT=15℃)is assumed to be 3000kcal〕

Data	Starting time (hr/min)	Ambient temp(℃)	Consumed electric in kcal	Time to raise 15℃ in hour	Solar thermal fraction (kcal)
Nov.5	14:55	18(clear)	1055.4 (35.18%)	4.0	1944.6 (64.82%)
Nov.17	11:33	16(clear)	1289.7 (42.99%)	4.3	1710.3 (57.01%)
Nov.22	11:13	14 (cloudy)	1376.1 (45.87%)	4.5	1623.9 (54.13%)

(2) 가동시간에 따른 실내난방 효과

실제작용 시스템의 경우, 태양열 난방시스템의 작동시간에 따른 실내의 난방의 효과는 그림 3에서 보는 바와 같이 외기 온도가 약 10~17 ℃에서 변하는 동안에 실내온도는 약 17~21℃ 정도로 유지됨을 알 수 있었고 그때 소모되는 시간당 전력량은 일정하게 1시간당 약 1.5kW의 전력으로 소모됨을 확인했다. 시스템의 작동유체의 압력이 일정할 때 측정을 시작하며 실험조건이 바뀌면 평형이 될 때까지 기다렸다가 측정을 시작했다. 이 실험에서는 작동유체로서 HFC-32/125/134a를 사용했으므로 고압측은 약 20기압 이하에서 작동하도록 실험했다.

3.2 시스템의 성능에 영향을 미치는 인자

(1) 태양열 집열기의 면적과 관련된 변인

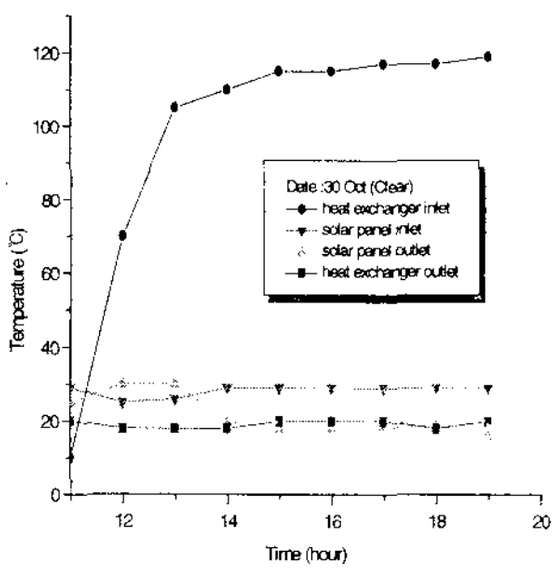
팽창밸브의 용량에 따른 각 부위별 온도 및 압력변화, 열량의 변화, 태양열 집열도를 고려하여 얻은 데이터를 비교 분석한 결과, 예상되는 6~8평형 규모(13~17평형, 20~25평형)의 실내의 압축기의 소요동력은 1.5 HP(2.5HP, 3.5HP)이고, 이때 사용되는 온도 감응식 팽창밸브의 용량은 2.3 ton(8.0kW)〔3.0ton(10.5 kW), 4.5ton(15.5 kW)〕이고, 사용된 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기는 면적이 120×200×2 ㎝ (240×200×2 ㎝, 360×200×2 ㎝)이었다. 온수순환난방 시스템에서는 1/2 HP의 소요동력인 압축기와 온도감응식 팽창밸브의 용량이 0.5 ton (1.7 kW), 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기의 집열면적은 30×200 ㎝, 축열조의 용량은 300 이었다. 그림 4에서는 열팽창밸브의 용량에 의한 소비전력량과 압력에 따른 차이를 나타내었는데 이것의 차이는 온도와 집열도에 의한 것이다.

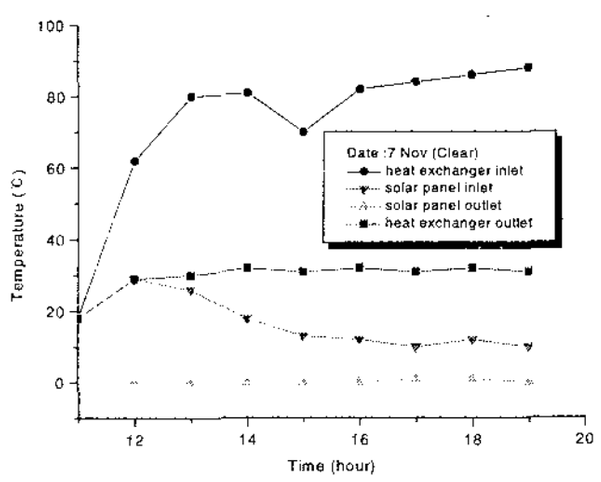
(2) 작동유체에 따른 온도의 영향

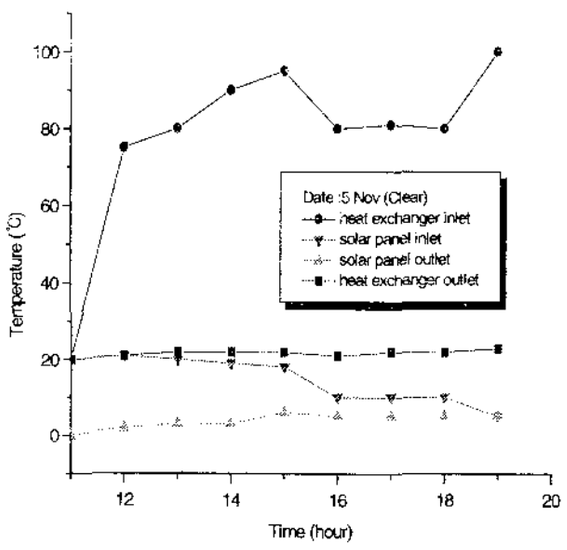
실내난방을 위한 온풍난방에서 작동유체인 HFC-32/125/134a는 응축온도 30~25 ℃범위에서 증발온도를 0~20 ℃까지 변화할 때 응축열량, 증발열량, 소비동력, 성능계수에 의하여 최적임을 확인했다[12]. 일반적으로 응축온도가 일정

표 2. The data of 6 point temperature, pressure, electric current and electric power consumption according to measured time in model system

Time (min)	Temperature(℃)						pressure(kgf/㎠)		E.P.C. (kWh)
	In door	Out door	Condenser Inlet	Capillary Inlet	solar panel Outlet	solar panel Inlet	High	Low	
0	17.5	10.1	19.6	24.2	28.4	27.2	7.0	7.0	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







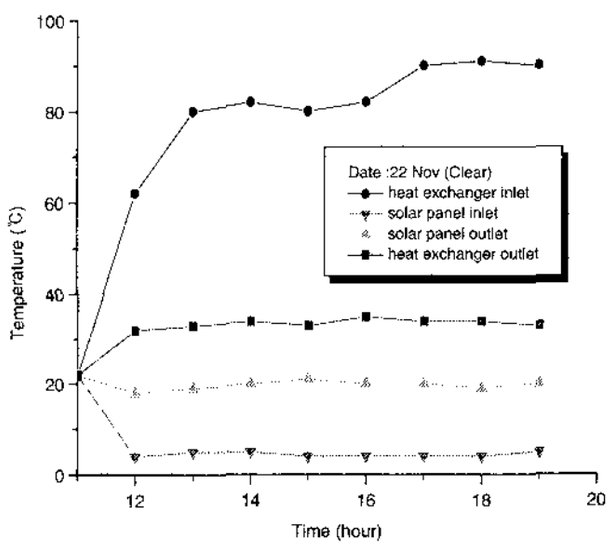
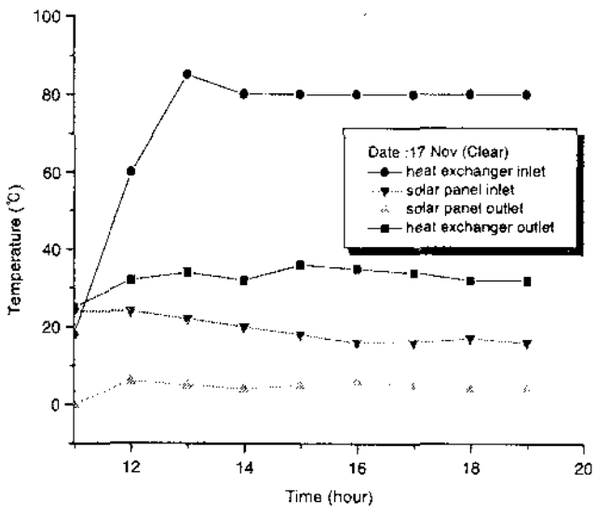


그림 3. The data of temperature according to weather.



할 때 증발온도가 증가하면 증발열량과 응축열량은 거의 선형적으로 증가하지만 성능계수는 급격히 증가한다. 이것은 증발온도가 증가함에 따라 소비동력이 증가하다가 어느 온도부분에서 감소하기 때문이다. 이것은 응축온도가 일정할 때 증발온도가 증가함에 따라서 응축비는 작아짐으로 해서 냉매의 단위 질량당 압축기의 일은 감소한

다. 체적효율은 증가하지만 냉매의 비체적이 감소함으로 냉매유량이 증가하게 된다. 따라서 증발온도가 높아질수록 열펌프장치의 성능은 좋아진다.

3.3 대체냉매의 열역학적 성질에 따른 시스템의 적용

표 3 에서와 같이 대체냉매 HFC-32/125/134a를 선정한 이유는 증발잠열이 높아 냉매로서의 열전달량이 크기 때문에 냉각사이클에 적합하고 열전도율도 높아 열교환 성능면에서 유리하다. 또 냉매의 응축온도 범위 내에서의 포화압이 HCFC-22보다 높아 압축기의 토출압을 증가시킬 수 있다.

두 냉매의 온도에 따른 포화증기의 점성분포와 포화액의 점성변화를 각각 나타내고 있는데 이는 두 냉매의 질량유량이 서로 다르기 때문에 압력강하량을 밀도보다는 점성에 의한 측면을 알아보기 위함이다. 이것은 온도에 따른 포화증기의 점성분포는 HFC-32/125/134a가 HCFC-22 보다 낮고 온도에 따른 포화액의 점성변화를 살펴보면 대략 0℃ 부근의 저온에서는 점성이 HFC-32/125/134a가 크지만 고온으로 갈수록 HCFC-22보다 작음을 알 수 있다[13].

그림 4~5에서의 결과들을 분석해 보면 실내공기온도의 증가에 따라 성능계수 및 난방 능력을 감소시킴과 동시에 압축기의 소요동력을 증가시켜 결국 시스템의 성능을 저하시킨다. 냉매의 질량유량은 실내공기의 온도에 증가에 따라 감소하고 HFC-32/125/134a의 질량유량은 HCFC-22보다 적어 실제 시스템에서는 더 많은 냉매량이 필요함을 알 수 있었다[13]. 모든 냉매의 성능계수는 응축기의 주위 공기 온도가 증가함에 따라 거의 선형적으로 감소한다. 따라서 압축기의 성능비교 면에서 HFC-32/125/134a와 HCFC-22를 비교하여 보면 HFC-32/125/134a는 냉동사이클에서 냉매증기의 밀도가 감소하는 반면에 압축기의 압축율은 증가하여 냉매의 전체유량은 감소하지만 HCFC-22보다 증발잠열이 높기 때문에 단위 무게당 열전달량은 크다. 결국 더 적은 양의 냉매로도 동일 냉각량을 얻을 수 있고 동력소모도 냉매량이 적어지는 만큼 절감될 수 있어 약 20% 낮게 설정할 수 있는 것이다[13].

결국 응축기의 성능에서도 HFC-32/125/134a를 사용한다면 HCFC-22에서보다 응축기의 응축성능을 약 10%정도 증가시켜야 한다. 따라서 실험상의 안전을 위한다면 실험시에 응축기의 용량을 약 20%정도 증가시켜야 한다.

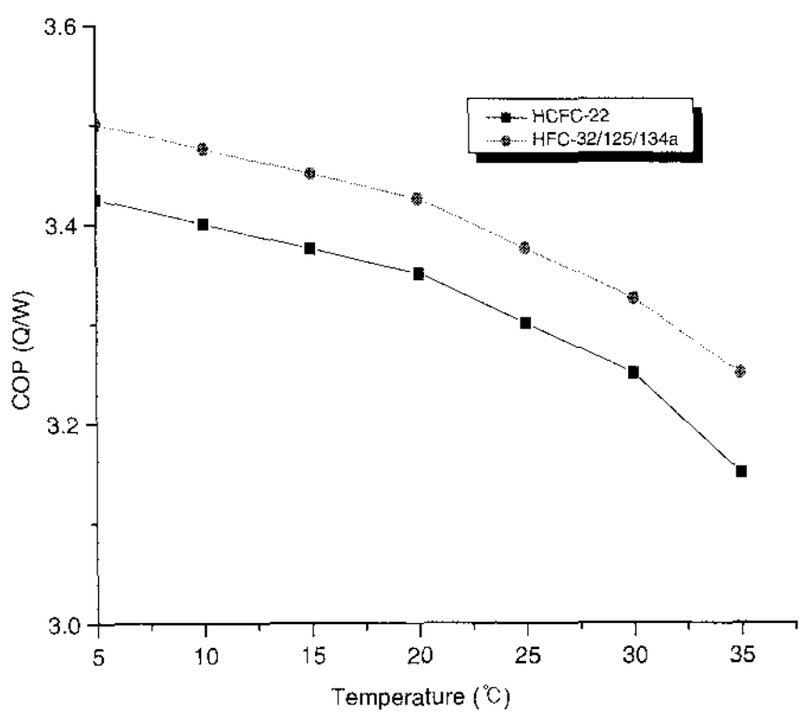


그림 4. Coefficient of performance of the solar system according to the temperature of indoor air.

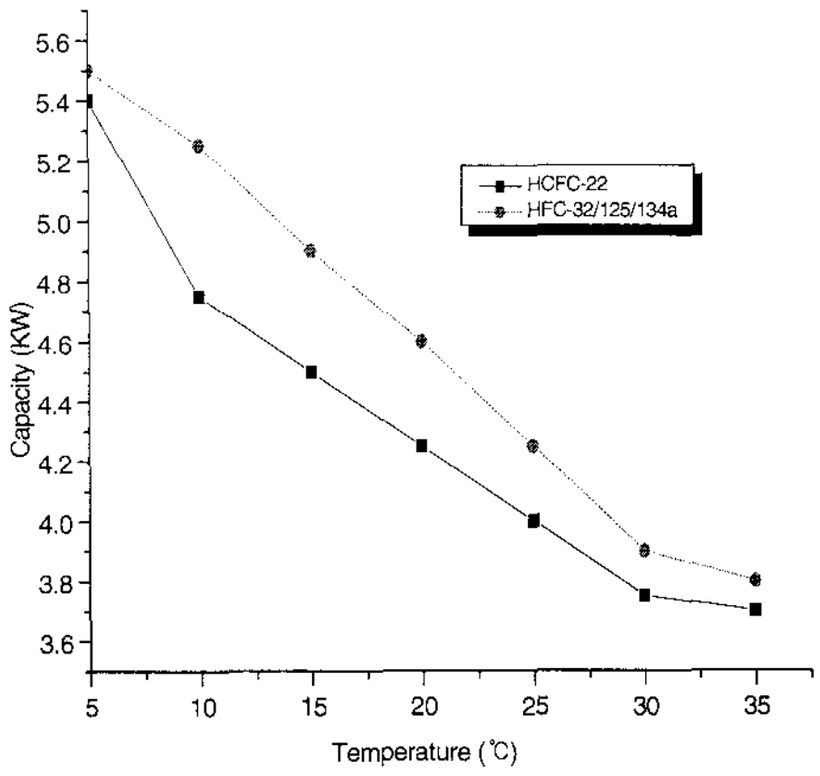


그림 5. Cooling capacity of the solar system rding to the temperature of indoor air.

표 3. Chemical formular and thermodynamic properties of HCFC-22, HFC-32/125/134a

Properties	HCFC-22	HFC-32	Properties	HFC-125	HFC-134a
Chemical Formula	$CHCLF_2$	CH_2F_2	Chemical Formula	CF_3CHF_2	CF_3CH_2F
Molecular Weight(kg/kcal)	86.480	52.024	Molecular Weight(kg/kcal)	12.020	102.030
Critical Temperature(K)	369.15	351.56	Critical Temperature(K)	339.4	374.21
Critical Pressure(MPa)	4.974	5.830	Critical Pressure(MPa)	3.631	4.056
Critical Density(ky/m³)	525	430	Critical Density(ky/m³)	572	515
Normal Boiling Temperature(K)	232.4	221.4	Normal Boiling Temperature(K)	224.6	247
Density @ 101.3kPa (kg/m³)			Density @ 101.3kPa (kg/m³)		
Saturated liquid	1409.1	1202.1	Saturated liquid	1514.1	1374.3
Saturated vapor	4.705	2.976	Saturated vapor	6.777	5.259
Dynamic Viscosity			Dynamic Viscosity		
Saturated liquid	210.1 (@273.2K)	156.6 (@273.2K)	Saturated liquid	190.8 (@279.15K)	278.5 (@271.26K)
Saturated vapor	11.96 (@273.6K)	11.412 (@273.5K)	Saturated vapor	12.399 (@273.48)	10.94 (@273.15K)

4. 결 론

1. 태양열 시스템의 온수순환난방과 온풍난방이 실내의 난방에 적용됨을 확인 할 수 있었다.
2. HFC-32/125/134a와 HCFC-22의 비교·분석에 의하면 HFC-32/125/134a는 HCFC-22의 성질와 유사하여 대체냉매로써도 가능하지만 COP가 우수한 반면 냉동용량이 작으므로 압축기를 조절하여 체적유량을 변화시켜 질량유량을 조절하여 이를 개선할 수 있다.
3. 이 태양열시스템에 의한 난방실험의 결과 서울지방 기준 봄·가을철, 겨울철의 외기온도에서 실내온도가 18~23℃에서 COP 4~6으로서 본 태양열시스템의 열적성능의 우수성을 확인했다.
4. 이 태양열 열펌프시스템은 종래의 기름보일러에서의 문제점인 연소시 냄새나 유독가스에 의한 위험에서도 안전하며 가스보일러에서의 문제점인 파이프라인의 설치와 가스의 누출로 인한 위험에서도 안전하다는 점에서 난방에서 우수하며 무엇보다 공해물질을 배출하지 않는다는 점에서 앞으로 미래의 난방에 모델을 제시하고 있다고 하겠다.

참고문헌

1. UNEP, 1992, Copenhagen Decision, The Fourth Meeting of the Particle to the Montreal protocol. (1992)
2. Domanski, P. A. and D. A. Diddion, "Thermodynamic evaluation of R-22 alternative refrigerant mixtures", ASHRAE Trans., 99(2), (1993)
3. Hino, T., solar Engineering 435, (1984)
4. Shinji Takahashi, Refrigeration, 68(786), April (1994)
5. 선경호, 정현채, "태양열 이용 열펌프 시스템에 의

한 태양연구실 난방에 관한 연구", 한국 태양에너지 학회 추계 학술발표회 (1994)
6. 장세동, 신지영, 노승탁, "R12 및 R22 대체냉매의 열역학적 물성치 및 냉동기의 성능 비교", 공기조화·냉동공학 논문집, 제 5권 제1호, p73-83 (1993)
7. 정현채 외, "대체 냉매적용 태양열 열펌프 시스템에 의한 난방성능분석", 한국 태양에너지 학회 춘계 학술발표회 (1993)
8. 김영주, "태양열 이용 비프레온계 R-134a 적용 열펌프 시스템에 의한 학교교실 난방에 관한 연구" 경희대 대학원 석사학위 논문 (1997)
9. 김성주, 김민수, "R-22 대체냉매의 모세관 성능특성", 공기조화·냉동공학 논문집, 제11권 제2호, p77-81 (1996)
10. 박명규, 송용재 외, "R-22 'Drop-in대체'를 위한 혼합냉매의 실험적 평가", 공기조화·냉동공학 논문집, 제10권 제1호, p71-76 (1996)
11. Sigma Research, Inc. Direct expansion solar collector and heat pump, US DOS Rep. DOE/SF/10542-T1., (1982)
12. Hubeer, M., Gallagher, Jj., McLinden, M. and Morrisonn, G., NIST Thermodynamic properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures(REFPROP) Version 5.0, National Institute of standards and Technology, Boulder, Co, U.S.A.(1996)
13. 선경호, "불소 알칸계 냉매의 상평형 및 압축-팽창의 열역학적 성질" 경희대 대학원 박사학위논문 (1997)

E-mail : wchem@hanmail.net