

대체냉매적용 태양열 열펌프시스템에 의한 난방성능분석(1)

A study on the room heating by solar assisted heat pump
using the alternatives

선경호*, 정현채(경희대학교 부설 태양에너지연구소)

요약

본 연구는 태양열 열펌프시스템에 의한 약 6평 규모의 실내의 난방방법으로서 간접 난방인 온수순환난방과 직접난방인 복사난방의 성능을 분석하였다. 태양열 열펌프의 최대의 열적성능을 나타낼 수 있도록 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기의 면적을 조절하였으며 집열효과를 극대화하기 위하여 온도감응 자동 팽창밸브의 용량을 변화시켰다. 본 실험에서 적용된 태양열 열펌프 난방은 서울 지방 봄 가을철의 외기온도에서 실내온도가 18~20℃로 유지되도록 설계제작되었다. 태양열 열펌프시스템에 적용된 작동유체는 온수순환 난방에는 R-12냉매, 그 대체냉매는 R-134a 및 혼합냉매, 복사난방에는 R-22냉매이었다.

1. 서론

1973년 에너지 파동 이후 열펌프는 에너지 절약형 열원장치로서 새롭게 관심의 대상이 되었다. 세계각국에서는 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 건물의 공기질화 분야 및 산업분야에서 열펌프의 이용이 활성화되었다. 그러나 선진각국에서 건물의 난방장치로서 열펌프가 이미 실용화 되었음에서도 불구하고 우리나라에서는 이에 대한 연구가 저조한 실정이다.

선진국의 경우 주거용 난방장치는 공기 대 공기 열펌프가 주종을 이루며 여기에 대한 실험 및 시뮬레이션 연구가 활발히 진행되었다. 공기 열원장치의 단점은 외기온도가 낮아질때 난방부하가 커지는데 반하여 난방용량은 적어지며 또한 실외유닛의 적상으로 인하여 효율이 급격히 저하되는 단점이 있다. 그리고 우리나라의 기후는 겨울에 영호남 동 남부지방을 제외하고는 영하권의 낮은 기온이 지배적이어서 공기열원 열펌프의 실용화에는 어려움이 많다.

본 연구는 태양열을 이용하는 열펌프식 난방장치로서 태양열 집열기에서 집열된 0~30℃의 비교적 저온의 열을 이용하는 것으로 급탕부하의 증대에 비례해서 집열판의 판수와 축열조의 대형화가 필요하며 악천후의 기후조건일 때에는 온도가 저하하기 때문에 효과적인 성능이 얻어지지 않는다는 점과 또한 소량으로서 보다 많은 집열량과 온도보정기간이 요구되는 것을 보완하려는 것이다. 또 난방에 적용될 태양열 열펌프는 성능에 관계되는 집열량, 외기온도, 증발온도, 응축온도에 따른 성능특성변화를 검토하고 기존의 태양열 온수시스템의 동파에 따른 대책이 철저히 요구되고 태양열 조광을 위해서 집열판이 태양고도에 따라 일정 각도 만큼 조절해야 하는 등의 번거로움과 설치작업의 난이성 등의 큰 문제점을 해결하고자 한다.

이러한 문제점을 극복한 태양열 열펌프시스템은 적용되는 작동유체로서 프레온 냉매를 대체할 수 있는 대체냉매를 적용함으로써 성능이 향상될 수 있을 것이다. 대체냉매는 우선 우수한 열역학적 성질, 안정한 물리화학적 성질, 독성, 가연성 등의 안정성 등 기존의 냉매선정기준을 만족해야 한다. 이와 같은 선정기준에 대한 적합한 새로운 냉매가 결정되면 기존 규제대상 냉매의 대체가능성이 검토되어야 한다. 즉, 열역학적 사이클 측면의 성능, 증발잠열, 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 혼합냉매의 사용 또한 연구되고 있다. 혼합냉매를 사용하는 잇점은 상변화시의 온도변화로 인해 열교환과정의 비가역성을 줄일 수 있기 때문에 성능향상을 기대할 수 있다는 것이다. 또한, 냉매대체의 관점에서 성분비를 조절함으로써 규제대상 냉매와 유사한 성능계수 또는 VCR을 갖게 할 수 있다는 면에서 그 사용이 적극 검토, 연구되고 있다. 소형 냉동시스템의 주요 냉매로 사용해 왔던 R-12를 포함한 CFC계열 냉매가 오존층 파괴 및 지구 온도상승의 중요한 원인 중의 한가지로 밝혀짐에 따라 새로운 대체냉매를 개발하기 위하여 활발한 연구가 이루어지고 있다. 특히, 가정용 냉장고와 자동차용 냉방기의 주 냉매로 사용해왔던 R-12의 대체냉매는 사용량이 많고 파급효과가 크므로 가장 시급한 연구개발 과제였으며 가장 가능성이 높은 냉매로서 R-134a가 이미 개발되어 실용단계에 와 있다. 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.

본 연구는 이러한 결점을 보완할 수 있는 시스템을 개발하여 대체냉매적용

태양열 이용 열펌프의 성능에 관계되는 집열량, 외기온도, 증발온도, 응축온도 등에 따른 성능특성변화를 검토하고자 한다. 또한 열원의 온도를 높이기 위해 집열기 면적을 조절함으로써 추가하는 설치비용과 열펌프 열원의 온도가 높아짐에 따라 절감되는 전기비용의 합을 최소로 하는 최적증발온도를 설정함으로써 보다 경제적인 태양열 이용 열펌프식 가열 및 난방장치 설계의 기초자료를 얻고자 한다.

본 연구는 약6평규모의 실내난방에 있어서 온수순환난방과 직접난방인 복사난방에 적용될 수 있는 최적 설계조건하에 제작설치된 태양열 열펌프의 열적 성능과 실내난방효과를 분석한다. 또 태양열 난방시스템이 서울지방 봄 가을철의 외기온도에서 실내온도 18~20℃의 범위내에서 최대의 난방효과를 나타내도록 설계제작되어졌다.

2. 실험장치의 설계 제작

전체 시스템 구성은 태양열 집열기 부분, 압축기 부분, 팽창밸브부분, 난방부분, 축열조부분, 열교환기부분인 6가지 부분으로 나눌 수 있고 각 부분은 동관으로 연결되어 있다. 또 최적의 단열효과를 피하기 위하여 연구실 내부를 비닐 등을 이용하여 철저히 단열하여 실험을 행하였다. 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기는 직접 설계 제작되었고 한 개의 면적은 30cm × 200cm이고 냉매의 통로가 된 부분에 미리 흑갈색을 칠한 두 장의 알루미늄판을 프레스 용접하고 접착하지 않은 채 수압의 이용으로 부풀게 하여 판상으로 제작했다. 적용된 작동유체로서 온수난방시스템에 R-12와 R-22냉매를, 복사난방에는 R-22와 R-134a 냉매를 사용하여 실험을 행하였다. 열교환기는 축열조내에 설치하고 축열조는 280L용량의 50mm 두께의 Polyurethane 단열재로 단열하고 항상 내부의 수온이 40 ~ 60℃를 유지할 수 있으며, 온수난방시스템에서의 사용된 압축기의 마력은 ½HP이고 복사난방시스템에서는 1.5HP 냉동용 압축기를 사용하였다. 감압장치로는 온도감응 자동팽창밸브를 사용했다. 장치내의 냉매온도, 압축기 흡입 및 토출온도차, 축열조의 입·출구온도는 Pt 100Ω 열전대로 측정했고, 압축기 및 온수순환펌프의 소비전력은 적산전력계를 사용하여 측정했다. 실내온도는 원통형 atona thermography 전자식 온도기록계를 사용하여 측정하였다. 온수순환난방시스템에 사용된 방열부는 radiator형으로 12줄의 구리관에 수직하게 530개의 알루미늄 핀을 끼워 전열면적을 넓혔으며 실내의 공기를 구리관 내의 온수가 데워준다. 한 개의 방열기의 면적은 885mm × 1800mm이고 난방면적에 따라 손쉽게 연결 가능토록 설계제작되어있고 축열조로부터 방열기까지 원활한 열전달을 위해서 강제로 온수를 순환시키는 물펌프를 사용했다. 복사난방시스템에 사용된 부

속장치는 어큐물레이터, 압력컨트롤, 솔레노이드밸브, 수액기, 루시경, 유분리기 등이다.

3. 실험내용 방법

태양열 연구실의 난방방법은 직접난방방법인 복사난방과 간접난방방법인 온수순환난방방법을 비교 분석한다. 그리고 태양열의 최대집열효과를 낼 수 있도록 설계 제작된 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기의 성능을 분석하고 작동유체의 종류, 초기 주입된 냉매량에 의한 증발온도와 응축온도 등을 고려하여 냉동기의 성적계수를 높인다.

측정장치로서는 온도측정은 냉매온도 부위, 물온도 부위에 열전대를 부착하고 Hybrid Recorder를 설치하여 각 점에서의 온도를 측정하였다. 또한, 소비동력은 1kWh에 500회전하는 디스크 부착형 Watt Meter를 설치하여 측정하였다. 본 연구는 태양열 이용 압축식 열펌프시스템에 의한 태양열 연구실 난방 연구로서 약 6평 크기의 방에서 실험을 행하였다. 또 난방에 사용된 연구실은 최대로 단열을 피하였고 신개발 알루미늄 롤 본드형 태양열 집열기를 연결하여 난방시스템의 최대효율을 높였다.

4. 실험결과 및 고찰

- 4.1 외기상황에 따른 시스템의 태양열 의존도 변화
- 4.2 최대의 태양열 집열을 위한 태양열 집열기의 면적과 관련된 변수
- 4.3 최대의 태양열 집열을 위한 온도감응 자동팽창밸브의 용량 결정
- 4.4 압축기와 응축기의 크기에 영향을 미치는 인자
- 4.5 작동유체인 냉매의 종류 및 주입량(증발온도와 응축온도와의 관계)에 의한 변화

프레온류의 냉매는 지구환경의 파괴를 일으키는 냉동시스템에 적용되는 냉매로서 대체할 수 있는 냉매의 개발이 시급하다. 그러므로 일반적으로 냉장고에 사용되어지는 CFC-12(R12)에 대해 대체되는 냉매는 HCFC-22(R22)와 HFC-134a(R134a)이다. 전자는 ODP 0.05와 GWP 0.34이지만 염소가 포함되어므로 대체물질로서 제한되어진다. 그러므로 염소가 없는 R134a는 ODP 0, GWP 0.26이고 제3세대 냉매가 가까운 시일내에 개발되지 않는 상황에서는 R12와 R22의 대체냉매로서 인정받을 수 있다. 대체냉매는 냉매의 열역학적 성질과 transport성질때문에 현재의 냉동시스템에 적용되어질 때 열교환기의 설계변경을 요구되어진다.

냉매의 열역학적 성질을 얻기 위하여 상태방정식 같은 실험방정식, 증기

압, 이상기체에 대한 일정압력하에 specific heat, 포화액체에 대한 specific volume 등이 필요하다.

대체냉매 HFC-134a를 선정한 이유는 증발잠열이 높아 냉매로서의 열전달량이 크기 때문에 냉각사이클에 적합하다. 열전도율이 높아 열교환 성능면에서 유리하다. 또 냉매의 응축온도범위내에서의 포화압이 CFC-12보다 높아 압축기의 토출압을 필요이상 증가시킨다.

본 연구에서 R12에 대한 대체냉매로서 R134a, R22/R142b, R22/R152a/R124와 R22대체냉매는 R32/R134a를 채택하였다. 이들 냉매들의 열역학적 성질들은 상태의 수정된 CSD방정식을 사용하여 계산된다. 열원천에 고려되는 냉동사이클의 사이클 시뮬레이션이 시스템의 성능을 비교한다. 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)이 COP와 VCR의 측면에서 R22의 것에 적당하다.

한편 규제대상 냉매의 대체방법으로 혼합냉매의 사용 또한 연구되고 있다. 혼합냉매를 사용하는 잇점은 상변화시의 온도변화로 인해 열교환과정의 비가역성을 줄일 수 있기 때문에 성능향상을 기대할 수 있다는 것이다. 연구실 난방을 위한 복사난방은 작동유체의 종류는 R-12냉매보다는 R-22냉매가 더 열적성능이 우수한것으로 추측되고 최적의 냉매로서는 현재 연구 중에 있으며, 열적성능은 R-22가 응축온도 35℃~45℃ 범위에서 증발온도를 0~20℃ 까지 변화할 때 응축열량, 증발열량, 소비동력, 성능계수에 의해 최적임을 확인했다. 그러나 온수순환 난방에서 적용된 R-12냉매는 응축온도 65℃~75℃ 일 때 증발온도는 40℃ 이상의 범위에서 최적임을 확인했다.

4.6 태양열 열펌프시스템의 난방성능 분석

5. 결론

태양열 연구실 난방효과를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 신 개발 태양열 시스템의 온수순환 난방 방법과 복사난방 방법이 태양열 연구실 난방에 가능함을 확인했다.

(2) 본 실험에서 사용된 신 개발 태양열 난방시스템은 서울지방 봄 가을철 외기온도에서 실내온도가 18~20℃로 되는 범위내에서 최대의 효율을 나타내도록 설계하였다.

참고문헌

1. 선경호, 정현채, 태양열 이용 열펌프 시스템에 의한 태양열 연구실 난방에 관한 연구, 태양에너지, 제14권, 제3호(1994)
2. 정현채, 선경호, 김기선, 남승영, 이종원, 태양열과 프레온 기체 압축열 복합 온수기 개발, 태양에너지, 제10권, 제2호(1990)
3. 정현채, 선경호, 꽃저장용 냉장시스템과 태양열 복합형 급탕기 개발 연구(I), 태양에너지, 제12권, 제3호(1992)
4. 정현채 외, 태양열과 프레온 기체 압축열 복합 냉난방 온수기 개발 연구, 동력자원부, 연구사업 최종보고서(1991)
5. Hyun Chai Jung, Jong Won Lee, "Solar Hot Water Production through the Joule-Thomson Effect", Japan-Korea Joint Conference on Solar Energy, 홋카이도 기타마시, 1991. 9.
6. McLinden, M.O., and Didion, D.A., 1987, "Quest for Alternatives", ASHRAE J. Dec., pp.32~42.
7. 박영무, 이홍원, 1991, "R-134a의 열역학적 물성치 계산과 냉동성능에 관한 연구," 공기조화 냉동공학 논문집 제3권 제4호, pp. 286~296.