

기술현황분석

히트펌프온수기 기술개발 동향 및 시장

1. 머릿말

압축식 히트펌프는 에너지 절약효과 및 이산화탄소 감소효과가 크며 또한 한가지 냉·온열생산이 가능하여 냉·난방 및 온수생산, 산업분야 등에서 다목적으로 사용될 수 있기 때문에 이에 대한 연구개발 및 적용연구가 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 특히 IEA(International Energy Agency)의 Heat Pump Centre(HPC)라는 기구를 통하여 공동연구 개발 및 상호 정보를 교환하고 있으며, 또한 정책적인 연구가 수행되고 있다. 현재 IEA의 HPC의 회원국은 미국, 일본, 캐나다와 유럽의 오스트리아, 벨기에, 덴마크, 프랑스, 독일, 그리스, 스페인, 이태리, 네델란드, 노르웨이 스위스, 스웨덴, 영국 등 16개국이다.

80년대 중반부터 히트펌프는 이들 회원국을 중심으로 주거건물이나 사업용 건물의 냉난방 및 온수급탕용으로 보급확대를 시도하여 왔으며, 그 중에서도 히트펌프 적용효과가 좋은 온수기로의 이용이 두드러지고 있다. 이와같은 히트펌프를 가열장치로 사용하는 온수기는 20여년간 이상 연구가 지속되어 왔으며, 현재 일부 국가에서는 보급이 확대되고 있다. 최근에는 심야전기 낮은 요금 대별 전기를 이용하는 축열식 히트펌프 온수기에

대한 연구개발도 활성화되고 있으며, 이미 상용화된 제품도 있다. 이러한 심야전기용 축열식 히트펌프온수기 개발은 우리나라와 같이 전기에너지의 수급불균형에 따른 발전소의 비효율성을 개선하고 신규설비투자를 줄이고 위한 목적으로 낮은 심야전력 요금 정책을 펴고 있는 국가에서 대단히 고무적이라 할 수 있다.

본 고에서는 건물(주거 및 상업용 건물)에서의 사용을 목적으로 연구개발되고 있는 압축식 히트펌프온수기 종류, 성능, 연구개발 및 국내·외적인 기술수준 및 현황을 살펴보고자 한다.

2 선진외국의 히트펌프온수기 기술 현황

가. 히트펌프온수기 종류 및 개요

선진 외국에서 연구개발되고 히트펌프온수기는 설치하기에 편리하도록 완전품형태로 개발된 것과 현장에서 설치되는 용량이 큰 히트펌프 온수시스템 등 다음과 같은 6가지의 종류로 구분된다.

- 외기열원식(그림 1-a)
- 배열 이용식(그림 1-b)
- Desuperheater(그림 1-c)
- 다목적용(그림 1-d)
- 상업용 건물 배열 이용식(그림 1-e)

○ 폐수열회수용(그림 1-f)

외기열원식(ambient air-source) 히트펌프온수기는 이미 70년대 말부터 연구가 되어온 가장 일반적인 히트펌프온수기이다. 이 외기열원식을 비롯한 대부분의 히트펌프온수기는 순간 가열능력이 작기 때문에 이를 보완하기 위한 축열조가 있는 것이 보통이다. 가열장치인 응축기는 축열조 내부에 장착이 되고 증발기는 축열조 위에 놓이는 일체형과 축열조와 분리해서 외부에 놓이는 분리형이 있다. 이 외기열원식 온수기는 외기온이 낮은 지역에서는 COP가 낮아 사용상에 한계가 있으며 따라서 이를 극복하기 위한 효과적인 제상 장치의 개발이 있어야 하며 또한 보조히터가 있어야 한다.

건물로부터 배출되는 배열(residential exhaust-air)을 이용하는 히트펌프온수기는 외기열원식 히트펌프와 유사하나 단지 열원으로 외기 대신에 실내에서 배출되는 더운공기나 하수가 이용된다. 이 온수기는 주로 외기온이 낮은 추운지역에서 효과적으로 사용될 수 있으며 작동 COP도 높은 것이 특징이다.

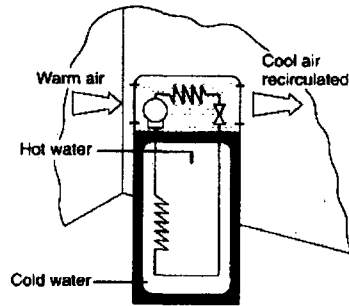
Desuperheater(과열저감기)는 압축기와 재래식 히트펌프의 역지밸브(reversing valve) 사이에 설치되는 “고온냉매 gas-물” 열교환기가 있다. 이 히트펌프는 “air-to-air”와 “water-to-air” 히트펌프 2가지에 모두 이용되는데 이 고온냉매 gas 열교환기는 주로 압축기에서 토출되는 냉매가스가 응축기로 들어가기 전에 과열을 방지해주기 위함이다.

다목적용(integrated unit) 히트펌프온수기는 주로 미국과 유럽에서 일부 사용되고 있는데 냉방, 난방 및 급탕과 경우에 따라서는 환기 기능까지도 갖추고 있다. 이 히트펌프는 Desuper-heater에 의해서만 온수를 생산하거나 또는 Desuperheater와 응축열 모두에 의해서 생산된다. 후자의 경우는 냉방이나 난방이 필요 없을 때 가능하다.

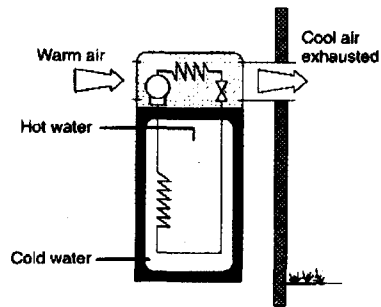
상업용 건물의 배열(commercial exhaust-air)을 이용하는 히트펌프는 주거건물의 배열을 이용하

는 히트펌프온수기와 원리가 유사하나 배기구가 보통 하나로 통합되어 있기 때문에 여기에 “air-to-water” 히트펌프를 적용함으로써 온수를 생산하게 된다.

대용량의 폐열회수용 히트펌프온수기는 “water-to-water” 히트펌프는 냉동기를 변환한 것으로 30KW - 6000KW 정도의 용량이 있다. 물의 가열온도는 80°C까지 가능하며 폐수열원이나 냉각탑으로부터 일년내내 열을 회수할 수 있는 공장이나 상업용 건물에서 적절한 시스템이다.



(a) 외기열원식



(b) 주거건물 배기열원식

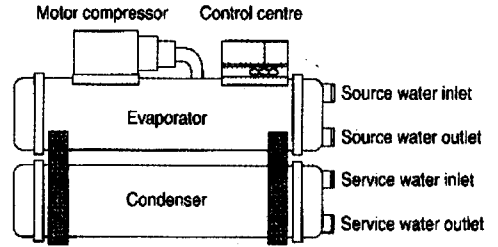
전술한 종류의 히트펌프온수기에 대한 연구는 기술개발 및 평가, 응용연구 및 실증시험으로 구분될 수 있다. 기술개발 및 성능평가에 대한 주요 연구는 대략 다음과 같이 요약될 수 있다.

○ Computer design tool 및 해석

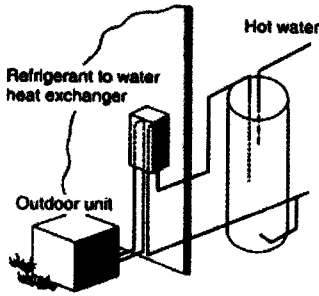


기법 개발

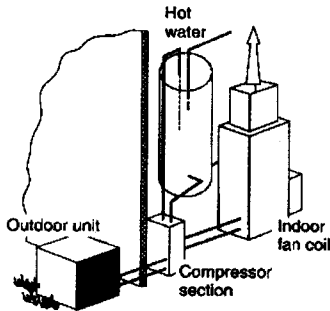
- Components(압축기, 열교환기 등) 및 온수기 최적화
- 대체냉매 및 혼합냉매를 이용한 온수기 연구
- 고온용 히트펌프 온수기 연구
- 자연냉매를 이용한 히트펌프 온수기 개발
- 엔진구동식 히트펌프온수기 개발



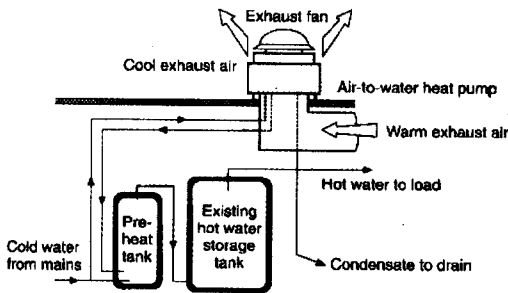
(f) 폐열회수용 히트펌프



(c) Desuperheater(과열저감기)



(d) 다목적용(Integrated unit)



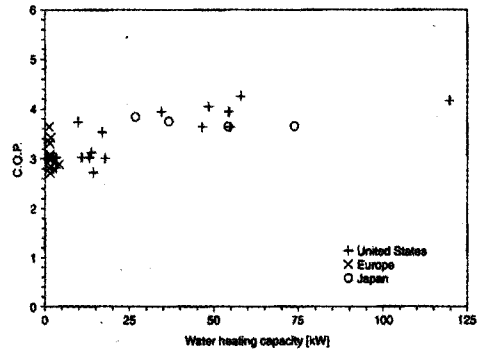
(e) 상업용건물 배기열원식 히트펌프

(그림 1) 여러 가지 형태의 히트펌프온수기

한편 응용연구 및 실증시험과 관련된 자료는 IEA의 HPC에서 집계된 출판된 보고서만 해도 100여건 정도가 된다. 이들 자료들에 대한 간단한 설명은 참고문헌[3]에 수록되어 있다.

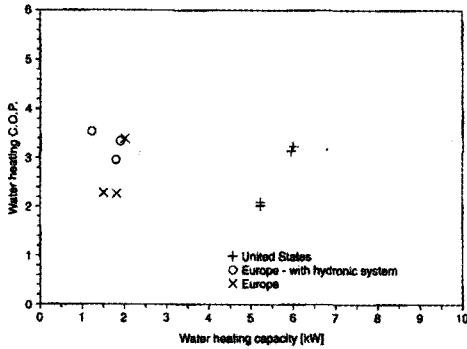
나. 히트펌프온수기 성능

[그림 2]와 [그림 3]에 미국, 유럽 및 일본에서 생산되고 있는 히트펌프온수기의 COP를 종합하였다. 이들 결과는 각 회사별 측정방법에 의거하여 측정된 값이나 측정조건 및 방법이 회사별로 거의 유사하기 때문에 상대적인 비교가 가능하다. 외기열원식과 Integrated 히트펌프온수기의 COP는 대략 2-4 정도가 되며, 외기열원식의 경우는 용량이 클수록 COP가 높아지는 경향이 있다. 외기열



(그림 2)외열원식 히트펌프온수기의 성능

원식 히트펌프 온수기는 용량이 클수록 COP가 증가하는 것으로 나타났으며 소형의 히트펌프 온수기의 COP는 대략 3 전후가 된다.



[그림 3] 다목적용 히트펌프 온수기의 성능

다. 냉매

히트펌프 온수기에 사용되고 있는 냉매는 과거 주로 사용되어오던 CFC계(CFC-12, CFC-114, CFC-502, CFC-500 등) 대신 현재의 주로 ODP(Ozone Depletion Potential)가 크게 낮은 HCFC-22가 사용되고 있으며, 주로 고온용으로 사용되던 CFC-114 대신에 HCFC-124, HCFC-123 및 HCFC-141b도 고려되고 있다. ODP가 없는 HFC계 냉매는 HFC-152a, HFC-32, HFC-125 및 HFC-134a도 사용되고 있으며, 현재 HFC-134a를 사용하는 온수기는 이미 상용화되고 있다.

현재 냉매에 대한 연구는 미국, 캐나다 및 일본에서는 HFC계 냉매에 초점을 두고 있으며, 유럽에서는 암모니아나 탄산수소, 탄산가스(CO₂)와 같은 자연물질에 역점을 두고 있다. 특히 노르웨이에서는 오스트리아, 독일 등과 함께 CO₂를 냉매로 하는 히트펌프 온수기를 개발하여 상용화를 시도하고 있다. 이 히트펌프 온수기는 고압하에서 작동되기 때문에 히트펌프의 각 Component가 소형화가 가능하며 또한 가열온도도 비교적 높은 90℃ 까지도 가능한 것으로 보고 있다. 현재 대체물질의 개발 및 이용을 위해서 IEA의 HPC 회원국

의 히트펌프 제조업체들은 AREP (Alternative Refrigerant Evaluation Programme)에 의무적으로 참여토록 하고 있으며, 주로 현재 광범위하게 사용되고 있는 HCFC-22(R-22)를 대체할 수 있는 적절한 대체물질의 개발하기 위함이다.

3. 국내 현황

국내에서는 80년대 말부터 히트펌프에 대한 소수의 연구가 주로 관련기업을 중심으로 수행되었으며 그것도 난방 및 온수보다는 주로 냉방위주의 기능이 대부분이다. 압축식 히트펌프에 대한 연구는 엔진구동식 히트펌프와 폐수나 열원으로 하는 대규모 용량의 히트펌프시스템 개발에 대한 연구가 한두차례 수행된바 있으며, 대표적인 시스템이 속초에 있는 한국전력공사의 생활연수원에 시범설치된 생활배수를 이용한 히트펌프시스템을 예로 들 수가 있다. 이 시스템은 하절기에는 냉수를 생산하면서 동시에 온수를 생산하고, 비하절기에는 건물로부터 배출(주로 사우나, 욕조 등)되는 폐열수를 히트펌프의 열원으로 사용해서 온수를 생산하는 시스템으로 주로 값싼 심야전기를 이용하기 위한 시스템이다.

최근에는 외기를 열원으로 하는 소형의 냉방위주의 냉온풍기가 개발되어 보급되고 있다. 그러나 히트펌프 온수기는 연구 준비중에 있는데, 이것은 가정용 전기요금에 비싼데다가 동절기 외기온이 낮아 이것이 상용화에 걸림돌이 되기 때문이다. 그런데 최근에 단순히 전열선을 이용하여 심야시간에 온수를 생산저장하다가 필요시 사용하는 심야전기 온수기의 보급이 크게 증가하고 있고 또한 심야전기 요금이 가스나 유가의 50% 이하로 저렴하기 때문에 심야 전기를 이용하는 히트펌프 개발이 강조되고 있다. 특히 이 기기는 전열선을 사용하는 온수기에 비해 전기에너지를 50% 이상 절감할 수 있고 하절기에는 냉방용으로 사용할



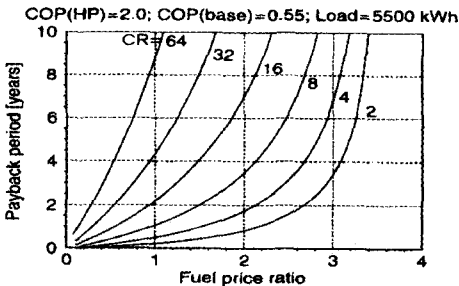
수 있기 때문에 히트펌프에 의해서 가열되는 축열식 심야전기온수기 개발에 큰 관심을 가지고 있다.

4 히트펌프온수기의 경제성

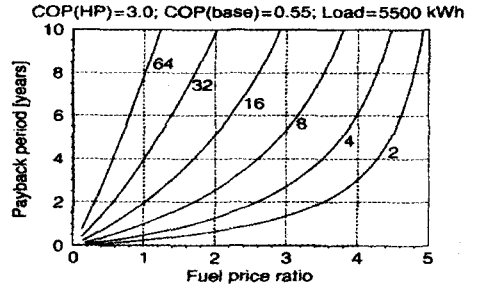
히트펌프온수기의 경제성은 건물의 종류 및 온수부하, 히트펌프의 성능, 기술수준, 전기요금, 유가, 제조원가 등 여러 가지 인자에 따라서 영향을 받게 된다. 이 중에서 주로 경제성에 큰 영향을 미치는 전기와 화석연료의 단위열량당 가격비율(Fuel price ratio = 전기요금/연료가격) 및 COP에 따른 주거 및 상업용 히트펌프온수기의 투자 경제성을 판단할 수 있도록 IEA의 HPC에서 분석한 결과를 보일러(부하가 5500kWh)와 전기히터에 대해서(그림 5)에 나타내었다. 이 그림에서 CR(Cost ratio)는 다음과 같이 정의된다.

$$CR = \frac{\text{추가투자비}/1000}{\text{전기에너지가격}}$$

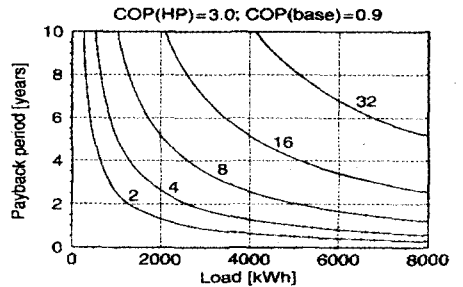
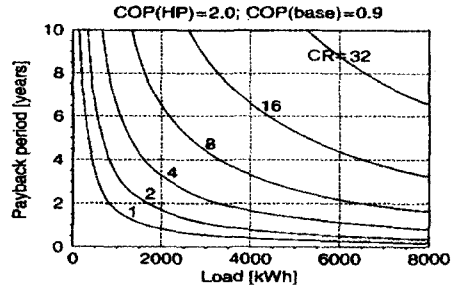
경제성 지표는 단순 투자회수기간(simple payback period)이며, 유지보수비는 고려하지 않았다. 우리나라의 경우 Fuel price ratio 범위는 대략 2 정도이며, CR 값은 대략 16 전후가 될 것으로 예측된다. 따라서 COP가 2일 때와 3일 때 온수보일러를 기준으로 할 경우 투자회수기간은 각각 7년과 5년, 전기히터온수기를 기준으로 할 경우는 각각 약 5년과 4년 정도로 예측된다.



Payback period [years]



(a) 보일러 대비



(b) 전기히터 대비

Fuel price ratio(단위열량당 가격비) = 전기요금/연료가격

CR(Cost Ratio) = (추가투자비/1000)/(전기에너지가격)

(그림 5)가정용 히트펌프 온수기의 경제성

5 히트펌프온수기의 보급전망

1993년 IEA의 HPC에서 발간된 자료에 의하면

히트펌프온수기의 시장은 독일 및 오스트리아가 각각 6,000-10,000/년, 스웨덴이 11,500대/년, 미국이 10,000대/년 정도이다. 일본의 경우는 정확한 통계 자료는 없으나 온수용, 냉방겸용, 건조용으로 히트펌프온수기가 사용되고 있으며 일본의 Heat Pump Technology Center에 의하면 2000년대에는 주거용의 12%, 상업용 6%를 히트펌프온수기가 차지할 것으로 예측하고 있다.

최근에 히트펌프온수기 보급이 가장 높은 증가율을 보이고 있는 나라 중에 하나가 스웨덴이다. 스웨덴에서는 건물실내공기의 쾌적성을 유지하기 위한 최소한의 환기조건을 의무조항으로 규정하고 있다. 이 환기조건은 기계적인 환기를 의미하는데 동절기 난방기간중 환기되는 공기엔탈피의 50%를 회수하도록 의무화하고 있다. 그런데 히트펌프는 전술한 바와 같이 이러한 배기열을 효과적으로 회수하여 온수생산이나 난방용으로 이용할 수 있는 기기이며, 특히 European Standardization의 CEN T.C. 156은 이러한 환기기준의 표준화를 고려하고 있기 때문에 이러한 일련의 조치들이 히트펌프온수기의 시장을 크게 확대시키고 있는 동기가 되고 있다.

오스트리아의 경우는 에너지 절약효과가 큰 히트펌프의 적용을 권장하기 위해서 세제혜택도 주고 있다. 독일에서는 히트펌프온수기가 기름이나 가스온수기에 비해 연 300-500M, 전기히터온수기에 비해 250-500DM가 절약되는 것으로 보고되고 있다. 미국에서는 화석연료의 가격이 특히 낮기 때문에 히트펌프온수기의 보급이 크게 활성화되고 있지는 않으나, 외기조건이 히트펌프에 적절한 특정지역, 즉 Hawaii나 Florida 같은 지역에서 주로 보급되고 있으며, Hawaii에서는 충분히 경쟁력이 있는 것으로 평가되고 있다.

최근 CO₂감축과 관련하여 CO₂감축효과가 큰 히트펌프온수기에 대한 관심과 필요성은 더욱 커지고 있다. 따라서 히트펌프온수기에 대한 수요는 급속도로 신장될 것으로 보고 있다.

우리 나라도 축열식 히트펌프온수기와 관련한 제반조건(전력수요공급 체계, 기후조건, 온수 및 공조부하 등)이 일본과 유사하기 때문에 기술개발이 될 경우 시장규모가 클 것으로 예측된다. 특히 최근 IMF 이후 축열식 심야전기온수기 시장이 급성장하고 있기 때문에 단순히 전열선을 가열장치로 사용하는 기존의 심야전기온수기보다 전기 에너지가 최소 50% 이상 절감되고 또한 냉방용으로도 사용할 수 있는 장점이 있기 때문에 기술개발이 될 경우 그 보급전망과 시장규모는 밝고 크다고 할 수 있다. 참고로 1998년도에 국내의 축열식 심야전기온수기 판매량은 약 34,588대로 예측하고 있다.(97년도 보급대수는 35,974대 임).

6 맺음말

히트펌프온수기는 해당국가의 유가와 전기요금에 따라 경제성이 크게 좌우되기 때문에 아직까지는 각 국가별 여건에 따라서 경제성이 유동적이라고 볼 수 있다. 그러나 히트펌프가 화석연료를 사용하는 기존의 에너지 기기보다 에너지 절약효과가 크고 기후협약과 관련하여 CO₂저감효과가 크기 때문에 가까운 시일 내에 히트펌프 기술의 확대적용이 크게 적용된다. 특히 우리 나라와 같이 값싼 심야전기제도를 갖고 있는 나라에서 히트펌프를 가열장치로 하는 축열식 심야전기 히트펌프온수기는 충분히 경제성이 있을 것으로 보며, 또한 하절기에 냉방장치로 사용이 될 수가 있어 효율적이다. 아직은 히트펌프기술이 범용되기에는 기술적으로 한계가 있기는 하지만 선진외국에서 현재 많은 연구소가 수행되고 있기 때문에 미래의 에너지 기기로 기대가 되고 있다는 제에는 의심의 여지가 없다. 그러나 우리 나라는 이 분야에 아직도 후진성을 면치 못하고 있으며, 따라서 체계적인 연구개발이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 본다.

