● 特輯 ● — 히트펌프 — ①

廢熱回收 熱펌프 開發에 對하여

The Development of Heat Pump for Waste Heat Recovery

李 春 植

韓國科學技術院 機械 및 物理電子研究部長

Ⅰ. 개 괄

1. 히트펌프란?

열역학 제 2 법칙에 의하여 열을 저온의 물체로부터 고온의 물체로 전달하기 위해서는 외부로 부터 일을 가해주어야 하며 히트펌프는 이것에 기초하여 움직이는 장치이다. 즉 히트펌프는 저온의 열원으로부터 열을 빼앗아 고온부로 전달하는 장치로서 원래 냉동기술을 기초로 개발되었다. 일반적으로 저온측의 열을 이용하는 기계를 냉동기라 하고 고온측의 열을 이용하는 기계를 히트펌프라 칭하여 구별하기도 하지만 이들은 같은 원리에 의한 것이다. 히트펌프의 작동원리는 몇가지를 들 수 있지만 실용에 사용되는 것은 작동유체의 증기압력과 온도의 관계를 이용하여 저온에서 열을 취하여 증발된 냉매증기를 고온고압으로 압축하여 고온 상태에서 열을 방출하여 액화시카고 그 결과로서 저온에서 고온으로 열을 이동시키는 것이 대부분이며 이때 냉매증기의 압축을 압축기에 의해 기계적으로 행하는 것을 압축식 히트펌프라 한다. 한편 냉매증기를 흡수액에 흡수시켜서 액체화하여 펌프로 고압부로 이동시켜서 그곳에서 열을 가하여 고압증기로 하여냉매증기를 압축하는 방법을 흡수식 히트펌프라고 한다.

2. 히트펌프의 종류

2 – 1 압축식 히트펌프

가. 기본적특성

압축식 히트펌프는 냉매의 포화온도가 압력에 의해 달라지는 것을 이용한 것으로 저압의 냉매가 증발기에서 주변으로부터 열을 얻어 증발하여 냉매증기로 되고 이것을 압축기에서 압축하여 고온고압의 상태로 한후 다시 응축기에서 응축하여 열을 방출하는 것이다. 결과적으로 증발기의 온도레벨의 열을 응축기의 온도레벨까지 승온하는 것이 된다.

압축식 히트펌프의 성능은 투입된 기계적 일량에 대한 발생열량의 비율인 성적계수로 표시한다.

$$COP=\frac{Q_c}{A\cdot L_w}$$

L_w : 투입된 일량(KW)

A : 일상당량(860Kcal/Kwh)

Q_c : 발생열량(Kcal/h)

압축식 히트펌프는 응축온도가 높아지거나 증발온도가 낮아지면 성적계수가 급격히 떨어진다. 압축식 히트펌프의 증발온도 응축온도와 성적계수의 관계를 **그림 1**에 나타냈다.

나. 분류

종래 압축식 히트펌프는 구동장치로서 모타를 사용했으나 최근 용도의 확대와 함께 성능의 향상과 에너지 절약효과를 높이기 위해 엔진구동 히트펌프가 출현했다. **표 1**은 압축기의 형식에 따른 분류를 나타내며 **그림 2**는 모타와 엔진에 의한 구동시 히트펌프의 부분부하 특성을 보여준다.

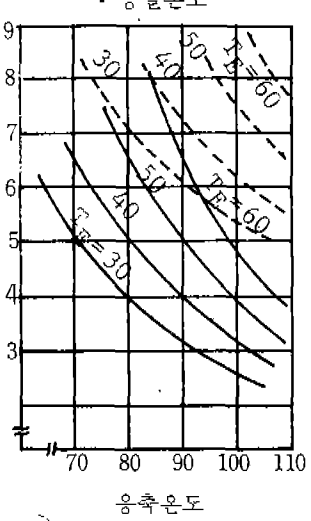
2 - 2 흡수식 히트펌프

가. 기본특성

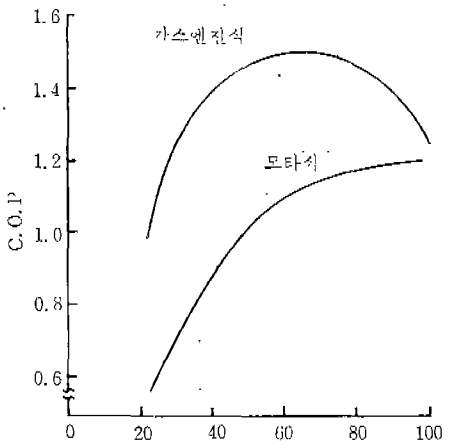
--- 역카르노사이클

—— 실제사이클

T_E : 증발온도



〈그림 - 1〉 압축식히트펌프의 증발온도, 응축온도와 성적계수의 관계



〈그림 - 2〉 부분부하특성의 예

주로 공업용 폐열회수용으로 많이 이용되는 흡수식 히트펌프는 작동매체의 증발 응축에 의해 열을 외부로 부터 끌어들여 이것을 고온에서 방출한다.

흡수식 히트펌프는 기계적 압축법 대신 작동유체 증기와 이에 용해되기 쉬운 흡수제를 사용하여 용액을 만들 경우 액면의 증기압이 낮으면 액중에 증기가 용해 흡수되고 역으로 증기를 흡수한 용액을 가열하면 증기가 방출되는데 이와같은 증기와 용액 사이의 흡수 방출작용을 이용하여 작동유체를 이동시킨다.

일반적으로 작동유체로서 물을 흡수제로서 LiBr을 사용한다.

나. 종류와 특징

흡수식 히트펌프는 배열을 이용하는데 그 적용방

〈표 - 1〉 압축기 형식에 의한 비교

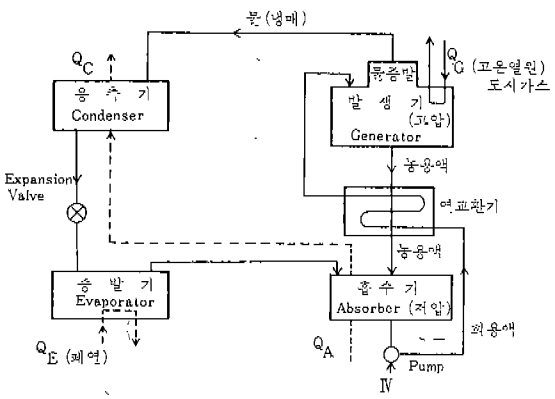
형 식	왕 복 식	로다리식	스크류식	터 보 식
압 축 방 법	왕복용적식	회전용적식	회전용적식	유체역학식
용 량	소	소~중	소~중	중~대
용 량 제 어	단계제어	On, Off	10~100% 연속	70~100% 연속
압 력 변 화 시운전안정성	비교적안정	안 정	안 정	불안정
진 동	불균일진동	편심운동진동	거의없음	없 음
내 구 성	마모·파손부 있음	마모·파손부 있음	가장좋다	양 호

법에 의해 두종류로 구별되고 통상 제 1종, 제 2종 흡수식 히트펌프라 불리운다.

○제 1종 흡수식 히트펌프

제 1종 흡수식 히트펌프는 **그림3**과 같이 고온열원을 재생기에 가해 이용이 어려운 저온열을 증발기에서 흡수하여 응축기 및 흡수기에서의 방열작용을 통해 온수의 형태로 취출한다. 발생가능 온도는 재생기의 최저온도인데 일반적으로 약 80－120℃정도의 발생온도를 얻을 수 있다.

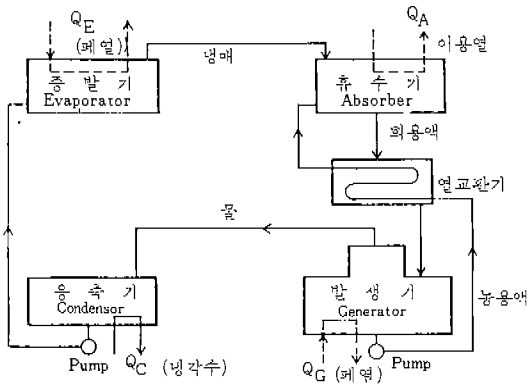
제 1종은 저온의 배열을 100% 유효하게 이용 가능하게 하고 냉각수를 필요로 하지 않는 특징을 갖고 있다.



〈그림－3〉 제1종 흡수식 히트펌프

○제 2종 흡수식 히트펌프

제 2종은 **그림4**에 나타난 것처럼 중온의 배열과 상온과의 온도차를 구동원으로 하여 중온의 배열로부터 고온의 열과 저온의 열을 각각 중온역량의 약 50% 발생하게 하는 장치이며 제 1종에 비해 고온의 열원이 필요치 않아 중원의 배열만으로도 작동되는 특징이 있다. 즉 열원인 폐온수 혹은 폐증기를 증발기에 끌어들여 작동유체로 열을 전달시키고 이 열로 증발한 증기는 흡수기에서 흡수용액에 흡수된다. 이 흡수과정에서 발생한 열량에 의해 흡수기를 통과한 물이 가열되어 온수가 얻어지게 된다. 이때 얻어진 온수온도는 열교환면적이 무한대일 경우 흡수된 냉매증기의 포화온도보다 용액의 비점상승분만큼 높아진다.



〈그림－4〉 제2종 흡수식히트펌프

3. 히트펌프의 열원

히트펌프는 연소형기기와 달리 열이동기기이므로 항상 열원을 필요로 한다.

히트펌프의 열원으로 종전에는 지하수와 대기가 이용되었으나 에너지 위기에 의해 급속히 보급된 에너지 절약기술의 하나로서 배열이용이 많이 주목을 받고 있으며, 건물내의 전산기, 조명, 동력, 인체, 배수, 배기등을 포함하여 지하철 전력공급시설등에서의 배열과 산업체 발전소등의 배열로부터 열원을 구할 수 있다. 이러한 배열은 히트펌프에 의해 유효히 활용되어 커다란 에너지 절약효과와 환경보전 효과를 가져올 수 있다.

히트펌프의 열원으로서 다음과 같은 조건을 구비해야 한다.

① 용이하게 얻을 수 있을 것
② 온도가 높을 것
③ 양이 풍부할 것
④ 온도와 양의 시간적 변화가 적을 것
⑤ 냉방운전시는 응축기로부터의 방열을 제거할 제거할 수 있을 것

Ⅱ. 히트펌프에 의한 폐열회수

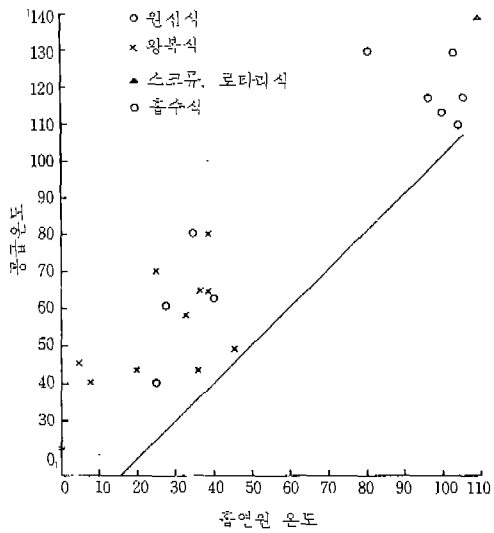
1. 산업용 고온 히트펌프

산업부문에 있어서 생산시스템의 합리화와

폐열회수에 의한 에너지 절약화가 진행되고 있다. 산업부문의 폐열회수는 고온도영역이 요구되고 저온도영역은 그다지 유효하게 이용이 안되므로 저온영역의 에너지를 고효율로 재생산하여 프로세스에 환원하거나 다른 프로세스에 전환하여 사용하는 것이 바람직하다. 산업계의 열수요레벨은 100~150℃ 이상이므로 이 레벨의 온도를 발생하는 히트펌프의 개발이 기대되고 있다. 이를 위한 기술과제로서 다음 몇가지가 제기되고 있다.

① 고온출력
② 승온폭의 확대
③ 고효율화
④ 신뢰성 안정성의 향상
⑤ 저렴화 등

이 과제를 달성하기 위해서는 작동매체의 최적화 새로운 고효율 압축기 개발, 열교환기 개발등 각종 요소기술 개발이 필요하다. **그림5**는 히트펌프 열원온도에 대한 공급가능온도를 보여준다.



〈그림5〉 히트펌프의 흡열원온도에 대한 공급가능온도

2, 고온용 흡수식 히트펌프

현재 KAIST가 제작하여 보유하고 있는 2종 흡수식 히트펌프는 폐온수를 재생하여 산업공정을 위한 열수 및 스팀의 공급을 목적으로 하고있으며 비교적 고온의 폐증기를 갖는 석유화학공업, 정유, 섬유 주정공장에 활용할 수 있다.

흡수식 히트펌프를 생산공정에 적용하는 경우 다음과 같은 점이 문제가 된다.

① 열원이 되는 배열과 냉열 및 열수요가 기본적으로 필요하다.
② 회수계와 이용계의 관계에 의해 3가지 조합이 고려된다.

가. 회수계와 이용계가 동일한 공정인 경우
나. 회수계와 이용계가 다른 공정인 경우
다. 회수계와 이용계의 어느 한쪽이 공장외에 있는 경우

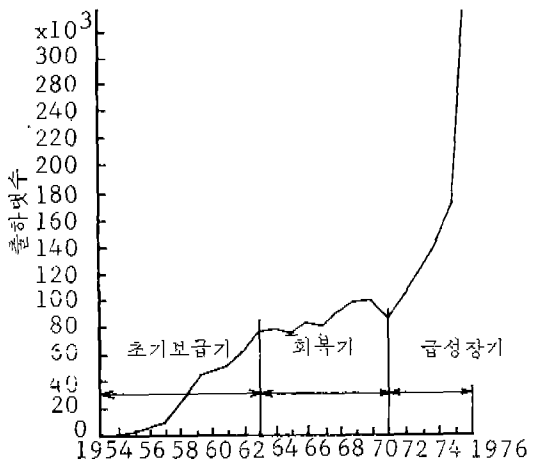
〈표-2〉 흡수식 히트펌프의 이용예

	목 적	종 류	구동열원	온수(냉수)	비 고
방적공장	염색공정가열 방적공장냉각	제1종 1중효용	3.5kg/cm² 배증기	55℃ 7℃	온수와 냉수를 동시에 얻음
펄프공장	보일러급수가열	제1종 1중효용	3 kg / cm² 배증기	45→80℃	
가스회사 영업소 (사무용건물)	냉방과동시에온수급탕보급수의예열에이용	제1종 2중효용	도시가스	20~35℃	급탕부하가큰곳의 보급수를 예열한다.
화학공장	공정가열용증기 발생	제2종	증류탑에서의 유기증기	90→130℃	COP=0.5

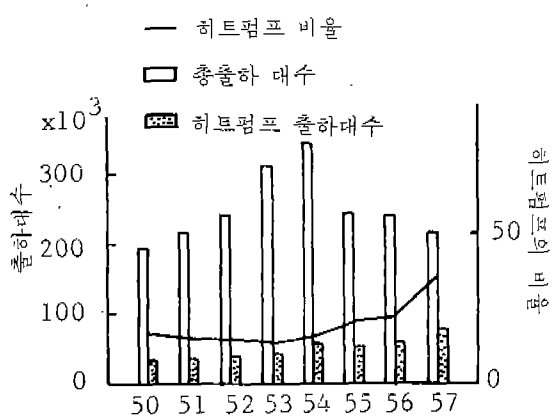
표2는 흡수식 히트펌프의 이용예를 나타내고 있다.

Ⅲ. 국내외 히트펌프 보급현황

미국에서 히트펌프 시스템은 Unitarg시스템 으로 발전하여 76년과 80년 사이에 주택용은 2배이상 상업용은 4배이상의 수요증가가 있었다. 그림6은 미국에서 히트펌프의 발전규모를 나타내고 있다. 일본의 경우 최근 10년간 실내 에어컨 출하대수에 대한 히트펌프의 비율은 그림7에 보이듯이 약 50%



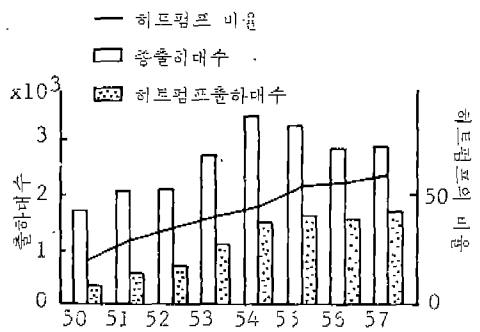
〈그림－6〉 미국의 Unitary 히트펌프의 보급상황



〈그림－7〉 룸에어컨 출하대수와 히트펌프 비율

에 달하고 있으며 패키지형 공조기의 출하대수와 히트펌프의 비율은 그림8에 보이듯이 약 60%에 달한다. 국내의 경우 산업용 히트펌프가 83년에 전남 여천의 한국합성고무공장에 최초로 설치되어 가동된 이후 몇몇 업체들의 관심으로 히트펌프에 대한 연구개발이 진행중이다.

현재 히트펌프에 관한 국내 연구상황은 민간주도 연구과제로 축열식 히트펌프의 설계제작에 관하여 기계연구소와 대일공무사가 기술개발중이며 국책과제로서 고온용 흡수식 히트펌프 개발이 과학기술원과 (주)세기에 의해 압축식 히트펌프개발이 동력자원연구소와 (주)세기에 의해 개발진행중이다.



〈그림－8〉 패키지형공조기 출하대수와 히트펌프 비율

Ⅳ. 히트펌프의 문제점

히트펌프의 문제점으로 시스템, 설계, 응용상의 몇가지를 검토해 본다.

시스템상의 문제점: 공기－공기 히트펌프의 문제점으로 외기가 열원이므로 외기온도가 내려가면 난방부하가 오르게 되고 동시에 효율이 낮아진다. 또 외기온도의 강하에 따른 着霜관계로 용량이 더 떨어지며 除霜할 때의 과잉 액체 냉매의 처리가 큰 문제가 된다.

설계상의 문제점: 증발기와 응축기의 교체필요성으로 야기되는 시스템 불균형문제 팽창변 저항선택 기계 전기 및 컨트롤 관계를 최적설계하는 문제가 있다.

응용상의 문제 : 히트펌프의 난방운전중 전체냉매의 일부만이 바깥코일에서 증발되고 나머지 과잉냉매는 옥내코일에 축적되어 있다가 제상할 때 사이클이 바뀌면서 냉매가 압축기로 들어와 포말 현상이 생긴다. 난방사이클중 바깥코일 표면온도가 0℃ 이하면 외기의 습도함유량과 외기와 증발온도의 차이에 따라 코일표면에 서리가 축적된다. 이때문에 열전달이 저하되고 흡입압력의 강하에 따라 용량 및 성적계수가 저하된다.

V. 앞으로의 개발전망

앞으로 히트펌프는 공기열원 지역도시배열 산업배열등을 이용한 열회수방식으로 발전할 것이며 또 히트펌프의 발전에는 축열시스템 기술의 향상도 현저히 기여하고 있다. 최근 급탕용에는 증기압축식에 프론12, 22, 500 등의 냉매를 사용하여 60~70℃의 온수를 얻을 수 있는 히트펌프로 실용화되어 종래 사용할 수 없었던 고온분야의 활용이 기대되고 있다.

도시배열을 이용하는 히트펌프에 의한 지역 냉난방은 새로운 에너지 유효이용의 방법으로 극히 주목할만한 시스템일 것이다. 현재 일본에서는 문라이트(Moon Light) 계획의 하나로 슈퍼히트펌프 에너지 집적 시스템이 연구 개발중이다.

이 시스템은 야간 잉여 전력을 사용하여 에너지를 고효율 고밀도로 저장하여 대형빌딩공조 대규모 지역 냉난방 각종 산업공정가열등의 대규모 열원으로 이용함으로써 전력의 부하 평준화를 이루려는 것이다. 이것은 현재 시스템에 비해 효율이 2배로 높고(COP= 6 - 8) 출력온도를 300℃까지 상승시키며 에너지 저장을 화학반응에 의하여 효율적으로 행하므로 축열조 크기가 종래크기의 1/10정도로 소형화할 수 있다. 장차 히트펌프의 이용분야는 가정용에서부터 산업용에 이르기까지 광범위하게 발전하여 나갈 것이 예상된다. *

●案 內● ——— 제 8 회 에너지절약기술세미나 실시

- **일 시** : '86. 11. 14(금) 09 : 10~17 : 00
- **장 소** : 대한전기협회 강당
- **대 상** : 회원사 및 전력다소비업체 기술간부(약150명)
- **수 강 료** : 무료
- **접수방법** : 신청서에 의하여 선착순 접수함
- **접 수처** : 대한전기협회 기술부 (274-1661~5)
- **과목 및 시간**

과 목	시간	강 사
○V.V.V.F사용 및 에너지절약 -인버터 구조원리 및 특성 -용량선정	2	금성계전(주) 산업전자 사업부 기술과장 권 혁 선
○V.V.V.F설치로 에너지절감사례 -HGO Product Pump에 응용 (호남정유(주)) -주발전기 냉각용 송풍기에 응용 (한전 관당수력발전소) -교반기에 응용(유한화학(주))	1	상 동
○히트펌프 설치로 전력절감 -히트펌프의 원리 -히트펌프 적용 사례	2	경원기계 (주) 기술영업부 기술과장 김 승 태