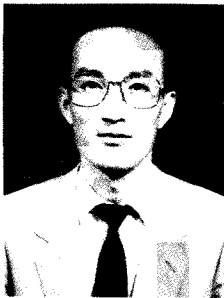


가스엔진 구동 열펌프의 기술동향



김 옥 중
(KIMM 열유체기계실)

- '83.2 아주대학교 기계공학과(학사)
- '85.2 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '85.3-현재 한국기계연구원 선임연구원



이 성 진
(KIMM 열유체기계실)

- '88.2 경북대학교 기계공학과(학사)
- '91.2 경북대학교 기계공학과(석사)
- '91.1-현재 한국기계연구원 연구원

1. 서 론

최근 생활 수준이 향상됨에 따라 보다 편리하고 쾌적한 생활을 위하여 완전한 공기 조화 시스템을 갖춘 건축물이 날로 증대되어 가고 이에 따른 에너지 사용량도 계속 증가하고 있다. 그림 1은 일본과 우리나라의 GNP 대비 룸에어콘의 연도별 변화 추이를 보인 것으로서 우리나라의 경우 1989년 이후 매년 배에 가까운 성장을 보이고 있음을 알 수 있다[1]. 이에 따라 우리나라의 전력 사용량도 그림 2에 보인 바와 같이 계속적으로 증가하고 있어 최근 전력 수급의 문제까지 야기되고 있는 실정이다[2]. 이와 같이 증가 일로에 있는 에너지의 소비는 질소 산화물등에 의한 대기 오염과 이산화탄소등에 의한 지구 온난화 현상등 지구 환경 문제를 야기시키고 있다. 따라서 이와

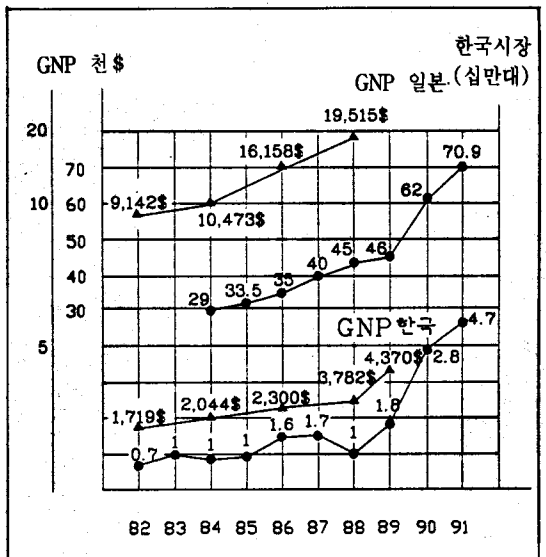


그림 1. GNP와 룸에어콘의 관계

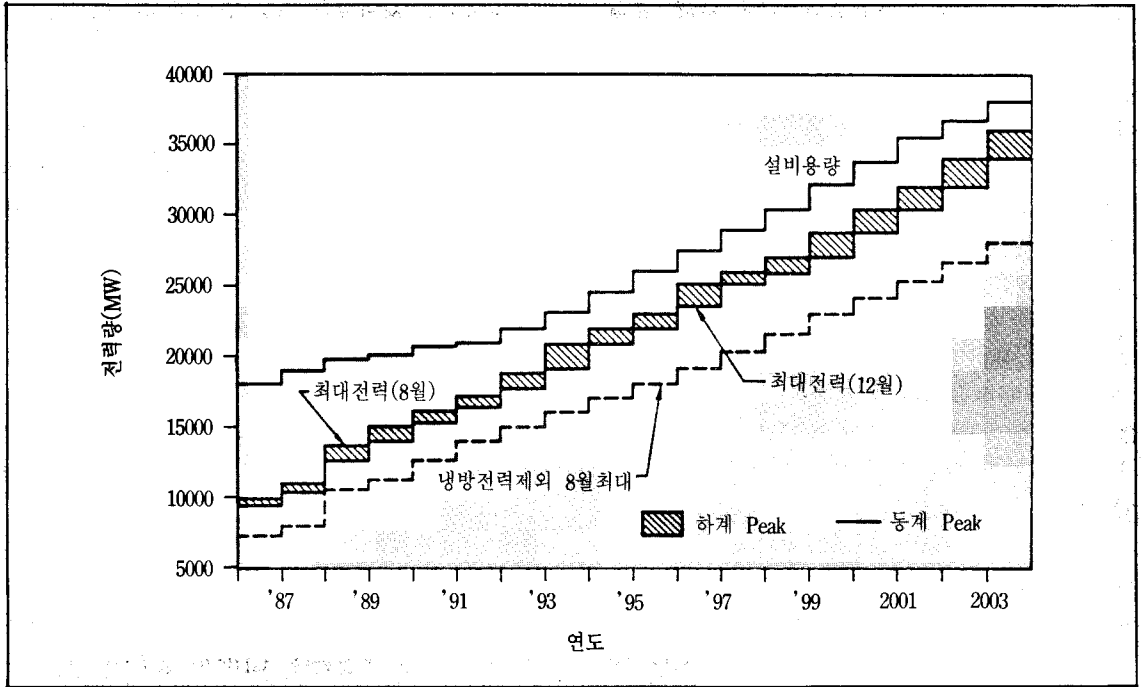


그림 2. 우리나라 전력 사용량의 변화 추이

같은 환경 문제와 에너지 수급 문제를 해결하기 위하여 대체 에너지 개발이나 에너지 절약 기술 개발등에 대한 노력이 전세계적으로 폭넓게 이루어지고 있다.

이러한 노력의 일환으로 에너지의 안정적 확보가 가능하며 청정 연료인 천연가스를 이용한 냉·난방 기기의 개발이 일본과 서독, 미국등을 중심으로 시작되었다[3]. 이 중에서 특히 단위 건물의 냉·난방용으로 일본에서 개발된 패키지 지형 가스엔진 구동 열펌프(이하 GHP라 한다)는 기존의 전동기 구동식에 비하여 많은 장점을 가지고 있어 일본의 경우, 1991년 현재 5만 마력 정도가 보급되어 있는 냉난방 기기이다[4]. GHP는 기존의 전동기 대신 가스 엔진으로 냉매 압축기를 구동하는 방식으로서 특히 난방시에는 엔진의 배열을 충분히 이용할 수 있는 에너지 절약 기기이다.

본 고에서는 기존의 고체 및 유류 연료에 비해 무공해이면서 효율과 운영비면에서 월등히 우수한 가스 연료의 소비를 늘리고, 동절기에 집중된 가스연료의 소비를 하절기에도 가능하게 하기 위

하여 이미 개발되어 실용화되고 있으며, 에너지 절약형 기기로 평가받고 있는 GHP의 기술 동향에 대하여 언급하고자 한다.

2. GHP의 특성

GHP는 가스 엔진과 설비비 때문에 전동기 구동식에 비하여 상당한 원가 상승 효과가 있으나, 그의 여러면에서 다음과 같은 우수한 특성을 보유하고 있다.

2.1 다기능성

GHP는 열펌프 특성으로 냉·난방, 냉동등에 이용된다. GHP는 이러한 일반적인 열펌프 특성 이외에도 450~600°C의 엔진 배가스 및 70~95°C 정도의 엔진 냉각수의 보유열을 이용하여 열펌프로부터 얻어진 50~60°C의 온수를 더높은 70~90°C정도까지 가열, 승온시킬 수 있다. 그 결과 열펌프로서의 이용 분야를 단순한 냉·난방으로부터 급탕, 공업 process 가열등 지금까지 불가

능했던 넓은 영역에 확장시킬 수가 있다. 또한 이렇게 얻은 온수를 이용하여 흡수식 냉동기를 구동하면 압축식 냉동기만의 단독 구동에서 얻어지는 것보다 더욱 큰 냉동 능력을 얻을 수가 있다.

2.2 부분 부하 특성

냉동, 냉난방, 급탕등의 시스템은 그 설비 능력을 설계 최대 부하로 결정하고 있고, 많은 경우 이 최대 설비 용량을 필요로 하는 운전 시간은 극히 짧으며 통상 부분 부하에서 운전되고 있다. 일반 사무실 빌딩의 냉방용 냉동기의 평균 부하율은 50%정도이다. 보통의 기계 설비는 설계 용량에서 최대효율이 얻어지며, 부분 부하시에는 운전 효율이 저하된다. 왕복동, screw 냉동기의 용량 제어에는 회전수 제어 및 압축기의 기통수 제어, slide-vane 제어등의 방식이 채용되고 있으나, 전동기 구동의 경우는 회전수 제어 방식이 고가이기 때문에 보통 그 이외의 방식이 채택되고 있다. 기통수 제어와 slide-vane 제어에서는 압축기의 압축 효율 감소와 전동기 효율의 저하를 가져와

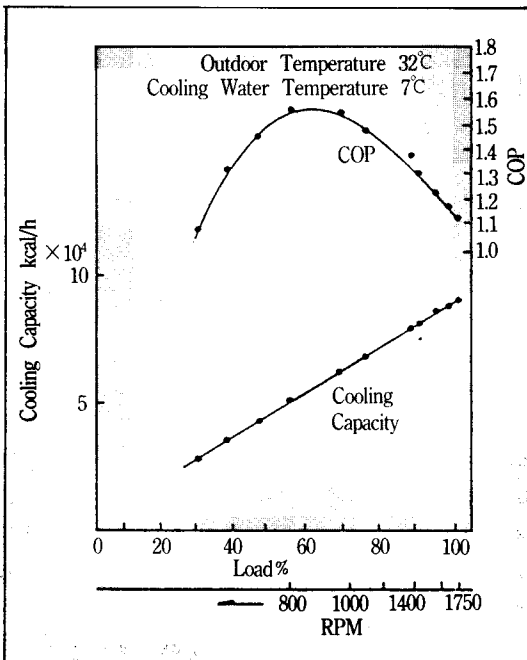


그림 3. GHP의 부분 부하 특성

결과적으로 열펌프의 성적 계수도 저하된다. 이에 대해 GHP의 경우는 부하율 50% 정도 이상의 경우에는 회전수 제어로 대처하고, 50% 이하에서는 회전수가 일정한 상태에서 압축기 고유의 용량 제어 방식을 채용하는 것에 의해 부하율 20~100%의 넓은 범위에서 극히 높은 효율을 유지할 수가 있다. 그림 3은 약 30냉동 Ton의 공기열원 왕복동식 GHP의 냉방 운전시 시스템 성적 계수의 실측치를 보인 것으로 부하율 약 30%까지는 전 부하시 보다도 높은 성적계수를 갖는 것을 알 수가 있다.

2.3 부하 추증성

열펌프의 부하는 그 사용 상태, 외기 온도, 내부 발열등에 의해서 항상 변동하는 것이 보통이다. 또한 열펌프 성능도 외기 온도 변동등에 의해 영향을 받아 변동한다. GHP의 경우, 이러한 부하측과 열펌프측의 성능 변동에 대해서 냉온수 출구 온도 또는 복귀 온도를 검출하여 그 값이 항상 일정하게 되도록 엔진 회전수를 무단계로 제어하여 대응할 수가 있다. 그 결과 GHP에서는 부하 변동에도 불구하고 그림 4에 보인 바와 같이 공급 냉온수 온도를 작은 변동폭으로 일정하게 유지할 수가 있다.

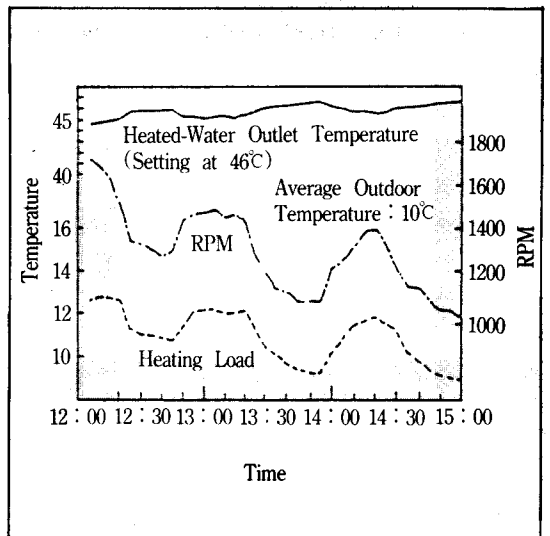


그림 4. GHP의 온수 출구 온도 제어 특성

2.4 외기 온도 변동과 성능

일반적으로 공기 열원 열펌프는 외기 온도 변동에 영향을 크게 받으며, 가열시에는 외기 온도의 강하, 냉방시에는 외기 온도가 상승할수록 열펌프의 능력, 효율이 저하한다. 특히, 가열시의 외기 온도 강하가 성능 저하에 주는 영향은 크며 이것이 공기열원 열펌프의 적용 지역과 채용의 가부를 크게 좌우한다. 그러나 GHP에서는 이용 가능한 엔진 배열량은 외기의 영향을 거의 받지 않으므로 그림 5에서 같이 시스템 전체로서의 가열 능력, 효율은 외기 온도의 영향을 그다지 크게 받지 않는 특징을 가지고 있다.

2.5 에너지 절약성

GHP의 가장 큰 특징의 하나는 앞서도 언급하였듯이 엔진의 배열을 유효하게 이용할 수 있는 것이다. 그림 6은 각종 열원 방식의 시스템 열수지(heat balance)를 나타낸 것으로 GHP는 다른 시스템의 1.4~3배라고 하는 높은 성적 계수를 보

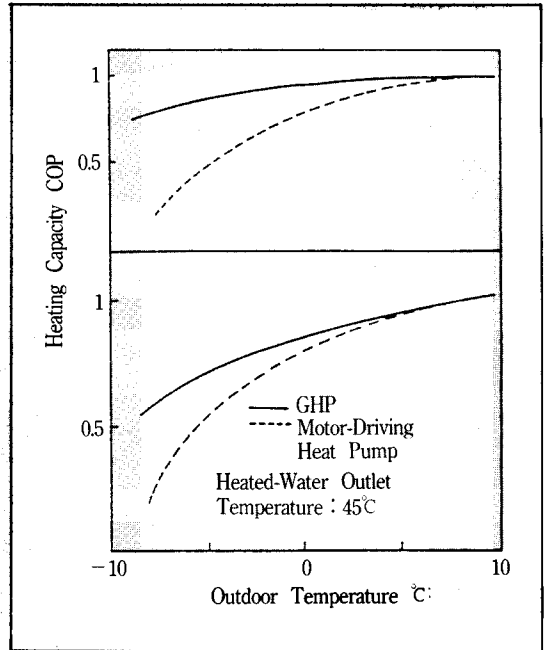


그림 5. 열펌프 성능에 대한 외기 온도의 영향

인다. 바꾸어 말하면, 연료 사용량이 다른 시스템의 30~70%로 억제되는 것이 된다.

	Motor-Driving Heat Pump	Boiler	GHP
Heating Mode	<p>Electrical Transmission Loss 5, Motor Loss 2, Fuel 100, Heating 132, Power Generation Loss 60, 99</p>	<p>Loss 5~40, Fuel 100, Heating 60~95</p>	<p>Waste Heat Loss, Fuel 100, Heating 192, Shaft Work 35, 105</p>
Cooling Mode	<p>Electrical Transmission Loss 5, Motor Loss 2, Heat Release 165, Power Generation Loss 60, Cooling 132</p>	<p>Fuel 100, Heat Release 205, Cooling 105</p>	<p>Waste Heat Recovery Loss, Hot-Water Supply 52, Heat Release 175, Shaft Work 140, Cooling 140</p>

그림 6. 각종 열원 시스템의 Heat Balance

2.6 기타 특성

- 난방시의 warming-up 운전 특성
- 엔진 배열 이용에 의한 제상 특성
- 전동기 구동 방식에 비해 약 40% 정도의 운전 비용 절감

2.7 문제점 및 과제

- 전동기 구동 방식에 비해 비싼 가격(2배 내지 3배의 비용 소요)
- 엔진 오일 교환등 정기적인 보수·점검 요구
- 품질의 안정화
- 저 NO_x화

3. 연구 개발의 현황

GHP는 가스 연료가 갖고 있는 열에너지를 이

용하여 압축기를 구동함으로써 증기 압축식 사이클을 형성하여 냉·난방이 가능하게 할 뿐 아니라 급탕의 기능까지 갖춘 열기로서 일본, 서독, 미국등이 개발에 앞장서 왔다. 먼저 일본에서는 1981년부터 3개의 가스 회사와 5개의 엔진 회사 및 7개의 전장 회사가 규합하여 연구를 수행함으로써 가장 먼저 상품화에 성공하여 현재는 2~18마력급의 다양한 제품을 생산하고 있다. 서독은 Fichtel & Sachs, MAN, Volkswagen등의 3개 회사가 개발에 참여하여 현장 적용 시험 결과 만족할만한 성공을 거두었으며, 미국은 그림 7에 보인 바와 같은 계획에 따라 GRI(Gas Research Institute)의 주도하에 개발을 추진하여 필요한 가스엔진과 압축기의 개발을 마친 상태이며 곧 상품화 될 전망이다[5]. 우리나라에서는 1991년 한국가스공사의 위탁으로 한국기계연구소에서 국산화 개발을 하였으나, 시장 여건의 미비로 지속적인 추진은 중단된 상태에 있다.

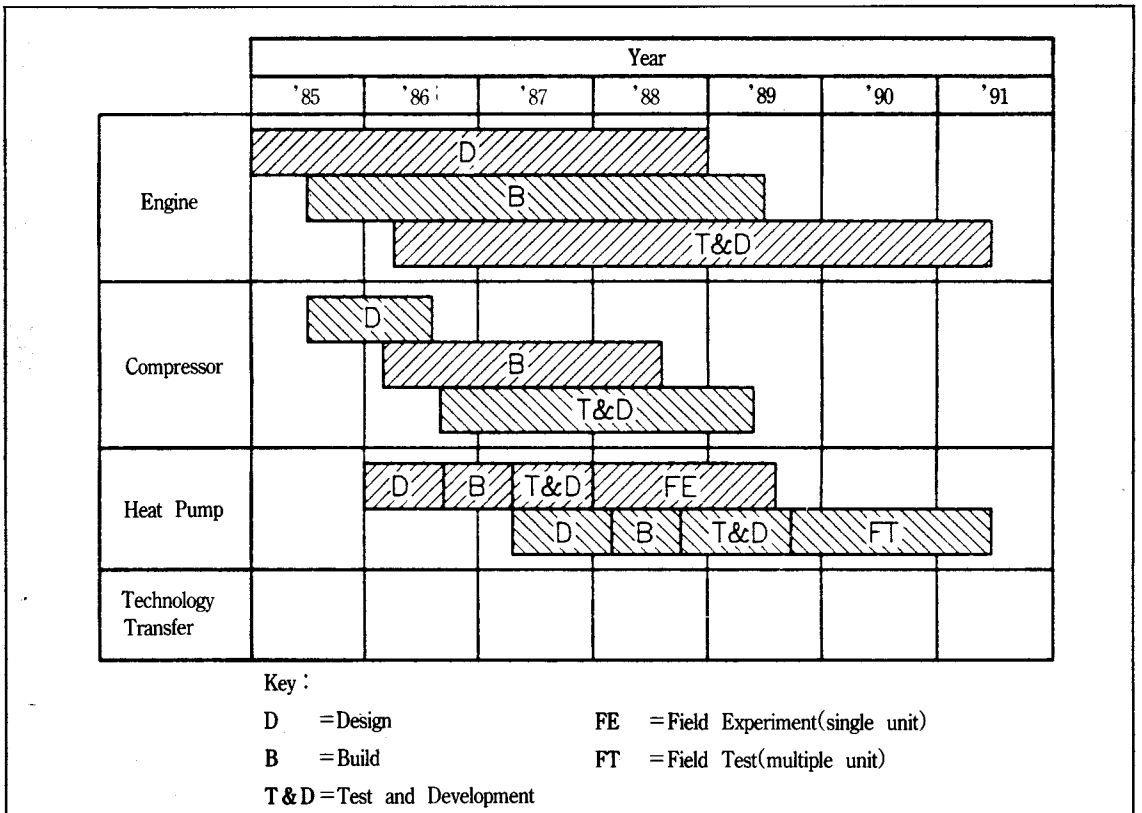


그림 7. 미국의 GHP 개발 계획

4. 관련 기술 동향

현재 룸에어콘을 비롯한 공조기기의 세계적인 기술 추이는 1) 쾌적성 2) 기능성 3) 유지 보수의 용이성 4) 시공성 5) 조작성 6) 디자인 향상 추구로 압축되고 있다. GHP 또한 패키지형 공기 조화기이므로 이러한 일반적인 기술 변화의 대응과 아울러 다음과 같이 GHP만의 독특한 기술 동향을 보이며 발전하고 있다.

4.1 가스 엔진

가스 엔진은 GHP의 핵심 기기로서 수명 연장, 고효율화 및 저NO_x화에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다[6].

4.1.1 수명 연장

가스 엔진의 수명이 곧 GHP의 수명이 되므로 가스 엔진의 수명 연장은 매우 중요한 연구 과제가 되고 있다. 가스 엔진의 수명은 일반적인 패키지 에어컨의 수명인 약 10년 이상을 목표로 하고 있다. 최근 흡·배기 밸브의 내구성 향상과 엔진 오일의 소비량 감소를 통하여 20,000시간 이상의 내구성을 갖는 가스 엔진의 개발이 보고되고 있다.

4.1.2 고효율화

GHP용으로 사용되는 가스 엔진에서의 압축효율을 약 40% 이상으로 끌어 올리기 위하여 엔진 압축비의 상승과 작동 매체의 비열 감소의 효과가 있는 회박 연소 엔진에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

4.1.3 저NO_x화

가스엔진의 경우 일반적으로 이른 공기비의 근처에서 엔진에 따라 약간씩 다르나 최대 2,000~4,000ppm정도 NO_x를 배출한다. 이와 같은 NO_x의 저감을 위하여 회박 연소법, EGR법, 점화 시기 지연법등의 연소 개선 방법과 촉매법등의 배기 가스 정화법에 대한 기술 개발이 이루어지고 있다. 이 중에서 삼원 촉매법은 GHP용과 같은 소형의 엔진에 가장 적합한 방법으로 각광을 받고 있다.

4.2 압축기

GHP의 경우 시스템의 특성상 open type의 압축기를 사용해야 하며 가스엔진과의 연결이 매우 중요하다. 표 1은 일본에서 개발한 제품들의 압축기 사양을 나타낸 것으로서 여러가지 형태의 압축기가 이용되고 있음을 알 수 있다. 압축기 역시 내구성 향상에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며 베어링의 구조 변경, 가스 엔진과의 연결 구조 개선등에 대한 연구도 활발하다.

4.3 시스템의 구성 및 폐열 이용

GHP의 경우 엔진에서 연소와 마찰에 의해 발생하는 폐열을 이용하는 것이 특징이며 이 폐열을 이용하는 방법에는 크게 온수를 직접 실내에 순환시키는 방법과 온수로 냉매를 가열해주는 방법이 있다. 그림 8은 후자의 방법에 대한 대표적인 예로서 그림에 보인 바와 같이 열펌프의 실외기 측에 폐가스 열교환기를 거친 엔진 냉각수가 냉매를 가열하도록 별도의 열교환기를 부착시켜 그림에서와 같은 난방 운전시에는 외기 조건으로

표 1. 용량에 따른 압축기의 규격

구 분	3마력급	5마력급	7.5마력급	15마력급
형 식	Rotary 식	Rotary 식	Screw 식	왕복동식
배제용적(cc/rev)	60.5	147	60.5×2	522
회전수범위(rpm)	1,600-3,125	1,162-2,2556	1,725-2,875	700-1,800
동력전달 방식	V belt구동	V belt구동	V belt구동	직결식

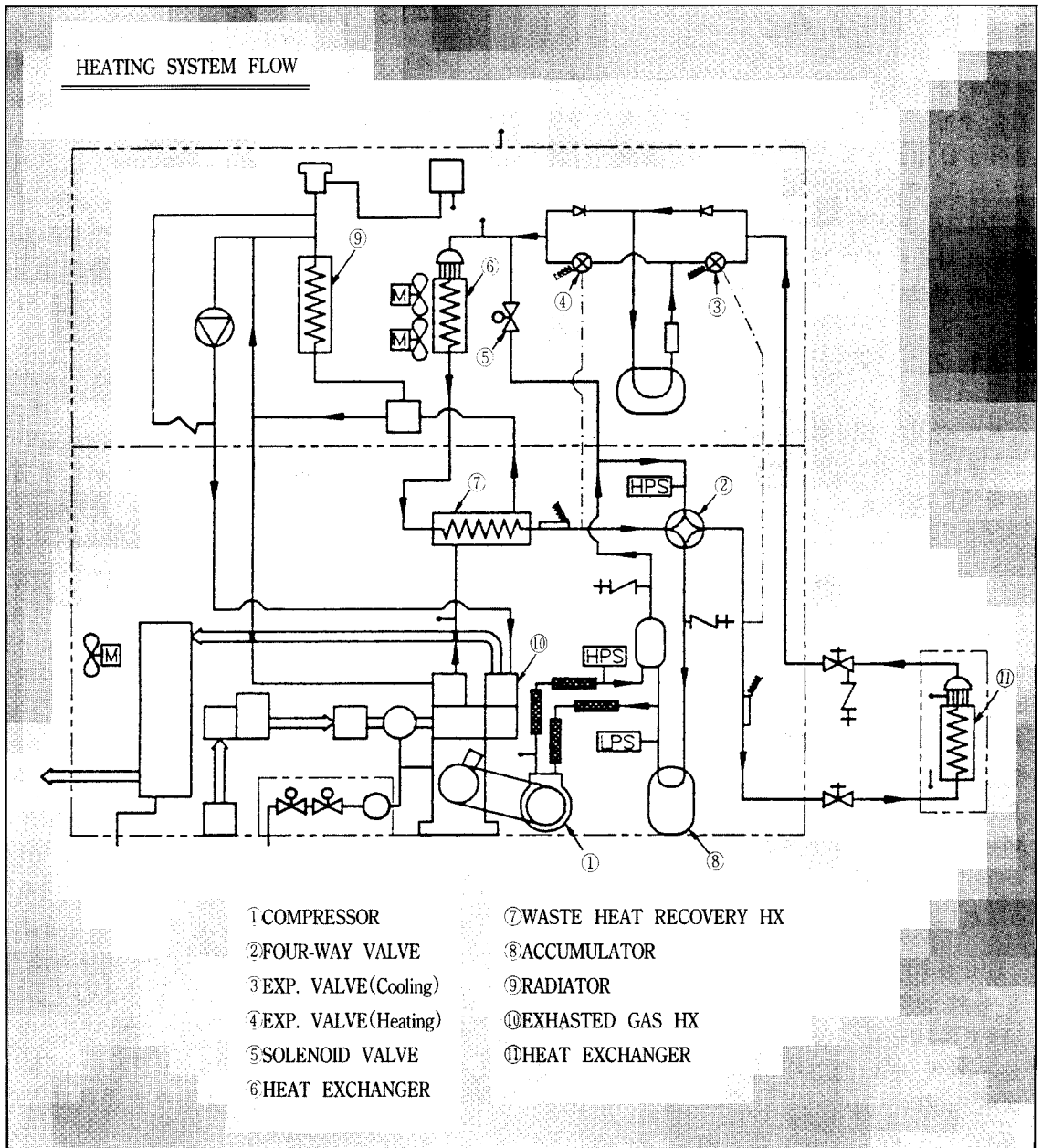


그림 8. 냉매 가열 방식 GHP

인해 능력이 떨어질 수 있는 증발기를 보조하여 냉매의 증발을 돕게 된다. 반대로 냉방 운전시에는 고온의 냉매를 식혀 줌으로써 응축 온도를 떨어뜨려 시스템의 성능을 향상시킨다. 또한 난방시 실외 공기 온도를 폐열로 미리 가열하여 증발기로 통하게 하는 방식등 다양한 방법이 개발되고 있다.

4.4 기타

이 밖에도 저소음화와 제어의 편의성 및 개별 공조 체제에의 대응에 대한 연구가 이루어지고 있다.

5. 결 론

GHP는 이미 언급한 바와 같이 여러가지 특징과 장점을 가지고 있어 향후 단위 냉·난방을 위한 공조기기로서 세계적으로 계속 발전할 것이 확실하다. 특히, 에너지의 효율적인 이용과 공해 문제 해결 및 전력 수급의 안정화에 기여도가 크므로 우리나라의 실정에 매우 적합한 공조 기기가 될 것으로 사료되므로 국내에서도 우리의 실정에 적합한 시스템의 개발을 위한 노력을 아끼지 말아야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] 문정호, 국내 룸 에어컨 기술의 현황과 전망, 냉동 공조, 제20호, 1993.
- [2] 빙축열 시스템, 한국전력공사, 1990.
- [3] 정동수의, 냉·난방을 위한 가스엔진 구동 열펌프의 기술 개발, 한국가스공사, 1991.
- [4] 일본 패키지 에어컨의 신기술 동향, 냉동 공조, 제20호, 1993.
- [5] C. E. French, F. E. Jacob, T. A. Klausning and T. R. Roose, "Gas Research Institute Residential, Reciprocation Natural Gas-Engine Vapor-Compression Heat Pump", 1989 Int. Gas Research Conference, 1989.
- [6] 宮原 純, 가스엔진, 省エネルギー, Vol.43, No.4, 1991.
- [7] S. V. Shelton, "Natural Gas I. C. Engine Heat Pump Study", Georgia Inst. of Tech., Atlanta, 1983.
- [8] V. A. Eustace, "Testing and Applications of a High Temperature Gas Engine Driven Heat Pump", Heat Recovery Vol.4, 1984.
- [9] 井上市, 高田秋一, ビルのガスエンジンシステム, 昭和 59年.
- [10] 가스히어보스 技術資料, 大阪ガス株式會社.
- [11] Gas Engine Driven Heat Pump, SULZER Catalog.