

# 가스엔진 구동 열펌프 개발

## - GHP의 국내개발을 위한 기술검토 -

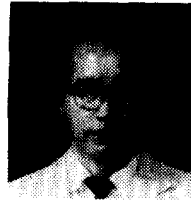
### A Study on the Development of Gas Engine Driven Heat Pump

우 정 선  
J. S. Woo  
한국에너지기술연구소



- 1950년생
- 건물에너지절약, 열펌프, C/A저장등에 관심을 가지고 있다.

이 세 균  
S. K. Lee  
충북대학교기계공학과 부교수



- 1945년생
- 오레곤주립대 대학원졸업
- 냉동 및 공기조화, 열펌프 시스템 응용, 지열 및 축열 시스템해석, 열역학제 2법칙 해석등에 관심을 가지고 있다.

## 1. 서 론

경제성이 없는 낮은 온도의 열원에서 열을 끌어 올려 유효한 온도로 승온시켜 방출하는 장치인 열펌프는 매우 유용한 에너지절약기기로서 IEA(International Energy Agency)에서는 80년대 초부터 전략적으로 연구개발 및 보급을 추진하여 왔으며, 각종 산업분야에의 적용은 물론 상업용건물과 주거용건물에서 사용되는 에너지 다소비기기인 냉난방 및 급탕용 기기로 적용하는 추세가 빠른 속도로 확산되고 있다.

일본의 경우, 열펌프가 룸에어컨시장의 약 60%, 패키지형 에너지컨디셔너 시장의 약 70%정도를 차지하고 있으며 수요율도 빠르게 증가하고 있다. 또한 열펌프의 적용이 어렵다고 결론지어지던 북해도의 일부지역까지도 열펌프의 보급이 확대되고 있는 추세이다.

그와같은 결과는 열펌프가 발휘할 수 있는 에너지절약측면에서의 절대적인 효율성 때문에 기술개발을 꾸준히 추진한 결과로서, 일본은 84년부터 온열전용인 COP 8의 고효율형, 300°C 출력의 고온열원 고온출력형의 초고성능 압축식 열펌프, 고효율 화학축열기술과 토탈시스템인 수퍼히트펌프 에너지집적시스템의 개발을 연구 추진하고 있으며 거의 개발이 완료단계에 있다. 또한 축열재 이용열펌프, 지열이용열펌프, 배열 이용열펌프와 같은 한냉지용열펌프를 비롯하여 엔진구동열펌프 그리고 수소흡장식열펌프와 화학열펌프 같은 기종의 개발도 추진중에 있다.

그와 같은 여러가지 연구개발동향중 공기조화 냉난방과 관련하여 보다 관심이 큰 열펌프가 엔진구동열펌프이다. 이는 우리나라는 난방이 필요한 동절기가 추운 한냉지역으로서 기존의 전기를 사용하는 공기열원펌프는 서리의 생성

및 효율의 저하로 경제성이 없다고 결론이 지어지진 이미 오래이기 때문이다. 엔진구동열펌프는 엔진의 힘으로 압축기를 구동하여 공기를 열원으로 운전하며 또한 엔진의 냉각수 및 배가스의 열을 회수하여 사용하므로 효율면에서 기존의 냉난방 및 급탕 전용PLANT방식의 지역난방방식 보다 유리하며 또한 서리의 생성과 같은 효율저하요인을 없앨 수 있기 때문에 우리나라와 같은 한냉지역에서의 적용에도 매우 유리한 기기이다. 그러나 동 관련기술을 선발국에서도 상품화되어 보급이 시작된 것이 불과 수년전부터이며 또한 기술보호를 하고 있는 상태로서 제품의 개발을 위한 견본제품의 구입조차 어려운 상태이다.

우리나라에서 주거용건물의 냉난방에 열펌프를 적용하는 유효한 방법에는 지하수, 지열, 태양열 등을 열원으로 하는 방법과 엔진구동열펌프방식이 있겠으나 앞의 3가지 방식은 적용할 수 있는 지역이 한정되고 관련시설이 방대해지며 초기투자비가 크게 소요되는 등의 문제점이 있다.

본 고는 우리나라에서 주거 및 소규모 상업용공간에서의 열펌프의 적용에는 엔진구동열펌프의 적용이 최선이라는 전제로서, 우리나라의 기후특성인 한냉지조건에 적합한 GHP(소형 Gas엔진 구동 Heat Pump)의 국내개발을 위한 관련기술에 대한 사전 조사연구내용이다.

## 2. 열펌프의 보급전망

### 2.1 보급영향요인

주거용건물에의 열펌프 보급에는 많은 요인이 영향을 줄 수 있다. 그러한 여러가지 요인들이 표 1과 같이 분류되었다. 사회적요인들은 시대적 경향에 따라 점진적으로 발전될 수 있는 것 들이며 그외의 요인들은 현재의 상태에서도 동기 및 여건부여 상황에 따라 그 경향이 크게 바뀔 수 있다고 보고 있다. 그러한 영향들 중 우리나라에서의 보급부진 원인중의 하나로 평가되고 있는 한냉기후 조건을 극복할 수 있는 매우 중요한 요인이 기술적 요인들 중의 GHP시스템개발이다.

표 1 주택분야에의 열펌프 보급 영향요인<sup>(1)</sup>

분 류	내 용	점 진 적 보급요인	변동적보급요인	
			영향(소)	영향(대)
사회적요인	인구구성의 변화	0		
	가사의 자동화, 기계화	0		
	주택의 정보화	0		
	거주환경의 향상	0		
	생활스타일의 다양화	0		
	고층맨손의 증대	0		
경제적요인	등유가격		0	
	주택공급		0	
	기기메이커의 전략		0	
기술적요인	다기능 열펌프 개발			0
	냉난방기기의 Built-In화			0
	주택용 GHP시스템개발			0
정책적요인	가정용전원의 200V화			0
	계절별요금등의 도입			0

## 2.2 보급추세 및 예측

### 2.2.1 우리나라의 열펌프 보급

그림 1은 1979년에서 1988년 사이의 10년간에 우리나라의 각종 공조기의 품목별 출하 현황이다. 공조기류의 총출하액이 매년 상승세에 있음을 볼 수 있다. 그중 1988년도 1년간의 열펌프의 생산 및 출하댓수는 표 2와 같다. 우리나라에서의 최초의 열펌프 생산은 1983년에 KS사에서 일본 히다찌사의 기술로 열펌프식 전천후 패키지형 에어컨(8500~30000kcal/h)을 조립생산한 것이다. 한편, 분리형 냉난방겸용의 열펌프식 룸에어콘과 패키지에어콘을 1984년에 S전자(사)에서 생산을 하였고 이듬해에 일본 도시바의 기술로 인버터타입 용량비례제어 분리형 열펌프식 룸에어콘을 생산하여 시판하였으나 매출부진으로 현재는 생산중단 상태에 있고 KS사에서는 일본 마쓰시타의 기술로 위와 같은

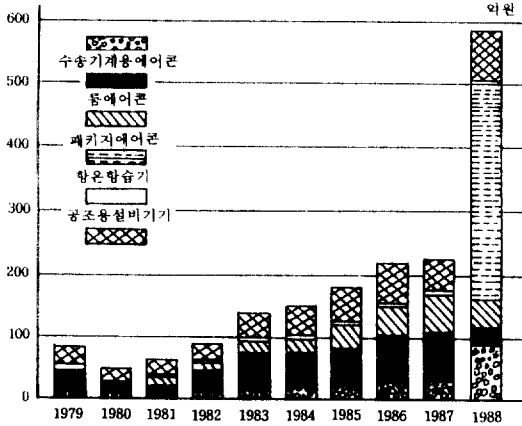


그림 1 우리나라의 공기조화 관련기기 출하 현황<sup>(2)</sup>

표 2 1988년도의 열펌프생산 및 출하댓수<sup>(2)</sup>

품 목	생산댓수	출하댓수	
		국내	수출
룸에어콘(3HP미만) 분리형	5,775	686	580
패키지에어콘 (3-5HP)	1,510	1,526	0

주) 모두 냉난방 겸용임

인버터 변속형 압축기를 탑재한 동형의 룸에어콘을 생산시판하기 시작하여 현재도 생산을 하고 있다.<sup>(2)</sup> 그러나 우리나라의 기후는 한냉한 관계로 공기 대 공기식 열펌프는 에너지 절약성이 적고 실용성이 없어 매출이 부진한 형편에 있다.

### 2.2.2 외국의 열펌프 보급

미국에서는 1950년대에는 신뢰성 때문에 열펌프의 보급이 저조하였다. 신뢰성을 개선하는 노력이 1960년대 중순으로부터 시작되어 1972년 이후에는 열펌프의 급성장기에 접어들게 되었다. 통계자료를 보면 공기 대 공기 열펌프의 공급실적은 1973년의 약 13만대에서 1978년 56만대로 뛰었다가 1980년에 44만대 그리고 1981년에 50만대로 14% 정도의 증가율을 보였고 그후 그림 2에서 보는 바와 같이 꾸준히 신장세를 보이고 있다.<sup>(2)</sup>

일본에서는 1981년 초에 인버터 탑재 에어컨 디서너의 등장으로, 이후의 룸에어콘디서너의 공급추세에 일대 혁명을 가져왔다. 그림 3은 일본의 룸에어콘디서너 판매실적이다. 인버터 열펌프의 등장으로 전체 에어컨디서너에 대한 열펌프의 점유율이 해마다 상승추세에 있고, 1985년에는 65%에 이르고 있다. 인버터 열펌프도 전체 열펌프의 도입은 매우 빨랐으나 전문가를 제외하고 열펌프라는 명칭이 일반화 한것은 10년을 좀 넘는 정도이고 가정용 에어컨이 적극적으로 사용되기 시작한 이후의 일로 본다. 그러나 현재로서는 건물에의 에너지절약정책 시행으로 난방부하가 감소된 것, 냉방의 보급율이

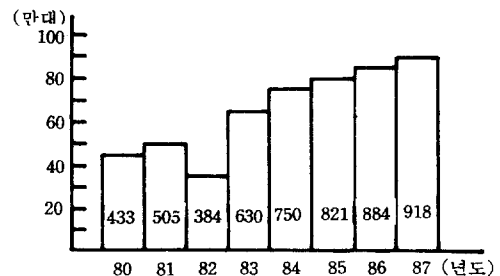


그림 2 미국의 공기열원 열펌프 출하댓수<sup>(2)</sup>

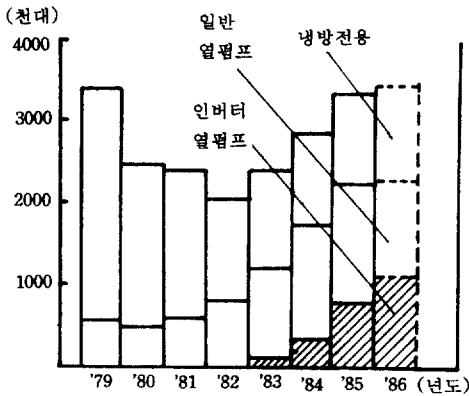


그림 3 일본의 공기조화기 출하대수<sup>(2)</sup>

상승한 것, 열펌프의 성능이 향상된 것, 또한 한대의 장치로 냉난방을 할 수 있는 것등이 열펌프 보급의 신장원인이라고 본다<sup>(2)</sup>. 日本中央調査社(BBR)에 의하면 1987년도에 일본 전국의 25.0%에 달하는 세대에 열펌프식 에어컨의 보급이 되었다<sup>(3)</sup>는 보고내용은 작금의 일본에서의 열펌프 보급확산정도를 짐작할 수 있다. 표 3은 1985년도를 기준으로 하여 2000년의 일본의 열펌프 보급예측 결과를 나타낸다. 2000년까지 주택분야는 물론 업무 및 산업분야에서 50% 이상의 열수요 부담을 열펌프에 의하여 처리될 것으로 예측하고 있으며 기기수요창출효과도 21~44조엔에 달할 것<sup>(4)</sup>이라는 보고가 있다.

표 3 일본의 열펌프 보급예측(열수요 부담비율)<sup>(3)</sup>

(단위 : %)

CASE	주 택		업 무		산 업		
	냉난방	급탕	냉난방	급탕	난방	프로세스	
1985년	8	0	13	-	-	-	
2000년대	최 대	64	17	68	9	68	5
	중 간	52	12	54	6	54	3.6
	최 소	40	7	39	3	39	2.3

### 3. 한냉지의 열펌프

우리나라의 동절기는 한냉한 기후로서, 한랭한 기후조건에서 운전되는 열펌프는 성능의 유지를 위해 다음과 같은 조건이 필요하다.

(1) 영하의 온도조건을 포함한 넓은 외기온도조건에서 난방효율이 높아야 한다.

(2) 낮은 외기온도에서도 높은 난방효과를 유지할 수 있어야 한다.

(3) 최대수요열량이 낮아야 한다.

(4) 효율적이며 신뢰할 수 있는 제상능력을 갖추어야 한다.

(5) 오랜 사용기간 동안 신뢰성이 유지되어야 한다.

(6) 길고 혹독한 난방기를 고려할 때 외기온도의 계속적인 변화, 습기의 침입, 제상사이클 등과 같은 특징이 고려되어야만 한다.

### 4. 엔진구동 열펌프

엔진구동열펌프는 종래의 전동기를 이용하여 압축기를 구동하는 방식(EHP)대신에 엔진을 구동하여 그 출력으로 압축기를 가동시키고 또한 엔진에서 배출되는 배기가스의 배열과 엔진냉각수의 냉각열을 회수함으로써 매우 효과적으로 에너지를 절약할 수 있는 열펌프시스템이다. 종래의 열펌프시스템과 같이 사용목적에 따라 기능을 전환하여 난방기에는 난방을 목적으로 사용할 수 있고 냉방기에는 냉방을 목적으로 사용할 수 있음을 물론이고 급탕등과 같은 2차적인 기능도 하나의 유니트로 얻을 수 있다. 엔진구동열펌프는 엔진의 종류 및 형식, 사용하는 연료의 종류, 압축기의 종류 및 형식, 열원, 열펌프시스템의 형식, 용량 등에 따라 구분되어 다양한 종류가 있다. 가스엔진구동열펌프는 가스를 연료로하는 엔진구동열펌프이다.

### 4.1 가스엔진구동열펌프

가스는 청결성, 사용의 편리성, 융통성, 타에너지에 대한 높은 경쟁력, 환경보호측면에서의 유효성, 간편한 설비, 효율성 높은 기술의 이용 가능, 장기간 보유가능 등의 많은 장점 때문에 높은 효율성이 평가된지 이미 오래다. 가스를 연료로하는 엔진구동열펌프는 일반적으로 소형의 열펌프식에어콘을 GHP라 하고 대형을 GEHP라 구분한다. GHP는 2PS에서 18PS<sup>(5)</sup> 내외의 용량으로 비교적 소용량이며 실내기와 실외기로 구분되어 그 사이를 냉매배관으로 연결한다. 엔진구동압축기는 실외기에 수납되고 4 way valve의 전환으로 실내기의 코일이 냉방시

에는 증발기, 난방시에는 응축기로 또 실외기의 코일이 냉방시에는 응축기, 난방시에는 증발기로 되어 냉방시에는 실내코일에서 실내의 열을 얻어 실외기 코일로 대기에 배출하여 난방시에는 실외기 코일에서 대기의 열을 얻어 열펌프로 온도를 높여 실내기 코일에서 열을 실내로 방출해서 냉난방을 한다. GEHP는 GHP에 비하여 용량이 크며 냉난방 및 냉동 등에 이용이 가능한 한편 400~550℃의 엔진배가스, 80~90℃ 정도의 엔진냉각수가 보유하는 열을 이용해서 여러 온도 레벨의 증기, 온수를 프로세스용으로 사용할 수 있으며 또한 배가스를 직접 건조에 사용할 수도 있다.

표 4는 엔진의 종류, 열펌프용 압축기의 종류로 분류한 것이다.

표 4 가스엔진열펌프의 분류<sup>(5)</sup>

형 식	기 종	구동기	냉 매	비 고	
증기압축	왕복동	가스엔진	R-12, R-22	출 력	1.5 - 75kW
가스엔진	나 사	가스엔진	R-12, R-114, R-22		30 - 500kW
열펌프	터 보	가스엔진 가스터빈	R-11, R-114, R-12		200 - 500kW이상

시스템의 종류에는 다음과 같은 것들이 있다.

#### (1) 냉매직접가열형

열펌프의 실외기측에 배기가스열교환기를 거친 엔진의 냉각수가 냉매를 가열하도록 별도의 열교환기를 부착시킨 것으로 난방시에는 외기 조건으로 인해 능력이 떨어질 수 있는 증발기를 보조하여 냉매의 증발을 돕게 된다. 반대로 냉방 운전시에는 고온의 냉매를 식혀줌으로써 응축 온도를 떨어뜨려 시스템의 성능을 향상시킨다.

#### (2) 공기에열이용형

엔진의 방열기에 해당하는 열교환기의 형태를 열펌프의 실외기의 공기흡입측에 삼입 혹은 별도로 설치하는 형태로서, 난방운전시에는 흡입되는 공기를 데워줌으로써 제상효과와 함께 열펌프의 성능을 향상시킨다. 그리고 냉방운전시에는 단순히 방열기로 사용을 하거나 별도의

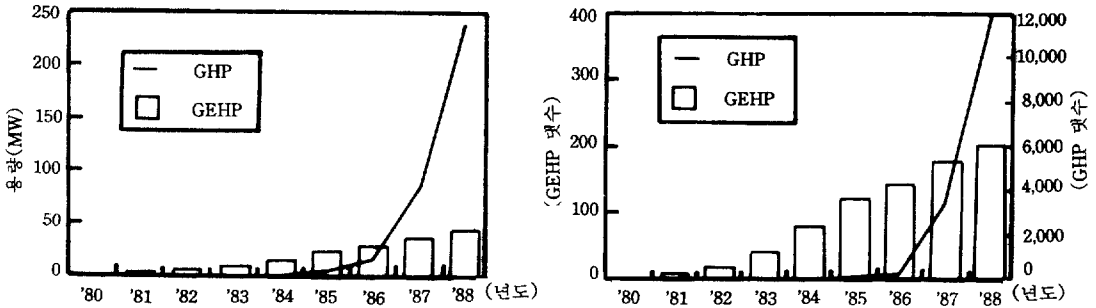
설비로서 급탕에 이용하기도 한다.

#### (3) 배기열직접이용형

엔진에서 발생하는 배기열을 별도의 열교환기를 이용하여 난방이나 급탕에 이용한다.

### 4.2 적용의 증가 추세

표 1에 표시된 바와 같이 주택용 GHP시스템 개발이 주택분야에의 열펌프보급에 영향을 크게 주고 있음을 물론 업무용의 경우도 GHP의 기술혁신과 저가격화가 보급에 큰 영향을 주는 요인<sup>(1, 3)</sup>으로 알려지고 있다. 다음의 그림 4는 일본에서의 GHP 및 GEHP의 연도별 보급추세를 나타내고 있다. 가스엔진구동열펌프는 그 보급신장세가 매년 수백%씩 증가하고 있음을 도표를 통하여 알 수 있다.



(주) GHP : 에어콘타입의 소용량(2-18PS)<sup>(5)</sup>을 의미  
 GEHP : Chiller Type으로서 70-1800kW 범위의 대용량을 의미

그림 4 일본의 GHP 및 GEHP보급 추세<sup>(6)</sup>

### 4.3 성적

엔진구동 열펌프의 최대특징의 하나는 엔진의 배열을 효과적으로 이용할 수 있다는 점이다. 가스엔진구동열펌프의 성적에 대하여 검토하면, 가스엔진의 에너지효율은,

$$\eta_{eng} = \frac{W_s}{Q_{gas}}$$

가스엔진 외부로 유출되는 에너지량은,

$$Q_{eng} = (1 - \eta_{eng}) Q_{gas}$$

회수가 가능한 에너지 분율을  $\epsilon$ 로 표시하면 난방에 이용할 수 있는 에너지율은,

$$Q_{rec} = \epsilon Q_{eng} = \epsilon (1 - \eta_{eng}) Q_{gas}$$

따라서, 가스엔진으로 구동되는 열펌프에서 난방 및 냉방시의 성적계수는,

$$\begin{aligned} \text{난방 COP}_h &= \frac{Q_{cond.} + Q_{rec}}{Q_{gas}} \\ &= \eta_{eng} \text{ COP}_{wh} + \epsilon(1 - \eta_{eng}) \end{aligned}$$

$$\text{냉방 COP}_c = \eta_{eng} \text{ COP}_{wc} = \frac{Q_{evap}}{Q_{gas}} \text{ (엔진배열을}$$

이용하지 않는 경우)

혹은,

$$= \eta_{eng} \text{ COP}_{wc} + \epsilon(1 - \eta_{eng}) \text{ (엔진의 배열을 급탕등에 이용을 하는 경우)}$$

식에서 보는 바와 같이 결과적으로 가스엔진

구동 열펌프의 성적계수는 회수가 가능한 에너지율에 해당하는 만큼 성능계수의 향상이 있게 된다.

표 5는 선발국에서 개발하였거나 개발을 목표로한 엔진구동 열펌프의 성적범위를 나타낸다. 공조 및 산업용을 함께 표시하였으나, 난방 성적계수는 1.35~2.0 정도의 범위 그리고 냉방 성적계수는 0.73~1.1 정도의 범위이다. 표중 난방의 경우에는 온수를 사용하기 위하여 배열을 회수하는 배열회수에 대한 성적이 제외되어 있기 때문에 냉방시에도 배열회수열량을 포함하면 온수의 사용정도에 따라 그 효율이 크게 상향 변화된다.

엔진구동열펌프와 보일러를 동일가열량에서 연료소비량을 비교하면 엔진구동열펌프의 효율성을 짐작할 수 있다. 엔진구동열펌프의 난방 성적계수를 표 5중 상품화 된 제품의 중간값인 1.44로 하고 보일러효율은 0.85로 하여 열펌프와 보일러의 난방시의 연료소비율( $\eta_m$ )을 아래와 같이 비교하면 엔진구동 열펌프의 연료소비율은 보일러의 1/2수준임을 알 수 있다.

$$\eta_m = \frac{\text{엔진연료소비량}}{\text{보일러연료소비량}} = \frac{1/1.44}{1/0.85} = 0.59$$

그림 5는 엔진구동열펌프와 비교한 열원장치의 히트바란스도이며 그림 6은 각종기기와 연료비 비교를 나타내는 그림으로서 다른 열원 시스템과의 상대적인 비교가 가능하다.

엔진구동 열펌프의 성능은 엔진의 효율에 따

표 5 엔진구동 열펌프의 성적범위

CASE(번호)	COP		비 고
	난 방	냉 방	
1 (7)	1.37	0.85	가정용 (개발목표) 상업용
	1.57	0.90	
2 (8)	1.6/2.0	0.8/1.1	(개발목표)
3 (9)	1.37	0.85	가정용 (개발목표) 상업용
	1.57	0.90	
4 (10)	1.50	1.00	(개발목표)
5 (6)	1.34/1.54	0.73/0.93	상품화
범 위	1.34/2.0	0.73/1.1	공조 및 산업용이 일괄 표시되었음

주) CASE항의 각(번호)는 참고문헌 일련번호  
(개발목표)는 각 참고문헌 발표년도 기준

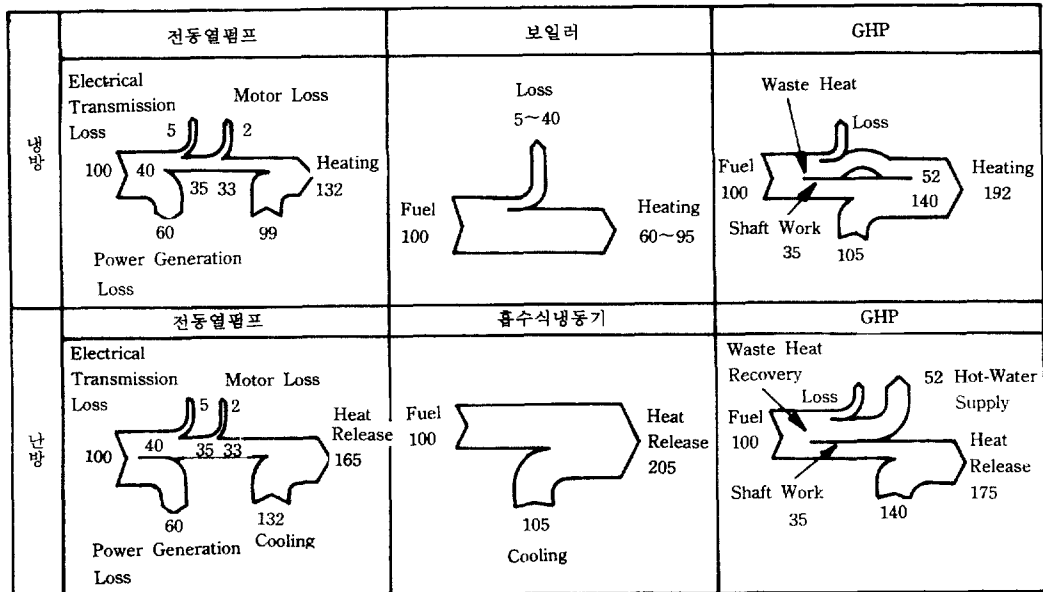
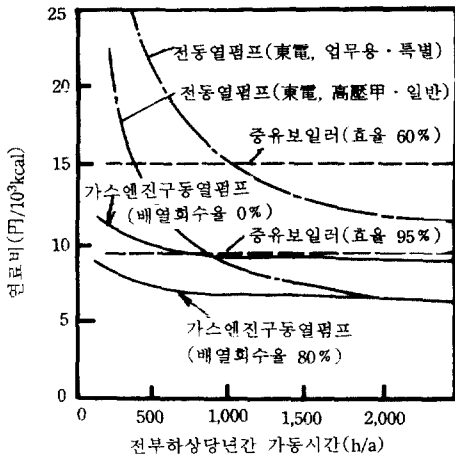


그림 5 각종 열원시스템과 비교한 히트밸런스

라 차이가 난다. 엔진의 열효율은 무과급엔진에서 30~35%, 과급엔진에서 32~36%이다. 또한 과급엔진과 무과급엔진의 엔진배열회수열량에도 차가 있다<sup>(5)</sup>. 엔진을 이용하여 연료를 축동력으로 전환함에 있어서 효율이 26% 정도 보

다 큰 경우, 엔진구동열펌프를 이용하여 냉방을 하는 것이 전기에어콘이나 전기열펌프를 이용하는 것 보다 에너지를 적게 사용하게 된다<sup>(10)</sup>고 한다.



주) 전력동시 사용율 80%, 전기세 5%, 가스세 2%

그림 6 각종 기기의 연료비 비교<sup>(11)</sup>

#### 4.4 특징

전술한 바와 같이 엔진구동열펌프의 열출력은 열펌프의 열출력과 엔진실린더냉각수 및 배기 가스의 배열회수분의 합계로서 EHP와 비교하여 그 차이가 크다. 가스엔진구동열펌프의 장단점은 다음과 같다.

##### 4.4.1 장점

- (1) 다기능성의 열원기기이다 : 냉난방은 물론 온수 및 증기를 생산하여 급탕과 같은 여러 가지 목적에 사용할 수 있다.
- (2) 효율이 높다 : HP를 가동하면서 동시에 엔진의 배열을 이용하기 때문에 과거의 연소형 가스난방기기 보다 효율이 높다.
- (3) 외기온의 변동에의 대응성이 양호하다 : EHP의 결점인 흑한시의 난방능력의 저하가 적고 또한 송풍온도의 저하가 없어 쾌적한 난방이 가능하다. 그림 7 참조
- (4) 서리제거와 관련된 문제점을 배제할 수 있다 : 엔진의 배열을 이용하기 때문에 서리제거 운전이 필요 없고, EHP사용시의 문제점인 서리제거 운전시에 발생하는 실내온도의 저하와 같은 현상이 없으며 서리제거 시간을 단축시켜

야하는 등의 문제가 없다.

(5) 시동성이 좋다 : 외기온이 아주 낮을 경우 정상적인 운전상태에 도달하는 데에(EHP는 약 1시간 정도가 소요되는데) 20~30분 정도면 충분하다.

(6) 정상운전시 효율이 높다.

(7) 부분부하특성이 우수하다 : 부하의 변동에 따라서 회전수가 변하기 때문에 효율이 높다.

(8) 수전설비의 용량 저감 및 전기사용량의 저감이 가능하다 : EHP에서 소요되는 전기소요량의 1/10정도 밖에 소요되지 않으며, 충전기 수요량의 한계 때문에 EHP를 사용할 수 없는 곳에서도 사용할 수 있다.

(9) 이상적인 에너지절약기기이다 : 엔진으로부터의 유용에너지인 일은 물론 배기열, 냉각수열을 모두 회수하여 활용할 수 있다.

(10) EHP에서와 같은 불필요한 ON-OFF회수가 적고 회전수의 증감으로 용량을 제어하지만, 전동기의 인버터에 의한 회전수제어에서와 같은 인버터손실이 없다.

(11) 환경적인 측면에서의 장점이 많다(실내외의 공기오염율이 낮다)

- SO<sub>2</sub>의 배출위험이 적다.

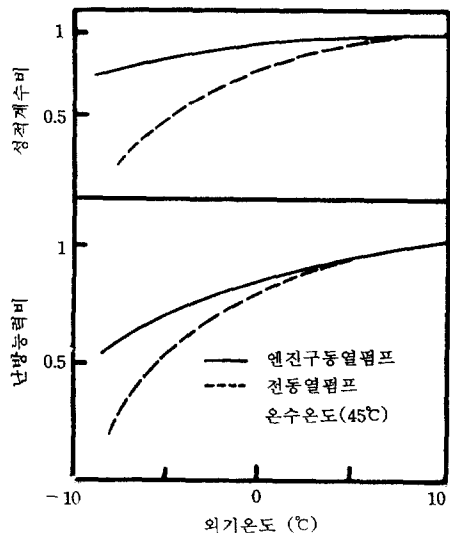


그림 7 열펌프의 성능에 대한 외기온도의 영향



- NO<sub>x</sub>의 배출이 적다.
- 먼지의 배출과는 무관하다.
- CO<sub>2</sub>배출량이 석탄보다 1/2, 석유보다 1/3정도로 적다.

(12) 대체에너지의 실생활에의 도입에 기여한다.

(13) 냉방 및 난방이 가능하다: 난방은 물론 냉방까지도 하나의 유니트로 할 수 있기 때문에 간편하다.

(14) 안전성이 높다.

(15) 경제성이 높다: 운전비용면에서 기존의 전기구동방식에 비하여 경제성이 뛰어나다.

(16) 건물 스페이스가 절감된다: 하나의 유니트로 냉난방이 가능하여 건물스페이스가 절약된다.

#### 4.4.2 단점

(1) 초기 구입가격이 높은편이다: 용량별 규격화가 되어 대량생산체제가 되기까지는 가격이 비싸다.

(2) 기기 자체가 복잡하고 냉난방모드의 선정을 필요로 한다.

(3) 큰 용량의 경우 주문에 따라 엔지니어링을 하여야 하는데 시스템이 복잡하여 시간과 노동력이 많이 소요된다.

(4) 엔진오일의 교체, 스파크프러그등의 교체와 같이 정상적인 성능의 유지를 위하여는 정기적인 서비스를 하여야 한다.

(5) 엔진구동열펌프의 상업화는 서비스센터의 운영을 필수조건으로 하여야만 한다.

### 5. 개발상의 주요사항

가스엔진구동열펌프는 구성부품의 수가 다른 기종에 비하여 많고, 사용자가 시준에 이용시 불편이 없도록 오랜 내구성을 필요로 하는 등 개발에 걸림이 되는 사항이 많은 분야이다. 이하에 기술하는 사항들은 선발국에서 개발시에 고려한 사항 및 경험을 정리한 내용으로서, 한 가지 개발에 내지는 한가지의 기종에 대한 사항이 아니며, 선발국에서 발표된 관련 사항을

발췌하여 종합한 내용이다.

#### 5.1 선발국의 개발에

선발국에서 개발한 GHP의 주요성능의 일례는 다음과 같다<sup>(6)</sup>.

COP 냉방: 0.73~0.93

난방(COP): 1.34~1.54

소음값: 50Db(A)/1m

엔진효율: 30%

사용가능년수: 20,000시간(10년사용 목표)

정비유지와 점화프러그 교체주기: 2,000시간

엔진오일 교체시간: 4,000시간

#### 5.2 구성요소

가스엔진구동열펌프는 다른 종류의 전기구동열펌프에 비하여 4배정도의 부품으로 구성되는<sup>(12)</sup> 매우 복잡한 기계이다. 그것은 GHP가 다른 종류의 열펌프 보다도 더욱 신뢰성에 유의하여야 한다는 것을 의미하기도 한다.

가스엔진을 이용하는 시스템에서는 용량이 작아질수록 개발의 어려움이 큰데 그 이유는 내구성이 높고 효율이 높은 엔진, 압축기는 물론 관련된 부품의 구입이 어렵고 또한 용량이 작아지면 그만큼 사용대상 및 설치공간이 한정되어 운전 및 소음에 더욱 절박한 상황이 되기 때문이다.

다음은 GHP의 개발에 기본적으로 고려하여야 할 사항들이다.

##### 5.2.1 엔진

GHP용 엔진은 그 수명이 자동차용 엔진 수명의 10배, 그리고 1년에 한번 정도 정비를 하는 경우 4,000시간 정도를 중간관리 없이 계속 운전할 수 있어야 한다<sup>(10)</sup>.

GHP용 엔진의 개발과 관련하여 크게 고려하여야 할 주요 사항들은 다음과 같다.

- (1) 효율의 향상
- (2) 내구성 및 유지관리성 향상
- (3) 회전속도 조절방법
- (4) 저속운전에서도 높은 토크성능의 유지

- (5) 열방사 조절
- (6) 소음과 진동의 최소화
- (7) 부피축소 및 간결화
- (8) 저가격화

이러한 주요사항들을 만족하기 위하여 엔진의 개발시에 적용된 사항들을 정리하면 다음과 같다.

(1) GHP 개발단계에서 엔진의 열효율을 높이기 위한 조치의 예로서 실린더헤드는 평평하게, 피스톤 헤드는 반구형, 그리고 연소속도를 빠르게 하기 위하여 반구의 중심부에 점화 프리그를 설치하는 Bowl-in-piston (BIP) 연소방식의 채용을 하여 결과적으로 13A개스를 사용시 최대열효율 30% H, LPG를 사용시 최대 열효율 31.5% H를 달성하였다<sup>(6)</sup>는 보고내용이 있다.

(2) GHP용 엔진의 개발에 각계에 고려된 사항은 다음과 같다.

- ① 점화계 : 내구성의 증가 및 Platinum plating plugs의 이용
- ② 밸브계 : 재질의 개선, 형상과 표면처리의 개선
- ③ 연료계 : 적절한 공기, 연료의 조절을 위한 새로운 혼합기의 설계
- ④ 연소실 : 반구형으로 하여 급속연소가 가능하게 설계

- ⑤ 윤활계 : 실링 및 내마모성을 향상시키기 위한 오일의 개발 및 오일탱크 크기의 확대, 엔진의 마찰부분이 발생하는 모든 부분은 강제윤활방식의 적용, Low-strain cylinder 설계는 결과적으로 0.3 CC/Hr의 오일 소모, 2000시간의 기름주입간격, 4,000시간의 기름교환주기를 가능하게 하였다<sup>(6)</sup>는 보고내용이 있다.
- ⑥ 흡배기시스템 : 저속에서의 저소음과 고성능을 낼 수 있는 새로운 설계
- ⑦ 엔진케이싱 : 부품의 숫자를 줄이기 위하여 실린더 헤드, 실린더, 크랭크케이스에 Monoblock 다이 캐스팅 구조의 적용
- ⑧ 기타 : 압축비의 적정화, 점화 및 밸브 타이밍의 적정화 설계

### 5.2.2 압축기

전기구동 공조용압축기는 밀폐형이지만 GHP압축기는 작동기구(mechanism) 때문에 개방형이어야만 한다. 소형의 경우는 자동차용압축기가 사용되며 그 이상은 반밀폐형으로 재설계한 모델을 사용한다. GHP용 압축기 개발에 요구되는 사항들은 다음과 같다.

- (1) 로타리 압축기형식의 채용
- (2) 자동차냉방용 압축기는 R-12용을 사용하지만 R-22의 사용압력에 견딜 수 있는 구조, 내구력 및 재료가 적용되어야 한다.

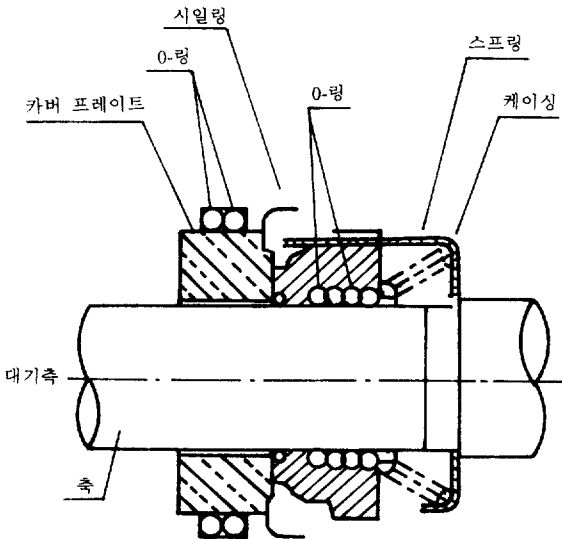


그림 8 자동차 냉방용과 GHP용 압축기의 시일 부분 구조 차이

	자동차용	GHP용	사용목적
0-링	Nitrile Rubber	Neoprene Rubber	R-22용
카버 플레이트	Cast iron	SiC	마모성개선
시일링	Molded carbon	Fired carbon, Chloroprene Rubber	냉동유용

(3) 샤프트의 미케니컬시일 부분의 구조개선 그림 8은 자동차냉방용 압축기와 GHP용 압축기의 미케니컬시일 구조의 차이(12)를 나타낸다.

### 5.2.3 엔진과 압축기 연계

진동을 최소한도로 줄일 수 있도록 구조설계를 요한다.

### 5.2.4 엔진배열 활용 시스템

엔진의 배열은 직접 온수를 가열하여 사용하거나 냉매로 열을 교환하여 사용하는 2가지 방법이 있다. 양자의 방법은 각각 한냉한 기후조건에서도 성능저하가 극히 적으며 또한 제상을 위한 작동을 필요로 하지 않는다.

#### (1) 배기가스 열교환기

- ① 배기가스용 열교환기는 GHP의 성능에 큰 영향을 미치는 부분이다. 따라서 효율이 높아야 하며 고밀도형이아야 한다.
- ② 배기가스는 PH 4~5 정도의 산도를 갖고 있기 때문에 응축과 증발이 발생하는 부분은 내산성이 높아야 한다.
- ③ 열교환기에 사용되는 재료는 불연소연료와 연소발생성분에 의하여도 충분한 내구력이 있어야 한다.
- ④ 주위의 환경이나 가동, 정지에 의하여 발생 반복되는 열응력에 견딜 수 있어야 한다.
- ⑤ 배기가스열교환기를 다단간접형구조로서 배가스머플러와 겸용을 시키며 또한, 배기머플러를 부가함으로써 소음을 감소시킨다.

### 5.2.5 소음 및 진동

(1) 소음 및 진동 : 소음 및 진동은 air-conditioner의 가격을 형성 시키는 매우 중요한 인자 중의 하나이다.

(2) 진동을 최소화하기 위한 조치로서 center of gravity mounting method을 채택, 가능한한 엔진과 압축기를 시스템의 중심에 위치시킨다.

(3) 엔진과 압축기는 일체로, 내진동기구를

장치하여 진동의 증가를 막고 심한 경우는 2중으로 진동방지장치를 구성한다.

(4) 엔진 마운트의 주파수 특성은 엔진진동의 주파수 특성에 가까워야 한다.

(5) 압축기 운전시스템에서는 압축기를 엔진에 매우 견고히 부착시키고 벨트의 회전에 기인한 반응을 최소화 할 수 있도록 한다.

(6) 엔진의 운전속도한도의 결정은 torque fluctuation을 고려한다.

(7) 냉매배관에는 flexible piping이나 multi-bend piping을 사용한다.

(8) 급배관은 저진동특성의 것을 개발한다.

(9) 소음을 줄이기 위하여 급기와 배기 라인 상에 silencer를 부착하고 전체시스템설계는 내장 밀폐형으로 하며 외면의 panel은 sound proof panel을 적용한다.

(10) 엔진 몸체로부터의 소음의 전파를 방지하기 위하여는 enclosure를 씌우고 공기의 급배기는 silencer duct를 통하여 한다.

(11) 공기급기시스템 : 급기 silencer 설치(large volume, multiple expansion silencer)

(12) 배기시스템 : 배기가스열교환기로도 적용할 수 있는 interference muffler 설치(multiple interference muffler and silencer)

### 5.2.6 시스템 및 시스템구성품

시스템 및 시스템구성품이 갖추어야만 할 주요 기능은 다음과 같다.

- (1) 회전속도조절기능 적용
- (2) 엔진배열이용 방법의 적용
- (3) 전체 시스템조절기능의 적용
- (4) 시스템운전소음의 최소화 방안 적용

### 5.2.7 운전, 안전제어

#### 5.2.7.1 운전제어

제기능을 발휘하기 위하여 시스템 컨트롤러는 시동, 실온조절, 풍량조절, 냉난방·제습 및 급기 등의 모드조절(제습기능의 작동시는 엔진의 회전속도와 풍량을 일정하게 유지), 제상제어, 과부하조절, 재시동조절 그리고 고장감시 및 고

장표시 기능<sup>(6)</sup>과 같은 기능이 내장되어야 한다.

엔진의 회전속도비 범위는 일반적으로 3 : 1-4 : 1의 범위이며 회전수제어의 목적은 부하의 변화에 따라 냉매순환량을 조절하기 위하여 회전수를 조절하는데 고속운전의 한도는 소음과 내구성에 관한 문제점 때문에 그리고 저속운전의 한도는 엔진의 진동문제 때문에 한계를 정한다. 진동의 주요원인은 torque fluctuation에 있기 때문이다<sup>(13)</sup>.

엔진구동 열펌프에서의 콘트롤시스템 설치목적은 여러 개의 서브시스템을 모니터, 코올디네이터하여 장치를 신뢰성과 안정성을 유지하면서 온열환경은 물론 고효율을 얻기 위함이다. 예를들어 일상적인 정상작동에서 열펌프 콘트롤러는 외기온, 냉매온도, 실내온도, 열전대출력, 엔진오일과 냉각제의 온도 등을 감지하여 시동,

표 6 엔진속도의 범위 및 소음치<sup>(13)</sup>

용량범위	회전속도범위	소음한계
1.3RT용	1100 - 2000 rpm	50db(A)/1m
2.4RT용	1200 - 2500 rpm	56db(A)/1m
4.0RT용	900 - 2500 rpm	59db(A)/1m
5.3RT용	900 - 3000 rpm	60db(A)/1m

실은 및 기류조절, 풍량조절, 냉난방·제습 및 급기 등의 모드조절(제습기능의 작동시는 엔진의 회전속도와 풍량을 일정하게 유지), 제상제어, 과부하조절, 비상열원, 재시동조절, 그리고 고장감시 및 고장표시 기능<sup>(6)</sup>과 같은 서브시스템기능을 제어하기 위한 것이다. 추가하여, 콘트롤러는 안전제어가 되어야 하며 운전관리를 위한 지시표시가 있어야 하며 고장이 난 경우에 고칠 수 있도록 열펌프내부를 진단할 수 있는 계기가 부착되어 있어야 한다. 이와 같은 일련의 제어는 기동과 정지는 전기구동방식의 열펌프시스템과 그 기능이 같고 더불어 gas solenoid valve, starter moter, water pump, water solenoid valve, throttle actuator 등의 작동을 대상으로 이루어진다. 표 7은 안전제어를 위한 계기능의 일예를 나타낸다.

관련하여 쾌적환경, 효율, 신뢰성등의 적합한 수준을 유지하기 위하여 관련 되는 필요사항들의 요약내용은 다음과 같다<sup>(14)</sup>.

(1) 쾌적환경

① 실내측 팬 속도의 조절

- 온풍분배시스템에 의한 적절한 공기분배의 유지
- 쾌적한 급기온도의 유지
- 습도조절 유지

표 7 안전제어기능<sup>(15)</sup>

이상 항목	검 출	내 용	조 치
스타터	기초회전수	엔진회전수 상승	엔진정지, 표시
과회전	기초회전수	엔진회전수 3000rpm	엔진정지, 표시
냉각수온	배가스열교환기출구수온	95 °C	라지에타 방열, 난방에 이용
	엔진출구수온	96 °C	엔진정지, 표시
	배가스열교환기출구수온	105 °C	엔진정지, 표시
배기온	배기온도	550 °C	엔진정지, 표시
오일레벨	기초레벨	오일레벨저하	엔진정지, 표시
기동실패	기동횟수	스타터3회기동	엔진정지, 표시
엔진룸의 온도	엔진룸의 온도	80 °C	엔진정지, 표시
엔진냉각수량	시스템탱크수위	수위저하	엔진정지, 표시
압축기토출온도	토출온도	120 °C	엔진정지, 표시
고압	토출냉매압력	29 °C	실외송풍기정지(난방시)

- ② 엔진 및 압축기 속도의 조절
- 용량의 조절을 통한 실내온도의 동요를 안정화
  - 습도조절을 향상시키기 위한 사이클링율의 변경
  - night set back 혹은 day setup으로부터 신속한 회귀
- ③ 엔진배열회수분의 유용화
- 난방급기온도의 보조
  - 제상시간동안에 급기온도조절
  - 냉방모드에서 제습 재열
- ④ 비상열원
- 외기온이 낮을때에 적합한 난방급기온도 유지
- (2) 효율
- ① 실내기 팬속도의 조절
- COP를 높일 수 있도록 cycling 동안 팬을 가동
  - 시스템 COP를 최대로 할 수 있는 적절한 실내공기량의 유지
  - 전기소모량을 최소화 하기 위한 실내기팬속도의 최소화
- ② 엔진 및 압축기속도의 조절
- Cycling을 최소화 하고, cycling 손실을 줄여서 계절 COP를 최대화
- ③ 엔진배열회수분의 유용화
- 난방계절 COP의 개선
  - Cycling운전 동안 최대한 배열회수
  - 열발란스를 낮추어 예비열 소요의 저감
- ④ 외기팬
- 전기사용은 최소로하고 열교환은 최대로 할 수 있는 외기량의 선택
- ⑤ 제상제어
- 제상사이클로의 전환 및 제상시간의 최소화
- (3) 신뢰성
- ① 엔진 및 압축기속도의 조절
- 엔진의 속도조절은 자동차의 속도조절 방법등의 적용<sup>(16)</sup>
  - Cycling을 최소화하여 엔진의 마모 및

#### starter의 사용수명 연장

- 계절운전시간을 최소화하여 엔진의 마모를 방지

#### ② 엔진배열회수분의 유용화

- 일정한 엔진작동온도의 유지

#### ③ 예비열

- 추운날씨에서의 시동보조를 위한 엔진예열
- 추운외기온도에서 엔진운전에 대한 대체난방수단

### 5.2.7.2 안전제어

엔진구동열펌프에 사용되는 가스연료는 누설시 폭발의 위험이 있으므로 누설의 감시 및 누설되는 가스의 조기 배출을 위한 충분한 안전성이 강구되어야 한다. 그에 관한 조치사항은 다음과 같다.

- ① 2중 gas solenoid valve
- ② 엔진의 가동전 설치장소의 배기(환기)
- ③ 하자가 발생시 즉시 자동정지
- ④ 기타 : 가스의 누설감시를 위한 가스누설경보장치 설치

### 5.2.8 유지관리

소비자들로 하여금 GHP를 선호하게 하기 위하여는 효율, 사용년수, 유지관리의 편리성, 가격에 있어서 기존의 전기식 열펌프보다 나아야 한다. 그러나 이미 언급된 바와 같이 가스엔진 구동열펌프는 다른종류의 전기구동열펌프에서 비하여 4배정도의 부품으로 구성되는<sup>(12)</sup> 매우 복잡한 기계로서 그만큼 철저한 고장에의 대책 및 관리의 필요성을 의미하기도 한다. 표 8은 GHP용 엔진과 구동시스템의 각 검사 및 서비스항목에 대한 순차적인 서비스년도의 일예를 나타내며 표 9는 GHP의 관리주기의 일예를 나타낸다.

이상의 관리주기는 일반 자동차의 성능과 비교하여 10배정도의 성능이 개선된 결과임을 알 수 있다. 관리점검횟수를 최소화 하기 위하여 개발상에 고려하여야 할 조치<sup>(13)</sup>들은 다음과 같다.

표 8 GHP 관리 주기<sup>(6)</sup>

검사 및 서비스 항목		서비스 년도									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
가 스 엔 진	엔진오일	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	엔진오일 필터	○		○		○		○		○	
	에어크리너 엘레먼트	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	점화 프러그		○		○		○		○		○
	밸브 간극		+		+		+		+		+
	냉각수	+	○	+	○	+	○	+	○	+	○
드라이브 시스템 및 기타	연료 호스	+	+	○	+	+	○	+	+	○	+
	V-벨트	+	○	+	○	+	○	+	○	+	○
	냉각수 고무호스	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

○ : 교체

+: 검사, 조정, 청소

표 9 GHP 관리주기<sup>(6)</sup>

관리항목	관리주기
오일의 교환	4,000시간 마다
오일의 급유	2,000시간 마다
스파크프러그의 교환	2,000시간 마다
공기필터의 교환	2,000시간 마다
오일 필터의 교환	2,000시간 마다
V-벨트의 교환	10,000시간 마다 (일생중 10회 교환)
냉각수의 교환	8,000시간 마다

- ① 엔진오일 : 저속운전시에 대비하여 extreme pressure additive를 함유시키고 오일 팬의 크기를 크게한다.
- ② 점화프러그 : platinum electrode
- ③ 벨트 : 수명이 긴양질의 고무를 사용, 강선으로 보강
- ④ Tappet 간극의 조정 : 1.3RT, 2.4RT는 불필요
- ⑤ 전원은 100avc, 배터리는 사용하지 않음

6. 개발상의 주요 목표

GHP개발상의 주요개발목표<sup>(6)</sup>는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- ① 소음과 진동의 저감
- ② 자동화 운전
- ③ 만족한 내구성과 신뢰성
- ④ 저렴한 운전비
- ⑤ 고효율 난방
- ⑥ 보수관리횟수의 최소화 및 간편화
- ⑦ 설치면적의 최소화
- ⑧ 에너지절약적인 시스템
- ⑨ 저렴한 가격
- ⑩ 조작방법의 간편화

7. 개발후의 관리 목표

엔진구동열펌프가 상업범위의 확대, 광범위한 보급, 보다 완벽한 기술의 완성을 통한 내구성과 신뢰성의 확보 등을 위하여는 유니트의 개발후에도 지속적인 상태점검 및 연구개발을 통하여 다음과 같은 사항들에 보다 더 발전이 되도록 하여야 한다.

(1) 가격이 낮아져야 한다 : 초기투자비를 포함하여 관리비가 적어야 한다. 시장이 커지면 대량생산이 가능하여 가격은 전기식 열펌프 정

도로 떨어질 수 있을 것이다.

(2) 환경과 관련하여 NO<sub>x</sub>와 같은 환경저해 생성물의 생성방지기술이 개발 되어야 한다.

(3) Air-conditioner로서 GHP를 사용하는 데 상업적가치가 증가되어야 한다.

(4) 신뢰성의 향상 : GHP의 사업화 성공여부는 정비관리를 얼마나 확실하게 정착을 시킬 수 있는지가 중요하다.

(5) 정비를 최소화 하여야 한다.(가능하면 정

비가 필요 없도록)

(6) 내구성의 향상에 관한 지속적인 연구가 필요하다.

(7) 소음과 진동을 최소화하여 사용자들의 불편이 없도록 지속적인 연구추진이 필요하다.

다음은 위에 언급한 지속적인 개선계획의 일환으로 추진되었던 개발 및 보급과정에서 일본에서 소비자를 대상으로 수집한 자료에 근거하여 개선시에 적용한 내용들의 예를 보여준다.

결 합	개 선
1) 진동에 기인한 냉매배관의 파손	적합한 냉매배관용 flexible joint의 개발. capillary 튜브배관을 위한 진동에 견딜수 있는 체결공정의 개선
2) 압축기시일에서의 냉매유출	mechanical seal의 재질을 바꾸고 윤활방법을 개선하여 내구성을 향상
3) 엔진오일의 악화	서비스기간을 연장하기 위하여 엔진의 사용특성에 적합한 엔진오일의 개발
4) 배기가스열교환기의 부식	열교환기요소소재를 바꿔서 내구성을 향상시킴
5) 엔진 불안정	gas mixer 및 엔진저속도 토크특성의 개선

## 8. 결 론

기존의 어떠한 난방시스템보다도 에너지를 적게 사용하는 가스엔진 열펌프의 개발은 가스 엔진, 압축기, 안전제어장치 및 기타 관련요소 기계와 소음, 진동을 방지할 수 있는 세부기술이 요구되는 종합기술분야로서, 일본의 경우 동경 가스사 외에 2개의 가스회사, 5개의 엔진제작사, 7개의 열펌프제작사 그외에 MITI(Ministry of Trade and Industry)가 함께 참여하여 10여년이 소요된 종합기술이다. 일본에서의 소형 GHP개발 및 상업화의 성공은 기술적인 원인뿐만 아니라 가스회사, GHP제작사 그리고 MITI의 철저한 상호보조(지원) 그리고 기초 R & D, 제품개발 그리고 상업화에 대한 철저한 상호보조(지원), MITI와 개소회사들의 기금의 적절한

출연 그리고 정비서비스시스템의 발족에 기인하였다는 보고가 있다. 또한 미국에서의 GHP 개발은 GRI(Gas Research Institute)와 DOE(Department of Energy) 등의 상호기금에 의하여 추진될 수 있었다. 우리나라에서의 현재의 관련기술은 일본이 처음 개발을 시작할 단계 보다 오히려 기술적으로 어려운 점이 많을 것으로 추측된다. GHP는 HVAC시스템중에서 가장 복잡하고 정교한 시스템의 하나임에 틀림없으며 또한 우리의 기술로 꼭 개발이 되어야만 할 대상 기계임에도 틀림없다. 초기에 GHP를 마케팅하기는 매우 어려운일이며 그 성공여부는 관련업체들이 재정지원을 하여 정비서비스 시스템을 정착시키는 데에 달려있다.

GHP는 금후 우리나라에서 냉난방용 기기로서 가장 필요로 하는 기종이 될 것으로 예측되며,

또한 GHP는 에너지절약측면에서 그 잠재력이 대단히 큰 것임에 틀림이 없다.

또한 기술적인면에서나 성능면에서 그 목표가 달성이 된다고 하더라도 궁극적인 상업적인 선호도는 시스템경제에 관련된 것이며 소비자들의 선호도를 늘리기 위하여는 소유자격 혹은 용자제도 등과 같은 새로운 시도를 필요하게 되리라고 예측된다.

GHP의 국내개발은 한두개의 연구기관과 업체가 참여하여서는 소기의 목표를 달성하기 어려운 분야로서, 국내에서의 GHP의 개발 및 보급을 위한 추진을 보다 효율적으로 하기 위하여는 국가주도로써 R & D에 필요한 기금의 확보와 함께 국내의 국책연구기관은 물론 엔진, 압축기, 소음 및 진동, 열교환기, 성능제어등 관련된 일반 관련제조업체들이 상호 연계하여 협조할 수 있는 컨소시엄체계를 구성하여 장기적인 개발을 추진하는 것이 최선의 방법이 될 것이다.

### 참 고 문 헌

1. (財)히트펌프技術開發센터, 1989. 3, "都市にけるヒートポンプ技術普及の 影響に關する 調査", 報告書(HPTC-13).
2. (社)空氣調和 冷凍工學會, 1990.9.20~21, 基礎工學講習會.
3. (財)히트펌프技術開發센터, 1988. 7, "ヒートポンプ技術普及の社會的 經濟的影響に 關する 調査", 報告書(HPTC-5).
4. (財)히트펌프技術開發센터, 1987. 6, 日本の ヒートポンプ, (HPTC-4).
5. 도서출판 한미, 1991. 6, 新編 都市가스空調 시스템.
6. H. Kazuta, 1989, "Development of Small Gas Engine Heat Pump".
7. (財)히트펌프技術開發센터, 1987. 4, 日本の 住宅用ヒートポンプ, (HPTC-1).
8. J. Wurm, 1987, "History and Status of Engine Driven Heat Pump Developments in the U.S."
9. T. Miyairi, 1989, "Introduction to Small Gas Engine Driven Heat Pumps in Japan-History and Marketing".
10. D. D. Colosimo, 1987, "Introduction to Engine Driven Heat Pumps-Concepts, Approach and Economics".
11. 山岳一夫 외, 1982, 가스엔진 히트펌프 冷暖房 給湯裝置, 空氣調和 衛生工學 第57卷 第12號.
12. Tadashi Fukuda, march 1990, "Present Conditions and Future Perspective of Gas Engine Heat Pumps in Japan", Heat Pumps(Solving Energy and Environmental Challenges)-Proceedings of the 3RD International Energy Agencyheat Pump Conference.
13. IEA Heat Pump Center News Letter, Vol.8, No.3, Sept, 1990.
14. Garry a Nowakowski, march 1990, "The Development of Controls for GEHP(Gas Engine Driven Heat Pumps)", Heat Pumps(Solving Energy and Environmental Challenges)-Proceedings of the 3rd International Energy Agency Heat Pump Conference.
15. 上妻親司 외, 1984, 가스엔진 驅動 히트펌프, Mitsubishi技報 Vol.58, No.5.
16. M. Inada, M. Yoshida, 1989, "Commercialization of Gas Engine Heat Pump with Automotive Engines".