

## 가스엔진 구동 열펌프

### Gas engine driven heat pump

윤 정 인  
J. I. Yoon

부경대학교 냉동공조공학과



- 1962년생
- 냉동공조공학을 전공하였으며 열원구동 열펌프, 특히 흡수식 시스템에 관심을 가지고 있다.

#### 1. 머리말

최근 여름철에 문제시되고 있는 피크전력 완화를 위해 열구동 열펌프에 대한 관심이 높아지고 있으며, 중대형 건물을 중심으로 많이 보급되고 있다. 가스엔진 구동 열펌프(Gas engine driven heat pump)는 천연가스나 LPG 등의 1차 에너지를 직접 구동원으로 하는 열펌프시스템으로 기본적으로는 전기구동식 열펌프와 같으나 열펌프의 모터를 가스엔진으로 대체한 것이 다르며, 가스엔진에서 발생하는 폐열을 회수하여, 난방 및 급탕에 이용할 수 있는 장점이 있다. 따라서 외국에서는 중소형 건물을 중심으로 가스엔진 열펌프를 사용하는 경우가 늘고 있으며<sup>1-5)</sup>, 국내에서도 여러 기업들이 많은 관심을 보이고 있다.<sup>6,7)</sup> 여기서는 가스엔진 구동 열펌프의 작동원리, 구조와 특징, 성능특성, 보급현황, 기술개발 현황 등을 소개하고자 한다.

#### 2. 작동원리

가스엔진 열펌프는 냉매를 압축하기 위한 압축기를 가스엔진으로 구동하는 시스템이다. 엔진의 폐열을 회수하여 이용하기 때문에 종합효율이 뛰

어나고 부하에 대해 엔진 회전수를 제어하는 부분부하특성이 뛰어나다. 가스엔진 열펌프의 작동원리는 압축기를 가스엔진으로 구동하는 것을 제외하고는 전기식 에어컨의 작동원리와 거의 같다. 그림 1에는 4사이클 가스엔진의 작동원리를 나타내었다. 가스와 공기의 혼합기체를 실린더에 흡입하는 흡기행정, 이 흡입기체를 압축하는 압축행정, 혼합기체의 점화, 연소 후 연소가스가 팽창하는 팽창행정, 연소가스를 실린더 외부로 배출하는 배기행정의 4행정이 반복된다. 이 4행정의 순환작용을 1사이클이라 한다.

그림 2는 가스엔진 열펌프의 구조를 나타낸 것이다. 그림 2의 (a)는 냉방을 주운전모드로 하면서 급탕을 하는 경우를, (b)는 급탕을 주운전모드로 하면서 냉방을 하는 경우를 나타낸 것이다. 냉각수 열은 공기열교환기 일체형 방열기에서 방열된다. 외기온도가 낮을 때는 냉각수열로 공기 열교환기의 용량을 조절하여  $-5^{\circ}\text{C}$ 까지의 냉방운전이 가능하며 연간운전이 가능하다.

그림 3은 가스엔진 열펌프의 난방운전 구조를 나타낸 것이다. 난방시 가스엔진 폐열에는 배기가스 보유열과 엔진자켓의 냉각수 열이 있다. 배기가스 보유열은 직접 난방에 이용할 수 없으므로 배기 열교환에 의한 자켓냉각수에서 회수시켜

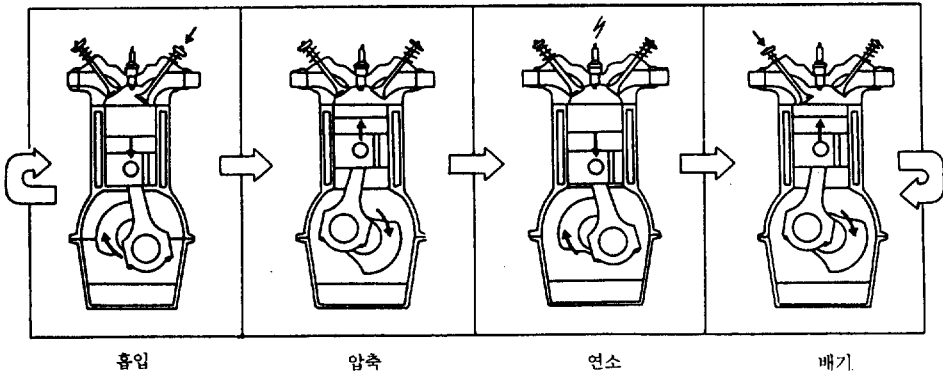
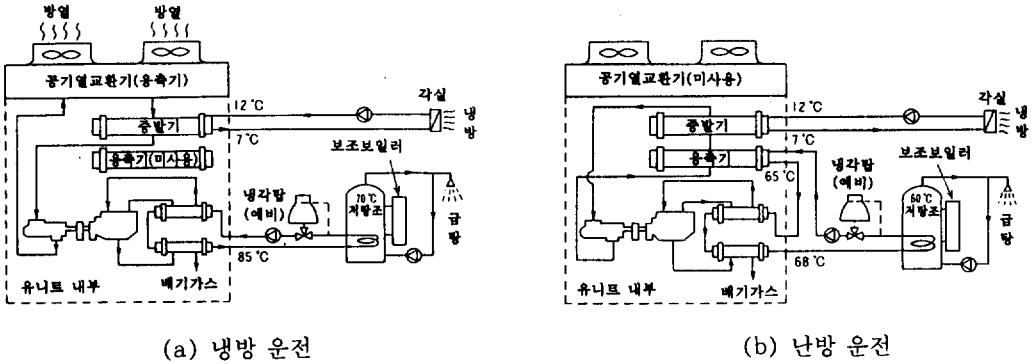


그림 1 가스엔진 작동원리



(a) 냉방 운전

(b) 난방 운전

그림 2 냉방운전 구조

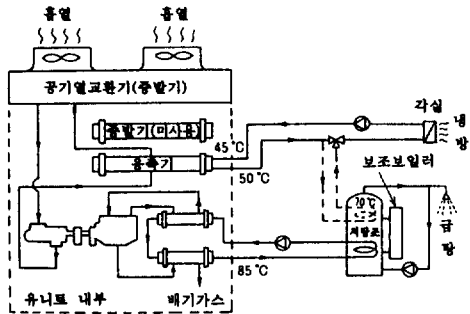


그림 3 난방운전 구조

공기 열교환기에 이용한다. 냉각수열로 냉매를 가열하므로 냉매의 증발온도가 상승하고 증발기 열교환기 표면에 서리가 부착하지 않으므로 제상 운전이 필요없다. 또, 냉각수열을 열펌프 열원으

로 이용할 수 있으므로 빨리 난방에 대응할 수 있다. 즉, 전기식에 비해 난방능력이 뛰어난 것은 이 엔진폐열을 이용하기 때문이다. 이와 같이 가스엔진 열펌프는 엔진의 폐열을 회수하여 이용하므로 난방성능이 뛰어나서 우리나라와 같은 중부지방 이후의 한냉지에서도 충분한 난방능력을 발휘할 수 있다.

### 3. 구조와 특징

그림 4와 5는 기본적인 수열원 및 공기열원 가스엔진 열펌프 시스템의 계통도를 나타낸 것이다. 가스엔진 열펌프는 압축기의 구동에 가스엔진을 사용하는데, 용량이 작을 경우에는 압축기를 엔진에 직결구동하는 경우가 많지만 용량이

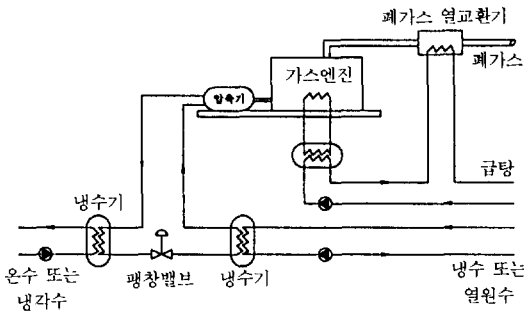


그림 4 수열원 계통도

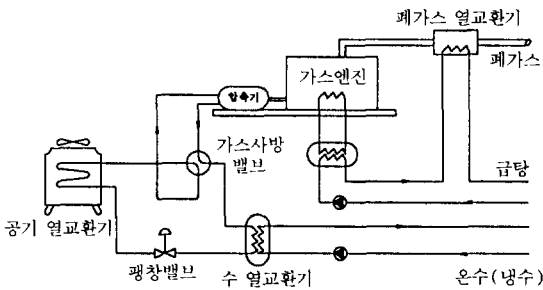
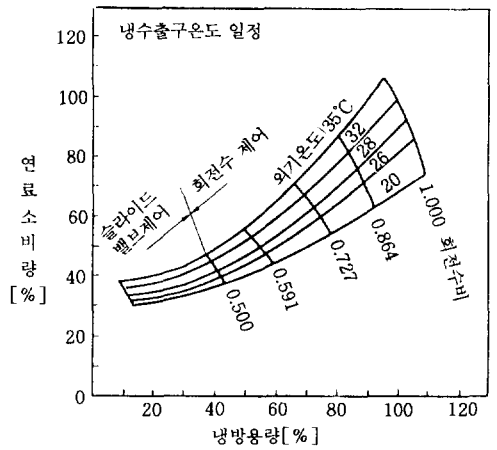


그림 5 공기열원 계통도

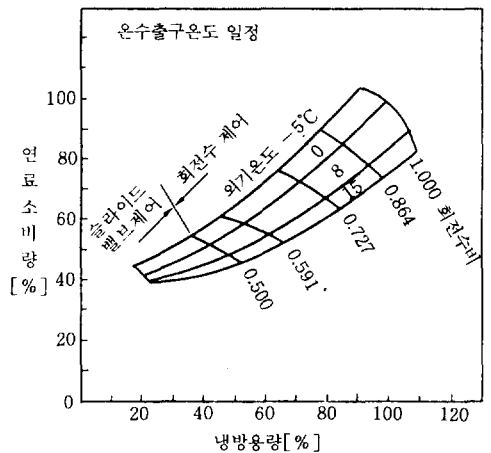
클 때는 회전수와 출력을 잘 조화시키기 위해 축 중간에 증속치차를 사용한다. 가스엔진 시스템은 엔진 폐열을 회수하기 때문에 엔진 자켓 열교환기와 배기가스 열교환기를 부착하여 열이용 목적에 맞게 회로를 구성한다. 급탕온수 외에 흡수식 냉동기의 열원으로 사용하여 냉열변환도 가능하다. 또 최근에는 발전을 포함하는 토탈시스템을 구성하는 경우도 있다. 기존의 전기식 열펌프는 겨울철 공기열교환기에 상이 부착되어 가열용량이 급격하게 저하하게 되면 재상 운전을 하게 되어 난방이 불가능하게 되는 경우도 생각할 수 있다. 하지만 가스엔진 열펌프는 제상운전시에 냉매의 일부를 보조 증발기에 공급하여, 엔진이 전 부하 운전할 수 있도록 압축기 용량을 확보하기 때문에 최저 보일러만으로 운전이 가능하다.

4. 성능 특성

가스엔진 열펌프의 냉방능력은 전기식과 거의



(a) 냉방 운전



(b) 난방 운전

그림 6 가스엔진 열펌프의 예상 능력선도

비슷하나 난방능력은 가스엔진 폐열이용으로 전기식보다 약 30%가 크고, 낮은 외기온도에서도 능력저하가 작다. 전기식 열펌프는 발전소에서의 발전효율과 송전손실을 고려하면 약 35%의 에너지로 열을 이동시켜 입력에너지의 약 3배인 에너지를 공급할 수 있다. 가스엔진 열펌프에서는 에너지가 직접 투입되어 에너지손실이 없으며, 폐열을 이용하여 약 130%의 에너지를 공급할 수 있다. 그림 6은 냉방 운전시와 난방 운전시의 가스엔진 열펌프 예상능력 선도를 나타낸

것이다. 난방용량은 가스엔진 열펌프 응축기만의 용량을 나타낸 것으로, 엔진 폐열 즉, 냉각수 및 배가스의 폐열을 회수할 경우는 그만큼 가산하여야 한다.

그림 7은 가스엔진 구동 열펌프의 부분부하 특성을 나타낸 것이다. 부하가 감소함에 따라 성능계수가 저하하는 전기식 열펌프와 달리 가스엔진 구동 열펌프는 회전수 제어에 의해 부분부하시의 고효율 운전이 가능하여 부분부하 성능이 우수함을 보여주고 있다.

가스엔진 열펌프는 가스엔진 폐열의 유효이용으로 그림 8에 나타낸 것과 같이 외기온도 저하에 의한 난방능력 저하를 보충할 수 있어 외기온도에 의한 영향을 전기식에 비해 덜 받는다. 또,

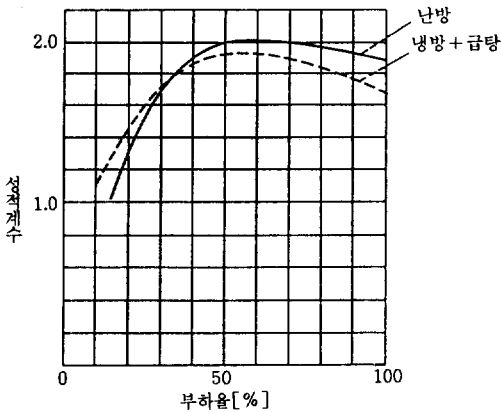


그림 7 부분부하시의 성능계수

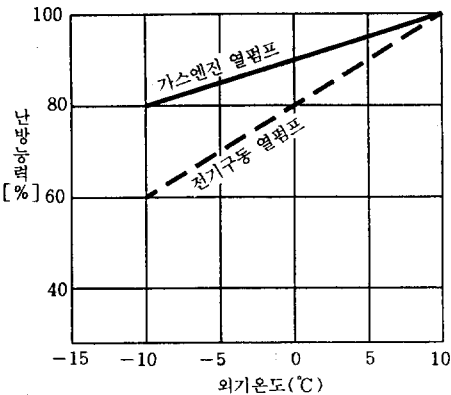


그림 8 외기온에 따른 난방능력비

난방시의 기동 특성도 빨라 쾌적 난방운전이 가능하다. 난방시 기동시간은 산요전기의 실험 결과에 의하면 그림 9에서처럼 외기온  $-5^{\circ}\text{C}$ 에서 실온  $25^{\circ}\text{C}$ 에 도달하는데 걸리는 소요시간이 전기식이 36분, 가스엔진 열펌프가 22분으로 대폭적인 시간단축이 가능함을 알 수 있다.

표 1은 가스엔진 열펌프와 전기구동 열펌프의 비교를 나타낸 것이다.

### 5. 보급현황

우리나라의 경우 아직 상용화되어 있는 가스엔진 열펌프는 없는 실정이지만 가까운 일본의 경우 1987년에 발매되기 시작하여 올해로 10년째를 맞고 있다. 표 2는 연도별 가스엔진 열펌프의 출하대수<sup>(1)</sup>를 나타낸 것이다. 1995년도의 출하 실적은 전년도대비 대수로 15.8%, 마력으로 29% 증대했음을 알 수 있다. 1995년 현재까지의 누적 보급대수는 약 20만대, 150만 마력에 달하고 있다. 공조시장에서 가스냉방에 대한 요구가 증대할수록 가스엔진 열펌프에 대한 기대는 한층 더 높으리라 생각된다. 표 3은 가스엔진 열펌프의 출하 동향<sup>(1)</sup>을 나타낸 것이다.

그림 10은 실제 실내유니트 설치 예를 나타낸 것이다. (a)와 같은 식당이나 레스토랑의 경우, 주방부분같이 길이가 긴 곳에는 천정걸이형이 좋으며 객실은 인테리어와의 조화를 위해 천정캐셋트형이 바람직하다. (b)와 같은 사무실인 경우에는 공조 데드존을 없애기 위해 천정걸이형을

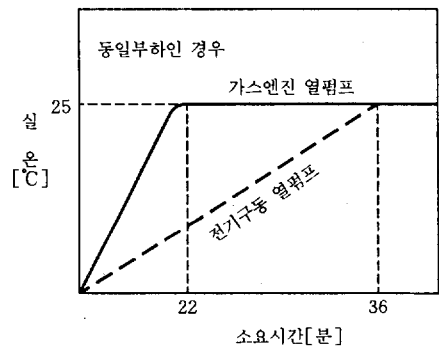


그림 9 기동특성

표 1 가스엔진 열펌프와 전기구동 열펌프의 비교

구 분	가스엔진 열펌프	전기구동 열펌프
전 력	• 소비전력은 전기식의 10~50%	• 계약전력이 상승한다.
경 제 성	• 전력의 기본요금을 낮출 수 있다. • 열효율이 높은 가스에너지를 유효이 용할 수 있다.	• 전기기본 요금의 상승이 러닝 코스트 에 영향을 미친다.
난방능력	• 가스엔진의 폐열 이용으로 10~50% 까지 난방능력을 향상시킬 수 있다. • 낮은 외기온에도 난방능력이 뛰어나다. • 난방의 기동특성이 뛰어나다.	• 난방능력이 약하다. • 외기온도의 영향을 받기 쉬워 능력이 저하한다. • 기동특성이 느리다.
제상운전	• 가스엔진의 폐열을 이용하여 제상운 전이 필요없다.	• 제상시간 중에는 난방온도가 낮아진다.
기 타	• 가스엔진을 탑재하고 있기 때문에 정 기점검이 필요하다.	• 정기점검이 거의 필요 없다.

표 2 가스엔진 열펌프의 출하실적

년도별 가스종류·마력		1988년 출하누계	1989년	1990년	1991년	1992년	1993년	1994년	1995년
LPG 가스	2~5	-	6,877	7,627	8,503	8,333	7,465	7,437	7,602
	6~10	-	2,710	4,783	5,079	4,705	4,148	4,021	4,086
	11~20	-	1,096	2,394	2,893	3,838	5,005	5,275	6,321
	소계 (전년비)	6,104 (175.0%)	10,683 (175.0%)	14,804 (135.6%)	16,475 (111.3%)	16,876 (102.4%)	16,618 (98.5%)	16,733 (100.7%)	18,009 (107.6%)
도시 가스	2~5		3,550	6,800	8,678	8,616	6,557	5,392	5,764
	6~10		900	2,000	2,976	3,225	2,298	2,080	2,632
	11~20		632	1,100	1,429	2,034	3,319	3,588	5,768
	소계 (전년비)	4,218	5,082 (120.5%)	9,900 (194.8%)	13,083 (132.2%)	13,875 (106.1%)	12,174 (87.7%)	11,060 (90.6%)	14,164 (128.1%)
합 계 (전년비)		10,322	15,765 (152.7%)	24,704 (156.7%)	29,558 (119.6%)	30,751 (104.0%)	28,792 (93.6%)	27,793 (96.5%)	32,173 (115.8%)

양쪽에 설치하며, 인테리어와 조화를 위해 동일 기종으로 통일하는 것이 좋다. (c)와 같은 회의 실은 조용한 천정매입형으로 스폿트 공조를 하는 것이 좋으며, (d)와 같은 공장 등은 천정이 높고 면적이 넓기 때문에 천정매입형을 하는 것이 좋으며 종업원 근처까지 덕트로 연결하여 스폿트 공조하는 것이 좋다. 그림 11은 가스엔진 열펌프의 실외기 설치모습을 나타낸 것이다.

## 6. 기술개발

가스엔진 열펌프는 우수한 경제성, 전력의 저용량 계약, 개별 분산화 공조 및 엔진폐열 이용 등의 장점으로 일본에서는 그 수요가 매년 증대되어 가고 있으나, 아직 개발의 여지는 많이 남아 있다. 가스엔진은 왕복동형 4사이클 엔진과 큰 차이는 없으나 연료를 도시가스나 LPG 등을

표 3 가스엔진 얼핌프의 출하동향

구	종	일반 가스엔진 얼핌프			발당용 얼티			합	
		LPG	도시가스	계	LPG	도시가스	계	개	계
2	대수	5	6	11					11
	4.5	22.5	27.0	49.5					49.5
3	대수	2505	2100	4701					4701
	8.0	20040.0	16800.0	36840.0					36840.0
4	대수								
	10.0								
5	대수	716	540	1256					1256
	11.2	8019.2	60480	68499.2					68499.2
7.5	대수	4079	2869	6948					6948
	14.0	57106.0	40166.0	97272.0					97272.0
8	대수	1260	1203	2562	10	24	34		2596
	20.0	22680.0	21654.0	44334.0	180.0	432.0	612.0		44946.0
10	대수	242	108	350	4		4		354
	22.4	4840.0	2160.0	7000.0	80.0		80.0		7080.0
12	대수				1006	623	1629		1629
	26.5				22534.4	13955.2	36489.6		36489.6
14	대수	430	195	625					625
	28	11395.0	5167.5	16562.5					16562.5
16	대수	761	314	1075	1051	493	1544		2619
	33.5	21308.0	8792.0	30100.0	29428.0	13804.0	43232.0		73332.0
18	대수				1022	533	1555		1555
	40.0				34237.0	17855.5	52092.5		52092.5
20	대수				1079	1066	2145		2145
	45.0				38304.5	37843.0	76147.5		76147.5
22	대수				9	2	11		11
	50.0				360.0	80.0	440.0		440.0
24	대수				1209	1110	2319		2319
	55.0				54405.0	49950.0	104355.0		104355.0
26	대수	139	51	190	9	4	13		203
	60.0	6602.5	2422.5	9025.0	427.5	190.0	617.5		9642.5
28	대수				512	524	1036		1036
	65.0				25600.0	26200.0	51800.0		51800.0
30	대수				2231	885	3116		3116
	70.0				18243.0	46905.0	65148.0		65148.0
32	대수				921	302	1223		1223
	75.0				51576.0	16912.0	68488.0		68588.0
합계 대수		10137	7386	17523	9,063	5,566	14,629		32,152
합계 kW		152,013.2	103,237.0	255,250.2	375,375.4	224,126.7	599,502.1		854,752.3

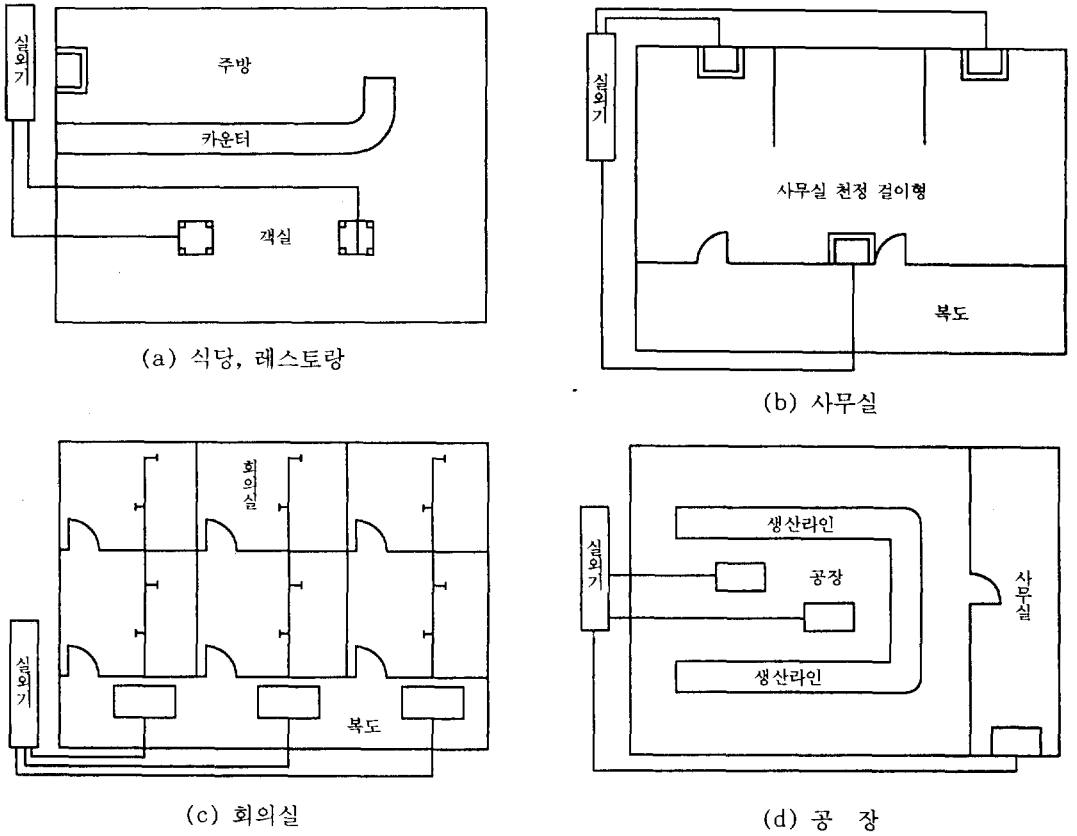


그림 10 실내유니트 설치예



그림 11 가스엔진 열펌프의 실외기

사용하므로 가스공급장치, 가스차단밸브, 가스·공기 혼합장치 등이 필요하다. 따라서 가스종류별로 대응할 수 있고, 엔진 소음과 진동을 줄일 수 있는 가스엔진 열펌프의 개발이 필요하다. 빌딩용 멀티타입 가스엔진 열펌프의 개발과 더불어 일본에서는 대규모 빌딩에 여러대의 가스엔진 열펌프가 설치되는 경우가 늘고 있다. 현재 실내기 마다의 운전, 정지, 원격감시, 실내온도설정 등이 가능하다. 다기능 타입 제어 시스템의 개발에는 통신사양의 규격화 및 제작사에 관계없이 제어할 수 있는 집중관리 시스템의 개발이 필요하다. 이에 대한 연구 개발이 진행되고 있다.

엔진 기동원인 가스는 버너를 통해 공급되며, 이 연료가스는 가스믹서에서 공기와 혼합되어 엔진에 공급된다. 엔진 출력과 회전수는 가스믹서의 개도를 스테핑 모터로 제어, 조정된다. 현재

는 가스 종류별로 가스믹서를 설정하고 있으나, 앞으로는 생산성과 유통성의 효율향상을 위해 여러가스 종류에 대응할 수 있는 공동화가 과제이다. 또, 가스엔진 열펌프는 엔진계통의 정비가 필요하게 되는데, 정비 간격은 개발 초 약 1년 정도였지만 현재는 약 2년 정도이다. 정비 간격의 장기화를 위해서는 오일의 개발, 오일보급 시스템의 개발, 엔진기동 밸브계 등의 개발이 필요하다. 정비 항목의 간략화도 앞으로의 과제이다.

가스엔진 열펌프는 코제너레이션 등과 달리 외기온도 등에 따라 엔진 회전수, 부하 등이 다르기 때문에 NOx의 배출농도도 변화한다. 현재 채용되고 있는 저 NOx 방식은 회박연소 방식과 점화시기지각 방식이 있다. 점화시기지각 방식은 점화시기를 늦춰 최소한의 부품변경으로 저NOx 화한 방식이다. 이들 두 방식은 가격상승 없이 가능하다는 점에서 유리하다. 가스엔진의 NOx 배출특성은 점화시기가 일정하면 연료가스와 공기와의 혼합비율도 결정된다. NOx 배출량은 공기혼합비율이 1 근처에서 최대가 되고 공기혼합비율이 큰 회박영역에서는 연소온도가 저하하여 NOx 배출량은 급격하게 감소한다. 이러한 회박영역에서의 연소를 실현하기 위해서는 확실한 착화가 키포인트이며, 착화를 위해 예연소실 방식

을 채용한 경우도 있다. 그림 12는 공기혼합비율과 NOx 배출량과의 관계를 나타낸 것이다.

가스엔진 열펌프는 주거 공간과 가까운 곳에 설치될 가능성이 높으므로 저소음화는 상당히 중요한 문제이다. 소음방지를 위해 실외기에 흡음재와 차음성이 높은 판넬을 사용하여 소음의 누설을 차단해야 한다. 엔진 흡·배기음의 저소음화를 위해서는 머플러를 이용한다. 엔진흡기는 실외기 측면 패널의 흡기 머플러를 통해 에어크리너로 공급되며, 흡기음은 흡기 머플러에 의해 저감된다. 엔진배기는 배기가스 열교환기, 배기 머플러를 통해 실외기 상부로 배출되며, 배기음은 배기 머플러에 의해 저감된다. 소음의 근본적인 저감을 위해서는 엔진본체의 저소음화 및 소음 머플러의 고성능화 개발이 요구된다. 가스엔진 열펌프는 부분부하운전, 즉 저부하시에는 엔진의 회전수가 낮기 때문에 엔진 진동이 커진다. 엔진 진동이 큰 상태로 운전을 계속하면 냉매 배관계로 진동이 전달되어 배관에 걸리는 응력이 커져 파손 가능성이 있으며, 건물등에 영향을 미칠 수도 있다. 이를 방지하기 위해서는 방진고무를 이용하며, 스프링 정수를 작게하기 위한 대책도 강구되고 있다. 옥상에 설치할 경우에는 전용 방진가대를 이용하여 건물에 진동이 전달되는 것을 막아야 한다. 근본적으로는 진동이 적은 실외기 개발이 중요하다.

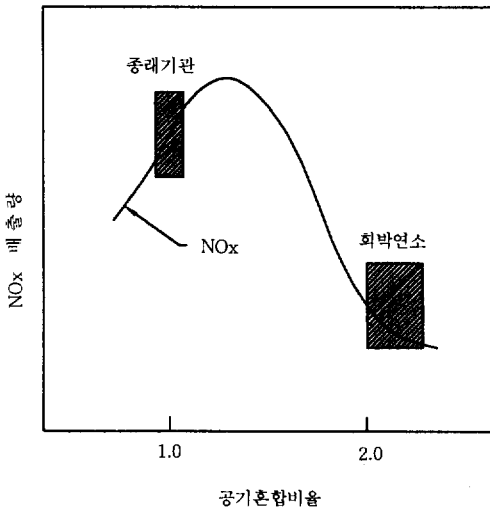


그림 12 공기혼합비율과 NOx 배출량

## 7. 맺음말

에너지 수급정책, 여름철 피크전력 완화 등 사회 전반적으로 큰 장점을 지니고 있어 기술개발이 기대되고 있는 가스엔진 열펌프의 원리, 성능 특성, 기술개발 및 보급 현황 등에 대해 개략적으로 살펴보았다.

가스엔진 열펌프는 전기식과 같은 프레온계 냉매를 채택하고 있으나 이는 오존파괴지수가 제로가 아니므로 가스엔진 열펌프를 더욱더 발전시키기 위해서는 이 점에 대한 대책작업이 앞으로의 가스엔진 열펌프 발전에 큰 관건이 되리라 생각한다. 우리나라에서도 하루빨리 가스엔진 열펌프에 대한 기술개발이 이루어지기 위해서는 열원구



동 열펌프에 대한 정부의 적극적인 의지 및 여건 조성 and 산학연 공동의 연구개발이 뒤따라야 할 것이다. 끝으로 이 글이 가스엔진 열펌프분야의 개발을 위한 관심유발에 조금이라도 도움이 되었으면 하는 바람이다.

### 참 고 문 헌

1. 成富健一郎, 1996, "GHP年表(1978~1996)", クリーンエネルギー, Vol. 5, No. 8, pp. 1~13.
2. 星野典正, 1994, "Gas Engine Heat Pump 開發動向 및 關係技術", 한·일냉동공조 기술 세미나, Vol. 1, pp. 173~201.
3. 阿部秀世, 1987, "ガスヒートポンプエアコン", 省エネルギー, Vol. 39, No. 4, pp. 55~59.
4. 電力空調研究會, 1995, "ヒートポンプ空調システム", オーム社, 東京, pp. 91~97.
5. Tokyo Gas, 1990, "Gas Cogeneration Systems", Tokyo Gas Heat Pump Team, Tokyo, pp. 73~104.
6. 윤정인, 1995, "폐열이용 흡수·흡착식 열펌프의 기술개발 동향", 공기조화·냉동공학, 제 24권, 제6호, pp. 664~674.
7. 윤정인, 1996, "가스엔진 열펌프", 냉동공조 기술, Vol. 13, No. 7, pp. 59~66.