

가스엔진구동 열펌프의 경제성 평가 연구

채정민, 한정옥

한국가스공사 연구개발원 이용기기연구센터

A economic evaluation study of the GHP(Gas engine driven Heat Pump)

Jungmin CHAE, Jeongok HAN

Korea Gas corporation, R&D division, Gas Utilization Technology Center

1. 서론

최근에 이르러 과학문명과 기술개발의 속도는 눈부실 만큼 빨라지고 있으며 이와 함께 쾌적한 생활환경에 대한 욕구도 꾸준히 증대되어 냉방기의 보급이 급격히 증가하고 있으며, 앞으로도 높은 증가율을 보일 것으로 예상된다. 하지만 현재 상용화되어 있는 중·소형 냉방기는 전기식 에어컨이 주종을 이루고 있으며 이는 결국 하절기 전력공급 부족을 우려할 정도의 심각한 에너지불균형 현상을 초래하게 되었다. 그리고 현재 공조시장의 가장 큰 현안은 냉난방 부분부하에 대응할 수 있어 에너지 절약효과가 탁월한 멀티시스템의 개발과, 기기 한 대로 냉난방이 가능하여 건축물의 공간 활용성을 높일 수 있는 열펌프의 개발이라 할 수 있다. 이러한 큰 흐름에 대응할 수 있는 가장 훌륭한 대안의 하나로 가스엔진을 이용한 열펌프(GHP)를 생각할 수 있으며, 이러한 이유로 국내에서도 GHP에 대한 관심이 고조되고 있으며, 이미 일본의 GHP 4대 메이커가 이미 국내에 진입하여 그 시장을 확대해 나가고 있는 실정이다.

본 연구에서는 냉난방 시스템으로서의 GHP에 대한 운전비 위주의 경제성분석을 통하여 그 보급 타당성을 검토하고, 합리적인 지원체계 수립을 위한 자료로 활용하고자 교육 시설과 상업용 시설인 소형빌딩에 16마력급 GHP와 전기식 열펌프(EHP ; Electric Heat Pump)를 적용하였을 때의 연간 냉난방용 에너지소비량, 운전비용, 투자회수기간 등에 대한 검토하였다.

2. GHP의 특성 및 성능

일반적인 증기압축식 냉동기를 air to air heat pump로 하여 난방에 적용할 경우 외기를 열원(heat source)으로 하여 실내의 공기를 가열하게 된다. 이 때 외기온이 낮을수록 건축물의 난방부하는 증가하는데 반해 열펌프의 난방능력은 오히려 감소하게 되어 운전조건을 변화시켜주어야 하고 운전조건을 변화시켜준다 하더라도 열펌프의 효율은 저하하

게 되어 에너지 효율이 감소하는 것은 열펌프가 가지는 구조적인 문제점이라 할 수 있다. 우리 나라의 경우 낮은 동절기 외기온으로 인해 열펌프의 성능계수가 크게 저하되어 남부지방 일부를 제외하고는 경제성이 희박하다고 보고되고 있다. 하지만 GHP는 가스엔진의 냉각수와 배가스로부터 배열을 회수하여 난방에 적용할 수 있으므로 낮은 외기온에 의한 성능저하의 부담이 훨씬 적다. 또한 초기 운전시 Warming-up이 용이하고 입상능력이 우수하다는 장점을 가지고 있으며, 가스엔진의 무단계 회전수 제어로 부분부하에 대한 대응성이 뛰어나 멀티형 시스템 개발에 용이하다.

일반적으로 히트펌프 및 냉동기의 성능은 다음과 같이 COP(Coefficient of Performance)로 나타내며, 운전범위에 따라 다르겠지만 전기식 냉동기/열펌프의 경우 그 값은 대략 2.0~4.5정도이다.

$$- \text{COP} = \frac{\text{히트펌프 출력}}{\text{히트펌프(압축기)에 소요되는 동력}}$$

하지만 GHP의 경우 COP는 0.8~1.3정도로 그 값이 전기식에 비해 현저히 낮게 나타나는데 이는 가스와 전기라는 에너지의 질 차이에서 비롯되는 것으로 또 다른 성능계수인 PER 개념의 도입이 필요하며 GHP의 PER은 0.8~2.5정도이다. PER은 전기식 열펌프/냉동기의 COP에 발전효율 및 송배전효율까지 포함한 것으로 이를 감안할 경우 오히려 GHP의 효율이 높다고 할 수 있다.

$$- \text{PER} = \frac{\text{히트펌프 출력}}{\text{히트펌프를 구동하는데 소요되는 1차에너지량}}$$

3. 운전비 분석

3-1. 운전비 분석대상

경제성 평가를 위한 분석대상으로는 앞으로 GHP의 보급이 가장 활발하게 이루어 질 것으로 예상되는 교육용 및 상업용 건물을 설정하였다.

학교시설의 경우, 2000년도 현재 초중등학교의 냉난방시설현황은 표. 1에서 보는 것과 같이 난방중심의 낙후된 공조형태를 보이고 있어 공조시장의 잠재성 및 그 규모가 크므로 GHP와 EHP를 비롯한 다양한 형태의 공조기 설치가 예상된다. 상업용 시설의 경우, 공간활용도 향상 및 건물 미관을 고려할 때 냉난방 멀티 시스템의 도입이 필수적이고, 교육용시설에 비해 운전시간이 길어 냉난방기

표 1. 전국 교육시설의 냉난방 방식별 설치현황

냉난방방식	초등학교 [%]	중등학교 [%]
개별난방	46	40
중앙난방	13	11
냉방	5	6
비난방	36	43

에너지원에 의한 경제성 평가를 효과적으로 비교할 수 있을 것으로 생각된다.

3-2. 운전비용 분석조건

열펌프의 운전비용을 분석하기 위해 다음과 같은 가정 및 기준을 설정하였다.

가. 16HP급의 GHP와 EHP를 냉난방기로 적용하였고 비교대상으로 한 GHP와 EHP는 제작사의 카탈로그를 참고로 하였으며 그 사양은 다음과 같은데, 동일한 난방능력 비교를 위해 EHP에 보조열원을 설치하는 것으로 하였다.

표 2. 운전비 분석대상 냉난방기 비교표

		GHP	EHP	비고	
능력	냉방[kW]	45	44.8		
	난방[kW]	53	52.4	EHP: 보조열원(4kW)추가설치	
소비에너지	가스	냉방[Nm ³ /h]	3.91		
		난방[Nm ³ /h]	3.56		
	전기	냉방[kW]	1.71	17.2	
		난방[kW]	1.86	22.0	EHP : 보조열원(4kW)포함

나. 학교시설 및 사무실 빌딩의 월별 냉난방기의 설계용량에 대한 부하율은 일본 동경 데이터를 기준으로 하였다.

$$\text{부하율} = \frac{\text{실제 냉난방부하}}{\text{설치 냉난방기의 장치용량}}$$

냉방기간은 6월~9월, 난방기간은 11월~3월로 하였고, 학교시설의 경우 방학을 고려하여 8월, 1월, 2월은 냉난방기를 운전하지 않는 것으로 하였다. 그리고 냉난방기 운전시간은 월별 부하율 및 각 시설의 운전시간을 근거로 계산하였다.

표 3. 월별 냉난방 부하율 및 냉난방기운전시간

구분	냉방기간						난방기간					
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
부하율	0.083	0.304	0.671	0.812	0.520	0.046	0.176	0.555	0.685	0.727	0.545	0.114
운전시간	* 학교시설 (0.304+0.671+0.520)×9h/day×24day/month = 323h						* 학교시설 (0.176+0.555+0.545)×9h/day×24day/month = 276h					
	* 상업시설 (0.304+0.671+0.812+0.520)×10h/day×25day/month = 577h						* 상업시설 (0.176+0.555+0.685+0.727+0.545)×10h/day×25day/month = 672h					

다. 외기온 변화에 따른 냉난방부하 및 열펌프의 성능 변화는 무시한다.

라. GHP, EHP 공히 설정온도 도달에 따른 단속운전에 의한 에너지 손실은 무시한다.

마. 가스요금은 경기지역의 2002년 3월 소매가를 기준으로 하여 냉방용 요금, 및 일반영업용 난방요금을 적용하였고, 전기요금은 학교시설에는 교육용 요금을 상업용 시설에는 일반용 요금을 각각 구분하여 저압전력 기준으로 적용하였으며, 그 값들은 표 4와 같다. 그리고 가스요금 및 전기요금 공히 부가세는 제외하였다.

바. 전기요금의 경우 기존 계약전력에 GHP와 EHP설치에 따른 전력량증가분만을 운전비에 적용하였다.

표 4. 용도별 기기 운전시간 및 기간별 연료비용

구분	운전시간(h)		연료 비용		
	교육용	일반용	가스 [원/Nm ³]	전력(저압전력 기준)	
				교육용기본요금: 5210원/kW	일반용 기본요금: 5720원/kW
냉방 기간	6	66	245.17	59.70(원/kWh)	67.50(원/kWh)
	7	145		93.00	101.2
	8	0		59.70	67.50
	9	112			
	소계	323			
난방 기간	11	38	427.15	64.30	71.80
	12	120			
	1	0			
	2	0			
	3	118			
소계	276	672			

4. 결과 및 고찰

표 5와 표 6은 상기의 조건 및 가정을 근거로 학교시설 및 상업시설에 16마력급 GHP와 EHP 각 1대를 설치하였을 때의 냉난방 연간 운전비용을 산출한 것이다.

교육용 시설과 상업용 시설의 연간운전비용은 GHP가 EHP에 비해 각각 42.2%와 60%로 절감되며, 절감액은 약 1,260,000원정도로 나타나 GHP의 경제성을 확인할 수 있었다. 교육용 시설의 경우 운전시간이 짧은데도 불구하고 상업용 시설보다 절감폭이 크게 나타났는데 이는 비교적 높은 난방용 가스요금이 적용되는 동절기가 저렴한 냉방용 가스요금을 책정한 하절기보다 방학이 길기 때문

표 5. 교육시설의 냉난방운전비 비교

		GHP		EHP	비고
		가스	전기		
냉방	6월	63,269	16,428	182,391	
	7월	138,999	32,750	346,562	
	8월		9,691	114,620	전기 : 계약전력분
	9월	107,365	21,124	229,626	
	소계	389,626		873,199	
난방	11월	57,785	14,235	168,375	
	12월	182,478	24,042	284,372	
	1월		9,691	114,620	전기 : 계약전력분
	2월		9,691	114,620	전기 : 계약전력분
	3월	179,437	23,803	281,543	
	소계	501,163		963,530	
합계		919,861		2,180,589	* GHP/EHP = 42% * 차액 = 1,260,728원 * 비냉난방기간 기본전기료 포함
원/kW	냉방	8,658		19,491	
	난방	9,456		18,388	

표 6. 상업시설의 냉난방운전비 비교

		GHP		EHP	
		가스	전기		
냉방	6월	72,855	17,449	192,660	
	7월	161,047	36,408	383,353	
	8월	194,599	41,974	439,339	
	9월	124,620	22,962	322,568	
	소계	671,914		1,337,920	
난방	11월	66,909	14,963	176,862	
	12월	211,371	26,344	311,249	
	1월	260,032	30,138	312,545	
	2월	276,759	31,488	325,267	
	3월	206,809	25,959	307,006	
	소계	1,150,771		1,432,929	
합계		1,851,758		3,114,709	* GHP/EHP = 60% * 차액 = 1,262,951원 * 비냉난방기간 기본전기료 포함
원/kW	냉방	14,931		29,864	
	난방	21,712		27,346	

이며, 학교시설이 GHP설치에 의한 경제적 효율이 높음을 알 수 있다.

냉난방능력 1kW를 얻기 위해 사용되는 비용을 비교하였을 때 교육시설의 경우 44.4%~51% 상업시설의 경우 50%~79% GHP가 저렴한 것으로 나타나 본 연구의 가정과 달리 여러 대를 설치할수록 효과는 크다고 할 수 있다. 그리고 전력의 경우 냉난방기 비운전기간에도 계약전력분에 상당하는 요금증가와 다수의 EHP 설치에 따른 계약전력 및 수전시설 증설에 의한 비용까지 감안한다면 GHP에 의한 절감효과는 훨씬 크다고 할 수 있다. 상업용 시설의 난방의 경우 냉방과는 달리 정상적인 가스요금을 적용하고, 운전시간도 연속운전에 의해 정상적이라고 볼 때 전기식 열펌프에 비해 GHP가 21% 저렴하므로 가스냉난방기 자체의 운전비에 의한 경쟁력은 충분하다는 것을 다시 확인할 수 있었다.

표 7은 가스배관과 수변전설비비와 설치비를 제외한 GHP와 EHP의 설치 운전시의 경제성 분석에 대한 결과이다. EHP의 판매가격을 25,000천원으로 하고 GHP와의 기기구입비 차이가 5,000천원일 때는 즉시회수가 가능하며, 10,000천원일 때의 투자회수기간(단순 감각년수)는 3.2년으로 비교적 양호한 결과가 나타났으며, 15,000천원이상일 때는 6.7년이상으로 증가되는 것으로 나타나고 있다. 그러나 현재의 요금제도변화와 여기에서 고려하지 못한 여러 가지 인자에 의해 회수기간은 다소 유동적이라 할 수 있다.

표 7. GHP의 경제성 분석(상업용 시설)

(단위: 천원)

항 목		EHP	GHP			비 고
고정비	기기 구입비	25,000	30,000	35,000	40,000	GHP는 예상가격
	배관(수변전)설비	-	-			불포함
	법인세 절감액	-	-3,000	-3,500	-4,000	
	설치지원금	0	-2,500			30RT 이하 가스냉방기 대상
	합 계	25,000	24,500	29,000	33,500	
변동비(운전비)		3,115	1,851			차액: 1,264
투자차액(GHP-EHP)		기준	-500	4,000	8,500	
회수기간(=투자차액/운전비 차액), 년		-	즉시회수	3.2	6.7	

5. 결론

이상과 같은 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

가. 교육시설과 상업용 시설에 대한 GHP와 EHP의 연간 냉난방운전비는 GHP가 EHP에 비해 각각 57.8%, 40.5% 저렴하게 나타나 GHP에 의한 절감효과가 큰 것으로

나타났다.

나. 냉난방능력 1kW당 필요한 운전비가 학교시설의 경우 44.4%~51% 상업시설의 경우 50%~79%로 나타나 운전시간이 길고 설치대수가 많을수록 GHP의 경제성이 높은 것을 알 수 있었다.

다. 기기 구입비 차이, 지원비, 운전비 등을 고려할 때 GHP의 투자회수기간은 구입비 차이가 10,000천원 이하일 경우 3.2년 이하로 나타났는데, 이는 요금제도, 제작·생산기술 등 여러 가지 인자에 따라 달라질 수 있다.

라. GHP 설치시 계약전력 감소에 의한 에너지비용 저감효과와 더불어 건물의 전기설비 축소에 의한 공간활용도를 높이고 이에 따라 건물 운영비용을 절감할 수 있는 장점이 있다.

6. 참고문헌

1. 가스냉방 교육자료, 가스공사, 2001
2. 히트펌프 공조설계 매뉴얼, 일본 전력공조연구회, 1990
3. 공기조화 및 냉동, 회중당, 1997
4. Experience from operating heat pump systems: efficiency and reliability, Heat Pump Newsletter, IEA, 2001
5. 기상청 통계자료(www.kma.go.kr); 기후자료
6. 한국전력공사 홈페이지(www.kepco.co.kr); 전력요금계산
7. 가스히트펌프 제품소개 자료, 오사카가스, '99. 10
8. 학교건물의 에너지 절약형 냉난방 시설 모형개발에 대한 연구, 교육부, 2000