

히트 펌프 냉난방 시스템의 실사용을 통한 경제성 분석

신 규 원, 김 길 태, 주 호 영, 이 재 근[†]
부산대학교 기계공학과

Economic Analysis of Heat Pump System through Actual Operation

Gyu-Won Shin, Gil-Tae Kim, Ho-Young Joo, Jae-Keun Lee[†]

ABSTRACT: The present study has been conducted economic analysis through actual operation of EHP and GHP which are installed at the same building of an university. Cost items, such as initial cost, annual energy cost and maintenance cost of each system are considered to analyze LCC and economical efficiency is compared. The initial cost is considered on the basis of actual costs, and annual energy cost is converted into the cost after measuring electricity and gas consumption a day. LCC applied present value method is used to assess economical efficiency of both them. Variables used to LCC analysis are electricity cost escalation rate, natural gas cost escalation rate, interest rate, and service lives and when each of them are 4%, 2%, 8%, and 20 years, results of analysis show that EHP(148,257,306 won) is 8.05%(12,981,990 won) more profitable than GHP(161,239,296 won).

Key words: Educational building(교육용 건축물), Heat pump(열펌프), EHP(전기구동식 열펌프), GHP(가스엔진구동식 열펌프), LCC(생애 주기 비용), Present value(현재가)

기 호 설 명

- A : n년간 걸쳐 계속되는 일정한 기말지불액 [원]
- e : 에스컬레이션 [%]
- F : n년 후의 기말지불액 [원]
- i : 할인율 [%]
- P : 현재가 [원]

상첨자

n : 내용연수

1. 서 론

경제성장과 국민소득증가에 따라 쾌적한 생활에 대한 욕구가 크게 증대하고 이에 따라 냉난방 시설에 대한 수요도 크게 증가하고 있는 실정이다. 특히 중대형 건물에서의 냉난방 시설은 편리함과 중복 설비를 피함으로서 발생하는 이점을 고려할 때, 냉방과 난방이 모두 가능한 복합형 냉난방 시설이 많이 설치된다.⁽¹⁾

학교 건물과 같은 중대형 건물은 전기식 히트 펌프(Electric Heat Pump, EHP)와 가스엔진구동식 히트펌프(Gas engine driven Heat Pump, GHP) 냉난방시스템이 많이 적용되고 이에 대한 이론적인 경제성 평가 연구가 이루어져 있다. 그러나 이와 같은 냉난방 기기를 실제로 설치하여 실사용 함으로서 경제성을 평가한 경우는 없는 실정이다.⁽¹⁾

[†]Corresponding author

Tel.: +82-51-510-2455; fax: +82-51-582-6368

E-mail address: jklee@pusan.ac.kr

본 연구는 대학 건물에 EHP와 GHP를 설치하고 실사용 함으로서 경제성 분석을 수행하였다. 이를 위해 부산시 P 대학의 건물 일부에 냉난방 시스템을 설치하였으며, 경제성 분석에 가장 많은 영향을 미치는 연간 에너지소비량⁽¹⁻³⁾은 실무하 측정을 통하여 산출하였다.

2. 설치 시스템 사양 및 에너지소비량

2.1 설치 대상 건물 및 설치 시스템 사양

EHP 시스템과 GHP 시스템이 설치된 P 대학교 설치 대상 건물의 1층과 2층은 강의실, 사무실, 대학원 연구실, 컴퓨터실 등 다양한 용도로 사용되고 있는 대표적인 대학시설이다. 동일 층에 EHP 시스템과, GHP 시스템을 설치하여 운전 함으로서 동일 조건에서의 실사용 테스트를 수행하였다.

P 대학 제 10공학관에 설치된 EHP(국내 L사)는 냉방능력 130.5 kW, 난방능력 146.7 kW를 가지는 실외기와 17대의 실내기로 구성되어 있다. 설치된 GHP(일본 A사)는 상용출력 15 kW급의 가스엔진이 사용된 냉방능력 56 kW, 난방능력 67 kW를 가지는 실외기와, 5대의 실내기로 구성되어 있다.

두 시스템의 실외기 부는 건물의 옥상에 설치하였으며, 실내기는 EHP의 경우 1층에 총 9대 54 kW(18.6 HP), 2층에 총 8대 72 kW(24.8 HP)를 설치하였으며, GHP의 경우 1층에 총 2대 54 kW(18.6 HP), 2층에 총 3대 72 kW(24.8 HP)를

설치하였다.

2.2 연간 에너지소비량

연간 에너지소비량은 초기투자비와 함께 경제성 평가에 가장 많은 영향을 미치는 요소이며, 이는 실측정 Data로 결정하는 방법과 추정에 의한 방법이 있으며, 추정에 의한 방법은 현장조사와 시뮬레이션에 의한 방법이 있다. 그러나 추정에 의한 방법은 실측정이 불가능할 때 사용하는 방법으로 본 연구는 설치된 시스템들의 실측정 Data를 바탕으로 연간 에너지소비량을 결정하였다.⁽¹⁻³⁾

실내온도·습도는 학교보건법시행규칙 제3조에 의거 기본적으로 냉방 및 난방 각각 26℃/50%, 20℃/40%로 설정⁽¹⁾하였으나 사용자의 요구에 따라 조정 가능하도록 하였으며, 일일운전시간은 가장 긴 시간을 사용하는 학부사무실을 기준으로 하여 09:00~19:00까지로 설정하였고 주 5일제 근무와 국경일을 고려하여 각 달마다 20일 운전한 것으로 보았다. 냉난방기간은 사용자의 사용 요구에 따라왔으며 냉방 및 난방 각 6~9월, 11~3월로 하였으며, 이중 6월 9월 11월 3월은 냉난방의 시작과 끝으로서 냉난방 수요가 많지 않았다는 점을 참조하여 각각 10일만 운전한 것으로 보정하였다.

Table 1에는 각 달에 측정된 에너지 소비량의 일일 평균값과 각 달에 소요된 비용을 나타내고 있다. Table 1에서 보는 바와 같이 시스템에 관계없이 1 월과 8 월이 동일 계절의 다른 달들에

Table 1 Energy consumption and costs of EHP & GHP at engineering building No. 10 in P Univ..

	Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
EHP	Average electricity consumption(kWh/day)	266.30	246.90	152.91	0.00	0.00	111.55	122.43	129.69	66.08	0.00	133.41	237.09	-
	Electricity cost(won)	648,858	627,247	437,371	352,200	352,200	409,425	552,495	564,373	386,099	352,200	426,509	616,318	5,725,296
	Annual cost(won)	648,858	627,247	437,371	352,200	352,200	409,425	552,495	564,373	386,099	352,200	426,509	616,318	5,725,296
GHP	Average electricity consumption(kWh/day)	36.56	33.10	29.79	-	-	19.60	32.36	32.36	19.60	-	29.79	32.00	-
	Electricity cost(won)	40,731	36,871	16,593	0	0	10,054	52,933	52,933	10,054	0	16,593	35,642	272,402
	LNG consumption (m ³ /day)	67.55	62.63	59.98	0.00	0.00	47.37	63.41	67.41	47.37	0.00	57.98	61.85	-
	LNG cost(won)	752,451	697,726	334,103	0	0	157,074	420,539	447,066	157,074	0	322,963	689,037	3,978,033
	Annual cost(won)	793,182	734,597	350,696	0	0	167,128	473,472	499,999	167,128	0	339,556	724,679	4,250,435

비해 일일 평균 에너지 소비량이 높게 나타났다.

Table 1에서 연간 에너지비는 EHP, GHP 각각 5,725,296 원, 4,250,435 원이며 EHP의 경우 계약 전력으로 인해 연간 에너지비가 크게 산정된다.

3. 히트펌프 시스템에 대한 경제성 분석

3.1 경제성 분석방법

냉난방시스템의 경제성을 평가하는 방법으로 초기투자비법, 회수기간법, 투자수익률법, 내부수익률법, LCC(Life Cycle Cost) 분석법이 있다. LCC 분석법은 시스템의 전과정인 기획, 설계, 설비, 건설, 유지, 관리, 폐기, 처분 단계에서 발생하는 모든 비용을 분석하는 방법이며 화폐의 시간 가치에 대한 고려로서 공통의 시점으로 환산하는 방법에 따라 현가법, 증가법, 연가법으로 구분된다.⁽¹⁾ Fig. 1은 일반적 LCC분석시 항목별 발생시점을 나타내고 있다.

냉난방시스템은 사용기간 동안 발생하는 연비용이 동일하기 때문에 이에 적합한 현가법을 사용하여 분석하였다. 현가법에서 이미 현가인 초기비용과 장래에 발생하는 비용과 같이 현가로 환산되어야 하는 비용이 있다.

미래에 발생하는 반복비용(매년 똑같이 발생하는 비용)중에서 에스컬레이션이 있는 경우는 식(1)을 사용하여 현가로 환산하며 에스컬레이션이 없는 경우는 식(2)를 사용하여 현가로 환산한다.

$$P = A \times \frac{\left(\frac{1+e}{1+i}\right) \cdot \left(\left(\frac{1+e}{1+i}\right)^n - 1\right)}{\left(\frac{1+e}{1+i}\right) - 1} \quad (1)$$

$$P = A \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2)$$

몇 년 후에 1회만 발생하는 비반복비용은 식(3)을 사용하여 현가로 환산한다.^(1, 3)

$$P = F \times \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3)$$

3.2 비용 및 비용 산정에 대한 조건

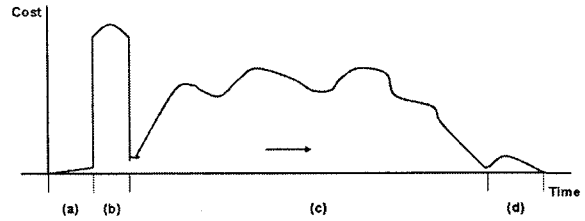


Fig. 1 Components of general LCC costs : (a) Planning & design, (b) Equipment construction, (c) Maintenance, (d) Scraping of equipment

냉난방시스템의 LCC 분석을 위해서 기획설계단계, 설비건설단계, 유지관리단계, 폐기처분단계에 따른 여러 가지 발생비용들과 이차율, 에너지비 상승률, 내용연수 등이 종합적으로 고려되어야 하며 본 연구에서는 다음과 같이 비용 산정 조건을 정하였다.

3.2.1 각 시스템별 초기투자비

본 연구를 위한 '초기투자비'의 비용 분류는 크게 '제품 가격'과 '공사비 및 검사비'로 나눌 수 있다. '제품 가격'은 '기기 가격', '배관 가격', '제어장치가격'으로 나눌 수 있고, '공사비 및 검사비'는 '제품 공사비 및 검사비', '가스 공사비 및 검사비', '전력 공사비 및 검사비'로 나눌 수 있다. 본 연구를 위해서 EHP와 GHP가 실설치 되었으며 시스템들의 비교 분석을 수행하기 위해서 실설치 된 EHP 냉방 능력을 기준으로 EHP와 GHP의 초기투자비가 재산정되었다. Table 2는 재산정 값에 대한 결과이다. EHP는 약 6000천만원, GHP는 약 1,200천만원 정도로 약 2배의 차이로 GHP의 초기비용이 높게 산출된다.

3.2.2 초기투자비에 대한 지원금

GHP 시스템은 가스 냉난방 시스템으로 여러 가지 지원을 받을 수 있는 시스템이다. 이 중 본 연구에 적용될 수 있는 GHP 시스템의 지원제도는 '자금융자'가 있다. GHP는 소요 자금의 100%이내에서 3년 거치 5년 분할 상환의 조건으로 연 2.5%로 고정된 변동금리를 가지는 자금융자를 지원받을 수 있다.

3.2.3 에너지비

Table 2 Initial cost of EHP and GHP

Categories	Items	EHP	GHP
Equipment cost	Indoor units	11,089,000	23,760,000
	Outdoor units	10,920,000	50,940,000
	Branch tubes	854,000	700,000
	S/W & H/W of operation control	4,283,000	4,283,000
Construction and inspection cost	Equipment construction and inspection cost	25,430,000	26,930,000
	LNG facility construction and inspection cost	0	10,164,600
	Electricity facility construction and inspection cost	7,896,000	3,696,000
Total		60,472,000	120,473,600

에너지비를 산정하기 위하여 Table 3과 Table 4의 요금체계를 적용하였다. 또한 전력 요금의 경우는 전력산업기반기금(전기요금의 4.591%)을 반영하였고 EHP의 경우는 EHP의 정격 소비 전력인 60 kW를 적용하여 기본요금을 계산하였다. 그 외 부가가치세(에너지비의 10%)를 가스 및 전력 요금에 적용하였다. 이를 바탕으로 계산하면 Table 1을 얻을 수 있다. Fig. 2는 20년간 EHP와 GHP의 에너지비를 나타내고 있다. GHP가 EHP에 비해 약 29,059,761 원 작게 사용한다.

Table 3 Electricity charge for education (choice II high voltage A)

Classification	Basic charge (won/kW)	Power demand charge (won/kWh)			
		Summer (Jul. ~ Aug.)	Spring, Fall (Apr. ~ Jun., Sep.)	Winter (Oct. ~ Mar.)	
High voltage power A	Choice II charge	5,870	81.80	51.30	55.70

Table 4 LNG price(won/m³)

Pusan	Cogeneration	437.70
	Business heating	557.00
	Cooling	331.59

Table 5 Assumption of variables to analyze LCC

Cost variables	Interest rate (%)	Elec. price escalation(%)	LNG price escalation for GHP(%)	Service lives (years)
EHP	8	4	-	20
GHP	8	4	2	20

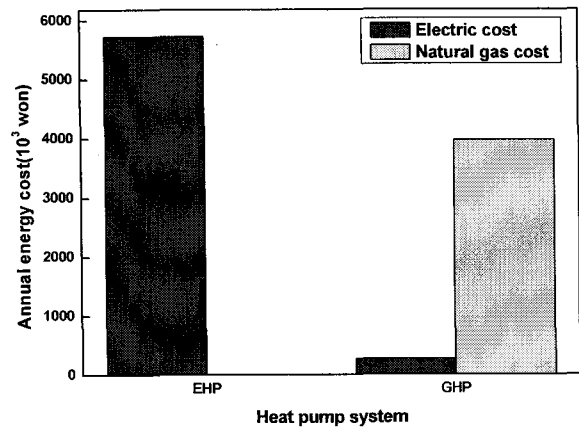


Fig. 2 Comparison of energy costs of EHP and GHP

3.2.4 기획설계비, 보전비, 일반관리비, 갱신비, 기타비용, 폐각비

보전비는 국내외적으로 초기투자비의 1.5%를 일반적으로 반영하고 있고 일반관리비는 학교의 시설관리자가 직원으로 근무하므로 비용 산정에서 제외하였다. 갱신비는 엔진 교체 및 기타 부품 교체 등이 있을 수 있으나 분석 기간 중에는 부분 갱신이 없는 것으로 가정하였다. 그리고 본 연구에서 냉난방시스템의 경제성 분석대상인 EHP, GHP의 경우 시스템의 구성이 거의 동일하게 구성되었다는 점을 고려하여 기획비와 설계비 및 철거비와 매각비는 시스템 간 서로 상쇄되는 것으로 가정하였다.⁽¹⁾

4. LCC 분석 및 민감도 분석

4.1 LCC 분석

Fig. 3과 Fig. 4는 상기의 비용 분류 체계 및 변수(물가상승률 및 할인율)를 바탕으로 EHP, GHP 시스템의 20년간 사용된 비용 분석을 수행한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3을 볼 때 각 시

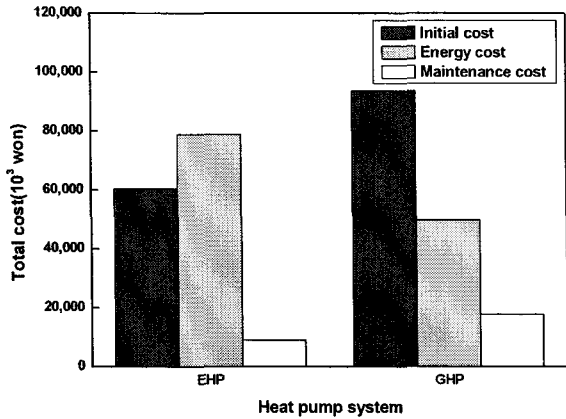


Fig. 3 Comparison of several costs of EHP and GHP

시스템에서 초기투자비와 에너지비의 합이 차지하는 비중이 89-94%로 경제성평가에 가장 큰 영향을 미치는 항목이며, 이 두 가지 항목으로 경제성이 거의 결정되게 된다. 초기투자비에서는 EHP(60,472,000 원)가 GHP(93,677,183 원)에 비해 1.5배 정도 유리하며 에너지비 측면에서는 GHP(49,819,700 원)가 EHP(78,879,461 원)에 비해 1.6배 정도 유리한 것으로 나타났다. 한편 전체 비용 측면에서 살펴보면 EHP(148,257,306 원)가 GHP(161,239,296 원)에 비해 1.09 배 정도 유리하게 나타났다.

Fig. 4는 LCC 분석결과로서 EHP 시스템은 GHP 시스템과 비교할 때 6년이 지난 후에는 비교 우위를 가지게 된다. GHP가 EHP 시스템에 비해 불리한 이유는 에너지비 측면에서에서 유리

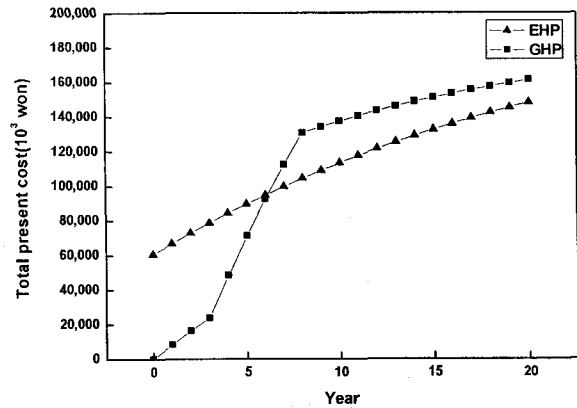


Fig. 4 Total present values and trends of EHP and GHP

함에도 불구하고 높은 초기투자비와 보전비 때문인 것으로 분석된다.

4.2 민감도 분석

LCC분석에서 중요한 요소 중 하나가 미래의 물가 상승률 및 이자율을 예측하는 것이다. 그러나 이들은 과거의 통계자료를 바탕으로 어느 정도 예측될 수 있지만 불확실성이 존재하기 때문에 LCC 분석의 결론을 보완하기 위해서 민감도 분석이 필요하다.⁽⁴⁾ 본 연구에서는 냉난방 시스템의 민감도 분석을 위해 이자율, 전력요금 상승률, 도시가스요금 상승률을 고려하였다. 통계 자료와 기존 논문을 참고하여 민감도 분석 범위를 이자율은 5%, 8%, 11%, 에너지비상승률은 전력의 경우 2%, 4%, 6%, LNG의 경우 0%, 2%, 4%로 설정하였다. 이는 본 연구에서의 이자율 및 에너지비상승률의 설정 값(이자율: 8%, 에너지비상승률: 전기 4%, LNG 2%)을 기준으로 이자율의 경우는 3%, 에너지비상승률의 경우는 2%를 가감한 값이다.^(1, 5)

민감도 분석에 대한 결과는 Table 6과 같다. Table 6에서 EHP가 GHP에 비해 전기요금 상승률이 6%인 경우를 제외한 모든 경우에서 경제적으로 나타났다. 전기요금상승률에 대한 민감도 분석 결과, 전기요금상승률이 2, 6%로 변화할 때 GHP에 비해 EHP의 LCC가 상대적으로 큰 폭으로 변화하였다. 전기요금상승률이 2% 감소할 때 EHP와 GHP의 LCC 변화폭이 각각 8.48%(12,578,961 won), 0.4%(598,491 won)으로

Table 6 Sensitivity analysis

Elec. price escalation (%)	LNG price escalation (%)	Interest rate escalation (%)	LCC(won)	
			EHP	GHP
4*	2	8	148,257,306	161,239,296
2	2	8	135,678,345	160,640,805
6	2	8	164,025,494	161,989,526
4	0	8	148,257,306	154,229,494
4	4	8	148,257,306	169,979,372
4	2	5	175,493,551	196,541,054
4	2	11	129,639,436	134,725,814

* The basis values for LCC sensitivity analysis

LCC가 감소하였고, 전기요금상승률이 2% 증가하면 EHP와 GHP의 LCC 변화폭이 각각 10.64%(15,768,188 won), 0.47%(750,230 won)으로 LCC가 증가하였다. GHP의 경우 에너지비 중 전기요금이 차지하는 비율이 EHP에 비해 아주 작기 때문에 분석된다. LNG요금상승률에 대한 민감도 분석 결과, LNG요금상승률이 2% 감소할 때 GHP는 LCC가 4.35%(7,009,802 won) 감소하였고, 2% 증가하면 GHP의 LCC가 5.42%(8,740,076 won) 증가하였다. 이자율상승률의 변화는 LCC 분석에 크게 영향을 끼치지 않았다.

5. 결 론

본 연구는 대학교에서 많이 적용되고 있는 난방시스템인 EHP 및 GHP를 부산시 P 대학의 1층과 2층에 동일한 조건으로 실 설치 후, 실사용을 바탕으로 한 발생 비용을 내용연수 20년에 대한 LCC 분석 기법을 이용하여 경제성을 분석하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 초기투자비에서는 EHP(60,472,000 원)가 GHP(93,677,183 원)에 비해 유리하였으며 에너지비 측면에서는 GHP(49,819,700 원)가 EHP(78,879,461 원)에 비해 유리하였다. GHP와 EHP의 LCC 분석한 결과는 EHP(148,257,306원)가 GHP(161,239,296원)에 비해 8.05% 경제적인 것으로 나타났다.

(2) 민감도 분석에서는 전력 요금 상승률 6%인 경우를 제외한 모든 경우에서 EHP가 GHP에 비해 유리하게 나타났다. 이는 EHP의 전력비 규모가 큰 관계로 전력 요금 상승률의 변화에 큰 폭으로 변하였기 때문인 것으로 분석된다.

참고문헌

1. Park, Y., Park, M.Y. and Kim, C.M., 2003, Economic Analysis of Heat Pump System in Educational Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 10, pp. 879-887.
2. Park, Y. and Jung, S. S., 2002, Life cycle costing through operating number control of air conditioning systems in office buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 11, pp. 981-988.
3. Jung, S. S. and Kim, D.W., 2002, A Study on the Development of Cost Breakdown Structure in Present Worth Method and Annual Worth Method by HVAC system for systematic LCC Calculation, Korea Journal of Architectural Institute, Vol. 18, No. 6, pp. 167-174.
4. Jung, S. S., A study on the Life Cycle Cost Analysis of EHP and GHP for Heating and Cooling system of School Building in Pusan, Korea Journal of Architectural Institute, Vol. 19, No. 11, pp. 247-254.
5. Kim, Y. S. and Kang, C. H., A Study on the Effect Measurement of ESCO Projects using LCC Technique., Korea Journal of Architectural Institute, Vol. 20, No. 2, pp. 89-96.
6. Jung, J. R. and Lee, K. H., 2003, Evaluation of alternatives for building service systems in high-rise building based on life cycle cost analysis, Korea Journal of Architectural Institute, Vol. 19, No. 1, pp. 249-257.
7. ASHRAE, 1991, ASHRAE Handbook of Heating, ventilation and air-conditioning applications, p. 33.3.