

# 교육용 건축물의 히트펌프 냉난방시스템에 대한 경제성 분석 - 24학급 규모의 고등학교를 중심으로 -

박 룰<sup>†</sup>, 박 민 용<sup>\*</sup>, 김 중 민<sup>\*\*</sup>

동의대학교 건축설비공학과, <sup>\*</sup>부산정보대학 건축과, <sup>\*\*</sup>동명정보대학교 건축공학과

## Economic Analysis of Heat Pump System in Educational Building - Focused on the High School of Twenty Four Classes -

Yool Park<sup>†</sup>, Min-Yong Park<sup>\*</sup>, Chong-Min Kim<sup>\*\*</sup>

Department of Architectural Equipment, Donggeui University, Busan 614-714, Korea

<sup>\*</sup>Department of Architecture, Busan College of IT, Busan 616-737, Korea

<sup>\*\*</sup>Department of Architectural Engineering, Tongmyung University of IT, Busan 608-711, Korea

(Received August 1, 2003; revision received September 17, 2003)

**ABSTRACT:** Buildings with heating and cooling systems have been increased, since the requirement of thermal comfort for residents is grown. Heating and cooling systems, have been changed from two separate systems to one multi-function system which includes both heating and cooling. Especially, heat pump heating and cooling system has been adopted for general classrooms in schools since education environment improvement project has been launched. This research suggests the best option for the heat pump heating and cooling system in educational buildings through economic assessments for four alternative systems based on electric heat pump (EHP) and gas engine driven heat pump (GHP), which are most widely used for elementary, middle and high schools. The model buildings are in the Y high school which has 24 classes of new construction building, which will be built soon. Annual energy consumption for alternative systems uses BECS 3.10, which can be used for system simulation.

**Key words:** Educational building(교육용 건축물), Gas engine driven heat pump(가스엔진구동식 히트펌프), Electric heat pump(전기식 히트펌프), Economic analysis(경제성 분석), Present cost(현가), Sensitivity analysis(민감도 분석)

### 기 호 설 명

$a_p$  : P년도의 유지비 [원/년]  
 $e$  : 물가상승률 [%]  
 $i$  : 이자율 [%]

$i_e$  : 실질이자율 [%]  
 $I_0$  : 초기투자비 [원]  
 $n$  : 내용연수 [년]  
 $P$  : 현가 [원]  
 $R$  : 폐각비 [원]

† Corresponding author

Tel.: +82-51-890-1984; fax: +82-51-898-3462

E-mail address: pyool@donggeui.ac.kr

### 1. 서 론

제실자들의 쾌적한 실내 온열환경 창출에 대한

욕구가 날로 증가함에 따라 이를 주목적으로 하는 냉난방설비가 건축물에서 날로 증가되고 있으며, 냉난방시스템의 경우 기존 냉방 및 난방의 단일기능에서 냉난방 모두가 가능한 복합형으로 전환되어 가고 있다.

특히 교육용 건축물의 경우 2001년부터 교육환경개선사업이 추진되면서 일선학교의 일반교실을 중심으로 히트펌프식 냉난방시스템이 적용되고 있으며, 그 적용범위도 특별교실 등을 포함하는 실 전체로 확대되고 있는 추세이다. 그러나 현재 각종 설비시스템의 선정에 관한 경제성 평가에 대한 연구들<sup>(1,4)</sup>은 활발히 진행되었으나, 교육용 건축물의 냉난방시스템에 대한 연구는 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 중등고등학교에서 가장 많이 적용되고 있는 전기식 히트펌프(Electric Heat Pump, EHP)와 가스엔진구동식 히트펌프(Gas engine driven Heat Pump, GHP) 냉난방시스템을 기반으로 한 4가지 대안 시스템에 대한 경제성 분석을 통해 학교건물에 경제적인 히트펌프 냉난방시스템을 검토하고자 한다. 이를 위해 부산시교육청에서 신축예정인 24학급 규모의 Y고등학교를 모델건물로 선정하였으며, 경제성 분석에 가장 많은 영향을 미치는 연간 에너지소비량의 산출은 대안 시스템에 대한 시스템 시뮬레이션이 가능한 BECS 3.10<sup>(5)</sup>을 사용하였다.

## 2. 대안 선정 및 연간 에너지소비량 산출

### 2.1 모델건물의 개요

일반적으로 냉난방시스템의 경제성은 건축형태, 즉 신축과 리모델링 등에 따라 다른 결과가 도출될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 부산광역시 연제구에 신축예정인 24학급 규모의 Y고등학교

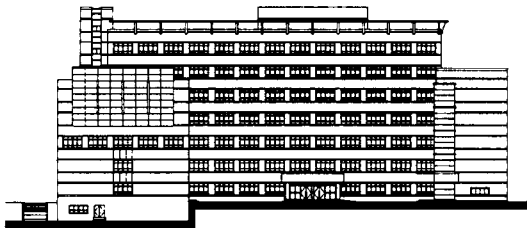


Fig. 1 Elevation of the building.

Table 1 Summary of the building

Categories	Contents
Gross area	12,902 m <sup>2</sup>
H/C gross area	6,948 m <sup>2</sup>
Stories	B1 ~ 7F
Building height	27.2 m
Cooling load	673 kW
Heating load	609 kW

를 대상 건축물로 설정하였다.

대상 건축물의 건축적 특성은 Table 1과 같이 연면적 15,129 m<sup>2</sup>, 지하 1층, 지상 7층으로서 남서향이며, 구조는 철골철근 콘크리트조이다. 건물의 외벽은 160 mm의 콘크리트에 30 mm의 화강석으로 마감되어 있다. 최대 열부하계산법에 의한 연공조면적당 냉·난방부하는 각각 124 kW·113 kW이며, 바닥면적이 68 m<sup>2</sup>인 일반교실의 면적당 냉·난방부하는 각각 132 kW·118 kW이다. 층별 실용도는 일반교실의 경우 2~7층까지 4개씩 분포되어 있으며, 과학실·멀티미디어실·음악실·컴퓨터실·미술실 등의 특별교실은 1~5층까지는 8루 분포되어 있다.

### 2.2 시스템 대안 선정

현재 교육용 건축물에서는 사무소 등과 같은 일반 건축물과는 달리 유지관리의 편리성 및 시공성 등의 이유로 공기 대 공기식 히트펌프 시스템이 대부분 적용되고 있다.

히트펌프 시스템은 실내·외기의 조합방식에 따라서 싱글형과 멀티형이 있으며, 배관접속방식에 따라서는 다배관식과 단배관식이 있다. 또한 열을 흡수하고 발열하는 원리에 따라서는 압축식, 흡수식, 흡착식 등이 있으며, 이중 압축식이 학교 건축물의 냉난방에 가장 널리 사용되고 있다. 압축식 히트펌프는 압축기의 구동방식에 따라 전기식(EHP)과 엔진구동식(GHP, KHP)으로 크게 구분되지만, EHP와 GHP가 대표적인 방식이다.<sup>(6)</sup>

이에 본 연구에서는 모델건물의 냉난방시스템으로 히트펌프식 중 현재 학교 건축물에 널리 적용되고 있는 단관식 멀티형 GHP 및 EHP를 대상으로 하였으며, 여기에 냉난방의 적용규모에 따른 경제성을 분석하기 위해 일반교실만 냉난방하는 경우(이하 “일반교실 ; General classroom”이

Table 2 Capacity of each system

Categories		GHP	EHP
		Cooling/Heating (kW)	Cooling/Heating (kW)
Total room	Indoor unit	11.2/13.2×53 EA	11.6/12.5×53 EA
		9.0/10.6×10 EA	9.3/10.0×10 EA
7.1/8.5×2 EA		7.3/8.0×2 EA	
5.6/6.7×30 EA		5.8/6.3×30 EA	
2.8/3.4×2 EA		2.9/3.2×2 EA	
	Outdoor unit	56.0/67.0×1 EA	87.4/94.5×8 EA
		45.0/53.0×18 EA	57.6/63×4 EA
General classroom	Indoor unit	11.2/13.2×24 EA	11.6/12.5×24 EA
	Outdoor unit	45.0/53.0×6 EA	57.6/63.0×6 EA

라 칭함)와 특별교실 등 실 전체를 냉난방하는 경우(이하 “실 전체 ; Total room”이라 칭함)로 나누어 총 4가지의 대안을 설정하였다. 각 대안 시스템은 층별로 조닝하였다.

Table 2는 모델건물에 적용된 대안별 실내·외기의 용량 및 대수이다. 멀티형 GHP 및 EHP의 경우 국내에 생산되고 있는 제품에는 각 제조사별로 성능의 차이가 있으나, 본 연구에서는 GHP 및 EHP를 각각 S사와 C사로 한정하였다.

2.3 연간 에너지소비량 산출

경제성 평가에 가장 많은 영향을 미치는 연간 에너지소비량을 정확히 추정하기 위해서는 현장 조사에 의한 방법인 실용적이다. 그러나 현재까지 부산지방의 중등학교에는 EHP만이 적용되어 있어 현장조사에 의해 두 시스템에 대한 냉난방 가동시간의 정확한 추정이 불가능한 실정이다.

이에 본 연구에서는 국내에서 생산되고 있는 대부분의 GHP 제품이 일본의 기술을 도입하고 있는 점을 감안하여 일본 공기조화·위생공학회에서 개발한 BECS for Windows Ver.3.10<sup>(5)</sup>을 사용하여 연간 에너지소비량을 산출하였다.

시스템 시뮬레이션시 적용한 냉·난방부하의 산출조건은 Table 3<sup>(7)</sup>과 같으며, 기상데이터는 대한설비공학회에서 작성한 부산지방의 표준기상데이터<sup>(8)</sup>를 사용하였다. 실내온도/습도는 학교보건법시행규칙 제3조에 의거 냉방 및 난방 각각 26℃/50%, 20℃/40%로 설정하였다. 일일운전시간은 수업시간을 기준으로 평일의 경우 09:00~16:30까지, 토요일의 경우 09:00~13:00까지로 하였으며, 일요일 및 국경일은 휴교로 설정하였다. 냉난방기간은 부산시 교육청에서 정한 시설물관리규정을 바탕으로 냉방 및 난방 각 7~9월, 12~3월로 하였으며, 이중 계절별 방학을 조사하여 봄방학 2월 22일~2월 28일, 여름방학 7월 20일~8월 31일, 겨울방학 12월 30일~2월 11일까지는 냉난방이 정지되도록 하였다. 시뮬레이션시 실 전체의 경우 특수교실에서의 수업시간 동안 일반교실은 냉난방을 하지 않는 현 상황이 제어되지 않는 문제점과 학교의 경우 일반교실 및 특수교실 외의 실에 대한 정확한 실 사용시간을 예측하기 곤란하여 본 연구에서는 전자의 경우는 특수교실의 운전시간을 주당 2시간으로 줄여 보완하였으며, 후자에 대해서는 식당의 경우 점심시간 1시간으로, 행정실, 교장실은 일반교실과 동일한 조

Table 3 Load conditions for simulation

Categories	Lighting (W/m <sup>2</sup> )	Person (P/m <sup>2</sup> )	Equipment (W/m <sup>2</sup> )	Infiltration (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)
General classroom	20	0.67	5	10.0
Special classroom	20	0.4	20	10.0
Dinning room	30	0.5	10	10.0
Etc	20	0.2	5	4.0

Table 4 Energy consumption of each case

Cate.	Total room			General classroom		
	GHP		EHP	GHP		EHP
	Elec. (Mwh)	LNG (km <sup>3</sup> )	Elec. (Mwh)	Elec. (Mwh)	LNG (km <sup>3</sup> )	Elec. (Mwh)
Feb.	5.08	1.50	18.32	3.91	1.15	14.09
Mar.	3.72	1.16	13.35	2.86	0.89	10.27
Jul.	4.99	1.44	15.33	3.84	1.11	11.79
Sep.	6.03	1.65	17.24	4.64	1.27	13.26
Dec.	10.15	2.91	35.18	7.81	2.24	27.06
Total	29.97	8.66	99.42	23.06	6.66	76.47

건으로, 기타의 실은 주당 2시간으로 가정하였다.

Table 4는 상기의 조건을 바탕으로 산출한 대안별 에너지소비량이다. 표에서 보는 바와 같이 전 대안에서 난방의 경우 12월, 냉방의 경우 9월에서 가장 높게 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 월별 냉난방기간에 비례하여 에너지소비 특성을 보이고 있다.

### 3. 히트펌프 시스템에 대한 경제성 분석

#### 3.1 경제성 분석방법

냉난방 및 공조시스템에 대한 경제성 분석방법에는 초기투자비법, 회수기간법, 투자수익률법, 내부수익률법, LCC(Life Cycle Cost) 분석법이 있다. 이중 과거에는 초기투자비법이 주로 사용되었다. 내부수익률법과 투자수익률법은 계산방법의 어려움으로 인하여 비교적 사용빈도가 적으며, 금일에는 회수기간법 및 LCC 분석법이 사용되고 있다. 그러나 회수기간법의 경우 초기투자비 및 그 이자가 언제 회수되는지의 표준을 세우는 데는 도움이 되지만 잔존가치, 장비의 내용연수 및 금리나 물가상승률에 의한 시간적 경과에 따라 원래의 가치가 변화하여 발생한 가치 등에 대한 고려가 없기 때문에 시스템에 대한 경제성 평가에는 적합하지 않다. 이에 반해 LCC 분석법은 시스템이나 기기의 제작을 위한 기획, 연구, 개발에서부터 조립, 시운전, 조정을 거쳐 실용적인 이용 및 장기간의 사용을 거쳐 최후에 폐각되기까지 필요한 모든 비용에 초점을 맞추어 분석하는 방법이다. 본 연구와 부합되는 분석법이라 할 수 있다.

LCC 분석법은 각 대안 비교에 있어 시간적 가

치에 대해 공통의 시점으로 환산하는 방법에 따라 현가법, 증가법, 연가법으로 구분할 수 있으나, 건축설비시스템과 같이 사용기간 동안 발생하는 연비용이 동일할 경우에는 현가법이 일반적으로 사용된다.

현가법은 검토하는 시점 이후에 발생하는 지출을 현시점의 가격으로 환산하여 합계하는 것으로, 현가  $P$ 는 식(1)과 같이 정리된다.

$$P = I_0 + \sum_{p=1}^n a_p \frac{1}{(1+i)^p} + \frac{R}{(1+i)^n} \quad (1)$$

설비시스템의 가동에 따른 에너지비용, 보전비 등과 같은  $P$ 년도의 유지관리비  $a_p$ 는 거의 매년 동일하게 발생되므로 식(1)은 식(2)와 같이 정리된다.

$$P = I_0 + a(PWF) + \frac{R}{(1+i)^n} \quad (2)$$

$$PWF = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (3)$$

식(3)의 연금현가계수  $PWF$ (Present Worth Factor)는 물가상승에 따른 화폐의 시간적 가치가 고려되어 있지 않기에 이를 반영하기 위해서는 이자율보다는 식(4)와 같이 실질이자율  $i_e$ 가 적용되어야 한다.

$$i_e = \frac{i - e}{1 + e} \quad (4)$$

#### 3.2 LCC 산정조건 설정

건축설비시스템에 대한 LCC 분석시에는 초기투자비, 유지비 및 폐각비와 같은 구성요소를 바탕으로 이자율, 에너지비상승률, 내용연수 등이 종합적으로 고려되어야 하므로 이들 요소에 대한 산정조건은 다음과 같다.

##### 3.2.1 화폐의 시간적 가치 및 내용연수

교육청과 같은 공공부문의 투자에 대한 이자율은 투자자금을 대출받는 민간기업과는 달리 세금으로 조달된 자금을 의해 투자되므로 이런 경우에는 소비이자율을 적용하는 것이 일반적이다.<sup>(9)</sup>

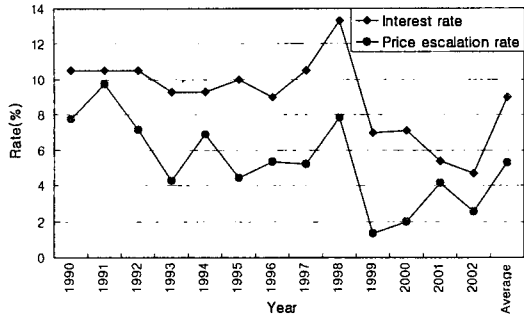


Fig. 2 Interest and price escalation rate.

이에 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 1990~2002년까지의 통계청 인터넷 자료를 바탕으로 이자율은 은행의 연평균 저축성수신금리 9%와 물가상승률 5%를 설정하였다. 또한 에너지비상승률은 Fig. 3과 같이 전기의 경우 한국전력공사에서 교육용 단가를 적용한 1992년 1월부터 2003년 1월까지, LNG의 경우 부산에서 현재와 같은 요금체계, 즉 발열량 10,500 kcal/m<sup>3</sup>, 냉·난방용으로 단가분리 및 m<sup>3</sup>당 단가가 적용된 1997년 1월부터 2003년 7월까지의 요금변동현황을 관련기관으로부터 받은 자료를 바탕으로 전기 3%, LNG 2%를 적용하였다.

내용연수의 경우 국외적으로 EHP에 대해서는 10~15년으로 추정치<sup>(10,11)</sup>가 있지만 GHP의 경우는 그 자료가 전무한 실정이라 본 연구에서는 각 시스템의 내용연수가 동일한 것으로 가정하고, 10년, 15년에 대해 경제성을 분석하였다.

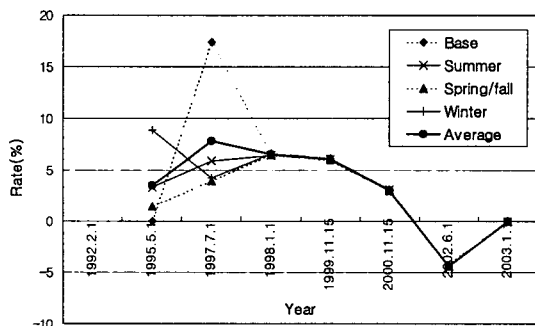
3.2.2 초기투자비

총비용의 산정조건으로 초기투자비는 GHP 및 EHP의 설치공사(2차 전기공사 및 자동제어공사 포함), 도시가스공사(배관공사비+시설분담금), 전

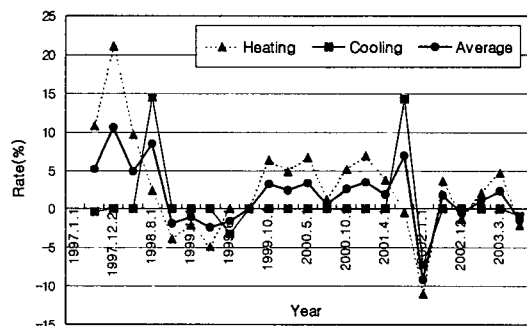
기공사(1차 인입공사비+수전설비비+한전불입금)에 대해 일반교실과 실 전체로 구분하여 각각 도면 및 공사원가계산서를 기준으로 하며, 도시가스 시설분담금 및 한전불입금에는 부가가치세 10%를 반영하였다. 특히 실 공사비(조달청 발주 공사비) 적용을 통한 본 연구의 신뢰성을 확보하기 위해 조달청 단가가 적용되는 EHP 설치공사비를 제외한 공사비의 경우에는 부산시 교육청으로부터 조달청 평균 낙찰률(GHP 설치공사; 76.665%, 도시가스 및 전기공사; 86.745%) 자료를 받아 적용하였다. 또한 GHP의 경우 냉방설치지원금, 설계장려금, 조세특례제한법에 의한 세액공제 등의 다양한 지원제도가 있지만, 학교건물의 경우 공사의 발주처인 부산시 교육청의 공사비 절감에 영향을 미치는 냉방설치지원금으로 한정하였다.

3.2.3 유지관리비

일반적으로 유지관리비 항목에는 에너지비, 보전비(수선·청소·점검정비비), 운영인건비 등이 있다. 이중 운영인건비는 학교의 시설관리자가 직원으로 근무하므로 비용산정에서 제외하였다. 보전비는 국내의<sup>(1,4)</sup>적으로 초기투자비의 1.5%를 일반적으로 반영하고 있지만, 본 연구에서는 보전비 중 점검정비비는 GHP의 경우 기기의 특성상 엔진오일교환 비용이 지출되므로 이를 실외기 1대당 2회/년(50,000원/회; 부가가치세 10% 포함)으로 하여 반영<sup>(6)</sup>하였으며, EHP의 경우에는 대부분의 학교에서 전기의 안전관리를 대행업체에 위탁하는 실정을 감안하여 전기안전관리대행비를 부산시 교육청의 현장실태 조사자료를 바탕으로 111,870원/월(150 kW 기준, 부가가치세 10% 포함)을 적용하였다. 수선·청소비의 경우에는 보전비 1.5%



(a) Electricity price



(b) LNG price

Fig. 3 Escalation rate of electricity and LNG.

Table 5 Prices of energy source

Categories	Prices (July, 2003)
Electricity (Education, option I, high voltage A)	Demand charge : 5,280 won/kw
	Consumption charge for : - July, August : 88.4 won/kw - October ~ March : 61.3 won/kw - The others : 56.8 won/kw
	Fund of power plant : demand charge $\times$ 0.04591
LNG (In Busan)	Consumption charge for heating : 542.62 won/m <sup>3</sup>
	Consumption charge for cooling : 293.83 won/m <sup>3</sup>

에서 상기의 점검정비비를 제외하여 초기투자비의 0.5%로 가정하였다. 도시가스를 에너지원으로 사용하는 GHP와 전기를 사용하는 EHP 냉방시스템에 대한 에너지비용을 산출하기 위해 적용한 에너지원별 단가는 Table 5와 같다. 또한 전기의 경우 요금부가시에 포함되는 전력산업기반기금(전기요금의 4.591%)을 반영하였으며, 기본요금 산출시에 적용되는 계약전력은 대안별 총소비전력(실전체 : GHP 51 kW, EHP 405 kW ; 일반교실 : GHP 16 kW, EHP 154 kW)을 기준으로 하였다. 부가가치세 10%를 전기 및 도시가스요금에 각각 적용하였다.

### 3.2.4 폐각비

본 연구에서 냉난방시스템의 경제성 분석대상인 GHP 및 EHP의 경우 시스템의 구성이 동일하게 실외기와 실내기의 조합으로 이루어지므로 철거비와 매각비는 서로 상쇄되는 것으로 가정하여 폐각비는 고려하지 않았다.

### 3.3 대안별 비용분석

상기의 LCC 선정조건 및 Table 4의 에너지소비량을 기준으로 GHP와 EHP 시스템에 대한 초기투자비 및 연간 유지관리비를 산출한 결과는

Table 6 Initial cost (Unit: 1,000 won)

Categories		Total room		General classroom	
		GHP	EHP	GHP	EHP
Construction cost of machine		596,836	215,755	177,257	56,203
LNG	Piping cost	18,208	-	9,146	-
	Contributions	835	-	259	-
Electricity	Construction cost	15,006	114,503	5,864	70,000
	Payment cost	617	4,900	193	1,863
Support cost for cooling		- 28,500	-	- 9,000	-
Total		603,191	335,158	183,719	128,066

Table 7 Annual maintenance cost (Unit: 1,000 won)

Categories		Total room		General classroom	
		GHP	EHP	GHP	EHP
Energy cost	Electricity	5,931	36,775	2,876	16,850
	LNG	4,323	-	3,323	-
Management		3,015	1,675	918	640
Change cost of engine oil		1,900	-	600	-
Agency cost of electric security		-	2,684	-	1,342
Total		15,169	41,134	7,717	18,832

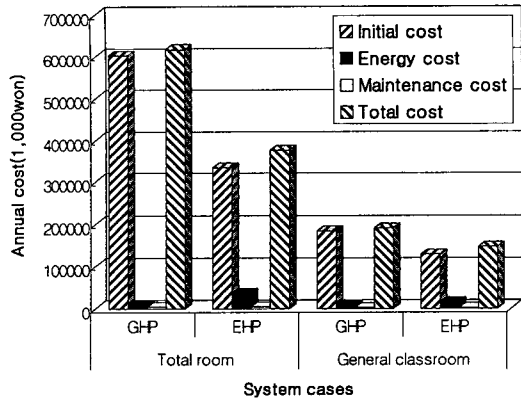


Fig. 4 Comparison of annual cost.

Table 6 및 Table 7과 같다.

초기투자비 측면에서는 실 전체를 냉난방하는 경우와 24학급의 일반교실만 냉난방하는 경우 모두에서 EHP가 GHP에 비해 각각 44.4%(268,033천원), 30.3%(55,653천원) 정도 경제적인 것으로 나타났다.

이에 반해 유지관리비의 경우에는 GHP가 EHP에 비해 실 전체 및 일반교실에서 각각 약 63.1%(25,965천원), 59.0%(11,115천원) 정도 경제적인 것으로 나타났다. 이와 같이 초기투자비가 GHP보다 경제적인 것으로 나타난 EHP 시스템이 연간 유지비의 경우 GHP보다 비경제적으로 나타난 것은 총 연간 유지비의 80% 이상을 차지하고 있는 에너지비용에서 EHP가 GHP에 비해 3배 이상 많기 때문이다. 이는 GHP에 비해 높은 계약 전력으로 인한 기본료의 상승이 주원인인 것으로 판단된다.

Fig. 4는 초기투자비와 연간 유지관리비를 합산

한 연간 총비용으로서 EHP가 GHP에 비해 실 전체 및 일반교실을 냉난방하는 경우 모두에서 각각 약 39.1%, 23.3% 정도 경제적인 것으로 나타났다. 이는 연간 총비용에서 초기투자비가 차지하는 비율이 약 90% 이상으로 매우 높기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.4 LCC 분석

학교 건축물의 히트펌프 냉난방시스템에 대한 경제성을 분석하기 위해 본 연구에서는 LCC 분석법중 총비용 산정기간(내용연수)이 유사할 때 유용한 현가법(Present Worth Method)을 사용하여 분석하였다.

Table 8은 그 결과로서 실 전체를 냉난방할 경우 내용연수 10년, 15년에서 각각 10.3%(74,290천원), 1.5%(11,143천원) 정도 EHP가 GHP에 비해 경제적인 것으로 나타났다. 그러나 일반교실을 냉난방할 경우에는 실 전체와는 달리 EHP에 비해 GHP가 내용연수 10년, 15년에서 각각 10.5%(28,332천원), 17.8%(56,251천원) 정도 경제적인 것으로 나타났다.

이와 같이 냉난방 규모에 따라 반대의 결과가 나타난 것은 전체를 냉난방할 경우 대안 시스템의 초기투자비 차이가 큰 반면, 운전시간의 감소에 따른 에너지비용이 상대적으로 적게 발생하였으며, 일반교실의 경우에는 실 전체와 반대의 현상에 기인하는 것으로 사료된다.

### 3.5 민감도 분석

냉난방시스템의 LCC 분석에 적용되는 이자율,

Table 8 Present cost of service lives (Unit: 1,000 won)

Categories			Initial cost	Energy cost	Management cost	Change cost of engine oil	Agency cost of electric security	Total
Total room	LCC <sub>10</sub>	GHP	603,191	74,581	24,692	15,561	-	718,025
		EHP	335,158	272,876	13,718	-	21,981	643,735
	LCC <sub>15</sub>	GHP	603,191	97,983	33,979	21,413	-	745,566
		EHP	335,158	361,138	18,877	-	30,248	745,422
General classroom	LCC <sub>10</sub>	GHP	183,719	44,846	7,518	4,914	-	240,997
		EHP	128,066	125,030	5,241	-	10,990	269,329
	LCC <sub>15</sub>	GHP	183,719	58,797	10,345	6,762	-	259,624
		EHP	128,066	165,471	7,212	-	15,124	315,875

Table 9 Total present cost of sensitivity analysis (Unit: 1,000 won)

Categories			Interest escalation rate			Energy price escalation rate (Electricity/LNG)			Initial cost		
			5%	7%	11%	1%/0%	5%/4%	7%/6%	-10%	-20%	-30%
Total room	LCC <sub>10</sub>	GHP	740,436	729,527	708,047	711,122	725,706	734,250	657,706	597,387	537,268
		EHP	708,006	674,610	617,016	618,359	672,052	703,311	610,218	576,702	543,187
	LCC <sub>15</sub>	GHP	801,844	778,467	738,574	744,443	770,917	787,848	696,247	635,928	575,609
		EHP	872,224	803,820	697,526	700,556	798,747	861,634	711,906	678,390	644,875
General classroom	LCC <sub>10</sub>	GHP	252,543	246,694	236,053	236,851	245,605	250,743	222,625	204,253	185,881
		EHP	298,758	283,464	257,098	257,703	282,304	296,627	256,522	243,715	230,909
	LCC <sub>15</sub>	GHP	282,404	270,345	250,807	252,358	268,216	278,354	241,252	222,880	204,508
		EHP	373,929	342,607	293,950	295,317	340,308	369,123	303,067	290,260	277,454

에너지비상승률 등의 입력변수들은 불확실한 미래의 값을 예측하기 위해 현재 또는 과거의 자료를 바탕으로 추정되기에 잘못된 결과값이 도출될 가능성이 있다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 민감도 분석(Sensitivity analysis)을 통해 생애비용에 크게 영향을 미치는 입력변수값이 변화함에 따라 경제성 분석의 결과가 영향을 받는지에 대해 검토되어야 한다.

이에 본 연구에서는 생애비용에 많은 영향을 미치는 이자율(5%, 7%, 11%), 에너지비상승률(전기: 1%, 5%, 7%, LNG: 0%, 4%, 6%), 및 초기투자비(-10%, -20%, -30%)를 민감도 분석 인자로 설정하였다. 이자율 및 에너지비상승률의 경우 본 연구에서의 설정값(이자율: 9%, 에너지비상승률: 전기 3%, LNG 2%)을 기준으로 과거의 상승률에서 2%를 가감하여 추정하였다. 초기투자비의 경우에는 EHP 및 GHP에 대한 조달청 단가의 하향조정을 예상하여 민감도 분석을 실시하였다.

분석결과 Table 9에서와 같이 일반교실과 내용연수 10년의 실 전체의 경우에는 LCC 분석결과와 동일하게 GHP가 경제적인 것으로 나타났다. 그러나 내용연수를 15년으로 가정한 실 전체의 경우에는 이자율 및 에너지비상승률이 설정치보다 각각 감소 및 증가하거나, 초기투자비가 지금보다 하향 조정될 시에는 LCC 분석결과와 달리 GHP가 경제적임을 알 수 있었다.

LCC 및 민감도 분석 결과를 종합하면 학교 건축물에서 일반교실 및 실 전체를 냉난방시에는 대체로 GHP 시스템이 경제적이라 할 수 있으나, 실 전체를 냉난방할 경우에는 이자율, 에너지비

상승률의 설정 및 초기투자비의 감소에 주의해야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 중등고등학교에서 많이 적용되고 있는 단관식 멀티형 EHP 및 GHP 냉난방시스템을 중심으로 일반교실만을 냉난방하는 경우와 특별교실 등 실 전체를 냉난방하는 경우에 대한 경제성을 분석하고자 부산시 교육청에서 신축 예정인 24학급 규모의 Y고등학교를 모델건물로 설정하여 내용연수 10년, 15년에 대한 LCC 및 민감도를 분석한 결과 실 전체를 냉난방할 경우 내용연수 10년, 15년에서 각각 10.3%(74,290천원), 1.5%(11,143천원) 정도 EHP가 GHP에 비해 경제적인 것으로 나타났다. 또한 일반교실을 냉난방할 경우에는 실 전체와는 달리 EHP에 비해 GHP가 내용연수 10년, 15년에서 각각 10.5%(28,332천원), 17.8%(56,251천원) 정도 경제적인 것으로 나타났다.

그러나 실 전체로 냉난방을 확대할 경우에는 경제성 분석시에 이자율, 에너지비상승률의 설정 및 초기투자비의 감소에 주의해야 할 것으로 사료되며, 최적의 냉난방시스템을 선정하기 위해서는 경제성 이외에 쾌적성, 유지관리성, 신뢰성, 시공성 등이 종합적으로 검토되어야 하므로 향후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. 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.
2. Choe, S.H., Cha, B.J., Kim, S.M. and Leigh, S.B., 2002, A study on optimized design decision of building service systems based on a life-cycle cost analysis-A case study on community center and congress hall of a local government, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.14, No.2, pp.134-142.
  3. 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.
  4. Nahara, H., 1993, Friendly LCC of architectural equipment (5), The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan Journal, Vol.67, No.3, pp.17-23.
  5. Institute for Building Environment and Energy Conservation, 1999, Program of energy conservation for HVAC-Manual of BECS/CEC/AC for Windows Ver.3.10
  6. Park, Y., Park, M.Y. and Kim, J.M., 2003, A study on the analysis of economics for optimum cooling·heating system in educational building, City Environmental Design Institute of Dong-Eui University, pp.6-16, 31-34.
  7. Institute for Building Environment and Energy Conservation, 1996, Energy conservation standard and calculation method of building, pp.213-236.
  8. Kim, D.C., 1996, A study standardization of weather data and development of computer program for air conditioning load of building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering.
  9. Yu, I.K., 2000, Engineering Economy, 2th ed., Hyung-Sul, Seoul, pp.174-175.
  10. ASHRAE, 1991, ASHRAE Handbook of Heating, ventilation and air-conditioning applications, p.33.3.
  11. Japan Architectural Environment Technology, 2002, Architectural Environment Engineering II, Kajima, Tokyo, p.29.