

대학건물에서 에너지비용 변화에 따른 히트펌프 냉난방시스템에 대한 경제성 분석

Economic Analysis of Heating and Cooling System Corresponding to the Energy Cost of University Building

김 동 완*

Kim, Dong-Wan

Abstract

This research is to analyze LCC of Heat Pump system in university building by reduction of electric power costs for education and incentive system for gas. Produced details item different expense of EHP and GHP equipment construction step and preservation administration step. Analysis result is as following.

1) Executed LCC analysis for target system after lowering whole curriculum reduction of electric power costs for education. Analysis result, energy cost-cutting effect of EHP appears greatly than GHP unlike existent study finding, EHP decided by economical system.

2) Sensitivity analysis executed by incentive 500,000 won per units and geometrical ration of gas expense by 1%. As a result, because lowering effect of electric charges appears greatly, EHP decided by more economical system than GHP.

As research result of front is different from existent study finding, EHP by lowering of electric charges for alteration and education of governmental frequent volunteer system was decided by more economical system than GHP.

키워드 : 히트펌프 냉난방시스템, LCC분석, 민감도 분석

Keywords : Heat Pump system, LCC analysis, Sensitivity analysis

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

히트펌프형 냉난방시스템은 전기식 히트펌프(EHP, Electric Heat Pump)와 가스엔진 구동식 히트 펌프(GHP, Gas Engine driven Heat Pump) 방식이 주로 사용되고 있는데, 경제적 관점에서 합리적인 냉난방시스템을 선정하기 위한 대부분의 연구 결과는 에너지이용의 합리화와 계절에 따른 에너지원별 수요의 불균형을 해소하기 위하여 많은 정부 지원제도가 마련되어 있는 GHP에 대한 경제성 평가가 대부분 유리한 것으로 나타나고 있다.

이러한 GHP는 초기 보급 당시의 설치 투자비용은 비싸지만 유지비용 측면에서 전기식인 EHP보다 유리하여 학교시장을 중심으로 성장해 왔으며, 한 때 전체 GHP 시장

에서 65% 이상이 학교에 설치될 정도로 그 비중은 절대적이라 할 수 있다. 히트펌프 시스템이 초·중등학교에 많이 적용되고 있는 것과 대학 건물에서 BTL(Build Transfer Lease)방식의 도입이 본격화됨에 따라 냉난방시스템 선정을 위한 경제성 평가는 이전보다 더욱 중요하게 되었다.

초기 GHP 보급시 시행되던 지원제도는 현재 많이 축소되고 있으며, 설치지원금의 경우 년 단위로 시행됨에 따라 2~3년 이후의 설비계획에 반영하기 어려운 실정일 뿐 아니라, 또한 최근 GHP의 연료인 가스요금의 인상이 예상되는 가운데 교육용 전력요금이 공급원가 수준으로 16.2% 대폭 인하되면서 GHP 수요를 EHP로 급속히 이동시키는 요인으로 작용하게 되어 설비건설단계 및 운전관리단계에서의 경제성 검토가 새로이 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 대학 건물을 대상으로 교육용 전력요금의 인하에 따른 경제적인 히트펌프 냉난방시스템을

* 정회원, 부경대 건축학부 강사, 공학박사

선정하기 위하여 필요한 기초자료를 제공하고자 현재 대학건물에 많이 적용되고 있는 EHP 및 GHP 냉난방시스템에 대한 LCC를 분석하였으며, 아울러 경제성 분석결과와 신뢰성을 확보하기 위해 정부지원금 및 에너지비용의 변화에 따른 민감도 분석을 실시하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

대학 건물에 많이 적용되고 있는 EHP와 GHP에 대하여 경제적인 냉난방방식을 선정하기 위하여 부산지역에 위치한 P대학의 강의실을 대상으로 경제성 분석을 실시하였다. 경제성 분석은 사용단계에서 발생한 비용분석에 유효한 방법인 LCC분석을 하였으며, 비용은 현가법에 의해 계산하였으며, 대상 시스템의 내용년수는 15년으로 하였다. LCC분석의 평가단계에서 많은 비중을 차지하는 설비건설 단계와 운전·관리단계에서의 비용항목을 대상으로 하였으며, 각종 지원금 제도의 축소와 에너지비용의 변동에 따른 정도를 파악하기 위하여 민감도 분석을 실시하였다.

히트펌프형 냉난방시스템인 EHP와 GHP의 LCC분석에 필요한 기초자료는 동일한 용량에 대하여 각 시스템별로 2개의 견적자료를 기본으로 하였으며, 분석에 필요한 평가항목은 기존 연구결과와 통계자료를 활용하였다. 자료의 정리와 분석은 Excel 프로그램을 이용하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 기존 연구 현황

국내에서는 에너지 합리화 측면에서 하절기 냉방 전력 수요의 지속적 증가에 따른 전력 부하의 피크현상이 발생하여 전기수요의 계절별 불균형 현상을 대처하고자 하는 연구가 대부분이며, 그 결과 정부정책에 따라 제시되는 결론들을 정리하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

김영일(2005)은 공조용 에너지가 전체 에너지의 약 15%를 차지한다는 점에 착안하여 공조방식을 용량별로 구분하여 경제성 분석에서 고려되는 세부항목을 구분하여 경제성 분석을 실시하였다.

김용수(2005)는 LCC기법을 이용한 냉·난방 공조설비 시스템에 대하여 사업 실행 전 LCC와 사업 실행 후 LCC를 예측, 성과측정 및 경제성 평가를 목적으로 기존 공조설비 시스템과 신기술 일체형 냉·난방 공조설비에 대하여 분석기간을 15년으로 하여 연구를 진행하였다.

정순성(2003)은 부산지역의 학교건물을 대상으로 최적의 냉난방방식을 선정하기 위하여 EHP와 GHP의 LCC분석에

필요한 프로젝트 단계별 비용항목을 단계별 및 세부항목으로 구분하여 구축한 후 LCC분석을 실시한 결과 학교건물의 냉난방시스템으로 전력 부하 평준화 측면, 경제적 측면을 고려하여 볼 때 GHP가 EHP보다 유리한 것으로 제시하였다.

신규원(2006)은 히트펌프형 냉난방시스템을 실제로 설치하여 사용하고 있는 대학 건물을 대상으로 하여 초기투자비와 에너지비의 변화에 따른 민감도분석을 실시한 결과 초기투자비는 EHP, 에너지비 측면에서는 GHP가 각각 유리한 것으로 나타났으며, LCC 분석의 결과 EHP가 GHP에 비해 경제적인 것으로 제시하였다.

2.2 지원제도의 변천 현황

한국가스공사 및 정부는 부하평준화를 위해 마련한 각종 지원금 제도로는 가스냉방설치지원금¹⁾, 에너지이용합리화 자금지원²⁾, 에너지절약시설투자에 대한 세액공제³⁾ 등으로 에너지관리공단에서 GHP 도입을 위한 총 자금의 100%를 3년 거치 5년 분할 상환 및 연리 3.75%로 가스냉방설치지원금의 용자를 받을 수 있다. 또한, 2007년을 기준으로 GHP를 설계 반영한 설계회사는 10,000원/1RT의 가스냉방설계 장려금을 받을 수 있으며, 2001년 1월부터 시행된 설치장려금은 현재 30RT이하일 때 150만원/실외기 1대의 설치 장려금을, 설계용량기준 1만원/RT (1,000만원 한도)의 설계 장려금을 지원받을 수 있다.

표 1. GHP 지원금의 변화

냉방용량	설치장려금			설계장려금
	5 RT이하	5~30RT	30RT초과	
2007년 현재	150만원/대	50만원/대	1만원/RT	1,000만원
2006년	200만원/대	100만원/대	1만원/RT	500만원
2005~2001	250만원/대	100만원/대	1만원/RT	500만원

또한, 냉방용 요금으로 5~9월 동안 냉방용으로 사용되는 가스에 대해 도입 원료비 이하의 가스요금을 적용하고 있다. 세액지원 및 투자준비금의 손금산입⁴⁾으로 에너지

- 1) 지급대상은 흡수식, 가스엔진구동식 등 천연가스를 사용하는 가스냉방설비를 설치한 자.
- 2) 산업자원부 공고 제2002-239호. 지원대상은 가스냉방시설을 신·증설 또는 개체하고자 하는 자.
- 3) 조세특례제한법 제25조의 2
- 4) 에너지절약시설 투자준비금 손금 계산시 에너지절약시설 투자과세연도와 그 이후 2년 이내 종료하는 각 과세연도마다 당해 연도 투자금액의 15%의 범위 이내 손금산입하며, 투자준비금을 손금 산입한 법인은 과세연도 종료일 이후 3년이 되는 날이 속하는 과세연도까지 에너지절약시설을 신규 취득하거나 개체하는 등 자본적 지출에 사용하며, 기한 내 미사용 금액에 대해

절약시설의 설치 및 개체비용은 국산, 외산 기자재 동일하게 투자금액의 7%를 투자완료일이 속하는 사업연도에 법인세(또는 소득세)에서 공제하며, 투자준비금의 손금산입 제도는 조세부담을 유보시키는 효과를 주는 제도로서 기업에게는 과세유예기간동안 적립된 준비금의 과세액에 대한 이익만큼 수익이 증대하는 효과가 발생한다.

운전·관리단계에서 에너지비는 전력비와 가스비로 분류할 수 있는데, 최근 교육용 전력요금의 인하가 되면서 <표 2>와 같이 전력요금의 변화가 발생하게 된다.

표 2. 교육용 전력요금의 인하(고압A-선택(II)요금)

구분	기본요금 (월/kW)	전력요금(원/kWh)		
		여름 (7월~8월)	봄, 가을 (3~6, 9~10월)	겨울 (11월~2월)
인하 전	5,870	81.80	51.30	55.70
인하 후	4,090	73.00	46.90	53.10

2.3 경제성 평가

1) LCC(Life Cycle Cost)분석

경제성 평가방법 중 LCC분석은 시스템의 기획, 설계, 설비, 건설, 유지, 관리, 폐기, 처분단계의 전 과정에서 발생하는 모든 비용을 분석하는 방법으로 화폐의 시간가치에 대한 고려로서 공통의 시점으로 환산하는 방법에 따라 현재법, 증가법, 연가법으로 구분된다.

LCC분석에서 비용항목을 집계하기 위해서는 모든 비용을 동일한 가치로 환산해야 하며 그 환산의 기준점에 따라 설비투자자를 하고자 하는 현재시점의 가치로 환산하는 현재법, 운용기간중의 1년당의 비용으로 환산하는 연가법, 사용연수가 끝난 시점의 가치로 환산하는 증가법으로 나누어진다. 일반적으로 현재법과 증가법은 대안 비교에 있어서 대안의 총비용 산정기간이 일정한 경우, 연가법은 내용연수가 상이할 경우 적합한 방법으로 LCC 산출에는 현재법과 연가법이 주로 사용된다.

현재법에서 초기비용은 이미 현재이므로 장래에 발생하는 비용은 반복비용과 비 반복비용으로 분류할 수 있다. 미래에 발생하는 반복비용중에서 변수의 상승률이 있는 경우는 식 1)을 사용하여 현재로 환산한다.

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

여기서, P : 현재

A : n년 간 걸쳐 계속되는 일정한 기말지불액

i : 할인율

서는 그 3년이 되는 날이 속하는 과세연도의 이익금에 산입한다.

e : 상승률

n : 내용연수

또 변수의 상승률이 없는 경우는 식 2)를 사용하여 현재로 환산한다.

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

몇 년 후에 1회만 발생하는 비 반복비용은 식 3)을 사용하여 현재로 환산한다.

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

여기서, F : n년 후의 기말지불액

i : 할인율(물가상승률 포함)

식 1), 2), 3)에서 각종 현재가계수를 사용하면 식 4), 5), 6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = A \times PWA' \dots\dots\dots 4)$$

$$P = A \times PWA \dots\dots\dots 5)$$

$$P = F \times PW \dots\dots\dots 6)$$

여기서, PWA' : 상승률이 있는 경우 연금현재가계수

PWA : 상승률이 없는 경우 연금현재가계수

PW : 현재가계수

2) 분석을 위한 비용 항목

EHP와 GHP의 LCC분석을 위하여 프로젝트의 진행단계에 따라 국내 실정에 적합한 비용항목과 세부 비용항목으로 구축한 내용은 <표 3>과 같다.

표 3. EHP와 GHP의 LCC 분석에서 비용항목

단계	비용	세부비용항목
기획·설계	기획·설계비	기획비
		설계비
		건물연면적에 의한 설계용역비
설비건설	초기투자비	제품가격 및 공사비
		수변전설비비
	각종지원금	도시가스공사비
		가스냉방설치지원금 에너지이용합리화 자금융자 에너지절약시설투자에 대한 세액공제
운전·관리	에너지비	전력비
		가스비
	보전비	수선·부품교환비
	조세 공과금	취득세, 등록세, 재산세, 교육세, 도시계획세, 공동시설세
		보험료
부분갱신비	갱신공사비	
기타비용	초기투자비 증가분이자	
폐기·처분	철거비	철거인건비
		건설폐기물처리비
	매각비	매각수익비 잔존가치

기획·설계단계에서 기획·설계비는 설비설계 사무소의 특성을 고려하여 기본설계비를 기획비, 실시 설계비를 설계비로 분류하였다. 기획·설계비는 엔지니어링 사업대가의 기준에 따른 대가 산출의 기본원칙은 건설부문 엔지니어링사업과 통신·정보처리부문 중 전기통신분야 및 정보통신분야의 엔지니어링 사업 외에는 설비정액 가산방식으로 적용함을 원칙이다. 공사비 요율에 의한 방법은 EHP와 GHP 방식별 초기투자비에 따라 기획·설계비가 달라지나, 설계용역비 산정은 연면적에 의해 금액이 결정되므로 기획·설계비가 동일하게 된다.

설비건설단계에서 초기투자비는 EHP와 GHP 기기의 제품가격 및 공사비(설외기, 실내기, 리모콘, 분기관, 냉매, 설외기 방진가대, 드레인키트, 실내·외기 설치공사비, 공사관리비, 건축공사비, 자동제어공사비 등을 포함), 수변전 설비비 및 전기간선 공사비, 도시가스공사비로 분류될 수 있다. 일반적으로 초기투자비는 종합물가정보자료와 견적자료를 기준으로 산출한다. 특히 EHP와 GHP는 에너지원으로 전력과 가스를 사용하므로 방식별 수변전 설비용량에 많은 차이가 발생하기 때문에 수변전 설비비 및 전기간선 공사비를 초기투자비에 반드시 포함시켜야 하며, GHP의 경우 도시가스공사비를 초기투자비에 포함시켜야 한다. 수변전 설비 가격에는 수변전 기기, 변압기, 반입, 설치 조정비 등을 포함한다.

운전·관리단계에서 보전비는 수선·부품교환비로 GHP와 EHP에 관한 국내의 자료는 아직 정리되어 발표된 것은 없으며, 그 특성상 각 건물의 보전 정도나 관리능력이 다르므로 상당한 차이가 있을 것으로 예상되며, 조세공과금은 취득세, 등록세, 재산세, 도시계획세, 공동시설세, 교육세 등이 있다. 이 중 초년도 과세는 취득세와 등록세이며, 매년 과세되는 것은 재산세, 도시계획세, 공동시설세, 교육세이다. 보험료는 화재 보험료와 기계보험료 등이며, 총칭하여 손해 보험료를 의미한다. 부분 갱신비는 설비시스템의 부분적인 갱신 공사비를 의미한다. 기타 비용으로 초기투자비 증가분 이자는 EHP와 GHP 방식별 초기투자비의 차이에 의한 이자를 의미하며, 일반적으로 은행의 대출이자로 계산한다.

폐기·처분단계에서 철거비의 경우 철거인건비와 건설 폐기물처리비로 분류하였다. 매각비의 경우 매각수익비와 잔존가치로 분류하였다. 잔존가치는 설비의 가치를 일정한 금액 또는 비율로 저감시킨 분석기간 종료시점의 재산가치로서 그 계산방법에는 정액법과 정률법이 있다. 정률법은 오랜 기간에 걸쳐 감가상각의 고려를 위해 폭넓게 사

용되어 왔지만 최근에는 정액법에 의해 대체되어 가고 있다.

3. LCC 분석 결과 및 검토

3.1 LCC 분석을 위한 조건 설정

1) 분석 대상과 기간

냉난방 면적은 일반 강의실(6m×12m) 4개를 대상으로 용량을 산출하였다. 장치 용량을 결정하기 위한 부하계산에서 실내 온·습도조건은 학교보건법 시행규칙 제3조에 의거 기본적으로 냉방 및 난방 각각 26℃/50%, 20℃/40%로 설정하였으며, 일일 운전시간은 강의실을 기준하여 6시간 운전하는 것으로 설정하였다. 주 5일 강의와 국경일을 고려하여 냉난방기간의 각 달마다 20일 운전하는 것으로 하였다. 냉난방기간은 6~9월, 11월~3월로 하였으며, 이 중 6월, 9월, 11월, 3월은 냉난방수요가 많지 않은 점을 감안하여 각각 10일만 운전한 것으로 보정하였다. 대상 건물에 대한 기본 조건은 <표 4>와 같다.

표 4. 대상 강의실의 기본 가정조건

항 목	가정조건
교실면적	6m × 12m × 4실
면적당 냉방부하	150kcal/hr
면적당 난방부하	70kcal/hr
1일 운전시간	6시간
월별냉난방일수	20일(주 5일교육), 10일
월별부하율	1월 0%, 2월 60%, 3월 20%, 4월 0%, 5월 20%, 6월 40%, 7월 60%, 8월 0%, 9월 20%, 10월 0%, 11월 20%, 12월 60%

히트펌프 냉난방장치의 LCC 분석기간을 설정하기 위하여 기존 연구문헌⁵⁾⁶⁾을 검토한 결과 대부분 내용년수를 15년으로 분석하고 있기에 본 연구에서도 LCC 분석 기간을 15년으로 정하였다.

2) 비용항목별 세부요소 도출

LCC분석의 평가단계별 비용분석에서 두 시스템이 거의 동일하게 구성되어 있는 점을 고려하여 기획·설계단계의 '기획비와 설계비'와 폐기·처분단계에서의 '철거비와 매각비'는 시스템 간 서로 상쇄되는 것으로 간주하여 분석대상에서 제외하였으며, LCC분석에서 많은 비중을 차지하는 설비건설단계와 운전·관리단계에서의 비용항목을 대상으

5) 박문선 외, 오피스빌딩 냉난방시스템의 수명주기비용 분석에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, 제7권 제3호, 2006. 6
6) 정순성, 前掲書

로 하였다.

설비건설단계는 초기투자비와 각종 지원금으로 구성되는데, 초기투자비는 제품가격 및 공사비, 수변전설비비, 도시가스공사비 등이나 EHP에서는 도시가스공사비는 제외하여 견적자료를 이용하였다. 설비건설단계에서 필요한 비용의 세부항목은 <표 5>와 같다.

표 5. 설비건설단계에서의 비용별 세부항목

비용	세부항목	EHP	GHP
초기투자비	제품가격 및 공사비	○	○
	수변전설비비	○	○
	도시가스공사비	×	○
각종지원금	가스냉방설치지원금	×	○
	에너지이용합리화 자금융자	×	×
	에너지절약시설투자에 대한 세액공제	×	×

운전·관리단계에서 발생하는 비용의 세부항목은 에너지비, 보전비, 세금, 기타비용으로 구성되는데, EHP에서는 가스비용이 세부항목에서 제외되며, 운전·관리단계에서 필요한 비용의 세부항목은 <표 6>과 같다.

표 6. 운전·관리단계에서의 비용별 세부항목

비용	세부항목	EHP	GHP
에너지비	전력비	○	○
	가스비	×	○
보전비	수선·부품교환비	○	○
세금	제 세금비용	○	○
기타비용	초기투자비 증가분이자	-	-

LCC 분석에서는 평균 연간 물가상승률을 많이 이용하는데, 미래의 물가상승률을 예상하여 얻은 추정치는 과거 변화율의 추세, 예상된 경제적 상황판단, 또는 다른 경제변수의 예측에 근거하여 이루어지고 정부나 전문기관의 예상을 따른다.

에너지비 상승률의 경우 물가상승률과 에너지비 상승률을 별도로 고려하여야만 정확한 에너지 비용을 평가할 수 있다. 특히 에너지비 상승률에서 연료와 전기의 상승률을 별도로 고려하여야 한다.

3) 할인율

자금에는 시간적 가치가 존재하는 것으로 일반적으로 현재가치를 미래가치로 환산할 때는 이자율(interest rate)을 적용하고, 미래가치를 현재가치로 환산할 때는 할인기간과 할인율(discount rate)을 적용한다. LCC분석에서의 할인율은 미래에 발생될 현금을 현재가치로 환산할 때 사

용되는 것으로서, 현 시점의 이자율, 소비자 물가지수 그리고 물가상승률(소비자 물가지수 등락률) 등을 고려해야 한다.

이에 본 연구에서는 1997년부터 2006년까지 한국은행과 통계청의 통계자료를 활용하여 이를 바탕으로 한 실질할인율을 산정하였다. 산정기간 동안 평균정기예금 금리는 6.41%, 소비자 물가지수는 89.88, 물가상승률 3.44, 이를 토대로 산정한 실질할인율은 2.87로 나타났으며, 이를 본 연구의 LCC분석에 적용한다. 그 내용을 정리하면 <표 7>과 같이 나타내었다.

표 7. 연도별 정기예금 금리 및 실질할인율(%)

연도	정기예금 금리	소비자물가지수	물가상승률	실질할인율
1997	10.59	76.569	4.40	5.93
1998	13.39	82.322	7.54	5.44
1999	7.05	82.991	0.82	6.17
2000	7.08	84.866	2.25	4.72
2001	5.46	88.317	4.10	1.31
2002	4.71	90.757	2.69	1.97
2003	4.15	93.456	3.55	0.57
2004	3.75	97.320	4.13	-0.38
2005	3.57	100.000	2.75	0.82
2006	4.36	102.2	2.20	2.16
평균	6.41	89.88	3.44	2.87

4) 각종 지원금

각종 지원금은 GHP 방식에 한해서 가스냉방설치지원금, 에너지이용합리화 자금지원, 에너지절약시설투자에 대한 세액공제를 받는 것으로 하였다. 본 연구에서는 설치장려금으로 대당 150만원으로 정하였다.

5) 에너지비

운전·관리단계에서 에너지비 산정에 필요한 에너지소비량은 운전조건과 시스템의 종류는 고려하지 않고 건물의 최대 냉방부하와 동일한 유형의 건물에 대한 평균 전부하시간(full-load-hour)을 곱하여 산출하는 전부하상당한 전시간법을 사용하였다. 에너지비는 부산지역에서 2007년 4월 1일을 기준으로 교육용 고압A(선택 II)전력의 전력요금으로 결정하였다.

업무냉방용은 냉방기를 설치하고 5월에서 9월까지 사용하는 가스로서 423.63원/m³이며, 업무난방용은 개별난방, 중앙난방 및 취사전용이외의 용도로 사용하는 도시가스로서 711.31원/m³이다. 2007년 10월 5일을 기준한 부산지역의 도시가스 요금⁷⁾은 <표 8>과 같다.

7) <http://www.sk-enron.com/pusan>

표 8. LNG 요금(원/m³)

열병합발전	열병합발전시설	607.33원/m ³
업무냉방용	냉방기를 설치하고 5월에서 9월까지 사용하는 가스	423.63원/m ³
업무난방용	개별난방, 중앙난방 및 취사전용이외의 용도로 도시가스를 사용하는 시설	711.31원/m ³

6) 보전비

보전비는 수선·부품교환비로 건물의 보전 정도나 관리 능력이 다르므로 차이가 있을 것이며, 또한 국내에서는 GHP와 EHP에 관한 자료를 찾기가 곤란하여 본 연구에서는 초기투자비의 1.5%로 가정하였다.

현가계수를 산정하기 위하여 필요한 비용항목의 변수⁸⁾로 전기요금금리와 물가상승률을 고려하여 산정한 실질할인율의 평균은 2.87%, 에너지비 상승률(전기 4%, 도시가스 3%), 내용연수 15년으로 가정하여 적용하였다. 통계자료를 이용한 LCC분석에 필요한 변수의 가정조건은 <표 9>와 같이 나타내었다.

표 9. LCC 분석에서 가정조건

구 분	내용
실질할인율	2.87%
전기요금변동(EHP)	4%
가스요금변동(GHP)	3%
내용연수	15

3.2 대안별 연간 비용 분석

1) 초기투자비

분석대상으로 하는 4개의 히트펌프 냉난방시스템은 분석 대상강의실에서 냉난방부하를 해결하기 위한 것으로 모두 20HP으로 선정하여 장비비용과 설치공사비를 재료비와 노무비를 포함한 초기투자비는 장비 설치 업체의 2007년 기준 견적자료를 활용하였다. 이를 정리하면 <표 10>과 같다.

표 10. EHP와 GHP의 초기비용 (단위:원)

항목	E1	E2	G1	G2
장비비용	14,374,400	13,743,000	22,650,800	17,677,000
설치공사비	3,925,600	3,097,000	3,949,200	3,823,000
합계	18,300,000	16,840,000	26,600,000	21,500,000

2) 에너지비

8) 비용항목 변수의 상승률 산출근거로 1997년(기준)~2006년의 통계청 자료 인용. 이자율의 경우 국내 건설업의 차입금 평균 이자율 적용, 순 할인율 4% 가정

LCC분석에 앞서 전기요금의 인하에 따른 대상 시스템에서 소비되는 1년간의 에너지비용의 변화를 <표 11>에 나타내었다.

표 11. 전력 인하 전·후 LCC (단위:원)

항목구분	EHP(20마력)		GHP(20마력)	
	E1	E2	G1	G2
전력인하전	22,455,668	21,141,931	28,262,256	23,673,173
전력인하후	22,011,225	20,697,488	28,217,812	23,628,730

전기요금의 인하로 EHP와 GHP의 에너지비용이 차액이 41,059원에서 16,642원으로 줄어들었으며, 분석기간이 길어질수록 차액은 더욱 크게 발생할 것으로 예상되기에 전력요금 인하 전·후에 따른 경제성 분석을 실시하였다.

3.3 LCC분석

향 후 가스요금의 상승이 예상되는 가운데, 교육용 전력요금의 인하로 인한 대학 건물의 LCC비용을 파악하기 위하여 현 시점을 기준으로 내용연수를 15년으로 하여 LCC를 분석하였다.

1) 전력요금 인하전의 LCC

교육용 전력요금을 인하하기 전의 대상시스템에 대하여 설비건설단계와 유지·관리단계의 비용항목에 대하여 LCC15분석을 실시한 결과 <표 12>와 같이 나타났다.

표 12. 전력요금 인하전의 LCC (단위:원)

단 계	비 용	세 부 항목	E1	E2	G1	G2
설비건설단계	초기투자비	제품 가격 및 공사비	11,968,200	11,013,360	17,396,400	14,061,000
		가스 냉방 설치 지원금	0	0	-981,000	-981,000
	소계		11,968,200	11,013,360	16,415,400	13,080,000
유지관리단계	에너지비	전력비	5,988,962	5,988,962	598,896	598,896
		가스비	0	0	4,717,335	4,717,335
관 리 단 계	보전비	수선	4,498,506	4,139,609	6,538,812	5,285,130
		부품 교환비				
합계	소계		10,487,468	10,128,571	11,855,043	10,601,361
LCC			22,455,668	21,141,931	28,270,443	23,681,361

2) 전력요금 인하후의 LCC

교육용 전력요금을 인하하기 전의 대상시스템에 대하여 설비건설단계와 유지·관리단계의 비용항목에 대하여 LCC15 분석을 실시한 결과 <표 13>과 같이 나타났다.

표 13. 전력요금 인하 후의 LCC (단위:원)

단계	비용	세부항목	E1	E2	G1	G2
설비 건설 단계	초기 투자비	제품가격 및 공사비	11,968,200	11,013,360	17,396,400	14,061,000
	지원금	가스냉방 설치 지원금	0	0	-981,000	-981,000
	소계		11,968,200	11,013,360	16,415,400	13,080,000
유지 관리 단계	에너지 비	전력비	5,544,519	5,544,519	554,452	554,452
		가스비	0	0	4,717,335	4,717,335
	보전비	수선부품 교환비	4,498,506	4,139,609	6,538,812	5,285,130
	소계		10,043,025	9,684,125	11,810,599	10,556,917
	LCC		22,011,225	20,697,488	28,225,999	23,636,917

전기요금의 인하에 따라 인하 전후의 4가지 시스템에 대한 LCC 산정결과는 <그림 1>에 나타내었다. 본 연구의 대상 시스템에 대한 LCC산정 결과 GHP는 전기요금의 인하는 분석기간에 대하여 44,444원으로 나타났으며, EHP는 444,443원으로 나타나 GHP를 기준한 EHP에 의한 비용의 저감효과는 약 10배 정도로 나타났다. 이는 규모가 큰 건물에서 에너지비용이 증가하게 되면 더욱 크게 발생할 것으로 판단된다.

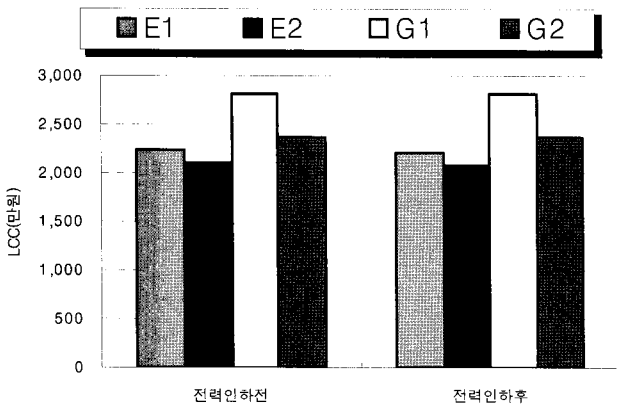


그림 1. 전력요금 인하 전·후 LCC15 비교

3.4 민감도 분석

1) 지원금

지원금 제도의 축소에 따른 민감도 분석을 위하여 통계 자료와 기존 연구 결과 등을 고찰하여 도시가스 지원금 50, 100, 150, 200, 250만원/대로 선정하여 민감도분석을 실시하였다. 지원금제도의 변화에 따른 대상 시스템의 LCC분석 결과를 <표 14>에 나타내었다.

표 14. 지원금 변동에 따른 LCC (단위:원)

분류 지원금	EHP		GHP	
	E1	E2	G1	G2
0	22,011,225	20,697,488	29,198,811	24,609,729
50	22,011,225	20,697,488	28,871,811	24,282,729
100	22,011,225	20,697,488	28,544,811	23,955,729
150	22,011,225	20,697,488	28,217,811	23,628,729
200	22,011,225	20,697,488	27,890,811	23,301,729
250	22,011,225	20,697,488	27,563,811	22,974,729

설치 지원금이 대당 150만원이 지원되고 있는 상황에서 설치지원금을 50만원 단위로 변화시켜 분석한 결과를 <그림 2>에 나타내었다. 설치지원금이 가스의 경우에만 나타나는데, 향후 지원금제도가 축소된다고 가정하는 경우의 LCC는 지금보다 더 많은 차이가 발생하므로 EHP가 GHP 보다 경제적인 시스템으로 볼 수 있다.

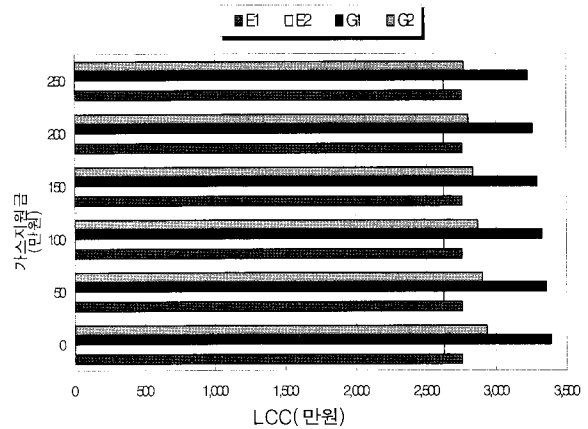


그림 2. 설치지원금 변동에 따른 LCC 비교

2) 에너지비용

교육용 건물의 전기요금 인하에 따른 상대적인 가스요금의 상승과 향후 가스요금의 지속적으로 상승할 것이라는 가정하에서, 가스요금의 변동에 따른 민감도분석을 변화 범위를 1%~10%로 하여 1%단위로 실시하였다. 가스비 상승에 따른 민감도 분석의 결과는 <표 15>에 나타내었다.

표 15. 가스비 변동에 따른 LCC (단위:원)

분류 변동률	EHP		GHP	
	E1	E2	G1	G2
0%	22,011,225	20,697,488	28,217,811	23,628,729
1%	22,011,225	20,697,488	28,264,903	23,675,821
2%	22,011,225	20,697,488	28,311,994	23,722,912
3%	22,011,225	20,697,488	28,359,086	23,770,004
4%	22,011,225	20,697,488	28,406,177	23,817,095
5%	22,011,225	20,697,488	28,453,269	23,864,187
6%	22,011,225	20,697,488	28,500,360	23,911,278
7%	22,011,225	20,697,488	28,547,452	23,958,370
8%	22,011,225	20,697,488	28,594,543	24,005,461
9%	22,011,225	20,697,488	28,641,635	24,052,553
10%	22,011,225	20,697,488	28,688,726	24,099,644

가스요금이 1% 단위로 변화시킨 LCC 산정결과를 <그림 3>에 나타내었다. 교육용 건물에서 히트펌프형 냉난방 시스템을 사용하는 경우 교육용 전기요금의 인하되었음에도 불구하고, 가스를 연료로 사용하는 경우의 에너지비용의 지속적인 상승이 예상되므로 LCC는 지금보다 더 많은 차이가 발생하므로 EHP가 GHP보다 경제적인 시스템으로 볼 수 있다.

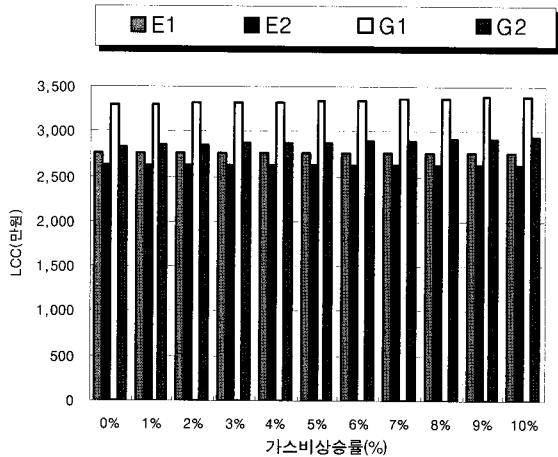


그림 3. 가스비변동을 상승에 따른 LCC 비교

4. 결론

최근 지원금 제도의 축소와 교육용 전력요금의 인하로 인하여 설비건설단계와 유지관리단계에서 EHP와 GHP의 세부항목별 비용을 산출하기 위하여, 필요한 실질할인율을 정기예금금리와 물가상승률 등의 기존 자료를 활용하여 2.87%로 산정한 결과를 토대로 LCC 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 내용연수를 15년으로 한 대상 시스템에 대한 교육용 전력요금의 인하 전과 인하 후의 LCC 분석 결과는 기존의 연구와는 달리 EHP가 GHP보다 에너지 비용절감 효과가 약 10배 정도 유리하게 산정되어져 EHP가 경제적인 시스템으로 판정되었다.

2) 대상시스템의 LCC분석에서 지원금을 대당 50만원을 기준으로, 가스비용의 상승률을 1% 단위로 하여 민감도분석을 실시한 결과 전기요금의 인하 효과가 크게 나타나 EHP가 GHP보다 더 경제적인 시스템으로 판정되었다.

이상의 연구결과를 통하여 볼 때 기존의 연구 결과들은 대부분 GHP가 EHP보다 경제적인 시스템으로 나타났으

나, 정부의 지원제도의 잦은 변경과 교육용 전기요금의 인하로 인하여 기존의 연구 결과와는 달리 GHP보다 EHP가 경제적인 시스템으로 판정되어졌다. 대상 건물의 규모가 증가하여 LCC에서의 에너지비용의 부분이 증가한다면 더욱 편차는 클 것으로 예상되어지므로 향후, 국가적 에너지 수급의 문제와 효율적인 이용을 위한 해결방안으로 정부 차원의 에너지 정책, 지원제도 및 요금체계에 관한 많은 검토 및 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김영일, 냉난방 방식의 경제성 분석, 대한설비공학회 하계 학술발표회 논문집, 2005. 6
2. 김용수·황성수, LCC 기법을 이용한 신기술 냉·난방 공조 설비 시스템의 경제성 분석에 관한 사례연구, 한국건설관리학회 논문집 제6권 제6호, 2005. 4
3. 정순성, 부산지역 학교건물의 냉난방시스템 선정을 위한 EHP와 GHP의 라이프사이클 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 19권 11호(통권181호), 2003. 11
4. 신규원 외, 히트 펌프 냉난방 시스템의 실사용을 통한 경제성 분석, 대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집
5. 정백영·황윤제·조관식·박효순, 학교건물의 냉난방시스템 적용에 관한 연구, 한국태양에너지학회 추계학술발표회 논문집, v.2, 2000
6. 윤용진·박효순·장문숙·변운섭·강호석, 학교건물의 에너지 절약형 냉난방시스템 모델 개발, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2001
7. 황윤제·정백영·조관식·박효순, 천장형 인버터 히트펌프의 학교 건물 적용에 관한 연구, 공기조화 냉동공학회 동계학술발표회 논문집, 2000
8. 한국은행, 경제통계연보, 1994, 1998, 2001
9. 교육부, 학교건물의 에너지절약형 냉난방시설 모형개발에 관한 연구, 2000. 6
10. 사단법인 한국물가정보, 종합물가정보, 통권 380, 2002
11. 한국건설산업연구원, 건물의 에너지 소비량 해석 및 경제성 평가방법에 관한 연구, 1989
12. 한국가스공사, www.kogas.or.kr
13. 박태영 외, 가스히트펌프의 소개, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.1138~1143, 2004
14. Law, A., Life Cycle Costing in the USA, Chartered Quantity Surveyor, 6(2), 1984
15. Ashworth, A. and Au-Yeung, P., 1987, The Evaluation of Life Cycle Costing as a Practical Tool During Building Design, Proceedings of 4th International Symposium on Building Economics, Vol. A, Copenhagen