업무시설용 건물 적용 복합 지열원 공조시스템의 경제성 평가 및 한미 요금 비교

고 재 윤†, 박 률*, 서 동 현**
LG전자, *동의대학교 건축설비공학과, **University of Colorado, CEAE

Economic Feasibility of Various HVAC Systems for Commercial Building and Comparison of Energy Tariffs between Korea and USA

Jae-Yoon Koh†, Yool Park*, Dong-Hyun Seo**
A/C Laboratory, LG Electronics, Changwon 641-713, Korea
**Department of Building Services, Dongeui University, Busan 614-714, Korea*
***Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Colorado at Boulder, CO, 80309, USA.*

(Received January 4, 2008; revision received August 22, 2008)

ABSTRACT: In this study, air conditioning systems include ground source heat pump (GSHP), are evaluated for economic feasibility. The building is modeled an air conditioned for 280kW scale. This analysis is compared with the energy tariff programs of Korea and USA. The objectives of this paper are to evaluate the cost-effectiveness of the GSHP and combined system using Life-Cycle Cost (LCC) analysis, and to carry out the sensitivity analysis of key parameters. The paper considered the cases including the base case of air source heat pump and the other two alternates for comparisons. The combined system is not only a cost-effective way to the low energy consumption but also a way to avoid a high initial investment. The variations of initial investment and energy rates give a significant effect on the total LCC and payback period.

Key words: Ground source heat pump(지열원 히트펌프), Life cycle cost analysis(생애주기비용 분석), Payback period(투자회수기간)

기 호 설 명

A	: t 년간 걸쳐 계속되는 일정한 기말지불액
B	: t 년후의 기말지불액
e	: 상승율(Escalation rate)
r	: 할인율(Discount rate)
t	: 내용연수(Life cycle period)
IRR	: 내부수익률(Internal Rate of Return)
LCC	: 생애 주기 비용(Life-cycle cost)
NPV	: 현가(Net Present Value)
PP	: 투자회수기간(Payback period)

† Corresponding author
Tel.: +1-303-492-7650; fax: +1-303-492-7317
E-mail address: jae.koh@hotmail.com

1. 서 론

지열원 열펌프시스템은 지중 열교환기와 히트펌프로 구성된 냉·난방 시스템으로 냉방모드에서는 실내에서 흡수한 열을 지중으로 방출하고 난방 및 급탕모드에서는 지중의 열을 흡수하여 부하 측으로 공급한다. 지열원 히트펌프의 heat sink 및 heat source로 사용되는 지중 온도는 외기온과 비교하

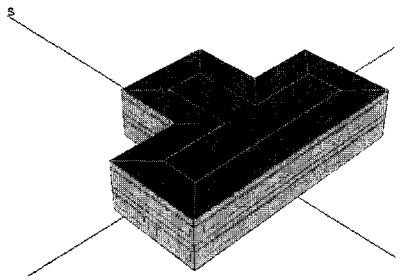


Fig. 1 Shape of the building.

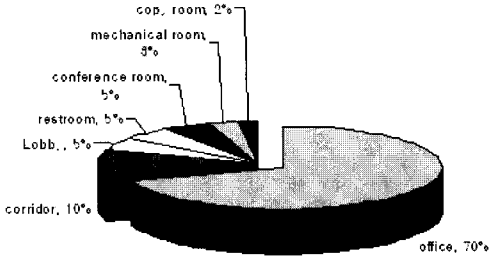


Fig. 2 Allocation rates of activity area.

Table 1 Input Parameters for modeling an office building

General parameters	Building type	Office 1,394 ㎡ x 2 story,
	Location	Denver, Colorado, Lat(Deg) : N39.8, Long(Deg) : W104.9
	Modeled floor	Floor-to-Floor : height 2.74 m

여 연중 안정적이기 때문에 대기열원 히트펌프시스템보다 안정적이면서 우수한 효율을 가질 수 있어 운전동력소비를 줄일 수 있다. 이에 따라 그 운전 경제성이 우수한 것으로 알려져 최근 건물 공조에서 채택 보급률이 높아지고 있다.[1] 그러나 지중열교환기 천공 및 매설 등의 높은 설치비는 지열원 히트펌프시스템 보급에 있어 극복해야할 큰 어려움 중에 하나이다.[2-3]

본 연구에서는 유사 연구사례[4]인 교수 연구동 용도로 사용되는 2층의 건물을 대상으로 지열 히트펌프 및 대기열원 히트펌프, 복합지열 히트펌프 등을 적용하여 건물에너지 분석도구[5]로 시스템의 에너지 및 경제성 분석[6]을 실시하였다. 미국과 한국의 에너지요금체계를 각각 적용하여 지열원 히트펌프 보급의 지원 적정성을 비교 검토하였다. 또한 시스템 경제성을 향상시키기 위해 초기 설치비를 절감할 수 있는 복합열원(지열 및 수열원) 히트펌프 계통[7]을 제안하여 이에 따른 생애주기 경제성을 검토하였다.

2. 건물 에너지 해석

2.1 건물 모델링

eQUEST는 건물 모델링, 냉난방부하 및 에너지 성능분석을 통합한 건물에너지 분석도구로 다양한 형태의 지중열교환기모델을 GSHP 해석모듈에 적용하고 있다.[6]

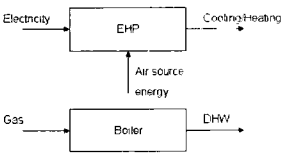
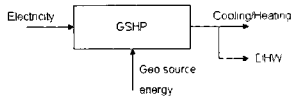
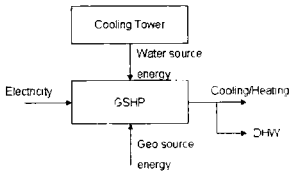
본 연구에서는 280 kW급 공조규모의 건물을 모델링하였다. Fig. 1의 건물 공조면적은 2,788 ㎡이며 세미나실 및 교수 연구실 등으로 구성되어있다. 건물의 기상데이터, 공조면적 및 층수, 지중열원 열교환기, 냉각탑 등을 제외한 대부분의 입력값은 eQUEST에서 제공하는 기본 값을 이용하여 건물모델링을 수행하였다.[8] 건물모델링의 일반적인 입력 값은 Table 1과 같다. 입력요소는 개요와 일반사항, 건물 사양 및 내부부하로 구성된다. 연간에너지 사용량 비교를 위해 건물위치는 hour by hour 기상파일이 제공되는 Denver, Colorado를 기준으로 하였다. 건물의 시스템 운전 스케줄은 Table 2와 같다. Fig. 2에 건물의 용도별 면적비율을 나타내었다.

건물의 내부에서 발생하는 부하는 인체부하, 조명부하, 기타장비부하 등이다. Fig. 3은 연간 에너지 분석결과에 따른 월별 peak 전기 수용량이다.

Table 2 Schedule of the system operation

	Typical use	Summer break	Winter break
	Remaining dates	7/1~8/31	1/1~2/29, 12/1~12/31
Monday~Friday	7am~9pm	8am~6pm	8am~6pm
Saturday	9am~4pm	9am~4pm	9am~4pm
Sunday	closed	closed	closed
Holiday	closed	closed	closed

Table 3 Schematic diagrams of HVAC and DHW loop

	Loop	Cooling/Heating	DHW	Energy source
Case 1 (EHP)		Heat pump	Boiler	Air source
Case 2 (GSHP)		Heat pump	Heat pump	Geo source
Case 3 (GWSHP)		Heat pump	Heat pump	Geo source (GHEX) Water source (cooling tower)

2.2 공조시스템 모델링

시스템별 연간에너지사용량 비교를 위해 Table 3과 같이 공랭식 공조시스템(Case 1), 지열히트펌프시스템(Case 2), 복합지열 히트펌프시스템(Case 3) 등 3가지 공조시스템을 모델링하였다. Case 1의 경우 냉난방은 대기열원을 이용하는 히트펌프로 실내공조를 하고, DHW(Domestic Hot Water)는 가스보일러로 공급한다. 냉동기는 왕복동식이며, 콘덴서는 공랭식이다. 부하측은 냉각코일, 덕트 및 송풍기 등으로 이루어져있다. Case 2는 지열원 히트펌프를 이용하여 직팽형 코일로 냉난방을 하는 방식이다. 냉방은 지열원을 히트 싱크로, 난방 및 DHW는 지열원을 히트소스로 사용한다. Case 3은 히트펌프에 지열과 냉각탑이 연계된 loop를 구성하여 직팽형 코일에 의해 냉난방을 하는 방식이다. 밀폐형 냉각탑에 의해 지열 및 추가의 냉난방 열원을 공급한다.

난방 및 DHW에서는 지열과 냉각탑이 히트소스로 사용된다. 공기(부하)측은 히트펌프, 덕트 및 송풍기 등으로 이루어져있다. 지중열교환기는 수직 밀폐형으로 Case 2에서는 총 20개 보어 홀과 Case 3에서는 10개가 설치되며, 깊이는 150 m이다.

일반적으로 많이 사용되는 공조패턴인 Case 1

Table 4 Electric rates of Xcel Energy(January, 2008)

Classification	Service and Facility Charge	Energy charge ($/kWh)	Demand charge($/kW)	
			summer (Jun. 1~Sept. 30)	winter (Oct. 1~May 31)
Schedule PG	$ 130.00/Month	0.00282	$ 8.39	$ 7.21

Table 5 Electric rates of KEPCO(January, 2008)

Classification	Demand charge ($/kW)	Energy charge($/kWh)		
		summer (Jul.1~Aug.31)	spring/fall (Mar. 1~Jun.30/ Sep. 1~Oct. 31)	winter (Nov. 1~Feb. 28)
High-voltage(A)	option I	5.759	0.099	0.066

을 기준으로 에너지 절약 및 저비용의 유지관리가 가능한 Case 2와 초기 설치비의 절감 및 운전에너지절약방안으로 Case 3을 제안하였다.

2.3 에너지비용 및 LCC 분석기준

2.3.1 에너지비용

본 연구에서는 에너지원별 단가를 적용하여 에너지비용을 산출하였다. 사용된 에너지원은 도시가스(LNG)와 전기이다. 경제성 분석에 가장 큰 영향을 미치는 연간 에너지 소비량은 산출한 연간 부하를 이용하여 각 Case별로 계산되었다. 열원설비를 가동하기 위하여 Case 1에서는 전기와 가스를 Case 2, 3에서는 전기만 사용한다. 도시가스 요금은 Table 6의 한국가스공사의 일반요금 및 미국의 Xcel Energy[9]의 General 요금을 적용하였다. 전기요금은 Table 5의 한국전력[10]의 일반용전력 갑 고압 선택 요금과 Table 4의 Xcel Energy[9]의 General 요금을 적용하였다.

Xcel Energy는 미국 서부와 중서부의 8개주의 전기 및 가스를 공급하는 대표적인 에너지 회사 중 하나이다. 상수도비와 하수도비는 계산에서 제외하였으며, 미국의 신재생에너지 보급지원은 주별, 각 시별 대체에너지 지원제도와 에너지 공급회사 자체의 다양한 지원제도 및 tax를 통한 지원을 주로 하므로 정부의 단일체제로 지원 하는 한국의 환경과는 비교가 어려워 지원금 부분은 계산에서 제외하였다. Fig. 3의 연간에너지 분석결과에 따라 peak 전기수용을 기준으로 Demand electricity는 Case 1에서는 400 kW를 Case 2, 3은 200 kW를 공급받는 것으로 기준하였다. 건물의 경제성 평가를 위하여 양국의 할인율, 소비자 물가상승률, 전기 및 가스의 가격상승률을 조사하였다. 한국의 자료는 과거 11년 간(1996~2006) 자료를[11] 평균한 것이고 미국의 자료[12]는 향후 25년을 예측 평균한 것이다. 한국의 최근 11년 간 평균 물가 상승률은 3.5%이고, 할인율은 7.18%이다.

Table 6 Gas rates(January, 2008)

Classification	KOGAS	Xcel Energy	
	Cost [$/Therm]	Service Charge[$/Month]	Cost [$/Therm]
General	1.432	20.00	0.0953

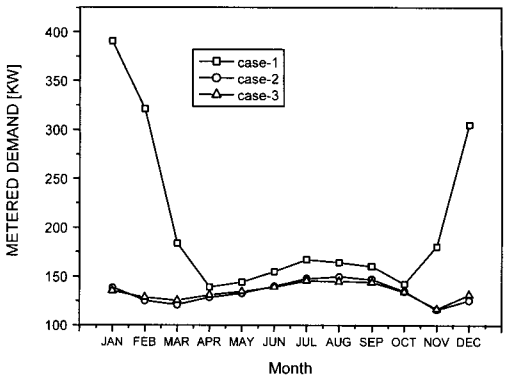


Fig. 3 Demand electricity.

에너지 가격 변동률[13]은 전기 2.1%, 가스 8.5%이다. 미국의 평균 물가 상승률은 2.29%이고, 할인율은 3.0%로 계산하였다. 에너지 가격 변동률은 전기 0.59%, 가스 0.56 %이다.[14]

2.3.2 LCC 분석조건

LCC 분석기간은 건물의 운전시작일 2008년 1월부터 25년 간의 기간으로 설정하였으며, 이 시점은 각 시스템들의 시설교체시점이다.

$$NPV = A + \sum_{N}^{t=1} \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$$NPV = B \times \frac{1}{(1+r)^t} \quad (2)$$

LCC 분석에서 적용되는 비용요소는 초기투자비, 운영비 및 잔존가치로 분류되며, 모든 비용의 산출은 식(1)에 따라 분석시점에서 현재가격으로 계산하였다. 또한 몇 년 후에 1회만 발생하는 비반복비용은 식(2)을 사용하여 현가로 환산하였다. 아울러 투자의 판단기준을 도출하고자 생애주기 동안 NPV(현가)가 0이 되는 이자율을 계산하여 이를 IRR(내부수익률)로 나타내었다. 장비 가격 및 설치공사비는 물가정보가격[15]을 기준으로 하고 시중에서 적용되는 국내의 견적자료를 참고하여 산출하였다. 미국의 장비 가격 및 설치공사비는 우리나라의 실정과 다소 차이가 있지만 경제성 비교의 편리성을 위해 국내와 동일비용으로 고려하였다. tax 및 tax promotion 부분은 한국과 미국의 시스템의 차이가 커서 계산과정에서 생략하였다.

Table 7 Annual Energy consumption

	Case 1				Case 2		Case 3	
	Electricity		Gas		Electricity		Electricity	
	[MJ]	[KWH]	[MJ]	[THERM]	[MJ]	[KWH]	[MJ]	[KWH]
Lights	470,871	130,777	0	0	470,027	130,542	470,027	130,542
Misc. equip	700,900	194,605	0	0	700,979	194,655	676,080	187,746
Space heating	97,118	26,964	0	0	23,422	6,493	18,886	5,252
Space cooling	377,974	104,964	0	0	250,787	69,644	256,484	71,214
Pumps and aux	11,500	3,192	0	0	54,441	15,104	146,231	40,606
Vent fans	100,547	27,921	0	0	108,143	30,039	108,143	30,039
Ht pump supplem	29,542	8,198	0	0	0	0	0	0
Domestic hot wtr	0	0	44,734	424	0	0	0	0
Total	1,788,425	496,673	44,734	424	1,607,694	446,478	1,675,851	465,399

3. 결과 및 분석

3.1 연간에너지 분석

Table 7 및 Table 8에 따르면 연간에너지 사용량 및 비용은 Case 1, Case 3, Case 2 순으로 높게 나타났다. 에너지 비용이 가장 작은 시스템은 Case 2로 한국 기준 $48,594이며, 가장 큰 값을 가지는 Case 1의 $68,048에 비해 약 28.6%의 절감이 가능한 것으로 나타났다. 그러나 동일조건에서 Energy charge 비용을 탄력적으로 적용한 Xcel Energy의 요금제도에 의하면 시스템 개선에 의해 약 47.0%의 절감이 가능하였다. 이것은 요금체계상 고정요금비중을 높이고 변동요금의 유연성을 확대한 Xcel Energy 요금체계의 특징 때문에 나타나는 결과로 빌딩용 에너지효율개선 기기의 보급비율을 확대하기 위해서는 국내에서도 이러한 에너지 요금체계를 참고할 필요가 있을 것이다.

Table 8 Annual utility rate[$]

		Gas	Demand charge	Fixed charge	Energy charge	Total
KEPCO/ KOGAS	Case 1	610	27,648	0	39,790	68,048
	Case 2	0	13,824	0	34,770	48,594
	Case 3	0	13,824	0	36,222	50,046
Xcel Energy	Case 1	240	36,496	1,560	1,017	39,313
	Case 2	0	18,248	1,560	1,022	20,830
	Case 3	0	18,248	1,560	1,068	20,876

단위에너지 당 전기 요금은 한국의 경우 하계에 단가가 높았지만 미국의 요금체계를 기준으로 보면 동계의 요금단가가 약간 높게 결정된다.

3.2 경제성 분석결과

3.2.1 LCC(Life cycle cost)

시스템별 초기투자비 및 시설교체 비용을 Table 9에 나타내었다. 정기적인 운영비용에 포함되는 항목으로는 수리비, 점검비, 운영인건비 및 일반관리비 등이 있으며, 일반적으로 공조시스템에 대해 구입가격의 1.5% 전후가 연간비용으로 사용되기에 본 연구에서는 설비비의 1.5%[17]를 기준으로 하였다.

운전기간 내에 돌발적인 고장 없이 사용연한 후 설비를 전량 교체하는 것으로 보고 예상치 못한 시점에서 발생하는 비정기적인 운영비용은 없는 것으로 가정하였다. 분석기간 종료시점에서 시설 잔존가치는 수명 주기까지 100%에서 0% 까지 매년 감소되어 수명이 다하면 잔존가치가 0이 된다고 가정하였다. 지중열교환기는 일단 시공하게 되면 지중에 매립되어 유지보수의 필요성이 없으므로 수명주기를 50년 이상으로 가정하였다.

Table 10은 각각의 공조시스템 LCC 분석결과로서 Total LCC는 한국이 미국에 비해 약 2배에 달하고 있다. Case 1의 Total LCC에서 에너지비용이 차지하는 비율은 한국 88.6%, 미국 77.8%로 대체에너지시스템이나 고효율에너지기기를 통한 에너지 비용절감이 반드시 필요함을 보여주고

있다. 특히 Case 2와 Case 3을 적용한 경우에 있어 미국의 Total LCC구성에서 에너지 비용이 차지하는 비율은 42.1 %, 48.9 %로 개선효과가 뚜렷하게 나타난다. 두 국가 모두 Case 1의 LCC가 가장 높고, Case 3에서 가장 낮은 결과를 보였다. 한국의 경우 25년의 생애주기를 운전하면 Case 2, Case 3의 시스템은 Case 1의 LCC와 비교하여 각각 $ 251,708(9.8 %), $ 373,512(14.5 %)의 생애비용을 절감할 수 있다. 이 절감금액은 Xcel Energy의 $ 76,454(5.8 %), $ 244,405(18.6 %) 절감결과에 비해 $ 175,254, $ 129,107 큰 금액이다.

현재 한국정부의 280 kW 상당 지열원 히트펌프의 수직 밀폐형 지중열교환기 설치지원금[16]은 $ 169,787이고, 140 kW 상당의 지중열교환기 설치지원금은 $ 84,893으로 이 지원금을 반영하면 Case 2는 $ 421,495(16.3 %), Case 3은 $ 458,405(17.8 %)의 생애비용 절감효과를 볼 수 있다. 이는 Case 2, Case 3의 초기투자비와 연간 운전보수 총 비용에 근접하거나 상회하는 것으로 대체에너지 설비 도입을 통해 시스템의 경제성이 향상됨을 보여준다.

3.2.2 IRR(Internal rate of return)

한국의 에너지비용 및 할인율을 기준으로 IRR을 검토해보면 Case 2에서는 수익성 확보가 어려운 것으로 나타나고, Case 3에서는 기준 할인율 7.18 %를 상회하는 8.89 %로 나타난다. 미국의 Xcel Energy의 조건에서도 Case 2는 수익성 확보가 어렵고, Case 3에서는 마찬가지로 미국의 기준 할인율 3.0%를 상회하는 5.8 %의 결과를 보인다. 즉, Case 3에서는 한국과 미국 모두에서 높은 수익률을 보이는 것을 알 수 있다.

3.2.3 PP(Payback period)

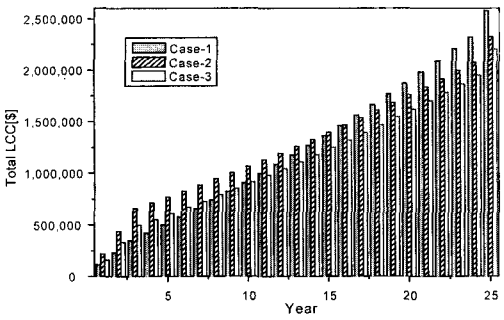
Fig. 4(a)를 보면 설치지원금이 없는 상태에서 한국의 경우 Case 2, Case 3은 각각 16년과 10년에 pay back이 가능한 것으로 나타났고, KEMCO의 설치지원금이 제공된다면 각각 9년과 6년에 pay back이 가능하다. 그러나 Fig. 4(c)의 Xcel Energy

Table 9 Capital costs of systems[$]

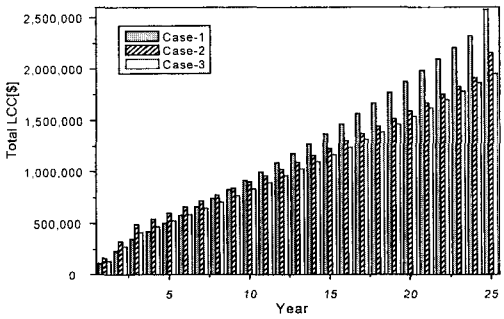
		Heat pump	GHEX	Boiler	Cooling tower	Pipe, duct, control	Total	Maintenance [$/year]
Initial costs	Case 1	55980.2	0.0	2204.3	0.0	76360.8	134,545	873
	Case 2	86170.3	339574.5	0.0	0.0	76360.8	502,106	1,293
	Case 3	86170.3	169787.2	0.0	7089.4	76360.8	339,408	1,399
Replacement costs	Case 1	55980.2	0.0	2204.3	0.0	76360.8	134,545	expected life : 25 year
	Case 2	86170.3	0.0	0.0	0.0	76360.8	162,531	
	Case 3	86170.3	0.0	0.0	7089.4	76360.8	169,621	

Table 10 Total LCC[$]

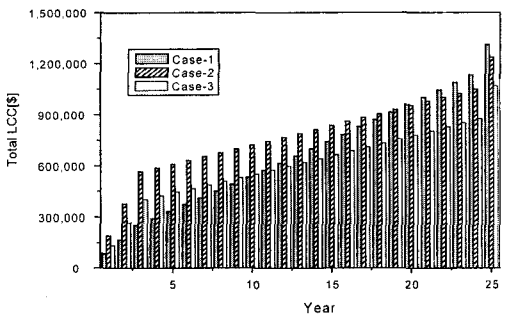
		Case 1		Case 2		Case 3	
		[$]	%	[$]	%	[$]	%
KEPCO and KOGAS	Initial costs	134,545	5.2	502,106	21.6	339,408	15.4
	O&M	23,813	0.9	52,454	2.3	38,161	1.7
	Energy rate	2,285,415	88.6	1,609,519	69.2	1,657,616	84.3
	Replacement costs	134,545	5.2	162,531	7.0	169,621	7.7
	Total LCC	2,578,318	100	2,326,610	100	2,204,806	100
	Save	0		251,708		373,512	
Xcel Energy	Initial costs	134,545	10.3	502,106	40.7	339,408	31.8
	O&M	22,629	1.7	49,846	4.0	36,264	3.4
	Energy rate	1,019,752	77.8	520,534	42.1	521,774	48.9
	Replacement costs	134,545	10.3	162,531	13.2	169,621	15.9
	Total LCC	1,311,471	100	1,235,017	100	1,067,067	100
	Save	0		76,454		244,405	



(a) without promotion(KEPCO and KOGAS)



(b) with promotion(KEPCO and KOGAS)



(c) Xcel energy

Fig. 4 Total accumulate life cycle costs.

기준의 pay back은 각각 19년과 11년이 소요되어야 가능하다. 이것은 낮은 에너지 요금비중으로 구성되어 있는 미국의 Total LCC에서 에너지 효율 개선만으로 시스템 경제성을 확보하는 것은 어려움을 나타낸다. 여기에 초기투자비의 절감 및 기타 세제의 혜택이 뒷받침되어 경제성이 확보되어야만 소비자는 대체에너지 기기를 채택하게 된다.

3.3 민감도 분석결과

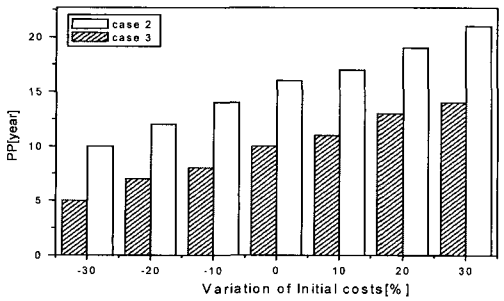
LCC 분석에 적용되는 각종 지표들은 시장의 절대적인 영향에 의해 다양한 변화가 가능하고 또한 정확한 지표예측에는 한계가 있다. 그러나 분석지표는 결과에 중대한 영향을 제공하고 있으므로 민감도분석을 통하여 입력지표의 범위에 따른 결과에 미치는 영향을 검토하는 것이 필요하다. 민감도 분석결과를 Table 11에 나타내었다.

본 논문에서는 초기투자비와 에너지비용의 민감도의 범위를 한국과 미국의 초기투자비 및 에너지비 변동이 동일하지 않고, 한국의 경우 에너지비 변동 폭이 크며, 치열한 가격경쟁을 하고 있는 미국의 공조기 시장의 특성을 모두 반영하기 위해 -30%~30%로 설정하였으며, 10%씩 민감도 변화에 따른 경제성을 분석하였다.

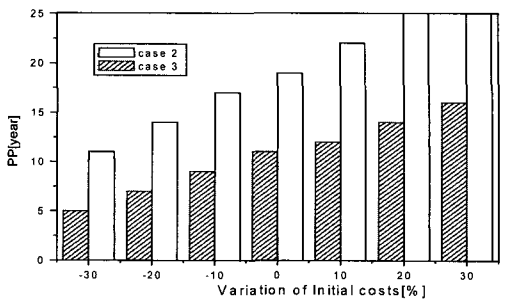
초기투자비의 민감도를 분석한 Fig. 5를 보면 초기투자비 변화가 -30%인 경우 Case 2, 3 모두 투자비 회수기간이 기존 16년과 10년에서 약 10년과 5년으로 단축되었다. 한국 조건에서는 초기투자비가 20%이상 증가하더라도 25년 내에 초기투자비의 회수가 Case 2와 Case 3 모든 조건에서 가능하다. 그러나 에너지 비용에 따른 절감액이 크지 않은 미국의 조건에서는 초기투자비가 20% 이상 증가한다면 Case 2의 조건에서는 투자회수가 불가능하고, 초기투자비 부담을 낮춘 Case 3 조건에서는 투자비의 비중이 30% 수준까지 늘어난다고 해도 약 16년에 투자회수가 가능한 것으로 나타나 Case 3의 경제성 효과가 우수함을 확인하였다. Fig. 6을 보면 Total LCC에서 생애 에너지 비용의 부담이 약 88.6%로 큰 한국의 조건에서는 고효율에너지시스템을 빌딩에 적용하고 에너지 가격이 상승하게 되면 투자회수기간이 단축되는 이상적인 결과를 나타낸다. 에너지비용이 30% 상승하게 되면 수익성이 없던 Case 2에서도 IRR 2.81%의 결과를 확인할 수 있다. Case 3에서는 IRR 15.82%를 나타낸다. 또한 Total LCC에서 에너지 비용의 부담이 한국보다 낮은 미국의 조건에서는 에너지 비용의 상승에 따른 수익성 향상은 한국의 조건에 비해서는 낮은 비율이지만 미국의 할인율을 기준으로 보면 양호한 수익성을 나타낸다.

4. 결 론

본 논문에서는 eQUEST를 이용해 280 kW급 규모의 상업용 건물에 대해 복합지열 히트펌프 시스템을 포함한 다양한 공조 시스템을 적용하여

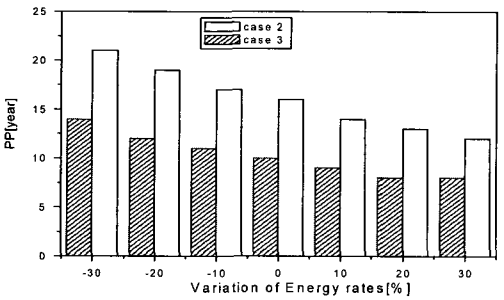


(a) KEPCO and KOGAS

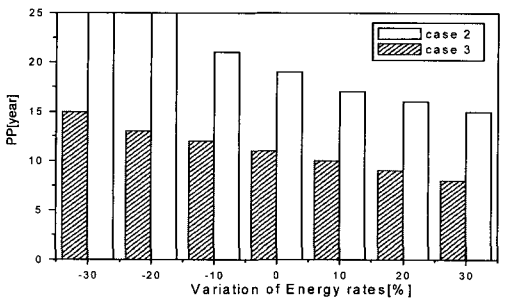


(b) Xcel Energy

Fig. 5 Sensitivity analysis by variation of Initial costs.



(a) KEPCO and KOGAS



(b) Xcel Energy

Fig. 6 Sensitivity analysis by variation of energy rates.

Table 11 Sensitivity test

	initial costs								Energy rates							
	KEPCO and KOGAS				Xcel energy				KEPCO and KOGAS				Xcel energy			
	Case 2		Case 3		Case 2		Case 3		Case 2		Case 3		Case 2		Case 3	
	NPV [$]	IRR [%]	NPV [$]	IRR [%]	NPV [$]	IRR [%]	NPV [$]	IRR [%]	NPV [$]	IRR [%]	NPV [$]	IRR [%]	NPV [$]	IRR [%]	NPV [$]	IRR [%]
30%	-3,026,605	-	-923,410	-	-4,905,038	-	-1,328,896	-	-654,922	2.81	877,100	15.82	-1,225,744	-	1,542,073	13.08
20%	-2,493,768	-	-562,173	1.98	-4,071,226	-	-762,410	-	-912,646	-	638,167	13.59	-1,619,176	-	1,149,606	10.74
10%	-1,960,931	-	-200,936	5.21	-3,237,414	-	-195,925	1.62	-1,170,370	-	399,234	11.29	-2,002,548	-	767,200	8.37
0%	-1,428,094	-	160,301	8.89	-1,428,094	-	379,763	5.80	-1,428,094	-	160,301	8.89	-2,390,951	-	379,763	5.80
-10%	-895,257	-	521,538	13.45	-895,257	-	521,538	13.45	-1,685,818	-	-78,632	6.30	-2,779,353	-	-7,674	2.94
-20%	-362,420	3.95	882,775	19.88	-735,977	-	1,503,530	17.14	-1,943,542	-	-317,565	3.42	-3,167,755	-	-395,110	-
-30%	170,417	8.88	1,244,011	31.43	97,836	3.70	2,070,015	28.58	-2,925,463	-	-385,585	-	-3,556,157	-	-782,547	-

시스템별 경제성 평가 및 국가 간 에너지비용을 비교, 분석하였다.

검토 적용시스템은 대기열원 히트펌프시스템을 기준으로 지열원 히트펌프시스템, 복합 지열원 히트펌프시스템 등 3가지이며, 경제성 분석은 초기 투자비가 고려된 생애주기비용, 투자회수기간, 내부수익률 등을 계산하였다.

검토결과 연간에너지 사용량 및 비용은 대기열원 히트펌프시스템, 복합 지열원 히트펌프시스템, 지열원 히트펌프시스템 순으로 높게 나타났다. 결과적으로 가장 큰 에너지 사용지수 차이를 보이는 대기열원 히트펌프시스템은 복합 지열원 히트펌프시스템보다 수전요구량에서는 약 2배 이상이 요구된다. 복합 지열원 히트펌프 시스템을 채택함으로

써 생애운전 기간 동안 대기열원 히트펌프시스템 대비 한국과 미국 각각 $373,512(14.5%), $244,405(18.6%)의 절감이 가능하였다.

대상 건물에 복합 지열원 히트펌프 시스템을 적용할 경우 IRR은 한국과 미국 각각 8.89%, 5.80%로 평균 할인율을 상회하는 수익률을 나타내었다. 그러나 기존 지열 히트펌프 시스템은 높은 초기투자비 때문에 한국과 미국 모두 수익확보가 어려우며, 기존 대비 30% 이상 초기투자비를 낮추어야 할인율 평균을 넘는 수익률 확보가 가능할 것으로 계산되었다. 설치지원금이 없는 상태에서 pay back 기간은 한국의 경우 Case 2, Case 3은 각각 16년과 10년, Xcel Energy 기준은 19년과 11년으로 나타났고 KEMCO의 설치지원금이 제공된다면 한국의 경우 9년과 6년에 pay back이 가능하다.

초기투자비와 에너지비용의 민감도 범위를 -30%~30%로 검토하여 민감도 변화에 따른 Payback period를 분석한 결과, 에너지비용이 상승할수록 투자비회수기간이 단축되는 등의 경제성 확보 가능성이 높아졌다. 복합 지열원 히트펌프 시스템을 통해 초기투자비를 원천적으로 낮출 경우 투자비의 비중이 30% 상승된 경우에서도 경제성 확보가 가능하였다.

참고문헌

1. Michopoulos, A., Bozis, D., Kikidis, P., Papakostas, K., Kyriakis, N. A., 2007, Three-years operation experience of aground source heat pump system in Northern Greece, Energy and Building, Vol. 39, pp. 328-334.
2. Sohn, B. H., Cho, C. S., Shin, An, H. J., 2005, Cooling and heating performance evaluation of a GSHP system, Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 1, pp. 71-81.
3. Kwan-Jong Noh, Ji-Young Kim, Eun-Chul Kang, Euy-Joon Lee, Seong-Yeon Yoo, Integrated Design and Energy Analysis of Building and Ground Source Heat Pump for the Multi-Family House, SAREK 2007 Summer Proceeding, pp. 233-238.
4. Jae-Keun Lee, Young-Man Jeong, Kyoung-Min Koo, Yu-Jin Hwang, Se-Yong Jang, In-Kyu Kim, Sim-Won Jin, Dong-Hyuk Lee, Cooling Performance of a Ground Source Heat Pump System, SAREK 2007 Winter Proceeding, pp. 441-446.
5. http://doe2.com/equest/index.html
6. YoungJun Kim, SungSoo Kim, YongTae Kang, Economic Analysis of Ground Source Heat Pump system by Life-Cycle Cost analysis, SAREK 2006 Winter Proceeding, pp. 299-306
7. Rybach, L., The advance of geo thermal heat pumps-worldwide, IEA Heat Pump Center News Letter, Vol. 23, No. 4.
8. http://www.eere.energy.gov/buildings/energy-plus.
9. http://www.xcelenergy.com/ .
10. http://cyber.kepco.co.kr/cyber/personal/payment/payment_table/payment_table_eng.html.
11. http://www.keei.re.kr.
12. www.census.gov/.
13. www.treas.gov/offices/domestic-finance/debt-management/interest-rate/ltcompositeindex_historical.shtml. Source : U.S. Treasury.
14. www.kosis.kr/.
15. http://www.kpi.or.kr/(Korea price info).
16. www.kemco.or.kr(Korea Energy Management Company).
17. Yool Park, Jong-Il Park, 2004, A Study on the Simplified Economics Evaluation Method for Selecting a Heat Source System at the Pre-design Phase, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engin-eering, Vol. 16, No. 11, pp. 1060-1067.