

LCC 분석에 의한 설비시스템의 최적화 방안에 관한 연구

— G구 구민회관 및 구의회청사 사례 —

최 성 호*, 차 병 주*, 김 상 민, 이 승 복*

현대건설기술연구소, *성균관대학교 건축공학과

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 —

Seong-Ho Choe*, Byoung-Ju Cha*, Sang-Min Kim, Seung-Bok Leigh*

Hyundai Institute of Construction Technology, Yongin 449-912, Korea

*Department of Architecture, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

(Received November 7, 2001; revision received January 17, 2002)

ABSTRACT: LCC (Life-Cycle Cost) analysis is a practical method and a guideline for evaluating the economic performance of building service systems. By using the LCC analysis, the most cost-effective design decision can be made, which has the lowest LCC during the project study period among the various design alternatives. The present case shows an example of appropriate use of the LCC analysis, by demonstrating the procedures of decision making among alternative building HVAC systems at community center and congress hall of a local government.

Key words: Life-cycle cost analysis(생애주기비용 분석), HVAC system(공기조화시스템), BLCC (building life-cycle cost), Sensitivity analysis(민감도 분석), Cash flow diagram(현금흐름도)

1. 서 론

시설물의 초기투자, 운영, 유지관리, 그리고 최종적인 처분에 이르기까지 전체 비용을 고려하는 생애주기비용 분석기법은 건물시스템의 설계단계에서 에너지절약과 관련된 투자규모를 결정하는데 매우 합리적인 방법으로, 건물 에너지절약의 효율성과 경제적 가치를 평가하여 가장 경제적인 대안을 선정하는 데 유용하게 활용될 수 있다. 따라서, 본 사례연구에서는 먼저 설비시스템을 최적화할 수 있는 방안을 정립하고, 이를 적용하여

G구 구민회관 및 구의회청사의 열원 및 공조시스템 선정에 있어, 보다 에너지 효율적이면서 경제적인 대안(최소 생애주기비용을 갖는 안)을 선정하는 과정을 보여주고자 한다. 열원 및 공조시스템 부하계산은 지면관계상 생략하였고, 생애주기비용 분석을 중심으로 의사결정과정을 제시하였다. 에너지소모량 계산은 Trace 700과 System Analyzer를 이용하였으며, 생애주기비용 분석은 BLCC(Ver 4.9) 프로그램을 이용하였다.

2. LCC 분석에서 설비시스템의 최적화 방안

2.1 LCC 분석 수행절차

대안에 따른 LCC 분석절차는 다음과 같은 순

† Corresponding author

Tel.: +82-31-290-7559; fax: +82-31-290-7570

E-mail address: sbleigh@yurim.skku.ac.kr

서로 진행된다.

(1) 기초조사

대안을 설정하기 위한 목적물의 적용사례 및 각종 경제 관련지표를 조사한다.

(2) 대안의 설정

최소 성능기준을 만족하는 대안들로 구성하고, 성능기준을 초과하는 대안이 도출된 경우 추가적인 이익을 고려한다.

(3) 가정의 설정

분석기간(Study Period), 현가환산율(Discount Rate), 분석시점(Base Date) 등 LCC 분석을 위하여 공통적으로 적용해야 할 가정을 설정하는데, 일반적으로 분석기간은 운전시점(Service Date)을 기준으로 25년 이내에서 생애주기를 감안하여 설정한다.

(4) 대안에 따른 설비시스템의 요소별 비용 산정 및 발생시점 결정

초기투자비(Initial Investment Costs), 운영비(Operational Costs), 기타비용 등의 요소별 비용을 발생시기에 따라 정확히 산정한다.

(5) 요소별 미래발생 비용을 현재가치로 환산

비용요소에 따라 분석기간 중 각기 다른 시점에서 비용이 발생하므로 이를 통합하여 상호·비교가 가능하도록 미래에 발생하게 될 비용을 현재가치로 환산한다.

(6) 각 대안에 대한 생애주기비용(LCC) 계산
각 대안에 대한 유형별 비용을 총합하여 LCC를 산정한다.

LCC=초기투자비의 현재가

(PV Initial Investment Costs, I)

+에너지 비용의 현재가

(PV Energy Costs, E)

+유지관리비의 현재가

(PV OM&R, OM&R)

+시설교체비의 현재가

(PV Replacement Costs, Repl)

-잔여가치의 현재가

(PV Residual Value, Res)

(7) 최소 LCC를 가지는 대안의 선정

여러 개의 대안 중 최소 LCC를 가지는 대안을 선정한다. 기본안(Basecase)과 대안(Alternatives) 사이의 LCC 차이(LCC_{Basecase} - LCC_{Alternative} = Net Savings)를 산정하여 순익(Net Savings)이 최대가 되는 대안을 선정한다.

(8) 측정 불가능한 비용과 편익에 대한 정성적 고려

비용과 같이 정량적인 측정은 불가능하지만 대안선정에 있어 간접적으로 영향을 미칠 수 있는 요소에 대하여 정성적인 고려가 있어야 한다.

(9) 민감도분석

LCC 분석에서 적용되는 여러 지표들(예로써 discount rate 등)은 대부분 추정된 값으로, 입력자료가 잘못 예측되었을 경우 LCC 분석결과에 영향을 미침으로써 잘못된 판단을 내릴 수 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 민감도분석(sensitivity analysis)을 통하여 입력변수의 범위를 조정해 가면서 결과에 미치는 영향의 정도를 분석한다.

(10) 경제성 평가를 위한 관련지표의 산정

필요시 순익(Net Savings, NS), 투자-대-이익의 비율(Savings-to-Investment Ratio, SIR), 회수기간(Payback Period, PB) 등의 경제성 평가를 위한 보조적인 지표를 산정한다.

(11) 최적의 대안선택

이상의 과정을 거친 후 LCC 분석결과에 따라 최적의 대안을 선택한다.⁽³⁾

2.2 사례에 적용된 설비시스템의 최적화 방안

본 사례연구의 목적은 LCC 분석의 관점에서 설비시스템의 최적화 선정방안과 그 효용성을 입증하는 것이다. 따라서, 설비시스템의 최적화 방안은 전술한 LCC 분석 수행절차를 근간으로 따르되 구민회관 및 구의회청사의 용도에 부합하도록 기존의 구민회관에서 적용되는 설비시스템 사례를 분석하고 에너지절약 및 비용절감의 측면에서 대안을 선정하는 것이며, 아울러 비용산정에 있어서는 대안들의 총비용 산정기간이 일정하므로 일반적으로 적용되는 현가법을 적용하고, BLCC 프로그램을 이용한 대안별 총 LCC 산출과 동시에 이 중에서 최소의 총 LCC를 갖는 대안을 최적의 설비시스템으로 선정하는 것으로 한다.

3. 대안 선정 및 에너지소비량 산정

3.1 건물개요

대상건물의 개요는 Fig. 1, Table 1, 2와 같다.

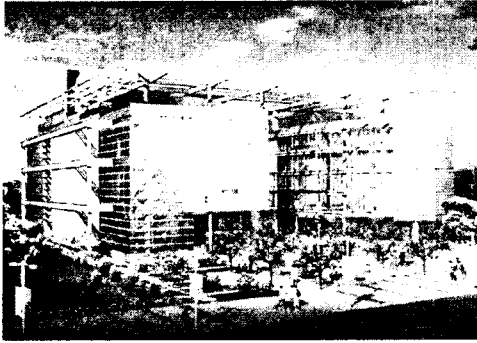


Fig. 1 Perspective of case study building.

Table 1 Synopsis of the building

Synopsis	Contents
Site area	4,959m ² (1500.09 py.)
Zoning	TypeIII general residential area / expected general aesthetic zone
Ground floor area	2,478.40m ² (749.72 py.)
Total floor area	18,444.86m ²
Ground floor/site area	49.98%
Total floor/site area	176.84%
Stories	B1~3, 1~6F
Parking	135

Table 2 Allocation of HVAC systems

Systems	Space	Floor	Air conditioning area
AHU-1	Dining room	B1	493 (m ²)
AHU-2	Sports center	B1	1,611 (m ²)
AHU-3	Office room (Community Center)	1-4F	2,987 (m ²)
AHU-4	Standing/ Special display room	1F	740 (m ²)
AHU-5	Small auditorium (200 seats)	1F	400 (m ²)
AHU-6	Large auditorium (485 seats)	2-4F	1,006 (m ²)
AHU-7	Large auditorium stage	2F	410 (m ²)
AHU-8	Congress Hall	5-6F	1,728 (m ²)
HVU-1	Swimming pool	B1	1,003 (m ²)
Sum			10,378 (m ²)

3.2 대안선정

자료수집이 가능했던 기존 3개 구민회관의 조사결과에 따르면, 열원설비로는 관류식 보일러, 노통연관식 보일러, 진공온수식 보일러 및 흡수식 냉온수기가 쓰이고 있으며, 공조설비로는 CAV + FCU의 공기수방식을 기본으로 PAC와 열교환기가 부분적으로 쓰이고 있다.

Fig. 2와 Fig. 3에 나타난 3개 구민회관의 에너지 사용실태를 보면, 전력소비는 여름철에 매우 높고, 도시가스 소비의 경우 겨울철에는 높으나 여름철에는 상대적으로 낮으며, 내부에 수영장

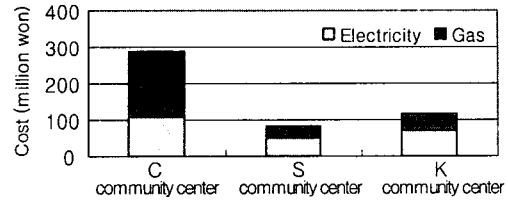


Fig. 2 Total energy cost.

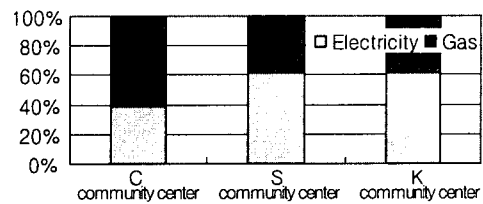


Fig. 3 Ratio of gas and electricity costs.

등 문화체육시설을 많이 갖춘 C 구민회관의 경우 에너지 사용량이 가장 많다. 또한, 겨울철을 제외한 연간 사용량 면에서 도시가스가 전기에 비해 소비량이 적음을 알 수 있다.

최근 개관한 구민회관의 특징이 문화체육시설을 많이 갖춘 복합문화관의 성격을 띠고 있어 에너지소비량이 급격히 증가하고 있는 추세를 감안한다면 에너지 비용절감 차원에서 여름철 심야전력 또는 도시가스를 사용하는 방향으로 열원 및 공조시스템을 설계하여야 한다. 따라서, Table 3 및 4에서 보는 바와 같이 대상건물에 적용할 열원 및 공조시스템 대안선정은 3개 구민회관의 조사결과를 참조하여 기존의 열원설비 시스템을 적용한 1개(안)과 에너지 효율이 높으면서 심야전력을 이용하는 빙축열 방식과 도시가스를 사용하는 흡수식 냉동기 방식의 2개(안)을 선정하였다.

Table 3 Alternatives for plant equipments

Basecase	Plant equipments	
	ALT 1	ALT 2
• Ice thermal storage system 40% (1,617RT-H)	• Hot & Cold water unit (250RT×2대) • Steam boiler (1TON×2대)	• Ice thermal storage system 50% (1,971RT-H)
• Screw type chiller (120RT×2대)		• Hot & cold water unit (250RT×2대)
• Steam boiler (1.5TON×2대) (1TON×2대)		• Steam boiler (1.5TON×2대) (0.6TON×1대)

Table 4 Alternatives for HVAC systems

Floor	HVAC systems	
	Basecase	ALT 1
B1	PAC	PAC
B1	CAV	ceiling FCU+CAV
1-4F	FCU+CAV	Convector+CAV
1F	FCU+CAV	Convector+CAV
1F	PAC	PAC
2-4F	seat : CAV (bottom blowing) hall : FCU+CAV	seat : CAV (ceiling blowing) hall : Convector+CAV
2F	CAV	CAV
5-6F	FCU+VAV	Convector+VAV
B1	Heating+Ventilation	Heating & Cooling +Ventilation

먼저 열원방식의 기준안(Basecase)으로 빙축열 40%+스크류 냉동기+증기보일러를 선정하고 이와 비교할 다른 대안으로 대안 1(ALT 1)은 흡수식 냉온수기 유닛, 대안 2(ALT 2)는 빙축열 50%+흡수식 냉온수기 유닛+증기보일러를 선정하였다. 여기서 열원방식 3개안의 LCC 분석을 통해 최적의 (안)을 도출하고, 그 열원방식을 적용한 공조방식 2개(안)을 선정하여 최종 LCC 분석을 수행하였다.

3.3 대안별 에너지 소모량 산정

Trace 700과 System Analyzer를 이용하여 각 대안별 에너지 소모량을 산정한 결과는 Table 5, 6, 7, 8, 9에 나타난 바와 같다.

Table 5 Energy consumption of Basecase (plants)

energy source	Cooling		Heating		etc.	Electricity TOTAL	
	Electricity		LNG	Electricity	LNG		Electricity (night)
unit	kWh	kWh	m'	kWh	m'	kWh	kWh
Jan	0	7,575	0	3,107	7,046	31,494	42,176
Feb	0	6,281	0	3,166	7,647	28,593	38,040
Mar	0	7,413	0	1,583	3,062	31,028	40,024
Apr	0	20,052	0	263	615	29,914	50,229
May	0	38,901	0	0	0	30,865	69,766
Jun	0	60,297	0	0	0	29,894	90,191
Jul	0	73,838	0	0	0	30,890	104,728
Aug	0	82,212	0	0	0	30,984	113,196
Sep	0	65,315	0	0	0	29,914	95,229
Oct	0	14,074	0	493	920	30,865	45,432
Nov	0	11,166	0	1,478	2,722	30,021	42,665
Dec	0	9,117	0	2,877	6,464	31,452	43,446
Total	0	396,241	0	12,967	28,475	365,914	775,122

Table 6 Energy consumption of ALT 1 (plants)

energy source	Cooling			Heating		etc.	Electricity TOTAL
	Electricity		LNG	Electricity	LNG	Electricity (night)	
unit	kWh	kWh	m'	kWh	m'	kWh	kWh
Jan	10,173	0	749	3,107	7,516	31,494	44,774
Feb	8,452	0	559	3,166	8,157	28,593	40,211
Mar	9,391	0	751	1,583	3,266	31,028	42,002
Apr	23,476	0	3,184	263	656	29,914	53,653
May	33,650	0	9,420	0	0	30,865	64,515
Jun	38,259	0	13,759	0	0	29,894	68,153
Jul	39,511	0	18,915	0	0	30,890	70,401
Aug	39,772	0	20,495	0	0	30,984	70,756
Sep	34,868	0	11,313	0	0	29,914	64,782
Oct	14,712	0	1,923	493	981	30,865	46,070
Nov	11,269	0	950	1,478	2,903	30,021	42,768
Dec	12,052	0	862	2,877	6,895	31,452	46,381
Total	275,585	0	82,881	12,967	30,373	365,914	654,466

Table 7 Energy consumption of ALT 2 (plants)

energy source	Cooling			Heating		etc.	Electricity TOTAL
	Electricity		LNG	Electricity	LNG	Electricity (night)	
unit	kWh	kWh	m'	kWh	m'	kWh	kWh
Jan	0	1,189	38	910	5,359	31,494	33,593
Feb	0	887	22	928	5,757	28,593	30,408
Mar	0	1,158	45	464	2,278	31,028	32,650
Apr	0	3,933	179	77	443	29,914	33,924
May	0	32,218	498	0	0	30,865	63,083
Jun	0	67,640	1,239	0	0	29,894	97,534
Jul	0	87,442	1,811	0	0	30,890	118,332
Aug	0	110,185	1,923	0	0	30,984	141,169
Sep	0	82,640	1,576	0	0	29,914	112,554
Oct	0	20,268	1,183	144	672	30,865	51,277
Nov	0	19,615	114	433	2,063	30,021	50,069
Dec	0	3,185	42	843	4,940	31,452	35,480
Total	0	430,360	8,671	3,799	21,511	365,914	800,073

Table 8 Energy consumption of Basecase (HVAC systems)

energy source	Cooling			Heating		etc.	Electricity TOTAL
	Electricity		LNG	Electricity	LNG	Electricity (night)	
unit	kWh	kWh	m'	kWh	m'	kWh	kWh
Jan	0	7,575	0	3,107	7,046	31,494	42,176
Feb	0	6,281	0	3,166	7,647	28,593	38,040
Mar	0	7,413	0	1,583	3,062	31,028	40,024
Apr	0	20,052	0	263	615	29,914	50,229
May	0	38,901	0	0	0	30,865	69,766
Jun	0	60,297	0	0	0	29,894	90,191
Jul	0	73,838	0	0	0	30,890	104,728
Aug	0	82,212	0	0	0	30,984	113,196
Sep	0	65,315	0	0	0	29,914	95,229
Oct	0	14,074	0	493	920	30,865	45,432
Nov	0	11,166	0	1,478	2,722	30,021	42,665
Dec	0	9,117	0	2,877	6,464	31,452	43,446
Total	0	396,241	0	12,967	28,475	365,914	775,122

Table 9 Energy consumption of ALT 1 (HVAC systems)

Energy source unit	Cooling			Heating		etc.	Electricity TOTAL kWh
	Electricity		LNG	Electricity	LNG	Electricity (night)	
	day	night					
Jan	0	8,283	0	3,041	6,991	38,223	49,547
Feb	0	6,332	0	3,166	7,600	34,762	44,260
Mar	0	7,986	0	1,583	3,045	37,542	47,111
Apr	0	20,174	0	263	611	36,108	56,545
May	0	41,998	0	0	0	37,266	79,264
Jun	0	70,614	0	0	0	36,117	106,731
Jul	0	92,471	0	0	0	37,327	129,798
Aug	0	97,502	0	0	0	37,415	134,917
Sep	0	86,388	0	0	0	36,108	122,496
Oct	0	15,997	0	493	911	37,266	53,756
Nov	0	13,426	0	1,478	2,704	36,296	51,200
Dec	0	9,175	0	2,877	6,415	38,150	50,202
Total	0	470,346	0	12,901	28,277	442,580	925,827

4. LCC 분석 수행

4.1 분석기간

- 분석기준일자 : 2001. 8.
- 분석대상기간 : 2001. 8. ~ 2024. 8. (23년간)
- 시 공 기 간 : 2003. 4. ~ 2004. 3.
- 운전시작일자 : 2004. 8.

분석기간은 건물의 운전시작일자로부터 20년간 운전된 후까지의 기간으로 설정하였으며, 서로 다른 수명주기를 갖는 대안을 비교할 경우에는 수명주기가 짧은 쪽의 대안을 기준으로 수명주기가 긴 대안의 잔존가치를 고려할 필요가 있다.⁽¹⁾ 따라서, 수명주기가 10년인 ALT 1이 한번의 시설교체 후 다시 수명주기에 도달하는 시점을 기준으로 하여 2024년까지를 분석기간으로 설정하였으며, 이 시점은 수명주기가 15년인 ALT 2가 한번의 시설교체 후 5년이 경과되는 시점이다.

4.2 주요 비용 데이터

(1) 초기투자비

초기투자비의 산출은 분석시점에서의 현재가격으로 이루어지며 현장에서의 견적자료를 기준으로 산출되었다. 본 분석에서는 TAB 비용은 초기투자비 산출에서 제외하였다. 항목별 비용은 Table 10과 같다.

(2) 정기적인 운영비용

정기적인 운영비용에 포함되는 항목으로는 수

Table 10 Initial investment cost (unit : 1,000 won)

Classification	Plant equipments			HVAC systems	
	Basecase	ALT 1	ALT 2	Basecase	ALT 1
Planning cost	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200
Construction cost	471,900	274,680	568,320	899,057	955,914
Support by KEPCO*	-117,000	0	-99,500	0	0
Deduction from tax	-48,330	-29,938	-64,919	0	0
Total	308,770	246,942	406,101.2	901,257	958,114
Investment period	Planning/construction 2002.4 ~ 2004.3 Service system installation 2003.4 ~ 2004.3 Investment date yr 2003				

* Korea Electric Power Corporation

Table 11 Operation, Maintenance and Repair cost (unit : 1,000 won)

Classification	Plant equipments			HVAC systems	
	Basecase	ALT 1	ALT 2	Basecase	ALT 1
Wages	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
OM & R	5,122	5,870	4,935	5,122	5,870
Total	20,122	20,870	19,935	20,122	20,870

Table 12 Capital replacement cost (unit : 1,000 won)

Classification	Plant equipments			HVAC systems	
	Basecase	ALT 1	ALT 2	Basecase	ALT 1
Construction cost	471,900	274,680	568,320	899,057	955,914
Investment date	2019. 8	2014. 8		2019. 8	
Expected life	15 yrs	10 yrs		15 yrs	

리비, 점검비, 청소비, 운영인건비, 일반관리비 등이 있으며 건물, 시스템의 특성과 관리능력에 따라 상당한 차이가 있을 것이라 예상된다. 기본적인 유지관리비의 경우 국내자료수집의 어려움으로 시설가격의 5%로 가정하였다.

(3) 비정기적인 운영비용

이 항목은 건물의 운영에서 그때그때 얻어지며 소멸, 발생하는 이윤이 아닌 고정기본자산(capital accounts)에서 지출된다는 점에서 정기적 운용비용과 구분된다. 운전기간 내에 돌발적인 고장 없이 사용연한 후 전량 시설교체하는 것으로 보고 비정기적인 운영비용은 없는 것으로 가정하였다. 시설교체비용은 Table 12와 같다.

(4) 에너지비용

에너지비용의 산출은 전기의 경우 건물용도, 계약전력, 계절, 사용시간대(주간/야간), 월별총사용전력량 등에 따라 달라지며, 도시가스(LNG)의

Table 13 Utility rates

Classification		Calculated costs
Electricity (public, option I)	demand charge	contracted power(1,800kW) × 6,780(won/kW)
	charge	consumption(kWh) × 96.5(won/kWh) : summer(7, 8) 62.8(won/kWh) : spring/fall(4~6, 9) 67.2(won/kWh) : winter(10~12, 1~3)
Electricity (night)	demand charge	contracted power(kW) × 6,210(won/kW) × daytime consumption / total consumption(month)
	charge	night time consumption(kWh) × 26.2(won/kWh) + (daytime consumption(kWh) × 76.8(won/kWh))
LNG	used for cooling	consumption(m ³) × 195.26(won/m ³) (in Seoul)
	used for heating	consumption(m ³) × 499.84(won/m ³) (in Seoul, commercial)

경우는 지역과 건물용도, 사용용도(냉방/난방)에 따라 달라진다. 본 분석에서는 Table 13의 요금 체계에 따라 월별로 에너지비용을 산출하였다. 상하수도비는 계산에서 제외하였다.

(5) 시설의 잔여가치

분석기간 종료 시점에서의 시설 잔여가치는 시설의 가치가 수명주기 동안 100%에서 0%까지 매년 일정비율로 감소한다고 보고 계산하였다.

이상에서 고려된 주요 비용 데이터는 분석시점의 금액(present value)을 기준으로 한다. 미래에 발생할 실제 비용은 물가상승이나 에너지가격 변동을 고려한 비용이 될 것이며, 이러한 미래의 비용은 대안별 총 LCC를 산정하여 비교할 때에는 현가환산율(discount rate)을 고려한 현재가치로 환산되어 사용하게 된다.

4.3 각종 비용변동요소의 고려

건물의 생애주기비용 분석에 있어서는 여러 가지 가격변동 요소에 대한 고려가 필요하다. 이에 대한 체계적인 데이터가 국내에서는 아직 만들어진 것이 없으므로 최근의 경제동향 데이터를 근거로 변화추이를 조사하여 이를 바탕으로 예상치를 설정하였다.

현가환산율은 1985년도 이후의 은행대출이자율의 변동 데이터 중, 1999년 이후의 변동추이를 고려하여 8%로 설정하였다.

물가변동률(price escalation rate)은 1984년 이후 소비자 물가지수의 변화추이에 근거하여 설정

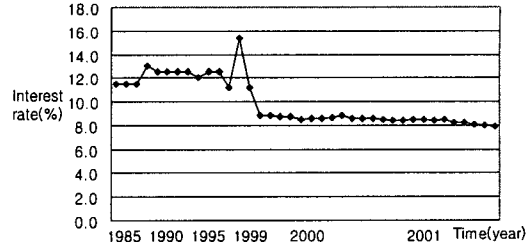


Fig. 4 Interest rates on bank loan.

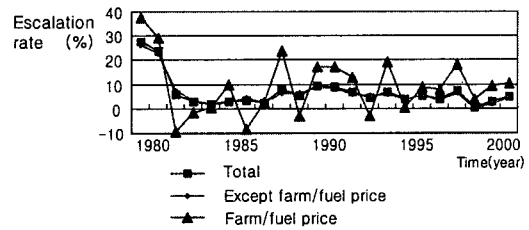


Fig. 5 Consumer price escalation rate.

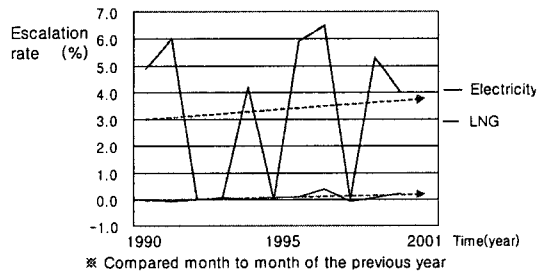


Fig. 6 Gas and electricity price escalation rate.

하였다. 보편적인 물가변동과 상당히 다른 변화 추이를 보이는 농산물과 석유류를 제외했을 때, 나머지 부분의 물가지수의 경우 경제동향에 따라 등락을 거듭하고 있으나 변화율은 표준편차 2.5에서 5%를 유지하고 있어 매년 5% 상승하는 것으로 설정하였다.⁽²⁾

에너지가격변동률(energy price escalation rate)의 경우는 1991년도 이후 전기·가스요금 상승률 추이에 따라 매년 전기는 0.4%, 가스는 0.1% 상승하는 것으로 설정하였다.

5. LCC 분석 결과

먼저 열원방식의 Basecase로 빙축열 40%+스 크립냉동기+증기보일러를 선정하고, 이와 비교할 다른 대안으로 ALT 1은 흡수식 냉온수기 유

니트, ALT 2는 빙축열 50%+흡수식 냉온수기 유니트+증기보일러를 선정하였다. 여기서 열원 방식 3개(안)의 LCC 분석을 통해 최적의 (안)을 도출하고, 그 열원방식을 적용한 공조방식 2개(안)을 선정하여 최종 LCC 분석을 수행하였다.

5.1 열원기기의 LCC 분석 결과

(1) 최소의 LCC 선정

Fig. 7과 같이 초기투자비 면에서는 ALT 1이 유리하나 전력소비량이 과대하여 총 LCC가 크게 상승하였다. 심야전력을 주로 사용하는 Basecase, ALT 2가 에너지비용 측면에서 유리한 것으로 나타났다. 에너지비용 측면에서 ALT 2가 다소 유리하나 초기투자비, 에너지비, 유지관리비 등에서 균형을 이룬 Basecase의 총 LCC가 가장 낮았다.

(2) 분석결과에 대한 민감도 분석

LCC 분석에 적용되는 여러 지표들(discount rate 등)은 대부분 정확한 값이 아닌 추정값이다. 입력자료가 잘못 예측되었을 경우 분석결과에 영향을 미쳐 잘못된 판단을 내릴 수 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 민감도 분석(sensitivity analysis)을 통하여 입력변수의 범위를 조정해 가

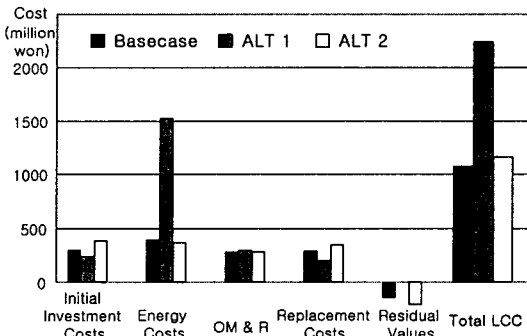
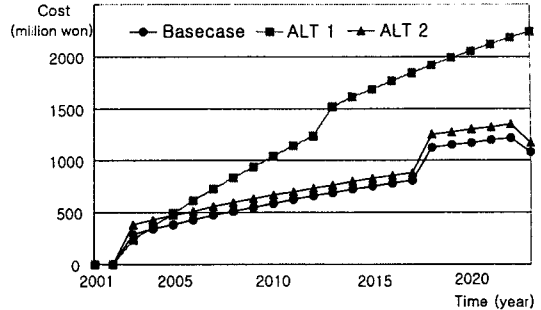


Fig. 7 Comparison of total LCC for plant equipments.

Table 14 Total LCC for plant equipments (unit : 1,000won)

Classification	Basecase	ALT 1	ALT 2
Initial investment costs	291,854	233,414	383,853
Energy costs	386,829	1,525,947	364,166
OM & R	278,774	289,137	276,183
Replacement costs	285,529	191,975	343,598
Residual values	166,170	0	199,964
Total LCC	1,076,815	2,240,472	1,167,835



※ Total cost swing upward rapidly at the point of capital replacement occurred.

Fig. 8 Accumulation costs in present value for plant equipments.

면서 출력값에 미치는 영향의 정도를 분석하여 오류를 사전에 예방하는 조치가 필요하다.

이번 분석에서는 물가변동률, 현가환산율, 에너지가격변동률(전기), 에너지사용량, 초기투자비를 각각 적정수준 변동시켜 민감도 분석을 수행하였으며 그 결과는 Table 15와 같다.

에너지가격변동률의 경우 가격상승률이 커짐에 따라 3개(안) 전부 총 LCC 중 에너지비용부분이 상승하였으나 순위에는 영향을 미치지 못하였다.

물가변동률의 경우 1980년대 이후의 평균 물가변동률의 표준편차인 2.5%를 가감하여 민감도분석을 수행하였다. 초기투자비, 유지관리비, 교체비 등의 비중이 큰 ALT 2의 경우 상대적으로 많은 상승이 있었으나 여전히 Basecase가 비용 면에서 가장 우위에 있음을 알 수 있었다. 또한, 나머지 항목에 대한 민감도 분석에서도 총 LCC 면에서 Basecase가 최적(안)인 것으로 나타났다. 결과값

Table 15 Sensitivity analysis (plants)

Classification		Total LCC escalation rate		
		Basecase	ALT 1	ALT 2
Price escalation rate	5% → 2.5%	▼ 10.6%	▼ 6.1%	▼ 10.6%
	5% → 7.5%	△ 13.4%	△ 8.2%	△ 13.2%
Discount rate	8% → 5%	△ 31.5%	△ 38.9%	△ 29.2%
	8% → 10%	▼ 15.2%	▼ 18.0%	▼ 14.3%
Energy price escalation rate	4% → 4%+0.05% yearly	△ 1.1%	△ 2.5%	△ 1.0%
	+ 10%	△ 3.4%	△ 3.7%	△ 3.1%
Energy usage	- 10%	▼ 3.4%	▼ 3.7%	▼ 3.1%
	+ 10%	△ 2.7%	△ 1.0%	△ 3.3%
Initial investment costs	- 10%	▼ 2.7%	▼ 1.0%	▼ 3.3%

에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 현가환산율, 즉 은행의 대출이자율을 알 수 있었는데, 투자에 있어서 이 부분은 직접적으로 비용에 관계된 사항일 뿐 아니라 간접적으로 대안선택에 영향을 미칠 수 있는 정성적인 요소로도 고려될 수 있는 사항이다.

이상의 분석결과, 최적의 열원설비(안)으로 Basecase가 선정되었으며, Basecase의 열원설비를 두가지의 공조설비(안)에 적용함으로써, 2차적인 분석을 수행하여 LCC 면에서 가장 우수한 최적의 시스템(안)을 최종적으로 선정하였다.

5.2 공조방식의 LCC 분석 결과

(1) 최소의 LCC 선정

공조설비의 두 가지 (안)에 대하여 열원방식의 Basecase를 적용하여 비용을 분석한 결과 Fig. 9, 10에서 보는 바와 같이 초기투자비와 에너지비 모두에서 Basecase의 공조설비가 유리한 것으로 판정되었으며, 시간이 경과할수록 총 LCC의 격차가 커지는 것을 알 수 있다.

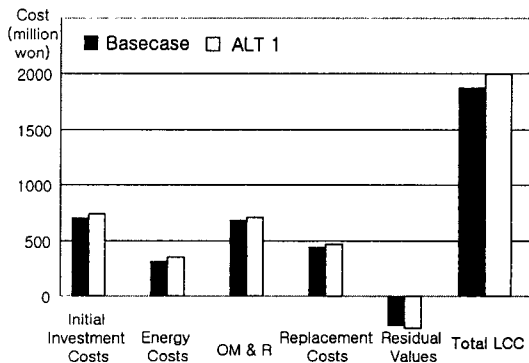
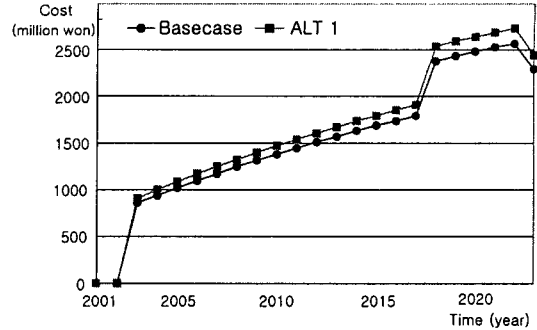


Fig. 9 Comparison of total LCC for HVAC systems.

Table 16 Total LCC for HVAC systems (unit : 1,000 won)

Classification	Basecase	ALT 1
Initial investment costs	851,883	905,625
Energy costs	386,829	432,076
OM & R	830,590	869,98
Replacement costs	544,110	578,353
Residual values	316,657	336,585
TOTAL LCC	2,296,763	2,449,455



※ Total cost swing upward rapidly at the point of capital replacement occurred.

Fig. 10 Accumulation of costs in present value for HVAC systems.

(2) 현금흐름도(cash flow diagram)

현금흐름도를 작성하면 향후 지출될 비용과 지출시기를 한눈에 살펴볼 수 있다. 비용 발생시점에서의 예상가격(미래가 : 현재가를 기초로 물가변동, 에너지비용 변동 등을 고려하여 산출)이 각각 표시되어 있으며, 이를 현가환산율을 고려하여 분석시점에서의 가치로 환산한 것이 세로축에 나타나 있다. 세로축의 비용을 모두 합한 것이 전체 대상기간에서의 총 LCC이다(Fig. 11, Fig. 12).

(3) 기타 경제성지표

순이익(net savings)은 분석기간 중 초기투자비용과 유지관리비용을 통틀어 Basecase가 다른 대안에 비해 얼마만큼 비용을 절감할 수 있는가 하는 것을 분석시점의 화폐가치로 나타낸 것이며, 투자-대-이윤 비율(Savings-to-Investment Ratio)은 초기투자비용의 증가분에 대한 유지관리비용의 감소분의 비율을 의미한다. 이 비율이 대안선택의 직접적인 기준이 되는 것은 아니나 각 대안들간의 상대적인 비용운용 형태를 비교할 수 있게 해준다.

총 LCC가 최소가 되는 안이 최적(안)임은 분명하나 현금흐름도를 비롯한 각종 경제성지표들은 투자자의 상황과 함께 정성적인 측면에서 선정(안)의 실제 타당성 여부를 가늠할 수 있는 자료로서 활용될 수 있다.

(4) 분석결과에 대한 민감도 분석

공조설비의 비용분석에서 행한 것과 같이 이번에도 물가변동률, 현가환산율, 에너지가격변동률(전기), 에너지사용량, 초기투자비를 각각 적정수준으로 변동시켜 민감도 분석을 수행하였다. 각

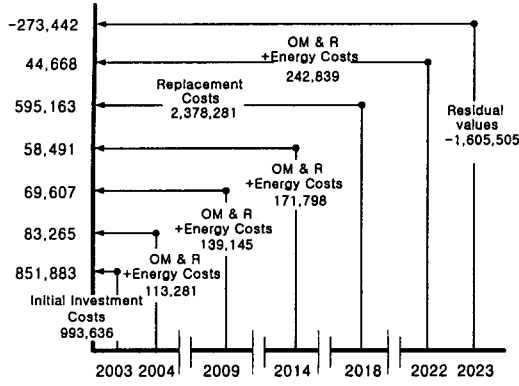


Fig. 11 Cash flow diagram for basecase HVAC systems (unit : 1000 won).

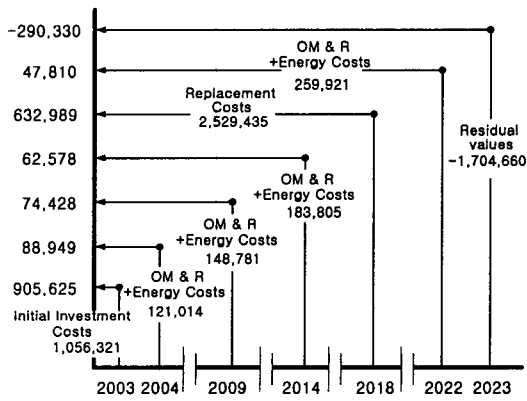


Fig. 12 Cash flow diagram for ALT1 HVAC systems (unit : 1000 won).

Table 17 Supplementary measures

Net Savings from Alternative 'ALT 1' compared to Basecase 'Basecase'	
Net Savings = P.V. of Future Cost Savings	98,950,000
- Increased Initial Investment	- 53,742,000
Net Savings : 152,692,000	
Savings-to-Investment Ratio (SIR) For Alternative 'ALT 1' compared to Basecase 'Basecase'	
$SIR = \frac{P.V. \text{ of Future Cost Savings}}{\text{Increased Capital Investment}} = 11.49$	
Estimated Years to Payback (from beginning of Service Period)	
payback never reached during study period	

중 변수들의 변화에 따라 두 가지 공조설비(안)의 총 LCC도 증감하였으나 그 증감폭이 비슷하였으며, 총 LCC에서는 여전히 Basecase가 유리한 것으로 나타났다.

6. 결론

분석대상 건물인 G구 구민회관 및 구의회청사의 설비시스템 선정에 있어 가장 경제적인 대안을 도출하기 위해 열원설비 3개(안)과 공조설비 2개(안)에 대하여 LCC 분석을 수행한 결과, 열원설비로는 병축열 40%+스크류냉동기 120 RT×2대+증기보일러를, 공조설비로는 CAV+FCU를 기본으로 한 부분적인 VAV+FCU, PAC 등을 도입하는 것이 최적의 설비시스템 선정임을 확인할 수 있었다.

분석과정에서 고려되지 않은 일부 비용요소들과 가격변동 요소들이 보다 정확한 분석을 위해서 추가적으로 고려되고, 시스템의 실제 운영데이터와의 비교·분석과 데이터베이스 구축이 이루어진다면 설계단계에서의 생애주기비용 분석이 보다 활성화될 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Jung, S. S. and Yee, J. J., 1999, A Study on the Criteria of Cost Breakdown Structure of HVAC System for Life Cycle Cost Analysis, Journal of the KIBS, Vol. 2, No. 4, p. 124.
2. Park, S. R., 2001, An analysis of main factors of inflation in time of business fluctuation cycle, Monthly bulletin, The Bank of Korea, Vol. 628, pp. 31-32.
3. Leigh, S. B., 2000, Optimization of Facility Management Based on a Life-Cycle Cost Analysis, Journal of Korea Facility Management Association, Vol. 2, No. 1, pp 79-90.
4. Sieglinde, K. Fuller and Stephen, R. Peterson, 1995, Life-cycle costing Manual for the federal energy management program, National Institute of Standards and Technology (NIST).
5. Stephen, R. Peterson, 1995, BLCC The NIST "Building Life-Cycle Cost" program, Version 4.3 User's guide and Reference manual, National Institute of Standards and Technology (NIST).