

LCC 분석을 통한 공조설비 내구연한 산정

강 성 주, 김 용 기, 이 태 원*

한국건설기술연구원 화재및설비연구센터

An Estimation of the Economic Life Expectancy of the Building Service Equipment with LCC Analysis

Sung-Ju Kang, Yong-Ki Kim, Tae-Won Lee*

Fire & Engineering Services Research Dept., Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

ABSTRACT: It is difficult for a superintendent or an operator of building service systems and equipment to decide the reasonable time for management of himself due to the shortage of his specialty for repair or replacement of a part of or whole equipment. But The reliable life expectancies for various building service equipment have not been prepared yet. This study shows the difference of optimal economic life and the decrease of running cost and energy consumption according to management level of the building equipment by the LCC analysis. The numerical model for building HVAC system was composed and analyses were performed for several parameters with management.

Key words: HVAC systems(공기조화설비), LCC analysis(생애주기분석), Life expectancy (내구연한), Management effects(유지·관리 효과), Optimal economic life(최적 경제수명)

기 호 설 명

하첨자

- IC* : 초기투자비용 [원]
- RC* : 운전비용 [원]
- MC* : 유지관리비용 [원]
- EC* : 폐기 및 잔존가치비용 [원]
- e* : 물가상승률 [%]
- i* : 이자율 [%]
- EC* : 에너지요금 [원/kWh]
- EA* : 에너지사용량 [kW]
- P* : 기기의 성능 및 효율 [%]

- b* : 기기를 설치한 년도
- k* : k년 차의 시점

1. 서 론

건물의 각종 기계설비들은 일정 시간이 지나면 사용이 진행됨에 따라 노후 및 열화로 인해 장비를 교체해야 하는 시기인 내구연한에 달하게 된다. 이 내구연한에 관해서 우리나라 뿐 아니라 일본, 미국, 독일 등 각 국에서 법정 내구연수 또는 다양한 설비협회에서 설비별로 획일적인 내구연수를 제안하고 있다. 하지만 이러한 내구연수는 건물의 사용 환경, 설비별 작동방식 또는 설비 유

*Corresponding author

Tel.: +82-31-369-0502; fax: +82-31-369-0540

E-mail address: twlee@kict.re.kr

지관리 수준에 따라 많은 차이가 발생됨에도 불구하고 현재 제안된 내구연수는 모두 한 설비에 대해 일괄적으로 제시되고 있다. 이에 따라 교체시기가 지난 설비를 사용함으로써 에너지손실을 가져올 수 있고, 유지관리가 잘되어 사용가능한 장비를 제안된 내구연한으로 인해 교체함으로써 비용 낭비를 초래할 수 있다.

지금까지 공조설비를 대상으로 한 LCC(Life Cycle Cost) 분석에 관한 연구^{1), 2)}는 많이 진행되어 왔으나, 대부분의 연구에서는 에너지사용량, 즉 운전비용을 얻기 위하여 부하계산프로그램인 HASP, DOE 등을 사용하여 LCC 분석을 수행하였다.

이에 본 연구에서는 합리적인 설비 교체 및 관리방안을 결정하기 위하여 경제성분석을 통한 내구연한 선정 방안을 제안하고자 한다.

2. 현황 및 문제점

모든 건축물의 설비나 시설은 각기 다른 일정한 내구연한을 가지고 있다. 따라서 일정한 시기에 적절한 개보수를 하면 건축물 전체의 내구연한 증진과 건물을 쾌적한 상태로 기능유지 할 수 있다. 하지만 개보수시기를 놓치고 방치하면 일정한 시기 후 대규모 개보수를 하더라도 본래의 기능을 회복하기 어려울 뿐 아니라 그에 따른 에너지손실 또한 매우 크다. 이를 방지하기 위해서는 각 설비별 유지관리 지침 또는 교체시기 등의 내구연한이 현장감 있는 분석을 통한 보다 세분화되고, 정확한 제안이 필요하다. 현재 국내외 제안된 법정 내구연수와 각 협회에서 제시한 내구연수는 Table 1과 같이 건축설비를 건축구조물에 포함된 부속설비로 분류하여 설비별 특성이나 사

용 환경 또는 유지관리 현황이 반영되지 못하고 일괄적으로 제시되어있다. 실질적으로 전혀 개보수 등의 유지관리가 되지 않은 설비가 매년 정기적인 검사와 부품 교체 등의 유지관리가 이루어진 설비와 동일한 내구연수를 가질 수는 없다. 이렇듯 설비별 유지관리 상황을 반영하지 못한 내구연수에 대한 신뢰성 부족으로 인해 경제수명에 따른 최적의 교체시기를 판단하기 어렵다. 이로 인해 현장에서 기능상 설비를 교체하고자 하는 건물의 관리자와 내구연수가 남았다고 생각하는 건물 소유주간의 갈등을 빚을 수 있고, 최적 수명이 지난 설비를 사용함으로써 막대한 양의 에너지 손실을 야기할 수 있다. 이에 본 연구에서는 건물의 관리자에게 설비별 특성에 맞는 적용 가능한 내구연한을 제안하기 위해서 LCC 분석방법을 통해 유지관리 수준을 고려한 내구연수 선정 방안을 분석하고자 한다.

3. 해석방법

3.1 LCC 계산 방법

분석개시 시점으로부터 m년 후에 발생하는 각종 장치 및 시스템에 대한 초기투자비는 물가상승률(e), 이자율(i)를 적용하여 식(1)에 의해 계산할 수 있다.

$$IC = IC_b \cdot \left(\frac{1+e}{1+i} \right)^{(m-1)} \quad (1)$$

$$IC_b = c_1 + c_2 \cdot Q$$

여기서 Q는 설치되는 기기의 용량이며, c_1 및 c_2 는 각 기기의 용량에 따라 결정되는 상수이다.

Table 1 The expectancy life of the HVAC system³⁾.

	Korea	Japan			ASHRAE		VDI 2067
		legal expectancy life	Equipment Association of the hospital	Contraction Association	handbook 1980	journal 1978	
boiler	15	15	15	18.9	24	23	20
refrigerator	20	13-15	-	15	20	20	20
cooling tower	17	15	10	14.4	20	20	10-15
AHU	20	15	10	17.5	17	17	15
pump	15	15	10	-	17	20	10

분석개시 시점으로부터 k년 후에 발생하는 기기의 운전비, RC_k (원/년)를 분석개시 시점의 현가로 환산하면 식(2)와 같다.

$$RC_k = RC_{b,k} \cdot \left(\frac{1+e}{1+i}\right)^{(k-1)} \quad (2)$$

여기에 시간의 경과에 따른 기기의 성능저하 및 그에 따른 운전비 상승률 등을 반영하기 위해 각 기기의 시간에 따른 성능 상관식을 운전비용에 대입을 하여 성능저하 비율을 이용, k년차의 운전비용을 예상할 수 있고 식(3)과 같이 나타낼 수 있다. EC_{Bpr} 는 운전시 에너지사용 기본요금, EC_{Upr} 는 에너지 단가, EA_{pr} 는 에너지 사용량을 나타낸다. 또한, 분석개시 시점으로부터 k년 후 당해 연도에 발생한 장치 및 시스템의 유지관리비에는 정기 점검비용과 비정기 점검비용 및 수리비용이 포함되며, 특히 수리비용의 경우에는 시간의 경과에 따른 비용의 변화를 고려하는 것이 바람직하다. 분석기간 동안 기기의 폐기시 발생하는 폐기 및 잔존가치비 EC (원)를 분석개시 시점의 현가로 환산하면 식(5)와 같다. 각 비용항목들로부터 기기의 생애주기비용, LCC(원)을 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$RC_{b,k} = EC_{Bpr} + \left\{ EC_{Upr} \times EA_{pr} \times \left(\frac{P_k}{P_{pr}}\right) \right\} \quad (3)$$

$$MC_k = MC_{b,k} \cdot \left(\frac{1+e}{1+i}\right)^{(k-1)} \quad (4)$$

$$MC_{b,k} = MCI_{r,b,k} + MCI_{ir,b,k} + (d_1 + d_2 \cdot MCR_{b,k})$$

$$EC = EC_b \cdot \left(\frac{1+e}{1+i}\right)^{(k-1)} \quad (5)$$

$$LCC = IC + \sum_{k=1}^n \{RC_k + MC_k\} + EC \quad (6)$$

LCC 분석을 위한 입력자료로는 각종 공기조화 설비별 계획 및 설계, 시공비용 등을 포함하는 초기비용과, 각 설비의 성능에 따라 소요되는 에너지(전기, 연료 등)의 사용량 등을 나타내는 운전비용, 연간 은행금리 및 인플레이션을 등에 관한

금융정보, 설비의 수리 및 교체, 진단, 해체 및 폐기비용을 포함한 유지관리비용, 그리고 각종 자원 및 에너지의 요금체계를 조사, 준비하여 사용하였다.

3.2 해석모델 및 기본가정

각 설비별 유지관리 수준에 따른 내구연한 설정방안을 제시하기 위하여 다음과 같이 기본가정을 하였다. 터보냉동기는 냉동능력이 600 RT 1대, 소비전력은 382 kW이며, 초기 COP는 5.5라고 가정하였다. 그리고 설치비를 포함한 초기투자비용은 284,950천원으로 가정하였으며, 전력요금을 계산하기 위하여 봄(4~6월) 최대부하 3시간, 중부하 2시간, 여름(7~8월) 최대부하 5시간, 중부하 2시간, 가을(9월)에는 최대부하 4시간, 중부하 2시간씩 매달 25일 동안 운전한다고 가정하였다. 유지관리 수준은 유지관리를 전혀 하지 않은 경우, 1년마다 정기적으로 유지관리를 한 경우, 6년마다 전반적인 개보수를 하는 오버홀을 시행한 경우로 나누어 각각의 유지관리 상태에 따른 내구연한을 분석하였다.

증기보일러는 3톤, 2톤 각 1대이며, 초기설치시의 정격효율은 95 %라고 가정하였다. 그리고 설치비를 포함한 초기투자비용은 총 92,920천원으로 가정하였으며, 연간 7개월(10월~4월)동안 월평균 4,067.85 m³의 도시가스를 사용한다고 가정하였다. 보일러 역시 전혀 유지관리를 하지 않고 사용하는 경우, 1년에 한번 세관 및 적정 시기에 맞춰 부품교체의 3년 단위 유지관리를 하는 경우, 매년 사용시설 안전점검 및 성능검사와 함께 세관 및 부품교체 등의 1년 단위의 유지관리를 하는 경우로 나누어 분석하였다.

인라인식 냉온수 순환펌프는 초기 설치 시 정격출력은 2.2 kW이고, 초기투자비용은 1,600천원으로 가정하였다. 그리고 매월 25일, 매일 6시간 동안 운전하며 전력요금은 일반용전력(을), 1,000 kW이상 고압A의 요금체계를 이용하여 운전비용을 산출하였다. 냉온수 순환펌프는 불규칙적인 여러 가지 원인으로 효율감소를 보이지만 가장 교체 빈도가 높은 부품은 씰링(sealing)으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서 펌프의 주기적인 수리는 씰링 부품 교체이며, 교체비용은 300천원/회이고, 교체시점의 효율에서 교체 후에는 20 %의 효

올상승을 보인다고 가정하였다. 또한, 주기적인 수리는 5년 마다 1회의 유지관리를 하고, 2회 수리 후에 다음 수리 시점에서는 효율 저하 문제로 인해 펌프를 교체한다고 가정하였다.

모든 분석에 있어, 이자율은 7.4 %, 물가상승률은 4.2 %, 전기요금 상승률은 1.4 % 및 도시가스 요금 상승률은 1.0 %로 가정하였다. 에너지요금과 금융정보는 모든 설비에 동일하게 적용하였고, 모든 설비는 내구연수까지 효율이 선형적으로 감소한다고 가정하였다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1 기기별 LCC 분석

4.1.1 냉동기

Lee와 Choi는 서울 광진구에 위치한 호텔을 대상으로 한 리모델링 설계사례를 통해 설치 후 15년 시점에 터보냉동기가 설계치 대비 72.1%로 효율이 저하하였다고 진단하였다.⁽⁴⁾ 따라서 본 연구에서는 시간이 경과함에 따른 냉동기의 COP가 초기 5.5에서 20년 시점에 효율이 62.8 %가 되기까지 $P = -0.1023t + 5.5$ 식과 같이 선형적으로 감소한다고 가정하였고, LCC 분석을 통해 터보냉동기 내구연한 선정에 유지관리의 영향을 알아보기 위하여 Table 2와 같이 유지관리주기를 구분하여 분석하였다. Fig. 1은 터보냉동기의 유지관리 수준에 따라 최적경제수명을 분석하기 위해 LCC 변화를 도시한 것으로, 유지관리를 전혀 하지 않은 경우(CASE A) 17년에 LCC가 최소가 되었다.

Table 2 Variations of COP of refrigerator with time for various case considered.

	Efficient after 20 year(%)	COP after 20 year(%)	CASE
CASE A	62.8	3.454	No Maintenance (Using for useful life)
CASE B	62.8	3.454	No Maintenance (Using for Optimum Economic Life-Span)
CASE C	90.7	4.988	Annual Maintenance
CASE D	80.4	4.424	Overhaul every 6 years

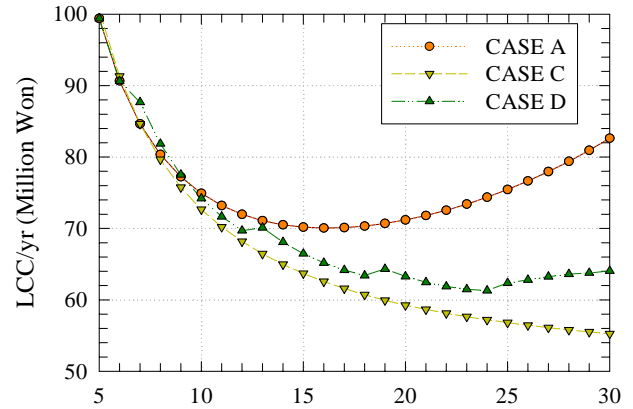


Fig. 1 Comparisons of annual LCC of refrigerator for maintenance cases considered.

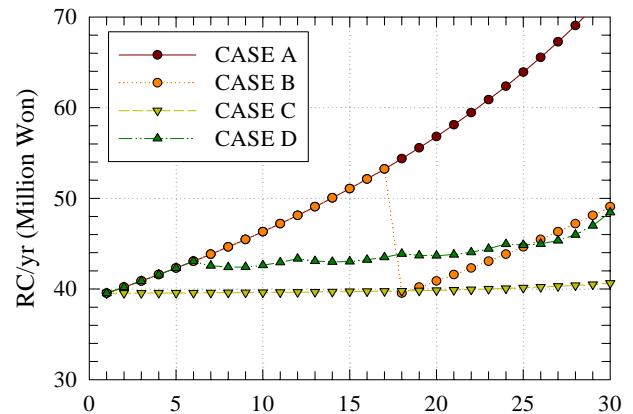


Fig. 2 Comparisons of annual RC of refrigerator for maintenance cases considered.

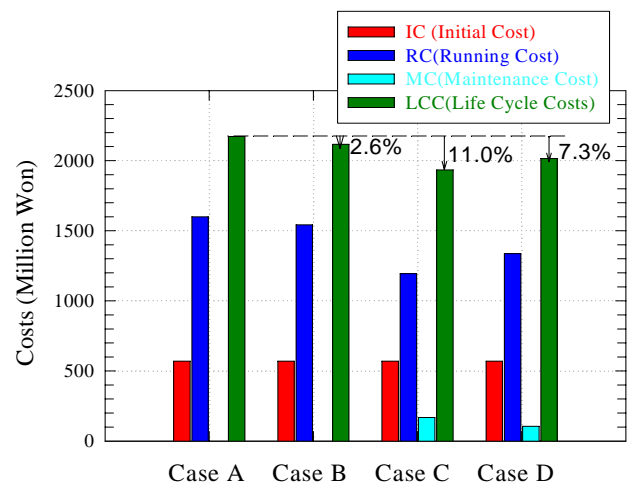


Fig. 3 Comparisons of cost indices for various maintenance methods for refrigerator.

이는 현재 제시되고 있는 20년을 사용할 경우, 최적 경제수명을 지나 장비 효율저하로 인한 운전비 증가 및 에너지 낭비를 초래할 수 있음을 알 수 있다. Fig 2는 각 유지관리 사례에 따른 운전비의 변화를 나타낸 것이다. 유지관리를 하지 않는 경우 운전비가 많이 증가하였고, 매년 유지관리를 하는(CASE C) 경우 유지관리비가 냉동기 성능저하에 따라 소폭 상승하였으나 거의 변화가 없다. 또한, Fig 3에 보인 바와 같이 주기적인 유지관리(CASE C)를 하였을 때, 유지관리를 하지 않은 경우(CASE A)보다 11 %의 생애주기비용이 절약되었다. Fig 1에서 CASE B는 CASE A와 같이 유지관리를 하지 않아 성능저하가 동일하므로 고려하지 않았다.

4.1.2 보일러

시간경과에 따라 유지관리를 하지 않을 경우 효율이 20년 시점에 60 %가 되기까지 $P = -0.1023t+5.5$ 식과 같이 선형적으로 감소한다고 가정하였고, LCC 분석을 통해 각각의 유지관리 사례별로 보일러의 최적경제수명을 파악하였다.

앞에서 언급한바와 같이 유지관리 수준에 따라 4가지 CASE로 나누어 분석하였다. 각 CASE별 가정 시 보일러 업체의 현장관리자에게 자문을 얻어 3년 단위의 유지관리를 하는 CASE C의 경우 관리 시 기존 효율의 약 10 % 효율이 상승되고, 매년 정기점검 하는 CASE D 경우도 기존 효율의 10 %가 상승된다고 가정하였다. 하지만 이러한 사항은 보일러의 용량 및 용도에 따라 매우 다르므로 본 연구에서는 선정 기기를 기준으로 가정을 하였고, 보일러 내구연한 선정 시 이 방법을 활용할 때에는 보다 세분화된 기기별 현장 data를 분석하여 활용해야 한다. Fig 4와 같이 유지관리가 되지 않을 경우 보일러의 경제수명이 13년임을 도출하였고, 매년마다 유지관리를 하는 경우 거의 두 배에 가까운 28년이 경제수명으로 분석되었다. 또한 Fig 5는 각각의 사례에 따른 운전비, 유지관리비, LCC 등의 비용을 도시한 것으로 CASE B의 경우 같은 분석기간 내에 타 사례에 비해 1번의 설비교체가 더 포함되어 LCC가 높아졌고, 매년 유지관리를 하는 CASE C의 경우 관리가 되지 않는 CASE A와 비교할 때 운전비의 18.8 %가 절감으로 인해 LCC 또한 10.6 % 됨을 알 수 있다.

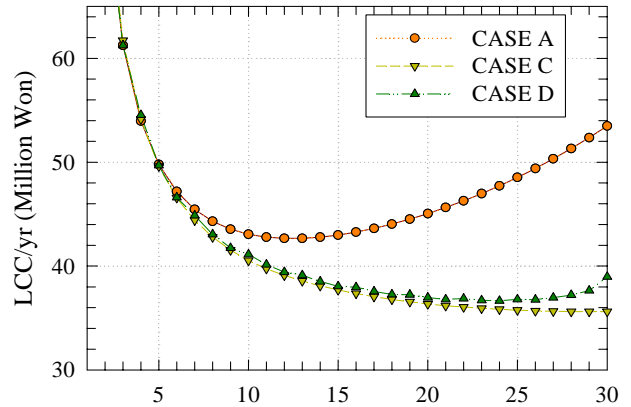


Fig. 4 Comparisons of annual LCC of boiler for maintenance cases considered.

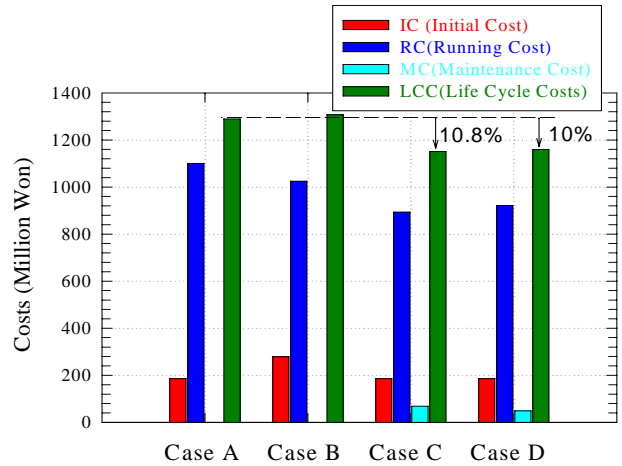


Fig. 5 Comparisons of cost indices for various maintenance methods for boiler.

4.1.3 펌프

유지관리가 되지 않을 경우 펌프의 경제수명이 9년임을 도출하였고, 5년마다 부품을 교체하는 유지관리를 하는 경우 기존에 제안된 15년의 경제수명을 갖는 것으로 분석되었다.

4.2 설비의 유지관리 수준에 따른 내구연한 분석

Fig. 6은 각 설비별 유지관리 경우에 따른 내구연한의 변화를 나타낸 것이다. 냉동기를 살펴보면 유지관리를 하지 않고, 경제수명만큼 사용한 CASE B와 비교해 볼 때 매년 유지관리를 한 CASE C는 13년의 수명이 증가하였고 보일러의 경우도 CASE B와 비교해 볼 때 CASE C는 15

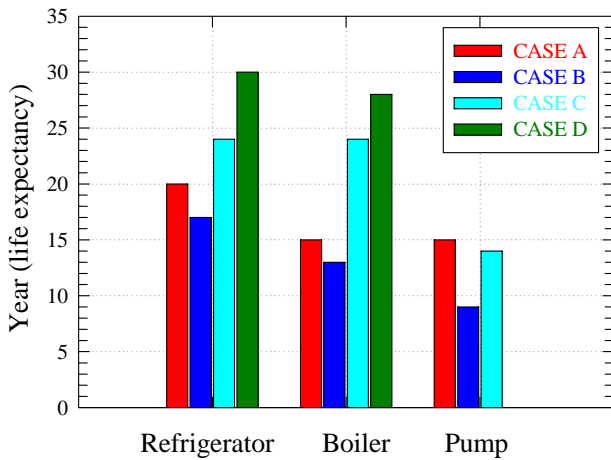


Fig. 6 The life expectancy of the HVAC system for maintenance cases considered.

Table 3 The life expectancy for L-E, LCC of the HVAC system.

		CASE B	CASE C	CASE D
refrigerator	L-E*	20	20	20
	LCC	17	24	30
boiler	L-E	15	15	15
	LCC	13	23	28
pump	L-E	15	15	
	LCC	9	15	

* LE : Existing Life Expectancy

년의 수명이 증가하였다. 또한 Table 3을 보면 기존의 제시된 내구연환과 LCC 분석을 통해 도출한 최적경제수명의 차이가 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 공기조화설비의 기존에 제시된 내구연환과 유지관리 수준에 따른 최적경제수명 비교분석을 위해 각종 기기 및 시스템의 성능향상, 경제성 및 에너지 절감에 미치는 영향을 생애주기비용 분석을 통하여 규명함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 공기조화설비의 유지관리 수행여부 또는 그 수준이 경제성의 관점, 특히 유지관리비용 추가로 인한 운전비 및 에너지 절감 등이 최적경제수명에 미치는 영향을 분석하기 위한 LCC 기반의 유

지·관리 효과 분석용 프로그램을 작성하였고, 각종 파라미터에 따른 수치실험을 수행하였다.

(2) 공기조화설비의 유지관리 수준을 네 가지로 설정하여 분석한 결과, 유지관리를 하지 않은 경우와 비교해 볼 때, 주기적인 유지관리를 함으로써 냉동기 11 %, 보일러 10.8 %의 생애주기비용 절감할 수 있는 것으로 계산되었다.

(3) 각 유지관리 수준에 따라 설비의 최적경제수명은 냉동기의 경우 유지관리를 하지 않고 경제수명만큼 사용한 CASE B와 비교해 볼 때, 매년 유지관리를 한 CASE C는 13년의 수명이 연장되었으며, 보일러의 경우 매년 유지관리를 수행한 CASE C는 CASE B에 비하여 15년의 수명이 증가하였다. 따라서 건물의 내용연수동안 설비의 유지관리비용을 감소시키기 위해서는 개별 기기의 유지관리 수준을 고려하여 각 설비의 내구연환을 산정해야 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행하는 2006년도 에너지·자원기술개발사업(과제번호: 2006-E-BD11-P-02)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Park, Y., 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, pp. 981-988.
2. Lee, H. S., 2002, Assessment for economics of HVAC system by life-cycle cost technique, Proceedings of the SAREK, pp. 283-288.
3. Kim, N. K., 2000, An Integrated Method of Renovation for Building Services in Office Buildings, Ph.D. thesis, University of Chung-Ang, pp. 29.
4. Lee, S. O., Choi, S. H., 2001, The case of diagnosis of facilities for remodelling of building, magazine of SAREK, Vol.30, No.9, pp. 34-44.