

# LCC 분석을 통한 공기조화 열원설비의 최적 관리방안

김 용 기, 우 남 섭, 강 성 주, 이 태 원<sup>†</sup>  
한국건설기술연구원 화재 및 설비연구센터

## Optimum Management Plan of the HVAC Equipments with LCC Analysis

Yong-Ki Kim, Nam-Sub Woo, Sung-Ju Kang, Tae-Won Lee<sup>†</sup>  
Fire and Engineering Services Research Dept., Korea Institute of Construction Technology,  
Gyeonggi 411-712, Korea

(Received May 6, 2008; revision received July 21, 2008)

**ABSTRACT:** The building HVAC systems have very different qualities of performance and durability with the superintendent's ability for management and maintenance. The poor management of these systems finally lead to the shortening of the life expectancy and result in the increase of operating costs and energy consumptions due to low efficiencies. This study presents an example of appropriate use of the LCC(Life Cycle Cost) analysis in a process of maintaining and repairing old HVAC equipments, by demonstrating the difference of optimal economic life, decrease of running cost, and energy consumption according to the management level of the HVAC equipments. But there are no reliable life expectancy and performance history data at present for optimal management of various building service equipments. Therefore, it is necessary to construct long-term database on operation results of them for more accurate and optimized LCC analysis.

**Key words:** HVAC systems(공기조화설비), LCC analysis(생애비용분석), Life expectancy(내구년수), Management effects(유지관리효과), Optimal economic life(최적경제수명)

### 기 호 설 명

*EA* : 에너지사용량 [kW]  
*EC* : 에너지요금 [원]  
*RC* : 운전비용 [원]  
*P* : 법정 내구년수에서의 성능  
*e* : 물가상승률 [%]  
*g* : 열화계수  
*i* : 할인율 [%]  
*a* : 법정 내구년수 [년]

### 하첨자

*k* : 경과 년수  
*b* : 보일러  
*c* : 냉동기

### 1. 서 론

건물의 각종 설비들은 사용되면서 시간이 경과됨에 따라 노후 및 열화로 인해 장비를 교체해야 하는 시기인 내구년수에 달하게 된다. 이 내구년수와 관련하여 우리나라 뿐 아니라 일본, 미국, 독일 등 각국에서 법정 내구년수 또는 각 설비관련 협회에서 기기별로 확실적인 내구년수를 제시

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-31-369-0502; fax: +82-31-369-0555  
E-mail address: twlee@kict.re.kr

하고 있다. 그러나 이러한 내구년수는 건물의 사용 환경이나 설비별 작동방식 또는 유지관리 수준 등에 따라 많은 차이가 있는 것이 일반적이며, 현재 제시된 내구년수는 모두 각 설비에 대해 일괄적으로 제시되고 있는 실정이다.

이에 따라 교체시기가 이미 지난 설비를 계속 사용함으로써 성능저하에 따른 에너지손실이 수반될 수 있으며, 또는 유지관리가 양호하여 사용 가능한 장비를 제한된 내구년수로 인해 교체함으로써 비용의 낭비가 초래될 수도 있다. 또한, 설비의 내구년수와 건물의 수명이 다르기 때문에 건물의 폐기시점에서 설비의 잔존가치가 남아있게 되는 문제점이 발생할 수 있기 때문에 설계 및 유지관리 단계에서 충분한 분석을 통하여 건물과 설비의 내구년수의 상관성을 고려하는 것도 중요한 문제이다.<sup>(1)</sup>

아울러 설비의 운전, 유지관리 및 고장 진단 등의 업무가 설비 관리자 개인에게 부여되고, 관리자의 능력과 노력에 따라 제 각각의 설비 성능 및 내구년수를 갖게 되었다. 따라서 많은 연구에도 불구하고 건물 열원설비의 최적 교체 및 보수 시기를 판단할 수 있는 방법이 미흡한 실정이다.

지금까지 공조설비를 대상으로 한 LCC(Life Cycle Cost) 분석에 관한 많은 연구<sup>(2,3)</sup>가 진행되어 왔으나, 이들 대부분의 연구에서는 LCC 계산에 요구되는 에너지사용량, 즉 운전비용을 얻기 위해 부하계산 프로그램인 HASP, DOE 등을 사용하였다. 또한 유지관리 비용을 설치비에 대하여 일정한 비율로 가정하였고, 시간의 경과에 따른 대상기기의 성능저하로 인한 운전비의 증가는 전혀 고려하지 않았다.

본 연구에서는 합리적인 설비의 교체 및 관리 방안을 결정하기 위하여 LCC 분석을 통한 내구년수 산정방법을 제시하고, 기기의 성능저하로 인

한 연간 운전비 증가가 LCC에 미치는 영향 등을 고려하여 공기조화설비의 최적 관리방안을 제안하고자 한다.

## 2. 현황 및 문제점

건축설비들은 적절한 시기에 개보수를 수행하던 건축물 전체의 존속년수를 증가시키는 것은 물론 건물의 상태를 쾌적하게 유지하는 것이 가능하지만, 시기를 놓치고 난 후에는 에너지의 낭비 등 손실이 발생할 뿐만 아니라 대규모 개보수를 한다 하더라도 본래의 기능을 회복하기 어려운 경우도 있다. 이를 방지하기 위해서는 각 설비별 유지관리지침이나 교체시기를 예측할 수 있게 해주는 내구년수 등의 분석자료가 보다 세분화되고 정확하게 제공될 필요가 있다.

설비의 열화가 진행되어 사용이 불가능한 상태에 이를 때까지의 시간을 일반적으로 내구년수라 하고 이에 대해 연평균 LCC가 최소가 되는 시기의 사용년수를 최적경제 수명이라 하는데, 설비의 경제성을 평가하는 유력한 지표로 설비가 최적경제수명에 도달했을 때 설비를 교체하는 것이 경제적 측면에서 바람직하다.

한편 건축물은 존속년수가 40~50년 이상인데 반하여 건축설비는 10~20년 정도의 짧은 내구년수를 가지므로 건축물의 생애기간 동안 건축설비는 수차례의 개수에 해당하는 리모델링이 요구된다. 이와 같은 경제적이고 합리적인 유지관리 방안을 마련하기 위해서는 경제성 분석과 같은 타당성 검토를 통한 의사결정과정의 선행될 필요가 있으며, 이와 관련된 각종 평가요소 중에서 내구년수의 정확성을 제고하는 것은 중요한 과제라 할 수 있다.<sup>(4)</sup>

Table 1 The life expectancy of the HVAC system<sup>(5)</sup>

	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

현재 국내의에서 제안된 각종 설비의 법정 내구년수와 각 협회에서 제시한 내구년수는 Table 1에 보인 바와 같다. 표에 보이듯이 대부분의 경우에 있어 건축설비를 건축물에 포함된 부속설비로 분류하고 있고 설비별 특성이나 사용 환경 또는 유지관리 현황이 반영되지 못하고 일괄적으로 제시되고 있다.

즉 개보수 등의 유지관리가 전혀 이루어지지 않은 설비가 매년 정기적인 검사와 부품 교체 등의 유지관리가 이루어진 설비와 동일한 내구년수를 가질 수는 없다. 이렇듯 설비별 유지관리 상황을 반영하지 못한 내구년수에 대한 신뢰성 부족으로 인해 최적경제수명을 고려한 최적의 교체 시기를 판단하기는 그리 쉽지 않은 실정이다.

이로 인해 일선 현장에서는 기능상 설비를 교체하고자 하는 건물의 관리자와 내구년수가 남았다고 생각하는 건물 소유주 사이의 갈등을 빚을 수 있고, 이미 수명이 지난 설비를 계속 사용함으로써 에너지의 낭비 등 손실을 야기할 수 있다.

또 다른 문제점으로는 건축물 관리자들의 자질 및 인식부족으로 각종 설비 운영기록의 소실, 신뢰도가 낮은 데이터 작성으로 인한 분석자료의 부재 등을 들 수 있다.

### 3. 해석방법

#### 3.1 LCC 해석모델

일반적으로 공기조화설비는 업무용 건물 등에 적용되며 보일러, 냉동기 등의 열원설비와 공기조화기, 송풍기, 펌프 등의 반송설비로 구분된다.

해석대상 열원설비는 대구 모 은행 본사 건물의 열원설비에 대한 LCC 분석 논문을 참고로 하여 본사 건물에 설치된 열원설비와 동일하게 구성하였고 용량만 축소시켰다. 이에 따라 연면적 20,000 m<sup>2</sup>의 업무용 빌딩에 대해서 300 RT의 터보냉동기 2대와 시간당 4톤 및 3톤 용량의 증기보일러가 각 1대씩 설치되어 있는 것으로 하였다.

냉동기에 대해서는 유지관리를 전혀 하지 않은 경우(Case Ac), 1년 마다 정기적으로 유지관리를 하는 경우(Case Bc), 6년 마다 전반적인 개보수를 하는 오버홀을 시행하는 경우(Case Cc) 등 3가지의 경우를 고려하였다.

보일러에 대해서는 전혀 유지관리를 하지 않고

사용하는 경우(Case Ab), 매년 사용시설 안전점검 및 성능검사와 함께 1년 단위로 세관 및 부품 교체 등의 유지관리를 하는 경우(Case Bb), 1년에 한번 세관 및 적정 시기에 맞춰 3년 단위로 부품교체를 하는 경우(Case Cb)로 나누어 분석하였다.

연간 운전비는 Hong and Jung<sup>(6)</sup>이 1998년 부터 2003년 까지의 국내 모 은행 본사 건물의 운영일지를 분석한 냉난방 운전 데이터를 사용하여 산출하였다. 또 건물의 존속년수를 고려하여 분석기간은 30년으로 선정하였고, 그 이외의 LCC 분석에 필요한 조건과 변수들은 선행연구<sup>(7)</sup>에 자세히 설명되어 있다.

해석을 위해 Visual Fortran 6.0을 사용하여 LCC 분석 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램의 검증을 위해 미국 NIST에서 개발한 BLCC 프로그램을 이용하여 동일한 조건에 대한 LCC 분석 결과를 비교한 결과, 총 LCC 비용 등 모든 항목에 대해 3% 이내의 오차를 보임으로써 개발한 분석 프로그램의 신뢰성을 확인하였다.

#### 3.2 기기 성능의 경년(經年)변화 예측

설비의 성능 열화란 사용연수가 증가함에 따라 설비의 성능이 저하하는 현상으로, 열화가 진행되면서 부하에 따른 능력을 유지하기 위해 현재의 능력 이상을 요구받게 되면서 운전비가 증가하는 것이 일반적이다.

공조설비의 성능열화를 고려하여 운전비를 계산하는 하나의 방법으로 건물에 열을 공급하기 위하여 설비가 소비하는 에너지만을 계산하는 설비의 열화(劣化)계수를 이용하는 방법이 있다.<sup>(8)</sup>

$$RC_k = EC_k \times EA_k \times (1 + k \times g) \quad (3.1)$$

여기서  $RC_k$ 는 사용연수  $k$ 년째의 운전비(원),  $EC_k$ 와  $EA_k$ 는  $k$ 년째의 에너지 단가(원)와 에너지 사용량(kWh 또는 Nm<sup>3</sup>)을 각각 의미하며,  $g$ 는 설비의 열화계수이다. 하지만 각 설비의 열화계수에 대한 자료가 거의 없기 때문에 이 방법으로 운전비를 계산하는 것은 불가능하였다.

공조설비의 성능열화에 따른 운전비를 계산하는 또 다른 방법은 단기적으로는 성능열화가 가속적으로 진행되는 것으로 보일 수 있지만, 장기

적으로 설비 전반의 성능 열화가 선형적으로 변화한다고 가정하는 것이다. 따라서 운전비는 초기 성능을 100%로 했을 때 법정 내구년수 도달시의 성능에 의해 다음 식으로 나타낼 수 있다.<sup>(8)</sup>

$$RC_k = \left( 1 + \frac{100 - P_a}{\alpha} \times k \right) \times RC_1 \quad (3.2)$$

여기서  $RC_k$ 는 사용년수  $k$ 년째의 운전비(원),  $RC_1$ 은 사용년수 1년째의 운전비(원),  $P_a$ 는 법정 내구년수에서의 성능(COP 또는 %),  $\alpha$ 는 법정 내구년수를 의미한다. 따라서 사용년수 1년째의 운전비로부터 매년의 운전비를 산출할 수 있다. 본 연구에서는 국내에서 일부 보고되고 있는 공조설비의 운전성능 자료와 식(3.2)를 이용하여 이론적으로 연간 운전비를 계산하였다.

#### 4. 해석결과 및 고찰

##### 4.1 기기별 LCC 분석 결과

###### 4.1.1 냉동기

Lee and Choi<sup>(9)</sup>는 서울 광진구에 위치한 모 호텔을 대상으로 한 리모델링 설계사례를 통해 설치 후 15년 시점에 터보냉동기의 성능이 설계치 대비 72.1%로 저하하였다고 진단하였다. 이에 본 연구에서는 시간 경과에 따라 터보냉동기의 COP가 초기 5.5에서 15년 시점의 성능이 70%까지 저하한다고 가정하였다.

터보냉동기의 유지관리 수준에 따른 연간 LCC 변화를 Fig. 1에 도시하였다. 유지관리를 전혀 하지 않은 경우(Case Ac) 17년째에 LCC가 최소가 되었다. 이는 현재 제시되고 있는 내구년수인 20년을 사용할 경우, 최적 경제수명을 지나 설비의 성능저하로 인한 운전비 증가 및 에너지 낭비를 초래하면서 연간 LCC가 다시 증가하게 된다는 것을 의미한다.

반면에 지속적이거나 일정 간격으로 유지관리를 수행한 경우는(Case Bc, Case Cc) 최적경제수명이 약 23년 이상으로 증가하고, 특히 매년 유지관리를 수행한 Case Bc의 경우는 30년 이상으로 증가할 수 있는 것으로 계산되었다. 하지만 냉동기의 마모, 부식과 같은 성능 열화의 진행과 신기술 개발에 따른 냉동기 성능의 지속적 향상

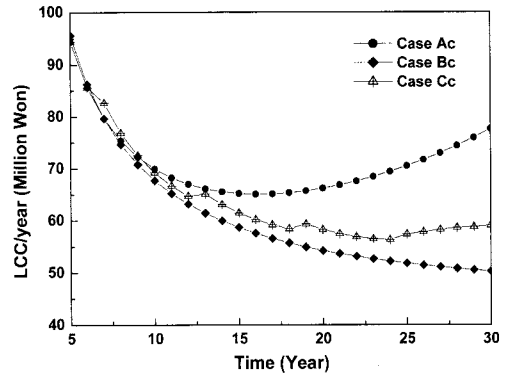


Fig. 1 Annual LCC's of turbo chiller for various maintenance methods.

및 고가인 냉동기의 초기 설치비 등을 고려하면 정기적 유지관리를 통해 최소 LCC를 유지하면서 사용년수 20~25년 사이에서 냉동기의 교체시기를 결정하는 것이 경제적인 것으로 판단된다.

터보냉동기의 유지관리 수준에 따른 연간 운전비의 변화를 Fig. 2에 도시하였다. 유지관리를 수행하지 않는 경우 시간 경과에 따른 설비의 성능저하에 따라 운전비가 지속적으로 증가하고, 매년 유지관리를 하는 Case Bc의 경우는 선형적으로 소폭 상승하는 것을 볼 수 있다. 반면 6년마다 정기적으로 오버홀을 수행한 Case Cc의 경우 냉동기의 성능저하에 따라 운전비가 불규칙하지만 일정하게 증가하는 것을 볼 수 있는데, 실제 현장의 냉동기도 이와 유사한 운전비 변화 패턴을 보일 것으로 사료된다.

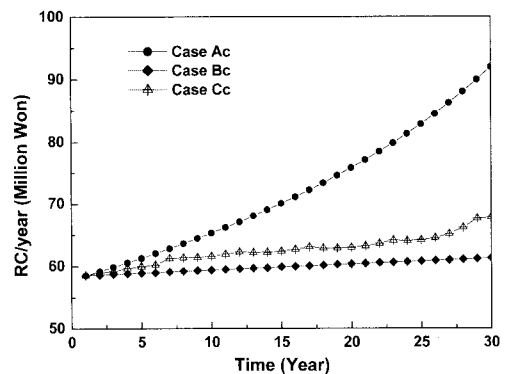


Fig. 2 Annual running costs of turbo chiller for various maintenance methods.

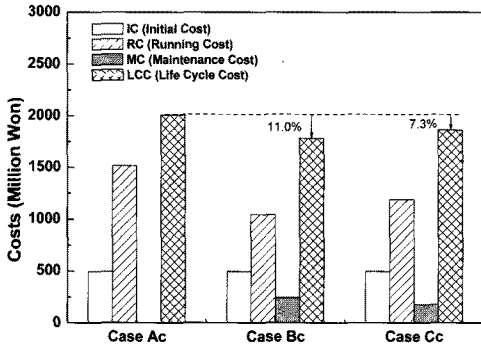


Fig. 3 Cost indices for various maintenance methods for turbo chiller.

유지관리 수준에 따른 분석기간 전체의 LCC 비용항목들의 변화를 Fig. 3에 도시하였다. 총 LCC 비용 중 운전비가 가장 큰 부분을 차지하고 있고, 주기적인 유지관리를 수행하면 성능저하에 의한 운전비 증가의 폭이 감소하면서 총 LCC가 감소하게 된다. 주기적인 유지관리를 수행하는(Case Bc와 Case Cc) 경우 유지관리비를 하지 않는 경우(Case Ac)보다 유지관리비가 5.6~9.4% 정도 증가하지만 연간 운전비가 감소하면서 총 LCC는 7.3~11.0% 정도까지 절감될 수 있을 것으로 예측되었다.

또한 유지관리를 하지 않은 Case Ac에 대해서 정기적 유지관리로 인한 운전비 절감에 따른 초기 6년과 12년 동안의 투자비 회수율은 Case Bc의 경우 35.7%에서 74.1%로 증가하였고, Case Cc의 경우는 16.7%에서 41.1%까지 증가하는 것으로 나타났는데 투자비 회수율은 설비의 사용년수가 증가할수록 더 큰 폭으로 증가한다.

여기서, 투자비 회수율은 초기투자비를 제외하고 설비 유지관리를 수행하지 않은 Case Ac에 대하여 정기적으로 유지관리를 수행한 Case Bc와 Case Cc에 투입된 유지관리비가 Fig. 2에 보이는 바와 같은 운전비 절감에 의해 회수되는 비율로 정의하였다.

4.1.2 보일러

앞 절에서의 터보냉동기의 LCC 분석방법과 유사하게 증기보일러에 대해서도 유지관리 수준에 따른 LCC 분석을 수행하였다. 보일러는 유지관리를 하지 않는 경우(Case Ab) 사용 후 20년 시점에서의 성능이 60%가 된다고 가정하였다. 또한

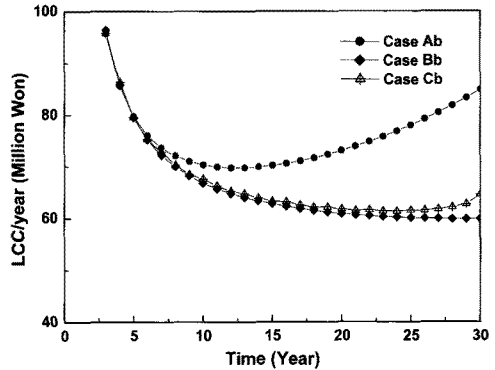


Fig. 4 Annual LCC's of boiler for various maintenance methods.

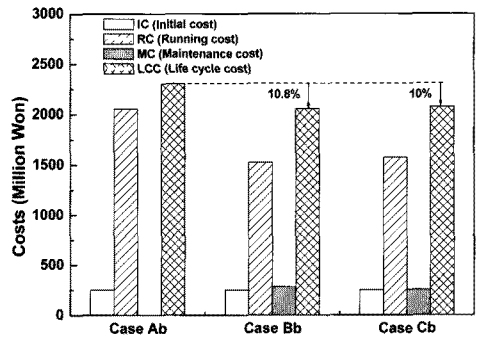


Fig. 5 Cost indices for various maintenance methods for boiler.

보일러 전문업체에 문의한 결과 매년 정기점검할 경우(Case Bb) 유지관리를 하지 않은 경우보다 설비의 성능이 약 12% 상승하고, 3년 단위의 유지관리를 하는 경우(Case Cb)도 성능이 10% 정도 상승하는 것으로 조사되었다.

하지만 이러한 가정들은 기기의 용량 및 용도에 따라 크게 다를 수 있으므로 본 연구에서는 선정 기기를 기준으로 가정을 하였고, 보다 정확한 분석을 위해서는 더욱 세분화된 기기별 현장 자료를 분석하여 활용하여야 할 것이다.

보일러의 성능저하에 따른 운전비 상승을 고려하여 LCC 분석을 수행하였고, 유지관리 수준에 따른 LCC 변화를 Fig. 4에 도시하였다. 그림에 보인 바와 같이 유지관리를 하지 않은 경우 보일러의 최적경제수명은 13년으로 산출되었고, 매년 유지관리를 하는 경우 최적경제수명이 유지관리를 수행하지 않는 경우에 비하여 두 배에 가까운

28년까지 연장되는 것으로 분석되었다.

한편 보일러의 유지관리 수준에 따른 분석기간 동안의 LCC 비용항목들의 변화를 Fig. 5에 도시하였다. 매년 유지관리를 하는 Case Bb의 경우 관리를 전혀 하지 않는 Case Ab와 비교할 때 LCC 10.8%가 절감되고, Case Cb의 경우도 LCC 10.0%가 절감될 수 있는 것으로 분석되었다.

#### 4.2 최적경제수명 및 민감도 분석

Fig. 6은 각 설비별 유지관리 수준에 따른 최적경제수명의 변화를 도시한 것으로, 냉동기의 경우 유지관리를 하지 않고 내구년수 만큼 사용한 Case Ac와 비교할 때 매년 유지관리를 한 Case Bc는 30년까지 최적경제수명이 증가되고, 보일러의 경우에도 13년으로 분석된 Case Ab와 비교해 볼 때 Case Bb는 최적경제수명이 28년까지 증가할 수 있는 것으로 예측되었다.

공조설비는 유지관리 수행여부에 따라 설비의 운전성능이 크게 변하고 이에 따라 운전비를 포함한 LCC가 변화하므로, LCC 분석을 통한 설비의 최적경제수명은 설비의 최적 유지관리에 유용한 정보를 제공할 수 있다.

하지만 현재로서는 장기간에 걸친 공조설비의 운전성능 데이터가 거의 축적되어 있지 않기 때문에 분석을 위한 설비의 운전성능에 대한 많은 부분을 가정할 수밖에 없었다. 향후 분석결과와 신뢰성 향상 및 공조설비의 최적 유지관리를 위해서는 각 열원기기에 대한 정확하고 체계적인 운전성능 자료의 축적이 필수적이다.

내구년수와 초기투자비는 비교적 정확한 예측이 가능하므로 민감도 분석을 수행하지 않아도 무방하지만 할인율, 물가변동율, 에너지비용 변화에 대하여는 분석결과와 신뢰성 확보를 위해서

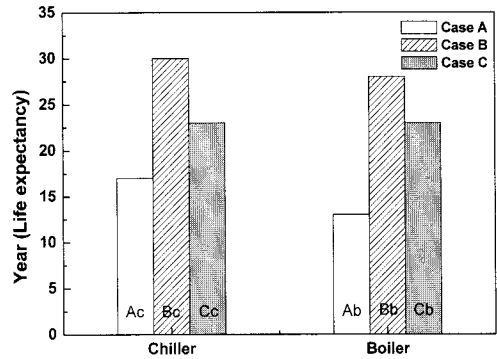


Fig. 6 Life expectancy of the HVAC system for various maintenance methods.

민감도 분석을 수행할 필요가 있다.

본 연구에서는 유지관리를 정기적으로 수행하는 Case B와 Case C에 대해서 LCC 변화에 크게 영향을 미치는 비용변수 값의 변화에 따라 경제성 분석의 결과가 영향을 받는지에 대해 검토하였다. 민감도 분석의 범위는 Table 2에 보인바와 같이 통계자료와 기존 논문들을 참고하여 설정하였다.

종합적으로 각 열원기기는 유지관리 방법에 따라서는 비용변수 변화에 따른 민감도에 있어 큰 차이를 보이지는 않았으나, 할인율 변화의 영향은 크게 나타났다. 또한 비용변수에 따른 LCC 변화가 보일러에서 더 크게 나타났는데, 이는 보일러가 담당하는 난방부하가 냉동기의 냉방부하보다 더 크기 때문인 것으로 판단된다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 설비의 최적 유지관리를 위한 의사결정에 이용할 수 있는 도구를 제공하기 위

Table 2 Sensitivity analysis of total LCC for each cases

Classification	Change(%)	Total LCC escalation rate(%)			
		Case Bc	Case Cc	Case Bb	Case Cb
Energy cost	+10	7.9	7.6	9.4	9.6
	+20	13.8	14.1	16.7	16.9
Discount rate	8 → 5	20.5	21.6	25.4	26.3
	8 → 10	-13.9	-14.4	-15.9	-16.4
Price escalation rate	3 → 5	11.1	11.7	14.0	14.7
	3 → 2	-9.3	-9.6	-10.5	-10.7

하여 LCC 분석방법을 이용한 해석이론을 개발하였고, 설비의 유지관리 수준에 따른 최적경제수명의 비교분석을 위해 각종 변수에 따른 경제성 분석을 수행함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 공조설비의 유지관리 수행여부 또는 그 수준이 경제성의 관점, 특히 유지관리비용의 추가적인 고려에 따른 운전비 변화 등이 최적경제수명에 미치는 영향을 분석하기 위한 LCC 기반의 유지관리 효과분석용 프로그램을 개발하였다.

(2) 각종 설비의 수명 및 교체주기에 관한 객관적인 정보를 제공할 수 있는 내구년수의 예측방법을 제시하였다.

(3) 공조설비의 유지관리 수준에 따른 분석 결과, 본 연구의 검토범위 내에서는 유지관리를 하지 않은 경우에 비해, 주기적 유지관리를 통해 분석기간 동안 냉동기 11.0%, 보일러 10.8%의 생애주기비용을 절감할 수 있는 것으로 예측되었다.

(4) 유지관리 수준에 따라 설비의 최적경제수명은 냉동기의 경우 유지관리를 하지 않은 경우와 비교해 정기적으로 수행한 경우 최적 경제수명이 13년 정도 연장되고, 보일러의 경우도 15년 정도 증가하는 것으로 분석되었다.

공조설비는 유지관리 수준에 따라 운전비를 포함한 LCC와 최적경제수명이 변하지만, 현재로서는 장기간에 걸쳐 체계적으로 정리되어 보관되고 있는 설비의 운전성능 자료가 거의 없기 때문에 해석에서 많은 부분을 가정할 수밖에 없었다. 또한 본 연구는 한 사례에 대한 연구결과이기 때문에 지속적으로 연구가 진행되어야 한다. 향후 분석결과와 신뢰성을 향상시키고 이를 이용하여 공기조화설비의 최적 유지관리를 위해서는 현장에서 운영 중인 각 설비에 대한 정확하고 체계적인 운전성능 자료의 축적이 필요하다 하겠다.

## 후 기

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

## 참고문헌

1. Park, T. K., 1993, A study on the equipment optimization technique of residential apartment houses based on life cycle cost, Architectural Institute of Korea, Vol. 9, No. 6, pp. 167-175.
2. 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.
3. Lee, H. S., 2002, Assessment for economics of HVAC system by life-cycle cost technique, Proceedings of the SAREK, pp. 283-288.
4. Kim, N. K., 2000, An Integrated Method of Renovation for Building Services in Office Buildings, Ph. D. thesis, University of Chung-Ang, p. 29.
5. Yang, H. C., Lee, S. H. and Hyun, C. T., 2003, Life Cycle Costing for HVAC Systems through Case Studies of Domestic Construction Projects, Proceedings of the KICEM, pp. 279-282.
6. Hong, W. H. and Jung, Y. W., 2004, The Analysis of Economical Evaluation according to Repairing Type of the Equipments of Heat Sources of D Bank Headquarter in Daegu, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 20, No. 7, pp. 275-282.
7. Kang, S. J., Kim, Y. K. and Lee, T. W., 2007, An Estimation of the Economic Life Expectancy of the Building Service Equipment with LCC Analysis, Proceeding of the SAREK, pp. 316-321.
8. Kinoshita, E., Miyasaka, H., Kanao, T., Usui, S., Shibamoto, S. and Hara, E., 2006, Analysis of Energy · Environment · Facilities in building HVAC systems, Ohmsha.
9. Lee, S. O. and Choi, S. H., 2001, The case of diagnosis of facilities for remodelling of building, magazine of SAREK, Vol. 30, No. 9, pp. 34-44.