

공조설비 경제수명 해석을 위한 LCC 분석 패키지 개발에 관한 연구

김 용 기, 우 남 섭, 이 태 원*

한국건설기술연구원 화재및설비연구센터

A Development of a LCC Analysis Package for Maintenance of HVAC Equipments

Yong-Ki Kim, Nam-Sub Woo and Tae-Won Lee

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

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. So it is essential to try to develop ways to adequately maintain and to use the building facilities efficiently in order to preserve earth environment and the limited resource. In this study, the LCC based numerical calculation package will be developed for the efficient maintenance plan and the determination of the reasonable time of repair or replacement of equipments.

Key words: HVAC systems(공기조화설비), LCC analysis(생애비용분석), life expectancy (내용년수), Maintenance effects(유지관리효과)

1. 서 론

국가 전체 에너지 사용량 중 20% 이상이 건물 부문에서 소비되고 있고, 일반적인 사무소 건물의 에너지 소비량을 살펴보면 열원기기를 포함한 공조설비가 47% 정도를 차지하고 있다. 따라서 거주자의 쾌적성을 향상시키면서 건물에너지 소비량을 최소화하기 위해서는 공기조화설비가 최적의 효율을 달성할 수 있도록 시스템의 최적설계 및 설치와 더불어 시스템의 효율이 최적으로 유지될 수 있게 해주는 유지관리 기술이 요구된다.

그러나 현재 국내에서는 건물 및 설비 관리자

가 유지관리 업무를 위해 참조할 수 있는 자료가 부족하고, 제도적인 장치가 마련되어 있지 않아 일선 현장에서는 많은 애로를 겪고 있는 실정이다. 따라서 설비에 대한 유지관리 부실로 각종 설비와 시스템의 효율이 저하되고, 이는 결국 운전비의 증가로 이어져 건물에너지의 소비증가가 초래되고 있다.

또한 설비의 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 보수시기를 판단할 수 있는 방법이 미흡한 실정이다.

따라서 설비를 대상으로 한 LCC(Life Cycle Cost) 분석에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으나, 이

* Corresponding author
Tel.: +82-31-369-0502; fax: +82-31-369-0555
E-mail address: twlee@kict.re.kr

들 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 못하고 있다.

이에 본 연구에서는 설비의 효율적 유지관리를 지원할 수 있는 LCC 분석 프로그램 패키지를 개발하고자 한다. 즉 온라인으로 제공되는 설비의 성능 및 비용정보, 운전정보, 금융정보를 통합·분석하여 설비의 LCC를 계산하고, 대안 별 비교 분석을 통하여 설비의 최적 유지관리 방안을 지원할 수 있는 정보를 제공하게 된다.

2. 해석 방법

LCC 구성 항목은 대상 기기의 초기투자비용, 운전비용, 수리 및 보수 등의 유지관리비용, 폐기 및 잔존가치비용으로 구분할 수 있다. 먼저 초기 투자비용을 고려하면, 분석개시 시점으로부터 m 년 후에 발생하는 각종 장치 및 시스템에 대한 초기투자비는 물가상승률(e), 이자율(i)을 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 Q 는 설치되는 기기의 용량이며, c_1 및 c_2 는 각 기기의 용량에 따라 결정되는 상수이다.

분석개시 시점으로부터 k 년 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, k 년차의 운전비용을 예상할 수 있고 식(3)과 같이 나타낼 수 있다. EC_{Bpr} 는 운전 시 에너지사용 기본요금,

EC_{Vpr} 는 에너지 단가, EA_{pr} 는 에너지 사용량을 나타낸다. 또한, 분석개시 시점으로부터 k 년 후 당해 연도에 발생한 장치 및 시스템의 유지관리 비용에는 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.

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

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

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

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

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

LCC 분석을 위한 입력자료로는 각종 공기조화 설비별 계획 및 설계, 시공비용 등을 포함하는 초기비용과, 각 설비의 성능에 따라 소요되는 에너지 사용량 등을 나타내는 운전비용, 연간 은행금리 및 인플레이션율 등에 관한 금융정보, 설비의 수리 및 교체, 진단, 해체 및 폐기비용을 포함한 유지관리비용, 그리고 각종 자원 및 에너지의 요금체계를 사용하였다.

3. LCC 분석 패키지 개발

3.1 분석 패키지 개요

현재까지도 많은 연구들은 LCC 계산에 요구되는 에너지사용량, 즉 운전비용을 얻기 위해 부하계산 프로그램인 HASP, DOE 등을 사용하고 있다. 또한 유지관리 비용을 설치비에 대하여 일정한 비율로 가정하였고, 시간의 경과에 따른 대상

기기의 성능저하로 인한 운전비의 증가는 전혀 고려하지 못하고 있다. 하지만 본 연구에서 개발한 LCC 분석 패키지는 유지관리 수행여부 및 유지관리 수준, 유지관리 수준에 따른 설비의 성능저하 및 그에 따른 운전비 변화 등을 고려할 수 있는 분석기법⁽¹⁾을 적용하였고 현장의 실측 데이터를 이용해서 설비의 최적 경제수명에 미치는 영향 등을 분석할 수 있는 프로그램이다.

LCC 분석 패키지는 설비의 기본정보 입력, LCC 분석에 필요한 실제 정보 입력, 분석 프로그램 실행 등의 3단계로 나뉜다.(Fig. 1 참조) 먼저 설비의 모델명, 제조일, 설치시기 및 사용에너지종류 등의 기본 정보를 입력한다. 입력 방법은 직접 입력하거나 데이터베이스에서 정보를 불러올 수 있다. 그 후 설비의 운전 성능, 에너지사용량, 이자율 및 유지관리에 관련된 정보 등 LCC 계산에 필요한 데이터를 입력하게 된다. 계산에 필요한 실제 데이터의 입력이 끝나면 데이터를 저장하고 LCC 분석 패키지를 실행할 수 있도록 하였으며 이 후 각종 분석자료 및 그래프를 출력할 수 있도록 하였다.

3.2 LCC 분석 패키지 구성

LCC 분석 패키지는 해당 건물에서 LCC 계산 대상 설비, 유지관리 방식 등을 다양하게 선택하여 LCC 계산을 수행하고 분석 결과를 다양한 형

태로 제시한다. 본 연구에서는 당 연구원에서 수행한 과제인 “공조설비 성능진단 및 통합형 제어·관리시스템 개발”⁽²⁾ 연구를 통해서 개발한 LCC 분석 패키지를 사용하여 보다 현실적이고 정확한 계산을 통해 LCC 분석의 정확성을 높이고자 하였다. 대상 설비의 유지관리 LCC 분석을 위해서 필요한 기본 입력정보는 다음과 같다.

- (1) 설비 정보
 - 설비에 대한 기본 정보 입력
 - 기본 정보 : 모델명, 제조사, 용량, 제조연월일, 사용 에너지원 등
- (2) 비용 정보
 - 초기 투자비
 - 설치시기 및 위치 (Read-Only)
 - 설비 구입비, 설치비, 기타 초기 비용
- (3) 운전 정보
 - 설비 기본 정보
 - 성능 정보
 - 초기 성능, 성능저하 곡선
 - 성능 기준
 - 에너지 요금
 - 에너지 사용량
- (4) 금융 정보
 - 이자율
 - 물가 상승률
- (5) 유지관리 방안
 - 유지 관리 유형(점검, 보수 등)
 - 교체 주기
 - 유지관리 방안이 고려된 성능곡선

LCC 분석 기간은 30년이고, 주요 계산 항목은 초기투자비, 연간 운전비, 유지관리비 및 총 LCC 등이다. 계산결과는 화면에 표시되고 파일로 저장된다. Fig. 2~5는 LCC 분석 패키지의 주요 계산과정별 화면을 보여주고 있다. 먼저 Fig. 2는 분석대상 설비의 기본 정보를 입력하는 창으로 직접 입력하거나 데이터베이스에서 가져오는 방법이 있는데, 모델명, 제조일, 사용 에너지의 종류 등과 같은 기본정보가 입력된다. Fig. 3은 비용정보 중 운전정보를 계산하는 단계로 냉동기의 경우는 COP에 대한 성능모델링을 수행하여 시간경과에 따른 냉동기의 COP 변화를 예측하여 정확한 운전비를 계산하게 된다.

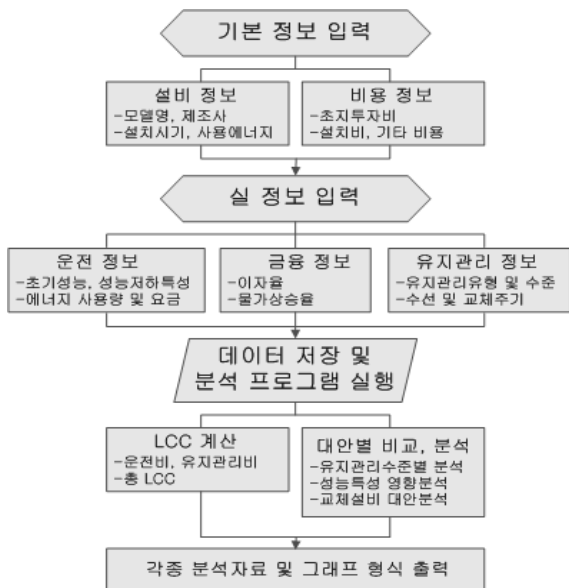


Fig.1 Flow chart of a LCC analysis package.

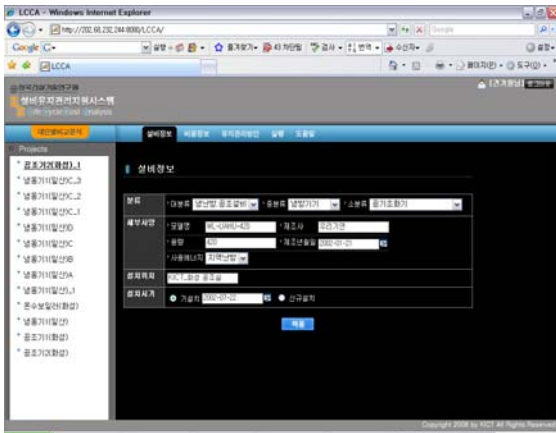


Fig. 2 Facilities' basic information input window of LCC analysis package.

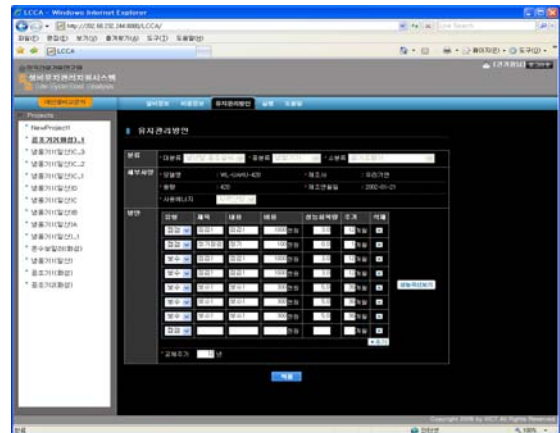


Fig. 4 Maintenance information input window of LCC analysis package.



Fig. 3 Cost information input window of LCC analysis package.



Fig. 5 Comparison of alternatives window of LCC analysis package.

본 패키지에는 성능모델링 함수로서 1차식, 2차식 및 파워함수($P = P_0 + at^b$)가 기본으로 제공되고 있다. 하지만 아직까지는 장기간에 걸쳐 체계적으로 정리된 설비의 운전 데이터가 거의 없기 때문에 설비의 성능모델링에 많은 부분을 가정할 수밖에 없다. 따라서 현장에서 운영되고 있는 각 설비에 대한 정확하고 체계적인 운전 데이터가 축적되어 데이터베이스화 된다면 좀 더 정확한 설비의 성능모델링이 가능하고 신뢰성 있는 분석 결과의 도출이 가능할 것이다.

Fig. 4는 유지관리에 대한 정보를 입력하는 창으로 유지관리 수준, 설비 교체·수선 주기, 설비의 성능회복 예측량 등이 입력되는데, 축적되는 설비의 운전성능 데이터를 이용하여 계산되는 성능 회복량 정보에 의해 기기의 성능저하 특성이

결정되고 이 정보는 연간 운전비 계산을 위한 자료로 활용된다. Fig. 5는 LCC 계산 결과를 보여주는 창으로 앞 단계에서 제공된 각 정보들을 이용하여 초기투자비, 연간운전비, 유지관리비가 계산된다. 대안별 비교 분석도 가능하며 최대 6가지의 대안에 대한 비교·분석이 가능하다.

3.3 신뢰성 검증

일반적으로 공기조화설비는 비주거용 건물 등에 적용되며 보일러, 냉동기 등의 열원설비와 공기조화기, 송풍기, 펌프 등의 반송설비로 구분된다. 공기조화설비가 건축물의 전체 유지관리비용 중 가장 큰 부분을 차지하며, 본 연구에서는 냉동기와 보일러에 한정하여 분석을 수행하였다.

열원설비는 연면적 20,000 m²의 업무용 빌딩에 대해서 용량이 300 RT인 터보냉동기 2대와 시간당 4톤 및 3톤 용량의 증기보일러가 각 1대씩 설치되어 있는 것으로 가정하였다(Table 1 참조).

연간 운전비는 Hong과 Jung⁽³⁾이 1998년부터 2003년까지의 국내 모 은행 본사 건물의 운영일지를 분석한 냉난방 운전 데이터를 사용하여 산출하였다. LCC 분석기간은 30년으로 선정하였고, 그 이외의 분석에 필요한 조건과 변수들은 선행 연구⁽⁴⁾에 자세하게 설명되어 있다.

개발된 LCC 분석 패키지의 신뢰성 검토를 위해서 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 BLCC(Building Life Cycle Cost) 프로그램을 이용하여 계산결과를 비교하였다.

Table 1 Specification of HVAC equipment and maintenance method.

	Specifications
Building	20,000m ² , Business building
Chiller	300RT turbo chiller × 2set
Boiler	4ton, 3ton steam boiler
Maintenance	Repair every year

Fig. 6은 BLCC 프로그램과 LCC 분석 패키지의 분석결과를 비교한 것으로 모든 비용 측면에서 5% 이내의 오차로 일치하는 것을 확인하였다. 따라서 개발된 LCC 분석 패키지는 기기별 LCC 분석을 수행하는 데 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

BLCC 프로그램과 LCC 분석 패키지의 분석에 의한 터보냉동기의 연간 LCC 변화를 Fig. 7에 도시하였다. 연간 LCC 역시 5% 이내의 오차로 일치하는 것을 확인하였다. 계산결과를 보면, 일정 기간 간격으로 유지관리를 수행한 결과 연간 LCC가 최소가 되는 시기인 최적경제수명이 약 23년 이상으로 증가하는 것으로 계산되었지만 냉동기의 마모, 부식과 같은 성능 열화의 진행과 신기술 개발에 따른 냉동기 성능의 지속적 향상 및 고가인 냉동기의 초기 설치비 등을 고려하면 정기적 유지관리를 통해 최소 LCC를 유지하면서

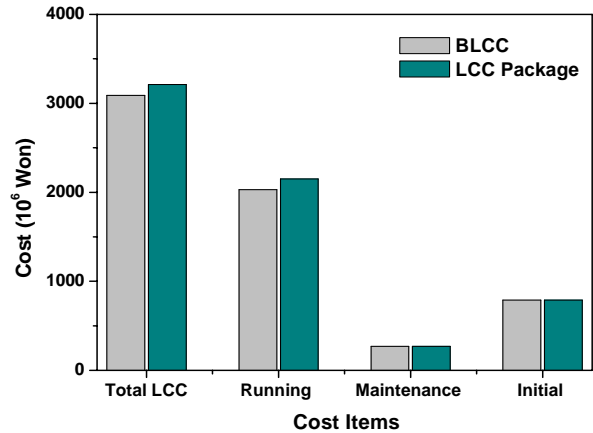


Fig. 6 Comparison of LCC cost indices from LCC package and BLCC calculations.

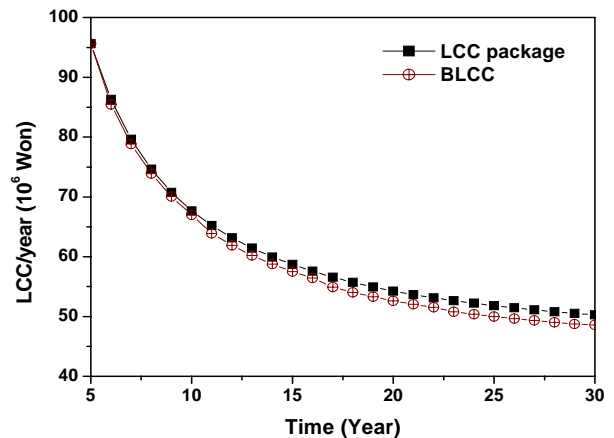


Fig. 7 Comparison of annual LCC's of turbo chiller.

사용연수 20~25년 사이에서 냉동기의 교체시기를 결정하는 것이 경제적일 것으로 판단된다.

3.4 LCC 패키지 활용방안

건물의 각종 설비들은 사용시간이 경과함에 따라 노후 및 열화로 인해 장비를 교체해야 하는 시기인 내구연수에 도달하게 된다. 내구연수와 관련하여 우리나라뿐만 아니라 일본, 미국, 독일 등 각국에서 법정 내구연수 또는 설비관련 협회에서 기기별로 확일적인 내구연수를 제시하고 있다. 하지만 설비의 내구연수는 건물 환경, 가동시간 및 유지관리수준에 따라 많은 차이가 있다.

LCC 분석 패키지는 실측 운전 데이터를 바탕

으로 최적경제수명 도출이 가능하여 확실적인 설비의 내구년수가 아닌 설비의 운전환경 및 유지관리수준에 따라 변하는 최적의 설비 교체시기를 판단할 수 있는 정보를 제공할 수 있다.

또한, 교체시기에 다다른 각종 설비의 개보수 작업이 발생할 경우 주변 환경변화에 따라 동일한 작동방식의 신제품이나 다른 작동방식의 설비로 교체하는 방안도 고려할 수 있을 것이다. 이때 LCC 분석 패키지는 에너지가격변화 등의 환경변화를 고려한 각 대안들의 비교·분석을 통해서 최적의 설비를 선정하는 의사결정과정에 필요한 객관적인 정보를 제공할 수 있다.

지금까지 설비를 대상으로 한 LCC 분석에 관한 많은 연구는 LCC 계산에 요구되는 에너지사용량, 즉 운전비 계산에 있어 부하계산 프로그램인 HASP, DOE 등을 사용하였다. 또한 유지관리 비용을 설치비에 대하여 일정한 비율로 가정하였고, 시간의 경과에 따른 대상기기의 성능저하로 인한 운전비의 증가는 고려하지 못하고 있다.

LCC 분석 패키지는 시간 경과에 따른 설비의 운전성능에 대한 성능모델링을 수행하여 시간 경과에 따른 기기의 성능저하로 인한 운전비의 증가를 고려할 수 있어 좀 더 정확한 LCC 계산이 가능하다.

4. 결 론

공조설비의 효율적인 유지관리를 위한 의사결정에 이용할 도구를 제공하기 위하여 LCC 분석 방법을 이용한 해석이론을 개발하였고, LCC 분석을 기반으로 설비를 유지·관리할 수 있도록 지원하기 위한 경제성분석 패키지를 개발하였다.

BLCC 프로그램과 LCC 분석 패키지의 분석결과, 경상비, 운전비, 초기투자비 측면에서 5 % 이내의 오차로 일치하는 것을 확인하였다. 따라서 개발된 LCC 분석 패키지는 기기별 LCC 분석을 수행하는 데 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판

단된다.

LCC 분석 패키지는 실측 운전 데이터를 바탕으로 최적 경제수명 도출이 가능하여 확실적인 설비의 내구년수가 아닌 설비의 운전환경 및 유지관리수준에 따라 변하는 최적의 설비 교체시기를 판단할 수 있는 정보를 제공한다.

후 기

본 연구는 건설교통R&D정책·인프라사업(과제번호: 05기반구축A17-01)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee, T. W. *et. al.*, 2008, A development of the Control and Management System Included the Performance Diagnosis of the HVAC System, Research Report, Korea Institute of Construction and Technology.
2. Kim, Y. K., Woo, N. S., Kang, S. J., and Lee, T. W., 2008, Optimum Management Plan of the HVAC Equipments with LCC Analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 8, pp. 556-562.
3. 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.
4. 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.