

공조설비 유지관리용 LCC 분석 패키지 개발

김 용 기, 우 남 섭, 이 태 원[†]
한국건설기술연구원 설비플랜트연구실

A Development of the LCC Analysis Program Package for Optimal Maintenance of HVAC Systems

Yong-Ki Kim, Nam-Sub Woo, Tae-Won Lee[†]
Plant Research Division., Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Korea
(Received June 22, 2009; revision received August 1, 2009)

ABSTRACT: The building HVAC systems generally have very different qualities of performance and durability with the superintendent's interest in or capability of management and maintenance of them. The poor management of these systems finally lead to the shortening of the life expectancy and result in the increase of operating cost and energy consumption due to their low efficiencies. So it is necessary to develop tools to maintain adequately and to operate efficiently various building service equipments in order to cope with actively the global environment problems and energy crises. In this study the LCC based calculation program and package were developed, which could be used for analyses of the economic performance and determination of the reasonable maintenance time and methods of building HVAC systems.

Key words: HVAC system(공기조화설비), LCC analysis(생애주기 비용분석), Life expectancy(내구년수), Optimal economic life(최적 경제수명)

1. 서 론

국가 전체 에너지 사용량 중 25% 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 시스템이 최적의 상태로 운영될 수 있게 해주는 유지관리 기술이 요구된다.

그러나 현재 국내에서는 건물 및 설비 관리자가

유지관리 업무를 위해 참조할 수 있는 자료가 부족하고, 제도적인 장치가 마련되어 있지 않아 일선 현장에서 많은 애로를 겪고 있는 실정이다. 이에 따라 설비에 대한 유지관리 부실로 각종 설비와 시스템의 효율이 저하되고 이는 결국 운전비의 증가로 이어져 건물에너지의 소비증가가 초래되고 있다. 또한 설비의 유지관리 및 고장진단 등의 업무가 설비 관리자 개인에게 부여되고 관리자의 능력과 노력여하에 따라 설비의 성능과 수명이 큰 차이가 나고 있다.

하지만 관련 분야에 대한 많은 연구에도 불구하고 건물 열원설비의 최적 교체 및 보수시기를 판단할 수 있는 방법은 미흡한 실정이며, 공조설비에 대한 LCC(Life Cycle Cost) 분석에 관한 연구 또한 많이 진행되어 왔으나 대부분의 연구에서 계산에 요구되는 에너지사용량을 얻기 위해 부

[†] Corresponding author
Tel.: +82-31-910-0587; fax: +82-31-910-0491
E-mail address: twlee@kict.re.kr

하계산 프로그램인 HASP, DOE 등을 사용하는 실정이다. 유지관리비용 또한 설치비에 대하여 일정한 비율로 가정하고, 시간의 경과에 따른 기기의 성능저하나 이로 인한 운전비의 증가는 전혀 고려하지 못하고 있다.

이에 본 연구에서는 공조설비의 효율적 유지관리를 지원할 수 있는 LCC 분석 프로그램 및 이를 일반 관리자가 쉽게 사용할 수 있게 해주는 범용 패키지를 개발하고자 한다. 즉 온라인으로 제공되는 설비의 성능 및 비용정보, 운전정보, 금융정보 등을 분석하여 설비의 LCC를 계산하고, 대안별 비교분석을 통해 설비의 최적 유지관리 방안을 도출할 수 있는 방법을 제공하고자 한다.

2. 해석 방법

LCC 분석의 비용구성 항목은 대상 기기의 초기 투자비용, 운전비용, 수리 및 보수 등의 유지관리비용, 폐기 및 잔존가치비용 등으로 구분할 수 있다.

먼저 초기투자비용을 고려하면, 분석개시 시점으로부터 k 년 후에 발생하는 각종 기기에 대한 초기투자비, IC (원)는 물가상승률, e 와 이자율, i 를 적용하여 식(1)에 의해 분석시작 시점의 현가로 계산할 수 있다.

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

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

여기서 IC_b 는 기기를 설치한 년도의 초기투자비, Q 는 설치된 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.

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

여기서 $RC_{b,k}$ 는 분석개시 시점으로부터 k 년차에 발생한 운전비(원/년)로서, 시간 경과에 따른 기기의 성능저하 및 그에 따른 운전비 상승률 등을 반영하기 위해 각 기기의 시간에 따른 성능상관식을 운전비용에 대입을 하여 성능저하 비율을 이용, k 년차의 운전비용을 예상할 수 있고 식

(3)과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 EC_{Bpr} 는 운전 시 에너지사용 기본요금, EC_{Upr} 는 에너지 단가, EA_{pr} 는 에너지 사용량을 나타내며 P_{pr} 과 P_k 는 현재 시점과 k 년차의 기기 성능을 각각 나타낸다. 기기의 사용연수에 따른 성능열화 특성에 따른 성능예측은 Kim 등¹⁾의 논문에서 제안한 경년변화 예측 방법을 이용하여 계산하였다.

분석개시 시점으로부터 k 년 후에 발생하는 기기의 유지관리비용에는 정기 점검비용과 비정기 점검비용 및 수리비용이 포함되며 식(4)와 같이 계산할 수 있다.

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

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

여기서 $MC_{b,k}$ 는 k 년 후에 발생하는 유지관리비이고, $MCI_{r,b,k}$, $MCI_{ir,b,k}$ 및 $MCR_{b,k}$ 는 각각 k 년 후에 발생하는 정기점검비용(원/년)과 비정기 점검비용(원/년) 및 수리비용(원/년)을 의미하며, d_1 및 d_2 는 시간 경과에 따른 기기의 수리비용 변화에 따라 결정되는 상수이다.

분석기간 동안 기기의 폐기 시 발생하는 폐기 및 잔존가치비, EC (원)를 분석개시 시점의 현가로 환산하면 식(5)와 같고 EC_b 는 기기를 폐기할 당시의 폐기비 또는 잔존가치비용이다. 최종적으로 각 비용항목들로부터 기기의 생애주기비용, LCC (원)를 식(6)과 같이 구할 수 있다.²⁾

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

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

3. LCC 분석 패키지 개발

3.1 분석 패키지 개요 및 구성

LCC 계산 프로그램을 작성하기 위한 언어로는

Visual Fortran 6.0을 사용하였으며 개발 프로그램을 LCC 분석 패키지와 연동하였다. 본 연구에서 개발한 LCC 분석 패키지는 유지관리 수행여부나 유지관리 수준, 그에 따른 설비의 성능저하 및 운전비 변화 등을 고려할 수 있는 분석 방법²⁾을 적용하였고 현장의 실측 데이터를 이용해서 설비의 연간 LCC, 유지관리 효과 및 최적 경제수명, 최적 대안의 선정 등을 분석할 수 있는 프로그램이다. LCC 분석 패키지의 계산에 필요한 주요 입력정보는 아래와 같다. (1), (2)번 항목은 시스템 구축에 관련된 정보로 설비의 기본 사양과 초기투자비에 대한 내용으로 사용자가 입력하여야 하고 향후 국가적 차원의 통계 분석에도 활용될 수 있다. (3), (4)번 항목은 인터넷과 설비 자동제어시스템과 연동되는 부분으로 LCC 계산에 필요한 금융 및 운전정보가 자동으로 입력되게 된다. 입력정보를 바탕으로 LCC 계산을 수행하며 주요 계산항목은 연간 운전비 및 LCC, 기기의 성능저하특성, 최적경제수명 등이다.

- (1) 설비 정보
 - 정격성능
 - 기본 정보 : 모델명, 제조사, 용량, 제조연월일, 사용 에너지원 등
 - 설치시기 및 위치
- (2) 비용 정보
 - 초기 투자비
 - 설비 구입비, 설치비 및 기타 비용
- (3) 금융 정보
 - 이자율, 물가상승률
 - 각종 에너지 요금
- (4) 운전 정보
 - 기기 운전시간
 - 에너지 사용량
 - 열 생산 및 공급량

LCC 분석 패키지의 운영은 Fig. 1에 보이는 바와 같이 기본 정보 입력, 계산에 필요한 실 정보 입력, 프로그램 실행 및 분석의 3단계로 구성되어 있다. 먼저 기본 정보 입력단계에서는 설비의 모델명, 제조사, 설치시기 및 사용에너지 종류 등의 정보를 입력한다. 입력 방법은 직접 입력하거나 데이

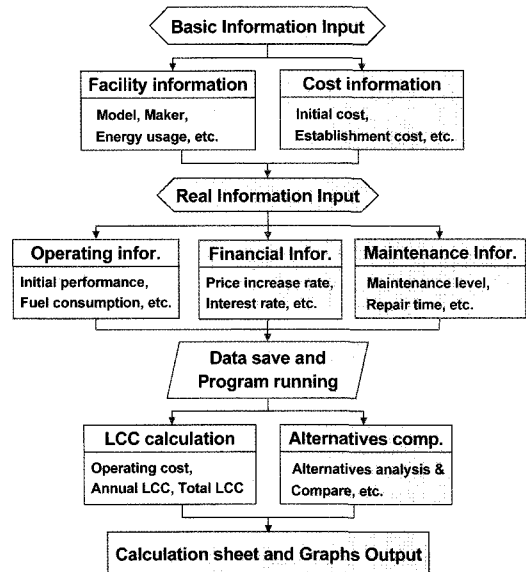


Fig. 1 Flow chart of LCC analysis package.

터베이스에서 관련 정보를 불러올 수 있다. 다음 단계에서는 설비의 운전 성능, 에너지사용량, 이자율 및 유지관리에 관련된 정보 등 계산에 필요한 정보를 입력한다. 계산에 필요한 실 정보의 입력이 끝나면 데이터를 저장하고 LCC 분석 패키지를 실행하고 각종 분석자료 및 그래프를 출력한다.

LCC 분석 패키지의 주요 계산 과정별 화면을 Fig. 2~Fig. 6에 보여주고 있다. 먼저 Fig. 2는 분석대상 설비의 기본 정보를 보여주는 창으로 초기에 직접 입력된 정보를 데이터베이스를 통해서 불러오게 된다. 체계적인 유지관리를 위한 데이터베이스 구축을 위해서 각 기기들을 대분류, 중분류, 소분류로 구분하여 기기의 종류, 모델명, 제조일, 설치시기 및 장소 사용 에너지의 종류 등과 같은 기본정보가 제공된다.

Fig. 3은 비용정보 중 각 기기에 대한 초기투자비 정보를 제공하는 화면으로 기기에 대한 기본정보가 표시되고 기기의 구입비, 설치비 및 기타 초기투자비용을 보여준다.

Fig. 4는 비용정보 중 운전정보를 제공하는 화면으로 각 기기의 실제 운전 데이터를 사용해서 운전성능을 파악하고 에너지 사용량을 계산한다. 또한 Fig. 5에 보이는 예와 같이 냉동기의 경우 COP에 대한 성능모델링을 수행하여 시간 경과에 따른 냉동기의 COP 변화를 예측하여 최적의 유지관리를 위한 정보를 제공한다.

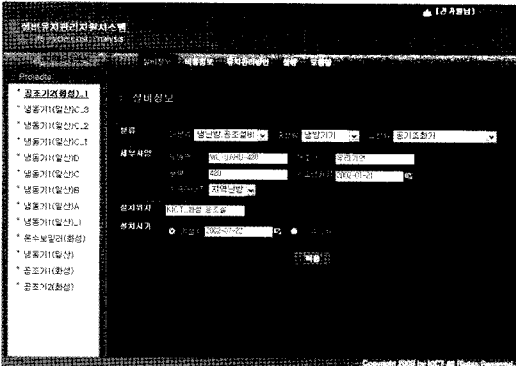


Fig. 2 Facilities' basic information output window of LCC package.

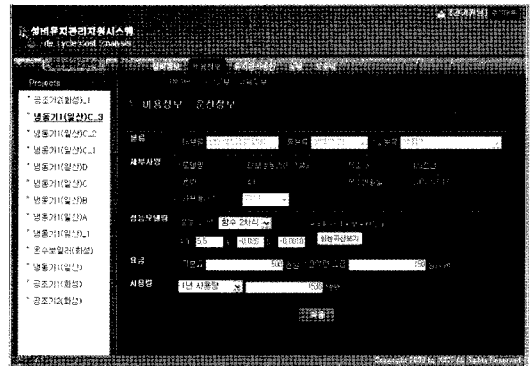


Fig. 4 Cost information output window of LCC package.

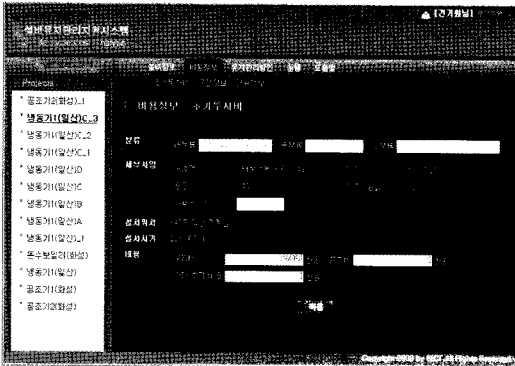


Fig. 3 Cost information output window of LCC package.

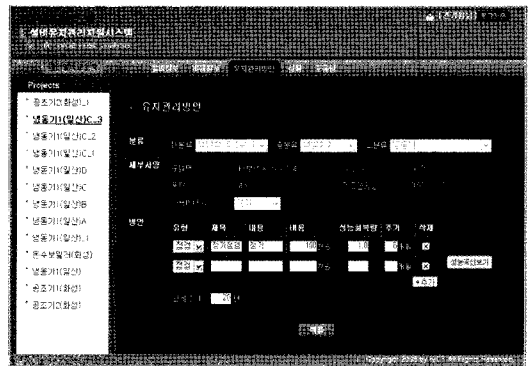


Fig. 5 Maintenance information output window of LCC package.

본 패키지에는 성능모델링 함수로서 제 1차식, 제 2차식 및 파워함수($P = P_0 + at^b$)가 기본으로 제공되고 있다. 하지만 아직까지는 장기간에 걸쳐 체계적으로 정리된 설비의 운전 데이터가 많지 않기 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 분석결과의 도출이 가능할 것을 사료된다.

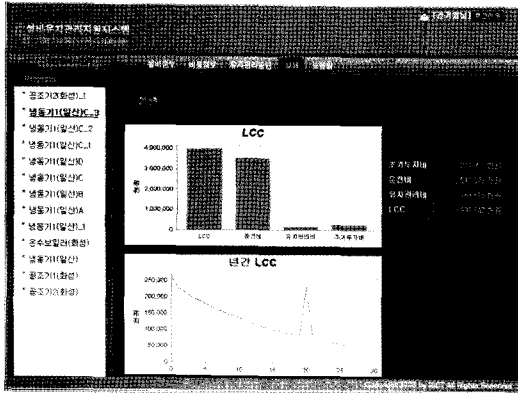
Fig. 5는 각 기기의 효율적인 유지관리를 위한 정보를 제공하는 화면으로 LCC 분석 자료를 활용하여 기기의 교체나 수선 주기를 예측하여 최적시기를 제공하고 그에 따른 기기의 성능회복 예측량을 계산하게 되는데, 축적되는 기기의 운전성능 데이터를 이용하여 계산되는 성능회복 예측량 정보에 의해 기기의 성능저하 특성이 결정되고 이 정

보는 다시 연간 운전비 계산을 위한 자료로 활용된다.

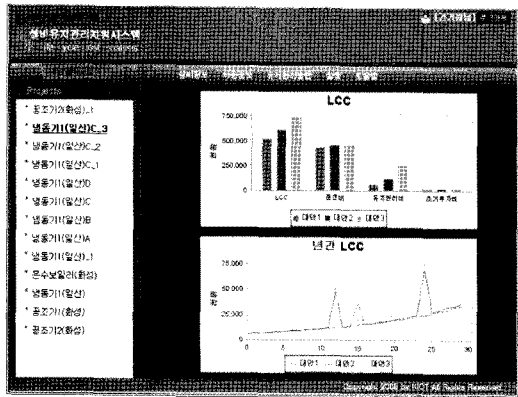
Fig. 6은 LCC 계산 결과를 보여주는 화면으로 앞의 각 단계에서 제공된 정보들을 이용하여 연간 LCC를 계산한다. Fig. 7(a)에 보이는 바와 같이 LCC의 비용항목별 구성 비율과 분석기간 동안의 총 LCC 변화를 계산할 수 있고, Fig. 7(b)에 보이는 바와 같이 대안별 비교 분석도 가능하며 최대 6가지의 대안에 대한 비교 분석이 가능하다.

3.2 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.



(a) Calculation results



(b) Comparison of alternatives

Fig. 6 Calculation results output window of LCC package.

열원설비는 Hong과 Jung³⁾의 논문을 참고하여 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 운전비도 Hong과 Jung의 국내 모 은행 본사 건물의 열원기기의 냉난방 운전시간 데이터를 사용하여 계산하였다. LCC 분석기간은 30년으로 선정하였고, 그 이외의 분석에 필요한 조건과 변수들은 선행연구⁴⁾에 자세히 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.

Fig. 7은 BLCC 프로그램과 LCC 분석 패키지

Table 1 Specification of HVAC equipment and maintenance method

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

의 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. 8에 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 사용연수 20~25년 사이에서 냉동기의 교체시기를 결정하는 것이 경제적인 것으로 판단된다.

3.3 LCC 패키지 활용방안

건물의 각종 중조설비 관련 기기들은 사용시간이 경과함에 따라 노후 및 성능열화로 인해 기기를 교체해야 하는 시기인 내구연수에 도달하게 된다. 내구연수와 관련하여 우리나라 뿐만 아니라 일본, 미국, 독일 등 각국에서 법정 내구연수 또는 설비관련 협회에서 기기별로 획일적인 내구연수를 제시하고 있다. 하지만 설비의 내구연수는 건물 환경, 가동시간 및 유지관리수준에 따라 많은 차이가 발생하고 있다.

본 연구의 LCC 분석 패키지는 실측 운전 데이터를 활용하여 연간 LCC 및 최적경제수명의 도출이 가능하며, 획일적인 설비의 내구연수가 아닌 설비의 운전환경 및 유지관리수준에 따라 변하는 최적의 설비 교체시기를 판단할 수 있는 정

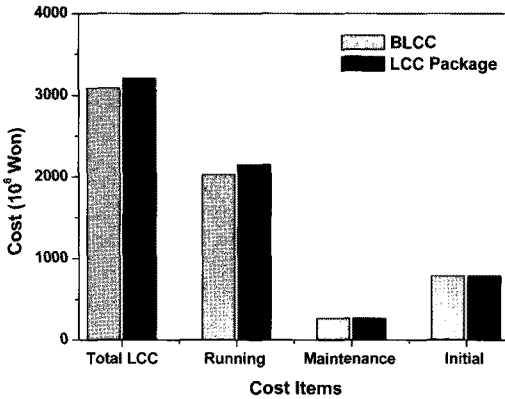


Fig. 7 Comparison of cost indices from LCC package and BLCC calculations.

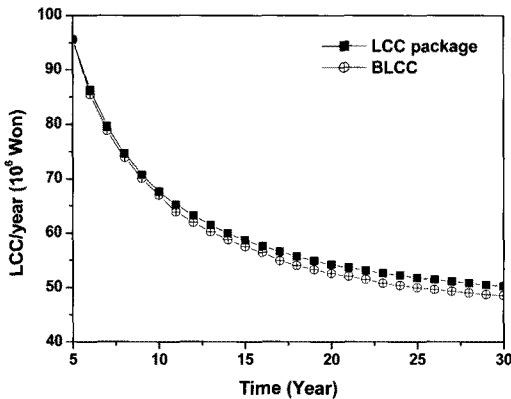


Fig. 8 Comparison of annual LCC of turbo chiller.

보를 제공할 수 있다.

또한, 교체에 따른 각종 기기의 개보수 작업이 발생할 경우 주변 환경변화에 따라 동일한 작동 방식의 신제품이나 다른 작동방식의 기기로 교체하는 방안도 고려할 수 있을 것이다. 이때 LCC 분석 패키지는 기기의 성능, 에너지가격 변화 등의 환경 변화를 고려한 각 대안들의 비교 분석을 통해서 최적의 설비를 선정하는 의사결정과정에서 필요한 객관적인 정보를 제공할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 공조설비의 유지관리를 위한 의사결정에 이용할 도구를 제공하기 위해 LCC 분석을 기반으로 하는 경제성 분석 알고리즘을 개

발하였고, 기기의 효과적인 유지관리를 지원하는 공조설비 유지관리용 프로그램과 설비 관리자가 쉽게 사용할 수 있는 범용 패키지를 개발하였다.

본 연구의 LCC 분석 패키지의 분석결과를 BLCC 프로그램의 결과와 비교한 결과 모든 비용 측면에서 5% 이내의 오차로 일치하는 것을 확인하였고, 개발된 LCC 분석 패키지는 공조설비의 효율적인 유지관리를 위한 정보 제공에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 LCC 분석 패키지는 실측 운전 데이터를 바탕으로 최적경제수명 도출이 가능하여 획일적인 설비의 내구년수가 아닌 설비의 운전환경 및 유지관리수준에 따라 변하는 최적 교체시기를 판단할 수 있는 정보를 제공할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 에너지자원기술개발사업 (과제번호 : 2008-E-BD-11-P-02)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Kim, Y. K., Woo, N. S., Kang, S. J. and Lee, T., 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.
- 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.
- 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.
- 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.